



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า
สาขา

วิศวกรรมไฟฟ้า
ภาควิชา

เรื่อง ระบบสายอากาศติดตามอัตโนมัติ โดยใช้จีพีเอส

Antenna Tracking System Using GPS

นามผู้วิจัย นาวาตรีณรงค์ รามัญจิต

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์ณัฏฐกา หอมทรัพย์, Ph.D.

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชรระ จงบุรี, Ph.D.

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, M.Eng.

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่

เดือน

พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ระบบสายอากาศติดตามอัตโนมัติ โดยใช้จีพีเอส

Antenna Tracking System Using GPS

โดย

นาวาตรีรณรงค์ รามัญจิต

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

สิงคโปร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ. 2553

รณรงค์ รามัญจิต, นาวาตรี 2553: ระบบสายอากาศติดตามอัตโนมัติ โดยใช้จีพีเอส ปรินญา
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์ณัฐกานา หอมทรัพย์, Ph.D. 46 หน้า

ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกและมาตรฐานการส่งข้อมูลของอุปกรณ์ระบบกำหนดตำแหน่ง
บนโลก สามารถที่จะนำข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกมาใช้ในการออกแบบ
โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อกำหนดหามุมเอซิมัท โดยใช้สมการของ Thaddeus Vincenty สำหรับหัน
สายอากาศแบบเจาะจงทิศทาง (Directional Antenna) ระบบนี้ทำให้สายอากาศชี้ไปยังทิศทางที่ต้องการ ได้
อย่างถูกต้องและแม่นยำ พร้อมทั้งออกแบบกล่องควบคุมเพื่อให้สะดวกในการใช้งาน

Ronnarone Ramunjite, Lieutenant Commander 2010: Antenna Tracking System Using GPS. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Nuttaka Homsup, Ph.D. 46 pages.

A study of the commonly used Global Positioning System and its corresponding is covered in this work protocol for writing programming to get informations from GPS. Using T. Vincenty's formula calculate Azimuth between 2 points. Directional Antenna can be controlled by C-Programming that known Azimuth and latitude longitude between 2 points. Finally design the control box to use. A design of direction-controlled antenna is proposed. The receiving antenna involves the GPS positioning data to determine the direction of the transmitter then points mainlobe to the proper direction. T. Vincenty's formula is used to calculate the azimuth and the control box is programmed by using c-language.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

___ / ___ / ___

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์นาวาอากาศเอกวิโรจน์ หอมทรัพย์ อาจารย์พิเศษ รองศาสตราจารย์ณัฐภา หอมทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลักและผู้ช่วยศาสตราจารย์ วชิระ จงบุรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการเรียน การค้นคว้าวิจัย ตลอดจน การตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป และขอขอบคุณที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้ อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

รณรงค์ รามัญจิต

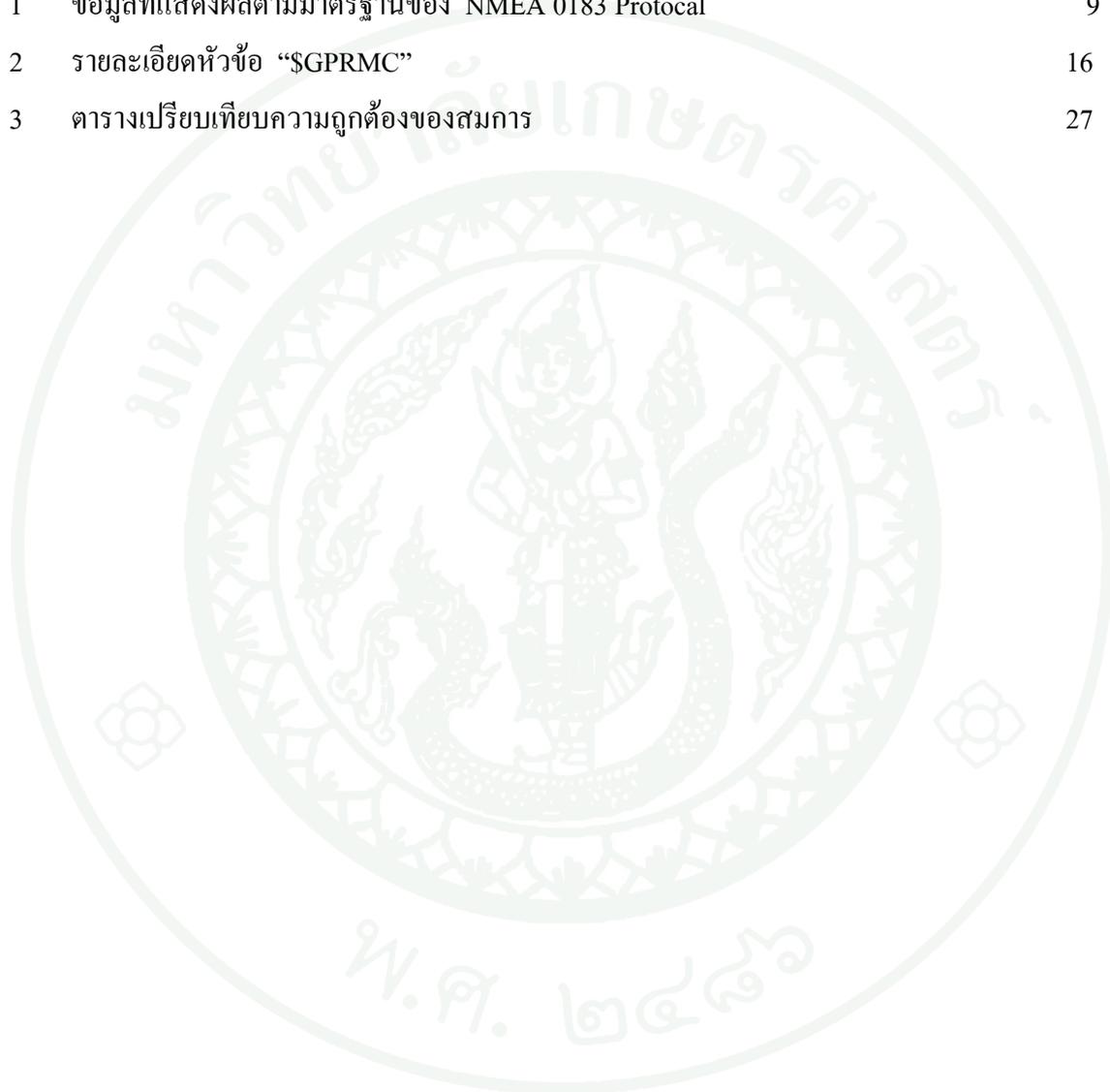
กันยายน 2553

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	14
อุปกรณ์	14
วิธีการ	14
ผลและวิจารณ์	26
ผล	26
วิจารณ์	41
สรุปและข้อเสนอแนะ	42
สรุป	42
ข้อเสนอแนะ	43
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	44
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	46

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ข้อมูลที่แสดงผลตามมาตรฐานของ NMEA 0183 Protocol	9
2	รายละเอียดหัวข้อ “\$GPRMC”	16
3	ตารางเปรียบเทียบความถูกต้องของสมการ	27



สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก	3
2	วงโคจรของดาวเทียม	4
3	การหาพิกัดของเครื่องรับสัญญาณ	7
4	การอ้างอิง WGS-84	8
5	รูปแบบของสัญญาณที่ถูกส่งโดยสายอากาศแบบทิศทาง	12
6	เส้นแสดงละติจูด ลองจิจูด	13
7	GPS: U - Blox AG รุ่น LEA - 4S	14
8	Diagram: LEA-4S	15
9	ระดับสัญญาณ TTL	15
10	ระดับสัญญาณ RS-232	16
11	มูมแอชิมัท	17
12	เข็มทิศดิจิทัล OS5000	22
13	MaxSteam 9Xtend-PKG-R™	22
14	RS-232 (ตัวผู้)	23
15	RS-232 (ตัวเมีย)	23
16	การเชื่อมต่อระหว่าง 2 สถานี	24
17	การเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งระบบ	24
18	ตัวอย่างมูมแอชิมัท 0 องศา	33
19	ตัวอย่างมูมแอชิมัท 45 องศา	34
20	ตัวอย่างมูมแอชิมัท 90 องศา	35
21	ตัวอย่างมูมแอชิมัท 135 องศา	36
22	ตัวอย่างมูมแอชิมัท 180 องศา	37
23	ตัวอย่างมูมแอชิมัท 225 องศา	38
24	ตัวอย่างมูมแอชิมัท 270 องศา	39
25	ตัวอย่างมูมแอชิมัท 315 องศา	40

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

a	=	Major Semiaxis Of The Ellipsoid
b	=	Minor Semiaxis Of The Ellipsoid
f	=	flattening = $\frac{(a-b)}{a}$
L	=	Difference In Longitude = $(\lambda_2-\lambda_1)$
S	=	Length Of The Geodesic
α	=	Azimuth Of The Geodesic At The Equator
α_1	=	Azimuth Of The Geodesic Clockwise From North
α_2	=	Azimuth Of The Geodesic Clockwise From North
σ	=	Angular Distance P1, P2 On The Sphere
σ_1	=	Angular Distance On The Sphere From The Equator To P1
σ_m	=	Angular Distance On Sphere From The Equator To The Midpoint Of The Line
λ	=	Longitude
φ	=	Latitude
U	=	Reduced Lattitude, Define By $\tan U=(1-f)\tan\theta$

ระบบสายอากาศติดตามอัตโนมัติ โดยใช้จีพีเอส

Antenna Tracking System Using GPS

คำนำ

เนื่องจากสายอากาศแบบทิศทาง (Directional Antenna) เป็นสายอากาศที่มีทิศทางการแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีทิศทางชัดเจน เหมาะสำหรับการติดต่อระหว่างจุดต่อจุด แต่มีข้อจำกัดคือ จะต้องให้สายอากาศชี้ไปยังสถานีเป้าหมาย ที่ต้องการใช้รับ-ส่งข้อมูล ซึ่งในการรับ-ส่งข้อมูล นั้นระยะทางระหว่างสายอากาศของสถานีควบคุมกับสถานีเครือข่ายอยู่ไกลเกินกว่าที่จะมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า ดังนั้นถ้าจะหันสายอากาศให้ถูกต้อง เจ้าหน้าที่ควบคุมสายอากาศ จึงหันสายอากาศด้วยการคาดคะเน ไม่สะดวกต่อการปรับแต่ง ส่งผลให้การใช้งานสายอากาศแบบทิศทาง (Directional Antenna) ไม่สามารถรับสัญญาณได้เต็มประสิทธิภาพ

ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS: Global Positioning System) จะส่งค่าละติจูดและลองจิจูดเพื่อบอกตำแหน่งที่ตั้งของสถานีเครือข่ายมายังสถานีควบคุม โดยค่าที่ได้จะถูกส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อใช้สูตรทางคณิตศาสตร์คำนวณหามุมหันและคำสั่งในการควบคุมการหันของมอเตอร์ไฟฟ้าให้หันสายอากาศไปยังทิศทางที่ต้องการ ดังนั้นไม่ว่าสถานีเครือข่ายจะอยู่ห่างจากสถานีควบคุมเพียงใดหรือมีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งสายอากาศแบบทิศทางก็ยังสามารถชี้ไปยังทิศทางของสถานีเครือข่ายได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ

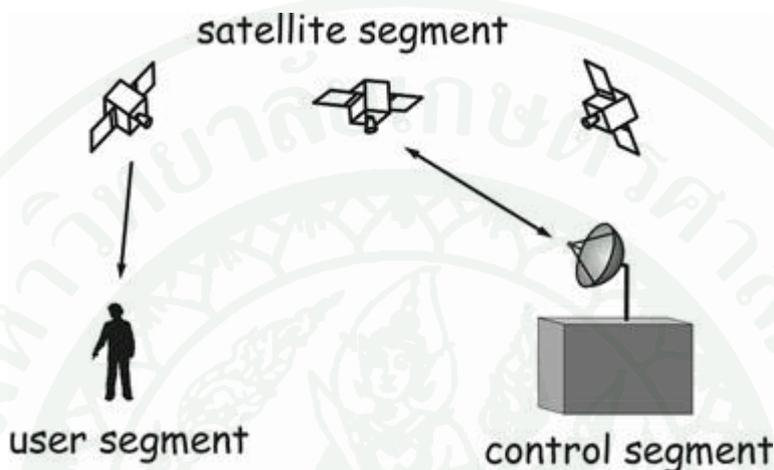
วัตถุประสงค์

เพื่อประดิษฐ์อุปกรณ์ควบคุมสายอากาศ โดยอาศัยระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS) และ ออกแบบโปรแกรมเพื่อนำข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกมาใช้คำนวณหามุม แอซิมัท สำหรับหันสายอากาศแบบเจาะจงทิศทาง (Directional Antenna) เพื่อให้สายอากาศชี้ไปยังทิศทางที่ต้องการได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ พร้อมทั้งออกแบบกล่องควบคุมเพื่อให้สะดวกในการใช้งาน



การตรวจเอกสาร

1. ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS)



ภาพที่ 1 ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

French (1996); Anonymous (2001); Grewal et al. (2001); Bajal et al. (2002); Carter (2005); Bullock (2007) ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS) เป็นระบบการค้นหาตำแหน่งและนำทางโดยใช้ดาวเทียม ซึ่งระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

