

โดรนเพื่อการสนับสนุนการกู้ภัย
Drone for Rescue Support



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2557

โดรนเพื่อการสนับสนุนการกู้ภัย

Drone for Rescue Support



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2557

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Drone for Rescue Support



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR IN DEPARTMENT OF INFORMATI OB ENGOMEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF THCHNOLOGY LADGRABANG
2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์

โดรนเพื่อการสนับสนุนการกู้ภัย

Thesis Title

DRONE FOE RESCUE SUPPORT

ชื่อนักศึกษา

นายธนพล หัตถภูมิเกษตร

นายธีระเดช งามวงษ์วาน

นางสาวสุกัญญา ต๊ะวัง

ระดับปริญญา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

วิศวกรรมสารสนเทศ

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา

2557

(.....)

ผศ.บุญยชนะ ภูระหงษ์

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์

(.....)

ผศ. ไพศาล สิทธิโยภาสกุล

อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ร่วม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญาานิพนธ์	โดรนเพื่อการสนับสนุนการกู้ภัย		
Thesis Title	DRONE FOE RESCUE SUPPORT		
ชื่อนักศึกษา	นายธนพล	หัตถภูมิเกษตร	รหัสนักศึกษา ๕๕๐๑๐๕๕๑
	นายธีระเดช	งามวงษ์วาน	รหัสนักศึกษา ๕๕๐๑๐๕๖๘
	นางสาวสุกัญญา	ติะวัง	รหัสนักศึกษา ๕๕๐๑๑๓๖๒
ระดับปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	๒๕๕๗		
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์	ผศ. บุญยชนะ ภูระหงษ์		
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาานิพนธ์ร่วม	ผศ.ดร. ไพศาล สิทธิโยภาสกุล		

บทคัดย่อ

เทคโนโลยีโดรนหรืออากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กกำลังมีบทบาทมากขึ้น ด้วยความคล่องตัว กะทัดรัด และสามารถไปได้ในหลายพื้นที่เพราะเป็นอากาศยาน ทำให้สามารถเข้าถึงพื้นที่ที่ประสบภัยได้อย่างรวดเร็ว

โครงการนี้จะมีระบบที่ใช้บรรทุกและปล่อยสัมภาระเช่น อาหาร เวชภัณฑ์ วิทยุสื่อสาร หรือ อุปกรณ์จำเป็นอื่นๆ ไปส่งให้กับผู้ประสบภัย ในกรณีที่ไม่สามารถทำการลงจอดได้ มีกล้องวิดีโอที่ส่งภาพกลับมายังเจ้าหน้าที่เพื่อสำรวจภูมิประเทศและจำนวนผู้บาดเจ็บ มีอุปกรณ์เสริมอื่นๆ สำหรับการสนับสนุนการกู้ภัย

Thesis Title	DRONE FOE RESCUE SUPPORT	
Student	Mr.Thanapon Hatthapumkaset	Student ID. 54010551
	Mr.Thiradach Nganwongwan	Student ID. 54010568
	Miss Suganya Tawung	Student ID. 54011382
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Information Engineering	
Academic Year	2557	
Thesis Advisor	Asst.Prof.Paisan	Sithiyopasakul
	Asst.Prof.Bunchana	Phurahong

ABTRACT

'Drone Technology' or 'Unmanned Arial Vehicle' has more influence in real life. Because of mobility, small size and anywhere going, IT can rapidly reach to the disaster area. Objective of this project is developed drone technology for carrier. System for carry the supply Such as food, medicine, radio communication and necessary devices for rescue people in disaster area. Operator can survey terrain area for find out the number of victims by camera drone, IT also has another devices for rescue support, too.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การที่ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงลงได้ด้วยดีนั้น เนื่องจากได้รับความเมตตาจากท่าน อาจารย์บุญยชนะ ภูระหงษ์และท่านอาจารย์ไพศาล สิทธิโยภาสกุลที่กรุณาให้คำปรึกษา และคำแนะนำ มาโดยตลอด อีกทั้งยังเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการทำปริญญาานิพนธ์ ทางคณะ ผู้จัดทำซาบซึ้งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ประจำภาควิชาทุกท่านที่ให้คำแนะนำอันมีค่าเอื้ออำนวยต่อการทำ ปริญญาานิพนธ์ครั้งนี้ อีกทั้งยังขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ที่เคยประสิทธิ์ประสาทวิชาการต่างๆ ทั้งใน อดีตและปัจจุบัน ที่ทำให้คณะผู้จัดทำ ได้มีความรู้ความสามารถจนทำให้สามารถทำปริญญาานิพนธ์นี้ได้ สำเร็จ

ที่ขาดไม่ได้คือขอกราบขอบพระคุณบิดามารดาที่ให้กำเนิด คอยให้ความรัก การอบรมบ่มนิสัย กำลังใจ ทุนทรัพย์และการสนับสนุนมาโดยตลอด อาจถือได้ว่าท่านเป็นแรงบันดาลใจให้ทำปริญญาานิพนธ์ ฉบับนี้จนสำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอบคุณผู้ที่มีประคุณทุกท่านที่มีส่วนร่วมแต่ไม่ได้กล่าวถึงรวมทั้งเพื่อนๆทุกคนที่คอยให้กำลังใจใน การทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลงได้ด้วยดี

สิ่งมีคุณค่าและประโยชน์อันเกิดจากปริญญาานิพนธ์นี้ทางคณะผู้จัดทำขอมอบแต่ท่านผู้มีพระคุณ ทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น

ธนพล หัตถภูมิเกษตร
 ธิระเดช งามวงษ์วาน
 สุกัญญา ติ้ววัง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.3 อุปกรณ์ที่ต้องใช้.....	2
1.5.1 ฮาร์ดแวร์.....	2
1.5.1 ซอฟต์แวร์.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้.....	3
2.1 ควอดคอปเตอร์ (Quadcopter).....	3
2.1.1 ส่วนประกอบ.....	4
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์นาซ่า (Naza M lite).....	4
2.2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ Naza M lite.....	5
2.2.2 คำอธิบายพอร์ต.....	6
2.3 หลักการควบคุมใบพัด.....	7
2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano 3.0.....	9
2.4.1 คำอธิบายพอร์ตของATmega328P.....	12
2.5 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ nRF24L01.....	13
2.6 Gaussian frequency-shift keying.....	14
2.7 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตอนุกรม.....	15
2.7.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส.....	15
2.7.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส.....	16
2.8 Inter-IC Communication , I ² C.....	17

สารบัญ(ต่อ)

2.9 เซอร์โว.....	20
2.9.1 Digital Servos กับ Analog Servos	24
2.10 วงจรรักษาแรงดัน.....	27
2.10.1. วงจรรักษาแรงดันแบบขนาน	27
2.10.2 วงจรรักษาแรงดันแบบอนุกรม.....	28
2.10.3 วงจรรักษาแรงดันแบบไอซี.....	29
2.10.3.1 ไอซี 723	29
2.10.3.2 ไอซี LM 217 และ LM 237.....	30
2.10.3.2 ไอซี 7800/7900.....	31
บทที่ 3 การออกแบบและพัฒนาระบบ.....	32
3.1 การออกแบบการทำงานของฮาร์ดแวร์.....	32
3.2 การทำงานของอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนบอร์ด.....	33
3.2.1 การทำงานในภาครับส่งข้อมูล.....	33
3.2.2 กลไกการทำงานของอุปกรณ์ทั้งสี่ประการ.....	34
3.3 หน้าจอแสดงผลและอุปกรณ์สำหรับควบคุม.....	35
3.4 ภาคการจ่ายพลังงาน.....	37
3.5 การติดตั้งอุปกรณ์.....	38
บทที่ 4 4.1 การทำงานของระบบรับส่งข้อมูล และกลไกทั้งสี่ประการ.....	40
4.2 การใช้งานกล้อง และระบบเรียลไทม์สตรีมมิง.....	43
บทที่ 5 ปัญหาที่พบและแนวทางการพัฒนา.....	45
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	45
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข.....	45
5.3 แนวทางการพัฒนาต่อยอด.....	46
บรรณานุกรม.....	47
ภาคผนวก ก data sheet	

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางระบุคุณสมบัติเบื้องต้นของ Naza M lite.....	5
2.2 พอร์ตต่างๆ ของ Naza M lite.....	6
2.3 ตารางระบุคุณสมบัติพื้นฐานของ Arduino Nano 3.0.....	9
2.4 คุณสมบัติพื้นฐานของ MCU : ATmega328P	10
2.5 ตารางระบุคุณสมบัติพื้นฐานของ nRF24L01.....	13



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Quadcopter	3
2.2 ด้านในของไมโครคอนโทรลเลอร์ NAZA M lite	4
2.3 การลอยตัวนิ่งอยู่ในอากาศ	7
2.4 การเพิ่มความเร่งในแนวดิ่ง	7
2.5 การเลี้ยวขวา	8
2.6 การเอียงตัวไปข้างหน้า	8
2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano 3.0	9
2.8 MCU : ATmega88P	10
2.9 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ nRF24L01	13
2.10 การกรองแบบ Gaussian (Gaussian filter)	14
2.11 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส	15
2.12 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส	16
2.13 Diagram of I ² C	18
2.14 7-bit addressing	20
3.1 บล็อกไดอะแกรมภาพรวมของระบบ	32
3.2 การเชื่อมต่อวงจร โดยใช้โปรแกรม Fritzing	33
3.3 การทำงานของอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนควอดคอปเตอร์	34
3.4 ขั้นตอนการทำงานของกลไกทั้งสี่ประการ	34
3.5 จอ LCD ขนาด 20 x 4 และบอร์ดแปลงการเชื่อมต่อให้เป็น I ² C	35
3.6 การทำงานของการกดปุ่ม	36
3.7 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภาคพื้นดินด้วยโปรแกรม Fritzing	37
3.8 ภาพรวมของระบบ	37
3.9 L7805 Voltage Regulator	38
3.10 ควอดคอปเตอร์ที่ถูกติดตั้งขาตั้งและส่วนบรรทุกสัมภาระ	38
3.11 ควอดคอปเตอร์ที่ติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมด	39
4.1 อุปกรณ์ส่วนภาคพื้น	40
4.2 จอแสดงผลที่แสดงข้อมูลสถานะปุ่มกดและค่าองศาทิศทาง	41
4.3 การเปรียบเทียบค่ามุมที่แสดงผลกับเข็มทิศจริง	41
4.4 การเปรียบเทียบการทำงานเมื่อกดปุ่มและไม่กดปุ่ม	42

VII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 กลไกที่ส่งผลกระทบต่อเมื่อไม่ได้กด.....	42
4.6 กลไกที่ส่งผลกระทบต่อเมื่อกดปุ่ม.....	43
4.7 กล้องและอุปกรณ์รับส่งสัญญาณภาพ.....	43
4.8 ภาพวิดีโอที่รับสัญญาณมาจากภาคส่ง.....	44



VIII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เมื่อเกิดภัยธรรมชาติขึ้น หนึ่งในสิ่งที่ทำให้การช่วยเหลือดำเนินไปอย่างล่าช้า คืออุปสรรคที่ขัดขวางไม่ให้เจ้าหน้าที่กู้ภัยเข้าถึงตัวผู้ประสบภัย เช่น ถนนถูกน้ำเซาะขาด แผ่นดินที่ยกตัว หรือแผ่นดินไหวรุนแรงจนอาคารที่พักอาศัยพังทลายลงมา ซึ่งในกรณีฉุกเฉิน หากผู้ประสบภัยไม่ได้รับการช่วยเหลือทันที อาจนำมาซึ่งความสูญเสีย เช่น ในกรณีผู้ป่วยที่จำเป็นที่จะได้รับยารักษาโรคเร่งด่วน ดังนั้น การให้ความช่วยเหลือเบื้องต้น เช่น การส่งถ่ายเวชภัณฑ์ไปยังพื้นที่เป้าหมายอย่างทันท่วงทีจึงมีความสำคัญและสามารถช่วยชีวิตผู้ประสบภัยในเบื้องต้น

เทคโนโลยีโดรนหรืออากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กำลังมีบทบาทมากขึ้น ด้วยความคล่องตัว กะทัดรัด และสามารถไปได้ในหลายพื้นที่เพราะเป็นอากาศยาน ทำให้สามารถเข้าถึงพื้นที่ที่ประสบภัยได้อย่างรวดเร็ว ด้วยเหตุผลข้างต้นที่กล่าวมา ทำให้โดรนมีความเหมาะสมสำหรับทีมกู้ภัยหน่วยย่อย ที่มีอุปกรณ์กู้ชีพและยารักษาโรคแต่ไม่มีอุปกรณ์ขนาดใหญ่ที่ใช้เข้าถึงบริเวณเนื่องจากเส้นทางขำรุด

โดยโดรนที่ใช้ จะมีระบบที่ใช้บรรทุกและปล่อยสัมภาระเช่น อาหาร เวชภัณฑ์ วิหยสื่อสาร หรืออุปกรณ์จำเป็นอื่นๆ ไปส่งให้กับผู้ประสบภัย ในกรณีที่ไม่สามารถทำการลงจอดได้ มีกล้องวิดีโอที่ส่งภาพกลับมายังเจ้าหน้าที่เพื่อสำรวจภูมิประเทศและจำนวนผู้บาดเจ็บ มีระบบ GPS เพื่อระบุตำแหน่งและกำหนดทิศทางการบินของโดรน และมีอุปกรณ์เสริมอื่นๆ สำหรับการสนับสนุนการกู้ภัย เช่น ไฟสัญญาณ ลำโพงขยายเสียง เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์ที่มีส่วนช่วยอำนวยความสะดวกแก่งานบรรเทา สาธารณภัยจากภัยพิบัติ เช่น อุทกภัย แผ่นดินไหว หรืออุบัติเหตุที่มีอุปสรรคอันเป็นเหตุให้เจ้าหน้าที่เข้าถึงผู้ประสบภัยได้อย่างไม่ทันท่วงที

1.2.2 เพื่อเรียนรู้การทำงานและการควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ รวมไปถึงการประยุกต์ใช้งานร่วมกับเซนเซอร์

1.2.3 เพื่อเรียนรู้การทำงานและประยุกต์ใช้งานระบบสื่อสารไร้สายในย่าน ISM Band

1.2.4 เพื่อศึกษาการทำงานของอากาศยานไร้คนขับสี่ใบพัด (Quadrotor Drone)

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 โดรนสามารถบินขึ้น และส่งข้อมูลกลับมายังผู้ควบคุมได้

1.3.2 กล้องที่ติดตั้งบนโดรนสามารถส่งภาพต่อเนื่องกลับมายังภาครับภาคพื้นได้

1.3.3 โดรนติดตั้งอุปกรณ์สำหรับบรรทุกและปล่อยสัมภาระ และสามารถสั่งการให้ทำงานได้จากภาคพื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 เพิ่มความสะดวกในการช่วยเหลือผู้ประสบภัย
- 1.4.2 เพิ่มความปลอดภัยในชีวิตของผู้ประสบภัยได้

1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้

1.5.1 ฮาร์ดแวร์

- โดรนบังคับวิทยุ ประเภทสี่ใบพัด (Quadrotors) จำนวน 1 ลำ
- คอมพิวเตอร์สำหรับพัฒนาโปรแกรม จำนวน 1 เครื่อง
- ไมโครคอนโทรลเลอร์ จำนวน 2 ตัว
- โมดูลเซนเซอร์ จำนวน 1 ตัว
- โมดูลสำหรับติดต่อสื่อสารด้วยสัญญาณไร้สาย จำนวน 2 ตัว
- ชุดกลไกสำหรับปล่อยสัมภาระ จำนวน 1 ชุด
- Servo motor จำนวน 2 ตัว
- L7806 CV จำนวน 1 ตัว
- nrf จำนวน 1 ตัว
- เซมิคอนดักเตอร์อิเล็กทรอนิกส์ จำนวน 2 ตัว
- จอ LCD 16x4 Display จำนวน 1 ตัว
- กล้องขนาดเล็ก จำนวน 1 ตัว
- ชุดส่งสัญญาณภาพไร้สาย จำนวน 1 ชุด

1.5.2 ซอฟต์แวร์

- Arduino IDE
- Visual Studio
- Processing
- Quadrotor controlling firmware

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้

2.1 ควอดคอปเตอร์ (Quadcopter)

ควอดคอปเตอร์ หรือเรียกว่า อากาศยานสี่ใบพัด 4 ใบพัด คือ เฮลิคอปเตอร์หลายใบพัดที่เกิดแรงยกและขับเคลื่อนด้วย 4 ใบพัด ควอดคอปเตอร์ถูกจัดอยู่ในประเภท อากาศยานปีกหมุน (Rotorcrafts) เพราะแรงยกกำเนิดโดยใบพัด



รูปที่ 2.1 Quadcopter [1]

ควอดคอปเตอร์จะไม่มี ใบพัดใหญ่ตรงกลางหรือใบพัดที่หางเหมือนในเฮลิคอปเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 ด้วยใบพัดสี่ตัวที่ถูกจำกัดทิศทางการหมุนไว้ ให้หมุนตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา โดยแบ่งเป็นคู่ ด้วยความเร็วในการหมุนที่แตกต่าง ทำให้สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ได้

การเคลื่อนที่ในทุกทิศทาง เช่น การลอยตัว, เคลื่อนที่ไปด้านหน้า/ถอยหลัง, เคลื่อนที่ไปทางซ้าย/ขวา และการหันสามารถควบคุมได้ด้วยการเปลี่ยนความเร็วของใบพัด จึงทำให้ควอดคอปเตอร์ สามารถควบคุมได้ง่ายกว่า อากาศยานหลายใบพัด ชนิดอื่น เช่นเดียวกับเฮลิคอปเตอร์, ควอดคอปเตอร์ ไม่ต้องการ การเปลี่ยนมุมของใบมีดขณะหมุน ขนาดของใบพัดทั้งสี่เมื่อเทียบกับใบพัดขนาดใหญ่ของ

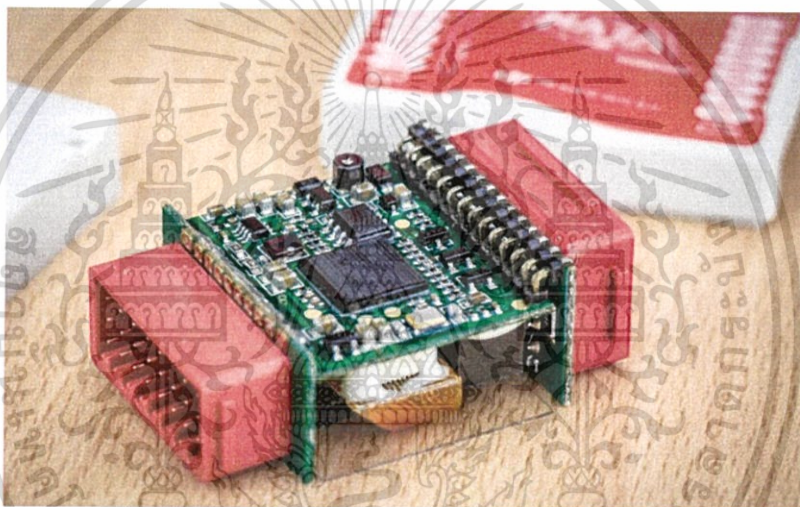
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฮลิคอปเตอร์แล้วควอดคอปเตอร์จะมีความสะดวกในการควบคุมมากกว่า ทำให้ลดความเสี่ยงต่อความเสียหายที่อาจเกิดกับตัวควอดคอปเตอร์ได้

2.1.1 ส่วนประกอบ

ส่วนประกอบสำคัญสำหรับการสร้างควอดคอปเตอร์บังคับด้วยคลื่นวิทยุ ได้แก่ โครง, ใบพัดทั้งสี่, ตัวควบคุมความเร็ว (ECS), ตัวรับสัญญาณ, ระบบควบคุมความเสถียร และลิโพแบตเตอรี่

2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับไมโครคอนโทรลเลอร์นาซ่า (NAZA M lite)



รูปที่ 2.2 ด้านในของไมโครคอนโทรลเลอร์ NAZA M lite [2]

Naza M lite เป็นระบบควบคุมที่มีประสิทธิภาพสูง มีความเสถียรภาพ น่าเชื่อถือ การออกแบบแบบรวมทุกอย่างไว้ในหนึ่งเดียว (All in one) เป็นนวัตกรรมใหม่ช่วยลดความยุ่งยากในการติดตั้ง ช่วยประหยัดพื้นที่และมีน้ำหนักเบา มีแกนควบคุมการบินซึ่งประกอบด้วย แกน gyroscope 3 แกน และ accelerometer 3 แกน และสามารถวัดระดับความสูง ได้จากบารอมิเตอร์ (Barometer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ NAZA M lite

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของ Naza M lite [1]

ชื่ออุปกรณ์	Naza M lite
ช่วงโวลเทจที่ทำงาน	MC:4.8V~5.5V
(แนะนำแบตเตอรี่LiPo 2-6 เซลล์)	VU:7.2V~26.0V
อัตราการใช้พลังงาน	MAX:1.5W (0.3A@5V) Normal:0.6W (0.12A@5V)
ช่วงอุณหภูมิที่ทำงานได้	-10 °C~50 °C
ซอฟต์แวร์สนับสนุนที่ต้องการ	Windows XP sp3 / 7 / 8
ความแม่นยำในโหมดลอยนิ่ง (ในโหมด GPS)	Vertical ±0.8m Horizontal ±2.5m
มุมเอียงสูงสุด	45°
ความเร็วได้ระดับ / ลดระดับ	±6m/s
น้ำหนัก	MC:25g VU:20g GPS:21.3g
มิติของโมดูล	MC: 45.5mm x 31.5mm x 18.5mm VU:32.2mm x 21.1mm x 7.7mm GPS & Compass:46mm x 9mm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 คำอธิบายพอร์ต

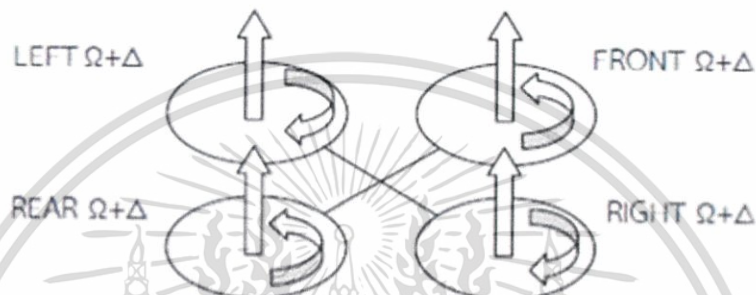
ตารางที่ 2.2 พอร์ตต่างๆ ของ Naza M lite

A	ควบคุมการหมุนตัว (ซ้าย/ขวา)
E	ควบคุมการเข็ด/กดหัว
T	ควบคุมการเร่งเครื่อง
R	ควบคุมทางเสือ
U	ควบคุมการเลือกสวิตช์
X1	For gimbal pitch control Or for gain tuning
X2	For D-Bus (S-Bus compatible) Or for gain tuning Or for IOC switch
X3	For voltage monitor (Connect with VU V-SEN port)
M1	To #1 rotor
M2	To #2 rotor
M3	To #3 rotor
M4	To #4 rotor
M5	To #5 rotor
M6	To #6 rotor
F1	To gimbal roll servo
F2	To gimbal pitch servo
LED port	for LED wire connection from Versatile Unit
EXP	For GPS module wire connection. (In three-pin ports, pins near the nicks are signal pins.)
V-SEN	To MC X3 port, for monitoring battery voltage and supplying power <ul style="list-style-type: none"> • Orange wire (signal wire) output: $\pm 3.3V$ • Red wire (power wire) output: 4A@5V
LED	LED wire, to MC LED port.
Micro-B USB	PC connection for configuration and firmware upgrades

