สำนักหอสมุดกลาง_พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ดิฟเฟอร์เรนเชียลจีพีเอสราคาถูก

A LOW COST DIFFERENTIAL GPS

โดย

นาย ต้น ศรีชมภู

นาย ปรเมศว์ อ่องสาคร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 46435
วัน, เดือน, ปี 1 ม.ย. 2546

.b.....
.i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2544

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบเสนอปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ดิฟเฟอร์เรนเชียลจีพีเอสราคาถูก	
TITLE	**A LOW COST DIFFERENTIAL GPS**	
โดย	นายต้น ศรีชมภู	รหัสประจำตัว 41014153
	นายปรเมศว์ อ่องสาคร	รหัสประจำตัว 41014288
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร. ปิติเขต สู้รักษา	
	อาจารย์ บุณย์ชนะ ภู่ระหงษ์	
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ	
ปีการศึกษา	2544	

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

.....

(อาจารย์ บุณย์ชนะ ภู่ระหงษ์)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

.....

(ผศ.ดร. ปิติเขต สู้รักษา)

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์

ลิขสิทธิ์ของคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ดิฟเฟอร์เรนเชียลจีพีเอสราคาถูก		
นักศึกษา	นายต้น	ศรีชมภู	รหัสประจำตัว 41014153
	นายปรเมศว์	อ่องสาคร	รหัสประจำตัว 41014288
อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	ผศ.ดร.ปิติเขต	สู้รักษา	
	อาจารย์บุณย์ชนะ ภู่ระหงษ์		
ระดับการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต		
ภาควิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2544		

บทคัดย่อ

เนื่องจาก GPS ธรรมดาที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีอัตราการคลาดเคลื่อนในการระบุพิกัดอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูงคือ ประมาณ 25-30 ม. ซึ่งถ้าเราต้องการการระบุพิกัดที่แม่นยำเที่ยงตรง และ มีความคลาดเคลื่อนน้อย เราจำเป็นต้องใช้ ดิฟเฟอร์เรนเชียล GPS (Differential GPS) ที่มีราคาค่อนข้างแพง เพราะต้องมีการตั้งสถานีอ้างอิง (Base) โดยใช้คลื่นวิทยุส่งไปยังเครื่องรับ DGPS ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงมากทั้งสถานีและเครื่องรับ เราจึงมีแนวความคิดที่จะนำ GPS ธรรมดาอีกตัวหนึ่งมาใช้แทนสถานีอ้างอิงโดยใช้การส่งข้อมูลติดต่อกับตัวรับ GPS ผ่านทางคอมพิวเตอร์แล้วนำข้อมูลที่ได้จาก GPS ทั้งสองตัวมาผ่านการคำนวณเพื่อหาค่าผิดพลาดแทน ซึ่งจะสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้อย่างมาก

งานของเราคือการนำ GPS สองชุดมาใช้ในการเก็บข้อมูลเฉพาะ RMC โดย GPS ทั้งสองตัวนั้นจะทำการใช้ ดาวเทียมคนละชุดกัน และไม่มีความเกี่ยวข้องกันเลย เมื่อทำการเก็บข้อมูลไปได้ระยะหนึ่งแล้วเราก็จะทำการตรวจสอบว่าข้อมูลดังกล่าวนั้นมีความสัมพันธ์กันในรูปแบบใดหรือไม่เพื่อสร้างสมการเพื่อใช้ในการแก้ไขค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจาก GPS ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THESIS TITLE	A LOW COST DIFFERENTIAL GPS			
STUDENT	Mr.	Ton	Srichompoo	No. 41014153
	Mr.	Poramate	Ongsakorn	No. 41014288
ADVISOR	Asso.Prof.Dr.	Pitikhate	Suraksa	
	Mr.	Boonchana	Purahong	
COURSE	Bachelor of Engineering			
DEPARTMENT	Information Engineering			
YEAR	2001			

ABSTRACT

Because of normally used GPS has low accuracy, the error measured is around 25-30M. For higher precision, Differential GPS that have to setup expensive Base Station and use radio frequency to transmit correction data to the receiver resulted in very high operational cost. So the idea of using two normal GPS and the computer link to correct the error created will cut the cost of operation is presented in this document.

Our Goal is using two normal GPS to collect the data and analyze these data for their relation to create formula that use to correct the error created by GPS and create computer program to do the task.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ข้อมูลที่ได้ทำการค้นคว้ามาเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยในเรื่องนี้นั้นได้ทำการแปลมาจากบทความต่างประเทศที่ได้มีการศึกษากันอย่างกว้างขวางในรูปแบบของข้อมูลเปิดที่หาได้ทางอินเตอร์เนทและได้รับ GPS มาทดลองใช้งานทำความคุ้นเคยจาก ทางคณะฯ และมีประสบการณ์ใช้งานมาบ้างแล้วทำให้การศึกษาวิจัยในเรื่องนี้เป็นไปได้โดยราบรื่นพอควร ซึ่งผู้จัดทำก็ขอขอบคุณในการสนับสนุนมา ณ ที่นี้ด้วย ขอบคุณ อาจารย์ปิติเขตที่ให้คำแนะนำและชี้ทางสว่างเมื่อพวกเราพบปัญหา ขอบคุณอาจารย์ บุณย์ชนะที่คอยให้คำปรึกษาและขอบคุณพี่ต่อที่คอยเป็นห่วงและคอยสละเวลามาช่วยเหลือเสมอมา

ขอบคุณเพื่อน ๆ พ่อ แม่ พี่น้อง และญาติ ๆ ที่ให้กำลังใจและคอยช่วยเหลือตลอดมา โดย ผู้จัดทำหวังว่ารายงานนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่ต้องการศึกษาในเรื่อง GPS และผู้ที่สนใจ รวมถึงผู้ที่อยู่ในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องบ้างไม่มากก็น้อย หากมีข้อผิดพลาดประการใดทางคณะผู้จัดทำขอน้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

นาย ต้น ศรีชมภู

นายปรเมศว์ อ่องสาคร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VI
สารบัญตาราง	VIII
บทที่ 1 บทนำ หลักการและเหตุผล	1
1.1 จุดมุ่งหมาย	1
1.2 ขอบเขตของการศึกษา	1
1.3 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์	2
บทที่ 2 ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับ GPS	3
2.1 ประวัติความเป็นมาของระบบ GPS	3
2.2 ส่วนประกอบของระบบ GPS	3
2.2.1 ส่วนของดาวเทียม	3
2.2.2 ส่วนศูนย์ควบคุมดาวเทียม	4
2.2.3 ส่วนเครื่องรับสัญญาณ	4
2.3 หลักการทำงานของระบบ GPS	5
2.3.1 หลักการของ ไตรเลเทอร์เลชั่น (Trilateration)	5
2.3.2 การส่งสัญญาณวิทยุเพื่อคำนวนหาพิกัด	7
2.3.3 การใช้สมการมากกว่า 4 สมการขึ้นไป เพื่อหาตำแหน่งที่แน่นอน	7
2.3.4 สมการที่ได้รับการแก้ไขให้ดีขึ้น	8
2.3.5 ขั้นตอนการทำงานของระบบ GPS	9
2.3.6 ที่มาของข้อมูลในชุดข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจากดาวเทียม	9
2.3.7 สัญญาณที่ GPS ส่งออกมา	10
2.4 ปัจจัยที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในระบบ GPS	10
2.5 ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้กับ GPS	12
2.5.1ยูบล็อค (Ublox)	12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.6 หลักการของระบบ ดิฟเฟอร์เรนเชียล GPS	15
2.6.1 รูปแบบการนำระบบ DGPS มาใช้	16
2.6.2 การเปรียบเทียบระหว่าง GPS และ DGPS	16
2.6.3 ระบบ DGPS ผ่านอินเตอร์เนท	17
2.7 คาร์ลแมน ฟิวเตอร์ (Kalman Filter)	18
2.7.1 หลักการทำงานของ คาร์ลแมน ฟิวเตอร์	19
2.7.2 สมการและค่าต่าง ๆ ของคาร์ลแมน ฟิวเตอร์	19
บทที่ 3 โครงสร้างของงานวิจัย	21
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย	21
3.2 ส่วนที่ 1 การทดลองทำ DGPS ราคาถูก	22
3.2.1 โปรโตคอลที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	23
3.2.2 โปรโตคอล RMC (Recommended Minimum Specific GNSS Data)	24
3.2.3 โปรแกรมเก็บข้อมูลของ GPS "GPS ล๊อคเกอร์ โปรแกรม (GPS Logger Program)"	25
3.3 ส่วนที่ 2 การทดลองทำ คาร์ลแมน ฟิวเตอร์	30
3.4 ส่วนที่ 3การทดลองทำ DGPS ราคาถูกโดยใช้สถานีฐานจำลอง	32
3.4.1 โปรแกรม "โลว์ คอส DGPS"	33
3.4.1.1 ส่วนหาค่าเฉลี่ย	33
3.4.1.2 ส่วนของสถานีฐาน	35
3.4.1.3 ส่วนตัวเครื่องรับข้อมูล	38
3.4.1.4 ส่วนโพส โปรเซสซิ่ง	40
3.4.2 โฟล์วชาร์ตของโปรแกรม	41
บทที่ 4 ผลการศึกษาวิจัย	45
4.1 ช่วงของการเก็บข้อมูลเพื่อหาสมการทางคณิตศาสตร์มาแก้ไข	45
4.2 ผลการทดลองการทำสถานีฐานจำลอง	48
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	51
บรรณานุกรม	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงตำแน่งที่เป็นไปได้รอบเมือง A	5
รูปที่ 2.2 แสดงตำแหน่งที่เป็นไปได้เหลือเพียงสองจุด	6
รูปที่ 2.3 แสดงจุดที่ได้จากการใช้วงกลมสามวง	6
รูปที่ 2.4 แสดงหน้าหลักของโปรแกรม ยูบล็อค	12
รูปที่ 2.5 แสดงส่วนแสดงข้อมูลในลักษณะตาราง	13
รูปที่ 2.6 แสดงความหมายของส่วนต่าง ๆ ในชุดข้อมูล	14
รูปที่ 2.7 แสดงการเก็บข้อมูลของ ยูบล็อค	14
รูปที่ 2.8 ระบบ ดิฟเฟอร์เรนเชียล GPS	15
รูปที่ 2.9 ชุดข้อมูลแก้ไขความผิดพลาดที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องรับอ้างอิง	16
รูปที่ 2.10 เครื่อง DGPS ที่ใช้ผ่าน Internet	18
รูปที่ 2.11 แผนภาพการทำงานของคาร์ลแมนฟิวเตอร์	19
รูปที่ 3.1 GPS 1	21
รูปที่ 3.2 GPS 2	21
รูปที่ 3.3 GPS 3	21
รูปที่ 3.4 แผนผังการทำงานของระบบ DGPS ราคาถูก	23
รูปที่ 3.5 โฟล์วชาร์ตแสดงการทำงานส่วน Connect	26
รูปที่ 3.6 โฟล์วชาร์ตแสดงการทำงานส่วน Process	27
รูปที่ 3.7โปรแกรม GPS ล๊อคเกอร์	28
รูปที่ 3.8 การเลือกคอมพอร์ต	29
รูปที่ 3.9 การเซฟลงไฟล์และเมื่อตั้งชื่อ Files เรียบร้อยแล้วก็จะแสดงผลออกมาดังรูป	29
รูปที่ 3.10 โปรแกรมที่พร้อมเริ่มทำงาน	30
รูปที่ 3.11โปรแกรมขณะเก็บข้อมูล	30
รูปที่ 3.12 การเรียกดูข้อมูลเก่า	31
รูปที่ 3.13 หน้าหลักของตัวโปรแกรม โลว์ คอส DGPS	33
รูปที่ 3.14 ส่วนของตัวหาค่าเฉลี่ย (1)	34
รูปที่ 3.15 ส่วนของตัวหาค่าเฉลี่ย (2)	35
รูปที่ 3.16 ส่วนของตัวสถานีฐาน (1)	36
รูปที่ 3.17 ส่วนของตัวสถานีฐาน (2)	37
รูปที่ 3.18 ส่วนที่แสดงผลออกทางเวป	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 3.19 ส่วนเครื่องรับตอนที่สั่งเซฟไฟล์	39
รูปที่ 3.20 ส่วนเครื่องรับตอนที่ทำงานอยู่	39
รูปที่ 3.21 ส่วนโพส โปรเซสซิ่ง	40
รูปที่ 3.22 แสดงผล Post Processing	41
รูปที่ 3.23 โฟล์วชาร์ตส่วนการหาค่าเฉลี่ย	42
รูปที่ 3.24 โฟล์วชาร์ตส่วนตัวสถานีฐาน	43
รูปที่ 3.25 โฟล์วชาร์ตของส่วนโพส โปรเซสซิ่ง	44
รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบผลของค่าแลดติจูดรับมาต่อเวลา	47
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบผลของค่าลองติจูดที่รับมาต่อเวลา	47
รูปที่ 4.3 แสดงค่าแลดติจูดของสถานีฐานเทียบกับค่าเฉลี่ย	48
รูปที่ 4.4 แสดงค่าลองติจูดของสถานีฐานเทียบกับค่าเฉลี่ย	48
รูปที่ 4.5 แสดงแลดติจูดของข้อมูลก่อนและหลังผ่านกระบวนการ	49
รูปที่ 4.6 แสดงลองติจูดของข้อมูลก่อนและหลังผ่านกระบวนการ	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 แสดงความหมายของ RMC	25
ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลที่รับได้จาก GPS ตัวแรก	45
ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลที่ได้รับจาก GPS ตัวที่สอง	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ หลักการและเหตุผล

1.1 จุดมุ่งหมาย

เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการที่จะสร้าง GPS ความแม่นยำสูงขึ้นมาโดยใช้ GPS ธรรมดาๆ ตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไป จะได้ประหยัดค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบ DGPS

เนื่องจาก GPS ธรรมดาที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมีอัตราการคลาดเคลื่อนในการระบุพิกัดอยู่ในระดับที่ค่อนข้างสูงคือ ประมาณ 25-30 ม. ซึ่งถ้าเราต้องการการระบุพิกัดที่แม่นยำเที่ยงตรง และ มีความคลาดเคลื่อนน้อย เราจำเป็นต้องใช้ ดิฟเฟอร์เรนเชียล GPS ที่มีราคาค่อนข้างแพง เพราะต้องมีการตั้งสถานีอ้างอิง (Base) โดยใช้คลื่นวิทยุส่งไปยังเครื่องรับ DGPS ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงมากทั้งสถานีและเครื่องรับ เราจึงมีแนวความคิดที่จะนำ GPS ธรรมดาอีกตัวหนึ่งมาใช้แทนสถานีอ้างอิงโดยใช้การส่งข้อมูลติดต่อกับตัวรับ GPS ผ่านทางคอมพิวเตอร์แล้วนำข้อมูลที่ได้จาก GPS ทั้งสองตัวมาผ่านการคำนวณเพื่อหาค่าผิดพลาดแทน ซึ่งจะสามารถลดค่าใช้จ่ายลงได้อย่างมาก

แนวคิดอีกแนวหนึ่งคือการนำ คาร์ลแมน ฟิวเตอร์ มาใช้โดยฟิวเตอร์นี้จะนำข้อมูลที่รับได้มาทำการแก้ไขข้อมูลต่อไปที่รับมาได้เรื่อย ๆ ในแต่ละคาบเวลาเพื่อทำให้ความแกว่งไกวของข้อมูลที่รับได้นั้นลดลง เป็นการทำให้ข้อมูลมีความเที่ยงตรงเพิ่มขึ้นในระดับหนึ่ง

1.2 ขอบเขตของการศึกษา

จะทำการศึกษาการทำงานของ GPS และ DGPS เพื่อให้เข้าใจการทำงานของระบบ แล้วจึงทำการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลที่ได้รับมาจาก GPS เพื่อนำมาวิเคราะห์และนำโปรแกรมนั้นไปใช้งานเพื่อเก็บข้อมูลมาให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ จากนั้นจะนำเอา ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลนั้นมาผ่าน คาร์ลแมน ฟิวเตอร์ เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของข้อมูลลงจากการทดลองวิจัยข้อมูลที่ได้รับมาจาก GPS พบว่าเมื่อนำข้อมูลทั้งสองชุดมาเปรียบเทียบกันในลักษณะของกราฟนั้น เราได้นำกราฟดังกล่าวไปปรึกษากับอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว พบว่า ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ใด ๆ ได้เนื่องจากกราฟนั้นมีรูปแบบการแกว่งไกวที่ไม่แน่นอน เนื่องจากผลกระทบที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนนั้น มีผลต่อกราฟทั้งสองไม่เหมือนกันและแตกต่างกันไปตามเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับ คาร์ลแมน ฟิวเตอร์ (Kalman Filter) ซึ่งเป็นฟิวเตอร์ (Filter) ที่สามารถปรับกราฟที่รับมาให้มีความคงที่มากขึ้นได้ กล่าวคือมีความแกว่งไกวของข้อมูลลดลง และทำการเขียนโปรแกรมให้นำข้อมูลที่ได้รับมาไปผ่านฟิวเตอร์ตัวนี้ เพื่อความถูกต้องมากขึ้นแทนแต่ก็ยังประสบปัญหาในการหาเมตริกซ์ที่นำมาใช้ในสมการเนื่องจากปัญหาดังกล่าว เราจึงได้เบนเข็มไปยังวิธีสุดท้าย

นั่นคือการทำตัว สถานีฐานจำลองขึ้นมาโดย เก็บข้อมูลมาเฉลี่ยเพื่อหาพิกัดที่ยอมรับได้ของสถานีนั้น แล้วจึงรับข้อมูลมาเรื่อยเพื่อหาค่าแตกต่างแล้วจึงนำไปแก้กับ ข้อมูลที่ได้ จากตัวเครื่องรับโดยตรง

1.3 เนื้อหาของปริญญานิพนธ์

บทที่ 1 จะเป็นบทนำกล่าวถึงเนื้อหาโดยรวมของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้
บทที่ 2 เป็นทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับ GPS, DGPS และ คาร์ลแมน ฟิวเตอร์
บทที่ 3 เป็นส่วนโครงสร้างของงานที่เราได้ทำไปทั้งหมด
บทที่ 4 เป็นผลของการทำงานในส่วนต่างๆ
บทที่ 5 เป็นสรุปผลงานและข้อเสนอแนะต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีเบื้องต้นเกี่ยวกับระบบ GPS

2.1 ประวัติความเป็นมาของระบบ GPS

ระบบ GPS หรือ Global positioning system นั้นถูกสร้างขึ้นโดย The US Department of Defense (DoD) เพื่อใช้ในการระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์ได้ทุกหนทุกแห่งในโลก โดยใช้ดาวเทียมนาฟสตาร์ (NAVSTAR) จำนวน 24 ดวง โคจรรอบโลกในเวลา 12 ชั่วโมง โดยมีระดับความสูงห่างจากพื้นโลก 20000 กิโลเมตร. ดาวเทียมทั้ง 24 ดวงนั้น มีมูลค่า (รวมค่าขนส่งขึ้นไปในอวกาศแล้ว) ร่วม 12 พันล้านเหรียญสหรัฐ ในปัจจุบันระบบที่ใช้ควบคุม GPS อยู่มีชื่อว่า บล็อค ทู (Block II) ซึ่งดาวเทียม บล็อก ทู ดวงแรกนั้นถูกยิงขึ้นไปในอวกาศในปี 1989 (ดาวเทียมของระบบ GPS ดวงแรกสุดถูกส่งขึ้นไปในอวกาศในปี 1978) วัตถุประสงค์ดั้งเดิมที่ DoD สร้างระบบ GPS ขึ้นมาก็เพื่อใช้ในทางทหาร แต่ต่อมาก็ได้มีการเปิดระบบนี้ให้บุคคลทั่วไปใช้ โดยทำการใส่ระบบ SA (Selective Availability) ซึ่งเป็นการสร้างสัญญาณที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในผู้ใช้ที่เป็นพลเรือนทั่วไป ซึ่งต่อมาได้ยกเลิกระบบนี้ไปเมื่อเดือนพฤษภาคม ปี 2000

2.2 ส่วนประกอบของระบบ GPS

ประกอบไปด้วย ส่วนสำคัญสามส่วนด้วยกันคือ

2.2.1 ส่วนของดาวเทียม

ประกอบด้วยดาวเทียมนาฟสตาร์ 24 ดวงด้วยกัน แบ่งวงโคจรออกเป็น 6 ระนาบ และในแต่ละระนาบจะมีดาวเทียมอยู่ทั้งหมด 4 ดวง ในแต่ละระนาบวงโคจรจะมีมุมเอียง 55° สัมพันธ์กับเส้นศูนย์สูตร ของโลก โดยจะมีความสูงเฉลี่ยของการโคจร 20,000 กิโลเมตรเหนือผิวโลก

