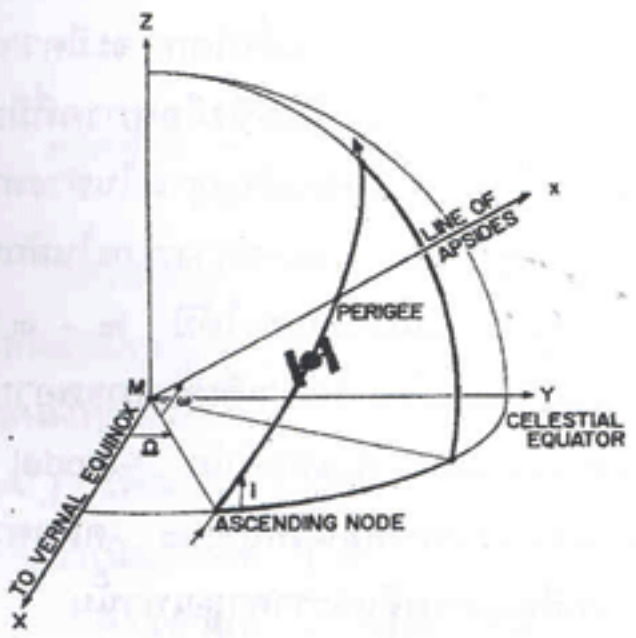
การทำงานของระบบ GPS (ตอนจบ)

พลเธิอตรี นคร ทนุวงษ์

จากวารสารฉบับที่แล้ว เราได้ทราบถึงหลักการคำนวณหาที่เรือด้วยเครื่องรับ GPS ว่า เครื่องรับจะวัดระยะทางจากตัวเครื่องรับถึงดาวเทียม ๔ ดวงในเวลาเดียวกัน โดยใช้รหัส PRC ประจำดาวเทียมเป็นสัญญาณเทียบเวลามี ๓ ระยะ ใช้ในสมการเพื่อการคำนวณหาค่าพิกัดตำแหน่ง x y z ของเครื่องรับสัมพันธ์กับจุดศูนย์กลางของลูกโลก ส่วนระยะที่ ๔ ใช้ในสมการหาค่าแก้เวลา เพื่อให้เวลานาฬิกาของเครื่องรับตรงกันกับเวลามาตรฐานสากล วารสารฉบับนี้จะกล่าวถึงการคำนวณตำแหน่ง ความคลาดเคลื่อนในระบบ และหลักการของระบบ Differential GPS ต่อไป

๕. การคำนวณตำแหน่ง

ในการขยายสามเหลี่ยมจากอวกาศโดยใช้มุม หรือใช้ระยะในการคำนวณตามหลักตรีโกณมิติ (Triangulation หรือ Trilateration) นอกจากจะต้องทราบระยะข้างต้นแล้ว เรายังต้องทราบอย่างละเอียดว่า ในขณะที่วัดระยะต่าง ๆ นั้น ดาวเทียมแต่ละดวงของเรามีค่าพิกัดเท่าไร เพื่อใช้เป็นจุดอ้างอิงในการโยงค่าพิกัดไปหาตำแหน่งของเครื่องรับ ตามปกติวงโคจรของดาวเทียมจะถูกกำหนดด้วยค่า Kleperian parameters ๖ ค่า (ตามภาพที่ ๑) ค่า Ω i และ ω แสดงให้เห็นรูปการวางตัวของ วงโคจรสัมพันธ์กับระบบพิกัดบนพื้นโลก ค่า a และ e แสดงรูปร่างของวงโคจรรูปวงรี ส่วน ν เป็นความเร็วเชิงมุมในการเคลื่อนที่ของดาวเทียม



ภาพที่ ๑

Ω - right ascension ของ ascending nodes

i - มุมเอียง (inclination) ของระนาบวงโคจร

ω - argument of perigee

a - semi-major axis ของวงรี

e - eccentricity ของวงโคจร

ν - true anomaly

ในขณะที่ดาวเทียมแต่ละดวงโคจรรอบโลกอยู่นั้น ดาวเทียมอยู่ภายใต้อิทธิพลของแรงต่าง ๆ เช่น แรงโน้มถ่วงของโลก แรงดึงดูดจากดวงอาทิตย์ ดวงจันทร์และดาวเคราะห์อื่น แรงกดดันจากการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ แรงเสียดทานจากโมเลกุลของก๊าซ ฯ ที่ทำให้ตำแหน่งของดาวเทียมที่คำนวณได้มี

