

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กสำหรับค้นหาผู้ประสบภัย

DESIGN OF MICROROBOTS FOR RESCUE OPERATION

โดย
เจษฎาพงษ์ วลัยโชคม
วัชร ลิ้นมา

วฟ.
คจ55ก
๑๕๔๘

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

62566

19 ส.ค. 2549

b.....	11626240
i.....	

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม

สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กสำหรับค้นหาผู้ประสบภัย

Design of Microrobots for Rescue Operation

ผู้จัดทำ นายเจษฎาพงษ์ วลัยโซดม 45010144

นายวัชร ลิ้นมา 45010694

an Sah

(อาจารย์คอน อิศรากร)

วศกร ลิ้นมา

(อาจารย์สองเมือง นันทขำ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กสำหรับค้นหาผู้ประสบภัย

Design of Microrobots for Rescue Operation

โดย

นายเจษฎาพงษ์ วลัยโชค 45010144

นายวัชร ลินมา 45010694

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์คอน อิศรากร

อาจารย์สองเมือง นันทขำ

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กสำหรับค้นหาผู้ประสบภัย หุ่นยนต์ขนาดเล็กมีราคาถูกสามารถผลิตได้มาก จึงสามารถใช้หุ่นยนต์ขนาดเล็กทำการค้นหาได้ครั้งละหลายตัวพร้อมๆกัน ทำให้ครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างและช่วยลดเวลาในการค้นหา หุ่นยนต์มีความสามารถในการเคลื่อนที่ผ่านช่องแคบหรือรูต่างๆโดยหุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ออกแบบมีโครงสร้างที่แข็งแรงเนื่องจากใช้วัสดุอลูมิเนียมขึ้นรูปในการสร้าง มีการควบคุมการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติสามารถเลือกเส้นทางในการเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเองโดยใช้ความเข้มของแสงเป็นเกณฑ์ สามารถเคลื่อนที่บนสภาพพื้นผิวที่ยากลำบาก สามารถตรวจสอบสภาพแวดล้อมเพื่อหลีกเลี่ยงเส้นทางในสถานะที่ไม่เหมาะสมเช่นพื้นที่ของกองไฟ และสุดท้ายหุ่นยนต์ขนาดเล็กสามารถตรวจสอบได้ว่าวัตถุที่พบเจอเป็นสิ่งมีชีวิต

การออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กสำหรับค้นหาผู้ประสบภัย

Design of Microrobots for Rescue Operation

โดย

นายเจษฎาพงษ์ วลัยโชค 45010144

นายวัชร ลิ้นมา 45010694

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์คอน อิศรากร

อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง

ABSTRACT

This thesis presents Design of Microrobots for rescue operation . Microrobots are designed to be low-costed in order to be produced in large amount and operated all together at a time. Thus, the wide area could be covered by the microrobots, which run through narrow areas or holds easily. The robust aluminum structure and their track wheels of microrobots are for moving in the tough environment .Their autonomous operations compare intensity of light and select darker route including to avoid the unsuitable route such as flame. Finally, the microrobots check whether a found object is a victim or not.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์คอน อิศรากร อาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูง ที่ได้ให้คำปรึกษาแนวทางในการแก้ปัญหา ความคิดริเริ่ม ตลอดจนการฝึกฝนให้ผู้เขียนมีความสามารถในการทำวิจัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงให้ความเอาใจใส่ดูแลสอบถามถึงความก้าวหน้าอย่างสม่ำเสมอ ทำให้ผู้เขียนทำงานอย่างมีระบบและใช้เวลาอย่างมีประสิทธิภาพ

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สองเมือง นันทขว้าง อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำวิธีการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นทั้งทางทฤษฎีและทางปฏิบัติแก่ผู้เขียนเสมอมา ทำให้ผู้เขียนเข้าใจปัญหานั้นๆ

ขอขอบพระคุณ นาย สมรรถชัย ปัญญา รุ่นพี่ที่ได้ช่วยเหลือให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจให้ผู้เขียนด้วยดีเสมอมา

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม ที่ได้เอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือในการทำวิจัย ตลอดจนอำนวยความสะดวก ให้แก่ผู้เขียนจนสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนเสร็จสิ้น

และท้ายที่สุดขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่รักและเคารพ ที่สนับสนุนให้โอกาสแก่ผู้เขียนได้เล่าเรียนจนถึงวันนี้ ตลอดจนเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกคนที่คอยให้กำลังใจ คำปรึกษาแนะนำและเป็นกำลังใจให้ด้วยดีเสมอมาจนสามารถนำสิ่งต่างๆ ที่ได้รับมานั้นจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จสิ้นสมบูรณ์

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ผู้เขียนขอบขอบคุณผู้มีพระคุณทุกท่าน

คณะผู้จัดทำ

นายเจษฎาพงษ์ วลัยโชค

นายวัชร ธิมา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญภาพ.....	VII
สารบัญตาราง.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 ขอบเขตและขั้นตอนการวิจัย.....	2
1.4 รายละเอียดของปริญญานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 การตรวจสอบและค้นหาผู้ประสพภัย.....	4
2.1 ข้อได้เปรียบของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก.....	4
2.2 อุปกรณ์ค้นหาผู้ประสพภัยสำหรับหุ่นยนต์ขนาดเล็ก.....	5
2.3 การค้นหาผู้ประสพภัยของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก.....	6
บทที่ 3 การออกแบบและพัฒนา.....	7
3.1 โครงสร้างและการออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็ก.....	7
3.1.1 แผ่นประกอบฐานของหุ่นยนต์.....	7
3.1.2 ฐานหุ่นยนต์ด้านซ้ายและด้านขวา.....	8
3.1.3 ล้อขับเคลื่อนด้านหน้า.....	8
3.1.4 เฟืองขับเคลื่อน.....	8
3.1.5 ล้อช่วยขนาดเล็ก.....	9
3.1.6 แผ่นรองรับ LDR.....	9
3.1.7 ฝาครอบวงจรและอุปกรณ์ภายใน.....	10
3.1.8 มอเตอร์ทศเฟืองขนาดเล็ก.....	10
3.2 การประกอบหุ่นยนต์ขนาดเล็ก.....	11
3.3 หุ่นยนต์ขนาดเล็กที่สร้างและประกอบเสร็จสมบูรณ์.....	13
3.4 อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์.....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ IV ยังอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4.1 ตัวต้านทานไวแสง.....	16
3.4.1.1 คุณสมบัติทางแสง.....	17
3.4.1.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้า.....	18
3.4.1.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากความเข้มแสงเปลี่ยนแปลงอย่าง ทันทีทันใด.....	18
3.4.1.4 การใช้ตัวต้านทานไวแสงกับวงจรแบ่งแรงดัน.....	19
3.4.2 อุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล.....	20
3.4.2.1 การเลือกใช้อุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบ Successive Approximation.....	21
3.4.3 แหล่งพลังงาน.....	22
3.4.4 เซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น.....	23
3.4.4.1 การแปลงค่าดิจิทัลเป็นค่าความชื้น.....	26
3.4.4.2 การแปลงค่าดิจิทัลเป็นค่าอุณหภูมิ.....	27
บทที่ 4 การควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์.....	28
4.1 การแสดงความรู้ด้วยกฎ.....	28
4.1.1 Rule-Base expert system.....	29
4.1.2 การอนุมาน.....	30
4.1.2.1 การอนุมานแบบเดินหน้า(Forward Chaining)	30
4.1.2.2 การอนุมานแบบย้อนหลัง(Backward Chaining)	30
4.2 การทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก.....	30
4.3 โครงสร้างในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก.....	32
4.4 วงจรควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก.....	33
4.4.1 เซนเซอร์ SHT 15 ที่ตำแหน่ง IC3.....	34
4.4.2 เซนเซอร์ตรวจสอบการชนระหว่างหุ่นยนต์และวัตถุที่ตำแหน่ง S1 และ S2.....	34
4.4.3 เซนเซอร์ตรวจสอบความเข้มของแสง ที่ตำแหน่ง LDR1 และ LDR2.....	34
4.4.4 เซนเซอร์ตรวจสอบการพลิกคว่ำของหุ่นยนต์ ที่ตำแหน่ง S3.....	35
4.4.5 วงจรรวมขับเคลื่อนมอเตอร์ L293D ที่ตำแหน่ง IC2.....	35

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	37
5.1 การทดลองความสามารถในการเคลื่อนที่บนสภาพพื้นผิวที่ขากลำบาก.....	37
5.1.1 การทดลองการเคลื่อนที่บนพื้นเอียง.....	37
5.1.2 การทดลองการเคลื่อนที่ผ่านวัตถุทรงกลม.....	39
5.1.3 การทดลองการเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ต่างระดับ.....	40
5.1.4 การทดลองการเคลื่อนที่ได้ขึ้นบันได.....	42
5.2 การทดลองรูปแบบการเคลื่อนที่.....	43
5.2.1 การจำลองสภาวะและการทดลอง.....	43
5.2.2 ผลการทดลองรูปแบบการเคลื่อนที่.....	45
5.2.2.1 สภาวะที่ 1 หลอดไฟดวงที่ 1 และ 2 เท่านั้นที่สว่าง.....	45
5.2.2.2 สภาวะที่ 2 หลอดไฟดวงที่ 1 และ 3 เท่านั้นที่สว่าง.....	46
5.2.2.3 สภาวะที่ 3 หลอดไฟดวงที่ 2 และ 3 เท่านั้นที่สว่าง.....	47
5.3 การทดลองความสามารถของอุปกรณ์เซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น.....	48
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	49
6.1 บทสรุป.....	49
6.2 ปัญหาที่พบในการวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา.....	49
6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	50
ภาคผนวก ก แบบโครงสร้างหลักของหุ่นยนต์	
ภาคผนวก ข ภาพการทดลองความสามารถในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จากสภาวะแวดล้อมโดยทั่วไป	
ภาคผนวก ค โปรแกรมควบคุมการทำงานของ เซนเซอร์ SHT 15	
ภาคผนวก ง รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย (DATA SHEET)	
เอกสารอ้างอิง	

สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
3.1 แผ่นประกอบฐานของหุ่นยนต์.....	7
3.2 ฐานหุ่นยนต์ด้านซ้ายและฐานหุ่นยนต์ด้านขวา.....	8
3.3 ล้อขับเคลื่อนด้านหน้า.....	8
3.4 เฟืองขับเคลื่อน.....	9
3.5 ล้อช่วยขนาด.....	9
3.6 แผ่นรองรับ LDR.....	9
3.7 ฝาครอบวงจรและอุปกรณ์ภายใน.....	10
3.8 มอเตอร์ทดเฟืองขนาดเล็ก.....	10
3.9 การจัดวางมอเตอร์ทดเฟืองขนาดเล็ก.....	10
3.10 การประกอบแผ่นประกอบฐาน ฐานด้านซ้ายและฐานด้านขวาของหุ่นยนต์.....	11
3.11 การประกอบโบลต์กับโครงสร้างหลักของหุ่นยนต์.....	11
3.12 การประกอบมอเตอร์ทดเฟืองขนาดเล็กและล้อหน้า.....	12
3.13 เฟืองขับเคลื่อนและล้อช่วยกับ โครงสร้างหลักของ.....	12
3.14 การประกอบฝาครอบวงจรและอุปกรณ์ภายใน กับ โครงสร้างหลักของหุ่นยนต์.....	12
3.15 การใส่สายพานให้กับหุ่นยนต์.....	13
3.16 หุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์.....	13
3.17 หุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ได้รับการออกแบบและพัฒนา.....	14
3.18 หุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ออกแบบและพัฒนา.....	14
3.19 หุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ออกแบบและพัฒนา(ด้านขวา)	15
3.20 หุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ออกแบบและพัฒนา(ด้านกว้าง)	15
3.21 หุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ออกแบบและพัฒนา(ด้านสูง)	15
3.22 โครงสร้างของ LDR.....	16
3.23 LDR.....	16
3.24 กราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่าง ๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบเมื่อเทียบกับความไวของตาคน.....	17
3.25 ผลของค่าความต้านทานของLDRกับการเปลี่ยนความเข้มแสงทันทีทันใด.....	18
3.26 วงจรรับสัญญาณ LDR.....	19
3.27 วงจรรับสัญญาณ LDR.....	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.28 แสดงความเร็วและความละเอียดของวงจรแปลงสัญญาณชนิดต่างๆ.....	21
3.29 โครงสร้างพื้นฐานของวงจร A/D แบบ Successive – Approximation.....	21
3.30 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียม โพลีเมอร์.....	23
3.31 เซนเซอร์ SHT ของ SENSIRION.....	23
3.32 เซนเซอร์ SHT 15.....	24
3.33 บล็อกไดอะแกรมภายในของเซนเซอร์ SHT15	24
3.34 ลักษณะการทำงานของเซนเซอร์.....	25
3.35 ไลต์คำสั่งการทำงาน.....	25
3.36 ค่าของ SO_{RH} ที่อ่านได้จากเซนเซอร์.....	26
4.1 แสดง โครงสร้างของ Basic Rule-Base expert system.....	29
4.2 การออกแบบ โครงสร้างการทำงานของหุ่นยนต์.....	21
4.3 โครงสร้างการเขียน โปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็กสำหรับค้นหา ผู้ประสบภัย.....	33
4.4 วงจรควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก.....	33
4.5 แสดงความแตกต่างของทิศทางการวิ่งของหุ่นยนต์ขณะพลิกคว่ำ.....	35
4.6 โครงสร้างการทำงานของ L293D.....	36
5.1 แบบจำลองการเคลื่อนที่บนพื้นเอียง.....	37
5.2 หุ่นยนต์เคลื่อนที่บนพื้นเอียงชนิดกระจุกที่ 25 องศา.....	38
5.3 แบบจำลองการเคลื่อนที่ผ่านวัตถุทรงกลม.....	39
5.4 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่านวัตถุทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร.....	40
5.5 แบบจำลองการเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ต่างระดับ.....	41
5.6 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ต่างระดับ ความสูง 21 มิลลิเมตร.....	41
5.7 แบบจำลองการเคลื่อนที่ไต่ขั้นบันได.....	42
5.8 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไต่ขั้นบันไดความสูง 6 มิลลิเมตร.....	42
5.9 แสดงแบบสนามทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์.....	43
5.10 แสดงการจัดวางแหล่งกำเนิดแสงและรูปแบบการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดแบบที่ 1.....	44
5.11 แสดงการจัดวางแหล่งกำเนิดแสงและรูปแบบการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดแบบที่ 2.....	44
5.12 แสดงการจัดวางแหล่งกำเนิดแสงและรูปแบบการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดแบบที่ 3.....	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII อ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.13 แสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์(เลี้ยวเบนทางซ้าย)	45
5.14 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (เลี้ยวเบนทางซ้าย)	45
5.15 แสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (ตรง)	46
5.16 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (ตรง)	46
5.17 แสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์(เลี้ยวเบนทางขวา)	47
5.18 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (เลี้ยวเบนทางขวา)	47
5.19 ภาพการจำลองการทดลองวิ่งเข้าสู่พื้นที่มีอุณหภูมิสูง.....	48



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 คำสั่งของเซนเซอร์ SHT 15.....	25
3.2 สัมประสิทธิ์การแปลงเป็นอุณหภูมิ.....	27
5.1 ผลการทดลองการเคลื่อนที่บนพื้นเอียงชนิดกระจก.....	38
5.2 ผลการทดลองการเคลื่อนที่บนพื้นเอียงชนิดไม้.....	39
5.3 ผลการทดลองการเคลื่อนที่บนพื้นเอียงชนิดไม้กลั่น.....	39
5.4 ผลการทดลองการเคลื่อนที่ผ่านวัตถุทรงกลมของหุ่นยนต์.....	40
5.5 ผลการทดลองการเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ต่างระดับของหุ่นยนต์.....	41
5.6 ผลการทดลองการเคลื่อนที่ได้ขึ้นบันไดของหุ่นยนต์.....	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ X ้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบัน สิ่งก่อสร้าง ตึก อาคาร ที่พักอาศัย ได้ถูกสร้างและพัฒนาให้มีความแข็งแกร่ง ทนทานต่ออุณหภูมิ ความร้อน แรงสั่นสะเทือนและสภาวะแวดล้อมต่างๆ อย่างไรก็ตาม สิ่งก่อสร้างเหล่านี้ยังคงมีขีดจำกัดในการทนทานต่อภัยธรรมชาติที่อาจเกิดขึ้น แผ่นดินไหวเป็นธรณีพิบัติภัยอย่างหนึ่งที่เกิดขึ้นและสร้างความเสียหายต่อสิ่งก่อสร้างต่างๆ แม้นมนุษย์ผู้สร้างจะพยายามค้นหาวิธีการต่างๆ เช่นการออกแบบโครงสร้างให้แข็งแรง ใช้วัสดุอุปกรณ์ที่มีความทนทาน เพื่อให้สิ่งก่อสร้างสามารถทนต่อแรงสั่นสะเทือนได้ แต่ก็ยังคงเห็นเหตุการณ์ตึก อาคาร ถล่ม เมื่อเกิดเหตุ แผ่นดินไหวบ่อยครั้ง ด้วยเหตุนี้อาจมีผู้ประสพภัยที่ติดอยู่ภายใต้ซากปรักหักพัง อยู่ในพื้นที่ที่มีขนาดจำกัด เป็นการยากในการนำมนุษย์หรือสัตว์เข้าไปค้นหาเพื่อช่วยเหลือและนำผู้ประสพภัยออกมาจากซากปรักหักพัง อาจจะต้องใช้เวลาหลายชั่วโมงหรืออาจใช้เวลาเป็นวันในการค้นหาตำแหน่งของผู้ประสพภัย สิ่งสำคัญข้อหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงในการค้นหาผู้ประสพภัยนั้นคือ เวลา ซึ่งเป็นตัวชี้ได้ว่าผู้ประสพภัยจะมีชีวิตอยู่หรือไม่ การทำงานต้องแข่งกับเวลา ดังนั้นแล้วข้อสำคัญคือการใช้เวลาค้นหาให้น้อยที่สุด และบอกตำแหน่งผู้ประสพภัยที่ยังมีชีวิตอยู่เร็วที่สุด เพื่อที่จะได้ดำเนินการช่วยเหลือในขั้นตอนต่อไป

ในการค้นหาผู้ประสพภัยที่ติดอยู่ภายใต้ซากปรักหักพัง ด้วยความสามารถในการดมกลิ่นของสุนัข สุนัขจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่น่ามาช่วยค้นหาผู้ประสพภัย สุนัขเหล่านี้จะถูกฝึกให้มีความสามารถในการค้นหาผู้ประสพภัยเป็นอย่างดี โดยจะถูกส่งเข้าไปในซากปรักหักพังเพื่อดมกลิ่นหาตำแหน่งของผู้ประสพภัย เมื่อพบผู้ประสพภัยจะส่งสัญญาณออกมาโดยการเห่า หลังจากนั้นมนุษย์จะเข้าไปทำการช่วยเหลือ แม้สุนัขที่ถูกฝึกมาเป็นอย่างดีแล้ว ก็ย่อมมีขีดจำกัดทางร่างกาย ความเหนื่อยล้าจากการทำงานที่ใช้เวลานานหลายชั่วโมง อาจทำให้การดมกลิ่นเกิดความผิดพลาด นอกจากนั้นแล้วยังมีสาเหตุอื่นๆที่อาจทำให้ ความสามารถในการทำงานของสุนัขลดลง คือ ความร้อน ฝุ่นควันต่างๆ ความลำบากในการมองเห็น และความเสี่ยงที่อาจเกิดจากซากปรักหักพังหล่น ช้ำลงมาในขณะที่ทำการค้นหาได้อีกด้วย จากสาเหตุต่างๆเหล่านี้ทำให้มหาวิทยาลัย องค์กร และบริษัทต่างๆ พยายามที่จะนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้ในการค้นหาผู้ประสพภัยหนึ่งในเทคโนโลยีเหล่านี้คือหุ่นยนต์สำหรับค้นหาผู้ประสพภัย ซึ่งได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการบอกตำแหน่งของผู้ประสพภัยที่ติดอยู่ในซากปรักหักพัง โดยหุ่นยนต์ค้นหาที่สร้างขึ้นนั้นได้พัฒนาออกมาในหลายรูปแบบ โดยมากหุ่นยนต์เหล่านี้จะมีคุณสมบัติมากมาย ใช้อุปกรณ์ที่มีความทันสมัยมีประสิทธิภาพสูง ด้วยเหตุนี้หุ่นยนต์ค้นหาผู้ประสพภัยจึงมีขนาดใหญ่และราคาสูง ยกใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การที่จะผลิตออกมาในเชิงปริมาณ นอกจากนั้นหุ่นยนต์ค้นหาผู้ประสบภัยขนาดใหญ่ยังมีข้อเสีย เช่น ขาดความรวดเร็วในการค้นหา มีข้อจำกัดในเรื่องของขนาด มีน้ำหนักมากซึ่งอาจทำให้ซากอาคารเกิดการถล่มซ้ำอีกได้

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอ หุ่นยนต์ขนาดเล็ก (Microrobots) สำหรับค้นหาผู้ประสบภัยที่อยู่ภายใต้ซากปรักหักพังแทนการใช้มนุษย์ สุนัข และหุ่นยนต์ค้นหาผู้ประสบภัยขนาดใหญ่ หุ่นยนต์ค้นหาผู้ประสบภัยขนาดเล็กมีข้อได้เปรียบกว่าหุ่นยนต์ค้นหาผู้ประสบภัยขนาดใหญ่ โดยประการแรก หุ่นยนต์ค้นหาผู้ประสบภัยขนาดเล็ก มีข้อได้เปรียบในเรื่องขนาด มีความสามารถในการเดินผ่านในพื้นที่ที่มีอยู่อย่างจำกัด รู ช่อง และพื้นที่ที่มีความเสี่ยงสูง ประการที่สอง หุ่นยนต์ค้นหาผู้ประสบภัยขนาดเล็กมีน้ำหนักเบา ทำให้มีความปลอดภัยไม่ทำให้ซากของอาคารถล่มซ้ำลงมาทับอีก เป็นการลดอุบัติเหตุที่อาจจะเกิดได้เมื่อใช้หุ่นยนต์ขนาดใหญ่ที่มีน้ำหนักมาก ประการที่สาม หุ่นยนต์ค้นหาผู้ประสบภัยขนาดเล็กสามารถผลิตเชิงปริมาณ เพราะราคาต้นทุนการผลิตค่อนข้างต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับหุ่นยนต์ค้นหาผู้ประสบภัยขนาดใหญ่ และประการสุดท้ายสามารถใช้หุ่นยนต์ค้นหาผู้ประสบภัยขนาดเล็กนี้ทำการค้นหาผู้ประสบภัยได้ครั้งละหลายๆตัวเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ ทำให้มีโอกาสพบผู้ประสบภัยได้รวดเร็วขึ้น

งานวิจัยได้แบ่งออกเป็น 2 ระยะ โดยจุดประสงค์หลักของงานวิจัยในระยะที่ 1 เป็นการออกแบบ ศึกษา และพัฒนา หุ่นยนต์(Robots Design) และในระยะที่2 เป็นการศึกษาส่วนของการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้กับหุ่นยนต์ (Human – Machine Communication) ซึ่งในระยะที่ 2 จะมีการศึกษาและวิจัยในปีการศึกษาต่อไป

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์และโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก สำหรับค้นหาผู้ประสบภัยให้มีประสิทธิภาพ
2. ออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กสำหรับค้นหาผู้ประสบภัยให้มีประสิทธิภาพสูงภายใต้เงื่อนไขของขนาดและมีการควบคุมแบบอัตโนมัติ
3. สร้างหุ่นยนต์ขนาดเล็กขนาดเล็กสำหรับค้นหาผู้ประสบภัย ตามที่ได้ออกแบบ

1.3 ขอบเขตและขั้นตอนการวิจัย

1. ศึกษาอุปกรณ์สำหรับตรวจจับสำหรับค้นหาสิ่งมีชีวิต และติดตั้งอุปกรณ์ลงในตัวหุ่นยนต์ขนาดเล็ก
2. ออกแบบ ศึกษา และพัฒนา หุ่นยนต์ (Robots Design)
3. ออกแบบและจำลองสถานการณ์ สำหรับทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 รายละเอียดของปฏิญานิพนธ์

ในปฏิญานิพนธ์ฉบับนี้จะแบ่งออกเป็น 6 บท โดยมีรายละเอียดของแต่ละบทดังนี้

บทที่ 1 เป็นการกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของหัวข้อวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ในการศึกษาและวิจัย ขอบเขตและขั้นตอนในการวิจัย พร้อมทั้งรายละเอียดของปฏิญานิพนธ์ในแต่ละบท

บทที่ 2 เป็นการกล่าวถึงรายละเอียดของอุปกรณ์สำหรับการตรวจสอบและค้นหา วิธีการค้นหาผู้ประสพภัยของหุ่นยนต์โดยทั่วไป และที่มาของการตัดสินใจเลือกอุปกรณ์สำหรับใช้ในหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

บทที่ 3 เป็นการกล่าวถึงการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์ขนาดเล็กโดยแสดงรายละเอียดการออกแบบโครงสร้างทางกล และองค์ประกอบของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้สำหรับหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

บทที่ 4 เป็นการกล่าวถึงการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์โดยมีความมุ่งหมายให้หุ่นยนต์ขนาดเล็กมีการควบคุมแบบอัตโนมัติ (Autonomous)

บทที่ 5 เป็นการกล่าวถึงผลการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของหุ่นยนต์ ที่ได้ทำการออกแบบโครงสร้างในบทที่ 3 และควบคุมการทำงานไว้ในบทที่ 4

บทที่ 6 เป็นสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะในการพัฒนาต่อไป

บทที่ 2

การตรวจสอบและค้นหาผู้ประสบภัย

ในการค้นหาผู้ประสบภัยที่ติดอยู่ภายใต้ซากปรักหักพัง ในอดีตจะมีการใช้มนุษย์เข้าไปช่วยเหลือและค้นหา ต่อมามีการฝึกสุนัขสำหรับช่วยเหลือมนุษย์ผู้ทำการค้นหา เนื่องจากสุนัขมีความสามารถรับรู้ได้ดี มีความไวในการดมกลิ่นสูง และมีความว่องไวกว่ามนุษย์ การให้สุนัขเข้าไปช่วยในการค้นหาตำแหน่งของผู้ประสบภัย สามารถลดอุบัติเหตุของมนุษย์ที่เกิดซ้ำซ้อนได้เป็นอย่างมาก แต่ทั้งมนุษย์และสุนัขก็ยังมีความเห็น้อยล้ำและไม่สามารถที่จะทำการค้นหาได้ตลอดเวลา เมื่อเทคโนโลยีพัฒนาสูงขึ้นได้มีเครื่องมืออุปกรณ์ที่คิดค้นขึ้นมามากมาย อาทิเช่น รถยก รถเครน ต่างๆ จนกระทั่งมีหุ่นยนต์ที่ใช้สำหรับค้นหาผู้ประสบภัย ซึ่งในปัจจุบันมีผู้ให้ความสำคัญและความสนใจเป็นอย่างมาก

หุ่นยนต์ค้นหาผู้ประสบภัยเป็นหนึ่งในสิ่งประดิษฐ์ตามเทคโนโลยีที่มีความก้าวหน้าต่อเนื่องตลอดเวลา และมีแนวโน้มที่จะพัฒนาต่อไป หุ่นยนต์มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ความร้อน ฝุ่น อากาศที่เปลี่ยนแปลง สามารถทำการค้นหาได้ตลอดเวลาเนื่องจากไม่มีความเห็น้อยล้ำเช่นมนุษย์หรือสุนัข ด้วยเหตุผลนี้ จึงเกิดการค้นคว้าหาวิธีต่างๆ เพื่อนำเทคโนโลยีสมัยใหม่มาประยุกต์ใช้ในการสร้างหุ่นยนต์ค้นหาผู้ประสบภัย หุ่นยนต์เหล่านี้สร้างขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการหาผู้ประสบภัยและบอกตำแหน่งของผู้ประสบภัย เพื่อที่จะลดเวลาและอุบัติเหตุในการค้นหาโดยมนุษย์ เมื่อสามารถรู้ตำแหน่งของผู้ประสบภัยได้ก่อน การที่จะเข้าไปค้นหาและทำการช่วยเหลือก็必将มีความรวดเร็วมากยิ่งขึ้น อัตราการรอดชีวิตของผู้ประสบภัยก็จะสูงขึ้นด้วย

2.1 ข้อได้เปรียบของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

หุ่นยนต์ค้นหาโดยทั่วไปจะมีขนาดเล็ก อุปกรณ์ที่ติดตั้งโดยทั่วไปสำหรับหุ่นยนต์ค้นหา มักจะประกอบไปด้วย กล้องวิดีโอ เซนเซอร์ตรวจจับความร้อน เซนเซอร์ตรวจจับเสียง เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว และอาจจะต้องควบคุมการทำงานโดยมนุษย์ตลอดเวลา หุ่นยนต์เหล่านี้จะมีน้ำหนักมากและขนาดใหญ่ตามอุปกรณ์ที่ติดตั้งลงในตัวหุ่น โดยข้อดีของการใช้หุ่นยนต์ขนาดเล็กสำหรับค้นหาผู้ประสบภัยมีดังนี้

2.1.1 หุ่นยนต์ขนาดเล็กมีความได้เปรียบเรื่องของขนาดที่สามารถเคลื่อนที่ผ่านช่องแคบหรือพื้นที่ที่หุ่นยนต์ขนาดใหญ่โดยทั่วไปยากจะเข้าได้ถึง

2.1.2 หุ่นยนต์ขนาดเล็กมีความได้เปรียบในเรื่องของน้ำหนักที่เบากว่าหุ่นยนต์ทั่วไปสามารถเคลื่อนที่ผ่านซากปรักหักพัง ลดอุบัติเหตุซ้ำที่เกิดจากการค้นหาได้สูง

2.1.3 หุ่นยนต์ขนาดเล็กมีความได้เปรียบเรื่องของราคาต้นทุนในการผลิตที่ถูกกว่าหุ่นยนต์ทั่วไป สามารถผลิตในเชิงปริมาณได้จำนวนมากกว่าในราคาทุนที่เท่ากัน สามารถทำการค้นหาได้ครั้งละหลายตัวพร้อมๆกัน ครอบคลุมพื้นที่บริเวณกว้างและช่วยลดเวลาในการค้นหา

2.2 อุปกรณ์ค้นหาผู้ประสบภัยสำหรับหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

ในการออกแบบและเลือกอุปกรณ์สำหรับตรวจสอบและค้นหาผู้รอดชีวิตของหุ่นยนต์ค้นหาผู้ประสบภัย ได้มีการศึกษาถึงอุปกรณ์ประเภท กล้องวิดีโอ เซนเซอร์ตรวจจับความร้อน เซนเซอร์ตรวจจับเสียง เซนเซอร์ตรวจจับการเคลื่อนไหว แต่หากเป็นหุ่นยนต์ขนาดเล็กซึ่งมีขีดจำกัดในเรื่องของขนาด ดังนั้นอุปกรณ์ที่เลือกใช้จึงควรมีขนาดเล็กและใช้พลังงานต่ำ ในการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็กควรมีการทำงานที่เรียบง่ายไม่ซับซ้อน และใช้อุปกรณ์ที่ติดตั้งลงในตัวหุ่นยนต์ให้คุ้มค่าที่สุดมากที่สุด

