

สำนักหอสมุดแดง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบควบคุมการบินของเฮลิคอปเตอร์

FLYING CONTROL SYSTEM OF HELICOPTER

โดย

นายกฤษฎา

เลิศแสงเพชร

นายเกียรติ

หาญทวีภัทร

นายพิพัฒน์

กอบกิจสวัสดิ์

ปริญญานิพนธ์เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม และ สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

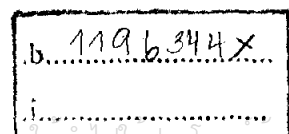
ปีการศึกษา 2550

เลขหมู่

83105

เลขทะเบียน

วัน,เดือน,ปี - 5 ส.ค. 2551



สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ในระบบอื่น การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2550

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบควบคุมการบินของเฮลิคอปเตอร์

FLYING CONTROL SYSTEM OF HELICOPTER

ผู้จัดทำ

1. นายกฤษฎา เลิศแสงเพชร 47010022

2. นายเกียรติ หาญทวีภัทร 47010062

3. นายพิพัฒน์ กอบกิจสวัสดิ์ 47010518



(ผศ.ดร.คงศักดิ์ อนันตทรัพย์รัตน์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบควบคุมการบินของเฮลิคอปเตอร์

นายกฤษฎา เลิศแสงเพชร

นายเกียรติ หาญทวีภัทร

นายพิพัฒน์ กอบกิจสวัสดิ์

ผศ.ดร.คงศักดิ์ อนันตหิรัญรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.สุมิตร พนาอุดมทรัพย์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ปีการศึกษา 2550

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาทดลองและออกแบบระบบควบคุมการบินของเฮลิคอปเตอร์ ให้สามารถเคลื่อนที่ได้เองอย่างอิสระในระบบ 3 มิติโดยปราศจากการควบคุมจากรีโมทคอนโทรล ซึ่งมีจุดมุ่งหมายในการนำความรู้ทางด้านระบบควบคุมและอากาศยานศาสตร์ มาใช้ออกแบบโครงสร้างและระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์ในระบบ 3 มิติ โครงการนี้ใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลและแสดงผล โดยใช้กล้องเว็บแคมในการจับภาพเพื่อไปประมวลผลในคอมพิวเตอร์และส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อที่จะสร้างสัญญาณพัลส์ไปควบคุมตัวเฮลิคอปเตอร์ ให้สามารถเคลื่อนที่ไปในระบบ 3 มิติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLYING CONTROL SYSTEM OF HELICOPTER

Krisda Lertsangpetch

Kiat Hamtaweeapat

Pipat Korbkijsawad

Associate Professor Dr.Kongsak Anuntahirunrat Advisor

Associate Professor Sumit Panaudomsup Advisor

Abstract

This project is the study about how to control system of helicopter to move freely in the 3 dimensions without remote control. The objective is used the knowledge of control system and aerodynamic to design the flying control system of helicopter and control system in 3 dimensions. This project uses a computer to process and display by using webcam for capture image of helicopter for process in computer. The output of image processing is sent to micro controller to occur pulse train for providing the flying control system of helicopter can move freely in the 3 dimensions.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เพราะได้รับเมตตาเป็นอย่างสูงจากผศ.ดร.คงศักดิ์ อนันตศิริวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็น ความกรุณาเอื้อเฟื้ออุปการะที่จำเป็น และ ความช่วยเหลืออื่นๆแก่คณะผู้จัดทำ

ขอขอบพระคุณ ผศ.สุมิตร พนาอุคมทรัพย์ ผศ.ถาวร เเบญจนราสุทฺธและเจ้าหน้าที่ภาควิชาาระบบควบคุม ทุกท่าน ที่ได้ให้ความกรุณาและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ ตลอดจนอำนวยความสะดวกในการใช้ห้องทดลอง และ อุปกรณ์ที่จำเป็นต่างๆ ทำให้คณะผู้จัดทำมีความกระตือรือร้นและทำงานอย่างเป็นระบบมากขึ้น

สุดท้ายนี้คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ของคณะผู้จัดทำที่ได้ให้ความสนับสนุนให้ โอกาสผู้จัดทำได้เล่าเรียนจนถึงทุกวันนี้และเป็นกำลังใจแก่ผู้จัดทำตลอดมา อีกทั้งขอขอบคุณเพื่อนๆที่คอยให้ความช่วยเหลือและกำลังใจแก่คณะผู้จัดทำ จนทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสิ้นสมบูรณ์



คณะผู้จัดทำ

นายกฤษฎา

เลิศแสงเพชร

นายเกียรติ

หาญทวีภัทร

นายพิพัฒน์

กอบกิจสวัสดิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
สารบัญ	III
สารบัญภาพ	VIII
สารบัญตาราง	XII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	2
ทฤษฎีการบิน	2
กฎการสมดุล	2
กฎความเร่ง	2
กฎแรงปฏิกิริยา	2
หลักการพื้นฐานของ Helicopter	3
แรงยก	3
น้ำหนักของ Helicopter	4
แรงผลักไปข้างหน้า	4
แรงต้านการเคลื่อนที่	4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำจำกัดความและศัพท์ทางเทคนิค	5
หลักของ Bernoulli	5
ลักษณะทั่วไปของเพนอากาศ	5
มุมปะทะ	6
ทิศทางการสัมพันธ์ของอากาศ	6
มุมของใบพัด	6
การบินเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์	7
ใบพัดหลัก	7
ใบพัดที่หาง	8
การควบคุมทิศทางการบิน	9
การควบคุมส่วนหัวของเฮลิคอปเตอร์	9
การควบคุมการเคลื่อนที่	9
แรงยกตัวที่ไม่สมดุล	10
วิธีแก้แรงยกตัวที่ไม่สมดุล	11
การเชื่อมต่อ Computer กับอุปกรณ์ภายนอกผ่าน Serial Port	11
มาตรฐานพอร์ตอนุกรม	12
ชุดควบคุมการทำงานของอุปกรณ์	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซอร์โว	13
หลักการทำงานของเซอร์โว	13
การบังคับเซอร์โว	14
ลักษณะการควบคุมการทำงานของชุดวิทยุบังคับ	15
ชุดส่งสัญญาณ	15
ภาคกำเนิดข้อมูลที่ใช้บังคับ	15
ภาคกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ	16
ภาคผสมคลื่น	17
ชุดรับสัญญาณ	17
หลักการทำงานของเครื่องรับ	18
ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ	18
ภาคกำเนิดความถี่วิทยุ	18
ภาคผสมคลื่น	19
ภาคขยายความถี่ IF	19
ภาคดีเทคเตอร์	19
ภาคถอดรหัสสัญญาณ	19
ไจโร	20
ไมโคร คอนโทรลเลอร์	20

ระบบควบคุม	22
โครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุม	22
ระบบควบคุมป้อนกลับ	23
การควบคุมแบบสัดส่วน	26
การควบคุมแบบปริพันธ์	30
การควบคุมแบบอนุพันธ์	33
การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์	35
การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอนุพันธ์	37
การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์ และ อนุพันธ์	38
บทที่3 การออกแบบและการสร้าง	41
แนวความคิดการออกแบบระบบการหาค่าแห่งพิกัดจำลอง	41
โครงสร้างและอุปกรณ์ระบบการหาพิกัดจำลอง	41
กระดาษแข็งสีดำ	41
ลูกโป่งปอง	41
กล้อง Webcam	42
แนวความคิดการออกแบบ โปรแกรมประมวลผลตรวจจับสีและหาตำแหน่งพิกัด X Y Z	42
ส่วนควบคุม Helicopter	50
หลักการการรับ-ส่งข้อมูลของ Computer กับ Remote Control	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลิคอปเตอร์ และ รีโมทคอนโทรล	51
เซลิคอปเตอร์	51
รีโมทคอนโทรล	54
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	56
การทดลองเรื่อง Remote Control	56
การทดลองเรื่องการตรวจจับสี	58
บทที่ 5 สรุปผลของโครงการ	61
ปัญหา และ อุปสรรคที่พบในโครงการ	62
กิตติกรรมประกาศ	63
หนังสืออ้างอิง	64



สารบัญญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 สีแรงของการบิน	3
รูปที่ 2.2 การสร้างแรงยกตัว	4
รูปที่ 2.3 ทิศทางการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์	5
รูปที่ 2.4 รายละเอียดของแพนอากาศ	6
รูปที่ 2.5 มุมปะทะ	6
รูปที่ 2.6 เฮลิคอปเตอร์	7
รูปที่ 2.7 การรักษาทิศทางการบิน	8
รูปที่ 2.8 การรักษาทิศทางของ Helicopter ให้ตรง เลี้ยวซ้าย และ เลี้ยวขวา	9
รูปที่ 2.9 การควบคุมการเคลื่อนที่ของ Helicopter	9
รูปที่ 2.10 แรงยกตัวที่ไม่สมดุลของใบพัดหลักขณะกำลังเคลื่อนที่ไปข้างหน้า	10
รูปที่ 2.11 วิธีแก้แรงยกที่ไม่สมดุลของใบพัดหลักขณะกำลังเคลื่อนที่ไปข้างหน้า	11
รูปที่ 2.12 รูปการส่งแบบชิง โครนัส	11
รูปที่ 2.13 รูปการส่งแบบอะชิง โครนัส	12
รูปที่ 2.14 ผังการทำงานของเครื่องส่ง	13
รูปที่ 2.15 ตำแหน่งของแกนเซอร์โวกับความกว้างของสัญญาณ	14
รูปที่ 2.16 ลักษณะของพัลส์	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.17 การรวมพัลซ์แต่ละชุดเข้าด้วยกัน	16
รูปที่ 2.18 การผสมคลื่น	17
รูปที่ 2.19 ผังการทำงานของชุดเครื่องรับ	17
รูปที่ 2.20 แสดงการจัดตำแหน่งขาของ Micro Controller PIC16F877	22
รูปที่ 2.21 แสดง โครงสร้างของระบบควบคุม	23
รูปที่ 2.22 แสดงรูปแบบของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ	24
รูปที่ 2.23 การควบคุมแบบลูปเปิด	24
รูปที่ 2.24 การควบคุมแบบลูปปิด	25
รูปที่ 2.25 การกำหนดช่วงจำกัดของ Output	26
รูปที่ 2.26 การตอบสนองของ Controller แบบสัดส่วน	27
รูปที่ 2.27 การควบคุมแบบสัดส่วน	28
รูปที่ 2.28 การควบคุมแบบลูปปิด กรณีใช้ตัวควบคุมชนิดพี	28
รูปที่ 2.29 การตอบสนองของ Controller แบบปริพันธ์	30
รูปที่ 2.30 การควบคุมแบบปริพันธ์	31
รูปที่ 2.31 แสดงการควบคุมแบบลูปปิด กรณีใช้ตัวควบคุมชนิดไอ	32
รูปที่ 2.32 การตอบสนองของ Controller แบบอนุพันธ์	33
รูปที่ 2.33 ระบบควบคุมแบบอนุพันธ์	34
รูปที่ 2.34 การควบคุมแบบลูปปิด กรณีใช้ตัวควบคุมชนิดดี	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.35 ระบบควบคุมแบบพีไอ	35
รูปที่ 2.36 การตอบสนองของ Controller แบบพีไอ	35
รูปที่ 2.37 ระบบควบคุมแบบพีดี	37
รูปที่ 2.38 Block Diagram ที่ประกอบด้วยพีไอดี	38
รูปที่ 2.39 การควบคุมแบบลูปปิด กรณีใช้ตัวควบคุมชนิดพีไอดี	39
รูปที่ 3.1 รูปกระดาษแข็งสี่ค่า	41
รูปที่ 3.2 รูปแบบโปรแกรมประมวลผลตรรกะจับตีและหาตำแหน่งพิกัด X, Y, Z	42
รูปที่ 3.3 การแสดงแกนของ Base และกลิ้ง	47
รูปที่ 3.4 แสดงหน้าต่างของ Program ส่งค่า	50
รูปที่ 3.5 ภาพด้านหน้าของเฮลิคอปเตอร์	51
รูปที่ 3.6 มอเตอร์ของเฮลิคอปเตอร์	51
รูปที่ 3.7 เซอร์โวของเฮลิคอปเตอร์	52
รูปที่ 3.8 ใบพัดหลักของเฮลิคอปเตอร์	52
รูปที่ 3.9 ตัวรับสัญญาณวิทยุของเฮลิคอปเตอร์	52
รูปที่ 3.10 เฟืองของเฮลิคอปเตอร์	53
รูปที่ 3.11 แบตเตอรี่ของเฮลิคอปเตอร์	53
รูปที่ 3.12 คีมถ่วงน้ำหนักของเฮลิคอปเตอร์	53
รูปที่ 3.13 แสดงวงจรภายในที่ถูกดัดแปลง	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.14 แสดง ไอซีที่กำเนิดขบวนพัลส์สัญญาณ	54
รูปที่ 3.15 แสดงการเชื่อมต่อสวิชกับปลั๊กเสียบจาก PIC 16F877	54
รูปที่ 3.16 แสดงสวิตซ์ในการปรับ Auto-Manual	55
รูปที่ 3.17 แสดงปลั๊กเสียบจาก PIC 16F877	55
รูปที่ 3.18 แสดงคริสตอลกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ	55
รูปที่ 4.1 รูปของสัญญาณ Analog ที่เกิดจากภาคกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ	56
รูปที่ 4.2 รูปโปรแกรม Detect Color	58
รูปที่ 4.3 รูปโปรแกรมแสดงการเลือกติดค็อกสองครั้งที่ 2	59
รูปที่ 4.4 รูปจำลองการทำงานของ โปรแกรม	59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดลองการตรวจจับสี

หน้า

59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

ในชีวิตปัจจุบันการเดินทางด้วยรถยนต์เริ่มไม่ค่อยสะดวกและรวดเร็วอย่างที่คิด อีกทางหนึ่งซึ่งเดินทางได้สะดวกและรวดเร็วกว่าคือบนฟ้าเช่น เฮลิคอปเตอร์ เครื่องบิน เป็นต้นแต่ภายในเมืองที่มีตึกสูงนั้น เครื่องบินก็อาจเดินทางไม่สะดวก ดังนั้นเฮลิคอปเตอร์จึงเป็นทางเลือกสุดท้าย

การควบคุมเฮลิคอปเตอร์นั้นเป็นสิ่งที่น่าสนใจจึงได้ทำการศึกษาการบินของเฮลิคอปเตอร์ โดยอาศัยคอมพิวเตอร์และไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม ซึ่งในระบบควบคุมนี้ประกอบไปด้วย ระบบไฟฟ้า ระบบกลศาสตร์ รวมกันอยู่ในระบบเดียว โดยนำระบบดังกล่าวมาประยุกต์เพื่อที่จะให้เฮลิคอปเตอร์บินได้เองอัตโนมัติโดยปราศจากการบังคับจากรีโมทคอนโทรล

ซึ่งการศึกษาค้นคว้านี้จะทำให้เข้าใจเกี่ยวกับทฤษฎีการบินมากขึ้นและมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการควบคุมแบบ PID อีกทั้งเข้าใจในปัญหาและอุปสรรคต่างๆที่เกิดขึ้นกับระบบ

ในรายงานฉบับนี้ จะกล่าวถึงหลักการและโครงสร้างทางกลศาสตร์ของเฮลิคอปเตอร์ หลักการการรับส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์กับตัวรีโมทคอนโทรล Source-Code ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และ Visual Basic การออกแบบฐานที่ใช้ในการทดลองการตรวจจับ (Track) สีของกล้องเวปแคม (Webcam) การทดลองและสรุปผลการทดลอง

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและหลักการต่างๆที่เกี่ยวข้องกับโครงการซึ่งประกอบไปด้วย ทฤษฎีการบิน หลักการพื้นฐานของเฮลิคอปเตอร์ คำจำกัดความและศัพท์ทางเทคนิค การบินเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์ การทำงานของวิทยุบังคับ การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ภายนอกผ่านพอร์ตอนุกรม (Serial Port RS-232) ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro Controller) ระบบควบคุม (Control Systems) เซอร์โว ไซโร

2.1 ทฤษฎีการบิน

การที่เฮลิคอปเตอร์บินได้นั้นใช้หลักอากาศพลศาสตร์อธิบายตามกฎหมายข้อที่ 3 ของนิวตัน (Newton's Law of Motion) ได้แก่

2.1.1 กฎการสมดุล (The Law of Equilibrium) ถ้าวัตถุที่อยู่หนึ่งจะคงอยู่หนึ่งเรื่อยไปและถ้าวัตถุเคลื่อนที่อยู่ก็จะเคลื่อนที่ต่อไปในแนวเส้นตรงด้วยแรงคงที่จนกว่าจะมีแรงไว้สมดุลมากระทำ ในทางคณิตศาสตร์วัตถุจะอยู่ในสภาพสมดุลได้ผลรวมทั้งในแนวตั้งและแนวระดับต้องเท่ากับศูนย์และผลรวมรอบจุดโมเมนต์รอบจุดศูนย์ถ่วงก็จะเท่ากับศูนย์ด้วย

2.1.2 กฎความเร่ง (The Law of Acceleration) ถ้ามีแรงไว้สมดุลมากระทำต่อวัตถุ ความเร็วที่ไม่คงที่นั่นคือจะมีความเร่ง โดยขนาดของแรงที่ใช้ทำให้ระบบเกิดความเร่งต่างๆ จะขึ้นอยู่กับมวลของวัตถุนั้น โดยความเร่งจะเป็นปฏิภาคกลับกับมวลโดย

$$a=F/m$$

โดยที่

a=ความเร่ง

F=แรง

m=มวล

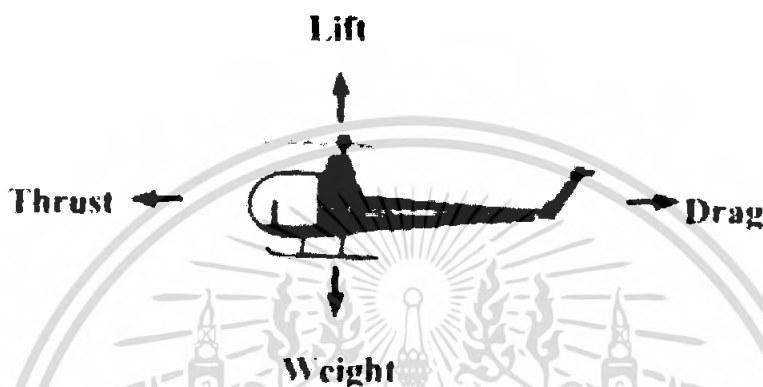
2.1.3 กฎแรงปฏิกิริยา (The Law of Reaction) ทุกๆแรงกิริยา (Action) จะมีแรงปฏิกิริยา (Reaction) ขนาดเท่ากัน ในทิศตรงข้ามกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกฎทั้ง 3 ข้อที่กล่าวมาข้างต้น เฮลิคอปเตอร์จะลอยตัวในอากาศได้จะต้องอาศัยแรง 4 แรงมากระทำ ได้แก่ แรงยก, น้ำหนัก, แรงผลักไปข้างหน้า, แรงต้านการเคลื่อนที่ ซึ่งแรงยกและแรงผลักไปข้างหน้านั้นได้มาจากการหมุนของใบพัดนั่นเอง

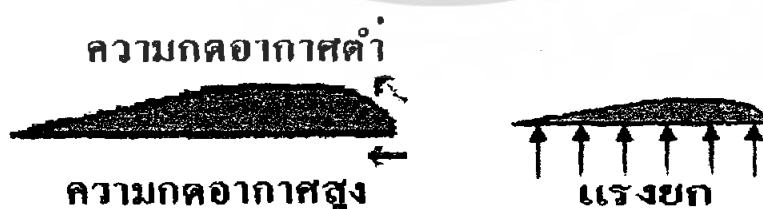
2.2 หลักการพื้นฐานของเฮลิคอปเตอร์

ในการทำการบินจะมีแรงอยู่ 4 แรงที่มากระทำต่อเฮลิคอปเตอร์ ได้แก่



รูปที่ 2.1 สี่แรงของการบิน

2.2.1 แรงยก (Lift) เมื่อใบพัดหลัก (Main Rotor Blades) ของเฮลิคอปเตอร์เริ่มหมุน ผลของการไหลของอากาศที่ผ่านมายังส่วนล่างและบนของปีก โดยสร้างความกดอากาศต่ำ (Low Pressure) ที่พื้นผิวด้านบนของปีกเฮลิคอปเตอร์เมื่อเปรียบเทียบกับความกดอากาศสูง (High Pressure) ที่พื้นผิวด้านล่างของเฮลิคอปเตอร์ จึงเป็นเหตุให้ปีกของเฮลิคอปเตอร์ถูกยกขึ้นดังรูปที่ 2.2 ลักษณะพิเศษของปีกที่ถูกออกแบบมาให้อากาศที่ไหลผ่านพื้นผิวด้านบนมีระยะทางที่มากกว่าทำให้โมเลกุลของอากาศต้องเดินทางเร็วกว่าพื้นผิวด้านล่าง จึงทำให้อากาศด้านบนเกิดเป็นบริเวณความกดอากาศต่ำที่มีแรงกดต่ำกว่าคั้งนั้นจึงเกิดแรงยกขึ้น



รูปที่ 2.2 การสร้างแรงยกตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงยกเป็นแรงที่เกิดขึ้นตรงข้ามกับแรงดึงดูดของโลกหรือน้ำหนักของเฮลิคอปเตอร์ และถ้าแรง 2 แรงนี้มีค่าเท่ากันเฮลิคอปเตอร์จะรักษาระดับเดิมไว้ได้ โดยแรงยกจะขึ้นอยู่กับ

