

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์มีผลต่อความแม่นยำในการระบุพิกัด ของระบบ GPS

The Ionospheric Effect to Accuracy of GPS System

*สรารัฐ นนทะสุด

บทคัดย่อ

GPS มีความสำคัญอย่างมากต่องานต่างๆที่ต้องอาศัยการระบุพิกัดบนพื้นโลก แต่การใช้งานในปัจจุบันยังมีความผิดพลาดในการระบุพิกัดอยู่บ้าง เพราะสาเหตุจากการเกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ มีผลการศึกษาพบว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นที่ประกอบไปด้วยอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมาก และมีการแปรปรวนอยู่ตลอดเวลา ซึ่งการแปรปรวนนี้มีผลต่อสัญญาณดาวเทียม GPS ย่านความถี่ L-band เมื่อสัญญาณดาวเทียมเดินทางผ่านความถี่ความแปรปรวนของอิเล็กตรอนอิสระทำให้เกิดการแกว่งไปมาอย่างกะทันหัน จึงทำให้สัญญาณเกิดการหน่วงเวลา และใช้เวลาเดินทางมาถึงเครื่องรับช้ากว่าปกติ การเกิดฟาราเดย์โรเตชัน ทำให้มุมโพลาไรซ์ของสัญญาณเปลี่ยนไปจากเดิม ซึ่งปรากฏการณ์เหล่านี้เรียกว่า การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอย่างกะทันหัน (scintillation) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความแม่นยำในการระบุพิกัดของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS บทความนี้นำเสนอสาเหตุสำคัญของปัญหาที่ทำให้การระบุพิกัดเกิดความผิดพลาดเพื่อนำไปสู่การวิจัยเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

คำสำคัญ : ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์, ระบบ GPS, การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอย่างกะทันหัน

Abstract

GPS plays an important role for specifying location on the earth. The use of GPS still faces some problems on the accuracy. Most of the problems have some link to occur changes ionospheric which results from variation of large number of free electrons. This variation effect to the GPS satellite signals fluctuation which causes signal delay from normal arrived time and late. The Faraday rotation have affection signal polarization angle changes, called scintillation, which result to specific position error.

This article aimed to present causes of problems which will lead to research activities for problem solving in the future.

Keywords : Ionospheric, GPS system, Scintillation

*อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอีสเทิร์นเอเซีย

ความนำ

ปัจจุบันการสื่อสารผ่านดาวเทียมเป็นช่องทางที่สำคัญประการหนึ่งและนิยมใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างสถานที่ซึ่งอยู่ห่างไกลกันและยากต่อการเข้าถึงการสื่อสารด้วยวิธีอื่น การสื่อสารผ่านดาวเทียมนี้ช่วยให้โลกมีการติดต่อสื่อสารที่ไร้พรมแดน นอกจากนี้ยังมีการนำการสื่อสารดาวเทียมมาประยุกต์ใช้ในกิจการด้านต่าง ๆ มากมาย เช่น การระบุพิกัดบนพื้นโลก (Global Positioning System) เป็นต้น

เนื่องจากระบบ GPS นั้นเป็นย่าน L-band ซึ่งผลกระทบจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์จะเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของการระบุพิกัดของระบบ GPS ซึ่งหากการระบุพิกัดเกิดความคลาดเคลื่อนจะเป็นปัญหาก่อให้เกิดความเสียหายต่องานด้านต่าง ๆ ที่ต้องอาศัยระบบการระบุพิกัดของระบบ GPS นี้ เช่น การรังวัดที่ดิน การนำร่องเครื่องบิน หรืออาวุธยุทธโศปกรณ์ต่าง ๆ ดังนั้นการศึกษาทำความเข้าใจในลักษณะของปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการนำผลที่ได้จากการวิเคราะห์ไปช่วยในการลดผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียมที่เดินทางผ่านชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์และลดความคลาดเคลื่อนในการบอกพิกัดของระบบ GPS

การระบุพิกัดบนพื้นโลกโดยอาศัยเทคโนโลยีการสื่อสารดาวเทียม โดยใช้ดาวเทียมประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนควบคุม ส่วนผู้ใช้ และส่วนอวกาศ ในการส่งและรับสัญญาณนั้นสัญญาณดาวเทียมจะถูกส่งจากดาวเทียมและเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศของโลกไปยังเครื่องรับสัญญาณของผู้ใช้ ชั้นบรรยากาศของโลกที่สัญญาณดาวเทียมเดินทางผ่านได้แก่ชั้นบรรยากาศโทรโปสเฟียร์ (Troposphere) และไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) ซึ่งมีลักษณะเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา โดยเฉพาะอย่างยิ่งชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นที่ประกอบไปด้วยอิเล็กตรอนอิสระและไอออนบวกจำนวนมาก ซึ่งอิเล็กตรอนอิสระและไอออนบวกเหล่านี้เกิดจากกระบวนการไอออไนซ์ของโมเลกุลก๊าซในชั้นบรรยากาศเมื่อได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตจากดวงอาทิตย์ และในช่วงที่ชั้นบรรยากาศนี้