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

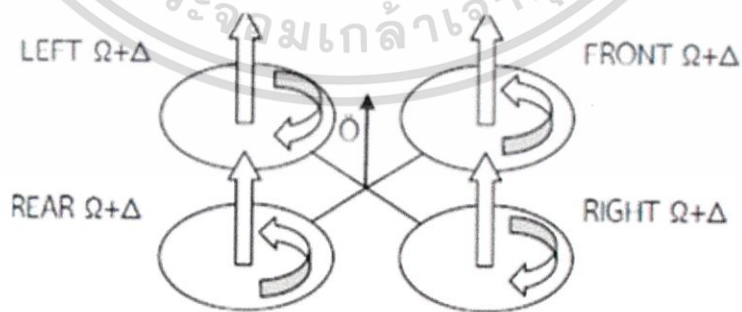
2.3 หลักการควบคุมใบพัด

ใบพัดทั้งสองจะถูกจัดวางแบบจตุรัส สองใบพัดที่อยู่ตรงในทิศข้ามกันจะหมุนในทิศทางเดียวกันโดย ถ้าคู่หนึ่งหมุนในทิศตามเข็มนาฬิกา อีกคู่หนึ่งจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา ทุกใบพัดไม่สามารถหมุนในทิศทางเดียวกันได้ เพราะ คู่หนึ่งจะยกเล็กแรงบิด (Torque) ที่เกิดจากการหมุนที่สร้างโดยใบพัดอีกคู่หนึ่ง ถ้าใบพัดทั้งหมดหมุนในทิศทางเดียวกัน จะทำให้ ตัว ควอดคอปเตอร์หมุนเนื่องจากแรงบิดจากใบพัดทั้งสอง กระทำใบทิศทางเดียวกันทั้งหมดเช่นเดียวกับเฮลิคอปเตอร์ ที่ไม่มีใบพัดที่หาง ด้วยการจัดสมดุลแรงบิด ทำให้ควอดคอปเตอร์สามารถ คงทิศทางเดิมไว้ได้



รูปที่ 2.3 การลอยตัวนิ่งอยู่ในอากาศ

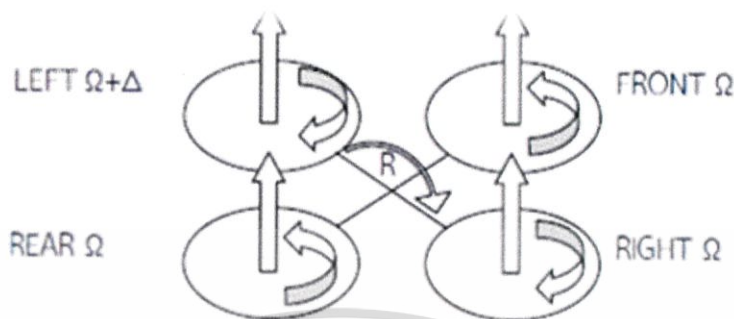
การลอยตัวนิ่ง (Hovering) ทำได้โดยควบคุมให้ความเร็ว ใบพัดทั้งสอง หมุนเพื่อสร้างแรงยกในปริมาณที่เท่ากัน ซึ่งถ้าความเร็วเท่ากันอาจไม่สามารถยกตัวขึ้นได้ เนื่องจากโครงสร้างที่มีการถ่ายเทน้ำหนักของแนวแกนที่ไม่เท่ากัน จะเห็นว่า ใบพัดแต่ละคู่จะหมุนในทิศทางตรงข้ามกันคือ ใบพัดหน้าและหลังจะหมุนทวนเข็มนาฬิกา ใบพัดซ้ายและขวาจะหมุนตามเข็มนาฬิกา แรงบิดจากใบพัดแต่ละคู่จะหักล้างกันทำให้Drone ไม่หมุนตัว



รูปที่ 2.4 การเพิ่มความเร่งในแนวตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเร่ง – ลดความเร็วในแนวดิ่ง (Throttle) ใบพัดทั้งสองจะต้องเพิ่มหรือลดความเร็วทุกใบพัดเท่าๆกัน ทำให้ Drone บินขึ้น-ลง จากรูปที่ 2.4 เป็นการเร่งความเร็วในแนวดิ่งโดยเพิ่มความเร็วทั้งสี่ใบพัดเท่ากัน ทำให้ Drone ลอยขึ้น



รูปที่ 2.5 การเลี้ยวขวา

การเอียงตัวซ้าย-ขวา (Roll) จากรูปที่ 2.5 ใบพัดหน้า (Front) และหลัง (Rear) และใบพัดขวา (Right) จะมี ความเร็วเท่าเดิม แต่ความเร็วใบพัดซ้าย (Left) จะหมุนเร็วขึ้น ทิศทางนี้จะยกตัว ส่วนใบพัดขวา (Right) จะช้าลง ทำให้ทิศทางด้านนี้ตกลง ทำให้เกิดการเอียงตัวไปทางขวา ส่วนเอียงตัวซ้ายก็ใช้วิธีตรงกันข้าม

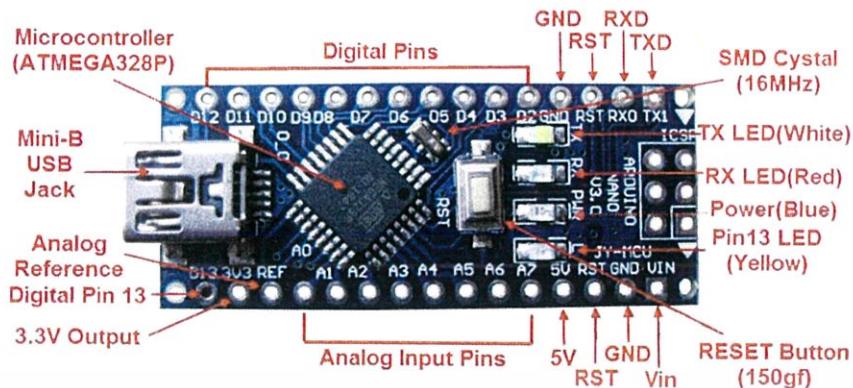


รูปที่ 2.6 การเอียงตัวไปข้างหน้า

การเอียงตัวหน้า-หลัง (Pitch) วิธีนี้คล้ายกับการเอียงตัวซ้าย-ขวา แต่เปลี่ยนเป็นให้ใบพัดซ้าย- ขวา และ ข้างหน้าให้มีความเร็วคงที่ แต่ความเร็วใบพัดหลังจะหมุนเร็วขึ้น ทำให้ทิศทางด้านนี้ยกตัว ทำให้เครื่องบินเอียงไป ข้างหน้า ดังรูปที่ 2.6 ส่วนการเอียงตัวทางด้านหลังก็ใช้วิธีตรงกันข้าม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano 3.0



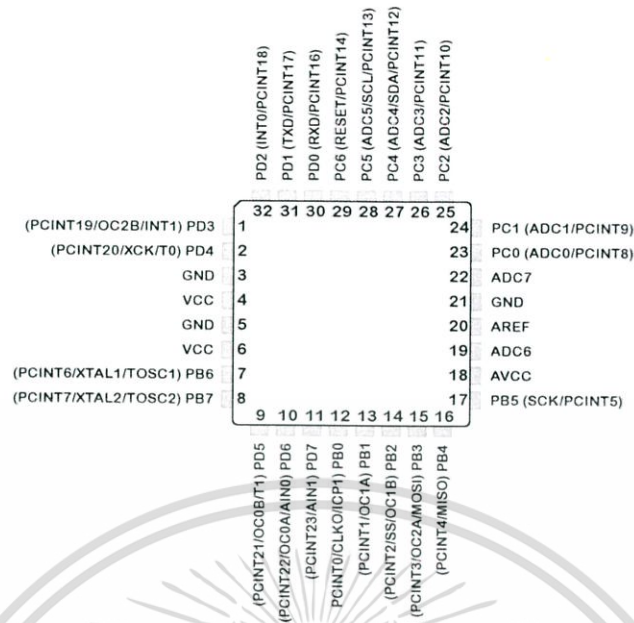
รูปที่ 2.7 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Nano 3.0 [3]

เป็น Arduino ที่ใช้หน่วยประมวลผลแบบ ATmega328P ไมโครคอนโทรลเลอร์นี้มีจุดเด่นที่ขนาดเล็ก มีทรัพยากรพื้นฐานครบ สามารถติดต่อผ่าน USB port ได้ มีราคาไม่แพงและง่ายต่อการศึกษาเรียนรู้ เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา ง่ายต่อการประยุกต์ใช้งานต่างๆ

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติพื้นฐานของ Arduino Nano 3.0

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5 V
Input Voltage (Recommend)	7-12 V
Input Voltage (Limits)	6-20 V
Digital I/O Pins	14 (6 of its Provide PWM Output)
Analog Input Pins	8
DC Current per I/O pin	40 mA
DC Current Out for 3.3 V pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (Atmega328)
SRAM	2 KB (Atmega328)
EEPROM	1 KB (Atmega328)
Clock Speed	16 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 MCU : ATmega88P[4]

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติพื้นฐานของ MCU : ATmega328P

หน่วยความจำ	
หน่วยความจำแฟลช	32 kb
หน่วยความจำ EEPROM	1024 byte
หน่วยความจำข้อมูล SRAM	2048 byte
General Purpose Registers	32 byte
Timers/Counters	
Timer/Counters (8 บิต)	2
Watchdog Timer ใน Chip Oscillator	1
Real Time Counter	1
Timer/Counter (16 บิต)	1
Pulse Width Modulator	6 ช่องสัญญาณ
Analog Comparator	1
Analog-to-Digital Converter (10 บิต)	6 ช่องสัญญาณ
Analog-to-Digital Converter (8 บิต)	2 ช่องสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติพื้นฐานของ MCU : ATmega328P(ต่อ)

ความถี่สัญญาณนาฬิกา	0-20 MHz
Supply Voltage	1.8-5.5 V
โหมด Sleep	5
Software Programmable clock divider	8
Hardware Multiplier	ใช่
ขา I/O	23
On Chip Oscillator	ใช่
Interrupts	26
Interrupts ภายนอก	26
Interrupt หรือ wake up บนขา Charge	ใช่
Brown-Out Detector	ใช่
Power-on reset	ใช่
Fully Static Operetipm	ใช่
Debug WIRE On-chip debug system	ใช่
พอร์ตอนุกรม I/O	
In-System Programming Via พอร์ต SPI	ใช่
High Voltage Parallel Programming (12 V)	ใช่
Self-Programming via On-Chip Boot Program	ใช่
Self-Programming	
อ่านเขียนหน่วยความจำ Flash	ใช่
สัญลักษณ์ประจำตัว	
Signature Byte	1e 92 05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 คำอธิบายพอร์ตของ ATmega328P

1. Voltage Common Current, VCC แรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
2. GND ขากราวด์
3. พอร์ต B (PB7:0) เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต ขนาด 8 บิตที่ใช้ตัวต้านทานไฟฟ้าแบบดึงกระแสจากภายในวงจร ระบบบัฟเฟอร์ของพอร์ตเอาต์พุตจะมีคุณลักษณะที่ขนานกันทั้งส่วนของ High Sink และ Source Capability ในส่วนของอินพุต ถ้าตัวต้านทานไฟฟ้าแบบดึงกระแสถูกกระตุ้น ขาของพอร์ต B ที่เป็นแบบดึงกระแสจากภายนอกจะให้กำเนิดกระแสไฟฟ้า แม้ว่าสัญญาณนาฬิกาจะไม่ทำงาน ขาของพอร์ต B ก็จะเป็น Tri-Stated เมื่อเงื่อนไขรีเซ็ตเปลี่ยนเป็นแอกทีฟ

PB6 ใช้เป็นขาอินพุตไปยัง Inverting Oscillator Amplifier และ Internal Clock Operating Circuit ส่วน PB7 ใช้เป็นขาเอาต์พุตจาก Inverting Oscillator Amplifier โดยทั้งคู่ขึ้นกับการตั้งค่าการเลือกสัญญาณนาฬิกา หากมีการคาร์ิเบตภายใน RC Oscillator จะใช้เป็นซิปสัญญาณนาฬิกา PB7..6 จะใช้เป็น TOSC2..1 อินพุตสัญญาณอะซิงโครนัส Timer/Counter2 โดยมีบิต AS2 ที่กำหนดโดย ASSR

4. พอร์ต C (PC5:0) เป็นพอร์ตอินพุต /เอาต์พุต ที่ใช้ตัวต้านทานแบบดึงกระแสจากวงจรภายในระบบบัฟเฟอร์ของเอาต์พุตของขา PC..05 มีคุณลักษณะที่ขนานกันทั้งส่วนของ High Sink และ Source Capability ในส่วนของอินพุต ถ้าตัวต้านทานดึงกระแสถูกกระตุ้น ขาของพอร์ต C ที่เป็นแบบดึงกระแสจากภายนอกจะกำเนิดไฟฟ้า

5. PC6/RESET ถ้า RSTDISBL Fuse ถูกโปรแกรม PC6 จะถูกใช้เป็นขาของอินพุตและเอาต์พุต และคุณลักษณะอิเล็กทรอนิกส์จะแตกต่างไปจากขาอื่นของพอร์ต C

ถ้า RSTDISBL Fuse ไม่ได้ถูกโปรแกรม PC6 จะถูกใช้เป็นขาของอินพุตคาร์ิเซต โดยค่า low ของขา คือความยาวที่มากกว่าพัลส์ที่เล็กที่สุด แม้ว่าสัญญาณนาฬิกาจะไม่ทำงานก็ตาม

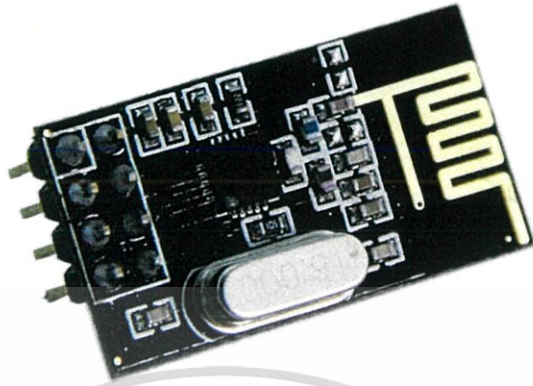
6. พอร์ต D (PD7:0) เป็นพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต ที่ใช้ตัวต้านทานแบบดึงกระแสจากวงจรภายในระบบบัฟเฟอร์ของเอาต์พุตของขา PC5.0 มีคุณลักษณะที่ขนานกันทั้งส่วนของ High Sink และ Source Capability ในส่วนของอินพุต ถ้าตัวต้านทานดึงกระแสถูกกระตุ้น ขาของพอร์ต D ที่เป็นแบบดึงกระแสจากภายนอกจะกำหนดกระแสไฟฟ้า

7. AVcc คือ ขาแรงดันสำหรับ A/D Converter, PC3:0 และ ADC 7:6 จะถูกเชื่อมต่อภายนอกไปยัง Vcc แม้ว่า ADC จะไม่ได้ถูกใช้ก็ตาม ถ้า ADC ถูกใช้งานมันก็จะเชื่อมต่อไปยัง Low Pass Filter

8. AREF เป็นขาอ้างอิงสัญญาณนาฬิกาสำหรับ A/D Converter

9. ADC 7:6 (TQFP และ QFN/MLF Package Only) ในแพ็คเกจของ TQFP และ QFN/MLF ADC 7:6 จะนำสัญญาณอินพุตนาฬิกา ไปยัง A/D Converter ขานี้ได้รับพลังงานมาจากช่องสัญญาณ ADC แบบ 10 บิต

2.5 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ nRF24L01



รูปที่ 2.9 อุปกรณ์รับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ nRF24L01[5]

nRF24L01 เป็นอุปกรณ์รับส่งสัญญาณคลื่นวิทยุไร้สายที่ความถี่ 2.4 GHz ที่รวมโมดูลต่างๆที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลและแปลงอินเทอร์เฟซไว้ด้วยกัน โดยเอาท์พุท จะเป็นการติดต่อแบบ SPI ซึ่งใช้พลังงานต่ำ มีระบบจัดการข้อมูล เช่น การเข้ารหัส , การแก้ไขความผิดพลาดของข้อมูล

ตารางที่ 2.5 คุณสมบัติพื้นฐานของ nRF24L01

Module	nRF24L01 Wireless Transceiver
Frequency Range	2.4 GHz - 2.5 GHz
High-rate Transmission(Air Transmission)	2 Mbps
Band Type	ISM (Industrial Sciences Medicine)
Output Power	0 dBm
Operating Voltage	1.9V - 3.6V
Interface	SPI (Serial Peripheral Interface)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 Gaussian frequency-shift keying (GFSK)

ในการ Modulation แบบ GFSK (Gaussian frequency-shift keying) จะมีลักษณะทุกอย่างเหมือนกันกับ FSK (frequency-shift keying) หรืออาจเรียกว่า GFSK เป็นการมอดูเลตประเภทหนึ่งของการมอดูเลตแบบ FSK ซึ่งการมอดูเลตแบบ GFSK จะนำมาใช้ในการแก้ข้อเสียของการมอดูเลตแบบ FSK ที่ในขณะที่ข้อมูลเปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 หรือ 1 เป็น 0 จะเกิดการเปลี่ยนเฟสของ carrier อย่างรวดเร็วซึ่งก็มีผลทำให้ความถี่ carrier จริงสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่า f_0 หรือ f_1 ที่ได้กำหนดไว้ แล้วจะมีผลให้ Bandwidth กว้างขึ้น

ดังนั้นวิธีลดปัญหาดังกล่าว สามารถทำได้โดยให้การเปลี่ยนแปลงของสัญญาณข้อมูลเป็นแบบค่อยๆ ขึ้น หรือ ค่อยๆ ลง โดยมีความโค้งเป็นแบบ Gaussian pulse ซึ่งเป็นวิธีที่ได้คัดเลือกแล้วว่าทำให้มี แถบความถี่ (bandwidth) แคบใกล้เคียงค่าที่ต้องการ ซึ่งสามารถทำได้โดยการนำสัญญาณที่จะทำการมอดูเลต แบบ FSK ไปผ่านตัวกรอง Gaussian (Gaussian filter) ก่อนเพื่อทำให้ pulse ที่ได้เรียบขึ้นและเพื่อที่จะจำกัด spectral width ของสัญญาณ

การกรองแบบ Gaussian เป็นอีกหนึ่งวิธีในวิธีการมาตรฐานที่ใช้ในการลด spectral width หรือที่เรียกว่า Pulse shaping



รูปที่ 2.10 การกรองแบบ Gaussian[6]

Gaussian filter คือ วิธีที่ใช้สำหรับลดความกว้าง spectral width ของสัญญาณ ถ้าเราให้ -1 เป็นตำแหน่งสำหรับ $f_c - f_d$ และ 1 สำหรับ $f_c + f_d$, เมื่อเราเพิ่มค่าจาก -1 ไป 1 หรือลดค่าจาก 1 ถึง -1 ก็เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของคลื่นอย่างรวดเร็ว ถ้าเราเปลี่ยนลดค่าทีละน้อย คือ จาก 1 ไปยัง 0.98 , 0.97 จนกระทั่งถึง -1 และเพิ่มค่าจาก -1 ไปยัง -0.99 , -0.98 , -0.97 , จนถึง 1 ก็จะทำให้รูปคลื่นที่ได้มีความราบเรียบขึ้นกว่าเดิม สำหรับในชีพที่มีราคาถูก จะไม่ใช่ GFSK เนื่องจากจะเป็นการมอดูเลตที่ไม่ต้องการความเรียบของ Pulse มากนัก

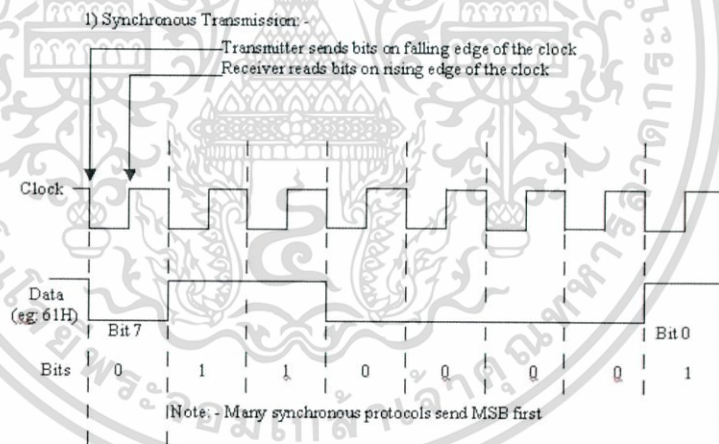
2.7 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับพอร์ตอนุกรม

การรับส่งข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังอุปกรณ์ต่อพ่วงภายนอกหรือรับส่งข้อมูลระหว่างอุปกรณ์รับส่งสัญญาณด้วยกันมี 2 รูปแบบคือ รับส่งข้อมูลแบบขนานและรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

การรับส่งข้อมูลแบบขนานเป็นการรับและส่งข้อมูลคราวละ 4-8 บิตในเวลาเดียวกัน ทำให้การรับส่งข้อมูลมีความเร็วสูง แต่จำนวนสายที่ใช้ในการส่งข้อมูลมีมากเท่ากับจำนวนบิตของข้อมูลที่จะทำการถ่ายทอด นอกจากนี้ยังมีสายที่ใช้สำหรับการควบคุมและตรวจสอบการรับส่งข้อมูลด้วย ซึ่งอาจทำให้ต้องใช้จำนวนสายมากเป็น 2 เท่าของจำนวนบิตข้อมูลได้

2.7.1 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัสจะมีสัญญาณนาฬิกา ร่วมกันอยู่กับการรับและส่งสัญญาณตัวอย่างของการส่งแบบซิงโครนัส ได้แก่ คีย์บอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะมีสายเส้นหนึ่งเป็นสายของนาฬิกา ส่วนสายอีกเส้นหนึ่งจะเป็นสายของข้อมูล ดังนั้นการติดต่อแบบซิงโครนัสนี้จะต้องใช้สายในการเชื่อมต่ออย่างน้อยที่สุด 3 เส้นคือ สัญญาณนาฬิกา, ข้อมูล และกราวด์ รูปที่ 2.11 แสดงให้เห็นถึงการสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส

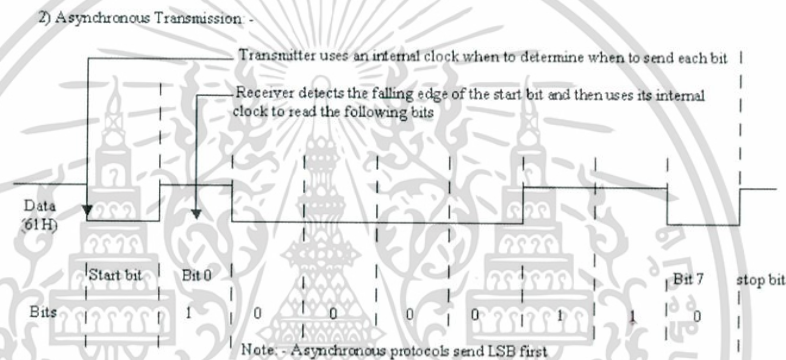


รูปที่ 2.11 การสื่อสารข้อมูลแบบซิงโครนัส[7]

2.7.2 การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัส คือการรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกา ร่วมด้วย แต่จะใช้การกำหนดอัตราความเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตรารวมเร็วนี้ เรียกว่าอัตราบอด (Baud Rate) มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งแบบอะซิงโครนัสประกอบด้วย 4 ส่วนด้วยกันคือ

- 1) บิตเริ่มต้น (Start Bit)
- 2) บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 5, 6, 7 หรือ 8 บิต
- 3) บิตตรวจสอบพาริตี (Parity Bit) มีขนาด 1 บิตหรือไม่มีบิต
- 4) บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (Stop Bit) มีขนาด 1, 1.5 หรือ 2 บิต



รูปที่ 2.12 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส[7]

เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขา Data จะมีสถานะลอจิกเป็น “1” เรียกสภาวะนี้ว่า สภาวะหยุดรอ (Waiting State) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการที่ขา Data มีลอจิกเป็น “0” ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่าบิตเริ่มต้น จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไปโดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำที่สุด (Least Significant Bit, LSB) ก่อน ข้อมูลที่ต้องการส่งอาจมีจำนวน 5, 6, 7 หรือ 8 บิตก็ได้ จากนั้นตามด้วย พาริตีบิต เพื่อใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล และบิตสุดท้ายก่อนที่จะส่งก็คือ บิตปิดท้าย หรือบิตหยุด โดยจะเป็นการทำให้ขา Data มีสถานะลอจิก “1” อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1, 1.5 หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

การตรวจสอบพาริตีสามารถกำหนดเป็นแบบคี่ (Odd) หรือแบบคู่ (Even) หรือไม่มีการตรวจสอบ พาริตีก็ได้ พาริตีคี่หรือพาริตีคู่แสดงถึงจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์ ตัวอย่างเช่น ข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิต มีค่าเท่ากับ 99H หรือ 10011001B จะเห็นว่าข้อมูลในไบต์ที่มีลอจิก “1” มีจำนวน 4 ตัว ซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดค่าพาริตีเป็นคู่ ค่าของพาริตีบิตจะต้องมีลอจิกเป็น “0”

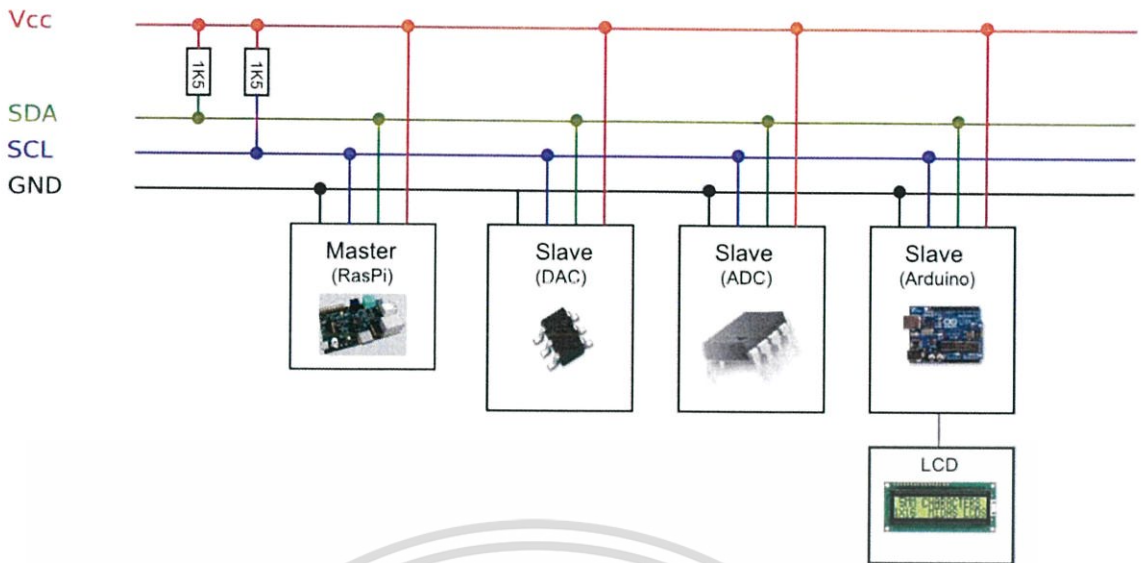
แต่ถ้ากำหนดพาริตีบิตเป็นค่าคี่ ค่าของพาริตีบิตจะต้องมีค่าลอจิกเป็น “1” เพื่อให้ข้อมูลไบต์รวมทั้งบิตเป็นพาริตีคี่

บิตพาริตีที่ถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) ทางภาครับจะต้องกำหนดคุณสมบัติการตรวจสอบพาริตีที่ตรงกันไว้ว่าจะตรวจสอบพาริตีคี่ หรือพาริตีคู่ โดยการนับจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดรวมทั้งพาริตีบิตด้วย ถ้ากำหนดพาริตีไว้เป็นคู่แต่อ่านตัวเลขในการนับออกมาเป็นคี่ ส่วนภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้รับทราบ กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูลที่ง่ายที่สุด แต่จะสามารถตรวจสอบได้เมื่อมีความผิดพลาดบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ทำการส่งมีบิตที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผล สำหรับการตั้งพาริตีบิตเป็น None นั้นทั้งภาครับและภาคส่งจะไม่มี การตรวจสอบพาริตี

2.8 Inter-IC Communication ,I²C

I²C หรือ Inter-IC Communication หมายถึงการติดต่อสื่อสารระหว่างไอซี โดยบัส I²C ได้รับการพัฒนาโดย ฟิลิปส์ (Philips) ด้วยจุดมุ่งหมายหลักคือ ต้องการให้ไอซีหรือโมดูลสามารถติดต่อ สังกา และ ควบคุมภายใต้สัญญาณเพียง 2 เส้น เส้นหนึ่งคือ สายสัญญาณนาฬิกาที่ใช้กำหนดจังหวะในการ ทำงานและอีกเส้นหนึ่งคือสายข้อมูล ดังรูปที่ 2.13 การต่อรวมกันของอุปกรณ์บนบัส I²C นั้นสามารถทำได้ ไม่ยาก โดยทำการต่อสายข้อมูลและสายสัญญาณนาฬิกาของอุปกรณ์แต่ละชิ้นขนานกัน จากนั้นจึงกำหนด ตำแหน่ง สำหรับติดต่อกับอุปกรณ์แต่ละตัว โดยใช้ รหัสและการกำหนดสถานะลอจิกที่ขาตำแหน่งของ อุปกรณ์แต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.13 Diagram of I²C [8]

สายข้อมูลบนบัส I²C มี 2 ชนิดได้แก่

- 1) สายข้อมูลอนุกรม (Serial Data Line ,SDA)
- 2) สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม (Serial Clock Line ,SCL)

สาย SDA และ SCL เป็นสายสัญญาณ 2 ทิศทาง (bi-directional line) จึงต้องทำให้สายมีสถานะเป็นลอจิกสูงในขณะที่ไม่มีการติดต่อใช้งาน โดยการต่อตัวพูลอัพกับแรงดัน +5V ไว้ตลอดเวลา เพื่อป้องกันสัญญาณรบกวนที่อาจเข้ามาในสายสัญญาณ วงจรเอาท์พุทของอุปกรณ์ที่ต่ออยู่บนบัส I²C ต้องมีลักษณะเป็นวงจรเดรนเปิด (Open-drain) หรือ คอลเล็กเตอร์เปิด (Open-collector) เพื่อให้รับกระแสได้อย่างเดียว

อัตราการส่งข้อมูลบนบัส I²C มีความเร็วถึง 100 Kb/s ในโหมดปกติ และสูงสุดถึง 400 kb/s ในโหมดความเร็วสูง

อุปกรณ์ที่ต่อรวมบนบัส I²C จะต้องมีค่าความจุไฟฟ้ารวมที่เกิดขึ้นระหว่างสายข้อมูลอนุกรมและสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรมไม่เกิน 400 pF สามารถเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I²C ด้วยการระบุที่อยู่ (addressing) แบบ 7 bit หรือ 10 bit

อุปกรณ์บนบัส I²C สามารถเป็นได้ทั้งตัวรับและตัวส่ง บางอุปกรณ์สามารถทำหน้าที่ได้แค่รับอย่างเดียว แต่จะไม่มีอุปกรณ์ใดบนบัส I²C ทำหน้าที่เป็นตัวส่งอย่างเดียว

อุปกรณ์ที่เป็นผู้สร้างข้อมูลหรือส่งข้อมูล เรียกว่า ตัวส่ง (Transmitter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุปกรณ์ที่เป็นผู้รับข้อมูล เรียกว่า ตัวรับ (Receiver)

อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการติดต่อบนบัส I²C เรียกว่า มาสเตอร์ (Master)

อุปกรณ์ที่ถูกควบคุมหรืออุปกรณ์ที่ต่อพ่วงอยู่บนบัส I²C เรียกว่า สเลฟ (Slave)

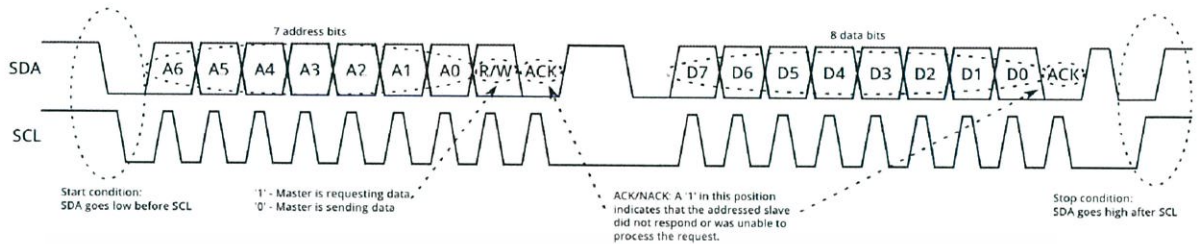
ข้อกำหนดสำคัญ 2 ประการของการติดต่อบนบัส I²C คือ

- (1) การถ่ายทอดข้อมูลจะเกิดขึ้นได้เมื่อบัสว่างเท่านั้น
- (2) ในระหว่างการถ่ายทอดข้อมูล เมื่อใดก็ตามที่สายข้อมูลอนุกรม มีสถานะลอจิกสูง สายข้อมูลต้องรักษาข้อมูลไว้ ถ้าข้อมูลเกิดการเปลี่ยนแปลง สัญญาณที่เกิดขึ้นจะได้รับการแปลความหมายเป็นสัญญาณควบคุมแทน
สถานะที่เกิดขึ้นบนบัส I²C มี 5 สถานะดังนี้
 - (1) บัสว่าง (Bus not busy) เกิดเมื่อ สถานะลอจิกบนสายข้อมูลอนุกรม และสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม มีลอจิกสูงทั้งคู่ สามารถเริ่มการถ่ายทอดข้อมูลได้
 - (2) เริ่มต้นการถ่ายทอดข้อมูล (Start data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสายข้อมูลอนุกรม มีการเปลี่ยนแปลงลอจิกจากสูงไปต่ำ ขณะที่สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม มีสถานะเป็นลอจิกสูง เรียกสภาวะนี้ว่า สภาวะเริ่มต้น (Start)
 - (3) ข้อมูลอยู่บนบัส (Data Valid) สภาวะนี้เกิดขึ้นขณะข้อมูลทำการถ่ายทอด เมื่อสายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม มีลอจิกสูง สายข้อมูลอนุกรมต้องมีลอจิกคงที่ เพื่อไม่ให้ข้อมูลเกิดความเปลี่ยนแปลง หากข้อมูลเกิดการเปลี่ยนแปลง อุปกรณ์มาสเตอร์ที่ควบคุมการถ่ายทอดข้อมูลจะแปลความหมายเป็นสภาวะหยุดหรือเริ่มต้น ทำให้ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดผิดพลาด
 - (4) รับรู้ข้อมูล (Acknowledge) เกิดขึ้นหลังจากการถ่ายทอดข้อมูลมายังตัวรับเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์ โดยตัวส่งจะทำการส่งข้อมูลมา 1 บิตเรียกว่า บิตรับรู้ (Acknowledge bit) มีสถานะเป็นลอจิกสูง ส่วนอุปกรณ์มาสเตอร์จะทำการส่งสัญญาณรับรู้พิเศษซึ่งสัมพันธ์กับสัญญาณนาฬิกา เพื่อตอบสนองอุปกรณ์ที่กำลังติดต่อด้วยเพื่อให้ทราบว่าได้รับข้อมูลแล้ว
 - (5) หยุดการถ่ายทอดข้อมูล (Stop data transfer) เกิดขึ้นเมื่อสายข้อมูลอนุกรมมีการเปลี่ยนแปลงจากลอจิกจากต่ำไปสูง ในขณะที่สายสัญญาณนาฬิกาอนุกรม มีสถานะลอจิกสูง เรียกสภาวะนี้ว่า สภาวะหยุด (Stop)

การทำงานบนบัส I²C

การเข้าถึงอุปกรณ์บนบัส I²C จะใช้การเข้าถึงแบบ 7 หรือ 10 บิตในกรณีที่มีอุปกรณ์บนบัสไม่มาก การเข้าถึงแบบ 7 บิตก็เพียงพอ หลังจากติดต่อกับอุปกรณ์เรียบร้อยแล้ว ก็จะเริ่มการถ่ายทอดข้อมูล

การเข้าถึงแบบ 7 bit (7-bit addressing) ข้อมูลไบต์แรกที่เกิดขึ้นหลังจากสถานะเริ่มต้น จะใช้เป็นข้อมูลอ้างอิงอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 7-bit addressing[8]

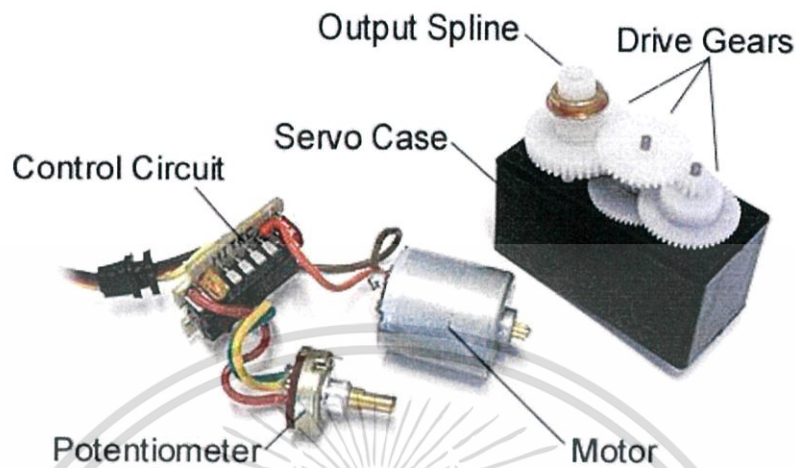
นำบิตที่อยู่ของอุปกรณ์สเลฟมาเรียงแบบ Least Significant Bit, LSB โดยจะแบ่งเป็น บิตกำหนดที่อยู่คงที่(Fix address bit)จำนวน 4 bit ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ อีกสามบิตสามารถแก้ไขได้ โดยผู้ใช้งานจะต้องกำหนดสถานะโลจิกให้แก่ขา A0-A1 ของอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อแบบบัส I²C ส่วนบิตใน LSB จะใช้กำหนดการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวนั้นๆ โดยถ้าหากบิต LSB เป็น “0” หมายถึงต้องการเขียนข้อมูลไปยังอุปกรณ์นั้น ถ้าเป็น “1” จะเป็นการอ่านข้อมูลจากอุปกรณ์ สเลฟนั้น ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลควบคุม (control byte) ข้อมูลในไบต์ต่อมาคือ ข้อมูลที่ทำการถ่ายทอดจริง (Data) หลักจากการถ่ายทอดข้อมูลในแต่ละไบต์ อุปกรณ์สเลฟที่ได้รับการติดต่อต้องส่งสัญญาณรับรู้ตอบกลับมาทุกครั้ง

การเข้าถึงแบบ 10 bit (10-bit addressing) จะมีข้อมูลเพิ่มขึ้นมาเล็กน้อย โดยในไบต์แรกหลังจากสถานะเริ่มต้น ต้องกำหนดให้ 5 บิตบนข้อมูลเป็น 11110 ส่วนอีก 2 บิตถัดมาเป็นบิตแอดเดรสของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อ ในบิต LSB ของข้อมูลไบต์แรกยังคงเป็นการกำหนดว่า ต้องการอ่านหรือเขียนข้อมูลกับอุปกรณ์สเลฟตัวที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ต่อมาเป็นข้อมูลแอดเดรสในไบต์ที่ 2 ของอุปกรณ์ที่ต้องการติดต่อด้วย ข้อมูลไบต์ถัดไปจึงเป็นข้อมูลควบคุม ข้อมูลหลังจากนี้จะเป็นข้อมูลจริงที่ใช้ในการติดต่อ เช่นเดียวกับในการเข้าถึงแบบ 7 บิตหลังจากการถ่ายทอดข้อมูล

2.9 เซอร์โว

หลักการทำงานของ Rc servo คือการเปลี่ยนคำสั่งที่เป็นสัญญาณไฟฟ้าจากรีซีฟเวอร์ให้เป็นการเคลื่อนที่ของแขนเซอร์โว ซึ่งโดยปกติแล้วสายสัญญาณของเซอร์โวจะเสียบไว้ที่ช่องใดช่องหนึ่งของรีซีฟเฟอร์

ใช้บังคับส่วนต่างๆของเครื่องบิน ดังนั้นแล้วการเคลื่อนที่ ของเซอร์โวจึงขึ้นอยู่กับเคลื่อนที่ของสติกที่ตัววิทยุ

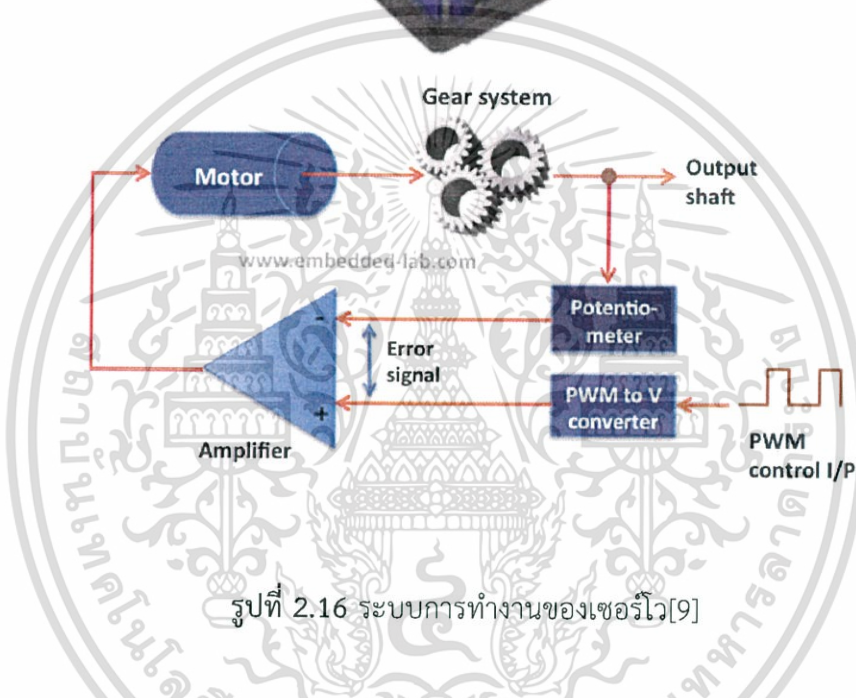


รูปที่ 2.15 องค์ประกอบหลักของเซอร์โว[9]

องค์ประกอบหลักของเซอร์โวโดยทั่วไปแล้วจะมีส่วนประกอบหลักดังนี้คือ

- 1.Servo Case ซึ่งส่วนใหญ่จะทำมาจากพลาสติก
- 2.Motor ซึ่งเป็นส่วนให้กำลังในการหมุนของเซอร์โว
- 3.Control Circuit มีหน้าที่ในการถอดรหัสสัญญาณควบคุมจากรีซีฟซึ่งส่งมาเป็นแบบ PWM และส่งการควบคุมไปสั่งการทำงานของมอเตอร์ให้หมุนแขนของเซอร์โวให้อยู่ในตำแหน่งที่ได้ถอดรหัสมา
- 4.Potentiometer คือส่วนที่ตรวจวัดตำแหน่งของเซอร์โวและส่งสัญญาณกลับไปยัง Control Circuit เพื่อแก้ไขตำแหน่งให้ถูกต้องตามสัญญาณที่ได้เซตไว้
- 5.Drive Gear คือชุดทดสอจากการหมุนของมอเตอร์เพื่อให้ได้แรงบิดที่สูง
- 6.Output Spline คือส่วนที่ป้องกันการเสียดสีระหว่าง Servo Case และ Output shaft ซึ่งอาจใช้อุปกรณ์ประเภท Baring เพื่อช่วยลดแรงเสียดทานที่ดี
- 7.Servo wire คือสายไฟของเซอร์โวจะมีอยู่สามเส้นซึ่งจะติดเป็นชุดเดียวกัน ซึ่งจะมีหน้าที่คือ
 - เส้นที่ 1 จ่ายไฟกระแส + DC ซึ่งแรงดันปรกติจะอยู่ที่ 5-6 โวลท์
 - เส้นที่ 2 เป็นสาย Ground หรือเป็นขั้ว - DC
 - เส้นที่ 3 เป็นสายสัญญาณ โดยที่รีซีฟจะส่งสัญญาณลักษณะ on/off pulsed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 ระบบการทำงานของเซอร์โว[9]

ตามภาพด้านบนซึ่งแสดงระบบการทำงานของเซอร์โวโดยที่รีซีฟจะส่งสัญญาณการควบคุมตำแหน่งของเซอร์โวไปยังส่วน Control Circuit ของเซอร์โวโดยสัญญาณที่ส่งมาจะเป็นสัญญาณแบบ PWM(Pulse Width Modulation) จากนั้น Control Circuit จะถอดรหัสสัญญาณ PWM ที่ได้ให้เป็นตำแหน่งของเซอร์โวที่ต้องการโดยเปรียบเทียบค่าตำแหน่งปัจจุบันกับสัญญาณกลับจาก Potentiometer แล้วจึงส่งแรงดันไฟฟ้าไปยังมอเตอร์ให้ไปหมุนไปในทิศทางที่จะทำให้ตำแหน่งของ Potentiometer มีค่าที่ต้องการเท่ากับค่าที่ได้ถอดรหัสมา ซึ่งขณะที่มอเตอร์หมุนก็จะมีเฟืองที่ไปต่อกับแกนของ Potentiometer(ปรกติจะอยู่ในแกนเดียวกับ output shaft) ด้วยดังนั้นกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นซ้ำๆ จนกว่าค่าของ Potentiometer จะมีค่าเท่ากับการถอดรหัสสัญญาณที่ได้รับมาจากรีซีฟการทำงานของมอเตอร์จึงจะหยุด แต่กระบวนการทำงานของ Control Circuit จะยังทำงานอยู่ตลอดเวลาเพียงแต่หาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าของ Potentiometer มีค่าเท่ากับสัญญาณที่ถอดรหัสมาจากรีซีฟแล้วก็จะไม่มีการส่งแรงดันไฟฟ้าไปยังมอเตอร์(ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสติกที่รีโมท) ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่าการอัปเดตสัญญาณโดยมีความเร็วที่ 50 ครั้งต่อหนึ่งวินาที เราจึงเห็นเป็นการเคลื่อนที่ของเซอร์โว

นอกเหนือจากขนาดภายนอกของเซอร์โวที่เราต้องพิจารณาในการใช้งานแล้วยังมีคุณลักษณะที่เราต้องพิจารณาอีกก็คือ speed(ความเร็ว) และ Torque (แรงบิด)

Speed การวัดความเร็วของเซอร์โวก็คือเวลาที่เซอร์โวใช้ต่อองศาในการหมุนค่าหนึ่ง ซึ่งมุมมาตรฐานที่ใช้วัดกันทั่วไปคือ 60 องศา จึงกล่าวได้ว่า ความเร็วของเซอร์โวก็คือ เวลาที่ใช้ในการหมุนแขนของเซอร์โวไปจากตำแหน่งเดิมเป็นมุม 60 องศา ดังนั้น ตัวเลขเวลาที่มีค่าน้อยเท่าไร หมายถึงเซอร์โวยิ่งมีความเร็วมากขึ้นเท่านั้น

