



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การปรับปรุงเสถียรภาพของระบบเลี้ยวในรถอัจฉริยะไร้คนขับ

Steering Stability Improvement of an Intelligent Vehicle

โดย

ดร. ภาคภูมิ บุญญานันต์

งานวิจัยนี้ได้รับเงินอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2554

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้สำเร็จลุล่วง โดยการสนับสนุนจาก ทุนอุดหนุนวิจัย มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ประจำปี 2554 ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ในการทำวิจัย และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่ช่วยประเมินโครงการ และให้ข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ ในการปรับปรุงแก้ไขงานวิจัย ให้สำเร็จสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ทำให้โครงการนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี



บทสรุปผู้บริหาร

การวิจัยพัฒนารถอัจฉริยะ เป็นการพัฒนาให้รถสามารถขับเคลื่อนจากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่งได้ด้วยตัวเอง โดยปราศจากการบังคับของคน ผู้โดยสารเพียงแต่ทำการป้อนข้อมูลของสถานที่ที่จะไปเท่านั้น

ในประเทศไทยได้มีการเริ่มต้นพัฒนาต้นแบบรถอัจฉริยะอย่างจริงจังในปี 2550 โดยสมาคมวิชาการหุ่นยนต์ไทย ร่วมกับภาควิชาเมคาทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย โดยการสนับสนุนจากบริษัทซีเกทเทคโนโลยี (ประเทศไทย) ได้ร่วมกันจัดการแข่งขันรถอัจฉริยะชิงแชมป์ประเทศไทยขึ้นเป็นครั้งแรก และหลังจากนั้นก็จัดการแข่งขันอย่างต่อเนื่องอีก 2 ปี

สำนักวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ได้มีส่วนร่วมในการพัฒนารถอัจฉริยะ และเข้าร่วมแข่งขันในปี 2551 และ 2552 ซึ่งในการแข่งขันพบปัญหาจากระบบบังคับเลี้ยว และได้พยายามแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้า เพื่อให้การแข่งขันลุล่วง ซึ่งเทคนิคที่ใช้นั้นอาจจะเหมาะกับการแข่งขันในครั้งนั้นเท่านั้น ตัวระบบขับเคลื่อนอัจฉริยะยังต้องการการพัฒนาให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จึงมีความต้องการทำการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นอย่างเป็นระบบ ด้วยเทคนิควิธีที่ถูกต้องตามหลักวิชา และสามารถนำมาปรับปรุงเพื่อใช้งานจริงต่อไปได้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาแนวทางในการออกแบบ และปรับปรุงระบบควบคุมรถอัจฉริยะให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น มีความถูกต้องแม่นยำในการควบคุมมากขึ้น โดยใช้เทคนิคหลายๆ อย่างประสมกัน เช่น การใช้ระบบ GPS หลายๆ ตัว การออกแบบระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วย Kalman Filter

ระบบได้ถูกออกแบบสร้างและจำลองการทำงานบนรถจำลองขนาดเล็ก เพื่อให้สะดวกต่อการทดสอบ โดยใช้พลังงานไฟฟ้า ขับเคลื่อนด้วย DC motor และใช้ Variable resistor encoder เป็นตัวป้อนสัญญาณย้อนกลับ นอกจากนี้ยังใช้ระบบ GPS ในการนำทางแบบไร้คนขับ รวมถึงการประมวลผลแบบ Kalman ในการทำนายทิศทางรถเลี้ยวล่วงหน้า เพื่อลดข้อผิดพลาดจากการควบคุมให้น้อยลง

จากการทดสอบพบว่าระบบสามารถทำงานได้ดี สามารถนำทางรถไปสู่จุดหมายได้ ระบบ Kalman Filter ที่นำมาใช้สามารถลดความผิดพลาดของระบบ GPS จาก 2 เมตรเหลือเพียง 1 เมตร อย่างไรก็ตาม มีโอกาสที่ระบบนำร่องจะนำทางผิดพลาดในบางครั้ง เนื่องจากการรับสัญญาณ

จาก GPS นั้นขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ จึงทำให้เกิดการคำนวณทิศทางผิดพลาด ทำให้รถเลี้ยวออก
จากเส้นทางในช่วงสั้น ๆ ที่รถไม่ได้รับสัญญาณ GPS หรือได้รับแต่เป็นสัญญาณที่คลาดเคลื่อนจาก
ค่าจริง

ความคลาดเคลื่อนของระบบนำทางนี้สามารถทำให้ลดน้อยลงได้อีกโดยการเพิ่มเซ็นเซอร์
อื่นๆ เข้าไปในระบบเพื่อช่วยในการตัดสินใจเช่น การใช้ Laser หรือกล้อง ซึ่งอาจแลกมาด้วยการ
ประมวลผลที่เพื่อมากขึ้น ต้องใช้หน่วยประมวลผลที่มีความสามารถในการคำนวณมากขึ้น และใช้
พลังงานของระบบมากขึ้นด้วย ซึ่งยังคงเป็นหัวข้อวิจัยที่น่าสนใจในอนาคต



บทคัดย่อ

การพัฒนาารถอัจฉริยะภายในมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ได้ริเริ่มในปี 2551 และต่อเนื่องมาในปี 2552 โดยเป็นการพัฒนาเพื่อส่งรถอัจฉริยะเพื่อร่วมแข่งขัน ซึ่งมีเป้าหมายหลักคือชัยชนะ อย่างไรก็ตามในเชิงวิศวกรรม ระบบที่ออกแบบสร้างยังคงมีปัญหาเรื่องเสถียรภาพในการเลี้ยวรถ อันเกิดจากระบบนำร่องที่ไม่แม่นยำเพียงพอ งานวิจัยนี้เสนอการออกแบบ เพื่อปรับปรุงระบบควบคุมรถอัจฉริยะขึ้นมาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น มีความถูกต้องแม่นยำในการควบคุมมากขึ้น โดยใช้เทคนิค 2 อย่างประสมกันคือ การใช้ระบบ GPS และการออกแบบระบบควบคุมให้มีประสิทธิภาพสูงด้วย Kalman Filter

จากการออกแบบและทดสอบพบว่าระบบที่ใช้ GPS ร่วมกับ Kalman filter ทำงานได้ดีมากขึ้น โดยมีความผิดพลาดลดลงเหลือประมาณ 1 เมตร อย่างไรก็ตามการนำทางด้วย GPS ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศด้วย การออกแบบระบบนำทางรถอัจฉริยะในอนาคต อาจต้องใช้เทคโนโลยีอื่น ๆ เช่น ระบบ Radar, Sonar หรือ ภาพถ่ายจากกล้องมาช่วยในการตัดสินใจ



Abstract

Intelligent vehicle has been developed at Mae Fah Luang University during the year 2008 and 2009. During those two years of development, the main objective is to participate in the competition. However, in engineering aspect, there exists some stability problem due to a low precision of navigating system needed to be solved. In this research, three GPS modules are used as a navigator to improve system accuracy. Furthermore, Kalman filter is applied to reduce error in estimation.

The system is implemented and tested in a field. The prototype vehicle performs very well with the root mean square (rms) error of about 1 meter. However, since the signal quality of the GPS is depended on weather, some auxiliary signals from other kind of sensors such as radar, sonar or camera may be included for better decision making.



สารบัญ

กิตติกรรมประกาศ	i
บทสรุปผู้บริหาร	ii
บทคัดย่อ.....	iv
Abstract.....	v
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ภูมิหลัง	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ความสำคัญของการวิจัย	2
1.4 สมมุติฐานของการวิจัย	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	3
บทที่ 2 แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 เทคโนโลยีในการออกแบบระบบ	5
2.2 Kalman Filter.....	6
บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย	8
3.1 ระบบนำทางด้วย GPS.....	8
3.1.1 การออกแบบซอฟต์แวร์	10
3.1.2 การออกแบบระบบฮาร์ดแวร์	13
3.1.3 การออกแบบระบบ GPS	13
3.2 ระบบควบคุมและประมวลผลด้วย Kalman Filter	15
การจำลองการนำทางรถอัจฉริยะด้วย Kalman Filter	18
ผลการจำลองการทำงานของระบบ	18

บทที่ 4 ผลการวิจัย	22
4.1 การพัฒนาระบบ.....	22
4.2 การออกแบบการทดลอง	23
การทำงานของระบบอัจฉริยะ	23
4.3 การทดสอบระบบ	24
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	26
เอกสารอ้างอิง.....	27
ประวัตินักวิจัย	28



สารบัญภาพ

รูปที่ 2.1	การไหลของข้อมูลใน Kalman Filter	6
รูปที่ 3.1	ระบบนำทางด้วย GPS	8
รูปที่ 3.2	Flow chart การทำงานของซอฟต์แวร์	12
รูปที่ 3.3	การเชื่อมต่ออุปกรณ์	13
รูปที่ 3.4	ผังการไหลของข้อมูล แสดงการไหลของค่าที่ได้รับจาก GPS	14
รูปที่ 3.5	GPS ที่นำมาใช้ในการรับค่า	15
รูปที่ 3.6	ค่าตำแหน่งของรถ เทียบกับค่าที่ได้จากการประมาณและค่าที่ได้จากการวัด	19
รูปที่ 3.7	ค่าผิดพลาดจากตำแหน่งจริง เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการประมาณ และค่าที่ได้จากการวัด	19
รูปที่ 3.8	ค่าความเร็วจริงและค่าความเร็วจากการประมาณ	20
รูปที่ 3.9	ค่าผิดพลาดเปรียบเทียบระหว่าง ความเร็วจริงและค่าจากการประมาณ	21
รูปที่ 4.1	การทดลองการเดินรถ เปรียบเทียบระหว่าง การควบคุมรถโดยใช้ GPS อย่างเดียวกับเมื่อมี Kalman Filter	24
รูปที่ 4.2	ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อไม่ใช้ Kalman Filter	25
รูปที่ 4.3	ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อใช้ Kalman Filter	25

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ภูมิหลัง

โครงการพัฒนารถอัจฉริยะเป็นโครงการวิจัยพัฒนา เพื่อให้รถสามารถขับเคลื่อนจากสถานที่หนึ่งไปยัง สถานที่อีกแห่งหนึ่งได้ด้วย ตัวเอง โดยปราศจากการบังคับของคน ผู้โดยสาร เพียงแต่ทำการป้อนข้อมูลของสถานที่ ที่จะไปเท่านั้น นอกจากนี้แล้ว รถอัจฉริยะยังสามารถนำไปใช้เป็นยานพาหนะสำหรับผู้พิการทางสายตา ผู้พิการแขน-ขา ผู้ทุพพลภาพ และผู้สูงอายุที่ไม่สามารถขับยานพาหนะเองได้อีกด้วย

