หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ประวัติการกำหนดพิกัดตำแหน่งจุดบนพื้นโลก

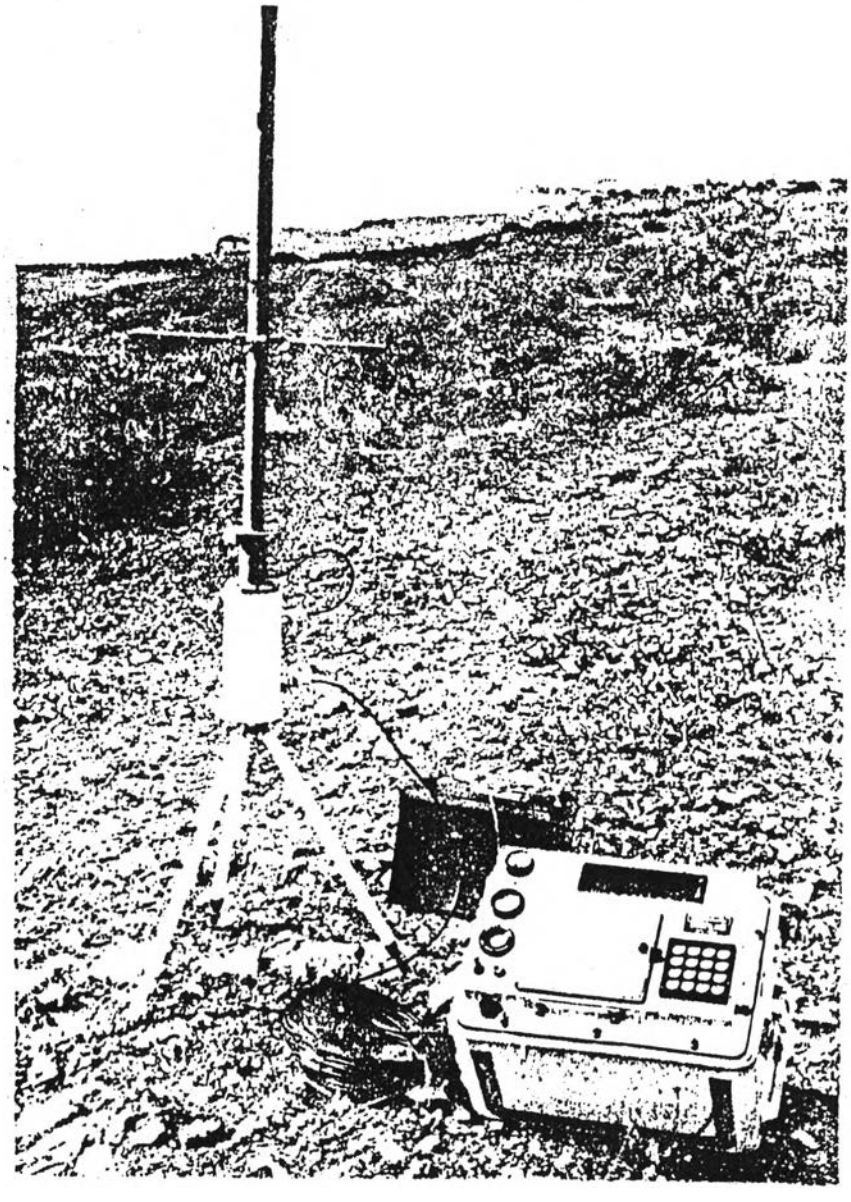
2.1 คำนำ

ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ริเริ่มประดิษฐ์เครื่องมือที่ใช้ในการรังวัด เพื่อกำหนดพิกัดตำแหน่งบนพื้นโลกโดยการรับสัญญาณดาวเทียมด้วยวิธีการดอปเปลอร์ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2501 และได้เริ่มดำเนินการผลิตเครื่องมือเพื่อใช้งานตั้งแต่ปี พ.ศ. 2507 จนกระทั่งนำไปใช้งานได้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2510 วัตถุประสงค์ของการผลิตเครื่องมือครั้งแรกเพื่อนำไปใช้ในราชการกองทัพเรือสหรัฐอเมริกา ต่อมาทางกองทัพเรือสหรัฐอเมริกาได้เสนอให้นำเครื่องมือที่ผลิตได้ไปใช้งานทางด้านกิจการเดินเรือของพลเรือน มีการผลิตเครื่องมือเพื่อการค้าในปีพ.ศ. 2511 เครื่องมือนี้สร้างขึ้นมาเพื่อใช้ทางด้านกิจการเดินเรือ จึงมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในระหว่าง 80 เมตร ถึง 100 เมตร (Stansell, 1978)