การอ้างอิงดาวเทียมเป็นไปได้หลายวิธีโดย

- ให้อักษร A-F แทนระนาบในแต่ละระนาบและ 1-4 ให้กับดาวเทียมในระนาบ
- กำหนดโดยใช้หมายเลขดาวเทียมนาฟสตาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- กำหนดโดยใช้ ซูโดแรมดอมโคด (Pseudorandom Code) ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปในดาวเทียมแต่ละดวง ดาวเทียมจะส่งสัญญาณเพื่อวัดระยะทางออกมาบนสองความถี่ที่(L1) 1575.42 MHz และที่ (L2) 1227.6MHz สัญญาณดาวเทียมจะถูกส่งโดยใช้ เทคนิค สเปรตสเปกตรัม (Spread Spectrum Technique) โดยผ่านกระบวนการการเข้ารหัสสองแบบด้วยกันคือC/A (coarse/acquisition code) ที่มีความถี่ 1.023 MHz บน (L1)1575.42 MHz และรหัส P (Precision code) ความถี่ 1.023 MHz บนทั้ง (L1)1575.42 MHz และ (L2)1227.6 MHz รหัส C/A

ใช้ในกรณีของบุคคลธรรมดา และรหัส P จะถูกเข้ารหัสไว้ และสามารถที่จะใช้ได้โดยทางการเท่านั้น รหัส P ที่ถูกเข้าสัญญาณอีกครั้งเรียกว่ารหัส Y

2.2.2 ส่วนศูนย์ควบคุมดาวเทียม

ทำหน้าที่คอยตรวจตราซ่อมบำรุง และคอยรับสัญญาณแจ้งความผิดปกติต่างๆ จากดาวเทียม โดยสถานีควบคุมนั้นก็จะแบ่งเป็นสามส่วนด้วยกันคือ สถานีสังเกตุการณ์(Monitor Station), สถานีควบคุมหลัก (Master Control Station) และเสาอากาศภาคพื้นดิน (Ground Antenna)

2.2.3 ส่วนเครื่องรับสัญญาณ

ประกอบด้วย

- สายอากาศ (Antenna)
- เครื่องรับ (Receiver)
- โปรเซสเซอร์ (Processor)
- อุปกรณ์อินพุต-เอาท์พุต (Input – Output Element)

การทำงานของเครื่องรับสัญญาณจะเริ่มจากการจับสัญญาณ ดาวเทียมก่อนโดยจะเลือกดาวเทียมที่มีความเป็นไปได้ในการจับและลงมือจับดาวเทียมดวงนั้น จากนั้นเมื่อทำการจับดาวเทียมได้เพียงพอแล้วก็จะรับสัญญาณมาถอดรหัส แล้วจึงทำการคำนวนหาพิกัดที่เครื่องรับสัญญาณอยู่จากสัญญาณที่ได้รับมา

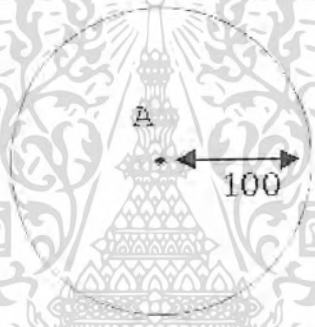
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 หลักการทำงานของระบบ GPS

2.3.1 หลักการของ ไตรเลเทอร์เลชั่น (Trilateration)

ไตรเลเทอร์เลชั่นเป็นหลักการเบื้องต้นที่ให้กำเนิดระบบ GPS ขึ้นมา โดยเป็นหลักการที่ใช้วงกลมในการหาตำแหน่งที่เราไม่ทราบพิกัด โดยอาศัยข้อมูลจาตำแหน่งใกล้เคียงที่เราทราบพิกัด ตัวอย่างของการใช้ ไตรเลเทอร์เลชั่น

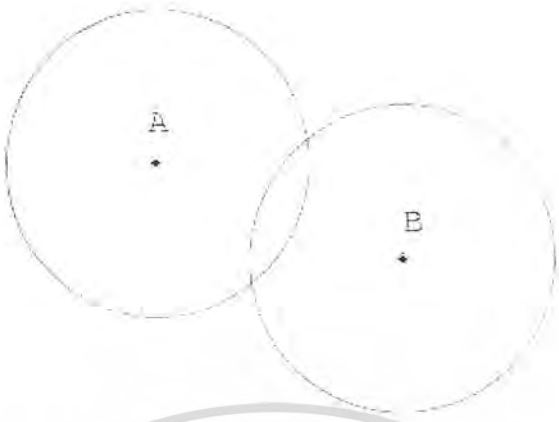
สมมติว่าเราอยู่ ณ ที่แห่งหนึ่งโดยที่เราไม่รู้ว่ามันเป็นที่ไหนกันแน่ จากนั้นเราถามทางกับคนที่ผ่านไปมาได้ว่า เราอยู่ห่างจากจุดเมือง A 100 กิโลเมตร ถ้าเราลองทำแผนที่ดูก็จะได้ตำแหน่งที่เป็นไปได้ออกมาเป็นวงกลมรอบจุด A ดังรูป



รูปที่ 2.1 แสดงตำแน่งที่เป็นไปได้รอบเมือง A

จากนั้น ถ้าเราได้ข้อมูลต่อมาอีกว่า เราอยู่ห่างจากเมือง B 85 Km. เราก็จะได้ ตำแหน่งที่เป็นไปได้เหลือเพียงสองจุด จากการที่วงกลมสองวงตัดกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงตำแหน่งที่เป็นไปได้เหลือเพียงสองจุด

เพื่อที่จะสามารถระบุได้ว่า ตำแหน่งที่แน่นอน นั้นคือจุดใดจึงจำเป็นจะต้องใช้ข้อมูลเพิ่มเติม ซึ่งสมมติว่าเป็น 97 Km. จากเมือง C ก็จะสามารถวาดแผนที่ได้ดังรูป

รูปที่ 2.3 แสดงจุดที่ได้จากการใช้วงกลมสามวง

จากรูปเราก็จะได้ว่า เราอยู่ที่จุด D นั่นเอง

ทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้นมีชื่อว่า ไตรเลเทอร์เลชั่น ซึ่งเป็น ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้กันในทางภูมิศาสตร์ โดยเราจะสามารถหาพิกัดของตำแหน่ง ๆ หนึ่งได้ เมื่อทราบระยะห่างจากตำแหน่งต่าง ๆ ที่ทราบพิกัดอย่างน้อยสามตำแหน่ง โดยวิธีนี้จะใช้ได้ดี ในระนาบสองมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากไตรเลเทอร์เลชั่นมาเป็นระบบ GPS

ในระบบ GPS นั้นเราก็นำ ทฤษฎีไตรเลเทอร์เลชั่นมาใช้เช่นกัน หากแต่เมื่อนำทฤษฎีนี้มาใช้ในระนาบ สามมิติแล้วเราจำเป็นต้องใช้เป็นทรงกลมแทนที่จะเป็นวงกลม และต้องการอย่างน้อยสี่ทรงกลมจึงจะสามารถระบุตำแหน่งที่แน่นอนได้

2.3.2 การส่งสัญญาณวิทยุเพื่อคำนวนหาพิกัด

แสงและคลื่นวิทยุนั้นเดินทางด้วยความเร็วคงที่คือ 300,000 กิโลเมตรต่อวินาทีนั่นหมายความว่าถ้าเราทราบพิกัด (x, y, z) ที่แน่นอนของตำแหน่ง ๆ หนึ่งและเวลาที่คลื่นออกจากจุดนั้นมา ก็จะสามารถหาพิกัด (x, y, z) และเวลาของสถานที่ปัจจุบันที่เราอยู่ได้ จากสมการนี้

$$(x-X)^2+(y-Y)^2+(z-Z)^2=c^2(t-T)^2$$

โดยที่ c แทนความเร็วแสง

x, y, z แทนพิกัดใดที่ทราบแน่นอน

X, Y, Z แทนพิกัดที่เราอยู่

t แทนเวลาที่คลื่นออกจากจุดอ้างอิง

T แทนเวลา ณ. จุดปัจจุบัน

แต่เราไม่สามารถแก้สมการที่มีตัวแปรไม่ทราบค่าถึง 4 ตัวได้ดังนั้นเราจึงต้องใช้สมการมากกว่าสี่สมการขึ้นไป

2.3.3 การใช้สมการมากกว่า 4 สมการขึ้นไปเพื่อหาตำแหน่งที่แน่นอน

ดาวเทียม GPS นั้นจะส่งสัญญาณที่บ่งบอกสิ่งสำคัญสองอย่างดังนี้

- พิกัดโดยละเอียดของดาวเทียมขณะที่ส่งสัญญาณออกมา
- เวลาที่ดาวเทียมส่งสัญญาณออกมา

การทำงานของ GPS เป็นการให้ เครื่องรับสัญญาณรับเอาสัญญาณจากดาวเทียม 4 ดวงพร้อมๆ กันทั้งจุดพิกัด และเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราจะสมมติค่าที่ได้รับจากดาวเทียมทั้ง 4 ดังนี้

- สัญญาณถูกส่งออกมาจาก ดาวเทียมที่ 1 ที่ (x_1, y_1, z_1) ณ เวลา (t_1)
- สัญญาณถูกส่งออกมาจาก ดาวเทียมที่ 2 ที่ (x_2, y_2, z_2) ณ เวลา (t_2)
- สัญญาณถูกส่งออกมาจาก ดาวเทียมที่ 3 ที่ (x_3, y_3, z_3) ณ เวลา (t_3)
- สัญญาณถูกส่งออกมาจาก ดาวเทียมที่ 4 ที่ (x_4, y_4, z_4) ณ เวลา (t_4)

จากนั้นถ้าสัญญาณทั้งสี่มาถึง ณ.จุดที่เราอยู่ในเวลาที่พร้อมกันนั่นคือ T เราก็จะได้สมการออกมาทั้งหมดสี่สมการด้วยกันดังนี้

1. $(x_1 - X_1)^2 + (y_1 - Y_1)^2 + (z_1 - Z_1)^2 = c^2(t_1 - T)^2$
2. $(x_2 - X_2)^2 + (y_2 - Y_2)^2 + (z_2 - Z_2)^2 = c^2(t_2 - T)^2$
3. $(x_3 - X_3)^2 + (y_3 - Y_3)^2 + (z_3 - Z_3)^2 = c^2(t_3 - T)^2$
4. $(x_4 - X_4)^2 + (y_4 - Y_4)^2 + (z_4 - Z_4)^2 = c^2(t_4 - T)^2$

โดยเราจะสามารถนำเอาสมการทั้งสี่นี้ไปแก้ได้โดยวิธีทางคณิตศาสตร์ต่อไป ซึ่งก็จะทำให้เราได้พิกัดปัจจุบันของเราออกมาในที่สุด

2.3.4 สมการที่ได้รับการแก้ไขให้ดีขึ้น

เนื่องจากคลื่นวิทยุที่ส่งออกมาจากดาวเทียมนั้นถูกส่งออกมาเป็นระยะเวลาที่สั้นและมีข้อมูลหลายอย่างที่อยู่ในคลื่นนั้น และเวลาที่ ชุดของข้อมูล เหล่านั้นมาถึงก็จะนับเอาจากเวลาที่ บิทแรกของชุดนั้นมาถึงซึ่งจะทำให้มีช่องว่างของเวลาเล็ก ๆ ที่ถูกใช้ในการที่จะรับข้อมูลมาจนครบทั้งชุดซึ่งเราจะกำหนดเวลาที่ใช้นี้ให้เท่ากับ d_1, d_2, d_3, d_4 ตามลำดับซึ่งเมื่อนำไปปรับปรุงสมการของเราก็จะได้สมการใหม่ดังนี้

1. $(x_1 - X_1)^2 + (y_1 - Y_1)^2 + (z_1 - Z_1)^2 = c^2(t_1 - T - d_1)^2$
2. $(x_2 - X_2)^2 + (y_2 - Y_2)^2 + (z_2 - Z_2)^2 = c^2(t_2 - T - d_2)^2$
3. $(x_3 - X_3)^2 + (y_3 - Y_3)^2 + (z_3 - Z_3)^2 = c^2(t_3 - T - d_3)^2$
4. $(x_4 - X_4)^2 + (y_4 - Y_4)^2 + (z_4 - Z_4)^2 = c^2(t_4 - T - d_4)^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตามปกตินั้นเราจะใช้ดาวเทียมมากที่สุดเท่าที่จะมากได้เพื่อนำมาใช้ในการคำนวนเพราะถ้าเราใช้ดาวเทียมเพียง 4 ดวงพอดี ถ้ามีดวงใดเกิดให้ข้อมูลที่คลาดเคลื่อนไปก็จะไม่สามารถหาพิกัดและเวลาที่ใกล้เคียงความจริงที่สุดได้

2.3.5 ขั้นตอนการทำงานของระบบ GPS

1. ทำการจับสัญญาณ PRN (Pseudorandom Noise) ซึ่งเป็น สัญญาณที่ดาวเทียมทำการสร้างขึ้น ให้ได้อย่างน้อยจากดาวเทียม 4 ดวงขึ้นไป
2. นำเอาเวลาที่ใช้ในการเดินทางมาถึงของสัญญาณ คูณกับความเร็วของแสงก็จะได้ระยะห่างระหว่างจุดนั้นกับดาวเทียมเสมือนขึ้นมา หรือเรียกว่า PR (Pseudo Range) นั่นเอง
3. ทำการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดจากชั้นบรรยากาศ และแก้ความผิดพลาดที่เกิดจากความไม่ตรงกันของเวลาในตัวดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณ แล้วจึงทำการแยกสัญญาณออกเป็นส่วนต่างๆ
4. นำสัญญาณที่ได้ไปผ่านสมการทั้งสี่สมการเพื่อหาตำแหน่ง (X,Y,Z) ต่อไป

2.3.6 ที่มาของข้อมูลในชุดข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจากดาวเทียม

จากที่เราทราบว่าในแต่ละชุดข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจากดาวเทียมนั้นประกอบไปด้วย พิกัดของดาวเทียมและเวลาที่สัญญาณถูกส่งออกมา ข้อมูลเหล่านี้มาจากที่ไหน?

สำหรับเวลานั้นในดาวเทียมนาฟสตาร์จะมี อะตอมมิค คล็อก (Atomic clock) ที่มีความแม่นยำสูงและมีการเปรียบเทียบเพื่อคงความแม่นยำไว้กับ สถานีภาคพื้นดิน (Ground station) อยู่ตลอดเวลา

ในเรื่องของพิกัด ดาวเทียมทุกดวงจะถูกควบคุมดูแลโดยสถานีภาคพื้นดิน ซึ่งพิกัดโดยละเอียดและตำแน่งของดาวเทียมจะถูกแก้ไขอยู่ตลอดเวลาจึงทำให้ความคลาดเคลื่อนนั้นจะอยู่ในระดับเซนติเมตรเลยทีเดียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7 สัญญาณที่ GPS ส่งออกมา

2.3.7.1 รหัส C/A

เป็นPRN ที่มีลักษณะเป็น Binary Code มีความถี่ 1.023 MHz ขนาดความยาว 1024บิท มีคาบเวลา 1 มิลลิวินาทีรหัส C/A จะถูกเอ็กคลูซีฟออร์ (Exclusive-OR) กับข้อมูลนำร่องก่อนที่จะส่งออกจากดาวเทียมโดยทำการ มอดดูเลชั่น (Modulation) กับ L1 เพียงอย่างเดียว

2.3.7.2 รหัส P

เป็นPRN ที่มีลักษณะเป็น Binary Code มีความถี่ 1.023 MHz ขนาดยาว 7 วัน โดยจะเริ่มใหม่ทุก ๆ เที่ยงคืนวันเสาร์-อาทิตย์ รหัส P จะเหมือนกับรหัส C/A คือถูกเอกคลูซีฟออร์กับสัญญาณนำร่อง แต่จะถูกมอดดูเลท (Modulate) กับทั้ง L1 และ L2

2.4 ปัจจัยที่ทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนในระบบ GPS

1. **อิฟีเมอริส เดต้า เออเร่อร์ (Ephemeris Data Error)** เป็นค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องมาจากตำแหน่งของดาวเทียม GPS เกิดจากการบิดเบือนไปของวงโคจรดาวเทียม เมื่อเครื่องรับสัญญาณ ไม่ได้รับตำแหน่งที่ถูกต้องของดาวเทียม จะมีผลความผิดพลาดไปถึงการคำนวณตำแหน่งที่อยู่ ค่าความผิดพลาดนี้จะถูกแก้ไขโดยสถานีควบคุมหลักดังนั้นถ้าไม่มีการแก้ไขจากสถานีควบคุม ข้อมูลจะมีการผิดพลาดเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ
2. **ความผิดพลาดจากนาฬิกาในดาวเทียม (Satellite Clock Error)** ในเครื่องส่งสัญญาณที่ดาวเทียมและเครื่องรับสัญญาณ จำเป็นต้องมีนาฬิกาอะตอมมิค (Cesium and Rubidium Oscillators) ซึ่งมีความแม่นยำสูงและจะต้องซิงโครนัสกันกับระบบแต่ในความเป็นจริงสัญญาณของดาวเทียมจะถูกแก้ไข โดยสถานีควบคุมหลักให้ซิงโครนัสกับระบบโดยตลอด แต่นาฬิกาของเครื่องรับนั้นยากที่จะทำการแก้ไข จึงต้องมีการชดเชยการคำนวณโดยใช้สัญญาณจากดาวเทียมเพิ่มในการคำนวณด้านเวลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. **ไอโอโนสเฟียร์ เออเร่อร์ (Ionosphere Error)** เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่ผิดพลาดรองมาจากสาเหตุของ SA ทำให้เกิดความล่าช้าในการเดินทางของสัญญาณดาวเทียม เกิดเนื่องจากอิเลคตรอนอิสระในชั้นบรรยากาศ ไอโอโนสเฟียร์ (Ionosphere) สัญญาณจากดาวเทียมเมื่อเดินทางผ่านชั้นบรรยากาศนี้จะไม่สามารถเดินทางได้เท่ากับความเร็วแรง การเปลี่ยนแปลงสัญญาณจะมีความล่าช้าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนอิเลคตรอนอิสระที่อยู่ในชั้นนี้ และแปรผันตรงกับ 1/f ผู้ใช้ทั้งหมดจะมีค่าความคลาดเคลื่อนในจุดนี้
4. **โทรโปสเฟียร์ เออเร่อร์ (Troposphere Error)** เป็นอีกชั้นบรรยากาศหนึ่งที่ทำให้ความเร็วแสงคลาดเคลื่อน เนื่องมาจากความแปรปรวนของอุณหภูมิของความดันและความชื้น สำหรับผู้ใช้ทั่วไปค่าความผิดพลาดนี้จะอยู่ประมาณ 1 เมตร
5. **มัลติพาร์ท เออเร่อร์ (Multipath Error)** เป็นค่าความคลาดเคลื่อนที่มีสาเหตุมาจากการส่งสัญญาณของดาวเทียม ไปกระทบผิวสะท้อนก่อนที่จะไปถึงผู้รับ เช่น สะท้อนผิวของตึกหรือผิวของน้ำ ในที่ที่เครื่องรับอยู่นิ่ง ๆ ใกล้กับผิวสะท้อนที่ใหญ่มาก ๆ ความผิดพลาดที่พบมากที่สุดประมาณ 15 เมตร การแก้ไขความผิดพลาดนี้คือ การต่อสายอากาศ (Antenna) ให้กับเครื่องรับสัญญาณ
6. **ความผิดพลาดเนื่องจากเครื่องรับสัญญาณ (Receiver Error)** เป็นค่าความคลาดเคลื่อนของการวัดระยะของเครื่องรับสัญญาณอันเนื่องมาจากความร้อนภายในเครื่องรับสัญญาณ , ประสิทธิภาพซอฟแวร์ของเครื่องรับ และจำนวนช่องรับสัญญาณ แต่เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีได้พัฒนาจนความผิดพลาดลักษณะนี้มีน้อยมาก
7. **ความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการจับกลุ่มของดาวเทียมที่ใช้นำร่อง (Geometric Dilution of Precision)** ความผิดพลาดนี้เกิดจากการหาระยะทางPRของเครื่องรับ การเลือกกลุ่มดาวเทียมจะเป็นองค์ประกอบหลัก มีการใช้ค่า ๆ หนึ่ง เป็นตัวแสดงถึงคุณภาพของผลลัพธ์ที่คาดว่าจะได้รับจากการกำหนดตำแหน่งของเครื่องรับ จีพีเอส ค่านี้คือ ดิลูชัน ออฟ พรีรีซิชัน (Dilution of Precision (DOP)) ค่าของ DOP มักถูกอธิบายในเทอมต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับสัญญาณที่ได้จากการจับกลุ่มดาวเทียมเพื่อกำหนดตำแหน่งของ เครื่องรับสัญญาณเทอมต่าง ๆ เหล่านี้ได้แก่

   -GDOP - Geometrical Dilution of Precision

   -PDOP - Position Dilution of Precision (3-D) บางทีเรียก Sphere DOP

   -HDOP - Horizontal Dilution of Precision (Latitude, longitude)

   -VDOP - Vertical Dilution of Precision (Height)