รถอัจฉริยะจะรับข้อมูลจากอุปกรณ์ตรวจวัดประเภทต่าง ๆ ที่ติดตั้งมาบนรถ เช่น อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งปัจจุบันของรถ อุปกรณ์ตรวจวัดตำแหน่งของรถคันอื่นที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกันหรือสวนทางมา อุปกรณ์ตรวจวัดสิ่งกีดขวางบนเส้นทางการเคลื่อนที่ ทั้งที่อยู่กับที่และเคลื่อนที่ อุปกรณ์ตรวจวัดเส้นแบ่งบนเส้นทาง สัญลักษณ์ หรือสัญญาณจราจรอื่น ๆ อุปกรณ์การสื่อสารระหว่างรถอัจฉริยะด้วยกัน เป็นต้น แล้วนำข้อมูลจากอุปกรณ์ เหล่านี้มาประมวลผล เพื่อกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ และควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ โดยอัตโนมัติและปลอดภัย

หน้าที่ของผู้โดยสารบอกเพียงสถานที่ที่ ต้องการจะไป จากนั้นรถอัจฉริยะจะแปลงคำสั่งเป็นละติจูดกับลองจิจูด และทำการเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันไปสู่ตำแหน่ง ที่ต้องการจะไป ระบบรถต้องสามารถหลบหลีกการชน การเบรกชะลอเมื่อคนข้ามถนน หรือเมื่อถึงทางแยกก็ต้องเลือก ได้ว่าจะไปทางใด นอกจากนี้ รถอัจฉริยะจะสามารถติดต่อสื่อสารกับ ระบบศูนย์กลาง โดยรวมกับเครือข่าย ITS (Intelligent Transportation System) ดังนั้น ข้อมูลต่างๆ ของรถสามารถแสดงผลได้ตลอดเวลา และควบคุมทางไกลได้จากศูนย์กลาง

มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ได้เริ่มพัฒนารถอัจฉริยะจาก พ.ศ.2551 โดยรถอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้น ได้รับรางวัลชนะเลิศจากการเข้าร่วมการแข่งขันสร้างรถอัจฉริยะชิงแชมป์ประเทศไทย ครั้งที่ 2 และในปี พ.ศ.2552 ได้รับรางวัลเทคนิคยอดเยี่ยมจากการเข้าร่วมการแข่งขันสร้างรถอัจฉริยะชิงแชมป์ประเทศไทยครั้งที่ 3 ซึ่งในการแข่งขันพบปัญหาจากระบบบังคับเลี้ยวและได้พยายามแก้ไขปัญหาเฉพาะหน้าเพื่อให้การแข่งขันลุล่วง ซึ่งเทคนิคที่ใช้นั้นเหมาะสำหรับการแข่งขันในแต่ละครั้งเท่านั้น และยังคงพัฒนาเพื่อให้เป็นระบบขับเคลื่อนอัจฉริยะที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการทำการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อแก้ปัญหานี้อย่างเป็นระบบด้วยเทคนิคที่ถูกต้องและสามารถนำมาปรับปรุงเพื่อใช้งานจริงได้

ที่ผ่านมากการควบคุมระบบเลี้ยวในระบบรถอัจฉริยะที่พัฒนาขึ้นภายในมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงใช้การประมวลผลภาพวีดีโอในการนำทางรถ อย่างไรก็ตามผู้พัฒนาได้พบปัญหาที่เกิดขึ้นคือความไม่แน่นอนของข้อมูลหลังการประมวลผลภาพ ซึ่งถ้านำค่าที่ได้จากการประมวลผลนี้ไปใช้ขับระบบเลี้ยวด้วย DC Motor จะทำให้เกิดความร้อนสะสมเนื่องมาจากการกลับตัวกระทันหันของมอเตอร์บ่อยจนเกินไป การแก้ปัญหาเบื้องต้นคือการใช้ Average delay filter ซึ่งสามารถลดการกลับตัวของ DC Motor ได้และไม่ทำให้มอเตอร์ร้อน แต่วิธีการ Average delay filter จะทำให้การตอบสนองต่อสัญญาณ input ช้าลงส่งผลทำให้ รถอัจฉริยะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุดเพียง 10 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จึงเลือกการแก้ปัญหาโดยวิธีที่อื่น คือ ยกเลิกระบบ Image Processing และใช้ระบบนำร่องด้วย GPS เพียงอย่างเดียว ทำให้สามารถเพิ่มความเร็วได้ถึง 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่ระบบก็ยังคงมีความคลาดเคลื่อนจากการประมาณด้วย GPS ค่อนข้างสูง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาแนวทางในการออกแบบ และปรับปรุงระบบควบคุมรถอัจฉริยะให้ มีประสิทธิภาพสูงขึ้น มีความถูกต้องแม่นยำในการควบคุมมากขึ้น โดยใช้เทคนิคหลายๆ อย่างประสมกัน เช่นการใช้เรเซอร์สแกนเพื่อช่วยในการตัดสินใจในการควบคุมรถให้ดียิ่งขึ้น ร่วมกับระบบ GPS และการออกแบบระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูงด้วย Kalman filter

1.3 ความสำคัญของการวิจัย

ผู้วิจัยคาดหวังว่าจะพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ในการนำ Kalman Filter ซึ่งเป็นทฤษฎีการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล มาออกแบบสร้างจริงบนระบบสมองกลฝังตัว เพื่อให้ระบบรถอัจฉริยะ มีประสิทธิภาพดีขึ้น มีความน่าเชื่อถือและสามารถนำไปใช้งานได้อย่างจริงจังในอนาคต

1.4 สมมุติฐานของการวิจัย

การใช้ Kalman Filter ร่วมกับการนำทางโดยใช้ GPS มากกว่าหนึ่งตัวจะช่วยให้การประมาณการเพื่อควบคุมรถอัจฉริยะแม่นยำขึ้น

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

การออกแบบและทดสอบระบบควบคุมเพื่อช่วยปรับปรุงเสถียรภาพในการ เลี้ยวของรถจักรยานยนต์คันขับซึ่งมีข้อกำหนดดังนี้

1. ใช้รถจำลองในการการจำลองระบบควบคุม
2. ใช้ DC Motor และ Variable resistor encoder เป็นตัวป้อนสัญญาณย้อนกลับ
3. นำทางรถด้วยระบบ GPS
4. ใช้การประมวลผลร่วมกับ Kalman Filter ในการนำนายทิศทางการเลี้ยวล่วงหน้า เพื่อลดข้อผิดพลาดจากการควบคุมให้น้อยลง



บทที่ 2 แนวคิดทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันระบบรถอัจฉริยะได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทั้งในแง่ของการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย และความสนใจที่เพิ่มมากขึ้นในรถยนต์ รถบรรทุก ระบบขนส่งมวลชน ในโรงงาน อุตสาหกรรมและภาคการทหาร การนำระบบเหล่านี้มาใช้จะช่วยเพิ่มความปลอดภัย และประสิทธิภาพในการทำงาน

ระบบรถอัจฉริยะใช้อุปกรณ์รับสัญญาณ (Sensor) และการคำนวณที่ชาญฉลาด ในการทำความเข้าใจสภาพแวดล้อมรอบ ๆ รถยนต์ ไม่ว่าจะเป็นระบบที่ออกแบบเพื่อช่วยคนขับรถ (Driver assistance) หรือระบบที่ควบคุมการขับรถยนต์อย่างสมบูรณ์แบบก็ตาม

เราสามารถแบ่งการพัฒนากระบวนรถอัจฉริยะ ออกเป็น 3 ด้านดังนี้

- ระบบเตือน/แนะนำ ผู้ขับขี่ เพื่อป้องกันการเกิดอุบัติเหตุ เช่น การเตือนการชนจากด้านหน้าและด้านหลัง การเตือนในจุดบอดที่มองไม่เห็น การเตือนเมื่อมีการเปลี่ยนช่องทางจราจร หรือเมื่อรถวิ่งตกรางจากช่องทางจราจรที่วิ่งอยู่ การเตือนการชนกันเมื่อวิ่งผ่านสี่แยก การตรวจจับและเตือนเมื่อมีคนเดินซิดริมถนน
- ระบบที่ควบคุมการขับขี่บางส่วน เช่น ระบบช่วยหลีกเลี่ยงการชนกันของรถ ระบบในข้อ 1 จะช่วยเตือนและระวังอันตรายให้แก่ผู้ขับขี่ ซึ่งถ้าหากผู้ขับขี่ไม่สามารถตอบสนองต่อสัญญาณเตือน ระบบหลีกเลี่ยงการชนก็จะเข้าควบคุมรถในส่วนของพวงมาลัย และระบบเบรก เพื่อนำรถกลับสู่สถานะที่ปลอดภัย นอกจากนี้ยังมีระบบช่วยเหลือผู้ขับขี่อื่น ๆ อีก เช่น ระบบช่วยรักษาความเร็วรถในขณะที่มีความเร็วของที่ (Cruise control) ซึ่งเหมาะสำหรับการขับขี่ทางไกล หรือ ระบบรักษาทิศทางให้อยู่ในช่องทางจราจร ระบบช่วยจอดรถ เป็นต้น
- ระบบที่ควบคุมรถทั้งหมดแบบอัตโนมัติ เช่นระบบขับเคลื่อนความเร็วต่ำอัตโนมัติ (สำหรับเมื่อมีการจราจรติดขัด) ระบบขับขี่อัตโนมัติ ตามติดรถคันหน้า (Close-headway platooning) ซึ่งจะช่วยให้รถสามารถวิ่งต่อกันได้มีระยะห่างจากกันน้อยลง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการขนส่ง โดยระบบเหล่านี้สามารถออกแบบสร้างให้เป็นระบบอัตโนมัติให้ติดตั้งอยู่ในรถหรือเป็นระบบช่วยเสริมที่ติดตั้งอยู่ข้างทาง

2.1 เทคโนโลยีในการออกแบบระบบ

แม้ว่าเทคโนโลยีหลายอย่างสามารถนำมาใช้ในการออกแบบระบบ แต่ก็สามารถแบ่งเป็นกลุ่ม ๆ ได้ดังนี้

