



อทธ.๗๒๐๑

# การวิเคราะห์ปฏิบัติการทางเรือ

พ.ศ.๒๕๔๑

จัดทำเมื่อ ส.ค.๕๑



อทร.๗๒๐๑

# การวิเคราะห์ปฏิบัติการทางเรือ

พ.ศ.๒๕๔๑

เอกสารอ้างอิงของกองทัพเรือ หมายเลข ๓๒๐๑

## การวิเคราะห์ปฏิบัติการทางเรือ

จัดทำโดย

คณะทำงานพิจารณาและจัดทำ อทร.ด้านการศึกษาระดับพื้นฐาน

สิงหาคม ๒๕๔๑

พิมพ์ครั้งที่ ๑

สิงหาคม ๒๕๔๑



## บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ คณะกรรมการพิจารณาและจัดทำ อทร. (กองการวิจัยและพัฒนา ยก.ทร.โทร.๔๕๕๘)

ที่ กท ๐๕๐๕.๓/๔๔๐

วันที่

๓๑ ต.ค.๕๑

เรื่อง ขออนุมัติใช้อทร. ด้าน การศึกษาขั้นพื้นฐาน

เรียน ประธานกรรมการพิจารณาและจัดทำเอกสารอ้างอิงของ ทร. และ รอง เสธ.ทร.

๑. คณะทำงานพิจารณาและจัดทำเอกสารอ้างอิงของ ทร. ด้าน การศึกษาขั้นพื้นฐาน เสนอขออนุมัติปรับเปลี่ยนเอกสาร จำนวน ๑๘ เรื่อง เป็น อทร. และขอให้ดำเนินการตามขั้นตอนที่เหมาะสมต่อไป โดยมีรายชื่อเอกสารดังนี้ คือ

- |   |                    |
|---|--------------------|
| ๑.๑ คู่มือการใช้กระบี่ (อทร.๗๑๐๑)                                       | หน่วยควบคุม ยศ.ทร. |
| ๑.๒ ภาวะผู้นำ (อทร.๗๑๐๒)  | หน่วยควบคุม ยศ.ทร. |
| ๑.๓ การวิเคราะห์ปฏิบัติการทางเรือ (อทร.๗๒๐๑)                            | หน่วยควบคุม รร.นร. |
| ๑.๔ แบบฝึกบุคคลท่ามือเปล่าและท่าอาวุธกองทัพเรือ พ.ศ.๒๕๓๘ (อทร.๗๔๐๑)     | หน่วยควบคุม นย.    |
| ๑.๕ ทำเนียบไฟและทวนในน่านน้ำไทย พ.ศ.๒๕๔๐ (อทร.๗๖๐๑)                     | หน่วยควบคุม อศ.    |
| ๑.๖ ภาวะทะเล (อทร.๗๖๐๒)   | หน่วยควบคุม อศ.    |
| ๑.๗ ระบบทวนเครื่องหมายช่วยการเดินเรือในน่านน้ำไทย (อทร.๗๖๐๓)            | หน่วยควบคุม อศ.    |
| ๑.๘ เดินเรือดาราศาสตร์ (อทร.๗๖๐๔)                                       | หน่วยควบคุม อศ.    |
| ๑.๙ เครื่องหมายและอักษรย่อที่ใช้ในแผนที่เดินเรือไทย พ.ศ.๒๕๓๒ (อทร.๗๖๐๕) | หน่วยควบคุม อศ.    |
| ๑.๑๐ คำแนะนำระบบการหาดำบลที่เรือด้วยดาวเทียม จี พี เอส (อทร.๗๖๐๖)       | หน่วยควบคุม อศ.    |
| ๑.๑๑ คู่มือการใช้และบำรุงรักษาเครื่องมือเดินเรือ (อทร.๗๖๐๗)             | หน่วยควบคุม อศ.    |
| ๑.๑๒ กฎการเดินเรือในน่านน้ำไทยและกฎการเดินเรือสากล (อทร.๗๖๐๘)           | หน่วยควบคุม อศ.    |
| ๑.๑๓ อุดุนิยมวิทยาเบื้องต้น (อทร.๗๖๐๙)                                  | หน่วยควบคุม อศ.    |
| ๑.๑๔ อุดุนิยมวิทยาการบิน (อทร.๗๖๑๐)                                     | หน่วยควบคุม อศ.    |
| ๑.๑๕ ความรู้ทั่วไปทางสมุทรศาสตร์ (อทร.๗๖๑๑)                             | หน่วยควบคุม อศ.    |
| ๑.๑๖ ระดับทะเลปานกลางมาตรฐาน (เส้นเกณฑ์ระดับเกาะหลัก) (๗๖๑๒)            | หน่วยควบคุม อศ.    |
| ๑.๑๗ นาร์่องน่านน้ำไทย เล่ม ๑ (อ่าวไทย) (อทร.๗๖๑๓)                      | หน่วยควบคุม อศ.    |
| ๑.๑๘ การใช้ชุดตรวจน้ำมันหล่อลื่นและชุดตรวจน้ำประจำเรือ (อทร.๗๘๐๑)       | หน่วยควบคุม วศ.ทร. |

๒. กระผมขอเรียนเพื่อกรุณาทราบและมีข้อพิจารณาว่าเอกสารที่คณะทำงานพิจารณาและจัดทำ อทร. ด้านการศึกษาขั้นพื้นฐานเสนอให้ปรับเป็น อทร. ตามข้อ ๑. นั้น ได้เคยแจกจ่ายให้หน่วยที่เกี่ยวข้องใช้เป็นเอกสารอ้างอิงและเป็นแนวทางในการปฏิบัติงานของหน่วยต่าง ๆ อยู่แล้วและได้ตรวจสอบแล้วว่าปรากฏว่าเอกสารในข้อ ๑.๑ ควรมีการตรวจสอบความทันสมัยก่อนและเอกสารตามข้อ ๑.๒ และ ๑.๑๔ จะต้องขออนุญาตผู้เขียนเอกสารเพื่อมอบให้ ทร.ไว้ใช้ราชการก่อนพิจารณาจัดทำเป็น

อทร.สำหรับเอกสารที่เหลืออีก ๑๕ เรื่องนั้นสามารถใช้ประกอบการปฏิบัติงานของหน่วยต่าง ๆ ได้ จึงมีความเหมาะสมในการปรับเปลี่ยนให้เป็น อทร. โดยเห็นควรดังนี้

- ๒ -

๒.๑ อนุมัติให้ปรับเปลี่ยน เอกสารตามข้อ ๑. เป็น อทร. โดยกำหนดชื่อและหมายเลข อทร.ตามที่คณะกรรมการด้าน การศึกษาขั้นพื้นฐาน เสนอ ยกเว้นเอกสารในข้อ ๑.๑ ข้อ ๑.๒ และข้อ ๑.๑๔ กระผมได้ประสานหน่วยเกี่ยวข้องในการแก้ไขและ ได้ร่างหนังสือถึงผู้เขียน ฯ เพื่อขอความอนุเคราะห์ในการมอบหนังสือดังกล่าวให้ ทร.ไว้ใช้ราชการตามที่แนบมาด้วยแล้ว

๒.๒ ให้คณะกรรมการพิจารณาและจัดทำ อทร. ด้านการศึกษาขั้นพื้นฐาน ประสานรายละเอียดกับ สบ.ทร. ในการ ดำเนินการจัดพิมพ์ปกและรายการประกอบเพิ่มเติม เพื่อปรับเปลี่ยนเอกสารตามข้อ ๒.๑ ให้เป็น อทร. แล้วดำเนินการขออนุมัติ จัดพิมพ์ต่อไป

จึงเสนอมาเพื่อโปรดอนุมัติ ตามข้อ ๒. และกรณาลงนามตามเอกสาร ที่แนบ

น.อ.

เลขานุการคณะกรรมการพิจารณาและจัดทำ อทร.และ

ผอ.กทพ.ยท.ทร.

- อนุมัติ / ลงนามแล้ว

รับคำสั่ง ผบ.ทร.

พล.ร.ท.

ประธานกรรมการ ฯ และ รอง เสธ.ทร.

๓๑ ต.ค.๖๖.



## อนุมัติบัตร

เรื่อง อนุมัติใช้เอกสารอ้างอิงของ ทร. หมายเลข ๑๒๐๑ เรื่อง “การวิเคราะห์ปฏิบัติการทางเรือ” (อทร.๑๒๐๑)

-----

ตามคำสั่งกองทัพอากาศที่ ๑๑/๒๕๔๑ ลง ๒๒ ม.ค.๔๑ เรื่องแต่งตั้งคณะกรรมการและคณะทำงานพิจารณาและจัดทำเอกสารอ้างอิงของ ทร. ให้ประธานกรรมการพิจารณาและจัดทำเอกสารอ้างอิงของ ทร. มีอำนาจในการอนุมัติใช้เอกสารอ้างอิงของ ทร. (อทร.) นั้น เพื่อให้การดำเนินการเป็นไปด้วยความเรียบร้อยจึงให้ใช้ “การวิเคราะห์ปฏิบัติการทางเรือ” (อทร.๑๒๐๑) เล่มนี้เป็นเอกสารประกอบการปฏิบัติราชการใน ทร. โดยให้ รร.นร. เป็นหน่วยควบคุมเอกสาร ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

ประกาศ ณ วันที่ ๓๑ สิงหาคม พ.ศ.๒๕๔๑

รับคำสั่ง ผบ.ทร.

(ลงชื่อ) พล.ร.ท. ประเสริฐ บุญทรง

(ประเสริฐ บุญทรง)

ประธานกรรมการพิจารณาและจัดทำ อทร. และ

รอง เสธ.ทร.

อทร.๗๒๐๑

บันทึกการเปลี่ยนแปลงแก้ไข

ลำดับ ที่	รายการแก้ไข	วันเดือนปี ที่ทำการแก้ไข	ผู้แก้ไข (ยศ - นาม - ตำแหน่ง)	หมายเหตุ

--	--	--	--	--

**การวิเคราะห์  
ปฏิบัติการทางเรือ**





พลเรือตรี ศาสตราจารย์ ธีรชัย ตังเจริญ

**IN MEMORIAM**

**Maria del Carmen Garcia sasetta de Tangcharoen**

**Doctorado en Filosofia y Letras**

**(Doctorate in Philosophy and Arts)**



### คำนิยม

ตำรา “การวิเคราะห์ปฏิบัติการทางเรือ” เล่มนี้มีเนื้อหาสาระที่เป็นพื้นฐานสำคัญของการปฏิบัติการทางเรือ ซึ่งจะช่วยเสริมให้การตัดสินใจและการอำนวยความสะดวกปฏิบัติการทางเรือเป็นไปอย่างสมเหตุผล และถูกต้องตามหลักวิชาการ นอกเหนือไปจากที่ทหารเรือเราจะต้องใช้ความรู้ และประสบการณ์ประกอบการตัดสินใจในเรื่องที่สำคัญเหล่านั้น หนังสือเล่มนี้จึงมีประโยชน์ต่อทหารเรือทุกระดับ นับตั้งแต่ผู้ปฏิบัติ ซึ่งจะต้องเข้าใจทฤษฎีของการปฏิบัติการทางเรือ จนถึงผู้บังคับบัญชาระดับสูง ที่จะต้องตัดสินใจให้มีความเสี่ยงน้อยที่สุด

การเรียบเรียงตำราอันมีคุณค่าเช่นนี้ นอกจากจะต้องมีความรู้ทางวิชาการแล้วยังต้องใช้ความพากเพียรวิริยะอุตสาหะอย่างสูงยิ่ง ซึ่งมีไม่ใช่เป็นสิ่งที่บุคคลต่าง ๆ จะกระทำได้โดยง่าย แต่ พลเรือตรี ศาสตราจารย์ ธีระชัย ตั่งเจริญ ก็ได้ใช้ความพยายามในการเรียบเรียงกว่า ๕ ปี จนตำราเล่มนี้สำเร็จและใช้ศึกษาในโรงเรียนนายเรือ ตั้งแต่ปี พ.ศ. ๒๕๓๑ และเป็นประโยชน์อย่างมากต่อนายทหารเรือที่รักการค้นคว้าหาความรู้ ความสำเร็จของท่านจึงสมควรที่จะยกย่องเป็นอย่างยิ่ง เกียรติคุณของท่านจะดำรงอยู่และเป็นที่ยอมรับต่อศิษย์ ที่ได้รับความรอบรู้ และประโยชน์จากตำราของท่านตลอดไป

ผมมั่นใจคุณค่าของหนังสือเล่มนี้และขอชื่นชมในความรู้ ความวิริยะอุตสาหะรวมทั้งความเสียสละที่ พลเรือตรี ศาสตราจารย์ ธีระชัย ตั่งเจริญ ได้กระทำให้เกิดประโยชน์ต่อกองทัพเรือในครั้งนี้ โดยมีได้หวังสิ่งใดตอบแทน นอกไปจากความรู้ที่งอกงามขึ้นในตัวของศิษย์ทหารเรือทุกคน

พลเรือเอก

(วิเชษฐ การุณยวนิช)

ผู้บัญชาการทหารเรือ

มีนาคม ๒๕๓๖

## คำนำ

(พิมพ์ครั้งที่ ๑)

หนังสือเล่มนี้รวบรวมและเรียบเรียงขึ้นสำหรับนายทหารเรือโดยเฉพาะ และสำหรับนายทหารเรือผู้ซึ่งคาดหวังความเจริญในอาชีพทหารเรือในภายภาคหน้า เนื้อหาที่สำคัญสองประการสำหรับผู้บังคับบัญชา (Commander) ก็คือ การตัดสินใจและการอำนวยความสะดวกปฏิบัติการเรือ ในการตัดสินใจในเรื่องที่สำคัญ ๆ ผู้บังคับบัญชาจะต้องเชื่อใจเป็นอย่างมากต่อ “ประสบการณ์ วิจารณ์ญาณ และความรอบรู้ในทางเทคนิค” ของตนเองและของผู้บังคับบัญชา ผู้บังคับบัญชาจะต้องทราบถึงเทคนิคที่มีประสิทธิผลมากที่สุด ซึ่งสามารถจะนำมาใช้และให้รากฐานที่ดี เพื่อชั่งน้ำหนักผลที่จะตามมาจากหนทางปฏิบัติต่าง ๆ ของตน และผู้บังคับบัญชาจะต้องทราบข้อจำกัดของสิ่งเหล่านี้ของฝ่ายเสนาธิการของตนด้วยพร้อมกับวิธีการต่าง ๆ ที่ฝ่ายเสนาธิการจะใช้เพื่อหาคำตอบต่อปัญหาในเมื่อเผชิญหน้ากับความไม่แน่นอน

ในปัญหาของการตัดสินใจทั้งหมด นายทหารสามารถได้ประโยชน์จากวิธีการเข้าหาปัญหาทางตรรกวิทยา มันมิใช่การเข้าหาซึ่งจะเข้ามาแทนวิจารณ์ญาณอันดีเด่น หรือจะรับประกันคำตอบที่ถูกต้องโดยอัตโนมัติ แต่มันจะกระตุ้นกรรมวิธีในทางแนวความคิดสร้างสรรค์ ซึ่งจะนำไปยังการถามปัญหาที่ถูกต้องและจุดต่าง ๆ ต่อแนวทางของวิธีการต่าง ๆ ที่เป็นไปได้ในการหาคำตอบ ในหลาย ๆ ปัญหาวิจารณ์ญาณและประสบการณ์ สามารถที่จะได้รับการเสริมด้วยการวิเคราะห์ทางปริมาณ เพื่อสรรหารากฐานที่ดีที่สุดสำหรับการตัดสินใจ วิธีทางปริมาณในอันที่จะวิเคราะห์ปัญหาซึ่งอาจเป็นไปได้ต่อการเข้าหาปัญหาในลักษณะนั้น ได้รับนามว่า “การวิเคราะห์การปฏิบัติการ (Operations Analysis) การวิเคราะห์การปฏิบัติการจะนำมาซึ่งหลักการสำคัญ ๆ ทางวิธีทางวิทยาศาสตร์ ซึ่งจะแก้ปัญหาทางการปฏิบัติการ และดังนั้น ก็จะนำมาซึ่งวิธีทางอันทันในอาณาจักรของการตัดสินใจทางทหาร

หนังสือเล่มนี้ใช้สอนในโรงเรียนนายเรือแอนนาโพลิส ในสาขาวิชาการวิเคราะห์การปฏิบัติการทางเรือมาตั้งแต่ปี ค.ศ.๑๙๔๕ สำหรับในราชนาวีไทยนั้น ผู้แปลรวบรวมและเรียบเรียงได้เริ่มบรรยายวิชานี้ในโรงเรียนเสนาธิการทหารเรือ รุ่นที่ ๓๕ (ปี ๒๕๑๑ - ๑๒) และหลังจากนั้น ก็ได้บรรยายในหลาย ๆ หลักสูตร อาทิเช่น หลักสูตรนายทหารเรือชั้นต้นทั้งพรรคคนาวิน และพรรคกลิน รวมทั้งหลักสูตรทั่วไปด้วย หลักสูตรโรงเรียนเสนาธิการทหาร หลักสูตรนายทหารอาวุโส และหลักสูตรวิทยาลัยการทัพเรือ สำหรับที่โรงเรียนนายเรือชั้นต้น ก็เริ่มด้วยวิชาการพิจารณาค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ระบบของนักเรียนนายเรือชั้นปีที่ห้าทุกพรรคเหล่า ซึ่งได้อาศัยหนังสือเล่มนี้เป็นหลัก โดยเฉพาะอย่างยิ่งบทที่ห้า และบทที่เก้า คือการตรวจจับด้วยเรดาร์และโซนาร์ ต่อมาได้คิดว่าหนังสือเล่มนี้น่าจะได้รับการถ่ายทอดไปยังนายทหารเรือทั่วไปด้วย มิใช่จำกัดอยู่เฉพาะนักเรียนนายเรือชั้นปีที่ห้า เพราะว่าวิชาการวิเคราะห์ห้วงอวกาศได้มีการสอนกันมาก่อนในราชนาวีไทย จึงได้แปล – รวบรวม – และเรียบเรียงหนังสือเล่มนี้ขึ้นโดยใช้เวลามากกว่าห้าปี

หากหนังสือเล่มนี้จะพอมีประโยชน์อยู่บ้างแล้ว ผู้แปล – รวบรวม – และเรียบเรียง ขอยกให้เป็นความดีของคณะศึกษาวิเคราะห์การปฏิบัติการทางเรือ โรงเรียนนายเรือแอนนาโพลิส ผู้แต่งตำราเล่มนี้ และราชนาวิกไทยผู้ลงทุนในการประสิทธิ์ประสานวิชาความรู้ทั้งหมดให้ผู้เขียน

น.อ.

(ธีรชัย ตั้งเจริญ)

๗ เมษายน ๒๕๓๑

### คำนำ

(พิมพ์ครั้งที่ ๒)

“การวิเคราะห์การปฏิบัติการทางเรือ” ที่ได้พิมพ์ขึ้นในปีพุทธศักราช ๒๕๓๑ หรือในการพิมพ์ครั้งแรกนั้น ผู้ที่ได้รับประโยชน์เป็นอย่างมากก็คือ นักเรียนนายเรือชั้นปีที่ห้า และนายทหารนักเรียนจากสถาบันวิชาการทหารเรือชั้นสูง (สรส.) หลายหลักสูตร อาทิเช่น หลักสูตรโรงเรียนเสนาธิการทหารเรือ โรงเรียนนายทหารชั้นต้นทั้งพรรคนาวิกิน พรรคกกลิน และหลักสูตรทั่วไป นอกจากนั้นก็ยังมีนายทหารผู้ใหญ่อีกจำนวนหนึ่งที่ได้ขอจากผู้เขียนโดยตรง แต่เนื่องจากพิมพ์จำนวนจำกัดผู้ที่ได้รับจึงมีจำนวนน้อยมากทั้ง ๆ ที่หนังสือหรือตำราเล่มนี้ น่าจะเป็นประโยชน์เป็นอย่างมาก สำหรับนายทหารเรือทุก ๆ คน อย่างน้อยก็เพื่อเป็นการเพิ่มความรู้ของทหารเรือจริง ๆ ให้ได้ทราบถึง “basic” ของหลาย ๆ อย่างที่นายทหารเรือมักจะถูกถามในเมื่อสนทนากับนายทหารเหล่าอื่น หรือแม้แต่กับประชาชนทั่วไป ๆ ยกตัวอย่างในเรื่องของ โซนาร์ ทุ่นระเบิด ฯลฯ โปรดลองนึกถึงภาพที่มีผู้ถามท่านที่เป็นนายทหารเรือถึงเรื่องเหล่านี้ แล้วท่านไม่สามารถที่จะอธิบายให้เขาฟังและเข้าใจในหลักการเบื้องต้น ๆ ได้ ท่านจะรู้สึกอย่างไร แต่ถ้าท่านได้อ่านหนังสือเล่มนี้แล้วท่านจะรู้สึกภูมิใจในความเป็นทหารเรือของตนเอง

ความมุ่งประสงค์ในการพิมพ์ครั้งนี้มีผู้สองประการด้วยกัน ประการแรก เพื่อแก้คำผิดต่าง ๆ ที่มีอยู่บ้างในการพิมพ์ครั้งแรก รวมทั้งความไม่ชัดเจนของตัวอักษรด้วยบางตัว ส่วนประการที่สอง หรือเป็นความมุ่งประสงค์หลักก็เพื่อแปลโจทย์ปัญหาต่าง ๆ ซึ่งในการพิมพ์ครั้งแรกนั้นเป็นโจทย์ภาษาอังกฤษล้วน ๆ ให้เป็นภาษาไทย ทั้งนี้ก็โดยมีผู้ประสงค์หลายท่านได้แนะนำว่าน่าจะแปลเป็นภาษาไทย เพื่อง่ายแก่การเข้าใจทั้ง ๆ ที่ผู้เขียนเองคิดว่าโจทย์เดิม อาจเข้าใจได้ถ่องแท้กว่า เพราะศัพท์ภาษาอังกฤษบางตัวเมื่อแปลเป็นภาษาไทยแล้ว อาจเข้าใจคลาดเคลื่อนได้ เช่นคำว่า “probability” ซึ่งส่วนใหญ่แปลว่า “ความน่าจะเป็น” แต่ถ้าเราฟังดูจริง ๆ แล้ว คำแรกน่าจะช่วยให้เข้าใจได้ลึกซึ้งกว่า ขอยกตัวอย่างอีกคำหนึ่งคือ “intuition” ซึ่งแปลโดยใช้อักษรไทยเขียนว่า “สัทัญญาณ” ขอให้ท่านคิดเอาเองก็แล้วกันที่ท่านเข้าใจคำไหนมากกว่ากัน

หนังสือเล่มนี้เมื่อใช้คู่กับ “การวิเคราะห์การปฏิบัติการทางเรือ (ภาคผนวก)” ซึ่งพิมพ์ขึ้นในเดือนมีนาคม พุทธศักราช ๒๕๓๑ ก็จะทำให้ตำราเดิมคือ NAVAL OPERATIONS ANALYSIS ซึ่งใช้สอนใน

โรงเรียนนายเรือแอนนาโพลิสของสหรัฐ เกือบสมบูรณ์ ๑๐๐% ถึงแม้ว่าจะแยกอ่านกันก็ไม่มีปัญหาแต่อย่างใดก็ตาม

พลเรือตรี ศาสตราจารย์

(ธีรชัย ตั้งเจริญ)

โรงเรียนนายเรือ - มีนาคม ๒๕๓๖



## บันทึกข้อความ

ส่วนราชการ ฝศษ.รร.นร. (โทร.๓๘๕๓)

ที่ \_\_\_\_\_ - \_\_\_\_\_ วันที่ \_\_\_\_\_ ศ.ค.๔๖

เรื่อง ขออนุมัติไปราชการ

เสนอ รร.นร.

๑. ด้วยมีราชการ ..... เกี่ยวกับโครงการประเมินผล PRESSURE SIGNATURE ..... ณ ..... มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ จังหวัดสงขลา ..... ตั้งแต่ ..... ๒๑ ส.ค.๔๖ ..... ถึง ..... ๒๕ ส.ค.๔๖ ..... มีกำหนด ..... ๕ ..... วัน  
ดังมีรายชื่อต่อไปนี้

- |                        |                         |
|------------------------|-------------------------|
| ๑.๑ น.อ.สมนต์ชัย กาทอง | ๑.๒ น.ต.ประภิต รำพึงกุล |
| ๑.๓ .....              | ๑.๔ .....               |
| ๑.๕ .....              | ๑.๖ .....               |
| ๑.๗ .....              | ๑.๘ .....               |
| ๑.๙ .....              | ๑.๑๐ .....              |

๒. การไปปฏิบัติราชการครั้งนี้จะมีค่าใช้จ่าย ดังนี้

- |                    |                         |
|--------------------|-------------------------|
| ๒.๑ ค่าเบี้ยเลี้ยง | จำนวน ..... - ..... บาท |
| ๒.๒ ค่าพาหนะ       | จำนวน ..... - ..... บาท |
| ๒.๓ ค่าเช่าที่พัก  | จำนวน ..... - ..... บาท |
| ๒.๔ อื่น ๆ         | จำนวน ..... - ..... บาท |

๓. การปฏิบัติราชการครั้งนี้ ขอใช้รถยนต์ทางราชการ / ไม่ขอใช้รถยนต์ทางราชการดังนี้ .....

.....

จึงเสนอมาเพื่อโปรดพิจารณา

พล.ร.ต.ศ. ....

หน.ฝศษ.



คำสั่งโรงเรียนนายเรือ

(เฉพาะ)

ที่ /๒๕๔๖

เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการดำเนินการคัดเลือกลูกจ้างชั่วคราวชาวต่างประเทศ

เพื่อให้การคัดเลือกลูกจ้างชั่วคราวชาวต่างประเทศให้ได้ผู้มีความรู้ความสามารถและเหมาะสม ทำหน้าที่เป็นอาจารย์สอนภาษาอังกฤษ จำนวน ๒ ตำแหน่ง ให้กับ นนร. จึงแต่งตั้งคณะกรรมการดำเนินการคัดเลือกผู้สมัคร ดังนี้.-

๑. ให้ผู้มีรายชื่อต่อไปนี้เป็นคณะกรรมการดำเนินการ

๑.๑	น.อ.สมาน	อ่วมจันทร์	ประธานกรรมการ
๑.๒	น.อ.หญิง เกษินี	เจียมศุกกิตต์	รองประธานกรรมการ
๑.๓	น.อ.หญิง ศิริพร	สายหรั่ง	กรรมการ
๑.๔	น.อ.หญิง วรนารถ	เอี่ยมอ้อม	กรรมการ
๑.๕	น.อ.หญิง กอบกุล	ชัยกุล	กรรมการ
๑.๖	น.อ.หญิง พรทิพย์	เมฆลอย	กรรมการ
๑.๗	น.ท.หญิง เสาวภาคย์	สุทธิไชย	กรรมการ และเลขานุการ
๑.๘	ว่าที่ น.ท.หญิง พักตร์พริ้ง	แก่นสาร	กรรมการ และ ผช.เลขานุการ
๑.๙	ว่าที่ น.ต.นาวิน	ฐิตยานุวัฒน์	กรรมการ
๑.๑๐	ร.อ.หญิง จิตติมา	จารยะพันธุ์	กรรมการ

๒. คณะกรรมการตามข้อ ๑ มีหน้าที่

๒.๑ ดำเนินการรับสมัครและงานที่เกี่ยวข้องกับการรับสมัครชาวต่างประเทศเพื่อเป็นลูกจ้างชั่วคราวชาวต่างประเทศ

๒.๒ กำหนดหลักเกณฑ์การสอบภาควิชาการและดำเนินการสอบวิชาการตามความเหมาะสม

๒.๓ สามารถแต่งตั้งเจ้าหน้าที่เพิ่มเติมได้ตามความเหมาะสม

๓. คณะกรรมการพินิจหน้าที่เมื่อ รร.นร. เห็นชอบให้รับผู้ที่ผ่านการคัดเลือกเป็นลูกจ้างชั่วคราว ทำหน้าที่อาจารย์สอนภาษาอังกฤษเรียบร้อยแล้ว  
ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ สิงหาคม พ.ศ.๒๕๕๖

พล.ร.ท.

(พิรศักดิ์ วัชรมูล)

ศบ.รร.นร.



## คำสั่งโรงเรียนนายเรือ

(เฉพาะ)

ที่ /๒๕๔๖

### เรื่อง แต่งตั้งคณะกรรมการดำเนินการคัดเลือกลูกจ้างชั่วคราวชาวต่างประเทศ

เพื่อให้การคัดเลือกลูกจ้างชั่วคราวชาวต่างประเทศให้ผู้มีความรู้ความสามารถและเหมาะสม ทำหน้าที่เป็นอาจารย์สอนภาษาอังกฤษ จำนวน ๒ ตำแหน่ง ให้กับ นนร. จึงแต่งตั้งคณะกรรมการดำเนินการคัดเลือกผู้สมัคร ดังนี้-

๑. ให้ผู้มีรายชื่อต่อไปนี้เป็นคณะกรรมการดำเนินการ

๑.๑	น.อ.สมาน	อ่วมจันทร์	ประธานกรรมการ
๑.๒	น.อ.หญิง เกษินี	เจียมสุภกิตต์	รองประธานกรรมการ
๑.๓	น.อ.หญิง ศิริพร	สายหรั่ง	กรรมการ
๑.๔	น.อ.หญิง วรรณารถ	เอี่ยมอ้อม	กรรมการ
๑.๕	น.อ.หญิง กอบกุล	ชัยกุล	กรรมการ
๑.๖	น.อ.หญิง พรทิพย์	เมฆลอย	กรรมการ
๑.๗	น.ท.หญิง เสาวภาคย์	สุทธิไชย	กรรมการ และเลขานุการ
๑.๘	ว่าที่ น.ท.หญิง พัทธศรีพริ้ง	แก่นสาร	กรรมการ และ ผช.เลขานุการ
๑.๙	ว่าที่ น.ต.นาวิน	จิตยานุวัฒน์	กรรมการ
๑.๑๐	ร.อ.หญิง จิตติมา	จารยะพันธุ์	กรรมการ

๒. คณะกรรมการตามข้อ ๑ มีหน้าที่

๒.๑ ดำเนินการรับสมัครและงานที่เกี่ยวข้องกับการรับสมัครชาวต่างประเทศเพื่อเป็นลูกจ้างชั่วคราวชาวต่างประเทศ

๒.๒ กำหนดหลักเกณฑ์การสอบภาควิชาการและดำเนินการสอบวิชาการตามความเหมาะสม

๒.๓ สามารถแต่งตั้งเจ้าหน้าที่เพิ่มเติมได้ตามความเหมาะสม



๓. คณะกรรมการพินหน้าที่เมื่อ รร.นร. เห็นชอบให้รับผู้ที่ผ่านการคัดเลือกเป็นลูกจ้างชั่วคราว ทำหน้าที่อาจารย์สอนภาษาอังกฤษเรียบร้อยแล้ว  
ทั้งนี้ ตั้งแต่บัดนี้เป็นต้นไป

สั่ง ณ วันที่ สิงหาคม พ.ศ.๒๕๔๖

พล.ร.ท.

(พิรศักดิ์ วัชรมูล)

ผบ.รร.นร.

## สารบัญ

คำนำ (พิมพ์ครั้งที่ ๑)

คำนำ (พิมพ์ครั้งที่ ๒)

<u>บทที่ ๑</u>	การวิเคราะห์การปฏิบัติการทางเรือ : แนวทางทางวิทยาศาสตร์ เพื่อการแก้ปัญหการปฏิบัติการ	๑ - ๑
๑๐๑	การวิเคราะห์การปฏิบัติการ	๑ - ๒
๑๐๒	ภูมิหลังทางประวัติศาสตร์ในทางการทหาร	๑ - ๕
๑๐๓	การวิเคราะห์ในการปฏิบัติการในกองทัพเรือ (สหรัฐ)	๑ - ๖
๑๐๔	OA และนายทหารเรือ	๑ - ๘
๑๐๕	วิธีของ OA	๑ - ๑๐
<u>บทที่ ๒</u>	การกำหนดและการหาคำตอบของปัญหา	๒ - ๑
๒๐๑	การกำหนดปัญหา	๒ - ๑
๒๐๒	จุดประสงค์ของการปฏิบัติการ	๒ - ๑
๒๐๓	หนทางปฏิบัติต่าง ๆ	๒ - ๒
๒๐๔	ตัวแปรต่าง ๆ	๒ - ๔
๒๐๕	มาตรวัดประสิทธิผล	๒ - ๕
๒๐๖	ค่าใช้จ่าย – ประสิทธิภาพในฐานะ MOE	๒ - ๘
๒๐๗	คำตอบของปัญหา	๒ - ๑๒
๒๐๘	วิธีการหาคำตอบ	๒ - ๑๔
๒๐๙	การกระจายหรือติดต่อผลที่ได้	๒ - ๑๕
ปัญหา		๒ - ๑๖
<u>บทที่ ๓</u>	การตัดสินใจ	๓ - ๑
๓๐๑	ขั้นของการเสี่ยง	๓ - ๑
๓๐๒	เกณฑ์สำหรับการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอน	๓ - ๔
๓๐๓	ทฤษฎีของเกณฑ์	๓ - ๘

๓๐๔	เกมที่มีจุดอานม้า	๓ - ๑๑
๓๐๕	Dominance	๓ - ๑๕
๓๐๖	Mixed Strategies	๓ - ๑๗
๓๐๗	การตรวจสอบ Solution	๓ - ๒๓
๓๐๘	การตัดสินใจทางทหารและทฤษฎีของเกม	๓ - ๒๕
ปัญหา		๓ - ๓๑
<u>บทที่ ๔</u>	ทฤษฎีการตรวจจับ	๔ - ๑
๔๐๑	ทั่ว ๆ ไปเกี่ยวกับการตรวจจับ	๔ - ๒
๔๐๒	Glimpses ที่แยกจากกัน	๔ - ๓
๔๐๓	Glimpses แยกในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เปลี่ยนแปลง	๔ - ๘
๔๐๔	การมองหาตลอดคิดต่อ	๔ - ๘
๔๐๕	การมองหาโดยคิดต่อในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เปลี่ยนแปลง	๔ - ๑๒
๔๐๖	การตรวจจับในฐานะเป็นฟังก์ชันของระยะ	๔ - ๑๒
๔๐๗	กฎกำลังสามผกผันแห่งการตรวจจับ	๔ - ๑๓
๔๐๘	ความใกล้เคียงกัน	๔ - ๑๕
ปัญหา		๔ - ๑๕
<u>บทที่ ๕</u>	ทฤษฎีการตรวจจับด้วยเรดาร์และการสงครามอิเล็กทรอนิกส์	๕ - ๑
๕๐๑	ระบบเรดาร์	๕ - ๑
๕๐๒	พารามิเตอร์หลักทางฟิสิกส์	๕ - ๓
๕๐๓	การสะท้อนจากทะเล	๕ - ๖
๕๐๔	ขอบฟ้าเรดาร์	๕ - ๘
๕๐๕	แบบจำลองของเรดาร์ทางยุทธการ	๕ - ๑๐
๕๐๖	สมการเรดาร์	๕ - ๑๒
๕๐๗	ทฤษฎีบลิฟ/สแกน	๕ - ๑๓
๕๐๘	การตีค่าเรดาร์โดยวิธีตรง	๕ - ๒๐
๕๐๙	สงครามอิเล็กทรอนิกส์	๕ - ๒๒
๕๑๐	การใช้สมการเรดาร์ในการแจม	๕ - ๒๖
๕๑๑	การใช้ ECM และ ECCM	๕ - ๒๗

๕๑๒	การพิจารณาเฉพาะบางประการในการใช้สงครามอิเล็กทรอนิกส์	๕ - ๓๑
ปัญหา		๕ - ๓๔
<u>บทที่ ๖</u>	เส้นโค้งระยะทางข้างและความกว้างทางกวาด	๖ - ๑
๖๐๑	ระยะทางข้าง	๖ - ๑
๖๐๒	เส้นโค้งระยะทางข้าง	๖ - ๒
๖๐๓	การตรวจจับเป้าที่กระจายโดยขบวนการ	๖ - ๓
๖๐๔	ความกว้างทางกวาด	๖ - ๕
ปัญหา		๖ - ๘
<u>บทที่ ๗</u>	การค้นหาและการลาดตระเวน	๗ - ๑
๗๐๑	การค้นหาแบบเดาสุ่ม	๗ - ๒
๗๐๒	การตรวจค้นแบบเดาสุ่มที่เป็นระเบียบ	๗ - ๔
๗๐๓	การกวาดแบบขนาน	๗ - ๕
๗๐๔	กฎกำลังสามผกผัน	๗ - ๘
ปัญหา		๗ - ๑๑
<u>บทที่ ๘</u>	การลาดตระเวนรักษาด่าน	๘ - ๑
๘๐๑	Crossover Barrier Patrol	๘ - ๒
๘๐๒	Symmetric Crossover Patrol	๘ - ๕
๘๐๓	Advancing Crossover Patrol	๘ - ๖
๘๐๔	Non – Continuous Patrol	๘ - ๕
๘๐๕	การพิจารณาการเลือกการลาดตระเวนรักษาด่าน	๘ - ๑๑
๘๐๖	Barrier เมื่อความเร็วเป้าใกล้เคียงกับความเร็วผู้ตรวจจับ	๘ - ๑๓
ปัญหา		๘ - ๑๘
<u>บทที่ ๙</u>	การตรวจจับด้วยโซนาร์	๙ - ๑
๙๐๑	แนวความคิดและหน่วยหลัก	๙ - ๑
๙๐๒	การแปรคลื่นเสียงในทะเล	๙ - ๖
๙๐๓	ความสูญเสียในการกระจาย	๙ - ๗

๕๐๔	ขอบเขตพื้นผิวน้ำ	๕ - ๗
๕๐๕	ขอบเขตท้องทะเล	๕ - ๗
๕๐๖	คุณสมบัติของการกระจายของเสียง	๕ - ๕
๕๐๗	Attenuation	๕ - ๑๗
๕๐๘	รูปแบบจำลองของความสูญเสียในการส่ง	๕ - ๑๗
๕๐๙	Passive Sonar Equation	๕ - ๑๘
๕๑๐	Active Sonar Equation	๕ - ๒๖
	ปัญหา	๕ - ๓๐
<u>บทที่ ๑๐</u>	การจัดฉากป้องกันเรือดำน้ำ	๑๐ - ๑
๑๐๐๑	probability ในการฝ่าฉากเข้าไปได้โดยปราศจากการถูกตรวจจับ	๑๐ - ๒
๑๐๐๒	การสร้างคอนทัวร์ของ probability ของการยิงถูก	๑๐ - ๕
๑๐๐๓	probability ของการยิงถูกเป้าเรือดำเดียวของกองเรือเฉพาะกิจ ด้วยตอร์ปิโดหนึ่งลูก	๑๐ - ๘
๑๐๐๔	รูปแบบจำลองการนับแบบง่าย ๆ	๑๐ - ๑๒
๑๐๐๕	รูปแบบจำลองเป้าแพร่กระจาย	๑๐ - ๑๕
๑๐๐๖	รูปแบบจำลองแถวตอนตามยถากรรม	๑๐ - ๑๖
๑๐๐๗	เขตการเข้าหาด้วยการดำ	๑๐ - ๑๗
๑๐๐๘	การวางฉากที่ดีที่สุด	๑๐ - ๑๗
๑๐๐๙	ผลของสมมติที่ทำให้ง่าย ๆ เข้า	๑๐ - ๒๑
๑๐๑๐	การเพิ่มประสิทธิผลของฉาก	๑๐ - ๒๒
	ปัญหา	๑๐ - ๒๓
<u>บทที่ ๑๑</u>	การสงครามต่อสู้อากาศยาน	๑๑ - ๑
๑๑๐๑	AAW Exercise	๑๑ - ๑
๑๑๐๒	การวิเคราะห์ Exercise	๑๑ - ๒
๑๑๐๓	การวางกำลัง CAP	๑๑ - ๖
	ปัญหา	๑๑ - ๑๑
<u>บทที่ ๑๒</u>	การสงครามทุ่นระเบิด	๑๒ - ๑

๑๒๐๑	จุดประสงค์	๑๒ - ๓
๑๒๐๒	ชนิดต่าง ๆ ของทุ่นระเบิด	๑๒ - ๔
๑๒๐๓	การวางทุ่นระเบิด	๑๒ - ๕
๑๒๐๔	การต่อต้านทุ่นระเบิด	๑๒ - ๖
๑๒๐๕	การสร้างสนามทุ่นระเบิด	๑๒ - ๗
๑๒๐๖	สนามทุ่นระเบิดวางเป็นกระสวน	๑๒ - ๘
๑๒๐๗	สนามทุ่นระเบิดวางตามยุทธกรรม	๑๒ - ๑๑
	ปัญหา	๑๒ - ๑๓
<u>บทที่ ๑๓</u>	ประสิทธิผลของระบบความเชื่อถือได้	๑๓ - ๑
๑๓๐๑	การสนับสนุนทางการส่งกำลังบำรุง	๑๓ - ๑
๑๓๐๒	ชนิดต่าง ๆ ของการเสีย	๑๓ - ๓
๑๓๐๓	คณิตศาสตร์ของความเชื่อถือได้	๑๓ - ๕
๑๓๐๔	Failure Probability Distributions	๑๓ - ๖
๑๓๐๕	ความเชื่อถือได้ของระบบยุ่งยาก	๑๓ - ๑๐
๑๓๐๖	การวิเคราะห์และการพยากรณ์ความเชื่อถือได้	๑๓ - ๑๑
	ปัญหา	๑๓ - ๑๓
ผนวก I	ความน่าจะเป็น – คณิตศาสตร์แห่งความไม่แน่นอน	(เว้น)
ผนวก II	ประวัติความเป็นมาของการวิจัยปฏิบัติการ	(เว้น)
	คำตอบของปัญหา	พ - ๑
	ประวัติย่อผู้เขียน	ฮ - ๑

## บทที่ ๑

### การวิเคราะห์การปฏิบัติการ : แนวทางทางวิทยาศาสตร์เพื่อการแก้ปัญหการปฏิบัติการ

(Operations Analysis : A Scientific Approach to the Resolution of Operational Problems)

นายทหารเรือแต่ละคนเป็นนักบริหารด้วยผู้หนึ่ง ภารกิจหลักของเขาก็คือการอำนวยความสะดวกทางยุทธการ ทั้งมวลของกองทัพเรือทั้งในยามสงครามและยามสงบ ความรับผิดชอบหลักของเขาไม่ใช่เพื่อจะปฏิบัติงานด้วยตนเอง แต่เพื่อจัดองค์การการวางแผน และติดตามตรวจสอบสภาพงานเหล่านั้นตามความจำเป็นเพื่อให้บรรลุภารกิจที่ได้รับมอบหมาย คุณสมบัติที่ต้องการที่สุดเพียงอย่างเดียวของเขาก็คือ ความสามารถในอันที่จะตัดสินใจได้อย่างฉลาด ซึ่งเป็นสิ่งสุดยอดแห่งความสำเร็จของการปฏิบัติการ

นักบริหารผู้ซึ่งฝึกฝนตนเองอย่างมีประสิทธิภาพในทุก ๆ ด้านของการตัดสินใจเป็นที่ปรารถนาขององค์การทุกองค์การ แต่อะไรเล่าคือ "ทุก ๆ ด้าน" เหล่านี้ และด้านไหนที่จะสามารถศึกษาได้? แน่่อนที่ประสบการณ์เป็นส่วนที่สำคัญที่สุด และบางทีเป็นสิ่งที่มีความประสิทธิผลมากที่สุดในการตัดสินใจ ยังไม่มีนายทหารเรือใด ๆ หรือนักบริหารผู้ใดที่อาจหวังว่าจะไปถึงจุดที่เขามีประสบการณ์เพียงพอไปสำหรับทุก ๆ สถานการณ์ ซึ่งเขาอาจใช้เพื่อการตัดสินใจ ในการจัดหาระบบอาวุธใหม่ การตัดสินใจว่าระบบใด "ดีที่สุด" จะต้องกระทำในสถานการณ์ซึ่งจะแตกต่างกับสถานการณ์ที่เคยได้พบมา

ในการป้องกันกองกำลังเฉพาะกิจให้รอดพ้นจากเรือดำน้ำ การตัดสินใจที่จะใช้ฉาก (screen) ใดดีที่สุด ในการประมาณสถานการณ์นั้นจะต้องอยู่บนรากฐานจากขีดความสามารถของเรือดำน้ำข้าศึก ซึ่งเราไม่เคยได้พบมาก่อน ยิ่งไปกว่านั้นหลาย ๆ กรณีเป็นไปได้ที่จะพิจารณาแม้แต่เพียงภายหลังที่ได้ตัดสินใจไปแล้วว่าหนทางปฏิบัติที่ได้เลือกไปนั้นดีที่สุดหรือว่าจะมีหนทางใดที่ดีกว่า ในกรณีเช่นนั้นจะได้ประสบการณ์น้อยมากเพื่อที่จะช่วยในการตัดสินใจครั้งต่อไปแม้ว่าสถานการณ์จะเหมือนกันทุกประการ

ดังนั้นการตัดสินใจไม่สามารถที่จะกระทำได้โดยเพียงแต่อ้างถึงประสบการณ์ที่ผ่านมาเพียงอย่างเดียว แต่สิ่งที่สำคัญยิ่งในการตัดสินใจจะกลายเป็นว่าเราจะ "ประยุกต์" ประสบการณ์และความรู้ที่ได้รับมาในอดีตได้อย่างไรต่อปัญหา ปัจจุบันเพื่อที่จะให้ผลแห่งการตัดสินใจที่ดีที่สุด สิ่งนี้ต้องการให้เหตุผลที่มี หลักการ การคิดที่แจ่มชัด และตรรกวิทยาที่ดี มันต้องการการเข้าหาซึ่งให้แนวทางต่อการสรุปที่ถูกต้อง และการป้องกันการมองข้ามส่วนสำคัญต่าง ๆ แม้แต่เพียงอย่างเดียว มันต้องการความรู้ที่พอเพียงเกี่ยวกับเนื้อหาที่สัมพันธ์กับปัญหานั้น ๆ เพื่อที่จะทำให้เราสามารถตั้งข้อสมมุติที่มีเหตุผลและเพื่อที่จะแยกแยะส่วนย่อยจากส่วนแก่นเนื้อหาในปัญหานั้น ๆ ได้

มีวิธีการต่าง ๆ หลายวิธีด้วยกันที่คิดค้นกันขึ้นมาเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้บริหารได้คำตอบที่ถูกต้องของแต่ละปัญหา ยกตัวอย่างในกองทัพเรือได้ก่อตั้งกรรมวิธีในการวางแผนขึ้นซึ่งมี "การประมาณสถานการณ์" รวมอยู่ด้วยเพื่อให้แนวทางต่อนายทหารในการตัดสินใจว่าจะทำอย่างไรจึงจะทำให้ภารกิจของเขาบรรลุได้ด้วยผลดีที่สุดนั้น เป็นแนวทางที่มีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผลที่ได้รับการทดสอบและได้

พยายามพัฒนาขึ้นมาในหลาย ๆ ปีที่ผ่านมา จุดประสงค์ (objective) จะต้องได้รับการศึกษา หนทางปฏิบัติต่าง ๆ จะต้องพัฒนาขึ้นมาและได้รับการพิจารณาในทอมนของขีดความสามารถของข้าศึก และการตัดสินใจที่ได้ว่า หนทางปฏิบัติใดดีที่สุด ในบางกรณีวิจารณ์และประสบการณ์ของผู้บังคับบัญชา ซึ่งผสมผสานกับของฝ่าย เสนาธิการก็จะเป็นการพอเพียงแล้ว เพื่อให้สามารถทำนายล่วงหน้าได้ถึงผลที่จะออกมาสำหรับแต่ละหนทาง ปฏิบัติและชั่งน้ำหนักคุณค่าสัมพัทธ์ของมันออกมาได้ ในกรณีอื่น ๆ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องถ้าไม่มีเป็นจำนวนมากมาย ก็เป็นปัจจัยที่ยู่ยากมากจนเทคนิคต่าง ๆ และการคำนวณต่าง ๆ เป็นสิ่งจำเป็นซึ่งเหล่านี้อยู่นอกเหนือขีด ความสามารถของนายทหารส่วนใหญ่ ณ ที่นี้เองที่บทบาทของการวิเคราะห์ระบบในกองทัพเรือจะสรรหาเทคนิค ต่าง ๆ ในการวัดประสิทธิผลของหนทางปฏิบัติต่าง ๆ เพื่อให้ผู้ตัดสินใจสามารถที่จะตัดสินใจเลือกหนทางปฏิบัติ ที่ดีกว่าอย่างเฉลิยวฉลาดได้

#### ๑๑๑. การวิเคราะห์การปฏิบัติการ

ในระยะหลัง ๆ นี้ ได้มีเนื้อหาวิชาหลายสาขาเกิดขึ้น แต่ละสาขาคด้วยบทบาทของการตัดสินใจของ ผู้บริหารสาขาวิชาเหล่านี้ก็คือ Operations Analysis (OA), Operations Research (OR), System Analysis (SA) และสาขาอื่น ๆ ตัวอย่างเช่น Industrial Engineering, Industrial Administration, Market Research และอื่น ๆ ความแตกต่างระหว่างสาขาวิชาเหล่านี้มีไม่มากนักในเรื่องของวัตถุประสงค์ การเข้าหาปัญหา หรือวิธีการต่าง ๆ อย่างเช่นในแกนต่าง ๆ ของปัญหาการตัดสินใจซึ่งแต่ละสาขาได้มุ่งเข้าหาและประยุกต์

เส้นแบ่งระหว่างการวิเคราะห์ (analysis) และการวิจัย (research) นั้นเป็นที่เห็นได้ง่าย ๆ ว่ามีอยู่แต่ น้อยนิดเท่านั้นเอง แต่มีความสำคัญที่จะต้องการแบ่งเช่นนี้เพื่อที่จะให้คงไว้ซึ่งการแบ่งทางหน้าที่งานระหว่าง ความรับผิดชอบของผู้ปฏิบัติซึ่งในกรณีนี้คือ นายทหารเรือ (นักวิเคราะห์ปฏิบัติการ) ผู้มีหน้าที่และมีความ รับผิดชอบในการเตรียมข้อเสนอนหนทางปฏิบัติในการตัดสินใจ และนักวิจัยและนักศึกษากการวิเคราะห์ ปฏิบัติการ และการวิจัยปฏิบัติการ ทั้งนักวิเคราะห์และนักวิจัยมีความสนใจในการวิเคราะห์ผลเฉพาะที่ออกมา จากการฝึกทางเรือ ผู้ปฏิบัติวิเคราะห์เพื่อที่วางแผนสำหรับการปฏิบัติการในอนาคตโดยคำตอบ (solutions) ที่ ได้มาอยู่บนรากฐานของชุดของข้อมูลที่กำหนดให้ นักวิจัยนั้นจากปฏิกริยาร่วมของเหตุผล และผลซึ่งอาจเป็นได้ โดยรูปแบบของการทดลองในห้องทดลองจากชุดของข้อมูลที่แตกต่างกันซึ่งอาจเป็นข้อมูลจริงหรือโดย สมมุติฐานก็ได้ โดยการแบ่งปัญหาออกเป็นส่วนต่าง ๆ ของยุทธวิธีเป็นงานของนักวิจัยปฏิบัติการ โดยการใช้วิธี และเทคนิคต่าง ๆ ของ OR เพื่อหาคำตอบต่อปัญหาจริงหรือปัญหาสมมุติฐาน

ในฐานะความสนใจของกองทัพเรือในเรื่อง OA และ OR นั้นจะต้องเน้นหนัก เป็นการเหมาะสมที่จะเน้น ณ ที่นี้ ถึงคุณค่าของเครื่องมือต่าง ๆ ในมือของนักวางแผนและผู้ตัดสินใจ ผู้ซึ่งได้ค่อยๆ ก้าวหน้าขึ้นจนถึงจุดที่จะ



เข้าใจถึงแนวความคิดใหม่ ๆ ที่ได้พัฒนาขึ้นในการปฏิบัติตามแผนระยะยาว ซึ่งเป็นแผนในการปฏิบัติที่ยุ่งยาก และทันสมัย ด้วยขีดความสามารถของระบบอาวุธที่ได้ปรับปรุงให้ดีขึ้นโดยปราศจากการหยุดยั้ง ณ ปัจจุบัน หรืออนาคตอันใกล้ ในเรื่องของการปฏิบัติการใต้น้ำ บนผิวน้ำ และเหนือผิวน้ำ การพัฒนาได้เพิ่มขึ้น ๆ ด้วย อัตราสูงที่คงที่ เป็นความจริงที่โลกรอบ ๆ ตัวเราในขณะนี้มีความกังวลมากขึ้นกว่าแต่ก่อนเป็นอย่างมากเกี่ยวกับ พื้นที่ปฏิบัติการทั้งสามมิติ

ระบบโซนาร์ (Sound Navigation And Ranging) ถูกใช้ในนาวิสมัยใหม่สำหรับการสื่อสาร การเดินเรือและการตรวจจับ การแยกเป้า และการกำหนดตำแหน่งของเป้าเรือดำน้ำ

การปฏิบัติการของเรือดำน้ำและโซนาร์เป็นความสนใจพิเศษต่อนักวิเคราะห์ปฏิบัติการ ซึ่งเป็นเรื่องที่ได้ก้าวหน้ามาเป็นอย่างมากโดยไม่ต้องสงสัยนับตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่สอง แต่อย่างไรก็ตามถึงแม้จะด้วยความก้าวหน้าอย่างมากของเทคโนโลยีเกี่ยวกับการสร้างเรือดำน้ำ เทคนิคในการใช้โซนาร์ควบคุมไปกับการเข้าใจถึงคุณสมบัติของคลื่นเสียงในสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน แต่ก็ยังมีที่ว่างพอเหลืออยู่ในอันที่จะพัฒนาให้ดีขึ้นได้อีกมาก

ระบบโซนาร์ซึ่งในการส่งพลังงานเสียงไปใต้น้ำ ได้เคลื่อนตัวเข้าสู่ความกังวลของกองทัพเรือในระดับแนวหน้า โดยเหตุแห่งบทบาทที่สำคัญในการค้นหาและตรวจจับเป้าข้าศึก นักวิเคราะห์ปฏิบัติการเช่นเดียวกันกับนักวิจัยปฏิบัติการทั้งคู่มุ่งมีความสนใจในเรื่องนี้ แต่ในทิศทางที่แตกต่างกัน ในขณะที่นักวิเคราะห์จะเกี่ยวข้องกับการพัฒนา และการประเมินค่าแผนการปฏิบัติเฉพาะซึ่งอยู่บนรากฐานของการใช้เซนเซอร์โซนาร์ นักวิจัยจะศึกษาความสัมพันธ์ของเหตุและผลในกรณีทางสมมุติฐานของการสงครามทางเรือโดยการตรวจสอบ ไม่เพียงแต่ความสัมพันธ์ระหว่างกันของปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งมีอิทธิพลต่อการทำงานของโซนาร์ แต่จะรวมถึงยุทธวิธีต่าง ๆ หรือระบบอาวุธอื่น ๆ ซึ่งอาจเป็นไปได้ที่จะมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของการค้นหาภายใต้สภาวะแวดล้อมซึ่งเปลี่ยนแปลงไปด้วย ตัวแปรบางตัวอาจควบคุมได้อย่างเช่นความเร็วของเรือค้นหาเรือดำน้ำ แต่ปัจจัยอย่างอื่นเช่นสภาวะของเสียงอาจอยู่ภายนอกการควบคุมในปัจจุบัน แต่ด้วยการวิจัยที่หนักและมากขึ้นในวันหนึ่งข้างหน้า อาจเข้าใจได้และการเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้อันเนื่องมาจากความพยายามของนัก OR ในการเชื่อมโยงนี้การเข้าหาของนัก OR ต่อปัญหาอาจมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับความพยายามในการสอน ซึ่งในบางระดับก็จำกัดอยู่เพียงเพื่อให้ให้นักศึกษามีความรู้ และ know - how ของวิชานั้น ๆ อย่างไรก็ตามความมุ่งหมายของหนังสือเล่มนี้ ไม่ใช่เพื่อตรวจสอบความแตกต่างในเรื่องเหล่านี้ แต่จะเพื่อศึกษาถึงบางหนทางซึ่งสิ่งเหล่านี้มีความเหมือนกันหรือใกล้เคียงกัน

เรื่องของการตัดสินใจต่าง ๆ จะเชื่อมโยงโดยวัตถุประสงค์ร่วมแห่งการสรรหาต่อผู้ตัดสินใจด้วยหลักของการเลือกที่ฉลาดกว่าหนทางเลือกใดที่ดีที่สุด การเข้าหาแต่ละครั้งจะเกี่ยวข้องกับการใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์ซึ่งจะ

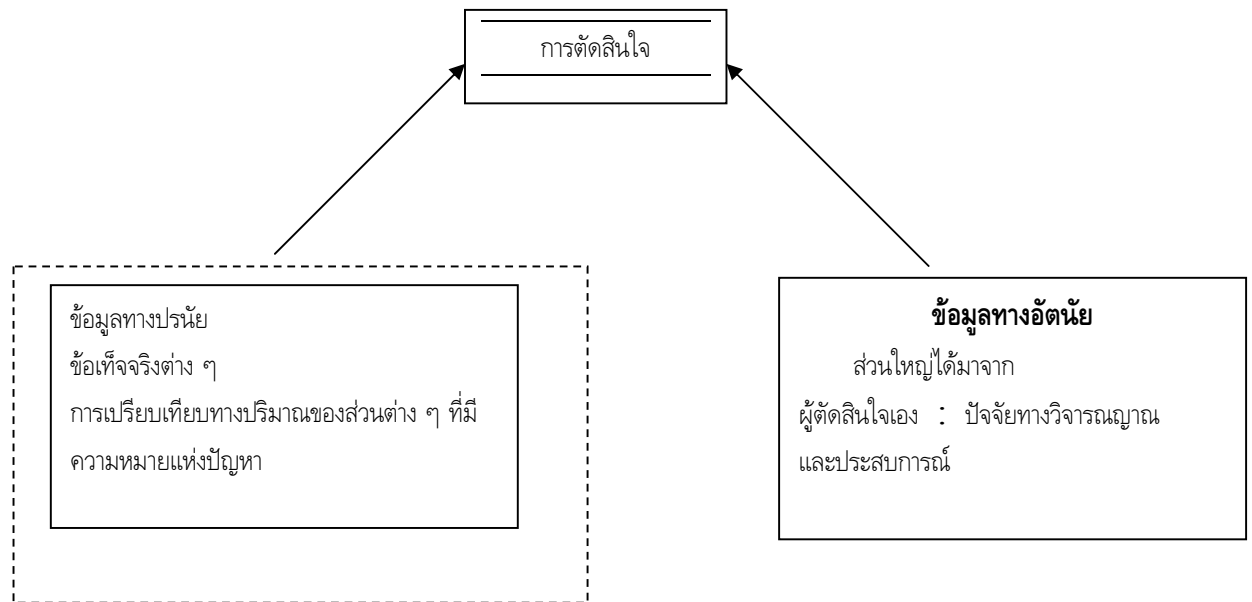
นำมาในทางปรนัยต่อผลของมัน และทำให้การตรวจสอบเป็นไปได้ วิธีการต่าง ๆ เป็นทางปริมาณโดยการใช้นิเทศของคณิตศาสตร์เพื่อจัดการกับส่วนที่พอทำให้เป็นทางปริมาณได้ของปัญหาแต่ละปัญหา

ในหนังสือเล่มนี้ คำว่า OA จะใช้ความหมายกว้าง ๆ ในฐานะตัวแทนของสาขาวิชาต่าง ๆ ซึ่งได้กล่าวมาแล้ว คำจำกัดความแบบหลัก (classical) ของ OA คือ :

"วิธีการทางวิทยาศาสตร์แห่งการสรรหาต่อนักบริหารด้วยหลักการทางปริมาณสำหรับการตัดสินใจเกี่ยวกับปฏิบัติการต่าง ๆ ภายใต้การควบคุมของเขา"

นี่ก็เป็นการพอเพียงในฐานะคำจำกัดความในทางใช้งานของ OA มันใช้เพื่อเน้นในส่วนที่สำคัญบางส่วนของ OA และคุณสมบัติต่าง ๆ ซึ่งเป็นสาเหตุเพื่อให้ระลึกได้ในฐานะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ของมันเอง ส่วนหรือลักษณะเหล่านี้จะได้รับการแจ้งโดยละเอียดในหน้าต่อ ๆ ไป อย่างไรก็ตามควรจะสังเกตว่าถึงแม้ว่า OA ด้วยคำจำกัดความดังกล่าว ณ ที่นี้อยู่ในลักษณะกว้าง ๆ และใช้ประยุกต์ได้หลาย ๆ เรื่อง ตัวอย่างและการประยุกต์ใช้ต่าง ๆ ในบทต่อ ๆ ไปจะดึงมาเป็นพิเศษจากเนื้อหาในการปฏิบัติการทางเรือ สิ่งนี้จะให้นายทหารเรือทั้งความหยั่งเห็นในวิทยาศาสตร์ของ OA และความรู้แห่งหลักการต่าง ๆ ซึ่งเป็นยุทธวิธีทางปฏิบัติการอย่างเช่นการค้นหาการรักษาและการจัดการ

จะต้องเน้นตั้งแต่เริ่มต้นและเน้นแล้วเน้นอีกต่อไปตลอดหนังสือเล่มนี้ว่างานของ OA ไม่ใช่สูตรสำเร็จรูปในการตัดสินใจของผู้บังคับบัญชาทหารหรือพลเรือน แต่งานที่เหมาะสมของ OA คือการให้ต่อผู้ตัดสินใจซึ่งปัจจัยสำคัญ ๆ ของปัญหาที่แท้จริง ในความสัมพันธ์ที่เหมาะสมและกล่าวในเทอมของข้ออ้างเชิงธรรมดาที่มีความหมาย - ซึ่งเป็นลักษณะที่เป็นจุดประสงค์ของสถานการณ์แห่งปัญหา ดังนั้นจึงเหลือเป็นสิทธิพิเศษและความรับผิดชอบ - แห่งผู้บังคับบัญชาทหารที่จะรวบรวมเอาการพิจารณาแห่งจุดประสงค์ด้วยคุณลักษณะทางคุณภาพและปัจจัยต่าง ๆ ที่จับต้องไม่ได้ในปัญหานั้นตามวิจรรณญาณด้วยประสบการณ์และวิชาชีพในอันที่จะได้การตัดสินใจขั้นสุดท้าย เกี่ยวกับการเลือกยุทธวิธีของการส่งอาวุธ (เข้าเป้า) ที่ดีที่สุด ผู้บังคับบัญชาทหารที่เกี่ยวข้องอาจเห็นได้บนรากฐานของประสบการณ์ของเขาว่า ยุทธวิธีที่มีอันดับสูงสุดในเทอมของประสิทธิผลจะใช้ไม่ได้เพราะสภาวะอากาศ ณ เป้าหมาย และดังนั้นจึงจะต้องตัดทิ้งไปและรับเอาหนทางเลือกอื่นที่เที่ยงตรงน้อยกว่าแต่ยอมรับได้ดีกว่าในทางปฏิบัติการ OA ได้ให้เขาด้วยรากฐานทางปริมาณสำหรับการตัดสินใจ ถ้ามีฉะนั้นแล้วเขาก็ไม่ทราบที่จะประนีประนอมการตัดสินใจของเขาได้อย่างไร โดยเครื่องหมาย (symbol) แล้วความสัมพันธ์ของ OA และวิจรรณญาณของผู้ตัดสินใจ อาจแสดงได้ดังต่อไปนี้



#### ๑๐๒. ภูมิหลังทางประวัติศาสตร์ในทางการทหาร

ในผนวก 2 การถกแถลงโดยละเอียดของการเริ่มต้นของ OA ได้แสดงให้เห็นถึงความเป็นมาว่าจากนักการทหารได้กลายเป็นนักวิทยาศาสตร์พลเรือนได้อย่างไร ในประเทศอังกฤษและในสหรัฐอเมริกา เพื่อช่วยการแก้ปัญหาทางยุทธการภายใต้ความจำเป็นที่สงครามโลกได้เพิ่มความยุ่งยากสลับซับซ้อนมากขึ้น จากที่เคย ๆ เป็นมาจนกระทั่งถึงประสบการณ์ของมนุษย์ในตอนนั้นส่วนช่วยที่นักวิทยาศาสตร์เหล่านี้ ผู้ซึ่งได้รับการขนานนามว่า "นักวิเคราะห์ทางปฏิบัติการ" ----ส่วนช่วยนี้มีมากมายเหลือเกิน แต่อย่างไรก็ตามบางที่ส่วนช่วยที่ยิ่งใหญ่และยังคงอยู่ก็คือ "แนวความคิด" ของการประยุกต์วิธีการทางวิทยาศาสตร์ที่ได้ก่อตั้งขึ้นเพื่อแก้ปัญหาทาง "ยุทธการ" ทหาร ----ปัญหาซึ่งจากการพิจารณา ตอนแรก ๆ ดูประหนึ่งว่ายากที่จะรับฟังได้ต่อการปฏิบัติเช่นนั้น แนวความคิดของการประยุกต์ได้ถูกก่อตั้งขึ้นเป็นอย่างดี (ถ้าไม่เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวาง) ตอนปลายสงครามโลกครั้งที่สอง

การหันเหไปยังการช่วยเหลือจากทางพลเรือนซึ่งในประวัติศาสตร์ได้แยกออกจากทางการทหารนั้น ไม่ได้หมายความว่านายทหารที่เกี่ยวข้องไม่มีความสามารถที่จะคิดได้เอง ยกตัวอย่างในกองทัพเรือสหรัฐ นายทหารผู้ซึ่งมีประสบการณ์มาก ๆ ก็กำลังยุ่งอยู่กับการจัดองค์การซึ่งได้แผ่ขยายอย่างรวดเร็วและยุ่งอยู่กับการรบในทั้งสองมหาสมุทร เขาเหล่านั้นไม่มีเวลาพอที่จะให้การศึกษาต่อตนเองเพื่อकिनนี้ได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหันไปหาผู้ซึ่งมีความรู้อยู่แล้วเป็นอย่างดี เพื่อต่อสู้กับเทคโนโลยีทางการทหารที่เกี่ยวข้องกับการผลิตอาวุธและอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายใต้ความกดดันของสงครามซึ่งเกิดขึ้นด้วยอัตราที่เร็วกว่าที่เคย ๆ เป็นมา

อาจเป็นที่สงสัยว่าถ้าวิธีการทางวิทยาศาสตร์พิสูจน์ได้ว่ามีประสิทธิภาพมากในการวิเคราะห์ปัญหาทางทหารแล้วทำไมไม่ได้รับการใช้มาก่อนหน้านี้ มันเคยได้รับการใช้อย่างจำกัดจริง ตามที่ได้กล่าวถึงในผนวกที่ 2 ได้มีตัวอย่างเป็นอันมากของ OA ตลอดประวัติศาสตร์นั้น ในปี 1906 พลเรือเอก Bradley Fiske แห่งกองทัพเรือสหรัฐฯ ได้ตีพิมพ์บทความสั้น ๆ ในหนังสือพิมพ์ ซึ่งเป็นการก้าวนำถึง 10 ปีต่อวิธีการวิเคราะห์ของ Frederick Lanchester ในเรื่องการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ต่อการต่อสู้ทางอากาศในสงครามโลกครั้งที่หนึ่ง โทมัส เอดิสัน ได้เป็นที่ยอมรับร่วมกันว่า ได้ค้นคว้าทดลองในการสงครามปราบเรือดำน้ำในระหว่างสงครามโลกครั้งที่หนึ่ง แต่ตัวอย่างเหล่านี้เป็นสิ่งที่กระจัดกระจายและเป็นครั้งคราว และแน่นอนเหลือเกินที่จะไม่เป็นตัวแทนความตื่นตัวโดยทั่ว ๆ ไป ของ OA แน่แน่นอนที่ในกองทัพเรือสหรัฐฯ ในระหว่างสงครามโลกทั้งสองครั้ง ได้มีการรายละเอียดในการวิเคราะห์ทางสถิติ ยกตัวอย่างเช่น เพื่อการยิงปืนใหญ่เรือ และผลจากหลาย ๆ สิ่งอื่น ๆ อีก แต่สิ่งเหล่านี้เป็นการวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์ที่แท้จริง อาจจะปลอดภัยที่จะกล่าวว่าวิธีการทางวิทยาศาสตร์ไม่ได้รับการปรับแต่งการใช้โดยทางทหาร ก็เพราะว่าประสิทธิภาพของมันไม่เคยเป็นที่ยอมรับกันมาก่อน

การคาดคะเนก่อให้เกิดเหตุผลที่เป็นไปได้หลาย ๆ ประการ เพื่อชี้ให้เห็นว่าทำไมนักวิทยาศาสตร์ไม่ได้ทดลองโดยใช้ห้องทดลองมาก่อนหน้านี้ เพื่อมีส่วนร่วมในการแก้ปัญหาทางการทหาร ประการหนึ่งก็คือเขาไม่ได้รับการเชื่อเชิญ ปัญหายุทธการทางการทหารเคยเป็นสิ่งที่ง่าย ๆ ในระหว่างสงครามทั้งสอง ไม่มีความกดดันในระหว่างสงครามเพื่อการแก้ปัญหา และความคิดทางการทหารก็ได้คำตอบที่ใช้ได้ตลอดมา ยิ่งไปกว่านั้นอาวุธและระบบต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงซ้ำมาก และทั้งในประเทศสหรัฐฯ และประเทศอังกฤษ หน่วยทหารต่าง ๆ ไม่เป็นที่รู้จักกันกว้างขวางและงบประมาณก็น้อยมาก ถึงแม้จะมีการเชื่อเชิญก็ตามแต่ก็ยังสงสัยว่าจะได้รับการตอบสนองจากพลเรือน ก่อนที่สงครามจะเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงมิได้ในปลายศตวรรษที่สามสิบหรือไม่

โลกในปัจจุบันนี้แตกต่างไปอย่างมาก การวิเคราะห์ทางวิทยาศาสตร์เป็นสิ่งที่ยอมรับกันในการแก้ปัญหาในทางทหาร ทั้งโดยนายทหารอาชีพและพลเรือนด้วยเหตุผลซึ่งได้กล่าวต่อไป

#### ๑๐๓. การวิเคราะห์ปฏิบัติการในกองทัพเรือ (สหรัฐฯ)

ก่อนที่จะเริ่มการพิจารณาโดยละเอียดถึงธรรมชาติของการวิเคราะห์ปฏิบัติการ และถึงความสำคัญที่มีต่อนายทหารเรือก็อาจมีประโยชน์ที่จะวาง OA ไว้ ณ ภาพปัจจุบันในเทอมของกองทัพเรือ

องค์การ OA ที่ได้พัฒนาขึ้นในกองทัพเรือในระหว่างสงครามโลกครั้งที่สองก็ยังอยู่ภายหลังสงคราม ซึ่งผู้บุกเบิกทั้งหลายก็ยังคงพยายามปฏิบัติงานต่อไป แต่อย่างไรก็ดีในปีต่อ ๆ มาหลังจากที่เกิดสงครามแล้วเป็นที่ประจักษ์ชัดว่าได้มีความบกพร่องในความรู้เกี่ยวกับ OR ในเรื่องปัญหาทางการปฏิบัติการทางเรือถ้าลำพังพลเรือนเพียงอย่างเดียว นักวิทยาศาสตร์นั้นมีความสามารถแต่เขาขาดคุณสมบัติที่สำคัญมากประการหนึ่ง ในอันที่จะหยั่งรู้หรือสังเกตเห็นความลึกซึ้งของปัญหาทางทหารหลาย ๆ ปัญหา : ความเข้าใจถึงสิ่งแวดล้อมทางยุทธการ อย่างเช่นบางสิ่งบางอย่างที่จะได้มาก็โดยประสบการณ์ที่เคยเป็นนายยามเรือเดินมาก่อนหรือเป็นนักบินเครื่องบินโจมตีมาก่อน หรือเป็นผู้บังคับการเรือพิฆาตมาก่อน การเชื่อมโยงนี้จะเห็นได้ว่ามีอยู่ระหว่างนายทหารเรือผู้ซึ่งรู้

ปัญหาแต่ไม่มีความรู้ลึกพอทางด้านวิทยาศาสตร์ ในอันที่จะแก้ปัญหานี้โดยการวิเคราะห์หรืออธิบายปัญหานี้ เพื่อให้มีความหมายได้ต่อพลเรือน และนักวิทยาศาสตร์พลเรือนผู้ซึ่งมีความรู้ความสามารถแต่ขาดความหยั่งรู้หรือเล็งเห็นปัญหานั้น ๆ ความจำเป็นสำหรับกองทัพเรือสหรัฐฯ ที่จะต้องมีนายทหารรวมทั้งนายทหารนาวิกโยธินที่มีประสบการณ์ทางยุทธการที่กว้างขวาง ที่ได้รับการศึกษาในเรื่อง OA ในอันที่จะกระทำการวิเคราะห์ได้ด้วยตนเองหรือเพื่อแนะนำต่อนักวิเคราะห์พลเรือนในเรื่องปัญหาต่าง ๆ ซึ่งต้องการทั้งความหยั่งเห็นในทางยุทธการ และความสามารถของนักวิเคราะห์ที่ได้รับการฝึกฝนมาแล้วทางวิทยาศาสตร์ เพื่อที่จะให้เป็นไปตามความต้องการนี้ ในปี 1951 กองทัพเรือก็ก่อตั้งหลักสูตร OA ขึ้นที่ Naval Postgraduate School (NPS) ที่มอเดอเรย์ แคลิฟอร์เนีย (เป็นเหตุบังเอิญที่กองทัพเรือเป็นกองทัพแรกที่คิดถึงความเป็นนี้ และกองทัพเรือมีจำนวนนายทหารมากที่สุดที่ได้รับการศึกษา OA และความมั่นคงขององค์การ OA ภายในกองทัพด้วย)

ความเติบโตของสาขา OA ในกองทัพเรือและในความกว้างขวางของการประยุกต์ OA นี้สรุปได้โดยจำนวนของนายทหารที่ลงชื่อเพื่อศึกษาในหลักสูตรนี้ ในปี 1959 จำนวนได้เพิ่มถึง 50% และยังคงเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตั้งแต่นั้นมา จำนวนใกล้ 100 คน เริ่มศึกษา OA ในปีงบประมาณ 1967 จำนวนอัตราทั่วกองทัพเรือที่ต้องจากนายทหารที่มี Subspecialty ทาง OA ได้เพิ่มเป็นสองเท่าในปีต่อ ๆ มา

ปัจจุบันนี้นายทหารเรือประยุกต์วิธีและแนวความคิดของ OA ต่อปัญหาที่ทำหายตลอดไปทั่วทุกปัญหาของการปฏิบัติการทางเรือ กล่าวคือ :

ก. ในการวิจัยและพัฒนาต่อกิจกรรมต่าง ๆ เช่นที่ Navy Missile Center, Naval Air Development Center และที่ Naval Ordnance Test Station

ข. ในการประเมินค่าทางยุทธการต่ออุปกรณ์และการพัฒนายุทธวิธี ณ Air Development Squadrons (VX) One, Four และ Five, Submarine Development Group Two, Destroyer Development Groups, Atlantic and Pacific และ Staff of Commander, Operational Test and Evaluation Forces

ค. ในการออกแบบและวิเคราะห์ การฝึกของกองเรือและการวิเคราะห์ความพร้อมของกองเรือโดยคณะเสนาธิการของกองเรือต่าง ๆ Fleet Commander - in - Chief and Force Commanders

ง. ในการตัดสินใจตลกลงใจทางความต้องการกองกำลังของกองทัพเรือสำหรับปัจจุบัน อนาคตอันใกล้ และอนาคตอันไกลของกองทัพเรือ - การพิจารณาต่อปัญหาต่าง ๆ เช่นนั้น เพื่อการประกอบกำลังที่ดีที่สุดของกองบินโจมตีจากเรือบรรทุกเครื่องบิน และการประกอบกำลังของกองทัพเรือในปี 1975 - ในสำนักงานของ Chief of Naval Operations

จ. ในการตัดสินใจของความต้องการในการบังคับบัญชาและการควบคุมของกองทัพเรือ ณ Navy Command Systems Support Activity

จำนวนของนักวิทยาศาสตร์พลเรือนที่รวมเข้ากับองค์การของกองทัพเรือสำหรับ OA นั้น ได้เจริญเติบโตขึ้นไปพร้อม ๆ กับการประยุกต์ OA ภายใต้ศูนย์การวิเคราะห์ของกองทัพเรือ (CNA) นักวิเคราะห์เหล่านี้ทำงานในฐานะสมาชิกของทีมทหาร - พลเรือน ในกองบัญชาการและเกี่ยวกับปัญหาต่าง ๆ ดังได้กล่าวมาแล้ว โครงการเพิ่มบางโครงการของ OA กระทำโดยองค์การวิจัยส่วนตัวโดยทำงานภายใต้การว่าจ้างโดยกองทัพเรือ อย่างเช่น กลุ่ม Applied Physics Laboratory of Johns Hopkins University (APL - JHU) และ Stanford Research Institute (SRI) เป็นที่รู้จักกันเป็นอย่างดี อย่างไรก็ตามกองทัพเรือได้พัฒนาในปีที่ผ่านมาซึ่งองค์การภายในสำหรับ OA และผลที่ตามมาคือมีความต้องการที่ต้องว่าจ้างองค์การส่วนตัวน้อยกว่ากองทัพบกและกองทัพอากาศในอันที่จะแก้ปัญหาต่าง ๆ (ถึงแม้ว่าทรัพยากรขององค์การส่วนตัวเกี่ยวกับ OA จะมีค่ามากมายก็ตาม และส่วนช่วยเหลือที่มีในบางเรื่อง)

ด้วยความตื่นตัวแห่งคุณค่าของการศึกษาในหลักการหลัก ๆ ของ OA สำหรับนายทหารเรืออาชีพได้นำมาซึ่งการก่อให้เกิดหลักสูตรเบื้องต้นเกี่ยวกับ Naval Operations Analysis ขึ้นในโรงเรียนนายเรือสหรัฐฯ และก่อให้เกิด minor and major fields of study in OA โรงเรียนนายเรือ (สหรัฐฯ) ถือเป็นเรื่องปกติถ้าไม่เป็นเพียงหนึ่งเดียวในระหว่างวิทยาลัย และโรงเรียนเทคนิคต่าง ๆ ของสหรัฐฯ ในปัจจุบันที่มีแผนการศึกษาในเรื่อง OA ที่กว้างขวาง ณ ระดับ undergraduate

กล่าวโดยย่อมีการประยุกต์ OA อย่างกว้างขวางในกองทัพเรือในปัจจุบันนี้ มีสิ่งบอกเหตุว่าการประยุกต์นี้จะเติบโตต่อไปในปีต่อ ๆ ไป โดยที่ระบบอาวุธเพิ่มความยุ่งยากสลับซับซ้อนยิ่งขึ้น (และแพง) โดยเหตุที่ค่าใช้จ่ายในการตัดสินใจที่คิดในเรื่องที่เกี่ยวกับทางยุทธการนั้น ค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก และในขณะที่เทคโนโลยีที่เพิ่มขึ้นได้ก่อให้เกิดแนวความคิดใหม่และเทคนิคของการสงครามในการสู้รบที่จะต้องเข้าแทนที่แนวความคิดและระบบเก่า ๆ ระบบเหล่านี้ไม่สามารถที่จะทดสอบโดยการยิงจริง ๆ ได้

#### ๑๐๔. OA และนายทหารเรือ

ความรู้ในเรื่องวิธีหลัก ๆ ของ OA และความสามารถในอันที่จะประยุกต์เทคนิคมูลฐานต่าง ๆ เป็นสิ่งสำคัญต่อนายทหารเรือต่อไปนี้จะเห็นเหตุผลว่าทำไม :

ก. เนื่องจากมันนำเข้าหาวัตถุประสงค์ กรรมวิธีของแนวความคิดในการวิเคราะห์โดยทั่ว ๆ ไป การให้เหตุผลที่มีหลักและการเข้าหาปัญหาทางตรรกวิทยา

ข. เนื่องจากความหยั่งเห็นที่ยิ่งใหญ่มากกว่าที่เป็นหลักสำคัญของการปฏิบัติการทางเรือ

ก. ในฐานะการเตรียมการสำหรับงานพิเศษในขั้นต่อ ๆ ไปในเรื่องนี้

ง. เนื่องจากมันเป็นส่วนช่วยเพื่อความเข้าใจของการศึกษาทางเทคนิคที่จะใช้ในกองทัพเรือ

วัตถุประสงค์ กรรมวิธีของแนวความคิดในการวิเคราะห์ เป็นสิ่งสำคัญเสมอมาต่อนายทหารเรือ แต่ไม่เคยมากเท่าปัจจุบัน ประวัติศาสตร์ได้บันทึกเกียรติประวัติของผู้นำทหาร (ลึกลงไปเป็นศตวรรษ ๆ) ซึ่งได้ระมัดระวังต่อลมและเลือกที่จะปฏิบัติตามสหัญญามากไปกว่าต่อเหตุผลและได้ประสบความสำเร็จอันยิ่งใหญ่ เพื่อนรุ่นหลัง ๆ ผู้ซึ่งได้ตัดสินใจตามแบบเขาและล้มเหลวและมีความโน้มเอียงที่จะล้มความน่าอายเช่นนั้น ถึงแม้ว่าเราสงสัยว่าอย่างน้อยจะมีประเภทหลังเป็นจำนวนมากเช่นเดียวกับประเภทแรก และเขาเหล่านั้นมีความสามารถพอสมควร มันเพียงแต่ว่าเขาไม่โชคดีเท่า เป็นธุรกิจของ OA ที่จะบรรจุโชคเข้าไปยังฝ่ายเรา ความคิดเห็น ความเข้าใจที่คิดไว้ล่วงหน้า ความลำเอียงเป็นส่วนตัว ไม่ว่าจะเป็นอย่างใดก็ตามแต่เราจะเรียกสำหรับความพอใจทางอัตนัย ซึ่งเขาเลือกใช้เพื่อการตัดสินใจเป็นสิ่งที่เปราะบางและแปรหลาย และมันเป็นมนุษย์ผู้ประหลาดผู้ซึ่งสามารถหลบหลีกหลุมพรางต่าง ๆ โดยปราศจากใช้ความพยายามอย่างมีสติในอันที่จะฝึกหัดจิตใจของเขา ผลประโยชน์ที่สำคัญประการหนึ่งที่จะได้จากการเข้าหาปัญหาแบบ OA ก็คือความสามารถที่จะคิดโดยตลอดโดยมีตรรกวิทยาและมิระเบียน ซึ่งเป็นสิ่งที่หาพบได้ยากสำหรับนายทหารเรือผู้น้อย เทคนิคในการวิเคราะห์อาจประยุกต์ใช้ไม่ได้ แต่การติดตามหลักตรรกวิทยาในสายเลือดของวิธีทาง OA จะได้คำตอบที่เร็วกว่าวิธี trial and error เป็นอันมาก

ความหยิ่งเห็นในหลักมูลฐานของสถานการณ์ทางปฏิบัติการ - - การเล็งเห็นกรรมวิธีหลักในการปฏิบัติหลังหีบสีดำแผนการค้นหาและโจมตีที่ได้ลงตารางไว้ คำสั่งยุทธการ \_ \_ \_ เป็นคุณลักษณะซึ่งไม่ได้เสนอมาโดยประสบการณ์ ประสบการณ์เพียงอย่างเดียวจะเป็นเครื่องมือในการสอนที่ช้า และแพงและอาจทำลายนักเรียนได้ ก่อนที่เขาจะจบหลักสูตร นายทหารเรือผู้ซึ่งมีความหยิ่งเห็นเช่นนี้ แน่แน่นอนที่เขาจะเป็นผู้มีพรสวรรค์อย่างแท้จริงและเป็นข้อยกเว้นมากกว่ากฎ OA ด้วยความสนใจลักษณะท่าทางขั้นมูลฐานต่อลักษณะภายนอกของปัญหาทางยุทธการ และการพิจารณาในทางธรรมชาติทางสถิติของเหตุการณ์ต่าง ๆ ที่อาจเกิดขึ้นได้ เป็นคุณค่าพิเศษในการพัฒนาความหยิ่งเห็นนี้

OA เป็นสิ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่งต่อนายทหารเรือผู้น้อยในฐานะเป็น Subspecialist อย่างหนึ่ง มันเป็นเป้าประสงค์หลักที่ได้ตั้งไว้ของกองทัพเรือว่าภายหลังปี 1970 อย่างน้อยที่สุด 50% ของนายทหารโดยทั่ว ๆ ไป ควรจะได้รับการศึกษาชั้น Postgraduate ใน subspecialty นี้ ธรรมชาติของ OA subspecialty ได้เกริ่นไว้แล้วก่อนหน้านี้ โดยเฉพาะนายทหารเรือพรคนาวิน OA จะมีความสำคัญต่ออาชีพของเขาเช่นเดียวกับสาขาอื่น ๆ ในศาสตร์ทหาร

ยิ่งไปกว่านั้น OA เป็น subspecialty ที่เติบโตเร็วที่สุดในกองทัพเรือในยุคปัจจุบัน แต่อย่างไรก็ตาม อุปสงค์ของนายทหารที่ได้รับการศึกษาก็ยังคงมากกว่าอยู่นั่นเอง

นายทหารเป็นจำนวนมากผู้ซึ่งไม่ได้เกี่ยวข้องกับ OA ในฐานะ subspecialty แต่อย่างไรก็ตามมันจะต้องศึกษาบางประการ ซึ่งจะวิเคราะห์ปัญหาทางเรือซึ่งตนต้องสนใจอยู่เสมอ ความสามารถในอันที่จะเข้าใจที่จะประเมินค่าการศึกษาเหล่านี้จะดีขึ้นมากด้วยความหยั่งเห็นเกี่ยวกับการเข้าหาและวิธีของ OA

#### ๑๐๕. วิธีของ OA

ดังได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ว่า OA นั้นมีส่วนที่สำคัญก็คือการประยุกต์วิธีทางวิทยาศาสตร์ต่อการหาคำตอบของปัญหาทางยุทธการ โดยปราศจากการถกแถลงวาทว่าอะไรคือวิธีทางวิทยาศาสตร์นั้น ก็มีเหตุผลพอเพียงที่จะกล่าวว่าการตรวจสอบความสำเร็จของการประยุกต์ OA ได้เปิดเผยถึงกระบวนการที่เข้ากันซึ่งเป็นรูปแบบโดยทั่ว ๆ ไป การเข้าหาโดยทั่ว ๆ ไป ได้รับการขนานนามว่าเป็นวิธีของ OA แน่หนอนที่มันจะไม่เป็นเครื่องมือหรือลำดับการในการแก้ปัญหาแต่ส่วนใหญ่ของมันถึงแม้ว่าจะไม่ทั้งหมดก็จะพบได้ในการพัฒนาระดับต่าง ๆ ในทุก ๆ กรณีของการแก้ปัญหาโดยวิธี OA วิธี OA จะได้รับการพรรณนาในทอมดังต่อไปนี้ :

ก. การกำหนดปัญหา โดยการผ่าน :

- 1) การตัดสินใจจุดประสงค์ของการปฏิบัติการที่เกี่ยวข้อง
- 2) การนับจำนวนของทุก ๆ หนทางปฏิบัติที่เป็นไปได้
- 3) การนิยามมาตรวัดประสิทธิผลเพื่อจะใช้ในการเปรียบเทียบหนทางปฏิบัติ
- 4) การตัดสินใจและนับจำนวนของตัวแปรที่จะพิจารณา

ข. คำตอบของปัญหา เป็นสิ่งหรือส่วนผสมของสิ่งต่อไปนี้ :

- 1) การวิเคราะห์ทางทฤษฎี
- 2) การวิเคราะห์ทางสถิติต่อข้อมูลที่ได้รับขึ้นไว้ (ข้อมูลในทางปฏิบัติการที่ได้กระทำไปแล้ว)
- 3) การทดลองที่มีการควบคุมหรือการฝึกหัด
- 4) ซิมูเลชัน (การตรวจสอบทางการทดลองโดยใช้รูปแบบจำลองทางกายภาพ ทางอนาลอก หรือดิจิทัลต่อสถานการณ์ทางปฏิบัติการ)

ค. การสื่อสาร ผลที่ได้

ปัจจัยแต่ละปัจจัยเหล่านี้จะได้รับการถกแถลงในบทต่อ ๆ ไป



## บทที่ ๒

### การกำหนดและการหาคำตอบของปัญหา

(The Formulation and Solution of a Problem)

ในบทที่หนึ่งได้พูดถึงวิธีของ OA ไว้โดยคร่าว ๆ แล้วในฐานะก้าวนำในการแก้ปัญหา ปัญหาต่าง ๆ ที่ใช้วิธี OA แก้นั้นไม่ใช่ปัญหาซึ่งคำตอบของมัน อาจหาได้และตราว่าเป็น "คำตอบ" อย่างเช่นปัญหาทางคณิตศาสตร์แบบมาตรฐาน ปัญหาที่ผู้ตัดสินใจจะถามโดยทั่ว ๆ ไปก็คือ "อะไรคือหนทางปฏิบัติที่ดีที่สุดที่จะได้จุดประสงค์นี้มา?" ในบทนี้จะถกแถลงส่วนสำคัญ ๆ ของการเข้าหาแบบ OA ต่อปัญหาเช่นนั้น

#### ๒๐๑. การแก้ปัญหา

ปัญหาในการตัดสินใจซึ่งมีจำนวนไม่จำกัดและหลาย ๆ รูปแบบนั้น ต้องการคำตอบต่อปัญหาที่ได้เกริ่นไว้ข้างบนนี้ ไม่ว่าปัญหาเหล่านี้จะยุ่งยากและสลับซับซ้อนอย่างไร คำถามเฉพาะต่อไปนี้จะต้องได้รับการพิจารณาก่อนที่จะเลือกหนทางปฏิบัติที่ฉลาดนั้น

๕. อะไรคือจุดประสงค์ที่ต้องการ ?
๖. มีหนทางปฏิบัติอะไรบ้างที่เป็นไปได้ ?
๖. มีปัจจัยอะไรบ้างที่จะช่วยให้เกิดความสำเร็จหรือความล้มเหลวต่อแต่ละหนทางปฏิบัติในอันที่จะได้มาซึ่งจุดประสงค์นั้น ?
๗. อะไรคือไม้บรรทัดที่ใช้ในการวัดและเปรียบเทียบประสิทธิผลของหนทางปฏิบัติต่าง ๆ ?

การกำหนดปัญหานั้นโดยใจความสำคัญแล้วจะประกอบด้วยคำตอบคำถามมูลฐานดังกล่าว อย่างไรก็ตาม ใดก็ตามที่คำตอบเหล่านี้จะไม่ง่าย ๆ กว่าที่ดูเหมือนจะเป็นในการมองโดยผิวเผิน บ่อยครั้งที่คำตอบดูเหมือนจะทำทายคำกล่าวหรือเมื่อได้กล่าวแล้วก็จะไม่สามารถตกลงกันได้ ในปัญหาใหญ่ ๆ มันมีคุณค่าไม่เพียงแต่การเกี่ยวข้องกับผิวเผินแต่เป็นการพิจารณายอมรับที่ลึกซึ้ง ภายหลังจากที่คำตอบต่อปัญหาบางที่อาจต้องการเพียงแต่การเปรียบเทียบสองสามประการหรือการรวบรวมข้อมูลที่พอเพียง

#### ๒๐๒. จุดประสงค์ของการปฏิบัติการ

การค้นหาว่ อะไรคือปัญหาที่แท้จริงบ่อยครั้งเป็นสิ่งที่ยากที่สุดของปัญหาทางปฏิบัติการ อย่างไรก็ดี ยกตัวอย่างในกรณีต่อไปนี้ตอนแรก ๆ ของสงครามโลกครั้งที่สอง เรือสินค้าของอังกฤษจำนวนมากถูกจมหรือได้รับความเสียหายอย่างหนักโดยการโจมตีจากเครื่องบินฝ่ายอักษะในทะเลเมดิเตอร์เรเนียน การแก้ปัญหาที่ง่าย ๆ ก็คือการติดปืนต่อสู้อากาศยานให้กับเรือสินค้าเหล่านี้พร้อมด้วยพลประจำปืน สิ่งนี้ได้กระทำไปโดยต้องยอมเสียสละกำลังพลและอุปกรณ์ไปทั้ง ๆ ที่ที่อื่น ๆ ก็ต้องการเป็นอย่างมาก คำถามที่เกี่ยวข้องกับการจัดสรรทรัพยากรที่มีจำนวนนี้ ได้ถูกยกขึ้นมาเมื่อรายงานได้แสดงว่าพลประจำปืนได้ยิงเครื่องบินถูกเพียงร้อยละสี่ของ

เครื่องบินที่เข้ามาโจมตีทั้งหมด ซึ่งเป็นเครื่องแสดงที่ไม่ดีเลย และดูเหมือนที่จะชี้ให้เห็นว่าปีนั้นไม่ได้เป็นจุดมุ่งหมายหลักในอันที่จะยิงเครื่องบินเยอรมัน หรือเครื่องบินอิตาลีให้ตก แต่จุดประสงค์หลักก็เพื่อปกป้องเรือสินค้า และความเป็นจริงในเมื่อได้รวบรวมตัวเลขดูก็ปรากฏว่าเป็นต่อสู้อากาศยาน และพลประจำปืนได้ปฏิบัติหน้าที่ค่อนข้างดีคือจากจำนวนเรือที่ไม่ติดปืนจะจมถึง 25% แต่เรือที่ติดปืนจะจมเพียง 10% ในช่วงเวลาเดียวกัน

จุดประสงค์ที่กำลังพิจารณาอยู่ ณ ที่นี้ก็คือนักวิเคราะห์ซึ่งความรับผิดชอบสำคัญของเขา ก็คือการตัดสินใจ จุดประสงค์ของผู้บังคับการบ่อยครั้งที่อาจตัดสินใจได้โดยการศึกษาภารกิจที่ตนได้รับจากผู้บังคับบัญชาเหนือตนขึ้นไป จุดประสงค์ของผู้บริหารธุรกิจส่วนใหญ่จะได้รับการตัดสินใจพิจารณาโดย (หรืออย่างน้อยที่สุดก็ต้องมีความพ้องกันกับ) ความมุ่งประสงค์และจุดประสงค์ขององค์กรของเขา

ในปัญหาแบบฉบับที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจนั้น การวิเคราะห์ควรจะทำอันเป็นการสำหรับผู้ตัดสินใจโดยฝ่ายเสนาธิการหรือฝ่ายอำนาจการหรือโดยบริษัทวิจยอิสระ ในกรณีใดก็ตามนักวิเคราะห์จะต้องตัดสินใจอย่างแน่นอนว่าจะอะไรคือจุดประสงค์ มันอาจคลุมเครือและยากที่จะเข้าใจได้ในตอนแรก ๆ แต่การวิเคราะห์ที่ไม่สามารถที่จะดำเนินการไปได้ไกล จนกระทั่งว่ามันจะได้รับการนิยามอย่างถูกต้องเสียก่อน ถึงแม้จะอย่างนั้นแล้วก็ตามในขณะที่การวิเคราะห์ดำเนินการไปมันอาจตัดสินใจได้ว่า จุดประสงค์ตามที่ได้อ้างไว้แล้วนั้นไม่เฉพาะเจาะจงพอ และจำเป็นต้องทำความเข้าใจขึ้นอีก ในปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการสูญเสียเรือสินค้าเป็นจำนวนมากนี้ สมมุติว่าจุดประสงค์ที่ได้ตั้งไว้คือ "เพื่อที่จะลดจำนวนเรือสินค้าที่จมลงให้น้อยที่สุด" ทางหนึ่งที่น่าจะเป็นไปได้ก็อาจจะด้วยการเก็บเรือสินค้าทั้งหมดไว้ในท่า ในสถานการณ์การลำเลียงสินค้าในยามสงคราม คำตอบในการแก้ปัญหาข้อนี้ก็ไม่น่าจะมีเหตุผล ดังนั้นจุดประสงค์ที่ได้แถลงไว้จะต้องไม่เป็นจุดประสงค์ที่แท้จริง

บางทีจุดประสงค์อาจสับสนกับการปฏิบัติเพื่อให้จุดประสงค์นั้น ผู้ที่พิจารณาที่จะซื้อกรรมธรรม์ประกันชีวิตอาจแถลงว่าจุดประสงค์ของเขาคือ "เพื่อที่จะตัดสินใจว่าจะซื้อกรรมธรรม์ประกันชีวิตราคาเท่าใดและชนิดใด" อย่างไรก็ตามการซื้อกรรมธรรม์ประกันชีวิตเป็นการปฏิบัติที่กระทำเพื่อที่จะให้ได้มาซึ่งจุดประสงค์ที่แท้จริงอย่างเช่นสรรหาความปลอดภัยให้กับลูกหลานของเขา

จุดประสงค์ของนักวิเคราะห์ ควรที่จะเพื่อสรรหาต่อผู้ตัดสินใจซึ่งหลักมูลฐานในการตัดสินใจที่ถูกต้องและไม่ลำเอียง จุดประสงค์ภายใต้การพิจารณาก็คือผู้ตัดสินใจในการอำนาจการปฏิบัติการ จุดประสงค์นี้มีอยู่เสมอถึงแม้จะยากลำบากอย่างไรก็ตามในอันที่จะให้คำนิยามหรือแถลงออกมา ก้าวแรกของวิธี OA ก็คือเพื่อที่จะหาและแถลงมันให้ชัดเจน

### ๒๐๓. หนทางปฏิบัติต่าง ๆ

ในขณะที่จุดประสงค์ตามปกติจะต้องตัดสินใจพิจารณาเป็นประการแรก ขึ้นต่าง ๆ ในการกำหนดปัญหา

จะไม่เป็นไปตามลำดับที่กำหนดไว้เสมอไป นักวิเคราะห์จะต้องพิจารณาแต่ละชั้นในเทอมของชั้นอื่น ๆ คือไปจากอันหนึ่งไปยังอีกอันหนึ่งและกลับหลังมามาก คำถามประการแรกที่ยกขึ้นมาในเมื่อพยายามที่จะลงรายการหนทางปฏิบัติต่าง ๆ ก็คือ : ทางเลือกต่าง ๆ ของข้าพเจ้ามีข้อจำกัดอย่างไร และข้าพเจ้าจะต้องพิจารณาหนทางปฏิบัติต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกำลงคน วัสดุ หรืออุปกรณ์ต่าง ๆ หรือข้าพเจ้าจะต้องได้รับข้อจำกัดต่อยุทธวิธีต่าง ๆ และวิธีการปฏิบัติการต่าง ๆ โดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ในมือขณะนี้ ?

คำถามเช่นนั้นง่ายที่จะตอบภายหลังการใคร่ครวญพิจารณาถึงตัวแปรต่าง ๆ บางตัว ซึ่งจะได้ตกลงกันต่อไปในข้อ ๒๐๔. บ่อยครั้งมากที่ปัญหาโดยตรงจะไม่เพียงแต่จำกัดหนทางปฏิบัติต่าง ๆ ต่อสิ่งที่สามารถจะนำมาใช้ได้โดยรวดเร็ว แต่จะจำกัดเวลาที่จะมีให้ในการวิเคราะห์ด้วย ส่วนใหญ่ของปัญหาที่ได้รับการปฏิบัติโดย OA ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่สองได้กระทำไปภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีความต้องการว่าให้คุณ "ทำดีที่สุดเท่าที่จะทำได้ด้วยสิ่งที่คุณมีอยู่" ในองค์การส่วนใหญ่การพิจารณาทางศีลธรรม และสังคมจะตัดหรือขจัดหนทางปฏิบัติซึ่งเกี่ยวข้องกับการไม่มีเกียรติหรือสิ่งไม่ถูกต้องกฎหมายออกไปหรือหนทางปฏิบัติที่จะล่วงเกินมาตรฐานหรือประเพณีที่ยอมรับกัน

การเข้าหาอย่างหนึ่งก็ควรจะช่วยด้วยการลงรายการหนทางปฏิบัติต่าง ๆ ซึ่งมีเหตุผลพอที่จะคาดหมายได้ว่าสามารถนำมาซึ่งจุดประสงค์ได้โดยการสงวนวิจารณ์ขั้นต่อไปไว้ภายหลัง การเข้าหาในลักษณะนี้จะมีควมโน้มเอียงที่จะลดความเป็นไปได้ในอันที่จะมองข้ามหนทางปฏิบัติที่ดีที่สุดไปเพียงแต่เฉพาะว่ามันไม่เกิดขึ้นต่อนักวิเคราะห์ บางทีบุคคลที่เกี่ยวข้องอย่างใกล้ชิดกับการปฏิบัติการจะพบว่ามันยากที่จะคิดถึงหนทางปฏิบัติต่าง ๆ ใดอื่นยกเว้นที่ได้เคยทดลองมาก่อน ในขณะที่บางคนที่มีความรู้และประสบการณ์เช่นเดียวกันแต่มองสถานการณ์จากระยะไกลจะเห็นหนทางปฏิบัติที่เป็นไปได้อื่น ๆ อีก ไม่มีโครงร่างที่กำหนดไว้แต่อย่างใดในอันที่จะค้นหาพบหนทางปฏิบัติที่ดี ถึงแม้ความเป็นวิญญูชน ประสบการณ์ และความเป็นต่อของบุคคลใดจะมีอยู่ก็ตาม

ความลำบากที่เห็นได้ง่าย ๆ ก็เกิดขึ้นในเมื่อหนทางปฏิบัติต่าง ๆ มีจำนวนมากจนกระทั่งว่าหากลงรายการหมดก็จะเหนื่อยและเป็นไปไม่ได้ อาจเป็นไปได้ที่แต่ละหนทางปฏิบัติสามารถที่จะจำแนกอยู่ได้ในหลาย ๆ ลำดับของความสำคัญ ยกตัวอย่างในการปกป้องหน่วยกำลังเฉพาะกิจหน่วยหนึ่งจากการโจมตีทางอากาศด้วย CAP (Combat Air Patrol) ที่วางไว้ในอากาศ หนทางปฏิบัติเป็นจำนวนมากจะมีได้ในการวางเครื่องบินที่มีความสูง  $h_1$  จำนวน  $x$  เครื่อง และอยู่ระยะห่างเท่า ๆ กันบนวงกลมที่มีรัศมี  $r_1$  จากศูนย์กลางของกระบวน และเครื่องบินที่มีความสูง  $h_2$  จำนวน  $y$  เครื่อง และระยะระหว่างลำเป็น  $r_2$

การทดสอบอย่างหนึ่งต่อหนทางปฏิบัติที่ใช้ได้ก็คือในตัวของมันเอง มันจะต้องสรรหาวิธีต่าง ๆ ที่สมบูรณ์ในอันที่จะให้ได้มาซึ่งจุดประสงค์ ถ้าหนทางปฏิบัตินั้นสรรหาได้เพียงแต่ส่วนหนึ่งของวิธีต่าง ๆ แล้วละ

ก็มันจะไม่สมบูรณ์ ยกตัวอย่าง ถ้าจุดประสงค์คือการป้องกันกองกำลังเฉพาะกิจให้พ้นจากเรือดำน้ำ หนทางปฏิบัติซึ่งสรรหาเพียงแต่วิธีการตรวจจับจะไม่สมบูรณ์ในตัวของมันเอง และดังนั้นก็ใช้ไม่ได้

#### ๒๐๔. ตัวแปรต่าง ๆ

การลงรายการตัวแปรต่าง ๆ ในการเข้าหาปัญหาสามารถที่จะบรรลุความมุ่งประสงค์หลายประการด้วยกัน

๑. ใช้เป็นเครื่องนำทางต่อข้อมูลที่ต้องเก็บก่อนที่จะแก้ปัญหา
๒. ชี้ให้เห็นถึงความสลับซับซ้อนของปัญหานั้นและช่วยตัดสินใจหาวิธีหรือวิธีต่าง ๆ ที่จะใช้ในการวิเคราะห์
๓. ช่วยในการป้องกันมิให้ส่วนสำคัญ ๆ ของปัญหาหลุดพ้นจากการมองข้าม
๔. สรรหาเครื่องนำทางในอันที่จะลงรายการหนทางปฏิบัติต่าง ๆ
๕. รวมจำนวนต่าง ๆ ที่อาจมีประโยชน์ในการกำหนดมาตรการวัดประสิทธิผล

ตัวแปรต่าง ๆ อาจได้รับการวางตัวในประเภทหนึ่ง ๆ จากหลาย ๆ ประเภท ตัวแปรบางตัวสามารถที่จะควบคุมได้หรืออย่างน้อยที่สุดก็มีอิทธิพลในบางระดับโดยผู้ตัดสินใจ ยกตัวอย่างจำนวน  $x$  ของจำนวนเรือพิฆาตที่ได้รับมอบหมายให้อยู่ในฉากของสงครามการปราบเรือดำน้ำ เป็นตัวแปรที่อยู่ในความควบคุมของนายทหารสั่งการทางยุทธวิธี (OTC) อย่างน้อยที่สุดก็ในย่านที่เขามีเรือพิฆาตจำนวนหนึ่งอยู่ในมือของเขา

ตัวแปรอื่น ๆ ซึ่งมีอิทธิพลต่อผลที่จะออกมาจากการปฏิบัติการ อาจเป็นตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้โดยสมบูรณ์ ตัวแปรเหล่านี้บางตัวมีคุณค่าซึ่งรู้ได้หรือสามารถพิจารณาได้ ตัวแปรอื่น ๆ อาจมีค่าซึ่งเราไม่ทราบได้ แต่สามารถที่จะกำหนดหรือสมมุติค่าให้ได้ ยกตัวอย่างจำนวน  $x_2$  ของจำนวนเรือพิฆาตที่กำหนดมอบหมายให้แก่กองกำลังเฉพาะกิจ สามารถที่จะรู้ได้ทราบได้แต่โดยทั่ว ๆ ไป ไม่สามารถที่จะควบคุมได้โดย OTC ดังนั้นมันจึงก่อให้เกิดข้อจำกัดบางประการต่อหนทางปฏิบัติที่เขามีอยู่ ความลึกของชั้นของผิวน้ำที่มีอุณหภูมิเท่า  $x_3$  เป็นตัวแปรซึ่งมีอิทธิพลต่อความเป็นไปได้ของการตรวจจับเรือดำน้ำด้วยโซนาร์เป็นตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้แต่ยังสามารถที่จะวัดได้ จำนวน  $x_4$  ของเรือดำน้ำซึ่กักที่ปฏิบัติการอยู่ในพื้นที่ที่กำหนดให้ไม่สามารถที่จะควบคุมได้โดย OTC และตามปกติยังไม่สามารถที่จะตัดสินใจได้โดยการวัดแต่อาจกำหนดค่าได้จากรายงานการข่าวกรอง ฯลฯ ตารางรายการของตัวแปรเหล่านี้จะสรรหาเครื่องนำทางไปยังข้อมูลที่จำเป็น

ประการสุดท้ายยังมีตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ซึ่งค่าต่าง ๆ ไม่สามารถที่จะพิจารณาได้ด้วยโดยลักษณะธรรมชาติที่เป็นไปตามฤดูกาลของมัน เวลา  $x_5$  ที่เครื่องโซนาร์ที่ได้ติดตั้งไว้จะทำงานได้ก่อนเสีย และระยะ  $x_6$  ที่เป้าจะถูกตรวจจับเป็นตัวแปรซึ่งค่าของมันเปลี่ยนแปลงไปอย่างกว้างขวาง ถึงแม้จะในสถานการณ์ที่กำหนดให้ ทั้งนี้เพราะปัจจัยที่ไม่ทราบค่าเป็นจำนวนมากซึ่งมันขึ้นอยู่กับ จำนวนหรือปริมาณเช่นนั้นเราเรียกว่า

random variables และเหตุการณ์ไม่แน่นอนที่เกี่ยวข้องอยู่กับมันสามารถที่จะปฏิบัติต่อมันได้อย่างมีประสิทธิภาพก็โดยการใช้ทฤษฎีของ probability เท่านั้น

ในใจความโดยทั่วไปผลที่จะออกมาจากการปฏิบัติกรหนึ่งอาจคิดได้ประหนึ่งว่าเป็นฟังก์ชันของตัวแปรหลาย ๆ ตัว ซึ่งเกี่ยวข้องกับโดยสัญลักษณ์แล้วอาจเขียนได้ว่า

$$\text{outcome} = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$$

เป็นสิ่งสำคัญว่าตัวแปรเหล่านี้จะต้องได้รับการนิยามอย่างชัดเจน ดังนั้นตัวแปรบางตัวตัดทิ้งไปได้จากการพิจารณานั้นต่อไป ถ้ามันอาจเห็นได้ว่ามีผลที่มีความหมายน้อยมากต่อผลที่จะออกมา ในลักษณะนั้น ปัญหานั้นก็ถูกลดขนาดลงเหลือส่วนที่สำคัญ ๆ จริง ๆ

ในการแก้ปัญหาควรจะใช้การวิเคราะห์ความไว (sensitivity analysis) เพื่อพิจารณาตัวแปรที่ผลที่จะออกมามีความไวที่สุด ความระมัดระวังพิเศษจะต้องมีเพื่อให้แน่ใจว่าค่าที่กำหนดให้ต่อตัวแปรเหล่านี้ได้รับการพิจารณา (determined) หรือคำนวณหา (estimated) อย่างถูกต้องแน่นอนหรือไม่

หนทางปฏิบัติอาจคิดได้ประหนึ่งการมอบหมายค่าเฉพาะต่อตัวแปรต่าง ๆ ที่ควบคุมได้ ดังนั้นการพิสูจน์ทราบถึงตัวแปรที่ควบคุมได้เป็นสิ่งจำเป็นในขั้นแรกเพื่อให้ได้มาซึ่งความหยั่งเห็นต่อหนทางปฏิบัติต่าง ๆ ที่มี

ตัวแปรทั้งหมดที่ได้ถูกแถมมาจนกระทั่งบัดนี้คือตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งค่าของมันสามารถให้เป็นตัวเลขได้แน่นอนที่มีตัวแปรอื่น ๆ อีก ซึ่งธรรมชาติของมันเป็นการยากถ้าไม่เป็นเรื่องที่เป็นไปไม่ได้ที่จะกำหนดค่าให้เป็นตัวเลขได้ในลักษณะนั้น ตัวแปรเช่นนั้นอย่างเช่น ขวัญ การฝึก บรรยากาศทางการเมือง สุขภาพ ความเจริญฉลาด และการศึกษา เป็นสิ่งยากที่จะกำหนดตัวเลขให้ได้ แต่ยังสามารถกำหนดขนาด (scale) ขึ้นให้ค่าเป็นตัวเลขได้โดยความถูกต้องแน่นอนมากบ้างน้อยบ้างต่อคุณค่าของสิ่งเหล่านั้น ขนาดอื่น ๆ และวิธีอื่น ๆ แน่แน่นอนที่จะคิดหาสร้างขึ้นจนกระทั่งว่าปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้อาจให้ค่าเป็นตัวเลขที่ถูกต้อง ๆ ยิ่งขึ้นในอนาคต โดยที่ OA ก็เพื่อที่จะสรรหาต่อผู้ตัดสินใจด้วยหลักการ "ทางตัวเลข" สำหรับการตัดสินใจมันจะต้องปล่อยให้ปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งให้ค่าเป็นตัวเลขไม่ได้เป็นหน้าที่ของผู้ตัดสินใจเองที่จะใช้วิจารณ์ญาณและประสบการณ์

### ๒๐๕. มาตรการประสิทธิภาพ

หลักการสำหรับการตัดสินใจส่วนใหญ่จะประกอบด้วยการพยากรณ์และพรรณนาถึงผลที่คาดหวังของแต่ละหนทางเลือก ดังนั้นการเลือกของผู้ตัดสินใจจึงอาจมีรากฐานอยู่บนการเปรียบเทียบผลต่าง ๆ เหล่านี้ ถ้าผลที่คาดหวังถูกพรรณนาในเรื่องคุณภาพก็อาจเป็นไปได้ที่จะจัดลำดับ แต่ก็จะเป็นเพียงแต่ในทางโดยทั่ว ๆ

ไป แต่หนทางเลือกในฐานะต่อความต้องการ คำถามที่ยังคงไม่ได้ตอบก็ควรจะเป็น : "หนทางปฏิบัติหนทางหนึ่งดีกว่าหนทางต่อไปเท่าใด ?" เพื่อที่จะตอบคำถามนี้ การเข้าหาทางปริมาณมีความจำเป็นพร้อมด้วยผลที่คาดหวัง กล่าวในเชิงปริมาณ กล่าวคือด้วยตัวเลข

เป็นการไม่ง่ายที่จะพยากรณ์ผลของการปฏิบัติการที่จะออกมาและจะยิ่งยากขึ้นในอันที่จะหาในทางปริมาณเพื่อที่จะกล่าวถึงผลนี้ การวัดผลในทางปริมาณที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิผลของหนทางเลือกต่าง ๆ ในอันที่จะได้มาซึ่งจุดประสงค์นั้นเราเรียกว่ามาตรวัดประสิทธิผล (Measure of Effectiveness - MOE)

ในปัญหาที่จุดประสงค์คือการตรวจจับเป่าหนึ่ง มาตรวัดประสิทธิผลที่เป็นไปได้ก็อาจเป็น "probability of detection or expected time to detection" (probability ของการตรวจจับหรือเวลาที่คาดหวังที่จะตรวจจับได้) " ในปฏิบัติการที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนย้ายสิ่งอุปกรณ (supplies) โดยทางรถบรรทุกไปยังพื้นที่ส่วนหน้า มาตรวัดประสิทธิผลอาจเป็น "จำนวนเป็นตันที่ขนส่งไปได้ต่อรถบรรทุกหนึ่งคันในหนึ่งวัน" ในกรณีที่การพิจารณาทางเศรษฐกิจเป็นสิ่งสำคัญ อย่างเช่นในการพัฒนาระบบอาวุธใหม่ มาตรวัดที่ใช้เพื่อเปรียบเทียบระบบต่าง ๆ ควรจะรวมเอาทั้งค่าใช้จ่ายและประสิทธิผลเข้าไปด้วย อย่างเช่น ค่าใช้จ่ายในการสรรหาโอกาส 90% แห่งการทำลายหรือ probability of kill สำหรับค่าใช้จ่ายที่กำหนดให้

ดังนั้นมาตรวัดประสิทธิผลจะต้องมีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับจุดประสงค์ของการปฏิบัติการนั้น ๆ จำนวนของเรือดำน้ำที่จมได้ต่อเดือนอาจเป็นมาตรวัดประสิทธิผลที่น่าพอใจถ้าจุดประสงค์คือการทำลายเรือดำน้ำ แต่ถ้าจุดประสงค์ที่แท้จริงคือการปกป้องเรือสินค้าแล้วหนทางปฏิบัติที่ดีที่สุดอาจเป็นหนทางที่จมเรือดำน้ำได้น้อยกว่า ตัวอย่างหนึ่งที่ใช้ MOE ที่ผิดที่ได้รับการพิจารณา ได้ให้ตัวอย่างไปแล้วก่อนหน้านี้ที่เกี่ยวข้องกับเรือสินค้าที่จะติดปืนต่อสู้อากาศยานหรือไม่

ความต้องการอีกประการหนึ่งของ MOE ก็คือมันจะต้องวัดได้ จะต้องมีความเป็นไปได้ในอันที่จะเก็บข้อมูลได้พอเพียง และสามารถคำนวณเท่าที่จำเป็นได้เพื่อพิจารณาคุณค่าของมันในแต่ละหนทางปฏิบัติ ยิ่งไปกว่านั้นเพราะว่าจุดประสงค์ก็คือการสรรหาหลักสำหรับการตัดสินใจเพื่อให้ได้หนทางปฏิบัติที่ดีที่สุด การเปรียบเทียบนี้จะต้องสมบูรณ์ก่อนที่จะตัดสินใจหรือการปฏิบัติการณ์นั้นจะกระทำไป คุณค่าต่าง ๆ เหล่านี้ของ MOE ที่ได้รับการพิจารณาในแต่ละหนทางปฏิบัติเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับคุณค่าในการพยากรณ์ ในเมื่อได้ตัดสินใจแล้วหนทางปฏิบัติหนึ่งจะได้รับเลือกอาจเป็นไปได้ที่จะต้องประเมินประสิทธิผลของมัน แต่ข่าวสารนี้ จะไม่มีทางที่จะเป็นส่วนช่วยต่อการตัดสินใจเบื้องต้น ถึงแม้มันจะสำคัญต่ออนาคตมากเท่าไรก็ตามดังนั้นเพื่อเป็นการกล่าวรวบยอด มาตรวัดประสิทธิผลหนึ่ง ๆ จะต้อง :

- สามารถวัดได้
- สามารถให้ค่าทางปริมาณได้ และวัดระดับของจุดประสงค์ (ที่แท้จริง) ที่สำเร็จบ่อยครั้งที่

- MOE นี้อยู่ในรูปของอัตราส่วนของ output ที่คาดหวัง และ input นั่นก็คือเป็นการพยากรณ์ประสิทธิภาพของการปฏิบัติการ ยกตัวอย่าง probability ใด ๆ สามารถที่จะคิดได้ประหนึ่งว่าเป็นอัตราส่วนของจำนวนของผลสำเร็จต่อจำนวนครั้งต่อการทดลอง

ตัวอย่างต่อไปนี้ได้มาจากสงครามโลกครั้งที่สองและจะใช้เพื่อแสดงให้เห็นถึงความสำคัญต่อการให้ MOE ที่ถูกต้องในการตีค่าอุปกรณ์

ตอนต้น ๆ ของสงครามเรืออยู่ในแอตแลนติกฝ่ายสัมพันธมิตรก็ได้พยายามช่วยเรือสินค้าให้รอดพ้นจากการโจมตีของเรืออูโดยการติดตั้งตาข่ายป้องกันตอร์ปิโดซึ่งแขวนออกไปนอกเรือโดยขมูตาข่ายเหล่านี้สามารถที่จะหยุดยั้งตอร์ปิโดไฟฟ้า (G7E) ของเยอรมันได้ประมาณ 85% แต่จะกันตอร์ปิโดเยอรมันชนิดขับเคลื่อนด้วยแรงดันอากาศได้เพียง 20% เท่านั้น โดยกำหนดคร่าว ๆ ว่าเรือเยอรมันบรรทุก G7E ประมาณ 60% และ G7A ประมาณ 40% จะได้รับการป้องกันโดยเฉลี่ยต่อตอร์ปิโดเหล่านี้ได้ประมาณ 59% และโดยที่ตาข่ายนั้นครอบคลุมตัวเรือได้ประมาณ 75% ดังนั้นการป้องกันโดยใช้ตาข่ายจะได้ประมาณ 44%

สิ่งนี้ดูเหมือนจะเป็นการถกเถียงกันอย่างแข็งขันในอันที่จะทำให้เรือสินค้าติดตั้งตาข่ายป้องกันตอร์ปิโด แต่ค่าใช้จ่ายสูงมากและตาข่ายยังทำให้เรือมีความเร็วต่ำ ทำให้เพิ่มค่าใช้จ่ายค่าเชื้อเพลิงและเวลาที่เสียไปด้วยการคัดค้านนี้เรือประมาณ 600 ลำ ได้ติดตั้งตาข่ายก่อนที่จะได้ประสบการณ์ทางปฏิบัติการที่พอเพียงเพื่อทำให้การประมาณค่าเป็นไปได้ เรือซึ่งปลอดภัยจากการใช้ตาข่ายนี้มีค่าใช้จ่ายในเวลาเวลาที่เสียไปและเนื้อที่สำหรับบรรทุกสินค้า ค่าใช้จ่ายกำลังพลในการสร้างและบำรุงรักษาตาข่าย การค้นหา ค่าใช้จ่ายเป็นดอลลาร์ได้พบว่าแผนการใช้ตาข่ายนี้ไม่ได้ผลแม้เพียงค่าใช้จ่ายที่เสียไป ข้อมูลทางปฏิบัติการทางของเรือ 25 ลำ ซึ่งถูกตอร์ปิโดและเป็นเรือซึ่งติดตั้งตาข่ายได้แสดงไว้ข้างล่างนี้

	จม	เสียหาย	ไม่เสียหาย
12 ลำ ไม่ได้ใช้ตาข่ายตอนถูกโจมตี	9	3	0
10 ลำ ใช้ตาข่าย	4	3	3
3 ลำ ไม่ทราบว่าใช้ตาข่ายหรือไม่	<u>3</u>	<u>0</u>	<u>0</u>
	16	6	3

ถ้าเรือ 10 ลำ ที่ใช้ตาข่ายไม่ได้ใช้ตาข่าย เราก็คาดว่าเรือจะจม  $7\frac{1}{2}$  ลำและ  $2\frac{1}{2}$  ลำ เสียหาย ดังนั้นตาข่ายได้ช่วยเรือไว้ประมาณ  $3\frac{1}{2}$  ลำ พร้อมด้วยสินค้า แต่จำนวนเรือทั้งหมด 590 ลำ ได้ติดตั้งตาข่ายในตอนแรกด้วย

ด้วยค่าใช้จ่ายเป็นประมาณสองเท่าของราคาเรือ  $3\frac{1}{2}$  ลำ พร้อมด้วยสินค้า นี้ยังไม่ได้กล่าวถึงค่าบำรุงรักษา ฯลฯ ดังนั้นแผนนี้ไม่คุ้มค่าในตัวของมันเอง และรายงานแห่งการค้นพบนี้ได้เสนอแนะไปว่าต่อไปเรือสินค้าไม่ควรใช้ต่ำขาย

#### ๒๐๖. ค่าใช้จ่าย - ประสิทธิภาพในฐานะ MOE

ส่วนใหญ่ของหนังสือเล่มนี้จะอุทิศให้กับตัวอย่างต่าง ๆ ของ MOE อื่น ๆ ซึ่งใช้ในการปฏิบัติการทางเรือบางอย่างพร้อมด้วยการพัฒนาเทคนิคสำหรับพัฒนาคุณค่าของมาตรวัดเหล่านี้ ก่อนที่จะถกเถียงถึงเทคนิคบางเทคนิคนี้ก็คุ้มค่าที่จะให้ครอบคลุมรายละเอียดยิ่งขึ้นในมาตรวัดประสิทธิภาพโดยทั่วไป ที่ใช้ในการพัฒนาระบบอาวุธในอนาคต ในเรื่องนี้ปัจจัยทางเศรษฐกิจเป็นตัวแปรที่สำคัญ หนทางปฏิบัติของระบบต่าง ๆ ซึ่งจะพัฒนาขึ้นและประเภทของมาตรวัดประสิทธิภาพที่ใช้ซึ่งเรียกว่าค่าใช้จ่ายประสิทธิภาพ

การตัดสินใจทางทหารไม่ว่าจะเกี่ยวข้องกับการจัดสรรงบประมาณโดยเฉพาะหรือไม่ก็ตาม จะมีลักษณะเป็นการตัดสินใจในทางเศรษฐกิจที่สำคัญ และถ้าไม่ได้คำถามที่ถูกต้องแล้วหนทางปฏิบัติที่เหมาะสมที่ถูกเลือกสำหรับการเปรียบเทียบและเกณฑ์ทางเศรษฐกิจที่ใช้ในการเลือกกำลังทางทหารที่มีประสิทธิภาพและ---ความมั่นคงของชาติ---จะมีผลร้าย

สถานการณ์ปัจจุบันที่กำลังเผชิญหน้ากันวางแผนทางทหารอยู่แตกต่างจากที่เคย ๆ เป็นมาในประวัติศาสตร์ จนกระทั่งถึงสงครามโลกครั้งที่สองเป็นอย่างมาก ตั้งแต่ปี 1938 ที่ได้เกิดการปฏิวัติทางเทคโนโลยีทางทหาร การคำนวณผิดโดยนักวางแผนทางทหาร ท่ามกลางสิ่งแวดล้อมในลักษณะนี้จะเป็นการวิกฤตต่อความมั่นคงของชาติของเราในปีข้างหน้าที่จะมาถึง ระหว่างผลพลอยได้ที่สำคัญของการปฏิวัตินี้ก็คือ ค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมากในระบบอาวุธสมัยใหม่และเวลาว่าง (lag) ที่เพิ่มขึ้นระหว่างช่วงความคิดของระบบและช่วงของการผลิตทางปฏิบัติการ ผลสืบเนื่องร้ายแรงของสิ่งเหล่านี้จะดูเหมือนเห็นชัดเจนในเมื่อข้าศึกได้เพิ่มศักดิ์ในการขี้นสหรัฐอเมริกาขึ้นอย่างรวดเร็ว

การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญในการจัดระบบอาวุธได้ริเริ่มที่จะแก้ปัญหาที่ ประการแรกโครงสร้างของกองกำลังของกองทัพของสหรัฐ ฯ จะไม่ได้มาจากมูลฐานของลำดับความเร่งด่วนของแต่ละเหล่าทัพ แต่จะกล่าวเป็นไปในทางของภารกิจที่สำคัญตามลำดับดังต่อไปนี้ :

- I กำลังทางยุทธศาสตร์
- II กำลังเอนกประสงค์
- III ภารกิจพิเศษ



- IV การเคลื่อนย้ายทางอากาศและทางเรือ
- V กำลังสำรองและหน่วยป้องกัน
- VI วิจัยและพัฒนา
- VII การส่งกำลังบำรุง
- VIII การสนับสนุนทางกำลังพล
- IX การธุรการ

นี่เป็นสิ่งที่มีความหมายที่จะเป็นผลที่ดีที่สุดในการผสมกำลังที่ดีที่สุดของทุกกองทัพที่รวมเข้าด้วยกัน ยกตัวอย่างกองกำลังตอบโต้ทางยุทธศาสตร์ควรประกอบด้วยเครื่องบินทิ้งระเบิดที่มีนักบิน (ทั้งฐานบินบก และจากเรือบรรทุกเครื่องบิน) และอาวุธปล่อย (ทั้งฐานบนบกและจากเรือดำน้ำ)

ประการที่สอง การวางแผนทางงบประมาณขณะนี้กำลังดำเนินการไปบนรากฐานของแผนห้าปี การวางแผนจะสรรหาทั้งการคำนวณการเงินและไม่ใช้การเงินของ input ทรัพยากรที่ต้องการในอันที่จะให้ได้มาซึ่ง time - phased military outputs ยอมให้ผู้ตัดสินใจที่จะมอง (ในระยะยาว) สถานการณ์หลาย ๆ ปี ตามที่มีข้อจำกัดในทางทรัพยากร/ทางการเงิน นี่เป็นสิ่งสำคัญที่สุดโดยเหตุที่จำนวนทรัพยากรของชาติจำกัดในระยะยาว ในการวิเคราะห์ขั้นสุดท้ายความจำกัดขึ้นอยู่กับขีดความสามารถของชาติที่จะผลิต อย่างที่วัดได้โดย GNP

การเปลี่ยนประการที่สามมีความต้องการที่ว่าวางแผนต้องพัฒนาทั้งข้อมูลทางกายภาพ และทางการเงินในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการศึกษาค่าใช้จ่ายประสิทธิผลของหนทางปฏิบัติของ โครงสร้างกองกำลังอะไรคือความหมายที่แท้จริงของค่าใช้จ่าย - ประสิทธิภาพ ?