จากการศึกษาเรื่องของ สัญญาณชีพ (Vital Signs) ซึ่งประกอบไปด้วย อุณหภูมิ ชีพจร การหายใจ และความดันโลหิต โดยสัญญาณชีพเป็นสิ่งที่บ่งชี้ถึงสถานะสุขภาพของบุคคล ดังนั้นจึงมีการนำสัญญาณชีพนี้มาเป็นเกณฑ์ ในการเลือกอุปกรณ์ที่ติดตั้งลงในตัวหุ่นยนต์ จากข้อมูลของสัญญาณชีพ ข้อมูลทางชีพจร การหายใจ และความดันโลหิต เป็นข้อมูลที่ใช้อุปกรณ์ตรวจวัดทางการแพทย์ มีความลำบากในการติดตั้งลงในหุ่นยนต์ขนาดเล็ก ดังนั้นข้อมูลที่มีความเป็นไปได้มากที่สุดคือ ข้อมูลจากอุณหภูมิของมนุษย์ ซึ่งสามารถทำการวัดได้โดยตรงทางผิวหนัง และอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจวัดก็มีให้เลือกใช้มาก โดยอุณหภูมิของร่างกายเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ร่างกายผลิตขึ้นกับ ความร้อนที่สูญเสียไปจากร่างกาย ชนิดของอุณหภูมิร่างกาย มี 2 ชนิด ได้แก่ อุณหภูมิภายในร่างกาย และอุณหภูมิบริเวณผิว อุณหภูมิภายในร่างกาย จะตรวจวัดจากบริเวณศีรษะ และทรวงอก ซึ่งจะมี เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยในผู้ใหญ่ ที่ประมาณ $36.7 - 37^{\circ}\text{C}$ ส่วนอุณหภูมิบริเวณผิวหนังจะตรวจวัดจากซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงขึ้น ๆ ลง ขึ้นอยู่กับการไหลเวียนเลือดที่ผิวหนัง และจำนวนของการสูญเสียความร้อนให้กับสิ่งแวดล้อมภายนอก โดยประมาณ $20-40^{\circ}\text{C}$ สำหรับร่างกายที่ปกติอุณหภูมิของแต่ละวัยจะไม่เท่ากัน โดยในแต่ละวัยจะมีอุณหภูมิดังนี้ ทารกจะมีอุณหภูมิ $36.1 - 37.7^{\circ}\text{C}$ วัยเด็ก $36.1 - 37.7^{\circ}\text{C}$ วัยผู้ใหญ่ $36.5 - 37.5^{\circ}\text{C}$ และคนชรา $36 - 36.9^{\circ}\text{C}$ โดยประมาณ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของร่างกายจะมีทั้งอุณหภูมิสูงกว่าปกติและอุณหภูมิต่ำกว่าปกติ หลังจากที่มีการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ สำหรับอุณหภูมิสูงนั้นร่างกายจะปรับอุณหภูมิเข้ากับภาวะใหม่ เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดอาการมีไข้โดยความรุนแรงของไข้แบ่งเป็น 3 ระดับได้แก่ไข้ต่ำ $37.1 - 38.2^{\circ}\text{C}$ ไข้สูง $38.3 - 40.4^{\circ}\text{C}$ และ ไข้สูงมาก 41°C สำหรับอุณหภูมิของร่างกายต่ำกว่าปกติ มีค่าของอุณหภูมิโดยประมาณ $30-32^{\circ}\text{C}$ เกิดจากร่างกายต้องการลดความต้องการในการใช้ออกซิเจน ร่างกายการเสียเลือด ลดการเผาผลาญภายในเซลล์และปกป้องอวัยวะต่าง ๆ หรืออาจเกิดจากการอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่หนาวเย็นหรือการแช่อยู่ในน้ำที่เย็น ๆ ซึ่งข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล่านี้ อาจเกิดได้กับผู้ประสบภัยที่ติดอยู่ในซากปรักหักพัง เนื่องจากร่างกายอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่ปกติและร่างกายอาจเสียเลือดจากอุบัติเหตุด้วย

2.3 การค้นหาผู้ประสบภัยของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

หุ่นยนต์ค้นหาขนาดเล็กมีพื้นที่สำหรับใส่อุปกรณ์น้อย จะต้องจัดพื้นที่สำหรับวงจร อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์แบตเตอรี่ และอุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจหาผู้ประสบภัย โดยอุปกรณ์ตรวจหาผู้ประสบภัยควรมีขนาดที่พอเหมาะกับตัวหุ่นยนต์ และใช้พลังงานต่ำ เพื่อประหยัดพลังงานของตัวหุ่นยนต์เอง

จากการศึกษาข้อมูลอุณหภูมิของมนุษย์ซึ่งทำให้ทราบถึงข้อมูลในการเลือกอุปกรณ์สำหรับใช้ตรวจสอบผู้ประสบภัยภายใต้ซากปรักหักพัง ว่ามีความเป็นไปได้มากที่สุดหากใช้อุปกรณ์ตรวจวัดทางอุณหภูมิ เนื่องจากมีขนาดเล็กและประหยัดพลังงาน หุ่นยนต์จะเข้าไปค้นหาผู้ประสบภัยด้วยวิธีการเคลื่อนที่แบบสุ่ม หุ่นยนต์จะตรวจวัดอุณหภูมิของสภาพแวดล้อมที่หุ่นยนต์เข้าไปทำการค้นหาเพื่อตรวจสอบว่าสามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่หุ่นยนต์เลือกได้หรือไม่ และอีกทางหนึ่งจะตรวจอุณหภูมิของวัตถุที่หุ่นยนต์ตรวจพบ หากสิ่งที่หุ่นยนต์ตรวจพบมีความเป็นไปได้ว่าเป็นสิ่งมีชีวิต หุ่นยนต์จะส่งสัญญาณกลับมาเพื่อระบุตำแหน่งของสิ่งที่ตรวจพบ หลังจากนั้นมนุษย์จะเข้าไปทำการค้นหาและช่วยเหลือออกมาตามลำดับ

บทที่ 3

การออกแบบและพัฒนา

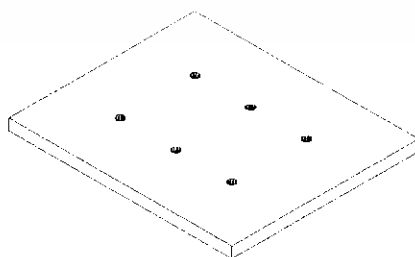
หุ่นยนต์ขนาดเล็กสำหรับค้นหาผู้ประสบภัยในงานวิจัยนี้ ถูกออกแบบให้มีความแข็งแรง โดยใช้อลูมิเนียมเป็นโครงสร้างหลัก และเพื่อความสามารถเคลื่อนที่บนสภาพพื้นผิวที่ยากลำบาก จึงได้ใช้สายพานที่ส่งกำลังจากล้ออลูมิเนียม โดยมีมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาดเล็ก ที่มีเฟืองทด ภายในเป็นตัวขับเคลื่อน สำหรับการพัฒนาได้กำหนดให้หุ่นยนต์ขนาดเล็ก จะกำหนดให้มีการควบคุมการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติ สามารถเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่โดยใช้ความเข้มของแสง เป็นเกณฑ์ และ สุดท้ายได้ออกแบบให้หุ่นยนต์ขนาดเล็ก ตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นของ สภาพแวดล้อมและวัตถุที่หุ่นยนต์พบเพื่อตรวจสอบว่าสิ่งที่พบนั้น เป็นสิ่งมีชีวิตหรือไม่

3.1 โครงสร้างและการออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

โครงสร้างหลักของหุ่นยนต์ถูกออกแบบด้วยแผ่นประกอบฐานของหุ่นยนต์ มีลักษณะเป็น แผ่นสี่เหลี่ยมซึ่งทำหน้าที่เป็น โครงหลักสำหรับการยึดติดของฐานหุ่นยนต์ด้านซ้ายและฐานหุ่นยนต์ ซึ่งเป็นรูปฉากนำมายึดติดกับฐาน ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าทลเฟืองขนาดเล็ก 2 ตัวเป็นต้นกำลังในการ ขับเคลื่อน สายพานโดยที่สายพานจะถูกขับโดยล้อขับเคลื่อนขนาดใหญ่ทางด้านด้านหน้า เฟืองขับเคลื่อน เล็กและล้อช่วยทางด้านหลัง อุปกรณ์เซนเซอร์ LDR ได้ถูกติดตั้งไว้บนฐานรองรับที่ติดตั้งอยู่ ด้านข้างของหุ่นยนต์ทางซ้ายและ ตัวหุ่นยนต์ถูกปิดครอบด้วยฝาครอบสำหรับป้องกันวงจรและ อุปกรณ์ภายในจากเศษฝุ่นและการกระแทกต่างๆ

3.1.1 แผ่นประกอบฐานของหุ่นยนต์

แผ่นประกอบฐานของหุ่นยนต์ สร้างจากอลูมิเนียมชนิดแผ่นเพื่อเป็นฐานของโครงสร้าง ให้มีความแข็งแรง โดยมีความกว้าง 50 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตรหนา 3 มิลลิเมตรและเจาะรู ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.1 (ดูรายละเอียดได้ที่ ภาคผนวก ก)

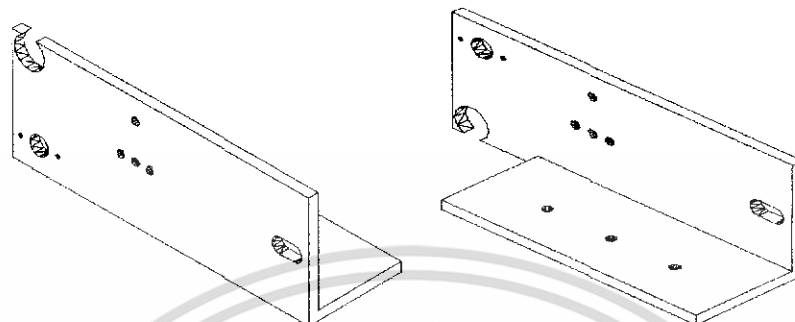


รูปที่ 3.1 แผ่นประกอบฐานของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 ฐานหุ่นยนต์ด้านซ้ายและด้านขวา

ฐานหุ่นยนต์ด้านซ้ายและด้านขวาสร้างจากอลูมิเนียมชนิดฉาก มีขนาดความหนา 2.5 มิลลิเมตร นำมาดัดแปลงและเจาะรูสำหรับใส่อุปกรณ์ แสดงดังรูปที่ 3.2 (ดูรายละเอียดได้ที่ ภาคผนวก ก)



รูปที่ 3.2 ฐานหุ่นยนต์ด้านซ้ายและฐานหุ่นยนต์ด้านขวา

3.1.3 ล้อขับเคลื่อนด้านหน้า

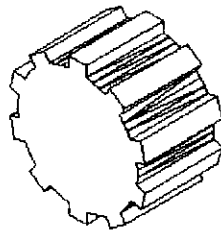
ล้อขับเคลื่อนด้านหน้าผลิตจากอลูมิเนียมชนิดแท่งกลม นำมาขึ้นรูปใหม่และเจาะรูสำหรับติดตั้งตลับลูกปืน โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางและความกว้างของล้อเท่ากับ 38 และ 13 มิลลิเมตร ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ล้อขับเคลื่อนด้านหน้า

3.1.4 เฟืองขับเคลื่อน

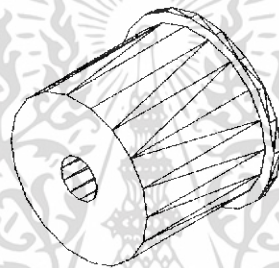
เฟืองขับเคลื่อนสร้างจากโลหะอลูมิเนียมอัลลอยด์ นำมาดัดแปลงสำหรับเป็นตัวขับเคลื่อน สายพาน โดยมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 20 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 เฟืองขับเคลื่อน

3.1.5 ล้อช่วยขนาดเล็ก

ล้อช่วยเฟืองขับขนาดเล็กสำหรับช่วยเฟืองขับพวงสายพาน สร้างจากสแตนเลส โดยมีดล้น
ถูกป็นภายใน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 14.5 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.5

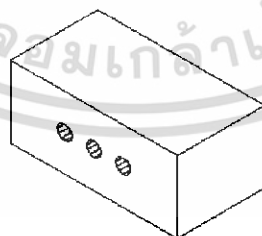


รูปที่ 3.5 ล้อช่วยเฟืองขับขนาดเล็ก

3.1.6 แผ่นรองรับ LDR

แผ่นรองรับ LDR สร้างจากอะคริลิกสำหรับติดตั้งไว้ด้านข้างของตัวหุ่นยนต์ แสดงดังรูปที่

3.6

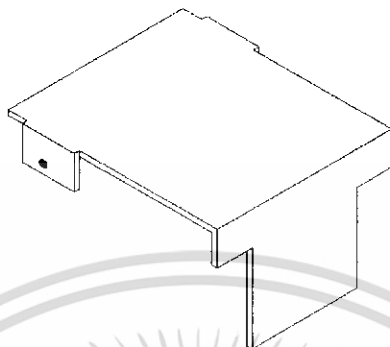


รูปที่ 3.6 แผ่นรองรับ LDR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.7 ฝาครอบวงจรและอุปกรณ์ภายใน

ฝาครอบวงจรและอุปกรณ์ภายในสร้างจากอะลูมิเนียมหนา 1 มิลลิเมตร นำมาดัดแปลงสำหรับใช้ครอบวงจรและอุปกรณ์ภายในของหุ่นยนต์ แสดงดังรูปที่ 3.7 (ดูรายละเอียดได้ที่ ภาคผนวก ก)



รูปที่ 3.7 ฝาครอบวงจรและอุปกรณ์ภายใน

3.1.8 มอเตอร์ทดเฟืองขนาดเล็ก

มอเตอร์ทดเฟืองขนาดเล็กภายในตัว ของบริษัท Zhengke ขนาด 6 โวลต์ 0.082 แอมแปร์ ความเร็ว 100 รอบต่อวินาที ดังรูปที่ 3.8 และการจัดวางมอเตอร์ แสดงดังรูปที่ 3.9



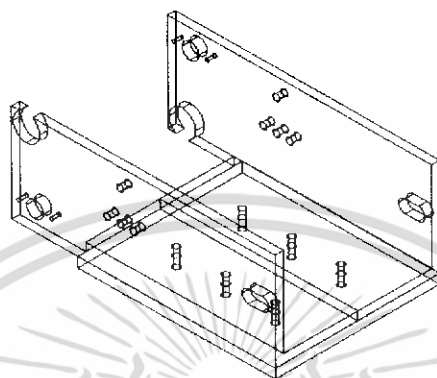
รูปที่ 3.8 มอเตอร์ขนาดเล็ก



รูปที่ 3.9 การจัดวางมอเตอร์ขนาดเล็ก

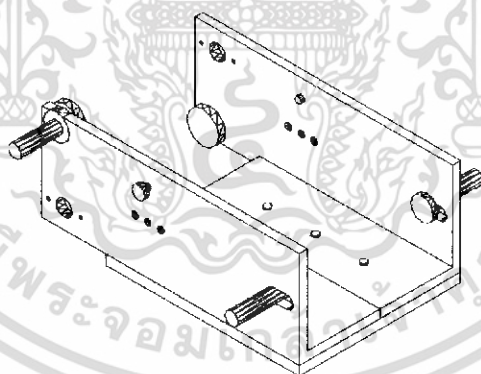
3.2 การประกอบหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

การประกอบหุ่นยนต์ขนาดเล็กได้ หลังจากที่เราสร้างแผ่นประกอบฐานหุ่นยนต์ ฐานหุ่นยนต์ด้านซ้ายและฐานหุ่นยนต์ด้านขวา ในขั้นแรกนำโครงสร้างทั้ง 3 นี้มาประกอบและวัดระยะของรูปอุปกรณ์ให้ตรงกัน แสดงดังรูปที่ 3.10



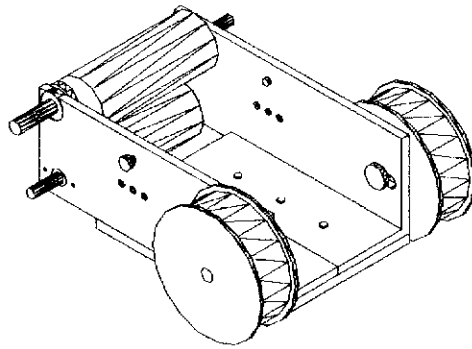
รูปที่ 3.10 การประกอบแผ่นประกอบฐาน ฐานด้านซ้ายและฐานด้านขวาของหุ่นยนต์

หลังจากที่ได้ระยะและขนาดของโครงสร้างหลัก ขั้นต่อไป จะประกอบโบลต์เพื่อยึดโครงสร้างหลักทั้ง 3 ชิ้น ให้ยึดติดแน่นและมีความแข็งแรง แสดงดังรูปที่ 3.11



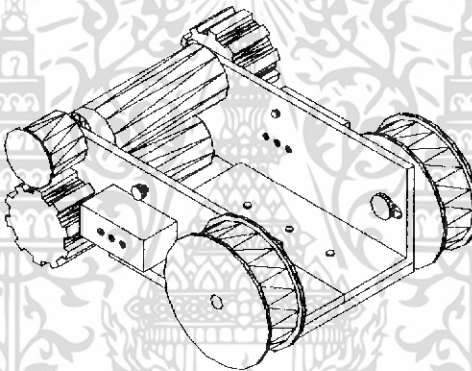
รูปที่ 3.11 การประกอบโบลต์กับโครงสร้างหลักของหุ่นยนต์

เมื่อโครงสร้างหลักทั้ง 3 ยึดติดกันเรียบร้อยแล้ว ขั้นต่อไปจะประกอบมอเตอร์มอเตอร์ทดเฟืองขนาดเล็กทั้ง 2 ตัว และล้อหน้าทั้งสอง กับโครงสร้างหลักของหุ่นยนต์ แสดงดังรูปที่ 3.12



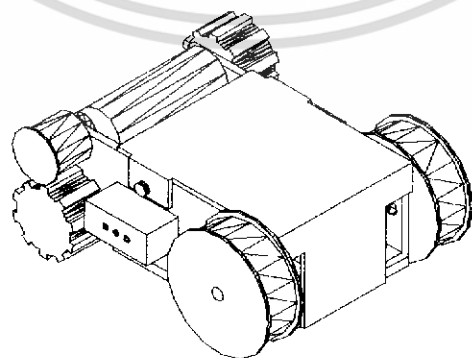
รูปที่ 3.12 การประกอบมอเตอร์ทดเฟืองขนาดเล็กและล้อหน้า

ขั้นตอนต่อไป ประกอบเฟืองขับเคลื่อนและล้อช่วยกับ โครงสร้างหลักของหุ่นยนต์ แสดง
ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 เฟืองขับเคลื่อนและล้อช่วยกับ โครงสร้างหลักของหุ่นยนต์

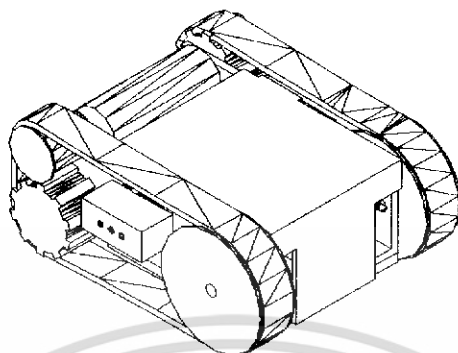
ขั้นตอนต่อไป ประกอบฝาครอบวงจรและอุปกรณ์ภายใน กับโครงสร้างหลักของหุ่นยนต์
แสดงดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 การประกอบฝาครอบวงจรและอุปกรณ์ภายใน กับโครงสร้างหลักของหุ่นยนต์

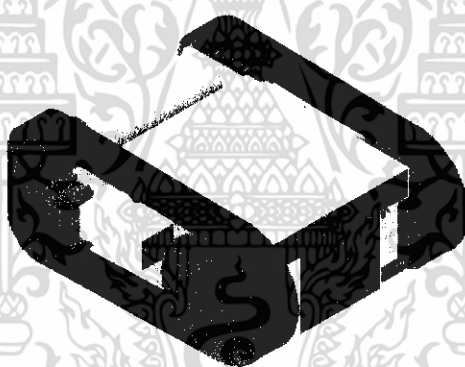
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการใส่สายพานให้กับหุ่นยนต์ และตั้งระยะความตึงของสายพานเพื่อ
ความเหมาะสม แสดงดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 การใส่สายพานให้กับหุ่นยนต์

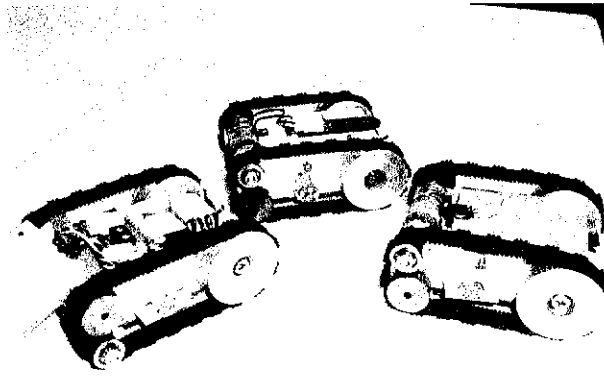
เมื่อประกอบหุ่นยนต์สมบูรณ์ จะมีรูปแบบของหุ่นยนต์ที่สมบูรณ์ แสดงดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 หุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ประกอบเสร็จสมบูรณ์

3.3 หุ่นยนต์ขนาดเล็กที่สร้างและประกอบเสร็จสมบูรณ์

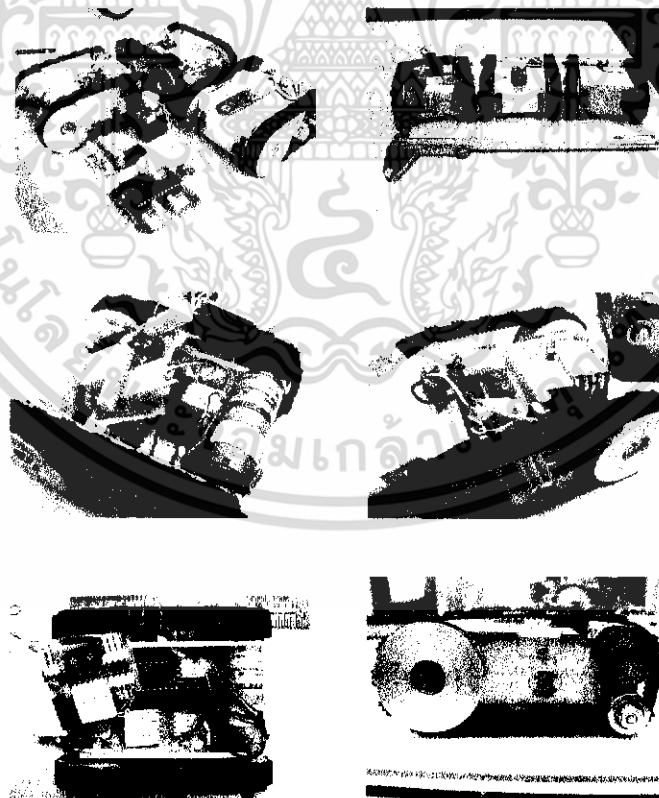
ในหัวข้อที่ผ่านมาได้ออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ขนาดเล็กสำหรับค้นหาผู้ประสบภัย
สำหรับงานวิจัยนี้ ได้สร้างหุ่นยนต์ขนาดเล็กตามที่ได้ออกแบบจำนวน 3 ตัว ดังแสดงรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 หุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ได้รับการออกแบบและพัฒนา

เมื่อประกอบหุ่นยนต์ขนาดเล็กเสร็จสมบูรณ์ จะได้พื้นที่ภายในตัวของหุ่นยนต์ ซึ่งสามารถใส่อุปกรณ์วงจรและแบตเตอรี่ไว้ภายใน โดยพื้นที่ว่างมีความกว้าง และความยาวเท่ากับ 43 และ 60 มิลลิเมตรตามลำดับ สำหรับความสูงของพื้นที่ใส่อุปกรณ์นั้นจะมีเพียง 21 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่

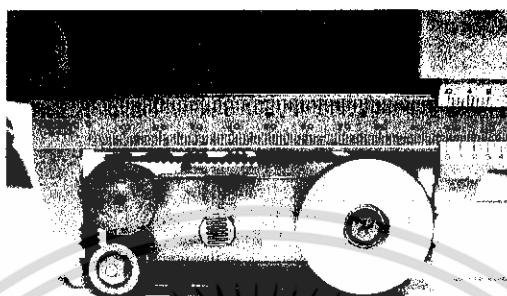
3.18



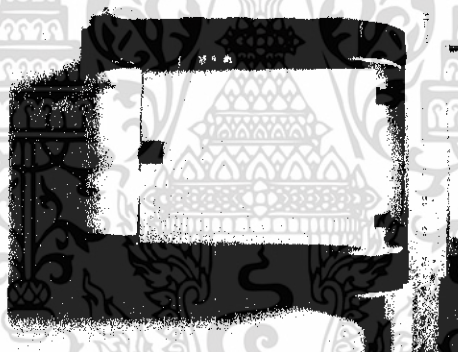
รูปที่ 3.18 หุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ออกแบบและพัฒนา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการสร้างหุ่นยนต์ขนาดเล็กตามที่ได้ออกแบบในงายวิจัยทั้ง 3 ตัว จะมีขนาดที่สร้าง และประกอบเสร็จสมบูรณ์ที่ใกล้เคียงกัน โดยมีขนาดของความยาวประมาณ 100 มิลลิเมตร แสดง ดังรูปที่ 3.19 ขนาดของความกว้างประมาณ 80 มิลลิเมตร แสดงดังรูปที่ 3.20 และมีขนาดของความ สูงประมาณ 40 มิลลิเมตรแสดงดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.19 หุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ออกแบบและพัฒนา(ด้านยาว)



รูปที่ 3.20 หุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ออกแบบและพัฒนา(ด้านกว้าง)



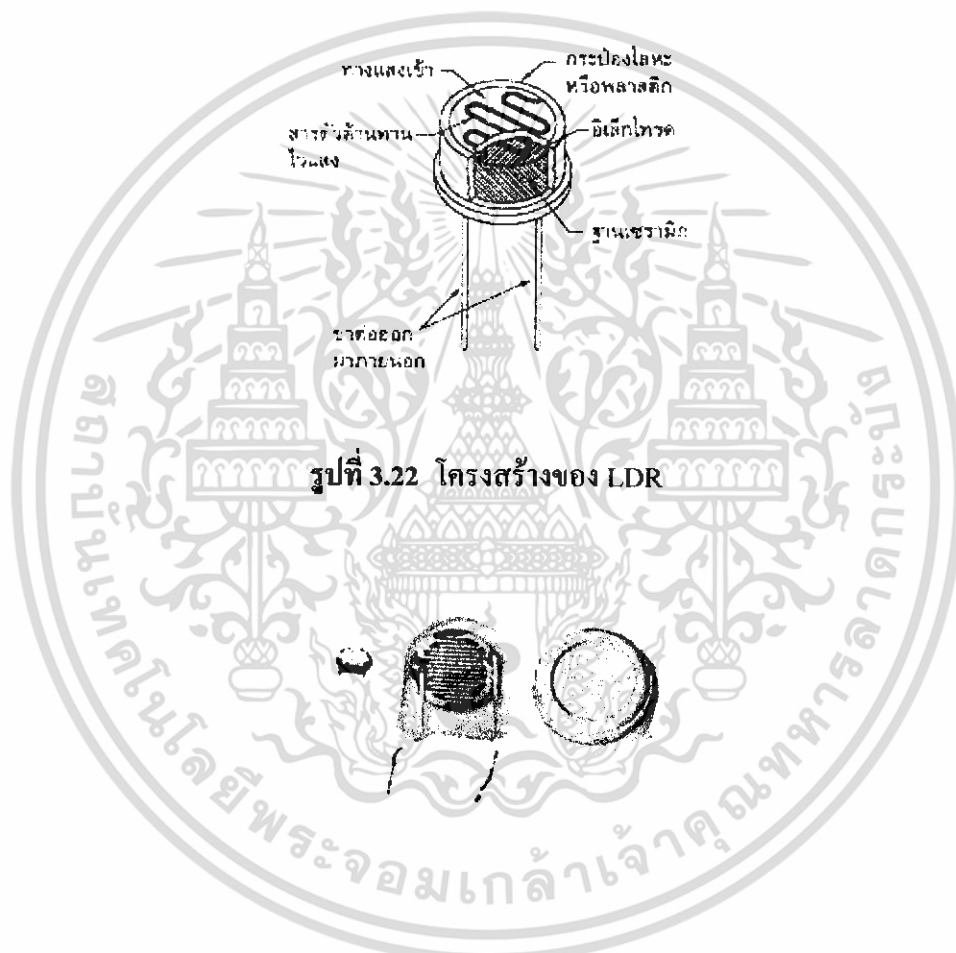
รูปที่ 3.21 หุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ออกแบบและพัฒนา(ด้านสูง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 อุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์

3.4.1 ตัวต้านทานไวแสง

ตัวต้านทานไวแสง (Light Independent Resistor) หรือที่เรียกว่า LDR อาจมีชื่อเรียกอีกหลายชื่อ เช่น โฟโตคอนดักตีฟเซลล์ (photoconductive cell) ตัวต้านทานไวแสง (LSR - light sensitive resistor) ส่วนใหญ่อุปกรณ์เหล่านี้ทำมาจากสารแคดเมียมซัลไฟด์ (Cds) หรือแคดเมียมซีลีไนด์ (Cdse) ซึ่งเป็นสารประกอบชนิดกึ่งตัวนำมาจากบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรอง แล้วต่อขาจากสารที่ฉาบเอาไว้ ซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.22 และ รูปที่ 3.23



รูปที่ 3.23 LDR

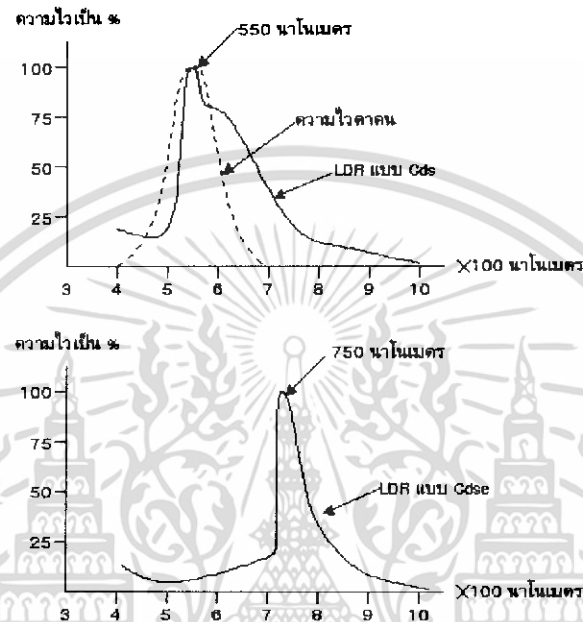
โครงสร้างของ LDR ดังรูปที่ 3.17 และรูปที่ 3.18 ส่วนที่ขีดเป็นแนวเล็กๆ สีดำทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสงและแนวสีดําจะแบ่งพื้นที่ออกเป็น 2 ข้าง พื้นที่ที่ถูกแบ่งออกเป็นสองข้างจะมีสีทองจะทำหน้าที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่สัมผัสกับตัวต้านทานไวแสง เป็นที่สำหรับต่อขาออกมาภายนอก หรือ เรียกว่าอิเล็กโทรด ที่เหลือจะเป็นฐานเซรามิก และ อุปกรณ์สำหรับห่อหุ้ม LDR ที่ใช้ในปัจจุบันได้ถูกผลิตออกมาด้วยกันหลายรูปแบบและหลายขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

3.4.1.1 คุณสมบัติทางแสง

LDR เป็นสารกึ่งตัวนำเมื่อมีแสงตกกระทบที่ผิวหน้าก็จะถ่ายทอดพลังงาน ให้กับสาร ที่ ฉาบอยู่ ทำให้เกิดโฮล กับอิเล็กตรอนวิ่งชนกัน การที่มีโฮล กับอิเล็กตรอนอิสระนี้มากจะทำให้ความ คำนานลดลงนั่นเอง ยิ่ง ความเข้มของแสงที่ตกกระทบมากความคำนานก็ยิ่งลดลง LDR ไวต่อ แสงในช่วงคลื่น 400-1000 นาโนเมตร (1 นาโนเมตร = 10^{-9} เมตร)



รูปที่ 3.24 กราฟแสดงความไวต่อแสงความถี่ต่าง ๆ ของ LDR ทั้ง 2 แบบเมื่อเทียบกับความไวของ ตาคคน

ความไวต่อแสงความถี่ต่าง ๆ ของ LDR เมื่อเทียบกับความไวของตาคคน ดังรูปที่ 3.19 ส่วน ที่แสงตกกระทบLDR ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400-1000 นาโนเมตรเท่านั้นที่จะสามารถ นำไปใช้ได้ โดยสายตาคคนจะมองเห็นแสงได้ในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400-700 นาโนเมตร เท่านั้นซึ่งเป็นช่วงคลื่นเพียงที่แคบ เมื่อเทียบกับการทำงาน ของอุปกรณ์ไวแสง ประเภทอื่น