ความคลาดเคลื่อนไปจากผลการคำนวณทางทฤษฎี แต่จากการศึกษาการโคจรของดาวเทียมมานานหลายทศวรรษ ทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถคำนวณหาตัวเกณฑ์แก้ไขความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งดาวเทียมได้อย่างละเอียด นอกจากนั้น การกำหนดตำแหน่งวงโคจรของดาวเทียม GPS ให้อยู่สูงถึงประมาณ ๒๐,๐๐๐ กิโลเมตร เหนือพื้นโลก ก็ทำให้ความคลาดเคลื่อนมีค่าน้อยลงมาก ทำให้ตำแหน่งดาวเทียมที่หาได้มีความถูกต้องสูง

ในเครื่องรับบนพื้นโลก จะมี almanac ที่โปรแกรมไว้ในคอมพิวเตอร์ซึ่งจะคำนวณหาได้ว่าดาวเทียมแต่ละดวงมีค่าพิกัดตำแหน่งเท่าไร นาทีต่อนาที แต่เพื่อให้มีความละเอียดถูกต้องมากยิ่งขึ้น ดาวเทียม GPS จะถูกเฝ้าติดตามอย่างสม่ำเสมอจากสถานีภาคพื้นดินของกระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกา โดยใช้เรดาร์ที่มีความละเอียดถูกต้องสูงมาก เพื่อคอยตรวจสอบความสูง ตำแหน่ง และความเร็ว เมื่อสถานีติดตามดาวเทียมวัดตำแหน่งของดาวเทียมได้ก็จะส่งข้อมูลใหม่นี้กลับไปยังดาวเทียม เพื่อปรับแก้ข้อมูลในสัญญาณ GPS ที่จะแพร่คลื่นกลับมาให้เครื่องรับใช้คำนวณตำแหน่งด้วยข้อมูลที่ทันสมัยขึ้น สัญญาณ GPS จึงไม่เป็นเพียง PRC สำหรับใช้ในการวัดเวลาเท่านั้น แต่สัญญานจะถูกใช้ให้เกิดประโยชน์ในการให้ข้อมูลล่าสุดสำหรับการคำนวณตำแหน่งดาวเทียมด้วย

๖. ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่เรือ

มาถึงจุดนี้ เรามีเวลาที่เที่ยงตรงสำหรับใช้วัดช่วงเวลาที่สัญญานเดินทางมาถึงเครื่องรับ เรามีพิกัดตำแหน่งดาวเทียมที่เราสามารถคำนวณได้อย่างแม่นยำ เราอาจจะคิดว่าเครื่องรับของเราน่าจะใช้งานหาพิกัดตำแหน่งที่เราอยู่ได้แล้ว และพิกัดที่หาได้คงจะมีความถูกต้องเชื่อถือได้ แต่อันที่จริงความคิดนี้ยังไม่ถูกต้องนัก ., เพราะสิ่งที่กล่าวมาทั้งหมดนั้น เสมือนว่าทุกสิ่งทุกอย่างเกิดขึ้นในอวกาศ แต่ในความเป็นจริงมิได้เป็นเช่นนั้น