ได้รับรังสีอัลตราไวโอเลตในปริมาณที่น้อยหรือเป็นช่วงที่ไม่มีแสงจากดวงอาทิตย์ อิเล็กตรอนอิสระเหล่านี้จะเกิดกระบวนการรวมตัวกันใหม่กับไอออนบวกของโมเลกุลก๊าซและมีอิเล็กตรอนอิสระจำนวนไม่น้อยที่ไม่สามารถรวมตัวได้ จึงทำให้อิเล็กตรอนอิสระเหล่านี้เกิดความแปรปรวนปรากฏการณ์นี้จะมีผลต่อสัญญาณดาวเทียม GPS ซึ่งอยู่ในย่านความถี่ L-band เมื่อสัญญาณดาวเทียมเดินทางผ่านความถี่ความแปรปรวนของอิเล็กตรอนอิสระทำให้เกิดการแกว่งไปมาอย่างกะทันหัน (rapid fluctuation) ทำให้อิเล็กตรอนเกิดการหน่วงเวลา (time delay) สัญญาณมาถึงเครื่องรับช้ากว่าปกติ การเกิดฟาราเดย์โรเตชัน (Faraday rotation) ทำให้มุมโพลาไรซ์ของสัญญาณเปลี่ยนไปจากเดิมปรากฏการณ์นี้คือ การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอย่างกะทันหัน (scintillation) ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนไปจากพิกัดที่ถูกต้อง

ระบบการระบุพิกัดบนพื้นโลก

ระบบการระบุพิกัดบนพื้นโลก (Global Positioning System) เป็นระบบบอกพิกัดอ้างอิงกับพื้นโลก โดยการส่งคลื่นวิทยุจากดาวเทียมในอวกาศมายังภาคพื้นดินและใช้ความต่างของเวลาในการรับส่งสัญญาณระหว่างดาวเทียมกับตัวรับสัญญาณในการคำนวณหาพิกัด, ความเร็วและเวลาให้กับผู้ใช้งานทั้งทางบก ทางทะเล ทางอากาศ และทางอวกาศ ตามปกติระบบ GPS จะมีการใส่รหัสเพื่อให้เกิดความผิดพลาดได้เล็กน้อย เนื่องจากระบบ GPS ถูกพัฒนาขึ้นมาโดยกระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกา (Department of Defense) เพื่อประโยชน์ทางการทหารและหน่วยงานราชการบางหน่วยของสหรัฐอเมริกา ซึ่งต่อมาเปิดโอกาสให้ภาคเอกชนและหน่วยงานต่าง ๆ สามารถรับสัญญาณที่ส่งจากดาวเทียมและนำมาใช้ได้ โดยข้อมูลจะถูกส่งลงมาจกดาวเทียมตลอดเวลาสำหรับเครื่องรับทั่วไป ข้อมูลเหล่านี้ประกอบด้วย สัญญาณเวลาอ้างอิง, ข้อมูลเกี่ยวกับวงโคจรดาวเทียม, สัมประสิทธิ์สภาพชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์, สภาพการใช้งานของ

ดาวเทียม, เวลาของระบบ, Clock Bias ของดาวเทียม, ตำแหน่งละติจูด, ลองจิจูด, ความสูงเหนือระดับน้ำทะเลของเครื่องรับและพิกัดของดาวเทียม ดังนั้นเพื่อป้องกันการใช้งานในทางที่ผิด จึงมีการใส่รหัสเพื่อให้ผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาตเท่านั้นที่จะได้ข้อมูลที่ถูกต้อง

ระบบการระบุพิกัดบนพื้นโลก ประกอบด้วย 3 ส่วน (ยรรยง ทรัพย์สินฯ, 2546) คือ (1) ส่วนอวกาศ (space segment) (2) ส่วนสถานีควบคุม (control segment) และ (3) ส่วนของผู้ใช้งาน (user segment) ดังแสดงในภาพ 1



ภาพ 1 ส่วนประกอบของระบบ GPS

ส่วนอวกาศ

ประกอบด้วยดาวเทียมจำนวน 24 ดวง โคจรรอบคลุมพื้นที่ทั่วโลก ดาวเทียมถูกจัดใน 6 ระนาบวงโคจร ซึ่งมีดาวเทียม 4 ดวงในแต่ละระนาบวงโคจร แต่ละระนาบวงโคจรมีมุมเอียง 55 องศา สัมพันธ์กับระนาบเส้นศูนย์สูตรโลกและดาวเทียม โดยมีความสูงเฉลี่ยของการโคจรประมาณ 20,200 กิโลเมตรเหนือพื้นโลกด้วยวงโคจรแบบ Non-geostationary orbit ดังแสดงในภาพ 2