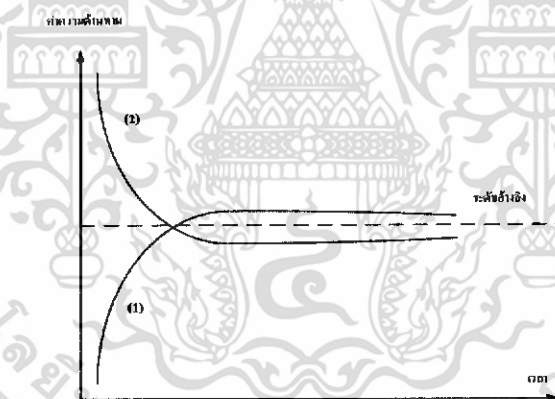
แต่ถึงอย่างไรแสงในช่วงแสงในช่วงคลื่น 400-1000 นาโนเมตร นั้นมีอยู่ในแสงอาทิตย์ แสงจากหลอดไฟแบบไส้ และ แสงจากหลอดฟลูออเรสเซนต์ LDRจะตอบสนองไวอยู่หลาย ความ ยาวคลื่น โดยทั่วไป LDR ที่ทำจากแคดเมียมซัลไฟด์ จะไวต่อแสงที่มีความยาวคลื่นในช่วง 500 นา โนเมตร ซึ่งเราคนจะเห็นเป็นสีเขียว ไปจนถึงสีเหลือง สำหรับ LDRบางตัวแล้ว ความ ยาวคลื่นที่ไว ที่สุดมีค่าใกล้เคียงกับความยาวคลื่นที่ไวที่สุดของตาคคนมาก ประมาณ 555 นาโนเมตร จึงนำมาใช้ทำ เป็นเครื่องวัดแสง ในกล้องถ่ายรูป ถ้า LDR ทำจาก แคดเมียมซัลไฟด์ก็จะมีไวต่อความยาวคลื่นในช่วง กว่า 700 นาโนเมตรขึ้นไปซึ่งอยู่ใน ช่วงอินฟราเรดซึ่งตาคคนจะมองไม่เห็น

3.4.1.2 คุณสมบัติทางไฟฟ้า

โดยทั่วไปแล้วค่าความต้านทานของ LDR ในขณะไม่มีแสงจะมีค่าประมาณ 0.5 เมกะโอห์มขึ้นไป และในที่มีค่านี้นี้นประมาณ 2 เมกะโอห์ม ค่าความต้านทานของ LDR ขณะที่มีแสงจะต่ำกว่า 10 – 20 กิโลโอห์ม หรืออาจจะมีค่าน้อยมากซึ่งไม่ถึง 1 โอห์ม แต่ข้อเสียของคุณสมบัติทางไฟฟ้าของ LDR คือแม้ว่า LDR มีขนาดเท่ากันและรุ่นเดียวกัน ก็อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงค่าของความต้านทานไม่เท่ากัน ในสภาวะที่มีแสงมาตกกระทบเท่ากันก็ได้ LDR สามารถทนแรงดันสูงสุดได้มากกว่า 100 โวลต์ และทนกำลังไฟฟ้าได้ประมาณ 50 มิลลิวัตต์

3.4.1.3 คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่เกิดขึ้นจากความเข้มแสง เปลี่ยนแปลงอย่างทันทีทันใด

เมื่อ LDR ได้รับแสงที่มีความเข้มสูง ค่าความต้านทานจะมีค่าต่ำ และ ในทันทีที่ความเข้มของแสงถูกลดลงเหลือเพียงระดับอ้างอิง ความต้านทานก็จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นไปจนถึงค่าความต้านทาน ที่อยู่ในระดับอ้างอิงของความเข้มแสงขณะนั้น แต่จะไม่หยุดที่ระดับอ้างอิงแต่จะเพิ่มเลขขึ้นไปแล้วจึงจะลดลงมาอยู่ในระดับ อ้างอิงในทำนองเดียวกันถ้า LDR อยู่ในที่ความเข้มแสงน้อย แล้วเปลี่ยนความเข้มของแสงให้สูงขึ้นเป็นระดับอ้างอิงทันที ความต้านทานก็จะลดลง และลงมาต่ำกว่าระดับอ้างอิงแล้วจึงขึ้นไปใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 3.25

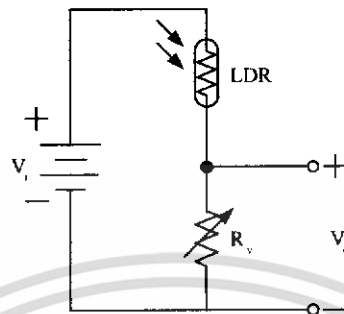


รูปที่ 3.25 ผลของค่าความต้านทานของLDRกับการเปลี่ยนความเข้มแสงทันทีทันใด

ผลของค่าความต้านทานของLDRกับการเปลี่ยนความเข้มแสงทันทีทันใดดังแสดงรูปที่ 3.25 กราฟเส้นที่ (1) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเมื่อความเข้มแสงลดลงทันทีทันใด กราฟเส้นที่ (2) แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานเมื่อความเข้มแสงเพิ่มขึ้นทันทีทันใด

3.4.1.4 การใช้ตัวต้านทานไวแสงกับวงจรแบ่งแรงดัน

เราสามารถใช้ LDR วัดความเข้มของแสงเพื่อนำสัญญาณเอาต์พุตมาใช้ได้จากวงจรแบ่งแรงดัน ซึ่งมีการต่อวงจรเป็น 2 แบบ ดังแสดงในรูปที่ 3.26 และ 3.27

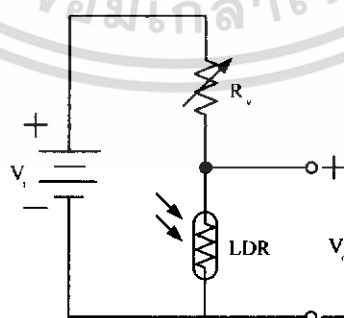


รูปที่ 3.26 วงจรรับสัญญาณ LDR

วงจรรับสัญญาณ LDR ดังรูปที่ 3.26 เป็นวงจรแบ่งแรงดันที่มีการนำสัญญาณเอาต์พุตที่ตกคร่อม R_V มาใช้โดย เมื่อความเข้มของแสงมาก LDR จะมีความต้านทานต่ำ ทำให้แรงดันส่วนใหญ่มาตกคร่อม R_V เกือบทั้งหมด แรงดันเอาต์พุตจะมีค่าสูง โดยมีค่าเกือบเท่าแรงดันไฟเลี้ยง และ ถ้าความเข้มของแสงน้อย LDR จะมีความต้านทานสูง แรงดันส่วนใหญ่จะ ไปตกที่ LDR แรงดันเอาต์พุต จึงเกือบเป็น 0 โวลต์ ดังสมการที่ 3.1

$$V_0 = \left[\frac{R_{LDR} \pm \Delta R_{LDR}}{R_V + R_{LDR} \pm \Delta R_{LDR}} \right] V_1 \quad (3.1)$$

โดย ΔR_{LDR} คือ ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแสง



รูปที่ 3.27 วงจรรับสัญญาณ LDR

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรรับสัญญาณ LDR ดังรูปที่ 3.27 เป็นวงจรแบ่งแรงดันที่มีการนำสัญญาณเอาต์พุตที่ตกคร่อม LDR มาใช้โดย เมื่อมีความเข้มของแสงมาก LDR จะมีความต้านทานต่ำ ทำให้แรงดันส่วนโหนดมาตกคร่อม R_v แรงดันเอาต์พุต จะมีค่าต่ำ และ ถ้าความเข้มของแสงน้อย LDR จะมีความต้านทานสูง แรงดันส่วนโหนดจะ ไปตกที่ LDR แรงดันเอาต์พุต จะมีค่าสูง ซึ่งจะเห็นว่าการต่อวงจรในรูปที่ 3.22 นี้ ค่าของแรงดันเอาต์พุตจะสลับกับรูปแรก ดังสมการที่ 3.2

$$V_o = \left[\frac{R_v \pm \Delta R_{LDR}}{R_v + R_{LDR} \pm \Delta R_{LDR}} \right] V_i \quad (3.2)$$

โดย ΔR_{LDR} คือ ค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงตามความเข้มของแสง

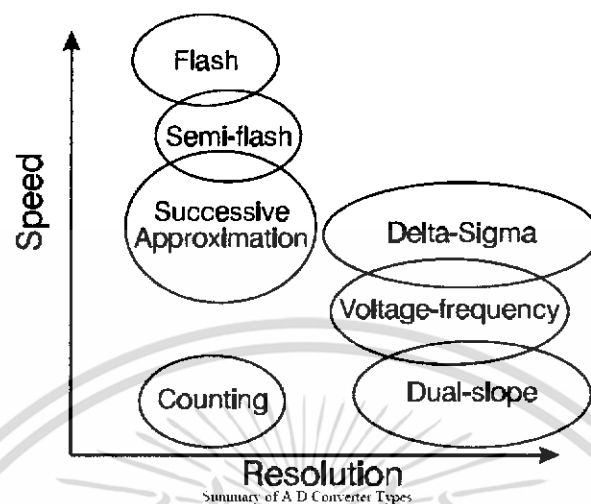
ในการออกแบบวงจรของหุ่นยนต์ได้ใช้วงจรรับสัญญาณ LDR ในรูปที่ 3.22 จำนวน 2 ชุด โดยจะทำการติดตั้ง LDR ในแต่ละฝั่งของหุ่นยนต์ ได้แก่ ฝั่งซ้ายและฝั่งขวาของหุ่นยนต์ เพื่อให้ LDR แต่ละตัวจะได้รับแสงทั้งสองด้าน จากวงจรรับสัญญาณ LDR นี้จะให้ผลของสัญญาณเอาต์พุตสองค่า ที่มีการเปลี่ยนแปลงแรงดันตามความเข้มของแสงที่มากกระทบบ LDR เราจึงสามารถนำสัญญาณเอาต์พุตทั้งสอง ไปปรับแต่งสัญญาณ เพื่อนำค่าของสัญญาณ ไปใช้ต่อไป

3.4.2 อุปกรณ์แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล

สัญญาณที่ใช้ในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์จำแนกเป็น 2 ชนิด ได้แก่ สัญญาณอนาล็อก (Analog) และสัญญาณดิจิทัล (Digital) สัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณที่มีความต่อเนื่องแต่จัดการได้ยากเนื่องจากผลของสัญญาณรบกวน ในทางตรงกันข้ามสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณที่ขาดความต่อเนื่อง แต่สามารถจัดการได้ง่ายกว่า อีกทั้งวงจรที่ใช้นั้นไม่มีความซับซ้อนมาก จึงได้เสนอการใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล (A/D Converters) วงจรที่ใช้ในการแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลมีมากมายหลายชนิด โดยทั่วไปแล้ว มีใช้งานอยู่ประมาณ 7 ชนิดคือ

1. Counting A/D converters
2. Successive Approximation converters (SA)
3. Simple Dual Slope A/D converters
4. Dual Slope A/D converter
5. The Voltage to Frequency (V-f) converters
6. The delta - sigma converters
7. Flash converters

A/D ทั้ง 7 ชนิดข้างต้นแต่ละชนิดก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันฉะนั้นในการพิจารณาเลือกชนิดวงจรให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ดัง รูปที่ 3.28

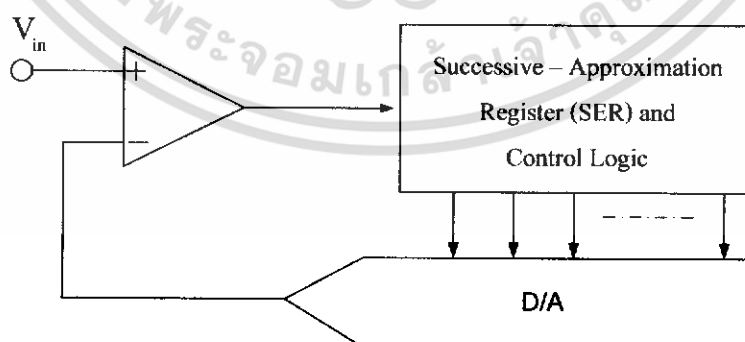


รูปที่ 3.28 แสดงความเร็วและความละเอียดของวงจรแปลงสัญญาณชนิดต่างๆ

3.4.2.1 การเลือกใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบ

Successive – Approximation

วงจร A/D แบบ Successive – Approximation เป็นวงจรที่นิยมใช้ในการแปลงข้อมูลขนาด 8 - 16 บิต วงจร A/D แบบ Successive – Approximation มีความเร็วในการแปลงข้อมูลค่อนข้างสูงเนื่องจากวงจรอาศัยอัลกอริทึมในการค้นหาแบบไบนารี (Binary Search) โดยมีโครงสร้างพื้นฐานของวงจรแบบ Successive – Approximation ดังรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 โครงสร้างพื้นฐานของวงจร A/D แบบ Successive – Approximation

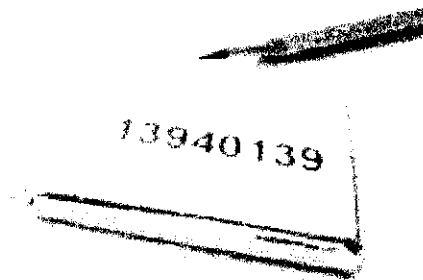
วงจร A/D แบบ Successive – Approximation ดังรูปที่ 3.24 อาศัยอัลกอริทึมในการค้นหาไบนารี (Binary Search) ซึ่งเป็นการนำค่าผลลัพธ์มาเปรียบเทียบกับค่ากึ่งกลางของช่วงเพื่อให้ทราบว่า ค่านั้นๆ มากกว่า หรือน้อยกว่า โดยจะปรับช่วงให้แคบลงมาเรื่อยๆ แล้วเปรียบเทียบผลลัพธ์กับค่ากึ่งกลางของช่วงไปเรื่อยๆ จนได้ผลลัพธ์ที่ต้องการ เช่น เลขที่เป็นคำตอบคือ 3 จากช่วงของคำตอบที่ 0-7 ครั้งแรกเอาค่า $(0+7)/2 = 4$ มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่า คำตอบที่ต้องการอยู่ในช่วงที่น้อยกว่า 4 ครั้งที่ 2 ก็เลือกค่า $(0+4)/2 = 2$ มาเปรียบเทียบ ได้ผลว่าคำตอบที่ต้องการอยู่ในช่วงที่มากกว่า 2 แต่น้อยกว่า 4 ครั้งที่ 3 ก็เลือกค่า $(2+4)/2 = 3$ มาเปรียบเทียบ ซึ่งก็คือคำตอบที่ต้องการ โดยเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ n รอบแน่นอน (สำหรับ n bit converter ซึ่งอ้างอิงได้ 2ⁿ ระดับ และระดับ V_{in} ที่คงที่)

สำหรับการออกแบบวงจรของหุ่นยนต์ได้เลือกใช้วงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลแบบ Successive – Approximation โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC 16F873A ที่มี โมดูล A/D อยู่ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์เอง เป็นการลดวงจรหรืออุปกรณ์ที่จะต้องต่อเพิ่ม อีกทั้งโมดูล A/D แบบ Successive – Approximation ในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F873A ที่มีความละเอียด 10 บิต

3.4.3 แหล่งพลังงาน

แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ที่จำเป็นในการให้พลังงานแก่หุ่นยนต์ค้นหาผู้ประสบภัย สำหรับในการออกแบบหุ่นยนต์ได้เลือกใช้แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ ที่มีแรงดันประมาณ 3.7 โวลต์ ความจุ 150 มิลลิแอมป์ ดังรูปที่ 3.30 โดยในหุ่นยนต์ขนาดเล็ก 1 ตัวจะใช้แบตเตอรี่จำนวน 4 เซลล์ โดยแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์มีข้อดีดังนี้

1. แบตเตอรี่มีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับพลังงานที่ได้
2. แบตเตอรี่มีน้ำหนักเบา
3. แบตเตอรี่มีรูปแบบของการบรรจุได้หลายแบบและไม่จำเป็นต้องใช้โลหะที่ผิวนอก
4. แบตเตอรี่มีความปลอดภัยในการใช้งานสูง
5. แบตเตอรี่มีความสามารถในการคายประจุไฟฟ้าได้หลายเท่าของความจุในการประจุไฟของตัวแบตเตอรี่เอง



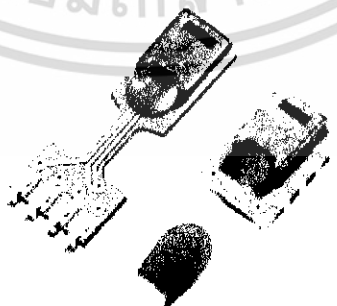
รูปที่ 3.30 แบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์

3.4.4 เซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น

ณ ที่อุณหภูมิมีค่าต่างกันนั้น วัสดุ อุปกรณ์ สารแต่ละชนิดก็จะมีคุณสมบัติทางกายภาพ ตลอดจนพฤติกรรมที่มีลักษณะเปลี่ยนแปลงแตกต่างกันออกไป ตัวอย่างเช่น คุณสมบัติทางไฟฟ้าของสารจะเปลี่ยนไปเมื่ออุณหภูมิที่มากกระทำกับสารนั้นมีค่าเปลี่ยนแปลง ปริมาตรของสารไม่ว่าจะเป็นโลหะก๊าซหรือ ของเหลวการขยายตัวเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนค่าไป หรือกระทั่งอุณหภูมิในร่างกายมนุษย์ สัตว์มีการเปลี่ยนแปลงขณะเจ็บป่วย ไม่สบาย

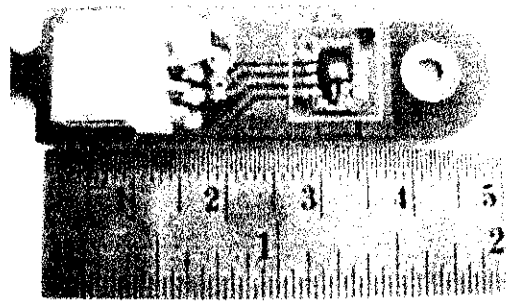
จากการศึกษาข้อมูลเรื่องสัญญาณชีพ เพื่อที่จะใช้ในการหาอุปกรณ์ตรวจจับสิ่งมีชีวิต ดังนั้นจึง เลือกเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิ ซึ่งสามารถตรวจวัดได้จากบริเวณผิวหนังของผู้ประสบภัยเอง อีกทั้งอุปกรณ์ตรวจวัด ความดันโลหิต ชีพจร และการหายใจ เป็นอุปกรณ์ที่มีความเฉพาะทางและมีขนาดใหญ่ยากแก่การติดตั้งลงในหุ่น และเพื่อความสามารถในการตรวจวัดที่สูงขึ้น จึงได้ใช้ความชื้น เป็นข้อมูลในการตรวจจับสิ่งมีชีวิต อีกทางหนึ่ง

ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เซนเซอร์อุณหภูมิและ เซนเซอร์ความชื้น เพื่อใช้ในการตรวจจับสิ่งมีชีวิตอุปกรณ์เซนเซอร์ที่ใช้คือ SHT15 ของบริษัทSENSIRIONประเทศสวิตเซอร์แลนด์ ดังรูปที่ 3.31 และรูปที่ 3.32 ซึ่งมีคุณสมบัติในการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นได้ภายในตัว มีขนาดเล็ก และมีความสามารถแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิตอลภายใน ดังรูปที่ 3.33

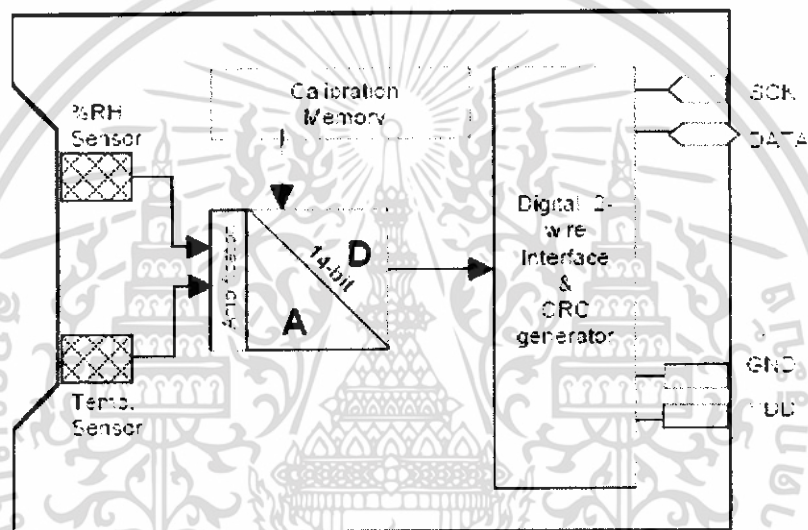


รูปที่ 3.31 เซนเซอร์ SHT ของ SENSIRION

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



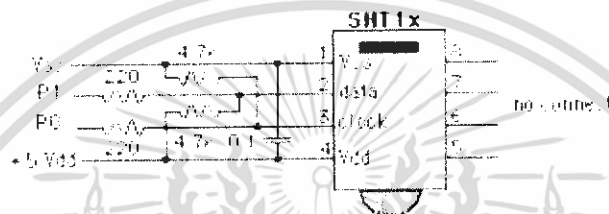
รูปที่ 3.32 เซนเซอร์ SHT 15



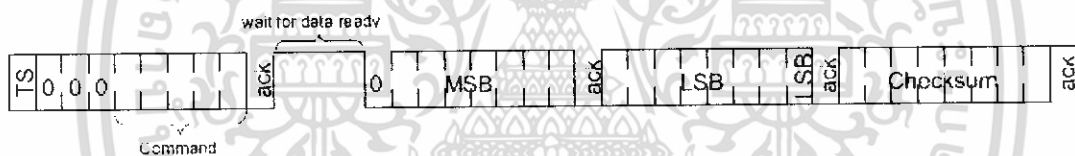
รูปที่ 3.33 บล็อกไดอะแกรมภายในของเซนเซอร์ SHT15

การทำงานของเซนเซอร์ SHT15 มีการทำงานสองทิศทาง มีลักษณะการทำงานที่เรียกว่า การติดต่อแบบอนุกรมสองทิศทาง ซึ่งมีความคล้ายกับการติดต่อแบบ PC การทำงานจะมีสัญญาณข้อมูล (SERIAL DATA) และสัญญาณนาฬิกา (SERIAL CLOCK INPUT) ดังรูปที่ 3.34 เพื่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่ใช้งานซึ่งในที่นี้คือเซนเซอร์ SHT15 และ อุปกรณ์ควบคุมซึ่งในที่นี้คือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ การใช้งานสัญญาณข้อมูลและสัญญาณนาฬิกา จะมีความสัมพันธ์กันเป็นจังหวะ เพื่อไปสั่งให้อุปกรณ์เซนเซอร์ที่จะใช้นั้น ทำงานได้ตามที่อุปกรณ์ควบคุมส่งสัญญาณออกไปหรือที่เรียกว่าการส่งสัญญาณควบคุม เมื่ออุปกรณ์เซนเซอร์ได้รับสัญญาณคำสั่งก็จะทำงานตามคำสั่งจากสัญญาณควบคุม ถ้ามีคำสั่งให้ส่งสัญญาณกลับมาก็จะส่งข้อมูลกลับมาซึ่งอาจเป็นได้ทั้งข้อมูลอุณหภูมิหรือความชื้น ตามคำสั่งที่ส่งไป การทำงานของเซนเซอร์ SHT15จะเป็นดังรูปที่

3.35 โดยจะแบ่งออกเป็น 4 ไบต์ เมื่อทำการส่งเริ่มทำงาน ไบต์แรกจะเป็นคำสั่งในการทำงาน โดย 3 บิตแรกจะเป็น 000 อีก 5 บิตจะเป็นคำสั่งในการควบคุมการทำงานของอุปกรณ์เซนเซอร์ ดังตารางที่ 1 จากนั้น เซนเซอร์จะส่งสัญญาณรับรู้ (ACKNOWLEDGE) และจะรอคำสั่งจนค่าส่งมาคือ ไบต์ที่สอง (MSB) ต่อมาเซนเซอร์ก็จะส่งสัญญาณรับรู้หลังจากเสร็จไบต์ที่สอง ไบต์ต่อมาที่สาม (LSB) ก็จะส่งมาอีก เมื่อค่าที่ได้ส่งมาแล้วก็จะคำนวณ ไบต์ที่สองและสาม เป็นไบต์ข้อมูล ถ้าหากต้องการจะตรวจสอบค่าที่ได้ของข้อมูลก็ส่งสัญญาณรับรู้ไปให้ค่าที่ได้ก็จะเป็นไบต์ที่สี่ แล้วนำค่าที่ได้จากไบต์นี้ไปตรวจสอบค่าที่ได้เปรียบเทียบกับกัน เมื่อเสร็จสิ้นไบต์นี้เซนเซอร์จะส่งสัญญาณรับรู้ไป การทำงานของเซนเซอร์ก็จะครบหนึ่งรอบ ถ้าเริ่มการทำงานใหม่ก็ต้องเริ่มส่งสัญญาณไปใหม่อีกครั้ง



รูปที่ 3.34 ลักษณะการทำงานของเซนเซอร์



รูปที่ 3.35 ไบต์คำสั่งการทำงาน

ตารางที่ 3.1 คำสั่งของเซนเซอร์ SHT 15

Command	Code
Reserved	0000x
Measure Temperature	00011
Measure Humidity	00101
Read Status Register	00111
Write Status Register	00110
Reserved	0101x-1110x
Soft reset, resets the interface, clears the status register to default values	11110
Wait minimum 11 ms before next command	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากอุปกรณ์ควบคุม ได้รับค่าดิจิตอลจากเซนเซอร์ SHT15 จะใช้คำสั่งทางโปรแกรมคำนวณและแปลงค่าดิจิตอล เป็นค่าต่างๆที่ต้องการ

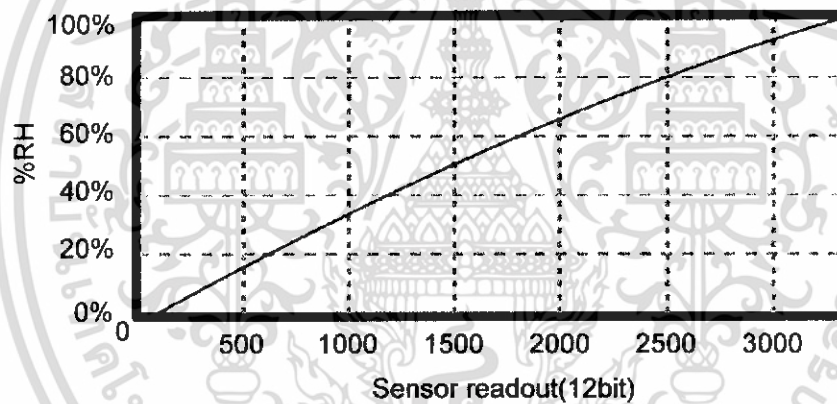
3.4.4.1 การแปลงค่าดิจิตอลเป็นค่าความชื้น

ค่าที่ได้จากเซนเซอร์นั้นมีค่าเป็นโลจิก ดังนั้นเราต้องแปลงค่าลอจิกนี้ให้อยู่ในรูปตัวเลขที่เราต้องการ โดยการแปลงค่าลอจิกเป็นค่าความชื้นของเซนเซอร์ SHT15 มีค่าดังสมการที่ 3.3

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2 \quad (3.3)$$

โดย SO_{RH} เป็นค่าที่อ่านได้จากเซนเซอร์ โดยแสดงดังรูปที่ 3.36

$$\begin{aligned} c_1 = -4, c_2 = 0.0405, c_3 = -2.8 \times 10^{-6} & \quad \text{สำหรับ 12 บิต } SO_{RH} \\ c_1 = -4, c_2 = 0.648, c_3 = -7.2 \times 10^{-4} & \quad \text{สำหรับ 8 บิต } SO_{RH} \end{aligned}$$



รูปที่ 3.36 ค่าของ SO_{RH} ที่อ่านได้จากเซนเซอร์

สำหรับอุณหภูมิค่าที่แตกต่างกันที่ 25°C (ประมาณ 77°F) ค่าสัมประสิทธิ์ของความชื้นสามารถพิจารณาได้ดังสมการที่ 3.4

$$RH_{true} = (T_{\circ C} - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear} \quad (3.4)$$

$$\begin{aligned} \text{โดย } t_1 = 0.01, t_2 = 0.00008 & \quad \text{สำหรับ 12 บิต } SO_{RH} \\ t_1 = 0.01, t_2 = 0.00128 & \quad \text{สำหรับ 8 บิต } SO_{RH} \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4.2 การแปลงค่าดิจิทัลเป็นค่าอุณหภูมิ

จากค่าลอจิกที่ได้จากเซนเซอร์สามารถแปลงเป็นค่าอุณหภูมิได้จากสมการที่ 3.5

$$\text{อุณหภูมิ} = d_1 + d_2 \bullet SO_T \quad (3.5)$$

โดยค่าสัมประสิทธิ์ของ d_1 และ d_2 มีค่าดังตารางที่ 2

ตารางที่ 3.2 สัมประสิทธิ์การแปลงเป็นอุณหภูมิ

VDD	d_1 [C]	d_2 [f]	SO_T	d_2 [C]	d_2 [f]
5V	-40.00	-40.00	14 bit	0.01	0.018
4V	-39.75	-39.50	12 bit	0.04	0.072
3.5V	-39.66	-39.35			
3V	39.60	-39.28			
2.5V	39.55	-39.23			

บทที่ 4

การควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์

การควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็กสำหรับค้นหาผู้ประสบภัย ในขั้นต้นได้ศึกษาเรื่องปัญญาประดิษฐ์(Artificial Intelligence) เพื่อนำมาเป็นข้อมูลสำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานแบบอัตโนมัติของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก หลังจากได้เลือกใช้เทคนิคของปัญญาประดิษฐ์แล้ว จะเป็นการออกแบบอุปกรณ์ป้องกันสัญญาณอินพุตแก่ระบบการควบคุม อาทิเช่น เซนเซอร์ต่างๆ การออกแบบโปรแกรมควบคุมการทำงาน สุดท้ายจะเป็นการออกแบบวงจรขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพ และบรรจุใส่หุ่นยนต์ขนาดเล็กต่อไป

4.1 การแสดงความรู้ด้วยกฎ

ปัญญาประดิษฐ์เป็นสาขาหนึ่งของศาสตร์ทางคอมพิวเตอร์ โดยทำให้คอมพิวเตอร์ทำงานได้คล้ายกับมนุษย์ สามารถประมวลผล หาเหตุผล ตัดสินใจและแก้ปัญหาได้ การพัฒนาจะต้องทำให้คอมพิวเตอร์มีความเร็วในการประมวลผลสูง และโปรแกรมที่สามารถประมวลผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยมีพื้นฐานสำหรับการพัฒนาที่ระบบปัญญาประดิษฐ์จะต้องมีความรู้ เมื่อนำมาประกอบกับการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ ระบบนี้ก็จะมีความสามารถในการแก้ปัญหาย่างอย่างได้เช่นเดียวกับมนุษย์

การแสดงความรู้ด้วยกฎ (Rule-Base Representation) หรือระบบการผลิต (Production System) เป็นเทคนิคของปัญญาประดิษฐ์แบบหนึ่ง(Artificial Intelligence Technique) โดยการแสดงความรู้ด้วยกฎมีความนิยมในการใช้มาก มีการประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวาง การแสดงความรู้ไม่จำเป็นต้องรู้ในทุกเรื่อง แต่จะเป็นความรู้ที่มีเฉพาะทาง การแสดงความรู้ด้วยกฎถูกพัฒนาโดย นิวเวลล์(Newell)และไซมอน(Simon) เมื่อปี พ.ศ. 2510 ซึ่งการแสดงความรู้ด้วยกฎมีหลักเกณฑ์พื้นฐานโดยอาศัยรูปประโยคของ If...Then...ประโยคที่ตามหลัง If เป็นการแสดงเงื่อนไขซึ่งเกิดก่อน ประโยคที่ตามหลัง Then เป็นการแสดงผลสรุปซึ่งเป็นผลที่ตามมา สำหรับกรณีที่มีกฎมากกว่าหนึ่งกฎและสามารถรวมกันได้จะนำมารวมกันโดยใช้ and หรือ or มาช่วย สิ่งที่ถูกกฎสามารถแสดงได้มีดังนี้