ค่าใช้จ่าย - ประสิทธิภาพเป็นคำที่มักจะเข้าใจผิด พิจารณาผิดและใช้ผิด ต่อหลาย ๆ คนค่าใช้จ่าย - ประสิทธิภาพเป็นคำพูดที่น่ารังเกียจเมื่อประยุกต์ใช้กับการป้องกันประเทศ ต่อแนวความคิดเช่นนี้ ค่าใช้จ่าย - ประสิทธิภาพหมายถึงความประหยัด - และประหยัดหมายถึงคุณภาพที่ด้อยกว่าหรือปริมาณที่น้อยกว่า ดังนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องเริ่มด้วยคำจำกัดความของคำสำคัญเหล่านี้เสียก่อน

การประหยัด (economizing) ในเนื้อความจำกัดหมายถึงประสิทธิภาพ กล่าวคือ การใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด จงพิจารณาสถานการณ์ต่อไปนี้ : กำหนดให้ว่ามีเป้าอยู่จำนวนหนึ่งที่จะต้องทำลายด้วยชุดของอาวุธที่กำหนดให้ ผู้บังคับบัญชาทหารก็จะพยายามที่จะทำให้ได้มากที่สุดซึ่งจุดประสงค์ของเขา กล่าวคือเขาจะพยายามที่จะใช้ทรัพยากรของเขาให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ถ้าผู้บังคับมีเป้าหมายจะจงที่ กำหนดที่จะต้องทำลายด้วยอาวุธอย่างใดอย่างหนึ่ง เขาก็จะพยายามที่จะใช้อาวุธให้มีจำนวนน้อยที่สุดเพื่อให้สำเร็จภารกิจ กล่าวคือเขาจะพยายามที่จะประหยัดการใช้ทรัพยากรสถานการณ์เหล่านี้ตามทางตรรกวิทยาแล้ว เป็นปัญหาเหมือน ๆ กันคือ มีค่าเท่ากัน คำตอบที่ได้ดังจะกล่าวดังต่อไปนี้ :\*

สำหรับระดับใด ๆ ของงบประมาณหรือจุดประสงค์ ทางเลือกที่ maximize การได้มาซึ่งจุดประสงค์สำหรับงบประมาณที่กำหนดให้ก็เป็นทางเลือกเดียวกันที่ minimize ค่าใช้จ่ายในอันที่จะให้ได้มาซึ่งจุดประสงค์นั้น

คำจำกัดความที่สองที่น่าสนใจมากก็คือ ค่าใช้จ่าย - ประสิทธิภาพตามตัวของมันเอง เป็นการดีที่จะเน้น ณ จุดนี้ว่าค่าใช้จ่าย - ประสิทธิภาพไม่เป็นระเบียบแบบแผนในตัวของมันเอง ในอันที่จะเข้าใจความหมายของค่าใช้จ่าย - ประสิทธิภาพประการแรกคำเป็นที่จะต้องมีความเข้าใจบ้างในเรื่องการวิเคราะห์ระบบ การวิเคราะห์ระบบอาจที่จะผิดได้ในฐานะที่เป็นการค้นหาคำตอบเพื่อช่วยหนทางเลือกของผู้ตัดสินใจ โดยการตรวจสอบอย่างมีระบบต่อจุดประสงค์ที่แท้จริงของเขา ด้วยการเปรียบเทียบในทางตัวเลข ณ ที่ที่เป็นไปได้ ค่าใช้จ่าย ประสิทธิภาพ และการเสี่ยงซึ่งเกี่ยวข้องกับนโยบายของหนทางเลือกและกำหนดหนทางเลือกเพิ่มถ้าหนทางเลือกที่ตรวจสอบแล้วพบว่าเป็นสิ่งที่ต้องการ โดยย่อการวิเคราะห์ระบบเป็น วิธีการที่การตัดสินใจเกี่ยวกับระบบในอนาคตจะกระทำต่อหน้าความไม่แน่นอน การวิเคราะห์ทางเศรษฐกิจในลักษณะนั้นเป็นปัญหาที่มีหลายด้านและสิ่งที่จะต้องเกิดขึ้นก่อนสิ่งอื่นในการวางแผนระบบอาวุธใหม่ ๆ ส่วนประกอบสำคัญต่อการวิเคราะห์แบบนี้มีดังนี้ :

\* คำตอบของปัญหาที่มีค่าเท่ากันนี้ก็คล้าย ๆ กับคำตอบของ matrix game ในบทที่ ๓

ก. จุดประสงค์ (objective or objectives) อะไรคือสิ่งที่ต้องกระทำให้สำเร็จ ด้วยกำลัง อุปกรณ์ระบบ ฯลฯ ซึ่งกำลังเปรียบเทียบกันอยู่ ? การเลือกจุดประสงค์เป็นจุดวิกฤติและจุดสำคัญเพราะว่าคำตอบที่ถูกต้องต่อคำถามที่ผิดจะช่วยอะไรไม่ได้เลย

ข. หนทางปฏิบัติต่าง ๆ (alternatives - หรือหนทางเลือก) ด้วยหนทางเลือกของกำลังใด ๆ ที่จะทำ ให้บรรลุภารกิจ ? หนทางเลือกเหล่านี้บ่อยครั้งที่ถูกอ้างถึงในฐานะระบบ ระบบนี้คล้ายคลึงกัน อย่างเช่นเครื่องบิน โจมตีหลาย ๆ แบบ หรืออาจเป็นแนวความคิดที่แตกต่างกันอย่างเช่นเครื่องบินทิ้งระเบิดที่มีคนขับหรืออาวุธปล่อย ลักษณะท่าทางที่สำคัญในที่นี้ก็คือว่า หนทางเลือกที่ดีทั้งหมดอย่างน้อยที่สุดจะต้องได้รับการพิจารณาแล้วหนทางเลือกที่เป็นไปได้ (feasible) จะใช้ในการวิเคราะห์

ค. ค่าใช้จ่ายหรือทรัพยากรที่ใช้ (costs or resources used) ต่อแต่ละหนทางเลือกจะต้องคู่กัน ก็คือ "ค่าใช้จ่ายที่แท้จริง (real cost)" ค่าใช้จ่ายที่แท้จริงอาจอยู่ในเทอมวัสดุหายากที่ใช้ เวลา แรงงาน ฯลฯ โดยทั่วไปค่าใช้จ่ายที่แท้จริงจะมีค่าเทียบได้เป็นจำนวนเท่านั้นเท่านี้ดอลลาร์ อันเนื่องมาจากความจำเป็นในการอ้างอิงต่อฐานร่วมเพื่อการกระทำ การวิเคราะห์

ง. แบบจำลอง (model or models) แบบจำลองก็คือการแทนโลกของความจริงในทาง abstract ในกรณีของการวิเคราะห์ระบบตามปกติก็จะเป็นข้อความในทางคณิตศาสตร์ พารามิเตอร์มีค่าเป็นจำนวนนับได้ ค่าคงที่และตัวแปรของแต่ละหนทางเลือกก็จะใช้ในแบบจำลอง เพื่อพยายามที่จะลดข่าวสารลงให้เหลือเป็น "จำนวน" ที่มีความหมาย "สัมพันธ์" ต่อหนทางเลือกอื่น ๆ แบบจำลองสำหรับตั้งค่าใช้จ่ายและประสิทธิภาพจะถูกใช้

จ. เกณฑ์ (criterion) ก็คือการทดสอบที่ระบบหนึ่งหรือหนทางหนึ่งถูกเลือกเพื่อเปรียบเทียบกับระบบหรือหนทางเลือกอื่น ๆ เกณฑ์นี้ควรที่จะชี้แจงให้ชัดแจ้งทางบวกของประสิทธิภาพของแต่ละหนทางเลือกเปรียบเทียบกับปัจจัยทางลบของค่าใช้จ่ายของหนทางเลือก

ก่อนการพิจารณาใด ๆ ว่าทำไมจึงใช้เกณฑ์ค่าใช้จ่าย - ประสิทธิภาพ ข้อสังเกตเพื่อเตือนให้ระมัดระวังก็มีความจำเป็น การวิเคราะห์ระบบคือวิธีที่ใช้เพื่อให้ผู้ตัดสินใจซึ่งข้อความที่จัดระเบียบไว้เกี่ยวกับ

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องบางข้อมูล ซึ่งอาจใช้เป็นเครื่องช่วยในกรรมวิธีในการตัดสินใจ มันไม่ใช่ตัวแทนสำหรับ ประสิทธิภาพที่ดีหรือแทนวิจารณ์ทางทหาร ยิ่งไปกว่านั้นค่าใช้จ่าย - ประสิทธิภาพ ไม่ใช่เพียงแค่เป็น อัตราส่วนของค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่อบางระดับของประสิทธิภาพ ความเป็นไปได้ที่เหมาะสมและการยอมรับของ หนทางเลือกจะต้องได้รับการชั่งน้ำหนักและค่าใช้จ่าย - ประสิทธิภาพ ส่วนท้าย (marginal) จะต้องได้รับการ คำนวณ คำว่า "marginal cost - effectiveness" จะถามคำถาม "อะไรคือการเปลี่ยนแปลงส่วนที่เพิ่มขึ้นมา ในค่าใช้จ่าย?" มันอาจพัฒนาขึ้นมาได้ว่าการทำประสิทธิภาพให้ดีขึ้นเพียง 10% แต่ค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นเป็นสองเท่า หรือสามเท่า

คำถามว่า "ทำไมต้องใช้ค่าใช้จ่าย - ประสิทธิภาพ?" การตอบที่ดีที่สุดอาจได้มาโดยการพิจารณา คำถามสามประการซึ่งมักเกิดขึ้นเสมอ คือ :

ประการแรก : ทำไมจึงใช้ข้อจำกัดทางดอลลาร์ในรายจ่ายการป้องกันประเทศ? ทำไมจึงไม่ซื้อสิ่ง ที่ต้องการเลย? คำตอบต่อคำถามค่อนข้างง่าย - ความจำกัดของทรัพยากรข้อจำกัดอันสำคัญนี้ดูเหมือนจะเป็น ค่าใช้จ่ายที่แท้จริงบางทีหลักกลายเป็นจำนวนตัน ยูเรเนียมเป็นปอนด์ หรือตันไม้เป็นเอเคอร์ ในเมื่อทรัพยากร เหล่านี้ได้รับการใช้ไปหมดแล้วในโครงการหนึ่ง มันก็อาจไม่ใช่ในโครงการอื่นอีก มันจะต้องได้รับการจัดสรร ที่เหมาะสมเพื่อที่จะให้ผลที่ได้มากที่สุด (optimize the return) นี่คือการพิจารณาเบื้องหลังการวิเคราะห์ระบบและ ค่าใช้จ่าย - ประสิทธิภาพ

ประการที่สอง : คุณวางเครื่องหมายดอลลาร์บนชีวิตมนุษย์อย่างไร? คำตอบ : นักวิเคราะห์ที่ไม่ กระทำเช่นนั้นการสูญเสียชีวิตเป็นสิ่งหนึ่งของสิ่งที่เปรียบเทียบขนาดไม่ได้ ซึ่งจะต้องใช้ชั่งน้ำหนักผู้ตัดสินใจ ขั้นสุดท้ายในฐานะวิจารณ์ทางคุณภาพ (qualitative judgment) อย่างไรก็ตามนี้ไม่ได้หมายความว่า การ วิเคราะห์จะไม่มี การคำนวณต่อจำนวนชีวิตมนุษย์ซึ่งอาจสูญเสียได้เพราะว่ามันอาจเป็นเครื่องช่วยอย่างใหญ่ หลวงต่อผู้ตัดสินใจ

ประการสุดท้าย : คุณคาดหวังว่าผู้บังคับบัญชาทหารในสนามจะทำการวิเคราะห์ค่าใช้จ่าย - ประสิทธิภาพหรือไม่? คำถามนี้ไม่ง่ายที่จะตอบ ตามความจริงแล้วผู้บังคับบัญชาทหารส่วนใหญ่ใช้ความคิดใน เรื่องค่าใช้จ่าย - ประสิทธิภาพในสนามรบทุกครั้งที่เขาถามคำถาม : ความสูญเสียคุ้มค่าไหม? อย่างไรก็ตาม ผู้บังคับบัญชาในสนามจะไม่ค่อยใช้ค่าใช้จ่ายเป็นดอลลาร์ โดยเหตุที่สิ่งเหล่านี้จะแกว่งไปมาในเมื่อการสู้รบ ดำเนินไป ในกรณีนี้มันจะเหมาะสมกว่าที่จะใช้ "ค่าใช้จ่ายที่แท้จริง" กล่าวคือ การสูญเสียอุปกรณ์ เวลา พื้นดินหรือชีวิต

บางทีการสรุปกล่าวโดยย่อที่ดีที่สุดก็คือคำกล่าวโดย Mr. Charles J.Hitch :

มันควรจะเป็นนโยบายของเราเสมอที่จะใช้จ่ายทุกสิ่งทุกอย่างที่จำเป็นสำหรับการป้องกันประเทศ แต่การใช้จ่ายทุกสิ่งทุกอย่างที่ได้จ่ายไปอันที่จะทำให้ได้มา ซึ่งขีดความสามารถทางทหารที่ใหญ่ที่สุด - ไม่ใช่

การซื้อคุณภาพ (quality) ในเมื่อด้วยค่าใช้จ่ายจำนวนเดียวกันที่ใช้ไปในทางปริมาณ (quantity) อาจจะซื้อ ประสิทธิภาพที่ยิ่งใหญ่กว่าได้ และในทางที่กลับกัน

### ๒๐๗. คำตอบของปัญหา

ได้ชี้ให้เห็นมาก่อนหน้านี้แล้วว่าคำตอบ (solution) ของปัญหาทาง นั้น ไม่ได้หมายความตรง อย่างแท้จริงตามความหมายของคำตามปกติ ไม่มีคำตอบต่อปัญหาที่จำเป็นจะต้องพบหรือไม่จำเป็นที่การ ตัดสินใจจะต้องตามคำตอบนั้นโดยอัตโนมัติ แต่คำตอบจะประกอบด้วยการใช้มาตรวัดประสิทธิภาพ และ พิจารณาตัดสิน กล่าวคือการพยากรณ์คุณค่าของมันสำหรับแต่ละหนทางปฏิบัติ

สมมุติว่าสำหรับจุดประสงค์ในการตรวจจับเป้า MOE ที่ได้รับเลือกก็คือ probability ของการ ตรวจจับ และหนทางปฏิบัติที่เป็นไปได้ได้ลดลงเหลือแผนการค้นหาสี่แผนซึ่งดูเหมือนจะเป็นไปได้ ดังนั้น คำตอบของปัญหานี้ก็ควรจะเป็นการพยากรณ์ probability ของการตรวจจับ สำหรับแต่ละหนทางปฏิบัติของ แผนการค้นหาทั้งสิ้น ดังนั้นผลที่ได้สุดท้ายก็อาจลงตารางได้ดังนี้

#### MOE (probability ของการตรวจจับ)

หนทางปฏิบัติ	-
แผนการค้นหาที่หนึ่ง	.9
แผนการค้นหาที่สอง	.7
แผนการค้นหาที่สาม	.8
แผนการค้นหาที่สี่	.5

วิธีที่ใช้เพื่อพยากรณ์จะตกลงในหัวข้อต่อไปนี้ ปัญหาของการตัดสินใจว่าหนทางปฏิบัติใดดี ที่สุดจะอยู่ในบทต่อไป

ในขณะนี้ก็อาจมีคำถามขึ้นมาสามประการด้วยกันในเมื่อผลลัพธ์ได้รับการพิจารณา คือ : จำนวน ตัวเลขต่าง ๆ นั้นเชื่อถือได้แค่ไหน ? จำนวนตัวเลขเหล่านี้ได้คำนวณมาโดยวิธีใด ? และหนทางปฏิบัติใดดีที่สุด ?

จำนวนตัวเลขเองนั้นจะมีความผิดพลาดอยู่หลายประการด้วยกัน ตัวแปรบางตัวอาจจะทิ้งไปซึ่งที่ จริงมีความสำคัญตัวแปรบางตัวอาจได้ค่ามาโดยกำหนดให้หรือคำนวณหา หรือในความผิดพลาดในทาง วิจารณ์ญาณหรือทางตรรกวิทยาอาจมีได้ในเมื่อความไม่ขึ้นแก่กันทางสถิติได้รับการสมมุติอย่างไม่ถูกต้อง

นักวิเคราะห์ที่ดีจะต้องมีความระมัดระวังเพื่อป้องกันในอันที่จะปล่อยให้ข้อสมมุติต่าง ๆ หรือความผิดพลาดต่าง ๆ เหล่านี้มีผลในการวิเคราะห์ของเขา การวิเคราะห์ความไวจะพิจารณาตัวแปรต่าง ๆ ที่ผลการวิเคราะห์มีความไวมากที่สุด ในตัวอย่างก่อนหน้านี้สมมุติว่าการวิเคราะห์ความไวได้เปิดเผยว่า probability ของการตรวจจับสำหรับบางแผนการตรวจค้นจะแปรเปลี่ยนไปมากสำหรับสถานะของทะเลต่าง ๆ กัน บางทีสถานะของทะเลได้รับการสมมุติหนึ่งขั้นน้อยกว่าที่ควรจะเป็นในการพิจารณา probability โดยเหตุที่สถานะของทะเลเป็นตัวแปรที่เป็นไปไม่ได้ที่จะพยากรณ์ล่วงหน้าสำหรับการปฏิบัติการในอนาคต ค่าที่แท้จริงไม่สามารถที่จะพิจารณาได้อย่างไรก็ดี การเข้าหาอย่างหนึ่งก็ควรจะเป็นการคำนวณหา probability ของการตรวจจับสำหรับแต่ละการรวมกันของแผนการตรวจค้นและสถานะทางทะเลซึ่งอาจเกิดขึ้นได้ ดังนั้นผลที่ได้อาจเป็นไปตามตารางดังต่อไปนี้ (บ่อยครั้งที่จะอ้างถึงในฐานะ payoff matrix) :

	สถานะทะเล	สถานะทะเล	สถานะทะเล
หนทางปฏิบัติ	0 หรือ 1	2 หรือ 3	4 หรือมากกว่า
แผนการค้นหาที่หนึ่ง	.9	.4	.1
แผนการค้นหาที่สอง	.7	.5	.4
แผนการค้นหาที่สาม	.8	.7	.2
แผนการค้นหาที่สี่	.5	.5	.5

ข่าวสารเพิ่มเติมนี้ควรจะให้หลักการต่อผู้ตัดสินใจที่ฉลาดกว่า แต่นั่นแหละก็อาจตัดสินใจได้ยากกว่า การเข้าหาของเขาต่อการตัดสินใจเช่นนั้นจะได้พบในบทต่อไป

ลักษณะหนึ่งที่แตกต่างไปบ้างจะได้พิจารณาดังนี้ สมมุติว่าแทนที่สถานะทางทะเลจะเป็นตัวแปรที่วิกฤติ แต่เป็นยุทธวิธีของข้าศึกแทน ถ้าการคำนวณตอนแรกอยู่บนรากฐานของข้อสมมุติที่ว่ายุทธวิธีของเขาก็คือ จะใช้สนอร์เกลในเวลากลางคืนและจะดำอยู่ในเวลากลางวัน อะไรจะเกิดขึ้นถ้าเขามีขีดความสามารถที่จะใช้ยุทธวิธีที่สองโดยการดำอยู่ตลอดเวลาในการปฏิบัติการ ? การพิจารณาความเป็นไปได้ที่เพิ่มขึ้นมานี้อาจนำไปให้ได้ payoff matrix ใหม่ดังนี้ :

	ยุทธวิธีที่หนึ่ง ของข้าศึก	ยุทธวิธีที่สอง ของข้าศึก
หนทางปฏิบัติ		
แผนการค้นหาที่หนึ่ง	.9	.5
แผนการค้นหาที่สอง	.7	.6
แผนการค้นหาที่สาม	.8	.3
แผนการค้นหาที่สี่	.5	.4

ความแตกต่างที่สำคัญระหว่างเมทริกซ์นี้กับเมทริกซ์ก่อน ก็คือว่าข้าศึกสามารถที่จะเลือกยุทธวิธีของเขาเองด้วยความตั้งใจที่จะก่อให้เกิดความล้มเหลวขึ้นกับการบรรลุจุดประสงค์ของผู้บังคับบัญชา ในขณะที่ลักษณะอากาศไม่ได้มีความตั้งใจที่เลวร้ายเช่นนั้น

### ๒๐๘. วิธีการหาคำตอบ

คำตอบที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ที่จะพยากรณ์ประสิทธิผลของแต่ละหนทางปฏิบัติในอันที่จะได้มาซึ่งจุดประสงค์ และกล่าวถึงผลที่ได้ออกมาหรือ payoff ในเทอมของมาตรวัดประสิทธิผล วิธีที่ใช้ในการพยากรณ์เหล่านี้อาจจะจำแนกได้เป็นสี่ชั้นประเภทคือ :การวิเคราะห์ทางทฤษฎี การวิเคราะห์ข้อมูลจากการสังเกต โดยทางสถิติ การทดลองหรือการฝึกหัดแบบควบคุมและการเลียนแบบ (simulation)

ตามปกติคำตอบจะต้องการการใช้ร่วมกันของสองวิธีหรือการใช้มากกว่าจากวิธีเหล่านี้ ถึงแม้ว่าจะเป็น การวิเคราะห์ที่โดยส่วนสำคัญแล้วเป็นไปในทางทฤษฎี แต่ในตอนสุดท้ายก็จะต้องใช้พารามิเตอร์ซึ่งค่าของมันจะถูกวัดหรือตกลงใจจากข้อมูล จากการสังเกต วิธีไหนจะใช้กับปัญหาเฉพาะใด ๆ จะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ รวมทั้งขนาดแล้ความยุ่งยากสลับซับซ้อนของปัญหาจำนวนของข้อมูลและประสบการณ์ที่ได้มาจากปัญหาที่คล้าย ๆ กันในอดีต และเวลาที่ความสามารถที่มีได้ต่อคำตอบนั้น ๆ

ทุกวิธีจะต้องใช้สาขาวิชาทางคณิตศาสตร์เป็นอย่างมาก ในการเข้าหาทางปริมาณใด ๆ คณิตศาสตร์แบบหลัก ๆ ของพีชคณิต ตรีโกโนเมตรี เรขาคณิต แคลคูลัส สมการ คิฟเฟอเรนเชียล ฯลฯ จะมีความต้องการ ยิ่งไปกว่านั้นในเมื่อมีความไม่แน่นอนซึ่งเป็นสิ่งปกติในสถานการณ์ทางปฏิบัติการการใช้ทฤษฎีทาง probability เป็นสิ่งที่จะขาดเสียมิได้สาขาอื่น ๆ ทางคณิตศาสตร์ - - บางสาขา ซึ่งได้พัฒนาขึ้นเร็ว ๆ นี้เอง - - จะประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของประเภทเฉพาะ ๆ ของปัญหา สิ่งเหล่านี้รวมทั้งสาขาต่าง ๆ ทางวิชาสถิติ โปรแกรมเส้นตรง ทฤษฎีการเข้าคิว เกมการยุทธและแบบจำลองอื่น ๆ ของการเลียนแบบ (simulation) reliability theory, econometrics, cybernetics, models of production, inventory, allocation และ transportation และอื่น ๆ อีกมาก ปัญหาของการตัดสินใจโดยการใช้หลักการทางปริมาณจะได้รับการพิจารณา โดยใช้หัวข้อทางคณิตศาสตร์เหล่านั้นในฐานะเกณฑ์ของการตัดสินใจ ทฤษฎีแห่งการตัดสินใจ เกมทางยุทธศาสตร์ ทฤษฎีทางยูทิลิตี้ (utility theory) และอื่น ๆ

ในขณะที่คณิตศาสตร์จัดหาโครงสร้างหลักและเครื่องมือสำหรับวิธีการเข้าหาทางปริมาณนั้น ไม่ใช่จะเป็นสิ่งที่ต้องการล่วงหน้าเพื่อเพียงสำหรับการหาคำตอบของปัญหาทางปฏิบัติการ ยกตัวอย่างในปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการตรวจจับเป้าได้น้ำความรู้ในทางฟิสิกส์ของการแพร่เสียงได้น้ำจะเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่ง ในการพัฒนาระบบอาวุธใหม่ปัจจัยทางเศรษฐกิจมีบทบาทที่สำคัญมาก ในทุก ๆ ปัญหาความรู้ในเรื่องนั้น ๆ เป็น

สิ่งสำคัญในอันที่จะเข้าใจปัญหาดังนั้นการวิเคราะห์ปัญหาสำคัญ ๆ จึงเป็นการเหมาะสมที่จะใช้นักคณิตศาสตร์ นักฟิสิกส์ นักเศรษฐศาสตร์ เอนจิเนียร์ ฯลฯ เรื่องราวเกี่ยวกับการพัฒนาในประวัติศาสตร์ในการเข้าพบแบบทีม - ผสม (mixed team) ได้แสดงไว้ในผนวก II

โดยทั่ว ๆ ไป การแก้ปัญหาใด ๆ จะเกี่ยวข้องกับพัฒนาการรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งเป็นตัวแทนหรือเลียนการปฏิบัติทางกายภาพ เทคนิคของการสร้างรูปแบบจำลองนี้แน่นอนที่จะไม่ใช่เรื่องแปลกในการวิเคราะห์ระบบ มันได้รับการใช้อย่างกว้างขวางในทุก ๆ เรื่องทางวิทยาศาสตร์ ข้อความ  $y = xz$  ก็คือสมการที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของจำนวน  $x, y$  และ  $z$  มันอาจไม่เหมาะสมอย่างยิ่งที่จะเรียกมันว่าเป็นรูปแบบจำลอง เพราะว่ามันไม่ได้เป็นตัวแทนของปรากฏการณ์ทางกายภาพที่เฉพาะใด ๆ อย่างไรก็ตามถ้าสมการเดียวกันนี้เขียนอย่าง  $F = ma$  ก็จะระลึกได้ว่าเป็นรูปแบบจำลองทางเมคานิกส์ซึ่งแทนความสัมพันธ์ระหว่างมวล ความเร่งและแรงซึ่งเป็นผลทางวัตถุทางกายภาพ อาจจะปลอดภัยที่จะกล่าวว่าจนกระทั่งรูปแบบจำลองนี้ถูกกำหนดและยืนยันนั้นความคิดเหล่านี้จะไม่สามารถที่จะเข้าใจเป็นอย่างดีได้ ในทำนองเดียวกันในปัญหาแห่งการตัดสินใจ ถ้ารูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถที่จะถูกค้นพบได้ซึ่งกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรที่เกี่ยวข้องแล้วก็จะพยากรณ์ได้เกี่ยวกับผลและปัญหาในตัวของมันเองก็จะเข้าใจได้ดีขึ้น คำกล่าวหรือข้อความหลายอย่างด้วยกันที่ได้มา และที่ได้ศึกษาในบทต่อ ๆ ไป จะเป็นรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ซึ่งเป็นตัวแทนหรือบรรยายถึงปฏิบัติการทางเรือเฉพาะ ๆ อย่าง

#### ๒๐๕. การกระจายหรือติดต่อผลที่ได้

คำตอบหรือผลที่ได้จากปัญหาจะไม่สมบูรณ์จนกระทั่งผลของมันได้รายงานหรือติดต่อไปยังผู้บังคับบัญชาทหารหรือผู้บริหารพลเรือนผู้ซึ่งจะต้องตัดสินใจเกี่ยวกับปฏิบัติการที่กำลังเป็นปัญหาอยู่ "ใน" ลักษณะที่จะช่วยเขาในการตัดสินใจ งานการวิเคราะห์ที่น่าเบื่อหน่ายและกินเวลานานและลักษณะทำที่อันโดดเด่นของความเป็นเอกในทางคณิตศาสตร์จะสูญเปล่าอย่างสมบูรณ์ถ้าผลที่ได้ไม่เป็นที่เข้าใจของผู้ใดเลย ยกเว้นนักวิเคราะห์เอง ความต้องการนี้จะเหมาะที่จะเสนอ Commander, Operational Test and Evaluation Force (COMOPTEVFOR) เป็นคำแนะนำโครงการ (COMOPTEVFORISN P 3930.1 series) รายงานของ COMOPTEVFOR จะมีผู้อ่านเป็นจำนวนมากซึ่งมีภูมิหลังต่าง ๆ กัน และจุดความสนใจที่แตกต่างกัน สมาชิกบางคนในกลุ่มผู้อ่านนี้จะต้องการรายละเอียดทางเทคนิคเป็นจำนวนมากในขณะที่ผู้ตัดสินใจ หรือผู้ใช้ในกองเรืออาจต้องการเพียงข้อความสั้น ๆ เกี่ยวกับการทำงานของอุปกรณ์นั้น การบังคับผู้อ่านให้พบความยุ่งยากในรายละเอียดทางเทคนิคที่นอกเหนือไปจากความจำเป็นอาจมีอันตรายได้พอ ๆ กับการที่ตัดข้อเท็จจริงที่เกี่ยวข้อง ๆ ทิ้งไป ไม่ว่าจะอยู่ ณ ปลายใด จุดประสงค์ของรายงานอาจปรองดองกันได้ การแก้ปัญหาความขัดแย้งนี้จะอยู่ในองค์การที่เหมาะสมของเนื้อหาภายในรายงานนั้นและการใช้อย่างรอบคอบในเรื่องภาษาทางเทคนิค

## ปัญหา

1. สมมติว่าท่านเป็นผู้ตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับแต่ละข้อของปัญหาข้างล่างนี้ จงบอกวัตถุประสงค์ที่แท้จริงของท่านคืออะไร ในแต่ละกรณี
  - ก. นักเรียนนายเรือชั้นปีที่ห้า ซึ่งจะสำเร็จเป็นที่เรือตรี กำลังพิจารณาว่าจะซื้อรถยนต์ที่ดีที่สุดสักคันหนึ่ง
  - ข. ผู้บังคับการเรือซึ่งกำลังพิจารณาการปฏิบัติที่ดีที่สุดเกี่ยวกับการที่ พลทหาร นาวิ กลับเรือสายไปสองชั่วโมง
  - ค. ผู้ตัดสินใจผู้ซึ่งประสบปัญหาการสูญเสียเรือเป็นจำนวนมาก ตามอ้างถึงข้อ 202
  - ง. เรือโทนาวิวัน ซึ่งมีลูกหนึ่งคนกำลังพิจารณาซื้อกรมทณฑ์ประกันชีวิต
2. ในข้อ 203 จะมีวิธีการวางตำแหน่ง CAP จำนวนเท่าใด ตามตัวอย่างนั้น หากมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้
 

$x \geq 1, y \leq x + y \leq 6$  ,  $x$  และ  $y$  เป็นตัวเลขจำนวนเต็ม และ

$h_1 < h_2$ , โดยที่  $h_1$  และ  $h_2$  มีค่าที่เป็นไปได้ เป็น 5,000 ฟุต, 10,000 ฟุต, , 30,000 ฟุต, และ

$r_1$  และ  $r_2$  มีค่าที่เป็นไปได้เป็น 10, 20, , 50 ไมล์
3. จากสถานการณ์ในข้อ 1. หนึ่งสถานการณ์ จงลงรายการหนทางปฏิบัติต่างๆ ที่เป็นไปได้
4. ผู้ตัดสินใจคนหนึ่งกำลังพิจารณาของการตรวจจับเป่านี้ จงพิจารณาตัวแปรแต่ละตัวดังต่อไปนี้
  - (1) จำนวนเงินที่มีเพื่อสรรหาอุปกรณ์การตรวจจับใหม่
  - (2) ขนาดของเป่าเข้าศึก
  - (3) target aspect angle ในระหว่างการค้นหา
  - (4) เวลาในการค้นหาที่จำเป็นสำหรับการตรวจจับ
  - (5) ความเร็วของหน่วยค้นหา
  - (6) ความเร็วของเป่า
  - (7) สถานะของการฝึกของพนักงานเรดาร์
  - (8) ระยะทางระหว่างลำของหน่วยค้นหา

จงพิจารณาว่าตัวแปรเหล่านั้น :

  - ก. ควบคุมได้หรือไม่
  - ข. ควบคุมไม่ได้ แต่ค่าของมันเราทราบได้หรือสามารถวัดได้



- ค. เป็นไปตามยถากรรมหรือไม่
- ง. เป็นตัวแปรที่ค่าของมันจะต้องคำนวณหาหรือสมมติให้

5. สำหรับสถานการณ์ที่ท่านใช้ในข้อสาม :

๙. จงลงรายการตัวแปรให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ที่เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อผลที่ได้มา (outcome)
๑. สำหรับตัวแปรแต่ละตัวจงชี้ว่าอยู่ในพวกใด (จากรายการในข้อสี่)
๒. จากตัวแปรเหล่านี้ตัวไหนที่มีค่าที่สามารถแทนได้ทางจำนวน กล่าวคือ เป็นตัวเลข
๓. ตัวแปรที่ไม่สามารถแทนค่าเป็นจำนวนมากตัวใดบ้าง ที่สามารถเปลี่ยน หรือเรียกชื่อใหม่ เพื่อให้สามารถนับเป็นจำนวนได้

6. สำหรับตัวอย่างในข้อ 206 เกี่ยวกับตาข่ายป้องกันคอร์บีโด สมมติว่า MOE ที่ใช้คือผลต่างของจำนวนเรือที่รอดโดยการใช้จ่าย และจำนวนเรือ (สินค้า) ซึ่งมีค่าใช้จ่ายเท่ากับค่าใช้จ่ายในการติดตั้งตาข่าย

$n$  = จำนวนเรือที่ติดตั้งตาข่าย

$n_c$  = จำนวนเรือที่เทียบเท่ากับค่าใช้จ่ายในการติดตั้งตาข่าย กล่าวคือ ถ้าค่าใช้จ่ายในการติดตั้งตาข่ายเป็น 10 ล้านดอลลาร์ และเรือหนึ่งลำพร้อมด้วยสินค้าราคา 2.5 ล้านดอลลาร์ ดังนั้น  $n_c = 4$

$k_1$  = สัดส่วนของเรือที่ถูกโจมตี

$k_2$  = สัดส่วนของเรือที่ติดตั้งตาข่ายเมื่อถูกโจมตี

$s_1$  = สัดส่วนของเรือที่จมเมื่อถูกโจมตี (ถ้าไม่ติดตั้งตาข่าย)

$s_2$  = สัดส่วนของเรือที่จมเมื่อถูกโจมตี (ถ้าไม่ติดตั้งตาข่าย)

๙. จงหาค่ากล่าวสำหรับ MOE ในเทอมของตัวแปรดังกล่าวข้างบนนี้

๑. จงคำนวณหาค่าของ MOE นี้โดยใช้ข้อมูลที่เก็บได้ในระหว่างปฏิบัติการ (ตารางในข้อ 205) ให้ละข้อมูลของเรือที่ไม่ทราบของเรือที่ใช้ตาข่าย

ถ้าก่อนการตัดสินใจที่จะติดตั้งตาข่าย ถ้าเราทราบหรือสมมติว่าทราบว่า :

ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งตาข่ายในเรือแต่ละลำ = 1% ของราคาเรือรวมสินค้า

ตาข่ายจะได้รับการใช้ 50% ของเวลาใช้เรือ

5% ของจำนวนเรือจะถูกโจมตี

80% ของจำนวนเรือที่ถูกโจมตีจะจมถ้าไม่ได้ติดตั้งตาข่าย และ

44% ของการลดอัตราดอกเบี้ยจะเกิดขึ้นหากใช้ตาข่าย กล่าวคือ  $80\% \text{ ลบด้วย } 44 (80\%) = 45\%$   
ของเรือที่ใช้ตาข่ายจะจมถ้าโดนโจมตี

- ง. อะไรคือค่าของ MOE ที่ควรจะเป็นหากไม่ได้ติดตั้ง
- จ. ถ้าท่านจะต้องตัดสินใจระหว่างสองหนทางเลือกนี้ โดย  $n = 0$  และ  $n = 600$  อะไรคือปัจจัยเพิ่มเติมที่ท่านต้องการเพื่อการพิจารณา
- ฉ. จะต้องใช้ตาข่ายเพิ่มขึ้นเท่าใด กล่าวคือ เหนือ 50% เพื่อให้ค่าของ MOE ที่ได้ในข้อ ก. เป็นบวก
- ช. มีตัวแปรที่มีความหมายใดบ้างที่ไม่ได้รับการพิจารณาจากปัญหาก่อนหน้าที่

7. จะตั้ง payoff matrix เพื่อแสดงผลถ้าทั้งสถานะทางทะเลและยุทธวิธีของเรือศัตรูเป็นสิ่งวิกฤติจากตัวอย่างในข้อ 207 ได้อย่างไร ?

**บทที่ 3**  
**การตัดสินใจ**  
**(The Decision)**

บทนี้เกี่ยวข้องกับวิธีการของ OA และการใช้ในเรื่องของการปฏิบัติทางเรือ วิธีการนี้ใช้เพื่อจัดหาผู้ตัดสินใจด้วยหลักการทางตัวเลขสำหรับการตัดสินใจ โดยพิจารณาปัจจัยต่าง ๆ ให้มากที่สุดเท่าที่จะมากได้ แต่แน่นอน OA จะไม่ช่วยผู้บังคับบัญชาให้พ้นความรับผิดชอบในอันที่จะตัดสินใจ แต่จะช่วยผู้บังคับบัญชาให้ชั่งน้ำหนักได้แน่นอนมากขึ้นในคุณค่าสัมพันธของแต่ละหนทางปฏิบัติในคลุ้ทั้งทางจำนวนและทางจิตวิสัย (objective) ในหนังสือเล่มนี้คำว่า “ผู้ตัดสินใจ (decision – maker)” และ “ผู้บังคับบัญชา (commander)” จะให้แทนกันไปมาเพื่อหมายถึง ผู้ซึ่งความรับผิดชอบของเขาก็คือการตัดสินใจและอำนาจการปฏิบัติการ

ข้อดีของการจัดหาหลักการทางตัวเลขต่อผู้ตัดสินใจนั้น ไม่ใช่จะทำให้การตัดสินใจของเขาง่ายขึ้น เพราะว่าในหลาย ๆ กรณีแท้จริงแล้วจะทำให้การเลือกของเขาที่ยิ่งขึ้น ข้อดีก็คือเขาทราบดีกว่าว่าจะอะไรจะเป็นผลจากการตัดสินใจของเขา ในบทที่สอง solutions สองประการต่อปัญหาปัจจัยทางจิตวิสัยที่เกี่ยวข้อง บทนี้จะแสดงถึงแบบต่าง ๆ ของ payoff matrix ซึ่งผู้ตัดสินใจอาจจะพบและรวมทั้งตัวเกณฑ์บางประการ ซึ่งสามารถใช้เพื่อพิจารณาว่าหนทางปฏิบัติใดดีที่สุด โดยมากแล้วปัจจัยทางจิตวิสัยจะถูกตัดทิ้งไป โดยระลึกอยู่ว่า นักวิเคราะห์ควรจะ พิสูจน์ทราบปัจจัยเหล่านี้ ได้และผู้ตัดสินใจต้องนำมาพิจารณาด้วยก่อนที่จะถึงการตัดสินใจขั้นสุดท้าย

301. ขั้นของการเสี่ยง (Degree of Risk)

การตัดสินใจต้องกระทำโดยการเปลี่ยนแปลงขั้นของความรู้เกี่ยวกับเงื่อนไขภายใต้การหรือการปฏิบัติซึ่งจะเกิดขึ้น จงพิจารณา payoff matrix ซึ่งปรากฏในบทที่สองอีกครั้งหนึ่ง :

	N1:Sea State	N2:Sea state	N3:Sea State
แนวทางปฏิบัติ	0 หรือ 1	2 หรือ 3	4 หรือมากกว่า
S1 แผนการค้นหาที่ 1	.9	.4	.1
S2 แผนการค้นหาที่ 2	.7	.5	.4
S3 แผนการค้นหาที่ 3	.8	.7	.2
S4 แผนการค้นหาที่ 4	.5	.5	.5

ในที่นี้ S1, S2, S3 และ S4 แทน strategies หรือหนทางปฏิบัติที่ผู้บังคับบัญชามี N1, N2 และ N3 แทนสถานะภาพของธรรมชาติที่เป็นไปได้ ณ เวลาที่การปฏิบัติจะเกิดขึ้น และตัวเลขต่าง ๆ ใน matrix แทนมาตรวัดประสิทธิผล หรือ payoff สำหรับแต่ละ strategy ควบคู่ไปกับสถานะทางธรรมชาติ strategies คือแผนการค้นหาต่าง ๆ สถานะทางธรรมชาติคือ sea state ต่าง ๆ และ payoff คือ probabilities ของการตรวจ

พบวัตถุที่กำลังค้นหา ควรจะเป็นที่แจ้งว่าปริมาณของการเสี่ยงที่เกี่ยวข้องในการหยิบหนทางปฏิบัติที่ดีที่สุด หนทางปฏิบัติหนึ่ง ซึ่งได้รับการพิจารณาโดยความไม่แน่นอนอย่างสถานะของธรรมชาติจะเกิดขึ้น

มีกรณีที่เป็นไปได้สี่กรณีที่น่าสนใจ กรณีที่หนึ่งและกรณีที่ง่ายที่สุด เกิดขึ้นเมื่อเป็นที่ทราบกันด้วยความแน่นอนถึงสถานะทางธรรมชาติซึ่งจะเกิดขึ้น matrix ก็คงเหลือ Column เดียว และดังนั้นก็ไม่มีการเสี่ยงที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาหนทางปฏิบัติที่มี payoff ดีที่สุดที่เป็นกรณีแห่งการตัดสินใจภายใต้ความแน่นอน ถ้าเป็นที่ทราบกันว่าสถานะทางธรรมชาติอันหนึ่งจะเกิดขึ้น สมมติว่าเป็น N1 ดังนั้น payoff matrix ก็ควรจะลดลงได้เป็น

	N1
S1	: .9
S2	: .7
S3	: .8
S4	: .5

และ strategy แรกก็เห็นได้ชัดเจนว่าให้ payoff สูงที่สุด (ถึงแม้ว่ามันไม่จำเป็นที่จะต้องเป็นการตัดสินใจที่ดีที่สุด) ดังนั้นเกณฑ์ (criterion) ในการเปรียบเทียบหนทางเลือกต่าง ๆ ในกรณีของการตัดสินใจภายใต้ความแน่นอนก็คือ “payoff ที่ดีที่สุด”

กรณีที่สองเกิดขึ้นเมื่อไม่เป็นที่ทราบว่าสถานะทางธรรมชาติอันไหนจะเกิดขึ้น แต่ “โอกาส” ที่แต่ละสถานะธรรมชาติจะเกิดขึ้นนั้นเราทราบได้ ในกรณีนี้มีการเสี่ยงบ้างในการเลือกหนทางปฏิบัติที่ดีที่สุด และสถานการณ์นี้ เราเรียกว่า “การตัดสินใจภายใต้การเสี่ยง” สมมติว่าโอกาสที่สถานะธรรมชาติ N1, N2, N3 จะเกิดขึ้นเป็น .4, .5 และ .1 ตามลำดับ ถ้า strategy แรกถูกเลือก payoff ก็จะเป็น .9 ด้วย probability .4, .4 ด้วย probability .5 และ .1 ด้วย probability .1 ดังนั้น expected payoff ก็เป็นการเฉลี่ยของน้ำหนัก  $9(.4) + .4(.5) + .1(.1) = .57$  ถ้า expected payoff สำหรับแต่ละหนทางปฏิบัติถูกคำนวณขึ้นในทำนองเดียวกัน ผลที่ได้ก็ลงตารางได้ดังต่อไปนี้ :

	N1 (.4)	N2 (.5)	N3 (.1)	Expected payoff
S1	: .9	.4	.1	$.9(.4) + .4(.5) + .1(.1) = .57$
S2	: .7	.5	.4	$.7(.4) + .5(.5) + .4(.1) = .57$
S3	: .8	.7	.2	$.8(.4) + .7(.5) + .2(.1) = .69$

$$S4 : .5 \qquad .5 \qquad .5 \qquad .5(.4)+.5(.5)+.5(.1) = .50$$

ในการตัดสินใจภายใต้การเสี่ยงนั้นจะต้องเลือก strategy ซึ่ง optimizes the expected value ของมาตรวัดประสิทธิผล สำหรับ payoff matrix ที่กำหนดให้จะเห็นว่า strategy S3 optimizes (ในกรณีนี้ maximizes) expected payoff

กรณีที่สามเกิดขึ้นเมื่อผู้ตัดสินใจไม่ทราบ probabilities ของการเกิดสถานะของธรรมชาติต่าง ๆ ลักษณะ เช่นนี้ เรียกว่าการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนซึ่งเกณฑ์ต่าง ๆ หลายประการ ได้รับการแนะนำโดยหลาย ๆ ผู้รับรู้อันที่จะเลือกหนทางปฏิบัติที่ดีที่สุด เกณฑ์เหล่านี้ สี่ประการจะได้รับการถกแถลงในข้อต่อไป

กรณีต่อไปนี้สามประการแห่งการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอน ภายใต้การเสี่ยง และภายใต้ความไม่แน่นอนจะใช้ประยุกต์ต่อสถานการณ์การตัดสินใจ โดยที่สถานะทางธรรมชาติจะเกิดขึ้นโดยปราศจากการคิดหรือถือเอาว่าผลกระทบกระเทือนของมันจะมีต่อ payoff ของผู้ตัดสินใจ เทคนิคทางคณิตศาสตร์ และสถิติที่ประยุกต์ใช้ในกรณีเช่นนี้เรียกรวม ๆ กันว่าเป็น “statistical decisions theory”

กรณีที่สี่แห่งการตัดสินใจเกิดขึ้นเมื่อสถานะของธรรมชาติถูกควบคุมโดยฝ่ายตรงข้ามได้ (rational opponent) ผู้ซึ่งคาดหวังว่าจะปฏิบัติ กล่าวคือ เลือกสถานะทางธรรมชาติในลักษณะที่จะทำลายหรือขัดขวางจุดประสงค์ของผู้ตัดสินใจสถานการณ์ชนิดนี้ได้ถูกอ้างถึงในบทที่สองแล้ว และ payoff จะได้แสดงซ้ำอีกครั้ง

Alternatives	N1 : Enemy	N2 : Enemy
	tactic one	tactic two
S1 : Search plan one :	.9	.5
S2 : Search plan two :	.7	.6
S3 : Search plan three :	.8	.3
S4 : Search plan four :	.5	.4

ปัญหาการตัดสินใจแบบนี้เรียกว่า “games of strategy” และเป็นสาขาพัฒนาขั้นสูงของคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า “theory of games” กล่าวนำสั้น ๆ ต่อการแก้ปัญหากลาง ๆ ได้รวมไว้ในข้อ 302 ในเกมนี้ ฝ่ายตรงข้าม (ข้าศึก) สามารถจะทำได้ดีที่สุดใน การใช้ tactic ที่สองของเขาเพื่อต่อสู้กับแผนการค้นหาที่สอง ถ้าหากได้รับการเลือกโดยผู้ตัดสินใจ

คำว่า “เกม (game)” ใช้เพื่อบรรยายกับสถานการณ์การตัดสินใจ เพื่อต่อสู้กับฝ่ายตรงข้ามที่กระตือรือร้นแนะนำให้ใช้ game against nature เพื่อบรรยายถึงสามกรณีแรกของการตัดสินใจ

### ๓๐๒. เกณฑ์สำหรับการตัดสินใจด้วยความไม่แน่นอน

สมมติว่าผู้บังคับบัญชา ได้เผชิญหน้ากับ payoff matrix ดังกล่าวมาแล้วแต่ไม่มีความรู้เกี่ยวกับสถานะของธรรมชาติที่เป็นไปได้

	N1	N2	N3
S1 :	.9	.4	.1
S2 :	.7	.5	.4
S3 :	.8	.7	.2
S4 :	.5	.5	.5

เขาจะตัดสินใจว่าหนทางเลือกใดเป็นหนทางเลือกที่ดีที่สุดได้อย่างไร ? จะเห็นได้ว่าคำว่า "ดีที่สุด" จะมีความหมายก็เพียงแค่เมื่อพิจารณาควบคู่ไปกับเกณฑ์เฉพาะเกณฑ์หนึ่ง ใน matrix นี้ S1 ดีที่สุด ถ้าสถานะทางธรรมชาติเป็น N1 ในทำนองเดียวกัน S3 ดีที่สุดสำหรับ N2 และ S4 ให้ payoff ที่เป็นไปได้สูงที่สุด S3 ให้ payoff เฉลี่ยสูงสุด และ S4 ให้ payoff ที่รับประกันได้สูงที่สุด เพิ่มเติมไปจากนี้จะเห็นได้ว่า S2 เป็น strategy ซึ่งจะรับประกันต่อผู้ตัดสินใจถึงความเสียใจที่น้อยที่สุด (least regret) อย่างที่เกณฑ์ต่าง ๆ สี่ประการ ซึ่งจะได้กล่าวต่อไปสำหรับการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนจะได้รับการถกแถลงนั้นควรที่จะระลึกไว้ว่าคำถามที่ว่าเกณฑ์ใดดีที่สุด จะตอบไม่ได้โดยทั่ว ๆ ไปเพียงแต่ผู้ตัดสินใจเฉพาะที่เผชิญหน้ากับปัญหาเฉพาะเท่านั้นที่จะมีเกณฑ์ที่ดีที่สุด

การเข้าหาปัญหาแบบอนุรักษ์นิยมก็ควรจะเป็นการมองหาหนทางปฏิบัติซึ่งให้ "best guaranteed payoff" ผู้ตัดสินใจสามารถที่จะตัดสินใจได้ง่าย ๆ ต่อ guaranteed payoff โดยการตั้งคำถามสำหรับแต่ละหนทางปฏิบัติ : อะไรคือสิ่งเลวร้ายที่สุดที่จะเกิดขึ้นได้ถ้าใช้ strategy นี้ ? ผลของการรับประกันสำหรับ matrix ดังกล่าวควรจะเป็นดังนี้ :

	N1	N2	N3	Guaranteed payoff
S1 :	.9	.4	.1	.1
S2 :	.7	.5	.4	.4
S3 :	.8	.7	.2	.2

S4 : .5 .5 .5 .5

ดังนั้นหนทางปฏิบัติที่ให้ guaranteed payoff สูงที่สุดก็คือ S4 ผู้ตัดสินใจซึ่งเลือกหนทางปฏิบัตินี้สามารถที่จะทำได้แบบนี้โดยรู้ว่า payoff จะเป็นอย่างน้อยที่สุด .5 ไม่ว่าสถานะธรรมชาติใดจะเกิดขึ้น เกณฑ์แห่งผู้มองโลกในแง่ร้าย (pessimism) หรือเกณฑ์ของ Wald ซึ่งได้ชื่อมาจาก Abraham Wald ซึ่งได้แนะนำเกณฑ์นี้จะทำให้การเสี่ยงที่เกี่ยวข้องในการตัดสินใจน้อยที่สุด เกณฑ์นี้มักถูกอ้างถึงอีกอย่างหนึ่ง คือ “maximin criterion” เพราะว่า payoff ที่น้อยที่สุดสำหรับแต่ละหนทางปฏิบัติจะหามาก่อนเป็นข้อแรก และแล้วหนทางที่ได้เลือกซึ่งให้ค่ามากที่สุดของ guaranteed payoff ที่น้อยที่สุด เหล่านี้

เกณฑ์ที่สองซึ่งคล้าย ๆ กันเกณฑ์แรกตัดแนวความคิดแห่งการเป็นผู้มองโลกในแง่ร้ายโดยสมบูรณ์ออกไป ได้นำมาเป็นครั้งแรกโดย Leonid Hurwicz ซึ่งได้แนะนำว่าผู้ตัดสินใจแต่ละคนนั้นมีขั้น (degree) แห่งผู้มองโลกในแง่ดี (optimism) ในสถานการณ์ที่กำหนดให้ ใน matrix ก่อนนี้ ผู้มองโลกในแง่ดีโดยสมบูรณ์ก็พร้อมอย่างยิ่งโดยการที่จะได้ payoff 0.9 ที่จะเลือกหนทางปฏิบัติที่หนึ่ง ถึงแม้จะมีโอกาสที่จะได้ payoff ที่ไม่ต้องการซึ่งน้อยกว่า การเลือกแบบ “maximax” นี้จะเหมือนกับการสมมติว่าธรรมชาติเป็นผู้ใจดี และดังนั้นก็จะทำให้สถานะธรรมชาติที่จะเกิดขึ้นซึ่งเป็นสิ่งที่ดีที่สุดต่อผู้ตัดสินใจ ในอีกสมมติหนึ่งผู้ซึ่งเป็นผู้มองโลกในแง่ร้ายโดยสมบูรณ์นั้นจะเลือก “maximin criterion” ตามที่ได้อธิบายมาแล้วก่อนหน้านี้ ซึ่งเท่ากับการสมมติว่าธรรมชาตินั้นเป็นผู้ใจร้าย และจะเลือกสถานะของมันเพื่อทำร้ายผู้ตัดสินใจ มีทางใดสำหรับผู้ตัดสินใจในอันที่จะแสดงชั้นแห่งผู้มองโลกในแง่ดีซึ่งอยู่ระหว่างปลายสุดทั้งสองนี้หรือไม่?

Hurwicz แนะนำผู้ตัดสินใจให้วางชั้นแห่งผู้มองโลกในแง่ดี ไว้บนตาชั่งศูนย์ถึงหนึ่ง โดยที่ศูนย์แห่งผู้มองโลกในแง่ร้ายโดยสมบูรณ์ และหนึ่งแทนผู้มองโลกในแง่ดีโดยสมบูรณ์ เพื่อเป็นการแสดงเกณฑ์อันนี้ สมมติว่าสัมประสิทธิ์แห่งการมองโลกในแง่ดีของผู้ตัดสินใจเป็น .4 บนตาชั่ง ศูนย์ถึงหนึ่ง payoff ที่ดีที่สุด และ payoff ที่เลวที่สุดแต่ละอันจะถูกเลือกสำหรับแต่ละหนทางปฏิบัติ และใส่ไว้ใน payoff matrix ใหม่ สำหรับปัญหาซึ่งกำลังพิจารณาอยู่นี้ค่าเหล่านี้บังเอิญเกิดขึ้นอยู่ใน column เดียวกันนี้

	Best payoff	worst payoff
S1 :	.9	.1
S2 :	.7	.4
S3 :	.8	.2
S4 :	.5	.5

สัมประสิทธิ์แห่งการมองโลกในแง่ดี .4 นั้นมีความหมายเท่ากับการมุ่งหวังว่า payoff ที่ดีที่สุดด้วย probability .4 และ payoff ที่เลวที่สุด .6 ดังนั้น expected payoff สำหรับแต่ละหนทางปฏิบัติอาจที่จะคำนวณหาได้ในแบบเดียวกันอย่างที่เคยใช้ในการตัดสินใจภายใต้การเสี่ยง

	Best payoff (.4)	Worst payoff (.6)	Expected payoff
S1 :	.9	.1	$.9(.4) + .1(.6) = .42$
S2 :	.7	.4	$.7(.4) + .4(.6) = .52$
S3 :	.8	.2	$.8(.4) + .2(.6) = .44$
S4 :	.5	.5	$.5(.4) + .5(.6) = .50$

สำหรับผู้ตัดสินใจผู้ที่เกณฑ์แห่งผู้มองโลกในแง่ดีของ Hurwicz ได้ชี้ให้เห็นว่าหนทางปฏิบัติที่สองดีที่สุด

เกณฑ์ที่สามนั้นอยู่บนรากฐานแห่งความโน้มเอียงของผู้ตัดสินใจบางคนที่จะมองกลับไปยังการตัดสินใจของเขหลังจากที่การปฏิบัติได้เสร็จสิ้นไปแล้ว เพื่อที่จะดูว่าจะทำให้ดีมากขึ้นได้อย่างไร โดยการทำนายล่วงหน้าถึงสถานะธรรมชาติ ต้อง สิ่งนี้ก่อให้เกิดความเป็นไปได้ในอันที่จะทำความเสียหายให้ลดน้อยลง (Minimizing regret) เพื่อเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ สมมติว่าผู้ตัดสินใจคำนวณหาความเสียหายซึ่งเขาคาดว่าน่าจะเป็นแล้วสร้าง regret matrix จาก payoff matrix ได้ดังนี้

	Payoff Matrix				Regret Matrix	
	N1	N2	N3	N1	N2	N3
N1 :	.9	.4	.1	.9 - .9	.7 - .4	.5 - .1
N2 :	.7	.5	.4	.9 - .7	.7 - .5	.5 - .4
N3 :	.8	.7	.2	.9 - .8	.7 - .7	.5 - .2
N4 :	.5	.5	.5	.9 - .5	.7 - .5	.5 - .5

ในที่นี้ผู้ตัดสินใจควรที่จะมีความเสียหาย ถ้าเขาเลือกหนทางปฏิบัติที่หนึ่งและสถานะธรรมชาติ N1 เกิดขึ้นเพราะว่าเขาไม่สามารถที่จะทำอะไรได้ดีกว่า อย่างไรก็ตามถ้า N2 เกิดขึ้น ความเสียหายของเขาควรจะเป็น .3 เพราะว่าเขาทำได้ดีกว่ามากโดยการเลือกใช้ strategy 3 (กล่าวคือ .7 ลบด้วย .4) ฯลฯ เกณฑ์นี้ซึ่งได้เสนอโดย Leonard



Savage ซึ่งแนะนำ (guarantees the least regret) strategy แรกรับประกันความเสียหายไม่มากไปกว่า .4 คั่นที่สอง ความเสียหายไม่มากกว่า .2 ฯลฯ อย่างที่ลงตารางได้ดังต่อไปนี้

		Regret Matrix			
		N1	N2	N3	Marimair rcgrd
N1	:	0	.3	.4	.4
N2	:	.2	.2	.1	.2
N3	:	.1	0	.3	.3
N4	:	.4	.2	0	.4

ดังนั้น Strategy ที่สองให้ความเสียหายน้อยที่สุด

เกณฑ์สุดท้ายที่จะนำมาเสนอเรียกว่า “criterion of rationality” ซึ่งเป็นเกณฑ์ของ Laplace เขาถือว่าความไม่แน่นอนอันสมบูรณ์เกี่ยวกับสถานะธรรมชาติที่เป็นไปได้มีค่าเท่ากับสมมติว่า แต่ละสถานะธรรมชาติมีความน่าจะเป็นไปได้เท่า ๆ กัน นั่นคือถ้าสถานะใด ๆ ถูกสมมติว่ามีความน่าจะเป็นไปได้มากกว่าสถานะอื่น ๆ ก็เป็นเพราะว่ารัฐข่าวสารมากกว่าและผู้ตัดสินใจไม่ได้เผชิญหน้ากับความไม่แน่นอนที่แท้จริง ความมีค่าใช้ได้ และนัยของการตกที่ได้รับการโต้เถียงกันเป็นเวลาหลายทศวรรษ และจะมีการถกเถียงต่อไปอีกในอนาคต อย่างไรก็ตาม ในการที่จะใช้เกณฑ์นี้ expected payoff สำหรับแต่ละหนทางปฏิบัติสามารถที่จะคำนวณได้อย่างเดียวกับการตัดสินใจภายใต้การเสี่ยงโดยที่ขณะนี้ แต่ละ payoff มีน้ำหนักเท่า ๆ กัน

		N1 (1/3)	N2 (1/3)	N3 (1/3)	Expected payoff
S1	:	.9	.4	.1	.467
S2	:	.7	.5	.4	.533
S3	:	.8	.7	.2	.567
S4	:	.5	.5	.5	.500

ดังนั้นหนทางปฏิบัติที่สามก็เป็นหนทางปฏิบัติที่ดีที่สุดภายใต้ เกณฑ์แห่ง Rationality

ในการถกแถลง เกณฑ์ทั้งที่สำหรับการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนนั้น เป็นที่ประจักษ์ชัดแล้วว่าสำหรับ payoff matrix ที่ใช้หนทางปฏิบัติต่าง ๆ กันสามหนทางปรากฏว่าเป็นหนทางที่ดีที่สุด นี้ไม่ใช่กรณีโดยทั่วไป แต่แน่นอนที่ไม่ใช่เป็นกรณีเดียว และชี้ให้เห็นถึงความสำคัญของ เกณฑ์การตัดสินใจซึ่งมีส่วนสำคัญในการเลือกหนทางปฏิบัติ

ผลจากการทดลองที่กล่าวมาแล้วนั้นสรุปสำหรับเป็นข้ออ้างอิงง่าย ๆ ได้ในตารางต่อไปนี้

Decision under:	Criteria:	Proposed by:
Certainty	Highest payoff	
Risk	Largest expected payoff	
Uncertainty	Pessimism or Maximin	Wald
	Optimism	Hurwicz
	Least regret	Savage
	Rationality	Laplace

### ๓๐๓. ทฤษฎีของเกมส์ (The Theory of Games)

การตัดสินใจทางทหารตามปกติจะกระทำในสถานการณ์ที่ขัดแย้งกัน (conflict situations) นั่นก็คือฝ่ายหนึ่งมีเป้าหมายประสงค์ต่าง ๆ และความต้องการต่าง ๆ ขัดกันเป้าหมาย และความต้องการของอีกฝ่ายหนึ่ง ความขัดแย้งเหล่านี้มีการเมือง ธุรกิจการค้า เกมสกีฬาในร่ม และกิจกรรมอื่น ๆ อีกมากมาย นักศึกษาได้ศึกษาพิจารณาตรวจสอบสถานการณ์เหล่านี้กินเวลาเป็นปี ๆ ด้วยจุดประสงค์ที่พยายามจะตัดสินใจถึงสิ่งแต่ละฝ่ายสามารถที่จะมุ่งหวังที่จะได้รับ (gain) ในทัศนะของผลประโยชน์ที่ขัดกัน

ในปี 1944 การคาดคะเนเหล่านี้ได้รับการศึกษาพิจารณา และร่างกฎเกณฑ์เป็นครั้งแรกในการพิมพ์ “Theory of Games and Economic Behavior” โดย Neumann & Morgenstern ในหนังสือเล่มนี้สถานการณ์ที่ขัดแย้งกันอย่างง่าย ๆ ได้รับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์อย่างเต็มที่ และมีการพิสูจน์ทฤษฎีต่าง ๆ ซึ่งทำนายผลล่วงหน้าตั้งแต่นั้นมาได้รู้ยุทธวิธี การวิเคราะห์ระบบอาวุธ การส่งกำลังบำรุง และทางเศรษฐศาสตร์ สำคัญยิ่งกว่าคือนักวางแผนทางทหาร การใช้ทฤษฎีอาจนำมาพบสถานการณ์ซึ่งยุ่งยากกว่าและเที่ยงตรงน้อยกว่าสถานการณ์ต่าง ๆ ซึ่งได้ใช้ในตอนแรกเริ่ม อย่างไรก็ตามการใช้เหล่านี้หลายครั้งเป็นเพียงเพื่อพลางและจำกัดในขอบเขต และงานอีกยากยังต้องทำในการใช้ทฤษฎีของ เกมต่อการตัดสินใจทางทหาร เวลา ณ ที่นี้คือเมื่อนายทหารเรือควรที่จะมีความรู้ถึงวิถีทางที่ทฤษฎีของเกมส์ สามารถที่จะช่วยในการตัดสินใจเป็นความมุ่งประสงค์ของตอนนี้ที่จะอธิบายอย่างง่าย ๆ ว่าทฤษฎีของเกมส์คืออะไร สามารถใช้ประยุกต์ในรูปแบบบริสุทธ์ต่อสถานการณ์ต่าง ๆ ที่ขัดแย้งกัน

ได้อย่างไร และตรรกวิทยา (Logic) ที่ใช้ในทฤษฎีของเกมอาจช่วยให้ได้มาซึ่งการตัดสินใจทางทหารที่น่าจะมั่นใจได้อย่างไรได้บ้างตั้งแต่ตอนแรกแล้วว่าสูตรมหัศจรรย์ (magic formula) ไม่ได้มีขึ้นเพื่อแก้สถานการณ์ในการวางแผนที่ยู่ยาก ผลเช่นนั้นถ้าสามารถที่จะมุ่งหวังได้ ก็จะต้องในอนาคตอันไกล และทฤษฎีของเกมก็ไม่ได้หวังในอันที่จะทำให้กรรมวิธีแห่งการตัดสินใจง่ายขึ้น ถ้าหากมีบางสิ่งบางอย่างในการพิจารณาการคำนวณจากทักษะของทฤษฎีของเกมต้องการขั้นที่สูงขึ้นแห่งการวิเคราะห์และแนวความคิดทางตรรกวิทยาว่าที่หลักนิยม (doctrine) ในการวางแผนมาตรฐานปัจจุบันที่มีอยู่ เป็นการเสนอว่าความเข้าใจว่าทฤษฎีของเกมคืออะไร และแบบของการให้เหตุผล อยู่เบื้องหลังจะช่วยให้ผู้บังคับบัญชาในการทำให้โอกาสแห่งความสำเร็จมากที่สุด เท่าที่จะทำได้ในเมื่อเผชิญกับ สถานการณ์แห่งการตัดสินใจในสถานการณ์แห่งการตัดสินใจและการวางแผนที่ยู่ยาก

ทฤษฎีของเกม ได้บรรยายมาในลักษณะของทฤษฎีทางคณิตศาสตร์แห่งการตัดสินใจในสถานการณ์ที่ขัดแย้งกันอย่างไรก็ตามมีข้อจำกัดหลายประการในรูปแบบของข้อขัดแย้ง ซึ่งจะได้รับการถกแถลงในหนังสือเล่มนี้และแก้ไขได้ในการวิเคราะห์โดยทฤษฎีของเกม

ก. ข้อขัดแย้งต้องมีจุดรวมอยู่ ณ ศูนย์กลางบางประการ นี่หมายความว่าผู้ร่วมเล่นเกม (participants) ต่าง ๆ จะต้องมีผลประโยชน์ที่ขัดกัน ในจุดประสงค์เดียวกัน

ข. ผู้ร่วมเล่นเกมจะต้องตัดสินใจในเวลาเดียวกันต่อชุดของหนทางปฏิบัติของตนที่จะใช้ และการตัดสินใจเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไม่ได้ในระหว่างข้อขัดแย้งนั้น ๆ

ค. แต่ละฝ่ายของผู้ร่วมเล่นเกมจะต้องมีความสามารถที่จะยื่นมาซึ่งอิทธิพลบางประการต่อสถานการณ์นั้น แต่จะไม่สามารถที่จะควบคุมได้อย่างสมบูรณ์ต่อสถานการณ์นั้นโดยตัวเอง

ง. แต่ละฝ่ายของผู้ร่วมเล่นเกมต้องวัดคุณค่าของทุก ๆ ผลที่ออกมา (outcome) ที่เป็นไปได้ด้วยมาตรวัดเดียวกัน

จงพิจารณาถึงข้อขัดแย้งซึ่งเกิดขึ้นในสถานการณ์ต่อไปนี้ :-

เรื่อตรี Baker และ Rogers ได้ลงทุนเท่ากันในการซื้อรถยนต์คันหนึ่ง ซึ่งตอนเริ่มต้นการทัวร์ของเขาทั้งสอง คำสั่งใหม่ได้ส่งเขาไปยังสถานที่ที่แตกต่างกันและเขาทั้งสองก็ตัดสินใจว่าผู้ซึ่งตั้งใจที่จะให้ผลประโยชน์สูงสุดให้แก่อีกผู้หนึ่งก็จะกลายเป็นเจ้าของรถคันนั้น เขาทั้งสองตกลงกันว่ารถราคา 1,000 ดอลลาร์ Baker มีเงินสด 600 ดอลลาร์ และ Rogers มี 400 ดอลลาร์ และเขาทั้งสองตกลงว่าจะประมูลเป็นจำนวนเต็มร้อย สถานการณ์แห่งข้อขัดแย้งก็ก่อให้เกิดการวิเคราะห์ขึ้นโดยทฤษฎีของเกม ข้อจำกัดต่าง ๆ ซึ่งได้กล่าวมาแล้วนั้นครบประเด็นดังต่อไปนี้

- ก. ข้อขัดแย้งมีศูนย์รวมเดียวกัน คือรถยนต์ ผลประโยชน์ของทั้งสองฝ่ายขัดแย้งกันอย่างชัดเจน
- ข. แต่ละฝ่ายต้องเลือกหนทางปฏิบัติซึ่งมีอยู่หลายทางเพียงหนทางเดียว กล่าวคือ ประมูลศูนย์ถึง 600 ดอลลาร์ สำหรับ Baker และศูนย์ถึง 400 ดอลลาร์ สำหรับ Rogers
- ค. แต่ละฝ่ายสามารถที่จะมีสิทธิพลแต่ไม่ใช่การควบคุม outcome
- ง. แต่ละฝ่ายจะวัด outcomes ที่จะเป็นไปได้ ณ มาตรฐานเดียวกัน โดยที่เขาทั้งสองมีเงินทุนเหมือนกันในการซื้อรถคันนี้มา

ทฤษฎีของเกมจะให้วิธีซึ่งแต่ละฝ่ายสามารถที่จะตัดสินใจว่าจะใช้หนทางปฏิบัติใด

โดยทั่ว ๆ ไปข้อจำกัด ง. เป็นข้อที่ลำบากที่สุดที่จะครบเงื่อนไขได้ในสถานการณ์ข้อขัดแย้งในโลกของความจริงจะไม่ค่อยพบที่ว่าคุณสองคนซึ่งมีค่าจำนวนเงินที่กำหนดให้เท่า ๆ กัน ยิ่งไปกว่านั้นจะไม่ค่อยพบกรณีการเงิน 200 ดอลลาร์ จะมีค่าเป็นสองเท่าของเงิน 100 ดอลลาร์อย่างแท้จริง การพิจารณาประเภทนี้จะได้รับการปฏิบัติหรือคิดแบบการใช้ “utility theory” ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับการวัดค่าที่แท้จริงของสิ่งต่าง ๆ ปัญหานี้จะเต็มไปด้วยความยุ่งยากมากมายด้วยเหตุผลหลายประการ ประการแรกจะไม่มีตัวหารร่วมสำหรับคุณค่าที่แท้จริง ประการที่สองแม้เมื่อวัดคุณค่านั้นจะไม่คงที่ อะไรมีคุณค่ามากกว่าเหรียญโด้ (สิบเซ็นต์) หรือเหรียญดอลลาร์? มันขึ้นอยู่กับสถานการณ์สามัญ ๆ ส่วนใหญ่เหรียญดอลลาร์จะมีค่ามากที่สุด แต่ในตอนกลางคืนบน freeway ในรถที่ติดกันเป็นแถว ๆ อยู่ใกล้ ๆ ตู้โทรศัพท์ เหรียญโด้อาจมีค่ามากกว่า ในเหตุการณ์ใด ๆ outcomes ที่เป็นไปได้ต้องมีค่าเช่นเดียวกันสำหรับทุก ๆ ฝ่าย มิฉะนั้นการเข้าหาปัญหาโดยใช้ทฤษฎีของเกมอาจนำมาซึ่งผลที่ไม่มุ่งหวังไว้

ก่อนที่จะตัดสินใจว่าจะเลือกหนทางปฏิบัติไหนผู้ตัดสินใจจะต้องเลือกเกณฑ์มาหนึ่งเกณฑ์ก่อน ซึ่งมีอยู่หลาย ๆ เกณฑ์ ดังได้ถกแถลงมาแล้ว ยกตัวอย่างผู้ตัดสินใจอาจเป็นผู้อนุรักษ์นิยมหรือไม่ก็อยู่ในอารมณ์การเสี่ยง เกณฑ์ที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับ expected outcomes อาจเป็นการเหมาะสมที่จะตัดสินใจแบบเสี่ยง ๆ เมื่อเกี่ยวข้องกันจำนวนเล็ก ๆ ในทางตรงข้ามถ้าความสูญเสียที่เป็นไปได้สูงมากการตัดสินใจแบบอนุรักษ์นิยมอาจจำเป็น

โดยทั่ว ๆ ไป ผู้บังคับบัญชาทหารจะตัดสินใจแบบอนุรักษ์นิยม เขาปรารถนาที่จะให้ได้ความปลอดภัยมากที่สุดเท่าที่จะทำได้ต่อหน้าคู่ต่อสู้ที่มีความชำนาญมาก ซึ่งจุดประสงค์ตรงกันข้ามอย่างแท้จริง นี้เป็นสาระสำคัญของเกณฑ์ของ Nald ซึ่งเป็นเกณฑ์ที่มีเหตุผลที่จะใช้ในสถานการณ์ที่ขัดแย้งกันซึ่งเกี่ยวกับคู่ต่อสู้ที่มีเหตุผล ในสถานการณ์ของเกม เกณฑ์ของ Nald จะนำแต่ละผู้เล่นไปยัง strategy ซึ่งทำให้แน่ใจว่าจำนวนที่น้อยที่สุดที่เขาคาดว่าจะได้เป็นจำนวนมากที่สุดเท่าที่จะทำได้

มีศัพท์อยู่หลายคำซึ่งจะต้องได้รับการให้นิยาม ณ จุดนี้ อาจจะช่วยได้มากหากผู้อ่านจะจำศัพท์เหล่านี้ อย่างศัพท์เทคนิคด้วยความหมายพิเศษสำหรับทฤษฎีของเกม

- ก. Person : คือผู้ซึ่งมีผลประโยชน์ขัดกัน หรือ เรียกว่าผู้เล่น (Player)
- ข. Game : ชุดของกฎซึ่งนิยามว่าจะทำอะไรได้และทำอะไรไม่ได้ ขนาดของ bets หรือ penalties และวิธีของ payoff กฎต่าง ๆ จะต้องสมบูรณ์ จะเปลี่ยนแปลงไม่ได้ตลอดเกม และจะต้องทราบกันทั้งสองฝ่าย
- ค. Zero – sum game : เกมซึ่งผลได้ทั้งหมดจะเท่ากับผลเสียทั้งหมด
- ง. Play of the game : การเลือกหนทางเลือกหรือหนทางปฏิบัติโดยผู้เล่นแต่ละคนควบคู่ไปกับการแลกเปลี่ยนของ Payoff ซึ่งจะมีผล
- จ. Strategy : แผนการปฏิบัติของผู้เล่นซึ่งสมบูรณ์ และพร้อมที่จะใช้ก่อนการเริ่มต้นของเกม
- ฉ. Optimal strategy : ซึ่งรับประกันผู้เล่นให้ดีที่สุดซึ่งคาดว่าจะได้โดยไม่จำเป็นว่าผู้เล่นคนอื่นจะทำอะไร
- ช. Value of the game (ค่าของเกม) : เป็น expected payoff เมื่อผู้เล่นแต่ละคนใช้ optimal strategy ของเขา
- ซ. Solution : เป็น optimal strategy สำหรับผู้เล่นแต่ละคนและ real number ซึ่งเรียกว่าค่าของเกม

ถึงแม้ว่าทฤษฎีของเกมจะรวมไว้ซึ่งสถานการณ์ที่เป็นไปได้มากมาย แต่จะถกแถลงกัน ณ ที่นี้ เพียงประการเดียว ซึ่งเรียกว่า “two – person, zero – sum games” โดยข้อตกลงเกมเหล่านี้จะแสดงให้เห็นในรูปของ matrix ผู้เล่นผู้ซึ่งพยายามที่จะทำ Payoff ให้สูงที่สุดจะรู้จักกันในนามของฝ่ายน้ำเงิน (Blue) ชุดของหนทางปฏิบัติของเขาจะประกอบไปด้วยแถวบน (rows) ของ matrix นั้น เขาต้องเลือก (ในการเล่นเกม) แถวบนแถวหนึ่ง ผู้เล่นอีกคนหนึ่งรู้จักกันในนามของฝ่ายแดง (Red) เขาพยายามที่จะทำ Payoff ให้ต่ำที่สุดแล้วเลือกแถวอื่น (column) แถวหนึ่งในการเล่นเกมแต่ละเกม ตัวเลข (จำนวน) ต่าง ๆ ใน matrix (ตามข้อตกลงเหมือนกัน) แทน payoff จาก Red ต่อ Blue ดังนั้นถ้าในการเล่นเกมแสดงค่าที่เป็น payoff ของฝ่าย Red ตัวเลขจะเป็นเครื่องหมายลบใน matrix

เมื่อสถานการณ์ขัดแย้งได้จัดเข้าเป็นรูปของเกมแล้ว ขั้นต่อไปก็คือวิธีการในการแก้เกมนั้น

#### ๓๐๔. เกมที่มีจุดอานม้า (Saddle – Point games)

จงพิจารณาถึงปัญหาของรถยนต์อีกครั้งหนึ่ง ถ้า Baker ประมูล 300 ดอลลาร์ และ Rogers ประมูล 200 ดอลลาร์ Baker ก็จะได้รถยนต์ และจ่าย Rogers ไป 300 ดอลลาร์ ด้วยผลกำไรสุทธิ 200 ดอลลาร์ ในการ

ลงทุนของเขา ในอีกนัยหนึ่งถ้าการประมูล 300 ดอลลาร์ ของ Baker ไปเจอกับการประมูล 400 ดอลลาร์ของ Rogers เข้า ดังนั้น Rogers ก็จะได้รถยนต์เพื่อแลกเปลี่ยนกับเงิน 400 ดอลลาร์ และ Baker ก็จะได้รับเงินสด 100 ดอลลาร์ มีวิธีอื่นอีกหลายทางที่จะไปถึง payoff ที่มีเหตุผล แต่จะทำโดยวิธีใดก็ตามจะต้องสม่ำเสมอ (consistent) ในกรณีนี้เราเลือกที่จะคำนวณ payoff สุทธิของ Baker สำหรับทุก ๆ combinations ของการประมูลซึ่งอาจปรากฏขึ้นได้ อย่างไรก็ตามสมมติว่าการประมูลนั้นเท่ากัน ในกรณีนั้น Baker และ Rogers ตกลงกันที่จะโยนหัวโยนก้อยเพื่อจะดูว่าใครจะได้รถยนต์ในการประมูลที่เท่ากันนี้ ยกตัวอย่างถ้าทั้งสองฝ่ายประมูล 300 ดอลลาร์ ถ้าไรสุทธิของ Baker จะเป็น 200 ดอลลาร์ ถ้าเขาได้รับรถ 200 ดอลลาร์ ถ้าเขาได้รับ 300 ดอลลาร์แทน outcome ไม่ว่าจะเป็นอย่างอื่นใดมีความเป็นไปได้เท่ากัน และดังนั้นผลกำไรสุทธิที่คาดหวังก็จะเป็นศูนย์ ในลักษณะเดียวกับผู้อ่านควรจะตรวจสอบดู payoff อื่น ๆ ใน matrix ต่อไปนี้ (เป็นร้อย ๆ ดอลลาร์)

		Red (Rogers)				
		R1	R2	R3	R4	R5
		Bid	Bid	Bid	Bid	Bid
		0	1	2	3	4
Blue (Baker)						
B1 : Bid 0	0	-4	-3	-2	-1	
B2 : Bid 1	4	0	-3	-2	-1	
B3 : Bid 2	3	3	0	-2	-1	
B4 : Bid 3	2	2	2	0	-1	
B5 : Bid 4	1	1	1	1	0	
B6 : Bid 5	0	0	0	0	0	
B7 : Bid 6	-1	-1	-1	-1	-1	

เมื่อเผชิญหน้ากับ payoff matrix นี้ Baker สามารถที่จะเห็นได้ในทันทีทันใดว่าการประมูลศูนย์อาจมีผลให้มีความสูญเสีย 400 ดอลลาร์ ในขณะที่การประมูลอื่น ๆ ดูเหมือนว่าจะมีการเสี่ยงที่น้อยกว่า โดยการใช้อรรถศาสตร์ของ Wald เขาถามตัวเองว่า อะไรคือสิ่งเลวร้ายที่สุดที่เขาจะทำได้ในแต่ละหนทางเลือก การหาของเขาได้แสดงให้เห็นใน matrix ต่อไปนี้ และศูนย์จะทำการคาดไว้เพื่อแทนการค่าประกันที่สูงสุดที่เขาจะมีได้ ในกรณีนี้ โดยการประมูล 400 ดอลลาร์ หรือ 500 ดอลลาร์

Red (Rogers)

	R1	R2	R3	R4	R5	
	Bid	Bid	Bid	Bid	Bid	การรับประกันของฝ่ายนำเงิน (ค่าต่ำสุดในแต่ละแถวนอน)
	0	1	2	3	4	
Blue (Baker)						-4
B1 : Bid 0	0	-4	-3	-2	-1	-3
B2 : Bid 1	4	0	-3	-2	-1	-2
B3 : Bid 2	3	3	0	-2	-1	-1
B4 : Bid 3	2	2	2	0	-1	0
B5 : Bid 4	1	1	1	1	0	0
B6 : Bid 5	0	0	0	0	0	-1
B7 : Bid 6	-1	-1	-1	-1	-1	

ค่าสูงสุดของค่าต่ำสุดแถวนอน หรือ maximin

แต่ Rogers ก็สามารที่จะใส่อิทธิพลบางประการเข้าไปต่อผลที่ได้โดยการเลือก strategy ของเขาที่เหมาะสม โดยการเป็นผู้มีเหตุผลเช่นกัน เขามองตัวเองด้วยคำถามเดียวกันคือ “อะไรคือ outcome ที่เป็นไปได้ที่เลวที่สุด ? สำหรับแต่ละหนทางเลือกของเขา (โดยรำลึกว่าผลกำไรของ Baker เป็นการขาดทุนของเขา) ยกตัวอย่างถ้าเขา ประมุน 100 ดอลลาร์ payoff ของ Baker ก็จะสูงมากถึง 300 ดอลลาร์ ในขณะที่การเลือกที่เหมาะสมเขา สามารถที่จะแน่ใจได้ว่า Baker ทำอะไรไม่ได้มากไปกว่าเสมอตัว ผลที่ตราดาวไว้ใน matrix ต่อไปนี้ชี้ให้เห็น ถึงการรับประกันที่ดีที่สุดของเขา

Red (Rogers)

R1 R2 R3 R4 R5

Bid Bid Bid Bid Bid

0 1 2 3 4

Blue (Baker)					
B1 : Bid 0	0	-4	-3	-2	-1
B2 : Bid 1	4	0	-3	-2	-1
B3 : Bid 2	3	3	0	-2	-1
B4 : Bid 3	2	2	2	0	-1
B5 : Bid 4	1	1	1	1	0
B6 : Bid 5	0	0	0	0	0
B7 : Bid 6	-1	-1	-1	-1	-1

จุดอานม้า

ค่ารับประกันของฝ่ายแดง: (ค่าสูงสุดในแต่ละแถว)

4 3 2 1 0

(ค่าต่ำสุดของค่าสูงสุดของแถวหรือ minimax)

ในทุก ๆ เกมที่มีลักษณะเช่นนั้น minimax จะใหญ่กว่าหรือเท่ากับ maximin ในสถานการณ์บางสิ่งบางอย่างที่จะเกิดร่วมกัน จะเกิดขึ้นทั้งสองนั้น เท่ากันและการรับประกันที่ดีที่สุดของ Blue เท่ากับการรับประกันที่ดีที่สุดของ Red ในเมื่อเป็นกรณีเช่นนี้ กล่าวได้ว่ามีจุดอานม้า (saddle – point) และ optimal strategies สำหรับผู้เล่นทั้งสองฝ่ายก็คือ strategies ที่ได้จุดอานม้า ในตัวอย่างนี้มีจุดอานม้าสองจุดคือ Baker อาจประมาณ 400 หรือ 500 ดอลลาร์ อันใดอันหนึ่งในขณะที่ Rogers ควรจะประมาณ 400 ดอลลาร์ ผู้อ่านอาจตรวจเช็คค่า จุดอานม้านั้นต้องเป็นค่าที่น้อยที่สุดในแถวของมัน และเป็นค่าที่มากที่สุดในแถวด้วย ถ้าผู้เล่นคนใดคนหนึ่งเปลี่ยนแปร strategy ไปจากจุดอานม้าแล้ว เขาก็จะสูญเสียการรับประกันของเขา ค่าของเกมนี้เป็นศูนย์ซึ่งเป็นค่าของ expected payoff เมื่อผู้เล่นทั้งสองฝ่ายใช้ expected payoff ของเขา ตามความจริงแล้ว Bakerอาจชอบที่จะประมาณ 400 ดอลลาร์ มากกว่าประมาณ 500 ดอลลาร์ เพราะว่าเขาอาจได้กำไรมากกว่า ถ้า Rogers ประมาณอย่างไม่ฉลาด

ในเมื่อเข้าหาเกมหนึ่งขั้นแรกในการหา solution ก็คือเช็คหาจุดอานม้าเสมอ ถ้ามี solution ก็จะได้ในทันทีทันใดโดยที่ optimal strategy สำหรับ Blue และ Red ก็เป็นที่ชัดเจนและค่าของเกมก็คือค่าของจุดอานม้า ถ้ามีจุดอานม้าแต่หาไม่พบ วิธีหา solution ตามที่จะถกแถลงต่อไปอาจลึกลับ



ถึงแม้ว่า solution จะหาได้ง่าย ๆ ในตัวอย่างต่อไปนี่ไม่ได้หมายความว่า จะเป็นจริงสำหรับทุก ๆ เกม โดยทั่ว ๆ ไป ในทางตรงกันข้าม solution ของเกมใหญ่ ๆ อาจยากมากในการหา

๓๐๕. Dominance

เกมใหญ่ ๆ บ่อยครั้งที่สามารถจะลดขนาดลงได้โดยการตรวจสอบ payoff เพื่อหา strategy ซึ่งผู้เล่นฝ่ายหนึ่งจะไม่เล่นเลย strategy เลว (poor) เช่นนั้นกล่าวได้ว่า ถูก dominated โดย strategy อื่น ๆ ที่ดีกว่า strategy หนึ่งอาจถูกกำจัดออกไปเสียจากการพิจารณาในการแก้เกมถ้ามี strategy อื่น ซึ่งดีเท่าหรือดีกว่าทุก ๆ strategy ที่คู่ต่อสู้อาจใช้

strategy เช่นนั้นเห็นได้ชัดเจนในเกมระหว่าง Baker และ Rogers ยกตัวอย่าง จงเปรียบเทียบ strategy แรกสอง strategy ซึ่งนำมากล่าวซ้ำอีกทีหนึ่ง

	Red				
	R1	R2	R3	R4	R5
Blue B1 :	0	-4	-3	-2	-1
B2 :	4	0	-3	-2	-1

ในที่นี้ strategy B2 ของ Baker ก็ดีเท่าหรือดีกว่า B1 ไม่ว่า Rogers จะทำอะไร กล่าวคือ ดีดีกว่าศูนย์ ศูนย์ ดีกว่าลบสี่ ลบสามดีเหมือนลบสาม ลบสองดีเหมือนลบสอง และลบหนึ่งดีเหมือนลบหนึ่ง ดังนั้น strategy B1 อาจตัดทิ้งไปได้เลยในการหา solution ของเกมนี้ ในทำนองเดียวกัน strategy ที่หก และเจ็ดของ Baker อาจตัดทิ้งไปได้โดย dominance ดังนั้น matrix ที่ลดขนาดลงแล้วจะเป็น

	Red (Rogers)				
	R1	R2	R3	R4	R5
Blue(Baker) B2	4	0	-3	-2	-1
B3	3	3	0	-2	-1
B4	2	2	2	0	-1
B5	1	1	1	1	0

อาจลดขนาดลงได้ไปยิ่งกว่าเพราะว่า Rogers ก็มี strategy ที่ถูก dominated ด้วย strategy B2 ดีเท่าหรือดีกว่า R1 ไม่ว่า Baker จะเลือก strategy ใดจากสี่ strategy ที่ใช้ขณะนี้ (โปรดจำไว้ว่า payoff ใหญ่นั้นดีสำหรับ Baker จะเลวสำหรับ Rogers) ดังนั้นอาจตัด R1 ทิ้งไปได้ เช่นเดียวกัน B2 สำหรับ Rogers เลวกว่า strategies ที่เหลือและดังนั้นเกมก็อาจลดขนาดลงเป็น

Red (Rogers)

	R3	R4	R5
Blue (Baker)			
B2	-3	-2	-1
B3	0	-2	-1
B4	2	0	-1
B5	1	1	0

การ dominance ต่อไปอาจพบได้โดยการพลัดเปลี่ยนระหว่าง strategy ของ Blue และ Red matrix ในที่สุดจะถูกลดขนาดลงจนเหลือ strategy เดียวคือ B5 และ R5 ด้วย payoff เป็นศูนย์ซึ่งเป็น solution ของเกมที่ได้พบมาแล้วก่อนหน้านี้

อย่างไรก็ตามไม่ใช่ว่าทุก ๆ เกมที่มีจุดอานม้าจะสามารถลดขนาดลงได้โดย dominance ดังที่ได้ให้ไว้ใน matrix ต่อไปนี้

Red

	R1	R2	R3	R4	
Blue					
B1	2	3	3	4	2*
B2	1	0	4	3	0
B3	1	4	0	2	0
B4	1	2	3	1	1
	2*	4	4	4	

ในที่นี้จุดอานม้าพบได้ที่จุดตัดกันของ strategy B1 และ R1 ดังนั้น solution คือ B1, R1 และค่าของเกมเป็นสอง อย่างไรก็ตามหากพิจารณาโดย dominance เพียง B4 และ R4 เท่านั้นที่ถูกตัดออก

ในเกมที่ไม่มีจุดอานม้า matrix ควรจะลดขนาดลงให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ โดยการใช้ dominance เพื่อตัด strategy ที่เลวออกไป

### ๓๐๖. Mixed Strategies

ต่อไปจงพิจารณาถึง matrix ที่ไม่มีจุดอานม้าซึ่งผู้เล่นแต่ละฝ่ายมีเพียงสอง strategy ที่ดีเท่านั้น กล่าวคือเป็น  $2 \times 2$  matrix matrix นี้อาจปรากฏขึ้นหลังจากการลด matrix ที่ใหญ่กว่าลงโดย dominance หรือมันอาจเป็นเกมขนาด  $2 \times 2$  เดิม เพื่อเป็นตัวอย่าง จงพิจารณาการปฏิบัติการต่อไปนี้ ซึ่งอาจต้องปฏิบัติซ้ำ ๆ หลายครั้ง

จะทิ้งระเบิดลูกหนึ่งต่อเป้าโดยเครื่องบินทิ้งระเบิดหนึ่งเครื่องจากเครื่องบินที่เหมือนกันสองเครื่อง ส่วนอีกเครื่องหนึ่งจะใช้เมื่อ decoy หรือป้องกันเครื่องบิน fighters ข้าศึก เครื่องบินเครื่องนำมี probability ที่จะรอดอันตราย 0.6 ในการทิ้งระเบิดหนึ่งเที่ยวจาก fighter ข้าศึก ในขณะที่เครื่องบินเครื่องหลังจะมี probability ที่จะรอดพ้นจากอันตราย 0.3 โดยที่อยู่ในตำแหน่งที่ป้องกันน้อยกว่า ถ้าการโจมตีหนึ่งเที่ยวต่อเครื่องบินทิ้งระเบิดเกิดขึ้นก่อนไปถึงเป้า เราจะบรรทุกลูกระเบิดด้วยจุดประสงค์ที่จะทำลายลูกระเบิด

มีหนทางที่จะตั้ง payoff matrix ขึ้นหลายหนทางด้วยกันเพื่อที่จะพิจารณาสถานการณ์นี้ในฐานะเกม ๆ หนึ่ง ยกตัวอย่างให้ payoff เป็น probability ที่ลูกระเบิดไปถึงเป้า ดังนั้นฝ่าย ซึ่งมีลูกระเบิดก็จะเป็น maximizing player ดังนั้นจะเรียกว่าเป็นฝ่าย Blue และแสดงไว้ทางซ้ายมือของ payoff matrix ดังต่อไปนี้

		Red	
		R1	R2
Blue		(โจมตีลำหน้า) (โจมตีลำหลัง)	
		B1 : (บรรทุกลูกระเบิดในลำหน้า)	.6
B2 : (บรรทุกลูกระเบิดในลำหลัง)	1.0	.3	

ถ้าฝ่าย Blue บรรทุกลูกระเบิดในเครื่องบินนำ (ลำหน้า) โอกาสของลูกระเบิดที่จะผ่านไปได้ ถ้าฝ่าย Red โจมตีเครื่องบินนำจะเป็น 0.6 และเป็น 1.0 ถ้า fighter โจมตีเครื่องบินลำหลัง ถ้า Blue บรรทุกลูกระเบิดใน

เครื่องบินลำหน้า โอกาสที่ลูกระเบิดจะไปถึงเป้าถ้าข้าศึกโจมตีเครื่องบินลำหลังก็จะเป็น 0.3 และเป็น 1.0 ในอีกกรณีหนึ่ง

ในการตรวจหาจุดอ่อนม้า การรับประกันได้ผลสำหรับ Blue และ Red อย่างที่เคย Blue สามารถที่จะแน่ใจ payoff อย่างน้อย 0.6 โดยการเลือก strategy B1 ไม่ว่า Red จะเลือก strategy ไหนลูกระเบิดจะผ่านไปได้โดยปราศจากการต่อต้าน กล่าวคือด้วย probability 0.6 ถึงแม้ว่า แดงพร้อมที่จะไม่ใช้ strategy แรกโดยเหตุที่ B1 เป็น strategy ที่ดีที่สุดของ Blue มีความแตกต่างอย่างมากในขนาดระหว่าง maximin และ minimax ใน matrix นี้ ในกรณีเช่นนั้นผู้เล่นแต่ละฝ่ายสามารถใช้ประโยชน์เป็นอย่างมาก หากรู้ว่าอีกฝ่ายหนึ่งใช้ strategy ใด ดังนั้นผู้เล่นแต่ละฝ่ายต้องระมัดระวัง ไม่ให้ฝ่ายตรงข้ามค้นพบ strategy ของเขาก่อนหน้าการปฏิบัติ

		Red		
		R1	R2 (ค่ารับประกันของฝ่ายน้ำเงิน)	
Blue	B1	.6	1.0	.6
	B2	1.0	.3	.3

ค่ารับประกันของฝ่ายแดง : 1.0\* 1.0\*

โดยไม่รู้ว่ายฝ่ายตรงข้ามจะใช้ strategy ใด การเลือกของ Blue ที่ดีที่สุดก็คือการบรรจุลูกระเบิดในเครื่องบินลำหน้า และรับประกัน payoff อย่างน้อยที่สุด 0.6 มีหนทางใดอีกหรือไม่ที่ Blue จะเพิ่มการรับประกันนี้โดยปราศจาก การเสี่ยงที่ไม่จำเป็น สมมติว่าเกมนี้ปฏิบัติซ้ำหลาย ๆ หนและ Blue บรรจุลูกระเบิดในเครื่องบินลำหลังเป็นครั้งคราวเพื่อให้ข้าศึกษาเปิดดวงโดยมุ่งหวังที่จะเพิ่ม payoff เฉลี่ย ยกตัวอย่างเขาอาจใช้ mixed strategy ในการบรรจุลูกระเบิดในเครื่องบินลำหน้า 8/10 ของเวลาทั้งหมดและ 2/10 ในลำหลัง อะไรจะเป็น expected outcome แห่งการใช้ mixed strategy นี้

ถ้า Red โจมตีเครื่องบินลำหน้าเสมอ payoff ของ Blue จะเป็น 0.6 ใน 8/10 ของการเล่นทั้งหมด และ 1.0 ใน 2/10 ซึ่งจะให้ expected (เฉลี่ย) payoff  $.6(8/10) = .68$  อย่างไรก็ตามถ้า Red โจมตีเครื่องบินลำหลังเสมอ expected payoff ของ Blue ควรจะเป็น  $1.0(8/10) + .3(2/10) = .86$  ดังนั้นโดยการใช้ mixed strategy นี้ Blue ควรจะมี expected payoff อย่างน้อย .68 ไม่ว่า Red จะใช้ strategy ใด Expected payoff .68 นี้แน่นอนที่จะใหญ่กว่า payoff 0.6 ที่ Blue สามารถจะรับประกันได้โดยการเล่น B1 เสมอ

		Red	
		R1	R2
Blue			
B1 : (8/10)		.6	1.0
B2 : (2/10)		1.0	.3
Blue's expected payoff :		.68*	.86

จงสังเกตว่าถ้า Red รู้ว่า mixed strategy ของ Blue เป็นอะไรแล้ว (โดยไม่รู้ว่าคุณระเบิดอยู่ที่ไหนในแต่ละการเล่นเฉพาะ) Red ก็จะชอบที่จะโจมตีเครื่องบินที่ระเบิดลำหน้า และทำให้ expectation ของ Blue เป็น .68 แทนที่จะเป็น .86

ในตอนนี้ Blue ก็พยายามที่จะผสม strategy B1 และ B2 ด้วยอัตราส่วน 6/10 และ 4/10 เพื่อต่อต้าน (R1) mixed strategy นี้จะให้ค่า  $.6(6/10) + .3(4/10) = .72$  ดังนั้น expected payoff ที่น้อยที่สุดก็จะเป็น .72 ซึ่งก็ดีกว่าเก่า แต่ Red ขณะนี้จะดีกว่าที่จะโจมตีเครื่องบินลำหลัง

		Red	
		R1	R2
Blue			
B1 : (6/10)		.6	1.0
B2 : (4/10)		1.0	.3
Blue's expected payoff :		.76	.72*

วิธีที่จะให้ต่อไปนี้ในการคำนวณหา mixed strategy ที่ดีที่สุด หรือ optimal strategy กล่าวคือจะทำให้ expected payoff ที่ต่ำสุดของ Blue เป็นค่าที่สูงที่สุดที่จะเป็นไปได้ ค่านี้จะเป็นค่าของเกม (Value of the game (ให้ใช้เครื่องหมาย V) และจะเป็น expected payoff ที่จะต่อต้าน strategy ของ Red ทั้งสอง strategy ค่าของเกมเมื่อผู้เล่นใช้ mixed strategies จะอยู่ระหว่างค่า minimax และ maximin ซึ่งเป็นค่าที่ผู้เล่นควรจะได้รับถ้าทั้งสองฝ่ายใช้ optimal pure strategies เสนอ

ให้  $X_1$  เป็นเศษส่วนของเวลาที่ Blue ควรจะใช้ strategy แรกของเขา และ  $X_2$  เป็นเศษส่วนของเวลาที่เขาควรจะใช้ strategy ที่สองเพื่อให้แน่ใจว่าจะได้มาซึ่งค่า expected payoff ต่ำสุดได้ค่ามากที่สุดจนสังเกตว่า  $X_2 = 1 - X_1$

ดังนั้น  $.6 X_1 + 1.0 X_2$  เป็นค่า expected payoff ต่อ strategy แรกของ Red และ  $1.0 X_1 + .3 X_2$  เป็นค่า expected payoff ที่สองของ Red

Blue	Red	
	R1	R2
B1 = ( $X_1$ )	.6	1.0
B2 = ( $X_2$ )	1.0	.3

Blue's expected payoff :  $.6 X_1 + 1.0 X_2$        $1.0 X_1 + .3 X_2$

โดยเหตุที่ expected payoff ทั้งสองนี้เท่ากับค่าของเกม

$$.6 X_1 + X_2 = V$$

$$X_1 + .3 X_2 = V$$

และ  $X_1 + X_2 = 1$

สิ่งนี้ก็จะสามารถหาค่า  $X_1$  และ  $X_2$  ได้ง่าย ๆ โดยการตั้งให้สองสมการแรกเท่ากัน และแทนค่า  $X_2$  ด้วยจำนวน  $1 - X_1$  กล่าวคือ

$$.6x_1 + x_2 = x_1 + .3x_2$$

หรือ  $.6x_1 + (1 - x_1) = x_1 + .3(1 - x_1)$

แก้หาค่าจะได้  $x_1 = 7/11$

และ  $x_2 = 1 - x_1 = 4/11$

ดังนั้น  $v = .6x_1 + x_2$   
 $= .6(7/11) + 4/11$   
 $= .745$

ดังนั้น Blue มีทางที่จะผสม strategy ของเขาเพื่อให้ expected payoff ของเขาอย่างน้อยที่สุดก็เป็น .745 ไม่  
 ว่า Red จะเลือกใช้ strategy อะไร

		Red	
		R1	R2
Blue	B1 : ( $x_1 - 7/11$ )	.6	1.0
	B2 : ( $x_2 - 4/11$ )	1.0	.3

Blue's expected payoff :      .745      .745

ขณะนี้โดยที่ mixed strategy ที่ดีที่สุดของ Blue ได้หาได้แล้ว มีหนทางที่ดีที่สุดสำหรับ Red ที่จะผสม strategy เพื่อที่จะให้เข้าแน่ใจว่า outcome ที่เป็นไปได้ดีที่สุดเท่าที่จะทำได้ด้วยหรือไม่ ด้วยเหตุผลที่แท้จริงมี solution ของเกมต้องการให้ mixed strategy ดีที่สุดของ Red สามารถที่จะมีได้ด้วย แต่ขั้นแรกจงพิจารณาตัวอย่าง เฉพาะสักหนึ่งตัวอย่าง สมมติว่า Red ใช้ R1 ครั้งหนึ่งของทั้งหมดและ R2 อีกครั้งหนึ่ง ดังนั้นต่อ strategy แรกของ Blue Red ควรจะให้ expected payoff  $.6(1/2) + 1.0(1/2) = .8$  และต่อ strategy ที่สองคือ  $1.0(1/2) + .3(1/2) = .65$  ดังนั้นจากการใช้ mixed strategy นี้ Red ควรจะให้ expected payoff ต่อ Blue ไม่มากไปกว่า .8 ไม่ว่า Blue จะเลือก strategy ใด

		Red		Red's expected payoff to Blue
		R1	R2	
		(1/2)	(1/2)	
Blue	B1	.6	1.0	.80
B2	1.0	.3		.65

สำหรับ Red นั้น expected payoff ที่ไม่มากไปกว่า .8 ก็ดีกว่าที่จะให้ค่ามากถึง 1.0 โดยการให้ strategy เดียว

จุดประสงค์ของ Red ในขณะนี้ก็เพื่อหา mixed strategy ที่จะทำให้ค่า expected payoff ที่สูงสุดเหล่านี้ ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้ สิ่งนี้จะเกิดขึ้นเมื่อ expected payoff ทั้งสองนั้นเท่ากัน

ใช้  $Y_1$  เป็นเศษส่วนขอเวลาที่ Red ควรที่จะใช้  $R_1$  และ  $Y_2$  เป็นเศษส่วนขอเวลาที่เขาใช้  $R_1$  โดยที่  $Y_2 = 1 - Y_1$  เหมือนกัน ดังนั้น

	Red		Red's expected payoff to Blue
	R1	R2	
Blue	.6	1.0	$.6Y_1 + 1.0Y_2 = V$
B1			
B2	1.0	.3	$1.0Y_1 + .3Y_2 = V$

เมื่อตั้งให้ค่า expected payoff นี้เท่ากันจะได้

$$.6Y_1 + 1.0Y_2 = 1.0Y_1 + .3Y_2$$

และแทนค่า  $Y_2 = 1 - Y_1$

$$.6Y_1 + (1 - Y_1) = Y_1 + .3(1 - Y_1)$$

หรือ  $1.0Y_1 = .7$

ดังนั้น  $y_1 = 7/11$

และ  $Y_2 = 1 - y_1 = 4/11$

$$= .6(7/11) + 4/11$$

$$= .745$$

Blue มี mixed strategy ซึ่งรับประกันว่าจะมี expected payoff อย่างน้อยที่สุด .745 และ Red มี mixed strategy ซึ่งยอมให้ Blue มี expected payoff ไม่มากกว่า .745 เมื่อทั้งสองฝ่ายใช้ optimal mixed strategy ของเขา expected payoff .745 เมื่อทั้งสองนี้เท่ากันไม่ใช่เหตุบังเอิญ สำหรับ matrix game ใด ๆ จะมี strategy ที่ดีสำหรับ Red และ Blue ซึ่งจะมีผลอันนี้

Solution ของเกมนี้คือ : Blue จะผสม strategy ที่หนึ่งและสองของเขาตามลำดับ (7/11, 4/11) Red จะผสม strategy ที่หนึ่ง และสองของเขา (7/11, 4/11) และค่าของเกมคือ  $V = .745$  ในเกมนี้ strategy ของ Blue และ Red เป็นอันเดียวกันเพราะ symmetry ใน payoff matrix ซึ่งไม่ใช่เป็นกรณีโดยทั่วไป



เพื่อที่จะทำความเข้าใจต่อศัพท์ซึ่งมักใช้ในเกมนั้นนิยามเพิ่มเติมต่าง ๆ ต่อไปนี้ไว้คือ : การใช้หนทางปฏิบัติเดียว ๆ ของผู้เล่นสำหรับทุก ๆ การเล่นเกมที่เรียกว่า “pure strategy” “mixed strategy” เป็นหนทางแห่งการใช้สองหรือมากกว่าหนทางปฏิบัติในการเล่นต่าง ๆ ของเกมหนึ่ง ๆ “optimal pure strategy” เป็น pure strategy ซึ่งให้การรับประกันที่ดีที่สุดต่อผู้เล่น กล่าวคือ maximin สำหรับ Blue และ minimax สำหรับ Red “optimal strategy” เป็น solution ของเกมใดก็เป็น optimal pure strategy ในเกมที่มีจุดลานม้า และเป็น “optimal mixed strategy” ในเกมอื่น ๆ

เมื่อใช้ optimal mixed strategy ฝ่ายตรงข้ามไม่สามารถใช้ประโยชน์จากการที่รู้ว่า strategy นั้นเป็นอะไร หากว่าเขาไม่ทราบหนทางปฏิบัติซึ่งจะใช้แต่ละการเฉพาะ ดังนั้นในการใช้ mixed strategy ผู้เล่นสามารถแน่วนอนใจในเรื่องของความลับ และป้องกันฝ่ายตรงข้ามไม่ให้เขาได้โดยการใช้เครื่องมือบางอย่างในการเลือกการเล่นตามยุทธการก่อนการเล่นแต่ละครั้ง เพื่อเลือกหนทางปฏิบัติสำหรับการเล่นนั้น ๆ ยกตัวอย่างถ้า Blue ต้องการที่จะใช้ mixed strategy ( $X_1 = 7/11$ ,  $X_2 = 4/11$ ) เขาก็อาจใช้เครื่องมือที่มี 11 เซกเตอร์เท่า ๆ กัน โดยทำเครื่องหมาย B1 ไว้เจ็ดเซกเตอร์ และ B2 อีเซกเตอร์ เขาอาจปล่อยให้ Red ดูเครื่องมือนี้ได้โดยปราศจากผลที่จะกระทบกระเทือนความสำเร็จของเรา แต่ก่อนการเล่นแต่ละครั้งเขาต้องหมุนเครื่องมือที่นั้น โดยไม่ให้ Red ทราบหนทางปฏิบัติ

#### ๓๐๗. การตรวจสอบ solution (checking the Solution)

จะเป็นอย่างไรถ้าเกมนั้นไม่มีจุดลานม้า และไม่สามารถลดลงได้โดย dominance ให้เป็นขนาด  $2 \times 2$ ? การหา solution ต่อเกมเช่นนั้นเกี่ยวข้องกับยิ่งขึ้น ถึงแม้จะมีวิธีต่าง ๆ แล้ว ที่จะใช้ ความแตกต่างที่สำคัญอยู่ที่ว่า  $2 \times 2$  games ถ้าไม่มีจุดลานม้า ซึ่ง pure strategy เป็น optimal หรือไม่ก็ขึ้นอยู่กับชนิดของ “all strategies active” games ที่ทุกหนทางปฏิบัติจะใช้ใน optimal mixed strategy

เกมที่ใหญ่กว่ามีความเป็นไปได้อื่น ๆ อีก ถึงแม้ว่าจะไม่มีจุดลานม้าเกมนั้นอาจไม่มีทุก strategy จะเป็น active กล่าวคือ optimal strategy อาจใช้ส่วนหนึ่งของ pure strategies ที่มี ใน  $3 \times 3$  game ต่อไปนี้ไม่มีจุดลานม้า

		Red		
		R1	R2	R3
Blue	(Y <sub>1</sub> )			
	B1 : (X <sub>1</sub> )	3	12	8
	B2 : (X <sub>2</sub> )	6	6	5
B3 : (X <sub>3</sub> )	9	4	6	

ให้  $X_1$ ,  $X_2$  และ  $X_3$  เป็นเศษส่วนของเวลาทั้งหมดที่ Blue จะเล่น B1, B2 และ B3 ตามลำดับ โดยการใช้ optimal mixed strategy ของเขา ให้  $Y_1$ ,  $Y_2$  และ  $Y_3$  มีนิยามทำนองเดียวกันสำหรับ Red ดังนั้น  $X_1 + X_2 + X_3$  และ  $Y_1 + Y_2 + Y_3 = 1$  และบางค่าอาจเป็นศูนย์สำหรับผู้เล่นแต่ละคน

ถ้า Blue ใช้ mixed strategy นี้  $(X_1, X_2, X_3)$  expected payoff ควรจะเป็น

$$3X_1 + 6X_2 + 9X_3 \quad \text{ถ้า Red ใช้ R1}$$

$$12X_1 + 6X_2 + 4X_3 \quad \text{ถ้า Red ใช้ R2}$$

$$8X_1 + 5X_2 + 6X_3 \quad \text{ถ้า Red ใช้ R3}$$

สำหรับที่จะให้เป็น optimal mixed strategy ของ Blue แต่ละ expected payoff เหล่านี้จะต้อง “ใหญ่กว่า” หรือ “เท่ากับ” ค่าของเกม

เช่นเดียวกันถ้า Red ใช้ mixed strategy  $(y_1, y_2, y_3)$  expected payoff ที่ให้ต่อ Blue ควรจะเป็น

$$3y_1 + 12y_2 + 8y_3 \quad \text{ถ้า Blue ใช้ B1}$$

$$6y_1 + 6y_2 + 5y_3 \quad \text{ถ้า Blue ใช้ B2}$$

$$9y_1 + 4y_2 + 6y_3 \quad \text{ถ้า Blue ใช้ B3}$$

สำหรับที่จะให้เป็น optimal mixed strategy ของ Red แต่ละ expected payoff เหล่านี้ต้อง “น้อยกว่า” หรือ “เท่ากับ” ค่าของเกม

ดังนั้น solution ของเกมนี้ประกอบด้วยการหาค่า  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$ ,  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$  และ  $v$  เพื่อให้ความสัมพันธ์ต่อไปนี้เป็นจริง

$$13x_1 + 6x_2 + 9x_3 \quad v$$

$$12x_1 + 6x_2 + 4x_3 \quad v$$

$$8x_1 + 5x_2 + 6x_3 \quad v$$

$$3y_1 + 12y_2 + 8y_3 \quad v$$

$$6y_1 + 6y_2 + 5y_3 \quad v$$

$$9y_1 + 4y_2 + 6y_3 \quad v$$

$$x_1 + x_2 + x_3 = 1 \quad \text{โดยที่แต่ละ } x \text{ ไม่เป็นลบ และ}$$

$$y_1 + y_2 + y_3 = 1 \quad \text{โดยที่แต่ละ } y \text{ ไม่เป็นลบ}$$

วิธีเฉพาะจะไม่แสดงไว้ในหนังสือเล่มนี้ในการแก้เกมที่โตกว่า  $2 \times 2$  ข้อความข้างบนนี้อาจใช้ได้  
ง่ายเพื่อยืนยัน หรือตัดทิ้ง solution ที่ “เป็นไปได้” ออกไป

ยกตัวอย่างมันจะเป็น optimal หรือไม่สำหรับทั้ง Blue หรือ Red ที่จะให้แต่ละ strategy เหล่านี้  $1/3$   
ของทั้งหมด กล่าวคือ Blue :  $(1/3, 1/3, 1/3)$  และ Red :  $(1/3, 1/3, 1/3)$  ?

ข้อความเดียวกันต้องได้รับการทดสอบ มีค่า V หรือไม่ที่ :

สำหรับ Blue

$$3(1/3) + 6(1/3) + 9(1/3) = 6 \quad V$$

$$12(1/3) + 6(1/3) + 4(1/3) = 7 \frac{1}{3} \quad V$$

$$8(1/3) + 5(1/3) + 6(1/3) = 6 \frac{1}{3} \quad V$$

และสำหรับ Red

$$3(1/3) + 12(1/3) + 8(1/3) = 7 \frac{2}{3} \quad V$$

$$6(1/3) + 6(1/3) + 5(1/3) = 5 \frac{2}{3} \quad V$$

$$9(1/3) + 4(1/3) + 6(1/3) = 6 \frac{1}{3} \quad V$$

จะไม่มีตัวเลข V ซึ่งทำให้ข้อความเหล่านั้นทุกข้อความเป็นจริง ดังนั้น strategy เหล่านี้ไม่ optimal  
ด้วย strategy เหล่านี้ expected payoff ที่น้อยที่สุดของ Blue จะเป็นหก และ expected payoff ที่มากที่สุดของ Red  
(ต่อ Blue) คือ  $7 \frac{2}{3}$  ถ้า strategy เหล่านี้ optimal ค่า expected payoff ที่ต่ำสุดของ Blue และค่าที่สูงของ Red ต้อง  
เท่ากัน (ต่อทั้งสองฝ่าย และเท่ากับค่าของเกม) และ solution ก็อาจที่จะหาได้

### ๓๐๘. การตัดสินใจทางทหารและทฤษฎีของเกม

การตัดสินใจของผู้เล่นที่จะพยายามเพิ่มผลกำไรของเขาเหนือค่าซึ่งรับประกันได้โดย optimal pure  
strategy จะเกี่ยวกับการเสี่ยงอยู่บ้างเสมอ จงระลึกว่า solution ใน mixed strategies ให้ค่า expected payoff เท่ากับ  
ค่าของเกม ทฤษฎีนี้ยึดอยู่กับคำว่า “expected” เมื่อจำนวนของการกระทำซ้ำของเกมเพิ่มขึ้น probability ของ  
expected payoff นี้จะโน้มเอียงไปหาความแน่นอน แต่สำหรับการเล่นหนึ่งครั้งของเกมนั้นผู้เล่นอาจรู้สึกว่าจะ  
เป็นแค่ค่าของเกม

กลุ่มที่ผู้เล่นจะเลือกที่จะใช้ solution หรือ mixed strategy เขาต้องพิจารณาจำนวนครั้งของเกมที่จะ  
ไปเล่น และถึงสิ่งที่ตัวเลขใน payoff matrix นั้นแทนอะไร มีความแตกต่างเป็นอย่างมากระหว่างเรือบรรทุก  
เครื่องบิน และหมวดปืนเล็กยาว คนจะมีความโน้มเอียงน้อยกว่าที่จะยอมรับการเสี่ยงมาก ณ ที่ซึ่งจะต้องเสี่ยงต่อ

การสูญเสียเรือบรรทุกเครื่องบิน อย่างที่เขาจะเป็นถ้าเขาอยู่ในตำแหน่งที่จะสูญเสียหมวดปืนเล็กยาว จงพิจารณา game matrix ดังต่อไปนี้

		Red	
		R1	R2
Blue	B1	-2	6
	B2	3	1

Optimal mixed strategy สำหรับ Blue ก็คือเล่น B1 ด้วย probability 1/5 และ B2 ด้วย probability 4/5 นี่อาจยอมรับได้ถ้าตัวเลขนั้นแทนหมวดปืนเล็กยาว กล่าวคือเราอาจเสี่ยงในการสูญเสียสองหมวดปืนเล็กยาวเพื่อแลกกับที่จะได้กำไรหมวดปืนเล็กยาว อย่างไรก็ตามถ้าตัวเลขนั้นแทนจำนวนเรือบรรทุกเครื่องบิน ก็จะเป็นการยากที่จะเกิดในการเลือกเช่นนั้นปัญหาที่จะต้องตอบเสมอในฐานะผู้ตัดสินใจว่า expected gain โดยการใช้ mixed strategy ก็คือว่าจะคุ้มค่าต่อการเสี่ยงที่จะได้ payoff ที่เร็วกว่าค่ารับประกันโดย optimal pure strategy หรือไม่

ถึงแม้ว่าจะมีการเสี่ยงเกี่ยวข้องอยู่ในการเลือก mixed strategy solution มากกว่า pure strategy solution แบบอนุรักษนิยม มีการสนับสนุนบางประการในการเลือกเช่นนั้น ถึงแม้จะเป็นกรณีของเกมทีเล่นครั้งเดียวที่สองก็คือเราหวังที่จะปฏิบัติหลายครั้งต่อ single – play games ในระหว่างชีวิตจริง การเล่น single – play games แตกต่างกันไปเป็นชุด ๆ นั่นก็เหมือนกับที่จะเล่นเกมเดียวกันหลาย ๆ ครั้ง ผู้เล่นที่ใช้ optimal pure strategy หวังที่จะได้รับมากกว่าค่ารับประกันของเขาในบางเกมและน้อยกว่าค่ารับประกันในบางเกม

ในการวางแผนทางเรือการประมาณสถานการณ์นั้นข้อไขุ่ใจความก็เป็นการรวบรวม game matrix นั้นเอง ผู้บังคับบัญชาจัดหาชุดหนทางปฏิบัติของตนเองขึ้น เพื่อสู้กับขีดความสามารถของข้าศึก ปฏิกริยาหาร่วมกันของทั้งสองฝ่ายจะได้รับการศึกษาเพื่อพิจารณาหา expected outcomes ดังนั้น outcome เหล่านี้จะกลายเป็น element ต่าง ๆ ใน game matrix นี้ ไม่จำเป็นที่ outcome เหล่านี้จะต้องเป็นตัวเลขแต่จำเป็นที่ outcome จะต้องได้รับการจัดลำดับแห่งคุณค่าต่อผู้บังคับบัญชา ปัญหาของผู้บังคับบัญชาคือการเลือกหนทางปฏิบัติที่ดีที่สุด หลักนิยมนี่ได้วางไว้ได้ กล่าวว่าการเลือกหนทางปฏิบัติซึ่งจะให้มีความสำเร็จมากที่สุดในการปฏิบัติภารกิจ “ไม่ว่าข้าศึกจะเลือกอะไรในการต่อต้าน”

ในตัวอย่างต่อไปนี้ ภารกิจของ Blue ก็คือการยึดจุดมุ่งทางวัตถุที่ป้องกันฝ่ายแดง Blue จะลงรายการขีดความสามารถของข้าศึก และหนทางปฏิบัติของตนเองไว้ และคำนวณหาปฏิกริยาหารหว่างกัน โดยสรุปสมมติว่าเขาได้ payoff matrix ดังนี้

## ขีดความสามารถของฝ่ายแดง

	R1	R2	R3
B1	แพ้	ชนะ	ชนะ
B2	เสมอ	ชนะ	เสมอ
B3	ชนะ	แพ้	แพ้

การเลือกที่เหมาะสมของ Blue คือ B2 เพราะอย่างเร็วที่สุด ผลที่ได้คือ “เสมอ” สิ่งนี้ก็ตรงกับทฤษฎีของเกมในการเลือก optimal pure strategy

การทราบแผนของกลุ่มต่อสู้ สามารถที่จะมีค่าถ้าไม่มีจุดอานม้าใน game matrix นั้น ข่วกรองนี้ทำให้ผู้เล่นสามารถที่จะ maximize ต่อหนทางปฏิบัติของข้าศึกหนทางหนึ่งที่ยิ่งไปกว่าของทั้งขีดความสามารถของข้าศึกทั้งหมด ถ้าปรากฏข่วกรองไม่สมบูรณ์อย่างเพียงพอที่จะค้นให้พบซึ่งหนทางปฏิบัติของข้าศึก แต่ขจัด strategy ของข้าศึกบางข้อออกไป ซึ่งหนทางปฏิบัติเหล่านี้ อาจถูกปฏิบัติเหมือนอย่างถูก dominate และตัดทิ้งไปได้จาก matrix การใช้การข่วกรองก็เหมือนกับการลงรายการเจตน์จำนง (intention) ของข้าศึกแทนขีดความสามารถของข้าศึก คุณค่าของการข่วกรองมีความสัมพันธ์กับความแตกต่างระหว่าง minimax และ maximin ถ้าความแตกต่างนี้ยิ่งน้อย การข่วกรองก็ยิ่งมีค่าน้อยเท่านั้น

โดยทั่ว ๆ ไปผลประโยชน์ที่ขัดกันไม่มีตราซึ่งอันเดียวกันในการวัดคุณค่า ที่หมายความว่าตัวเลขที่ได้ไว้ใน matrix จะไม่ได้รับการพิจารณาค่าโดยเท่า ๆ กันจากผู้เล่นทั้งสองฝ่าย ยิ่งกว่านั้นผู้บังคับบัญชาผู้ซึ่งใช้ขีดความสามารถของข้าศึก และตัดสินใจโดยใช้ pure strategies จะไม่วิตกเกี่ยวกับคุณค่าของตาซึ่งอันนี้ของข้าศึก ถ้าข้าศึกเฉไปจาก strategy ที่ถูกต้องเขาจะยิ่งเพิ่ม payoff ให้แก่ผู้บังคับบัญชาของเรา การปฏิบัติของฝ่ายตรงข้ามในกรณีเช่นนั้น อาจถือได้ว่าเป็น international behavior อาจเป็นไปได้ที่คู่ต่อสู้ฝ่ายหนึ่ง (หรือทั้งสองฝ่าย) ในตอนสุดท้ายของเกมพิจารณาว่าเขาได้รับ payoff ใหญ่กว่าค่ารับประกันต่ำสุดของเขา ดังนั้นในสถานการณ์ที่ขัดแย้งกันนั้น ผลประโยชน์หรือกำไรของฝ่ายหนึ่ง ไม่จำเป็นที่จะต้องเป็นการสูญเสีย หรือการขาดทุนของฝ่ายหนึ่ง การสงครามในตัวของมันเองก็แสดงอยู่แล้วว่าเป็น non-zero sum games

ในการถกแถลงเรื่อง mixed strategies ก่อนหน้านี้ได้รับการสังเกตแล้วว่าผลที่ได้จะได้รับการยืนยันก็เพียงภายหลังจากการกระทำซ้ำหลาย ๆ ครั้ง เพื่อให้ได้มาซึ่ง statistical probability ในการเล่นนี้ การปฏิบัติที่ติดต่อกันในเรื่องทางการทหารนั้น ตามปกติจะไม่ก่อให้เกิดกรณีแวดล้อมของการเล่นครั้งแรกของเกมนั้น อาจปรากฏว่า นี่ก็จุดหกดะเมนในการใช้แนวความคิดของ mixed strategies

เป็นที่น่าสนใจที่จะสังเกตว่า von Neumann Morgenstern ในการหาทฤษฎีของเขาเช่นเกี่ยวกับ mixed strategies นั้น ได้แก้ปัญหาเฉพาะของเกมในการเล่นเพียงครั้งเดียวเท่านั้น เขาแสดงให้เห็นว่าหนทางปฏิบัติในสถานการณ์ของ mixed strategy ที่เล่นเพียงครั้งเดียว การที่จะได้รับการเลือกโดย random choice ในลักษณะเดียวกันเหมือนอย่างที่ได้ชี้ให้เห็นสำหรับการเล่นซ้ำ ๆ ของเกมนั้น ๆ ตามความจริงแล้วนักคำนวณบริสุทธิ์อาจแย้งว่าทฤษฎีนี้ได้รับการพิสูจน์สำหรับการเล่นเพียงครั้งเดียวเท่านั้น ไม่ได้ขยายออกไปถึงเกมที่เล่นหลาย ๆ ครั้ง ในหนังสือชื่อ “Compleat Strategiat’ Williams ได้อุทิศความสนใจในจุดนี้เป็นอย่างมาก เขากล่าวว่าส่วนหนึ่งของการตกลงของเขาในสถานการณ์ดังต่อไปนี้

“จงพิจารณาถึงเกมที่ไม่สามารถเล่นซ้ำได้เกมหนึ่ง ซึ่งมีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งซึ่งคู่ต่อสู้ของคุณมีความรอบรู้เกี่ยวกับมนุษย์ทุกชนิดเป็นอย่างดีเยี่ยม สมมติด้วยว่าจะเป็นการฆาตกรรมถ้าคู่ต่อสู้ของคุณ “รู้” ว่าคุณจะใช้ Strategy อะไร ความหวังของคุณประการเดียวก็คือเลือก strategy โดยเครื่องมือ การเลือกโอกาสซึ่งการข่าวกรองของข้าศึกไม่สามารถทำอะไรได้ แน่แน่นอนแม้กระนั้นก็ตามเขาอาจโชคดีและทราบล่วงหน้าถึงการเลือกของคุณ แต่คุณยอมรับการเสี่ยงบางประการทฤษฎีของเกมเพียงแต่บอกคุณถึงลักษณะต่าง ๆ เกี่ยวกับว่าเครื่องมือการเลือกโอกาสของคุณควรมีอะไรบ้าง

คุณอาจสรรหาหรือตัดแปลงจุดที่สนะว่าคุณจะเล่นเกมที่นั้น ๆ หลาย ๆ เกม ตั้งแต่อนเพลต จนกระทั่งถึงหลุมฝังศพไม่ใช่ทุกเกมจะเป็นเกมสังหารไปทั้งหมด และว่าการใช้ mixed strategy จะทำให้การตีค่าเฉลี่ยของคุณดีขึ้นในชุดของเกมเหล่านี้”

มีเหตุผลหลายประการว่า ทำไมผู้บังคับบัญชาทหารซึ่งเผชิญหน้ากับภาพของ mixed strategy ใน matrix ของเขาในสถานการณ์ของการเล่นเพียงครั้งเดียว ถึงต้องอยู่ภายใต้ความกดดันในอันที่จะต้องปฏิบัติตามหนทางปฏิบัติแบบอนุรักษนิยม เล่น maximin game ในการประเมินค่าขีดความสามารถของข้าศึก ประการแรกหลักนิยมปัจจุบันชอบหนทางปฏิบัตินี้ การฝึกซึ่งเขาเคยกระทำนำเขาไปยังข้อสรุปนี้ ยกเว้นในสถานการณ์แวดล้อมที่ชัดเจนอย่างแท้จริง กระสวนอย่างเคยปฏิบัติของผู้ใหญ่ก็คือ การมอบกำลังอันพอเพียงให้กับผู้ได้บังคับบัญชาในอันที่จะกระทำให้บรรลุจุดประสงค์ได้ และแล้วก็เหนียวรั้งตนเองไว้อย่างจำกัดภายใต้ผลอันนี้ การพ่ายแพ้สามารถมีผลกระทบต่ออาชีพของผู้นำได้ ดังนั้นอนุรักษนิยมก็ได้รับการเสริมให้เข้มแข็งยิ่งขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น tradition ของชาวอเมริกาก็แสดงความไม่พอใจต่อการเสียดสีต่อคนและวัตถุเพื่อก่อให้เกิดสถานการณ์แห่งความสำเร็จในอนาคตด้วย ทุกสิ่งทุกอย่างเหล่านี้เพิ่มความโน้มเอียงไปยังอนุรักษนิยมโดยการใช้กำลังที่เหนือกว่าเป็นอย่างยิ่ง และการแสวงหาแห่งชัยชนะมันเคยสำเร็จในอดีต

ควรจะเป็นที่ประจักษ์ชัดในขั้นนี้แล้วว่า หลักนิยมนั้นไม่เพียงพอสำหรับสถานการณ์แห่งความเข้มแข็งที่เท่ากันหรือน้อยกว่า และมีความสงสัยเป็นอย่างยิ่งว่า มันจะบรรลุผลที่ต้องการได้ด้วยค่าใช้จ่ายที่น้อย

ที่สุดและเวลาที่น้อยที่สุดแม้ว่าเมื่อกำลังเหนือกว่า เราสามารถที่จะเปลี่ยนหลักนิยมของเราเพื่อใช้ประโยชน์แห่งกำไรของ mixed strategy นี้ได้อย่างไร

Colonel Haywood ได้ให้คำแนะนำหลายประการในวิทยานิพนธ์ของเขาในเรื่องนี้ ประการแรกไม่ได้หมายความว่าที่บีบบังคับที่จะใช้ความเหนือกว่าของ mixed strategy โดยไม่สมควร “หมอแห่งสงคราม” จะมีผลบางประการ การเลือก strategy ของเรา (และของข้าศึก) โดยเหตุการณ์ เขาแนะนำว่า (แทนที่จะใช้ mixed strategy ที่พิจารณาแล้วอย่างเต็มที่) ความเหนือกว่าในการควบคุมจำนวนของหน่วยรองซึ่ง (กระทำโดยแบบเหตุการณ์) ว่าหน่วยรองเหล่านี้ยึดหลักการปฏิบัติของเขามนราฐานของขีดความสามารถสำหรับบางระยะเวลาและใช้เจตน์จำนงบ้างในบางโอกาส

ความมุ่งประสงค์ของข้อ 303 ถึง 307 ก็มีเพื่ออธิบายแบบง่าย ๆ แห่งทฤษฎีของเกม โดยมี ความหวังว่าผู้อ่านจะมีความสนใจพอที่จะติดตามในเรื่องนี้ต่อไปได้ ทฤษฎีของเกมให้ทัศนะต่าง ๆ กัน เกี่ยวกับการตัดสินใจทางทหาร ผู้บังคับบัญชาผู้คุ้นเคยกับทฤษฎีของเกมอาจช่วยการคิดของเขาได้โดยการเพิ่มความหยั่งเห็น (insight) ใหม่และสดเข้าไปสิ่งนี้เป็นสิ่งที่มีคุณค่าที่สุดที่ทฤษฎีของเกมจะให้ได้ ณ เวลานี้ ยกเว้นในย่านจำกัดแห่งปัญหา เพราะว่ามันจะไม่มี Solution dilemmas ในการวางแผนทางทหารที่แท้จริง อย่างไรก็ตาม ถึงแม้จะมีขีดจำกัดในการใช้ทฤษฎีนี้ในปัญหาทางทหารก็ยังมีข้อสรุปบางประการซึ่งปรากฏว่าจะเป็นประโยชน์ในปัจจุบัน

ก. การใช้รูป matrix สำหรับแทนปฏิกริยาระหว่างกันแห่ง strategy นั้น เหนือกว่าที่ได้แนะนำไว้ในคู่มือการวางแผนทางเรือ (Naval Planning Manual) ควรที่จะใช้มันในฐานะข้อสรุปย่อ ๆ และเป็นเครื่องช่วยทางทัศน์ของผู้บังคับบัญชา

ข. การทำความเข้าใจกับแนวความคิด ของ “maximin, minimax, pure strategy และ mixed strategy” จะทำให้ผู้บังคับบัญชาสามารถที่จะใช้ matrix ของเขาเป็นเครื่องตรวจสอบ (check) ประการที่หนึ่งในการตรวจสอบ “การประมาณสถานการณ์” ไม่แนะนำให้ใช้ในฐานะการประมาณ อย่างไรก็ตามเชื่อกันว่าภายิตหรือ maxim ของ Colomel Haywood นี้ใช้ได้ดี กล่าวคือ :

“ถ้าผู้บังคับบัญชาไม่พร้อมที่จะสร้าง matrix สำหรับ strategy ที่จัดกันสำหรับสถานการณ์นั้นได้ เขาก็ไม่พร้อมที่จะตัดสินใจ”

ค. ถ้าข้อความทางคณิตศาสตร์แห่งคุณค่า ของแต่ละ outcome นั้นมีเพื่อที่จะใส่ใน matrix ทฤษฎีนี้จะได้ strategy ที่เหมาะที่จะตามหรือบอกย่านแห่งการเลือก โดยเหตุที่ไม่มีตาชั่งสำหรับคุณค่าที่จะวัด payoff ทาง การทหารดังนั้น mixed strategy ก็มักไม่ได้ใช้กัน อย่างไรก็ตามโดยการใช้ scale ทางคุณภาพที่นำพาเอาใจผู้บังคับบัญชาที่สามารถจะชี้แนะจากความสัมพันธ์ท่า matrix ต่อ strategy ที่เหมาะสมซึ่งขึ้นอยู่กับย่านแห่งความ

ไม่แน่นอนซึ่งมีอยู่ใน scale นี้ ความสัมพันธ์เหล่านี้สามารถที่จะเป็นประโยชน์เพื่อเป็นตัว check ต่อส่วนเนื้อเรื่องของการประมาทสถานการณ์ถ้าไม่รับกันเขาก็จะมีการเตือนที่จะชัดเจนว่าจะต้องหยุดและพิจารณาใหม่

ง. matrix สามารถที่จะสรรหา (นั่นอยู่กับย่านแห่งความไม่แน่นอนแห่ง scale ของคุณค่า) มาตราวัดแห่งคุณค่าแห่ง intelligence effort และความแตกต่างใน payoff ระหว่างการประเมินบนรากฐานของขีดความสามารถของข้าศึก และบนรากฐานของเจตน์จำนงของข้าศึก

จ. ทฤษฎีของเกม จะชี้ถึงความเป็นอนุรักษ์นิยมอย่างแท้จริงของหลักนิยมทางทหาร ปัจจุบันอย่างชัดเจนแห่งการประเมินบนรากฐานของขีดความสามารถของข้าศึก ซึ่งไม่เหมือนกับหลักนิยม เช่นนั้น มันชี้หนทางปฏิบัติถ้ากำลังเท่ากันหรือน้อยกว่ากำลังข้าศึก

ฉ. โดยเหตุที่ตาชั่งของคุณค่า เป็นจุดสำคัญในเรื่องนี้ให้เห็นถึงความสำคัญของการรู้จักข้าศึก (Knowing your enemy) ในบางสถานการณ์แวดล้อมดังนั้นจึงเป็นการยืนยันทัศนคติทางการทหารเท่านั้น



### ปัญหา

1. ทันทีหลังขึ้นจาสนามบินอยู่ทะเลาเพื่อปฏิบัติการกิจที่สำคัญ เรือเอกนาวิ ได้สังเกตว่าความดันน้ำมันค่า (oil pressure) และไม่อยู่กับที่ เขาควรจะบินต่อหรือไม่ ? มันอาจเป็นเพียงเครื่องวัดน้ำมันเสีย หรืออีกประการหนึ่งก็คือน้ำมันรั่วจริงซึ่งอาจก่อให้เกิดมหันตภัยได้ เรือเอกนาวิ ต้องการปฏิบัติการกิจให้สำเร็จเป็นประการสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามความปลอดภัยของตัวเอง และเครื่องบินก็สำคัญเหมือนกัน

สมมติว่า เขาคาดการณ์ล่วงหน้าต่อสถานการณ์เช่นนั้นได้ และมีเวลาพอในการตั้ง payoff matrix ต่อไปนี้ขึ้นมาได้

		N1	N2
		เครื่องวัดเสีย	น้ำมันรั่ว
S1	บินต่อ	10	-20
S2	บินกลับ	-5	0

๙. อะไรคือทางเลือกแบบอนุรักษ์นิยม ?
๑๐. การเลือกอย่างไรถึงจะรับประกันความเสียหายที่น้อยที่สุด ?
๑๑. ถ้าใช้เกณฑ์แห่งความมีเหตุผลจะเลือกทางไหน ?
๑๒. เขาจะต้องใช้สัมประสิทธิ์ในการมองโลกในแง่ดีเป็นเท่าใด จึงจะทำให้เลือกบินต่อไป

2. ในระหว่างการเดินทางด้วยรถยนต์ เรือตรีกลิน ได้สังเกตว่าเครื่องวัดน้ำมันเข็มชี้ที่ศูนย์ และเขาไม่ทราบว่าเขาจะไปถึงที่หมายปลายทางได้ก่อนน้ำมันหมดหรือไม่ เขาประมาณว่าโอกาสที่จะไปถึงเป็น 80% เขาอาจนำเอาถุงน้ำมัน อะไหล่ที่อยู่ท้ายรถออกมาใช้ได้ แต่ฝนกำลังตกหนักและเขาไม่อยากเปียกด้วย ถ้าน้ำมันหมดและเขายังไม่ถึงปลายทาง ดังนั้น เขาก็จะเติมน้ำมันจากท้ายรถเข้าถังได้แต่รถ (แบตเตอรี่อ่อน) อาจสตาร์ทใหม่ไม่ติด ทุกสิ่งทุกอย่างได้รับการพิจารณาแล้วเขาได้ payoff matrix ดังต่อไปนี้

		N1	N2
		กะว่าน้ำมัน	น้ำมันไม่พอ
		พอ	
S1 :	เติมน้ำมันเดี๋ยวนี้	-5	-5
S2 :	ลองเสี่ยงดู	0	-15

ก. การตัดสินใจของเรือตริกติน เป็นการตัดสินใจภายใต้ความแน่นอน ภายใต้ความเสี่ยงหรือภายใต้ความไม่แน่นอน ?