1.1 ส่วนอวกาศ (Satellite Segment) ประกอบไปด้วยเครือข่ายดาวเทียมระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลกทั้งระบบประกอบด้วยดาวเทียม 24 ดวง โคจรรอบโลกที่ระยะประมาณ 22,000 กิโลเมตร ในการโคจรรอบโลกหนึ่งรอบ จะใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง และการโคจรของดาวเทียมแบ่งเป็น 6 วงโคจร โดยแต่ละวงโคจรจะทำมุมเอียงต่างกัน 55 องศา จากการโคจรเช่นนี้ทำให้เราสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้อย่างน้อยที่สุด 3 ดวง และดาวเทียมทั้งหมดจะส่งสัญญาณที่ย่านความถี่แอล (L- Band) คือ L1 และ L2 สำหรับความถี่ L1 ใช้ความถี่ 1572.42 MHz เป็นคลื่นพาห้ สัญญาณ L1 มอดดูเลตเข้ากับรหัส C/A code, P-code และข้อมูลที่เป็นประโยชน์กับนักเดินทาง ส่วนสัญญาณ L2 ใช้ความถี่ 1227.60 MHz. เป็นคลื่นพาห้ ความถี่ L2 นี้มอดดูเลตเข้ากับรหัส P-code และข้อมูลที่เป็นประโยชน์กับนักเดินทางเท่านั้น



ภาพที่ 2 วงโคจรของดาวเทียม

1.1.1 C/A – code คือ Coarse Acquisition Code เป็นรหัสมาตรฐานของอุปกรณ์ระบบ กำหนดตำแหน่งบนโลก ที่ส่งข้อมูลตำแหน่งของดาวเทียมและเวลา ซึ่งเป็นค่าประจำของดาวเทียมแต่ละดวงยังเครื่องรับสัญญาณ

1.1.2 P - code คือรหัสที่ถูกใช้งานในหน่วยงานทางทหารของประเทศสหรัฐอเมริกา เท่านั้น

1.2 ส่วนควบคุม (Control Segment) ประกอบด้วย

1.2.1 Master Control Station สถานีควบคุมแม่ข่ายมีอยู่ 1 สถานี ทำหน้าที่รับผิดชอบในการจัดการทั่วไป และบริการสถานีลูกข่าย เป็นศูนย์กลางที่ให้การสนับสนุนการทำงานของระบบ

1.2.2 Monitor Stations สถานีควบคุมเครือข่าย จะทำการตรวจสอบความสูง, ตำแหน่ง, ความเร็ว, และวงโคจรของดาวเทียม

1.3 ส่วนผู้ใช้งาน (User Segment) ผู้ใช้งานต้องมีเครื่องรับสัญญาณที่สามารถรับสัญญาณและแปรข้อมูลที่ดาวเทียมส่งมา เพื่อนำมาประมวลผล

ความแม่นยำของการระบุตำแหน่งนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง กล่าวคือถ้าเครื่องรับสามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้เป็นจำนวนมาก ยิ่งทำให้ความแม่นยำของเครื่องรับมาก

ขึ้น สำหรับความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศที่ประกอบด้วยประจุไฟฟ้า ความชื้น อุณหภูมิ และความหนาแน่นที่แปรปรวนตลอดเวลา คลื่นเมื่อตกกระทบ กับวัตถุต่างๆ จะเกิดการหักเหทำให้สัญญาณที่ได้อ่อนลง และสิ่งแวดล้อมในบริเวณรับสัญญาณเช่นมีการบดบังจากกระจก ละอองน้ำ ใบไม้ จะมีผลต่อค่าความถูกต้องของความแม่นยำ เนื่องจากถ้าสัญญาณจากดาวเทียมมีการหักเหก็จะทำให้ค่าที่คำนวณได้จากเครื่องรับสัญญาณเพี้ยนไป และสุดท้ายก็คือประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณว่ามีความไวในการรับสัญญาณแค่ไหนและความเร็วในการประมวลผลด้วย

2. การหาตำแหน่งของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

Zogg (2002) เมื่อเปิดเครื่องรับสัญญาณของระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก เครื่องรับจะทำการดาวน์โหลดตำแหน่งและเวลาของสัญญาณที่ถูกส่งออกมาจากดาวเทียมแต่ละดวงที่เครื่องรับสัญญาณสามารถเชื่อมต่อได้ มาเก็บไว้ที่หน่วยความจำ ซึ่งตำแหน่งของดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณอยู่ในแบบคาร์ทีเซียน (ละติจูด, ลองจิจูด, ความสูง) เครื่องรับจะทำการคำนวณหาระยะทางระหว่างเครื่องรับกับดาวเทียม โดยใช้สมการ

p_r = ระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับดาวเทียม (pseudorange)

x, y, z = พิกัดของดาวเทียม

X, Y, Z = พิกัดของผู้ใช้

r = รัศมีของโลก

Crr = Clock Bias Correction

การคำนวณหาระยะระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับสัญญาณ

$$p_r = \sqrt{(x - X)^2 + (y - Y)^2 + (z - Z)^2} \quad (1)$$

$$p_r^2 = (x - X)^2 + (y - Y)^2 + (z - Z)^2 \quad (2)$$

$$p_r^2 = \frac{X^2 + Y^2 + Z^2}{r^2} + x^2 + y^2 + z^2 - 2Xx - 2Yy - 2Zz \quad (3)$$

$$p_r^2 - (x^2 + y^2 + z^2) - r^2 = Crr - 2Xx - 2Yy - 2Zz \quad (4)$$

(X, Y, Z, Crr) เป็นฟังก์ชันพิกัดของผู้ใช้ที่ไม่รู้ค่า

(x, y, z) พิกัดของดาวเทียม เป็นฟังก์ชันที่ทราบค่า เนื่องจากเป็นข้อมูลที่ดาวเทียมส่งยังเครื่องรับ

$$p_{r1}^2 - (x_1^2 + y_1^2 + z_1^2) - r^2 = Crr - 2Xx_1 - 2Yy_1 - 2Zz_1 \quad (5)$$

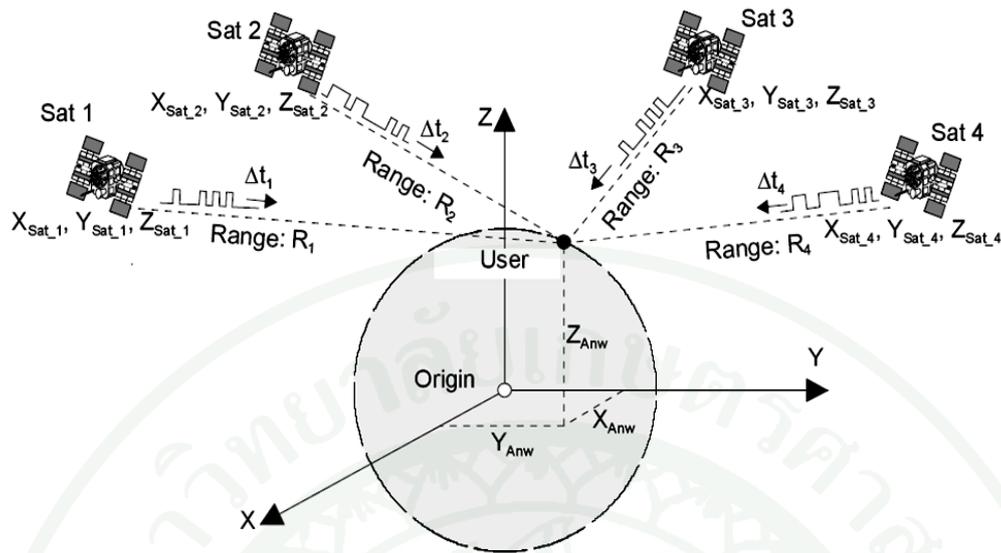
$$p_{r2}^2 - (x_2^2 + y_2^2 + z_2^2) - r^2 = Crr - 2Xx_2 - 2Yy_2 - 2Zz_2 \quad (6)$$

$$p_{r3}^2 - (x_3^2 + y_3^2 + z_3^2) - r^2 = Crr - 2Xx_3 - 2Yy_3 - 2Zz_3 \quad (7)$$

$$p_{r4}^2 - (x_4^2 + y_4^2 + z_4^2) - r^2 = Crr - 2Xx_4 - 2Yy_4 - 2Zz_4 \quad (8)$$

ดังนั้น การหาพิกัดของเครื่องรับ คือ

$$\begin{bmatrix} p_{r1}^2 - (x_1^2 + y_1^2 + z_1^2) - r^2 \\ p_{r2}^2 - (x_2^2 + y_2^2 + z_2^2) - r^2 \\ p_{r3}^2 - (x_3^2 + y_3^2 + z_3^2) - r^2 \\ p_{r4}^2 - (x_4^2 + y_4^2 + z_4^2) - r^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2x_1 - 2y_1 - 2z_1 & 1 \\ 2x_2 - 2y_2 - 2z_2 & 1 \\ 2x_3 - 2y_3 - 2z_3 & 1 \\ 2x_4 - 2y_4 - 2z_4 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ Crr \end{bmatrix} \quad (9)$$



ภาพที่ 3 การหาพิกัดของเครื่องรับสัญญาณ

ที่มา: Zogg and Zogg (2002)

3. WGS-84 (World Geodetic System 1984)

สมภพ (2551) โดยทั่วไปแล้ว การระบุตำแหน่งของดาวเทียมหรือยานสำรวจในอวกาศจะอ้างอิงกับระบบพิกัดที่เรียกว่า ECI (Earth Centered Inertial) หรือ ระบบพิกัด IJK) ซึ่งเป็นระบบพิกัดที่เสมือนว่าอยู่นิ่งกับที่ในอวกาศ ใช้ได้ในช่วงเวลา 50 ปี หลังจากนั้นจะต้องมีเปลี่ยนแปลงเนื่องจากแกนหมุนสำคัญมีการเคลื่อน) นอกจากนี้ ข้อมูลระบุตำแหน่งดาวเทียมนำร่องที่บรรจุอยู่ในข้อมูลนำร่องก็อ้างอิงกับระบบพิกัด ECI นี้เช่นกัน

สำหรับการระบุตำแหน่งบนพื้นโลกจำเป็นต้องอ้างอิงกับระบบพิกัดที่รวมผลการหมุนของโลกด้วย เพื่อให้การระบุตำแหน่งถูกต้องตามความเป็นจริงตามการหมุนของโลก ซึ่งระบบพิกัดที่เหมาะสมได้แก่ ECEF (Earth Centered Earth-Fixed) อย่างไรก็ตามค่าตำแหน่ง พิกัดของ ECEF จะอยู่ในรูปแบบของ (x, y, z) ซึ่งไม่สะดวกต่อการทำความเข้าใจและการใช้งานที่นิยมใช้ในรูปแบบของพิกัด (ลองจิจูด, ละติจูด, ความสูง)

ในการแปลงจากพิกัด (x, y, z) เป็นพิกัด (ลองจิจูด, ละติจูด, ความสูง) จำเป็นที่จะต้อง

อ้างอิงกับแบบจำลองรูปพรรณสัณฐานของโลก ซึ่งในด้านภูมิมาตรศาสตร์ แบบจำลองโลกมีหลายระบบ

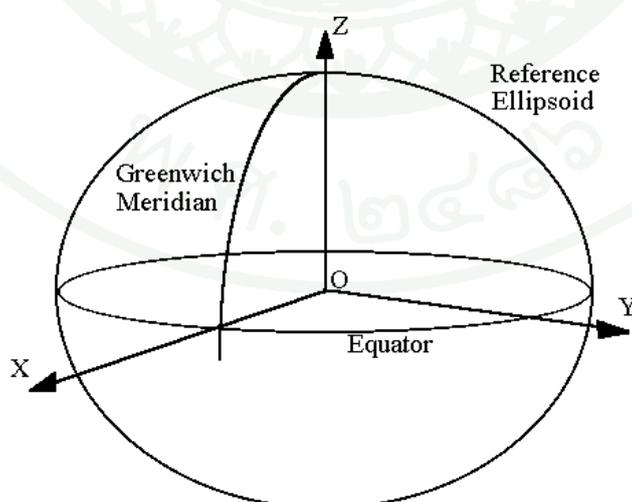
ระบบนำร่องจีพีเอสได้เลือกแบบจำลองของ WGS-84 (World Geodetic System 1984) ในการอ้างอิงเพื่อระบุตำแหน่งในพิกัดของลองจิจูด, ละติจูด และ ความสูง

WGS-84 เป็นแบบจำลองโลกรูปทรงรี (ทรงไข่) ที่กำหนดให้รัศมีในแนวเส้นผ่านศูนย์กลางโลก (a) มีค่า 6,378,137 เมตร และรัศมีในแนวขั้วโลก (b) มีค่า 6,356,752.3142 เมตร ซึ่งตำแหน่ง ใดๆ ตามระบบ WGS-84 ถูกอธิบายด้วย

3.1 ละติจูด เป็นมุมที่วัดจากระนาบเส้นผ่านศูนย์กลางโลกไปยังเส้นตรงที่ตั้งฉากกับพื้นผิวทรงรี (มีค่าเป็นบวกเมื่อวัดไปทางซีกโลกเหนือ และเป็นลบเมื่อวัดไปทางซีกโลกใต้)

3.2 ลองจิจูด เป็นมุมที่วัดบนระนาบเส้นผ่านศูนย์กลางโลก โดยกวาดจากเส้นเมริเดียนอ้างอิงไปยังตำแหน่ง P (มีค่าเป็นบวกเมื่อวัดจากเส้นเมริเดียนอ้างอิงไปทางตะวันออก)

3.3 ความสูง วัดจากตำแหน่งเครื่องรับจีพีเอสไปยังพื้นผิวของทรงรีตามเส้นตรงที่ตั้งฉากกับพื้นผิวทรงรี



