

ความแม่นยำในการกำหนดพิกัดโดยใช้ดาวเทียม ETS-8 ร่วมกับ GPS Accuracy of Points Positioning Using ETS-8 and GPS

ณรงค์ เหมกรณ์ สุทธิชัย นพาศิพงษ์¹ Shinichi Nakamura²

¹ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3 ม.2 ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520 E-mail: khnarong@kmitl.ac.th, knsuthich@kmitl.ac.th

² Japan Aerospace Exploration Agency

2-1-1 Sengen, Tsukuba, Ibaraki 305-8505 Japan, E-mail: nakamura.shinichi@jaxa.jp

บทคัดย่อ

การใช้ดาวเทียม GPS ในการระบุพิกัดจะมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากเกิดการหน่วงเวลาเมื่อคลื่นเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีความแปรปรวนของปริมาณและความหนาแน่นของอิเล็กตรอน หรือบางเวลาดาวเทียมถูกตึกสูงหรือภูเขาบัง เมื่อใช้ดาวเทียม ETS-8 ซึ่งเป็นดาวเทียมวงโคจรอยู่กับที่ร่วมกับดาวเทียม GPS ทำให้การระบุพิกัดมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น

คำสำคัญ: การกำหนดพิกัดโดยใช้ดาวเทียม ดาวเทียม GPS ดาวเทียม ETS-8 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

Abstract

Using GPS for points positioning have some error according to irregularity of total electron content and electron density of ionosphere. Sometimes GPS satellite was shadowed by tall buildings or mountains. When ETS-8 and GPS were used together, the accuracy of points positioning are better.

Keywords: points positioning using satellite, GPS, ETS-8, ionosphere

1. คำนำ

สำหรับเทคโนโลยีระบบดาวเทียมเพื่อการนำร่องในเครื่องบินหรือจรวดนำวิถีมีความสำคัญมาก ส่วนการกำหนดตำแหน่งให้ถูกต้องแม่นยำในการปักเขตรังวัดที่ดินหรือการก่อสร้างตึกอาคารก็มีการใช้ระบบ GPS เป็นเครื่องมือในการกำหนดพิกัด ในรถแท็กซี่ก็มีการติดตั้งเครื่องรับ GPS กันอย่างแพร่หลาย เพื่อให้รู้ตำแหน่งที่อยู่ของรถในขณะเวลานั้น ๆ ในแต่ละชนิดหรือจุดประสงค์ของการใช้งานต้องการความถูกต้องแม่นยำแตกต่างกันไป เช่นเครื่องรับ GPS ในรถแท็กซี่ ในรถยนต์ส่วนบุคคล ถ้าการระบุตำแหน่งผิดไป 20 - 30 เมตร ก็ไม่มีปัญหาอะไร แต่เครื่องรับ GPS ในระบบนำร่องเครื่องบินให้บินลงรันเวย์สนามบิน ถ้าการระบุตำแหน่งผิดไป 20 - 30 เมตร เครื่องบินอาจบินตกรันเวย์ได้ ชั้น

บรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นสาเหตุประการหนึ่งที่ทำให้เกิดความผิดพลาดในการระบุพิกัดของระบบดาวเทียม GPS สัญญาณนาฬิกาจะต้องมีความถูกต้องแม่นยำและสอดคล้องกันระหว่างดาวเทียมและเครื่องรับที่ภาคพื้นดิน

2. การระบุพิกัดบนพื้นผิวโลกโดยใช้ดาวเทียม GPS

ในสมัยสงครามเวียดนาม เครื่องบินของประเทศสหรัฐอเมริกาบินไปทิ้งระเบิดในประเทศเวียดนาม ถูกทหารเวียดนามเหนือหรือเวียดกงยิงเครื่องบินตก นักบินอเมริกันโคตรล้มลงในป่า วิหยติดต่อให้ทางฐานทัพหรือฝ่ายของตัวเองส่งเฮลิคอปเตอร์ไปรับกลับ แต่ไม่สามารถบอกตำแหน่งพิกัดของตัวเองว่าอยู่ที่ตำแหน่งไหน ทางฐานทัพก็ไม่สามารถส่งเฮลิคอปเตอร์ไปรับกลับมาได้ หลังจากนั้นประเทศสหรัฐอเมริกาจึงได้พัฒนาระบบดาวเทียม GPS ขึ้นมาเพื่อใช้ระบุตำแหน่งพิกัดบนพื้นผิวโลกและใช้ประโยชน์ทางการทหาร จรวดนำวิถี และด้านอื่น ๆ