1. ความสัมพันธ์ (Relation)
2. การแนะนำ (Recommendation)
3. คำสั่ง (Directive)
4. แผนการ(Stratgy)
5. คั่นคว่ำ (Heuristic)

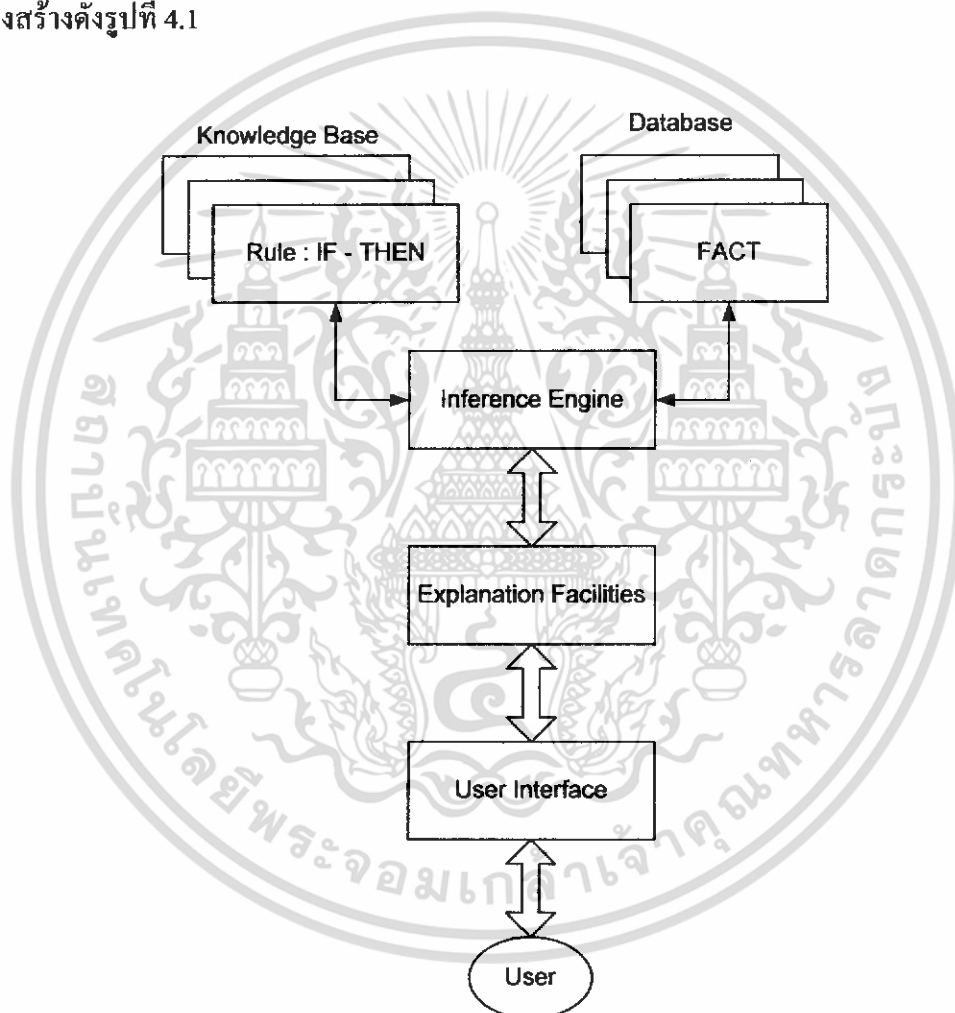
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 Rule-Based expert system

Basic Rule-Based expert system เป็นวิธีการแสดงถึงโครงสร้างของระบบผู้เชี่ยวชาญ ประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 5 ชนิด ได้แก่

1. ฐานความรู้ (Knowledge Base)
2. ฐานข้อมูล (Database)
3. เครื่องอนุมาน (Inference Engine)
4. หน่วยอธิบาย (Explanation Facilities)
5. หน่วยติดต่อผู้ใช้ (User Interface)

มีโครงสร้างดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงโครงสร้างของ Basic Rule-Based expert system

จากรูปแสดงถึง Basic Rule-Based expert system จะใช้หลักการของการเปรียบเทียบกฎกับค่าความจริง หลังจากนั้นจะอธิบายและแสดงผลของการเปรียบเทียบให้แก่ผู้ใช้ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การอนุมาน

การอนุมาน(Inference) คือกระบวนการค้นหาความจริงที่มีอยู่แล้ว (Know Fact) ในคลังความรู้หรือความจริงที่สามารถหาได้จากผู้ใช้ ในการอนุมานของระบบผู้เชี่ยวชาญ (Expert System) ต้องอาศัยเครื่องอนุมาน (Inference Engine) ซึ่งเป็นส่วนของโปรแกรมในระบบ และนอกจากนั้น เครื่องอนุมานยังทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานของระบบผู้เชี่ยวชาญ โดยปกติเครื่องอนุมานจะมีหน้าที่หลักคือการกำหนดทิศทางในการหาเหตุผล และการหาเหตุผลโดยมีหน่วยควบคุมเป็นผู้ที่ทำหน้าที่โดยตรง การหาเหตุผลของเครื่องอนุมานสามารถแบ่งออกเป็นชนิดใหญ่ๆ ได้ 2 ชนิด ได้แก่

4.1.2.1 การอนุมานแบบเดินหน้า(Forward Chaining)

การอนุมานแบบเดินหน้า เป็นวิธีการอนุมานแบบดั้งเดิมของระบบ Production System กฎแต่ละกฎจะถูกเปรียบเทียบ 1 ครั้ง และเปรียบเทียบกฎทั้งหมด การทำงานจะเริ่มเปรียบเทียบจากกฎแรก หากกฎใดมีเงื่อนไขที่ถูกต้อง จะนำเอาผลลัพธ์เก็บในฐานความรู้ และเครื่องอนุมานจะทำการเปรียบเทียบจนหมดกฎที่ตั้งไว้ในฐานความรู้

4.1.2.2 การอนุมานแบบย้อนหลัง (Backward Chaining)

การอนุมานแบบย้อนหลัง เป็นการเริ่มต้นจากเป้าหมาย(Goal) แล้วหาเหตุผลของเป้าหมายที่ต้องการหาผลสรุป (Goal->Driven) กฎทุกข้อที่ตั้งไว้จะถูกตรวจสอบเพื่อค้นหาความจริงทุกกฎที่ละข้อหากเป็นจริงจึงจะสั่งทำ หากไม่เป็นจริง ก็จะข้ามเพื่อตรวจสอบกฎต่อไปที่ตรงกับเป้าหมาย

สำหรับการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็กสำหรับค้นหาผู้ประสบภัย ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F873A สำหรับสร้างปัญญาประดิษฐ์ โดยใช้วิธีการแสดงความรู้ด้วยกฎ และเลือกวิธีการอนุมานชนิดการอนุมานแบบย้อนหลัง เพราะไม่ต้องตรวจสอบกฎที่ตั้งไว้ทั้งหมด ทำให้การประมวลผลและสั่งควบคุมการทำงานมีความเร็วสูง

4.2 การทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

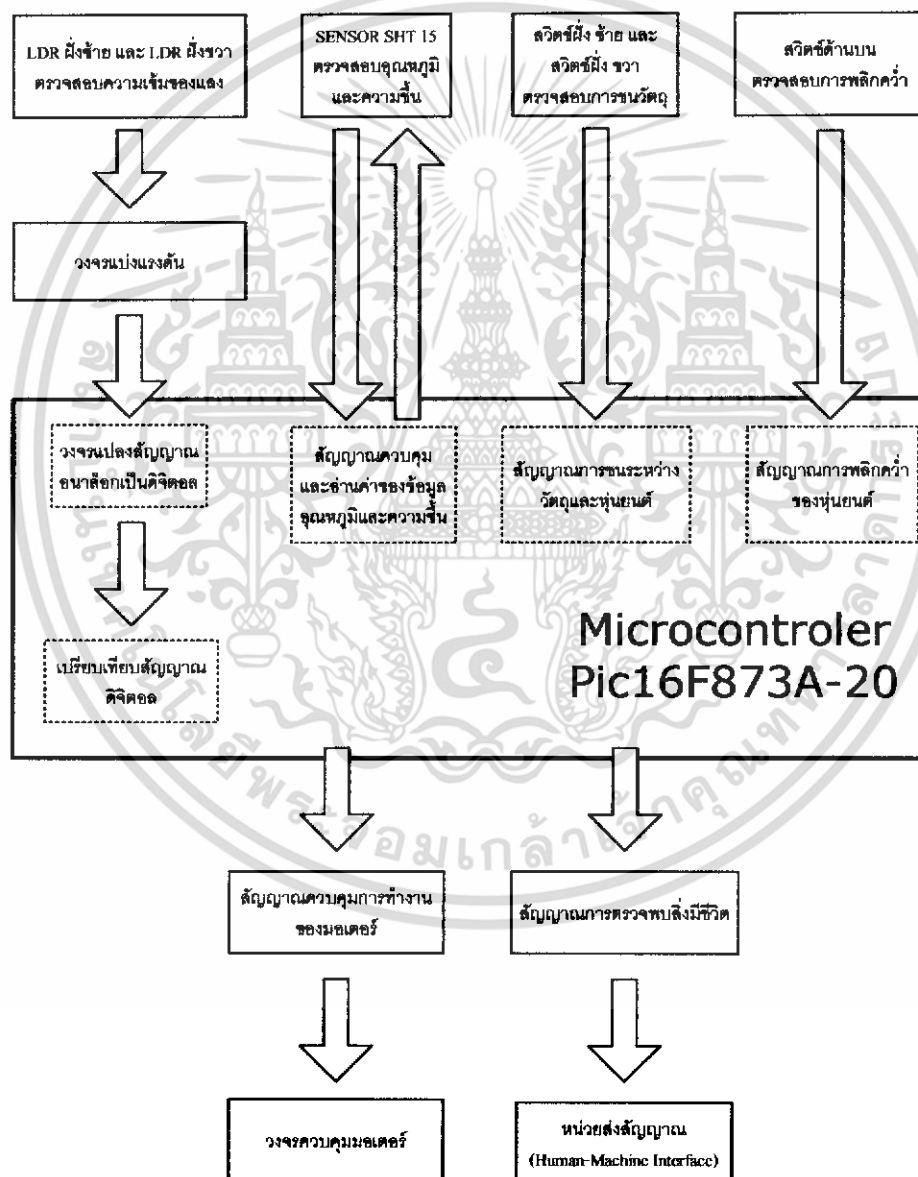
การควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก ได้ใช้วิธี การแสดงความรู้ด้วยกฎ ถือว่าเป็นหนึ่งใน ระบบปัญญาประดิษฐ์(AI) และเลือกวิธีการเขียนคำสั่งควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F873A ของบริษัท Microchip จำกัด โดยไมโครคอนโทรลเลอร์จะรับสัญญาณจากเซนเซอร์เพื่อนำมาประมวลผลสำหรับควบคุมการทำงานให้มีการควบคุมการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติ โดยเซนเซอร์ที่ติดตั้งลงในตัวหุ่นยนต์ขนาดเล็ก 4 ชนิดดังนี้

1. เซนเซอร์SHT 15 จำนวน 1 ชุด สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น ซึ่งติดตั้งบริเวณด้านหน้าของตัวหุ่นยนต์
2. เซนเซอร์สวิตช์ จำนวน 2 ชุด สำหรับตรวจสอบการชนระหว่างหุ่นยนต์และวัตถุ ทั้ง 2 ด้านหน้าซ้ายและขวาของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เซนเซอร์สวิตช์ จำนวน 1 ชุด สำหรับตรวจสอบการพลิกคว่ำของตัวหุ่นยนต์ ซึ่งติดตั้งบริเวณด้านบนของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก
4. เซนเซอร์LDR จำนวน 2 ชุด สำหรับตรวจสอบความเข้มของแสงทั้ง 2 ด้านข้างซ้ายและขวาของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

ในการออกแบบการทำงานของหุ่นยนต์ได้เลือกใช้อุปกรณ์เซนเซอร์ที่มีขนาดเล็กที่มีความจำเป็นและสามารถใช้งานได้จริง ลดอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ซึ่งไม่สามารถติดตั้งลงในหุ่นยนต์ขนาดเล็กได้ และการออกแบบที่มีอุปกรณ์น้อยชนิดจะสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ การออกแบบการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็กจะแสดงดังรูปที่ 4.2



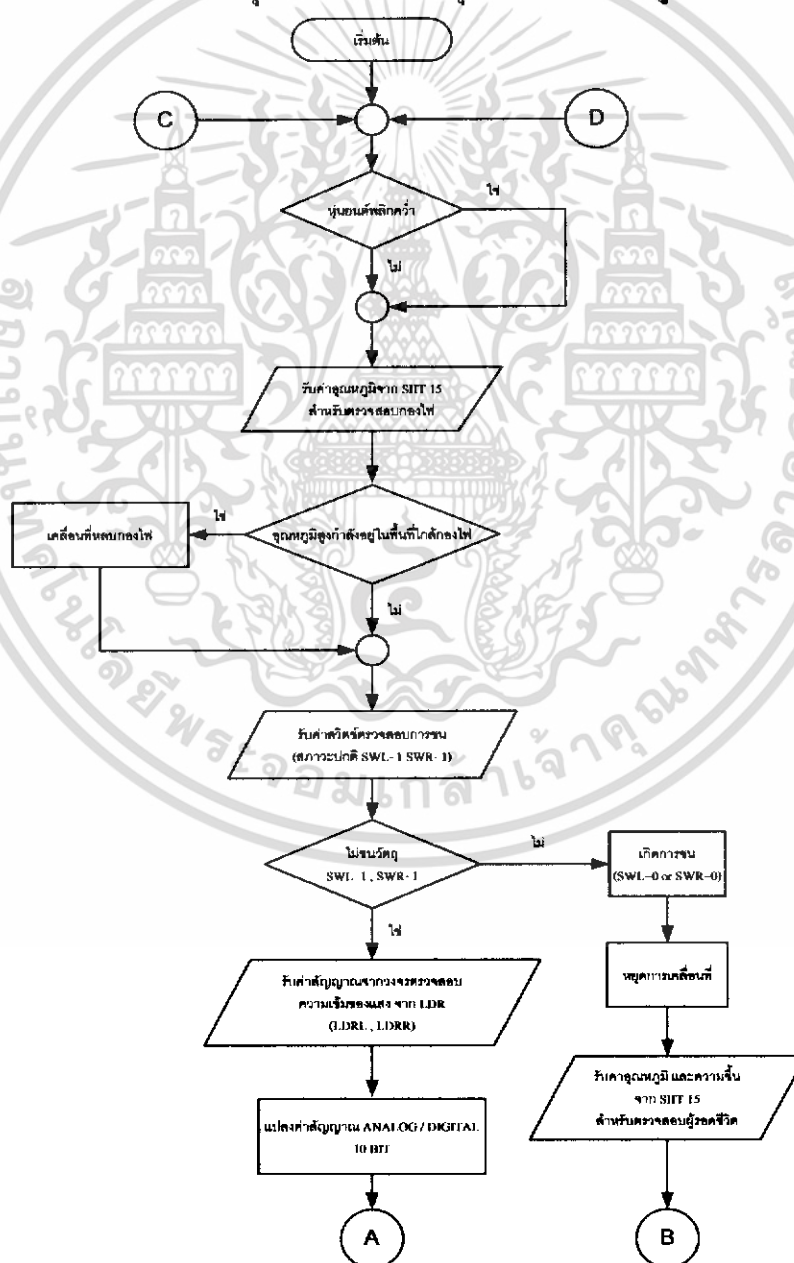
รูปที่ 4.2 การออกแบบ โครงสร้างการทำงานของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

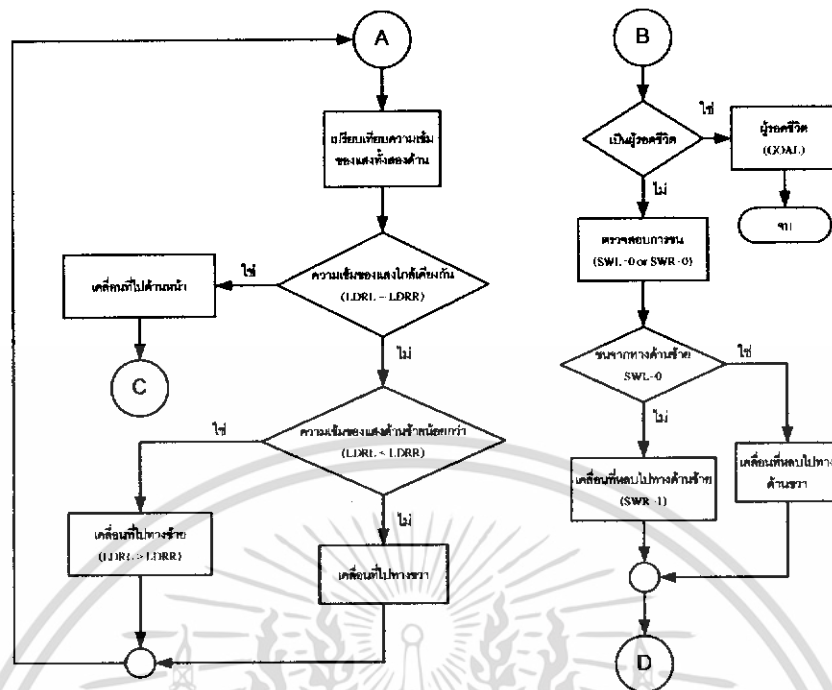
การทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็กสำหรับค้นหาผู้ประสบภัย มีการควบคุมการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติ (Autonomous) สามารถเลือกเส้นทางในการเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเองโดยใช้ความเข้มของแสงเป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ สามารถเคลื่อนที่บนสภาพพื้นผิวที่ยากลำบาก (Advance Mobility) ในการค้นหาจะทำในลักษณะเคลื่อนที่แบบสุ่ม และปฏิบัติงานจนพลังงานหมด เนื่องจากหุ่นยนต์ขนาดเล็กมีต้นทุนในการผลิตต่ำ หุ่นยนต์ขนาดเล็กจำนวนมากจะถูกปล่อยเพื่อค้นหาบริเวณที่ต้องการ ทำให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ทำการค้นหา และสามารถลดเวลาในการค้นหาผู้ประสบภัย

4.3 โครงสร้างในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

โครงสร้างโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ แสดงดังรูปที่ 4.3



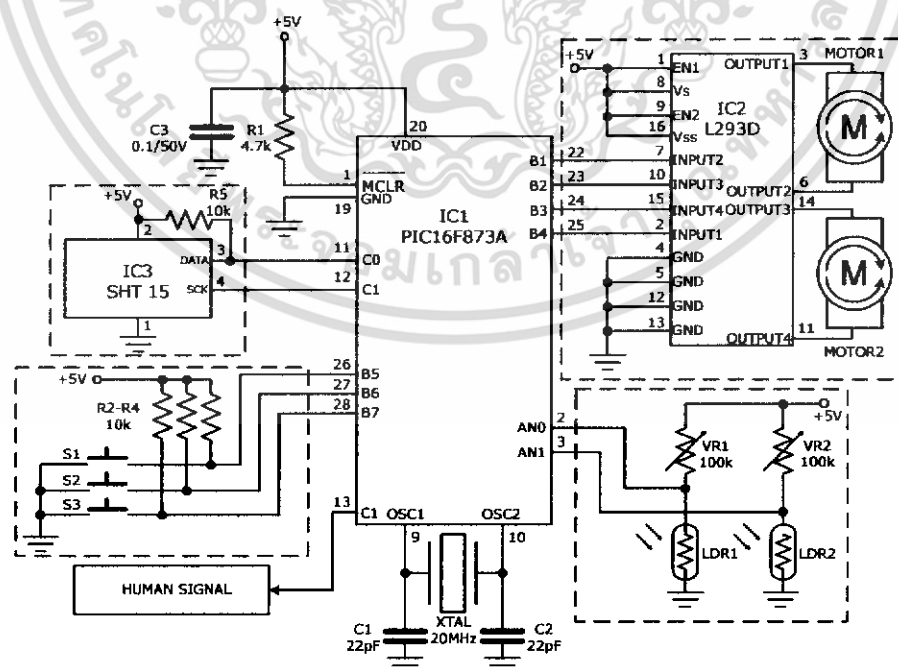
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 โครงสร้างการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก สำหรับค้นหาผู้ประสบภัย

4.4 วงจรควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

วงจรควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็กแสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 วงจรควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 เซนเซอร์ SHT 15 ที่ตำแหน่ง IC3

เซนเซอร์สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้น การทำงานของตัวเซนเซอร์จะติดต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ตลอดเวลา แต่สำหรับการตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นของสิ่งแวดล้อมหรืออุณหภูมิและความชื้นของสิ่งมีชีวิต จะตรวจสอบแยกกัน สัญญาณที่ส่งจากเซนเซอร์ไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นสัญญาณดิจิทัล ดังนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะต้องอ่านและแปลงค่าสัญญาณที่รับมา ให้เป็นค่าอุณหภูมิและความชื้นที่แท้จริง ด้วยการเขียนโปรแกรมควบคุม

4.4.2 เซนเซอร์ตรวจสอบการชนระหว่างหุ่นยนต์และวัตถุ ที่ตำแหน่ง S1 และ S2

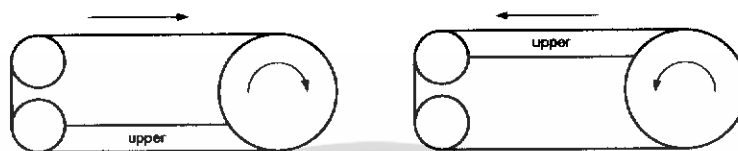
เซนเซอร์ทั้งสองตัวจะติดตั้งบริเวณด้านหน้าของหุ่นยนต์ ทั้งด้านซ้ายและด้านขวา โดยจะใช้ตรวจสอบการชนระหว่างระหว่างหุ่นยนต์และวัตถุ ในสภาวะปกติหากไม่เกิดการชนเซนเซอร์ทั้งสองตัวจะส่งลอจิกสูงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะมีผลต่อการทำงานของเซนเซอร์ SHT 15 ด้วย โดย SHT 15 จะตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นว่าสภาพแวดล้อมที่หุ่นยนต์กำลังอยู่หรือกำลังเคลื่อนที่เข้าหานั้น มีสภาพที่หุ่นยนต์จะสามารถเคลื่อนที่ไปต่อได้หรือไม่ เช่น การตรวจจับความร้อนจากกองไฟ ที่จะสามารถทำลายหุ่นยนต์ขนาดเล็กได้ เมื่อเซนเซอร์ตัวใดตัวหนึ่งส่งลอจิกต่ำให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะแสดงว่าหุ่นยนต์เกิดการชนวัตถุ ไมโครคอนโทรลเลอร์จะยกเลิกการตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นของสภาพแวดล้อมขณะนั้น แต่จะทำการตรวจสอบอุณหภูมิและความชื้นของวัตถุที่หุ่นยนต์เกิดการชน ว่ามีความเป็นไปได้ที่วัตถุนั้นจะเป็นสิ่งมีชีวิตหรือไม่ หากข้อมูลที่ได้รับนั้นมีความเป็นไปได้ว่า หุ่นยนต์ก็จะเคลื่อนที่หนีจากวัตถุที่เกิดการชน และทำการค้นหาต่อไป

4.4.3 เซนเซอร์ตรวจสอบความเข้มของแสง ที่ตำแหน่ง LDR1 และ LDR2

เซนเซอร์ตรวจสอบความเข้มของแสงจะใช้ LDR ติดตั้งไว้บริเวณด้านข้างของหุ่นยนต์ ทั้งทางซ้ายและขวา โดยจะต่อ LDR1 และ LDR2 ร่วมกับวงจรแบ่งแรงดัน เพื่อนำสัญญาณเอาต์พุตที่ได้จากวงจรแบ่งแรงดันทั้งสองค่า ที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงค่าแรงดันตามความเข้มของแสงที่ตกกระทบทั้งสองด้านของตัวหุ่นยนต์ ค่าแรงดันเอาต์พุตที่ได้นี้จะนำไปแปลงสัญญาณจากอนาล็อกเป็นดิจิทัลเพื่อเปรียบเทียบโดยการเขียนโปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F873A ที่มีวงจรภายในสำหรับแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิตหลังจากที่เปรียบเทียบเรียบร้อยแล้วไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณควบคุมมอเตอร์ เพื่อกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยจะควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าพื้นที่ที่มีความเข้มของแสงน้อยที่สุด

4.4.4 เซนเซอร์ตรวจสอบการพลิกคว่ำของหุ่นยนต์ ที่ตำแหน่ง S3

เซนเซอร์ตรวจสอบการพลิกคว่ำของหุ่นยนต์จะติดตั้งไว้บริเวณด้านบนของตัวหุ่นยนต์ โดยในสภาวะปกติ ถ้าหุ่นยนต์ไม่เกิดการพลิกคว่ำจะส่งลอจิกสูงให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ แต่เมื่อเกิดการพลิกคว่ำก็จะส่งลอจิกต่ำให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ เพราะเมื่อเกิดการพลิกคว่ำหากไม่เปลี่ยนทิศทางการหมุนของมอเตอร์ หุ่นยนต์ขนาดเล็กจะวิ่งกลับด้าน โดยแสดงดังรูปที่ 4.5



(ก) ไม่ติดตั้งเซนเซอร์สวิตช์

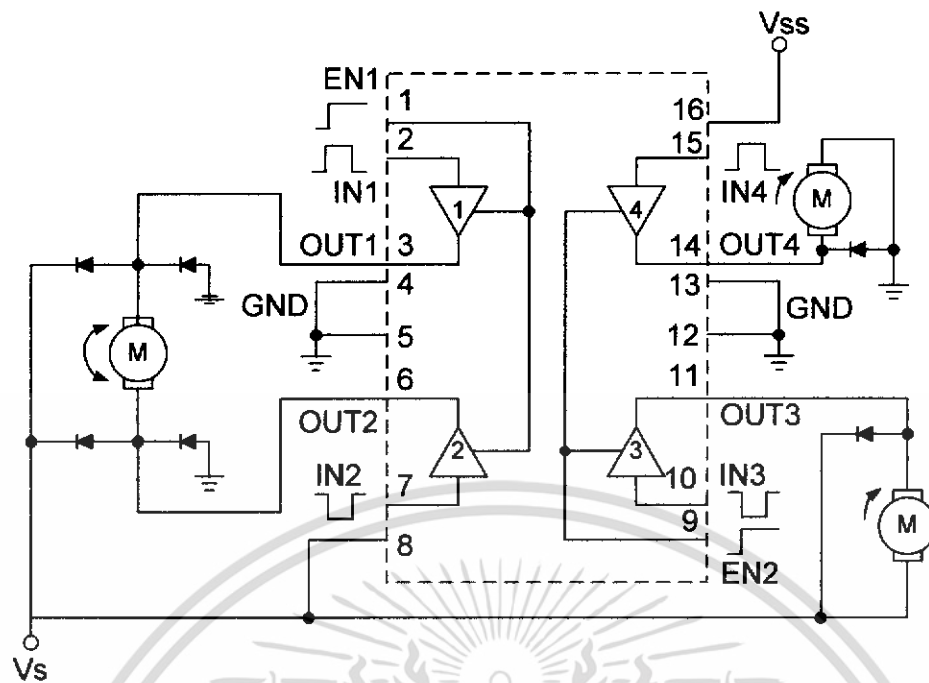


(ข) ติดตั้งเซนเซอร์สวิตช์

รูปที่ 4.5 แสดงความแตกต่างของทิศทางการวิ่งของหุ่นยนต์ขณะพลิกคว่ำ

4.4.5 วงจรรวมขับเคลื่อนมอเตอร์เบอร์ L293D ที่ตำแหน่ง IC2

วงจรรวมหรือไอซีขับเคลื่อนมอเตอร์เบอร์ L293D ที่มีความสามารถจ่ายกระแสได้ต่อช่องเท่ากับ 600 มิลลิแอมป์ ไอซีขับเคลื่อนมอเตอร์รับสัญญาณเข้ามาทางขาที่ 2 ขาที่ 7 ขาที่ 10 และขาที่ 14 โดยสัญญาณที่เข้ามาสามารถควบคุมเป็นแบบสัญญาณการมอดูเลตความกว้างพัลส์ (PWM: Pulse Width Modulation) ได้ การทำงานของไอซีขับเคลื่อนมอเตอร์เมื่อได้รับสัญญาณควบคุม ไอซีขับเคลื่อนมอเตอร์ทำการจ่ายแรงดันออกไปทางขาที่ 3 ขาที่ 6 ขาที่ 11 และ ขาที่ 13 โดยสามารถรองรับมอเตอร์ได้สองชุด สามารถควบคุมให้หมุนไปกลับได้ และต้องต่อสัญญาณไฟ 5 โวลต์ให้กับขา Enable ขาที่ 1 และขาที่ 9 ของไอซีเพื่อทำให้แต่ละช่องควบคุมสามารถทำงานได้ แรงดันสูงสุดที่ไอซีจ่ายให้กับมอเตอร์ได้ไม่เกินแรงดันอินพุตขาที่ 8 ของไอซี (Vs) ขาที่ 4 ขาที่ 5 ขาที่ 11 และขาที่ 12 เป็นขากราวด์ของไอซี L293D โดยมีรายละเอียดดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 โครงสร้างการทำงานของ L293D

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

การออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กสำหรับค้นหาผู้ประสบภัย ได้ออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กให้มีความสามารถเคลื่อนที่บนสภาพพื้นผิวที่ยากลำบาก และมีการควบคุมการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติร่วมกับความสามารถในการกำหนดรูปแบบและเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่ ขั้นต้นได้ทดลองหุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ออกแบบและพัฒนา โดยทดลองความสามารถในการเคลื่อนที่บนสภาพพื้นผิวที่ยากลำบาก ขั้นต่อมาได้ทดลองการเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่ตามที่ได้กำหนดรูปแบบไว้ โดยใช้ความเข้มของแสงเป็นตัวกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ สามารถเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ที่มีความเข้มของแสงน้อยที่สุดโดยเปรียบเทียบจากแสงทั้งสองฝั่งของตัวหุ่นยนต์ สำหรับการทดลองจะใช้วิธีการวิเคราะห์การเคลื่อนที่โดยใช้ภาพวิดีโอ (VDO Analysis) ผลของการทดลองทำให้ทราบถึงความสามารถในการเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และสุดท้ายจะเป็นการทดลองความสามารถของอุปกรณ์เซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้นที่ติดตั้งในตัวหุ่นยนต์

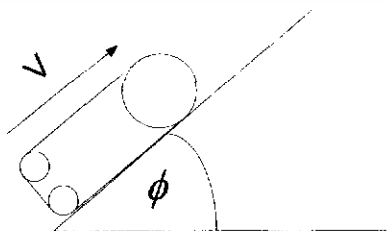
5.1 การทดลองความสามารถในการเคลื่อนที่บนสภาพพื้นผิวที่ยากลำบาก

การทดลองความสามารถในการเคลื่อนที่บนสภาพพื้นผิวที่ยากลำบากของหุ่นยนต์ขนาดเล็กได้จำลองสภาวะการทดลองการเคลื่อนที่บนพื้นผิวที่ยากลำบาก โดยมีการจำลองสภาวะที่แตกต่างกัน 4 ลักษณะ ได้แก่ การเคลื่อนที่บนพื้นเอียง การเคลื่อนที่ผ่านวัตถุทรงกลม การเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ต่างระดับ และการเคลื่อนที่ไต่ขั้นบันได ส่วนการทดลองความสามารถในการเคลื่อนที่จากสภาวะแวดล้อมทั่วไปโดยจะนำเสนอภาพในภาคผนวก ข