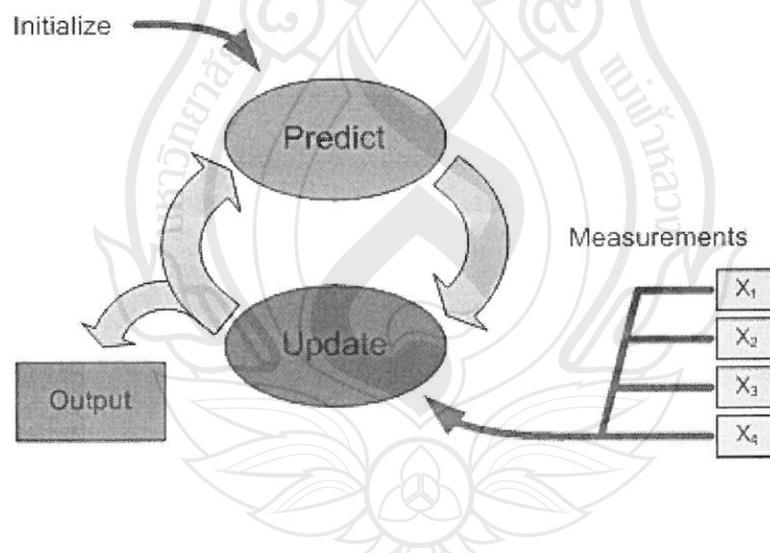
1. เทคโนโลยีการประมวลผลภาพ - ปัจจุบันเทคโนโลยีการประมวลผลภาพมีความก้าวหน้าไปอย่างมาก เนื่องจากความสามารถในการประมวลผลของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ในขณะที่ราคาถูกลง การประมวลผลภาพจึงสามารถใช้ในการวิเคราะห์หาเส้นขอบถนน ระบบตามติดรถยนต์คันหน้า และตรวจจับวัตถุที่ขวาง
2. เทคโนโลยีเรดาร์ [1-4] - เทคโนโลยีเรดาร์ถูกนำมาใช้ในระบบล็อกความเร็วรถ และคาดว่าจะถูกนำมาสู่ตลาดในอนาคตอันใกล้นี้ โดยการใช้เรดาร์ในการวัดระยะ วัดมุมของถนน และแยกแยะวัตถุเป้าหมายที่สนใจจากวัตถุที่อยู่ด้านข้างถนน โดยคาดว่าจะใช้สัญญาณในช่วงความถี่ 77GHz ตามมาตรฐานยุโรป
3. การอ้างอิงสนามแม่เหล็ก - เป็นการติดตั้งแถบแม่เหล็กที่ข้างถนน เพื่อให้เซ็นเซอร์แม่เหล็กใช้ในการอ้างอิงขอบถนน โดยสามารถใช้ร่วมกับเทคนิคอื่น ๆ เช่นการประมวลผลภาพ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตัดสินใจของระบบ
4. การใช้แผนที่ดิจิทัลและระบบ GPS [5-7] ระบบ GPS มีข้อดีคือแม่นยำ รวดเร็ว สามารถระบุสิ่งกีดขวางได้อย่างชัดเจน แต่มีราคาสูงมากเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีประมวลผลภาพ แต่ก็มีข้อจำกัดหลายด้าน ทั้งสภาพอากาศ หรือ สภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยต่อการรับสัญญาณ

การพัฒนาระบบรถอัจฉริยะในมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงเป็นระบบนำทาง โดยอาศัยการประมวลผลภาพจากกล้องวีดีโอเพื่อแยกแยะระหว่างส่วนที่เป็นถนนกับสิ่งแวดลอมที่ไม่ใช่ถนน บวกกับการนำร่องโดยใช้ระบบ GPS อย่างไรก็ตามจากการทดสอบและแข่งขันที่ผ่านมาพบว่า การนำร่องด้วยวิธีดังกล่าวยังมีความผิดพลาดคลาดเคลื่อนสูงทำให้ รถวิ่งสั้นและสายไปตามความผิดพลาดที่เกิดขึ้น งานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีลดค่าผิดพลาดนี้โดยการใช้วิธีเฉลี่ยค่าตำแหน่งจาก GPS 3 ตัว ที่รับเข้ามา ร่วมกับการนำ Kalman Filter มาใช้ประมาณตำแหน่งล่วงหน้า เพื่อช่วยให้ค่าผิดพลาดจากการประมาณลดลง

2.2 Kalman Filter

Kalman Filter ถูกเสนอโดย R. E. Kalman [8] ในปี 1960 ในบทความนั้นกล่าวถึงวิธีการแก้ปัญหาแบบวนซ้ำ เพื่อแก้ปัญหาคำกรองสัญญาณไฟฟ้า โดยการเฉลี่ยค่าที่วัดได้ในทิศทางที่ลดค่าผิดพลาดกำลังสอง นับตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา Kalman Filter ก็เป็นหัวข้อวิจัยอย่างเข้มข้นทั้งทางด้านทฤษฎีและการประยุกต์ใช้งาน โดยเฉพาะทางด้านระบบนำร่องอัตโนมัติ

ในการประมาณสัญญาณ Kalman Filter จะประกอบด้วยสองส่วน คือส่วนการประมาณค่าและส่วนที่ถ่วงน้ำหนัก เรียกว่า State Matrix และ Covariance Matrix ส่วนของ State Matrix แสดงค่าสถานะปัจจุบันของระบบ ซึ่งอาจเป็นค่าตำแหน่ง ความเร็ว ทิศทาง หรือค่าใดๆก็ตามที่ต้องการติดตาม Covariance Matrix แสดงข้อมูลที่บ่งบอกว่า สถานะของระบบเปลี่ยนแปลงอย่างไร เมื่อเทียบกับค่าในอดีต ค่าทแยงมุมใน Covariance Matrix แสดง Variance ของแต่ละสถานะ ซึ่งเป็นการบ่งบอกเชิงสถิติความผิดพลาดจากการประมาณ



รูปที่ 2.1 การไหลของข้อมูลใน Kalman Filter

รูปที่ 2.1 แสดงการไหลของข้อมูลใน Kalman Filter ซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลักคือ ส่วน Update ข้อมูล และส่วน Prediction ค่าที่ประมาณได้จะ Kalman Filter จะเป็นค่าที่เหมาะสมที่เกิดจากค่าที่ได้จากการวัดในปัจจุบัน และค่าที่ทำนายไว้จากสถานะก่อนหน้า

ส่วน Prediction

ในส่วนนี้ จะใช้ในการคำนวณเพื่อทำนายค่าที่จะมาถึง ค่าผิดพลาดที่เกิดจากการทำนายจะถูกเพิ่มเข้าไปใน Covariance Matrix ซึ่งหมายความว่าระบบจะมีค่าความผิดพลาดเพิ่มมากขึ้น หากไม่มีการปรับแก้ในโมเดลที่ใช้คำนวณ ค่าผิดพลาดก็จะเพิ่มขึ้น ๆ ไปเรื่อย ๆ ซึ่งคล้าย ๆ กับระบบควบคุมที่ไม่มีการป้อนสัญญาณย้อนกลับ

ส่วน Update

เรียกอีกอย่างว่าส่วนปรับแก้ (Correction) ทำหน้าที่ในการปรับค่าที่ได้จากการทำนาย ด้วยค่าจริงที่ได้จากการวัด กระบวนการนี้จะใช้ในการควบคุมค่าผิดพลาด และการปรับแก้ค่าที่ Output การปรับแก้เปรียบเสมือนการถ่วงน้ำหนักในวงจรกรองสัญญาณไฟฟ้า ซึ่งอาจเรียกในอีกชื่อหนึ่งว่า Kalman Gain ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามค่าทำนาย และค่าจริงที่ได้จากการวัด

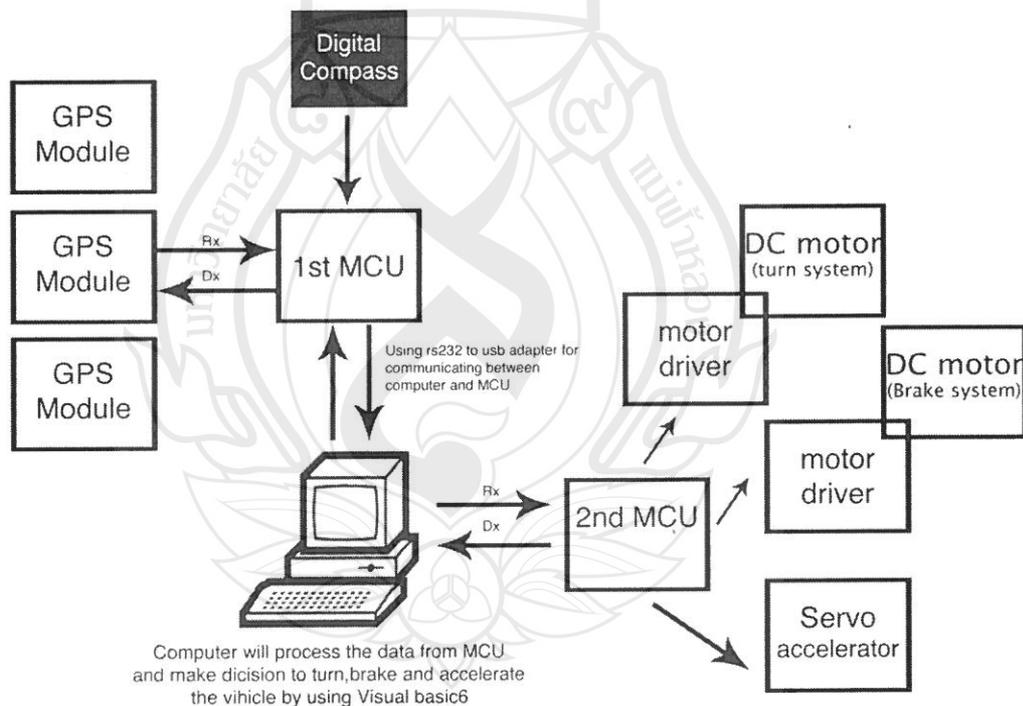
ค่า Covariance จึงมีค่าลดลง โดยขึ้นกับว่าค่าที่ทำนาย ถูกปรับแก้ไปมากน้อยเท่าไร ในขณะที่ Kalman Filter ทำงาน ค่าที่ได้จากการวัด และค่าที่ได้จากการทำนายจึงควรจะลู่ลงสู่จุดที่ ค่าที่ลดลงของ Covariance ในส่วน Update จะเท่ากับค่าผิดพลาดที่ถูกบวกเพิ่มไปเป็นส่วน Prediction