1. รูปร่าง ลักษณะ และ คุณสมบัติของใบพัด
2. มุมของปีกที่กระทำกับลม
3. บริเวณพื้นผิวหรือพื้นที่ที่อากาศหรือลมพัดผ่าน
4. ความเร็วลม
5. ความหนาแน่นของอากาศ

การสร้างและเพิ่มแรงยกทำได้ 2 วิธีคือ

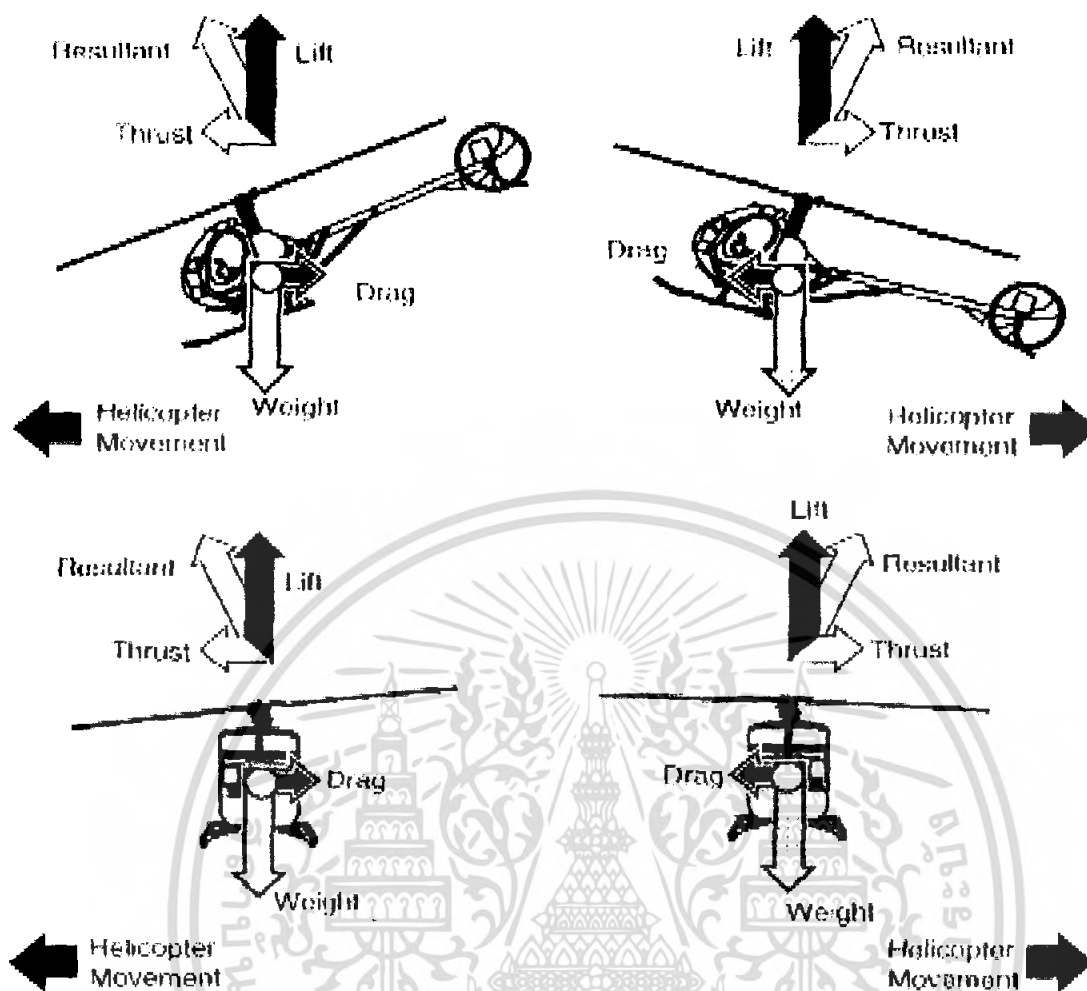
1. โดยการเพิ่มความเร็วยกของอากาศที่ไหลผ่านผิวปีกใบพัดหลักของเฮลิคอปเตอร์
2. โดยการเพิ่มมุมปะทะ

2.2.2 น้ำหนักของเฮลิคอปเตอร์ (Weight) ทิศทางของแรงที่เกิดจากน้ำหนักนี้ จะมีทิศทางชี้ลงไปยังศูนย์กลางของโลก หรือเรียกอีกอย่างว่า แรงโน้มถ่วงของโลก ดังรูปที่ 2.1

2.2.3 แรงผลักไปข้างหน้า (Thrust) คือ แรงที่ทำให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้โดยมีทิศทางตรงข้ามกับแรงต้านการเคลื่อนที่ ค่าของแรงผลักไปข้างหน้านี้จะเท่ากับแรงต้านการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 2.3

2.2.4 แรงต้านการเคลื่อนที่ (Drag) เป็นแรงที่มีทิศทางไปทางด้านหลังของเฮลิคอปเตอร์ แรงนี้ทำให้เกิดการลดความเร็วของเฮลิคอปเตอร์ และสภาวะสมดุลคือสภาวะที่แรงยกเท่ากับน้ำหนักของเฮลิคอปเตอร์ และแรงผลักไปข้างหน้าเท่ากับแรงต้านการเคลื่อนที่

การเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์นั้น เฮลิคอปเตอร์ทำงานโดยปีกเคลื่อนที่ผ่านอากาศ โดยที่ลำตัวอยู่กับที่ รูปร่าง และมุมของใบพัดนั้นจะเป็นตัวกำหนดว่าจะเกิดแรงยกเท่าไร เมื่อเฮลิคอปเตอร์ยกตัวขึ้นพื้นดินแล้วสามารถเอียงใบพัดเพื่อทำให้เฮลิคอปเตอร์เอียงตามทิศทางของใบพัดหลัก ดังรูปที่ 2.3



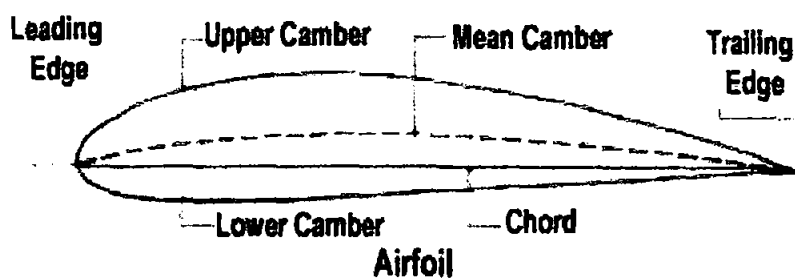
รูปที่ 2.3 ทิศทางการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์

2.3 คำจำกัดความและศัพท์ทางเทคนิค

2.3.1 หลักของ Bernoulli กล่าวว่า ถ้าความเร็วของลม (ของไหล) เพิ่มขึ้น แรงกดอากาศจะลดลง และตรงข้าม ถ้าความเร็วลดลง แรงกดอากาศจะเพิ่มขึ้น

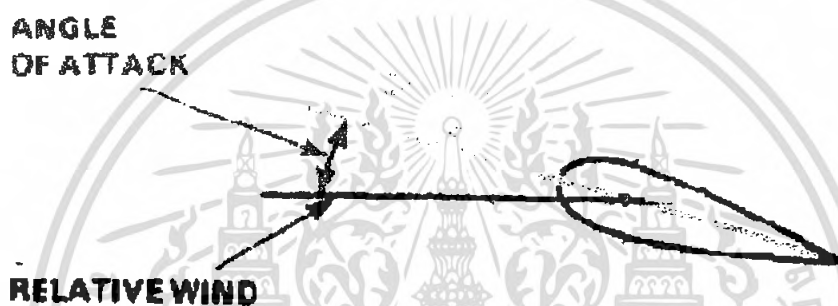
2.3.2 ลักษณะทั่วไปของเพนอากาศ (Airfoil) คำอธิบายทางเทคนิคหมายถึงลักษณะรูปร่าง ซึ่งออกแบบมาเพื่อให้เกิดแรงปฏิกิริยาจากอากาศที่เคลื่อนที่ผ่านไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 รายละเอียดของแพนอากาศ

2.3.3 มุมปะทะ (Angle of Attack) เป็นมุมแหลมที่วัดระหว่างคอร์ด (Chord) และ ทิศทางสัมพัทธ์ของอากาศ



รูปที่ 2.5 มุมปะทะ

2.3.4 ทิศทางสัมพัทธ์ของอากาศ (Relative Wind) เป็นทิศทางของลมที่กระทำต่อปีกเครื่องบินหรือใบพัด Helicopter

2.3.5 มุมของใบพัด (Pitch Angle) มุมของใบพัดจะเป็นมุมแหลมที่กระทำระหว่างเส้นคอร์ด (Chord Line) ของใบพัดกับแนวระนาบการหมุนของใบ มุมของใบพัดสามารถปรับเปลี่ยนได้ขณะบิน

2.4 การบินเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์



รูปที่ 2.6 เฮลิคอปเตอร์

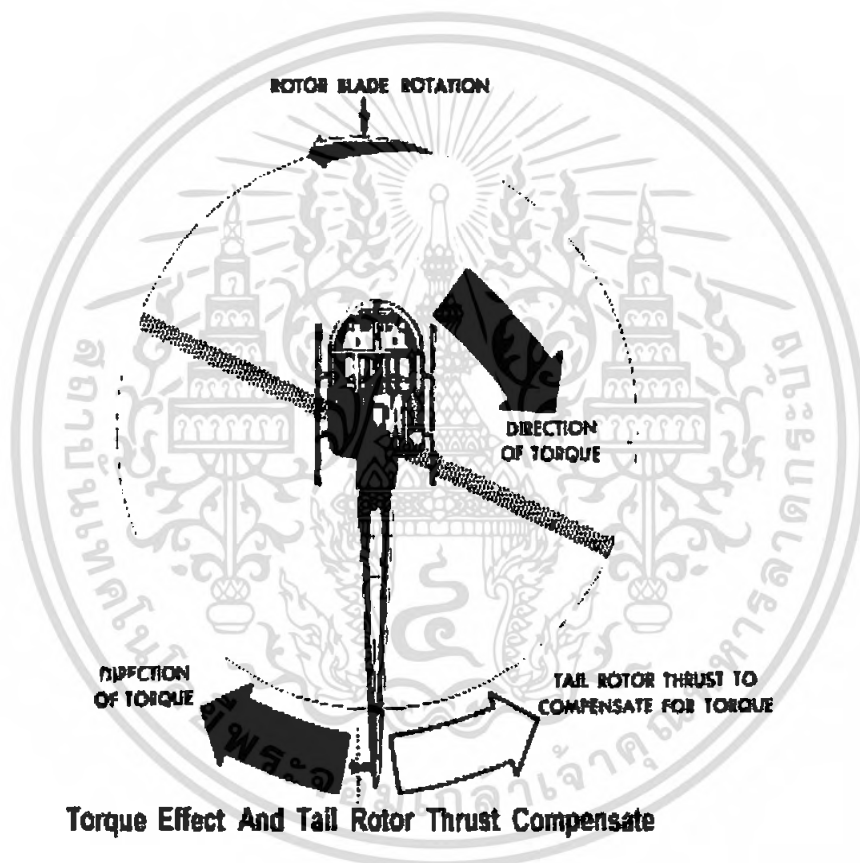
ปีกของเครื่องบินเป็นสิ่งที่ทำให้เกิดแรงยกตัวของเครื่องบิน เมื่อมันเคลื่อนที่ผ่านในอากาศระหว่างการบินจะมีแรงกระทำต่อเครื่องบินหรือเฮลิคอปเตอร์อยู่สี่แรง คือ แรงยก แรงต้านการเคลื่อนที่ แรงผลักไปข้างหน้า และน้ำหนักเฮลิคอปเตอร์ เฮลิคอปเตอร์ทำงานโดยปีกเคลื่อนที่ผ่านอากาศโดยที่ลำตัวคงอยู่กับที่ ปีกของเฮลิคอปเตอร์เรียกว่า ใบพัดหลัก (Main Rotor) รูปร่าง และมุมของใบพัดโรเตอร์ ที่เคลื่อนที่ผ่านอากาศจะเป็นตัวกำหนดว่าจะเกิดแรงยกเท่าไร หลังจากที่เฮลิคอปเตอร์ยกตัวขึ้นจากพื้นนักบินสามารถเอียงใบพัดและทำให้เฮลิคอปเตอร์เอียงไปตามทิศทางของใบพัดหลักที่เอียงจะ ไปข้างหน้าข้างหลังหรือ ด้านข้าง แรงยกตัวของเฮลิคอปเตอร์ได้มาจากการหมุนของใบพัดหนึ่งชุดหรือมากกว่า ในแนวระดับกับพื้น และในเวลาเดียวกันก็จะเกิดแรงปฏิกิริยาหรือแรงหมุนตัวที่ลำตัวของเฮลิคอปเตอร์ด้วย สำหรับเฮลิคอปเตอร์ที่มีใบพัดหลักสองชุดจะให้ใบพัดหลักสองชุดนี้หมุนสวนทางกัน เพื่อให้ค่าแรงปฏิกิริยา หักล้างกันหมด

2.4.1 ใบพัดหลัก (Main Rotor)

ใบพัดแต่ละใบจะสร้างแรงยกเท่าๆกัน น้ำหนักของเฮลิคอปเตอร์ก็จะถูกแบ่งให้รับไปใบละเท่าๆกัน ด้วย ถ้าเฮลิคอปเตอร์มีน้ำหนักทั้งหมด 4000 ปอนด์และเฮลิคอปเตอร์มีระบบใบพัดสองใบ ดังนั้นใบพัดแต่ละใบก็จะรับใบละ 2000 ปอนด์ นอกจากน้ำหนักของเฮลิคอปเตอร์ล้วนๆแล้ว (ที่เรียกว่า Static load) ใบพัดแต่ละใบยังต้องรับ Dynamic load ด้วย ซึ่งอธิบายได้ดังนี้เช่น ถ้าเฮลิคอปเตอร์ยกตัวด้วยอัตราเร่ง ทำให้เกิดแรงเท่ากับ 1.5g (1.5 เท่า ของ แรงดึงดูดโลก) ดังนั้นน้ำหนักที่มีผลจริง ๆ ก็จะเท่ากับ 1.5 เท่าของน้ำหนักของเฮลิคอปเตอร์ที่จอดอยู่เฉยๆหรือเท่ากับ 6000 ปอนด์แทนที่จะเป็น 4000 ปอนด์ ทั้งนี้ก็เนื่องจากแรงดึงขึ้นของเฮลิคอปเตอร์

2.4.2 ใบพัดที่หาง (Tall Rotor)

ถ้าหากหมุนใบพัดหลักด้วยเครื่องชนด์ที่ใบพัดหลักก็จะหมุน แต่ลำตัวของเฮลิคอปเตอร์และเครื่องชนด์ก็จะหมุนไปด้วยแต่ทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการหมุนของใบพัดหลัก สิ่งที่เกิดขึ้นเราเรียกว่าแรงปฏิกิริยา ซึ่งเป็นไปตามกฎข้อที่ 3 ของนิวตัน ที่กล่าวไว้ว่า ทุกๆแรงจะมีแรงปฏิกิริยาขนาดเท่ากันในทิศทางตรงกันข้าม จึงทำให้ลำตัวของเฮลิคอปเตอร์หมุนไปในทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางของใบพัดหลัก สำหรับเฮลิคอปเตอร์ที่มีใบพัดหลักชุดเดียวจะมีใบพัดที่หางสำหรับปรับมุมเพื่อรักษาทิศทางของเฮลิคอปเตอร์ให้ตรง แต่สำหรับเฮลิคอปเตอร์ที่มีพัดหลักสองชุด ใบพัดหลักจะหมุนในทิศทางที่ตรงกันข้ามกัน จึงทำให้ค่าแรงปฏิกิริยาหักล้างกัน รูปข้างล่างแสดงทิศทางแรงที่เกิดขึ้นของใบพัดหลักและใบพัดที่หาง



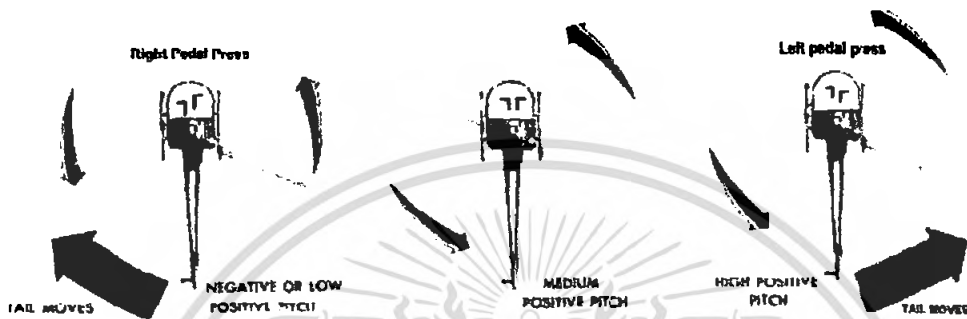
รูปที่ 2.7 การรักษาทิศทางการบิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การควบคุมทิศทางการบิน

2.5.1 การควบคุมส่วนหัวของเฮลิคอปเตอร์ (Heading Control)

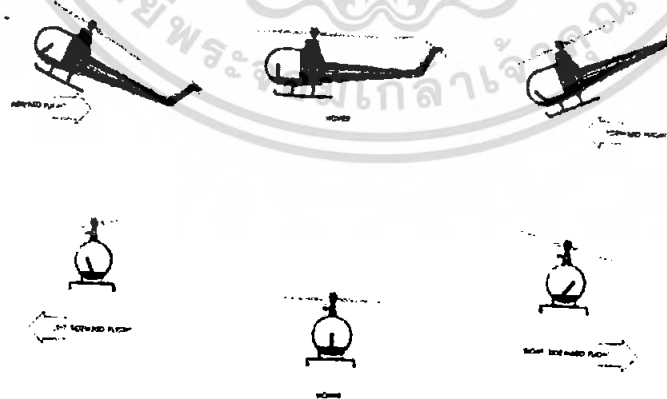
ใบพัดที่หางนอกจากจะทำหน้าที่ด้านแรงปฏิกิริยาแล้ว ยังใช้ทำหน้าที่บังคับทิศทางของหัวเฮลิคอปเตอร์ ระหว่างทำการบิน โดยการเพิ่มความเร็วหรือปรับมุมของใบพัด จะทำให้หัวเฮลิคอปเตอร์หันไปตามทางที่ต้องการ



รูปที่ 2.8 การรักษาทิศทางของ Helicopter ให้ตรง เลี้ยวซ้าย และ เลี้ยวขวา

2.5.2 การควบคุมการเคลื่อนที่

แรงลัพธ์ของแรงยกจะตั้งฉากกับแนวระนาบของปลายใบพัดหลักถ้าระนาบใบพัดเอียงไปจากแนวระนาบแรงยก และแรงไปข้างหน้าจะแยกออกเป็นสองแรงนั่นคือ แรงในแนวนอนคือ แรงผลักไปข้างหน้า และแรงขึ้นข้างบนคือ แรงยกเมื่อเอียงระนาบของใบพัดหลักไปตามทิศทางที่ต้องการ แนวแรงไปข้างหน้าจะดึงเฮลิคอปเตอร์ไปในทิศทางที่ใบพัดหลักเอียงไป



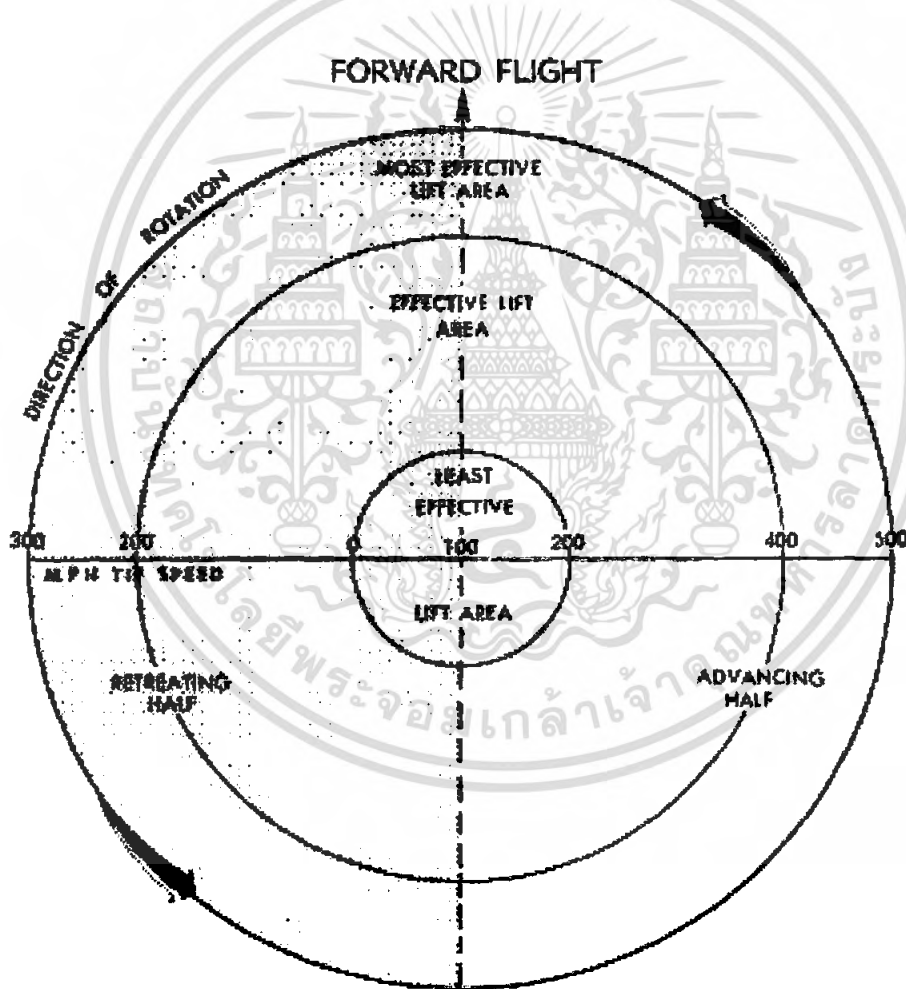
รูปที่ 2.9 การควบคุมการเคลื่อนที่ของ Helicopter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 แรงยกตัวที่ไม่สมดุล (Dissymmetry of Lift)