ข. เขาควรตัดสินใจอย่างไร ?

จาก payoff matrix ต่อไปนี้

	N1	N2	N3	N4
S1 :	5	1	5	2
S2 :	3	2	3	3
S3 :	4	6	0	5

อะไรคือ strategy ที่ดีที่สุด :

๙. โดยการใช้เกณฑ์ของ Wald ?
๑. โดยการใช้สัมประสิทธิ์ในการมองโลกในแง่ดีเป็น 0.4 ?
๒. โดยการใช้เกณฑ์แห่งความเสียใจน้อยที่สุด ?
๓. โดยการใช้เกณฑ์ ของ Laplace ?

4. ฝ่ายนำเงินมีที่ตั้งทางทหารสองแห่งซึ่งข้าศึกจะโจมตี ฝ่ายนำเงินให้ค่าของที่ตั้ง A หนึ่งหน่วย และที่ตั้ง B สามหน่วย เขามีความสามารถที่จะป้องกัน A หรือ B ได้อย่างเต็มที่แต่ไม่ใช่ทั้งสองแห่งพร้อม ๆ กัน ข้าศึกของเขาคือฝ่ายแดงก็มีความสามารถที่จะโจมตีแห่งหนึ่งแห่งใด แต่ไม่ใช่ทั้งสองแห่งพร้อม ๆ กัน ฝ่ายนำเงินต้องการที่จะวิเคราะห์สถานการณ์นี้จากหลักการของทฤษฎีเกม

ก. ให้ตั้ง game matrix แทนสถานการณ์นี้

ข. จงกล่าวถึง MOD ที่ใช้

ค. อยากทราบว่า strategy ใดที่รับประกันฝ่ายนำเงินอย่างน้อยที่สุดให้ได้รับ maximin payoff?

5. จงพิจารณาเกมต่อไปนี้ : ฝ่าย A มี strategies ที่เป็นไปได้สาม คือ X, U, Z ฝ่าย B มีสอง strategies คือ W, V

ข้อตกลงกันในการจ่ายเงินเกี่ยวกับการเลือก strategies ต่าง ๆ มีดังนี้ :

X, W : A จ่าย B 7 ดอลลาร์

X, V : A จ่าย B 2 ดอลลาร์

Y, W : A จ่าย B 1 ดอลลาร์

Y, V : B จ่าย A 1 ดอลลาร์

Z, W : B จ่าย A 3 ดอลลาร์

Z, V : B จ่าย A 6 ดอลลาร์

จงหา :

ก. (1) optimal pure strategy สำหรับ A. (2) optimal pure strategy สำหรับ B.

ข. ค่าของเกม

6. จงแก้เกมต่อไปนี้ โดยการหา optimal strategy สำหรับผู้เล่นแต่ละฝ่าย และหาค่าของ เกมด้วย :

(a)

3	0	3
-3	-2	2
2	-2	-1

(b)

0	-4	-5
-2	-3	-2
-5	-4	0
-2	-4	-1

(c)

2	5	3	0	1
5	0	1	1	2
3	4	5	3	4
4	1	2	0	3
0	2	0	2	1

7. จงแก้เกมต่อไปนี้โดยการหา optimal mixed strategy สำหรับผู้เล่นแต่ละฝ่ายและค่าของเกม :

(a)

4	2
2	3

(b)

0	7	7
10	4	3

(c)

6	3	1	2	6	5
5	3	2	2	7	5
6	5	6	5	4	4
4	6	5	7	5	4
5	7	6	7	4	4

(d)

4	-5
-3	5

(e)

-1/3	1/4
1/2	0

8. ในโจทย์ข้อ 4:

- ก. อะไรคือ optimal pure strategy สำหรับฝ่ายน้ำเงิน?
- ข. อะไรคือ optimal mixed strategy สำหรับฝ่ายน้ำเงิน ?
- ค. ฝ่ายน้ำเงินจะปฏิบัติต่อ optimal mixed strategy นี้อย่างไร ถ้าเกมนี้จะเล่นซ้ำหลาย ๆ ครั้ง

9. นาวาเอก นาวิก ใช้กำลังสามกองพันในการป้องกันที่ตั้งสองแห่ง ฝ่ายข้าศึก (ฝ่ายแดง) ซึ่งมีกำลังสองกองพันหวังว่าจะโจมตีที่ตั้งหนึ่งแห่ง หรือทั้งสองแห่งพร้อมกัน นาวาเอก นาวิก กำลังตัดสินใจที่จะแบ่งกำลังในการป้องกันให้ดีที่สุดในช่วงที่ตั้งสองแห่งนี้ เขาจึงตัดสินใจดังต่อไปนี้ เกี่ยวกับสถานการณ์ คือ

- (1) แต่ละกองพันมีค่าหนึ่ง
  - (2) ที่ตั้ง A มีค่าเท่ากับหนึ่งกองพัน ถ้าถูกยึดได้
  - (3) ที่ตั้ง B มีค่าเท่ากับสองกองพัน ถ้าถูกยึดได้
  - (4) การจับกองพันข้าศึกใด ๆ ไปได้จะมีค่าหนึ่ง
  - (5) ฝ่ายที่มีกำลังเหนือกว่าจะป้องกันที่ตั้ง ได้หรือยึดที่ตั้งข้าศึก ได้และจะจับกองพันฝ่ายตรงข้ามได้ด้วย
  - (6) ในที่ ๆ กำลังทั้งสองข้างเท่ากันก็จะเสมอกันคือไม่ได้ไม่เสีย
๙. ให้ตั้งเมทริกซ์ที่ตัวเลขแทนกำไรสุทธิของนาวาเอก นาวิก (หรือขาดทุน)
  ๑๐. จาก optimal pure strategy ของนาวาเอก นาวิก อะไรคือ payoff ที่เขารับประกันว่าจะได้?
  ๑๑. จาก optimal pure strategy ของฝ่ายแดง ฝ่ายแดงจะรับประกันอะไร?
  ๑๒. ท่านทราบอะไรเกี่ยวกับค่าของเกมนี้?

10. ในปัญหาต่อ ๆ ไปนี้ การหาคำตอบคือ optimal mixed strategy นอกเหนือขอบเขตของตำราเล่มนี้ โดยปราศจาก

ความพยายามที่จะแก้ปัญหา :

๙. จงเดาหา mixed strategy ที่ดีสำหรับนาวิกและจงคำนวณหา expected payoff ต่อแต่ละหนทางปฏิบัติของฝ่ายแดง นาวิกจะรับประกันได้อย่างไรต่อการใช้ mixed strategy นี้? (ค่าของเกมนี้จะต้องไม่น้อยกว่าค่ารับประกันนี้)
๑๐. จงเดาหา mixed strategy ที่ดีสำหรับฝ่ายแดง และจงคำนวณหา expected payoff ต่อแต่ละหนทางปฏิบัติของนาวิก ฝ่ายแดงจะรับประกันได้อย่างไรต่อการใช้ mixed strategy นี้? (ค่าของเกมจะต้องไม่ต่ำกว่าค่ารับประกันนี้)

11. จากโจทย์ข้อเก้า จงทดสอบดูว่าต่อไปนี้ เป็น optimal mixed strategies หรือไม่ และถ้าเป็นจงหาค่าของเกมสำหรับนาวิก:

วางกำลังสามกองพันที่ A และศูนย์กองพันที่ B เป็นอัตราส่วน  $6/24$

วางกำลังสองกองพันที่ A และศูนย์กองพันที่ B เป็นอัตราส่วน  $5/24$

วางกำลังหนึ่งกองพันที่ A และศูนย์กองพันที่ B ไม่กระทำเลย

วางกำลังสามศูนย์พันที่ A และศูนย์กองพันที่ B เป็นอัตราส่วน  $13/24$

สำหรับฝ่ายแดง:

โจมตี A ด้วยกำลังสองกองพัน และ B ศูนย์กองพัน  $9/24$  ของเวลาทั้งหมด

โจมตี A ด้วยกำลังหนึ่งกองพัน และ B หนึ่งกองพัน  $11/24$  ของเวลาทั้งหมด

โจมตี A ด้วยกำลังศูนย์กองพัน และ B สองกองพัน  $4/24$  ของเวลาทั้งหมด

12. จงแสดงว่า strategies ของฝ่ายน้ำเงิน  $(3/8, 0, 5/8)$  และของฝ่ายแดง  $(1/4, 0, 3/4)$  เป็น optimal สำหรับเกมต่อไปนี้

		Red		
		3	12	8
Blue		6	6	5
		9	4	6

13. ในปัญหาหน้า 3 – 17 ได้สมมติว่าการโจมตีมีขึ้นเพียงครั้งเดียว ถ้าเป็นการโจมตีสองครั้งที่ไม่ขึ้นแก่กัน

๙. หนทางปฏิบัติของฝ่ายแดงมีเท่าใด?

จงคำนวณหา payoff จากเมทริกซ์ที่ได้

14. จงพิสูจน์ว่า strategies ที่เสนอต่อไปนี้ของฝ่ายแดง และฝ่ายน้ำเงินในเกมต่อไปนี้ เป็น optimal (หรือไม่เป็น)

<p>(a)</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td> <td colspan="5" style="text-align: center;">Red</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">R1</td> <td style="text-align: center;">R2</td> <td style="text-align: center;">R3</td> <td style="text-align: center;">R4</td> <td style="text-align: center;">R5</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">(1/2</td> <td style="text-align: center;">(0)</td> <td style="text-align: center;">(0)</td> <td style="text-align: center;">(0)</td> <td style="text-align: center;">(1/2)</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="5" style="text-align: center;">)</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Blue</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B1 : (3/10)</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">4</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">3</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">2</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">1</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>B2 : (1/10)</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">3</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">4</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">3</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">2</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>B3 : (2/10)</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">2</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">3</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">4</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">3</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>B4 : (1/10)</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">1</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">2</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">3</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">4</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td>B5 : (3/10)</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">0</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">1</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">2</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">3</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">4</td> </tr> </table>		Red						R1	R2	R3	R4	R5		(1/2	(0)	(0)	(0)	(1/2)		)					Blue						B1 : (3/10)	4	3	2	1	0	B2 : (1/10)	3	4	3	2	1	B3 : (2/10)	2	3	4	3	2	B4 : (1/10)	1	2	3	4	3	B5 : (3/10)	0	1	2	3	4	<p>(b)</p> <table style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr> <td></td> <td colspan="5" style="text-align: center;">Red</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">R1</td> <td style="text-align: center;">R2</td> <td style="text-align: center;">R3</td> <td style="text-align: center;">R4</td> <td style="text-align: center;">R5</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">(1/2)</td> <td style="text-align: center;">(0)</td> <td style="text-align: center;">(0)</td> <td style="text-align: center;">(0)</td> <td style="text-align: center;">(1/2)</td> </tr> <tr> <td></td> <td colspan="5"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Blue</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>B1 : (3/10)</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">4</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">3</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">2</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">1</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">0</td> </tr> <tr> <td>B2 : (1/10)</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">3</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">4</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">3</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">2</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">1</td> </tr> <tr> <td>B3 : (2/10)</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">2</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">3</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">4</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">3</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">2</td> </tr> <tr> <td>B4 : (1/10)</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">1</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">2</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">3</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">4</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">3</td> </tr> <tr> <td>B5 : (3/10)</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">0</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">1</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">2</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">3</td> <td style="border: 1px solid black; text-align: center;">4</td> </tr> </table>		Red						R1	R2	R3	R4	R5		(1/2)	(0)	(0)	(0)	(1/2)							Blue						B1 : (3/10)	4	3	2	1	0	B2 : (1/10)	3	4	3	2	1	B3 : (2/10)	2	3	4	3	2	B4 : (1/10)	1	2	3	4	3	B5 : (3/10)	0	1	2	3	4
	Red																																																																																																																								
	R1	R2	R3	R4	R5																																																																																																																				
	(1/2	(0)	(0)	(0)	(1/2)																																																																																																																				
	)																																																																																																																								
Blue																																																																																																																									
B1 : (3/10)	4	3	2	1	0																																																																																																																				
B2 : (1/10)	3	4	3	2	1																																																																																																																				
B3 : (2/10)	2	3	4	3	2																																																																																																																				
B4 : (1/10)	1	2	3	4	3																																																																																																																				
B5 : (3/10)	0	1	2	3	4																																																																																																																				
	Red																																																																																																																								
	R1	R2	R3	R4	R5																																																																																																																				
	(1/2)	(0)	(0)	(0)	(1/2)																																																																																																																				
Blue																																																																																																																									
B1 : (3/10)	4	3	2	1	0																																																																																																																				
B2 : (1/10)	3	4	3	2	1																																																																																																																				
B3 : (2/10)	2	3	4	3	2																																																																																																																				
B4 : (1/10)	1	2	3	4	3																																																																																																																				
B5 : (3/10)	0	1	2	3	4																																																																																																																				

15. จากเมทริกซ์ด้วย patoffe เป็นข้อความดังต่อไปนี้ :

		Red		
		R1	R2	R3
Blue				
B1	แพ้	ชนะ	ชนะ	
B2	เสมอ	ชนะ	เสมอ	
B3	ชนะ	แพ้	แพ้	

๙. เมทริกซ์นี้มีจุดอานม้าหรือไม่?
๑๐. ใช้ dominance ลดขนาดลงได้หรือไม่?
๑๑. ถ้าผู้บังคับบัญชาพอใจที่จะให้ค่า payoff ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ : fail = -10 , draw = 0 succeed = 5 แล้ว strategies ดังต่อไปนี้ optimal หรือไม่  
 น้ำเงิน : (1/2 , 0 , 1/2), แดง : (1/2 , 0 , 1/2) ?

16. ในเกมซ้ำต่อไปนี้ สมมติว่าฝ่ายน้ำเงินตั้งใจที่จะใช้ optimal pure strategy ของเขาในการเล่นครั้งต่อไป ถ้าหากไม่ได้

ข่าวกรองที่เชื่อถือได้เกี่ยวกับความตั้งใจของฝ่ายแดง

		Red	
		R1	R2
Blue	B1	.6	.9
	R2	1.0	.3

ข่าวกรองนี้จะเพิ่ม payoff (คาดหวัง) นี้เท่าใดเหนือ payoff ที่ไม่ได้ข่าวกรองเพิ่ม ถ้า :

- ก. ฝ่ายแดงตั้งใจที่จะใช้ R1?
- ข. ฝ่ายแดงตั้งใจที่จะใช้ R2 (pure strategy ที่ดีที่สุดของเขา)?
- ค. ฝ่ายแดงใช้ optimal mixed strategy ของเขา?
- ง. อะไรคือ payoff ที่รับประกันได้ของฝ่ายน้ำเงินไม่ว่าฝ่ายแดงจะทำอะไรก็ตาม?



## บทที่ 4

### ทฤษฎีการตรวจจับ

#### (Detection Theory)

การปฏิบัติการทางเรือต่าง ๆ ได้กลายเป็นสิ่งยุ่งยากและทันสมัยเช่นเดียวกับเครื่องอุปกรณ์ต่าง ๆ ครั้งหนึ่งทหารเรือเคยไว้ใจอย่างเต็มที่ต่อคุณค่าทางทะเล (seaworthiness) ของเรือรบ ประสิทธิภาพของลูกเรือ และลักษณะของทะเล (sea state) หมู่ดาวต่าง ๆ เป็นไคด์ของเรือรบและขอบฟ้าเป็นเครื่องหมายของการหาเรือต่าง ๆ ทหารเรือสมัยนั้นไม่สามารถตรวจพบสิ่งที่ซ่อนอยู่นอกขอบฟ้า

ในยุคของทหารเรือสมัยใหม่เน้นการตรวจพบข้าศึกไม่เพียงแต่เป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดแห่งการปฏิบัติการทางเรือแต่ต้องการความก้าวหน้า (stature) ทางวิทยาศาสตร์ซึ่งด้วยสิ่งนี้นักเรียนแห่งการสงครามทางเรือจะต้องคุ้นเคย ปฏิบัติการใด ๆ ต่อข้าศึกจะต้องดำเนินไป ต้องรู้ว่าข้าศึกปรากฏอยู่พร้อมด้วยตำบลที่ ปัญหาของการตรวจจับขึ้นอยู่กับคุณลักษณะใหญ่ ๆ 3 ประการ

ก. คุณลักษณะทางฟิสิกส์ (physical characteristics) ของเครื่องมือต่าง ๆ ในการตรวจจับ และของเป้า ควบคุมไปกับฟิสิกส์ของการแพร่คลื่น และปรากฏการณ์อื่นซึ่งเกี่ยวข้องกับข่าวสารที่จะส่งระหว่างกัน

ข. เส้นทางและตำบลที่ (path and location) ของเรือตรวจ (หรือเรียกว่าผู้ตรวจ – observer) ซึ่งสัมพันธ์กับตำบลที่ที่คิดว่า เป็น และการเคลื่อนไหวของเป้า (วัตถุแห่งการตรวจจับ)

ค. ทิศทางและการวางกำลัง (direction and deployment) ของกำลังทางเรือซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการในอันที่จะเผชิญหน้ากับการทำทลายและภัยคุกคามอย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ เพื่อให้ได้มาซึ่งผลที่ดีที่สุดด้วยกำลังที่มีอยู่

วิทยาศาสตร์ของการตรวจจับ ในฐานะสาขาหนึ่งของยุทธวิธีทางเรือ จะหา solution ต่อปัญหาแห่งการได้เป้าและติดตามเป้าต่อกำลังข้าศึกหรือกำลังที่คิดว่ามี ซึ่งคิดว่าไม่ใช่กำลังฝ่ายเดียวกัน ยุทธวิธีสาขานี้จะได้อมาซึ่งผลสุดท้ายของมันก็โดยการใช้วิธีวิศวกรรม ฟิสิกส์ คณิตศาสตร์ และสถิติ ผลสรุปของมันจะกล่าวในรูปของ probability-probability แห่งการตรวจจับ

ในบทนี้ได้จัดเตรียมทั้งคำจำกัดความโดยทั่ว ๆ ไป และวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่จำเป็นเพื่อความเข้าใจในปัญหาของการตรวจจับ หลักการต่าง ๆ ที่ถกแถลงในบทนี้และการให้เหตุผลหลังหลักการต่าง ๆ เหล่านี้เป็นสิ่งจำเป็นที่สำคัญในอันที่จะทำให้เข้าใจในเรื่องสำคัญอย่างยิ่งของการปฏิบัติการทางเรือ จะมีข้อสังเกตต่าง ๆ ให้ไว้ในกรรมวิธีของการตรวจจับโดยทั่วไป เพื่อที่จะพัฒนาแนวความคิดที่จำเป็นสำหรับการศึกษาต่อไปในเรื่องระบบการตรวจจับด้วยเรดาร์และโซนาร์

ความเข้าใจในส่วนสำคัญ ๆ ของการจับเป้า จะทำให้การพัฒนาการค้นหามีประสิทธิภาพ การลาดตระเวนตรวจการณ์ และการวางเรือฉาก ซึ่งใช้ในหลาย ๆ รูปแบบของการปฏิบัติการทางเรือเป็นไปได้ การวัดประสิทธิผล (measure of effectiveness – MOE) ในการตรวจค้นสามารถใช้ร่วมกับค่าใช้จ่าย ความ

เชื่อถือได้ และปัจจัยอื่น ๆ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิผลของการตรวจจับระบบต่าง ๆ และเพื่อตัดสินใจพิจารณาว่าจะใช้ระบบเหล่านี้ให้ได้ผลที่สุดได้อย่างไร

#### ๔๐๑. ทั่ว ๆ ไปเกี่ยวกับการตรวจจับ

การตรวจจับหรือการค้นพบเป้าหมายนั้นจะมีขึ้นโดยที่เราารู้สึกว่าจะมีเป้าหมายปรากฏอยู่และตำแหน่งของมันเป็นไปได้ จึงสังเกตว่าคำนิยามนี้จะไม่เกี่ยวกับการพบวัตถุต่าง ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องต่อผู้ตรวจจับ ได้มีการเน้นในคำ “การพบ – discovery” เพราะว่าการตรวจจับจะเกิดขึ้นหรือมีได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น การได้มาซึ่งข่าวสารอื่น ๆ ที่ตามมาภายหลังเกี่ยวกับ location ของเป้าหมาย เราเรียกว่า “การติดตามเป้า (tracking)”

ถ้าเราต้องการข่าวสารเกี่ยวกับว่าวัตถุอย่างหนึ่งจะอยู่หรือไม่อยู่ เข้าศึกหรือไม่ใช่ การแลกเปลี่ยนพลังงานต้องเกิดขึ้นจากวัตถุที่เรากำลังตรวจค้นอยู่ ตามธรรมชาติแล้วจะไม่มีวิธีใดนอกจากการแลกเปลี่ยนพลังงาน ซึ่งจากการแลกเปลี่ยนพลังงานนี้ได้ข่าวสารควบคู่ไปกับระยะทาง ด้วยเหตุนี้เองที่การถกแถลงใด ๆ เกี่ยวกับการตรวจจับที่อาจได้โดยเรดาร์ โซนาร์ หรือด้วยสายตา จะต้องเกี่ยวข้องกับการพิจารณาการแลกเปลี่ยนพลังงานนี้เอง

โดยทั่ว ๆ ไปการตรวจจับก็อาจคิดได้ว่าจะเกิดขึ้นเมื่อมีสัญญาณพลังงาน (energetic signal) อย่างเช่น รูปแบบของเสียงที่สามารถได้ยินได้จากเสียงเครื่องจักรของเรือดำน้ำที่สามารถทราบได้โดยผู้ฟังที่ฉลาด อีกนัยหนึ่งสัญญาณนี้อาจเป็นรูปภาพที่เห็นได้จากคลื่นขบวนจากสนอร์เกลในเมื่อตัดกับ background มีดจากทะเลหรือ blip ของเสียงสะท้อนที่กลับมาบนจอเรดาร์

ความจริงหลัก 2 ประการ ที่เป็นมูลฐานของการตรวจจับทุกแบบ คือ.-

ก. ความต้องการทางฟิสิกส์บางประการ จะต้องครบทุกเกณฑ์ก่อนที่การตรวจจับจะเกิดขึ้นได้ และถ้าเป็นดังนั้นแล้วจะทำให้การตรวจจับเป็นไปได้ ดังนั้นเป้าจะต้องไม่อยู่ห่างไกลเกินไป และการเห็นได้จากผู้ตรวจจับจะต้องไม่ถูกปิดกั้นโดยสิ่งอื่นเพื่อที่จะให้เห็นได้โดยสายตานั้น จะต้องมีการตัดกัน (contrast) ระหว่างเป้า และ background ของมัน เรดาร์จะไม่เห็น เป้าได้ถ้าเงื่อนขาทางบรรยากาศ หรือ background echoes ขัดกัน และการตรวจจับด้วยโซนาร์มีความต้องการว่าทางเดินของเสียงจะต้องไม่หักงอโดยสมบูรณ์จากผู้ตรวจจับโดยการหักเห

ข. ถึงแม้ว่าเมื่อเงื่อนขาทางฟิสิกส์ จะทำให้การตรวจจับเป็นไปได้ก็ตามมันก็ไม่ใช่ว่าการตรวจจับจะต้องเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงมิได้ การตรวจจับเป็นเหตุการณ์ (event) ซึ่งภายใต้เงื่อนขาที่เหมาะสมจะมี probability ที่เป็นบวก ค่าเป็นตัวเลขซึ่งอาจเป็นศูนย์หรือหนึ่ง หรือระหว่างนั้น ดังนั้นเมื่อเป้าเพียงแต่ครบกำหนดตามเงื่อนขาทางฟิสิกส์ เพื่อให้การตรวจจับเป็นไปได้ นั้น probability ของการตรวจจับจะใกล้ศูนย์

(อย่างน้อยที่สุดในเวลาของการตรวจจับจำกัด) ในเมื่อเงื่อนไขดีขึ้น โอกาสแห่งการตรวจจับก็จะเพิ่มขึ้น และอาจกลายเป็นความแน่นอน อย่างไรก็ตาม ประสบการณ์ในชีวิตประจำวันแสดงให้เห็นว่าวัตถุซึ่งอยู่ในสายตาอาจได้รับการหาแต่ไม่พบ เครื่องบินตรวจการณ์ที่บินตามภารกิจของการตรวจจับในวันที่แสงแดดจ้าได้บินผ่านใกล้ ๆ เรือใหญ่ ๆ แต่ก็ยังตรวจจับไม่ได้ จะต้องระลึกไว้เสมอว่าจากการวิเคราะห์ครั้งสุดท้ายนั้นเครื่องมือการตรวจจับทุกชิ้นอยู่บนรากฐานของมนุษย์ และความสำเร็จจะต้องได้รับอิทธิพลจากการฝึก ความตื่นตัว และความเหนื่อย ยิ่งไปกว่านั้นถึงแม้จะอยู่ได้เงื่อนไขทางฟิสิกส์ซึ่งคงที่ แต่การแกว่งอย่างรวดเร็วก็ยังสามารถเกิดขึ้นได้ (เป้าเรดาร์เปลี่ยนลักษณะของมันจากครู่หนึ่งไปยังอีก

ก. ครู่หนึ่งด้วยการโคลงและขยอตัวอันติดต่อกันของเรือ ระยะโซนาร์จะเกิด short term oscillations จาก mean ของมัน ฯลฯ) ด้วยเหตุนี้เป้าที่ไม่อาจตรวจจับได้ชั่วขณะหนึ่งอาจถูกตรวจจับได้ ในระยะต่อมาอีกชั่วครู่ได้ ถ้าเรากันหามัน

โดยมากแล้วจะเป็นสิ่งหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่การหมายรู้ (recognition) ต่อสัญญาณเป้า และดังนั้นก็คือ probability ของการตรวจจับได้จะขึ้นอยู่กับ

- ก. กระบวนการคุณลักษณะของสัญญาณที่ผู้ตรวจจะรู้ได้
- ข. ความเข้มของสัญญาณที่ผู้ตรวจได้รับ
- ค. ความเข้มของสัญญาณอื่น ๆ ที่เรียกว่าเสียงรบกวน (noise)

ผู้ตรวจที่กำลังค้นหาเป้าหมายที่จะตรวจจับเป้าโดยวิธีต่าง ๆ อย่างเช่น การตรวจด้วยสายตา, เรดาร์, โซนาร์ ฯลฯ จะใช้หนึ่งในสองวิธีหลัก ประการแรกผู้ตรวจจับอาจใช้ชุดติดต่อกันของ glimpses แยกเป็นช่วงสั้น ๆ กรณีที่เป็นแบบหลักก็คือ วิธีการของ echo - ranging ซึ่งในการกวาดแต่ละครั้ง (sweep or scan) จะได้มา 1 glimpse glimpse ต่อ ๆ ไปจะเกิดขึ้น ณ ช่วงเวลาที่กำหนด กรณีที่สองเกิดขึ้นในเมื่อผู้ตรวจจับค้นหาติดต่อ (looking continuously) อย่างที่ใช้ตาจ้องอยู่ตลอดเวลาในพื้นที่ที่เป้าอาจจะอยู่ ในกรณีของเรดาร์นั้นอยู่ในระหว่างกลางสองวิธีนี้เพราะว่าเรดาร์กวาดก็จะอยู่ในกรณีแรก แต่ถ้าการกวาดนั้นเร็วมากและมีการติดต่ออยู่ตลอดเวลาบนจอก็อาจถือได้ว่าเป็นการค้นหาติดต่อ ในทำนองเดียวกันการตรวจจับด้วยสายตาโดยการกวาดไปซ้ำ ๆ ในมุมใด ๆ ก็ขึ้นอยู่กับกรณีแรกแทนที่จะเป็นกรณีที่สอง บ่อยครั้งที่การจำแนกประเภทแห่งวิธีการตรวจจับจะขึ้นอยู่กับความพยายามที่ใกล้ที่สุดหรือสะดวกที่สุดของการ approximate

#### ๔๐๒. Glimpses ที่แยกจากกัน (Separated Glimpses)

จงพิจารณาถึงการตรวจค้นที่กระทำต่อเป้า ๆ หนึ่งโดยการใช้ glimpse สั้น ๆ 1 ชุดที่ติดต่อกัน ในตอนนี้จะอุทิศให้ในการพัฒนาแบบจำลองเพื่อแทนจำนวนนั้น ๆ อย่างเช่น : probability ที่การตรวจจับ

เกิดขึ้นในช่วงของ glimpse ที่กำหนดให้จำนวนหนึ่ง probability ที่การตรวจจับเกิดขึ้น ณ glimpse เฉพาะ glimpse ใด glimpse หนึ่ง และจำนวน glimpse ที่คาดคิดไว้ที่ต้องการในการตรวจพบเป้า

พารามิเตอร์ที่จะใช้ในที่นี้คือ “glimpse probability,  $g_i$ ” ที่ให้ค่าของโอกาสแห่งการตรวจจับเป้า ณ glimpse ใด glimpse หนึ่ง probability นี้ ซึ่งคำจำกัดความที่ถูกต้องแน่นอนจะได้กล่าวต่อไปนั้นโดยทั่วไปจะเปลี่ยนแปลงไปจาก glimpse หนึ่งถึง glimpse หนึ่ง ในเมื่อเงื่อนไขทางฟิสิกส์อย่างเช่น ระยะ ความเร็ว แสงสว่าง อากาศ ฯลฯ เปลี่ยนไป ตัว subscript I หมายถึง glimpse เฉพาะที่กำลังพูดถึง จะสมมติในที่นี้ว่า ค่าของแต่ละ  $g_i$  สำหรับ  $i = 1, 2, 3, \dots$ , เป็นค่าที่รู้หรือประมาณได้ ในบทต่อไปวิถิทางในการพิจารณาค่าเหล่านี้ของเรดาร์ จะได้รับการถกแถลง

สมมติว่าแต่ละ glimpse ที่เรียงเป็นลำดับจะให้หมายเลขตั้งแต่การเริ่มต้นการค้นหา ให้ random variable N แทน glimpse ที่เป้าถูกตรวจพบ ดังนั้น N จะเป็น discrete integer – valued random variable ข้อความต่าง ๆ ของจำนวนต่อไปนี้เป็นสิ่งที่ต้องการ :

ก.  $P(n) = P(N = n)$  : probability ที่เป้าถูกตรวจพบ ณ glimpse ที่ n

ข.  $F(n) = F(N \leq n)$  : probability ที่เป้าถูกตรวจพบที่ glimpse ที่ n หรือก่อนนั้น

กล่าวคือ probability ที่การตรวจจับเกิดขึ้น ณ n glimpse แรก

ค.  $E(N)$  : จำนวน glimpse ที่คาดคิดที่ต้องการเพื่อตรวจพบเป้า

พารามิเตอร์  $g_i$  ณ ที่มีคำจำกัดความว่าเป็น probability ของการตรวจพบเป้า ณ glimpse ที่ I โดยสมมติ (กำหนดให้) ว่าเป็นนั้นไม่ได้ถูกตรวจพบมาก่อน

สำหรับค่าเฉพาะของ I ยกตัวอย่าง n glimpse probability นี้ สามารถให้คำจำกัดความโดยสัญลักษณ์ได้ ดังนี้.-

$$g_n = p(N = n | N > n - 1)$$

สำหรับ  $p(n)$ ,  $F(n)$  และ  $E(N)$  สามารถหาได้โดยเริ่มด้วยการหา probability  $P(n > n)$  ที่เป้าไม่ถูกตรวจพบใน n glimpse แรก ให้  $D_1$  เป็นเหตุการณ์ที่เป้าถูกตรวจพบ ณ glimpse I ดังนั้น

$$P(N > n) = P(\text{การตรวจจับไม่เกิดขึ้นใน } n \text{ glimpses แรก})$$

$$P(\bar{D}_1 | \bar{D}_2 \dots \bar{D}_3) \\ P(\bar{D}_1)P(\bar{D}_2 | \bar{D}_1)P(\bar{D}_3 | \bar{D}_1 \bar{D}_2) \dots \\ P(\bar{D}_n | \bar{D}_1 \bar{D}_2 \dots \bar{D}_{n-1}),$$

(จากผนวก I สมการ I-6)

แต่

$$\begin{aligned}
 g_1 & P(D_1) \\
 g_2 & P(D_2 | \bar{D}_1), \\
 g_3 & P(D_3 | \bar{D}_1 \bar{D}_2), \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 g_n & P(\bar{D}_1 | \bar{D}_1 \bar{D}_2 \dots \bar{D}_{n-1})
 \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 1 - g_1 & P(\bar{D}_1), \\
 1 - g_2 & P(\bar{D}_2 | \bar{D}_1) \\
 1 - g_3 & P(\bar{D}_3 | \bar{D}_1 \bar{D}_2), \text{ and} \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 & \cdot \\
 1 - g_n & P(\bar{D}_n | \bar{D}_1 \bar{D}_2 \dots \bar{D}_{n-1}).
 \end{aligned}$$

เพราะฉะนั้น

$$P(N = n) = (1 - g_1)(1 - g_2)(1 - g_3)\dots(1 - g_n)$$

หรือเขียนในเทอมของสัญลักษณ์  $g_i$  สำหรับการคูณ จะกลายเป็น

$$\text{สมการ 4-2 } P(N = n) = \prod_{i=1}^n (1 - g_i)$$

\* เหตุผลที่นำมาอาจทำให้ง่าย ๆ เข้าใจถ้าสมมุติว่าเหตุการณ์  $D_1, D_2, \dots, D_n$  ไม่เกิดขึ้นแก่กัน

Probability  $f(n)$  แห่งการตรวจเป้าหมาย  $n$  glimpse แรก สามารถหาได้โดยง่ายโดย

$$\begin{aligned}
 F(n) & P(N \leq n) \\
 & 1 - P(N = n)
 \end{aligned}$$

ซึ่งการใช้สมการ 4-2 จะกลายเป็น

$$\text{สมการ 4-3 } F(n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - g_i)$$

เพื่อที่จะหา  $p(n)$  ซึ่งแทน probability ของการตรวจพบเป้าครั้งแรกใน  $n$  glimpse ที่  $n$  จึงสังเกตว่า

$$p(n) = P(N = n).$$

ตรวจจับเป่าไม่ได้ใน

ตรวจจับเป่าได้ ณ

$P$

$n-1$  glimpses แรก

glimpse ที่  $n$

$P(N = n-1) = (N = n)$ , และเพราะ  $(N = n) = (N = n-1)$ ,

$P(N = n-1) \cdot P|(N = n)|(N = n-1)|$ , ซึ่งจากสมการ 4-1

$P(N = n-1) \cdot g_n$  และจากสมการ 4-2

$$\prod_{i=1}^{n-1} (1 - g_i) \cdot g_n$$

ดังนั้น

$$\text{สมการ 4-4} \quad P(n) = g_n \cdot \prod_{i=1}^{n-1} (1 - g_i)$$

ขอให้สังเกตว่าความสัมพันธ์ระหว่าง  $p(n)$  และ  $F(n)$

$$\begin{aligned} F(n) &= P(N = n) \\ &= P(N = 1) + P(N = 2) + \dots + P(N = n) \\ &= p(1) + p(2) + \dots + p(n) \\ &= \sum_{i=1}^n p(i) \end{aligned}$$

จำนวน  $p(n)$  และ  $F(n)$  ตรงความต้องการของ probability function และ cumulative distribution function ตามลำดับ ถ้า  $F(\infty) = 1$  สิ่งนี้จะเป็นจริงหรือไม่จะพิจารณาได้โดยธรรมชาติของปัญหาการตรวจจับและโดยเฉพาะโดย  $g_1$  เอง ในกรณีที่พิเศษถ้า  $F(\infty) = 1$  จำนวนของ glimpses ที่คาดหวังไว้เพื่อให้ได้การตรวจจับที่ต้องการอาจพบได้โดยการคำนวณหา expected value ของ  $N$  กล่าวคือ

$$E(N) = \sum_{n=1}^{\infty} n \cdot p(n)$$

ทุก ๆ  $n$

จุดประสงค์เมื่อทำการตรวจหาเป่านั้นตามปกติก็เพื่อทำให้ probability ของการตรวจจับโตที่สุดเท่าที่จะทำได้ในกรณีอื่น ๆ การตรวจจับด้วยจำนวนของ glimpses สองสาม glimpses อาจมีความสำคัญมากกว่า ดังนั้น  $F(n)$  หรือ  $E(N)$  อาจช่วยเพื่อเป็นมาตรวัดแห่งประสิทธิผลซึ่งขึ้นอยู่กับจุดประสงค์โดยเฉพาะ

เพื่อเป็นตัวอย่าง สมมติว่าในขณะที่ผู้ตรวจจับเข้าหาเป่าค่าของ  $g_1$  กำหนดโดย

I =	1	2	3	4	5
$g_1$	1/5	2/5	3/5	4/5	5/5

ดังนั้น probability ของการตรวจจับโดย glimpse ที่  $n$  สำหรับค่าต่างๆ ของ  $n$  สามารถคำนวณได้จากสมการ 4-3 จะเป็นดังนี้

N =	1	2	3	4	5
$F(n)$	1/5	13/25	101/125	601/625	1

เพื่อที่จะหาจำนวน glimpses เฉลี่ยที่ต้องการให้ตรวจจับ probability ที่การตรวจจับครั้งแรกจะเกิดขึ้น ณ glimpse ที่  $n$ ,  $p(n)$  จะต้องหามาก่อนจากสมการ 4-4

n=	1	2	3	4	5
$p(n)$	1/5	8/25	36/125	96/625	24/625

ในกรณีนี้  $p(n)$  และ  $F(n)$  ครอบคลุมต้องการของ probability function และ cumulative distribution function ตามลำดับ ดังนั้น  $E(N)$  สามารถที่จะหาได้โดย

$$E(N) = \sum_{n=1}^5 n p(n)$$

$$= 1(1/5) + 2(8/25) + 3(36/125) + 4(96/625) + 5(24/625)$$

$$= 2.51$$

403 Glimpses แยกในสถานะแวดล้อมที่ไม่เปลี่ยนแปลง

ในกรณีพิเศษเมื่อเงื่อนไขต่าง ๆ ไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างการค้นหา probability ของแต่ละ glimpse,  $g_1$  จะมีค่าเดียวกันและดังนั้นก็อาจแทนโดย  $g$  โดยไม่ต้องมี subscript probability ของการตรวจจับใน  $n$  glimpses แรก จากสมการ 4-3 จะกลายเป็น

$$F(n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1-g)$$

$$= 1 - (1-g)^n$$

และ probability ของสมการตรวจจับที่ glimpse  $n$  จากสมการ 4-4 จะเป็น

$$p(n) = \frac{g^{n-1} (1-g)}{g(1-g)^{n-1}}$$

จะเห็นได้ว่า  $F(\cdot)$  ถ้า  $g$  ไม่เป็นศูนย์ จนกระทั่ง  $p(n)$  และ  $F(n)$  เป็น probability function cumulative distribution function ตามลำดับ  $p(n)$  จะมีรูปเดียวกับ probability function geometric distribution ซึ่งรวมอยู่ในผนวกที่ 1 ตอนที่ 1-20 ดังนั้นจำนวนของ glimpses ที่ต้องการในการตรวจจับก็จะเป็น

$$E(N) = 1/g$$

ในกรณีแห่งเงื่อนไขที่ไม่เปลี่ยนแปลงนี้ probability ของการตรวจจับ  $F(n)$  สามารถที่จะทำให้โตเท่าใดก็ได้ตามต้องการโดยการเพิ่มจำนวน glimpses สิ่งนี้เป็นความจริงไม่ว่า probability ของ glimpse,  $g$ , จะเล็กเท่าใดก็ตามถ้าหากมันไม่เป็นศูนย์

404 การมองหาตลอดติดต่อ (Continuous Looking)

ในการมองหาเป้าโดยใช้เครื่องตรวจจับในลักษณะของการตรวจติดต่อ ข่าวสารจะได้รับติดต่อกันและการตรวจจับจะเป็นไปได้ในทุก ๆ ขณะ ดังนั้นเมื่ออยู่ในกรณีเช่นนี้ probability ที่การตรวจจับจะเกิดขึ้น ณ ขณะใดที่กำหนดให้ต้องเป็นศูนย์ และดังนั้นจะไม่เป็นประโยชน์ในการบรรยายถึงว่าโอกาสแห่งการตรวจจับจะเปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการตรวจค้นอย่างไร ให้  $T$  เป็น random variable ที่ใช้แทนเวลาที่ต้องการในการตรวจพบเป้าโดยการตรวจจับได้อีก หมายถึง การตรวจจับครั้งแรก (initial contact)  $T$  เป็น continuous random variable ซึ่งค่าของมันจะเป็นอะไรก็ได้ที่เป็น real number จากศูนย์ถึง  $\infty$  และ  $P(T=t)=0$  อย่างเช่น



continuous distribution ใด ๆ ดังนั้นจะใช้อะไรเพื่อบรรยายถึงความสามารถของเครื่องตรวจจับการตรวจพบเป่า  
ในฐานะเป็น function ของเวลา?

พารามิเตอร์ที่เราเรียกว่า “instantaneous detection rate” แลให้เครื่องหมายโดยสัญลักษณ์  $r(t)$  ถ้า  
มีเป่าอยู่หลายเป่า ดังนั้นอัตราการตรวจจับซึ่งนับโดยจำนวนของเป่าที่ตรวจจับได้ต่อหนึ่งหน่วยเวลา จะมี  
ความหมายบางประการในทางสัทศาสตร์ จะยากกว่าที่จะกล่าวถึงสิ่งที่มีความหมายโดยอัตราการตรวจจับเมื่ออ้าง  
ถึง หรือคิดถึงเพียงจากเป่าเดียวโดด ๆ ถึงแม้ว่านี่เป็นกรณีที่น่าสนใจ ณ จุดนี้ แนวความคิดที่มีความหมายใน  
ทำนองเดียวกันจะพบได้ในบทหลังในเรื่อง reliability เมื่อ failure rate สำหรับส่วนประกอบชิ้นเดียว ๆ อย่างเช่น  
ทรานซิสเตอร์ตัวหนึ่งได้รับการให้คำนิยามแล้ว  $r(t)$  จะถูกอ้างถึงในฐานะ instantaneous failure rate โดยค่าของ  
มัน (ซึ่งอาจได้รับการเปลี่ยนแปลงไปอย่างติดต่อกัน) สามารถที่จะกล่าวได้สำหรับช่วงระยะเวลาที่กำหนดให้  
ในลักษณะ เช่นเดียวกันความเร็วของเครื่องบิน ก็คือ instantaneous mile rate เป็นจำนวนไมล์ที่เดินทางได้ต่อหนึ่ง  
หน่วยของเวลา

เพื่อที่จะวัดความสามารถของเครื่องตรวจจับเพื่อตรวจจับเป่า แบบจำลองสองแบบต่อไปนี้ จะ  
ได้รับการพัฒนาในเทอมของ instantaneous detection rate :

- ก.  $F(t) = P(T \leq t)$  : คือ probability ที่เป่าจะถูกตรวจจับได้ในการตรวจค้นซึ่งกินเวลา  $t$
- ข.  $E(T)$  : จำนวนเวลาที่ต้องการที่คาดหวังไว้ในการตรวจจับ

ให้  $x$  เป็น random variable แทนจำนวนของการตรวจจับในช่วงเวลา  $t$  อาจแสดงได้ว่าลักษณะของ  
สถานการณ์นี้สามารถที่จะ approximate ได้โดยข้อสมมติของ Poisson probability distribution (โปรดดูผนวก 1,  
ตอน 1 – 18) ดังนั้น probability function สำหรับ  $x$  คือ

$$p(x) = P(X = x) = \frac{u^x e^{-u}}{x!}$$

โดย  $u$  เป็นจำนวนที่คาดหวังเฉลี่ยของการตรวจจับในเวลา  $t$  โดยเหตุที่เหตุการณ์ที่เป่า ๆ หนึ่งจะไม่ถูกจับ  
จนกระทั่งหลังเวลา  $t$  ( $T > t$ ) จะมีค่าเท่ากับเหตุการณ์ที่ไม่มีการตรวจจับเกิดขึ้นในเวลา  $t$  ( $x = 0$ ) ดังนั้น

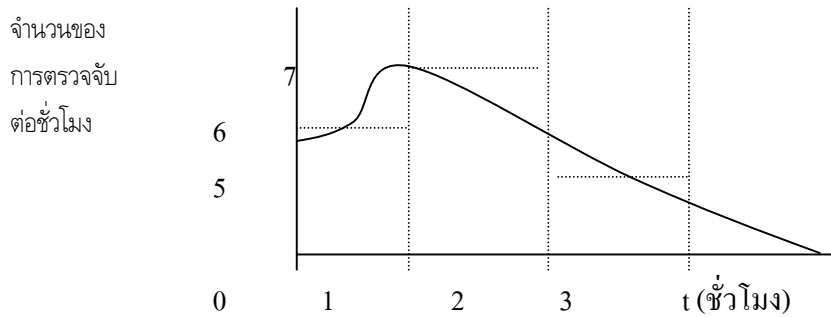
$$P(T > t) = P(X = 0) = \frac{p(0)}{c^p} = \frac{e^{-u}}{c^p}$$

และ

$$F(t) = \frac{P(T \leq t)}{1 - P(T > t)}$$

$$= \frac{1 - e^{-ct}}{1 - e^{-c}}$$

เพื่อหา จงใช้ตัวอย่าง รูปที่ 4-1 เป็น curve ของ  $f(t)$  ซึ่งพลอตบนแกนของเวลา  
รูปที่ 4-1



curve นี้จะให้ค่าของ อัตราการตรวจจับ ในเวลานั้น อัตราการตรวจจับเฉลี่ยในชั่วโมงแรกจะประมาณ 6 ครั้งต่อชั่วโมง , ในชั่วโมงที่สองจะประมาณ 7 ครั้งต่อชั่วโมง และในชั่วโมงที่สามจะประมาณ 5 ครั้งต่อชั่วโมง จำนวนของการตรวจจับที่มุ่งหวังไว้ในสามชั่วโมงจะเป็นประมาณ 18 ครั้ง ถ้าช่วงเวลาที่เลือกไว้เล็กกว่านี้ approximation จะยิ่งแน่นอนขึ้นและในขอบเขต

$$\int_0^t f(t) dt$$

ดังนั้น

สมการ 4-5 
$$F(t) = 1 - e^{-\int_0^t f(t) dt}$$

$F(t)$  จะให้ค่า probability ของการตรวจจับเป้าได้ในเวลาของการค้นหา  $t$  มันจะเป็น cumulative distribution function ถ้า  $F(t) = 1 - e^{-\int_0^t f(t) dt}$  กล่าวคือถ้ากำลัง

มุ่งเข้าหา ในขณะที่  $t$  มุ่งเข้าหา  $t$  จะเป็นกรณีนั้นหรือไม่ขึ้นอยู่กับ  $f(t)$  ถ้ามันเป็นกรณีนั้นแล้วเวลาเฉลี่ยของการตรวจจับ  $E(T)$  สามารถที่จะหาได้โดยการใช้ probability density function ,  $f(t)$  และความสัมพันธ์โดยทั่วไปจะเป็น :

$$E(T) = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

ทุก ๆ ค่าของ t

ค่าของ f(t) สามารถที่จะหาได้โดยการหา derivative ของ cumulative distribution function และสามารถเขียนได้เป็น

สมการ 4 – 6 
$$f(t) = -\frac{d}{dt} F(t)$$

ดังนั้น ค่าของ E(T) ควรจะเป็น

สมการ 4 – 7 
$$E(T) = \int_0^{\infty} t f(t) dt$$

ซึ่งสามารถที่จะคำนวณหาได้ถ้ารู้ค่า f(t)

อีกครั้งหนึ่งที่ควรจะต้องเน้นว่ามาตรวัดของประสิทธิผลสำหรับการตรวจจับ ต้องขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของภารกิจ จำนวนสองจำนวน คือ F(t) และ E(T) ได้หามาโดยการตรวจมองโดยติดต่อเพื่อวัดหา probability ของการตรวจจับและเวลาแห่งการตรวจจับที่คาดหวัง

ในบางปฏิบัติการมาตรวัดอย่างอื่นอาจสำคัญอย่างเช่น probability ของการตรวจจับเป้าได้ก่อนที่เราจะถูกตรวจจับโดยเป้า

เพื่อเป็นตัวอย่างสมมติว่า  $Y(t) = t/100$  ดังนั้นจากสมการ 4 – 5 probability ของการ

ตรวจจับด้วยเวลา t ควรจะเป็น 
$$F(t) = 1 - e^{-\frac{t^2}{200}}$$

ที่เป็น cumulative distribution function เพราะว่า F(t) จะเห็นได้ว่าเป็นหนึ่ง ดังนั้น

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} = \frac{t}{100} e^{-\frac{t^2}{200}}$$

และ 
$$E(T) = \int_0^{\infty} t f(t) dt = \int_0^{\infty} \frac{t^2}{100} e^{-\frac{t^2}{200}} dt$$

ซึ่งเมื่อคำนวณแล้วจะกลายเป็น

$$E(T) = \sqrt{50x}$$

การมองหาโดยติดต่อในสภาวะแวดล้อมที่ไม่เปลี่ยนแปลง

ในกรณีพิเศษเมื่อ  $f(t)$  ไม่เปลี่ยนแปลงไปกับเวลาแต่จะมีค่าคงที่ สมการ 4 – 5 จะกลายเป็น  $F(t) = 1 - c \cdot t$  ซึ่งเป็น cumulative distribution function สำหรับทุก ๆ probability density function ที่ควมคู่กันมากคือ  $f(T)$  จะเป็น  $e^{-rt}$  ซึ่งเป็น exponential distribution ที่คุ้น ๆ อยู่ในผนวก I ตอน I-22 เวลาของการตรวจจับที่คาดหวังจะเป็น

$$E(T) = \int_0^{\infty} t r c^{-rt} dt = \frac{1}{r}$$

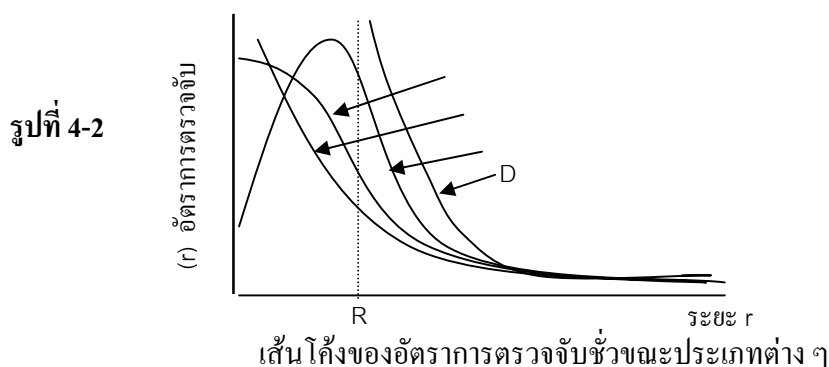
โดยการใช้การอินทิเกรชันเป็นส่วน ๆ เพื่อหาค่า

การตรวจจับในฐานะเป็นฟังก์ชันของระยะ

จำนวนของ  $g_1$  และ  $f(t)$  อย่างที่ได้ชี้ให้เห็นมาก่อนหน้านี้แล้วว่าจะขึ้นอยู่กับผลรวมทั้งหมดของเงื่อนไขต่าง ๆ ทางฟิสิกส์ ยกตัวอย่าง ค่าของ  $f(t)$  ตามปกติจะเปลี่ยนแปลงไปตามที่การตรวจจับได้ก้าวหน้าไป เพราะการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขทางฟิสิกส์เหล่านี้ ในการค้นหาด้วยสายตา ระยะเป้า แสงสว่าง หมอก การตัดของเป้าหมาย background และเงื่อนไขทางฟิสิกส์อื่น ๆ ทั้งหมดจะมีผลกระทบกระเทือนต่ออัตราการตรวจจับ  $f(t)$  สิ่งหนึ่งของเงื่อนไขต่าง ๆ ซึ่งมีผลกระทบกระเทือนขีดความสามารถของเครื่องตรวจจับในการที่จะตรวจจับได้ก็คือระยะเป้า มันเป็นหนึ่งในเงื่อนไขต่าง ๆ ที่มักจะเปลี่ยนแปลงมากในระหว่างการค้นหา ในหลาย ๆ กรณีระยะอาจมีความรับผิดชอบหลัก

สำหรับการเปลี่ยนแปลงต่ออัตราการตรวจจับ และ อาจได้รับการพิจารณาได้ว่าเป็นฟังก์ชันของระยะแต่เพียงอย่างเดียว ในเมื่อเป็นกรณีเช่นนี้ อัตราการตรวจจับชั่วขณะ (instantaneous detection rate – i.d.r) จะแทนค่าโดย  $f(r)$  ซึ่งแทนจำนวนของการตรวจจับได้ต่อหนึ่งหน่วยของเวลาเมื่อระยะเป้าเป็น จะใช้การเข้าหาปัญหาในลักษณะนี้ได้ไม่ว่าจะด้วยเงื่อนไขใด ๆ ยกเว้นระยะซึ่งจะคงที่ในระหว่างการปฏิบัติการที่กำลังพิจารณาหรือเมื่อเงื่อนไขอื่น ๆ ได้ชี้ให้เห็นว่าไม่มีอิทธิพลที่ได้ ณ ระดับของ approximation ที่ยอมรับไม่ได้

โดยทั่วไป  $f(r)$  และ glimpse probability มีแนวโน้มที่จะเล็กเมื่อระยะไกล และจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะลดลง กราฟของ  $f(r)$  จะอยู่ในกรณีหนึ่งกรณีใดในรูปต่อไปนี้



กรณี A เกิดขึ้นเมื่อ i.d.r. จะถึงจุดสูงสุดที่ finite เมื่อระยะเป็นศูนย์ ในกรณี B จุดสูงสุดจะเป็น infinite กรณี C อาจชี้ให้เห็นว่า sea return ต่อเรดาร์จะลดโอกาสของการตรวจจับในเมื่อเป้าเข้าใกล้เครื่องตรวจ ในกรณี D i.d.r. จะกลายเป็น infinite ณ บางระยะ , R, มากกว่าศูนย์

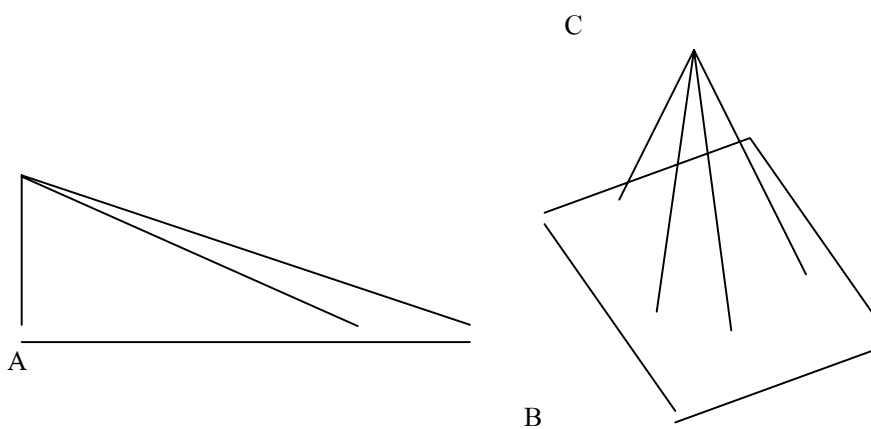
ถ้าเป็นกรณี D จะเห็นได้ว่าเมื่อไรก็ตามที่เป้าเข้ามาอยู่ในระยะ R อัตราการตรวจจับจะกลายเป็น infinite และดังนั้นกำลังในสมการ 4-5 จะกลายเป็น infinite และ probability ของการตรวจจับเป็นหนึ่ง กรณี D ตามปกติจะเข้าใกล้สถานการณ์ทางปฏิบัติการจริง ถ้าจะให้มีการ approximate เพิ่มขึ้นอีก บางทีก็จะสมมติว่า (t) เป็นศูนย์ ในเมื่อระยะมากกว่า R กรณี D พร้อมด้วยการสมมตินี้จะถูกอ้างถึงในฐานะ “definite range law” ของการตรวจจับและจะช่วยให้ปัญหาของการตรวจจับง่ายเข้า definite range law จะได้รับการอ้างถึงและเพิ่มเติมในบทหลัง ๆ

#### 407 กฎกำลังสามผกผันแห่งการตรวจจับ (Inverse Cube law Detection)

จะให้ตัวอย่างตัวอย่างหนึ่งในการแสดงให้เห็นถึงการคำนวณหา function ( $r$ ) ในกรณีที่เมื่อข้อสมมติต่าง ๆ ต่อไปนี้มีเหตุผล

- ก. ผู้ตรวจอยู่ที่ความสูง  $h$  เหนือระดับมหาสมุทร ณ ที่ซึ่งเป้ากำลังเดินทาง
- ข. ผู้ตรวจพบเป้าโดยการเห็นพริ้วน้ำ (สำหรับผู้ตรวจอยู่ในอากาศนั้นพริ้วน้ำของเป้าที่เคลื่อนที่ตามปกติจะเห็นได้ชัดเจนกว่าตัวเป้าเอง)
- ค. I. d. r. " " จะเป็นสัดส่วนกับ solid angle ซึ่งถ่างจากจุดของการตรวจจับโดยพริ้วน้ำ

รูปที่ 4-3



solid angle ซึ่งแสดงในรูปที่ 4-3 สามารถที่จะคำนวณได้ สำหรับพื้นที่ของมหาสมุทรซึ่งมีความยาวของสี่เหลี่ยมผืนผ้า  $a$  ตรงไปยังผู้ตรวจและความกว้าง  $b$  ตั้งฉากกับทิศทางของการตรวจจับ (ตั้งฉากกับหน้า (page) ของรูปที่ 4-3A) ส่วนเล็ก ๆ ของ solid angle นี้ เป็นผลคูณของมุม ที่ถ่างโดย  $a$  และมุม ถ่างโดย  $b$  ถ้าวัดเป็นเรเดียนของ คือ  $c/s$  โดยสามเหลี่ยมคล้าย  $C/a \quad h/S$  และดังนั้น  $ah/S^2$  และการวัดเป็นเรเดียนของ คือ  $b/S$  ดังนั้น solid angle  $abh/S^3 =$  พื้นที่ของสี่เหลี่ยมผืนผ้าคูณกัน  $h/S^3$  พื้นที่ที่แท้จริง  $A$  ของพริวน้ำของเป่าจะไม่เป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า แต่อาจถือว่าเป็นได้โดยการประกอบขึ้นจากสี่เหลี่ยมผืนผ้าเล็ก ๆ เป็นจำนวนมากอย่างในรูปที่ 4-3B solid angle ทั้งหมดจะเป็นผลรวมของมุมที่เกี่ยวข้อง ดังนั้น เมื่อขนาดของ  $A$  เล็ก เมื่อเปรียบเทียบกับ  $h, r$  และ  $S$

สมการ 4-8

$$\frac{Ah}{S^2} = \frac{Ah}{(h^2 + r^2)^{3/2}}$$

เพราะว่า ถูกสมมติให้เป็นสัดส่วนกับ solid angle

สมการ 4-9

$$y(r) = \frac{kh}{S^3} = \frac{kh}{(h^2 + r^2)^{3/2}}$$

โดยที่ค่าคงที่  $k$  ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งอาจถือได้ว่าคงที่และนับเข้ามาคิดอย่างชัดเจนไม่ได้ อย่างเช่น ความตัดกันของพริวน้ำกับมหาสมุทร จำนวนของยามตรวจการณ์และเครื่องอำนวยความสะดวก เงื่อนไขทางอุตุนิยมวิทยา ฯลฯ และแน่นอนที่  $k$  มี  $A$  เป็นปัจจัยหนึ่ง คิดตามขนาดของมิติแล้ว  $k =$  พื้นที่ต่อหน่วยเวลา ในกรณีส่วนใหญ่  $r$  จะใหญ่กว่า  $h$  มาก และสมการ 4-9 สามารถแทนได้โดย approximation ที่เป็นได้

สมการ 4-10

$$y(r) = \frac{kh}{r^3} \quad \text{สำหรับ } r \gg h$$

สมการ 4-9 และ 4-10 ทำให้เกิดกรณี A และ B ตามลำดับในรูปที่ 4-2 คุณสมบัติของการตรวจจับ ซึ่งได้กล่าวเป็น “กฎกำลังสามผกผัน” แห่งการเห็น ในการศึกษาอย่างละเอียดของการเห็นด้วยสายตาได้พบว่าการแก้ไขเปลี่ยนแปลงในกฎนี้หลายประการจะต้องกระทำเพื่อให้ approximation มีคิกริสูงขึ้นภายใต้เงื่อนไข

การปฏิบัติหลายประการอย่างไรก็ดีก็กำลังสามผกผัน ได้นำให้เกิดแบบจำลองที่เป็นประโยชน์อย่างมากในการทำนาย probability ของการตรวจจับอย่างที่จะเห็นได้ในบทที่เจ็ด

ตัวอย่างต่อไปนี้จะชี้ให้เห็นว่า probability ของการตรวจจับอาจหาได้เมื่อ เป็นฟังก์ชันของระยะ โดยการใช่วิธีการซึ่งได้พัฒนามาแล้วตอนต้น ๆ ของบทนี้

สมมติว่า ณ เวลา  $t = 0$  เรดาร์รายงานให้ว่าจรวดเข้าสู่อากาศอยู่ที่ระยะ 00 ไมล์ทะเล และเข้าใกล้สถานที่ต่อต้านจรวดด้วยความเร็ว 10,000 นอต เพื่อต่อต้านการโจมตีการได้เป่าจะต้องมี ณ สถานที่เรดาร์ควบคุมการยิงก่อนที่ระยะจะน้อยกว่า 200 ไมล์ ถ้าอัตราการตรวจจับของเรดาร์ควบคุมการยิงเป็นไปตามกฎของกำลังสามผกผัน ด้วย  $kh = 10^9$  ดังนั้น

$$(r) = 10^9 / r^3 \quad (\text{การตรวจจับต่อชั่วโมง ณ ระยะ } r)$$

อะไรคือ probability ที่จะได้จรวดทันเวลาเพื่อการต่อต้านการโจมตี?

ในฐานะฟังก์ชันของเวลา ระยะอาจกำหนดให้ได้โดย  $r = 500 - 10,000 t$  โดยที่  $t$  เป็นชั่วโมงและอาจกล่าวได้ในฟังก์ชันของ  $t$

$$(t) \frac{10^9}{(500 - 10,000 t)^2}$$

และ probability ของการได้เป่า ณ ระยะ 200 ไมล์ จะเท่า ๆ กับ probability ของการได้เป่า ณ เวลา .03 ชั่วโมง probability นี้ สามารถที่จะคำนวณหาได้จากสมการ 4-5 ดังต่อไปนี้

$$F(.03 hr) = 1 - e^{-\frac{10^9}{(500 - 10,000 t)^2}} = 1 - e^{-1.05} = .650$$

#### 408 ความใกล้เคียงกัน (Analogy)

ตอนนี้จะแสดงถึงความใกล้เคียงกันระหว่างสถานการณ์ต่าง ๆ สามสถานการณ์


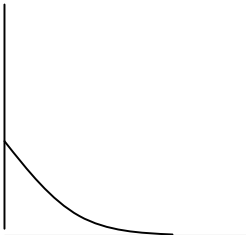
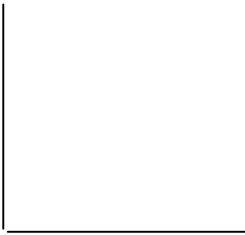
- ก. การทอดลูกเต๋าที่ไม่ถ่วงหนึ่งลูกซ้ำ ๆ กัน เพื่อให้ได้หน้าหนึ่ง หนึ่งครั้ง
- ข. discrete glimpsing โดยที่  $g$  คงที่
- ค. continuous looking สำหรับเป่าโดยที่  $c$  คงที่

ลูกเต๋ายี่สิบ (Discrete)

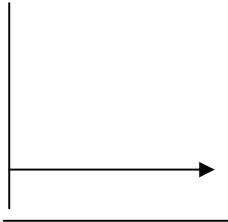
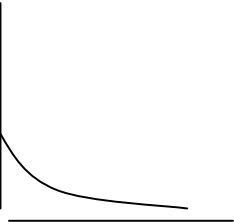
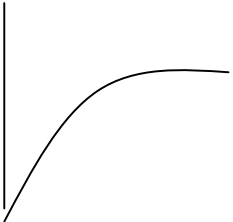
	Probability	Cumulative Distribution
Random Variable : N, คือจำนวนของการทอดที่ต้องการ สำหรับหน้าหนึ่งครั้งแรก	Function : $p(n)$ คือ probability ของการ ปรากฏหน้าหนึ่งครั้งแรกใน การทอดครั้งที่ $n$ = probability ที่ไม่ขึ้นหน้าหนึ่งใน $(n-1)$ ครั้งคูณด้วย Probability ของ การขึ้นหน้าหนึ่งในครั้งที่ $n$	function : $F(n)$ , คือ probability ของการขึ้น หน้าหนึ่งครั้งแรกในการ ทอดครั้งที่ $n = 1 -$ probability ที่หน้าหนึ่ง ไม่ขึ้นในการทอด $n$ ครั้ง
$p = \frac{1}{6}$	$p(n) = P(N = n) = (1 - p)^{n-1} p = \left(\frac{5}{6}\right)^{n-1} \left(\frac{1}{6}\right)$	$F(n) = P(N \leq n) = 1 - (1 - p)^n = 1 - \left(\frac{5}{6}\right)^n$



Glimpses แยก (Discrete)

	Probability	Cumulative Distribution
Random Variable : N, จำนวนของ glimpses ที่ต้อง การ สำหรับการตรวจจับ พารามิเตอร์หลัก : g probability ของการตรวจ จับได้ ณ glimpse เดียว ใด ๆ g = ค่าคงที่	function : p(n) probability ของการตรวจ จับได้ ณ glimpse ที่ n = probability ที่ตรวจจับไม่ได้ ใน (n-1) glimpses คูณด้วย probability ที่ตรวจจับได้ ณ glimpse ที่ n $p(n) = p(N - n) (1 - g)^{n-1} g$	Function : F(n) probability ของการตรวจ จับได้หลัง glimpse ที่ n พอดี = probability ของ การตรวจจับได้ ณ glimpse ที่หนึ่งหรือ glimpse ที่ n = 1 - probability ของการ ตรวจจับไม่ได้ n glimpses $F(n) = P(N \leq n) = 1 - (1 - g)^n$
		

การมองหาดัดต่อ

	Probability density	Cumulative distribution
Random Variable : T, คือ เวลาของการตรวจจับ เป้าได้ พารามิเตอร์หลัก : คืออัตราการตรวจจับชั่วขณะ  = ค่าคงที่	Function : $f(t)$ เป็นฟังก์ชันที่ทำให้  $P(a < T < b) = \int_a^b f(t) dt$ $f(t) = c^{-rt}$	Function : $F(t)$ , เป็น probability ของการ ตรวจจับได้หลังเวลา t พอดี  $= 1 - \text{probability ของ}$ การตรวจจับไม่ได้ในเวลา t  $F(t) = 1 - c^{-rt}$
		

## ปัญหา

1. ค่าของ glimpse probability จะแปรเปลี่ยนจาก glimpse หนึ่งไปยังอีก glimpse หนึ่ง กำหนดให้ในตารางต่อไปนี้

1	.1		
2	.2		
3	.5		
4	.4		
5	.3		
6	.2		
7	.0		

- ข. จงเติมตารางให้เต็ม
- ก. ถ้าหากค้นหาค่าทำไปอย่างไม่มีที่สิ้นสุด อะไรคือ probability ที่เป้าหมายถูกตรวจพบ สมมติว่า  $g_n = 0$  สำหรับทุก ๆ  $n = 7$
- ง. ค่าของ  $f(n)$  เป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมหรือไม่ ?
2. ถ้า glimpse probability มีค่าเป็น
- $$g_n = \frac{n}{10^n}, n = 1, 2, \dots, 5,$$
- ข. อะไรคือ  $p(n)$  สำหรับ  $n = 1, 2, \dots, 5$
- ก. อะไรคือ  $F(n)$  สำหรับ  $n = 1, 2, \dots, 5$
- ง.  $F(n)$  เป็นฟังก์ชันการแจกแจงสะสมหรือไม่
- จ. จงหาค่า  $E(n)$
3. สมมติว่า glimpse probability,  $g$ , มีค่าคงที่เป็น .2
- ข. จงลงตารางค่าของ  $P(n)$  และ  $F(n)$  สำหรับ  $n = 1, 2, \dots, 5$
- ก. จงเขียนกราฟของ  $P(n)$  และ  $F(n)$  สำหรับ glimpses ทั้งห้านี้

๖. อะไรคือค่าของ  $F(2,5)$  เป็นตัวเลข ?
๗. ทำไมฟังก์ชันแห่งความน่าจะเป็น  $P(n)$  ลดลงในขณะที่  $n$  เพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่า  $g$  จะคงที่ ก็ตาม?
๗. ถ้าหลังจาก 5 glimpses แล้วยังตรวจจับเป้าไม่ได้ อะไรคือความน่าจะเป็นที่การตรวจจับจะเกิดขึ้น ณ glimpses ที่หก?
๖. อะไรคือจำนวน glimpses ที่คาดหวังที่ต้องการเพื่อการตรวจจับได้ ?
4. ใช้เรดาร์ตัวหนึ่งเพื่อตรวจจับอาวุธปล่อยของข้าศึกที่กำลังวิ่งเข้าหาเรา ณ ที่ต่อสู้อาวุธปล่อยระยะไกลสุดของเรดาร์เป็น 140 ไมล์ และการตรวจจับต้องเกิดขึ้นก่อนที่อาวุธปล่อยนั้น จะเข้ามาในระยะ 100 ไมล์ เพื่อเราจะทำลายมันได้ทัน มีหนทางปฏิบัติที่จะต้องพิจารณาอยู่สองหนทางด้วยกัน เพราะว่าเรดาร์มีอัตราการกวาดอยู่สองอัตรา คือ -- เร็ว และช้า
- เมื่อใช้อัตรา “เร็ว” จะมีสี่ glimpses (scans) ที่เป็นไปได้ กล่าวคือ หนึ่งทุก ๆ 10 ไมล์ ความน่าจะเป็นของการตรวจจับแต่ละ scan จะเป็น :
- .2 เมื่อระยะอยู่ระหว่าง 120 – 140 ไมล์ และ
- .4 เมื่อระยะอยู่ระหว่าง 100 – 120 ไมล์
- เมื่อใช้อัตรา “ช้า” จะมีสอง glimpses ของเป้าที่เป็นไปได้ กล่าวคือ หนึ่งทุก ๆ 20 ไมล์ ความน่าจะเป็นของการตรวจจับแต่ละ glimpses จะเป็น :
- .4 เมื่อระยะอยู่ระหว่าง 120 – 140 ไมล์ และ
- .7 เมื่อระยะอยู่ระหว่าง 100 – 120 ไมล์
๙. จงกล่าวถึงวัตถุประสงค์ในการเปรียบเทียบของอัตราการกวาดทั้งสองนี้
๖. ท่านจะใช้อะไรเป็น MOE ในการเปรียบเทียบหนทางเลือก ?
๖. อะไรคือผลจากการเปรียบเทียบ กล่าวคือ อัตราการ scan ใดที่ให้ MOE สูงสุด ?
- เพื่อที่จะได้ความชัดเจนว่า  $g_1$  แทนอะไร และอะไรคือความไม่ขึ้นแก่กัน ให้  $D_2$  เป็นเหตุการณ์ที่การตรวจจับเกิดขึ้น ณ glimpses ที่สอง และให้  $D_3$  เป็นเหตุการณ์ที่การตรวจจับเกิดขึ้น ณ glimpses ที่สาม
- จงพิจารณาถึงการเขียนแบบกรรมวิธีของการตรวจจับ โดยการใช้หีบใบหนึ่งซึ่งบรรจุขึ้นกระดาษไว้ 100 ชิ้น และเขียนคำว่า “ตรวจจับได้” ไว้ชิ้นหนึ่ง ส่วนที่เหลือใบว่าง ผู้ตรวจจับหยิบชิ้นกระดาษขึ้นมาหนึ่งชิ้นตามยถากรรม จนกระทั่งใบ “ตรวจจับได้” ถูกหยิบขึ้นมา
- สำหรับการแก้ไข 4 ประการ คือ :
- (1) หลังการหยิบแต่ละครั้งทิ้งใบหรือชิ้นที่หยิบได้ไป

- (2) หลังการหยิบแต่ละครั้งใส่ใบที่หยิบขึ้นมาได้เข้าไปใหม่  
 (3) หลังหยิบแต่ละครั้งใส่ใบที่หยิบขึ้นเข้าไปใหม่ และเพิ่มเติมเข้าไปอีกใบหนึ่งโดยมีคำว่า “ตรวจจับได้” เข้าไปด้วย

จงพิจารณา :

๙. ว่า  $g$  เป็นค่าคงที่หรือไม่

๑๐. ว่า  $D_2$  และ  $D_3$  ไม่ขึ้นแก่กันใช่หรือไม่โดยการเปรียบเทียบ  $P(D_2)$  และ  $P(D_3 | D_2)$

ในบทความน่าจะเป็นของการตรวจจับเป่าที่กำหนดให้ได้ใน  $n$  glimpses ได้พบว่าเป็น  $F(n) = 1 - (1 - g)^n$  ถ้า  $g$  มีค่าคงที่ สมมติว่ามีเป่าอยู่  $N$  เป่า ซึ่งปฏิบัติอยู่อย่างไม่ขึ้นแก่กันอะไรคือความน่าจะเป็นที่อย่างน้อยหนึ่งเป่าถูกตรวจจับได้ใน  $n$  glimpses

7. จงแสดงว่าสำหรับ  $g$  ที่คงที่ในแบบจำลองที่เป็นแบบ discrete glimpse ค่าของแวลเรียนซ์  $N$  คือ  $(1 - g) / g^2$

8. จงแสดงว่าสำหรับ  $g$  ที่คงที่ในแบบจำลองที่เป็นการมองหาดิตต่อ (continuous looking) ค่าของแวลเรียนซ์  $T$  เป็น  $1 / g^2$

9. ในการค้นหาดิตต่อ  $0.1$  ของการตรวจจับ/นาที่

อะไรคือความน่าจะเป็นที่การตรวจจับจะเกิดขึ้นในสองนาที่แรก

อะไรคือความน่าจะเป็นที่การตรวจจับเบื้องต้น จะเกิดขึ้นระหว่างสองและสามนาที่หลังจากการค้นหาได้เริ่มต้น

อะไรคือจำนวนของการตรวจจับที่คาดหวังใน 15 นาที่แรก

โดยเฉลี่ยจะเป็นเวลานานเท่าใด ที่จะต้องมองหาดิตต่อกันเพื่อที่จะตรวจจับเป่าได้

10. สมมติว่าความน่าจะเป็นชั่วขณะ (instantaneous probability) ของการตรวจจับไม่เป็นค่าคงที่แต่เป็นฟังก์ชันของเวลาดังต่อไปนี้

$$f(t) = \frac{2t}{t^2 + 1}$$

จงหาเวลาเฉลี่ยของการตรวจจับ

11. สมมติว่า constant glimpse probability เป็น .002 และ glimpse rate “a” มีค่าเท่ากับ 5 glimpses/นาที (เพื่อว่า  $n = 60$   $at = 300t$  โดยที่  $t$  เป็นเวลาการค้นหาค้นหาเป็นชั่วโมง)

ข. อะไรคือเวลาที่คาดหวังของการตรวจจับ

ก. จำนวนของการค้นหาค้นหาเป็นชั่วโมงจะเป็นเท่าใด เพื่อให้ได้โอกาสของการตรวจจับเป้าได้เป็น 80 %

ง. อะไรคือความน่าจะเป็นของการตรวจจับ ถ้าการค้นหาค้นหาเป็นระยะเวลาที่ท่านคำนวณได้ในข้อ ก.

12. สมมติว่าเรือลำหนึ่งค้นหาเป้าแพชูชีพด้วยตาเปล่า และ เป็นฟังก์ชันของระยะ “r” ดังต่อไปนี้

$$(r) \frac{40}{r^2}$$

ก. อะไรคือค่าของ  $(t)$

ข. อะไรคือความน่าจะเป็นที่การตรวจจับจะเกิดขึ้นก่อนที่ระยะจะลดลงเป็นหนึ่งไมล์

13. ในโจทย์ของการมองหาติดต่อยาระยะไกลสุดของการตรวจจับเป็น 200 ไมล์ทะเล และเป้าจะเข้าหาตรง ๆ ด้วย

ความเร็ว 400 นอต  $(r) 1000 / r$  สำหรับ  $r > 0$

ข. จงหาระยะ(เป็นไมล์ทะเล) ในฐานะเป็นฟังก์ชันของเวลา (เป็นชั่วโมง)

ก. จงหา ในฐานะเป็นฟังก์ชันของเวลา

ง. จงหาความน่าจะเป็นที่การตรวจจับจะเกิดขึ้นหลังเวลาที่ระยะรันเข้าจนเหลือ 100 ไมล์

จ. จงหาฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็น  $f(t)$  และจงบอกถึง range ของ  $t$  สมการเป็นจริง

ฉ. จงเขียนค่ากล่าวซึ่ง (ถ้าคำนวณได้) จะให้ค่า  $E(T)$

ช. จงเขียนค่ากล่าวซึ่ง (ถ้าคำนวณได้) จะให้ของแควเรียนซ์ของ  $T$

ค. สมมติว่าในข้อ จ. ท่านพบ  $E(T) = 1/7$  จงหาค่าคาดหวังของระยะของการตรวจจับ

14. เครื่องตรวจจับสองตัวกำลังได้รับการพิจารณาที่จะติดตั้งบนเรือพิฆาตลำหนึ่ง เพื่อให้เป็นการเตือนภัยล่วงหน้า (early warning) ต่อเป้าเครื่องบินข้าศึก ผู้บังคับการเรือบอกว่าเขาต้องการเครื่องมือที่จะตรวจจับเป้าต่าง ๆ ได้ก่อนที่จะใกล้ตัวเรือ 300 ไมล์ เป้าเหล่านี้คาดว่าจะบินตรงเข้าหาเรือพิฆาตด้วยความเร็ว 800 นอต เครื่องตรวจจับที่ I เป็นแบบการมองหาติดต่อยาระยะไกลสุด 400 ไมล์ และอัตราการตรวจจับเป็น  $(400 - r) / 6.25$  ต่อชั่วโมง ณ ระยะ  $r$

เครื่องตรวจจับที่ II เป็นแบบ glimpsing ระยะไกลสุด 400 ไมล์ มีอัตราสอง glimpses ต่อนาที และ  $g =$

.2 ณ แต่ละ glimpse

จงเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครื่องตรวจจับทั้งสองนี้

15. ในบทที่ห้า “การตรวจจับด้วยเรดาร์” จะได้ใช้ประโยชน์ของการกระจาย ๆ ที่ว่า  $(1-g)^n \approx e^{-ng}$

๙. จงแสดงให้เห็นว่า  $\lim_{n \rightarrow \infty} (1-g)^n = e^{-ng}$ , โดยกำหนดให้

$$\lim_{x \rightarrow 0} (1-x)^{1/x} = e$$
 (บอกใบ้ : กำหนดให้  $x = -g/n$  และให้เขียน  $(1-g)^n = (1-x)^{1/x}$  0  
อย่างเช่น  $(1-x)^{1/x} = e^{-ng}$ )

๑. จงแสดงว่าถ้า  $(1-g)^n \approx e^{-ng}$  แล้วจะได้  $g$  เท่ากับ  $-\ln(1-g)$

๒. จงเปรียบเทียบการกระจาย ๆ นี้ สำหรับ  $g=0.5$  และ  $n=20$

16. ในบทนี้ฟังก์ชันของความน่าจะเป็น  $p(n)$  ได้พบว่าเป็น

$$p(n) = P(N=n) = g^n \prod_{a=1}^{n-1} (1-g)$$

จงหาฟังก์ชันความน่าจะเป็นอย่างมีเงื่อนไข  $P(N=n | N > n-1)$

17. จงแสดงว่าสำหรับเหตุการณ์สองเหตุการณ์ใด ๆ  $A$  และ  $B$  เมื่อ  $P(A|B) = 1$

$$P(\bar{A}|B) = 1 - P(A|B)$$

18. ในบทนี้ฟังก์ชันความหนาแน่นน่าจะเป็นได้พบว่าเป็น

$$f(t) = (t) e^{-\int_0^t (t) dt}$$

จงกระทั้งว่า

$$P(t < T < t+dt) = f(t) dt = (t) e^{-\int_0^t (t) dt} dt,$$

อะไรคือความน่าจะเป็นอย่างมีเงื่อนไขที่กำหนดให้โดย  $P(t < T < t+dt | T > t)$

หมายเหตุ : คำตอบที่ได้จะต้องแสดงถึงคำว่า “instantaneous probability density” หรือ “conditional probability density function” ที่ใช้โดยแต่งตำราบางท่านเพื่อบอกถึง  $f(t)$

## บทที่ 5

### ทฤษฎีการตรวจจับด้วยเรดาร์และการสงครามอิเล็กทรอนิกส์

(Radar Detection Theory and Electronic Warfare)

ในการปฏิบัติการทางเรือทั้งหลายที่เกี่ยวข้องกับการจับเป้า (contact) ข้าศึกจะขึ้นอยู่กับความสามารถของกองกำลังทางเรือที่เกี่ยวข้องนั้น ๆ ในอันที่จะ locate ข้าศึกและรักษา contact นั้นไว้ได้หรือไม่ สิ่งนี้เป็นความจริงทั้งใต้น้ำหรือเหนือน้ำ ในเรื่องของบนผิวน้ำและเหนือผิวน้ำนั้น sensor ระยะยาวที่สำคัญก็คือเรดาร์ การพิจารณาตัดสินใจหาการใช้เรดาร์ให้ได้ผลมากที่สุดในการปฏิบัติการทางเรื่อนั้น เป็นปัญหาที่ติดต่อกันยาวนานตลอดมา เริ่มตั้งแต่การเริ่มนำเอาเรดาร์มาใช้ในทางปฏิบัติการตั้งแต่ก่อนสงครามโลกครั้งที่สอง ซึ่งโดยความจริงแล้วประวัติของ Operations Analysis (O.A.) ในกองทัพเรือเริ่มจากการใช้วิธีการทางวิทยาศาสตร์เป็นครั้งแรกในการใช้การทางยุทธการของเรดาร์เมื่อเริ่มรับเรดาร์มาใช้งานทางการทหารนั่นเอง

ความมุ่งประสงค์ของเรดาร์ของกองเรื่อนั้นได้กำหนดไว้อย่างชัดเจนคือ “ใช้สำหรับการตรวจจับ (detect) และติดตามเป้า (track) บนผิวน้ำหรือเหนือผิวน้ำ” ปัญหาสำคัญ ๆ ที่ยังคงจะต้องแก้ตลอดไปก็คือ “การเลือกมาตรวัดประสิทธิผลที่ดีที่สุด และการตกลงใจในคุณค่าของมาตรวัดที่ได้รับเลือกนั้น ๆ สำหรับแต่ละเรดาร์ ๆ” มาตรวัดที่ใช้อาจเป็นระยะการตรวจจับที่ไกลที่สุดของเรดาร์, probability ในการตรวจจับเป้า, probability ในการติดตามเป้าที่ได้ตรวจจับได้หรืออื่น ๆ ในบทนี้มาตรวัดประสิทธิผลจะอยู่บนรากฐานของทฤษฎีทางการใช้การ ๓ ประการ และการใช้ต่อเรดาร์สำหรับกองเรือจะได้รับการถกแถลง

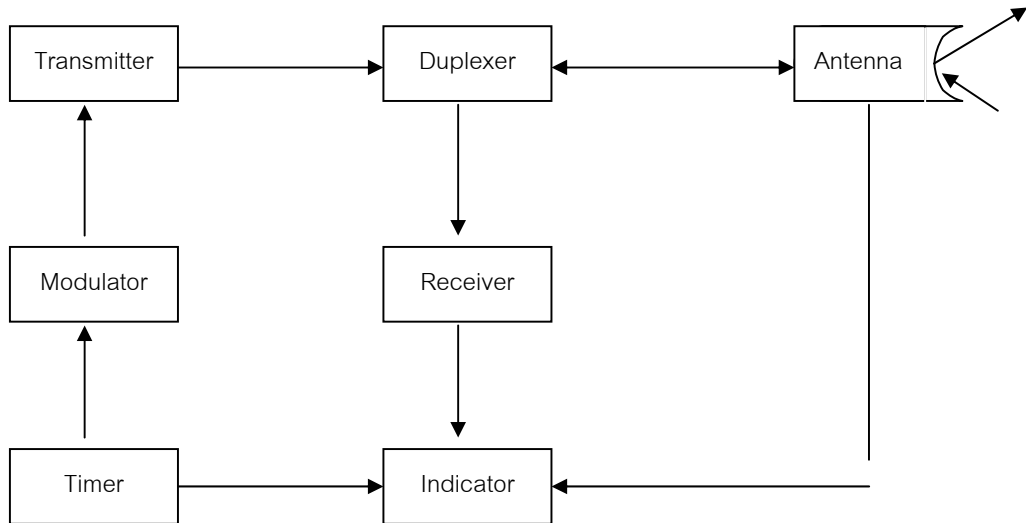
ในอันที่จะเข้าใจทฤษฎีของการทำงานของเรดาร์นั้น จำเป็นที่จะต้องมีความรู้เกี่ยวกับเครื่องมือนี้และสิ่งแวดล้อมในการใช้การบ้างพอสมควร ดังนั้น การบรรยายถึงชิ้นส่วนสำคัญ ๆ ของเรดาร์และการถกแถลงทางฟิสิกส์ของการแพร่กระจายพลังงานของเรดาร์ไปในบรรยากาศจะรวมอยู่ด้วย

ในการศึกษาทฤษฎีของการทำงานนั้นเรดาร์ก็อาจเปรียบเสมือนหีบสี่ค่าชุดหนึ่ง กล่าวโดยกว้าง ๆ ก็คือเพียงแต่ในเรื่องของการทำงานและการกระทำระหว่างกัน (interaction) ของหีบต่าง ๆ เหล่านี้ต่อโลกภายนอกแห่งพนักงาน, เป้า, บรรยากาศ, พื้นผิวน้ำทะเล, กำลังพลผู้ทะนุบำรุง และ ฯลฯ ฟิสิกส์หลักเบื้องต้น ซึ่งจะนำมากล่าวเพียงแต่ที่เกี่ยวข้องกับ interaction ของเรดาร์ต่อลักษณะทางฟิสิกส์ของสิ่งแวดล้อมทางปฏิบัติการของมัน ต่อเป้าและต่อเส้นทางแพร่กระจาย (propagation path)

#### ๕๐๑. ระบบเรดาร์

ชนิดของเรดาร์ที่จะพิจารณาจะเป็นเรดาร์แบบธรรมดา (conventional) ระบบ pulse-modulated scanning ซึ่งมีโครงร่างตามรูปที่ ๕-๑





บล็อกไดอะแกรมของระบบเรดาร์ธรรมดาแบบพัลส์และสแกน

ไทมเมอร์ (Timer) เริ่มวัฏจักร (cycle) ของการทำงานของเรดาร์โดยการส่ง pulse ไปยัง modulator และ หน้าปัทม์ชี้ (indicator) เพื่อให้เกิดซิงโครไมซ์ วงจรการจับเวลากับการส่งออกของพลังงานคลื่นวิทยุ (RF) modulator จะก่อให้เกิด pulse กระแสไฟตรงด้วยแรงเคลื่อนสูงไปยังเครื่องส่ง (transmitter) ซึ่งจะทำให้มันเดิน (oscillate) ในช่วงเวลาแห่งการ pulse นั้น ในขณะที่ oscillate เครื่องส่งจะทำให้เกิดพลังงาน RF อยู่ในรูปของ pulse ที่สั้นและมีกำลังแรง ช่วงระยะเวลาของ pulse นั้นอาจเรียกว่า “ความยาวของพัลส์ (pulse length)” อัตราการก่อให้เกิดพัลส์ เรียกว่า “pulse repetition frequency-prf” หรืออัตราการซ้ำของพัลส์ (pulse repetition rate)”

พัลส์ซึ่งมีพลังงานสูงนี้จะเดินทางจากเครื่องส่งไปยังสายอากาศ (antenna) ผ่าน switching mechanism ที่เรียกว่า “duplexer” เพื่อที่จะใช้เพียงสายอากาศเดียวทั้งการส่งและการรับ ดังนั้น duplexer จะต่อเครื่องส่งเข้ากับสายอากาศในระหว่างการส่งและในเวลาเดียวกันจะแยกเครื่องรับออกเพื่อป้องกันชิ้นส่วนที่มีความไวสูงเพื่อที่จะดูเป้าในระยะใกล้ duplexer จะตัดเครื่องส่งในทันทีทันใด หลังจากส่งและติดต่อเครื่องรับเข้ากับสายอากาศ ดังนั้นสายอากาศจะทั้งส่งพลังงาน RF และรับคลื่นส่งกลับ (echoes) ด้วยรูปทรงของสายอากาศจะรวมคลื่นวิทยุเข้าให้เป็นลำแสง (beam) รวม และส่งตรงไปยังทิศทางจำเพาะ ทิศทางของ beam จะถูกส่งไปยังหน้าปัทม์ เป็นข้อมูลของอาร์มิธ

เครื่องรับจะขยายสัญญาณสะท้อนที่ได้รับมา (ซึ่งก่อนข้างอ่อน) และส่งออกเป็น output output จากเครื่องรับนี้ตามปกติจะใช้ควบคุมความเข้มของ electron beam ของ cathode ray tube (CRT) ใน indicator indicator จะแสดงข่าวสารของเรดาร์ เมื่อ indicator ได้รับการบอกเล่าจาก time ว่า วงรอบได้เริ่มแล้ว มันก็จะบันทึกเวลาสิ่งนี้ตามปกติจะทำให้โดยการเริ่มกวาดของ electron beam ตลอดหน้า CRT ดังนั้นการเคลื่อนตัวของ beam ก็จะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับระยะเวลาตั้งแต่การเริ่มวงรอบและการวัดระยะทางไปยังเป้าก็จะอ่านได้โดยตรงจาก CRT ในขณะเดียวกัน indicator ได้รับข่าวสารติดต่อกันบนตำแหน่งทางมุมของสายอากาศ ซึ่งจะแสดงให้เห็นบน counter หรือโดยการหมุนทิสทางของการเดินทางของการกวาดเพื่อให้รับ (match) กับมุมของสายอากาศ

#### ๕๐๒. พารามิเตอร์หลักทางฟิสิกส์ (Basic Physical Parameters)

มีความจำเป็นที่จะต้องชี้แจงเครื่องหมายบางตัวเพื่อให้เข้าใจในกรรมวิธีของเรดาร์ เครื่องหมายและคำจำกัดความต่าง ๆ ของพารามิเตอร์หลักทางฟิสิกส์ มีดังต่อไปนี้

ก. ความถี่เรดาร์  $f$  : จำนวนของพลังงานอิเล็กตรอนแมกเนติก เป็น ไซเคิล/วินาที

ข. ความยาวคลื่น : ระยะทางที่ครอบคลุมได้ต่อไซเคิล  $c/f$  โดยที่  $c$  เป็นความเร็วของการแพร่คลื่นอิเล็กตรอนแมกเนติก (๑๘๖,๐๐๐ ไมล์/วินาที หรือ ๑๖๑,๕๐๐ ไมล์ทะเล/วินาที)

ค. ความยาวพัลส์  $T$  : ระยะเวลาของการส่งพัลส์เป็นวินาที

ง. pulse repetition frequency  $f_p$  : จำนวนของพัลส์ที่ส่งออก/วินาที โดยเหตุที่พัลส์ไม่สามารถที่จะส่งออกไปได้มากไปกว่าระยะเวลาที่ต้องการสำหรับการแพร่ (radiation) ในอันที่จะเดินทางต่อระยะทาง (ไปกลับ) ไกลสุดทางทฤษฎี  $f_p \leq c/2R_M$

จ. duty cycle : อัตราส่วนของความยาวพัลส์ต่อความยาวของวงรอบเรดาร์

$$\frac{\text{พัลส์}}{\text{วงรอบ}} = \frac{T}{1/f_p} = f_p T$$

ฉ. กำลังสูงสุด  $P_i$  : กำลังชั่วขณะเป็นวัตต์ ซึ่งเกิดขึ้นโดยเครื่องส่งในขณะที่ oscillate

ช. กำลังเฉลี่ย  $P_a$  : กำลังเฉลี่ยตลอดไซเคิล

$$P_a = P_i \cdot T P_i$$

ซ. ระยะทาง  $R$  : ระยะทางไปยังเป้า

ณ. ระยะทางไกลสุดทางทฤษฎี  $R$  : ระยะทางไกลสุดที่ได้บนรากฐานของข้อจำกัดต่าง ๆ ของพารามิเตอร์ทางฟิสิกส์

ญ. ความเร็วในการกวาด S : ความเร็ว (นิ้ว/วินาที) ที่ electron beam เคลื่อนไปบน CRT ถ้า  $d$  เป็นการเคลื่อนไปทั้งหมดที่ได้ตามระยะทางไกลสุดทางทฤษฎี  $R_m$  แล้ว  $c/2R_m$   $s_s/d$  และ  $s_s \quad cd/2R_m$

ญ. antenna gain G : อัตราส่วนของความแน่นของกำลัง (power density) บนแกนของสายอากาศต่อความแน่นของกำลังที่ผลิตได้ ณ ระยะทางเดียวกันโดยตัวแพร่คลื่นทุกทิศทาง (omnidirectional radiator) ของกำลังที่ออกมาตัวเดียวกัน  $G$  จะวัดผลของ focusing สายอากาศ

ญ. พื้นที่การรับที่ได้ผล  $A_e$  (effective area for reception) : มีค่าจำกัดความดังนี้

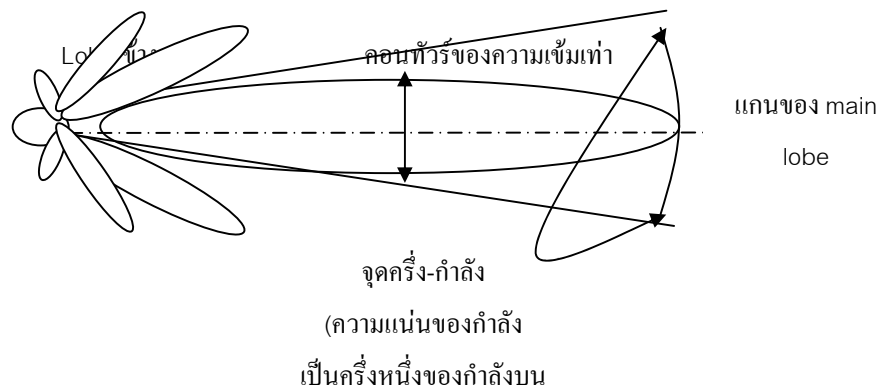
$$A_e = \frac{2G}{4} \quad \text{หรือ} \quad G = \frac{4 A_e}{2}$$

ตามปกติ  $A_e$  จะมีค่าอยู่ระหว่าง ๕๐ และ ๘๐% ของพื้นที่ทางเรขาคณิตของสายอากาศนั้น ๆ

รูปแบบของพลังงานที่ก่อให้เกิดโดยสายอากาศเรดาร์จะประกอบด้วยชุดของการเพิ่ม (sequence of reinforcements) ที่เรียกว่า “lobes” และการตัดกัน (cancellations) ที่เรียกว่า “nulls” สำหรับสายอากาศแต่ละสายรูปแบบนี้จะมักเขียนออกมาได้โดยการทดลอง (ทางทออาร์) เส้นต่าง ๆ ที่มีความเข้มเท่ากันตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ ๕ - ๒

สำหรับสายอากาศที่ได้ออกแบบอย่างเหมาะสมแล้ว side lobes จะมีขนาดเล็กกว่า main lobe มาก ขนาดของ secondary lobes และจำนวนของมันพร้อมกับความบอบบางของ main lobe เป็นฟังก์ชันของอัตราส่วนของมิติของสายอากาศ (และรูปร่าง) ต่อความยาวคลื่น อัตราส่วนของขนาดของสายอากาศ/ความยาวคลื่นที่โตจะให้ main lobe ที่ผอมและ side lobes ที่มีขนาดเล็กลงไปมากเป็นจำนวนมาก สำหรับการคำนวณแบบ approximate รูปแบบของสายอากาศที่สมบูรณ์แบบจริง ๆ (ideal) จะเป็นส่วนของวงกลม โดยมีความกว้างทางมุม (angular width)  $w$  ตามที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ ๕ - ๒ มุม  $w$  เรียกว่าความกว้างของบีม (beam width) ใน indicator ของ PPI แบบธรรมดาสามัญที่แสดงให้เห็นนั้นเป็นผลรวมของความเข้มที่ได้รับจากพัลส์ของเรดาร์หลาย ๆ พัลส์

รูปที่ 5-2



กระสวนของ lobe สำหรับแอนเทนนาของเรดาร์แบบธรรมดา

ซึ่งตกลงบนเป้าในขณะที่ scanning beam เคลื่อนไป ความเข้มของพัลส์เหล่านี้จะถูก modulated โดยรูปแบบของบีมตามมุมส่งต่าง ๆ อีกครั้งหนึ่งโดยการคำนวณแบบ approximate พัลส์ทั้งหมดที่ตกลงระหว่าง half-power points จะถือว่ามีความแน่นของกำลังบนแกนที่เท่ากัน วิธีการเช่นนั้นเป็นการปรองดอง จะตัดทิ้งพลังงานจากพัลส์ต่าง ๆ ที่ส่งออกไปที่อยู่ภายนอกมุม  $w/2$  และปฏิบัติต่อ ถือว่า แต่ละพัลส์ที่ส่งออกไปซึ่งอยู่ภายในเซกเตอร์นี้ว่าเป็น maximum (axis) gain ของสายอากาศนั้น การพิจารณาเหล่านี้จะนำไปยังการคำนวณหาจำนวนสมมติ (fictitious) ของ “pulse on – target per scan” ถ้าอัตราการหมุนของสายอากาศเป็น  $a$  รอบต่อนาที แล้วจะได้จำนวนของ pulses on target per scan เป็น

$$\text{สมการที่ ๕ - ๑} \quad \text{Number of pulses/scan} = (f_p) \frac{60}{a} \frac{w}{360} \frac{wf}{6a}$$

โดย  $w$  วัดเป็นองศา

จำนวนของ pulse on – target par scan สามารถที่จะเพิ่มได้และดังนั้นระยะก็เพิ่มขึ้นได้โดยการเพิ่ม  $w$  หรือ  $f_p$  หรือโดยการลด  $a$  ความกว้างของบีม  $w$  จะเพิ่มขึ้นก็โดยเพียงโดยการลดความชัดเจนของเรดาร์เท่านั้น อัตราของ pulse repetition  $f_p$  ตามปกติจะเพิ่มไม่ได้ เพราะการพิจารณาของเวลาเดินทางอาจต้องลดลงเพื่อการเพิ่มระยะทาง ประการสุดท้ายถ้า  $a$  ลดลงก็จะทำให้เกิดโทษคือ อัตราของข้อมูลจะลดลง ดังนั้นจึงมีการเลือกที่ค่อนข้างยุ่งเหยิงในการพิจารณาพารามิเตอร์หลัก ๆ แต่ละตัว ๆ เหล่านี้

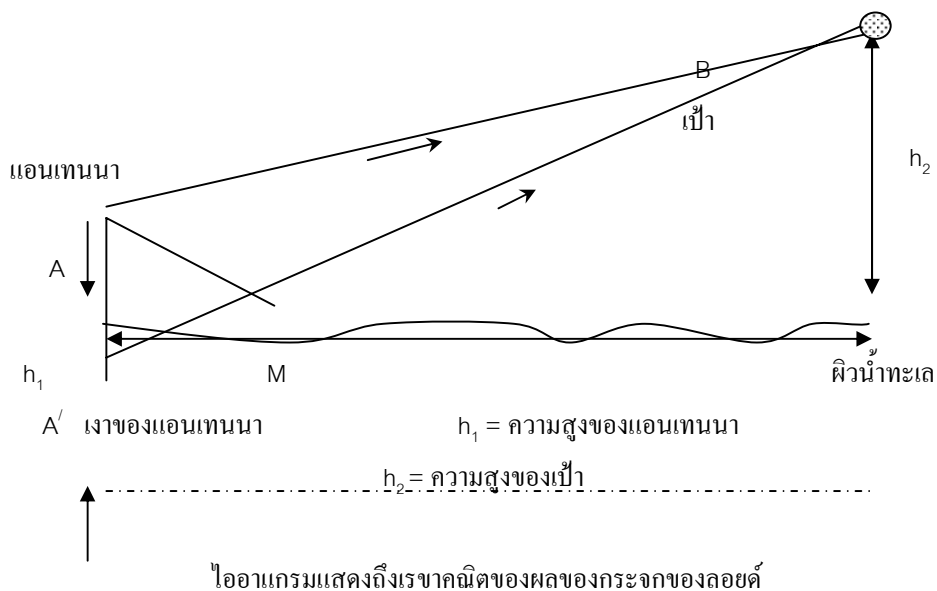
ในการทดลองนี้ ถึงแม้จะไม่สมบูรณ์แต่จะเป็นการแนะนำให้ผู้สังเกตพารามิเตอร์ในทางปฏิบัติการหลัก ๆ ของระบบเรดาร์แบบ pulsed – scanning ใน ๒ ข้อต่อไป จะได้กล่าวถึงหลักการทางฟิสิกส์บางประการที่มีผลกระทบต่อการทำงานของเรดาร์ แต่จะอยู่ในรูปของแนวความคิดแบบ deterministic มากกว่า probabilistic

๕๐๓. การสะท้อนจากทะเล

สำหรับสถานการณ์ทางยุทธการส่วนใหญ่เรดาร์ในการค้นหาจะให้การตรวจพบ ณ ผิวโลกที่เรดาร์ นั้น ๆ อยู่ในอาณาเขตที่จะตรวจได้ต่อเป้าอากาศยาน (หรือผิวน้ำ) พลังงานจำนวนมากที่ไปถึงผิวทะเลจะสะท้อนกลับไปรบกวนต่อพลังงานที่แผ่กระจายไปโดยตรง และดังนั้นก็จะก่อให้เกิดกระสวน (pattern) ของการรบกวนขึ้น ในบรรยากาศ กระสวนนี้มีความพิ้วพันอยู่มากมายในทางยุทธการ

ผิวพื้นการสะท้อนของโลกเป็นลักษณะของทรงกลม แต่สำหรับการแพร่กระจายของคลื่นไปตลอด ระยะทางซึ่งไม่ไกลมากนัก ตามปกติจะถือว่าเป็นผิวแบบราบ รูปที่ ๕ - ๓ ได้แสดงให้เห็นถึงสถานการณ์ ในทางเรขาคณิต หลักการทางฟิสิกส์ที่เกี่ยวข้องนี้เราเรียกว่า “ผลของกระจกของลอยด์ (Lloyd’s Mirror Effect)”

รูปที่ 5-3



ระยะทางทางราบ R จะถูกวัดในพื้นที่ราบของการสะท้อน (ถึงแม้ว่าอาจวัดได้โดยตรงจากเรดาร์ถึงเป้า ถ้าผลต่างมีอยู่เล็กน้อยโดยไม่มี ความหมาย) A ซึ่งเป็น ray จากสายอากาศเรดาร์ที่ตกลงบนพื้นราบด้วยมุม จะดูเหมือนว่ามันมาจากเงาของสายอากาศ คือจากจุด A เราสนใจที่จะหาผลต่างของความยาวของระยะทาง  $\overline{AMB}$  กับระยะทางตรง  $\overline{AB}$  จำนวน  $\overline{AB} - \overline{AB}$  จะมีความสำคัญในการพิจารณาตัดสินการก่อของ “fade zonea”

ผลต่างที่หาได้ง่าย ๆ โดยการเปรียบเทียบค่าระหว่าง

$$\overline{A'B}^2 = R^2 + h_1^2 + h_2^2$$

และ

$$\overline{AB}^2 = R^2 + h_2^2 + h_1^2$$

ลบกันจะได้

$$\overline{A'B}^2 - \overline{AB}^2 = 4h_1h_2$$

แยกตัวประกอบจะได้

$$\overline{A'B} - \overline{AB} \overline{A'B} + \overline{AB} = 4h_1h_2$$

และ

$$\overline{A'B} - \overline{AB} = \frac{4h_1h_2}{\overline{A'B} + \overline{AB}}$$

สมมติว่า  $h_1$  และ  $h_2$  เล็กมากเมื่อเปรียบเทียบกับ R ดังนั้นจะได้

$$R - \overline{A'B} \approx \overline{AB} \text{ and } \overline{A'B} + \overline{AB} \approx 2R$$

ดังนั้น  $\overline{A'B} - \overline{AB} \approx \frac{4h_1h_2}{2R} = \frac{2h_1h_2}{R}$  ส่วนที่เดินทางเพิ่ม,

ให้ เป็นความแตกต่างของ phase (ที่นับเป็นเรเดียน) อันเนื่องมาจากส่วนที่เดินทางเพิ่ม ดังนั้น

$$\frac{2}{R} \frac{2h_1h_2}{R} \text{ เรเดียน}$$

โดยที่ ความยาวคลื่นของเรดาร์ สิ่งที่ไม่ขึ้นกับสิ่งนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงของ phase ๑๘๐ องศา ( เรเดียน)

โดยการสะท้อน ณ จุด M ดังนั้นความแตกต่างของ phase ทั้งหมดระหว่างทางตรงและทางสะท้อนจะเป็น

$$\frac{2}{R} \frac{2h_1h_2}{R} = \frac{4}{R} \frac{h_1h_2}{R} \text{ เรเดียน}$$

“การเสริมกำลัง (reinforcement) ของคลื่นเรดาร์ ณ เป้า จะเกิดเมื่อ เป็นจำนวนที่ของ เรเดียน กล่าวคือ

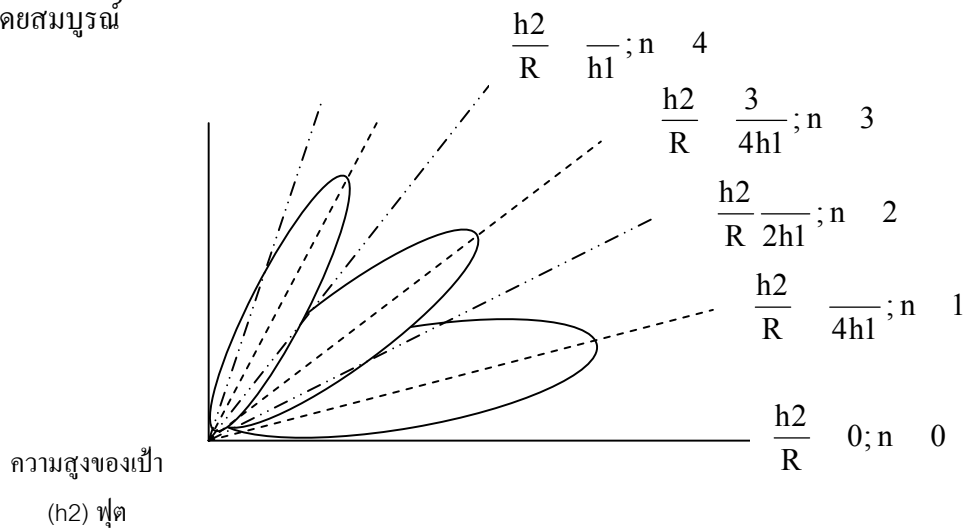
ส่วนที่เดินทางเพิ่ม  $\frac{2h_1h_2}{R} = \frac{n}{2}$  สำหรับ  $n = 1,3,5,\dots$  ซึ่งจะให้ค่าสัญญาณที่สูงที่สุดที่เครื่องรับ

เรดาร์ “การลดกำลัง (cancellation)” จะเกิดเมื่อค่า n เป็นคู่ และจะทำให้ได้ค่าสัญญาณต่ำสุด (หรือเป็นศูนย์)

ที่เครื่องรับเรดาร์

สำหรับเรดาร์ที่ติดตั้งเสร็จแล้วใด ๆ เครื่องหนึ่ง ๆ  $h_1$  และ  $h_2$  จะมีค่าคงที่เพียงแต่ความสูงของเป้า  $h_2$  และระยะทาง  $R$  จะเปลี่ยนแปลงไป การพล็อตรูปแบบ lobe ของเรดาร์นี้จะได้โดยประมาณ ตามรูปที่ ๕ - ๔

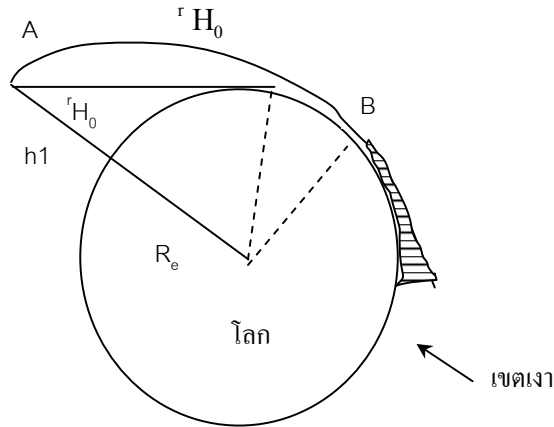
รูปที่ ๕ - ๔ มีความหมายในทางยุทธการอย่างแท้จริง เครื่องบินเครื่องหนึ่งเข้าหาเรดาร์โดยมีความสูงคงที่จะบินผ่าน lobes ชุดหนึ่ง และ nulls ต่าง ๆ ดังนั้นพนักงานจะไม่ได้ contact เรดาร์แบบ "solid" แต่จะได้บ้างไม่ได้บ้างในขณะที่เป้าเข้าหา ด้วยสิ่งนี้เองจากรูปแบบของ lobe ที่พล็อตเป็นอย่างดีและถูกต้อง จะมีประโยชน์ในการให้ข่าวสาร ณ ระดับความสูงคร่าว ๆ ของเป้าเครื่องบิน โดยการบันทึกระยะต่าง ๆ ที่เป้านั้นผ่าน lobes และ nulls ต่าง ๆ ในระหว่างการได้เป้านี้ echoes บนจอจะแปรผันจากความเข้มสูงสุดไปยังการจางหายไปโดยสมบูรณ์



๕๐๔. ขอบฟ้าเรดาร์ (Radar Horizon)

ในขณะที่เส้นทางของ beam เรดาร์จะค่อนข้างตรงนั้น แต่จะมีการโค้งงออันเนื่องมาจากการหักเห (refraction) สิ่งนี้จะทำให้ได้ขอบฟ้าเรดาร์ที่ยาวกว่าที่ควรจะเป็น ถ้ามากกว่า rays ของเรดาร์นั้นเป็นเส้นตรงอย่างสมบูรณ์ เพื่อที่จะแสดงให้เห็นสิ่งนี้ ระยะทางไปยังขอบฟ้าเรดาร์จะถูกคำนวณในกรณีของ rays ที่เป็นเส้นตรง หลังจากนั้นจะได้พัฒนาสมการที่เป็นกรณีจริง ๆ รูปที่ ๕ - ๕ แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ที่เกี่ยวข้องในทางเรขาคณิต

รูปที่ 5-5 แอนเทนนาของเรดาร์



ไดอแกรมของขอบฟ้าเรดาร์

$R_e$  : รัศมีของโลก (๓,๙๖๐ ไมล์)

$r_{H_0}$  : ระยะไปยังขอบฟ้า (ray เส้นตรง, ไมล์)

$r_{H_0}$  : ระยะไปยังขอบฟ้า (ray หักเห, ไมล์)

ตามทางคณิตศาสตร์

$$R_e^2 + r_{H_0}^2 = (R_e + h_1)^2 \Rightarrow R_e^2 + r_{H_0}^2 = R_e^2 + 2R_e h_1 + h_1^2$$

และ

$$r_{H_0}^2 = 2R_e h_1 + h_1^2$$

หรือ

$$r_{H_0}^2 = h_1 (2R_e + h_1) \approx 2h_1 R_e$$

เพราะว่า  $h_1$  เล็กมากเมื่อเทียบกับ  $R_e$

ดังนั้น

$$r_{H_0} = \sqrt{2h_1 R_e}$$

การโค้งงอของ rays ของเรดาร์จะทำให้ rays เหล่านี้ไปตามเส้นประที่ได้แสดงให้เห็นในรูป ๕ - ๕ เพื่อชดเชยสำหรับผลอันนี้ รัศมีของโลกที่แตกต่างออกไป (ยาวกว่า) จะถูกสมมติขึ้นสำหรับเงื่อนไขทางบรรยากาศมาตรฐาน รัศมีที่แท้จริงของโลกจะถูกทดแทน โดยรัศมีของโลกเป็น  $4/3 R_e$  ดังนั้น

สมการที่ ๕ - ๒

$$r_{H_0} = \sqrt{2h_1 (4/3 R_e)}$$

เนื้อหา  $r_{H_0}$  เป็นไมล์ให้เปลี่ยน  $h_1$  คือความสูงของเสาอากาศซึ่งนับเป็นฟุตให้เป็นไมล์ และสังเกตได้ว่า

$$r_{H_0} = \sqrt{(2) \left(\frac{4}{3}\right) (3960) \left(\frac{h_1 (2.54 \times 10^5 \mu)}{5280 (2.54 \mu)}\right)}$$



หรือ

$$r_{HO} = \sqrt{2h_1} (c_0 \mu) \quad \text{เป็นไมล์}$$

ผลที่ได้เป็นระยะขอบฟ้าเรดาร์เป็นไมล์ ในขณะที่ใช้ความสูงของเสาอากาศเรดาร์เป็นฟุต ระยะเป็นไมล์ที่เรา คาดว่าจะเป็นเป้าซึ่งสูง  $h_2$  ที่จะผ่านขอบฟ้าเรดาร์ จะหาได้ดังต่อไปนี้

$$r_{HO} = \sqrt{2h_1}$$

ตัวอย่าง ความสูงของเสาอากาศ ๕๐ ฟุต ความสูงเป้า ๘๐๐ ฟุต

$$r_{HO} = \sqrt{2 \cdot 50} \sqrt{2 \cdot 800} = 10 \cdot 40 = 50 \text{ ไมล์}$$

ผลที่ตามมาประการหนึ่งของขอบฟ้าเรดาร์คือ การมี “เขตเงา (shadow zone)” ภายใต้ ray ของเรดาร์ที่สัมผัสกับผิวโลกที่จุด B ซึ่งมีระยะทาง  $r_{HO}$  จากเรดาร์ และในเขตนี้จะมีพลังงานผ่านไปโดยการแพร่กระจายทางตรงเป็นจำนวนเล็กน้อย เป้าที่มาจากเขตเงาและเข้าอยู่ในเขตที่เห็นได้โดยตรงนี้เราเรียกว่าเป้านั้นได้ผ่าน (cross) ขอบฟ้าเรดาร์ จากการคำนวณซึ่งได้รูปแบบของ lobe ตามที่ได้เห็นในรูปที่ ๕ - ๔ นั้นสามารถแสดงให้เห็นได้ว่า ray ขอบฟ้าจะเป็น null ในรูปแบบของการรบกวน ตามทางยุทธการสิ่งนี้หมายความว่าเป้าที่มีความสูงต่ำ จะให้ probability ของการตรวจจับด้วยการตรวจค้นด้วยเรดาร์ต่ำ

#### ๕๐๕. แบบจำลองของเรดาร์ทางยุทธการ

ในการพิจารณาลักษณะทางฟิสิกส์ซึ่งจะพิจารณาตัดสินว่าระบบเรดาร์จะทำงานได้ดีหรือเลว ในฐานะเครื่องมือ การตรวจจับนั้นมีความสำคัญที่จะต้องระลึกรถึงอิทธิพลของมนุษย์ผู้ซึ่งใช้และปรนนิบัติบำรุงรักษาเรดาร์และแปลค่าผลที่ได้ การลดเกรดการทำงานซึ่งมีผลมาจากการจูนเครื่องรับที่ไม่ดีพอ การเสื่อมของชิ้นส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์มีน้ำอยู่ใน wave guides หรือจากการที่พนักงานไม่ตั้งใจพอหรือเหนื่อย เหล่านี้เป็นความจริง และมักจะมีน้ำหนักเหนือกว่าการพิจารณาทางฟิสิกส์อย่างเข้มงวดกวดขัน แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงการทำงานเรดาร์ซึ่งเกิดขึ้นในเนื้อหาทางฟิสิกส์ (กล่าวคือ ด้วยพนักงานที่สมบูรณ์แบบ) พร้อมด้วยการปรนนิบัติบำรุงเป็นสิ่งสำคัญมาก และจะได้รับการถกแถลงในข้อต่อ ๆ ไป การทำงานขององค์บุคคลในระบบนั้นจะขึ้นอยู่กับ การควบคุมและการปรับปรุงให้ดีขึ้นด้วย ในขณะที่ปรากฏการณ์ทางธรรมชาติซึ่งมีผลกระทบกระเทือนจะไม่ มีเรื่องอยู่ ๒ เรื่องเกี่ยวกับปรากฏการณ์ทางธรรมชาติ ซึ่งจะมีผลกระทบกระเทือนต่อการตรวจจับเป็นอย่างมาก เพื่อความสะดวก ๒ สิ่งนี้เราจะเรียกว่า “ฟิสิกส์ของเป้า (target physics) และฟิสิกส์ของการแพร่คลื่น (propagation physics)” ผลทางฟิสิกส์ของการแพร่คลื่นบางประการได้ถกแถลงไปแล้วในเรื่องการหักเห อันเนื่องมาจากทะเลและการขยายเพิ่มขึ้นของขอบฟ้าเรดาร์ อันมีสาเหตุมาจากการหักเห

ฟิสิกส์ของเป้านั้นหมายถึง คุณลักษณะต่าง ๆ ของเป้าซึ่งมีสาเหตุทำให้การตรวจจับเปลี่ยนแปลงไป ยกตัวอย่างเป้านั้นตามปกติจะชี้ลักษณะจำเพาะอย่างหนึ่ง โดยตัวพารามิเตอร์ที่รู้จักกันในฐานะ echo-area,  $A_e$ , ซึ่งจะได้รับการใช้จำกัดความภายหลัง ในขณะที่ echo-area เป็นตัวแปรที่สำคัญ แต่ก็จะมีอีกถือว่าเป็นตัวคงที่ ในรูปแบบจำลองของเรดาร์ขั้นพื้นฐาน

การแกว่งไปแกว่งมา (fluctuation) ของ  $A_e$  มีผลมาจากความจริงที่ว่าเป้าเรดาร์ส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบอันยุ่งเหยิงของจุด และผิวพื้นของการสะท้อนต่าง ๆ ในเครื่องบินนั้น ขอบต่าง ๆ ผิวพื้น สายอากาศ และส่วนอื่น ๆ ซึ่งแต่ละส่วนแต่ละอย่างกระทำเสมือนจุดที่แพร่คลื่น ซึ่งส่ง echoes กลับไปยังเรดาร์ ยิ่งไปกว่านั้นความสัมพันธ์ของ phase ในการแพร่คลื่นต่าง ๆ จะค่อย ๆ เปลี่ยนไปอย่างคงที่ ในขณะที่เครื่องบินนั้นแกว่ง (oscillate) ไปมาจากเส้นทางเฉลี่ยและในขณะที่ส่วนต่าง ๆ ของเครื่องบินนั้นบิด (flex) และเส้นตัวแปรนี้จะมีการแกว่งไปแกว่งมาในห้วงเวลา ซึ่งจะมีผลโดยตรงต่อการตรวจจับ

ประการสุดท้าย ความสำคัญสัมพันธ์ของส่วนของเป้าและฟิสิกส์ทางการแพร่คลื่นต่อการเปลี่ยนแปลงของการตรวจจับจะเป็นตัว unknown ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่จะกล่าวว่า ตัวหนึ่งน้อยกว่าอีกตัวหนึ่ง

การถกแถลงที่กล่าวมาแล้วทั้งหมดเกี่ยวกับสาเหตุธรรมชาติที่ทำให้การตรวจจับด้วยเรดาร์เปลี่ยนแปลงไปนั้น มีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบให้ถูกต้อง โดยการชี้ออกมาว่าการเปลี่ยนแปลงสัมบูรณ์ที่มีส่วนอยู่นั้นไม่ขึ้นกับความถี่ ในขณะที่ความถี่ของเรดาร์ลดลง ก็จะทำให้การเปลี่ยนแปลงลดลงไปด้วย ดังนั้นจะมีบางจุดในเมื่อเพิ่มกำลังและลดความถี่ ซึ่งจะทำให้การเปลี่ยนแปลงในการตรวจจับจากสาเหตุธรรมชาติเหล่านี้สามารถที่จะขจัดไปได้ เป็นที่น่าสนใจจะสังเกตว่าในตอนท้าย ๆ ของสงครามโลกครั้งที่สอง มีแนวโน้มที่จะใช้ความถี่สูงในเรดาร์การตรวจการณ์ทางอากาศ แนวโน้มนี้กลับตรงกันข้ามในขณะที่การพัฒนาและการตีค่าได้กระทำขึ้นใน ๑๐ ปีหลัง เรดาร์ความถี่ต่ำและกำลังสูงได้รับการพัฒนาและผลที่ได้ก็คือ “เรดาร์ในการตรวจค้นที่มีระยะไกล (AN/SPS - ๑๗)” และรูปแบบล่าสุดของเรดาร์ที่เรียกว่า “P - band”

เป้าประสงค์ของรูปแบบเรดาร์คือ การทำนายความสามารถของเรดาร์ในการตรวจจับเป้า รูปแบบที่ทำนายขีดความสามารถในการตรวจจับ โดยการใช้แต่เพียงพารามิเตอร์เบื้องต้นของระบบเรดาร์อย่างเช่นอัตรา การพัลส์ความยาวในการพัลส์ กำลังเฉลี่ย ความเร็วในการกวาด gain ของสายอากาศ ฯลฯ ก็เพื่อที่จะพยายามกำหนดหาระยะที่การตรวจจับจะเกิดขึ้น หรือความเข้มของสัญญาณที่กลับเข้ามายังสายอากาศในทอมของพารามิเตอร์มูลฐานเหล่านี้ สาเหตุจากธรรมชาติเบื้องต้นของ inputs ต่าง ๆ ของมันนี่เองที่รูปแบบจำลอง เช่นนั้นจึงจะเรียกว่า “absolute” หรือ “deterministic”

สมการของเรดาร์เป็นที่กระจ่างชัดว่าเป็นความพยายามที่จะสร้างทฤษฎีสัมบูรณ์ขึ้น

ในเมื่อมีการแปรเปลี่ยนในจำนวนเหล่านี้ สมการเรดาร์ก็ได้รับการคาดหมายไว้ว่าอย่างดีที่สุดก็จะได้ estimate ของระยะเฉลี่ยของการตรวจจับในเทอมของค่าเฉลี่ยของจำนวนอื่น ๆ มันอาจจะใช้เพื่อกำหนดหาระยะของการตรวจจับ “มากที่สุดที่เป็นไปได้”

การเข้ามาอีกประการหนึ่ง ในอันที่จะสร้างสูตรของทฤษฎีเรดาร์ก็เพื่อที่จะหารูปแบบที่ง่าย ๆ ซึ่งยอมรับข้อมูลทางยุทธการบางประการ และแล้วจะขยายเพื่อใช้กับสถานการณ์ทางยุทธการโดยทั่ว ๆ ไป ทฤษฎีทั้งสองอย่างเช่น “blip/scan” และ “direct method” จะใช้เพื่อพยากรณ์ probability ของการตรวจจับสำหรับเรดาร์ มันจะนำไปยังรูปแบบที่จะอ้างถึงเป็น “relative” หรือ “probabilistic”

