บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากการสร้างโครงงานการพัฒนา ระบบแผนที่ระบุตำแหน่ง และการค้นหาผู้ประสบภัยด้วยกล้องดิจิทัลสำหรับหุ่นยนต์กู้ภัย (The Development of a Mapping System to Identify Location and Search Victims by using a digital camera as a Rescue Robot) จะต้องศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 การออกแบบ

2.2 โซ่สายพาน

2.3 ทฤษฎีการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Data Transmission)

2.4 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการประมวลผลทางภาพดิจิทัล

2.5 รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์

2.6 การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control)

2.7 ลักษณะการควบคุมหุ่นยนต์

2.8 การควบคุมด้วยฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic Controller)

2.9 ตัวควบคุมแบบดิจิทัลพีไอดี (Digital PID Controller)

2.10 ปริญญานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง

2.1 การออกแบบ

ในขั้นตอนการออกแบบโครงสร้าง และระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ค้นหาผู้ประสบภัยนั้นจะทำการออกแบบในส่วนประกอบหลักๆดังต่อไปนี้

2.1.1 ระบบขับเคลื่อนและระบบส่งกำลัง

หุ่นยนต์ที่ออกแบบจะใช้ล้อในการขับเคลื่อนซึ่งมีข้อดีกว่า การใช้ระบบขับเคลื่อนแบบสายพาน คือสามารถเคลื่อนที่ได้ดีในพื้นที่ราบเรียบ ซึ่งเหมาะสำหรับหุ่นยนต์แบบอัตโนมัติ ระบบขับเคลื่อนและระบบส่งกำลังที่เลือกใช้จะเป็นมอเตอร์กระแสตรง (DC Motor) ขนาดแรงดันไฟ 12 โวลต์ โดยส่งถ่ายกำลังผ่านเฟืองไปยังล้อของหุ่นยนต์ ส่งผลทำให้กำลังในการขับเคลื่อนเพิ่มขึ้นแต่ความเร็วในการเคลื่อนที่จะลดลง

2.2 โซ่สายพาน (Chain belt)

การขับด้วยโซ่มีใช้อยู่มากด้านงานเครื่องจักรกลอุตสาหกรรม เนื่องจากมีลักษณะคล้ายกับการขับด้วยสายพาน โซ่จะคล้องอยู่กับล้อโซ่หรือเฟืองโซ่ (Sprocket) ซึ่งติดอยู่บนเพลาขับและเพลาตาม อัตราทดของการขับจะขึ้นอยู่กับขนาดของเฟืองโซ่ทั้งสองและการขับด้วยโซ่นี้จะไม่มีการสลิป (Slip) เกิดขึ้นระหว่างโซ่และเฟืองโซ่

เนื่องจากการขับด้วยโซ่สามารถไว้ใจได้และถูกต้องตามหลักเศรษฐศาสตร์ จึงถูกนิยมใช้มาก เช่น ในการขนส่งกำลังในเรือ เครื่องยนต์ เครื่องจักรกลการเกษตร เครื่องมือกล เครื่องทอผ้าและเครื่องจักรกลงานไม้ เครื่องพิมพ์และใช้ในการขนส่งและขนถ่ายวัสดุ การขับด้วยโซ่มีข้อดีกว่าการขับด้วยสายพานและการขับด้วยเฟือง ทางด้านราคาสมรรถนะในการส่งกำลังและการบำรุงรักษา โซ่สามารถขับได้ในระยะทางไกลกว่าสายพาน และขับพร้อมกันหลายๆเพลา ซึ่งมีทิศทางหมุนตามกันหรือสวนทางกันก็ได้

2.2.1 ข้อดีของการขับด้วยโซ่

2.2.1.1 ในการติดตั้งไม่ต้องการความเที่ยงตรงเท่ากับเฟือง

2.2.1.2 ไม่จำเป็นต้องมีแรงดึงให้ตึงเหมือนกับสายพาน ทำให้อายุการใช้งานของแบริ่งรองรับเพลาเพิ่มมากขึ้น

2.2.1.3 ไม่มีการสลิปในขณะส่งกำลังเหมือนสายพาน เมื่อใช้งานในอัตราทดที่เท่ากันเฟือง โซ่จะมีขนาดเล็กกว่าล้อสายพาน และถ้าต้องการส่งกำลังเท่ากันความกว้างของโซ่จะน้อยกว่าสายพาน

2.2.1.4 ติดตั้งง่ายกว่าสายพาน เพราะเพียงแต่คล้องเข้ากับเฟืองโซ่แล้วสอดสลักเข้าไปเท่านั้น

2.2.1.5 ใช้งานได้กับอุณหภูมิสูง บริเวณที่มีความชื้นและฝุ่นละออง

2.2.2 ข้อเสียของการขับด้วยโซ่

2.2.2.1 มีเสียงดัง

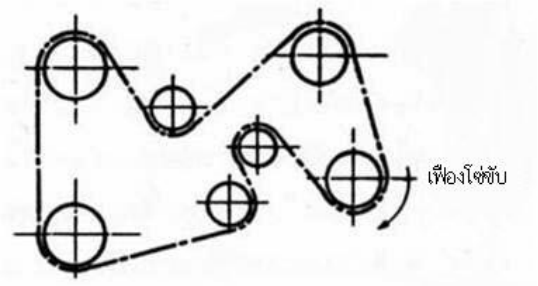
2.2.2.2 ที่ความเร็วรอบสูงจะมีอันตรายเมื่อโซ่ขาด

2.2.2.3 ไม่มีความอ่อนตัวในการส่งกำลัง เพลาจะต้องขนานกัน

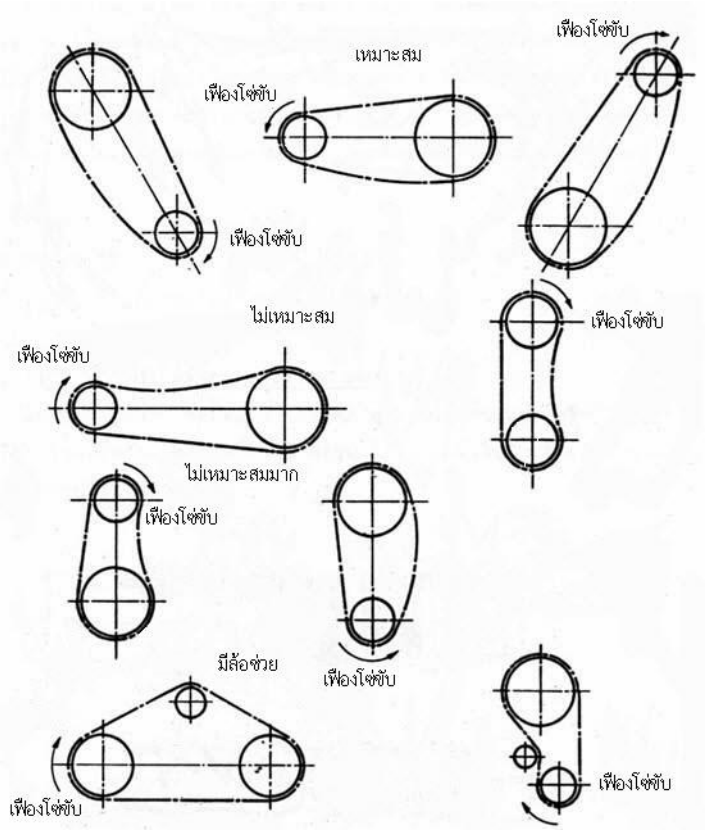
2.2.2.4 ต้องการการหล่อลื่น

2.2.3 ลักษณะการใช้งาน

จากภาพที่ 2-1 และ 2-2 จะพบว่าในการขับด้วยโซ่อาจขับเพียงเฟืองโซ่อันเดียวหรือหลายเฟืองโซ่ก็ได้ และอาจหมุนในทิศทางเดียวกันหรือสวนทางกันได้ แต่อย่างไรก็ตามมีข้อสมมติฐานว่าเฟืองโซ่จะต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน ซึ่งเพลาจะต้องขนานกันและอยู่ในแนวระดับด้วยความเร็วขอบของเฟืองโซ่สามารถใช้ได้ถึง 20-25 เมตรต่อวินาที



ภาพที่ 2-1 การขับเพลาหลายเพลาโดยการใช้โซ่เพียง 1 เส้น



ภาพที่ 2-2 การวางเฟืองโซ่สองเฟืองที่ขับกันอย่างเหมาะสม และไม่เหมาะสม

ข้อจำกัดในการส่งกำลังด้วยโซ่ เมื่อใช้งานด้วยความเร็วปานกลางจนไปถึงความเร็วสูง คือ การสึกหรอของข้อต่อ และความต้านแรงล้า (Fatigue Strength) ของวัสดุชิ้นส่วนโซ่ นอกจากนี้ การใช้งานด้วยความเร็วสูงจะต้องคำนึงถึงแรงที่จะเกิดขึ้นในโซ่ เนื่องจากแรงหนีศูนย์กลางในการขับโดยใช้โซ่หลายเส้นขนานกันเป็นสองชั้น (double-strand) หรือสามชั้น (triple-strand) อาจทำให้แรงที่กระทำกับโซ่ไม่กระจายไปเท่าๆกันตลอดความกว้างของโซ่และถ้าหล่อลื่นไม่ดีพอก็จะเป็นสาเหตุประการสำคัญที่ทำให้โซ่สึกหรอได้มาก

2.3 ทฤษฎีการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (Serial Data Transmission)

เป็นการส่งข้อมูลครั้งละ 1 บิต ไปบนสัญญาณจนครบจำนวนข้อมูลที่มีอยู่สามารถนำไปใช้กับสื่อนำข้อมูล (Data Communication) ที่มีเพียง 1 ช่องสัญญาณได้ สื่อนำข้อมูลที่มี ช่องสัญญาณนี้จะมีราคาถูกกว่าสื่อนำข้อมูลที่มีหลายช่องสัญญาณ และเนื่องจากการสื่อสารแบบอนุกรมมีการส่งข้อมูลได้ครั้งละ 1 บิต เท่านั้น การส่งข้อมูลประเภทนี้จึงช้ากว่าการส่งข้อมูลครั้งละหลายบิต ในการสื่อสารข้อมูลแบอนุกรมข้อมูลถูกส่งออกมาทีละบิตระหว่างจุดส่งและจุดรับ จะเห็นว่าการส่งข้อมูลแบบนี้ช้ากว่าแบบขนาน ตัวกลางการสื่อสารแบบอนุกรมต้องการเพียงช่องเดียวหรือสายเพียงคู่เดียว ค่าใช้จ่ายในสื่อกลางถูกกว่าแบบขนานสำหรับการส่งระยะทางไกลๆ โดยเฉพาะเมื่อมีระบบการสื่อสารทางโทรศัพท์ไว้ใช้งานอยู่แล้ว ย่อมจะเป็นการประหยัดกว่าที่จะทำการติดต่อสื่อสารทีละ 8 ช่องเพื่อการถ่ายโอนข้อมูล แบบขนานอย่างแน่นอน การส่งข้อมูลแบบอนุกรมข้อมูลจากจุดส่งจะถูกเปลี่ยนให้เป็นอนุกรมเสียก่อนแล้วค่อยทยอยส่งออกทีละบิตไปยังจุดรับ ณ ที่จุดรับ จะต้องมีกลไกในการเปลี่ยนข้อมูลที่ส่งมาทีละบิตให้เป็นสัญญาณแบบขนานที่ลงตัวพอดี นั่นคือ บิต 1 ลงที่บัสข้อมูลเส้นที่ 1 พอดี การที่จะทำให้ การแปลงสัญญาณจากอนุกรมทีละบิตให้ลงตัวพอดีนั้นจำเป็นจะต้องมีกลไกที่เหมาะสมเพื่อป้องกันการผิดพลาดในการทำงาน

2.3.1 การสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรมสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะดังนี้

2.3.1.1 แบบทิศทางเดียว (Simplex) ข้อมูลจะถูกส่งจากทิศทางหนึ่งไปยังอีกทิศทางโดยไม่สามารถส่งย้อนกลับมาได้ เช่น ระบบวิทยุ หรือโทรทัศน์

2.3.1.2 แบบกึ่งสองทิศทาง (Half Duplex) ข้อมูลสามารถส่งสลับกันได้ทั้ง 2 ทิศทาง โดยต้องผลัดกันส่งครั้งละทิศทางเท่านั้น ตัวอย่างเช่น วิทยุสื่อสารแบบผลัดกันพูด

2.3.1.3 แบบสองทิศทาง (Full Duplex) ข้อมูลสามารถส่งพร้อมๆกัน ได้ทั้ง 2 ทิศทางอย่างอิสระ ตัวอย่างเช่น ระบบโทรศัพท์ประเภทของสัญญาณในการการรับ-ส่งข้อมูลต้องเป็นข้อมูลที่อยู่ในรูปสัญญาณทางไฟฟ้าซึ่งสามารถจำแนกสัญญาณออกได้เป็น 2 ลักษณะคือสัญญาณแบบดิจิทัล (Digital Signal) ซึ่งจะมีลักษณะสัญญาณไฟฟ้าสองสภาวะคือบิต 0 หรือบิต 1 โดยอาจอยู่ในรูปของสัญญาณไฟฟ้า 0 โวลต์และ +5 โวลต์ หรือ -12 โวลต์กับ +12 โวลต์ตามค่าอ้างอิงสัญญาณอะนาล็อค (Analog Signal) เป็นสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความต่อเนื่องของสัญญาณโดยไม่เปลี่ยนแปลงแบบทันที่ทันใดเหมือนกับสัญญาณดิจิทัล เช่นเสียงพูดหรืออุณหภูมิในอากาศเมื่อเทียบกับเวลาที่เปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง

2.3.2 องค์ประกอบของการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม

2.3.2.1 บิตเริ่มต้น Start Bit (ขนาด 1 บิต) จะใส่ที่จุดเริ่มต้นเสมอเพื่อเตือนอุปกรณ์ฝ่ายรับว่าข้อมูลกำลังจะมาถึง

2.3.2.2 บิตข้อมูล (Data) ขนาด 7 บิตหรือ 8 บิต การส่งบิตข้อมูลจะส่งเป็นกลุ่มๆ โดยทั่วไปจะส่งเป็น 7 บิต หรือ 8 บิต ซึ่งเพียงพอสำหรับการส่ง Ascii Word

2.3.2.3 บิตตรวจสอบพาริตี้ (Parity Bit) ขนาด 1 บิต ใช้สำหรับตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ส่งเราจะใส่บิตพาริตี้เข้าไป บิตพาริตี้มีหลายแบบดังนี้

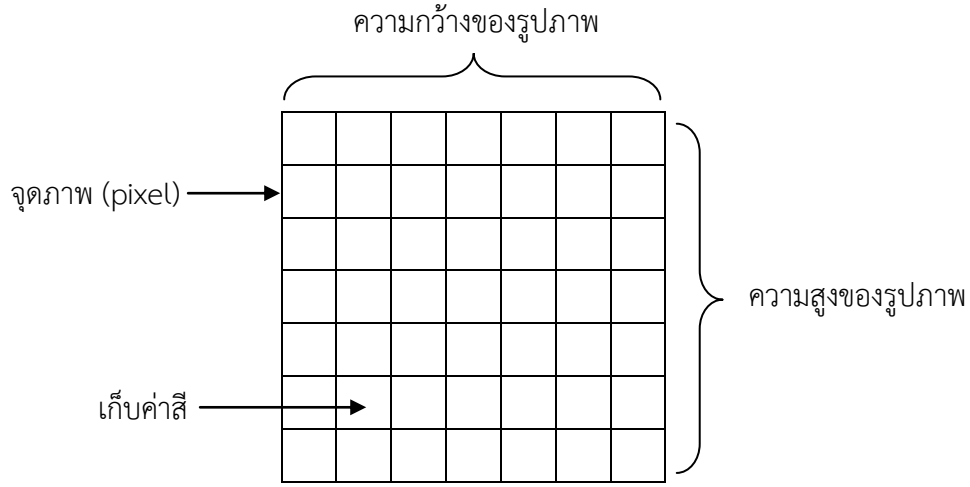
ก) พาริตี้คู่ (Even Parity) ค่าของบิตพาริตี้นี้เมื่อรวมกันทุกๆบิตของข้อมูลแล้วจะต้องมี จำนวนบิตที่ เป็นเลข 1 เป็นเลขคู่ตัวอย่างเช่นข้อมูล 1000111 มีเลข 1 ทั้งหมด 3 ตัว ดังนั้นบิตพาริตี้ จะเป็น 0

ข) พาริตี้คี่ (Odd Parity) ค่าของบิตพาริตี้นี้เมื่อรวมกันทุกๆบิตของข้อมูลแล้วจะต้องมีจำนวนบิตที่เป็นเลข 1 เป็นเลขคี่ ตัวอย่างเช่นข้อมูล 1000101 มีเลข 1 ทั้งหมด 3 ตัว ดังนั้นบิตพาริตี้จะเป็น 1 ไม่มีพาริตี้ (None) ถ้าตั้งค่าบิตพาริตี้เป็น None ทั้งภาครับและภาคส่งจะไม่มีการตรวจสอบบิตพาริตี้ 4 Stop Bit (ขนาด 1 บิต หรือ 2 บิต) เป็นบิตที่ส่งมาปิดท้ายข้อมูล อัตราเร็วในการรับส่งข้อมูลแบบอนุกรม การที่อุปกรณ์ 2 อย่างจะติดต่อสื่อสารถึงกันได้นั้นจะต้องทำงานด้วยอัตราเร็วเท่ากัน ซึ่งอัตราเร็วในการสื่อสารแบบ Asynchronous คือค่า Baud Rate มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที ซึ่งค่าอัตราเร็วในการสื่อสารแบบอนุกรมสำหรับมาตรฐาน RS-232c นั้นมีใช้ดังนี้ 110,150,300,600, 1200, 2400, 4800, 9600 และ 19200 บิตต่อวินาที

2.4 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการประมวลผลทางภาพดิจิทัล (Digital Image Processing)

รูปภาพดิจิทัล (Digital Image) คือรูปภาพที่มีการจัดเก็บข้อมูลในเชิงตัวเลข รูปภาพดิจิทัลมีอยู่หลายชนิด เช่น รูปภาพขาวดำ (Binary Image) รูปภาพระดับเทา (Gray level Image) หรือรูปภาพสี (Color Image) โดยรูปภาพแต่ละชนิดอาจได้มาด้วยวิธีการแตกต่างกัน เช่น อาจถ่ายมาจากกล้องดิจิทัล สแกนจากเครื่องสแกน หรือได้จากการประมวลผล เป็นต้น

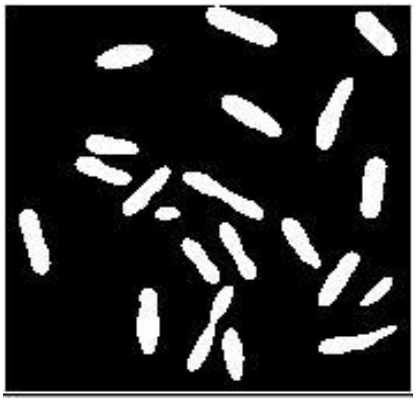
รูปภาพดิจิทัลจะใช้เมตริกซ์ในการเก็บข้อมูล โดยแต่ละช่องของเมตริกซ์นั้นจะเรียกว่า จุดภาพ (Pixel) ดังรูป 2-3 โดยรูปภาพแต่ละชนิดนั้น จะมีรูปแบบการเก็บข้อมูลที่แตกต่างกัน เช่น รูปภาพขาวดำและรูปภาพระดับเทา จะใช้เมตริกซ์ 2 มิติ ในการเก็บค่าสี ส่วนรูปภาพสีจะใช้เมตริกซ์ 2 มิติจำนวน 3 แผ่นในการเก็บค่าสี เป็นต้น