บทที่ 3 ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการควบคุมรถอัจฉริยะให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยแบ่งระบบที่ออกแบบเป็น 2 ส่วนดังนี้คือ ระบบนำทางด้วย GPS และระบบควบคุมและประมวลผลด้วย Kalman Filter

3.1 ระบบนำทางด้วย GPS

ลักษณะการทำงานของระบบคล้ายๆ กับระบบ Laser Scanner ดังแสดงในรูป 3.1 โดยการรับค่าจากอุปกรณ์ที่เรียกว่า GPS แล้วผ่านไปในส่วนของชุดประมวลผลเพื่อให้ได้ผลออกมาแล้วส่งค่าต่างๆ ที่ได้รับการประมวลผลมาแล้ว ไปยังอุปกรณ์ควบคุม คือ มอเตอร์ในการเลี้ยวและตัวเร่งเพื่อกำหนดให้เร่งหรือว่าการหยุดรถ



รูปที่ 3.1 ระบบนำทางด้วย GPS

ระบบจะรับค่าจาก GPS ผ่านชุดคอนโทรลเลอร์ โดยการออกแบบให้มีการเฉลี่ยค่าจาก GPS 3 ตัว สร้างให้โปรแกรมมีการเรียนรู้ทางด้านแผนที่ โดยการนำค่าจาก GPS ที่ผ่านชุดคอนโทรลเลอร์มาเก็บข้อมูลลงในฐานข้อมูลของระบบ ในส่วนของการควบคุม โปรแกรมจะส่งผลการคำนวณ ตำแหน่งรถ และองศาที่จำเป็นต้องเลี้ยวไปยังชุดคอนโทรลเลอร์อีกชุดเพื่อสั่งให้มอเตอร์ และ ตัวเร่งทำงานร่วมกัน

เมื่อ GPS ทั้ง 3 ตัวคำนวณ Latitude Longitude เรียบร้อย คอมพิวเตอร์จะดึงข้อมูลจาก GPS ทั้งสามตัวมาเฉลี่ยกัน และแก้ไขข้อมูลในบางกรณีที่ข้อมูลผิดพลาด ซึ่งนำข้อมูลมาใช้งานแบ่งได้เป็น 2 ระบบ ดังนี้

1. การเรียนรู้แผนที่

เนื่องจากการที่เราต้องการความรวดเร็วในการจัดการแผนที่ระบบนำทาง ทางผู้พัฒนาจึงสร้างระบบการเรียนรู้แผนที่อัตโนมัติ ซึ่งระบบจะนำค่า Latitude Longitude บันทึกลงในฐานข้อมูล โดยมีตัวเลขกำกับเพื่อบอกทิศทางที่รถจะตามไปด้วย แผนที่ข้อมูลนี้จึงทำให้รถอัจฉริยะมีความคล่องตัวสูง เคลื่อนตัวได้เร็วและมีผลกับสภาพแวดล้อมน้อย

2. ระบบนำร่อง

หลังจากที่รับข้อมูลจาก GPS มา ระบบจะทำการค้นหาจุดจากแผนที่ที่ใกล้ตัวที่สุด จากนั้นจะเก็บหมายเลขประจำจุด GPS นั้น ๆ ไว้เพื่อใช้ในการค้นหาจุดถัดไปในระยะห่างที่กำหนด กล่าวคือ ถ้าตัวรถมีความเร็วสูงให้ใช้จุดที่ไกลออกไป ถ้าความเร็วต่ำก็ให้เลือกจุดที่ใกล้เข้ามา ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันการส่ายของรถ ในขณะที่มีความเร็วสูง จากนั้นเมื่อได้จุดเป้าหมายแล้ว ระบบจะคำนวณหาระยะห่าง ระหว่างจุดปัจจุบันเทียบกับจุดที่ใกล้ที่สุดในแผนที่ เพื่อหามุมที่รถต้องวิ่งและเลี้ยวไป และก็สั่งงานไปยังคอนโทรลเลอร์ เพื่อสั่งเลี้ยวเช่นกัน

ในส่วนของการควบคุมความเร็วนั้น จะคำนวณจากแผนที่ด้านหน้าของตัวรถ ว่ามีความโค้งเท่าไร จึงจะคำนวณค่าความเร็วออกมาได้ หากถนนเป็นทางตรง ก็จะกำหนดความเร็วให้สูงขึ้นไปได้มากกว่าทางโค้ง และลดการเลี้ยวลงด้วยเพื่อความปลอดภัยของการเคลื่อนที่ของรถ

3.1.1 การออกแบบซอฟต์แวร์

ซอฟต์แวร์ของระบบถูกออกแบบให้รับค่าจากอุปกรณ์ GPS และส่งผ่านข้อมูลไปยังส่วนประมวลผลเพื่อแปรค่าตำแหน่งที่ได้ให้กลายเป็นทิศทางของรถ ก่อนจะส่งไปยังมอเตอร์เพื่อควบคุมการเลี้ยว การหมุนล้อ และการหยุดรถ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ระบบรับค่าจาก GPS โดยออกแบบให้มีการเฉลี่ยค่าจาก GPS ทั้ง 3 ตัว
2. สร้างแผนที่โดยการนำค่าจาก GPS ที่ผ่านชุด Microcontroller มาเก็บลงในฐานข้อมูลของระบบ ซึ่งในโครงการนี้ใช้ Microsoft Access
3. ในการควบคุมรถ โปรแกรมจะส่งผลการคำนวณตำแหน่งรถ และองศาที่จำเป็นต้องเลี้ยวไปยังชุด Microcontroller อีกชุดเพื่อสั่ง motor ให้เลี้ยว และหมุนล้อ

รูปที่ 3.2 แสดง Flowchart ของซอฟต์แวร์ ขั้นตอนแรกการทำงานจะเริ่มที่ ชุดคอนโทรลเลอร์ถูกเปิดขึ้น แล้วตัวคอนโทรลเลอร์จะโหลดโปรแกรมขึ้นมาใช้งาน โดยที่โปรแกรมจะรับค่าจาก GPS สามตัวเข้าสู่หน่วยคอนโทรลเลอร์ จากนั้นเราจะสร้างตัวแปรมาตัวหนึ่ง เพื่อใช้เก็บค่าที่ได้มาจาก GPS ทั้งสามตัว โดยค่าที่ได้รับนั้นมีมาตรฐานข้อมูลแบบ NMEA เราจึงต้องเขียนโปรแกรมเพิ่มให้สามารถแยกข้อมูลออกมาจากข้อมูลที่ได้รับมา จาก GPS ทั้งหมด ดังตัวอย่าง

```
$GPRMC,010516.00,A,1347.28957,N,10036.86153,E,0.064,319.54,280908,,A*63
```

```
$GPVTG,319.54,T,,M,0.064,N,0.118,K,A*3D
```

```
$GPGGA,010516.00,1347.28957,N,10036.86153,E,1,05,2.11,2.6,M,-27.5,M,,*7C
```

```
$GPGSA,A,3,16,32,14,20,31,,,,,,,,,3.69,2.11,3.03*0F
```

```
$GPGSV,3,1,11,29,03,054,,16,85,295,35,03,23,181,,32,50,298,25*7A
```

```
$GPGSV,3,2,11,06,30,164,,14,37,095,32,19,02,199,,22,15,157,*7E
```

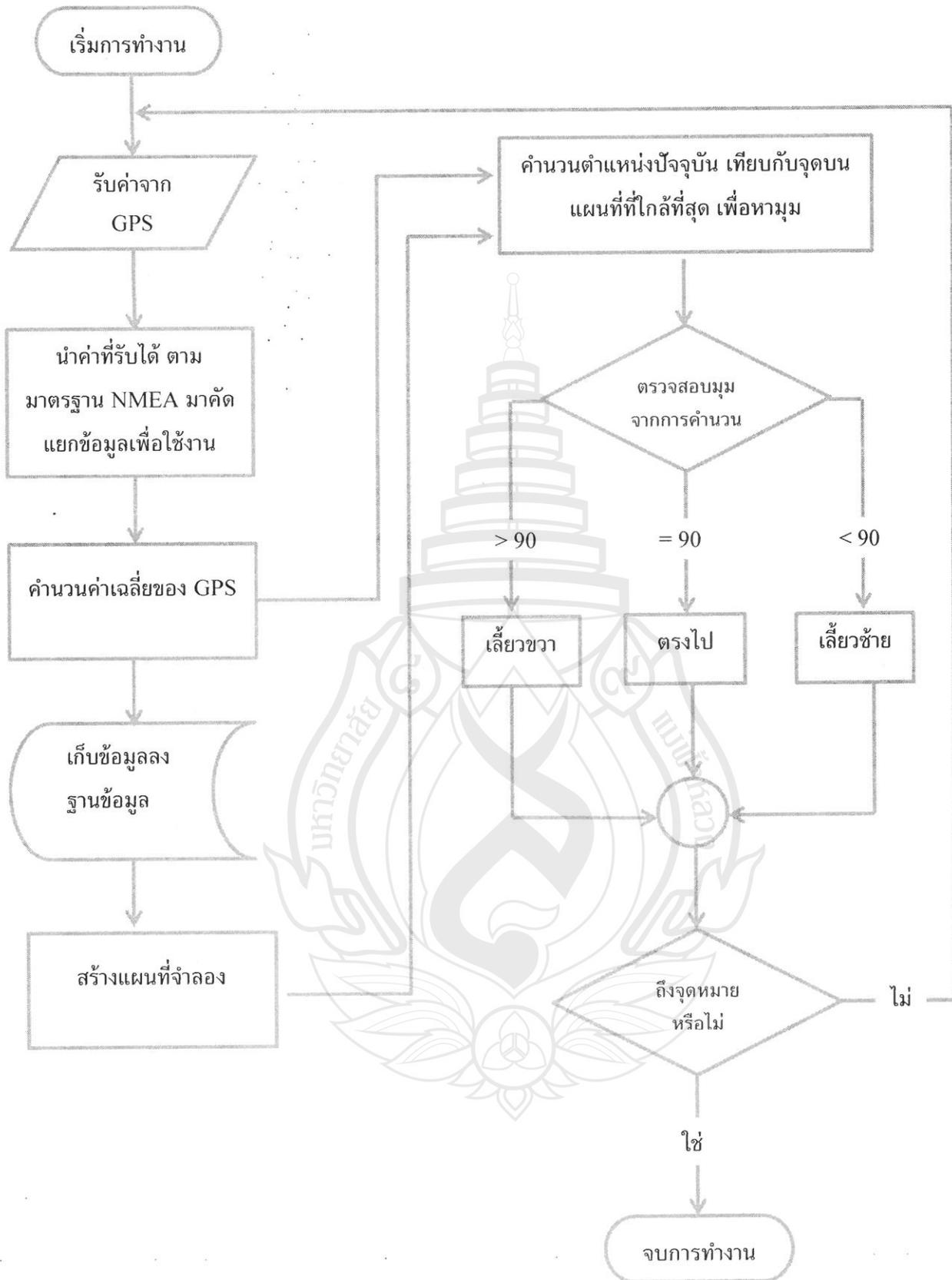
```
$GPGSV,3,3,11,20,28,307,31,23,02,318,,31,33,018,33*45
```

```
$GPGLL,1347.28957,N,10036.86153,E,010516.00,A,A*67
```

```
$GPZDA,010516.00,28,09,2008,00,00*6C
```

