ออกแบบระบบควบคุมรถเก็บขยะอัตโนมัติ

นายสุรสีห์ ชาวสวน

นายอัศวนนท์ แสงสูงเนิน

นายยุทธนา น้อยโคกสูง

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2/2562

ชื่อโครงงาน ออกแบบระบบความคุมรถเก็บขยะอัตโนมัติ

(DESIGN OF AN AUTOMATIC WASTE COLLECTION TRUCK CONTROL SYSTEM)

ชื่อนักศึกษา นายสุรสีห์ ชาวสวน

นายอัศวนนท์ แสงสูงเนิน

นายยุทธนา น้อยโคกสูง

อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. โศรฎา แข็งการ

บทคัดย่อ

จากปัญหาของขยะที่เกิดขึ้นอย่างมากมายหลังจากการจัดกิจกรรมหรืองานต่างๆซึ่งปัญหาเกิดจากคนที่ไม่มีวินัยและปริมาณถังขยะอาจจะไม่เพียงพอซึ่งในการเก็บขยะนั้นๆใช้เวลานานและใช้กำลังคนจำนวนมากอาจจะเกิดการจ้างงานและมีค่าใช้จ่ายเกิดขึ้นในการเก็บขยะหลังจากการจัดกิจกรรมหรืองานต่างๆดังนั้นทางคณะผู้จัดทำโปรเจคจึงมีแนวคิดที่จะหาวิธีเก็บขยะเพื่อทดแทนการจ้างงานและลดเวลาในการเก็บขยะจึงได้สร้างรถเก็บขยะอัตโนมัติขึ้นมาโดยชิ้นงานจริงนั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วนในการจัดทำคือในส่วนของระบบกลไกและในส่วนของระบบควบคุมในส่วนนี้คณะผู้จัดทำได้ทำในส่วนของระบบควบคุมซึ่งในระบบควบคุมนั้นเป็นระบบควบคุมอัตโนมัติด้วยสัญญาณ GPS จาก Board ARDUPILOT ซึ่งอ้างอิงพิกัดเส้นทางจาก Google Map ให้รถเก็บขยะวิ่งตามเส้นทางที่กำหนดและเก็บขยะในเวลาเดียวกันในส่วนรัศมีในการสั่งงานได้ไกลจากผู้ควบคุม 300-500 เมตร ในการสั่งงานผู้ควบคุมจะใช้ Software waypoint ในการ Download ข้อมูลเส้นทาง ผลที่ได้จากโครงงานคือชิ้นงานรถเก็บขยะ 1 คันและสามารถเก็บขยะอัตโนมัติได้จริง

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Title DESIGN OF AN AUTOMATIC WASTE COLLECTION CONTROL SYSTEM

Author SURASEE CHOWSUAN

ASSAVANON SANGSUNGNOEN

YUTTANA NOIKOKSUNG

Advisor Dr. SORADA KHAENGKARN

Abstract

From the problem of the garbage that occurred a lot after activities or events, which caused the lack of discipline and the amount of trash may not be enough to collect the garbage that takes a long time and using a lot of manpower, may be hiring and costs incurred in garbage collection after activities or work the project team therefore has an idea to find ways to collect waste in order to replace employment and reduce the time to collect garbage, therefore has created an automatic garbage collection truck. The actual work is divided into 2 parts to Prepared, namely the mechanical system and the control system in this part, the organizers can do in the part of the control system, in which the control system is automatically controlled by GPS signal from Board ARDUPILOT, which refer to the route coordinates from Google map, the garbage truck runs along the specified route and waste collection at the same time. In the radius of the command is 300-500 meters away from the controller. In the command, the controller will use the software waypoint to download the route information. The result of the project is a piece of garbage collection truck and can actually collect rubbish automatically.

สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
สำนักหอสมุดกลาง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานการออกแบบและสร้างรถเก็บขยะอัตโนมัติครั้งนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากได้รับการอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจากอาจารย์ดร.โศรฎา แข็งการ ที่ได้ชี้แนะข้อบกพร่องให้การช่วยเหลือเกี่ยวกับการดำเนินโครงงานด้วยความเอาใจใส่ติดตามงาน ตลอดจนสนับสนุนคณะผู้จัดทำให้มีความสามารถในการทำงานครั้งนี้จนสำเร็จไปด้วยดี

ขอขอบคุณคณะอาจารย์และบุคลากรสาขาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด

คณะผู้จัดทำใคร่ขอขอบพระคุณทุกๆ ท่านที่ได้กล่าวไปแล้ว ณ ที่นี้ สำหรับคุณค่าและประโยชน์ของโครงงานนี้ ขออุทิศให้แก่อาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้แก่คณะผู้จัดทำ

อัศวนนท์ แสงสูงเนิน
สุรสีห์ ชาวสวน
ยุทธนา น้อยโคกสูง

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

		หน้า
	บทคัดย่อ(ภาษาไทย)	ก
	บทคัดย่อ(ภาษาอังกฤษ)	ข
	กิตติกรรมประกาศ	ค
	สารบัญ	ง
	สารบัญตาราง	ช
	สารบัญรูปภาพ	ซ
บทที่1	บทนำ	1
	วัตถุประสงค์	1
	ขอบเขตโครงงาน	1
	ขั้นตอนดำเนินงาน	2
	ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่2	ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง	3
	ทฤษฎีระบบควบคุม	3
	ระบบควบคุมยุคโบราณ	4
	จุดกำเนิดทฤษฎีระบบควบคุม	5
	แบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบควบคุม	5
	ทฤษฎีเสถียรภาพ	5
	ระบบควบคุมแบบดั้งเดิม	6
	ระบบควมคุมแบบใหม่	7
	ข้อจำกัดของระบบควบคุมแบบดั้งเดิมต่องานอากาศยาน	7
	การประยุคใช้คอมพิวเตอร์กับงานระบบควบคุม	8

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ(ต่อ)

		หน้า
	ประเภทของระบบควบคุม	10
	ระบบควบคุมวงจรปิด	11
	ตัวควบคุม PID	12
	จีพีเอส (GPS Technology)	16
	หน้าที่สำคัญของดาววเทียม GPS	20
	การทำงานของระบบนำทางด้วย GPS	21
	ประโยชน์หลักของ GPS	22
	รูปแบบการส่งข้อมูลของดาวเทียม GPS	23
	Arduipilot	25
	Processing	27
	Sensor	28
	Powering Up APM Board	29
	Digital and Analog I/O	30
	Others	31
บทที่3	ขั้นตอนการดำเนินงาน	41
	เตรียมอุปกรณ์หลัก	41
	ขั้นตอนการสอบเทียบ	42
	การคำนวณระยะห่างของตำแหน่ง GPS 2จุด	51
บทที่4	ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล	54

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ(ต่อ)

		หน้า
	ผลการทดลอง	55
	วิจารณ์ผล	58
บทที่5	สรุปและข้อเสนอแนะ	59
	สรุปผลการดำเนินงาน	59
	ผลที่ได้จากการทดลอง	59
	ปัญหาที่พบเจอ	59
	ข้อเสนอแนะ	60
	แนวทางการพัฒนาในอนาคต	60
เอกสารอ้างอิง		61
ภาคผนวก		62
ประวัติผู้เขียน		66

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ผลกระทบจากการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID 15

ตารางที่ 2.2 APM famiry main specifications 26

ตารางที่ 2.3 APM LEDs behavior and meaning 31

ตารางที่3.1 แสดงค่าความแตกต่างของ latitude และ longtitude 50

ตารางที่4.1 แสดงผลการทดลองการวิ่งตามพิกัดGPSในรูปแบบเส้นทางต่างๆ 55

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ลูกเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal governor หรือเรียก fly-ball governor) 4

รูปที่ 2.2 ระบบควบคุมแบบวงเปิด 11

รูปที่ 2.3 วงรอบการควบคุม PID 13

รูปที่ 2.4 เอาต์พุตของตัวควบคุม PID เมื่อรับอินพุตแบบขั้นบันได 14

รูปที่ 2.5 ผลตอบสนองของระบบในโดเมน 15

รูปที่ 2.6 หลักการทำงานของ GPS 19

รูปที่ 2.7 การทำงานของระบบนำทางด้วย GPS 21

รูปที่ 2.8 ประโยชน์ของ GPS 22

รูปที่ 2.9 การส่งข้อมูลของดาวเทียม 23

รูปที่ 2.10 uBlox LEA-6H GPS module with on-board compass 26

รูปที่ 2.11 APM 2.6 with enclosure 27

รูปที่ 2.12 APM power module 29

รูปที่ 2.13 APM2.6 dual positive 30

รูปที่2.14 Architacture of the whole system 32

รูปที่2.15 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วและทิศทาง 33

รูปที่ 2.16 Micro Servo Motor SG90 4.8V 1.6kg 34

รูปที่ 2.17 APM Pix Pixhawk 35

รูปที่ 2.18 433 MHz หรือ 915 วิทยุเมกกะเฮิร์ตโมดูลพร้อมเสาอากาศ 37

รูปที่ 2.19 สินค้า Flysky FS-i6X 2.4GHz 6CH AFHDS 39

รูปที่ 3.1 โปรแกรม Mission Planner 41

รูปที่ 3.2 การสอบเทียบทิศทาง 42

รูปที่ 3.3 การสอบเทียบ board และ Jairo sensor 43

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

หน้า

รูปที่ 3.4 การสอบเทียบรีโหมด 44
รูปที่ 3.5 รูปแบบ Wiring 45
รูปที่ 3.6 การกำหนดเส้นเดินรถ 46
รูปที่ 3.7 รีโหมดควบคุมระยะไกล 47
รูปที่ 3.8 การ connect board 48
รูปที่ 3.9 การ connect เสาอากาศ 48
รูปที่ 3.10 การกำหนดเส้นทางเดินของรถ 49
รูปที่ 3.11 การ Write WPs 49
รูปที่ 3.11 การ Read WPs 50
รูปที่ 4.1 รถเก็บขยะที่สมบูรณ์ 54
รูปที่ 4.2 การวิ่งแบบวงกลม 55
รูปที่ 4.3 การวิ่งแบบก้นหอย 56
รูปที่ 4.4 การวิ่งแบบฟันปลา 56
รูปที่ 4.5 การวิ่งแบบตรง 57
รูปที่ 4.6 การวิ่งแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า 57

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่1
บทนำ

รถเก็บขยะอัตโนมัตินี้มีวัตถุประสงค์สำคัญคือช่วยในจัดเก็บขยะที่หล่นอยู่ตามพื้นที่ที่กว้าง หลังจากการจัดกิจกรรมกลางแจ้ง เช่น การจัดงานคอนเสิร์ตหรือการจัดงานกิจกรรมต่างๆในพื้นที่มีบริเวณกว้าง โดยปกติแล้วการเก็บขยะที่กล่าวมาข้างต้นนี้จะนิยมใช้แรงงานคนเก็บเสียเป็นส่วนใหญ่ซึ่งการเก็บขยะในพื้นที่ที่มีบริเวณกว้างและขยะเป็นจำนวนมากนั้นต้องใช้แรงงานคนในเก็บจำนวนมากและใช้ระยะเวลาในการเก็บค่อนข้างมากรวมไปถึงฝุ่นละอองในพื้นที่ที่เกิดฝุ่นจากการเดินเก็บของคนเป็นจำนวนมากอาจเป็นอันตรายต่อผู้เก็บขยะจากสภาพปัญหาดังกล่าวคณะผู้จัดทำจึงคิดสร้างรถเก็บขยะอัตโนมัตินี้ขึ้นมาใช้ในการจัดเก็บขยะเพื่อลดการใช้แรงงานคนได้ โดยการเก็บขยะจากรถเก็บขยะอัตโนมัตินั้นจะเป็นไปด้วยความสะดวกและปลอดภัยจากฝุ่นละอองรวมไปถึงลดเวลาในการทำความสะอาดเพื่อจะได้ใช้เวลาที่เหลือในการดูแลความสะอาดในพื้นที่อื่นต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและออกแบบระบบควบคุมรถเก็บขยะอัตโนมัติโดยใช้การควบคุมการทำงานอัตโนมัติด้วยระบบพิกัด GPS MAP

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขอบเขตของโครงงาน

1) รัศมีในการสั่งงานได้ไกลจากผู้ควบคุม 300-500 เมตร
2) สามารถทำการเก็บขยะได้ในพื้นที่ราบไม่มีสิ่งกีดขวาง
3) ควบคุมด้วยการส่งสัญญาณจากGPSหรือรีโมทควบคุมระยะไกล
4) ทำงานได้ในระบบอัตโนมัติและใช้คนควบคุมด้วยรีโมท
5) ทำงานในสภาพอากาศปกติ

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1) สืบค้นข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

2) ออกแบบและสร้าง

3) เบิกเงินและจัดซื้อ

4) วิเคราะห์ระบบควบคุม

5) ปรับปรุงและแก้ไขในส่วนที่ต้องปรับปรุง

6) สรุปและเขียนรายงาน

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

สามารถนำมาใช้ทดแทนแรงงานที่เป็นส่วนงานราชการหรือบริษัทได้สามารถลดค่าใช้จ่ายจากการที่ต้องจ้างแรงงานคนเพื่อมาเก็บขยะหลังจากกิจกรรมนั้นและลดความยากลำบากและอาการเจ็บป่วยของคนที่ถูกจ้างมาทำงานกลางแจ้งเพราะสภาพอากาศในปัจจุบันอุณหภูมิสูงขึ้นและฝุ่นละอองขณะปฏิบัติงานทำให้ผู้ปฏิบัติงานนั้นอาจจะเจ็บป่วยได้ง่ายโครงงานส่วนนี้จึงถูกสร้างขึ้น

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่2

ทฤษฎีและเนื้อหาที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีระบบควบคุม

ทฤษฎีระบบควบคุม (Control theory) เป็นสาขาหนึ่งของคณิตศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ ในที่นี้ การควบคุมหมายถึง การควบคุมระบบพลศาสตร์ ให้มีค่าเอาต์พุตที่ต้องการ โดยการป้อนค่าอินพุตที่เหมาะสมให้กับระบบ ตัวอย่างที่เห็นได้ทั่วไป เช่น ระบบควบคุมอุณหภูมิห้องของเครื่องปรับอากาศ หรือ แม้แต่ลูกลอยในโถส้วม ที่เปิดน้ำปิดน้ำโดยอัตโนมัติเมื่อน้ำหมดและน้ำเต็ม

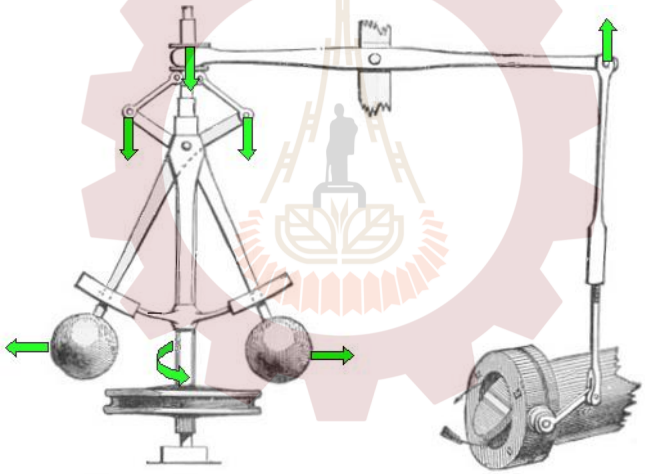
การควบคุมการขับเคลื่อนยานพาหนะ เช่น รถยนต์ ก็ถือเป็นการควบคุมชนิดหนึ่ง โดยผู้ขับขี่เป็นผู้ควบคุมทิศทางและความเร็ว ซึ่งระบบควบคุมประเภทที่ต้องมีคนเข้ามาเกี่ยวข้องนี้ถือว่าเป็น ระบบควบคุมไม่อัตโนมัติ (Manual control) แต่ทฤษฎีระบบควบคุมจะครอบคลุมเฉพาะการวิเคราะห์และออกแบบ ระบบควบคุมอัตโนมัติ (Automatic control) เท่านั้น เช่น ระบบขับเคลื่อนอัตโนมัติ (Cruise control)

ระบบควบคุมยังอาจแบ่งออกได้เป็นระบบควบคุมวงเปิด (open-loop control) คือ ระบบควบคุมที่ไม่ได้ใช้สัญญาณจากเอาต์พุต มาบ่งชี้ถึงลักษณะการควบคุม ส่วนระบบควบคุมวงปิด (closed-loop control) หรือ ระบบป้อนกลับ (feedback control) นั้นจะใช้ค่าที่วัดจากเอาต์พุต มาคำนวณค่าการควบคุม นอกจากนี้ยังอาจแบ่งได้ตามคุณลักษณะของระบบ เช่น เป็นเชิงเส้น (linear) / ไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear) , แปรเปลี่ยนตามเวลา (time-varying) / ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา (time-invariant) และเวลาต่อเนื่อง (Continuous time) / เวลาไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous time)

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ระบบควบคุมยุคโบราณ

การใช้ระบบควบคุมวงปิด นั้นมีมาแต่โบราณกาล ตัวอย่างเช่น นาฬิกาน้ำของกรีก ซึ่งมีการใช้ลูกลอยในการควบคุมระดับน้ำในถัง อุปกรณ์ที่ถือว่าเป็นจุดเริ่มต้น ของการใช้ระบบควบคุมป้อนกลับในวงการอุตสาหกรรม ก็คือ ลูกเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal governor หรือเรียก fly-ball governor) ในการควบคุมความเร็วในการหมุน เครื่องจักรไอน้ำที่ประดิษฐ์ขึ้นโดย เจมส์ วัตต์ ในปี ค.ศ. 1788



สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่2.1ลูกเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง (centrifugal governor หรือเรียก fly-ball governor)

แสดงหลักการทำงานของลูกเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่เมื่อเครื่องจักรหมุนเร็วเกินกว่าค่าที่ต้องการ ลูกตุ้มจะเบนออกจากแกนกลางส่งผลให้ลิ้นควบคุมไอน้ำปล่อยไอน้ำน้อยลง ในทางกลับกันถ้าเครื่องยนต์หมุนช้าเกินไปลูกตุ้มจะหุบเข้าหาแกนกลางส่งผลให้ลิ้นควบคุมไอน้ำปล่อยไอน้ำเข้าสู่เครื่องจักรมากขึ้น

จุดกำเนิดของทฤษฎีระบบควบคุม

แบบจำลองคณิตศาสตร์ของระบบควบคุม

ในยุคก่อนหน้านี้ การออกแบบระบบควบคุมต่าง ๆ นั้น เป็นไปในลักษณะลองผิดลองถูก ไม่ได้มีการใช้คณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ ออกแบบแต่อย่างใด จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1840 นักดาราศาสตร์ชาวอังกฤษ จอร์จ แอรี ได้ประดิษฐ์อุปกรณ์ควบคุมทิศทางของกล้องดูดาว โดยอุปกรณ์นี้จะหมุนกล้องดูดาว เพื่อชดเชยกับการหมุนของโลกโดยอัตโนมัติ ในระหว่างการออกแบบ แอรีได้สังเกตถึงความไม่เสถียร (instability) ของระบบป้อนกลับ จึงใช้สมการเชิงอนุพันธ์ในการจำลองและวิเคราะห์พฤติกรรมของระบบ การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบนี้เป็นหัวใจสำคัญของทฤษฎีระบบควบคุม