ประการแรก สัญญาณ GPS ที่เดินทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับบนพื้นโลก จะมีความเร็วคงที่เฉพาะในอวกาศ แต่เมื่อสัญญานต้องเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ซึ่งมีอนุภาคที่มีประจุไฟฟ้า และต้องผ่านละอองไอน้ำในชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ ทำให้ความเร็วของสัญญาณในช่วงต่าง ๆ ไม่เท่ากัน แต่โดยรวมแล้วสัญญาณจะเดินทางช้าลงเล็กน้อย เป็นเหตุให้เกิดความผิดทางระยะในลักษณะเดียวกับการใช้นาฬิกาที่ไม่เที่ยงตรง วิธีที่จะลดความคลาดเคลื่อนส่วนนี้ให้น้อยลงได้มี ๒ - ๓ วิธี วิธีแรกคือ เราอาจคำนวณพยากรณ์การ delay ของสัญญาณที่เกิดขึ้นได้ในกรณีปกติเมื่อสภาพอากาศดี แต่ปัญหาอยู่ที่สภาพของชั้นบรรยากาศดังกล่าวมักมีสภาพแปรปรวนไม่ค่อยเป็นปกตินัก model ที่สร้างขึ้นจึงอาจใช้ไม่ได้ผล อีกวิธีหนึ่งโดยใช้การเปรียบเทียบความเร็วของคลื่นวิทยุ ๒ คลื่นความถี่ (dual frequency) ซึ่งเป็นวิธีที่ซับซ้อนและใช้ได้กับเครื่องรับที่มีคุณภาพดีและราคาสูงเท่านั้น

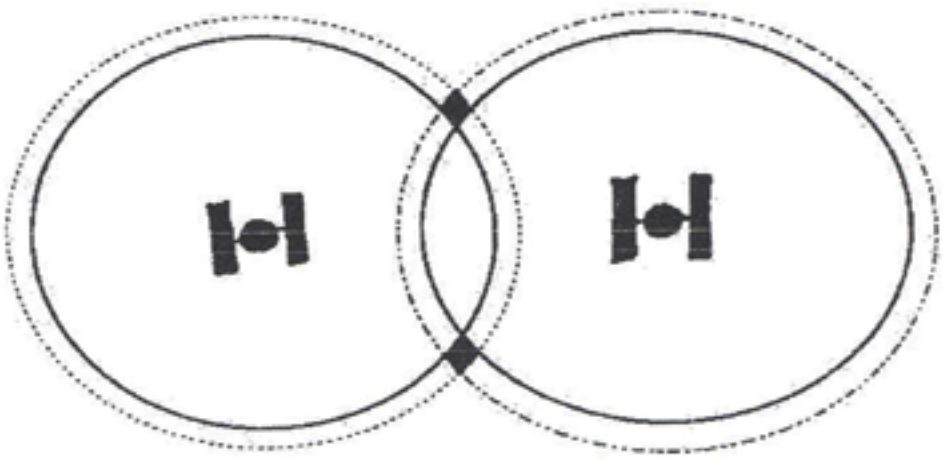
ประการที่ ๒ สัญญาณ GPS ไม่ได้เดินเป็นเส้นตรงจากดาวเทียมมายังเครื่องรับเลยทีเดียว สัญญาณอาจสะท้อนพื้นผิวอื่นหลายครั้งกว่าจะถึงเครื่องรับ เรียกว่า multipath effect ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนคล้ายกับการเกิด ghost ที่เราเห็นบนจอโทรทัศน์ เครื่องรับที่มีคุณภาพสูงจะใช้เทคนิคซับซ้อนในการขจัดหรือลดความคลาดเคลื่อนลักษณะนี้ แต่เครื่องรับทั่วไปจะยังมีอัตราผิดปรากฏอยู่

ประการที่ ๓ เกิดภายในระบบดาวเทียม แม้เราจะใช้ความประณีตพิถีพิถันเพียงใด แต่ก็หลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะยังมีความคลาดเคลื่อนเล็ก ๆ น้อย ๆ อยู่ในระบบ

ข้อแรกคือ ความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาซีเซียมที่ใช้ในดาวเทียม ทำให้เวลาของดาวเทียมผิดไปได้เล็กน้อย ส่งผลถึงระยะที่วัดได้อาจคลาดเคลื่อนไปบ้าง

ข้อต่อไปคือ ตำแหน่งของดาวเทียมที่แม้จะมีการเฝ้าติดตามตรวจสอบอย่างสม่ำเสมอ แต่เราก็ไม่อาจทำได้ตลอดเวลา ตำแหน่งจึงอาจผิดไปได้บ้างเล็กน้อย