โดยที่ค่าที่เราต้องการใช้นั้นจะอยู่ในช่วงของ GPRMC หลังจากนั้นเราก็ส่งข้อมูลที่ได้แยกแยะแล้ว ไปยังคอมพิวเตอร์ โดยผ่านโปรแกรม VB6 โดยที่ข้อมูลนั้นจะถูกเก็บไว้ใน ดาต้าเบส ของโปรแกรม เพื่อนำไปสร้างแผนที่จำลองในการเดินทางของรถ หลังจากแผนที่ทำเสร็จแล้ว เราจะนำค่านั้นออกมาหามุม โดยเทียบกับ เข็มทิศดิจิทัล พอได้มุมออกมาแล้ว เราก็นำมาตัดสินใจว่าจะเลี้ยวไปในทิศทางใด โดยถ้ามุมมีขนาดมากกว่า 90 องศา ให้เลี้ยวขวา ถ้ามุมน้อยกว่า 90 องศา ให้เลี้ยวซ้าย และถ้ามุมมีขนาดเท่ากับ 90 องศา ให้ตรงไป สุดท้ายถ้ารถได้เข้าไปใกล้จุดที่รถควรจอด นั้นรถจะหยุดโดยส่วนนี้จะส่งไป ยังส่วนความปลอดภัยของรถอีกที แต่หากว่ารถยังไม่เข้าใจจุดที่เวลานั้น โปรแกรมจะยังต้องคำนวณมุมและเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการบนแผนที่ไปเรื่อยๆ

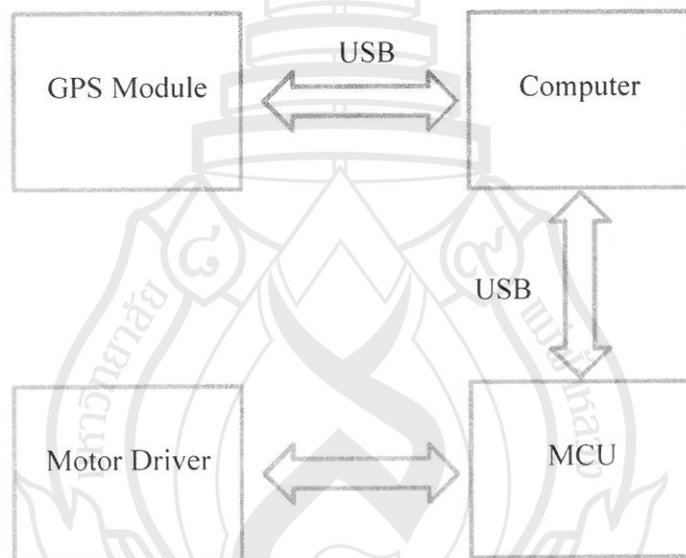




รูปที่ 3.2 Flowchart ของซอฟต์แวร์

3.1.2 การออกแบบระบบฮาร์ดแวร์

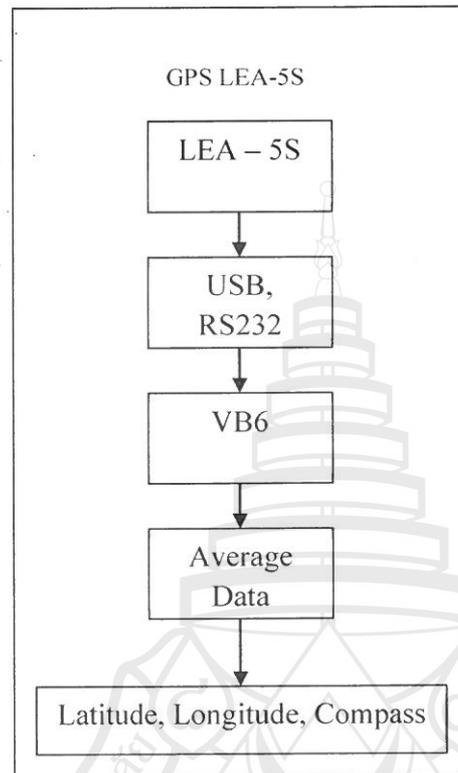
การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ประกอบด้วย ส่วนของ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนของอุปกรณ์ในการขับเคลื่อน ส่วนของไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ในการควบคุมการเลี้ยวและการสั่งให้รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ในส่วนของอุปกรณ์ขับเคลื่อนได้มีการออกแบบและติดตั้งไว้บริเวณหน้ารถ และออกแบบไว้สองระบบคือ คนขับสามารถบังคับได้และสภาพไร้คนขับ โดยมีคอมพิวเตอร์ประมวลผลการเลี้ยวหรือเดินทาง และส่งผลไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสั่งการอุปกรณ์ในการขับเคลื่อนอีกที่ดังรูป 3.3



รูปที่ 3.3 การเชื่อมต่ออุปกรณ์

3.1.3 การออกแบบระบบ GPS

GPS ที่ใช้เป็นรุ่น LEA-5S ของบริษัท UBLOX มีความสามารถในการอัปเดตข้อมูลที่ 4 Hz มีความคลาดเคลื่อน 2.5 เมตร ด้วยความสามารถที่มีจำกัดใน GPS นี้ ทำให้ผู้วิจัยได้ใช้ GPS 3 ตัวมาเฉลี่ยหาค่าที่ถูกต้องมากขึ้น ทำให้ค่าความคลาดเคลื่อนลดลงเหลือเพียงแค่ 1 เมตร ซึ่งถือว่าเชื่อถือได้ในการนำร่องของรถโดยสารประจำทางอัจฉริยะนี้ รูปที่ 3.4 แสดงการไหลของข้อมูลที่ได้รับมาจาก GPS และรูปที่ 3.5 แสดง GPS ที่ใช้ในระบบ



รูปที่ 3.4 ผังการไหลของข้อมูล แสดงการไหลของค่าที่ได้รับจาก GPS



รูปที่ 3.5 GPS ที่นำมาใช้ในการรับค่า

3.2 ระบบควบคุมและประมวลผลด้วย Kalman Filter

ในการใช้ Kalman Filter เพื่อกำจัดสัญญาณรบกวน ระบบที่จะวัดจะต้องสามารถอธิบายด้วยระบบเชิงเส้น ระบบเชิงเส้นสามารถอธิบายได้ด้วย สมการ 2 สมการนี้ คือ

สมการสถานะ (State equation)

$$\mathbf{x}_{k+1} = \mathbf{A}\mathbf{x}_k + \mathbf{B}\mathbf{u}_k + \mathbf{w}_k \quad (3.1)$$

สมการสัญญาณออก (Output equation)

$$\mathbf{y}_k = \mathbf{C}\mathbf{x}_k + \mathbf{z}_k \quad (3.2)$$

ในสมการ (3.1) และ (3.2) ข้างบน \mathbf{A} , \mathbf{B} , \mathbf{C} เป็นเมตริก k เป็นตัวแทนของเวลา \mathbf{x} ถูกเรียกว่าเป็นสถานะของระบบ \mathbf{u} เป็นสัญญาณเข้าของระบบ \mathbf{y} เป็นสัญญาณออกที่จะถูกวัด และ \mathbf{w} กับ \mathbf{z} เป็นสัญญาณรบกวน โดยตัวแปร \mathbf{w} เป็นสัญญาณรบกวนในกระบวนการ (process noise) \mathbf{z} เป็นสัญญาณรบกวนจากการวัด ตัวแปรเหล่านี้เป็นเวกเตอร์ เวกเตอร์ \mathbf{x} เป็นข้อมูลของสถานะปัจจุบันของระบบ แต่เนื่องจากเราไม่สามารถวัด \mathbf{x} ได้โดยตรง เราจึงวัดเวกเตอร์ \mathbf{y} แทน ซึ่งเวกเตอร์ \mathbf{y} ก็เป็นฟังก์ชันของเวกเตอร์ \mathbf{x} ที่มีสัญญาณรบกวน \mathbf{z} อยู่ด้วย

ระบบที่ออกแบบในเบื้องต้นเป็นการนำ Kalman Filter มาใช้ควบคุมรถให้วิ่งเป็นเส้นตรง โดยสถานะของรถที่พิจารณาจะประกอบไปด้วย ตำแหน่ง p และความเร็ว v โดยให้สัญญาณ u เป็นคำสั่งในการเร่งเครื่อง และ y เป็นค่าตำแหน่งของรถที่ต้องการวัด