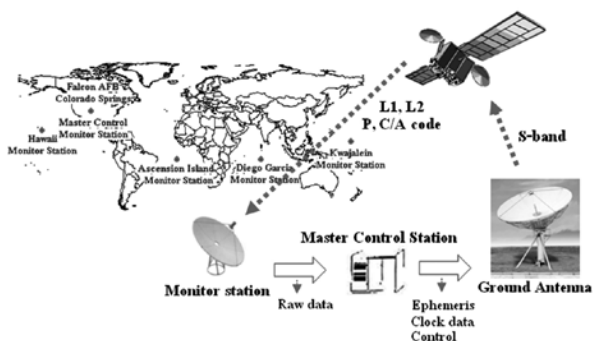
ภาพ 2 วงโคจรของดาวเทียม GPS

ดาวเทียมแต่ละดวงโคจรด้วยความเร็ว 3.9 กิโลเมตร/วินาที มีคาบเวลาโคจรเท่ากับ 43,080 วินาที หรือโคจร 1 รอบใช้เวลาประมาณ 11 ชั่วโมง 58 นาที โดยวนตามเส้นทางเหนือผิวโลกซ้ำกันทุกๆ 23 ชั่วโมง 56 นาที ผู้ใช้ที่อยู่ ณ ตำแหน่งที่คงที่บนพื้นดินสามารถเห็นดาวเทียมดวงเดิมในแต่ละวันผ่านเส้นทางเดิมบนท้องฟ้า แต่ดาวเทียมจะขึ้นและตกเร็วขึ้น 4 นาทีในแต่ละวัน เนื่องจากโลกหมุนรอบตัวเอง ดาวเทียมถูกวางตำแหน่งในระบบวงโคจรที่ทำให้ดาวเทียม 4 ดวงในระนาบนั้น สามารถบอกตำแหน่ง ณ จุดสังเกตได้ในทุกๆ ที่บนพื้นโลก

ส่วนสถานีควบคุม

สถานีควบคุม มีหน้าที่รับผิดชอบการทำงานของดาวเทียม GPS เช่นการรักษาตำแหน่งดาวเทียม (station keeping), ตรวจสอบสภาพและระบบต่างๆ บนดาวเทียม, ตรวจสอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (solar cell), ระดับพลังงานของแบตเตอรี่, การเปิดดาวเทียมสำรอง, ปรับปรุงข้อมูลเวลา, ข้อมูลอีฟิเมอร์ซิส (Ephemeris), ข้อมูลอัลมานัค (Almanac) และตัวชี้ค่าอื่นๆ ในข่าวสารการนำร่องวันละครั้งหรือตามแต่ความจำเป็น ซึ่งส่วนของสถานีควบคุมจะประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ สถานีสังเกตการณ์ (Monitor Station), สถานี

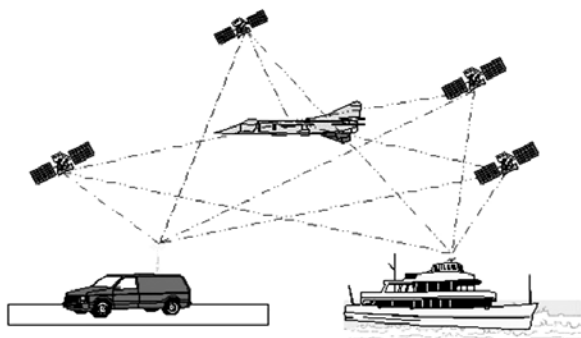
ควบคุมหลัก (Control Station) และจานสายอากาศภาคพื้นดิน (Ground Antenna) ดังแสดงในภาพ 3



ภาพ 3 การทำงานในส่วนควบคุม

ส่วนผู้ใช้

ส่วนผู้มีส่วนประกอบที่สำคัญคือ เครื่องรับสัญญาณ GPS โดยจะรับสัญญาณในย่านความถี่ L ที่ถูกส่งจากดาวเทียมและนำมาคำนวณเพื่อหาพิกัด, ความเร็ว และเวลา ของเครื่องรับ จากนั้นจะนำค่าไปประยุกต์ใช้งานตามแต่ลักษณะการใช้งาน



ภาพ 4 การใช้งานดาวเทียม GPS

ความผิดพลาดในระบบ GPS

แม้ว่าระบบ GPS จะถูกพัฒนาให้มีความถูกต้องในระบบการนำร่องทั่วโลกก็ตาม แต่ระบบ GPS ยังคงมีความผิดพลาดมากพอสมควร (ภักธวิธา อธิพัฒน์ไพบุลย์, 2549) โดยความผิดพลาดนี้มีสาเหตุดังนี้

1. Ephemeris Data Error เป็นค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากตำแหน่งของดาวเทียม GPS เกิดจาก

การเฉไ่ยของวงโคจรดาวเทียม เมื่อข้อมูล GPS ไม่ได้ส่งตำแหน่งที่ถูกต้องของดาวเทียม จะมีผลความผิดพลาดไปถึงการคำนวณพิกัดของเครื่องรับสัญญาณ ค่าความผิดพลาดนี้จะถูกแก้ไขโดยข้อมูลควบคุมจากสถานีควบคุมหลัก ดังนั้น ถ้าไม่มีการแก้ไขจากสถานีควบคุมข้อมูลจะมีการผิดพลาดเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แต่จากรายงานใน ค.ศ. 1984 แสดงว่าสำหรับการทำงานไม่เกิน 24 ชั่วโมง ค่าความผิดพลาดอันเนื่องมาจากค่าอีพิเมอร์ซิสค่าความผิดพลาดไม่เกิน 2.1 เมตร