ทฤษฎีเสถียรภาพ

ในปี ค.ศ. 1868 เจมส์ เคลิร์ก แมกซ์เวลล์ เป็นบุคคลแรก ที่ทำการศึกษาถึงเสถียรภาพของ ลูกเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของ เจมส์ วัตต์ โดยใช้แบบจำลองสมการเชิงอนุพันธ์เชิงเส้น ทฤษฎีเสถียรภาพของระบบเชิงเส้นของแมกซ์เวลล์นี้ พิจารณาเสถียรภาพของระบบจาก รากของสมการคุณลักษณะ (characteristic equation) ของระบบ ต่อมาในปี ค.ศ. 1892 เลียปูนอฟได้ทำการศึกษาถึงเสถียรภาพของระบบไม่เป็นเชิงเส้น และสร้างทฤษฎีเสถียรภาพของเลียปูนอฟ (Lyapunov stability) แต่ทฤษฎีของเลียปูนอฟนี้เป็นทฤษฎีที่สำคัญที่ไม่ได้รับความสนใจ จนกระทั่งหลายสิบปีต่อมา

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ระบบควมคุมแบบดั้งเดิม

ระบบควบคุมแบบดั้งเดิม (อังกฤษ: classical control) หมายถึง ระบบควบคุมที่ออกแบบและวิเคราะห์บนโดเมนความถี่ (หรือโดเมนการแปลงฟูรีเย) และโดเมนการแปลงลาปลาส โดยการใช้แบบจำลองในรูปของ ฟังก์ชันส่งผ่าน (transfer function) โดยไม่ได้ใช้ข้อมูลรายละเอียดของไดนามิกส์ภายในของระบบ (internal system dynamic)พัฒนาการของทฤษฎีระบบควบคุมในช่วงนี้นั้น ส่วนใหญ่พัฒนาขึ้นเพื่อประยุกต์ใช้งานในทางทหารและทางระบบสื่อสาร อันเนื่องมาจากสงครามโลกครั้งที่สอง และ การขยายตัวของโครงข่ายสื่อสารโทรศัพท์

พัฒนาการเพื่อใช้งานในระบบโครงข่ายโทรศัพท์ ในช่วงยุคที่มีการขยายตัวของระบบสื่อสารโทรศัพท์นั้น ระบบสื่อสารทางไกลมีความจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ขยายสัญญาณด้วยหลอดสุญญากาศ ในปี ค.ศ. 1927 แนวความคิดและประโยชน์ของระบบป้อนกลับแบบลบ ได้ถูกนำเสนอในรูปของ อุปกรณ์ขยายสัญญาณป้อนกลับแบบลบ (negative feedback amplifier) โดย เอช. เอส. แบล็ก แต่การวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบขยายสัญญาณตามทฤษฎีของแมกซ์เวลล์ โดยใช้วิธีของ เราท์-ฮิวรวิทซ์ (Routh-Hurwitz) นั้นเป็นไปได้ยาก เนื่องจากความซับซ้อนของระบบ วิศวกรสื่อสารของ Bell Telephone Laboratories จึงได้นำเสนอการวิเคราะห์บนโดเมนความถี่ โดยในปี ค.ศ. 1932 แฮร์รี่ ไนควิสต์ นำเสนอ เกณฑ์เสถียรภาพของไนควิสต์ (Nyquist stability criterion) ซึ่งใช้วิธีการพล็อตกราฟเชิงขั้ว ของผลตอบสนองความถี่ตลอดวงรอบ (loop frequency response) ของระบบ ต่อมาในปี ค.ศ. 1940 เฮนดริค โบดีได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์เสถียรภาพโดยขอบเขตอัตราขยาย (gain margin) และขอบเขตมุม (phase margin) จากกราฟระหว่างขนาดและมุม (phase) ของผลตอบสนองความถี่เรียกว่า โบดีพล็อต (Bode plot)

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ระบบควมคุมสมัยใหม่

ระบบควบคุมสมัยใหม่ (อังกฤษ: modern control) หมายถึง ระบบควบคุมที่ไม่ได้ใช้เทคนิคในการออกแบบแบบดั้งเดิม คือ จากรากของสมการคุณลักษณะ และอยู่บนโดเมนความถี่ แต่เป็นการออกแบบ โดยมีพื้นฐานจากแบบจำลองสมการอนุพันธ์ของไดนามิกส์ของระบบ และเป็นการออกแบบอยู่บนโดเมนเวลาแรงผลักดันของพัฒนาการจากระบบควบคุมแบบดั้งเดิม มาสู่ระบบควบคุมสมัยใหม่นี้มีอยู่หลัก ๆ 2 ประการคือ

ข้อจำกัดของระบบควบคุมแบบดั้งเดิมต่องานด้านอวกาศยาน

จากความสำเร็จในการส่งดาวเทียมสปุตนิก 1 ของสหภาพโซเวียตในปี ค.ศ. 1957 นั้นกระตุ้นให้เกิดความตื่นตัวของการประยุกต์ใช้งานทางด้านอวกาศยาน ความสำเร็จของโซเวียตนั้นเนื่องมาจากพัฒนาการทางด้านทฤษฎีระบบควบคุมแบบไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งไม่ได้รับความสนใจมากนักจากประเทศตะวันตก เนื่องจากความล้มเหลวในการใช้เทคนิคต่าง ๆ ของระบบควบคุมแบบดั้งเดิม กับงานด้านอวกาศยาน ซึ่งระบบส่วนใหญ่นั้น เป็นระบบหลายตัวแปรแบบไม่เป็นเชิงเส้น (nonlinear multivariable system) จึงมีการหันกลับมาพิจารณาการวิเคราะห์จากปัญหาดั้งเดิม ในรูปของแบบจำลองสมการอนุพันธ์ของระบบ

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์กับงานระบบควบคุม

ดูบทความหลักที่ระบบควบคุมดิจิตอลพัฒนาการของคอมพิวเตอร์ มีส่วนสำคัญในการพัฒนาทฤษฎีต่าง ๆ ของระบบควบคุม เนื่องจากทำให้สามารถสร้างอุปกรณ์ควบคุมที่สามารถทำงานซับซ้อนได้ รวมทั้งการใช้คอมพิวเตอร์ช่วยคำนวณในการออกแบบกฎของการควบคุม ดังนั้นจึงมีการพัฒนาระบบควบคุมแบบต่าง ๆ ขึ้นอย่างมากมายด้วยเหตุดังกล่าวจึงมีการพัฒนาทฤษฎีระบบควบคุมจากหลายแง่มุมจากความพยายามในการใช้คอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นดิจิทัล เพื่อการควบคุมระบบซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเป็นระบบอนาล็อก จึงส่งผลให้มีการพัฒนาทางทฤษฎีระบบควบคุมดิจิทัล (อังกฤษ: digital control) โดยในปี ค.ศ. 1952 จอห์น รากัซซินี (J.R. Ragazzini) , แฟรงคลิน (G Franklin) และ ซาเดห์ (L.A. Zadeh ผู้คิดค้นฟัซซี่ลอจิก) ที่มหาวิทยาลัยโคลัมเบีย ได้พัฒนาทฤษฎีระบบแบบชักข้อมูล (sampled data systems) ขึ้น การใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมกระบวนการในอุตสาหกรรมนั้น ครั้งแรกในปี ค.ศ. 1959 ที่ โรงกลั่นน้ำมัน พอร์ต อาเธอร์ (Port Arthur) ในรัฐเท็กซัส

นอกจากนั้นแล้วแนวความคิดของการควบคุมที่ซับซ้อนขึ้นโดยมีการรวม ข้อกำหนดความต้องการทางด้านประสิทธิภาพ (performance) ในการออกแบบระบบควบคุม ซึ่งเรียกว่า ระบบควบคุมแบบเหมาะสมที่สุด (optimal control) รากฐานของทฤษฎีระบบควบคุมแบบเหมาะสมที่สุดนี้มายาวนานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1696 จาก หลักของความเหมาะสมที่สุด (principle of optimality) ในปัญหา บราคิสโตโครน (Brachistochrone curve) และ แคลคูลัสของการแปรผัน (Calculus of variations) ในปีค.ศ. 1957 ริชาร์ด เบลแมน ได้ประยุกต์ใช้วิธีการกำหนดการพลวัตของเขาในการแก้ปัญหาระบบควบคุมแบบเหมาะสมที่สุด แบบเวลาไม่ต่อเนื่อง ต่อมาในปีค.ศ. 1958 พอนเทรียกิน (L.S. Pontryagin) ได้พัฒนา หลักการมากที่สุด (maximum principle หรือบางครั้งก็เรียก minimum principle) สำหรับแก้ปัญหาในรูปของแคลคูลัสของการแปรผัน แบบเวลาต่อเนื่อง

การสังเกตถึงผลกระทบของสัญญาณรบกวนต่อประสิทธิภาพของระบบควบคุมนั้นมีมาตั้งแต่ในช่วงระบบควบคุมยุคดั้งเดิม เช่นในช่วงสงครามโลกครั้งที่สอง ในการพัฒนาระบบควบคุมสำหรับเรดาร์ติดเครื่องบิน เพื่อควบคุมการยิง ที่ ห้องทดลองเรดิเอชัน (Radiation Lab) ที่ เอ็มไอที, ฮอลล์ (A.C. Hall) ได้ประสบปัญหาในการออกแบบ เขาได้สังเกตถึงผลกระทบจากการออกแบบที่ไม่ได้คำนึงถึงสัญญาณรบกวนต่อประสิทธิภาพของระบบ ถึงแม้ว่าจะมีการคำนึงถึงผลกระทบของสัญญาณรบกวน แต่ก็ไม่ได้มีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสัญญาณรบกวนในการวิเคราะห์แต่อย่างใด จนกระทั่ง นอร์เบิร์ต วีนเนอร์ ได้จำลองสัญญาณรบกวน โดยใช้แบบจำลองกระบวนการสตอแคสติก

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

หรือ แบบจำลองทางสถิติ แบบเวลาต่อเนื่อง ในการพัฒนาระบบเล็งเป้าและควบคุมการยิงปืนต่อต้านอากาศยาน โดยใช้ข้อมูลจากเรดาร์ ซึ่งงานของเขาได้ถูกเก็บเป็นความลับ จนถึงปี ค.ศ. 1949 ในช่วงเดียวกันในปี ค.ศ. 1941 คอลโมโกรอฟ ก็ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองสำหรับระบบเวลาไม่ต่อเนื่องขึ้น ระบบควบคุมที่ใช้แบบจำลองสคอแคสติกนี้ในการวิเคราะห์ จะเรียกว่า ระบบควบคุมสตอแคสติก (Stochastic control)

การวิเคราะห์และควบคุมระบบบนโดเมนเวลา โดยใช้แบบจำลองตัวแปรสถานะ หรือ แบบจำลองปริภูมิสถานะ (state space) นั้นเป็นหัวใจของทฤษฎีระบบควบคุมสมัยใหม่ รูดอล์ฟ อีมิว คาลมาน และ Bellman นั้นถือได้ว่าเป็นบุคคลที่มีส่วนสำคัญในการพัฒนาทฤษฎีระบบควบคุมโดยใช้แบบจำลองตัวแปรสถานะนี้ โดยที่ในปี ค.ศ. 1960 คาลมานได้นำทฤษฎีเสถียรภาพของเลียปูนอฟมาใช้ในการออกแบบระบบ ซึ่งเป็นผลให้ผลงานของเลียปูนอฟกลับมาได้รับความสนใจ นอกจากนี้แนวทางใหม่นี้ยังสามารถตอบคำถามเกี่ยวกับลักษณะเฉพาะของตัวระบบได้ ได้แก่ สภาพควบคุมได้ (controllability) สภาพสังเกตได้ (observability) ผลสัมฤทธิ์เล็กสุดเฉพาะกลุ่ม (minimal realization) และยังนำไปสู่การออกแบบตัวควบคุมแบบใหม่ เช่น การวางขั้ว (pole placement) ตัวควบคุมอิงตัวสังเกต (observer-based controller) และตัวควบคุมกำลังสองเชิงเส้นเหมาะที่สุด (optimal linear quadratic regulator) คาลมานได้พัฒนาวิธีการออกแบบระบบควบคุมแบบเหมาะสมที่สุด จากแบบจำลองปริภูมิสถานะ ในรูปของปัญหาระบบเชิงเส้นคงค่าแบบเหมาะสมที่สุดตามสมการกำลังสอง หรือ LQR (linear quadratic regulator) ในปีเดียวกันนี้ คาลมานได้นำเสนอผลงานของเขาในการประยุกต์ใช้แบบจำลองตัวแปรสถานะนี้เข้ากับแนวความคิดทางด้านสตอแคสติกของวีนเนอร์ และคิดค้นสิ่งที่เรารู้จักกันในชื่อ ตัวกรองคาลมาน (Kalman filter) ขึ้นมา โดยการใช้งานจริงครั้งแรกของตัวกรองคาลมาน นั้นได้ถูกประยุกต์เป็นส่วนหนึ่งของระบบนำร่องในโครงการอพอลโล ตั้งแต่นั้นมาตัวกรองคาลมานก็ได้ถูกประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน

ในปัจจุบันแนวทางการวิเคราะห์และควบคุมระบบบนโดเมนเวลา โดยใช้แบบจำลองตัวแปรสถานสามารถประยุกต์ใช้ได้กับงานวิศวกรรมห้วงอากาศอวกาศ (aerospace engineering) การควบคุมกระบวนการ (process control) และเศษฐมิติ (econometrics)

สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประเภทของระบบควบคุม

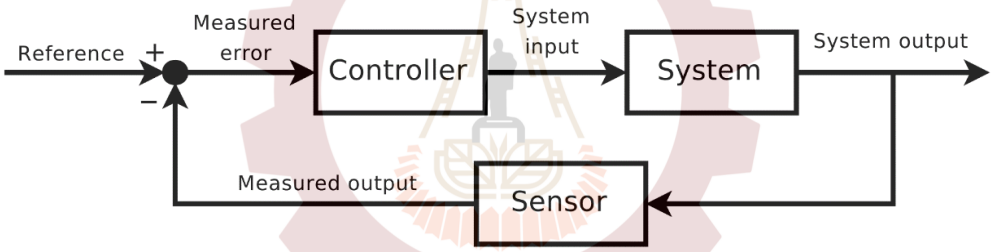
ปัญหาของทฤษฎีระบบควบคุมนั้น สามารถแยกออกได้เป็นประเภทใหญ่ 2 ประเภท คือ

1. **ปัญหาระบบคงค่า** (regulator problem) คือ ปัญหาที่มีจุดประสงค์ของการควบคุม ให้เอาต์พุตของระบบมีค่าคงที่ ต้านทานการรบกวน (disturbance) ที่เข้ามาในระบบ และมีผลทำให้ระบบเปลี่ยนแปลง
2. **ปัญหาระบบปรับค่าตาม** (tracking หรือ servo problem) คือ ปัญหาที่มีจุดประสงค์ของการควบคุม ให้เอาต์พุตมีค่าเท่ากับสัญญาณอ้างอิง เมื่อสัญญาณอ้างอิงเปลี่ยนไป ระบบควบคุมจะทำการปรับให้ สัญญาณเอาต์พุตมีค่าตามสัญญาณอ้างอิง

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ระบบควบคุมวงปิด

เนื่องจากระบบควบคุมแบบวงเปิดมีปัญหาด้านเสถียรภาพของระบบเพราะไม่มีการป้อนกลับของสัญญาณขาออก ซึ่งไม่เหมาะกับการใช้งานหลายอย่าง จึงมีความต้องการที่จะออกแบบระบบควบคุมที่สามารถตรวจจับความคลาดเคลื่อนระหว่างสัญญาณขาออกและสัญญาณอ้างอิงได้ จึงได้มีการคิดค้นระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback control systems) หรือระบบควบคุมแบบวงปิด (Closed loop control systems) ขึ้นมาเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบควบคุมแบบวงเปิด โดยมีโครงสร้างดังในรูป



รูปที่2.2 ระบบควบคุมแบบวงเปิด

หลักการควบคุมป้อนกลับ (Feedback control systems) เป็นหลักการพื้นฐานที่ใช้ในการควบคุมระบบพลวัตอย่างแพร่หลาย ในภาพเป็นการป้อนกลับแบบลบ (Negative feedback) เพราะสัญญาณจากเซนเซอร์ (Measured error) จะถูกนำไปหักล้างจากสัญญาณอ้างอิง (Reference input) เพื่อที่จะทำไปสร้างสัญญาณความคลาดเคลื่อน (Measured error) (ผลต่างระหว่างค่าที่ผู้ออกแบบต้องการและสัญญาณจากตัวตรวจจับ (Sensor)) ซึ่งจะนำไปป้อนสู่ตัวควบคุม (Controller) และตัวควบคุมจะสร้างสัญญาณควบคุม (System input หรือ Control signal) ป้อนสู่ระบบพลวัต (Plant, Dynamic systems) หลังจากนั้นจะนำสัญญาณขาออกของระบบพลวัต (ที่วัดได้จากตัวตรวจจับ) มาป้อนสู่ระบบป้อนกลับต่อไปเช่นนี้เรื่อย ๆ

สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตัวควบคุม PID

ตัวควบคุม PID (proportional-integral-derivative controller) ได้รับการนำเสนอเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ.1922 โดย Minorsky [32, 33] สำหรับการควบคุมระบบนำร่องการเดินเรือนับจากนั้นเป็นต้นมา ตัวควบคุม PID ได้รับการนำมาประยุกต์ใช้งานในภาคอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง [32, 33] ซึ่งพบว่ากว่าร้อยละ 90 ถึง 95 ของปัญหาการควบคุมระบบในภาคอุตสาหกรรมสามารถแก้ไขได้ด้วยตัวควบคุม PID

ในทางคณิตศาสตร์ตัวควบคุม PID มีกลไกปฏิบัติการทางคณิตศาสตร์ที่เป็นการปรับสัดส่วน (proportional) การอินทิเกรต (integral) และการอนุพันธ์ (derivative) สัญญาณความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ของตัวควบคุม PID เมื่อกำหนดให้ e(t) คือสัญญาณอินพุต และ u(t) คือสัญญาณเอาต์พุต (สัญญาณควบคุม) แสดงดังสมการที่ (2.1) เมื่อ KP คือค่าคงตัวอัตราขยายเชิงปรับสัดส่วน (proportional gain constant) KI คือค่าคงตัวอัตราขยายเชิงอินทิเกรต (integral gain constant) และ KD คือค่าคงตัวอัตราขยายเชิงอนุพันธ์ (derivative gain constant) ดังนั้นฟังก์ชันถ่ายโอน G (s) c ของตัวควบคุม PID จะแสดงได้ดังสมการที่ (2.2)

$$u(t) = K_P e(t) + K_I \int e(t)dt + K_D \frac{de(t)}{dt} \tag{2.1}$$

$$G_c(s)|_{PID} = K_P + \frac{K_I}{s} + K_D s = \frac{K_D s^2 + K_P s + K_I}{s} \tag{2.2}$$

$$G_c(s)|_{PID} = K_c\left(1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s\right) \tag{2.3}$$