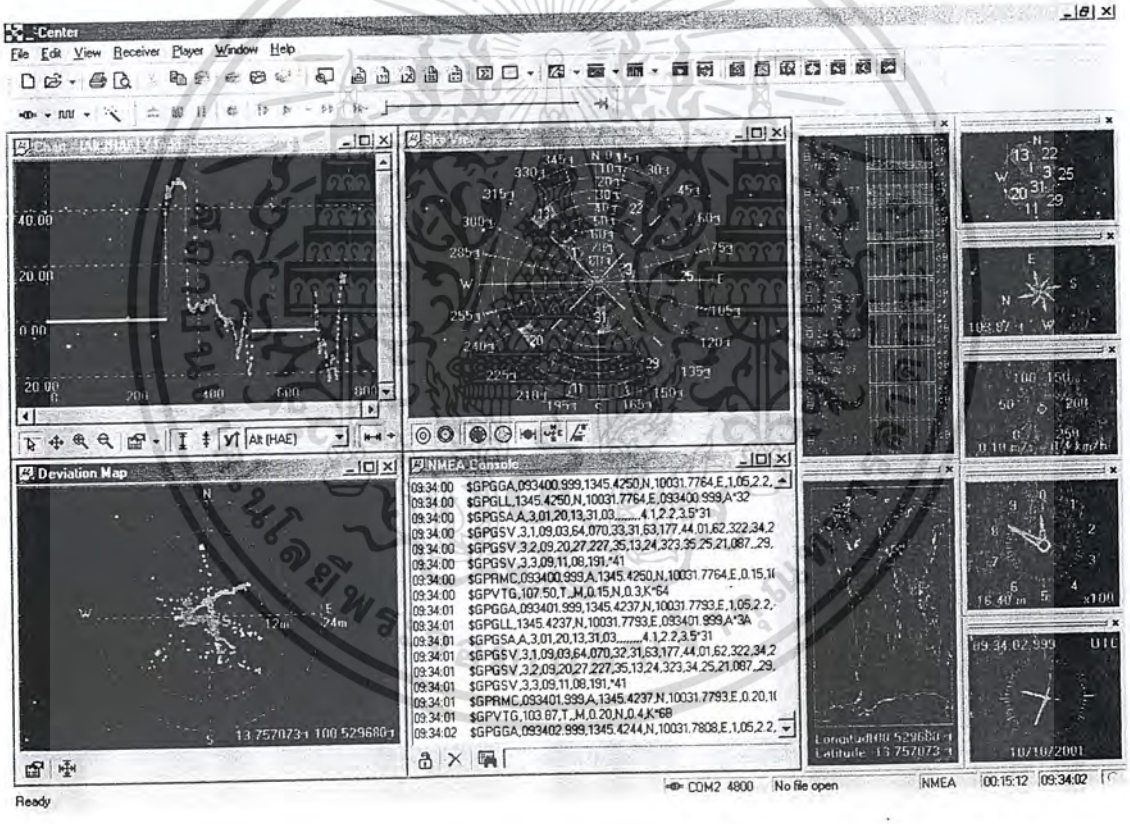
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-TDOP - Time Dilution of Precision (Time)

ตัวที่มักนำมาพิจารณาได้แก่ Geometric Dilution of Precision (GDOP) จะแสดงถึงการจัดวางตัวดาวเทียมสี่ดวงที่ทำกับเครื่องรับสัญญาณ ถ้าค่า GDOP มีค่ามาก พิกัดที่ได้จากเครื่องรับอาจผิดพลาดไปจากที่ควรจะเป็นมากเช่นเดียวกัน

2.5 ตัวอย่างโปรแกรมที่ใช้กับ GPS

2.5.1ยูบล็อค (Ublox)



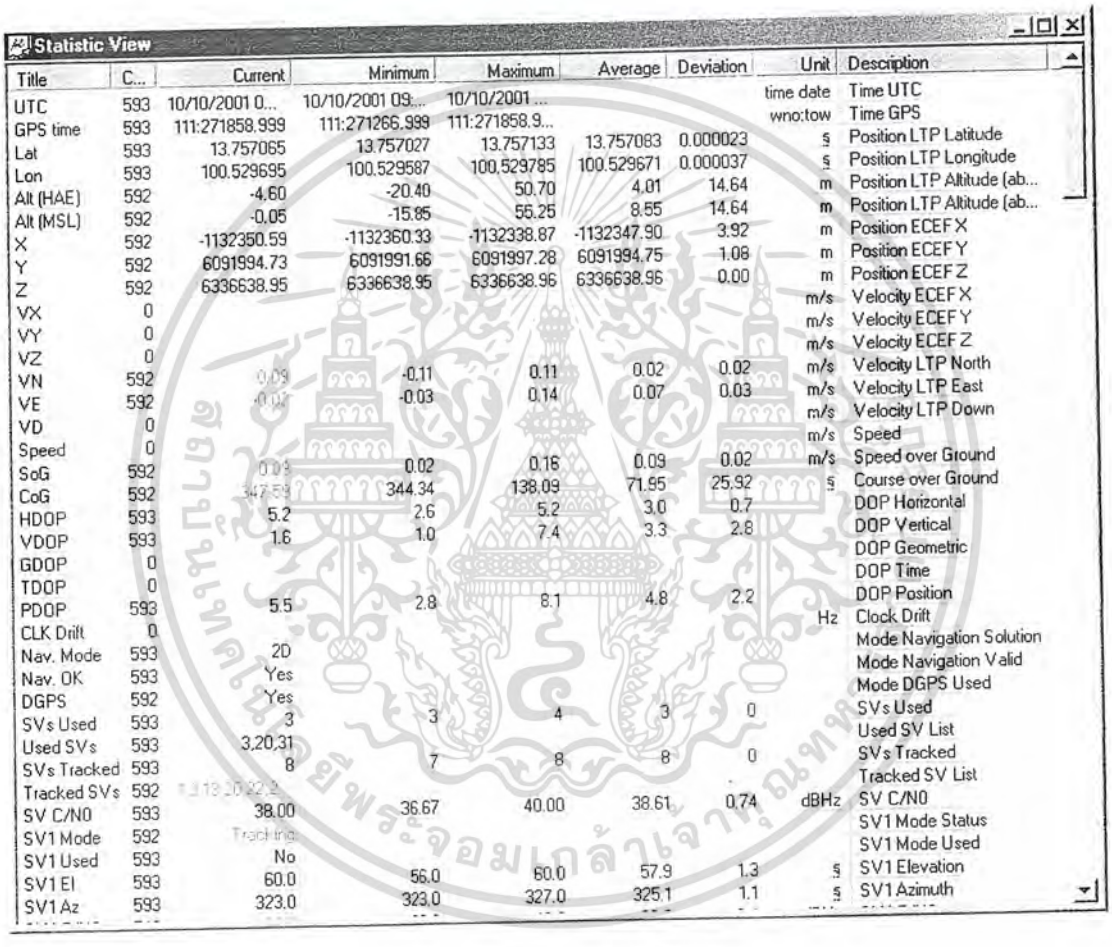
รูปที่ 2.4 แสดงหน้าหลักของโปรแกรม ยูบล็อค

โปรแกรมยูบล็อคนี้สามารถดึงข้อมูลทุกอย่างที่มากับชุดข้อมูลของ GPS มาแสดงผลได้ทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็น GPGSV ที่บอกสถานะ ตำแหน่ง เวลา ความเร็ว สถานะการทำงาน มุมของดาวเทียม GPS และ อื่นๆ ออกมาแสดงผลในรูปกราฟ แผนภูมิแสดงตำแหน่ง ความเร็ว สามารถคำนวณพิกัด และสามารถคำนวณระยะห่างระหว่างจุดปัจจุบันกับจุดที่มีพิกัดอยู่แล้วอย่างเช่นเมืองต่าง ๆ ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเก็บข้อมูลต่างๆ ไว้ได้ เหมือนกับโปรแกรมของเราแต่ไม่มีการเซฟลงไฟล์ใช้ได้กับ GPS ทุกชนิดเลือกดูเอาท์พุตต่างๆ ได้ตามต้องการ

โปรแกรมที่ดีอีกตัวคือฟูกาไว (FUGAWI) ใช้ในการทำแผนที่ แต่เนื่องจากมีราคาสูงและต้องมี ฮาร์ท ล็อค (Hard lock) ในการใช้งาน จึงไม่สามารถทดลองใช้ได้

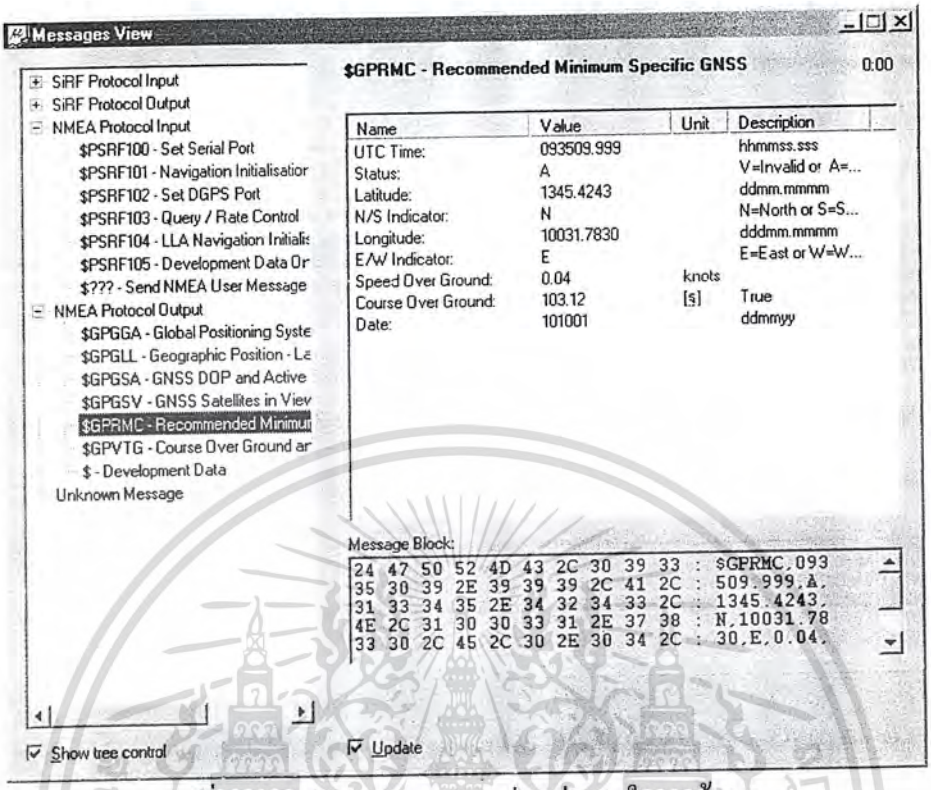


Statistic View

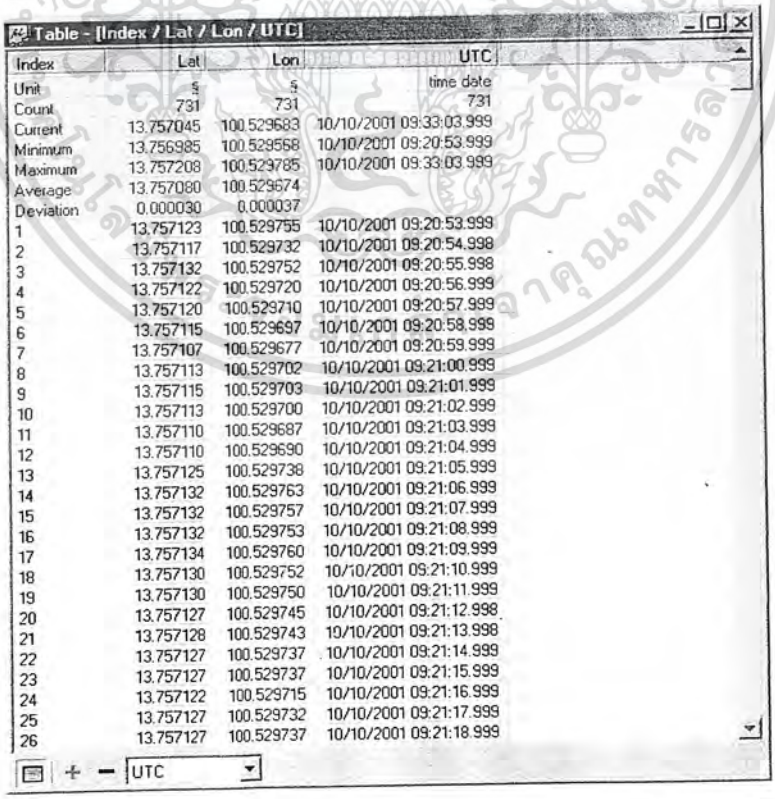
Title	C...	Current	Minimum	Maximum	Average	Deviation	Unit	Description
UTC	593	10/10/2001 0...	10/10/2001 09:...	10/10/2001 ...			time date	Time UTC
GPS time	593	111:271858.999	111:271266.999	111:271858.9...			wno:tow	Time GPS
Lat	593	13.757065	13.757027	13.757133	13.757083	0.000023	°	Position LTP Latitude
Lon	593	100.529695	100.529587	100.529785	100.529671	0.000037	°	Position LTP Longitude
Alt (HAE)	592	-4.60	-20.40	50.70	4.01	14.64	m	Position LTP Altitude (ab...
Alt (MSL)	592	-0.05	-15.85	55.25	8.55	14.64	m	Position LTP Altitude (ab...
X	592	-1132350.59	-1132360.33	-1132338.87	-1132347.90	3.92	m	Position ECEF X
Y	592	6091994.73	6091991.66	6091997.28	6091994.75	1.08	m	Position ECEF Y
Z	592	6336638.95	6336638.95	6336638.96	6336638.96	0.00	m	Position ECEF Z
VX	0						m/s	Velocity ECEF X
VY	0						m/s	Velocity ECEF Y
VZ	0						m/s	Velocity ECEF Z
VN	592	0.09	-0.11	0.11	0.02	0.02	m/s	Velocity LTP North
VE	592	-0.07	-0.03	0.14	0.07	0.03	m/s	Velocity LTP East
VD	0						m/s	Velocity LTP Down
Speed	0						m/s	Speed
SoG	592	0.09	0.02	0.16	0.09	0.02	m/s	Speed over Ground
CoG	592	347.59	344.34	138.09	71.95	25.92	°	Course over Ground
HDOP	593	5.2	2.6	5.2	3.0	0.7		DOP Horizontal
VDOP	593	1.6	1.0	7.4	3.3	2.8		DOP Vertical
GDOP	0							DOP Geometric
TDOP	0							DOP Time
PDOP	593	5.5	2.8	8.1	4.8	2.2		DOP Position
CLK Drift	0						Hz	Clock Drift
Nav. Mode	593	2D						Mode Navigation Solution
Nav. OK	593	Yes						Mode Navigation Valid
DGPS	592	Yes						Mode DGPS Used
SVs Used	593	3	3	4	3	0		SVs Used
Used SVs	593	3,20,31						Used SV List
SVs Tracked	593	8	7	8	8	0		SVs Tracked
Tracked SVs	592	3,8,13,20,22,2...						Tracked SV List
SV C/N0	593	38.00	36.67	40.00	38.61	0.74	dBHz	SV C/N0
SV1 Mode	592	Tracking						SV1 Mode Status
SV1 Used	593	No						SV1 Used
SV1 El	593	60.0	56.0	60.0	57.9	1.3	°	SV1 Elevation
SV1 Az	593	323.0	323.0	327.0	325.1	1.1	°	SV1 Azimuth

รูปที่ 2.5 แสดงส่วนแสดงข้อมูลในลักษณะตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.6 แสดงความหมายของส่วนต่าง ๆ ในชุดข้อมูล

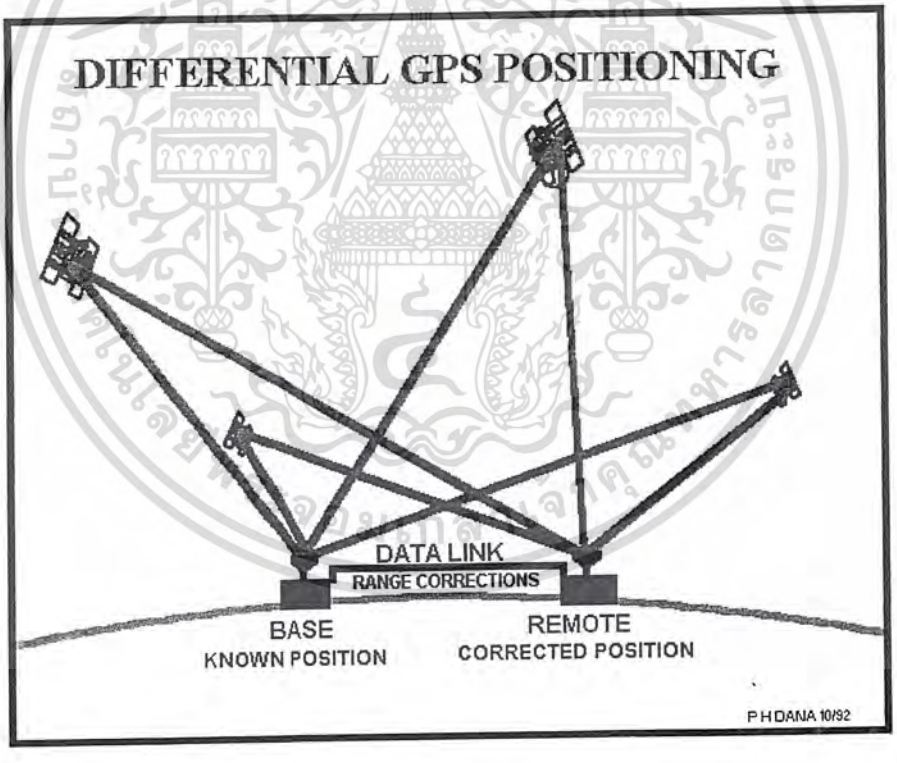


รูปที่ 2.7 แสดงการเก็บข้อมูลของ ยูบล็อค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 หลักการของระบบ ดิฟเฟอร์เรนเชียล GPS

- หลักการเบื้องต้นของการทำดิฟเฟอร์เรนเชียล โพสิชั่นนิ่ง (differential positioning) คือการแก้ไขค่าผิดพลาดของจุดที่ต้องการด้วย ค่าผิดพลาดที่มาจากจุดที่เราทราบตำแหน่งแน่นอน โดยการใช้เครื่องรับอ้างอิงที่อยู่กับที่หรือ ตั้งสถานีเปรียบเทียบขึ้นมาเพื่อ คำนวนแก้ไขสัญญาณที่มาจากดาวเทียมแต่ละดวง
- เราต้องมีซอฟแวร์อยู่ในเครื่องรับอ้างอิงเพื่อทำการจับตามดาวเทียมแต่ละดวงและสร้างโคดที่ทำการแก้ไขความคลาดเคลื่อนแยกต่างหาก สำหรับแต่ละดาวเทียมและส่งไปตามแต่ละเครื่องรับทั่วไปเพื่อนำไปรวมกับสัญญาณที่เครื่องรับนั้นได้รับจากดาวเทียมโดยตรงก็จะทำให้ได้ความผิดพลาดที่น้อยที่สุดเนื่องจากสัญญาณที่ทั้งเครื่องรับและเครื่องรับอ้างอิงได้รับนั้นเป็นสัญญาณชุดเดียวกัน



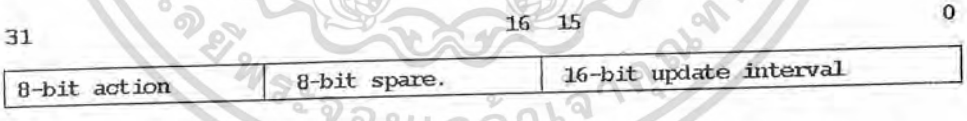
รูปที่ 2.8 ระบบ ดิฟเฟอร์เรนเชียล GPS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 รูปแบบการนำระบบ DGPS มาใช้

- การแก้ไขสัญญาณนั้นเราสามารถส่งสัญญาณแก้ไขเข้าไปได้ทั้งในแบบแก้ไขไปพร้อมๆ กันกับตอนที่รับมาเลยหรือนำมาใช้ในภายหลังก็ได้ด้วยการทำโพสโปรเซสซิ่ง (post-processing)
  - การแก้ไขแบบทันทีนั้นทางเครื่องรับอ้างอิงจะสามารถส่งสัญญาณแก้ไขไปยัง เครื่องรับได้โดยการส่งทางคลื่นวิทยุตัวอย่างเช่น สถานีตรวจการชายฝั่งของ อเมริกานั้นจะมีสถานีส่งสัญญาณแก้ไขที่มีรัศมีครอบคลุมพื้นที่ชายฝั่งของอเมริกาเกือบทั้งหมด บางครั้งสัญญาณนี้ก็จะถูกส่งไปในรูปของคลื่นวิทยุธรรมดาทั่วไป ในภาคเอกชนมีการใช้ทั้งคลื่นวิทยุ, ดาวเทียม หรือแม้แต่การตั้งเสาส่งสัญญาณส่วนตัวเลยทีเดียว
  - หรือเก็บสัญญาณแก้ไขนี้เอาไว้เพื่อนำไปทำโพส โปรเซสซิ่งกับสัญญาณที่ทำการเก็บมาได้.