ยุคแรก ๆ ระบบดาวเทียม GPS ใช้เฉพาะทางการทหารเท่านั้น มีการเข้ารหัสสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียม ต่อมาจึงให้ใช้ทางด้านพลเรือนด้วย แทบทุกประเทศทั่วโลกใช้ดาวเทียม GPS ในการระบุพิกัดดาวเทียมในระบบ GPS นี้มีดาวเทียมอยู่ในวงโคจรทั้งหมด 24 ดวง มี 6 ระบายวงโคจร โคจรอยู่ที่ระดับความสูงประมาณ 20,200 กิโลเมตรเหนือพื้นโลก เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS บนพื้นผิวโลกจะต้องมองเห็นดาวเทียม GPS อย่างน้อย 4 ดวงในขณะเวลานั้น ๆ เนื่องจากมีตัวแปรคือ x, y, z และ t โดยที่มุมเงยที่มองเห็นดาวเทียมควรจะสูงกว่า 15 องศา จึงจะคำนวณระบุตำแหน่งของเครื่องรับในขณะเวลานั้นได้ เนื่องจากระบบดาวเทียม GPS เป็นของประเทศสหรัฐอเมริกา หากมีสงครามเกิดขึ้นหรือมีเหตุฉุกเฉินบางกรณี ทางประเทศสหรัฐอเมริกาอาจไม่ให้ประเทศอื่นใช้หรือมีการเข้ารหัสสัญญาณที่ส่งมาจากดาวเทียม ทำให้ประเทศอื่น ๆ ไม่สามารถใช้ดาวเทียม GPS ของอเมริกาได้ ดังนั้นประเทศอื่น ๆ จึงต้องพึ่งตัวเองโดยการส่งดาวเทียมของตนเองเพื่อใช้ระบุตำแหน่งบนพื้นโลก เช่นเดียวกับระบบดาวเทียม GPS ของอเมริกา เช่นประเทศในสหภาพยุโรปหรือEU มีการส่งดาวเทียม GALILEO ประเทศรัสเซียมีดาวเทียม GLONASS ประเทศจีนมีดาวเทียม COMPASS ประเทศญี่ปุ่นมีดาวเทียม ETS-8 และ QZS เพื่อใช้ระบุตำแหน่งพิกัดบนพื้นผิวโลกเช่นเดียวกับดาวเทียม GPS ของสหรัฐอเมริกา

หลักการการทำงานของระบบดาวเทียม GPS ก็เหมือนสถานีชายฝั่งที่ใช้เพื่อการเดินเรือทะเลในสมัยก่อน เพราะในสมัยก่อนยังไม่มีระบบดาวเทียมใช้ เรือเดินทะเลที่อยู่กลางมหาสมุทรจะรู้ตำแหน่งว่าเรืออยู่ที่ตำแหน่งไหน ต้องมีเครื่องรับคลื่นวิทยุแบบบอกทิศทาง (radio direction finder) เพื่อให้รู้ว่าคลื่นความถี่นั้น ๆ มีทิศทางมาจากสถานีชายฝั่งของประเทศไหน ลากเส้นจากสถานีชายฝั่งของแต่ละประเทศมาตัดกันก็จะรู้ตำแหน่งของเรือเดินทะเลในขณะนั้น

ในสมัยนี้เมื่อมีระบบดาวเทียม GPS ใช้ เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS จะรับสัญญาณจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง แล้วคำนวณหาตำแหน่งที่กีดตามสมการพื้นฐานดังนี้

$$\{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2 + (z_1 - z)^2\}^{1/2} = c(t_1 - t_0) \quad (1)$$

$$\{(x_2 - x)^2 + (y_2 - y)^2 + (z_2 - z)^2\}^{1/2} = c(t_2 - t_0) \quad (2)$$

$$\{(x_3 - x)^2 + (y_3 - y)^2 + (z_3 - z)^2\}^{1/2} = c(t_3 - t_0) \quad (3)$$

$$\{(x_4 - x)^2 + (y_4 - y)^2 + (z_4 - z)^2\}^{1/2} = c(t_4 - t_0) \quad (4)$$

เมื่อ c = ความเร็วแสง

x_1, y_1, z_1 = ตำแหน่งของดาวเทียมดวงที่ 1

x_2, y_2, z_2 = ตำแหน่งของดาวเทียมดวงที่ 2

x_3, y_3, z_3 = ตำแหน่งของดาวเทียมดวงที่ 3

x_4, y_4, z_4 = ตำแหน่งของดาวเทียมดวงที่ 4

t_0 = ค่าเวลาสัญญาณนาฬิกาที่ผิดพลาดของดาวเทียมกับเครื่องรับ

t_1 = เวลาที่สัญญาณดาวเทียมดวงที่ 1 มาถึงเครื่องรับ

t_2 = เวลาที่สัญญาณดาวเทียมดวงที่ 2 มาถึงเครื่องรับ

t_3 = เวลาที่สัญญาณดาวเทียมดวงที่ 3 มาถึงเครื่องรับ

t_4 = เวลาที่สัญญาณดาวเทียมดวงที่ 4 มาถึงเครื่องรับ

ระยะทางจากดาวเทียมแต่ละดวงถึงเครื่องรับ GPS บนพื้นโลกหาได้จากเอาความเร็วคลื่น (คือความเร็วแสง) คูณกับเวลาที่คลื่นเดินทางจากดาวเทียมมาถึงเครื่องรับ

$$d = c(t_r - t_t) \quad (5)$$

d = ระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับ

t_r = เวลาที่คลื่นสัญญาณเดินทางมาถึงเครื่องรับ

t_t = เวลาที่คลื่นสัญญาณเริ่มต้นเดินทางจากดาวเทียม

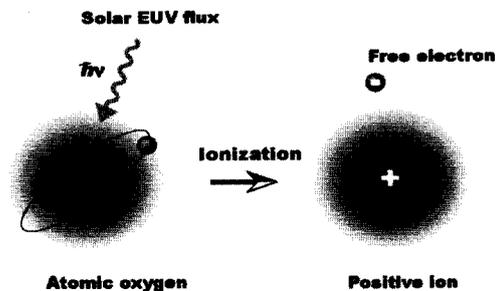
$(t_r - t_t)$ คือเวลาที่คลื่นเดินทางจากดาวเทียมมาถึงเครื่องรับซึ่ง