ใบพัดหลักจะสร้างแรงยกไม่สมดุลทุกตำแหน่งที่มันหมุน ในขณะที่ตัวมันเองเคลื่อนที่ไปข้างหน้า แต่ถ้าบินอยู่กับที่แรงยกจะมีค่าเท่ากันทั้งหมดตลอดรอบการหมุนของใบพัดหลัก เมื่อเฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า ใบพัดที่หมุน และมีทิศทางไปด้านหน้าก็จะแรงยกมากกว่า เพราะว่าการเคลื่อนที่ของลม (Relative Wind) ที่เพิ่มขึ้นและใบพัดใบที่ถ่วงน้ำหนักไปข้างหลังหรือไปทางท้ายก็จะมีแรงยกน้อยลง ผลที่กระทบก็คือเฮลิคอปเตอร์จะมีอาการม้วนด้านข้าง (Roll)

ตัวอย่าง ถ้าความเร็วของใบพัด = 400 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าด้วยความเร็ว 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ใบพัดด้านที่หมุนไปข้างหน้าก็จะมีความเร็วจริง 500 กิโลเมตรต่อชั่วโมง แต่ใบพัดด้านที่หมุนไปทางหางเครื่องก็จะมีความเร็วจริงเพียง 300 กม/ชม สิ่งนี้จำเป็นต้องแก้ไขโดยวิธีใดวิธีหนึ่ง

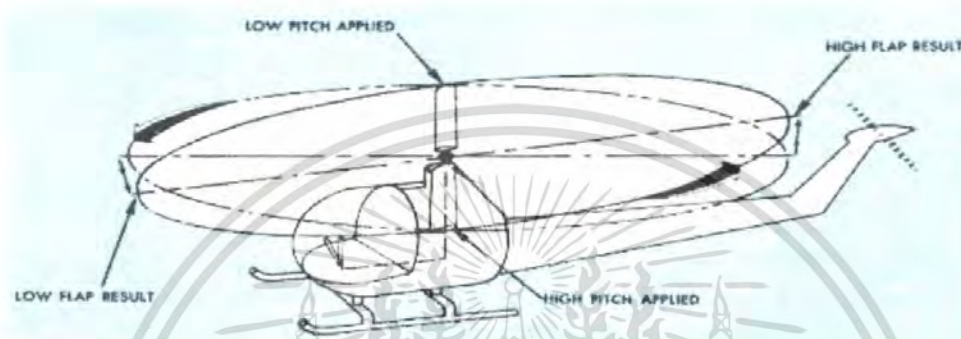


รูปที่ 2.10 แรงยกตัวที่ไม่สมดุลของใบพัดหลักขณะกำลังเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.4 วิธีแก้แรงยกตัวที่ไม่สมดุล (Blade Flapping)

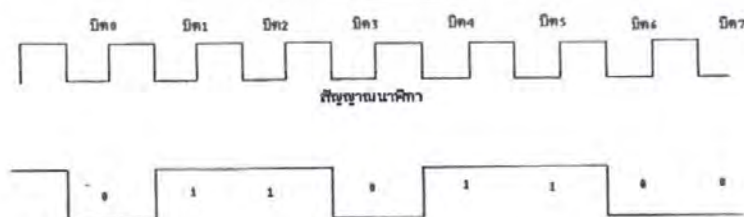
แรงยกที่ไม่สมดุลแก้ไขโดยวิธีกระพือของใบพัด เพราะว่าการที่ความเร็วลมเพิ่มขึ้นและแรงยกที่เกิดขึ้นกับใบพัดที่หมุนไปข้างหน้า จะทำให้ใบพัดนั้นกระดกขึ้นและเวลาเดียวกันก็จะลดมุมปะทะ เป็นเหตุให้แรงยกลดลง สำหรับใบพัดที่หมุนไปทางหางเครื่องที่มีค่าแรงยกน้อยก็จะสูงลงและในเวลาเดียวกันมุมปะทะ ก็จะเพิ่มขึ้น เป็นเหตุให้แรงยกเพิ่มขึ้น จากเหตุการณ์ที่ผสมผสานกันทั้งสองอย่างนี้จึงทำให้แรงยกสมดุลกัน ทั้งสองครั้งของระนาบการหมุนของใบพัดหลัก โดยผ่านระบบการกระพือของใบพัด



รูปที่ 2.11 วิธีแก้แรงยกตัวที่ไม่สมดุลย์ของใบพัดหลักขณะกำลังเคลื่อนที่ไปข้างหน้า

2.6 การเชื่อมต่อ Computer กับอุปกรณ์ภายนอกผ่าน Serial Port

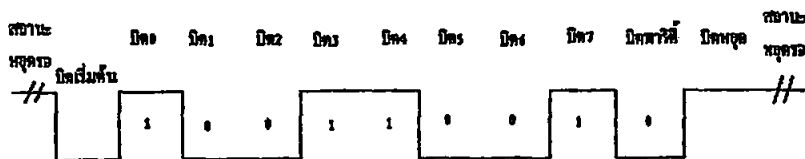
การสื่อสารแบบอนุกรมนั้นแบ่งได้เป็น 2 แบบคือ การสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัสและการสื่อสารอนุกรมแบบอะซิงโครนัส การสื่อสารแบบซิงโครนัสนั้นจะมีสัญญาณนาฬิกาที่ร่วมอยู่กับการรับและการส่งสัญญาณด้วย การติดต่อกันลักษณะนี้จะต้องใช้สายสัญญาณ ในการเชื่อมต่อที่น้อยที่สุด 3 เส้นคือ สัญญาณนาฬิกา ข้อมูล และ กราวด์ ข้อดีของการส่งลักษณะนี้คือ สามารถควบคุมให้เครื่องส่งและเครื่องรับทำงานได้พร้อมกันอย่างถูกต้องและทางเครื่องรับสามารถแปลรหัสข่าวสาร ได้อย่างถูกต้องตรงตามคำสั่ง การส่งสัญญาณลักษณะนี้มีใช้ทั่วไปในเครื่องรับส่งที่มีความเร็วสูง



รูปที่ 2.12 รูปการส่งแบบซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือ การรับส่งข้อมูลไปในสายโดยไม่จำเป็นต้องมีสัญญาณนาฬิกา ร่วม แต่จะใช้การกำหนดค่าสัญญาณนาฬิกาทั้งค่ารับและค่าส่ง ให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกสัญญาณนาฬิกานี้ว่า อัตราการถ่ายข้อมูล หรือ บอดเรต (Baud rate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bit per second: bps)



รูปที่ 2.13 รูปการส่งแบบอะซิงโครนัส

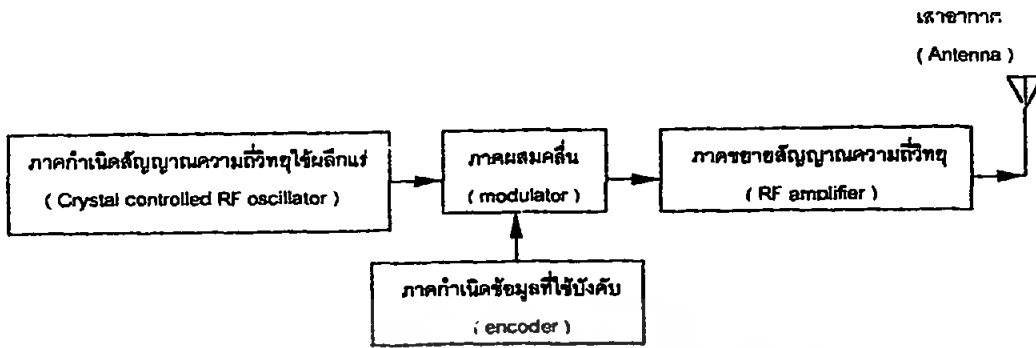
2.7 มาตรฐานพอร์ตอนุกรม (Serial Port RS-232)

มาตรฐานการเชื่อมต่อแบบอนุกรม (Serial Port RS-232) เป็นมาตรฐานอุตสาหกรรมที่ออกแบบมาเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส 2 ทิศทาง โดยได้กำหนดรูปแบบของอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล (Data Terminal Equipment: DTE) กับวงจรข้อมูลปลายทาง (Data Circuit Terminating: DCE) ไว้ว่าอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูล ต้องเป็นอุปกรณ์ที่มีการประมวลผลในตัว ส่วนอุปกรณ์วงจรข้อมูลปลายทาง จะทำหน้าที่เป็นเพียงตัวรับข้อมูลที่ส่งมาจากอุปกรณ์เชื่อมต่อข้อมูลเท่านั้น

ขาสัญญาณเอาต์พุตของพอร์ตอนุกรม ได้แก่ ขา DTR, RTS และ TxD โดยรีจิสเตอร์ (Register) ที่ทำหน้าที่ควบคุมขาเหล่านี้คือ รีจิสเตอร์ควบคุมโมเด็ม (MCR) โดยมีแอดเดรส (Address) อยู่ถึรีจิสเตอร์หลักของพอร์ตอนุกรม 4 ตำแหน่ง รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของขา DTR จะอยู่ที่ตำแหน่งบิต 0 ส่วนขา RTS จะอยู่ที่ตำแหน่งบิต 1 ส่วนขา TxD เป็นขาปกติ ในการส่งข้อมูลคั้งนี้จึงมีแอดเดรสอยู่ที่แอดเดรสของรีจิสเตอร์หลัก

ระดับแรงดันสำหรับพอร์ตอนุกรมได้ระบุช่วงระดับแรงดันสำหรับการทำงานของพอร์ตอนุกรมไว้ว่า ที่ Logic "0" จะมีระดับสัญญาณ +3V ถึง +15V ส่วน Logic "1" จะมีระดับสัญญาณ -3V ถึง -15V ระดับสัญญาณนี้ทำให้ไม่สามารถที่จะนำขาเอาต์พุตใดๆต่อเข้ากับ Logic gate ใช้งานได้โดยตรงจะต้องผ่านวงจรเพื่อเปลี่ยนระดับแรงดันเสียก่อน โดยปกติจะใช้ไอซีจำพวก RS-232 ซึ่งจะทำหน้าที่แปลงระดับแรงดันของRS-232ให้อยู่ในระดับ TTL โดย Logic "0" ซึ่งเดิมมีระดับสัญญาณ +3V ถึง +15V จะถูกแปลงเป็น 0V ส่วน Logic "1" ซึ่งมีระดับสัญญาณ -3V ถึง -15V จะเปลี่ยนเป็น +5V ทั้งนี้เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ดิจิทัลอื่นที่ใช้ระดับแรงดัน TTL ได้

2.8 ชุดควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ (Control Unit)



รูปที่ 2.14 ผังการทำงานของเครื่องส่ง

โดยปกติเมื่อเราจะบังคับให้อะไรทำงาน จะต้องประกอบด้วยผู้ส่งคำสั่งและผู้รับคำสั่งไปปฏิบัติ สำหรับการบังคับวิทยุผู้ส่งคำสั่งและส่งคำสั่งนั้นออกไปก็คือ เครื่องส่งวิทยุ (Transmitter) ซึ่งภาคกำเนิดข้อมูลที่ให้บังคับ (encoder) ภาคกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (RF source) และภาคผสมคลื่น (Modulator) ส่วนผู้รับคำสั่งไปปฏิบัติจะแบ่งเป็น 2 ชุด ชุดแรกคือเครื่องรับวิทยุ (receiver) ซึ่งจะมีภาครับสัญญาณวิทยุ (RF source) ภาคดีเทกเตอร์ (Detector) ภาคขยาย IF ภาคถอดรหัสสัญญาณวิทยุ (Decoder) ชุดที่ 2 จะเป็นผู้รับข้อมูลจากภาคถอดรหัสสัญญาณ ไปเปลี่ยนเป็นการเคลื่อนไหวทางกล เราเรียกชุดนี้ว่า เซอร์โว (Servo)

2.9 เซอร์โว (Servo)

เซอร์โวเป็นอุปกรณ์ทางกลศาสตร์ที่แปลงสัญญาณทางไฟฟ้า ไปทำให้เกิดการเคลื่อนไหวที่ต้องการ ความละเอียดแม่นยำก่อนข้างมาก

2.9.1 หลักการทำงานของเซอร์โว

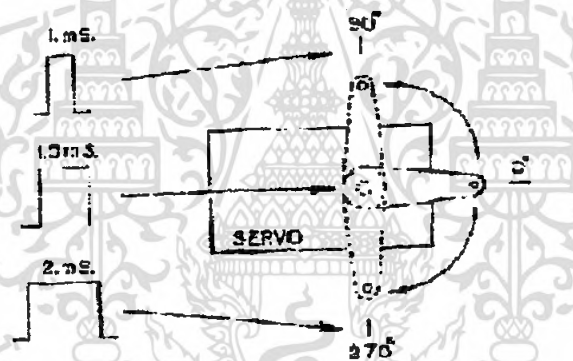
สัญญาณจากภาคถอดรหัสของเครื่องรับถูกส่งเข้ามาในตัวเซอร์โวในลักษณะของพัลส์ วงจรในตัวเซอร์โวจะเปรียบเทียบค่าแรงดันเฉลี่ยที่ได้จากพัลส์นี้ แรงดันค่าหนึ่งที่มีอยู่ในตัวเซอร์โว ถ้าต่างกันจะส่งผลไปให้วงจรบังคับการทำงานของมอเตอร์ทำงาน มอเตอร์จะหมุนไปพร้อมกับทอร์คของมอเตอร์ในเซอร์โวไปหมุนตัวด้านทานที่ปรับค่าได้ หรือ ที่เรียกว่า พ็อต (Pot) ผลจากการหมุนของพ็อตทำให้ค่าแรงดันค่าหนึ่งในตัวเซอร์โวนั้นเปลี่ยนไปจนกว่าจะเท่ากับแรงดันเฉลี่ยจากขบวนPulseที่เข้ามามอเตอร์จึงจะหยุดหมุน เมื่อแรงดันเฉลี่ย

ของขบวนการพัลส์ที่เปลี่ยนไปอีก มอเตอร์ก็จะหมุนไปอีกจนกว่าค่าแรงดันทั้ง 2 จะเท่ากัน ขณะที่เกิดการหมุนของมอเตอร์ จะมีแกนต่อออกมาภายนอกเพื่อต่อกับก้านบังคับแล้วนำผลการกวาดไปมาของก้านบังคับนี้ ไปผลักดันสิ่งต่าง ให้เคลื่อนที่ตามต้องการ ในปัจจุบัน เซอร์โวมีขนาดเล็กกะทัดรัด น้ำหนักเบาซ่อมง่ายใช้สะดวก ให้แรงผลักในช่วง 3-8 kg/1 hr

2.9.2 การบังคับเซอร์โว

การบังคับเซอร์โวเลือกบังคับได้ 2 แบบคือ

1. แบบบังคับให้ปิด-เปิดวงจรไฟฟ้า เช่น การนำไปควบคุมโซลินอยด์รีเลย์
2. แบบพรีออปอร์ชันแนล (Proportional) เป็นการบังคับให้ปลายทางมีการเคลื่อนไหวต่อเนื่องเป็นสัดส่วนเช่นเดียวกับทางเครื่องบังคับ เช่น โยกคันบังคับไปทางซ้ายเล็กน้อย เซอร์โวจะหมุน หรือเคลื่อนไปทางซ้ายเล็กน้อยเมื่อโยกคันบังคับกลับมาที่เดิม เซอร์โวก็จะหมุนหรือเคลื่อนที่กลับมาที่เดิม โดยทั่วไปแชนของเซอร์โวสามารถหมุนได้ถึง 180 องศา ขึ้นอยู่กับความกว้างของสัญญาณ



รูปที่ 2.15 ตำแหน่งของแชนเซอร์โวกับความกว้างของสัญญาณ

จำนวนแชนแนลที่จะใช้ในงานบังคับด้วยวิทยุอาจมีตั้งแต่ 1 แชนแนลถึง 14 แชนแนล ซึ่งสามารถใช้บังคับให้ทำงานต่างๆ ได้ถึง 14 อย่าง ย่านความถี่ที่ใช้ในการบังคับวิทยุที่นิยมใช้คือย่าน 27MHz เริ่มตั้งแต่ 26.995 MHz จนถึง 27.255 MHz นอกจากนั้นยังมีย่าน 40 MHz, 72 MHz, และ 75 MHz กำลังส่งออกจะอยู่ระหว่าง 300 mW ถึง 1 W ทั้งเครื่องส่งและเครื่องรับเป็นชนิดใช้ผลึกแร่บังคับส่ง ระบบของการผสมคลื่น (Modulation) ที่ใช้ในปัจจุบันมี 2 ระบบคือ

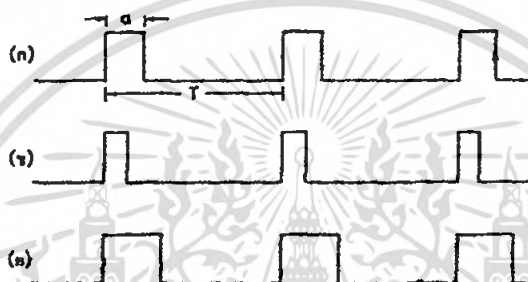
1. ระบบ AM (Amplitude Modulation)
2. ระบบ FM (Frequency Modulation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10 ลักษณะการควบคุมการทำงานของชุดวิทยุบังคับมี

2.10.1 ชุดส่งสัญญาณ เครื่องส่งวิทยุบังคับเครื่องหนึ่งจะแบ่งเป็นภาคต่างได้พอสังเขปดังนี้

1. ภาคกำเนิดข้อมูลที่ใช้บังคับ (Encoder)
2. ภาคกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (RF Source) ซึ่งรวมภาคขยายความถี่ (RF Amplifier) และสายอากาศด้วย (Antenna) ด้วย
3. ภาคผสมคลื่น (Modulation)
4. แหล่งจ่ายไฟ



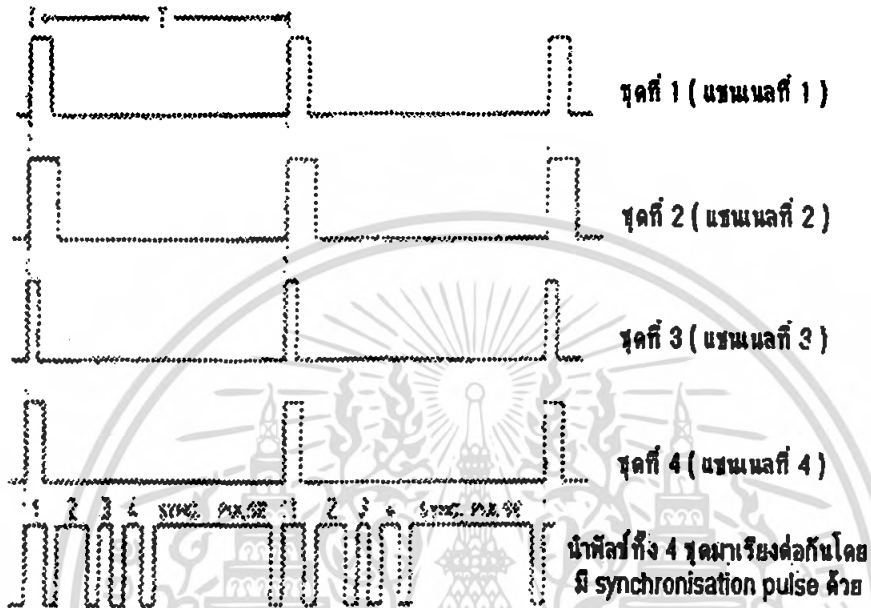
รูปที่ 2.16 ลักษณะของพัลส์

2.10.1.1 ภาคกำเนิดข้อมูลที่ใช้บังคับ (Encoder)

ในระบบบังคับด้วยวิทยุแบบ Proportional นั้นสัญญาณควบคุมที่ไปถึงเซอร์โวนั้นจะต้องมีลักษณะดังรูป 2.16 (ก) แสดงลักษณะปกติของพัลส์ โดย a เป็นความกว้างของพัลส์ และ t เป็นช่วงคาบเวลาของสัญญาณควบคุม ดังนั้น เมื่อความกว้างของพัลส์แต่ละลูกเปลี่ยนแปลงไปน้อยลงดังรูป 2.16 (ข) หรือมากขึ้นดังรูป 2.16 (ค) ก็จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของเซอร์โวนตามที่มีการเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์ เช่น เมื่อความกว้างของพัลส์มีค่าเท่ารูป 2.16 (ก) เซอร์โวนจะอยู่ในตำแหน่งกลาง (Neutral) และหยุดนิ่งกับที่ ขณะที่ความกว้างของพัลส์ลดลงเป็นรูป 2.16 (ข) (โดยที่ t คงที่) จะทำให้เซอร์โวนเคลื่อนที่ไปทางซ้ายเป็นมุมประมาณ 10 องศา แล้วหยุดนิ่งกับที่จนเมื่อความกว้างของพัลส์เพิ่มขึ้นดังรูป 2.16 (ค) (โดยที่ t คงที่) จะทำให้เซอร์โวนเคลื่อนที่ไปทางขวาผ่านจุด Neutral เลย ไปอีก 10 องศา แล้วหยุดนิ่งกับที่ เป็นต้น