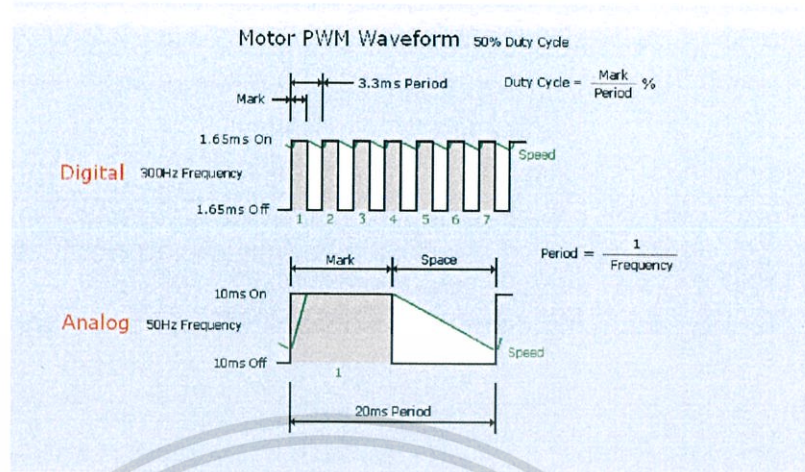
ยกตัวอย่างเช่น เซอร์โวดัวหนึ่งมีความเร็ว 0.12 sec/60° ซึ่งหมายถึงเซอร์โวดัวนี้ใช้เวลา 0.12 วินาที ในการหมุนแขนของเซอร์โวเป็นมุม 60 องศา ซึ่งถือว่าเป็นมีความเร็วเป็นสองเท่าของความเร็วของเซอร์โวมาตรฐานซึ่งมีความเร็วอยู่ที่ 0.24 sec/60° แต่สำหรับเซอร์โวที่ใช้ควบคุมหางของเฮลิคอปเตอร์วิทยุบังคับแล้วอาจต้องใช้เซอร์โวกที่มีความเร็วที่มากขึ้นเช่น 0.06 sec/60

Torque แรงบิด หมายถึง แรงที่แขนของเซอร์โวสามารถกระทำได้ ซึ่งแรงนี้วัดกันในหน่วยของออนซ์ ต่อ นิ้ว(oz-in) หรือ กิโลกรัม ต่อ เซนติเมตร (kg-cm) ซึ่งตัวเลขที่มากหมายถึงแรงที่ที่เซอร์โวสามารถดูดหรือผลักได้ โดยที่ standard servo แรงบิดจะอยู่ที่ประมาณ 40 oz-in สำหรับเซอร์โวประเภทแรงบิดสูง(high torque) อาจมีแรงบิดสูงถึง 200 oz-in แล้ว 40 ounce-inches หมายถึงอะไร หมายถึง ถ้าแขนของเซอร์โวยาวหนึ่งนิ้วจะมีแรงดึงหรือแรงดูดขนาด 40 ounces ก่อนที่เซอร์โวจะมาสามารถหมุนได้อีก(Stalling) ดังนั้นหากแขนของเซอร์โวยาว 1/2 นิ้ว ก็จะสามารถดึงหรือดูดได้ 80 ounces และ หากแขนของเซอร์โวยาว 2 นิ้ว ก็จะสามารถดูดหรือดึงได้ 20 ounces ตามหลักการคำนวณโมเมนต์

ความเร็วและแรงบิดของเซอร์โวจะมีค่าต่างกันเมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้าที่ต่างกันให้กับรีซีฟ โดยทั่วไปจะมีอยู่ 2ค่าคือ 4.8 โวลท์ และ 6.0 โวลท์ ซึ่งจะได้มาจากการจ่ายแรงดันไฟฟ้าของ BEC's หรืออุปกรณ์ปรับแรงดันไฟฟ้า(voltage regulator) และแน่นอนอยู่แล้วว่าแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าย่อมให้ความเร็วและแรงบิดที่สูงกว่า จึงได้มีเซอร์โวที่รองรับแรงดันไฟฟ้าได้ถึง 8.6 volts ซึ่งให้ ความเร็วและแรงบิดที่สูงมาก ทั้งยังสามารถรับแรงดันไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ 2S Lipos ได้โดยไม่ต้องมีวงจรปรับแรงดันไฟฟ้า และแน่นอนว่ารีซีฟก็ต้องสามารถรองรับแรงดันไฟฟ้านี้ได้ด้วยซึ่งรีซีฟระบบ 2.4 Ghz ในปัจจุบันส่วนใหญ่ก็สามารถรองรับได้

ส่วนองค์ประกอบที่ทำให้ต้องจำกัดของแรงดันไฟฟ้าสำหรับเฮลิคอปเตอร์ที่นอกเหนือจากเครื่องบินคือ ไจโร(Gyro) และ Gyro servo ซึ่งส่วนมากจะออกแบบมาให้ทำงานกับแรงดันไฟฟ้าไม่เกิน 5 โวลท์ แต่แนวโน้มในปัจจุบันก็ได้มีการผลิต Gyro ที่สามารถทำงานได้กับแรงดันไฟฟ้าที่สูงขึ้น

2.9.1 Digital Servos กับ Analog Servos



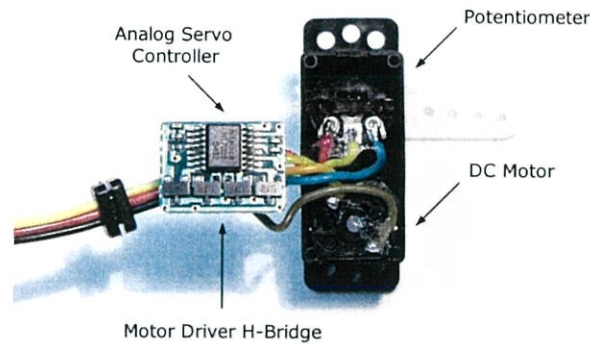
รูปที่ 2.17 Digital Servos กับ Analog Servo[9]

ในสมัยยุคแรกของการเล่นเครื่องบินบังคับวิทยุ เซอร์โวในยุคนั้นยังมีเฉพาะระบบสัญญาณอนาล็อกเท่านั้นแต่ปัจจุบันได้มีเซอร์โวในระบบสัญญาณดิจิทัลเกิดขึ้น เพื่อที่จะหาว่าระบบไหนมีข้อดีหรือข้อเสียอย่างไร ระบบไหนจะดีกว่ากัน ลองมาดูการทำงานของแต่ละระบบกันก่อน

ถ้ามองเฉพาะลักษณะภายนอกและองค์ประกอบหลักแล้วแทบจะไม่มีแตกต่างกันเลย ทั้ง servo case, motor, gears และ แม้แต่ feedback potentiometer ก็ยังเป็นแบบเดียวกันทั้งสองระบบ ข้อแตกต่างเพียงอย่างเดียวของทั้งสองระบบนี้คือรูปแบบการแปลงสัญญาณที่ได้จากรีซีฟเวอร์และการส่งต่อสัญญาณนั้นไปสั่งการทำงานให้มอเตอร์ของเซอร์โวหมุน

อนาล็อกเซอร์โวควบคุมความเร็วในการหมุนของมอเตอร์โดยการเปิดและปิดแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากสัญญาณ ซึ่งที่จริงแล้วแรงดันไฟฟ้า(ได้จาก รีซีฟเวอร์, วงจรลดแรงดันไฟฟ้า, หรือBEC โดยที่แรงดันอยู่ที่ 4.8-6.0โวลท์) ที่ป้อนให้เซอร์โวนั้นมีค่าคงที่

ในการเปิดและปิดแรงดันไฟฟ้านี้โดยมาตรฐานแล้วมีความเร็วอยู่ที่ 50 รอบต่อวินาที ยิ่งความกว้างของคลื่นสัญญาณ(pulse)มีความกว้างเท่าไรมอเตอร์ก็จะมีความเร็วและแรงบิดมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งเป็นวิธีการเดียวกันกับการควบคุมความเร็วของวงจรควบคุมมอเตอร์(ESC) ซึ่งความเร็วในการในการอัปเดตสัญญาณที่ 50 รอบต่อวินาทีนั้นเท่ากับมีการอัปเดตสัญญาณ ทุกๆ 20 milliseconds ซึ่งยังไม่เร็วพอที่จะทำให้มอเตอร์มีการตอบสนองได้ดีพอและมอเตอร์ก็ยังไม่สามารถสร้างแรงบิดได้เพียงพอในการอัปเดตสัญญาณในแต่ละครั้ง ซึ่งเป็นปัญหาอย่าง

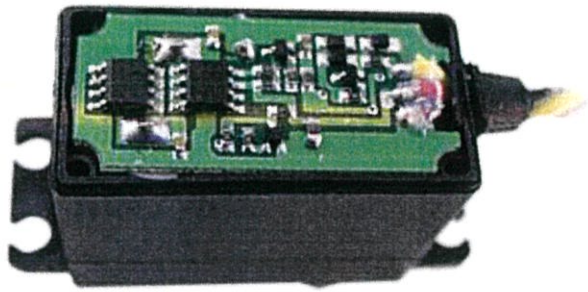


รูปที่ 2.18 Analog Servo Operation[9]

หนึ่งของเซอร์โวในระบบอนาล็อกคือไม่สามารถตอบสนองต่อสัญญาณได้เร็วพอหรือสร้างแรงบิดได้ดีพอเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณควบคุมเพียงเล็กน้อยหรือเมื่อมีแรงจากภายนอกมากกระทำทำให้ตำแหน่งของเซอร์โวเลื่อนไปจากตำแหน่งที่เซตไว้ พื้นที่ที่มีการตอบสนองของเซอร์โวทั้งความเร็วแรงบิดที่ช้าเราเรียกว่า deadband

เครื่องบินบังคับวิทยุบางประเภทโดยเฉพาะเฮลิคอปเตอร์ต้องการการตอบสนองของในการเคลื่อนที่ของเซอร์โวที่เร็วมากแม้จะเป็นการขยับสติกเพียงเล็กน้อยก็ตามเนื่องจากการบังคับของระบบโรเตอร์(ทั้งโรเตอร์หลักและโรเตอร์หาง)ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยก็มีผลต่อการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์เป็นอย่างมากและภาระกรรมที่ระบบโรเตอร์รับไว้ก็พยายามที่จะผลักหรือดูดเซอร์โวให้ออกจากตำแหน่งที่ควบคุมไว้ตลอดเวลา และยังไปกว่านั้นทั้งระบบ heading hold gyros หรือระบบ electronic flybarless systems ต่างก็ส่งสัญญาณนับ ร้อยครั้งต่อวินาทีเพื่อที่จะแก้ไขตำแหน่งที่เปลี่ยนไปของระบบ

เรื่องของ deadband และการตอบสนองที่ช้าของระบบเซอร์โวแบบอนาล็อกไม่ใช่ปัญหาสำคัญกับระบบการรับรู้ของมนุษย์เนื่องจากว่าการตอบสนองนี้ยังมีความเร็วที่เพียงพอที่เราไม่สามารถรู้สึกได้หรือเป็นปัญหาต่อการควบคุม แต่ที่ต้องให้ความสำคัญคือเมื่อเราต้องเกี่ยวข้องกับระบบใจโร, ระบบ electronic flybarless หรือเครื่องบินประเภทผาดแผลงต่างๆ(3D)ซึ่งต้องการเซอร์โวที่มีการตอบสนองที่เร็วและสร้างแรงบิดได้เพียงพอ



รูปที่ 2.19 Digital RC Servo Operation[9]

อย่างที่ได้อธิบายไว้ในตอนต้นแล้วว่าระหว่างเซอร์โวลระบบอนาล็อกและระบบดิจิทัลแทบจะเหมือนกันทุกประการแม้กระทั่งสายไฟทั้งสามเส้นที่ต่อจากรีซีฟเวอร์ก็มีลักษณะเหมือนกันแต่สิ่งที่ต่างกันก็คือการแปลสัญญาณที่ส่งมาจากรีซีฟเวอร์แล้วส่งไปยังมอเตอร์ของเซอร์โวเท่านั้น

โดยที่เซอร์โวลระบบดิจิทัลจะมีไมโครโปรเซสเซอร์ที่อยู่ภายในตัวเซอร์โวซึ่งทำหน้าที่แปลสัญญาณที่ส่งมาจากรีซีฟและส่งเป็นสัญญาณแรงดันไฟฟ้าที่มีความถี่สูงไปยังเซอร์โวมอเตอร์ แทนที่จะเป็น 50 ครั้งต่อวินาทีเหมือนเช่นระบบอนาล็อก แต่ในระบบดิจิทัลนี้มีความถี่ในการอัปเดตสัญญาณสูงถึง 300 ครั้งต่อวินาทีซึ่งแน่นอนว่าคลื่นจะมีความยาวที่สั้นลงแต่สิ่งที่ได้คือความเร็วของมอเตอร์ที่ตอบสนองได้เร็วขึ้นอีกทั้งการให้แรงบิดที่คงที่อีกด้วย

ในบางครั้งเราอาจจะแปลกใจว่าทำไมเซอร์โวลระบบดิจิทัลถึงมีเสียงแปลกๆเมื่อมีแรงมากกระทำบนแกนของเซอร์โว สิ่งที่เราได้ยินนั้นคือเสียงของคลื่นแรงดันไฟฟ้าความถี่สูงที่ส่งไปยังมอเตอร์เพื่อต้านแรงที่มากกระทำ

ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้คือเซอร์โวมอเตอร์มีขนาดของ Dead band ที่เล็กลง, มีการตอบสนองที่เร็วขึ้น, มีอัตราเร่งที่ราบเรียบขึ้น และ มีรบกวนที่ลดลงด้วย

เราลองทดสอบได้ง่ายๆ คือ ลองนำเซอร์โวทั้งสองระบบมาต่อเข้ากับรีซีฟเวอร์ (ที่มีไฟเลี้ยงอยู่) ตัวเดียวกันแล้วพยายามดันแกนของเซอร์โวทั้งสองตัวจากตำแหน่งที่มันอยู่ปกติ ข้อแตกต่างก็คือเมื่อขยับแกนของเซอร์โวลระบบอนาล็อกแกนของเซอร์โวลจะขยับได้เล็กน้อยก่อนที่จะกลับมาสู่ตำแหน่งเดิมทำให้เรารู้สึกเหมือนมันสามารถดูดซับแรงได้ แต่สำหรับเซอร์โวลระบบดิจิทัลเมื่อเราพยายามขยับแกนของเซอร์โวลจะรู้สึกเหมือนกับว่าแกนของเซอร์โวลถูกติดกาวไว้กับตัวเคสของเซอร์โวซึ่งนั่นคือการตอบสนองที่รวดเร็วและสามารถรักษาแรงบิดไว้ได้อย่างดี แต่อย่างไรก็ดีสำหรับเซอร์โวลระบบดิจิทัลไม่ใช่จะมีแต่ข้อดีอย่างเดียวเพราะสิ่งที่ตามมาสำหรับการตอบสนองที่ความถี่สูงก็คือ “การกินกระแสไฟฟ้าที่มากขึ้น” กล่าวก็คือเซอร์โวลระบบดิจิทัลใช้กำลังไฟฟ้ามมากกว่าเซอร์โวลระบบอนาล็อก แต่นั่นก็ไม่ใช่ปัญหาใหญ่นักในเมื่อปัจจุบันเรามีแบตเตอรี่ที่พัฒนาไปมากจนมีความจุที่มากกว่าแบตเตอรี่ในอดีตหลายเท่าในปัจจุบันเทคโนโลยีของเซอร์โวได้พัฒนาไปมากดังนั้นเราอาจจะเห็นเซอร์โวลระบบอนาล็อกบางตัวมีประสิทธิภาพดีกว่าเซอร์โวลระบบดิจิทัลซึ่งนั่นก็แล้วแต่การเลือกใช้งานและราคาที่เหมาะสมกับเรา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

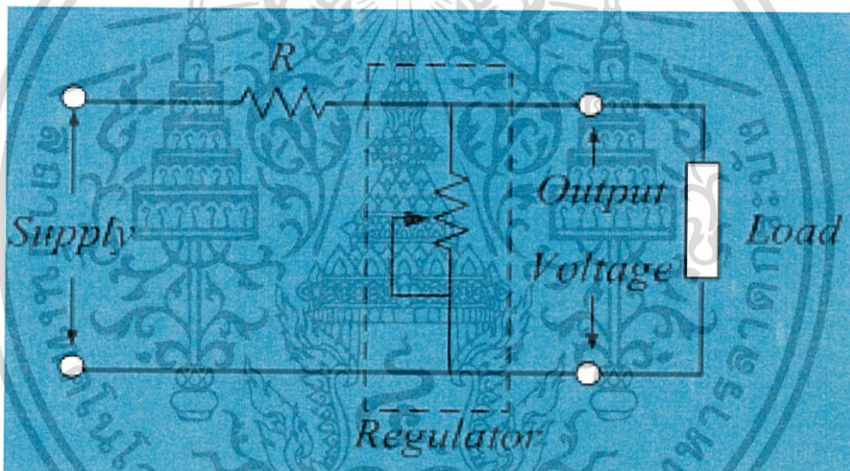
2.10 วงจรรักษาแรงดัน

วงจรรักษาแรงดัน ทำหน้าที่รักษาแรงดันที่จ่ายให้กับโหลดมีค่าคงที่ ถึงแม้ว่าแรงดันที่ป้อนให้วงจรรักษาแรงดันจะมีค่าเปลี่ยนแปลงก็ตาม วงจรรักษาแรงดันพื้นฐานคือ ซีเนอร์ไดโอด ซึ่งคุณสมบัติของซีเนอร์ไดโอด คือรักษาแรงดันที่ตกคร่อมตัวซีเนอร์ไดโอดให้คงที่ เมื่อป้อนรีเฟสไปแอสมีค่ามากกว่าค่าแรงดันซีเนอร์ แต่มีข้อจำกัดในด้านกระแสที่จ่ายให้กับโหลด จึงมีการนำทรานซิสเตอร์มาใช้ร่วมกับซีเนอร์ไดโอด และในปัจจุบันถูกเปลี่ยนมาใช้วงจรรวมไอซีทำให้สะดวกในการใช้งานและการออกแบบ

วงจรรักษาแรงดัน คือวงจรที่ทำหน้าที่รักษาแรงดันเอาต์พุตของแหล่งจ่ายแรงดันให้มีค่าคงที่ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของโหลด วงจรรักษาแรงดันคงที่ จำแนกได้เป็น 2 แบบคือ

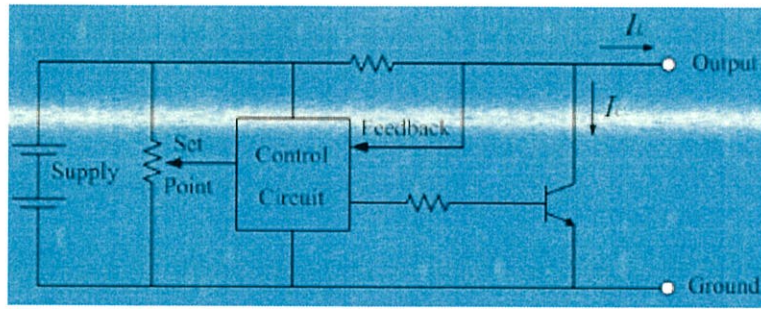
2.10.1. วงจรรักษาแรงดันแบบขนาน

หลักการเบื้องต้นของวงจรรักษาแรงดันคงที่แบบขนานคือ การต่อวงจรรักษาแรงดันขนานกับโหลด โดยวงจรรักษาแรงดันจะทำหน้าที่แบ่งกระแสโหลด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันเกิด



รูปที่ 2.20 หลักการเบื้องต้นของการรักษาแรงดันคงที่แบบขนาน[10]

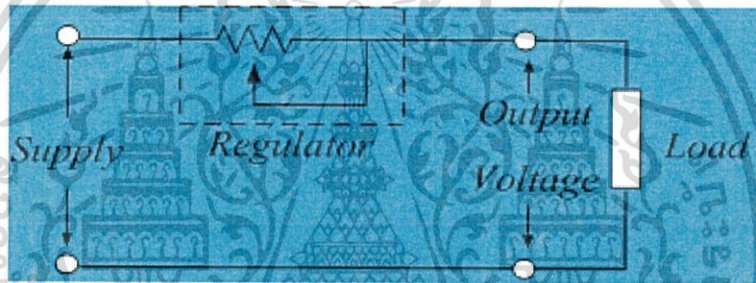
เมื่อแหล่งจ่ายแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้กระแสไหลผ่านตัวต้านทาน R มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นกระแสป้อนกลับมาที่วงจรรวมไอซี มีค่าเพิ่มขึ้น เพื่อเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงที่จุด Set point ทำให้วงจรรวมไอซีควบคุมการทำงานของทรานซิสเตอร์ให้ทำงานมากขึ้น ทำให้กระแสไหลผ่านทรานซิสเตอร์มีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นกระแสจึงลดลงเท่าเดิม



รูปที่ 2.21 วงจรเบื้องต้นของวงจรรักษาแรงดันแบบขนาน[10]

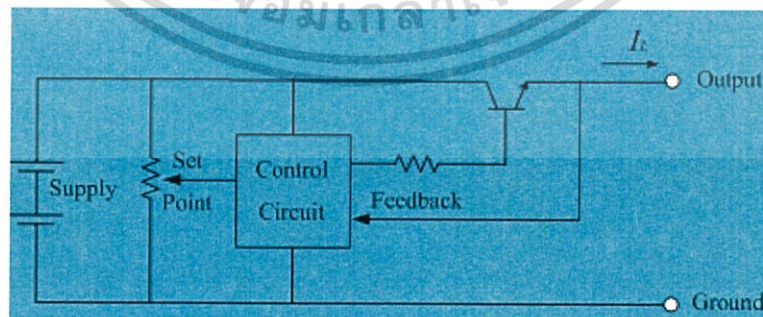
2.10.2 วงจรรักษาแรงดันแบบอนุกรม

หลักการเบื้องต้นของวงจรรักษาแรงดันคงที่แบบอนุกรมคือ การต่อวงจรรักษาแรงดันอนุกรมกับโหลด โดยวงจรรักษาแรงดันจะทำหน้าที่ควบคุมกระแสที่ไหลผ่านโหลด เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงแรงดันเกิดขึ้นที่แหล่งจ่าย



รูปที่ 2.22 หลักการเบื้องต้นของการรักษาแรงดันคงที่แบบอนุกรม[10]

เมื่อแหล่งจ่ายแรงดันมีค่าเพิ่มขึ้น กระแสที่ไหลผ่านทรานซิสเตอร์ไปที่โหลดมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้น กระแสป้อนกลับมาที่วงจรคอนโทรลจะมีค่าเพิ่มขึ้น และเปรียบเทียบกับแรงดันอ้างอิงที่จุด Set point ทำให้วงจรคอนโทรลจะควบคุมให้ทรานซิสเตอร์ทำงานน้อยลงเพื่อจ่ายกระแสให้โหลดลดลง



รูปที่ 2.23 วงจรเบื้องต้นของวงจรรักษาแรงดันแบบอนุกรม[10]

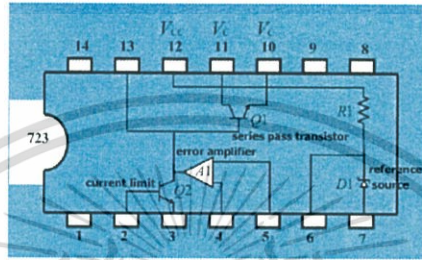
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.3 วงจรรักษาแรงดันแบบไอซี

วงจรรักษาแรงดันแบบไอซี เป็นการพัฒนางจรจากทรานซิสเตอร์ โดยการนำคุณสมบัติของออปแอมป์และทรานซิสเตอร์มาต่ออยู่ในชิปเดียวกัน จึงทำให้สามารถต่อวงจรใช้งานได้สะดวก มีการใช้จำนวนอุปกรณ์น้อย และการออกแบบวงจรทำได้ง่าย

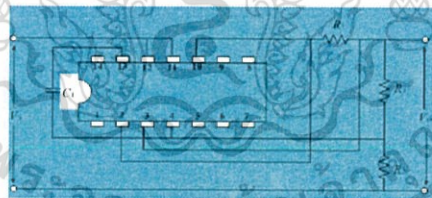
2.10.3.1 ไอซี 723

ไอซี 723 เป็นไอซีรักษาแรงดัน วงจรภายในแสดงดังรูป



รูปที่ 2.24 Blockdiagram ของไอซี 723[10]