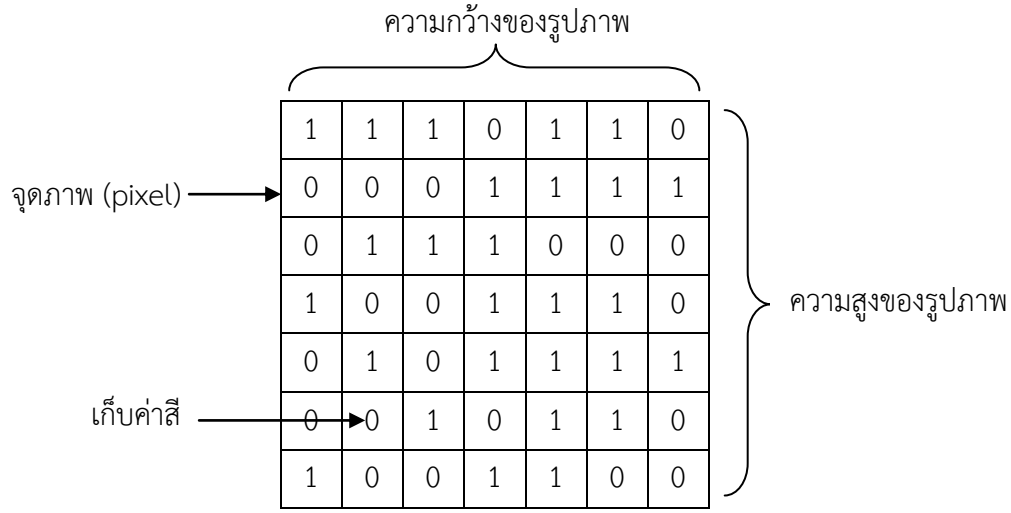
ภาพที่ 2-3 รูปแบบการเก็บข้อมูลของรูปภาพดิจิทัล

2.4.1 รูปภาพขาวดำ (Binary Image) คือรูปภาพที่ประกอบด้วยสีขาวและสีดำเท่านั้น ดังภาพที่ 2-4 ซึ่งโดยส่วนใหญ่คอมพิวเตอร์จะวิเคราะห์ข้อมูลจากรูปภาพชนิดนี้ได้ง่ายกว่ารูปภาพชนิดอื่นๆ เนื่องจากรูปภาพขาวดำจะมีค่าข้อมูลเพียง 2 ค่าเท่านั้น ซึ่งจะแทนสีดำด้วย 0 และสีขาวด้วย 1 หรือ แทนสีดำด้วย 0 และสีขาวด้วย 255

จากที่กล่าวมาข้างต้น รูปภาพขาวดำจะมีข้อมูลเพียง 2 ค่าเท่านั้น โดยรูปแบบการเก็บข้อมูลของรูปภาพขาวดำ จะใช้เมตริกซ์ 2 มิติในการเก็บค่าสี ดังภาพที่ 2-5

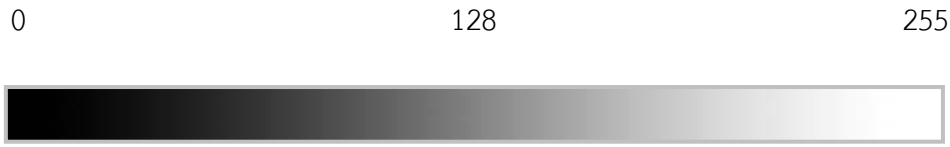


ภาพที่ 2-4 รูปภาพขาว



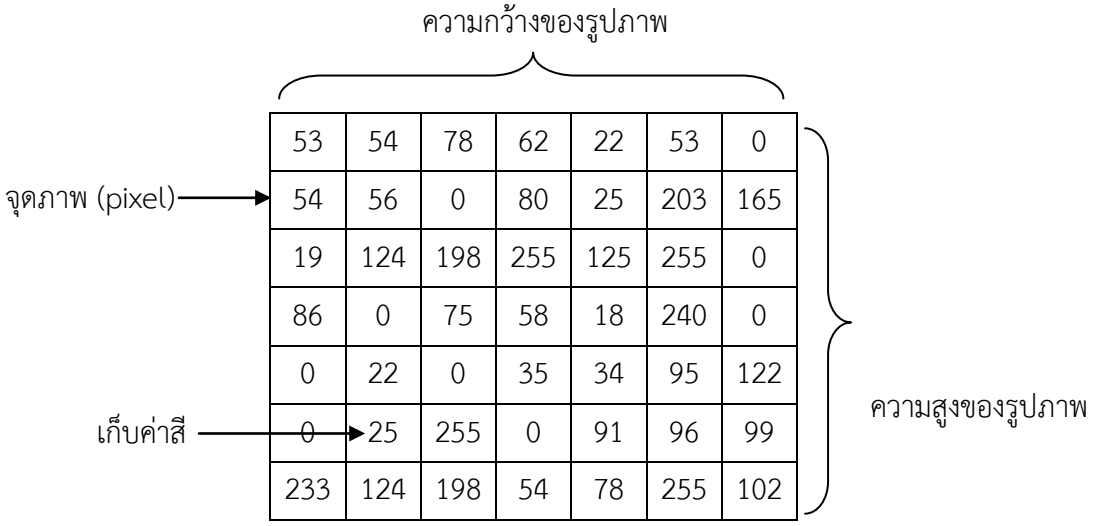
ภาพที่ 2-5 การเก็บข้อมูลของรูปภาพขาวดำ

2.4.2 รูปภาพระดับเทา (Gray level Image) คือรูปภาพที่มีความสามารถแสดงสีได้ถึง 256 สี โดยจะไล่สีได้ตั้งแต่ สีดำ สีเทา และสีขาวตามลำดับ ดังภาพที่ 2-6 โดยสีแต่ละสีจะเกิดจากขนาดแสงที่ตกกระทบบนรูปภาพ เรียกขนาดแสงที่ตกกระทบนี้ว่า ความเข้มแสง (Intensity)



ภาพที่ 2-6 การไล่สีตั้งแต่สีดำ สีเทา และสีขาวของรูปภาพระดับเทา

รูปภาพระดับเทาจะใช้เมตริกซ์ 2 มิติ เก็บข้อมูลเช่นเดียวกับรูปภาพขาวดำแต่ข้อมูลของรูปภาพระดับเทาจะเป็นค่าความเข้มแสง โดยค่าจะเป็นเลขจำนวนเต็มอยู่ในช่วง 0 ถึง 255 หรืออาจจะกำหนดให้เป็นเลขจำนวนจริงอยู่ในช่วง 0 ถึง 1 ก็ได้ ดังภาพที่ 2-7 และภาพที่ 2-8

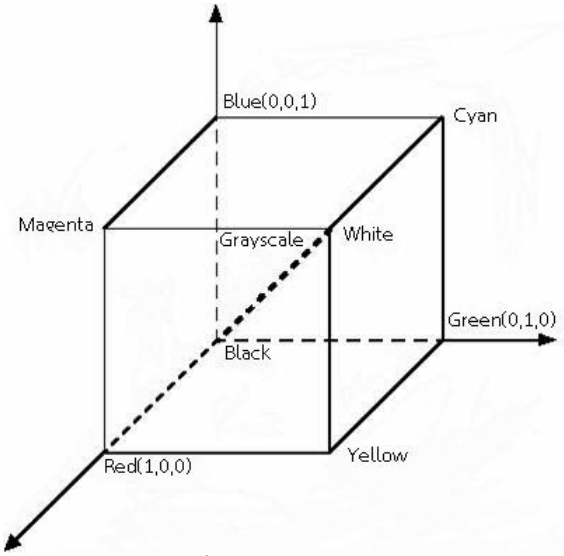


ภาพที่ 2-7 การเก็บข้อมูลของรูปภาพระดับเทา

ภาพที่ 2-8 ตัวอย่างรูปภาพระดับเทา

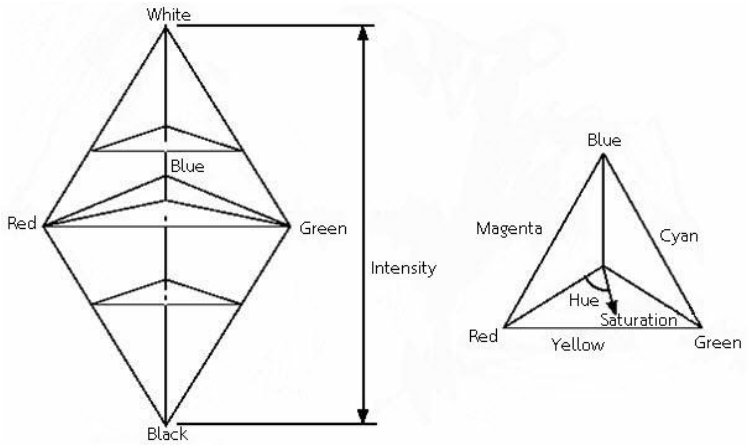
2.4.3 รูปภาพสี (Color Image) จะมีอยู่หลายรูปแบบ เช่น รูปแบบ RGB (RGB Color Model) รูปแบบ HSI (HSI Color Model) หรือรูปแบบ CMY (CMY Color Model) เป็นต้นซึ่งรูปภาพสีแต่ละรูปแบบจะมีความเหมาะสมกับลักษณะงานที่แตกต่างกัน ซึ่งรูปภาพสีแบบ RGB เหมาะสำหรับแสดงผลบนจอภาพคอมพิวเตอร์หรือกล้องดิจิทัล ส่วนรูปภาพสีแบบ CMY เหมาะจะใช้ในงานที่เกี่ยวกับเครื่องพิมพ์ เป็นต้น

2.4.3.1 รูปแบบ RGB (RGB Color Model) รูปแบบ RGB เป็นรูปแบบที่เกิดจากการผสมกันของแม่สี 3 สี คือสีแดง (Red) สีเขียว (Green) และสีน้ำเงิน (Blue) รวมกับค่าความเข้มแสง ดังภาพที่ 2-9 โดยแต่ละแกนจะแทนแม่สีแต่ละสี และมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 (หมายถึงค่าความเข้ม-แสงของสี) ทำให้สามารถสร้างสีได้มากกว่า 16 ล้านสี นอกจากนี้จะสังเกตเห็นว่า เมื่อค่าความเข้มแสงของแม่สีทั้ง 3 สีมีค่าเท่ากันแล้ว จะสร้างรูปภาพเหมือนกับรูปภาพระดับเทา



ภาพที่ 2-9 รูปแบบ RGB

2.4.3.2 รูปแบบ HIS (HSI Color Model) รูปแบบสี HIS จะประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วน คือ Hue Saturation และ Intensity ดังภาพที่ 2-10



ภาพที่ 2-10 รูปแบบ HSI

โดยส่วนประกอบแต่ละส่วนมีความหมาย ดังนี้

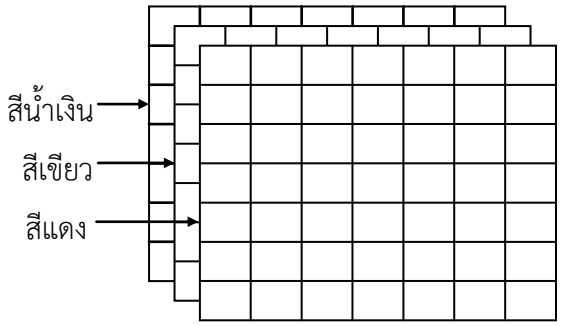
Hue บอกถึงค่าสีต่างๆ เช่น สีแดง สีเขียว สีเหลือง เป็นต้น โดยมีค่าระหว่าง 0 ถึง 360 องศา โดยกำหนดมุม 0 และมุม 360 มีค่าสีเดียวกัน คือ สีแดง ดังภาพที่ 2-10

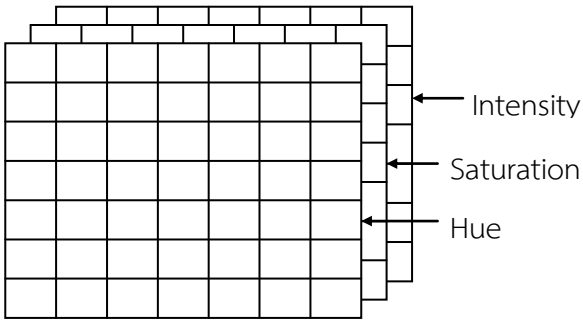
Saturation คือ ความเจือปนของสีขาว มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 โดยที่ค่า 0 หมายถึง มีการเจือปนของสีขาวมากที่สุด และค่า 1 หมายถึง ไม่มีการเจือปนของสีขาว ดังภาพที่ 2-10

Intensity คือ ค่าความเข้มแสงมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 หรือ 0 ถึง 255 ซึ่งส่วนประกอบนี้ของรูปแบบสี HSI จะเหมือนกับค่าความเข้มแสงของรูปภาพระดับเทา

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า รูปภาพสีแบบ HIS จะแยกองค์ประกอบของสีและแสงออกจากกันโดยสิ้นเชิง คือ ค่า Hue และ Saturation จะเก็บองค์ประกอบของสี ส่วนค่า Intensity จะเก็บองค์ประกอบของแสง ตามลำดับ ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การวิเคราะห์สีของรูปภาพสีแบบนี้ทำได้โดยง่าย และมีประสิทธิภาพมากกว่ารูปภาพสีแบบ RGB ดังนั้นรูปแบบ HSI จึงเหมาะสำหรับงานที่ต้องการวิเคราะห์สีในรูปภาพ โดยไม่ขึ้นกับความเข้มแสง

สำหรับการเก็บข้อมูลของรูปภาพสีแบบ RGB และ HSI จะใช้เมตริกซ์ 2 มิติ จำนวน 3 แผ่นต่อกันโดยรูปภาพสีแบบ RGB เมตริกซ์ จะแทนด้วยสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ตามลำดับดังภาพที่ 2-11 (ก) ส่วนรูปภาพสีแบบ HSI เมตริกซ์จะแทนด้วยค่า Hue Saturation และ Intensity ตามลำดับ ดังภาพที่ 2-11 (ข)





ภาพที่ 2-11 (ก) การเก็บข้อมูลแบบ RGB **ภาพที่ 2-11 (ข)** การเก็บข้อมูลแบบ HIS

2.4.4 การแปลงรูปภาพสีแบบ RGB ให้เป็นรูปภาพสีแบบอื่น (RGB Conversion)

2.4.4.1 แปลงรูปภาพสีแบบ RGB ให้เป็นรูปภาพระดับเทาการแปลงรูปภาพสีแบบ RGB ให้เป็นรูปภาพระดับเทานั้น สามารถทำได้โดยใช้ สมการ (2-1) ดังนี้

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \qquad (2\text{-}1)$$

โดยกำหนดให้ตัวแปรแต่ละตัวมีความหมายดังนี้

เมื่อ I คือ จุดภาพหนึ่งๆ ของรูปภาพระดับเทา

R คือ ค่าสีของจุดภาพหนึ่งๆ ในเมตริกซ์แผ่นสีแดง ของรูปภาพสีแบบ RGB

G คือ ค่าสีของจุดภาพหนึ่งๆ ในเมตริกซ์แผ่นเขียว ของรูปภาพสีแบบ RGB

B คือ ค่าสีของจุดภาพหนึ่งๆ ในเมตริกซ์แผ่นสีน้ำเงิน ของรูปภาพสีแบบ RGB

2.4.4.2 การแปลงรูปภาพสีแบบ RGB ให้เป็นรูปภาพสีแบบ HSI การแปลงภาพสีแบบ RGB ให้เป็นรูปภาพสีแบบ HSI สามารถทำได้โดยใช้ สมการ (2-2) – (2-5) ดังนี้

$$H = \begin{cases} \theta & if \quad B \le G \\ 360 - \theta & if \quad B > G \end{cases} \tag{2-2}$$

$$\theta = COS^{-1}\left\{ \frac{\frac{1}{2}\left[(R-G)+(R-B)\right]}{\left[(R-G)^2+(R-B)(G-B)\right]^{1/2}} \right\} \tag{2-3}$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R+G+B)} \min(R,G,B) \tag{2-4}$$

$$I = \frac{1}{3}(R+G+B) \tag{2-5}$$

โดยกำหนดให้ตัวแปรแต่ละตัวมีความหมายดังนี้

เมื่อ H คือ ค่า Hue ของจุดภาพหนึ่งๆ ของรูปภาพสีแบบ HSI

S คือ ค่า Saturation ของจุดภาพหนึ่งๆ ของรูปภาพสีแบบ HSI

I คือ ค่า Intensity ของจุดภาพหนึ่งๆ ของรูปภาพสีแบบ HSI

R คือ ค่าสีของจุดภาพหนึ่งๆ ในเมตริกซ์แผ่นสีแดง ของรูปภาพสีแบบ RGB

G คือ ค่าสีของจุดภาพหนึ่งๆ ในเมตริกซ์แผ่นเขียว ของรูปภาพสีแบบ RGB

B คือ ค่าสีของจุดภาพหนึ่งๆ ในเมตริกซ์แผ่นสีน้ำเงิน ของรูปภาพสีแบบ RGB

2.4.5 การตัดส่วนรูปภาพด้วยระดับช่วง (Image Segmentation by Threshold) การตัดส่วนวัตถุที่ต้องการออกจากสิ่งแวดล้อมหรือพื้นหลัง สามารถทำได้โดยกำหนดช่วงระดับความเข้มแสงของวัตถุที่ต้องการตัดออกจากสิ่งแวดล้อมก่อน จากนั้นใช้ สมการ (2-6) ในการตัดวัตถุหลังจากตัดวัตถุที่ต้องการออกจากสิ่งแวดล้อมแล้ว ผลลัพธ์จะได้รูปภาพขาวดำ โดยวัตถุที่ต้องการจะกลายเป็นสีขาวหรือดำนั้นจะขึ้นอยู่กับความเข้มแสง ณ จุดนั้นๆ ว่ามีค่าความเข้มแสงมากหรือน้อยกว่าระดับที่กำหนดไว้

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & if \quad f(x,y) > T \\ 0 & if \quad f(x,y) \le T \end{cases} \tag{2-6}$$

โดยกำหนดให้ตัวแปรแต่ละตัวมีความหมายดังนี้

เมื่อ $g(x,y)$ คือ รูปภาพขาวดำ

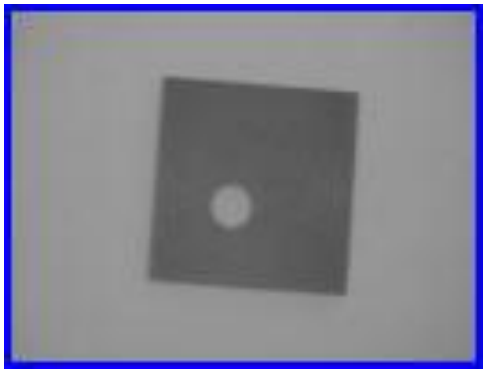
$f(x,y)$ คือ รูปภาพระดับเทา

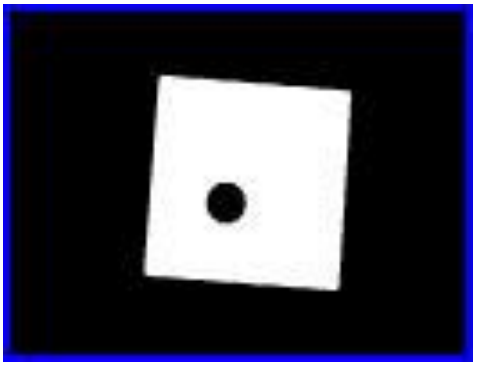
T คือ ระดับช่วงความเข้มแสง

X คือ ตำแหน่งแถว

Y คือ ตำแหน่งคอลัมน์

จากสมการ (2-6) หมายความว่า ถ้าค่าความเข้มแสงที่จุดใดๆในรูปภาพระดับเทามีค่ามากกว่าระดับความเข้มแสงที่กำหนดแล้ว รูปภาพ ณ จุดนั้นๆ จะมีค่าเป็น 1 ซึ่งก็คือ สีขาวในรูปภาพขาวดำ และถ้าค่าความเข้มแสงที่จุดใดๆ ในรูปภาพระดับเทามีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับระดับความเข้มแสงแล้ว รูปภาพ ณ จุดนั้นๆ จะมีค่าเป็น 0 ซึ่งก็คือ สีดำในรูปภาพขาวดำ ดังภาพ 2-12 (ก) และ (ข) โดยจะเรียกระดับความเข้มแสงนี้ว่า “ขีดแบ่ง (Threshold)”