สัญญาณแก้ไขที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องรับอ้างอิงนั้นจะมีลักษณะเป็นสัญญาณขนาด 32 บิท โดย 16 บิทแรกจะเป็นส่วนของข้อมูลที่เป็นตัวแก้ไขสัญญาณ 8 บิทต่อมาจะเป็นบิทที่สำรองไว้
และ 8 บิทสุดท้ายจะเป็นตัวบอกสถานะของชุดข้อมูลนี้ ดังรูป



รูปที่ 2.9 ชุดข้อมูลแก้ไขความผิดพลาดที่ถูกส่งออกมาจากเครื่องรับอ้างอิง

2.6.2 การเปรียบเทียบระหว่าง GPS และ DGPS

จากข้อมูลทางเทคนิคพบว่า ค่าความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ได้จาก ระบบ DGPS นั้นมีค่าเพียงประมาณ 1.6 เมตร หรือเพียงแค่ 1/10 ของระบบ GPS ธรรมดาเท่านั้นเนื่องจาก GPS ธรรมดานั้นมีความผิดพลาดอยู่ในระดับประมาณ 10 เมตร แต่ทั้งนี้และทั้งนั้นก็ขึ้นอยู่กับคุณภาพของเครื่องรับและคุณภาพของตัวเครื่องรับอ้างอิงด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.6.3 ระบบ DGPS ผ่านอินเตอร์เนท

เป็นระบบที่ใช้ ระบบอินเตอร์เนทเพื่อช่วยในการส่งข้อมูลแก้ไขผ่านไปยังเครื่อง GPS ย่อยที่อยู่ภายในรัศมีของสถานีส่งนั้น โดยส่งผ่านพอร์ต 2101

สถานนีส่งที่จะนำมาเป็นตัวอย่างนี้อยู่ในประเทศอเมริกาโดยมีข้อมูลจำเพาะดังนี้

ชื่อและสถานที่ตั้ง: POINT BLUNT, CA

เครื่อง GPS ที่ใช้: Garmin DBR-21 with firmware version 2.0

เสาอากาศที่ใช้: ยาว 1.3เมตรตั้งอยู่สูงกว่าระดับน้ำทะเล 30 เมตร

คลื่นที่ใช้ส่งสัญญาณ: คลื่นของหน่วยตรวจการชายฝั่ง

ข้อมูลทั่วไปอื่นๆ: RBn Antenna Location: 37, 51.1899N; 122, 25.1439W

REFSTA Ant Location (A): 37, 51.1829N; 122, 25.13582W

REFSTA Ant Location (B): 37, 51.19319N; 122, 25.16276W

REFSTA RTCM SC-104 ID (A): 268

REFSTA RTCM SC-104 ID (B): 269

REFSTA FIRMWARE VERSION: RC00-1C19

Broadcast Site ID: 884

Transmission Frequency: 310 KHZ

Transmission Rate: 200 BPS

Signal Strength: 100uV at 60 NM

Distance to WSRCC 33 miles

SNR 30 db (night)

โดยเซิร์ฟเวอร์ของสถานีส่งนี้สามารถเป็นแม่ข่ายให้กับลูกข่ายได้พร้อมกัน 64 การเชื่อมต่ออัตราความเร็วในการส่งข้อมูลไปแก้ไขอยู่ที่ 284 บิท/วินาทีและโดยปกติจะทำการส่งชุดข้อมูลออกไปทุกวินาทีโดยประกอบด้วยข้อมูล 35 ไบท์และ 40 ไบท์เป็นส่วนของพารามิเตอร์ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

46435

ปัญหาที่ระบบ DGPS แบบออนไลน์นี้พบ มีอยู่สองสามประการอันได้แก่ ปัญหาด้วนความจำกัดด้านระยะทางในการให้บริการ เนื่องจากการบริการนี้ยังจำกัดอยู่ภายในอเมริกาเท่านั้นเพราะไม่มีที่อื่นตั้งสถานีฐานมาทำแบบนี้

ปัญหาเกี่ยวกับ DNS คนที่เชื่อมต่อกับสถานีผ่าน DNS เซิร์ฟเวอร์ที่ช้าก็จะได้รับข้อมูลที่มีการดีเลย์และถ้ามีการค้างอยู่โดยไม่มีการกระทำใด ๆ อาจจะเนื่องมาจาการแลค (lag) เกิน15-30 วินาทีก็จะมีการตัดการเชื่อมต่อทันที

ปัญหาด้านไฟร์วอล์ (Firewall) และปัญหาเรื่องความปลอดภัยอื่น ซึ่งอาจเป็นตัวทำให้การส่งข้อมูลช้าลงจนไม่ตรงกันได้

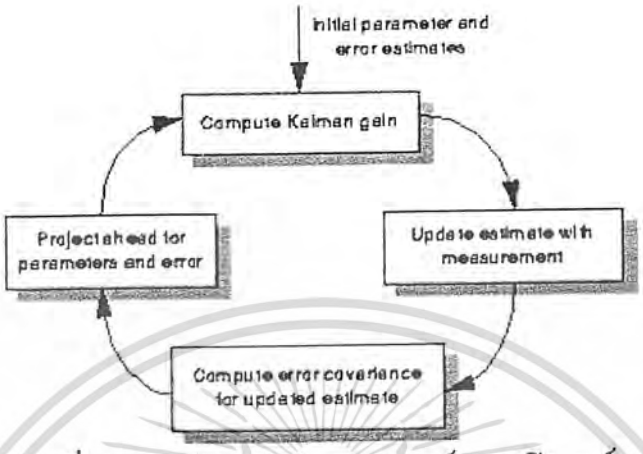
รูปที่ 2.10 เครื่อง DGPS ที่ใช้ผ่าน Internet

2.7 คาร์ลแมน ฟิวเตอร์ (Kalman Filter)

คาร์ลแมน ฟิวเตอร์ถูกคิดขึ้นมาโดย Kalman ใน ปี 1960 เป็นฟิวเตอร์ที่ทำหน้าที่แก้ไขความผิดพลาดโดยหลักการ รีเคอร์ซีฟ พรีดิกทีฟ อัพเดท (Recursive predictive update) หมายความว่ามันจะทำการรับข้อมูลมาเรื่อย ๆ และทำการนำข้อมูลที่ได้รับมาเป็นตัวแก้ไขข้อมูลที่ได้รับมาต่อไป โดยจะทำการแก้ไขค่า error ได้ดียิ่งขึ้นเรื่อยๆ ตามข้อมูลที่ได้รับเข้ามา และเป็นที่นิยมในโปรแกรมที่ทำการแทรกกิ้ง (tracking) ต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7.1 หลักการทำงานของ คาร์ลแมน ฟิวเตอร์



รูปที่ 2.11 แผนภาพการทำงานของคาร์ลแมนฟิวเตอร์

จากรูปเราจะพบว่าขั้นแรก ฟิวเตอร์จะต้องทำการสร้างเมตริกซ์ที่เป็น เกน เมตริกซ์ (Gain Matrix) แล้วจึงรับข้อมูลส่วนแรกเข้ามา แล้วจึงนำไปคำนวณเพื่อสร้างตัวแก้ไขให้กับข้อมูลต่อไปที่จะเข้ามา

2.7.2 สมการและค่าต่าง ๆ ของคาร์ลแมน ฟิวเตอร์

ตัวแปรต่าง ๆ ที่ควรทราบมีดังนี้

$\hat{x}_k$ แสดงถึงเวคเตอร์ที่เก็บค่าพารามิเตอร์ในช่วงเวลานั้น

$\hat{x}_{\bar{k}}$ แทนเวคเตอร์ที่เก็บพารามิเตอร์ที่กำลังอัพเดทข้อมูล

$\hat{x}_{\bar{k}+1}$ แทนเวคเตอร์ที่เก็บพารามิเตอร์ที่จะรับเข้ามาต่อไป

P_k แทนเมตริกซ์ที่เก็บค่า โควาเรนซ์ เออเร่อร์ ของพารามิเตอร์ปัจจุบัน

$P_{\bar{k}}$ แทนเมตริกซ์ที่เก็บค่า โควาเรนซ์ เออเร่อร์ ของพารามิเตอร์ที่กำลังประมาณค่าอยู่

$P_{\bar{k}+1}$ แทนเมตริกซ์ที่เก็บค่า โควาเรนซ์ เออเร่อร์ ของพารามิเตอร์ที่จะรับมาต่อไป

H_k เมตริกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่กำลังพิจารณากับพารามิเตอร์ก่อนหน้านี้

R_k เมตริกซ์ที่แสดงน้ำหนักของค่าผิดพลาดชนิดต่าง ๆ

ϕ_k เมตริกซ์ที่แสดงความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ที่กำลังพิจารณากับพารามิเตอร์ถัดไป

K_k เกน เมตริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณคาร์ลแมนเกน

$$K_k = P_{\bar{k}} H_k^T \left(H_k P_{\bar{k}} H_k^T + R_k \right)^{-1}$$

ปรับปรุงค่าประมาณด้วยการวัด

$$\hat{x} = \hat{x}_{\bar{k}} + K_k \left(z_k - H_k \hat{x}_{\bar{k}} \right)$$

คำนวณค่าผิดพลาดโควาเรนซ์ที่ปรับปรุงแล้ว

$$P_k = \left(I - K_k H_k \right) P_{\bar{k}}$$

คำนวณค่าพารามิเตอร์และค่าผิดพลาดล่วงหน้า

$$\hat{x}_{\bar{k}+1} = \phi_k \hat{x}_k$$

$$P_{\bar{k}+1} = \phi_k P_k \phi_k^T + Q_k$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
โครงสร้างของงานวิจัย

แบ่งออกเป็นสามส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 การทดลองทำ DGPS ราคาถูกโดยการสร้างสมการจากความสัมพันธ์ของข้อมูล

ส่วนที่ 2 การนำสัญญาณที่รับมาจาก GPS ไปผ่านคาร์ลแมน ฟิวเตอร์

ส่วนที่ 3 การทำ DGPS โดยการสร้างสถานีฐานจำลอง

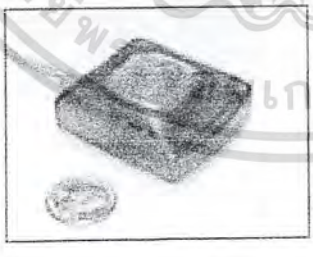
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย

1. เครื่อง GPS ในที่นี้เราใช้ GPS เหล่านี้ในการค้นคว้าวิจัย

   a. Rojone Genius 1 http://www.rojone.com/gpsrxindex.htm

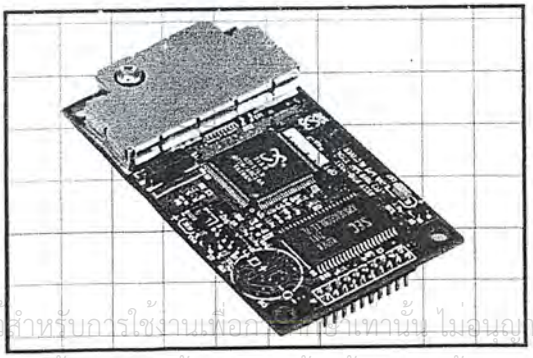
รูปที่ 3.1 GPS 1

   b. Pharos iGPS-180 http://www.pharosgps.com/products/igps-180.htm



รูปที่ 3.2 GPS 2

   c. LeadTek OEM GPS-952 http://www.leadtek.nl/new/uk/pages/gps/952.htm



รูปที่ 3.3 GPS 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. เครื่องคอมพิวเตอร์PC จำนวน 2 เครื่อง
3. Microsoft Visual Basic 6.0
4. โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้ในการควบคุม GPS ต่าง ๆ เช่น FUGAWI , μ-Blox

3.2 ส่วนที่ 1 การทดลองทำ DPGS ราคาถูก

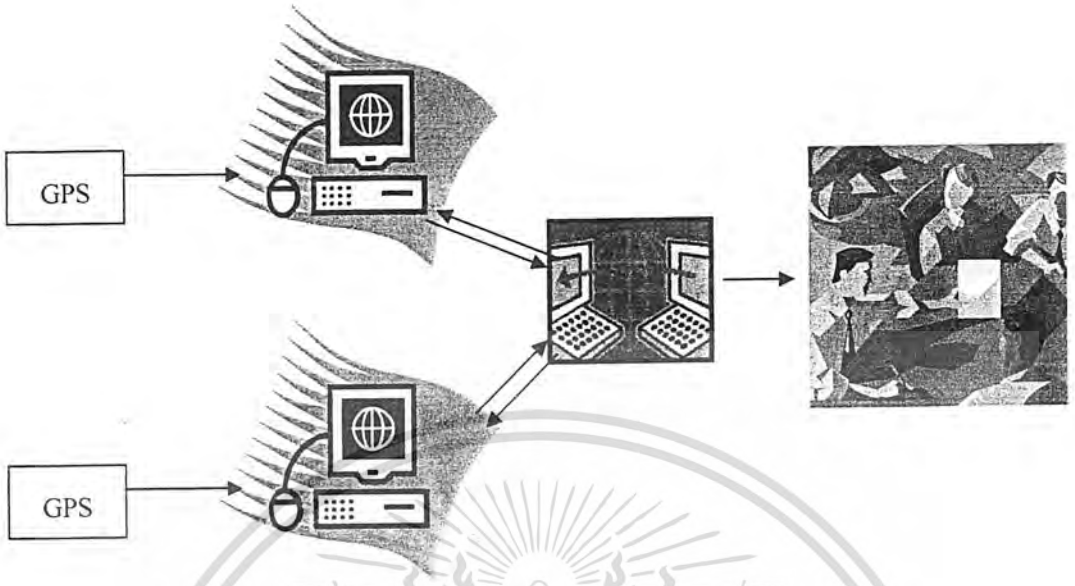
เนื่องจาก DGPS ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันนั้น ต้องมีการสร้างสถานีหรือเครื่องรับอ้างอิงขึ้นเพื่อทำการเปรียบเทียบและแก้ไขความคลาดเคลื่อน และสถานีอ้างอิงนี้ก็มีราคาที่สูงมาก ดังนั้นเราจึงได้เกิดความคิดขึ้นว่า น่าจะสามารถนำ GPS ธรรมดา สองเครื่องมาทดลองเก็บข้อมูลและ นำข้อมูลที่ได้มาจากทั้งสองเครื่องนั้นมาวิเคราะห์เพื่อดูความสัมพันธ์กันเพื่อที่จะได้นำไปสู่การทำข้อมูลนั้นมาแก้ไขข้อผิดพลาดของแต่ละเครื่องแทนสถานีฐาน

งานของเราคือการนำ GPS สองชุดมาใช้ในการเก็บข้อมูลเฉพาะ RMC (จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป) โดย GPS ทั้งสองตัวนั้นจะทำการใช้ คาวเทียมคนละชุดกัน และไม่มีความเกี่ยวข้องกันเลย เมื่อทำการเก็บข้อมูลไปได้ระยะหนึ่งแล้วเราก็จะทำการตรวจสอบว่าข้อมูลดังกล่าวนั้นมีความสัมพันธ์กันในรูปแบบใด หรือไม่ เพื่อสร้างสมการเพื่อใช้ในการแก้ไขค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นจาก GPS ต่อไป

ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ

- ส่วนที่เป็นฮาร์ทแวร์คือส่วนของเครื่อง GPS ที่ต่ออยู่กับเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 2 ชุด
- ส่วนที่เป็นซอฟแวร์คือส่วนโปรแกรมที่ใช้ติดต่อกับ GPS เพื่อรวบรวมข้อมูล, แล้วนำมาเปรียบเทียบกันกับ GPS อีกตัวหนึ่งเพื่อนำข้อมูลมาลดความคลาดเคลื่อน และ แสดงผลออกทางคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แผนผังการทำงานของระบบ DGPS ราคาถูก

3.2.1 โปรโตคอลที่ใช้ในการเก็บข้อมูล

เราจะมาศึกษากันถึงโปรโตคอลที่ใช้ในการเก็บข้อมูลที่จำเป็นในการศึกษากันก่อนโดยในที่นี้เราจะใช้ โปรโตคอล NMEA โดย NMEA นั้นย่อมาจาก National Marine Electronics Association ซึ่งเป็นหน่วยงานซึ่งทำการศึกษาและพัฒนาอุตสาหกรรมอิเลคทรอนิคส์ทางน้ำ โดยโปรโตคอล NMEA - 183นั้นจะเป็นโปรโตคอลที่นำมาใช้ในการส่งข้อมูลของตัว GPS โดย จะประกอบไปด้วย ชุดข้อมูลแบบต่าง ๆ โดยชุดข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำหน้าด้วย สัญลักษณ์ $ และตามด้วยโปรโตคอล เฮดเดอร์ (Protocol Header) ซึ่งมีดังนี้

- GGA
  - $GPGGA,173227.999,1345.4190,N,10031.7924,E,1,05,1.7,19.4,M,,,,0000*3F
- GLL
  - $GPGLL,1345.4190,N,10031.7924,E,173227.999,A*3B
- GSA
  - $GPGSA,A,3,08,28,07,04,24,,,,,,,,3.8,1.7,3.4*3F

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- GSV
    - $GPGSV,2,1,08,02,69,009,,28,62,086,34,04,56,249,54,08,38,187,48*79
- VTG
    - $GPVTG,162.35,T,,M,0.06,N,0.1,K*64
- RMC
    - $GPRMC,173229.999,A,1345.4190,N,10031.7924,E,0.07,143.11,160901,,*0C

โดยจะสังเกตได้ว่าข้อมูลต่างๆ นั้นจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ ด้วยเครื่องหมาย , และส่วนสุดท้ายจะเป็นเช็ค ซัม (Check sum) ในที่นี้เราจะมาดูกันถึงความหมายของข้อมูลต่างๆ ที่มากับ RMC เนื่องจากเราจะใช้มันในการวิจัยต่อไป

3.2.2 โปรโตคอล RMC (Recommended Minimum Specific GNSS Data)

จากตัวอย่าง

$GPRMC,173229.999,A,1345.4190,N,10031.7924,E,0.07,143.11,160901,,*0C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนต่าง ๆ นั้นมีความหมายดังนี้

$GPRMC	RMC Protocol Header
173229.999	UTCTime (hhmmss.sss)
A	A=data valid or V=data not valid
1345.4190	Latitude (ddmm.mmmm)
N	N/S Indicator (N=north or S=south)
10031.7924	Longitude (dddmm.mmmm)
E	E/W Indicator (E=east or W=west)
0.07	Speed Over Ground (nots)
143.11	Course Over Ground (Degree)
160901	Date (ddmmyy)
*0C	Checksum

ตารางที่ 3.1 แสดงความหมายของ RMC

3.2.3 โปรแกรมเก็บข้อมูลของ GPS "GPS ล๊อคเกอร์ โปรแกรม (GPS Logger Program)"

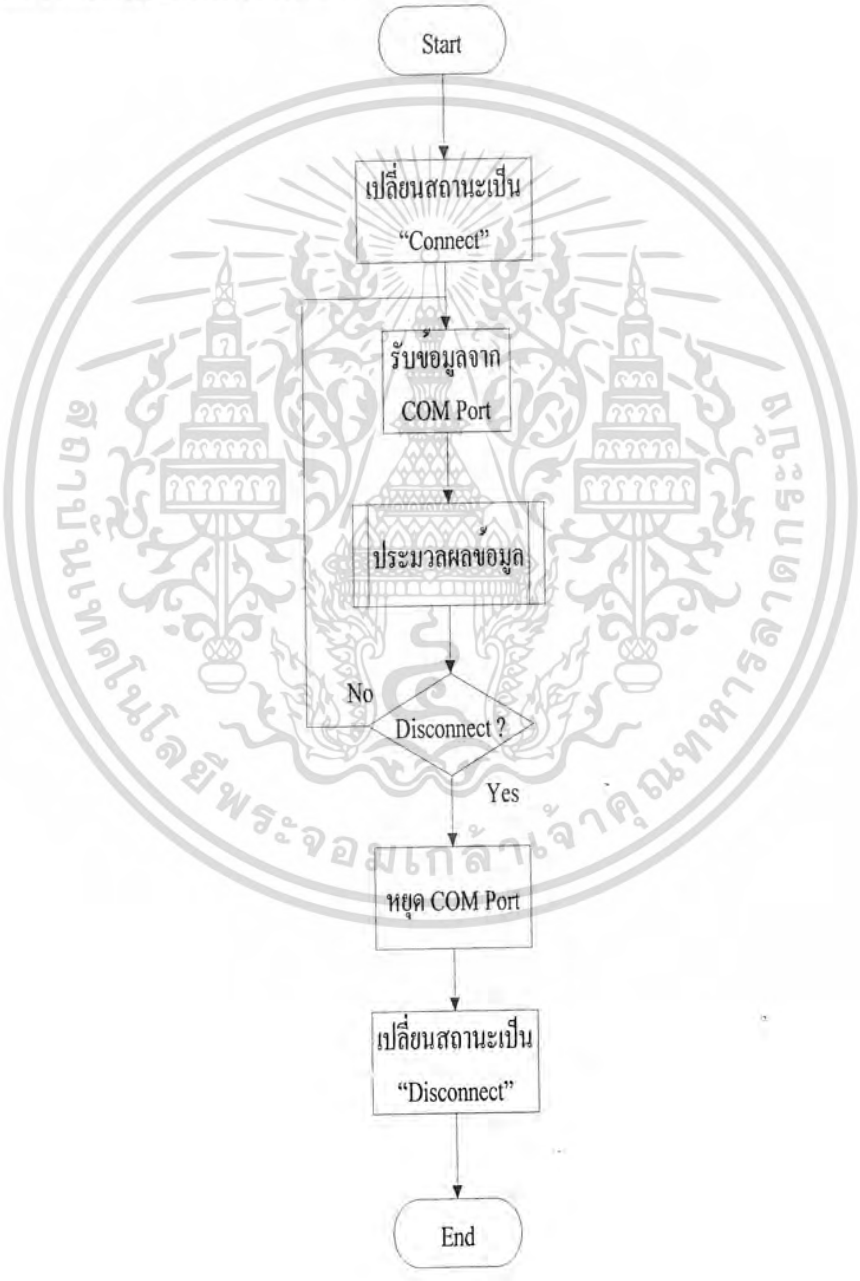
เป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อที่จะได้ใช้เก็บข้อมูลของ GPS ทั้งสองเอาไว้เพื่อที่จะได้นำข้อมูลเหล่านั้นมาวิเคราะห์ต่อไป โดยมีหลักการทำงานดังนี้