วงจรภายในไอซี 723 ประกอบด้วยวงจรแรงดันอ้างอิง วงจรเออร์เรอร์แอมป์ วงจรซีรี่ย์พาสส์ ทรานซิสเตอร์ และทรานซิสเตอร์ลิมิตดีคเอร์เร็นต์ต่อรวมกันดังรูป ให้ค่าแรงดันเอาต์พุตเป็นแรงดันบวก หรือแรงดันลบ มีค่าตั้งแต่ 2 V ถึง 37 V และจ่ายกระแสเอาต์พุตมากกว่า 150 mA สามารถใช้กับแรงดันได้สูงถึง 40 V มีค่าไลน์และโวลต์โวลต์เตจเร็กกูเลชัน 0.01 % รายละเอียดของไอซี 723 แสดงดังรูป



รูปที่ 2.25 การต่อวงจร IC 723[10]

รูปการต่อไอซี 723 ในวงจรรักษาแรงดัน มีลักษณะคล้ายกันกับออปแอมป์ C_1 ค่า 100 pF ต่อที่เอาต์พุตของวงจรเออร์เรอร์แอมป์และขั้วอินพุตอินเวตติง เพื่อป้องกันการออสซิลเลตของวงจร และต่อวงจรจำกัดกระแส (และสามารถต่อวงจรจำกัดกระแสโพลต์แบ็คได้ด้วย) การเลือกตัวต้านทาน R_1 และ R_2 ทำให้แรงดันเอาต์พุตสามารถที่จะกำหนดให้มีค่าต่างๆได้ มีค่าตั้งแต่ 7V ถึง 37V โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้สามารถต่อรวมกันกับ R_1 และ R_2 เพื่อให้สามารถปรับแรงดันเอาต์พุตได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.3.2 ไอซี LM 217 และ LM 237

เป็นไอซีรักษาแรงดันที่สามารถจ่ายกระแสได้มากกว่า 1.5 แอมป์แอมป์ โดยมีแรงดันเอาต์พุตตั้งแต่ 1.2 V ถึง 37 V มีค่าแรงดันอ้างอิงที่เอาต์พุต 1.25V LM 217 และ LM 237 เป็นไอซีมี 3 ขั้วทำให้ต่อวงจรใช้ได้ง่าย และมีการต่ออุปกรณ์ภายนอกน้อยที่สุด โดย LM 217 เป็นไอซีรักษาแรงดันบวก (positive voltage regulator) ต่อวงจรดังรูป (a) และ LM 237 เป็นไอซีรักษาแรงดันลบ (negative voltage regulator) ดังรูป (b) ขั้วอินพุต (Vin) ต่อที่แหล่งจ่ายแรงดัน และขั้วเอาต์พุต (Vout) ต่อเป็นแรงดันเอาต์พุตเพื่อนำไปใช้งาน และขั้ว ADJ ใช้เลือกค่าแรงดันเอาต์พุต และจะมีแรงดันตกคร่อม ADJ เมื่อเปรียบเทียบกับแรงดันเอาต์พุต ดังนั้นแรงดันเอาต์พุตคำนวณได้จาก

$$V_o = \frac{R_1 + R_2}{R_1} \times V_{ref} + (I_{oadj} \times R_2)$$

การหาค่า R_1 และ R_2 สำหรับค่าแรงดันเอาต์พุตจำเป็นที่จะต้องเลือก I_1 ให้มีค่ามากกว่ากระแสที่ไหลผ่านขั้ว Adj ของไอซี(ซึ่งมีค่าสูงสุด 100 A) ดังนั้นค่าตัวต้านทานจะคำนวณจากสมการ



รูปที่ 2.26 การต่อวงจร IC Voltage regulator[10]

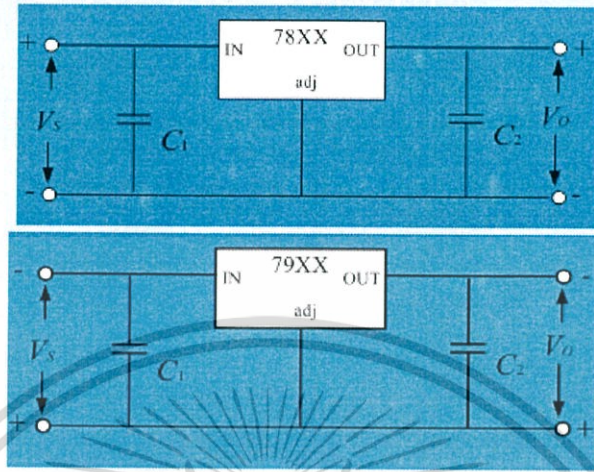
แหล่งจ่ายแรงดันควรเลือกให้มีค่าเป็น 2 เท่าของแรงดันเอาต์พุตที่ออกแบบไว้ กำลังงานสูญเสียจะต้องคำนวณให้แน่ใจว่าไอซีสามารถทำงานโดยปลอดภัย ค่าทนกำลังสูญเสียสูงสุดมีค่า 2000 mW ที่อุณหภูมิ 25°C และจะมีค่าพิกัดความเสื่อมที่ 62.5 mW/°C การใช้งานควรติดตั้งแผ่นระบายความร้อนให้กับตัวไอซี C₁ จะต่อเมื่อไม่มีการต่อตัวเก็บประจุของ วงจรเรกติไฟร์ และจะตัดสัญญาณรบกวนต่างๆที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากการต่อสายระหว่างวงจรฟิลเตอร์และวงจรรักษาแรงดัน ส่วน C₂ ใช้ประโยชน์ต่อผลตอบสนองในสภาวะชั่วคราวของวงจรรักษาแรงดัน

2.10.3.2 ไอซี 7800/7900

7800 ซีรีส์เป็นไอซีรักษาแรงดันบวก และ 7900 ซีรีส์เป็นไอซีรักษาแรงดันลบ มี 3 ขั้วให้แรงดันเอาต์พุตมีค่าคงที่ขึ้นอยู่กับเบอร์ของไอซี จะมีตั้งแต่ค่า 5 V ถึง 24 V ดังตารางที่ 1 การต่อวงจรสามารถต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรได้ง่ายๆดังรูป 7800/7900 สามารถต่อกับแหล่งจ่ายแรงดันได้ระหว่าง 35 V ถึง 40 V ทำงานที่อุณหภูมิ 25°C และมีค่าพิกัดความเสื่อม 111.4 mW/°C จ่ายกระแสได้สูงสุด 1 แอมป์แปร์ และถ้าหากต้องการกระแสไหลตมากกว่า 1 แอมป์ แปร์ ก็สามารถต่อทรานซิสเตอร์ได้ดังรูป



รูปที่ 2.27 การต่อวงจร IC 78XX และ 79XX Series[10]

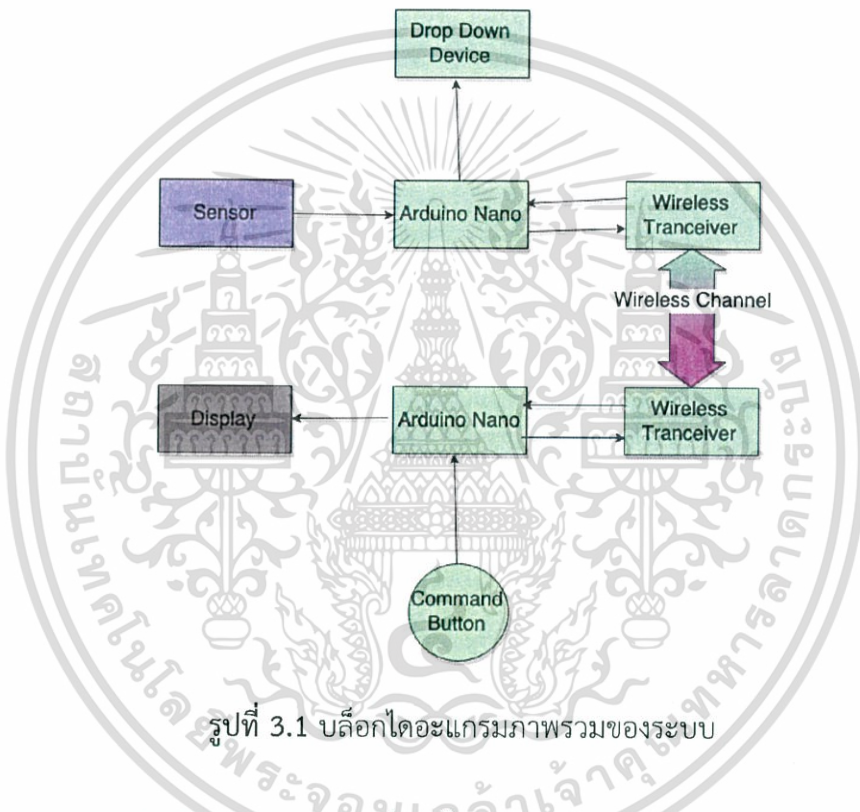
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและพัฒนาระบบ

3.1 การออกแบบการทำงานของฮาร์ดแวร์

การทำงานของอุปกรณ์ที่ได้ตั้งเป้าหมายเอาไว้คือ สามารถรับค่าที่อ่านจากเซนเซอร์ที่ติดตั้งบนคอมพิวเตอร์ขณะทำการบิน และสามารถส่งคำสั่งควบคุมการเปิดอุปกรณ์ทั้งสัมภาระ โดยที่อุปกรณ์ภาครับ ผู้ใช้สามารถถือได้ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมภาพรวมของระบบ

จากภาพแสดงให้เห็นว่า เซนเซอร์ที่ติดตั้งเอาไว้จะทำการส่งข้อมูลที่อ่านได้ ผ่านอุปกรณ์ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ จากนั้นภาครับก็จะรับข้อมูลมาแสดงบนจอภาพ ในอีกทางหนึ่ง ผู้ใช้งานสามารถส่งคำสั่งให้กลไกเปิดอุปกรณ์ทั้งสัมภาระทำงาน โดยส่งคำสั่งผ่านช่องทางสื่อสารเดียวกัน

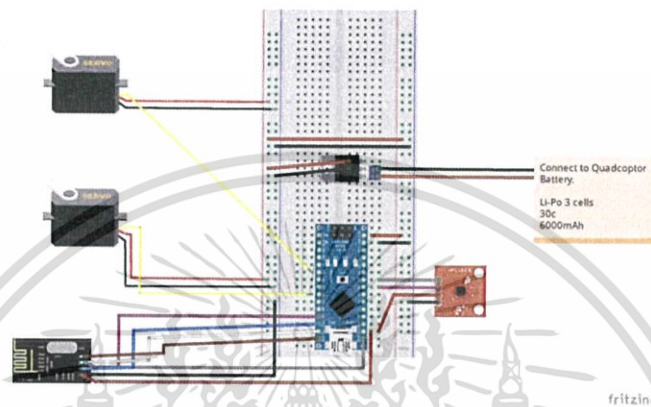
3.2 การทำงานของอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนโดรน

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของการทำงานของอุปกรณ์ที่ติดตั้งเอาไว้บนโดรน ซึ่งมีหน้าที่อยู่สองประการคือ ส่งข้อมูลที่อ่านได้จากเซนเซอร์ และควบคุมอุปกรณ์ปล่อยสัมภาระเมื่อได้รับคำสั่งจากภาคพื้น โดยอุปกรณ์ที่ใช้มีดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Arduino Nano 3.0 1 ตัว
 Servo motor 2 ตัว
 GY-80 IMU Sensor 1 ตัว
 nRF24L01 + Power Antenna 1 ตัว
 L7805 Voltage Regulator 1 ตัว

โดยแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ ดังรูป

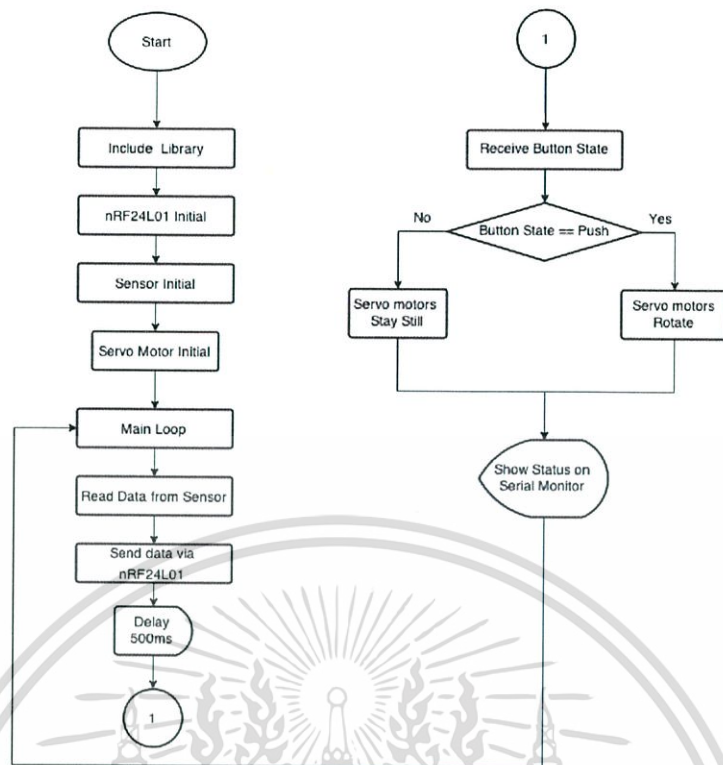


รูปที่ 3.2 การเชื่อมต่อวงจร โดยใช้โปรแกรม Fritzing

3.2.1 การทำงานในภาครับส่งข้อมูล

ส่วนนี้จะแสดงให้เห็นการทำงานของระบบรับส่งข้อมูล โดยในที่นี้จะเน้นด้านการรับส่งของอุปกรณ์ที่ติดตั้งกับควอดคอปเตอร์ ดังแสดงได้ในไฟล์ชาร์ตต่อไปนี้

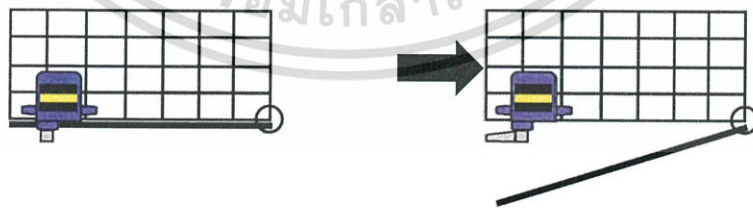
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การทำงานของอุปกรณ์ที่ติดตั้งบนควอดคอปเตอร์

การทำงานเริ่มโดย ในขั้นแรก ทำการตั้งค่า nRF24L01 ให้อยู่ในโหมดส่งข้อมูล บอร์ดอาร์ดูโน้อ่านค่าจากเซนเซอร์ จากนั้นจะทำการแปลงชนิดของข้อมูลและส่งข้อมูล จากนั้นเปลี่ยนกลับเป็นโหมดรับข้อมูล เพื่อรอรับคำสั่งควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ถ้าไม่ได้รับคำสั่งที่สั่งให้เซอร์โวมอเตอร์ทำงาน ก็จะวกกลับไปเป็นโหมดส่ง และทำการส่งค่าจากเซนเซอร์ต่อไป

3.2.2 กลไกการทำงานของอุปกรณ์ที่สัมผัสภาวะ



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการทำงานของกลไกที่สัมผัสภาวะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

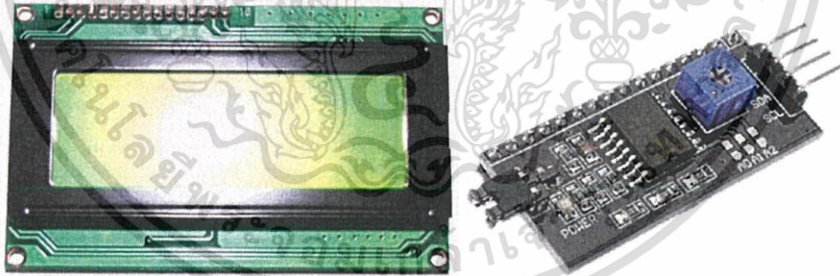
ลักษณะของกลไกใช้หลักของบานประตู โดยเมื่อยังไม่มีคำสั่งสั่งให้ทำงาน ขาของเซอร์โวมอเตอร์ จะรองรับบานพับ เพื่อป้องกันไม่ให้เปิดออกเอง แต่หลังจากที่ได้รับคำสั่งเปิด เซอร์โวมอเตอร์ก็จะหมุน เปลี่ยนตำแหน่ง ทำให้บานประตูไม่มีสิ่งใดรองรับและเปิดออก สิ่งของที่บรรทุกก็จะหล่นลงสู่พื้นด้านล่าง

3.3 หน้าจอแสดงผลและอุปกรณ์สำหรับควบคุม

จุดประสงค์ของการใช้งานโดรนสนับสนุนการกู้ภัยคือใช้งานภาคสนามโดยเจ้าหน้าที่กู้ภัย ดังนั้น การแสดงผลทั้งภาพและข้อมูลควรจะสามารถอยู่บนมือของผู้ใช้งาน พร้อมกับรีโมทคอนโทรลของควอดคอปเตอร์ ในขั้นต้น จะมีอุปกรณ์ที่ใช้ดังนี้

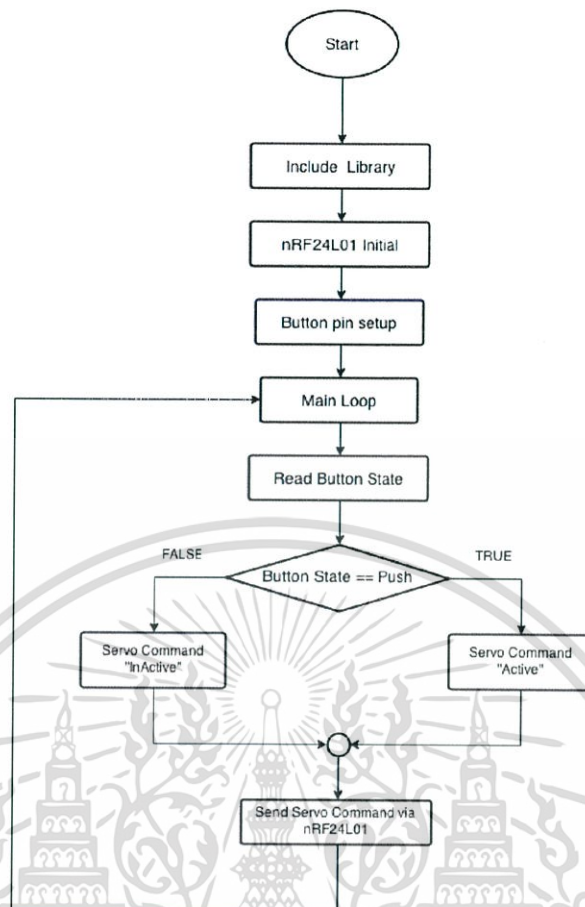
1. จอรับสัญญาณภาพ
2. จอแสดงผลข้อมูลที่ส่งมาจากเซนเซอร์
3. ปุ่มสำหรับควบคุมกลไกการปล่อยสัมภาระ

จอแสดงผลนั้นใช้จอ LCD ขนาด 20 x 4 เพื่อที่จะใช้แสดงผลข้อมูลได้มากกว่า 1 ชนิด เนื่องจาก ข้อมูลที่จำเป็นต่อการบินของโดรนนั้นมีมากกว่า 1 ข้อมูล เช่น ความเร็วในแนวระดับ ทิศทางการบิน ความสูงจากพื้น เป็นต้น การเชื่อมต่อระหว่างตัวบอร์ดอาร์ดูโนกับจอ LCD ใช้การเชื่อมต่อแบบ I2C ซึ่งมี ข้อดีคือ ใช้งานพอร์ตข้อมูลเพียง 2 พอร์ตจึงประหยัดพอร์ตข้อมูล และสามารถติดตั้งอุปกรณ์อื่นๆ เพิ่มได้ มากขึ้น



รูปที่ 3.5 จอ LCD ขนาด 20 x 4 และบอร์ดแปลงการเชื่อมต่อให้เป็น I2C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 การทำงานของการกดปุ่ม

เมื่อไม่มีการกดปุ่ม ค่าของตัวแปรคำสั่งกดปุ่มจะเป็น "AB" และส่งไปยังภาครับที่ติดตั้งบนควอทคอปเตอร์ เมื่อภาครับอ่านข้อมูลที่ได้รับว่าเป็น "AB" เซอร์โวมอเตอร์ก็จะอยู่ในตำแหน่งที่ 1 คือรองรับบานประตูไม่ให้เปิดออก แต่เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม ค่าตัวแปรคำสั่งกดปุ่มจะเปลี่ยนเป็น "CD" เมื่อข้อมูลถึงภาครับแล้ว และอ่านข้อมูลได้ว่าเป็น "CD" ก็จะสั่งการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ให้อยู่ในตำแหน่งที่สอง ซึ่งทำให้บานประตูไม่มีสิ่งใดรองรับ และเปิดออก เพื่อทิ้งสิ่งของที่บรรจุทุกในตะกร้าออกมา

จากที่ได้ออกแบบในข้างต้น จึงใช้อุปกรณ์ดังนี้

Arduino Nano 3.0 1 ตัว

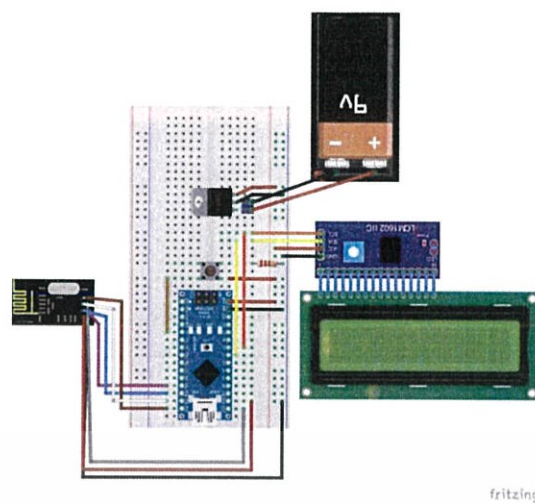
LCD Display 20x4 with I2C interface 1 ตัว

nRF24L01 + Power Antenna 1 ตัว

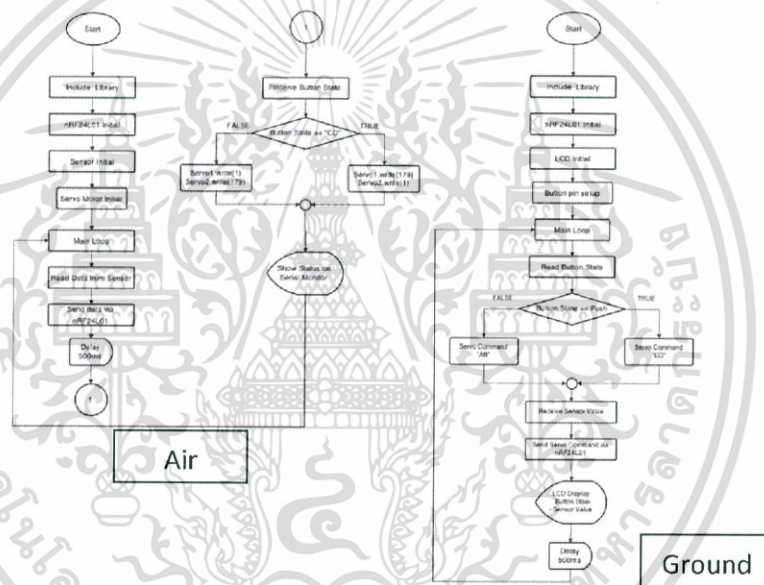
L7805 Voltage Regulator 1 ตัว

Switch 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 การเชื่อมต่ออุปกรณ์ภาคพื้นดินด้วยโปรแกรม Fritzing