แสดงว่าการเคลื่อนที่ของเซอร์โวนขึ้นอยู่กับความกว้างของ Pulse ดังนั้นการควบคุมเซอร์โวน 1 ชุดจะต้องใช้พัลส์ 1 ชุด ถ้าเราต้องการควบคุมเซอร์โวนมากกว่า 1 ชุด เราจะต้องกำเนิดสัญญาณพัลส์มากกว่า 1 ชุดที่เป็น

อิสระไม่ขึ้นต่อกันคือ เมื่อความกว้างพัลส์ชุดที่ 1 เพิ่มขึ้นหรือลดลงจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงความกว้างของพัลส์ในชุดอื่นๆ เมื่อเรากำเนิดพัลส์ครบตามจำนวนที่ต้องการใช้บังคับ เช่นต้องการบังคับ 6 แบบก็ต้องการสร้างพัลส์ขึ้นมา 6 ชุดแล้วนำมาเรียงกันแบบอนุกรมเป็นขบวนของพัลส์ (Pulse Train) โดยมีคาบเวลาคงที่ค่าหนึ่งดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 การรวมพัลส์แต่ละชุดเข้าด้วยกัน

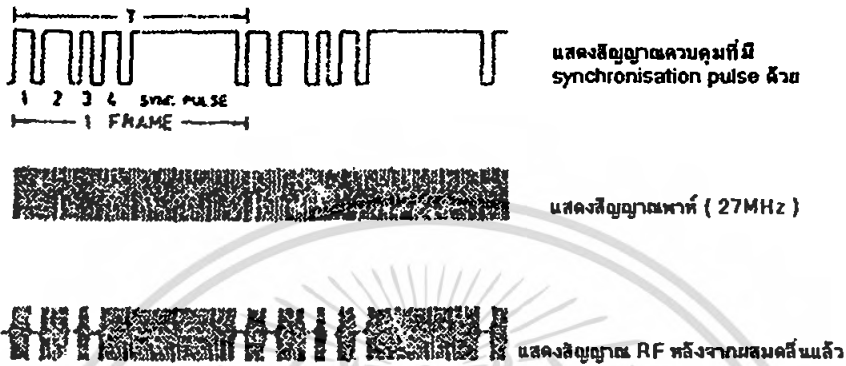
เมื่อกำเนิดขบวนการขอมPulse ได้ครบตามจำนวนแชนแนลที่เราจะบังคับแล้วเราจะนำสัญญาณความถี่วิทยุ (RF signal) ต่อไปในภาคผสมคลื่น

2.10.1.2 ภาคกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ (RF Source)

ในภาคกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุนี้ หัวใจสำคัญที่กำหนดความถี่ขงตรงของความถี่ที่เรียกว่า คริสตอล ซึ่งอยู่ในวงจรออสซิลเลเตอร์ชนิดควบคุมความถี่ด้วยผลึกแร่ ขกตัวอย่างเครื่องส่งในบ้านความถี่ 72 MHz จึงต้องใช้คริสตอลในบ้านความถี่นี้เช่นกัน เมื่อได้สัญญาณ RF ออกจากวงจรออสซิลเลเตอร์แล้วจะต้องส่งไปผสมกับสัญญาณควบคุมที่เรากำเนิดขึ้นมามากแล้ว โดยมีตัวผสมสัญญาณเป็นภาคผสมคลื่น (Modulator) แล้วขยายสัญญาณทั้งหมดให้มีกำลังแรงขึ้นเพื่อป้อนเข้าสู่เสาอากาศแล้วส่งผ่านอากาศต่อไป

2.10.1.3 ภาคผสมคลื่น (Modulation)

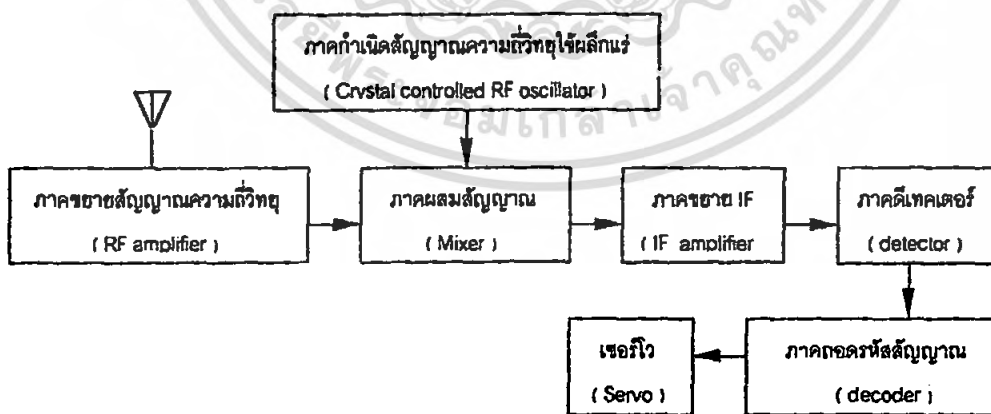
ในการผสมคลื่นวิทยุแบบ FM (Frequency Modulation) ใช้ในชุดวิทยุยังคับนี้ทำได้โดยการสวิตซ์ตัวสัญญาณพาห์ด้วยทรานซิสเตอร์ที่สามารถทำงานเป็นตัวสวิตซ์ได้ที่มีความถี่สูงๆ ลักษณะของสัญญาณ RF ที่ออกมาจากการผสมสัญญาณควบคุมกับสัญญาณจาก RF oscillator จะเป็นดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 การผสมคลื่น

2.10.2 ชุดรับสัญญาณ

เครื่องรับวิทยุ (Receiver) ในชุดบังคับวิทยุทำหน้าที่รับคลื่นวิทยุที่ส่งเพื่อแปลงสัญญาณที่ส่งมานั้นให้เป็นสัญญาณที่ใช้บังคับให้ตัวเซอร์โวเคลื่อนที่ ลักษณะสำคัญของเครื่องรับที่เราต้องการก็คือ ต้องมีน้ำหนักเบา มีขนาดเล็ก มีความไวในการรับสัญญาณวิทยุสูง ทนทานต่อการกระเทือนได้ดี กินกำลังไฟน้อยด้วย



รูปที่ 2.19 ผังการทำงานของชุดเครื่องรับ

2.10.3 หลักการทำงานของเครื่องรับ

เมื่อสัญญาณวิทยุจากเครื่องส่งผ่านสายอากาศเข้ามาเครื่องรับจะผ่านชั้นคอนต่างๆ ในเครื่องรับ ซึ่งจะมี ส่วนประกอบดังนี้

1. การขยายสัญญาณความถี่วิทยุ (RF Amplifier)
2. ภาคกำเนิดความถี่วิทยุ (RF Oscillator)
3. ภาคผสมคลื่น (Mixer)
4. ภาคขยายความถี่ IF (IF Amplifier)
5. ภาคดีเทคเตอร์ (Detector)
6. ภาคถอดรหัสสัญญาณ (Decoder)

2.10.3.1 ภาคขยายสัญญาณความถี่วิทยุ (RF Amplifier)

เมื่อสัญญาณวิทยุเดินทางผ่านอากาศมากระทบกับสายอากาศซึ่งเป็นสายตัวนำเส้นเดียวจะผ่านวงจรที่ทำให้เกิดการแมทช์ระหว่างสายอากาศกับค่านินทศของวงจรขยายความถี่สูงเพื่อให้สามารถชักนำสัญญาณที่แพร่อยู่ในอากาศมาปรากฏที่อินพุตของวงจรขยายความถี่สูงสุดได้มากที่สุด จากนั้นสัญญาณวิทยุจะถูกขยายให้มีกำลังสูงขึ้นที่วงจรขยายนี้ เพื่อให้เพียงพอในการผสมกับสัญญาณจากวงจร RF Oscillator ในภาคผสมคลื่นต่อไป

2.10.3.2 ภาคกำเนิดความถี่วิทยุ (RF Oscillator)

เป็นวงจรออสซิลเลเตอร์ที่ควบคุมความถี่ด้วยผลึกแร่ ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณความถี่ต่างของเครื่องส่งเท่ากับของสัญญาณ IF กล่าวคือ

$$\text{ความถี่ของเครื่องส่ง} - \text{ความถี่ของ RF Oscillator ในเครื่องรับ} \pm \text{ความถี่ IF}$$

ความแม่นยำในการรับส่งระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่ง จะมีผลส่วนใหญ่เนื่องมาจากความถูกต้องแน่นอนของผลึกบังคับความถี่ตรงคู่กัน โดยมีผลต่างกันเท่ากับความถี่ IF ผลึกแร่นี้จะต้องมีความแน่นอน (accuracy) ตามเวลาใช้งานและอุณหภูมิ

2.10.3.3 ภาคผสมคลื่น (Mixer)

เป็นภาคที่รับสัญญาณวิทยุจากภาคขยายความถี่วิทยุภาคแรกมาผสมกับสัญญาณจากภาค RF oscillator ที่กำเนิดขึ้นภายในเครื่องรับแล้วจะ ได้ผลออกมาเป็นความถี่ IF โดยมากจะเป็นความถี่ 450 ถึง 460 kHz

2.10.3.4 ภาคขยายความถี่ IF (IF Amplifier)

เมื่อได้รับความถี่ IF ออกมาจากภาคผสมคลื่นจะถูกส่งมายังภาคขยายความถี่ IF ซึ่งเป็นวงจรขยายชนิด Tuned Amplifier กล่าวคือจะปล่อยให้ความถี่ 455 kHz \pm 10 kHz เท่านั้นที่ผ่านไปได้ ถ้าเป็นความถี่อื่นที่ต่ำกว่า 445 kHz หรือสูงกว่า 465 kHz จะผ่านไปได้น้อยมาก ดังนั้นการเลือกรับความถี่ใดจึงขึ้นอยู่กับคุณภาพของวงจรขยาย IF นี้เอง เพราะผลต่างของความถี่ของเครื่องส่งกับความถี่ของ RF Oscillator คงที่ และความถี่ที่จะผ่านวงจร IF ได้เป็น 455 kHz จะทำให้เครื่องรับนี้รับได้แค่ความถี่เท่ากับผลบวกหรือผลต่างของ RF ในเครื่องรับกับ 445 kHz และ 465 kHz

2.10.3.5 ภาคคีเทกเตอร์ (Detector)

หลังจากได้สัญญาณผสมด้วยข้อมูลออกมาจากภาคของ IF แล้วสัญญาณจะถูกคีเทกเตอร์ที่ภาคคีเทกเตอร์ธรรมดาโดยมักจะใช้ไดโอดเพียงตัวเดียว สัญญาณที่ถูกคีเทกออกมาแล้วมีรูปร่างเหมือนกับสัญญาณในภาคใส่รหัสของเครื่องส่ง สัญญาณที่คีเทกแล้วนี้พร้อมที่จะป้อนเข้าวงจรถอดรหัสต่อไป

2.10.3.6 ภาคถอดรหัสสัญญาณ (Decoder)

ส่วนที่สำคัญที่สุดในภาครับ ถ้าไม่มีภาคถอดรหัสสัญญาณนี้จะไม่สามารถแยกการควบคุมแต่ละช่องได้ตามที่ต้องการ การถอดรหัสสัญญาณจะกระทำการถอดรหัสสัญญาณขบวนPulseจากภาคคีเทกเตอร์ซึ่งจะเป็นขบวนต่อเนื่องเรียกว่า Serial Pulse เมื่อป้อนเข้าไปในภาคถอดรหัสจะถูกแยกออกมาเป็นชุดๆ แต่ละชุดแยกจากกันตามที่ถูกกำเนิดขึ้น ในภาคใส่รหัสของเครื่องส่งได้เป็นจำนวนของPulseเท่ากับจำนวนแชนแนลของเครื่องส่ง เรียกขบวนPulseทางค่านออกจากภาคถอดรหัสสัญญาณนี้ว่าเป็นชนิดขนาน ดังนั้นภาคถอดรหัสสัญญาณนี้จะเป็สิ่งที่เรียกว่า serial input-parallel output ที่วงจรถอดรหัสนี้ส่วนสำคัญที่ช่วยในการถอดรหัสเปรียบเสมือนผู้ควบคุมการแยกแชนแนลคือ synchronization pulse ซึ่งถูกส่งมาพร้อมกับสัญญาณบังคับจากเครื่องส่ง

2.11 ไจโร (Gyro)

ไจโรเป็นอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์-กลไก ซึ่งใช้ช่วยในการบังคับควบคุมใบพัดของHelicopter ซึ่งจะมีตัวจับสัญญาณการหมุนของตัวเฮลิคอปเตอร์ เมื่อตัวเฮลิคอปเตอร์มีการหมุนเกิดขึ้น โดยเป็นการหมุนที่ไม่เกิดจากการบังคับจากเครื่องส่งวิทยุ ตัวไจโรที่ติดตั้งไว้ก็จะทำหน้าที่แก้ไข โดยการเพิ่มหรือลดองศามุมพิทช์ของใบพัดเครื่องอัตโนมัติ เพื่อให้เครื่องสามารถเคลื่อนที่ไปอย่างมีเสถียรภาพ

2.12 ไมโคร คอนโทรลเลอร์ (Micro Controller)

เป็นอุปกรณ์ไอซี (IC: Integrated Circuit) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิทัลเข้าไปทำการประมวลผล แล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิทัลออกมาเพื่อนำไปใช้งานตามต้องการได้

ไมโคร คอนโทรลเลอร์ ภายในชิปจะมีหน่วยความจำพอร์ต อยู่ในชิปเพียงตัวเดียวซึ่งอาจจะเรียกได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ชิปเดี่ยว ไมโคร คอนโทรลเลอร์เป็นไมโคร โปรเซสเซอร์ (Micro Processor) ชนิดหนึ่ง เช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ในวงจรทางด้านงานควบคุมคือ แทนที่ในการใช้งานจะต้องวงจรภายนอกต่างๆเพิ่มเติมเช่นเดียวกับไมโคร โปรเซสเซอร์ก็จะทำการรวมวงจรที่จำเป็น เช่น หน่วยความจำ ส่วนอินพุต-เอาพุต (I/O) บางส่วนเข้าไปในตัวไอซีเดียวกัน และ เพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปด้วย เพื่อให้มีความสามารถเหมาะสมกับการใช้ในงานควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลา วงจรการสื่อสารอนุกรม วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล เป็นต้น สรุปคือ เฮิร์ต(Hz)

$$\text{Micro Controller} = \text{Micro Processor} + \text{Memory} + \text{I/O}$$

ไมโคร คอนโทรลเลอร์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง โดยมักจะเป็นการนำไปใช้ฝังในระบบของอุปกรณ์อื่นๆ (Embedded Systems) เพื่อใช้ควบคุมการทำงานบางอย่าง เช่น ใช้ในรถยนต์ เต้าอบ ไมโครเวฟ เครื่องปรับอากาศ เครื่องซักผ้าอัตโนมัติ เป็นต้น เพราะว่าไมโคร คอนโทรลเลอร์มีข้อดีเหมาะสมต่อการใช้งานควบคุมหลายประการ เช่น

1. ชิปไอซี และ ระบบที่ได้มีขนาดเล็ก
2. ระบบที่ได้มีราคาถูกกว่าการใช้ไมโคร โปรเซสเซอร์

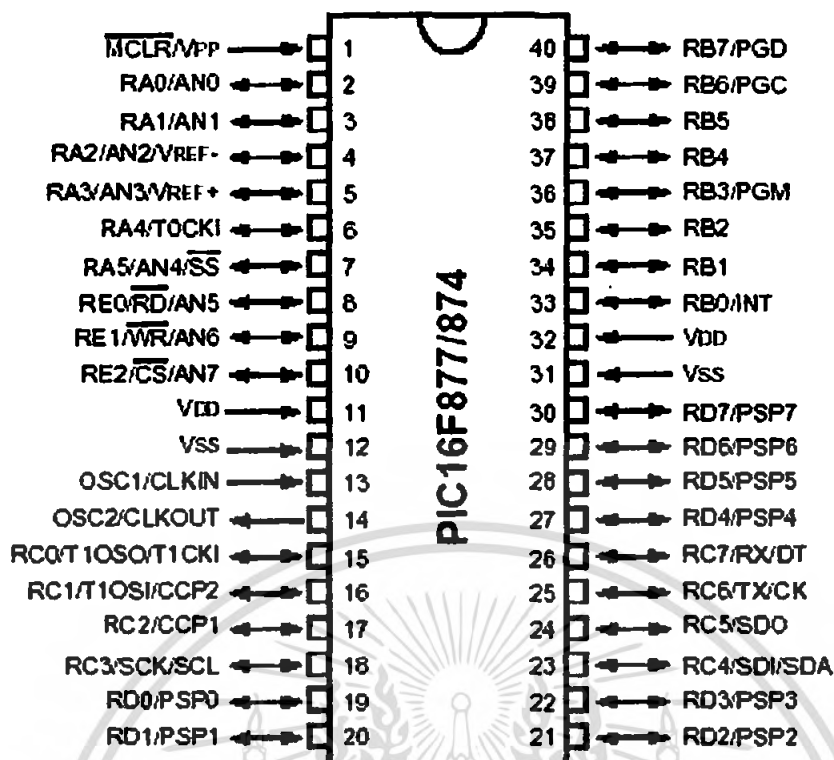
3. วงจรที่ได้จะมีความซับซ้อนน้อย ช่วยลดข้อผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นได้ในการต่อวงจร
4. มีคุณสมบัติเพิ่มเติมสำหรับงานควบคุม โดยเฉพาะซึ่งใช้งานได้ง่าย
5. ช่วยลดระยะเวลาในการพัฒนาระบบได้

ไมโคร คอนโทรลเลอร์นั้นมีหลายยี่ห้อ หลายตระกูล และ หลายเบอร์ด้วยกัน ซึ่งแต่ละเบอร์ก็จะมี โครงสร้างภายใน และ ความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกัน ทำให้เลือกใช้กับงานได้อย่างเหมาะสม

คุณสมบัติทั่วไปของ PIC 16F877

1. 35 Instruction คำสั่ง
2. ปฏิบัติคำสั่งทั่วไปใน Cycle เดียว และ 2 Cycle ในคำสั่งการกระโดด
3. ทำงานที่ความถี่สูงสุด 20 MHz (16F877-20/P)
4. หน่วยความจำโปรแกรม 8K(14 Bit Words)
5. หน่วยความจำข้อมูล (RAM) 368 Byte
6. EEPROM 256 Byte
7. สามารถตอบสนอง Interrupt 14 แหล่ง
8. STACK 8 ระดับ
9. สามารถเลือกโหมดของสัญญาณนาฬิกาได้
10. กระแสที่ซิงค์ และ ซอร์สของพอร์ต คือ 25 mA
11. Timer/Counter 3 ตัว Timer0,Timer1,Timer2
12. โมดูล Capture/Compare/PWM จำนวน 2 ชุด
13. Analog to Digital Converter (ADC) 10 Bit 8 Channel
14. พอร์ต I/O จำนวน 5 พอร์ต A,B,C,D,E รวมทั้งสิ้น 33 Bit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



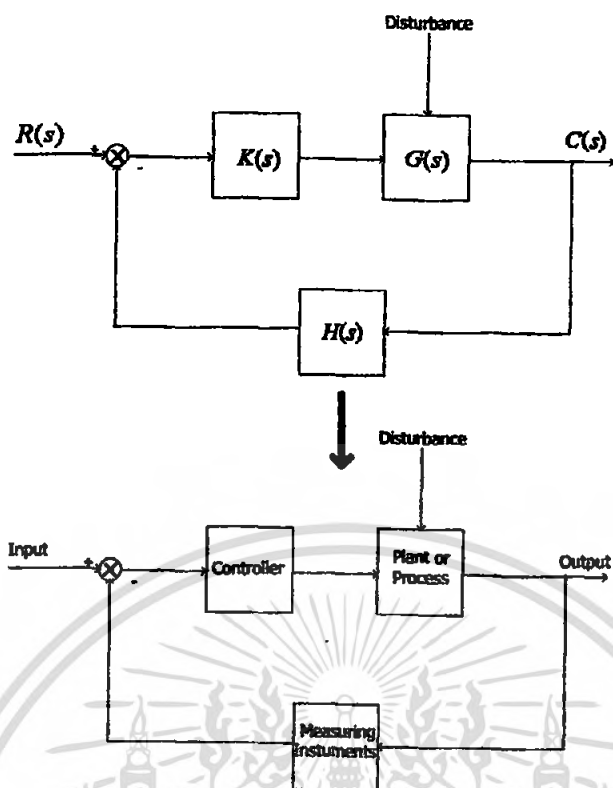
รูปที่ 2.20 แสดงการจัดตำแหน่งขาของ Micro Controller PIC16F877

2.13 ระบบควบคุม (Control Systems)