อาจจะมีความคลาดเคลื่อนเพราะคลื่นต้องเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และโทรโพสเฟียร์ มีการหน่วงเวลาเกิดขึ้น จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพชั้นบรรยากาศแต่ละวัน นอกจากนี้ยังอาจมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากสัญญาณนาฬิกาของดาวเทียมและเครื่องรับ

3. ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทำให้การระบุพิกัดของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมคลาดเคลื่อน

สัญญาณที่ส่งลงมาจากดาวเทียมจะต้องผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์อยู่ที่ระดับความสูงประมาณ

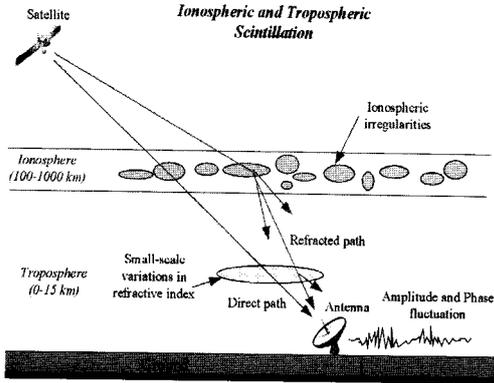
50 - 1,000 กิโลเมตรเหนือพื้นผิวโลก ระดับความสูงมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ในเวลากลางวันรังสีอัลตราไวโอเล็ตและรังสีคอสมิกจากดวงอาทิตย์ทำให้โมเลกุลของออกซิเจนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เกิดการแตกตัวเป็นไอออนบวกและอิเล็กตรอนอิสระดังในรูปที่ 1 อิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นมีจำนวนมาก เคลื่อนที่และเปลี่ยนแปลงปริมาณและความหนาแน่นอยู่ตลอดเวลา ตอนกลางวันมีการแตกตัว แต่ตอนกลางคืนเมื่อไม่มีรังสีจากดวงอาทิตย์จะเกิดขบวนการการรวมตัวกันใหม่อีกครั้งเป็นบางส่วน ความหนาแน่นของปริมาณอิเล็กตรอนในช่วงเวลากลางคืนนี้จะมีการแปรปรวนมาก ปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในเวลากลางวัน เวลากลางคืน แต่ละวัน แต่ละเดือน แต่ละฤดูกาล แต่ละปี มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และขึ้นอยู่กับการระเบิดปะทุที่ผิวของดวงอาทิตย์ เปลวสุริยะส่งผลกระทบต่อชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของโลก การระเบิดปะทุหรือจำนวนจุดดับบนผิวดวงอาทิตย์มีวัฏจักรสุริยะ 1 รอบระยะเวลา 11 ปี โดยจะมีค่าสูงสุดอีกครั้งในปี 2512 ปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์จะขึ้นอยู่กับวัฏจักรสุริยะ อิเล็กตรอนจะมีความหนาแน่นมากที่ระดับความสูงประมาณ 100 - 200 กิโลเมตร เพราะบริเวณที่ความสูงต่ำกว่า 100 กิโลเมตรจะมีการไอโอไนซ์น้อยลงเนื่องจากรังสีจากดวงอาทิตย์ได้ถูกดูดซับไปเป็นจำนวนมากโดยชั้นบรรยากาศที่อยู่ส่วนบน ๆ ส่วนบริเวณที่ความสูงสูงกว่า 200 กิโลเมตรนั้นมีความหนาแน่นของอากาศที่เบาบาง การไอโอไนซ์มีค่าต่ำมากถึงแม้จะได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์มากก็ตาม



รูปที่ 1 ขบวนการไอโอไนเซชันที่เกิดขึ้นในเวลากลางวันเมื่อโมเลกุลออกซิเจนได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์ [1]

ตามความรู้พื้นฐาน สารทางไฟฟ้าแยกได้ 3 ชนิดคือ ตัวนำ กึ่งตัวนำ และฉนวน เมื่อเราป้อนโวลเทจหรือสนามไฟฟ้าให้กับตัวนำ อิเล็กตรอนอิสระในตัวนำจะเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระเกิดการไหลของกระแสไฟฟ้า แต่ในสารที่เป็นฉนวนจะไม่มีอิเล็กตรอนอิสระเคลื่อนที่ จึงไม่มีกระแสไหลในสารที่เป็นฉนวน ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีคุณสมบัติเป็นตัวนำเช่นกัน เพราะชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีอิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้นจำนวนมากเนื่องจากการไอโอไนซ์ อิเล็กตรอนอิสระเหล่านี้มีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงมีคุณสมบัติเป็นตัวนำ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนแต่ละกลุ่มในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ จะมีความหนาแน่นแตกต่างกันไป ทำให้คลื่นที่เดินทางผ่านเกิดการหักเหหรือหน่วงเวลาแตกต่างกัน และการแปรปรวนของความหนาแน่นปริมาณอิเล็กตรอนที่เกิดจากขบวนการรวมตัวกัน