2. Satellite Clock Errors ที่เกิดขึ้นในเครื่องส่งสัญญาณ GPS ที่ดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณจำเป็นต้องมีนาฬิกาอะตอมมิก ซึ่งมีความแม่นยำสูงและจะต้องซิงโครไนส์กับนาฬิกาของระบบ แต่ในความเป็นจริงสัญญาณของดาวเทียมจะถูกแก้ไขโดยสถานีควบคุมหลักให้ซิงโครไนส์กับระบบโดยตลอด แต่นาฬิกาของเครื่องรับนั้นยากที่จะทำการแก้ไข จึงต้องมีการชดเชยการคำนวณโดยใช้สัญญาณจากดาวเทียมเพิ่มในการคำนวณด้านเวลา

3. Security Signal เป็นความผิดพลาดที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนมากที่สุด สาเหตุเกิดจากการที่ทางสหรัฐอเมริกาได้ใส่รหัสข้อมูล SA ลงในสัญญาณดาวเทียมทุกดวง ค่าความคลาดเคลื่อนจาก SA นั้นจะมีค่าความคลาดเคลื่อนทางเวลาประมาณ 10 นาที่ ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนทางระยะทางเฉลี่ยประมาณ 20 เมตร ผู้ใช้ทั่วไปที่ใช้ระบบ SPS จะมีสัญญาณ SA รวมอยู่ด้วยทำให้เกิดความผิดพลาด แต่ผู้ใช้ที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ระบบ PPS จะไม่มีความผิดพลาดจากรหัส SA

4. Ionosphere Errors เป็นค่าความคลาดเคลื่อนรองลงมาจากสาเหตุของ SA ทำให้เกิดความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณดาวเทียม เกิดเนื่องจากอิเล็กตรอนอิสระในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ สัญญาณจากดาวเทียมเมื่อเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศนี้จะไม่สามารถเดินทางได้เท่ากับความเร็วแสง การเปลี่ยนแปลงสัญญาณจะมีความล่าช้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวน อิเล็กตรอนอิสระที่อยู่ในชั้นนี้ และแปรผกผันตรงกับคาบเวลา ผู้ใช้ทั้งหมดจะได้รับค่าความคลาดเคลื่อนในความล่าช้า

ในชั้นไอโอโนสเฟียร์

5. Troposphere Errors เป็นสิ่งหนึ่งที่ทำให้ความเร็วแสงเฉไป โดยที่ความแปรปรวนของอุณหภูมิ ความดันและความชื้นทั้งหมดนี้ ทำให้ความเร็วสัญญาณแปรปรวนไปทั้งรหัส สำหรับผู้ใช้ทั่วไปค่าความผิดพลาดนี้จะอยู่ประมาณ 1 เมตร

6. Multipath Errors เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่มีสาเหตุมาจากการส่งสัญญาณของดาวเทียม GPS ไปกระทบผิวสะท้อนก่อนที่จะไปถึงผู้รับ เช่น สะท้อนผิวของตึกหรือผิวของน้ำ โดยผลกระทบนี้มีแนวโน้มที่มากขึ้นในกรณีที่เครื่องรับอยู่ใกล้กับผิวสะท้อนที่ใหญ่ๆ ความผิดพลาดที่พบมากที่สุดประมาณ 15 เมตร

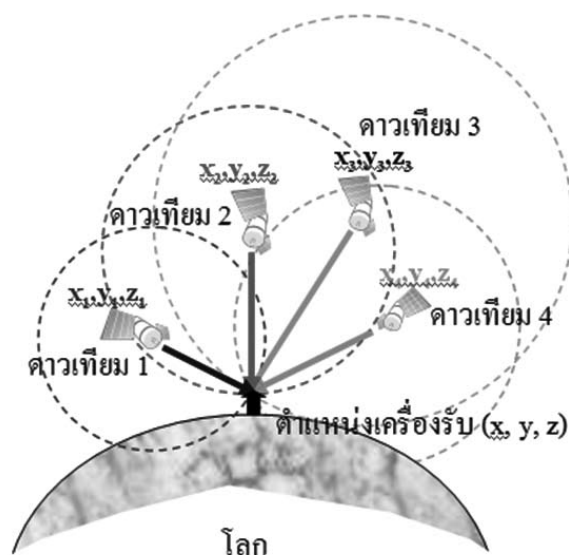
7. Receiver Errors เป็นค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดระยะของเครื่องรับสัญญาณอันเนื่องมาจากความร้อนภายในเครื่องรับสัญญาณ, ประสิทธิภาพซอฟต์แวร์ของเครื่องรับ และจำนวนช่องรับสัญญาณ แต่ปัจจุบันเทคโนโลยีได้พัฒนาจนความผิดพลาดลักษณะนี้มีค่าน้อยมาก