ภาพที่ 2-12 (ก) ภาพระดับเทาก่อนทำการตัดส่วน **ภาพที่ 2-12 (ข)** ภาพหลังจากทำการตัดส่วน

2.4.6 การปรับปรุงรูปภาพ (Image Enhancement) บางครั้งรูปภาพดิจิทัลที่ได้มาจากกล้องดิจิทัลหรือเครื่องสแกนที่ใช้ในปัจจุบันอาจทำให้เกิดสัญญาณรบกวน (Noise) บนรูปภาพได้ การเกิดสัญญาณรบกวนนี้อาจเกิดจากหลายสาเหตุ เช่นอาจเกิดจากตัววัตถุที่ปรากฏอยู่บนรูปภาพเองหรืออาจเกิดจากคุณภาพของกล้องหรือเครื่องสแกน เป็นต้น การเกิดสัญญาณรบกวนบนรูปภาพบางครั้งอาจส่งผลกระทบทำให้การวิเคราะห์รูปภาพเกิดความผิดพลาดได้ ดังนั้นก่อนที่จะนำรูปภาพดิจิทัลมาวิเคราะห์หรือประมวลผล ถ้ารูปภาพดังกล่าวมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้น ควรทำการปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพนั้นก่อน เพื่อเป็นการลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นบนรูปภาพให้น้อยลง

การปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพสามารถจัดได้เป็น 2 กลุ่ม คือการปรับปรุงคุณภาพรูปภาพเชิงพื้นที่ (Spatial Domain) และการปรับปรุงคุณภาพรูปภาพเชิงความถี่ (Frequency Domain) ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพรูปภาพเชิงพื้นที่จะยึดหลักปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพโดยตรง ส่วนการปรับปรุงคุณภาพรูปภาพเชิงความถี่จะยึดหลักการปรับปรุงคุณภาพรูปภาพที่ผ่านการแปลงฟูเรียร์แล้ว

แต่ในที่นี้ จะขอกล่าวถึงเฉพาะการปรับปรุงคุณภาพรูปภาพระดับเทาเชิงพื้นที่ด้วยตัวกรอง (Filter) เท่านั้น

2.4.6.1 พื้นฐานการปรับปรุงคุณภาพภาพระดับเทา การปรับปรุงคุณภาพรูปภาพระดับเทาเชิงพื้นที่ด้วยตัวกรอง เป็นการแบ่งย่อยรูปภาพด้วยการใช้หน้ากาก (Mask) ซึ่งจะทำการเลื่อนหน้ากากไป ทีละจุดบนรูปภาพที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพ พร้อมกับทำการปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพภายในหน้ากากนั้น โดยตัวกรองดังกล่าวสามารถแบ่งกลุ่มได้เป็น 2 ประเภท คือ ตัวกรองแบบเชิงเส้น (Linear Filter) และตัวกรองแบบไม่เชิงเส้น (Nonlinear Filter) ตัวอย่างตัวกรองแบบเชิงเส้น เช่น ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย (Average Filter) ส่วนตัวกรองแบบไม่เชิงเส้น เช่น ตัวกรองแบบค่าน้อยสุด (Minimum Filter) เป็นต้น

ขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพเชิงพื้นที่ด้วยกรองแบบเชิงเส้นนั้น สามารถทำได้โดยเลื่อนหน้ากากไปทีละจุดบนรูปภาพที่ต้องการปรับปรุง พร้อมกับคำนวณหาผลรวมของแต่ละผลคูณระหว่างค่าข้อมูลภายในหน้ากาก กับค่าข้อมูลของรูปภาพภายในหน้ากาก แล้วนำค่าผลลัพธ์ไปแทนที่จุดศูนย์กลางของรูปภาพภายในหน้ากาก ตัวอย่างเช่น เลื่อนหน้ากากขนาด 3x3 บนรูปภาพที่ต้องการปรับปรุง โดยกำหนดให้ข้อมูลภายในหน้ากากเป็นค่า Wi ดังภาพที่ 2-13 แล้วคำนวณหาผลรวมของแต่ละผลคูณระหว่างค่าข้อมูลภายในหน้ากากกับค่าข้อมูลของรูปภาพ ภายในหน้ากากด้วยสมการที่ (2-7)

W_1	W_2	W_3
W_4	W_5	W_6
W_7	W_8	W_9

ภาพที่ 2-13 หน้ากากขนาด 3x3

$$R = w_1 z_1 + w_2 z_2 + \ldots + w_9 z_9$$
$$= \sum_{i=1}^{9} w_i z_i \qquad (2\text{-}7)$$

โดยกำหนดให้ตัวแปรแต่ละตัวมีความหมายดังนี้

เมื่อ Wi คือ ค่าข้อมูลภายในหน้ากาก

Zi คือ ค่าความเข้มแสงของรูปภาพภายในหน้ากาก

ส่วนขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพเชิงพื้นที่ด้วยตัวกรองแบบไม่เชิงเส้นนั้น สามารถทำได้โดยเลื่อนหน้ากากไปทีละจุดบนรูปภาพที่ต้องการปรับปรุง พร้อมกับนำข้อมูลรูปภาพภายในหน้ากากมาวิเคราะห์ตามวิธีการปรับปรุงรูปภาพ เช่น นำข้อมูลรูปภาพภายในหน้ากากมาหาค่ามัธยฐาน (Medium) หรือนำมาหาค่าน้อยสุด (Minimum) เป็นต้น แล้วนำค่าผลลัพธ์ไปแทนที่จุดศูนย์กลางของรูปภาพภายในหน้ากาก

2.4.6.2 การปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพ ด้วยตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย (Average Filter) ตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยเป็นตัวกรองแบบเชิงเส้น ที่ใช้ค่าเฉลี่ยความเข้มแสงของรูปภาพภายในหน้ากากในการลดสิ่งรบกวนในรูปภาพ โดยกำหนดค่าข้อมูลภายในหน้ากากมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยของขนาดหน้ากากที่ใช้ เช่น ถ้าใช้หน้ากากขนาด 3x3 จะกำหนดค่าข้อมูลภายในหน้ากากทั้งหมดเป็น 1/9 และถ้าใช้หน้ากากขนาด 5x5 จะกำหนดค่าข้อมูลภายในทั้งหมดเป็น 1/25 ดังภาพ 2-14 (ก) และ (ข)

$$\frac{1}{9}x \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

ภาพที่ 2-14 (ก) หน้ากากขนาด 3x3

$$\frac{1}{25}x \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

ภาพที่ 2-14 (ข) หน้ากากขนาด 5x5

เมื่อนำรูปภาพมาปรับปรุงคุณภาพด้วยตัวกรองแบบค่าเฉลี่ยแล้ว จะทำให้รูปภาพเบลอ รวมทั้งลดสัญญาณรบกวนที่เป็นจุดให้หมดไปด้วย ดังภาพ ที่ 2-14 (ข)

ภาพที่ 2-15 (ก) รูปภาพก่อนผ่านตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย

ภาพที่ 2-15 (ข) รูปภาพหลังผ่านตัวกรองแบบค่าเฉลี่ย หน้ากากขนาด 5x5

2.4.7 การตรวจจับความเคลื่อนไหว (Motion Detection) โดยทั่วไปแล้วมีหลายวิธีด้วยกัน โดยแต่ละวิธีประกอบขึ้นด้วยกับแนวคิดพื้นฐาน คือการเปรียบเทียบเฟรมภาพปัจจุบันด้วยเฟรมภาพก่อนหน้าหรือที่เรียกว่าภาพพื้นหลัง ซึ่งภาพพื้นหลังหมายถึงภาพที่ไม่มีวัตถุเคลื่อนที่โดยอาจจะมีการเก็บรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงของภาพพื้นหลัง ซึ่งเป็นกระบวนการซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ใช้ทรัพยากรหน่วยความจำเพิ่มขึ้นในการประมวลผล แต่ทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความถูกต้องมากขึ้นเช่นกัน ซึ่งเทคนิคการตรวจจับความเคลื่อนไหวโดยทั่วไปมีดังนี้

2.4.7.1 การหาผลต่างของเฟรม (Frame Difference) การแยกความแตกต่างของจุดสีระหว่างวัตถุที่เคลื่อนที่ และภาพพื้นหลังวิธีนี้จะใช้ภาพพื้นหลังที่ประมาณค่าได้เป็นเฟรมก่อนหน้าเพื่อให้ง่ายต่อการประมวลผล สำหรับขั้นตอนการประมวลผลจำเป็นจะต้องทำให้ภาพเป็นขาวดำเพื่อลดจำนวนหน่วยความจำที่ใช้เป็น 8 บิต เพื่อให้เหมาะกับแอพพลิเคชั่นที่ต้องการความเร็วในการประมวลผล ใช้ทรัพยากรหน่วยความจำน้อย และกล้องวิดีโออยู่ในตำแหน่งที่คงที่ตามสมการ

$$\left| frame_i - frame_{i-1} \right| > T \qquad (2\text{-}8)$$

เมื่อ $frame_i$ คือ เฟรมปัจจุบัน

$frame_{i-1}$ คือ เฟรมก่อนหน้า

T คือ ค่ากำหนดความแตกต่างของแสงในแต่ละเฟรม (Threshold)

2.4.7.2 เทคนิคการลบพื้นหลัง (Background Subtraction Techniques) เป็นวิธีการแยกภาพสองภาพโดยเอาพื้นหลังออก ถ้าภาพสองภาพมีพื้นหลังที่เหมือนกัน เช่นจะนำภาพที่จับได้จากกล้องมาหาความแตกต่างระหว่างเฟรม ซึ่งจะนำเทคนิคการแปลงภาพสีเป็นภาพขาวดำมาประยุกต์ใช้ คือส่วนของภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงไป หรือส่วนที่เคลื่อนที่ก็จะให้ค่าพิกเซล ในภาพมีค่ามากกว่า Threshold ซึ่งจะทำให้ ภาพที่แปลงเป็นภาพขาวดำมีลักษณะเป็นจุดสีขาวสำหรับภาพเคลื่อนไหว และเป็นจุดสีดำสำหรับ ส่วนที่อยู่คงที่ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ภาพที่ 2-16 (ก) รูปภาพต้นฉบับ

ภาพที่ 2-16 (ข) รูปภาพที่ผ่านการปรับระดับ (Threshold)

จากภาพที่ 2-16 (ก) ให้เห็นภาพที่จับจากกล้องโดยจากรูปจะมีเห็นมีคนเดินอยู่บนถนน เมื่อมีรถกำลังวิ่งสวนมาเมื่อนำภาพไปแปลงเป็นภาพขาวดำ และหาความแตกต่างของเฟรม จะได้ภาพที่ 2-16 (ข) ซึ่งจะเห็นว่าภาพในส่วนที่กำลังเคลื่อนไหวจะเป็นสีขาว ข้อเสียของวิธีการหาผลต่างของเฟรม คือในกรณีที่ภาพพื้นหลังมีความซับซ้อนไม่อยู่นิ่ง จะทำให้เกิดสัญญาณภาพรบกวนจำนวนมากในส่วนของภาพพื้นหลัง

2.4.7.3 เทคนิคการลบพื้นหลังด้วยวิธี Running Average Method เป็นกระบวนการหาภาพพื้นหลัง โดยการนำภาพพื้นหลังของเฟรมก่อนหน้ามาหาค่าเฉลี่ยซึ่งเป็นกระบวนการที่ค่อนข้างเร็วแต่มีปัญหาคือค่อนข้างที่จะเปลืองทรัพยากรหน่วยความจำ โดยความต้องการของหน่วยความจำคือ n x Size (Frame) เมื่อ n คือจำนวน เฟรม และสมการที่ใช้ในการหาพื้นหลังคือ

$$B_{i+1}=\alpha * F_i + (1-\alpha) * B_i \qquad (2\text{-}9)$$

เมื่อ B_{i+1} คือ ภาพพื้นหลังของเฟรมถัดไป

B_i คือ ภาพพื้นหลังของเฟรมปัจจุบัน

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์โดยทั่วไปมีค่าเท่ากับ 0.5

F_i คือ ค่าวัตถุที่เคลื่อนที่

ในสภาพแวดล้อมพื้นฐานซึ่งมีกล้องวางยึดไว้อยู่กับที่ Background Subtraction เป็นวิธีการขั้นพื้นฐานที่มักจะนำมาใช้ในการประมวลผลภาพ สำหรับการประยุกต์ใช้ในงานรักษาความปลอดภัย ซึ่งขั้นตอนการทำ Background Subtraction ขั้นแรกต้องศึกษา Model ของ Background ก่อน ซึ่งเรารู้ว่า Background Model เป็นการเปรียบเทียบระหว่างภาพในเฟรมปัจจุบันกับภาพพื้นหลังก่อนหน้านั้น ซึ่งได้ถูก Subtract ไว้แล้วโดยจะสมมติว่าวัตถุที่ได้จากการตัดออกไป คือวัตถุที่สนใจ (Foreground)

2.4.7.4 การหาศูนย์กลางวัตถุ (Center of the Blob) คือ การหาจุดศูนย์กลางของวัตถุ โดยวิธีการหาผมรวมของจำนวนพิกเซลตามแนวแกนตั้ง (y) และแกนนอน (x) แล้วนำไปหารกับจำนวนพิกเซลของขนาดของภาพทั้งหมดซึ่งวิธีการหาทำได้ดังนี้

ก) พื้นที่ (Area) ในการหาพื้นที่จะต้องทำให้วัตถุเป็นสีขาวและพื้นหลังเป็นสีดำ แล้วกำหนดวัตถุสีขาวให้เป็น $B(i, j)$ หรือ $f\ (i, j)\ = 1$ ดังแสดงในสมการที่ (2-10) เป็นการนับจุดขาวทั้งหมด

$$A = \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} B[i, j] \qquad (2\text{-}10)$$

เมื่อ A คือ ขนาดพื้นที่ของภาพ

$B[i, j]$ คือ วัตถุสีขาว

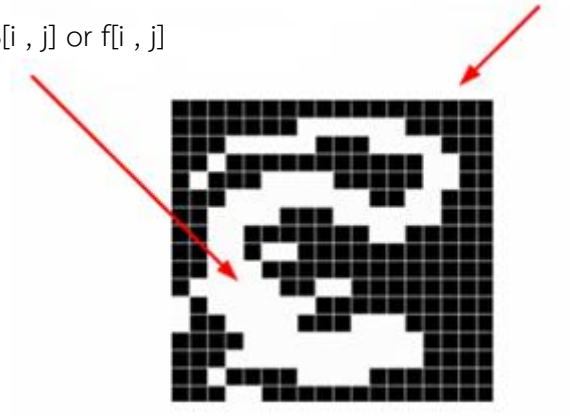
M คือ จำนวนของจุดวัตถุสีขาวของภาพนับตามแกน x

N คือ จำนวนของจุดวัตถุสีขาวของภาพนับตามแกน y

เป็นดัชนีตามแกน y แทนแถว โดย i=0 คือแถวบนสุด และ i=N-1 เป็นแถวล่างสุด และ j เป็นดัชนีตามแกน x แทนคอลัมน์ โดย j=0 เป็นคอลัมน์ซ้ายสุด และ j=M-1 เป็นคอลัมน์ขวาสุด

Foreground วัตถุสีขาว = 1 Background สีดำ = 0

วัตถุสีขาวให้เป็น B[i , j] or f[i , j]



ภาพที่ 2-17 การกำหนดวัตถุเป็นสีขาวและพื้นหลังเป็นสีดำของรูปภาพ

ข) ตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล (Center of Gravity) ในการหาศูนย์กลางของวัตถุนั้นอาศัยวิธีการหาจุดศูนย์กลางของภาพ ภาพตามแกน x และแกน y ตำแหน่งของรูปทรงแต่ละชิ้น คือ ตำแหน่งของจุดศูนย์กลาง (Centroid) เทียบกับแกนทั้งสองของระบบพิกัดฉากแสดงได้ดังสมการด้านล่างที่ (2-11)

$$\overline{x} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} jB[i, j]}{A}$$

$$\overline{y} = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{M-1} iB[i, j]}{A} \qquad (2\text{-}11)$$

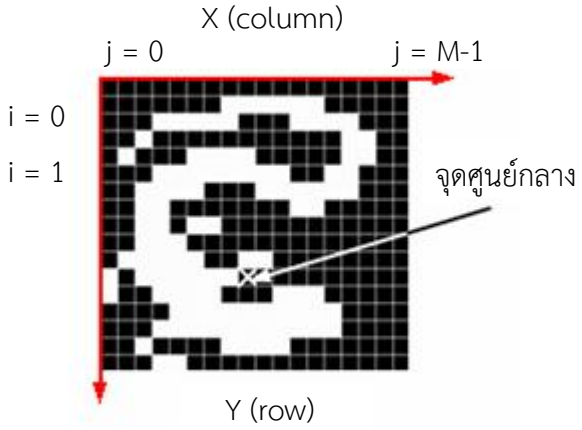
เมื่อ X คือ จุดศูนย์กลางของภาพตามแกน *x*

Y คือ จุดศูนย์กลางของภาพตามแกน *y*

iB[i, j] คือ จำนวนของจุดวัตถุสีขาวของภาพนับตามแกน *x*

jB[i, j] คือ จำนวนของจุดวัตถุสีขาวของภาพนับตามแกน *y*

A คือ ขนาดพื้นที่ของภาพ



ภาพที่ 2-18 การหาจุดศูนย์กลาง

2.4.8 การประมวลผลภาพด้วยวิธีเข้าคู่รูปแบบ (Template Matching) เป็นการทำงานของวิธีการเข้าคู่รูปแบบคือการนำรูปภาพที่ต้องการหาค่า ไปเปรียบเทียบกับรูปแบบตัวอย่าง (Template) ซึ่งรูปแบบตัวอย่างนี้ จะเก็บค่า และกำหนดลักษณะสำคัญต่างๆ ที่สามารถแยกความแตกต่างของตัวอักษรต่างๆได้และเมื่อนำภาพตั้งต้นที่มีมาเปรียบเทียบกับรูปแบบที่มีเพื่อตรวจสอบความคล้ายคลึงกันของภาพทั้งสอง ซึ่งอาศัยค่าระดับที่ตั้งขึ้นมาเพื่อตรวจสอบหรือตัดสินใจ แต่ข้อเสียของวิธีการนี้มีค่อนข้างมากซึ่งข้อเสียของวิธีการนี้คือมีความอ่อนไหวต่อข้อมูลที่มีการแทรกซ้อนขนาดและความเอียง ซึ่งปัญหาเหล่านี้สามารถแก้ได้ แต่นั่นต้องอาศัยการทำงานในขั้นตอนประมวลผลขั้นต้นที่ดี