ใหม่อีกครั้งในเวลากลางคืนในช่วงเวลาประมาณ 20.00 – 23.00 น. ทำให้ระดับสัญญาณดาวเทียมที่รับได้เกิดการแกว่งขึ้นลงอย่างกะทันหันจากระดับปกติ (scintillation) เนื่องจากการเสริมเฟสและการหักล้างทางเฟสของคลื่นสัญญาณ



รูปที่ 2 สัญญาณจากดาวเทียมเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหัน

จากการศึกษาวิจัยการเกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันของสัญญาณดาวเทียม GPS ในประเทศไทยพบว่า จะเกิดอย่างรุนแรงมากในช่วงเวลา 21.00 – 22.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีการแปรปรวนมาก ในเดือนมีนาคมและเดือนกันยายน จะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดอย่างกะทันหันมากกว่าเดือนอื่น ๆ ในรอบหนึ่งปี เพราะเป็นเดือนที่บางวันมีระยะเวลากลางวันเท่ากับเวลากลางคืน (Equinox) ดวงอาทิตย์อยู่เหนือศีรษะ ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะได้รับอิทธิพลและรังสีจากดวงอาทิตย์มากที่สุด เมื่อสัญญาณดาวเทียมเกิดการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูด

จุดอย่างกะทันหันทำให้การบอกค่าพิกัดของเครื่องรับดาวเทียม GPS คลาดเคลื่อนไปด้วย ได้มีการศึกษาโดยใช้ดัชนี S_4 แสดงระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันไปแกว่งระยะทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับที่ผิดพลาด แล้วนำค่าระยะทางที่แก้ไขแล้วนี้ไปคำนวณหาพิกัด ทำให้พิกัดที่คำนวณได้ถูกต้องมากขึ้นโดยผิดพลาดไม่เกิน 15 เมตร [2] แต่การศึกษาวิจัยการแก้ไขพิกัดนี้ทำภายหลังจากที่รู้ค่าการเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแล้ว

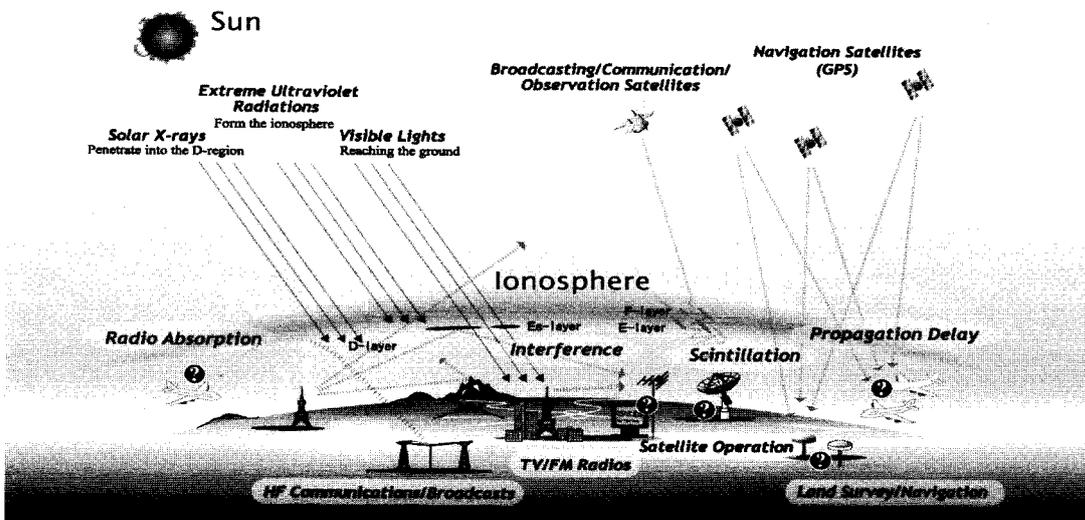
ดัชนี S_4 สามารถคำนวณได้จากสมการ

$$S_4 = \{ \langle A^2 \rangle - \langle A \rangle^2 / \langle A \rangle^2 \}^{1/2} \quad (6)$$

เมื่อ A = ขนาดแอมพลิจูดของสัญญาณดาวเทียมที่รับได้

$\langle \rangle$ = ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ในช่วงเวลาที่กำหนด