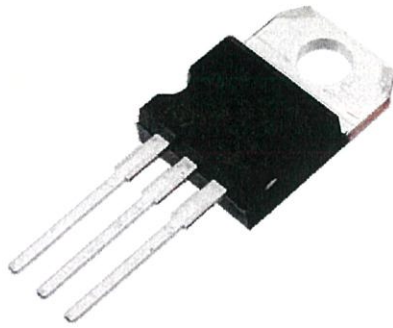


รูปที่ 3.8 ภาพรวมของระบบ

3.4 ภาคการจ่ายพลังงาน

ในส่วนของโดรน จะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ชนิด ลิเทียม-โพลีเมอร์ (Li-Po Battery) ซึ่งมีค่าแรงดันกระแสประมาณ 11.1 โวลท์ แต่ในวงจรที่ใช้ใช้นั้นใช้ที่ประมาณ 5 โวลท์ และ 3.3 โวลท์สำหรับ nRF24L01 เพื่อความปลอดภัย จึงใช้ L7805 Voltage Regulator เพื่อปรับค่าแรงดันจากแบตเตอรี่ให้อยู่ที่ 5 โวลท์ และจ่ายให้กับบอร์ดอาร์ดูโน้ เช่นเดียวกับภาคพื้นดินซึ่งใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ 9 โวลท์ ก็ใช้ L7805 Voltage Regulator เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 L7805 Voltage Regulator

3.5 การติดตั้งอุปกรณ์

เนื่องจากควอดคอปเตอร์ที่ใช้ นั้น ลักษณะของโครงไม่เอื้อต่อการติดตั้งอุปกรณ์เข้าไปเพิ่ม ทำให้ต้องปรับปรุงลักษณะโครงให้สามารถรองรับอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพิ่มเติมได้ โดยทำการติดตั้งขาอะลูมิเนียมน้ำหนักเบาแต่แข็งแรงเพื่อเพิ่มความสูง และคอยรองรับแรงกระแทกเมื่อลงจอด ขาอะลูมิเนียมนี้ถูกติดตั้งเสริมที่ตำแหน่งขารับแรงเดิม



รูปที่ 3.10 ควอดคอปเตอร์ที่ถูกติดตั้งขาตั้งและส่วนบรรทุกสัมภาระ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนบรรทุกัมภาระ และกลไกการทิ้งสัมภาระได้กำหนดให้ติดตั้งใต้ตำแหน่งแบตเตอรี่ เนื่องจากลักษณะการส่งสัมภาระให้ผู้ประสบภัยเป็นแบบทิ้งลงมาจากที่สูง ทำให้กลไกต้องอยู่ด้านล่างสุด อีกทั้งเป็นการรักษาสมดุลของตัวเครื่องบินอีกด้วย และจากรูปแบบการทำงานของกลไกปล่อยสัมภาระ การจัดวางตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์จะต้องวางให้แกนของเซอร์โวมอเตอร์ไปชิดบานประตูเพื่อสามารถวางสิ่งของและหมุนออกเพื่อให้บานประตูเปิดได้

การจัดวางวงจรที่ใช้ควบคุม สิ่งที่ต้องคำนึงถึงอย่างหนึ่งคือการจัดวางให้สามารถเดินสายไฟอย่างเป็นระบบ และสามารถรักษาสมดุลของไดรอนเอาไว้ได้ ตำแหน่งที่วางจึงเป็นตำแหน่งด้านหลัง

การจัดวางกล้อง จำเป็นต้องให้กล้องอยู่ด้านหน้าของตัวเครื่อง เนื่องจากกล้องนั้นเปรียบเสมือนดวงตาสำหรับผู้ควบคุม ภาพที่ได้ควรอยู่ในจุดกึ่งกลางของตัวเครื่องและอยู่ในตำแหน่งที่ไม่มีสิ่งกีดขวางบังทัศนวิสัย

การจัดวางอุปกรณ์ส่งสัญญาณ เนื่องจากอุปกรณ์แต่ละชุดใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณของแยกกันต่างหาก ทำให้มีอุปกรณ์หลายชิ้นหลายขนาด โดยเฉพาะอุปกรณ์ส่งสัญญาณภาพมีขนาดใหญ่และน้ำหนักมากที่สุด จึงติดตั้งที่ด้านข้างของส่วนตะกร้า nRF24L01+PA มีน้ำหนักเบา จึงติดตั้งบนแกนของควอดคอปเตอร์ได้



รูปที่ 3.11 ควอดคอปเตอร์ที่ติดตั้งอุปกรณ์ทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

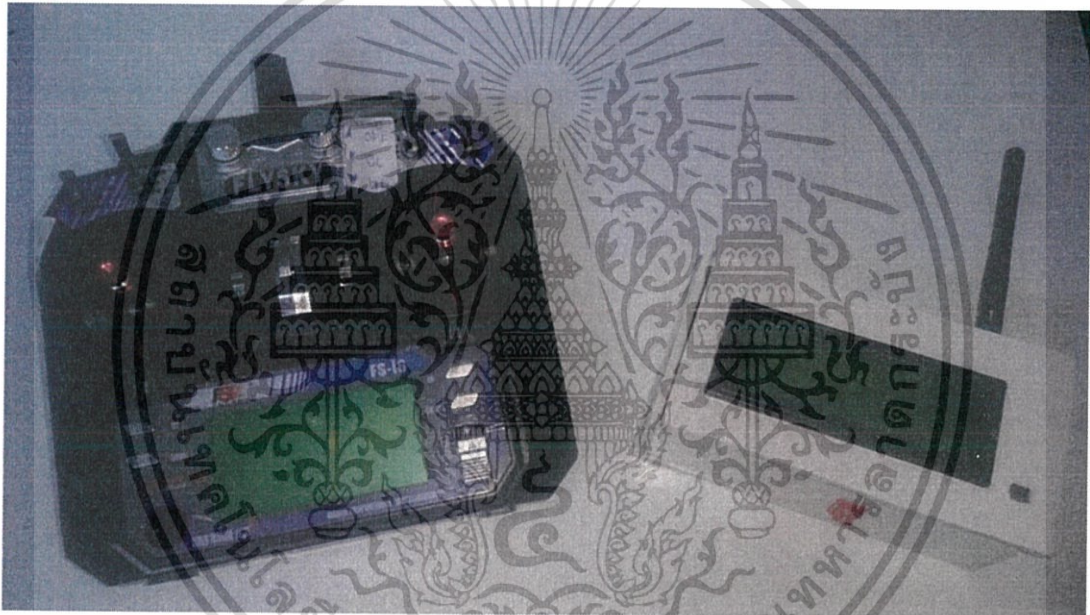
บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้ จะกล่าวถึงการใช้งานอุปกรณ์ต่างๆ ของโดรนสนับสนุนการกู้ภัย ประกอบด้วยสามส่วนคือ ส่วนควบคุมหรือรีโมทคอนโทรล ส่วนแสดงผลภาพ และส่วนแสดงข้อมูล โดยจะแสดงถึงการใช้งานจริง และผลการทำงานที่เกิดขึ้น แต่ในบทนี้ จะกล่าวถึงระบบรับส่งข้อมูลเป็นหลัก

4.1 การทำงานของระบบรับส่งข้อมูล และกลไกที่สัมภาระ

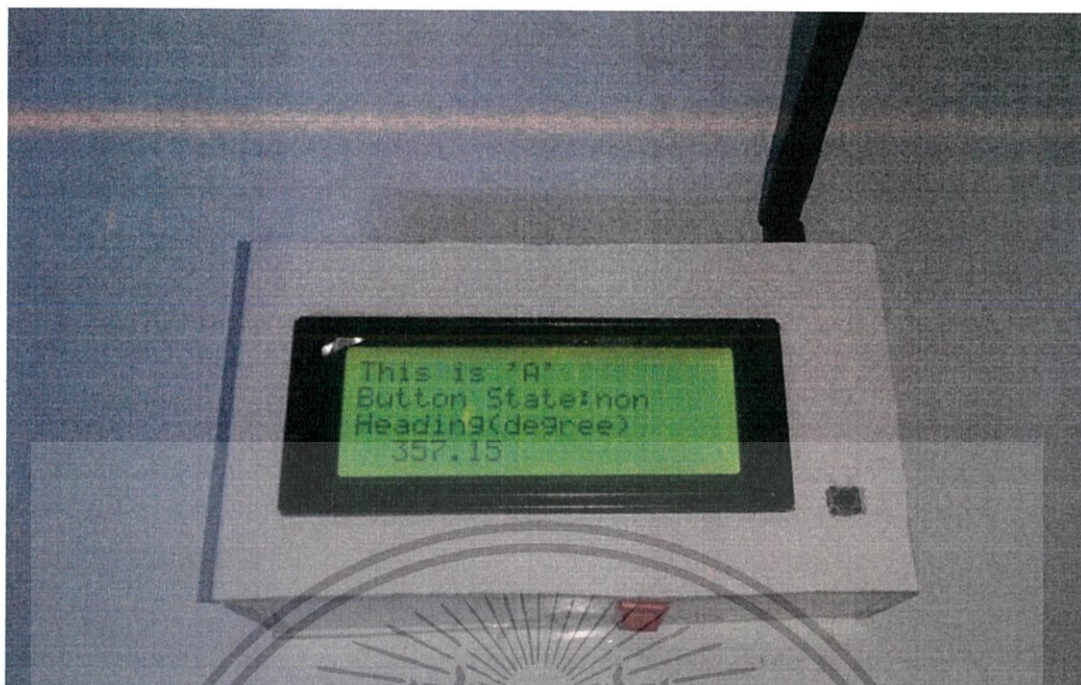
ระบบรับส่งข้อมูล แบ่งเป็นสองส่วนคือ ส่วนที่ติดตั้งบนควอดคอปเตอร์ และส่วนภาคพื้น โดยในส่วนภาคพื้นจะใช้จอ LCD แสดงผล และมีปุ่มกดเพื่อส่งคำสั่งเปิดกระเบาะสัมภาระ ดังรูปที่ 4.1



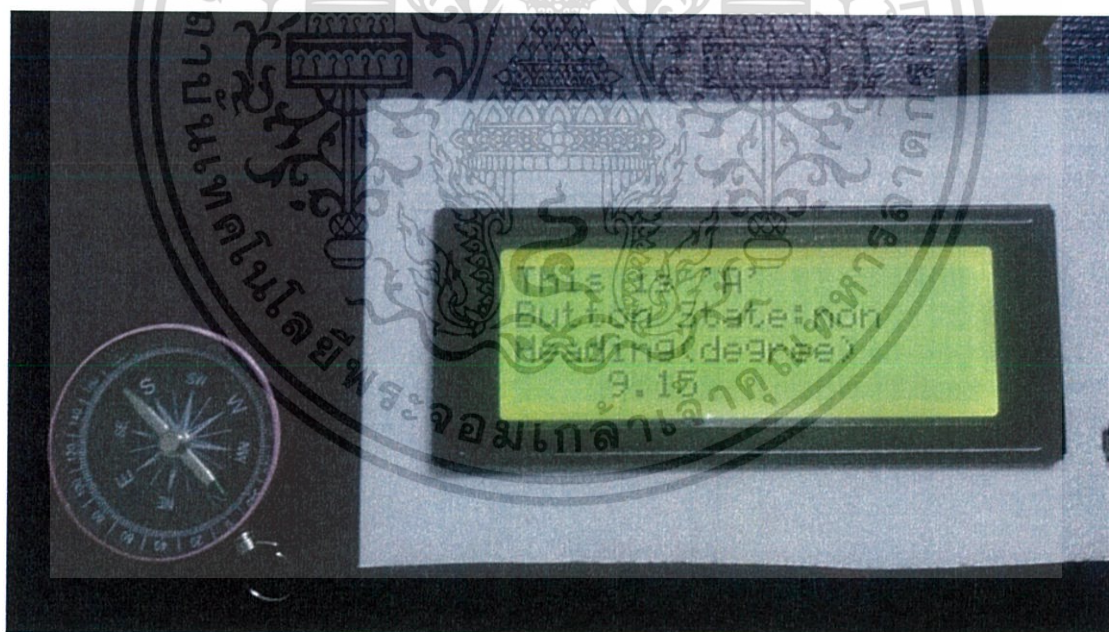
รูปที่ 4.1 อุปกรณ์ส่วนภาคพื้น

ลักษณะของข้อมูลที่แสดงออกทางจอแสดงผล ประกอบด้วย ส่วนแสดงผลสถานะปุ่มกด และส่วนแสดงข้อมูลที่รับมาจากเซนเซอร์ที่ติดตั้งบนควอดคอปเตอร์ ในที่นี้จะใช้ค่าที่อ่านจากเซนเซอร์แมกนีโตมิเตอร์ HMC5883L ซึ่งค่าที่ได้ คือองศาระหว่างทิศทางที่ควอดคอปเตอร์หันหน้าไปกับทิศเหนือของสนามแม่เหล็กโลก ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 จอแสดงผลที่แสดงข้อมูลสถานะปุ่มกดและค่าองศาทิศทาง

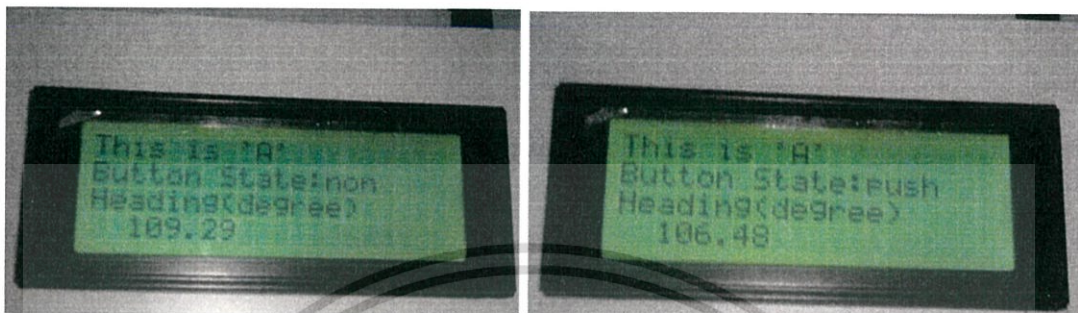


รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบค่ามุมที่แสดงผลกับเข็มทิศจริง

จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่า ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงกับค่าที่ได้โดยประมาณจากเข็มทิศ ดังนั้นจึงใช้เป็นค่าอ้างอิงตำแหน่งทิศทางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเริ่มต้นการทำงานของระบบ จะเริ่มขึ้นเมื่อผู้ใช้งานทำการเชื่อมต่อแบตเตอรี่เข้ากับควอดคอปเตอร์ ในขณะที่เดียวกันผู้ใช้งานทำการเปิดสวิตช์ของอุปกรณ์ภาคพื้นเมื่ออุปกรณ์ทำงานปกติ ค่าจากเซนเซอร์แมกนีโตมิเตอร์จะมีการเปลี่ยนแปลงและเมื่อผู้ใช้งานกดปุ่มก็จะมีการเปลี่ยนสถานะการกดปุ่มจาก“non”ไปเป็น “push”



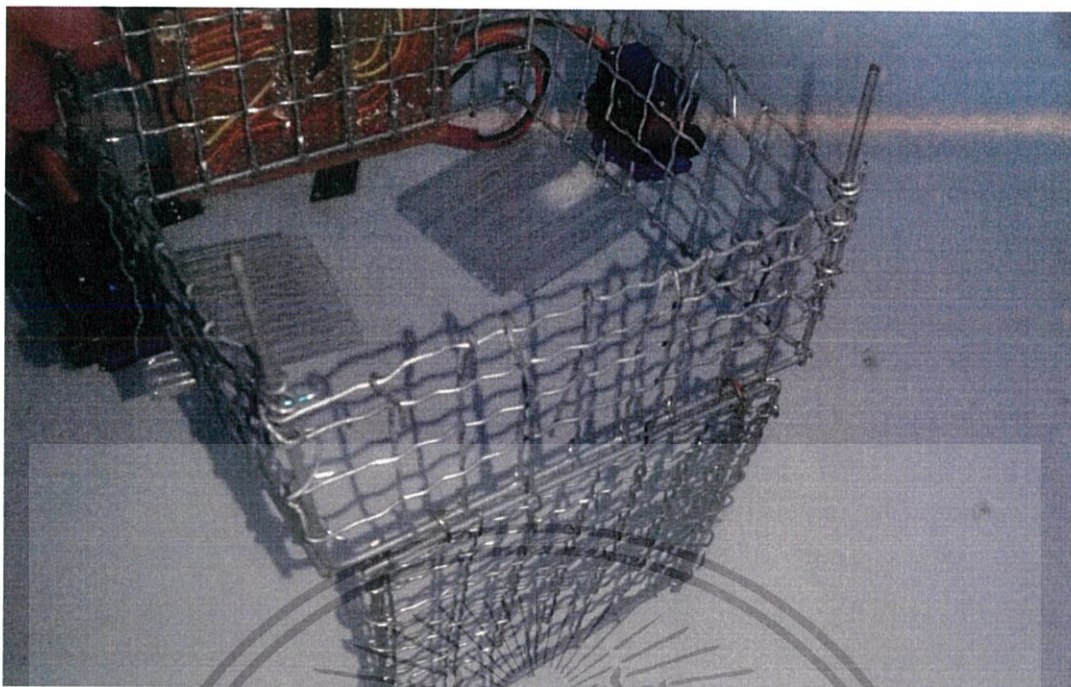
รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบการทำงานเมื่อกดปุ่มและไม่กดปุ่ม

ในขณะเดียวกันเมื่อทำการกดปุ่ม เซอไวเวอร์ที่ติดตั้งบนควอดคอปเตอร์ในส่วนกลไกสำหรับทั้งสัมภาระจะทำการหมุน ทำให้ฝาร่วงหล่นลงมา พร้อมกับสิ่งของที่บรรจุทุก ดังแสดงในรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 กลไกทั้งสัมภาระเมื่อไม่ได้กดปุ่ม

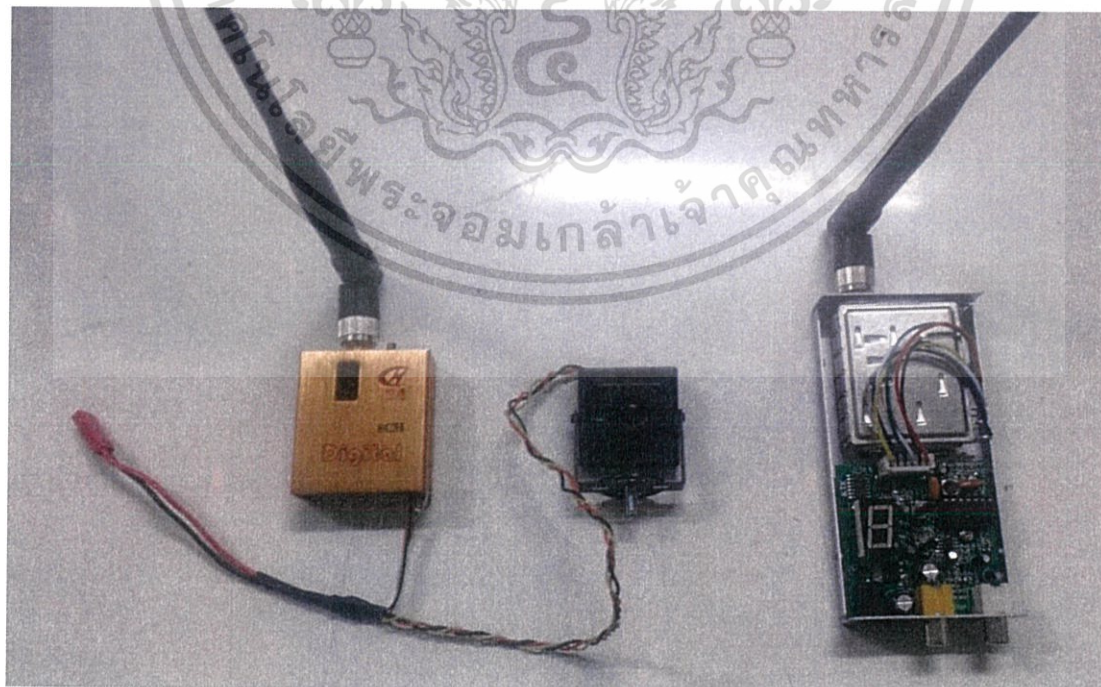
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 กลไกทั้งสัมภาระเมื่อกดปุ่ม

4.2 การใช้งานกล้อง และระบบเรียลไทม์สตรีมมิง

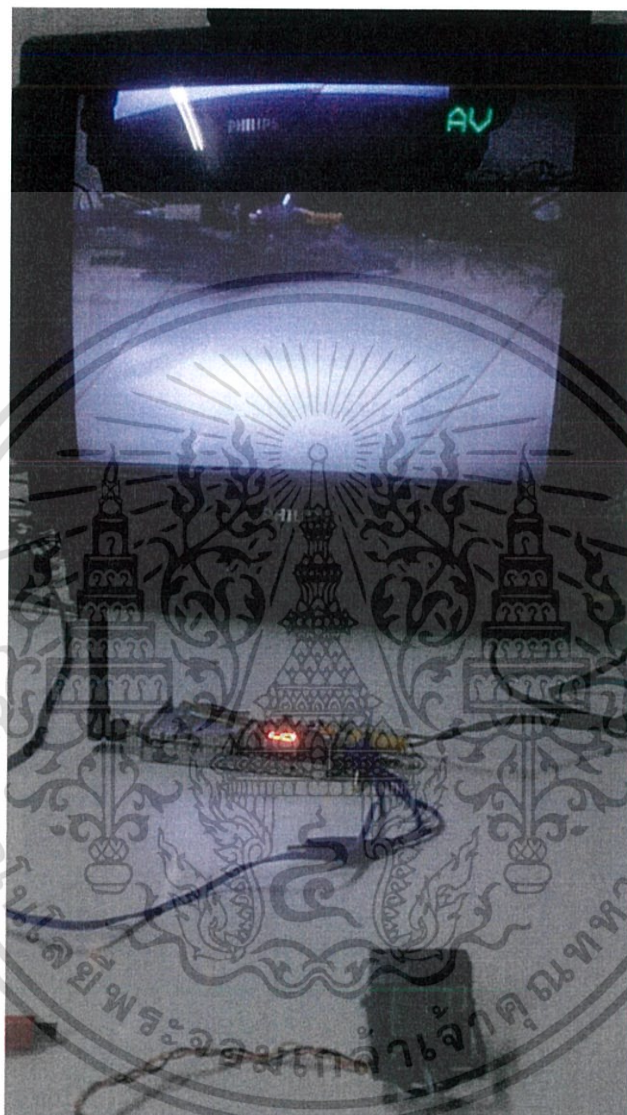
จากความต้องการระบบที่สามารถถ่ายทอดภาพเพื่อสามารถระบุตำแหน่งและจำนวนผู้ประสภภัยในพื้นที่ได้ จึงติดตั้งกล้องและอุปกรณ์สำหรับรับส่งสัญญาณภาพ ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 กล้องและอุปกรณ์รับส่งสัญญาณภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเชื่อมต่อเข้ากับระบบไฟฟ้าของควอดคอปเตอร์แล้ว ที่ตัวส่งสัญญาณ (Transmitter) จะมีปุ่มกดสำหรับตั้งค่าช่องสัญญาณ โดยจะต้องตั้งให้ตรงกันทั้งภาครับและภาคส่ง และที่ตัวรับสัญญาณ (Receiver) จะมีหัวเชื่อมต่อกับสายสัญญาณวิดีโอ ซึ่งสามารถเสียบกับวิดีโอที่มีช่องสำหรับสายสัญญาณ ภาพจะแสดงขึ้นที่จอภาพดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 ภาพวิดีโอที่รับสัญญาณมาจากภาคส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาที่พบและแนวทางการพัฒนา

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

โครงการนี้ใช้การบูรณาการวิชาความรู้ในเรื่องของไมโครคอนโทรลเลอร์และไวร์เลสคอมมิวนิเคชัน ด้วยการสร้างอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพิ่มเติมบนควอดคอปเตอร์ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานอื่นนอกจากความบันเทิงแก่ผู้ใช้งาน คืองานบรรเทาสาธารณภัย โดยสร้างเป็นเครื่องต้นแบบเพื่อศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้งานเบื้องต้น ประกอบด้วยสามส่วนคือ ส่วนภาพวิดีโอถ่ายทอดสด ส่วนเซนเซอร์ที่แจ้งสถานะ และส่วนควบคุมกลไกการทำงานอุปกรณ์ทั้งสามประการ ซึ่งในการใช้งานจริงอาจต้องมีการพัฒนาและปรับปรุงให้เหมาะสมและสามารถใช้งานได้สะดวกและมีประสิทธิภาพมากขึ้น ดังจะกล่าวในหัวข้อแนวทางการพัฒนาต่อไป