1. รับข้อมูลจากตัว GPS ผ่านคอมพอร์ต (RS-232)
2. GPS ที่ใช้นั้นจะใช้โปรโตคอลแบบ NMEA จะสนใจเฉพาะส่วนที่เป็น RMC เท่านั้น
3. จากนั้นแยกส่วนที่เป็น RMC ออกเป็นข้อมูลต่างๆ และนำไปเก็บไว้ในอาเรย์ (array) แยกกัน
4. เซฟไฟล์เก็บไว้เป็นระยะ ทุกๆ 1 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตอนแรกโปรแกรมนี้ถูกพัฒนาขึ้นด้วย Visual Studio .NET Beta 2 (Visual Basic.NET) เพื่อความง่ายและมีประสิทธิภาพสูงสุด แต่เนื่องจากความต้องการทรัพยากรของเครื่อง ของ VB.NET นั้นมากเกินไปทำให้ไม่สะดวกในการทำงานอื่น ๆ ร่วมไปด้วยเราจึงทำการแปลงกลับมา พัฒนาบน Visual Studio 6.0 แทนซึ่งมีความเสถียรภาพในการทำงานดีกว่า

โดยตัวโปรแกรมมี โฟลว์ชาร์ต ดังนี้



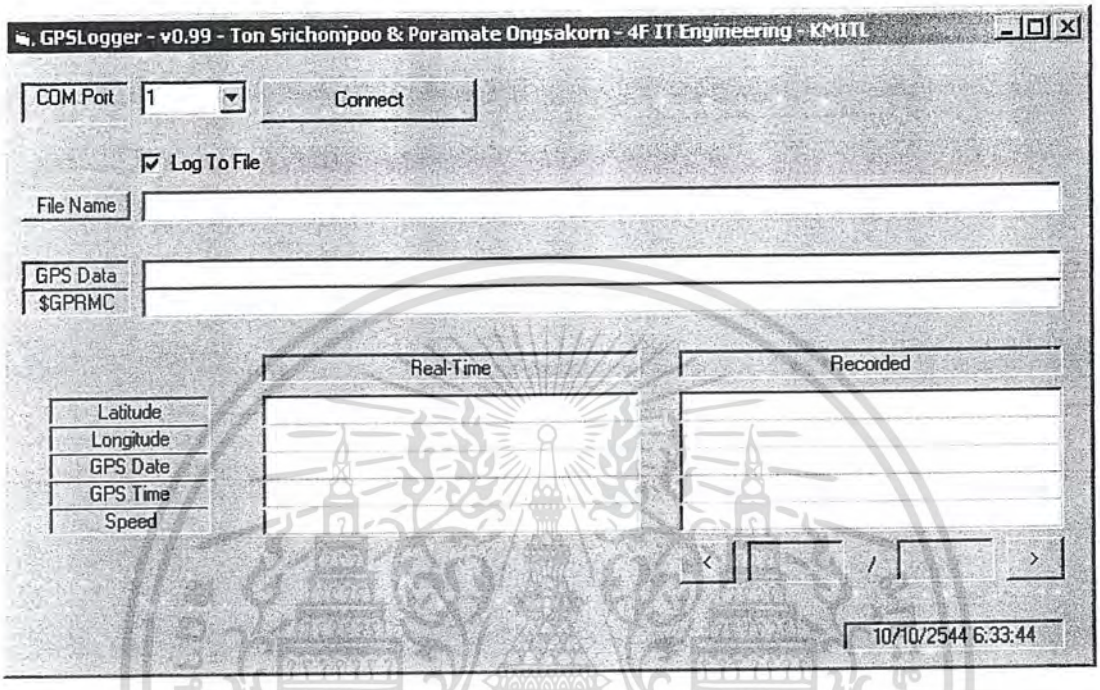
รูปที่ 3.5 โฟล์วชาร์ตแสดงการทำงานส่วน Connect

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 โฟล์วชาร์ตแสดงการทำงานส่วน Process

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้งานโปรแกรมจะเริ่มจากการนำ GPS ต่อเข้ากับ เครื่องคอมพิวเตอร์และทำการเปิดโปรแกรมขึ้นมา

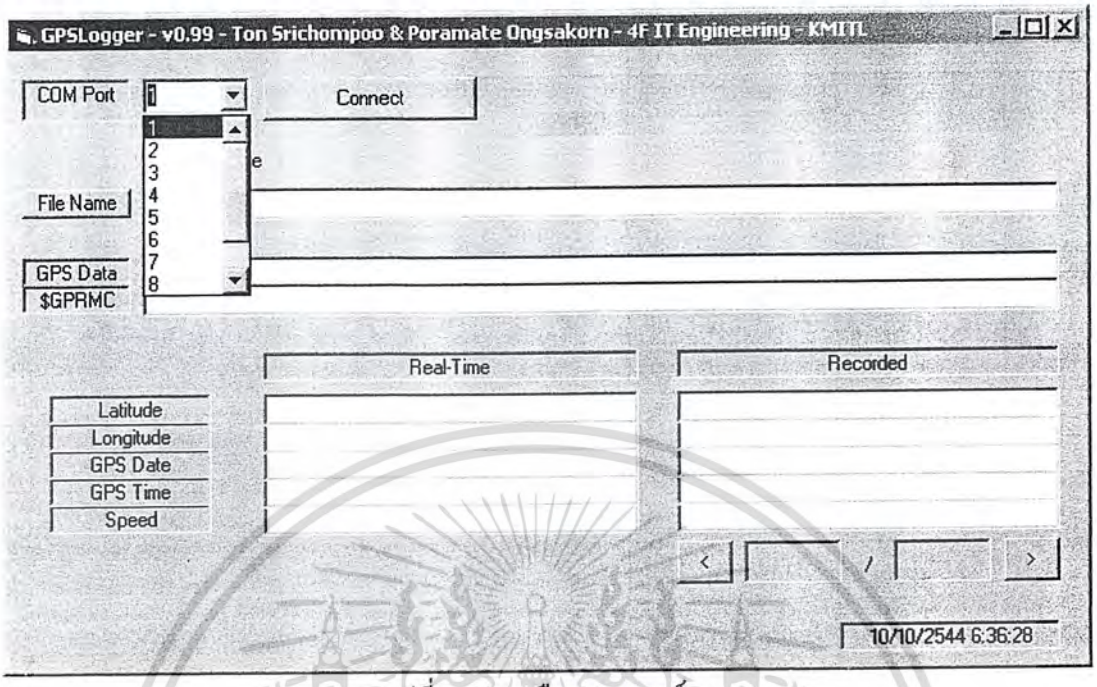


รูปที่ 3.7 โปรแกรม GPS ล๊อคเกอร์

คุณสมบัติต่าง ๆ ของโปรแกรม

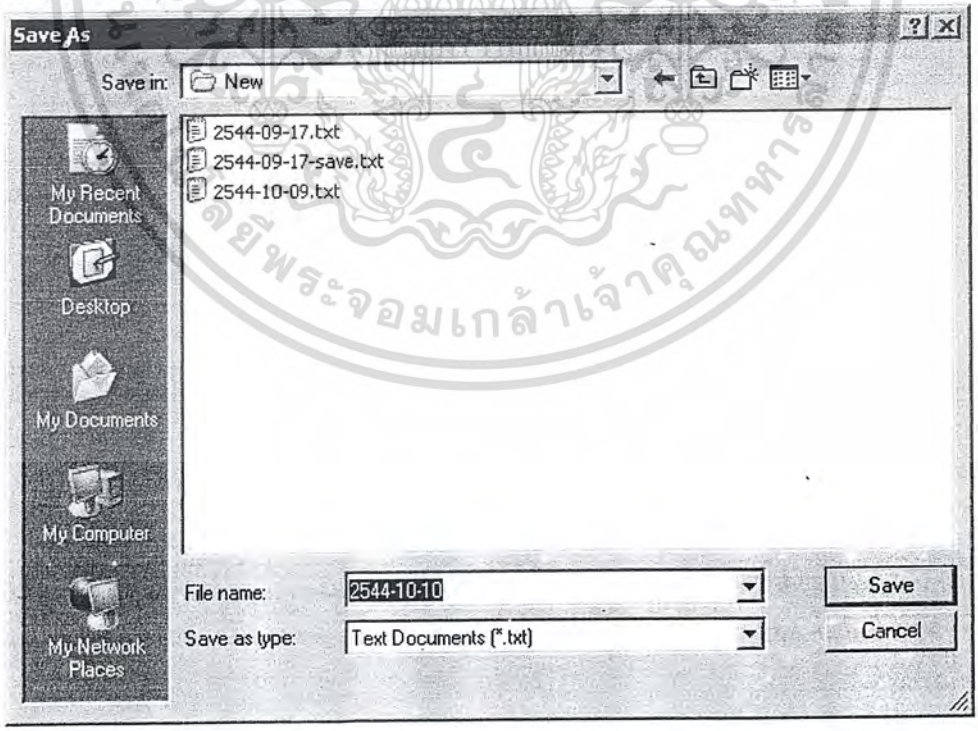
5.1 สามารถเลือก COM port ของ GPS ที่มาทำการเชื่อมต่อได้โดยการคลิกเลือกที่ COM Port โดยจะเป็นลักษณะของครอป ดาวน์ ลิสท์ บ๊อกซ์ (Drop down list box)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



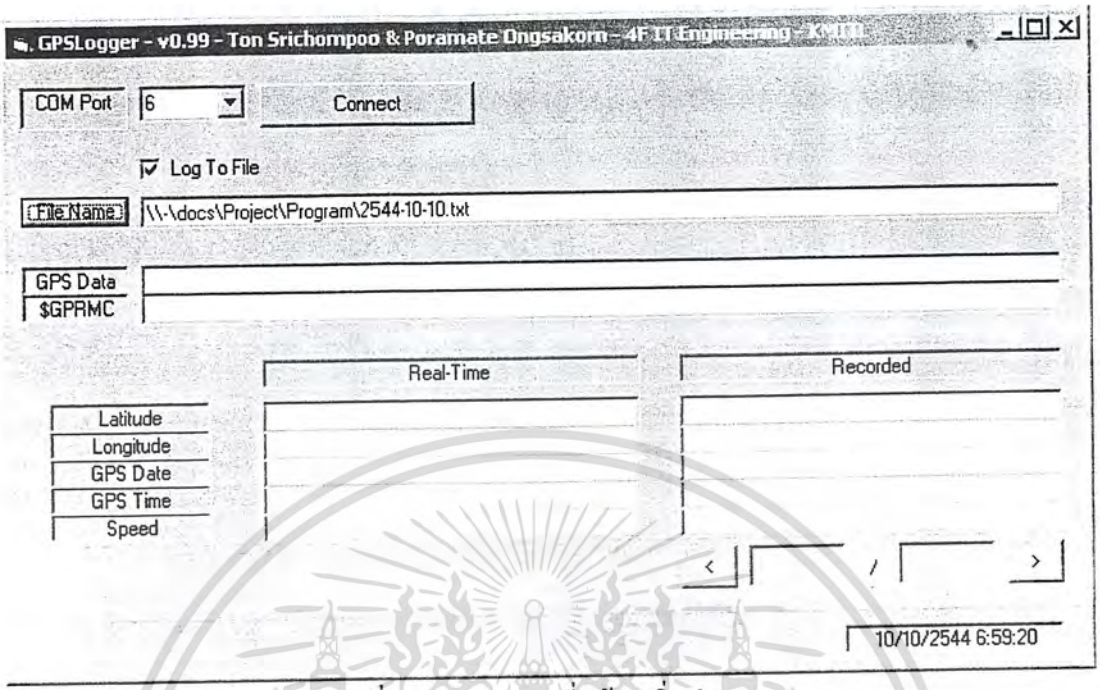
รูปที่ 3.8 การเลือกคอมพอร์ต

5.2 การเซฟเก็บข้อมูล เริ่มจากการเลือกเช็ค บ๊อกซ์ "Log to File" แล้วจึงคลิกที่ "File Name" จากนั้นจะมีหน้าต่างขึ้นมาให้เราเลือกปลายทางและตั้งชื่อไฟล์ดังรูป



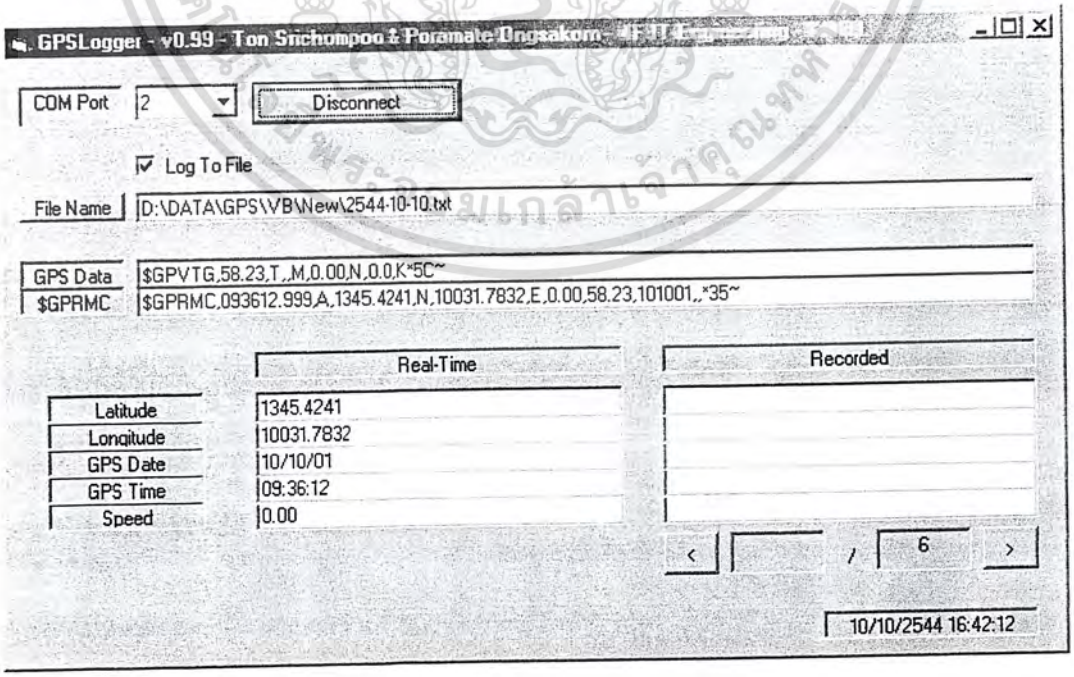
รูปที่ 3.9 การเซฟลงไฟล์และเมื่อตั้งชื่อ Files เรียบร้อยแล้วก็จะแสดงผลออกมาดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 โปรแกรมที่พร้อมเริ่มทำงาน

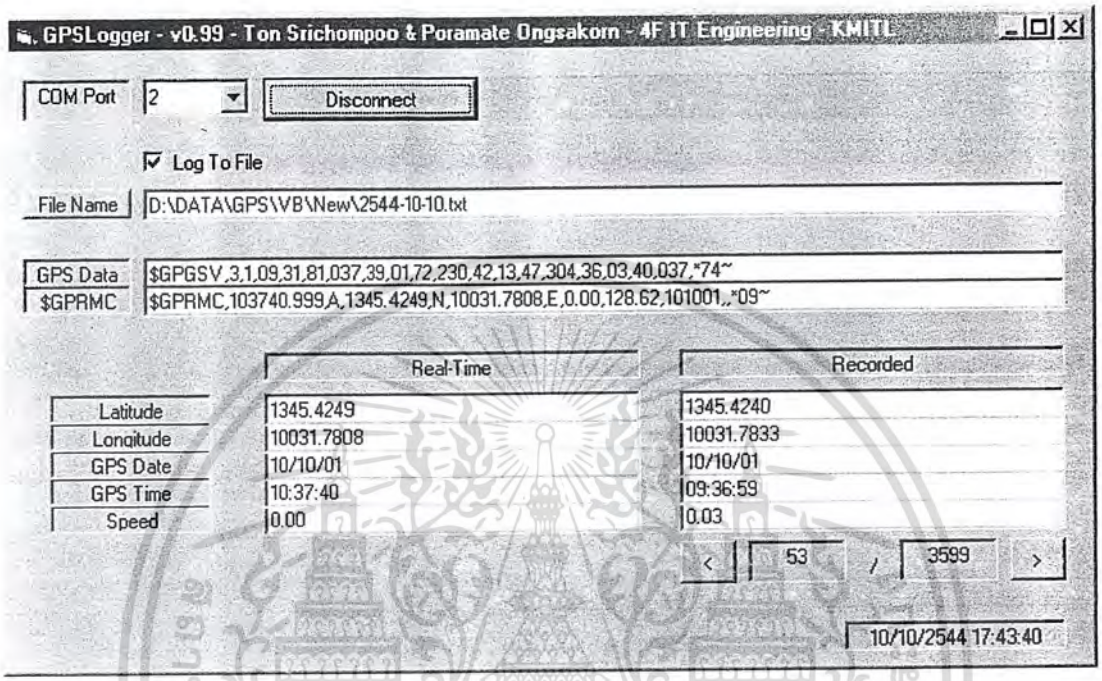
5.3 การเชื่อมต่อกับ GPS ให้คลิกที่ปุ่ม "Connect" และโปรแกรมก็จะทำการรับข้อมูลจาก GPS มา โดยโปรแกรมจะแสดงเฉพาะข้อมูลของตัว GPS และ $GPRMC เท่านั้น จากนั้น RMC ก็จะถูกแปลงเป็นค่าต่าง ๆ ไปแสดงผลอยู่ในช่อง "Real-time" ดังรูป



รูปที่ 3.11 โปรแกรมขณะเก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การเรียกดูข้อมูลย้อนหลัง ข้อมูลจะถูกแก้ไขใหม่ทุกครั้งที่มีการแซมปลิ้ง (Sampling) ข้อมูลใหม่มาโดยข้อมูลที่เก็บได้ก่อนหน้านี้จะถูกเก็บเอาไว้ในส่วน “Recorded” และเรียกดูได้ด้วย ปุ่ม < >



รูปที่ 3.12 การเรียกดูข้อมูลเก่า

5.5 การเรียกดูไฟล์ที่เก็บเอาไว้

ตัวอย่างข้อมูลที่ถูกบันทึกโดยโปรแกรมนี้จะอยู่ในรูปของเทกซ์ ไฟล์โดยมีรายละเอียดดังนี้

Latitude Longitude วันที่ เวลา และ ตัวอย่างที่นำมาเป็นข้อมูลที่เราทำการเก็บได้และใช้อัตราการแซมปลิ้ง 1 ครั้งใน 1 วินาที

1345.4289 10031.7877 101001 100000

1345.4289 10031.7877 101001 100001

1345.4289 10031.7877 101001 100002

1345.4289 10031.7877 101001 100003

1345.4289 10031.7877 101001 100004

1345.4289 10031.7877 101001 100005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1345.4289 10031.7877 101001 100006

