

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่สำคัญและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการทำปริญญานิพนธ์นี้ ประกอบด้วย

2.1 ความหมายและลักษณะการทำการบินของอากาศยานแบบ 4 ใบพัด

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

2.3 เซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer) และไจโรสโคป (Gyroscope)

2.4 มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor)

2.5 เครื่องมือควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Speed Control)

2.6 การควบคุมด้วยพีไอดี (PID Controller)

2.7 วงจรรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)

2.8 ตัวกรองคาลมาน (Kalman filter)

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความหมายและลักษณะการทำการบินของอากาศยานแบบ 4 ใบพัด

อากาศยานแบบ 4 ใบพัด เป็นอากาศยานที่มีแรงยกและสามารถขับเคลื่อนไปได้ด้วยใบพัดทั้ง

4 ใบ ซึ่งถูกจัดอยู่ในกลุ่มของอากาศยานปีกหมุน ซึ่งสามารถจัดให้อยู่ใน กลุ่มของเฮลิคอปเตอร์ (Helicopter) ได้เช่นกัน แต่จะแตกต่างกันตรงที่ อากาศยานแบบ 4 ใบพัด นั้นจะมีมุมของใบพัดที่คงที่ สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอาศัยความเร็วของมอเตอร์แต่ละตัวที่ไม่เท่ากันเพื่อทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงยก และแรงบิดของมอเตอร์แต่ละตัว

อากาศยานแบบ 4 ใบพัดนั้นมีทั้งหมด 2 แบบคือ แบบแรกนั้นออกแบบเพื่อบรรทุกผู้โดยสาร ซึ่งสามารถทำการขึ้นลงในแนวดิ่งได้ แบบที่สอง คือ อากาศยานที่ถูกออกแบบมาให้ไม่ต้องมีคนขับ (Unman Arial Vehicle :UAV) โดยอากาศยานแบบนี้จะใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์เป็น ตัวควบคุมการบินและมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ส่งสัญญาณบอกสถานะของอากาศยาน ทำให้มีความมั่นคงในการบินด้วยความที่อากาศยานมีขนาดเล็ก และเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว ทำให้สามารถนำไปปฏิบัติภารกิจทั้งภายในและภายนอกอาคารได้นอกจากนี้แล้วยังมีข้อดีอื่นๆ อีกเมื่อเทียบกับ เฮลิคอปเตอร์ อาทิเช่น อากาศยานแบบ 4 ใบพัดไม่มีข้อต่อกลไกในการปรับมุมของใบพัดเหมือนกับเฮลิคอปเตอร์ ทำให้ง่ายต่อการออกแบบ ลดระยะเวลาการซ่อมบำรุงและค่าใช้จ่าย

อากาศยานแบบ 4 ใบพัด

นั้นจะมีขนาดเล็กกว่า เฮลิคอปเตอร์ ทำให้สามารถนำไปปฏิบัติภารกิจที่อยู่ในสถานที่ ที่มีขนาดเล็กหรือไม่สะดวกในการปฏิบัติการของเฮลิคอปเตอร์ และใบพัดของอากาศยาน จะถูกปกป้องโดยโครงสร้างของอากาศยานทำให้ไม่เกิดความเสียหายต่อใบพัดได้

2.1.1 การหมุนในสามมิติ

การหมุนรอบจุดกำเนิดในสามมิตินั้น ต้องระบุแกนหมุนและมุมที่จะหมุน การกำหนดแกนหมุนทำได้โดยการกำหนดเวกเตอร์ทิศทางของแกน ถึงแม้ต้องใช้เลขสามตัวในการระบุเวกเตอร์นี้แต่ขนาดของเวกเตอร์ที่แตกต่างกันก็ไม่ทำให้ได้แกนที่แตกต่างกัน นั่นก็คือองศาเสรีของแกนหมุนมีเพียงสอง ซึ่งเมื่อรวมกับมุมหมุนจึงได้ว่าองศาเสรีของการหมุนรอบจุดกำเนิดในสามมิติมีค่าเท่ากับสามจะพิจารณาเฉพาะการหมุนรอบจุดกำเนิดอย่างเดียว ในลักษณะเดียวกันกับสองมิติการหมุนในสามมิติสามารถเขียนได้เป็นเมทริกซ์การหมุน โดยในกรณีนี้เมทริกซ์การหมุนจะมีขนาดสามคูณสาม การสร้างเมทริกซ์การหมุนรอบแกนใดๆด้วยการพิจารณาเมทริกซ์สำหรับหมุนรอบแกนหลัก X , Y , Z ดังนี้

2.1.1.1 เมทริกซ์การหมุนรอบแกน Z ด้วยมุม θ คือ

$$R_z(\theta) = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2-)$$

ผลของการหมุนไม่ทำให้พิกัดในแนวแกน Z เปลี่ยนและทิศทางการหมุนเป็นไปตามกฎมือขวา

2.1.1.2 เมทริกซ์การหมุนรอบแกน Y ด้วยมุม θ คือ

(2-

$$R_Y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix}$$

2.1.1.3 เมทริกซ์การหมุนรอบแกน X ด้วยมุม θ คือ

$$R_X(\theta) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\theta & -\sin\theta \\ 0 & \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix}$$

การหมุนรอบแกนหลักการนี้ สามารถนำมาเขียนเรียงต่อกันเป็นการหมุนที่มีองศาเสรีครบ สาม วิธีการเขียน คือ เขียนจากขวาไปซ้ายเป็นการหมุนเฟรมวัตถุ เทียบกับเฟรมหลักที่อยู่นิ่ง โดยจะหมุนรอบแกน X ก่อนแล้วหมุนรอบแกน Y จากนั้นหมุนรอบแกน Z การหมุนแบบนี้ถูกเรียกว่า X-Y-Z fixed angles หรือ Roll, Pitch, Yaw เมทริกซ์การหมุนที่ได้คือ

$$R_{XYZ}(g, b, a) = R_Z(a)R_Y(b)R_X(g) \quad (2-)$$

$$R_{XYZ}(g, b, a) = \begin{bmatrix} \cos a \cos b & -\sin a \cos b & 0 & \cos a \sin b & 0 & \sin a \sin b \\ \sin a \cos b & \cos a \cos b & 0 & \sin a \sin b & 0 & -\cos a \sin b \\ 0 & 0 & 1 & \sin b & 0 & \cos b \end{bmatrix} \quad (2-)$$

$$R_{XYZ}(g, b, a) = \begin{bmatrix} \cos a \cos b & \cos a \sin b \sin g - \sin a \cos g & \cos a \sin b \cos g + \sin a \sin g \\ \sin a \cos b & \sin a \sin b \sin g + \cos a \cos g & \sin a \sin b \cos g + \cos a \sin g \\ -\sin b & \cos b \sin g & \cos b \cos g \end{bmatrix} \quad (2-)$$

2.1.2 หลักการควบคุมเครื่องบิน 4 ใบพัด

การควบคุมอากาศยาน 4 ใบพัดทำได้โดยการเปลี่ยนความเร็วของใบพัดซึ่งทำให้แรงบิดและแรงยกของแต่ละใบพัดเปลี่ยนไป หลักการควบคุมเครื่องบิน 4 ใบพัดในแบบต่างๆ กำหนดสัญลักษณ์และความหมายดังต่อไปนี้

W คือ ความเร็วขณะนั้น

D คือ ความเร็วที่เปลี่ยนไป

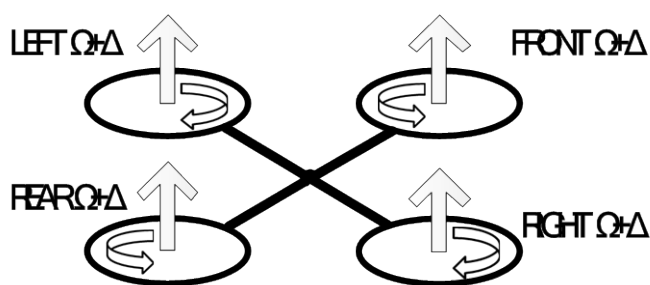
H คือ การเร่งความเร็วในแนวดิ่ง (Throttle)

R คือ การเอียงตัวไปทางซ้ายและทางขวา (Roll)