สถาบันวิทยบริการเทคโนโลยีสุรนารี
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

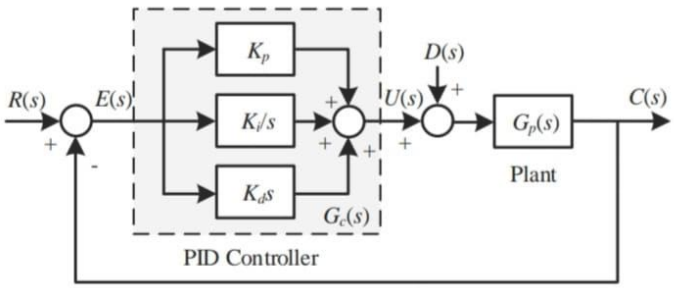
นอกจากนี้ฟังก์ชันถ่ายโอน G c(s) ของตัวควบคุมพีไอดีอาจแสดงได้ดังสมการที่ (2.3) เมื่อ tIคือค่าคงตัวทางเวลาเชิงอินทิเกรต (integral time constant) และ tDคือค่าคงตัวทางเวลาเชิงอนุพันธ์

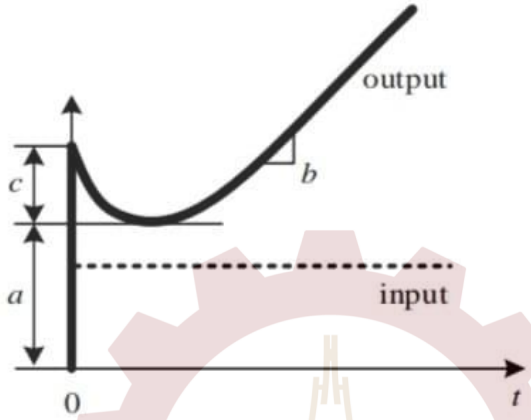
$$\left.\begin{aligned} K_P &= K_c \\ K_I &= K_c/\tau_I \\ K_D &= K_c\tau_D \end{aligned}\right\} \qquad (2.4)$$

(derivative time constant) เมื่อทำการเปรียบเทียบสมการที่ (2.2) และ(2.3) จะพบว่า

พิจารณาระบบควบคุมในภาพที่ 2.4 ตัวควบคุม PID Gc(s) จะรับสัญญาณคลาดเคลื่อน (error signal: E(s)) มาคำนวณเพื่อผลิตสัญญาณควบคุม (control signal: U(s)) และส่งไปควบคุมพลานต์ (plant) Gp(s) ให้ผลิตผลตอบสนองหรือเอาต์พุต (output signal: C(s)) สอดคล้องกับสัญญาณอินพุตอ้างอิง (reference input signal: R(s)) พ ร้อมทั้งกำ จัด สัญญาณรบกวน (disturbance signal: D(s)) ไป พร้อมกันตัวควบคุม PID จะมีโพล (pole) ที่จุดกำเนิดจำนวนหนึ่งตัว และซีโร(zero) จำนวนสองตัว เมื่อตัวควบคุม PID วางตัวอยู่ในวิถีป้อนไปหน้า (forward path) ของวงรอบการควบคุม (control loop) ในลักษณะต่ออนุกรมหรือต่ออันดับกับพลานต์ (plant) ซึ่งมีฟังก์ชันเป็น G (s) p ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ระบบควบคุมที่ได้รับการควบคุมด้วยตัวควบคุม PID จะมีอันดับ (order) เพิ่มขึ้นหนึ่ง และเมื่อตัวควบคุม PID รับสัญญาณอินพุตแบบขั้นบันได (step input) สัญญาณเอาต์พุตของตัวควบคุม PID จะแสดงดังรูปที่ 2.5 ซึ่งสัดส่วน a ของสัญญาณจะแปรผันตรงกับค่า KP ความชัน b ของสัญญาณจะแปร

สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี





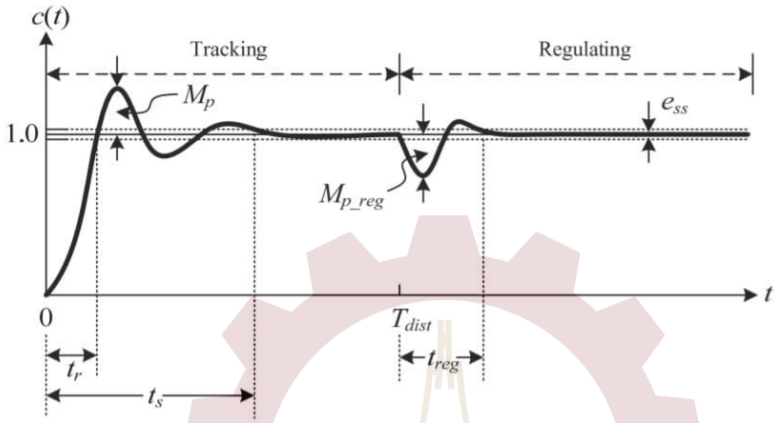
ผันตรงกับค่า KI และสัดส่วน c ของสัญญาณจะแปรผันตรงกับค่า KD

รูปที่ 2.3 วงรอบการควบคุม PID

รูปที่2.4เอาต์พุตของตัวควบคุม PID เมื่อรับอินพุตแบบขั้นบันได

ผลตอบสนองของระบบในโดเมนเวลาสามารถแบ่งพิจารณาออกเป็น ผลตอบสนองเชิงแปรตามอินพุต (command following/trackig) และผลตอบสนองเชิงคุมค่าโหลด (load regulating)ดังแสดงในภาพที่ 2.6 ผลกระทบจากการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID ที่มีต่อผลตอบสนองของระบบในโดเมนเวลา ได้รับการสรุปไว้ในตารางที่ 2.1 เมื่อ tr คือเวลาขึ้น (risetime), Mpคือการพุ่งเกินสูงสุด (maximum overshoot), tsคือเวลาเข้าที่ (settling time), Mp_regคือการพุ่งเกินสูงสุดจากการคุมค่าโหลด (maximum overshoot of load regulation), tregคือเวลาเข้าที่จากการคุมค่าโหลด (settling time of load regulation) และ essคือความคลาดเคลื่อนในสภาวะคงตัว (steady-state error)

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 2.5ผลตอบสนองของระบบในโดเมน

ตารางที่ 2.1 ผลกระทบจากการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุม PID

ค่าพารามิเตอร์ (ปรับเพิ่ม)	เวลาขึ้น (t_r)	การพุ่งเกิน (M_p)	เวลาเข้าที่ (t_s)	ค่าคลาดเคลื่อนในสภาวะคงตัว (e_{ss})
K_P	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลดลง
K_I	ลดลง	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	ถูกกำจัด
K_D	เปลี่ยนแปลงเล็กน้อย	ลดลง	ลดลง	ไม่มีผลกระทบ

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

จีพีเอส (GPS Technology)

เป็นเทคโนโลยีการนำร่องและหาพิกัดบนพื้นโลกจากดาวเทียม การบริหารจัดการข้อมูลคุณลักษณะ (Meta Data) หรือที่เรียกว่าระบบฐานข้อมูลเชิงสัมพันธ์ (RDBMS) มาประยุกต์ใช้ในการจัดทำฐานข้อมูลระบบภูมิสารสนเทศ เพื่อสนับสนุนภารกิจตามมแผนป้องกันประเทศ การรักษาความมั่นคงภายใน การรักษาความสงบเรียบร้อยภายในประเทศและการปฏิบัติอื่นๆ

อาจจะจำได้ กับภาพยนตร์แอคชั่นต่างประเทศเมื่อหลายปีก่อน เมื่อตัวเอกของเรื่องที่เป็นตำรวจ ไล่ตามจับตัวร้ายโดยใช้เครื่องมือแห่งอนาคตที่สามารถบอกตำแหน่งของตัวร้ายในรูปแบบของแผนที่ บนเครื่องมือขนาดย่อมคล้ายๆ PDA ทำให้สามารถตามจับตัวผู้ร้ายได้ หรือจะเป็นซีรีส์อีกเรื่อง ที่ตัวเอกเป็นตำรวจเช่นกัน สามารถระบุตำแหน่งของรถยนต์ที่กำลังขับอยู่ ผ่านหน้าจอคอนโทรลในรถ และดูแผนที่ของจุดที่กำลังจะไปได้ ในตอนนั้นผู้ชมคงคิดไม่ถึงว่าอีกไม่กี่ปีให้หลัง ภาพการใช้เทคโนโลยีดังกล่าวจะเป็นจริง และไม่ใช่เพียงแค่การใช้งานทางด้านการทหารหรือตำรวจเท่านั้น แต่ยังเข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันของเราได้อีกด้วย

เทคโนโลยีดังกล่าวมีชื่อว่า GPS หรือระบบ Global Positioning System ซึ่งแรกเริ่มเดิมทีใช้ช่วยในด้านการทหารในประเทศสหรัฐอเมริกา เทคโนโลยีนี้จะช่วยให้ท่านสามารถทราบตำแหน่งของจุดที่ต้องการได้ ด้วยระยะความแม่นยำสูง ความคลาดเคลื่อนเพียงแค่หลักเมตรเท่านั้น ระบบ GPS นี้เป็นการทำงานร่วมกันขององค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วน ดังนี้

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1.ส่วนอวกาศ (Space Segment) ระบบ GPS จะเป็นการทำงานของดาวเทียม GPS จำนวนทั้งหมด 24 ดวง ที่โคจรอยู่รอบโลก ที่ความสูงจากพื้นโลกประมาณ 20,000 กิโลเมตร เป็นตัวส่งสัญญาณบอกพิกัดของจุดที่ต้องการทราบ สัญญาณดังกล่าวจะต้องถูกส่งมาจากดาวเทียมอย่างน้อย 3 ดวงขึ้นไป ในการส่งพิกัดที่ถูกต้องมายังอุปกรณ์บนพื้นโลก

2. ส่วนควบคุมดาวเทียม (Control Segment) ซึ่งอยู่บนพื้นโลก ประกอบไปด้วย 1 สถานีหลัก และ 5 สถานีย่อยที่กระจายกันอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ ศูนย์ควบคุมนี้จะทำหน้าที่ในการควบคุมและติดต่อสื่อสารกับดาวเทียม รวมทั้งคำนวณผลจากดาวเทียมแต่ละดวง และส่งข้อมูลที่ได้โต้ตอบกลับไปยังดาวเทียม ทำให้ข้อมูลที่ได้รับอัพเดทตลอดเวลา

3. ส่วนผู้ใช้ (User Segment) ในส่วนของผู้ใช้นี้ จะเป็นการดูตำแหน่ง หรือพิกัดที่ได้รับจากดาวเทียมผ่านการประมวลผลจากเครื่องมือรับสัญญาณ เพื่อให้ได้จุดของตำแหน่งที่ต้องการทราบได้

อยากให้เทคโนโลยีนี้มีให้บริการอย่างแพร่หลายเร็วๆเพราะจะได้ติดตามตำแหน่งของสิ่งต่าง (โดยอย่างยิ่งสิ่งที่คุณรัก) ได้ง่ายๆ ซักที ในทางตรงข้าม หลายๆ ท่านอาจจะไม่อยากให้ภาพเหล่านี้เกิดขึ้น เพราะอาจสร้างความลำบากให้กับตนเอง (จะทำอะไร ไปไหนไม่สะดวกเหมือนก่อน) แต่อย่างไรก็ตาม ก็ขอให้ผู้ให้บริการทั้งหลายอย่าลืมเพิ่มเรื่องสิทธิส่วนบุคคลในบริการต่างๆ ด้วย

GPS คือ ระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก ย่อมาจากคำว่า Global Positioning System ซึ่งระบบ GPS ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

1.ส่วนอวกาศ ประกอบด้วยเครือข่ายดาวเทียม 3 ค่ายคือ

-อเมริกา รัสเซีย ยุโรป ของอเมริกา ชื่อ NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging GPS) มีดาวเทียม 28 ดวง ใช้งานจริง 24 ดวง อีก 4 ดวงเป็นตัวสำรอง บริหารงานโดย Department of Defenses มีรัศมีวงโคจรจากพื้นโลก 20,162.81 กม.หรือ 12,600 ไมล์ ดาวเทียมแต่ละดวงใช้เวลาในการโคจรรอบโลก 12 ชั่วโมง

สถาบันวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

-ยุโรป ชื่อ Galileo มี 27 ดวง บริหารงานโดย ESA หรือ European Satellite Agency จะพร้อมใช้งานในปี 2008

-รัสเซีย ชื่อ GLONASS หรือ Global Navigation Satellite บริหารโดย Russia VKS (Russia Military Space Force)

ในขณะนี้ภาคประชาชนทั่วโลกสามารถใช้ข้อมูลจากดาวเทียมของทางอเมริกา (NAVSTAR) ได้ฟรี เนื่องจากนโยบายสิทธิการเข้าถึงข้อมูลและข่าวสารสำหรับประชาชนของรัฐบาลสหรัฐ จึงเปิดให้ประชาชนทั่วไปสามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวในระดับความแม่นยำที่ไม่เป็นภัยต่อความมั่นคงของรัฐ กล่าวคือมีความแม่นยำในระดับบวก / ลบ 10 เมตร

2. ส่วนควบคุม ประกอบด้วยสถานีภาคพื้นดิน สถานีใหญ่อยู่ที่ Falcon Air Force Base ประเทศ อเมริกา และศูนย์ควบคุมย่อยอีก 5 จุด กระจายไปยังภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วโลก

3. ส่วนผู้ใช้งาน ผู้ใช้งานต้องมีเครื่องรับสัญญาณที่สามารถรับคลื่นและแปรรหัสจากดาวเทียมเพื่อนำมาประมวลผลให้เหมาะสมกับการใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ

ทุกวันนี้บางท่านมักจะเข้าใจผิดว่า GPS เป็น GPRS ซึ่ง GPRS ย่อมาจากคำว่า General Packet Radio Service เป็นระบบสื่อสารแบบไร้สายสำหรับโทรศัพท์มือถือ หรือ PDA หรือ note bookเพื่อเชื่อมต่อกับ internetหลักการของเครื่อง GPS คือการคำนวณระยะทางระหว่างดาวเทียมกับเครื่อง GPS ซึ่งจะต้องใช้ระยะทางจากดาวเทียมอย่างต่ำ 3 ดวง เพื่อให้ได้ตำแหน่งที่แน่นอน ซึ่งเมื่อเครื่อง GPS สามารถรับสัญญาณจากดาวเทียมได้ 3 ดวงขึ้นไปแล้ว จะมีคำนวณระยะทางระหว่างดาวเทียมถึงเครื่อง GPS โดยจากสูตรคำนวณทางฟิสิกส์คือความเร็ว X เวลา = ระยะทาง

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โดยดาวเทียมทั้ง 3 ดวงจะส่งสัญญาณที่เหมือนกันมายังเครื่อง GPS โดยความเร็วแสง (186,000 ไมล์ต่อวินาที) แต่ระยะเวลาในการรับสัญญาณได้จากดาวเทียมแต่ละดวงนั้นจะไม่เท่ากัน เนื่องจากระยะทางไม่เท่ากัน เช่นดาวเทียม 1 : ระยะเวลาในการส่งสัญญาณจากดาวเทียมดวงแรกถึงเครื่อง GPS คือ 0.10 วินาที ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับ GPS คือ 18,600 ไมล์ (186,000 ไมล์ต่อวินาที X 0.10 วินาที = 18,600 ไมล์) ฉะนั้นตำแหน่งปัจจุบันก็จะสามารถเป็นจุดใดก็ได้ในวงกลมที่มีรัศมี 18,600 ไมล์ ซึ่งจะเห็นว่าดาวเทียมเพียงดวงเดียวยังไม่สามารถบอกตำแหน่งที่แน่นอนได้

ดาวเทียม 2 : ระยะเวลาในการส่งสัญญาณจากดาวเทียมดวงแรกถึงเครื่อง GPS คือ 0.08 วินาที ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับ GPS คือ 13,200 ไมล์ (186,000 ไมล์ต่อวินาที X 0.08 วินาที = 13,200 ไมล์) ฉะนั้น

ตำแหน่งปัจจุบันก็จะสามารถเป็นจุดใดก็ได้ในจุด Intersect ระหว่างวงกลมจากดาวเทียมดวงแรกกับดาวเทียมดวงที่ 2

ดาวเทียม 3 : ระยะเวลาในการส่งสัญญาณจากดาวเทียมดวงแรกถึงเครื่อง GPS คือ 0.06 วินาที ระยะทางระหว่างดาวเทียมกับ GPS คือ 11,160 ไมล์ (186,000 ไมล์ต่อวินาที X 0.06 วินาที = 11,160 ไมล์) ฉะนั้นตำแหน่งปัจจุบันก็จะสามารถเป็นจุดใดก็ได้ในจุด Intersect ระหว่างวงกลมจากดาวเทียมทั้ง 3 ดวง

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่2.6 หลักการทำงานของ GPS

จะเห็นได้ว่าจะเหลือตำแหน่งอยู่ 2 จุดที่บริเวณวงกลมทั้ง 3 ตัดกันคือตำแหน่งที่อยู่ในอวกาศ ซึ่งแน่นอนว่าเราไม่สามารถไปอยู่ในอวกาศได้ตำแหน่งนี้จะถูกตัดทิ้งอัตโนมัติโดยเครื่อง GPS อีกตำแหน่งคือตำแหน่งบนพื้นโลกซึ่งเป็นตำแหน่งที่เรายืนถือเครื่อง GPS อยู่นั้นเอง ซึ่งความถูกต้องแม่นยำของตำแหน่งก็ขึ้นกับจำนวนดาวเทียมที่สามารถรับสัญญาณได้ในขณะนั้นหากมีมากกว่า 3 ดวงก็จะละเอียดมากขึ้น และก็ขึ้นกับเครื่อง GPS ด้วย หากเป็นเครื่องที่มีราคาแพง (ซึ่งมักใช้เฉพาะงาน) ก็จะ

มีความถูกต้องแม่นยำมากขึ้นข้อมูลตำแหน่งที่ได้มานั้น ยังสามารถใช้ร่วมกับโปรแกรมในเครื่อง GPS เพื่อบอกจุดบนแผนที่ และแสดงตำแหน่งของเราว่าอยู่จุดใดของแผนที่ได้อีกด้วย ทั้งนี้ก็ขึ้นกับข้อมูลแผนที่ที่ติดมากับเครื่องด้วยว่ามีความแม่นยำเพียงใด โดยแผนที่พื้นฐานจะไม่ได้ติดตั้งมากับเครื่อง GPS ทุกรุ่น ซึ่งอาจจะต้องซื้อแยกจากตัวเครื่องGPS ทำงานโดยการรับสัญญานจากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง โดยอาศัยข้อมูลที่ส่งตรงมาจากดาวเทียมแต่ละดวง โดยสัญญาณดาวเทียมนี้ประกอบไปด้วยข้อมูลที่ระบุตำแหน่งและเวลาขณะส่งสัญญาณ ตัวเครื่องรับสัญญาณ GPS จะต้องประมวลผลความแตกต่างของเวลาในการรับสัญญาณเทียบกับเวลาจริง ณ ปัจจุบันเพื่อแปรเป็นระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญานกับดาวเทียมแต่ละดวง ซึ่งได้ระบุมีตำแหน่งของมันมากับสัญญานดังกล่าวข้างต้น

