การทำงานของระบบ GPS

พลเรือตรี นคร ทุวงษ์

ในวารสารโรงเรียนนายเรือฉบับที่แล้ว (มกราคม-มีนาคม ๒๕๔๔) ผมได้แนะนำให้ท่านผู้อ่านรู้จักกับ GLONASS ระบบกำหนดตำแหน่งของรัสเซียกันไปแล้ว ระบบดังกล่าวเป็นหนึ่งในสองของระบบกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียมที่ใช้กันอยู่ในโลกปัจจุบัน นอกเหนือไปจากระบบ GPS (Global Positioning System) ที่เรารู้จักคุ้นเคยกับชื่อเสียงเรียงนามกันดีพอสมควรและได้ใช้ประโยชน์ในเรือต่าง ๆ ของกองทัพเรือแทบทุกลำ วารสารฉบับนี้ ผมจะเขียนถึงระบบ GPS เพื่อให้ครบเครื่องเรื่องระบบกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียมที่มีอยู่ในปัจจุบัน แม้จะมีผู้เขียนถึงระบบนี้กันไปบ้างพอสมควรแล้ว โดยเฉพาะในเรื่ององค์ประกอบของระบบ แต่ส่วนที่ไม่ค่อยมีใครเขียนถึงคือเรื่อง วิธีการหาตำแหน่งของระบบ GPS ผมจึงจะเขียนในมุมนี้บ้าง อันที่จริงการทำงานของระบบกำหนดตำแหน่งด้วยดาวเทียมทั้งสองระบบ ใช้หลักการเดียวกัน อาจจะแตกต่างกันบ้างในรายละเอียด ท่านผู้อ่านจึงสามารถจะทำความเข้าใจการทำงานของระบบ GLONASS ได้ในเวลาเดียวกัน

เช่นเดียวกับฉบับที่แล้ว ก่อนจะเขียนอะไรต่อไป ผมต้องเรียนท่านผู้อ่านที่ไม่ใช่ชาวเรือว่าศัพท์ที่ผมใช้บางคำเป็นคำที่ชาวเรือใช้กันจนเคยชิน เช่น คำว่า "ที่เรือ" เป็นต้น หากจะฟังแปร่ง ๆ เหมือนคำว่า "สิบหนึ่ง" ซึ่งชาวเรือใช้ไม่เหมือนคนทั่วไปเขาใช้กันบ้าง ก็ขอให้คิดเสียว่าเป็นศัพท์เฉพาะนะครับ

๑. บทนำ

ปัญหาเรื่องเราอยู่ที่ไหน เรากำลังจะไปไหน อาจจะเป็นปัญหาที่เก่าแก่ที่สุดของคนเรา เมื่อมาเริ่มเรียนวิชาเดินเรือ ปัญหานี้ถูกขยายวงออกไปจนสุดขอบฟ้าและเราหนีไม่พ้นที่จะต้องตอบปัญหาพื้นฐาน ๒ ข้อนี้ให้ได้ รูปแบบของปัญหาถูกดัดแปลงให้เข้ากับสิ่งที่เรียนเป็นว่า

ข้อแรกคือ เรืออยู่ที่ไหน คำตอบของปัญหาข้อนี้คือสิ่งที่ครูอาจารย์ท่านพร่ำสอนว่า การรู้ **ที่เรือ** (จุดที่เรืออยู่บนผิวโลก) ตลอดเวลาเป็นสิ่งที่สำคัญยิ่ง ที่เรือที่ดีที่สุดคือ **ที่เรือแน่นอน** โดยเฉพาะเมื่อเรือต้องเข้าใกล้ฝั่งหรือบริเวณที่น้ำตื้น หากยังหาที่เรือแน่นอนไม่ได้ก็ควรจะต้องรู้ **ที่เรือรายงาน** หรือ **ที่เรือโดยประมาณ** และเมื่อใดที่มีโอกาสก็ต้องรีบหาที่เรือแน่นอนให้ได้ ถ้ายังหาไม่ได้ ก็ขอให้ได้ **เส้นตำบลที่** ไว้ก่อนเพื่อที่จะใช้ความสัมพันธ์กับเวลาในการหาที่เรือแน่นอนในโอกาสข้างหน้า ถ้าใครเป็นนักเดินเรือแล้วไม่ทราบว่าเรือของตนขณะนี้อยู่ที่ไหน ก็เห็นจะต้องเตรียมคำให้การต่อกรรมการสอบสวนไว้ได้เลย