Template Matching เป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เพราะผลที่ได้ค่อนข้างมีประสิทธิภาพ แต่ข้อเสียคือการทำงานที่ช้า เทคนิคนี้เหมาะสำหรับการหาลักษณะเฉพาะที่มีขนาดไม่ใหญ่บนภาพ เทคนิค Template Matching จะมีความคล้ายคลึงกับเทคนิคที่เรียกว่า Convolution สำหรับเทคนิค Template Matching เราจะทำการเคลื่อน Template ไปยังจุดต่างๆ จากซ้ายไปขวาบนลงล่าง เพื่อคำนวณหาค่าความเหมือนของ Template กับบริเวณต่างๆบนภาพ ซึ่งขบวนการที่ทำเช่นนี้ เรียกว่าการ Correlation และค่าความเหมือนนี้มีชื่อเรียกอีกอย่างว่า Correlation Coefficient สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2-12)

$$c = \frac{\sum_{i=1}^{W\times H}(f_i - < f >_i) \times \sum_{j=1}^{N\times M}(w_i - < w >)}{\sqrt{\sum(f_i - < f >_i)^2 \times \sum(w_i - < w >)^2}} \qquad (2\text{-}12)$$

เมื่อ c คือ ค่า Correlation Coefficient

f คือ ค่าความเข้มสีแต่ละจุดสีบนภาพ

w คือ ค่าความเข้มสีแต่ละจุดบน Template

$< f >$ และ $< w >$ คือ ค่าเฉลี่ยสีของภาพ (ขนาดเท่า Template) และTemplate ตามลำดับดังนั้นถ้าบริเวณใดของภาพเหมือนกับ Template พอดี ค่าที่ได้ก็จะมีค่าเป็น 1 แต่หากไม่เหมือนกันค่าก็จะมีค่าลดลง

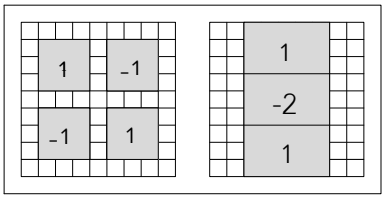
2.4.9 การประมวลผลภาพด้วยวิธี SURF (Speeded Up Robust Features : SURF) เมื่อต้องการเปรียบเทียบภาพสองภาพที่มีความแตกต่างกัน อาจเกิดปัญหาการปรับเปลี่ยนขนาดของภาพกับวัตถุที่เราสนใจเกิดขึ้น ดังนั้นภาพวัตถุที่เกิดจากกล้องกับภาพวัตถุที่ต้องการเปรียบเทียบจะมีความแตกต่างกัน เราต้องทำการปรับขนาดของภาพทั้งสองภาพให้มีขนาดที่เท่ากันเพราะถ้าขนาดของภาพมีการเปลี่ยนแปลง จะทำให้ภาพทั้งสองภาพเปรียบเทียบออกมาแล้วได้ค่าที่ไม่ตรงกันหรือไม่เท่ากัน เพื่อแก้ปัญหานี้แนวคิดการหาลักษณะเด่นของภาพแบบ SIFT (Scale-Invariant-Feature Transform) จึงเกิดขึ้น โดยอาศัยการหาลักษณะเด่นของแต่ละจุดภายในภาพ แต่อย่างไรก็ตาม มีการนำเสนออีกวิธีในการหาลักษณะเด่นของภาพนั่นคือ SURF ที่มีการทำงานและการคำนวณที่มีประสิทธิภาพมากว่าวิธี SIFT

การหาลักษณะเด่นของภาพด้วย SURF สามารถทำได้โดย วิธีดังต่อไปนี้ โดยอย่างแรก คือ กระบวนการหาลักษณะเด่นของภาพโดยการหาค่า Hessian Matrix ในแต่ละพิกเซลของภาพ ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (2-13)

$$H(x,y) = \begin{bmatrix} \frac{\delta^2 I}{\delta x^2} & \frac{\delta^2 I}{\delta x \delta y} \\ \frac{\delta^2 I}{\delta x \delta y} & \frac{\delta^2 I}{\delta y^2} \end{bmatrix} \qquad (2\text{-}13)$$

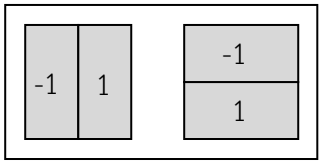
โดยที่ค่าดีเทอร์มิแนนต์ของ (Determinant) ของเมทริกซ์ (Matrix) จะทำให้ความเข้มของขอบภาพเพิ่มขึ้นหรือหนาขึ้น จากวิธีนี้ทำให้สามารถจุดแต่ละมุมภายในภาพได้ และเนื่องจากเป็นสมการอนุพันธ์กำลังสอง (Second-order) จึงต้องทำการหาโดยวิธีหน้ากากลาปาซเกาส์เซียน (Laplacian Gaussian Kernels)โดยที่ค่าความแตกต่างของหน้ากาก (Kernel) คือ σ โดยฟังชั่นของ

Hessian มีตัวแปร 3 แปรคือ $H(x, y, \sigma)$ จากนั้นทำการคำนวณค่าทั้งหมดภายในภาพ โดยใช้หน้ากากลาปาซเกาส์เซียนทำการการทำงานวนตลอดทั้งภาพ



ภาพที่ 2-19 หน้ากากเกาส์เซียน (Gaussian Kernels)

หน้ากากลาปาซเกาส์เซียนทางด้านซ้ายใช้ในการประมาณค่าอนุพันธ์กำลังสองในแนวนอนส่วนทางด้านขวาใช้ในการประมาณค่าอนุพันธ์กำลังสองในแนวตั้ง โดยกำหนดค่าหน้ากากให้มีขนาด 9x9 โดยสอดคล้องกับค่า σ = 1.2 โดยในการหาลักษณะเด่นของภาพที่ดีควรมีการเปลี่ยนแปลงของแสงในมุมมองที่น้อย เพื่อลดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นภายในภาพซึ่งการหาลักษณะเด่นด้วยวิธี SURF สามารถกำจัดลดสัญญาณรบกวนโดยใช้หน้ากากทำการวนการทำงานบริเวณจุดภายในภาพ



ภาพที่ 2-20 หน้ากาก (Kernel)

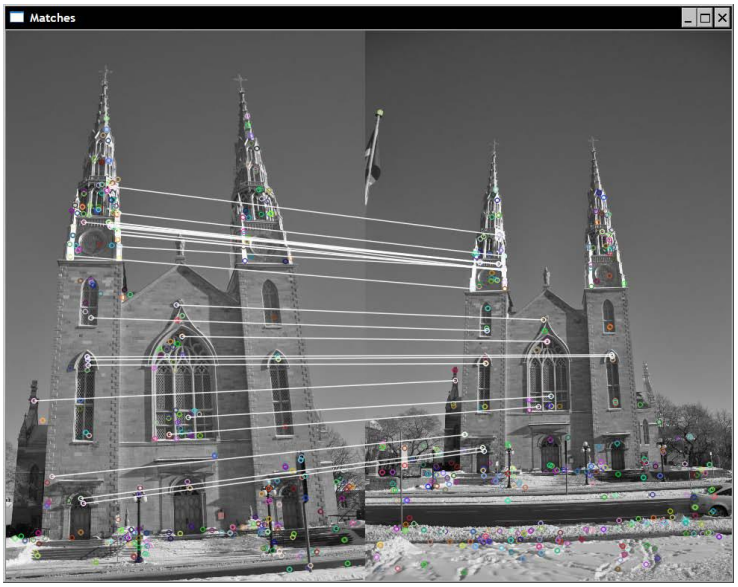
ซึ่งวิธีการอย่างแรก คือการหาค่าความแตกต่างของแสงในแนวนอน (โดยกำหนดให้เป็น dx) และในแนวตั้ง (โดยกำหนดให้เป็น dy) โดยขนาดของบริเวณใกล้เคียงภายในภาพของจุดที่เราสนใจกำหนดให้เป็นค่าเวกเตอร์ โดยค่าขนาดของแฟกเตอร์ (Factor) ของค่าคุณลักษณะของภาพเท่ากับ 20 (นั่นคือ $\sigma = 20$) และในบริเวณของภาพแบ่งออกเป็นสี่เหลี่ยมย่อยๆขนาด 4x4 แต่ละสี่เหลี่ยมมีการคำนวณโดยใช้หน้ากากขนาด 5x5 วนรอบตลอดบริเวณสี่เหลี่ยมอย่างสม่ำเสมอ (ขนาดของหน้ากากเท่ากับ 20) โดยค่าผมรวมทั้งหมดสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ค่าได้จากสมการที่ (2-14)

$$\left[\sum dx \ \sum dy \ \sum |dx| \ \sum |dy|\right] \tag{2-14}$$

โดยแบ่งออกเป็น 4x4 = 16 ของแต่ละพื้นที่ภายในภาพและควรให้ความสำคัญกับค่าจุดสำคัญ (Key- Point) ของภาพค่าน้ำหนักของหน้ากากเกาส์เซียนบริเวณจุดสำคัญเท่ากับ 3.3 (σ = 3.3) ค่า dx และ dy ใช้ในการประมาณค่าการหาลักษณะเด่นของภาพซึ่งค่าเหล่านี้สามารถคำนวณได้

ภายในบริเวณของวงกลมซึ่งมีรัศมีเท่ากับ 6σ การตอบสนองเชิงมุมในบริเวณวงกลมเท่ากับ $\frac{\pi}{3}$ (โดยที่กำหนดหน้ากากเท่ากับ 4σ)

โดยการแสดงลักษณะเด่นของ SURF และรายละเอียดของ Scale-Invariant สามารถเปรียบเทียบได้จากการแสดงในภาพที่ 2-21 โดยทำการเปรียบเทียบจุดที่ดีในภาพจำนวน 25 จุดซึ่งทำการเปรียบเทียบระหว่างภาพสองภาพที่มีขนาดของภาพที่ต่างกัน



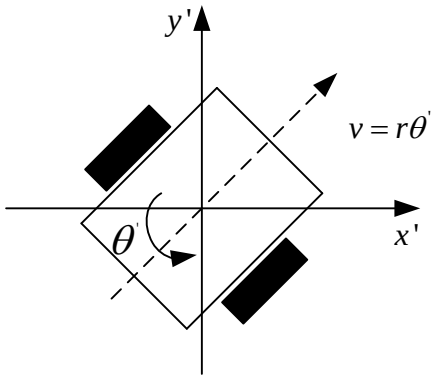
ภาพที่ 2-21 ภาพที่มีขนาดของภาพที่แตกต่างกัน

ในการหาลักษณะเด่นของภาพความแตกต่าง ระหว่างวิธี SURF และวิธี SIFT คือความเร็วและความถูกต้องแม่นยำโดยที่วิธี แบบ SURF มีลักษณะที่ดีมากกว่าคือในด้านความเร็วในการคำนวณที่สูงกว่าแบบ SIFT แต่อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปวิธีแบบ SIFT ให้ความถูกต้องในการหาจุดที่เหมาะสมในการเปรียบเทียบภาพที่ดีกว่า

2.5 รูปแบบทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์ (Mathematic Model of Robot)

ซึ่งเป็นรูปแบบการควบคุมเคลื่อนที่หุ่นยนต์ (Mobile Robot) โดยนำหุ่นยนต์ที่ออกแบบไปหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งรูปแบบทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์จะประกอบไปด้วย 3 ส่วน ดังต่อไปนี้

2.5.1 แบบจำลองทางจลนศาสตร์ของหุ่นยนต์ (Kinematics Model) คือสมการที่ใช้แปลงความเร็วเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุมของหุ่นยนต์ ให้เป็นความเร็วของล้อทั้งสองด้านของหุ่นยนต์ ดังรูปต่อไปนี้



ภาพที่ 2-22 แบบจำลองทางจลนศาสตร์ของหุ่นยนต์

จากภาพที่ 2-22 จะได้สมการต่อไปนี้

$$\dot{x}_0 cos\phi + \dot{y}_0 sin\phi - b\dot{\phi} = r\dot{\theta}_l \quad (2\text{-}15)$$

$$\dot{x}_0 cos\phi + \dot{y}_0 sin\phi - b\dot{\phi} = r\dot{\theta}_r \quad (2\text{-}16)$$

นำสมการที่ (2-15) + (2-16)

$$2\left(\dot{x}_0 \cos\phi + \dot{y}_0 \sin\phi\right) = r\left(\dot{\theta}_r - \dot{\theta}_l\right) \quad (2\text{-}17)$$

$$\nu = \frac{r}{2}\left(\dot{\theta}_r - \dot{\theta}_l\right) \quad (2\text{-}18)$$

นำสมการที่ (2-17) - (2-18)

$$\dot{\phi} = \frac{r}{W}\left(\dot{\theta}_r - \dot{\theta}_l\right) \quad (2\text{-}19)$$

จากสมการที่ (2-17) และสมการที่ (2-18) จะได้แบบจำลองทางจลนศาสตร์ของหุ่นยนต์เป็นสมการดังต่อไปนี้ ซึ่งได้อ้างอิงจาก (Koichi Yoshizawa, Hideki Hashimoto, Masayoshi Wada, and Shunji Mori, 1996)

$$\begin{pmatrix} v \\ \omega \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{r}{2} & \frac{r}{2} \\ \frac{r}{W} & \frac{-r}{W} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \omega_R \\ \omega_L \end{pmatrix} \quad (2\text{-}20)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของหุ่นยนต์

ω คือ ความเร็วในการหมุนของหุ่นยนต์

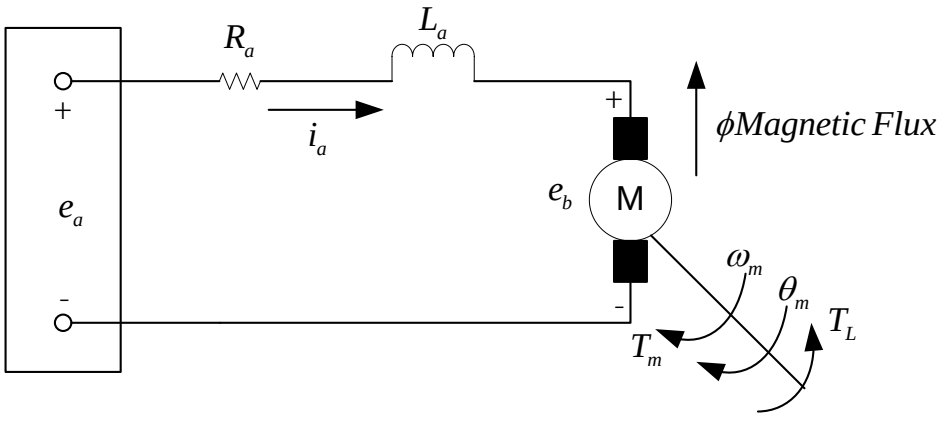
r คือ รัศมีล้อของหุ่นยนต์

W คือ ระยะห่างระหว่างล้อทั้งสองข้าง

ω_L คือ ความเร็วในการหมุนของล้อซ้าย

ω_R คือ ความเร็วในการหมุนของล้อขวา

2.5.2 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์กระแสตรง (DC motor model) คือรูปแบบการทำงานทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์กระแสตรงโดยมอเตอร์กระแสตรง มีรูปแบบทางวงจรไฟฟ้าดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 2-23 วงจรไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรง

จากภาพวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรง จะประกอบด้วยตัวต้านทาน (Resistance) ตัวเหนี่ยวนำ (Inductance) แรงดันขดลวด (Armature Voltage) และแรงดันย้อนกลับ (Back EMF) ที่เกิดจากการหมุนโรเตอร์ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีพารามิเตอร์สำคัญอื่นๆที่ใช้ในมอเตอร์กระแสตรงดังนี้

ตารางที่ 2-1 พารามิเตอร์ของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์กระแสตรง

พารามิเตอร์	คำบรรยาย	พารามิเตอร์	คำบรรยาย
R_a	ความต้านทานอาร์เมเจอร์	i_a	กระแสของอาร์เมเจอร์
L_a	การเหนี่ยวนำอาร์เมเจอร์	e_a	แรงดันอาร์เมเจอร์
K_b	ค่าคงที่แรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ	e_b	แรงดันเคลื่อนไฟฟ้ากลับ
K_i	ค่าคงที่แรงบิด	T_L	แรงบิดโหลด
J	โมเมนต์ความเฉื่อย	T_m	แรงบิดมอเตอร์
B	ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานความหนืด	ϕ	สนามแม่เหล็ก
θ_m	ระยะขจัดมอเตอร์	ω_m	ความเร็วเชิงมุมโรเตอร์

จากภาพวงจรไฟฟ้าของมอเตอร์กระแสตรงสามารถอธิบายได้ด้วยสมการดังต่อไปนี้

$$T_m = K_i i_a \tag{2-21}$$

จากกฎของ Kirchhoff เราสามารถหาอนุพันธุ์อันดับที่ 2 ได้เป็น

$$\frac{di_a(t)}{dt} = \frac{1}{L_a}e_a(t) - \frac{R_a}{L_a}i_a(t) - \frac{1}{L_a}e_b(t) \tag{2-22}$$

โดย

$$e_b(t) = K_b\omega_m(t) \tag{2-23}$$

$$\frac{d\theta_m(t)}{dt} = \omega_m(t) \tag{2-24}$$

จากกฎของนิวตัน $\left(\sum F = i_a \omega\right)$

$$\frac{d^2\theta_m(t)}{dt^2} = \frac{1}{J_m}T_m(t) - \frac{1}{J_m}T_L(t) - \frac{B_m}{J_m}\frac{d\theta_m(t)}{dt} \tag{2-25}$$

จากสมการที่ (2-21) - (2-25) กำหนดให้ x_1 และ x_2 คือ ω_m และ i_a เพราะฉะนั้นจะได้สมการมอเตอร์กระแสตรงจึงสามารถจัดอยู่ในรูปแบบของเมตริกซ์ดังต่อไปนี้

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} \dot{x}_1(t) \\ \dot{x}_2(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_a}{L_a} & -\frac{K_b}{L_b} \\ \frac{K_i}{J} & -\frac{B}{J} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L_a} \\ 0 \end{bmatrix} u(t) \tag{2-26}$$

$$y(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} \tag{2-27}$$

2.5.3 แบบจำลองทางพลศาสตร์ของหุ่นยนต์

แบบจำลองทางพลศาสตร์ของหุ่นยนต์ (Robot Dynamic Model) คือสมการที่ใช้อธิบายแรงและการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งจะพิสูจน์ตามกฎของนิวตันได้ดังต่อไปนี้

$$f_r + f_l = m\dot{v} \tag{2-28}$$

$$\frac{W}{2}(f_r - f_l) = I\dot{\omega} \tag{2-29}$$

เมื่อ f_r คือ แรงในการขับเคลื่อนล้อขวา หน่วย นิวตัน (N)

f_l คือ แรงในการขับเคลื่อนล้อซ้าย หน่วย นิวตัน (N)

I คือ โมเมนต์ความเฉื่อยของโครงสร้างหุ่นยนต์ หน่วย กิโลกรัมจุดเซนติเมตรยกกำลังสอง $(kg.cm^2)$

W คือ ระยะห่างระหว่างล้อทั้งสองข้าง หน่วย เซนติเมตร (cm)

M คือ มวลของหุ่นยนต์ หน่วย กิโลกรัม (kg)

ถ้านำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์กระแสตรง มาประยุกต์เข้ากับสมการที่ (2-28) และ (2-29) จะได้แบบจำลองทางพลศาสตร์ของหุ่นยนต์ ในเทอมของมอเตอร์กระแสตรงดังนี้

$$\left(k^2 J_1 + J_2 + \frac{M}{2} r^2\right)\dot{v} + \left(k^2 B_1 + B_2 + \frac{k_m^2 k^2}{R_a}\right) v = \frac{k_m k}{R_a} \frac{r\left(V_{ar} + V_{al}\right)}{2} \qquad (2\text{-}30)$$