ความผิดพลาดอันเนื่องจากการจับกลุ่มของดาวเทียมที่ใช้นำร่อง (geometric dilution of precision) ความผิดพลาดนี้เกิดจากการหาระยะทางซูโดเรนจ์ของเครื่องรับ การเลือกกลุ่มดาวเทียมจะเป็นองค์ประกอบหลักมีการใช้ค่าๆ หนึ่งเป็นตัวแสดงถึงคุณภาพของผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับจาก การกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับจีพีเอส ค่านี้คือ DOP (dilution of precision) ค่าของ DOP มักถูกอธิบายในเทอมต่างๆ ที่สัมพันธ์กับสัญญาณที่ได้จากการจับกลุ่มดาวเทียมเพื่อกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับ เทอมต่างๆ เหล่านี้ได้แก่ GDOP (geometrical dilution of precision), PDOP (position dilution of precision (3-D), HDOP (horizontal dilution of precision) (Latitude, Longitude), VDOP (vertical dilution of precision (height)), TDOP (Time Dilution of Precision (time)) ซึ่งที่นิยมนำมาพิจารณาได้แก่ ค่า GDOP แสดงถึงการจัดวางตัวของดาวเทียม 4 ดวง ที่ทำกับเครื่องรับสัญญาณ ถ้าค่า GDOP มีค่ามาก

พิกัดที่ได้จากเครื่องรับอาจผิดพลาดไปจากที่ควรจะเป็นมากเช่นเดียวกัน

การคำนวณหาพิกัดบนพื้นโลก

โดยทางทฤษฎีนั้นการคำนวณหาระยะทางจากดาวเทียมมายังเครื่องรับนั้นจะสมมุติว่าสัญญาณนาฬิกาของดาวเทียมและของเครื่องรับนั้น ตรงกับเวลาของระบบ การหาพิกัดดาวเทียมจะใช้ระบบ ECEF (Earth Centered-Earth-Fixed) ในการหาข้อมูล โดยเรียกข้อมูลพิกัดดาวเทียมนี้ว่า ข้อมูลอีพีมอริส โดยข้อมูลที่ได้จะเป็นข้อมูลเวกเตอร์ตำแหน่งดาวเทียม เพื่อหาจุดตัดอันเป็นพิกัดของเครื่องรับ ผู้ใช้ต้องการหาตำแหน่งใน 3 มิติ คือ ละติจูด, ลองจิจูด และความสูง จึงต้องรับสัญญาณดาวเทียม 3 ดวง เพื่อทราบตำแหน่งดาวเทียม (x_i, y_i, z_i) แต่เนื่องจากสัญญาณเวลาของเครื่องรับทั่วไปไม่ซิงโครนัสกับระบบ (Hofmann-Wellenhof, Lichtenegger H. & Collin J., 1994) ดังนั้นจึงทำให้ต้องทำการรับค่าสัญญาณเพิ่มจากดาวเทียมอีกดวงหนึ่งเพื่อสร้างสมการเพิ่มในการหาค่าพารามิเตอร์ที่เกิดจากการไม่ซิงโครนัส



ภาพ 5 การคำนวณหาพิกัดบนพื้นโลก

สมการพื้นฐานในการหาตำแหน่งของผู้ใช้ (x, y, z) แสดงได้ดังนี้ (Bancroft S., 1985)

$$(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2 + (z_i - z)^2 + error = \rho^2_i$$

x_i, y_i, z_i คือ พิกัดของดาวเทียม

x, y, z คือ พิกัดของเครื่องรับ

$error$ คือ ค่าความผิดพลาดอื่นๆ

ρ คือ ระยะทางเทียม

i คือ จำนวนดาวเทียม

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

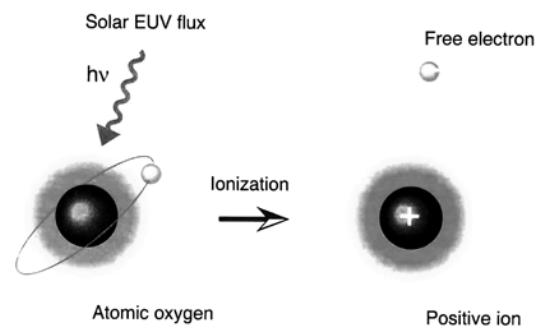
ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ คือ บริเวณที่พลาสมา (plasma) เกิดการไอออไนซ์โดยมีขอบเขตประมาณ 50 กิโลเมตร ถึง 2,000 กิโลเมตรเหนือพื้นผิวโลก มีโมเลกุลเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้นที่ถูกไอออไนซ์และพบว่ายังคงมีโมเลกุลที่เป็นกลางจำนวนมากเหลืออยู่ในชั้นที่อยู่สูงกว่าชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ คือ ชั้นพลาสมาสเฟียร์ (plasmasphere) หรือโปรโตโนสเฟียร์ (protonosphere) ซึ่งยังคงมีปริมาณอิเล็กตรอนอิสระอยู่อย่างชัดเจน อิเล็กตรอนเหล่านี้ คือ สunamiแม่เหล็กของโลกที่ทำหน้าที่ต่อต้านลมสุริยะ (solar wind) ซึ่งเป็นอนุภาคที่พุ่งออกจากดวงอาทิตย์ โดยแรงกระทำของอนุภาคที่พุ่งออกจากดวงอาทิตย์เหล่านี้จะบีบสนามแม่เหล็กของโลกไปในบริเวณทิศทางที่หันหลังให้กับดวงอาทิตย์ (dark side) ดังแสดงในภาพ 6