หน้าที่สำคัญ ของดาวเทียม GPS มีดังนี้

1. รับข้อมูล วงโคจรที่ถูกต้องของดาวเทียม (Ephemeris Data) ที่ส่งมาจาก สถานีควบคุมดาวเทียมหลัก (Master Control Station) เพื่อส่งกระจายสัญญาณข้อมูลนี้ ลงไปยังพื้นโลกสำหรับ GPS Receiver ใช้ในการคำนวณ ระยะห่าง (Range) ระหว่างดาวเทียมดวงนั้น กับ ตัวเครื่อง GPS Receiver และตำแหน่งของดาวเทียมบนท้องฟ้า เพื่อใช้คำนวณหา ตำแหน่งพิกัด ของตัวเครื่อง GPS Receiver เอง

2. ส่งรหัส (Code) และข้อมูล Carrier Phase ไปกับคลื่นวิทยุ ลงไปยังพื้นโลก สำหรับ GPS Receiver ใช้ในการคำนวณ ระยะห่าง (Range) ระหว่างดาวเทียมดวงนั้น กับ ตัวเครื่องGPS Receiver

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3. ส่งข้อมูลตำแหน่งโดยประมาณของดาวเทียมทั้งหมด (Almanac Information) และข้อมูลสุขภาพ ของดาวเทียม ลงไปยังพื้นโลก สำหรับ GPS Receiver ใช้ในการกำหนดดาวเทียมที่จะสามารถรับสัญญาณได้ ความแม่นยำของการระบุตำแหน่งนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง ค่าความถูกต้องของสัญญานจากดาวเทียม จำนวนดาวเทียมที่รับสัญญานได้ ความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศ สิ่งแวดล้อมในบริเวณรับสัญญาน และประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณ

การทำงานของระบบนำทางด้วย GPS

ก่อนอื่นผู้ใช้จะต้องมีเครื่องรับสัญญาณ เมื่อผู้ใช้นำเครื่องไปใช้งานมีการเปิดรับสัญญาณ GPS แล้ว ควรมีการวางแผนการเดินทางโดยการกำหนดจุดหมายปลายทางที่ตัวเครื่องเพื่อให้เครื่องได้คำนวณเส้นทาง Tracking System ระบบติดตามยานพาหนะ ระบบติดตามยานพาหนะเป็นศูนย์รวมข้อมูลที่แสดงตำแหน่งรถ พฤติกรรมการขับขี่รถ ระบบหาพิกัด (GPS) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้เป็นไปด้วยความรวดเร็ว ถูกต้อง แม่นยำ และเก็บข้อมูลการทำงานต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่2.7 การทำงานของระบบนำทางด้วย GPS

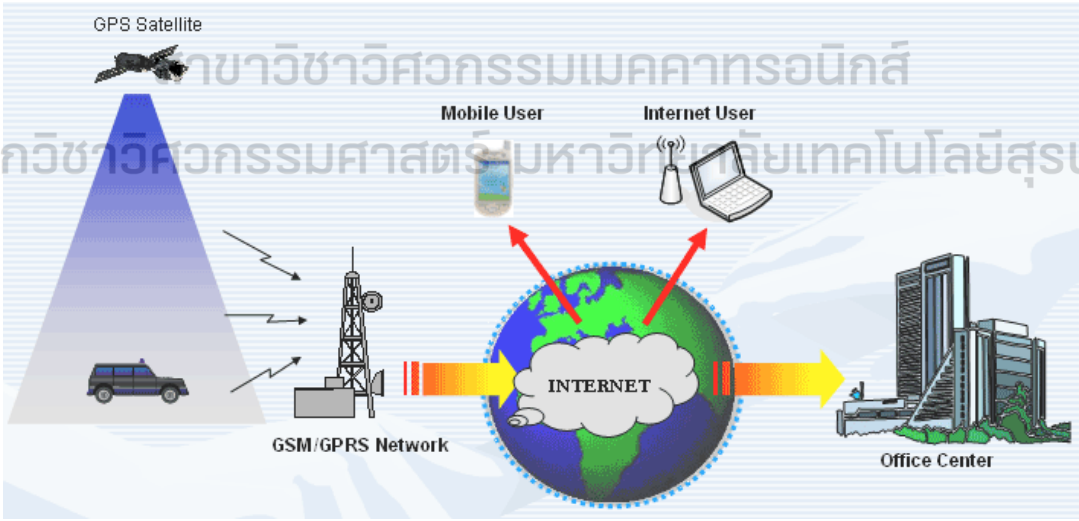
ประโยชน์หลักของ GPS ก็คือ

1.บอกตำแหน่งว่าตอนนี้เราอยู่ที่ไหน

2.บันทึกเส้นทางว่าเราไปไหนมาบ้าง เช่นใช้ในการเดินป่า

3.นำทางไปจุดหมายที่กำหนด เช่น เราจะไปในสถานที่ที่ไม่เคยไปมาก่อน เราก็สามารถสั่งให้อุปกรณ์ GPS นำทางไปยังสถานที่นั้นได้ หรือจะใช้ค้นหาสถานที่สำคัญต่างๆก็ได้เช่นกัน

สามารถนำทางไปในสถานที่ต่าง ๆ ค้นหาสถานที่ต่าง ๆ ที่สำคัญ ๆ กำหนดจุดสนใจต่าง ๆ ได้ ใช้ในการวัดพื้นที่ การสำรวจ การเดินป่า การเดินเรือ ซึ่งสามารถนำทางกลับสู่ตำแหน่งตั้งต้นได้ และการบันทึกข้อมูลสำหรับการเล่นกีฬากลางแจ้ง ในเรื่องการขนส่งมีการนำ GPS ไปใช้เป็นระบบติดตามรถยนต์ เพื่อควบคุมดูแลตลอดจนบันทึกเส้นทาง ลักษณะการขับรถ และการควบคุมเครื่องมืออุปกรณ์ในรถ เช่น อุณหภูมิ ตู้แช่สินค้า ทำให้สามารถบริหารจัดการการขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ ประหยัดค่าใช้จ่าย และในด้านความปลอดภัยก็สามารถทราบถึงตำแหน่งของรถว่าอยู่ที่ไหน เกิดอะไรขึ้น สะดวกต่อการตรวจสอบติดตาม



สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่2.8 ประโยชน์ของ GPS

รูปแบบการส่งข้อมูลของดาวเทียม GPS

รูปที่2.9 การส่งข้อมูลของดาวเทียม

แม้ว่าปัจจุบันจะมีการใช้จีพีเอสกันอย่างแพร่หลาย แต่ก็อาจจะมีใครหลายคนที่อยากจะเข้าใจรูปแบบการส่งสัญญาณของมันคร่าวๆว่าส่งสัญญาณในรูปแบบใด ซึ่งจริงๆแล้วการใช้สัญญาณจีพีเอสที่ได้มานั้น มีความสามารถในการใช้งานลักษณะงานแบบใดได้อีก ซึ่งดาวเทียมจีพีเอสนั้น แต่ละดวงจะส่งสัญญาณ 2 ชนิด คือ

สาขาวิชาวิศวกรรมไมโครเวฟและดาราศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

1. สัญญาณเพื่อการบอกตำแหน่งแบบมาตรฐาน (Standard Positioning Service, SPS)

การบอกตำแหน่งแบบมาตรฐานนี้จะเป็นการเปิดให้บริการฟรี ไม่มีการเข้ารหัสใดๆ แต่ความแม่นยำของแบบมาตรฐานนี้จะมีความแม่นยำไม่มากนัก SPS นี้เป็นการส่งสัญญาณแบบ Spread-Spectrum ที่กระจายความถี่ที่ 1575.12 เมกกะเฮิร์ท ซึ่งช่วงความยาวคลื่นนี้จะไม่ค่อยได้รับผลกระทบจากสัญญาณรบกวนต่างๆ จากสภาพแวดล้อม หรือจากอุปกรณ์ไฟฟ้าบนโลกสัญญาณ SPS ประกอบด้วยข้อมูล 2 ชนิด ได้แก่ ข้อมูล Almanac และข้อมูล Ephemeris โดยข้อมูล Almanac เป็นข้อมูลที่บอกถึงสภาพของดาวเทียม ตำแหน่ง วงโคจรของดาวเทียมในระบบทุกดวงคร่าวๆ อุปกรณ์รับ

สัญญาณจีพีเอส จะรับข้อมูล Almanac จากดาวเทียมดวงใดๆที่สามารถรับสัญญาณได้ แล้วใช้ข้อมูลดังกล่าวเพื่อเลือกรับสัญญาณดาวเทียมที่สามารถใช้ในการคำนวณพิกัดตำแหน่งได้ ส่วนข้อมูล Ephemeris จะเป็นข้อมูลที่แม่นยำโดยละเอียดของวงโคจรของดาวเทียมแต่ละดวงที่ทำการรับสัญญาณทำให้ทราบตำแหน่งของดาวเทียมดวงนั้นๆ

2. สัญญาณเพื่อการบอกตำแหน่งแบบละเอียด (Precise Positioning Service, PPS)

การบอกตำแหน่งแบบละเอียดนี้จะมีความแม่นยำมากกว่าการบอกตำแหน่งแบบมาตรฐาน การบอกตำแหน่งแบบละเอียดนี้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้งานสำหรับด้านการทหารโดยเฉพาะ หรืองานต่างๆที่ได้รับอนุญาตเป็นพิเศษจากกระทรวงกลาโหมของสหรัฐเท่านั้น ข้อมูลที่ส่งในชุดสัญญาณนี้จะถูกเข้ารหัสไว้ เพื่อป้องกันการเข้าถึงข้อมูลของผู้ที่ไม่ได้รับอนุญาตข้อมูลที่ได้นี้สามารถใช้ร่วมกับโปรแกรมที่ติดตั้งอยู่ในอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอส เพื่อแสดงจุดบนแผนที่และตำแหน่งของอุปกรณ์รับสัญญาณว่าอยู่ตำแหน่งใด ทั้งนี้การแสดงผลจะขึ้นกับข้อมูลแผนที่ที่ติดตั้งในอุปกรณ์รับสัญญาณด้วยว่ามีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด ซึ่งแผนที่พื้นฐานบางครั้งอาจจะไม่ได้ติดตั้งมากับอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอสทุกรุ่น จำเป็นจะต้องซื้อแยกจากตัวเครื่องอีกที

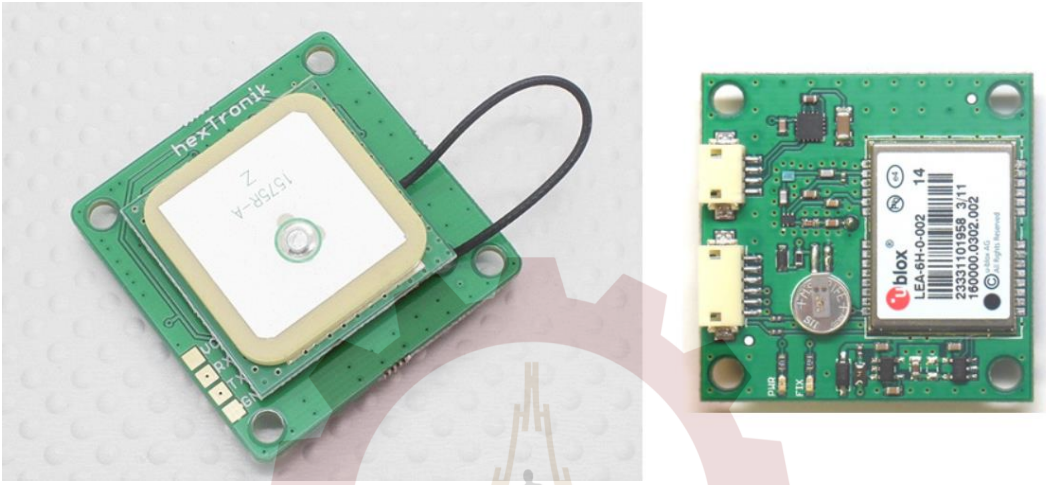
สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Ardupilot

APM เป็นออโตไพลอต IMU ที่มีคุณภาพระดับมืออาชีพขึ้นอยู่กับ Arduino Mega, พัฒนาโดย 3DRobotics (3DR) และได้รับใบอนุญาตโดย GNU General Public License version 3 (GPLv3), APM เป็นที่รู้จักกันมากที่สุด "flight controller" มันสามารถใช้ได้กับ fly aircrafts (fixedwing, multicopters หรือเฮลิคอปเตอร์) และ drive rovers หรือเรือ ขึ้นอยู่กับว่ามีการเลือก firmware เนื่องจาก UGV และคำว่า "flight controller" ไม่พอดี จากนี้ใน APM จึงอ้างอิงกับ Autopilot controller board (หรือ simply autopilot) Autopilot board มีการนำทางตามเวย์พอยท์, การนำทางด้วยตนเอง, นำทาง GPS, การควบคุมกล้องและการติดต่อสื่อสาร 2 ทาง. เมื่อใช้ใน aircrafts (fixed-wind or multi-rotor) ก็สามารถที่จะรักษาเสถียรภาพของยานพาหนะโดยอัตโนมัติ MAVLinkจะใช้ในการสื่อสารในทั้ง 2 ทิศทาง: ภายในและภายนอก

จนถึงวันนี้มี APM 4 versionAPM 1.0 มีการตั้งค่าโดย 2 บอร์ด : บอร์ด APM ซึ่งจริงๆแล้วเป็น Arduino Mega สำหรับขาเข้า/เอาต์พุต (I/O) และการประมวลผล อีกคนหนึ่งเป็น IMU shield ที่มีเซ็นเซอร์ที่จำเป็นทั้งหมดสำหรับการนำทาง ในภายหลังก็ตัดสินใจที่จะผสาน 2 บอร์ดของ version1.0 ดังนั้น APM version2.0 เป็นชุดของบอร์ด APM เซ็นเซอร์นำทาง หน่วยประมวลผลและ pini/o อย่างไรก็ตามมันยังคงต้อง shield ที่ประกอบด้วย magnetometer, GPSและ slot ของ micro SD card. จากนั้น version2.5 และ2.6 versionAPM เหล่านี้ใช้ภายนอก GPS โดยไม่จำเป็นต้องโล่ ความแตกต่างเพียงอย่างเดียวระหว่างนั้นคือว่า APM 2.6 ใช้แมกนิโทมิเตอร์ภายนอก, การกำจัดรบกวนแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีอยู่บน APM 2.5ที่ใช้แมกนิโทมิเตอร์ภายใน APM 2.6 ได้รับการออกแบบมาเพื่อใช้กับโมดูล GPS เฉพาะที่มีเข็มทิศบนกระดาน: 3DR GPS uBlox LEA-6H รูป2.7ในตาราง2.1แสดงรายละเอียดหลักของตระกูล APM

สำนักวิทยาวิทยาการและนวัตกรรม
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



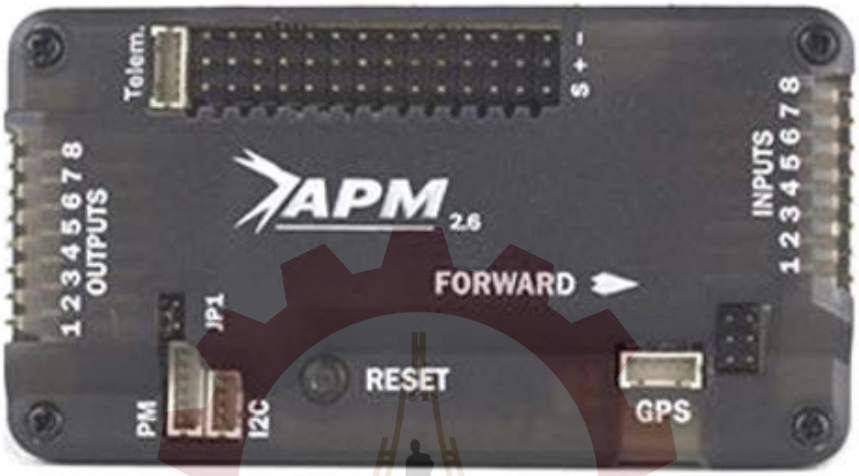
รูปที่2.10 - uBlox LEA-6H GPS module with on-board compass

Board	APM 1.0	APM 2.x
Processor chip	AT Mega 1280 8-bit AVR	AT Mega2560 8-bit AVR
	AT Mega 328	AT Mega 32U-2
		MPU-6000 DMP processor
On-Board sensor	3-axis gyroscope, 3 axis accelerometer, barometer, magnetometer(optional)	6-axis MPU-6000(gyroscope+ accelerometer), barometer, magnetometer, GPS
Datalogging memory	2MB	4MB
Sie	40x72x20mm	40x65x10mm

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.2APM famiry main specifications

APM 2.6 มีการออกแบบทั้งหมดและรองรับช่อง RC 8 และ 5 UARTs (ตัวรับสัญญาณแบบอะซิงโครนัสตัวรับส่ง): พอร์ต telemetry, พอร์ต GPS ใหม่, พอร์ต GPS เก่า, พอร์ตวงจรรวม (I2C) และพอร์ตจ่ายไฟ รูปที่2.8



รูปที่2.11APM 2.6 with enclosure

Processing

Atmel ATMega 2560 เป็นแบบ 8 บิต AVR (modified Harvard architecture) กับ 8KB SRAM, หน่วยความจำแฟลช, 256KB และ 4KB EEPROM มันทำงานสูงสุดที่ 16 MHz, ขับเคลื่อนโดย 2.7 V ถึง 5.5 V และมี 86 general purpose I/O , เครื่องส่งสัญญาณแบบอะซิงโครนัส (USART), PWM PWM and 16-channel 10-bit A/D converter ,ATMega 32U2 is used as a PPM (Pulse-Position Modulation) encoder ,การแปลงสัญญาณ PCM (Pulse-Code Modulation) signal to PPM สำหรับ ATMega 2560 ชิปนี้ยังรับผิดชอบในการควบคุม การเชื่อมต่อ USB กับ ATMega 2560. ATMega32U2 chip is a Atmel 8-bit AVR microcontroller with real-while-write capabilities, a 32KB flash memory, 1KB EEPROM, 1 KB SRAM, 22 general purpose I/O lines and one USART Atmel AT45DB161D คือ 16Mb ที่ให้หน่วยความจำแฟลชข้อมูล ขับเคลื่อนโดย 3.3 V และใช้สำหรับบันทึกข้อมูล

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Sensors

เซ็นเซอร์ IMU มีอยู่ใน MPU-60006-แกน I2C MotionTracking ซึ่งรวมตัววัด combines a 3-axis accelerometer and a 3-axis gyroscope มีแรงดันไฟฟ้าจาก 2.375 V ถึง 3.46และรับผิดชอบในการประมวลผลข้อมูลเซ็นเซอร์ทั้งหมดซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับกรณีที่การประมวลผลทำโดยระบบหลัก I2C serial bus ช่วยในการคำนวณข้อมูลจากเซ็นเซอร์อื่นๆ