ในเวลาต่อมาได้มีการพัฒนาเครื่องมือนี้ให้มีความละเอียดและความถูกต้องสูงขึ้น เพื่อใช้ในกิจการด้านการสำรวจและทำแผนที่ ทำให้เครื่องมือมีความสะดวกที่จะนำไปใช้งานยิ่งขึ้น สามารถจะอ่านออกมาเป็นค่าละติจูด ลองจิจูด และความสูงออร์โธเมตริกจากเครื่องมือได้โดยตรง เครื่องมือนี้ได้มีผู้นำไปใช้เพื่อกิจการสำรวจและทำแผนที่ทั่วโลก มีที่ใช้งานอยู่ 3 ชนิดคือ Magnavox Mx 1502, Motorola-Mini Ranger และ JMA-1 ทั้งสามชนิดนี้ประเทศสหรัฐอเมริกาเป็นผู้ผลิตออกจำหน่าย เครื่องมือ 1 ชุด ประกอบด้วย ตัวเครื่องรับ แบตเตอรี่และเสาอากาศ กรมที่ดินเลือกใช้เครื่อง Magnavox Mx 1502 (ตามรูป 2.1) เครื่องมือนี้ได้มีการนำมาใช้งานในประเทศไทยครั้งแรก ปี พ.ศ. 2514 ถึงปี พ.ศ.2516 โดยกรมแผนที่ทหารได้จ้างบริษัทจากสหรัฐอเมริกามาทำการรังวัดให้ เครื่องมือที่ใช้เป็นของบริษัทเอง จำนวนสถานีที่ทำการรังวัดทั้งหมด 12 สถานี แต่ใช้ได้เพียง 9 สถานี (Walker, 1977)

2.2 ดาวเทียมที่ใช้ทางด้านการกำหนดพิกัดตำแหน่ง

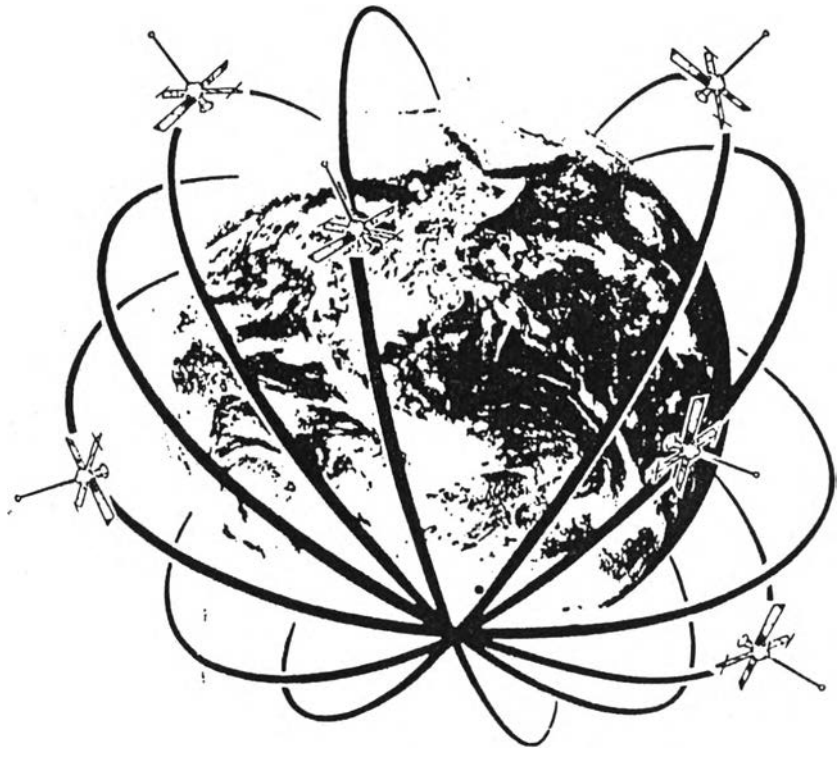
การกำหนดพิกัดตำแหน่งบนพื้นโลกโดยการรับสัญญาณดาวเทียม ใช้ระบบทรานสิท (Transit) เป็นระบบดาวเทียมกำหนดค่าพิกัดของกองทัพเรือสหรัฐ (Navy Navigation Satellite System หรือ NNSS) ถูกพัฒนาขึ้นมาโดย Applied Physics Labolatory