P คือ การเอียงตัวไปข้างหน้าและข้างหลัง (Pitch)

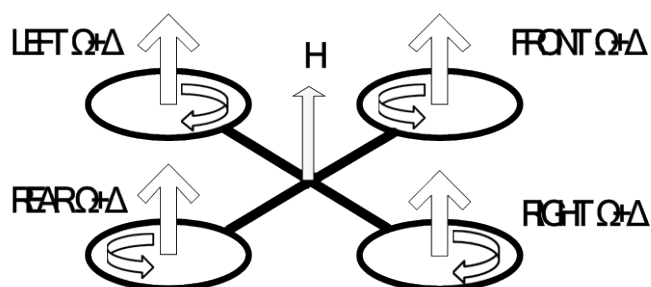
Y คือ การหมุนรอบตัวทวนเข็มนาฬิกา (Yaw)

2.1.2.1 Hovering คือ การลอยตัวเฉยๆโดยควบคุมให้ใบพัดทั้งสี่ตัวมีความเร็วที่เท่ากัน เพื่อสร้างแรงบิด (torque) และหักล้างแรงบิดใบพัดจะหมุนกันคนละทิศทาง ใบพัดหน้าและหลังจะหมุนตามเข็มนาฬิกาใบพัดซ้ายและขวาวจะหมุนทวนเข็มนาฬิกาทำให้เครื่องบินไม่หมุนตัว



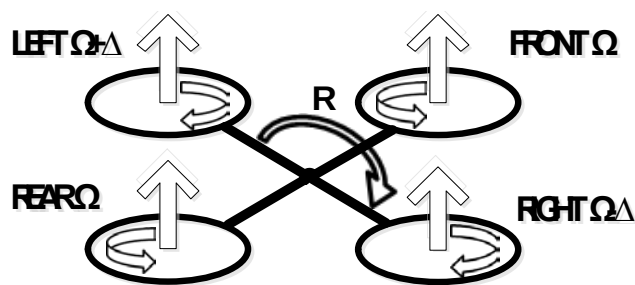
ภาพที่ 2-1 ทิศทางการหมุนแบบ Hovering

2.1.2.2 Throttle คือ การเร่งความเร็วให้เครื่องบินขึ้นลง จากรูปใบพัดทั้งสี่ใบจะต้องเพิ่มความเร็วทุกใบพัดที่เท่ากันทำให้เครื่องบินลอยตัวขึ้นได้



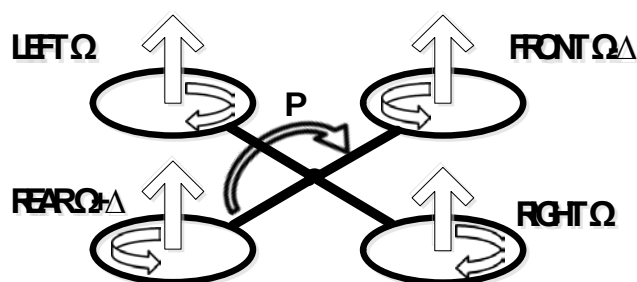
ภาพที่ 2-2 ทิศทางการหมุนแบบ Throttle

2.1.2.3 Roll เอียงตัวซ้ายขวา ใบพัดหน้า (Front) และหลัง (Rear) จะมีความเร็วเท่าเดิมแต่ความเร็วใบพัดซ้าย (Left) จะหมุนเร็วขึ้นทางด้านซ้ายจะยกตัวขึ้น ใบพัดขวา (Right) จะช้าลงจึงทำให้เกิดการเอียงตัวไปทางขวาได้ ส่วนเอียงตัวซ้ายก็ใช้วิธีนี้เช่นเดียวกัน



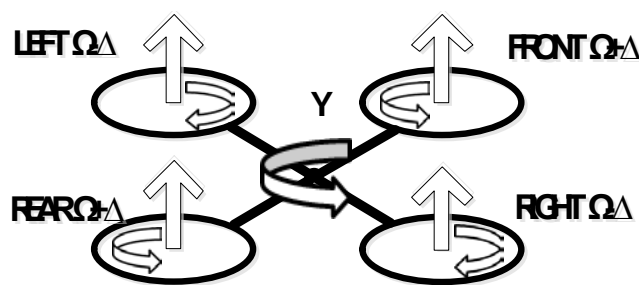
ภาพที่ 2-3 ทิศทางการหมุนแบบ Roll

2.1.2.4 Pitch เอียงหน้าและหลัง ไบพัตซ้ายขวาจะความเร็วคงที่แต่ความเร็วไบพัตหลังจะหมุนเร็วขึ้นทางหลังจะยกไบพัตหน้าจะหมุนช้ากว่าทางหน้าจะตกจึงทำให้เครื่องบินเอียงไปข้างหน้า ส่วนเอียงตัวมาข้างหลังก็ใช้วิธีนี้เช่นเดียวกัน



ภาพที่ 2-4 ทิศทางการหมุนแบบ Pitch

2.1.2.5 Yaw การหมุนตัวให้ความเร็วไบพัตหน้าและไบพัตหลังมากกว่าความเร็วไบพัตซ้ายและไบพัตขวาเพื่อให้แรงบิดด้านซ้าย หรือขวามากกว่า จึงทำให้เครื่องบินหมุนตัวได้



ภาพที่ 2-5 ทิศทางการหมุนแบบ Yaw

2.2 ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller)

เป็นอุปกรณ์ไอซี (Integrated Circuit :IC) ที่สามารถเขียนโปรแกรมการทำงานที่ซับซ้อนได้ สามารถรับข้อมูลในรูปสัญญาณดิจิทัลเข้าไปทำการประมวลผล แล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิทัลออกมา เพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้ โครงสร้างโดยทั่วไปของไมโครคอนโทรลเลอร์

2.2.1 หน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit :CPU) ทำหน้าที่ประมวลผล

2.2.2 หน่วยความจำ (Memory) มีหน้าที่ในการเก็บข้อมูลต่างๆ แบ่งออกเป็นสองส่วน คือ หน่วยความจำโปรแกรม (Program Memory) และหน่วยความจำข้อมูล (Data Memory) โดยที่หน่วยความจำโปรแกรมนี้อาจเก็บข้อมูลของโปรแกรมเอาไว้เหมือน ฮาร์ดดิสก์ (Hard disk) ของเครื่องคอมพิวเตอร์ นั้นหมายความว่า ต่อให้ไม่ได้จ่ายไฟเลี้ยงข้อมูลก็ยังคงอยู่ แต่หน่วยความจำข้อมูลนี้จะเป็นที่פקข้อมูลชั่วคราว ถ้าไม่ได้จ่ายไฟเลี้ยง ข้อมูลก็จะหายไป

2.2.3 ส่วนติดต่อภายนอก (Port) มี 2 แบบ คือ อินพุตคือตัวที่จะต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อที่จะรับข้อมูลเข้ามา เช่น สวิตช์ (Switch), ตัวตรวจรู้ที่ต้องมาต่อที่

อินพุตเพราะจะเป็นตัวส่งข้อมูล เอาต์พุตจะเป็นตัวที่จะต่อกับอุปกรณ์อื่นๆ เพื่อจะส่งข้อมูลออกไป อย่างเช่น หลอดไฟแอลอีดี (Light Emitting Diode :LED) หน้าจอแอลซีดี (Liquid Crystal Display :LCD)

2.2.4 ช่องทางเดินของสัญญาณ (Bus) คือเส้นทางที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลระหว่างซีพียู, หน่วยความจำ และส่วนติดต่อภายนอก ซึ่งแบ่งเป็น ช่องทางเดินของสัญญาณข้อมูล (Data Bus), การติดต่อช่องทางเดินของสัญญาณ (Address Bus) และการควบคุมช่องทางเดินของสัญญาณ (Control Bus)

2.2.5 บอร์ด Fio Std



ภาพที่ 2-6 บอร์ด Fio Std

คุณสมบัติของบอร์ด

2.2.5.1 ใช้ ARM 32-bits Cortex™- M3 Processor (STM32F103RET6) เป็น MCU ประจำบอร์ด Run ความถี่ 72 เมกะเฮิร์ตซ์ จาก Crystal Oscillator