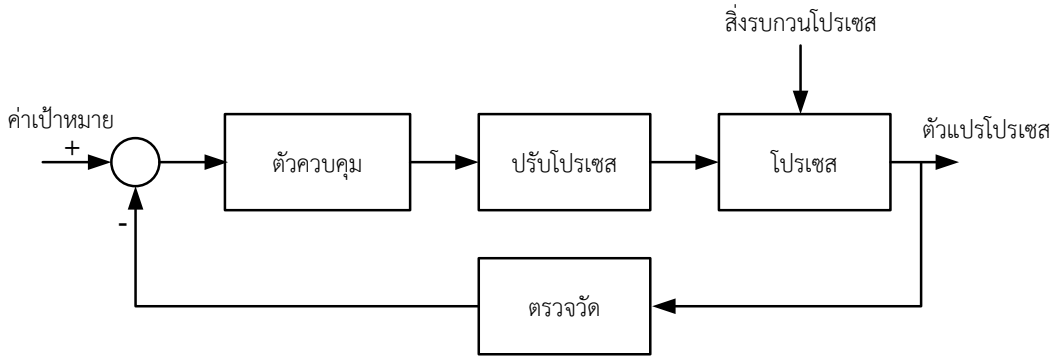
$$\left(k^2 J_1 + J_2 + \frac{2I}{W^2} r^2\right)\dot{\omega} + \left(k^2 B_1 + B_2 + \frac{k_m^2 k^2}{R_a}\right) \omega = \frac{k_m k}{R_a} \frac{r\left(V_{ar} - V_{al}\right)}{W} \qquad (2\text{-}31)$$

ตารางที่ 2-2 พารามิเตอร์ของแบบจำลองทางพลศาสตร์ของหุ่นยนต์กับมอเตอร์กระแสตรง

พารามิเตอร์	คำบรรยาย	พารามิเตอร์	คำบรรยาย
J_1	โมเมนต์ความเฉื่อยของล้อด้านซ้าย	J_2	โมเมนต์ความเฉื่อยของล้อด้านขวา
k_m	ค่าคงที่แรงบิด	V_{al}	แรงดันอินพุทของมอเตอร์ทางซ้าย
k	อัตราทดเกียร์	R_a	ความต้านทานอาร์เมเจอร์
V_{ar}	แรงดันอินพุทของมอเตอร์ทางขวา	W	ระยะห่างระหว่างล้อ
B_1	ค่าคงที่แรงเสียดทานความหนืดของล้อซ้าย	B_2	ค่าคงที่แรงเสียดทานความหนืดของล้อขวา

2.6 การควบคุมแบบป้อนกลับ (Feedback Control)

ในการควบคุมแบบป้อนกลับ ตัวควบคุมจะพยายามรักษาให้ค่าตัวแปรโปรเซสมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายอยู่เสมอ (Desired Value หรือ Set Point: SP) ในกรณีที่เกิดสิ่งรบกวนโปรเซสหรือมีการเปลี่ยนค่าเป้าหมาย จะทำให้ตัวแปรโปรเซสมีค่าต่างจากค่าเป้าหมายไปขณะหนึ่งและตัวควบคุมจะพยายามควบคุมให้ตัวแปรโปรเซสมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมาย ลักษณะการทำให้ค่าตัวแปรโปรเซสเข้าใกล้ค่าเป้าหมายนี้ จะแตกต่างกันตามคุณสมบัติของระบบควบคุม บางระบบควบคุมอาจควบคุมให้ตัวแปรโปรเซสเข้าหาค่าเป้าหมายได้เร็ว แต่บางระบบอาจทำได้ดีกว่าซึ่งสามารถทดสอบความสามารถของระบบควบคุมโดยดูที่ผลตอบสนองของการควบคุม



ภาพที่ 2-24 บล็อกไดอะแกรมหลักการควบคุมแบบป้อนกลับ

2.6.1 การควบคุมแบบเปิด-ปิด (ON OFF Control)

เป็นการควบคุมที่ง่ายที่สุดของการควบคุมแบบป้อนกลับ เหมาะสำหรับการควบคุมที่ราคาถูก แต่ผลการควบคุมไม่ดีนัก มักจะพบการควบคุมแบบนี้ในเครื่องใช้ภายในบ้าน เช่น เตารีด ตู้เย็น ตู้อบ โดยสัญญาณควบคุมมีเพียงสองสถานะคือ ON กับ OFF สัญญาณควบคุมนี้จะทำให้ตัวปรับโปรเซสทำงานเต็มที่หรือหยุดทำงานอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น

สมการของสัญญาณควบคุม ของการควบคุมแบบเปิด-ปิด แสดงดังนี้

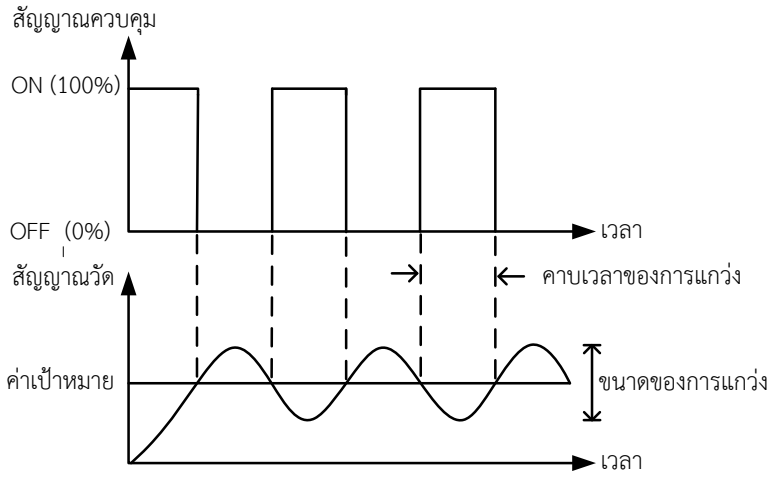
MV(t) คือ ON (100%) เมื่อ PV < SP

MV(t) คือ OFF (0%) เมื่อ PV > SP

MV(t) คือ สัญญาณควบคุมที่เวลาใดๆ

SP คือ ค่าเป้าหมาย

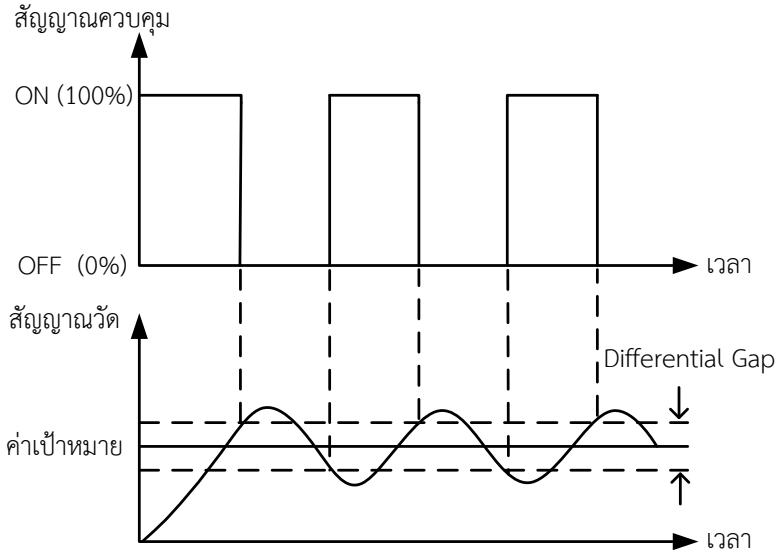
PV คือ สัญญาณวัด



ภาพที่ 2-25 ผลของการควบคุมแบบเปิด-ปิด

การนำเอาการควบคุมแบบ เปิด-ปิด ไปใช้งานความเที่ยงตรงจะไม่ดีนัก ตัวแปรโปรเซสจะแกว่งรอบค่าเป้าหมายโดยมีคาบเวลา (Period) ของการแกว่งขึ้นอยู่กับค่า Dead Time ของโปรเซส ถ้า Dead Time มีค่ามาก คาบเวลาของการแกว่งก็จะมีค่ามากเช่นกัน

ข้อสังเกตที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็ คือตัวปรับโปรเซสจะทำงานเปิด- ปิดบ่อยครั้ง โดยมีความถี่ (Frequency) ในการเปิด-ปิด เท่ากับความถี่ของการแกว่งในทางปฏิบัติจะใช้การควบคุมแบบเปิด-ปิด ได้ในโปรเซสที่มีค่า Capacity Lag มากๆ และค่า Dead Time ปานกลางหรือการควบคุมแบบง่ายๆ สิ่งรบกวนโปรเซสไม่มากนัก เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดมากและตัวปรับโปรเซสจะได้ไม่ทำงานไม่บ่อยครั้งจนเกินไปด้วย ในบางโปรเซสที่มี Capacity Lag มาก แต่ Dead Time น้อย อาจต้องใช้การควบคุมแบบเปิด-ปิด ชนิด Differential Gap



ภาพที่ 2-26 ผลของการควบคุมแบบเปิด-ปิด ชนิด Differential Gap

2.6.2 การควบคุมแบบพี (Proportional Control : P Control)

ข้อเสียของการควบคุมแบบ เปิด-ปิด คือมีการแกว่งของค่าตัวแปร หรือสัญญาณวัดรอบค่าเป้าหมาย เนื่องจากสัญญาณควบคุมมีแค่สองค่า ON หรือ OFF ขณะที่สัญญาณวัดมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย สัญญาณควบคุมจะมีค่ามากหรือน้อยเกินไปไม่สมดุลกับค่าความผิดพลาด

เพื่อกำจัดการแกว่งของตัวแปรโปรเซส ควรกำหนดให้สัญญาณควบคุมมีขนาดเป็นสัดส่วนเหมาะสมกับขนาดของความผิดพลาด ขณะที่สัญญาณวัดมีค่าเข้าใกล้ค่าเป้าหมาย การควบคุมที่ใช้หลักการนี้เรียกว่าการควบคุมแบบพี ซึ่งพบการควบคุมแบบพีในงานควบคุมระดับน้ำในถังเก็บและการควบคุมแรงดันของก๊าซในถัง

สมการของสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบพี แสดงได้ดังนี้

$$MV(t) = K_p e(t) + b \tag{2-32}$$

$$e(t) = SP - PV \tag{2-33}$$

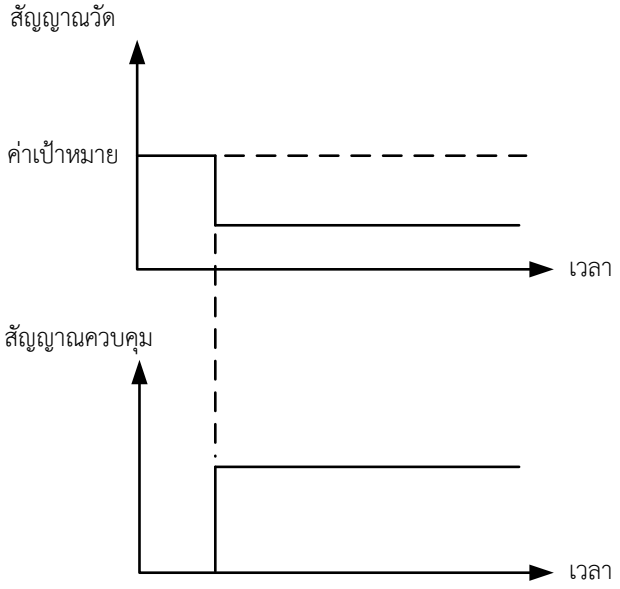
เมื่อ K_p คือ Proportional Gain

$e(t)$ คือ ค่าผิดพลาดที่เวลาใดๆ

b คือ ค่าไบแอส (Bias) เป็นค่าสัญญาณควบคุมขณะที่ไม่มีค่าผิดพลาด

บางครั้งอาจจะพบคำว่า Proportional Band (PB) แทนที่คำว่า Proportional Gain โดยมีความสัมพันธ์ระหว่าง Proportional Band กับ Proportional Gain แสดงได้ด้วยสมการที่ (2-34)

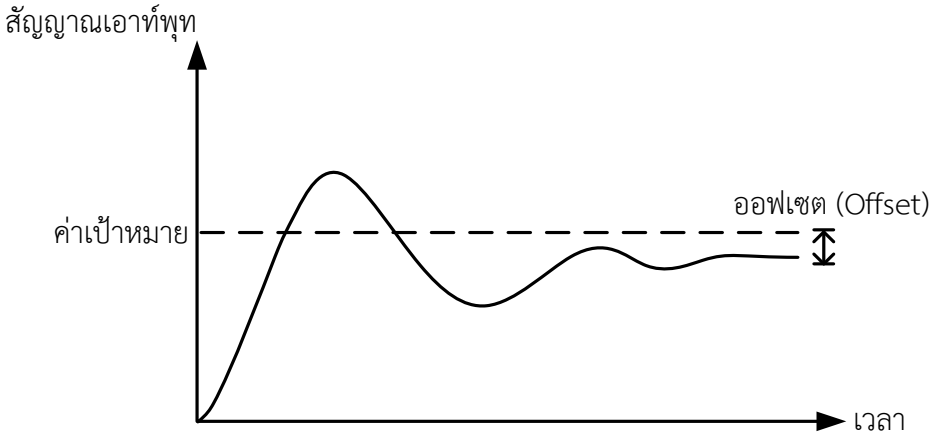
$$PB = \frac{100}{K_p} \tag{2-34}$$



ภาพที่ 2-27 ผลการควบคุมแบบพี

การควบคุมแบบพี โดยทั่วไปแล้วสัญญาณวัดของตัวแปรโปรเซสจะมีค่าเท่ากับค่าเป้าหมายที่สภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมค่าใดค่าหนึ่งเท่านั้น ถ้าสภาวะการทำงานและสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไปจากนี้สัญญาณวัดจะมีค่าต่างไปจากค่าเป้าหมายที่สภาวะสมดุลใหม่ ค่าความแตกต่างระหว่างสัญญาณวัดกับค่าเป้าหมายที่สภาวะสมดุลใหม่เรียกว่าออฟเซต (Offset) ขนาดของออฟเซตจะขึ้นอยู่กับการปรับค่า K_p และขนาดของสิ่งรบกวนโปรเซส ถ้า K_p มีค่าน้อย ออฟเซตจะมีค่า

มาก ในทางกลับกัน ถ้า K_p มีค่ามากออฟเซตก็ลดลง อย่างไรก็ตาม K_p มีค่ามากไปสัญญาณวัดจะเกิดการแกว่ง ทำให้การควบคุมแบบพีทำงานเหมือนการควบคุมแบบเปิด-ปิด



ภาพที่ 2-28 ผลของการเกิดออฟเซต ในการควบคุมแบบพี

ข้อดีของการควบคุมแบบพีเมื่อเทียบกับการควบคุมแบบ เปิด-ปิด คือ ตัวแปรโปรเซสจะมีเสถียรภาพดีกว่า ถ้าปรับค่า K_p ได้เหมาะสมแต่มีข้อเสียคือเกิดออฟเซตการควบคุมแบบนี้เหมาะกับโปรเซสที่มีสิ่งรบกวนโปรเซสไม่มากนัก Dead Time มีค่าน้อย และ Capacity Lag มีค่าปานกลาง

2.6.3 การควบคุมแบบพีไอ (Proportional Integral Control : PI Control)

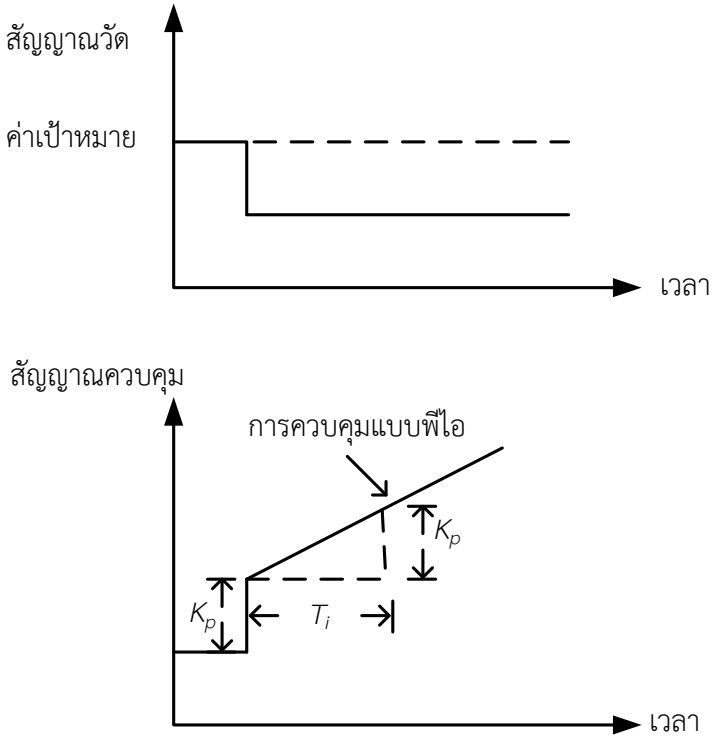
ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่า การควบคุมแบบเปิด-ปิด จะมีออฟเซตเกิดขึ้น ถ้ามีสิ่งรบกวนโปรเซสเพื่อกำจัดออฟเซตโดยไม่ต้องปรับตั้งค่าไบแอสที่ตัวควบคุมจำเป็นต้องทำให้ตัวควบคุมสามารถปรับตั้งค่าไบแอสได้โดยอัตโนมัติ การควบคุมดังกล่าวได้แก่ การควบคุมแบบพีไอ

การควบคุมแบบพีไอ มี Integral Action หรือ Reset Action เพิ่มเข้าไปกับการควบคุมแบบพี ระบบควบคุมส่วนมาก มักจะใช้การควบคุมแบบพีไอในการควบคุมอัตราการไหลและแรงดันของของเหลว

สมการของสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบพีไอ แสดงได้ดังนี้

$$MV(t) = K_p e(t) + \frac{K_p}{T_i}\int_0^t e(t)dt \qquad (2\text{-}35)$$

T_i คือ ผลรวมของความผิดพลาดในทุกช่วงเวลา



ภาพที่ 2-29 ผลการควบคุมแบบพีไอ

ขนาดของ Integral Action ขณะใดขณะหนึ่งจะไม่สัมพันธ์กับค่าความผิดพลาดขณะนั้น แต่เป็นสัดส่วนโดยตรงกับขนาดของความผิดพลาดสะสม ผลของ Integral Action เหมือนการปรับค่าไบแอสจนกระทั่งค่าความผิดพลาดหมดไป และผลการตอบสนองของ Integral Action ขึ้นอยู่กับการปรับค่า T_i ถ้า T_i มีค่าน้อยการตอบสนองจะมีค่ามาก

ในระบบควบคุมจะพบว่า Integral Action สามารถกำจัดออฟเซตให้หมดไป โดยมีความไวในการกำจัดค่าออฟเซตขึ้นอยู่กับค่า T_i ถ้า T_i มีค่าน้อยการกำจัดออฟเซตจะทำได้รวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าค่า T_i มีค่าน้อยเกินไปจะทำให้ตัวแปรโปรเซสเกิดการแกว่ง และการเพิ่ม Integral Action จะเหมือนเป็นการเพิ่ม Capacity Lag เข้าไปในระบบควบคุมทำให้ตัวแปรโปรเซสเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ค่าเป้าหมายได้ช้าลง

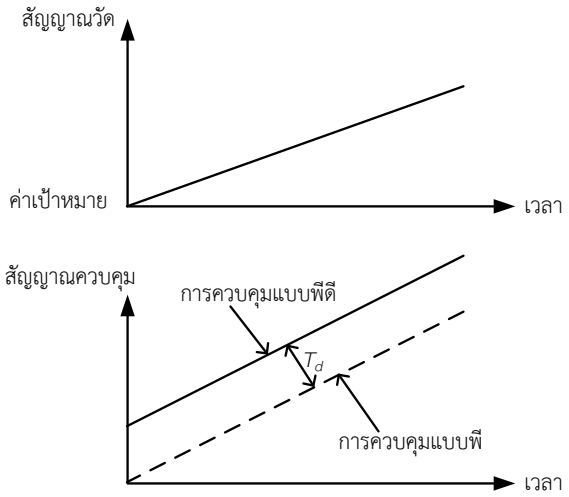
2.6.4 การควบคุมแบบพีดี (Proportional Derivative Control : PD Control)