ภาพ 6 ลมสุริยะจากดวงอาทิตย์ที่แพร่ไปกระทบกับชั้นบรรยากาศของโลก

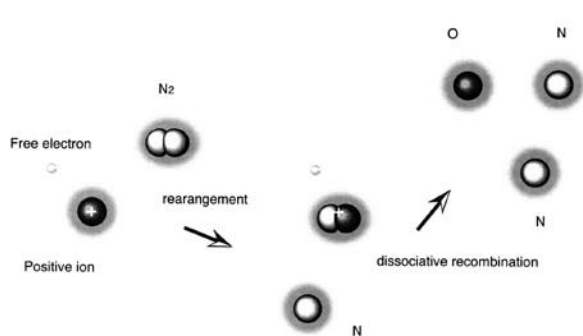
ตามปกติอนุภาคที่ถูกไอออไนซ์ในแต่ละช่วงเวลา และในแต่ละระดับความสูงนั้นจะเกิดไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับ

สภาวะที่เอื้ออำนวยต่อการเกิดขบวนการไอออไนเซชัน กล่าวคือภายใต้สภาวะความกดดันต่ำ (ที่ระดับความสูงมาก) เป็นไปได้ที่ทำให้อิเล็กตรอนหนึ่งหรือสองตัวหลุดจากโมเลกุลก๊าซ นอกจากนี้ไม่เพียงแต่การเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของอิเล็กตรอนเท่านั้นที่ทำให้อิเล็กตรอนหลุดออกมา แต่ยังรวมถึงการแผ่รังสีบางชนิดเช่นรังสีอัลตราไวโอเล็ต และรังสีคอสมิก (cosmic) ด้วย โดยเมื่อรังสีแพร่เข้าถึงชั้นบรรยากาศจะทำให้จำนวนอนุภาคบางส่วนของอากาศนั้นกลายเป็นอนุภาคที่ถูกไอออไนซ์ ภาพที่ 7 แสดงขบวนการไอออไนเซชันของโมเลกุลออกซิเจน (O) ที่เป็นส่วนประกอบหลักจะถูกไอออไนซ์โดยโฟตอน ($h\nu$) จากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์



ภาพ 7 ขบวนการไอออไนเซชัน

ผลผลิตที่ได้คืออิเล็กตรอนอิสระและโมเลกุลซึ่งสูญเสียอิเล็กตรอนหนึ่งตัวหลุดออกไปแล้วจะทำให้กลายเป็นไอออนประจุบวก (โมเลกุลที่ได้รับอิเล็กตรอนไปก็จะกลายเป็นไอออนประจุลบ) ไอออนเหล่านี้เปลี่ยนแปลงได้ง่ายภายใต้แรงทางไฟฟ้า เช่น แรงดูด หรือแรงผลัก โดยปกติแล้วไอออนอิเล็กตรอนและอะตอมต่างๆ ของก๊าซจะเคลื่อนที่ไปมาตลอดจึงมีการชนเกิดขึ้น ดังนั้นจึงมีขบวนการการรวมตัวกันใหม่ (process of recombination) เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ขบวนการรวมตัวกันใหม่ของก๊าซออกซิเจนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์แสดงดังภาพ 8