สมมติว่าเราต้องการปรับอัตราเร่งและวัดตำแหน่งทุกช่วงเวลา T วินาที ในกรณีนี้เราสามารถเขียนความเร็วได้ในสมการนี้

$$v_{k+1} = v_k + Tu_k \quad (3.3)$$

นั่นคือ ความเร็วในช่วงเวลา T วินาทีต่อจากนี้ จะเท่ากับความเร็วปัจจุบันบวก ค่าอัตราเร่งที่เป็นค่าสิ่งที่ต้องการคูณด้วยเวลา T แต่จริงๆ แล้วค่าที่ได้ในสมการดังกล่าวก็ไม่ใช่ค่าที่แท้จริงสำหรับ v_{k+1} เนื่องจากในความเป็นจริงอาจมีการรบกวน จากกระแสมกรรโชก หรือหลุมบ่อบนถนน เป็นต้น ซึ่งการรบกวนนี้เป็นขึ้นในลักษณะสุ่ม ไม่มีคาบเวลาที่แน่นอน ดังนั้นสมการที่ค่อนข้างจะเป็นจริงมากกว่าสามารถเขียนได้ว่า

$$v_{k+1} = v_k + Tu_k + v_k^- \quad (3.3)$$

โดย v_k^- แทนค่าการรบกวนของความเร็ว เช่นเดียวกับสมการของตำแหน่งสามารถเขียนได้ว่า

$$p_{k+1} = p_k + Tv_k + \frac{1}{2}T^2u_k + p_k^- \quad (3.5)$$

โดย p_k^- แทนค่าการรบกวนของตำแหน่ง ดังนั้นเราสามารถเขียนเวกเตอร์สถานะ \mathbf{x} ซึ่งประกอบด้วยค่าตำแหน่ง และความเร็ว ได้ดังนี้

$$\mathbf{x}_k = \begin{bmatrix} p_k \\ v_k \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

สุดท้ายเราสามารถเขียนสมการแสดงความสัมพันธ์ทั้งหมดได้ว่า

$$\begin{aligned} \mathbf{x}_k &= \begin{bmatrix} 1 & T \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{x}_k + \begin{bmatrix} T^2/2 \\ T \end{bmatrix} \mathbf{u}_k + \mathbf{w}_k \\ \mathbf{y}_k &= [1 \ 0] \mathbf{x}_k + \mathbf{z}_k \end{aligned} \quad (3.7)$$

ถ้าหากว่าเราต้องการระบบควบคุมรถในประเภทที่มีการป้อนกลับของสัญญาณ เราต้องการการประมาณค่าตำแหน่ง และความเร็วที่แม่นยำ หรืออีกนัยหนึ่งเราต้องการประมาณค่าของสถานะ \mathbf{x} และนี่คือที่มาของการใช้ Kalman Filter ช่วยในการประมาณ

เงื่อนไขสำคัญที่ควรนำมาพิจารณา หากเราต้องการประมาณค่า x ที่ดีที่สุด มี 2 ประการ ประการแรก เราต้องการค่าเฉลี่ยที่ได้จากการค่าประมาณมีค่าเท่ากับ ค่าเฉลี่ยจากค่าจริง ประการที่สอง คือเราต้องการให้ค่าประมาณของสถานะมีความเบี่ยงเบนจากค่าจริงให้น้อยที่สุด ซึ่ง Kalman Filter สามารถตอบสนองต่อเงื่อนไขดังกล่าวได้เป็นอย่างดี

อย่างไรก็ดีการจะนำ Kalman Filter มาใช้จำเป็นต้องมีการตั้งสมมุติฐานทางสถิติของสัญญาณรบกวนที่ชัดเจน ดังนี้

1. ค่าเฉลี่ยของสัญญาณรบกวนในกระบวนการ (Process noise) w และสัญญาณรบกวนจากการวัด (Measurement noise) z มีค่าเป็นศูนย์
2. ไม่มีความสัมพันธ์ (correlation) ระหว่าง w และ z ดังนั้น noise covariance เมตริก S_w และ S_z สามารถนิยามได้ดังนี้

Process noise covariance

$$S_w = E(w_k w_k^T) \quad (3.8)$$

Measurement noise covariance

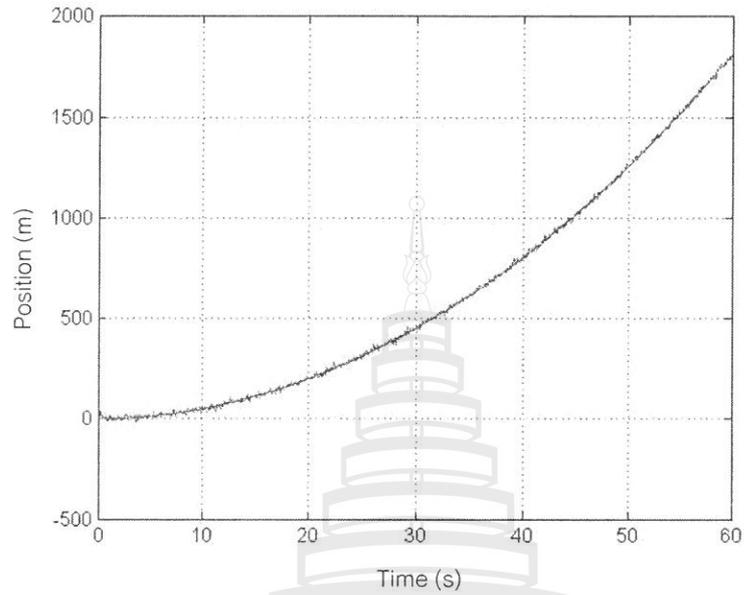
$$S_z = E(z_k z_k^T) \quad (3.9)$$

โดยที่ w^T และ z^T เป็น Transpose ของ w และ z และ $E(\cdot)$ คือ Expected Value

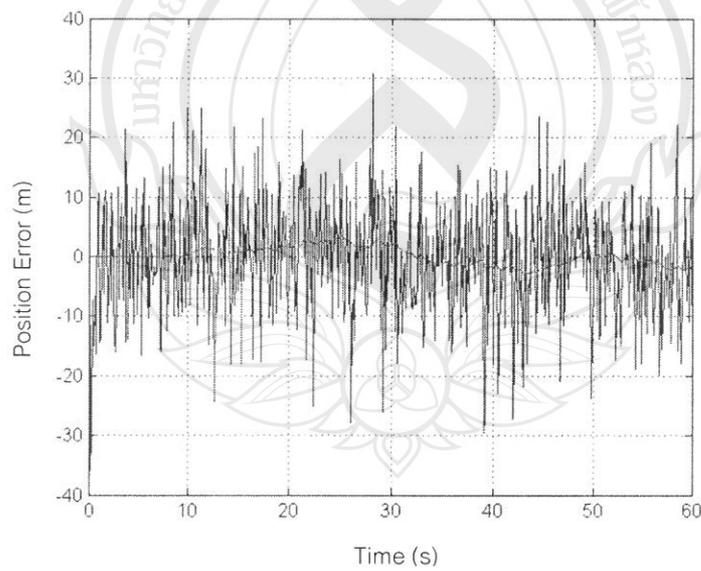
สมการความหลักของ Kalman Filter มี 3 ส่วนดังนี้

$$\begin{aligned} K_k &= AP_k C^T (C P_k C^T + S_z)^{-1} \\ \hat{x}_{k+1} &= (A \hat{x}_k + B u_k) + K_k (y_{k+1} - C \hat{x}_k) \\ P_{k+1} &= AP_k A^T + S_w - AP_k C^T S_z^{-1} C P_k A^T \end{aligned} \quad (3.10)$$

โดยสัญลักษณ์ -1 หมายถึงการทำ Inverse ของเมตริก T หมายถึง การทำ Transpose ของเมตริก K เป็นเมตริกเรียกอีกอย่างว่า Kalman gain หรืออัตราขยายของ Kalman เมตริก P เรียกว่า Estimation error covariance



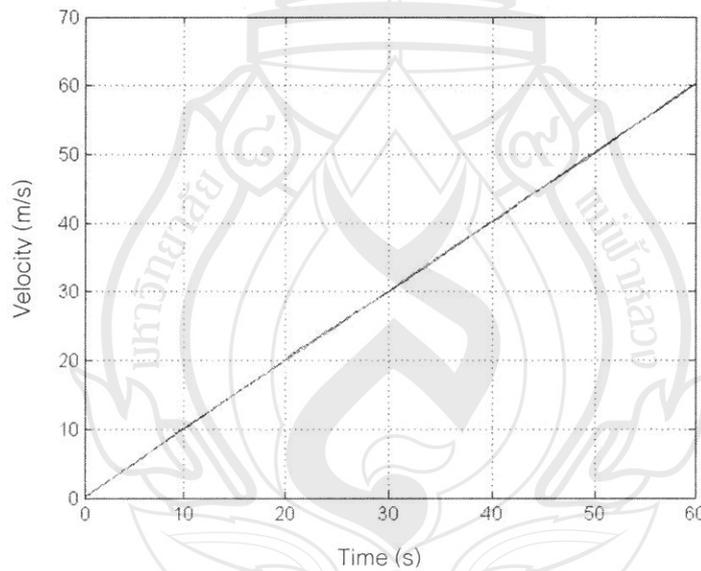
รูปที่ 3.6 ค่าตำแหน่งของรถ เทียบกับค่าที่ได้จากการประมาณ และค่าที่ได้จากการวัด



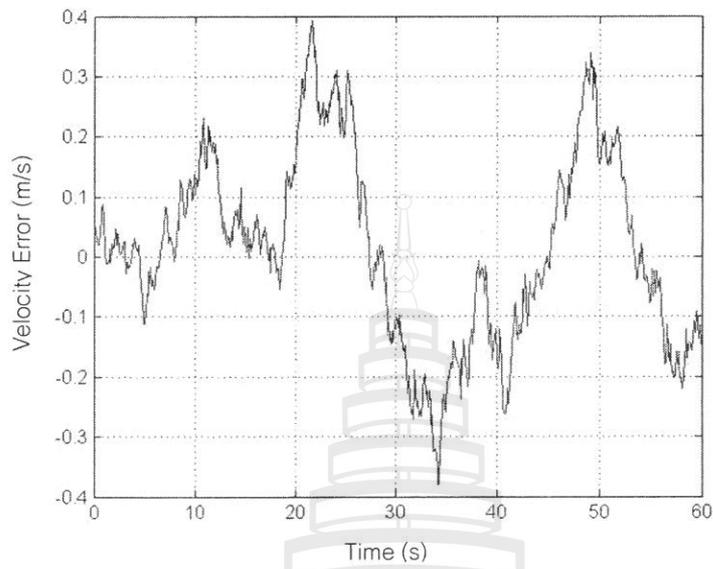
รูปที่ 3.7 ค่าผิดพลาดจากตำแหน่งจริง เมื่อเทียบกับค่าที่ได้จากการประมาณและค่าที่ได้จากการวัด

