

ระบบติดตามยานพาหนะโดยใช้จีพีเอสและการทำนายตำแหน่ง
ด้วยกาลมานอัลกอริธึม

นางสาวเสาวริน กันหา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2551

**VEHICLE TRACKING SYSTEMS USING GPS
AND POSITION PREDICTION WITH
KALMAN ALGORITHM**

Saowarin Kanha

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Telecommunication Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2008

ระบบติดตามยานพาหนะโดยใช้จีพีเอสและการทำนายตำแหน่ง
ด้วยคาลมานอัลกอริทึม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.ชาญชัย ทองโสภิต)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.รังสรรค์ ทองทา)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.ชุติมา พรหมมาก)

กรรมการ

(ศ. ดร.ไพโรจน์ สัตยธรรม)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ จำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

เสาวริน กันหา : ระบบติดตามยานพาหนะโดยใช้จีพีเอสและการทำนายตำแหน่งด้วย
กาลมานอัลกอริทึม (VEHICLE TRACKING SYSTEMS USING GPS AND POSITION
PREDICTION WITH KALMAN ALGORITHM) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.รังสรรค์
ทองทา, 68 หน้า

ในปัจจุบันมีการนำเอาระบบดาวเทียมจีพีเอส (GPS : Global Positioning System) มาประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ เช่น การทหาร การนำร่อง การเดินเรือ การบิน การติดตาม การสำรวจพื้นที่ การทำแผนที่ เป็นต้น การติดตามยานพาหนะด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสเป็นการบันทึกข้อมูลการเดินทางของยานพาหนะไม่สามารถที่จะแสดงผลการติดตามได้ทันที การนำเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายบนโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่เรียกว่า จีพีอาร์เอส (GPRS : General Packet Radio Service) มาใช้ร่วมกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส โดยให้จีพีอาร์เอสทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลการติดตามยานพาหนะไปยัง server ของผู้ให้บริการ ช่วยให้สามารถแสดงผลการติดตามยานพาหนะเป็นแบบเวลาจริง (real time) ได้ แต่การส่งข้อมูลด้วยจีพีอาร์เอสนั้น ข้อมูลจะถูกส่งมาเป็นช่วงเวลาห่างกันตั้งแต่ 30 ถึง 300 วินาที ทำให้การติดตามยานพาหนะไม่มีความต่อเนื่อง ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงได้นำกาลมานอัลกอริทึมซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพสูงให้ผลการประมาณค่าที่ถูกต้องมาช่วยในการทำนายตำแหน่งของยานพาหนะในช่วงเวลาที่ไม่มีข้อมูลจริงส่งมา และได้มีการนำข้อมูลการติดตามยานพาหนะในอดีตมาประกอบการคำนวณด้วย ทำให้การติดตามยานพาหนะมีความต่อเนื่องและสามารถแสดงผลการติดตามยานพาหนะได้อย่างสมจริงมากยิ่งขึ้น

ในการจำลองระบบการส่งผ่านข้อมูลการติดตามยานพาหนะด้วยจีพีอาร์เอส กำหนดให้ส่งข้อมูลห่างกันทุก ๆ 10 วินาที และในช่วงเวลาที่ไม่มีข้อมูลจริงส่งมา กาลมานอัลกอริทึมจะทำหน้าที่ทำนายตำแหน่งของยานพาหนะในช่วงเวลาดังกล่าว ผลการจำลองระบบมีความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการทำนายตำแหน่งตามแนวละติจูดคิดเป็นระยะทางบนพื้นโลก 25.60 เมตร และความคลาดเคลื่อนตามแนวลองจิจูดคิดเป็นระยะทางบนพื้นโลก 35.97 เมตร

SAOWARIN KANHA : VEHICLE TRACKING SYSTEMS USING GPS
AND POSITION PREDICTION WITH KALMAN ALGORITHM. THESIS
ADVISOR : ASST. PROF. RANGSAN TONGTA, Ph.D., 68 PP.

VEHICLE TRACKING SYSTEMS/POSITION PREDICTION/KALMAN
ALGORITHM.

This thesis presented the Kalman algorithm for position prediction in GPS vehicle tracking applications. Real-time vehicle tracking systems usually use GPRS technology on mobile data networks, e.g., SMS, for data transmission. Therefore, time and location data can only be periodically transmitted over the network. A typical transmission period is ranged from 30 to 300 seconds. During the no data period, the Kalman algorithm can be used to extrapolate the vehicle positions. In this thesis, a real data had been recorded for off-line processing.

The experimental results show that the vehicle tracking errors are 25.60 meter and 35.97 meter for the latitude and longitude direction respectively.

School of Telecommunication Engineering Student's Signature _____

Academic Year 2008 Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผศ.ดร.รังสรรค์ ทองทา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และหัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรม โทecomนาคม ที่ได้ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ไขปัญหาและให้กำลังใจแก่ ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รศ.ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ ผศ.ดร.ชาญชัย ทองโสภณ ผศ.ดร.วิภาวี หัตถกรรม ผศ.ดร.ชุติมา พรหมมาก อ.ดร.ปิยาภรณ์ กระจงนอก อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรม โทecomนาคม ที่ได้ให้ความรู้ทางวิชาการ คำแนะนำและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัย

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา ที่สนับสนุนทุนในการวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนนักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทecomนาคม รุ่นที่ 1 ทุกคน ที่ให้ความช่วยเหลือกันทั้งด้านวิชาการและเป็นกำลังใจที่ดีมาตลอด

ขอขอบคุณทุกกำลังใจจาก เพื่อน ๆ พี่ ๆ พนักงานบริษัท ทีโอที จำกัด (มหาชน) ทุกคน ที่รอคอยแสดงความยินดีในความสำเร็จของน้องคนนี้อยู่เสมอ

สำหรับคุณงามความดีอันเกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดามารดา ผู้เป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอด ประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัย จนทำให้ประสบความสำเร็จในวันนี้

เสาวริน กันหา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ(ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูป.....	ซ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ณ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของเบื้องต้น.....	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	4
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.7 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์.....	5
2 ระบบดาวเทียมจีพีเอส เทคโนโลยีจีพีอาร์เอส และกาลมานอัลกอริธึม.....	7
2.1 กล่าวนำ.....	7
2.2 ระบบดาวเทียมจีพีเอส.....	7
2.2.1 หลักการทำงานพื้นฐานของ GPS.....	10
2.2.2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส.....	15
2.2.3 โพรโทคอลสำหรับอ่านค่าพิกัดจีพีเอส.....	15

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3	เทคโนโลยีจีพีอาร์เอส.....	16
2.3.1	คุณสมบัติของระบบจีพีอาร์เอส.....	17
2.3.2	ประโยชน์ของจีพีอาร์เอส.....	18
2.3.3	รูปแบบการให้บริการของระบบ GPRS.....	18
2.3.4	ข้อจำกัดของจีพีอาร์เอส.....	19
2.4	กาลมานอัลกอริทึม.....	20
2.4.1	สมการเชิงอนุพันธ์และแบบจำลองทางพลวัตแบบเชิงเส้น (differential equations and linear dynamic model).....	20
2.4.2	การจำลองแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete-time model).....	21
2.4.3	กาลมาน ฟิลเตอร์แบบไม่ต่อเนื่อง (discrete Kalman filter).....	23
3	การติดตามยานพาหนะ การจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB	
	และการจัดทำ Web Server.....	28
3.1	กล่าวนำ.....	28
3.2	การติดตามยานพาหนะด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส.....	28
3.3	การจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB.....	35
3.4	การทำ Web Server สำหรับแสดงผลการติดตามยานพาหนะ.....	38
4	ผลการทดลอง.....	40
4.1	กล่าวนำ.....	40
4.2	ผลการติดตามยานพาหนะด้วยจีพีเอส.....	40
4.2.1	การแสดงผลการติดตามยานพาหนะบน โปรแกรม แผนที่สำเร็จรูป.....	40
4.3	ผลการจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB.....	43
4.3.1	การติดตามยานพาหนะตามแนวละติจูด.....	43
4.3.1	การติดตามยานพาหนะตามแนวลองจิจูด.....	44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4	การติดตามยานพาหนะบน web server.....	47
4.5	สรุป.....	50
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	51
5.1	สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	51
5.2	ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	52
5.3	แนวทางการพัฒนาในอนาคต.....	53
	รายงานอ้างอิง.....	54
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. การอ่านข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณ	
	ดาวเทียมจีพีเอส ด้วย NMEA Protocol.....	56
	ภาคผนวก ข. โปรแกรม MATLAB สำหรับจำลองระบบการติดตามยานพาหนะ.....	61
	ภาคผนวก ค. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา.....	66
	ประวัติผู้เขียน.....	68

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ผลการติดตามยานพาหนะตามเส้นทางการเคลื่อนที่จริง.....	42

สารบัญรูป

รูป	หน้า
1.1	โครงสร้างระบบติดตามยานพาหนะแบบเวลาจริง..... 1
2.1	ส่วนประกอบของระบบดาวเทียมจีพีเอส..... 7
2.2	ตำแหน่งและวงโคจรของดาวเทียมจีพีเอส..... 8
2.3	การโคจรรอบโลกของดาวเทียมจีพีเอส..... 8
2.4	สถานีควบคุมของดาวเทียมจีพีเอส..... 9
2.5	ดาวเทียม 1 ดวง ซึ่งเราจะอยู่ที่พื้นผิวของวงกลมที่มีดาวเทียมเป็นศูนย์กลาง มีรัศมี 20,200 กิโลเมตร (11,000 ไมล์)..... 10
2.6	ดาวเทียม 2 ดวง ซึ่งเราจะอยู่ที่วงกลมที่เป็นรอยตัดของทรงกลมทั้งสอง..... 10
2.7	ดาวเทียม 3 ดวง ซึ่งเราจะอยู่ที่วงกลมที่เป็นรอยตัดของทรงกลมทั้งสามใน 3 มิติ ตัด 1 จุด ถ้าเป็นดาวเทียม 4 ดวงจะได้ข้อมูลใน 4 มิติ คือ X, Y, Z, T ซึ่งจะทำให้ แม่นยำมากขึ้น..... 11
2.8	การส่งข้อมูลแบบ Circuit Switch และแบบ Packet Switch..... 17
2.9	การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี GPRS..... 20
2.10	ขั้นตอนการทำงานของกาลมานอัลกอริธึม..... 25
2.11	แผนผังสมการกาลมาน..... 26
3.1	เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส Garmin eTrex Legend..... 29
3.2	หน้าจอแสดงข้อมูลดาวเทียมและค่าพิกัด..... 30
3.3	หน้าจอแสดงแผนที่..... 30
3.4	แสดงการนำทางแบบเป็นเข็มทิศ..... 31
3.5	หน้าจอแสดงข้อมูลเกี่ยวกับการเดินทาง..... 31
3.6	หน้าจอตัวเลือกหลัก..... 32
3.7	การตั้งค่า communication port สำหรับอ่านค่าพิกัดจากจีพีเอส..... 33
3.8	ขั้นตอนการจำลองระบบติดตามยานพาหนะ..... 35

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป	หน้า
3.9 ช่วงเวลาการส่งค่าพิกัดเข้าสู่ขั้นตอนการทำงาน.....	36
3.10 โครงสร้างการติดตามยานพาหนะ.....	37
4.1 การแสดงผลการติดตามยานพาหนะบนโปรแกรม GoogleEarth.....	41
4.2 การแสดงผลการติดตามยานพาหนะบนโปรแกรม MapSource.....	41
4.3 เส้นทางการเคลื่อนที่จริงของการติดตามยานพาหนะ.....	42
4.4 ผลการติดตามยานพาหนะตามแนวละติจูด.....	43
4.5 ผลการติดตามยานพาหนะตามแนวลองจิจูด.....	44
4.6 ค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวละติจูด.....	45
4.7 ค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวลองจิจูด.....	46
4.8 ค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวลองจิจูด.....	47
4.9 การติดตามรถเมล์สายหอพักหญิงแสดงบนแผนที่ GoogleMap.....	48
4.10 การติดตามรถเมล์สายหอพักหญิงแสดงบนแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม.....	48
4.11 การติดตามรถเมล์สายหอพักชายแสดงบนแผนที่ GoogleMap.....	49
4.12 การติดตามรถเมล์สายหอพักชายแสดงบนแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม.....	49

คำอธิบายสัญลักษณ์ และคำย่อ

GPS	=	Global Positioning System
GPRS	=	General Packet Radio Service
SMS	=	Short Message Service
x	=	State Space (สภาวะระบบ)
F,G	=	rectangular matrix
u	=	white noise
W	=	power spectral density matrix
x_k	=	สภาวะระบบ (หรือตัวประมาณค่า) ที่เวลา t_k
\hat{x}_k^-	=	สภาวะระบบก่อนการทำนายที่เวลา t_k
\hat{x}_k	=	สภาวะระบบหลังการปรับแก้ที่เวลา t_k
Φ_k	=	transition matrix ที่เวลา t_k
w_k	=	สัญญาณรบกวนจากระบบ (process noise) ที่เวลา t_k
v_k	=	สัญญาณรบกวนจากการวัด (measurement noise) ที่เวลา t_k
Q_k	=	covariance matrix ของ w_k
R_k	=	covariance matrix ของ v_k
H_k	=	connection matrix ระหว่าง z_k และ x_k ที่เวลา t_k
P_k	=	error covariance หลังการปรับแก้
P_k^-	=	error covariance ก่อนการปรับแก้
z_k	=	ค่าจริงที่ได้จากการวัด
K_k	=	Kalman Gain (อัตราขยายกาลมาน)

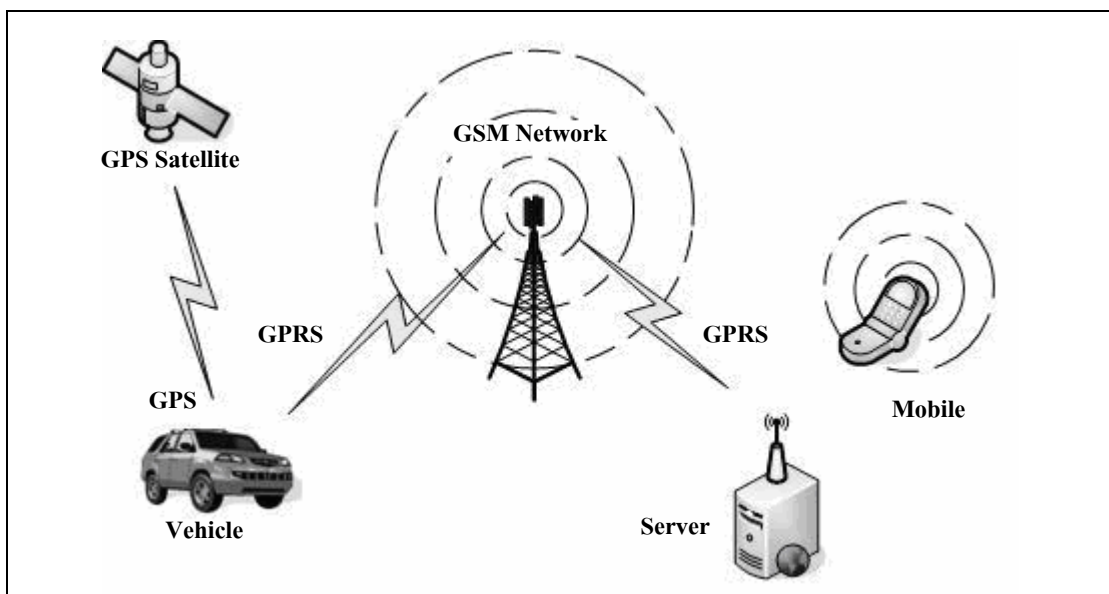
บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การนำเทคโนโลยีจีพีเอส (Global Positioning System : GPS) มาประยุกต์ใช้สำหรับการติดตามยานพาหนะได้รับความนิยมอย่างมากในเชิงพาณิชย์ แต่ในโหมดการติดตาม (tracking) ของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสนั้น ไม่สามารถแสดงผลเป็นแบบเวลาจริงได้

ปัจจุบันมีเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายผ่านโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ สามารถเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตแบบตลอดเวลา (always on) เรียกว่า จีพีอาร์เอส (General Packet Radio Service : GPRS) เมื่อนำจีพีอาร์เอสมาใช้ร่วมกับจีพีเอส โดยให้จีพีอาร์เอสทำหน้าที่ในการส่งข้อมูลการติดตามยานพาหนะที่ได้รับมาจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส เช่นเดียวกับการส่ง SMS (Short Message Service) ส่งข้อมูลการติดตามยานพาหนะไปยังผู้ให้บริการบนโครงข่ายอินเทอร์เน็ต (web server) ทำให้สามารถแสดงผลการติดตามยานพาหนะเป็นแบบเวลาจริง (real time) ได้ โครงสร้างของระบบติดตามยานพาหนะแสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 โครงสร้างระบบติดตามยานพาหนะแบบเวลาจริง

จีพีอาร์เอสมีรูปแบบการรับส่งข้อมูลเป็นแบบแพ็คเกจสวิตช์ (packet switch) โดยทั่วไปจะทำการส่งข้อมูลเป็นช่วงเวลาห่างกันตั้งแต่ 30 ถึง 300 วินาที ไม่สามารถส่งข้อมูลทุกวินาทีได้ เนื่องจากข้อจำกัดของการจราจร (traffic) ในโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำให้การแสดงผลการติดตามยานพาหนะไม่มีความต่อเนื่อง อีกทั้งยังเป็นข้อมูลการติดตามที่ได้รับมาในขณะเวลานั้น ไม่ได้มีการนำผลการติดตามในอดีตมาคำนวณเลย ทำให้การแสดงผลมีความคลาดเคลื่อน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีอัลกอริทึมสำหรับทำนายตำแหน่งของยานพาหนะในช่วงเวลาที่ไม่มีข้อมูลตำแหน่งจริงส่งมา คาดการณ์อัลกอริทึมเป็นวิธีการประมาณค่าสถานะระบบ โดยมีการอ้างอิงผลจากสถานะระบบก่อนหน้านั้นด้วย เป็นวิธีการที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะให้ผลการทำนายที่มีประสิทธิภาพมาก ในงานวิจัยนี้ จึงได้นำคาดการณ์อัลกอริทึมมาใช้สำหรับทำนายตำแหน่งของยานพาหนะในช่วงเวลาที่ไม่มีข้อมูลตำแหน่งจริงส่งมาจากจีพีอาร์เอส ช่วยให้การแสดงผลการติดตามยานพาหนะบน web server มีความถูกต้องและแสดงผลได้อย่างสมจริงมากยิ่งขึ้น เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบติดตามยานพาหนะ

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปทฤษฎีและวิธีการดำเนินงานวิจัยต่าง ๆ ที่ใช้ในการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบติดตามยานพาหนะได้ดังนี้ การติดตามการเคลื่อนที่ด้วยอุปกรณ์เซ็นเซอร์ ระบบ Dead Reckoning (DR Sensor) สำหรับการประมาณการตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของรถยนต์ (position and motion estimation) ในเขตชุมชน (urban areas) เนื่องจากเกิดปัญหาช่วงเวลาที่เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสไม่สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ ด้วยวิธีจีพีเอสผลต่าง (differential GPS) โดยแสดงผลบนแผนที่ดิจิทัล (digital road map) อาศัยข้อมูลแผนที่จาก MapInfo Professional GIS และมีการทดสอบกับรถยนต์ที่ความเร็วรถต่าง ๆ กัน (A. Lahrech, 2005) ระบบติดตามการเคลื่อนที่ของรถโดยใช้จีพีเอสร่วมกับระบบ dead reckoning เป็นการประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS 51 สำหรับติดต่อกับตัวรับสัญญาณจีพีเอส เพื่อเก็บค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น วัน เวลา ละติจูด ลองจิจูด เก็บในหน่วยความจำ (compact flash) และสร้างระบบ dead reckoning ซึ่งประกอบด้วยเข็มทิศดิจิทัล (electronic compass) กับตัววัดระยะทาง ช่วยในการระบุตำแหน่งในช่วงเวลาที่จีพีเอสไม่สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ และใช้ Kalman filter ในการประมาณค่าความผิดพลาดของตำแหน่งทำให้สมรรถนะของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของรถดีขึ้น (ชาญชัย กุศลจิตกรณ, 2548) เครื่องต้นแบบราคาประหยัดสำหรับการติดตามตำแหน่งของยานพาหนะ ใช้จีพีเอสร่วมกับวิธีการ dead reckoning ซึ่งได้จากวิธีกำลังสองน้อยสุดแบบลำดับ (sequential least square) และวิธี Kalman filter ช่วยใน

การทำนาย (prediction) ตำแหน่งต่อไปของยานพาหนะในช่วงเวลาที่ไม่ได้รับสัญญาณจากจีพีเอส และได้มีการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องต้นแบบนี้ในสนามบินของมหาวิทยาลัย Purdue (Nakarin Sattthamnuwong, 2002) การติดตามการเคลื่อนที่ของรถยนต์แบบเวลาจริงโดยวิธี Kalman filter และวิธีจีพีเอสผลต่าง (differential GPS) มีการออกแบบอุปกรณ์เซ็นเซอร์ติดตั้งในรถ เก็บค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น ความเร็วรอบ (wheel speed) มุมบังคับเลี้ยว (steering angle) อัตราการเปลี่ยนแปลงของมุมเอียง (yaw rate) เป็นต้น สำหรับเป็นข้อมูลเพื่อนำมาใช้คำนวณประมาณการตำแหน่งของรถต่อไป (Rezaei and Sengupta, 2005) การติดตามและระบบเฝ้าดูการจราจร ซึ่งแสดงภาพการจราจรบนถนนในเขตชุมชนผ่านกล้องวิดีโอเป็นแบบเวลาจริง และทำการปรับปรุงข้อมูลภาพ (update image) โดยใช้วิธีการปรับแบบ Kalman (adaptive Kalman algorithm) สำหรับทำนายตำแหน่งของรถยนต์บนถนน (Qui, An, Yao, and Zhon, 2005)