รูปที่ 2.1 เครื่องมือรังวัด Magnavox Mx 1502 (Stansell, 1978)

(หรือ APL) ของมหาวิทยาลัยจอห์นฮอพกินส์ โดยดาวเทียมระบบนี้อยู่ในความรับผิดชอบของ Navy Astronautics Group มีสำนักงานใหญ่อยู่ที่ Point Mugu แคลิฟอร์เนีย มีสถานีภาคพื้นดินที่คอยติดตามการโคจรของดาวเทียมอยู่ 4 แห่ง คือ รัฐเมน รัฐมินีโซตา รัฐแคลิฟอร์เนีย และรัฐฮาวาย

ดาวเทียมที่ใช้ปัจจุบัน 7 ดวง โคจรสูงจากพื้นผิวโลกประมาณ 1075 กิโลเมตร วงโคจรเป็นวงกลมผ่านขั้วโลกทั้งสองของโลก ดังนั้นวงโคจรของดาวเทียมเหล่านี้ประกอบกันเป็นรูปคล้ายกรงนก (ตามรูป 2.2) เวลาที่ใช้โคจรครบหนึ่งรอบประมาณ 107 นาที ความถี่ที่ใช้ในการส่งข้อมูลจะส่งด้วยกำลังส่งประมาณ 1 วัตต์ ที่ความถี่ประมาณ 150 และ 400 MHz



รูปที่ 2.2 แสดงวงโคจรของดาวเทียมในระบบทรานสิท โดยโคจรสูงจากพื้นดิน 1075 กิโลเมตร (Stansell, 1978)

2.3 การทำงานของระบบทรานสิท

การคำนวณหาค่าพิกัดตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณบนพื้นโลก จากค่าพิกัดของดาวเทียมในขณะที่โคจรผ่านเครื่องรับสัญญาณ แบ่งการทำงานได้เป็น 3 ส่วน คือ

2.3.1 ส่วนอวกาศ องค์ประกอบของส่วนอวกาศคือดาวเทียม เครื่องรับและส่งสัญญาณเกี่ยวกับข้อมูลเวลา วงโคจร

2.3.2 ส่วนควบคุม ประกอบด้วย

ก) สถานีติดตามภาคพื้นดิน ใช้ในการควบคุมข้อมูลเวลาที่ดาวเทียมส่งกระจายลงมา สถานีติดตามทั้ง 4 แห่งที่คอยติดตามการเคลื่อนที่ของดาวเทียมทั้ง 7 ดวง วัดและบันทึกข้อมูลในขณะที่ดาวเทียมโคจรผ่านเหนือสถานี แล้วส่งข้อมูลทั้งหมดไปรวมกันที่ศูนย์คำนวณที่สำนักงานใหญ่ในรัฐแคลิฟอร์เนีย

ข) ศูนย์คำนวณ ทำหน้าที่รวบรวมข้อมูลของการวัดแล้วคำนวณหาวงโคจรของดาวเทียม การคำนวณนี้กระทำทุก 24 ชั่วโมง จากการวัด 36 ชั่วโมง และจะคำนวณวงโคจรล่วงหน้าไปอีก 36 ชั่วโมง ส่งกลับเข้าไปเก็บไว้ในดาวเทียม การส่งข้อมูลจะกระทำทุก 12 ชั่วโมง โดยส่งไปเก็บแต่ละครั้งมีความยาว 16 ชั่วโมง ข้อมูลดาวเทียมนี้มีชื่อเรียกว่าอีฟิเมอริสส่งกระจาย ในการคำนวณของศูนย์คำนวณใช้แบบจำลองสนามแรงดึงดูดที่มีชื่อเรียกว่า WGS 72 (World Geodetic System 1972) และพิกัดตำแหน่งของสถานีติดตามที่อยู่ในระบบพิกัดที่เรียกว่า NWL 10D