2.2.5.2 496 กิโลไบต์ Flash / 64 กิโลไบต์ สำหรับ SRAM

2.2.5.3 รองรับการพัฒนาโปรแกรม MATLAB™ 2009a, Simulink™

2.2.5.4 ใช้ USB HID หรือ serial (RS232) เชื่อมต่อโดยตรงกับโปรแกรม MATLAB

2.2.5.5 51 GPIO

2.2.5.6 16 channels 12 บิต (bit) A/C

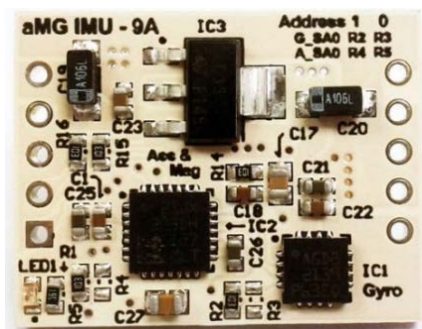
2.2.5.7 5 UART(Hardware Serial Port) แบบ TTL Logic , 3 SPI , 2 I²C , 1 CAN

2.2.5.8 รองรับการใช้งานกับแหล่งจ่ายไฟจากภายนอก ขนาด 5 โวลต์ถึง 15 โวลต์

2.3 เซ็นเซอร์วัดความเร่ง (Accelerometer) และไจโรสโคป (Gyroscope)

2.3.1 เซ็นเซอร์ 9 แกน (aMG IMU - 9A)

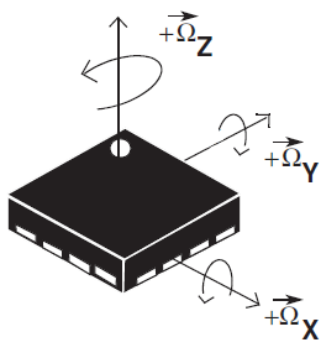
เซ็นเซอร์ 9 แกน (aMG IMU - 9A) เป็นเซ็นเซอร์วัดแรงกระทำที่ประกอบด้วย เซ็นเซอร์ 3 แบบคือ วัดมุมเอียง 3 แกน (3 axis rate gyro) วัดความเร่ง 3 แกน (3 - axis accelerometer) และเข็มทิศดิจิทัล 3 แกน (3 - axis magnetometer) วงจรโดยรวมใช้ไฟเลี้ยงวงจร 3.3 โวลต์



ภาพที่ 2.7 บอร์ด aMG IMU - 9A

2.3.1.1 ตัววัดมุมเอียง 3 แกน (3-axis digital MEMS gyroscopes)

ไจโรสโคปเป็นเซ็นเซอร์วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของมุมซึ่งในโครงงานนี้จะใช้ไจโรสโคปเพื่อวัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของมุม ทั้งหมด 3 แกน ได้แก่แกน X Y และZ โดยใช้เบอร์ L3G4200D ในการวัดแกน Z



ภาพที่ 2.8 ทิศทางที่ตรวจพบของตัววัดอัตราเชิงมุม

คุณสมบัติของเซ็นเซอร์วัดมุมเอียง L3G4200D

ก. สามารถเลือกย่านความละเอียดในการวัด (Full - scales) ได้ 3 ย่านวัด คือ 250 , 500 , 2000 องศาต่อวินาที (dps)

ข. ติดต่อผ่าน I²C bus (Inter Integrate Circuit Bus :IIC) เป็นการสื่อสารอนุกรมแบบซิงโครนัส (Synchronous) เพื่อใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์

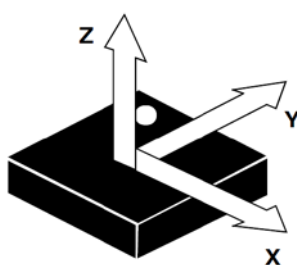
ค. ให้ค่าออกมาในรูปแบบ 16 บิต

ง. ทำงานได้ที่แรงดัน 2.4 โวลต์ถึง 3.6 โวลต์

จ. ใช้งานในช่วงอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ถึง 85 องศาเซลเซียส

2.3.1.2 ตัววัดความเร่ง และตัววัดทิศทาง

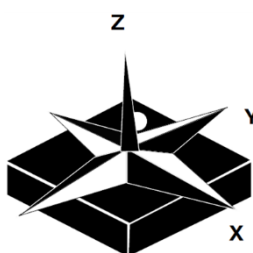
ตัววัดความเร่งเป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดความเร่งของการเคลื่อนที่ และใช้สร้างจุดอ้างอิงโดยยึดแรงโน้มถ่วงของโลกเพื่อช่วยให้การอ้างอิงเพื่อหามุมเอียง ส่วนตัววัดทิศทางเป็นเซ็นเซอร์ที่ให้หาทิศทาง โดยยึดตามสนามแม่เหล็กของโลกเพื่ออ้างอิงทิศทาง



ภาพที่ 2.9 ทิศทางที่ตรวจพบของตัววัดความเร่ง

คุณสมบัติของเซ็นเซอร์วัดความเร่ง LSM303DLM

- ก. สามารถเลือกย่านความละเอียดในการวัดได้ 3 ย่านวัด คือ $\pm 2\text{ g}$, $\pm 4\text{ g}$, $\pm 8\text{ g}$ (Gravity force)
- ข. ให้ค่าออกมาในรูปแบบ 16 บิต
- ค. ทำงานได้ที่แรงดัน 2.4 โวลต์ถึง 3.6 โวลต์
- ง. ใช้งานในช่วงอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียสถึง 85 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 2.10 ทิศทางที่ตรวจพบของตัววัดสนามแม่เหล็ก

คุณสมบัติของเซ็นเซอร์วัดทิศทาง LSM303DLM

- ก. สามารถเลือกย่านความละเอียดในการวัด ได้ 3 ย่านวัด คือ ± 1.3 , ± 1.9 , ± 2.5 , ± 4.0 , ± 4.7 , ± 5.6 , $\pm 8.1\text{ gauss}$
- ข. ให้ค่าออกมาในรูปแบบ 16 บิต
- ค. ทำงานได้ที่แรงดัน 2.4 โวลต์ถึง 3.6 โวลต์
- ง. ใช้งานในช่วงอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ถึง 85 องศาเซลเซียส

2.3.2 เซ็นเซอร์ 5 แกน (IMU Analog Combo Board - 5 DOF)

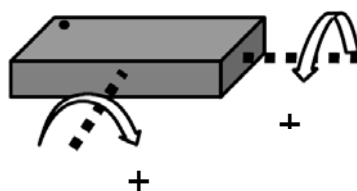
เซ็นเซอร์ 5 แกน เป็นเซ็นเซอร์วัดแรงกระทำที่

ประกอบด้วยเซ็นเซอร์ 2 แบบ คือ
วัดมุมเอียง 2 แกน และ วัดความเร่ง 3 แกน



ภาพที่ 2-11 บอร์ด IMU-5DOF

2.3.1.1 ตัววัดมุมเอียง 2 แกน (2 - axis digital MEMS gyroscopes) ไจโรสโคปเป็นเซ็นเซอร์วัดอัตราการเปลี่ยนแปลงของมุม โดยใช้เบอร์ IDG-500 ในการวัดแกน X และ Y



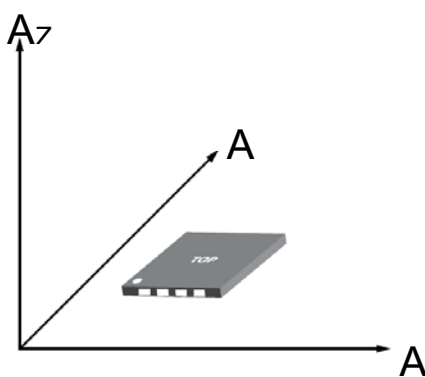
ภาพที่ 2-12 ทิศทางที่ตรวจพบของตัววัดอัตราเชิงมุม

คุณสมบัติของเซ็นเซอร์วัดมุมเอียง IDG-500

- วินาที
- ก. ค่าความละเอียดที่วัดได้ 500 องศาต่อวินาที
 - ข. เอาต์พุตเป็นอนาล็อก
 - ค. ทำงานได้ที่แรงดัน 2.7 โวลต์ถึง 3.6 โวลต์
 - ง. ใช้งานในช่วงอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส ถึง 105 องศาเซลเซียส