นอกจากนั้น ความคลาดเคลื่อนต่าง ๆ ตามที่กล่าวมาทั้งหมด เมื่อผนวกรวมกันในระยะที่วัดได้ทั้ง ๓ ระยะแล้ว ก็ยังอาจถูกขยายให้มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ตามหลักเรขาคณิต (Geometric Dilution of Precision – GDOP) ลักษณะเดียวกับการแบริ่งหาที่เรือโดยที่เส้นแบริ่งตัดกันเป็นมุมแคบหรือกว้างเกินไป กล่าวคือ โดยปกติจะมีดาวเทียมมากกว่า ๓ ดวงให้เลือกใช้ในการกำหนดตำแหน่ง เครื่องรับจะทำหน้าที่เลือก ๓ ดวงที่จะใช้หาที่เรือ ถ้าเครื่องรับเลือกดวงที่วงระยะตัดกันเป็นมุมแคบ จะทำให้ความไม่แน่นอนของที่เรือมีมาก แต่ถ้าเลือกดวงที่ได้วงระยะตัดกันเกือบเป็นมุมฉาก จะได้ที่เรือที่มีความคลาดเคลื่อนน้อย เครื่องรับที่มีคุณภาพดีจะมีวิธีการเลือกดาวเทียมที่ให้ GDOP น้อยที่สุด



ภาพที่ ๒ ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งจะมากหรือน้อยอยู่ที่มุมที่วงระยะตัดกัน ในพื้นที่สีดำ

ความคลาดเคลื่อนขนาดใหญ่อีกประการหนึ่งที่ขอกล่าวถึงเพื่อความครบถ้วน คือ ความคลาดเคลื่อนแบบเจตนา โดยการเพิ่ม noise เข้าไปในสัญญาณนาฬิกา ด้วยเจตนาที่จะลดความถูกต้องของตำแหน่งที่หาได้ โดยกระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกา กำหนดเป็นนโยบายเรียกว่า Selective Availability (SA) เพื่อเป็นการกีดกันไม่ให้ฝ่ายตรงข้าม หรือกลุ่มก่อการร้ายได้ประโยชน์จากการใช้ระบบ GPS ในการดำเนินการใด ๆ ที่เป็นอันตรายต่อฝ่ายตน นโยบายนี้ถูกนำมาใช้ตั้งแต่เริ่มต้นโครงการ แต่ได้ยกเลิกไปตั้งแต่วันที่ ๑ พฤษภาคม ๒๐๐๐ ตามแถลงการณ์ของประธานาธิบดี บิล คลินตัน เพื่อให้ระบบ GPS ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ที่เป็นพลเรือนและผู้ใช้งานในเชิงพาณิชย์ทั่วโลก

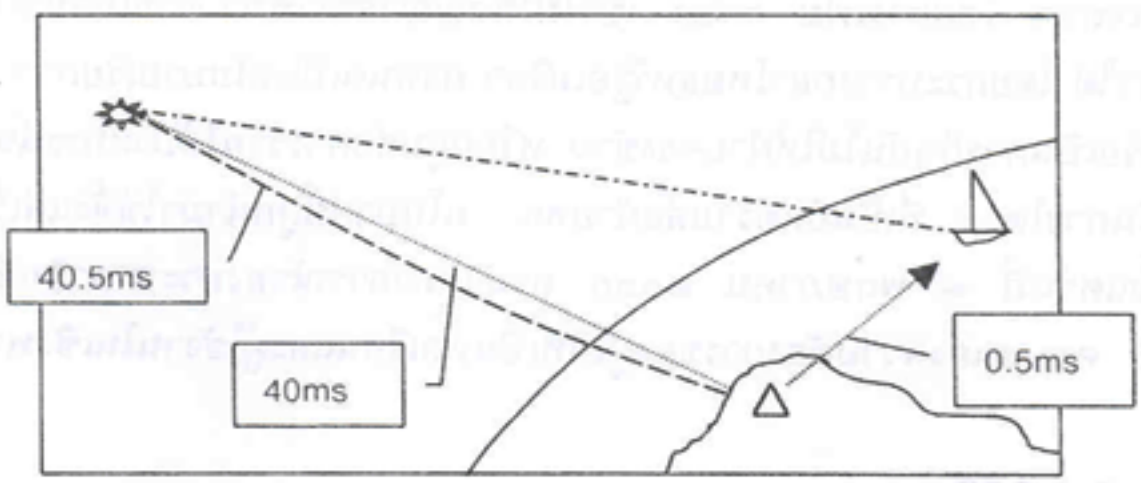
๗. Differential GPS

แม้ว่าระบบ GPS จะเป็นระบบกำหนดตำแหน่งที่มีความถูกต้องสูงที่สุดเท่าที่เคยมีการพัฒนา