ระบบควบคุมแบบสมัยใหม่นั้นใช้กับระบบที่มีหนึ่งสัญญาณด้านเข้าหนึ่งสัญญาณด้านออกได้ แต่จะมีประสิทธิภาพในการใช้งานกับระบบที่มีหลายสัญญาณด้านเข้า หลายสัญญาณด้านออกมากกว่า โดยจะใช้คณิตศาสตร์เรื่องสมการอนุพันธ์ (Differential Equation) เวกเตอร์ (Vector) และ เมทริกซ์ (Matrix) วิเคราะห์และ ออกแบบระบบ โดยใช้ตัวแปรสถานะ (State Variables) เพื่อศึกษา และ พิจารณาเกี่ยวกับความสามารถในการตรวจสอบ หรือ สังเกตสถานะของระบบที่ถูกควบคุม และ ความสามารถในการควบคุมได้

2.13.1 โครงสร้างพื้นฐานของระบบควบคุม

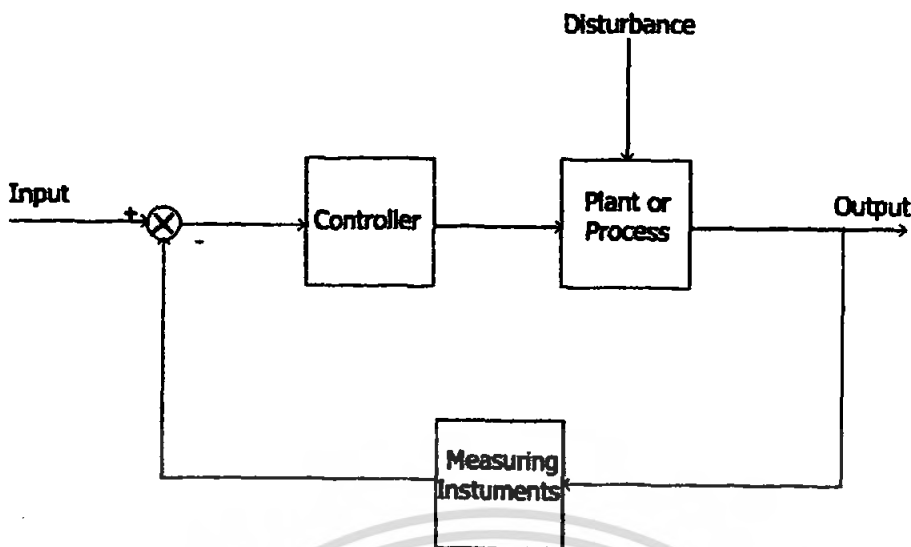
ในการศึกษาวิเคราะห์และออกแบบระบบควบคุม โดยใช้ทฤษฎีระบบควบคุมแบบดั้งเดิม นั้น จะจัดรูปแบบของระบบควบคุมได้คือรูป



รูปที่ 2.21 แสดงโครงสร้างของระบบควบคุม

2.13.2 ระบบควบคุมป้อนกลับ (Feedback Control Systems)

ระบบควบคุมป้อนกลับหมายถึง ระบบควบคุมที่ต้องการควบคุมให้สัญญาณด้านขาออก หรือ ผลตอบสนองของระบบมีค่าตามที่ต้องการ โดยการนำเอาสัญญาณด้านขาออกป้อนกลับมาเพื่อเปรียบเทียบกับสัญญาณด้านขาเข้า ซึ่งการป้อนกลับนี้จะต้องเป็นการป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) จากนั้นนำค่าความแตกต่างระหว่างด้านขาเข้ากับด้านขาออกส่งต่อออกไปยังส่วนสร้างสัญญาณของตัวควบคุม เพื่อสร้างสัญญาณควบคุมที่เหมาะสมที่จะทำให้สัญญาณด้านขาออกของระบบที่ถูกควบคุมนั้นมีค่าตามต้องการ ระบบควบคุมป้อนกลับนี้อาจเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ระบบควบคุมแบบลูปปิด หรือ ระบบควบคุมอัตโนมัติก็ได้



รูปที่ 2.22 แสดงรูปแบบของระบบควบคุมแบบป้อนกลับ

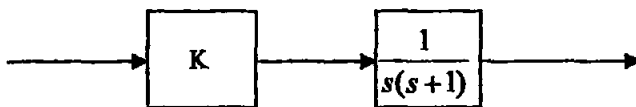
คุณสมบัติของการควบคุมแบบป้อนกลับ (Characteristics of Feedback)

1. การควบคุมแบบป้อนกลับสามารถทำให้ระบบเกิดเสถียรภาพได้
2. การควบคุมแบบป้อนกลับยังสามารถทำให้สมรรถนะในช่วงทรานเซียนของระบบดีขึ้น
3. สามารถลด หรือ กำจัดค่าผิดพลาดในสภาวะคงตัวได้
4. สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้
5. สามารถลดความไวของระบบต่อการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ได้

สมมุติถ้าระบบใดๆมีฟังก์ชันถ่ายโอนดังนี้

$$Y(s) = \frac{1}{s(s+1)}$$

เมื่อทำการควบคุมระบบดังกล่าวด้วยวิธีแบบดูปเปลี่

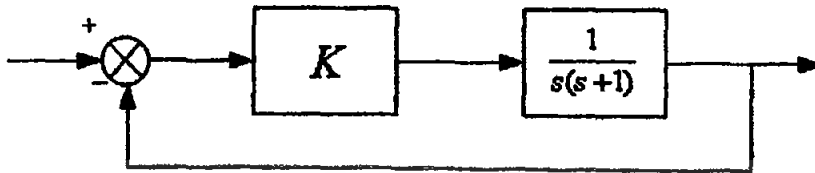


รูปที่ 2.23 การควบคุมแบบดูปเปลี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$T(s) = \frac{K}{s(s+1)}$$

พบว่าระบบจะไม่เสถียร ไม่สามารถควบคุมได้ เนื่องจากทอมอินทิกรัล (JW) เมื่อใช้หลักการของการควบคุมแบบป้อนกลับ



รูปที่ 2.24 การควบคุมแบบป้อนกลับ

$$T(s) = \frac{\frac{K}{s(s+1)}}{1 + \frac{K}{s(s+1)}} = \frac{K}{s^2 + s + K}$$

ได้ว่า เมื่อ $K > 0$ ระบบจะเสถียรภาพ จึงสรุปได้ว่าหลักการควบคุมแบบป้อนกลับจะทำให้ระบบที่ไม่เสถียรภาพสามารถเสถียรภาพได้

ในระบบบางประเภท เรามีความจำเป็นที่ต้องปรับปรุงสมรรถนะของระบบควบคุม ซึ่งสามารถทำได้โดยการ ใช้ส่วนประกอบอื่นเพิ่มเติมเข้ากับระบบควบคุม การที่เราปรับเปลี่ยนสมรรถนะของระบบควบคุมป้อนกลับแบบนี้เราเรียกว่า การชดเชย (Compensation)

การควบคุมนี้มีอยู่ด้วยกัน 3 รูปแบบคือ

1. การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control)
2. การควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral Control)
3. การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control)

2.13.3 การควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional Control)

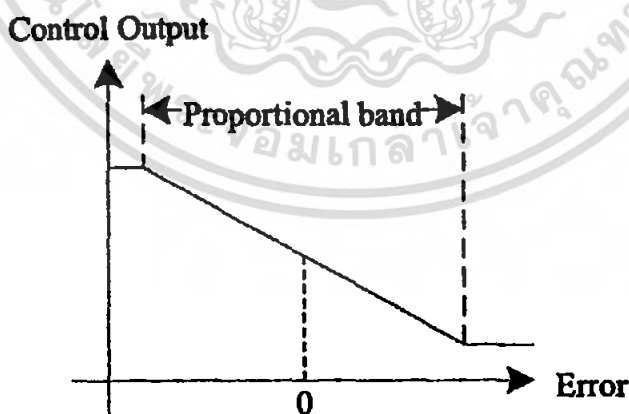
ในระบบควบคุมแบบสัดส่วนนั้น เราจะได้ว่า Output(เอาต์พุต) ของคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัดส่วนกับ Input(อินพุต) ของคอนโทรลเลอร์และถ้าเรากำหนดสัญญาณอินพุตที่ให้กับคอนโทรลเลอร์เป็นค่าความผิดพลาด (e) ซึ่งเป็น Function ของเวลาเราจะได้

$$\text{Output} = K_p e$$

เมื่อ K_p เป็นค่าคงที่เรียกอัตราขยายแบบสัดส่วน (Proportional gain) เราจะพบว่าเอาต์พุต ที่ออกจากคอนโทรลเลอร์แบบสัดส่วนจะขึ้นกับขนาดของความผิดพลาดในขณะที่เรากำลังพิจารณาทำให้ Function ถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์จะมีค่าเป็น $G_c(s)$

$$G_c(s) = K_p$$

ดังนั้นการควบคุมด้วยคอนโทรลเลอร์แบบนี้ก็จะเป็นการขยายสัญญาณความผิดพลาดเท่านั้น การที่เราได้สัญญาณความผิดพลาดขนาดใหญ่ที่เวลาหนึ่ง จะทำให้เกิดเอาต์พุตที่มีขนาดใหญ่จากคอนโทรลเลอร์ในเวลานั้น อย่างไรก็ตามการที่เรากำหนดให้อัตราขยายคงที่นั้น ในทางปฏิบัติเราอาจจะกำหนดไว้ในบางช่วงของสัญญาณความผิดพลาดเท่านั้น เราอาจกำหนดให้คอนโทรลเลอร์ของเรามีค่าเอาต์พุตไม่น้อยกว่าค่าค่าหนึ่ง และไม่มากเกินไปกว่าค่าค่าหนึ่งก็ได้ ซึ่งการกำหนดช่วงจำกัดของเอาต์พุตจะมีลักษณะดังรูปที่ 2.25 และ การกำหนด เอาต์พุตของระบบควบคุมแบบสัดส่วน ช่วงที่มีการกำหนดสัดส่วนนี้เราจะเรียกว่า Proportional Band



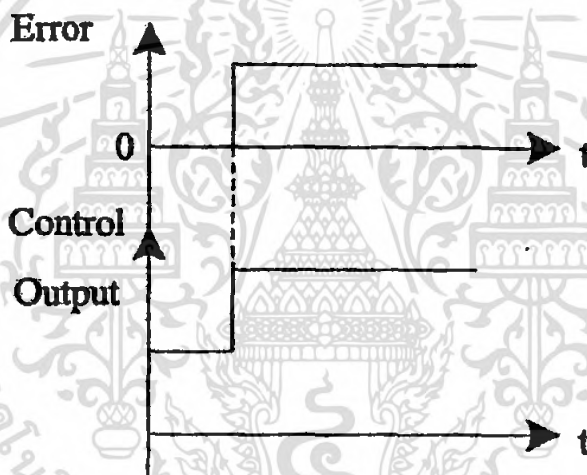
รูปที่ 2.25 การกำหนดช่วงจำกัดของ Output

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดช่วงของสัดส่วนนี้ จะช่วยให้สัญญาณเอาต์พุตมีค่าจำกัดไม่ไปสู่ค่าอนันต์ ทั้งด้านบวกและด้านลบและเมื่อคอนโทรลเลอร์มีเอาต์พุตสูงที่สุดที่เป็นได้ค่าหนึ่งแล้วเราก็นิยมที่จะกำหนดเอาต์พุตค่าใดๆ เป็นร้อยละของค่าสูงสุดที่เป็นได้ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงค่าเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์ 100% ก็หมายถึงว่าเอาต์พุตจะเปลี่ยนจากค่าต่ำสุดที่เป็นไปได้ ไปเป็นค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ ซึ่งจะทำให้เราได้ว่า

$$K_p = \frac{100}{\text{Proportional band}}$$

เนื่องจากเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัดส่วนกับอินพุต ดังนั้นถ้าหากสัญญาณอินพุต มีลักษณะเป็นขั้นบันได สัญญาณเอาต์พุตที่ได้ก็จะมีลักษณะเป็นขั้นบันไดเช่นกัน โดยลักษณะของกราฟแสดงสัญญาณอินพุตและ สัญญาณเอาต์พุตจะมีสัดส่วนที่แน่นอนค่าหนึ่งตามรูปที่ 2.26 โดยรูปนี้แสดงถึงการตอบสนองของคอนโทรลเลอร์เมื่ออินพุตอยู่ในช่วงของสัดส่วน



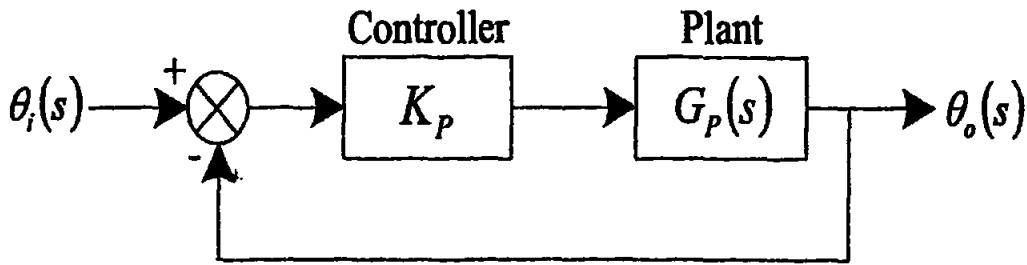
รูปที่ 2.26 การตอบสนองของ Controller แบบสัดส่วน

ในทางปฏิบัติระบบควบคุมแบบสัดส่วนนี้ จะมีลักษณะเหมือนกบเครื่องขยายสัญญาณรูปแบบหนึ่ง ซึ่งอาจจะเป็นในลักษณะของอุปกรณ์ไฟฟ้า หรืออาจจะเป็นเครื่องขยายสัญญาณเชิงกล เช่น คานก็ได้ ลักษณะของระบบที่ควบคุมสัดส่วนจะมีลักษณะดังที่แสดงในรูปที่ 2.27 และจะทำให้ได้ Function ถ่ายโอนระบบวงเปิดเป็น

$$G_o(s) = K_p G_p(s)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ $G_p(s)$ เป็น Function ถ่ายโอนของระบบ



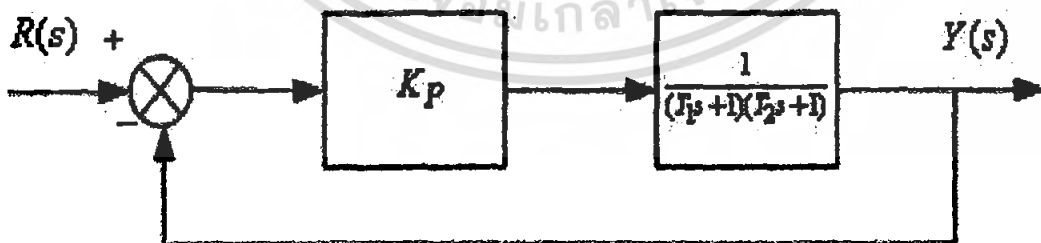
รูปที่ 2.27 การควบคุมแบบสัดส่วน

ข้อเสียประการสำคัญของระบบควบคุมที่คอนโทรลเลอร์คือ ไม่ได้มีการเพิ่มเทอม $\frac{1}{s}$ (หรือการเพิ่มปริพันธ์) ในส่วนเส้นทางไปหน้า (Forward path) ซึ่งหมายความว่า ถ้าระบบเป็นระบบชนิดศูนย์ (Type 0) คอนโทรลเลอร์จะไม่ได้เปลี่ยนแปลงชนิดของระบบ ทำให้ระบบเป็นชนิดศูนย์เหมือนเดิม และทำให้เกิดความผิดพลาดที่สภาพคงตัว เนื่องจากคอนโทรลเลอร์ไม่ได้ทำการเพิ่ม Pole หรือ Zero ใหม่ให้กับระบบเพียงแต่เปลี่ยนตำแหน่งของ Pole หรือ Zero เท่านั้น เนื่องจากระบบควบคุมแบบป้อนกลับหนึ่งหน่วยตามรูปที่ 2.27 จะมี Function ถ่ายโอนของระบบเป็น

$$G(s) = \frac{K_p G_p(s)}{1 + K_p G_p(s)}$$

และสมการคุณลักษณะจะเป็น $(1 + K_p G_p(s))$ และมีรากเปลี่ยนไปตามค่าของ K_p

คุณลักษณะของระบบเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบพี (P-Controller)



รูปที่ 2.28 การควบคุมแบบรูปปิด กรณีใช้ตัวควบคุมชนิดพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.28 สมการคุณลักษณะคือ

$$f(s) = (T_1s+1)(T_2s+1) + K$$

เมื่อป้อนสัญญาณเข้าเป็นแบบสัญญาณแบบขั้นบันได

$$R(s) = \frac{1}{s}$$

จากนั้นพิจารณาค่าผิดพลาดในสภาวะคงตัวของระบบกรณีใช้ตัวควบคุมชนิดพี ค่าผิดพลาดในสภาวะคงตัว (Steady state error)

$$e_{ss} = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{1}{s} \frac{1}{1 + \frac{k}{(T_1s+1)(T_2s+1)}} = \frac{1}{1+k}$$

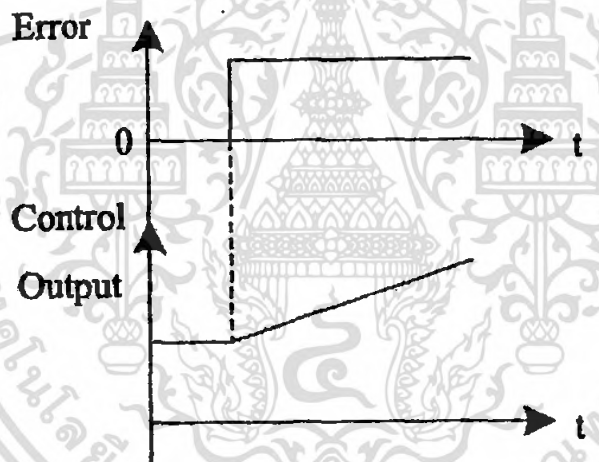
พบว่า ถ้าให้ค่า K มีค่าสูงๆจะสารถทำให้ค่าผิดพลาดในสภาวะคงตัวมีค่าน้อยๆได้แต่จะไม่เป็นศูนย์ เพราะในทางปฏิบัติไม่สามารถสร้างอัตราขยายที่มีค่ามากๆได้

2.13.4 การควบคุมแบบปริพันธ์ (Integral Control)

ในระบบควบคุมแบบปริพันธ์เอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัดส่วนกับปริพันธ์ของสัญญาณผิดพลาดเทียบกับเวลาหรือ

$$\text{Output} = K_i \int_0^t e dt$$

เมื่อ K_i เป็นค่าคงที่เรียกว่า อัตราขยายปริพันธ์ (Integral gain) ซึ่งจะมีหน่วยเป็น $\frac{1}{\text{Sec}}$ รูปที่ 2.29 แสดงลักษณะการตอบสนองของการควบคุมแบบปริพันธ์ เมื่อได้รับสัญญาณความผิดพลาดแบบขั้นบันได ค่าปริพันธ์ระหว่างเวลา t และ 0 จะหมายถึงพื้นที่ใต้กราฟของสัญญาณความผิดพลาดจากเวลา 0 ถึง t ดังนั้นเนื่องจากระบบมีการมีสัญญาณความผิดพลาดแบบขั้นบันไดเอาต์พุตที่ออกจากคอนโทรลเลอร์จะมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆด้วยอัตราที่คงที่ ทำให้เอาต์พุตที่เวลาใดๆจะเป็นสัดส่วนกับความผิดพลาดที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.29 การตอบสนองของ Controller แบบปริพันธ์

เปลี่ยนรูปลักษณ์ของสมการข้างต้นจะทำให้เราได้ Function ถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์เป็น

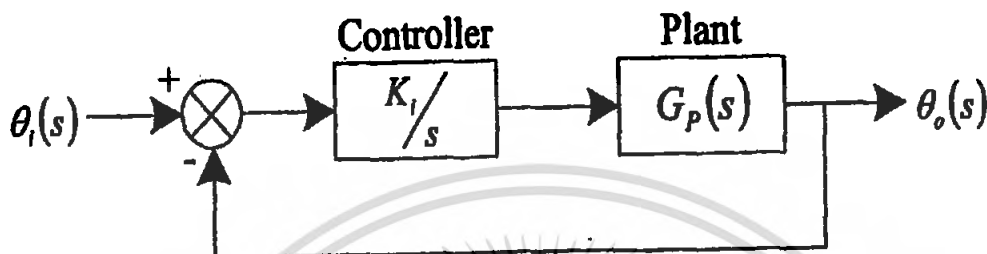
$$G_c(s) = \frac{\text{Output}(s)}{e(s)} = \frac{K_i}{s}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของระบบที่ควบคุมแบบป้อนกลับจะมีลักษณะดังที่แสดงในรูปที่ 2.30 และจะทำให้ได้ Function ถ่ายโอนระบบเปิดเป็น

$$G_o(s) = \frac{K_I}{s} G_p(s)$$

เมื่อ $G_p(s)$ เป็น Function ถ่ายโอนของระบบ



รูปที่ 2.30 การควบคุมแบบป้อนกลับ

ระบบควบคุมแบบป้อนกลับหนึ่งหน่วยตามรูปที่ 2.30 จะมี Function ถ่ายโอนของระบบเป็น

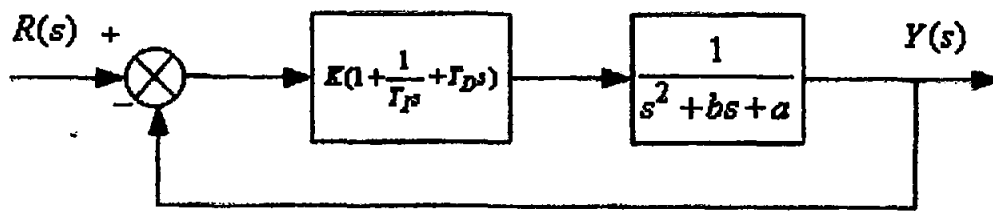
$$G(s) = \frac{K_I}{s} \frac{G_p(s)}{1 + \frac{K_I}{s} G_p(s)}$$