2.3.3 ส่วนผู้ใช้ องค์ประกอบคือ เครื่องรับสัญญาณและเครื่องคำนวณหรือเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลข้อมูลที่รังวัดได้ เพื่อคำนวณหาตำแหน่งของจุดตามที่ต้องการ

2.4 เทคนิคการหาพิกัดตำแหน่งด้วยดอปเปลอร์

วิธีการหาพิกัดตำแหน่งบนจุดที่ต้องการทราบตำแหน่งกระทำได้ 2 วิธีคือ

2.4.1 การหาพิกัดตำแหน่งสัมบูรณ์ (Point Positioning) วิธีนี้จะเก็บรวบรวมข้อมูลของเส้นทางดาวเทียมที่โคจรผ่านจุดที่ต้องการหาพิกัดตำแหน่งหลาย ๆ เส้น และโดยอาศัยข้อมูลดาวเทียมหรืออีฟิเมอริส มาทำการวิเคราะห์หาพิกัดตำแหน่งของจุดที่ตั้งเครื่องรับโดยมีค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานดาวเทียม เช่น ใช้เส้นทางดาวเทียม 15 เส้น และเป็นอีฟิเมอริสส่งกระจายจะมีความถูกต้องของค่าพิกัดตำแหน่งอยู่ในเกณฑ์ 10 เมตร (Hoar, 1982)

2.4.2 การหาพิกัดตำแหน่งสัมพัทธ์ (Relative Positioning) วิธีนี้เกี่ยวข้องกับการนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมไปวางที่จุดพร้อม ๆ กัน ตั้งแต่สองจุดขึ้นไป ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อคำนวณหาพิกัดตำแหน่งจะคำนึงถึงสหสัมพันธ์ (Correlation) ระหว่างจุดที่รังวัด ซึ่งจะทำให้พิกัดตำแหน่งสัมพัทธ์ที่ได้มีความถูกต้องมากกว่าวิธีการหาค่าพิกัดตำแหน่งสัมบูรณ์ ในการหาค่าพิกัดตำแหน่งสัมพัทธ์จะได้ค่าพิกัดที่ถูกต้องยิ่งขึ้น ถ้าใช้เครื่องรับตั้งแต่ 3 เครื่องขึ้นไปทำการรับสัญญาณจากดาวเทียมในขณะเดียวกัน จะทำให้จุดที่นำเครื่องรับไปวางโยงยึดกันเป็นโครงข่าย

วิธีคำนวณหาตำแหน่งสัมพันธ์ แบ่งการคำนวณเป็น 3 วิธี คือ

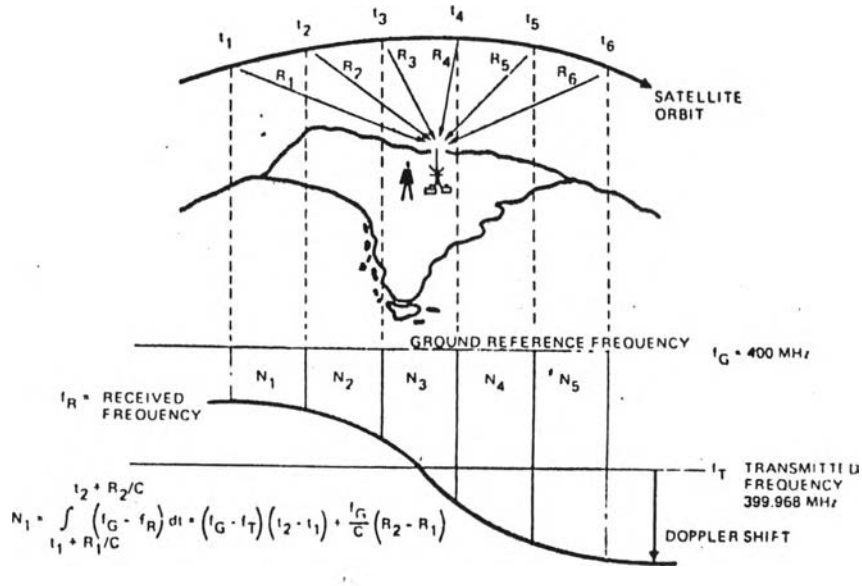
ก) Short arc translocation วิธีคำนวณแบบนี้จะรวมพารามิเตอร์ของวงโคจรทั้งหมด 6 ตัว เป็นส่วนหนึ่งในการคำนวณปรับแก้