5.1.1 การทดลองการเคลื่อนที่บนพื้นเอียง

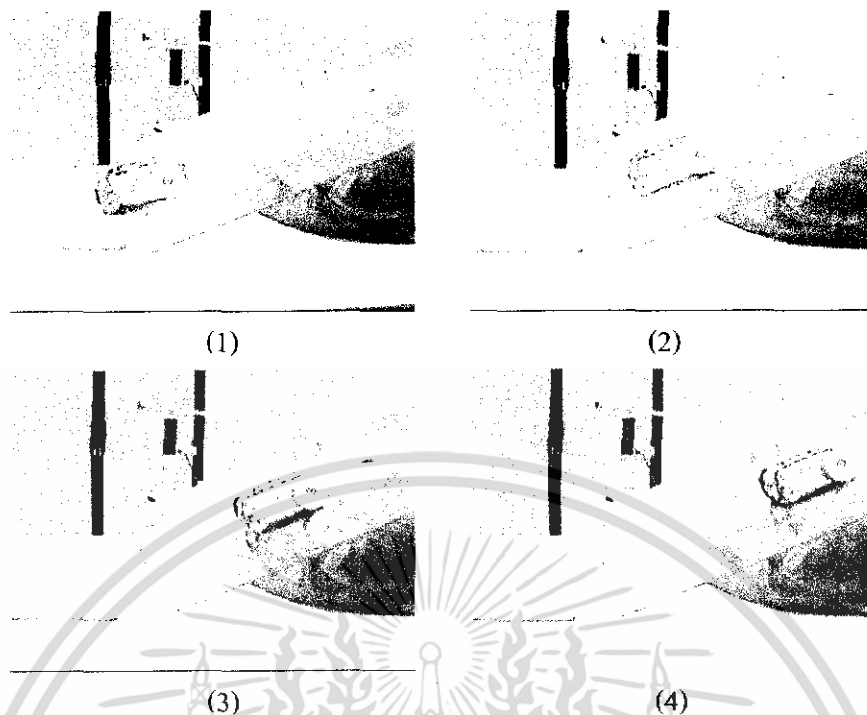
การทดลองที่ 1 ทดลองการเคลื่อนที่บนพื้นเอียงใช้แบบจำลองดังรูปที่ 5.1 โดยให้หุ่นยนต์ขนาดเล็กเคลื่อนที่เข้าหาพื้นเอียงจากทางด้านหน้า โดยจำลองสภาวะพื้นเอียงทั้งหมด 3 ชนิด ได้แก่ พื้นกระฉก พื้นไม้ทัวไปและพื้นไม้พื้นลื่นโดยปรับมุมเอียงเพิ่มครั้งละ 5 องศา ตัวอย่างแสดงดังรูปที่

5.2



รูปที่ 5.1 แบบจำลองการเคลื่อนที่บนพื้นเอียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 หุ่นยนต์เคลื่อนที่บนพื้นเอียงชนิดกระจกที่ 25 องศา

กรณีที่ 1 ทดลองการเคลื่อนที่บนพื้นเอียงชนิดกระจกให้ผลการทดลองดังตาราง 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองการเคลื่อนที่บนพื้นเอียงชนิดกระจก

มุมเอียง (θ)	ผลการทดลอง	หมายเหตุ
10	ผ่าน	-
15	ผ่าน	-
20	ผ่าน	-
25	ผ่าน	ลื่นไถลเล็กน้อย
30	ผ่าน	ลื่นไถล
35	ไม่ผ่าน	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่ 2 ทดลองการเคลื่อนที่บนพื้นเอียงชนิดไม้ให้ผลการทดลองดังตาราง 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองการเคลื่อนที่บนพื้นเอียงชนิดไม้

มุมเอียง (θ)	ผลการทดลอง	หมายเหตุ
10	ผ่าน	-
15	ผ่าน	-
20	ผ่าน	-
25	ผ่าน	-
30	ผ่าน	-
35	ผ่าน	ลื่นไถลเล็กน้อย
40	ไม่ผ่าน	ไม่สามารถไต่ขึ้นได้

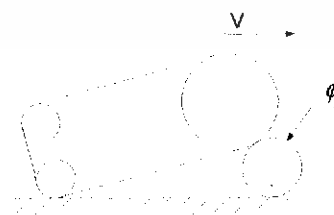
กรณีที่ 3 ทดลองการเคลื่อนที่บนพื้นเอียงชนิดไม้พื้นลื่นให้ผลการทดลองดังตาราง 5.3

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองการเคลื่อนที่บนพื้นเอียงชนิดไม้ลื่น

มุมเอียง (θ)	ผลการทดลอง	หมายเหตุ
10	ผ่าน	-
15	ผ่าน	-
20	ผ่าน	ลื่นไถลเล็กน้อย
25	ไม่ผ่าน	ไม่สามารถไต่ขึ้นได้

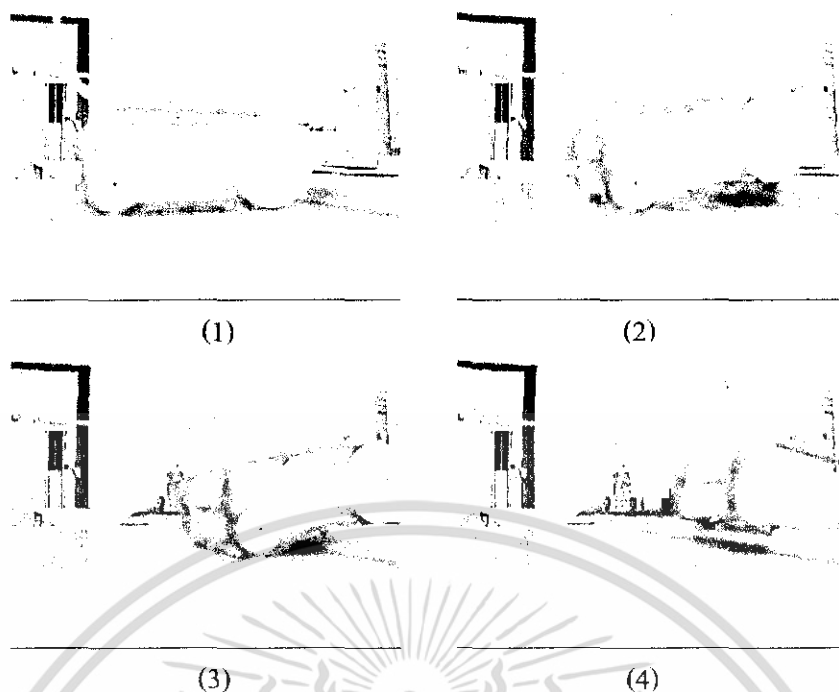
5.1.2 การทดลองการเคลื่อนที่ผ่านวัตถุทรงกลม

การทดลองที่ 2 ทดลองการเคลื่อนที่ผ่านวัตถุทรงกลม ใช้แบบจำลองดังรูปที่ 5.3 โดยให้หุ่นยนต์ขนาดเล็กเคลื่อนที่เข้าหาวัตถุทรงกลมทางด้านหน้า ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.3 แบบจำลองการการเคลื่อนที่ผ่านวัตถุทรงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่านวัตถุทรงกลม เส้นผ่านศูนย์กลาง 11 มิลลิเมตร

ผลการทดลองการเคลื่อนที่ผ่านวัตถุทรงกลมของหุ่นยนต์แสดงดังตารางที่ 5.4

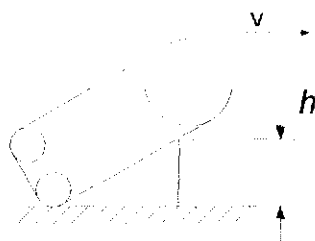
ตารางที่ 5.4 ผลการทดลองการเคลื่อนที่ผ่านวัตถุทรงกลมของหุ่นยนต์

เส้นผ่านศูนย์กลาง (ϕ) (มิลลิเมตร)	ผลการทดลอง	หมายเหตุ
11	ผ่าน	-
13	ผ่าน	-
16	ผ่าน	กลิ่น ไส้กลเล็กน้อย
20	ไม่ผ่าน	หุ่นยนต์พลิกคว่ำ

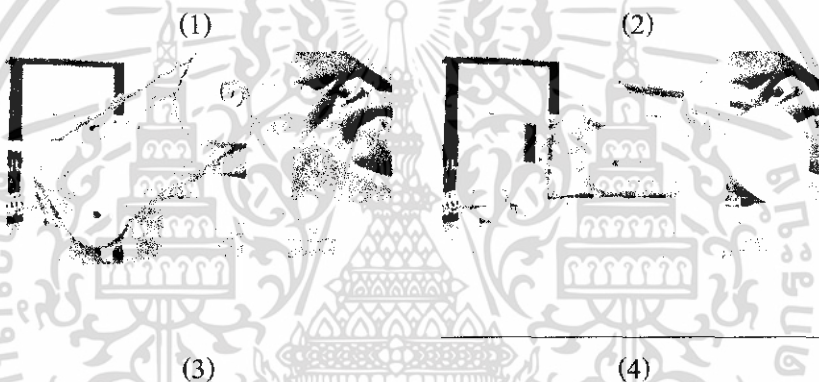
5.1.3 การทดลองการเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ต่างระดับ

การทดลองที่ 3 ทดลองการเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ต่างระดับ ใช้แบบจำลองดังรูปที่ 5.5 โดยให้หุ่นยนต์ขนาดเล็กเคลื่อนที่เข้าหาพื้นที่ต่างระดับทางด้านหน้า ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 แบบจำลองการเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ต่างระดับ



รูปที่ 5.6 หุ่นยนต์การเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ต่างระดับ ความสูง 21 มิลลิเมตร

ผลการทดลองการเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ต่างระดับที่ความสูงต่างๆของหุ่นยนต์แสดงดังตารางที่ 5.5

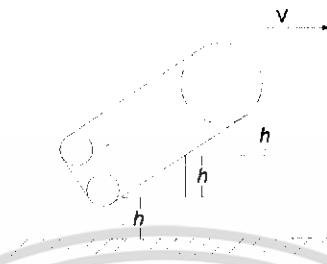
ตารางที่ 5.5 ผลการทดลองการเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่ต่างระดับของหุ่นยนต์

ระยะความสูง (h) (มิลลิเมตร)	ผลการทดลอง	หมายเหตุ
6	ผ่าน	-
17	ผ่าน	-
21	ผ่าน	-
24	ไม่ผ่าน	หุ่นยนต์พลิกคว่ำ

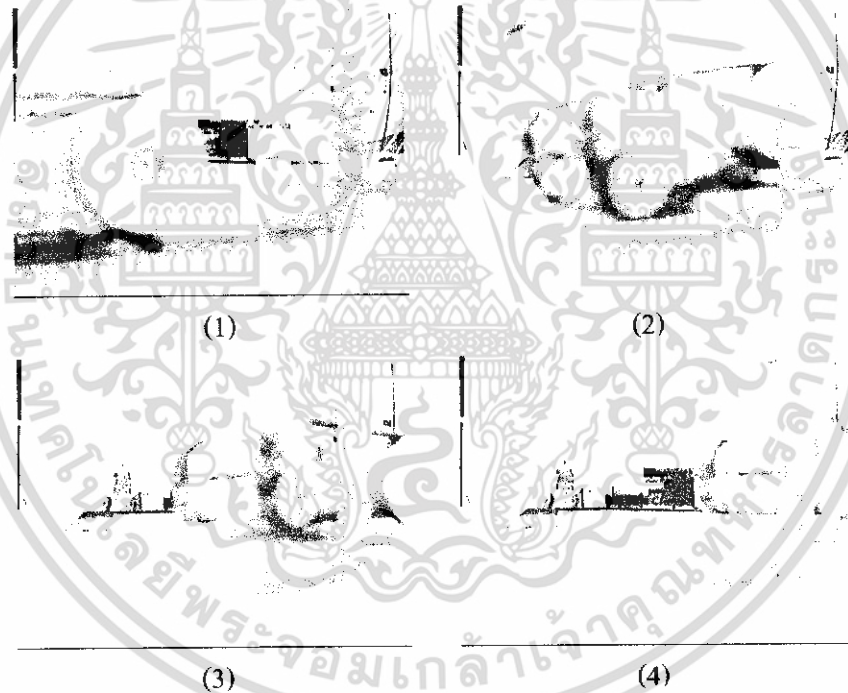
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.4 การทดลองการเคลื่อนที่ไถ้ขึ้นบันได

การทดลองที่ 4 ทดลองการเคลื่อนที่ไถ้ขึ้นบันไดใช้แบบจำลองดังรูปที่ 5.7 โดยให้หุ่นยนต์ขนาดเล็กเคลื่อนที่เข้าหาพื้นที่ขึ้นบันไดทางด้านหน้า ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.7 แบบจำลองการเคลื่อนที่ไถ้ขึ้นบันได



รูปที่ 5.8 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไถ้ขึ้นบันไดความสูง 6 มิลลิเมตร

ผลการทดลองการเคลื่อนที่ไถ้ขึ้นบันไดที่ความสูงต่างๆของหุ่นยนต์แสดงดังตารางที่ 5.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 ผลการทดลองการเคลื่อนที่ได้ขึ้นบันไดของหุ่นยนต์

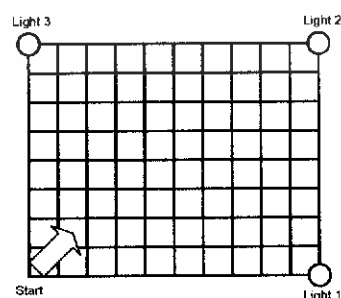
ระยะความสูง (h) (มิลลิเมตร)	ผลการทดลอง	หมายเหตุ
6	ผ่าน	-
9	ผ่าน	-
12	ผ่าน	-
15	ผ่าน	สิ้น โกลเล็กน้อย
18	ไม่ผ่าน	-

5.2 การทดลองรูปแบบการเคลื่อนที่

การกำหนดให้หุ่นยนต์มีรูปแบบการเคลื่อนที่เป็นไปอย่างอัตโนมัติ งานวิจัยนี้ได้กำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยใช้ความเข้มของแสงเป็นเกณฑ์ โดยสามารถเคลื่อนที่เข้าหาพื้นที่ที่มีความเข้มของแสงน้อยที่สุด ด้วยวิธีการรับสัญญาณจากวงจรรับสัญญาณของตัวต้านทานไวแสง (LDR) เพื่อเปรียบเทียบความเข้มของแสง โดย LDR จะติดตั้งบริเวณด้านข้างทั้งสองด้านของหุ่นยนต์

5.2.1 การจำลองสถานะและการทดลอง

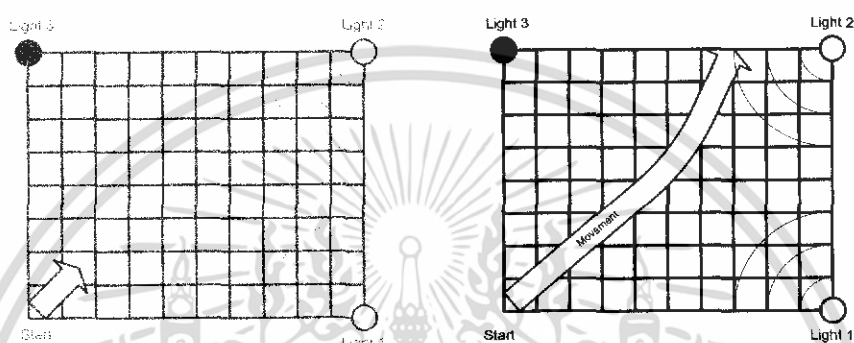
การทดลองเพื่อศึกษาการเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก ว่าสามารถเคลื่อนที่เข้าหาพื้นที่ที่มีความเข้มของแสงน้อยที่สุดตามที่ได้ออกแบบไว้นั้น ใช้วิธีการวิเคราะห์การเคลื่อนที่โดยใช้ภาพวิดีโอ (VDO Analysis) เป็นวิธีในการทดลอง การทดลองจะใช้กล้องวิดีโอจับภาพการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จากด้านบน ซึ่งมีพื้นสนามที่มีได้ออกแบบให้มีตารางบอกพิกัดตำแหน่ง โดยเว้นระยะห่างช่องละ 5 เซนติเมตร และติดตั้งหลอดไฟฉายขนาดเล็กจำนวน 3 ดวง เพื่อเป็นแหล่งกำเนิดของแสง สำหรับการทดลอง โดยแบบสนามทดลองแสดงดังรูป 5.9



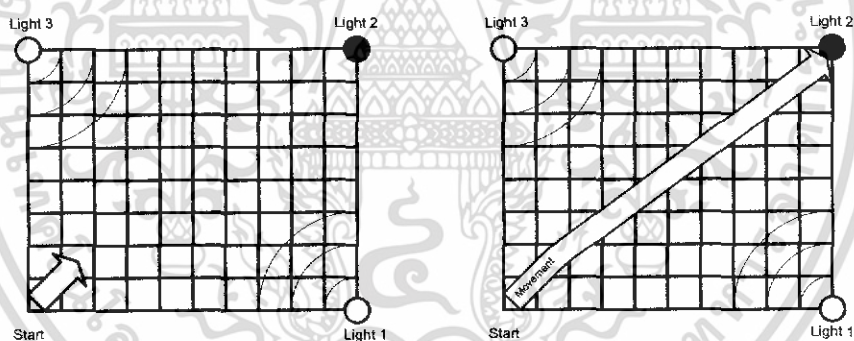
รูปที่ 5.9 แสดงแบบสนามทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

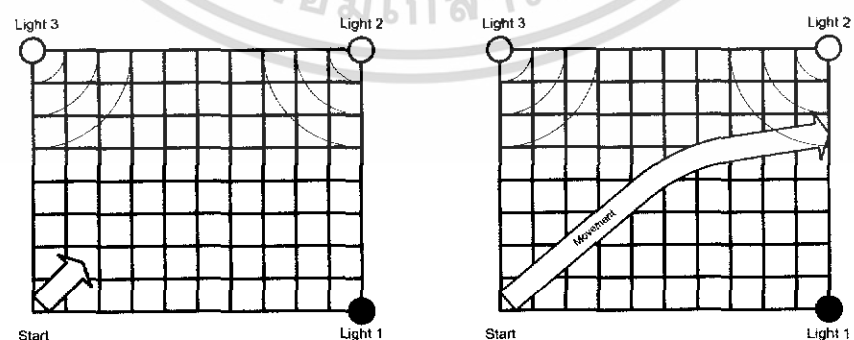
สนามทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ รูปที่ 5.9 เป็นสนามที่จำลองสถานการณ์ ที่ใช้ทดลองหาผลของการเลือกเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในสภาวะความเข้มของแสงที่แตกต่างกัน เนื่องจากจัดวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดแสง(หลอดไฟ) และวิธีการเปิดหลอดไฟที่จัดวางไม่พร้อมกันทำให้เกิดการจำลอง 3 สภาวะ โดยสภาวะจำลองแรกได้จัดวางแหล่งกำเนิดแสงโดยให้หลอดไฟดวงที่ 1 และ 2 เท่านั้นที่สว่าง ดังแสดงรูปที่ 5.10 สภาวะที่สองจัดวางแหล่งกำเนิดแสงโดยให้หลอดไฟดวงที่ 1 และ 3 เท่านั้นที่สว่าง ดังแสดงรูปที่ 5.11 และสภาวะสุดท้ายจัดวางแหล่งกำเนิดแสงโดยให้หลอดไฟดวงที่ 2 และ 3 เท่านั้นที่สว่าง ดังแสดงรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.10 แสดงการจัดวางแหล่งกำเนิดแสงและรูปแบบการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดแบบที่ 1



รูปที่ 5.11 แสดงการจัดวางแหล่งกำเนิดแสงและรูปแบบการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดแบบที่ 2



รูปที่ 5.12 แสดงการจัดวางแหล่งกำเนิดแสงและรูปแบบการเคลื่อนที่ของแหล่งกำเนิดแบบที่ 3

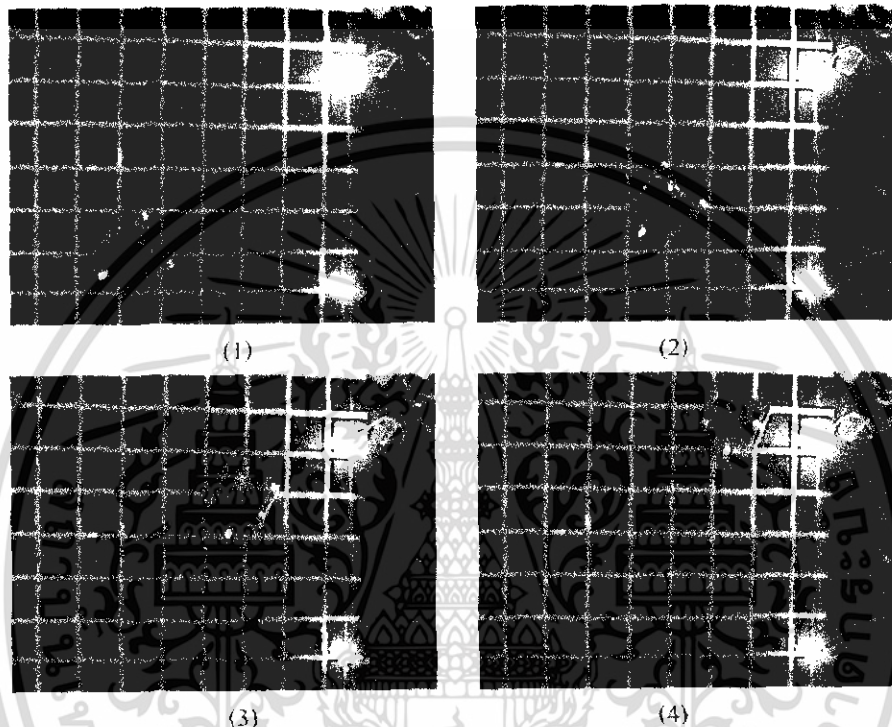
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 ผลการทดลองรูปแบบการเคลื่อนที่

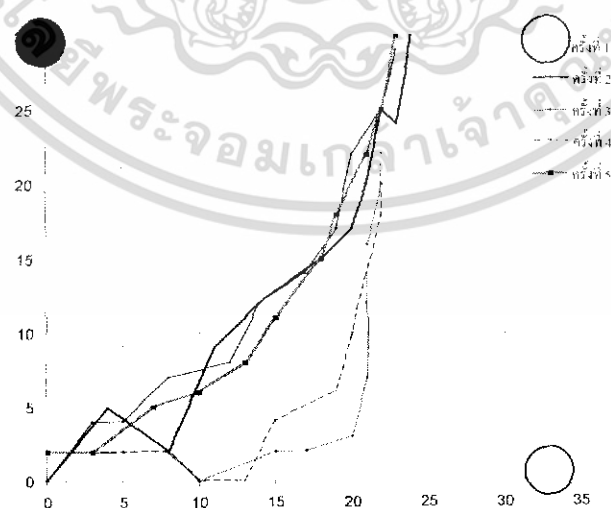
ผลของการทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในสภาวะจำลองของแหล่งกำเนิดแสง ทั้ง 3 แบบ โดยการทดลองซ้ำในสภาวะเดิมทั้งหมด 5 ครั้ง ให้ผลการทดลองแสดงดังต่อไปนี้

5.2.2.1 สภาวะที่ 1 หลอดไฟดวงที่ 1 และ 2 เท่านั้นที่สว่าง

ให้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.13 และรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.13 แสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (เลี้ยวเบนทางซ้าย)

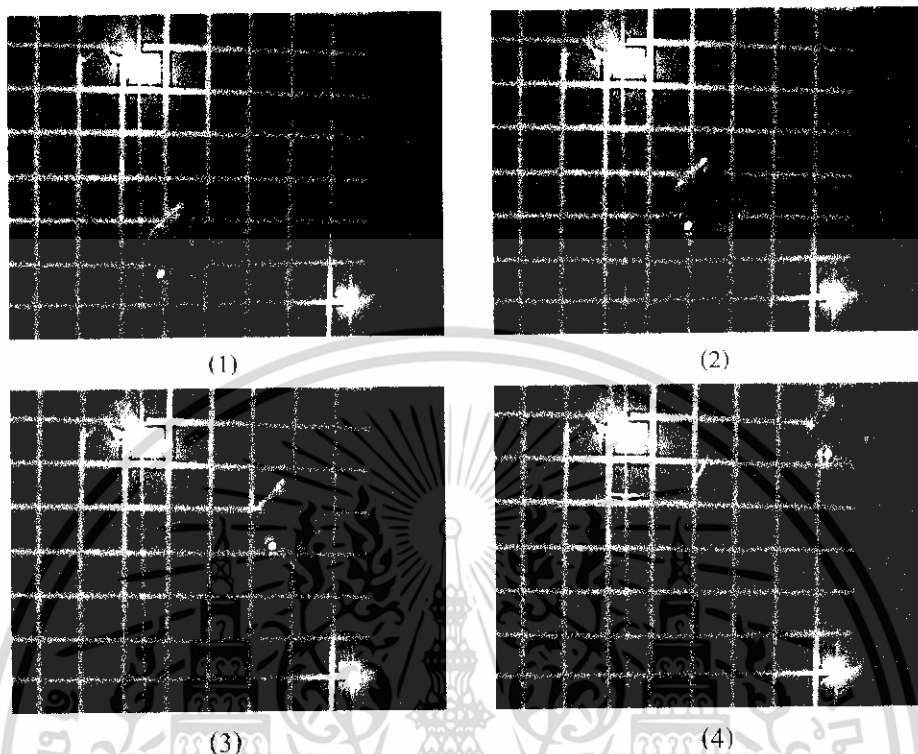


รูปที่ 5.14 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (เลี้ยวเบนทางซ้าย)

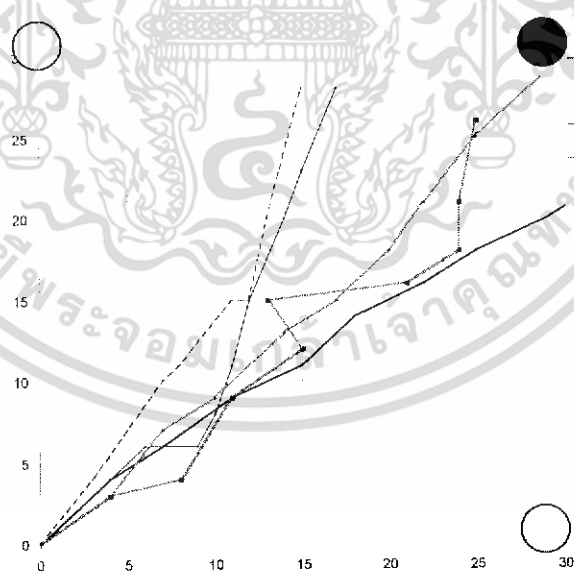
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.2 สภาวะที่ 2 หลอดไฟดวงที่ 1 และ 3 เท่านั้นที่สว่าง

ให้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.15 และรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.15 แสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์(ตรง)

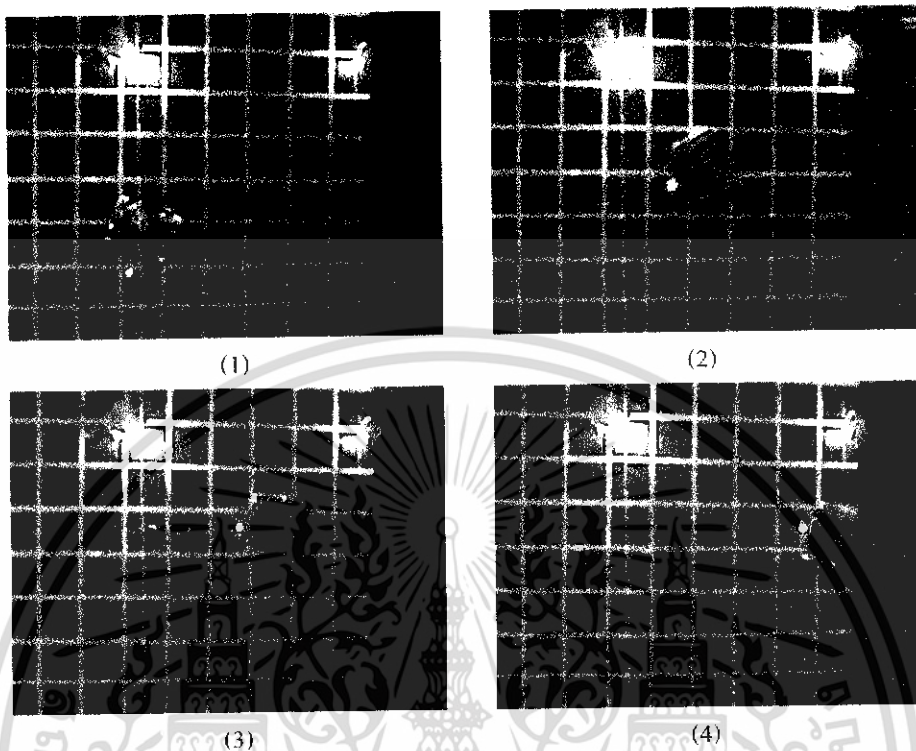


รูปที่ 5.16 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (ตรง)

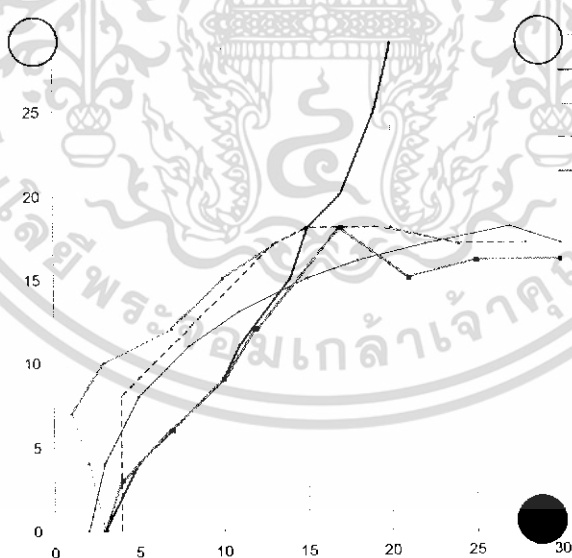
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2.3 สภาวะที่ 3 หลอดไฟดวงที่ 2 และ 3 เท่านั้นที่สว่าง

ให้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.16 และรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 แสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (เลี้ยวเบนทางขวา)



รูปที่ 5.18 กราฟแสดงการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (เลี้ยวเบนทางขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 การทดลองความสามารถของอุปกรณ์เซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น

การทดลองความสามารถของอุปกรณ์เซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น SHT 15 ใช้วิธีการจำลองสถานการณ์โดยใช้ เครื่องเป่าอากาศร้อนในบริเวณที่ต้องการทดลอง และปล่อยให้หุ่นยนต์ขนาดเล็กวิ่งเข้าไปทางทิศของเครื่องเป่าอากาศร้อน เนื่องจากเครื่องเป่าอากาศร้อนแผ่ความร้อนเป็นบริเวณกว้างเช่นเดียวกับกองไฟ ภาพการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 ภาพการทดลองวิ่งเข้าสู่พื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง

ภาพจำลองการทดสอบการทดลองวิ่งเข้าสู่พื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูงดังรูปที่ 5.19 วัตถุด้านซ้ายแสดงถึงแหล่งกำเนิดความร้อน ที่สร้างโดยเครื่องเป่าอากาศร้อน สำหรับวัตถุด้านขวาเป็นหุ่นยนต์ขนาดเล็กที่ทำการเคลื่อนที่เข้าสู่ทิศทางของแหล่งกำเนิดความร้อน

จากการทดลองความสามารถในการตรวจวัดอุณหภูมิ พบว่าให้หุ่นยนต์สามารถทำงานได้จริงตามที่ได้กำหนดโดยโปรแกรมแต่เซนเซอร์ SHT 15 ใช้ระยะห่างสำหรับการวัดอุณหภูมิของตัวเซนเซอร์กับแหล่งกำเนิดความร้อนค่อนข้างใกล้และไม่คงที่ สำหรับการใส่เซนเซอร์ SHT 15 ในการวัดอุณหภูมิและความชื้นเพื่อตรวจสอบว่าสิ่งที่พบเป็นสิ่งมีชีวิตหรือมนุษย์ พบว่าสามารถตรวจสอบได้จริง แต่ตัวของเซนเซอร์ต้องแนบติดกับผิวหนังของมนุษย์ และค่าของความชื้นที่วัดได้นั้นมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังนั้นหากต้องนำหุ่นยนต์ขนาดเล็กในงานวิจัยนี้ไปใช้งานจริง ควรเลือกใช้ชนิดอุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิที่มีความสามารถในการวัดระยะไกล มีความละเอียดและความเร็วในการวัดสูง