2.3.1.2 ตัววัดความเร่ง

ตัววัดความเร่งเป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดความเร่ง



ภาพที่ 2-13 ทิศทางที่ตรวจพบของตัววัดความเร่ง

คุณสมบัติของเซ็นเซอร์วัดความเร่ง ADXL335

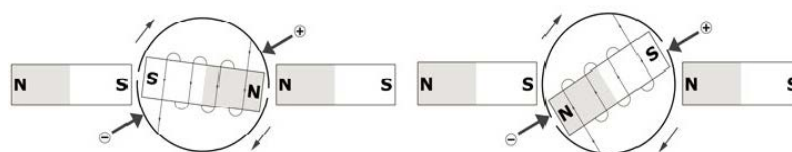
- ก. ค่าความละเอียดที่วัดได้ ± 3
- ข. เอาต์พุตเป็นอนาล็อก
- ค. ทำงานได้ที่แรงดัน 1.8 โวลต์ถึง 3.6 โวลต์
- ง. ใช้งานในช่วงอุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียสถึง

85 องศาเซลเซียส

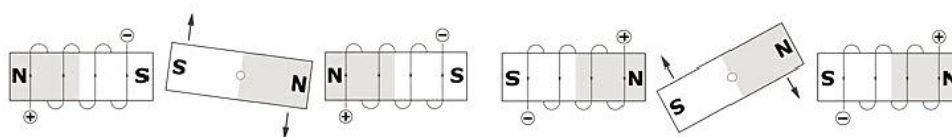
2.4 มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC Motor)

มอเตอร์กระแสตรงแบบไร้แปรงถ่านเป็นมอเตอร์ดีซีประเภทชั๊นท์ (Shunts) มีสนามแม่เหล็กคงที่ที่โรเตอร์ (Rotor) ซึ่งเป็นแม่เหล็กถาวร และใช้สนามแม่เหล็กที่สเตเตอร์ (Stator) ในการสลับขั้วแม่เหล็ก ทำให้เกิดแรงแม่เหล็กอย่างเหมาะสม จึงเกิดการหมุนได้โดยไม่ต้องใช้แปรงถ่านแบบมอเตอร์ทั่วไปจึงทำให้มอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านมีอายุการใช้งานที่นาน และมี

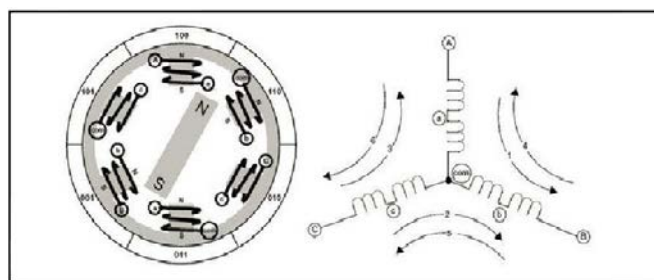
ป ร ะ ส อ ธิ ภา พ ม ำ ก ก ำ
 การทำงานของมอเตอร์แบบมีแปรงถ่านจะทำงานแบบง่าย ๆ
 คือ มีแปรงถ่านเป็นตัวคอยทำการสับเปลี่ยนการจ่ายกระแสไฟฟ้า
 ให้กับขดลวด เพื่อสร้างสนามแม่เหล็กที่เหมาะสม และ โรเตอร์จะ
 เป็นขดลวดแม่เหล็กไฟฟ้า แต่ในมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านจะ
 สับเปลี่ยนการจ่ายกระแสไฟฟ้า โดยเปลี่ยนขั้วไฟฟ้าโดยตรง และ
 โรเตอร์จะเป็นแม่เหล็กถาวร



ภาพที่ 2-14 หลักการทำงานอย่างง่ายของมอเตอร์แบบมีแปรงถ่าน



ภาพที่ 2-15 หลักการทำงานอย่างง่ายของมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน



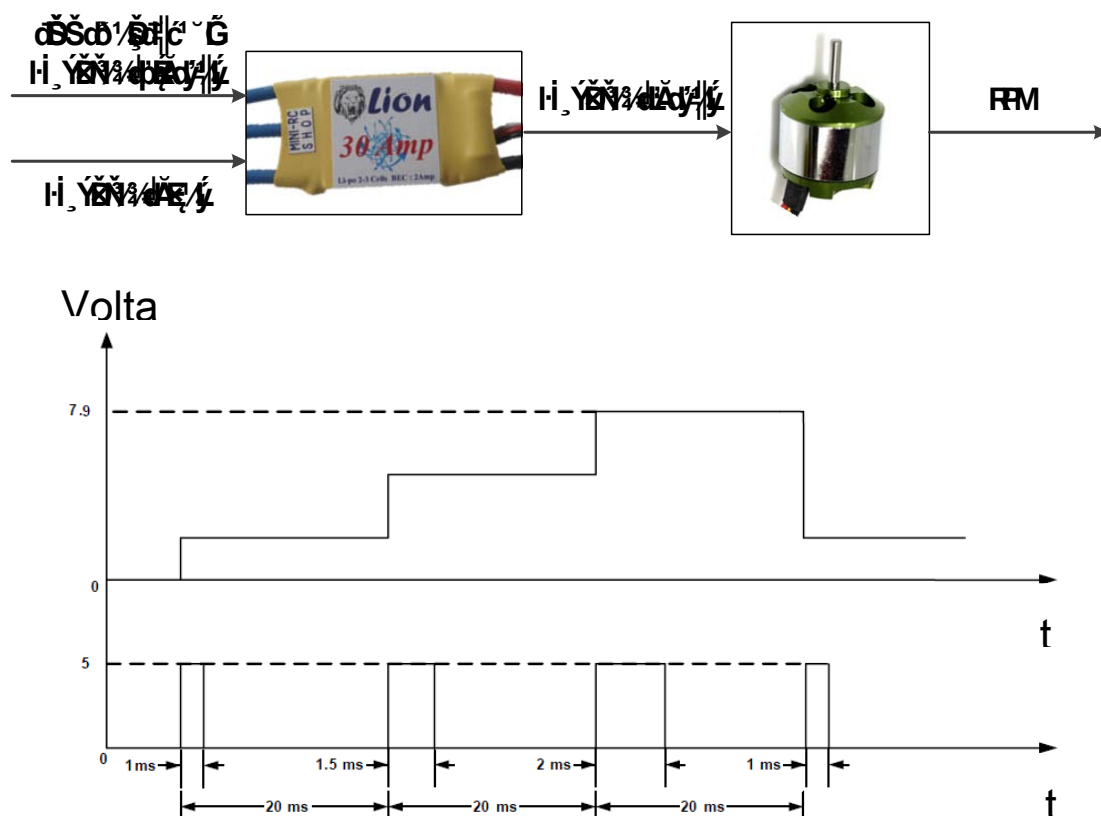
ภาพที่ 2-16 วงจรภายในมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่าน

จากรูปที่ 2.16 แสดงถึงภาคตัดของมอเตอร์จะเห็นโรเตอร์ที่
 เป็นแม่เหล็กถาวรอยู่ตรงกลาง และขดลวด A, B และ C อยู่รอบๆ

ซึ่งเป็นลักษณะของมอเตอร์แบบ in - runner คือมีชุดแม่เหล็กด้านในจะหมุน แต่ถ้าหากเป็นมอเตอร์ที่เปลือกมีการหมุน (Out Runner) จะกลับกันคือขดลวดจะอยู่นิ่งๆแล้วเปลือกแม่เหล็กที่อยู่รอบนอกจะหมุนแทน จะมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านขดลวดจาก A ไป B ตามเส้นทางที่ 1 ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กสำหรับดึงดูดแกนหมุนให้อยู่ระหว่างขั้วของ A และ B และหากให้กระแสไฟฟ้าไหลตามเส้นทางที่ 6 คือ จากขั้ว A ไปยังขั้ว C จะทำให้เกิดสนามแม่เหล็กระหว่างขั้ว A และ C จะทำให้ตัวหมุนเคลื่อนไปในทิศทางทวนเข็มนาฬิกาไปอยู่ระหว่างขั้ว C และ A แทน หรือขั้ว N และ หากเปลี่ยนกระแสไฟฟ้าให้ไหลในเส้นทางที่ 5 คือ จาก B ไปยัง C ตัวหมุนจะหมุนทวนเข็มนาฬิกาต่อไปอีก ขั้ว N จะอยู่ที่ระหว่างขั้ว B และ C ดังนั้นหากให้เกิดการหมุนต่อเนื่อง ทำให้กระแสไฟฟ้าไหลตามลำดับ และเมื่อกระทำต่อเนื่องไปจนครบ 6 ขั้น จะหมุนครบ 1 รอบและในระหว่างขั้นตอนต่างๆ นี้ ขั้ว A, B และ C จะถูกสลับเปลี่ยนไปมาระหว่างขั้วบวกและลบ