เราสามารถพิจารณาถึงข้อได้เปรียบของการควบคุมแบบป้อนกลับได้จากสมการข้างต้น ซึ่งเราจะเห็นว่าระบบควบคุมแบบป้อนกลับจะเพิ่มจำนวน Pole ให้กับระบบควบคุม และเพิ่มชนิดของระบบจาก Type0 เป็น Type1 ซึ่งทำให้ระบบมีความผิดพลาดที่สภาวะคงตัวเป็นศูนย์เทียบต่อสัญญาณอินพุตเป็นขั้นบันได อย่างไรก็ตามการเพิ่ม Pole ที่ $S = 0$ และไม่มีการเพิ่ม Zero ให้กับระบบควบคุมจะสร้างความแตกต่างระหว่างจำนวน Pole (n) และ จำนวน Zero (m) เพิ่มขึ้นอีกหนึ่ง ซึ่งจะมีผลให้ Asymptote Angles ของทางเดินรากลดลง และจุดตัดจะเคลื่อนไปทางครึ่งขวาของ s -plane มากขึ้นมีผลทำให้ความเสถียรสัมพัทธ์ของระบบลดลง

$$\text{Asymptote angle} = \pm \frac{\pi}{n-m}, \frac{3\pi}{n-m}, \dots$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คุณลักษณะของระบบเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมชนิดไอ (I-Controller)



รูปที่ 2.31 แสดงการควบคุมแบบอูปิด กรณีใช้ตัวควบคุมชนิดไอ

จากรูปที่ 2.31 สมการคุณลักษณะคือ

$$f(s) = T_1 s(T_1 s + 1)(T_2 s + 1) + k$$

เมื่อป้อนสัญญาณด้านเข้าเป็นสัญญาณแบบขั้นบันได

$$R(s) = \frac{1}{s}$$

จากนั้นพิจารณาค่าผิดพลาดในสภาวะคงตัวของระบบกรณีใช้ตัวควบคุมชนิดไอ ค่าผิดพลาดในสภาวะคงตัว

$$\begin{aligned} e_{ss} &= \lim_{s \rightarrow 0} s \frac{1}{1 + \frac{k}{T_1 s(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}} \frac{1}{s} \\ &= \lim_{s \rightarrow 0} \frac{T_1 s(T_1 s + 1)(T_2 s + 1)}{T_1 s(T_1 s + 1)(T_2 s + 1) + k} \\ &= 0 \end{aligned}$$

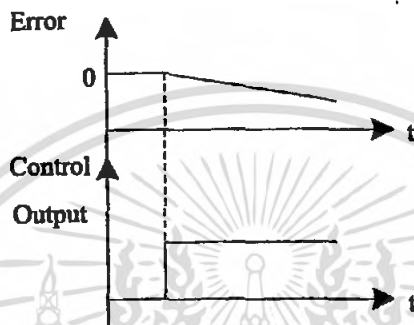
ค่าผิดพลาดในสภาวะคงตัวของระบบต่อสัญญาณด้านเข้าจะมีค่าเป็นศูนย์จึงกล่าวได้ว่า ตัวควบคุมแบบตัวควบคุมชนิดไอทำให้ค่าผิดพลาดในสภาวะคงตัวลดลง

2.13.5 การควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative Control)

การควบคุมอีกแบบหนึ่งก็คือการควบคุมแบบอนุพันธ์ การควบคุมแบบนี้เอาที่ทุกจะเป็นสัดส่วนกับ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาดเทียบกับเวลา นั่นคือ

$$\text{Output} = K_d \frac{de}{dt}$$

เมื่อ K_d คืออัตราขยายอนุพันธ์ (Derivative gain) และมีหน่วยเป็นวินาที



รูปที่ 2.32 การตอบสนองของ Controller แบบอนุพันธ์

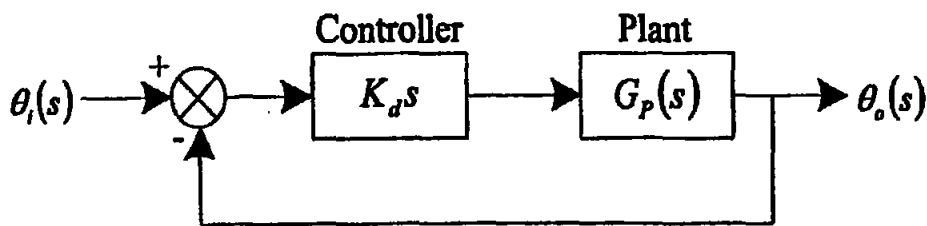
รูปที่ 2.32 แสดงสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อสัญญาณความผิดพลาดเป็นสัญญาณแบบทางลาด (Ramp) เมื่อเริ่มได้รับสัญญาณความผิดพลาด และไม่ใช่ค่าของความผิดพลาดซึ่งทำให้เราได้สัญญาณส่งออกจากคอนโทรลเลอร์มีค่ามากก่อนที่จะเกิดความผิดพลาดขึ้นมากจริงๆ อย่างไรก็ตามหากความผิดพลาดมีค่าคงที่ก็จะมีค่าความผิดพลาดแม้ว่าค่าความผิดพลาดจะมีค่าคงที่ก็ตามทำให้การควบคุมแบบอนุพันธ์นี้ไม่อ่อนไหวต่อค่าความผิดพลาดที่คงที่หรือเปลี่ยนแปลงอย่างช้าๆ ซึ่งผลที่ตามมาการควบคุมแบบนี้จะไม่ใช้เพียงตัวเดียว แต่มักจะใช้ควบคู่ร่วมกับการควบคุมแบบอื่น เปลี่ยนรูปลาปลาซสมการข้างต้นเพื่อที่จะหา Function ถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะเป็น

$$G_C(s) = K_d s$$

ดังนั้นสำหรับระบบควบคุม ดังที่แสดงในรูปที่ 2.33 การที่มีการควบคุมแบบอนุพันธ์จะทำให้เราได้ Function ถ่ายโอนเป็น

$$G(s) = \frac{K_d s G_p(s)}{1 + K_d s G_p(s)}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

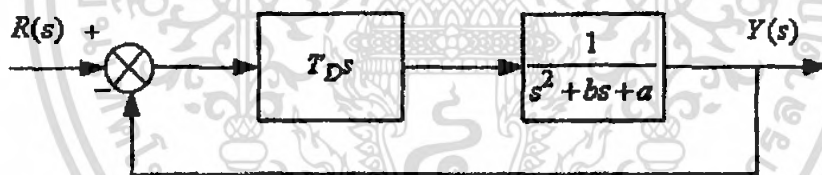


รูปที่ 2.33 ระบบควบคุมแบบอนุพันธ์

ถ้าหากว่าระบบเป็นแบบชนิดหนึ่งหรือสูงกว่า การควบคุมแบบอนุพันธ์จะลด s ในเทอมส่วนลง และลดชนิดของระบบลงหนึ่ง อย่างไรก็ตามเราได้กล่าวก่อนหน้านี้แล้วว่า การควบคุมแบบอนุพันธ์นี้มักจะไม่ใช่เพียงลำพังแต่เราจะใช้ร่วมกับการควบคุมแบบอื่น เพราะเมื่อเราใช้การควบคุมแบบอนุพันธ์จะทำให้เราเพิ่มความเร็วในการตอบสนองของระบบต่อความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

ในทางปฏิบัติการนำกฎการควบคุมแบบอนุพันธ์ไปใช้นั้นค่อนข้างจะลำบาก ดังนั้นในทางปฏิบัติโดยทั่วไปนั้นจะเป็นการประมาณการควบคุมแบบอนุพันธ์ โดยใช้การชดเชยนำหน้า (Lead Compensator) ซึ่งจะกล่าวถึงต่อไป

คุณลักษณะของระบบเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมชนิดดี (D-Controller)



รูปที่ 2.34 การควบคุมแบบอูปิด กรณีใช้ตัวควบคุมชนิดดี

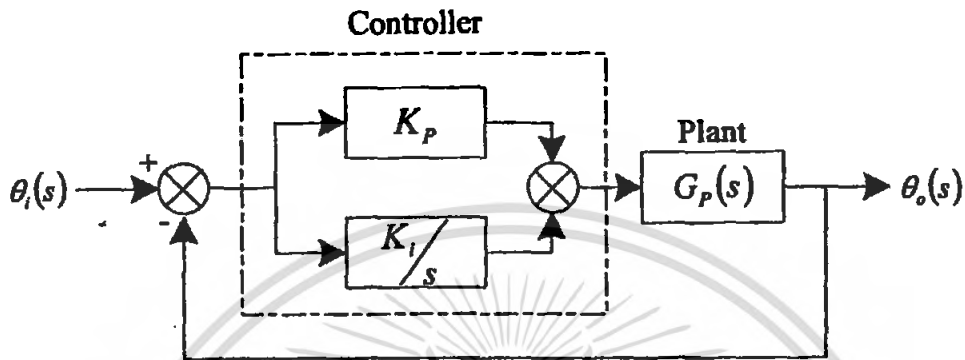
จากรูปที่ 2.34 Function ถ่าย โอนของระบบควบคุมแบบอูปิดคือ

$$G(s) = \frac{\frac{T_D s}{s^2 + bs + a}}{1 + \frac{T_D s}{s^2 + bs + a}} = \frac{T_D s}{s^2 + (b + T_D)s + a}$$

จะเห็นว่าตัวควบคุมชนิดดีจะทำให้สัมประสิทธิ์ของเทอม s มีค่าเพิ่มขึ้น นั้นหมายถึงทำให้อัตราการหน่วงมีค่ามากขึ้นส่งผลให้ Maximum Overshoot มีค่าลดลงหรือหมดไป

2.13.6 การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์ (Proportional plus Integral Control, PI)

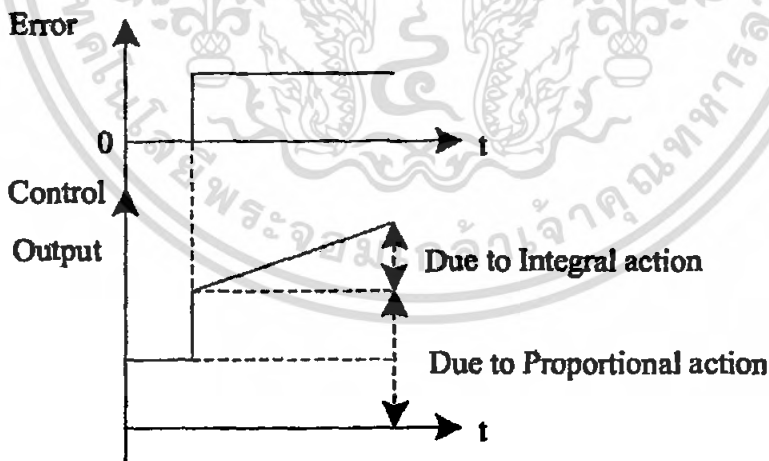
การที่ระบบควบคุมมีความเสถียรสัมพัทธ์ลดลง เมื่อเราใช้การควบคุมแบบปริพันธ์สามารถที่จะแก้ไขได้ในระดับหนึ่ง โดยการใช้การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับแบบปริพันธ์ วัฏลักษณะของระบบควบคุมจะเป็นตามรูปที่ 2.35



รูปที่ 2.35 ระบบควบคุมแบบพีไอ

สำหรับระบบดังกล่าวจะมีเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์เป็น

$$\text{Output} = K_p e + K_i \int_0^t e dt$$



รูปที่ 2.36 การตอบสนองของ Controller แบบพีไอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.36 แสดงเอาต์พุตของคอนโทรลเลอร์ที่ได้รับเมื่อมีอินพุตเป็นสัญญาณความผิดพลาดแบบขั้นบันได ถ้าเราเปลี่ยนรูปถ่ายของสมการข้างต้น เราจะได้ Function ถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์แบบพีไอเป็น

$$\begin{aligned} G_O(s) &= K_p + \frac{K_i}{s} \\ &= \frac{sK_p + K_i}{s} \\ &= K_p \frac{(s + K_i/K_p)}{s} \end{aligned}$$

เราให้ค่าเวลาที่ปริพันธ์ (Integral Time Constant) เป็น

$$\tau_i = \frac{K_p}{K_i}$$

ดังนั้นเราจะได้

$$G_C(s) = \frac{K_p[s + 1/\tau_i]}{s}$$

และจะทำให้เราได้ Function ถ่ายโอนของระบบเปิดเป็น

$$\begin{aligned} G_O(s) &= G_C(s)G_p(s) \\ &= \frac{K_p[s + (1/\tau_i)G_p(s)]}{s} \end{aligned}$$

เราจะเห็นว่าเรามีศูนย์ที่ $s = 1/\tau_i$ และ Pole ที่ $s=0$ เพิ่มให้กับ Function ถ่ายโอนของระบบเมื่อเราใช้การควบคุมแบบพีไอ การที่เราเพิ่มตัวประกอบ s เข้ากับเทอมส่วนของ Function ถ่ายโอนก็เหมือนกับเราเพิ่มแบบของระบบขึ้นไปหนึ่ง จึงทำให้ระบบนี้จะไม่มีความผิดพลาดที่สภาพคงตัวสำหรับอินพุตแบบขั้นบันได นอกจากนั้นการที่เราเพิ่ม Zero ให้กับระบบไปพร้อมๆกัน ก็จะทำให้ความแตกต่างระหว่างจำนวน Pole (n) และจำนวน Zero (m) มีค่าคงที่ ดังนั้นมุมของ Asymptote สำหรับการเดินทางของรากมีค่าคงเดิม เพราะอย่างไรก็ตามจุดตัดของเส้น Asymptote บนแกนจริงจะเคลื่อนที่เข้าหาจุดกำเนิดมากขึ้นยังให้ผลความเสถียรของระบบลดลงบ้าง

$$\text{Intersection / point} = (\text{ผลรวมของ Pole} - \text{ผลรวมของ Zero}) / (n-m)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

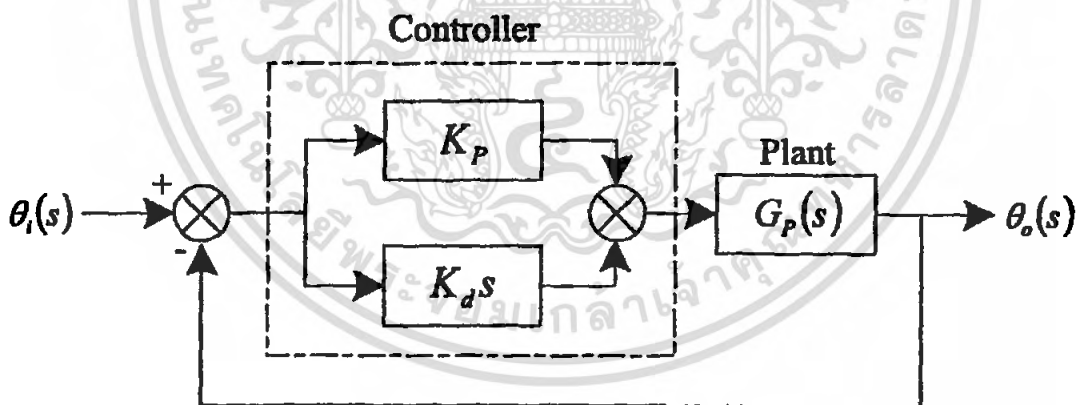
การเพิ่ม Pole ที่ $S=0$ และ Zero ที่ $s = -1/\tau_i$ จะทำให้จุดต้องเปลี่ยนไปเท่ากับ $\pm \frac{(1/\tau_i)}{(n-m)}$ ซึ่งจะทำให้มีค่าเป็นบวกมากขึ้น และจุดตัดจะเคลื่อนที่มาจากขวามือเข้าใกล้จุดกำเนิดมากขึ้น อย่างไรก็ตามการลดลงของความเสถียรสัมพัทธ์นี้จะน้อยกว่าการที่เราใช้การควบคุมแบบปริพันธ์เพียงอย่างเดียว ค่าของ K_p และ K_i จะเป็นค่าที่ใช้กำหนดตำแหน่งของ Zero และ Pole ของระบบโดยตำแหน่งของศูนย์จะกำหนดด้วยค่า K_p ในขณะที่ K_i จะเป็นค่าที่ใช้กำหนด Pole ระบบปิด

2.13.7 การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับอนุพันธ์ (PD)

ถ้าการควบคุมแบบอนุพันธ์ใช้ร่วมกับการควบคุมแบบสัดส่วน ดังที่แสดงในรูปที่ 2.37 เราจะได้ Function ถ่ายโอนระบบเปิดเป็น

$$\begin{aligned} G_o(s) &= (K_p + K_d s) G_p(s) \\ &= K_d [(1/\tau_d) + s] G_p(s) \end{aligned}$$

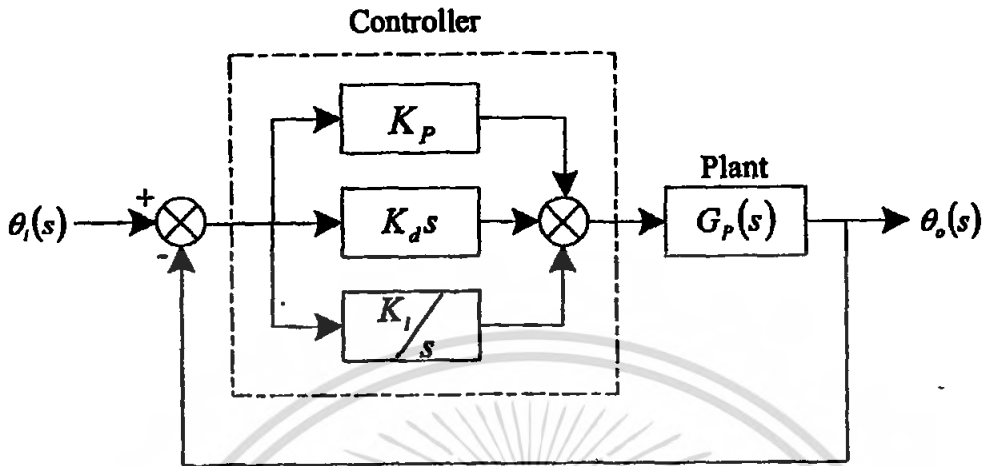
เมื่อ $\tau_d = K_p/K_d$ คือ เวลาคงที่อนุพันธ์ (Derivative Time Constant) ซึ่งในการควบคุมแบบนี้จะมี Zero เพิ่มขึ้นที่ $s = -1/\tau_d$ และ จะเห็นว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของระบบ ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความผิดพลาดที่สภาวะคงตัว



รูปที่ 2.37 ระบบควบคุมแบบพีดี

2.13.8 การควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์ และอนุพันธ์

(Proportional plus Integral plus Derivative Control, PID)



รูปที่ 2.38 Block Diagram ที่ประกอบด้วยพีไอดี

การควบคุมโดยใช้แบบสัดส่วนร่วมกับแบบปริพันธ์และอนุพันธ์ หรือที่เรียกการควบคุมแบบ 3 เทอม (Tree-term Control) ระบบนี้จะมีลักษณะตามรูปที่ 2.38 จะทำให้เอาท์พุทของคอนโทรลเลอร์เมื่อรับอินพุทเป็นค่าความผิดพลาด e ดังนี้

$$\text{Output} = K_p e + K_i \int_0^t e dt + K_d \frac{de}{dt}$$

Function ถ่ายโอนของคอนโทรลเลอร์จะเป็น

$$G_C(s) = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s$$

ซึ่งเราสามารถจัดรูปได้เป็น

$$G_C(s) = K_p \left[1 + \frac{K_i}{K_p s} + \frac{K_d s}{K_p} \right]$$

หรือ

$$G_C(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right)$$

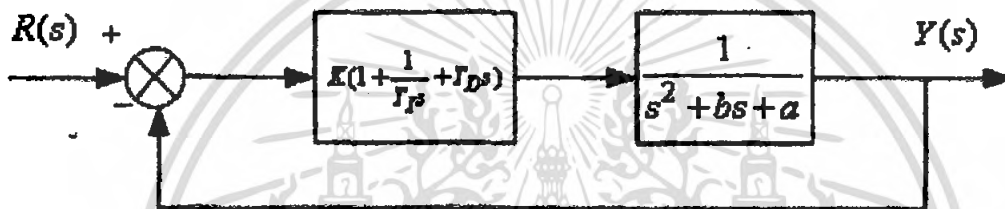
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Function ถ่ายโอนระบบเปิดของระบบที่แสดงในรูปที่ 2.38 จะเป็น

$$\begin{aligned} G_O(s) &= G_C(s)G_P(s) \\ &= K_p \left(1 + \frac{1}{\tau_i s} + \tau_d s \right) G_P(s) \\ &= \frac{K_p (\tau_i s + 1 + \tau_i \tau_d s^2) G_P(s)}{\tau_i s} \end{aligned}$$