ภาพที่ 4 การอ้างอิง WGS-84

4. NMEA Sentence

เป็นรูปแบบของภาษาที่ใช้สำหรับสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ถูกออกแบบให้ใช้งานในทะเลเป็นหลัก รูปแบบของภาษานี้ถูกกำหนดมาตรฐานโดย National Marine Electronics Association ภาษาที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์จะถูกจัดให้อยู่ในรูปของรหัสแอสกี (ASCII) โดยให้เริ่มต้นประโยคด้วยเครื่องหมาย “\$” และปิดท้ายด้วย “<CR><LF>” สำหรับข้อมูลที่อยู่ระหว่าง “\$” และ “<CR><LF>” จะมีข้อมูลที่เป็นประโยชน์สำหรับผู้ใช้งานได้นำข้อมูลเหล่านั้นไปใช้ (Active Research Limited, 2007; Betke, 2000; SiRF Technology Inc., 2008)

4.1 รูปแบบของ NMEA Sentence

\$YYXXX,.....* xx < CR >< LF >

YY เรียกว่า “Talker” บอกประเภทของอุปกรณ์ เช่น “GP = GPS” เป็นต้น
 XXX บอกประเภทของข้อมูล เช่น “Position”, “speed” และ “course” เป็นต้น
 *xx เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

สำหรับข้อมูลที่ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก ตามมาตรฐาน NMEA 0183 Protocol แบ่งเป็นหัวข้อดังนี้ ซึ่งหัวข้อเหล่านี้จะอยู่หลัง “Talker”

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่แสดงผลตามมาตรฐานของ NMEA 0183 Protocol

Message	Description
MLA	GLONASS Almanac Data
MSK	MSK Receiver Interface
MSS	MSK Receiver Signal
MTW	Water Temperature
MWD	Wind Direction and Speed
MWV	Wind speed and Angle
OSD	Own Ship Data

ตารางที่ 1 (ต่อ)

Message	Description
VTG	Course Over Ground and Ground Speed
WCV	Waypoint Closure Velocity
WNC	Distance – Waypoint to Waypoint
WPL	Waypoint Location
XDR	Transducer Measurements
XTE	Cross-Track Error, Measured
XTR	Cross-Track Error – Dead Reckoning
ZDA	Time and Date
ZDL	Time and Distance to Variable Point
ZFO	UTC and Time from Origin Waypoint
ZTG	UTC and Time to Destination Waypoint Encapsulation Formatters
ABM	UAIS Addressed binary and safety related message
BBM	UAIS Broadcast Binary Message
VDM	UAIS VHF Data-link Message
VDO	UAIS VHF Data-link Own-vessel report

ที่มา: Actisense (2007)

5. เสาอากาศแบบทิศทาง (Directional Antenna)

Kraus and Marhefka (2003) เสาอากาศทิศทาง (Directional Antenna) เป็นเสาอากาศซึ่งมีคุณสมบัติของการส่งหรือรับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ได้ดีในทิศทางที่กำหนด

5.1 คุณสมบัติของเสาอากาศแบบทิศทาง (Directional Antenna) เป็นเสาอากาศที่มีทิศทางการแพร่กระจายของลำคลื่นที่มีทิศทางชัดเจน เหมาะสำหรับการติดต่อระหว่างจุดต่อจุด แต่มีข้อจำกัดคือ จะต้องให้เสาอากาศชี้ไปยังทิศทางที่ต้องการทำการติดต่อ เพื่อให้พวกลักษณะหลักของ

สายอากาศครอบคลุมเป้าหมายได้มากที่สุด

5.2 การแพร่กระจายของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า สามารถแบ่งได้ ดังนี้

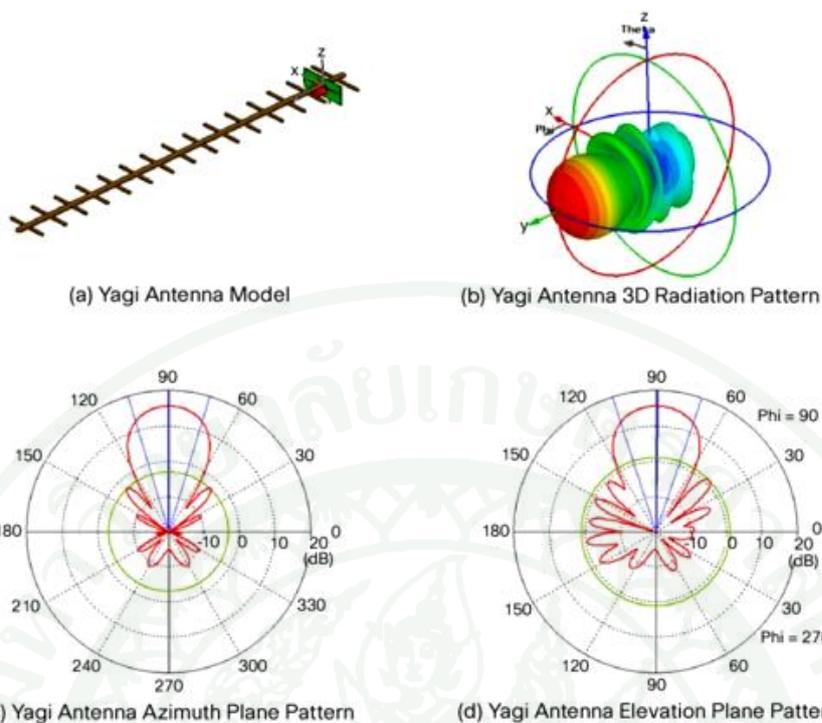
5.2.1 พูส์ัญญาณหลัก (Major Lobe หรือ Main Lobe) เป็นพูส์ัญญาณของการแผ่พลังงานซึ่งอยู่ในทิศทางที่การแผ่พลังงานแรงที่สุด

5.2.2 พูส์ัญญาณย่อย (Minor Lobe) ได้แก่ พูส์ัญญาณอื่น ๆ นอกเหนือไปจากสัญญาณหลัก

5.2.3 พูส์ัญญาณข้างหรือไซด์พูส์ัญญาณ (Side Lobe) เป็นพูส์ัญญาณย่อยที่อยู่ติดกับพูส์ัญญาณหลัก และอยู่ในทิศทางบนครึ่งวงกลมเดียวกับพูส์ัญญาณหลัก

5.2.4 พูส์ัญญาณหลัง (Back Lobe) เป็นพูส์ัญญาณย่อยที่อยู่ในครึ่งวงกลมตรงข้ามกับพูส์ัญญาณหลักปกติแล้วพูส์ัญญาณย่อยจะเกิดการแผ่พลังงานในทิศทางที่ไม่ต้องการ

5.3 ประสิทธิภาพของสายอากาศขึ้นอยู่กับการสูญเสียต่าง ๆ ที่ขั้วและภายในโครงสร้างของสายอากาศเอง ด้วยการสูญเสียต่าง ๆ อาจมีสาเหตุมาจาก การสะท้อนกลับเนื่องจากความไม่เข้ากันระหว่างสายส่งสัญญาณกับสายอากาศ หรือการสูญเสียทั้งในตัวนำและฉนวน



ภาพที่ 5 รูปแบบของสัญญาณที่ถูกส่งโดยสายอากาศแบบทิศทาง

6. การคำนวณทางคณิตศาสตร์

Williams (2010) การคำนวณหาค่าแบร์ริงระหว่างจุด 2 จุด วิธีสำหรับการคำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์นั้น มีขั้นตอนดังนี้

6.1 แปรค่าละติจูด และลองจิจูด ที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณ แปรให้อยู่ในรูปของ

$$\text{Decimal Degree} = dd + \frac{mm}{60} + \frac{ss}{3600} \tag{10}$$

6.2 แปรหน่วยของละติจูด และลองจิจูด จากหน่วยองศาเป็นหน่วยเรเดียน

$$\text{Radians} = \text{Degree} \times \frac{\pi}{180} \tag{11}$$

7. ละติจูด ลองจิจูด

7.1 ละติจูดเป็นเส้นที่ลากขนานกับเส้นศูนย์สูตร มีค่าตั้งแต่ 0 องศา ถึง 90 องศาเหนือ และ 0 องศา ถึง 90 องศาใต้

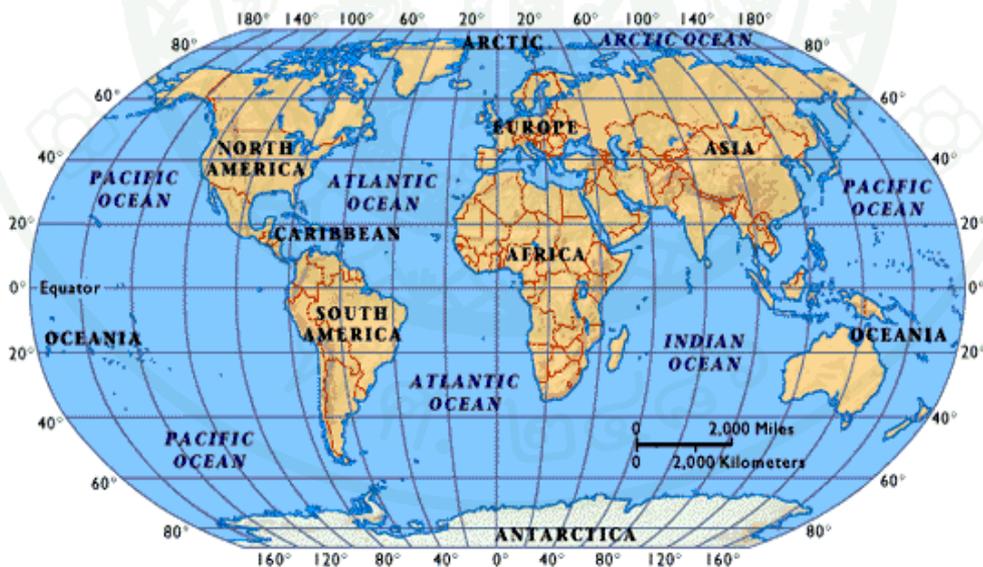
7.2 ลองจิจูดเป็นเส้นที่ลากจากขั้วโลกเหนือไปยังขั้วโลกใต้ เริ่มต้นที่ เมืองกรีนิช ประเทศอังกฤษมีค่าตั้งแต่ 0 องศา ถึง 180 องศาตะวันออก และ 0 องศา ถึง 180 องศาตะวันตก

7.3 ค่าโดยประมาณ

1 องศา \approx 111 กิโลเมตร

1 ลิปดา \approx 1.85 กิโลเมตร

1 ฟลิปดา \approx 1.85 เมตร



ภาพที่ 6 เส้นแสดงละติจูด ลองจิจูด

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก (GPS) ทรานซ์มิเตอร์ U - Blox AG รุ่น LEA - 4S
2. โมดูลเชื่อมต่อซีเรียล OS5000
3. อุปกรณ์สื่อสารไร้สาย MaxStream 9Xtend-PKG-R™ RS-232/485 RF Modem
4. สายอากาศแบบทิศทาง (Directional Antenna)
5. มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ
6. ET - BASE PIC8722
7. ET - MINI 232 - TTL3

วิธีการ

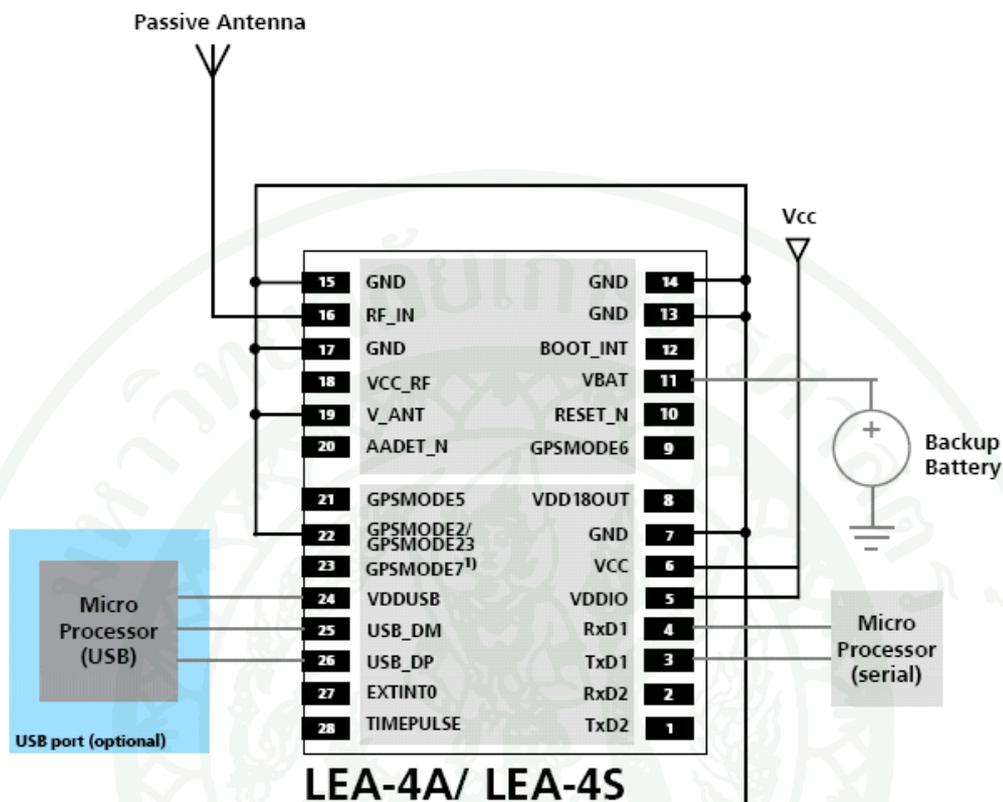
1. ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก ที่ใช้ในการวิจัย