2.5 เครื่องมือควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Speed Control)

เครื่องมือควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์เป็นอุปกรณ์ที่ควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงที่ใช้หมุนสร้างแรงยกให้กับอากาศยาน โดยหลักการทำงานจะใช้สัญญาณพัลส์ขนาดความกว้างในช่วง 1 ms ถึง 2 ms ในการควบคุมการจ่ายแรงดันไฟฟ้าเพิ่มหรือลดให้กับมอเตอร์



ภาพที่ 2-17 เครื่องมือควบคุมความเร็วมอเตอร์แบบอิเล็กทรอนิกส์

2.6 การควบคุมด้วยพีไอดี (PID Controller)

ระบบควบคุม (Control System) คือการจัดองค์ประกอบส่วนต่างๆ ให้มีการทำงานที่สัมพันธ์กัน เพื่อบังคับหรือปรับปรุงให้ระบบทำงานตามที่ต้องการ ระบบ คือสิ่งที่ต้องจะควบคุมอาจเป็นเครื่องมือหรือเครื่องจักร หรืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทำงาน ดิสเทรียเบ้นซ์ (Disturbance) คือสัญญาณรบกวนที่เข้ามาในระบบทำให้ค่าเอาต์พุตของระบบเปลี่ยนไป การควบคุมป้อนกลับ (Feedback) คือการพยายามลดค่าแตกต่างระหว่างเอาต์พุตกับค่าอ้างอิง หรืออินพุต ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control System) คือระบบที่ควบคุมที่รักษาค่าเอาต์พุตให้ใกล้เคียงกับค่าอินพุต โดยมีการเปรียบเทียบสัญญาณทั้งสองนี้ ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบ

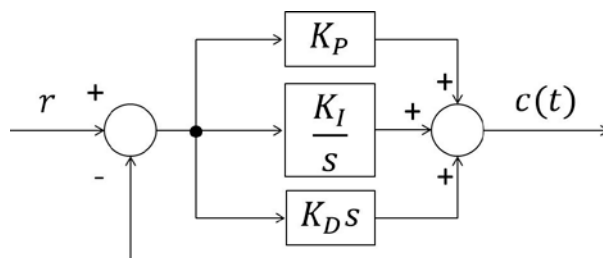
จะเป็นค่าผิดพลาด (Error) ซึ่งเป็นสัญญาณที่ใช้ป้อนเข้าสู่ตัวควบคุม (Controller) เซอร์โวแมคคาณิกส์ (Servomechanisms) คือ ระบบควบคุมแบบป้อนกลับ โดยที่เอาต์พุตอยู่ในรูปของตำแหน่ง (Position) ความเร็ว (Velocity) หรือ อัตราเร่ง (Acceleration) ลักษณะการควบคุมสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะใหญ่ ๆ คือ

2.6.1 ระบบควบคุมแบบเปิด (Open - loop control system)

เป็นระบบที่ควบคุมการทำงานแบบให้ระบบทำตามค่าที่กำหนดไว้โดยไม่มีการตรวจสอบความถูกต้องของผลที่ได้จากระบบ (Output) และไม่มีการนำผลที่ได้จากระบบมาเปรียบเทียบกับระหว่างสิ่งที่ป้อนเข้าระบบ (Input) กับผลที่ได้จากระบบ

2.6.2 ระบบควบคุมแบบปิด (Closed - loop control system)

เมื่อระบบควบคุมเปิดไม่สามารถให้ความแม่นยำในการควบคุมได้ ดังนั้นจึงมีการพิจารณาที่จะนำสัญญาณเอาต์พุต ซึ่งมีผลโดยตรงกับระบบควบคุมมาใช้งานโดยการนำสัญญาณเอาต์พุตจากระบบป้อนกลับมา เปรียบเทียบกับสัญญาณอินพุตที่ป้อนให้กับระบบ ซึ่งมีผลต่างระหว่างสัญญาณทั้งสองที่นำมาเปรียบเทียบนั่นจะเป็นสัญญาณค่าผิดพลาด เพื่อที่จะใช้เป็นสัญญาณป้อนกลับเข้าตัวควบคุม ให้ตัวควบคุมนำไปสร้างสัญญาณควบคุมใหม่ เพื่อลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในระบบและทำให้เอาต์พุตของระบบเข้าสู่ค่าที่ต้องการ



ภาพที่ 2-18 บล็อกไดอะแกรมระบบควบคุมแบบปิด

2.6.3 PID Controller ประกอบด้วยภาคต่างๆ ดังนี้

2.6.3.1 Proportional - action controller (P - controller) หรือที่เรียกว่าการ ควบคุมแบบสัดส่วน เป็นการควบคุม ซึ่งมีการปฏิบัติการแก้ไขความผิดพลาด โดยให้สัญญาณที่เป็น สัดส่วนโดยตรงกับค่าความผิดพลาด เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$m = K_p(e)$$

(2-7)

$$M(s) = K_p E(s)$$

(2-8)

โดยที่ m คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความ ผิดพลาด (Manipulating variable)

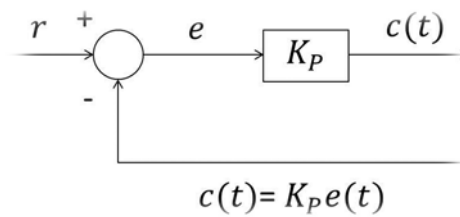
K_p คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบ

อัตราส่วน (Proportional gain)

e คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง

(Actuating error)

จากสมการสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



ภาพที่ 2-19 ตัวควบคุมแบบพี

คุณลักษณะที่สำคัญของการควบคุมแบบสัดส่วน ก็คือ จะมีผลตอบสนองต่อสัญญาณอินพุต แบบทันที ขนาดของเอาต์พุต นอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดของสัญญาณอินพุต แล้วยังขึ้นกับอัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอัตราส่วน

จะเห็นว่าค่าของสัญญาณเอาต์พุตจะคงอยู่ได้ก็ต่อเมื่อ มีสัญญาณอินพุตหรือ ค่าความผิดพลาดปรากฏอยู่ในสภาวะสม่ำเสมอเท่านั้น (Steady - state error) ซึ่งเท่ากับ $e_{ss} = \frac{m_{ss}}{K_p}$

(Steady - state :ss) การควบคุมแบบสัดส่วน ต้องการค่าความผิดพลาดเพื่อกำหนดสัญญาณเอาต์พุตสำหรับกระบวนการ (Process or Plant) ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า การควบคุมแบบสัดส่วน ไม่สามารถกำจัดค่าความผิดพลาดของระบบที่ถูกใช้ให้ควบคุมให้หมดได้ แต่เนื่องจากการควบคุมแบบสัดส่วนตอบสนองต่อสัญญาณอินพุตแบบฉับพลัน จึงทำให้มีความไวในการควบคุมระบบ ซึ่งถือได้ว่าเป็นคุณสมบัติเด่นของการควบคุมแบบสัดส่วน

2.6.3.2 Derivative-action controller (D-

controller) หรือที่เรียกว่า การควบคุมแบบอนุพันธ์ เป็นการควบคุมซึ่งมีการปฏิบัติการเพื่อแก้ไขความผิดพลาดโดยให้สัญญาณที่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการอนุพันธ์ของค่าความผิดพลาด (Time integral of the error) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$m = K_d \frac{de}{dt}$$