มีการใช้ Honeywell HMC5883L multi-chip module แบบหลายชิปในแมกนิโทมิเตอร์ (หรือเข็มทิศ) เข็มทิศดิจิตอล3แกนนี้ถูกขับเคลื่อนจาก 2.16 V ถึง 3.6 V มีการใช้พลังงานต่ำที่ 100μAและให้I2C serial busเพื่อสื่อสารกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ตามที่เรียกก่อน APM 2.6 ใช้เข็มทิศภายนอกเพื่อหลีกเลี่ยงรบกวนที่เกิดขึ้นบน APM รุ่น2.0 และ2.5(เข็มทิศบนกระดาน)

ก่อนหน้านี้ได้ระบุว่า APM 2.6 ถูกออกแบบมาเพื่อใช้กับ uBlox LEA-6H GPS ทั้ง 2.0และ2.5 รุ่นของ APM ทำให้การใช้งานของ MediaTek MT3329 GPS. uBlox GPS Module มีเข็มทิศบนกระดานและมีประสิทธิภาพที่เหนือกว่าเนื่องจากชิปที่ใหม่กว่าและเสาอากาศขนาดใหญ่ โมดูลการนำทางป้องกันการติดขัดนี้มีความเร็วสูงสุดของ 500m/s อัตราการอัปเดต5Hz สูงถึง-162dBm, ความแม่นยำในแนวนอน 2.5 m โดยไม่ต้องช่วยให้ 0.5 องศา heading accuracy และกำลังไฟจาก 2.7 V ถึง 3.6 V ความดันบรรยากาศถูกวัดโดยใช้โมดูล MS5611 BA03 เซนเซอร์แรงดันบรรยากาศความละเอียดสูงและประสิทธิภาพสูงนี้สามารถอ่านค่าความสูงได้จากช่วง10mBar และ1200mBar มีอินเตอร์เฟซแบบอนุกรม (SPI) และพอร์ต serial I2C และทำงานได้ถึง20MHz ด้วยแหล่งจ่ายไฟ 1.8 V ถึง 3.6 V

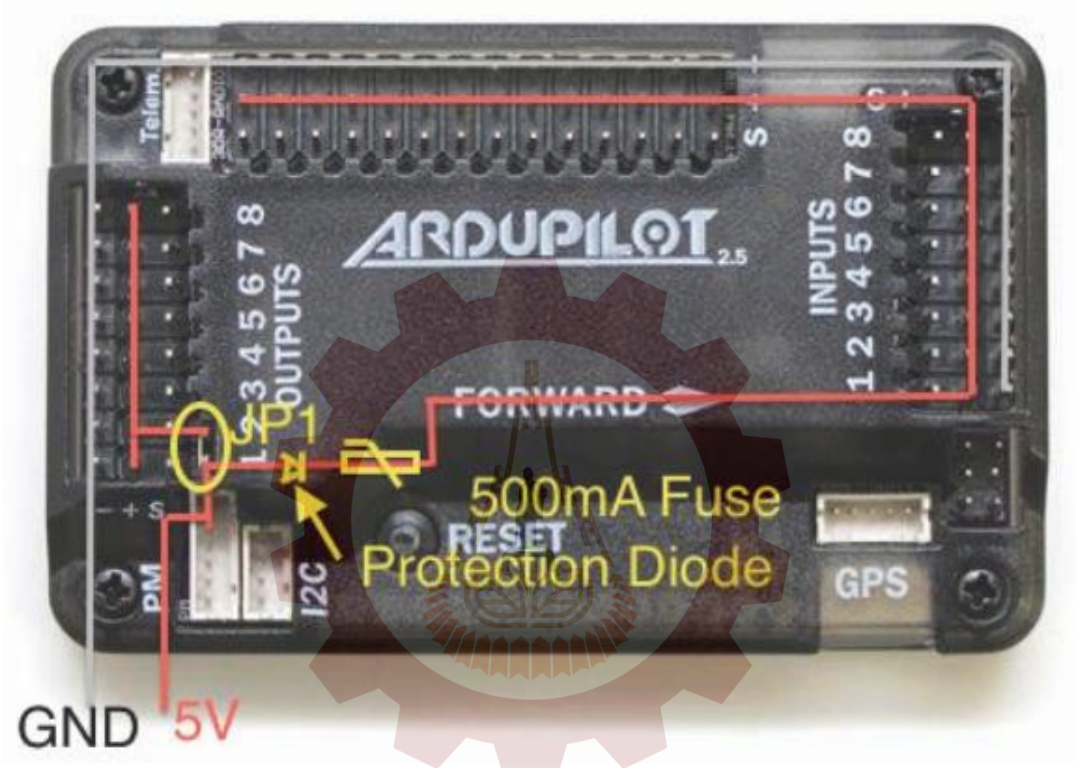
สาขาวิชาวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Powering up APM board

ชุด APM ประกอบด้วย APM Power Module (PM) รูปที่2.9 Modulepower APM ที่มีความสามารถ 2.25 A ที่ 5.37 V โมดูลนี้เป็นผู้รับผิดชอบในการจัดหาพลังงานให้กับระบบและเครื่องรับ RC (ไม่มีเซอร์โว) เมื่อต้องการเพิ่มพลังให้กับตัวรับ RC สามารถใช้อินพุต APM ใดๆ (+ 5V and ground) พลังงานเฉพาะที่จ่ายเป็นสิ่งจำเป็นในการจัดหาเซอร์โวเพิ่มเติมเพราะ APM ควบคุมเซอร์โวเท่านั้น นอกจากนี้ยังตรวจสอบสถานะของ LiPo batter ,voltage and currentเพื่อให้พลังงานเพิ่มเติมกับ APM เป็นครั้งแรกที่จำเป็นที่จะเข้าใจวงจรพลังงานของมัน รูป2.10มันเป็นไปได้ที่จะเห็นว่า APM มีสองรางบวกแยก (เส้นสีแดง) ที่พลังงานขาเซนเซอร์และ i/o การใช้รูปแบบเหล่านี้เป็นเพราะความจริงที่ว่า APM มีการให้พลังงานแก่ส่วนประกอบภายในและระบบภายนอก (เช่นตัวรับสัญญาณ RC, โมดูลtelemetry) และยังเป็นเพราะเชื่อมต่อเซอร์โวและอุปกรณ์อื่นๆ บนรางสำหรับเอาท์พุท (เซอร์โวและ ESCs) ที่จัดหาโดยและแหล่งพลังงาน; รางอื่นๆสำหรับอินพุตและ Analogs (ตัวรับสัญญาณ RC และเซ็นเซอร์) ที่จัดมาให้โดย PM ในกรณีที่เซอร์โวไม่ได้ใช้เอาท์พุทสามารถขับเคลื่อนผ่าน PM วางจัมเปอร์ระหว่างสองหมุดรูปที่2.10

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 2.12APM power module



รูปที่ 2.13APM2.6 dual positive

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

Digital and Analog I/O

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

APM 2.6 มีขา digital I/0 ทั้งหมด16 ขา, 8 ขาสำหรับแต่ละกรณี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ firmware ติดตั้ง หมุดเหล่านี้จะมีฟังก์ชั่นที่แตกต่างกัน ในกรณีของ ArduRoverมักจะใช้เพียง4ช่องทางช่องอินพุต RC สำหรับ ArduRoverอะแดปเตอร์จากช่อง 1 สำหรับ steering ช่อง 3 สำหรับ throttle, ช่อง7สำหรับบันทึก waypoint และช่อง 8 เพื่อสลับโหมดการนำทาง อินพุตอื่นๆสามารถใช้ในการดำเนินการชนิดอื่นๆของการกระทำที่กำหนดโดยผู้ใช้ ในฐานะที่เป็นเอาท์พุทเพียงสองช่องทางที่ใช้ การเชื่อมต่อจะขึ้นอยู่กับยานพาหนะ

•สำหรับรถยนต์: ช่อง1สำหรับเซอร์โวและช่อง3สำหรับ ESC/มอเตอร์;

•Skid steer: ช่อง1สำหรับมอเตอร์ซ้ายและช่อง3สำหรับมอเตอร์ที่เหมาะสม

Others

UARTs หรือserial portsคือ interfaces ที่อนุญาตให้มีการเชื่อมต่อระหว่าง APM และอุปกรณ์ภายนอกได้อย่างง่ายดาย PM port ช่วยให้สามารถเชื่อมต่อ PM และตรวจสอบแบตเตอรี่ได้ I2C serial bus มีการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์พ่วงหลายอย่างในวิธีที่ง่าย GPS interface (ทั้งเก่าและใหม่) คือการป้อนข้อมูลสำหรับโมดูล GPS; Telemetry port ช่วยให้การเชื่อมต่ออุปกรณ์สำหรับการวัดระยะไกลและการควบคุม2ทิศทาง

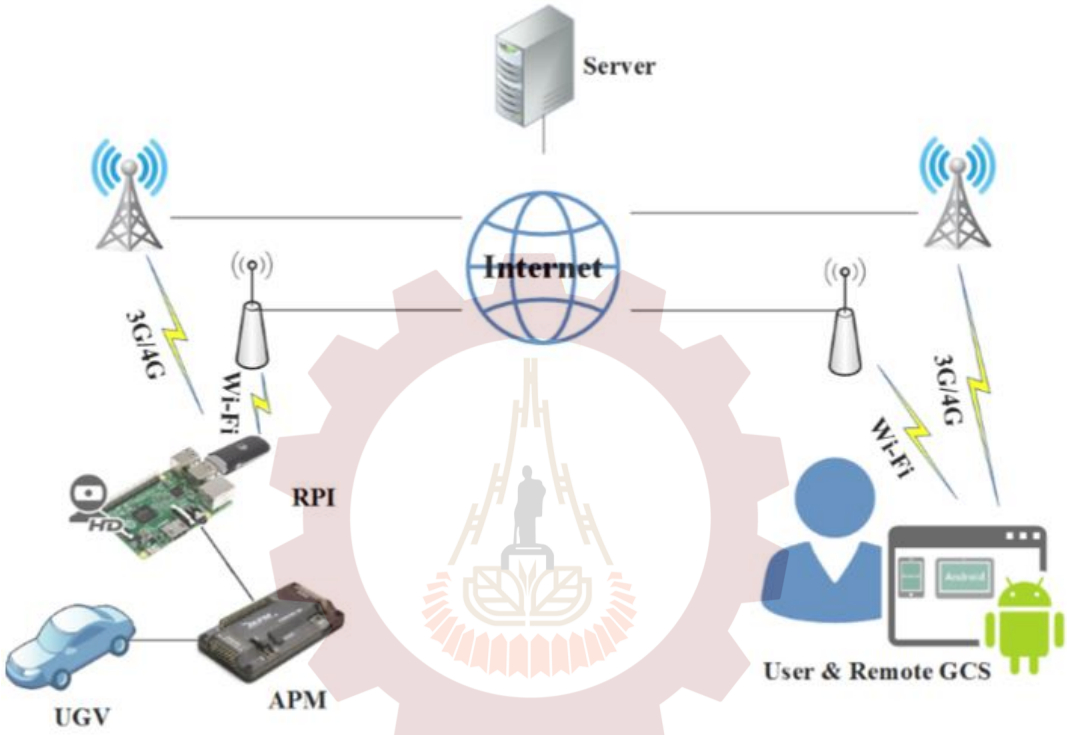
APM มี micro USB portที่ให้การเชื่อมต่อโดยตรงกับคอมพิวเตอร์

(LEDs) จะระบุสถานะปัจจุบันของยานพาหนะ, Autopilot and GPS จะระบุอย่างถูกต้องบนรูป 4.3 และอธิบายความหมายในตาราง 2.2

LED	Behavior
	Solid = armed, motor(s) will spin when throttle raised
A(red)	Single Blink = disarmed, motor(s) will not spin
	Double Blink = disarmed, motor(s) will not spin, cannot arm because of failure in pre-arm checks
B(yellow)	Only flashes along with A and B during calibration or as part of the in-flight auto trim feature
	Solid = GPS working, 3D lock
C(blue)	Blinking = GPS working, no lock
	OFF = GPS not attached or not working
Power	ON when powered
PPM/Serial	Flashes when data is being transmitted

สำนักวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.3APM LEDs behavior and meaning

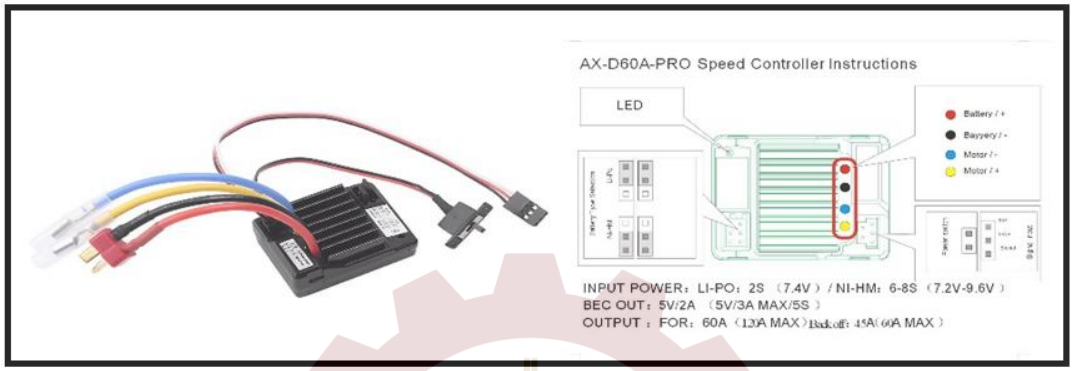


รูปที่2.14 Architacture of the whole system

สถาบันวิทยบริการจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ระบบที่นำเสนอที่แสดงในรูป2.11ช่วยให้ผู้ใช้สามารถควบคุมเวลาจริงและตรวจสอบ UGV โดยใช้เครือข่ายไร้สายที่แตกต่างกัน แอพลิเคชัน GCS ระยะไกลรวมศูนย์และแสดงข้อมูล telemetry ทั้งหมดจากยานพาหนะที่มีการเชื่อมต่อและช่วยให้ผู้ใช้สามารถส่งการควบคุมคำสั่งเช่นเดียวกับการดูวิดีโอที่ถ่ายบนเครื่องบินในเวลาจริง เซิร์ฟเวอร์สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนที่แตกต่างกัน: เซิร์ฟเวอร์สายงานการผลิตสำหรับข้อมูลและคำสั่งเซิร์ฟเวอร์สื่อสำหรับสตรีมวิดีโอและฐานข้อมูลเซิร์ฟเวอร์ที่ข้อมูลประจำตัวของผู้ใช้และการเรียกใช้ผลลัพธ์จะถูกเก็บไว้ ส่วนสุดท้ายคือออนบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์: APM และ RPI ที่นี่จะใช้ ArduRoverสำหรับ APM และ Sakis3G, สคริปต์วิดีโอ, PiCameraและ MAVProxyสำหรับ RPI.

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่15 อุปกรณ์ควบคุมความเร็วและทิศทาง

สำหรับ 1/10 รถ RC ซึ่งใช้มอเตอร์แปรง 540 หรือ 550

คำอธิบาย:

พารามิเตอร์พื้นฐาน: ไปข้างหน้า 60A ย้อนหลัง 45A

เอาต์พุต BEC: 5 V 2A

น้ำหนัก: 45 กรัม

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

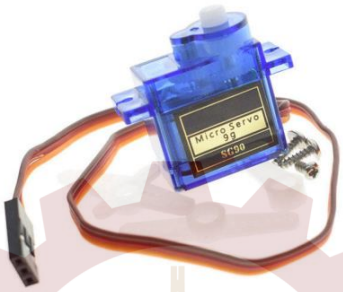
อินพุทแรงดันไฟฟ้าช่วง: 2 ~ 3 S แบตเตอรี่ลิเธียมหรือ 5 ~ 9 เซลล์โลหะนิกเกิลไฮไดรด์แบตเตอรี่

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ขนาดการปรับไฟฟ้า: 45x35x21mm

แพคเกจรวม:60A ESC x 1

หมายเหตุ: ค่าเบี่ยงเบนสีอาจแตกต่างกันเนื่องจากการตั้งค่าจอภาพที่แตกต่างกันโปรดเข้าใจ



รูปที่ 2.16Micro Servo Motor SG90 4.8V 1.6kg

Micro Servo Motor SG90 4.8V 1.6kg ไมโคร เซอร์โว มอเตอร์ 180 องศา

-ขนาด 21.5mm x 11.8mm x 22.7mm

-น้ำหนัก 9 กรัม

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

-ความเร็วเมื่อไม่มีโหลด 0.12 วินาที/60องศา (4.8V)

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

-แรงบิด 1.2-1.6kg/cm (4.8V)

-ทำงานที่อุณหภูมิ -30 - 60 องศาเซลเซียส

-เวลาหยุดก่อนรับคำสั่งใหม่ 7 มิลลิวินาที

-ทำงานที่ไฟ DC 4.8V - 6V

รูปที่ 2.17APM Pix Pixhawk

รายละเอียดสินค้า M8N โมดูลจีพีเอสเซลล์ GPS ที่มีความแม่นยำสูงเข็มทิศในตัวสำหรับผู้ถือ APM Pix Pixhawk

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

-M8n GPS รุ่นใหม่ที่มีความแม่นยำสูงใช้พลังงานต่ำ

-แสงจีพีเอสเท่านั้นที่สามารถสว่างขึ้นเมื่อมันค้นหาสัญญาณดาวเทียมกลางแจ้ง; รอมได้รับการแก้ไขแล้ว, มันไม่สามารถแฟลชและการเปลี่ยนแปลง

-ขนาดเล็ก MINI โมดูลจีพีเอสมีความแข็งแรงและน้ำหนักเบาในการพกพา

-เสียงรบกวนรูปบนชิป LNA (m8m) LNA พิเศษสำหรับเสียงรบกวนต่ำสุด

-ป้องกันการติดขัดใช้งาน CW การตรวจสอบและการกำจัด พิเศษ onboard เห็นวงผ่านกรอง

คำอธิบาย:M8n โมดูลจีพีเอสเหมาะสำหรับ Pix/APM อินเตอร์เฟซเครื่องควบคุมการบินM8n โมดูลจีพีเอสมีการออกแบบหมอนนวดขนาดเล็กและน้ำหนักเบาสำหรับพกพามาพร้อมกับขาตั้งและอื่นๆ

อุปกรณ์เสริมเพื่อติดตั้ง,โมดูลจีพีเอสคือติดตั้งได้ง่ายความถูกต้องอัตราการรีเฟรชความสามารถในการค้นหาความเร็วและปริมาณของดาวเทียมได้รับการปรับปรุงอย่างมากในโหมด GPS เสียงพึมพำสามารถเลื่อนไปเหนือลองจิจูดที่ถูกล็อคและระดับความสูงได้อย่างถูกต้อง, และมันสามารถมีเสถียรภาพในช่วงเล็กๆแม้ในสถานการณ์ลมสูง

ข้อมูลจำเพาะ:วัสดุ: คาร์บอนไฟเบอร์

สี: แสดงเป็นภาพ

ขนาด: 55x14 มม.(เฉพาะโมดูล)

ความยาวสาย: 320 มม.