ข้อที่ ๒ คือ เรื่องของเส้นทางการเดินเรือ เราจะไปที่ไหน ใช้เข็มอะไร ความเร็วเท่าไร ผ่านที่หมายอะไรบ้าง จะเปลี่ยนเข็มเมื่อใด เวลาออกเรือ เวลาถึงจุดหมาย และอื่น ๆ อีกจิปาถะ สิ่งเหล่านี้จะต้อง

มีการวางแผนและเตรียมการในเรื่องต่าง ๆ มากมาย

ไม่เฉพาะการเดินเรือเท่านั้น ที่ต้องการทราบที่เรือทุกขณะ การปฏิบัติงานหลาย ๆ อย่างก็จำเป็นต้องทราบตำบลที่เช่นกัน และความต้องการนั้นมีมากกว่าการเดินเรือด้วยซ้ำ เพราะในการเดินเรือเราต้องการทราบที่เรือเพียง ๒ มิติ คือ ละติจูด และลองจิจูด (ความลึกของน้ำอาจหาได้จากแผนที่เดินเรือ) ในขณะที่การหาตำบลที่ในงานสาขาอื่น ๆ ต้องการตำบลที่ทั้ง ๓ มิติ บุคคลในหลายอาชีพ เช่น นักแผนที่ นักสำรวจ ทหารบก นักบิน ฯ จึงมักใช้คำที่ดูเป็นงานเป็นการว่า "ตำแหน่ง" แทน เพื่อให้หมายรวมทั้ง ละติจูด ลองจิจูด และความสูง เริ่มแรกเมื่อวิทยุถูกนำมาใช้ในการเดินเรือจึงเรียกว่า ระบบวิทยุเดินเรือ (Radio Navigation System) ต่อมาจึงเปลี่ยนไปเป็น ระบบกำหนดตำแหน่ง (Radio Positioning System) แทน

ระบบ GPS เป็นระบบกำหนดตำแหน่งที่ประกอบด้วยดาวเทียม ๒๔ ดวง และสถานีภาคพื้นดิน เป็นระบบที่ทำให้การกำหนดตำแหน่งเปลี่ยนโฉมหน้าไปอย่างสิ้นเชิงจากระบบก่อนหน้านี้ที่เป็นแบบติดตั้งบนพื้นโลก GPS ใช้ดาวเทียมเหล่านั้นเป็นจุดอ้างอิง เพื่อหาตำแหน่งได้อย่างละเอียดถูกต้องถึงระดับเซนติเมตรทุกตารางเมตรบนพื้นโลก เครื่องรับ GPS ได้รับการพัฒนาให้เล็กลงเรื่อย ๆ จนเหลือเพียงขนาดแผงวงจรรวม (IC) ไม่กี่ตัว และทำให้ราคาลดลงมากจนผู้คนสามารถเข้าถึงเทคโนโลยีได้ ปัจจุบันเครื่องรับ GPS ถูกนำมาใช้กับรถ เรือ เครื่องบิน เครื่องมือก่อสร้าง เครื่องกลการเกษตร และแม้แต่คอมพิวเตอร์พกติดกระเป๋า เชื่อว่าอีกไม่นานเครื่องรับ GPS จะกลายเป็นเครื่องมือพื้นฐานเหมือนโทรศัพท์ในปัจจุบัน