ข) Semi-short arc translocation วิธีคำนวณที่รวมพารามิเตอร์ของวงโคจร ตั้งแต่ 1 ถึง 5 ตัว เป็นส่วนหนึ่งในการคำนวณปรับแก้

ค) Simple translocation วิธีการคำนวณที่นำข้อมูลของวงโคจรจากอีฟิเมอริสมาใช้ โดยถือว่าเป็นค่าที่ถูกต้องไม่มีการปรับแก้ใหม่

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลดอปเปลอร์

หลักการพื้นฐาน อาศัยดาวเทียมที่รู้ค่าพิกัดในขณะเวลาต่าง ๆ แล้วทำการวัดดอปเปลอร์ชิพท์ของความถี่คลื่นวิทยุที่ส่งออกมาจากดาวเทียมที่จุดบนพื้นผิวโลก ค่าที่วัดได้ในเครื่องรับไม่ใช่ค่าดอปเปลอร์ชิพท์ที่ต้องการโดยตรง แต่เป็นค่าต่างของความถี่ $(f_G - f_R)$ จะถูกบวกสะสมไว้สำหรับช่วงเวลาที่เครื่องรับทำงานรับสัญญาณ ค่าผลบวกสะสมนี้เรียกว่า ดอปเปลอร์เคานต์ (Doppler count) ตามรูป 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงค่าดอปเปลอร์เคานต์ที่วัดได้จากสัญญาณดาวเทียม (Stansell, 1978)

การคำนวณหาดอปเปลอร์เคานต์จะโยงไปหาตำแหน่งของจุดที่ตั้งเครื่องรับ คือ

ผลต่างของความถี่ = $f_G - f_R$

เมื่อเวลาเปลี่ยนจาก t_1 เป็นเวลา t_2 จะได้ค่าดอปเปลอร์เคานต์

$$N_1 = \int_{t_1+R_1/C}^{t_2+R_2/C} (f_G - f_R)\, dt \qquad \ldots\ldots (1)$$

จากสมการ (1) แยกได้เป็น

$$N_1 = \int_{t_1+R_1/C}^{t_2+R_2/C} f_G \, dt - \int_{t_1+R_1/C}^{t_2+R_2/C} f_R \, dt \qquad \ldots\ldots (2)$$

แต่จำนวนคลื่นที่เครื่องรับรับได้จากเวลา $t_1 + R_1/C$ ถึงเวลา $t_2 + R_2/C$ จะเท่ากับจำนวนคลื่นที่ส่งออกจากดาวเทียมจากเวลา t_1 ถึง t_2 ดังนั้น จากสมการ (2) จะเขียนใหม่ได้

$$N_1 = \int_{t_1+R_1/C}^{t_2+R_2/C} f_G \, dt - \int_{t_1}^{t_2} f_T \, dt \qquad \ldots\ldots (3)$$

แต่ f_G, F_T เป็นค่าคงที่ สมการ (3) จะได้

$$N_1 = f_G \left[(t_2 - t_1) + \frac{1}{C}(R_2 - R_1)\right] - f_T (t_2 - t_1)$$

หรือ

$$N_1 = (F_G - f_T)(t_2 - t_1) + \frac{f_G}{C}(R_2 - R_1) \qquad \ldots\ldots (4)$$

จากสมการ (4) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่รังวัด N_1 กับผลต่างระยะทาง ส่วนพารามิเตอร์อื่น ๆ เป็นตัวที่รู้ค่าทั้งสิ้น ผลต่างระยะทางมีความสัมพันธ์กับตำแหน่งของจุดที่ต้องการหา