จากข้อมูลปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยข้างต้น จะเห็นว่าวิธี Kalman filter ถูกที่นำมาใช้ในระบบติดตามยานพาหนะเป็นอย่างมาก ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้วิธีการดังกล่าว สำหรับทำนายตำแหน่งของยานพาหนะในช่วงเวลาที่ไม่ได้มีข้อมูลจริงส่งมาจากจีพีเอส โดยมีการนำข้อมูลตำแหน่งปัจจุบัน (current position) และข้อมูลการติดตามยานพาหนะในอดีต (past position) ประกอบด้วย พิกัด เส้นทาง ความเร็วรอบ เป็นต้น เพื่อนำไปใช้เป็นข้อมูลเข้า (input) สำหรับกาลมานอัลกอริทึม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการทำงานของระบบดาวเทียมจีพีเอส
- 1.2.2 เพื่อศึกษาการติดตามตำแหน่งของยานพาหนะด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส
- 1.2.3 เพื่อศึกษาการแสดงผลการติดตามยานพาหนะบนโปรแกรมแผนที่สำเร็จรูป และพัฒนาเป็น web server สำหรับแสดงผลการติดตามบนโครงข่ายอินเทอร์เน็ต
- 1.2.4 ศึกษากาลมานอัลกอริทึมเพื่อนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบติดตามยานพาหนะให้มีความถูกต้องและสมจริงมากขึ้น

1.3 ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1.3.1 ใช้เทคโนโลยีจีพีอาร์เอสในการส่งข้อมูลการติดตามยานพาหนะ
- 1.3.2 ใช้โปรแกรมแผนที่สำเร็จรูปสำหรับแสดงผลระบบติดตามยานพาหนะ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.4.1 จัดทำระบบการติดตามยานพาหนะ โดยส่งข้อมูลตำแหน่งผ่านจีพีอาร์เอส
- 1.4.2 จัดทำ web server สำหรับแสดงผลการติดตามยานพาหนะบน โคร่งข่ายอินเทอร์เน็ต
- 1.4.3 พัฒนาโปรแกรมสำหรับการทำนายตำแหน่งของยานพาหนะในช่วงเวลาที่ไม่มีข้อมูลจริงส่งมาจากจีพีอาร์เอส โดยใช้กาลมานอัลกอริธึม

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

1.5.1 แนวทางการดำเนินงาน

1. สํารวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
2. ทดสอบการติดตามยานพาหนะด้วยเครื่องรับสัญญาณจีพีเอส
3. จำลองระบบติดตามยานพาหนะด้วยโปรแกรมเฉพาะทางวิศวกรรม
4. พัฒนาโปรแกรมสำหรับการทำนายตำแหน่งของยานพาหนะในช่วงเวลาที่ไม่มีข้อมูลจริงส่งมาจากจีพีอาร์เอส โดยอาศัยข้อมูลการติดตามในอดีตมาช่วยปรับความถูกต้อง
5. ใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นทดสอบระบบติดตามยานพาหนะ และวิเคราะห์ผล

1.5.2 ระเบียบวิธีวิจัย

เป็นงานวิจัยประยุกต์ ซึ่งดำเนินการตามกรอบงานดังต่อไปนี้

1. สํารวจปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาระบบดาวเทียมจีพีเอส และศึกษาการทำงานของเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส
3. ทดสอบการแสดงผลการติดตามยานพาหนะบน โปรแกรมแผนที่สำเร็จรูป
4. ศึกษากาลมานอัลกอริธึม สำหรับนำมาปรับปรุงประสิทธิภาพของการติดตามยานพาหนะ และจำลองผลด้วยโปรแกรมเฉพาะทางวิศวกรรม
5. ทดสอบระบบติดตามยานพาหนะด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นและวิเคราะห์ผล
6. จัดทำ web server สำหรับแสดงผลการติดตามยานพาหนะผ่าน โคร่งข่ายอินเทอร์เน็ต

1.5.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัยและปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมืองนครราชสีมา จ.นครราชสีมา 30000 โทร.0-4422-3381 โทรสาร.0-4422-3394

1.5.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (personel computer)
2. เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส Garmin รุ่น eTrex Legend
3. โปรแกรมแผนที่สำเร็จรูป เช่น GoogleEarth Google Map Mapsource
4. โปรแกรมเฉพาะทางวิศวกรรม ได้แก่ MATLAB

1.5.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. เก็บรวบรวมข้อมูลจากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
2. เก็บรวบรวมข้อมูลจากการติดตามยานพาหนะด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส บนเส้นทางการเคลื่อนที่จริง
3. เก็บรวบรวมข้อมูลจากการจำลองระบบ ทดสอบการทำงานจริงของระบบการติดตามยานพาหนะ โดยใช้โปรแกรมทางวิศวกรรมที่พัฒนาขึ้น

1.5.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลความรู้เกี่ยวกับระบบติดตามยานพาหนะ สำหรับช่วงเวลาที่ไม่มีข้อมูลการติดตามตำแหน่งจริงส่งมาจากจีพีอาร์เอส ได้จากการจำลองผลตามแบบการจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น และถูกนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิควิธีเฉพาะทางวิศวกรรม

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ได้โปรแกรมสำหรับจำลองผลการติดตามยานพาหนะแบบเวลาจริง โดยใช้คาถมานอัลกอริทึม ในการทำนายตำแหน่งของยานพาหนะในช่วงเวลาที่ไม่มีข้อมูลจริงส่งมาจากจีพีอาร์เอส
- 1.6.2 ได้ web server สำหรับแสดงการติดตามยานพาหนะบนโครงข่ายอินเทอร์เน็ต โดยบุคคลทั่วไปสามารถเข้ามาใช้งานได้

1.7 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท และภาคผนวก

บทที่ 1 เป็นบทนำ กล่าวถึง ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และรายละเอียดในวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึง ระบบดาวเทียมจีพีเอส อธิบายส่วนประกอบต่าง ๆ การทำงานและการประยุกต์ใช้ระบบดาวเทียมจีพีเอสในงานด้านต่าง ๆ หลักการทำงานของเครื่องรับสัญญาณ

ดาวเทียมจีพีเอสและความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยีจีพีอาร์เอส และกล่าวถึงกาลมานอัลกอริธึม ซึ่งเป็นอัลกอริธึมที่นำมาใช้สำหรับทำนายตำแหน่งของยานพาหนะในช่วงเวลาที่ไม่มีข้อมูลจริงส่งมาจากจีพีอาร์เอส

บทที่ 3 กล่าวถึง วิธีการเก็บข้อมูลการติดตามยานพาหนะ การจำลองระบบด้วยโปรแกรมทางวิศวกรรม ได้แก่ โปรแกรม MATLAB การจัดทำ web server สำหรับแสดงผลการติดตามยานพาหนะที่ผ่านขั้นตอนการทำนายตำแหน่งด้วยกาลมานอัลกอริธึม บน โครงข่ายอินเทอร์เน็ต

บทที่ 4 กล่าวถึง ผลการจำลองระบบการติดตามยานพาหนะ

บทที่ 5 กล่าวถึง สรุปผลและวิเคราะห์ผลการทดลอง ปัญหาที่เกิดขึ้น ข้อเสนอแนะ แนวทางในการแก้ไขปัญหา และแนวทางการพัฒนาในอนาคต

บทที่ 2

ระบบดาวเทียมจีพีเอส เทคโนโลยีจีพีอาร์เอส และกาลมานอัลกอริธึม

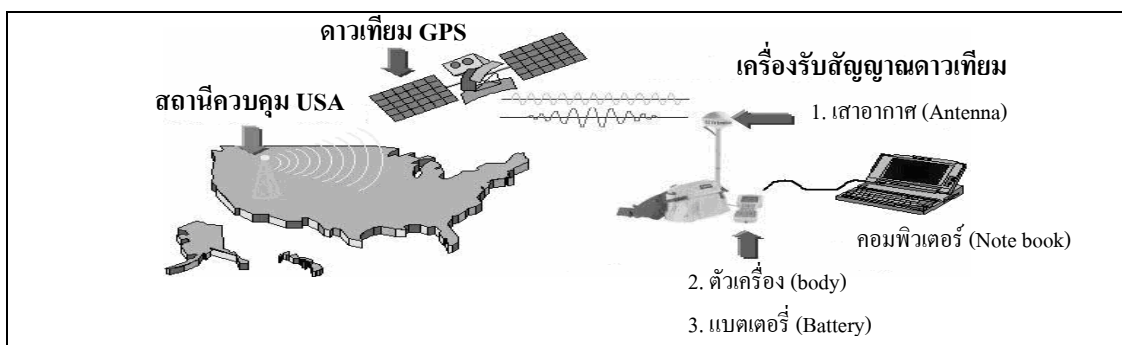
2.1 กล่าวนำ

ระบบติดตามยานพาหนะในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญต่าง ๆ ได้แก่ ระบบดาวเทียม จีพีเอส เทคโนโลยีจีพีอาร์เอส กาลมานอัลกอริธึม และ web server สำหรับแสดงผลการติดตามยานพาหนะ โดยเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึง ส่วนประกอบและหลักการการทำงานของระบบดาวเทียมจีพีเอส ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับเทคโนโลยีจีพีอาร์เอส รวมไปถึงกาลมานอัลกอริธึมซึ่งเป็นอัลกอริธึมที่นำมาใช้สำหรับทำนายตำแหน่งของยานพาหนะในช่วงเวลาที่ไม่มีข้อมูลการติดตามยานพาหนะจากจีพีอาร์เอส

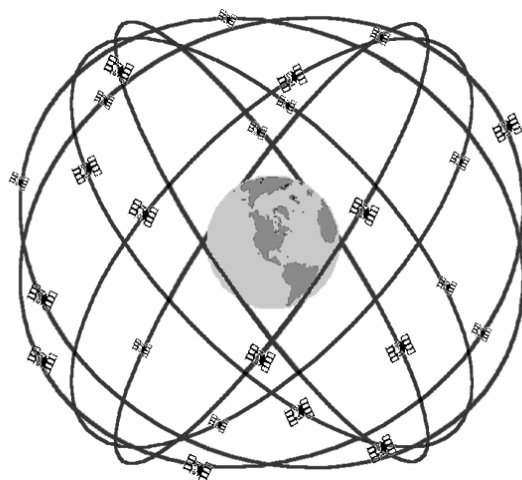
2.2 ระบบดาวเทียมจีพีเอส

ระบบดาวเทียมจีพีเอส (GPS : Global Positioning System) คือ ระบบการกำหนดตำแหน่งของวัตถุบนพื้นโลกด้วยดาวเทียมจีพีเอส ระบบดาวเทียมจีพีเอสถูกพัฒนาขึ้นโดยหน่วยงาน The United States Department of Defence (DoD) ของประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อประโยชน์ทางการทหารและหน่วยงานราชการของสหรัฐอเมริกา โดยใช้การส่งสัญญาณคลื่นวิทยุลงมายังพื้นโลกเมื่อเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสรับสัญญาณจากดาวเทียมได้จึงจะนำเอาข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้ไปประมวลผลต่อไป

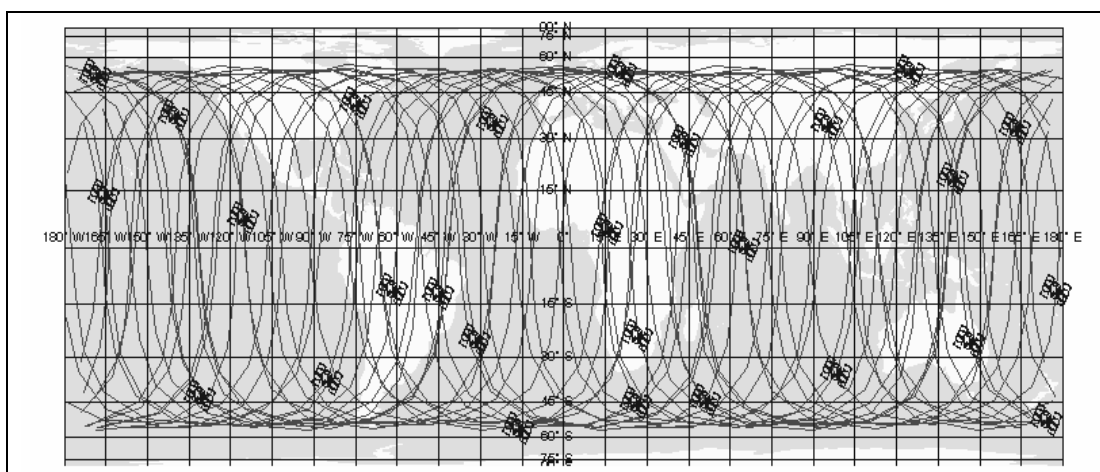
ระบบดาวเทียมจีพีเอส ประกอบด้วย 3 ส่วน แสดงดังรูปที่ 2.1 ได้แก่



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของระบบดาวเทียมจีพีเอส



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งและวงโคจรของดาวเทียมจีพีเอส



รูปที่ 2.3 การโคจรรอบโลกของดาวเทียมจีพีเอส

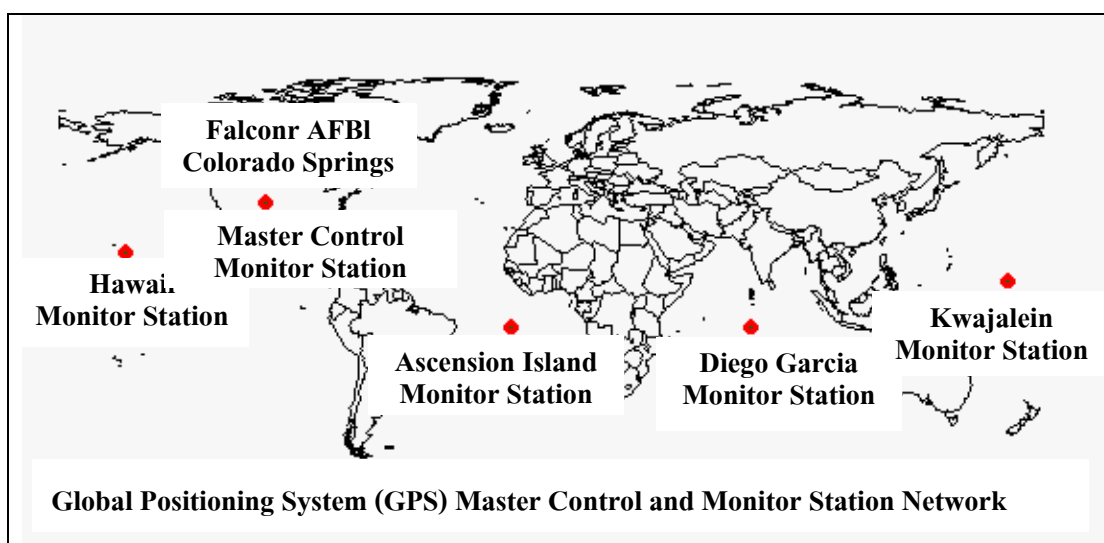
1. ส่วนอวกาศ (space segment)

ประกอบด้วย ดาวเทียมทั้งหมด 24 ดวง แต่ละดวงโคจรรอบโลกเป็นเวลา 12 ชั่วโมง ความสูงของวงโคจรอยู่ห่างจากพื้นโลกประมาณ 20,200 กิโลเมตร (11,000 ไมล์) มีระนาบของวงโคจร 6 ระนาบ แต่ละระนาบมีดาวเทียม 4 ดวง และเอียงทำมุม 55 องศา กับเส้นศูนย์สูตร (equator) ความถี่ที่ใช้ในการบอกตำแหน่งค่าพิกัดของดาวเทียมแต่ละดวงมี 2 ความถี่ คือ 1,575.42 MHz และ 1,227.60 MHz

2. ส่วนสถานีควบคุม (control station segment)

สถานีควบคุมทำหน้าที่ควบคุมการทำงานทั้งหมดของระบบดาวเทียมจีพีเอส ได้แก่ การติดต่อสื่อสาร (tracking) กับดาวเทียม ทำการคำนวณผล (computation) เพื่อบอกตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง และส่งข้อมูลที่ไต่ไปยังดาวเทียมอยู่ตลอดเวลา ทำให้ข้อมูลที่ไต่เป็นข้อมูลที่ทันสมัยอยู่เสมอ ประกอบด้วย

1. สถานีสังเกตการณ์ (monitor stations) จำนวน 5 แห่งซึ่งตั้งอยู่ที่เมือง Colorado เมือง Diego Garcia เมือง Ascension Island เมือง Kwajalein และเมือง Hawaii
2. งานส่งสัญญาณภาคพื้นดิน (ground antenna) จำนวน 3 จุด ตั้งอยู่ที่เมือง Ascension Island เมือง Diego Garcia และเมือง Kwajalein
3. สถานีควบคุมหลัก (Master Control Station : MCS) ตั้งอยู่ที่ฐานทัพอากาศ Schriever AFB รัฐ Colorado ประเทศสหรัฐอเมริกา



รูปที่ 2.4 สถานีควบคุมของดาวเทียมจีพีเอส

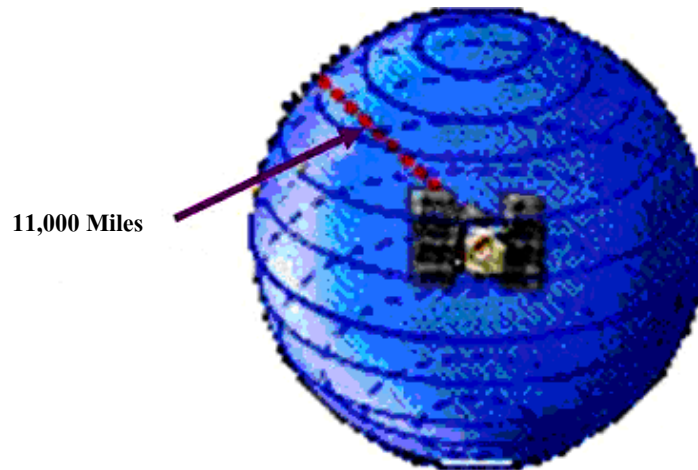
3. ส่วนผู้ใช้งาน (user segment)

เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส (receiver) ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

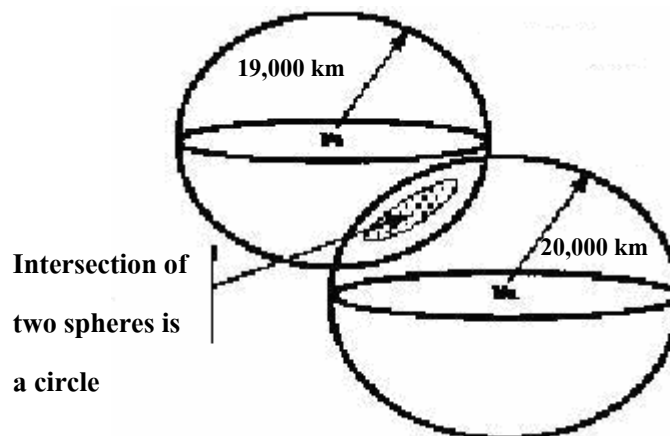
1. ตัวเครื่อง (body)
2. ส่วนให้พลังงาน (power supply)
3. ส่วนเสาอากาศ (antenna)

2.2.1 หลักการทำงานพื้นฐานของ GPS

1. satellites triangulation คือ การทำรังวัดโดยการทำเป็นรูปสามเหลี่ยม หลักการ จะอาศัยตำแหน่งของดาวเทียมในอวกาศเป็นจุดอ้างอิง แล้ววัดระยะจากดาวเทียม 4 ดวง และใช้หลักการทางเรขาคณิตในการคำนวณหาตำแหน่งบนพื้นโลก



รูปที่ 2.5 ดาวเทียม 1 ดวง ซึ่งเราจะอยู่ที่พื้นผิวของวงกลมที่มีดาวเทียม เป็นศูนย์กลางมีรัศมี 20,200 กิโลเมตร (11,000 ไมล์)

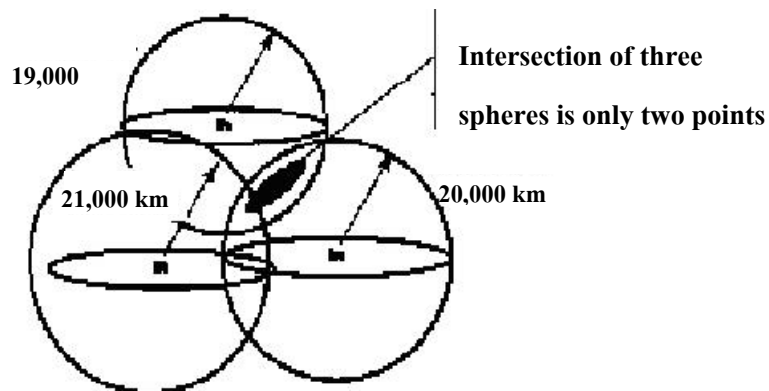


รูปที่ 2.6 ดาวเทียม 2 ดวง ซึ่งเราจะอยู่ที่วงกลมที่เป็นรอยตัดของทรงกลมทั้งสอง

2. วัดระยะทางระหว่างเครื่องรับ GPS กับดาวเทียม GPS โดยการวัดระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางจาก ดาวเทียมสู่เครื่องรับใช้เวลาเดินทางของคลื่นวิทยุ มีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{ระยะทาง} = \text{ความเร็ว} * \text{เวลาที่ใช้เดินทาง}$$