รูปที่ 3.7 แสดงค่าผิดพลาดระหว่างค่าตำแหน่งจริงเทียบกับค่าที่ได้จากการวัด และค่าที่ได้จากการประมาณด้วย Kalman Filter โดยค่าคลาดเคลื่อนจากการวัด มีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ประมาณ 10 ฟุต ส่วนที่เป็นยอดแหลมที่มีโอกาสเกิดเป็นบางครั้งอยู่ที่ประมาณ 30 ฟุต ค่าคลาดเคลื่อนจากการประมาณอยู่ที่ประมาณ 2 ฟุต

รูปที่ 3.8 เป็นผลพลอยได้จากการใช้ Kalman Filter เนื่องจาก ความเร็วรถเป็นส่วนหนึ่งของ x จึงทำให้เราได้ค่าประมาณความเร็วมาด้วย รูปที่ 3.9 แสดงค่าคลาดเคลื่อนระหว่างความเร็วที่แท้จริง กับค่าความเร็วจากการประมาณค่าโดย Kalman Filter



รูปที่ 3.8 ค่าความเร็วจริงและค่าความเร็วจากการประมาณ



รูปที่ 3.9 ค่าผิดพลาดเปรียบเทียบระหว่างความเร็วจริงและค่าความเร็วจากการประมาณ



บทที่ 4 ผลการวิจัย

4.1 การพัฒนาระบบ

การออกแบบระบบนั้นเน้นไปที่ความง่ายของการเชื่อมต่ออุปกรณ์แต่ละชนิดเข้าด้วยกัน โดยเลือกใช้การเชื่อมต่อแบบ USB เป็นการเชื่อมต่อสัญญาณหลัก โดยใช้ Micro Controller ในตระกูล PIC 18F4550 ซึ่งได้มีการเชื่อมต่อแบบ USB รองรับการใช้งานอยู่แล้ว ทำให้สามารถนำคอมพิวเตอร์มาเชื่อมต่อกับ Micro Controller ได้เลย

ในส่วนของการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับ Micro Controller นั้น การตั้งค่าเพื่อรับข้อมูลในโปรแกรม Visual Basic นั้นทำได้โดยใช้ Driver ที่ให้มาที่เรียกว่าเป็น ตัวจำลอง Com Port ซึ่งหลังจากที่ติดตั้งไปแล้ว Driver จะจำลอง USB port ให้กลายเป็น Com Port ซึ่งเป็น Port ที่ใช้สื่อสารแบบอนุกรม โดยสามารถเข้าไปดูใน Device Manager ของระบบปฏิบัติการ Windows ได้ว่า Port นั้นอยู่ที่ตำแหน่งไหน

หลังจากที่ทราบตำแหน่งของ Com Port แล้ว ก็สามารถเขียนโปรแกรมใน Virtual Basic ให้รับค่าได้โดยใช้ฟังก์ชัน Ms.comport เข้ามาเป็นตัวกำหนดค่า Port และส่งรับค่าหรือข้อมูลจาก Micro Controller ได้

ในการออกแบบเพื่อเชื่อมต่อ GPS สามารถเชื่อมต่อโดยใช้ USB เช่นกัน โดยค่าจาก GPS ที่รับได้นั้นจะเป็นข้อมูลตามมาตรฐาน NMEA จึงจำเป็นต้องเขียนโปรแกรมใน Virtual Basic เพื่อแสดงค่าตำแหน่งของ GPS ที่ต้องการ

ส่วนสุดท้ายในการออกแบบเพื่อเชื่อมต่อชุดขับเคลื่อนมอเตอร์นั้น ได้ออกแบบโดยใช้ Microcontroller ควบคุมผ่าน IC ULN2003 ซึ่งเป็นตัวขับสัญญาณชุดรีเลย์เพื่อควบคุมมอเตอร์ต่อไป

4.2 การออกแบบการทดลอง

หลังจากที่ได้รับค่าจากตัว GPS มาแล้ว ค่าที่ได้จะถูกเก็บลงในฐานข้อมูลของโปรแกรม Microsoft Access โดยข้อมูลนี้จะถูกนำมาใช้ในการสร้างเป็นแผนที่จำลอง เพื่อให้รถวิ่งไปตามตำแหน่งที่ได้เก็บค่าเอาไว้แล้ว

ในการทดลองนั้น จะใช้พื้นที่บริเวณสนามกีฬา ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง ซึ่งเป็นพื้นที่โล่งมีคนพลุกพล่านน้อย และสามารถรับค่าจาก GPS ได้อย่างแม่นยำ โดยได้ทำการทดลองให้รถวิ่ง และตรวจดูว่ารถนั้นวิ่งตรงจุดที่ได้เก็บค่าไว้หรือไม่ และมีการกำหนดค่าหรือตำแหน่งของ GPS ที่จะให้รถหยุดอีกด้วย

การทำงานของระบบอัจฉริยะ

เมื่อ GPS ทั้ง 3 ตัวคำนวณ Latitude และ Longitude เรียบร้อย คอมพิวเตอร์จะดึงข้อมูลจาก GPS ทั้ง 3 ตัวมาเฉลี่ยกันและแก้ไขข้อมูลผิดพลาด ซึ่งข้อมูลจะถูกนำมาใช้งานใน 2 ระบบดังนี้

1. การเรียนรู้แผนที่

เพื่อให้มีการจัดทำแผนที่ระบบนำทางที่รวดเร็ว ผู้พัฒนาจึงได้สร้างระบบการบันทึกเส้นทางล่วงหน้า ซึ่งระบบจะนำค่า Latitude และ Longitude บัญชีที่ลงในฐานข้อมูล โดยมีตัวเลขกำกับเพื่อบอกทิศทางที่รถจะตามไปด้วย แผนที่ข้อมูลนี้จึงทำให้รถอัจฉริยะมีความคล่องตัวสูง เคลื่อนตัวได้เร็ว สามารถปรับเปลี่ยนแผนที่ได้ง่ายและ ใช้งานได้ทุกพื้นที่

2. ระบบนำร่อง

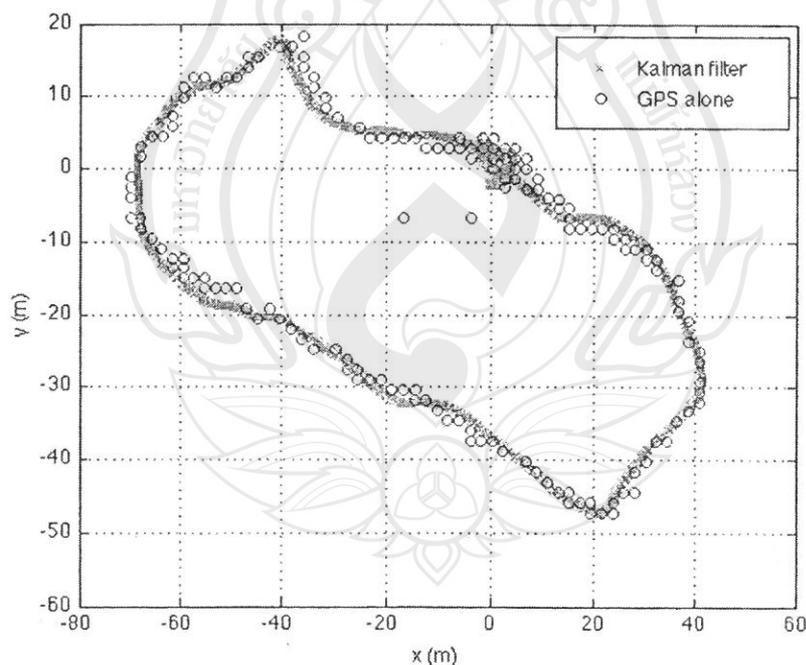
หลังจากที่รับข้อมูลจาก GPS มา ระบบจะทำการค้นหาและเปรียบเทียบจุดจากแผนที่ที่ใกล้ตัวที่สุด จากนั้นจะเก็บหมายเลขประจำจุด GPS นั้นๆ ไว้เพื่อใช้ในการค้นหาจุดถัดไปในระยะห่างที่กำหนด กล่าวคือถ้าตัวรถมีความเร็วสูงก็ให้ใช้จุดที่ไกลออกไป ถ้าความเร็วต่ำก็เลือกใช้จุดที่ใกล้เข้ามา ทั้งนี้เพื่อเป็นการป้องกันการล่าของรถในขณะที่มีความเร็วสูง จากนั้นเมื่อได้จุดเป้าหมายแล้ว ระบบจะคำนวณหาระยะห่าง ระหว่างจุดปัจจุบันเทียบกับจุดเป้าหมาย และจุดระหว่างจุดปัจจุบันเทียบกับจุดที่ใกล้ที่สุดในแผนที่

เพื่อเอาความยาวทั้งสองเส้นนี้ มาหามุมที่รถต้องวิ่งและเลี้ยวไป และใช้เป็นคำสั่งในการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์เช่นกัน

4.3 การทดสอบระบบ

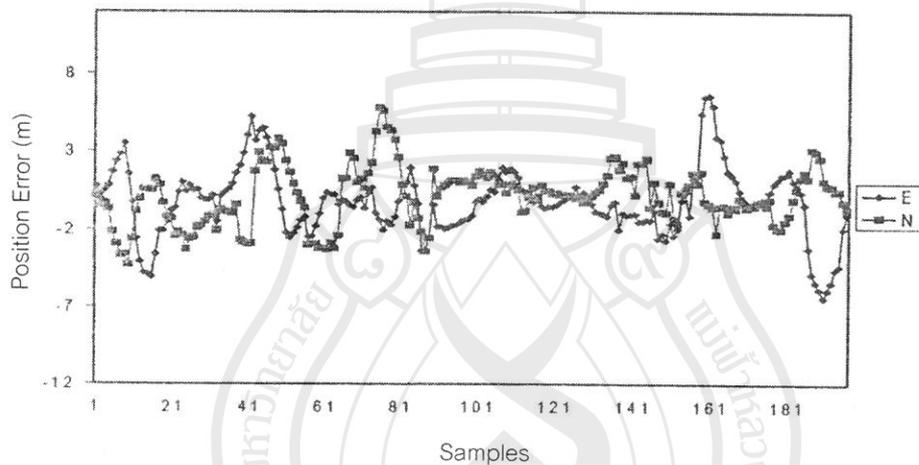
ในขั้นแรกระบบจะทำการเก็บแผนที่ โดยใช้ GPS เป็นตัวระบุตำแหน่ง และเก็บข้อมูลที่ได้จาก GPS ลงในฐานข้อมูล โดยการเก็บแผนที่ในการทดลองได้ใช้พื้นที่บริเวณด้านหลังของศูนย์กีฬา ของมหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวงเป็นสถานที่ทดสอบ เนื่องจากไม่มีคนพลุกพล่าน บริเวณเป็นพื้นที่เรียบของลานจอดรถ