ดังนั้นการควบคุมแบบสัดส่วนร่วมกับปริพันธ์และอนุพันธ์จะเพิ่มจำนวน Zero ให้กับระบบเท่ากับสอง และ เพิ่มจำนวน Pole เท่ากับหนึ่งและทำให้ชนิดของระบบเพิ่มขึ้นหนึ่ง

คุณลักษณะของระบบเมื่อควบคุมด้วยตัวควบคุมชนิดพีไอดี (PID-Controller)



รูปที่ 2.39 การควบคุมแบบดอปิด กรณีใช้ตัวควบคุมชนิดพีไอดี

สมมุติระบบใดๆมี Function ถ่ายโอนดังนี้

$$C(s) = \frac{1}{(s+1)(5s+1)}$$

Function ถ่ายโอนของระบบควบคุมดอปิดคือ

$$\begin{aligned} G(s) &= \frac{K \left(1 + \frac{1}{T_1 s} + T_D s \right) \frac{1}{5s^2 + 6s + 1}}{1 + K \left(1 + \frac{1}{T_1 s} + T_D s \right) \frac{1}{5s^2 + 6s + 1}} \\ &= \frac{K \left(s + \frac{1}{T_1} + T_D s^2 \right)}{5s^3 + 6s^2 + s + Ks + \frac{K}{T_1} + K T_D s^2} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\frac{K \left(s + \frac{1}{T_i} + T_D s^2 \right)}{5s^3 + (6 + KT_D)s^2 + (1 + K)s + \frac{K}{T_i}}$$

จะเห็นว่า เมื่อใส่ตัวควบคุมชนิดพีไอดีให้กับระบบ จะทำให้สัมประสิทธิ์ของเทอม s มีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งทำให้อัตราการหน่วงมีค่ามากขึ้นส่งผลให้ Maximum Overshoot มีค่าลดลงหรือหมดไป ค่าผิดพลาดในสภาวะคงตัวของระบบต่อสัญญาณด้านเข้ามีค่าลดลง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและการสร้าง

3.1 แนวความคิดการออกแบบระบบการหาตำแหน่งพิกัดจำลอง

เนื่องจากเฮลิคอปเตอร์เป็นพาหนะที่เคลื่อนที่ในอากาศได้อย่างอิสระ ดังนั้นเราจึงต้องสร้างระบบควบคุมที่เป็นระบบแบบ 3 มิติ คือ แกน X, Y, Z เพื่อทำการหาตำแหน่งพิกัดที่ถูกต้องของเฮลิคอปเตอร์ โดยกลุ่มผู้จัดทำเลือกใช้กล้อง Webcam ทำงานร่วมกับ โปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 ทำระบบการหาพิกัดจำลอง นอกจากนี้ยังต้องอาศัยความรู้ทางด้าน Robot Vision เข้ามาช่วยให้การคำนวณหาตำแหน่งพิกัดตามแนวแกน X, Y, Z ของระบบการหาตำแหน่งพิกัดจำลอง

3.1.1 โครงสร้างและอุปกรณ์ระบบการหาพิกัดจำลอง

3.1.1.1 กระดาษแข็งสีดำ โดยกลุ่มผู้จัดทำนำเอากระดาษชนิดเป็นตาราง 20*20 Cm เพื่อความแม่นยำ และง่ายต่อติดตั้งกล้อง Webcam ให้เป็นไปตามแนวแกนที่จะใช้ในการคำนวณค่าพิกัดจำลองของเฮลิคอปเตอร์



รูปที่ 3.1 รูปกระดาษแข็งสีดำ

3.1.1.2 ลูกปิงปอง เนื่องจากต้องการจำลองหาพิกัดของเฮลิคอปเตอร์ แต่การที่จะนำเอาเฮลิคอปเตอร์มาหาพิกัดจริงๆนั้นทำได้ยากลำบากกว่าการใช้ลูกปิงปอง ทางผู้จัดทำจึงเลือกที่จะใช้ลูกปิงปองแทนตำแหน่งของเฮลิคอปเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.1.3 กล้อง Webcam โดยปกติกล้องทั่วไปจะได้ภาพแบบ 2 มิติ คือ แกน X, Y แต่ระบบการจำลองหาพิกัดต้องการคำนวณหาพิกัดแบบ 3 มิติ ดังนั้นจึงต้องใช้กล้อง 2 ตัววางทำมุมกัน เพื่อให้ได้พื้นที่ร่วมกันระหว่างกล้อง 2 ตัว โดยทางผู้จัดทำได้วางกล้อง 2 ตัวหันหน้ากล้องทำมุมฉากกับกระดาษแข็งสีดำ โดยกล้องทั้ง 2 วางทำมุมขนานกัน และห่างกันจากกัน 40 Cm เพื่อช่วยต่อการติดตั้ง

3.2 แนวความคิดการออกแบบโปรแกรมประมวลผลตรวจจับและหาตำแหน่งพิกัด X, Y, Z

โดยปกติแล้วกล้อง Webcam จะถูกนำมาใช้ในถ่ายภาพเคลื่อนไหวในการเล่น MSN แต่กล้อง Webcam ยังสามารถที่จะทำได้มากกว่านั้น ถ้าพูดถึงการแข่งขัน Robocup คงจะอธิบายให้เข้าใจถึงเรื่องการตรวจจับและหาตำแหน่งได้ง่ายขึ้น

สำหรับการแข่งขันหุ่นยนต์แบบนี้ จะใช้วิธีการบังคับหุ่นยนต์แบบไร้สายและหุ่นทุกตัวในทีมสามารถทำงานได้อย่างอิสระ แต่ที่น่าสนใจคือการแยกแยะว่าหุ่นแต่ละตัวอยู่ตำแหน่งใดในสนามและอยู่ในสถานะแบบไหน ดังนั้นเราจึงต้องทำการประมวลผลที่ได้จากภาพกล้อง Webcam มาช่วยในการตัดสินใจ โดยหุ่นแต่ละตัวแต่ละทีมจะมีสีกำกับไว้ด้านของหุ่นเพื่อใช้ในการตรวจจับหาตำแหน่ง แต่ที่กล่าวมาทั้งหมดเป็นเพียงการใช้กล้อง Webcam 1 ตัว จึงทำให้เราทราบแค่ พิกัดในแนวแกน X, Y เท่านั้น แต่ระบบควบคุมที่ทางผู้จัดทำต้องการคือระบบแบบ 3 มิติ ดังนั้นจึงต้องมีการใช้กล้อง Webcam 2 ตัวในการทำโปรแกรมประมวลผลตามทฤษฎีของ Robot Vision ซึ่งจะช่วยให้เราทราบพิกัดตำแหน่งของวัตถุในแนวแกน X, Y, Z ตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.2 รูปแบบโปรแกรมประมวลผลตรวจจับและหาตำแหน่งพิกัด X, Y, Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป โปรแกรมประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ส่วนแสดงผลจากกล้อง Webcam ตัวที่ 1 และ 2
2. ส่วนแสดงผลตำแหน่งพิกัด X, Y จากกล้อง Webcam
3. ส่วนแสดงผลคำนวณหาพิกัด X, Y, Z

อธิบายการทำงานของโปรแกรม

1. หลังจากรันโปรแกรมแล้ว เริ่มทำการกดปุ่ม Connect โปรแกรมจะทำการตรวจสอบจำนวนกล้อง Webcam ที่ติดต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่ง Window จะเก็บค่า mCapHwnd เอาไว้เพื่อบอกให้รู้ว่าเป็นกล้องตัวที่เท่าไร กรณีที่โปรแกรมต้องการเรียกใช้กล้อง 2 ตัวพร้อมๆกันจำเป็นจะต้องมีการเขียนตัวแปรเก็บค่า mCapHwnd แยกกันเอาไว้ไม่เช่นนั้นจะเกิดการซ้อนกันของกล้อง Webcam

ส่วน Code ที่สำคัญ

```
mCapHwnd = a
```

```
SendMessage mCapHwnd, GET_FRAME, 0, 0
```

```
SendMessage mCapHwnd, COPY, 0, 0
```

```
picColor.Picture = Clipboard.GetData
```

```
picColor.Visible = True
```

```
DoEvents
```

```
Find_Object picColor
```

```
mCapHwnd = b
```

```
SendMessage mCapHwnd, GET_FRAME, 0, 0
```

```
SendMessage mCapHwnd, COPY, 0, 0
```

```
picColor2.Picture = Clipboard.GetData
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```
picColor2.Visible = True
```

```
DoEvents
```

```
Find_Object2 picColor2
```

2. เมื่อภาพจากกล้องทั้ง 2 แสดงภาพออกมาทางหน้าจอ โปรแกรมแล้ว ทางโปรแกรมจะทำการสแกนภาพเพื่อเช็คสีที่เราต้องการตรวจจับ แล้วทำการบอกพิกัดจุดศูนย์กลางและจำนวนพื้นที่สีที่ต้องการตรวจจับได้ โดยโปรแกรมจะทำการสแกนตามแนวแกน X และ Y ตามลำดับ โดยเริ่มสแกนจากมุมซ้ายบนของภาพ แล้วทำการเก็บค่า Pixel สีที่สแกนเจอนำมาแสดงเป็นค่า Area Size