#### ๕๐๖. สมการเรดาร์

เหตุผลที่นำไปหาสมการเรดาร์ก็คล้าย ๆ กับที่ใช้สำหรับโซนาร์ในบทที่เก้า ณ แหล่งกำเนิด (source) สัญญาณเรดาร์ซึ่งมีความแรงขนาดหนึ่งจะถูกทำขึ้น มันจะถูกรวบรวมเข้าเพื่อส่งตรงไปยังเป้าโดยสายอากาศ ความเข้มจะลดลงในขณะที่เดินทางผ่านบรรยากาศ อันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ทางฟิสิกส์อย่างเช่น การแผ่กระจาย (spreading) การดูดซึม (absorption) การกระจาย (scattering) ฯลฯ พลังงานจำนวนหนึ่งจากสัญญาณที่ได้ลดความเข้มลงแล้วนี้จะไปถึงเป้า ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับขนาด ลักษณะ ท่าทาง การก่อสร้าง ฯลฯ ของเป้า ส่วนหนึ่งของสัญญาณที่ตกลงมานี้จะถูกส่งต่อไป หรือสะท้อนกลับไปยังทิศทางของเครื่องรับ ในขณะที่สัญญาณนี้กลับป้อนมันจะถูกลดลงอีกโดยการเดินทางผ่านบรรยากาศ และในที่สุดบางส่วนของพลังงานนี้จะไปถึงสายอากาศ และถูกส่งเป็นจตุรวมไปยังเครื่องรับ

สมการเรดาร์ง่าย ๆ ที่ศึกษา ณ ที่นี้ ใช้พารามิเตอร์หลักที่ได้ให้คำจำกัดความมาแล้วก่อนหน้า และให้จำนวนของกำลังที่ได้รับจากพัลส์ที่กลับมา “ $P_r$ ” ในเทอมของกำลังที่ส่งออก “ $P_t$ ” gain ของสายอากาศ “ $G$ ” พื้นที่เป้า “ $A_t$ ” พื้นที่สายอากาศที่มีผล “ $A_c$ ” และระยะ “ $R$ ” เพื่อที่จะหาสูตรมาตรฐานว่าเรดาร์พัลส์ซึ่งเดินทางผ่านบรรยากาศจะแผ่ไปทุกทิศทุกทางบนผิวของทรงกลม และสมมติด้วยว่าผลจากการดูดซึม การสะท้อนจากทะเล ฯลฯ เล็กน้อยมากจนตัดทิ้งไปได้

ความเข้มของความหนาแน่นของกำลังของสัญญาณ ณ ระยะ  $R$  จากสายอากาศรอบทิศ คือ

$$\text{สมการ ๕ - ๓} \quad I_0 = \frac{P_t}{4 R^2} \frac{C \eta \mu_i}{\epsilon^2 \hat{A}^{3/4} \times \epsilon}$$

โดยที่  $P_t$  คือ กำลังที่ส่งออก (ยอดสุด) เป็นวัตต์ และ  $4 R^2$  คือพื้นที่ผิวของทรงกลมที่มีรัศมี  $R$  จากคำจำกัดความของ  $G$  จะได้ว่าความหนาแน่นของกำลังบนแกนของสายอากาศที่มี gain  $G$  จะเป็น

$$\text{สมการ ๕ - ๔} \quad I_0 = \frac{P_t G}{4 R^2} \frac{C \eta \mu_i \times}{\epsilon^2 \hat{A}^{3/4} \times \epsilon}$$

ใช้  $A_t$  แทนพื้นที่ของ echo (target – echo area) เป้าที่รวบรวมพลังงานจากคลื่นตก และส่งกลับไปใหม่ “ใน ทุกทิศทาง” คำจำกัดความของ target – echo area เป็นบางสิ่งบางอย่างที่เลือกมาตามอำเภอใจ (arbitrary) ที่  $A_t$  ถูกกำหนดเพียงจากคำตอบ (solution) ของสมการเรดาร์เต็มที จากคำจำกัดความนี้กำลังที่เป้าได้รับ คือ

สมการ ๕ - ๕ 
$$I_0 \frac{P_t G A_t}{4 R^2} \text{ วัตต์}$$

และความแน่นของกำลังที่กลับไปยังเรดาร์ จากกำลังที่ส่งออกไปอีกครั้งทุกทิศทุกทางจากเป้าคือ

สมการ ๕ - ๖ 
$$I_0 \frac{P_t G A_t}{(4 \pi)^2 R^4} \frac{C \sigma}{4 \pi R^2}$$

โดยการใช้พื้นที่ที่มีผลของสายอากาศ “ $A_e$ ” อย่างตัวรวบรวมพลังงาน กำลังที่ส่งออกไปอีกครั้งและรวบรวม ได้โดยสายอากาศ คือ

สมการ ๕ - ๗ 
$$P_r \frac{P_t G A_t A_e}{(4 \pi)^2 R^4} \text{ วัตต์}$$

แก้สมการหาระยะ สมการที่ ๕ - ๗ จะเป็น

สมการ ๕ - ๘ 
$$R^4 \frac{P_t G A_t A_e}{P_0 4 \pi^2}$$

ถ้า  $P_0$  เป็นกำลังที่ตรวจจับได้น้อยที่สุดสำหรับเครื่องรับเรดาร์ ดังนั้นระยะไกลสุด  $R_m$  สำหรับการตรวจจับ คือระยะที่  $P_r = P_0$  และสมการ ๕ - ๘ อาจเขียนได้เป็น

สมการ ๕ - ๙ 
$$R_m^4 \frac{P_t G A_t A_0}{P_0 4 \pi^2}$$

สมการนี้อาจแก้ไขดัดแปลงได้ ถ้าต้องการโดยการแทนค่า  $G$  หรือ  $A_e$  ซึ่งสัมพันธ์โดย  $A_0 = 2G/4 \pi$  ตามที่ได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้ แน่แน่นอนเป็นไปได้ทั้งในแบบจำลองที่ทันสมัยโดยการถือผลของ “second – order” อย่างเช่น การดูดซึมของพลังงานโดยบรรยากาศ แต่สมการ ๕ - ๙ เป็นรูปหลักซึ่งให้ข่าวสารมากโดยทันทีทันใด ที่จะเห็นได้ในข้อ ๕๑๐ ว่า สมการเรดาร์สามารถที่จะใช้ในการตีค่าประสิทธิภาพของเครื่องมือ Jamming ที่อยู่ที่เป้าได้อย่างไร

**๕๑๑. ทฤษฎีบลิป/สแกน (The Blip/Scan Theory)**

ในการค้นหาเป้า สแกนนิ่งเรดาร์จะ “มอง” ไปซ้ำ ๆ ในทิศทางของเป้า ในบางครั้งที่มีมอง (แต่ ตามปกติจะไม่ทุกครั้งที่มีมองหรือสแกน) เรดาร์ echo จากเป้าจะเพียงพอที่จะทำให้มองเห็นทางอิเล็กทรอนิกส์ บนจอเรดาร์ สิ่งนี้จะจริงในแต่ละพัลส์เดี่ยว ๆ ภายในการมองหนึ่งครั้ง แต่จำนวนที่ได้รับการปฏิบัติต่อในที่นี้เป็นผลรวมของ returns เดี่ยว ๆ จากการมองหนึ่งครั้ง

การตรวจพบเป้าไม่สามารถที่จะพิจารณาได้ว่าเกิดขึ้นจนกระทั่งพนักงานที่เป็นมนุษย์จะให้เห็นเป้า และยืนยันสำหรับตัวเอง ตามปกติจะโดยมากกว่าหนึ่งสแกนที่การตอบครั้งแรก (original response) จะเป็นเป้า และไม่ใช้คลื่นของเสียงรบกวน ดังนั้นการตรวจพบเป้าจะเป็นปรากฏการณ์ทาง probabilistic ซึ่งเป็นส่วนรวมมาจากเหตุการณ์สุ่ม (random) เดี่ยว ๆ หลาย ๆ เหตุการณ์

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ง่าย ๆ และที่น่าจะเป็นไปโดยสัญชาตญาณสามารถที่จะสร้างขึ้นได้ภายใต้ข้อสมมติว่า ผลที่จะได้ออกมาจากสแกนติดต่อกันนั้นไม่ขึ้นแก่กัน ทฤษฎีนี้ได้เป็นที่รู้จักกันในฐานะ “ทฤษฎีลิป/สแกน” ความมุ่งประสงค์ที่ตั้งใจของมันก็คือ เพื่อที่จะให้การเดา (extrapolation) จากข้อมูลทางยุทธการที่จำกัดได้อย่างเช่น อาจรวบรวมได้โดยการกระทำการทดลองการตรวจจับและติดตามเป้าโดยใช้เครื่องบินทดลองต่อกรณีต่าง ๆ ที่ไม่กระทำการทดลองได้ การทดสอบและทดลองในธรรมชาติลักษณะนั้น ได้กระทำมาเป็นเวลานานแล้ว โดย COMOPTEVFOR (Commander, Operational and Evaluation Force) แต่โครงการเหล่านั้นมีค่าใช้จ่ายสูงในเทอมของเวลาและบริการ นี่เป็นเหตุผลสำคัญสำหรับความปรารถนาที่จะค้นหาข่าวสารออกมาให้ได้มากที่สุดที่จะทำได้จากการทดลองแต่ละครั้ง และ (ยิ่งไปกว่านั้น) รู้สึกมีความแน่ใจว่าข้อมูลเหล่านั้นสามารถที่จะเดาหรือแก่งต่อการปฏิบัติการทางยุทธการที่ไม่ได้ครอบคลุมในการทดลอง ดังนั้นข้อมูลอาจที่จะใช้สำหรับความมุ่งหมายในการประเมินค่าการทำงานของระบบเรดาร์ และได้หลักสำหรับการเปรียบเทียบระบบต่าง ๆ

เพื่อที่จะพัฒนาทฤษฎีนี้ โปรดระลึกถึง “glimpse model” ในบทที่ ๔ (สมการ ๔ - ๓) ที่ probability ของการตรวจพบเป้าใน  $n$  glimpses คือ

$$F(n) = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - g_i)$$

โดยเหตุนี้สำหรับ  $x$  ซึ่งเป็นจำนวนบวกใด ๆ  $e^{\ln x}$  มีค่าเท่ากับ  $x$  ดังนั้น  $F(n)$  อาจเขียนได้เป็น

$$\text{สมการ ๕ - ๑๐} \quad F(n) = 1 - e^{-\ln \prod_{i=1}^n (1 - g_i)}$$

และเพราะว่า  $\log$  ของผลคูณเป็นผลบวกของ  $\log s$  ดังนั้นสมการ ๕ - ๑๐ จะกลายเป็น

$$\text{สมการ ๕ - ๑๑} \quad F(n) = 1 - e^{-\sum_{i=1}^n \ln(1 - g_i)}$$

สมการนี้อาจทำให้ง่ายเข้าได้อีก โดยการสังเกตว่า ถ้าแต่ละ  $g_i$  เล็ก ๆ  $\ln(1 - g_i)$  จะประมาณ ๆ ได้เท่ากับ  $-g_i$  โดยการใช้ข้อสมมตินี้ สมการ ๕ - ๑๑ จะทำให้ง่าย ๆ เป็น

$$\text{สมการ ๕ - ๑๒} \quad F(n) = 1 - e^{-\sum_{i=1}^n g_i}$$

ผลที่ตามมาจากข้อสมมตินี้ไม่วิฤต สามารถที่จะแสดงให้เห็นได้ว่าในกรณีที่เป็นโดยทั่ว ๆ ไปที่เป้าเคลื่อนเข้าใกล้ ๆ เรดาร์ ค่าของ  $F(n)$  จะยิ่งใหญ่ต่อค่าของ  $g_i$  ที่เพิ่มขึ้นพอที่จะทำให้ approximation นั้นไม่

valid และไม่ว่า approximation จะดีหรือไม่ก็ตาม สมการ 5 - ๑๒ เป็น estimate อนุกรมของ probability ของการตรวจพบอาจที่จะคำนวณหาได้ ทฤษฎีบท/สแกน จัดหาการกำหนดค่าสำหรับ  $g_i$  ในทอมของ พารามิเตอร์หลักตัวอื่น ๆ โดยการสันนิษฐานว่าการตรวจจับขึ้นอยู่กับการเกิดหลัก ๓ ประการ : บลิวจะต้อง ปรากฏบนจอเรดาร์ พนักงานจะต้องเห็นบลิว และพนักงานต้องค้นหาให้พบได้ว่าบลิวเหล่านี้เป็นเป้า

ให้  $p_i$  เป็น probability ที่ ณ glimpse (scan) ที่  $i$  เป้าก่อให้เกิด blip บนจอเรดาร์ และให้  $p_0$  (ปัจจัยของพนักงาน) เป็น probability ที่พนักงานเรดาร์ (ผู้ซึ่งไม่รู้ตำแหน่งของเป้า) จะเห็นเป้า  $p_0$  จะถูก สมมติว่าคงที่สำหรับพนักงานที่กำหนดให้ ต่อไปสมมติว่า blip ปรากฏบนจอและพนักงานเห็นมัน เขาจะ รายงาน blip ว่าเป็นเป้าในทันทีหรือไม่? บางทีอาจไม่โดยเหตุที่มี blip ที่ไม่จริงปรากฏอยู่มากในสถานการณ์ ทางยุทธการ และไม่อาจแน่ใจเพียงพอที่จะพิสูจน์ทราบว่าเป็นเป้า จากมูลฐานเพียง blip เดียว ในกรณีปกติ พนักงานผู้ซึ่งเห็น blip หนึ่งจะสงสัยความเป็นไปได้ของเป้า ๆ หนึ่ง แต่จะค้นหา (verify) การปรากฏของ สแกนต่อ ๆ ไปก่อนที่จะค้นพบว่ามันเป็นเป้า จะต้องสแกนเป็นจำนวนเท่าใดที่พนักงานเห็น blip ก่อนที่จะ ยอมรับว่าเป็นเป้า? ข้อสมมติสามัญ ๆ ส่วนมากและที่ใช้ ณ ที่นี้เรารู้จักในฐานะ “สมมติฐานของสองบลิว (double-blip hypothesis)” ในที่นี้สมมติว่า :

ก. blip หนึ่งจะต้องเห็นโดยการสแกน ๒ ครั้งติดต่อกัน ก่อนที่จะยอมรับว่าเป็นเป้า

ข. พนักงานผู้ซึ่งค้นตัวโดยการเห็น blip หนึ่ง และสงสัยเป้านั้นแน่นอนที่เขาจะเห็น blip นั้นปรากฏ ขึ้น ณ ตำแหน่งเดียวกันในสแกนต่อไป และ

ค. ถ้า blip ไม่ได้ปรากฏขึ้นในสแกนต่อมา พนักงานนั้นจะลืม blip แรก และดังนั้นจะไม่ค้นตัว อีกต่อไป

สำหรับการตรวจพบที่จะเกิดขึ้นภายใต้สมมติของสองบลิว บลิว ๆ หนึ่งจะต้องปรากฏขึ้น พนักงาน (ค้นตัว) ต้องเห็นมัน บลิวหนึ่งต้องเกิดขึ้นในสแกนต่อไป และพนักงานซึ่งค้นตัวต้องเห็นมัน probability ที่พนักงานตรวจพบเป้าซึ่งไม่ได้พบมาก่อน ณ สแกนที่  $i$  ดังนั้น  $g_i$  จะเป็น

สมการ 5-13

$$g_i = (1 - p_0)^{i-1} p_0$$

โดยการใช้ข้อสมมติเพิ่มเติมว่าเหตุการณ์ที่บลิวปรากฏขึ้น ณ การสแกนหนึ่งครั้งไม่ขึ้นกับเหตุการณ์ ที่บลิวปรากฏขึ้นในสแกนอื่น

สมการ 5-12 จะกลายเป็น

สมการ 5-14

$$F_n = 1 - e^{-p_0 \sum_{i=1}^n (1 - p_0)^{i-1}}$$

จากข้อสมมุติที่ว่า  $P_0$  คงที่

เพื่อที่จะใช้ทฤษฎีนี้ ข้อมูลทางยุทธการจะต้องใช้เพื่อกำหนดค่าของค่าคงที่  $P_0$  และดังนั้นค่าของ  $P_i$  คือ probability ของการตรวจพบสามารถกำหนดได้ และสามารถถึงกรณีอื่น ๆ ได้ข้อมูลทางยุทธการสองแบบ เป็นสิ่งที่ต้องการ สำหรับทั้งสองแบบของข้อมูลนั้นเราใช้เครื่องบิน ๆ เข้าหาเรดาร์โดยใช้เข็มตรง โดยเริ่มต้นภายนอกระยะเรดาร์ที่มากที่สุด ดังนั้นค่าของ  $P_i$  จะกำหนดได้โดยการใช้ "tracking runs" กับพนักงานเรดาร์ที่ตื่นตัว ค่าของ  $F(n)$

กำหนดได้โดยการใช้ "detection runs" กับพนักงานเรดาร์ที่ตื่นตัว ดังนั้นค่าเหล่านี้สามารถที่จะใช้ได้ในการ 5-14 โดยที่ค่าที่ยังไม่ทราบคือ  $P_0$  ก็อาจที่จะกำหนดได้

ในทางปฏิบัติเพื่อที่จะให้การรวบรวมข้อมูลง่ายขึ้นแทนที่จะกำหนดค่าของ  $P_i$  และ  $F(n)$  สำหรับทุก ๆ glimpse ระยะเวลา (จากระยะสูงสุด  $R_m$ , ถึงระยะศูนย์) จะถูกแบ่งตามอำเภอใจเป็นช่วง ๆ ของระยะเวลา  $r$  ช่วงเหล่านี้ให้หมายเลขกำกับไว้โดยเริ่มต้นจากช่วงไกลสุด และหาเข้ามา และให้หมายเลข  $r_j$  สำหรับ  $j=1,2,3,\dots$  ยกตัวอย่างถ้า  $R_m=100$  ไมล์ และ  $r$  กำหนดให้เป็น 10 ไมล์ ดังนั้น  $r_j$  เป็นช่วงระหว่าง 90-100 ไมล์,  $r_2$  จาก 80-90 ไมล์ ฯลฯ ยิ่งไปกว่านั้นเพราะ  $P_i$  เปลี่ยนเล็กน้อยจาก glimpse หนึ่งไปยัง glimpse ต่อไป จำนวนที่วัดได้จะเป็นค่าเฉลี่ยของ  $P_i$  ในแต่ละช่วงระยะเวลา ทุกค่าของ  $P_i$  ในช่วงระยะเวลาแรกก็สามารถที่จะกำหนดค่าโดยประมาณได้โดยค่าเฉลี่ย โดยให้เครื่องหมาย  $g_{rj}$  และทุกค่าของ  $g_{rj}$  ในช่วงระยะเวลาแรกจะค่าประมาณ ๆ ได้โดยเฉลี่ยของมันคือ  $g_{rj}$  ในกรณีทั่ว ๆ ไปสำหรับช่วงระยะเวลา  $r_j$  สมการ 5-13 จะกลายเป็น

$$g_{rj} = \frac{2}{r_j} P_0$$

สำหรับความเร็วเครื่องบินและอัตราการหมุนของเรดาร์สายอากาศที่กำหนดให้ จำนวนของ glimpse หรือ scans ซึ่งเกิดขึ้นในขณะที่เครื่องบินนั้นอยู่ในแต่ละช่วงระยะเวลาที่อาจที่จะคำนวณได้ ให้  $L$  เป็นจำนวนของสแกนต่อช่วงระยะเวลา  $a$  เป็นอัตราการหมุนของสายอากาศเป็นจำนวนรอบต่อนาที  $v$  เป็นความเร็วสัมพัทธ์ของเป้า/เรดาร์เป็นนอต และ  $r$  เป็นความยาวของช่วงระยะเวลาเป็นไมล์ทะเล ดังนั้น

$$L = \frac{60a}{v} \frac{r}{r_j} \frac{2}{r_j} P_0$$

ถ้าจำนวน  $m$  ช่วงระยะที่  $n$  glimpses ดังนั้น

$$\sum_{i=1}^n g_i = \sum_{j=1}^m L g_{rj}$$

และ probability ของการตรวจพบในเวลา que เครื่องบินผ่านตลอดช่วงระยะ m จากสมการ 5-12 กลายเป็น

สมการ 5-15 
$$F(m) = 1 - e^{-\sum_{j=1}^L g_j r_j m}$$

และสมการ 5-14 กลายเป็น

สมการ 5-16

$$F(m) = 1 - e^{-\sum_{j=1}^m L p_0^2 r_j}$$

ในการหาค่าของ  $r_j$  ให้เครื่องบินบิน tracking runs ตามลักษณะดังต่อไปนี้ เครื่องบินบินออกจาก ระยะเรดาร์ไกลสุดเข้าหาเรดาร์ พนักงานเรดาร์ “ตื่นตัว” กล่าวคือเขาทราบตำแหน่งที่แน่นอนของเครื่องบิน ตลอดเวลา และแน่นอนที่เขาจะเห็นบลิพถ้ามันเกิดขึ้นบนจอ เขายืนยันจำนวนของสแกนในเมื่อบลิพปรากฏขึ้น ในขณะที่เครื่องบินอยู่ในแต่ละช่วงระยะ ให้บินในลักษณะนี้หลาย ๆ เที่ยวบิน และผลที่ได้ให้เฉลี่ยสำหรับแต่ละ ช่วงระยะ ชุดของข้อมูลตามลักษณะทั่ว ๆ ไปจะดูได้จากรูปที่ 5-6 โดยที่จำนวนเฉลี่ยของบลิพที่ได้รับได้ ปรับแต่งให้เป็นจำนวนเต็ม

ถ้า a = หกรอบต่ออนาที r = 10 ไมล์ และ v = 180 นอต ดังนั้น L = 20 สแกนต่อช่วงระยะและค่า ของ  $r_j$ ,  $r_j^2$  และ  $r_j^3$  อาจจะคำนวณและลงตารางไว้ได้เช่นเดียวกัน

รูปที่ 5-6

j	$r_j$	จำนวนเฉลี่ย ของ blips ที่ได้รับได้	อัตราส่วน blip/scan $r_j$	$r_j^2$	$r_j^3$
1	90-100	2	2/20	4/400	4/400
2	80-90	4	4/20	16/400	20/400
3	70-80	6	6/20	36/400	56/400
4	60-70	8	8/20	64/400	120/400
5	50-60	10	10/20	100/400	220/400
6	40-50	13	13/20	169/400	389/400
7	30-40	15	15/20	225/400	614/400
8	20-30	11	11/20	121/400	735/400
9	10-20	9	9/20	81/400	816/400

เส้นทางบิน



ด้วยการบิน detection runs ทั้งเรดาร์และพนักงานอาจที่จะได้รับการตีค่าได้โดยการแปรวิธีการบ้าง บางอย่าง เครื่องบินบินเข้าหาเรดาร์จากนอกระยะไกลสุดของเรดาร์ในหลาย ๆ แบริ่ง และบินหลาย ๆ เที้ยว ๆ พนักงานผู้ยังไม่ตื่นตัว ไม่รู้ว่าเครื่องบินอยู่ที่ไหนจะบันทึก (notes) ช่วงระยะที่เขาได้เป่าครั้งแรกของเครื่องบิน แต่ละเครื่องที่บินเข้าหาเรดาร์ ข้อมูลตามลักษณะทั่ว ๆ ไปสำหรับ 40 detection runs ได้แสดงไว้ในรูปที่ 5-7 โดยที่จำนวนรวม (cumulative number) ของการตรวจพบและ probability รวมของการตรวจได้คำนวณไว้ด้วย แล้ว

รูปที่ 5-7

J	ช่วงระยะ r <sub>j</sub>	จำนวนของการตรวจจับครั้งแรกในช่วงระยะนี้	จำนวนสะสมของการตรวจจับครั้งแรกตลอดไปจนถึงช่วง j	Probability สะสมของการตรวจจับตลอดไปจนถึงช่วง j
1	90-100	2	2	2/40=.05
2	80-90	2	4	4/40=.10
3	70-80	4	8	8/40=.20
4	60-70	8	16	16/40=.40
5	50-60	8	24	24/40=.60
6	40-50	8	32	32/40=.80
7	30-40	4	36	36/40=.90
8	20-30	2	38	38/40=.95
9	10-20	0	38	38/40=.95

สำหรับตัวอย่างนี้ P<sub>0</sub> สามารถที่จะคำนวณได้สำหรับแต่ละค่าของ m โดยการใส่  $\sum_{j=1}^m r_j^2$  ตามที่ได้ให้ไว้ในรูปที่ 5-6 และ F(m) ตามที่ได้ให้ไว้ในรูปที่ 5-7 ถ้า m ที่ใช้เป็นหก ดังนั้น จากสมการ 5-16 จะได้

$$F(6) = 1 - e^{-20P_0 \sum_{j=1}^6 r_j^2}$$

$$.80 = 1 - e^{-20P_0(389)/(400)} = 1 - e^{-19.45P_0}$$

$$.20 = e^{-19.45P_0}$$

ใส่ลอการิทึม (ฐาน e) ทั้งสองข้าง

$$\ln .20 = -19.45P_0$$

และ

$$P_0 = \frac{\ln .20}{-19.45} = \frac{1.609}{19.45} = .083$$

ทราบว่า  $P_c$  คงที่พอสมควรจะไม่แตกต่างกันมากเลยที่จะใช้ค่าใดของ  $m$  ในการคำนวณ ถึงแม้จะเป็น การพิจารณาทางสถิติช่วงแรก ๆ 2-3 ช่วง อาจไม่ได้ข้อมูลพอที่จะแสดงได้

การใช้แบบจำลองแบบ blip/scan อย่างหนึ่งก็เพื่อพัฒนา “เส้นโค้งของระยะทางข้าง (lateral range curve)” สำหรับเรดาร์เส้นโค้งของระยะทางข้าง (ซึ่งจะถกแถลงกันในบทที่หก) จะให้ probability ของการตรวจ พบเป้าที่ไม่เพียงแต่ผ่านหัวเราไปโดยตรงเท่านั้น แต่จะรวมถึงเป้าที่บินผ่าน ณ ระยะทางข้าง (จุดเข้าหาที่ใกล้ ที่สุด)  $x$  ด้วยแบบจำลอง blip/scan นี้สามารถที่จะหาข่าวสารอื่นๆ ได้ด้วยโดยการแทนค่า

$$L = \frac{60 a r}{v}$$

ดังนั้น สมการ 5-16 จะกลายเป็นฟังก์ชันของระยะ

$$P(r) = P(r) \cdot \left( \frac{60 a p_0}{v} \right)^2 \int_0^r r_j \cdot r \cdot e^{-\frac{60 a p_0}{v} r} dr$$

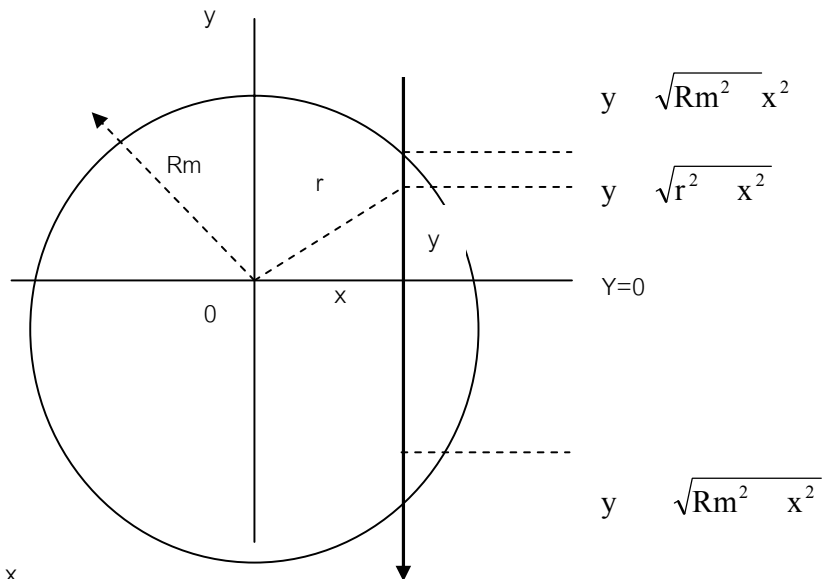
ให้  $r = 0$

$P(r)$  กลายเป็น

สมการ 5-17

$$P(r) = 1 - e^{-\frac{60 a p_0}{v} r} \int_0^r r_j \cdot r \cdot dr$$

รูปที่ 5-8



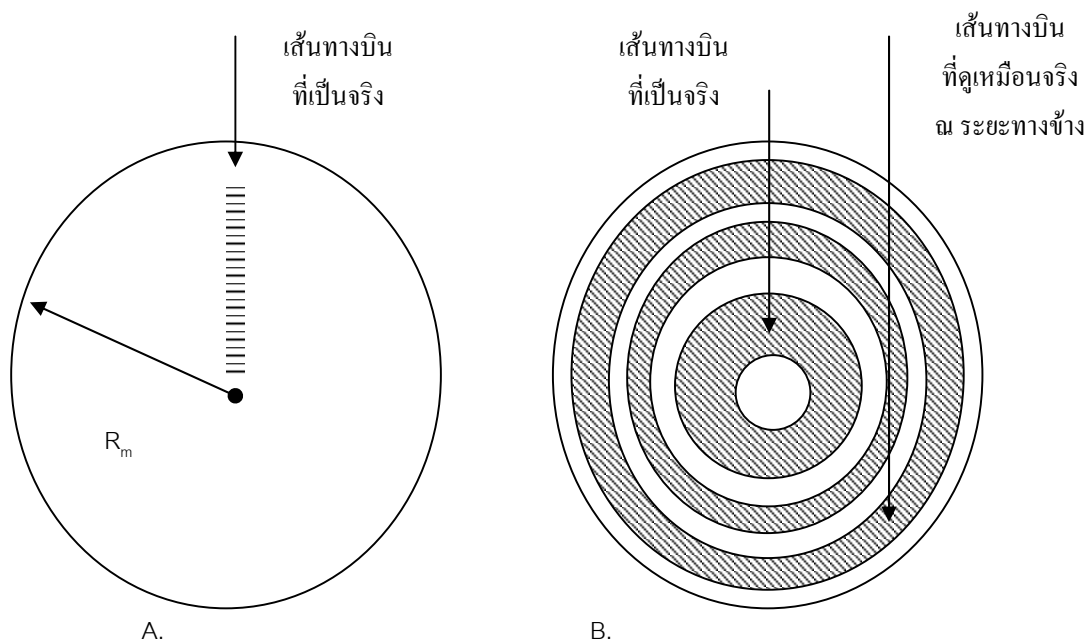
เป้าผ่าน ณ ระยะทางข้าง  $x$   
แสดงถึงระยะ  $r$  ในฐานะ  
ฟังก์ชันของ  $x$  และ  $y$

สำหรับ lateral range  $x$  ที่กำหนดให้  $r = \sqrt{x^2 + y^2}$  จากรูปที่ 5-8 ถ้าเอาค่านี้แทนค่า  $r$  ในสมการ 5-17 และ integrats ทุกๆ ค่าของ  $y$  ดังนั้นผลที่ได้จะเป็น probability ที่ต้องการ (lateral range curve) ในฟังก์ชันของระยะทางข้าง  $x$

**๕๐๘. การตีค่าเรดาร์โดยวิธีตรง (Direct Method for Radar Evaluation)**

ข้อสมมติข้อหนึ่งของรูปแบบจำลองแบบ blip/scan ซึ่งมีผลกระทบกระเทือนความใช้ได้ของมันก็คือ การไม่ขึ้นแก่กันจากบลิพหนึ่งกับบลิพหนึ่ง แบบจำลองที่ได้พัฒนาหลังสุดสำหรับการพิจารณากำหนดเส้นโค้งของระยะทางข้างได้โดยตรงโดยปราศจากการใช้ข้อสมมติแห่งการไม่ขึ้นแก่กัน ซึ่งเรียกว่า “วิธีตรง” จากรูปแบบของ lobe ที่มีผลมาจาก Lloyd’s Mirror Effect อาจคาดหวังได้ว่าในขณะที่เป้าเคลื่อนเข้าหาเรดาร์ด้วยความสูงที่กำหนดให้ นั้น จะมีบลิพติดต่อกันเป็นจำนวนมากเกิดขึ้นบนจอบางช่วงเวลา และไม่มีบลิพบางช่วงเวลา ยิ่งไปกว่านั้นรูปแบบที่ไม่ขึ้นแก่กันนี้จะเป็นเช่นเดียวกัน ไม่ว่าจะจากเบริงใดจากเรดาร์

เพื่อการเก็บข้อมูลสำหรับแบบจำลองนี้ เครื่องบินทดสอบจริงโดยบินเข้าหาเรดาร์โดยตรง โดยเบริงจากระยะมากที่สุด พนักงานที่ตื่นตัวแล้วจะบันทึกแต่ละบลิพในขณะที่มันปรากฏบนจออย่างในรูปที่ 5-9 A และพิจารณากำหนดวงแหวนเป็นวงๆ ตามที่ได้แสดงในส่วนแรเงาของรูปที่ 5-9 B



การตีค่าเรดาร์โดยวิธีตรง

ถ้าเครื่องบินจำลอง (simulated aircraft) จะผ่านเรดาร์ไป ณ ระดับความสูงเดียวกันแต่ ณ ระยะทางข้าง  $x$  จะมีบลิปรากฎบนจอเท่าใด? ถ้าสมมติว่าเครื่องบินที่บินในลักษณะนี้จะก่อให้เกิดบลิปในขณะที่อยู่ในวงแหวนเดียวกันแล้วจำนวนของ virtual blips สามารถที่จะคำนวณหาได้โดยวิธีเลขาคณิต แต่ละเที่ยวบินจริงจึงสามารถใช้เพื่อสร้างวงแหวนต่าง ๆ ขึ้น และพิจารณากำหนดจำนวนของบลิปซึ่งควรจะเกิดขึ้นได้โดย virtual run ณ ระยะทางข้างใด ๆ ผลที่ได้จากการบินจริง ๆ ทุกเที่ยวสามารถจะเฉลี่ยได้โดยวิธีต่อไปนี้

ให้  $P_0$  เป็นปัจจัยของพนักงานตามที่ได้ให้คำจำกัดความมาแล้วก่อนหน้านี้ และให้  $N(i, x)$  แทนจำนวนของ virtual blips ที่คำนวณได้ ณ ระยะทางข้าง  $x$  ซึ่งอยู่บนรากฐานของเที่ยวบินจริงที่  $I$  และให้  $P(i, x)$  เป็น probability ของการตรวจพบเป้า ณ ระยะทางข้าง  $x$  บนรากฐานของข่าวสารที่ได้มาจากเที่ยวบินจริงที่  $I$  ดังนั้น probability ที่พนักงานล้มเหลวที่จะตรวจพบของ  $N(i, x)$  ทั้งหมดจะเป็น

สมการ 5 - 18

$$(1 - P_0)^{N(i,x)}$$

ดังนั้น

สมการ 5 - 19

$$P(i, x) = 1 - (1 - p_0)^{N(i,x)}$$

ถ้าได้บินเที่ยวบิน  $n$  เที่ยว ดังนั้น

$$P(1, x) = 1 - (1 - p_0)^{N(1,x)}$$

$$\begin{array}{c} P(2, x) = 1 - (1 - p_0)^{N(2,x)} \\ \vdots \\ P(n, x) = 1 - (1 - p_0)^{N(n,x)} \end{array}$$

ดังนั้นค่าเฉลี่ยของ  $P(i, X)$  ซึ่งอยู่บนรากฐานของการบินจริง  $n$  เที่ยว จะเป็น

สมการ 5 - 20

$$\bar{P}(x) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P(i, x)$$

สมการ 5 - 20 จะให้ (สำหรับแต่ละค่าของ  $x$ ) 1 จุดบนเส้นโค้งของระยะทางข้าง และโดยการใช่วิธีการนี้ซ้ำ ๆ สำหรับระยะทางข้างจำนวนหนึ่ง ก็จะได้เส้นโค้งของระยะทางข้างทั้งหมด

ปัจจัยพนักงานอาจได้มาต่างหากจากการบินให้ตรงที่บินเพื่อการตีค่าเรดาร์อย่างเช่นเดียวกับที่ได้กำหนดในแบบจำลองแบบ blip / scan มันอาจได้มาสำหรับพนักงานแต่ละคนจากการทดลองในห้องทดลองอย่างเช่นขีดความสามารถของพนักงานโซนาร์เพื่อแยกเรื่องในมหาสมุทรที่ได้กำหนดพิจารณาจากการทดลองในห้องทดลองเสียง

วิธีโดยตรงจะให้รูปแบบจำลองสำหรับการหาเส้นโค้งระยะทางข้างจากการบินที่กระทำ ณ ระยะทางข้างเป็นศูนย์ กล่าวคือ การบินข้ามศีรษะ ข้อสมมติหลักซึ่งเน้นในวิธีนี้ก็คือ ถ้าบลิปปรากฏขึ้น ณ ระยะที่กำหนดให้ในการบินโดยตรง ดังนั้น เป้าในลักษณะที่ใกล้เคียงกันจะทำให้เกิดบลิป ณ ระยะเดียวกันไม่ว่าจะเป็นแบร์ริงโคด ลักษณะ (aspect) โคด หรือ ความเร็วสัมพันธ์โคดต่อเรดาร์

ทฤษฎีเรดาร์ 3 บท ได้นำมากล่าวอย่างย่อ ๆ เริ่มโดยสมการเรดาร์และจบโดยวิธีโดยตรงสถานะปัจจุบันของความรู้ไม่เพียงพอที่จะชี้การเลือกระหว่างทฤษฎีเหล่านี้ ทั้งหมดเรารู้ว่าไม่สมบูรณ์ แต่จนกระทั่งว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ดีกว่าจะสร้างสูตรขึ้นได้จากความรู้ที่เพิ่มขึ้น การวิเคราะห์การตรวจจับด้วยเรดาร์ โดยเหตุที่เรดาร์เป็น sensor อันสำคัญในการสงครามสมัยใหม่ การศึกษาและวิเคราะห์หลาย ๆ ด้านของเรดาร์และการทำงานของเรดาร์จะต้องกระทำต่อไป

### ๕๐๘. สงครามอิเล็กทรอนิกส์

สงครามอิเล็กทรอนิกส์ (EW) เป็นฟังก์ชันที่สำคัญที่ชัดเจนและได้ให้คำจำกัดความไว้อย่างแน่ชัดในปฏิบัติการทางทหาร สงครามอิเล็กทรอนิกส์ได้รวมไว้ด้วยในบทนี้ ในเรื่องเรดาร์เพราะว่าความสำคัญของมันในการใช้เรดาร์ทางยุทธการ และเพราะการใช้สมการเรดาร์ในเครื่องมือแจ่มมิ่งด้วย ในลักษณะการใช้อย่างกว้างขวางเช่นนี้ EW รวมทั้งการใช้เครื่องมือต่าง ๆ (device) และอุปกรณ์ (equipment) ซึ่งแพร่หรือรับพลังงานอิเล็กทรอนิกส์แมกเนติก สิ่งนี้รวมทั้งการใช้ทางยุทธวิธีและยุทธศาสตร์ของเครื่องมือต่าง ๆ อย่างเช่นเรดาร์ เครื่องมือการสื่อสารสำหรับการบังคับบัญชา ควบคุม และแลกเปลี่ยนข่าวสารระหว่างหน่วยกำลังฝ่ายเดียวกัน และเครื่องมือควบคุมการยิงสำหรับการยิง และควบคุมอาวุธต่าง ๆ ต่อศัตรู ดังนั้นความสำคัญ EW ในวิธีการต่าง ๆ ของสงครามปัจจุบันนี้เป็นสิ่งที่เห็นได้ชัดเจนในเมื่อรู้สึกรู้สึกว่าตามความจริงแล้วทุก ๆ ระบบอาวุธทุก ๆ ระบบการตรวจจับ และทุก ๆ ระบบของการสื่อสารมีความจำเป็นอย่างมาก ถึงแม้จะไม่ทั้งหมดก็ตามในการใช้พลังงานอิเล็กทรอนิกส์ อย่างเช่นการเชื่อมต่อระหว่าง phase ต่าง ๆ ของการใช้ระบบต่าง ๆ เหล่านี้ ความอ่อนแอของการแพร่คลื่นอิเล็กทรอนิกส์ที่มีอยู่ก็คือ ความสงสัยในการตรวจจับและการรบกวนกัน เพราะคุณสมบัติต่าง ๆ ของมันในการแพร่กระจายไปโดยอิสระ และโดยการถือโอกาสของจุดอ่อนแอนี้เองที่ทำให้มีค่าใช้จ่ายอย่างใหญ่หลวงในการทำสงครามอิเล็กทรอนิกส์

สงครามอิเล็กทรอนิกส์อาจนิยามได้ในเทอมที่จำเพาะเจาะจงยิ่งขึ้นว่าเป็นการกระทำระหว่างกัน (interaction) ระหว่างระบบการให้ข่าวสารสองระบบ หรือมากกว่า สำหรับความมุ่งประสงค์ในอันที่จะให้ได้มาซึ่งความได้เปรียบทางยุทธวิธีหรือทางยุทธศาสตร์ ระบบการให้ข่าวที่อ้างถึงในที่นี้เป็นที่เข้าใจกันว่าเป็นเครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ใด ๆ ที่แพร่และ / หรือรับข่าวสาร (ข่าวกรอง) โดยวิธีการของการส่งพลังงานอิเล็กทรอนิกส์ ปัญหาที่เกี่ยวข้องว่าเมื่อไร ที่ไหน และอย่างไร ที่จะก่อให้เกิดการกระทำระหว่างกันทางอิเล็กทรอนิกส์ และการปฏิบัติที่จะต้องกระทำเพื่อป้องกันผลของการเสื่อมสภาพเสียหายของมันเป็นสิ่งสำคัญในสงครามอิเล็กทรอนิกส์

สงครามอิเล็กทรอนิกส์มีความสำคัญมากในการป้องกัน (defense) ของสหรัฐฯ จนกระทั่งกระทรวงกลาโหมต้องจ่ายเงินปีละห้าร้อยล้านดอลลาร์ในเรื่องนี้ แห่งการปฏิบัติการทางทหาร ใช้จ่ายจำนวนนี้สะท้อนให้เห็นความขึ้นกับเรดาร์ วิทยุ และการแพร่ระบบอิเล็กทรอนิกส์ของอินฟราเรด สำหรับการตรวจจับเป้า การเฝ้าตรวจ อาวุธนำวิถี และการสื่อสาร

เพราะความสัมพันธ์โดยตรงต่อทุก ๆ แบบของสงคราม EW จะต้องได้รับการพิจารณาอย่างเต็มที่เมื่อวางแผนสำหรับปฏิบัติการใด ๆ ความสำคัญโดยเฉพาะก็คือ ในการใช้หลักของ EW ในสงครามยกพลขึ้นบก ปรายเรือดำน้ำ และการต่อสู้อากาศยาน การปฏิบัติการต่าง ๆ ซึ่งต้องการการควบคุมและการร่วมมือกันอย่างสูง สงครามอิเล็กทรอนิกส์แบบจำกัด (ขามสงบ) ได้ถูกดำเนินการไปเรื่อย ๆ ในขณะที่แต่ละอำนาจทางทหารทดสอบการป้องกันทางอิเล็กทรอนิกส์ของอำนาจทางทหารของฝ่ายอื่น ๆ จุดประสงค์ก็เพื่อพิจารณากำหนดที่ตั้งเครื่องส่งเรดาร์และวิทยุทุก ๆ แห่ง และเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติในการทำงานต่าง ๆ ในอันที่จะพัฒนาเครื่องมือ – อุปกรณ์ ให้เหมาะสำหรับการรบกวนต่อปฏิบัติการที่เหมาะสมในเมื่อเกิดสงครามจริง ๆ

พลังงานอิเล็กทรอนิกส์ใช้เพื่อนำหาข่าวกรอง (ความนึกคิด ข่าวสาร หรือคำแนะนำการใช้) จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง อย่างเช่นสายโทรศัพท์อาจใช้ได้ รูปแบบขั้นมูลฐานของการเชื่อมต่อนี้ก็คือ สนามแม่เหล็ก (เดินทางด้วยความเร็วของแสง) ซึ่งมีความถี่หลัก (carrier) และ amplitude สัมพันธ์หลัก (ระดับของพลังงาน) ซึ่งจะลดลงในตัวในขณะที่มันออกไปจากแหล่งส่ง อันมีสาเหตุเนื่องมาจากการแพร่ (divergence) และการดูดซึมโดยบรรยากาศ พารามิเตอร์หลักสองตัวนี้จะเกี่ยวข้องอยู่ทุก ๆ การเชื่อมต่อทางการส่งทางอิเล็กทรอนิกส์ อย่างไรก็ตามเพื่อที่จะนำหาข่าวกรองจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยวิธีนี้ carrier หลักจะต้องได้รับการโมดูเลท (ดัดแปลง) บางวิธีสิ่งนี้กระทำได้หลายวิธี : โดยการพัลส์ carrier หลัก (เปิด – ปิด อย่างคิมอสโคด) การเปลี่ยนความสูงของช่วงคลื่น, คือ amplitude modulation (AM) หรือโดยการเปลี่ยนความถี่รอบ ๆ ความถี่หลัก คือ frequency modulation (FM) การรวมอันประณีตของวิธีเหล่านี้อาจใช้ไม่ได้เพื่อที่จะส่งการบังคับบัญชาที่ยุงยาก หรือคำแนะนำต่าง ๆ บน carrier เดียว

ดังนั้นทุก ๆ การส่งของพลังงานอิเล็กทรอนิกส์ที่แน่นอนและจำเพาะเจาะจง ซึ่งอาจที่จะถูกตรวจจับได้ ถูกวิเคราะห์ และถูกตีค่าได้ เพื่อหาแหล่งส่งและความมุ่งประสงค์ในหลายกรณีข้าง กรองที่นำพาไปโดยวิธีนี้อาจถูกสกัดได้ (intercept) แล้วใช้ทำลายผู้ส่งได้

สงครามอิเล็กทรอนิกส์อาจแบ่งได้เป็น 2 เรื่อง ๆ คือ การต่อต้านอิเล็กทรอนิกส์ (electronic countermeasure (ECM) และการต่อต้านการต่อต้านอิเล็กทรอนิกส์ (electronic counter – countermeasure (ECCM))

ก. การต่อต้านอิเล็กทรอนิกส์ ได้รับความนิยมว่าเป็นส่วนสำคัญของ EW ซึ่งเกี่ยวข้องกับการปฏิบัติที่ ใช้ป้องกันหรือลดประสิทธิภาพเครื่องมือ – อุปกรณ์ ของข้าศึกและยุทธวิธีที่ใช้หรือกระทบกระเทือน โดยการ แพร่คลื่นอิเล็กทรอนิกส์เพื่อที่จะใช้ได้ผล ECM ต้องใช้เป็นหลักในทั่วกองทัพเรือ มันอาจแบ่งย่อยได้อีก ดังนี้

1) Passive ECM ECM ถูกแยกเรียกว่าเป็น “passive” ในเมื่อเป็นชนิดที่ไม่สามารถตรวจจับ โดยข้าศึกได้ ดังนั้นการใช้จึงไม่จำเป็นต้องปกปิดทางยุทธวิธี แต่ต้องการการฝึกพนักงานเป็นอย่างดี ตัวอย่างเช่น EW ซึ่งอยู่ในประเภทนี้

ก) Intercept search (การตรวจค้นและตรวจการณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์) ซึ่งประกอบด้วย การ ค้นหาด้วยเครื่องรับที่เหมาะสมสำหรับการแพร่คลื่นอิเล็กทรอนิกส์ เพื่อพิจารณากำหนดการมีอยู่ของการ แพร่คลื่น แหล่งและคุณสมบัติที่เข้าเรื่อง การ intercept, การวิเคราะห์และการประเมินค่าการส่งคลื่น อิเล็กทรอนิกส์ของข้าศึก มีความสำคัญมาก ไม่ว่าในการปฏิบัติการใด และทำให้หน่วยกำลังของเราสามารถที่จะ วางแผนต่อสู้การใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ของฝ่ายข้าศึกได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลจาก intercept, search ก็คือ การข่าวกรองทางอิเล็กทรอนิกส์ (electronic intelligence (ELINT)) เกี่ยวกับขีดความสามารถและการใช้ทาง อิเล็กทรอนิกส์ของข้าศึก ข่าวสารนี้จะได้รับการรวบรวม วิเคราะห์ต่อไปอีก การรวมกัน (consolidatde) และ กระจายผ่านศูนย์ ELINT สำหรับทั้งกองทัพเรือในแปซิฟิก และแอตแลนติก

ข) Tactical evasion (การหลบหลีกทางยุทธวิธี) คือ การปฏิบัติเพื่อหลบหลีกหรือกีดกันการ ตรวจจับ และ / หรือการติดตามเป้าโดยข้าศึก มันขึ้นอยู่กับความรู้เกี่ยวกับขีดความสามารถและขีดจำกัดของ เครื่องมือ - อุปกรณ์การตรวจจับและการติดตามเป้าของข้าศึก

2) Active ECM การต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์เรียกว่า “active” ในเมื่อเป็นแบบซึ่งอาจถูกตรวจ พบโดยข้าศึกได้ เพราะว่าข้าศึกอาจสามารถที่จะพาข่าวกรองเกี่ยวกับกำลังของฝ่ายเราได้ในเมื่อเราใช้ active ECM สิ่งนี้ต้องการข่าวกรองเป็นอย่างมาก และต้องมีการวางแผนล่วงหน้าในการใช้อย่างระมัดระวังด้วย ในยาม สงบต้องควบคุมอย่างกวดขันในการใช้ active ECM ตัวอย่างของ EW ซึ่งจัดอยู่ในประเภทนี้ คือ

ก) Jamming คือการแพร่หรือแพร่อีกครั้งอย่างตั้งใจซึ่งสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ด้วยจุดประสงค์เพื่อการขจัดให้หมดไป หรือทำให้สัญญาณซึ่งข้าศึกพยายามที่จะรับให้คลุมเคลือ การแจมทางอิเล็กทรอนิกส์ก็คือ การแพร่สัญญาณแจมออกไปจริง ๆ ซึ่งตรงข้ามกับ non – electronic jamming ซึ่งใช้สัญญาณของเครื่องส่งของเหยื่อสะท้อนออกจาก physical objects อย่างเช่น ฝอยโลหะเป็นจำนวนมากที่เรียกว่า “window” หรือใช้สายโลหะยาว ๆ ที่เรียกว่า “rope”

ข) Deception คือ การแพร่หรือแพร่อีกครั้งหนึ่งอย่างตั้งใจ ซึ่งสัญญาณทางอิเล็กทรอนิกส์เพื่อให้ข้าศึกเข้าใจผิดในการแปลข้อมูลที่ได้รับโดยเครื่องมือ – อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ของเขา หรือโดยการให้เครื่องจับบอกผิด ๆ ในระบบควบคุมของข้าศึก สิ่งนี้อาจเป็นทางอิเล็กทรอนิกส์ได้โดยการเลียนพัลส์เรดาร์หรือสัญญาณอื่น ๆ เพื่อให้เกิดเป้าปลอมหรือข่าวสารปลอม หรือโดยการไม่ใช่ทางอิเล็กทรอนิกส์โดยการใช่ physical objects อย่างเช่น “kites” และ “gulle” ซึ่งสามารถสะท้อนพลังงานประหนึ่งว่าเป็นเรือจริงหรือเครื่องบินจริง

ข. การต่อต้านการต่อต้านอิเล็กทรอนิกส์ ได้รับนิยามว่าเป็นส่วนสำคัญของ EW ซึ่งเกี่ยวข้องกับ การปฏิบัติเพื่อกระทำให้น้ำใจถึงการใช่การแพร่คลื่นอิเล็กทรอนิกส์อย่างมีประสิทธิภาพ ถึงแม้ข้าศึกจะใช่ การต่อต้านทางอิเล็กทรอนิกส์จะต้องสมมติว่าข้าศึกจะฉวยโอกาสทุก ๆ ครั้งที่เป็นไปได้ที่จะแจมเรดาร์ การสื่อสาร อากาศนำวิถี และเครื่องมือ – อุปกรณ์ ทางยุทธการอื่น ๆ และข้าศึกจะใช่เครื่องมือในการลวงด้วย ผลตรงข้ามของมาตรการลวงหน้าเหล่านี้จะต้องประเมินสำหรับทุก ๆ การปฏิบัติการ และการจัดหาจะต้องกระทำ สำหรับเครื่องมือ – อุปกรณ์ และยุทธวิธีสำหรับการปฏิบัติตอบโต้ สิ่งที่มีประจำใน ECCM คือ ความต้องการ สำหรับหน่วยกำลังของตนในอันที่จะลดโอกาสของข้าศึกที่จะให้ได้ข่าวกรองเกี่ยวกับขีดความสามารถของเรา และเครื่องมือ – อุปกรณ์ โดยการใช่ passive ECM ของเขา การใช้ ECCM ที่เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับ (แต่ไม่จำกัด เพียงแต่) กับหลักการต่อไปนี้

1) การใช้การควบคุมการส่ง (emission control (EMCON)) ที่เหมาะสม : การจำกัด (restriction) ในการแพร่คลื่นของเครื่องส่งของกองกำลังที่ได้วางแผนไว้อย่างระมัดระวัง ในอันที่จะลด degree ของการข่าวกรองที่ข้าศึกอาจได้รับโดยการใช่ passive ECM ข้อจำกัดนี้ปฏิบัติไปได้โดยตลอด โดยแผน EMCON แผนแต่ละแผนเช่นนั้นได้ออกแบบไว้สำหรับการปฏิบัติการเฉพาะใกล้มือ กำลังทางเรือทั้งหมดในขณะนี้จะปฏิบัติอยู่ภายใต้แผน EMCON บางแบบ

2) การหาความรู้และพิสูจน์ฝ่ายและการวิเคราะห์การใช้ active ECM ของข้าศึก ในอันที่จะได้ข่าวกรองที่จำเป็นเพื่อลดผลของมัน



- 3) การพัฒนาและการใช้เทคนิค anti – jamming และเครื่องอุปกรณ์เพื่อลดผลของ active ECM ข้ำศึก
- 4) การพัฒนาการฝึกพนักงานในการอ่านยุทธวิธีของการแจม และการลงของข้ำศึก โดยการทำแบบฝึกหัดอย่างต่อเนื่องและทำเทคนิคให้ทันสมัยอยู่เสมอ

#### ๕๑๐ การใช้สมการเรดาร์ในการแจม

การแจมถ้าพูดอย่างหยาบ ๆ ก็คือ การทำให้ระบบเรดาร์อิมตัวไปด้วยกำลังเสียงรบกวนที่พอเพียงต่อความถี่ที่ถูกต้อง เพื่อป้องกันการตรวจจับเป้าที่ต้องการได้ จงพิจารณาถึงเป้าที่ใช้เครื่องแจม (jamming) ซึ่งวิ่งเข้าหาเรดาร์ ณ ระยะไกล ในขณะที่สายอากาศเรดาร์กวาดผ่านแบร์ริงของเครื่องแจม สายอากาศก็จะได้รับสัญญาณ ๆ หนึ่ง สัญญาณนี้จะไม่มาในฐานะของ timed pulse ที่ถูกต้องแต่มันจะไหลเข้ามาเป็นระเบียบเรื่อย ๆ ในเมื่อเครื่องรับเปิดอยู่ ดังนั้นแหล่งกำเนิดก็ถูกตรวจพบได้เพียงแบร์ริงเท่านั้น และจะปรากฏอยู่ ณ ทุก ๆ ระยะบน PPI นั้น สิ่งนี้จะก่อให้เกิดสิ่งที่ยากที่จะทราบกันว่าเป็น “strobe – jamming” เมื่อเครื่องแจมเปิด strobe จะกว้างใหญ่ ในขณะที่พนักงานที่ตรวจพบได้จะมีอยู่ด้วยมุมที่โตกว่ารอบ ๆ แขนสายอากาศ ช่วงต่อมาจะมีส่วนล้น (spill – over) เข้าไป side – lobes ขณะที่สัญญาณซึ่งอาจตรวจจับได้นั้นจะได้รับเมื่อ side lobe จ่อตรงไปยังเครื่องแจม สุดท้ายหน้าจอต้งหมดก็อาจได้รับความกระทบกระเทือน

ตามปกติจุดประสงค์ของเครื่องแจมก็เพื่อปกปิดตัวเอง แต่ปรากฏการณ์ของ spill – over ที่เข้าไปยัง side – lobe ด้วย จึงทำให้เป็นไปได้ที่จะครอบคลุมไม่ใช่แบร์ริงเดียวกัน ผลประการแรกเป็นที่รู้จักกันอย่าง “self – screening” และประการที่สองอย่าง “mutual – screening” กรณีของ self screening นั้น โดยการใช้สมการที่ได้มาจากข้อ 506 จะได้รับตรวจพิจารณา

ถ้าเครื่องแจมส่งกำลังเสียงรบกวน ๆ  $P_j$  ติดต่อกันไปด้วยความถี่ที่ถูกต้องและตรงอิมมิชแล้ว ดังนั้นความเข้มของกำลังเสียงของเครื่องแจมที่เรดาร์จะเป็น

สมการ 5 – 21

$$I_j = \frac{P_i}{4 R^2} \frac{C \tilde{N} \mu_i}{\tilde{E}^1 e \hat{C} \hat{A}^{3/4} \times 4}$$

นอกจากสัญญาณในการแจมซึ่งมาถึงเครื่องรับเรดาร์ก็คือ สัญญาณเรดาร์ที่สะท้อนจากเรือแจม ความเข้มของกำลังที่กลับมานี้คือ (สมการ 5 – 6)

$$I_r = \frac{P_i G A_i}{(4)^2 R^4} \frac{C \tilde{N} \mu \mu_i}{\tilde{E} \hat{e} \hat{C} \hat{A}^{3/4} \times \hat{e}}$$

ควรที่จะสังเกตว่าแต่ละข้อซึ่งได้ออกถึงความแน่นของกำลังนี้เป็นฟังก์ชันที่ลดลงของระยะ R และเมื่อระยะไกลมากพอ  $I_r$  จะน้อยกว่า  $I_j$  และผู้แจมเหนือกว่า ณ ระยะเช่นนั้นเป้าจะถูกปิดบัง (screened) อย่างไรก็ตาม ณ ระยะใกล้ ๆ  $I_j$  จะน้อยกว่า  $I_r$  และจะมีความเข้มของกำลังจากพัลส์เรดาร์ที่แพร่คลื่นไปมากกว่าจากผู้แจม ดังนั้นค่าของระยะค่าเดียวซึ่งเรียกว่าระยะ “cross – over” หรือระยะ “self – screening” ภายในระยะนี้เรดาร์ก็ทำงานได้ แน่แน่นอนเหลือเกินด้วยค่าของ  $P_j, P_r, A_i$  และ G ที่เหมาะสมระยะ cross – over นี้้อาจเล็กมาก แต่ตามปกติจะไม่ ค่าของมันอาจพบได้โดยตั้งให้  $I_r$  กับ  $I_j$  เท่ากัน แล้วแก้สมการหาระยะโดย

สมการ 5 – 22

$$R_{ss} = \sqrt{\frac{P_i G A_i}{P_j 4}}$$

อีกเรื่องหนึ่งที่น่าจะเห็นได้อย่างชัดเจนจากการหาสมการเรดาร์ กล่าวคือ หากกำหนดให้ความไวของระบบเท่า ๆ กัน เครื่องรับในการค้นหา (เครื่องมือซึ่งได้ออกแบบไว้ เพื่อค้นหาและแสดงสัญญาณอิเล็กทรอนิกส์ที่ทรอแมกเนติกกรอบ ๆ ตัว) จะใช้ได้ในระยะที่ไกลกว่าเรดาร์ที่ต้องการจะ intercept มาก นี่เป็นความจริงเพราะว่าความเข้มของกำลังที่มาถึงสายอากาศของเครื่องรับในการค้นหาจะเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะทางกำลังสอง ในขณะที่ความเข้มของกำลังที่กลับไปยังเรดาร์นั้นเป็นสัดส่วนผกผันกับระยะทางกำลังสี่

#### ๕.๑๑ การใช้ ECM และ ECCM

ตัวอย่างที่ดีซึ่งเกี่ยวกับการใช้และการต่อต้านในสงครามอิเล็กทรอนิกส์ก็คือ การปฏิบัติการของเครื่องบินปราบเรือดำน้ำของอังกฤษต่อเรืออูของเยอรมันในอ่าวบิสเคย์ในสงครามโลกครั้งที่สอง ซึ่งใช้เส้นทางไปมาในมหาสมุทรแอตแลนติกจะโผล่ขึ้นมาตอนมืดเพื่อซารจแบตเตอรี่ เดิมอากาศให้กับเรือดำน้ำและรายงานทางวิทยุไปยังประเทศเยอรมัน

การปฏิบัติเหล่านี้ค่อนข้างปลอดภัยมากสำหรับเรือดำน้ำจนกระทั่งปี 1942 ในเมื่อเรือดำน้ำลี้มเหลวแล้วลี้มเหลวอีก ในการรายงานทางวิทยุหรือการเดินทางกลับจากการลาดตระเวนค้นหา ภายหลังการตรวจสอบเยอรมันได้พบว่าอังกฤษได้ด่าบลที่โดยทั่วไปของเรือดำน้ำโดยการหาที่เรือแบบ triangulation ต่อสัญญาณทางวิทยุ

ดังนั้นเครื่องบินลาดตระเวนค้นหาของอังกฤษก็จะเคลื่อนตัวไปยังพื้นที่ ๆ ใดโดยทั่ว ๆ ไปนี้ แล้วค้นหาตำบลที่แน่นอนของเรือด้วยเรดาร์อากาศและโจมตี

หลังจากนั้นไม่นานเรือก็สามารถต่อต้านภัยคุกคามทางอากาศได้โดยการติดตั้งเครื่องรับ L – band (ครอบคลุมความถี่ของเรดาร์อากาศของอังกฤษ) เพื่อตรวจจับการเข้ามาของเครื่องบิน โดยเหตุนี้ความสูญเสียของเรือเยอรมันลดลงเป็นอย่างมาก

ดังนั้นในต้นปี 1943 อังกฤษเริ่มเปลี่ยนทดแทนเรดาร์ L – band ที่ติดตั้งในเครื่องบินที่บินตอนกลางคืนด้วยเรดาร์ที่มีความถี่ต่างออกไป เครื่องบินที่ได้รับการดัดแปลงนี้ก็สามารถเข้าหาและทำลายเรือดำน้ำที่โผล่ขึ้นมาบนผิวน้ำได้อีกครั้งหนึ่งโดยปราศจากการถูกตรวจจับโดยเรืออู จนกระทั่งสายเกินไปสำหรับเรืออูที่จะดำ ดังนั้นการสูญเสียเรือดำน้ำของเยอรมันในอ่าวบิสเคย์เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

แน่นอนที่เยอรมันสามารถที่จะตัดสินใจหาเหตุผลของความสำเร็จของอังกฤษได้ แต่โดยเหตุที่มีความยุ่งยากทางเทคนิค เครื่องรับที่จำเป็นเพื่อตอบโต้เรดาร์ใหม่ของอังกฤษไม่อาจติดตั้งในเรืออูได้ จนกระทั่งปลายปี 1943 การติดตั้งเครื่องรับหลังสุดพร้อม ๆ ไปกับเรือดำน้ำที่วิ่งไปด้วยขณะดำในไม่นานก็สามารถตัดทอนความสูญเสียของเรืออูลงไปได้อย่างมากมาย

กระดานหกของเครื่องอุปกรณ์ (equipment) และยุทธวิธีนี้ได้ดำเนินต่อไปจนกระทั่งจบสงครามแต่ปัจจัยอื่น ๆ ภายนอกอาณาจักรของสงครามอิเล็กทรอนิกส์ก็เพิ่มเข้ามาเป็นปัญหาต่อเรืออูในปีท้าย ๆ ของสงครามด้วยจุดที่น่าสังเกตในตัวอย่างแห่งสงครามอิเล็กทรอนิกส์นี้ก็คือทุก ๆ การเคลื่อนไหวโดยฝ่ายหนึ่ง การต่อต้านการเคลื่อนไหวนั้นก็จะเกิดขึ้นโดยอีกฝ่ายหนึ่งในระยะเวลาอันสั้น เพื่อให้การต่อต้านการเคลื่อนไหวเป็นศูนย์ ต้องใช้กำลังในการพัฒนาเครื่องมือใหม่ หรือยุทธวิธีใหม่นี้เป็นรูปแบบใหม่ของสงครามอิเล็กทรอนิกส์

เพื่อที่จะมองภาพในอนาคตถึงสิ่งที่น่าจะเป็นในสงครามอิเล็กทรอนิกส์ปัจจุบันนี้ บางคนอาจคิดว่ามันเป็นทางสมมติฐาน แต่มันเป็นสถานการณ์จริงที่เผชิญหน้ากองทัพเรืออยู่ในขณะนี้

ก. การตรวจการณ์ (reconnaissance) การตรวจการณ์ทาง ECM ที่กระทำอย่างสม่ำเสมอต่อข้าศึกที่เป็นไปได้ นั่นกระทำได้โดยการใช้เครื่องบินที่ติดตั้งอุปกรณ์ ECM บินตรวจการณ์เป็นระยะ ๆ ตลอดเส้นเขตแดน การตรวจค้นทางอิเล็กทรอนิกส์และการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการข่าวกรองทางอิเล็กทรอนิกส์ จะทำให้หาที่ตั้งและชนิดของเครื่องส่งทางอิเล็กทรอนิกส์ข้าศึกแบบ active ของข้าศึกได้ทั้งหมดข่าวสารในเรื่องคุณลักษณะของเครื่องส่งต่าง ๆ จะรวมถึงว่ามันเป็นอะไร ยกตัวอย่างเรดาร์เครื่องช่วยในการเดินเรือความมุ่งประสงค์เป็นอะไร ยกตัวอย่างการค้นหาทางอากาศเครื่องมือจับความสูงและคุณลักษณะต่างของการส่ง (ความถี่, อัตราการซ้ำของพัลส์, อัตราการหมุนของสายอากาศ, รูปร่างของการพัลส์ ฯลฯ)

ข. การเข้าหาขั้นต้น (initial approach) สมมติว่าจะมีปฏิบัติการโจมตีสะเทินน้ำสะเทินบกต่อข้าศึกตลอดขอบฝั่งข้าศึก และข้าศึกมีเรดาร์ระยะไกลที่ทันสมัยและมีเครื่องรับ ECM ที่มีประสิทธิภาพ กองกำลังเฉพาะกิจ (task force) ต้องเคลื่อนเข้าหาภายใต้แผนการควบคุมการส่งคลื่น (EMCON) ที่ได้ออกคำสั่งโดยนายทหารสั่งการทางยุทธวิธี (OTC) แผนนี้ควรจะเป็นเครื่องมือที่อ่อนตัวในอันที่จะทำให้หน่วยที่สุดซึ่ง probability ที่การส่งคลื่นทางอิเล็กทรอนิกส์จากกำลังฝ่ายเดียวกัน ซึ่งอาจถูกใช้โดยข้าศึกเพื่อให้ข่าวสารแก่ข้าศึก เช่น ขนาดและตำแหน่งของกองกำลัง แผน EMCON อาจมีตั้งแต่การเจ็บบั๊กที่ทางอิเล็กทรอนิกส์ไปจนถึงการส่งคลื่นการสื่อสารที่ใช้ UHF เท่านั้น (ตามปกติก็อยู่ใน line – of sight) หรือแผนรองของการแบ่งเวลาใช้เรดาร์ ในกรณีหลังนี้ radar pickets ควรจะใช้เรดาร์เป็นช่วงแบบคาบสุ่ม หรือ ณ ช่วงเวลาที่กำหนดไว้ด้วยการกวาด 2 – 3 ครั้ง และแล้วปิดเครื่องในขณะที่ radar picket อื่นกวาดค้นหาอีก 2 – 3 ครั้ง วิธีการเช่นนี้จะทำให้การตรวจค้นหาทิศทาง ECM โดยข้าศึกมีความยากลำบากยิ่งขึ้น

ในเวลาเดียวกันที่แผน EMCON กำลังใช้อยู่พยายามตรวจการณ์ ECM ทาง passive ที่ต่อเนื่องจะต้องดำเนินการไปด้วย โดยการยึดข่าวกรองทางอิเล็กทรอนิกส์เป็นหลักเครื่องรับ ECM ควรที่จะเฝ้า monitor ความถี่เรดาร์ที่ใช้โดยเรดาร์อากาศของข้าศึกยิ่งไปกว่านั้นความถี่ต่าง ๆ เหล่านี้ ซึ่งข้าศึกอาจใช้ในการผ่านการสื่อสารระหว่างหน่วยต่าง ๆ ควรจะได้ monitor ด้วยเพื่อที่จะหาตำแหน่งของเรือและเครื่องบิน และเพื่อให้ได้ข่าวสารที่มีประโยชน์ เมื่อได้รับสัญญาณเรดาร์ข้าศึกจะต้องวิเคราะห์ในทันทีทันใด และแจ้งความถี่และแบร์ริงของสัญญาณข้าศึกให้กองกำลังทราบพอเรืออื่น ๆ intercept สัญญาณได้และรายงานแบร์ริง ตำแหน่งของเรดาร์ข้าศึกควรกำหนดได้โดย triangulation จนกระทั่งที่พิจารณากำหนดว่าหน่วยข้าศึกนั้นเป็นภัยคุกคามแผน EMCON นี้จะต้องใช้อยู่ต่อไป

ค. การเข้าหาระยะใกล้ (close approach) เมื่อเครื่องบินข้าศึกเป็นภัยคุกคามต่อกองกำลัง (การตัดสินใจโดย OTC) ความอ่อนตัวของแผน EMCON จะมีความสำคัญในการขอมให้กองกำลัง ๆ เปิดเรดาร์ที่จำเป็นในเมื่อการเจ็บบั๊กทางอิเล็กทรอนิกส์ไม่มีประโยชน์อีกต่อไป การค้นหานั้นเรดาร์หาความสูงและเรดาร์ควบคุมการยิงอาจเลือกใช้ได้เพื่อ intercept และทำลายข้าศึกในขณะที่เครื่องบินกำลังเคลื่อนเข้าหากองกำลัง ๆ เรดาร์ของเครื่องบินอาจถูกแจม ซึ่งอาจเป็นการแจมทางอิเล็กทรอนิกส์ หรือไม่ใช่ทางอิเล็กทรอนิกส์ เช่น chaff หรือ rope ในขณะเดียวกันกองกำลัง ๆ อาจพยายามที่จะแจมเรดาร์ข้าศึกด้วยวิธีการแจมที่เหมาะสม ดังนั้นแต่ละฝ่ายจะพยายามใช้ ECM แบบ active ในอันที่จะลดขีดความสามารถทางอิเล็กทรอนิกส์ของอีกฝ่ายหนึ่งโดยที่กำลังที่สู้กันทั้งสองฝ่ายใช้ ECM หลายรูปแบบต่อกัน ทั้งสองฝ่ายก็ควรจะใช้หลักการต่าง ๆ ของ EMMC เพื่อต่อต้าน ECM ของฝ่ายตรงข้าม เครื่องมืออันดับแรกที่ใช้โดยกองกำลัง ๆ ใน ECCM ก็คือพนักงานที่ได้รับการฝึกและตื่นตัวเป็นอย่างดีความถี่ต่าง ๆ กัน และวงจรการต่อต้านการแจม (anti – jam AJ) พิเศษในเรดาร์ สิ่งที่สำคัญที่สุดในระหว่างสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้คือ

พนักงานที่ดี ซึ่งสามารถที่จะตรวจจับการแจมและติดตามเป้าได้ท่ามกลางเสียงรบกวนเรดาร์ได้ด้วยประสิทธิภาพระดับหนึ่ง กองกำลังฯ จะมีเรดาร์เป็นจำนวนซึ่งใช้งานในความถี่ต่าง ๆ กัน ดังนั้น ถ้าเรดาร์หนึ่งหรือสองเครื่องพบการควบคุมการแจมของ CAP ฝ่ายเดียวกัน ก็อาจใช้เรดาร์ตัวอื่น ๆ ถ้าวิธีการ ECM และ ECCM ทั้งหมด และอุปกรณ์ทั้งหมดกำลังใช้ด้วยความสามารถสูงสุด กองกำลังฯ ก็ควรที่จะสำเร็จในการทำลายความพยายามขึ้นต้นของข้าศึกได้ หรือไม่เช่นนั้นก็ต้องเลื่อนการปฏิบัติการสะเทินน้ำสะเทินบกนั้นออกไป

ง. การโจมตี (attack) ในระหว่างปฏิบัติการสะเทินน้ำสะเทินบกการลงโดยกองกำลังฯ อาจมีบทบาทสำคัญในการสร้างความยุ่งเหยิงให้ข้าศึก และทำให้กำลังในการต่อต้านอ่อนลงได้ด้วยกำลังฯ เล็ก ๆ อาจเข้าหาข้าศึกจากทิศทางอื่นที่ไม่ใช่เส้นทางจริง และด้วยเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์อาจวางกลข้าศึกให้คิดว่าหน่วยกำลังนี้เป็นหน่วยที่เข้าโจมตีจริง ๆ หน่วยกำลังเล็ก ๆ นี้อาจมีเครื่องส่ง radar repeater และ corner reflector เพื่อให้ปรากฏว่าประกอบไปด้วยเรือจำนวนที่มากกว่าและใหญ่กว่าที่มีจริง ๆ หน่วยกำลังฯ อาจใช้เครื่องส่งวิทยุหลาย ๆ เครื่องเพื่อเลียนการจราจรทางวิทยุของหน่วยกำลังที่ใหญ่กว่ากองกำลังฯ อาจทำให้ข้าศึกยุ่งเหยิงได้ด้วยโดยการส่งข่าวสารทางวิทยุที่เป็นปฏิปักษ์ต่อกันในข่ายการสื่อสารของข้าศึกเองโดยสรุปการสงครามอิเล็กทรอนิกส์เป็นการทดลองที่คงที่แห่งความชำนาญและความสามารถของกำลังที่เกี่ยวข้อง ผู้บัญชาการกองกำลังทางเรือจะต้องระวังระไวเกี่ยวกับสถานะของอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์อยู่เสมอ และใช้ประโยชน์จากการข่าวกรองทั้งหมดที่มีอยู่จากอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ของเขา เขาจะต้องใช้ความระมัดระวังทุก ๆ ประการที่จะป้องกันข้าศึกไม่ให้ใช้เครื่องมือทางอิเล็กทรอนิกส์ของเขาอย่างมีประสิทธิภาพ อาจเป็นไปได้ที่จะชี้ออกมาว่าส่วนที่เกี่ยวข้องกับการใช้ ECM และ ECCM อย่างมีประสิทธิภาพนั้นเป็นความต้องการสำหรับการร่วมมือกันโดยสมบูรณ์และการรู้จักเกี่ยวกับรายละเอียดของการใช้ทางยุทธการโดยทุก ๆ หน่วยของกองกำลังฯ การวางแผนและการออกคำสั่งยุทธการที่เหมาะสมจะนำไปสู่การปฏิบัติที่แท้จริงแห่งปฏิบัติการทางเรือที่ยุ่งยากอย่างเช่นปฏิบัติการสะเทินน้ำสะเทินบก ต้องเป็นการปฏิบัติที่ราบรื่น และรวดเร็วติดต่อกันไปโดยต่อเนื่องต่อทุก ๆ ยุทธวิธีที่ถูกต่อต้านโดยการใช้ ECM และ ECCM ของข้าศึกในสถานการณ์ทางยุทธการส่วนใหญ่ผู้บังคับหน่วยกำลังจะมีอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์เฉพาะแบบจำนวนหนึ่ง การตอบโต้ภัยคุกคามทางอิเล็กทรอนิกส์โดยทันทีทันใดจะอยู่ในรูปแบบของการเลือกยุทธวิธีที่มีอยู่ เพื่อตอบโต้ภัยคุกคามหรือการพัฒนายุทธวิธี ECM ใหม่ ๆ ขึ้นมา ขึ้นต่าง ๆ ในการพัฒนายุทธวิธีทาง ECM จะเป็นไปตามการสวน (pattern) ทั่ว ๆ ไปที่ใช้ในการพัฒนายุทธวิธีอื่น ๆ :

- ก. การตีค่าสิ่งแวดล้อมทางรูปร่าง (อิเล็กทรอนิกส์) ในสถานะสิ่งแวดล้อมที่จะใช้ยุทธวิธีนั้น
- ข. การเลือกยุทธวิธีที่เหมาะสม (ดีที่สุด) เพื่อปฏิบัติการกิจ
- ค. การใช้ยุทธวิธีที่ได้เลือกแล้ว
- ง. การตีค่าผลของยุทธวิธีนั้น ๆ ในการปฏิบัติให้สำเร็จภารกิจ

#### ๕๑๒. การพิจารณาเฉพาะบางประการในการใช้การสงครามอิเล็กทรอนิกส์

การสงครามอิเล็กทรอนิกส์ก็คือ ชุดของการเคลื่อน (move) และการตอบโต้การเคลื่อน (countermove) โดยกำลังทั้งสองฝ่ายที่สู้กันเพื่อให้โอกาสแห่งความสำเร็จสูงสุด โดยแต่ละฝ่ายจำนวนและชนิดของอุปกรณ์ที่มี จะก่อให้เกิดข้อจำกัดต่าง ๆ ในหนทางต่าง ๆ ที่ผู้บังคับหน่วยอาจจะพิจารณาข้อจำกัดเฉพาะสามประการจะเข้ามา ในการใช้ EW ทางยุทธการ กล่าวคือ :

ก. การจัดสรรทรัพยากร ปัญหาเบื้องต้นที่เกี่ยวข้องปัญหาหนึ่งในการสงครามอิเล็กทรอนิกส์ก็คือ การจัดสรรทรัพยากร ในปัญหาการโจมตีที่เป็นแบบฉบับโดยทั่วไป ภารกิจก็คือการยิงอาวุธจำนวนมากที่สุดเข้าไป ยังเป้าด้วยเครื่องบินที่เรามีอยู่ อย่างไรก็ตามในขณะที่กำลังเผชิญหน้ากับภัยคุกคามทางอิเล็กทรอนิกส์ที่คาดหวังไว้ ต่อเครื่องบินที่ระเบิดจากเรดาร์ข้าศึกนั้น การป้องกันที่น่าจะมีเหตุผลก็ควรจะต้องจัดตั้งอุปกรณ์การแจมทาง อิเล็กทรอนิกส์ให้กับเครื่องบินโจมตี ดังนั้นปัญหาก็จะเกิดขึ้นมาว่าจะจัดตั้งอุปกรณ์การแจมนี้เท่าใด

ในปลายที่หนึ่งกองกำลังโจมตีไม่ควรจะมีเครื่องแจมเลย และบรรทุกเครื่องบินเพียงแต่ลูกระเบิด อาวุธปล่อยหรืออาวุธอื่นๆ ในกรณีนี้เครื่องบินที่ระเบิดจะสามารถทำลายให้ข้าศึกมากที่สุดถ้ามันเข้าถึง เป้าได้ แต่การเสี่ยงสูงมากกว่าเครื่องบินนั้นจะไม่ผ่านการป้องกันอันหนาแน่นของข้าศึก ซึ่งมีการใช้ เรดาร์อย่างไม่จำกัดจำนวนไปได้

ในอีกปลายหนึ่งกองกำลังควรจะทำให้ผลของภัยคุกคามทางอิเล็กทรอนิกส์ของข้าศึกเป็นศูนย์ หรือ ลดภัยคุกคามลงให้มากที่สุด โดยการบรรทุกเครื่องบินนั้นด้วยเครื่องแจมและอุปกรณ์ ECM อื่น ๆ แต่ลดการ บรรทุกอาวุธลงซึ่งก็จะลดโอกาสแห่งความสำเร็จภารกิจลงไปด้วย

เป็นที่เห็นชัดว่าคำตอบของปัญหาซึ่งเพียงแต่ว่าจะต้องมีเครื่องแจมและอุปกรณ์ ECM อื่น ๆ เท่าใด ซึ่งควรจะส่งไปกับเครื่องบินโจมตีนั้น ควรจะต้องอยู่ระหว่างปลายสุดทั้งสองนี้เอง คำถามก็คือว่า ณ จุดใด ๆ คำตอบของปัญหาในลักษณะนี้อาจมีโดยวิธีการทางวิเคราะห์ห้อย่างเช่นตามตัวอย่างต่อไปนี้

D = เหตุการณ์ที่เป้าถูกทำลาย

S = เหตุการณ์ที่เครื่องบินถึงเป้า โดยกล่าวในฟังก์ชันของการบรรทุกอุปกรณ์ ECM

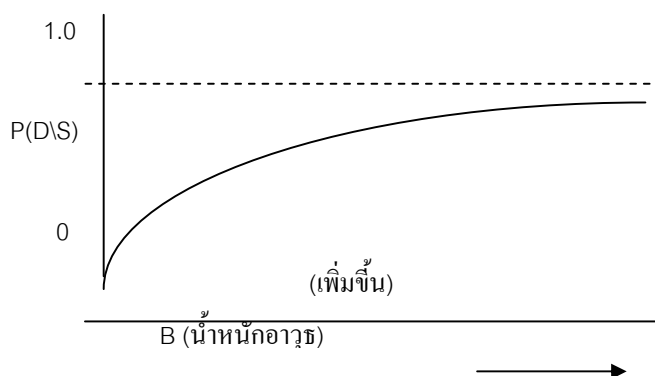
B = การบรรเทาอายุของเครื่องบินโจมตีนับเป็นต้น และ

J = การบรรเทาอุปกรณ์ ECM ของเครื่องบินโจมตีนับเป็นต้น

ฟังก์ชันซึ่งเป็นรูปแบบฉบับโดยทั่ว ๆ ไปซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $P(D|S)$  และการบรรเทาทุกถูกระเบิดของเครื่องบิน (อาวุธ) B คือ

$$D|S = 1 - e^{-B}$$

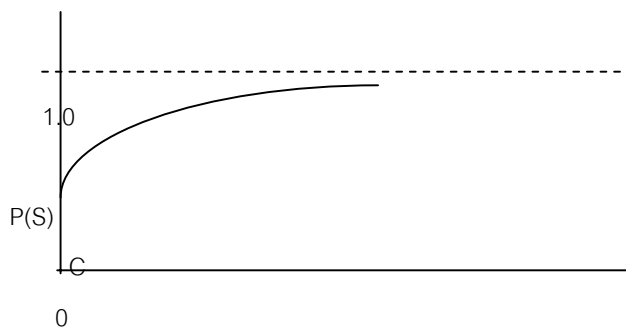
โดยที่ 1 เป็นค่าคงที่ที่สะท้อนค่าแห่งประสิทธิภาพของอาวุธที่ใช้  
เส้นโค้งที่ได้อาจจะเป็น



ฟังก์ชันซึ่งเป็นรูปแบบฉบับโดยทั่ว ๆ ไปของความสัมพันธ์ระหว่าง  $P(S)$  และการบรรเทาทุกอุปกรณ์ ECM ของเครื่องบิน J คือ

$$S = 1 - ce^{-2J}$$

โดยที่ C เป็นค่าคงที่ซึ่งอยู่ในย่านศูนย์ถึงหนึ่ง ซึ่งแทน probability ที่เครื่องบินล้มเหลวที่จะไปถึงเป้าถ้าไม่นำเอา  
อุปกรณ์ ECM ไปเลย และ 2 เป็นค่าคงที่ที่สะท้อนค่าแห่งประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ECM เส้นโค้งที่ได้อาจจะเป็น



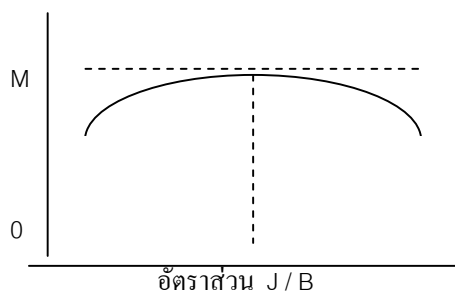
ข้อจำกัดทางรูปทรงของเครื่อง  $J$  (น้ำหนักอุปกรณ์การแจม)

$$\text{น้ำหนักบรรทุกมากที่สุด} = L_m = B + J$$

เพื่อที่จะหาสมคูลที่ดีที่สุดระหว่างน้ำหนักบรรทุกลูกกระเบิด  $B$  และน้ำหนักบรรทุกอุปกรณ์ ECM  $J$  สำหรับเครื่องบินแต่ละเครื่อง ในภารกิจโจมตีซึ่งถูกบังคับโดยการจำกัดขอบเขตของการบรรทุกมากที่สุด มาตรฐานประสิทธิภาพ  $M$  ควรจะเป็น

$$M = P(D) = P(S)P(D|S), \text{ since } D \supset S$$

แทนค่า  $S = 1 - ce^{-2J}$  และ  $D|S = 1 - e^{-1}$  ดังนั้นก็จะเป็นเรื่องง่าย ๆ ที่พิจารณากำหนดค่าต่าง ๆ ของ  $J$  และ  $B$  ซึ่งจะให้ค่า  $M$  มากที่สุดโดยใช้แนวความคิดของ Differentiation ในการหาค่าสูงสุดและค่าต่ำสุด ถ้าพล็อต  $M$  ในฐานะฟังก์ชันของอัตราส่วนของน้ำหนักบรรทุกของอุปกรณ์ต่อน้ำหนักบรรทุกอาวุธกราฟที่ได้ควรจะมรูปร่าง ดังนี้





## ปัญหา

ค่าคงที่มีประโยชน์บางตัว :

$$C = 186,000 \text{ ไมล์/วินาที} = 3.1416$$

$$= 161,500 \text{ ไมล์/วินาที}^2 = 9.870$$

$$= 3 \times 10^8 \text{ เมตร/วินาที}^3 = 31.01$$

$$= 3.28 \times 10^8 \text{ หลา/วินาที}^4 = 12.57$$

$$1 \text{ ไมล์ทะเล} = 6080 \text{ ฟุต} \quad (4)^2 = 157.9$$

$$= 2027 \text{ หลา} \quad (4)^3 = 1984$$

$$= 1.1516 \text{ ไมล์}$$

สำหรับโจทย์ข้อ 1–5 สมมติว่าเป็นเรดาร์ที่มีคุณสมบัติดังนี้ :

$$\text{ความถี่} = 1.25 \times 10^9 \text{ ไซเคิล/วินาที}$$

$$\text{กำลังขอด} = 8 \times 10^5 \text{ วัตต์}$$

$$\text{ความยาวพัลส์} = 3.0 \times 10^{-6} \text{ วินาที}$$

$$\text{ความสูงของแอนเทนนาเรดาร์} = 50 \text{ ฟุต}$$

$$\text{อัตราการหมุนของแอนเทนนา} = 10 \text{ รอบ/นาที}$$

$$\text{ความกว้างบีมทางราบ} = 2.0 \text{ องศา}$$

$$\text{PRF (Pulse repetition frequency)} = 500 \text{ พัลส์/วินาที}$$

$$\text{แอนเทนนาแกน} = 1000$$

$$\text{สัญญาณที่ตรวจจับได้ต่ำสุด} = 10^{-11} \text{ วัตต์}$$

1. สำหรับเรดาร์ดังกล่าว จงหา :

ก. ความยาวคลื่นเป็นฟุต

ข. กำลังเฉลี่ยของ output

ค. จำนวนพัลส์บนเป้าต่อสแกน

ง. ระยะไกลสุดเป็นไมล์ทะเลที่ทำได้โดย PRF นี้

จ. พื้นที่ของแอนเทนนาที่มีประสิทธิภาพสำหรับการรับ

2. เครื่องบิน F-4 เครื่องหนึ่งกำลังบินต่ำ (200 ฟุต) ตรงเข้าหาเรดาร์ด้วยความเร็ว 400 นอต
- อะไรคือระยะของ F-4 ถ้า ณ ขณะ ขอบฟ้าตาเปล่า?
  - ณ ระยะเท่าใด (คิดเป็นไมล์ทะเล) ที่ F-4 จะข้ามขอบฟ้าเรดาร์?
  - หลังจากข้ามขอบฟ้าเรดาร์แล้วนานเท่าใดที่ F-4 จะผ่านเรดาร์?
  - ณ ระยะเท่าใดจากเรดาร์ที่ F-4 จะถึง region แรก ณ ที่ซึ่งสัญญาณเรดาร์จะถูกเสริมด้วยสัญญาณสะท้อน ณ พื้นผิว?
3. ในขณะที่เครื่องบินเข้าศึกกำลังบินเข้าหาเรดาร์ด้วยความสูงที่ทราบว่ามีต่ำกว่า 15,000 ฟุต ก่อให้เกิดสัญญาณเรดาร์ ซึ่งแรงขึ้น ณ ระยะ 120 ไมล์ทะเล และหลังจากนั้นจะเริ่มจางหายไป จงคำนวณหาความสูงที่เป็นไปได้ของเครื่องบิน
4. ใช้เรดาร์นี้เพื่อหาพื้นที่เสี่ยงสะท้อนเฉลี่ยของเครื่องบิน F-4 เครื่องหนึ่ง ความแน่นของกำลังของสัญญาณสะท้อนของเรดาร์วัดได้ที่แอนเทนนาเป็น  $2 \times 10^{-10}$  วัตต์/ตารางหลา เมื่อ F-4 อยู่ ณ ระยะ  $2 \times 10^4$  หลา
- อะไรคือพื้นที่เป้าของ F-4 นี้?
  - ณ ระยะ 20 ไมล์ทะเล อะไรคือกำลังที่รับได้โดย F-4?
  - ณ ระยะ 20 ไมล์ทะเล อะไรคือพลังสะท้อนที่รับได้โดยเรดาร์?
  - อะไรคือระยะเรดาร์ไกลสุดที่คำนวณได้สำหรับสัญญาณที่ตรวจจับได้ดีที่สุด?
5. อะไรคือแอนเทนนาแกน ถ้าแอนเทนนานั้นเป็นแบบรอบทิศ?
6. ปัญหาหนึ่งที่เกี่ยวข้องในแบบจำลองทาง deterministic อย่างเช่นสมการเรดาร์ก็คือ การใช้ค่าเฉลี่ยเพื่อพยากรณ์ผลเฉลี่ย ยกตัวอย่าง สมการเรดาร์ใช้พื้นที่เป้าเฉลี่ยและกำลังที่ตรวจจับได้ดีที่สุดเฉลี่ยเพื่อพยากรณ์ระยะของการตรวจจับ จากประจักษ์ความจริงที่ว่าจำนวนค่าเหล่านี้จะแปรเปลี่ยนรอบ ๆ ค่าเฉลี่ย ความแน่นอนของรูปแบบจำลองเช่นนั้นอยู่กับว่าจำนวนเช่นนั้นแปรเปลี่ยน “เท่าใด” กล่าวคือ แวเรียนซ์ของมันโตขนาดไหน จงพิจารณาตัวอย่างต่อไปนี้ซึ่ง “ไม่สัมพันธ์” กับสมการเรดาร์
- สมมติว่าระยะของการตรวจจับ R ถูกกำหนดได้โดย  $R = 10 X^2$  โดยที่ x เราทราบค่าเฉลี่ยว่ามีค่าหา
- ระยะเท่าใดที่จะหาได้โดยการใช้ค่าเฉลี่ยของ x ในการคำนวณ?
  - อะไรคือค่าเฉลี่ยของ R ถ้า x กระจายตามแบบยูนิฟอร์มระหว่างค่าศูนย์และ 10?

ก. รูปแบบจำลองแบบ deterministic นี้ให้ค่าที่ถูกต้องใกล้เคียงกับรูปแบบจำลองทางความน่าจะเป็นหรือไม่?

7. ในระหว่างการฝึกครั้งหนึ่ง เครื่องบินได้บินหลาย ๆ เที่ยวบิน ความสูงต่าง ๆ และตรวจจับได้ 50 เทียว อัตราหมุนของแอนเทนนาของเรดาร์ตรวจค้นเป็น 9 รอบต่อนาที และความเร็วมัธมพันธ์ของเครื่องที่บินเข้าหาเป็น 180 นอต

J	ช่วงระยะนับเป็นไมล์ ทะเล $r_j$	จำนวนเฉลี่ยของ blips ที่ ได้รับในแต่ละช่วง, จากเส้นทางบิน	จำนวนของการตรวจจับ ครั้งแรกในแต่ละช่วง ด้วย 50 เทียวบินของ การตรวจจับ
1	90-100	3	1
2	80-90	6	3
3	70-80	8	6
4	60-70	19	20
5	50-60	21	12
6	40-50	16	3
7	30-40	15	2
8	20-30	10	0
9	10-20	8	1
10	0-10	0	0

จากการใช้ของเทียวบินฝึกหัดเหล่านี้ตามตารางข้างบน :

- จงคำนวณหาจำนวนการกวาด (scan) ต่อช่วงระยะ
- จงคำนวณและลงตารางสำหรับแต่ละช่วงของระยะ ซึ่งมีค่าเป็น  $F(r_j)$  และ  $F(m)$
- จงคำนวณหา  $P_0$  ซึ่งอยู่บนรากฐานของข่าวสารสำหรับระยะที่มากกว่า 50 ไมล์
- จงคำนวณหา  $P_0$  ซึ่งอยู่บนรากฐานของข่าวสารที่มีอยู่

8. จากข้อ 7.

ก. อะไรคือ ความน่าจะเป็นโดยการสังเกตที่การตรวจจับจะเกิดขึ้นก่อนที่เป้าจะฝ่าเข้ามาถึง 40 ไมล์ (โดยหาจาก ข้อมูลจากตารางเท่านั้น)?

ข. อะไรคือ ความน่าจะเป็นทางทฤษฎีที่การตรวจจับจะเกิดขึ้น ก่อนที่เป้าจะฝ่าเข้ามาถึง 40 ไมล์ (โดยการใช้ข้อมูลจากเทียวบิน, รูปแบบจำลองแบบ blip scan และ  $P_0$  ที่คำนวณได้จากข้อ 7)?

- จงคำนวณหา  $g(r_j)$

ง. อะไรคือค่าของ  $g_{r_j}$  ที่โตที่สุดในตัวอย่างนี้?

จ. ค่าคร่าว ๆ ที่  $\ln(1-g) = g$  ยืนยันหรือไม่ในตัวอย่างนี้?

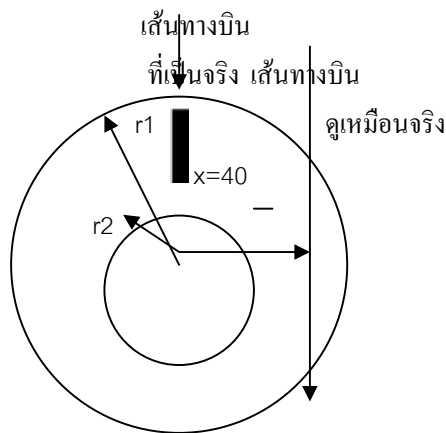
9. ในรูปแบบจำลองแบบ blip scan สมมติฐานของ double-blip ได้นำไปยังข้อความที่ว่า  $g_{r_j} = p_0 \cdot r_j$  จง

เขียนข้อความสำหรับ  $g_{r_j}$  ถ้า :

ก. ใช้สมมติฐาน triple-blip

ข. การตรวจจับเข้าได้มีความต้องการว่า blips เกิดขึ้น และเห็นได้โดยการกวาดสองครั้งใด ๆ ติดต่อกันและสองครั้งเท่านั้นในการกวาดห้าครั้งต่อเนื่องกัน

10. ในขณะที่เครื่องบินเครื่องหนึ่งบินตรงเข้าหาเรดาร์ได้เกิด blips ขึ้น 10 ครั้ง บนจอ ณ ตำแหน่งที่แสดงไว้ในรูป



ถ้า  $r_1 = 50$  ไมล์ และ  $r_2 = 20$  ไมล์ หากใช้ข้อมูลสมมติของ “direct method” จงหา

ก. จำนวนของ blips จริง ถ้าเครื่องบินนั้นผ่านด้วยระยะทางข้าง 40 ไมล์

ข. จำนวนของ blips จริง สำหรับเครื่องบินที่ผ่านด้วยระยะทางข้างศูนย์ไมล์

ค. ระยะทางข้างที่ให้ความน่าจะเป็นของการตรวจจับสูงสุด

11. โดยการใช้ “direct method” สำหรับการตีค่าเรดาร์ จงหา  $\bar{p}(x)$  สำหรับแต่ละเที่ยวตามที่แสดงไว้ในรูป และจงวาดภาพของเส้นโค้งระยะทางข้าง (จงใช้  $P_0 = .10$ )

1	N(1,0)	N(1,10)	N(1,30)	N(1,50)	N(1,70)	N(1,100)
เส้นทางบิน หมายเลข	สองเท่าของ จำนวน blips จริง	จำนวนของ blips ที่ดู เหมือนจริง ณ ระยะ 10 ไมล์ทะเล	ณ ระยะ 30 ไมล์ทะเล	ณ ระยะ 50 ไมล์ทะเล	ณ ระยะ 70 ไมล์ทะเล	ณ ระยะ 100 ไมล์ทะเล

1	12	12	7	4	2	0
2	14	13	8	5	2	1
3	14	13	8	5	3	2
4	15	13	9	6	3	1
5	11	10	7	3	2	0

12. ในฐานะ ผบ. หน่วยกำลังท่านมีเครื่องบินเครื่องหนึ่ง ซึ่งติดตั้งระบบเรดาร์ด้วยขีดความสามารถดังต่อไปนี้

$P_t = 1$  เมกะวัตต์,  $G = 1,000$ ,  $f = 80.8$  เมกะไซเคิล,  $P_0 = 10^{-10}$  วัตต์ ถ้าพื้นที่สะท้อนของเป้า ( $A_r$ ) เป็น 4

ตารางหลา จงคำนวณหา :

ก. ระยะไกลสุดของเรดาร์เป็นหลา โดยการใช้สมการเรดาร์

ข. ความสูงที่ต่ำสุดของตำแหน่งที่เครื่องบินเพื่อที่จะตรวจจับเป้าบินต่ำ “(low flyers)” และเป้าผิวน้ำ ณ ระยะสูงสุด

ค. ระยะของฉากป้องกันตนเองของระบบเรดาร์ (เป็นหลา) ถ้ามันถูกเจมโดยเจมเมอร์รอบทิศที่มีกำลัง 100 วัตต์

13. ข่าวดสารต่อไปนี้เราทราบเกี่ยวกับเรดาร์ค้นหาทางอากาศ ณ ที่ตั้ง SAM แห่งหนึ่ง

$$A_c = 200 \text{ ตารางฟุต}$$

$$f = 3 \times 10^8 \text{ ไซเคิล/วินาที}$$

$$P_a = 400 \text{ วัตต์}$$

$$f_p = 800 \text{ พัลส์/วินาที}$$

$$T = 1 \times 10^{-6} \text{ วินาที}$$

อะไรคือกำลังเจมที่ต่ำสุด  $P_j$  ที่จำเป็นเพื่อว่าเครื่องบิน ( $A_r = 8$  ตารางฟุต) ซึ่งเข้าโจมตีที่ตั้ง SAM นั้น จะไม่ถูกตรวจจับนอกระยะ 5 ไมล์ทะเล ?

14. โดยการใช้ตัวอย่างการจัดสรรระหว่างลูกระเบิดและอุปกรณ์ ECM ของบทนี้ โดยที่

$$l = 1, \quad c = 1, \quad c = .1 \quad \text{และ} \quad L_m = 2 \quad \text{ตัน}$$

ก. จงหาค่าของ B และ J ซึ่งจะทำให้โอกาสของการทำลายเป้าสูงสุด

ข. อะไรคือความน่าจะเป็นของการทำลายเป้า สำหรับค่าที่ดีที่สุดของ B และ J?

15. ในการออกแบบอาวุธปล่อยอากาศสู่อากาศชนิดหนึ่ง น้ำหนักรวมสูงสุดถูกจำกัดให้แค่ 1000 ปอนด์ และน้ำหนัก

ของส่วนขับเคลื่อนที่เป็น 360 ปอนด์ ถ้า

$G =$  น้ำหนักของส่วนนำวิถีและส่วนบังคับ

$W =$  น้ำหนักของส่วนหัวรบ

$$P(\text{hit}) = (G/640)^2 \quad \text{และ} \quad P(\text{kill hit}) = w / 640$$

ก. จะต้องให้ส่วนหัวรบบมีน้ำหนักเท่าใด และส่วนนำวิถี และควบคุมน้ำหนักเท่าใด ?

ข. อะไรคือ  $P(\text{kill})$  สูงสุดที่เป็นไปได้จากการใช้การจัดสรรน้ำหนักที่ดีที่สุดนี้ ?

16. จงแสดงว่าถ้า  $A_1=A_2=A$  ในตัวอย่างของการจัดสรรระหว่างลูกระเบิดและอุปกรณ์ ECM 0 with  $P(D)$  สูงสุดเมื่อ

$$\frac{J}{B} = \frac{\frac{L_m \ln c}{L_m \ln c} e^{-L_m c}}{0, \dots}$$

17. จงแสดงว่าค่าของ  $F(n)$  ในสมการ 5 - 12 เป็นค่าแบบอนุรักษนิยมของความน่าจะเป็นจริง ๆ ของการตรวจจับที่กำหนดให้ โดยสมการ 5 - 11 โดยการใช้ข้อเท็จจริงที่ว่าสำหรับ  $0 < g < 1$   $1 - g_n - g$

18. กำหนดให้

$D_n$  เป็นเหตุการณ์ที่การตรวจจับเกิดขึ้น ณ การกวาดครั้งที่  $n$

$A_n$  เป็นเหตุการณ์ที่บลิฟปรากฏขึ้น ณ การกวาดครั้งที่  $n$  และ

$B_n$  เป็นเหตุการณ์ที่พนักงานเห็นบลิฟ ณ การกวาดครั้งที่  $n$

โดยการใช้สมการ I-8 ในผนวก I\* จงแสดงว่าสมการ 5 - 13 ถูกต้องตามข้อสมมติที่กำหนดให้ โดยที่

$$D_n = A_{n-1} \cap B_{n-1} \cap A_n \cap B_n \text{ and } g_n = P(D_n) / \bar{D}_1 \bar{D}_2 \dots \bar{D}_{n-1}$$

จงสังเกตว่า intersection ของเหตุการณ์ทั้งหลาย ๆ เหตุการณ์  $\bar{D}_1 \bar{D}_2 \dots \bar{D}_n$  สามารถที่จะเขียนย่อๆ ได้โดยสัญลักษณ์  $\prod_{i=1}^n \bar{D}_i$

\* สมการ I-8

$$P(E_1 \cap E_2 \cap \dots \cap E_n)$$

$$= P(E_1) P(E_2 / E_1) P(E_3 / E_1 \cap E_2) \dots P(E_n / E_1 \cap E_2 \cap \dots \cap E_{n-1})$$

## บทที่ 6

### เส้นโค้งระยะทางข้างและความกว้างทางกวาด

(Lateral Range Curves and Sweep Width)

ในการถกแถลงเรื่องแบบจำลองการตรวจจับด้วยเรดาร์ในบทที่แล้ว คำว่า “ระยะทางข้าง (Lateral range curve)” ซึ่งเป็นการแสดงให้เห็นในทางกราฟของ probability ของการตรวจจับเป้าซึ่งผ่านเข้ามา ณ ระยะทางข้างใด ๆ จากเรดาร์ ก็ได้รับการกล่าวถึงเช่นเดียวกัน ในบทนี้ แนวความคิดทั้งสองนี้จะได้รับการแจงโดยละเอียดยิ่งขึ้น เพราะความสำคัญของมันต่อสถานการณ์ทั้งปวง ซึ่งเครื่องมือการตรวจจับจะใช้เพื่อการค้นหาเป้า ตัวพารามิเตอร์ที่เรียกว่า “ความกว้างทางกวาด (sweep width)” ซึ่งเป็นคำสำคัญอีกคำหนึ่งในการตรวจจับเป้า ก็จะได้แนะนำให้รู้จักเพื่อจะได้เป็นมาตรฐานวัดประสิทธิภาพ ในทางปริมาณที่จำเป็นสำหรับเครื่องมือการตรวจจับ

#### ๖๐๑. ระยะทางข้าง

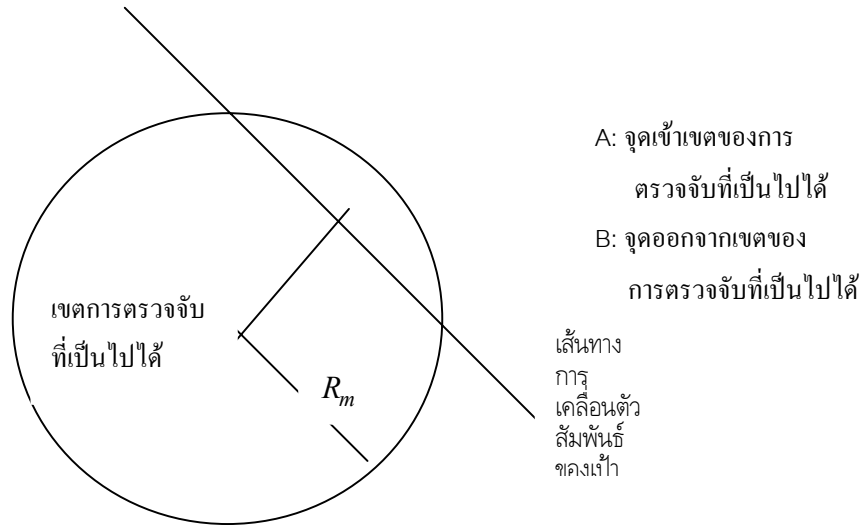
ในการตรวจค้นหาเป้าด้วยเครื่องมือใด ๆ ส่วนมากจะเป็นกรณีที่ไมเป้าก็ผู้ตรวจจับหรือทั้งสองอย่างจะเคลื่อนที่ การตรวจจับจะเป็นไปได้เพราะว่าการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ระหว่างเป้าและผู้ตรวจจับจะถูกนำมาให้อยู่ใกล้ ๆ กันพอเพียงเพื่อให้เป้านั้นผ่านเข้ามาในเขต (zone) หรือตลอดเขตการตรวจจับที่เป็นไปได้

การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของเป้าปกติจะไม่ค่อยนำเข้าสู่ผู้ตรวจจับโดยตรง โดยทั่ว ๆ ไปเป้าจะเคลื่อนที่ไปตามเส้นการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ตลอดเขตของการตรวจจับที่เป็นไปได้ของผู้ตรวจจับ ระยะทางไปยังเป้า ณ จุดผ่านที่สั้นที่สุด (closest point of approach – CPA) นับจากผู้ตรวจจับ ได้การนิยามว่า “ระยะทางข้าง” ระยะนี้ใช้เพื่อให้คำนิยามของตำแหน่งของเส้น โดยเฉพาะบางเส้นของการเคลื่อนที่สัมพัทธ์ของเป้า โดยนับจากเครื่องมือการตรวจจับที่ใช้ในการตรวจค้นหาเป้านั้น ระยะทางข้างเป็นตัวพารามิเตอร์ทางกายภาพซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปจะให้เครื่องหมาย  $x$

ส่วนหรือเขตของการตรวจจับที่เป็นไปได้ จะอยู่ภายในวงกลมรอบเครื่องมือการตรวจจับที่มีรัศมีเท่ากับระยะการตรวจจับที่เป็นไปได้ที่มากที่สุด “ $R_m$ ” การแสดงโดยทางภูมิศาสตร์ของตำแหน่งในทางเคลื่อนที่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 6-1



รูปที่ 6-1

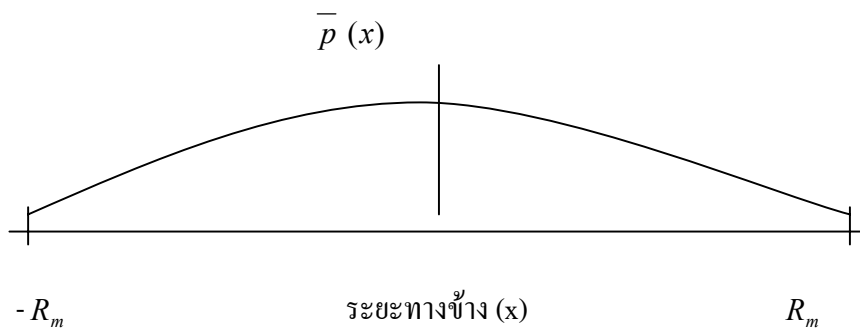


๖๐๒. เส้นโค้งระยะทางข้าง

เราจะทำนายโอกาสของการตรวจจับเป้าที่เข้ามาและผ่านเขตการตรวจจับ (ของเซนเซอร์) ที่เป็นเส้นตรงได้อย่างไร กล่าวอีกในหนึ่ง อะไรคือ probability ของการตรวจจับเป้าที่ผ่านระยะทางข้าง  $x$

สมมติว่าเป้าเป้าหนึ่งเคลื่อนที่ไปตามเส้นซึ่งจะผ่าน ณ ระยะทางข้างบางระยะภายในเขตของการตรวจจับของเครื่องมือตรวจจับ สำหรับสถานะแวดล้อมที่คงที่ชุดหนึ่งโอกาสสะสม (cumulative chance) ของการตรวจจับเป้าได้จะเพิ่มขึ้นตั้งแต่เวลาที่เป้านั้นเข้ามาในเขตของการตรวจจับ ณ จุด A ในรูปที่ 6-1 จนกระทั่งไปถึงจุดจากเขตนี้ไปที่จุด B ถึงตอนนั้น โอกาสทั้งหมด (probability) ของการตรวจจับเป้าได้ผ่านไปแล้ว โอกาสสะสมนี้แทนโดยเครื่องหมาย  $\bar{p}(x)$  การแสดงโดยกราฟของ  $\bar{p}(x)$  สำหรับคุณค่าของ  $x$  จะรู้จักในนามของ “เส้นโค้งระยะทางข้าง” เส้นโค้งระยะทางข้างแบบหลัก แบบหนึ่ง ได้แสดงไว้ในรูปต่อไปนี้

รูปที่ 6-2



จุดสำคัญจุดหนึ่งที่จะต้องระลึกไว้เสมอในเมื่อเส้นโค้งสะสมทางข้างเฉพาะเส้นหนึ่งได้รับการถกแถลง คือเส้นโค้งนั้นแทน probability สะสมแห่งการตรวจจับสำหรับ “เป้าเฉพาะ” เป้าหนึ่งภายใต้ “สภาวะแวดล้อมเฉพาะชุดหนึ่ง” “ด้วยเครื่องมือการตรวจจับเฉพาะเครื่องหนึ่ง” การเปลี่ยนแปลงใด ๆ ของเงื่อนไขเหล่านี้ จะทำให้ได้ผลของเส้นโค้งระยะทางข้างที่แตกต่างกันไป จุดสำคัญก็คือว่าเครื่องมือการตรวจจับเครื่องหนึ่งจะมีชุดของเส้นโค้งระยะทางข้างชุดหนึ่ง เส้นโค้งแต่ละเส้นจะแทนส่วนผสมของแบบของเป้าและขนาดของเป้าภายใต้เงื่อนไขแวดล้อมต่าง ๆ กันได้เสมอมา (dilemma) ของการพัฒนาและรักษาไว้ซึ่งจำนวนนับไม่ถ้วนของเส้นโค้งระยะทางข้าง สำหรับแต่ละชนิดของเครื่องมือซึ่งมีมากมายหลายชนิดภายในกองเรือ (รวมทั้งลูกตาของการตรวจค้นด้วยสายตา) จัดได้โดยการรวบรวมเป้าเข้าไว้เป็นแบบหลัก ๆ (อย่างเช่น เล็ก กว้าง ใหญ่) และเงื่อนไขสภาวะแวดล้อมรวมกลุ่มเข้าเป็นพวกผลัด ๆ (อย่างเช่น ทะเลเรียบ ทะเลปานกลาง และทะเลมีคลื่นจัด) ด้วยเส้นโค้งระยะทางข้างหนึ่งเส้นเพื่อแทนเงื่อนไขเฉลี่ยที่มีอยู่ภายในแต่ละพวก

คงจะได้เห็นในหัวข้อต่อไปนี้เป็นไปได้ที่จะทำให้ปัญหาการรวบรวมเส้นโค้งระยะทางข้างเหล่านี้เข้าด้วยกัน ให้ง่ายยิ่งขึ้นโดยการเลือก (อย่างระมัดระวัง) เส้นโค้งเส้นหนึ่งแทนเส้นโค้งทั้งหลาย ดังนั้นก็จะเป็นการไม่จำเป็นที่จะต้อง มีตารางเส้นโค้งทั้งหมด

เส้นโค้งระยะทางข้างโดยทั่ว ๆ ไป จะเป็นเส้นโค้งที่สมภาพ (symmetric) กัน โดยนับจากเครื่องมือการตรวจจับ จากระยะสูงสุดทางด้านหนึ่งไปยังระยะสูงสุดอีกทางด้านหนึ่งอย่างในรูปที่ 6-2 บางคนอาจคิดถึง sensor platform อย่างกับว่ามันเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ซึ่งมีเป้าที่เป็นไปได้ ในลักษณะนี้ platform จะ “กวาด” ตลอดพื้นที่นั้น แนวความคิดนี้อาจประยุกต์ได้ถึงแม้ว่า platform จะอยู่กับที่โดยที่เป้าเคลื่อนที่ผ่าน หรือเมื่อทั้งเป้าและ platform เคลื่อนที่ซึ่งเป็นส่วนมาก ในกรณีของการปฏิบัติการทางเรือ

#### ๖๐๓. การตรวจจับเป้าที่กระจายโดยยถากรรม

จงพิจารณากรณีที่การตรวจค้นเป้าซึ่งสมมติว่า เป้ามีตำแหน่งกระจายอยู่ตามยถากรรมในพื้นที่ซึ่งเครื่องมือการตรวจจับกวาดผ่าน การสมมตินี้ใช้ได้ ในกรณีทั่ว ๆ ไป เพราะว่าค่าบลที่ของเป้าตามปกติเราจะไม่ทราบและการเคลื่อนที่ของเป้านั้นอย่างดีที่สุดก็ได้จากการประมาณเอา จงพิจารณาว่าเป้านี้มีโอกาสบางโอกาสที่จะได้รับการตรวจจับ กล่าวคือ ระยะทางข้างของมัน มีค่าอยู่ระหว่าง  $R_m$  และ  $+R_m$  เป้านี้ก็มีลักษณะคล้าย ๆ กับว่ามันจะเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางสัมพัทธ์ผ่านเขตการตรวจจับที่ระยะทางข้างระยะหนึ่ง เช่นเดียวกันกับที่มันจะผ่านระยะทางข้างอื่น ๆ เช่นเดียวกัน ในทางคณิตศาสตร์แล้วหมายความว่า ถ้า random variable  $x$  ได้รับการนิยามในฐานะระยะทางข้างต่อไป นี้ ดังนั้น  $x$  จะเป็น uniform probability distribution ในย่านของค่า  $R_m$  และ  $+R_m$  จึงได้ว่า (จากทฤษฎีของ Probability เบื้องต้น) probability density function ของ  $x$  คือ

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{2R_m} & R_m < x < R_m \\ 0 & \text{ณ ที่อื่น ๆ} \end{cases}$$

ถึงตอนนี้จะจำได้ว่าฟังก์ชัน  $\bar{p}(x)$  จะให้ค่า Probability สะสมของการตรวจจับเป่าซึ่งเดินทางผ่านกระจายทางข้างเฉพาะบางส่วนเป็น x probability ของการตรวจจับเป่าซึ่งเราไม่ทราบค่าระยะทางข้าง กล่าวคือ (ตามทฤษฎี) จะเป็น expected value ของ  $\bar{p}(x)$  โดยที่ x จะมีค่าระยะทางข้างใด ๆ ก็ได้ หรือ

$$E \bar{p}(x) = \int \bar{p}(x) \cdot (x) dx$$

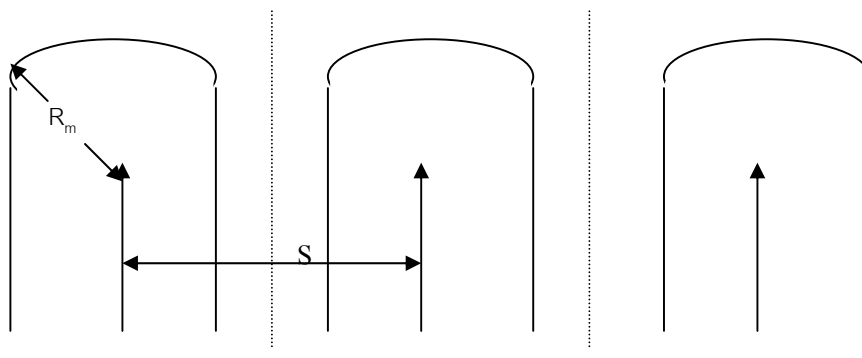
ทุก ๆ x

ในกรณีนี้เพราะว่า x กระจายกันอยู่เท่า ๆ กัน ระหว่าง  $-R_m$  และ  $+R_m$  ดังนั้น expected value จะเป็น

สมการ 6-1 
$$E \bar{p}(x) = \frac{1}{2R_m} \int_{-R_m}^{R_m} \bar{p}(x) dx$$

โปรดสังเกตว่า  $1/2 R_m$  เป็นค่าคงที่ ดังนั้นมันจะให้ค่าเฉลี่ยหรือค่าการตรวจจับเป่าที่คาดหวังซึ่งเคลื่อนผ่านเขตของการตรวจจับที่เป็นไปได้ตามทฤษฎี กรณีที่เป็นโดยทั่ว ๆ ไป กว่าที่ได้แสดงไว้ในรูปต่อไปนี้

รูปที่ 6-3



ในที่นี้ผู้ตรวจค้นจำนวนหนึ่งกำลังดำเนินการค้นหาด้วยระยะทางห่างกันระหว่างลำระยะหนึ่งซึ่งเรียกว่า “track spacing” ซึ่งแทนโดยเครื่องหมาย  $s$  เพื่อมิให้มียานการตรวจจับที่ทับกัน (overlap) กล่าวคือ  $s > 2 R_m$  ถ้าเป้ากระจายอยู่ตามยถากรรมในพื้นที่ที่กำลังตรวจค้น อะไรคือ probability ของการตรวจจับเป้าที่กำหนดให้เป้าหนึ่งในขณะที่มันผ่านเส้นของผู้ตรวจค้น ในกรณีนี้กำหนดให้  $x$  เป็นระยะทางข้างของเป้าจากผู้ตรวจค้นที่ใกล้ที่สุด ดังนั้น ค่าของ  $x$  จะกระจายอยู่เป็นระเบียบระหว่าง  $-s/2$  และ  $+s/2$  และ  $f(x)$  จะมีค่า  $1/s$  ดังนั้นค่า expected probability ของการตรวจจับโดยผู้ตรวจค้นลำหนึ่งก็จะเป็น

$$E \bar{P}(x) = \int_{-s/2}^{s/2} \bar{P}(x) \cdot \frac{1}{s} dx$$

ทุก ๆ  $x$

ซึ่งกลายเป็น

$$\text{สมการ 6-2} \quad E \bar{p}(x) = \frac{1}{s} \int_{-R_m}^{R_m} \bar{p}(x) dx$$

เพราะเหตุว่าสำหรับทุก ๆ ค่าของ  $x$  ซึ่งอยู่นอกเขตนี้จะทำให้  $\bar{P}(x) = 0$

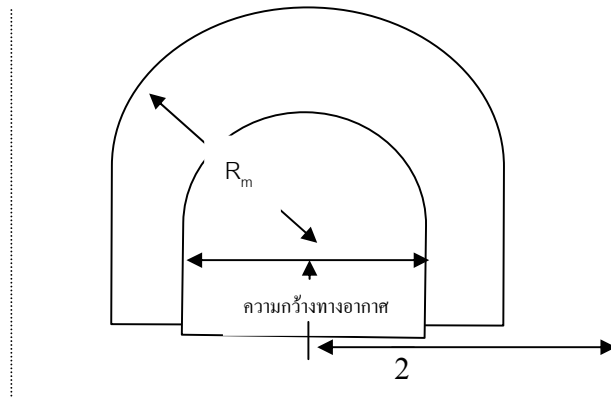
#### ๖๐๔. ความกว้างทางกวาด

บางทีมีความต้องการที่จะต้องจำแนกคุณลักษณะของเครื่องมือการตรวจจับแต่ละเครื่อง (เรดาร์ โซนาร์ สายตา ฯลฯ) ด้วยปริมาณบางจำนวนซึ่งมีความหมายทางกายภาพ หนึ่งในปริมาณเช่นนี้อาจเป็นระยะการตรวจจับที่ได้ผล อีกปริมาณหนึ่งอาจเป็นระยะสำหรับการตรวจจับที่มี probability เป็นร้อยละ 50 ยิ่งไปกว่านั้นอีกอย่างหนึ่งอาจเป็นระยะซึ่งนอกระยะนี้เป้าอาจถูกตรวจจับได้เท่ากับจำนวนเป้าที่ตรวจจับไม่ได้ ณ ระยะที่น้อยกว่า ปริมาณนั้น ๆ อาจเป็นประโยชน์ ยกตัวอย่างในการตัดสินใจว่าเรือตรวจจับ จะต้องออกไปไกลเท่าใด และยังคงดำเนินการตรวจค้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไม่ว่าหน่วยปริมาณใดจะใช้ มันควรจะได้รับนิยามอย่างเที่ยงตรงและเข้าใจโดยผู้ใช้

แนวความคิดหนึ่งที่ใช้อย่างแพร่หลายในการวัดขีดความสามารถของเครื่องเซนเซอร์ในทอมนของระยะทาง ก็คือ “ความกว้างทางกวาด” แนวความคิดนี้สมมติว่าเครื่องมือการตรวจจับจะค้นหาเป้าตลอดพื้นที่โดยเครื่องมือนี้จะกวาดเป็นทางออกไปด้วยความกว้างขนาดหนึ่ง โดยการใช้ตำแหน่งที่สมมติในข้อ 603 ปัญหาก็คือ

เพื่อที่จะตรวจจับเป้าซึ่งผ่าน เข้ามาภายในระยะ  $s/2$  ทั้งสองข้างของเซนเซอร์ ในรูปต่อไปจะแสดงให้เห็นถึง ทางกวาดของเรือกวาดเพียงลำเดียว โดยเหตุที่สถานการณ์เป็นอย่างเดียวกันสำหรับเรือลำอื่น ๆ

รูปที่ 6-4



ถ้าเป็นทุกเป้าซึ่งอยู่ภายในความกว้างทางกวาดถูกตรวจจับได้ และไม่มีเป้าใดที่อยู่ภายนอกถูก ตรวจจับแล้ว probability ของการตรวจจับเฉลี่ยของเป้าเป้าหนึ่งก็จะเป็นส่วนหนึ่งของจำนวนเป้าทั้งหมดที่อยู่ ภายในความกว้างทางกวาดนั้น ซึ่งในกรณีนี้ก็คือ

$$\bar{P}(\text{det}) = \frac{\text{ความกว้างทางกวาด}}{S}$$

แต่อย่างไรก็ตาม จากสมการที่ 6-2 จะเห็นได้ว่า probability ของการตรวจจับเฉลี่ยนี้คือ

$$E \bar{P}(x) = \frac{\int_{R_m} \bar{P}(x) dx}{S}$$

โปรดสังเกตในตัวอย่างนี้ว่าถ้าเพียงแต่ “พื้นที่ภายใต้เส้นโค้งระยะทางข้าง” เราทราบได้ probability ของการตรวจจับก็สามารถคำนวณหาได้โดยปราศจากการอ้างถึงเส้นโค้งระยะทางข้างเอง การตรวจค้นหาเป้าซึ่ง สามารถพิจารณาได้ว่ามีค่าพลที่ตามขบวนการนั้นเป็นสถานการณ์ทางยุทธการที่ปกติ และเป็นคณิตศาสตร์ทาง โขก โดยเหตุที่มันอนุญาตให้เราทำงานด้วยจำนวน (หรือปริมาณ) เพียงจำนวนเดียว คือ “พื้นที่” ภายใต้เส้นโค้ง ระยะทางข้างจำนวนนี้ซึ่งมีเครื่องหมายเป็น  $w$  ก็คือ

$$\text{สมการ 6-3} \quad W = \int_{R_m} \bar{P}(x) dx$$

ในการวัดประสิทธิผลของเครื่องมือการตรวจจับ probability ของการตรวจจับเป็นตัวพิจารณาที่สำคัญ จากสมการ 6-2 จะเห็นได้ว่าการตรวจค้นที่ไม่ทับกัน probability ของการตรวจจับจะเป็นปฏิภาคโดยตรงกับพื้นที่ “w” ภายใต้วงเส้นโค้งระยะทางข้าง \* ดังนั้นพื้นที่ “w” ก็เป็นการวัดที่ดีสำหรับวัดขีดความสามารถในการตรวจจับเช่นเดียวกันกับ probability ของการตรวจจับเอง ดังนั้นเพื่อให้มีความต้องการ ความกว้างทางกวาดจะต้องได้รับการนิยาม เป็นจำนวนเท่ากับพื้นที่ w ภายใต้วงเส้นโค้งระยะทางข้าง ดังนั้น เครื่องหมาย “w” ก็เป็นตัวแทนทางกายภาพของ “ความกว้างประสิทธิผล” ของเขตการตรวจจับของเซนเซอร์นั้น ค่าของมันได้มาโดยการคำนวณ “พื้นที่ภายใต้วงเส้นโค้งระยะทางข้าง” ดังนั้น probability เฉลี่ยของการตรวจจับ เป้าซึ่งกระจายอยู่ตามยถากรรมด้วยเซนเซอร์ที่มีเขตการตรวจจับ “ไม่” ทับกัน ก็จะเป็น

$$\text{สมการ 6-4} \quad \bar{p}(\text{การตรวจจับ}) = \frac{W}{S}$$

ในทางปฏิบัติจริง ค่าของความกว้างทางกวาด w ตามปกติจะคำนวณหามาและลงตารางไว้สำหรับ เครื่องมือการตรวจจับนานาชนิดต่อเป้านานาชนิดภายใต้เงื่อนไขสภาวะแวดล้อม (เฉลี่ย) นานาประการ จนกระทั่งถึงตอนนี้นั้นควรที่จะสังเกตว่าเป็นเพียงการตรวจค้นที่ไม่มีการทับกันเท่านั้นที่ได้ถูกแสดงกันมา สถานการณ์ซึ่งผู้ตรวจจับอยู่ในระยะใกล้ชิดกว่ายิ่งขึ้นระหว่างลำต่อลำนั้นจะได้รับการถกแถลงในบทที่ 7

\* โดยเนื้อหา สิ่งนี้ก็นิยามเส้นโค้งระยะทางข้างเท่า ซึ่งมีฐานของความกว้างเป็น w และความสูง เป็น  $\bar{P}(x)$  1

ปัญหา

1. เป้าเป่าหนึ่งอยู่ในเบร้ง 000 ระยะ 20 ไมล์ทะเล จากเครื่องตรวจจับเข็มและความเร็วเป้าเป็น 090 และ 10 นอต ถ้าเรือตรวจจับมีเข็มและความเร็วเป็น 000 และ 10 นอต :

- ก. อะไรคือความเร็วสัมพันธ์ของเป้า ?  
 ข. อะไรคือทิศทางสัมพันธ์ของเรือเป้า ?  
 ค. จะถึงจุด CPA เมื่อใด ?

2. เส้นโค้งระยะทางข้าง  $\bar{P}(x)$  สำหรับเรดาร์ชนิดหนึ่งมีค่าดังต่อไปนี้

$$\bar{P}(x) = .9 \left( 1 - \frac{x}{50} \right)^2 \quad 50 \leq x \leq 50.$$

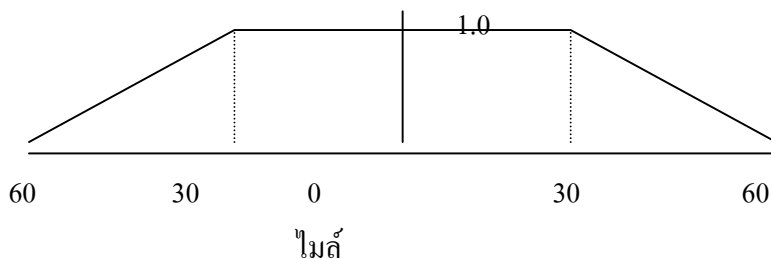
- ก. ถ้าเป้าผ่านเรดาร์ด้วยระยะทางข้างด้วยการแจกแจงยูนิฟอร์มระหว่าง -50 และ 50 อะไรคือความน่าจะเป็นของการตรวจจับเป้าที่กำหนดให้ได้ ?  
 ข. ถ้าเป้าผ่านเรดาร์ด้วยระยะทางข้างด้วยการแจกแจงยูนิฟอร์มระหว่าง -100 และ 100 อะไรคือความน่าจะเป็นของการตรวจจับเป้าที่กำหนดให้ได้ ?  
 ค. ถ้าเป้าผ่านเรดาร์ด้วยระยะทางข้างด้วยการแจกแจงยูนิฟอร์มระหว่าง -25 และ 25 อะไรคือความน่าจะเป็นของการตรวจจับเป้าที่กำหนดให้ได้ ?  
 ง. อะไรคือความกว้างทางกวาดของเรดาร์นี้ ?