กันมา แต่จากปัญหานโยบาย SA ของกระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกา ที่เจตนาทำให้ความถูกต้องของตำแหน่งลดลง จึงได้มีการนำหลักการ Differential แบบเดียวกับที่เคยใช้กับระบบหาที่เรือ OMEGA ในอดีตมาใช้ รวมเรียกว่าระบบ Differential GPS หรือ DGPS ยิ่งเมื่อสหรัฐอเมริกา ยกเลิกนโยบาย SA ยิ่งทำให้คุณประโยชน์ของระบบ DGPS เพิ่มมากขึ้น เพราะช่วยให้ความถูกต้องของพิกัดตำแหน่งสูงขึ้น ปัจจุบันระบบ DGPS ช่วยให้เราหาค่าพิกัดตำแหน่งของจุดบนพื้นโลกด้วยความถูกต้องในเกณฑ์ไม่กี่เมตรสำหรับวัตถุที่เคลื่อนที่ และสำหรับวัตถุที่อยู่นิ่ง ความถูกต้องจะอยู่ในระดับเซ็นติเมตร ตัวอย่างที่จะช่วยให้เห็นภาพชัดเจนขึ้นเช่น ระบบ GPS จะช่วยให้นักบินนำเครื่องบินค้นหาสนามบินพบ จากนั้นระบบ DGPS จะช่วยให้นักบินนำเครื่องบินไปอยู่กลาง runway ได้อย่างแม่นยำ

หลักการ differential ได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อช่วยลดความคลาดเคลื่อนของระบบ GPS ที่เกิดขึ้นในสภาพ การใช้งานจริงที่ความเร็วของสัญญาณ GPS ถูกหน่วงให้ช้าลง ทำให้เกิดผลรวมของความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากสาเหตุต่าง ๆ คือ อัตราผิดของนาฬิกาบนดาวเทียมและเครื่องรับ ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งดาวเทียม สภาวะ แปรปรวนในชั้นบรรยากาศที่สัญญาณเดินทางผ่าน การสะท้อนไปมาหรือการหักเหของคลื่นสัญญาณกว่าจะมาถึงเครื่องรับ

ระบบ DGPS เป็นการทำงานประสานกันของเครื่องรับ ๒ เครื่อง ๆ หนึ่งเป็นเครื่องประจำที่ อีกเครื่องหนึ่งเป็นเครื่องที่ติดตั้งบนยานพาหนะที่เคลื่อนที่ และต้องการทราบตำแหน่ง เราใช้เครื่องประจำที่ติดตั้งที่สถานีอ้างอิง ซึ่งเป็นจุดที่ได้มีการสำรวจหาค่าพิกัดตำแหน่งอย่างถูกต้อง สถานีอ้างอิงจะมีเครื่องส่งวิทยุสำหรับกระจายข่าวสารให้กับยานพาหนะในบริเวณพื้นที่ให้บริการ เครื่องรับอ้างอิงจะเปิดรับสัญญาณ GPS ตลอดเวลา แต่แทนที่จะทำงานเหมือนเครื่องรับ GPS อื่น ๆ เครื่องอ้างอิงจะแก้สมการกลับทาง คือ แทนที่จะใช้ข้อมูลจากสัญญาณ GPS คำนวณหาตำแหน่งของเครื่อง เครื่องอ้างอิงจะใช้พิกัดตำแหน่งที่สำรวจไว้อย่างดีแล้วในการคำนวณย้อนกลับไปหาระยะเวลาที่สัญญาณ GPS จะใช้เดินทางจากดาวเทียมถึงเครื่องอ้างอิงว่าควรจะเป็นระยะเวลาเท่าไร แล้วเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่สัญญาณเดินทางจริง ผลต่างที่ได้จะเป็นค่าแก้เวลา เช่น เราคำนวณได้ว่าสัญญาณ GPS ควรใช้ระยะเวลาเดินทาง ๔๐ ms. (Millisecond) แต่ระยะเวลาที่จับได้จริงเป็น ๔๐.๕ ms. ผลต่างคือ ๐.๕ ms. เครื่องรับ