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ไข

5.2.1 ลักษณะกลไกทำงานเป็นลักษณะอย่างง่าย ไม่มีความซับซ้อน ทำให้อาจยากต่อการใช้งานในรูปแบบอื่นที่นอกเหนือจากที่กำหนด

5.2.2 การส่งสัญญาณคลื่นวิทยุใช้สัญญาณคลื่นแยกกันในแต่ละอุปกรณ์ (รีโมทคอนโทรล กล้องวิดีโอ และเซนเซอร์) ในอนาคตหากมีการศึกษาเพิ่มเติมในเรื่องของการมัลติเพล็กซ์สัญญาณจะช่วยให้ประหยัดพื้นที่ติดตั้งสายอากาศบนตัวอุปกรณ์ได้

5.2.3 ระยะเวลาในการบินลดลง เนื่องจากการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่เพิ่มขึ้น จากการติดตั้งกล้องและวงจรควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ ในอนาคตอาจใช้อุปกรณ์ที่กินไฟน้อยหรือเปลี่ยนแหล่งจ่ายพลังงานที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นแทนที่

5.2.4 โครงสร้างของควอดคอปเตอร์ที่ใช้ไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่อใช้งานบรรทุกสัมภาระโดยตรง ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานเป็นไปได้อย่างไม่เต็มที่

5.2.5 วงจรอ่านค่าเซนเซอร์และควบคุมเซอร์โวมอเตอร์ยังมีความผิดพลาดสูง เวลาใช้งานจำเป็นต้องรีเซ็ตบ่อยครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อยอด

จากระบบที่ออกแบบและทดลองนั้น ยังเป็นระบบที่อาศัยมนุษย์เป็นผู้บังคับ ในอนาคต นอกจากจะปรับลักษณะและสมรรถนะให้เหมาะสมกับงานบรรเทาสาธารณภัยแล้ว โดรนสนับสนุนการกู้ภัยจะเพิ่มการทำงานแบบไร้คนขับ เพิ่มรัศมีการทำงาน เพิ่มอุปกรณ์เช่น กล้องรังสีจับความร้อน หรือระบบสื่อสารทางอื่นที่สามารถติดต่อกับผู้ประสบภัยในพื้นที่โดยตรงได้ และพัฒนาระบบติดต่อกับผู้ใช้ให้รวมกันในจอภาพเดียว เพื่อให้สะดวกต่อการใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] QUADCOPTER-The Unmanned Aerial Vehicle (2557) เข้าถึงได้จาก:
<http://aermech.com/quadcopter-unmanned-aerial-vehicle>
 (วันที่ค้นข้อมูล: 23 ตุลาคม 2557)
- [2] Naza-m lite (ม.ป.ป.) เข้าถึงได้จาก: <http://www.dji.com/product/naza-m-lite/spec>
 (วันที่ค้นข้อมูล: 23 กันยายน 2557)
- [3] บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (ม.ป.ป.) เข้าถึงได้จาก:
<http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardNano> (วันที่ค้นข้อมูล: 13 กันยายน 2557)
- [4] ไมโครคอนโทรลเลอร์ (ม.ป.ป.) เข้าถึงได้จาก:
<http://www.alldatasheet.com/datasheet-df/pdf/392243/ATMEL/ATMEGA328.html>
 (วันที่ค้นข้อมูล: 13 กันยายน 2557)
- [5] 2.4G NRF24L01 Wireless Tranceiver/Receive Module (2557) เข้าถึงได้จาก:
<http://goo.gl/W5zbKN> (วันที่ค้นข้อมูล: 15 กันยายน 2557)
- [6] การมอดูเลตแบบ GFSK (Gaussian Frequency Shift Keying) (ม.ป.ป.) เข้าถึงได้จาก:
http://mis.en.kku.ac.th/administrator/doc_upload/EE20080310200444.pdf
 (วันที่ค้นข้อมูล: 17 กันยายน 2557)
- [7] MIKEGRUSIN, Serial Peripheral Interface (SPI) (ม.ป.ป.), เข้าถึงได้จาก:
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/serial-peripheral-interface-spi>
 (วันที่ค้นข้อมูล: 20 กันยายน 2557)
- [8] SFUPTOWNMAKER, I2C (ม.ป.ป.), เข้าถึงได้จาก:
<https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c/protocol> (วันที่ค้นข้อมูล: 19 ตุลาคม 2557)
- blimppilot@ph, Different Naza Hardware Versions (2556) เข้าถึงได้จาก:
<http://www.rcgroups.com/forums/showthread.php?t=2031503>
 (วันที่ค้นข้อมูล: 27 กันยายน 2557)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม(ต่อ)

- [9] เซอร์โว เข้าถึงได้จาก <http://goo.gl/kcj1mt> (วันที่ค้นข้อมูล: 21 เมษายน 2558)
- [10] วงจรรักษาแรงดัน เข้าถึงได้จาก <http://www.songwoot.utc.ac.th/3128-1001/unit8.htm> (วันที่ค้นข้อมูล: 21 เมษายน 2558)

นายปฏิพัทธ์ ญาติโสม และ นายเมธาวุฒิ อุดรินทร์, เฮลิคอปเตอร์ 4 ใบพัด, คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาลัยขอนแก่น, ปีพ.ศ. 2555 (วันที่ค้นข้อมูล : 8 กันยายน 2557)

I2C and SPI (2555), เข้าถึงได้จาก: <http://quick2wire.com/articles/i2c-and-spi/> (วันที่ค้นข้อมูล: 21 ตุลาคม 2557)

Jatuchai, ความรู้เรื่อง I2C ระบบที่มีสัญญาณเพียง 2 เส้น (2552), เข้าถึงได้จาก: <http://www.eclubthai.com/board/index.php?topic=16140.0;wap2> (วันที่ค้นข้อมูล: 22 ตุลาคม 2557)

การสื่อสารระหว่าง SPI Master และ Slave โดยใช้บอร์ด Arduino (2557) เข้าถึงได้จาก : <http://cpre.kmutnb.ac.th/es/learning/index.php?article=arduino-spi-master-slave> (วันที่ค้นข้อมูล: 21 กันยายน 2557)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1 Introduction

The nRF24L01+ is a single chip 2.4GHz transceiver with an embedded baseband protocol engine (Enhanced ShockBurst™), suitable for ultra low power wireless applications. The nRF24L01+ is designed for operation in the world wide ISM frequency band at 2.400 - 2.4835GHz.

To design a radio system with the nRF24L01+, you simply need an MCU (microcontroller) and a few external passive components.

You can operate and configure the nRF24L01+ through a Serial Peripheral Interface (SPI). The register map, which is accessible through the SPI, contains all configuration registers in the nRF24L01+ and is accessible in all operation modes of the chip.

The embedded baseband protocol engine (Enhanced ShockBurst™) is based on packet communication and supports various modes from manual operation to advanced autonomous protocol operation. Internal FIFOs ensure a smooth data flow between the radio front end and the system's MCU. Enhanced ShockBurst™ reduces system cost by handling all the high speed link layer operations.

The radio front end uses GFSK modulation. It has user configurable parameters like frequency channel, output power and air data rate. nRF24L01+ supports an air data rate of 250 kbps, 1 Mbps and 2Mbps. The high air data rate combined with two power saving modes make the nRF24L01+ very suitable for ultra low power designs.

nRF24L01+ is drop-in compatible with nRF24L01 and on-air compatible with nRF2401A, nRF2402, nRF24E1 and nRF24E2. Intermodulation and wideband blocking values in nRF24L01+ are much improved in comparison to the nRF24L01 and the addition of internal filtering to nRF24L01+ has improved the margins for meeting RF regulatory standards.

Internal voltage regulators ensure a high Power Supply Rejection Ratio (PSRR) and a wide power supply range.

1.1 Features

Features of the nRF24L01+ include:

- Radio
 - ▶ Worldwide 2.4GHz ISM band operation
 - ▶ 126 RF channels
 - ▶ Common RX and TX interface
 - ▶ GFSK modulation
 - ▶ 250kbps, 1 and 2Mbps air data rate
 - ▶ 1MHz non-overlapping channel spacing at 1Mbps
 - ▶ 2MHz non-overlapping channel spacing at 2Mbps
- Transmitter
 - ▶ Programmable output power: 0, -6, -12 or -18dBm
 - ▶ 11.3mA at 0dBm output power
- Receiver
 - ▶ Fast AGC for improved dynamic range
 - ▶ Integrated channel filters
 - ▶ 13.5mA at 2Mbps
 - ▶ -82dBm sensitivity at 2Mbps
 - ▶ -85dBm sensitivity at 1Mbps
 - ▶ -94dBm sensitivity at 250kbps
- RF Synthesizer
 - ▶ Fully integrated synthesizer
 - ▶ No external loop filter, VCO varactor diode or resonator
 - ▶ Accepts low cost ± 60 ppm 16MHz crystal
- Enhanced ShockBurst™
 - ▶ 1 to 32 bytes dynamic payload length
 - ▶ Automatic packet handling
 - ▶ Auto packet transaction handling
 - ▶ 6 data pipe MultiCeiver™ for 1:6 star networks
- Power Management
 - ▶ Integrated voltage regulator
 - ▶ 1.9 to 3.6V supply range
 - ▶ Idle modes with fast start-up times for advanced power management
 - ▶ 26 μ A Standby-I mode, 900nA power down mode
 - ▶ Max 1.5ms start-up from power down mode
 - ▶ Max 130us start-up from standby-I mode
- Host Interface
 - ▶ 4-pin hardware SPI
 - ▶ Max 10Mbps
 - ▶ 3 separate 32 bytes TX and RX FIFOs
 - ▶ 5V tolerant inputs
- Compact 20-pin 4x4mm QFN package

1.2 Block diagram

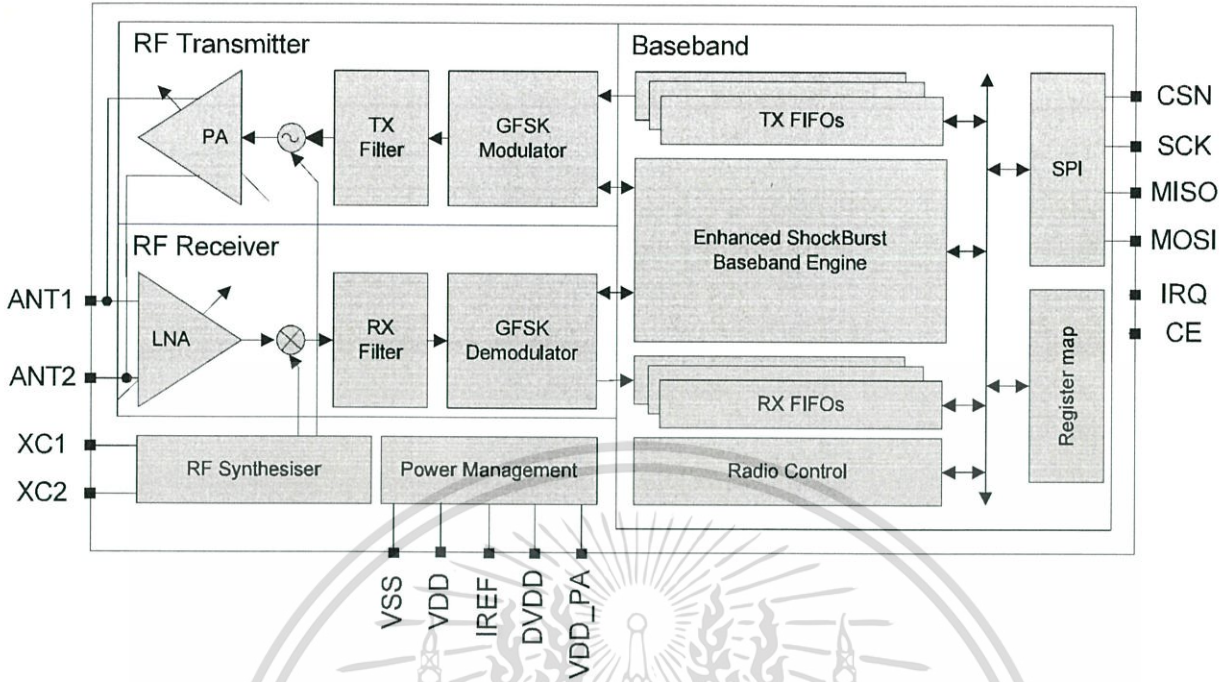


Figure 1. nRF24L01+ block diagram

2 Pin Information

2.1 Pin assignment

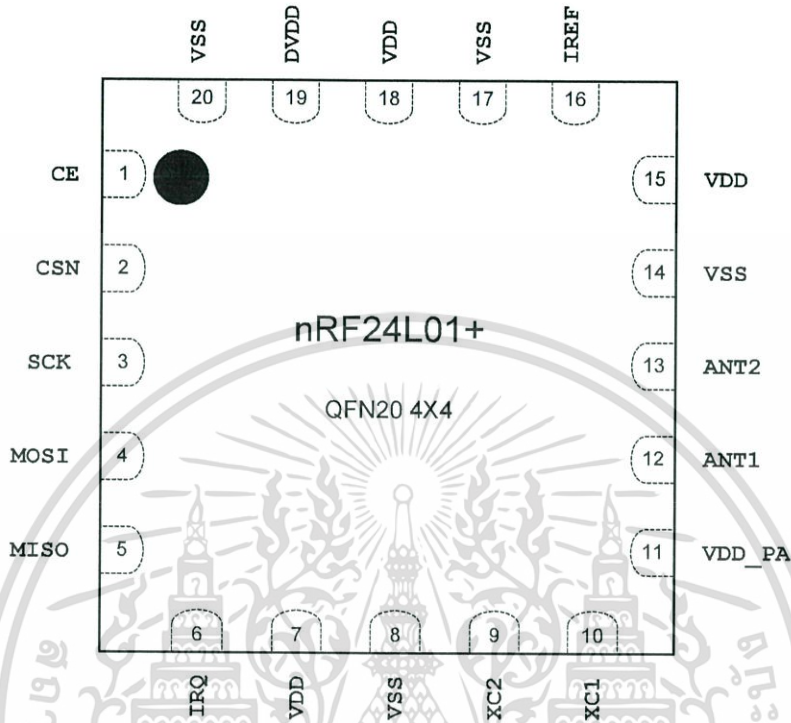


Figure 2. nRF24L01+ pin assignment (top view) for the QFN20 4x4 package

2.2 Pin functions

Pin	Name	Pin function	Description
1	CE	Digital Input	Chip Enable Activates RX or TX mode
2	CSN	Digital Input	SPI Chip Select
3	SCK	Digital Input	SPI Clock
4	MOSI	Digital Input	SPI Slave Data Input
5	MISO	Digital Output	SPI Slave Data Output, with tri-state option
6	IRQ	Digital Output	Maskable interrupt pin. Active low
7	VDD	Power	Power Supply (+1.9V - +3.6V DC)
8	VSS	Power	Ground (0V)
9	XC2	Analog Output	Crystal Pin 2
10	XC1	Analog Input	Crystal Pin 1
11	VDD_PA	Power Output	Power Supply Output (+1.8V) for the internal nRF24L01+ Power Amplifier. Must be connected to ANT1 and ANT2 as shown in Figure 29 .
12	ANT1	RF	Antenna interface 1
13	ANT2	RF	Antenna interface 2
14	VSS	Power	Ground (0V)
15	VDD	Power	Power Supply (+1.9V - +3.6V DC)
16	IREF	Analog Input	Reference current. Connect a 22k Ω resistor to ground. See Figure 29 .
17	VSS	Power	Ground (0V)
18	VDD	Power	Power Supply (+1.9V - +3.6V DC)
19	DVDD	Power Output	Internal digital supply output for de-coupling purposes. See Figure 29 .
20	VSS	Power	Ground (0V)

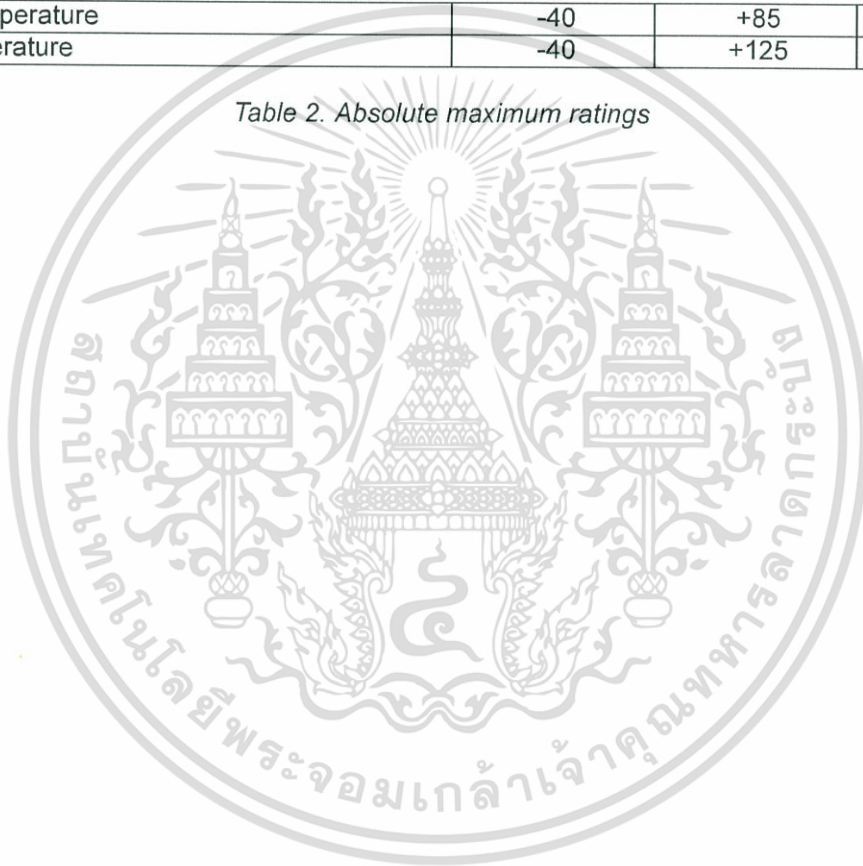
Table 1. nRF24L01+ pin function

3 Absolute maximum ratings

Note: Exceeding one or more of the limiting values may cause permanent damage to nRF24L01+.

Operating conditions	Minimum	Maximum	Units
Supply voltages			
VDD	-0.3	3.6	V
VSS		0	V
Input voltage			
V _I	-0.3	5.25	V
Output voltage			
V _O	VSS to VDD	VSS to VDD	
Total Power Dissipation			
P _D (T _A =85°C)		60	mW
Temperatures			
Operating Temperature	-40	+85	°C
Storage Temperature	-40	+125	°C

Table 2. Absolute maximum ratings



4 Operating conditions

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
VDD	Supply voltage		1.9	3.0	3.6	V
VDD	Supply voltage if input signals >3.6V		2.7	3.0	3.3	V
TEMP	Operating Temperature		-40	+27	+85	°C

Table 3. Operating conditions



5 Electrical specifications

Conditions: $V_{DD} = +3V$, $V_{SS} = 0V$, $T_A = -40^{\circ}C$ to $+85^{\circ}C$

5.1 Power consumption

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
Idle modes						
I_{VDD_PD}	Supply current in power down			900		nA
I_{VDD_ST1}	Supply current in standby-I mode	a		26		μA
I_{VDD_ST2}	Supply current in standby-II mode			320		μA
I_{VDD_SU}	Average current during 1.5ms crystal oscillator startup			400		μA
Transmit						
I_{VDD_TX0}	Supply current @ 0dBm output power	b		11.3		mA
I_{VDD_TX6}	Supply current @ -6dBm output power	b		9.0		mA
I_{VDD_TX12}	Supply current @ -12dBm output power	b		7.5		mA
I_{VDD_TX18}	Supply current @ -18dBm output power	b		7.0		mA
I_{VDD_AVG}	Average Supply current @ -6dBm output power, ShockBurst™	c		0.12		mA
I_{VDD_TXS}	Average current during TX settling	d		8.0		mA
Receive						
I_{VDD_2M}	Supply current 2Mbps			13.5		mA
I_{VDD_1M}	Supply current 1Mbps			13.1		mA
I_{VDD_250}	Supply current 250kbps			12.6		mA
I_{VDD_RXS}	Average current during RX settling	e		8.9		mA

- a. This current is for a 12pF crystal. Current when using external clock is dependent on signal swing.
b. Antenna load impedance = $15\Omega + j88\Omega$.
c. Antenna load impedance = $15\Omega + j88\Omega$. Average data rate 10kbps and max. payload length packets.
d. Average current consumption during TX startup (130 μs) and when changing mode from RX to TX (130 μs).
e. Average current consumption during RX startup (130 μs) and when changing mode from TX to RX (130 μs).

Table 4. Power consumption

5.2 General RF conditions

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
f_{OP}	Operating frequency	a	2400		2525	MHz
PLL_{res}	PLL Programming resolution			1		MHz
f_{XTAL}	Crystal frequency			16		MHz
Δf_{250}	Frequency deviation @ 250kbps			± 160		kHz
Δf_{1M}	Frequency deviation @ 1Mbps			± 160		kHz
Δf_{2M}	Frequency deviation @ 2Mbps			± 320		kHz
R_{GFSK}	Air Data rate	b	250		2000	kbps
$F_{CHANNEL\ 1M}$	Non-overlapping channel spacing @ 250kbps/1Mbps	c		1		MHz
$F_{CHANNEL\ 2M}$	Non-overlapping channel spacing @ 2Mbps	c		2		MHz

- a. Regulatory standards determine the band range you can use.
 b. Data rate in each burst on-air
 c. The minimum channel spacing is 1MHz

Table 5. General RF conditions

5.3 Transmitter operation

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
P_{RF}	Maximum Output Power	a		0	+4	dBm
P_{RFC}	RF Power Control Range		16	18	20	dB
P_{RFCR}	RF Power Accuracy				± 4	dB
P_{BW2}	20dB Bandwidth for Modulated Carrier (2Mbps)			1800	2000	kHz
P_{BW1}	20dB Bandwidth for Modulated Carrier (1Mbps)			900	1000	kHz
P_{BW250}	20dB Bandwidth for Modulated Carrier (250kbps)			700	800	kHz
$P_{RF1.2}$	1 st Adjacent Channel Transmit Power 2MHz (2Mbps)				-20	dBc
$P_{RF2.2}$	2 nd Adjacent Channel Transmit Power 4MHz (2Mbps)				-50	dBc
$P_{RF1.1}$	1 st Adjacent Channel Transmit Power 1MHz (1Mbps)				-20	dBc
$P_{RF2.1}$	2 nd Adjacent Channel Transmit Power 2MHz (1Mbps)				-45	dBc
$P_{RF1.250}$	1 st Adjacent Channel Transmit Power 1MHz (250kbps)				-30	dBc
$P_{RF2.250}$	2 nd Adjacent Channel Transmit Power 2MHz (250kbps)				-45	dBc

- a. Antenna load impedance = $15\Omega + j88\Omega$

Table 6. Transmitter operation

5.4 Receiver operation

Datarate	Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
	RX_{max}	Maximum received signal at <0.1% BER			0		dBm
2Mbps	RX_{SENS}	Sensitivity (0.1%BER) @2Mbps			-82		dBm
1Mbps	RX_{SENS}	Sensitivity (0.1%BER) @1Mbps			-85		dBm
250kbps	RX_{SENS}	Sensitivity (0.1%BER) @250kbps			-94		dBm

Table 7. RX Sensitivity

Datarate	Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
2Mbps	C/I_{CO}	C/I Co-channel			7		dBc
	C/I_{1ST}	1 st ACS (Adjacent Channel Selectivity) C/I 2MHz			3		dBc
	C/I_{2ND}	2 nd ACS C/I 4MHz			-17		dBc
	C/I_{3RD}	3 rd ACS C/I 6MHz			-21		dBc
	C/I_{Nth}	N th ACS C/I, $f_i > 12\text{MHz}$			-40		dBc
	C/I_{Nth}	N th ACS C/I, $f_i > 36\text{MHz}$	a		-48		dBc
1Mbps	C/I_{CO}	C/I Co-channel			9		dBc
	C/I_{1ST}	1 st ACS C/I 1MHz			8		dBc
	C/I_{2ND}	2 nd ACS C/I 2MHz			-20		dBc
	C/I_{3RD}	3 rd ACS C/I 3MHz			-30		dBc
	C/I_{Nth}	N th ACS C/I, $f_i > 6\text{MHz}$			-40		dBc
	C/I_{Nth}	N th ACS C/I, $f_i > 25\text{MHz}$	a		-47		dBc
250kbps	C/I_{CO}	C/I Co-channel			12		dBc
	C/I_{1ST}	1 st ACS C/I 1MHz			-12		dBc
	C/I_{2ND}	2 nd ACS C/I 2MHz			-33		dBc
	C/I_{3RD}	3 rd ACS C/I 3MHz			-38		dBc
	C/I_{Nth}	N th ACS C/I, $f_i > 6\text{MHz}$			-50		dBc
	C/I_{Nth}	N th ACS C/I, $f_i > 25\text{MHz}$	a		-60		dBc

a. Narrow Band (In Band) Blocking measurements:

0 to $\pm 40\text{MHz}$; 1MHz step size

For Interferer frequency offsets $n \cdot 2 \cdot f_{xtal}$, blocking performance is degraded by approximately 5dB compared to adjacent figures.