3. ถ้าในโจทย์ข้อ 2 เส้นโค้งระยะทางข้างเป็น

$$\bar{P}(x) = \begin{cases} .8 \left( 1 - \frac{x}{75} \right), & 0 \leq x \leq 75 \\ .8 \left( 1 - \frac{x}{75} \right), & 75 \leq x \leq 0 \end{cases}$$

อะไรคือคำตอบที่ควรแตกต่างออกไป ? (ข้อสังเกต : ถ้าวาดภาพเส้นโค้งนี้แล้วไม่จำเป็นต้องหาอินทิเกรต)

4. เส้นโค้งระยะทางข้างของเรดาร์เฉพาะตัวหนึ่งสามารถแทนได้รูปต่อไปนี้

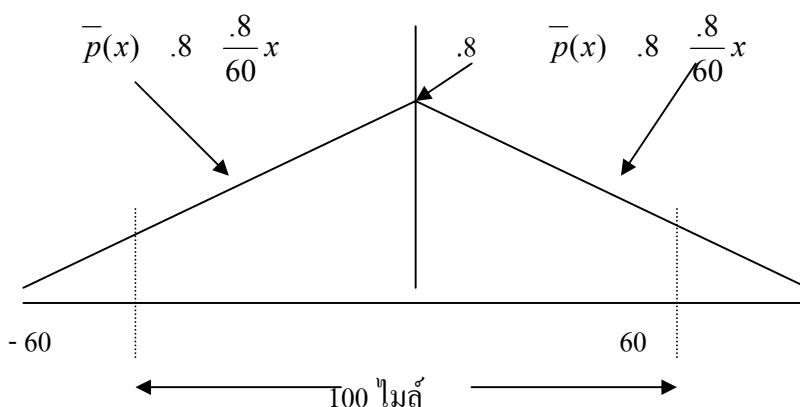


- ก. อะไรคือระยะไกลสุด  $R_m$  ของเรดาร์นี้ ?
- ข. อะไรคือความน่าจะเป็นที่เรดาร์จะตรวจจับเป้าซึ่งจะผ่าน ณ ระยะข้าง 45 ไมล์ ?
- ค. อะไรคือความกว้างทางกวาดของเรดาร์นี้ ?
- ง. อะไรคือความน่าจะเป็นของการตรวจจับเป้าซึ่งจะผ่านตามยุทธการภายในระยะ 60 ไมล์ จากเรดาร์

?

- จ. อะไรคือความน่าจะเป็นของการตรวจจับเป้า ซึ่งจะผ่านตามยุทธการระหว่าง 30 และ 60 ไมล์ จากเรดาร์ ?
- ฉ. อะไรคือความน่าจะเป็นของการตรวจจับเป้าซึ่งจะผ่านตามยุทธการภายในระยะ 45 ไมล์ จากเรดาร์ ?

5. เรดาร์ตัวหนึ่งตั้งอยู่ที่ศูนย์กลางของช่องทางซึ่งกว้าง 100 ไมล์ มีเส้นโค้งระยะทางข้างดังต่อไปนี้

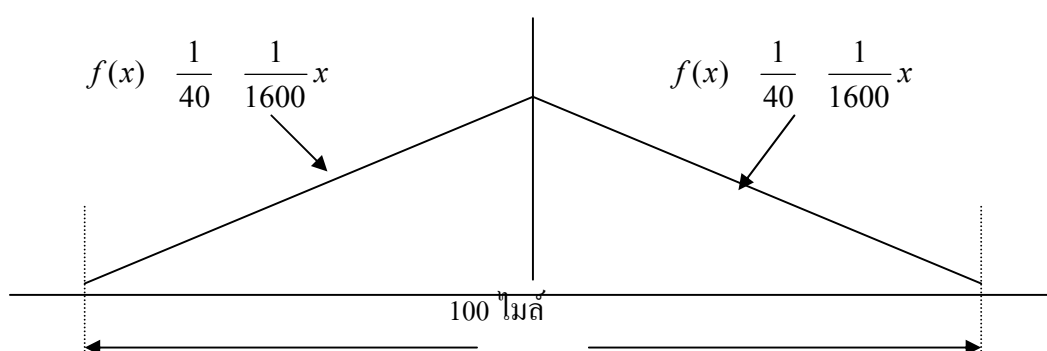


- ก. อะไรคือความน่าจะเป็นของการตรวจจับเป้า ซึ่งสองได้ช่องทางนี้ ณ ระยะ 10 ไมล์ จากฝั่ง ?
- ข. อะไรคือความน่าจะเป็นของการตรวจจับเป้าซึ่งจะเคลื่อนตัวผ่านในช่องทางนี้ ณ จุดหนึ่ง จุดใด โดยมีความเป็นไปได้เท่า ๆ กัน ?



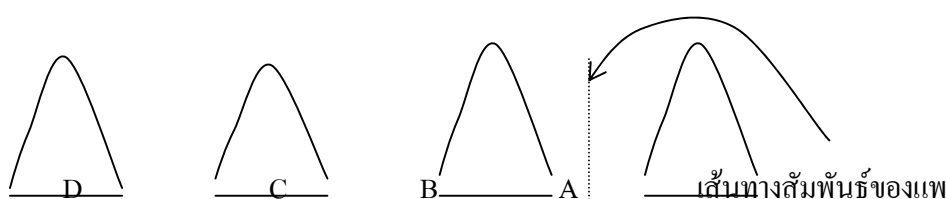
ค. ถ้าเป่ามีความน่าจะเป็นสูงกว่า ที่จะเคลื่อนตัวผ่านใกล้ศูนย์กลางของช่องทางมากกว่าใกล้ฝั่ง ท่านจะคาดว่าความน่าจะเป็นของการตรวจจับเป่าได้ ควรจะสูงกว่า ต่ำกว่า หรือเท่ากับข้อ ข. ?

6. สมมติว่าเป่ามีโอกาสมากกว่าที่จะเคลื่อนตัวผ่านใกล้ศูนย์กลางของช่องทางมากกว่าใกล้ ฝั่ง ตามที่ได้ แสดงไว้ในฟังก์ชัน ความหนาแน่นน่าจะเป็นต่อไปนี้



โดยการใช้เส้นโค้งระยะทางข้างจากโจทย์ข้อ 5 อะไรคือความน่าจะเป็นที่คาดหวังของการตรวจจับเป่าเช่นนั้นได้?

7. หมวกเรือพิฆาตหมวกหนึ่งใช้การตรวจด้วยสายตาในกระบวนหน้ากระดาน เพื่อตรวจค้นหาเป็นเสื้อชูชีพตัวหนึ่ง เข็มที่ใช้คือ 000 เสื้อชูชีพผ่านระหว่างเรือทางทิศตะวันออกสองลำพอดี ตามที่แสดงไว้ในรูป



จากเส้นโค้งระยะทางข้างสำหรับการตรวจจับเป่านี้ด้วยสายตา ภายใต้เงื่อนไขที่มีอยู่นั้นได้ตกลงใจว่า เรือพิฆาต A และ B แต่ละลำมีความน่าจะเป็นของการตรวจจับเป็น 0.6 ของเรือ C เป็น 0.1 และของ D เป็นศูนย์ ความน่าจะเป็นของการตรวจจับของเรือแต่ละลำไม่ขึ้นแก่กัน

ก. อะไรคือความน่าจะเป็นที่แพชูชีพไม่ได้ถูกตรวจจับ?

ข. จงคำนวณความน่าจะเป็นของการตรวจจับแพนี้โดยหมวกเรือพิฆาต

ค. อะไรคือความน่าจะเป็นที่เรือพิฆาต A, B และ C ตรวจจับแพชูชีพได้?

ง. อะไรคือความน่าจะเป็นที่ทั้งเรือพิฆาต A และ B แต่ไม่ใช่เรือลำอื่นตรวจจับแพะซีฟได้?

8. ความกว้างทางกวาด  $w$  สามารถให้คำจำกัดความได้ว่าเป็นระยะที่เป้าต่าง ๆ จะไม่ถูกตรวจจับได้ ณ ระยะทางข้างน้อยกว่า  $w/2$  และจะถูกตรวจจับได้ ณ ระยะทางข้างที่มากกว่า  $w/2$  หากมีเป้า 100 เป้า ผ่านเครื่องตรวจจับ ณ ระยะทางข้าง เป็นแบบการแจกแจงยูนิฟอรั่ม ระหว่าง  $R_m$  และ  $R_m$

ก. จงคำนวณจำนวนเป้าที่ไม่ถูกตรวจจับได้ซึ่งผ่าน ณ ระยะทางข้างระหว่าง  $r_0$  และ  $r_0$  โดยที่  $r_0$  คือระยะระหว่างศูนย์และ  $R_m$

ข. จงคำนวณจำนวนเป้าที่ถูกตรวจจับได้ซึ่งผ่านระยะทางข้างระหว่าง  $R_m$  และ  $r_0$  หรือ ระหว่าง  $r_0$  และ  $R_m$

ค. ถ้าคำตอบจากข้อ ก. และ ข. เท่ากัน จงแสดงว่า

$$r_0 = W/2 = \frac{1}{2} \int_{R_m}^{R_m} \bar{P}(x) dx$$

ง. จงแสดงว่าคำจำกัดความของ  $w$  ซึ่งได้ให้ไว้ในโจทย์ข้อนี้ค่าเท่ากับค่าที่ได้ให้ไว้ใน

ตำรา

## บทที่ 7

### การค้นหาและการลาดตระเวน

(Search and Patrol)

ตั้งแต่สงครามโลกครั้งที่สองที่ขีดความสามารถในการรบของหน่วยกำลังทางเรือสมัยใหม่ได้เพิ่มขึ้นอย่างมากมายเรือดำน้ำนิวเคลียร์สามารถเดินทางใต้น้ำได้เร็วกว่าเรือดำน้ำแบบสมัยเก่ามากสามารถดำได้ลึกกว่า และอยู่ในทะเลได้นานกว่าเรือรุ่นก่อน ๆ อาวุธปล่อยเพิ่มอำนาจการยิงขึ้นทุก ๆ หน่วยที่มีอาวุธปล่อยเครื่องบินเจ็ทเป็นภัยคุกคามที่น่ากลัวยิ่งกว่าเครื่องบินแบบเก่าเป็นอย่างมาก เนื่องจากความเร็วสูงของมันซึ่งต้องการเวลาในการปฏิบัติการตอบโต้ที่รวดเร็วยิ่งขึ้น

การลาดตระเวนในรูปแบบของการค้นหาและตรวจจับต้องปรับปรุงให้ดีขึ้น เพื่อให้ทันกับการพัฒนาทางเทคนิคและทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในฐานะเป็นหูตาทางอิเล็กทรอนิกส์และทางเสียง (sonic) ของกองเรือ ในทางยุทธวิธีกล่าวคือการตัดสินใจในช่วงระยะสั้น ๆ เพื่อต่อต้านภัยคุกคามขึ้นอยู่กับขีดความสามารถของกองเรือในอันที่จะกำหนดตำบลที่หน่วยกำลังเข้าศึกให้ได้ก่อนที่จะเคลื่อนตัวเข้ามาถึงตำแหน่งโจมตีกองเรือฝ่ายเรา

การค้นหาและการตรวจจับหน่วยกำลังเข้าศึกก่อนที่จะทำอันตรายอย่างหนักด้วยการจู่โจมต่อกำลังฝ่ายเรา ในขณะนี้ ก็ยังคงมีความสำคัญอย่างที่เคยเป็นมาเสมอในประวัติศาสตร์ทางสงครามทางเรือ ความแตกต่างระหว่างสิ่งที่เกิดขึ้นในสงครามในอดีตกับสิ่งที่อาจเกิดขึ้น โดยการใช้ระบบอาวุธสมัยใหม่ก็คือ ความเสียหายที่เกิดจากอาวุธปล่อยหัวรบนิวเคลียร์ระยะใกล้หรือระยะไกลจะเปรียบเทียบกันไม่ได้ กับความเสียหายที่เกิดขึ้นจากผลของการรบทางเรือในอดีต

เป้าประสงค์ที่เห็นได้ง่าย ๆ ของการค้นหาและการตรวจจับก็คือการป้องปรามหน่วยกำลังเข้าศึกมิให้มีภัยคุกคาม หรือเพื่อขจัดภัยคุกคามที่เป็นไปได้ การที่มีภัยคุกคามในพื้นที่เฉพาะอาจทราบหรือไม่ทราบได้ และผลที่ตามมาก็คือการตรวจค้นทุกวิถีทางจะต้องได้รับการประเมินค่าด้วยจุดประสงค์นี้ในจิตใจเสมอ ในขณะที่ความไม่แน่นอนของภัยคุกคามว่าจะมีหรือไม่อาจเดาได้ ความไม่แน่นอนของการตรวจจับในเทอมของ probability แห่งความสำเร็จไม่ควรจะมองข้ามไปเสีย

ความสำเร็จของการค้นหาขึ้นอยู่กับหรือกระทบกระเทือน โดยปัจจัยหนึ่งหรือหลายประการดังต่อไปนี้

- ก. ธรรมชาติของเป้า
- ข. เงื่อนไขสภาวะแวดล้อม
- ค. ความพร้อมใช้ของอุปกรณ์ “เซนเซอร์”
- ง. “ยุทธวิธี” ที่ใช้

“เป่า” อาจเป็นแบบใดแบบหนึ่งของหน่วยกำลังทางเรือซึ่งก่อให้เกิดภัยคุกคามทางใดทางหนึ่งได้ เรือดำน้ำ ทู่นระเบิดอติพิล เรือผิวน้ำ หรือเครื่องบิน เป็นแบบธรรมดาของภัยคุกคามที่เป็นไปได้ ในยามสงบการ ค้นหาไปหาการตรวจจับ ในยามสงครามภัยคุกคามจะต้องตรวจจับให้ได้และตัดรอนกำลังลงโดยปฏิบัติการ ป้องปรามหรือการทำลาย

เงื่อนไขทางสภาวะแวดล้อมซึ่งจะต้องพิจารณาอย่างระมัดระวังในรูปแบบของการปฏิบัติการทาง เรือจะปรากฏผลไม่เพียงแต่เงื่อนไขทางสภาวะท้องทะเล – สถานะทางทะเล เงื่อนไขของน้ำในรูปของความกด อุกุมภูมิ ความเค็ม ฯลฯ ท้องทะเลเรียบหรือเป็นหินโสโครก แต่รวมทั้งสภาวะอากาศ (climate) การส่องสว่างใน น้ำและเหนือผิวน้ำ เมฆ และอื่น ๆ อีกหลายอย่างด้วย

รูปต่าง ๆ และคุณลักษณะในการทำงานของอุปกรณ์เซนเซอร์ที่มีจะมีบทบาทสำคัญในการค้นหา และตรวจจับ ยิ่งอุปกรณ์ที่มีกำบังสูงและไวก็จะทำให้ probability ที่จะบรรลุภารกิจยิ่งสูงขึ้น ความเชื่อถือได้และ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ยิ่งสูง ความคาดหวังในอันที่จะลดความไม่แน่นอนของผลที่จะออกมายิ่งสูงขึ้น

หนทางเลือกอื่นๆ ในการปฏิบัติการบางอย่างอาจรวมถึงการจัดการระบบใหม่หรือระบบที่แตกต่าง ออกไปกำลังพลที่มากขึ้นและจำนวนเรือที่เพิ่มขึ้น ฯลฯ ในกรณีอื่น ๆ หนทางเลือกต่าง ๆ อาจถูกจำกัดลงเหลือ เพียงแค่ยุทธวิธีและการจัดกระบวนเรือในการค้นหาที่เป็นไปได้ โดยการใช้จ่ายกำลังเท่าที่มีอยู่ในขณะนี้

บทนี้จะอุทิศให้ไปกับการถกแถลงถึงยุทธวิธีต่าง ๆ ในการค้นหาเป่า การเน้นจะกระทำต่อการ วิเคราะห์รูปแบบต่าง ๆ ของการค้นหาเพื่อที่จะให้ได้มาซึ่งวิธีหรือหนทางต่างๆ (การวัดประสิทธิผล) เพื่อประเมิน ค่าประสิทธิผลของแต่ละแบบ

นักศึกษาควรจะพยายามทำความเข้าใจให้ถ่องแท้ ถึงเหตุผลที่ใช้ในการพัฒนาเหล่านี้เพื่อที่จะ สามารถประยุกต์หลักเกณฑ์เดียวกันในสถานการณ์อื่น ๆ ซึ่งอาจพบได้ หลักเกณฑ์ที่ได้ศึกษานี้อาจทำให้ สามารถที่จะนำไปใช้ในแผนการค้นหาทางยุทธการในตอนหลังได้ด้วยประสิทธิผลที่สูง

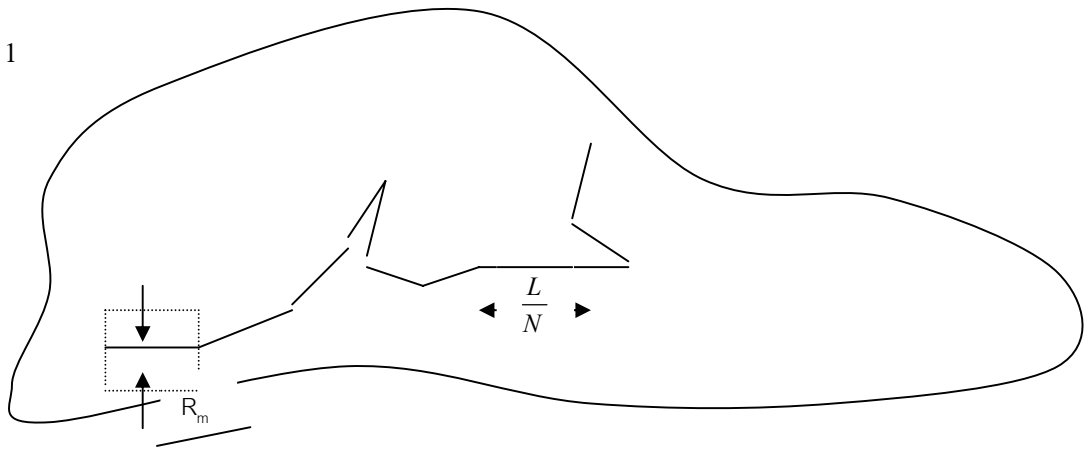
#### ๗๐๑. การค้นหาแบบเดาสุ่ม (Random Search)

สมมติว่าเรารู้แต่เพียงว่ามีเป่าเป่าหนึ่ง อยู่ ณ แห่งใดแห่งหนึ่งในขอบเขตพื้นที่ที่กำหนดให้จากพื้นที่ทั้งหมด A เนื่องจากการขาดข่าวสารในทางตรงกันข้าม ค่าบลที่ของมันสมมติว่ากระจายอยู่อย่างไม่เป็นระเบียบ (random) ใน A กล่าวคือมีโอกาสที่จะพบได้ ณ ส่วนหนึ่งของพื้นที่ของ A เท่า ๆ กับ ณ ส่วนอื่น ๆ

สมมติด้วยว่า ผู้ตรวจค้นค้นหาในพื้นที่ไม่ใช่แผนหรือวิธีที่เป็นระบบ ในการตรวจค้นหาแบบเดาสุ่มนี้ อะไรคือ probability ที่การตรวจจับจะเกิดขึ้น ณ เวลาที่ผู้ตรวจค้นได้เดินทางไปเป็นระยะทาง L ไมล์ ในพื้นที่นั้น

ให้  $\bar{p}(x)$  เป็นเส้นโค้งทางข้างสำหรับผู้ตรวจค้นและสำหรับเป้าหมายนี้ในสภาวะแวดล้อมที่เป็นอยู่ ให้แบ่ง ทางเดินทางผู้ตรวจค้นเป็น  $N$  ส่วนและ  $L/N$  เท่า ๆ กัน แต่ละส่วนก็เทียบได้เป็นเส้นตรงอย่างในรูปที่ 7-1 สำหรับการตรวจจับที่จะเกิดขึ้นได้ในส่วนหนึ่งจะต้องมีเหตุการณ์สองประการด้วยกัน ให้  $B$  เป็นเหตุการณ์ที่เป้าอยู่ในพื้นที่ที่มีความยาว  $L/N$  และความกว้าง  $2R_m$  เพื่อให้มีโอกาสที่การตรวจจับจะเกิดขึ้นได้และให้  $C$  เป็นเหตุการณ์ที่เป้าถูกตรวจจับได้

รูปที่ 7-1



ดังนั้น

$$p(B) = \frac{2R_m L / N}{A}$$

และจากสมการที่ 6-1

$$P(C|B) = \frac{1}{2R_m} \int_{-R_m}^{R_m} \bar{p}(x) dx$$

ดังนั้น probability ของการตรวจจับในส่วนที่หนึ่งหรือส่วนใดส่วนหนึ่งอื่น ๆ ก็จะเป็น

$$\begin{aligned} P(\text{การตรวจจับ}) &= P(C) \\ &= P(C|B) \text{ เพราะว่า } C \subset B, \\ &= \frac{2R_m L / N}{A} \cdot \frac{1}{2R_m} \int_{-R_m}^{R_m} \bar{p}(x) dx \end{aligned}$$

$$= \frac{L}{NA} \cdot \int_{R_m}^{R_m} \overline{P}(x) dx$$

ซึ่งสามารถเขียนได้เป็น

$$P(\text{การตรวจจับใน 1 ส่วนใด ๆ}) = \frac{WL}{NA}$$

probability ที่การตรวจจับจะไม่เกิดขึ้นระหว่างการค้นหา (ใน N ส่วน) ดังนั้นก็ควรจะเป็น  $1 - (WL/NA)^N$  สมมติว่าไม่ขึ้นแก่กัน และ probability ของการตรวจจับซึ่งวัดประสิทธิภาพของการตรวจค้นหานี้ก็จะเป็น

$$\text{สมการ 7-1} \quad P(\text{การตรวจจับ}) = 1 - \left(1 - \frac{WL}{NA}\right)^N$$

การกระทำให้เล็กลง (ละเอียดเข้า) ปกติก็จะกระทำในแบบจำลองนี้ โดยการสังเกตว่า

$$1 - \frac{WL}{NA} = e^{-WL/NA}$$

ซึ่งจะได้ประมาณ  $e^{-WL/NA}$  เพราะว่าเมื่อ  $WL/NA$  เล็กมาก

$$\ln \left(1 - \frac{WL}{NA}\right) \approx -\frac{WL}{NA}$$

probability ของการตรวจจับในรูปแบบจำลองของการตรวจค้นหาแบบเดาสุ่มนี้ก็จะเป็น

$$\text{สมการที่ 7-2} \quad P(\text{การตรวจจับ}) = 1 - e^{-WL/NA}$$

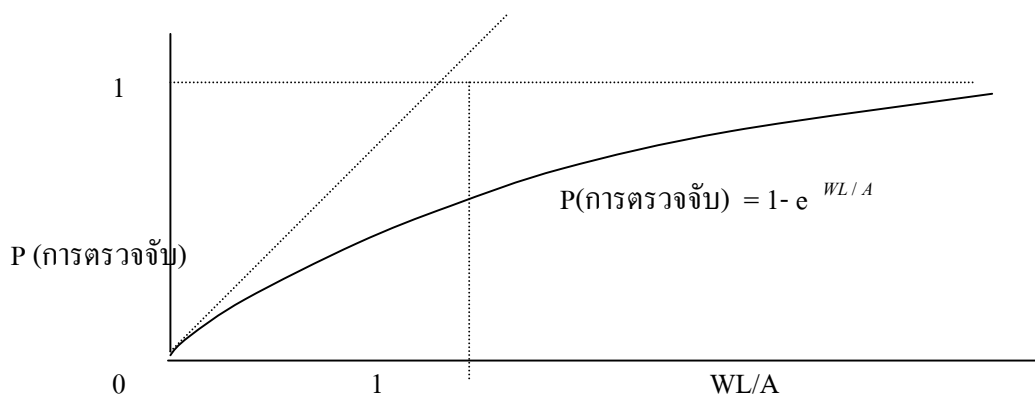
ถ้าส่วนของพื้นที่ ถูกครอบคลุมอย่างมีประสิทธิภาพในแต่ละส่วน และ  $(WL/NA)$  เล็กพอ ควรที่จะเป็นที่กระจ่างว่า พัฒนาการนี้อยู่บนรากฐานของข้อสมมติต่อไปนี้

- ก. ตาบลที่ของเป้ากระจายอยู่ในพื้นที่ A อย่างไม่เป็นระเบียบ
- ข. การค้นหากระทำแบบเดาสุ่ม เพื่อว่าส่วนเล็ก ๆ สามารถที่จะพิจารณาได้ว่าไม่ขึ้นแก่กัน
- ค.  $2R_m$  เล็กมากเมื่อเปรียบเทียบกับ  $L/N$  เพื่อว่าพื้นที่ที่ผ่านไป (ไม่ได้ครอบคลุม) และการซ้อนทับกัน (overlaps) ที่จุดปลายของแต่ละส่วนสามารถที่จะละทิ้งไปได้

การมีความหมายของรูปแบบจำลองนี้ ไม่ใช่ว่ามันจะแทนแบบเฉพาะของปฏิบัติการค้นหาแบบใดแบบหนึ่ง แต่มันแทนการค้นหาทางทฤษฎีซึ่งข่าวสารที่ทราบมีน้อยที่สุดเกี่ยวกับเป้าและไม่ได้ใช้แผนการค้นหาที่เป็นระบบ ดังนั้นในกรณีที่ทราบข่าวสารมากขึ้นเกี่ยวกับเป้าและวิธีการที่เป็นระบบในการตรวจค้นได้รับการใช้แล้วด้วยเวลาและแรงงาน ในการตรวจค้นหาที่เท่ากันและจะต้องให้ probability ของการตรวจจับได้ที่มากกว่า

จำนวน  $WL/A$  ซึ่งเป็นกำลัง (exponent) เรียกว่าปัจจัยการครอบคลุม (coverage factor) มันเป็นส่วนหนึ่งของพื้นที่ที่กวาดได้ กล่าวคือพื้นที่ที่อยู่ในความกว้างทางกวาดต่อพื้นที่ทั้งหมด ดังนั้นปัจจัยการครอบคลุมนี้จะวัดจำนวนของ แรงแงานที่ได้ใช้ไปในการตรวจค้นหา มันอาจมีค่าเป็นหนึ่ง สอง หรือมากกว่าในการค้นหาซึ่งต้องการ probability ของการตรวจจับที่มากกว่า

รูปที่ 7-2

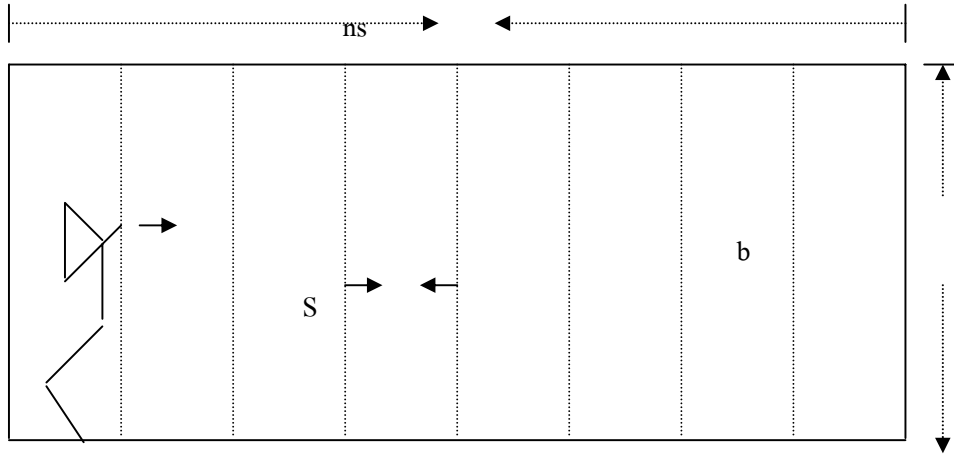


รูปที่ 7-2 แสดงให้เห็นว่า probability สะสมของการตรวจจับในแบบการตรวจค้นแบบเดาสุ่มจะเพิ่มขึ้น เมื่อปัจจัยการครอบคลุมเพิ่มขึ้น อาจเห็นได้ว่าเมื่อปัจจัยการครอบคลุมเล็ก probability ของการตรวจจับโดยประมาณการ จะเท่ากับค่าของปัจจัยการครอบคลุมเมื่อปัจจัยนี้เพิ่มขึ้น probability ก็จะมีแนวโน้มที่จะแสดงให้เห็นถึงจุดอิมตัว หรือผลที่ลดลง (diminishing returns) อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของส่วนที่ทับกันของพื้นที่ที่กวาด

#### ๗๐๒. การตรวจค้นแบบเดาสุ่มที่เป็นระเบียบ

ประโยชน์ที่จะพิจารณาถึงอีกกรณีหนึ่งของการตรวจค้นแบบเดาสุ่ม เพื่อที่จะได้เห็นข้อแตกต่างอันเนื่องมาจากปัจจัยการครอบคลุม สมมติว่าพื้นที่ของการตรวจค้นถูกแบ่งออกเป็นช่องเล็ก ๆ  $n$  ช่อง ซึ่งมีความกว้าง  $S$  และความยาว  $b$  ดังนั้น  $A = nSb$  สมมติว่าผู้ตรวจค้นหาพยายามที่จะครอบคลุมพื้นที่ที่ค่อนข้างเป็นระเบียบโดยการตรวจค้นหาในแต่ละช่องเล็กแบบเดาสุ่ม การครอบคลุมที่เท่ากันของพื้นที่นั้น อาจได้มาโดยการใช้ผู้ตรวจค้นในพื้นที่ทั้งหมด แต่ละลำเดินทางตรวจค้นตรงกลางของแต่ละช่อง แต่ละลำจะได้ระยะทาง  $b$  และทางเดินในการตรวจค้นทั้งหมดในพื้นที่จะเป็น  $nb$

รูปที่ 7-3



เพื่อที่จะให้แรงงานความพยายามในการตรวจค้นทั้งหมดสามารถเปรียบเทียบกันได้ ให้เส้นทางการตรวจค้นทั้งหมดเป็น  $nb$  ถ้าผู้ตรวจค้นใช้เวลาเท่ากันในแต่ละช่อง ทางกวาดในแต่ละช่องก็จะเป็น  $b$  แต่การตรวจค้นกระทำไปแบบเดาสุ่มตามรูปที่ 7-3 ดังนั้น  $L = nb$  และ  $A = nSb$  จนกระทั่งว่าปัจจัยการครอบคลุมก็จะกลายเป็น

$$\frac{WL}{A} = \frac{W(nb)}{(nSb)} = \frac{W}{S}$$

และสมการ ๗ - ๒ สำหรับการตรวจค้นแบบเดาสุ่มที่เป็นระเบียบก็จะกลายเป็น

$$\text{สมการ 7-3} \quad P (\text{การตรวจจับ}) = e^{-W/S}$$

แบบจำลองการค้นหาในลักษณะเดาสุ่มที่ค่อนข้างเป็นระเบียบแบบนี้จะให้ค่าโดยประมาณหรือ "ค่าในทางต่ำสุด" ต่อ probability ของการตรวจค้นจับเป้าในแบบจำลองค้นหาแบบเดาสุ่ม สำหรับความพยายามแรงงานและเวลาของการ ค้นหาที่เท่ากัน

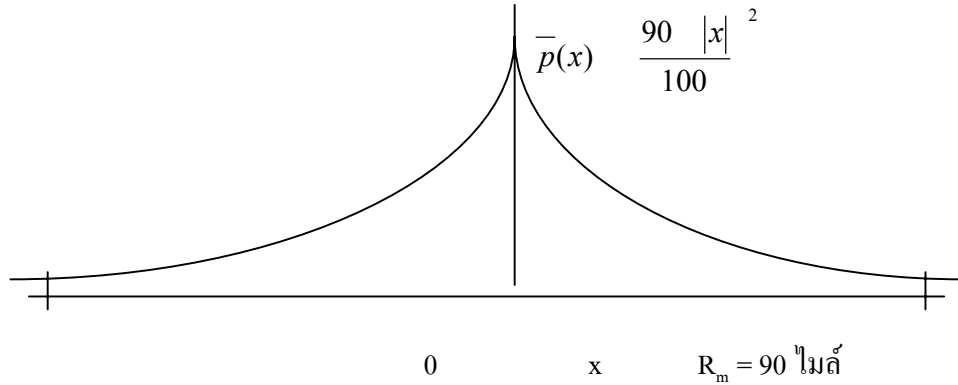
### ๗๐๓. การกวาดแบบขนาน (Parallel Sweeps)

อีกครั้งหนึ่งที่สมมติว่ามีเป้าเป้าหนึ่งอยู่ในพื้นบางแห่งในมหาสมุทรและมีความเป็นไปได้เท่า ๆ กันที่อยู่ ณ ส่วนใด ๆ ของพื้นที่นั้นวิธีการค้นหาแบบธรรมดา ๆ ที่ใช้แบบหนึ่งในกรณีเช่นนั้น เพื่อที่จะได้ครอบคลุมพื้นที่นั้นก็คือ "การกวาดแบบขนาน" การกวาดเช่นนั้นกระทำโดยผู้ตรวจค้นหลาย ๆ ลำ ซึ่งค้นหาไปบนเส้นทางที่ขนานกันตลอดพื้นที่กวาด ระยะห่างระหว่างลำหรือที่เรียกว่า "ระยะห่างของเส้นทาง" เป็น  $S$  ไมล์



จุดประสงค์ในตอนนี้ก็เพื่อที่จะหาวิธีให้ได้มาซึ่ง probability ของการตรวจจับในเมื่อเส้นโค้งของระยะทางข้างเป็นที่ทราบ

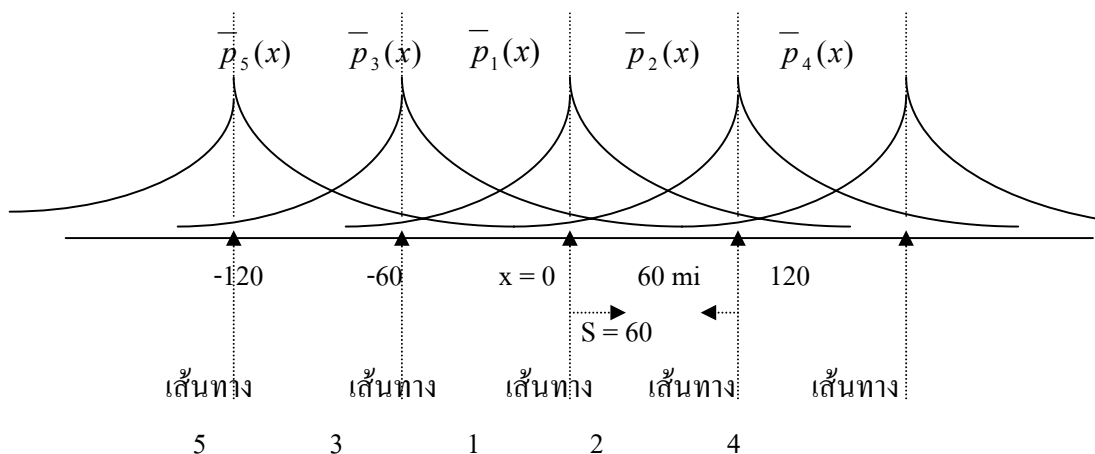
รูปที่ 7-4



สมมติว่าเส้นโค้งระยะทางข้างสำหรับแต่ละผู้ตรวจค้นได้กำหนดให้ตามรูปที่ 7-4 และสมมติด้วยว่าผู้ตรวจค้นหลาย ๆ ลำตรวจค้นหาในพื้นที่ตามรูปที่ 7-3 ผู้ตรวจค้นแต่ละลำตรวจค้นในแต่ละช่องโดยเดินเรืออยู่บนเส้นกลางช่อง เมื่อเส้นโค้งทางข้างของแต่ละผู้ตรวจค้นไม่ทับกันก็จะได้ probability ของการตรวจค้นตามสมการที่ 6-4

สำหรับในกรณีที่ระยะห่างระหว่างลำน้อยกว่า  $2R_m$  เป้าอาจถูกตรวจพบได้โดยผู้ตรวจค้นมากกว่าหนึ่งลำ ยกตัวอย่างให้ S เท่ากับ 60 ไมล์ เพื่อให้เส้นโค้งระยะทางข้างทับกันจะเป็นไปตามรูปต่อไปนี้

รูปที่ 7-5



ในที่นี้เส้นทางของผู้ตรวจค้นต่าง ๆ จะกำหนดหมายเลขที่ให้ตามใจชอบและเส้นทางที่หนึ่งใช้เป็นเส้นทางอ้างอิง จงสังเกตว่า ถึงแม้ว่าผู้ตรวจค้นจะอยู่ห่างกัน 60 ไมล์ กระสวนจะซ้ำกันทุก ๆ 30 ไมล์ และเป้าเป้าหนึ่งซึ่งอยู่ห่างไปทางขวาของเส้นทางที่หนึ่ง 20 ไมล์จะมี probability แห่งการตรวจจับเดียวกันกับเป้าซึ่งอยู่ทางข้างของเส้นทางที่สองเป็นระยะ 20 ไมล์ ฯลฯ ดังนั้นเป้าทุกเป้าจะผ่านเข้ามาภายในระยะ 30 ไมล์ ของผู้ตรวจค้นที่ใกล้ที่สุด

ประการแรกจงพิจารณาเป้าเป้าหนึ่งซึ่งระยะทางข้าง  $x$  อยู่ระหว่างศูนย์และ 30 ไมล์ ทางขวาผู้ตรวจค้น บนเส้นทางที่หนึ่ง เป้าเช่นนี้อาจถูกตรวจจับได้โดยผู้ตรวจจับลำหนึ่งลำใดหรือสามลำจากเส้นทางที่หนึ่งสองสาม

ให้  $\bar{P}_1(x)$  เป็น probability ที่เป้านี้ถูกตรวจจับได้โดยผู้ตรวจค้นบนเส้นทางที่ 1 โดยเหตุที่  $x$  แทนค่าของระยะ ทางข้างที่วัดจากเส้นทางที่หนึ่ง การเปลี่ยน Transformation จะต้องกระทำเพื่อให้มีความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโค้งระยะข้าง ทั้งหมดต่อการอ้างอิงรวมนี้ ผู้อ่านอาจทดสอบนี้ได้จากตัวอย่างต่อไปนี้

$$\bar{P}_1(x) = \bar{P}(x) = \frac{90}{100} x^2$$

$$\bar{P}_2(x) = \bar{P}(S-x) = \frac{90}{100} (60-x)^2$$

and

$$\bar{P}_3(x) = \bar{P}(S+x) = \frac{90}{100} (60-x)^2$$

ถึงขณะนี้กำหนดให้  $P(x)$  เป็น probability ที่เป้าเป้าหนึ่งซึ่งผ่านผู้ตรวจค้นที่หนึ่งไปทางขวาถูกตรวจพบ สำหรับ  $0 \leq x \leq 60$  probability นี้จะเป็นหนึ่งลบด้วย probability ที่ล้มเหลวในการตรวจจับจากเส้นทางทั้งสามสมมติให้ไม่ขึ้นแก่กันก็จะกลายเป็น

$$\text{สมการ 7-4} \quad p(x) = 1 - \bar{P}_1(x) - \bar{P}_2(x) - \bar{P}_3(x)$$

เมื่อแต่ละค่าของ  $\bar{P}_1(x)$  จากตัวอย่างนั้นแทนค่าลงในสมการที่ 7-4 ค่าเหล่านั้นก็อาจรวมกันและทำได้ง่าย ๆ เข้าก็จะได้

$$p(x) = .843 - 1.49x \cdot 10^{-2} x + 1.24x \cdot 10^{-4} x^2 + 3.92x \cdot 10^{-6} x^3 - 2.37x \cdot 10^{-8} x^4 - 1.8x \cdot 10^{-10} x^5 + 10^{-12} x^6$$

probability ของการตรวจจับเฉลี่ยสำหรับการค้นหาค้างนี้อาจหาได้ โดยการหา expected value ของ  $p(x)$  กล่าวคือ

$$E p(x) = \int p(x) \cdot x dx$$

โดย  $f(x) = 1/30$  เพราะว่า  $x$  กระจายอยู่อย่างเป็นระเบียบระหว่างศูนย์และ 30 ดังนั้น

$$E p(x) = \int_0^{30} p(x) \cdot \frac{1}{30} dx$$

ถ้า  $P(x)$  ซึ่งได้จากสมการที่ 7-4 นำมาใช้และหา integrate ผลที่จะได้คือ .6785 โดยเหตุผลที่ได้จำนวนเดียวกันนี้ก็ควรจะได้ถ้าสมมติว่าเป่าอยู่จากศูนย์ถึง 30 ไมล์ ทางซ้ายหรือทางขวาของเส้นทางใด ๆ (ยกเว้นใกล้ผู้ตรวจจับสุดท้าย) probability เฉลี่ยของการตรวจจับเป่าได้ก็จะเป็นอันเดียวกัน สำหรับเส้นโค้งระยะทางข้างที่กำหนดให้เส้นหนึ่งค่า probability เฉลี่ยของการตรวจจับเป่านี้จะขึ้นอยู่กับเพียงระยะห่างระหว่างเส้นทางและให้เครื่องหมายเป็น  $\bar{P}(s)$  ในตัวอย่างนี้โดยการใช้  $S = 60$  และเส้นโค้งระยะทางข้างที่กำหนดให้จะได้ค่า  $\bar{P}(s) = .6785$

ผลที่ได้นี้อาจเปรียบเทียบได้กับค่าที่ได้ทดลองมาแล้วในแบบจำลองการตรวจค้นแบบเดาสุ่ม โดยการคำนวณความกว้างของกวาดสำหรับเส้นโค้งระยะทางข้างใน รูปที่ 7-4

$$W = \int_0^{90} \frac{90 - |x|}{100} dx = 2 \int_0^{90} \frac{90 - x}{100} dx = 48.6 \text{ ไมล์}$$

ดังนั้นปัจจัยการครอบคลุม  $W / X$  ก็ควรจะเป็น

$$\frac{W}{S} = \frac{48.6}{60} = .81$$

และสำหรับการตรวจจับแบบการตรวจค้นแบบเดาสุ่มที่เป็นระเบียบก็จะให้ค่า probability ของการตรวจจับ

$$1 - E^{W/S} = 1 - E^{.81} = .5551$$

ซึ่งเปรียบกับค่า .6785 สำหรับการครอบคลุมทางทฤษฎีซึ่งได้โดยการกวาดแบบขนาน

วิธีการกวาดแบบขนานได้พัฒนาขึ้น โดยการสมมติว่ามีผู้ตรวจค้นเป็นจำนวนมากพอโดยใช้ line abreast เพื่อครอบคลุมพื้นที่โดยตลอดในการกวาดหนึ่งเที่ยวไม่ได้สมมติอะไรเกี่ยวกับตำบลที่หรือการเคลื่อนไหวของเป่ากเว้นแต่เพียงว่ามีเป่าอยู่ในพื้นที่ตลอดเวลาของการตรวจค้น จะเห็นได้ว่าถ้าสมมติว่าเป่านั้นอยู่กับที่แล้วเพียงผู้ตรวจค้นเพียงหนึ่งลำก็จะทำการกวาดแบบขนานติดต่อกันไปจนทั่วพื้นที่โดยใช้ระยะระหว่างเที่ยวเป็น  $S$  แล้วก็จะได้ผลเดียวกันเพราะสถานการณ์ ที่เหมือน ๆ กัน อีกประการหนึ่งก็ควรที่จะเกิดขึ้นถ้าผู้ตรวจค้นหลาย ๆ ลำ อยู่กับที่และอยู่บนช่องด้วยระยะห่างระหว่างลำเป็น  $S$  เพื่อตรวจจับเป่าที่เคลื่อนที่ผ่านไป การตรวจค้นและการรักษาด่านแบบอื่น ๆ อีกหลายแบบก็ไม่มีอะไรมากไปกว่าการครอบคลุมการกวาดขนานซึ่งปรับใช้ตามแต่ละสถานการณ์

แบบจำลองที่ได้พัฒนาขึ้นในหัวข้อนี้ได้้นำไปยังการคำนวณหา probability เฉลี่ยของการตรวจจับเป่าในขณะที่สิ่งนี้จะได้ใช้เป็นมาตรวัดประสิทธิภาพที่เป็นประโยชน์ในหลาย ๆ ปัญหา มันอาจจะดีกว่าที่จะใช้ probability ของการ ตรวจจับที่ต่ำสุดในปัญหาอื่น ๆ ยกตัวอย่างถ้าเป่าเป่าหนึ่งมีขีดความสามารถที่จะติดตาม (track) ผู้ตรวจค้นได้ เป่านั้นก็จะ maneuver ให้ไปอยู่ ณ ตำบลที่ที่ได้เปรียบเพื่อหลบหลีกการตรวจจับและมาตรวัดประสิทธิภาพที่ดีกว่าสำหรับการตรวจค้น ก็ควรจะเป็น probability ที่ต่ำสุดของการตรวจจับนั้น ตำแหน่งนี้โดยทั่ว ๆ แต่ไม่เสมอไปก็จะอยู่ระหว่างกลางของผู้ตรวจค้น ที่อยู่ติดกัน probability ต่ำสุด จะเกิดขึ้น ณ ระยะที่ทำให้ค่าต่ำสุดของค่า  $P(x)$  จากสมการที่ 7 – 4

#### ๗๐๔. กฎกำลังสามผกผัน (Inverse Cube Law)

ในหัวข้อที่แล้ววิธีหา probability ของการตรวจจับโดยใช้การกวาดขนานได้แสดงไปให้เห็นแล้ว ในตัวอย่างนั้นได้ใช้เส้นโค้งระยะทางข้างเส้นหนึ่งและ probability ของการตรวจจับ  $\bar{p}(s)$  ได้พบว่าเป็น .6785 โดยมีค่า  $s$  เป็น 60 ไมล์ นักศึกษาจะเห็นได้ว่าสำหรับเส้นโค้งระยะทางข้างที่เป็นไปได้อื่น ๆ และค่า  $s$  ที่แตกต่างกันไปวิธีนี้ก็อาจ ประยุกต์ใช้ได้ ถึงแม้ว่าอาจต้องใช้เครื่องคอมพิวเตอร์อาจจำเป็นในการคำนวณ

คำถามก็จะเกิดขึ้นว่ารูปของเส้นโค้งระยะทางข้างจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อผลที่ได้หรือไม่กล่าวคือ สำหรับการค้นหาด้วยเส้นโค้งระยะทางข้างที่มีรูปแตกต่างออกไปแต่ความกว้างทางกวาดเท่าเดิมจะทำให้ค่า  $\bar{p}(60)$  ยังคงเป็น .6785 หรือไม่ สำหรับเส้นโค้งระยะทางข้างแบบหลักคำตอบที่ได้ก็คือผลที่ได้จะไม่แตกต่างออกไปอย่างมีความหมายเลย สิ่งนี้ทำให้เป็นไปได้ที่จะทำนาย probability ของการตรวจจับได้ด้วยความมั่นใจค่อนข้างสูง โดยการใช้ปัจจัยการครอบคลุม โดยไม่ต้องทราบแบบของเส้นโค้งระยะทางข้างซึ่งจะคำนวณหาค่าความกว้างทางกวาด

แบบจำลองแบบหนึ่ง (เพื่อใช้ทำนาย probability ของการตรวจจับสำหรับการกวาดแบบขนานโดยทราบค่าปัจจัยการครอบคลุม) ได้พัฒนาขึ้นโดยประยุกต์ใช้ "กฎกำลังสามผกผันของการตรวจจับ" ซึ่งได้ถูกแถลงกันมาแล้วในบทที่สี่ การหาว่าได้อะไรนั้นอยู่นอกเหนือขอบเขตของหนังสือเล่มนี้ แต่อาจพบได้ใน "OEG Report Number 56, Search and Screening" ต้องใช้ตาราง normal probability ด้วยและค่าของมันคือ

$$\text{สมการ 7-5} \quad \bar{P}(S) = 2 \int_0^S f(t) dt$$

โดยที่  $f(t)$  เป็นค่า standardized normal distribution ซึ่งมี mean เป็นศูนย์และค่า variance เป็นหนึ่งและ

$$z = \sqrt{\frac{W}{2S}} = 1.253 \frac{W}{S}$$

ถ้าใช้แบบจำลองนี้ในการคำนวณหา probability ของการตรวจจับในตัวอย่างของข้อที่แล้วที่  $W = 48.6$  และ  $S = 60$  จะได้

$$z = 1.253 \frac{W}{S} = 1.015$$

และ

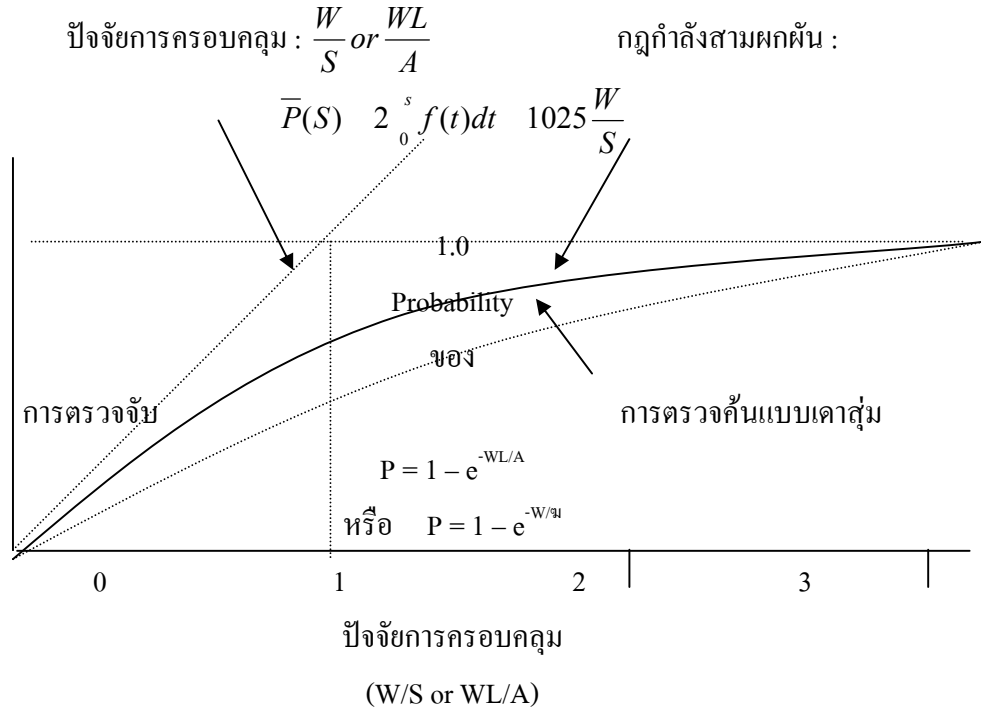
$$\bar{P}(60) = 2 \int_0^{1.015} f(t) dt$$

$$= 2(.3449) \text{ จาก normal tables}$$

$$= .6898$$

ซึ่งจะได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้โดยการคำนวณไปแล้วคือค่า .6785

รูปที่ 7-6



รูปที่ 7 - 6 เป็นการสรุปถึงรูปแบบจำลองต่าง ๆ ที่ได้ถกแถลงกันมาจนกระทั่งบัดนี้ปัจจัยการครอบคลุมเองให้ค่า estimate ที่ดีของค่า probability ของการตรวจจับในเมื่อค่าของมันเล็กหรือเมื่อไม่มีการทับกันของเขตการตรวจจับที่เป็นไปได้ แบบจำลองของการตรวจค้นแบบเดาสุ่มให้ค่า probability ของการตรวจจับเมื่อเราทราบข้อมูลเกี่ยวกับเป้าหมายน้อยมาก ไม่ใช่แผนการค้นหาเป็นระบบ หรือเมื่อไม่มีการทับกันของพื้นที่กวาดที่อยู่ใกล้เคียงกัน กฎกำลังสามผกผันนี้จะ เป็นแบบจำลองซึ่งให้ค่าใกล้เคียงกับแบบจำลองแบบการกวาดขนาน และบางทีจะเป็นตัวทำนายผลทางปฏิบัติการทางทฤษฎีที่ดี ที่สุด

ในสถานการณ์ทางยุทธการปัจจัยการครอบคลุมที่กำหนดให้ตัวหนึ่งควรจะให้ค่า probability ของการตรวจจับอยู่ ณ ที่ใดที่หนึ่งในส่วนที่แรงเงาไว้ระหว่างรูปแบบจำลองการตรวจค้นแบบเดาสุ่มแบบอนุรักษ์นิยม และปัจจัยการครอบคลุมที่สูงสุด

-----

## ปัญหา

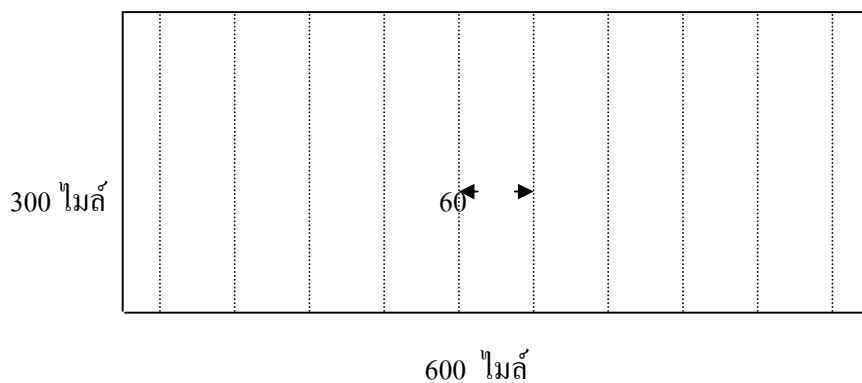
1. เครื่องบินเครื่องหนึ่งกำลังตรวจค้นด้วยสายตาแบบยถากรรมเหนือพื้นที่ 20,000 ตารางไมล์ สมมติว่าการค้นหาซึ่งครอบคลุมระยะทางทั้งหมด 800 ไมล์ นั้น ประกอบด้วยการค้นหา 20 ขาเท่า ๆ กันสำหรับเงื่อนงำที่ดีของสภาพอากาศ ความกว้างทางกวาดด้วยสายตาของการค้นหาเป็น 15 ไมล์

- ก. อะไรคือความน่าจะเป็นของการตรวจจับเป้าได้ในหนึ่งขาของการค้นหา?
- ข. อะไรคือความน่าจะเป็นที่เป้าจะไม่ถูกตรวจจับในแต่ละขาของ 20 ขา?
- ค. อะไรคือความน่าจะเป็นที่เป้าจะถูกตรวจจับได้ (ใช้สมการ 7-1)?
- ง. อะไรคือความน่าจะเป็นของการตรวจจับถ้าใช้สมการ 7-2?

2. เครื่องบินสามเครื่องปฏิบัติการเป็นอิสระ ถูกสั่งให้ไปตรวจค้นในพื้นที่  $600 \times 300$  ตารางไมล์ ความเร็วในการบิน ตรวจค้น 180 นอต สำหรับเงื่อนงำทางอากาศที่มีความกว้างทางกวาดของเรดาร์เครื่องบินเป็น 60 ไมล์ทะเล ข้อจำกัด ของเชื้อเพลิงทำให้มีเวลาบนเป้า สำหรับเครื่องบินแต่ละลำเป็นสามชั่วโมง

- ก. อะไรคือความน่าจะเป็นที่เครื่องบินเครื่องแรกตรวจจับเป้าได้ในระหว่างหนึ่งที่ยวบิน?
- ข. ถ้าเครื่องบินแต่ละเครื่อง บินหนึ่งที่ยวบิน อะไรคือความน่าจะเป็นที่เป้าจะถูกตรวจจับได้?
- ค. ต้องการเครื่องบินกี่เครื่องในเมื่อแต่ละเครื่อง บินหนึ่งที่ยวบิน โดยบินอิสระอย่างแท้จริงเพื่อที่จะให้ได้ความน่าจะเป็นในการตรวจจับเป็น 0.9?

3. การตรวจค้นแบบกวาดขนานจะใช้เพื่อบินให้ครอบคลุมพื้นที่  $300 \times 600$  ตารางไมล์ ความกว้างของทางกวาด  $S$  ในการค้นหาเป็น 60 ไมล์ ภายใตเงื่อนงำที่มีความกว้างทางกวาด  $W$  ของเรดาร์ของเครื่องบินเป็น 60 ไมล์ กราฟ แทนการค้นหาที่มีดังต่อไปนี้ :



๕. ระยะทางทั้งหมดของการบินตรวจค้นในพื้นที่นี้เป็นเท่าใด ?
๖. จงคำนวณความน่าจะเป็นของการตรวจจับ โดยใช้รูปแบบจำลอง “random search”
๗. รูปแบบจำลองในข้อ ก. จะให้ค่าสูงไปหรือต่ำไป ?
๘. อะไรคือปัจจัยการครอบคลุม (coverage factor) ?

4. ข้อความต่อไปนี้ข้อความใดเป็นค่าที่อนุรักษ์นิยมมากกว่าของความน่าจะเป็นของการตรวจจับ

$$1 - e^{-WL/NA} \quad \text{หรือ} \quad 1 - (1 - WL/NA)^n ?$$

คำตอบของท่านขึ้นอยู่กับ N หรือไม่ ? จงอธิบาย

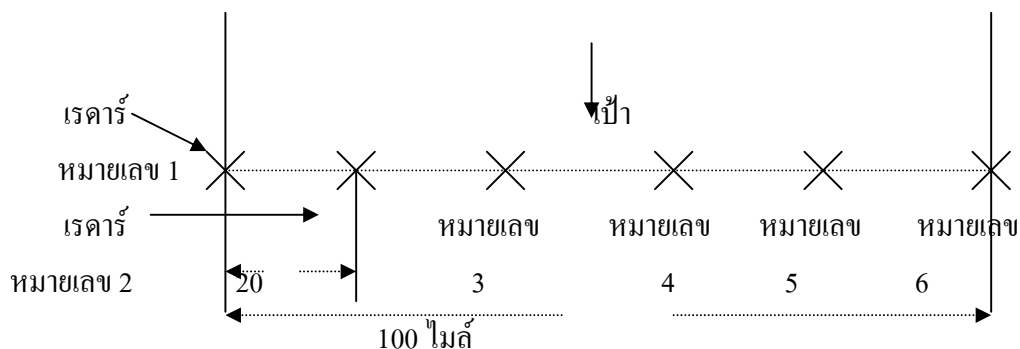
5. เครื่องบิน S2F พร้อมด้วยเรดาร์ APS - 38 เครื่องหนึ่งได้รับคำสั่งให้ไปตรวจค้นหาแพซิฟิกขนาดใหญ่แพหนึ่ง ซึ่งอยู่ ณ ที่ใดที่หนึ่งในพื้นที่ 500 x 200 ตารางไมล์ทะเล ความเร็วของการค้นหาของเครื่องบินคือ V เป็น 150 นอต ภายใต้เงื่อนไข ที่มี และพิจารณา รวมถึงคุณสมบัติของเป้าและความสูงของการตรวจค้น ทำให้ได้ความกว้างทางกวาดของเรดาร์เป็น 50 ไมล์ทะเล ข้อจำกัดของเชื้อเพลิงทำให้เวลาบนสถานีของเครื่องบินเป็นสี่ชั่วโมง

ก. โดยใช้รูปแบบจำลองในการตรวจค้นแบบยถากรรม จงคำนวณความน่าจะเป็นที่เครื่องบินจะตรวจจับแพชูชีพได้ในหนึ่งเที่ยวบิน

ข. จะต้องใช้กี่ชั่วโมง - บิน ในพื้นที่เพื่อที่จะให้ได้ความน่าจะเป็นของการตรวจจับเป็น 0.95 ?

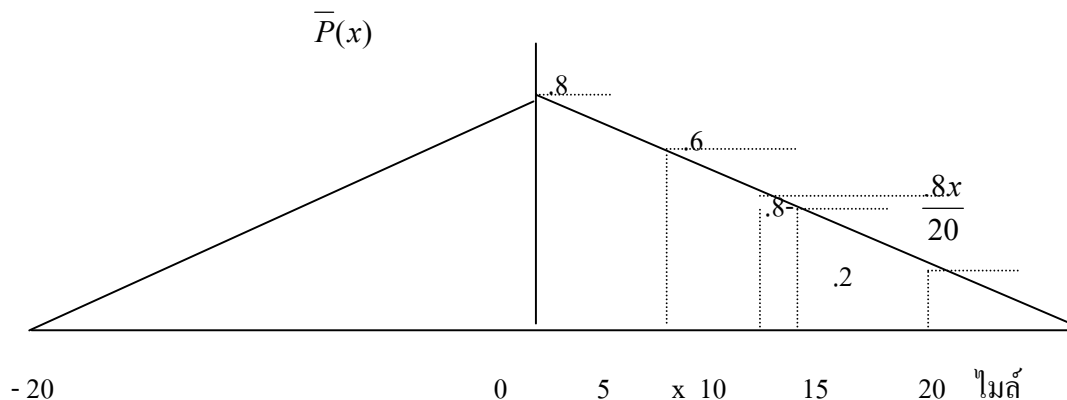
ค. อะไรคือ “จำนวนเฉลี่ย” ของชั่วโมง - บิน T ที่ต้องการเพื่อตรวจจับแพชูชีพนั้นได้

6. สมมติว่าใช้เรดาร์หกตัววางขวางช่องทาง ตามที่แสดงในรูปเพื่อตรวจจับเป้า ซึ่งมีโอกาสที่จะเคลื่อนตัวอยู่กับที่ และแต่ละเรดาร์เคลื่อนตัวขึ้นไปตามช่องทาง





เรดาร์แต่ละตัวมีเส้นโค้งระยะทางข้าง  $\bar{P}(x)$  ดังต่อไปนี้ และทำการตรวจจับเป็นอิสระโดยไม่ขึ้นแก่กัน



๙. อะไรคือความน่าจะเป็นที่เป้าเป้าหนึ่งจะถูกตรวจจับ โดยเป้านั้นเคลื่อนตัวไปตามช่องทางดังนี้
- (1) ที่ขอบซ้ายและระยะทางศูนย์ไมล์จากเรดาร์ตัวที่หนึ่ง ?
  - (2) ที่ห้าไมล์ทางขวาของเรดาร์ตัวที่หนึ่ง ?
  - (3) 10 ไมล์ทางขวาของเรดาร์ตัวที่หนึ่ง ?
  - (4) 15 ไมล์ทางขวาของเรดาร์ตัวที่หนึ่ง ?
  - (5) 20 ไมล์ทางขวาของเรดาร์ตัวที่หนึ่ง ?
  - (6)  $x$  ไมล์ทางขวาของเรดาร์ตัวที่หนึ่ง ? จงหาคำตอบในเทอมของ  $x$  โดยที่  $0 \leq x \leq 20$
๑๐. ท่านสามารถที่จะขยายความคิดนี้ได้ง่าย ๆ สำหรับเป้าที่ผ่าน ณ จุดอื่น ๆ ในช่องทางนี้ได้หรือไม่ ?
๑๑. อะไรคือความน่าจะเป็นเฉลี่ยของการตรวจจับเป้า ซึ่งอาจผ่าน ณ จุดใด ๆ ระหว่างศูนย์และ 20 ไมล์ทางขวาของเรดาร์ตัวที่หนึ่ง ? คำตอบต่อคำถามนี้จะเปลี่ยนไปหรือไม่ หากเรดาร์ตัวที่สอง สาม สี่ หรือห้า ไปแทนเรดาร์ตัวที่หนึ่ง ?
๑๒. อะไรคือปัจจัยของการครอบคลุม ?
๑๓. โดยการใช้อีกกำลังสามผกผัน จงคำนวณหาความน่าจะเป็นของการตรวจจับและจงเปรียบเทียบคำตอบที่ได้กับข้อ ค.

7. พื้นที่สี่เหลี่ยมจัตุรัส  $200 \times 200$  ตารางไมล์ทะเล ถูกตรวจค้นอย่างเต็มที่ครั้งหนึ่ง โดยการกวาดแบบขนานโดยใช้ระยะระหว่างลำ 40 ไมล์ทะเล ความกว้างทางกวาดของการค้นหาเฉพาะนี้ กำหนดให้เป็น 30 ไมล์ทะเล

- ก. จงคำนวณหาความน่าจะเป็นของการตรวจจับเป้าซึ่งอยู่ตามขั้วขั้ว และใช้รูปแบบจำลอง การค้นหาแบบขั้วขั้ว

- ข. โดยการใช้กฎกำลังสามผกผัน จงคำนวณความน่าจะเป็นของการตรวจจับเป่าได้
- ค. อะไรคือระยะระหว่างลำที่ต้องการ เพื่อให้ได้ความน่าจะเป็นของการตรวจจับเป็น 0.95 (โดย การใช้กฎกำลังสามผกผัน) ?
-

## บทที่ ๘

### การลาดตระเวนรักษาด่าน

(Barrier Patrols)

ในการวางแผนตรวจค้นนั้นธรรมชาติของเป่าตามปกติเราจะทราบได้ และตำแหน่งโดยทั่วไปของเป่าและการเคลื่อนที่ของมันก็จะทราบไม่มากนักน้อย อย่างไรก็ตามถ้าหากว่าการคาดคะเนที่ค่อนข้างแน่นอนถึงการเคลื่อนตัวของเป่าไม่สามารถกระทำได้แล้ว แผนการค้นหาก็จะต้องออกแบบให้มีประสิทธิภาพต่อเป่าที่อาจมีการเคลื่อนตัวหลาย ๆ หนทางที่เป็นไปได้ การเน้นของบทนี้อยู่บนสถานการณ์ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อทั้งเจตน์จันค์และขีดความสามารถของเป่านั้น ๆ เป็นที่ทราบได้ ในอันที่จะทราบถึงเจตน์จันค์ของเป่าก็คือการทราบบางสิ่งบางอย่างว่าเป็นนั้นกำลังจะไปไหน มันจะผ่านส่วนใดของมหาสมุทรหรือมันมาจากที่ใดทางภูมิศาสตร์ ในอันที่จะทราบถึงขีดความสามารถของเป่าก็คือการคาดคะเนค่านวนคร่าว ๆ พอสมควรถึงความเร็วของเป่าพร้อมทั้งรัศมีทำการ

ในบทนี้จะจำกัดขอบเขตต่อกรณีที่มีการตรวจจับเป่าได้จะไม่เปลี่ยนแปลง ในระหว่างการตรวจค้นหาหรือการลาดตระเวน ในกรณีของการตรวจจับด้วยเรดาร์และสายตาจะพิจารณาเฉพาะเป่าผิวน้ำ (รวมทั้งเรือดำน้ำที่อยู่บนผิวน้ำ)

เท่านั้น ในกรณีของการตรวจจับด้วยโซนาร์เป่าเรือดำน้ำจะถือว่ากำลังดำอยู่ตลอดเวลา สิ่งนี้ก็เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงความยุ่งยากที่จะเกิดขึ้นได้ ยกตัวอย่างในกรณีของเรือดำน้ำซึ่งเวลาดำและเวลาอยู่บนผิวน้ำไม่ทราบได้

ในขณะที่มีกรณีที่สำคัญ ๆ สามกรณีในการสงครามทางเรือเฉพาะกรณีแรกเท่านั้นที่จะได้รับการพิจารณา ในกรณีแรกนั้นเจตน์จันค์ของเป่า คือ การที่จะข้ามช่องแคบ (chammel) ช่องหนึ่ง (ซึ่งอาจเป็นส่วนของมหาสมุทรที่ค่อนข้างกว้าง) เวกเตอร์ความเร็ว ณ จุดต่าง ๆ จะขนานกันและเท่ากัน นั่นก็คือเป็น translational vector field การตรวจค้นที่เกี่ยวข้องด้วยเราเรียกว่า “การลาดตระเวนรักษาด่าน” ในกรณีที่สองเป่าจะไปจากจุดที่ทราบตำแหน่งที่ในมหาสมุทรกล่าวคือ จุดที่ทราบตำแหน่งที่แน่นอนอย่าง เช่น เกาะหรืออ่าว เวกเตอร์ ความเร็วจะเท่ากันในความยาวแต่จะแยกทิศทางออกจากจุดนี้ไปรอบ ๆ ก็คือเป็น centrifugal radial vector field ในกรณีนี้การค้นหาก็จะอยู่ในรูป “จตุรัสขยาย (expanding square) “ และ “การค้นหาแบบถอนตัว (retiring gear) “ ในเมื่อเราทราบเวลาของการออกเดินทางของเป่าโดยประมาณ และ “เครื่องกีดขวางแบบปิด (closed barrier) “ ในกรณีอื่น ๆ ในกรณีที่สามเจตน์จันค์ของ

เป้าก็คือเพื่อให้ไปถึงจุดหนึ่งอย่าง เช่น พื้นที่จุดประสงค์ในการปฏิบัติการยกพลขึ้นบก เกาะที่กำลังต้องการอุปกรณ์ต่าง ๆ หรือท่าเรือหนึ่ง ๆ เวกเตอร์ความเร็วจะเท่ากันในความยาวแต่จะมีทิศทางมุ่งเข้าหาจุด ๆ นี้ จะเป็น centripetal radial vector field เป็นอีกครั้งหนึ่งที่วิธีแห่งปฏิบัติการต่อเจตน์จำนงค์นี้จะเป็น “เครื่องคิดขวางแบบปิด”

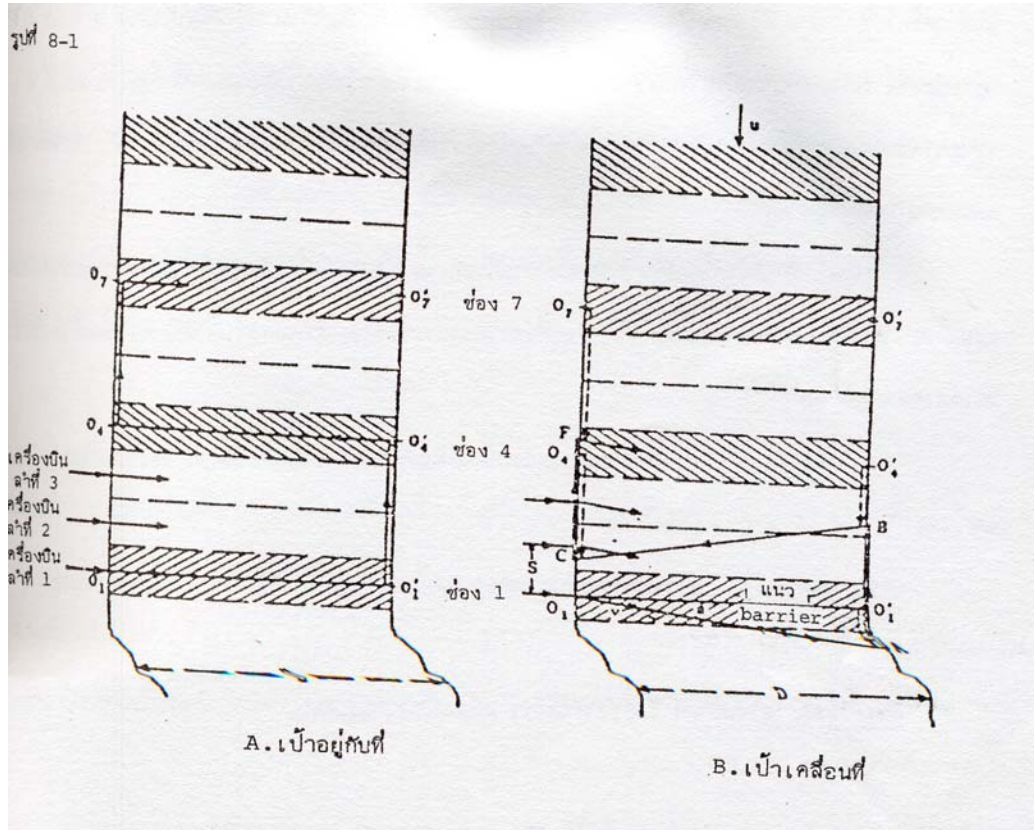
ในกรณีที่เป้าเจตนาที่จะไปให้ถึงจุด ๆ หนึ่งโดยการเคลื่อนตัวไปในมหาสมุทร(เรือ คอนวอย หรือกองกำลังเฉพาะกิจ) vector field จะมีลักษณะแตกต่างกันโดยสมบูรณ์ รูปแบบของการลาดตระเวนที่ใช้มีชื่อว่า “จาก (acreen)” และเป็นเรื่องของบทที่ ๑๐

#### ๘๐๑. crossover barrier patrol

ภายใต้สถานการณ์อันกว้างขวาง ปัญหาของการตรวจจับเป้าในขณะที่กำลังเคลื่อนตัวไปตามช่องแคบโดยใช้ผู้ตรวจจับ (odserver) ซึ่งมีความเร็ว  $v$  ซึ่งเหนือความเร็ว  $u$  ของเป้าเป็นอย่างมาก อย่างเช่น เครื่องบินตรวจจับต่อเป้าเรือผิวน้ำอาจกระทำได้ง่าย ๆ เข้า ดังข้อความทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้ กำหนดให้ช่องแคบเป็นที่มีความกว้าง  $d$  โดยเส้นขนานสองเส้น (เส้นทางคิงในรูป 8-1) และเป้าเป้าหนึ่งเคลื่อนตัวไปในช่องแคบนี้ และขนานกับช่องแคบนี้ด้วยความเร็วคงที่  $u$  (เคลื่อนลงตามรูป  $b-1b$ ) ผู้ตรวจจับจะต้องบินจากด้านหนึ่งของช่องแคบไปยังอีกด้านหนึ่ง และบินกลับอย่างไรเพื่อที่จะให้มีประสิทธิผลมากที่สุดการตรวจจับเป้านี้ได้

มีความจำเป็นที่จะต้องนับทิศทางของการบินให้สัมพันธ์กับจุดอิงที่คงที่ คือ จุด  $o$  ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของทิศทางตั้งนั้นจุด  $o$  อาจเป็นจุดใด ๆ ทางภูมิศาสตร์ที่สะดวก ๆ ณ ที่หรือใกล้ส่วนที่แคบที่สุดของช่องแคบนี้ เส้นตรง  $O_1 O'_1$  (ในรูป 8-1) จะถูกลากข้ามไป และตั้งฉากกับช่องแคบในฐานะเป็นเส้นอ้างอิงทางคณิตศาสตร์และมีชื่อว่า “barrierline”

เพื่อความสะดวกในการใช้ถ้อยคำ เป็นจะอ้างถึงในฐานะเรือและผู้ตรวจจับในฐานะเครื่องบิน สิ่งนี้จะเป็นสถานการณ์โดยทั่ว ๆ ไปส่วนใหญ่สำหรับกรณีอื่น ๆ จะพิจารณาที่หลัง แนวความคิดเดียวกันทางคณิตศาสตร์ประยุกต์ใช้ได้ทุก ๆ กรณี



สมมติว่ามีเครื่องบินสามเครื่องเพื่อป้องกันมิให้เป้าเดินทางข้ามช่องแคบไปได้โดยปราศจากการถูกตรวจจับ ให้ S เป็นระยะทางข้างที่ไ้ระหว่างเครื่องบินและพิจารณาปัญหานี้ในฐานะกรณีพิเศษของการกวาดแบบขนาน ในรูปที่ 8-1 ช่องแคบนั้นจะถูกแบ่งออกเป็นช่องเล็ก ๆ (band) ทางขวางซึ่งมีความกว้าง S ถ้าเป็นนึ่งคือ อยู่กับที่อย่างในรูปที่ 8-1A เครื่องบินทั้งสามก็จะตรวจค้นสามช่องเล็ก ๆ ทางขวางได้ในขณะที่บินข้ามช่องแคบแล้วเคลื่อนขึ้นไปข้างบนไปยังด้านตรงกันข้ามของช่องแคบและตรวจค้นช่องที่สี่ ห้า และ หก ในเที่ยวกลับ ฯลฯ โดยเครื่องบินเครื่องที่หนึ่งจะตรวจค้นไปตามช่องเล็กที่สาม (แรงงา) ในแต่ละเที่ยว อย่างไรก็ตามเป้าเคลื่อนตัวลงไปตามช่องแคบอย่างในรูปที่ 8-1B การตรวจค้นในลักษณะนั้นจะปล่อยให้เป้าบางลำข้ามช่องแคบไปได้ด้วย probability ของการตรวจจับที่ต่ำมาก ด้วยการแก้ไขเพียงเล็กน้อย วิธีการกวาดแบบขนานอาจกระทำได้โดยมีประสิทธิภาพมากกว่าให้เครื่องบินเครื่องแรกบินตามกระสวน  $O_1, A, B, C, F$ , ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 8-1 B โดยที่มุม  $a$  จะคำนวณหาโดยที่เป้าตอนแรกอยู่ที่  $O_1$  จะอยู่ที่ A ในเมื่อเครื่องบินบินไปถึง A ดังนั้นค่าบคที่ของ A จึงขึ้นอยู่กับ  $u, v$  และ D

ดังนั้นเครื่องบินเป็นจำนวนซึ่งได้ตรวจค้นหาเป้าซึ่งตอนแรกมีตำแหน่งที่อยู่ในช่องที่หนึ่ง และต่อไปก็ต้องการที่จะตรวจค้นหาเป้าซึ่งตอนแรกอยู่ในช่องที่สี่ เขาจะต้องบินขึ้นไปตามช่องแคบเพื่อที่จะสกัด ณ b ต่อเป้าต่างๆ ซึ่งตอนแรกอยู่ที่ d 4 หลังจากที่ได้บินกวาดขึ้นไปนี้  $m = ab$  เขาก็จะบินพันกลับด้วยมุมตกหน้าที่จำเป็นเพื่อให้เขาอยู่เหนือเป้าต่างๆ ที่เป็นไปได้ซึ่งตอนแรกอยู่ในช่องที่สี่ ในที่สุดเขาก็จะบินขึ้นจาก c ไปยัง f ณ ที่ซึ่งเขาจะสกัดกันตำแหน่งของเป้าซึ่งตอนแรกอยู่ที่ 07 ดังนั้นก็จะเป็นการจบหนึ่งเที่ยวหลักของการค้นหา ณ จุด f เขาก็จะเริ่มค้นวงรอบที่เหมือนกันกับวงรอบแรก เพื่อให้ครอบคลุมเป้าซึ่งตอนแรกอยู่ในช่องเจ็ด ฯลฯ

ในขณะที่เดียวกันเครื่องบินลำที่สองและสามก็จะบินขนานไปกับเครื่องบินลำแรกเพื่อให้ครอบคลุมช่องสองและสามบนขาแรก ช่องตัว และหกตอนกลับ ฯลฯ ก่อนที่จะคำนวณหาเวลาและระยะทางที่เกี่ยวข้องควรที่จะชี้ให้เห็นว่ามีความเป็นไปได้สามประการ คือ

ก. barrier อาจไปข้างหน้า บนช่องแคบพร้อมด้วยกับส่วนหลักบินไปด้วย สิ่งนี้เราเรียกว่า advancing barrier

ข. barring อาจถอนตัวลงไปตามช่องแคบพร้อมกันแต่ละหน่วยที่ตามมา สิ่งนี้เราเรียกว่า retiring darringbarrier

ค. barrier อาจอยู่กับที่ สิ่งนี้เราเรียกว่า symmetric barrier จะเป็นผลของ barrier ในลักษณะใดจากสามชนิดนี้ขึ้นอยู่กับ  $u, v, d, s$  และจำนวนเครื่องบิน  $n$

เพื่อที่ดำเนินการต่อไปมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาความสัมพันธ์บางประการ ซึ่งเป็นไปอย่างมีเหตุผลจากที่ได้อธิบายมาแล้วก่อนหน้านี้ มุม  $a$  ขึ้นอยู่กับความเร็วทั้งสอง คือ  $v$  และ  $u$  ของเครื่องบิน และของเป้าตามลำดับจากความต้องการที่ว่าเครื่องบินจะต้องไปถึงจุด  $a$  เมื่อเป้าซึ่งตอนแรกอยู่ที่  $o''$  ก็จะไปถึงจุด  $a$  ด้วย อาจเห็นแล้วจากรูปที่ 8 - 1 B ว่า  $\sin a = o' A / O_1 A$  โดยที่  $O' A = ut_1$  และ  $O_1 A = vt_1$  ในเมื่อ  $t_1$  เป็นเวลาที่ต้องการสำหรับเครื่องบินเพื่อให้ไปถึงจุด A

สมการ B - 1

$$a = \sin^{-1} \frac{u}{v}$$

เพื่อที่จะหาเวลา  $T_0$  ของเครื่องบินเพื่อที่จะปฏิบัติหนึ่ง basic element มีความต้องการที่จะต้องคำนวณบางประการ

$$D = \sqrt{(vt_1)^2 - (ut_1)^2} = t_1 \sqrt{v^2 - u^2}$$

$$t_1 = \frac{D}{\sqrt{v^2 - u^2}}$$

ดังนั้น

เมื่อเครื่องบินเครื่องแรกจาก n เครื่อง (และเข้าตอนแรกเริ่มอยู่ที่  $O_1$  ด้วย) อยู่ที่จุด A เครื่องบินเครื่องแรกนี้จะเคลื่อนตัวไปสกัดกั้นเป้า ซึ่งตอนแรกเริ่มอยู่ในช่อง n ช่อง เป็นระยะ  $nS$  ไมล์ เหนือจุด  $O_1$  เป้านี้ในขณะนี้จะต้องอยู่ระยะ  $nS$  เหนือจุด A และเดินทางลงได้ในช่องแคบนั้นด้วยความเร็ว  $u$  ให้  $t_2$  เป็นเวลาที่เครื่องบินใช้บินขึ้นไปทางเหนือช่องแคบเพื่อสกัดกั้นเป้านั้น ดังนั้น

$$t_2 = \frac{nS}{u + v}$$

และเวลาทั้งหมดสำหรับเครื่องบินเครื่องแรกที่จะไปถึง B ก็จะเป็นผลบวก  $t_1 + t_2$  หรือ

$$t_B = \frac{D}{\sqrt{v^2 - u^2}} + \frac{nS}{u + v}$$

ความยาวของการกวาดไปทางเหนือ เป็นระยะทางที่เครื่องบินเดินทางไปโดยใช้เวลา  $t_2$  นั่นคือ  $M = vt_2$  หรือ

$$M = \frac{vnS}{u + v}$$

สมการ 8-2

นี่ก็จะเป็นการจบครึ่งหนึ่งของ basic element และครั้งที่เหลือก็จะเห็นได้ว่าเหมือนกันทุกประการ ดังนั้น เวลาที่ใช้เพื่อครบหนึ่ง basic element คือ  $T_0$  ก็จะเป็น  $2t_B$  หรือ

สมการ 8-3

$$T_0 = \frac{2D}{\sqrt{v^2 - u^2}} + \frac{2nS}{u + v}$$

### ๘๐๒. Symmetric Crossover Patrol

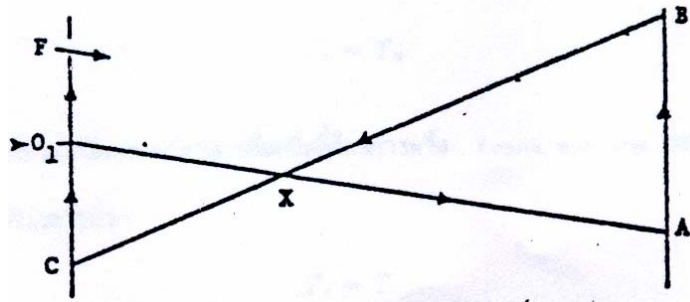
คำถามเกิดขึ้นว่า barrier ที่เกิดขึ้นมาจากการที่เครื่องบิน n เครื่องบินขนานกันนั้นจะเป็นแบบเคลื่อนตัวไปข้างหน้า ถอนตัวกลับ หรือสมมาตร มันจะเป็นแบบสมมาตรก็เพียงแต่ถ้าจุดเริ่มต้นสำหรับ element ที่สองจะเหมือนกับ element แรก

กล่าวคือถ้า F และ  $O_1$  พับกัน จึงสังเกตให้ถี่ถ้วนด้วยว่าเวลาของเป้าที่ตอนแรกอยู่ที่  $O_1$  ในรูปที่ ๘ - ๑B จะไปถึงจุด F นั้นเท่ากับ  $T_0$  ซึ่งเป็นเวลาเดียวกับที่เครื่องบินต้องการใช้เพื่อไปถึงจุด F ถ้า F อยู่ที่  $O_1$  ตอนแรกเป้าซึ่งอยู่ที่  $O_1$  จะต้องเดินทางผ่านทช่องเพื่อไปให้ถึง F ถ้าใช้เครื่องบิน n เครื่อง จำนวนช่องที่กวาดได้ในระหว่างหนึ่ง Basic element ก็จะเป็น  $2n$  และช่องแรกที่ไม่ได้รับการกวาดก็คือช่องที่ตอนแรกอยู่ ณ ระยะทาง  $2nS$  เหนือ barrier line เมื่อไรที่ช่องนี้หรือเป้าซึ่งอยู่ในช่องนี้จะไปถึง barrier line ? กำหนดให้  $T_1$  เป็นค่าของเวลาที่ต้องการดังกล่าว กล่าวคือ

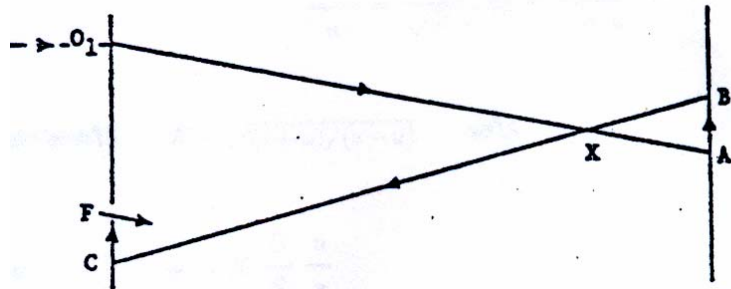
$T_1 =$  เวลาที่ต้องการสำหรับเป้าซึ่งตอนแรกอยู่ในช่องที่ไม่ได้รับการกวาดจะไปถึง barrier line และจะเป็น

$$T_1 = \frac{2nS}{u}$$

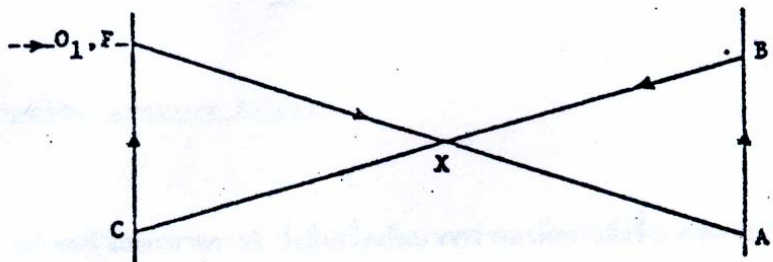
สมการ ๘ - ๔



A. The advancing crossover barrier



B. The retiring crossover barrier



C. The symmetric crossover barrier



สำหรับ Barrier ที่เคลื่อนไปข้างหน้าอย่างในรูปที่ 8-2A F อยู่เหนือ  $O_1$  ดังนั้น

$$T_i > T_o$$

สำหรับ Barrier ที่ถอยตัวกลับ อย่างในรูปที่ 8-2A F อยู่ใต้  $O_1$  ดังนั้น

$$T_i < T_o$$

สำหรับ Barrier ที่สมมาตร อย่างในรูปที่ 8-3C F และ  $O_1$  ทับกัน ดังนั้น

$$T_i = T_o$$

จากความสัมพันธ์ เป็นไปที่จะหาจำนวนเครื่องบินที่ต้องการหรือ Track spacing ที่จำเป็นสำหรับ Barrier สมมาตร สำหรับกรณีนี้มีความต้องการที่ว่า

$$T_i = T_o$$

ดังนั้น

$$\frac{2ns}{u} = \frac{2d}{\sqrt{v^2 - u^2}} = \frac{2ns}{v - U}$$

แก้หาค่า N และกำหนดให้  $K = \sqrt{(v - U)/(v + U)}$  จะได้

สมการ 8-5 
$$N = K \frac{D U}{S V}$$

หรือแก้หาค่า S จะได้ 
$$S = \frac{K D u}{n r}$$

### ๘๐๓ Advancing Crossover Patrol

Barrier ไปข้างหน้าแทนสถานการณ์ ซึ่งมีเครื่องบินมากกว่าพอเพียง ในอันที่จะลาดตระเวนได้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการ ข้อดีของการใช้วิธีนี้ก็คือที่การบินเพียงแต่ในช่วงที่ได้เปรียบเท่านั้น คือนบินในตอนกลางวันถ้าใช้การตรวจจับด้วยสายตา หรือสำหรับ

ภารกิจการถ่ายภาพ บินตอนกลางคืนด้วยเรดาร์ ถ้าต้องการการจู่โจมเป็นเรื่องสำคัญ ฯลฯ หลังจากที่ได้เคลื่อน ballier ไปข้างหน้าพอสมควรในช่วงเวลาที่ได้เปรียบแล้วการบินก็อาจเป็นช่วง ๆ ได้และเป็นในช่วงต่อไปที่ยังไม่ได้กวาดก็อาจที่จะยินยอมให้เดินทางต่อไปลงล่างของช่องแคบได้จนกระทั่งไปถึง ballier line  $\overline{0_10_1}$ .

ณ เวลาที่การลาดตระเวนจะต้องเริ่มต้นใหม่อีกครั้งหนึ่ง

สมมติว่าเครื่องบิน n เครื่อง ซึ่งบินขนาดกันในแต่ละเครื่องบิน N basic elements ดังนั้นช่องแรกที่เกิดว่ามีเป้าอยู่ที่ไม่ได้รับการกวาดก็คือ ช่องที่ตอนแรกเริ่มอยู่ทางส่วนบนของ ballier line  $\overline{0_10_1}$  เป็นระยะ  $2nN$  ระยะทางที่เท่ากันที่จะต้องเดินทางก็คือ  $2nNS$  และเป้าเหล่านี้จะไปถึง ballier line  $2nNS/u$  หรือ  $NT$

เมื่อถือเอาผู้ตรวจจับเป็นจุดอ้างอิงถึงเวลาในการตรวจค้นห้วงเวลาของการลาดตระเวน ( patrol period ) สำหรับ N basic element หรือ  $NT_0$  โดยยกเว้นว่าการกวาดไปทางส่วนบนสุดท้ายของ element สุดท้ายของ element สุดท้ายสามารถที่จะตัดทิ้งไปได้เพราะว่ามันไม่ทำให้การครอบคลุม ที่เพิ่มขึ้นมา ดังนั้น

$$\text{สมการ 8-6} \quad \text{ช่วงเวลาลาดตระเวน} = NT_0 - \frac{nS}{u \quad v}$$

ช่วงเวลาไม่มีในการลาดตระเวน ( no patrol period - NPP ) ที่ยอมให้มิได้ ซึ่งในระหว่างนั้น การตรวจค้นอาจหยุดโดยการปราศจากการยอมให้เป้าที่ไม่ได้รับการกวาดที่จะผ่าน ballier line ไปอาจหาได้จาก

$$\text{สมการ 8-7} \quad \text{ช่วงเวลาลาดตระเวน} + NT_1$$

ดังนั้น

$$\text{ช่วงเวลาไม่ลาดตระเวน} = NT_1 - \text{ช่วงเวลาลาดตระเวน}$$

$$= NT_1 - NT_0 + \frac{nS}{u \quad v}$$

หรือ

$$\text{สมการ 8-8 N} \quad \text{NPP} = N(T_1 - T_0) + \frac{nS}{u \quad v}$$

### ๘๐๔. Non-Continuos Patrol

ความเป็นไปได้ในอันที่จะใช้ advancing barrier เพื่อหลีกเลี่ยงการลาดตระเวนโดยติดต่อกันจะได้รับ การถกแถลง ณ ที่นี้ สมมุติว่ามีเวลา A ชั่วโมงที่เหมาะสมหรือสะดวกในการลาดตระเวน โดยที่ในเวลา B ชั่วโมง ไม่เหมาะสม ซึ่ง B อาจเป็นเวลาเกิดในเมื่อการตรวจการด้วยสายตาเป็นไปได้ ตามปกติการลาดตระเวนใน ลักษณะนั้น จะกระทำ เป็นวัฏจักรเป็น วันๆ ไป เพื่อว่า  $A+B = 24$  แต่วัฏจักรอื่นๆอาจต้องการเป็นบ้างโอกาส เงื่อนไขนี้ต่อไปนี้มีคือ

. ช่วงเวลาลาดตระเวน  $\_ A$

. ช่วงเวลาไม่ลาดตระเวน  $\_ B$

. ช่วงเวลาลาดตระเวน + ช่วงเวลาไม่ลาดตระเวน =  $A + B$

อย่างไรก็ตาม ถ้ามีเงื่อนไขสองข้อหลักแล้วเงื่อนไขแรกก็จำเป็นต้องมีด้วยดังนั้นเงื่อนไขสองข้อสุดท้ายกมพอเพียง เงื่อนไขที่สาม ( โดยการใช้สมการ 8-7 ) ก็จะกลายเป็น

$$NT_t = A+B$$

ซึ่งสามารถที่จะเขียน (โดยการใช้สมการ 8-4) ได้เป็น

$$\frac{N(2nS)}{u} = A+B$$

หรือ

$$\text{สมการ 8-9} \quad nS = \frac{u(A+B)}{2N}$$

เงื่อนไขที่สอง

$$\text{สมการ 8-1} \quad n(T_t - T_0) + \frac{nS}{U} - \frac{V}{B} =$$

ดังนั้นคำตอบต่อปัญหา non continous patrol นี้ จึงประกอบด้วยค่าของ  $n$ ,  $N$  และ  $S$  เพื่อให้ทั้งสมการ 8-9 และสมการ 8-1 เป็นจริง อาจมีการรวมกันหลายๆ ซึ่งค่าเป็นคำตอบได้ วิธี trial rror ก็จะทำให้ได้

คำตอบถึงแม้จะกิน เวลาบ้างก็ตาม เป็นไปได้จะลดแรงงานโดยมาตัดทิ้งหาค่า N จาก อสมการ 8 - 1 ที่ไม่ทำให้ สมการ 8 - 9 เป็นจริง ซึ่งทำได้โดยการแทนค่า  $T_r, T_o$  และ  $nS$  จากสมการ 8 - 4, 8 - 3 8 - 9 ตามลำดับลงไปนสมการ 8 - 1 แล้วคูณตลอด -N ผลของ quadratic inequality ที่ได้ก็อาจทำให้ง่ายเข้าก็ได้

โดยที่  $N^2 - c_1 N - \frac{C_2}{4} \leq 0$

$$c_1 = \frac{Av - Bu}{2DK}$$

$$c_2 = \frac{u(A + B)}{DK} \quad \text{และ} \quad K = \frac{\sqrt{v + u}}{\sqrt{v - u}} \quad \text{เหมือนอย่างเคย}$$

คำตอบต่อ quadratic inequality ซึ่งให้ค่าบวกที่ต้องการของ N ซึ่งจะทำให้สมการ 8 - 1 เป็นจริงและดังนั้นจะ ทำให้สมการ 8 - 9 เป็นจริงคือ

อสมการ 8 - 2

$$N \leq \frac{1}{2} [c_1 + \sqrt{c_1^2 + c_2}]$$

ไม่ต้องใช้วิธี quadratic inequality ในการใช้อสมการ 8 - 2 เพราะหาค่าของ N และ S ไม่จำเป็นต้องหาคำตอบ ก็จำหาได้เร็วดังต่อไปนี้

- ก. แก้อสมการ 8 - 2 เพื่อหาค่าสูงสุดของ N ( ลดให้เหลือเป็นจำนวนเต็ม)
- ข. ใช้ค่าสูงสุดของ N นั้น และ ค่า track spacing ที่มากที่สุดที่ต้องการ (ตามปกติหาได้จากค่า productivity ของการตรวจจับที่ต้องการ) แก้อสมการ 8 - 9 เพื่อหาค่าสูงสุดของ N (เพิ่ม ให้เป็นจำนวนเต็ม)
- ค. ใช้ค่าสูงสุดของ track spacing ที่ต้องการแก้อสมการ 8 - 9 เพื่อหาค่าต่ำสุดของสมการ  $nN$  (เพิ่ม ให้เป็นจำนวนเต็ม)
- ง. ค่าที่ของรับได้ใดๆ ของ n และ N ซึ่งผลคูณของมันโตพอที่จะกลายเป็นคำตอบของปัญหานั้น ค่า track spacing ที่จะใช้จะต้องพิจารณาอีกครั้งหนึ่งโดยการใช้สมการ 8 - 9 ตัวอย่างโดยการใช้ตัวเลข จะ แสดงไว้ในข้อต่อไป

805. การพิจารณาการเลือกลาดตระเวนรักษาค่าน

สำหรับ CROSSOVER BARRIER PATROL ค่า PROBABILITY ของการตรวจจับก็จะเป็นค่าเดียวกัน สำหรับการกวาดแบบขนาน สำหรับค่าระยะระหว่างลำ, S เดียวกัน อย่างไรก็ตามความแน่นอนของ PROBABILITY ของการตรวจจับที่คำนวณได้จะขึ้นอยู่กับตัวแปร เพิ่มเข้ามาอีกสองตัวคือ เข็ม และ ความเร็ว ของเป้าที่ประมาณไว้

ถ้าความเร็วเป้า U ได้ประมาณไว้สูงไป บางส่วนของแต่ละช่องจะได้รับการตรวจค้นมากกว่าหนึ่งครั้ง และ PROBABILITY ของการตรวจจับที่แท้จริงจะสูงกว่าค่าที่คำนวณได้ อย่างไรก็ตาม PROBABILITY ของการตรวจจับที่แท้จริง จะไม่สูงเท่าที่มันควรจะเป็น ถ้าการตรวจค้นนั้นได้วางแผน (ค่าของ S ซึ่งได้ลดลง) ไว้สำหรับค่าที่ถูกต้องของ U ถ้าความเร็วเป้า U ได้ประมาณไว้ต่ำไปจะก่อให้เกิดผลตรงกันข้ามและ PROBABILITY ของการตรวจจับจะน้อยกว่าที่ได้พยากรณ์ไว้

ถ้าเป้าเคลื่อนตัวลงมาตามช่องแคบ เอียงแทนที่จะขนานกับฝั่งที่เราได้สมมติไว้ ค่าความเร็วของเป้าก็จะต้องเป็น ค่าที่แยกแรงในเส้นขนานกับฝั่ง ที่ก็จะลดความเร็วที่เป็นจริง และจะก่อให้เกิดผลเช่นเดียวกับที่ค่าความเร็วเป้าได้ประมาณไว้สูงไป

โดยทั่ว ๆ ไปจะมีปัญหาอยู่สองแบบซึ่งต้องการหาคำตอบ

ก. กำหนดประสิทธิภาพที่ต้องการไว้ กล่าวคือ PROBABILITY ของการตรวจจับ P (S) ให้ ออกแบบ BARRIER เพื่อให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด ให้ระบุค่า n, N, S และเวลาลาดตระเวน

ข. กำหนดทรัพยากรที่มีให้ กล่าวคือ เวลา จำนวนเครื่องบิน ฯลฯ ให้ออกแบบ BARRIER เพื่อให้ ประสิทธิภาพสูงสุด ให้ระบุ N, S, P (S)

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่าง :

ก. ต้องการปิดช่องแคบกว้าง 300 ไมล์ ด้วย BARRIER ซึ่งมีโอกาสของการตรวจจับร้อยละ ๘๘ ความเร็ว คือ V = 150 นอต และ U = 14 นอต ความกว้างทางกวาด 20 ไมล์ สมมติว่าใช้กฎกำลังสามผกผัน จะต้องใช้เครื่องบินกี่เครื่อง เพื่อให้มี SYMMETRIC BARRIER และจะต้องบินอย่างไร ?

โดยการใช้กฎกำลังสามผกผัน จะต้องมีค่าของ S เป็น 16.6 ไมล์ ด้วยค่านี้ของ S จำนวน n ของเครื่องบินจะต้องเป็นจำนวนเต็มที่น้อยที่สุด ซึ่งไม่น้อยกว่าค่าที่ต้องการสำหรับ SYMMETRIC BARRIER ในสมการที่ 8-5 กล่าวคือ

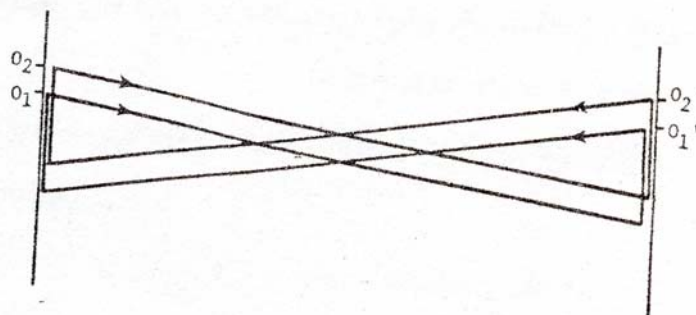
$$n = K \frac{D}{S} \frac{u}{v} = \sqrt{\frac{164}{136} \frac{(300)(14)}{(16.6)(150)}} = 1.85$$

กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ จำเป็นต้องใช้เครื่องบินสองเครื่อง แต่ด้วยเครื่องบินสองเครื่อง ADVANCED BARRIER จะมีผลได้เพราะว่า  $T_1$  จะใหญ่กว่า  $T_0$  เพื่อให้มี STATIONARY BARRIER เครื่องบินทั้งสองนั้นจะต้องบินเคียงคู่ไปด้วยกัน TRACK SPACING ของเครื่องบินนั้นหาได้โดยการแก้สมการเดียวกัน สำหรับ S ด้วย  $n = 2$

$$S = \frac{KDu}{nv} = \sqrt{\frac{164}{136} \frac{(300) \times (14)}{(2) \times (150)}} = 15.4 \text{ ไมล์}$$

ด้วย TRACK SPACING ลดขนาดลงนี้ BARRIER จะเพิ่มความแน่นหนาขึ้น ตามจริงแล้ว PROBABILITY ที่หาได้จากกฎกำลังสามผกผัน จะกลายเป็นร้อยละ 90 ซึ่งดี ความยาวของการกวาดขึ้น ซึ่งได้จากสมการ 8-2 คือ  $M = 28.2$  ไมล์ ประการสุดท้ายมุมหน้าที่ได้จากสมการ B = 1 คือ  $a = 5.21$  ค่าเหล่านี้จะเป็น BASIC ELEMENT สำหรับเส้นทางของ SYMMETRICAL CROSSOVER สองเส้นทาง ซึ่งแสดงในรูปต่อไปนี้

รูปที่ 8-3



barrier สมมาตรที่บินโดยเครื่องบินสองเครื่อง

ในการพิจารณาหาเวลาที่ต้องการใช้ จะต้องพิจารณาปัจจัยอื่น ๆ อีกด้วย  $n = 2$   $S = 15.4$  ฯลฯ จะพบว่า  $T_0 = 4.38$  ชั่วโมง เครื่องบินตรวจการณ์ระยะไกลอาจมีระยะไกลปฏิบัติภารกิจพอเพียงสำหรับสอง BASIC ELEMENT ถึงแม้ว่าจะต้องมีเวลาสำหรับบินไปและกลับจากฐานบิน การตรวจสอบ CONTACT ฯลฯ ดังนั้นเครื่องบินอีกสองเครื่องจะต้องลาดตระเวนต่อไปโดยการเริ่ม BASIC ELEMENT ที่สามที่จุด  $O_1$  และ  $O_2$  อย่างก่อน

ข. ภายใต้ข้อสมมุติ ของตัวอย่างก่อน กำหนดให้ว่าจะต้องบินแบบ ADVANCING BARRIER ด้วย เครื่องบิน  $n$  เครื่องในระหว่างเวลา  $A = 12$  ชั่วโมง ขณะที่ไม่มีแสงสว่าง และไม่มีแสงสว่างในระหว่างเวลา  $B = 12$  ชั่วโมงตอนช่วงมืด วิธีการ ณ ตอนสุดท้ายของข้อ 804 สามารถที่จะประยุกต์ได้เพื่อหาคำตอบ ประการแรก สมการ 8-2 จะถูกใช้เพื่อพิจารณาหา  $N = 2.57$  และดังนั้นจำนวนมากที่สุดของ BASIC ELEMENT สำหรับที่ห้วงเวลาการลาดตระเวนจะน้อยกว่า  $A$  จะเป็นสอง ดังนั้นโดยการให้  $N = 2$  และ  $S = 16.6$  สมการ 8-9 จะให้  $n = 5.05$  ดังนั้นจำนวนที่น้อยที่สุดของเครื่องบินซึ่งบินหน้ากระดานจะเป็นหก สมการเดียวกันจะแก้เพื่อหา  $nN = 10.1$  ซึ่งหมายความว่าผลคูณ  $nN$  จะต้องเป็น 11 หรือมากกว่า โดยสรุป COMBINATION ใด ๆ ของ  $n$  และ  $N$  จะเป็นคำตอบ ถ้าข้อความต่อไปนี้เป็นจริง

$$\begin{aligned}
 N &= 1 \text{ or } 2, \\
 n &= 6, 7, 8, \dots, \\
 nN &\geq 11, \\
 S &= \frac{168}{nN}
 \end{aligned}$$

จากสมการ 8 - 9

คำตอบที่เป็นไปสองชุดได้ลงตารางไว้ดังต่อไปนี้

รูปที่ 8-4

$n$	$N$	$S$	$\bar{P}(S)$	$T_0$	ช่วงเวลา ลาดตระเวน	จำนวนทั้งหมด ของชั่วโมงบิน บนสถานี
6	2	14.0	.93	5.02	9.55	57.3
11	1	15.3	.90	6.01	5.02	55.2

นายทหารผู้ซึ่งจะต้องตัดสินใจว่าจะทำ BARRIER อย่างไรสามารถใช้ข่าวสารนี้ควบคู่ไปกับการพิจารณาทางอ้อม อย่างเช่นความเหน็ดเหนื่อยของพนักงาน เพื่อที่จะตัดสินใจได้อย่างฉลาด

806. BARRIER เมื่อความเร็วเข้าใกล้เคียงกับความเร็วผู้ตรวจจับ

จนกระทั่งบัดนี้ได้สมมุติว่า  $v$  สูงกว่า  $u$  มาก ในเมื่อ  $v < u$  แบบของ CROSSOVER BARRIER จะเป็นไปได้

เมื่อ  $u$  เกือบเท่า ๆ กับ  $v$  มุม  $a$  จะใหญ่มาก จนกระทั่งว่า CROSSOVER BARRIER จะไม่มีประสิทธิภาพ ที่จะไม่เกิดขึ้นเมื่อผู้ตรวจจับใช้เครื่องบินและเป่าเป็นเรือผิวน้ำ แต่เมื่อตั้งผู้ตรวจจับและเป่าเป็นหน่วยแบบเดียวกัน (เป็นเรือผิวน้ำด้วยกันหรือเครื่องบินด้วยกัน) สถานการณ์ซึ่งไม่ได้คิดรวมจนกระทั่งบัดนี้กลายเป็นสิ่งสำคัญ ถึงแม้ว่าแผน BARRIER เช่นนั้นเรียกว่า “ การลาดตระเวนเป็นเส้นตรง (Linear Patrol) ” นี้จะเป็นไปได้เสมอ โดยที่การออกแบบของมันไม่ได้เกี่ยวข้องกับอัตราส่วนของความเร็ว  $u/v$

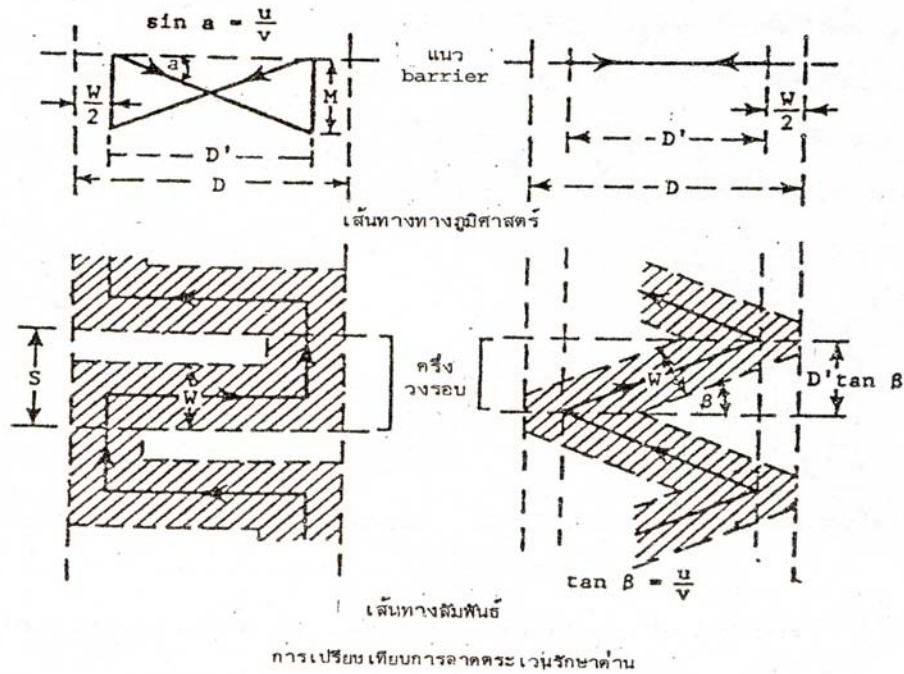
การลาดตระเวนเป็นเส้นตรงนี้จะเปรียบเทียบกับ SYMMETRIC CROSSOVER PATROL { เมื่อ  $u < v$  } และเพราะว่าเป็นการเปรียบเทียบอย่างหยาบ ๆ ณ ที่นี้จึงจะใช้ DEFINITE RANGE LAW กล่าวคือ ส่วนหนึ่งของเป่าซึ่งมาในความกว้างทางกวาดจะใช้เป็น PROBABILITY ของการตรวจจับ กฎที่ทันสมัยก็จะจะไม่เปลี่ยนการเปรียบเทียบนี้ไปมากนัก

ไดอแกรมในรูปที่ 8 – 5 แสดงให้เห็นเส้นทางทั้งทางภูมิศาสตร์ และเส้นทางสัมพันธ์สำหรับทั้งสองแบบของการ ลาดตระเวน ในทั้งสองกรณีผู้ตรวจจับจะเคลื่อนตัวเพียงแต่ระยะ  $W/2$  จากด้านข้างของช่องแคบ เพื่อว่าสำหรับ CROSSOVER PATROL จะปรับแต่งค่า  $S$  เพื่อให้ได้ SYMMETRIC BARRIER

ในแต่ละเส้นทางสัมพันธ์ พื้นที่ที่กวาดแล้วจะแรเงาและได้แสดงถึงครึ่งหนึ่งของวัฏจักร PROBABILITY ของการตรวจจับสำหรับแต่ละกรณี คืออัตราส่วนพื้นที่ที่แรเงาต่อพื้นที่ทั้งหมด ในช่องแคบระหว่างเส้นประสองเส้น ซึ่งชี้เขตครึ่งวัฏจักร



รูปที่ 8-5



การเปรียบเทียบการลาดตระเวนรักษาความ

เป็นการสะดวกที่จะนำเอาตัวแปรใหม่อีกสองตัวเข้ามาเพื่อขยายถึง PROBABILITY ของการตรวจจับ คือ สำหรับกรณีของ CROSSOVER PATROL นั้น PROBABILITY ของการตรวจจับ จะได้โดย

$$P_{> \Delta} = 1, \text{ or } \left(1 + \frac{r\sqrt{r^2 + 1}}{r + 1}\right) \frac{1}{\lambda + 1}$$

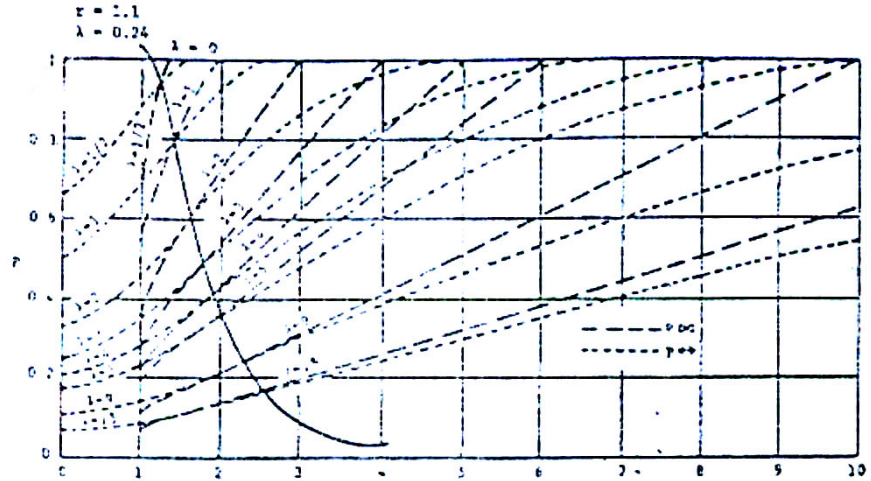
โดยเลือกเอาตัวที่เล็กกว่า สำหรับ linear patrol นั้น probability ของการตรวจจับ  $P_{\leftrightarrow}$  จะได้โดย

$$P_{\leftrightarrow} = 1 - \left[ \left( \lambda - \frac{\sqrt{r^2 + 1} - 1}{2} \right)^2 / \lambda(\lambda + 1) \right], \quad r \leq 2\sqrt{\lambda(\lambda + 1)}$$

$$= 1, \quad r > 2\sqrt{\lambda(\lambda + 1)}$$

ในรูปที่ 8-6 ค่าของ P สำหรับทั้งสองกรณีได้พล็อตในฐานะฟังก์ชันของ r โดยให้ คงที่สำหรับเส้นโค้งที่กำหนดให้ ในการเปรียบเทียบ CROSSOVER PATROL กับ LINEAR PATROL เส้นโค้งเหล่านั้นซึ่งมีค่าของ เป็นค่าเดียวกันจึงควรจะเปรียบเทียบกัน เส้นโค้งที่ผ่านจุดตัดของเส้นโค้งซึ่งกำลังเปรียบเทียบกันอยู่ และชี้ให้เห็นขอบเขตระหว่างส่วนที่ LINEAR PATROL ดีกว่า (PREFERABLE) และส่วนที่ CROSSOVER PATROL ดีกว่า

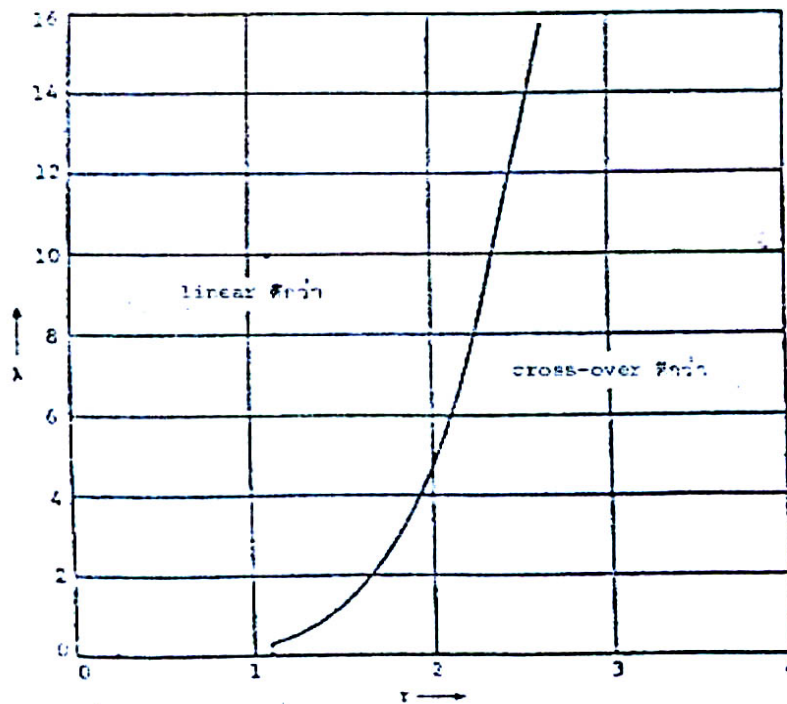
รูปที่ ๘ - ๖



การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างแผนแบบ Linear & Crossover

เพื่อที่จะช่วยให้ง่ายขึ้นในการเลือกแผนของการลาดตระเวนที่ดีกว่ารูปที่ ๘ - ๖ จึงได้รวมไว้ด้วย  
เส้นโค้งนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง  $r$  สำหรับจุดตัดของเส้นโค้งในรูปที่ ๘ - ๖

รูปที่ ๘ - ๗



เขตของประสิทธิภาพของแผนแบบ Linear & Crossover

ตัวอย่าง ๆ หนึ่งจะแสดงให้เห็นถึงการใช้เส้นโค้งเหล่านี้ สมมติว่าเรือลำหนึ่งซึ่งมีความเร็ว ๑๒ นอต กำลังพยายามที่จะป้องกันไม่ให้เป้าที่เป็นเรือดำน้ำลำหนึ่ง ซึ่งเดินทางด้วยความเร็วหกนอตผ่าน Barrier เข้าไปโดยปราศจากการถูกตรวจจับ สมมติต่อไปด้วยว่าช่องแคบซึ่งกำลังระวังป้องกันมีความกว้างแปดไมล์ และความกว้างทางกวาดของโซนาร์ W เป็นสองไมล์ ดังนั้น  $D = 8 - 2 = 6$ ,  $r = 6/2 = 3$ ,  $r = 12/6 = 2$  ใช้ค่าเหล่านี้ของ  $r$  และ  $r$  ไปใช้รูปที่ ๘ - ๓ ก็จะพบว่า Crossover Patrol ดีกว่า

---

### ปัญหา

๑. เครื่องบินลาดตระเวนเดี่ยวเครื่องหนึ่งได้รับมอบหมายให้บินทำ “Crossover Barrier” ช่องทางที่มีความกว้าง ๑๕๐ ไมล์ทะเล เพื่อตรวจจับเรือฝืนน้ำซึ่งจะเคลื่อนตัวผ่านขนานไปกับขอบของช่องทางโดยใช้เข็มบิน ๒๒๕ โดยมีพารามิเตอร์ ดังต่อไปนี้คือ
- |                                 |   |              |
|---------------------------------|---|--------------|
| ความกว้างทางกวาดด้วยสายตา       | : | ๑๕ ไมล์ทะเล  |
| ระยะระหว่างลำ                   | : | ๒๕ ไมล์ทะเล  |
| ความเร็วสูงสุดของเป้าที่คาดหวัง | : | ๒๐ ไมล์ทะเล  |
| ความเร็วของเครื่องบินลาดตระเวน  | : | ๑๒๐ ไมล์ทะเล |
- ก. อะไรคือเข็มตั้งต้นของเครื่องบินในขาแรกถ้า Barrier เริ่มต้นจากด้าน NW ของช่องทาง ?
- ข. อะไรคือเวลา (เป็นชั่วโมง) ที่ต้องการ เพื่อบินหนึ่งบินกวาดไปตามขอบของช่องทาง ?
- ค. อะไรคือเวลา (เป็นชั่วโมง) ที่ต้องการ เพื่อบินครบหนึ่ง Basic Element ?
- ง. ผลที่ได้เป็น Crossover Barrier แบบไหน ?
- จ. อะไรคือหนทางเลือกที่เปิดกว้างสำหรับผู้บังคับการหมู่บิน ซึ่งจะมีผลใน Advancing Barrier ?
๒. ผลการคำนวณเบื้องต้นของนายทหารยุทธการของหน่วยกำลัง ซึ่ให้เห็นว่าจากการใช้เครื่องบินหนึ่งเครื่องภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดให้จะได้ผลจาก Retiring Crossover Barrier ดังนี้
- |  |               |              |             |
|--|---------------|--------------|-------------|
| เวลาสำหรับเป้าที่จะเคลื่อนตัวสอง                   | ระยะระหว่างลำ | :            | ๒.๕ ชั่วโมง |
| เวลาสำหรับเครื่องบินเพื่อบินครบหนึ่ง Basic Element | :             | ๒.๖๕ ชั่วโมง |             |
| ความกว้างของช่องทาง                                | :             | ๑๗๕ ไมล์ทะเล |             |
| ระยะระหว่างลำ                                      | :             | ๒๕ ไมล์ทะเล  |             |
| ความเร็วเป้า                                       | :             | ๒๐ นอต       |             |
| ความเร็วเครื่องบิน                                 | :             | ๑๕๐ นอต      |             |
- ก. อะไรคือจำนวนเครื่องบินที่น้อยที่สุด ซึ่งจะเปลี่ยน Retiring Barrier นี้เป็น Symmetric หรือ Advancing Crossover Barrier อย่างใดอย่างหนึ่ง ?
- ข. ด้วยจำนวนของเครื่องบินที่ได้จาก ข้อ ก. ช่วง “no patrol period” จะเป็นเท่าใดถ้าได้ทำไปแล้วหก Basic Elements (เว้นหากวาดขั้นสุดท้าย)

๓. เรือสินค้าลำหนึ่งซึ่งคำนวณว่าใช้ความเร็ว ๒๐ นอต เข็มตะวันตก คาดว่าจะผ่าน approach zone ไปยังชายฝั่ง ซึ่งขยายออกไป ๑๕๐ ไมล์ทางตะวันออก หมู่บินลาดตระเวนซึ่งจะใช้ความเร็วในการเดินทาง ๑๖๐ นอต ได้รับมอบหมายให้ค้นหาเรือซึ่งจะเข้ามายัง approach zone นี้ และถ่ายภาพเรือสินค้าทั้งหมดเพื่อความมุ่งหมายทางข่าวกรอง เวลาที่มีเพื่อการตรวจด้วยสายตาและถ่ายภาพก็คือ จาก ๐๖๐๐ ถึง ๑๘๐๐ ทุกวัน และจะต้องลาดตระเวนเป็นเวลาหลายสัปดาห์

สมมติว่าหมู่บินสามารถที่จะให้เครื่องบินหนึ่งเครื่องคงอยู่บนสถานีครึ่งละ ๖ ชั่วโมง และใช้ระยะระหว่างลำไม่มากไปกว่า ๑๖ ไมล์

ก. เครื่องบินหนึ่งเครื่องจะต้องใช้เวลาเท่าใด เพื่อบินครบหนึ่ง Basic Element ของการลาดตระเวน ถ้า approach zone นี้กว้าง ๑๐๐ ไมล์ ?

ข. ผลที่ได้จะเป็น Crossover Barrier แบบใด ?

ค. เครื่องบินจะบินได้กี่ Basic Elements ภายในช่วงเวลาของการลาดตระเวน ๖ ชั่วโมง ?

ง. ถ้าเครื่องบินเริ่ม Basic Element แรก เวลา ๐๖๐๐ แล้วบินครบ Basic Elements ให้ได้จำนวนสูงสุดแล้วจะสับเปลี่ยนบนสถานีโดยเครื่องบินเครื่องที่สอง ซึ่งจะบิน Basic Elements จำนวนเท่ากัน (ยกเว้นขาบินกวาดไปทางข้างบน) การกิจนี้จะสำเร็จหรือไม่ถ้าการลาดตระเวนจะจบ ณ จุดนี้ แล้วเริ่มต้นใหม่เวลา ๐๖๐๐ ของวันต่อไป ?

จ. จงอธิบายว่าหมู่บินจะใช้จำนวนเครื่องบินนี้อย่างไร เพื่อให้บรรลุภารกิจภายในชั่วโมงที่เป็นกลางวัน ให้บอกค่า  $n$ ,  $N$  และ  $S$  ?

ง. ถ้าเครื่องบินสามเครื่องบินกวาดขนาน เครื่องบินทั้งสามเครื่องนี้จะบินได้กี่ Basic Elements ก่อนที่จะถูกสับเปลี่ยนบนสถานี โดยเครื่องบินอีกสามลำต่อไป ?

4. เพื่อให้การครอบคลุมช่องทางที่กว้าง ๕๐๐ ไมล์ มีความต้องการที่จะใช้ barrier พร้อมด้วยโอกาสแห่งการตรวจจับ 95% เครื่องบินค้นหาจะใช้ความเร็ว 190 นอต ความเร็วเข้าศึกที่ดีที่สุดที่ประมาณการณได้คือ 18 นอต สำหรับเงื่อนไขที่มีอยู่ ความกว้างทางกวาดเป็น 25 ไมล์ และใช้กำลังสามศพผัน

ก. อะไรคือระยะระหว่างลำที่มากที่สุดที่จะใช้ได้ ?

ข. ต้องการเครื่องบินกี่เครื่องเพื่อให้ได้ Symmetric barrier ?

ค. โดยการใช้น้ำมันเครื่องบินที่ความต้องการน้อยที่สุด อะไรคือค่าของ  $S$ ,  $M$  และ  $A$  ?

5. ท่านได้รับมอบหมายให้สรรหาโอกาสของการตรวจจับ และการถ่ายภาพ 90 % ในระหว่างชั่วโมงที่มี แสงสว่างต่อเรือใด ๆ ที่จะเคลื่อนตัวไปตามช่องทางที่กำหนดให้ในสองสัปดาห์ที่จะถึง ท่านจะต้องตัดสินใจใช้ฝูงบินของท่านที่มีเครื่องบินลาดตระเวน 10 เครื่อง ให้มีประสิทธิภาพที่สุดเพื่อบรรลุจุดประสงค์นี้ให้ใช้กฎกำลังสามผกผันพร้อมด้วยข้อมูลที่ทราบ หรือสมมุติดังนี้

ความกว้างของช่องทาง	100 ไมล์ทะเล
ความกว้างค้นหาสูงสุด	226 นอต
ความเร็วเป้าที่คาดหวังสูงสุด	30 นอต
เวลาดวงอาทิตย์ขึ้น	0430
เวลาดวงอาทิตย์ตก	2030
ความกว้างทางกวาดที่พยากรณ์ไว้	30 ไมล์ทะเล
เวลาปฏิบัติการของเครื่องบิน (ตั้งแต่บินขึ้นจนถึงบินลงจอด)	12 ชั่วโมง
จำนวนเครื่องบินที่อยู่ในอากาศ ณ เวลาหนึ่ง ๆ มากที่สุด	4 ไมล์

ก. จงกล่าวถึงจุดประสงค์ของปฏิบัติการนี้

ข. อะไรคือ MOE ที่ใช้ได้ ?

ค. อะไรคือระยะระหว่างลำที่ยอมรับได้สูงสุด

ง. อะไรคือจำนวนต่ำสุดของ basic elements ที่จะบินได้แต่ละวัน ?

จ. อะไรคือจำนวนต่ำสุดของเครื่องบินซึ่งจะต้องอยู่บนสถานี ?

ฉ. ให้ลงรายการหนทางปฏิบัติที่เป็นไปได้หลาย ๆ รายการ(ตัวอย่างรายการหนึ่ง เช่น ควรจะใช้ advancing crossover barrier โดยเริ่มเวลา 0460 แต่ละวัน โดยใช้เครื่องบิน 10 เครื่องแต่ละครั้ง เพื่อให้ได้ basic elements ด้วย ระยะระหว่างลำ 22.5 ไมล์ทะเล)

ช. จงคำนวณหาค่าเป็นตัวเลขของ MOE ของท่าน สำหรับแต่ละหนทางปฏิบัติ

ซ. อะไรคือหนทางปฏิบัติที่ดีที่สุด ?

6. จะต้องใช้เครื่องบินจำนวนหนึ่งในการใช้ crossover barrier เพื่อค้นหาในช่องทางในช่วง 14 ชั่วโมงที่มีแสงสว่าง และหลีกเลี่ยงการตรวจค้นในช่วง 10 ชั่วโมงตอนมืด

กำหนดให้ : ให้ใช้กฎกำลังสามผกผัน ความน่าจะเป็นของการตรวจจับต่ำสุด 90 %

$$U = 20 \text{ นอต} \quad V = 15 \text{ นอต} \quad W = 40 \text{ ไมล์}$$

ก. อะไรคือจำนวนมากที่สุดที่ยอมรับได้ของระยะระหว่างลำ ?

ข. อะไรคือจำนวนน้อยที่สุดของเครื่องบินที่ต้องการ ?

ค. จงหากลุ่มสามกลุ่มของ  $n$ ,  $N$ ,  $S$  และ  $P(\text{det})^*$  ซึ่งจะทำให้ครบความต้องการและงัดตารางให้เต็ม

	$n$	$N$	$S$	$P(\text{det})$
1				
2				
3				

$$P(\text{det}) = P(\text{ การตรวจจับ })$$

7. เครื่องบิน  $n$  เครื่องปฏิบัติการค้นหาแบบ advancing crossover patrol

ก. เครื่องบินเครื่องแรกจะต้องบินขึ้นไปตามช่องทางไกลเท่าใด เมื่อบินครบ  $N$  basic element ?

ข. ถ้าเครื่องบินอยู่ที่ฐานบินระยะ  $D_2$   $w$ , ไมล์ จากช่องทาง และเส้น barrier จะต้องวางเพื่อว่าเพื่อให้ระยะทาง  $O_1$  จากฐานบินเป็นระยะทางต่ำสุด เครื่องบินจะต้องใช้เวลาเท่าใด เพื่อบินกลับฐานหลังจากลาดตระเวนเสร็จ ?