1345.4289 10031.7877 101001 100007

1345.4289 10031.7877 101001 100008

1345.4289 10031.7876 101001 100009

3.3 ส่วนที่ 2 การทดลองทำ คาร์ลแมน ฟิวเตอร์

ในส่วนนี้เราเริ่มต้นจากการคิดหา วิธีที่จะนำเอาการทำงานของฟิวเตอร์ มาประยุกต์ใช้กับระบบ GPS ของเรา โดยเราพบว่าเราต้องคำนวณหาค่าของ เกน เมตริกซ์ที่จะใช้กับระบบของเราขึ้นมาก่อน ซึ่งเราประสบปัญหาในการหา ตัวเมตริกซ์นี้ จึงทำให้ ต้องหยุดการศึกษาเรื่อง คาร์ลแมนฟิวเตอร์ลงใน จุดนี้

$$K_k = P_{\bar{k}} H_k^T \left(H_k P_{\bar{k}} H_k^T + R_k \right)^{-1}$$

สมการหา เกนเมตริกซ์ที่เป็นปัญหา

3.4 ส่วนที่ 3 การทดลองทำ DGPS ราคาถูกโดยใช้สถานีฐานจำลอง

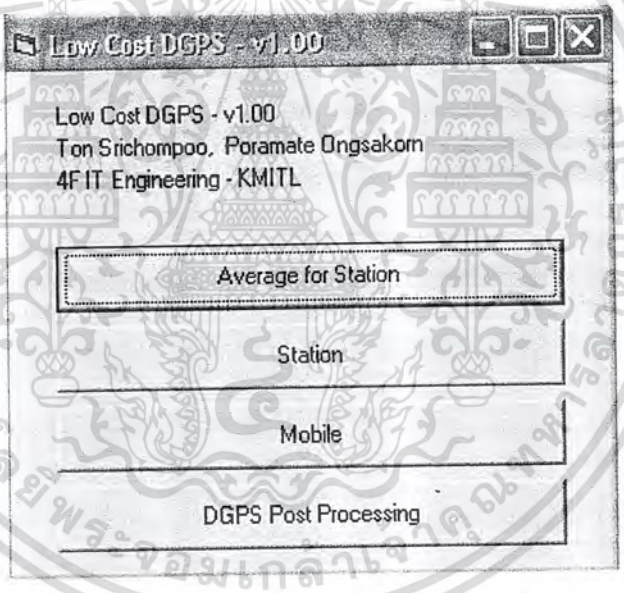
แนวคิดของการค้นคว้าในวิธีนี้คือ เราจะทำสถานีฐานจำลองขึ้นมาจากการตั้งโปรแกรมที่ทำหน้าที่ แทนสถานีฐานซึ่งตอนตั้งโปรแกรมนี้เราจะต้องให้มันเก็บข้อมูลไประยะหนึ่งก่อน แล้วจึงนำข้อมูลที่เก็บมาได้ทั้งหมดนั้นมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อนำไปใช้เป็นค่า "ตำแหน่งที่ตั้งที่เรายอมรับได้" จากนั้นเราก็ทำการ เปิดตัวโปรแกรมอีกตัวที่ทำหน้าที่เป็นเครื่องรับทั่วไป จากนั้นเราจะทำการรับข้อมูลทั้งคู่ จากนั้นเราจะให้ตัวสถานีที่อยู่กับที่หาค่าความแตกต่างระหว่าง ๆ ค่าที่รับมาได้กับค่าตำแหน่งที่ตั้งที่เรายอมรับได้ แล้วจึงนำค่าความแตกต่างที่หามาได้ไปแก้ไขค่าที่เครื่องรับทั่วไปของเรารับมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 โปรแกรม "โลว์ คอส DGPS"

เป็นโปรแกรมที่เขียนขึ้นเพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าผิดพลาดและนำไปทำการแก้ไข โดยโปรแกรมนี้จะมีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้คือ

1. ส่วนหาค่าเฉลี่ยที่นำมาใช้เป็นค่า "ตำแหน่งที่ตั้งที่เรายอมรับได้"
2. ส่วนของตัวที่ทำหน้าที่เป็นสถานีฐานที่คอยรับข้อมูลจากดาวเทียมแล้วนำมาหาค่าผลต่างกับค่าเฉลี่ยที่หาไว้
3. ส่วนของตัวเครื่องรับที่จะรับข้อมูลจากดาวเทียมมาเก็บไว้
4. ส่วนของตัว "โพส โปรเซสซิ่ง" (Post Processing) ที่จะนำค่าที่ได้จากตัวเครื่องรับมาแก้ไขโดยค่าที่ได้จากสถานีฐาน



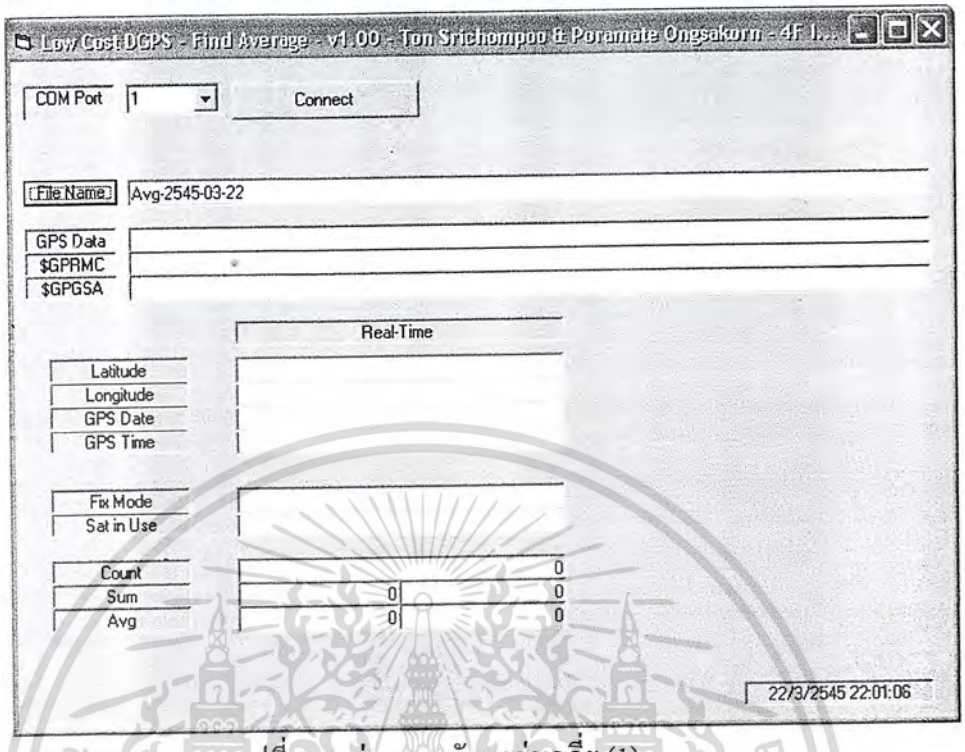
รูปที่ 3.13 หน้าหลักของตัวโปรแกรม โลว์ คอส DGPS

โดยแต่ละส่วนมีรายละเอียดดังนี้

3.4.1.1 ส่วนหาค่าเฉลี่ย

ส่วนนี้จะถูกใช้งานเมื่อสถานีฐานถูกตั้งขึ้นใหม่โดยจะทำการรันทิ้งเอาให้รับข้อมูลพิกัดเข้ามาเรื่อย ๆ และทำการหาค่าเฉลี่ยจากข้อมูลทั้งหมดที่รับเข้ามาเพื่อนำมาเป็นตำแหน่งที่ตั้งของสถานี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



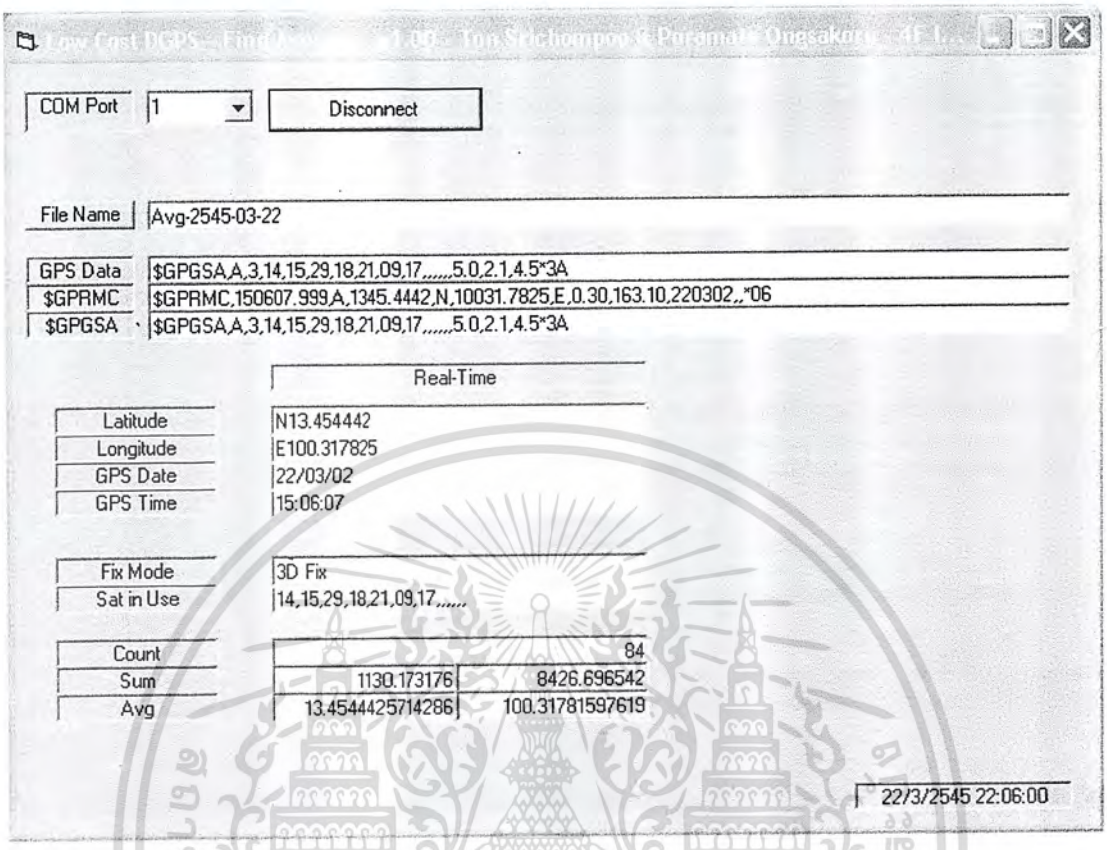
รูปที่ 3.14 ส่วนของตัวหาค่าเฉลี่ย (1)

จากรูปจะเป็นตอนที่เรากดปุ่ม "File Name" โดยชื่อไฟล์ที่จะเซฟจะถูกตั้งขึ้นเองโดยอัตโนมัติโดยอยู่ในลักษณะของ "Avg-yyyy-mm-dd"

จากนั้นเมื่อเรากดปุ่ม "Connect" โปรแกรมจะทำการรับข้อมูลมาเรื่อย ๆ และทำการหาค่าเฉลี่ย ข้อมูลทั้งหมดอยู่ตลอด โดยจะแสดงจำนวนข้อมูลที่รับเข้ามาที่ช่อง "Count" และค่าเฉลี่ยจะถูกแสดงอยู่ในช่องของ "Avg"

เมื่อเราเก็บข้อมูลจนเป็นที่พอใจแล้วก็กดปุ่ม "Disconnect" ค่าเฉลี่ยสุดท้ายที่เก็บมาได้ก็จะถูกเซฟลงไปในไฟล์ให้พร้อมนำไปใช้ได้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



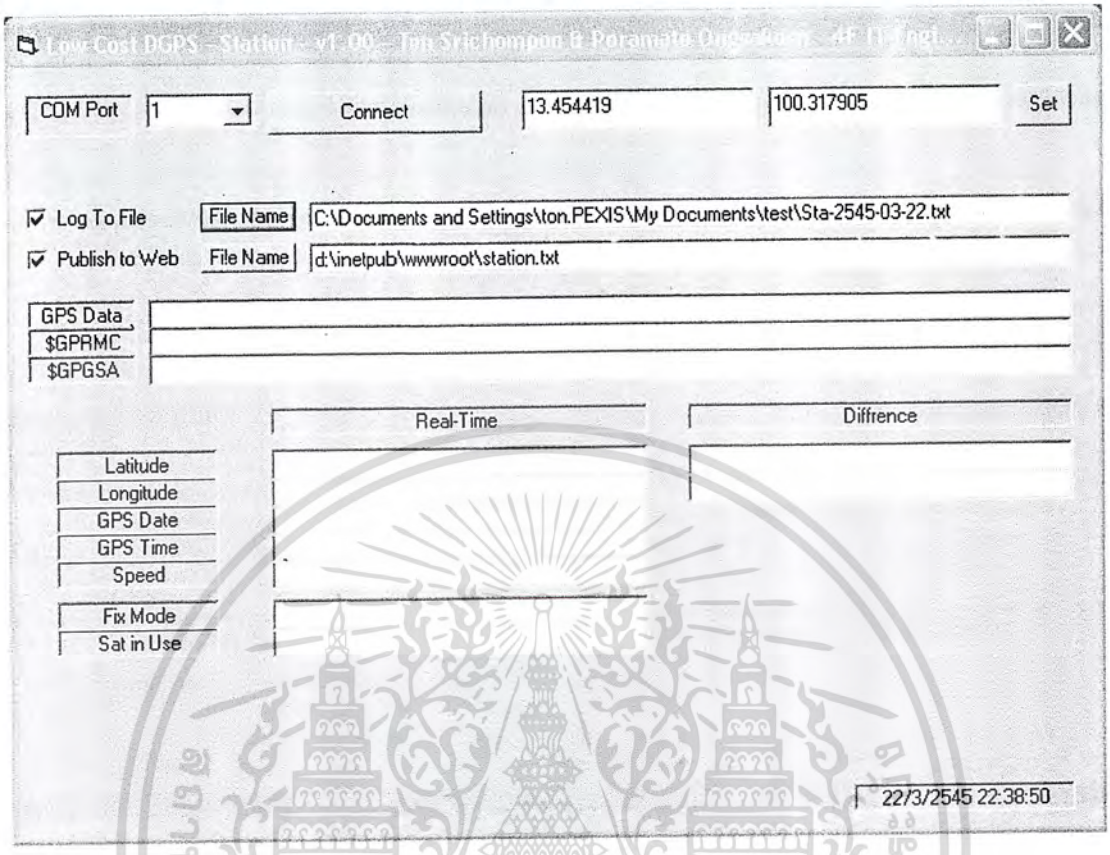
รูปที่ 3.15 ส่วนของตัวหาค่าเฉลี่ย (2)

3.4.1.2 ส่วนของสถานีฐาน

ส่วนนี้จะทำหน้าที่เป็นตัวสถานีฐานที่คอยรับข้อมูลจากดาวเทียมและหาค่าแตกต่างระหว่างข้อมูลที่รับมากับค่าสถานที่ตั้งไปเรื่อย ๆ ในแต่ละแซมปลิ้ง จากนั้นนำค่าที่หามาได้ไปเก็บไว้เพื่อที่จะนำไปแก้ไขค่าที่รับมาจากเครื่องรับต่อไป

โดยค่าแตกต่างที่ถูกเก็บไว้นี้จะถูกเซฟอยู่ในเวป ทำให้สามารถดาวน์โหลดไปใช้ได้จากที่อื่นโดยไม่จำเป็นต้องนำข้อมูลที่ตัวเครื่องรับนั้นเก็บได้มาทำการประมวลผลในสถานที่ ๆ ตัวสถานีฐานตั้งอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



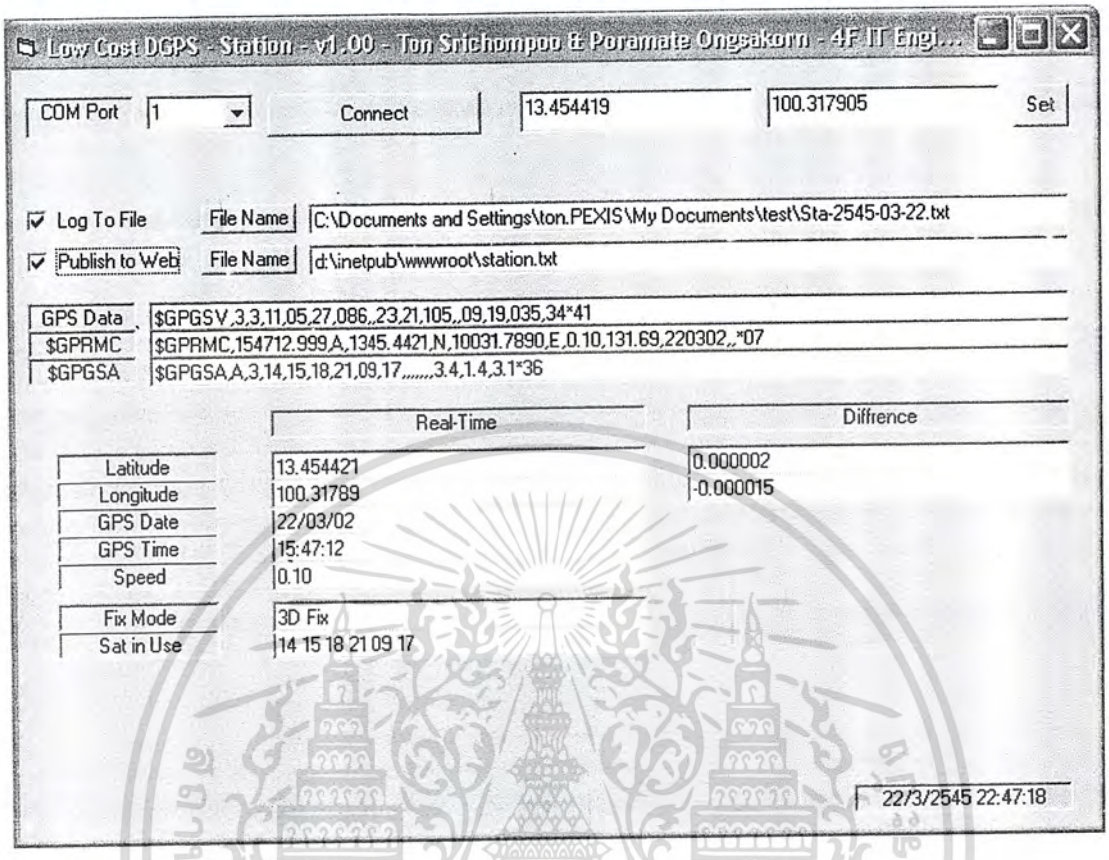
รูปที่ 3.16 ส่วนของตัวสถานีฐาน (1)

จากรูปเราสามารถเลือกได้ในตอนที่รันโปรแกรมว่าจะให้เซฟออกมาในรูปแบบไฟล์หรือทำการอัฟโหลดขึ้นไปในเวป โดยให้เลือกในเช็คบอกซ์

ส่วนค่าเฉลี่ยที่เราหามาได้ก่อนหน้านี้นั้นก็จะถูกโหลดขึ้นมาแสดงไว้ตรงมุมขวาบนดังรูปโดยเราสามารถเซ็ทให้เป็นค่าอื่นได้ตามต้องการ

จากนั้นเมื่อเรากดปุ่ม “Connect” โปรแกรมจะรับข้อมูลมาจากดาวเทียมแล้วนำข้อมูลที่รับมาได้นั้นไปหาค่าแตกต่างกับค่าเฉลี่ยและแสดงผลดังกล่าวให้ดูในช่อง “Difference” ในทุก ๆ การแซมปลิ้ง โดยค่าทั้งหมดจะถูกเซฟลงไปในfileในรูป “Sta-yyyy-mm-dd”

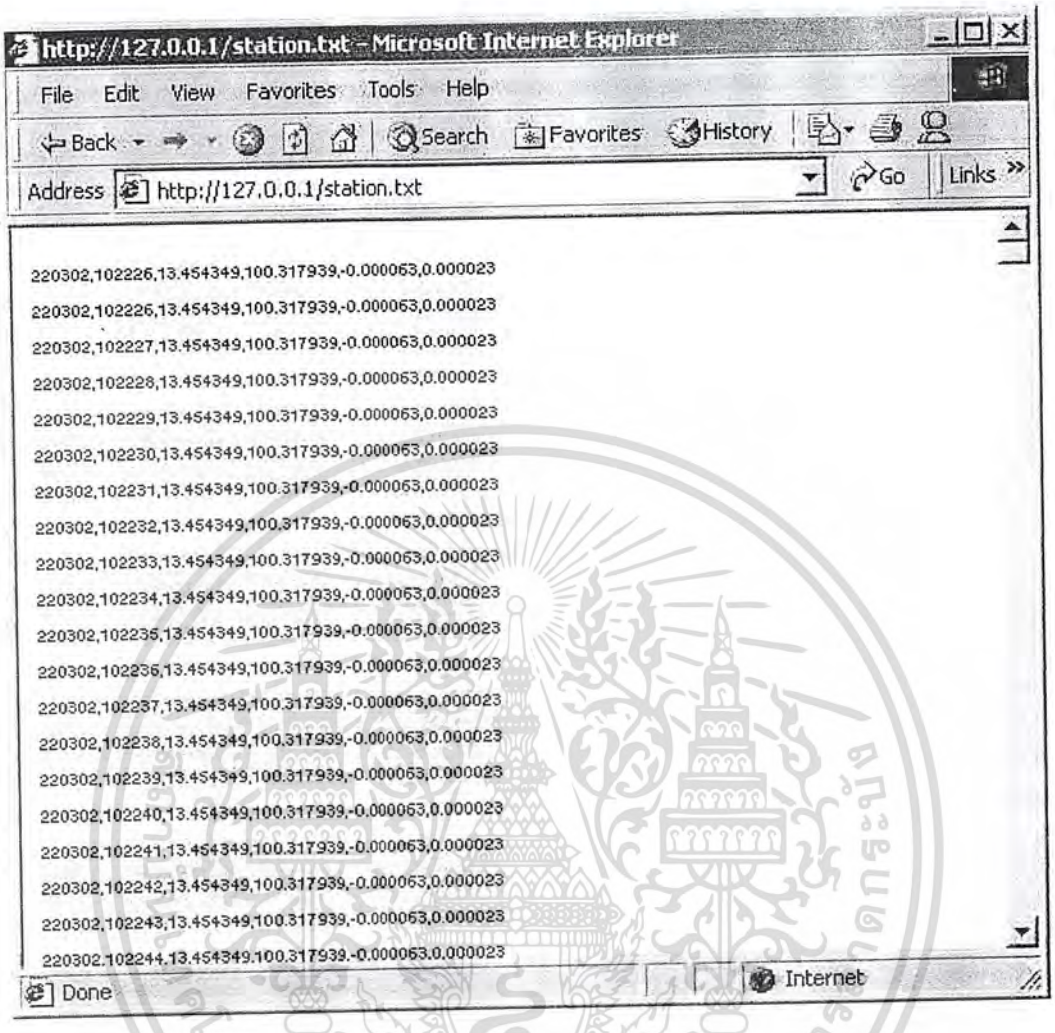
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 ส่วนของสถานีฐาน (2)