โดยที่คลื่นวิทยุมีความเร็ว = 186,000 ไมล์ต่อนาทีก



รูปที่ 2.7 ดาวเทียม 3 ดวง ซึ่งเราจะอยู่ที่วงกลมที่เป็นรอยตัดของทรงกลมทั้งสามใน 3 มิติ ตัด 1 จุด ถ้าเป็นดาวเทียม 4 ดวงจะได้ข้อมูลใน 4 มิติ คือ X, Y, Z, T ซึ่งจะทำให้แม่นยำมากขึ้น

การวัดระยะเวลาในการเดินทาง คือ การเปรียบเทียบระหว่างคลื่นสัญญาณที่ดาวเทียมส่งมากับคลื่นสัญญาณที่เครื่องรับ GPS ส่งมา ส่วนคลื่นที่ใช้ในการส่งจะเป็น Pseudo Random Noise Code (PRN)

3. การวัดระยะเวลาที่คลื่นวิทยุใช้ในการเดินทางของ GPS จะต้องใช้นาฬิกาที่แม่นยำมาก ถ้า PRN CODE จากดาวเทียมมีข้อมูลเวลาที่คลื่นเริ่มออกเดินทางจากดาวเทียมเมื่อคลื่นสัญญาณจากดาวเทียมและคลื่นสัญญาณจากเครื่องรับ GPS สมวารกัน (synchronize) และจะต้องใช้ atomic clock ในการวัดเวลา ส่วนเวลาที่ใช้ในการเดินทางจะสั้นมากประมาณ 0.06 วินาที คือเวลาของเครื่องรับ GPS * เวลาของดาวเทียม ส่วนการบอกตำแหน่ง GPS ยังเป็นเวลาที่มีความแม่นยำจนถึง 10 นาโนวินาทีหรือดีกว่า

4. ต้องทราบตำแหน่งที่แน่นอนของดาวเทียม GPS ในอวกาศ

- วงโคจรสูงมากประมาณ 11,000 ไมล์
- วงโคจรอาจคลาดเคลื่อน (ephemeris errors) เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของดวงจันทร์และดวงอาทิตย์
- สถานีควบคุมจะใช้เรดาร์ตรวจสอบการโคจรของดาวเทียม GPS ตลอดเวลา แล้วส่ง ข้อมูลไปปรับแก้ข้อมูลวงโคจรและเวลาของดาวเทียม เมื่อข้อมูลได้รับการปรับแก้แล้วจะถูกส่งมายังเครื่องรับ GPS

5. ต้องแก้ไขความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการเดินทางของคลื่นวิทยุมาสู่โลก

สาเหตุของความคลาดเคลื่อนของค่าพิกัดที่คำนวณได้เกิดจาก

- การเดินทางสู่ชั้นบรรยากาศ ionosphere จะมีประจุไฟฟ้า และชั้น troposphere จะมีทั้งความชื้น อุณหภูมิ ความหนาแน่นที่แปรเปลี่ยนได้ตลอดเวลาใน
- การสะท้อนของคลื่นสัญญาณไปในหลายทิศทาง (multipath error) ซึ่งที่ผิวโลก คลื่นสัญญาณกระทบกับวัตถุต่าง ๆ ก่อนถึงเครื่องรับ GPS ทำให้เกิดการหักเห และสัญญาณอ่อนลง
- วงโคจรคลาดเคลื่อน (ephemeris error) เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของดวงจันทร์ และดวงอาทิตย์หรืออาจเกิดจากความคลาดเคลื่อนของนาฬิกาเพียงเล็กน้อย ทำให้การคำนวณระยะทางผิดพลาดได้มากเนื่องจากดาวเทียมอยู่สูงมาก
- ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างตำแหน่งของดาวเทียมและตำแหน่งของเครื่องรับ GPS ซึ่งจะคำนวณเป็นค่า GDOP = Geometric Dilution of Precision เนื่องจากลักษณะการวางตัวของดาวเทียม

Dilution คือ การทำให้ค่าที่คำนวณได้ง่ายขึ้นและ GDOP มีส่วนประกอบ คือ

1. PDOP = Position Dilution of Precision เก็บค่าเป็น (3-D)
2. HDOP = Horizontal Dilution of Precision เก็บค่าเป็น (latitude, longitude)
3. VDOP = Vertical Dilution of Precision เก็บค่าเป็น (height)
4. TDOP = Time Dilution of Precision เก็บค่าเป็น (time)

หรืออาจจะเกิดจากความผิดพลาดอื่น ๆ เช่น ความผิดพลาดของคอมพิวเตอร์ หรือมนุษย์ที่ควบคุมสถานี ความผิดพลาดของเครื่องรับ GPS หรือที่ software หรือ hardware หรือผู้ใช้ ซึ่งความผิดพลาดนี้มีความไม่แน่นอน

คลื่นสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส

1. คลื่นพาหะ (carrier code) มี 2 ความถี่ คือ
 - L1 Code มีความถี่ 1,575.42 MHz
 - L2 Code มีความถี่ 1,227.60 MHz
2. Pseudo Random Noise Code ประกอบด้วย
 - C/A Code (Coarse/Acquisition Code หรือ โค้ดที่มีความละเอียดต่ำ) มีความถี่ที่ 1.023 MHz
 - P-Code (Precision Code หรือ โค้ดที่มีความละเอียดถูกต้องสูง) มีความถี่ 10.23 MHz
 - Navigation Code มีความถี่ 50 Hz

ลักษณะเฉพาะบางประการของ Pseudo Random Code

C/A Code (Coarse/Acquisition Code)

- เป็นคลื่นสองสถานะ (binary code - 0, 1) ความถี่ 1.023 MHz
- มีการมอดูเลตกับคลื่นพาหะ L1
- รูปแบบของคลื่น (pattern ของ 0, 1) มีการซ้ำทุก 1023 bits
- รูปแบบของคลื่นจากดาวเทียมแต่ละดวงมีลักษณะเฉพาะตัว ไม่ซ้ำกัน
- ใช้ในกิจการของพลเรือน (Standard Positioning Service : SPS)

P-Code (Precision Code)

- เป็นคลื่นสองสถานะ (binary code - 0, 1) ความถี่ 10.23 MHz
- มีการมอดูเลตกับคลื่นพาหะ L1 และ L2 คือ การแทรกรวมกับคลื่นพาหะ
- มีการเข้ารหัส เป็น Y - code ใน anti - spoofing mode
- เครื่องรับจะต้องมีอุปกรณ์ในการถอดรหัส Y - code จึงจะสามารถเข้ารหัสได้
- ใช้ในกิจการทางทหาร (Precision Positioning Service : PPS)
- ผู้ใช้ระบบคลื่นนี้จะต้องได้รับการอนุญาตจากรัฐบาลของสหรัฐอเมริกา

Navigation - Code

- เป็นคลื่นสองสถานะ (binary code - 0, 1) ความถี่ 50 Hz
- มีการมอดูเลตกับคลื่นพาหะ P - Code และ C/A Code
- มีข้อมูลวงโคจรของดาวเทียม (ephemeris) การปรับแก้เวลา (clock correction) และข้อมูลอื่น ๆ ของระบบ

การคำนวณตำแหน่งของจุดบนพื้นโลก กำหนดให้

CO-ORDINATE ของตำแหน่งที่ต้องการทราบเป็น	X, Y, Z
CO-ORDINATE ของดาวเทียมดวงที่ 1 เป็น	X ₁ , Y ₁ , Z ₁
CO-ORDINATE ของดาวเทียมดวงที่ 2 เป็น	X ₂ , Y ₂ , Z ₂
CO-ORDINATE ของดาวเทียมดวงที่ 3 เป็น	X ₃ , Y ₃ , Z ₃
CO-ORDINATE ของดาวเทียมดวงที่ 4 เป็น	X ₄ , Y ₄ , Z ₄
ความผิดพลาดของเวลาบนดาวเทียมกับเวลาบนพื้นโลก	เป็น t ₀
เวลาที่สัญญาณจากดาวเทียมดวงที่ 1 เดินทาง	เป็น t ₁
เวลาที่สัญญาณจากดาวเทียมดวงที่ 2 เดินทาง	เป็น t ₂
เวลาที่สัญญาณจากดาวเทียมดวงที่ 3 เดินทาง	เป็น t ₃
เวลาที่สัญญาณจากดาวเทียมดวงที่ 4 เดินทาง	เป็น t ₄
ความเร็วของคลื่นสัญญาณ	เป็น C

จะได้ 4 สมการ สำหรับแสดงระยะทางระหว่างดาวเทียมทั้ง 4 ดวงกับจุดที่ต้องการทราบตำแหน่ง คือ

$$(X-X_1)^2 + (Y-Y_1)^2 + (Z-Z_1)^2 = (C * (T_1-T_0))^2$$

$$(X-X_2)^2 + (Y-Y_2)^2 + (Z-Z_2)^2 = (C * (T_2-T_0))^2$$

$$(X-X_3)^2 + (Y-Y_3)^2 + (Z-Z_3)^2 = (C * (T_3-T_0))^2$$

$$(X-X_4)^2 + (Y-Y_4)^2 + (Z-Z_4)^2 = (C * (T_4-T_0))^2$$

โดยที่ค่า (X₁, Y₁, Z₁), (X₂, Y₂, Z₂), (X₃, Y₃, Z₃), (X₄, Y₄, Z₄) เป็นค่าที่ถูกส่งลงมาจกดาวเทียม และค่า t₁, t₂, t₃, t₄ สามารถหาได้จากการ CORRELATE CODE ที่ส่งลงมา กับ CODE ที่ถูกสร้างขึ้นในเครื่องรับ จะทำให้สามารถคำนวณค่าตัวแปร X, Y, Z และ t₀ ได้

2.2.2 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส

เครื่องรับสัญญาณ GPS แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม

1. เครื่องรับแบบเรียงลำดับสัญญาณดาวเทียม ได้แก่

1.1 Starved-Power Single Receivers

เครื่องแบบนี้ออกแบบให้พกพาได้และสามารถทำงานได้ด้วยอำนาจไฟฉายขนาดเล็ก การจำกัดการใช้กระแสไฟโดยให้ปิดการทำงานตัวเองโดยอัตโนมัติ เมื่อแสดงตำแหน่งครั้งสองครั้งใน 1 นาที เหมาะสำหรับการใช้งานบอกตำแหน่งส่วนตัว ข้อเสียคือ ความถูกต้องของ GPS ไม่ดี และต่อเชื่อมกับอุปกรณ์อื่นไม่ได้ และไม่สามารถใช้วัดหาความเร็วได้

1.2 Single Channel Receivers

เป็นเครื่องรับสัญญาณห้องเดียวใช้ทำงานหาระยะจากดาวเทียมทุกดวง แต่ที่ไม่เหมือนคือเครื่องรับช่องเดียวแบบมาตรฐานไม่จำกัดที่ก่้างไฟ ดังนั้น จึงทำการรับต่อเนื่องได้ มีผลทำให้ความถูกต้องสูงกว่า และใช้วัดหาความเร็วได้

1.3 Fast-Multiplexing Single Receivers

เครื่องรับนี้สามารถเปลี่ยนดาวเทียมได้เร็วกว่ามาก ข้อดีคือ สามารถทำการวัดได้ในขณะที่กำลังรับข้อมูลจากดาวเทียม ดังนั้นเครื่องทำงานได้อย่างต่อเนื่อง และการที่มีนาฬิกาไม่เที่ยงจึงมีผลต่อเครื่องประเภทนี้น้อย

1.4 Two-Channel Sequencing Receivers

การเพิ่มช่องรับสัญญาณขึ้นอีกหนึ่งช่องช่วยให้เครื่องเพิ่มขีดความสามารถขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

2. เครื่องรับที่สามารถรับสัญญาณดาวเทียมพร้อมกันได้ตั้งแต่ 4 ดวงขึ้นไป (continuous receivers) สามารถแสดงผลค่าตำแหน่งและความเร็วได้ทันทีหรือต้องการความถูกต้องสูงนอกจากข้อดีที่ใช้วัดตำแหน่งอย่างต่อเนื่อง

2.2.3 โพรโตคอลสำหรับอ่านค่าพิกัดจีพีเอส

ปัจจุบันเราสามารถอ่านค่าพิกัดจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสโดยอาศัยโพรโตคอลที่เรียกว่า NMEA (National Marine Electronics Association) ซึ่งเป็นระเบียบวิธีการสื่อสารของอุปกรณ์ต่อร่วม (interface protocol) ที่กำหนดมาตรฐานรูปแบบของข้อมูลสำหรับการเชื่อมต่อเพื่อรับข้อมูลจากจีพีเอส ประกอบด้วย

GPGGA	=	Global positioning system fix data
GPGSA	=	GNSS DOP and active satellite
GPGSV	=	GNSS satellites in view
GPGLL	=	Geographic position latitude/longitude
GPBOD	=	Bearing origin to destination
GPVTG	=	Course over ground and ground speed
PGRME	=	Estimated position error
PGRMZ	=	Altitude Information
PGRMM	=	Map datum
GPRTE	=	Route
GPRMC	=	Recommended minimum specific GNSS data
GPRMB	=	Recommended minimum navigation informations
GNSS	=	Global navigation satellite system

ซึ่งรายละเอียดรูปแบบของข้อมูลที่ได้รับได้จากจีพีเอสได้อธิบายเพิ่มเติมไว้ในภาคผนวก

2.3 เทคโนโลยีจีพีอาร์เอส

จีพีอาร์เอส (GPRS : General Packet Radio Service) คือ เทคโนโลยีที่ได้มีการพัฒนาขึ้นบนโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM (Global System for Mobile Communication) สำหรับการส่งข้อมูลที่รวดเร็ว ซึ่งได้รับการรับรองจาก European Telecommunications Standards Institute (ETSI) และ Telecommunications Industry Association (TIA)

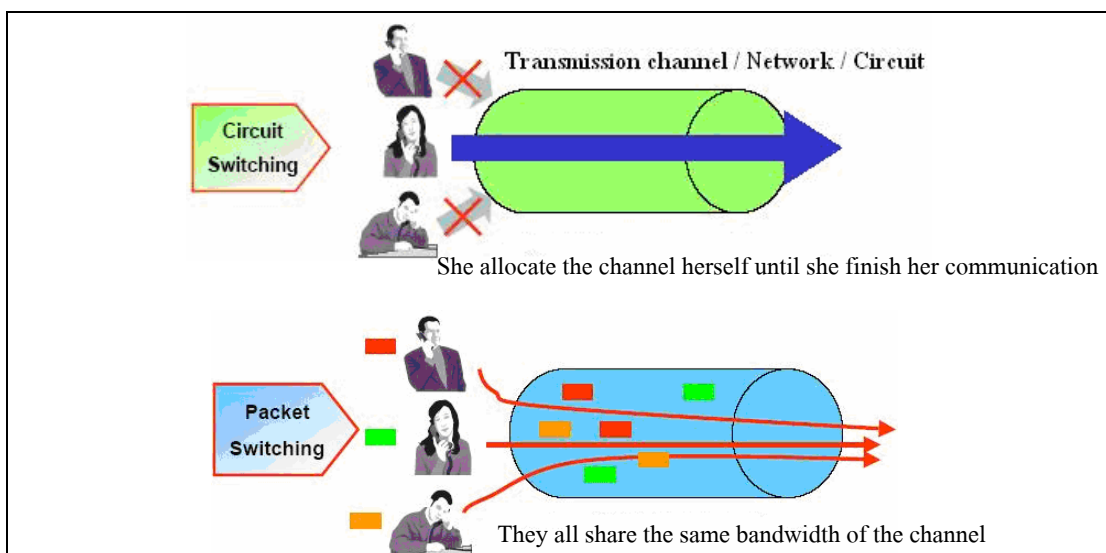
ระบบ GSM เดิมสามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็ว 9.6 กิโลบิตต่อวินาที (kbps) สำหรับเทคโนโลยีจีพีอาร์เอสช่วยให้การส่งข้อมูลมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยถ้าอ้างอิงตามทฤษฎีสามารถส่งข้อมูลด้วยอัตราเร็วสูงถึง 171.2 kbps (แต่ในปัจจุบันสามารถส่งข้อมูลได้ที่อัตราเร็ว 40 kbps) อีกทั้งในระหว่างทำการส่งข้อมูลผู้ใช้บริการยังสามารถพูดคุยโทรศัพท์ได้ตามปกติ ข้อมูลที่ถูกส่งในระบบจีพีอาร์เอสจะถูกแบ่งเป็นส่วนย่อย ๆ เรียกว่า แพ็คเก็ต (packet) และส่งไปพร้อม ๆ กันในระบบโครงข่าย เมื่อถึงปลายทางอุปกรณ์ที่อยู่ทางปลายทางจะนำเอาแพ็คเก็ตย่อย ๆ ดังกล่าวมาจัดเรียงใหม่และส่งให้ผู้รับ ลักษณะการส่งข้อมูลดังกล่าวเรียกว่า packet switching ซึ่งเป็นระบบเดียวกันกับการส่งข้อมูลในระบบอินเทอร์เน็ต

ระบบ packet switching network จะทำให้ผู้ใช้สามารถใช้งานพร้อมกันได้ ซึ่งต่างจากระบบโทรศัพท์ปกติที่จะต้องจองช่องสัญญาณไว้ตลอดเวลาที่มีการสื่อสาร และเมื่อจบการ

สื่อสารนั้น ๆ จึงจะกินช่องสัญญาณให้กับระบบ เรียกว่าเป็นการส่งข้อมูลแบบ circuit switching ทำให้เกิดปัญหาช่องสัญญาณเต็ม แต่ระบบ packet switching network จะไม่เกิดปัญหาดังกล่าว อย่างไรก็ตาม อัตราเร็วในการส่งข้อมูลอาจลดลง ถ้ามีผู้ใช้หรือปริมาณการรับส่งข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบจีพีอาร์เอสนี้จะทำให้ผู้ใช้งานในปัจจุบันสามารถเชื่อมต่อกับระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อใช้บริการต่าง ๆ ได้แก่ การรับส่ง E-mail การค้นหาข้อมูล ข่าวสาร หรือติดต่อกับบุคคลต่าง ๆ ได้ในลักษณะที่เรียกว่า ทุกที่ ทุกเวลาอย่างแท้จริง ความแตกต่างของการส่งข้อมูลทั้งสองแบบแสดงดังรูปที่ 2.8

2.3.1 คุณสมบัติของระบบจีพีอาร์เอส

1. การรับส่งข้อมูลที่มีความสามารถในการรับและส่งผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้สูงถึง 40 kbps ซึ่งจะทำให้สามารถรองรับการส่งข้อมูลในรูปแบบมัลติมีเดีย ได้แก่ รูปภาพกราฟฟิก เสียงและวิดีโอ พร้อมทั้งเชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้รวดเร็ว และมีประสิทธิภาพมากกว่าเดิมรวมถึงการ Down load /Up load ข้อมูลสามารถทำได้ง่ายขึ้น
2. always on การเชื่อมต่อเครือข่ายและการรับส่งข้อมูลสามารถดำเนินต่อไป แม้ว่าในขณะที่มีสายติดต่อเข้ามาก็ตาม จึงทำให้การรับส่งข้อมูลไม่ขาดตอนลง
3. wireless internet ที่เชื่อมต่อเข้ากับ terminal เช่น PDA (Personal Data Assistant) หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ notebook สามารถรับส่งข้อมูลได้เร็วขึ้น



รูปที่ 2.8 การส่งข้อมูลแบบ Circuit Switch และแบบ Packet Switch

2.3.2 ประโยชน์ของจีพีอาร์เอส

1. ประหยัดค่าใช้จ่าย เนื่องจากเทคโนโลยีจีพีอาร์เอส จะทำให้การคิดค่าบริการในการใช้อินเทอร์เน็ต ขึ้นอยู่กับช่วงเวลาในการรับ และส่งข้อมูล ไม่ใช่ช่วงเวลาในการเชื่อมต่อ ซึ่งจะทำให้ผู้ใช้ จ่ายตามอัตราค่าบริการในการดาวน์โหลด และอัปโหลดเท่านั้น
2. รวดเร็วยิ่งขึ้น เนื่องจากจีพีอาร์เอสจะช่วยให้ผู้ใช้งานเชื่อมต่อ และรับข้อมูลต่าง ๆ ผ่านอินเทอร์เน็ตด้วยระยะเวลาที่รวดเร็วกว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ GSM ทั่วไป ทำให้การเข้าสู่ website หรือการรับส่ง e-mail เป็นไปอย่างสะดวกและง่ายดาย
3. คຸ້มค่าน่า เพราะมีค่าใช้จ่ายน้อย แต่รับผลตอบแทนจากการรับ-ส่งข้อมูลอย่างมากมาย
4. นำมาใช้ เนื่องจากจะทำให้ผู้ใช้งานได้รับข้อมูลในทุกรูปแบบ ได้แก่ รูปแบบข้อความ หรือรูปแบบมัลติมีเดียซึ่งประกอบด้วยรูปภาพ เสียง และวิดีโอ ทำให้การติดต่อสื่อสารของผู้ใช้งานผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีความหลากหลาย

2.3.3 รูปแบบการให้บริการของระบบ GPRS

1. textual and visual information บริการนี้เป็นจุดแตกต่างอย่างแรกที่จีพีอาร์เอสเหนือกว่า GSM ทั่วไป โดยสามารถส่งข้อมูลที่เป็นตัวอักษร หรือรูปภาพกราฟิกไปยังโทรศัพท์มือถือได้อย่างสะดวกรวดเร็ว
2. still images เป็นการส่งภาพนิ่งความละเอียดสูงไปมาระหว่างเครื่องด้วยกันได้ ทำให้สามารถส่งภาพถ่าย รวมทั้งภาพที่ถ่ายจากกล้องดิจิทัล สามารถโอนแล้วส่งต่อไปได้ทันที
3. moving images สามารถส่งภาพเคลื่อนไหวได้ เช่น การประชุมทางไกล หรือการส่งภาพจากกล้องวงจรปิดไปยังโทรศัพท์มือถือในกรณีประยุกต์ใช้กับระบบรักษาความปลอดภัย
4. chat เป็นคุณสมบัติของการคุยแบบไม่ใช้เสียง ซึ่งสามารถสนทนากันได้ทั้งแบบเป็นคู่ หรือเป็นกลุ่มได้ และผู้ใช้สามารถ chat ได้ทุกที่
5. web browsing เป็นการเข้าสู่ world wide web ด้วยการใช้อินเทอร์เน็ตมือถือ ซึ่งมีความเร็วตั้งแต่ 56 kbps จนถึง 112 kbps
6. E-Mail เป็นบริการพื้นฐานที่มีผู้ใช้นิยมใช้งานมากที่สุดสำหรับการส่งข้อความ โดยมีการใช้งานในรูปแบบของ SMS (Short Message Service)
7. file transfer เป็นบริการโอนถ่ายไฟล์ข้อมูล ด้วยอัตราเร็วกว่าการใช้งานผ่านโมเด็มกับโทรศัพท์พื้นฐาน โดยจะรองรับกับโปรโตคอล FTP และแอปพลิเคชันสำหรับอ่านข้อความ ได้แก่ acrobat reader ด้วย

8. audio บริการด้านเสียงของจีพีอาร์เอส มีประสิทธิภาพสูงกว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเดิมเนื่องจากความคมชัดของสัญญาณเสียง และสามารถเก็บไฟล์เสียงเพื่อนำไปใช้งานในด้านต่างๆ เช่น การวิเคราะห์รายละเอียดของเสียงในงานของตำรวจ เป็นต้น

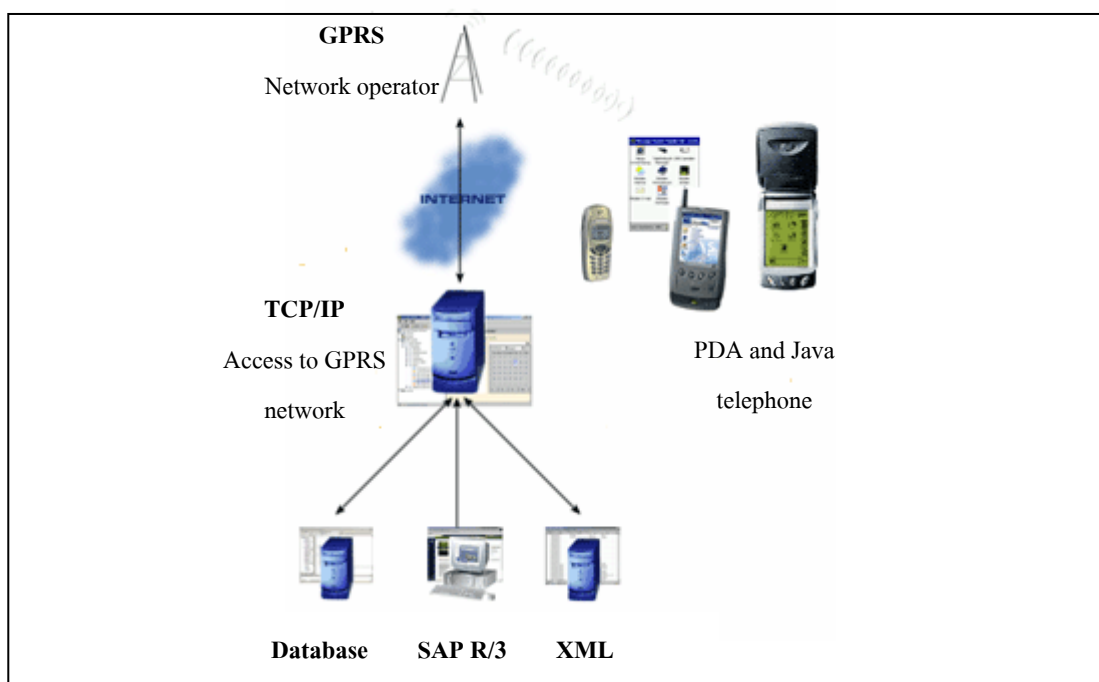
9. remote LAN access ผู้ใช้สามารถเข้าถึงเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้รวดเร็วกว่าการเข้าใช้งานอินเทอร์เน็ตผ่านโทรศัพท์พื้นฐาน

10. vehicle positioning สามารถเชื่อมต่อกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการติดตามตำแหน่งของยานพาหนะ ทำให้ทราบตำแหน่งปัจจุบันของยานพาหนะได้ทันที

2.3.4 ข้อจำกัดของจีพีอาร์เอส

จากที่ทรัพยากรต่าง ๆ ในระบบ เช่น ช่องสัญญาณ นั้นมีอยู่อย่างจำกัด ซึ่งในกรณีนี้ทั้ง voice และจีพีอาร์เอสนั้น ก็จะใช้ช่องสัญญาณร่วมกัน ดังนั้นการนำจีพีอาร์เอสเข้ามาใช้งานจึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะเกิดปัญหาในเรื่องความไม่เพียงพอของช่องสัญญาณ อย่างไรก็ตาม ระบบจีพีอาร์เอส มีความสามารถที่จะทำการบริหารช่องสัญญาณแบบ dynamically ในกรณีของการใช้งานในช่วง peak-time ทำการลดโหลดด้วยการให้มีการส่ง short message บนช่องสัญญาณจีพีอาร์เอสแทน

แม้ว่าในทางทฤษฎีแล้ว จีพีอาร์เอสจะสามารถส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดถึง 171.2 kbps ซึ่งเป็นการใช้งานของผู้ใช้เพียงคนเดียวบนช่องสัญญาณทั้งหมด 8 time slot (ช่องสัญญาณย่อย ๆ) โดยปราศจากการป้องกันการผิดพลาดใด ๆ (error protection) แต่ในความเป็นจริงนั้นไม่มีผู้ให้บริการรายใดที่ให้ผู้ใช้งานเพียงคนเดียวใช้งาน time slot ทั้งหมด โดยส่วนใหญ่มักจะยอมให้ใช้สูงสุดเพียง 2-3 time slot เท่านั้น ดังนั้นความเร็วที่สามารถใช้งานได้จริง จึงต่ำกว่าค่าในทางทฤษฎีมาก รูปที่ 2.9 แสดงการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยีจีพีอาร์เอส ในงานด้านต่าง ๆ



รูปที่ 2.9 การประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี GPRS

2.4 คาลมานอัลกอริทึม

คาลมานอัลกอริทึม (Kalman algorithm) คือวิธีการประมาณค่าสถานะระบบซึ่งพัฒนาจากวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด (least square) ซึ่งได้รับความสนใจอย่างมากและเป็นวิธีการที่ให้ผลการคำนวณที่มีประสิทธิภาพและให้ผลการประมาณค่าได้อย่างถูกต้องเนื่องจากมีวิธีการทำงานโดยใช้รูปแบบหนึ่งของการป้อนกลับของสัญญาณ (feedback control) และมีขั้นตอนการคำนวณแบบวิธีเรียกซ้ำ (recursive) นั่นคือ คาลมานอัลกอริทึมนี้จะทำนายสถานะระบบในขณะเวลาใดเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจะนำไปป้อนกลับในรูปของการวัดค่าสัญญาณรบกวน นำเสนอโดย R.E. Kalman ในปี 1960 โดยวิธีการคาลมานนี้มีการนำมาใช้ในงานวิจัยและการประยุกต์ใช้ในงานด้านต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในด้านการเดินเรือ

2.4.1 สมการเชิงอนุพันธ์และแบบจำลองทางพลวัตแบบเชิงเส้น (differential equations and linear dynamic model)

ในศตวรรษที่ 17 ไอแซกนิวตัน ผู้ให้กำเนิดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบของสมการเชิงอนุพันธ์สำหรับอธิบายการเคลื่อนที่ของดาวเคราะห์ในระบบสุริยจักรวาล โดยให้มีค่าพารามิเตอร์และตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งสามารถใช้อธิบายตำแหน่งของวัตถุและความเร็วของการเคลื่อนที่ของวัตถุได้ ในบทนี้จะกล่าวถึงสมการเชิงอนุพันธ์ที่จำเป็นสำหรับแบบจำลองพลวัตและ

กาลมานฟิลเตอร์ โดยรูปแบบทั่วไปของแบบจำลองการเคลื่อนที่สำหรับระบบต่าง ๆ สามารถแสดง โดยสมการอนุพันธ์ลำดับที่หนึ่งของแบบจำลองสภาวะระบบ ดังนี้

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{F}\mathbf{x} + \mathbf{G}\mathbf{u} \quad (2.1)$$

โดยที่ \mathbf{x} คือ สภาวะระบบ (state space)

\mathbf{F}, \mathbf{G} คือ rectangular matrix ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงตามเวลา

\mathbf{u} คือ แทน white noise

สมการที่ 2.1 เรียกว่า แบบจำลองสภาวะ (state model) โดยสภาวะระบบแสดงถึง ส่วนประกอบทั้งหมดของระบบ ได้แก่ ตำแหน่งและความเร็ว เป็นต้น หรืออาจเรียกกระบวนการนี้ ว่า กระบวนการสุ่ม (random process) ได้ เนื่องจากได้รับผลจาก noise ที่เกิดขึ้นภายในระบบ

ถ้ากำหนดเงื่อนไขตั้งต้นให้ว่า $\mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0$ ดังนั้นสมการ 2.1 สามารถเขียนได้เป็น

$$\mathbf{x}(t) = \Phi(t, t_0)\mathbf{x}_0 = e^{\mathbf{F}(t-t_0)}\mathbf{x}_0 \quad (2.2)$$

และคำตอบเฉพาะของสมการที่ 2.1 ที่เป็นผลจาก white noise คือ

$$\mathbf{x}(t) = \Phi(t, t_0)\mathbf{x}_0 + \int_{t_0}^t \Phi(t, \tau)\mathbf{G}(\tau)\mathbf{u}(\tau)d\tau \quad (2.3)$$

2.4.2 การจำลองแบบไม่ต่อเนื่อง (discrete-time model)

จากสมการที่ 2.1 ใช้อธิบายระบบที่มีความต่อเนื่องทางเวลา เมื่อทำการวัดค่าระบบ ณ เวลาต่าง ๆ นั่นคือ ที่เวลา t_0, t_1, \dots, t_k สำหรับสภาวะระบบบางครั้งจะใช้สมการซึ่งสัมพันธ์กับ สภาวะ \mathbf{x} คำตอบของสมการ 2.3 สามารถเขียนได้เป็น

$$\mathbf{x}(t_k) = \Phi(t_{k-1}, t_k)\mathbf{x}(t_{k-1}) + \int_{t_{k-1}}^{t_k} \Phi(t_{k-1}, \tau)\mathbf{G}(\tau)\mathbf{u}(\tau)d\tau \quad (2.4)$$

หรือ

$$\mathbf{x}_k = \Phi_{k-1} \mathbf{x}_{k-1} + \mathbf{w}_k \quad (2.5)$$

โดยที่ Φ_k คือ state transition matrix ตั้งแต่ช่วงเวลา t_{k-1} ถึง t_k

\mathbf{w}_k คือ ผลตอบสนองจาก white noise ที่เวลา t_k

จากสมการที่ 2.2 $\Phi(t_k, t_{k-1}) = e^{\mathbf{F}(t_k - t_{k-1})}$ อาศัยการกระจายแบบ Taylor series ของ e ได้ดังนี้

$$\Phi_{k-1} = e^{\mathbf{F}(t_k - t_{k-1})} = \mathbf{I} + \mathbf{F}\Delta t + \frac{(\mathbf{F}\Delta t)^2}{2!} + \frac{(\mathbf{F}\Delta t)^3}{3!} + \dots \quad (2.6)$$

โดยที่ $\Delta t = t_k - t_{k-1}$ และ \mathbf{I} คือ เมทริกซ์เอกลักษณ์ ดังนั้นสามารถคำนวณค่า Φ_{k-1} ในช่วงเวลา Δt ได้จาก

$$\Phi_{k-1} = \mathbf{I} + \mathbf{F}\Delta t \quad (2.7)$$

โดย \mathbf{Q}_k คือ covariance matrix ของ \mathbf{w}_k จากสมการที่ 2.5 โดยสามารถเขียน \mathbf{Q}_k ในแบบอินทิกรัลได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \mathbf{Q}_k &= E[\mathbf{w}_k \mathbf{w}_k^t] \\ &= E\left\{ \left[\int_{t_{k-1}}^{t_k} \Phi(t_{k-1}, \xi) \mathbf{G}(\xi) \mathbf{u}(\xi) d\xi \right] \left[\int_{t_{k-1}}^{t_k} \Phi(t_{k-1}, \eta) \mathbf{G}(\eta) \mathbf{u}(\eta) d\eta \right]^t \right\} \\ &= \int_{t_{k-1}}^{t_k} \int_{t_{k-1}}^{t_k} \Phi(t_{k-1}, \xi) \mathbf{G}(\xi) E[\mathbf{u}(\xi) \mathbf{u}^t(\eta)] \mathbf{G}^t(\eta) \Phi^t(t_{k-1}, \eta) d\xi d\eta \end{aligned} \quad (2.8)$$

การคำนวณค่า \mathbf{Q}_k เมื่อเมทริกซ์มีขนาดใหญ่ได้ยาก Van Loan จึงได้นำเสนอวิธีการหา \mathbf{Q}_k โดยให้ \mathbf{W} คือ power spectral density matrix ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ white noise, Δt คือ เวลา และ \mathbf{x} เป็นเมทริกซ์ขนาด n วิธีการของ Van Loan มีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างเมตริกซ์ A ขนาด $2n \times 2n$

$$A = \begin{bmatrix} -F & GWG^t \\ 0 & F^t \end{bmatrix} \Delta t \quad (2.9)$$

2. สร้างเมตริกซ์ B ซึ่งเป็น เอ็กซ์โพเนนเชียลเมตริกซ์ของ A ($e^{(A)}$)

$$B = \begin{bmatrix} \dots & \Phi^{-1}Q_k \\ 0 & \Phi^t \end{bmatrix} \quad (2.10)$$

3. Φ คือ transpose ครึ่งล่างขวาของเมตริกซ์ B

4. ทำให้ได้ Q_k จากครึ่งบนขวาของเมตริกซ์ B

2.4.3 คาลมาน ฟิลเตอร์แบบไม่ต่อเนื่อง (discrete Kalman filter)

ในกระบวนการสุ่มสามารถเขียนแบบจำลองทางพลวัต ได้ดังสมการ

$$x_{k+1} = \Phi_k x_k + w_k \quad (2.11)$$

และแบบจำลองการวัดของกระบวนการสามารถกำหนดให้เกิดขึ้นเป็นช่วงเวลาที่ต่อเนื่องได้ดังนี้

$$z_k = H_k x_k + v_k \quad (2.12)$$

จากสมการที่ 2.11 และ 2.12

x_k ($n \times 1$) คือ สภาวะระบบ (หรือตัวประมาณค่า) ที่เวลา t_k

Φ_k ($n \times n$) คือ transition matrix ที่เวลา t_k

w_k ($n \times 1$) คือ สัญญาณรบกวนจากระบบ (process noise) ที่เวลา t_k

z_k ($m \times 1$) คือ ผลจากการวัด ที่เวลา t_k

H_k ($m \times n$) คือ connection matrix ระหว่าง z_k และ x_k ที่เวลา t_k

v_k ($m \times 1$) คือ สัญญาณรบกวนจากการวัด (measurement noise)

โดยที่ n คือ ขนาดของเวกเตอร์ของสภาวะระบบที่สนใจ และ
 m คือ ขนาดของเวกเตอร์ซึ่งเป็นผลที่ได้จากการวัด

covariance matrix ของ w_k และ v_k กำหนดโดย

$$E[w_k w_k^t] = Q_k \quad \text{เมื่อ } k = i \quad \text{หรือ}$$

$$E[w_k w_i^t] = 0 \quad \text{เมื่อ } k \neq i \quad (2.13)$$

และ $E[v_k v_k^t] = R_k \quad \text{เมื่อ } i = k \quad \text{หรือ}$

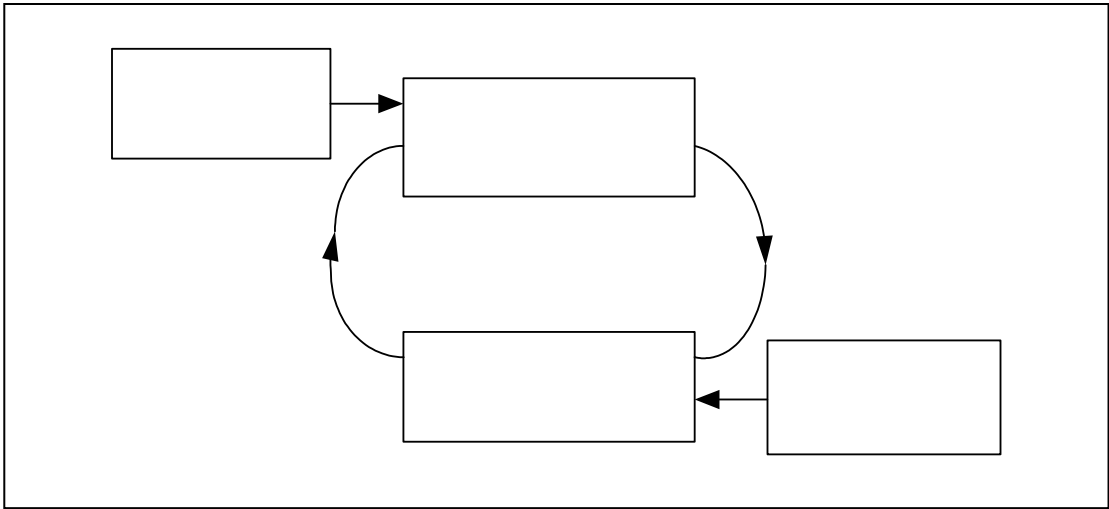
$$E[v_k v_i^t] = 0 \quad \text{เมื่อ } i \neq k \quad (2.14)$$

$$E[w_k v_i^t] = 0 \quad \text{สำหรับทุกค่าของ } k \text{ และ } i \quad (2.15)$$

สำหรับการประมาณค่าด้วยคาลมานอัลกอริทึมเป็นกระบวนการทำนายสภาวะระบบที่มีการควบคุมแบบป้อนกลับ โดยอาศัยผลจากการวัด คาลมานอัลกอริทึมแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

1. ขั้นตอนการทำนาย (prediction) หรือขั้นตอนการปรับเวลา (time update)
2. ขั้นตอนการปรับแก้ (correction) หรือขั้นตอนการปรับการวัด (measurement update)

ในรูปที่ 2.10 แสดงขั้นตอนการทำงานของคาลมานอัลกอริทึม อธิบายขั้นตอนการทำงานของคาลมานอัลกอริทึมได้ดังนี้ เริ่มต้นจากการทำนายค่าสภาวะระบบที่เวลา k โดยอ้างอิงผลจากสภาวะระบบที่เกิดขึ้นก่อนหน้านั้นที่เวลา $k-1$ จากนั้นเมื่อมีผลจากการวัดเข้ามา ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการปรับแก้ ซึ่งจะตอบสนองต่อการป้อนกลับ นั่นคือ มีการนำผลที่ได้จากการวัดทำการเปรียบเทียบกับผลจากการทำนายในครั้งแรก นำมาผ่านขั้นตอนการปรับแก้ เพื่อนำไปปรับปรุงผลการทำนายในรอบถัดไป



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนการทำงานของคาลมานอัลกอริทึม

จากขั้นตอนการทำงานดังกล่าวสามารถแสดงในรูปของสมการการทำนายและสมการการปรับแก้ได้ดังนี้

1. สมการการทำนาย (prediction equation) ประกอบด้วย

$$\hat{\mathbf{x}}_k^- = \Phi_k \hat{\mathbf{x}}_{k-1} \quad (2.16)$$

$$\mathbf{P}_k^- = \Phi_k \mathbf{P}_{k-1} \Phi_k^t + \mathbf{Q}_k \quad (2.17)$$

โดยที่ $\hat{\mathbf{x}}_k^-$ คือ สภาวะระบบก่อนการทำนายที่เวลา t_k

\mathbf{P}_k^- คือ error covariance

เครื่องหมาย (-) แสดงถึงสภาวะที่เกิดขึ้นก่อนทำการปรับแก้

Previous
at time step

2. สมการการปรับแก้ (correction equation) ประกอบด้วย

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_k^- \mathbf{H}_k^t (\mathbf{H}_k \mathbf{P}_k^- \mathbf{H}_k^t + \mathbf{R}_k)^{-1} \quad (2.18)$$

$$\hat{\mathbf{x}}_k = \hat{\mathbf{x}}_k^- + \mathbf{K}_k (z_k - \mathbf{H}_k \hat{\mathbf{x}}_k^-) \quad (2.19)$$