ค. ถ้าเครื่องบินอยู่ที่ฐานบินระยะ  $D_2$  ช่องทาง เส้น barrier จะต้องอยู่ที่ใดเพื่อให้ระยะเดินทางไปและกลับจากช่องทางน้อยที่สุด ?

8. เรือพิฆาตลำหนึ่งมีความสามารถที่จะใช้โซนาร์ค้นหาด้วยความเร็วไม่เกิน 18 นอต เพื่อป้องกันไม่ให้เอด้าน้ำซึ่งจะเดินทางได้น้ำด้วยความเร็ว 10 นอต ผ่าน barrier เข้าไปได้ โดยปราศจากการถูกตรวจจับ barrier จะต้องวางอยู่ในช่องทางกว้าง 10 ไมล์ และความกว้างทางกวาดของโซนาร์เป็นสองไมล์ เมื่อความเร็วเรือเป็น 18 นอต แบบของการลาดตระเวน (crossover หรือ linear) ใดดีกว่า ?

บทที่ 9  
การตรวจจับด้วยโซนาร์  
(Sonar Detection)

ก่อนที่เรือดำน้ำจะถูกโจมตีได้นั้น ก่อนอื่นจะต้องตรวจพบเรือดำน้ำลำนั้นเสียก่อน และที่เรือต่อมาของมันจะต้องพิจารณาได้ว่าอยู่ที่ใดภายใต้ความต้องการของระบบอาวุธที่เรามี การตรวจพบและการหาที่เรือ อาจกระทำได้ 2 วิธี จะต้องมีการแลกเปลี่ยนพลังงานจากเรือดำน้ำสู่ผู้ตรวจค้น หรือเรือดำน้ำลำนั้นอาจรบกวนคลื่นในอากาศ ซึ่งเป็นธรรมชาติและอยู่หนึ่ง เช่น สนามแม่เหล็กโลก การหักงอของสนามแม่เหล็กนี้ อาจตรวจพบได้ในระยะใกล้ (short range) อย่างไรก็ตามการผิดปกติของสนามแม่เหล็กโลกลดลงเป็นสัดส่วนโดยตรงกับ  $1/r$  โดย  $r$  คือระยะ ดังนั้นระบบการตรวจค้นและติดตามเป้าซึ่งขึ้นอยู่กับ ความผิดปกติอันนี้นั้น จำกัดด้วยระยะ เพื่อต้องการที่จะตรวจจับและติดตามเป้าในระยะไกล ๆ กว้านี้ จะต้องหาปรากฏการณ์ธรรมชาติอื่นๆ มาใช้ประโยชน์

คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) นั้นกระจายออกด้วยความเร็วสูงมาก และไปได้ระยะไกลผ่านตัวกลางบางอย่าง อย่างไรก็ตามคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไม่สามารถ ผ่านน้ำทะเลไปได้ในเกือบ ๆ ทุกความถี่ แต่คลื่นความดันเสียง (acoustic pressure waves) ซึ่งมีความเร็วต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านั้น สามารถที่จะส่งผ่านน้ำทะเลไปได้ในระยะปฏิบัติการที่พอเพียง ด้วยสิ่งนี้เองโซนาร์ จึงเป็นระบบการตรวจจับได้น้ำที่ดีที่สุดที่มีอยู่ในปัจจุบันก็ตาม แต่ก็มีข้อจำกัดหลายประการต่อการใช้ที่มีประสิทธิภาพ

การใช้โซนาร์อย่างได้ประโยชน์สูงสุดนั้น จำเป็นที่จะต้องเข้าใจโดยถ่องแท้ต่อข้อจำกัดต่าง ๆ เพื่อที่จะได้ลดข้อจำกัดเหล่านี้ลงให้เหลือน้อยที่สุด ยกตัวอย่าง น้ำทะเลจะไม่มีระเบียบราบในเรื่องความแน่น ความกด อุณหภูมิ หรือความเค็ม และคุณลักษณะต่าง ๆ ทั้งหมดนี้มีผลกระทบที่สำคัญต่อคลื่นเสียงผ่านน้ำทะเล ความต้องการที่จะทำนายผลกระทบต่าง ๆ เหล่านี้ในการทำงานของโซนาร์เป็นความจำเป็นอย่างยิ่ง และเป็นเรื่องยุ่งยาก ปัจจัยอื่น ๆ ทางยุทธการ จะต้องนำมาพิจารณาด้วย เช่น ขนาดและรูปร่างของเรือดำน้ำข้าศึก ความเร็วของเรือปราบ ฯลฯ ในบทนี้ จะตรวจสอบค้นคว้าเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการตรวจจับด้วยโซนาร์และการใช้โซนาร์ทางยุทธการ

901. แนวความคิดและหน่วยหลัก

จงพิจารณาการสั้นสะเทือนของแผ่นบาง ๆ แผ่นหนึ่งในน้ำ ในขณะที่แผ่นนั้นเคลื่อนไปมา มันจะผลักดันไปทางหนึ่งและอีกทางหนึ่งตรงกันข้าม



รูปที่ 9 - 1



ในขณะที่มันเคลื่อนตัวไปทางขวาตามรูปที่ 9 - 1 แผ่นนั้นจะก่อให้เกิดความดันเพิ่มขึ้นในน้ำไปทางขวา ความดันที่เพิ่มขึ้นนี้จะแพร่ (propagate) ผ่านน้ำไปด้วยความเร็ว ๆ หนึ่ง ซึ่งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความกด และสภาวะอื่น ๆ ของน้ำในขณะที่แผ่นนี้เคลื่อนตัวไปทางซ้ายก็จะก่อให้เกิดความดันลดลงทางด้านขวาของแผ่นนั้น และผลของความดันที่เป็นลบนี้ก็จะแพร่กระจายไปในน้ำด้วย ถ้าการเคลื่อนตัวของแผ่นนี้ เคลื่อนตัวไปมาเป็นจังหวะหรือโดยเฉพาะอย่างยิ่งเป็น harmonic แล้ว ความเปลี่ยนแปลงของความดันในน้ำระยะ  $r$  จากแผ่นนั้นจะเป็น

$$\text{สมการ 9-1} \quad p(r,t) = p(r) \sin 2\pi ft - \frac{r}{\lambda}$$

โดย  $p(r,t)$  เป็นความดันซึ่งเป็นฟังก์ชันของ  $r$  คือ ระยะทางจากแผ่นนั้น และ  $t$  เป็นเวลาดังแต่ที่คลื่นออกจากแผ่นนั้นทางขวามือ  $p(r)$  เป็น amplitude ของความดันในฟังก์ชันของ  $r$ , โดย  $f$  เป็นความถี่ของการแพร่คลื่นเป็น cycles/วินาที และ  $\lambda$  เป็นความยาวคลื่น จงสังเกตความขึ้นแก่กันของ amplitude ต่อระยะทางจากแหล่งเกิด amplitude นี้จะลดลงเสมอ ถ้าหากเพิ่มระยะทาง  $r$  (โดยไม่คิดค่าของผลรบกวน) ธรรมชาติของการลดนี้ เป็นปัจจัยสำคัญในการถดถอยต่อไป

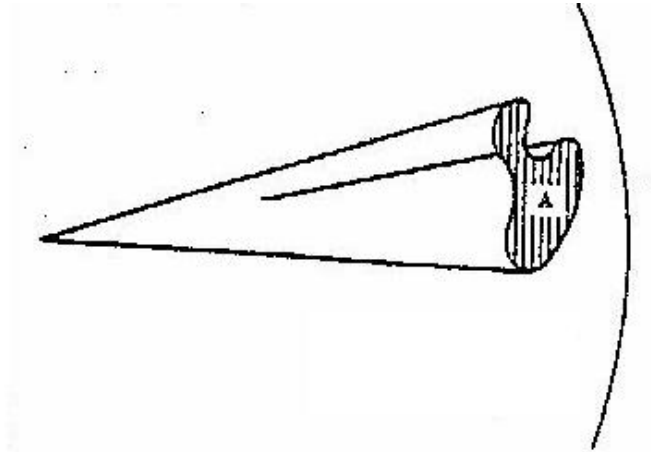
ถ้าระยะทางคงที่ ความดันจะเพียงแต่เป็นฟังก์ชันของเวลา และ สมการ สมการ 9-1 จะง่ายขึ้นเป็น

$$\text{สมการ 9-2} \quad p(t) = p_A \sin 2\pi ft$$

โดย  $p_A$  เป็น amplitude ที่คงที่

แต่ละคลื่นความดัน ในขณะที่มันผ่านจุด ๆ หนึ่ง จะก่อให้เกิดความดันที่แกว่งไปมา (fluctuate) ในปริมาณเล็ก ๆ ของน้ำปริมาตรหนึ่ง และมันจะก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวไปมาเล็กน้อย และสามารถที่จะทำงานได้ ดังนั้นคลื่นเสียงเป็นตัวพาหะของพลังงาน ถ้าหากเราคิดถึงพื้นที่ผืนหนึ่งที่ตั้งฉากกับทิศทางของการแพร่คลื่น และบนพื้นที่นี้เราพิจารณาพื้นที่  $A$  ตามที่แสดงในรูปที่ 9-2

รูปที่ 9-2



อัตราเวลาของการเปลี่ยนแปลงพลังงาน คือ กำลังงาน (power) และกำลังงานหารด้วยพื้นที่ที่เราเรียกว่าความแน่นของกำลังงาน (power density) หรือความเข้ม (intensity) เราอาจแสดงให้เห็นได้ว่า ความเข้มเฉลี่ยมีความสัมพันธ์กับความดัน ณ จุดใดจุดหนึ่งในมหาสมุทร โดย

$$\text{สมการ 9-3} \quad I = \frac{p_{rms}^2}{c}$$

โดย  $p_{rms}$  เป็น root mean square ของความดัน,  $\rho$  เป็นความแน่นของน้ำ และ  $c$  เป็นความเร็วของเสียงในน้ำ root mean square ของความดัน คือรากที่สองของผลเฉลี่ยของความดันแต่ละขณะ ยกกำลังสองในระหว่าง 1 cycle ของการแพร่กระจาย ตัวนี้จะพบบ่อย ๆ ในวิชาเสียงและวิชาทางด้านวิศวกรรมอื่น ๆ สำหรับส่วนที่เหลือของบทนี้ทั้งหมด เมื่อใดก็ตามที่พบคำว่า “ความดัน” ให้เป็นที่เข้าใจกันว่าหมายถึง root mean square ของความดัน (rms), และความเข้มให้หมายถึงความเข้มเฉลี่ยผลคูณของ  $\rho$  และ  $c$  ในสมการ 9-3 คือค่า specific acoustic impedance ความสำคัญของสมการ 9-3 ก็คือแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนของความสัมพันธ์ของกำลังงานที่ส่งของคลื่นเสียงต่อความดัน ถ้า rms ของความดันในน้ำอาจจัดได้แล้ว ความเข้มของเสียงก็อาจที่จะหาได้ วิธีหนึ่งที่จะทำได้ก็คือโดยใช้ไฮโดรโฟน (hydrophone) ซึ่งก็คือเครื่องมือทางเสียงไฟฟ้าชนิดหนึ่งคล้าย ๆ กับไมโครโฟน (microphone) ไฮโดรโฟนจะเปลี่ยนความดันน้ำเป็นกำลังดันไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงได้ ดังนั้นถ้าเรา calibrate ให้เหมาะสมแล้ว ค่าของ  $p_{rms}$  ก็อ่านได้โดยจากโวลต์มิเตอร์ที่ติดอยู่กับ output ของไฮโดรโฟน

ระบบที่สะดวก ๆ ก็มีความจำเป็นเพื่อที่จะใช้วัดและถกแถลงถึงจำนวนต่าง ๆ เหล่านี้ โดยทั่ว ๆ ไประบบเมตริกจะใช้ในเรื่องของเสียงได้น้ำ ความดันนับเป็นไดน์ต่อตารางเซนติเมตร (ตร.ซม.) และความเข้มมี

หน่วยเป็นเออร์ค ต่อ ตร.ซม. หรือวัตต์ ต่อ ตารางเมตร (ตร.ม.) หน่วยวัดความดันที่พบบ่อย ๆ คือ ไมโครบาร์ (microbar) ซึ่งก็คือ 1 ไดน์/ตร.ซม.

ข้อเท็จจริงที่สำคัญอย่างหนึ่งในย่านของความดันที่มนุษย์สามารถรับได้ มนุษย์จะสามารถได้ยิน และทนทานต่อความดันได้ 1,000 ไมโครบาร์ และได้ยินต่ำสุดถึง 0.0001 ไมโครบาร์ ปัญหาที่พบเมื่อในลก แกลงเกี่ยวกับความดันก็คือ ย่านนี้กว้างมากคือเสียงต่ำสุดที่สามารถได้ยินเป็น 1/10,000,000 ของเสียงสูงสุด ในวิชา เสียงได้นั้น ความดันที่เป็นประโยชน์นั้น ยังมีความเปลี่ยนแปลงที่กว้างออกไปอีกใน magnitude ที่เราพบเสมอ ๆ เพื่อที่จะให้นับจำนวนสะดวก ๆ ขึ้นจึงใช้ล็อก (logarithms (หมายถึงฐานสิบ)) แทนที่จะใช้ตัวเลขจริง ๆ สมมุติว่า เราต้องการเปรียบเทียบสัญญาณเสียง 2 สัญญาณ สัญญาณหนึ่งมีค่า rms ของความดันเป็น 10,000 ไมโครบาร์ และ อีกสัญญาณหนึ่งเป็น 0.0001 ไมโครบาร์ อัตราส่วนนั้นก็จะเป็น

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{10,000}{0.0001} = 100,000,000$$

ซึ่งเป็นตัวเลขที่น่ารำคาญ ขอให้สังเกตการทำให้ง่าย ๆ เข้าเมื่อใช้ล็อก คือ

$$\log \frac{p_1}{p_2} = \log p_1 - \log p_2 = 4 - (-8) = 12$$

เป็นประเพณีทั่ว ๆ ไปในงานของวิศวกรที่จะคูณล็อกนั้นด้วย 10

$$10 \log \frac{p_1}{p_2} = 120$$

และอ้างถึงผลที่ได้หรือเรียกผลที่ได้เป็นจำนวนของ “เดซิเบล (decibels)” จึงสังเกตว่าตามที่จริงแล้วผลที่ได้ไม่มี มิติ ทั้งนี้เพราะว่ามันเกี่ยวข้องกับล็อกอัตราส่วนของจำนวนสองจำนวนซึ่งมีหน่วยเดียวกัน

ในวิชาเสียงได้น้ำ คุณสมบัติที่สำคัญอันดับแรกคือความเข้ม การเปรียบเทียบความเข้มของเสียง นับเป็นเดซิเบล การเปรียบเทียบอาจกระทำ ณ จุดหนึ่งจุดใดในทะเลระหว่างเสียงจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน การเปรียบเทียบอาจกระทำได้ระหว่างความเข้มของเสียง ๆ หนึ่ง เปรียบเทียบกับความเข้มมาตรฐาน  $I_0$

$$10 \log I / I_0 \text{ db} = \text{ระดับความเข้มของเสียง}$$

คำว่า “ระดับ” ที่ขีดเส้นใต้ ณ ที่นี้ เพื่อเน้นว่ามันเกี่ยวข้องกับสเกลเดซิเบล ดังนั้น เมื่อพูดถึงอัตราส่วนของ ความเข้มของเสียง  $I/I_0$  แต่ระดับความเข้มของเสียงจะต้องเป็นดังข้างล่างเสมอ คือ

$$10 \log I / I_0$$

ความเข้มมักกล่าวเป็นฟังก์ชันของความดัน จากสมการ 9-3

$$I = \frac{p^2}{c}$$

ดังนั้นจะได้

$$I_0 = \frac{P_0^2}{c}$$

และอัตราส่วนเป็นเดซิเบลจะเป็น  $10 \log I / I_0 = 10 \log \frac{P^2}{P_0^2}$

$$10 \log \frac{P}{P_0}^2$$

$$20 \log \frac{P}{P_0}$$

ดังนั้น จะได้คำจำกัดความที่มีความหมายเหมือนกัน 2 ประการ ซึ่งสามารถใช้แทนกันได้ กล่าวคือ

สมการ 9-4      ระดับความเข้มของเสียง       $10 \log I / I_0$

และ

สมการ 9-5      ระดับความเข้มของเสียง       $20 \log p / p_0$

“ความดัน” และ “ความเข้ม” มาตรฐานของเสียงได้นำ โดยปกติจะเป็น “1 ไมโครบาร์” และ “1 วัตต์/ตร.ซม.” ตามลำดับ สำหรับเสียงที่เกิดในอากาศ มาตรฐานนี้จะเป็น 0.0002 ไมโครบาร์ และ  $10^{-16}$  วัตต์/ตร.ซม. ตามลำดับ จะต้องระมัดระวังในการใช้มาตรฐานนี้ให้ถูกต้อง

อาจเป็นไปได้ที่สัญญาณหนึ่งจะได้รับการขยายโดยเครื่องมือบางอย่าง พิจารณาเสียง ๆ หนึ่งซึ่งมีความเข้ม  $I_0$  ในทะเลซึ่งอยู่ใกล้ ๆ กับไฮโดรโฟนตัวหนึ่ง ไฮโดรโฟนตัวนี้จะเปลี่ยนเสียงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งจะขยายได้และส่งไปเลี้ยงยังหูของเครื่องฟังเสียงหรือหูฟัง (earphones) ชุดหนึ่ง ซึ่งจะเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้ากลับเป็นคลื่นเสียงในอากาศ ถ้า output ของ earphone มีความเข้มเป็น  $I_0$  ดังนั้นจะได้ gain ของระบบ hydrophone-amplifier-earphone เป็น

สมการ 9-6      gain       $10 \log I_a / I_s$

ถ้า  $I_a > I_s$  gain จะเป็น + ถ้า  $I_a < I_s$  gain จะเป็น - และ

ถ้า  $I_a = I_s$  gain จะเป็น 0

ไฮโดรโฟนและหูฟังทั้ง 2 อย่างเป็นตัวอย่างของ transducers นั่นก็คือ เป็นเครื่องมือที่เปลี่ยนกำลังจากมัชฌิมของการส่งอันหนึ่งไปยังอีกอันหนึ่ง การเปลี่ยนกำลังเสียงได้นำเป็นกำลังไฟฟ้า เป็นหน้าที่ของไฮโดรโฟน นั่นก็คือทรานส์คิวเซอร์รับ (receiving transducer) ในตัวอย่างนี้ หูฟังเป็นทรานส์คิวเซอร์ส่ง (transmitting transducer) ทรานส์คิวเซอร์ส่งของโซนาร์นั้นเราเรียกว่า “ทรานส์คิวเซอร์” เฉย ๆ ตามประเพณีนิยมเท่านั้น

## 902. การแพร่คลื่นเสียงในทะเล

จงพิจารณาถึงแหล่งกำเนิดที่อยู่ในทะเลแห่งหนึ่ง ความเข้มของเสียงอาจวัดได้ ณ จุดใด ๆ ในทะเล ใกล้หรือไกลจากแหล่งกำเนิด เพื่อความมุ่งหมายสำหรับการวัดความเข้ม ณ แหล่งกำเนิด การวัดความเข้มโดยทั่วไป จะกำหนดให้ความเข้มที่แหล่งกำเนิดเป็น 1 หน่วย และเรียกว่า  $I_S$  ดังนั้นความเข้มสามารถวัดได้ ณ ระยะทางใด ๆ ซึ่งเป็นที่ติดตั้งไฮโดรโฟน และเรียกความเข้มที่จุดนี้เป็น  $I_R$  ซึ่งมีความหมายทางยุทธการที่จะเปรียบเทียบค่า 2 ค่านี้ วิธีหนึ่งที่จะกระทำได้คือการหาอัตราส่วน  $I_S/I_R$  จงสังเกตว่าถ้าอัตราส่วนซึ่งแทนค่าโดย  $n$  นี้มากกว่า 1 ความเข้ม ณ แหล่งกำเนิดจะมากกว่า ณ จุดรับ ยิ่งไปกว่านั้นการเปรียบเทียบค่าที่วัดได้กับค่าความเข้มมาตรฐาน เราจะพบว่า

$$I_S / I_R = \frac{I_S / I_0}{I_R / I_0}$$

และถ้าให้

$$n = \frac{I_S / I_0}{I_R / I_0}$$

จะได้  $10 \log n = 10 \log I_S / I_0 - 10 \log I_R / I_0$

= ระดับความเข้มของสัญญาณที่แหล่งกำเนิดด้วยระบบของความเข้มของเสียงที่เครื่องรับ

$10 \log n$  เรียกว่า “ความสูญเสียในการส่ง” และเราเรียกมันเป็น  $N_w$  ดังนั้น

$$N_w = (\text{ระดับของสัญญาณที่แหล่งกำเนิด}) - (\text{ระดับของสัญญาณที่เครื่องรับ})$$

หรือ

$$\text{สมการ 9-7} \quad N_w = L_s - L_R$$

โดย  $L_s$  และ  $L_R$  แทนค่าระดับของสัญญาณ กล่าวคือ ระดับของความเข้มของสัญญาณเสียง ณ แหล่งกำเนิด และที่เครื่องรับตามลำดับ

ปัจจัยต่าง ๆ ส่วนใหญ่ที่มีอิทธิพลต่อความสูญเสียในการส่ง ได้รวบรวมไว้ทั้งหมดโดยการค้นคว้าทางวิทยาศาสตร์เป็นที่ทราบกันว่าความสูญเสียในการกระจาย (spreading loss), ความสูญเสียบนขอบผิวพื้น (surface boundary loss), ความสูญเสียบนขอบใต้ผิวพื้น (bottom boundary loss), การแจกแจงความเร็วของเสียง (sound velocity distribution) และการลดระดับของเสียง (attenuation) โดยการดูดซึมและการแพร่กระจายการกระจายทุกสิ่งทุกอย่างที่มีผลกระทบกระเทือนและแต่ละอย่างของปัจจัยเหล่านี้จะได้รับการถกแถลงแยกกันเป็นข้อ ๆ ไป

903. ความสูญเสียในการกระจาย

เพื่อที่จะเข้าใจคำว่า “ความสูญเสียในการกระจาย” นั้นจะเป็นการสะดวกขึ้นที่จะคิดคำนึงถึงมหาสมุทรทางทฤษฎีซึ่งไม่มีขอบเขต และทุกจุดในทะเลมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์เหมือน ๆ กัน กล่าวคือ มีมัชฌิมซึ่งเป็นมัชฌิมเดียวกันโดยไม่มีขอบเขตจำกัด ในมัชฌิมเช่นนั้นพลังงานเสียงจะถูกส่งออกไปจากจุดของแหล่งกำเนิดไปทุกทิศทุกทาง ไปตามเส้นทางตรงและจะมีส่วนหน้าของคลื่นเสียงเป็นวงกลม

สมมติว่าไม่มีการสูญเสียเกี่ยวกับการดูดซึม การเปลี่ยนแปลงของความเข้มของเสียงไปตามระยะทางบนรัศมีจากจุดแหล่งกำเนิดจะเป็นไปเพราะ spherical divergence ของพลังงานเท่านั้น กล่าวคือไม่มีความสูญเสียของพลังงานเกี่ยวกับ spherical divergence ตามที่ควรจะเป็นไปตามความหมายของคำว่า “ความสูญเสียในการกระจาย” แต่พลังงานกระจายแผ่ไปตามผิวพื้นที่ใหญ่โต ดังนั้น ความเข้มจึงลดลง สำหรับแบบนี้ความเข้มของพลังงานที่ผ่านผิวพื้นที่รูปทรงกลมที่มีรัศมี  $r$  ซึ่งมีแหล่งกำเนิดที่จุดศูนย์กลาง จะเป็น

$$I_r = \frac{P_t}{4r^2} \quad \text{วัตต์/ม}^2$$

โดยที่  $P_t$  คือกำลังงานเสียงที่แผ่กระจายไปทุกทิศทุกทางที่เท่ากันจากแหล่งกำเนิด ความเข้มของเสียงนี้ ณ ระยะทาง 1 หน่วยจากแหล่งกำเนิด เราเรียกมันว่า  $I_s$  และจะได้เป็น

$$I_s = \frac{P_t}{4(1)^2}$$

ดังนั้นความสูญเสียในการส่งจะเป็น

$$10 \log(I_s / I_r) = 10 \log r^2$$

หรือ

สมการ 9-8

$$N_w = 20 \log r$$

สมการที่ 9-8 นี้เป็นตัวแทนของ spherical divergence ของพลังงานเสียง กำลังงานต่อพื้นที่ 1 หน่วยจะลดลงในเมื่อพื้นที่ของทรงกลมที่ล้อมรอบด้านหน้าของคลื่นเสียงเพิ่มขึ้น กล่าวคือ เป็นอัตราส่วนกลับกับระยะทางกำลังสอง

แต่อย่างไรก็ตาม มหาสมุทรนั้นไม่ได้เป็นมัชฌิมที่ไม่มีจุดจบ และแหล่งกำเนิดทั้งหมดไม่ได้เป็นแหล่งกำเนิดที่ส่งคลื่นเสียงออกไปทุกทิศทุกทาง สำหรับแหล่งกำเนิดที่แพร่พลังงานเพียงแต่ในทิศทาง horizontal พลังงานเสียงจะ diverge เหมือน ๆ กับผิวพื้นของรูปทรงกระบอกที่คลี่ออกไป และเพราะว่ามหาสมุทรมีจุดจบทางด้านบนผิวน้ำและก้นทะเลด้วย “cylindrical divergence” ตามปกติจะสมมติใช้สำหรับระยะซึ่งไกลเมื่อเปรียบเทียบกับความลึกของน้ำ การสูญเสียในการส่งสำหรับ cylindrical divergence คือ

สมการ 9-9

$$N_w = 10 \log r$$

904. ขอบเขตพื้นผิวน้ำ

ขอบเขตผิวน้ำกระทำเสมือนตัวสะท้อนพลังงานเสียงที่สมบูรณ์ ในเมื่อผิวน้ำทะเลถือว่าราบเรียบ ในเมื่อผิวน้ำไม่เรียบจะมีการกระจายของพลังงานที่ตกลงไปบ้างในทิศทางต่าง ๆ กัน จะมีการกระจายพลังงานเสียงเพราะฟองน้ำที่เกิดจากการที่ทะเลไม่เรียบด้วยบ้างเล็กน้อย

เพื่อที่จะแสดงผลของการสะท้อนบนผิวน้ำสมมติว่าแหล่งกำเนิดเป็นจุดและแพร่พลังงานผ่านมัชฌิมที่ homogeneous ซึ่งมีขอบเขตเฉพาะที่ผิวน้ำ ความดันเสียงไปถึงจุดที่รับ ณ ระยะทาง  $r$  จากแหล่งกำเนิด, จะเป็นส่วนผลสมของคลื่นความดันซึ่งเดินทางผ่านไปทางการสะท้อนจากผิวน้ำและคลื่นความดัน ซึ่งเดินทางโดยตรงมาจากแหล่งกำเนิดคลื่นซึ่งสะท้อนจากผิวน้ำจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนของ phase  $180^\circ$  ที่การสะท้อนและบางที่มีความเสถียรของ amplitude อันเนื่องมาจากการกระจายบ้าง โดยที่ phase ของคลื่นความดัน ณ จุดรับเป็นฟังก์ชันของระยะทางที่ได้เดินทางมา, ความแตกต่างของระยะทางก็นำมาหรือเป็นส่วนช่วยให้เกิดความแตกต่างของ phase ของคลื่นความดันทั้งสองนั้นด้วย ดังนั้นเป็นไปได้โดยไม่ยากเลยที่คลื่นความดันทั้งสองที่มาถึงจุดรับนั้นไม่อยู่ใน phase เดียวกัน คลื่นความดันรวมอาจเปลี่ยนแปลงจากเล็กกว่าเป็นใหญ่กว่าคลื่นที่ได้รับจากทางตรง ผลของการสะท้อนจากผิวน้ำนี้บางทีก็เป็นส่วนช่วย ก่อให้เกิด “Lloyd’s Mirror Effect” ที่ได้ถกแถลงกันมาแล้วในบทที่ 5

จำนวนของเสียงที่ส่งไปในอากาศ ณ ผิวน้ำมีจำนวนน้อยมากจนอาจทิ้งไปได้โดยไม่ต้องคิดถึงมัน และเราอาจสมมติว่าพลังงานที่ตกลงบนผิวน้ำสะท้อนไปทั้งหมด

905. ขอบเขตท้องทะเล

ขอบเขตท้องทะเลมีผลกระทบกระเทือนต่อการส่งของเสียงไปในลักษณะเช่นเดียวกับขอบเขตบนผิวน้ำ การสูญเสียพลังงานเสียงเกี่ยวกับการกระจายโดยการสะท้อน ณ ท้องทะเล มีความสัมพันธ์กับความยาวคลื่นและความขรุขระของท้องทะเล อย่างไรก็ดี แทนที่จะเป็นตัวสะท้อนที่สมบูรณ์ พลังงานที่ตกลงไปจะถูกดูดโดยท้องทะเลเป็นจำนวนมากพอควร อาจมีหรืออาจไม่มีการเปลี่ยนแปลงของ phase โดยการสะท้อนที่ท้องทะเลขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของท้องทะเลและมุมตกของคลื่นเสียงนั้น

ความลึกของน้ำนั้นมีผลที่สำคัญต่อจำนวนของพลังงานที่ได้รับผ่านมาจากท้องทะเลตามเส้นทางสะท้อนด้วย ในที่น้ำลึก และทั้งแหล่งกำเนิดและตำแหน่งของเครื่องรับอยู่ใกล้ ๆ ผิวน้ำ จะมีช่วงหลายช่วงระหว่างการสะท้อนจากท้องทะเล ซึ่งพลังงานเสียงที่ปรากฏ ก็คือพลังงานที่ได้มาจากการแพร่ส่งโดยเส้นทางอื่น ๆ การพล็อตความเข้มของเสียงต่อระยะทางจะแสดงให้เห็นการแกว่งไปแกว่งมาตลอดระยะทางนั้น อันเนื่องมาจากพลังงานสะท้อนจากท้องทะเล

ในที่น้ำตื้น พลังงานเสียงจะสะท้อนไปมา (back and forth) ระหว่างผิวน้ำและท้องทะเลจนกระทั่งว่ารูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จะใช้ต่อกรณีเช่นนี้นั้นยุ่งยากอย่างที่สุด

#### 906. คุณสมบัติของการกระจายของเสียง

ตรงกันข้ามกับข้อสมมติที่ได้ให้ไว้จนถึงจุดนี้ นั่นคือมหาสมุทรไม่ได้เป็นมัชฌิมที่เป็นเนื้อเดียวกันหมด และความเร็วของเสียงจะเปลี่ยนไปจากจุดหนึ่งถึงอีกจุดหนึ่งในมหาสมุทร การเปลี่ยนแปลงของความเร็วของเสียงนี้เป็นคุณสมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลกระทบกระเทือนในการรับเสียง

ปัจจัยใหญ่ 3 ประการที่มีผลกระทบกระเทือนต่อความเร็วของเสียงในมหาสมุทรคือ อุณหภูมิ ความเค็ม และความดัน ความสัมพันธ์ของปัจจัยเหล่านี้ ตั้งเป็นกฎโดยอาศัยความสังเกต ไม่ใช่โดยอาศัยเหตุผล (empirically) ได้ดังนี้

$$c = 1448.6 + 4.63t + 0.538t^2 + 0.000354t^3 + 1.307(s - 35) + 0.0170t(s - 35) - 0.1815z$$

โดย

$c$  = ความเร็วเสียงเป็นหลาต่อวินาที

$t$  = อุณหภูมิเป็นองศาฟาเรนไฮท์

$s$  = ความเค็มในส่วนต่อหนึ่งพัน

$z$  = ความลึกเป็นหลา

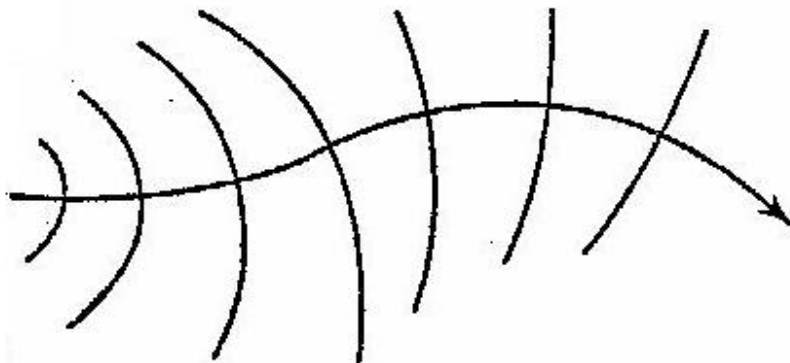
ในปัจจัยทั้ง 3 ประการนี้ อุณหภูมิมีผลมากที่สุดต่อการเปลี่ยนแปลงของความเร็วเสียงใกล้ผิวน้ำ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมีมากซึ่งเป็นสิ่งปกติอันมีสาเหตุเนื่องมาจากความร้อน, ความเย็น และผสมกัน (ทั้งร้อน - เย็น) ของน้ำใกล้ ๆ ผิวน้ำ ความเร็วของเสียงจะเปลี่ยนแปลงไปส่วนใหญ่แล้วจะเป็นสัดส่วนกับการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ในส่วนบนของมหาสมุทร (ใกล้ ๆ ผิวน้ำ) ในมหาสมุทรที่ลึกประมาณความลึกได้ 500 ฟาธอมลงไป อุณหภูมิส่วนใหญ่จะคงที่และกระเดียนท์ของความเร็วเสียงจะสม่ำเสมอ พร้อมไปกับการเปลี่ยนที่มีสาเหตุสำคัญอันเนื่องมาจากความดัน



อัตราของการเปลี่ยนของความเร็วเสียงในแต่ละแกนของทั้ง 3 แกน เราเรียกว่าเกรเดียนท์ของความเร็ว (velocity gradient)

ในปัญหาทางอุทกศาสตร์ส่วนมากเกรเดียนท์ของความเร็วของการเปลี่ยนค่าตามแนวนอน เราถือเป็น “0” เกรเดียนท์ที่สำคัญที่น่าสนใจก็คือเกรเดียนท์ทางตั้ง (vertical gradient),  $dc/dz$  โดยที่  $z$  เป็นระยะใต้ผิวน้ำ ถ้าแหล่งกำเนิดเสียงที่ผิวน้ำแห่งหนึ่งส่งสัญญาณออกไปทุกทิศทุกทาง ส่วนหน้าของคลื่น (wave front) ที่กระจายออกจากแหล่งกำเนิดนี้ ในทุกทิศทางนั้นจะส่งพลังงานจากส่วนเล็ก ๆ ของน้ำส่วนหนึ่งไปยังส่วนต่อ ๆ ไป และโดยวิธีนี้แหละคลื่นจะถูกส่งออกไป ถ้าเราเลือกจุด ๆ หนึ่งของ wave front นี้ และจากจุดนี้เรลากเส้นในทิศทางการส่งพลังงาน แล้วเราต่อจุดเหล่านี้เข้าด้วยกันในขณะที่คลื่นแพร่ขยายออกไปใน space ผลที่ได้จะได้เส้น ๆ หนึ่งที่เรเรียกว่า “Ray”

รูปที่ 9-3



มุมที่ ray ใด ๆ ทำกับเส้นตั้ง เราเรียกว่ามุมตก ซึ่งเกี่ยวข้องกับความเร็วของการแพร่คลื่น ณ จุดใด ๆ ตามกฎของ Snell ดังนี้

$$\text{สมการ 9-11} \quad \frac{\sin}{c} = \text{ค่าคงที่, สำหรับ ray ใด ๆ}$$

ความสัมพันธ์ที่สำคัญอันนี้กล่าวว่า สำหรับ ray เฉพาะ ray ใด ray หนึ่งที่มีความเร็ว  $c$  มุมตกจะเป็น เสมอไม่ว่าจะ ณ ตำแหน่งใด ๆ ตลอด ray นั้น ผลที่ได้ตามมาก็คือทิศทางของการกระจายพลังงานจะเปลี่ยนไปเมื่อความเร็วเสียงเปลี่ยนไป ในสงครามปราบเรือดำน้ำ การเปลี่ยนแปลงอันนี้ก่อให้เกิดผลที่สำคัญทางอุทกศาสตร์ ดังที่เราจะได้พบต่อไป

จงพิจารณาสถานการณ์ง่าย ๆ ณ ที่เกรเดียนท์ของความเร็วคงที่ กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงของความเร็วที่เพิ่มขึ้นต่อ 1 หน่วย ที่ความลึกเพิ่มขึ้น เป็นอย่างเดียวกัน สิ่งนี้อาจเกิดขึ้นได้ถ้าอุณหภูมิของน้ำและความเค็มคงที่ในชั้นของผิวน้ำ (surface layer) ในชั้นนี้แน่นอนที่ความดันจะเพิ่มขึ้นในเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น ซึ่งผลที่ได้คือเกรเดียนท์ของความเร็วบวกที่คงที่ ในสถานการณ์เช่นนั้นความเร็ว ณ ความลึกใด ๆ จะเป็น

สมการ 9-12  $c(z) = c_0 - gz$

โดย  $c(z)$  เป็นความเร็วที่ความลึก  $z$ ;  $g$  เป็นเกรเดียนท์ของความเร็ว,  $dc/dz$  ซึ่งเป็นตัวคงที่ตัวหนึ่ง, และ  $c_0$  เป็นความเร็วที่ผิวน้ำ ปัญหาที่ก็จะพิจารณาว่าอะไรจะเกิดขึ้นต่อ rays ของพลังงานเสียงในสิ่งแวดล้อมเช่นนี้ จากกฎของ Snell

$$\frac{\sin \theta}{c} = \frac{\sin(\theta_0)}{c_0}$$

ในสมการข้างบนนี้ และ  $c$  เป็นเพียงแต่การเปลี่ยนของมุมตกและความเร็วในการแปรคลื่นตามลำดับเมื่อคุณไขว้จะได้

$$c \sin \theta = c_0 \sin \theta_0$$

เปลี่ยนรูปโดย transposing และหารทั้ง 2 ข้างโดย  $c_0 \sin \theta_0$  จะได้

$$\frac{c \sin \theta}{c_0 \sin \theta_0} = 1$$

เราจะเห็นจากสมการ 9-11 ว่า ในขอบเขต (limit) ที่  $c$  มุ่งเข้าหาศูนย์ จะมุ่งเข้าหาศูนย์ ดังนั้นจากคำจำกัดความของ

$$\frac{d(\sin \theta)}{d(c \sin \theta)} = \frac{dc}{d(c \sin \theta)}$$

นั่นคือ

สมการ 9-13  $c \cos \theta = \frac{dc}{d(c \sin \theta)}$

ใช้ chain rule ของ derivatives และให้  $s$  แทนความยาวของระยะทาง

$$\frac{dc}{d(c \sin \theta)} = \frac{dc}{dz} \cdot \frac{dz}{ds} \cdot \frac{ds}{d(c \sin \theta)}$$

แทนค่า  $dc/d(c \sin \theta)$  ในสมการ 9-13 และให้  $dc/dz = g$  คือเกรเดียนท์ และ  $dz/ds = \cos \theta$  จะได้

สมการ 9-14  $c \cos \theta = \frac{d}{ds} (c \sin \theta) = g \sin \theta \cos \theta$

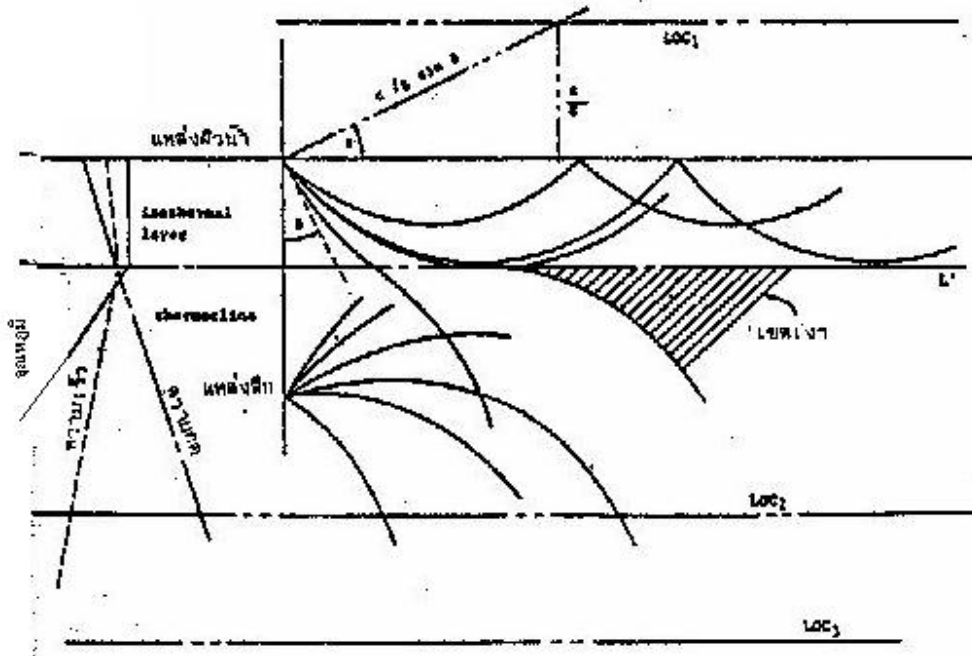
แทน  $\cos$  ทั้ง 2 ข้าง และสังเกตได้ว่ารัศมี  $R$  ของ curve ใด ๆ คือ  $ds/d$  จะได้ผลที่สำคัญคือ

$$\text{สมการ 9-15} \quad R = \frac{c}{g \sin}$$

ซึ่งจะเป็นได้ว่าเป็นตัวคงที่ เพราะว่าเราได้สมมติว่า  $g$  คงที่ และจากสมการ 9-11,  $c/\sin$  เป็นค่าคงที่สำหรับ ray ใด ๆ ดังนั้นรัศมีของ ray path ใด ๆ จะสามารถคำนวณหาได้โดยเอาค่า  $c$  และ สำหรับ ray ใด ๆ ณ จุดใด ๆ ตลอด ray นั้น ๆ ray path จะสามารถพล็อตได้โดยการแกว่งอาร์คของรัศมีที่ถูกต้อง ผ่านจุดที่เรากำลังสำรวจ  $c$  และ อยู่ เมื่อเกรเดียนต์นั้นเป็นบวก rays จะโค้งขึ้น กล่าวคือหนีไปจากส่วนความเร็วที่สูงกว่า เมื่อเกรเดียนต์เป็นลบ rays จะโค้งลง

สถานการณ์นี้ได้แสดงให้เห็นในรูป 9-4 ซึ่งเขียนมาจากแหล่งกำเนิดเพียง 2 แห่ง จากผิวน้ำ 1 แห่ง แหล่งที่ 2 นั้นลึกลงไป ทางด้านซ้ายของรูปนั้นได้แสดงให้เห็นเกรเดียนต์โปรไฟล์ 3 โปรไฟล์ แต่ละโปรไฟล์ตามแต่ละความลึก อันที่เป็นเส้นทึบคือเกรเดียนต์ของอุณหภูมิ จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิกิ่งที่ในชั้นของน้ำใกล้ผิวอุณหภูมิกิ่งที่หรือสภาวะไอโซเทอร์มอล (isothermal) เกิดขึ้นได้โดยการรวมเอาแรงลมและคลื่นเข้าด้วยกัน และเป็นสิ่งสามัญตามผิวมหาสมุทร ได้ชั้นนี้ลงไปจะเห็นได้ว่า อุณหภูมิลดลงด้วยอัตราที่ค่อนข้างคงที่ เกรเดียนต์ของความดันได้แสดงไว้โดยเส้นขาด (broken line) ความดันจะเพิ่มขึ้นเป็นอัตราคงที่กับความลึกที่เพิ่มขึ้น การรวมเอา 2 เกรเดียนต์เข้าด้วยกันตามสมการที่ 9-10 จะก่อให้เกิดเกรเดียนต์ของความเร็ว ideal ซึ่งแสดงไว้ให้เห็นโดยเส้นประ (dash line) ในชั้นผิวน้ำอุณหภูมิกิ่งที่และความดันเพิ่มขึ้นในขณะที่ความลึกเพิ่มขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดเกรเดียนต์ของความเร็วบวกเล็กน้อย ภายใต้อัน isothermal ผลของอุณหภูมิจะเหนือกว่าผลจากความดัน ซึ่งก่อให้เกิดเกรเดียนต์ของความเร็วลบ ในการถกแถลงนี้ความถี่ไม่ได้นำมาคิด

รูปที่ 9-4



จากแหล่งกำเนิดเสียงใต้น้ำในรูปที่ 9-4 นั้น ray จะออกจากแหล่งกำเนิดด้วยมุมที่เล็กที่สุดและมีมุมตก = เส้นประสัมผัสกับ ray นี้ที่แหล่งกำเนิด เส้นตรงที่ตั้งฉากกับเส้นประนี้และนั่นหมายความว่าตั้งฉากกับ ray นั้นที่แหล่งกำเนิดเป็นเส้นรัศมีที่ตั้งตรงขึ้นไปทางขวามือ และมีความยาวตามที่ได้จากสมการ 9-15 โดย  $c$  เป็นความเร็วของเสียงที่ใต้น้ำ ray นั้นจะไปตามเส้นทางบนออร์คที่มีรัศมี  $R$  ลงไปทางข้างล่างจนกระทั่งไปพบเส้นกั้นเขต  $LL'$  ซึ่งเป็นเส้นแบ่งเขตชั้นของ isothermal กับส่วนข้างล่าง ที่เส้นแบ่งเขตนี้ รัศมีของส่วนโค้งนั้นจะเปลี่ยนเพราะว่าเกรเดียนต์เปลี่ยนและ ray นั้นจะเริ่มตันโค้งลง ส่วนที่อยู่ใต้เส้นแบ่งเขตนี้เรียกว่า "thermocline"

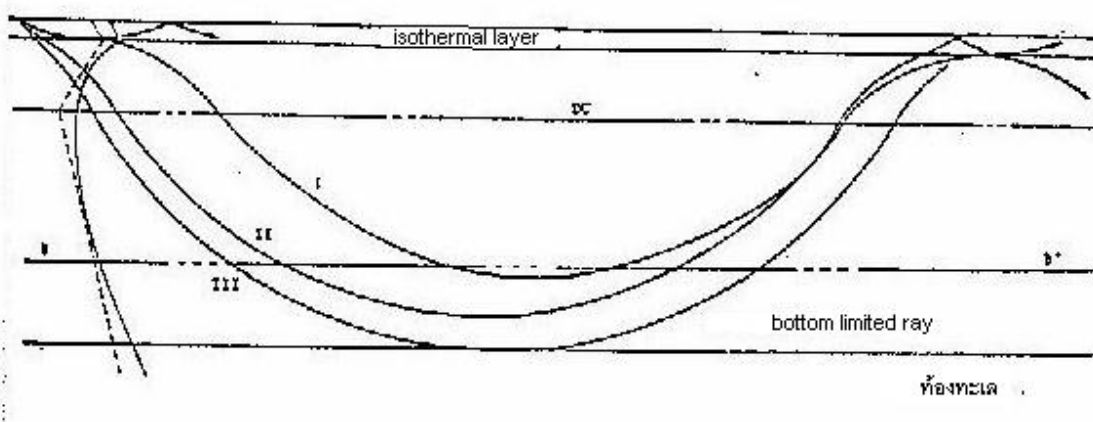
เส้นตรง  $LOC_1$  และ  $LOC_2$  เป็นโลโวของจุดศูนย์กลางของความโค้งสำหรับเส้นทางของ ray ซึ่งเริ่มออกมาจากแหล่งกำเนิดใต้น้ำ  $LOC_1$  เป็นโลกซ์ของจุดศูนย์กลางของเส้นทางของ ray ในขณะที่ ray นั้นไปตามทางของชั้น isothermal ในขณะที่  $LOC_2$  เป็นโลกซ์ของ rays จากแหล่งกำเนิดใต้น้ำที่กระจายผ่าน thermocline แต่ละโลกซ์จะมีตำแหน่งอยู่เหนือหรือใต้ระดับความลึก  $\eta$  ที่ซึ่ง rays จะเริ่มต้นหรือไม่ก็เข้าไปยังส่วนที่มีเกรเดียนต์ของความเร็วคงที่ระยะทางเหนือหรือใต้ระดับที่เหมาะสมนี้ ได้มาจากค่าของ  $c/g$  โดยที่  $c$  เป็นความเร็ว  $\eta$  จุดของเริ่มต้นหรือเข้าไปยังส่วนหรือเขตที่เกรเดียนต์  $g$  นั้นเหนือว่าเส้น  $LOC_3$  เป็นโลกซ์ของจุดศูนย์กลางสำหรับ rays ที่เกิดจากแหล่งกำเนิดลึกและแพร่ผ่าน thermocline จงสังเกตว่า  $LOC_3$  อยู่ใต้แหล่งกำเนิดลึกเท่ากับที่  $LOC_2$  อยู่ใต้  $LL_1$

พฤติกรรมที่ rays ถูกส่งออกจากแหล่งกำเนิดลึก มีหลักการเหมือนกันกับ rays ที่ถูกส่งออกจากแหล่งกำเนิดผิวน้ำ บาง rays จะถูกส่งออกด้วยมุมสูงพอที่มันอาจเข้ามายังชั้นผิวน้ำ (surface layer) และหักเหขึ้นข้างบนไป ส่วนที่เหลือหักเหลงไปทางล่าง

สเกลในทางดิ่งจากรูปที่ 9-4 ได้แสดงไว้เกินความจริง ก็เพื่อมุ่งหมายให้เห็นชัดเจนเท่านั้นเอง ตามความจริงแล้วรัศมีต่าง ๆ ของความโค้งจะอยู่ในระยะประมาณ 50 ไมล์จากแหล่งกำเนิด ดังนั้นความโค้งของ rays (ซึ่งมีความหมายมากทางยุทธการ) จะดูเหมือนว่าจะเป็นเส้นตรง ถ้าหากพลอตตามสเกลจริง ๆ รัศมีความโค้งของ ray หนึ่งที่ส่งออกมาในแนวพื้นราบจะน้อยกว่า ray อื่น ๆ ที่ถูกส่งออกจากแหล่งกำเนิดเดียวกัน รัศมีของ ray ที่ถูกส่งออกไปทางดิ่งนั้นจะเป็นอินฟินิตี้ กล่าวคือ ray นั้นจะขึ้นตรงไปหรือลงตรงไป โดยปราศจากการหักเห สำหรับ ray อื่น ๆ รัศมีของมันจะอยู่ในระหว่าง 2 rays นั้น เนื่องจากการขยายสเกลที่เกินความจริงไปมากในทางดิ่ง อาจมีความเข้าใจหรือประทับใจว่า rays บาง rays ซึ่งไม่ได้ถูกส่งไปในทางดิ่งจะหักเหไปในทิศทางของทางดิ่ง เมื่อตรวจสอบการ 9-15 จะเห็นได้ว่าสิ่งนั้นจะเกิดขึ้นไม่ได้ เว้นแต่ความเร็วจะตกเป็นศูนย์ ซึ่งเป็นสิ่งที่เป็นไปได้ในมหาสมุทร

เป็นการค่อนข้างง่ายที่จะสร้างทางของ ray ในเมื่อเกรเดียนต์ของความเร็วเป็นตัวคงที่ แต่นี่เป็นกรณีที่เกิดยากมาก แต่ถ้าเกรเดียนต์นั้นถูกวัดมันอาจ approximate กับชุดของเกรเดียนต์ที่คงที่ชุดหนึ่งได้ ดังนั้น rays ก็อาจที่จะลากได้เป็นอาร์คในแต่ละเขตซึ่ง approximate ว่าเป็นเกรเดียนต์เส้นตรง จงพิจารณารูปที่ 9-5 ซึ่งเกรเดียนต์ของความเร็วแบบฉบับได้แสดงไว้ทางซ้ายมือด้วยเส้นทึบ และ approximate ของมัน ซึ่งเป็นเส้นตรงได้แสดงไว้ข้าง ๆ ด้วยเส้นประ

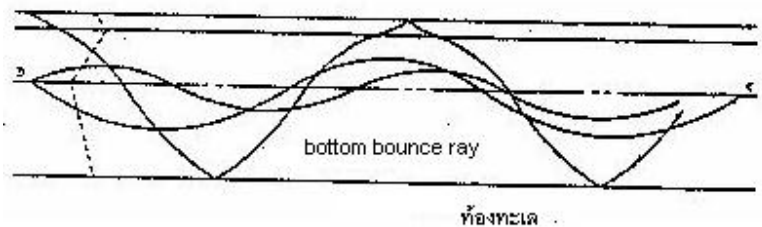
รูปที่ 9-5



ray ซึ่งออกมาจากแหล่งกำเนิดและสัมผัสกับส่วนล่างสุดของ isothermal layer บางส่วนของพลังงานจะหักเหกลับไปยังผิวน้ำ ณ ที่ซึ่งมันจะสะท้อนออกไป และบางส่วนมันจะผ่านเส้นแบ่งขอบเขต และหักเหเข้าไปยังน้ำลึก ส่วนของ ray ที่หักเหไปทางข้างล่าง ซึ่งได้แสดงไว้ด้วยอักษร I จะโค้งลงจนมันข้ามเส้นขนานในทางราบ DC ซึ่งเป็นความลึกที่ตรงกับความเร็วเสียงน้อยที่สุด ณ ความลึกนี้ ray จะเริ่มต้นโค้งขึ้น ในขณะที่มันจะเริ่มอยู่ในพื้นราบด้วยความลึกที่ลึกมากความเร็วของเสียงเป็นอย่างเดียวกันกับเมื่อ ray นั้นอยู่ในพื้นราบขนานไปกับส่วนล่างสุดของชั้น isothermal สิ่งนี้จะนำไปตามกฎของ Snell ray อื่นที่เริ่มต้นด้วยมุมที่ต่ำกว่าคือ ray II จะหักเหไปตามเส้นทางซึ่งมีรูปร่างคล้ายกับ ray แรก ray ทั้งสองนี้แยกกันตอนแรกและแล้วจะรวม (converge) เข้าหากันใกล้ ๆ กับผิวน้ำทางขวามือ การรวมเข้าหากันนี้เนื่องจากว่าความเข้มของเสียงได้เพิ่มขึ้น เพราะว่ายิ่งเส้นทางของ ray ยิ่งใกล้กัน ความเข้มของคลื่นเสียงก็จะยิ่งเพิ่มขึ้น ray ที่แสดงด้วยเครื่องหมาย III เราเรียกว่า “bottom limit ray” เป็น ray ที่รวมเข้าหากันน้อยที่สุด อาจมีเขต (zone) เช่นนั้นหลายแห่ง (convergence zones) ในขณะที่ ray เหล่านี้ถูกสะท้อนจากผิวน้ำและมีเส้นทางที่หักเหต่อไปจากแหล่งกำเนิดในลักษณะที่คล้ายกัน จึงสังเกตว่าการมี convergence zones จะขึ้นอยู่กับเกรเดียนท์ของความเร็วและความลึกของน้ำ ถ้าท้องทะเลอยู่ใกล้ ๆ กับเส้น BB' จะไม่มี convergence zone เนื่องจากว่า ray ต่าง ๆ จะปะทะกับท้องทะเลก่อนที่มันจะกลับกลายอยู่ในเส้นทางที่ขนานกับพื้นท้องทะเล ตามที่จะได้แสดงให้เห็นต่อไป ความเข้มของเสียงที่มาถึงเป่ายิ่งเพิ่ม probability ที่จะจับเป่ามันได้มากยิ่งขึ้น ดังนั้นการมี convergence zones เหล่านี้เป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งขาดในสงครามปราบเรือดำน้ำ

ray ที่ปะทะกับพื้นท้องทะเลก็น่าสนใจมากเหมือนกัน ray เช่นนั้นอาจถูกสะท้อนกลับไปยังผิวน้ำ ซึ่งมันอาจสะท้อนกลับลงไปข้างล่างอีกหลังจากที่มันไปถึงผิวน้ำแล้ว จะเป็นการปกติที่ ray จะเดินทางหลายเที่ยวระหว่างพื้นท้อง

รูปที่ 9-6

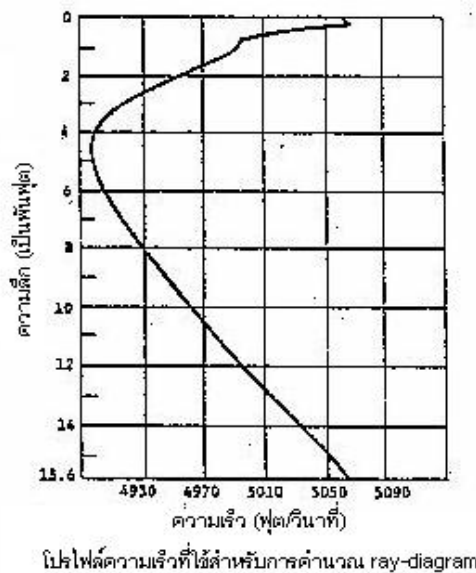


ทะเลและผิวน้ำ และในการตรวจจับเรือดำน้ำที่จะกระทำได้ในเขตที่เรียกว่า “shadow zone” ตามรูปที่ 9-4 โดยวิธีที่ rays เดินทางไปตามเส้นทางหักเหเช่นนั้น

ในรูปที่ 9-6 ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า “bottom bounce” ได้แสดงให้เห็นว่า เส้นทางของ ray ตาม bottom bounce นั้นจะเห็นได้ว่ามันจะมีการสะท้อนหลายครั้งจากผิวน้ำและจากพื้นท้องทะเล ในการสะท้อนแต่ละครั้งจะมีการสูญเสียความเข้มของเสียงโดยการกระจัดกระจาย และการดูดพลังงานเสียงจากพื้นทะเล

จงสังเกต ray ที่ออกมาจากแหล่งกำเนิดบนเส้น DC ray ที่มีทิศทางเริ่มแรกเหนือเส้น horizontal จะหักเหลงไปทางข้างล่างจนกระทั่งมันตัดกับ DC แล้วมันจึงหักเหกลับไปข้างบน และเรื่อย ๆ ไปในทำนองนี้ ray ที่เริ่มทิศทางใต้ horizontal จะหักเหขึ้นไปข้างบน จะเห็นได้ว่าบาง ray ซึ่งเริ่มต้นออกจากแหล่งกำเนิดนี้ถูกกักไว้ ดังนั้นความเข้มจึงลดลงน้อยอันเนื่องมาจากการกระจัดกระจายแบบพื้นผิวน้ำและการดูดจากท้องทะเล การสูญเสียจากการกระจายจะอยู่ในลักษณะของ cylindrical แทนที่จะเป็น spherical ภายใต้งี๋นไขเหล่านี้ การแพร่ของเสียงไประยะไกล ๆ จึงสามารถเป็นไปได้ ระบบการหาที่เรือและระยะโดยเสียง (Sound Fixing And Ranging - - SoFAR) ใช้ช่องของความลึกนี้ (deep channel) สำหรับการตรวจจับใต้น้ำและการสื่อสารระยะไกล เป็นได้ ผู้ที่เรือแตกจะใช้ทุกระเบิด TNT ขนาด 4 หรือ 5 ปอนด์ ระเบิดในช่วงนี้ ซึ่งจะทำให้เสียงไปได้ไกลถึง 1,000 ไมล์ เสียงระเบิดจะจับได้โดยสถานี SoFAR ดังนั้นจึงอาจหาตำบลที่ของลูกเรือแตกเหล่านี้ได้

รูป 9-7



เส้นทางของ ray ที่ได้แสดงไว้ ณ ที่นี้ เป็นลักษณะที่ใกล้เคียงกับที่จะพบได้จริง ๆ ในมหาสมุทรต่าง ๆ ในโลกนี้ หลักการของการหักเหได้ถูกแสดงกันเพียงย่อ ๆ แต่อย่างไรก็ตามก็ถูกใช้ โดยเอ็นจิเนียรทางเสียง

และนักวิทยาศาสตร์ทางเสียงที่ทำนายและพลอตเส้นทางของ ray รูปที่ 9-7 เป็นแบบฉบับโดยทั่ว ๆ ไปของโปรไฟล์ของความเร็วเสียง โปรไฟล์นี้จะทำให้ใกล้เคียงกับความจริงได้โดยใช้ส่วนของเส้นตรงสั้น ๆ ยิ่งใช้จำนวนเส้นมาก ๆ การ approximate นั้นก็ยิ่งจะยิ่งใกล้เคียงความจริงมากยิ่งขึ้น สำหรับแต่ละส่วนของเกรเดียนท์ความเร็วที่คงที่ (คือเส้นตรง) เส้นทางของ ray ที่เป็นวงกลม จึงจะพล็อตได้ในลักษณะนั้น เทคนิค ๆ หนึ่งที่ใช้ในการพลอตนี้เราใช้ computer program เพื่อพลอต ray ในฐานะเส้นตรงสั้น ๆ

#### 907. Attenuation

การลดลงซึ่งพลังงานในน้ำทะเลเกิดขึ้นเนื่องจากปัจจัยที่ไม่ขึ้นแก่กัน 2 ประการด้วยกันคือ การดูด (absorption) และการกระจาย (scattering)

ก. Absorption สาเหตุสำคัญหรือสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดการดูดก็เนื่องมาจาก “viscous absorption”, “thermal relaxation” และ “chemical relaxation” ทั้ง 3 รูปแบบของการดูดนี้เกิดขึ้นเพราะการแกว่งไปแกว่งมาของความดันที่มีขึ้นช้าแล้วช้าเล่า ในมัชฌิมซึ่งเสียงได้ส่งผ่านไป ความถี่ของคลื่นเสียง อุณหภูมิของน้ำ และจำนวนของ  $MgSO_4$  (แมกนีเซียมซัลเฟต) ดูเหมือนจะเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของความสูญเสียอันเนื่องมาจากการดูด ปัจจัยทั้ง 3 ประการนี้ ความถี่ของคลื่นเสียงก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงในการลดลงของเสียงมากที่สุด โชคดีที่ความถี่เป็นตัวแปรที่ควบคุมได้ในการออกแบบระบบ active sonar

ข. Scattering สิ่งภายนอกที่มีอิทธิพลต่อการส่งเสียงนั้น สาเหตุหลักเนื่องมาจากกรากการจัดกระจายของพลังงานเสียง กล่าวคือโดยการสะท้อนและการหักเห จำนวนของพลังงานที่กระจัดกระจายไปนั้น เป็นฟังก์ชันของขนาด ความแน่น และจำนวนการรวมตัว (concentration) ของสิ่งภายนอกเหล่านั้นในทางเดินของเสียงเช่นเดียวกันกับความถี่ของคลื่นเสียง สิ่งภายนอกเหล่านี้ตามปกติจะอยู่ในรูปของชิ้นส่วนเล็ก ๆ ที่แขวนลอยตัวอยู่ สิ่งมีชีวิตในทะเลหรือฟอง

การลดนี้จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในขณะที่ความถี่ของคลื่นเสียงเพิ่มขึ้น สำหรับความถี่ที่ต่ำกว่า 100 kcs attenuation coefficient,  $a$ , จะประมาณได้ดังนี้

$$a = 33.0 f^{3/2} db / yd \quad \text{โดยที่ } f \text{ เป็นความถี่เป็น } kcs$$

ความสัมพันธ์อันนี้มีความสำคัญยิ่งยวดต่อนักยุทธวิธีทางเรือ มันจะบอกเขาว่าถ้าความถี่สูงถูกใช้ในการใช้โซนาร์ เพื่อที่จะให้ได้เป้าหมาย คุณจะต้องแลกมันกับค่าของ attenuation ที่มากขึ้น ความถี่ที่สูง attenuation ยิ่งมาก และโดยทั่ว ๆ ไป ประสิทธิภาพตรวจจับได้ยิ่งสั้นลงถ้าสิ่งอื่น ๆ เท่ากัน

#### 908. รูปแบบจำลองของความสูญเสียในการส่ง



จะเป็นประโยชน์ในอันที่จะมีความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ง่าย ๆ ในการที่แสดงให้เห็นถึงผลที่ได้จากปัจจัยต่าง ๆ ที่กระทบกระเทือนต่อการสูญเสียในการส่งที่เกิดขึ้นในมหาสมุทร แต่เงื่อนไขต่าง ๆ ของสถานะทางฟิสิกส์ต่าง ๆ ที่เราพบในมหาสมุทรมันยุ่งยากมาก และแสดงให้เห็นได้ไม่ง่ายเลย รูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีเพียง 2-3 รูปแบบซึ่งจะใกล้ความจริงต่อชุดหนึ่ง ๆ ของเงื่อนไขต่าง ๆ แต่ในปัจจุบันไม่มีสักรูปแบบที่จะแทนทุก ๆ เงื่อนไขได้

รูปแบบที่ง่าย ๆ ที่ใช้แทนค่าความสูญเสียของการส่งคือ

$$\text{สมการ 9-16} \quad N_w = 20 \log r \quad ar \quad A$$

โดยที่  $20 \log r$  เนื่องมาจากการแพร่กระจาย  
 $ar$  เนื่องมาจาก attenuation และ  
 $A$  เป็นความผิดปกติในการส่ง ซึ่งได้รวบรวมเอาปัจจัยอื่น ๆ  
 อย่างเช่นการหักเหและการสะท้อนมารวมไว้

เป็นการสำคัญที่จะระลึกไว้ว่า การส่งเสียงในมหาสมุทรมันกระทำใน 3 มิติ และความสูญเสียในการส่งเมื่อคิดในระยะทาง horizontal เพียงอย่างเดียวจะไม่ได้ข่าวสารที่พอเพียงสำหรับสถานการณ์ทางยุทธการเป็นส่วนใหญ่ พื้นที่ที่โซนาร์ครอบคลุมไปถึงจะเกิดขึ้นตามช่วงของระยะต่าง ๆ กันอันเนื่องมาจากการหักเหการสะท้อนและการรบกวนระหว่างการเดินทางของคลื่นไปตามทิศทางต่าง ๆ กัน

#### 909. Passive Sonar Equation

กุญแจแห่งความสำเร็จในสงครามปราบเรือดำน้ำก็คือการตรวจจับในระยะแรกเริ่ม สำหรับงานนี้เซนเซอร์ที่สำคัญที่ใช้ในปัจจุบันคือโซนาร์ ทั้ง active และ passive ยิ่งกว่านั้นสถานะปัจจุบันของความรู้ทางฟิสิกส์เป็นเครื่องชี้แนะว่าจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงสถานะนี้เป็นเวลาอีกหลายปีในอนาคต ความเข้าใจในเรื่องโซนาร์อาจมีได้ก็โดยการทราบถึง “sonar equation” และแนวความคิดที่เรียกว่า “figure of merit” ก่อนข้างจะโชคไม่ค่อยจะดีนักที่พนักงานโซนาร์ส่วนใหญ่ในกองทัพเรือ (สหรัฐ) ทุกวันนี้ทั้งพนักงานอาวุโสและพนักงานใหม่ ไม่ได้สละเวลาที่จะคิดในเรื่องนี้โดยตลอดและศึกษาแนวความคิดง่าย ๆ 2 ประการนี้ ดังนั้นความมุ่งหมายของบทนี้ก็เพื่อที่จะชี้แจงในเรื่องทั้ง 2 นั้น เพื่อที่จะชี้ให้เห็นถึงประโยชน์และเพื่อแสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในสมการโซนาร์จะวัดได้อย่างไร รวมทั้ง figure of merit

ระยะของการตรวจจับที่เป็นไปได้สำหรับเครื่องแต่ละเครื่องนั้นควรจะตั้งรู้ เพื่อว่านักยุทธวิธีจะได้ทราบถึงขีดความสามารถของโซนาร์ และความรู้สึกถึงสิ่งที่โซนาร์นั้นจะทำอะไรได้บ้าง ในสถานการณ์ทางยุทธการที่กำหนดให้ แต่โชคไม่ค่อยจะอำนวยนักที่ว่าขีดความสามารถในการตรวจจับในระยะทางเป็นหลา นั้นสามารถที่จะเปลี่ยนไปได้ด้วยปัจจัย 2 –6 ตัว หรือมากกว่า ทั้งนี้ก็โดยเหตุผลง่าย ๆ ที่ว่ามหาสมุทรเองนั้นได้เปลี่ยนแปลงไป เพื่อที่จะกล่าวในเรื่องนี้อีกวิธีหนึ่งก็คือว่า เครื่องโซนาร์อาจออกแบบให้ตรวจจับการมาถึงของความเข้มของพลังงานเสียงบางความเข้มได้ ย่านที่ความเข้มของเสียงมาถึงนั้นส่วนใหญ่จะขึ้นอยู่กับว่าพลังงานได้สูญเสียไป เท่าใดในระยะทางที่เดินทางมา ดังนั้นจงอย่าพยายามที่จะวัดขีดความสามารถของโซนาร์โดย “ระยะของการตรวจจับ” แต่จงพยายามที่จะเข้าใจว่าขีดความสามารถของโซนาร์เครื่องหนึ่ง ๆ จะสามารถวัดได้ โดยความสามารถของมันที่จะตรวจจับระดับของความเข้มของเสียงบางระดับที่อยู่ภายนอกย่านไฮโดรโฟนของมัน ดังนั้น ระยะของการตรวจจับจึงเป็นการวัดที่ไม่ดีต่อขีดความสามารถของโซนาร์นั้น ๆ ตามความจริงแล้วมีการวัดที่ดีกว่ามาก กฎของการวัดที่ดีกว่านี้ก็คือการแยกในใจของคุณจากมหาสมุทร ณ ที่ซึ่งจะใช้โซนาร์ แล้วขีดความสามารถของโซนาร์จะถกแถลงกันต่อไปในเทอมของ “unchanging sonar hardware” และเรือตามที่แยกออกมาจากมหาสมุทรที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ

การวัดขีดความสามารถที่ดีกว่าของโซนาร์นั้นเรียกว่า “figure of merit” มันไม่ขึ้นอยู่กับระยะ และมันยังสัมพันธ์กับระยะในเมื่อการสูญเสียในการแพร่กระจายสามารถที่จะทราบได้ในเทอมของระยะ มันเป็นการชี้ให้เห็นถึงขีดความสามารถของโซนาร์โดยตรงและวัดได้

Figure of merit ที่จริงก็เป็นผลบวกของพารามิเตอร์หลาย ๆ ตัวใน passive sonar equation สมการโซนาร์ในตัวของมันเองก็เพียงแต่ค่ากล่าวเฉพาะในเรื่องของกฎหมายของการรักษาพลังงานนั่นเอง เพื่อที่จะพัฒนาสมการโซนาร์ขั้นของการคิดต่าง ๆ ดังต่อไปนี้จะต้องนำมาคิด คือ

ก. จงพิจารณาว่าเป้านั้นส่งระดับความเข้มของพลังงานเสียงออกระดับหนึ่ง ให้เครื่องหมายเป็น  $L_s$  และนับเป็นเดซิเบล

ข. ตลอดระยะทางถึงเรือ ความเข้มของเสียงจะลดลง เพราะจากสิ่งหนึ่งหรือมากกว่าในสิ่งต่อไปนี้ คือ การกระจาย การงอของ ray path การดูด การสะท้อน และการกระจัดกระจาย การลดลงของระดับความเข้มอันเนื่องมาจากการสูญเสียในการส่ง (propagation loss) นี้ เราให้ชื่อว่า  $N_w$  และมีหน่วยนับเป็นเดซิเบลเหมือนกัน ดังนั้นระดับความเข้มของสัญญาณที่มาถึงเรือจะเป็น  $L_s - N_w$

ค. สิ่งแวดล้อมที่ใกล้ชิด (immediate surroundings) ของ array ของโซนาร์ ของเรือหนวกหู เพราะเหตุหนึ่งหรือหลายเหตุดังต่อไปนี้คือ สถานะของทะเล, เครื่องจักรของเรือตัวเอง, น้ำพัดผ่าน array hydrophones และสัณฐานน้ำ โซนาร์จะสามารถตรวจพบสัญญาณ ณ ค่า ๆ หนึ่งเมื่อคิดเทียบกับเสียงแบคกราวด์ต่าง ๆ เหล่านี้

เท่านั้น background noise ตามปกติจะวัดได้โดยไฮโดรโฟนรอบทิศทางและค่าของมันเราเรียกว่า  $L_N$  ดังนั้น background noise ที่วัดได้จาก hydrophone array จะน้อยกว่า noise ที่วัดได้ด้วยไฮโดรโฟนรอบทิศทางที่อยู่ใกล้ ๆ background noise ที่วัดได้จริง ๆ คือ  $L_N - N_{DI}$  โดยที่  $N_{DI}$  คือผลจาก array directivity  $N_{DI}$  เราเรียกว่า “directivity index”

ง. พิจารณาค่าของสัญญาณในขณะนี้ ที่มาถึงเรือซึ่งจะใหญ่กว่าค่าของ background ที่วัดได้จาก hydrophone array นั่นคือ

$$L_S - N_w - (L_N - N_{DI})$$

ความเข้มของ background

สัญญาณที่มาถึง noise

นั่นก็คืออัตราส่วนของสัญญาณต่อ noise ซึ่งเป็นค่าที่พนักงานโซนาร์ได้รับ (provided) ถ้าค่าเฉลี่ยของค่าของอัตราส่วนนี้เท่ากับสิ่งที่พนักงานต้องการพอดี กล่าวคือ

$$\text{provided} = \text{required}$$

ดังนั้นการตรวจจับก็จะเกิดขึ้น ดังนั้นเราอาจเขียนได้ว่า

$$\text{สมการ 9 – 17} \quad (L_S - N_w) - (L_N - N_{DI}) - N_{RD}$$

$N_{RD}$  คือ “recognition differential” ซึ่งอาจให้ค่าจำกัดความได้ว่าเป็นสัญญาณลบด้วยระดับเสียงรบกวนที่ต้องการที่ hydrophone array เพื่อให้พนักงานสามารถตรวจจับเป้าได้ ตามความจริงแล้วงานของการตรวจจับสัญญาณโซนาร์นั้นเป็น “กรรมวิธีของโอกาส” ด้วยเหตุผลหลายประการ ประการหนึ่งก็คือการที่มนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้อง ดังนั้นค่าจำกัดความของ  $N_{RD}$  ตามปกติจะยอมรับได้โดยการเพิ่มข้อความ “เพื่อที่จะให้พนักงานสามารถตรวจพบเป้า 50%” เข้าไปด้วย

ดังนั้นถ้าค่าเฉลี่ยของ provided signal/noise เท่ากับค่าเฉลี่ยของ required signal/noise แล้วการตรวจพบจะเกิดขึ้น 50% (ที่การตรวจพบนั้น ควรจะมีขึ้นได้)

ถ้า (ค่าเฉลี่ย) provided ใหญ่กว่า (ค่าเฉลี่ย) required โชน (probability) ของการตรวจพบจะเพิ่มขึ้นจนถึง 100% ในขณะที่ถ้า (ค่าเฉลี่ย) provided น้อยกว่า (ค่าเฉลี่ย) required โชนของการตรวจพบจะลดลงจนกระทั่งถึง 0% กล่าวโดยสรุป

$$\text{Average provided} = \text{Average required, detection probability 50\%}$$

$$\text{Average provided} > \text{Average required, 50\% to 100\%}$$

$$\text{Average provided} < \text{Average required, 50\% to 0\%}$$

จงสังเกตว่าค่าของขณะหนึ่งขณะใดของค่าของ provided หรือ required signal to noise สามารถเปลี่ยนแปลงค่าได้ในย่านของค่าที่กว้างอันเนื่องมาจากพนักงานต่าง ๆ กัน และอาร์มณของพนักงาน และการแกว่งไปมาของ propagation loss, target radiated signal และเสียงรบกวนจากเรือเอง ดังนั้นในขณะที่ค่าเฉลี่ยของ provided signal to noise มีบางทีที่ provided (ในช่วงขณะหนึ่ง) อาจใหญ่กว่า required (ในช่วงขณะหนึ่ง) และการตรวจพบก็จะเกิดขึ้น ดังนั้น โชนะจะใหญ่กว่าศูนย์จะมีอยู่เสมอถึงแม้ว่า provided (ค่าเฉลี่ย) จะน้อยกว่าค่า required (ค่าเฉลี่ย)

สมการ 9 – 17 เราเรียกว่า “สมการ โชนาร์” มันกล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องสำหรับ passive sonar detection

สมการ โชนาร์ตามที่เขียนในสมการที่ 9-17 อาจทำให้มีประโยชน์ยิ่งขึ้น และมีความหมายมากขึ้น โดยการวางตัวที่ขึ้นกับระยะไว้ข้างหนึ่ง ดังนั้นจะได้

สมการ 9-18 
$$N_w \quad L_S \quad (L_N \quad N_{DI}) \quad N_{RD}$$

พารามิเตอร์ทั้งหมดทางขวามือของสมการอาจทำได้โดยไม่ต้องทราบระยะ เพื่อเป็นการทบทวน

$L_S$  คือเสียงรบกวนที่เป่าส่งออกมา

$L_N$  คือเสียงรบกวนแบบกราวด์ทุกทิศทาง

$L_{DI}$  คือครรชนีของ directivity และ

$N_{RD}$  คือ recognition differential ของพนักงาน กล่าวคือ required signal/noise

ส่วนที่ “ $L_S \quad (L_N \quad N_{DI}) \quad N_{RD}$ ” ได้รับชื่อว่า “figure of merit” จากนั้นจะได้ว่า

ก. figure of merit ยอมให้มีความสูญเสียของการส่ง  $N_w$  สำหรับ 50% ของโชนะของการตรวจพบ

ข. figure of merit อาจที่จะวัดได้โดย

1) สมมติค่าของ  $L_S$  และ

2) วัด  $N_{DP} \quad L_N \quad N_{RD}$

เพื่อที่จะแสดงว่า figure of merit สามารถใช้เพื่อชี้เฉพาะถึงขีดความสามารถของ โชนาร์ได้อย่างไร จึงพิจารณาตัวอย่างต่อไปนี้

เราต้องการที่จะเปรียบเทียบขีดความสามารถในการตรวจจับของเครื่อง A กับ B โชนาร์ ทั้ง 2 ตัวนี้ ติดตั้งอยู่บนเรือและทำงานในเมื่อทะเลอยู่ในสถานะ 2 (state 2) โดยมีเสียงรบกวนจากเครื่องจักรน้อยกว่าเสียงรบกวนจากสถานะทางทะเล และโชนาร์ทั้งสองใช้ตรวจค้นเป้าเรือดำน้ำที่เดินด้วยความเร็ว 5 น็อต (ไม่มี cavitation)

ก. สำหรับโชนาร์ A (ความถี่ 2 kcs)

$L_N$	โดยสถานะของทะเล 2	= - 43	db
$N_{DI}$	อาจเป็น	= + 12	db
$N_{RD}$	สำหรับพนักงานเฉลี่ยโดยใช้การตรวจค้นทางหู	= - 3	db
$L_S$	สำหรับเป้าเรือดำน้ำความเร็ว 5 น็อต	= + 14	db
figure of merit, $L_S (L_N N_{DI}) N_{RD}$		= 72	db

ข. สำหรับโซนาร์ B (ความถี่ 2 kcs)

$L_N$	เป็นเช่นเดียวกัน	= - 43	db
$N_{DI}$	อาจสูงกว่าเพราะว่าเป็นเครื่องทันสมัยกว่า	= + 21	db
$N_{RD}$	สำหรับพนักงานเฉลี่ยใช้เครื่องมือพิเศษ	= - 15	db
$L_S$	สำหรับเป้าเรือดำน้ำเดียวกัน	= + 14	db
figure of merit		= 93	db

ดังนั้นโซนาร์ B ณ สถานะของทะเล 2 ต่อเป้าเรือดำน้ำจะดีกว่าการใช้เครื่องโซนาร์ A ภายใต้งี้อื่นๆ เดียวกันอยู่ 21 เดซิเบล

โดยการจำไว้ว่า figure of merit เท่ากับ  $N_{pr}$  จากตัวอย่างนั้น อาจแปลความได้ดังต่อไปนี้

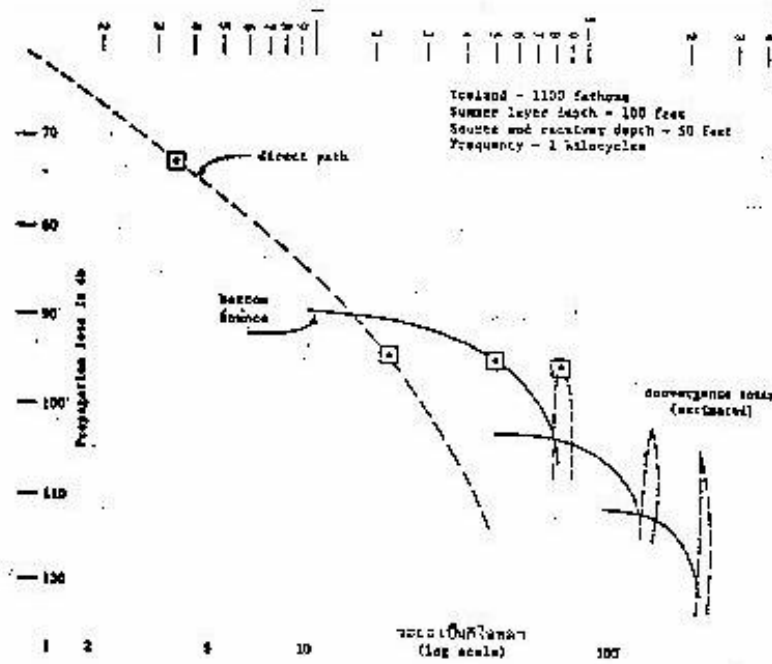
ก. โซนาร์ A (ด้วยพารามิเตอร์ตามที่ได้ให้คำจำกัดความไว้) สามารถที่จะยินยอมการสูญเสียในการแพร่ 72 เดซิเบล และยังสามารถตรวจพบเป้าได้ (โชค 50%)

ข. โซนาร์ B (ด้วยพารามิเตอร์ตามที่ได้ให้คำจำกัดความไว้) สามารถที่จะยินยอมการสูญเสียในการแพร่ 93 เดซิเบล และยังสามารถตรวจพบเป้าได้ (โชค 50%)

ค. โซนาร์ B (ตามที่ได้ให้คำจำกัดความไว้) สามารถที่จะยินยอมการสูญเสียในการแพร่ได้ 21 เดซิเบล มากกว่าโซนาร์ A (ตามที่ได้ให้คำจำกัดความไว้) และยังสามารถตรวจพบเป้าได้ (โชค 50%)

ดังนั้นโดยปกติจากความรู้เกี่ยวกับทิศทางของการแพร่ที่เข้ามาเกี่ยวข้องกับระหว่างเรือและเป้า ได้ทำการเปรียบเทียบทางปริมาณของโซนาร์ทั้ง 2 ตัว เพื่อที่จะแปลความหมายของการเปรียบเทียบนี้ในทอมของระยะ, ความรู้ทางตัวเลขเกี่ยวกับระยะต่อการสูญเสียในการแพร่จะต้องทราบ ณ กรณีนี้จะก่อให้เกิดความยุ่งยากขึ้นในการใช้ระยะ เพื่อเป็นตัวเกณฑ์สำหรับขีดความสามารถของโซนาร์ เพราะระยะของการตรวจจับต่อการสูญเสียในการแพร่จะเปลี่ยนไปอย่างกว้างขวางในมหาสมุทรต่าง ๆ ของโลก ยิ่งไปกว่านั้นการเปลี่ยน figure of merit ไปเล็กน้อย อาจหมายความว่ามีการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างมากของระยะการตรวจจับ

รูปที่ 9-8



ความสูญเสียในการแพร่จะเพิ่มขึ้นด้วยระยะเสมอ อย่างไรก็ตามในพื้นที่แตกต่างกันของมหาสมุทร และสำหรับแบบ (mode) ของการส่งเสียงที่แตกต่างกัน อัตราของการเพิ่มของความสูญเสียในการแพร่กับระยะ จะเปลี่ยนแปลงไปมาก ในตัวอย่างข้างต้นได้แสดงให้เห็นว่าโซนาร์ที่ยังมี figure of merit สูงจะสามารถตรวจจับ ได้ยิ่งไกลกว่าโซนาร์อื่น ถ้าโซนาร์ทั้งสองนั้นมีความสูญเสียในการแพร่ชนิดเดียวกันต่อระยะหรือว่าโซนาร์ B สามารถทำงานในพื้นที่ที่มีความสูญเสียกว่าโซนาร์ A และยังอาจตรวจจับได้ในระยะที่ไกลกว่า เพื่อที่จะพิจารณา ความแตกต่างในทางตัวเลขที่แท้จริงเกี่ยวกับระยะตรวจจับ จำเป็นต้องเขียนเส้นโค้ง (curve) ของความสูญเสียใน การแพร่ต่อระยะ

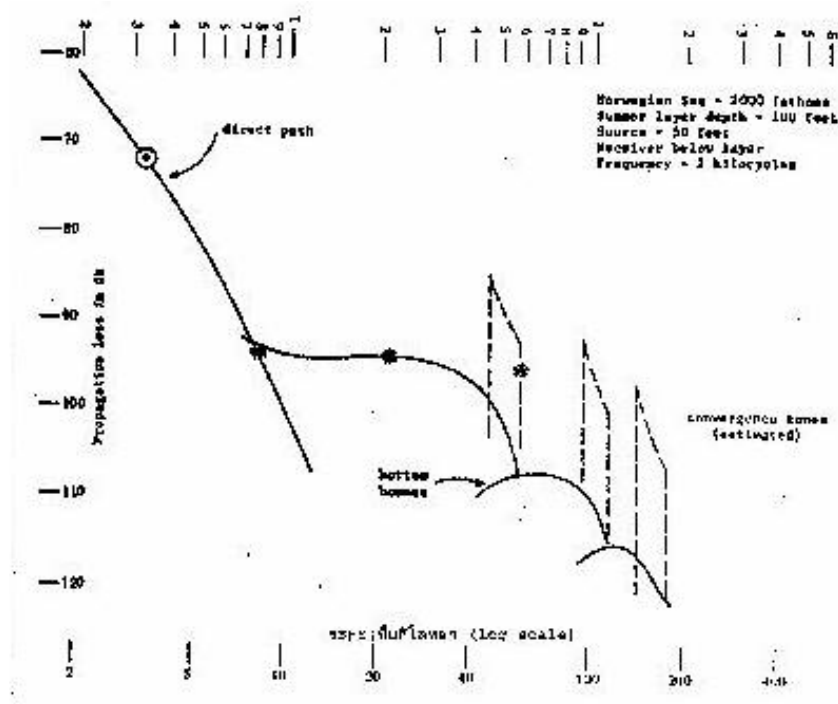
เส้นโค้งแบบ (typical) เส้นหนึ่งได้แสดงให้เห็นในรูปที่ 9-8 สำหรับความสูญเสียในการแพร่ ไกล ๆ กับ Iceland (จงสังเกตว่าทั้งเครื่องรับและแหล่งกำเนิดอยู่ลึก 50 ฟุต สำหรับการวัดเหล่านี้ และความถี่ใน การส่งกำหนดให้ที่ 2 kcs) ตามความจริงแล้วมี mode ต่าง ๆ ในการส่งเสียงอยู่ 3 modes ด้วยกันคือ : direct path, bottom bounce และ convergence zone propagation ดังนั้นจึงต้องการ 3 curves หรือชุดของ curves เพื่อแสดง ความสัมพันธ์ความสูญเสียในการแพร่ต่อระยะทางทั้งหมด

เพื่อที่จะคำนวณหาระยะตรวจจับขั้นต่ำของโซนาร์ A จากรูป 9-8 เข้าด้วย ความสูญเสียในการ แพร่ 72 เดซิเบล เพราะว่า figure of merit เท่ากับ  $N_w$  (ความสูญเสียในการแพร่) สำหรับการส่ง direct path จะ ได้ระยะตรวจจับ 3,500 หลา (รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสบนสุด ในรูปที่ 9-8, โขก 50%) ระยะการตรวจจับโดย bottom bounce และ convergence zone นั้นเป็นไปได้ สำหรับโซนาร์ B ที่ 93 เดซิเบล (สี่เหลี่ยมจัตุรัสด้านล่างในรูป

9-8) ระยะการตรวจจับต่าง ๆ (ด้วยโชค 50%) คือ ; direct path 18,000 หลา ; bottom bounce 41,000 หลา (โดยทาง bottom bounce อันแรก) ; และ convergence zone path 70,000 หลา

จะเห็นได้ว่าความแตกต่าง 21 เดซิเบล ของ figure of merit สามารถก่อให้เกิดความแตกต่างในระยะการตรวจจับได้อย่างมหัศจรรย์

รูป 9-9



แต่ที่จริงโซนาร์ A อาจเพิ่ม figure of merit โดยขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ :

ก. ใช้ signal processing procedure แทนการใช้หูพนักงาน ดังนั้นจะได้  $N_{RD}$  เป็น -15 เดซิเบล แทนที่จะเป็น -3 เดซิเบล

ข. เรือดำน้ำเพิ่มความเร็วเป็นประมาณ 16 น็อต (ยังคงไม่มี cavitation)  $L_s$  จะได้เป็น 23 เดซิเบล แทนที่จะเป็น 14 เดซิเบล ดังนั้นการเพิ่มทั้งหมดของโซนาร์ A ของ figure of merit จะเป็น 12 + 9 หรือ 21 เดซิเบล figure of merit ใหม่จะเป็น 93 เดซิเบล และภายใต้สภาวะใหม่ โซนาร์ A จะทำการตรวจจับได้ระยะทางเท่ากันกับโซนาร์ B ภายใต้เงื่อนไขเดิม

รูปที่ 9 - 9 แสดงค่าความสูญเสียในการแพร่ต่อระยะ สำหรับพื้นที่ที่แตกต่างกันออกไป คือใน Norwegian Sea เลเยอร์เคปท์ยังคงเป็น 100 ฟุต และในฤดูร้อนเช่นเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามในกรณีนี้เครื่องรับอยู่ใต้เลเยอร์ และแหล่งกำเนิดอยู่เหนือเลเยอร์ ผลที่ได้จากทั้ง 2 figures of merit (72 สำหรับโซนาร์ A (วงกลม))

: 93 สำหรับโซนาร์ B (ดอจันท์) ใน Norwegian Sea) ได้ใส่ไว้ในตารางและค่าต่าง ๆ ของ Iceland เหมือนเดิมสำหรับการเปรียบเทียบในตารางต่อไปนี้

รูปที่ 9-10

	Equipment A Audio	Equipment B Signal Processing	Equipment A Audio	Equipment B Signal Processing
Figure of Merit in db	72	93	72	93
Area	Norwegian Sea		Iceland area	
Direct path	3,300	8,000	3,500	18,000
First bottom bounce	Impossible	22,000	Impossible	41,000
First convergence	impossible	58,000	Impossible	70,000
Points labelled on figure				

ถ้าเราตรวจสอบค่าของความสูญเสียในการแพร่ต่อระยะสำหรับพื้นที่อื่น ๆ หรือสำหรับเลเซอร์เดพท์อื่น ๆ หรือ สำหรับสถานการณ์ที่แหล่งกำเนิดและเครื่องรับไม่ได้เป็นไปตามตัวอย่างที่ได้กล่าวมาแล้วในตัวอย่าง เราจะพบว่าความสูญเสียในการแพร่ต่อระยะจะเปลี่ยนแปลง (vary) ต่อไปอย่างมากภายในเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง (change) สภาวะแวดล้อม เรือปราบ โซนาร์ และเป้า ซึ่งถ้าเราใส่ไว้ในสภาวะแวดล้อมตามลำดับจะก่อให้เกิดความแตกต่างของระยะตรวจจับในแต่ละกรณีอย่างมากโดยไม่เปลี่ยนแปลงขีดความสามารถของโซนาร์

เพราะว่าขีดความสามารถของโซนาร์ในตอนสุดท้ายจะตัดสินใจได้ โดยจำนวนของสัญญาณที่โซนาร์นั้นสามารถตรวจจับได้ภายในระยะของไฮโดรโฟน array ของมัน และเพราะว่าขีดความสามารถอันนี้ไม่ขึ้นอยู่กับความสูญเสียในการแพร่อย่างสิ้นเชิง ดังนั้น figure of merit ซึ่งเป็นค่าในทางตัวเลขจะเป็นค่าของขีดความสามารถนั้นจะเป็นการวัดที่มีความหมายของการทำงานของโซนาร์ แน่นนอนเหลือเกินต่อนักยุทธวิธีนั้น ระยะการตรวจจับเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุด figure of merit มีพร้อมที่จะใช้ได้อยู่แล้วที่จะเปลี่ยนโดยตรงเป็นระยะ ถ้าการสูญเสียในการแพร่ต่อระยะสามารถหาได้โดยวิธีอื่น ธรรมชาติของหลายปัจจัยที่มีผลกระทบกระเทือนต่อ



การสูญเสียในการส่งหรือการแพร่จะปรากฏชัดเจนยิ่งขึ้น ถ้าเราถกแถลงกันในทอมของ 3 modes ในการส่งเสียง

“direct path” ที่เป็นอย่างไรชื่อของมันได้ชี้ให้เห็นอยู่แล้วจะส่งตรงจากเป้าไปยังเครื่องรับ เส้นทางตรงจะกระทบกระเทือนอย่างมาก โดยการโค้งงอของเส้นทางของ ray อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของความเร็วเสียงกับอุณหภูมิของมหาสมุทร ในน้ำที่เป็น isovelocity สาเหตุสำคัญของการสูญเสียพลังงานก็คือการกระจายพลังงานในขณะที่มันเดินทางห่างไกลออกไปจากแหล่งกำเนิด ในน้ำที่มีการหักเหมาก (เทอร์มอลเกรเดียนท์ที่ใหญ่กว่า) การสูญเสียในการกระจายจะรวมกับการโค้งงอของเส้นทางของ ray ในขณะที่โปรไฟล์ของความเร็วเสียงสามารถที่จะวัดได้อย่างละเอียดถี่ถ้วน เพื่อที่จะได้การวัดที่มีลักษณะคล้ายกัน ณ จุดระหว่างเรือและเป้าโดยมีความถูกต้องแน่นอนนั้นเป็นไปได้ ดังนั้นในการใช้ผลจากการวัดก่อนหน้านี้โดยบุคคลอื่น ๆ หรือในการทำนายการสูญเสียในการแพร่โดยการลากเส้นทาง ray จะมีความไม่แน่นอนเสมออันเนื่องมาจากการละเลยรายละเอียดของเงื่อนไขของน้ำที่แท้จริง

เส้นทางตรงนั้นบางทีก่อให้เกิดการแพร่เสียงที่ผิดปกติมากอันมีสาเหตุมาจาก surface trapping สถานการณ์นี้สามารถจะเกิดขึ้นได้ก็เพียงแต่ถ้าความเร็วเสียงเพิ่มขึ้นเมื่อความลึกเพิ่มขึ้น isothermal หรือ BT ที่เป็นบวกเล็กน้อยที่ตามมาด้วยเส้นทางที่เป็นลบอาจก่อให้เกิดเงื่อนไขที่ต้องการนี้ได้ ความสัมพันธ์ทางปริมาณระหว่างการสูญเสียเกี่ยวกับ surface trapping เป็นเดซิเบลต่อระยะเป็นหลา ดูเหมือนว่าจะลำบากที่จะทำนายได้ และข้อมูลเกี่ยวกับเรื่องนี้มีอยู่น้อยมาก

“bottom bounce” การแพร่แบบนี้เป็นไปตามเส้นทาง ซึ่งเป็นลำแสงหรือโค้งงอไปยังพื้นห้องมหาสมุทรและก่อให้เกิดผล ทำให้พลังงานโค้งงอออกจากพื้นห้องมหาสมุทร รูปแบบของการเดินทางของพลังงานแบบนี้ จะค่อนข้างเป็นอิสระต่อเงื่อนไขทางเทอร์มอลในมหาสมุทร แต่มันจะขึ้นอยู่กับความลึกเป็นอย่างมาก และการสูญเสียที่เกิดขึ้น ณ ท้องทะเลในเมื่อ ray นั้นโค้ง เพื่อเป็นตัวอย่างลำแสง (beam) ซึ่งถูกกด  $15^\circ$  ลงไปจาก horizontal จะทำให้ ray นั้นโค้งออกจากท้องทะเลประมาณ 12,000 หลาในน้ำที่ลึก 1,500 วา ดังนั้นระยะการตรวจจับ 24,000 หลา ก็อาจมีได้โดยโซนาร์ที่มี figure of merit ที่เหมาะสม ถ้าความลึกลดลงเป็น 150 วา ระยะที่ตรงกันก็จะลดลงเป็น 2,400 หลาต่อการโค้ง 1 ครั้ง การแพร่จะเป็นไปได้ด้วยการโค้ง 2 หรือ 3 ครั้ง แต่การสูญเสียพลังงานแน่นอนเหลือเกินจะยิ่งใหญ่กว่าสำหรับแต่ละการโค้งต่าง ๆ มาจากท้องทะเลหรือผิวน้ำ อย่างไรก็ตามที่น้ำตื้นที่มีพื้นท้องทะเลราบและเป็นทราย การสูญเสียพลังงานเสียงอันเนื่องมาจากการโค้งหลาย ๆ ครั้ง บางทีจะถูกชดเชยโดยมุมตกที่แบนราบ ดังนั้น bottom bounce propagation จะเป็นไปได้ในน้ำตื้นด้วย การสูญเสียที่ต่ำตามปกติจะควบคู่ไปกับการแพร่ทางช่องผิวน้ำ

“convergence zone” การแพร่แบบนี้จะเกิดขึ้นในที่น้ำลึกมาก ๆ เพราะที่น้ำลึกความเร็วเสียงจะลดลงเมื่อเพิ่มความลึก เพราะว่าอุณหภูมิลดลง จนกระทั่งถึงความเร็วต่ำสุด และแล้วเริ่มที่จะเพิ่มขึ้นเพราะว่าความแน่นเพิ่มขึ้น เมื่อยิ่งลึกจุดที่ความเร็วต่ำสุดเรียกว่าความลึก “deep sound channel” ในมหาสมุทรแอตแลนติก deep channel จะมีที่ความลึกประมาณ 400 – 500 วา จะต้องมีความลึกประมาณนั้นหรือลึกกว่าได้ deep channel จึงจะมีการแพร่แบบ convergence zone ได้ พลังงานเสียงที่ออกมาจากเป้าทุก ๆ มุมจะหักเหลง และผ่าน deep channel และแล้วจะหักงอกลับไปรวมตัวกันใกล้ผิวน้ำที่ประมาณ 30 ไมล์

โดยสรุปในเรื่องของ passive sonar :

ก. figure of merit คือ  $L_S (L_S N_{DI}) N_{RD}$

ข. figure of merit สามารถที่จะวัดได้และไม่ขึ้นกับระยะ

ค. figure of merit เป็นการวัดที่ตรงและเป็นตัวเลขเพื่อวัดขีดความสามารถโซนาร์

ง. figure of merit เท่ากับการสูญเสียในการแพร่ที่เป็นไปได้ที่จะยังคงตรวจจับได้ (ด้วยโชค 50%)

จ. ถ้าการสูญเสียในการแพร่ต่อระยะ สามารถทราบได้จากการวัดในทะเล หลังจากนั้น figure of merit ต่อระยะจะทราบได้

ระยะเป็นการวัดขีดความสามารถของโซนาร์ที่เลว และ figure of merit เป็นการวัดขีดความสามารถของโซนาร์ที่ดี

#### 910. Active Sonar Equation

รายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับ passive sonar equation มีความสัมพันธ์โดยตรงต่อ active sonar พร้อมด้วยข้อยกเว้นที่สำคัญบางประการ อย่างไรก็ตามโดยส่วนสำคัญทุกสิ่งทุกอย่างที่ได้กล่าวเกี่ยวกับความมีประโยชน์ของ figure of merit ในฐานะการวัดขีดความสามารถของโซนาร์ สามารถนำไปใช้ได้กับกรณีของ active sonar

เพื่อพัฒนา active sonar equation กรรมวิธีของการคิดดังต่อไปนี้จะมีขึ้น

ก.  $L_S$  ในที่นี้จะไม่เป็น radiated signal ที่มาจากเป้า แต่เป็น radiated signal มาจากเรือส่ง

ข. radiated signal  $L_S$  ออกไปจากเรือและความเข้มจะค่อย ๆ ลดลงไปตามระยะทางจนกระทั่งถึงเป้าด้วยจำนวน  $N_W$  ดังนั้น  $L_S - N_W$  จะไปถึงเป้า

ค. เป้าซึ่งได้รับ echo นั้นจะ re-radiate ทั้งหมดไปอีก อัตราส่วนของความเข้มที่สะท้อนต่อความเข้มที่ตกลงมา (ได้รับ) เรียกว่า “ความเข้มแข็งของเป้า – target strength” และเขียนเป็น  $N_{TS}$  ดังนั้นความเข้มของเสียงที่กลับไป ซึ่งวัดที่ระยะ 1 หลา จากเป้าคือ  $L_S N_W N_{TS}$

ง. ขากลับจากเป้า การสูญเสียในการแพร่,  $N_W$  จะมีผลของมันอีก ดังนั้นสัญญาณที่มาถึงเรือคือ

$$L_S N_W N_{TS} N_W$$

จ. เหมือนกรณีของ passive sonar ความกังวลที่ควรจะมีก็คือ ค่าของความเข้มของสัญญาณที่กลับมามลด้วยเสียงรบกวน background สำหรับ active sonar background noise พิจารณาได้โดยความดังที่สุด (loudest) ของปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่าง ๆ ถ้าเสียงดังสุดประมาณเก้าเดซิเบล หรือสูงกว่าส่วนที่เหลือ หรือโดยผลบวกของปัจจัยทั้งหมด ปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องคือเสียงรบกวนจากเครื่องจักร, สถานะของทะเล และ flow over the hydrophone ทั้งหมดนี้ก็เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องในเสียงรบกวนต่อโซนาร์แบบ passive ในส่วนที่เพิ่มเข้ามาต่อ active sonar อาจกระทบกระเทือนโดย volume reflected reverberations และ surface reflected reverberations

Volume reverberations เกิดมาจากเสียงรบกวนที่กระจัดกระจายกลับมาจากการที่ทะเลมี discontinuities ในขณะที่ surface reverberations มีสาเหตุเนื่องมาจากการกระจัดกระจายกลับมาจาก discontinuities ซึ่งเกิดเพราะความขรุขระของพื้นท้องทะเลหรือผิวน้ำ, สถานะทางทะเล หรือ water flow over the hydrophone เราเรียกว่า  $L_N$  ทิศทางของไฮโดรโฟน array อาจจัดได้ส่วนหนึ่ง และดังนั้นเสียงรบกวนจากตัวเองใน array จึงเป็น  $L_N - N_{DI}$  โดย  $N_{DI}$  ก็คือกรณี directivity reverberations ไม่เป็น isotropic ดังนั้น array directivity จะไม่เด่นออกมาเมื่อเทียบกับ reverberation noise เหมือนอย่างแบบอื่น ในกรณีของ active sonar ที่มี reverberations จำกัด กล่าวคือ reverberations เป็นแหล่งกำเนิดที่ดังที่สุด กรณี directivity พิเศษจะต้องได้รับการให้คำจำกัดความ พิจารณาเพียงแต่กรณีของเครื่องจักรหรือเสียงรบกวนจากทะเลจำกัดสมการของสัญญาณลบเสียงรบกวนคือ

$$L_S N_W N_{TS} N_W (L_N - N_{DI})$$

สัญญาณที่มาถึงภายนอก เสียงรบกวนจากเรือตัวเอง

ไฮโดรโฟนของตัวเรือ ที่วัดภายในไฮโดรโฟน

ฉ. เหมือนกรณีของ passive sonar ถ้าค่าเฉลี่ยของ provided signal/noise เท่ากับค่าเฉลี่ยของ required signal/noise แล้วการตรวจจับจะมีขึ้น (โชค 50%)

$N_{RD}$  แทนค่าเฉลี่ยของ required signal/noise และเราเรียกมันว่า “recognition differential” เหมือนอย่างเคย

ดังนั้น active sonar equation คือ

$$L_S N_W N_{TS} N_W (L_N - N_{DI}) N_{RD}$$

เขียนสมการนั้นเสียใหม่ และจัดเทอมที่ขึ้นกับระยะไว้ทางหนึ่ง จะได้

$$9 - 19 \quad 2N_W L_S N_{TS} (L_N - N_{DI}) N_{RD}$$

เพื่อคำนวณหา figure of merit สำหรับ active sonar ในเรือบนสถานี ตัวเลขต่าง ๆ ต่อไปนี้เป็นแบบทั่ว ๆ ไป

$L_S$	ระดับสัญญาณที่แพร่	= + 140 db
$N_{TS}$	ความเข้มแข็งของเป้า	= + 15 db
$L_N$	สถานะของทะเล 2	= -43 db
$N_{DI}$	สำหรับโซนาร์ 2 kcs=	+ 25 db
$N_{RD}$	สำหรับโซนาร์ 2 kcs=	+ 27 db

figure of merit.  $L_S N_{TS} (L_N N_{DI}) N_{RD} = 196 \text{ db}$

ในอันที่จะพิจารณาสิ่งที่ figure of merit นี้มีความหมายอย่างไร ในเทอมของระยะจำเป็นที่จะต้องคิดถึง ความสัมพันธ์ที่ว่า figure of merit เท่ากันสองเท่าของความสูญเสียในการแพร่ เข้าหารูปที่ 9-9 ด้วยความสูญเสียในการแพร่ (196/2) ระยะตรวจจับของ active sonar (โชค 50%) ซึ่งไม่ได้แสดงไว้ในรูป จะเป็น

direct path	3,400 หลา
bottom bounce	48,000 หลา
first convergence	58,000 หลา

โดยสรุปสำหรับ active sonar :

ก. figure of merit เท่ากับ  $L_S N_{TS} (L_N N_{DI}) N_{RD}$

ข. figure of merit ไม่ขึ้นกับระยะ และดังนั้นจึงหลีกเลี่ยงความไม่แน่นอนของความสูญเสียในการแพร่ต่อระยะได้ในพื้นที่มหาสมุทรต่าง ๆ ภายใต้เงื่อนไขของสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลง ดังนั้น figure of merit เป็นตัวชี้ที่เกี่ยวกับขีดความสามารถของโซนาร์

ค. figure of merit เท่ากับความสูญเสียในการแพร่ทั้งหมด ( $2N_{rr}$ ) ซึ่งยอมให้มีได้ และยังตรวจจับได้อยู่ (ด้วยโชค 50%)

ง. ถ้ารู้ความสูญเสียในการแพร่ต่อระยะทาง figure of merit ต่อระยะจะรู้ได้

ถ้า figure of merit สามารถที่จะวัดได้ในขณะที่เดินทาง ผู้บังคับการเรือสามารถที่จะทำสิ่งสำคัญ ๆ ต่อไปนี้ได้คือ

ก. ตัดสินได้ว่าโซนาร์ของเขาทำงานได้หรือไม่ได้ตามที่ได้ออกแบบไว้

ข. ทำนายระยะการตรวจจับที่เป็นไปได้ในหลาย ๆ ท้องที่ ถ้า มี curve ของความสูญเสียในการแพร่ต่อระยะ

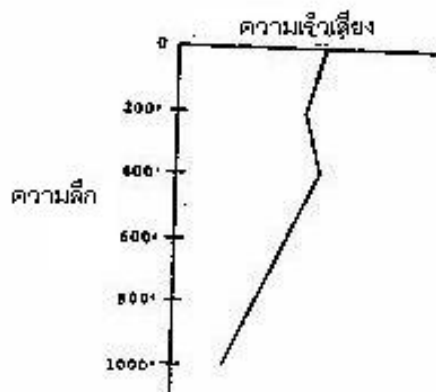
ด้วยการมีแนวความคิดของ figure of merit อยู่ในจิตใจ ผู้วางแผนสงครามสามารถทำสิ่งต่อไปนี้ได้  
คือ :

- ก. เปรียบเทียบขีดความสามารถของโซนาร์ต่าง ๆ จริง ๆ หรือสมมติ
- ข. ทำนายระยะตรวจจับที่เป็นไปได้ในหลาย ๆ ท้องที่ ถ้า มี curve ของความสูญเสียในการแพร่ต่อ  
ระยะ

โซนาร์เป็นกุญแจแห่งความสำเร็จของสงครามปราบเรือดำน้ำ ความรู้ในทางตัวเลขเกี่ยวกับการทำงานของโซนาร์อาจมีได้โดยการวัด figure of merit ในทะเล ด้วยความรู้อันนี้ ผบ.เรือ สามารถที่จะแน่ใจว่าโซนาร์ของเขาอยู่ในขีดสูงสุด และทำนายระยะตรวจจับเรือดำน้ำเข้าศึกได้ นักวางแผนสงครามสามารถที่จะทำอย่างข้างศึกที่แท้จริงหรือสมมติโดยเหตุที่ว่า การเปลี่ยนมหาสมุทรจะยังผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเป็นอย่างมาก ในความสูญเสียทั้งหมดต่อระยะ การที่จะกล่าวถึงขีดความสามารถของโซนาร์ก็โดย figure of merit สิ่งนี้อาจมีความสัมพันธ์กับระยะได้ในบางท้องที่หรือเงื่อนไขทางทะเลเฉพาะ

## ปัญหา

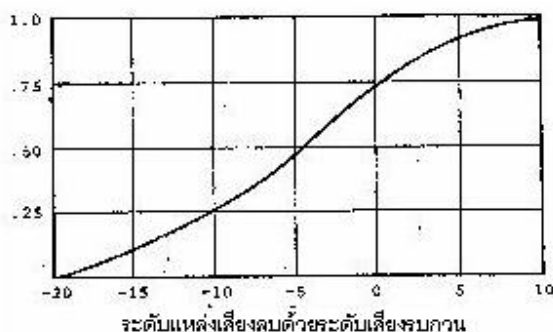
1. ค่า root mean square (rms) ของความกดของสัญญาณโซนาร์ ซึ่งมาถึงไฮโดรโฟนแบบรอบทิศเป็นหนึ่ง ใดน์/ตร.ซม. rms ของความกดของเสียงรบกวนที่มาจากไฮโดรโฟนตัวเดียวกันเป็น 0.01 ใดน์/ตร.ซม. อิมพีแดนซ์ทางเสียง pc ของน้ำเป็น  $1.5 \times 10^8$  ใดน์-วินาที/ลบ.ซม.
  - ก. จงหาความแน่นของสัญญาณที่มาจากไฮโดรโฟน
  - ข. จงหาความแน่นของเสียงรบกวนที่มาจากไฮโดรโฟน
  - ค. จงหา “ระดับ” ของสัญญาณสัมพันธ์กับหนึ่งไมโครบาร์
  - ง. จงหา “ระดับ” ของเสียงรบกวนสัมพันธ์กับหนึ่งไมโครบาร์
  - จ. จงหาอัตราส่วนของความแน่นของสัญญาณต่อเสียงรบกวน กล่าวคือ อัตราส่วนสัญญาณต่อเสียงรบกวน
  - ฉ. จงหาระดับของความแน่นสัมพันธ์ของสัญญาณต่อเสียงรบกวน
  - ช. จงหาระดับความกดของเสียงสัมพันธ์ โดยใช้ความกดที่ได้ใช้ไว้สำหรับสัญญาณ และเสียงรบกวน
  - ซ. จงเปรียบเทียบผลที่ได้ของข้อ ฉ. และ ช.
  
2. ระดับของแหล่งเสียงซึ่งเป็นเรือดำน้ำนิวเคลียร์ ซึ่งเดินทางด้วยความเร็ว 20 นอต เป็น 150 เดซิเบล สัมพันธ์กับ 0.0002 ใดน์/ตร.ซม. อะไรคือระดับของแหล่งเสียงในหน่วยเดซิเบลสัมพันธ์กับหนึ่งใดน์/ตร.ซม. จงแสดงด้วยวิธีทางคำนวณ
  
3. สำหรับชั้นอุณหภูมิเท่า อุณหภูมิจะคงที่กับความลึกไปตลอดชั้นนั้น สมมติว่า ความเค็มก็คงที่กับความลึก
  - ก. อะไรคือตัวแปรที่สำคัญที่มีอิทธิพลต่อ โปรไฟล์ของความเร็วภายในชั้นนี้?
  - ข. ความชันของโปรไฟล์ความเร็วคงที่หรือไม่ภายในชั้นนี้? ถ้าใช่มันมีค่าเท่าใด?
  - ค. จงพลอต โปรไฟล์ความเร็วภายในชั้นนี้คร่าว ๆ
  
4. โดยการใส่โปรไฟล์ความเร็วจากรูปข้างล่าง :



- ก. จงพล็อตเส้นทางของพลังงานเสียงไปตามทิศทางราบจากแหล่งเสียง ซึ่งอยู่ลึก 200 ฟุต
- ข. จงพล็อตเส้นทางของพลังงานเสียงไปตามทิศทางราบจากแหล่งเสียง ซึ่งอยู่ลึก 800 ฟุต
- ค. อะไรจะเกิดขึ้นต่อพลังงานเสียงส่วนใหญ่ซึ่งแพร่กระจายไปตามทิศทางราบจากแหล่งเสียง ซึ่งอยู่  
ระหว่างศูนย์และ 400 ฟุต ?
- ง. อะไรจะเกิดขึ้นต่อพลังงานเสียงส่วนใหญ่ซึ่งแพร่กระจายไปตามทิศทางราบจากแหล่งเสียง ซึ่งอยู่  
ระหว่าง 400 และ 1000 ฟุต ?

5. ภายใต้ข้อสมมติที่ว่ามหาสมุทรเป็นมันฉนิมความเร็วเท่า จงหาระยะทางราบ  $R_w$  ในเทอมของความลึกของน้ำ  $D$  และมุมเอียงของทรานสคิวเซอร์ ไปยังจุดที่พลังงานซึ่งเค็งออกจากท้องทะเลที่แบนราบจะไปถึงผิวน้ำอีก
6. โดยการให้ผลที่ได้จากข้อ 5 และภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน น้ำลึก 2,000 ฟาธอม และเป้า ณ ระยะราบ 20,000 หลา อะไรคือมุมเอียงที่ดีที่สุดสำหรับการตรวจจับเสียงที่เค็งจากท้องทะเล ?
7. สมมติว่าระยะการตรวจจับสามารถที่จะคำนวณได้โดยใช้สมการ  $N_w = 20 \log r$  ar อะไรคือผลที่การเปลี่ยนแปลงของความถี่ของแหล่งเสียงจาก 10 กิโลไซเคิล ไปยัง 5 กิโลไซเคิล จะมีต่อระยะของการตรวจจับ ? แต่ละเทอมจากสองเทอมทางขวาของสมการจะแทนอะไร?

8. พนักงานที่ได้รับการฝึกมาเป็นอย่างดีและมีความตื่นตัวได้ทำการทดลอง เพื่อพิจารณาว่าเขาจะตรวจจับสัญญาณได้เป็นเศษส่วนเท่าใด ในฐานะฟังก์ชันของอัตราส่วนสัญญาณต่อเสียงรบกวน ณ ความถี่เฉพาะของเสียงความถี่หนึ่ง ผลที่ได้จากการทดลองเป็นไปตามกราฟข้างล่าง



- ก. พนักงานผู้นี้ควรจะตรวจจับสัญญาณ ณ ระดับ 10 เดซิเบล ในเมื่อระดับของเสียงรบกวนเป็น 10 เดซิเบล ได้เป็นร้อยละเท่าใด ?
- ข. อะไรคือ recognition differential ของพนักงานผู้นี้ ?
9. ไฮโดรโฟนรอบทิศเฉพาะตัวหนึ่งจะไวที่สุดต่อความถี่ในย่าน 1 กิโลไซเคิล ไฮโดรโฟนตัวนี้ติดตั้งอยู่ ณ ความลึก 90 ฟุต ในพื้นที่ซึ่งระดับของเสียงรบกวนซึ่งเพิ่มวัดได้เป็น  $-45$  เดซิเบล cutout จากไฮโดรโฟนนำไปเลี้ยงชุดของ signal processing stages และท้ายสุดจะไปปรากฏต่อหน้าพนักงานผู้ซึ่งจะต้องตัดสินใจ (ใช่หรือไม่ใช่) ว่าเป็นสัญญาณจากเรือดำน้ำจริง ณ เวลาที่กำหนดให้ใด ๆ จากประสบการณ์ได้พบว่าพนักงานสามารถตรวจจับสัญญาณเป้าเรือดำน้ำจริง ในเขตหนึ่งกิโลไซเคิลประมาณครึ่งหนึ่งของเวลาทั้งหมด เมื่ออัตราส่วนของความแน่นของสัญญาณต่อเสียงรบกวนเป็น  $1/20$
- ก. อะไรคือ figure of merit (f.o.m.) สำหรับไฮโดรโฟนตัวนี้เมื่อใช้ตรวจค้นหาเป้าเรือดำน้ำ ซึ่งใช้ความเร็ว
- เดินทาง 10 นอต และก่อให้เกิดระดับเสียงรบกวนเป็น 25 เดซิเบล สำหรับความถี่ในย่านหนึ่ง
- กิโลไซเคิล ?
- ข. สมมติว่าการสูญเสียในการส่ง  $N_w$  สามารถหาได้โดยสมการ
- สมการ**
- ณ ระยะเท่าใด ท่านคาดว่า การตรวจจับจะเกิดขึ้นต่อเป้าเรือดำน้ำเหมือนอย่างในข้อ ก.



ก. เรือดำน้ำจะต้องส่งเสียงเท่าใด เพื่อให้การตรวจจับเป็นไปได้ ณ ระยะ 20,000 หลา?

10. โซนาร์แบบ echo-ranging ผลิตสัญญาณ 20 กิโลไซเกิล ด้วยระดับแหล่งเสียง 100 เดซิเบล จากประสบการณ์ในอดีตพบว่า พนักงานโดยเฉลี่ยสามารถตรวจจับได้ด้วยโซนาร์ด้วย recognition differential (r.d) 0 เดซิเบล directivity index (d.i.) ของโซนาร์ตัวนี้เป็น +15 เดซิเบล โซนาร์ใหม่ตัวหนึ่งซึ่งอยู่ในขั้นของการวิจัยและพัฒนาอยู่ ได้ออกแบบให้ผลิตสัญญาณ 10 กิโลไซเกิล จากระดับของแหล่งเสียง 150 เดซิเบล และให้มี d.i. 25 เดซิเบล และพยากรณ์ล่วงหน้าว่า พนักงานโดยเฉลี่ยจะสามารถตรวจจับเป้าได้ด้วย r.d. +5 เดซิเบล ความแข็งของเป้า คาดว่าสำหรับสัญญาณ 20 กิโลไซเกิล จะเป็น 20 เดซิเบล และสำหรับ 10 กิโลไซเกิล จะเป็น 15 เดซิเบล

โดยการใช้ข่าวสารของเงื่อนไขของน้ำเฉลี่ยในมหาสมุทรลึก ได้พบว่าระดับของเสียงรบกวนเฉลี่ย ณ 20 กิโลไซเกิล เป็น -65 เดซิเบล และ ณ 10 กิโลไซเกิล เป็น -60 เดซิเบล

ก. จงหา f.o.m. สำหรับโซนาร์ 20 กิโลไซเกิล

ข. จงหา f.o.m. สำหรับโซนาร์ 10 กิโลไซเกิล

ค. โดยการใช้สมการความสูญเสียในการส่ง  $N_w = 40 \log r - 20 \text{ ar}$  จงหาระยะการตรวจจับที่คาดว่าจะได้สำหรับโซนาร์แต่ละชนิด

ง. สำหรับมาตรวัดขีดความสามารถของโซนาร์ ท่านควรจะใช้ความแตกต่างใน f.o.m. หรือใน ระยะการตรวจจับที่คาดหวัง? ทำไม?

บทที่ 10  
การจัดฉากป้องกันเรือดำน้ำ  
(Screening)

ความสำคัญของการสงครามปราบเรือดำน้ำในปัจจุบันนั้น มีผลสืบเนื่องมาจากการที่กองเรือดำน้ำของโซเวียต ได้ขยายเติบโตขึ้นเป็นอย่างมาก ทั้งขนาดและคุณภาพ ซึ่งจะต้องยอมรับว่าเป็นข้าศึกที่เป็นไปได้ (potential enemy) กองทัพเรือ (สหรัฐฯ) จะต้องรับการท้าทายโดยภัยคุกคามนี้ให้ได้ในอันที่จะแน่ใจได้ถึงการควบคุมทะเลให้อยู่ในฝ่ายของเราเองหรือของพันธมิตรของเราไว้ให้ได้ในยามสงคราม ส่วนหนึ่งของการท้าทายนี้ขึ้นอยู่กับการพัฒนากระบวนการตรวจจับและระบบอาวุธให้มีขีดความสามารถสูงขึ้น อีกส่วนหนึ่งก็คือการใช้ระบบต่าง ๆ ที่มีอยู่แล้วให้มีประสิทธิผลที่สูงที่สุด

ปฏิบัติการการต่อสู้กับเรือดำน้ำจะอยู่ในสองประเภท คือ

ก. ปฏิบัติการในทางรุก ซึ่งได้แก่การค้นหาแล้วทำลายเรือดำน้ำพร้อมด้วยสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ของเรือดำน้ำเหล่านั้น

ข. ปฏิบัติการในทางป้องกัน ซึ่งได้แก่การหาหนทางป้องกันการโจมตีจากเรือดำน้ำ

ในบทนี้จะแสดงให้เห็นว่า วิธีของการปฏิบัติการป้องกันกองเรือคอนวอยหรือกองเรือเฉพาะกิจนั้นสามารถวิเคราะห์ได้อย่างไรในอันที่จะสรรหาต่อสู้บังคับบัญชาซึ่งหลักการสำหรับการตัดสินใจว่าจะป้องกันกองกำลังของเขาให้ดีที่สุดได้อย่างไร การวิเคราะห์ในลักษณะนั้นจะกระทำสำหรับสถานการณ์ต้นแบบพร้อมด้วยแผนการวางเรือฉากที่ได้ลงตารางไว้ใน ATP ต่าง ๆ นายทหารเรือผู้ซึ่งเข้าใจว่าแผนการต่าง ๆ เหล่านี้ได้พัฒนาอย่างไรจะเป็นผู้สามารถที่จะปฏิบัติการทางเรือได้อย่างฉลาดยิ่งขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเมื่อสถานการณ์ที่ตนได้เผชิญนั้นเป็นไปอย่างเดียวกันอย่างแท้จริงกับแผนการจัดฉากที่ตนมีอยู่

เมื่อกระบวนเรืออย่างเช่นกองเรือเฉพาะกิจของกองเรือคอนวอยกำลังอยู่ในขั้นการเดินทางอันตรายจากเรือดำน้ำข้าศึกนั้นอาจที่จะลดลงได้เป็นอย่างมาก โดยการตรวจจับและทำลายข้าศึกให้ไกลที่สุดจากกองเรือเท่าที่จะกระทำได้ด้วยเทคโนโลยี ปัจจุบันนี้เราสามารถที่จะตรวจจับเรือดำน้ำ ด้วยระยะไกลพอสมควรก็โดยเพียงแต่ด้วยเครื่องอุปกรณ์โซนาร์แบบ active หรือ passive ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่อุปกรณ์โซนาร์จะได้รับการใช้ในยานที่มีความคล่องตัวสูงและติดอาวุธอย่างเหมาะสมอย่างเช่น เรือพิฆาต เรือพิฆาตคุ้มกันหรือเฮลิคอปเตอร์ ณ ระยะที่เหมาะสมจากกองเรือ การจัดแจงการคุ้มกันในลักษณะนั้นเราเรียกว่า “ฉากโซนาร์ – sonar screen” ซึ่งมีงานสองประการคือตรวจจับและโจมตี

จุดประสงค์ของฉากป้องกันเรือดำน้ำก็เพื่อที่จะปกป้องกองเรือที่อยู่ในฉากให้ได้ผลสูงสุด จุดประสงค์นี้อาจกล่าวได้อีกทางหนึ่ง กล่าวคือ เพื่อลดโอกาสของเรือดำน้ำในการที่จะใช้ตอร์ปิโดยิงถูกเรือในกระบวนลงให้มากที่สุด ในที่นี้การทำลายเรือดำน้ำเป็นความสำคัญอันดับรองเพราะว่าเราอาจได้จุดประสงค์อันนี้มาได้โดยทางอื่น ๆ

การวางหน่วยต่าง ๆ ของฉากเป็นตัวแปรที่ควบคุมได้ที่สำคัญอันดับแรก กล่าวอีกนัยหนึ่ง ตำแหน่งต่าง ๆ ของหน่วยฉากนี้แทนหนทางปฏิบัติอื่น ๆ ซึ่งมีได้ต่อผู้บังคับบัญชาทางยุทธการในเมื่อได้สั่งฉาก

ปัญหาก็คือการพิจารณาในการวางหน่วยเรือฉาก ซึ่งจะลดโอกาสแห่งการยิงถูกของเรือดำน้ำลงให้มากที่สุด

ด้วยฉากอยู่ ณ ตำแหน่งที่ต้องการแล้วผู้บังคับการเรือดำน้ำ คู่ต่อสู้มีหนทางเลือกหลักอยู่สองประการ :

ก. เพื่อพยายามฝ่าฉากเข้าไปแล้วยิงภายในฉากด้วยระยะประชิด

ข. เพื่อยิงอาวุธของเขาจากภายนอกฉาก

ในอันที่จะพิจารณาว่าจะวางฉากอย่างไรจึงจะลดโอกาสแห่งความสำเร็จของเรือดำน้ำลงให้มากที่สุดนั้น มีความจำเป็นที่จะต้องสามารถพยากรณ์ผลที่จะได้มาจากหนทางปฏิบัติของผู้บังคับบัญชา แต่ละหนทางในเมื่อฉากได้เปลี่ยนตำแหน่งการวางไป มาตรการประสิทธิผลที่ใช้ก็อาจเป็น probability ที่เรือดำน้ำจะยิงเรือถูกด้วยตอร์ปิโดหนึ่งลูก ถ้าเรือดำน้ำพยายามที่จะฝ่าฉากเข้าไปก่อนการยิง probability ของการยิงถูกจะต้องคิดรวมถึง probability ที่เรือดำน้ำจะฝ่าฉากเข้าไปสำเร็จด้วย

ในข้อต่าง ๆ ต่อไปนี้จะพัฒนาแบบจำลองทางทฤษฎีที่ probability ดังกล่าวข้างบนนี้จะสามารถคำนวณได้

1001. probability ในการฝ่าฉากเข้าไปได้โดยปราศจากการถูกตรวจจับ (Probability of Penetrating the Screen Undetected)

probability ของการตรวจจับเรือดำน้ำซึ่งเลือกที่จะฝ่าฉากเข้าไปนั้นถูกอ้างถึงในฐานะ “ประสิทธิภาพของแนวฉาก-line efficiency (L.E.)” ดังนั้น probability ของเรือดำน้ำที่ฝ่าเข้าไปได้โดยไม่ถูกตรวจจับก็คือหนึ่งลบด้วยประสิทธิภาพของแนวฉาก (1-L.E.)