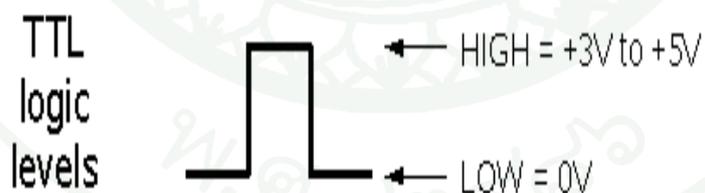
ภาพที่ 7 GPS: U - Blox AG รุ่น LEA - 4S

ศึกษาอุปกรณ์ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก u-blox ag รุ่น LEA-4S พบว่าให้เอาต์พุตสัญญาณแบบ TTL ดังนั้นเพื่อให้การแสดงผลที่จอแสดงผลของคอมพิวเตอร์สำหรับอุปกรณ์ที่ให้สัญญาณเอาต์พุตแบบ TTL จึงต้องป้อนสัญญาณยังอุปกรณ์ MAX232 ก่อน เพื่อทำการขยายระดับสัญญาณให้เป็นระดับสัญญาณเดียวกับระดับสัญญาณของ RS-232 แล้วจึงตั้งค่าตามคู่มือของ

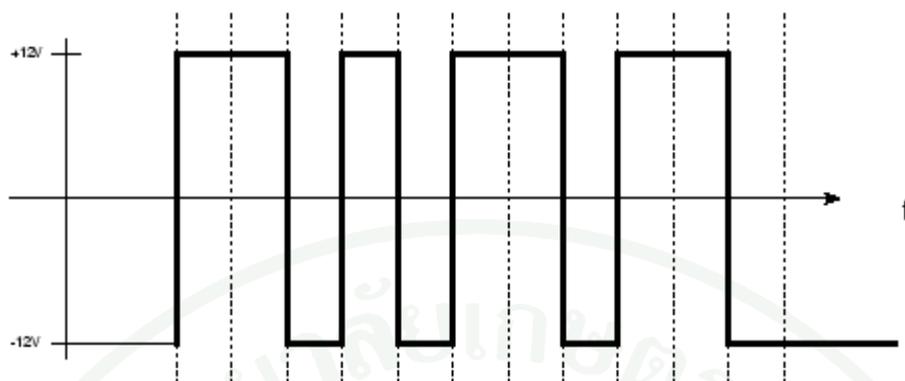
อุปกรณ์ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก



ภาพที่ 8 Diagram: LEA-4S



ภาพที่ 9 ระดับสัญญาณ TTL



ภาพที่ 10 ระดับสัญญาณ RS-232

2. ศึกษารูปแบบของข้อมูลที่ส่งออกจากระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

SiRF Technology Inc. (2008) สำหรับงานวิจัยนี้ นำข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก ซึ่งแสดงข้อมูลตามมาตรฐาน NMEA นั้น จะใช้ข้อมูลจากหัวข้อ "\$GPRMC" โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2 รายละเอียดหัวข้อ "\$GPRMC"

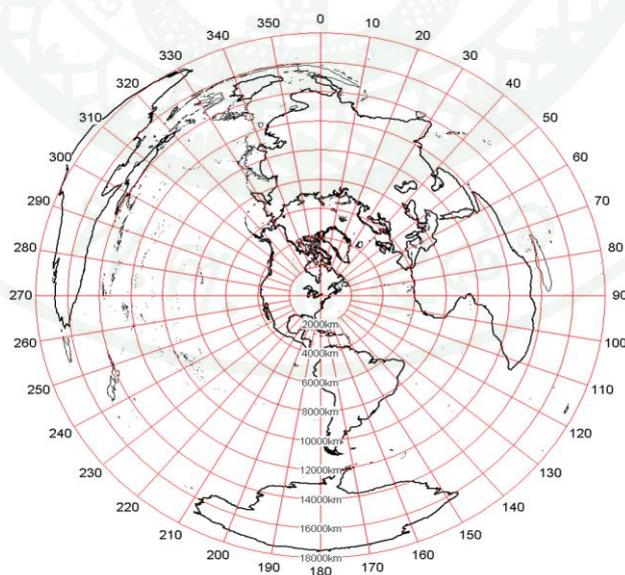
Name	Example	Unit	Description
Message ID	\$GPRMC		RMC protocol header
UTC Time	161229.487		hhmmss.sss
Status	A		A = data valid or V = data not valid
Latitude	3723.2475		ddmm.mmmm
N/S Indicator	N		N = north or S = south
Longitude	12158.3416		dddmm.mmmm
E/W Indicator	W		True
Speed Over Ground	0.13	Knots	

ตารางที่ 2 (ต่อ)

Name	Example	Unit	Description
Course Over Ground	309.62	Degrees	
Date	120598		Ddmmyy
Name	Example	Unit	Description
Magnetic Variation		Degrees	E = east or W = west
East/West Indicator	E		E = East
Mode	A		A = Autonomous ,D = DGPS , E = DR , N = Output Data Not Valid
Checksum	*10		
<CR><LF>			End of message termination

ที่มา: SiRF Technology Inc. (2008)

3. สมการทางคณิตศาสตร์



ภาพที่ 11 มุมเอซิมัท

การคำนวณหาค่ามุมแอซิมัทระหว่างจุด 2 จุด โดยใช้ค่าละติจูด ลองจิจูด จากอุปกรณ์ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก นั้น รูปแบบข้อมูลของละติจูดจะเป็น ddmm.mmmmm ส่วนรูปแบบข้อมูลของลองจิจูดจะเป็น dddmm.mmmmm ดังนั้นก่อนการคำนวณจึงต้องแปลงค่าละติจูด ลองจิจูด ที่ได้ให้อยู่ในรูปของ Signed Decimal Degree และการกำหนดเครื่องหมายให้กับค่าละติจูดและลองจิจูดเพื่อนำไปใช้คำนวณนั้น ขึ้นอยู่กับแต่ละสมการว่าจะกำหนดให้ทิศเหนือ/ทิศตะวันออกเป็นบวก หรือจะกำหนดให้ทิศเหนือ/ทิศตะวันตกเป็นบวกและแปรหน่วยของละติจูด ลองจิจูดที่ได้จากหน่วยของศาให้เป็นหน่วยเรเดียน

3.1 สมการที่สามารถใช้คำนวณหาแอซิมัทระหว่างจุด 2 จุด เช่น

3.1.1 Aviation Formula V1.44 (Williams, 2010)

$$\theta = \text{mod}(\text{atan2}(\sin(\lambda_1 - \lambda_2)\cos(\varphi_2), \cos(\varphi_1)\sin(\varphi_2) - \sin(\varphi_1)\cos(\varphi_2)\cos(\lambda_1 - \lambda_2)), 2\pi) \quad (12)$$

กำหนดให้ ทิศเหนือ/ทิศตะวันตก มีค่าเป็นบวก

3.1.2 <http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\sin(\lambda_2 - \lambda_1)\cos(\varphi_2)}{\cos(\varphi_1)\sin(\varphi_2) - \sin(\varphi_1)\cos(\varphi_2)\cos(\lambda_2 - \lambda_1)} \right) \quad (13)$$

กำหนดให้ ทิศเหนือ/ทิศตะวันออก มีค่าเป็นบวก

3.1.3 The American Practical Navigator (Nathaniel Bowditch LL. D, 2002)

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\sin(\lambda_1 - \lambda_2)}{\cos(\varphi_1)\tan(\varphi_2) - \sin(\varphi_1)\cos(\lambda_1 - \lambda_2)} \right) \quad (14)$$

กำหนดให้ ทิศเหนือ/ทิศตะวันตก มีค่าเป็นบวก

3.1.4 Survey Review, Vol. XXIII No. 176 (Inverse Formula)

$$f = \frac{1}{299.1528128} \quad \text{หรือ} \quad \frac{1}{297} \quad (15)$$

$$U_1 = \tan^{-1}((1 - f) \tan(\varphi_1)) \quad (16)$$

$$U_2 = \tan^{-1}((1 - f) \tan(\varphi_2)) \quad (17)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\cos(U_2) \sin(\lambda_2 - \lambda_1)}{\cos(U_1) \sin(U_2) - \sin(U_1) \cos(U_2) \cos(\lambda_2 - \lambda_1)} \right) \quad (18)$$

กำหนดให้ ทิศเหนือ/ทิศตะวันออก มีค่าเป็นบวก

3.1.5 Distance And Bearing By David Oesper 2/18/08

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\cos(\varphi_2) \sin(\lambda_2 - \lambda_1)}{\cos(\varphi_1) \sin(\varphi_2) - \sin(\varphi_1) \cos(\varphi_2) \cos(\lambda_2 - \lambda_1)} \right) \quad (19)$$

กำหนดให้ ทิศเหนือ/ทิศตะวันออก มีค่าเป็นบวก

3.2 สำหรับงานวิจัยนี้ใช้สมการที่ถูกพัฒนาและคิดค้นขึ้นปี ค.ศ. 1975 โดย ชาวโปแลนด์ ชื่อ Thaddeus Vincenty เป็นสมการที่ใช้สำหรับงานสำรวจหาเส้นทาง (Anonymous, 1975) โดยสามารถอธิบายได้ดังนี้ คือ

มาตรฐาน WGS 84; a = 6,378,388 เมตร และ f = 299.1528128

มาตรฐานสากล; a = 6,378,388 เมตร และ f = 297

3.2.1 Direct Method ใช้สำหรับคำนวณหาพิกัดที่ตั้งของเป้าหมายโดยอ้างอิงกับ ละติจูดและลองจิจูดของจุดเริ่มต้น

$$\tan(\sigma_1) = \frac{\tan(U_1)}{\cos(\alpha_1)} \quad (20)$$

$$\sin(\alpha) = \cos(U_1) \sin(\alpha_1) \quad (21)$$

$$A = 1 + \frac{u^2}{16384} \{4096 + u^2[-768 + u^2(320 - 175u^2)]\} \quad (22)$$

$$B = \frac{u^2}{1024} \{256 + u^2 [-128 + u^2 (74 - 47u^2)]\} \quad (23)$$

$$2\sigma_m = 2\sigma_1 + \sigma \quad (24)$$

$$\Delta\sigma = B\sin(\sigma) \left\{ \cos(2\sigma_m) + \frac{1}{4}B[\cos(\sigma)(-1 + 2\cos^2(2\sigma_m)) - \frac{1}{6}B\cos(2\sigma_m)(-3 + 4\sin^2(\sigma))(-3 + 4\cos^2(2\sigma_m))] \right\} \quad (25)$$

$$\sigma = \frac{s}{bA} + \Delta\sigma \quad (26)$$

$$\tan(\phi_2) = \frac{\sin(U_1)\cos(\sigma) + \cos(U_1)\sin(\sigma)\cos(\alpha_1)}{(1-f)[\sin^2(\alpha) + (\sin(U_1)\sin(\sigma) - \cos(U_1)\cos(\sigma)\cos(\alpha_1))^2]^{\frac{1}{2}}} \quad (27)$$

$$\tan(\lambda) = \frac{\sin(\sigma)\sin(\alpha_1)}{\cos(U_1)\cos(\sigma) - \sin(U_1)\sin(\sigma)\cos(\alpha_1)} \quad (28)$$

$$C = \frac{f}{16} \cos^2(\alpha) [4 + f(4 - 3\cos^2(\alpha))] \quad (29)$$

$$L = \lambda - (1 - C)f\sin(\alpha) \left\{ \sigma + C\sin(\sigma) [\cos(2\sigma_m) + C\cos(\sigma)(-1 + 2\cos^2(2\sigma_m))] \right\} \quad (30)$$

ดังนั้น; Direct Method คือ

$$\tan(\alpha_2) = \frac{\sin(\alpha)}{-\sin(U_1)\sin(\sigma) + \cos(U_1)\cos(\sigma)\cos(\alpha_1)} \quad (31)$$

3.2.2 Inverse Method ใช้สำหรับคำนวณหาระยะทางและมุมแอซิมัทระหว่างจุดเริ่มต้นกับเป้าหมาย เมื่อทราบละติจูดและลองจิจูดทั้ง 2 ตำแหน่ง

$$\sin^2(\sigma) = [\cos(U_2)\sin(\lambda)]^2 + [\cos(U_1)\sin(U_2) - \sin(U_1)\cos(U_2)\cos(\lambda)]^2 \quad (32)$$

$$\cos(\sigma) = \sin(U_1)\sin(U_2) + \cos(U_1)\cos(U_2)\cos(\lambda) \quad (33)$$

$$\tan(\sigma) = \frac{\sin(\sigma)}{\cos(\sigma)} \quad (34)$$

$$\sin(\alpha) = \frac{\cos(U_1) \cos(U_2) \sin(\lambda)}{\sin(\sigma)} \quad (35)$$

$$\cos(2\sigma_m) = \frac{\cos(\sigma) - 2 \sin(U_1) \sin(U_2)}{\cos^2(\alpha)} \quad (36)$$

$$s = bA(\sigma - \Delta\sigma) \quad (37)$$

ดังนั้น; Inverse Method คือ

$$\tan(\alpha_{12}) = \frac{\cos(U_2) \sin(\lambda_2 - \lambda_1)}{\cos(U_1) \sin(U_2) - \sin(U_1) \cos(U_2) \cos(\lambda_2 - \lambda_1)} \quad (38)$$

$$\tan(\alpha_{21}) = \frac{\cos(U_1) \sin(\lambda_2 - \lambda_1)}{-\sin(U_1) \cos(U_2) + \cos(U_1) \sin(U_2) \cos(\lambda_2 - \lambda_1)} \quad (39)$$

3.3 เปรียบเทียบผลการคำนวณจากการประมวลผลของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบขึ้นกับ Web Calculators ที่มีให้บริการดังนี้