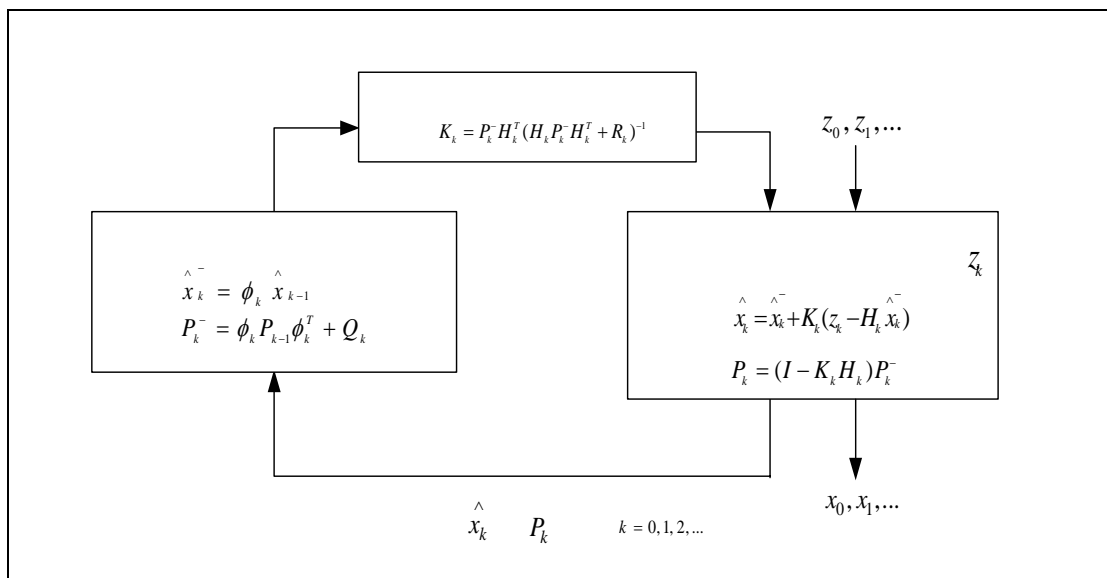
$$\mathbf{P}_k = (\mathbf{I} - \mathbf{K}_k \mathbf{H}_k) \mathbf{P}_k^- \quad (2.20)$$

โดย z_k คือ ค่าจริงที่ได้จากการวัด

\mathbf{K}_k คือ อัตราขยายกาลมาน (Kalman gain)

$\hat{\mathbf{x}}_k$ คือ การปรับค่าหลังจากมีข้อมูลจริงเข้ามา

แผนผังสมการกาลมานแสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แผนผังสมการกาลมาน

รูปที่ 2.11 อธิบายเพิ่มเติม ได้ดังนี้ เริ่มต้นที่ขั้นตอนการทำนาย เป็นการเรียนรู้ที่จะทำนายสภาวะระบบในครั้งแรก ค่าพารามิเตอร์สำหรับขั้นตอนการทำนายนี้ คือ $\hat{\mathbf{x}}_k^-$ และ P_k^- ซึ่งก็คือ สภาวะระบบ และค่า error covariance ที่ทำการทำนายในครั้งแรก จากนั้นเข้าสู่ขั้นตอนของการปรับแก้ โดยเริ่มต้นจากการคำนวณหาค่าอัตราขยายกาลมาน K_k ซึ่งเป็นผลจากค่า error covariance ที่ได้ทำนายไว้ และเมื่อมีผลจากการวัดหรือสภาวะระบบในปัจจุบัน z_k เข้ามา ก็จะทำให้การปรับปรุงสภาวะระบบและ error covariance โดยทำการเปรียบเทียบผลจากการวัดกับผลการทำนายในครั้งแรก ทำการปรับแก้ได้ผลการทำนายหลังทำการปรับแก้เป็น $\hat{\mathbf{x}}_k$ และค่า error covariance หลังการปรับแก้ P_k หลังจากนั้นกระบวนการทั้งหมดนี้จะถูกทำซ้ำโดยสภาวะระบบที่ได้ทำการปรับแก้แล้วจะเป็นสภาวะระบบอ้างอิงสำหรับการทำนายสภาวะระบบในรอบถัดไป

บทที่ 3

การติดตามยานพาหนะ การจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB และการจัดทำ Web Server

3.1 กล่าวนำ

การติดตามยานพาหนะในงานวิจัยนี้อาศัยข้อมูลการติดตามตำแหน่งของยานพาหนะที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส โดยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสทำหน้าที่ในการเก็บบันทึกข้อมูลการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ได้แก่ วัน เวลา ค่าพิกัด ละติจูด ลองจิจูด เป็นต้น แล้วนำข้อมูลต่าง ๆ ที่ได้มาทำการจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB และแสดงผลการติดตามยานพาหนะบน web server

3.2 การติดตามยานพาหนะด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส

สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสยี่ห้อการ์มิน eTrex Legend ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลการติดตามยานพาหนะในเส้นทางการเคลื่อนที่จริง โดยคุณสมบัติสำคัญของเครื่อง eTrex Legend คือ

1. เครื่องจีพีเอส eTrex Legend จะทำหน้าที่รับสัญญาณจากดาวเทียมและเมื่อทราบตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวงสามารถคำนวณค่าพิกัดปัจจุบันได้ทันที และผู้ใช้สามารถบันทึกค่าพิกัดต่าง ๆ ไว้ในเครื่องได้
2. ภายในตัวเครื่อง eTrex Legend ได้บรรจุเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ (electronic compass) และอุปกรณ์คำนวณค่าระดับความสูงจากความดันบรรยากาศ (barometric altimeter)
3. สามารถคำนวณค่าพิกัดใหม่ได้ทุก ๆ วินาทีที่เคลื่อนที่ไป เช่น ความเร็วและทิศทางการเคลื่อนที่ ทำให้สามารถใช้เครื่องจีพีเอสนี้ในการนำทางได้
4. สามารถทำการถ่ายโอนข้อมูลจากเครื่อง eTrex Legend ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ โดยผ่าน serial port ทำให้สามารถแสดงภาพข้อมูลค่าพิกัดบน โปรแกรมแผนที่สำเร็จรูป เช่น MapSource Google Map ได้

5. หน่วยความจำของเครื่องสามารถเก็บข้อมูล waypoint พร้อมชื่อและสัญลักษณ์ได้ 500 จุด และเก็บ track log ได้ 2,000 จุด สามารถแยกเก็บได้ 10 เส้นทาง
6. ความแม่นยำของข้อมูลอยู่ในช่วงตั้งแต่ 1 เซนติเมตร ถึง 15 เมตร
7. เครื่องจีพีเอสมีขนาดเล็ก กะทัดรัด และราคาถูก



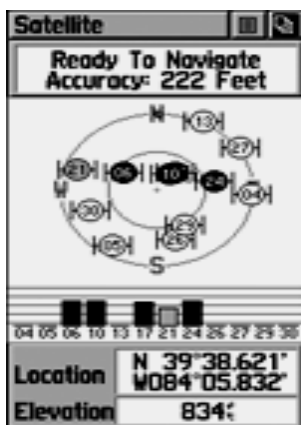
รูปที่ 3.1 เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส Garmin eTrex Legend

หน้าจอแสดงผลหลักของเครื่อง eTrex Legend

การทำงานของเครื่อง eTrex Legend จะปรากฏหน้าจอ 5 ประเภท แยกตามลักษณะของข้อมูล ดังนี้

1. หน้าจอแสดงข้อมูลดาวเทียมและค่าพิกัด

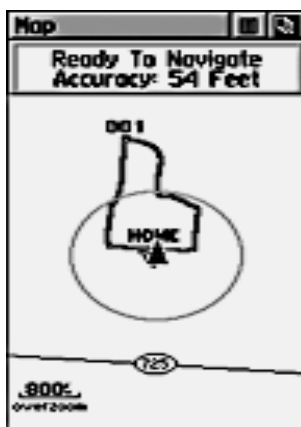
หน้าจอนี้จะแสดงข้อมูลเกี่ยวกับการรับสัญญาณดาวเทียม ได้แก่ ความแรงของสัญญาณจากดาวเทียมแต่ละดวง ค่าพิกัดปัจจุบันที่คำนวณได้ ค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง และสถานภาพการทำงานของเครื่อง



รูปที่ 3.2 หน้าจอแสดงข้อมูลดาวเทียมและค่าพิกัด

2. หน้าจอแสดงแผนที่

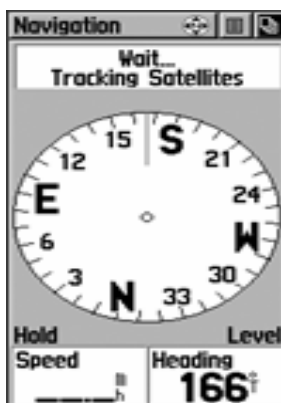
หน้าจอนี้จะแสดงตำแหน่งปัจจุบันที่เครื่องรับสัญญาณสามารถคำนวณได้ในขณะนั้น แสดงรายละเอียดแผนที่ พร้อมมาตราส่วนสามารถเพิ่มและลดมาตราส่วนได้ (Zoom In/Zoom Out)



รูปที่ 3.3 หน้าจอแสดงแผนที่

3. หน้าจอแสดงการนำทางแบบแสดงเป็นเข็มทิศ

หน้าจอนี้จะแสดงรายละเอียดตำแหน่งที่ต้องการ โดยบอกให้ทราบในรูปแบบของเข็มบอกทิศทางไปยังเป้าหมาย บอกเวลาปัจจุบัน ความเร็วในการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.4 แสดงการนำทางแบบเป็นเข็มทิศ

4. หน้าจอแสดงข้อมูลเกี่ยวกับการเดินทาง

แสดงข้อมูลเกี่ยวกับการเดินทางปัจจุบันที่เครื่องรับสัญญาณจีพีเอสคำนวณได้ในขณะนั้น แสดงการเคลื่อนที่ได้แก่ เวลา ระยะการเดินทางทั้งหมด ความเร็ว ความเร็วสูงสุด ความเร็วเฉลี่ยในการเดินทาง และความเร็วเฉลี่ยตลอดเส้นทาง

Trip Computer	
Trip Odom 10.1 ^{mi}	
Moving Time 47:20 ^{h:m}	
Stopped 27:33 ^{h:m}	
Odometer 00010.09 ^{mi}	
Speed _____ ^{mi} / _h	Max Speed 46.7 ^{mi} / _h
Moving Avg 12.8 ^{mi} / _h	Overall Avg 8.1 ^{mi} / _h

รูปที่ 3.5 หน้าจอแสดงข้อมูลเกี่ยวกับการเดินทาง

5. หน้าจอตัวเลือกหลัก (main menu)

หน้าจอนี้ทำให้สามารถเลือกเข้าสู่ หัวข้อตัวเลือกใช้งานหลักที่ต้องการได้ ได้แก่

Mark	สำหรับการบันทึกค่าพิกัด
Find	สำหรับการค้นหาและเรียกดู waypoint ที่ต้องการ
Route	สำหรับสร้างและเรียกใช้งานชุดเส้นทาง
Tracks	สำหรับเรียกดู track logs
Setup	สำหรับจัดการค่าพารามิเตอร์พื้นฐานของเครื่อง
Accessories	สำหรับเรียกดูข้อมูลเวลาต่าง ๆ

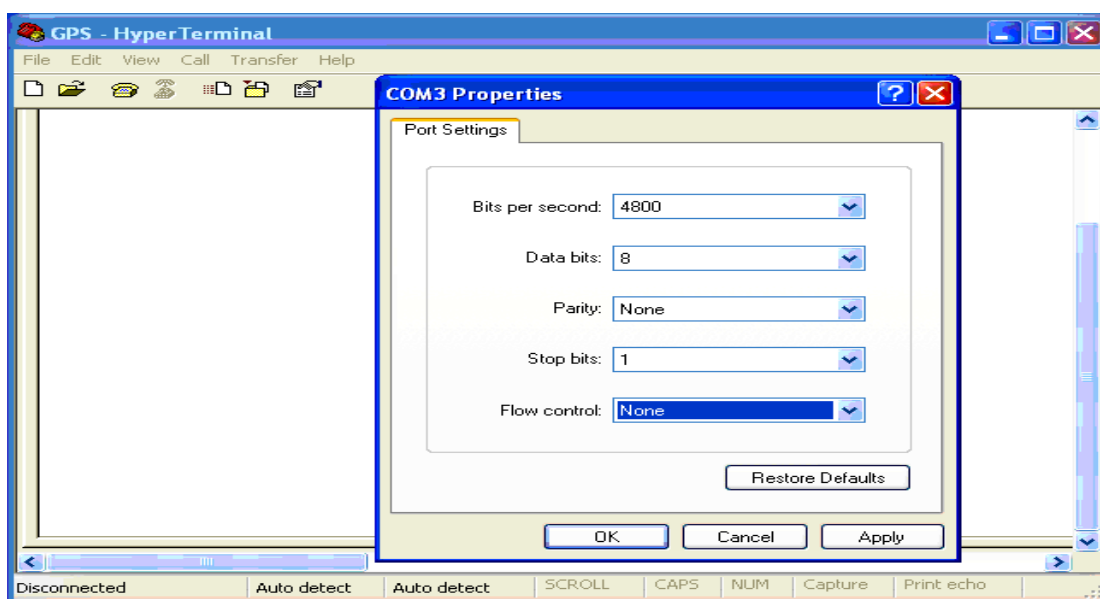


รูปที่ 3.6 หน้าจอตัวเลือกหลัก

การตั้งค่าพารามิเตอร์พื้นฐานสำหรับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ที่หน้าจอตัวเลือกหลัก menu setup ต้องทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญ ดังนี้

1. time zone ตั้งค่าเป็น UTC
2. position format ตั้งค่าเป็น hddd°mm.mmm' แสดงค่าละติจูด ลองจิจูด ในหน่วยองศาและบันทึกค่าเวลาเป็นนาที
3. map datum คือ ค่าความถูกต้องของตำแหน่งพิกัดของค่าคงที่ เทียบกับพื้นผิวอ้างอิงซึ่งเกิดจากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ มีรูปร่างใกล้เคียงกับโลกมาก ซึ่งในประเทศไทยใช้ Indian 1975 หรือ WGS 84
4. interface serial data format ตั้งค่าเป็น NMEA In/Out
5. baud rate 4800

ข้อมูลค่าพิกัดตามมาตรฐาน NMEA (The National Marine Electronics Association) ที่อ่านได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเมื่อทำการ โอนถ่ายข้อมูลการติดตามยานพาหนะจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยทำการเชื่อมต่อเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสด้วย PC interface cable เข้ากับ communication port (hyperterminal) ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งตั้งค่า interface ดังนี้ แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 การตั้งค่า communication port สำหรับอ่านค่าพิกัดจากจีพีเอส

จากรูปที่ 3.7 ตั้งค่าที่ communication port ดังนี้

Bits per second 4800

Data bit 8

Priority none

Stop bit 1

Flow control none

จากนั้นทำการจัดเก็บ (capture text file) ค่าพิกัดที่ได้จากการติดตามยานพาหนะ เก็บบันทึกไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับการประมวลผลต่อไป ซึ่งข้อมูลที่ได้มีลักษณะเป็นข้อความภาษา ASCII แสดงดังตัวอย่าง

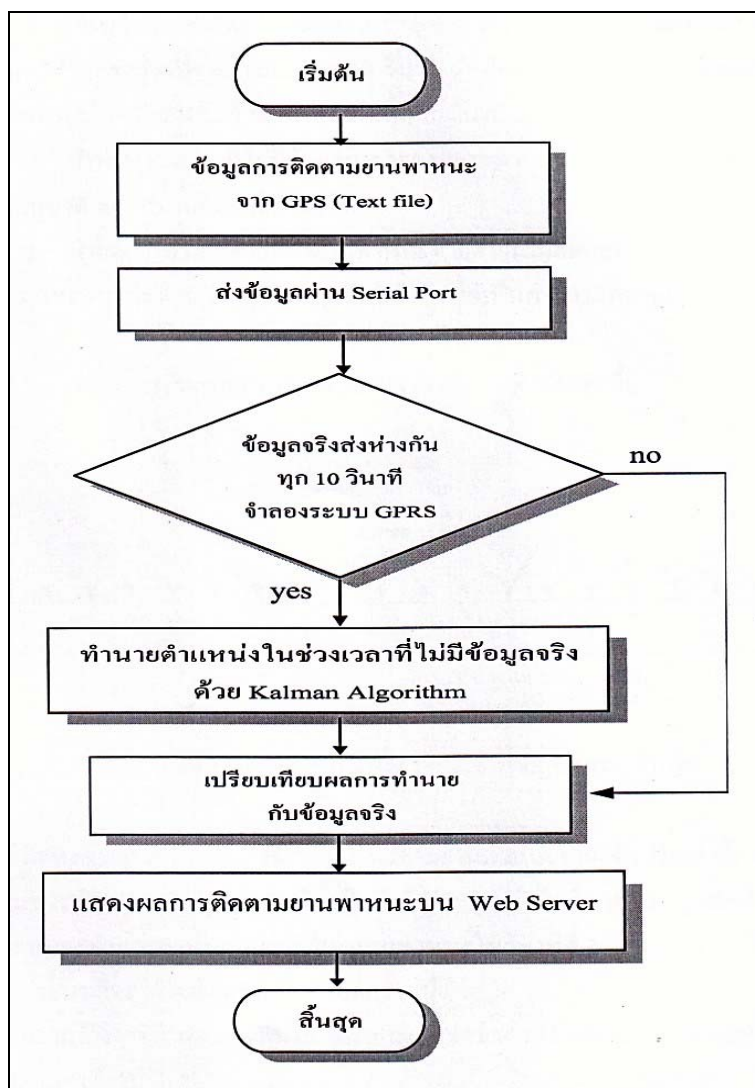
```
$GPGGA,102434,1611.0053,N,10318.3853,E,1,09,1.8,150.2,M,-21.8,M,,*65
$GPGSA,A,3,01,03,11,13,16,19,20,23,,31,,,2.8,1.8,1.3*3D
$GPGSV,3,2,10,16,28,028,39,19,56,175,42,20,24,229,42,23,59,315,47*78
$GPGLL,1611.0053,N,10318.3853,E,102434,A,A*40
$GPBOD,,T,,M,,*47
$GPVTG,235.9,T,236.4,M,9.8,N,18.2,K*7A
$PGRME,10.0,M,13.6,M,16.9,M*15
$PGRMZ,493,f,3*15
$PGRMM,User*58
$GPRTE,1,1,c,*37
$GPRMC,102436,A,1611.0017,N,10318.3802,E,11.5,232.6,040707,0.5,W,A*39
$GPRMB,A,,,,,,,,,,,,,A,A*0B
```

ยกตัวอย่างการอ่านค่าข้อมูลประเภทคงที่ ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

```
$GPGGA,102434,1611.0053,N,10318.3853,E,1,09,1.8,150.2,M,-21.8,M,,*65
GGA Global Positioning System Fix Data
102436 เวลา 10:24:34 UTC
1611.0053,N ละติจูด 16 องศา 11.0053 ลิปดาเหนือ
10318.3853,E ลองติจูด 103 องศา 18.3853 ลิปดาตะวันออก
1 GPS Fix (SPS)
09 จำนวนของดาวเทียมจีพีเอสเมื่อเริ่มติดตามตำแหน่ง
1.8 Horizontal Dilution
150.2,M ความสูงเหนือระดับน้ำทะเล หน่วยเป็นเมตร
-21.8,M ความแตกต่างจากค่าตำแหน่งพิกัดอ้างอิง WGS 84 หน่วยเป็นเมตร
*65 Checksum
```

3.3 การจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB

ข้อมูลการติดตามยานพาหนะที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ได้แก่ ค่าพิกัดต่าง ๆ เช่น ละติจูด ลองติจูด เวลา จะถูกเก็บบันทึกในเครื่องคอมพิวเตอร์ในรูปแบบของเอกสารข้อความ (text file) จากนั้นเขียนโปรแกรมเพื่อรับข้อมูลการติดตามยานพาหนะดังกล่าวผ่าน serial port เพื่อทำการจำลองระบบต่อไป ขั้นตอนการจำลองระบบการติดตามยานพาหนะ แสดงในรูปที่ 3.8

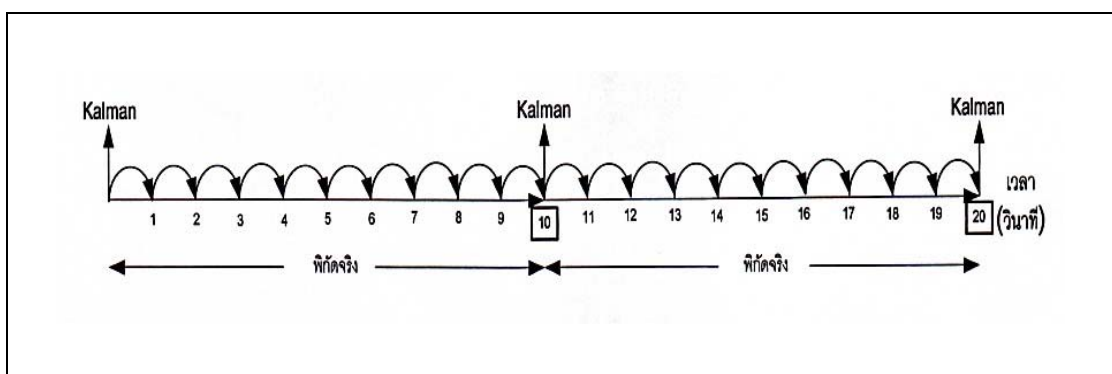


รูปที่ 3.8 ขั้นตอนการจำลองระบบติดตามยานพาหนะ

การจำลองระบบการติดตามยานพาหนะในงานวิจัยนี้ มีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