๒. หลักการทำงานของระบบ GPS

ในการเดินเรือในทะเล เราสามารถหาที่เรือบนแผนที่เดินเรือได้โดยการใช้เส้นตำบลที่หลายเส้นตัดกัน เส้นตำบลที่ที่ใช้อาจเป็นเส้นตรงที่ได้จากการแบริ่งที่หมาย หรืออาจเป็นเส้นโค้งวงกลมจากการวัดระยะด้วยเรดาร์ หรือเป็นเส้นโค้งไฮเพอโบล่าจากระบบวิทยุเดินเรือก็ได้ ระบบ GPS ก็ใช้การตัดกันของเส้นตำบลที่เช่นเดียวกัน แต่เส้นตำบลที่ ๆ ใช้เป็นเส้นระยะที่วัดจากเครื่องรับถึงดาวเทียม ซึ่งหาได้จากการจับเวลาเดินทางของคลื่นสัญญาณ คูณด้วยความเร็วของคลื่นสัญญาณ ส่วนวิธีการคำนวณใช้หลักการเดียวกับการขยายสามเหลี่ยม (Triangulation) ซึ่งเป็นวิธีการสำรวจแผนที่โดยใช้กล้องวัดมุม ธีโอโดไลท์ (Theodolite) หรือใช้เครื่องวัดระยะเป็นเครื่องมือวัด และใช้หลักวิชาเรขาคณิตกับวิชาตรีโกณมิติในการคำนวณหาค่าพิกัดจุดมุมของสามเหลี่ยม เมื่อเรานำวิธีการนี้มาใช้กับระบบ GPS จึงอาจเรียกว่าเป็น การขยายสามเหลี่ยมจากอวกาศ โดยที่สามเหลี่ยมเหล่านี้จะเป็นรูปสามเหลี่ยมมีทรง (สามมิติ)

สมมุติว่าเราวัดระยะจากเครื่องรับ GPS ของเราไปยังดาวเทียมดวงหนึ่งได้ ๑๐,๐๐๐ กิโลเมตร เราจะได้ทรงกลมลูกหนึ่งที่มีรัศมี ๑๐,๐๐๐ กิโลเมตร และมีดาวเทียมดวงนั้นเป็นศูนย์กลาง ตำแหน่งของเราจะอยู่ที่จุดใดจุดหนึ่งบนผิวทรงกลมนั้น

ต่อไปเราวัดระยะไปยังดาวเทียมดวงที่สอง สมมุติว่าได้ระยะ ๑๒,๐๐๐ กิโลเมตร เราก็จะได้ทรงกลมลูกที่สองที่มีรัศมี ๑๒,๐๐๐ กิโลเมตร และเราก็จะอยู่บนผิวจุดใดจุดหนึ่งบนทรงกลมนั้นเช่นกัน

เมื่อนำทรงกลม ๒ ลูกนั้นมาตัดกัน จะได้รอยตัดเป็นรูปวงกลม ตำแหน่งของเราจะค่อยชัดเจนขึ้นว่า เราอยู่บนจุดใดจุดหนึ่งบนวงกลมที่เป็นรอยตัดวงนั้น และถ้าเราวัดระยะไปยังดาวเทียมดวงที่สาม สมมุติว่าได้ระยะ ๑๓,๐๐๐ กิโลเมตร เราก็จะได้ทรงกลมอีกลูกหนึ่งที่มี รัศมี ๑๓,๐๐๐ กิโลเมตร ซึ่งเมื่อนำมาตัดกับวงกลมที่ได้ข้างต้น จะได้จุดตัด ๒ จุดซึ่งจุดใดจุดหนึ่งคือตำแหน่งของเรา การจะเลือกว่าจุดใดเป็นตำแหน่งของเรานั้น เราอาจใช้วิธีวัดระยะไปยังดาวเทียมดวงที่ ๔ แต่ก็ไม่จำเป็นนัก เพราะจุด ๒ จุดนั้น จะมีจุดหนึ่งซึ่งไม่น่าเป็นไปได้ที่จะเป็นตำแหน่งของเรา เนื่องจากจะอยู่ไกลเกินไปจากที่เรือโดยประมาณที่เราพอทราบและใส่เป็นค่าเริ่มต้นให้แก่เครื่องรับอยู่แล้ว เราจึงเลือกจุดที่เหลือได้โดยง่าย อย่างไรก็ตาม ในการปฏิบัติจริง เครื่องรับจะวัดระยะที่ ๔ ซึ่งจะมีประโยชน์ด้วยเหตุผลอื่นที่จะกล่าวต่อไป

จากการวัดระยะ ๓ ระยะดังกล่าวเพื่อหาตำแหน่งของเรา โดยหลักการคำนวณก็คือการแก้สมการ ๓ สมการ ที่มีตัวแปร ๓ ตัว คือ ค่า x y z ในระบบพิกัด Cartesian อันมีจุด Origin อยู่ที่ศูนย์กลางของทรงกลมโลก และมีระยะทั้งสามเป็นค่าที่ทราบ เมื่อได้คำตอบ x y z แล้วจึงคำนวณเปลี่ยนระบบพิกัดเป็น ละติจูด ลองจิจูด กับความสูงอีกทีหนึ่ง