(2-9)

$$M(s) = K_d s$$

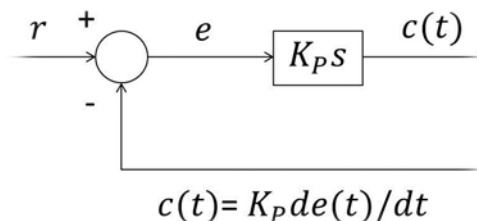
(2-10)

โดยที่ m คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด

K_d คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอนุพันธ์ (Derivative gain)

e คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง

จากสมการสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



ภาพที่ 2-20 ตัวควบคุมแบบดิ (Derivative Control)

จะเห็นว่าการแก้ไขค่าผิดพลาด เป็นอัตราของการเปลี่ยนแปลงความผิดพลาด ดังนั้นการควบคุมแบบอนุพันธ์ จะให้สัญญาณเอาต์พุต ที่เกิดจากการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณอินพุต เท่านั้น และจะไม่มีผลต่อสัญญาณอินพุตหรือค่าความผิดพลาดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรืออยู่ในสภาวะคงที่

การควบคุมแบบอนุพันธ์ ทำให้ระบบสามารถที่จะแก้ไขความผิดพลาดก่อน ที่ค่าความผิดพลาดจะมีมากขึ้น แต่จะไม่รับรู้การมีอยู่ของค่าความผิดพลาดที่อยู่ในสภาวะคงที่ ดังนั้นการ

ควมแบบอนุพันธ์เพียงอย่างเดียวจึงไม่เหมาะที่จะใช้ในการควบคุมระบบ การชดเชยข้อด้อยดังกล่าวทำได้โดยใช้การควบคุมแบบอนุพันธ์ร่วมกับการควบคุมแบบสัดส่วน และการควบคุมแบบปริพันธ์เพื่อให้ คุณสมบัติโดยรวมของการควบคุมดีขึ้น

2.6.3.3 Integral - action controller (I - controller) หรือที่เรียกว่า การควบคุมแบบปริพันธ์เป็นการควบคุมเพื่อแก้ไขความผิดพลาดโดยให้สัญญาณเป็นสัดส่วนโดยตรงกับการอินทิเกรตของค่าความผิดพลาด (Time integral of the error) เขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$m = K_i \left(\int e dt \right)$$

(2-11)

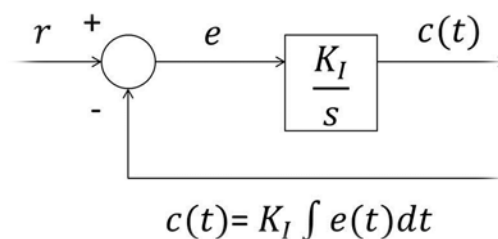
$$M(s) = K_i \frac{E(s)}{s} \quad (2-12)$$

โดยที่ m คือ ปริมาณที่เปลี่ยนแปลงที่ใช้แก้ไขความผิดพลาด

K_i คือ อัตราการขยายของตัวควบคุมแบบอินทิเกรต (Integral Gain)

e คือ ค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนแปลง

จากสมการสามารถเขียนบล็อกไดอะแกรมได้ดังนี้



ภาพที่ 2-21 ตัวควบคุมแบบไอ (Integral Control)

จะเห็นว่าสัญญาณเอาต์พุต เป็นค่าสะสมของสัญญาณอินพุต ตราบใดที่ยังมีสัญญาณอินพุตหรือค่าความผิดพลาดปรากฏอยู่ ค่าของสัญญาณเอาต์พุตจะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ค่าของสัญญาณเอาต์พุตจะหยุดเปลี่ยนแปลงและรักษาค่าให้คงที่ไว้เมื่อค่าความผิดพลาดเท่ากับศูนย์ (error : $e = 0$) ความเร็วการเพิ่มขึ้นของสัญญาณเอาต์พุตนอกจากจะขึ้นอยู่กับขนาดของค่าความผิดพลาดแล้วยังขึ้นกับ Integral reset time (T_i)

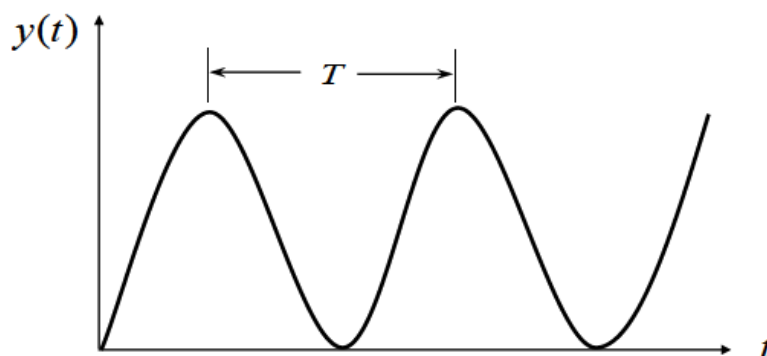
คุณลักษณะสำคัญของการควบคุมแบบปริพันธ์หรือ จะเห็นได้จากการอนุพันธ์ซึ่งจะได้ $\frac{dm}{dt} = K_i(e)$ แสดงให้เห็นว่า อัตราการแก้ไขความผิดพลาดเป็นสัดส่วนกับ ค่าความผิดพลาด ดังนั้นตัวควบคุมแบบปริพันธ์ จึงสามารถทำการแก้ไขความผิดพลาดของระบบจนกระทั่งไม่มีความผิดพลาด แต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้การตอบสนองของระบบช้าลง (Discussion) เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional) แล้วจะเห็นได้ว่าการควบคุมแบบปริพันธ์ มีคุณสมบัติของการหน่วงเวลา (Time delay) รวมอยู่ด้วย

2.6.4 การทดสอบด้วยวิธีของซีเกลอร์นิโคล

2.6.4.1 ปรับค่าเกนให้สูงขึ้นจนกระทั่งเริ่มเกิดการแกว่ง

2.6.4.2 บันทึกค่าเกน (K_c) และคาบเวลาของการแกว่งตัว (T)

2.6.4.3 นำค่าเกนและคาบเวลาของการแกว่งตัวที่ได้ไปเข้าสูตรเพื่อหาค่าเกนที่เหมาะสมสำหรับตัวควบคุมแต่ละแบบ



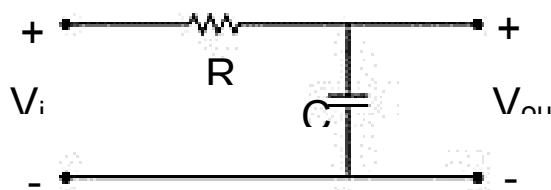
ภาพที่ 2-22 ลักษณะของผลการตอบสนอง

ตารางที่ 2-1 การหาค่าพีไอดีที่เหมาะสมด้วยวิธีซีเกลอร์นิโคล

Type of controller	K_p	K_i	K_d
P	$0.5 K_c$	-	-
PI	$0.45 K_c$	$0.45 K_c / 0.83T$	-
PID	$0.6 K_c$	$0.6 K_c / 0.5T$	$0.6 K_c / 0.125T$

2.7 วงจรรองสัญญาณความถี่ต่ำ (Low Pass Filter)

วงจรที่จะยอมให้สัญญาณความถี่ตั้งแต่ 0 Hz ถึงความถี่ที่กำหนดผ่านไปได้ ส่วนความถี่ตั้งแต่ที่กำหนดสูงขึ้นไปเรื่อยๆ จะลดทอนไปตามลำดับ ลักษณะของวงจรมีตั้งแต่อันดับหนึ่งขึ้นไป



ภาพที่ 2-23 วงจรกรองสัญญาณความถี่ต่ำอันดับ 1

2.7.1 ขั้นตอนการคำนวณวงจรกรองความถี่ต่ำ

สิ่งที่ต้องพิจารณาเป็นพิเศษ สำหรับการออกแบบวงจรฟิลเตอร์ชนิดกรองความถี่ต่ำก็คือ

ค่าความถี่คัตออฟ (f_c) ที่ต้องการใช้งานซึ่งความถี่คัตออฟหาได้จากสมการหาฟังก์ชันถ่ายโอนของวงจรไฟฟ้า