การควบคุมแบบพีดี จะช่วยปรับปรุงผลตอบสนองชั่วขณะของระบบทำให้การควบคุมเข้าสู่เป้าหมายที่ต้องการรวดเร็วยิ่งขึ้น เนื่องจากการควบคุมแบบพีดีมีคุณสมบัติในการคาดการล่วงหน้าถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น และสร้างสัญญาณควบคุมเพื่อลดค่าผิดพลาดล่วงหน้าทันที

สมการของสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบพีดี แสดงได้ดังนี้

$$MV(t) = K_p e(t) + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2\text{-}36)$$

Td คือ ความชันของความผิดพลาดทุกๆเวลา



ภาพที่ 2-30 ผลของการควบคุมแบบพีดี

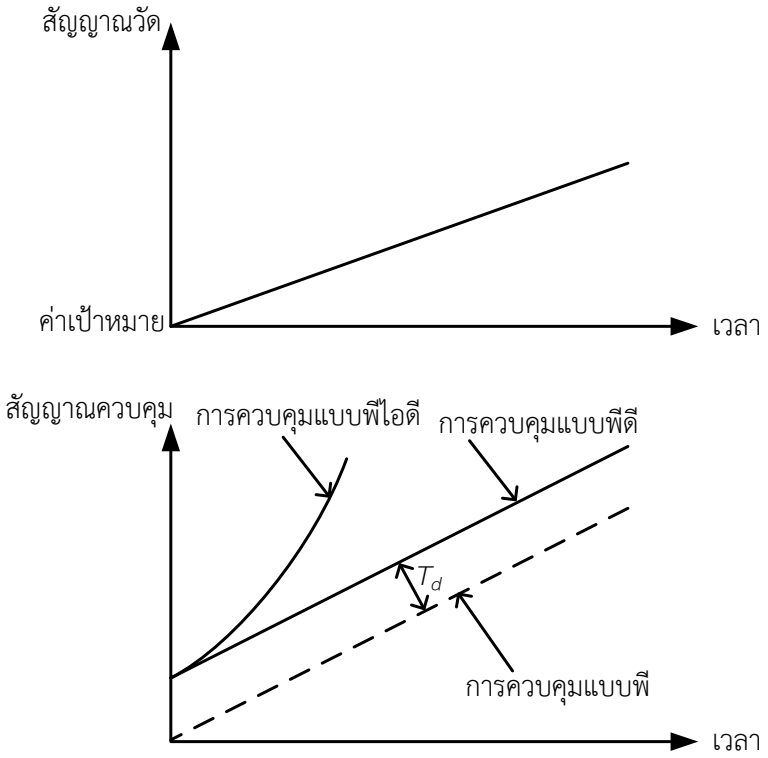
ผลตอบสนองของ Derivative Action จะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด กรณีที่ค่าเป้าหมายมีค่าคงที่และสัญญาณวัดไม่เปลี่ยนแปลง Derivative Action จะไม่มีผล เมื่อสัญญาณวัดเกิดการเปลี่ยนแปลง Derivative Action จะเพิ่มหรือลดสัญญาณควบคุมตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณวัด

2.6.5 การควบคุมแบบพีไอดี (Proportional Integral Derivative Control: PID Control)

ในการควบคุมแบบพีไอจะทำให้ตัวควบคุมตอบสนองต่อความผิดพลาดช้าลง กรณีที่โปรเซสช้าตอบสนองช้าจำเป็นต้องเพิ่ม Derivative Action เพื่อลดความช้าของระบบควบคุมการควบคุมแบบนี้เรียกว่า การควบคุมแบบพีไอดี จะพบการควบคุมแบบนี้ในงานควบคุมอุณหภูมิเป็นส่วนใหญ่

สมการของสัญญาณควบคุมของการควบคุมแบบพีไอดี แสดงได้ดังนี้

$$MV(t) = K_P e(t) + \frac{K_p}{T_i}\int_0^t e(t)dt + K_p T_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2\text{-}37)$$



ภาพที่ 2-31 ผลของการควบคุมแบบพีไอดี

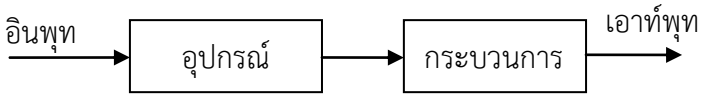
เมื่อเพิ่ม Derivative Action เข้าไปในการควบคุมแบบพีไอจะทำให้ผลตอบสนองต่อสิ่งรบกวน (Disturbance) ไวขึ้นและสัญญาณวัดเปลี่ยนแปลงสู่ค่าเป้าหมายไว อย่างไรก็ตามถ้าปรับตั้งค่า Td มากเกินไปสัญญาณวัดหรือตัวแปรโปรเซสอาจจะแกว่งได้

2.7 ลักษณะการควบคุมหุ่นยนต์

วิธีการที่จะควบคุมพารามิเตอร์หรือสัญญาณต่างๆ ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการนั้น สามารถกระทำได้ 2 วิธีด้วยกันคือ การควบคุมแบบเปิด (Open-loop System) และการควบคุมแบบปิด (Closed-loop System) ดังนี้

2.7.1 การควบคุมแบบเปิด (Open-loop System)

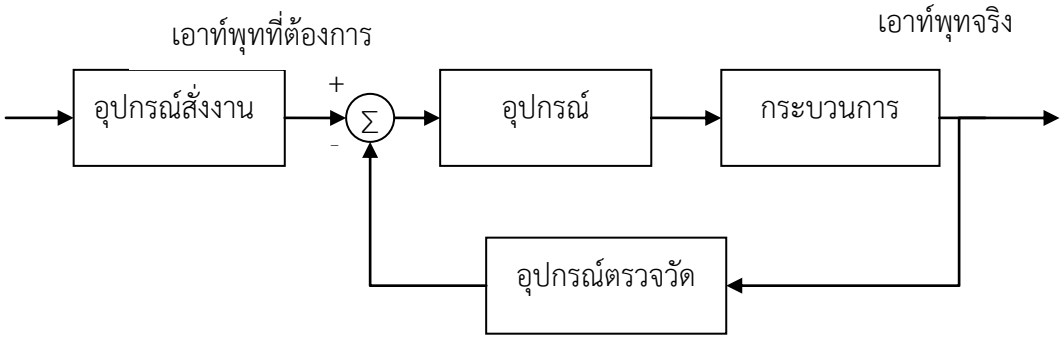
เป็นระบบที่ที่ควบคุมการทำงานด้วยสวิทช์ เปิด-ปิด หรือการปรับค่าความเร็วอย่างง่ายโดยปราศจากข้อมูลป้อนกลับ เช่น สวิทช์แสงสว่าง สวิทช์หรี่ไฟ คันเร่งเครื่องยนต์ ชุดควบคุมระดับเสียงวิทยุและโทรทัศน์ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ กลไกหยุด ก๊อกน้ำระบบส่งถ่ายกำลังในรถยนต์เป็นต้น



ภาพที่ 2-32 ระบบการควบคุมแบบลูปเปิด

2.7.2 การควบคุมแบบปิด (Closed-loop System)

เป็นระบบที่มีเซ็นเซอร์อยู่ภายในเพื่อตรวจสอบว่าหุ่นยนต์ทำงานได้ดีเพียงใด เซ็นเซอร์อาจจะมีลักษณะของการทำงานอย่างง่ายๆ เช่น ลิมิตสวิทช์ หรือการทำงานที่ซับซ้อนยิ่งขึ้น เช่น ฮีทเตอร์พร้อม เทอร์โมสตัส เตาอบที่มีเทอร์โมสตัส มอเตอร์กระแสตรงที่มี เอ็นโค้ดเดอร์ มอเตอร์ที่มีลิมิตสวิทช์ เกียร์อัตโนมัติ เป็นต้น



ภาพที่ 2-33 ระบบการควบคุมแบบลูปปิด

ระบบปิด อย่างน้อยจะต้องประกอบด้วย 6 ส่วน ดังนี้ คือ คำสั่งหรือสัญญาณอินพุท ตัวเปรียบเทียบ ภาคขยายสัญญาณ อุปกรณ์เอาท์พุท เซ็นเซอร์ และสัญญาณป้อนกลับคำสั่งหรือสัญญาณอินพุทภายในจะระบุตำแหน่ง ความเร็วหรือสภาวะของเครื่องจักรสัญญาณป้อนกลับจะระบุว่าเครื่องจักรทำงานตามคำสั่งหรืออินพุทได้ดีหรือไม่ โดยส่งสัญญาณของตำแหน่งความเร็วหรืออะไรก็ได้ที่เกี่ยวกับเครื่องจักรกลตัวเปรียบเทียบ จะทำหน้าที่เปรียบเทียบสัญญาณอินพุทกับสัญญาณป้อนกลับ ถ้าสัญญาณตรงกันตัวเปรียบเทียบจะสั่งไม่ให้สัญญาณออกทำให้อุปกรณ์เอาท์พุทหยุดทำงาน ถ้าสัญญาณแตกต่างกันตัวเปรียบเทียบก็จะส่งสัญญาณบางอย่างที่แตกต่างกันออกไปทำให้อุปกรณ์เอาท์พุททำงานต่อไป

ภาคขยายสัญญาณจะขยายสัญญาณของตัวเปรียบเทียบ ให้มีพลังงานเพียงพอที่จะไปกระตุ้นให้อุปกรณ์เอาท์พุททำงานได้อุปกรณ์เอาท์พุทอาจเป็นมอเตอร์หรืออุปกรณ์อะไรก็ได้ที่สามารถควบคุมการทำงานโดยเซ็นเซอร์ซึ่งเป็นอุปกรณ์อินพุทจากภายนอกทำหน้าที่ ควบคุมอุปกรณ์และระบบให้

ทำงานตามเงื่อนไขของคำสั่งมอเตอร์ที่ใช้ในระบบ Closed-loop เรียกว่า เซอร์โวมอเตอร์ ซึ่งจะเป็นมอเตอร์กระแสตรง มอเตอร์กระแสสลับ สเต็ปเปอร์มอเตอร์ หรือไฮดรอลิกส์มอเตอร์ ซึ่งมอเตอร์เหล่านี้จะต้องมีระบบป้อนกลับเพื่อให้ตรวจสอบการทำงานได้ ซึ่งโดยทั่วไปจะใช้แผ่นเอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder disk)

2.8 การควบคุมด้วยฟัซซี่ (Fuzzy Logic Controller)

เซตแบบฉบับ (Classical set) คือ เซตที่มีขอบเขต ตัวอย่างเช่น เซต A มีขอบเขตมีค่ามากกว่า 6 แสดงดังสมการที่ 2-38

$$A=\{(x)>6\} \tag{2-38}$$

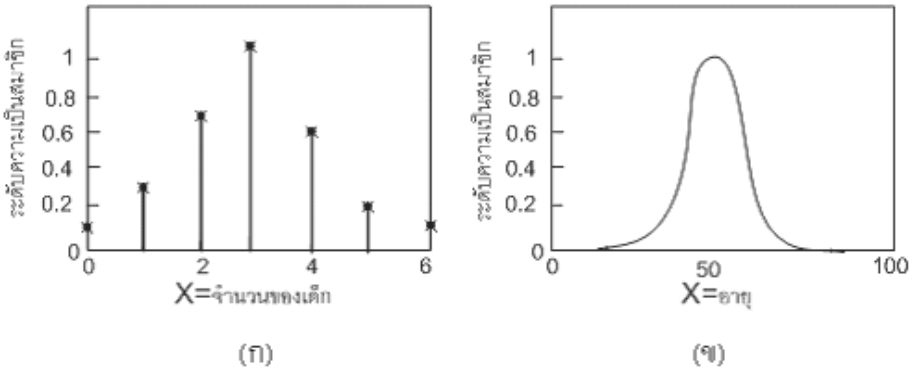
2.8.1 นิยามพื้นฐานและคำศัพท์

นิยาม ฟัซซี่เซต และ ฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

ให้ X เป็นเซตที่ไม่ว่างโดยที่ฟัซซี่เซต A สามารถแสดงลักษณะเฉพาะได้จากฟังก์ชันความเป็นสมาชิก

$$A=\{(x,\mu_A(x))\perp X\in x\} \tag{2-39}$$

เมื่อ $A\mu X$ สามารถตีความเป็นค่าของความเป็นสมาชิกภาพของตัวประกอบ x ใน ฟัซซี่เซต A สำหรับแต่ละ (อ่านว่า “x เป็นสมาชิกของ A”) ฟัซซี่เซต สามารถเขียนเป็นเซตของคู่ลำดับ (tuples) เมื่อ A หมายถึงฟัซซี่เซต A และ x หมายถึงสมาชิกของเซต (set membership) μ A (x) หมายถึงฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) μ A (x) บางครั้งแทนด้วย A(x) X หมายถึงเอกภพสัมพัทธ์ (universe) หรือประชากร



ภาพที่ 2-34 (ก) A=“จำนวนของเด็กในครอบครัว” **(ข)** “จุดกึ่งกลางของอายุเป็น 50”

นิยาม ซัพพอร์ตของฟัซซี่เซต (Support of Fuzzy Set) ซัพพอร์ตของฟัซซี่เซตคือคลิปเซตของสมาชิก x ในเอกภพสัมพัทธ์ ที่มีอัตราเป็น สมาชิกของฟัซซี่เซต มากกว่า 0 เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ดังนี้

$$\text{Support } (A) = \{x \mu A | (x) > 0\} \quad (2\text{-}40)$$

นิยาม ความสูงของฟัซซี่เซต (Core) คือ ศูนย์กลางของฟัซซี่เซต A คือ เซตของ x ทั้งหมดใน X ดังเช่น (...) $A \mu X$ = Core (A)

$$\text{Core } (A) = \{x \mu A | (x) > 1\} \quad (2\text{-}41)$$

นิยาม นอร์มอล (Normal) คือ ฟัซซี่เซต A จะถูกเรียกว่านอร์มอล ก็ต่อเมื่อความสูงเท่ากับหนึ่ง สามารถหาจุด $x \in X$ ดังเช่น $\mu_A(x) = 1$

นิยาม จุดแบ่งของฟัซซี่ (Crossover Point of Fuzzy Set) จุดแบ่งของฟัซซี่ คือจุดใด ๆใน เอกภพสัมพัทธ์ที่มีอัตราความเป็นสมาชิกเท่ากับ 0.5

$$\text{Crossover } (A) = \{x \mu_A | (x) = 0.5\} \quad (2\text{-}42)$$

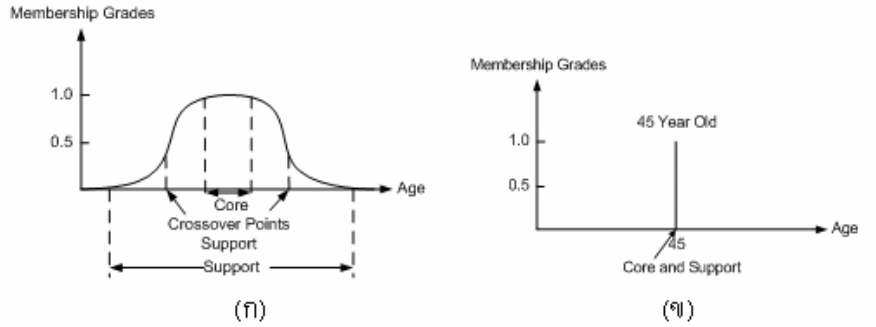
นิยาม ฟัซซี่เซตซิงเกิลตัน (Fuzzy Singleton) คือซัพพอร์ตของฟัซซี่ ที่มีสมาชิกเพียงตัวเดียวใน X ด้วย $\mu_A(x) = 1$ภาพที่ 2-34(ก) และ 2-34 (ข) แสดง ศูนย์กลาง, ซัพพอร์ตและจุดแบ่งของฟัซ-ซี่ แบบฟังก์ชันระฆังคว่ำ โดยมีอายุหนุ่ม และมีฟัซซี่เซตซิงเกิลตันที่ อายุ 45 ปี

นิยาม $\alpha - cut$ เซตของฟัซซี่เซต ($\alpha - cut$ Set of Fuzzy Set) คือคลิปเซตของสมาชิกของ x ทั้งหมดที่มีอัตราความเป็นสมาชิกมากกว่าหรือเท่ากับ α เขียนแทนด้วย

$$A_a = \{x \mu_a | (x) \geq \alpha\} \quad (2\text{-}43)$$

$$A'_a = \{x \mu_a | (A) \alpha\} \quad (2\text{-}44)$$

Support (A) = A'_0 และ core (A) = A_1

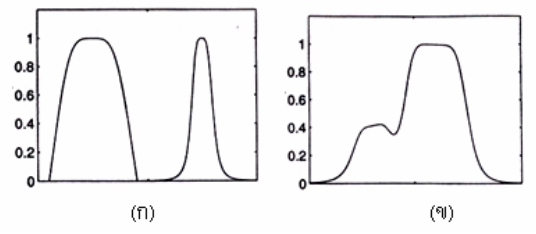


ภาพที่ 2-35 (ก) ความสูงของฟัซซี่เซต ซัพพอร์ต **ภาพที่ 2-35 (ข)** จุดแบ่งของฟัซซี่

นิยาม คอนเวกซ์ฟัซซี่ คือฟัซซี่เซต A จะเป็นคอนเวกซ์ได้ถ้า $x_1 x_2 \in x$ และ $\lambda \in$ [0,1]

$$u_A\left(\lambda x_1+(1-\lambda)x_2\right)\geq \min\left\{u_A(x_1),u_A(x_2)\right\} \quad (2\text{-}45)$$

$$f\left(\lambda x_1+(1-\lambda)x_2\geq \lambda f(x_1)+(1-\lambda)f(x_2)\right) \quad (2\text{-}46)$$



ภาพที่ 2-36 (ก) สองคอนเวกซ์ความเป็นสมาชิก **ภาพที่ 2-36 (ข)** ไม่เป็นคอนเวกซ์สมาชิก

2.8.2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุท เป็นฟังก์ชันที่ใช้แปลงตัวแปรอินพุท e และ Δe ให้อยู่ในฟัซซี่เซต มีข้อกำหนดดังนี้

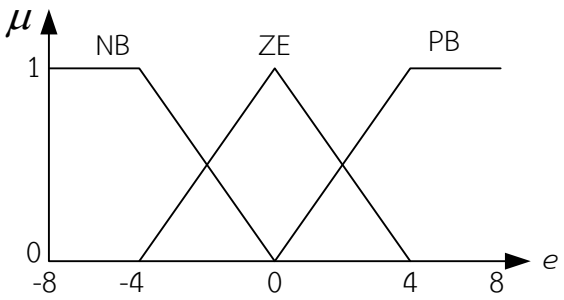
2.8.2.1 กำหนดย่านของเอกภพสัมพัทธ์ของค่าผิดพลาด e เท่ากับ [-1, 1] เอกภพพัทธ์ของอัตราการผิดพลาด Δe เท่ากับ [-1, 1]

2.8.2.2 มีการกระจายแบบเชิงเส้น มีการทับกันแต่ละฟังก์ชัน 50 %

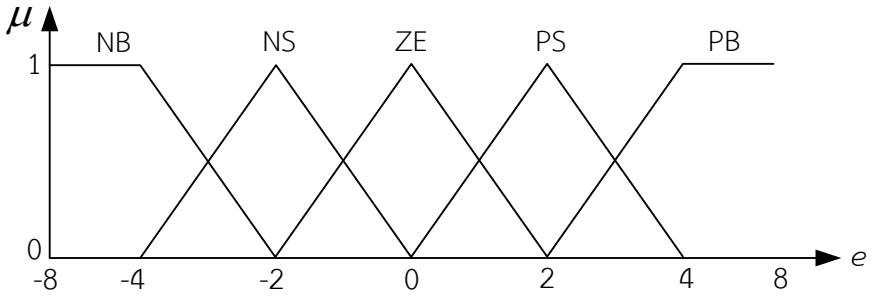
2.8.2.3 จำนวนเทอมของฟัซซี่เซต 3, 5, 7 ของเทอมและกำหนดค่ากฎ 3, 5, 7 ระดับ (ดังในรูปที่ 2-27, 2-28, 2-129, 2-30, 2-31)