ท่านผู้อ่านคงพอเห็นแล้วใช่ไหมครับว่า GPS มีหลักการอย่างไร

๓. การวัดระยะจากเครื่องรับถึงดาวเทียม

จากบทก่อน เราใช้สูตรคำนวณระยะ คือ ความเร็วคลื่นสัญญาณคูณด้วยเวลาที่คลื่นเดินทาง ในกรณีของ GPS ความเร็วของสัญญาณวิทยุประมาณ ๒๙๙,๗๙๒ กิโลเมตร/วินาที

ปัญหาคือ เราจะวัดช่วงเวลาที่คลื่นเดินทางได้อย่างไร

ปัญหานี้เป็นเรื่องน่าคิด เพราะช่วงเวลาที่สัญญาณเดินทางนั้นสั้นมาก ถ้าดาวเทียมอยู่ตรงศีรษะเราพอดี เวลาที่สัญญาณเดินทางถึงเราจะกินเวลาเพียง ๐.๐๖๗ วินาทีเท่านั้น ดังนั้นเราจะต้องใช้นาฬิกาจับเวลาที่มีความละเอียดอย่างยิ่ง

ทีนี้สมมุติว่าเรามีนาฬิกาจับเวลาแบบนี้แล้ว เราจะจับเวลาได้อย่างไร

ถ้าถึงเวลาธงขึ้น คือ ๐๘๐๐ เราสั่งให้เครื่องรับของเรากับดาวเทียมเริ่มร้องเพลงชาติพร้อมกัน หากเรายืนฟังอยู่ตรงเครื่องรับ เราจะได้ยินเสียงเพลงชาติจากเครื่องรับก่อนเสียงจากดาวเทียม (สมมุติว่าเสียงเดินทางผ่านอวกาศมาได้) เพราะเสียงต้องเดินทางอีก ๒๐,๒๐๐ กิโลเมตร กว่าจะมาถึงเรา ถ้าจะให้ได้ยินเสียงพร้อมกัน เราจะต้องหน่วงเวลาเสียงเพลงชาติที่เครื่องรับไว้เล็กน้อย ช่วงเวลาที่หน่วงไว้นี่แหละคือช่วงเวลาที่สัญญาณเสียงใช้ในการเดินทาง ซึ่งหากเป็น GPS ก็คือช่วงเวลาที่สัญญาณวิทยุใช้เดินทาง

ระบบ GPS ไม่ได้ใช้เพลงชาติ แต่ใช้รหัสสัญญาณวิทยุเรียกว่า Pseudo Random Code (PRC) มีลักษณะเป็นรหัสดิจิตอล คือ เลข ๐ และเลข ๑ เรียงสลับกันแบบสุ่ม รูปแบบซับซ้อนเหมือนสัญญาณรบกวน (Noise) ความซับซ้อนของมันทำให้เป็นไปได้ยากที่จะมีสัญญาณกวนจากแหล่งอื่นที่มีรูปแบบ

เหมือนกันเปี๊ยบ ดาวเทียมแต่ละดวงมี PRC เฉพาะตัวไม่ซ้ำกันเปรียบเสมือนเลขประจำตัวของดาวเทียม ดังนั้นเครื่องรับจะรู้ได้ว่า PRC ที่รับได้มาจากดาวเทียมดวงใด ดาวเทียมทุกดวงจึงใช้ความถี่ของคลื่นวิทยุเดียวกันได้โดยไม่มีการสับสน และก็เป็นการยากที่ฝ่ายตรงข้ามจะรบกวนการทำงาน ของระบบ นอกจากนั้นยังทำให้กระทรวงกลาโหมสหรัฐฯ สามารถควบคุมการเข้าถึงระบบ GPS ได้ด้วย เหตุผลสำคัญอีกประการหนึ่งที่ออกแบบระบบ GPS ให้ใช้ PRC ที่มีรูปแบบซับซ้อนก็คือ เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายของระบบ เพราะการเข้ารหัสสัญญาณทำให้สามารถใช้กำลังส่งต่ำ และไม่ต้องใช้จานรับสัญญาณขนาดใหญ่ด้วย