หมายเหตุ:เนื่องจากความแตกต่างของการตั้งค่าแสงและหน้าจอสีของรายการอาจจะแตกต่างจากภาพเล็กน้อย

โปรดให้มีความแตกต่างเล็กน้อยเนื่องจากการวัดด้วยตนเองที่แตกต่างกัน

แพคเกจรวม:

1 xm8n โมดูลจีพีเอส (อื่นๆอุปกรณ์เสริมเพื่อติดตั้งรวมอยู่ด้วย)

1 x ผู้ถือ

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 2.18433 MHz หรือ 915 วิทยุเมกกะเฮิร์ตโมดูลพร้อมเสาอากาศ

433 MHz หรือ 915 วิทยุเมกกะเฮิร์ตโมดูลพร้อมเสาอากาศ

ชื่อยี่ห้อ: Holybro

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์

รุ่น: 433 MHz/915 MHz (อุปกรณ์เสริม)

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ชื่อสินค้า: 500mWวิทยุรับส่งชุด telemetry V3

การใช้งาน: ใช้งานร่วมกับ pixhawk4 เครื่องควบคุมการบิน

ขนาด: 26x53x10.7 มม.(ไม่มีเสาอากาศ)

การประมวลผล: กำลังไฟ 100mWผลผลิตสูงสุด (ปรับได้)-117 dBm รับความไวเฟิร์มแวร์ sikโอเพนซอร์สขั้วต่อ RP-SMAการสื่อสารแบบ full-duplex แบบ 2 ทิศทางผ่านอินเทอร์เฟซ Adaptive TDM UARTลิงก์แบบอนุกรมโปร่งใสกรอบโปรโตคอล mavlinkความถี่กระโดดกระจายสเปกตรัม (FHSS) กำหนดรอบหน้าที่การแก้ไขข้อผิดพลาดแก้ไขข้อผิดพลาดได้ถึง 25% ของข้อผิดพลาดบิตเฟิร์มแวร์แบบโอเพนซอร์สกำหนดค่าผ่านการวางแผนภารกิจและนักวางแผน APMFt230x เป็น USB ถึงพื้นฐาน UART IC

กำลังไฟ ,แรงดันไฟฟ้า: 5VDC (จาก USB หรือ JST-GH)

ส่งกระแส: 500 mA ที่ 27dBm

รับกระแสไฟ: 25 mA

อินเทอร์เฟซแบบอนุกรม: 3.3 V UART

ไฟ LED สถานะ:วิทยุมีไฟ LED แสดงสถานะ 2 ดวงสีแดงและสีเขียวหนึ่งดวง ความหมายของรัฐ LED ที่แตกต่างกันคือสีเขียว LED กระพริบ-ค้นหาวิทยุอื่นGREEN LED Solid-Link ก่อตั้งขึ้นพร้อมกับวิทยุอื่นสีแดง LED กระพริบ-ส่งข้อมูลสีแดง LED Solid-in อัพเดตเฟิร์มแวร์โหมดเชื่อมต่อกับ pixhawk4

ใช้ขั้วต่อ 4 PIN JST-GH ที่ควรมีมาพร้อมกับวิทยุเพื่อเชื่อมต่อวิทยุกับ pixhawk4 ของคุณ "เทเลม 1" ("Telem2" ยังสามารถใช้แต่คำแนะนำเริ่มต้นคือ "telem1")เชื่อมต่อกับพีซีการเชื่อมต่อวิทยุกับพอร์ตคอมพิวเตอร์แบบมินิของคุณเป็นเรื่องง่ายเช่นเดียวกับการเชื่อมต่อ Micro สาย USB(ซึ่งควรจะได้รับการรวมกับวิทยุ) ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ของคุณ ไดรเวอร์ที่จำเป็นควรจะติดตั้งโดยอัตโนมัติและวิทยุจะปรากฏเป็นใหม่ "USB พอร์ตอนุกรม"ใน Windows Device Manager ภายใต้พอร์ต (COM & LPT)

ภารกิจวางแผนของพอร์ต COM เลือกหล่นลงยังควรมีใหม่เดียวกันพอร์ต COM.

สถาบันวิทยบริการวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

แพคเกจรวม:ความถี่ 2X433 MHz หรือ 915 วิทยุเมกกะเฮิร์ตโมดูลพร้อมเสาอากาศ, 1x ไมโคร-สาย USB, 1x แอนดรอยด์โอทีจีสายอะแดปเตอร์, สายเคเบิล 1x GH 6p-gh4 P, สายเคเบิลขนาด 1x MLX 6p-gh4 P, 2x อะแดปเตอร์ SMA

หมายเหตุ:ส่วนเบี่ยงเบนของสีอาจแตกต่างกันเนื่องจากการตั้งค่าจอภาพที่แตกต่างกัน

รูปที่2.19สินค้า Flysky FS-i6X 2.4GHz 6CH AFHDS

สาขาวิชาวิศวกรรมไมคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Flysky FS-i6X 2.4GHz 6CH AFHDS เครื่องส่งสัญญาณ RC พร้อม FS-iA6B ตัวรับสัญญาณ FS I6X RC

การสื่อสารแบบสองทิศทาง มีความสามารถในการส่งและรับข้อมูลเครื่องส่งสัญญาณแต่ละตัว สามารถรับข้อมูลจากอุณหภูมิ, ระดับความสูงและเซ็นเซอร์ประเภทอื่นๆการสอบเทียบเซอร์โวและการสนับสนุน I-Bus.

ความถี่ในการกระโดดหลายช่อง --- แบนด์วิดธ์ระบบนี้มีตั้งแต่ 2.408 GHz ถึง 2.475 GHz. นี่คือแบ่งเป็น 135 ช่อง เครื่องส่งสัญญาณแต่ละตัวจะกระโดดระหว่าง 16 ช่อง (32 สำหรับญี่ปุ่นและฉบับภาษาเกาหลี) ในการสั่งซื้อเพื่อลดรบกวนจากเครื่องส่งสัญญาณอื่นๆ

Omni-Directional GAIN ANTENNA --- ประสิทธิภาพสูง Omni-Directional เสาอากาศกำลังส่งสูงลดสัญญาณรบกวน, ในขณะที่ใช้พลังงานน้อยลงและรักษาการเชื่อมต่อที่เชื่อถือได้ที่แข็งแกร่ง

ระบบความรู้ความเข้าใจ ID ที่ไม่ซ้ำกัน --- แต่ละเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณมี ID ที่ไม่ซ้ำกันของตัวเอง เมื่อเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณได้รับการจับคู่พวกเขาจะเพียงติดต่อกับแต่ละอื่นๆ, การป้องกันระบบอื่นๆโดยไม่ได้ตั้งใจเชื่อมต่อหรือรบกวนการทำงานของระบบ

ใช้: ยานพาหนะและของเล่นควบคุมระยะไกล

รีโมทคอนโทรลอุปกรณ์ต่อพ่วง/อุปกรณ์: รีโมทคอนโทรล

วัสดุ: วัสดุคอมโพสิต

สำหรับประเภทยานพาหนะ: เครื่องบิน

คุณลักษณะขับเคลื่อนสี่ล้อ: assembblage

อุปกรณ์เครื่องใช้: คลาสประกอบ

หมายเลขรุ่น: FS-i6X

คุณสมบัติ:การสื่อสารแบบสองทิศทางมีความสามารถในการส่งและรับข้อมูลเครื่องส่งสัญญาณแต่ละตัวสามารถรับข้อมูลจากอุณหภูมิ, ระดับความสูงและเซ็นเซอร์ประเภทอื่นๆการสอบเทียบเซอร์โวและการสนับสนุน I-Bus.ความถี่ในการกระโดดหลายช่องแบนด์วิดธ์ระบบนี้มีตั้งแต่ 2.408 GHz ถึง 2.475 GHz. นี่คือแบ่งเป็น 135 ช่อง เครื่องส่งสัญญาณแต่ละตัวจะกระโดดระหว่าง 16 ช่อง (32 สำหรับญี่ปุ่นและฉบับภาษาเกาหลี) ในการสั่งซื้อเพื่อลดรบกวนจากเครื่องส่งสัญญาณอื่นๆOmni-Directional GAIN ANTENNA ประสิทธิภาพสูง Omni-Directional เสาอากาศกำลังส่งสูงลดสัญญาณรบกวน, ในขณะที่ใช้พลังงานน้อยลงและรักษาการเชื่อมต่อที่เชื่อถือได้ที่แข็งแกร่งระบบความรู้ความเข้าใจ ID ที่ไม่ซ้ำกันแต่ละเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณมี ID ที่ไม่ซ้ำกันของตัวเอง เมื่อเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณได้รับการจับคู่พวกเขาจะเพียงติดต่อกับแต่ละอื่นๆ, การป้องกันระบบอื่นๆโดยไม่ได้ตั้งใจเชื่อมต่อหรือรบกวนการทำงานของระบบ

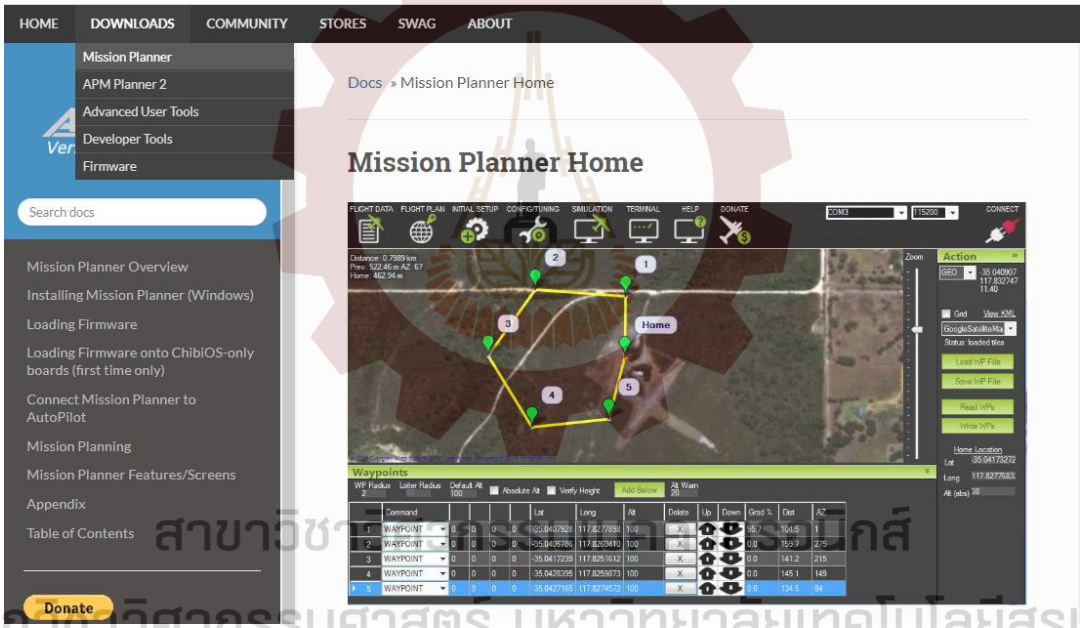
สำนักวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่3

วิธีดำเนินการทำโครงงาน

เตรียมอุปกรณหลัก

1. ติดตั้งโปรแกรม Mission Planner ลงคอมพิวเตอร์ที่ใช้งาน

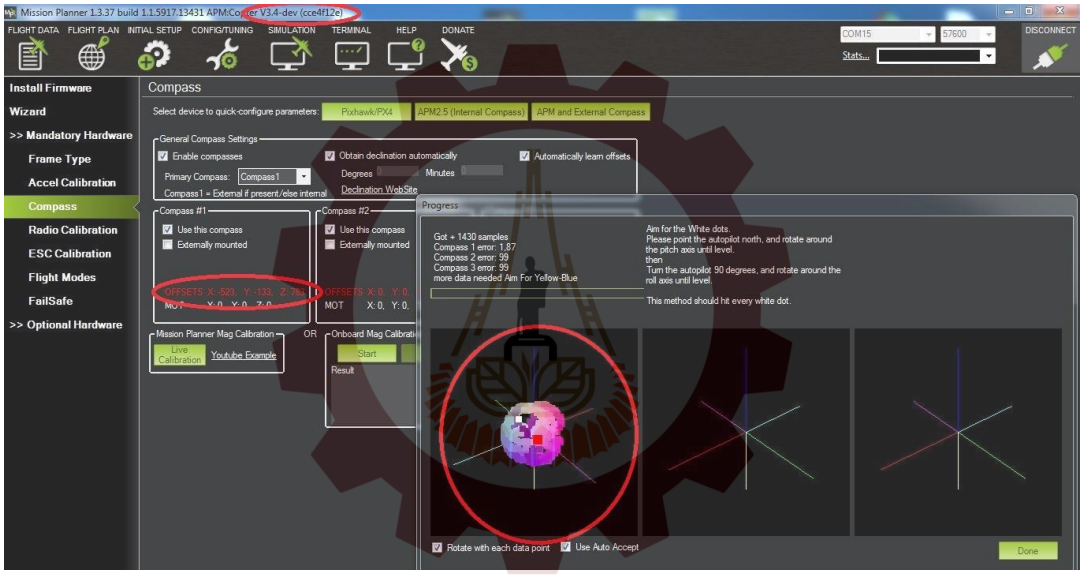


สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3.1 โปรแกรม Mission Planner

ขั้นตอนการสอบทียบมีดังนี้

1.1 หมุน BoardAPM 2.6 รอบตัวเองไปทางแกน X สองรอบหมุนกลับมาทางแกน X- สองรอบหมุนไปทางแกน Y สองรอบ Y- สองรอบจบการสอบเทียบ



รูปที่ 3.2 การสอบเทียบทิศทาง

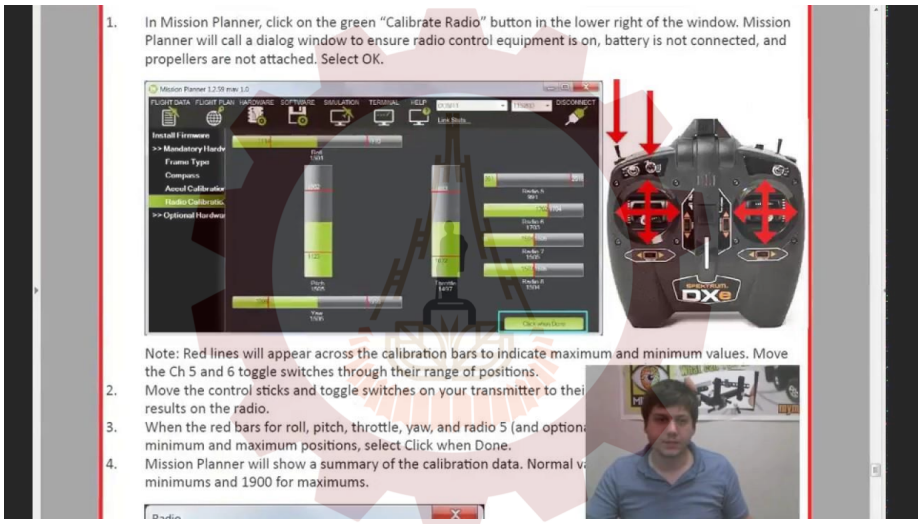
สาขาวิชาวิศวกรรมไมคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2. ทำการ connect กับ BoardAPM 2.6 fight control เพื่อทำการสอบเทียบทิศทางโดยใช้โหมด compress ซึ่งใช้โหมด สอบเทียบเพื่อให้กับ BoardAPM 2.6 จดจำทิศทางและให้ gyro sensor จดจำระดับสูง

รูปที่ 3.3การสอบเทียบ board และ Jairo sensor

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

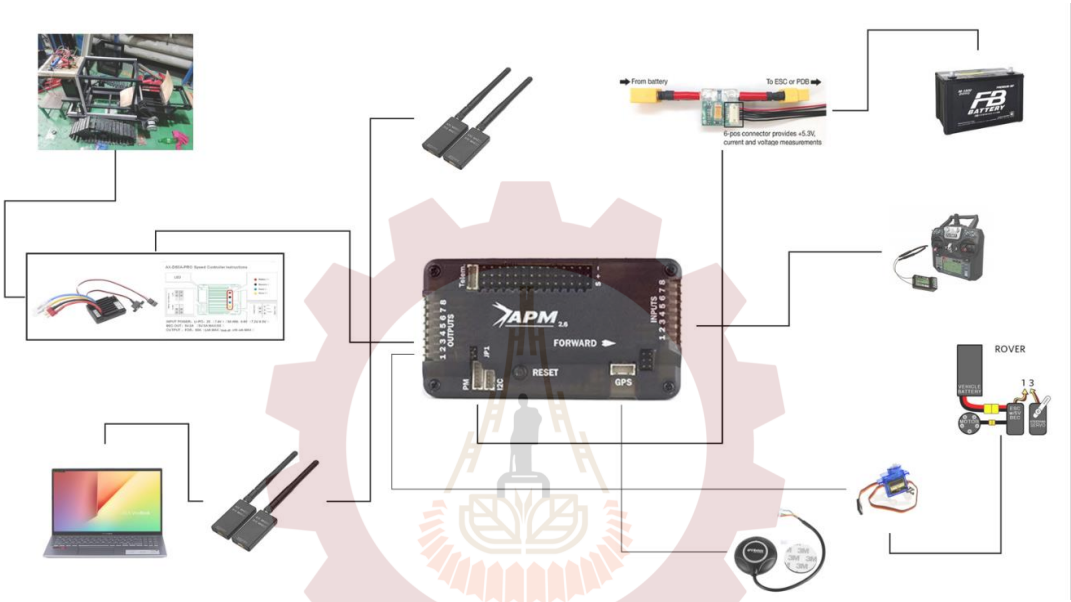
3. ทำการสอบสอบเทียบ Remote เข้าโปรแกรม Mission Planner เลื่อนหาเมนู Calibration กดคำว่า Calibration คันโยกด้านขวามือจดสุดดันกลับลงมาให้สุดดันกลับไปที่ต่ำแหน่งตรงกลางไปที่โปรแกรม Planner จะมีตัวเลขแสดงกำกับอยู่ตัวเลขนั้นแสดงถึงจำนวน pulse ที่ใช้ควบคุมความเร็วหรือการเบี่ยงเบนทิศทางการเลี้ยว



รูปที่ 3.4 การสอบเทียบรีโหมด

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

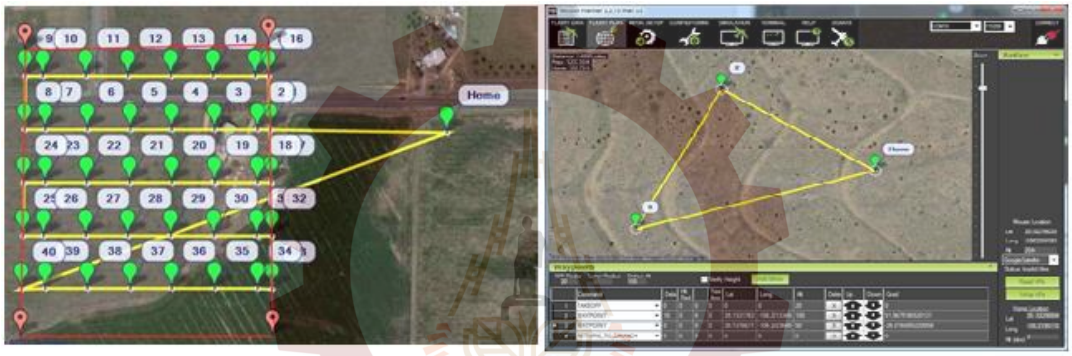
4.ขั้นตอนการ Wiring การเชื่อมต่อสาย



รูปที่ 3.5 รูปแบบ Wiring

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

5.ไปที่เมนู Way point คลิกไปที่หน้าจอจะแสดงถึงเวลาปัจจุบันเมื่อต้องการให้รถเคลื่อนที่ด้วยการสั่งงานด้วย GPS ด้วยแผนที่ใช้ mouse ไปคลิ๊กบริเวณบนที่ที่ต้องการให้รถวิ่งผ่านและกด Icon ที่แสดงคำว่า ไว โปรแกรมจะทำการดาวโหลดที่แผนที่โหลดลงไปใน BoardAPM 2.6 ในขั้นตอนนี้โปรแกรมจะทำการในโหมด Auto เท่านั้นเมื่อใช้โหมด Manual ก็ต้องใช้การควบคุมผ่าน Remote