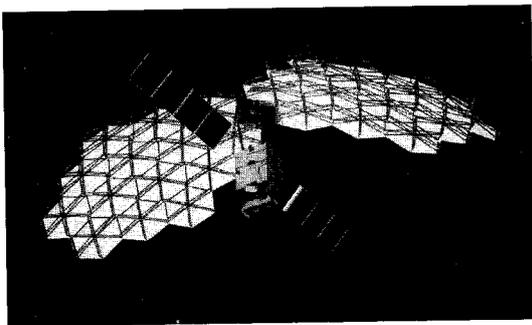
ระยะทางจากดาวเทียม GPS ถึงเครื่องรับบนพื้นผิวโลก คำนวณได้จาก ความเร็วของคลื่นซึ่งเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที คูณกับเวลาเป็นวินาที ที่คลื่นเดินทางจากดาวเทียมถึงเครื่องรับบนพื้นผิวโลก แต่เมื่อคลื่นจากดาวเทียมต้องเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีปริมาณและความหนาแน่นอิเล็กตรอนแตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ มีการหน่วงเวลา (delay) เกิดขึ้น จึงทำให้ระยะทางที่คำนวณออกมาผิดไป การระบุตำแหน่งของเครื่องรับ GPS ก็เกิดการผิดพลาดไปด้วย ดังนั้นถ้านำระบบระบุตำแหน่งของ GPS ไปใช้งานในระบบที่ไม่จำกัดในเรื่องเวลา อาจตั้งเครื่องรับ GPS ไว้นาน ๆ แล้วหาค่าเฉลี่ยออกมา แต่ถ้านำไปใช้งานในระบบที่ต้องการความแม่นยำสูงและต้องใช้ค่าพิกัดที่วัดได้ในขณะนั้น ๆ หรือวินาทีนั้น ๆ เช่นในระบบนำร่องเครื่องบินให้บินลงรันเวย์ของสนามบินหรือในระบบจรวดนำวิถี ถ้าพิกัดผิดพลาดจะเกิดปัญหาขึ้นได้ จึงจำเป็นต้องมีการแก้ไขให้การระบุพิกัดมีความแม่นยำในขณะเวลาที่ทำการวัดนั้น



รูปที่ 3 ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียมทำให้เกิด scintillation และเกิดการหน่วงเวลาทำให้การระบุพิกัดผิดพลาด [1]

4. ดาวเทียม ETS-8 (Engineering Test Satellite)

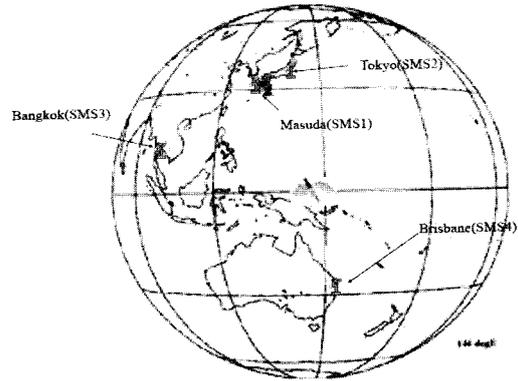
ดาวเทียม ETS-8 เป็นดาวเทียมขนาดใหญ่มีน้ำหนัก 2,800 กิโลกรัม มีวงโคจรอยู่กับที่เมื่อเทียบกับตำแหน่งบนพื้นโลกอยู่ที่ตำแหน่งเส้นแวง 146 องศาตะวันออก ที่ความสูงประมาณ 36,000 กิโลเมตร ใช้ทำงานร่วมกับดาวเทียม GPS ในการระบุพิกัดเพื่อให้ความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น ใช้ทดลองเกี่ยวกับระบบโทรศัพท์มือถือผ่านดาวเทียมที่มีวงโคจรอยู่กับที่ โดยติดตั้งจานสายอากาศขนาดใหญ่ วัดจากขอบด้านหนึ่งทางด้านซ้ายมือถึงขอบอีกด้านหนึ่งทางด้านขวามือตามรูปที่ 4 จะมีความยาว 37 เมตร ที่ต้องใช้จานสายอากาศขนาดใหญ่เพื่อให้มีอัตราการเพิ่มกำลัง (gain) มากขึ้น เพื่อชดเชยการสูญเสียพลังงานขณะคลื่นเดินทางผ่านอวกาศและชดเชย gain ของสายอากาศของเครื่องโทรศัพท์มือถือบนพื้นโลก ดาวเทียม ETS-8 มีอุปกรณ์ผลิตสัญญาณนาฬิกาแบบซีเซียม มีความแม่นยำสูงมาก ดาวเทียม ETS-8 จะส่งสัญญาณเพื่อใช้ในการนำร่องในย่านความถี่ L และย่านความถี่ S เพื่อใช้เป็นสัญญาณอ้างอิงทางเวลา ย่านความถี่ L คือย่านความถี่ 1,000 - 2,000 เมกะเฮิร์ตซ์ ส่วนย่านความถี่ S คือย่านความถี่ 2,000 - 4,000 เมกะเฮิร์ตซ์ ดาวเทียม GPS ส่งความถี่ย่าน L 2 ความถี่ คือ $L_1 = 1575.42$ เมกะเฮิร์ตซ์ และ $L_2 = 1227.60$ เมกะเฮิร์ตซ์ แต่ดาวเทียม ETS-8 ส่งความถี่ย่าน L และย่าน S คือ $L_1' = 1595.88$ เมกะเฮิร์ตซ์ และ $S_1 = 2491.005$ เมกะเฮิร์ตซ์ นอกจากนี้ดาวเทียม ETS-8 ยังติดตั้งแผงสะท้อนแสงเลเซอร์ เพื่อใช้สำหรับกำหนดตำแหน่งดาวเทียมในวงโคจรให้มีความถูกต้องแม่นยำ