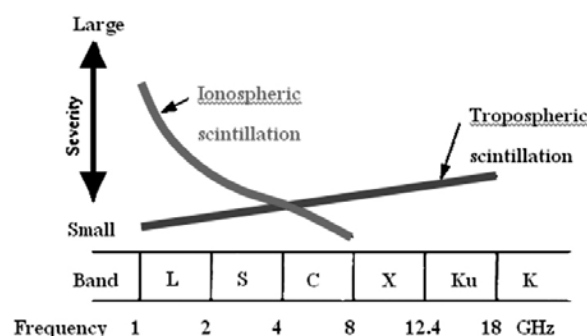
ภาพ 8 ขบวนการรวมตัวกันใหม่

ดังนั้นโมเลกุลหนึ่งโมเลกุลที่ถูกไอโอไนซ์จะไม่คงความเป็นอนุภาคที่ถูกไอโอไนซ์ตลอดไปโดยในส่วนของชั้นบรรยากาศโลกที่ต่ำ (ความกดดันสูง) จะมีการชนกันของอนุภาคถี่มากจึงมีโอกาสเกิดขบวนการรวมตัวกันใหม่มาก ดังนั้นโมเลกุลของอากาศจะคงความเป็นอนุภาคที่ถูกไอโอไนซ์ในระยะเวลาสั้นกว่าชั้นบรรยากาศส่วนบน นอกจากนี้แล้วรังสีอัลตราไวโอเล็ตจากดวงอาทิตย์ได้ถูกดูดซับไปเป็นจำนวนมากแล้วโดยชั้นบรรยากาศส่วนบน ดังนั้นในบริเวณที่ความสูงต่ำกว่า 50 กิโลเมตรจะมีการไอโอไนซ์เกิดขึ้นน้อยมาก ในทางกลับกันที่ความสูงมากกว่า 400 กิโลเมตร นั้นมีอนุภาคของอากาศที่เบาบางทำให้ความหนาแน่นของการไอโอไนซ์มีค่าต่ำมากถึงแม้ว่าจะได้รับรังสีจากดวงอาทิตย์มากก็ตาม ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่าชั้นบรรยากาศในระดับความสูงในช่วง 50 ถึง 400 กิโลเมตรซึ่งก็คือระดับการวางตัวของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่มีปริมาณอนุภาคของอากาศ สภาวะความกดอากาศและการแผ่รังสีอัลตราไวโอเล็ตของดวงอาทิตย์เป็นไปอย่างเหมาะสมเอื้ออำนวยให้เกิดการไอโอไนซ์ขึ้น ดังนั้นจึงอาจกล่าวได้ว่า ณ ความสูงในช่วงนี้มีความหนาแน่นของปริมาณอิเล็กตรอนสูงสุด

การเปลี่ยนแปลงสัญญาณอย่างกะทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์

ระบบสื่อสารดาวเทียมได้รับผลกระทบเมื่อสัญญาณแพร่กระจายผ่านชั้นบรรยากาศโลก โดยชั้นบรรยากาศโลกที่มีผลกระทบเป็นส่วนใหญ่ คือ ชั้น

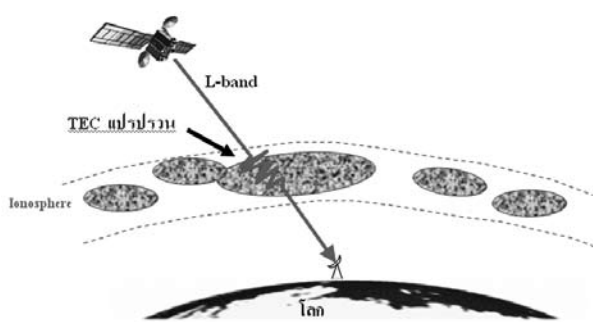
บรรยากาศโทรโพสเฟียร์และชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ผลกระทบจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์นั้น เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเห (refractive index), การดูดทอน (absorption), การกระเจิง (scatter) ของคลื่นสัญญาณอันเนื่องจาก เมฆ,ฝน,หิมะ และอื่น ๆ โดยผลกระทบจากชั้นบรรยากาศโทรโพสเฟียร์เริ่มมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นที่มีความถี่สูงกว่าแถบความถี่ C (4-6 กิกะเฮิร์ตซ์) ขึ้นไป ส่วนผลกระทบที่เกิดเนื่องจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นจะมีผลต่อการแพร่กระจายคลื่นที่มีความถี่ต่ำกว่าแถบความถี่ C (30 เมกะเฮิร์ตซ์- 3 กิกะเฮิร์ตซ์) (อรอนงค์ เพชรนิ่ม, 2542) ซึ่งจะทำให้สัญญาณเกิดการหน่วงเวลา ทำให้สัญญาณมาถึงจุดที่รับสัญญาณช้ากว่าการเดินทางของคลื่นในระยะตรง, การเกิดการหมุนแบบฟาราเดย์ซึ่งจะทำให้มุมโพลาไรซ์ของสัญญาณที่เครื่องรับสัญญาณรับได้นั้นเกิดการเปลี่ยนแปลงไปจากมุมเดิมที่ดาวเทียมส่งมา และนอกจากนี้ยังเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของสัญญาณอย่างกะทันหัน ซึ่งจะทำให้ระดับสัญญาณเกิดการแกว่งขึ้นลงอย่างรวดเร็วจากระดับปกติ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณจะขึ้นอยู่กับเวลาและลักษณะของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ที่แต่ละระดับความสูง โดยระดับความรุนแรงของการแกว่งตามความถี่ที่ใช้งานต่างๆ สามารถแสดงได้ในภาพ 9



ภาพ 9 ระดับความรุนแรงของการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันตามความถี่ใช้งาน

การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของสัญญาณอย่างกะทันหันอันเนื่องมาจากชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เกิดจาก