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กสำหรับค้นหาผู้ประสบภัยให้มีการควบคุมการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติ หุ่นยนต์ขนาดเล็กสามารถเลือกเส้นทางในการเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเองโดยใช้ความเข้มของแสงเป็นเกณฑ์ สามารถเคลื่อนที่บนสภาพพื้นผิวที่ยากลำบาก สามารถตรวจสอบสภาพแวดล้อมขณะทำงานและสามารถตรวจสอบได้ว่าวัตถุที่พบเจอเป็นสิ่งมีชีวิต สำหรับการออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก หุ่นยนต์ขนาดเล็กมีความแข็งแรงเนื่องจากใช้ภูมิเอนิมาขึ้นรูปเป็นส่วนประกอบ โครงสร้างหลักของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

การทดลองเพื่อศึกษาความสามารถของหุ่นยนต์ขนาดเล็กได้แบ่งออกเป็นสามการทดลอง โดยการทดลองแรกเป็นการทดลองความสามารถเคลื่อนที่บนสภาพพื้นผิวที่ยากลำบากของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก โดยมีการทดลองจากสภาวะจำลองในห้องและสภาวะตามธรรมชาติ การทดลองที่สองเป็นการทดลองเพื่อศึกษาการเลือกเส้นทางเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก และความสามารถในการเคลื่อนที่เข้าของหุ่นยนต์ขนาดเล็กในสภาวะเดิม ด้วยวิธีการกำหนดให้หุ่นยนต์ขนาดเล็กเคลื่อนที่เข้าหาพื้นที่ที่มีความเข้มของแสงน้อยที่สุด โดยการทดลองได้จำลองสภาวะการทดลองสามสภาวะและวิเคราะห์การเคลื่อนที่โดยใช้ภาพวิดีโอ และสุดท้ายเป็นการทดลองประสิทธิภาพของตัวอุปกรณ์เซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้นที่ได้ติดตั้งลงในตัวหุ่นยนต์ขนาดเล็ก เพื่อศึกษาถึงความสามารถในการตรวจสอบสภาพแวดล้อมที่หุ่นยนต์กำลังทำงาน และสามารถตรวจสอบวัตถุที่พบเจอว่าเป็นสิ่งมีชีวิตหรือไม่

จากผลการทดลองพบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ได้บนพื้นผิวทั่วไป และมีความสามารถในการเคลื่อนที่ได้ทางชันแบบต่างๆ ได้ดี สามารถเคลื่อนที่เข้ารูปแบบเดิมในสภาวะเดิมเนื่องจากสามารถเคลื่อนที่เข้าหาพื้นที่ที่มีความเข้มของแสงน้อยกว่าและทิศทางการเคลื่อนที่ที่มีความคล้ายคลึงกันภายใต้สภาวะจำลองเดียวกัน และสุดท้ายหุ่นยนต์ขนาดเล็กสามารถตรวจสอบสภาพแวดล้อมขณะทำงานและสามารถตรวจสอบได้ว่าวัตถุที่พบเจอเป็นสิ่งมีชีวิตตามที่ได้ควบคุมการทำงานไว้

6.2 ปัญหาที่พบในการวิจัยและแนวทางในการแก้ปัญหา

การออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กมีความยากลำบาก เนื่องจากข้อจำกัดทางขนาดของหุ่นยนต์ที่มีขนาดเล็ก และมีการควบคุมการทำงานเป็นแบบอัตโนมัติไร้สาย นอกจากการออกแบบโครงสร้างที่มีความแข็งแรง พื้นที่ว่างภายในตัวหุ่นยนต์ขนาดเล็กต้องสามารถจัดวางอุปกรณ์วงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เล็กทรอนิกส์ อุปกรณ์เซนเซอร์และแบตเตอรี่ได้ ในการสร้างหุ่นยนต์ขนาดเล็กต้องทำการออกแบบ สร้างหุ่นยนต์และทดสอบความสามารถไปพร้อมๆกัน หากหุ่นยนต์ที่สร้างประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ต่ำหรือไม่สามารถทำงานได้ตามที่ออกแบบไว้ก็จะต้องศึกษาและออกแบบหุ่นยนต์ขนาดเล็กใหม่ เพื่อให้ได้หุ่นยนต์ขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพตามที่กำหนดไว้

จุดศูนย์กลางมวลของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก ไม่ได้อยู่ตรงกลางของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก ทำให้การเคลื่อนที่บนพื้นผิวทางชันที่มีมุมเอียงมากๆค่อนข้างลำบาก เนื่องจากที่ด้านท้ายของหุ่นยนต์ประกอบไปด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงจำนวนสองตัว ถึงแม้ว่าจะปรับแก้โดยวิธีการเพิ่มระยะความยาวของตัวหุ่นยนต์ขนาดเล็กและใช้ล้อหน้าชนิดอูมิเนียมนขนาดใหญ่แล้วก็ตาม

6.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

สำหรับข้อเสนอแนะการวิจัยและพัฒนาคือ การออกแบบและเลือกใช้อุปกรณ์โครงสร้างให้มีน้ำหนักเบา คำนึงถึงจุดศูนย์กลางมวลเนื่องจากมีผลในการเคลื่อนที่บนพื้นผิวที่มีความชันของตัวหุ่นยนต์ขนาดเล็ก อุปกรณ์สายพานควรมีความยืดหยุ่นและมีความหนาพอสมควร และหากจะนำหุ่นยนต์ขนาดเล็กสำหรับค้นหาผู้ประสบภัยไปใช้ในสถานการณ์จริง อุปกรณ์เซนเซอร์ตรวจจับสิ่งมีชีวิตควรมีคุณภาพที่ดี สำหรับงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้เซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้น ดังนั้นเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้นที่ใช้ควรมีความสามารถในการตรวจสอบที่ดี ตอบสนองไวและมีระยะห่างในการตรวจวัดผลของอุณหภูมิระหว่างตัวหุ่นยนต์ขนาดเล็กและวัตถุค่อนข้างมาก

เอกสารอ้างอิง

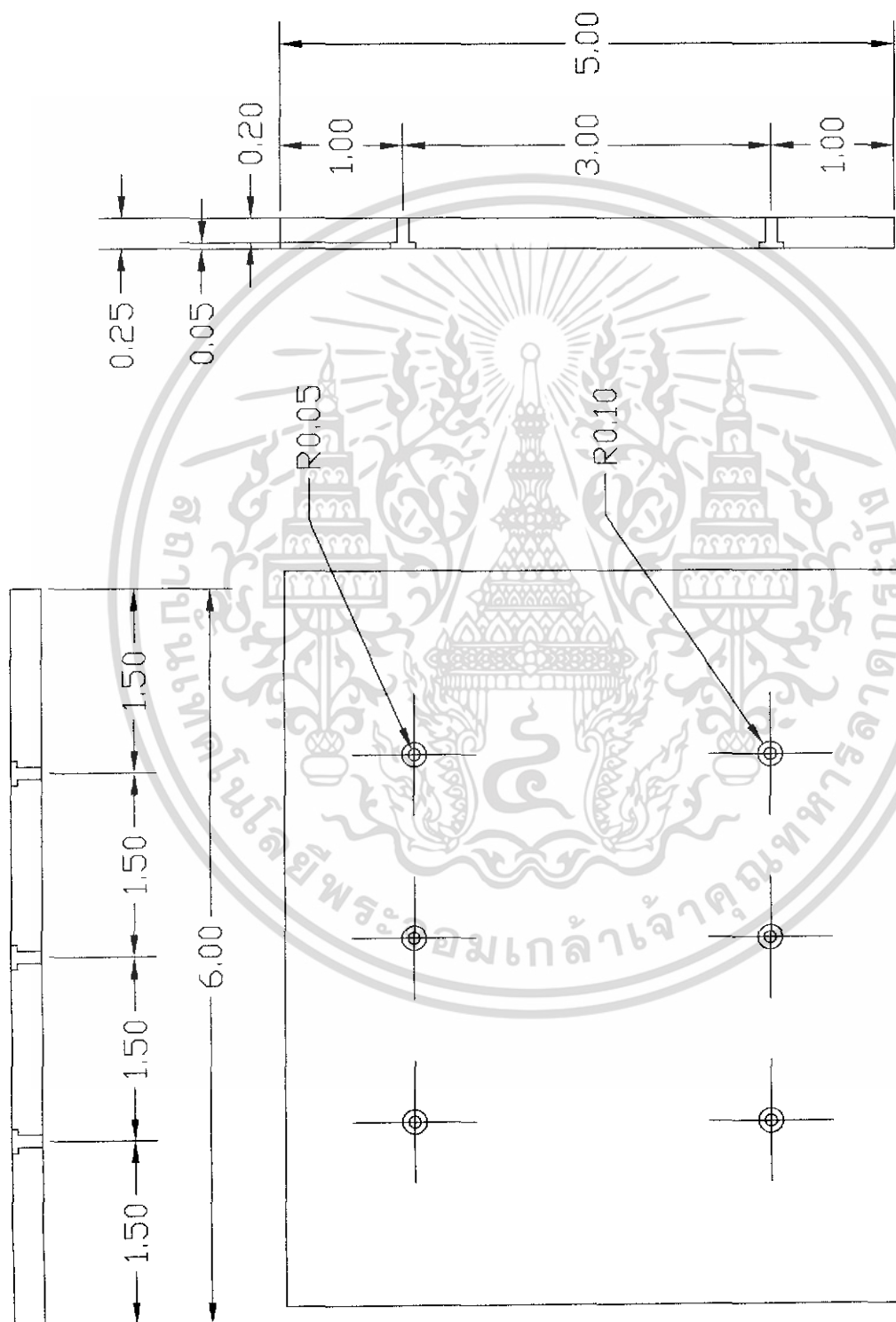
- [1] Negnevitsky, Michael. **A Guide to Intelligent Systems**. Pearson Education. 2002
- [2] Ryutaro MISUMI, Shigeki Kurata and Hisayuki AOYAMA. “Design and Development of Micro hopping Robots for Victim Detection under Rubble”. **Proceeding of 6th Japan-France Congress on Mechatronics and 4th Asia-Europe Congress on Mechtronics**, Tokyo Denki University, Hatoyama, Japan, September 9-11,2003
- [3] Andreas Birk. “IUB Rescue, Germany”. **RoboCupRescue – Robot League Team**, 2004
- [4] Mitch Barnes, H.R. Everett, Pavlo Rudakevych. “Design Considerations for a Man – Portable Throwable Robot”. **Throwbot**, 2004
- [5] Hoa G.Nguyen and John P.Bott. “Aplications Beyond explosive Ordnance Disposal”. **Robotics for Laws Enforcement**, SPIE International Symposium on Law Enforcement Technologies, Boston, MA, 5-8 November 2000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

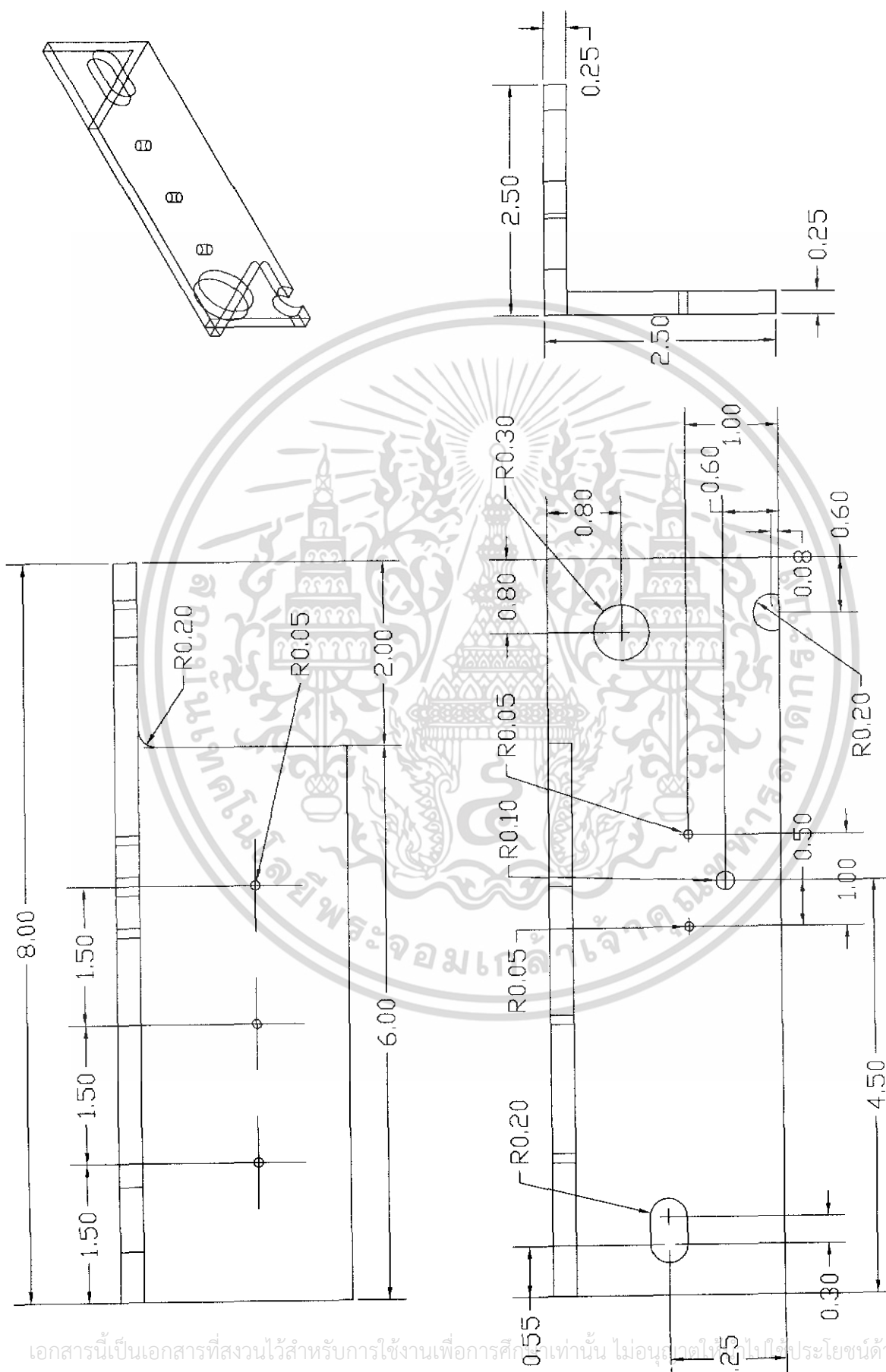


ภาคผนวก ก
แบบโครงสร้างหลักของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

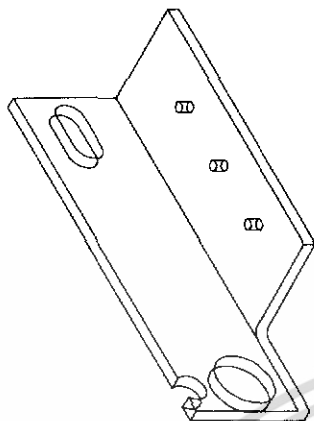


Item#	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference		
Designed by XXX	Checked by XXX	Approved by - date XXX - 00/00/00	File name XXX	Date 00/00/00	Scale 1:1
			Edition 0		
			Sheet 1/1		



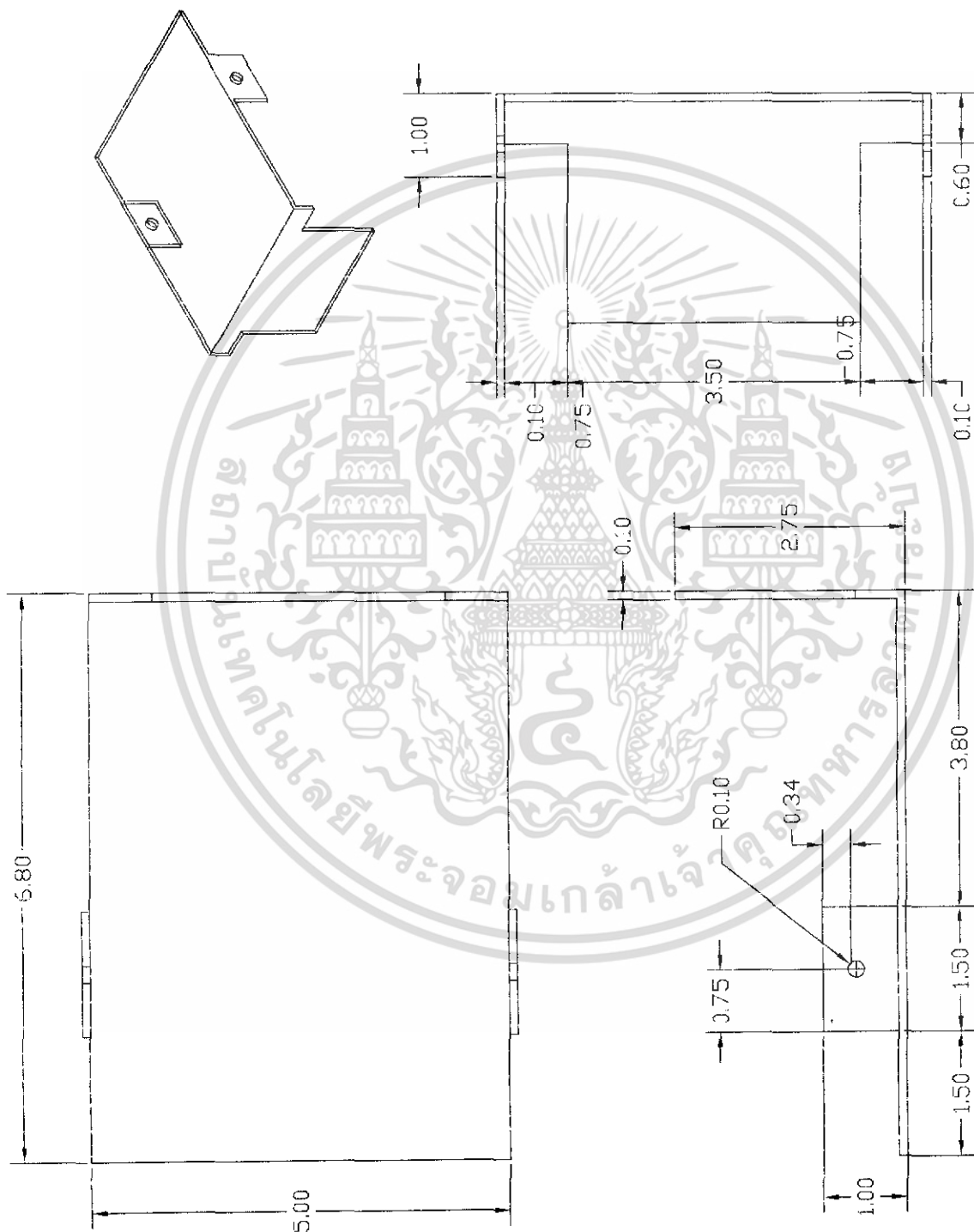
Item ref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Designed by	XXX	Checked by	XXX
Approved by	XXX - 00/00/00	File name	XXX
Date	00/00/00	Scale	1:1
Edition	0	Sheet	1/1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



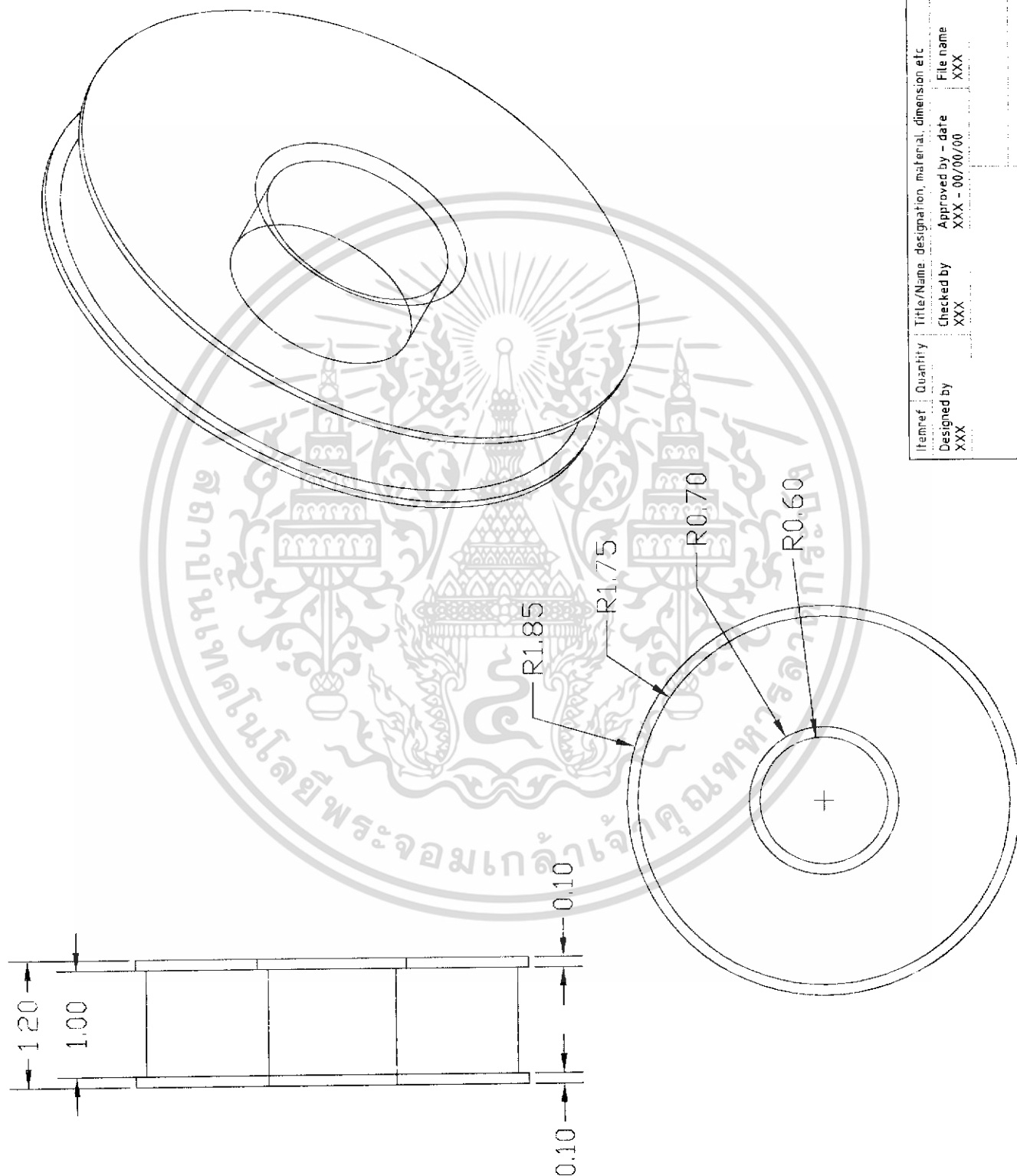
0 Edition 1/1 Sheet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Item#ref	Quantity	Title/Name, designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Designed by XXX	Checked by XXX	Approved by - date XXX - 00/00/00	Date 00/00/00
		File name XXX	Scale 1:1

Edition Sheet
 0 1/1

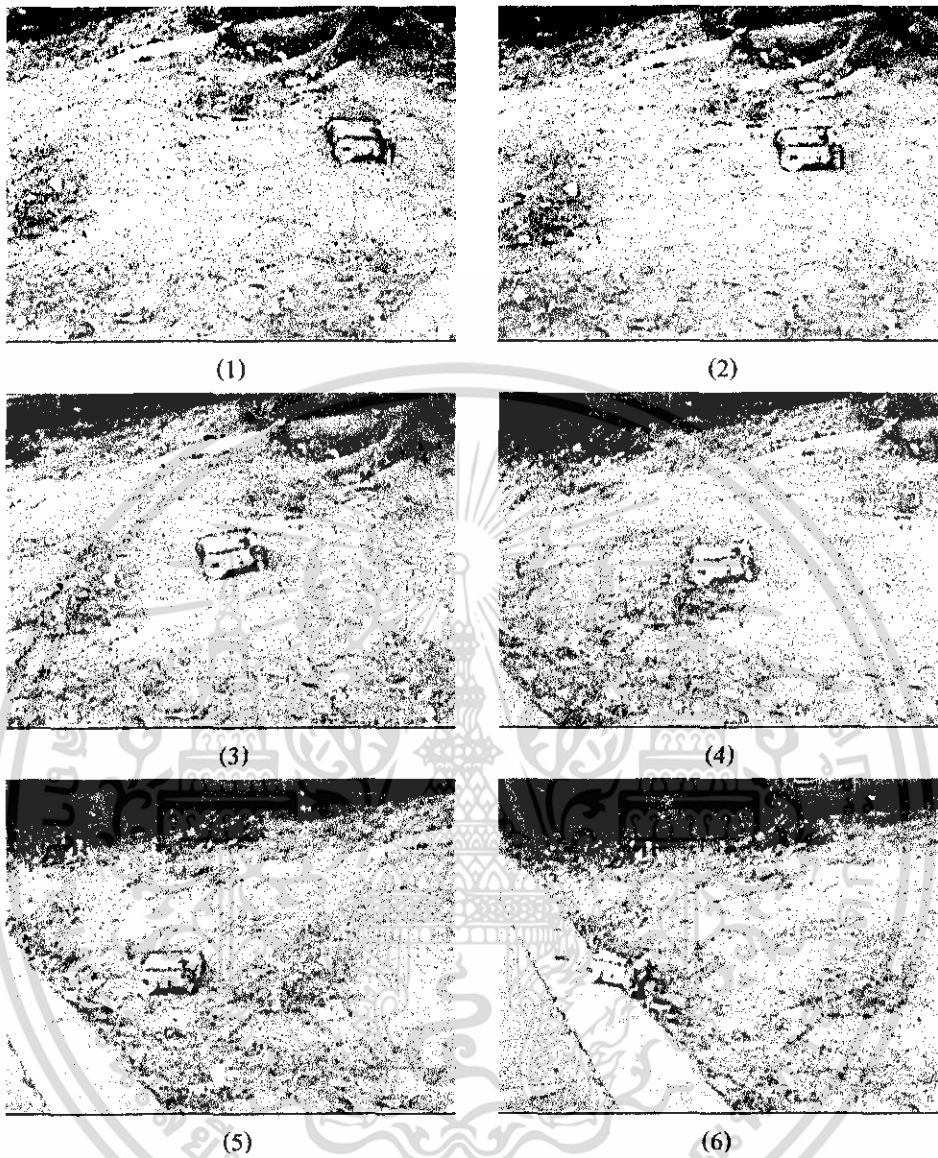


Item ref	Quantity	Title/Name	designation, material, dimension etc	Article No./Reference
Designed by XXX		Checked by XXX	Approved by - date XXX - 00/00/00	Date 00/00/00
			File name XXX	Scale 1:1
				Edition 0
				Sheet 1/1



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพการทดลองที่ 1



ภาพการทดลองที่ 1 ทดลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ขนาดเล็กบนพื้นผิวที่ขรุขระ พื้นผิวมีลักษณะเป็นดินทราย มีเศษหิน ใบไม้ เล็กน้อย ภาพการทดลองพบว่าหุ่นยนต์ขนาดเล็กสามารถเคลื่อนที่ได้ปกติ

ภาพการทดลองที่ 2



(1)



(2)



(3)



(4)



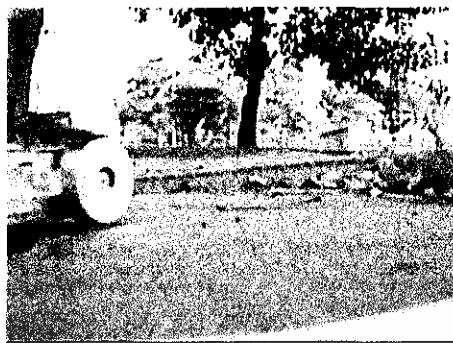
(5)



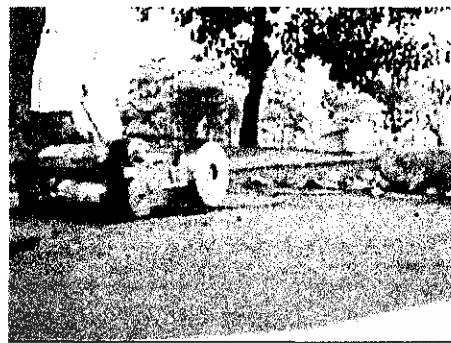
(6)

ภาพการทดลองที่ 2 ทดลองความสามารถในการเคลื่อนที่ข้ามสิ่งกีดขวางตามธรรมชาติ โดยพื้นที่ที่ทำการทดลองมีลักษณะเป็นดินทราย โดยหุ่นยนต์ขนาดเล็กจะเคลื่อนที่บนพื้นดินทราย หลังจากนั้นจะข้ามรากไม้ที่ขวางอยู่ จากภาพการทดลองพบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่บนพื้นดินทรายและข้ามรากไม้ที่ขวางอยู่ได้

ภาพการทดลองที่ 3



(1)



(2)



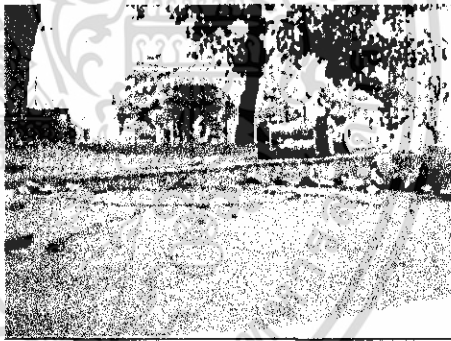
(3)



(4)



(5)

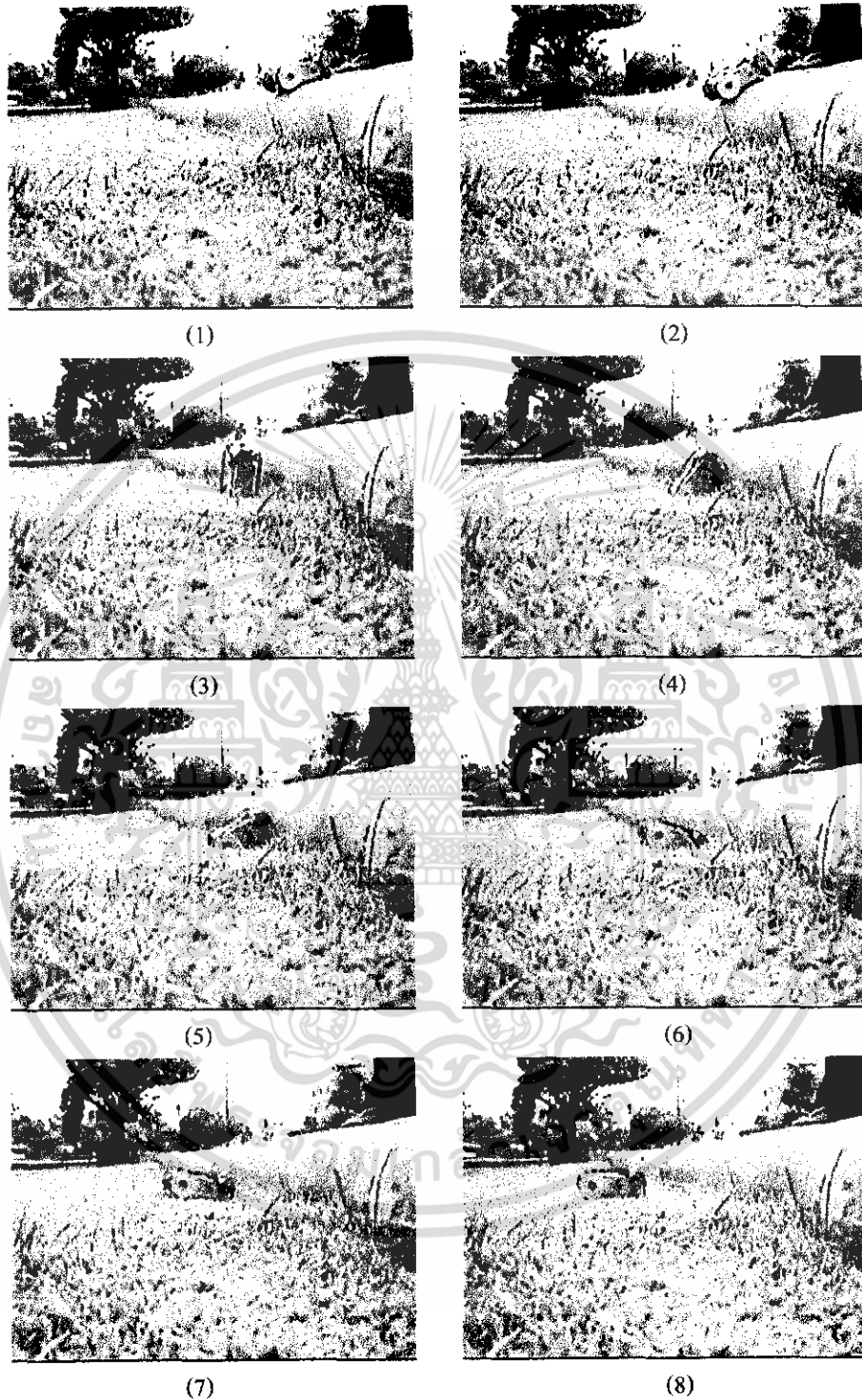


(6)