รูปที่ 4 ดาวเทียม ETS-8 มีจานสายอากาศขนาดใหญ่

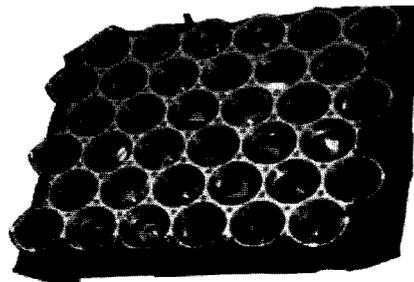
ทางภาคพื้นดิน จะมีสถานีเฝ้าติดตาม (Satellite Monitoring Station : SMS) สถานีตรวจวัดระยะทางโดยใช้แสงเลเซอร์ (Satellite Laser Ranging : SLR) และศูนย์วิเคราะห์ข้อมูล โดยที่สถานี SMS1 อยู่ที่เมืองมาสซาดะ เกาะทาเนกะชิม่า ทางตอนใต้ของญี่ปุ่น SMS2 อยู่ที่กรุงโตเกียว SMS3 อยู่ที่เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ ประเทศไทย SMS4 อยู่ที่เมืองบริสเบน ประเทศออสเตรเลีย แต่ละสถานีเฝ้าติดตามจะถูกติดตั้งอุปกรณ์เครื่องรับสัญญาณนาฬิกาความแม่นยำสูงจากดาวเทียม ETS-8 เครื่องรับสัญญาณนำร่องจากดาวเทียม GPS สัญญาณนาฬิกาแบบซีเซียม (cesium atomic clock) และอุปกรณ์ตรวจวัดสภาพอากาศ

สัญญาณช่วยการนำร่องที่ได้รับจากดาวเทียม ETS-8 และดาวเทียม GPS จะถูกส่งไปยังศูนย์วิเคราะห์ข้อมูลของ JAXA แบบ real time เพื่อส่งขึ้นดาวเทียม ETS-8 อีกครั้ง



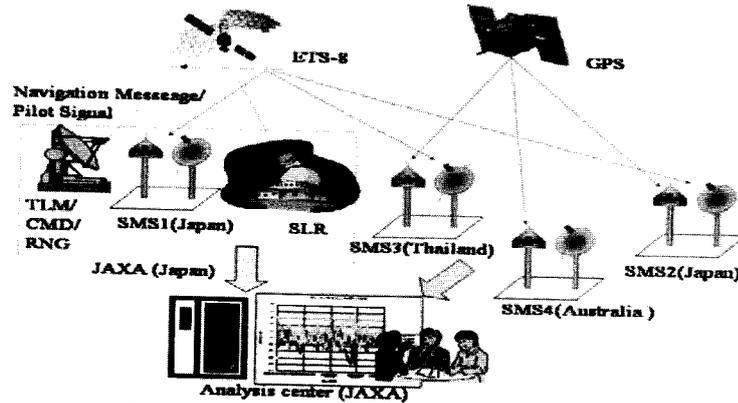
รูปที่ 5 ที่ตั้งของสถานีเฝ้าติดตามสัญญาณดาวเทียม ETS-8 [3]

การกำหนดตำแหน่งวงโคจรให้แม่นยำของดาวเทียม ETS-8 ซึ่งเป็นดาวเทียมที่มีวงโคจรอยู่กับที่ มีการติดตั้งแผงสะท้อนแสงเลเซอร์ไว้บนดาวเทียม ETS-8 และใช้ข้อมูลของสถานีวัดระยะทางโดยใช้แสงเลเซอร์ที่ตั้งอยู่ที่ Tanegashima และที่ Koganei ของญี่ปุ่น ที่ Mt. Stromlo และที่เมือง Yarragadee ของออสเตรเลีย เป็นข้อมูลในการวัดระยะทางเพื่อใช้กำหนดตำแหน่งดาวเทียม ETS-8 ในวงโคจรให้ถูกต้องแม่นยำ



รูปที่ 6 แผงสะท้อนแสงเลเซอร์ที่ติดตั้งบนดาวเทียม ETS-8

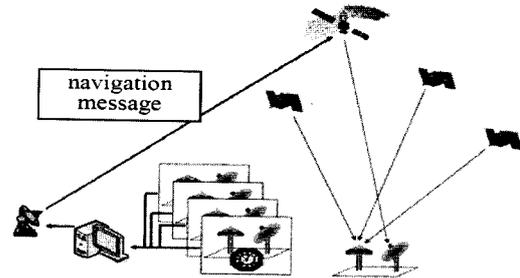
การคำนวณหาตำแหน่งพิกัดในระบบดาวเทียม GPS จะต้องมองเห็นดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง ที่มุมเงยมากกว่า 15 องศา ดาวเทียม GPS เป็นดาวเทียมแบบเคลื่อนที่มีวงโคจรต่ำ บางเวลาอาจมีมุมเงยน้อยกว่า 15 องศา บางเวลาอาจถูกตึกสูง ๆ บัง ใช้การวัดสัญญาณจากดาวเทียม GPS อย่างน้อย 4 ดวง เพื่อกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับ คือต้องรับสัญญาณจากดาวเทียม GPS แต่ละดวงซึ่งแต่ละดวงมีตำแหน่งและเวลา (x, y, z, t) ที่แตกต่างกัน ณ เวลาที่ดาวเทียมส่งสัญญาณลงมา แต่ดาวเทียม ETS-8 มีวงโคจรแบบอยู่กับที่และอยู่สูงกว่า จึงมีมุมเงยสูงและสามารถมองเห็นดาวเทียมได้ตลอดเวลา