3.2.1 http://www.ga.gov.au/geodesy/datums/vincenty_inverse.jsp

3.2.2 <http://www.jassing.com/zipcode/MoreFun.htm>

3.2.3 <http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>

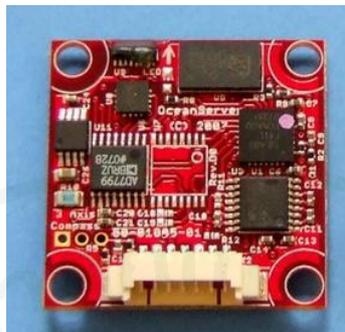
3.2.4 <http://williams.best.vwh.net/gccalc.htm>

3.4 การแปรค่าละติจูดและลองจิจูด ให้อยู่ในรูปแบบของ Signed Decimal Degree และการแปลงหน่วยของศาเป็นเรเดียน

$$\text{Signed Decimal Degree} = dd + \frac{mm}{60} + \frac{ss}{3600} \quad (40)$$

$$\text{Radians} = \text{Degree} \times \frac{\pi}{180} \quad (41)$$

4. โมดูลเข็มทิศดิจิทัล OS5000



ภาพที่ 12 เข็มทิศดิจิทัล OS5000

ปรับแต่งความถูกต้องของโมดูลเข็มทิศดิจิทัล OS5000 โดยอ้างอิงกับเข็มทิศแม่เหล็ก เริ่มต้นทิศเหนือ 0 องศา ทิศตะวันออก 90 องศา ทิศใต้ 180 องศา และทิศตะวันตก 270 องศา

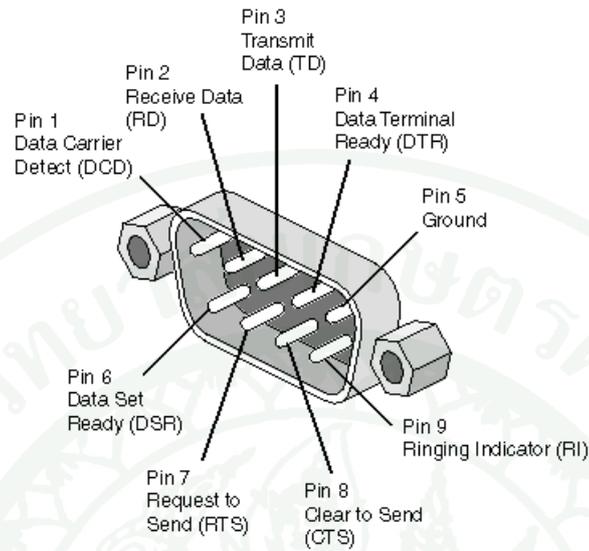
5. การเชื่อมต่ออุปกรณ์ไร้สาย MaxSteam 9Xtend-PKG-R™ RS-232/485 RF Modem



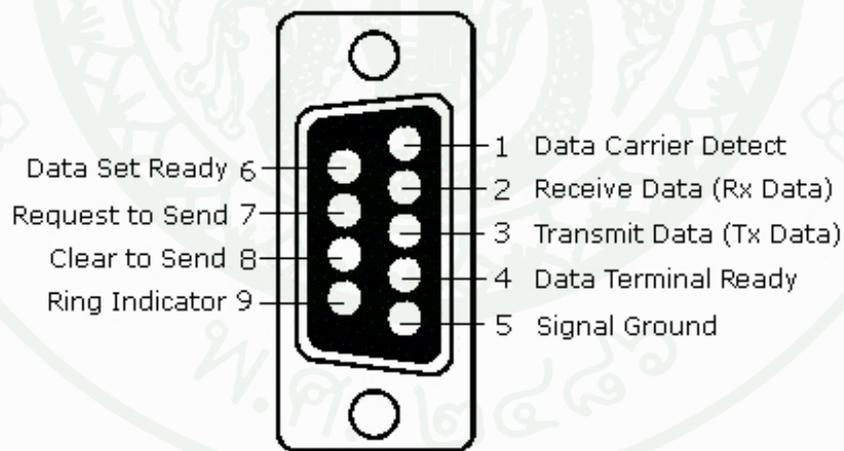
ภาพที่ 13 MaxSteam 9Xtend-PKG-R™

ใช้ช่องทางของ RS – 232 ในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก กับอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย เพื่อส่งค่าละติจูด ลองจิจูด ของเป้าหมายปลายทางมายัง

ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ติดตั้งอยู่กับฐานของสายอากาศ

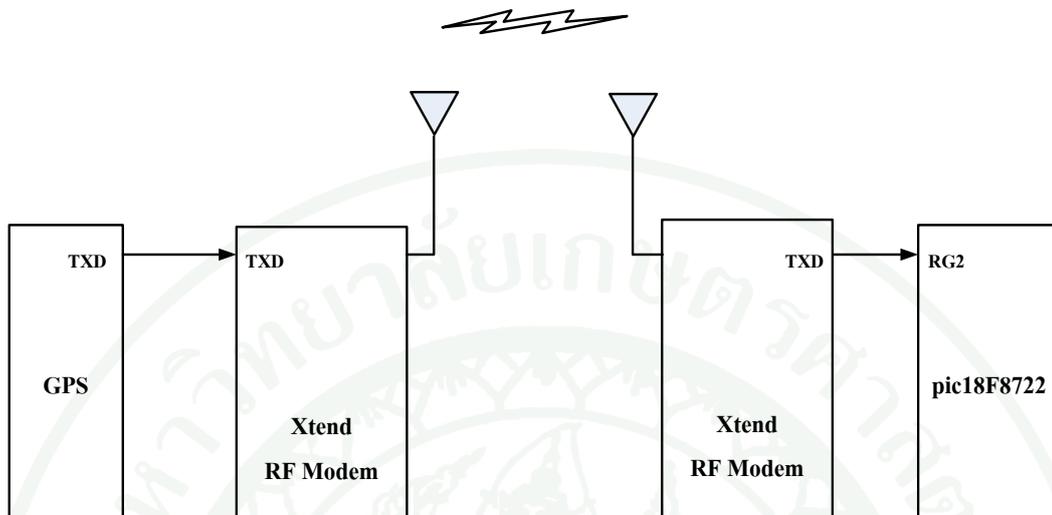


ภาพที่ 14 RS-232 (ตัวผู้)

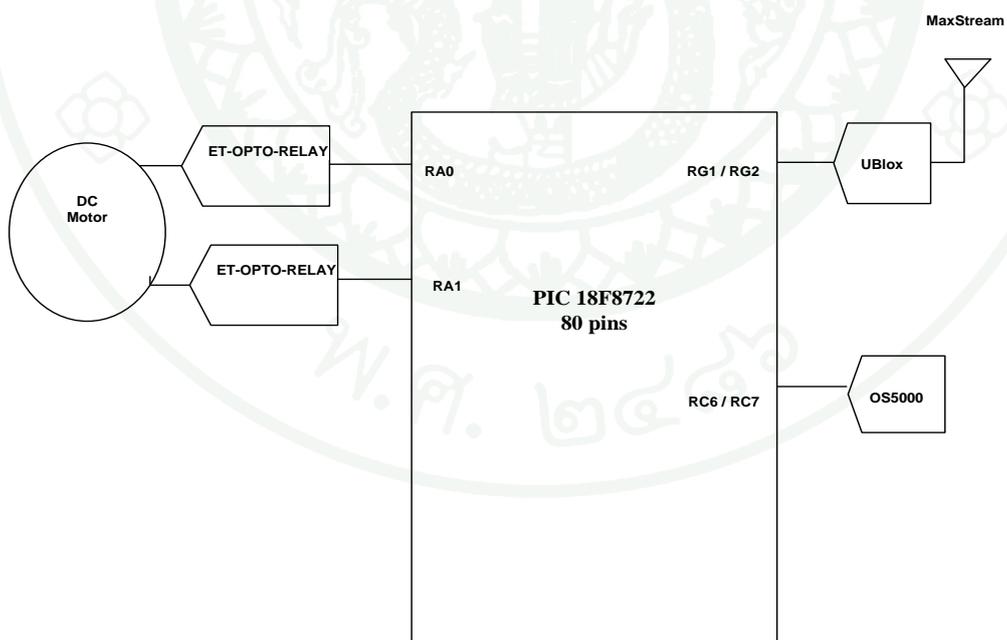


ภาพที่ 15 RS-232 (ตัวเมีย)

6. การเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งระบบ



ภาพที่ 16 การเชื่อมต่อระหว่าง 2 สถานี



ภาพที่ 17 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ทั้งระบบ

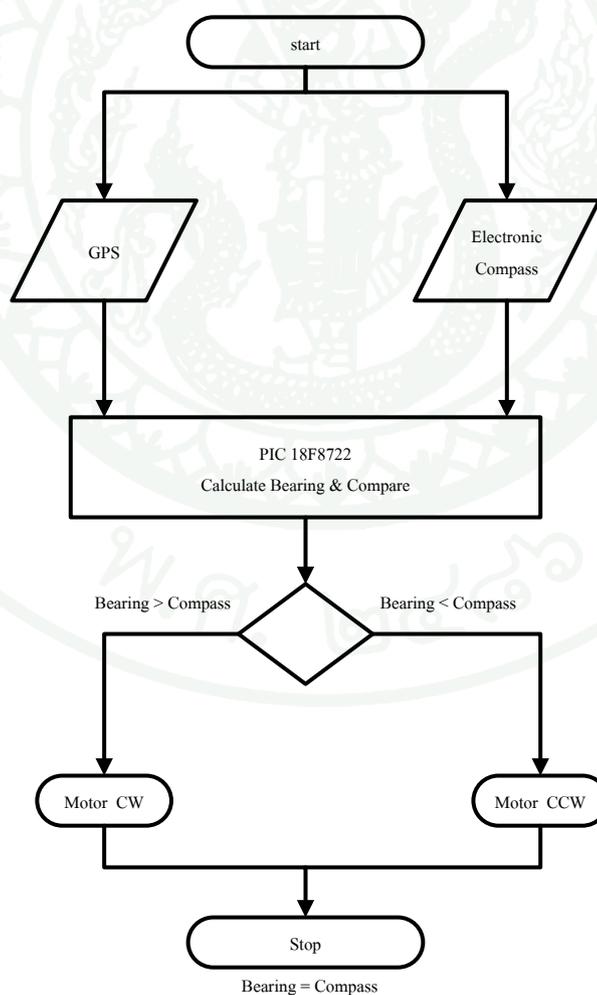
7. ขั้นตอนการทดลอง

7.1 ป้อนค่าละติจูดและลองจิจูดตำแหน่งที่ตั้งของสถานีควบคุมให้กับโปรแกรมระยะห่างระหว่างทั้ง 2 สถานี เริ่มต้นที่ 10 กิโลเมตร

7.2 ตรวจสอบความถูกต้องของการประมวลผลกับ Web Calculator ต่างๆ

7.3 คอมไพล์โปรแกรม ตรวจสอบการหันของสายอากาศว่าชี้ไปยังเป้าหมายได้อย่างถูกต้องหรือไม่ และทดลองเคลื่อนย้ายสถานีปลายทาง ตรวจสอบการหันของสายอากาศ

8. การออกแบบโปรแกรมคอมพิวเตอร์



ผลและวิจารณ์

ผล

1. ศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ผลการศึกษาอุปกรณ์ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก เครื่องรับสัญญาณจะให้เอาต์พุตสัญญาณแบบ TTL ดังนั้นในการเชื่อมต่อเข้ากับคอมพิวเตอร์ เพื่อให้แสดงข้อมูลที่จอแสดงผล สำหรับอุปกรณ์ที่ให้เอาต์พุตแบบ TTL จะต้องผ่าน MAX232 ก่อนการเชื่อมต่อเข้าคอมพิวเตอร์ และตั้งค่า Baud Rate ให้ตรงกับอุปกรณ์ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

2. ศึกษารูปแบบของข้อมูลที่ส่งออกจากระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก

ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่มีหลายมาตรฐานในการเชื่อมต่อ เช่น มาตรฐาน NMEA (National Marine Electronics Association), มาตรฐาน RTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) และ มาตรฐาน UBX binary เป็นมาตรฐานที่พัฒนาโดยบริษัท u-blox ag อุปกรณ์ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกจึงสามารถประยุกต์ไปใช้งานได้หลายรูปแบบ ดังนั้นเพื่อให้การติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆสามารถเข้ากันได้ได้อย่างถูกต้อง จึงต้องทำความเข้าใจกับมาตรฐานสำหรับการเชื่อมต่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

3. ตรวจสอบความถูกต้องของสมการทางคณิตศาสตร์

เปรียบเทียบระหว่างการคำนวณของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ออกแบบขึ้นด้วยโปรแกรมภาษาซีกับ Web Calculators ต่างๆ พบว่า มีหลายเว็บและหลายสมการที่สามารถใช้ในการหามุมเบี่ยงระหว่างจุด 2 จุด โดยค่าที่ได้ต่างกันไม่มาก เมื่อเทียบกับโปรแกรมภาษาซีที่ออกแบบขึ้น