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{\frac{1}{Cs}}{Rs + \frac{1}{Cs}}$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{\frac{1}{Cs}}{\frac{RsCs + 1}{Cs}}$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{1}{Cs} \times \frac{Cs}{RsCs + 1}$$

$$\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{1}{RsCs + 1}$$

(2-

จัดสมการให้อยู่ในรูปฟังก์ชันถ่ายโอนจะได้

เมื่อ $t = RC$ $\frac{v_{out}}{v_{in}} = \frac{1}{ts + 1}$

$$w_c = \frac{1}{t} = \frac{1}{2\pi f_c}$$

(2-

โดยที่	w_c	มีหน่วยเป็น เรเดียนต่อวินาที (rad/s)
	f_c	มีหน่วยเป็น เฮิรตซ์ (Hz)
	R	มีหน่วยเป็น โอห์ม (Ω)
	C	มีหน่วยเป็น ฟารัด (F)
	t	คือ time constant
	v_{in}	คือ แรงดันอินพุต (V)
	v_{out}	คือ แรงดันเอาต์พุต (V)

2.8 ตัวกรองคาลมาน (Kalman filter)

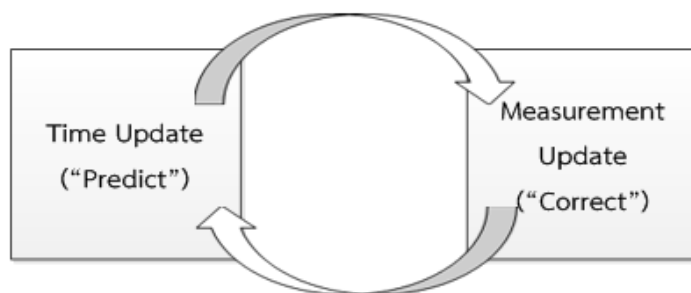
เนื่องจากการใช้งานเซ็นเซอร์ มีการใช้งานเซ็นเซอร์อยู่สองประเภทคือ ไจโรสโคปและ ตัววัดความเร็ว ดังนั้นจึงต้องมีการรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ทั้งสองชนิดนี้ ในหัวข้อนี้จะศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์หลายประเภท (Data fusion) ซึ่งในที่นี้ได้แก่ ไจโรสโคปและ ตัววัดความเร็ว สาเหตุที่ต้องมีการใช้เซ็นเซอร์ทั้งสองตัวร่วมกันเนื่องจากไจโรสโคปเมื่อมีการใช้งานจะเกิดการดริฟ (derivative) หรือค่าที่อ่านได้ ณ จุดเดียวกันได้ค่าไม่เท่ากันเมื่อเวลาผ่านไป ระยะเวลาหนึ่งทำให้ค่าที่อ่านได้ไม่ถูกต้องซึ่งในที่นี้ค่าที่อ่านได้จากไจโรสโคป จะเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของมุม (Gyro rate) จึงนำตัววัดความเร็วมาช่วยในการวัดค่ามุมสาเหตุที่ไม่ใช้ตัววัดความเร็วเพียงตัวเดียวในการวัดมุม เนื่องจากตัววัดความเร็วเป็นเซ็นเซอร์วัดความเร็วดังนั้นค่าเอาต์พุตที่อ่านได้จะยังมีความผิดพลาดอยู่สูง เนื่องจากจะมีความเร็วเกิดขึ้น จากแรงโน้มถ่วงของโลกแต่ตัววัดความเร็วไม่เกิดการดริฟ ดังนั้นจึงนำข้อดีของทั้งสองมาใช้งานร่วมกัน

ในการวิเคราะห์ระบบสิ่งที่เราต้องรู้คือสถานะ (States) ณ เวลาหนึ่งๆ ของระบบว่าเปลี่ยนแปลงตามเวลาอย่างไรแต่ในทาง

ปฏิบัติการหาสถานะมีอุปสรรคหลายอย่างเช่น ความไม่สมบูรณ์ของเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดสถานะของระบบ และความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากการวัด ดังนั้นวิธีที่ช่วยในการประมวลผลสถานะจากปัญหาดังกล่าวคือ การใช้การประมาณค่าและวิธีหนึ่งที่ช่วยในการประมาณค่าในที่นี้คือ ตัวกรองคาลมาน ซึ่งเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกใช้กันอย่างแพร่หลาย เช่น ในระบบสื่อสาร โทรคมนาคม ระบบควบคุม และระบบการประมวลผลสัญญาณ เป็นต้น ตัวกรองคาลมานถูกตั้งชื่อตาม รูดอล์ฟ อี คาลมาน (Rudolf E. Kalman) ซึ่งเป็นผู้พัฒนาขั้นตอนวิธีการนี้ ตัวกรองคาลมานเป็นการประมวลผลข้อมูลจากเซ็นเซอร์หลายประเภทภายใต้สัญญาณรบกวน (Noise) เพื่อหาสถานะที่ดีที่สุดของระบบ (Optimal) โดยใช้วิธีทางสถิติ

การทำงานของ ตัวกรองคาลมาน มีรูปแบบการทำงานแบบ ควบคุมการป้อนกลับของสัญญาณ (Feedback control) ซึ่งก็คือ การประมาณการสถานะของกระบวนการขณะใดขณะหนึ่ง หลังจากนั้นจะป้อนกลับไปในรูปแบบของการวัดสัญญาณรบกวน ซึ่งสามารถแบบสมการออกเป็น 2 ส่วนคือ สมการปรับเวลา (Time update) และ สมการปรับการวัด (Measurement update)

สมการปรับเวลาคือตัวที่ตอบสนองต่องานล่วงหน้า ที่สถานะปัจจุบัน และโควาริเียนของการประมาณที่ผิดพลาดเพื่อให้ได้มาซึ่งการประมาณล่วงหน้า ของช่วงเวลาต่อไป ส่วนสมการปรับการวัดจะตอบสนองต่อการป้อนกลับคือ การวัดครั้งใหม่จะถูกรวมเข้ากับการประมาณ เพื่อให้ได้มาซึ่งการปรับปรุงการประมาณล่วงหน้า โดยสมการปรับเวลาสามารถเรียกได้ว่าเป็น สมการตัวทำนาย (Predictor) และสมการปรับการวัดจะเรียกว่าเป็น สมการตรวจแก้ (Corrector)



ภาพที่ 2-24 รูปแบบการทำงานของตัวกรองคาลมาน

การออกแบบระบบฟิเตอร์เพื่อใช้งาน จะมีการรบกวนของการวัด R (measurement error covariance) ซึ่งเป็นโควาเรียนซ์ ที่ได้มาจากการประมวลผลของการวัดก่อนหน้านี้ สามารถหาค่าความผิดพลาดได้จริงเพราะได้มาจากกระบวนการวัดแต่อย่างไรก็ตาม ในการคำนวณหา Q (process noise covariance) สามารถทำได้ยากมาก ด้วยเหตุนี้จึงต้องมีการสุ่มหรือการประมาณค่า เพื่อให้ได้ความสัมพันธ์ของแบบจำลองกระบวนการที่มีผลลัพธ์เป็นที่ยอมรับได้

ข้อดีของตัวกรองคาลมาน

ในทางทฤษฎี เป็นตัวกรองที่สามารถลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นบนเซ็นเซอร์และให้ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมาณการ (Estimates) มีความถูกต้อง

ข้อเสียของตัวกรองคาลมาน

การทำงานมีการใช้คณิตศาสตร์ที่มีความซับซ้อน ซึ่งผู้ใช้งานต้องมีความรู้ทางพีชคณิตเชิงเส้น (linear algebra) นำมาเขียนเป็นโปรแกรมได้ยากเสียเวลาในการประมวลผลเมื่อใช้ในไมโครคอนโทรลเลอร์หรือคอมพิวเตอร์

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 ปริญญาานิพนธ์บอลลูนสำรวจควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ตามหลักสูตรปริญญา

อุตสาหกรรมศาสตร์บัณฑิต ซึ่งจัดทำโดยนายวิจิต ดีเลิศและนายมงคล ศรีโยธา นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ (โทรคมนาคม) ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ปีการศึกษา 2550 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เป็นการทำงานของบอลลูนสำรวจขนาด 1.5 เมตรบรรจุก๊าซฮีเลียม ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