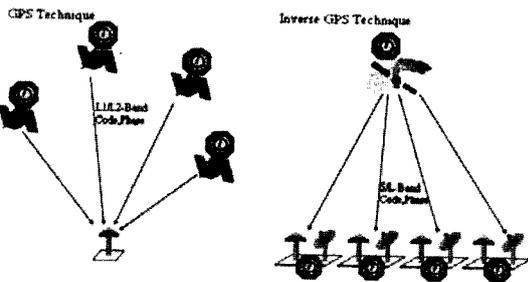
รูปที่ 7 เครือข่ายการระบุพิกัดโดยใช้ดาวเทียม ETS-8 ร่วมกับดาวเทียม GPS [3]

ในระบบของดาวเทียม ETS-8 ใช้หลักการกลับทิศทางกับดาวเทียม GPS คือใช้การวัดสัญญาณ จากสถานี SMS ทั้ง 4 สถานี ซึ่งตำแหน่งและเวลา (x, y, z, t) ที่แตกต่างกัน ตำแหน่งของ 4 สถานี SMS รู้ตำแหน่งพิกัดที่ถูกต้องอยู่แล้ว มีการซิงโครไนซ์กันของสัญญาณนาฬิการะหว่างสถานี SMS และดาวเทียม ETS-8 ที่แต่ละสถานี SMS มีทั้งเครื่องรับดาวเทียม GPS และเครื่องรับดาวเทียม ETS-8 นาฬิกาที่สัญญาณจากดาวเทียมผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แล้วเกิดการหน่วงเวลาไป การระบุตำแหน่งพิกัดผิดพลาดไปจากตำแหน่งพิกัดของสถานี SMS ที่รู้ค่าแล้วเล็กน้อยเท่าไร ค่าผิดพลาดที่ถูกแก้ไขแล้วจะถูกส่งกลับไปยังดาวเทียม ETS-8 อีกครั้ง ทำให้การกำหนดพิกัดมีความแม่นยำกว่าการใช้ดาวเทียม GPS เพียงอย่างเดียว

ซึ่งมีวงโคจรถูกต้องแม่นยำและมีสัญญาณนาฬิกา ความแม่นยำสูง ร่วมกับสัญญาณของดาวเทียม GPS ข้อมูลข่าวสารการนำร่องถูกสร้างขึ้นโดยใช้ข้อมูลจาก 4 สถานีเครือข่ายภาคพื้นดินของระบบดาวเทียม ETS-8



รูปที่ 9 รูปแบบการระบุตำแหน่งพิกัดของผู้ใช้งานโดยใช้ดาวเทียม ETS-8 ร่วมกับดาวเทียม GPS [3]



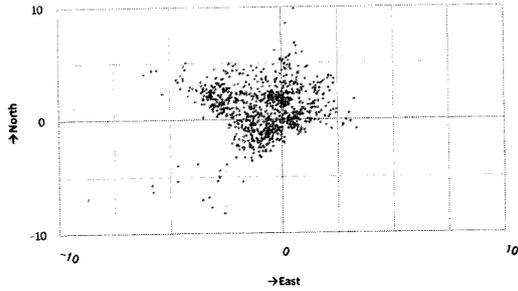
รูปที่ 8 เปรียบเทียบรูปแบบการทำงานของดาวเทียม GPS และ ETS-8 [3]

5. การกำหนดตำแหน่งพิกัดของผู้ใช้งานเมื่อใช้ดาวเทียม ETS-8 ร่วมกับดาวเทียม GPS

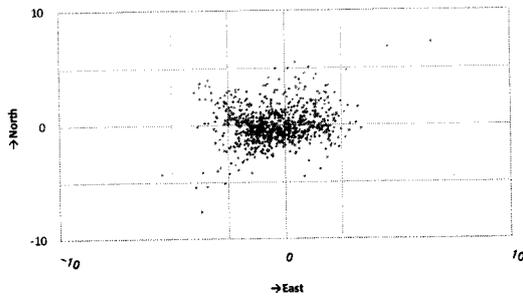
ในบางเวลาหรือในบางพื้นที่ที่เป็นตัวเมืองมีตึกสูง หรือภูมิประเทศที่เป็นภูเขา เครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS อาจไม่สามารถมองเห็นดาวเทียมได้ถึง 4 ดวงในเวลาเดียวกัน เพราะถูกตึกสูงหรือภูเขาบัง แต่ถ้าใช้ดาวเทียม ETS-8 สำหรับการกำหนดตำแหน่งพิกัด จะทำให้สะดวกมากขึ้น เพราะดาวเทียม ETS-8 มีวงโคจรแบบอยู่กับที่ อยู่ในตำแหน่งสูงไม่ถูกตึกหรือภูเขาบัง ผู้ใช้สามารถใช้สัญญาณนำร่องของดาวเทียม ETS-8

เมื่อใช้ดาวเทียม ETS-8 ร่วมกับดาวเทียม GPS ทำให้การกำหนดตำแหน่งพิกัดบนพื้นผิวโลกมีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น การคำนวณตำแหน่งพิกัดของเครื่องรับ GPS จะคำนวณทุก ๆ 30 วินาที ถ้าพื้นที่โล่งแจ้งเครื่องรับ GPS รับดาวเทียมที่มีมุมเงยต่ำได้ จึงรับได้หลายดวงพร้อม ๆ กัน แต่ในตัวเมืองมีตึกสูงบังทำให้บางขณะเวลารับดาวเทียม GPS ได้น้อยกว่า 4 ดวง ทำให้การคำนวณหาตำแหน่งพิกัดคลาดเคลื่อนไป แต่ถ้าใช้ดาวเทียม ETS-8 ร่วมกับดาวเทียม GPS ก็จะทำให้การหาพิกัดถูกต้องแม่นยำมากขึ้น เป็นประโยชน์ในการนำร่องเครื่องบินลงรันเวย์ สนามบิน หรือใช้กับจรวดนำวิถีซึ่งต้องใช้งาน ณ เวลาปัจจุบัน