ส่วน Code ที่สำคัญ

```
For iColor = 0 To 0
```

```
AreaBall(iColor) = 0
```

```
minx = picColor.Width
```

```
miny = picColor.Height
```

```
maxx = 0
```

```
maxy = 0
```

```
For y = 1 To picColor.ScaleHeight
```

```
  x = 1 To picColor.ScaleWidth
```

```
    If ((pixels(pixB, x, y) > (BlueThr(iColor) - ColorRange)) And (pixels(pixB, x, y) < (BlueThr(iColor) + ColorRange))) And ((pixels(pixG, x, y) > (GreenThr(iColor) - ColorRange) And (pixels(pixG, x, y) < (GreenThr(iColor) + ColorRange))) And ((pixels(pixR, x, y) > (RedThr(iColor) - ColorRange) And (pixels(pixR, x, y) < (RedThr(iColor) + ColorRange))) Then
```

```
      Pixels (pixR, x, y) = 0
```

```
      Pixels (pixG, x, y) = 0
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Pixels (pixB, x, y) = 0

If minx > x Then minx = x

If maxx < x Then maxx = x

If miny > y Then miny = y

If maxy < y Then maxy = y

AreaBall(iColor) = AreaBall(iColor) + 1

End If

Next x

Next y

lblAreaSize(iColor).Caption = AreaBall(iColor)

N = (minx + maxx) / 2

M = (minx + maxx) / 2

O = (miny + maxy) / 2

P = (miny + maxy) / 2

picColor.Line (minx, miny)-(maxx, miny), RGB (RedThr(iColor), GreenThr(iColor), BlueThr(iColor))

picColor.Line (maxx, miny)-(maxx, maxy), RGB (RedThr(iColor), GreenThr(iColor), BlueThr(iColor))

picColor.Line (minx, maxy)-(maxx, maxy), RGB (RedThr(iColor), GreenThr(iColor), BlueThr(iColor))

picColor.Line (minx, miny)-(minx, maxy), RGB (RedThr(iColor), GreenThr(iColor), BlueThr(iColor))

picColor.Line (160, 0)-(160, 240), vbRed

picColor.Line (0, 120)-(320, 120), vbRed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

shpLED0(0).Visible = True

shpLED0(0).BackColor = RGB (RedThr(iColor), GreenThr(iColor), BlueThr(iColor))

Q = (N + M) / 2

R = (O + p) / 2

shpLED0(0).Width = 16

shpLED0(0).Height = 16

shpLED0(0).Top = O - 8

shpLED0(0).Left = N - 8

BallPosX(iColor) = N - 160

BallPosY(iColor) = -O + 120

IblPosX(iColor).Caption = BallPosX(iColor)

IblPosY(iColor).Caption = BallPosY(iColor)

Next iColor

End Sub

3. หลังจากที่เราได้ค่าพิกัด X, Y จากการสแกนภาพจากชั้นคอนข้างต้น เราจะนำค่าพิกัด X, Y จากกล้อง Webcam ทั้ง 2 ไปทำการคำนวณเพื่อหาค่าแห่งพิกัดตามแนวแกน X, Y, Z

ขั้นตอนการคำนวณ

จากสมการ $p^{camara} = T_{camara}^{image}(\lambda) p^{image}$

$$T_{camara}^{image}(\lambda) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & f & \frac{f\lambda}{f-\lambda} \\ 0 & 0 & 1 & \frac{f}{f-\lambda} \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 T_{camara}^{image}(\lambda) P^{image} &= \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & f & \frac{f\lambda}{f-\lambda} \\ 0 & 0 & 1 & \frac{f}{f-\lambda} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1^{image} \\ p_2^{image} \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \\
 &= \begin{bmatrix} p_1^{image} & p_2^{image} & \frac{f\lambda}{f-\lambda} & \frac{f}{f-\lambda} \end{bmatrix}^T \\
 &= \begin{bmatrix} \frac{(f-\lambda)p_1^{image}}{f} & \frac{(f-\lambda)p_2^{image}}{f} & \lambda & 1 \end{bmatrix}^T \\
 &= \begin{bmatrix} p_1^{camera} & p_2^{camera} & p_3^{camera} & 1 \end{bmatrix}^T \\
 &= p^{camera}
 \end{aligned}$$

โดย $p_1^{image} =$ ค่าพิกัดแกน X และ $p_2^{image} =$ ค่าพิกัดแกน Y

$$\begin{aligned}
 p^{base} &= T_{base}^{camera} p^{camera} \\
 &= \begin{bmatrix} \text{Rotation} & X \\ & Y \\ & Z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1^{camera} \\ p_2^{camera} \\ p_3^{camera} \\ 1 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

เมื่อเรารู้จากระบบการหาตำแหน่งพิกัดจำลองจะได้ว่า



รูปที่ 3.3 การแสดงแกนของ Base และกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจาก Driver ของกล้อง Webcam ทำการสะท้อน 3 มิติ (3D Reflection) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนโคออร์ดิเนตจากระบบมือขวาเป็นระบบมือซ้าย ทำให้แกน X, Y ยังคงเหมือนกับระบบ 3 มิติของ Base แต่แนวแกน Z จะไปในทิศทางตรงกันข้าม

$$\text{ดังนั้น } T_{base}^{camera} \text{ ของระบบ คือ } \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & -1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

โดย x, y, z คือ ตำแหน่งที่กล้อง Webcam ห่างจาก จุด Base

จากสมการทั้งหมดเมื่อเราทำการเอากล้อง Webcam 2 ตัว มาทำการหาดำแหน่งพิกัด X, Y ที่ได้จากการสแกนภาพ แล้วนำไปคำนวณหา p^{base}

$$p^{base} = \begin{bmatrix} \text{PositionX} \\ \text{PositionY} \\ \text{PositionZ} \\ 1 \end{bmatrix}$$

โดย p^{base} คือ ตำแหน่งที่วัตถุห่างจากจุด Base

ซึ่งจากการคำนวณของกล้อง Webcam ทั้ง 2 ตัว จะได้ค่า p^{base} เท่ากันเนื่องจากตรวจสอบวัตถุเดียวกัน

$$p_1^{base} = p_2^{base}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & -1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{(f-\lambda_1)X}{f} \\ \frac{(f-\lambda_1)Y}{f} \\ f \\ \lambda_1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x_2 \\ 0 & 1 & 0 & y_2 \\ 0 & 0 & -1 & z_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{(f-\lambda_2)X_2}{f} \\ \frac{(f-\lambda_2)Y_2}{f} \\ f \\ \lambda_2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{bmatrix} X - \frac{X}{f}\lambda_1 + x \\ Y - \frac{Y}{f}\lambda_2 + y \\ -\lambda_1 + z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_2 - \frac{X_2}{f}\lambda_2 + x_2 \\ Y_2 - \frac{Y_2}{f}\lambda_2 + y_2 \\ -\lambda_2 + z_2 \\ 1 \end{bmatrix}$$

จากสมการข้างต้นจะได้ว่า

$$-\frac{X}{f}\lambda_1 + \frac{X_2}{f}\lambda_2 = X_2 - X + x_2 - x_1 = C_1$$

$$-\frac{Y}{f}\lambda_1 + \frac{Y_2}{f}\lambda_2 = Y_2 - Y + y_2 - y_1 = C_2$$

เนื่องจากเราไม่ทราบค่า λ_1 และ λ_2 จึงต้องทำการหาค่าเสียก่อน โดยนำสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร λ มาใช้ทำการคำนวณหาค่า

จะได้

$$\begin{bmatrix} \lambda_1 & \lambda_2 & | & C_1 \\ \lambda_1 & \lambda_2 & | & C_2 \end{bmatrix}$$

$$\frac{R_1}{\lambda_1} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\lambda_2}{\lambda_1} & | & \frac{C_1}{\lambda_1} \\ \lambda_1 & \lambda_2 & | & C_2 \end{bmatrix}$$

$$R_2 - \lambda_1 R_1 \begin{bmatrix} 1 & \frac{\lambda_2}{\lambda_1} & | & \frac{C_1}{\lambda_1} \\ 0 & \lambda_2 - \lambda_1 \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right) & | & C_2 - \lambda_1 \left(\frac{C_2}{\lambda_1} \right) \end{bmatrix}$$

$$\frac{R_2}{\lambda_2 - \lambda_1 \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right)} \begin{bmatrix} 1 & \frac{\lambda_2}{\lambda_1} & | & \frac{C_1}{\lambda_1} \\ 0 & 1 & | & \frac{C_2 \lambda_1 - \lambda_1 C_1}{\lambda_2 \lambda_1 - \lambda_1 \lambda_2} \end{bmatrix}$$

$$R_1 - R_2 \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right) \begin{bmatrix} 1 & 0 & | & \left(\frac{C_1}{\lambda_1} \right) - \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right) \left(\frac{C_2 \lambda_1 - \lambda_1 C_1}{\lambda_2 \lambda_1 - \lambda_1 \lambda_2} \right) \\ 0 & 1 & | & \frac{C_2 \lambda_1 - \lambda_1 C_1}{\lambda_2 \lambda_1 - \lambda_1 \lambda_2} \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตั้งสมการข้างต้นเราจะได้ว่า

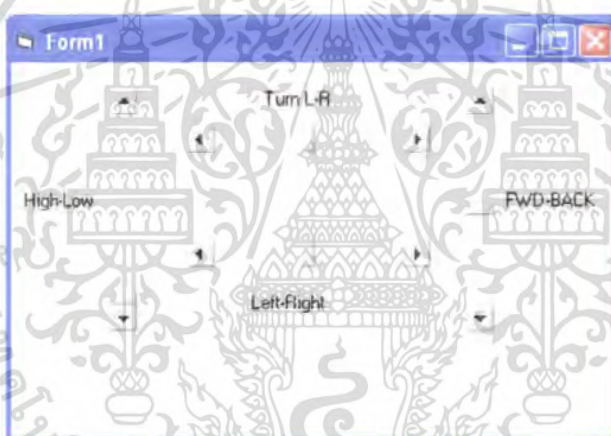
$$\text{ค่า } \lambda_1 = \left(\frac{C_1}{\lambda_1} \right) - \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1} \right) \left(\frac{C_2 \lambda_1 - \lambda_1 C_1}{\lambda_2 \lambda_1 - \lambda_1 \lambda_2} \right)$$

$$\text{ค่า } \lambda_2 = \frac{C_2 \lambda_1 - \lambda_1 C_1}{\lambda_2 \lambda_1 - \lambda_1 \lambda_2}$$

เมื่อนำค่า λ ไปแทนในสมการหา p^{base} เราจะได้ค่าตำแหน่งพิกัด X, Y, Z ตามที่ต้องการ

3.3 ส่วนควบคุม Helicopter

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ใช้ส่งพัลส์สัญญาณไปให้กับ Helicopter โดยจะทำการส่งค่าที่ได้จากแถบ Scroll Bar ไปยัง PIC16F877 เพื่อที่จะส่งต่อค่าสัญญาณเป็นสัญญาณขบวนพัลส์ ไปให้กับตัว Receiver ของ Helicopter ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงหน้าต่างของ Program ส่งค่า

3.4 หลักการการรับ-ส่งข้อมูลของ Computer กับ Remote Control

การรับ-ส่งข้อมูลของ Computer กับ Remote Control นั้นมีหลักการอยู่ว่า หลังจากที่ Visual Basic ได้ทำการ Image processing เรียบร้อยแล้วจะได้พิกัด ณ จุดที่ Helicopter บินอยู่ จากนั้นจะทำการควบคุมแบบ PID แล้วส่งข้อมูลที่จะควบคุมนั้นผ่าน RS-232 ไปยัง PIC 16F877 เมื่อ PIC รับค่าข้อมูลได้แล้วนั้น จะทำการส่งต่อไปยัง Remote Control เพื่อส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุไปยัง Helicopter เพื่อที่จะให้ Helicopter นั้นบินต่อไปในทิศทางที่ถูกกำหนดขึ้นจากการควบคุมแบบ PID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 เฮลิคอปเตอร์ และ รีโมทคอนโทรล

โครงสร้างของเฮลิคอปเตอร์ และ รีโมทคอนโทรลนั้นเหมาะสมแก่การทำ Project อย่างมากดังแสดงให้เห็นได้ดังรูปข้างล่างนี้

3.5.1 เฮลิคอปเตอร์



รูปที่ 3.5 ภาพด้านหน้าของเฮลิคอปเตอร์

รูปที่ 3.6 มอเตอร์ของเฮลิคอปเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 เซอร์โวของเฮลิคอปเตอร์

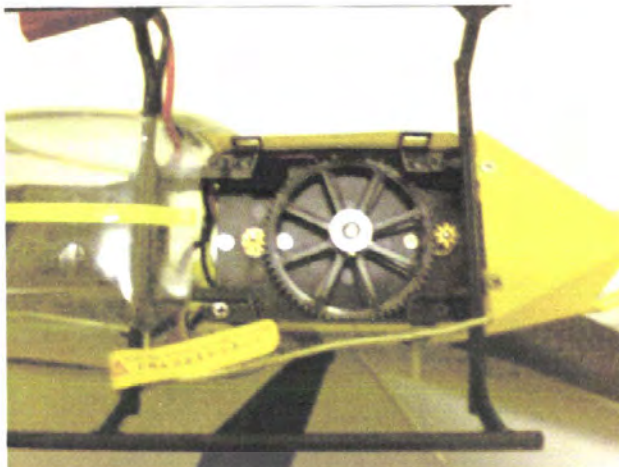


รูปที่ 3.8 ใบพัดหลักของเฮลิคอปเตอร์



รูปที่ 3.9 ตัวรับสัญญาณวิทยุของเฮลิคอปเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 เฟืองของเฮลิคอปเตอร์



รูปที่ 3.11 แบตเตอรี่ของเฮลิคอปเตอร์



รูปที่ 3.12 ตุ่มถ่วงน้ำหนักของเฮลิคอปเตอร์

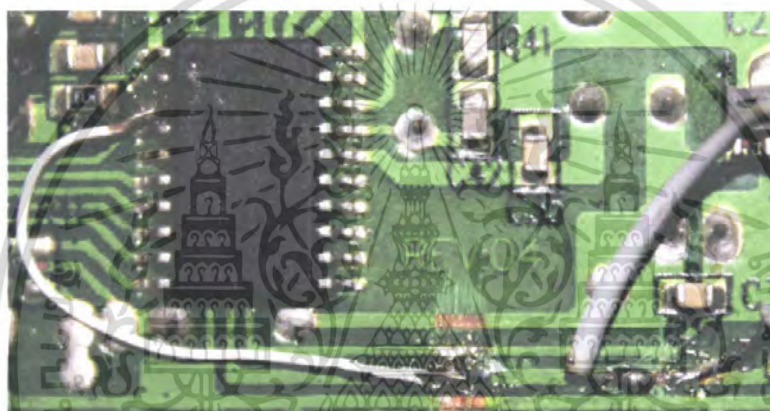
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.52 รีโมทคอนโทรล

ทางผู้จัดทำได้ทำการดัดแปลงตัวรีโมทคอนโทรล เพื่อที่จะทำให้เฮลิคอปเตอร์สามารถบินขึ้นได้เองโดยปราศจากการควบคุมจากรีโมทคอนโทรล โดยทำการตัดต่อวงจรดังแสดงในรูปด้านล่างนี้



รูปที่ 3.13 แสดงวงจรภายในที่ถูกดัดแปลง



รูปที่ 3.14 แสดงไอซีที่กำเนิดขบวนพัลส์สัญญาณ



รูปที่ 3.15 แสดงการเชื่อมต่อสวิทช์กับปลั๊กเสียบจาก PIC 16F877

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.16 แสดงสวิตซ์ในการปรับ Auto-Manual



รูปที่ 3.17 แสดงปลั๊กเสียบจาก PIC 16F877



รูปที่ 3.18 แสดงคริสตอลกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและสรุปผล

4.1 การทดลองเรื่อง Remote Control

จากการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับ Remote Control ของ Helicopter โดยการนำ Storage Scope ไปจับสัญญาณที่ออกมาของขาไอซีแล้วได้ว่า สัญญาณ Analog ที่ออกมานั้นออกมาที่ขา 3 ของไอซี ซึ่งสัญญาณที่ออกมานั้นมีลักษณะเป็นสัญญาณนาฬิกาครึ่งรูป



รูปที่ 4.1 รูปของสัญญาณ Analog ที่เกิดจากภาคกำเนิดสัญญาณความถี่วิทยุ

จากนั้นลองทำการปรับค่าต่างจาก Remote Control ของ Helicopter คู่มือจึงได้ผลการทดลองดังนี้

เมื่อเริ่มต้น (No Speed No Trim) จะได้ Pulse ลูกแรกมีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 2 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 3 มีคาบ 600 μ s ลูกที่ 4 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 5 มีคาบ 1.5 ms แต่ละ Pulse มีคาบต่างกันอยู่ 400 μ s

เมื่อปรับ Speed สูงสุดไม่มี Trim (Speed Max No Trim) จะได้ Pulse ลูกแรกมีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 2 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 3 มีคาบ 1.3 ms ลูกที่ 4 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 5 มีคาบ 1.5 ms แต่ละ Pulse มีคาบต่างกันอยู่ 400 μ s

เมื่อปรับ Speed สูงสุด Trim สูงสุด (Speed Max Trim Max) จะได้ Pulse ลูกแรกมีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 2 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 3 มีคาบ 1.5 ms ลูกที่ 4 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 5 มีคาบ 1.5 ms แต่ละ Pulse มีคาบต่างกันอยู่ 400 μ s

เมื่อไม่มี Speed แต่ Trim สูงสุด (No Speed Trim Max) จะได้ Pulse ลูกแรกมีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 2 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 3 มีคาบ 900 μ s ลูกที่ 4 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 5 มีคาบ 1.5 ms แต่ละ Pulse มีคาบต่างกันอยู่ 400 μ s

เมื่อหมุนซ้าย Trim ซ้าย (Turn Left Trim Left) จะได้ Pulse ลูกแรกมีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 2 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 3 มีคาบ 600 μ s ลูกที่ 4 มีคาบ 1.7 ms ลูกที่ 5 มีคาบ 1.5 ms แต่ละ Pulse มีคาบต่างกันอยู่ 400 μ s

เมื่อหมุนขวา Trim ซ้าย (Turn Right Trim Left) จะได้ Pulse ลูกแรกมีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 2 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 3 มีคาบ 600 μ s ลูกที่ 4 มีคาบ 700 μ s ลูกที่ 5 มีคาบ 1.5 ms แต่ละ Pulse มีคาบต่างกันอยู่ 400 μ s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อหมุนซ้ายTrimขวา (Turn Left Trim Right) จะได้ Pulse ลูกแรกมีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 2 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 3 มีคาบ 600 μ s ลูกที่ 4 มีคาบ 1.5 ms ลูกที่ 5 มีคาบ 1.5 ms แต่ละ Pulse มีคาบต่างกันอยู่ 400 μ s

เมื่อหมุนขวาTrimขวา (Turn Right Trim Right) จะได้ Pulse ลูกแรกมีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 2 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 3 มีคาบ 600 μ s ลูกที่ 4 มีคาบ 500 μ s ลูกที่ 5 มีคาบ 1.5 ms แต่ละ Pulse มีคาบต่างกันอยู่ 400 μ s

เมื่อเดินหน้าTrimหน้า (FWD Trim FWD) จะได้ Pulse ลูกแรกมีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 2 มีคาบ 500 μ s ลูกที่ 3 มีคาบ 600 μ s ลูกที่ 4 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 5 มีคาบ 1.5 ms แต่ละ Pulse มีคาบต่างกันอยู่ 400 μ s

เมื่อเดินหน้าTrimหลัง (FWD Trim RWD) จะได้ Pulse ลูกแรกมีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 2 มีคาบ 800 μ s ลูกที่ 3 มีคาบ 600 μ s ลูกที่ 4 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 5 มีคาบ 1.5 ms แต่ละ Pulse มีคาบต่างกันอยู่ 400 μ s

เมื่อดอยหลังTrimหลัง (RWD Trim RWD) จะได้ Pulse ลูกแรกมีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 2 มีคาบ 1.7 ms ลูกที่ 3 มีคาบ 600 μ s ลูกที่ 4 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 5 มีคาบ 1.5 ms แต่ละ Pulse มีคาบต่างกันอยู่ 400 μ s

เมื่อดอยหลังTrimหน้า (RWD Trim FWD) จะได้ Pulse ลูกแรกมีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 2 มีคาบ 1.4 ms ลูกที่ 3 มีคาบ 600 μ s ลูกที่ 4 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 5 มีคาบ 1.5 ms แต่ละ Pulse มีคาบต่างกันอยู่ 400 μ s

เมื่อบินซ้ายTrimซ้าย (Left Trim Left) จะได้ Pulse ลูกแรกมีคาบ 1.7 ms ลูกที่ 2 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 3 มีคาบ 600 μ s ลูกที่ 4 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 5 มีคาบ 1.5 ms แต่ละ Pulse มีคาบต่างกันอยู่ 400 μ s

เมื่อบินซ้ายTrimขวา (Left Trim Right) จะได้ Pulse ลูกแรกมีคาบ 1.4 ms ลูกที่ 2 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 3 มีคาบ 600 μ s ลูกที่ 4 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 5 มีคาบ 1.5 ms แต่ละ Pulse มีคาบต่างกันอยู่ 400 μ s

เมื่อบินขวาTrimขวา (Right Trim Right) จะได้ Pulse ลูกแรกมีคาบ 600 μ s ลูกที่ 2 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 3 มีคาบ 600 μ s ลูกที่ 4 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 5 มีคาบ 1.5 ms แต่ละ Pulse มีคาบต่างกันอยู่ 400 μ s

เมื่อบินขวาTrimซ้าย (Right Trim Left) จะได้ Pulse ลูกแรกมีคาบ 800 μ s ลูกที่ 2 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 3 มีคาบ 600 μ s ลูกที่ 4 มีคาบ 1.1 ms ลูกที่ 5 มีคาบ 1.5 ms แต่ละ Pulse มีคาบต่างกันอยู่ 400 μ s

ซึ่งจากการทดลองเราจะได้ว่า คาบของPulseจะอยู่ระหว่าง 500 μ s – 1.7 ms ซึ่งการ Trimจะให้ผลต่างประมาณ 300 μ s ส่วนของการบินขึ้นจะเกี่ยวกับ Pulse ลูกที่ 3 ส่วนของการหมุนตัวจะเกี่ยวกับ Pulse ลูกที่ 4 ส่วนของการเดินหน้าดอยหลังจะเกี่ยวกับ Pulse ลูกที่ 2 และส่วนของการบินซ้าย-ขวาจะเกี่ยวกับ Pulse ลูกที่ 1 และแต่ละPulseมีคาบต่างกัน 400 μ s เมื่อรวมกันในหนึ่ง Duty Circle แล้วจะได้ 8.6 ms โดยประมาณ และแต่ละDuty Circle ห่างกัน 10.6 ms (วัดจากจบDuty Circleหนึ่งไปถึงเริ่มต้นอีกDuty Circleหนึ่ง) จึงได้ว่าการทำงานในหนึ่งDuty Circle นั้นทำงานที่ 19.2 ms หรือประมาณ 20 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองเรื่องการตรวจจับสี

เมื่อได้ทำการสร้างระบบตรวจจับที่สมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว ขั้นตอนต่อไปจะเป็นขั้นตอนของการทดลองหาตำแหน่งของสีต่าง ๆ และแสดงผลออกทางโปรแกรมด้วย

ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง

1.ติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ

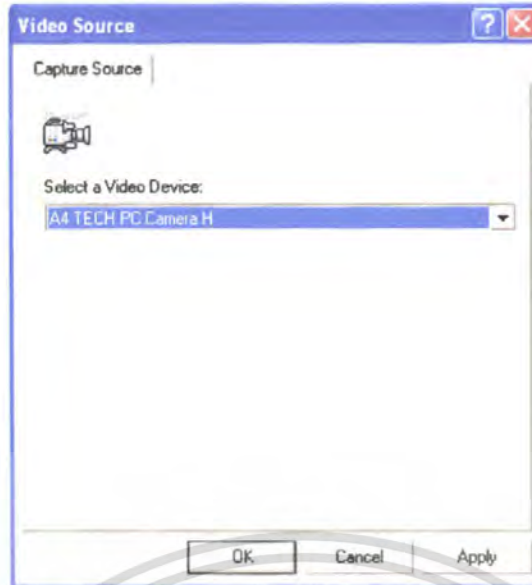
2.เปิดโปรแกรม Detect Color



รูปที่ 4.2 รูปโปรแกรม Detect Color

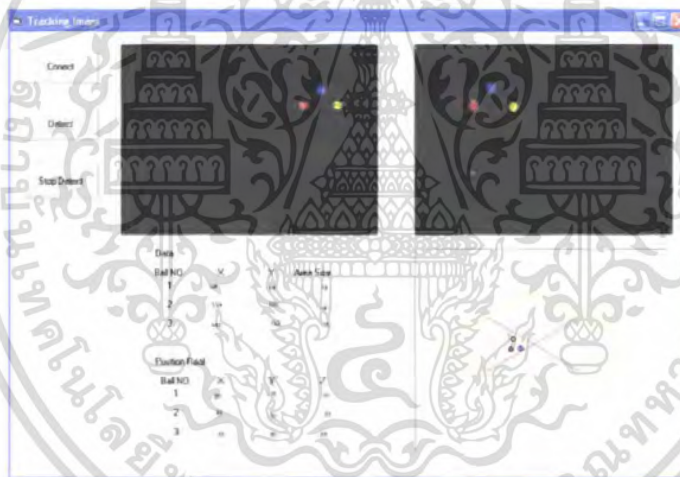
3.เริ่มโปรแกรมโดยการคลิกปุ่ม Connect เมื่อกดแล้ว โปรแกรมจะทำการติดต่อกับกล้องเว็บแคมให้ โดยเราต้องเลือกกล้องที่ใช้ในการติดต่อครั้งที่ 2 เอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 รูปโปรแกรมแสดงการเลือกติดตั้งกล้องครั้งที่ 2

4. จากนั้นกดปุ่ม Detect โปรแกรมจะนำภาพที่ได้จากกล้องเว็บแคมทั้งสองตัวขึ้นมาแสดง และแสดงผลการ Detect พร้อมทั้งบอกตำแหน่งของสีต่างๆที่ตรวจพบ พร้อมทั้งบันทึกผลการทดลองที่ได้ลงใน text file



รูปที่ 4.4 รูปจำลองการทำงานของโปรแกรม

ผลการทดลองที่บันทึกได้

ค่าจริง			ค่าที่วัดได้		
X	Y	Z	X	Y	Z
20	19	21	19.8	19.2	21.4
23	22	24	23.5	22.1	24.5
25	24	26	24.3	24.3	27
30	29	31	30.2	29	30.1
32	31	33	32	31.4	32.5
36	35	37	35.3	35.7	36.1

ตารางที่ 4.1 ตารางผลการทดลองการตรวจจับสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่ได้ทำการศึกษาเรื่อง Digital image processing การติดต่อสื่อสารผ่านพอร์ตอนุกรม การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F877 และ การเขียน โปรแกรมติดต่อสื่อสารและควบคุมอุปกรณ์ภายนอกโดยใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้มาศึกษาและทำการทดลองในแต่ละส่วนนั้น สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1.การนำภาพจากกล้องเว็บแคมมาประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งของสีต่าง ๆ นั้น ต้องทำการนำภาพนิ่งมาประมวลผลต่อ ๆ กันเรื่อย ๆ จนเห็นเป็นภาพเคลื่อนไหว
- 2.การนำภาพจากกล้องเว็บแคมโดยใช้การเขียน โปรแกรมวิซวลเบสิกนั้นต้องอิงความสามารถของวินโดว์มาใช้ด้วย
- 3.กล้องเว็บแคมไม่เหมาะที่จะใช้ในการประมวลผลที่มีความละเอียดสูงๆ หรือต้องการความเร็วในการประมวลผล
- 4.การที่จะ Detect สีต่าง ๆ นั้น ต้องใช้สีที่มีความต่างของสีต่างๆ มากๆ เนื่องจากการ detect สีหนึ่ง ๆ เราต้องกำหนดเป็นช่วงของสีแบบ RGB
- 5.การทำระบบควบคุมเสลิกอปเตอร์และตรวจจับสีโดยโปรแกรมวิซวลเบสิก มีความเร็วไม่เพียงพอที่จะควบคุมเสลิกอปเตอร์ให้สามารถบินได้
- 6.โปรแกรม Detect color นี้ เป็น โปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้นในสภาพแวดล้อมที่ถูกจำกัดเท่านั้น ไม่สามารถใช้ในสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไปได้
- 7.การควบคุมเสลิกอปเตอร์ทำได้โดยการส่ง Pulse train โดยใช้ระยะเวลาเป็นตัวกำหนดสถานะต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลของโครงการ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการบินของเฮลิคอปเตอร์ การติดต่อสื่อสารข้อมูลผ่านทางพอร์ตอนุกรม การใช้ไมโคร คอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 และ การเขียนโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์ภายนอกโดยใช้โปรแกรม Visual Basic ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้ศึกษามาประกอบรวมกัน และ ทำการทดลองของวงจรในแต่ละส่วนนั้นสามารถสรุปได้ดังนี้

1. โครงการนี้สามารถที่จะทำการเพิ่มความเร็ว ปรับเปลี่ยนมุมสาย มุมเขย เซอร์โวมอเตอร์เพื่อที่จะใช้หมุนใบพัดของเฮลิคอปเตอร์ ซึ่งการควบคุมมอเตอร์นี้เราใช้สัญญาณจากตัวไมโคร คอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 และ Visual Basic เป็นตัวควบคุม โดยจะรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม
2. ไมโคร คอนโทรลเลอร์ PIC 16F877 นี้สามารถที่จะส่งสัญญาณออกเป็นพัลส์ได้โดยการเขียนโปรแกรมควบคุมเป็นภาษาซีโดยใช้โปรแกรม CCS ซึ่งจะช่วยให้ง่ายต่อการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโคร คอนโทรลเลอร์ และ การพัฒนาต่อไป
3. การควบคุมเซอร์โวมอเตอร์นั้น สามารถทำได้โดยการส่งสัญญาณพัลส์ออกไปที่ตัวรีซีฟเวอร์ของเฮลิคอปเตอร์ เพื่อที่จะ ไปส่งงานเซอร์โวมอเตอร์ให้หมุนใบพัดเพื่อที่จะทำการบิน
4. โปรแกรมตรวจจับสีที่ได้เขียนขึ้นนั้นทำการเขียนขึ้นจากโปรแกรม Visual Basic 6.0 เพื่อใช้ตรวจจับสีของลูกปิงปอง เพื่อบอกพิกัดของเฮลิคอปเตอร์ ว่าอยู่ ณ พิกัดใด และ จะใช้การรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหา และ อุปสรรคที่พบในโครงการ

เนื่องจากขีดจำกัดในด้านของเวลาและเรื่องงบประมาณ จึงเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ทำให้โครงการไม่สามารถที่จะทำงานได้อย่างถูกต้อง 100% และจากการลงมือปฏิบัติในการสร้างระบบควบคุมการบินของเฮลิคอปเตอร์นี้ยังพบข้อบกพร่องอีกหลายประการ ได้แก่

1. ปัญหาที่ความเร็วในการตรวจจับภาพของกล้องเว็บแคมนั้นช้าเกินไป ทำให้ไม่สามารถที่จะเขียนโปรแกรมในการควบคุมเฮลิคอปเตอร์ต่อไปได้
2. เนื่องจากกล้องเว็บแคมที่ใช้เป็นกล้องรุ่นใหม่ แนวแกน x y z จึงไม่เหมือนกับทฤษฎีของวิชา Robotic และได้ทำการศึกษา Image Processing แล้วก็ยังไม่สามารถระบุได้แน่นอนว่าแนวแกน x y z นั้นเป็นอย่างไร จึงทำให้พิกัดที่ได้นั้นเป็นเพียงแค่ทฤษฎีเท่านั้น
3. เนื่องจากการทดลองที่สม่ำเสมอ ทำให้เฮลิคอปเตอร์นั้นเสถียรไม่สามารถที่จะควบคุมได้เต็มที่เมื่อใบพัดหมุนทำให้เฮลิคอปเตอร์ส่ายเมื่อบังคับแล้วไม่สามารถควบคุมได้เต็มที่

จากการศึกษาโครงสร้างของการควบคุมการบินเฮลิคอปเตอร์นี้ ทำให้รู้ว่าลักษณะการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์ สามารถเคลื่อนที่ 4 แกน ได้แก่ มุมปีกงอ มุมส่าย การหมุน เติมน้ำลอยหลัง แต่มาสารควบคุมได้เนื่องจากขีดจำกัดการตรวจจับภาพของกล้องเว็บแคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

- 1.ณัฐพล วงศ์สุนทรชัย และ ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล, “ปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์PIC16F87X”
อินโนเวทีฟ เอ็ดจิวคัล, 324 หน้า
- 2.ประจัน พลังสันติกุล, “เรียนรู้และใช้งาน CCS C คอมไพเลอร์”, อินโนเวทีฟ เอ็ดจิวคัล, 312 หน้า
- 3.สัจจะ จรัสรุ่งรวีร์, “คู่มือการเขียนโปรแกรมและการใช้งาน Visual Basic 6.0”, อินโฟเพรส, 392
หน้า, 2544
- 4.อรรถพล บุญยะโกคา, “พอร์ดอนุกรม”, อินโนเวทีฟ เอ็ดจิวคัล, 165 หน้า
- 5.สิทธิโชค ขอกระชัย, “การเขียนโปรแกรม Digital Image Processing ด้วย Visual Basic”, อินโนเวทีฟ
เอ็ดจิวคัล, 341 หน้า
- 6.Johann Borenstein, “The HoverBot An Electrically Powered Flying Robot”, The University of
Michigan.
7. Tony Mander, WIntroduction to Flight”, The BP Technology Challenge File

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้