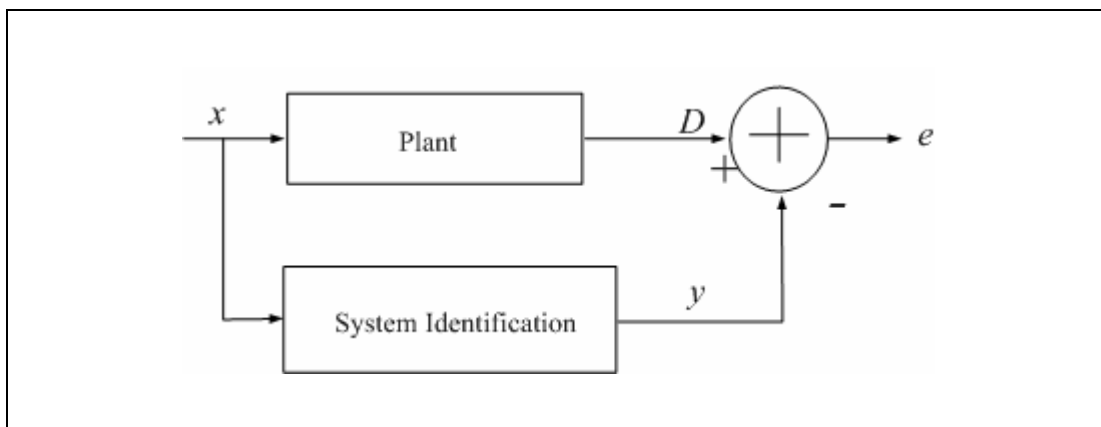
1. เริ่มต้นจากการเก็บบันทึกข้อมูลการติดตามยานพาหนะในเส้นทางการเคลื่อนที่จริงด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส
2. ทำการโอนถ่ายข้อมูลรูปแบบที่เป็น text file ผ่านทาง serial port เพื่อเก็บค่าพิกัดต่าง ๆ ได้แก่ เวลา ละติจูด ลองจิจูด เป็นต้น ไว้ในเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลงค่าพิกัดเกิดขึ้นในทุก ๆ วินาที
3. เขียนโปรแกรมเพื่อจำลองการส่งข้อมูลการติดตามยานพาหนะผ่านระบบจีพีอาร์เอส โดยกำหนดให้ทำการส่งข้อมูลห่างกันทุก ๆ 10 วินาที นั่นคือจะได้รับข้อมูลการติดตามยานพาหนะในเส้นทางการเคลื่อนที่จริงเป็นช่วงเวลาห่างกันทุก 10 วินาที แสดงดังรูปที่ 3.9
4. สำหรับช่วงเวลาที่ไม่มีข้อมูลการติดตามยานพาหนะส่งมานั้นจะเข้าสู่กระบวนการทำนายตำแหน่งด้วยกาลมานอัลกอริทึมต่อไป
5. นำผลการทำนายตำแหน่งยานพาหนะด้วยกาลมานอัลกอริทึมเปรียบเทียบกับข้อมูลการติดตามยานพาหนะตามเส้นทางการเคลื่อนที่จริง ได้เป็นค่าความคลาดเคลื่อนของการจำลองระบบ
6. แสดงการติดตามยานพาหนะบน web server ที่ได้จัดทำขึ้น

รูปที่ 3.9 แสดงช่วงเวลาที่มีการส่งข้อมูลการติดตามยานพาหนะจากจีพีอาร์เอส ซึ่งระบบจะได้รับข้อมูลเป็นช่วงเวลาห่างกันทุก ๆ 10 วินาที นั่นคือ ข้อมูลจริงในวินาทีแรกถูกส่งเข้ามาในระบบ จากนั้นระบบจะทำการทำนายตำแหน่งของยานพาหนะในวินาทีที่ 2 ไปจนถึงวินาทีที่ 9 และในวินาทีที่ 10 ระบบก็จะได้รับข้อมูลพิกัดจริงอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 3.9 ช่วงเวลาการส่งค่าพิกัดเข้าสู่ขั้นตอนการทำนาย

โครงสร้างการทำนายตำแหน่งยานพาหนะในช่วงเวลาที่ไม่มีข้อมูลจริงส่งมาด้วยคาลมานอัลกอริทึม แสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 โครงสร้างการติดตามยานพาหนะ

จากรูปที่ 3.10 x คือ ข้อมูลการติดตามยานพาหนะได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ได้แก่ เวลา ละติจูด ลองจิจูด

D คือ ค่าพิกัดที่ต้องการ ซึ่งก็คือตำแหน่งของยานพาหนะในอนาคตที่เกิดขึ้นจริง สร้างจาก x

y คือ ผลจากการทำนายตำแหน่งด้วยคาลมานอัลกอริทึม

ระบบระบุเอกลักษณ์ (system identification) ซึ่งภายในระบบนี้ คือ คาลมานอัลกอริทึม ซึ่งจะได้รับข้อมูลค่าพิกัดจริงจากจีพีอาร์เอส ห่างกันทุก 10 วินาที อธิบายได้ว่า x คือข้อมูลค่าพิกัดในวินาทีแรกที่ระบบได้รับ เมื่อผ่านขั้นตอนการทำนายตำแหน่งทำให้ได้ y ซึ่งก็คือค่าพิกัดของยานพาหนะในวินาทีที่ 2 ผลจากการทำนายในครั้งแรกจะถูกป้อนกลับเข้าไปใน system เพื่อทำการทำนายตำแหน่งของยานพาหนะในวินาทีถัดไป เป็นเช่นนี้ไปจนถึงวินาทีที่ 10 แล้ว system ก็จะได้รับข้อมูลค่าพิกัดจริงอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นนำข้อมูลค่าพิกัดจริงเปรียบเทียบกับผลการทำนายแล้วทำการปรับแก้ค่าพิกัด เพื่อใช้เป็นข้อมูลค่าพิกัดอ้างอิงสำหรับการทำนายในรอบถัดไป

3.4 การทำ web server สำหรับแสดงผลการติดตามยานพาหนะ

web server คือ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่ให้บริการในระบบอินเทอร์เน็ต เว็บไซต์ (web site) หรือ เว็บเพจ (web page) ผ่าน http://... เพื่อให้ผู้ใช้บริการสามารถอ่านข้อมูลได้ ทั้งแบบรูปภาพและเสียง บริการ web server จะมีบริการเสริมต่าง ๆ สำหรับนักพัฒนาที่ทำให้ เว็บไซต์สมบูรณ์ ได้แก่ บริการภาษา เช่น ภาษา HTML, PERL, PHP, ASP, JSP เป็นต้น หรือระบบ ฐานข้อมูล เช่น MySQL, MSAccess, MSSQL, Oracle เป็นต้น

โครงสร้างของ web server ประกอบด้วย

1. ระบบปฏิบัติการ (operating system)

คือ โปรแกรมหลักที่ใช้ควบคุมการทำงานของเครื่องตั้งแต่ส่วนประกอบต่าง ๆ เช่น คีย์บอร์ด การแสดงผลจอภาพ การอ่านและบันทึกข้อมูล ตัวอย่างระบบปฏิบัติการที่รู้จักกันดี ได้แก่ Window XP Linux MacOS เป็นต้น

2. โปรแกรมสร้าง web server

คือ โปรแกรมสำหรับให้บริการเว็บไซต์ เช่น Apache IIS (Internet Information Server) เป็นต้น

3. โปรแกรมแปลงภาษา (script language)

คือ โปรแกรมแปลง script ให้เป็นภาษาชนิด HTML สำหรับบริการบนโครงข่าย อินเทอร์เน็ต

4. ระบบฐานข้อมูล (data base)

คือ โปรแกรมสำหรับจัดการระบบฐานข้อมูล เพื่อให้การจัดเก็บข้อมูลมีความเป็น ระเบียบ สามารถเรียกใช้งานได้ง่าย ระบบฐานข้อมูลที่นิยมใช้ ได้แก่ MySQL, Microsoft Access, SQL Server เป็นต้น

การจัดทำ web server สำหรับงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย

1. ระบบปฏิบัติการลินุกซ์เซิร์ฟเวอร์พร้อมใช้จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เวอร์ชัน 2.0 สำหรับนักพัฒนา เนื่องจากระบบปฏิบัติการลินุกซ์มีลักษณะเป็น open source และเป็น ระบบที่มีเสถียรภาพสูง มีความปลอดภัย เชื่อถือได้ สามารถรองรับการทำงานของผู้ใช้งานในเวลา เดียวกันได้เป็นจำนวนมาก และลดค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อโปรแกรม ระบบปฏิบัติการลินุกซ์สามารถ รองรับการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ ได้แก่ Web, Mail, DNS, Proxy, FTP และ DHCP เป็นต้น อีกทั้ง ยังสามารถพัฒนาโปรแกรมต่อไปได้อย่างอิสระ

2. Apache เวอร์ชัน 2.2.6 เป็นโปรแกรมสร้าง Web Server เนื่องจากเป็นโปรแกรม web server ที่มีความสามารถสูงและเป็นที่ยอมรับมากในปัจจุบัน

3. PHP เวอร์ชัน 5.1.6 สำหรับเป็นโปรแกรมแปลงภาษาเนื่องจากเป็นภาษาคอมพิวเตอร์ ในลักษณะเซิร์ฟเวอร์ ไซค์สคริปต์ เป็น open source เหมาะสำหรับจัดทำเว็บไซต์ และให้การแสดงผลในรูปแบบ HTML และมีโครงสร้างพื้นฐานคำสั่งมาจาก ภาษาซี จาวา เพิร์ล ซึ่ง PHP นั้น เป็นภาษาที่เข้าใจง่าย

4. ฐานข้อมูลใช้โปรแกรม MySQL เนื่องจากเป็นระบบจัดการฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ที่ นิยมใช้กันมากในปัจจุบันสำหรับการใช้งานบน โครงข่ายอินเทอร์เน็ต เป็น free ware ด้าน ฐานข้อมูลที่มีประสิทธิภาพสูง สามารถประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว รองรับจำนวนผู้ใช้และ ขนาดของข้อมูลที่ใหญ่ ๆ ได้ อีกทั้งยังสนับสนุนการใช้งานบนระบบปฏิบัติการต่าง ๆ ได้ เช่น Window XP, Linux, Unix, MacOS นอกจากนี้ MySQL ยังสามารถใช้งานร่วมกับโปรแกรมภาษา ต่าง ๆ ได้แก่ ภาษาซี จาวา เพิร์ล PHP ASP ได้อีกด้วย

สำหรับส่วนของ HardWare ประกอบด้วย

1. Tower Computer
2. HP ProLiant ML110 G4
3. Pentium(R) D CPU 3.20GHz
4. RAM DDR2 1 GB
5. CD-ROM

โปรแกรมแผนที่สำเร็จรูปบน web server ที่จัดทำขึ้นใช้โปรแกรม google map เนื่องจาก เป็นบริการข้อมูลค่าพิกัดแผนที่ โดยไม่คิดค่าใช้จ่าย อีกทั้งบางพื้นที่ยังมีภาพถ่ายดาวเทียมที่มีความคมชัดสูง แสดงรายละเอียดของพื้นที่นั้น ๆ ได้แก่ อาคาร บ้าน ถนน ท่งนา ต้นไม้ เป็นต้น ทำให้ ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจแผนที่ได้ง่าย

บทที่ 4

ผลการทดลอง

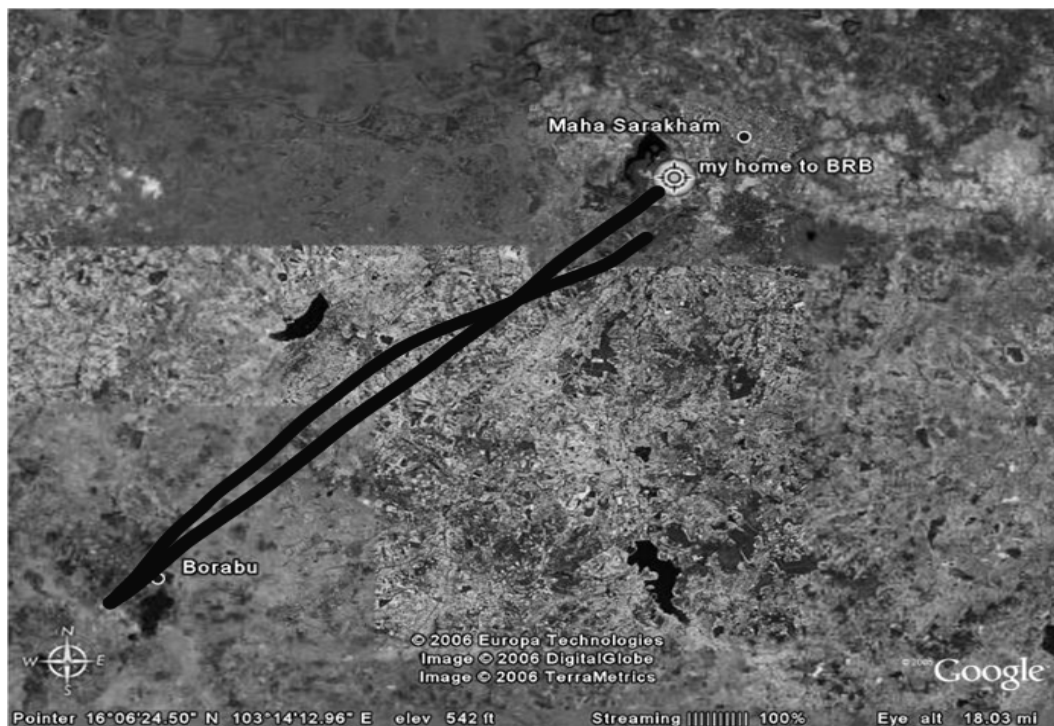
4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการแสดงผลการติดตามยานพาหนะบนโปรแกรมแผนที่สำเร็จรูป ผลการติดตามยานพาหนะในเส้นทางการเคลื่อนที่จริง ผลการติดตามยานพาหนะเมื่อผ่านโปรแกรม ทำนายตำแหน่งด้วยกาลมานอัลกอริทึมซึ่งจำลองระบบการส่งผ่านข้อมูลการติดตามยานพาหนะ ผ่านระบบจีพีอาร์เอส ไปยัง web server ที่จัดทำขึ้น พร้อมทั้งได้ทำการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนระหว่างพิกัดจริงที่ได้จากการติดตามยานพาหนะกับผลที่ได้จากการทำนายตำแหน่ง ด้วยกาลมานอัลกอริทึม พร้อมทั้งหาค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนแสดงเป็นค่า RMS error และเปรียบเทียบเป็นระยะทางบนพื้นโลก

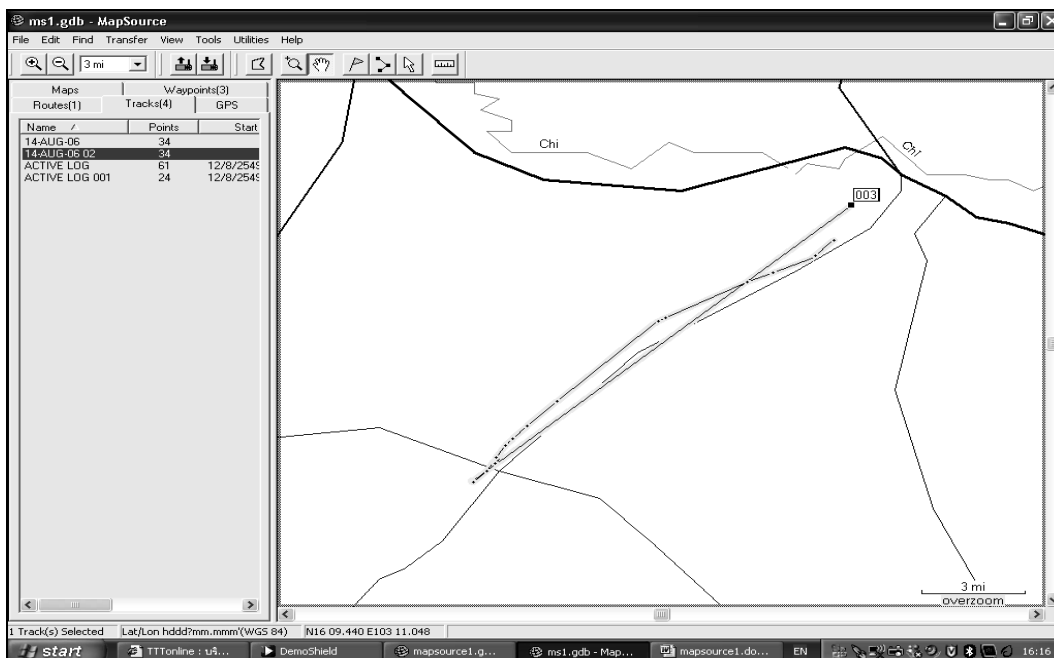
4.2 ผลการติดตามยานพาหนะด้วยจีพีเอส

4.2.1 การแสดงผลการติดตามยานพาหนะบนโปรแกรมแผนที่สำเร็จรูป

สำหรับงานวิจัยนี้ ใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสยี่ห้อ Garmin รุ่น eTrex Legend สำหรับการติดตามยานพาหนะ โดยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสนี้จะทำหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลการติดตามยานพาหนะ ได้แก่ วัน เวลา ค่าพิกัดละติจูด ลองติจูด ทิศทางและความเร็ว ในการเคลื่อนที่ของยานพาหนะ ซึ่งข้อมูลทั้งหมดจะถูกบันทึกไว้ในเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ทำการถ่ายโอนข้อมูลจากจีพีเอสไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ผ่านทาง serial port สามารถแสดงผลข้อมูลของการติดตามยานพาหนะดังกล่าวบนโปรแกรมแผนที่สำเร็จรูปได้ ซึ่งตัวอย่างโปรแกรมแผนที่สำเร็จรูป ได้แก่ GoogleEarth MapSource ได้ผลดังรูป รูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 เป็นผลการติดตามยานพาหนะเส้นทางจากบ้านของผู้วิจัยซึ่งอยู่ในเขตพื้นที่อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางหลวงหมายเลข 23 ไปยังอำเภอบรบือและเคลื่อนที่กลับด้วยเส้นทางเดิม ระยะทางประมาณ 50 กิโลเมตร แสดงบน โปรแกรมแผนที่สำเร็จรูป GoogleEarth และ MapSource ตามลำดับ

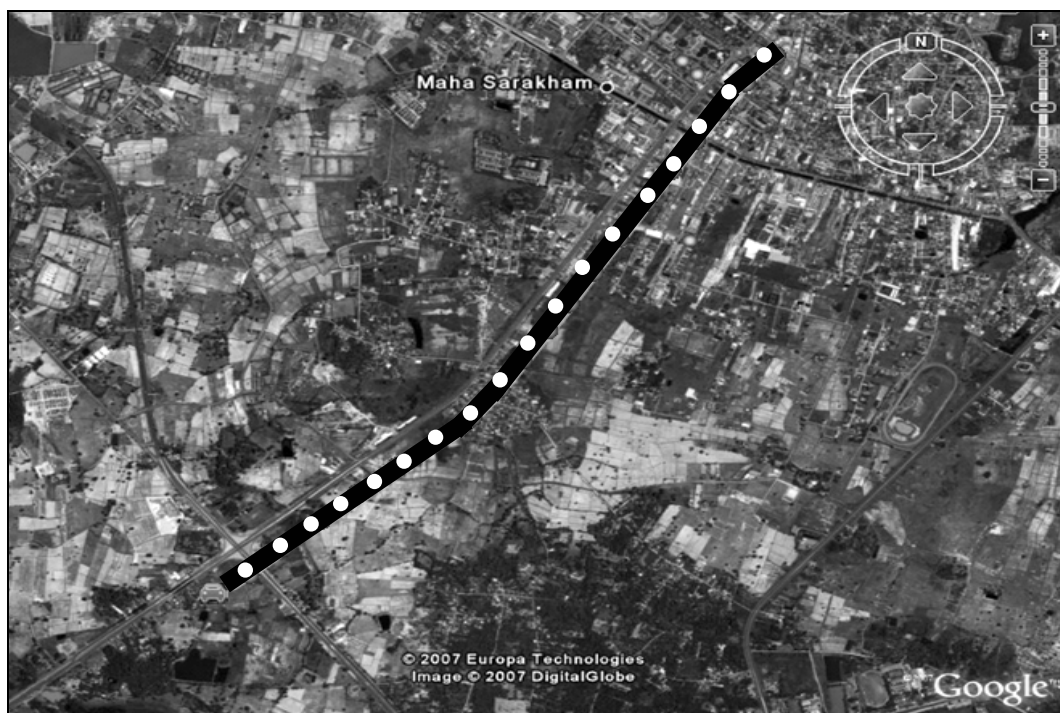


รูปที่ 4.1 การแสดงผลการติดตามยานพาหนะบน โปรแกรม GoogleEarth



รูปที่ 4.2 การแสดงผลการติดตามยานพาหนะบน โปรแกรม MapSource

ข้อมูลการติดตามยานพาหนะในเส้นทางการเคลื่อนที่จริง สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินการเก็บข้อมูลการติดตามยานพาหนะในพื้นที่จังหวัดมหาสารคาม โดยใช้เส้นทางจากหอนาฬิกาจนถึงสี่แยกถนนเลี่ยงเมือง ระยะทางประมาณ 4 กิโลเมตร และกำหนดให้ยานพาหนะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ รูปที่ 4.3 แสดงเส้นทางที่ทำการเก็บข้อมูลสำหรับจำลองระบบ



รูปที่ 4.3 เส้นทางการเคลื่อนที่จริงของการติดตามยานพาหนะ

การเก็บข้อมูลด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสยี่ห้อ Garmin ได้ข้อมูลค่าพิกัด ดังตารางที่ 4.1

ตาราง 4.1 ผลการติดตามยานพาหนะตามเส้นทางการเคลื่อนที่จริง

Time (hhmmss)	Latitude (degree)	Longitude (degree)	Time (hhmmss)	Latitude (degree)	Longitude (degree)
102434	16.096	103.17	102614	16.089	103.16
102444	16.096	103.17	102624	16.088	103.16
102454	16.095	103.17	102634	16.087	103.16
102504	16.094	103.17	102644	16.086	103.16
102514	16.094	103.17	102654	16.086	103.16