ตัวแปรหลักที่มีผลต่อ L.E. ก็คือระยะระหว่างลำของเรือในฉากและประสิทธิผลแห่งระบบการตรวจจับสำหรับเงื่อนไขที่กำหนดให้ ระยะระหว่างลำของเรือนั้นเป็นตัวแปรที่ควบคุมได้ซึ่งพิจารณาหาได้มาจากการวางฉากนั้น ๆ ประสิทธิภาพของระบบการตรวจจับเป็นฟังก์ชันของตัวแปรสิ่งแวดล้อม อุปกรณ์ที่มีและเงื่อนไขหรือสภาวะของการปฏิบัติการ มีความต้องการวิธีเพื่อพิจารณา L.E. ในฐานะฟังก์ชันของระยะระหว่างฉาก (ตัวแปรที่ควบคุมได้) สำหรับแต่ละสภาวะ ๆ มีการเข้าหาโดยทั่ว ๆ ไปอยู่สองวิธีที่ใช้กันคือ : วิธีเชิงประสบการณ์นิยม (empirical) และวิธีทางทฤษฎีซึ่งเกี่ยวข้องกับการใช้เส้นโค้งของระยะทางข้าง

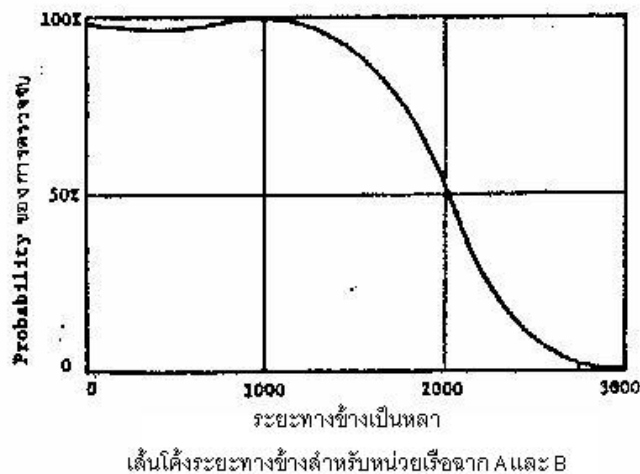
วิธีเชิงประสบการณ์นิยมเกี่ยวข้องกับการรวบรวมข้อมูลจากเรือดำน้ำที่ฝ่าฉากเข้าไปและตรวจจับได้มาจำนวนหนึ่งและจำนวนของเรือดำน้ำที่ได้พยายามฝ่าเข้าไปภายใต้เงื่อนไขคงที่สัมพัทธ์จำนวนหนึ่ง ดังนั้น L.E. ก็จะคำนวณได้ง่าย ๆ โดยหาสัดส่วนของจำนวนการฝ่าที่ตรวจจับได้ต่อจำนวนทั้งหมดที่เรือดำน้ำพยายามฝ่า



นิยามอยู่ในเอกสารทางยุทธการต่าง ๆ กล่าวคือ “ระยะหวังผลโซนาร์ (Effective Sonar Range – ESR)” ถ้าแต่ละเส้นโค้งระยะทางข้างสามารถที่จะแทนได้โดย ESF เฉพาะระยะหนึ่งแล้วผลที่ได้อันสืบเนื่องมาจาก inputs ของเส้นโค้งระยะทางข้างนี้ควรจะแทนค่าได้ในหน่วยของ ESR โดยการประมาณ ๆ ในทางใช้การ ESR จะเท่ากับค่าของระยะทางข้าง  $x$  ที่ probability ของการตรวจจับเป็น 0.5 การที่จะเป็นที่เข้าใจอย่างกระจ่างชัดว่าข่าวสารของ ESR ภายในตัวของมันเองนั้นไม่เพียงพอที่

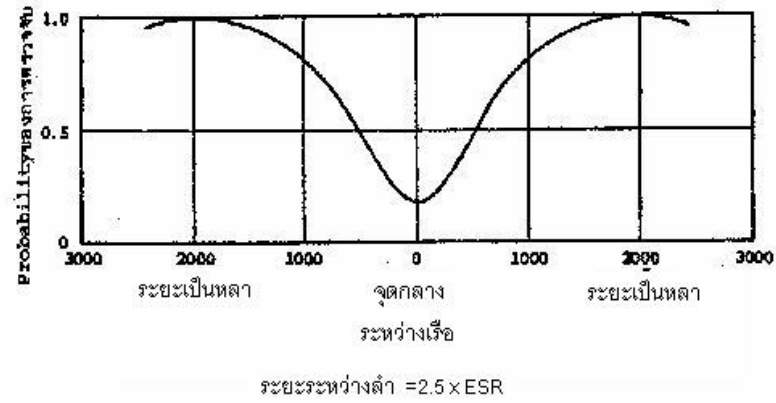
\* probability เหล่านี้ไม่จำเป็นที่จะต้องไม่ขึ้นแก่กัน สำหรับ passive sonar นั้น probability ของการตรวจจับสำหรับแต่ละหน่วยของฉากจะขึ้นอยู่กับ การกระจายของเสียงจากเรือดำน้ำ ถ้าเงื่อนไขสภาวะต่าง ๆ เป็นเช่นเดียวกับสำหรับหน่วยฉากแล้วภายใต้เงื่อนไขที่เรือดำน้ำที่มีเสียงดังสำหรับ A ก็จะมีเสียงดังสำหรับ B ด้วย ในกรณีนี้ probabilities จะขึ้นแก่กันเป็นอย่างมากและ probability ของการตรวจจับทั้งหมดจะเป็น  $\bar{P}_A(x)$  หรือ  $\bar{P}_B(x)$  แล้วแต่ค่าไหนจะใหญ่กว่ากัน จะสร้างเส้นโค้งระยะทางข้าง ดังนั้น ความสัมพันธ์หนึ่ง-ต่อ-หนึ่ง จะไม่มี ESR สำหรับเส้นโค้งระยะทางข้างสมมาตรแบบฉบับที่ได้แสดงในรูป 10-2 จะเป็นอันเดียวกันสำหรับหน่วย A และหน่วย B กล่าวคือ 2,000 หลา

รูปที่ 10-2



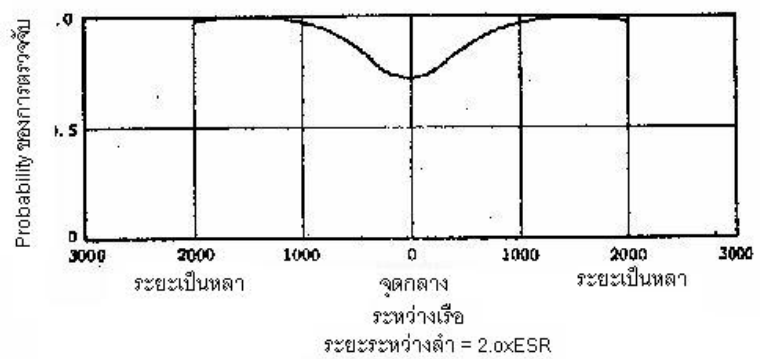
probability ทั้งหมดของเส้นโค้งการตรวจจับสำหรับหน่วยฉากใกล้เคียงซึ่งอยู่ห่างกันเป็นระยะเท่านั้นเท่านี้ของ ESR สามารถที่จะสร้างได้โดยการใช้สมการ 10-1 เส้นโค้งระยะทางข้างต่าง ๆ กันสามระยะได้แสดงไว้ในรูป 10-3, 10-4 และ 10-5

รูป 10-3

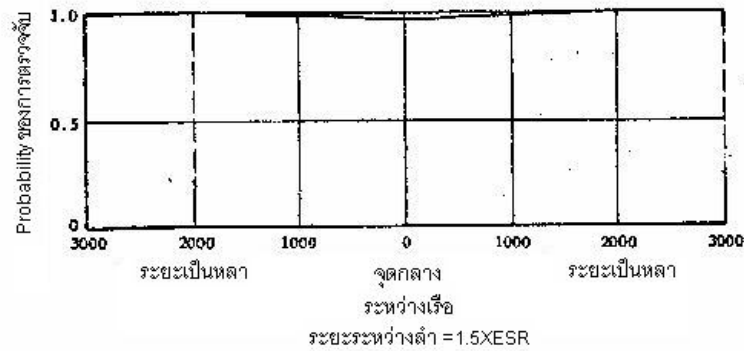


L.E. สามารถที่จะพิจารณาได้จากเส้นโค้งเหล่านี้สำหรับแต่ละชนิดของการสมมติสองประการที่เกี่ยวข้องกับขีดความสามารถเข้าศึก ถ้าเรือดำน้ำนั้นสามารถพิจารณาและเลือกจุดการฝ่าที่ดีที่สุดได้แล้ว “probability ต่ำสุด” ของเส้นโค้งนั้นควรจะใช้เป็น L.E. แต่ในอีกนัยหนึ่งถ้าจุดการฝ่าเป็นไปโดยขบวนการแล้ว ควรจะใช้ probability เฉลี่ยพลอันเกิดจากระยะระหว่างเรือที่มีต่อ L.E. ได้แสดงไว้ข้างล่างนี้

รูป 10-4

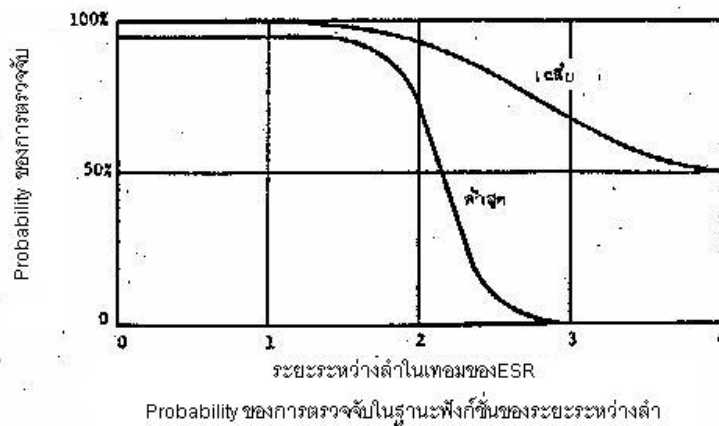


รูป 10-5



ผลอันเกิดจากระยะระหว่างเรือที่มีต่อ L.E. ได้แสดงไว้ข้างล่างนี้

รูป 10-6



เพื่อพิจารณาว่าระยะใดที่ดีที่สุด ความยาวของเส้นตรงที่จะวางฉากป้องกัน ชิดความสามารถของเรือดำน้ำที่จะผ่านไปและเลือกจุดอ่อนในฉากและจำนวนหน่วยของฉากที่มีจะต้องได้รับการพิจารณาควบคู่ไปกับข่าวสารจากเซ็นโกลิ่งเหล่านี้

1002. การสร้างคอนทัวร์ของ probability ของการยิงถูก (Construction of Probability of Hit Contours)

ในการออกแบบฉากป้องกันเรือดำน้ำมีความจำเป็นสำคัญที่จะต้องพิจารณาพื้นที่ซึ่งเรือดำน้ำมีโอกาสดีในการใช้อาวุธตอร์ปิโดยิงถูกหน่วยในฉากที่ป้องกัน เขตอันตรายจากตอร์ปิโด (torpedo danger zone)

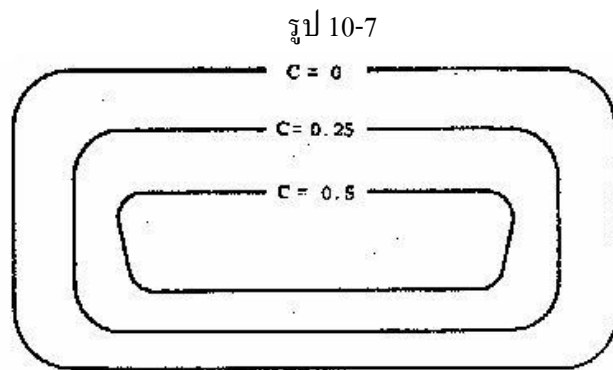
เรือแต่ละลำหรือรอบหมู่เรือเป็นเขต (คิดในฐานะที่เคลื่อนที่ไปกับเรือกล่าวคือมันคงที่สัมพันธ์กับเรือต่าง ๆ ) ที่ จะยิงอาวุธตอร์ปิโดถ้ามีโอกาส (probability) ในการที่จะยิงถูก รูปร่างและขนาดของเขต แนนอนที่จะขึ้นอยู่กับ ความเร็วและชนิดของตอร์ปิโดเช่นเดียวกันกับความเร็วและกระบวนเรือด้วย จุดที่เรือดำน้ำยิงตอร์ปิโดนั้น เมื่อ คิดสัมพันธ์กับเรือหรือจุดอ้างอิงของกระบวนเรือสามารถที่จะจำแนกชนิดได้โดยตัวแปรสองตัว :

ก.  $R_r$  คือระยะที่ยิงตอร์ปิโด (ระยะยิง)

ข. คือมุมที่วัดได้ทางกราบขวาหรือกราบซ้ายจากหัวเรือเป่ากับเส้นทางตอร์ปิโดสัมพันธ์ (มุมจากหัวเรือ)

สำหรับระยะยิงและมุมจากหัวเรือที่กำหนดให้ก็สามารถที่จะหา probability  $P(R_r)$  ที่ตอร์ปิโดซึ่ง ยิงจากจุดนั้นจะถูกเป่า เส้นขอบของเขตอันตรายจากตอร์ปิโดคือเส้นโค้งปิดที่เล็กที่สุดที่แทนจุดโลกัสของจุด  $P(R_r) = 0$  เส้นโค้งที่คล้าย ๆ กัน หรือคอนทัวร์ สามารถที่จะพิจารณาหาได้ซึ่งแทนโลกัสของจุดทั้งหมดรอบ เรือหรือกองกำลัง ณ ที่ซึ่ง probability ของการยิงถูกนั้นเป็นค่าคงที่อีกค่าหนึ่งคือ C โดย  $0 < C < 1$  คอนทัวร์ ในลักษณะนั้น สามคอนทัวร์ได้แสดงให้เห็นในรูป 10-7 โดยที่  $P(R_r) = C$  สำหรับ  $C = 0$   $C = .25$  และ  $C = .5$

ปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาโอกาสแห่งความสำเร็จ  $P(R_r)$  ของข้าศึกก็คือประเภทของ อาวุธที่ข้าศึกใช้ ถ้าขอบเขตทำลาย (lethal coverage) ของอาวุธนั้นสูงโอกาสแห่งความสำเร็จก็จะสูงไปด้วย ตัวอย่างจงพิจารณาตอร์ปิโดสามชนิด ชนิดแรกวิ่งลึก 45 ฟุต และระเบิดหลังจากที่ได้วิ่งไปแล้วตามระยะที่ กำหนดให้ ชนิดที่สองวิ่งลึก



Probability แบบฉบับของคอนทัวร์ของการยิงถูก

ห้าฟุตและระเบิดเมื่อชน ชนิดที่สามวิ่งลึกห้าฟุตระเบิดเมื่อชนแต่มีเครื่องโฮมมิ่ง ดังนั้นในเมื่อผ่านเข้าไปใน ระยะ 500 หลา จากเรือมันก็จะเข้าหาเรือและยิงถูก เห็นได้ชัด ๆ ว่าตอร์ปิโดชนิดแรกมีขอบเขตทำลายค่อนข้าง เล็กเพราะว่าเพียงเรือ ณ จุดเฉพาะเท่านั้นที่จะได้รับความเสียหายจากการระเบิด ขอบเขตทำลายของชนิดที่สอง

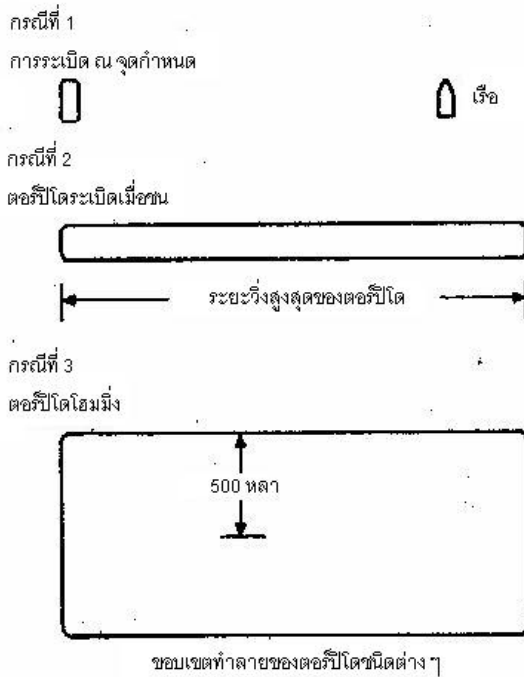


โตกว่าเพราะว่าเรือโคก็ตามซึ่งอยู่ในแนววงของตอร์ปิโดนั้นจะถูกตอร์ปิโด การโหมมิ่งของชนิดที่สามจะให้ขอบเขตทำลายโตที่สุด เพราะว่าเรือเป่าเพียงอยู่ในระยะ 500 หลา ของทางวงตอร์ปิโดก็จะถูกตอร์ปิโด กรณีทั้งสามนี้สามารถที่จะเห็นได้ทางคุณภาพในรูป 10-8

พื้นที่ทำลายที่แสดงนั้นสำหรับตอร์ปิโดที่เข้าหาเป้าด้วยมุมฉาก พื้นที่ที่แสดงนั้นมีคุณสมบัติที่ว่าเรือใด ๆ ที่มีศูนย์กลางอยู่ในพื้นที่นั้นจะถูกตอร์ปิโด สำหรับกรณีที่หนึ่งพื้นที่นี้ใหญ่กว่าแผนผังตัวเรือเป่าเล็กน้อยเพราะว่าการระเบิดของตอร์ปิโดนั้นจะทำลายเรือแม้จะอยู่ห่างออกไปประมาณ 10 หลาด้วย

ขอบเขตทำลายเพียงอย่างเดียวไม่สามารถพิจารณาโอกาสการถูกเป้าของข้าศึกได้ความผิดพลาดในการยิงของเขจะต้องคำนึงถึงด้วย ถ้าความผิดพลาดนี้มีมากจนกระทั่งว่า probability ที่เป้าจะอยู่ในพื้นที่ทำลายนั้นต่ำมาก โอกาสของการยิงถูกก็ยิ่งน้อยลง อย่างไรก็ตามสำหรับความถูกต้องที่กำหนดให้ใด ๆ อาวุธที่มีขอบเขตทำลายกว้างก็จะเป็นอาวุธที่มีประสิทธิภาพ

รูป 10-8



การถกแถลงที่จะกระทำต่อนั้นจะประยุกต์ได้กับเป้าลำเดียวเท่านั้น ในเมื่อยิงไปยังคอนวอยหรือหมู่เรือแล้วตอร์ปิโดจะสำเร็จผล ถ้ามันถูกเรือลำใดลำหนึ่งกล่าวคือเมื่อเรือลำใดลำหนึ่งอยู่ในพื้นที่ทำลาย โดยทั่วไปตอร์ปิโดจะยิงต่อเรือลำใดลำหนึ่งโดยเฉพาะแต่ มัน อาจยิงผิดเรือลำนั้นและถูกเรือลำอื่น ๆ ก็โดยโชคเท่านั้น สำหรับตอร์ปิโดระยะยิงไกลซึ่งยิงคอนวอยใหญ่ ๆ โอกาสในลักษณะนั้นอาจสูงได้ ในกรณีเช่นนั้นตอร์ปิโดอาจได้รับการยิงจริงในลักษณะการยิงกรด ณ ระยะยิงไกลโดยเล็งต่อคอนวอยทั้งหมดเพื่อหาโชคยิงถูกแบบ

ตามขถากรรณ เพราะควมสำคัญของการยิงกราคนี้ต่ององคณวอยที่ใหญ่และระยะระหว่างลำใกล้ probability ที่จะได้การยิงถูกเป่าเรือสินค้าในคณวอยจะแตกต่างไปจากการยิงต่อเรือลำเดียว หัวข้อ 1003 จะถกถลงกรณี การยิงต่อเป่าลำเดียว probability ของการยิงถูกเป่าคณวอยขนาดใหญ่จะถกถลงต่อไปในข้อหลัง ๆ

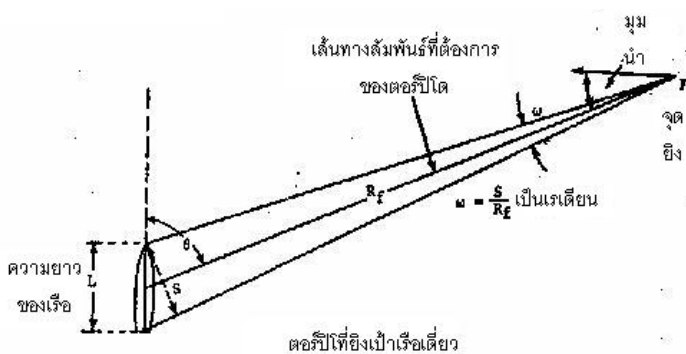
1003. Probability ของการยิงถูกเป่าเรือลำเดียวของกองเรือเฉพาะกิจด้วยตอร์ปิโดหนึ่งลูก (Probability of Hitting a Single ship of a Task Force With a single Torpedo)

ในขณะที่ตามทงปฏิบัติโดยทั่วไปจะยิงตอร์ปิโดเป็นการระดมยิง (salvo-แซลโว) probability ที่แซลโวหนึ่งด้วยจำนวนตอร์ปิโดจำนวนหนึ่งจะถูกเป่า จมหรือทำควมเสียหายต่อเรือลำหนึ่งในคณวอยนั้นจะขึ้นอยู่กับ probability ของการยิงถูกด้วยตอร์ปิโดหนึ่งลูกมันจะขึ้นอยู่กับควมเสียหายจากผลของจำนวนลูกที่ถูกด้วย กล่าวคือควมเสียหายนั้นจะแตกต่างกันระหว่างเรือสินค้าและเรือลาดตระเวน ดังนั้น probability ของตอร์ปิโดหนึ่งลูกที่จะถูกก็กลายเป็นปริมาณมูลฐานที่จะต้องหาให้ได้เพื่อเป็นขั้นแรกต่อการศึกษาถึง probability ของควมเสียหาย

โดยทั่วไปวิธีต่อไปนี้อาจใช้ได้เพื่อพิจารณาหา probability ของการยิงถูกในเมื่อควมต้องการการยิงถูกต่อเป่าเดียวเป็นการพิจารณาที่เหนือสิ่งอื่น ๆ สิ่งนี้อาจเกิดขึ้นเมื่อเรือดำน้ำจะมีความมั่นใจแต่เพียงเป่าสำคัญเป่าหนึ่งหรือกระบวนเรือมีระยะห่างระหว่างลำห่างมาก ๆ ตัวอย่างที่ดีก็คือสถานการณ์ซึ่งเรือดำน้ำกำลังโจมตีกองเรือบรรทุกเครื่องบินเฉพาะกิจ เรือดำน้ำก็มีความประสงค์เป็นอย่างยิ่งที่จะหาตำแหน่งยิงที่โอกาสของการยิงถูกเป่าเดียวที่ตั้งใจมีโอกาสสูง

จงพิจารณาถึงเรือดำน้ำลำหนึ่งซึ่งยิงเรือลำหนึ่งจากจุด F สัมพันธ์กับเป่า

รูปที่ 10-9



รูปที่ 10-9 ได้เขียนไว้เพื่อแสดงถึงสถานการณ์นี้ในฐานะตำบลที่สัมพันธ์ กล่าวคือ โดยที่เรือกำลังเคลื่อนที่ ความสัมพันธ์ทั้งหมด (อย่างเช่นทางวงรีของรีโอด) ได้พล็อตไว้โดยมีจุดอ้างอิงอยู่ที่ผู้ตรวจสอบซึ่งอยู่ที่เรือเป่า

มุม แทนค่าขอบเขตของมุมของทางวงรีของรีโอดสัมพันธ์ซึ่งจะถูกเป่า เป็นฟังก์ชันของ  $R_f$ ,  $L$  และ โดยที่  $L$  เป็นความยาวของเรือเป่า ถ้า  $R_f$  โดกว่า  $L$  มาก ๆ แล้วจะได้  $S = L \sin$  ซึ่งจะได้

สมการ 10-2 
$$\frac{L \sin}{R_f} \text{ เป็นเรเดียน}$$

$$\frac{57.3 L \sin}{R_f} \text{ เป็นองศา, หรือ}$$

สมการ 10-3 
$$R_f = \frac{57.3 L \sin}{}$$

รีโอดจะถูกเป่าถ้าและเพียงถ้ารีโอดนั้นเดินทางไปตามเส้นทางสัมพันธ์ภายในขอบเขตจำกัดของมุม กำหนดให้  $X$  ซึ่งเป็น random variable เป็นความผิดของการยิงในทางมุม กล่าวคือจำนวนขององศาที่ทางวงรีของรีโอดสัมพันธ์เบนออกจากทางวงรีสัมพันธ์ที่ต้องการ ดังนั้น probability ของการยิงถูกจึงขึ้นอยู่กับ probability distribution ของ  $X$  เป็นกรณีโดยทั่ว ๆ ไปที่  $X$  จะมีรูปเป็น normal ด้วยค่าเฉลี่ย  $= 0$  และค่าแวนเรียนซ์เป็นฟังก์ชันของมุม รากที่สองของแวนเรียนซ์หรือการเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งวัดเป็นองศาเป็นมาตรวัดของการเลออกของรีโอดจากทางวงรีที่ต้องการ การเลออกนี้มาจากการยิงที่คลาดเคลื่อนของอุปกรณ์หรือความผิดพลาดทางองค์บุคคล แต่ส่วนมากแล้วจะเป็นความคลาดเคลื่อนในการพิจารณาหามุมตักหน้าที่ถูกต้องจากการคำนวณหาเข็ม ความเร็วและระยะของเรือเป่า

การพิจารณาค่าเฉพาะของ ในฐานะฟังก์ชันของทุก ๆ เงื่อนไขซึ่งมีผลกระทบจะไม่กระทำในหนังสือเล่มนี้วิธีต่าง ๆ ได้แสดงไว้แล้วในการหาค่า และได้รับการถกแถลงใน OEG Report No.56 โดยทางยุทธการแล้วค่าต่าง ๆ ของ สำหรับรีโอดต่าง ๆ และสถานการณ์การยิงได้ลงตารางไว้แล้วซึ่งมีอยู่ในเรือทุกลำ สำหรับความมุ่งหมายของการถกแถลงที่ยังเหลืออยู่ก็จะสมมติว่าค่าของ เป็นที่ทราบอยู่แล้ว

probability ของการยิงถูกจากระยะสัมพันธ์  $R_f$  ณ แบริง สามารถที่จะกล่าวได้ในทางสัญลักษณ์ดังนี้

$$P(R_f, ) = P \left( \frac{X}{L} \right) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left( \frac{X}{L\sigma} \right)^2}$$

ค่าของ probability ของการยิงถูกนี้สามารถที่จะหาได้โดยการใช้ตาราง normal distribution แบบมาตรฐานภายหลังจากการเปลี่ยนรูปตัวแปรดังต่อไปนี้

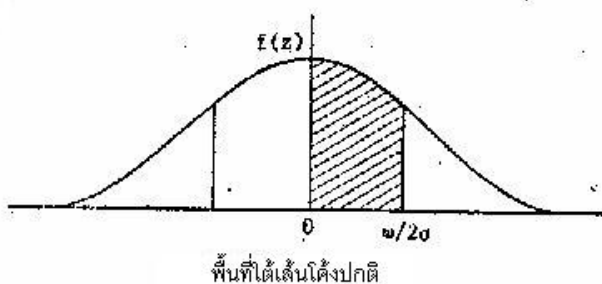
สมการ 10-4 
$$Z = \frac{X - \mu}{\sigma} \text{ โปรตระสิกว่า } = 0$$

ดังนั้น probability ของการยิงถูกที่ต้องการก็จะเป็น

$$\begin{aligned}
 \text{สมการ 10-5} \quad P(R_f, ) &= P \left( \frac{X}{\sigma} \leq \frac{C}{\sigma} \right) \\
 &= P \left( Z \leq \frac{C}{\sigma} \right) \\
 &= 2P \left( 0 \leq Z \leq \frac{C}{\sigma} \right)
 \end{aligned}$$

ซึ่งสามารถที่จะหาได้จากตารางซึ่งแสดงค่าพื้นที่แรเงาของ normal distribution ดังได้แสดงให้เห็

รูปที่ 10-10



ถ้าค่าที่ได้ลงไว้เป็นฟังก์ชันของ normal distribution แบบมาตรฐาน F(z) ที่ได้ให้ไว้ในผนวก 1 ข้อ ๆ 1-22 แล้ว

$$\begin{aligned}
 \text{สมการ 10-4} \quad P(R_f, ) &= 2P(0 \leq Z \leq \frac{C}{\sigma}) \\
 &= 2P \left( Z \leq \frac{C}{\sigma} \right) - P(Z \leq 0) \\
 &= 2F \left( \frac{C}{\sigma} \right) - .5
 \end{aligned}$$

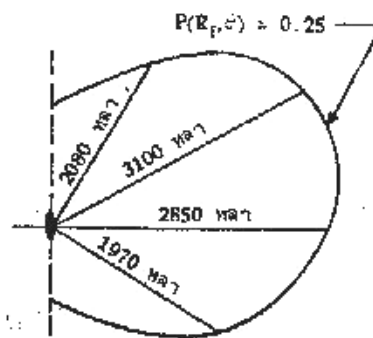
เพื่อที่จะหาโลกซ์ของทุก ๆ จุด (คอนทัวร์ของ probability ของการยิงถูก) รอบ ๆ เป้าในเมื่อ probability ของการยิงถูกมีค่าคงที่ C มีความจำเป็นที่จะต้องหาค่าของ  $\frac{C}{\sigma}$  ซึ่ง  $P(R_f, )$  มีค่าเท่ากับ C โดยการใชสมการ 10-5 หรือ 10-6

ยกตัวอย่างในการสร้างคอนทัวร์สำหรับ  $C = 0.25$  โดยที่  $L = 250$  หลา และ เป็นค่าที่ทราบในฐานะฟังก์ชันของ ตารางต่อไปนี้ของค่า W และ  $R_f$  สามารถที่จะคำนวณหาได้จากสมการ 10-3, 10-6 และ ตาราง normal

0	30°	60°	90°	120°	150°
0	5.4°	6.3°	7.9°	9.9°	11.6°
w	3.46°	4.03°	5.06°	6.33°	7.42°
R <sub>r</sub>	2,080 หลา	3,100 หลา	2,850 หลา	1,970 หลา	965 หลา

จากข้อมูลในตารางนี้คอนทัวร์ของ isoprobability สามารถที่จะสร้างขึ้นได้

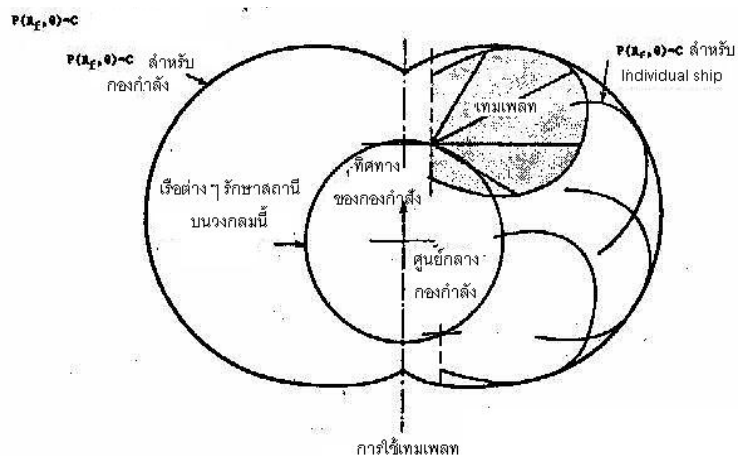
รูปที่ 10-11



Probability ของคอนทัวร์การยิงถูกสำหรับเรือลำเดียว

แผ่นเทมเพลต (template) ที่เขียนโดยสเกลที่ถูกต้องและมีรูปร่างของเส้นโค้งนี้สามารถใช้ในการหาคอนทัวร์ของ probability ของการยิงถูกรอบ ๆ กองเรือเฉพาะกิจซึ่งมีเรือหลาย ๆ ลำ รูป 10-12 ได้แสดงให้เห็นการใช้เทมเพลตสำหรับกองเรือเฉพาะกิจซึ่งมีรูปกระบวนเป็นวงกลม รูปภายนอก (envelope) ของเส้นโค้งแต่ละเส้นเป็นคอนทัวร์ที่ต้องการสำหรับกองเรือเฉพาะกิจ

รูปที่ 10-12



ในหัวข้อต่อไปสามหัวข้อแบบจำลองทางทฤษฎีจะได้อธิบายให้เห็นถึงการหาคอนทัวร์ของ probability ของการยิงถูกรอบ ๆ คอนวอยซึ่งเรือในคอนวอยอยู่ใกล้ ๆ กัน และดังนั้นจะต้องพิจารณามากกว่าเป้าหนึ่งเป้าในการคำนวณ probability ของการยิงถูกทั้งหมด

1004. รูปแบบจำลองการนับแบบง่าย ๆ (Simple Counting Model)

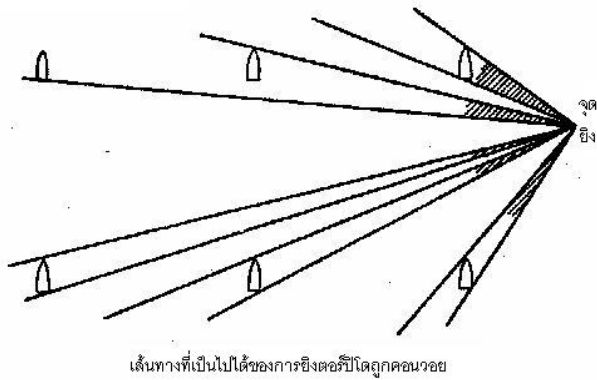
ในคอนวอยขนาดใหญ่ระยะระหว่างลำมักจะใกล้ ๆ กัน และเป็นกระสวนมีระเบียบสมมติว่าเรือแต่ละลำอยู่บนสถานี ดังนั้นก็อาจที่จะพลอตตำแหน่งของเรือต่าง ๆ ด้วยความยาวของมันโดยสเกลที่เหมาะสมอย่างเช่นในรูป 10-13

probability ทั้งหมดของการยิงถูกก็หาได้โดยการขยายวิธีดังที่ได้ถกแถลงกันมาแล้วในข้อก่อนสำหรับเรือลำเดียว probability ของการยิงถูกนี้ก็คือ probability ที่ทางวิ่งสัมพันธ์ของดอร์ปีโดยอยู่ในเซตเตอร์ใดเซตเตอร์หนึ่งที่ได้เรงเอาไว้

เป็นที่เห็นได้ชัดเจนว่า probability ของการยิงถูกนี้จะขึ้นอยู่กับจุดเล็งสำหรับเป้าแต่ละเป้าและอาจจำเป็นที่จะต้องคำนวณหา probability สำหรับจุดยิงหลาย ๆ จุดเพื่อที่จะหา probability ของการยิงถูกคอนวอยเป็นส่วนรวมที่สูงสุดของเรือดำน้ำ

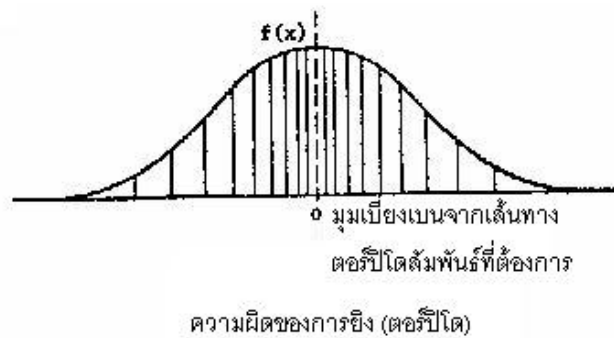
วิธีง่าย ๆ ในการหา probability ของการยิงถูกคอนวอยก็โดยการใช้วิธีประมาณ ๆ ของเรขาคณิต

รูป 10-13



การเบี่ยงเบนในทางมุม  $X$  ของตอร์ปิโดจากเส้นทางสัมพันธ์ที่ต้องการของมันสมมติว่าเป็น normal distribution ที่มีค่าเฉลี่ยเป็นศูนย์และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น  $\sigma$  เคนซิติฟังก์ชันสามารถที่จะแบ่งในทางกราฟเป็นจำนวนส่วนเล็ก ๆ ที่มีพื้นที่เท่า ๆ กันได้ ในรูป 10-14 จำนวนที่แบ่งเป็น 20

รูปที่ 10-14



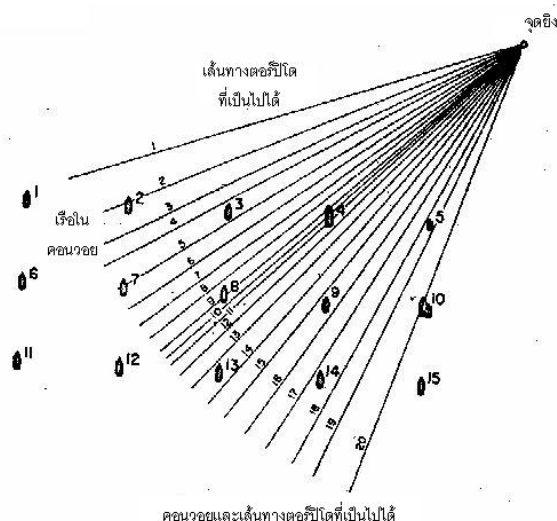
โดยเหตุที่พื้นที่เท่ากัน probability คือ  $1/20$  ที่  $X$  จะมีค่าภายในการเพิ่มใด ๆ สมมติว่าตอร์ปิโดจะไปตามหนึ่งใน 20 ทางวิ่งที่เป็นไปได้ การเบี่ยงเบนทางมุมของเส้นทางยาวแทนได้โดยค่ามุมเฉลี่ยที่ผิดไปจากจุดเล็งสำหรับพื้นที่นั้น ดังนั้นทางวิ่งที่เป็นไปได้ของตอร์ปิโดทั้ง 20 ทางนี้ก็จะเข้าใกล้ ๆ กับศูนย์กลางอย่างในรูป 10-15

โดยการเอาไดอแกรมของตอร์ปิโดวางทาบลงไปบนคอนวอย และนับจำนวนของเส้นทางตอร์ปิโดที่ตัดกับเรือก็สามารถที่จะคำนวณหาโอกาสของการยิงถูกได้ ถ้าเส้นทางเส้นหนึ่งตัดเรือมากกว่าหนึ่งลำ เส้นทางนั้นก็ยังคงนับเพียงครั้งเดียว ในตัวอย่างที่แสดงในรูป 10-15 หากเส้นทางจาก 20 เส้นทางที่เป็นไปได้ก็จะถูกตั้งนั้น probability ของการยิงถูกจากจุดยิงนั้นจะเป็นร้อยละ 30

อย่างไรก็ตามในการตัดสินใจต่อ probability ของการยิงถูกจากจุดเฉพาะใด ๆ มีความจำเป็นที่จะต้องหยิบเอาการยิงที่ดีที่สุดของเรือดำน้ำออกมามาก เขาควรจะเล็งที่เรือหมายเลขสี่อย่างที่แสดงไว้ในรูป 10-15 หรือที่หมายเลขห้าซึ่งอยู่ใกล้กว่าแต่เป็นเป้าที่อยู่ในสถานะที่ด้อยกว่า ? ตามปกติเป็นไปได้ที่จะเลือกเอาการยิงที่ดีที่สุดด้วยตาเปล่าหลังจากมีประสบการณ์บ้าง แต่บางทีจุดเล็งหลาย ๆ จุดจะต้องตรวจสอบพิจารณา

วิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายมากและตรงแต่ก็มีข้อเสียบางประการ ก็จะต้องวาดภาพอย่างระมัดระวังพร้อมด้วยการลงตำแหน่งให้ถูกต้องในไดอแกรม ดังนั้นจะต้องตรวจสอบไดอแกรมอย่างถี่ถ้วน ในตัวอย่างนี้ซึ่งใช้ทางวิ่งตอร์ปิโดที่เป็นไปได้ 20 ทางนั้น คำตอบที่ได้จะถูกต้องแน่นอนอนเพียงประมาณร้อยละห้าเท่านั้นและอาจก่อให้เกิดการแกว่งอย่างมากสำหรับการแก้เล็ก ๆ น้อย ในตำแหน่งการยิง ถ้าใช้จำนวนทางวิ่งมากขึ้นความถูกต้องแน่นอนก็จะเพิ่มขึ้นบ้าง

รูปที่ 10-15

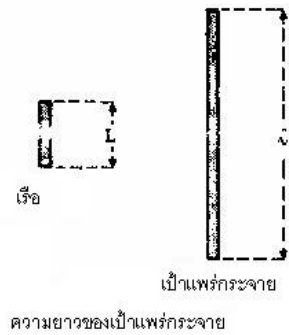




1005. รูปแบบจำลองเป้าแพร่กระจาย (Diffuse Target Model)

การขยายต่ออย่างที่เราเห็นได้ง่าย ๆ ของวิธีการนับแบบง่าย ๆ ก็สามารถใช้ลดการแกว่งไปมาของ probability ของการยิงถูกซึ่งมีสาเหตุมาจากผลของการที่เรืออยู่ขวางกันอย่างเป็นระเบียบ จะต้องคำนวณถึงความเป็นไปได้ที่จะไม่เป็นระเบียบตามนั้นด้วย ในกระบวนการคอนวอยนั้นก็คือตำแหน่งของเรือในคอนวอยอาจอยู่ไม่ตรงสถานีเรือแต่ละลำจะได้รับการพิจารณาว่ามี “ความยาวเป้าที่แพร่กระจาย” เท่ากับความยาวของตัวเรือบวกด้วยจำนวนที่เรือเปลี่ยนแปลงค่าลบที่ไปอย่างไร้รูป 10-16

รูปที่ 10-16



ดังนั้น probability ที่ตอร์ปิโดจะผ่านไปตลอดความยาวของเป้าที่แพร่กระจายไปนี้และจะถูกเรือก็จะเป็น  $P(\text{hit}) = L/1$  ต่อไปนี้จึงพิจารณาถึงเส้นทางตอร์ปิโดที่  $i(i=1, 2, \dots, m; \text{ โดยที่ } m \text{ เป็นจำนวนที่เป็นไปได้ของทางวิ่งเป็น probability ที่ตอร์ปิโดวิ่งไปตามทางวิ่งที่ } i \text{ จะผ่านความยาวของเป้าแพร่กระจาย } j \text{ จากไดอะแกรมในทำนองเดียวกันกับรูป 10-15 } h_{ij} \text{ สามารถที่จะคำนวณหาได้ว่าเท่ากับหนึ่งหรือศูนย์โดยการตรวจสอบด้วยตา ดังนั้น probability ที่ตอร์ปิโดวิ่งไปตามทางวิ่งที่ } i \text{ จะถูกเรือลำที่ } j \text{ (โดยกำหนดให้ว่ามันไม่ได้ถูกเรืออื่นมาก่อน) คือ$

สมการ 10-7 
$$P_{ij} = h_{ij} \frac{L_j}{l_j}$$

ดังนั้น probability ของการยิงถูกเรือลำใด ๆ บนเส้นทางที่  $i$  (ซึ่งโดยทางคณิตศาสตร์แล้วจะลดลงเป็นอย่างน้อยหนึ่งครั้งบนเส้นทางที่  $i$ ) คือ

สมการ 10-8 
$$P_i = 1 - \prod_{j=1}^n (1 - P_{ij})$$

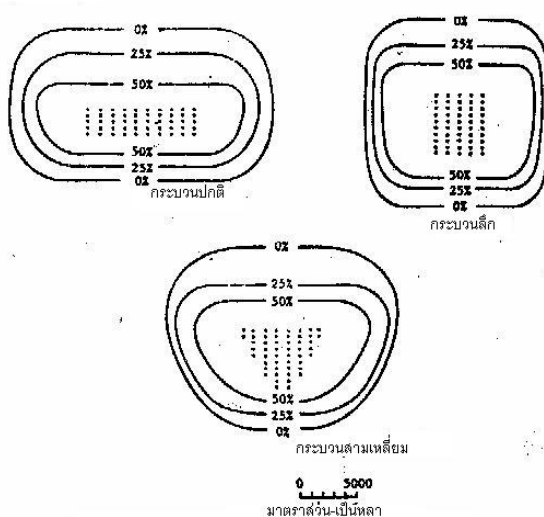
และ probability ทั้งหมดที่จะถูกเป้าจากจุดการยิงจุดใดจุดหนึ่งโดยเฉพาะคือ

สมการ 10-9 
$$P(R_i, ) = \frac{1}{m} \prod_{i=1}^m (1 - \prod_{j=1}^n (1 - P_{ij}))$$

probability ของการยิงถูกนี้จะราบรื่น (smooth) และเป็นความจริงที่ได้จากวิธีการแบบง่าย ๆ โดยการใช้วิธีนี้ในรูป 10-17 ได้แสดงให้เห็นหลายคอนทัวร์ อย่างไรก็ตามวิธีเป่าแพร่กระจายนี้จะเป็นงานที่ลำบากยุ่งยากและเกี่ยวข้องกับการคำนวณทางคณิตศาสตร์เป็นจำนวนมาก

ควรที่จะชี้ให้เห็นว่าการเลือกความยาวของเป่าแพร่กระจายนี้จะขึ้นอยู่กับใจชอบ ข้อสมมติที่ยอมรับได้ก็คือว่าเรือแต่ละลำอาจอยู่นอกสถานีในเมื่อคิดเทียบกับเรือข้างเคียงโดยจำนวนซึ่งอาจให้เครื่องหมายเป็น  $x$  ดังนั้นความยาวแพร่กระจาย 1 สำหรับเรือข้างเคียงของเรือลำที่ถูกยิงจะเป็น  $L + 2x$

รูปที่ 10-17



วิธีการคำนวณหาเป่าแพร่กระจาย  
Probability ของคอนทัวร์ของการยิงถูกสำหรับกระบวนคอนวอยต่าง ๆ  
และตอร์ปิโดแบบวงจรระยะ 5,000 หลา

ในวิธีการเช่นเดียวกันสมมติว่ามีความผิดพลาดในการรักษาสถานีตามยถากรรม ความยาวการแพร่กระจายสำหรับเรือลำถัดไปก็อาจที่จะคำนวณได้ ความผิดพลาดของตำแหน่งที่รวมกันนี้จะมีต่อไปจนกระทั่งแถวตรง (column) กลายเป็นเป่าแพร่กระจายขนาดใหญ่

รูปที่ 10-18



ตำแหน่งของเรือที่เป็นจุดเลี้ยงของตอร์ปิโดนั้นสามารถที่จะคิดถึงได้ว่าเป็นจุดคงที่และตำแหน่งของเรืออื่น ๆ ก็จะไม่แน่นอนมากขึ้น ๆ ยิ่งเรือเหล่านั้นอยู่ห่างจากเรือเป้าหมายมากขึ้น เป็นที่ประจักษ์ชัดว่ากระสวนของกระบวนที่แท้จริงเมื่อคิดจากเรือดำน้ำก็จะเป็นในทำนองนี้ถึงแม้ว่าหนทางเฉพาะที่ความไม่แน่นอนเกี่ยวกับตำแหน่งที่เรือจะเพิ่มขึ้นซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไปได้เป็นอย่างมาก

#### 1006. แบบจำลองแบบแถวตอนตามยถากรรม (Random Column Model)

ถ้าการคำนวณที่ต้องการโดยรูปแบบจำลองของเป้าแพร่กระจายนั้นยืดยาว การกระทำที่ง่ายเข้าเป็นไปได้ โดยให้ปฏิบัติต่อแต่ละแถวตอนเสมือนหนึ่งเป้าแพร่กระจายซึ่งเรือแต่ละลำกระจายกันอยู่ตามยถากรรม probability ที่ตอร์ปิโด (ซึ่งผ่านแถวตอนนั้น) จะถูกเรือก็จะได้มาโดย  $P(\text{hit}) = L/a$  โดยที่  $a$  เป็นค่าเฉลี่ยของระยะระหว่างลำในแถวตอน

วิธีของแถวตอนตามยถากรรมนี้ง่ายมากและสะดวกแต่จะไม่แน่นอน ณ ระยะใกล้ ๆ ที่ probability ของการถูกต่อเรือที่เลี้ยงที่แท้จริงจะเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามสำหรับการยิงกราด ณ ระยะพอสมควรจากคอนวอยวิธีนี้ก็ใช้ได้พอสมควร

วิธีของการนับแบบง่าย ๆ เป้าแพร่กระจายและแถวตอนยถากรรมจะประยุกต์ใช้ได้โดยตรงสำหรับตอร์ปิโดซึ่งมีทางวิ่งเป็นเส้นตรง ถ้าตอร์ปิโดเข้าไปในคอนวอยและแล้วชี้แซกหรือวิ่งเป็นวงกลมเพื่อที่จะเพิ่มโอกาสของการยิงถูกตามยถากรรมแล้วไดอาแกรมนั้นจะสับสนเป็นอย่างมาก ได้มีการคำนวณสำหรับกระสวนของตอร์ปิโดที่วิ่งทางตรงต่อเป้าเดียวโดยการใช้วิธีตรง แต่การรวมกันของกระสวนของตอร์ปิโด (หรือแซลโว) จำนวนเป้าหมาย ๆ จะยุ่งยากในอันที่จะประเมินค่าโดยวิธีนี้ อย่างไรก็ตามมันก็เป็นไปได้ที่จะเขียนข้อความอย่างชัดเจนลงไปสำหรับ probability ของการยิงถูกโดยตอร์ปิโดซึ่งมีคุณสมบัติโดยทั่ว ๆ ไป การพัฒนาและการวิเคราะห์รูปแบบจำลองที่ทันสมัยเหล่านี้อยู่นอกเหนือขอบเขตของหนังสือเล่มนี้

1007. เขตการเข้าหาด้วยการดำ (The Submerged Approach Region)

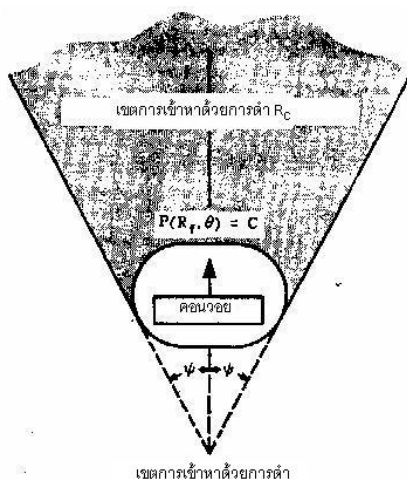
ถ้าเรือดำน้ำมีโอกาส  $C$  ในการยิงถูกด้วยตอร์ปิโดหนึ่งลูกเรือดำน้ำนั้นจะต้องไปถึงจุดบนคอนทัวร์

$$P(R_f, \theta) = C$$

โดยเหตุที่จุดนี้ตามปกติจะอยู่ภายในระยะสายตาหรือระยะเรดาร์จากกองเรือโดยทั่ว ๆ ไป เรือดำน้ำจะต้องเข้าหาจุดยิงด้วยการดำเข้าไปให้  $u$  เป็นความเร็วของเรือดำน้ำ  $v$  เป็นความเร็วของกองเรือ และสมมติว่า  $u < v$  (อย่างในกรณีของเรือดำน้ำตามแบบ) ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะเป็นไปได้สำหรับเรือดำน้ำที่จะไปถึงจะบนเส้นโค้ง  $P(R_f, \theta) = C$  พื้นที่ของมหาสมุทรใกล้ ๆ กับกองเรือจากที่ซึ่งเป็นไปได้ที่จะไปให้ถึงจุดยิงเราเรียกว่าเขตการเข้าหาด้วยการดำ  $R_C$  เขตนี้หาได้โดยการลากเส้นสัมผัสทั้งสองด้านของเส้นโค้ง  $P(R_f, \theta) = C$  ด้วยมุม  $\sin^{-1}(u/v)$  องศา ซึ่งวัดจากเข็มของกองเรือ พื้นที่แรเงาตามที่แสดงในรูป 10-19 เป็นเขตการเข้าหาด้วยการดำ

มุมและเส้นสัมผัสเป็นขอบเขตจำกัดของมุมเข้าหาและเส้นทางตามลำดับ ถ้าเรือดำน้ำซึ่งมีขีดความสามารถด้วยการดำที่มีความเร็วสูงเรือดำน้ำก็อาจที่จะไปถึงเส้นโค้ง ด้วยการดำมาจากจุดใด ๆ ก็ได้ที่อยู่ใกล้ ๆ พื้นที่ของกองเรือดังนั้นจึงขยายเขตของการเข้าหาแบบการดำรอบ 360 องศา

รูปที่ 10-19



1008. การวางฉากที่ดีที่สุด (Optimal Placement of the Screen)

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วก่อนหน้านี้นี้ว่าจุดประสงค์ของฉากก็เพื่อที่จะลดโอกาสของการยิงถูกของเรือดำน้ำเข้าศึกต่อเรือกองเรือเราลงให้มากที่สุด ด้วยการมีฉากนี้เองหรือดำน้ำมีหนทางเลือกสองประการ

ก. ฝ่าจากเข้าไปและยิงอาวุธจากภายในฉาก

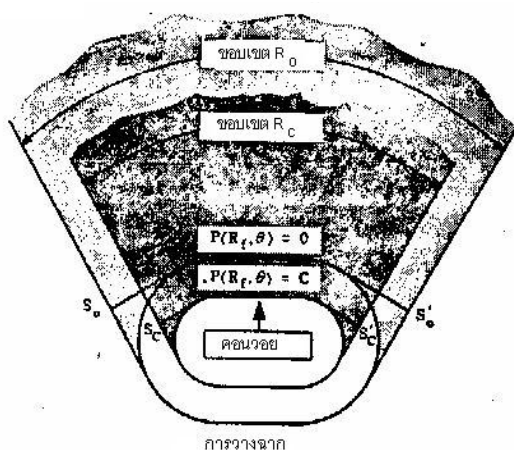
ข. ยิงอาวุธจากภายนอกฉาก

ฉากจะต้องวางเพื่อให้ลดโอกาสแห่งความสำเร็จของเรือดำน้ำให้มากที่สุดโดยการพิจารณาถึงหนทางเลือกทั้งสองของเรือดำน้ำ นี่เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจในแบบอนุรักษนิยมซึ่งตรงกับเกณฑ์ maximin ซึ่งได้ตกลงกันมาแล้วในบทที่สาม ถ้าฉากไม่ได้วางให้ถูกต้องตามเกณฑ์นี้ probability ของความสำเร็จของเรือดำน้ำด้วยหนทางหนึ่งหนทางใดในสองหนทางนั้นจะโตกว่าที่จำเป็น

สำหรับแต่ละ probability ของคอนทัวร์การยิงถูก  $P(R_f, \theta)$   $C$  ความเร็วของการดำเข้าหา  $u$  และความเร็วของกองเรือ  $v$  เขตของการเข้าหาด้วยการดำ  $R_c$  ก็สามารถที่จะหาได้ เรือดำน้ำที่อยู่ในเขตของการเข้าหาด้วยการดำ  $R_0$  ซึ่งตรงกับคอนทัวร์ของ probability ของการยิงถูก  $C = 0$  ซึ่งจะมีภัยคุกคามต่อเรือในกองเรือ จะตกลงกันสองกรณีคือ  $u < v$  และ  $u > v$

ถ้า  $u < v$  เขตการเข้าหาด้วยการดำ  $R_0$  จะจำกัดด้วยเส้นแบ่งเขตของการเข้าหาด้วยการดำ ในกรณีนี้เส้นฉากซึ่งแสดงโดยเส้น  $S_0S_0$  ในรูป 10 - 20 ก็ต้องการเพียงแต่ขยายระหว่างเส้นแบ่งเขตของการเข้าหาเพื่อที่จะสกัดเรือดำน้ำที่ดำเข้าหาจากเขต  $R_0$  เส้นนั้นสร้างขึ้นโดยการยืดเส้นเชือกกรอบ ๆ คอนทัวร์ของ probability ของการยิงถูก

รูปที่ 10-20



$P(R_f, \theta) = 0$  ปลายทั้งสองซึ่งจบลงที่เส้นแบ่งเขตจำกัดของการเข้าหาและตั้งฉากกับเส้นทั้งสองนั้นด้วยผลที่ได้คือเส้นงอ(bent)  $S_0S_0$  เส้นฉากในทำนองเดียวกันสามารถที่จะสร้างสำหรับคอนทัวร์ของ probability ของการยิงถูก  $P(R_f, \theta) = C$  ใด ๆ ก็ได้ เส้นในลักษณะนั้นได้แสดงให้เห็นในรูป 10-20 กล่าวคือ  $S_cS_c$  จึงสังเกตว่าเส้นแบ่งเขต

จำกัดของการเข้าหามุมมีมุม เดียวกันทั้ง  $S_0S_0$  และ  $S_C S_C$  แต่ความแตกต่างเกิดมาจากขนาดและรูปร่างของเส้นโค้งของคอนทอร์สำหรับค่าที่แตกต่างกันของ  $C$  ดังนั้นสำหรับ  $u$  และ  $v$  ที่กำหนดให้ปัญหาก็คือการพิจารณาหา  $C$  ว่าจะต้องวางเส้นฉากรอบ ๆ คอนทอร์ใด

ประการแรกจงพิจารณาการวางฉากไปตามเส้น  $S_0S_0$  ถ้าประสิทธิภาพของเส้นตรงเท่ากับหนึ่งนี้สามารถที่จะรักษาไว้ได้สำหรับการวางเช่นนี้ ดังนั้น probability ของการสำเร็จของแต่ละหนทางเลือกของเรือดำน้ำก็จะเป็น

$$P(\text{ยิงถูกโดยที่เรือดำน้ำยิงจากนอกฉาก}) = C = 0$$

$P(\text{ฝ่าฉากเข้าไปได้โดยปราศจากการถูกตรวจจับ}) \times g = (1 - L.K.)g = 0$  โดยที่  $g = \text{probability}$  ของตอร์ปิโดถูกเรือโดยกำหนดให้ว่าเรือดำน้ำฝ่าเข้าไปได้โดยปราศจากการถูกตรวจจับ

โชคไม่ค่อยจะดีนักที่ว่าจำนวนของเรือฉากควบคุมไปกับประสิทธิผลของโซนาร์ที่ไม่ค่อยจะสมบูรณ์ จะไม่ทำให้ประสิทธิภาพของเส้นฉากจะเท่ากับหนึ่ง ถ้าฉากได้รับการวางรอบ ๆ คอนทอร์  $C = 0$  และประสิทธิภาพของเส้นฉากน้อยกว่าหนึ่งก็จะเห็นได้ง่าย ๆ ว่า เรือดำน้ำสามารถทำให้ probability ของการสำเร็จมากที่สุดโดยการเลือกที่จะฝ่าฉากการยิงจากภายใน ยกตัวอย่างถ้า  $L.K. = 0.15$

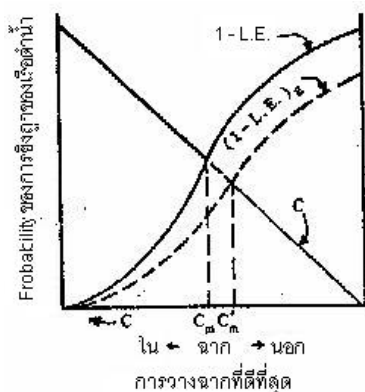
$$P(\text{ยิงถูกจากภายใน}) = C = 0$$

และ

$$P(\text{ฝ่าฉากโดยปราศจากการถูกตรวจจับ}) \times g = (1 - L.E.)g = 0.85g$$

จงสังเกตว่าถ้าคอนทอร์  $C$  ถูกเลือกเพื่อแทนค่า probability ของการยิงถูกเรือดำน้ำที่มีค่าสูงกว่า ผลสำคัญของสิ่งนี้ที่มีต่อประสิทธิภาพของเส้นฉากก็จะทำให้เส้นฉากสั้นลง เมื่อความยาวของเส้นฉากลดลงจะเพิ่มประสิทธิภาพของเส้นฉากอันเนื่องมาจากระยะที่ย่นเข้าของหน่วยเรือฉาก ดังนั้น สำหรับค่าของ  $C$  ที่สูงขึ้น ประสิทธิภาพของเส้นฉากจะเพิ่มขึ้นในขณะที่ probability ของเรือดำน้ำในการยิงถูกจากภายนอกฉากจะเพิ่มขึ้น ผลจากการเปลี่ยนแปลงค่า  $C$  สำหรับแต่ละหนทางเลือกของเรือดำน้ำได้แสดงไว้ในกราฟต่อไปนี้

รูป 10-21



เส้นทึบที่มีหมายด้วย 1 - L.E. ในรูป 10-21 แทนข้อสมมติที่  $g = 1.0$  สิ่งนี้อาจไม่เป็นความจริงแต่ถ้าเรือดำน้ำสามารถที่จะฝ่าจากเข้าไปได้โดยปราศจากการถูกตรวจจับแล้วก็สามารถที่จะยิงอาวุธในระยะใกล้ ถ้าเราทราบค่า  $g$  ว่าไม่ใช่หนึ่งแล้วผลของมันต่อ probability ของความสำเร็จของเรือดำน้ำโดยกำหนดให้ว่าเขาเลือกที่จะฝ่าจากควรจะได้รับพิจารณา กล่าวคือ  $(1 - L.E.)g$  เส้นประในรูป 10-21 แสดงถึงผลของ  $g$  ที่น้อยกว่า 1.0

สมมติว่าการพิจารณาเพียงอย่างเดียวของผู้บังคับการเรือดำน้ำก็คือความต้องการของเขาที่จะยิงให้ถูกเป้าและไม่กังวลกับความปลอดภัยของเรือยิง ดังนั้นหนทางปฏิบัติที่ดีที่สุดก็คือพยายามที่จะฝ่าจากในเมื่อ  $(1 - L.E.)g$  มีค่ามากกว่า  $C$  และจะยิงจากภายนอกถ้า  $C$  มากกว่า  $(1 - L.E.)g$  ในแต่ละกรณีนั้น probability สูงสุดของเรือดำน้ำที่จะยิงถูกก็คือค่าที่มากกว่าของจำนวนสองจำนวนคือ  $(1 - L.E.)g$  หรือ  $C$  ค่า probability สูงสุดในการยิงถูกเมื่อ  $g = 1$  ถูกแทนค่าในฐานฟังก์ชันของ  $C$  ในรูป 10-21 โดยเส้นทึบหนักดังนั้นค่าต่ำสุดของค่าสูงสุด (จุดล่างของเส้นทึบหนัก) จะเกิดขึ้นเมื่อเส้นโค้งทั้งสองคือ 1 - L.E. และ  $C$  ตัดกัน ค่าของ  $C$  ณ จุดตัดได้หมายไว้ด้วย  $C_m$  และค่านี้ของ  $C$  แทนเส้นคอนทัวร์ซึ่งฉากควรจะวางไว้รอบ ๆ ถ้า  $g$  น้อยกว่าหนึ่งจุดตัดจะเกิดขึ้น ณ ที่ซึ่งค่าของ  $C$  หมายถึง  $C'_m$  ที่จะนำไปยังเกณฑ์สำหรับการวางฉากที่ดีที่สุดดังต่อไปนี้ “จงวางฉากจนกระทั่งว่า probability ของเรือดำน้ำที่จะฝ่าเข้าไปโดยปราศจากการถูกตรวจจับมีค่าเท่า probability ที่เรือดำน้ำล่าเดียวกันนั้นจะยิงถูกจากจุดภายนอกพอดี”

ถ้า  $u > v$  เขต  $R_0$  จะไม่จำกัดโดยเส้นเข้าหา โดยเหตุที่เขตการเข้าหาด้วยการดำในสถานการณ์ที่นั้นได้รวมเอาทุก ๆ จุดภายนอกของคอนทัวร์ของ probability ของการยิงถูกเข้าไว้ด้วย เส้นฉากจะต้องขยายออกไป 360 องศา รอบ ๆ กองกำลัง ฉากวงกลมที่มีขนาดและรูปร่างใกล้เคียงกับคอนทัวร์ของ probability ของการยิงถูก

โดยคร่าว ๆ ตามปกติจะใช้ในกรณีเช่นนั้น ด้วยเหตุผลและเกณฑ์การตัดสินใจเดียวกันจะใช้เพื่อตัดสินว่าค่า C ไหนจะเหมาะสม

#### 1009. ผลของข้อสมมติที่ทำได้ง่าย ๆ เข้า (Effect of Simplifying Assumptions)

ประการแรกตามความจริงแล้วเรื่อดำเนินการพิจารณาถึงความปลอดภัยของตนเองด้วย ดังนั้นถ้าหากถูกวางโดยใช้เกณฑ์ตามที่ได้กล่าวมาแล้วมันก็จะยังเป็นประโยชน์ต่อเรื่อดำเนินการที่จะอิงจากภายนอกเข้ามาแทนที่จะพยายามฝ่าจากเข้าหา เพื่อความสะดวก เส้นฉากที่แทน  $C = C_m$  ในรูป 10-21 จะอ้างถึงในฐานะ  $s_{cm} s_{cm}$  ดังนั้นเส้นฉากที่ดีที่จุดก็ควรจะไกลออกไปบ้างเล็กน้อยกว่าที่จะเป็น  $s_{cm} s_{cm}$  แต่จะไกลออกไปเท่าใดเป็นสิ่งยากที่จะประเมินได้

การพิจารณาเพิ่มเติมซึ่งจะมีผลต่อตำแหน่งของเส้นฉากที่แท้จริงคือ :

ก. เรื่อดำเนินการนั้นสามารถคาดหวังได้ว่ามีตอร์ปิโดมากกว่าหนึ่งลูกในขณะที่เราได้สมมติในเรื่องของ probability ว่ามีการยิงตอร์ปิโดเพียงลูกเดียว ด้วยการยิงตอร์ปิโดหลายลูกก็จะขยายพื้นที่ภายในคอนทัวร์ของการยิงถูกขึ้นแต่ก็จะเพิ่มความเสียหายซึ่งมีต่อเรื่อดำเนินการที่ยิงระยะใกล้ และผลสองประการนี้จะขัดกัน

ข. ได้สมมติว่าเรื่อดำเนินการซึ่งพยายามที่จะฝ่าจากเข้าไปจะฝ่าเข้าไปด้วย probability ของการตรวจจับที่เท่ากันตลอดความยาวทั้งหมดของฉาก แต่มีข้อได้เปรียบอย่างมากต่อเรื่อดำเนินการที่ปฏิบัติการใกล้ด้านข้างของฉากเพื่อที่จะให้มีความง่ายในการถอนตัวหลบหนีหลังการยิง วิธีการโจมตีตามปกติที่เรื่อดำเนินการใช้นั้นมีความโน้มเอียงที่จะเข้าพบใกล้ ๆ กับปีกกว่าที่จะตรงทางส่วนหน้าของคอนวอยไม่ว่าจะเป็นคอนวอยขนาดใด ด้วยเหตุผลทั้งสองประการนี้มีความสำคัญที่จะต้องหลบหนีการลดขนาดลงของประสิทธิภาพเส้นฉากใกล้ ๆ ปีก

ค. ในกรณีของฉากที่ทำต่อเรือความเร็วสูงหรือกองเรือเฉพาะกิจซึ่งอาจซิกแซกหรือหันเหเรือได้อย่างมากนั้น มุมของการเข้าหาก็จะเพิ่มขึ้นและเส้นของการเข้าหาก็กว้างออกดังนั้นฉากจะต้องขยายออกด้วยมุมที่โตกว่า แต่หลักเกณฑ์ต่าง ๆ ที่พัฒนามาแล้วก่อนหน้านั้นนั้นก็ยังคงใช้ได้ กรณีสุดขั้วของกองเรือบรรทุกเครื่องบินเฉพาะกิจซึ่งจะต้องเตรียมที่จะเปลี่ยนเข็มให้ได้กระทั่งต้องถอยกลับด้วยเวลาเดือนที่น้อยมากในอันที่จะปล่อยเครื่องบินขึ้นหรือเพื่อหลีกเลี่ยงหรือจู่โจมเข้าศึก ฉากวงกลมรอบ ๆ กองกำลังทั้งหมดมักจะใช้บ่อยในกรณีเช่นนั้น จะด้วยระยะระหว่างลำของเรือคุ้มกันที่เท่ากันหรือด้วยระยะระหว่างลำที่น้อยกว่าในส่วนหน้าของวงกลม และแม้เมื่อการกระจายแบบวงกลมจะไม่จำเป็น การหันทั้งหมดของกองเรือไปยังน่านน้ำที่ไม่ได้กวาดทุ่นระเบิดจะต้องหลีกเลี่ยง ฉากจะต้องขยายไปในทิศทางกองเรือคาดหวังที่จะหันไปเพื่อตรวจจับเรื่อดำเนินการที่อาจมีได้ นี่เป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะในทัศนะของความโน้มเอียงของเรื่อดำเนินการที่จะโจมตีจากทางข้าง



ง. อาจเป็นที่ทักท้วงว่าการให้เหตุผลต่าง ๆ ซึ่งในการเลือก นั้นสมมติว่าผู้บังคับการเรือดำน้ำทราบค่าต่าง ๆ ของ probabilities ที่เกี่ยวข้องเป็นข้อสมมติที่ไม่สมจริง แท้จริงแล้วสิ่งนี้ไม่ทำให้การให้เหตุผลเหล่านั้นยอมรับไม่ได้ การขาดความรู้ความสามารถที่จะมีผลได้ก็เพียงในการเลือกหนทางปฏิบัติที่ได้เปรียบน้อยกว่าซึ่งจะลดโอกาสของความสำเร็จลงเท่านั้นเอง

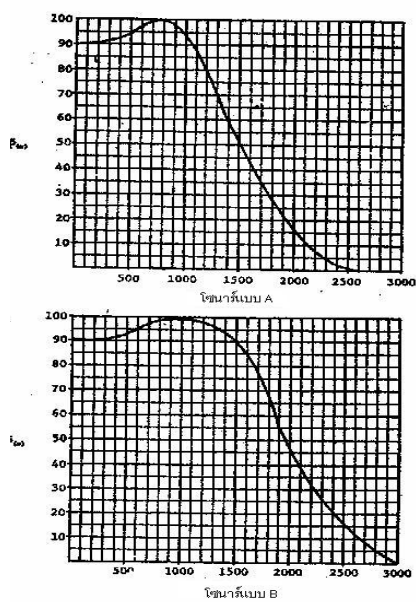
#### 1010. การเพิ่มประสิทธิภาพของฉาก (Increasing Screen effectiveness)

ในเมื่อจำนวนเรือคุ้มกันไม่พอเพียงอันที่จะทำให้ได้มาซึ่งประสิทธิภาพของเส้นฉากที่มากกว่าโดยไม่ต้องเคลื่อนเส้นฉากเข้ามาใกล้กองกำลังที่จะป้องกันมากเพื่อให้การบังคับเรือมีความปลอดภัย เป็นไปได้ที่จะเพิ่ม probability ของการตรวจจับเฉลี่ยของฉากโดยการสั่งให้แต่ละหน่วยทำ “patrol station” การ patrol station นี้จะทำให้เรือแต่ละลำหมุนหันเรือได้ตามขบวนการภายในรัศมีที่กำหนดให้ ยกตัวอย่าง 500 หลา เป็นต้น รอบ ๆ ตำแหน่งของฉากที่ตนได้รับมอบหมายในขณะที่เดียวกันก็จะเป็นไปตามเข็มและความเร็วของกระบวน การปฏิบัตินี้จะเห็นเหตุให้ค่าพลที่ และค่าของจุดของ probability ของการตรวจจับต่ำสุดระหว่างเรือฉากสองลำที่อยู่ติดกัน เปลี่ยนไปในขณะที่ระยะระหว่างลำของเรือฉากสองลำที่อยู่ติดกันเปลี่ยนไปในขณะที่ระยะระหว่างลำของเรือฉากแปรเปลี่ยนโดยทางยุทธการแล้วสิ่งนี้หมายความว่าเรือดำน้ำจะถูกบังคับให้ฝ่าฉากตามขบวนการและจะได้ค่า probability ของการตรวจจับเฉลี่ยแทนที่จะเป็นค่าต่ำสุด แน่นอนที่เรือดำน้ำ อาจสามารถได้จุดฝ่า ฉ ฉ เวลาเมื่อเรือคุ้มกันอยู่ห่างกันมากที่สุดและดังนั้นก็สามารถเพิ่มโอกาสของการฝ่าเข้าไปได้โดยไม่ถูกตรวจจับ อย่างไรก็ตามตามตรรกะที่หน่วยเรือฉากลาดตระเวนตามขบวนการและเป็นอิสระไม่ขึ้นแก่กันและกันแล้วจะมีโอกาสน้อยที่เวลาที่จะเกิดการอยู่ห่างกันระหว่างลำจะสามารถทำนายล่วงหน้าได้จนกระทั่งว่าเรือดำน้ำสามารถที่ใช้ความได้เปรียบนี้ได้

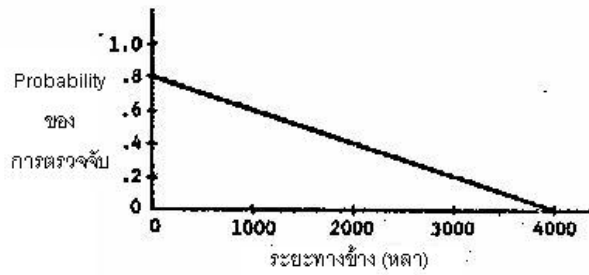
ในเมื่อจำนวนเรือฉากที่เพิ่มเข้ามา หรือเฮลิคอปเตอร์ปราบเรือดำน้ำมีให้อีกจำนวนหนึ่งจะเป็นการได้เปรียบในอันที่จะเพิ่ม probability ของการตรวจจับในทิศทางที่ภัยคุกคามเป็นไปได้มากที่สุด สิ่งนี้อาจกระทำสำเร็จได้โดยวิธีหนึ่งก็โดยการจัดหน่วย ASM ให้อยู่ประจำสถานีเพิ่มเข้ามาที่เรียกว่า “pickets” นอกจากนี้ทางด้านของกองเรือเพื่อการครอบคลุมที่เพิ่มมากขึ้นทั้งทางเรดาร์และโซนาร์ วิธีที่สองก็คือการวางหน่วยเสริมที่เรียกว่า “pouncers” ระหว่างฉากและกองกำลังหลักของกองเรื่อนั้นเพื่อให้แน่ใจในเรื่องการครอบคลุมทางโซนาร์

### ปัญหา

1. เรือต่าง ๆ ในหมวดเรือพิฆาตได้ติดตั้งโซนาร์สองแบบแตกต่างกัน เส้นโค้งระยะทางข้างของโซนาร์แต่ละแบบได้แสดงไว้ข้างล่างนี้ :



- ก. อะไรคือระยะโซนาร์ที่มีประสิทธิภาพ (ESR) สำหรับโซนาร์แบบ A ?
- ข. อะไรคือ ESR สำหรับโซนาร์แบบ B ?
- ค. เรือสองลำ ลำหนึ่งติดตั้งแบบ A อีกลำหนึ่งแบบ B จะต้องปฏิบัติการค้นหาแบบกวาดขนานโดยใช้ ESR เฉลี่ยของโซนาร์ทั้งสองเพื่อเป็นระยะห่างระหว่างเรือสองลำนี้ จงหาความน่าจะเป็นของการตรวจ จับเป้าเรือดำน้ำที่ดำ ซึ่งจะผ่านระหว่างเรือสองลำนี้ ณ จุดต่าง ๆ และให้พลอตผลที่ได้บนกระดาษกราฟ (อย่างในรูปที่ 10-3, 10-4 และ 10-5) สำหรับระยะระหว่างเรือที่เป็น 1.5, 2.0 และ 2.5 ESR
2. เรือมากสองลำติดตั้งโซนาร์ชนิดเดียวกัน ซึ่งมีเส้นโค้งระยะทางข้างสำหรับวันเฉพาะวันหนึ่งดังต่อไปนี้ :



ก. ถ้าเรือทั้งสองลำอยู่ห่างกัน 8,000 หลา อะไรคือประสิทธิภาพของเส้นตรง ถ้าเรือดำน้ำทราบถึงจุดอ่อนแอที่สุดของฉากว่าอยู่ที่ใด ?

ข. ด้วยระยะระหว่างลำยังคงเป็น 8,000 หลา และเรือดำน้ำไม่ทราบถึงจุดอ่อนแอที่สุดดังนั้นสมมติว่า เรือดำน้ำพยายามจะฝ่าฉากตามเหตุการณ์ อะไรคือประสิทธิภาพของเส้นตรงขณะนี้ ?

ค. ผบ.เรือฉากจะต้องทำอะไร เพื่อให้ประสิทธิภาพของเส้นตรงดีขึ้น ไม่ว่าเรือดำน้ำจะใช้ยุทธวิธีเช่นไร โดยสมมติว่า เรือดำน้ำอาจคิดว่าที่เรือฉากอยู่ห่างกัน 8,000 หลา เป็นเพราะข้อจำกัดของจำนวนเรือคุ้มกันที่มี ?

3. จะใช้ตอร์ปิโดเดี่ยวยิงเรือบรรทุกเครื่องบิน ซึ่งยาว 1,000 ฟุต (333 หลา) ความผิดของการยิงตอร์ปิโดเป็นการกระจายแบบปกติตามตารางต่อไปนี้

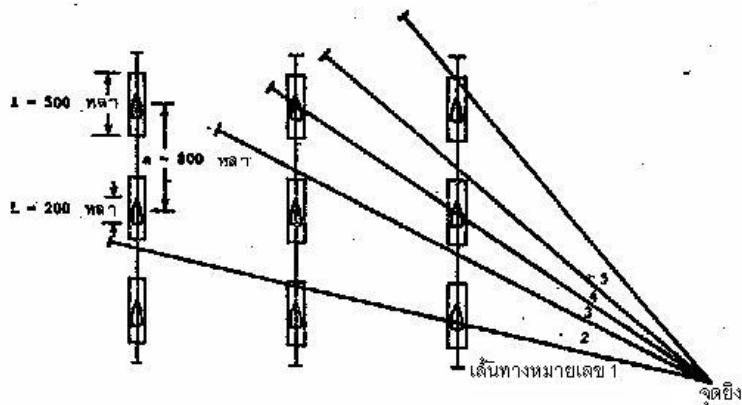
	30°	60°	90°	120°	150°
	2.0°	2.4°	2.7°	3.0°	3.5°

ก. จงหาระยะยิงซึ่งความน่าจะเป็นในการยิงถูกเป็น 0.5 ถ้ามุมหัวเรือเป็น 30 องศา

ข. จงหาความน่าจะเป็นของการยิงถูกจากระยะ 3,000 หลา ถ้ามุมหัวเรือเป็น 120 องศา

4. ในการพิจารณาหา contours ของความน่าจะเป็นของการยิงถูก สำหรับกระบวนเรือซึ่งมีระยะประชิดสั้นได้แสดงถึงสามวิธีด้วยกัน แต่ละวิธีใช้การเลียนแบบ discrete ของการแจกแจงปกติ สมมติว่าจะใช้ห้าเส้นตรงเพื่อแทนเส้นทางของตอร์ปิโด และมุมหัวเรือเป็น 60 องศา ซึ่งให้ค่า = หกองศา จงคำนวณหาองศาของเส้นตรงทั้งห้า ซึ่งจะแปรเปลี่ยนไปจากเส้นทางสัมพันธ์ของตอร์ปิโดที่ต้องการ เพื่อให้เป็นการเลียนแบบของการแจกแจงปกติ

5. จงพิจารณาไดอแกรมดังต่อไปนี้ ซึ่งแสดงถึงเส้นทางตอร์ปิโดที่เป็นไปได้ห้าเส้นทาง สำหรับตอร์ปิโดเดี่ยว ตำแหน่งบนสถานีของเรือต่าง ๆ ได้แสดงไว้ให้เห็นพร้อม ๆ กับความยาวของ diffuse target และความยาวของ random columns เรือแต่ละลำจะยาวประมาณ 200 หลา



- ก. อะไรคือความน่าจะเป็นตอร์ปิโดซึ่งเล็งยิง ตามที่แสดงไว้จะวิ่งไปตามเส้นทางหมายเลขหนึ่ง ?
- ข. สมมติว่าเรือแต่ละลำอยู่บนสถานี อะไรคือความน่าจะเป็นของการยิงถูก ณ จุดยิงนี้ ?
- ค. สมมติว่า เรือแต่ละลำอยู่ในพื้นที่ diffuse target ระยะ 500 หลา อะไรคือความน่าจะเป็นของการยิงถูก ?
- ง. สมมติว่าตำแหน่งของเรือเป็นไปตามขถกกรรมอยู่ในแถวยาว ประมาณ 2,400 หลา อะไรคือความน่าจะเป็นของการยิงถูก ?

จ. จงอธิบายว่า ทำไมเส้นทางตอร์ปิโดที่เป็นไปได้ต่าง ๆ จะต้องเขียนรูป ด้วยความยาวที่แตกต่างกัน ?

- 6. เรือบรรทุกเครื่องบินลำหนึ่งจะต้องจัดฉากป้องกันเรือดำน้ำ โดยใช้เรือพิฆาตห้าลำแต่ละลำด้วยเส้นโค้งระยะทางข้างอย่างที่กำหนดไว้ในโจทย์ข้อสอบ เรือบรรทุกเครื่องบินยาว 333 หลา และความเร็วของกระบวนเป็น 20 นอต คาดว่าความเร็วใต้น้ำของเรือดำน้ำอย่างมาก 10 นอต และความแม่นยำของตอร์ปิโดเป็นไปตามที่กำหนดไว้ในโจทย์ข้อสาม

จงพิจารณาดำแหน่งของเรือฉากที่ดีที่สุดของเรือพิฆาตห้าลำนั้น เพื่อป้องกันเรือบรรทุกเครื่องบิน (หากใช้กระดาศหนาจะทำให้การพลอตง่ายขึ้น)

- 7. COMDESDIV 99 ตัดสินใจที่จะจัดเรือเพื่อให้เรือที่มีโซนาร์ แบบ B จะแยกเรือสองลำกับเรือที่มีโซนาร์แบบ A COMDESDIV 99 มีเรือห้าลำซึ่งมีโซนาร์แบบ B สองลำ แบบ A สามลำ เส้นโค้งระยะทางข้างเป็นอย่างที่แสดงไว้ในโจทย์ข้อที่ 1 ดังนั้น กระบวนของเรือฉากจะเป็นการจัดโดยทั่ว ๆ ไป ดังนี้ (ใช้ ESR ของโซนาร์แบบ A)



เรือปีกทั้งสองลำจะอยู่บนสถานี ณ ตำแหน่งจำกัดของเส้นเข้าหาโดยการดำ และเส้น มีความยาว 14,000 หลา

ก. อะไรคือระยะระหว่างเรือ (เป็นหลา) ? อะไรคือระยะระหว่างเรือนี้ให้คิดในเทอมของ ESR?

ข. อะไรคือประสิทธิภาพของเส้นตรงของฉาก ถ้าเรือดำน้ำเลือกจุดฝ่าเข้ามาที่ดีที่สุด ?

ค. สมมติว่าเรือดำน้ำไม่มีข่าวกองเกี่ยวกับติดตั้งโซนาร์ และไม่ทราบตำแหน่งของเรือฉากอะไรคือประสิทธิภาพของเส้นตรงของฉากนี้ ?

ง. จงลงรายการโดยใช้เครื่องหมาย ATP-1 (A) ของตำแหน่งของเรือต่าง ๆ ในฉาก

จ. ถ้าเรือดำน้ำมีความน่าจะเป็นของการยิงถูกเป็น 0.90 ในเมื่อได้ฝ่าฉากเข้าไปแล้ว (สมมติว่าเรือดำน้ำจะฝ่าเข้าไป ณ จุดที่ดีที่สุดของเขา)

(1) การวางตำแหน่งบนเส้น  $S_{(0.5)}S_{(0.5)}$  ดีที่สุดหรือไม่ ?

2) อะไรคือทางเลือกที่ดีที่สุดของเรือดำน้ำ ?

ฉ. ผลอะไร (ถ้ามี) ที่ลาดตระเวนของสถานีต่าง ๆ โดยเรือใน DESDIV 99 จะมีต่อการวางฉาก ? จงอธิบายคำตอบของท่าน

8. เอกสารการศึกษาการประเมินผลการปฏิบัติการหมายเลข 377 เป็นเอกสารที่พยากรณ์การดีขึ้นของการปฏิบัติงานซึ่งอาจมีขึ้น อันมีผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงการวางและกำลังแบตเตอรี่สำหรับเรือดำน้ำที่กำหนดให้ ต่อไปนี้เป็นความสัมพันธ์เบื้องต้นบางประการระหว่างพลังงานของแบตเตอรี่ (E) กำลัง (P) เวลา (T) ความเร็ว (S) กำลังช่วย (A) และระยะ (D) :

E PT, E มีค่าคงที่สำหรับแบตเตอรี่ที่กำหนดให้

P KS A.K และ มีค่าคงที่ซึ่งเป็นคุณสมบัติของเรือดำน้ำ

D ST.

จากความสัมพันธ์เหล่านี้ จงหาค่าที่ดีที่สุดของระยะ ( $D_m$ ) ในเทอมของ E, K, A และ (บอกไว้ : จงกำจัด T, หาค่า  $dD/dS$  และท้ายสุด  $D_m$ )

## บทที่ 11

### การสงครามต่อสู้อากาศยาน

(Anti - Air Warfare)

การตีค่าประสิทธิผลที่ดีที่สุดของระบบอาวุธได้มาจากการสังเกตผลของระบบอาวุธนั้นในการต่อสู้กับข้าศึกจริง ๆ ดังนั้น ประสิทธิภาพที่ได้จะประมาณค่ามิได้ในการพัฒนาและทำนายประสิทธิผลของระบบอาวุธใหม่ ๆ อย่างไรก็ตาม ในเมื่อประสิทธิภาพโดยตรงเช่นนั้นมิอาจกระทำได้อื่น ๆ สำหรับการวิเคราะห์จะต้องให้บทบาทที่สำคัญ ในบทนี้จะแสดงให้เห็นตัวอย่างสองตัวอย่าง ตัวอย่างแรกแสดงถึงการใช้อะไหล่ของกองเรือในการตีค่าประสิทธิผลของการสงครามต่อสู้อากาศยาน (AAW) ของหน่วยต่าง ๆ ของกองเรือ

จุดประสงค์ของความรับผิดชอบของผู้บังคับบัญชาสำหรับ AAW ก็คือการปกป้องกองกำลังจากการโจมตีทางอากาศของข้าศึก แต่ละวิธีการป้องกันของผู้บังคับบัญชาจะต้องชี้ชัดถึงคุณค่าต่าง ๆ ของตัวแปรที่ควบคุมได้ทั้งหมด เริ่มตั้งแต่การวางกำลังของกองเรือและเครื่องบินไปจนถึงการฝึกพนักงานต่าง ๆ และวิธีการต่าง ๆ ในการซ่อมและการบำรุงรักษาอุปกรณ์ต่าง ๆ

มาตรวัดประสิทธิผลจะต้องเลือกขึ้นใช้ในอันที่จะเปรียบเทียบประสิทธิผลของหนทางปฏิบัติทั้งหลายในการปกป้องกองกำลังให้รอดพ้นจากการโจมตีทางอากาศ อย่างไรก็ตาม บ่อยครั้งที่มาตรวัดประสิทธิผลที่ใช้ (เพื่อให้สามารถวัดได้) จะต้องเป็นมาตรวัดซึ่งวัดเพียงส่วนหนึ่งของจุดประสงค์ทั้งหมด

#### 1101. AAW Exercise

AAW Exercise ของกองเรือใช้เพื่อความมุ่งประสงค์สองประการ ประการแรก เพื่อให้บินผู้ควบคุมเครื่องบิน ผู้บังคับการเรือ และกำลังพลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องได้รับการฝึกที่จำเป็นและเป็นหลักต่อความพร้อมรบของกองเรือ ประการที่สอง และมีความสำคัญเท่า ๆ กับประการแรก เพื่อหาหลักของข้อมูล (data base) ต่าง ๆ ซึ่ง ผบ.กองเรืออาจใช้เพื่อประเมินผลจริง ๆ ต่อขีดความสามารถของการบังคับบัญชาของเขา ข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่ได้พบโดยการวิเคราะห์ห้อย่างใกล้ชิดต่อข้อมูลเหล่านี้ อาจได้รับการแก้ไข และความพร้อมของกองเรือสำหรับปฏิบัติการต่าง ๆ ในอนาคตอาจดีขึ้นได้

AAW Exercise ได้ออกแบบเพื่อเลียนการป้องกันของกองกำลังเพื่อต่อสู้กับการโจมตีทางอากาศของข้าศึก โดยการใช้อุปกรณ์ฝ่ายเดียวกันเพื่อเลียนแบบเป็นข้าศึก การทำเทียมบางประการอาจจำเป็นเพราะว่าเครื่องบินฝ่ายเดียวกันนั้นไม่สามารถที่จะทำลายจริง ๆ ได้ และวิธีการแต่ละวิธีการต่อต้านแต่ละ raid ที่

กำหนดให้จะต้องหยุดก่อนที่จะยิงอาวุธจริง ๆ ถึงแม้จะเป็นเช่นนั้นก็ตาม AAW Exercise นี้หากได้รับการวิเคราะห์อย่างเหมาะสมแล้ว จะให้ข่าวสารเกี่ยวกับความพร้อมของกองเรือที่มีคุณค่า

exercise ต่าง ๆ นั้นแพงมาก ดังนั้น จึงต้องการการวางแผน การเก็บข้อมูลต่าง ๆ และการวิเคราะห์ ภายหลัง exercise จะต้องรอบคอบระมัดระวังเพื่อที่จะให้ได้ผลประโยชน์มากที่สุดจากค่าใช้จ่ายต่าง ๆ และเวลาที่เสียไปใน exercise ทั้งหมดนั้นจะต้องมีการสังเวทบางประการในเรื่องของความจริงไปเพื่อที่จะลดเวลาและรายจ่าย วิธีอื่นของการเลียนแบบการปฏิบัติการป้องกันทางอากาศจะมีอยู่ในรูปแบบของยุทธภิกษา (war gaming) และการเลียนแบบโดยเครื่องจักรคำนวณ (computer simulations) ซึ่งจะถูกกว่าเป็นอย่างมาก แต่ก็มีความจริงหรือสมจริงน้อยลงไป ด้วยเพราะว่ากำลังต่าง ๆ ที่แท้จริงไม่ได้เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย เทคนิคเหล่านั้นจะทำให้เห็นความหยิ่งเห็นที่มีคุณค่าและเป็นหลักสำหรับการทำนายล่วงหน้าต่อสิ่งที่ exercise ไม่สามารถกระทำได้

คำแนะนำโดยสมบูรณ์พร้อมด้วยรายละเอียดต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ exercise ที่เหมาะสมต่อขอบเขตและจุดประสงค์ของ exercise และขนาดและคุณลักษณะของกำลังที่เกี่ยวข้องได้รับการประกาศโดยกองเรือต่าง ๆ ผู้บังคับบัญชากองเรือ ผบ.กองกำลัง และ ผบ.ทร.ต่าง ๆ ข้ออ้างอิงหลักของการดำเนินการ exercise ของกองเรือก็คือชุด “Conduct of Fleet Exercises (FXP-5)” ซึ่งได้จัดพิมพ์โดย Office of the Chief of Naval Operations

ควรจะสังเกตว่า การวางแผน exercise และการวิเคราะห์ปีกหน้า ๆ เหล่านี้ ได้จัดทำโดยนายทหารพรคนาวิน ไม่ใช่โดยผู้ชำนาญพิเศษ OA โดยเฉพาะ (OA qualified specialists) ถึงแม้ว่าพวก OA ควรจะเป็นผู้รับผิดชอบสำหรับบางลักษณะของการวางแผนก่อน exercise และการตีค่าหลัง exercise ก็ตาม ประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ exercise เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาวิชาชีพของนายทหารทุก ๆ คน ข่าวสารที่รวบรวมได้จากการวิเคราะห์อย่างรอบคอบจะมีค่าเป็นอย่างมาก และในทางกลับกันจากผลของข้อมูลที่บันทึกและการวิเคราะห์เดินเลื่อก็อาจจะเป็นผลร้ายเป็นอย่างยิ่งในการประเมินค่าความพร้อมรบและประสิทธิผลของกองเรือ

#### 1102. การวิเคราะห์ exercise

ในตัวอย่างของ AAW exercise นี้ เครื่องบินข้าศึก 200 เครื่อง ได้พยายามที่จะฝ่าการป้องกันของกองกำลัง AAW ซึ่งประกอบด้วย CAP interceptor และอาวุธปล่อยพื้นสู่อากาศ (SAM) เพื่อที่จะให้ได้การฟีกที่มากที่สุดและได้ข้อมูลจำนวนมากในเวลาจำกัด แต่ละเที่ยวของการโจมตีเครื่องบินจะบินต่อไปยังศูนย์กลางของกองกำลังไม่ว่าจะถูกสกัดกั้นสำเร็จหรือไม่ (intercept) โดย CAP เพื่อความง่ายจำนวนเที่ยวของ raid ที่ตรวจพบได้จะนับเฉพาะเที่ยวที่จับได้ด้วยเวลาพอเพียงล่วงหน้าที่จะต่อต้านได้โดยทั้ง CAP และ SAM การรวบรวมข้อมูลนั้นได้ออกแบบไว้ เพื่อให้ได้ข่าวสารจากเหตุการณ์เป็นลำดับ

ดังต่อไปนี้ .-

- ก. raid detected จะเป็น raid ที่ถูกตรวจจับโดยเรดาร์ของกองกำลัง
- ข. CAP assigned จะเป็น CAP ซึ่งถูกนำเข้ามา detected raid ซึ่งกำลังเข้ามาหา
- ค. Tally - ho คือ CAP ที่เห็น raid ด้วยสายตา หรือ “locked on” ด้วยเรดาร์ไฟร์คอนโทรลของตนเอง
- ง. intercept คือ CAP ซึ่งได้ maneuver เข้าไปหาตำแหน่งที่ยิงอาวุธได้อย่างได้ผลโดยเหตุที่ raid เข้ามาหาในระยะของอาวุธปล่อย ชุดของเหตุการณ์มีความจำเป็นสำหรับ raid นั้น ๆ ที่จะถูกต่อต้านโดย SAM อย่างได้ผล
- จ. raid designated raid จะถูกกำหนดให้ระบบของอาวุธปล่อยที่กำหนดให้ระบบหนึ่งภายในเรือการกำหนดให้นี้กระทำได้โดยการส่งระยะ แบร์ริงและความสูงของ raid ไปให้อุปกรณ์ควบคุมการยิงของระบบอาวุธ
- ฉ. raid acquired เรดาร์ควบคุมการยิงของระบบอาวุธได้เริ่มต้นค้นหาเป้า กล่าวคือ “locked on”
- ช. raid fired on raid อยู่ภายในระยะยิง การควบคุมการยิงมี solution โดยสมบูรณ์และอาวุธปล่อยพร้อมที่จะถูกปล่อย
- ในรูปที่ 11 - 1 ข้อมูลเบื้องต้นได้รวบรวมมาง่าย ๆ โดยการบันทึกจำนวนของ raids ตามขั้นตอนต่าง ๆ ดังกล่าวแล้ว

รูปที่ 11-1

ปัญหาทางอากาศ	
จำนวนของ raids	200
จำนวนของ raids ที่ตรวจจับได้	160
จำนวนของ CAP ที่มอบหมาย	120
จำนวนของ tally-ho	90
จำนวนการสกัดกั้น	40
ปัญหาทางผิวน้ำ	
จำนวนของ raids	200
จำนวนของ raids ที่ตรวจจับได้	160



จำนวนของ raids ที่มอบหมายให้ 155

จำนวนของ raids ที่ได้ 120

จำนวนของ raids ที่ยิงเข้าใส่ 115

#### ข้อมูลของการฝึกที่ลงตารางไว้

การใช้อย่างหนึ่งของข่าวสารในลักษณะนั้นก็เพื่อชี้ให้เห็นว่าขั้นตอนใดในอากาศและผิวน้ำเป็นขั้นตอนที่อ่อนแอที่สุด ยกตัวอย่าง อาจจะน่าสนใจที่จะทราบ probability ของการตรวจจับ อันเป็นผลมาจากแต่ละลักษณะของการวางกำลังของเรดาร์ค้นหาทางอากาศที่กองเรื่อนั้น ๆ มี แน่นอนที่การมองในลักษณะทางคณิตศาสตร์อย่างแท้จริงนั้นจะเป็นไปไม่ได้ที่จะได้ตัวเลขนี้มาโดยถูกต้องอย่างแท้จริง แต่เมื่อพิจารณาถึงผลที่ได้จาก exercise ในฐานะตัวอย่างทางสถิติ ดังนั้น ข้อมูลที่ได้อาจใช้ได้อย่าง estimate ที่ดีที่สุดของ probability ของการตรวจจับที่แท้จริงแต่เราไม่ทราบได้ (unknown) ในการถกแถลงที่จะกระทำต่อไปนั้นจะเป็นที่เข้าใจกันว่า term อย่างเช่น probability ของการตรวจจับ probability ของการสกัดกั้น โดยมี tally - ho ที่กำหนดให้ ฯลฯ จะเป็น estimate ที่ดีที่สุดของ probability เหล่านี้ โดยอยู่บนรากฐานของข้อมูลที่ได้มาจาก exercise นี้ ถ้าได้ข้อมูลมาจากหลาย ๆ exercise ผลที่ได้ อาจเอาผลเฉลี่ยมาเพื่อที่จะทำ estimate เหล่านี้ให้ดีขึ้น

จากข้อมูลในรูปที่ 11 - 1 จะเห็นได้ว่า ใน 200 raid นั้นตรวจจับได้ 160 ดังนั้น estimate ตัวหนึ่งของ probability ของการตรวจจับอาจหาได้โดยสัดส่วนของตัวเลขสองจำนวนนี้ คือ

$$P(D) = \frac{160}{200} = .80$$

ในทำนองเดียวกัน conditional probability ซึ่งเกี่ยวข้องกับส่วนต่าง ๆ (phase) ของปัญหาทางอากาศและผิวน้ำ ก็สามารถที่จะคำนวณหาได้ conditional probability ของ CAP ที่มอบหมายโดยกำหนดการตรวจจับให้

$$P(C|D) = \frac{120}{160} = .75$$

conditional probability ของ tally - ho โดยกำหนด CAP ที่มอบหมายให้

$$P(T|C) = \frac{90}{120} = .75$$

conditional probability ของการสกัดกั้น โดยกำหนด tally - ho ให้

$$P(I|T) = \frac{40}{90} = .44$$

conditional probability ของ designating a raid โดยกำหนดการตรวจจับได้

$$P(\text{DES} | D) = \frac{155}{160} = .968$$

conditional probability ของการได้เป้า (acquisition) โดยกำหนด designation ให้

$$P(\text{ACQ} | \text{DES}) = \frac{120}{155} = .774$$

conditional probability ของ SAM ที่ยิงออกไป โดยกำหนดการได้เป้าให้

$$P(\text{SAM} | \text{ACQ}) = \frac{115}{120} = .958$$

มาตรวัดประสิทธิผลที่เป็นประโยชน์ซึ่งสามารถที่จะคำนวณหาได้จากข้อมูลเหล่านี้ก็คือ probability ที่ raid จะเข้าถึงกองกำลังโดยปราศจากการถูกสกัดกั้นโดย CAP หรือโดยปราศจากการถูกยิงโดย SAM probability นี้ เรียกว่า probability แห่งสัดส่วนของ raid ที่ไม่ได้รับการต่อต้าน (factorized probability of an unopposed raid) และสามารถที่จะคำนวณหาได้ดังต่อไปนี้ .-

$$\begin{aligned} P(u) &= 1 - P(\overline{\text{SAM}} | D) \\ &= 1 - P(D) P(\overline{\text{SAM}} | D) \\ &= 1 - P(D) [1 - P(\overline{\text{SAM}} | D)] \\ &= 1 - P(D) [1 - P(\overline{\text{SAM}} | D)] \quad \text{ซึ่งจะทำให้} \end{aligned}$$

$$\text{สมการ 11-1 } P(u) = 1 - P(D) [1 - 1 - P(\overline{\text{SAM}} | D)] = 1 - P(\text{SAM} | D)$$

สำหรับ exercise นี้ที่  $P(D) = 160/200$ ,  $P(I/D) = 40/160$  และ  $P(\text{SAM}/D) = 115/160$  จะได้ probability นี้คือ

$$P(u_r) = .369$$

จงสังเกตว่าในการพัฒนาหาสมการที่ 11-1 นั้น ได้กำหนดให้ไม่มีการขึ้นแก่กัน เพื่อที่จะให้  $P(\overline{\text{SAM}} | D) = P(\overline{\text{SAM}} | D)$  ถ้าจะให้ถูกต้องยิ่งขึ้นนี้หมายความว่า “เมื่อ raid ถูกตรวจจับได้แล้ว” เหตุการณ์ (event) ที่ raid จะถูกยิงโดย SAM จะไม่ขึ้นกับว่า raid จะถูกสกัดกั้นโดย CAP หรือไม่ สำหรับ exercise ในรูปแบบที่เพิ่งได้บรรยายไปแล้วนั้น ข้อสมมตินี้ดูเหมือนจะใช้ได้ (valid) ในขณะที่ทุก ๆ raid ที่ถูกตรวจจับได้ไม่ได้แสดงตนต่อทั้ง CAP และ SAM (ถ้าไม่เพราะว่าบาง raid ได้ถูกตรวจจับได้หายไปหรือไม่ก็ถูกทำลายเร็วไป) ข้อสมมตินี้ไม่ควรจะได้รับการรับประกัน

ถ้า exercise ที่มีไว้สำหรับการติดตามแต่ละ raid ในขณะที่มุ่งเข้าหากองกำลัง บางข้อมูลอาจมีได้ในส่วนเพิ่มของข่าวสารที่ได้ลงตารางไว้สำหรับปัญหาทางอากาศและผิวน้ำ ใน exercise นี้ ได้ตัดสินใจแล้วว่าจำนวนของ raid ทั้งหมดที่สกัดกั้นได้โดย CAP และที่ถูกยิงโดย SAM คือ  $n(I \text{ SAM})$  เป็นจำนวน 30 ดังนั้น raid ที่ตรวจจับได้ก็จะแตกออกได้ดังต่อไปนี้ .-

รูปที่ 11-2

$$\begin{aligned} \text{จำนวนที่ทั้งที่สกัดกั้นได้และยิงเข้าใส่} & n(I \text{ SAM}) = 30 \\ \text{จำนวนที่สกัดกั้นได้แต่ไม่ได้ยิงเข้าใส่} & n(I \overline{SAM}) = 40 - 30 = 10. \\ \text{จำนวนที่สกัดกั้นไม่ได้แต่ยิงเข้าใส่} & n(\bar{I} \text{ SAM}) = 115 - 30 = 85. \\ \text{จำนวนที่ทั้งสกัดกั้นไม่ได้และไม่ได้ยิงเข้าใส่} & n(D \bar{I} \overline{SAM}) = 160 - (30+10+85) = 35. \end{aligned}$$

การวิเคราะห์ raids ที่ถูกตรวจจับได้

probability ของ raid ที่ไม่ได้รับการต่อต้าน raid หนึ่ง  $P(u)$  ดังนั้น ก็สามารถที่จะหาได้ง่ายขึ้นโดยใช้ข่าวสารเพิ่มเติมนี้

สมการ 11-2 
$$P(u) = \frac{n \bar{D} \quad n(D \bar{I} \overline{SAM})}{\text{“Ó’Ç’çÍ$ra ids}}$$

สำหรับ exercise นี้

$$P(u) = \frac{40 \quad 35}{200} = .375.$$

probability ของ raid ที่ไม่ได้รับการต่อต้านเป็นมาตรวัดประสิทธิผลที่มีความหมายมากที่สุด อย่างไรก็ตามมาตรวัดประสิทธิผลที่ดีกว่าก็ควรจะเป็น probability ของ raid ที่เข้าถึงศูนย์กลางกองกำลังโดยปราศจากการถูกทำลายโดยที่ kill probability สำหรับอากาศและผิวน้ำของอาวุธที่ยิงออกไปได้ถูกนำมาพิจารณาด้วย ถ้า kill probability เหล่านี้เราทราบได้ก็อาจที่จะใช้กับข้อมูลของ exercise นี้ เพื่อหา probability ของการอยู่รอด (survival) กำหนดให้ S เป็น เหตุการณ์ที่ raid อยู่รอด และ K เป็นเหตุการณ์ที่ raid หนึ่งถูกฆ่าหรือทำลาย ดังนั้น probability ของการอยู่รอดจะเป็น

สมการ 11-3

$$\begin{aligned} P(S) &= 1 - P(K) \\ &= 1 - [P(K | I \overline{SAM}) + P(K | I \text{ SAM}) - P(K | I \text{ SAM})] \\ &= 1 - [P(K | I \overline{SAM}) - P(K | I \text{ SAM}) + P(I \text{ SAM}) \\ &\quad P(K | I \text{ SAM}) + P(I \text{ SAM})] \end{aligned}$$

ถ้าอาวุธอากาศ – คู่ – อากาศ ของ CAP มี kill probability เป็น .7 และ SAM มี kill probability เป็น .4 และโดยการใช้ข้อมูลจาก exercise ตามรูปที่ 11-2 ทั้งหมดแทนค่าในสมการ 11-3 จะ

$$P(S) = 1 - (.7) \frac{10}{200} - 1 - .3 - .6 \frac{30}{200} - .4 \frac{85}{200}$$

ถ้าข้อมูลจาก exercise ในรูปที่ 11-2 ไม่ทราบ ดังนั้น probability ของการอยู่รอดอาจคำนวณหาโดยประมาณ ๆ ได้โดยการตั้งข้อสมมติของการไม่ขึ้นแก่กันอย่างที่เคยสมมติ แต่คราวนี้เพื่อ estimate ส่วนของ input ในสมการที่ 11-3

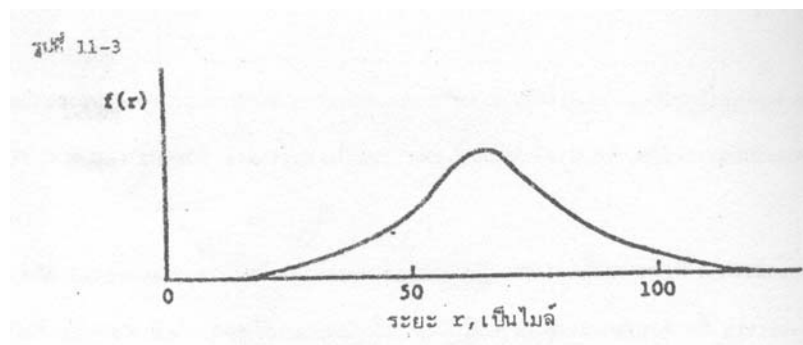
ถึงแม้จะพิจารณาถึงข้อจำกัด สิ่งที่ทำให้กระทำได้ และข้อสมมติในการควบคุมการดำเนินการของ exercise นี้ก็ตามแต่การวิเคราะห์ทาง probability ก็ส่งเสริมความมุ่งหมายได้เป็นอย่างดี มันจะแสดงถึงจุดอ่อนในปัญหาการป้องกันภัยทางอากาศ ซึ่งมีอิทธิพลเป็นอย่างมากในลักษณะทั่วไปของการป้องกันภัยทางอากาศ และชี้ให้เห็นถึงจุดต่าง ๆ ที่จะศึกษาต่อไปการคัดแปลงแก้ไขและยุทธวิธีที่ทำให้ดีขึ้น หรือเครื่องอุปกรณ์ที่ดีขึ้น มีความต้องการที่จะต้องได้รับการตรวจค้นหาและพิจารณา

#### 1104. การวางกำลัง CAP

ในการสงครามและการวางแผนสำหรับการสงคราม วิธีการแบบอนุรักษ์นิยมก็คือ การตัดสินใจที่อยู่บนรากฐานของขีดความสามารถของข้าศึกมากกว่าเจตน์จำนง (intention) ของเขา บ่อยครั้งที่ขีดความสามารถของเขามักมีความสัมพันธ์โดยตรงกับตำแหน่งหรือตำบลที่เขาเมื่อเทียบกับกำลังของเรา ยกตัวอย่าง มีสาเหตุสำหรับความหวั่นเกรง อย่างน้อยที่สุดถ้าเครื่องบินข้าศึกอยู่ ณ จุดที่กำลังจะปล่อยลูกระเบิด อาจเป็นไปได้ว่าเขาจะไม่ตั้งใจจะโจมตี แต่ความระมัดระวังอย่างรอบคอบ ต้องการว่าการป้องกันของตนได้ออกแบบในลักษณะที่จะป้องกันไม่ให้ข้าศึกเข้าถึงตำบลที่ ณ ที่ซึ่งเขาอาจเลือกทำอะไรได้

จงพิจารณาถึงศูนย์กลางของกองกำลังในฐานะเป็นจุด origin ของระบบ coordinate รูปทรงกระบอก กำหนดให้ coordinate เป็นระยะทางราบ แบริ่งและความสูง ในระบบนี้ไม่เพียงแต่จะสามารถหาตำบลที่ของกำลังทางอากาศข้าศึก แต่จะสามารถวางตำบลที่ของกำลังป้องกันของฝ่ายตนเองด้วย อย่างเช่น CAP ของเรา จะเป็นใน term ของตัวแปรเหล่านี้ที่การถกเถียงถึงการวาง CAP ที่ได้ประสิทธิผลมากที่สุด ซึ่งสามารถจะแสดงได้

เพื่อที่จะตรวจสอบปัญหานี้ ขอให้ตั้งข้อสมมติบางประการซึ่งสนับสนุนโดยประสบการณ์ทางปฏิบัติการยกตัวอย่างเป็นที่ทราบกันดีแล้วว่า เรดาร์ทางอากาศนั้นจะไม่ตรวจจับเป้าอากาศทุก ๆ เป้าได้ ณ ระยะเดียวกัน ความเป็นจริงก็คือบางเป้าไม่ถูกตรวจจับเลย ดังนั้น จะต้องมีการมี function บางอย่างเช่น  $f(r)$  ซึ่งจะแสดงถึงความน่าจะเป็นที่จะตรวจจับเป้าทางอากาศที่เข้าหากองกำลังของเรา ณ ระยะ  $r$  จากประสบการณ์ของสงครามโลกครั้งที่สองได้พบว่า function นี้ จะมีรูปร่างต่อไปนี้ .-



function เช่นนี้ จะขึ้นอยู่กับชนิดของเรดาร์ประเภทของเครื่องบิน เงื่อนไขทางอุตุนิยมวิทยา ฯลฯ จะไม่เป็นการยากเกินไปที่จะนึกถึงครอบครัวของ curve แบบนี้ ซึ่งมีรูปร่างคล้าย ๆ กันกับรูปที่ 11-3 อันเป็นผลเนื่องมาจากการแปรของ parameter ต่าง ๆ เหล่านี้

ถ้า random variable  $R$  ได้รับความนิยามเป็นระยะทางราบ ณ ที่ซึ่งการตรวจจับเกิดขึ้น function  $f(r)$  ควรจะมีคุณสมบัติก็คือ

$$\text{สมการ 11-4} \quad P(R < r) = \int_0^r f(r) dr$$

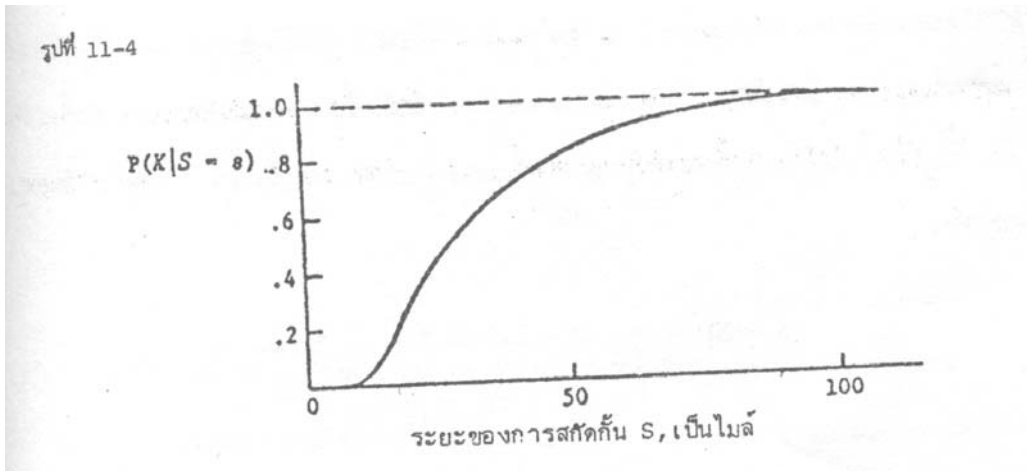
$$\text{แต่จงสังเกตว่า} \quad \int_0^1 f(r) dr = c, \text{ for } 0 < c < 1$$

โดยเหตุที่การตรวจจับไม่เป็นการแน่นอนโดยสมบูรณ์ ถึงแม้จะเป็นในสงครามโลกครั้งที่สอง อันที่สาเหตุเนื่องมาจากความเร็วของเครื่องบินที่ต่ำที่เกี่ยวข้อง มันก็ยังคงพอจะถือว่าแน่นอนได้

ในทำนองเดียวกัน function หนึ่งอาจได้รับการนิยามซึ่งจะให้ค่า kill probability ต่อเครื่องบินข้าศึก ในฐานะ function ของระยะจากศูนย์กลางของกองกำลัง ณ เวลาของการสกัดกั้น จงสังเกตว่า kill probability ควรจะสูงกว่าถ้าการสกัดกั้นกระทำได้ไกลออกไปเพราะว่า CAP จะมีเวลามากกว่าที่จะโจมตี

กำหนดให้  $S$  แทนระยะที่ raid ซึ่งบินเข้าหาถูกสกัดกั้นได้ ดังนั้น กำหนดให้  $P(K : S = a)$  เป็น probability of kill โดยกำหนดให้ระยะของการสกัดกั้นเท่ากับ  $s$  จงระลึกไว้ว่า  $s$  เป็น random variable ตัวหนึ่ง

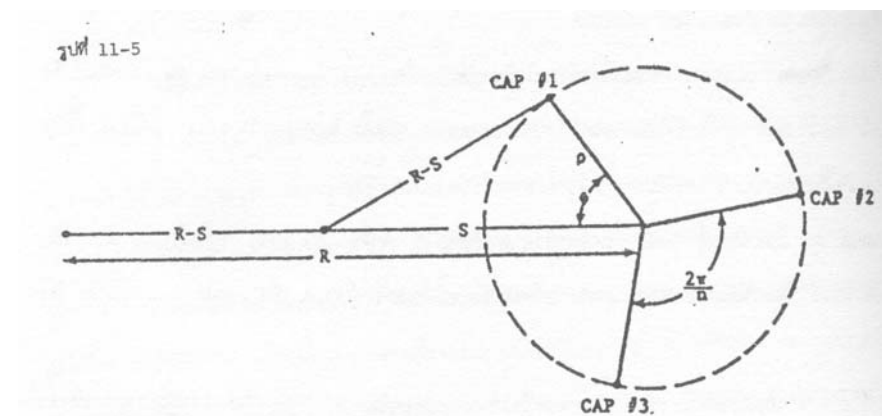
รูปที่ 11-4 เป็นกราฟของ  $P(K | S = s)$  ซึ่งได้มาจากข้อมูลในสงครามโลกครั้งที่สองเป็นที่  
กระจำจชัดว่าจะได้ function ที่แตกต่างกัน สำหรับเครื่องบินและขีดความสามารถของอาวุธที่แตกต่างออกไป



function ทั้งสองคือ  $f(r)$  และ  $P(K | S = s)$  อาจจะให้เพื่อหาการวางกำลัง CAP ที่ดีที่สุดได้ จง  
พิจารณาว่า CAP จำนวน  $n$  เครื่อง สามารถที่จะอยู่บนสถานี ณ เวลาหนึ่งเพื่อจะพบและขัดขวาง raid ที่เข้าหา  
ได้ตั้งข้อสมมติดังต่อไปนี้ -

- ก. CAP จำนวน  $n$  เครื่องจะอยู่บนสถานี ด้วยระยะที่เท่า ๆ กันบนวงกลมซึ่งมีรัศมี จากศูนย์กลางของกองกำลัง
- ข. เพียงแต่ CAP ที่ใกล้ raid ที่สุดเท่านั้นที่จะจัดการกับ raid นั้น
- 7. CAP จะสกัดกั้น ด้วยความเร็วเท่ากันกับความเร็วของ raid นั้น

รูปที่ 11-5 แสดงถึงความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตที่เกี่ยวข้องเมื่อ raid เข้าศึก raid หนึ่งซึ่งถูกตรวจจับ ณ  
ระยะ  $R$  ถูกสกัดกั้น โดย CAP ที่อยู่ใกล้ที่สุดจาก CAP 3 เครื่องบนสถานี



R เป็นระยะของการตรวจจับด้วยเรดาร์ R เป็น random variable ตัวหนึ่ง มุม ระหว่างแบร์ริง ของ raid ที่เข้าหาและแบร์ริงของ CAP ซึ่งใกล้ที่สุด ก็เป็น random variable อีกตัวหนึ่ง จากข้อสมมติของ ความเร็วที่เท่ากัน ระยะทางซึ่ง CAP ที่ใกล้ที่สุดบินไปยังจุดสกัดกั้นจะทำกับระยะทางที่ raid บินเข้ามา กล่าวคือ R - S โดยการใช้อีกของ cosine ของสามเหลี่ยม

$$(R - S)^2 = R^2 + S^2 - 2RS \cos \theta$$

ซึ่งเมื่อแก้หา S จะได้

สมการ 11-5 
$$S = \frac{R^2 - R^2 \cos^2 \theta}{2(R \cos \theta)}$$

$P(K | S = s)$  ได้รับการนิยามมาก่อนแล้วว่าเป็น probability of kill ถ้าระยะของการสกัดกั้น เป็นเท่ากับ s ถ้าเราทราบ probability density function ของ s ค่า expected value ของ  $P(K | S)$  จะสามารถหาได้

$$\bar{P}(K) = E[P(K | S)] = \int_0^{\infty} P(K | s) f(s) ds$$

โดยทั่วไป  $f(s)$  จะไม่ทราบโดยจะแจ้ง อย่างไรก็ตาม function  $f(r)$  และ  $f(\theta)$  จะทราบได้คือ  $f(r)$  จากการ ทดสอบภายใต้เงื่อนไขที่ควบคุมได้หรือจากข้อมูลในอดีตอย่างเช่นในรูปที่ 11-3  $f(\theta)$  จำนวนหาได้จาก สถานการณ์ทางยุทธวิธีที่คาดคิดได้ สมมติว่าเราทราบ  $f(r)$  และ  $f(\theta)$  และ  $f(r)$  เป็น probability density function ที่แท้จริง โดยเหตุที่ s เป็น function ของ R และ  $P(K | S = s)$  สามารถที่จะเขียนในฐานะของ function ของ R และ กล่าวคือ  $P(K | S = s)$  สามารถที่จะเขียนในฐานะของ function ของ R และ กล่าวคือ  $P(K | R = r, \theta = \theta)$

expected value ของ function ของสอง random variable ซึ่งไม่ขึ้นแก่กัน  $x_1$  และ  $x_2$  สามารถที่จะ พิจารณาได้จาก

สมการ 11-6 
$$E(X_1, X_2) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} (x_1, x_2) f(x_1, x_2) dx_1 dx_2$$
  

$$= \int_{-\infty}^{\infty} (x_1) f(x_1) dx_1 \int_{-\infty}^{\infty} (x_2) f(x_2) dx_2$$

ดังนั้น probability of kill  $P(K)$  สามารถที่จะพบได้ว่าเป็น

สมการ 11-7 
$$\bar{P}(K) = E[P(K | R)] = \int_0^{\infty} f(r) [ \int_0^{\infty} P(K | r, \theta) f(\theta) d\theta ] dr$$

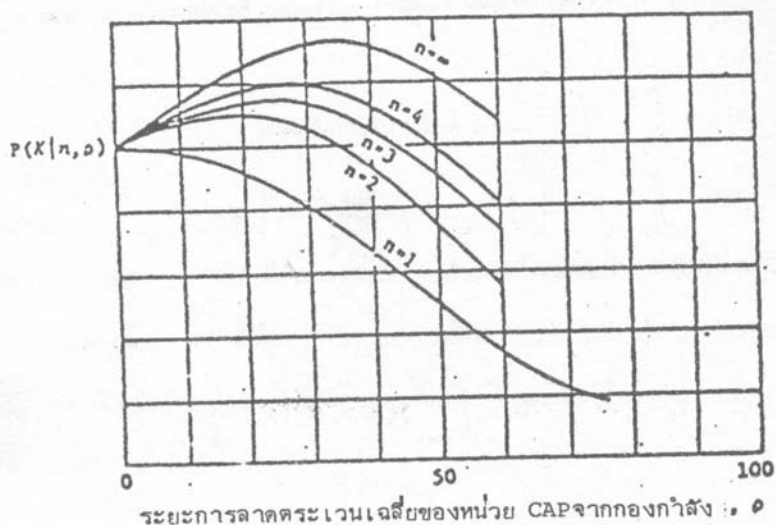
โดย  $f(r)$  หาได้จากรูปที่ 11-3 และ  $P(K | R, \theta)$  จากรูปที่ 11-4 หลังจากแทนค่าทุกค่าของ s ลงใน สมการที่ 11-5 density function  $f(\theta)$  สามารถที่จะหาได้ถ้า raid ถูกสมมติว่าจะเข้าหาจากทิศหนึ่งเท่า ๆ กับ ทิศอื่น ๆ ดังนั้น จะกระจายเท่า ๆ กัน ระหว่าง  $-\pi$  และ  $\pi$  โดยกำหนดให้

สมการ 11-8 
$$= \frac{n}{2r}, \text{ for } - \frac{r}{n} \quad \frac{r}{n}$$

ขอบเขต (limit) ของการอินทิเกรตของ r จะเป็น ถึง เพราะว่าระยะการตรวจจับใด ๆ ที่น้อยกว่า การสกัดกันจะเป็นไปไม่ได้ (ด้วยความเร็วเท่ากัน) และ  $P(K, r, )$  จะเป็นศูนย์

probability of kill ทั้งหมดซึ่งคำนวณได้โดยการใช้สมการที่ 11-7 จะไม่เป็น function ของ R และ โดยเหตุที่จำนวนทั้งสองนี้ถูก integrate ออกมา อย่างไรก็ตาม probability of kill นี้ จะยังขึ้นกับ n และ และทั้งนั้น สามารถที่จะเขียนเป็น  $P(K, n, )$  สำหรับจำนวนของ CAP n ที่กำหนดให้ probability of kill อาจที่จะพลอตเป็น function ของ และค่าที่ดีที่สุดของ ที่พบ การคำนวณที่กระทำจากสถานการณ์ที่กำหนดให้ในรูปที่ 11-3 และ 11-4 จะให้ผลดังรูป

รูปที่ 11-6



จะเห็นได้ว่าระยะทางของการวางตัวของ CAP ที่ดีที่สุดสำหรับตัวอย่างนี้ จะเปลี่ยนแปลงไปจาก ศูนย์ถึงประมาณ 35 ไมล์ ขึ้นอยู่กับจำนวนของ CAP ที่อยู่ในอากาศ

สำหรับสถานการณ์แบบหลักอื่น ๆ การอินทิเกรตในสมการที่ 11-7 จะยุ่งยากมากที่จะกระทำได้ด้วยมือ ถึงแม้ว่า การใช้เทคนิคของเครื่องคำนวณจะทำให้การคำนวณนั้น ๆ เป็นของธรรมดา



## ปัญหา

1. จากข้อมูลที่กำหนดให้ต่อไปนี้ ซึ่งได้จากการฝึก AAW ตามที่ได้บรรยายไว้ในบทนี้ :

ปัญหาทางอากาศ		ปัญหาทางผิวน้ำ	
จำนวนของเครื่องบิน raid	225	จำนวนของ raid ที่มอบหมายให้	200
จำนวนของการตรวจจับ	210	จำนวนของ raids ที่ได้	150
จำนวนของ CAP ที่มอบหมาย	150	จำนวนของ raids ที่ยิงเข้าใส่	100
จำนวนของ tally – ho	125		
จำนวนของการสกัดกั้น			
	จำนวนที่สกัดกั้นได้โดย CAP และยิงเข้าใส่โดย SAM	45	
	ความน่าจะเป็นของการยิงทำลายโดยอาวุธของ CAP	3/4	
	ความน่าจะเป็นของการยิงทำลายโดย SAM	3/4	

จงหา :

๙.  $P(uf)$
  ๑๐.  $P(u)$
  ๑๑. ความน่าจะเป็นของการรอดของ raid
2. จากการฝึก AAW หลายครั้ง ได้ข้อมูลดังต่อไปนี้ :

ปัญหาทางอากาศ		ปัญหาทางผิวน้ำ	
จำนวนของเครื่องบิน raid	200	จำนวนของ raids ที่มอบหมายให้	155
จำนวนของการตรวจจับ	160	จำนวนของ raids ที่ได้	120
จำนวนของ CAP ที่มอบหมาย	130		
จำนวนของ tally – ho	115		
จำนวนของการสกัดกั้น	88		
	ความน่าจะเป็นของการยิงทำลายโดยอาวุธของ CAP	1/2	
	ความน่าจะเป็นของการยิงทำลายโดย SAM	1/2	

๙. จงหา  $P(uf)$
๑๐. จงคำนวณหาความน่าจะเป็นของการรอดของ raid  $P(S)$

3. ในรูปแบบจำลองของการวางสถานีของ CAP ในบทนี้ ถ้าความเร็วของ CAP เป็น  $K$  เท่าของความเร็วของเครื่องบินเข้าศึก
- ในเมื่อ  $K > 0$
- ก. จงหาระยะของการสกัดกั้น  $S$
  - ข. อะไรคือระยะใกล้สุดของการตรวจจับ ซึ่ง raid จะถูกสกัดกั้นไว้ก่อนที่จะถึงศูนย์กลางของกองกำลัง?
4. ความน่าจะเป็นของการยิงทำลายในฐานะฟังก์ชันของระยะการสกัดกั้น  $S$  คือ  $P(K > S) = 1 - e^{-0.2s}$  โดยที่  $s$  เป็นไมล์ ระยะการตรวจจับ  $R$  มีฟังก์ชันความหนาแน่นซึ่งกำหนดให้โดย  $f(r) = .01(1 - .005r)$  สำหรับ  $0 < r < 200$  และมี CAP อยู่ในอากาศสี่เครื่อง จงหาค่า ซึ่งถ้าคำนวณหาได้จะให้ค่าความน่าจะเป็นของการยิงทำลายในเทอมของระยะของ CAP บนสถานี โดยการใช้ข้อสมมติที่กำหนดให้ในบทนี้

## บทที่ 12

### การสงครามทุ่นระเบิด

#### (Mine Warfare)

ในเดือนตุลาคม 1950 กองเรือยกพลขึ้นบกด้วยเรือ 250 ลำ และกำลังพล 50,000 คน ได้ลงเรือแล้วเรือเหล่านั้นก็แล่นไปมาอยู่นอกฝั่งใกล้ ๆ ทางเข้าท่าเรือวอนซาน (Wonsan) ประเทศเกาหลี D-day สำหรับการยกพลขึ้นบกที่วอนซานได้กำหนดไว้เป็นวันที่ 20 ตุลาคม แต่หนึ่งสัปดาห์หลัง D-day กองกำลังก็ยังคงสวนสนามไปมาอยู่นอกฝั่งในขณะที่การส่งกำลังอาหารได้ร่อยหรอลง การยกพลขึ้นบกได้เลื่อนไป เพราะทางเข้าท่าเรือวอนซานถูกวางทุ่นระเบิด สถานการณ์นี้ได้รายงานไปยัง CNO (Chief of Naval Operations) โดย พลเรือตรี Alan E. Smith ในวิทยุซึ่งขึ้นต้นว่า

“กองทัพเรือสหรัฐ ฯ ได้สูญเสียการควบคุมทางทะเล.....”