ภาพการทดลองที่ 3 ทดลองความสามารถในการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่ต่างระดับบนพื้นปูนที่มีรอยแยก จากภาพการทดลองพบว่าหุ่นยนต์มีการยกตัวทางด้านหน้าขณะขึ้นพื้นที่ต่างระดับ ได้ขึ้นพื้นที่ต่างระดับและเคลื่อนที่ต่อไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

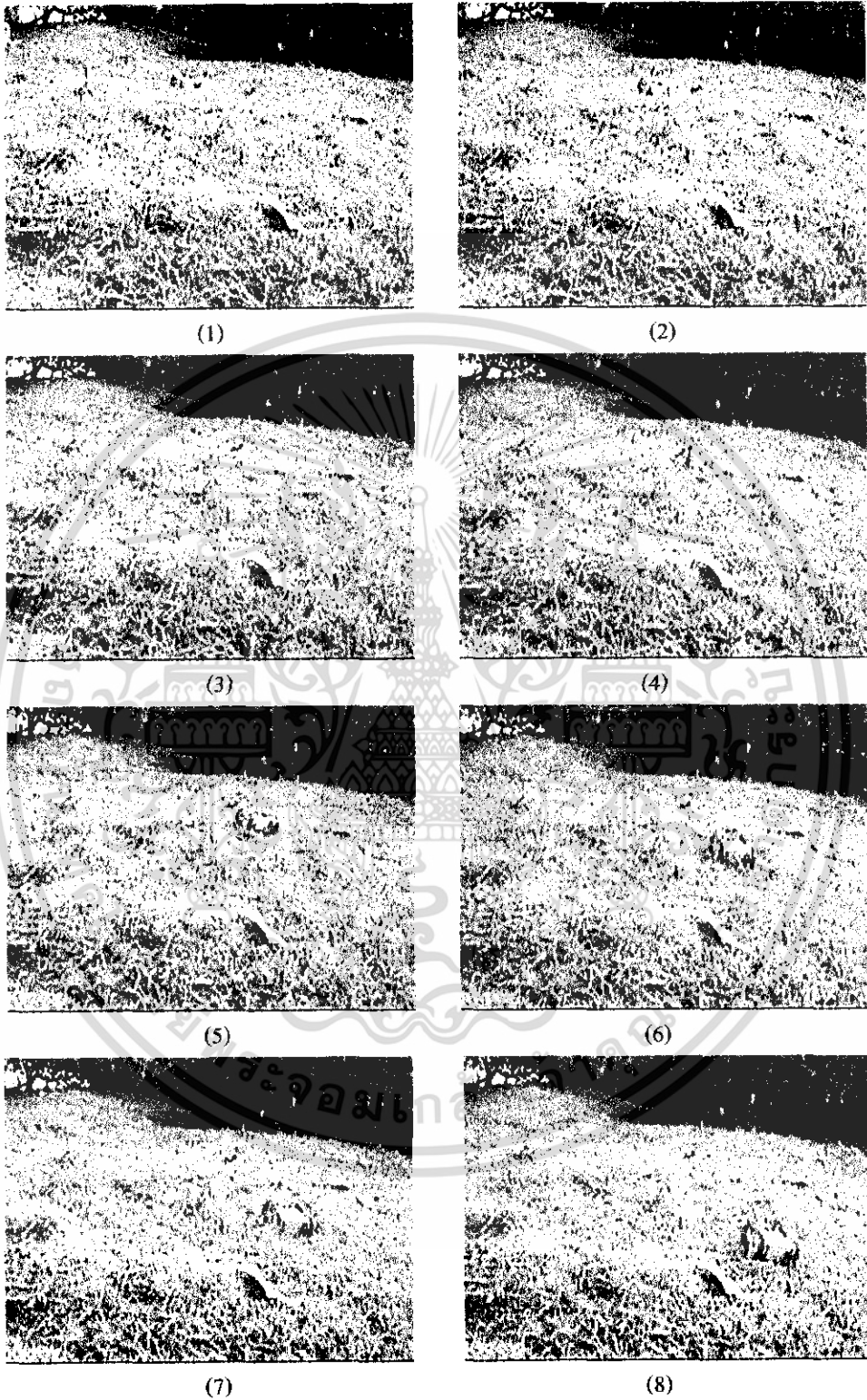
ภาพการทดลองที่ 4



ภาพการทดลองที่ 4 ทดลองความสามารถในการเคลื่อนที่ลงทางต่างระดับที่มีความสูงมากกว่าความยาวของตัวหุ่นยนต์ พบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ลงจากพื้นที่ต่างระดับและสามารถเคลื่อนที่บนพื้นหญ้าต่อไปได้

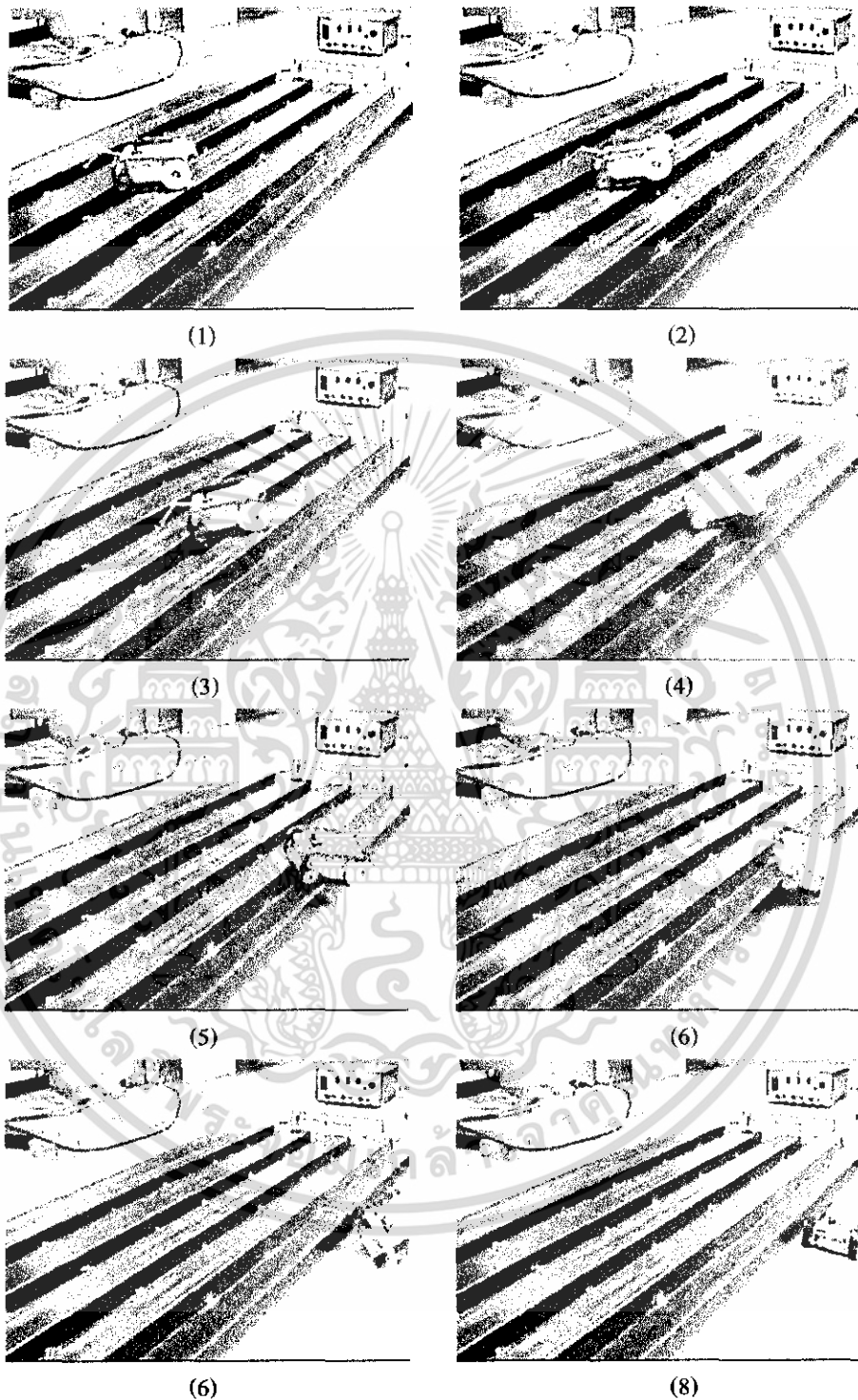
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพการทดลองที่ 5



ภาพการทดลองที่ 5 ทดลองความสามารถในการเคลื่อนที่ลงทางชั้นลักษณะคล้ายเนินเขามี
หญ้าปกคลุมและพื้นผิวมีความไม่เรียบตลอดทาง พบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนลงจากเนินได้ปกติ
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพการทดสอบที่ 6



ภาพการทดสอบที่ 6 ทดลองความสามารถในการเคลื่อนที่ผ่านร่องบนรางเหล็กดังพบว่า หุ่นยนต์ขนาดเล็กสามารถเคลื่อนที่ผ่านไปได้ทุกร่องในแนวเฉียง สำหรับแนวตั้งตัวหุ่นยนต์มีความยาวไม่เหมาะสมกับความกว้างของร่องและความสูงของร่องมากเกินไปที่หุ่นยนต์จะปีนขึ้นมาได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ก

**โปรแกรมควบคุมการทำงานของ เซนเซอร์ SHT 15
(C Compiler + PIC16F873A)**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

#include <16F873A.h>

#include <math.h>

#define TxD          PIN_C6
#define RxD          PIN_C7
#define CLOCK_SP     20000000

#fuses HS
#fuses NOLVP, NOWDT
#fuses NOPROTECT

#use delay (clock=CLOCK_SP)

#use rs232(baud=9600, xmit=TxD,rcv=RxD)

#use fast_io(A)

typedef union {
    int16 i;
    float f;
} value;

enum {TEMP,HUMI};

#define DATA        PIN_C0
#define SCK           PIN_C1

#define NOACK        0
#define ACK          1

#define SHT_STATUS_REG_W      0x06
#define SHT_STATUS_REG_R      0x07
#define SHT_MEASURE_TEMP      0x03
#define SHT_MEASURE_HUMI      0x05
#define SHT_RESET              0x1e

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

char sht_writeByte(byte value)
{
    byte i,error=0;

    for (i=0x80;i>0;i/=2)
    {
        if (i & value)
            output_float(DATA);
        else
            output_low(DATA);
        output_high(SCK);
        delay_us(5);
        output_low(SCK);
    }
    output_float(DATA);
    output_high(SCK);
    error=input(DATA);
    output_low(SCK);

    return error;
}

```

```

char sht_readByte(byte ack)
{
    byte i,val=0;

    output_float(DATA);
    for (i=0x80;i>0;i/=2)
    {
        output_high(SCK);
        if (input(DATA))
            val=(val | i);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        output_low(SCK);
    }

    if (ack)
        output_low(DATA);
    else
        output_float(DATA);
        output_high(SCK);
        delay_us(5);
        output_low(SCK);
        output_float(DATA);

    return val;
}

void sht_transStart(void)
{
    output_float(DATA);
    output_low(SCK);
    delay_us(2);
    output_high(SCK);
    delay_us(2);
    output_low(DATA);
    delay_us(2);
    output_low(SCK);
    delay_us(6);
    output_high(SCK);
    delay_us(2);
    output_float(DATA);
    delay_us(2);
    output_low(SCK);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

void sht_connectionReset(void)
{
    byte i;

    output_float(DATA);
    output_low(SCK);
    for(i=0;i<9;i++)
    {
        output_high(SCK);
        delay_us(2);
        output_low(SCK);
        delay_us(2);
    }
    sht_transStart();
}

char sht_softReset(void)
{
    byte error=0;

    sht_connectionReset();
    error+=sht_writeByte(SHT_RESET);

    return error;
}

char sht_readStatusreg(byte *p_value, byte *p_checksum)
{
    byte error=0;

    sht_transStart();
    error = sht_writeByte(SHT_STATUS_REG_R);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        *p_value = sht_readByte(ACK);
        *p_checksum = sht_readByte(NOACK);

        return error;
    }

char sht_writeStatusreg(byte *p_value)
{
    byte error=0;

    sht_transStart();
    error += sht_writeByte(SHT_STATUS_REG_W);
    error += sht_writeByte(*p_value);

    return error;
}

char sht_measure(byte *p_value, byte *p_checksum, byte mode)
{
    byte error=0;
    int16 i;

    sht_transStart();
    switch(mode)
    {
        case TEMP      : error+=sht_writeByte(SHT_MEASURE_TEMP); break;
        case HUMI      : error+=sht_writeByte(SHT_MEASURE_HUMI); break;
        default        : break;
    }

    for (i=0;i<65535;i++)
    {
        if(input(DATA)==0)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        break;

        delay_cycles(4);
    }

    if(input(DATA))
        error+=1;

    *(p_value+1) =sht_readByte(ACK);
    *(p_value)=sht_readByte(ACK);
    *p_checksum =sht_readByte(NOACK);

    return error;
}

void sht_calc(float *p_humidity, float *p_temperature)
{
    const float C1=-4.0;
    const float C2=+0.0405;
    const float C3=-0.0000028;
    const float T1=+0.01;
    const float T2=+0.00008;

    float rh;
    float t;
    float rh_lin;
    float rh_true;
    float t_C;

    rh = *p_humidity;
    t = *p_temperature;

    t_C = t*0.01 - 40;
    rh_lin=C3*rh*rh + C2*rh + C1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และแจ้งถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    rh_true=(t_C-25)*(T1+T2*rh)+rh_lin;
    if(rh_true>100)rh_true=100;
    if(rh_true<0.1)rh_true=0.1;

    *p_temperature=t_C;
    *p_humidity=rh_true;
}

float sht_calcDewpoint(float h, float t)
{
    float logEx,dew_point;

    logEx = 0.66077+7.5*t/(237.3+t)+(log10(h)-2);
    dew_point = (logEx - 0.66077)*237.3/(0.66077+7.5-logEx);

    return dew_point;
}

void sht_work()
{
    value humi_val, temp_val;
    float dew_point,mem_temp,mem_humi;
    byte error,checksum;
    int16 i;

    sht_connectionReset();

    while(1) {

        error=0;

        error+=sht_measure((byte*) &humi_val.i, &checksum, HUMI);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และ VIII ไปถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

error+=sht_measure((byte*) &temp_val.i, &checksum, TEMP);

if(error!=0) {
    printf("\n\rerror:%U", error);
    sht_connectionReset();
}

else {
    humi_val.f=(float)humi_val.i;
    temp_val.f=(float)temp_val.i;
    sht_calc(&humi_val.f, &temp_val.f);
    dew_point=sht_calcDewpoint(humi_val.f,temp_val.f);
    printf("\f\n\rtemperature      :%5.1fC  (0x%X%X)\n\r", temp_val.f,
make8(temp_val.i,1), make8(temp_val.i,0));
    printf("humidity          :%5.1f%%  (0x%X%X)\n\r", humi_val.f,
make8(humi_val.i,1), make8(humi_val.i,0));
    printf("dew point:%5.1fC", dew_point);
}

delay_ms(800);