ตารางที่ 3 ตารางเปรียบเทียบความถูกต้องของสมการ

(ϕ_2, λ_2)	C Programming	Web Calculators			
		1 th	2 th	3 th	4 th
13.9350 N, 100.5689 E	359.11	359° 57' 0.92"	359° 57' 02"	359° 57' 02"	359.95025578671607
13.935 N, 100.5778 E	6.26	5 ° 28 ' 3.68 "	005° 29' 39"	005° 26' 00"	5.467687557070012
13.934 N, 100.6015 E	20.28	19 ° 38 ' 26.66 "	019° 31' 34"	019° 31' 34"	19.640739329470428
13.9321 N, 100.5938 E	16.26	15 ° 33 ' 12.49 "	015° 27' 36"	015° 27' 36"	15.553469214637154
13.9299 N, 100.6015 E	21.17	20 ° 30 ' 43.73 "	020° 23' 36"	020° 23' 36"	20.512146768631165
13.9268 N, 100.6088 E	26.04	25 ° 25 ' 46.86 "	025° 17' 21"	025° 17' 21"	25.42968325169605
13.0001 N, 100.616 E	176.80	176 ° 52 ' 34.75 "	176° 53' 46"	176° 53' 46"	176.87631949273245
13.919 N, 100.6228 E	35.89	35 ° 23 ' 19.76 "	035° 13' 04"	035° 13' 04"	35.388820379213676
13.9141 N, 100.6293 E	40.90	40 ° 27 ' 5.03 "	040° 16' 21"	040° 16' 21"	40.45139508269036
13.9086 N, 100.6344 E	45.54	45 ° 7 ' 59.76 "	044° 57' 07"	044° 57' 07"	45.13326554515664
13.8450 N, 100.6617 E	89.98	89 ° 59 ' 20.06 "	089° 59' 20"	089° 59' 20"	89.98890622999821

ตารางที่ 3 (ต่อ)

(φ_2, λ_2)	C Programming	Web Calculators			
		1 th	2 th	3 th	4 th
13.8371 N, 100.6620 E	94.91	94 ° 57 ' 22.61 "	094° 59' 16"	094° 59' 16"	94.95628143798687
13.8292 N, 100.6609 E	99.88	99 ° 57 ' 56.65 "	100° 01' 40"	100° 01' 40"	99.9657354979029
13.8215 N, 100.6592 E	104.79	104 ° 54 ' 53.94 "	105° 00' 20"	105° 00' 20"	104.91498488743148
13.8140 N, 100.6566 E	109.72	109 ° 53 ' 34.55 "	109° 28' 34"	110° 00' 34"	109.89293150119945
13.8067 N, 100.6537 E	114.60	114 ° 48 ' 59.01 "	114° 13' 29"	114° 57' 18"	114.81639353803705
13.7997 N, 100.6498 E	119.57	119 ° 49 ' 40.32 "	118° 49' 45"	119° 59' 05"	119.82786754568572
13.7931 N, 100.6456 E	124.42	124 ° 43 ' 7.66 "	124° 53' 20"	124° 53' 20"	124.71879463258611
13.7868 N, 100.6407 E	129.34	129 ° 41 ' 50.32 "	129° 52' 33"	129° 52' 33"	129.69731113044426
13.7814 N, 100.6344 E	134.43	134 ° 50 ' 35.31 "	135° 01' 29"	135° 08' 29"	134.84314352658677
13.7757 N, 100.6293 E	139.15	139 ° 36 ' 26.59 "	139° 47' 11"	139° 47' 11"	139.6073880730684
13.7709 N, 100.6229 E	144.07	144 ° 34 ' 33.14 "	144° 44' 50"	144° 44' 50"	144.57587440172762

ตารางที่ 3 (ต่อ)

(φ_2, λ_2)	C Programming	Web Calculators			
		1 th	2 th	3 th	4 th
13.7549 N, 100.5779 E	173.67	174 ° 28 ' 21.05 "	174° 30' 26"	174° 30' 26"	174.47251446875904
13.755 N, 100.5689 E	180.88	180 ° 2 ' 59.22 "	180° 02' 58"	180° 02' 58"	180.0497828643884
13.7549 N, 100.5618 E	185.26	184 ° 27 ' 14.80 "	184° 25' 34"	184° 25' 34"	184.45411156918737
13.7559 N, 100.5538 E	190.22	189 ° 27 ' 18.20 "	189° 23' 47"	189° 23' 47"	189.45505396616906
13.7576 N, 100.5459 E	195.19	194 ° 28 ' 25.80 "	194° 23' 10"	194° 23' 10"	194.47383225907038
13.76 N, 100.5382 E	200.16	199 ° 29 ' 32.47 "	199° 22' 42"	199° 22' 42"	199.4923516702049
13.763 N, 100.5308 E	205.09	204 ° 28 ' 18.43 "	204° 20' 07"	204° 20' 07"	204.47178637265026
13.7667 N, 100.5236 E	210.10	209 ° 31 ' 57.36 "	209° 22' 38"	209° 22' 38"	209.53259829638742
13.7709 N, 100.5168 E	215.05	214 ° 32 ' 28.27 "	214° 22' 19"	214° 22' 19"	214.54118618459054
13.7757 N, 100.5104 E	220.03	219 ° 34 ' 0.41 "	219° 23' 19"	219° 23' 19"	219.56677865976582
13.7814 N, 100.5036 E	225.54	225 ° 8 ' 21.59 "	224° 57' 28"	224° 57' 28"	225.13933025913468

ตารางที่ 3 (ต่อ)

(φ_2, λ_2)	C Programming	Web Calculators			
		1 th	2 th	3 th	4 th
13.7868 N, 100.4990 E	229.97	229 ° 36 ' 33.73 "	229° 25' 48"	229° 25' 48"	229.60936882913444
13.7931 N, 100.4941 E	234.97	234 ° 39 ' 44.38 "	234° 29' 27"	234° 29' 27"	234.66232776498836
13.7997 N, 100.4897 E	239.95	239 ° 41 ' 38.11 "	239° 32' 08"	239° 32' 08"	239.69391793345326
13.8067 N, 100.486 E	244.94	244 ° 43 ' 38.16 "	244° 35' 13"	244° 35' 13"	244.72726659716946
13.8140 N, 100.4829 E	249.94	249 ° 46 ' 46.02 "	249° 39' 41"	249° 39' 41"	249.77945078102667
13.8218 N, 100.4805 E	255.11	254 ° 59 ' 24.13 "	254° 53' 56"	254° 53' 56"	254.99003522089987
13.845 N, 100.4764 E	270.01	270 ° 0 ' 39.88 "	270° 00' 40"	270° 00' 40"	270.0110770192641
13.8528 N, 100.4777 E	274.96	275 ° 2 ' 50.29 "	275° 02' 26"	275° 02' 26"	275.0089606389111
13.8606 N, 100.4784 E	279.92	280 ° 0 ' 26.22 "	280° 04' 10"	280° 04' 10"	280.00728499653024
13.8683 N, 100.4805 E	284.96	285 ° 5 ' 39.82 "	285° 11' 09"	285° 11' 09"	285.0943955306079
13.8758 N, 100.4829 E	289.95	290 ° 7 ' 24.98 "	290° 14' 28"	290° 14' 28"	290.12360507842294

ตารางที่ 3 (ต่อ)

(φ_2, λ_2)	C Programming	Web Calculators			
		1 th	2 th	3 th	4 th
13.8831 N, 100.4860 E	294.95	295 ° 10 ' 50.19 "	295° 19' 14"	295° 19' 14"	295.1806083094341
13.890 N, 100.4897 E	299.89	300 ° 9 ' 51.59 "	300° 19' 20"	300° 19' 20"	300.1643302645575
13.8968 N, 100.4941 E	304.99	305 ° 18 ' 34.43 "	305° 28' 51"	305° 28' 51"	305.30956561234785
13.9086 N, 100.5033 E	314.35	314 ° 45 ' 11.29 "	314° 56' 04"	314° 56' 04"	314.75313817209956
13.9142 N, 100.5104 E	319.94	320 ° 24 ' 54.34 "	320° 35' 35"	320° 35' 35"	320.4150966536044
13.9190 N, 100.5168 E	324.92	325 ° 26 ' 37.65 "	325° 36' 47"	325° 36' 47"	325.4437912471093
13.9232 N, 100.5236 E	329.88	330 ° 27 ' 18.83 "	330° 36' 38"	330° 36' 38"	330.45523045338393
13.9269 N, 100.5307 E	334.83	335 ° 27 ' 43.67 "	335° 35' 56"	335° 35' 56"	335.46213099472885

หมายเหตุ $(\varphi_1, \lambda_1) = (13.845 \text{ N}, 100.56898 \text{ E})$
ระยะห่างระหว่างทั้ง 2 จุด 10 กิโลเมตร

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\cos(U_2) \sin(\lambda_2 - \lambda_1)}{\cos(U_1) \sin(U_2) - \sin(U_1) \cos(U_2) \cos(\lambda_2 - \lambda_1)} \right) \quad (34)$$

Web Calculator 1st = http://www.ga.gov.au/geodesy/datums/vincenty_inverse.jsp

Web Calculator 2nd = <http://www.jassing.com/zipcode/MoreFun.htm>

Web Calculator 3rd = <http://www.movable-type.co.uk/scripts/latlong.html>

Web Calculator 4th = <http://williams.best.vwh.net/gccalc.htm>

4. ทดสอบการหันของสายอากาศ

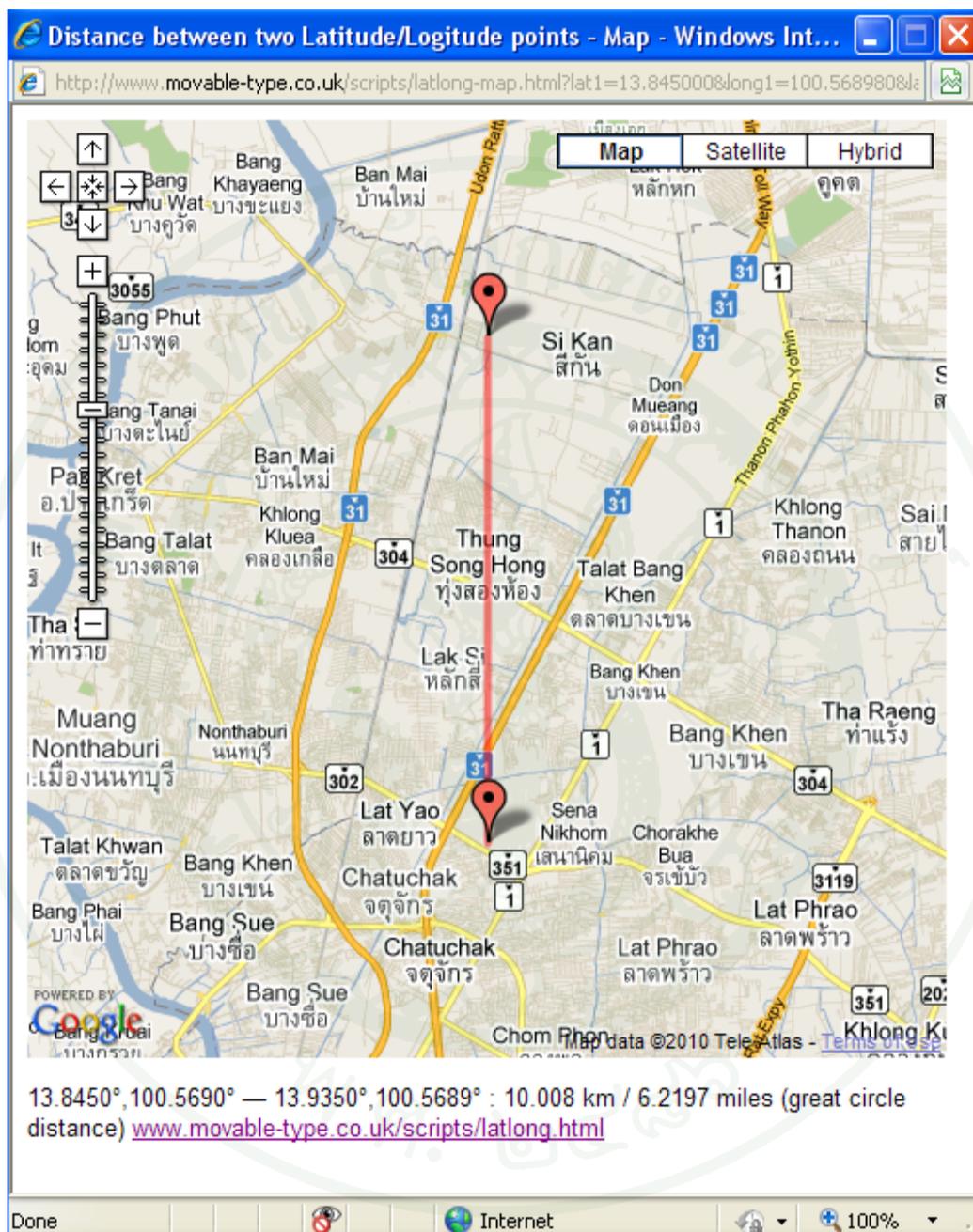
4.1 ติดตั้งเครื่องส่งสัญญาณระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกเข้ากับเป้าหมาย

4.2 กำหนดระยะห่างระหว่างสายอากาศกับเครื่องส่งสัญญาณระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกเริ่มต้นที่ 500 เมตร