ภาพที่ ๓ หลักการของ DGPS

อ้างอิงจะส่งค่าแก้เวลา ๐.๕ ms. นี้ไปให้เครื่องรับบนยานต่าง ๆ ที่กำลังเคลื่อนที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง เพื่อให้เครื่องเหล่านั้นนำค่าแก้เวลานี้ไปแก้ผลการจับเวลาให้ถูกต้องก่อนที่จะคำนวณออกมาเป็นระยะห่างของดาวเทียม

การที่เราสามารถใช้ค่าแก้เวลาดังกล่าว ได้กับเครื่องรับทุกเครื่องในพื้นที่ให้บริการได้นั้น อธิบายได้ว่าเพราะดาวเทียม GPS อยู่สูงจากพื้นโลกมาก ระยะห่างระหว่างเครื่องอ้างอิงกับเครื่องบนยานพาหนะหรือระยะทางที่ยานต่าง ๆ เคลื่อนที่ไปบนพื้นโลกในระหว่างช่วงเวลาที่เครื่องรับใช้ในการหาตำแหน่งจึงถือได้ว่าน้อยมากจนไม่มีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับระยะห่างของดาวเทียม ดังนั้นหากเครื่องรับบนยานอยู่ห่างจากเครื่องอ้างอิงสัก ๒๐๐ - ๓๐๐ กิโลเมตร สัญญาณจากดาวเทียมที่เดินทางมายังเครื่องรับทั้งสองก็แทบจะผ่านชั้นบรรยากาศแบบเดียวกัน ค่าแก้เวลาจึงถือได้ว่ามีขนาดเท่ากัน หรือหากจะผิดไปบ้างก็น้อยมาก

ในการทำงาน เครื่องอ้างอิงจะทำหน้าที่รับสัญญาณดาวเทียมทุกดวงที่โคจรพ้นขอบฟ้าในพื้นที่ให้บริการ และคำนวณค่าแก้เวลาของแต่ละดวง จากนั้นจะเข้ารหัสข่าวสารเป็นฟอร์แมตมาตรฐานก่อนที่จะส่งออกอากาศให้แก่เครื่องรับในพื้นที่บริการ เครื่องรับที่จะใช้บริการได้จะต้องมีเครื่องรับวิทยุสำหรับรับค่าแก้เวลาประกอบเข้ากับเครื่องหาตำแหน่ง GPS ด้วย จึงจะใช้งานได้

คุณประโยชน์ของระบบ DGPS ที่ช่วยให้เราสามารถหาตำแหน่งได้ด้วยความแม่นยำสูงทำให้เป็นที่นิยมใช้งานกันอย่างกว้างขวาง ในช่วงเริ่มแรกของการใช้ระบบ DGPS บริษัทเอกชนที่มีโครงการขนาดใหญ่ ที่ต้องการพิกัดตำแหน่งที่มีความถูกต้องสูง เช่น บริษัทน้ำมัน จะตั้งสถานีอ้างอิงขึ้นใช้งานเอง แต่ปัจจุบัน หน่วยงานของรัฐที่มีหน้าที่ให้บริการด้านการเดินเรือหรือการเดินอากาศเข้ามามีบทบาทให้บริการ โดยเฉพาะ ในบริเวณทางเข้าท่าเรือ น่านน้ำสำคัญ ท่าอากาศยานหรือสนามบิน สถานีเหล่านี้มักจะอยู่รวมกับเครื่องช่วยการเดินเรือหรือเดินอากาศที่มีอยู่แล้ว เช่น ประภาคาร กระโจมไฟ กระโจมวิทยุหาทิศ ความถี่ที่ส่งอยู่ในย่าน marine band ปัจจุบันเครื่องรับส่วนใหญ่ในท้องตลาดจะผลิตให้ใช้กับระบบ DGPS ได้ และบางแบบก็ทำภาครับวิทยุประกอบไว้ในเครื่องรับ GPS ด้วย