Table 8. RX selectivity according to ETSI EN 300 440-1 V1.3.1 (2001-09) page 27

Datarate	Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
2Mbps	C/I _{CO}	C/I Co-channel (Modulated carrier)			11		dBc
	C/I _{1ST}	1 st ACS C/I 2MHz			4		dBc
	C/I _{2ND}	2 nd ACS C/I 4MHz			-18		dBc
	C/I _{3RD}	3 rd ACS C/I 6MHz			-24		dBc
	C/I _{Nth}	N th ACS C/I, $f_i > 12\text{MHz}$			-40		dBc
	C/I _{Nth}	N th ACS C/I, $f_i > 36\text{MHz}$	a		-48		dBc
1Mbps	C/I _{CO}	C/I Co-channel			12		dBc
	C/I _{1ST}	1 st ACS C/I 1MHz			8		dBc
	C/I _{2ND}	2 nd ACS C/I 2MHz			-21		dBc
	C/I _{3RD}	3 rd ACS C/I 3MHz			-30		dBc
	C/I _{Nth}	N th ACS C/I, $f_i > 6\text{MHz}$			-40		dBc
	C/I _{Nth}	N th ACS C/I, $f_i > 25\text{MHz}$	a		-50		dBc
250kbps	C/I _{CO}	C/I Co-channel			7		dBc
	C/I _{1ST}	1 st ACS C/I 1MHz			-12		dBc
	C/I _{2ND}	2 nd ACS C/I 2MHz			-34		dBc
	C/I _{3RD}	3 rd ACS C/I 3MHz			-39		dBc
	C/I _{Nth}	N th ACS C/I, $f_i > 6\text{MHz}$			-50		dBc
	C/I _{Nth}	N th ACS C/I, $f_i > 25\text{MHz}$	a		-60		dBc

a. **Narrow Band (In Band) Blocking measurements:**

0 to $\pm 40\text{MHz}$; 1MHz step size

Wide Band Blocking measurements:

30MHz to 2000MHz; 10MHz step size

2000MHz to 2399MHz; 3MHz step size

2484MHz to 3000MHz; 3MHz step size

3GHz to 12.75GHz; 25MHz step size

Wanted signal for wideband blocking measurements:

-67dBm in 1Mbps and 2Mbps mode

-77dBm in 250kbps mode

For Interferer frequency offsets $n \cdot 2 \cdot f_{\text{xtal}}$, blocking performance are degraded by approximately 5dB compared to adjacent figures.

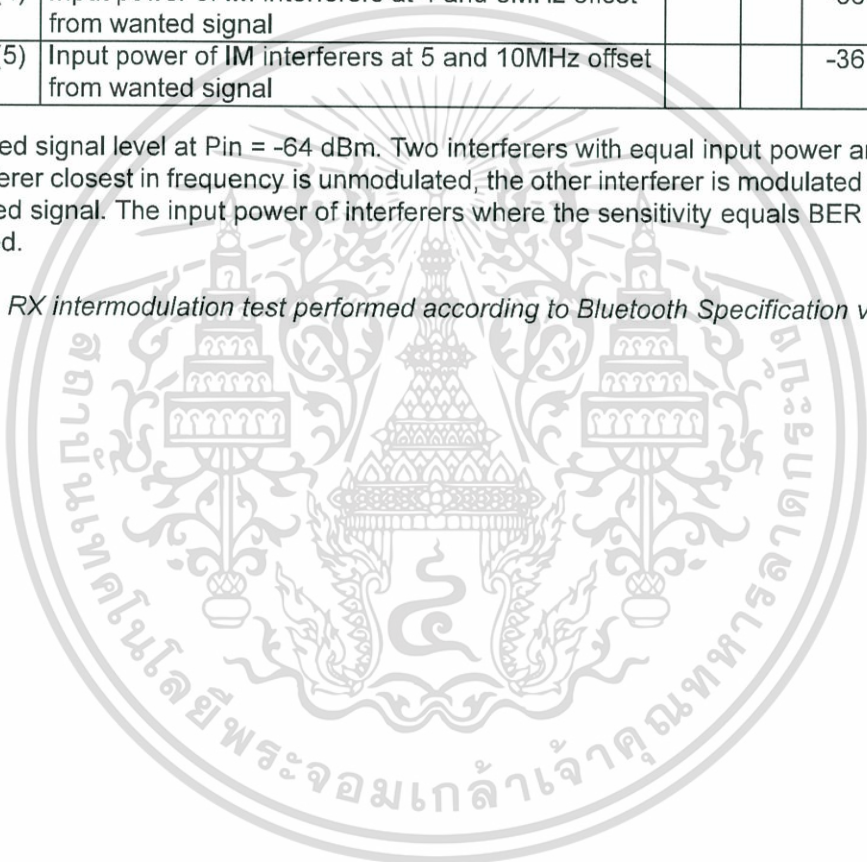
If the wanted signal is 3dB or more above the sensitivity level then, the carrier/interferer ratio is independent of the wanted signal level for a given frequency offset.

Table 9. RX selectivity with nRF24L01+ equal modulation on interfering signal. Measured using $P_{\text{in}} = -67\text{dBm}$ for wanted signal.

Datarate	Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
2Mbps	P_IM(6)	Input power of IM interferers at 6 and 12MHz offset from wanted signal			-42		dBm
	P_IM(8)	Input power of IM interferers at 8 and 16MHz offset from wanted signal			-38		dBm
	P_IM(10)	Input power of IM interferers at 10 and 20MHz offset from wanted signal			-37		dBm
1Mbps	P_IM(3)	Input power of IM interferers at 3 and 6MHz offset from wanted signal			-36		dBm
	P_IM(4)	Input power of IM interferers at 4 and 8MHz offset from wanted signal			-36		dBm
	P_IM(5)	Input power of IM interferers at 5 and 10MHz offset from wanted signal			-36		dBm
250kbps	P_IM(3)	Input power of IM interferers at 3 and 6MHz offset from wanted signal			-36		dBm
	P_IM(4)	Input power of IM interferers at 4 and 8MHz offset from wanted signal			-36		dBm
	P_IM(5)	Input power of IM interferers at 5 and 10MHz offset from wanted signal			-36		dBm

Note: Wanted signal level at Pin = -64 dBm. Two interferers with equal input power are used. The interferer closest in frequency is unmodulated, the other interferer is modulated equal with the wanted signal. The input power of interferers where the sensitivity equals BER = 0.1% is presented.

Table 10. RX intermodulation test performed according to Bluetooth Specification version 2.0



5.5 Crystal specifications

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
F_{xo}	Crystal Frequency			16		MHz
ΔF	Tolerance	a b			± 60	ppm
C_0	Equivalent parallel capacitance			1.5	7.0	pF
C_L	Load capacitance		8	12	16	pF
ESR	Equivalent Series Resistance				100	Ω

- a. Frequency accuracy including; tolerance at 25°C, temperature drift, aging and crystal loading.
 b. Frequency regulations in certain regions set tighter requirements for frequency tolerance (For example, Japan and South Korea specify max. +/- 50ppm)

Table 11. Crystal specifications

5.6 DC characteristics

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
V_{IH}	HIGH level input voltage		0.7VDD		5.25 ^a	V
V_{IL}	LOW level input voltage		VSS		0.3VDD	V

- a. If the input signal >3.6V, the VDD of the nRF24L01+ must be between 2.7V and 3.3V (3.0V±10%)

Table 12. Digital input pin

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
V_{OH}	HIGH level output voltage ($I_{OH}=-0.25\text{mA}$)		VDD -0.3		VDD	V
V_{OL}	LOW level output voltage ($I_{OL}=0.25\text{mA}$)				0.3	V

Table 13. Digital output pin

5.7 Power on reset

Symbol	Parameter (condition)	Notes	Min.	Typ.	Max.	Units
T_{PUP}	Power ramp up time	a			100	ms
T_{POR}	Power on reset	b	1		100	ms

- a. From 0V to 1.9V.
 b. Measured from when the VDD reaches 1.9V to when the reset finishes.

Table 14. Power on reset

6 Radio Control

This chapter describes the nRF24L01+ radio transceiver's operating modes and the parameters used to control the radio.

The nRF24L01+ has a built-in state machine that controls the transitions between the chip's operating modes. The state machine takes input from user defined register values and internal signals.

6.1 Operational Modes

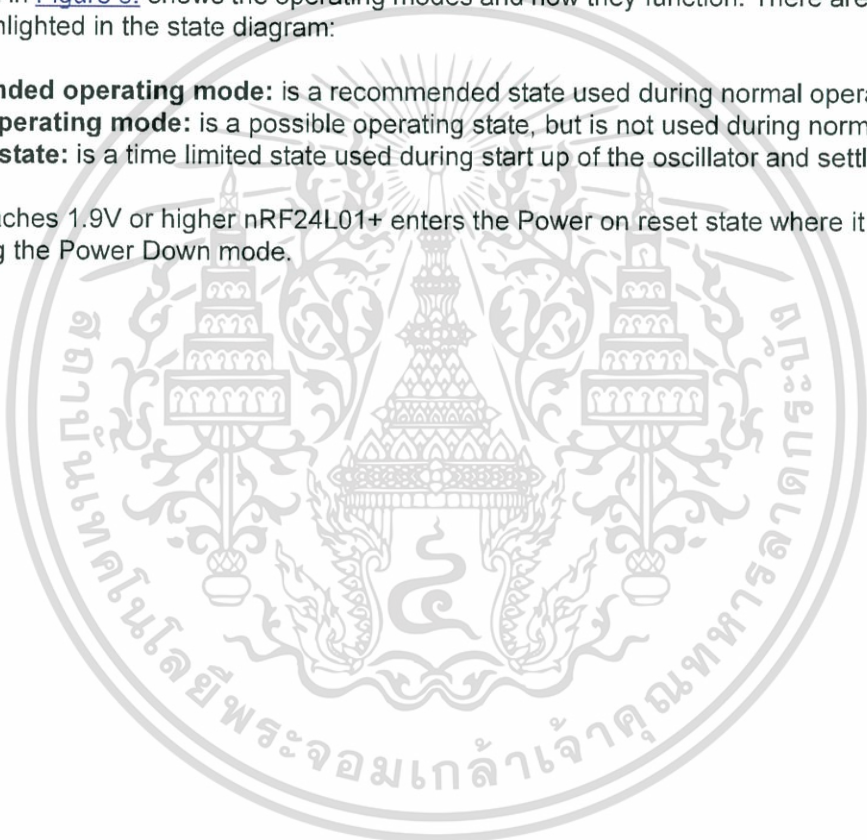
You can configure the nRF24L01+ in power down, standby, RX or TX mode. This section describes these modes in detail.

6.1.1 State diagram

The state diagram in [Figure 3](#), shows the operating modes and how they function. There are three types of distinct states highlighted in the state diagram:

- **Recommended operating mode:** is a recommended state used during normal operation.
- **Possible operating mode:** is a possible operating state, but is not used during normal operation.
- **Transition state:** is a time limited state used during start up of the oscillator and settling of the PLL.

When the V_{DD} reaches 1.9V or higher nRF24L01+ enters the Power on reset state where it remains in reset until entering the Power Down mode.



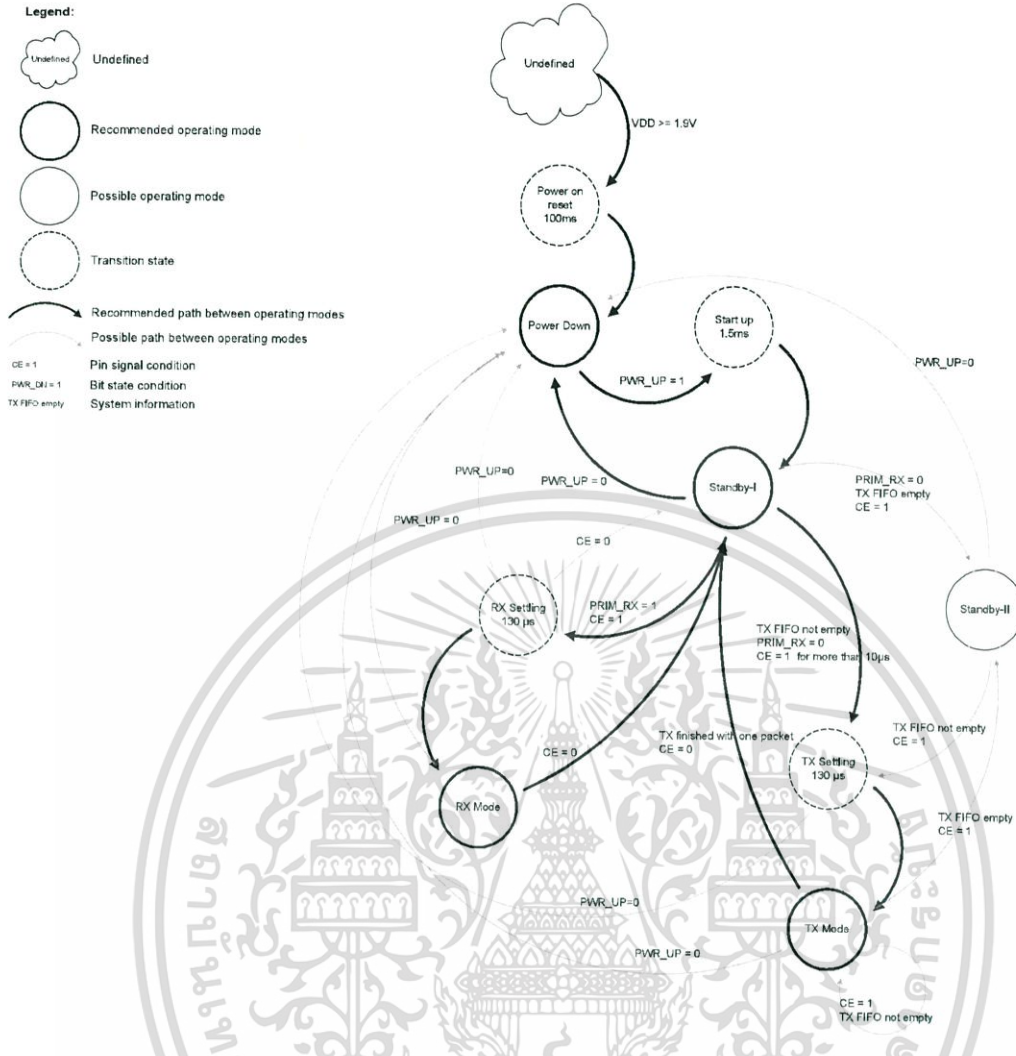


Figure 3. Radio control state diagram

6.1.2 Power Down Mode

In power down mode nRF24L01+ is disabled using minimal current consumption. All register values available are maintained and the SPI is kept active, enabling change of configuration and the uploading/downloading of data registers. For start up times see [Table 16. on page 23](#). Power down mode is entered by setting the `PWR_UP` bit in the `CONFIG` register low.

6.1.3 Standby Modes

6.1.3.1 Standby-I mode

By setting the `PWR_UP` bit in the `CONFIG` register to 1, the device enters standby-I mode. Standby-I mode is used to minimize average current consumption while maintaining short start up times. In this mode only part of the crystal oscillator is active. Change to active modes only happens if `CE` is set high and when `CE` is set low, the nRF24L01 returns to standby-I mode from both the TX and RX modes.

6.1.3.2 Standby-II mode

In standby-II mode extra clock buffers are active and more current is used compared to standby-I mode. nRF24L01+ enters standby-II mode if \overline{CE} is held high on a PTX device with an empty TX FIFO. If a new packet is uploaded to the TX FIFO, the PLL immediately starts and the packet is transmitted after the normal PLL settling delay (130 μ s).

Register values are maintained and the SPI can be activated during both standby modes. For start up times see [Table 16. on page 23](#).

6.1.4 RX mode

The RX mode is an active mode where the nRF24L01+ radio is used as a receiver. To enter this mode, the nRF24L01+ must have the PWR_UP bit, $PRIM_RX$ bit and the \overline{CE} pin set high.

In RX mode the receiver demodulates the signals from the RF channel, constantly presenting the demodulated data to the baseband protocol engine. The baseband protocol engine constantly searches for a valid packet. If a valid packet is found (by a matching address and a valid CRC) the payload of the packet is presented in a vacant slot in the RX FIFOs. If the RX FIFOs are full, the received packet is discarded.

The nRF24L01+ remains in RX mode until the MCU configures it to standby-I mode or power down mode. However, if the automatic protocol features (Enhanced ShockBurst™) in the baseband protocol engine are enabled, the nRF24L01+ can enter other modes in order to execute the protocol.

In RX mode a Received Power Detector (RPD) signal is available. The RPD is a signal that is set high when a RF signal higher than -64 dBm is detected inside the receiving frequency channel. The internal RPD signal is filtered before presented to the RPD register. The RF signal must be present for at least 40 μ s before the RPD is set high. How to use the RPD is described in [Section 6.4 on page 24](#).

6.1.5 TX mode

The TX mode is an active mode for transmitting packets. To enter this mode, the nRF24L01+ must have the PWR_UP bit set high, $PRIM_RX$ bit set low, a payload in the TX FIFO and a high pulse on the \overline{CE} for more than 10 μ s.

The nRF24L01+ stays in TX mode until it finishes transmitting a packet. If $\overline{CE} = 0$, nRF24L01+ returns to standby-I mode. If $\overline{CE} = 1$, the status of the TX FIFO determines the next action. If the TX FIFO is not empty the nRF24L01+ remains in TX mode and transmits the next packet. If the TX FIFO is empty the nRF24L01+ goes into standby-II mode. The nRF24L01+ transmitter PLL operates in open loop when in TX mode. It is important never to keep the nRF24L01+ in TX mode for more than 4ms at a time. If the Enhanced ShockBurst™ features are enabled, nRF24L01+ is never in TX mode longer than 4ms.

6.1.6 Operational modes configuration

The following table ([Table 15.](#)) describes how to configure the operational modes.

Mode	PWR_UP register	PRIM_RX register	CE input pin	FIFO state
RX mode	1	1	1	-
TX mode	1	0	1	Data in TX FIFOs. Will empty all levels in TX FIFOs ^a .
TX mode	1	0	Minimum 10 μ s high pulse	Data in TX FIFOs. Will empty one level in TX FIFOs ^b .
Standby-II	1	0	1	TX FIFO empty.
Standby-I	1	-	0	No ongoing packet transmission.
Power Down	0	-	-	-

- If CE is held high all TX FIFOs are emptied and all necessary ACK and possible retransmits are carried out. The transmission continues as long as the TX FIFO is refilled. If the TX FIFO is empty when the CE is still high, nRF24L01+ enters standby-II mode. In this mode the transmission of a packet is started as soon as the CSN is set high after an upload (UL) of a packet to TX FIFO.
- This operating mode pulses the CE high for at least 10 μ s. This allows one packet to be transmitted. This is the normal operating mode. After the packet is transmitted, the nRF24L01+ enters standby-I mode.

Table 15. nRF24L01+ main modes

6.1.7 Timing Information

The timing information in this section relates to the transitions between modes and the timing for the CE pin. The transition from TX mode to RX mode or vice versa is the same as the transition from the standby modes to TX mode or RX mode (max. 130 μ s), as described in [Table 16.](#)

Name	nRF24L01+	Max.	Min.	Comments
Tpd2stby	Power Down \rightarrow Standby mode	1.5ms		Internal crystal oscillator
Tpd2stby	Power Down \rightarrow Standby mode	150 μ s		With external clock
Tstby2a	Standby modes \rightarrow TX/RX mode	130 μ s		
Thce	Minimum CE high		10 μ s	
Tpece2csn	Delay from CE positive edge to CSN low		4 μ s	

Table 16. Operational timing of nRF24L01+

When nRF24L01+ is in power down mode it must settle for 1.5ms before it can enter the TX or RX modes. If an external clock is used this delay is reduced to 150 μ s, see [Table 16.](#) The settling time must be controlled by the MCU.

Note: If VDD is turned off the register value is lost and you must configure nRF24L01+ before entering the TX or RX modes.

6.2 Air data rate

The air data rate is the modulated signaling rate the nRF24L01+ uses when transmitting and receiving data. It can be 250kbps, 1Mbps or 2Mbps. Using lower air data rate gives better receiver sensitivity than higher air data rate. But, high air data rate gives lower average current consumption and reduced probability of on-air collisions.

The air data rate is set by the `RF_DR` bit in the `RF_SETUP` register. A transmitter and a receiver must be programmed with the same air data rate to communicate with each other.

nRF24L01+ is fully compatible with nRF24L01. For compatibility with nRF2401A, nRF2402, nRF24E1, and nRF24E2 the air data rate must be set to 250kbps or 1Mbps.

6.3 RF channel frequency

The RF channel frequency determines the center of the channel used by the nRF24L01+. The channel occupies a bandwidth of less than 1MHz at 250kbps and 1Mbps and a bandwidth of less than 2MHz at 2Mbps. nRF24L01+ can operate on frequencies from 2.400GHz to 2.525GHz. The programming resolution of the RF channel frequency setting is 1MHz.

At 2Mbps the channel occupies a bandwidth wider than the resolution of the RF channel frequency setting. To ensure non-overlapping channels in 2Mbps mode, the channel spacing must be 2MHz or more. At 1Mbps and 250kbps the channel bandwidth is the same or lower than the resolution of the RF frequency.

The RF channel frequency is set by the `RF_CH` register according to the following formula:

$$F_0 = 2400 + RF_CH [MHz]$$

You must program a transmitter and a receiver with the same RF channel frequency to communicate with each other.

6.4 Received Power Detector measurements

Received Power Detector (RPD), located in register 09, bit 0, triggers at received power levels above -64 dBm that are present in the RF channel you receive on. If the received power is less than -64 dBm, $RDP = 0$.

The RPD can be read out at any time while nRF24L01+ is in receive mode. This offers a snapshot of the current received power level in the channel. The RPD status is latched when a valid packet is received which then indicates signal strength from your own transmitter. If no packets are received the RPD is latched at the end of a receive period as a result of host MCU setting CE low or RX time out controlled by Enhanced ShockBurst™.

The status of RPD is correct when RX mode is enabled and after a wait time of $T_{stby2a} + T_{delay_AGC} = 130\mu s + 40\mu s$. The RX gain varies over temperature which means that the RPD threshold also varies over temperature. The RPD threshold value is reduced by -5dB at $T = -40^\circ C$ and increased by +5dB at $85^\circ C$.