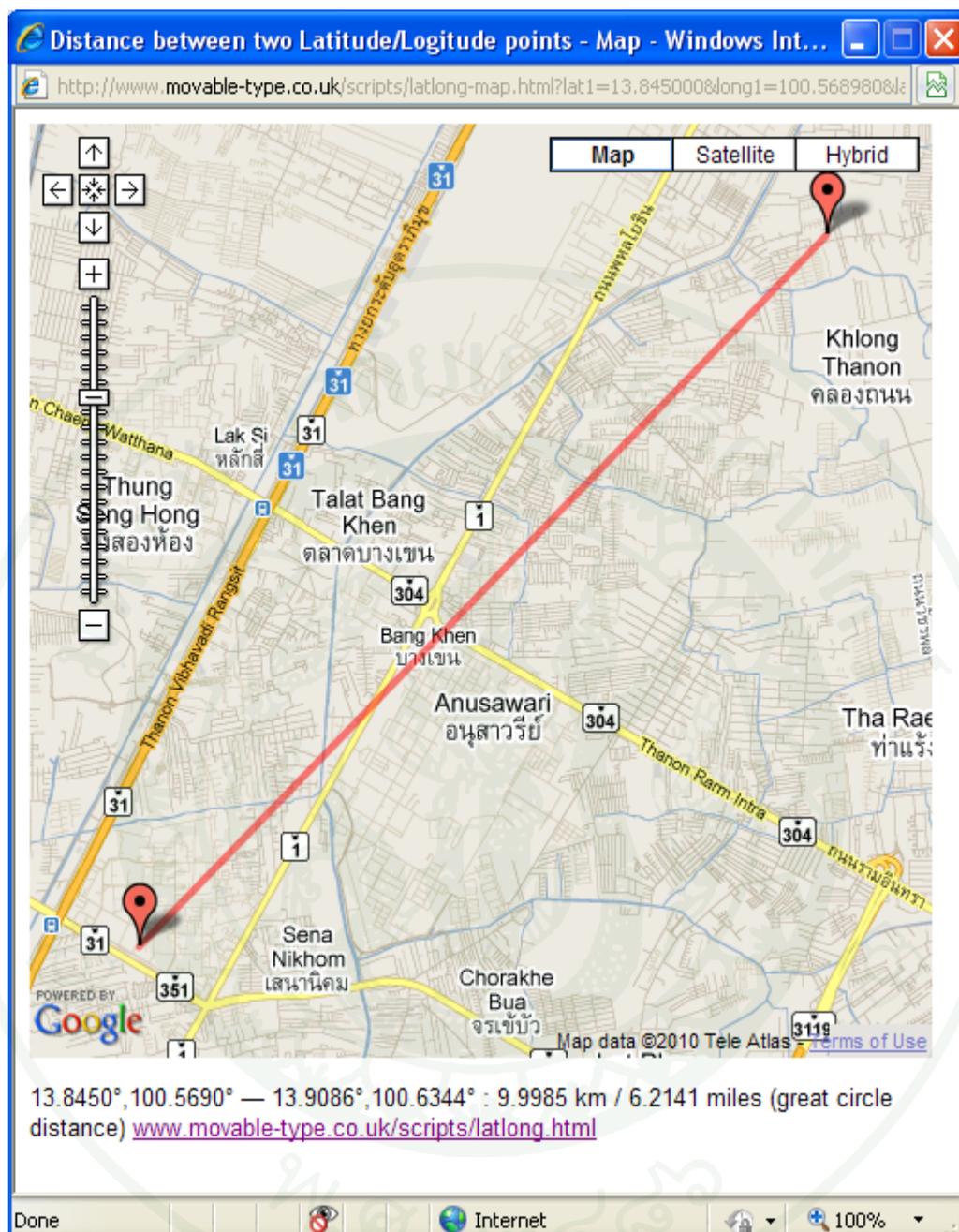
4.3 ทดลองเคลื่อนย้ายเครื่องส่งสัญญาณระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก ตรวจสอบการหันของสายอากาศ

4.4 เพิ่มระยะ ตรวจสอบความถูกต้องด้วยเข็มทิศแม่เหล็กและตรวจสอบระดับความเข้มของสัญญาณจากไฟแสดงสถานะของอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย

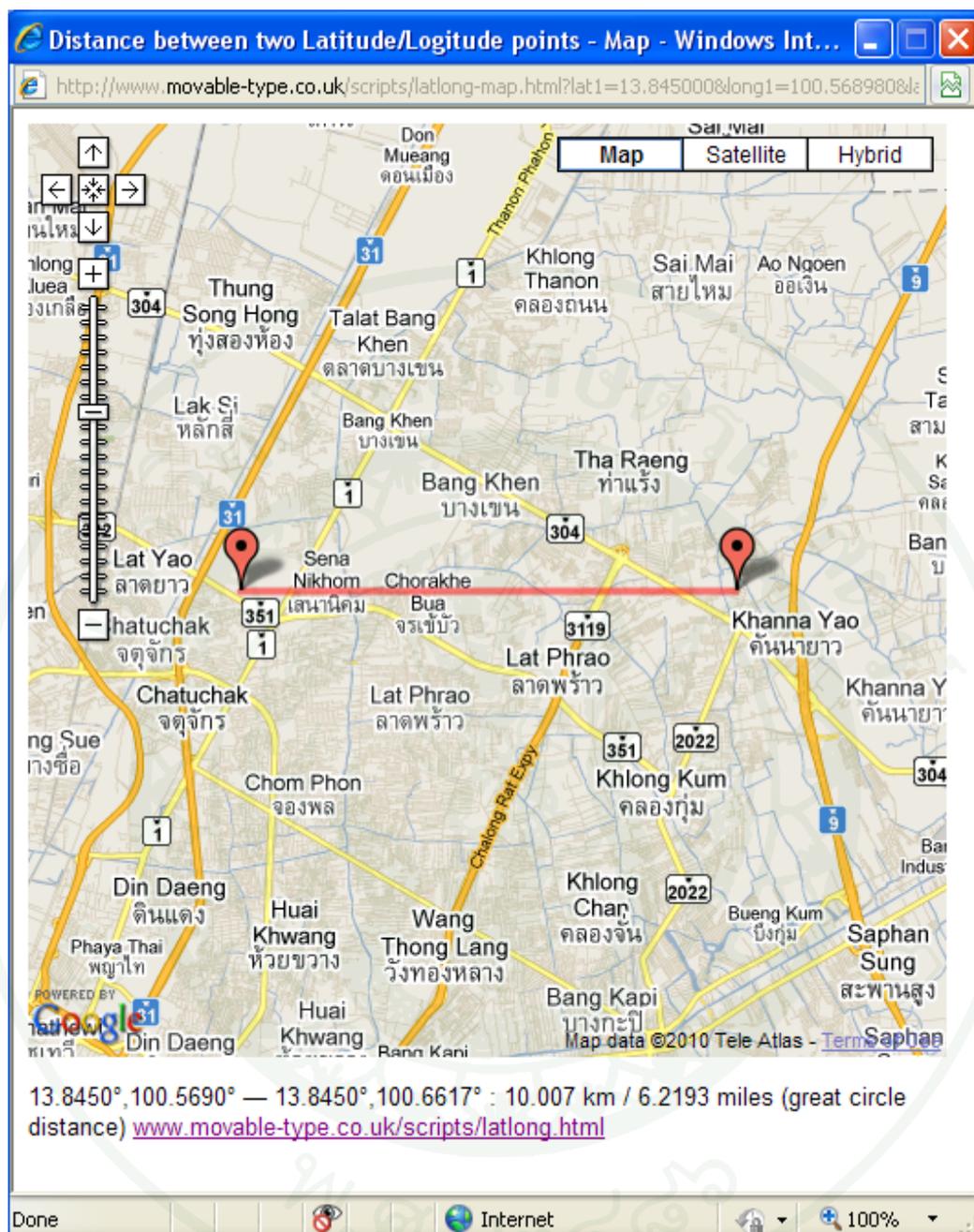
5. ภาพและตัวอย่างการคำนวณ



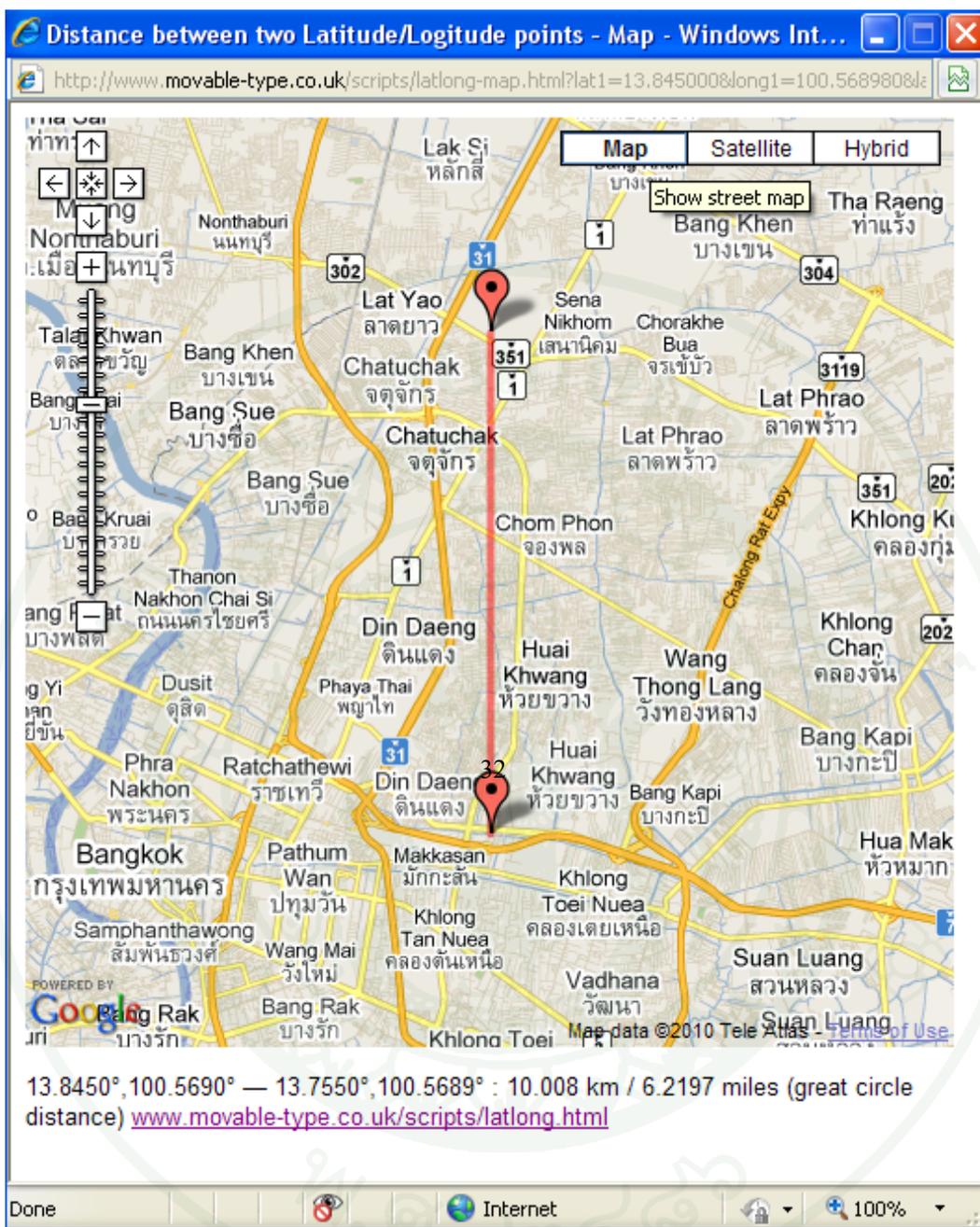
ภาพที่ 18 มุมแอซิมัท 0 องศา



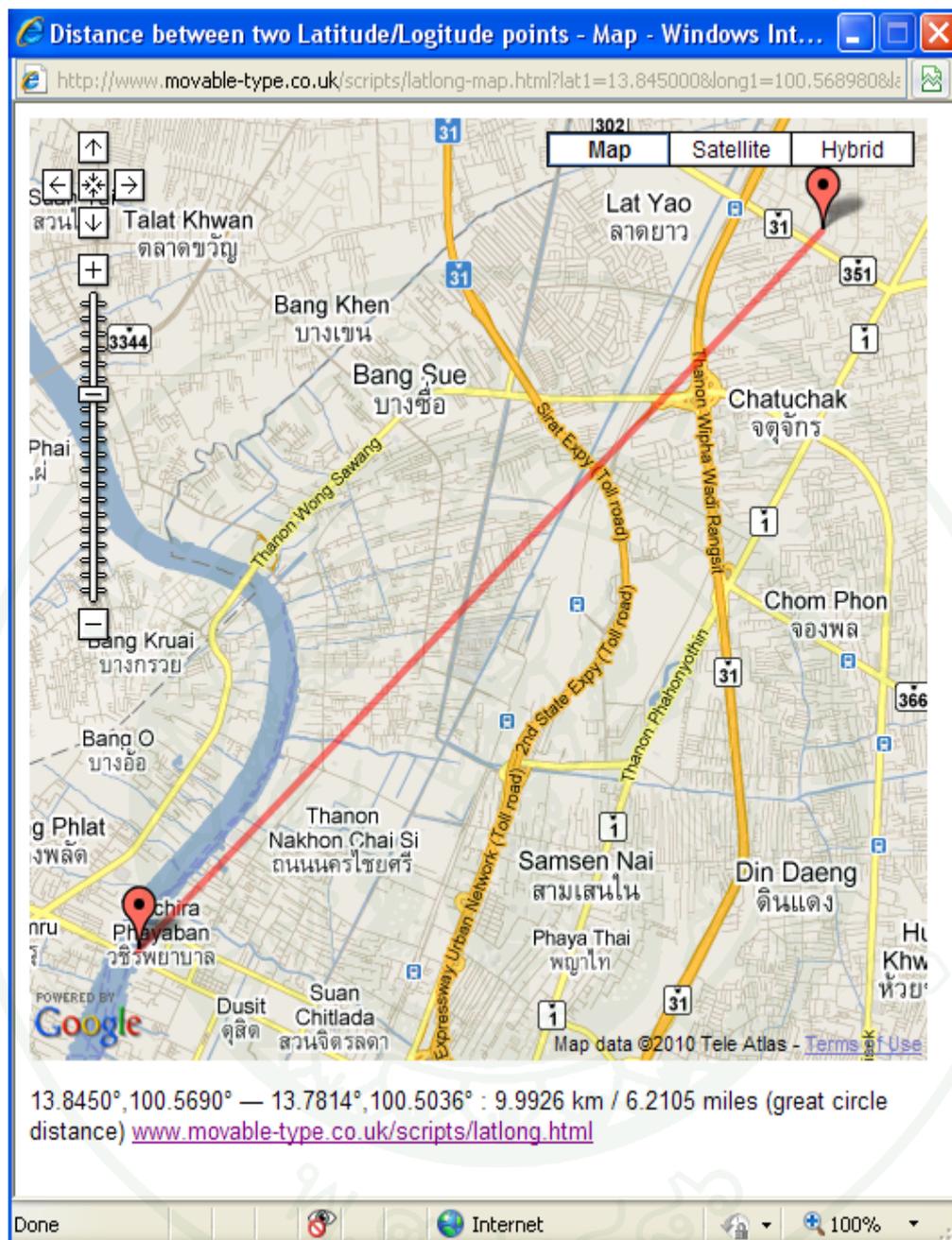
ภาพที่ 19 มุมเอซิมัท 45 องศา



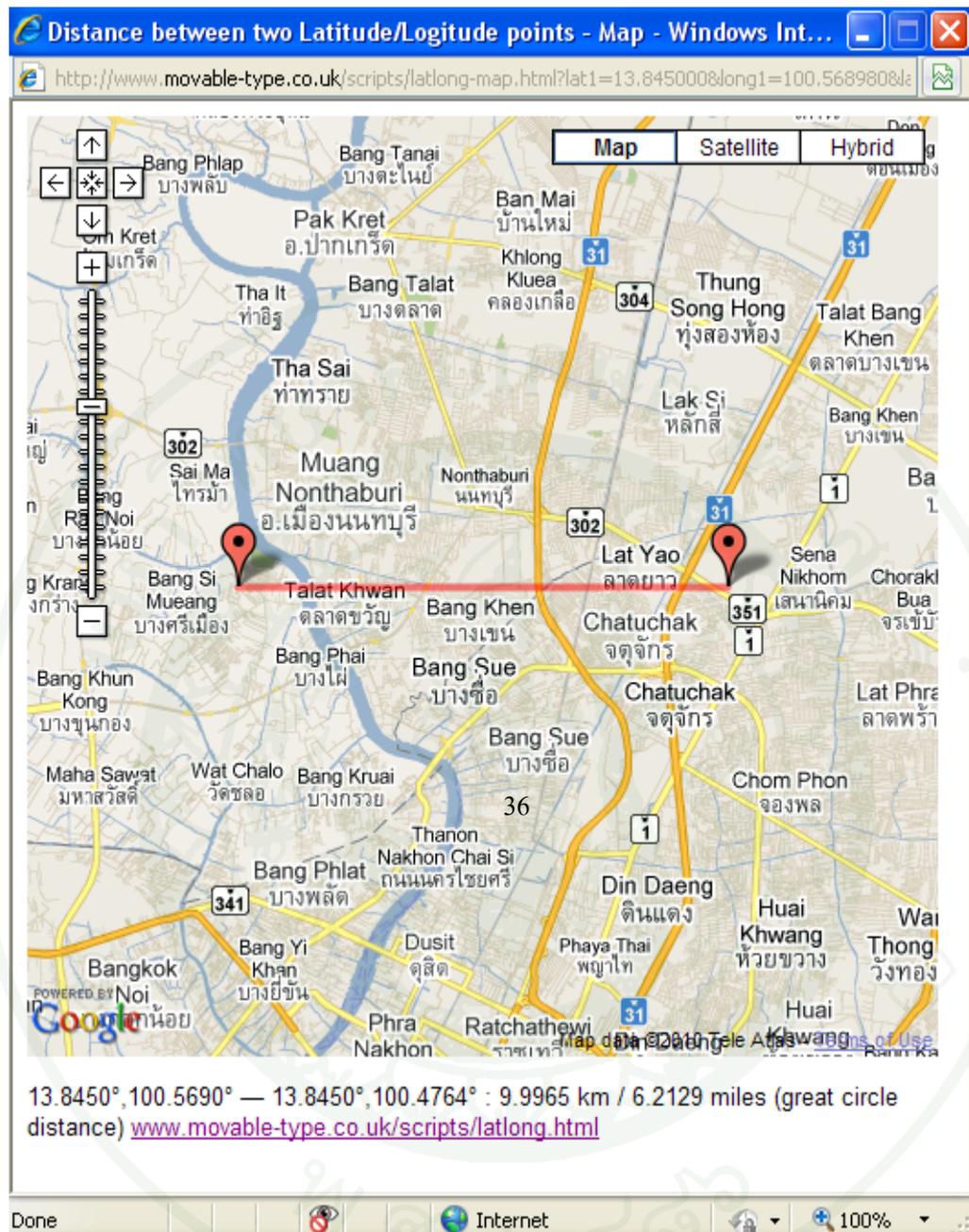
ภาพที่ 20 มุมเอซิมัท 90 องศา



ภาพที่ 22 มุมเอซิมัท 180 องศา



ภาพที่ 23 มุมเอซิมัท 225 องศา



ภาพที่ 24 มุมเอซิมัท 270 องศา



ภาพที่ 25 มุมเอซิมัท 31 องศา

วิจารณ์

1. การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกกับอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย

การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกกับอุปกรณ์สื่อสารไร้สาย จะต้องตั้งค่าของอุปกรณ์ให้สอดคล้องกัน โดยขึ้นกับคู่มือของแต่ละอุปกรณ์ เพื่อให้การส่งค่าข้อมูลต่างๆของอุปกรณ์ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกยังอุปกรณ์สื่อสารไร้สายถูกต้อง

2. ตรวจสอบความถูกต้องของสมการทางคณิตศาสตร์

การทดสอบพบว่าสมการที่ใช้คำนวณระหว่างจุด 2 จุด มีข้อจำกัดคือ ความแม่นยำในการคำนวณของแต่ละสมการ ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่าง จุด 2 จุด และความเที่ยงตรงของเครื่องรับสัญญาณของอุปกรณ์ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก สมการที่ใช้ก็จะมีประสิทธิภาพและความถูกต้องมากยิ่งขึ้น (Clynch, 2006)

3. ประโยชน์ที่ได้รับจากผลการทดลอง

งานวิจัยสามารถประยุกต์นำไปใช้สำหรับการค้นหาและติดตามเป้าหมาย การนำทางสำหรับนักท่องเที่ยวน หรืองานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การควบคุมการหันของสายอากาศแบบเจาะจงทิศทาง (Directional Antenna)

โดยการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อคำนวณหามุมหันระหว่างจุด 2 จุด นั้น เพื่อให้การหันของสายอากาศมีประสิทธิภาพ และไม่โครคอนโทรลเลอร์สามารถคำนวณหามุมหันของสายอากาศได้ตรงตามทิศทางของเป้าหมายที่ต้องการได้อย่างแม่นยำ นักวิจัยจะต้องทราบความสามารถของแต่ละสมการว่ามีข้อจำกัดอย่างไร ซึ่งสำหรับข้อจำกัดของทุกสมการที่มีเหมือนกันคือ ระยะห่างระหว่างจุด 2 จุด หรือยิ่งระยะห่างระหว่างจุด 2 จุด มีระยะมากขึ้น สมการที่ใช้ก็จะมีประสิทธิภาพและความถูกต้องมากขึ้น เนื่องจากวัตถุประสงค์ของสมการต้องการคำนวณหามุมระหว่างจุด 2 จุดที่ระยะทางไกลมาก

ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้สมการ T. Vincenty ซึ่งเป็นสมการที่ใช้สำหรับคำนวณหา มุมแปร่งระหว่างจุด 2 จุด คือ

เหตุผลที่ผู้วิจัยเลือกใช้สมการนี้ เนื่องจากทดลองประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และตรวจสอบความถูกต้องของสมการด้วยเข็มทิศแม่เหล็กกับ Web Calculator ต่างๆ พบว่า

1.1 เมื่อเริ่มประมวลผลการทดลอง โดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างจุด 2 จุด ที่ระยะ ตั้งแต่ 100 เมตร ขึ้นไปนั้น สมการนี้มีความสามารถที่จะคำนวณได้โดยมีค่าความ ผิดพลาดของการประมวลผลน้อยที่สุด

1.2 การเปลี่ยนตำแหน่งของเครื่องรับสัญญาณของอุปกรณ์ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก ในระยะที่น้อยกว่า 100 เมตร จะไม่มีผลต่อการคำนวณค่าที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรม

1.3 การคำนวณของโปรแกรมสามารถใช้เพียงจุดทศนิยม 2 ตำแหน่ง

1.4 สมการสำหรับคำนวณหามุมหันระหว่างจุด 2 จุด นั้นบางสมการต้องคำนวณหาระยะ

ระหว่างทั้ง 2 จุดก่อน

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาค้นคว้าสมการทางคณิตศาสตร์ ที่สามารถนำไปใช้ในการคำนวณหามุมกระดก เพื่อให้สายอากาศสามารถหันและกระดกได้อย่างสมบูรณ์ สำหรับการเลือกชนิดของมอเตอร์ เพื่อหันสายอากาศให้พิจารณาจากน้ำหนักของสายอากาศและลักษณะของการนำไปใช้งาน เพื่อให้การทำงานของมอเตอร์ สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
2. เพื่อให้การควบคุมของสายอากาศเป็นไปด้วยความเรียบร้อยและลดจำนวนการหันเข้าหาเป้าหมาย และตรวจสอบการหันของสายอากาศว่าถูกต้องหรือไม่ ควรตรวจสอบที่ระดับความเข้มของสัญญาณที่เข้ามายังภาครับ ว่าอยู่ในระดับสัญญาณที่ยอมรับได้หรือไม่

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

สมภพ ภูริวิกรัยพงษ์. 2551. **แบบจำลองโลก WGS-84 (World Geodetic System 1984)**. สำนัก
กิจการอวกาศแห่งชาติ กระทรวงเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, กรุงเทพฯ

Anonymous. 1975. **Survey Review. Vol. XXIII NO. 176**. Directorate of Overseas Surveys of
the Ministry of Overseas Development. Available Source: [http://www.ngs.noaa.gov/
PUBS_LIB/inverse.pdf](http://www.ngs.noaa.gov/PUBS_LIB/inverse.pdf), April 21, 2010

_____. 2001. **The GPS Dictionary**. U-blox ag, Switzerland

Active Research Limited. 2007. **The NMEA 0183 Information Sheet Issue 2**. Available Source:
[http://www.actisense.com/Downloads/TechTalk/NMEA_200183/The_20NMEA
_200183_20InformatInf_20Sheet.pdf](http://www.actisense.com/Downloads/TechTalk/NMEA_200183/The_20NMEA_200183_20InformatInf_20Sheet.pdf), April 21, 2010

Carl Carter. 2005. **GPS Glossary**. SiRF Technology. Available Source: [http://inventeksys.
accountsupport.com/GPS_Facts_GPS_Glossary.pdf](http://inventeksys.accountsupport.com/GPS_Facts_GPS_Glossary.pdf), April 21, 2010

Ed Williams. **Ed Williams. Aviation Formulary V1.04**. Available Source [http://williams.best.
vwh.net/ftp/avsig/gcircle.pdf](http://williams.best.vwh.net/ftp/avsig/gcircle.pdf), April 21, 2010

_____. **Ed Williams. Aviation Formulary V1.44**. Available Source: [http://williams.best.
vwh.net/avform.htm](http://williams.best.vwh.net/avform.htm), April 21, 2010

Gregory T. French. 1996. **Understanding The GPS**. 1th ed. GeoResearch Inc. the United
States of America.

James R. Clynych. 2006. **Paths Between Points On Earth: Great Circles, Geodesics And Useful
Projections**. Available Source: [http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/clynch_pdfs/
navpaths.pdf](http://www.gmat.unsw.edu.au/snap/gps/clynch_pdfs/navpaths.pdf), April 21, 2010

Jean Marie Zogg. 2002. **GPS Basics Introduction To The System Application Overview.**

Available Source: http://geology.isu.edu/geostac/Field_Exercise/GPS/GPS_basics_u_blox_en.pdf, April 21, 2010

John D. Kraus and Ronald J. Marhefka. 2003. **Antenna For All Applications.** 3th ed.

McGRAW-HILL

Klaus Betke. 2000. **The NMEA 0183 Protocol.** Available Source: <http://www.cs.put.poznan.pl/wswitala/download/pdf/NMEAdescription.pdf>, April 21, 2010

Mohinder S.Grewal, Lawrence R. Weill and Angus P. Andrews. 2001. **Global Positioning Systems, Inertial Navigation, And Integration.** John Wiley & Son, Inc

Nathaniel Bowditch, LL.D. 2002. **The American Practical Navigator.** pp. 317-340

R. Bullock. 2007. **Great Circle Distances And Bearings Between Two Locations.** Available Source: http://www.dtcenter.org/met/users/docs/write_ups/gc_simple.pdf, April 21, 2010

Rashmi Bajal, Samantha Lalinda Ranaweera and Dharma P. agrawal. 2002. **GPS: Location-Tracking Technology.** IEEE Computer Vol. 35 NO. 4 ISSN: 0018-9162, pp. 92-94

SiRF Technology, Inc. 2008. **NMEA Reference Manual Revision 2.2.** Available Source: http://www.usglobalsat.com/downloads/NMEA_commands.pdf. April 21, 2010

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ	นาวาตรีณรงค์ รามัญจิต
เกิดวันที่	10 พฤษภาคม 2519
สถานที่เกิด	โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า เขตราชเทวี จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า) โรงเรียนนายเรือ
ตำแหน่งปัจจุบัน	ประจำกองเรือยุทธการ กองทัพเรือ
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	กองเรือยุทธการ กองทัพเรือ
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