พลเรือเอก Forrest Sherman ผู้ซึ่งในขณะนั้นเป็น CNO ภายหลังได้อธิบายถึงคำกล่าวอันผวาของนายพลเรือ Smith โดยกล่าวว่า

“เมื่อคุณไม่สามารถไปยังที่ที่คุณต้องการ ในเมื่อคุณต้องการ คุณก็ไม่ได้การครองทะเล”

การสงครามทุ่นระเบิดได้รับการใช้ความสำเร็จอย่างใหญ่หลวง ก่อนสงครามเกาหลีนานาชาติเดียว จุดกำเนิดนั้นสามารถย้อนกลับไปถึง 668 ปีก่อน ค.ศ. เมื่อ Callinicus of Heliopolis ได้ประดิษฐ์ Gresk Fire ซึ่งเป็นส่วนผสมไหม้ไฟ ซึ่งสามารถเผาไหม้ใต้น้ำได้ ทุ่นระเบิดนั้นได้รับการพูดถึงและแม้กระทั่งได้รับการใช้บ้างโอกาสมาเป็นเวลาเป็นศตวรรษ ๆ แล้ว แต่โดยทั่ว ๆ ไปจะได้รับการปฏิเสธการใช้โดยกองทัพเรือ เพราะได้รับการพิจารณาว่าเป็น “การใต้ดิน” เกินไปที่ชาติอัสวินจะใช้

สนามทุ่นระเบิดที่แท้จริงคือ สนามที่ Mobile Bay ซึ่ง Admiral Farragut สบประมาทอย่างแรง (คำว่า “mine” และ “torpedo” ใช้แทนกันได้ในตอนนั้น) ทุ่นระเบิดได้รับการใช้อย่างหนักโดยทั้งกองกำลังของ Union และ Confederate ในสงครามกลางเมือง - โดยฝ่ายใต้เพราะว่าขาดกำลังทางเรือ และโดยฝ่ายเหนือเพราะว่าในคำกล่าวของ Farragut “มันให้ฝ่ายข้าศึกซึ่งความเหนือกว่าต่อคุณอย่างแท้จริง”

สงครามกลางเมืองในอเมริกาได้สอนว่าถึงแม้ว่าทุ่นระเบิดจะเป็นอาวุธสงครามที่น่าขยะแขยงอย่างไรก็ตามกองทัพเรือต้องเตรียมพร้อมที่จะป้องกันอาวุธนี้ และที่จะใช้อาวุธนี้ทุกโอกาสที่มันจะใช้ได้ผล

การสงครามทุ่นระเบิดได้กระทำกันอย่างได้ผลในสงครามโลกครั้งที่หนึ่ง และที่สอง โดยทั้งสองฝ่ายในเดือนมิถุนายน 1942 เรือดำน้ำเยอรมัน U-701 ได้วางทุ่น ๑5 ลูก นอก Chesapeake Capes ผลของมัน น.ต. Arnold S. Lott ทร.สหรัฐ ฯ ได้บรรยายไว้ในหนังสือของเขาคือ “Most Dangerous Sea” มันเป็นตัวอย่งที่เลิศที่สุดที่ค่าใช้จ่ายอันน้อยนิดของวัสดุและแรงงานซึ่งสามารถก่อให้เกิดผลอันใหญ่หลวงโดยการใช้ทุ่นระเบิดในทะเล

คอนบอยจัดของวันที่ 15 มิถุนายน คอนวอย KN 109 ซึ่งมีเรือ 18 ลำ พร้อมด้วยเรือคุ้มกันได้อ้อม Cape Benry ในการเดินทางจาก Key West ไป New York ภายหลังจากสามนาที่ SS Empire Sapphire ซึ่งมี Convoy Commodore อยู่บนเรือ ซึ่งได้นำร่องอยู่นอกเส้นทางเข้าคอนวอยซึ่งกำลังรออยู่นี้ก็คือหมู่เรือรอความตาย สำหรับเรือดำน้ำที่กำลังล่าเหยื่ออยู่ ดังนั้น เมื่อเวลา 1658 Empire sapphire ได้พยายามที่จะนำกองเรือเข้าท่า ไม่กี่นาทีต่อมาได้เกิดระเบิดขึ้น ณ เรือน้ำมัน SS Robert C. Tuttle ซึ่งมีระวาง ขับน้ำ 11,000 ตัน “ทุ่นระเบิดลูกแรกของเรือ U-701 ได้ถูกพบแล้ว” และน้ำมันดิบ 142,700 บาเรล ไม่ไปถึง Phiradeiphia เรือ Pc-474 ได้ช่วยลูกเรือและซากเรือได้ลากเข้าเกย Virginia Beach

ณ จุดนี้ Convoy 1C9 ได้ก่อให้เกิดสงครามที่สับสนต่อเรือซึ่งสัญจรไปมา SS Esso Augusta เรือน้ำมันขนาด 1,000 ตัน อีกลำหนึ่งซึ่งบรรทุกน้ำมันเชื้อเพลิงเต็ม ได้เริ่มต้นการซิกแซก และ Vice Commodore ได้ส่งเรือลำอื่น ๆ ให้ปฏิบัติตามเพื่อหลบหลีกตอร์ปิโดจากเรือดำน้ำ (โดยคิดว่าเป็นเช่นนั้น) หลังจากนั้นครึ่งชั่วโมง Augusta ก็แล่นอ้อมทุ่นปากช่อง จนกระทั่งเกิดระเบิดขึ้น ซึ่งทำให้เรือเสียหายแต่ไม่จม “ทุ่นระเบิดเยอรมันลูกที่สองได้ถูกพบ”

ในขณะนั้นเครื่องบินได้บินวนเวียนอยู่และเรือคุ้มกันคอนวอยได้ออกล่าเรือดำน้ำซึ่งได้หนีไปนานแล้วในที่สุดเมื่อเวลา 1752 Empire Sapphire และเรืออื่น ๆ ได้รับนำร่องขึ้นเรือและเดินทางไป Hampton Roads ในขณะที่อยู่กับการปราบเรือดำน้ำนั่นเอง เรือพิฆาต Bainbridge ได้ Contact เมื่อเวลาประมาณ 1827 และทิ้งระเบิดลึก 8 ลูก ได้เกิดระเบิดขึ้น 9 ครั้ง การระเบิดครั้งที่เก้า ทำให้ Bainbridge สั่นสะเทือนจากหัวเรือถึงท้ายเรือ และเสียหายต้องซ่อมถึง หกวัน “ทุ่นระเบิดเยอรมันลูกที่สามได้ถูกพบ” จากที่นั่นไปประมาณหนึ่งไมล์ Esso Augusta ก็ยังคงได้รับความเสียหายอยู่ เรือทรอลเลอร์ดีคอาวูซซึ่งเป็นเรือคุ้มกันคือ HMS Lady Elsa ได้พยายามสามครั้งที่จะพุ่งไป แต่เชือกขาดสามเส้นและในที่สุดยกเลิกแนวความคิดทั้งหมด Coast Guard ได้ส่งเรือลำหนึ่งไปปกป้อง Esso Augusta และอีกลำหนึ่งเพื่อเตือนภัยเกี่ยวกับทุ่นระเบิดต่อเรืออีกสามลำที่กำลังจะเข้ามา และเกือบจะอ้อมทุ่นปากช่องอยู่แล้ว ณ ที่นั่นซึ่งได้อนุมานว่าเยอรมันได้วางทุ่นระเบิดในช่องทางนั้น

เรือซึ่งมาใหม่คือ เรือทรอลเลอร์ดีคอาวูซ HMS Kingston Ceylonite และเรือลากจูง SS Warbler ซึ่งกำลังจูง SS De Lisle อยู่ได้รับคำเตือนเข้าไป เมื่อเวลา 1915 ทุ่นระเบิดลูกหนึ่งได้ทำลาย Kingston Ceylonite ขึ้นส่วนของซากเรือขึ้นสุดท้ายได้หายไปภายในสองนาที่ “ทุ่นระเบิดเยอรมันลูกที่สี่ได้ถูกพบ” ในคืนนั้น SS Keshena และ SS Coyote ลากจูง Esso Augusta เข้าไปใน Hampton Roads (Keshena ถูกจมโดยทุ่นระเบิดของสหรัฐฯ เองที่สนาม Hatteras หนึ่งเดือนต่อมา ทุ่นระเบิดเยอรมันอีกลูกหนึ่งได้ถูกเรือ DeLisle นอกฝั่ง St. John ในเดือนพฤศจิกายน)

เมื่อวันที่ 16 มิถุนายน ไม่มีเรือลำใดออกไปจาก Hampton Roads หรือ Newport News ได้มีเรือใดเข้ามายัง Chesapeake Bay เรือกวาดทุ่นระเบิดตรวจสอบพื้นที่ที่สงสัยว่าจะมีทุ่นระเบิดแม่เหล็กและได้พบห้าลูก เรือกวาดทุ่นระเบิดหลายลำได้เลยไปจากช่องทางเดินเรือปกติ แต่ไม่ได้พบทุ่นระเบิดเลย ดังนั้นเรือกวาดทุ่นระเบิดจากโรงเรียนการสงครามทุ่นระเบิดได้ใช้พลังงานเพื่อกวาดทุ่นระเบิดแม่เหล็ก และทุ่นระเบิดเสียง ลำหนึ่งด้วยความผิดพลาดได้กวาดทุ่นระเบิดทอดประจำที่ สิ่งนี้ที่เรือลำนี้ได้พบก็คือ สมอแบบเก่าหนึ่งตัว ในที่สุดทุก ๆ คนก็กวาดทุ่นระเบิดแม่เหล็กแต่ไม่ได้พบเลย และพื้นที่นั้นก็เปิดสำหรับการเดินเรือต่อไป

เช้าวันต่อมาคอนวอยซึ่งมุ่งได้ตามปกติได้เดินทางจาก Hampton Roads ไปยัง Key West เมื่อเวลา 0748 ภายในระยะทางสองไมล์จากทุ่นปากช่องอันตรายนั้น และในพื้นที่ซึ่งคาดว่าพ้นอันตรายแล้ว SS Santore แตะออก โดยทุ่นระเบิดลูกหนึ่งและจมลงไปด้วยถ่านหิน 11,095 ตัน และลูกเรือสามคน

#### 1201. จุดประสงค์

สนามทุ่นระเบิดซึ่งวางโดยเรือ U-701 ได้แสดงให้เห็นความมุ่งประสงค์สำคัญสองประการ ซึ่งอาจได้ประโยชน์โดยการสงครามทุ่นระเบิด

ก. เพื่อทำความเสียหาย หรือทำลายเรือน้ำลึก

ข. เพื่อปฏิเสธข้าศึก ในการใช้ทะเลบางเขต หรืออย่างน้อยที่สุดเพื่อขัดขวางการปฏิบัติของข้าศึกในน่านน้ำเหล่านี้ด้วยการคุกคามจากสนามทุ่นระเบิด

สำหรับสนามทุ่นระเบิดที่จะสำเร็จจุดประสงค์ข้อแรก สนามนั้นจะต้องวางเป็นความลับในย่านที่มีเรือสัญจรไปมามาก ๆ ความลับเป็นสิ่งสำคัญที่สุดเพราะว่าข้าศึกสงสัยว่าจะมีสนามทุ่นระเบิดข้าศึกก็สามารถจะกวาดเพื่อทำลายทุ่นระเบิดนั้นเสีย หรือบางทีก็เพียงแต่เปลี่ยนเส้นทางเดินเรืออ้อมไปก็พอ ความจริงที่ว่าสนามได้ถูกวางเป็นความลับนั้นตามปกติจะถูกจำกัดด้วยจำนวนทุ่นระเบิด ดังนั้น เรือเป็นจำนวนมากต้องผ่านสนามก่อนที่ probability of hit จะโตพอที่จะมีความหมายได้

สนามทุ่นระเบิดที่วางเพื่อให้บรรลุจุดประสงค์ข้อที่สองจะต้องประกาศอย่างครึกโครม เพื่อป้องกันการเข้าศึกมิให้เดินเรือผ่าน เมื่อรู้ว่ามิสนามทุ่นระเบิดข้าศึกจะพยายามทำสนามให้ปราศจากอันตรายโดยการกวาดผลที่ตามมาคือจะต้องอุทิศกำลังและแรงงานส่วนหนึ่งเพื่อรักษาสนามนั้นให้มีผลอยู่เสมอ นี่หมายความว่าสนามนั้นจะต้องได้รับการวางเสริมด้วยอัตราเท่ากับอัตราการกวาดของข้าศึก

สนามป้องกันการเข้าศึกใช้ได้ทั้งทางรุกและรับ ตัวอย่างของทางรุกก็คือ การวางทุ่นระเบิดในท่าเรือข้าศึกเพื่อปฏิเสธข้าศึกมิให้ใช้ท่าเรือ นั้น ๆ อย่างมีประสิทธิภาพ สนามทุ่นระเบิดอาจใช้ในทางรับรอบ ๆ บริเวณ

ทำเรือฝ้ายเดียวกันเพื่อกัน เรือดำน้ำข้าศึก หรือเพื่อป้องกันปรามกองกำลังที่จะมาโจมตี อาจใช้ในบริเวณพื้นที่การยกพลเพื่อป้องกันเรือของกองกำลังยกพลขึ้นบกจากเรือดำน้ำ หรือเรือ PT ข้าศึก

การพิจารณาโดยทั่วไปข้อหนึ่งซึ่งจะต้องสังเกตในการสงครามทุ่นระเบิดก็คือ ทุ่นระเบิดนั้นหลังจากที่ได้วางไปแล้วมันจะไม่แยกแยะได้ว่าเป็นข้าศึกหรือฝ้ายเดียวกัน ทุ่นระเบิดจะทำลายกองกำลังของเราเองหรือของชาติเป็นกลางโดยไม่มีข้อยกเว้นเช่นเดียวกับที่ทำลายเรือข้าศึก ดังนั้น จึงสำคัญที่จะต้องแจ้งสนามทุ่นระเบิดอย่างระมัดระวังต่อกองกำลังของฝ้ายเดียวกันทั้งหมด ซึ่งอาจผ่านสนามทุ่นระเบิดนั้น ๆ ตามกฎหมายระหว่างประเทศ (The Hague Convention, 1907) จำเป็นที่ว่าการมีสนามทุ่นระเบิดซึ่งจะคุกคามเรือของชาติเป็นกลาง จะต้องประกาศให้ชาติเป็นกลางที่เกี่ยวข้องทราบ

การคิดอย่างระมัดระวังจะต้องมีความเป็นไปได้ที่ว่าทำเรือบางท่าในความควบคุมของข้าศึกในวันนี้อาจได้รับการคาดคะเนอย่างมีเหตุผลว่าจะตกอยู่ในมือของฝ้ายเดียวกันได้ในอนาคต ทุ่นระเบิดที่วางไว้เพื่อรบกวนข้าศึกอาจต้องสิ้นเปลืองทั้งแรงงานและเวลา หากทำเรือเหล่านั้นตกเป็นของฝ้ายเรา

#### 1202. ชนิดต่าง ๆ ของทุ่นระเบิด

ทุ่นระเบิดอาจได้รับการออกแบบเพื่อวางพื้นท้องทะเล-หรือแม้แต่ฝังตัวลงในโคลน-เพื่อรอเรือที่จะผ่านมันไป (ทุ่นระเบิดวางติดท้องทะเล) บางทีอาจออกแบบเพื่อให้ลอยใกล้ ๆ ผิวน้ำ ในขณะที่ทิ้งสมอลงไปบนพื้นทะเลด้วยสายลวด (ทุ่นระเบิดทอดประจำที่) หรืออาจออกแบบให้มันลอยไปกับกระแสน้ำ (ทุ่นลอย)

ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของสนามนั้น ๆ การทำงานของทุ่นระเบิดแต่ละลูกจะกระทำได้โดยทางหนึ่งทางใดในสามทางทุ่นระเบิดในความควบคุม (controlled mines) มีประโยชน์ในการป้องกันทำเรือของฝ้ายเราเอง สนามนั้นจะถูกควบคุมอย่างเต็มที่จากสถานีตรวจบนฝั่งเพื่อจะให้ทุ่นระเบิดระเบิดตามที่เรต้องการ หรือการควบคุมจากฝั่งอาจจำกัดเพียง arming หรือ disarming เพื่อให้เรือฝ้ายเดียวกันผ่านสนามทุ่นโดยปลอดภัย ทุ่นระเบิดอิสระ คือ ทุ่นระเบิดที่จะทำงานโดยอัตโนมัติโดยเครื่องมือบางอย่างซึ่งจะทำงานเมื่อมีเรือข้าศึก

ทุ่นระเบิดอิสระอาจทำโดยการกระทบโดยตรงกับเป้า หรือโดยอิทธิพลในการระเบิดอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งต้องการแต่เพียงให้เรื่อนั้นผ่านในระยะใกล้

ถึงแม้จะได้รับการพิจารณาว่าเป็นของล้ำสมัยมาเป็นปี ๆ ทุ่นระเบิดแบบกระทบแตกแบบโบราณก็ยังสามารถใช้อย่างได้ผลเมื่อเร็ว ๆ นี้ อย่างเช่น ในสงครามเกาหลี ทุ่นระเบิดแบบหลักมีรูปร่างกลมมีส่วนที่ยื่นออกมาเรียกว่าเขาเหล่านี้ทำด้วยวัสดุเบาซึ่งจะงอได้โดยง่ายเมื่อกระทบกับตัวเรือ ในแต่ละเขาเป็นขวดแก้วเล็ก ๆ ซึ่งมี electrolyte เมื่อแตกจะปิดวงจรไฟฟ้าและ ทำให้ TNT ภายในตัวทุ่นระเบิดระเบิด

ทุ่นระเบิดอิทธิพลมีอยู่สามชนิด แม่เหล็ก เสียง และความดัน ทุ่นระเบิดแม่เหล็กจะทำงานโดยเมื่อเรือซึ่งเป็นโลหะผ่าน ซึ่งจะทำให้เส้นแรงทางตั้งของสนามแม่เหล็กโลกเปลี่ยนแปลงไป กลไกระเบิดของทุ่นระเบิดเสียงจะมีไฮโดรโฟนติดอยู่ เพื่อตรวจจับเสียงซึ่งเครื่องจักรของเรือทำให้มีขึ้น ทุ่นระเบิดความดันจะแสดงปฏิกิริยาต่อปรากฏการณ์ที่เรือในน้ำตื้นจะก่อให้เกิดคลื่นความดันขึ้นสองคลื่นบนพื้นท้องทะเล ซึ่งแยกจากกันโดยพื้นที่ของความดันต่ำ (ศูนย์)

ถึงแม้ว่าพื้นที่อิทธิพลสำหรับทุ่นระเบิดเหล่านี้ อาจคิดว่าเป็นวงกลมรอบทุ่นระเบิด แต่ส่วนใหญ่แล้วจะออกแบบเพื่อให้การระเบิดนั้นถ่วงเวลาไว้จนกว่ากระทั่งเรือเข้าถึงจุดที่ใกล้ที่สุดต่อทุ่นระเบิด ดังนั้น พื้นที่การทำงานจะลดลงเป็นเส้นตรงที่ยื่นออกไปด้านใดด้านหนึ่งของทุ่นระเบิด แต่ตั้งฉากกับเข็มของเรือ

ความคิดที่ทุ่นระเบิดซึ่งนอนรอคอยอยู่ตลอดกาลในทะเลเพื่อที่จะทำลายเรือ ซึ่งโซคร้ายพอที่จะผ่านเข้าใกล้นั้นนำมาซึ่งความกลัวอย่างสุดขีดหัวใจต่อชาวเรือทุกคน ดังนั้น เครื่องมือสำหรับทำให้ทุ่นระเบิดปราศจากอันตรายหลังจากช่วงเวลาที่ต้องการได้ถูกพัฒนาขึ้นเกือบพร้อม ๆ กับการประดิษฐ์เครื่องกลระเบิดผลของการหมดอายุตามธรรมชาติสามารถที่จะจัดหาให้มีในเครื่องมือใด ๆ ได้ ซึ่งขึ้นอยู่กับกำลังของแบตเตอรี่สำหรับการทำงานของมัน เพราะว่าพอแบตเตอรี่หมดอายุทุ่นระเบิดก็จะไม่มีอันตราย เครื่องมือการทำให้หมดอายุ ที่ควบคุมได้ได้พัฒนาในรูปแบบของเครื่องจักรกลนาฬิกาและวงแหวนซึ่งละลายได้ในน้ำซึ่งจะทำให้วงจรการยิงอาวุธไม่ทำงานภายหลังจากระยะเวลาที่ได้ตั้งไว้

เครื่องมือเพื่อหน่วงเวลาได้จัดขึ้นเพื่อเป็นการป้องกันเรือวาง และเป็นมาตรการต่อต้านการกวาดทุ่นระเบิด เครื่องมือหน่วงเวลาในรูปแบบนาฬิกาวงแหวนละลายในน้ำ จะทำให้ทุ่นระเบิดทำงานหลังจากที่มันได้อยู่ในสนามทุ่นระเบิดเป็นระยะเวลาที่กำหนดไว้ เครื่องมือที่ทันสมัยกว่าจะทำให้ทุ่นระเบิดทำงานเป็น Function กับจำนวนเที่ยวของเรือที่ผ่านไปภายในพื้นที่อิทธิพลของทุ่นระเบิดนั้น ตามปกติจะอยู่ในรูปของการจัดแบบซึ่งเพียงพอมีสปริงให้หมุนไปได้ทางเดียวซึ่งจะตั้งเพื่อให้หน่วงเวลาการระเบิดสำหรับการทำงานจำนวนใด ๆ ก็ได้ก่อนที่วงจรการยิงจะสมบูรณ์ เรือแต่ละลำที่เข้ามาภายในอิทธิพลของทุ่นระเบิดจะทำให้ซึ่งเพียงนั้น เลื่อนตำแหน่งไปหนึ่งตำแหน่งจนกว่าการระเบิดจะเกิดขึ้น

### 1203. การวางทุ่นระเบิด

เรือได้รับการออกแบบและสร้างเพื่อให้มีที่เก็บ การตั้งทุ่นระเบิดและการวางทุ่นระเบิด อย่างไรก็ตามงานการวางทุ่นระเบิดในตัวของมันนั้นอาจกระทำได้ง่าย ๆ โดยเรือแบบใด ๆ ก็ได้ ด้วยการปรับแต่งเพียงเล็กน้อย เกาหลีเหนือได้ใช้เรือสำปั้นวางสนาม ณ วอนซาน กองทัพเรือสหรัฐฯ ใช้เรือข้ามฟากเป็นเรือวางทุ่นระเบิดทั้งสงครามโลกครั้งที่หนึ่งและสอง เรือพิฆาตเป็นพาหนะที่มีประโยชน์มากเมื่อมีความสำคัญเกี่ยวกับ

ความเร็วในน่านน้ำข้าศึก ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่สองเรือพิฆาตหนึ่งหมวดได้จัดให้เป็นเรือวางทุ่นระเบิด (DMs) ได้ทำการวางทุ่นระเบิด 255 ลูก ห่างเพียงหกไมล์หน้ากองกำลังเฉพาะกิจของญี่ปุ่น ซึ่งกำลังเดินลงใต้ที่ The Slot ระหว่างเกาะนิวกอร์เจียและซานตาอิซาเบล ในหมู่เกาะโซโลมอนส์

การวางโดยเรือผิวน้ำจะมีประโยชน์มาก เมื่อความถูกต้องแน่นอนของตำแหน่งของทุ่นระเบิดเป็นสิ่งสำคัญในสนามทุ่นระเบิดและเมื่อกำลังข้าศึกในพื้นที่นั้นอ่อนแอหรือไม่มีเลย อย่างไรก็ตาม เมื่อวางทุ่นระเบิดผิวน้ำเป็นจุดอ่อนต่อการโจมตีโดยปืนใหญ่จากฝั่ง โดยเรือผิวน้ำ โดยหน่วยกำลังทางอากาศหรือใต้น้ำ

การวางทุ่นระเบิดโดยเครื่องบินมีประโยชน์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในน่านน้ำที่อยู่ในการควบคุมของข้าศึก ในเมื่ออากาศยานวางทุ่นระเบิดสามารถเข้าถึงได้โดยโอกาสการถูกตรวจจับต่ำ และข้าศึกมีขีดความสามารถในการต่อสู้อากาศยานต่ำหรือไม่มีเลย เครื่องบินมีประโยชน์เป็นอย่างมากสำหรับการเสริมสนามทุ่นระเบิด

ทุ่นระเบิดอาจทิ้งได้จากเครื่องบินทิ้งระเบิดส่วนใหญ่ หรือแม้แต่เครื่องบินขนส่งด้วยการดัดแปลงส่วนของเครื่องบินเพียงเล็กน้อย เครื่องบินทิ้งระเบิด Liberator และ B-29 ได้รับการใช้อย่างมีประสิทธิภาพสำหรับความมุ่งประสงค์ในระหว่างสงครามโลกครั้งที่สอง ทุ่นระเบิดที่ทิ้งทางอากาศปกติจะคิดรวมซูชีพเพื่อให้ออกไปช้า ๆ และลดความเร็วในการกระแทกด้วย

ความแน่นอนทางตำแหน่งของสนามทุ่นระเบิดที่ทิ้งโดยเครื่องบิน ตามปกติจะเลวมากทั้งเพราะความไม่แน่นอนในการเดินอากาศและการเคลื่อนตำแหน่งของทุ่นระเบิดในอากาศภายหลังที่ปล่อยจากเครื่องบินแล้ว ทุ่นระเบิดจำนวนมากจะไม่มีประสิทธิภาพเพราะว่ามันตกออกนอกเส้นทางเดินเรือหรือเสียหายในขณะที่ตก

ชาวเยอรมันเป็นพวกแรกที่ใช้เรือดำน้ำวางสนามทุ่นระเบิดอย่างปกปิดได้จุกของข้าศึก เหตุการณ์ที่ได้กล่าวแล้วก่อนหน้าเกี่ยวกับเรือ U-701 เป็นตัวอย่างที่ขอดีเยี่ยม ด้วยทุ่นระเบิดที่ออกแบบเพื่อให้สามารถปล่อยออกได้ทางท่อตอร์ปิโดมาตรฐานเรือดำน้ำโจมตีแบบใด ๆ เป็นเรือวางทุ่นระเบิดที่เป็นไปได้ทั้งสิ้น การวางทุ่นระเบิดโดยเรือดำน้ำเป็นทางหนึ่งที่จะได้ความแน่นอนของตำแหน่งที่สูงและด้วย probability ที่ลดลงเป็นอย่างมากที่ยานวางทุ่นระเบิดจะถูกตรวจจับได้ อย่างก็ตาม จะเป็นความผิดอย่างมากที่จะปล่อยให้การประทับใจว่าเรือดำน้ำจะพ้นอันตรายต่อการตรวจจับในดินแดนข้าศึก เรือดำน้ำประมาณต่อการตรวจจับและโจมตี ในเมื่อปฏิบัติการในน่านน้ำคืนพอที่จะวางทุ่นระเบิดได้ และเป็นได้เป็นอย่างมากที่ร่องน้ำทางทะเลซึ่งเปิดโอกาสเป็นอย่างดีต่อการสงครามทุ่นระเบิดจะเป็นน่านน้ำที่ข้าศึกจะรวบรวมกำลังในการปราบเรือดำน้ำ

โดยย่อ ๆ ก็คือเป็นที่ประจักษ์ชัดว่า ข้อได้เปรียบของการสงครามทุ่นระเบิดนั้นไม่มียานใดที่จะออกแบบเป็นพิเศษสำหรับการวาง ชาติใด ๆ ก็ตามด้วยเรือ เครื่องบินทิ้งระเบิด หรือเรือดำน้ำมีกองกำลังวางทุ่นระเบิดที่เป็นไปได้ทั้งสิ้น



1204. การต่อต้านทุ่นระเบิด

การต่อต้านทุ่นระเบิดมีชนิดใหญ่ ๆ อยู่สามชนิด คือ

- ก. เครื่องอุปกรณ์พิเศษ ถูกติดตั้งในเรือเพื่อป้องกันไม่ให้เครื่องมือที่ทำให้ทุ่นระเบิดทำงาน ทำงาน
- ข. การปลดออกทางกายภาพ โดยการทำให้ทุ่นระเบิดในสนามระเบิดหรือ disarming ก่อนที่เรือฝ่าย

เดียวกันจะผ่านสนาม

ค. การเดินเรืออ้อมสนาม

ประการสุดท้ายมีความต้องการการวิจารณ์เล็กน้อย เป็นที่แจ้งชัดว่าถ้าตำบลที่ของสนามทุ่นระเบิดที่ถูกต้องแท้จริงเราทราบได้และถ้าเรือสามารถอ้อมได้โดยปราศจากความไม่สะดวกใด ๆ ข้าศึกก็จะกระทำเช่นนั้น

ในเมื่อจำเป็นที่จะต้องใช้น่านน้ำที่รู้หรือสงสัยว่าจะมีทุ่นระเบิดอยู่ ดังนั้นปฏิบัติการกวาดหรือการล่าก็จำเป็นเพื่อเปิดช่องทางเพื่อให้เรือผ่านได้ ในน่านน้ำที่ตื้นและน้ำใสทุ่นระเบิดทอดประจำที่อาจที่จะเห็นได้จากเรือโบ๊ตหรือเฮลิคอปเตอร์ปฏิบัติการล่าประกอบด้วยการค้นหาตำบลที่ของทุ่นระเบิดแต่ละลูกและแล้ว disarming หรือทำลายเสีย

ปฏิบัติการกวาดทุ่นระเบิดเปลี่ยนแปลงไปตามชนิดของทุ่นระเบิด สำหรับทุ่นระเบิดทอดประจำที่สายเคเบิลพร้อมด้วยเครื่องมือ paravane เพื่อยึดเคเบิล ณ ปลายสุด และเพื่อให้มันทำมุมกับเรือกวาดจะถูกลากไปในน้ำ ตลอดสายเคเบิลเป็นระยะๆ จะติดกรรไกรซึ่งจะตัดสายยึดทุ่นระเบิดที่มันพบ ดังนั้นทุ่นระเบิดก็จะลอยขึ้นมายังผิวน้ำและสามารถยิงทำลายได้

ทุ่นระเบิดที่วางติดพื้นท้องทะเลจะไม่เป็นเหยื่อต่อการกวาดชนิดนี้ อย่างไรก็ดี ทุ่นระเบิดอิทธิพลบางชนิดสามารถที่จะทำลายได้ โดยการลากเครื่องมือเพื่อเลียนสนามอิทธิพลของเรือและดังนั้นก็จะทำให้ทุ่นระเบิด เครื่องทำเสียงอาจใช้เพื่อทำให้ทุ่นระเบิดเสียงทำงาน เครื่องมือที่ก่อให้เกิดสนาม electromagnetic เพียงพอที่จะรบกวนแรงทางตั้งแห่งสนามแม่เหล็กโลกอาจใช้เพื่อทำให้ทุ่นระเบิดแม่เหล็กทำงาน

ทุ่นระเบิดที่ต่อต้านขากที่สุดคือ ทุ่นระเบิดความดัน ความยุ่งยากอยู่ที่ความพยายามที่จะก่อให้เกิดความดันพอของเรือขนาดใหญ่ ซึ่งเคลื่อนตัวโดยปราศจากการใช้เรือใหญ่แล่น เครื่องมือในการกวาดเช่นนั้นราคาแพงมากที่จะพิจารณาได้ แต่อย่างไรก็ตาม อาจคุ้มค่าเหนื่อยที่จะสังเกตว่ายุทธวิธีป้องกันทุ่นระเบิดวิธีหนึ่งซึ่งจะใช้ได้ก็คือ การแล่นเรือผ่านสนามทุ่นระเบิดที่น่าสงสัยเป็นกระบวนเรียงตามกัน เพื่อว่าทั้งหมดยกเว้นลำหน้าที่จะเสี่ยงอันตรายในน่านน้ำที่ได้กวาดเรียบร้อยแล้ว

การกวาดทุ่นระเบิดเป็นงานที่ซ้ำ ราคาแพง และกดประสาท จะสำเร็จผลได้เพียงแค่บางระดับ (degree) คำว่า “sterilized” มักจะใช้เพื่อบรรยายถึงสนามทุ่นระเบิดที่คิดว่าปราศจากอันตรายด้วยปฏิบัติการกวาดทุ่นระเบิดหรือการล่า อย่างไรก็ตาม ไม่สามารถที่จะเชื่อมั่น 100% ว่าทุ่นระเบิดทุกลูกได้ถูกทำลายไปแล้ว เพียงแต่

เป็นไปได้ที่จะลด probability ที่เรือจะถูกทำลายโดยทุ่นระเบิดลง ณ ระดับที่ยอมรับได้ของผู้บังคับบัญชาที่มีความรับผิดชอบในการส่งกองกำลังเข้าไปยังน่านน้ำที่มีทุ่นระเบิดด้วยเครื่องมือ delayed arming ซึ่งได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้แล้วเป็นไปได้ที่ปฏิบัติการทุ่นระเบิดที่จะต้องกระทำซ้ำแล้วซ้ำอีกเพียงเพื่อที่จะหาว่าเมื่อการเดินเรือเริ่มต้นเคลื่อนตัวผ่านสนามทุ่น กลุ่มของทุ่นระเบิดอีกกลุ่มหนึ่ง ก็ active แล้ว

มาตรการแบบ passive บนเรือที่ใช้เพื่อต่อต้านทุ่นระเบิดนั้นเปลี่ยนแปลงไปกับชนิดของทุ่นระเบิด ซึ่งเรือจะต้องป้องกันในฐานะการป้องกันทุ่นระเบิดแม่เหล็กก็ใช้ชุด degaussing เพื่อต่อต้านการเปลี่ยนแปลงของสนามแม่เหล็กโลกซึ่งตัวเรือโลหะจะก่อให้เกิดขึ้นได้ การป้องกันทุ่นระเบิดเสียงและความดันอากาศทำได้โดยการเคลื่อนตัวอย่างช้า ๆ ด้วยเสียงเครื่องจักรให้น้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อต่อต้านทุ่นระเบิดกระทบแตก ทอดประจำที่นั้นการป้องกันที่ดีที่สุดก็คือ การตรวจจับทุ่นระเบิดโดยโซนาร์ เฮลิคอปเตอร์ หรือวิธีตรวจการณ์ทางสายตาอื่น ๆ และแล้วก็คือการ Maneuver เรือเพื่อเลี่ยงทุ่นระเบิด

#### 1204. การสร้างสนามทุ่นระเบิด

ในการถกแถลงที่จะมีต่อไปนั้นเป็นที่เข้าใจกันแล้วว่าการพิจารณาเบื้องต้นในการวางแผนสนามทุ่นระเบิดนั้นก็คือการที่จะใช้ทุ่นระเบิดได้ในน่านน้ำนั้น ๆ ในการพิจารณานี้มีปัจจัยอยู่สองประการคือ

ก. ในเมื่อจุดประสงค์คือการทำลายเรือ เป็นสิ่งสำคัญว่าการสร้างสนามนั้นจะต้องไม่ถูกตรวจจับโดยข้าศึก

ข. ในเมื่อจุดประสงค์คือการปฏิบัติ ข้าศึกไม่ให้ใช้น่านน้ำบางแห่ง ผู้บังคับบัญชาต้องตัดสินใจว่าจุดประสงค์นั้นคุ้มกับการเสี่ยงของกองกำลังวางทุ่นระเบิดหรือไม่

เพื่อที่จะใช้ทุ่นระเบิดที่วางกับพื้นท้องทะเลอย่างมีประสิทธิภาพนั้น จะต้องแน่ใจว่าน้ำตื้นพอควรเพื่อว่าเรือต่าง ๆ จะอยู่ภายในระยะทำลายของทุ่นระเบิด ผลของน้ำขึ้นน้ำลงและกระแสน้ำเช่นเดียวกันกับความลึกของน้ำก็เป็นการศึกษาที่สำคัญในการใช้ทุ่นระเบิดทอดประจำที่ ที่ซึ่งน้ำขึ้นน้ำลงมีการเปลี่ยนแปลงมากทุ่นระเบิดทอดประจำที่อาจจมลงไปมากเกินไปที่จะมีผลเวลาน้ำขึ้นสูง และจะโผล่ให้เห็นได้เมื่อน้ำลงมาก เมื่อกระแสน้ำแรงมากทุ่นระเบิดทอดประจำที่อาจถูกลากไปไกล ๆ ได้น้ำวันละหลาย ๆ ชั่วโมง

นอกจากการพิจารณาเบื้องต้นเกี่ยวกับการวางทุ่นระเบิดแล้ว ประสิทธิภาพของสนามนั้นเป็น function ของปัจจัยอื่น ๆ อีกหลายอย่าง

ก. ความหนาแน่นของการสัญจรไปมาของเรือข้าศึก

ข. ความหนาแน่นของทุ่นระเบิดในสนามซึ่งเป็น function ของจำนวนของทุ่นระเบิดและพื้นที่ของสนามทุ่นระเบิด

ค. พื้นที่ประสิทธิผลของอิทธิพลของทุ่นระเบิดที่ใช้

ง. พื้นที่อิทธิพลซึ่งมีประสิทธิผลของเรือที่ผ่านซึ่งเป็น function ของความยาวของเส้นทางผ่านสนามและความกว้างของพื้นที่อิทธิพลของเรือ

ปัญหาซึ่งนักวางแผนวางสนามทุ่นระเบิดเผชิญอยู่ก็คือ ระดับหนึ่งของหลาย ๆ ระดับแห่งประสิทธิผลภายใต้ข้อจำกัดบางประการ

ก. กำหนดมิติและการสัญจรของสนามทุ่นระเบิดเฉพาะให้ จำนวนทุ่นระเบิดที่ต้องการที่น้อยที่สุดเป็นเท่าไร ?

ข. เมื่อกำหนดสนามให้เป็นเช่นเดียวกันพร้อมด้วยจำนวนของทุ่นระเบิด จะวางทุ่นระเบิดอย่างไรเพื่อให้ได้ประสิทธิผลมากที่สุด ?

จงพิจารณาถึงสนามทุ่นระเบิดซึ่งจุดประสงค์คือ การทำลายเรือข้าศึก อาจหวังได้ว่าเรือหลายลำอาจจะเปลอเข้ามาในสนามก่อนที่ข้าศึกจะพิสูจน์ทราบสนามได้และเรือต่าง ๆ จะเบนหนีไป กรณีเช่นสนามทุ่นระเบิดของเรือ U-701 นอก Virginia Capes อย่างไรก็ดี ตามความจริงแล้วเราสามารถนับได้เพียงทุ่นระเบิดลูกเดียวที่ระเบิดเท่านั้น หลังจากนั้นแล้วมาตรการต่อต้านทุ่นระเบิดของข้าศึกจะพยายามที่จะทำให้สนามนั้นไม่มีประโยชน์ ดังนั้นมาตรวัดประสิทธิผลสำหรับสนามเช่นนั้นคือ probability ที่เรือจะจม

โดยทั่วไปแบบจำลองของสนามทุ่นระเบิดจะขึ้นอยู่กับรากฐานของสมมติตั้งต่อไปนี้.-

ก. ทุ่นระเบิดได้วางเป็นความลับและข้าศึกไม่ได้ระแวงว่ามีสนามอยู่

ข. เรือผ่านสนาม โดยเข็มหนึ่งในสองเข็มที่ทราบ เข็มทั้งสองนี้ขนานกันแต่ตรงกันข้าม

ค. เรือซึ่งได้รับการพิจารณาว่าเป็นการจราจร ต้องผ่านอยู่ภายในเขตจำกัดด้านนอกของสนามแต่จะมีโอกาสที่จะเข้าสนาม ณ จุดใดระหว่างเขตจำกัดทั้งสองเท่า ๆ กัน

ง. เรือซึ่งเข้าพื้นที่อิทธิพลของทุ่นระเบิดนั้นระเบิดขึ้นด้วยความแน่นอน ทุ่นระเบิดซึ่งระเบิดจะจมเรือด้วยความแน่นอน

#### 1206. สนามทุ่นระเบิดวางเป็นกระสวน

จงพิจารณาสนามซึ่งทุ่นระเบิดได้วางเป็นชุดแถว ๆ ตั้งฉากกับทิศทางของการจราจรและด้วยระยะเท่า ๆ กันระหว่างทุ่นระเบิดแต่ละลูกในแต่ละแถว probability ที่เรือลำใด ๆ จะถูกจมในขณะที่พยายามจะผ่านแถวแรกจะเป็น

$$p_1 = \frac{d}{D} = \frac{d}{D}$$

โดยที่

$d$  = เส้นผ่าศูนย์กลางกลางของท่อนระเบิดที่มีอิทธิพลอย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือ เรือใด ๆ ซึ่งเส้นแนวกลางลำผ่านภายในระยะ  $d/2$  ของท่อนระเบิดจะทำให้ท่อนระเบิดระเบิดขึ้น และ

$D$  = ระยะระหว่างท่อน

สมมติว่าสนามประกอบด้วย 1 แถวซึ่งขนานกัน และ probability ของการผ่านโดยได้ผลของแต่ละแถวเป็นเช่นเดียวกันสมมติ (กำหนดให้) ว่าเรือไม่ถูกทำลายมาก่อนหน้านี้ probability ที่เรือลำใด ๆ จะพ้นอันตรายจากแต่ละแถวจะเป็น

$$1 - \frac{d}{D}$$

และ probability ที่จะพ้นอันตรายจาก 1 แถว จะเป็น

$$\left(1 - \frac{d}{D}\right)^1$$

ถ้าหวังไว้ว่าท่อนจะยังคง active อยู่  $m$  เดือน และอัตราการจราจรเป็น  $t$  ลำต่อเดือน ดังนั้น probability ที่เรือทุกลำจะพ้นอันตรายจากทุก ๆ แถว จะเป็น

$$\left(1 - \frac{d}{D}\right)^{1tm}$$

ดังนั้น probability ที่อย่างน้อยที่สุดเรือหนึ่งลำจะจม หรือ  $p(s = 1)$  อาจเห็นได้อย่างเช่น

$$P(S = 1) = 1 - \left(1 - \frac{d}{D}\right)^{1tm}$$

โดยที่  $S$  เป็น random variable ซึ่งบ่งชี้ถึงจำนวนของเรือที่จม ถ้าภายหลังที่เรือลำแรกจมไปมาตรการต่อต้านท่อนระเบิด ทำให้สนามไม่มีประโยชน์ ดังนั้นจะไม่มีเรือที่จมที่เป็นไปได้มากกว่าหนึ่งลำและสมการ 12-1 แทน probability ของ Exactly one sinking ใน  $m$  เดือน จึงสังเกต term

$$\left(1 - \frac{d}{D}\right)^1$$

พูดอย่างทางอุทกการจะกล่าวได้ว่า conditional probability ที่เรือลำหนึ่งได้ฝ่าผ่านแถวทุก ๆ แถว ของทุ่นระเบิดจะผ่านแถวต่อไปจะเป็นค่าคงที่ สิ่งนี้จะไม่เป็นกรณีเช่นนี้เสมอไป ยกตัวอย่าง จงพิจารณาสนามทุ่นระเบิดดังต่อไปนี้.-



ในลักษณะของการสมมติข้อ ข. เรือซึ่งผ่านแถวที่หนึ่งไปสำเร็จก็จะผ่านแถวอื่น ๆ ต่อไปสำเร็จด้วย ในทางตรงกันข้าม

ถ้าการวางทุ่นระเบิดในแต่ละแถววางเหลื่อม ๆ กันจนกระทั่งว่าไม่มีแถวใดที่จะสร้างภัยคุกคามเหมือนกันเลย ผลก็คือคล้าย ๆ กัน คือ การลด  $d$  ด้วยจำนวน  $d$  สำหรับแต่ละแถวต่อไปซึ่งเรือผ่าน สิ่งนี้จะมีผลทำให้สนามดีขึ้นโดยการลด probability ของการอยู่รอดในแต่ละแถวโดยกำหนดให้ว่าได้ผ่านแถวก่อนหน้านี้มาอย่างได้ผล ผลของสิ่งนี้หรือตามข้อสมมติ ข. จะไม่มี

ดังนั้นแบบจำลองของสนามตามยถากรรมซึ่งจะถกแถลงในข้อต่อไปจะมีความเหมาะสมกว่า

1207. สนามทุ่นระเบิดวางตามยถากรรม

ในทางปฏิบัติอาจเป็นไปได้หรือไม่ต้องการที่จะวางทุ่นระเบิดเป็นกระสวน แต่จะวางทุ่นระเบิดตามยถากรรมในพื้นที่ที่ต้องการ จงพิจารณากรณีที่วางระเบิด  $n$  ลูก ตามยถากรรมในสนามซึ่งมีพื้นที่  $A$  ข้อสมมติ ข. อาจเฉยเมยได้ แต่จำเป็นที่จะต้องรู้บ้างถึงความแน่นอนเกี่ยวกับระยะทาง  $L$  ซึ่งเรือจะต้องเดินทางผ่านสนาม เป้าซึ่งเป็นไปได้จะกวาดพื้นที่  $Ld$  ตลอดสนาม probability ที่เรือนั้นจะจมโดยทุ่นระเบิดลูกใดลูกหนึ่งจะเท่ากับ probability ที่ทุ่นระเบิดลูกนั้นจะอยู่ในพื้นที่ซึ่งได้กวาดไป หรือ

$$p_1 = \frac{Ld}{A}$$

เพราะว่ามีโอกาสเท่า ๆ กันที่ทุ่นระเบิดจะอยู่ในจุดใดในพื้นที่นั้น probability ที่เรือจะรอดพ้นอันตรายจะเป็น

$$1 - \frac{Ld}{A}$$

Probability ที่เรือจะรอดพ้นอันตราย ถ้ามีทุ่นระเบิด  $n$  ลูก ในสนามนั้นจะเป็น

$$\left(1 - \frac{LD}{A}\right)^n$$

และ probability ที่เรือ  $tm$  ลำ ซึ่งเดินผ่าน  $m$  เดือน จะรอดพ้นอันตรายจะเป็น

$$\left(1 - \frac{Ld}{A}\right)^{ntm}$$

ประการสุดท้าย probability ที่เรือลำหนึ่งหรือมากกว่าจะจม จะเป็น

สมการ 12-2

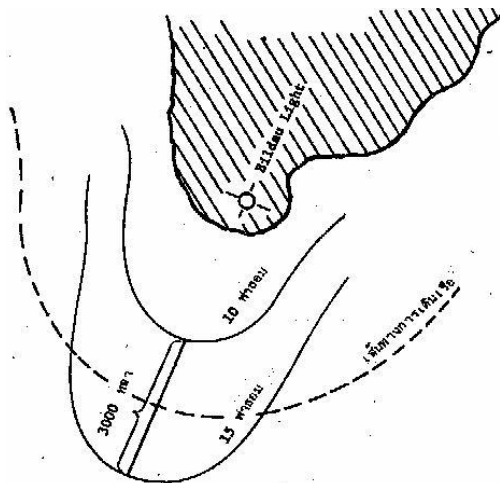
$$P(S = 1) = 1 - \left(1 - \frac{Ld}{A}\right)^{ntm}$$

ทั้งรูปแบบจำลองนี้และรูปแบบจำลองแบบสนามทุ่นระเบิดวางเป็นกระสวนจะใช้ได้ทุกชนิดของทุ่นระเบิด ถ้าใช้ทุ่นระเบิดกระแทกแตกเส้นผ่าศูนย์กลางอิทธิพลของทุ่นระเบิดจะกลายเป็นความกว้างของเรือบวกกับเส้นผ่าศูนย์กลางของทุ่นระเบิดนั้น

-----

### ปัญหา

1. เส้นทางหลักของเรือสินค้าเข้าศึกเลียบฝั่งจะผ่าน Bildau Point เป็นที่คาดหมายว่าจำนวนเรือเฉลี่ยที่ผ่านจุดนี้จะเป็น 10 ลำต่อเดือน และโดยทางภูมิศาสตร์เฉพาะทำให้เรือทุกลำจะผ่านระหว่างเส้นโค้งที่มีความลึก 10 และ 15 ฟาธอม ถึงแม้จะไม่ค่อยจะปลอดภัย สำหรับเรือดำน้ำที่จะยิงตอร์ปิโดในพื้นที่นี้มันก็เป็นไปได้ที่เรือดำน้ำจะลอดเข้ามาวางสนามทุ่นระเบิด แล้วถอยออกไปยังย่านน้ำลึก แผนก็คือจะวางทุ่นระเบิดกับเส้นทางของเรือสินค้าระหว่างเส้นโค้งของความลึก 10 และ 15 ฟาธอม นี้ ทุ่นระเบิดแม่เหล็กอาจจะระเบิดได้โดยเรือสินค้า ข น ๑ คเฉลี่ย ถ้ามันผ่านในวงกลมที่มีรัศมี 45 ฟุต จากทุ่นระเบิด



ก. อะไรคือข้อความทางคณิตศาสตร์ที่จะให้ประสิทธิผลของสนาม?

ข. อะไรคือประสิทธิผลของสนาม ถ้าใช้ทุ่นระเบิดห้าลูก และทุ่นจะทำงานได้ในช่วงสองเดือน?

ค. อะไรคือจำนวนทุ่นระเบิดที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ เพื่อให้ความน่าจะเป็นโตกว่าหรือเท่ากับ 0.9 ที่อย่างน้อยที่สุด

เรือจะถูกจมหนึ่งลำ

2. เนื่องจาก Bildau Point อยู่ห่างไกลจากศูนย์กลางชุมชน เป็นไปได้ที่ทุ่นระเบิดจะถูกวางโดยเครื่องบินแบบ AD สองเครื่องจากฐานบินบนเรือบรรทุกเครื่องบินซึ่งบินด้วยความสูง 50 ฟุต ภายในระยะ 100 ไมล์จากฝั่ง จะปฏิบัติการวางสนามทุ่นระเบิดนี้แล้วบินกลับออกไปอย่างปลอดภัย สนามทุ่นระเบิดเช่นนั้นจะพิจารณาได้ว่าไม่เข้าสนามที่เป็นกระสวน เนื่องจากความไม่แน่นอนของการเดินเรือ และผลจากลมที่มีต่อทุ่นระเบิด ถึงแม้ทุ่น

ระเบิดจะตกลงระหว่างเส้นโค้งของน้ำลึก 10 และ 15 ฟาธอน ก็ตาม แต่ก็เป็นไปได้ที่มันจะตกในตำแหน่งประมาณ 300 หลา จากเส้นนั้น ตามที่แสดงให้เห็นในรูปของโจทย์ข้อที่หนึ่ง

ก. ถ้าเครื่องบิน AD แต่ละเครื่อง สามารถบรรจุทุ่นระเบิดได้สองลูก อะไรคือประสิทธิผลของสนามนี้ ?

ข. จะต้องใช้ทุ่นระเบิดจำนวนเท่าใด เพื่อให้ได้ประสิทธิผลอย่างน้อยที่สุด 0.90 ?

ค. สมมติว่าเป็นไปได้ที่จะจำกัดให้เรือสินค้าใช้ช่องทางกว้าง 6000 หลา และมีทุ่นระเบิดสี่ลูกถูกวางตามขัณกรรมในส่วน 3,000 หลา ของช่องทางนี้ ประสิทธิผลของสนามนี้จะเปลี่ยนแปลงไปเท่าใด

3. สนามทุ่นระเบิดสนามหนึ่งจะวางอย่างลับ ๆ ด้วยจุดประสงค์ที่จะจมเรือหนึ่งลำ พอข้าศึกรู้ว่ามิสนามทุ่นระเบิด ข้าศึกก็จะเปลี่ยนเส้นทางได้ง่าย ๆ และดังนั้นก็ทำให้สนามนั้นไม่มีผลต่อไป สมมติว่าจะใช้ทุ่นระเบิดแม่เหล็กและมีอิทธิพล 45 ฟุต (เส้นผ่าศูนย์กลาง) แต่ไม่อาจจมเรือได้หากว่าเส้นศูนย์กลางเรือผ่านทุ่นระเบิดเกินระยะ 15 ฟุต

ก. ถ้าวางทุ่นระเบิดชนิดนั้น 10 ลูก ระยะห่างเท่า ๆ กัน เป็นเส้นตรงเส้นเดียววางช่องทางซึ่งกว้าง 1,000 หลา อะไรคือโอกาสที่จุดประสงค์นั้นจะบรรลุผลในสองสัปดาห์หรือน้อยกว่า ถ้าเรือสินค้าผ่านช่องทางนี้สามลำในหนึ่งสัปดาห์

ข. ถ้าทุ่นระเบิด 10 ลูก ถูกวางอย่างขัณกรรมในช่วงเส้นตรง 2,000 หลา ในช่องทางนี้ อะไรคือความน่าจะเป็นของการจมเรือ ?

ค. มีวิธีวางที่ดีกว่าจะวางทุ่นระเบิด 10 ลูกนี้ไหม ?



## บทที่ 13

### ประสิทธิผลของระบบและความเชื่อถือได้

#### (System Effectiveness and Reliability)

ในบทก่อน ๆ ได้กล่าวถึงถึงการปฏิบัติการทางเรือหลายอย่างด้วยกัน สำหรับแต่ละปฏิบัติการพร้อมด้วยจุดประสงค์เฉพาะของมัน การวัดประสิทธิผลได้พัฒนาขึ้นเพื่อพยากรณ์ผลของการปฏิบัติการนั้น สำหรับแต่ละหนทางเลือกที่มีในแทบทุก ๆ สาขาปฏิบัติการเหล่านี้ความสำเร็จขึ้นอยู่กับไม่เพียงแต่คน และยุทธวิธีเท่านั้นแต่ขึ้นอยู่กับระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ทันสมัยด้วยระบบต่าง ๆ เหล่านี้ได้รับการสมมติว่ามีขีดความสามารถที่กำหนดไว้ในทอมของคุณลักษณะต่าง ๆ เช่นความเร็ว, ความแน่นอน และระยะ มีความจำเป็น ณ บางจุดในการวัดประสิทธิผลของระบบในอันที่จะต้องพิจารณาปัจจัยเพิ่มเติมบางประการเป็นที่แจ่มชัดว่าระบบที่ดีที่สุดที่จะไม่มีค่าอะไรเลยเมื่อมันเสีย และชิ้นส่วนอะไหล่ไม่มี ช่างเทคนิคไม่สามารถตรวจหาความบกพร่องได้ หรือว่าเวลาของการซ่อมเกินกว่าเวลาของภารกิจ สิ่งจำเป็นต่าง ๆ เหล่านี้ และอื่น ๆ จะได้รับการพิจารณาอย่างละเอียดยิ่งขึ้นในการทดลองเรื่องการสนับสนุนทางการส่งกำลังบำรุง (logistic Support – LS)

#### 1301. การสนับสนุนทางการส่งกำลังบำรุง

ในองค์การใหญ่ใด ๆ เช่น ทร.สหรัฐ ปัญหาของการจัดสรรหาทางพลาธิการต่อเรือเป็นจำนวนมากนั้นต้องการองค์การสนับสนุนทางการส่งกำลังบำรุงที่ใหญ่หลวงและประสิทธิภาพสูง

คำว่า logistic support อย่างที่ใช้ ณ ที่นี้อาจได้รับความนิยามดังนี้

“การรวบรวมการกระทำที่จำเป็นเพื่อความแน่ใจแห่งประสิทธิผล และประหยัดแห่งการปฏิบัติของระบบและอุปกรณ์ ซึ่งทำงานด้วยกันก่อเป็นระบบอาวุธและเป็นกำลังปฏิบัติการอีกต่อหนึ่ง”

LS หมายถึงการพลาธิการและตามคำจำกัดความซึ่งเป็นทางการได้หมายถึงการปฏิบัติซึ่งครอบคลุม

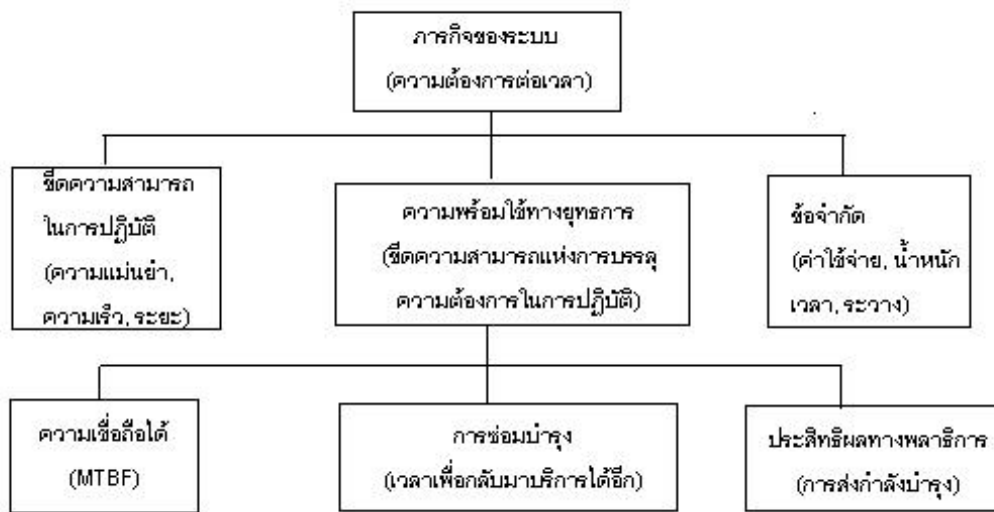
- ก. การวิจัย พัฒนา ทดสอบ และการตีค่า
- ข. ความต้องการ การเก็บ การจ่าย การแจกจ่ายและการบำรุงรักษาวัสดุ
- ค. การวางแผน การเกณฑ์ การฝึก การบรรจุและการใช้กำลังพล
- ง. การจัดหา หรือการก่อสร้างและการบำรุงรักษาสิ่งอำนวยความสะดวก
- จ. การงบประมาณ การแจกจ่ายและการบัญชีการเงิน

LS ทางเรือทำให้ระลึกถึงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ใช้และผู้ผลิต ผู้ใช้คือส่วนที่เรียกว่ากำลังปฏิบัติการ และองค์การสนับสนุน ซึ่งสนองความต้องการของกำลังปฏิบัติการถูกอ้างถึงในฐานะผู้ผลิตกิจการการสนับสนุน บริการ และวัสดุอยู่ภายใต้การบังคับบัญชาของ Chief of Naval Material (CNM), Chief of Naval Personnel (CNP) และ Chief of Bureau of Medicine and Surgery (CBM&S)

ความสัมพันธ์มูลฐานระหว่างผลประโยชน์ของผู้ใช้และผู้ผลิตจะกระทบกระเทือน โดยการเสนอความต้องการโดย ผู้ใช้และทรัพยากรอันจำกัดที่มีอยู่ต่อผู้ผลิต ภายในข้อจำกัดเหล่านี้ หน่วยของ LS จะต้องมีการร่างเพื่อสนองความต้องการของหน่วยกองเรือและระบบอาวุธของหน่วยต่าง ๆ เหล่านี้

ส่วนสำคัญทางการส่งกำลังบำรุงและปัจจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งจะมีผลต่อขีดความสามารถของระบบในอันที่จะปฏิบัติการกิจได้แสดงไว้ในไดอแกรมต่อไปนี้

รูปที่ 13 - 1



ปัจจัยที่จะตัดสินประสิทธิภาพของระบบอาวุธ

ความยุ่งยากที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ วันของระบบอาวุธและเครื่องมืออุปกรณ์ใหม่ ๆ พร้อมด้วยค่าใช้จ่ายของระบบเหล่านี้ที่สูงขึ้น มีส่วนผลักดันเป็นอย่างมากให้รู้จักกับ “ความเชื่อถือได้” องค์การของกำลังกระทำเพื่อคงไว้ซึ่งประสิทธิผลของระบบอาวุธตลอดชีวิตของความต้องการทางภารกิจของระบบอาวุธเหล่านี้ การใช้งานได้โดยติดต่อกันอย่างสูงสุดก็เท่ากับการได้มาซึ่งประสิทธิผลทางยุทธการที่เป็นไปได้ที่สูงที่สุด

มาตรวัดหลักแห่งประสิทธิผลของระบบเราเรียกว่า “ความพร้อมในการยุทธการ (operational availability)” และอ้างถึงเวลาทั้งหมดระหว่างความยาวนานของภารกิจเมื่อระบบอาวุธหรืออุปกรณ์นั้นมิใช่ความสามารถที่จะปฏิบัติงานได้ตามมาตรฐานที่กำหนดไว้ ความพร้อมใช้ทางยุทธการอาจได้รับการนิยามสำหรับระบบหรืออุปกรณ์ที่ปฏิบัติงานติดต่อกันไปว่าเป็นอัตราส่วนของ “เวลาที่มีเมื่อต้องการ” กับ “เวลาทั้งหมดที่มี” ความพร้อมใช้ทางยุทธการขึ้นอยู่กับความเชื่อถือได้ และการซ่อมบำรุง ความเชื่อถือได้คือ

probability ที่ชิ้นส่วนนั้นจะทำงานได้ตามที่คาดหวังไว้ สำหรับระยะเวลาทั้งหมดของภารกิจและโดยทั่ว ๆ ไปจะมีหน่วยวัดในเทอมของ “mean time between failures (MTBF)” ซึ่งสามารถที่จะแปลได้ว่าเป็น probability of failures ถ้าการกระจายของการเสีย สามารถที่กำหนดหาได้ การซ่อมบำรุงในความสัมพัทธ์นี้เป็นปัจจัยหลักและสามารถที่จะนิยามได้ว่าเป็น Probability ที่ระบบ ซึ่งไม่สามารถปฏิบัติงานได้ด้วยเหตุใด ๆ ก็ตาม สามารถที่จะกลับมาให้บริการได้อีกในเวลาที่กำหนดให้

คุณลักษณะของบทรูทจะอุทิศให้กับการถกแถลงของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีอิทธิพลต่อความเชื่อถือได้ ของระบบควบคู่ไปกับคณิตศาสตร์ที่ต้องการเพื่อแสดงถึงความเชื่อถือได้นี้ทางตัวเลข

### 1302. ชนิดต่าง ๆ ของการเสีย

โดยเหตุที่ความเชื่อถือได้เกี่ยวข้องกับการทำงานในช่วงเวลาที่กำหนดให้ หรือโดยการปฏิบัติการกิจบางภารกิจให้สำเร็จในช่วงเวลาเฉพาะ ดังนั้นจึงมีเหตุผลที่จะศึกษาถึง failure ต่าง ๆ ในลักษณะของเวลา โดยทั่ว ๆ ไป failure จะแบ่งได้เป็นสามประเภทคือ

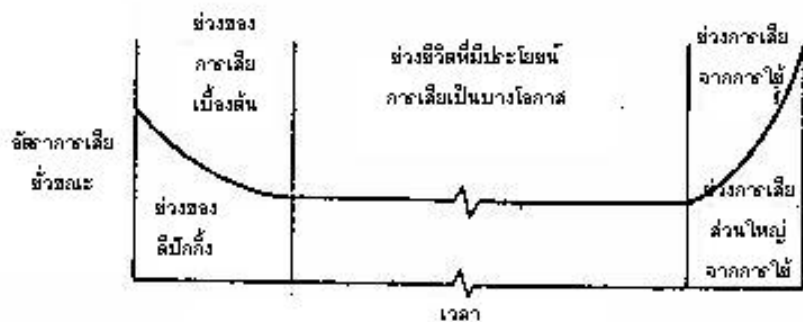
ก. การเสียเบื้องต้น (initial failures) มีสาเหตุมาจากข้อบกพร่องมีตั้งแต่เวลาที่อุปกรณ์หรือชิ้นส่วนได้ใช้ปฏิบัติการเป็นครั้งแรก ข้อบกพร่องเช่นนั้นมีผลมาจากเหตุการณ์ในชีวิตก่อนการใช้ของส่วนประกอบ อย่างเช่น ความผิดหรืออุบัติเหตุในระหว่างการสร้าง การประกอบ การเก็บหรือการขนส่งเครื่องอุปกรณ์ การเสียเบื้องต้นนี้จะสำรวจได้ในระหว่างชีวิตการใช้ตอนแรกของอุปกรณ์นั้น ๆ และตามปกติจะถูกทิ้งไปโดยการตรวจสอบส่วนประกอบหรืออุปกรณ์ก่อนที่จะใช้ปฏิบัติการ ดังนั้นการเสียเบื้องต้นจะไม่มีผลกระทบต่อความเชื่อถือได้ในการใช้เลย เมื่อการเสียเบื้องต้นได้รับการแก้ไขแล้ว อัตราการเสียของเครื่องอุปกรณ์นั้นตามปกติจะลดลงจนเหลือต่ำในช่วงชีวิตการใช้งานของอุปกรณ์นั้น

ข. การเสียเป็นบังโอกาสหรือตามยถากรรม (chance or random failures) มีผลมาจากที่หลีกเลี่ยงมิได้พยากรณ์ไม่ได้หรือที่ผิดไปจากปกติซึ่งเกินความคาดกัน ซึ่งการต้านทานการเสียของชิ้นส่วนหรือส่วนประกอบในระหว่างช่วงชีวิตอันปกติของมัน capacitor ซึ่งเกิดเสียขึ้นอันเนื่องมาจากผลของแรงเคลื่อนไฟฟ้าสูงขึ้นจนผิดปกติเป็นตัวอย่างที่ดี

ค. การเสียเนื่องจากการใช้ (wear – out failures) อันเป็นผลมาจากการหมดไปหรือการเสื่อมของวัสดุหรือคุณสมบัติที่จำเป็นสำหรับการปฏิบัติงานที่ถูกต้องของส่วนประกอบ การหมดไปนี้อาจมีผลมาจากการสึกหรอ ปฏิกริยาทางเคมี ฯลฯ ตัวอย่างเช่นการหมดอายุทางเคมีของ dry cell ของแบตเตอรี่ การเปราะของฉนวนของสายไฟฟ้า ข้อต่อทางเมคานิกส์กร่อนและ แบตเตอรี่หมดอายุใช้งาน ในกรณีส่วนใหญ่การเสียชนิดนี้สามารถที่จะป้องกันได้โดยการออกแบบให้ดีขึ้น หรือการเปลี่ยนส่วนประกอบต่าง ๆ ก่อนที่จะหมดอายุเฉลี่ยของมัน

การเสียทั้งสามประเภทนี้สามารถแทนได้ในรูปต่อไปนี้

รูปที่ 13 - 2



เส้นโค้งอัตราการเสียแบบอ่างอาบน้ำ

curve “อ่างอาบน้ำ” นี้แสดงให้เห็นถึง “อัตราการเสียในทันทีทันใด” (instantaneous – failure) ที่ได้พลอตไว้กับแกนของเวลา จากชนิดทั้งสามของการเสียเพียงแต่สองชนิดหลังคือ การเสียเป็นบางโอกาสและการเสียเนื่องจากการใช้จะได้รับการพิจารณาต่อไปในบทนี้ ทั้งนี้ เพราะว่าการกำจัดการเสียเบื้องต้นนั้นเป็นฟังก์ชันของการติดตั้งและการทดสอบที่เหมาะสม

ความเชื่อถือได้มักจะวัดในเทอมของ TMBF ซึ่งเป็นเวลาเฉลี่ยระหว่างการเสีย ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่าง MTBF อัตรา 1304 เพียงแต่กล่าวว่าค่าของ MTBF สามารถที่จะคำนวณหาได้โดยการหารเวลาทั้งหมดที่ปฏิบัติการโดยไม่มีการเสียด้วยจำนวนครั้งที่อุปกรณ์นั้นเสีย ส่วนประกอบโดยเป็นรูปแบบทั่วไปอาจมีชีวิตเฉลี่ย 15,000 ชั่วโมงในเรือ 3,000 ชั่วโมงในเครื่องบิน และ 5 นาทีในจรวด ดังนั้นเพื่อให้เป็นการกล่าวถึงความเชื่อถือได้ที่มีความหมายสิ่งแวดล้อมทางการปฏิบัติการจะต้องกล่าวถึงด้วย ทางที่ยอมรับกันในขณะนี้ในการพิจารณาสิ่งแวดล้อมก็โดยการบรรยายถึงการใช้ทางปฏิบัติการของมันกล่าวคือ เป็นอุปกรณ์ทางบกในเรือ ในเครื่องบิน หรือจรวด อย่างไรก็ตามการยกถือ การบรรจุกล่อง การขนส่ง และการเก็บก็เช่นเดียวกันกับเงื่อนไขทางปฏิบัติการก็เป็นสิ่งแวดล้อมด้วย และดังนั้นจะมีผลต่อความเชื่อถือได้ในขั้นสุดท้าย

บางทีการใช้งานอย่างหยาบ ๆ ในการบรรทุกทางเรือจะทำให้เกิดความเค้นทางสิ่งแวดล้อมที่รุนแรงต่อส่วนประกอบ สิ่งนี้เองเป็นการอธิบายว่าทำไมกองทัพเรือจึงสนใจทุก ๆ ลักษณะแห่งการออกแบบคอนเทนเนอร์ การท่อ การยกถือ และการส่งทางเรือ

ส่วนประกอบหลายส่วนและระบบย่อยในระบบหนึ่ง อาจมีปฏิริยาระหว่างกันได้ ถ้าเรือหรือเครื่องบินได้รับการพิจารณาว่าเป็นระบบหนึ่ง ดังนั้นปฏิริยาระหว่างกันของส่วนประกอบต่าง ๆ อาจจะยากที่จะ

พยากรณ์ระหว่างการผลิตในโรงงาน บนแท่นทดสอบหรือในยามทดสอบ ความสำคัญแห่งการประเมินผลของสิ่งแวดล้อมโดยถูกต้องไม่สามารถที่จะข้ามากเกินไป

### 1303. คณิตศาสตร์ของความเชื่อถือได้

ความเชื่อถือได้เป็นฟังก์ชันของเวลาให้ชื่อว่า  $R(t)$  โดยที่  $0 < R(t) < 1$   $R(t)$  เป็น probability ที่ส่วนประกอบจะไม่เสียก่อนเวลา  $t$  ดังนั้น  $R(t)$  จะเป็นหนึ่งสำหรับ  $t = 0$  และจะเข้าหาศูนย์ในขณะที่เวลาเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีจุดจบ

จงพิจารณาการทดลองทางทฤษฎีซึ่งประกอบที่เหมือนกันจำนวนหนึ่งอยู่ในสิ่งแวดล้อมที่กำหนดให้ กำหนดให้  $N_0$  เป็นจำนวนเดิมของชิ้นส่วนที่ทำงานได้ ณ เวลาที่การทดลองเริ่มต้นกล่าวคือ เมื่อ  $t = 0$  ณ ช่วงเวลาจำนวนของชิ้นส่วนที่ยังทำงานได้บันทึกไว้ โดยที่  $N_t$  เป็นจำนวนเวลา  $t$

จงพิจารณาช่วงเวลา  $t$   $N_t$  เป็นจำนวนที่ยังคงทำงานอยู่ ณ เวลา  $t$  และ  $N_{t+\Delta t}$  เป็นจำนวนที่ยังคงทำงานอยู่ ณ เวลา  $t + \Delta t$ .

โดยการใช้แนวความคิดของความถี่สัมพัทธ์ conditional probability ของชิ้นส่วนที่เสียในช่วงเวลา  $[t, t + \Delta t]$  โดยกำหนดว่ายังไม่เสียในช่วงเวลา  $[0, t]$  จะคำนวณหาได้โดยประมาณดังนี้

$$\text{สมการ 13-1 } P(\text{การเสียใน } t \text{ 1 รอดชีวิตตลอด } t) = \frac{N_t - N_{t+\Delta t}}{N_t}$$

ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการเสียในช่วงเวลา  $[t, t + \Delta t]$

ที่นี้ถ้า  $R(t) = P(\text{ไม่เสียตลอด } [0, t])$  ดังนั้น  $R(t + \Delta t) = P(\text{ไม่เสียตลอด } [0, t + \Delta t])$  และไม่มี การเสียตลอด  $[t, t + \Delta t]$  โดยการใช้สมการ ๑๓ - ๑ และค่าจำกัดความของ conditional probability

$$P(A|B) = P(A)P(B|A), \quad R(t + \Delta t) = R(t) \left( 1 - \frac{N_t - N_{t+\Delta t}}{N_t} \right)$$

ดังนั้นส่วนของการเสียในช่วง  $(t, t + \Delta t)$  สามารถที่จะเขียนได้เป็น

$$\text{สมการ 13-2 } \frac{N_t - N_{t+\Delta t}}{N_t} = \frac{R(t) - R(t + \Delta t)}{R(t)}$$

ถ้าหารทั้งสองข้างของสมการ 13-2 ด้วย  $\Delta t$  ดังนั้นจะได้ส่วนของการเสียต่อหน่วยเวลาในระหว่างช่วง  $[t, t + \Delta t]$  อัตราของการเสียนี้ในขณะที่  $\Delta t$  เข้าหา ๐ เรียกว่า “อัตราการเสียในทันทีทันใด” ณ เวลา  $t$  และหมายชื่อโดย  $r(t)$  ดังนั้น

$$\begin{aligned}
 (t) &= \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{N_t - N_{t-t}}{N_t \cdot t} \\
 &= \lim_{t \rightarrow \infty} \frac{1}{R(t)} \frac{R(t) - R(t-t)}{t} \quad \text{จากสมการ ๑๓-๒} \\
 &= -\frac{1}{R(t)} \frac{dR(t)}{dt}, \quad \text{จากคำจำกัดความของ derivative}
 \end{aligned}$$

ที่นี้โดยการคูณไขว้จะได้

$$\text{สมการ 13 - 3} \quad \frac{dR(t)}{R(t)} = -\lambda(t)dt$$

โดยการ integrate ช่วง  $[0, t]$

$$\begin{aligned}
 \int_0^t \frac{dR(t)}{R(t)} &= -\int_0^t \lambda(t)dt, \text{ or} \\
 \ln R(t) &= -\int_0^t \lambda(t)dt, \quad \text{since } R(0) = 1
 \end{aligned}$$

สมการนี้ก็จะสามารถแก้หา  $R(t)$  จะให้

สมการ 13 - 4

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt}$$

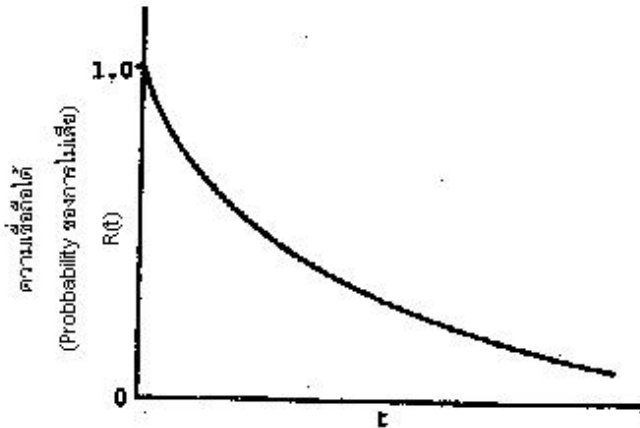
$R(t)$  ซึ่งเป็น probability ที่ส่วนประกอบจะทำงานเป็นเวลา  $t$  ชั่วโมง หรือมากกว่าโดยไม่มีการเสียหายทางทฤษฎีจะเป็นส่วนของการอยู่รอด ณ เวลา  $t$

$$\text{สมการ 13 - 5} \quad R(t) = \frac{N_t}{N_0}$$

#### 1304. Failure probability Distributions

ประสบการณ์ได้แสดงให้เห็นว่าชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ และระบบนั้นในเมื่อชิ้นส่วนที่อ่อนแอ และไม่ดีได้แยกออกไปในขั้นแรก หรือขั้น debugging (โดยผ่านการควบคุมคุณภาพหรือเทคนิคอื่นๆ ในลักษณะนั้น) แล้วจะเสียเป็นครั้งคราวในช่วงเวลา หนึ่ง ๆ เส้นโค้งแห่งความเชื่อถือได้จะอยู่ในรูปแบบทั่ว ๆ ไป ดังนี้

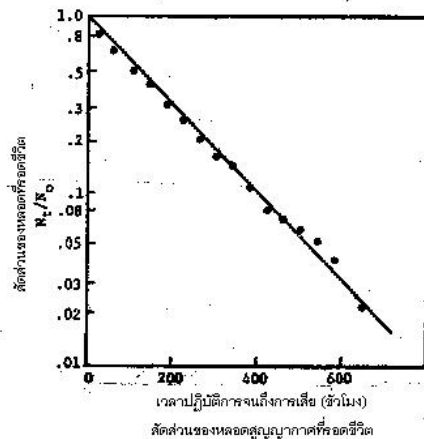
รูปที่ 13-3



เส้นโค้งของความเชื่อถือได้แบบฉบับสำหรับการเสียเป็นบางโอกาส

เพื่อแสดงให้เห็น กำหนดให้  $N_0$  เป็นจำนวนของหลอดสุญญากาศ (Vacum tube) ที่มีลักษณะเหมือน ๆ กัน ให้  $N_t$  เป็นจำนวนของหลอดที่ไม่เสียตลอดระยะเวลา  $t$  ได้พิจารณาโดยผ่านการทดลองแล้วว่า โอกาสเสียจะมีขึ้นด้วยโอกาสเท่า ๆ กันในระหว่างช่วงเวลาที่เท่ากัน ซึ่งชี้ให้เห็นว่า  $(t)$  ซึ่งเป็นอัตราคงที่ รูปที่ 13-4 โดยที่ออร์ดิเนตเป็น log scale ได้แสดงให้เห็นถึงส่วนที่ไม่เสียในฟังก์ชันของเวลา

รูปที่ 13-4



นี่เป็นข้อมูลจริงจากตัวอย่างหลอดสุญญากาศ 900 หลอด ความจริงที่สำคัญที่ชี้ให้เห็น ณ ที่นี้คือ  $(t)$  เป็นค่าคงที่ นี่เป็นชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และระบบแบบฉบับ ดังนั้นการเสียเป็นบางโอกาสไม่เพียงแต่จะเกิดขึ้น ณ เวลาใด ๆ ระหว่างอายุของตัวอย่าง แต่จะเกิดขึ้นด้วยโอกาสที่เท่า ๆ กัน ในระหว่างช่วงเวลาที่เท่ากัน ๆ ตลอดชีวิตของตัวอย่าง

นั่น โดยเหตุที่  $R(t)$  เป็นค่าคงที่ จึงสามารถที่เขียนได้สั้น ๆ เป็น  $R$  ดังนั้นความเชื่อถือได้จากสมการ 13-4 จะกลายเป็น

$$\begin{aligned} \text{สมการ 13-6} \quad R(t) &= e^{-\lambda t} \\ \text{จากสมการ 13-5} \quad R(t) &= \frac{N_t}{N_0} e^{-\lambda t} \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$\text{สมการ 13-7} \quad N_t = N_0 e^{-\lambda t}$$

และ

$$\text{สมการ 13-8} \quad \lambda = -\frac{1}{t} \ln \frac{N_t}{N_0}$$

นี่จะให้วิธีตรงในการคำนวณ  $\lambda$  จากข้อมูลที่ได้อันที่กล่าวไว้ จากรูปที่ 13-4 และโดยวิธีของสมการ 13-8 สามารถที่จะหาได้โดยมีค่าเป็นการเสีย 0.0058 ต่อ 1 ชั่วโมง สำหรับหลอดเหล่านี้

ซิลิคอนในรูปที่ 13-5 เป็นการพล็อตที่แท้จริงของจำนวนของการเสียสำหรับช่วงเวลา 20 ชั่วโมง สำหรับ ตัวอย่างเดียวกันของหลอดสุญญากาศเหล่านี้

โดยการใส่ค่าของ  $\lambda$  ที่ได้มาจากสมการ 13-8 และโดยการสังเกตว่าสำหรับ  $t = 10$  จำนวน การเสีย ในช่วง 20 ชั่วโมงใดๆ ที่มีศูนย์กลางที่  $t$  จะเป็น  $N_t = N_{t-10}$  เส้นโค้งที่เรียบรื่น จะได้มาทางทฤษฎีดังต่อไปนี้

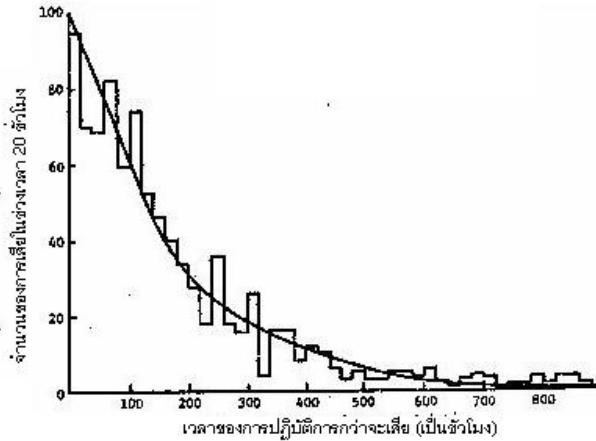
$$\begin{aligned} N_{t-10} &= N_t = N_0 \frac{N_{t-10}}{N_0} = \frac{N_{t-10}}{N_0} \\ &= N_0 e^{-\lambda(t-10)} = e^{-\lambda(t-10)} \end{aligned}$$

หลังจากการแทนค่า  $N_0 = 900$  และ  $\lambda = 0.0058$  และโดยการทำให้ง่าย ๆ เข้าจะได้

$$N_{t-10} = N_t = 106 e^{-0.0058t}$$



รูปที่ 13 – 5



การแจกแจงของหลอดสูญญากาศ 900 หลอดแสดงถึงพฤติกรรมของ chance failure

จำนวนเหล่านี้ในเมื่อพล็อตให้เป็น smooth curve ตามรูปที่ 13 – 5 จะเห็นได้ว่ามันจะให้ค่าใกล้เคียงกับฮิสโตแกรมและ ดังนั้นจะเป็นการตรวจสอบเพิ่มเติมต่อแบบจำลองนี้ ความจริงที่ว่า instantaneous failure rate จะคงที่ตลอดระยะเวลาซึ่งหมายความว่า การเปลี่ยนชิ้นส่วนบางชิ้นหรือทั้งหมดของหน่วยที่ยังทำงานได้อยู่ด้วยชิ้นส่วนที่ใหม่และยังไม่เคยใช้เลยจะไม่มีผลกระทบต่ออัตราการเสียหายของส่วนรวม ดังนั้นการเปลี่ยนหน่วยทดแทนด้วยคุณลักษณะเช่นนี้ในฐานะการซ่อมบำรุงป้องกันจะไม่มีประโยชน์อะไรเลย การพิจารณาจะเป็นจริงเสมอต่อส่วนประกอบซึ่งการดำเนินการเสียหายของมันคงมีค่าคงที่ในการใช้งาน และเป็นสิ่งสำคัญในกรณีที่ถ้าการเสียหายเกิดขึ้นก่อน wear – out time ที่คาดหวังไว้มาก ๆ

ค่าเฉลี่ยของการเสียหายที่คาดหวังหรือ MTBF อาจหาได้จาก

$$E(T) = \int_0^{\infty} t \cdot f(t) dt$$

โดยที่ T เป็นเวลาที่การเสียหายได้เกิดขึ้นและ f(t) เป็น probability density function สำหรับ T ในการหา f(t) จะสังเกตว่า

$$\begin{aligned} R(t) &= P(T > t) \\ &= 1 - P(T \leq t) \\ &= 1 - F(t) \end{aligned}$$

F(t) ซึ่งเป็น cumulative distribution function สามารถที่จะเขียนได้เป็น

$$F(t) = 1 - R(t)$$

$$= 1 - e^{-\int_0^t f(t) dt}$$

$f(t)$  อาจหาได้โดย การดิฟเฟอเรนเชียล

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

ดังนั้น

$$\text{สมการ 13-10} \quad f(t) = \frac{d}{dt} \left( 1 - e^{-\int_0^t f(t) dt} \right)$$

สำหรับ chance failure ค่า  $\lambda$  จะคงที่ นั่นคือ

$$\text{สมการ 13-11} \quad f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$$

ซึ่งเป็นพวกเดียวกับ exponential probability distribution และค่าของเวลาของการเสียที่มุ่งหวังจะเป็น

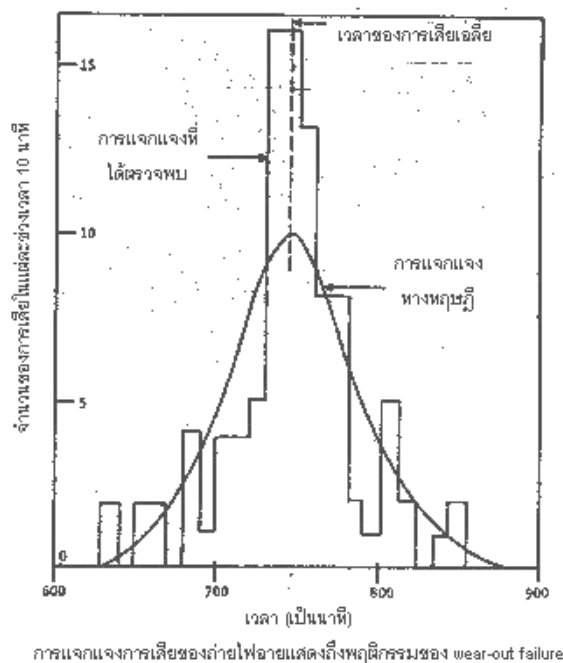
$$\text{สมการ 13-12} \quad E(T) = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt$$

จากตารางของ integral หรือโดย integrating by parts ดังนั้น  $1/\lambda$  เป็นเวลาเฉลี่ยจนกว่าจะเสีย หรือ “MTBF” ในเมื่ออัตราการเสียคงที่

exponential distribution นั้นจะเห็นแล้วว่า จะแสดงค่า time-to-failure ของอุปกรณ์ที่อยู่ในประเภท chance failure อย่างเช่น อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ “normal” distribution และ “log normal” distribution จะแสดงค่าการเสียแบบ wear-out

ตัวอย่างหนึ่งของ normal distribution ของ time-to-failure สามารถที่จะแสดงได้ในกรณีของ ถ่านไฟฉาย ถ่านเหล่านี้ที่มีการสร้างทำนองเดียวกันจะมุ่งหวังได้ว่าจะให้กำลังตามที่คาดไว้ในระยะเวลาเท่ากับ เวลาก่อนการเสีย ส่วน density of failure ของตัวอย่าง เซลล์แห่ง ๑๐๐ ก้อน ได้แสดงไว้ให้เห็นในกราฟต่อไปนี้

รูปที่ ๑๓ - ๖



ถึงแม้ว่า failure จะได้รับการตรวจสอบในระหว่างช่วงเกือบทุก ๆ 10 นาที ระหว่าง 630 และ 850 นาที โดยประมาณ ๆ สีในห้าของช่องเล็ก ๆ จะตกลงระหว่าง 700 และ 800 นาที จุดหนาแน่นของช่วงชีวิตใกล้ ๆ ค่า mean ทำให้เราพยากรณ์ wear – out – failure ได้ ดังนั้นโดยการซ่อมบำรุงป้องกันก็เป็นไปได้ที่จะตัดหน้า wear – out failure ในระหว่างการปฏิบัติการได้

### 1305. ความเชื่อถือได้ของระบบยุ่งยาก (Reliability of complex Systems)

ชิ้นส่วนย่อยของส่วนประกอบของระบบหนึ่งสามารถที่จะเชื่อมโยง (linkage) กับการพิจารณาความเชื่อถือได้สองวิธีด้วยกันคือ “อนุกรมหรือขนาน” การเชื่อมโยงแบบอนุกรมหมายความว่า ในการปฏิบัติการชั่วขณะใดทุก ๆ ส่วนจำเป็นสำหรับระบบนั้นที่จะทำงานได้ ส่วนการเชื่อมโยงแบบขนานหมายความว่าการทำงานของแต่ละชิ้นของสมาชิกซึ่งขนานกันนั้นจะทำให้ระบบนั้นทำงานได้ จงสังเกตว่าที่ไม่เป็นคำจำกัดความเดียวกันกับคำจำกัดความของอนุกรมและขนานที่ใช้ในวงจรไฟฟ้าระบบไฟฟ้าประกอบด้วยส่วนประกอบหลาย ๆ ส่วนที่รวมกันเข้าด้วย Combination ที่ยุ่งยากของวงจรอนุกรมและขนาน แต่วงจรเหล่านี้ก็ยังคงพิจารณาได้สำหรับความมุ่งประสงค์ของความเชื่อถือได้ ส่วนประกอบจะเป็นแบบอนุกรมถ้าแต่ละส่วน นั้น ๆ เป็นสิ่งสำคัญในการทำงานที่เหมาะสมของระบบนั้น

ส่วนประกอบแบบขนานที่เพิ่มเข้ามานั้นตามปกติจะเพิ่มความเชื่อถือได้ยิ่งขึ้น เพราะว่ามันลดเศษส่วนของส่วนประกอบของการทำงานที่สำคัญในการทำงานของระบบนั้นลง อีกนัยหนึ่งส่วนประกอบแบบอนุกรมที่เพิ่มเข้ามานั้นตามปกติจะลดความเชื่อถือได้ลง

สำหรับการรวมแบบอนุกรมของส่วนประกอบซึ่งความเชื่อถือได้ของแต่ละส่วนเป็น  $R_1, R_2, R_3, \dots$ , ความเชื่อถือได้ของส่วนรวมทั้งหมดคือ  $R_{TOTAL}$  จะเป็น

สมการ 13-13

$$R_{TOTAL} = R_1 R_2 R_3 \dots$$

ถ้าส่วนประกอบต่าง ๆ มีโอกาสแห่ง failure rate ที่คงที่  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots$  แล้วความเชื่อถือได้ทั้งหมดจะเป็น

$$\begin{aligned} R_{TOTAL} &= e^{-\lambda_1 t} e^{-\lambda_2 t} e^{-\lambda_3 t} \dots \\ &= e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots)t} \\ &= e^{-\lambda_{TOTAL} t} \end{aligned}$$

โดยที่ อัตราการเสีย ทั้งหมดในขณะใด ๆ สำหรับ โอกาสของ การเสีย ของระบบแบบอนุกรมจะเป็น

$$\lambda_{TOTAL} = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots$$

ดังนั้น MTBF ของระบบจะเป็น

$$MTBF_{TOTAL} = \frac{1}{\lambda_{TOTAL}} = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \dots}$$

อัตราการเสีย จะเพิ่มขึ้นในเมื่อจำนวนของส่วนประกอบเพิ่มขึ้น โดยทั่ว ๆ ไปถ้าเพิ่มส่วนประกอบเป็นสองเท่า MTBF จะลดลงครึ่งหนึ่ง เพื่อที่จะให้ความเชื่อถือได้ที่กำหนดให้คงที่อายุเฉลี่ยของส่วนประกอบจะต้องเพิ่มขึ้นเป็น สี่ส่วนกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนของส่วนประกอบ

สำหรับส่วนรวมแบบขนานซึ่งความเชื่อถือได้แต่ละส่วนเป็น  $R_1, R_2, R_3, \dots$  ความเชื่อถือได้ของส่วนรวม  $R_{TOTAL}$  จะเป็น

สมการ 13-14

$$R_{TOTAL} = 1 - (1 - R_1)(1 - R_2)(1 - R_3) \dots$$

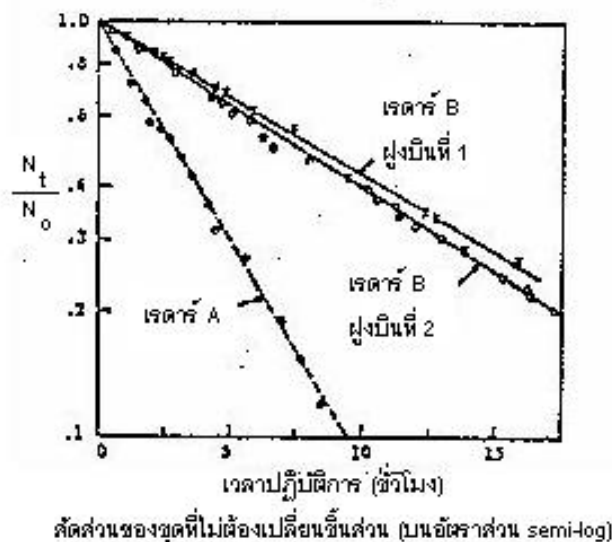
และเมื่อ  $R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$  แล้วจะได้

$$R_{TOTAL} = 1 - (1 - R)^n$$

1306. การวิเคราะห์และพยากรณ์ความเชื่อถือได้

การเสียของเรดาร์อากาศสามชนิดซึ่งแตกต่างกัน และส่วนประกอบของมันบางส่วน เช่น RF - head หน้าปัทม์ และไฟ กำลังได้รวมกันเพื่อการวิเคราะห์ สำหรับกรณีที่กำลังศึกษาอยู่ distribution of failure กับเวลา เป็นแบบ chance failure รูปที่ 13 - 7 แสดงให้เห็นส่วนหนึ่งของเรดาร์ A และเรดาร์ B ซึ่งได้ทำงานเป็นเวลา  $t$  โดยปราศจากการเสีย ซึ่งต้องการเปลี่ยนชิ้นส่วนบางอย่าง ความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงระหว่าง  $\log$  ของเศษส่วนที่ยังทำงานได้อยู่ และเวลาแสดงให้เห็นอัตราการเสีย ที่คงที่

รูปที่ 13-7



ความต้องการอย่างใกล้ชิดของข้อมูลจากสองฝูงบินที่แตกต่างกัน และอยู่ห่างกันคนละส่วนของ โลกนี้ควรได้รับการสังเกต ฝูงบินที่หนึ่งได้วางกำลังไว้ ณ พื้นที่ส่วนหน้าซึ่งปฏิบัติการบินในสนามรบจริงใน ขณะที่ ฝูงบินที่สองตั้งอยู่ในสหรัฐเพื่อการฝึกบิน correlation ที่ใกล้ชิดกันแห่ง การเสีย นี้ชี้ให้เห็นว่า อัตราการ เสีย เป็นลักษณะของเครื่องอุปกรณ์และสิ่งแวดล้อมมากกว่าสถานการณ์ทางปฏิบัติการ

สถิติยืนยันความจริงที่ว่า การพิจารณาสิ่งแวดล้อมของการปฏิบัติการเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งใน การศึกษาถึงความเชื่อได้ใด ๆ เพื่อเป็นการเปรียบเทียบตลอดที่ได้ออกแบบและการสร้างในลักษณะที่ใกล้เคียง กันอย่างที่ใช้ในเรดาร์ได้มีอายุการใช้งานสูงประมาณ 85,000 ชั่วโมง เมื่อใช้ในที่ตั้งประจำอย่างเช่น ในเครื่องจักร คำนวน เป็นที่ประจักษ์ว่าค่าคงที่ต่าง ๆ ที่พัฒนาสำหรับหลอดเฉพาะชนิดหนึ่งจะต้องไม่ใช่สำหรับที่ใด ๆ ก็ได้ที่ ส่วนประกอบนั้น ๆ ใช้ แต่ค่าคงที่ต่าง ๆ เหล่านี้จะต้องได้รับการพัฒนาสำหรับแต่ละสิ่งแวดล้อม

เป็นที่สมมติและยอมรับกันว่า ส่วนประกอบทั้งหมดในเครื่องเรดาร์นั้นเป็นสิ่งสำคัญมากในอันที่จะทำงานได้เหมาะสม โดยเหตุที่หลอดสุญญากาศจะเสียเร็วกว่าชิ้นส่วนอื่น ๆ อัตราการเสีย ทั้งหมดเครื่องเรดาร์ อาจได้รับการพิจารณาได้ว่าประกอบด้วยสอง อัตราการเสีย อัตราหนึ่งเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนของหลอดสุญญากาศ และอีกส่วนหนึ่งเป็นสัดส่วนกับจำนวนของชิ้นส่วนทางไฟฟ้าอื่น ๆ นั่นคือ

$$\text{สมการ 13 - 15} \quad \text{TOTAL} \quad i^T \quad p^P$$

โดยที่  $t$  และ  $p$  เป็น อัตราการเสียเฉลี่ยที่คงที่สำหรับหลอดสุญญากาศและชิ้นส่วนอื่น ๆ และ  $T$  และ  $P$  เป็น จำนวนของหลอดสุญญากาศและชิ้นส่วนอื่น ๆ ตามลำดับ

รูปที่ 13 - 8

หน่วย	จำนวน หลอด T	จำนวนชิ้นส่วน อิเล็กทรอนิกส์ อื่น ๆ P	จำนวนชั่วโมง เฉลี่ยระหว่างการ เสียที่วัดได้ 1/
Radar A	66	882	4.5
Transmitter-converter	19	292	15
Power unit	11	73	45
Receiver amplifier	28	307	12
Modulator	7	84	45
Indicator	1	27	160
Control unit	0	11	450
Scanner	0	88	55
Radar B	50	470	8.1
Receiver-transmitter	26	269	15
Synchronizer	24	116	25
Antenna	0	43	115
Control box	0	42	120
Radar C	57	578	6.7
High-voltage rectifier	2	22	170
Indicators	6	36	90
Modulators	3	54	75
Control box	0	33	150
Low-voltage rectifier	10	59	50
Synchronizer	28	293	15
RF head	8	91	40

ข้อมูลของหน่วยที่ได้รับการศึกษา (เรดาร์ C ไม่ได้แสดงไว้ในรูปที่ 13-7)

ค่าคงที่ของอัตราการเสียชีวิตได้คำนวณจากข้อมูลในรูปที่ 13 - 8 โดยเอาส่วนย่อยสองส่วนใด ๆ และเขียนสมการ 13 - 15 สำหรับของทั้งสอง แล้วแก้สองสมการนั้น โดยการใช้ combination ทั้งหมดของส่วนย่อยสองส่วนของแต่ละเรคาร์ อัตราการเสียชีวิตเฉลี่ยของส่วนประกอบจะเป็น

$$t = 0.007 \text{ ต่อชั่วโมง}$$

$$p = 0.002 \text{ ต่อชั่วโมง}$$

อายุเฉลี่ยของส่วนประกอบ ซึ่งเป็นส่วนกลับของค่าเหล่านี้จะเป็น

$$t_t = 1,400 \text{ ต่อชั่วโมง}$$

$$t_p = 5,000 \text{ ต่อชั่วโมง}$$

โดยการพิจารณาค่าคงที่ของ อัตราการเสียชีวิตสำหรับอุปกรณ์ที่ได้รับการใช้มาเป็นเวลานานพอเพื่อเป็นข้อมูลทีพอเพียงอาจมีคุณค่าเป็นอย่างมากในการตีค่าอุปกรณ์ใหม่และยังไม่ได้ทดลอง

โดยที่ค่าคงที่ของ อัตราการเสียชีวิตสำหรับเรคาร์อากาศที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนี้ได้รับการพิจารณาแล้ว ค่าเหล่านี้อาจใช้เพื่อพยากรณ์ความเชื่อถือได้ของเรคาร์อื่น ๆ ถ้า

ก. เรคาร์เหล่านั้นเหมือน ๆ กัน เรคาร์เหล่านี้จะถูกสร้างจากส่วนประกอบใกล้เคียงกันและวงจรต่าง ๆ ต้องคล้ายกันกับวงจรที่เราทราบค่า อัตราการเสียชีวิตแล้ว

ข. การศึกษาความเชื่อถือได้จะกระทำ ภายในเงื่อนไขของสิ่งแวดล้อมเดียวกัน โดยเหตุที่อัตราการเสียชีวิตแปรไปตามสิ่งแวดล้อม ดังนั้นการใช้ค่าคงที่ชุดหนึ่งเพื่อพยากรณ์ความเชื่อถือได้ในสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างออกไปจะทำให้เกิดความผิดพลาดได้

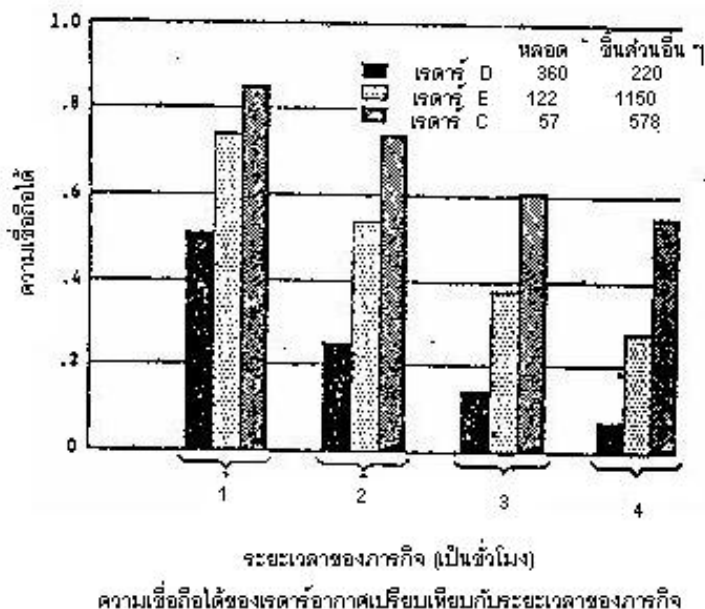
จงพิจารณาเรคาร์ใหม่สองแบบซึ่งได้ออกแบบเพื่อให้งานของมันดีขึ้นอย่างมาก เมื่อเทียบกับเรคาร์ A, B และ C เรคาร์ใหม่ทั้งสองนี้มีวงจรต่าง ๆ และส่วนประกอบใกล้เคียงกับเรคาร์เก่า การใช้อัตราการเสียชีวิตที่ได้มาจากข้อมูลทางปฏิบัติการของเรคาร์ A, B และ C ไม่ควรจะทำให้เกิดความผิดที่มีผลได้ และจะช่วยในการพยากรณ์ความเชื่อถือได้ของเรคาร์ใหม่

เรดาร์ D มี 360 หลอด และชิ้นส่วนอื่น ๆ 2,200 ชิ้น เรดาร์ E มี 122 หลอด และชิ้นส่วนอื่น ๆ 1,150 ชิ้น ดังนั้นความเชื่อถือได้ของเรดาร์นี้จะลดลงโดย  $R_{TOTAL} = e^{-t(pD + iT)}$

ดังนั้นสำหรับเรดาร์ D  $R_{TOTAL} = e^{-.0002(2200) - .0007(360)t} = e^{-.692t}$

สำหรับเรดาร์ E  $R_{TOTAL} = e^{-.0002(1160) - .0007(122)t} = e^{-.214t}$

รูปที่ 13 - 9



ความเชื่อถือได้ของเรดาร์ใหม่ทั้งสองและเรดาร์ C ได้รับการพล็อตเทียบกับอายุของการปฏิบัติการกิจเป็นชั่วโมงในรูปที่ 13 - 9 เรดาร์ C ซึ่งมีความยุ่งยากน้อยกว่ามีโอกาส 58 % ที่จะไม่เสียในภารกิจสี่ชั่วโมง ในขณะที่เรดาร์ D ซึ่งใหม่และยุ่งยากกว่ามีโอกาสเพียง 7% เรดาร์ E มีความเชื่อถือได้ประมาณ 30% สำหรับเวลาเท่า ๆ กัน

อาจใช้ความเชื่อถือได้ในการพยากรณ์ความต้องการของกองกำลัง หรือ allowance สำหรับชิ้นส่วนใด ๆ จะเห็นได้ว่าหากความต้องการทางยุทธการต้องการความเชื่อถือได้ระดับหนึ่งเพื่อที่จะพอใจได้ และการวิเคราะห์แสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ที่กำลังใช้อยู่นั้นมีโอกาสน้อยมากที่จะให้ความเชื่อถือได้นี้ ดังนั้นจะต้องบรรจุหน่วยเพิ่มขึ้นเป็น redundant (parallel)



จำนวน N ของ redundant units ที่ต้องการเพื่อให้ได้ความเชื่อถือได้ที่ต้องการ R โดยการใช้องค์ประกอบที่มีความเชื่อถือได้ B (t) จะให้โดย

$$\text{สมการ 13 - 16} \quad R = 1 - (1 - B(t))^N$$

โดยสรุปในเมื่อ การเสียหายเกิดเพราะการใช้งาน (wear out) การทำงานได้ของระบบอาจเพิ่มได้ โดยการศึกษาด้านสถิติของ MTBF และทดแทนหน่วยต่าง ๆ นั้นก่อนที่มันจะเสียหายในเมื่อ อัตราการเสียหาย เกิดเพราะ chance จะไม่มีประโยชน์อะไรที่จะได้จากการซ่อมบำรุงป้องกันเช่นนั้น

ความเชื่อถือได้ของอุปกรณ์ที่ การเสียหาย เกิดเพราะ chance สามารถที่จะเพิ่มได้โดยการเพิ่มส่วนประกอบแบบ parallel - linked หรือโดยการเพิ่ม การต้านทานการเสียหาย ของชิ้นส่วนต่าง ๆ ในบางกรณี อย่างเช่นในตัวอย่างของเรดาร์ การลดความต้องการของสิ่งแวดล้อมสามารถที่จะเพิ่มความเชื่อถือได้ อันเนื่องมาจากชิ้นส่วนที่เพิ่มชีวิตให้ยาวนาน

เมื่อพัฒนาอุปกรณ์ใหม่ คุณสมบัติทางยุทธการที่ดีขึ้นนั้นตามปกติจะก่อให้เกิดความยุ่งยาก ควรที่จะได้รับการชั่งน้ำหนักให้ดีกับการเสียหายความเชื่อถือได้ลงไป (attendant loss of reliability)

.....

## ปัญหา

1. จากการตรวจสอบในสนามพบว่าระบบเบรคระบบหนึ่งได้เกิดการเสีย 114 ครั้ง ใน 1,256 ชั่วโมงปฏิบัติการ
  - ก. อะไรคือเวลาเฉลี่ยระหว่างการเสีย (MTBF) โดยคร่าว ๆ ?
  - ข. ถ้าอัตราการเสียของระบบเป็นค่าคงที่ตลอด 1,256 ชั่วโมงปฏิบัติการ อะไรคืออัตราการเสียที่ประมาณได้ ?
2. จงแสดงว่าสำหรับชิ้นส่วนจำนวนหนึ่งแสดงโอกาสของการเสียในแต่ละตัว ด้วยอัตราการเสียชั่วขณะ นั้น
 

:

  - ก. เศษส่วนของจำนวนชิ้นส่วนซึ่งใช้งาน ณ เวลา  $t$  ที่เสียในระหว่าง 10 ชั่วโมงต่อไป กล่าวคือ  $(N_t - N_{t+10}) / N_t$  มีค่าคงที่สำหรับทุก  $t$
  - ข. เศษส่วนของจำนวนชิ้นส่วนซึ่งใช้งาน ณ เวลา  $t$  ที่ไม่เสียต่อไปอีก  $h$  ชั่วโมง มีค่าคงที่ สำหรับทุก  $t$
3. ข้อมูลต่อไปนี้ได้มาจากการทดลอง 1,000 หลอดสุญญากาศ บนเรือลำหนึ่ง
 

เวลาใช้งาน (ชั่วโมง)	จำนวนการเสีย
10	600
20	240
30	96
40	38
50	16

  - ก. จงลงตารางความเชื่อถือได้สำหรับเวลาที่กำหนดให้
  - ข. เป็นการเสียประเภทไหนที่หลอดเหล่านี้ได้เกิดขึ้นในการทดลองนี้ ?
  - ค. อะไรคือจำนวนของการเสียต่อชั่วโมงหลอด ?
  - ง. อะไรคือ BTBF ?
  - จ. นายทหารสื่อสารของเรือตัดสินใจที่จะเปลี่ยนหลอดแต่ละหลอด เมื่อมันได้ใช้งานครบตามเวลา ที่ได้จาก ข้อ ง. สบหนึ่งชั่วโมง เพื่อหลีกเลี่ยงการเสียของอุปกรณ์ ในระหว่างการปฏิบัติการที่วิกฤต ท่านเห็นด้วยกับการตัดสินใจนี้หรือไม่ ? จงอธิบาย
4. อัตราการเสียของหลอด X - 80 หลอดหนึ่ง ในห้องทดลองคอมพิวเตอร์เป็น  $5.84 \times 10^{-6}$  ต่อชั่วโมงหลอด
  - ก. อะไรคือความเชื่อถือได้ของหลอดนี้ สำหรับ 100,000 ชั่วโมง ของการปฏิบัติการในห้องทดลอง ?

ข. อะไรคือความน่าจะเป็นที่หลอดนี้จะไม่เสียใน 100,000 ชั่วโมงปฏิบัติการในห้องทดลอง ?

ค. เมื่อติดตั้งบนเรือ คุณจะคิดว่าความเชื่อถือได้ของหลอดนี้จะสูงกว่า ต่ำกว่า หรือเท่ากับกับความเชื่อถือได้ เมื่อติดตั้งในห้องทดลองคอมพิวเตอร์ ?

5. เครื่องใช้อิเล็กทรอนิกส์ชนิดหนึ่งมีอัตราการเสียชั่วขณะในห้องทดลองเป็น .02 การเสียต่อชั่วโมงปฏิบัติการ

ก. อะไรคือความน่าจะเป็นของการรอดชีวิต 10 ชั่วโมง และแล้วจะเสียในระหว่างชั่วโมงที่ 11 ?

ข. อะไรคือความน่าจะเป็นของการรอดชีวิต 10 ชั่วโมง และแล้วจะเสียในระหว่างครึ่งชั่วโมงต่อไป ?

ค. สมมติว่าเครื่องใช้นี้ใช้งาน 100 ชั่วโมง :

(1) อะไรคือความน่าจะเป็นของการเสียในระหว่าง 10 ชั่วโมงแรกของการปฏิบัติการ ?

(2) อะไรคือความน่าจะเป็นอย่างมีเงื่อนไขของการเสียในระหว่างช่วง 10 ชั่วโมง ระหว่างชั่วโมงที่ 63 และ 73 ของการปฏิบัติการ โดยกำหนดให้ว่ามันรอดชีวิตไปถึงชั่วโมงที่ 63 ?

(3) อะไรคือความน่าจะเป็นของการเสียระหว่าง 10 ชั่วโมงสุดท้าย ของการปฏิบัติการ โดยกำหนดว่ามันใช้ได้ 90 ชั่วโมงแล้ว ?

(4) อะไรคือความน่าจะเป็นของเครื่องใช้ที่ใช้งาน 63 ชั่วโมง โดยไม่เสียและแล้วเสียระหว่างชั่วโมงที่ 63 และ 73 ?

(5) อะไรคือความน่าจะเป็นของเครื่องใช้ที่ใช้งาน 90 ชั่วโมง โดยไม่เสียและแล้วเสียในระหว่างเวลา  $t > 90$  ชั่วโมง

ง. กำหนดให้ว่าเครื่องใช้นี้ได้รอดชีวิตไปแล้วที่ชั่วโมงที่หกของการปฏิบัติการ อะไรคือความน่าจะเป็นที่มันจะเสียในครึ่งชั่วโมงต่อไป ?

จ. กำหนดให้ว่าเครื่องใช้นี้ได้รอดชีวิตไปแล้วที่ชั่วโมงที่ 13 อะไรคือความน่าจะเป็นที่มันจะเสียในครึ่งชั่วโมงต่อไป

6. สำหรับชิ้นส่วนซึ่งแสดงโอกาสของการเสีย จงพิสูจน์ว่า

$$P(T \leq t + h | T \geq t) = P(T \leq h)$$

7. ท่านได้รับงานให้ศึกษาหลอดไฟสองชนิด เพื่อพิจารณาหาคุณสมบัติในการเสียของแต่ละชนิด หลอดไฟเหล่านี้ จะใช้ในเครื่องบินซึ่งสำคัญมากต่อความปลอดภัยในการบินกลางคืน

## หลอด A

เวลาการใช้งาน	การเสียที่พบ
0 - 40	0
50	2
60	10
70	34
80	66
เวลาการใช้งาน	การเสียที่พบ
90	90
100	98
110	99
120	100

## หลอด B

เวลาการใช้งาน	การเสียที่พบ
0 - 60	1
70	5
80	30
90	70
100	95
110	99
120	100

- ก. หลอดไฟเหล่านี้มีการเสียชนิดใด ? (บอกไป้ : ให้พล็อตจำนวนของการเสียในทุก ๆ 10 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับเวลาของการใช้งาน)
- ข. ให้หาเวลาการเสียเฉลี่ยและการเบี่ยงเบนมาตรฐานของหลอดไฟแต่ละชนิด ?
- ค. หลอดชนิดใดที่ท่านควรจะเลือกใช้ ? จงอธิบาย
- ง. ความสามารถในการเปลี่ยนหลอดในขณะที่บินมีผลต่อการตัดสินใจของท่านหรือไม่ ?

8. โดยการใช้ข้อมูลจากโจทย์ข้อเจ็ดสำหรับหลอด A

ก. จงพล็อตความเชื่อถือได้ในฐานะฟังก์ชันของเวลา

ข. สมมติว่าเวลาของการเสีย T มีการแจกแจงแบบปกติ จงเขียนสมการของฟังก์ชันความเชื่อถือได้

ค. จงร่างภาพหายบ ๆ ของเส้นโค้งของอัตราการเสียชั่วขณะ ในฐานะฟังก์ชันของเวลา

ง. จงกล่าวถึงอัตราการเสียชั่วขณะตามปกติ ในฐานะฟังก์ชันความหนาแน่นปกติ  $f(t)$  และฟังก์ชันการแจกแจงปกติสะสม  $F(t)$  (บอกไป : จงเริ่มด้วยสมการ 13 - 3)

9. ชิ้นส่วนหนึ่งของอุปกรณ์เสียเป็นไปตามกฎของความน่าจะเป็นของ Weibull โดยที่  $T =$  เวลาที่เสีย และความน่าจะเป็นที่อุปกรณ์จะเสียก่อนเวลา  $t$  กำหนดให้โดย

$$P(T \leq t) = \begin{cases} 1 - e^{-(kt^2/2)}, & 0 \leq t, \\ 0, & t < 0 \end{cases}$$

ก. อะไรคืออัตราการเสีย  $f(t)$  ของอุปกรณ์นี้ ?

ข. อะไรคือฟังก์ชันของความหนาแน่น  $f(t)$  ที่เกี่ยวข้องกับฟังก์ชันการแจกแจงสะสมนี้

ค. อะไรคือ MTBF สำหรับอุปกรณ์นี้ ?

$$\text{จงสังเกตว่า } \int_0^{\infty} x^2 e^{-s^2} dx = \frac{\sqrt{\pi}}{4}$$

10. สมมติว่าข้อมูลต่อไปนี้ใช้กับเรดาร์ของอาวุธปล่อยพื้นน้ำสู่อากาศแบบ active homing :

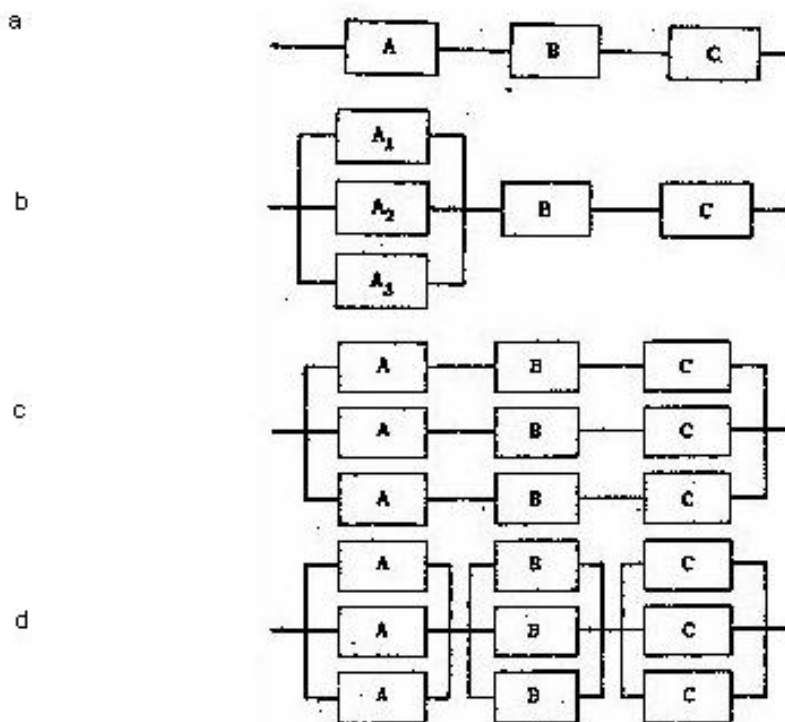
ชิ้นส่วนย่อย	จำนวนหลอด	จำนวนชิ้นส่วนอื่น	เวลา (นาที) ระหว่างการเสีย
เครื่องส่ง	20	150	40
เครื่องรับ	15	50	80
หน่วยกำลัง	10	50	100
ตัวเปลี่ยนข้อมูล	20	100	50

ก. จงหาเวลาระหว่างการเสียเฉลี่ยของเรดาร์

ข. จงหาอัตราการเสียของเรดาร์นี้

- ค. อะไรคือความเชื่อถือได้ของเรดาร์นี้สำหรับภารกิจสองนาทีก?  
 ง. จงหาอัตราการเสียหายเฉลี่ยของหลอด  $t$  และของชิ้นส่วนอื่น ๆ  $p$

11. จงคำนวณหาความน่าจะเป็นของระบบอิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ  $R_{TOTAL}$  ซึ่งประกอบด้วยชิ้นส่วนประกอบ A, B และ C ซึ่งมีความเชื่อถือได้เป็น  $R_A = .3$ ,  $R_B = .4$ ,  $R_C = .8$



12. ได้ตัดสินใจว่าความเชื่อถือได้ของเรดาร์สำหรับอาวุธปล่อยของกองทัพเรือ 10 ไม่พอเพียง และความสามารถในการปฏิบัติงาน (การได้เป้า การแยกเป้าทิ้ง ฯลฯ) มากเกินความจำเป็น ดังนั้นเรดาร์ที่ใกล้เคียงกัน แต่ด้วยคุณสมบัติของความสามารถในการปฏิบัติงานที่ยอมรับได้ได้ออกแบบไว้ เรดาร์ใหม่มี 50 หลอด และชิ้นส่วนอื่น 250 ชิ้น

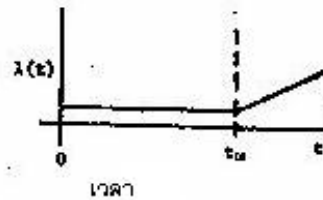
- ก. อะไรคือความเชื่อถือได้ของเรดาร์ใหม่ที่คาดคะเนว่าจะได้ สำหรับภารกิจสองนาทีก?  
 ข. จะต้องยิงอาวุธปล่อยที่ติดตั้งเรดาร์ใหม่กี่ลูก เพื่อให้แน่ใจได้ว่าจะได้ความเชื่อถือได้ของเรดาร์เป็น .99 สำหรับภารกิจนี้?  
 ค. จะต้องยิงอาวุธปล่อยที่ติดตั้งเรดาร์เก่า (ด้วยความเชื่อถือได้ .87) กี่ลูก เพื่อให้แน่ใจได้ว่าจะได้ความเชื่อถือได้ .99 สำหรับภารกิจนี้?

13. ความเชื่อถือได้ของเรดาร์คิดตามเป้า คือ  $R(t) = e^{-0.0834t}$  ซึ่งสามารถที่จะเพิ่มได้โดยการใช้เรดาร์สองตัวแบบขนาน หรือโดยการลดอัตราการเสีย ถ้าอัตราการเสียสามารถลดได้ครึ่งหนึ่งความเชื่อถือได้ที่ดีขึ้นนี้จะเปรียบเทียบกับที่จะดีขึ้น โดยมีเรดาร์เพิ่มอีกตัวหนึ่งเป็นอย่างไร สำหรับช่วงเวลาของการกิจเป็น :

- ก.  $t =$  หนึ่งชั่วโมง
- ข.  $t = 24$  ชั่วโมง

14. ในห้อง CIC ของเรือลำหนึ่งมีเรดาร์รีฟเฟกเตอร์สองตัว ซึ่งมีอัตราการเสียดังต่อไปนี้

$$f(t) = \begin{cases} .0002 & , & 0 \leq t < t_w \\ .0002 + .004(t - t_w) & , & t \geq t_w \end{cases}$$



รีฟเฟกเตอร์ทั้งสองได้ใช้งานมาถึงช่วง wear - out แล้ว (เวลาขณะนี้คือ  $t_w$ ) และท่านกำลังจะเปลี่ยนตัวหนึ่งด้วย รีฟเฟกเตอร์ใหม่ ซึ่งเหมือนกับตัวเดิมทุกประการ ณ เวลานี้มีการฝึกซึ่งจะเริ่มต้นซึ่งจะฝึก ๒๔ ชั่วโมง ในช่วงเวลานั้นจะต้องใช้ตัวใหม่ด้วย ท่านมีกำลังพลพอเพียงในการติดตั้งรีฟเฟกเตอร์ใหม่นี้ แต่จะต้องการเวลาเพื่อเดินรีฟเฟกเตอร์ ตัวเดียวเป็นเวลา ประมาณหกชั่วโมง สมมติว่าถ้ารีฟเฟกเตอร์เสียก็จะไม่สามารถซ่อมได้ในระหว่างการฝึก

- อะไรจะดีกว่า : ก. ใช้เดินด้วยรีฟเฟกเตอร์เก่าทั้งสองตัวตลอดการฝึก ?
- ข. ใช้เดินรีฟเฟกเตอร์เก่าตัวหนึ่งในหกชั่วโมงแรก ในขณะที่ติดตั้งรีฟเฟกเตอร์ตัวใหม่ เสร็จแล้วใช้ตัวใหม่หนึ่งตัว และตัวเก่าหนึ่งตัวในช่วง ๑๘ ชั่วโมงที่เหลือ ?

ระบบหนึ่งมีส่วนประกอบ A และ B ปฏิบัติงานได้ ถ้า A หรือ B ใช้ได้แต่ละส่วน (A และ B) มี Chance failures ด้วยอัตราการเสีย  $\lambda_A$  และ  $\lambda_B$  ตามลำดับ

ก. จงหาเวลาเฉลี่ยของการเสีย  $E(T)$  ของระบบนี้ บอกไป : จงระลึกว่า

$$E(T) = \int_0^{\infty} t f(t) dt, \quad f(t) = k e^{-kt} \quad \frac{1}{k}$$

ข. อัตราการเสียชั่วขณะของระบบนี้คงที่หรือไม่ ?





4. ก.

	R1	R2
	โจมตี A	โจมตี B
B1: ป้องกัน A	1	-3
B2: ป้องกัน B	-1	3

	R1	R2
	โจมตี A	โจมตี B
B1: ป้องกัน A	4	1
B2: ป้องกัน B	3	4

ข. จำนวนของหน่วยที่ยึดได้ หรือจำนวนของหน่วยที่ป้องกันไว้ได้

ก. B2

5. ก. (1) Z (2) W ข. สามคอลลาร์

6. ก. จุดอานม้า; น้ำเงิน (1, 0, 0), แดง (0, 1, 0);  $v = 0$

ข. จุดอานม้า; น้ำเงิน (0, 1, 0, 0), แดง (0, 1, 0);  $v = -3$

ค. จุดอานม้า; น้ำเงิน (0, 0, 1, 0, 0), แดง (0, 0, 0, 1, 0);  $v = 3$

7. ก. น้ำเงิน (1/3, 2/3), แดง (1/3, 2/3);  $v = 8/3$

น้ำเงิน (6/13, 7/13), แดง (3/13, 10/13);  $v = 70/13$

น้ำเงิน (0, 2/5, 0, 0, 3/5), แดง (0, 0, 1/5, 0, 0, 4/5);  $v = 22/5$

น้ำเงิน (8/17, 9/17), แดง (10/17, 7/17);  $v = 5/17$

น้ำเงิน (6/13, 7/13), แดง (3/13, 10/13);  $v = 3/26$

8. ก. S2 ข. (1/4, 3/4)

ค. ใช้เครื่องมือแบบเคาสุ่มเพื่อให้ฝ่ายน้ำเงิน 1 ได้ 1/4 ของเวลาทั้งหมด และน้ำเงิน 2 ได้ 3/4 ของเวลาทั้งหมด

ก. R1 R2 R3

	2A,0B	1A,1B	0A,2B
B1: 3A 0B	2	-1	-2
B2: 2A 1B	0	1	-3
B3: 1A 2B	-2	1	0
B4: 0A 3B	-1	0	2

ข.อย่างน้อยที่สุด -1 ด้วย B4

ค. อย่างมากที่สุด +1 ด้วย R2

ง.-1 V 1

11. ใช่ ;  $v = -1/34$

12. ใช่ ;  $v = 6\ 3/4$

13.ก. R1 : โจมตีเครื่องบินลำหน้า (ลำนำ) ทั้งสองเครื่อง ถ้าหากเครื่องบินลำหน้านั้นไม่ถูกทำลายในการโจมตีครั้งแรก

R2 : โจมตีลำหน้าในการโจมตีครั้งแรก และโจมตีเครื่องบินลำตามในการโจมตีครั้งที่สอง

R3 : โจมตีลำตามในการโจมตีครั้งแรกและลำหน้าในการโจมตีครั้งที่สอง

R4 : โจมตีลำตามทั้งสองครั้ง หากเครื่องบินลำตามไม่ถูกทำลายในการโจมตีครั้งแรก

ข.

	R1	R2	R3	R4
B1: ลูกกระเบิดในลำหน้า	.36	.6	.6	.72
B2: ลูกกระเบิดในลำหลัง	.72	.3	.3	.09

14. ก. ใช่ ;  $v = 2$

ข. ไม่ใช่ ;  $v = 2$

15. ก. ไม่

ข. ใช่ (R2 ถูกตัดทิ้งไป)

ค. ไม่

16. ก. จนกระทั่งถึง .4 ; ให้ใช้ B2

ข. ศูนย์ ; ให้ใช้ B1

ค. จนกระทั่งถึง .12 ; ให้ใช้ผสมที่ดีที่สุด. อย่างน้อย .3 ถ้าฝ่ายแดงใช้ strategy ผสม  
อย่างน้อย .9 ถ้าฝ่ายแดงใช้ strategy บริสุทธิ์

#### บทที่ 4

1. ก.

n	$g_n$	P(n)	F(n)
1	.1	.1	.1
2	.2	.18	.28
3	.5	.36	.64
4	.4	.144	.784
5	.3	.0648	.849
6	.2	.0296	.878
7	0	0	.878





- ก. .060                      ง. 062
8. ก. .90    ข. .904                      ค. .0006    ง. .0294
- จ. ใช้ ;  $\ln(1 - .0294) = -0.298 = -.0294$
9. ก.                      •  $g_{\Delta r_j} = \rho \psi^{\Delta r_j}$
10. ก.  $N(1, 40) = 20$                       ข.  $N(1, 0) = 20$                       ค. 20 ไมล์
11.  $\bar{P}(0) = .748$      $P(10) = .7220$                        $P(30) = .559$      $P(0) = .380$   
 $\bar{P}(70) = .222$      $P(100) = .078$
12. ก. 135,000 หลา                      ข. 2,940 ฟุต                      ค. 1,784 หลา
13. .81 วัตต์
14. ก.  $J=0$  ตัน     $B=2$  ตัน                      ข. .778
15. ก.  $G=427$  ปอนด์                       $W=213$  ปอนด์                      ข. 4/27

### บทที่ 6

1. ก. 14.14 นอต    ข. 135 องศา    ค. 1 ชั่วโมง    ง. 14.14 ไมล์
2. ก. .6                      ข. .3                      ค. .83                      ง. 60 ไมล์
3. ก. .53    ข. เช่นเดียวกัน (.3)    ค. .67                      ง. เช่นเดียวกัน (60 ไมล์)
4. ก. 60 ไมล์    ข. .5                      ค. 90 ไมล์  
    ง. .75                      จ. .5                      ฉ. .92
5. ก. .27    ข. .47                      ค. สูงกว่า
6. .622
7. ก. .144                      ข. .856                      ค. .036                      ง. .324

ก. 
$$N(A \cap D) = \frac{100r_0}{R_m} - \frac{100}{R_m} \int_0^{r_0} \bar{P}(x) dx$$

ข. 
$$N(B \cap D) = \frac{100}{R_m} \int_{r_0}^{R_m} \bar{P}(x) dx$$

9. ก.  $VWT$

ข.  $Q_{th} = VW$

ค.  $\frac{CA}{N}$

ง.  $\frac{CA}{NT}$

จ.  $W = \frac{CA}{NTV}$

บทที่ 7

1. ก. .03    ข. .54    ค. .46    ง. 45
2. ก. .17    ข. .42 (โดยสมมติว่าเครื่องบินแต่ละเครื่องบินอิสระ)    ค. 13
3. ก. 3,000 ไมล์    ข. .63    ค. ต่ำไปมาก    ง. หนึ่ง

4.  $1 - e^{-\frac{WL}{A}}$

5. ก. .26    ข. 40 ชั่วโมง    ค. 13.3 ชั่วโมง
6. ก. (1) .8 (2) .68    (3) .64    (4) .68    (5) .8    (6)  $.0016x^2 - .032x + .08$   
 ข. ใช่    ค. .693, no    ง. .683
7. ก. .528    ข. .653    ค. 19 ไมล์ทะเล

บทที่ 8

1. ก. 144 องศา 36 ลิปดา    ข. .1785 ชั่วโมง    ค. 2.892 ชั่วโมง  
 ง. retiring    จ. (1) เพิ่มจำนวนเครื่องบิน  
 (2) กวาด D แทน D  
 (3) เพิ่มความเร็วเครื่องบิน
2. ก. 2 เครื่อง    ข. 12.65 ชั่วโมง
3. ก. 1.44 ชั่วโมง    ข. Advancing    ค. 4    ง. ไม่,  $NPP = 1.37$  ชั่วโมง  
 จ.  $S = 16, N = 5, n = 3$  (ต้องการการสับเปลี่ยนหลัง  $N = 3$ )  
 $S = 16, N = 3, n = 5$  (ต้องการการสับเปลี่ยนหลัง  $N = 2$ )  
 ฉ. สาม
4. ก. 16 ไมล์ทะเล    ข. 4  
 ค.  $S = 16$  ไมล์ทะเล,  $M = 47.5$  ไมล์ทะเล,  $a = 5$  องศา 26 ลิปดา  
 ง. .984

5. ก. ตรวจจับและถ่ายภาพเรือต่าง ๆ (ด้วยความน่าจะเป็นที่กำหนดให้ 90%)

ข. จำนวนของชั่วโมงบินสำหรับช่วงสองสัปดาห์

ค. 22.85 ไมล์ทะเล

ง. 14

จ. 2

ช. จำนวนน้อยที่สุดของข้อ ข.

ค.

	n	N	S	P(det)
1	2	4	30	.91
2	4	2	30	.91
3	3	3	26.7	.94

7. ก.  $2N \left[ \frac{nSv}{v+u} - \frac{Du}{\sqrt{v^2-u^2}} \right] - \frac{nSv}{v+u}$

ข.  $\frac{\left\{ \left[ 2N \left( \frac{vnS}{u+v} - \frac{uD}{\sqrt{v^2-u^2}} \right) - \frac{vnS}{u+r} \right]^2 + D_1^2 \right\}^{1/2}}{v}$

6. ก. 30.47 ไมล์ทะเล

ข. 2

ค. 1/2 ของข้อ ก.

8. linear (จากรูป 8-7)

### บทที่ 9

1. ก.  $.667 \times 10^{-8}$  ไลน์/ชม. - วินาที

ข.  $.667 \times 10^{-12}$  ไลน์/ชม. - วินาที

ค. ศูนย์ db

ง. -40 db

จ.  $10^4$

ฉ. 40 db

ช. 40 db

ซ. เช่นเดียวกัน

2. 76 db

3. ก. ความกด (ความลึก)

ใช่, .01815 หลา/วินาทีต่อหนึ่งหลาของความลึก

4. ก. เส้นตรงทางราบ

ข. หักเหลง

ค. ยังคงอยู่ในเลเซอร์

ง. จะถูกหักเหลง

5.  $R_A = \frac{2D}{\tan \beta}$

6. 21.8 องศา

7. ระยะเพิ่มขึ้น,  $a_{skc} = .369$  db/กิโลหลา







$$r_p = .0001$$

11. ก. .096

ข. .21

ค. .261

ง. .51

12. ก. .90

ข. อาวุธปล่อย 2 ลูก

ค. อาวุธปล่อย 3 ลูก

13.

	R(1)	R(24)
เรตารเดี่ยว	.92	.13
$E(T) = \frac{1}{\lambda_A} + \frac{1}{\lambda_B} - \frac{1}{\lambda_A + \lambda_B}$	.96	.37
เรตารสองตัวแบบ redundancy	.99	.25

14. ก. .53

ข. .927 ดังนั้น จึงเปลี่ยนทันที

15. ก.

ข. ไม่