หลังจากได้ทำการเก็บข้อมูลแผนที่แล้วจึงได้ปล่อยให้รถวิ่งโดยอัตโนมัติ ไปตามเส้นทางของแผนที่ที่เก็บข้อมูลตำแหน่ง GPS มาก่อนหน้านี้แล้ว โดยในการทดสอบได้ทำ 2 ครั้ง โดยในครั้งแรกเป็นการเดินรถอัตโนมัติโดยนำทางด้วยระบบ GPS เพียงอย่างเดียว และในครั้งที่ 2 เป็นการนำทางด้วยระบบ GPS ที่มี Kalman Filter มาช่วยประมวลผล โดยผลที่ได้แสดงในรูปที่ 4.1

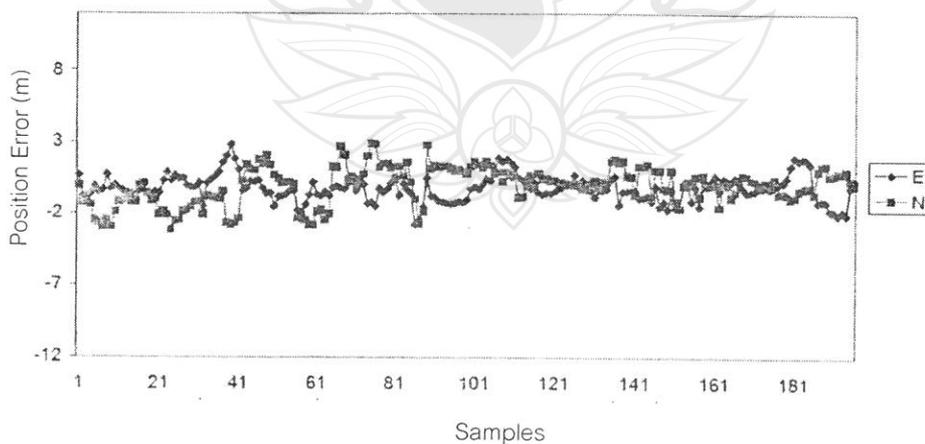


รูปที่ 4.1 การทดลองการเดินรถเปรียบเทียบระหว่างการควบคุมรถโดยใช้ GPS อย่างเดียวกับเมื่อใช้ Kalman Filter ร่วมด้วย

จากรูปจะเห็นว่ารถสามารถเคลื่อนที่โดยอัตโนมัติไปตามเส้นทางที่เก็บไว้ก่อนหน้าได้ โดยจะพบว่า เมื่อใช้ Kalman Filter เข้ามาร่วมในการประมวลผลจะช่วยให้ระบบมีเสถียรภาพดีขึ้น เพื่อให้เห็นความแตกต่างชัดเจนขึ้น จึงได้แสดงความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งของรถที่คำนวณได้ เมื่อเทียบกับตำแหน่งของ GPS ในแผนที่ไว้ โดยในรูปที่ 4.2 จะแสดงให้เห็นค่าความผิดพลาดของตำแหน่งเมื่อไม่ใช้ Kalman Filter จากกราฟจะเห็นว่าระบบมีค่าผิดพลาดคลาดเคลื่อนมาก คิดเป็นค่าเฉลี่ย (Root mean square error) อยู่ที่ 2.35 เมตร แต่เมื่อใช้ Kalman Filter (ดังแสดงในกราฟรูป 4.3) จะพบว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ย (Root mean square error) ลดลงเหลือเพียง 1.08 เมตรเท่านั้น



รูปที่ 4.2 ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อไม่ใช้ Kalman Filter



รูปที่ 4.3 ความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อใช้ Kalman Filter

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาหาแนวทางในการออกแบบ และปรับปรุงระบบควบคุมรถอัจฉริยะให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น มีความถูกต้องแม่นยำในการควบคุมมากขึ้น โดยใช้เทคนิคหลายอย่างประสมกัน ในที่นี้ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1. ระบบนำทางด้วย GPS
2. ระบบประมวลผลด้วย Kalman Filter

โดยกระบวนการออกแบบเริ่มจากการสำรวจวรรณกรรม สำรวจความต้องการของระบบ และเลือกวิธีที่เหมาะสม ในส่วนของระบบฮาร์ดแวร์ได้นำความต้องการในการออกแบบมาเลือกเซ็นเซอร์ และออกแบบระบบฮาร์ดแวร์ให้สามารถรองรับเซ็นเซอร์ได้อย่างเหมาะสม รวมถึงการเชื่อมต่อกับส่วนแสดงผล

ในการออกแบบระบบ GPS พบว่าระบบ GPS ที่ขายอยู่ในปัจจุบันมีทั้งแบบที่ความแม่นยำต่ำและมีราคาถูก ไปถึงแบบที่มีความแม่นยำสูงและมีราคาสูงไปด้วย ในการออกแบบระบบนี้เลือกใช้ GPS แบบที่มีราคาถูกจำนวน 3 ตัวมาใช้ โดยใช้วิธีเฉลี่ยค่าที่รับได้ ซึ่งช่วยลดความคลาดเคลื่อนลงไปได้ในระดับหนึ่ง

ผู้วิจัยจึงนำระบบประมวลผลด้วย Kalman Filter มาช่วยในการประมาณค่า ซึ่งช่วยลดความผิดพลาดในการระบุตำแหน่งของ GPS ลง จากการทดสอบพบว่าระบบนำร่องมีความคลาดเคลื่อนน้อยลงจากประมาณ 2 เมตรเหลือเพียงประมาณ 1 เมตร ซึ่งมีผลทำให้การขับเคลื่อนของรถอัจฉริยะมีความราบรื่นมากขึ้น

งานวิจัยนี้ได้สำเร็จลงด้วยดี ตามวัตถุประสงค์และขอบเขตที่ตั้งไว้ อย่างไรก็ตามในส่วน of งานวิจัยรถอัจฉริยะนั้นยังสามารถวิจัยต่อยอดไปได้อีกมากในหลายๆ ประเด็นเช่น การนำระบบนำร่องด้วยภาพถ่าย หรือการนำระบบเลเซอร์มาใช้ในการสร้างแผนที่ รวมถึงทฤษฎีระบบควบคุมมอเตอร์มาใช้ร่วมด้วยเพื่อช่วยให้ระบบสามารถขับเคลื่อนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. R. A. Lewis and A. R. Johnston, "A Scanning Laser Rangefinder for a Robotic Vehicle," Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology, Pasadena, California (2003) 91103
2. G. Champleboux, S. Lavallee, R. Szeliski, L. Brunie, "From Accurate Range Imaging Sensor Calibration to Accurate Model-Based 3-D Object Localization," Proc. CVPR, 1992, pp.83-88.
3. J. Sparbert, K. C. J. Dietmayer, D. Streller, "Lane Detection and Street Type Classification using Laser Range Images," Proceedings of ITSC 2001, IEEE 4th International Conference on Intelligent Transport Systems, ITSC 2001 Oakland, page 454-459
4. D. Langer, "An integrated MMW radar system for outdoor navigation," proceedings of the 1996 IEEE International conference on robotics and automation, Minneapolis, Minnesota, April 1996
5. J. K. Hedrick, D. McMahon, V. Narendran, and D. Swaroop, "Longitudinal vehicle controller design for IVHS systems," in Proc. Amer. Contr. Conf., 1991, pp. 3107-3112.
6. S. Sukkarieh, E. M. Nebot, and H. Durrant-Whyte, "Achieving integrity in an INS/GPS navigation loop for autonomous land vehicle applications," in Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Automat., May 1998.
7. K. Koskinen, "An experimental autonomous land vehicle for off-road piloting and navigation research", p. 6, IEEE Systems, Man and Cybernetics conference, 1993.
8. R. E. Kalman, "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems," Transaction of the ASME—Journal of Basic Engineering, pp. 35-45, March 1960.

ประวัตินักวิจัย

Dr. Phakphoom Boonyanant

Lecturer, School of Information Technology, Mae Fa Luang University

Technical interests

Adaptive filter, Wavelets, Digital filter design, Spectral estimation, Random process, Smart antenna, Digital communications, Sensor array processing

Education

- Doctor of Philosophy in Electrical Engineering, Sirindhorn International Institute of Technology, Pathumthani, Thailand (March, 2002)
- Master of Science in Electrical Engineering (Signal and Communication), University of Rochester, NY, USA. (May 5, 1996)
- Bachelor of Engineering in Electrical Engineering (Control System), King Mongkut's Institute of Technology North Bangkok Bangkok, Thailand, (March 17, 1992)

Professional experience

Researcher (1992-2009) at National Electronics and Computer Technology Center (NECTEC), Thailand.

- | | | |
|-----------|---|---|
| 1993-1994 | : | Designed and implemented a G3 Fax machine. |
| 1995-1996 | : | MS Study |
| 1996-1997 | : | Designed and implemented an MPEG2 decoder board. |
| | : | Designed HDLC frame switch used in Remote Switching Unit (RSU) project. |
| 1997-2002 | : | PhD Study |
| 2003 | : | Project leader |
| | : | Designed and implemented a smart antenna system |
| 2004 | : | Project leader |
| | : | FPGA implementation of a subspace tracker based on a recursive unitary ESPRIT algorithm |
| 2005 | : | Project leader |

- : Designed and simulated an electronic support measures (ESM) system
- : Proposed a joint azimuth-elevation-frequency estimation
- : Proposed an ultimate resolution parameter estimation based on Chinese remainder theorem (CRT) and ESPRIT
- : Designed hardware of a sound enhancement system using microphone array
- 2006-2007 : Project leader
- : Designed and simulated an acoustic noise localization system
- : Proposed a planar Helmholtz equation least-squares method
- 2009 : Project leader
- : Designed and simulated portable medical ultrasound system
- 2008-2009 : Director
- : Biomedical Signal Processing Laboratory

Lecturer (2010-present) at Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand.

Honors

- The Royal Thai Government Scholarship (1995-1996)
- The Royal Golden Jubilee PhD. Scholarship (1998-2000)