ในการใช้งานระบบ DGPS นั้น ส่วนมากจะใช้งานในการหาพิกัดตำแหน่งทั่ว ๆ ไปแบบ real time ซึ่งจะต้องมีการส่งผ่านข้อมูล ยังมีการใช้งานอีกลักษณะหนึ่งที่ไม่ต้องใช้การส่งผ่านค่าแก้เวลาด้วยเครื่องมือสื่อสาร เช่น ในงานสำรวจเพื่อปรับปรุงรายละเอียดบนแผนที่ เราอาจบันทึกข้อมูลการสำรวจพร้อมกับเวลาที่เที่ยงตรงในขณะทำงาน หลังจากนั้นข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาผนวกเข้ากับค่าแก้เวลาที่บันทึกไว้ที่สถานีอ้างอิง และปรับแก้ข้อมูลให้เรียบร้อยเหมือนการหาตำแหน่งแบบ real time ก็ได้ เรียกว่าเป็นการทำงานแบบ Post Processing DGPS

อีกวิธีหนึ่งที่มีการใช้งานกันในต่างประเทศ เรียกว่า Inverted DGPS ใช้ในการเฝ้าติดตามการเดินทางหรือการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ตัวอย่างจากบริษัทขนส่งสินค้าที่มีรถบรรทุกสินค้าจำนวนมากที่จะต้องไปส่งของตามที่ต่าง ๆ สำนักงานใหญ่สามารถติดตามการเดินทางของรถทุกคันได้โดยแทนที่จะติดตั้งเครื่องรับ DGPS ที่มีราคาสูงให้กับรถทุกคัน บริษัทจะติดตั้งเครื่องรับ GPS กับเครื่องส่งวิทยุที่มีราคาถูกกว่าแทน เครื่องส่งวิทยุจะส่งตำแหน่ง GPS ของรถไปยังสำนักงานซึ่งจะมีเครื่องรับ DGPS

เพียงเครื่องเดียว และมีคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่ใส่ค่าแก้เวลาแล้วคำนวณหาตำแหน่งของรถโดยละเอียดและแสดงบนจอควบคุม ด้วยวิธีนี้ทำให้ลดค่าใช้จ่ายลงได้อย่างมาก

สำหรับน่านน้ำไทยเราขณะนี้มีสถานี DGPS ของการท่าเรือแห่งประเทศไทยที่ จังหวัดสมุทรปราการ และท่าเรือพาณิชย์แหลมฉบัง ขนาดกำลังส่งแห่งละ ๑๐๐ วัตต์ ในอนาคตอันใกล้นี้จะมีสถานี DGPS ขนาดกำลังส่ง ๑,๐๐๐ วัตต์ ภายใต้การดำเนินงานของกรมอุทกศาสตร์ที่ประภาคารหลังสวน จังหวัดชุมพร เพิ่มอีก ๑ สถานี รัศมีการส่งประมาณ ๔๐๐ ไมล์ และมีแนวคิดที่จะจัดตั้งที่ประภาคารแหลมตาชี จังหวัดปัตตานี และที่ จังหวัดภูเก็ตต่อไป เพื่อให้ครอบคลุมทั่วทั้งน่านน้ำไทย ทะเลจีนใต้บางส่วน และในทะเลอันดามัน

พัฒนาการของระบบกำหนดตำแหน่งยังจะมีอยู่อย่างต่อเนื่องในอนาคต เรื่องเช่นนี้เป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับอาชีพชาวเรือของเราโดยตรง จึงเป็นความจำเป็นที่เราจะต้องติดตามความเคลื่อนไหวตลอดเวลา ทั้งนี้เพื่อจะได้ไม่เป็นคนพ้นยุคและเพื่อปรับตัวให้ทันกับความเปลี่ยนแปลงและหาทางนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์แก่งานของเรา

บรรณานุกรม

www.trimble.com