๔. การจับเวลาอย่างละเอียด

งานนี้เราคงไม่สามารถใช้นาฬิกากดมาจับเวลาได้ เพราะถ้าเวลาที่เราจับได้ผิดไปเพียง ๑/๑,๐๐๐ วินาที ที่ความเร็วของคลื่นวิทยุ ระยะของเราจะผิดไปกว่า ๓๐๐ กิโลเมตร บนดาวเทียมจะมีนาฬิกาซีเซียมความถูกต้องสูงติดตั้งอยู่หลายเครื่อง การจับเวลาบนดาวเทียมจึงทำได้เกือบสมบูรณ์แต่สำหรับเครื่องรับบนพื้นโลกของเราล่ะ ถ้าเราต้องใช้นาฬิกาซีเซียมที่มีราคาสูงขนาด ๒,๐๐๐,๐๐๐ - ๓,๐๐๐,๐๐๐ บาท ติดตั้งไว้ในเครื่องรับเพื่อใช้จับเวลา เครื่องรับจะมีราคาสูงมาก ระบบ GPS ก็คงมีผู้ใช้ไม่มากนัก ต้องเป็นเศรษฐีขนานแท้เท่านั้นจึงจะมีเงินจ่าย ดีที่วิศวกรระบบ GPS เขามีทางออกสำหรับเรื่องนี้ โดยใช้นาฬิกาที่มีความละเอียดรองลงมาและราคาพอรับได้แทน กับใช้เทคนิคเสริมมาช่วยแก้ปัญหา วิธีนี้เป็นจุดสำคัญของระบบ และข้อดีที่ได้เพิ่มมาอีกประการหนึ่งก็คือ เครื่องรับ GPS สามารถจะกลายเป็นนาฬิกาที่มีความละเอียดถูกต้องสูงเทียบได้กับนาฬิกาซีเซียม

เคล็ดลับของเทคนิคเสริมก็คือ ให้เครื่องรับวัดระยะไปยังดาวเทียมดวงที่ ๔ เพิ่มขึ้นอีกระยะหนึ่ง

ถ้านาฬิกาในเครื่องรับของเราเป็นนาฬิกาที่เที่ยงตรงและละเอียดมากที่สุด ระยะ ๓ ระยะที่เครื่องรับวัดได้ จะตัดกันที่จุด ๆ หนึ่งที่เป็นตำแหน่งของเรา แต่ถ้านาฬิกาของเราไม่ละเอียดขนาดนั้น การวัดระยะที่ ๔ จะเป็นตัวตรวจสอบ แน่นอนระยะทั้งสี่จะไม่ตัดกันเป็นจุดเดียว เครื่องคำนวณในเครื่องรับจะรู้ว่ามีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระยะที่วัดได้ ซึ่งก็คือความคลาดเคลื่อนของเวลา เครื่องรับจะคำนวณปรับแก้หา Correction Factor ค่าหนึ่งซึ่งเมื่อเอามาลบเวลาของทุกค่าแล้ว จะทำให้ระยะทั้งหมดตัดกันที่จุด ๆ เดียว ดังนั้นตอนนี้เราจึงมีสมการ ๔ สมการโดยเพิ่มตัวแปรตัวที่ ๔ คือ ค่าแก้เวลา ค่าแก้นี้จะทำให้เครื่องรับ Synchronize กับเวลามาตรฐานสากล เราจึงเหมือนกับมีนาฬิกาที่มีความละเอียดและเที่ยงตรงสูงอยู่ในเครื่องรับ แต่ที่สำคัญก็คือ เครื่องรับจะต้องมีช่องรับสัญญาณให้รับได้พร้อมกัน ๔ ดวงในเวลาเดียวกัน

ถึงจุดนี้เราใช้รหัส PRC ทำหน้าที่เป็นสัญญาณเทียบเวลา และระยะที่ ๔ เป็นค่าแก้เวลาให้นาฬิกาของเครื่องรับเดินตรงกันได้อย่างสมบูรณ์ เราจึงมีทุกอย่างพร้อมที่จะใช้จับเวลาเพื่อหาระยะจากดาวเทียมถึงเครื่องรับแล้ว

แต่สำหรับการขยายสามเหลี่ยมจากอวกาศ นอกจากจะทราบระยะข้างต้นแล้ว เรายังต้องทราบอย่างละเอียดว่าดาวเทียมในอวกาศของเรามีค่าพิกัดเท่าไร เพื่อใช้ในการคำนวณค่าพิกัดของเครื่องรับบนพื้นโลก เรื่องนี้ขอยกยอดไปในฉบับต่อไป

(ต่อฉบับหน้า)