รูปที่ 3.6 การกำหนดเส้นเดินรถ

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

6.การสั่งงานในโหมด Auto ในโหมด Manual เมื่อเราต้องการใช้งานในโหมด Auto ในทำการเลื่อน SwitchSWC ที่อยู่บน Remote ให้ไปอยู่ตำแหน่งที่ 0board จะทำการรับสัญญาณจากตัว receiver เพื่อไปสั้งงานให้โปรแกรมแผนที่ทำงานและรถทำงานอัตโนมัติการใช้งานในโหมดแมนนวลให้เลื่อนสวิท SWC ไปตำแหน่งที่สองระบบจะทำการสั้งงานให้ board ปลดล็อกทำงานอิสสระและยกเลิกโปรแกรมแผนที่ที่ทำงานในโหมด Auto อยู่

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

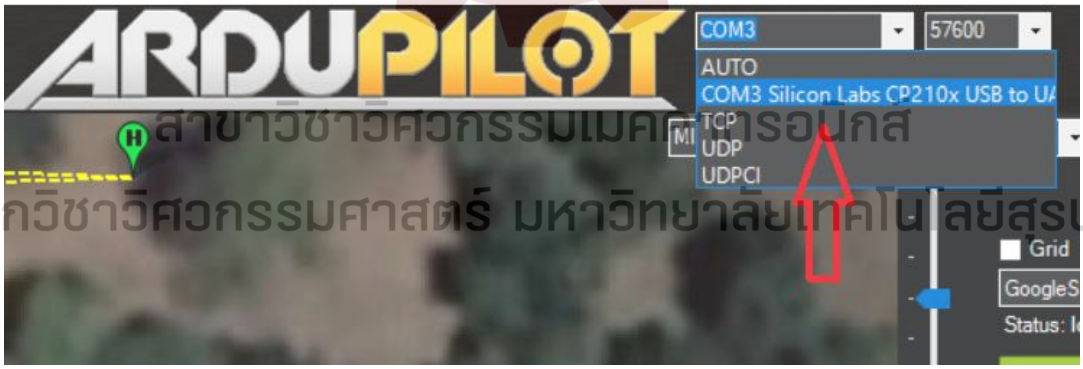
รูปที่ 3.7 รีโหมดควบคุมระยะไกล

การ setup ใน mission planner

1.ทำการ connectboard APM2.6 กับ software mission planner

รูปที่ 3.8 การ connect board

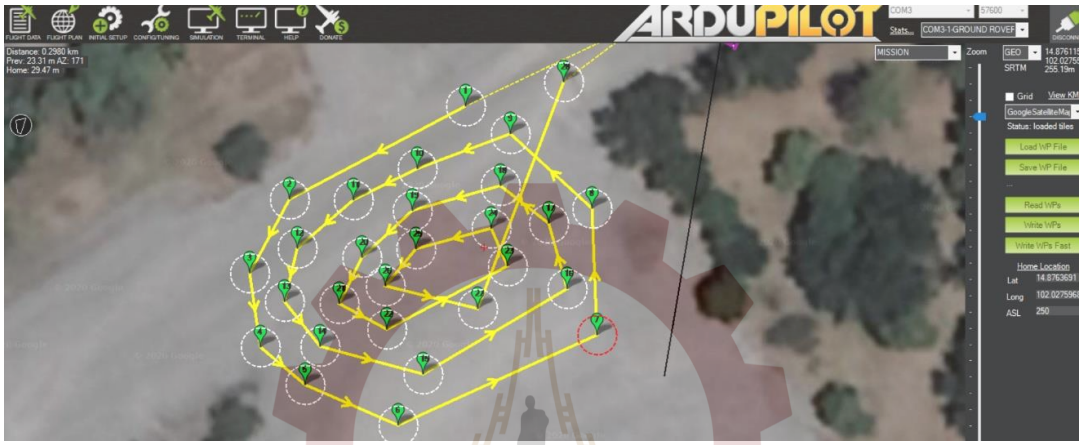
2.ทำการ connect เสาอากาศ 915 MHz



สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

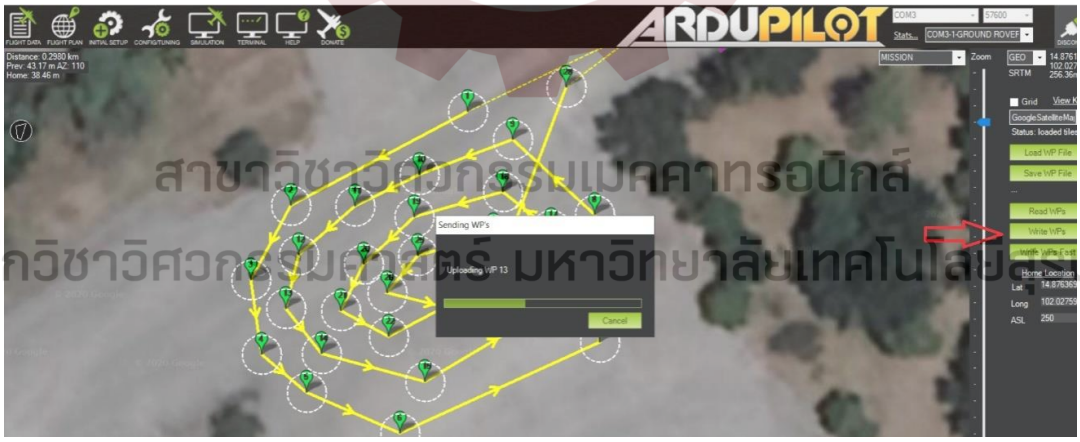
รูปที่ 3.9 การ connect เสาอากาศ

3.กำหนดเส้นทางเดินใน softwaremission planner



รูปที่ 3.10 การกำหนดเส้นทางเดินของรถ

4.ทำการ write WPs



สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รูปที่ 3.11 การ Write WPs

5.ทำการ Read WPs

รูปที่ 3.12 การ Read WPs

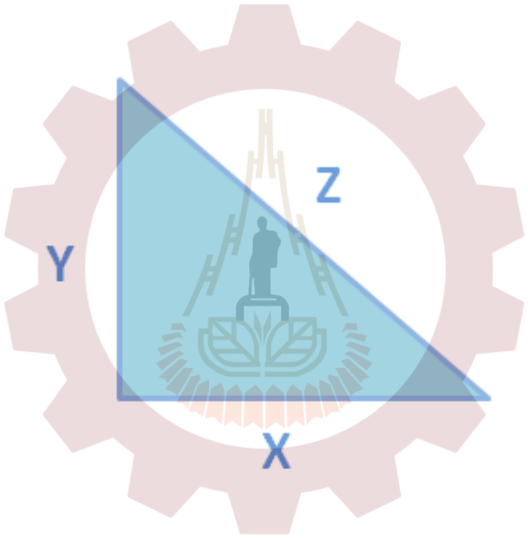
6.กด auto mode ที่ remote control

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การคำนวณระยะห่าง ของตำแหน่ง GPS 2จุด

เมื่อกำหนดให้ X = latitude และ Y = longitude

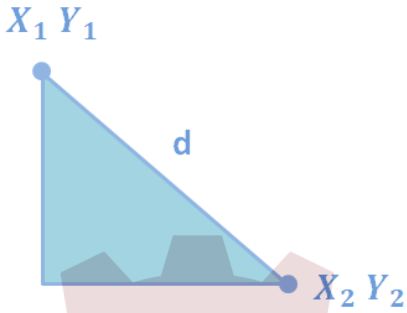
สูตรที่นำมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาในที่นี้คือ สูตรพีทากอรัส ครับ ซึ่งมีรูปแบบดังนี้



สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

$$Z^2 = X^2 + Y^2$$

$$Z = \sqrt{X^2 + Y^2}$$



$$d^2 = (X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2$$

$$d = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}$$

แปลงให้เป็นสูตรคำนวณระยะทาง จึงได้เป็น

แต่เนื่องจากโลกไม่ได้เป็นพื้นแบนราบ (เพราะโลกเป็นทรงกลม) การคำนวณระยะทางจึงต้องมีการปรับปรุงสูตรอีกเล็กน้อย เพื่อให้มีความถูกต้องตามระยะทางที่เป็นจริง (ตามความโค้งของโลก) ด้วยการเพิ่มตัวแปรค่าคลาดเคลื่อนลงไป เมื่อละติจูดมีการเปลี่ยนแปลงทุกๆ 1 องศา จึงได้สูตรใหม่เป็นดังนี้

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

(จากภาพจะเห็นว่า distance1 และ distance2 มีความยาวไม่เท่ากัน (distance1แคบกว่า) ทั้งๆ ที่มีลองจิจูด 0 และลองจิจูด 50 เหมือนกัน ที่ละติจูดต่างกัน (0 กับ 60) นี่จึงเป็นที่มาของค่าคลาดเคลื่อนหรือค่าความแตกต่างของระยะทางในแต่ละช่วงละติจูดครับ)

$$d = \sqrt{(X_2 * a_2 - X_1 * a_1)^2 + (Y_2 * b_2 - Y_1 * b_1)^2}$$

d = ระยะห่างระหว่าง gps1 และ gps2

X_1 = พิกัดละติจูดของ gps1

Y_1 = พิกัดลองจิจูดของ gps1

X_2 = พิกัดละติจูดของ gps2

Y_2 = พิกัดลองจิจูดของ gps2

a_1 = ค่าการเปลี่ยนแปลงระยะทางของเส้นละติจูด เมื่อละติจูดเปลี่ยนแปลงทุกๆ 1 องศา ของ gps1

b_1 = ค่าการเปลี่ยนแปลงระยะทางของเส้นลองจิจูด เมื่อละติจูดเปลี่ยนแปลงทุกๆ 1 องศา ของ gps1

a_2 = ค่าการเปลี่ยนแปลงระยะทางของเส้นละติจูด เมื่อละติจูดเปลี่ยนแปลงทุกๆ 1 องศา ของ gps2

b_2 = ค่าการเปลี่ยนแปลงระยะทางของเส้นลองจิจูด เมื่อละติจูดเปลี่ยนแปลงทุกๆ 1 องศา ของ gps2

ค่า a และ b ขึ้นอยู่กับค่า X (latitude)ตารางค่าความแตกต่างของ latitude และ longtitudeในแต่ละสถานที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลง latitude ทุกๆ 1 องศา ค่า a คือ column ที่ 3 และค่า b คือ column ที่ 5

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Latitude	N-S radius of curvature M	Surface distance per 1° change in latitude	E-W radius of curvature N	Surface distance per 1° change in longitude
0°	6335.44 km	110.574 km	6378.14 km	111.320 km
15°	6339.70 km	110.649 km	6379.57 km	107.551 km
30°	6351.38 km	110.852 km	6383.48 km	96.486 km
45°	6367.38 km	111.132 km	6388.84 km	78.847 km
60°	6383.45 km	111.412 km	6394.21 km	55.800 km
75°	6395.26 km	111.618 km	6398.15 km	28.902 km
90°	6399.59 km	111.694 km	6399.59 km	0.000 km

ตารางที่3.1แสดงค่าความแตกต่างของ latitude และ longtitude

บทที่4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

หลังจากการออกแบบรถเก็บขยะอัตโนมัติขั้นตอนต่อไปคือการทดสอบการทำงานเพื่อให้เป็นไปตามขอบเขตที่วางไว้ โดยทำการทดสอบการควบคุมการเคลื่อนที่ตาม GPS map และการเก็บขยะอัตโนมัติ ผลการทดสอบสามารถทำตามขอบเขตที่วางไว้คือ

1) รัศมีในการสั่งงานได้ไกลจากผู้ควบคุม 300-500 เมตร
2) สามารถทำการเก็บขยะได้ในพื้นที่ราบไม่มีสิ่งกีดขวาง
3) ควบคุมด้วยการส่งสัญญาณจากGPSหรือรีโมทควบคุมระยะไกล
4) ทำงานได้ในระบบอัตโนมัติและใช้คนควบคุมด้วยรีโมท

รูปที่ 4.1 รถเก็บขยะที่สมบูรณ์

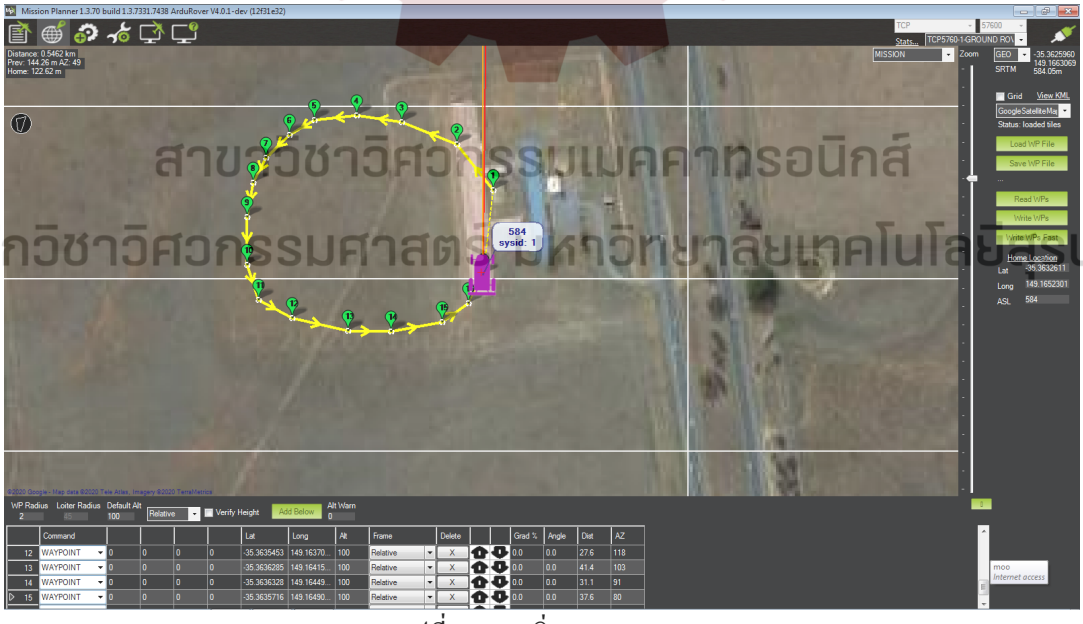
สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลการทดลอง

การวิ่งตามพิกัด GPS ในรูปแบบเส้นทางต่างๆ

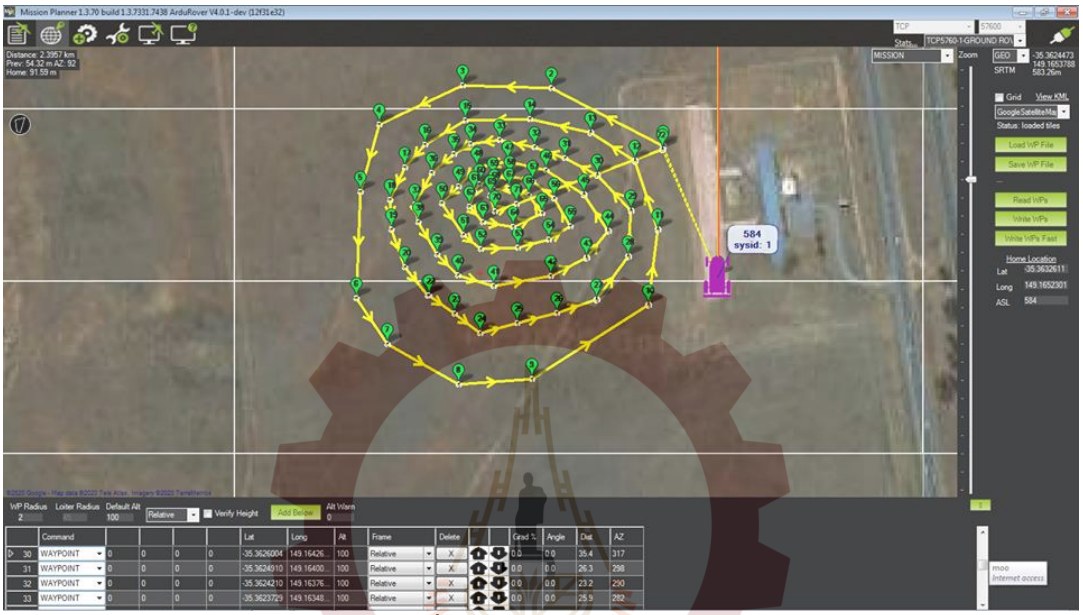
ครั้งที่	รูปแบบการวิ่ง	ระยะทางทั้งหมด	จำนวนรอบ	จำนวนครั้ง error	ระยะที่ error	% error	หมายเหตุ
1	วงกลม	200 m.	4 รอบ	3 ครั้ง	50 cm.	25%	
2	ก้นหอย	600 m.	1รอบ	4 ครั้ง	1 m.	16%	
3	ฟันปลา	120 m.	1 รอบ	2 ครั้ง	1.5 m.	12.5%	
4	ตรง	300 m.	2 รอบ	ไม่มี error	ไม่มี error	0%	
5	สี่เหลี่ยมผืนผ้า	800 m.	2 รอบ	4 ครั้ง	3 m.	37.5%	