ตารางที่ 2-3 ตัวอย่างการตั้งค่ากฎของฟัซซี่เซตในแต่ละระดับ

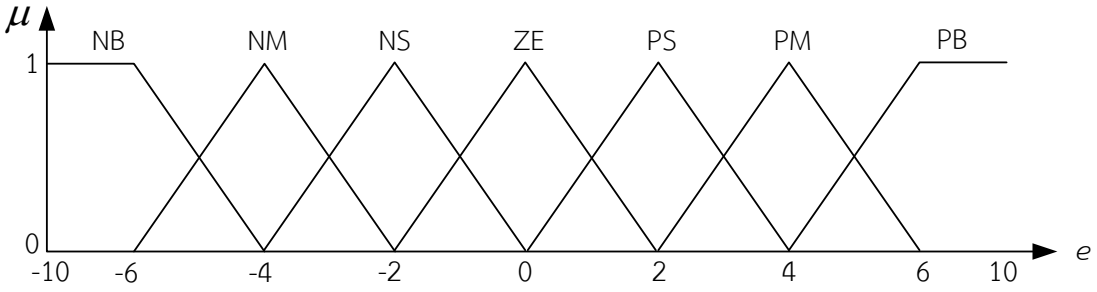
3 ระดับ	5 ระดับ	7 ระดับ
NB=Negative Big	NB=Negative Big	NB=Negative
Ze=Zero	NS=Negative Small	NM=Negative
Medium PB=Positive Big	ZE=Zero	NS=Negative Small
PS=Positive Small	ZE=Zero	
PB=Positive Big	PS=Positive Small	
PM=Positive Medium	PB=Positive Big	



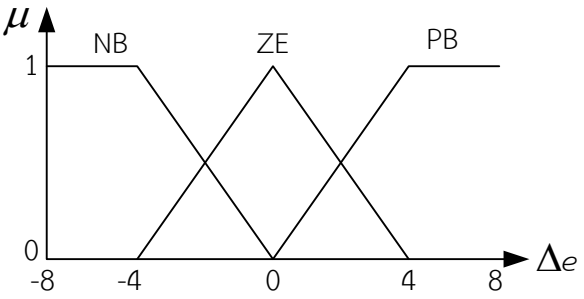
ภาพที่ 2-37 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าผิดพลาด (e) แบบ 3 สมาชิก



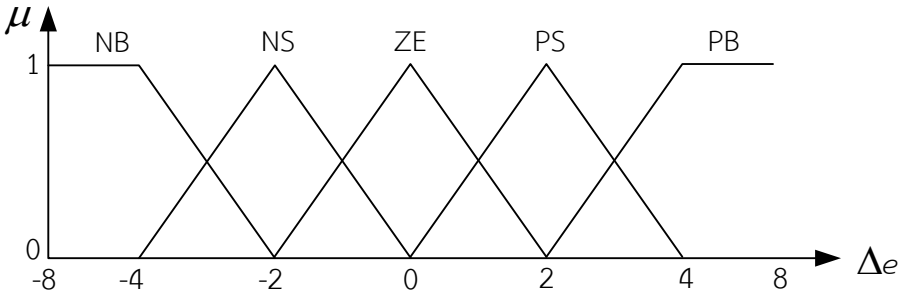
ภาพที่ 2-38 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าผิดพลาด (e) แบบ 5 สมาชิก



ภาพที่ 2-39 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของค่าผิดพลาด (e) แบบ 7 สมาชิก



ภาพที่ 2-40 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอัตราการผิดพลาด (Δe) แบบ 3 สมาชิก



ภาพที่ 2-41 ฟังก์ชันความเป็น สมาชิกของอัตราการผิดพลาด (Δe) แบบ 5 สมาชิก

ความหมายของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกแต่ละเทอม

Negative Big (NB) คือ ค่าแรงดันไฟลบมาก

Negative Medium (NM) คือ ค่าแรงดันไฟลบปานกลาง

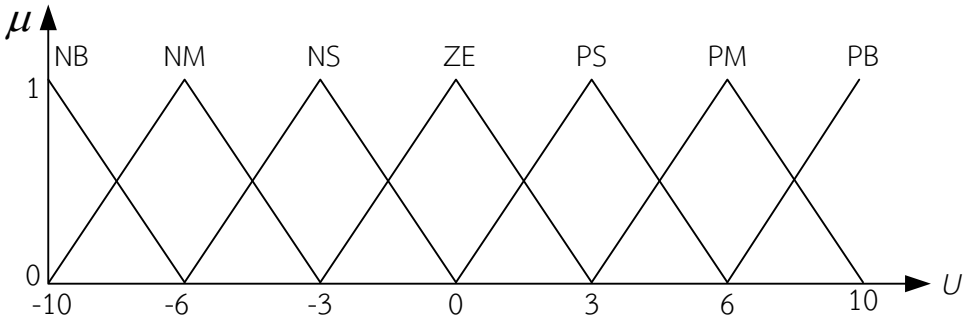
Negative Small (NS) คือ ค่าแรงดันไฟลบน้อย

Zero (Z) คือ ค่าแรงดันไฟเป็นศูนย์

Positive Small (PS) คือ ค่าแรงดันไฟบวกน้อย

Positive Medium (PM) คือ ค่าแรงดันไฟบวกปานกลาง

Positive Big (PB) คือ ค่าแรงดันไฟบวกมาก



ภาพที่ 2-42 สมาชิกเอาท์พุทแบบ 7 สมาชิก

2.8.3 ออกแบบการสร้างกฎ (Rule)

เนื่องจากมีสมาชิกอินพุท 2 อินพุท แต่ละอินพุทมี 5 สมาชิกดังนั้นจำนวนกฎจึงเท่ากับ 5x2 เท่ากับ 25 กฎ และแต่ละกฎที่ตั้งขึ้นมานี้จะไม่ซ้ำกันแสดงดังตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-4 ออกแบบการสร้างกฎ (Rule)

Δe / e	NB	NS	Z	PS	PB
NB	NB	NM	NM	NS	Z
NS	NM	NM	NS	Z	PS
Z	NM	NS	Z	PS	PM
PS	NS	Z	PS	PM	PM
PB	Z	PS	PM	PM	PB

2.9 ตัวควบคุมแบบดิจิทัลพีไอดี (Digital PID Controller)

ตัวควบคุมพีไอดี มาจากคำว่า Proportional Integral derivative Controller เป็นโปรแกรมซึ่งเขียนขึ้นเพื่อควบคุมระบบใดๆก็ตาม เพื่อให้ได้ผลตอบสนอง (Output) ตรงกับคำสั่ง (Command) ที่เราใส่เข้าไป เช่น ควบคุมให้มอเตอร์หมุนด้วยความเร็วตามที่เราสั่ง หรือควบคุมตำแหน่งองศาของแกนมอเตอร์ให้อยู่ในตำแหน่งที่เราต้องการ

ตัวควบคุมพีไอดีแยกออกเป็นสามส่วนหลักๆด้วยกันนั่นก็คือการควบคุมโดยใช้ Proportional, Integral และ Derivative ซึ่งในการนำไปใช้งานจริง เราไม่จำเป็นต้องใช้ทั้งสามส่วนนี้ อาจจะใช้แค่พีไอหรือ พีดี ก็ได้ ขึ้นอยู่กับควบเหมาะสมของระบบที่ต้องการจะควบคุม

2.9.1 Error คือ ค่าที่ผิดพลาดของเอาท์พุท ที่ผิดพลาดไปจากที่เราต้องการ หาได้จากสมการที่ (2-47) ด้านล่างต่อไปนี้

$$Error = Command - Output \tag{2-47}$$

โดยที่ Command คือ ค่าเอาท์พุทที่เราต้องการ และ เอาท์พุท เป็นผลตอบสนองจริง ที่อ่านได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด (Sensor) ที่มอเตอร์ โดยคำสั่ง และ เอาท์พุท จะต้องเป็นค่าในหน่วยเดียวกัน และทิศทางเหมือนกัน เช่น ถ้าเราต้องการให้คำสั่ง เป็นบวก แล้วมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกา ค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์ตรวจวัด เมื่อมอเตอร์หมุนตามเข็มนาฬิกาก็ต้องอ่านได้เป็นบวกด้วยเช่นกัน

2.9.2 ตัวควบคุมเชิงสัดส่วน (P-control)

สัญญาณในการควบคุม (ค่า K) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าสัญญานความผิดพลาด (e) ที่เกิดจากผลต่างระหว่างสัญญาณอ้างอิงกับเอาท์พุทของระบบ ที่ทำการควบคุม สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$P_{term} = K_p \times Error \tag{2-48}$$

โดยที่ P_{term} เป็นตัวแปรสำหรับเก็บค่าในส่วนของตัวควบคุมเชิงสัดส่วนและ K_p เป็นค่า Gain ซึ่งเราจะต้องมาปรับแก้ในภายหลัง

ข้อดีของการควบคุมเชิงสัดส่วนก็ คือ ค่าสัญญาณควบคุมจะตอบสนองกับค่าสัญญาณผิดพลาดทันทีทันใดเลย ซึ่งจะมีประโยชน์ในกรณีที่เราต้องการการตอบสนองอย่างรวดเร็ว อย่างไรก็ตามการใช้ตัวควบคุมเชิงสัดส่วนนี้ แต่ก็มีข้อเสีย คือ อัตราขยายของตัวควบคุมนั้นจะต้องมีค่าสูง การควบคุมแบบนี้จึงเหมาะสำหรับระบบที่สามารถตั้งค่าอัตราขยายได้สูง

2.9.3 การควบคุมแบบอินทิกรัล (I-control)

สัญญาณควบคุมในกรณีของการควบคุมแบบอินทิกรัล ขึ้นอยู่กับค่าในอดีตซึ่งแตกต่างกับการควบคุมเชิงสัดส่วน ที่จะขึ้นอยู่กับค่าปัจจุบัน เป็นการเอาค่าผิดพลาดของเอาท์พุท มาทำการบวกกันไปเรื่อยๆ ด้วยความถี่คงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งความถี่นี้ก็คือความถี่ของระบบนั่นเอง จะได้ว่า

$$I_{Error} + Error_{new} \tag{2-49}$$

โดย Error คือค่าผิดพลาดเก่าที่ได้จากค่าความผิดพลาดของ Loop ก่อนหน้านี้ และ $Error_{new}$ คือ ค่าผิดพลาดใหม่ ที่ได้มาจาก Loop ปัจจุบัน จะได้สมการของ I_{Term} ด้านล่างต่อไปนี้

$$I_{Term} = K_i \times I_{Error} \tag{2-50}$$

ประโยชน์ของการควบคุมแบบอินทิกรัล เพื่อต้องการลดค่าความผิดพลาดในสถานะคงที่แต่ในขณะเดียวกันค่าความมีเสถียรภาพของระบบก็จะลดน้อยลงด้วย

2.9.4 การควบคุมเชิงอนุพันธ์ (D-control)

เป็นสัญญาณที่เกิดจากการหาอนุพันธ์ของสัญญาณผิดพลาด ดังนั้นสัญญาณผิดพลาดที่มีสัญญาณรบกวนมาก สัญญาณเอาท์พุทที่ออกมาจากตัวควบคุมเชิงอนุพันธ์นี้จะกระเพื่อมค่อนข้างมาก เนื่องจากค่าความชัน (Slope) เปลี่ยนแปลงมาก อาจทำให้ระบบไม่เสถียรได้

การเขียนโปรแกรมของการควบคุมเชิงอนุพันธ์ จะคล้ายๆกับแบบอินทิกรัล แต่เป็นการเอาค่าความผิดพลาดใหม่ และเก่ามาลบกันคือ

$$D_{Error} = Error_{new} - Error \quad (2\text{-}51)$$

จะได้ D_{Error} คือ

$$D_{Term} = K_d \times D_{Error} \quad (2\text{-}52)$$

ตัวควบคุมแบบอนุพันธ์นี้จะช่วยให้เราปรับค่าความหน่วง (Damping) ในระบบที่จะควบคุมให้มีค่ามากขึ้น นั่นก็คือทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้นเมื่อเราหาทั้งสามส่วนของพีไอดีได้แล้วเราก็นำมารวมกันเป็นค่าเดียว จะได้เป็น PID_{Term} ด้านล่างต่อไปนี้

$$PID_{Term} = P_{Term} + I_{Term} + D_{Term} \quad (2\text{-}53)$$

การควบคุมแบบพีไอดี เป็นการรวมระบบควบคุมทั้งสามแบบ มาใช้ในการควบคุมเพื่อนำคุณสมบัติของการควบคุม แต่ละแบบมารวมกัน และเหมาะสมกับระบบของเราเพื่อให้ระบบมีเสถียรภาพและมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุด

2.10 ปริญญานิพนธ์ที่เกี่ยวข้อง

2.10.1 จากการศึกษาปริญญานิพนธ์ การพัฒนาระบบตรวจจับความเคลื่อนไหวอัตโนมัติและควบคุมการเคลื่อนที่หุ่นยนต์ด้วยเสียงพูดของ นายสิทธา พงศ์พิพัฒนา และนายบุญฤทธิ์ ชูบัวทอง สาขาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ ภาควิชาครุศาสตร์เครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ประจำปีการศึกษา 2550 สามารถสรุปโครงงานที่ได้ศึกษา ได้บทสรุปผลขั้นตอนและวิธีการได้ดังนี้

การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นตัวประมวลผล และสั่งงานด้วยเสียงพูดซึ่งคอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลและคำสั่งแบบไร้สายไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ ในการสั่งงานด้วยเสียงพูดนั้นคอมพิวเตอร์จะอาศัยข้อมูลที่ถูกประมวลผลจากคำสั่งเสียงพูดที่ออกมาจากปากมนุษย์ คำสั่งถูกส่งไปยังหุ่นยนต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าแบ่งขั้นตอนแบ่งการดำเนินงานออกไปได้อีก เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของฮาร์ดแวร์และซอร์ฟแวร์ ในส่วนของฮาร์ดแวร์จะประกอบไปด้วยการออกแบบวงจรประมวลผลโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ การแปลงสัญญาณมาตรฐาน RS-232 ให้เป็นรูปแบบของดิจิทัล วงจรขับเคลื่อนมอเตอร์ วงจรภาคจ่ายไฟ ในส่วนของโปรแกรมประกอบด้วยโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์และโปรแกรมสำหรับคอมพิวเตอร์

การตรวจจับความเคลื่อนไหวและติดตามอัตโนมัติ เป็นการนำเอาการประมวลผลภาพมาประยุกต์ ใช้ในการตรวจจับความเคลื่อนไหว เพื่อทำการค้นหาตำแหน่งจุดศูนย์กลางของวัตถุที่เคลื่อนไหว เพื่อต้องการสั่งให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ตามวัตถุที่เคลื่อนไหวได้โดยอัตโนมัติ

ผลจากการทดสอบคำสั่งในการใช้การตรวจจับความเคลื่อนไหวอัตโนมัตินั้น หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ตามวัตถุที่เคลื่อนไหวได้ แต่วัตถุนั้นจะต้องอยู่ในองศาที่กล้องวีดีโอสามารถตรวจจับได้

คือ จะอยู่ในช่วงมุม 60 องศา ถึงมุม 150 องศา ในช่วงมุมนี้กล้องสามารถตรวจจับความเคลื่อนไหวและติดตามวัตถุเคลื่อนไหวได้

ในส่วนของหุ่นยนต์ที่ได้พัฒนาขึ้นมาใหม่นั้น สามารถควบคุมการทำงานด้วยคำสั่งเสียง การควบคุมการทำงานแบบ Manual และสามารถใช้การทำงานในส่วนของการตรวจจับวัตถุที่เกิดการเคลื่อนไหวและติดตามวัตถุเคลื่อนไหวและติดตามอัตโนมัติการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์สามารถรับคำสั่งข้อมูลได้ดีในระยะทางไม่เกิน 30 เมตร กล่าวโดยสรุป จะพบว่าระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามารถทำงานได้ตามขอบเขตที่กำหนด สามารถนำไปประยุกต์ใช้หรือประกอบการเรียนการสอนในสาขาที่เกี่ยวข้องและพัฒนาเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆได้

2.10.1.1 ปัญหาและแนวทางแก้ไข

ก) โครงสร้างหุ่นยนต์ที่ได้ทำการปรับปรุง จากโครงงานปี พ.ศ. 2549 มีความแข็งแรงดี แต่จะมีข้อบกพร่องอยู่ที่ตัวหุ่นยนต์ที่ทำการปรับปรุงเป็นระบบปิดทำให้การประกอบวงจรมีความยากลำบาก แนวทางการแก้ไข สร้างหุ่นยนต์มีพื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์ให้มากกว่านี้

ข) โซ่ที่ใช้มีความตึงมากเกินไปทำให้เวลาหุ่นยนต์เคลื่อนที่เกิดการกระชากทำให้อุปกรณ์บางอย่างเสียหายได้ แนวทางการแก้ไข ออกแบบระบบโซ่ให้มาความพอดีกับหุ่นยนต์

ค) โฟร์บาร์ไม่สามารถปรับขึ้นลงได้ แนวทางการแก้ไข ใช้แผ่นสปริงในการปรับปรุงให้โฟร์บาร์ปรับขึ้นลงได้ แต่ในส่วนของโครงงานได้ทำการสร้างหุ่นยนต์ขึ้นมาใหม่อีกหนึ่งตัวเพื่อทำเป็นหุ่นยนต์ระบบกึ่งอัตโนมัติ และใช้เป็นโปรเจ็คในการทดสอบการทำงานในการควบคุมแบบต่างๆ

ง) ลูกปืนที่ใส่ล้อด้านซ้ายมือหลวมเล็กน้อยแนวทางการแก้ไข ทำบูตขึ้นมาเพื่อป้องกันการหลุดของลูกปืน

จ) การตรวจจับความเคลื่อนไหวและติดตามอัตโนมัติจะมีสัญญาณรบกวนอยู่เล็กน้อย แนวทางการแก้ไข เปลี่ยนตัวรับ-ส่งใหม่

ฉ) กล้องที่ใช้มีระยะการส่งสัญญาณที่น้อยอยู่ที่ประมาณ 30 เมตร ถ้าเกินจากนี้กล้องจะไม่สามารถรับสัญญาณได้แนวทางการแก้ไขเปลี่ยนมาใช้กล้องที่ติดต่อผ่านอินเตอร์เน็ต

ช) บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เมื่อใช้ไปนานๆ จะเกิด (Pulse-Width Modulation : PWM) ค้างในตัวของบอร์ดทำให้เกิดการช็อต แนวทางการแก้ไข ต้องถอดอะเด็ปเตอร์ออกจ่ายไฟออกแล้วเสียบเข้าไปใหม่ หรือเปลี่ยนบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ใหม่

ซ) เวลาใช้การตรวจจับความเคลื่อนไหวอัตโนมัติ จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นทำให้การตรวจจับเกิดความผิดพลาดอยู่ แนวทางการแก้ไข เขียนโปรแกรมลดสัญญาณรบกวนเพิ่มเข้าไปในโปรแกรมควบคุมการทำงาน และต้องให้หุ่นยนต์อยู่ในที่ ที่มีแสงสว่างในปริมาณเพียงพอการตรวจจับความเคลื่อนไหวจึงจะมีประสิทธิภาพ