มีกล้อง CCD ถ่ายภาพได้รอบทิศ มีรีโมทคอนโทรลสื่อสารไร้สาย เพื่อควบคุมทิศทางการบินของบอลลูนสำรวจ สามารถถ่ายภาพจากมุมสูงออกมาเป็นที่น่าพอใจ

2.8.2 ปฏิญยานิพนธ์การออกแบบ และสร้างยานเบากว่าอากาศขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ซึ่งจัดทำโดย นายชัยวัฒน์ สินธุศิริ นายรุ่งโรจน์ หวังเกียรติ และนายวิไลชนา รัตนอาจารย์ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมการบิน และอากาศยาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปีการศึกษา 2545 เป็นการออกแบบและสร้างยานเบากว่าอากาศขับเคลื่อนด้วยพลังงานไฟฟ้า บรรจุก๊าซฮีเลียมหลังจากการออกแบบสามารถลอยเคลื่อนที่ได้โดยลอยได้สูงระดับ 10 เมตรควบคุมด้วยรีโมทคอนโทรลสื่อสารไร้สายแบบคลื่นวิทยุบังคับทิศทาง

2.8.3 ปฏิญยานิพนธ์หุ่นสำรวจลอยฟ้า ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ซึ่งจัดทำโดยนายธวัชชัย แก้วศิริ และนายยงยุทธ มะลิลา นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2546 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การทำงานของหุ่นสำรวจลอยฟ้านั้นมีความสามารถลอยอยู่ในอากาศได้ ที่ส่วนล่างของถังก๊าซนั้นมีส่วนที่เรียกว่า ที่โดยสารจะเป็นส่วนของแผงวงจรของเครื่องรับสัญญาณควบคุมจากภาคพื้นดิน ส่วน

ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ และกล้องสำหรับถ่ายภาพส่งกลับมา ส่วนของที่โดยสารมีมอเตอร์ยึดติดกับใบพัดลมเพื่อใช้บังคับเลี้ยว และมีเซอร์โวมอเตอร์ใช้ในการหมุนแกนของมอเตอร์เพื่อใช้ในการขึ้นลงสำหรับ ส่วนควบคุมภาคพื้นดินควบคุมจากคอมพิวเตอร์ผ่านพอร์ตอนุกรม แล้วส่งสัญญาณไปยังเครื่องส่งโดยตรง ผลการดำเนินงานปริญญานิพนธ์นี้ หุ่นสำรวจลอยฟ้าสามารถลอยสูงจากพื้นได้ 2-3 เมตรสามารถส่งภาพเคลื่อนไหวจากกล้อง CCD เป็นภาพมุมสูงกลับมาแสดงยังผู้ควบคุมผ่านจอแสดงผล และสามารถควบคุมหุ่นสำรวจลอยฟ้าไปในทิศทางที่ต้องการ ได้ผลการดำเนินงานเป็นที่น่าพอใจ

2.8.4 ปริญญานิพนธ์รถสำรวจสะเทินน้ำสะเทินบก ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ ตามหลักสูตรปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต ซึ่งจัดทำโดย นายทรงพล ขวัญแก้ว และนายทวีศักดิ์ แซ่ลี นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์(โทรคมนาคม) ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ ปีการศึกษา 2548 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ซึ่งการทำงานของรถสำรวจสะเทินน้ำสะเทินบกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ มีลักษณะโครงสร้างที่ทำด้วยพลาสติก โดยการขับเคลื่อนส่วนต่างๆ ใช้มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงเป็นตัวควบคุมการขับเคลื่อน รถสำรวจใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในการควบคุมส่วนต่างๆของรถสำรวจในการส่งภาพจะมีวงจรแปลงสัญญาณภาพจากกล้องโดยใช้อุปกรณ์ถ่ายเทประจุ เป็นคลื่นความถี่วิทยุออกอากาศเข้าเครื่องรับโทรทัศน์

ความถี่ประมาณ

1.2 กิกะเฮิรตซ์ ผลการดำเนินงานปริญญานิพนธ์นี้ในการเคลื่อนที่สามารถเคลื่อนที่ได้คล่องบนพื้นผิวที่เรียบและแข็งสามารถเคลื่อนที่บนทางลาดชันจากแนวระดับได้ไม่เกิน 20 องศาที่ระยะ 10 เมตร และสามารถเคลื่อนที่บนผิวน้ำได้ กล้อง CCD สามารถปรับขึ้นและลงได้ 180 องศา จากแนวระดับและหมุนรอบ

ตัวเองได้ 270 องศา สามารถที่จะส่งสัญญาณภาพกลับมาได้ ระยะทาง 25 เมตรในที่โล่งแจ้ง และ 15 เมตรในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวาง โดยยังมีความชัดเจนของภาพอยู่ ซึ่งการควบคุมการทำงาน สามารถควบคุมได้ไกล 30 เมตรในที่โล่งแจ้งและ 15 เมตรในพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวาง ซึ่งการทำงานของรถสำรวจสะเทินน้ำสะเทินบกควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์นี้ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

2.8.5 ปฏิญาณนิพนธ์การควบคุมการเอียงตัวของเฮลิคอปเตอร์ ขนาดเล็กโดยอัตโนมัติตามหลักสูตรปริญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิตซึ่งจัดทำโดย นายเอกลักษณ์ ศุภมณี นักศึกษาสาขาวิชาวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ ภาควิชาวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม ปีการศึกษา 2551 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ซึ่งการทำงานของ การควบคุมการเอียงตัวของเฮลิคอปเตอร์ขนาดเล็กโดยอัตโนมัติ ซึ่งระบบควบคุมนี้มีความสามารถ ในการปรับการทำงานของระบบได้โดยอัตโนมัติ ตามการเปลี่ยนแปลงของสถานะแวดล้อม ในการทดลองระบบควบคุมนี้ได้ทำการทดลองกับเฮลิคอปเตอร์ขนาดเล็ก บังคับวิทยุรุ่น T-REX450XL ซึ่งยึดติดไว้กับฐานทดลอง ระบบทดสอบสามารถที่จะเคลื่อนที่หมุนได้ใน 3 แกนองศาอิสระ คือ หมุนรอบแกน x, y และ z ในการทดสอบระบบควบคุมนี้จะใช้การควบคุม 4 วิธีด้วยกัน การทดสอบที่ 1 คือการควบคุมแบบสัดส่วนบวกอินทิเกรตบวกอนุพันธ์หรือการควบคุมแบบพีไอดี ใช้การควบคุมทิศทางการหมุนรอบแกน x, y และ z ในการทดสอบที่ 2 จะใช้การควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิก โดยใช้แบบจำลองฟัซซี่ของ ทาคากิ-ซูเกโน ในการทดสอบที่ 3 จะใช้การควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกที่มีส่วนปรับตัวควบคุมซึ่งจะจัดลำดับความสำคัญของการหมุนรอบแกนทั้ง 3 แกนของเฮลิคอปเตอร์ที่เกี่ยวข้องกันและทำการปรับ ปรับ รุ ง แ ก้ ไ ข ตั ว ค ว บ คุ ม

ฟิชชีลอจิก โดยเปลี่ยนแปลงค่าความละเอียดในการควบคุม และในการทดสอบที่ 4 จะนำแนวความคิดของส่วนปรับตัวควบคุม ในการทดสอบที่ 3 มาใช้กับการควบคุมแบบพีไอดีในการทดสอบที่ 1 ลองทดสอบว่าสามารถทำให้การควบคุมดีขึ้นกว่าเดิมหรือไม่ ซึ่งผลลัพธ์ของการควบคุมแสดงให้เห็นว่าการควบคุมแบบฟิชชีลอจิกที่มีการปรับค่าได้ สามารถรักษาตำแหน่งควบคุมมุมเอียงได้ดีกว่าการควบคุมแบบฟิชชีลอจิกแบบธรรมดา และการควบคุมแบบพีไอดี และการเพิ่มส่วนปรับตัวควบคุมของการควบคุมแบบพีไอดีสามารถที่จะรักษาตำแหน่งควบคุมมุมเอียงได้ดีกว่าการควบคุมแบบพีไอดี