ส่วนภาพถัดไปนั้นเป็นส่วนของการนำแสดงผลทางเวปไซท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

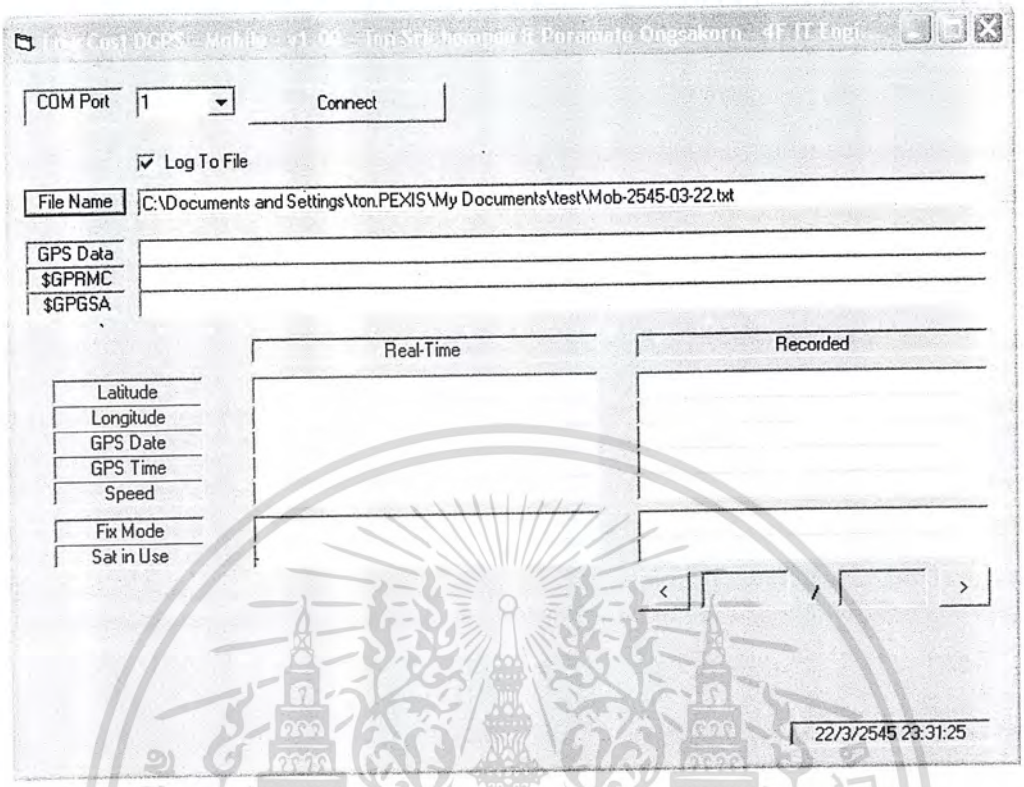


รูปที่ 3.18 ส่วนที่แสดงผลออกทางเวป

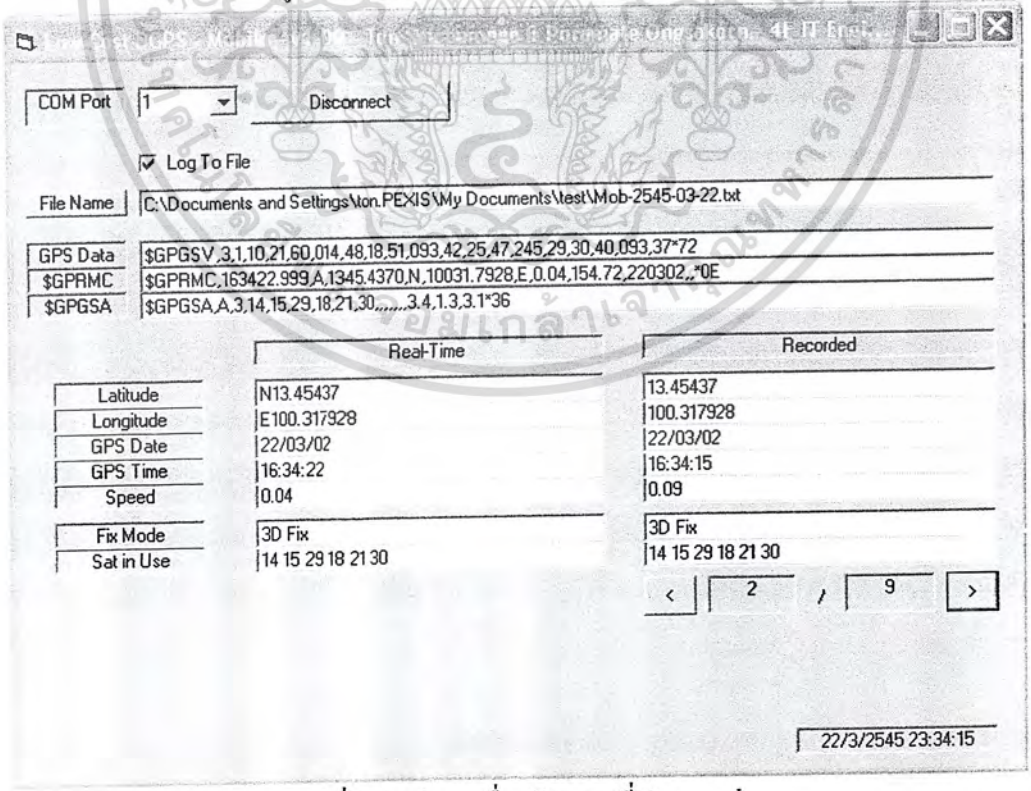
3.4.1.3 ส่วนของตัวเครื่องรับข้อมูล

ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่มีลักษณะคล้ายกับตัว GPS ล๊อคเกอร์ คือจะทำหน้าที่รับข้อมูลจากดาวเทียมมาเก็บเอาไว้เท่านั้นซึ่งหน้าตาและวิธีการทำงานก็จะเหมือนกับตัว GPS ล๊อคเกอร์ที่ได้กล่าวถึงไปในส่วนก่อนหน้านี้แล้ว จะมีส่วนที่แตกต่างกันก็คือ การเซฟลงไฟล์จะเป็นในรูปแบบ "Mob-yyyy-mm-dd"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.19 ส่วนเครื่องรับตอนที่สั่งเซฟไฟล์

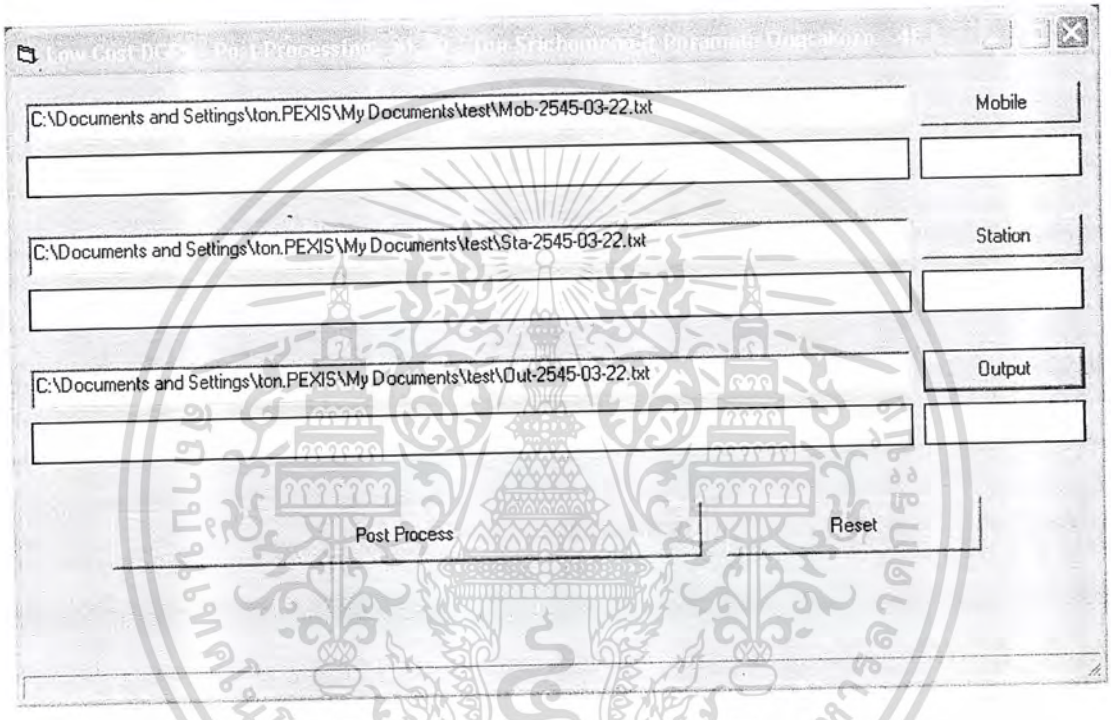


รูปที่ 3.20 ส่วนเครื่องรับตอนที่ทำงานอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1.4 ส่วนโพส โปรเซสซิ่ง

เป็นส่วนที่จะทำงานเป็นส่วนสุดท้ายของโปรแกรมนี้ กล่าวคือ เมื่อเราได้ค่าผลต่างระหว่างพิกัดที่สถานีฐานรับได้กับค่าเฉลี่ย และค่าที่เรารับได้จากเครื่องรับมาแล้วเราจะนำมาผ่านส่วนนี้เพื่อที่จะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่ากัดที่ได้รับการแก้ไขแล้ว



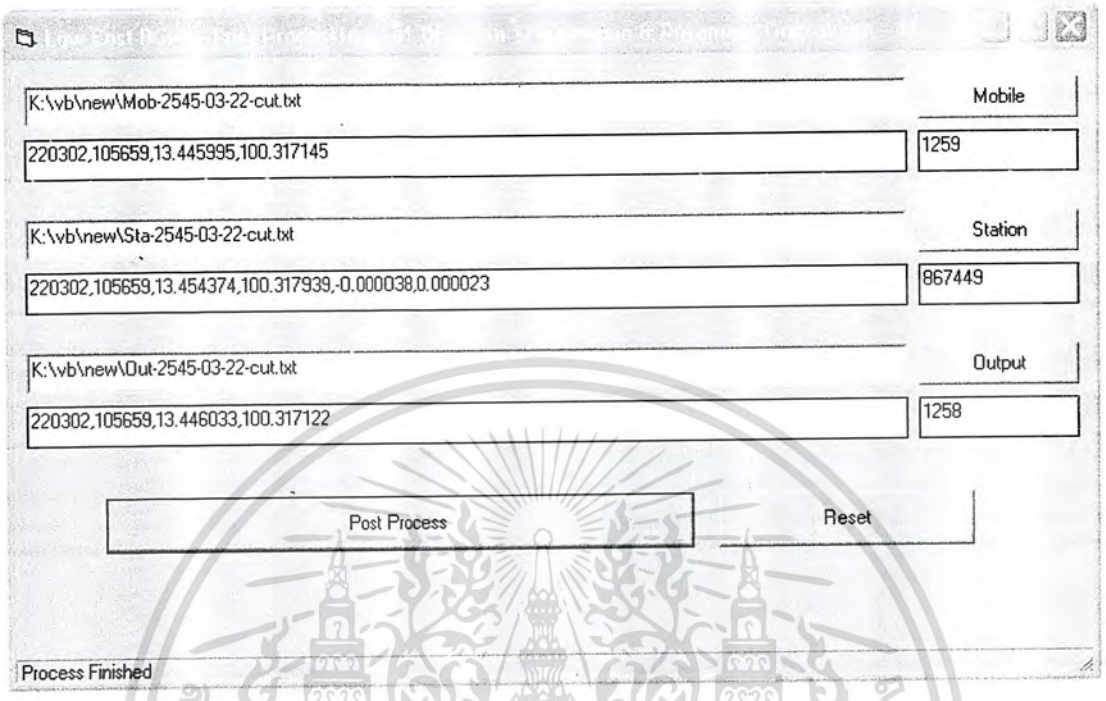
รูปที่ 3.21 ส่วนโพสโปรเซสซิ่ง (1)

จากรูปเราจะทำการเลือกไฟล์ที่ทำการเซฟเอาไว้จากส่วนก่อนหน้านี้เพื่อเอามาทำการโพส โปรเซสซิ่งโดยเราจะต้องเลือกไฟล์จากส่วน ของ Mobile และส่วน สถานีฐาน

โดยผลลัพธ์ที่ได้จะถูกเซฟออกมาในรูปของไฟล์ที่มีลักษณะเป็น “Out-yyyy-mm-dd”

ต่อจากนั้นเมื่อเรากดปุ่ม “Post Process” โปรแกรมจะทำการแก้ไข ค่าจากเครื่องรับทั้งหมดด้วยผลต่างที่ได้จากสถานีฐานแล้วทำการเซฟเก็บเอาไว้ โดยถ้าต้องการเลือกค่าใหม่สามารถทำได้โดยการกดปุ่ม Reset

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



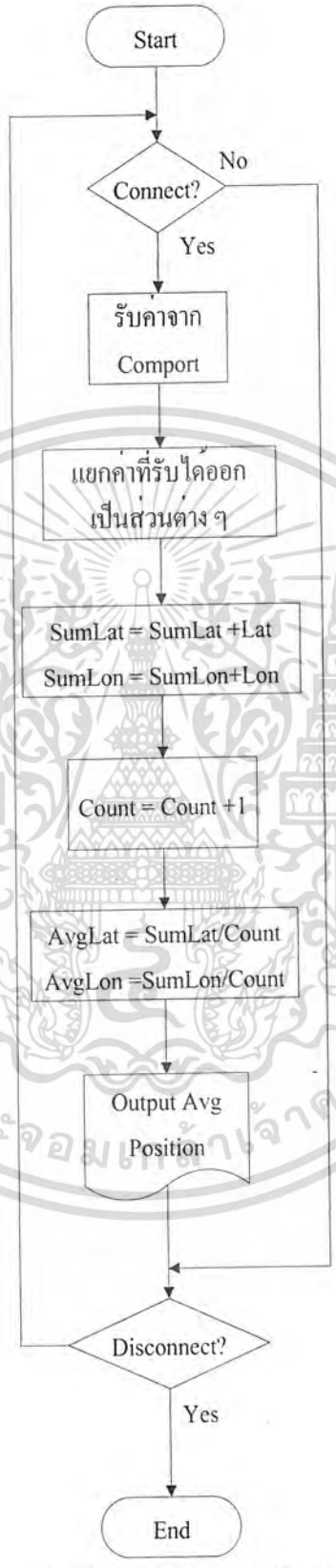
รูปที่ 3.22 แสดงผล Post Processing

เมื่อผ่านกระบวนการขั้นสุดท้ายนี้แล้ว ผลลัพธ์ที่ได้ก็สามารถนำไปใช้ในการทำงานได้ต่อไป เช่นการทำแผนที่ หรือการทำแผนผังเส้นทาง

3.4.2 โฟล์วชาร์ตของโปรแกรม

โฟล์วชาร์ตส่วนของการหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

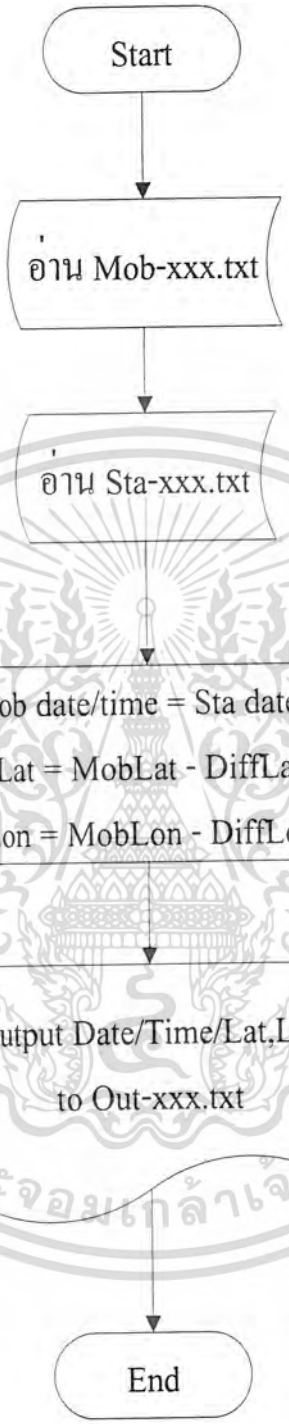


รูปที่ 3.23 โฟล์วชาร์ตส่วนการหาค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.24 โฟล์วชาร์ตส่วนของตัวสถานีฐาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 โฟล์วชาร์ตของส่วน โพส โปรเซสซิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการศึกษาวิจัย

4.1 ช่วงของการเก็บข้อมูลเพื่อหาสมการทางคณิตศาสตร์มาแก้ไข

หลังจากที่ได้ทำการเก็บข้อมูลมาระยะหนึ่งแล้วเราจึงได้นำข้อมูลเหล่านั้นมาพิจารณาดู โดยนำมาจัดแสดงผลออกมาเป็นรูปแบบของกราฟ ดังที่จะยกตัวอย่างให้ดูต่อไปนี้

ในตัวอย่างนี้เราทำการเก็บข้อมูลโดยใช้ GPS สองตัวเก็บข้อมูลพร้อม ๆกันในเวลาเดียวกัน คือ ตั้งแต่เวลา 18นาฬิกา 2 นาที 55 วินาทีถึง 18 นาฬิกา 11 นาที 14 วินาที ด้วยอัตราการแซมปลิ้ง 1 ครั้งต่อวินาที ดังนั้นจึงได้ข้อมูลออกมา 500 บรรทัด และได้นำตัวอย่างมาให้ดูดังนี้

จาก GPS ตัวแรก

1346.0903	10028.698	110102	180255	21	25	18	30	14	15	22
1346.0903	10028.698	110102	180256	21	25	18	30	14	15	22
1346.0903	10028.6979	110102	180257	21	25	18	30	14	15	22
1346.0903	10028.6979	110102	180258	21	25	18	30	14	15	22
1346.0902	10028.6978	110102	180259	21	25	18	30	14	15	22
1346.0902	10028.6977	110102	180300	21	25	18	30	14	15	22
1346.0902	10028.6977	110102	180301	21	25	18	30	14	15	22
1346.0901	10028.6977	110102	180302	21	25	18	30	14	15	22
1346.0901	10028.6977	110102	180303	21	25	18	30	14	15	22
1346.0901	10028.6976	110102	180304	21	25	18	30	14	15	22
1346.09	10028.6976	110102	180305	21	25	18	30	14	15	22
1346.09	10028.6976	110102	180306	21	25	18	30	14	15	22
1346.09	10028.6976	110102	180307	21	25	18	30	14	15	22
1346.0899	10028.6976	110102	180308	21	25	18	30	14	15	22
1346.0899	10028.6976	110102	180309	21	25	18	30	14	15	22

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลที่รับได้จาก GPS ตัวแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

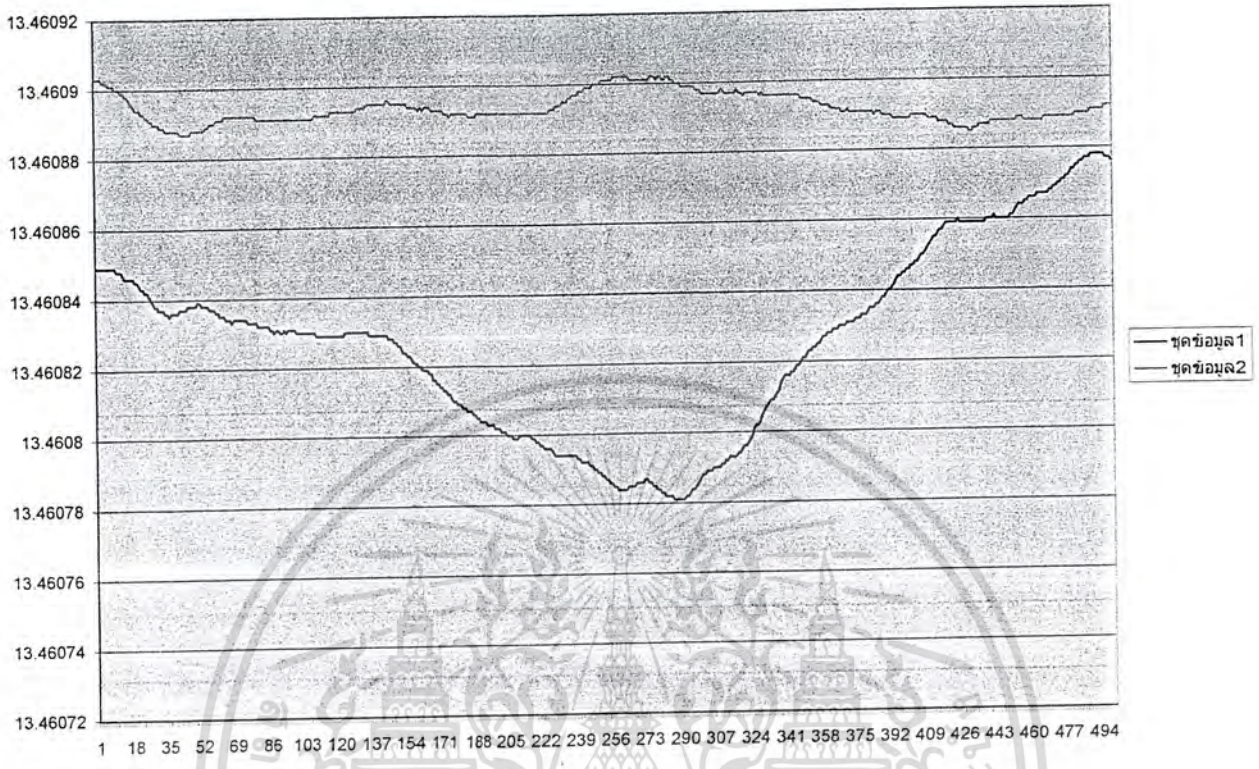
จาก GPS ตัวที่สอง

1346.0842	10028.7114	110102	180255	21	25	18	17	23	30	29	15
1346.0842	10028.7113	110102	180256	21	25	18	17	23	30	29	15
1346.0841	10028.7112	110102	180257	21	25	18	17	23	30	29	15
1346.084	10028.7111	110102	180258	21	25	18	17	23	30	29	15
1346.0839	10028.711	110102	180259	21	25	18	17	23	30	29	15
1346.0838	10028.7109	110102	180300	21	25	18	17	23	30	29	15
1346.0838	10028.7108	110102	180301	21	25	18	17	23	30	29	15
1346.0837	10028.7108	110102	180302	25	18	17	23	30	29	15	
1346.0837	10028.7107	110102	180303	21	25	18	17	23	30	29	15
1346.0837	10028.7106	110102	180304	21	25	18	17	23	30	29	15
1346.0836	10028.7105	110102	180305	21	25	18	17	23	30	29	15
1346.0836	10028.7104	110102	180306	21	25	18	17	23	30	29	15
1346.0835	10028.7103	110102	180307	21	25	18	17	23	30	29	15
1346.0836	10028.7103	110102	180308	21	25	18	17	23	30	29	15
1346.0836	10028.7103	110102	180309	21	25	18	17	23	30	29	15