ในการกำหนดตำแหน่งพิกัด ถ้าใช้ดาวเทียม GPS อย่างเดียว การบอกตำแหน่งพิกัด ณ จุด ๆ หนึ่งจะคลาดเคลื่อนเนื่องจากอิทธิพลของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ดังในรูปที่ 10 ระยะทางในรูปมีหน่วยเป็นเมตร ซึ่งจะเห็นว่าจุดพิกัดมีการกระจายจากจุดศูนย์กลางค่อนข้างมาก แต่ถ้าใช้ดาวเทียม ETS-8 ร่วมกับดาวเทียม GPS จุดบอกตำแหน่งพิกัดจะรวมตัวกันหนาแน่นใกล้จุดศูนย์กลาง การกำหนดจุดพิกัดจะถูกต้องมากขึ้น ดังในรูปที่ 11 และตารางที่ 1



รูปที่ 10 ความคลาดเคลื่อนของการระบุพิกัดของดาวเทียม GPS [3]



รูปที่ 11 ความคลาดเคลื่อนของการระบุพิกัดของดาวเทียม ETS-8ร่วมกับดาวเทียม GPS [3]

ตารางที่ 1 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกำหนดพิกัด

	GPS	GPS + ETS-8	ดีขึ้น
ตะวันออก-ตะวันตก	2.21 (ม)	1.43 (ม)	35 %
เหนือ - ใต้	5.15 (ม)	1.77 (ม)	65 %
บน - ล่าง	9.73 (ม)	7.56 (ม)	22 %

6. สรุป

การใช้ดาวเทียม GPS เพื่อการระบุพิกัด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ หรือในพื้นที่ที่เป็นตัวเมืองมีตึกสูง ๆ บังดาวเทียม จำนวนดาวเทียม GPS ที่รับสัญญาณได้อาจน้อยกว่า 4 ดวง ทำให้การระบุพิกัดมีความคลาดเคลื่อน แต่ถ้าใช้ดาวเทียม ETS-8 ร่วมด้วยจะช่วยเสริมในการระบุพิกัดมีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้น เพราะดาวเทียม ETS-8 ไม่ถูกรบกวนหรือตึกสูงบังเนื่องจากเป็นดาวเทียมมีวงโคจรอยู่ที่ซึ่งมีมุมเงยสูง และใช้เทคโนโลยีกลับทิศทางกับระบบ GPS ใช้สัญญาณนาฬิกาแบบซีเซียม มีความแม่นยำสูง ใช้แสงเลเซอร์ในการวัดระยะทางทำให้การกำหนดตำแหน่งในวงโคจรมีความแม่นยำมาก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA) ที่อนุเคราะห์เครื่องมืออุปกรณ์ ให้ข้อมูลต่าง ๆ ที่ใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

ลาดกระบัง ที่อนุเคราะห์สถานที่ในการติดตั้งสถานีมอนิเตอร์สัญญาณดาวเทียม ETS-8 คือสถานี SMS3

เอกสารอ้างอิง

- [1] Takashi Maruyama, et al, "Equatorial Ionosphere / Thermosphere Dynamics as Deduced from SEALION" International South-East Asia Low Latitude Ionospheric Observation Network Symposium 2011, 27 – 28 January 2011, Bangkok, Thailand., 2011
- [2] ปัทมา พุ่มชูศักดิ์ "การศึกษาคุณลักษณะการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ของสัญญาณดาวเทียม GPS" วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตบัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2547
- [3] Suthichai Noppanakeepong, et al, "GPS Augmentation Experiment Using Geostationary Satellite, ETS-VIII" 2010 International Workshop on Information Communication Technology, 24 – 25 August 2010, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, 2010

ประวัติผู้เขียนบทความ



ดร. ณรงค์ เหมกรณ์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีและปริญญาโท จาก Tokai University ประเทศญี่ปุ่น เกษียณราชการจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

งานวิจัยที่สนใจ การสื่อสารผ่านดาวเทียม ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และโทรโปสเฟียร์ที่มีอิทธิพลต่อสัญญาณดาวเทียม



ดร. สุทธิชัย นพนาคีพงษ์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีและปริญญาโท จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ระดับปริญญาเอก จาก Tokyo Institute of Technology ประเทศญี่ปุ่น ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

งานวิจัยที่สนใจ การสื่อสารผ่านดาวเทียม การสื่อสารผ่านใยแก้วนำแสง



Dr. Shinichi Nakamura สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอกจาก Tokyo Institute of Technology ประเทศญี่ปุ่น ปัจจุบันทำงานเป็น sub-leader of flight dynamics team, Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA)

ประเทศญี่ปุ่น

งานวิจัยที่สนใจ precise orbit determination ในการควบคุมตำแหน่งวงโคจรดาวเทียมให้มีความแม่นยำ