ถ้าให้ X_o, Y_o, Z_o เป็นพิกัดตำแหน่งของเครื่องรับ

X_1, Y_1, Z_1 เป็นพิกัดตำแหน่งของดาวเทียมที่เวลา t_1

X_2, Y_2, Z_2 เป็นพิกัดตำแหน่งของดาวเทียมที่เวลา t_2

ดังนั้น ความสัมพันธ์ของผลต่างระยะทางจะได้

$$R_2-R_1 = [(X_2-X_o)^2+(Y_2-Y_o)^2+(Z_2-Z_o)^2]^{1/2}-[(X_1-X_o)^2+(Y_1-Y_o)^2+(Z_1-Z_o)^2]^{1/2}$$

หรือ

$$R_2 - R_1 = f_1 (X_o, Y_o, Z_o)$$

จากสมการ (4) จะได้เป็น

$$N_1 = (f_G - f_T) (t_2 - t_1) + \frac{f_G}{C} f_1 (X_o, Y_o, Z_o) \qquad \ldots\ldots (5)$$

สมการนี้เป็นรูปจำลองคณิตศาสตร์ที่ใช้วิธีการคำนวณปรับแก้เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ ซึ่งเป็นวิธีการแก้สมการค่าสังเกต (Observation equation)

2.6 ค่าพิกัดตำแหน่งของดาวเทียม

การคำนวณพิกัดตำแหน่งของเครื่องรับ จำเป็นต้องอาศัยพิกัดตำแหน่งของดาวเทียมในขณะที่ทำการรับสัญญาณ ในการหาพิกัดตำแหน่งของดาวเทียมกระทำได้คือ

2.6.1 อีฟิเมอริสส่งกระจาย เป็นคลื่นวิทยุที่ดาวเทียมส่งมายังเครื่องรับสัญญาณ โดยพิกัดตำแหน่งของดาวเทียมได้มาจากการคำนวณล่วงหน้าที่ต้องอาศัย

ก) สถานีติดตามภาคพื้นดินสี่แห่ง ติดตามการเคลื่อนที่ของดาวเทียม วัดและบันทึกข้อมูลในขณะดาวเทียมโคจรผ่านเข้ามาอยู่เหนือสถานี แล้วส่งข้อมูลทั้งหมดไปรวมกันที่ศูนย์

015370

คำนวณในรัฐแคลิฟอร์เนีย คำนวณหาวงโคจรของดาวเทียมทุก 24 ชั่วโมง โดยใช้ข้อมูลจากการวัด 36 ชั่วโมง

ข) แบบจำลองสนามแรงดึงดูดของโลก ที่เป็นแรงทำให้ดาวเทียมโคจรรอบโลกได้

ค) แบบจำลองคณิตศาสตร์ของแรงอื่น ๆ ที่กระทำต่อดาวเทียม

ผลของการคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งดาวเทียมในลักษณะนี้ มีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ 20-30 เมตร

2.6.2 อีฟิเมอริสละเอียด (Precise ephemeris) เป็นการประยุกต์ค่าของอีฟิเมอริสส่งกระจาย ให้ได้พิกัดตำแหน่งของดาวเทียมในขณะโคจรจริง ประกอบด้วย

ก) สถานีติดตามดาวเทียมมากกว่า 20 แห่ง ที่กระจายอยู่ทั่วโลก

ข) รูปจำลองสนามแรงดึงดูดของโลก มีการเปลี่ยนแปลงหลายครั้ง เพื่อความถูกต้องมากยิ่งขึ้น

ค) การคำนวณวงโคจรกระทำ 2 วันต่อครั้ง จากข้อมูลการติดตาม 48 ชั่วโมง และจะกระทำสำหรับดาวเทียมเพียงหนึ่งหรือสองดวงเท่านั้น

ผลของการคำนวณค่าพิกัดตำแหน่งดาวเทียม มีความถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ 2-3 เมตร แต่ระยะเวลาในการดำเนินงานต้องใช้เวลานาน และทาง DMAHTC (Defense Mapping Agency Hydrographic Topographic Center) เป็นผู้พิจารณาส่งข้อมูลแบบอีฟิเมอริสละเอียดมาให้ผู้รับสัญญาณ เพื่อให้ผู้รับสัญญาณใช้คำนวณหาค่าพิกัดตำแหน่ง