การที่สัญญาณเดินทางผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากความแปรปรวนของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ (ionospheric irregularities) ทำให้สัญญาณที่ผ่านกลุ่มความไม่สม่ำเสมอของชั้นบรรยากาศนี้ถูกหักเห ทำให้สัญญาณที่รับได้ที่เครื่องรับเกิดการเสริมหรือหักล้างกันของคลื่นทางตรงและคลื่นที่ถูกหักเห ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงของแอมพลิจูดอย่างรวดเร็ว ซึ่งนอกจากจะมีการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูดแล้วยังมีการเปลี่ยนแปลงทางเฟสด้วย (phase scintillation) ดังแสดงในภาพ 10



ภาพ 10 ผลกระทบของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ทำให้สัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของสัญญาณอย่างกะทันหัน

จากภาพ 10 แสดงกลุ่มความไม่สม่ำเสมออันเนื่องมาจากความแปรปรวนของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มความไม่สม่ำเสมอขนาดเล็กหลายๆ กลุ่ม ที่ถูกบรรจุอยู่ในแผ่นม่านขนาดใหญ่ที่เคลื่อนที่ขวางเส้นทางการเดินทางของคลื่นในระยะเวลา 20 นาที ถึงหลายชั่วโมง มีขนาดจากทิศตะวันออกถึงตะวันตก หลายร้อยกิโลเมตร มีความสูงในแนวตั้ง 50 ถึง หลายร้อยกิโลเมตร และมีขนาดในทิศเหนือ-ใต้ ประมาณ 2000 กิโลเมตร (Aarons J., 1982) แต่ในความเป็นจริงกลุ่มความไม่สม่ำเสมอไม่ได้มีภาพทรงเดียวแต่จะมีภาพแบบที่ไม่แน่นอน กลุ่มความ

ไม่สม่ำเสมอที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันจะเกิดขึ้นในช่วงเวลากลางคืนซึ่งสัมพันธ์กับการปรากฏตัวของชั้น F และปรากฏการณ์ Spread F ซึ่งเกิดในเวลากลางคืนด้วย ความไม่สม่ำเสมอของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นเกิดจากหลายสาเหตุ ซึ่งในตอนกลางวันจะเกิดที่ชั้น E ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ซึ่งเรียกว่า Sporadic-E ซึ่งทำให้เกิดปรากฏการณ์การเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันที่เรียกว่าการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดอย่างกะทันหันแบบครึ่งคาบ (quasi-periodic scintillation) ส่วนในเวลากลางคืนความไม่สม่ำเสมอของปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์นั้นจะเกิดขึ้นในชั้น F ของชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ ซึ่งจะอยู่ที่ระยะความสูงตั้งแต่ 200-600 กิโลเมตรเหนือพื้นดิน

สรุป

ชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์เป็นชั้นบรรยากาศที่ประกอบไปด้วยโมเลกุลก๊าซต่างๆ เมื่อโมเลกุลก๊าซเหล่านี้ได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์ จะทำให้เกิดกระบวนการแตกตัวของโมเลกุลก๊าซ กลายเป็นไอออนบวกและอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมาก จากการเกิดกลุ่มความแปรปรวนของอิเล็กตรอนอิสระในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ดังกล่าว จะส่งผลกระทบต่อระบบการส่งสัญญาณดาวเทียม GPS ซึ่งใช้ย่านความถี่ L ซึ่งกลุ่มความแปรปรวนของอิเล็กตรอนอิสระ ทำให้สัญญาณเกิดการแกว่งไปมาอย่างกะทันหัน ทำให้แอมพลิจูดของสัญญาณเกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างกะทันหัน ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะทำให้สัญญาณดาวเทียมใช้เวลาเดินทางถึงเครื่องรับมากกว่าปกติ ส่งผลให้การคำนวณพิกัดของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียม GPS เกิดความผิดพลาดหรือการระบุพิกัดเกิดความคลาดเคลื่อน

เอกสารอ้างอิง

- ยรรยง ทรัพย์สุขอำนวย. (2546). *ระบบการหาดำแหน่งบนพื้นโลกด้วยดาวเทียม*. กรุงเทพฯ: บี.ที.ซี เซอร์เวย์อิง กรุ๊ป.
- ภัทรียา ธีรพัฒน์ไพบูลย์. (2549). *การลดความคลาดเคลื่อนในการบอกพิกัดของระบบ GPS เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของชั้นบรรยากาศ*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- อรอนงค์ เพชรนิม. (2542). *การศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาณอิเล็กตรอนในชั้นบรรยากาศไอโอโนสเฟียร์ในบริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรที่มีผลกระทบต่อสัญญาณดาวเทียม*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- Aarons, J. (1982). Global Morphology of Ionospheric Scintillations. *Proceedings of the IEEE*, 70(4), 360-378.
- Allnutt, J. E. (1989). *Satellite to Ground Radio wave Propagation Theory, Practice and System Impact at Frequencies above 1 GHz*. London: Peter Peregrinus.
- Bancroft, S. (1985). An algebraic solution of the GPS equation. *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, 21, 56-59.
- Hofmann—Wellenhopf, B., Lichtenegger, H. & Collin, J. (1994). *Global Positioning System Theory and Practice*. New York: Springer-Verlag Wien.