ตารางที่4.1 แสดงผลการทดลองการวิ่งตามพิกัดGPSในรูปแบบเส้นทางต่างๆ

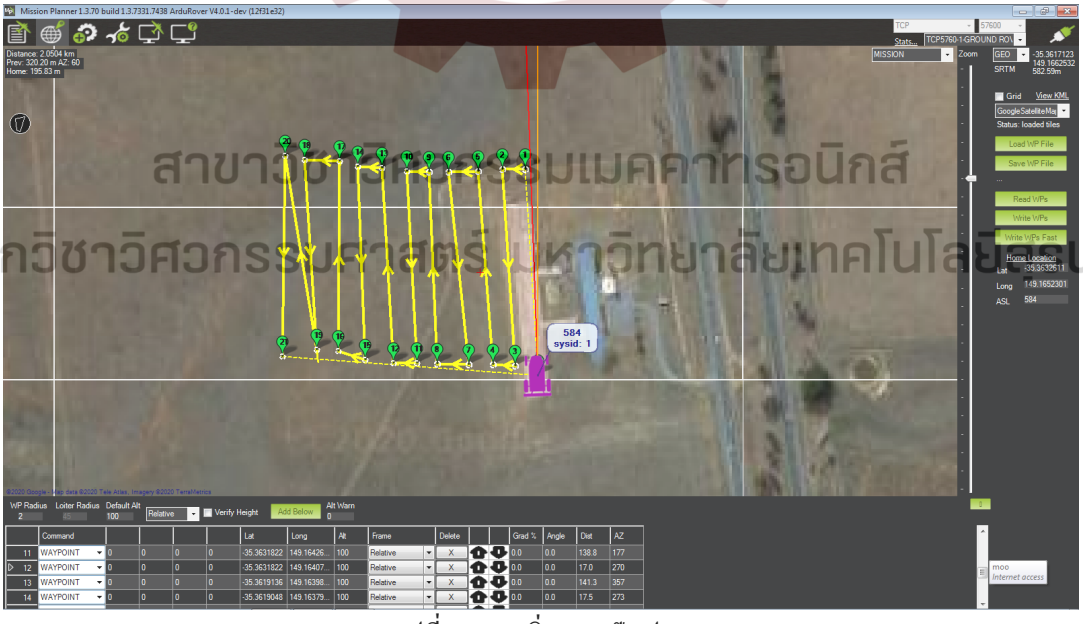


รูปที่ 4.2 การวิ่งแบบวงกลม

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

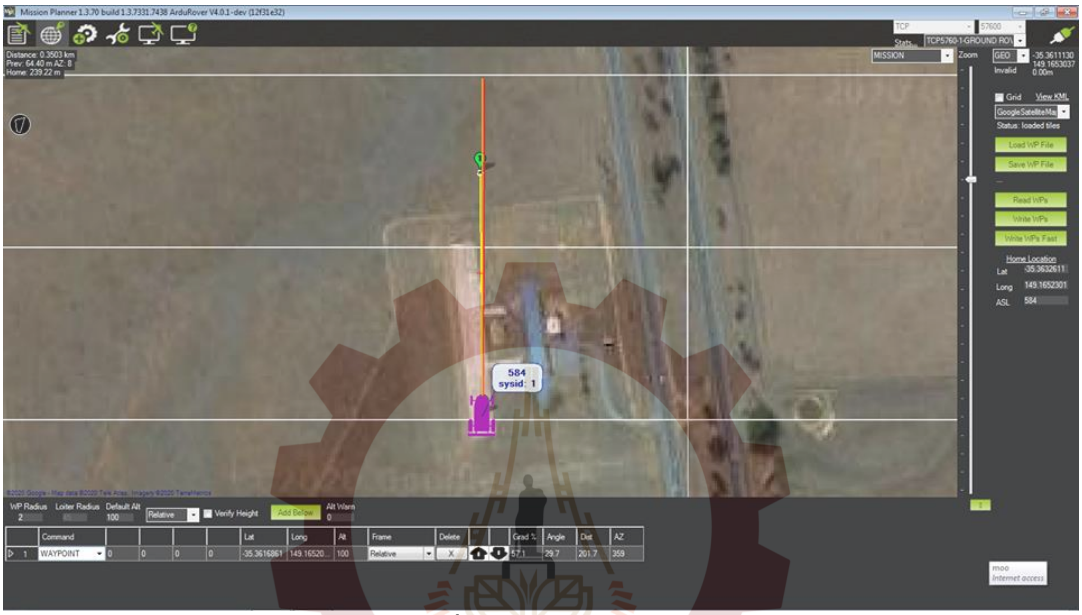


รูปที่ 4.3 การวิ่งแบบก้นหอย

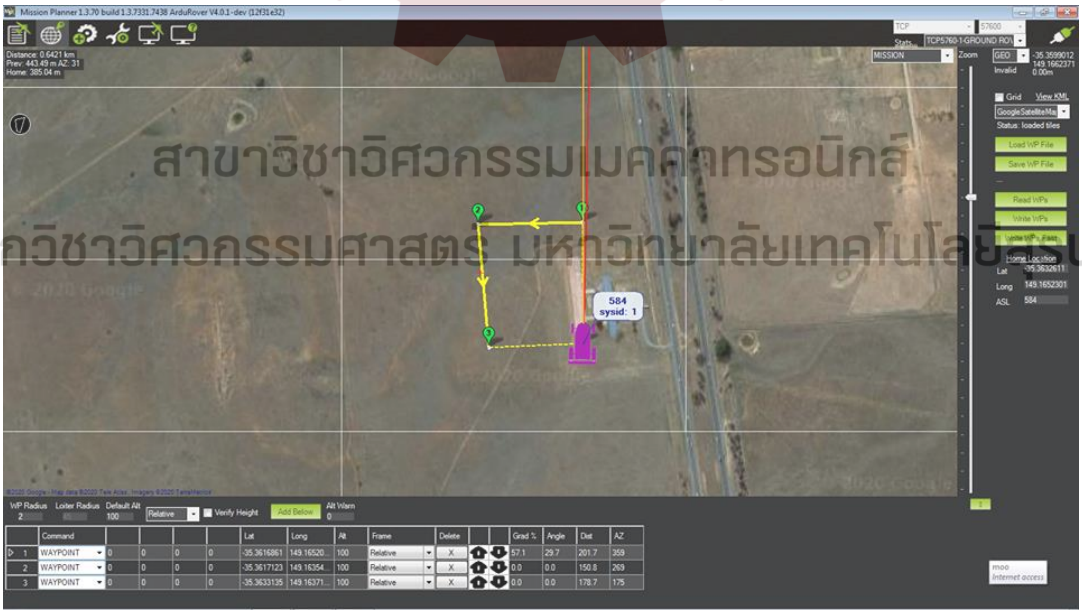


รูปที่ 4.4 การวิ่งแบบฟันปลา

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



รูปที่ 4.5 การวิ่งแบบตรง



รูปที่ 4.5 การวิ่งแบบสี่เหลี่ยมผืนผ้า

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิจารณ์ผล

จากการทดสอบพบข้อบกพร่องในส่วนของระบบการเดินเครื่องในโหมดอัตโนมัติซึ่งจะขึ้นอยู่กับสภาพความเข้นของสัญญาณ GPS ในสภาวะนั้นๆ ที่จะทำให้ความแม่นยำในการควบคุมการเดินตามเส้นทางของรถเก็บขยะนั้นถูกต้องและสภาพพื้นผิวมีผลต่อมุมเลี้ยว และจำนวนการส่งสัญญาณให้การเลี้ยวนั้นยังไม่เสถียรภาพเท่าที่ควร

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่5

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทำโครงงาน

จากผลการทดลองในการควบคุมระบบ manual และ auto สามารถควบคุมตัวรถได้ ในระบบ manual สามารถควบคุมผ่าน remote control ได้ในคำสั่ง เดินหน้า ถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา และระบบ auto สามารถควบคุมให้รถวิ่งตามเส้นที่กำหนดบน GPS map จาก program mission planner ได้ และมีเพียงการ error จากมุมเลี้ยงเพียงเล็กน้อยคิดเป็น 1-2 % จากเส้นทางทั้งหมดในการควบคุมในระบบ auto นี้แสดงให้เห็นว่าเรานำระบบควบคุมของอากาศยานไร้คนขับ (Drone) นำมาใช้กับยานยนต์ที่ใช้งานบนพื้นราบได้ ซึ่งเงื่อนไขเพิ่มเติมอื่นๆ อาจนำไปพัฒนาต่อไปได้

ผลที่ได้จากการทดลอง

1) รถสามารถวิ่งตาม GPS map ได้ในระบบ auto ได้แต่ยังไม่สามารถควบคุมความเร็วให้เป็นไปตามที่ต้องการมากนัก
2) พบปัญหาในเรื่องมุมเลี้ยวถ้าเลี้ยวใน GPS map เป็นมุมที่มีความแคบมากเกินไปจะทำให้รถสูญเสียกำลังในการที่จะทำการเลี้ยวในจุดนั้นๆ จึงทำให้อุปกรณ์ในการจ่ายไฟเกิดความร้อนสูง (Overload) จึงทำให้ระบบตัดการทำงาน

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปัญหาที่พบเจอ

1) ระยะเวลาในการทำโครงงานค่อนข้างเร่งรัด
2) ความชำนาญในตัวผู้ปฏิบัติงาน
3) การจัดหาอุปกรณ์บางส่วนใช้เวลานานเนื่องต้องสั่งจากต่างประเทศ
4) ขาดการวางแผนที่ชัดเจน
5) เครื่องมือและอุปกรณ์เสียหาย
6) ระบบการเชื่อมต่อค่อนข้างซับซ้อน
7) งบประมาณที่จำกัด

ข้อเสนอแนะ

1) ควรจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือให้พร้อมกว่านี้
2) การวางแผนการทำงานที่ชัดเจน
3) ควบคุมเรื่องงบประมาณการใช้จ่าย
4) ยืดระยะเวลาให้ยาวกว่านี้

แนวทางการพัฒนาในอนาคต

1) การทำรถเก็บขยะแบบ Full Auto
2) ปรับปรุงhardwareให้สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ที่คำสั่งอื่นๆ เช่น board Arduino และ sensor ตรวจจับสิ่งกีดขวางเพื่อให้ทำงานนพื้นที่ที่คับแคบและมีสิ่งกีดขวางได้

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

วิกีพีเสรานุกรมเสรี.(2562).**ทฤษฎีระบบควบคุม**[ออนไลน์]. ได้จาก:

https://th.wikipedia.org/wiki/ทฤษฎีระบบควบคุม#ประวัติศาสตร์และการพัฒนาของทฤษฎีระบบควบคุม

Google Cloud Print API for java. (2554).**การคำนวณระยะห่างGPS 2 จุด**[ออนไลน์].ได้จาก:

https://na5cent.blogspot.com/2011/07/gps-2-javascript.html

GPS knowledge. (2549). **ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ GPS** [ออนไลน์]. ได้จาก

https://www.global5thailand.com/thai/gps.htm

LM-Thesis. (2555). **Ardupilot, MAVLink, Wireless networks** [ออนไลน์]. ได้จาก:

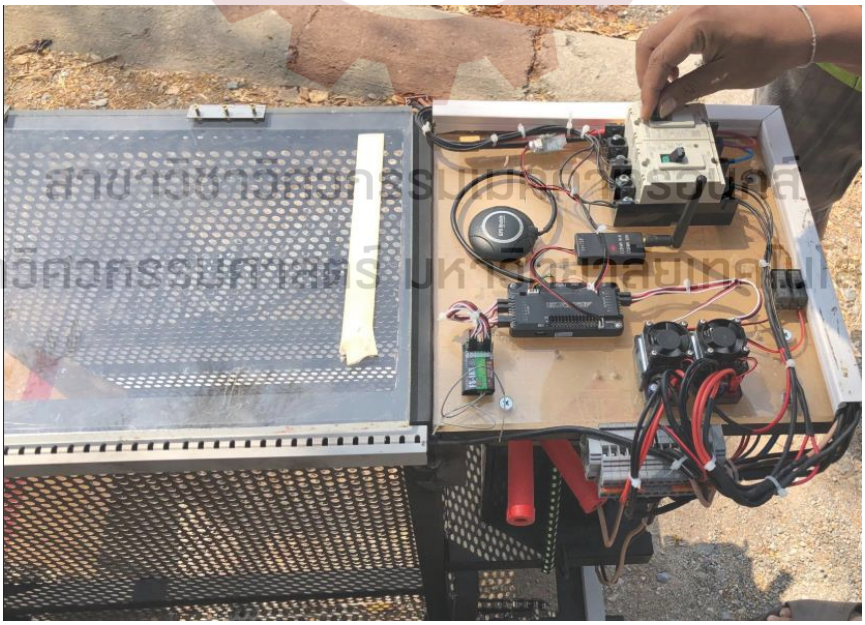
https://www.LM_Thesis%20-%20body%20-%20Copy.com

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก ก

ภาพในขั้นตอน Setup รถเก็บขยะ

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Datasheet อุปกรณ์

11.2 Receiver specification (FS-iA6)

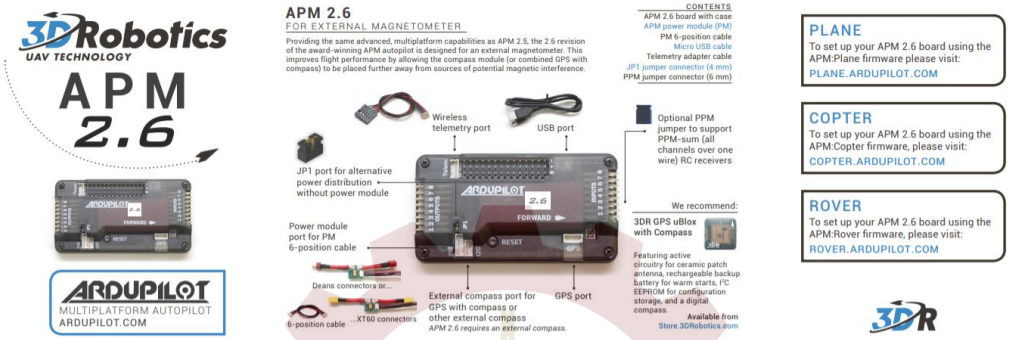
Channels	6
Model Type	Fixed-Wing/Glider/HElicopter
RF Range	2.408-2.475GHz
RF Channel	135
RF Receiver Sensitivity	- 105dBm
Bandwidth	500KHz
2.4GHz System	AFHDS 2A
Modulation Type	GFSK
Power	4.0~6.5V DC
Antenna Length	26mm(Dual Antenna)
Weight	7g
Size	40.4x21.1x15mm
i-BUS Port	No
Data Acquisition Port	No
Color	Black
Certificate	CE0678 , FCC ID:N4ZFLYSKYIA6

Test	Reference	Test Conditions
Temperature step test	ISO16750-4 IEC60068-2-1 IEC60068-2-2	Function tests at stable temperature. The temperature has to decrease in 5K steps from RT to -40°C followed by increase to +85°C in 5K steps.
Temperature cycling	IEC60068-2-14 Na	-40°C / +125°C, 300 cycles, air to air No function
Dry heat I ("desert")	IEC60068-2-2	+60°C / 5%rH,Toper max, Vccmax, 1000 hours, in function
Damp heat II ("tropical")	IEC60068-2-3	+60°C/95%rH, Toper max, Vccmax, 1000 hours, in function
High Temp Operating Life (Life span)	IEC60068-2-2	1000hrs @ 85°C Ta Toper max, Vccmax
Dry heat II	IEC60068-2-2	+125°C, 1000 hours, no function
Function test at Umin, Unom, Umax	ISO16750-4 IEC60068-2-1 IEC60068-2-2	Function test at Umin, Unom, Umax 1 hour / voltage level Test at -40°C, RT, +85°C
Damp heat cyclic	IEC60068-2-30 Db Variation 1	+25°C...+55°C; >90% rH 6 cycles of 24 hours
Vibration in function	IEC60068-2-6	5-500 Hz; 5g; 2.5 hrs/axis at –40°C 2.5 hrs/axis at +85°C 3 hrs/axis at RT Total: 24 hours, function supervision
Mechanical Shock	IEC60068-2-27 Ea	30g/11ms (halfsine), 3 Shocks/axis, no function
Robustness of terminations of Surface Mounted Devices	IEC60068-2-21 Ue1	1mm/s +/- 0.5mm/s D>2mm 1 Bending cycle
ESD (HBM)	JESD22-A114 AEC-Q100-002	Duration on Dmax: 20s +/- 1s Voltage level: 2000V
ESD (MM)	JESD22-A115 AEC-Q100-003	Voltage level: 200V

Table 14: u-blox qualification requirements

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Description:
Item type:433Mhz OR 915Mhz Radio Module with antenna
Brand Name: HolyBro
Version: 433Mhz / 915Mhz (Optional)
Item Name: 433Mhz 915Mhz 100mW Transceiver Radio Telemetry Set V3
Application: Compatible for Pixhawk 4 Flight Controller
Size: 26 x 53 x 10.7mm (without antenna)
Processing
- 100 mW maximum output power (adjustable) -117 dBm receive sensitivity
- Open-source SIK firmware
- RP-SMA connector
- 2-way full-duplex communication through adaptive TDM UART interface
- Transparent serial link
- MAVLink protocol framing
- Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) Configurable duty cycle
- Error correction corrects up to 25% of bit errors Open-source SIK firmware
Configurable through Mission Planner & APM Planner
FT230X is a USB to BASIC UART IC
Power
- Supply Voltage: 5VDC (from USB or JST-GH)
- Transmit Current: 100 mA at 20dBm
- Receive current: 25 mA
- Serial interface: 3.3 V UART
Status LEDs
- The radios have 2 status LEDs, one red and one green. The meaning of the different LED states is:
- Green LED blinking - searching for another radio
- Green LED solid - link is established with another radio
- Red LED flashing - transmitting data
- Red LED solid - in firmware update mode
Connecting to Pixhawk4



Out of control protection
Low voltage protection
Over-voltage protection
With heat sink
For 540 dual motor or single motor
Operating system: forward, reverse, and brake
With this power transfer would not have to worry about slow tram Motor Boats only need to replace the original power transfer
Operational Guidelines:
The right and a power supply battery connection on both ends of the wiring board the red line for positive, black, compared with negative. (Or standard DC battery connection plug Daejeon male plug / T-plug / banana plug)
ESC output red and black wire are connected to the red and black lines of the car 540 motor.
3. Open the ESC power switch, if no signal input, motor will send a beep ~ beep ~ beep "alarm sound.
Turn the transmitter power signal injection will issue the voice of the duo ~ ~ Mi ", has been connected to prove the transmitted signal and receiving the electrical and mechanical tone.
Power range: 7.2V-16V
Input voltage(advise): 6-12 cells NiMH/NiCd or 2-4 cells LiPo.
Weight: 60g (including connectors and switches)
BEC: 5.6V 2A
Output current: forward 320A
Color: Black
Material: metal+plastic
Size: 47**42*33mm
Package Contents:
1 x 320A Brushed ESC
Only the above package content, other products are not included.
Note: Light shooting and different displays may cause the color of the item in the picture a little different from the real thing. The measurement allowed error is +/- 1-3cm.

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นาย อัศวนนท์ แสงสูงเนิน เกิดวันที่ 12 ตุลาคม 2530 ภูมิลำเนา ตำบลโป่งแดง อำเภอขามทะเลสอ จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาเทคนิคการผลิต สาขางานแม่พิมพ์พลาสติก วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา ปีการศึกษา 2553 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 3 สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โทร 082-263-9183 Email:assavanon@gmail.com

นาย ยุทธนา น้อยโคกสูง เกิดวันที่ 3 มกราคม 2538 ภูมิลำเนา ตำบล หนองงูเหลือม อำเภอ เฉลิมพระเกียรติ จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาเครื่องกล สาขางานเทคนิคยานยนต์ วิทยาลัยเทคนิคนครราชสีมา ปีการศึกษา 2558 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 3 สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โทร 084-411-5426 Email:yuttana.ksr@gmail.com

สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

นาย สุรสีห์ ชาวสวน เกิดวันที่ 16 ธันวาคม2530ภูมิลำเนา ตำบล บัวใหญ่ อำเภอ บัวใหญ่ จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาไฟฟ้ากำลัง สาขางานติดตั้ง วิทยาลัยเทคนิคอุดรธานี ปีการศึกษา 2553 ปัจจุบันเป็นนักศึกษาชั้นปีที่ 3 สาขาวิชาวิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โทร 086-410-6361 Email:surasee70@gmail.com