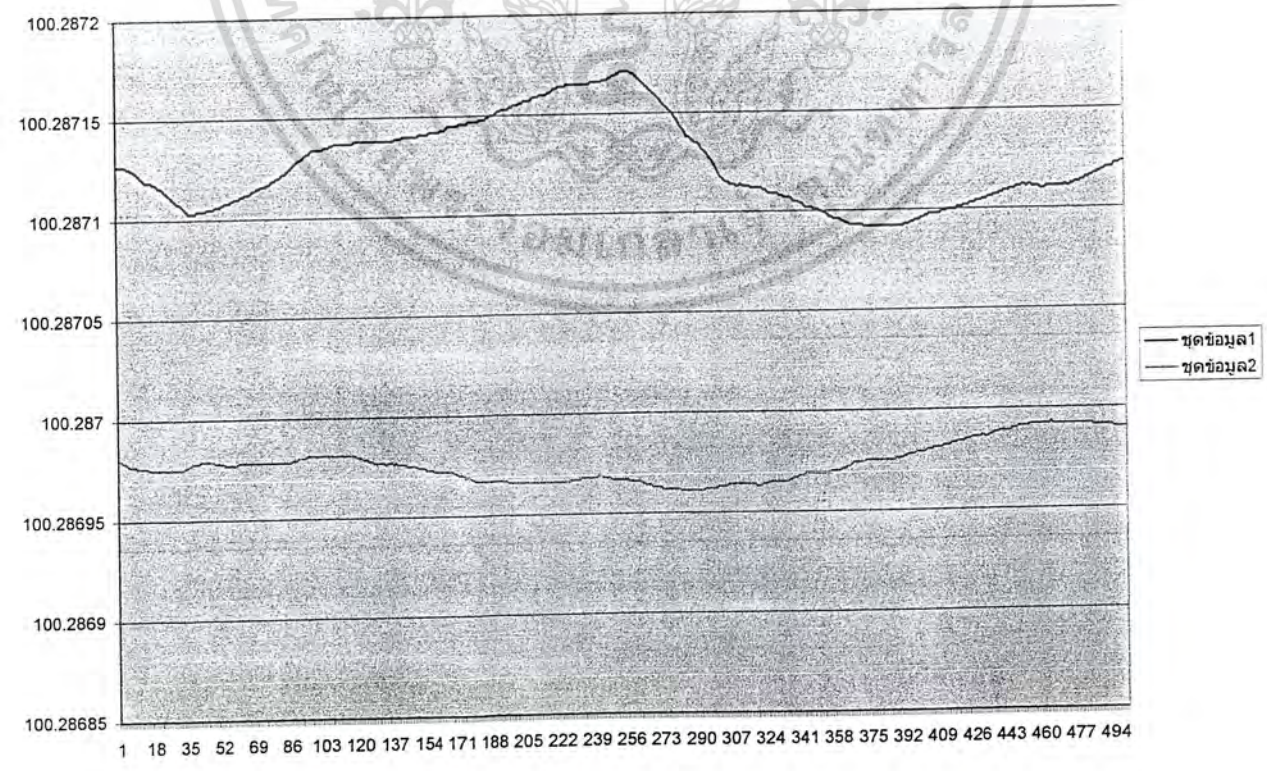
ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลที่ได้รับจาก GPS ตัวที่สอง

ซึ่งถ้านำมาแสดงเอาไว้ทั้งหมดจะเป็นการยากต่อการพิจารณาเราจึงทำสรุปข้อมูลออกมาในรูปของกราฟโดยทำออกมาเป็น แลทติจูด เทียบกับเวลา และลองติจูดเทียบกับเวลาของ GPS ทั้งสองตัว ซึ่งจากรูปนั้นเราจะพบว่า กราฟทั้งสองนั้นไม่ได้มีลักษณะคล้ายกับรูปฟอร์มของกราฟใด ๆ และเป็นการยากอยากยิ่งที่จะคาดเดาพฤติกรรมหรือรูปแบบของมัน เราจึงต้องหาวิธีอื่นต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบผลของค่าแลดติจูดรับมาต่อเวลา

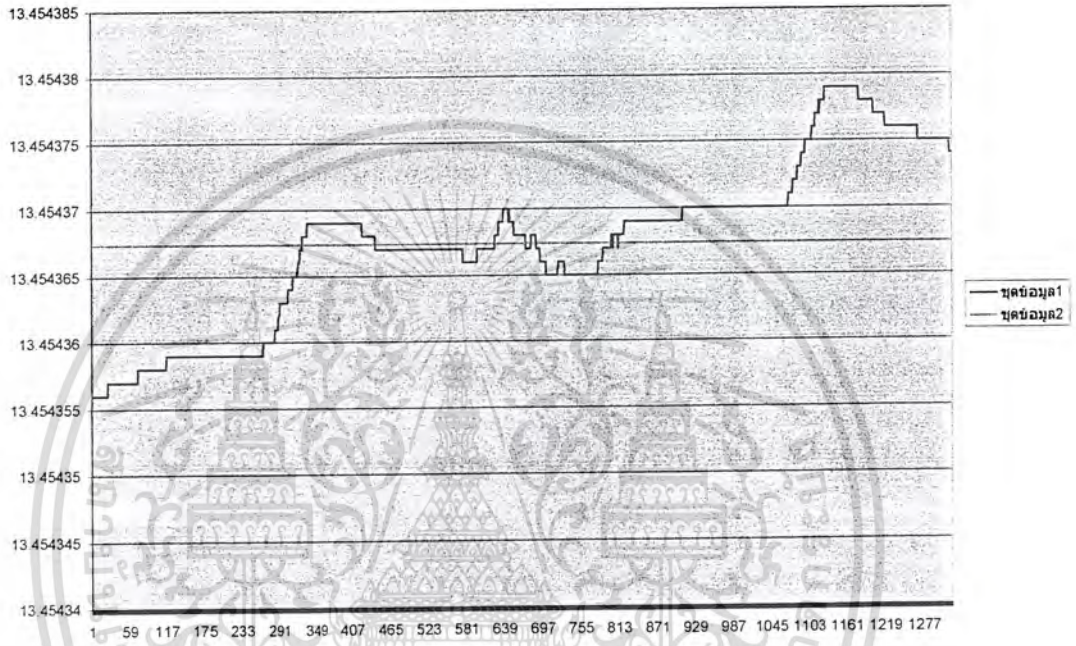


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

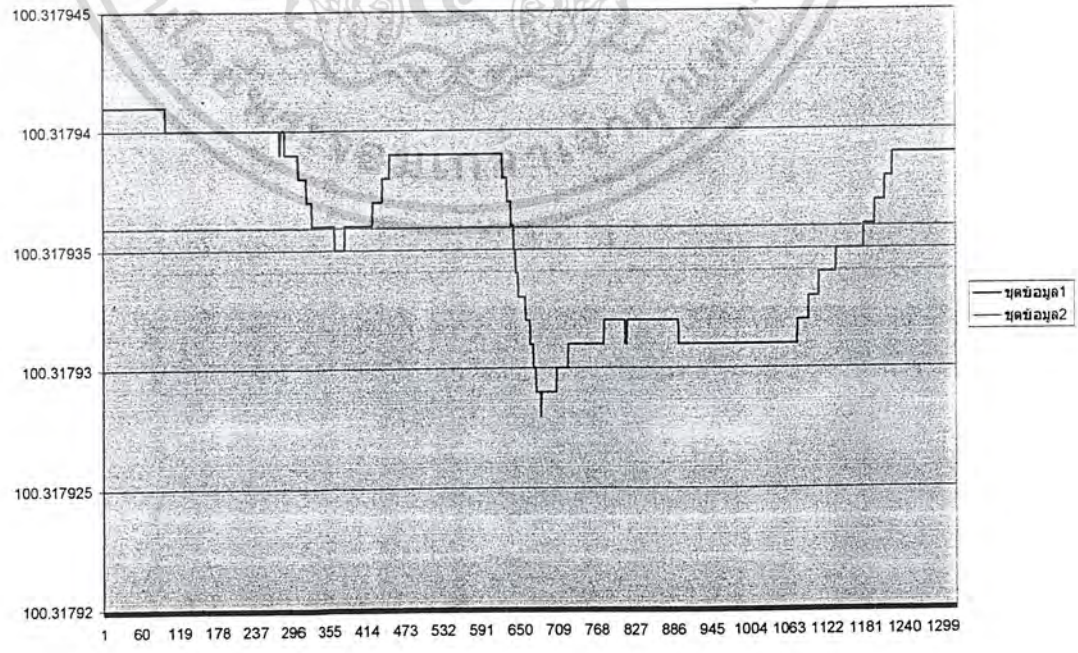
รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบผลของค่าลองติจูดที่รับมาต่อเวลา

4.2 ผลการทดลองการทำสถานีฐานจำลอง

ผลที่ได้จากการรันโปรแกรมเพื่อหาค่าเฉลี่ย และค่าที่เก็บได้ที่สถานีฐานสามารถพลอตออกมาเป็นกราฟได้ดังนี้



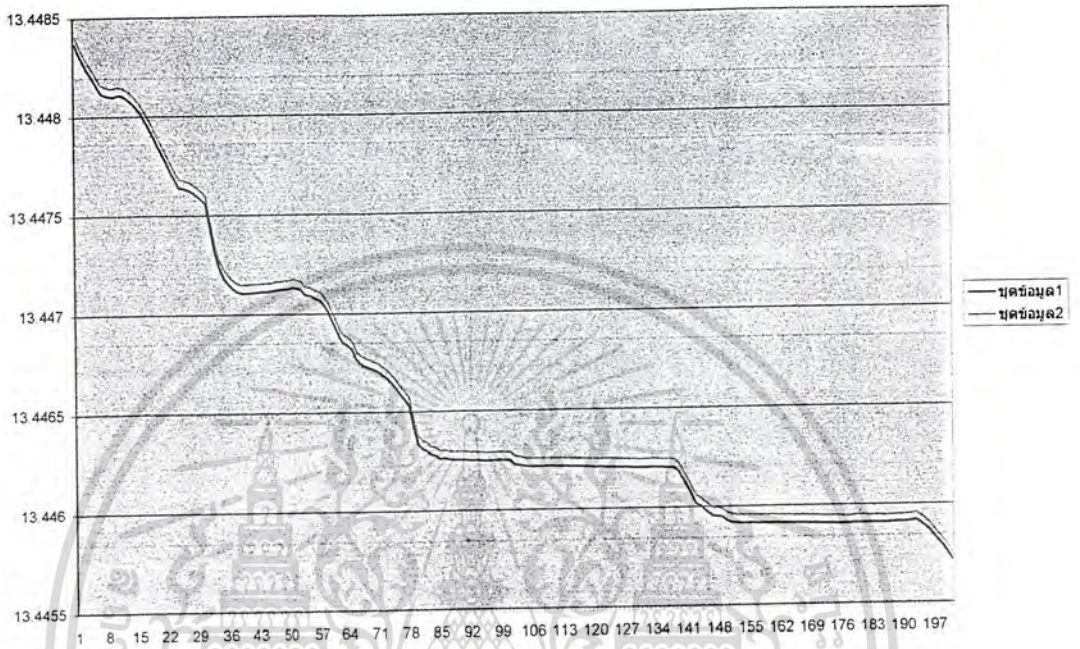
รูปที่ 4.3 แสดงค่าแลทติจูดของสถานีฐานเทียบกับค่าเฉลี่ย



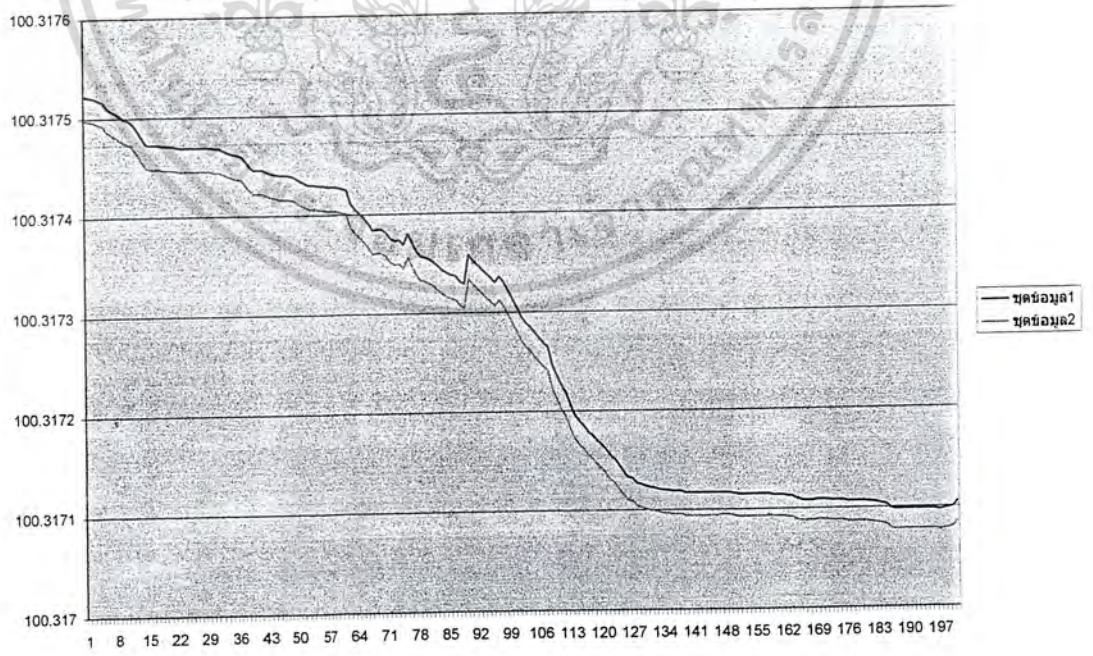
รูปที่ 4.4 แสดงค่าลองติจูดของสถานีฐานเทียบกับค่าเฉลี่ย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และค่าที่เก็บมาได้จากตัวเครื่องรับกับค่าที่ผ่านการแก้ไขโดยกระบวนการ โพส โปรเซสซิ่ง แล้วก็ได้ถูกนำมาเปรียบเทียบกันไว้ดังกราฟข้างล่างนี้



รูปที่ 4.5 แสดงแลดติจูดของข้อมูลก่อนและหลังผ่านกระบวนการ



รูปที่ 4.6 แสดงลองติจูดของข้อมูลก่อนและหลังผ่านกระบวนการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเส้นสีเข้มจะแสดงถึงข้อมูลที่เก็บได้ก่อนนำไปผ่านกระบวนการ โพส โปรเซสซิ่งและเส้นสีอ่อนแสดงถึงข้อมูลหลังจากที่ผ่านกระบวนการแล้ว

จากกราฟข้างต้นเราจะเห็นได้ว่าเมื่อผ่านกระบวนการ โพส โปรเซสซิ่งแล้วจะทำให้กราฟที่ได้มีความคงที่มากยิ่งขึ้นสังเกตได้จากรอยหยักที่น้อยลง (รูปข้างต้นอาจมองได้ไม่ชัดเท่าที่ควรเนื่องจากข้อมูลมีปริมาณมากยากต่อการแสดงผล) นั่นแสดงถึงความผิดพลาดที่น้อยลงไปในระดับหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาวิจัยของเราได้ผลในระดับหนึ่งแต่เรายังไม่มีข้อพิสูจน์ว่าระบบของเรานั้นแก้ไขข้อผิดพลาดของข้อมูลได้ใกล้เคียงระบบ DGPS ของจริงแค่ไหน เนื่องจากเราไม่มีเครื่อง DGPS จริง ๆมาใช้ในการทดลอง ดังนั้นถ้ามีการนำโครงงานนี้ไปลองเปรียบเทียบกับ DGPS ของจริงก็คงจะดีไม่น้อยทีเดียว ซึ่งพวกเราก็หวังเป็นอย่างยิ่งว่าถ้าผลออกมาในระดับที่ยอมรับได้ โครงงานนี้ก็จะเป็นประโยชน์ต่อไปในฐานะโครงงานที่เปิดโอกาสให้ผู้สนใจหรือผู้ที่ต้องการใช้งาน GPS ได้ใช้ GPS ที่มีความแม่นยำเพิ่มขึ้นในราคาที่ยอมรับได้

จากการที่ได้ทำการทดลองศึกษาและค้นคว้าในการทำ DGPS ราคาถูกนี้มาหลายวิธี เราพบปัญหาดังต่อไปนี้

ปัญหาแรกคือการศึกษาวิจัยในเรื่องของ GPS ในประเทศไทยนั้นยังไม่ค่อยแพร่หลายมากนักทำให้ยากต่อการหาข้อมูลและที่ปรึกษา เวลาเขียนโปรแกรมที่มีการติดต่อกับตัว GPS นั้นบางทีเกิดปัญหาขึ้นก็ต้องหาวิธีการแก้ไขเอาจากแหล่งข้อมูลในต่างประเทศ

ปัญหาถัดมาคือเครื่อง GPS อีกตัวหนึ่ง (ตัวที่จัดหามาเอง) ที่ใช้อยู่นั้นมีประสิทธิภาพไม่ดีนักทำให้การจับสัญญาณเป็นไปได้อย่างยากลำบากพอควร

พวกเราหวังว่าในอนาคตข้างหน้านั้นเทคโนโลยีด้าน GPS นั้นคงจะเป็นที่แพร่หลายมากขึ้นในประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

ข้อมูลอ้างอิง

เอกสารและงานวิจัยอ้างอิง

- Differential GPS Corrections Protocol (DGPS) For the Caltrans TCFI Automatic Vehicle Location System Test bed

Ying Yan MAT 293 Spring, 2001 @ UCSB

- GPS ROUTE RECORDING SYSTEM

Mr. Chatchai Meesanga Mr. Chatchay Wongyala

Advisor Mr. Boonchana Purahong

Department Industrial Technology KMITL

แหล่งข้อมูลบนอินเตอร์เน็ท

GPS

- http://www.cs.latrobe.edu.au/~image/crcss/GPS.html
- http://home-2.worldonline.nl/~samsyl/oemtable.htm
- http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html
- http://www.trimble.com/gps/triangulating1.html
- http://www.howstuffworks.com/gps1.htm
- http://www.fugawi.com/
- http://www.leadtek.nl/new/uk/pages/gps/952.htm
- http://www.pharosgps.com/products/igps-180.htm
- http://www.rojone.com/gpsrxindex.htm
- http://users.erols.com/dlwilson/gpsacc.htm
- http://users.erols.com/dlwilson/gpscomp.htm
- http://www2.geod.nrcan.gc.ca/~craymer/gps.html
- http://www.spatial.maine.edu/~leick/alpha.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DGPS

- http://www.cs.ucsb.edu/~almeroth/classes/193/S01-yan/
- http://gipsy.jpl.nasa.gov/igdg/system/
- http://www.wsrcc.com/wolfgang/gps/dgps-ip.html
- http://maps.unomaha.edu/Peterson/gis/Final_Projects/1996/Bohrer/DGPS.HTM
- http://www.redsword.com/GPS/old/sum_dgp.htm

Kalman Filtering

- http://www.cs.unc.edu/~welch/kalman/
- http://www.ee.cityu.edu.hk/~gchen/kalman.html
- http://www.ee.cityu.edu.hk/~gchen/kalman.html
- http://heplsrv1.harvard.edu/~rlee/minos/kalman/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้