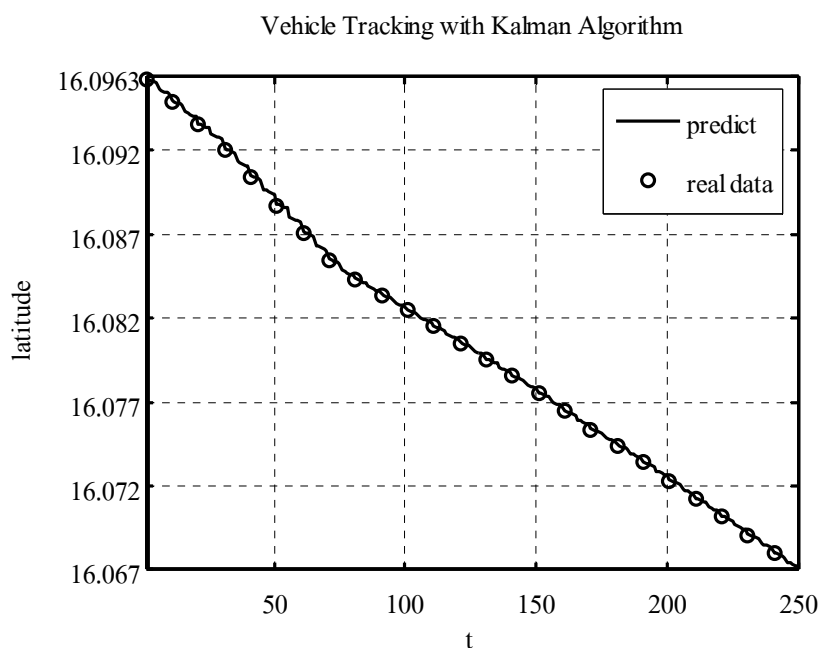
ตาราง 4.1 ผลการติดตามยานพาหนะตามเส้นทางการเคลื่อนที่จริง (ต่อ)

Time (hhmmss)	Latitude (degree)	Longitude (degree)	Time (hhmmss)	Latitude (degree)	Longitude (degree)
102524	16.093	103.17	102704	16.085	103.16
102534	16.092	103.17	102714	16.084	103.16
102544	16.091	103.16	102724	16.084	103.16
102554	16.091	103.16	102734	16.083	103.15
102604	16.09	103.16	102744	16.083	103.15

4.3 ผลการจำลองระบบด้วยโปรแกรม MATLAB

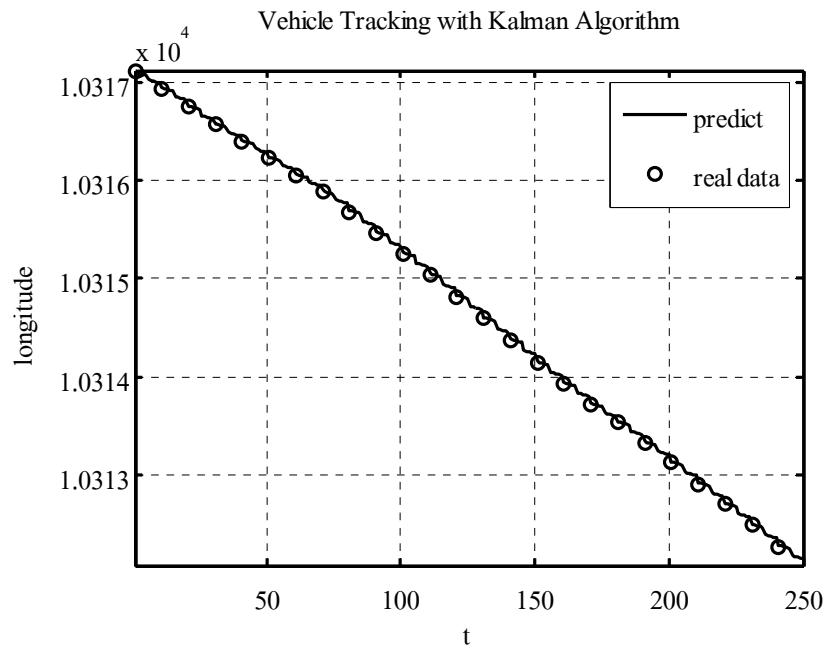
การจำลองระบบการติดตามยานพาหนะด้วยโปรแกรม MATLAB จะแยกพิจารณาการติดตามยานพาหนะออกเป็น 2 ส่วน นั่นคือ การติดตามยานพาหนะตามแนวละติจูดและการติดตามยานพาหนะตามแนวลองจิจูด

4.3.1 การติดตามยานพาหนะตามแนวละติจูด



รูปที่ 4.4 ผลการติดตามยานพาหนะตามแนวละติจูด

4.3.2 การติดตามยานพาหนะตามแนวลองติจูด



รูปที่ 4.5 ผลการติดตามยานพาหนะตามแนวลองติจูด

จากรูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5 อธิบายได้ดังนี้

สัญลักษณ์วงกลมบนเส้นกราฟ (O) คือ ข้อมูลตำแหน่งจริงของยานพาหนะซึ่งส่งมาจากจีพีอาร์เอส ซึ่งที่ server จะได้รับข้อมูลค่าพิกัดเป็นช่วงเวลาห่างกันทุก 10 วินาที

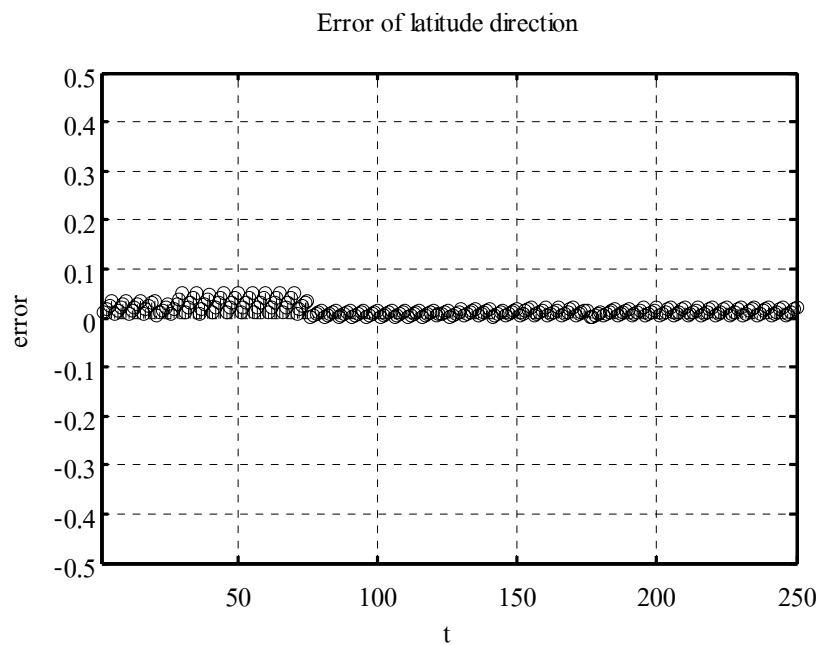
เส้นทึบ คือ ผลจากการทำนายตำแหน่งยานพาหนะด้วยคาลมานอัลกอริทึมในช่วงเวลาระหว่างวินาทีที่ 2 ถึงวินาทีที่ 9 ในทุกรอบของการส่งข้อมูลจากจีพีอาร์เอส ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ไม่มีข้อมูลตำแหน่งจริงส่งมาจากจีพีอาร์เอส

จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลการติดตามยานพาหนะเมื่อผ่านขั้นตอนการทำนายตำแหน่งด้วยคาลมานอัลกอริทึม กับค่าพิกัดที่ได้จากการติดตามยานพาหนะตามเส้นทางรถเคลื่อนที่จริงซึ่งได้ถูกเก็บบันทึกไว้แล้ว

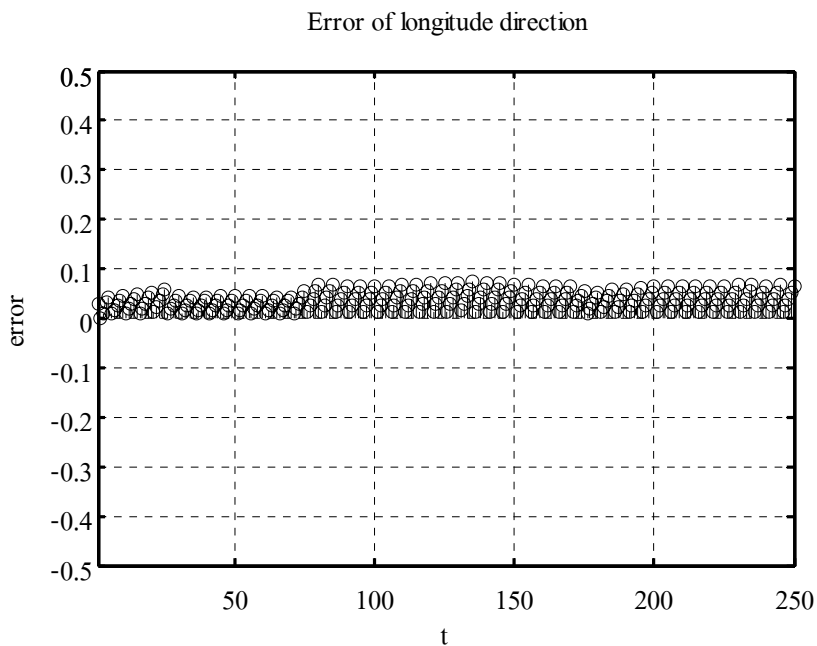
ค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้น คือ ความคลาดเคลื่อนของการจำลองระบบการติดตามยานพาหนะ หาได้จากสมการ (4.1) และสามารถแสดงผลได้ตามรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 ตามลำดับ

$$e = D - y \quad (4.1)$$

- โดยที่ e คือ ค่าความคลาดเคลื่อนของการจำลองระบบ
 D คือ ค่าพิกัดจริงที่ได้จากการติดตามยานพาหนะ
 y คือ ค่าพิกัดซึ่งเป็นผลจากการทำนายด้วยคาลมานอัลกอริทึม



รูปที่ 4.6 ค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวละติจูด



รูปที่ 4.7 ค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวลองติจูด

จากนั้นนำผลของความคลาดเคลื่อนจากการทำนายตำแหน่งด้วยกาลมานอัลกอริธึมแยกพิจารณาตามแนวละติจูดและตามแนวลองติจูด เพื่อหาค่า RMS Error จากสมการ

$$RMS_error = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (4.2)$$

จากรูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7 แสดงค่าความคลาดเคลื่อนจากการทำนายตำแหน่งด้วยกาลมานอัลกอริธึมที่เกิดขึ้นในทุกวินาที จะเห็นว่า ค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายตำแหน่งทั้งในแนวละติจูด และในแนวลองติจูด มีค่าต่ำมาก เมื่อพิจารณาหาค่าเฉลี่ยของความคลาดเคลื่อนของผลการทำนายตำแหน่งด้วยกาลมานอัลกอริธึมตามสมการที่ 4.2 ให้ผลดังนี้

ค่า RMS Error ตามแนวละติจูด มีค่าเท่ากับ 0.008398

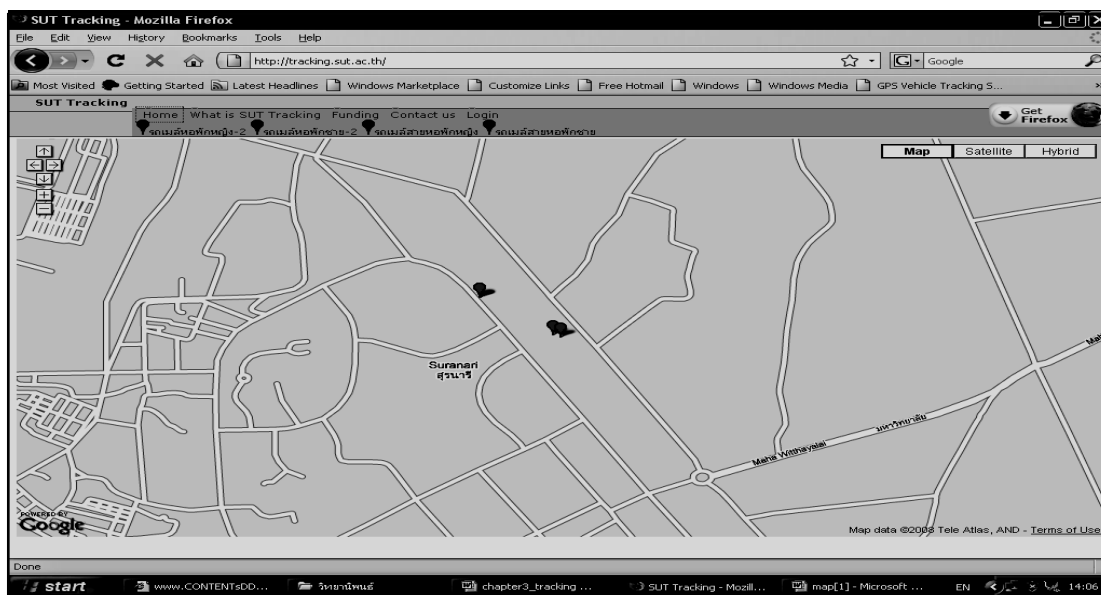
และตามแนวลองติจูด มีค่าเท่ากับ 0.0118

จากนั้นทำการคำนวณหาระยะคลาดเคลื่อนบนพื้นโลก จากการอ้างอิงระยะบนพื้นโลกค่าความแตกต่างของมุมละติจูดและลองจิจูดที่ห่างกัน 1 องศา คิดเป็นระยะทางบนพื้นโลกประมาณ 111 กิโลเมตร และ 1 ฟลิปดา คิดเป็นระยะทางประมาณ 30.48 เมตร (http://www.bangkokgis.com/gisforeveryone/map/readmap_n.html) นั่นคือจากผลทำนายตำแหน่งของยานพาหนะด้วยกาลมานอัลกอริทึม ให้ผลคลาดเคลื่อนเป็นระยะทางบนพื้นโลก ดังนี้

ค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวละติจูด คิดเป็นระยะทางบนพื้นโลก เท่ากับ 25.60 เมตร และค่าความคลาดเคลื่อนตามแนวลองจิจูด คิดเป็นระยะทางบนพื้นโลก เท่ากับ 35.97 เมตร

4.4 การติดตามยานพาหนะบน web server

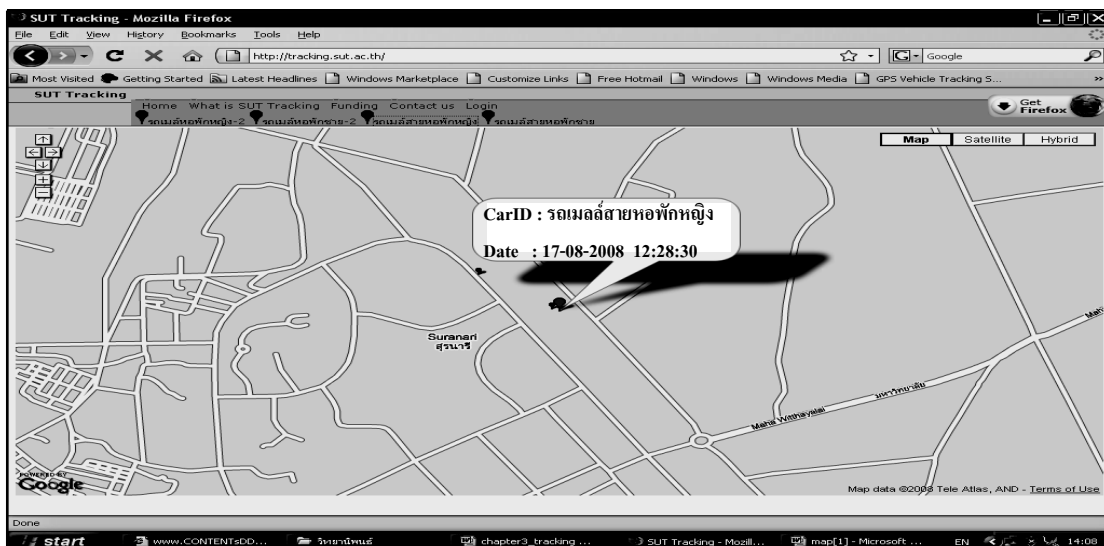
การแสดงผลการติดตามยานพาหนะบน web server ผู้ใช้งานสามารถเข้าชม web server ที่ได้จัดทำขึ้นผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยพิมพ์ URL <http://tracking.sut.ac.th> แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 Web Server ที่จัดทำ

ต่อไปนี้เป็นตัวอย่างการแสดงผลการติดตามตำแหน่งของรถเมล์บริการรับส่งนักศึกษาภายในเขตพื้นที่ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสส่งข้อมูลค่าพิกัดผ่านระบบจีพีอาร์เอส เพื่อแสดงผลการติดตามบน web server ที่ได้จัดทำขึ้น

ในรูปที่ 4.9 และรูปที่ 4.10 คือ การติดตามรถเมล์สายหอพักหญิงแสดงบนแผนที่ GoogleMap และแสดงบนแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม ตามลำดับ

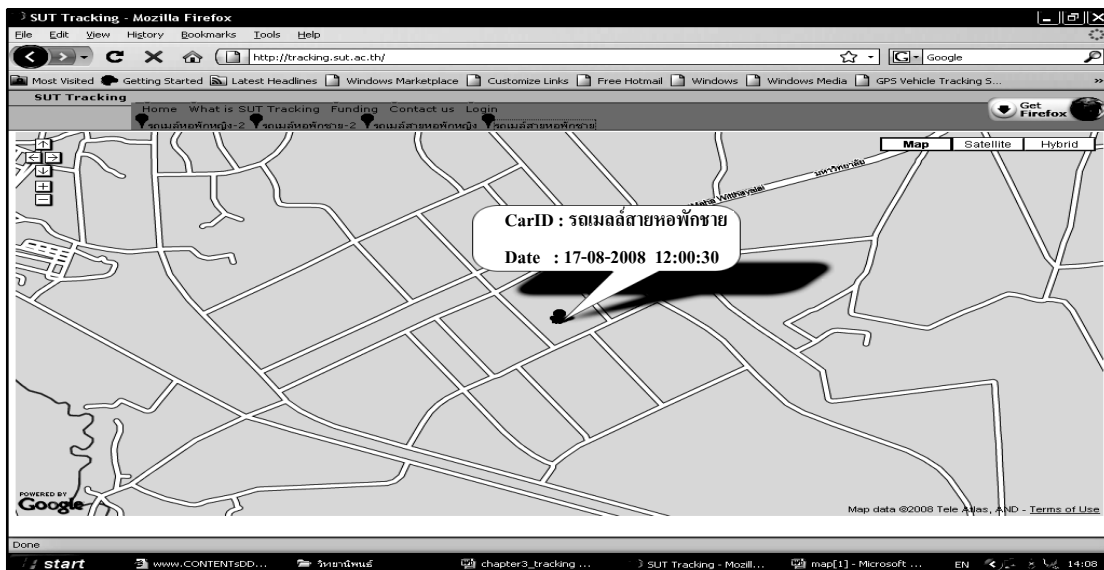


รูปที่ 4.9 การติดตามรถเมล์สายหอพักหญิงแสดงบนแผนที่ GoogleMap



รูปที่ 4.10 การติดตามรถเมล์สายหอพักหญิงแสดงบนแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม

เช่นเดียวกันในรูปที่ 4.11 และรูปที่ 4.12 คือการติดตามรถเมล์สายหอพักชายแสดงบนแผนที่ GoogleMap และแสดงบนแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม ตามลำดับ



รูปที่ 4.11 การติดตามรถเมล์สายหอพักชายแสดงบนแผนที่ GoogleMap



รูปที่ 4.12 การติดตามรถเมล์สายหอพักชายแสดงบนแผนที่ภาพถ่ายดาวเทียม

4.5 สรุป

ผลการจำลองระบบการติดตามยานพาหนะโดยการใช้กาลมานอัลกอริทึมทำนายตำแหน่งของยานพาหนะในช่วงเวลาที่ไม่มีข้อมูลจริงส่งมาจากจีพีอาร์เอสนั้น พบว่าการทำนายตำแหน่งด้วยวิธีการดังกล่าวให้ผลการติดตามยานพาหนะที่คลาดเคลื่อนไปจากค่าพิกัดที่ได้จากการติดตามการเคลื่อนที่ในเส้นทางจริงเพียงเล็กน้อย นั่นคือ มีค่าความคลาดเคลื่อนประมาณ 1 ฟิลิปดา คิดเป็นระยะทางที่คลาดเคลื่อนบนพื้นโลกตามแนวละติจูด เท่ากับ 25.60 เมตร และระยะทางที่คลาดเคลื่อนบนพื้นโลกตามแนวลองจิจูด เท่ากับ 35.97 เมตร จากการทำนายตำแหน่งด้วยวิธีการกาลมานทำให้ได้ข้อมูลค่าพิกัดของยานพาหนะในทุก ๆ วินาทีที่เคลื่อนที่ไป ส่งผลให้การแสดงผลการติดตามยานพาหนะบน web server มีความต่อเนื่องและสมจริงด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอระบบการติดตามยานพาหนะด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส มีการจำลองระบบการส่งผ่านข้อมูลการติดตามยานพาหนะจากจีพีเอสผ่านระบบจีพีอาร์เอส โดยโปรแกรม MATLAB และกาลมานอัลกอริทึมสำหรับทำนายตำแหน่งของยานพาหนะในช่วงที่ไม่มีข้อมูลจริงส่งมาจากจีพีอาร์เอส และเปรียบเทียบผลการทำนายและข้อมูลการติดตามตำแหน่งจริง และได้มีการจัดทำ web server สำหรับแสดงผลการติดตามยานพาหนะ การวิจัยเริ่มต้นจากการศึกษาเนื้อหาและความสำคัญของปัญหา ตั้งวัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้นขอบเขตของการวิจัย และประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย

จากนั้นทำการศึกษาการทำงานของระบบดาวเทียมจีพีเอส การติดตามยานพาหนะด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ศึกษาการแสดงผลการติดตามยานพาหนะบนโปรแกรมแผนที่สำเร็จรูปและพัฒนาเป็น web server สำหรับแสดงผลการติดตามยานพาหนะบนโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ทำการศึกษาอัลกอริทึมที่นำมาใช้สำหรับทำนายตำแหน่งของยานพาหนะ ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้กาลมานอัลกอริทึมเนื่องจากว่าเป็นอัลกอริทึมที่ใช้รูปแบบการควบคุมการป้อนกลับของสัญญาณ (feedback control) และมีขั้นตอนการคำนวณเป็นแบบเรียกซ้ำ (recursive) ที่ให้ผลการคำนวณที่มีประสิทธิภาพและได้ผลการประมาณค่าที่ถูกต้อง อีกทั้งยังเป็นวิธีการที่นิยมใช้มากในปัจจุบัน

ในงานวิจัยได้ดำเนินการเก็บบันทึกข้อมูลการติดตามยานพาหนะในเส้นทางเคลื่อนที่จริงเพื่อจะเป็นข้อมูลสำหรับนำไปใช้ในการจำลองระบบต่อไป ผู้วิจัยใช้โปรแกรม MATLAB ในการจำลองระบบการส่งผ่านข้อมูลการติดตามยานพาหนะที่ได้จากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ผ่านระบบจีพีอาร์เอสในโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยัง web server ที่ web server จะได้รับข้อมูลการติดตามยานพาหนะเป็นช่วงเวลาที่ห่างกันทุก ๆ 10 วินาที การแสดงผลบนโปรแกรมแผนที่สำเร็จรูปจะปรากฏพิกัดการติดตามยานพาหนะในรูปแบบที่ไม่มีคามต่อเนื่อง เพื่อให้การแสดงผลการติดตามยานพาหนะมีความสมจริงมากขึ้น ผู้วิจัยได้ใช้กาลมานอัลกอริทึมทำนายตำแหน่งของยานพาหนะในช่วงเวลาที่ไม่มีข้อมูลจริงส่งมาจากจีพีอาร์เอส ในการจำลองระบบผู้วิจัยได้แยกการติดตามออกเป็น 2 ส่วน นั่นคือ ติดตามยานพาหนะตามแนวละติจูด และ

ติดตามยานพาหนะตามแนวลองติจูด เพื่อให้ง่ายต่อการจำลองระบบและได้ผลการจำลองที่ชัดเจน ซึ่งผลจากการจำลองระบบดังกล่าว ทำให้ได้ข้อมูลการติดตามยานพาหนะที่เกิดขึ้นในทุก ๆ วินาที จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทำนายตำแหน่งด้วยกาลมานอัลกอริธึมกับค่าพิกัดจริง พบว่าค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นซึ่งก็คือค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากการทำนายตำแหน่งด้วย อัลกอริธึมดังกล่าว มีค่าน้อยมาก นั่นคือ มีค่าเท่ากับ 0.008398 ตามแนวละติจูด และ 0.0118 ตามแนวลองติจูด และเมื่อทำการเทียบค่าความคลาดเคลื่อนดังกล่าวเป็นระยะทางของความคลาดเคลื่อนบนพื้นโลกจะเห็นได้ว่ามีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในหน่วยฟิลิปดา คิดเป็นระยะทางคลาดเคลื่อนตามแนวละติจูด เท่ากับ 25.60 เมตร และระยะทางคลาดเคลื่อนตามแนวลองติจูด เท่ากับ 35.97 เมตร นั่นคือ กาลมานอัลกอริธึมนี้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการติดตามยานพาหนะ ทำให้การติดตามยานพาหนะในงานวิจัยนี้มีความต่อเนื่องและสามารถแสดงผลการติดตามยานพาหนะบน web server ได้อย่างสมจริงมากยิ่งขึ้น

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

เนื่องจากในงานวิจัยนี้เลือกใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่มีราคาถูกจึงอาจเป็นสาเหตุให้ความแม่นยำในการอ่านค่าพิกัด ผิดพลาดไปจากระยะจริงมาก ส่งผลทำให้การจำลองระบบเกิดความคลาดเคลื่อนมากตามไปด้วย ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่าพิกัดที่แม่นยำมากยิ่งขึ้นควรเลือกเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งราคาของเครื่องจีพีเอสก็จะสูงด้วย

ในการจำลองระบบกำหนดให้ การส่งข้อมูลการติดตามยานพาหนะจากระบบจีพีอาร์เอส เป็นการส่งข้อมูลห่างกันทุก 10 วินาทีแล้วทำการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของการทำนายกับค่าพิกัดจริง ไม่ได้ทดลองทำการส่งข้อมูลที่ช่วงเวลาห่างกันมากกว่าหรือน้อยกว่า 10 วินาที ดังนั้น เพื่อให้การจำลองระบบมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ควรทำการทดลองให้ทำการส่งข้อมูลการติดตามยานพาหนะด้วยระบบจีพีอาร์เอสที่ช่วงเวลาต่าง ๆ กัน เพื่อจะได้เป็นการเปรียบเทียบผลการทำนายตำแหน่งด้วยกาลมานอัลกอริธึม เมื่อได้รับข้อมูลการติดตามที่ช่วงเวลาห่างกันมากกว่า 10 วินาที และผลจากการทำนายตำแหน่งเมื่อได้รับข้อมูลการติดตามที่ช่วงเวลาห่างกันน้อยกว่า 10 วินาที เพื่อทดสอบว่าค่าความคลาดเคลื่อนเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างไร

ข้อมูลการติดตามยานพาหนะที่นำมาใช้ในการจำลองระบบ เป็นข้อมูลการติดตามในเส้นทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะเพียงเส้นทางเดียว เพื่อให้อัลกอริธึมดังกล่าวมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ควรทำการทดลองเพิ่มเส้นทางการเคลื่อนที่ของยานพาหนะให้มีหลากหลายรูปแบบ เช่น ให้นยานพาหนะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง เคลื่อนที่ในแนวโค้ง เคลื่อนที่ผ่านทางแยก เป็นต้น

เพื่อเปรียบเทียบค่า RMS error ที่เกิดขึ้นจากการทำนายตำแหน่งด้วยกาลมานอัลกอริทึม ตามการเคลื่อนที่ของยานพาหนะในรูปแบบต่าง ๆ กัน

5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

การประยุกต์ใช้ระบบการติดตามยานพาหนะในเชิงธุรกิจ เช่น ระบบการติดตามรถ ระบบการขนส่ง ประกอบด้วยเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสเชื่อมต่อเข้ากับระบบจีพีอาร์เอส เพื่อส่งผ่านข้อมูลตำแหน่งของรถแสดงผลที่ server ของผู้ให้บริการ เพื่อแสดงตำแหน่งปัจจุบันของรถ และทำให้ทราบพฤติกรรมจราจรของพนักงานด้วย ลักษณะการแสดงผลเป็นแบบเวลาจริง (real time) ของข้อมูลพิกัดที่ได้รับเข้ามาในขณะเวลานั้น ซึ่งเมื่อนำกาลมานอัลกอริทึมเพิ่มเข้าไปในระบบการติดตามยานพาหนะดังกล่าว จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการแสดงผลการติดตามยานพาหนะให้มีความสมจริงมากยิ่งขึ้น

รายการอ้างอิง

- กัลป์รัฐ กล้ายดวง (2542). การลดความผิดพลาดทางตำแหน่งของผู้ใช้จีพีเอสโยวิธีการปรับแก้ค่าตำแหน่งดาวเทียม. **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต** สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ชาญชัย กุศลจิตกรณ์ (2548). การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบติดตามการเคลื่อนที่ของรถโดยใช้จีพีเอสร่วมกับระบบ Dead-Reckoning. **วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- บริษัท อี เอส อาร์ ไอ (ประเทศไทย) จำกัด.(2545). คู่มือการใช้งาน(ฉบับภาษาไทย) GARMIN eTrex Legend.
- ลัญฉกร วุฒิสีทธิกุลกิจ. (2547). **MATLAB การประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมไฟฟ้า**. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- A. Lahrech, C. Boucher and J.-C. Noyer.(2005). Accurate vehicle positioning in urban areas. **Industrial Electronics Society 2005**: 486-490.
- Cesar Barrios, Henry Himberg, Yuichi Motai, Adel Sedek.(2006). Multiple Model Framework of Adaptive Extended Kalman Filtering for Predicting Vehicle Location. **Proceedings of the IEEE ITSC 2006**: 1053-1059.
- El-Rabbany,Ahmed.(2002). **Introduction to GPS:The Global Positioning System**. Boston: Artech House.
- Jianping Xing, Jun Zhang, Weiye Li, Hebin Cheng, Xiaohui Shi, Changqing Li.(2006). Vehicle GPS Real Time Monitoring Communication System Base on GPRS/CSD. **Intelligent Control and Automation 2006. The Sixth World Congress on Volume 2**: 8745-8749.
- Mohinder S.Grewal and Angus P. Andrews (2001). **Kalman Filtering Theory and Practice Using MATLAB**. 2nd ed. New York: John Wiley & Son, Inc.
- Nakaran Sathamnuwong.(2002). Dead Reckoning-Aided GPS Vehicle Navigation Using Sequential Least Squares with Weighted Constraints. **Doctor of Philosophy of Purdue University**.

Qui Z., An D., Yao D., Zhon D.(2005). An Adaptive Kalman Predictor Applied to tracking Vehicles in the traffic monitoring system. **Intelligent Vehicles Symposium, 2005 Proceeding IEEE** : 230-235.

Rachel Kleinbauer.(2004). Kalman Filtering Implementation with MATLAB. **Study Report in the Field of Study Geodesy and Geoinformatics**. Stuttgart University.

Rezaei S. and Sengupta R.(2005). Kalman Filter Based Integration of DGPS and Vehicle Sensors for Localization. **Mechatronics and Automation, 2005 IEEE International Conference Vol.1**: 455-460

Simon Haykin. (2002). **Adaptive Filter Theory**. 4th ed. New Jersey: Prentice Hall, Inc.

National Marine Electronics Association: <http://www.nmea.org>

<http://www.trueworld.com/technology/gprs/intro.shtml>

<http://www.gpsinformation.net>

http://www.bangkokgis.com/gisforeveryone/map/readmap_n.html

ภาคผนวก ก

การอ่านข้อมูลจากเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส ด้วย NMEA Protocol

\$GPGGA,hhmmss.ss,llll.ll,a,yyyyy.yy,a,x,xx,x.x,x.x,M,x.x,M,x.x,xxxx*hh

GGA = Global Positioning System Fix Data

- 1 = UTC of Position
- 2 = Latitude
- 3 = N or S
- 4 = Longitude
- 5 = E or W
- 6 = GPS quality indicator (0=invalid; 1=GPS fix; 2=Diff. GPS fix)
- 7 = Number of satellites in use [not those in view]
- 8 = Horizontal dilution of position
- 9 = Antenna altitude above/below mean sea level (geoid)
- 10 = Meters (Antenna height unit)
- 11 = Geoidal separation (Diff. between WGS-84 earth ellipsoid and mean sea level. -=geoid is below WGS-84 ellipsoid)
- 12 = Meters (Units of geoidal separation)
- 13 = Age in seconds since last update from diff. reference station
- 14 = Diff. reference station ID#
- 15 = Checksum

\$GPGSA,A,3,19,28,14,18,27,22,31,39,,,,,1.7,1.0,1.3*35

GSA = GPS receiver operating mode, SVs used for navigation, and DOP values.

1 = Mode:

M = Manual, forced to operate in 2D or 3D

A = Automatic, 3D/2D

2 = Mode: 1 = Fix not available

2 = 2D

3 = 3D

3-14 = IDs of SVs used in position fix (null for unused fields)

15 = PDOP

16 = HDOP

17 = VDOP

\$GPGSV,4,1,13,02,02,213,,03,-3,000,,11,00,121,,14,13,172,05*67

GSV = Number of SVs in view, PRN numbers, elevation, azimuth & SNR values.

1 = Total number of messages of this type in this cycle

2 = Message number

3 = Total number of SVs in view

4 = SV PRN number

5 = Elevation in degrees, 90 maximum

6 = Azimuth, degrees from true north, 000 to 359

7 = SNR, 00-99 dB (null when not tracking)

8-11 = Information about second SV, same as field 4-7

12-15 = Information about third SV, same as field 4-7

16-19 = Information about fourth SV, same as field 4-7

\$GPVTG,t,T,,,s.ss,N,s.ss,K*hh

VTG = Actual track made good and speed over ground

1 = Track made good

2 = Fixed text 'T' indicates that track made good is relative to true north

3 = not used

4 = not used

5 = Speed over ground in knots

6 = Fixed text 'N' indicates that speed over ground in in knots

7 = Speed over ground in kilometers/hour

8 = Fixed text 'K' indicates that speed over ground is in kilometers/hour

9 = Checksum

\$GPRMA,A,lll.ll,N,llll.ll,W,,,ss.s,ccc,vv.v,W*hh

RMA = Navigation data from present position

- 1 = Data status
- 2 = Latitude
- 3 = N/S
- 4 = longitude
- 5 = W/E
- 6 = not used
- 7 = not used
- 8 = Speed over ground in knots
- 9 = Course over ground
- 10 = Variation
- 11 = Direction of variation E/W
- 12 = Checksum

\$GPRMB,A,x.x,a,c--d,--d,lll.ll,e,yyyyy.yy,f,g.g,h.h,i,i,j*kk

RMB = Recommended Minimum Navigation Information

- 1 = Data Status (V=navigation receiver warning)
- 2 = Crosstrack error in nautical miles
- 3 = Direction to steer (L or R) to correct error
- 4 = Origin waypoint ID#
- 5 = Destination waypoint ID#
- 6 = Destination waypoint latitude
- 7 = N or S
- 8 = Destination waypoint longitude
- 9 = E or W
- 10 = Range to destination in nautical miles
- 11 = Bearing to destination, degrees True
- 12 = Destination closing velocity in knots
- 13 = Arrival status; (A=entered or perpendicular passed)
- 14 = Checksum

\$GPRMC,hhmmss.ss,A,llll.ll,a,yyyyy.yy,a,x.x,x.x,ddmmyy,x.x,a*hh

RMC = Recommended Minimum Specific GPS/TRANSIT Data

- 1 = UTC of position fix
- 2 = Data status (V=navigation receiver warning)
- 3 = Latitude of fix
- 4 = N or S
- 5 = Longitude of fix
- 6 = E or W
- 7 = Speed over ground in knots
- 8 = Track made good in degrees True
- 9 = UT date
- 10 = Magnetic variation degrees (Easterly var. subtracts from true course)
- 11 = E or W
- 12 = Checksum

ภาคผนวก ข

โปรแกรม MATLAB สำหรับจำลองระบบการติดตามยานพาหนะ

```
clear all;
close all;
start = 230;
stop = 480;
N = 600;
M = 3;
w0 = zeros(1,M); %initial filter coefficients
K0 = 0.1*eye(M); %initial state error correlation matrix
Qm = 0.1; %measurement noise covariance
Qp = 0.1*eye(M); %process noise covariance
S = initkalman(w0,K0,Qm,Qp); %initial kalman parameter
x1 = zeros(1,N);
y1 = zeros(1,N);
x2 = zeros(1,N);
y2 = zeros(1,N);
err = zeros(1,N);
time = zeros(1,N);
d_lat = zeros(1,N);
d_long = zeros(1,N);
dhat_lat = zeros(1,N);
dhat_long = zeros(1,N);
fid=fopen('C:\Matlab7\work\track01.txt','rt');
j = 1;
while feof(fid) == 0
    line = fgetl(fid);
```

```

num = findstr(line,'GPGGA');
    if num == 2
        str = line;
        [ID time(1,j) d_lat(1,j) ind1 d_long(1,j) ind2 a b c d e f g h] = ...
            strread(str,'%s %f %10.4f %c %10.4f %c %s %s %s %s %s %s %s %s','delimiter', ',');
        [time(1,j) d_lat(1,j) d_long(1,j)];
        j = j+1;
    end
end
fclose(fid);
%adaptkalman ค่าละติจูด
data1 = d_lat(start:stop); % <--- ถ่ายโอนข้อมูลไปยัง data
% ใน loop ต่อไปนี้
% D คือตัวที่เราต้องการ ซึ่งก็คือ x(i) ในอนาคตที่เกิดขึ้นจริง
% y คือตัวที่เราทำนาย โดยอาศัย Kalman
% ใช้ data เว้นทีละ 10 ตัว
for i = 1:250;
    if i < 6
        delta = (data1(6)-data1(1))/10;
        x1(i) = (i-1)*delta+data1(1);
        D1 = x1(i)+delta;
    else
        if mod(i-1,5)== 0
            x1(i)= data1(i); % <--- ทุกๆ 10 ตัวจะใช้ data จริง
        else
            x1(i) = y1(i-1); % <--- ระหว่าง data จริง จะใช้ค่าที่ทำนายได้จากรอบที่แล้วแทน
        end
        D1 = S.coeffs*[x1(i) x1(i-1) x1(i-2)]; % <---- สร้างตัวที่เราต้องการ
    end
    [y1(i),err(i),S] = adaptkalman(x1(i),D1,S);
end
end

```

```

t=1:250;
dt = 1:10:250;
% ทำการ plot ตัวที่เราทำนายได้ เทียบกับ data จริงที่เว้นทุก 10 ตัว
figure(1)
plot(t,y1(t),dt,data1(dt+1),'or'); grid on;
legend('predict','real data');
axis([-inf inf min(data1) max(data1)])
title('Vehicle Tracking with Kalman Algorithm')
xlabel('t')
ylabel('1.0*e^-2,latitude')
e1 = data1(t+1)-y1(t);
rms1 = sqrt(e1.*e1);
% ทำการ plot RMS ของ error ที่เกิดขึ้น
figure(2)
plot(t,rms1(t)); grid on
axis([-inf inf -0.5 0.5]);
title('RMS Error of latitude direction')
xlabel('t')
ylabel('error')

%adaptkalman ค่าลองติจูด
data2 = d_long(start:stop); % <--- ถ่ายโอนข้อมูลไปยัง data
% ใน loop ต่อไปนี้
% D คือตัวที่เราต้องการ ซึ่งก็คือ x(i) ในอนาคตที่เกิดขึ้นจริง
% y คือตัวที่เราทำนาย โดยอาศัย Kalman
% ใช้ data เว้นทีละ 10 ตัว
for i = 1:250;
    if i < 6
        delta = (data2(6)-data2(1))/10;
        x2(i) = (i-1)*delta+data2(1);
        D2 = x2(i)+delta;
    end
end

```

```

else
    if mod(i-1,5)== 0
        x2(i)= data2(i); % <--- ทุกๆ 10 ตัวจะใช้ data จริง
    else
        x2(i) = y2(i-1); % <--- ระหว่าง data จริง จะใช้ค่าที่ทำนายได้จากกรอบที่แล้วแทน
    end
    D2 = S.coeffs*[x2(i) x2(i-1) x2(i-2)]; % <---- สร้างตัวที่เราต้องการ
end
[y2(i),err(i),S] = adaptkalman(x2(i),D2,S);
end
t=1:250;
dt = 1:10:250;
% ทำการ plot ตัวที่เราทำนายได้ เทียบกับ data จริงที่เว้นทุก 10 ตัว
figure(3)
plot(t,y2(t),dt,data2(dt+1),'or'); grid on;
legend('predict','real data');
axis([-inf inf min(data2) max(data2)])
title('Vehicle Tracking with Kalman Algorithm')
xlabel('t')
ylabel('longitude')
e2 = data2(t+1)-y2(t);
rms2 = sqrt(e2.*e2);
% ทำการ plot RMS ของ error ที่เกิดขึ้น
figure(4)
plot(t,rms2(t)); grid on
axis([-inf inf -0.5 0.5]);
title('RMS Error of longitude direction')
xlabel('t')
ylabel('error')

```

ภาคผนวก ค

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

1. เสาวริน กันหา และ รังสรรค์ ทองทา การติดตามยานพาหนะและการทำนายตำแหน่งด้วย
กาลมานอัลกอริทึม (Vehicle Tracking and Position Prediction with Kalman Algorithm) งาน
ประชุมทางวิชาการวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 30 (eecon-30) ระหว่างวันที่ 25-26 ตุลาคม 2550
ณ เฟลิกซ์วีเวอร์แคว รีสอร์ท จ.กาญจนบุรี

ประวัติผู้เขียน

นางสาวเสาวริน กันหา เกิดเมื่อวันที่ 28 ธันวาคม พ.ศ. 2520 ที่อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนบ้านนาคูน (อนุบาลนครจำปาศรี) เมื่อปี พ.ศ. 2532 ระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนนาคูนประชาสรรค์ อ.นาคูน จังหวัดมหาสารคาม เมื่อปี พ.ศ. 2539 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม) สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เมื่อปี พ.ศ. 2543 เนื่องจากมีความสนใจทางด้าน การประมวลสัญญาณดิจิทัลและการสื่อสารไร้สาย จึงได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปัจจุบันทำงานในตำแหน่งวิศวกร บริษัท ทีไอที จำกัด(มหาชน) สังกัดส่วนบริการลูกค้าจังหวัดมหาสารคาม