2.10.1.2 ข้อเสนอแนะ

ก) การออกแบบโครงสร้างหุ่นยนต์ ให้สามารถถอดชุดตีนตะขาบออกได้ และออกแบบชัสซีให้มีพื้นที่การวางอุปกรณ์ที่กว้างขึ้น

ข) พัฒนาให้หุ่นยนต์ให้สามารถปรับโฟร์บาร์ หรือชุดตีนตะขาบให้สามารถเลื่อนขึ้นลงได้

ค) พัฒนาส่วนของโปรแกรมจดจำเสียงพูด ให้สามารถแยกแยะคำพูดที่มีการออกแบบเสียงคล้ายกัน และสามารถโต้ตอบกันระหว่างหุ่นยนต์กับผู้ควบคุม

ง) พัฒนาหุ่นยนต์ให้เป็นอัตโนมัติเต็มตัว คือ ให้ใช้คำสั่งเพียงคำสั่งเดียวในการบังคับหุ่นยนต์

2.10.2 จากการศึกษาปริญญานิพนธ์การออกแบบโครงสร้าง และระบบขับเคลื่อนของหุ่นยนต์ค้นหาผู้ประสบภัย นายกันต์กนก บุณยเกียรติ, นายประสานสิริเกษมสุข และนายอารักษ์ ตระการกูล สาขาวิศวกรรมเครื่องกล ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ประจำปีการศึกษา 2550 ได้บทสรุปผลขั้นตอนและวิธีการได้ดังนี้

การทำงานของหุ่นยนต์และกลไกการส่งกำลังนั้น สามารถทำงานได้เป็นอย่างดี ทั้งการเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวขรุขระ การเคลื่อนที่ข้างสิ่งกีดขวาง การขึ้นบันไดความสูงขั้นละ 20 เซนติเมตร ความลึก 25 เซนติเมตร และการขึ้นพื้นเอียงที่มาความลาดชัน 45 องศา ในส่วนของการเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีผิวขรุขระนั้น การออกแบบให้ท้องของหุ่นยนต์สูงขึ้นมาจากพื้น มีส่วนช่วยให้การเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีผิวขรุขระได้ง่ายขึ้น แต่ทั้งนี้ยังคงมีข้อจำกัดอยู่บางประการที่ทำให้หุ่นยนต์ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่ทีผิวขรุขระได้ เช่น พื้นผิวนั้นอาจขรุขระ มีสิ่งกีดขวาง หรือ ซับซ้อนมากเกินไป เป็นต้น ดังนั้นการควบคุมหุ่นยนต์ จึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญผู้ควบคุมควรเลือกเส้นทางที่ง่ายต่อการเคลื่อนที่มากที่สุด เพื่อให้การเคลื่อนที่ผ่านบริเวณนั้นเป็นไปได้อย่างราบรื่น สำหรับการเคลื่อนที่ขึ้นบันไดหรือพื้นเอียงนั้น ได้ออกแบบให้มีการจัดวางอุปกรณ์อย่างเป็นระเบียบ โดยคำนึงถึงจุดศูนย์ถ่วง (Center of Gravity : CG) เพื่อให้ง่ายต่อการขึ้นบันไดหรือพื้นลาดเอียงโดยหุ่นยนต์ไม่พลิกคว่ำหรือหงายหลังลงมา นอกจากนี้ยังเลือกใช้วัสดุในการทำสายพานให้เกิดแรงเสียดทานเพียงพอ เพื่อที่จะไม่เกิดการลื่นไถลขณะเคลื่อนที่ขึ้นบันไดหรือพื้นเอียง

จากการที่ได้นำหุ่นยนต์ไปทดสอบการเคลื่อนที่ผ่านบริเวณที่มีพื้นผิวขรุขระ การขึ้นบันไดและการขึ้นพื้นเอียง พบว่าการทำงานของระบบต้นกำลัง และระบบส่งถ่ายกำลัง นั้นสามารถให้กำลังที่มากเพียงพอต่อการใช้งาน ในการเคลื่อนที่ผิวขรุขระ การขึ้นบันได พื้นเอียง และรวมถึงการใช้แขนยกตัวเองขึ้น ในส่วนของแบตเตอรี่ใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมไอออน 1500 มิลลิแอมแปร์ ทำการชาร์ตแบตเตอรี่ด้วยกระแสไฟ 1500 มิลลิแอมแปร์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อนำไปใช้เป็นพลังงานในหุ่นยนต์จะใช้ได้อย่างต่อเนื่อง เป็นเวลา 30 วินาที

การใช้งานจริงและการนำไปประยุกต์ใช้งาน การทำงานของหุ่นยนต์ที่ได้ทำการออกแบบและสร้างขึ้นมานั้น สามารถนำไปใช้งานได้จริง โดยที่หุ่นยนต์สามารถตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ที่ต้องการนำไปใช้งานนั่น คือ ความสามารถในการเคลื่อนที่ในการเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ผิวขรุขระที่เกิดจากเศษซากของสิ่งก่อนสร้างที่พังทลายลงมา มีความสามารถในการเคลื่อนที่ผ่านทางที่ต่างระดับกันและมีความลาดชันได้ดี รวมไปถึงความสามารถในการขึ้นบันไดได้เป็นอย่างดี

การนำหุ่นยนต์ไปประยุกต์ใช้งานนั้นสามารถนำไปใช้ในการค้นหาผู้ประสบภัย หรืออาจจะใช้ในการเก็บกู้ระเบิดโดยการติดตั้งอุปกรณ์ในการเก็บกู้ระเบิดและในงานประเภทอื่นๆ อีกมากมายที่ใช้หุ่นยนต์ในการปฏิบัติงานแทนมนุษย์ เพื่อลดความเสียงและความสูญเสียที่อาจจะเกิดขึ้นกับมนุษย์อีก ทั้งยังสามารถนำหุ่นยนต์ต้นแบบนี้ไปใช้ในการศึกษา และพัฒนาระบบขับเคลื่อนและระบบส่งกำลังที่ใช้ในการขับเคลื่อนของหุ่นยนต์

อุปสรรคและปัญหาในการทำโครงงาน และพบปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการผลิตชิ้นส่วนและเงินทุนในการดำเนินโครงงาน

ปัญหาที่เกิดขึ้นจาก การออกแบบโดยคำนึงถึงเงื่อนไขการรับแรงที่ไม่ครบถ้วน เกิดขึ้นเมื่อนำหุ่นยนต์ไปทดสอบแล้วเกิดความเสียหายกับเพลา เนื่องจากในการคำนวณนั้นได้คำนึงถึงแค่แรงเฉือนที่เกิดขึ้นในเพลา แต่ลืมคำนึงถึงโมเมนต์ดัด ทำให้ต้องเปลี่ยนจากเพลากลวงเป็นเพลาตันเพื่อเพิ่มความแข็งแรงให้กับหุ่นยนต์

ในขั้นตอนการผลิตชิ้นส่วน ซึ่งชิ้นส่วนบางชิ้นต้องการความระเอียดและเที่ยงตรงสูงจะต้องทำการว่าจ้างผู้ประกอบการในการผลิตชิ้นส่วน ประกอบกับเครื่องจักรที่ใช้ในการทำงานที่มีอยู่นั้นขาดความแม่นยำและมีจำนวนไม่พอต่อการใช้งาน ส่งผลให้ต้นทุนในการดำเนินการผลิตสูงขึ้น อีกทั้งชิ้นส่วนและอุปกรณ์มาตรฐานที่มีขายค่อนข้างมีราคาสูง อันเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนที่เพิ่มสูงขึ้น

2.10.3 จากการศึกษาปริญญานิพนธ์ระบบตรวจหาป้าย และกำหนดความเร็วจากวีดีโอของนายอำนาจ สารทสิทธิ สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ประจำปีการศึกษา 2549 สามารถสรุปถึงโครงงานที่ได้ศึกษา ได้บทสรุปผลขั้นตอนและวิธีการได้ดังนี้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอ เทคนิคการตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วในจากวีดีโอโดยใช้โมดิฟายน์เฮาซ์ดรอฟแทนซ์ แบ่งขั้นตอนของการทำงานออกเป็นส่วนๆดังนี้ 1. แบ่งแฟ้มวีดีโอ AVI เป็นภาพ BMP 2. แบ่งแยกภาพโดยใช้สี 3. การทำภาพให้สมบูรณ์โดยใช้ Closing 4. การหาขอบภาพ 5. การตรวจหาโดยใช้โมดิฟายน์เฮาซ์ดรอฟแทนซ์ และพัฒนาซอร์ฟแวร์เพื่อใช้ในการทดสอบ โดยได้พัฒนาซอร์ฟแวร์ที่ใช้ในการทดสอบ การทำงานบนระบบปฏิบัติการของวินโดว์ ถูกนำมาทดสอบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วกับแฟ้มวีดีโอ จำนวน 50 แฟ้มตัวอย่าง กรณีของการทดสอบที่ใช้

การเคลื่อนที่ของรถยนต์ ที่อัตราความเร็วตั้งแต่ 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จำนวน 10 แฟ้ม และ 100 กิโลเมตรต่อชั่วโมง จำนวน 10 แฟ้ม สำหรับความถูกต้องในการตรวจหาที่อัตราความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 100 ความถูกต้องในการตรวจหาที่อัตราความเร็ว 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 98 เปอร์เซ็นต์ ความถูกต้องรวมคิดเป็นร้อยละ 98 จะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราความเร็วที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้การตรวจหามีความผิดพลาดมากกว่าอัตราความเร็วรถยนต์ที่ต่ำกว่า

ความผิดพลาดในการประมวลผลข้อมูลที่ไม่ถูกต้อง พบว่าปัญหาของป้ายกำหนดความเร็ว เช่น สีไม่ชัดเจน ความชำรุดของป้าย ซึ่งเป็นปัญหาหนึ่งที่ทำให้ป้ายผิดพลาดได้ เกิดจาดแสงสว่างขณะถ่ายวีดีโอมีน้อยเกิน การถ่ายวีดีโอในขณะย้อนแสงไป อาจจะแก้ไขปัญหาด้วยการเพิ่มขั้นตอนของการปรับค่า Histogram Equalization หรือ ฝนตกหนักมากจนมองเห็นป้ายไม่ชัดเจน เกิดหมอกและทัศวิสัยไม่ดี ปัญหาต่างๆเหล่านี้เป็นปัญหาของระบบการตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วจากวีดีโอทำให้การตรวจหาเกิดความผิดพลาดขึ้นได้

ปัญหาต่างๆเหล่านี้ จะเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วจากวีดีโอในอนาคตให้มีความสามารถมากขึ้น และมีความผิดพลาดน้อยลงต่อไป

แนวทางการพัฒนา จากการทดสอบสามารถรวบรวมเพื่อเป็นแนวทางพัฒนาระบบตรวจหาป้ายกำหนดความเร็วได้ดังนี้

ก) ในอนาคตสามารถพัฒนาเป็นระบบตรวจหาป้าย และกำหนดความเร็วโดยอัตโนมัติ

ข) สามารถนำส่วนของการตรวจหาไปจำตัวเลขในป้ายกำหนดความเร็วได้

2.10.4 จากการศึกษาปริญญานิพนธ์ การควบคุมตำแหน่ง ความเร็ว และแรงบิดโดยใช้ฟัซซี่ลอจิกของมอเตอร์กระแสตรง สำหรับหุ่นยนต์แบบคาร์ทีเซียนของ นายสมเกียรติ ดวงหอม สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระ-นครเหนือ ประจำปีการศึกษา 2550 สามารถสรุปถึงโครงงานที่ได้ศึกษา ได้บทสรุปผลขั้นตอนและวิธีการได้ดังนี้

2.10.4.1 สรุปผลของโครงงาน

จากการทดลอง และขั้นตอนที่ได้การทำวิจัยได้ผล คือ การควบคุมหุ่นยนต์ 3 แกน เคลื่อนที่อย่างอิสระต่อกัน พบว่าการเคลื่อนที่โดยการควบคุมด้วย Fuzzy ในระยะต่างๆที่กำหนดไว้ โดยสามารถดูได้จากค่าตอบสนอง $\left(T_{resp}\right)$ และเวลาไต่ขึ้น $\left(T_r\right)$ ของกราฟที่ได้จากการทดสอบ Fuzzy ของแต่ละระยะที่กำหนด ของกราฟพบว่าใช้เวลาตอบสนองค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบวิธีอื่นๆ แต่จากกราฟทดลองพบว่าไม่มีการเกิด Overshoot ดังนั้นการเข้าสู่ตำแหน่งอ้างอิงของหุ่นยนต์จึงมีความแม่นยำสูง เพราะว่าระบบควบคุมจะควบคุมให้การเคลื่อนที่เมื่อเข้าใกล้สู่เป้าหมายจะทำให้ระบบเคลื่อนที่ค่อยๆลดลงจนกว่าจะเข้าตำแหน่งอ้างอิง แต่อย่างไรก็ตามค่าเวลา

ตอบสนองของการควบคุมแบบฟัซซี่ลอจิกใช้เวลาค่อยข้างมาก แต่เมื่อเทียบกับการควบคุมแบบอื่น ซึ่งมีค่า Overshoot เกิดขึ้นสูงทำให้เกิดการแกว่งและกลับเข้าสู่เป้าหมายได้ช้ากว่า และอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายต่องานหรือได้งานที่น้อยกว่า

ดังนั้นการนำเอาการควบคุมแบบฟัซซี่ มาควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบ 3 แกน อิสระต่อกัน ทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความแม่นยำเหมาะกับการนำไปประยุกต์และปรับปรุงเพื่อใช้ในงานอุตสาหกรรมต่อไป

2.10.4.2 ข้อเสนอแนะ

ก) งานวิจัยดังกลางยังสามารถพัฒนาการควบคุมจากฟัซซี่ปกติให้เป็นแบบที่มีการปรับเปลี่ยนของตัวฟัซซี่ด้วย เช่น ฟัซซี่สไลด์ดิ่งโหมด (Fuzzy Sliding Mode) หรือนิวโรฟัซซี่ (Neuro Fuzzy) เป็นต้น

ข) โปรแกรม Visual Basic6.0 ที่ใช้พัฒนาเป็นโปรแกรมที่เหมาะกับงานอุตสาหกรรม เนื่องจากมีส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานอย่างครบถ้วนและใช้งานง่าย ในอนาคตอาจมีการพัฒนาระบบดังกล่าวให้เป็นงานวิจัยบนระบบเปิด (Open Source) เช่น Linux เป็นต้น

ค) เนื่องจากงานวิจัยมีการทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลจึงทำให้ความปลอดภัยในการทำงานรวมทั้งการทำงานตามเวลาจริง (Real Time) อาจลดน้อยลงหากมีการนำไปประยุกต์ใช้กับงานที่มีความเสี่ยงสูง อาจทำให้ระบบไม่มีความน่าเชื่อถือได้ดังนั้นควรพัฒนาให้ระบบการทำงานอู่บนระบบอื่นเช่น DSP หรือบน Real Time OS เป็นต้น

ง) เนื่องจากตัวหุ่นยนต์ที่นำมาทดลองมีความฝืดของแต่ละแกนแตกต่างกันอย่างมาก จึงทำให้การควบคุมในแต่ละแกนแตกต่างกัน จึงควรมีการปรับปรุงตัวของหุ่นยนต์ให้มีลักษณะการเคลื่อนที่ใกล้เคียงกันเพื่อสะดวกในการออกแบบตัวควบคุม

2.10.5 จากการศึกษาปริญญานิพนธ์ เทคนิคการเรียนรู้การนำทางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ของเรือตรี สุชิน มุขศรี สาขาวิชาไฟฟ้า ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี-พระจอมเกล้าพระนครเหนือ ประจำปีการศึกษา 2550 ได้บทสรุปผลขั้นตอนและวิธีการได้ดังนี้

2.10.5.1 สรุปผลของโครงงาน

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ระบบควบคุม การเรียนรู้แบบฟัซซี่ (Fuzzy Learning) เพื่อเป็นเทคนิคการนำทางและการเรียนรู้ของหุ่นยนต์ การที่ให้หุ่นยนต์มีการเรียนรู้ได้นั้นต้องอาศัยข้อมูล (Data) จากการตรวจวัดค่าต่างๆ จากสิ่งแวดล้อมการนำข้อมูลมาประมวลผลนั้นจะต้องทำการจัดกลุ่มข้อมูล (Mapping) ก่อน เพื่อลดขนาดของข้อมูลและแยกแยะข้อมูลการจัดกลุ่มข้อมูลเป็นเทคนิคช่วยในการลดการจดจำในการเรียนรู้ได้ ซึ่งอาจบอกได้ว่าสิ่งของที่จับได้ใช่หรือไม่ซึ่งมีค่าผิดพลาดในการยอมรับได้ สำหรับในการเรียนรู้ของหุ่นยนต์การนำข้อมูลเข้ามาต้องอาศัยอุปกรณ์

ตรวจวัดต่างๆ เช่น ตรวจวัดระยะทางระยะทางตรวจวัดมุมในการเคลื่อนที่ โดยทั่วไปแล้วใช้อุลตร้าโซนิค และเข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์ (compass)

ผลจากงานวิจัยนี้การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใช้กฎฟัซซี่ จำนวน 27 กฎ มาใช้ในการควบคุมการหลบหลีก และการเคลื่อนที่ตามเส้นทางของหุ่นยนต์ ได้จากกฎที่สร้างขึ้นในการเรียนรู้ของหุ่นยนต์ โดยจำนวนกฎการเรียนรู้ (Fuzzy Learning Rule) ที่สร้างขึ้นจะบ่งบอกพฤติกรรมของหุ่นยนต์ ประกอบด้วยการหยุดการเคลื่อนที่แบบจุดต่อจุดการเคลื่อนที่แบบระมัดระวังซึ่งเรียงลำดับความสำคัญจากมากไปหาน้อย ตามลำดับ

การเรียนรู้ของหุ่นยนต์โดยการเรียนรู้จากสิ่งแวดล้อม จะช่วยในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ได้ดีขึ้นและสามารถเคลื่อนที่ โดยการเปลี่ยนเส้นทางเมื่อมีสิ่งกีดขวางหุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ในเส้นทางใหม่ได้ ระบบควบคุมแบบฟัซซี่ เป็นเครื่องมือที่ให้ความสะดวกสำหรับงานด้านปัญญาประดิษฐ์ที่สามารถรองรับสถานการณ์สิ่งแวดล้อมจริงของหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นการยากที่จะออกแบบระบบควบคุมให้ตอบสนองและมีความยืดหยุ่นต่อการเคลื่อนที่ด้วยระบบควบคุมพื้นฐานทั่วไปได้

2.10.5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ สามารถมีปฏิกิริยาต่อสิ่งแวดล้อมอย่างอิสระพฤติกรรมพื้นฐานสามารถทำงานได้อย่างถูกต้อง ขนาดของตำแหน่งอ้างอิงมีผลต่อการตรวจจับ โดยตำแหน่งอ้างอิงขนาดใหญ่จะตรวจจับได้ดีกว่าขนาดเล็ก การตรวจจับทิศทางของเข็มทิศมีผลต่อสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลง ณ จุดต่างๆ ซึ่งต้องคอยปรับเข็มทิศก่อนทุกครั้งที่สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนไป ดังนั้นทิศทางการพัฒนาให้หุ่นยนต์สามารถมีปฏิกิริยาต่อสิ่งแวดล้อมได้ดีขึ้น ควรใช้ข้อมูลตัวตรวจจับอย่างอื่นเข้ามาร่วมด้วย สัญญาณภาพ หรือ GPS เป็นต้น

พฤติกรรมของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในระบบควบคุมแบบคลุมเครือจะได้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น คือการหุ่นยนต์ให้เรียนรู้โดยทดสอบกับสภาพแวดล้อมจริงจำนวนหลายๆครั้ง เพื่อการควบคุมได้ถูกต้องแม่นยำ