}

}

void main()
{
    While(1)
        sht_work();
}

```



ภาคผนวก ง
รายละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย
(DATA SHEET)

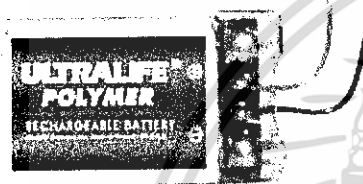
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

190422030

Technical Datasheet

The Ultralife Advantage

Better technology. Our lithium-based (lithium-manganese dioxide, lithium ion and lithium polymer) technologies enable us to design leading-edge power solutions for the world's most demanding applications.

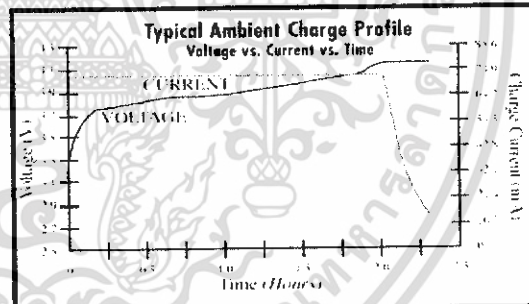


- Thin
- High energy density
- Wide operating temperature range
- Lightweight
- No memory effect
- Can be assembled into packs

- Portable Electronics
- Medical Devices
- RFID Applications
- Tracking Applications

Part No	UBC007
Voltage Range	3.0 to 4.2 V
Average Voltage	3.7 V
Nominal Capacity	150 mAh @ C/5 Rate @ 23° C
Max. Discharge	2C continuous
Energy	0.6 Wh
Energy Density	150 Wh/kg, 238 Wh/l
Weight	4.0 grams
Cycle Life	> 300 cycles @ C/5 to 80% of initial capacity
Memory	No Memory Effect
Operating Temp	-20° C to 60° C
Storage Temp	-20° C to 60° C
Self-Discharge	< 10% per month
Exterior/Housing	Laminated Foil
Terminals/Connector	26 AWG Wire: Red (+), Black (-)
Safety	Material Safety Datasheet – MSDS014.
Transportation	Excepted from Regulations – see note 1
Protection Circuit Module	Over Voltage Limit: 4.285 +/- 0.03 V Under Voltage Limit: 2.3 +/- 0.10 V Over Current Protection: 2.0 A @ Room Temp. Max. Quiescent Drain: 6 µA
Charging	Maximum charge rate at C/2 to 4.2 Volts in a temperature range of 0° to 45° C. Hold at 4.2 Volts until current declines to C/10. Refer also to Safety Guide UBI-5112.

Note 1	For a complete description of transportation regulations and definitions of the transportation classifications "Excepted" and "Class 9," refer to the Ultralife web site at www.ultralifebatteries.com .
---------------	--

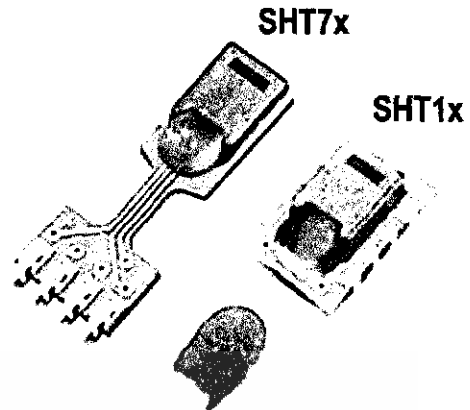


SHT1x / SHT7x

Humidity & Temperature Sensor

Evaluation Kit
Available

- Relative humidity and temperature sensors
- Dew point
- Fully calibrated, digital output
- Excellent long-term stability
- No external components required
- Ultra low power consumption
- Surface mountable or 4-pin fully interchangeable
- Small size
- Automatic power down



SHT1x / SHT7x Product Summary

The SHTxx is a single chip relative humidity and temperature multi sensor module comprising a calibrated digital output. Application of industrial CMOS processes with patented micro-machining (CMOSens® technology) ensures highest reliability and excellent long term stability. The device includes a capacitive polymer sensing element for relative humidity and a bandgap temperature sensor. Both are seamlessly coupled to a 14bit analog to digital converter and a serial interface circuit on the same chip. This results in superior signal quality, a fast response time and insensitivity to external disturbances (EMC) at a very competitive price. Each SHTxx is individually calibrated in a precision humidity chamber with a chilled mirror hygrometer as reference. The

calibration coefficients are programmed into the OTP memory. These coefficients are used internally during measurements to calibrate the signals from the sensors. The 2-wire serial interface and internal voltage regulation allows easy and fast system integration. Its tiny size and low power consumption makes it the ultimate choice for even the most demanding applications.

The device is supplied in either a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) or as a pluggable 4-pin single-in-line type package. Customer specific packaging options may be available on request.

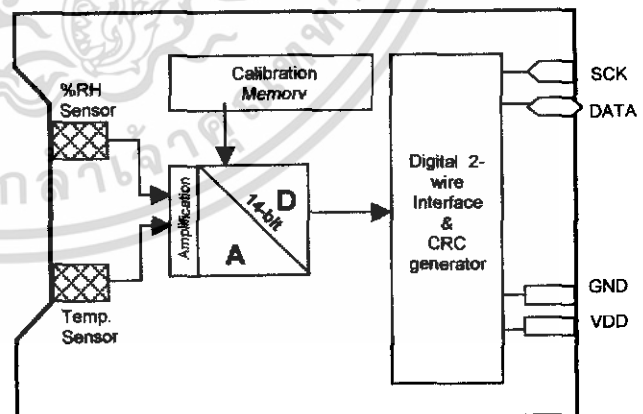
Applications

- HVAC
- Automotive
- Consumer Goods
- Weather Stations
- Humidifiers
- Dehumidifiers
- Test & Measurement
- Data Logging
- Automation
- White Goods
- Medical

Ordering Information

Part Number	Humidity accuracy [%RH]	Temperature accuracy [°C]	Package
SHT11	±3.5	±0.5 @ 25 °C	SMD (LCC)
SHT15	±2.0	±0.4 @ 5-40 °C	SMD (LCC)
SHT71	±3.5	±0.5 @ 25 °C	4-pin single-in-line
SHT75	±2.0	±0.4 @ 5-40 °C	4-pin single-in-line

Block Diagram



1 Sensor Performance Specifications

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Humidity					
Resolution ⁽²⁾		0.5	0.03	0.03	%RH
		8	12	12	bit
Repeatability			±0.1		%RH
Accuracy ⁽¹⁾	linearized	see figure 1			
Uncertainty					
Interchangeability		Fully interchangeable			
Nonlinearity	raw data		±3		%RH
	linearized		<<1		%RH
Range		0		100	%RH
Response time	1/e (63%) slowly moving air		4		s
Hysteresis			±1		%RH
Long term stability	typical		< 1		%RH/yr
Temperature					
Resolution ⁽²⁾		0.04	0.01	0.01	°C
		0.07	0.02	0.02	°F
		12	14	14	bit
Repeatability			±0.1		°C
			±0.2		°F
Accuracy		see figure 1			
Range		-40		123.8	°C
		-40		254.9	°F
Response Time	1/e (63%)	5		30	s

Table 1 Sensor Performance Specifications

2 Interface Specifications

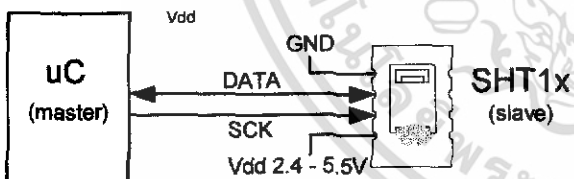


Figure 2 Typical application circuit

2.1 Power Pins

The SHTxx requires a voltage supply between 2.4 and 5.5 V. After powerup the device needs 11ms to reach its "sleep" state. No commands should be sent before that time. Power supply pins (VDD, GND) may be decoupled with a 100 nF capacitor.

2.2 Serial Interface (Bidirectional 2-wire)

The serial interface of the SHTxx is optimized for sensor readout and power consumption and is not compatible with I²C interfaces, see FAQ for details.

⁽¹⁾ Each SHTxx is tested to be fully within RH accuracy specifications at 25 °C (77 °F) and 48 °C (118.4 °F)

⁽²⁾ The default measurement resolution of 14bit (temperature) and 12bit (humidity) can be reduced to 12 and 8 bit through the status register.

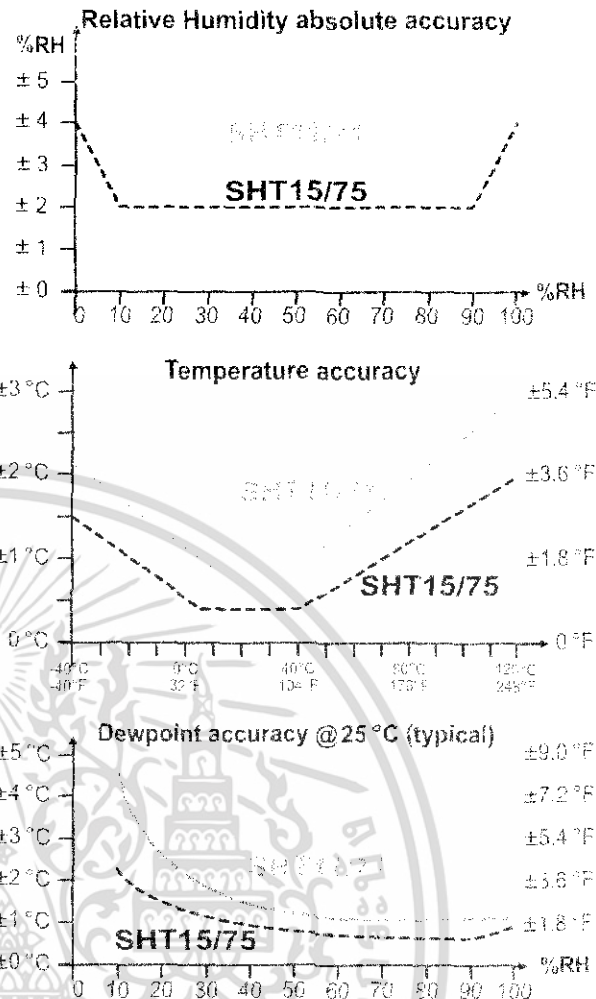


Figure 1 Rel. Humidity, Temperature and Dewpoint accuracies

2.2.1 Serial clock input (SCK)

The SCK is used to synchronize the communication between a microcontroller and the SHTxx. Since the interface consists of fully static logic there is no minimum SCK frequency.

2.2.2 Serial data (DATA)

The DATA tristate pin is used to transfer data in and out of the device. DATA changes after the falling edge and is valid on the rising edge of the serial clock SCK. During transmission the DATA line must remain stable while SCK is high. To avoid signal contention the microcontroller should only drive DATA low. An external pull-up resistor (e.g. 10 kΩ) is required to pull the signal high. (See Figure 2) Pull-up resistors are often included in I/O circuits of microcontrollers. See Table 5 for detailed IO characteristics.

2.2.3 Sending a command

To initiate a transmission, a "Transmission Start" sequence has to be issued. It consists of a lowering of the DATA line while SCK is high, followed by a low pulse on SCK and raising DATA again while SCK is still high.



Figure 3 "Transmission Start" sequence

The subsequent command consists of three address bits (only "000" is currently supported) and five command bits. The SHTxx indicates the proper reception of a command by pulling the DATA pin low (ACK bit) after the falling edge of the 8th SCK clock. The DATA line is released (and goes high) after the falling edge of the 9th SCK clock.

Command	Code
Reserved	0000x
Measure Temperature	00011
Measure Humidity	00101
Read Status Register	00111
Write Status Register	00110
Reserved	0101x-1110x
Soft reset, resets the interface, clears the status register to default values wait minimum 11 ms before next command	11110

Table 2 SHTxx list of commands

2.2.4 Measurement sequence (RH and T)

After issuing a measurement command ('00000101' for RH, '00000011' for Temperature) the controller has to wait for the measurement to complete. This takes approximately 11/55/210 ms for a 8/12/14bit measurement. The exact time varies by up to $\pm 15\%$ with the speed of the internal oscillator. To signal the completion of a measurement, the SHTxx pulls down the data line. The controller **must** wait for this "data ready" signal before starting to toggle SCK again.

Two bytes of measurement data and one byte of CRC checksum will then be transmitted. The uC must acknowledge each byte by pulling the DATA line low. All values are MSB first, right justified. (e.g. the 5th SCK is MSB for a 12bit value, for a 8bit result the first byte is not used). Communication terminates after the acknowledge bit of the CRC data. If CRC-8 checksum is not used the controller may terminate the communication after the measurement data LSB by keeping ack high.

The device automatically returns to sleep mode after the measurement and communication have ended.

Warning: To keep self heating below 0.1 °C the SHTxx should not be active for more than 15% of the time (e.g. max. 3 measurements / second for 12bit accuracy).

2.2.5 Connection reset sequence

If communication with the device is lost the following signal sequence will reset its serial interface:

While leaving DATA high, toggle SCK 9 or more times. This must be followed by a "Transmission Start" sequence preceding the next command. This sequence resets the interface only. The status register preserves its content.

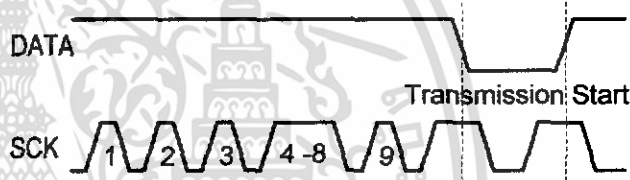


Figure 4 Connection reset sequence

2.2.6 CRC-8 Checksum calculation

The whole digital transmission is secured by a 8 bit checksum. It ensures that any wrong data can be detected and eliminated.

Please consult application note "CRC-8 Checksum Calculation" for information on how to calculate the CRC.

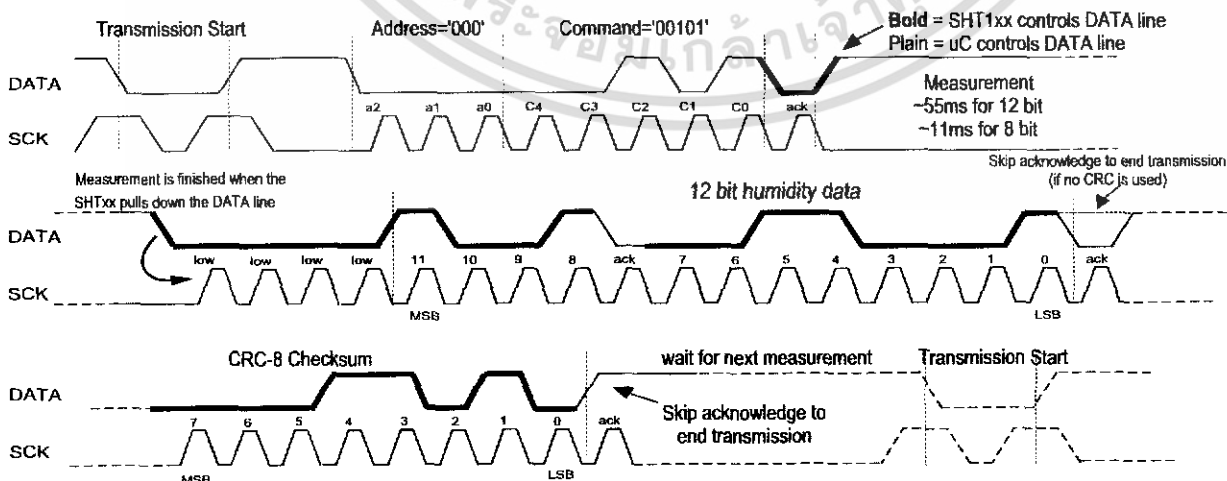


Figure 5 Example RH measurement sequence for value "0000'1001' 0011'0001" = 2353 = 75.79 %RH (without temperature compensation)

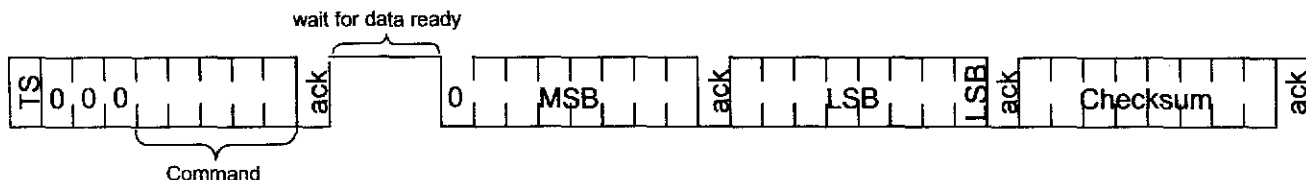


Figure 6 Overview of Measurement Sequence (TS = Transmission Start)

2.3 Status Register

Some of the advanced functions of the SHTxx are available through the status register. The following section gives a brief overview of these features. A more detailed description is available in the application note "Status Register"



Figure 7 Status Register Write



Figure 8 Status Register Read

Bit	Type	Description	Default
7		reserved	0
6	R	End of Battery (low voltage detection) '0' for Vdd > 2.47 '1' for Vdd < 2.47	X No default value, bit is only updated after a measurement
5		reserved	0
4		reserved	0
3		For Testing only, do not use	0
2	R/W	Heater	0 off
1	R/W	no reload from OTP	0 reload
0	R/W	'1' = 8bit RH / 12bit Temperature resolution '0' = 12bit RH / 14bit Temperature resolution	0 12bit RH 14bit Temp.

Table 3 Status Register Bits

2.3.1 Measurement resolution

The default measurement resolution of 14bit (temperature) and 12bit (humidity) can be reduced to 12 and 8bit. This is especially useful in high speed or extreme low power applications.

2.3.2 End of Battery

The "End of Battery" function detects VDD voltages below 2.47 V. Accuracy is ± 0.05 V

2.3.3 Heater

An on chip heating element can be switched on. It will increase the temperature of the sensor by approximately 5°C (9 °F). Power consumption will increase by ~8 mA @ 5 V.

Applications:

By comparing temperature and humidity values before and

after switching on the heater, proper functionality of both sensors can be verified.

- In high (>95 %RH) RH environments heating the sensor element will prevent condensation, improve response time and accuracy

Warning: While heated the SHTxx will show higher temperatures and a lower relative humidity than with no heating.

2.4 Electrical Characteristics⁽¹⁾

VDD=5V, Temperature = 25 °C unless otherwise noted

Parameter	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Units
Power supply DC		2.4	5	5.5	V
Supply current	measuring		550		μA
	average	2 ⁽²⁾	28 ⁽³⁾		μA
	sleep		0.3	1	μA
Low level output voltage		0		20%	Vdd
High level output voltage		75%		100%	Vdd
Low level input voltage	Negative going	0		20%	Vdd
High level input voltage	Positive going	80%		100%	Vdd
Input current on pads				1	μA
Output peak current	on			4	mA
	Tristated (off)		10		μA

Table 4 SHTxx DC Characteristics

Parameter	Conditions	Min	Typ.	Max.	Unit
F _{SCK}	SCK frequency	VDD > 4.5 V		10	MHz
		VDD < 4.5 V		1	MHz
T _{RFO}	DATA fall time	Output load 5 pF	3.5	10	ns
		Output load 100 pF	30	40	200
T _{CLX}	SCK hi/low time		100		ns
T _V	DATA valid time		250		ns
T _{SU}	DATA set up time		100		ns
T _{HO}	DATA hold time		0	10	ns
T _{R/TF}	SCK rise/fall time			200	ns

Table 5 SHTxx I/O Signals Characteristics

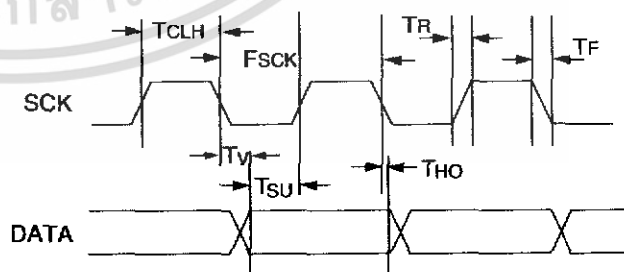


Figure 9 Timing Diagram

⁽¹⁾ Parameters are periodically sampled and not 100% tested

⁽²⁾ With one measurement of 8 bit accuracy without OTP reload per second

⁽³⁾ With one measurement of 12bit accuracy per second

3 Converting Output to Physical Values

3.1 Relative Humidity

To compensate for the non-linearity of the humidity sensor and to obtain the full accuracy it is recommended to convert the readout with the following formula¹:

$$RH_{linear} = c_1 + c_2 \cdot SO_{RH} + c_3 \cdot SO_{RH}^2$$

SO _{RH}	c ₁	c ₂	c ₃
12 bit	-4	0.0405	-2.8 * 10 ⁻⁶
8 bit	-4	0.648	-7.2 * 10 ⁻⁴

Table 6 Humidity conversion coefficients

For simplified, less computation intense conversion formulas see application note "RH and Temperature Non-Linearity Compensation".

The humidity sensor has no significant voltage dependency.

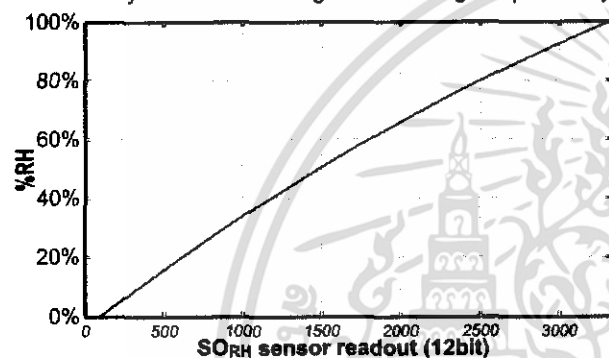


Figure 10 Conversion from SO_{RH} to relative humidity

3.1.1 Compensation of RH/Temperature dependency

For temperatures significantly different from 25 °C (~77 °F) the temperature coefficient of the RH sensor should be considered:

$$RH_{true} = (T_{°C} - 25) \cdot (t_1 + t_2 \cdot SO_{RH}) + RH_{linear}$$

SO _{RH}	t ₁	t ₂
12 bit	0.01	0.00008
8 bit	0.01	0.00128

Table 7 Temperature compensation coefficients

This equals ~0.12 %RH / °C @ 50 %RH

3.2 Temperature

The bandgap PTAT (Proportional To Absolute Temperature) temperature sensor is very linear by design. Use the following formula to convert from digital readout to temperature:

$$Temperature = d_1 + d_2 \cdot SO_T$$

VDD	d ₁ [°C]	d ₁ [°F]	SO _T	d ₂ [°C]	d ₂ [°F]
5V	-40.00	-40.00	14bit	0.01	0.018
4V	-39.75	-39.50	12bit	0.04	0.072
3.5V	-39.66	-39.35			
3V	-39.60	-39.28			
2.5V	-39.55	-39.23			

Table 8 Temperature conversion coefficients

For improved accuracies in extreme temperatures with more computation intense conversion formulas see application note "RH and Temperature Non-Linearity Compensation".

3.3 Dewpoint

Since humidity and temperature are both measured on the same monolithic chip, the SHTxx allows superb dewpoint measurements. See application note "Dewpoint calculation" for more.

¹ Where SO_{RH} is the sensor output for relative humidity

4 Applications Information

4.1 Operating and Storage Conditions

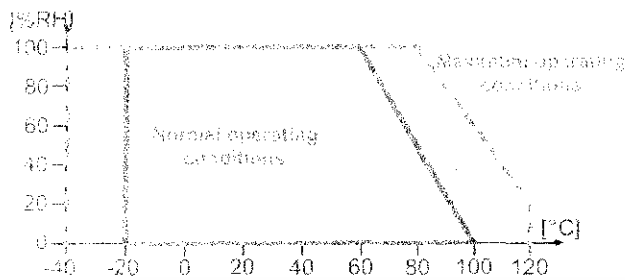


Figure 11 Recommended operating conditions

Conditions outside the recommended range may temporarily offset the RH signal up to ± 3 %RH. After return to normal conditions it will slowly return towards calibration state by itself. See 4.3 "Reconditioning Procedure" to accelerate this process. Prolonged exposure to extreme conditions may accelerate ageing.

4.2 Exposure to Chemicals

Vapors may interfere with the polymer layers used for capacitive humidity sensors. The diffusion of chemicals into the polymer may cause a shift in both offset and sensitivity. In a clean environment the contaminants will slowly outgas. The reconditioning procedure described below will accelerate this process. High levels of pollutants may cause permanent damage to the sensing polymer.

4.3 Reconditioning Procedure

The following reconditioning procedure will bring the sensor back to calibration state after exposure to extreme conditions or chemical vapors.

80-90 °C (176-194°F) at < 5 %RH for 24h (baking) followed by 20-30 °C (70-90°F) at > 74 %RH for 48h (re-hydration)

4.4 Qualifications

Extensive tests were performed in various environments. Please contact SENSIRION for additional information.

Environment	Norm	Results ⁽¹⁾
Temperature Cycles	JESD22-A104-B -40 °C / 125°C, 1000cy	Within Specifications
HAST	JESD22-A110-B	Reversible shift by +2 %RH
Pressure Cooker	2.3bar 125°C 85%RH	Within Spec.
Salt Atmosphere	DIN-50021ss	Within Spec.
Condensing Air	-	Within Spec.
Freezing cycles fully submerged	-20 / +90°C, 100cy 30min dwell time	Reversible shift by +2 %RH
Various Automotive Chemicals	DIN 72300-5	Within Specifications
Cigarette smoke	Equivalent to 15years in a mid-size car	Within Specifications

Table 9 Qualification tests (excerpt)

⁽¹⁾ The temperature sensor passed all tests without any detectable drift. Package and electronics also passed 100%

4.5 ESD (Electrostatic Discharge)

ESD immunity is qualified according to MIL STD 883E, method 3015 (Human Body Model at ± 2 kV)).

Latch-up immunity is provided at a force current of ± 100 mA with $T_{amb} = 80$ °C according to JEDEC 17.

See application note "ESD, Latchup and EMC" for more information.

4.6 Temperature Effects

The relative humidity of a gas strongly depends on its temperature. It is therefore essential to keep humidity sensors at the same temperature as the air of which the relative humidity is to be measured.

If the SHTxx shares a PCB with electronic components that give off heat it should be mounted far away and below the heat source and the housing must remain well ventilated.

To reduce heat conduction copper layers between the SHT1x and the rest of the PCB should be minimized and a slit may be milled in between. (See figure 14)

4.7 Materials Used for Sealing / Mounting

Many materials absorb humidity and will act as a buffer, increasing response times and hysteresis. Materials in the vicinity of the sensor must therefore be carefully chosen. Recommended materials are:

All Metals, LCP, POM (Delrin), PTFE (Teflon), PE, PEEK, PP, PB, PPS, PSU, PVDF, PVF

For sealing and gluing (use sparingly):

High filled epoxy for electronic packaging (e.g. glob top, underfill), and Silicone are recommended.

4.8 Membranes

A membrane can be used to prevent dirt from entering the housing and to protect the sensor. It will also reduce peak concentrations of chemical vapors. For optimal response times air volume behind the membrane must be kept to a minimum.

4.9 Light

The SHTxx is not light sensitive. Prolonged direct exposure to sunshine or strong UV radiation may age the housing.

4.10 Wiring Considerations and Signal Integrity

Carrying the SCK and DATA signal parallel and in close proximity (e.g. in wires) for more than 10cm may result in cross talk and loss of communication. This may be resolved by routing VDD and/or GND between the two data signals.

Please see the application note "ESD, Latchup and EMC" for more information.

Power supply pins (VDD, GND) should be decoupled with a 100 nF capacitor if wires are used.

5 Package Information

5.1 SHT1x (surface mountable)

Pin	Name	Comment
1	GND	Ground
2	DATA	Serial data, bidirectional
3	SCK	Serial clock, input
4	VDD	Supply 2.4 – 5.5 V
	NC	Remaining pins must be left unconnected

Table 10 SHT1x Pin Description

5.1.1 Package type

The SHT1x is supplied in a surface-mountable LCC (Leadless Chip Carrier) type package. The sensors housing consists of a Liquid Crystal Polymer (LCP) cap with epoxy glob top on a standard 0.8 mm FR4 substrate. The device is free of lead, Cd and Hg.

Device size is 7.42 x 4.88 x 2.5 mm (0.29 x 0.19 x 0.1 inch)
Weight 100 mg

The production date is printed onto the cap in white numbers in the form wwyy. e.g. "351" = week 35, 2001.

5.1.2 Delivery Conditions

The SHT1x are shipped in standard IC tubes by 80 units per tube or in 12mm tape. Reels are individually labelled with barcode and human readable labels.

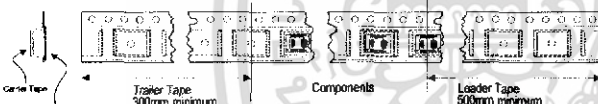


Figure 12 Tape configuration and unit orientation

5.1.3 Mounting Examples

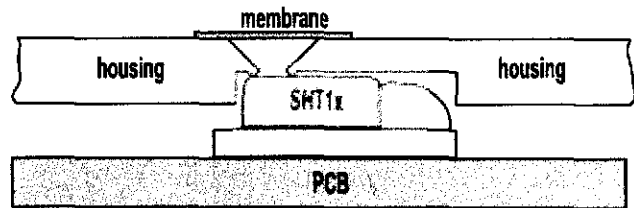


Figure 13 SHT1x housing mounting example

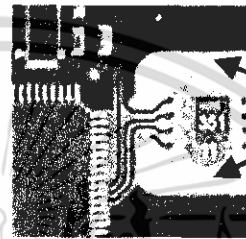


Figure 14 SHT1x PCB Mounting example

5.1.4 Soldering Information

Standard reflow soldering ovens may be used at maximum 235 °C for 20 seconds.

For manual soldering contact time must be limited to 5 seconds at up to 350 °C.

After soldering the devices should be stored at >74 %RH for at least 24h to allow the polymer to rehydrate.

Please consult the application note "Soldering procedure" for more information.

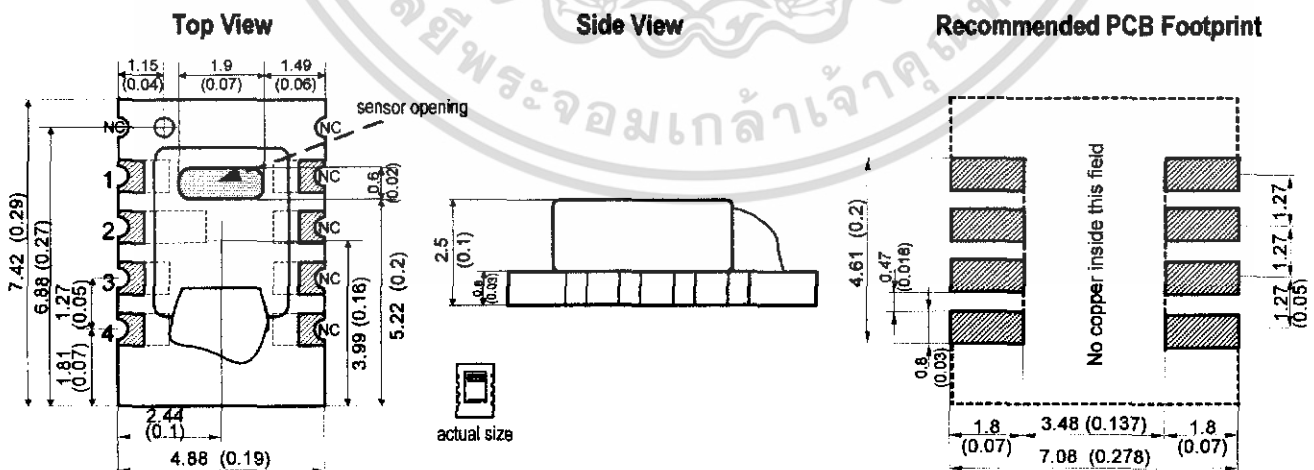


Figure 15 SHT1x drawing and footprint dimensions in mm (inch)

5.2 SHT7x (4-pin single-in-line)

Pin	Name	Comment
1	SCK	Serial clock input
2	VDD	Supply 2.4 – 5.5 V
3	GND	Ground
4	DATA	Serial data bidirectional

Table 11 SHT7x Pin Description

5.2.1 Package type¹

The device is supplied in a single-in-line pin type package. The sensor housing consists of a Liquid Crystal Polymer (LCP) cap with epoxy glob top on a standard 0.6 mm FR4 substrate. The device is Cd and Hg free.

The sensor head is connected to the pins by a small bridge to minimize heat conduction and response times. The gold plated back side of the sensor head is connected to the GND pin.

A 100nF capacitor is mounted on the back side between VDD and GND.

All pins are gold plated to avoid corrosion. They can be soldered or mate with most 1.27 mm (0.05") sockets

e.g.: Preci-dip / Mill-Max 851-93-004-20-001 or similar

Total weight: 168 mg, weight of sensor head: 73 mg

The production date is printed onto the cap in white numbers in the form wwyy. e.g. "351" = week 35, 2001.

5.2.2 Delivery Conditions

The SHT7x are shipped in 32 mm tape. These reeled parts in standard option are shipped with 500 units per 13 inch diameter reel. Reels are individually labelled with barcode and human readable labels.

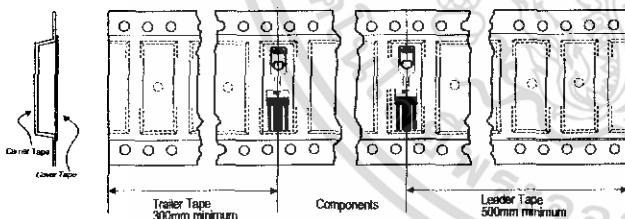


Figure 16 Tape configuration and unit orientation

5.2.3 Soldering Information

Standard wave SHT7x soldering ovens may be used at maximum 235 °C for 20 seconds.

For manual soldering contact time must be limited to 5 seconds at up to 350 °C.

After wave soldering the devices should be stored at >74 %RH for at least 24h to allow the polymer to rehydrate.

Please consult the application note "Soldering procedure" for more information.

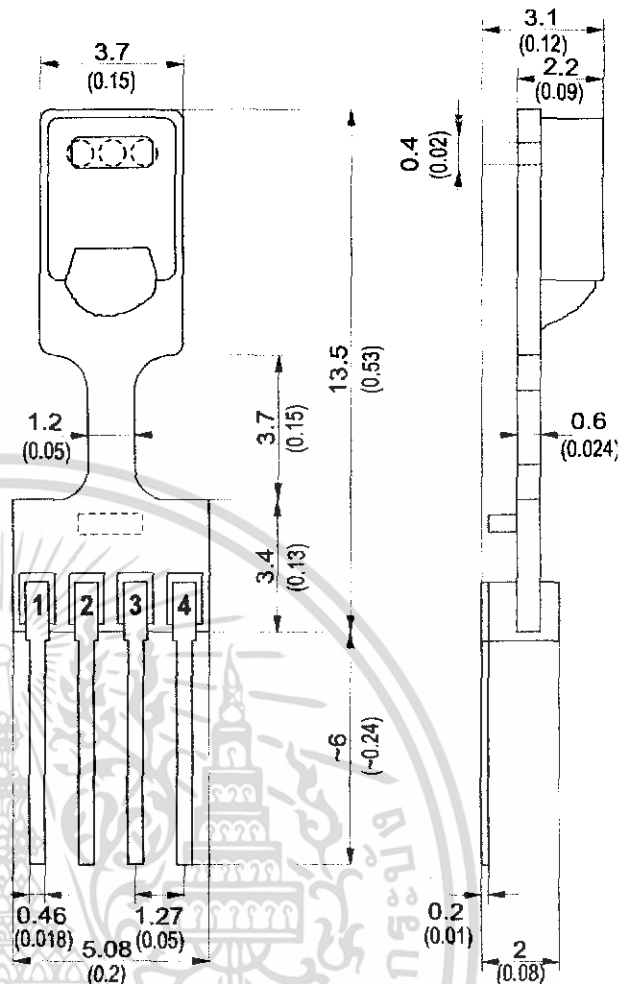


Figure 17 SHT7x dimensions in mm (inch)

¹ Other packaging options may be available on request.

6 Revision history

Date	Version	Page(s)	Changes
February 2002	Preliminary	1-9	First public release
June 2002	Preliminary		Added SHT7x information
March 2003	Final v2.0	1-9	Major remake, added application information etc. Various small modifications
	V2.01	1-9	Typos, Graph labeling

The latest version of this document and all application notes can be found at:

www.sensirion.com/en/download/humiditysensor/SHT11.htm

7 Important Notices

7.1 Warning, personal injury

Do not use this product as safety or emergency stop devices or in any other application where failure of the product could result in personal injury. Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

Should buyer purchase or use SENSIRION AG products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold SENSIRION AG and its officers, employees, subsidiaries, affiliates and distributors harmless against all claims, costs, damages and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that SENSIRION AG was negligent regarding the design or manufacture of the part.

7.2 ESD Precautions

The inherent design of this component causes it to be sensitive to electrostatic discharge (ESD). To prevent ESD-induced damage and/or degradation, take normal ESD precautions when handling this product.

See application note "ESD, Latchup and EMC" for more information.

7.3 Warranty

SENSIRION AG makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its product for any particular purpose, nor does SENSIRION AG assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters can and do vary in different applications. All operating parameters, including "Typical" must be validated for each customer applications by customer's technical experts.

SENSIRION AG reserves the right, without further notice, to change the product specifications and/or information in this document and to improve reliability, functions and design.

Copyright© 2001-2003, SENSIRION AG.
All rights reserved.

Headquarters and Sales Office

SENSIRION AG
Eggbühlstr. 14
P.O. Box
CH-8052 Zürich
Switzerland

Phone: + 41 (0)1 306 40 00
Fax: + 41 (0)1 306 40 30
e-mail: info@sensirion.com
<http://www.sensirion.com/>

Sensirion humidity sensors are available from:

find your local representative at:
www.sensirion.com/ reps

PUSH-PULL FOUR CHANNEL DRIVER WITH DIODES

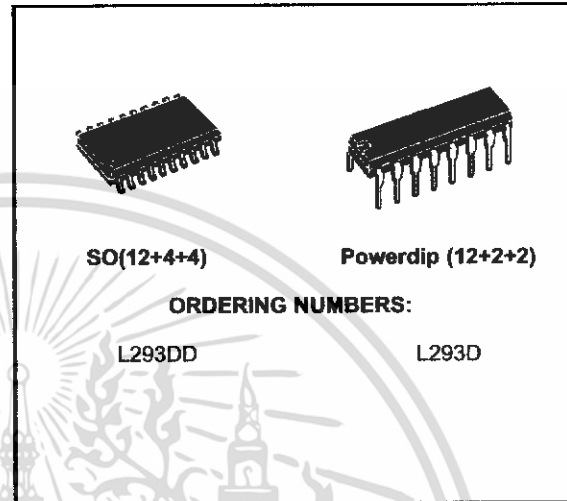
- 600mA OUTPUT CURRENT CAPABILITY PER CHANNEL
- 1.2A PEAK OUTPUT CURRENT (non repetitive) PER CHANNEL
- ENABLE FACILITY
- OVERTEMPERATURE PROTECTION
- LOGICAL "0" INPUT VOLTAGE UP TO 1.5 V (HIGH NOISE IMMUNITY)
- INTERNAL CLAMP DIODES

DESCRIPTION

The Device is a monolithic integrated high voltage, high current four channel driver designed to accept standard DTL or TTL logic levels and drive inductive loads (such as relays solenoids, DC and stepping motors) and switching power transistors.

To simplify use as two bridges each pair of channels is equipped with an enable input. A separate supply input is provided for the logic, allowing operation at a lower voltage and internal clamp diodes are included.

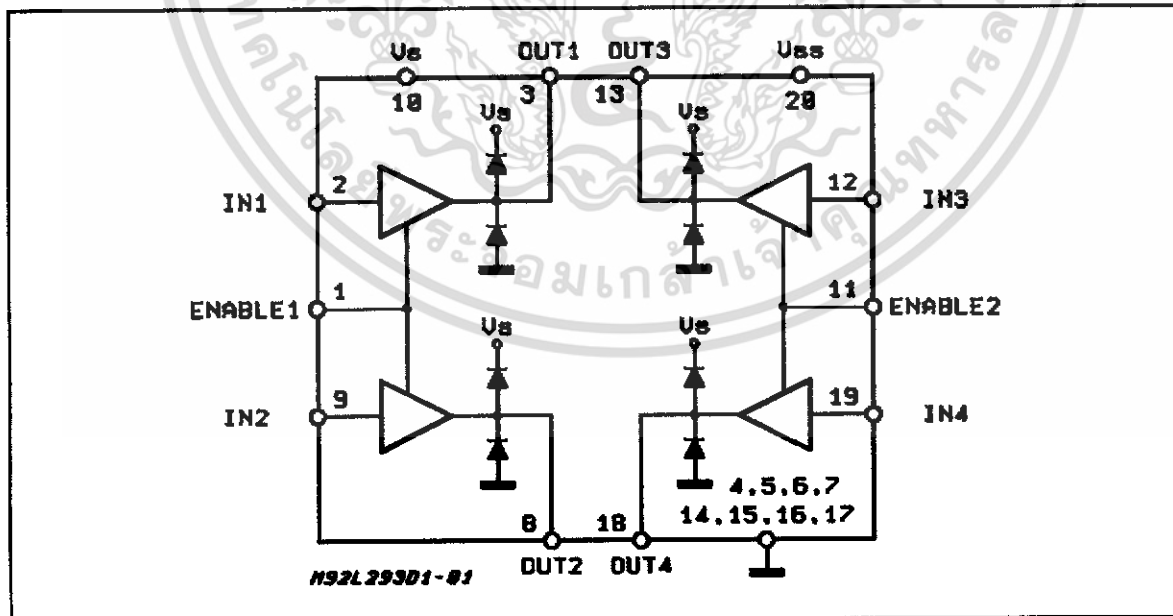
This device is suitable for use in switching applications at frequencies up to 5 kHz.



The L293D is assembled in a 16 lead plastic package which has 4 center pins connected together and used for heatsinking

The L293DD is assembled in a 20 lead surface mount which has 8 center pins connected together and used for heatsinking.

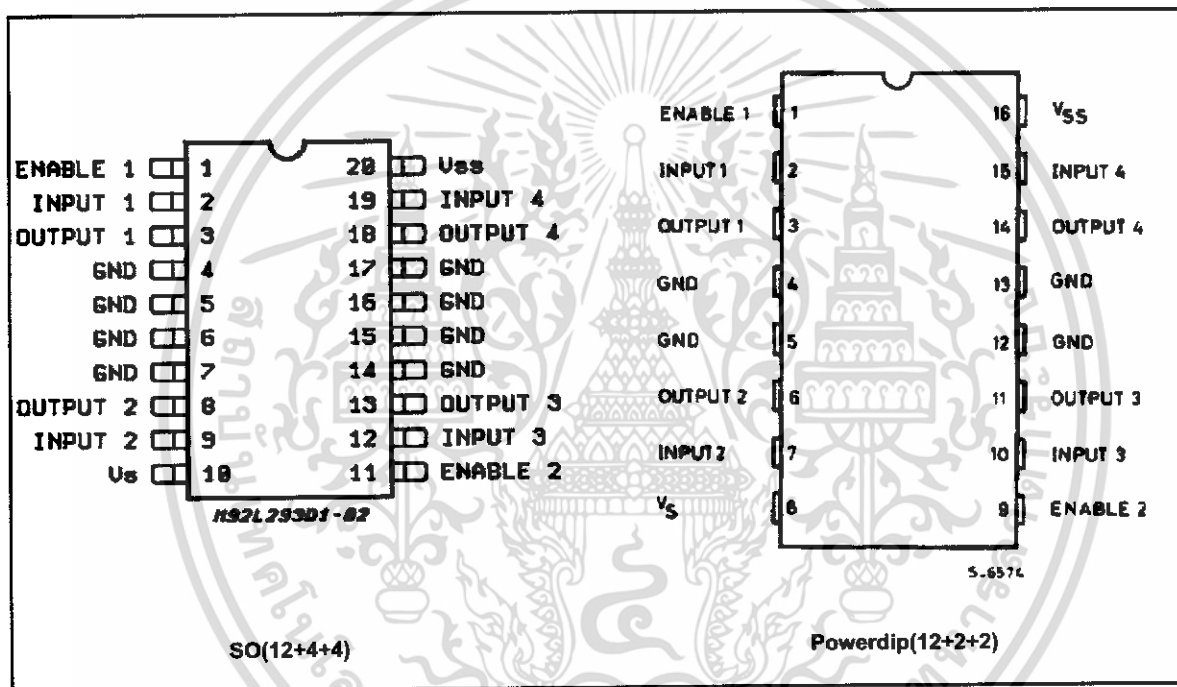
BLOCK DIAGRAM



ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V_S	Supply Voltage	36	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage	36	V
V_i	Input Voltage	7	V
V_{en}	Enable Voltage	7	V
I_o	Peak Output Current (100 μ s non repetitive)	1.2	A
P_{tot}	Total Power Dissipation at $T_{pins} = 90^\circ\text{C}$	4	W
T_{stg}, T_j	Storage and Junction Temperature	- 40 to 150	$^\circ\text{C}$

PIN CONNECTIONS (Top view)



THERMAL DATA

Symbol	Description	DIP	SO	Unit
$R_{th j-pins}$	Thermal Resistance Junction-pins	max.	14	$^\circ\text{C/W}$
$R_{th j-amb}$	Thermal Resistance junction-ambient	max.	50 (*)	$^\circ\text{C/W}$
$R_{th j-case}$	Thermal Resistance Junction-case	max.	14	

(*) With 6sq. cm on board heatsink.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS (for each channel, $V_S = 24\text{ V}$, $V_{SS} = 5\text{ V}$, $T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified)

Symbol	Parameter	Test Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
V_S	Supply Voltage (pin 10)		V_{SS}		36	V
V_{SS}	Logic Supply Voltage (pin 20)		4.5		36	V
I_S	Total Quiescent Supply Current (pin 10)	$V_i = L$; $I_O = 0$; $V_{en} = H$		2	6	mA
		$V_i = H$; $I_O = 0$; $V_{en} = H$		16	24	mA
		$V_{en} = L$			4	mA
I_{SS}	Total Quiescent Logic Supply Current (pin 20)	$V_i = L$; $I_O = 0$; $V_{en} = H$		44	60	mA
		$V_i = H$; $I_O = 0$; $V_{en} = H$		16	22	mA
		$V_{en} = L$		16	24	mA
V_{IL}	Input Low Voltage (pin 2, 9, 12, 19)		-0.3		1.5	V
V_{IH}	Input High Voltage (pin 2, 9, 12, 19)	$V_{SS} \leq 7\text{ V}$	2.3		V_{SS}	V
		$V_{SS} > 7\text{ V}$	2.3		7	V
I_{iL}	Low Voltage Input Current (pin 2, 9, 12, 19)	$V_{iL} = 1.5\text{ V}$			-10	μA
I_{iH}	High Voltage Input Current (pin 2, 9, 12, 19)	$2.3\text{ V} \leq V_{iH} \leq V_{SS} - 0.6\text{ V}$		30	100	μA
V_{enL}	Enable Low Voltage (pin 1, 11)		-0.3		1.5	V
V_{enH}	Enable High Voltage (pin 1, 11)	$V_{SS} \leq 7\text{ V}$	2.3		V_{SS}	V
		$V_{SS} > 7\text{ V}$	2.3		7	V
I_{enL}	Low Voltage Enable Current (pin 1, 11)	$V_{enL} = 1.5\text{ V}$		-30	-100	μA
I_{enH}	High Voltage Enable Current (pin 1, 11)	$2.3\text{ V} \leq V_{enH} \leq V_{SS} - 0.6\text{ V}$			± 10	μA
$V_{CE(sat)H}$	Source Output Saturation Voltage (pins 3, 8, 13, 18)	$I_O = -0.6\text{ A}$		1.4	1.8	V
$V_{CE(sat)L}$	Sink Output Saturation Voltage (pins 3, 8, 13, 18)	$I_O = +0.6\text{ A}$		1.2	1.8	V
V_F	Clamp Diode Forward Voltage	$I_O = 600\text{ nA}$		1.3		V
t_r	Rise Time (*)	0.1 to 0.9 V_O		250		ns
t_f	Fall Time (*)	0.9 to 0.1 V_O		250		ns
t_{on}	Turn-on Delay (*)	0.5 V_i to 0.5 V_O		750		ns
t_{off}	Turn-off Delay (*)	0.5 V_i to 0.5 V_O		200		ns

(*) See fig. 1.

TRUTH TABLE (one channel)

Input	Enable (*)	Output
H	H	H
L	H	L
H	L	Z
L	L	Z

Z = High output impedance

(*) Relative to the considered channel

Figure 1: Switching Times

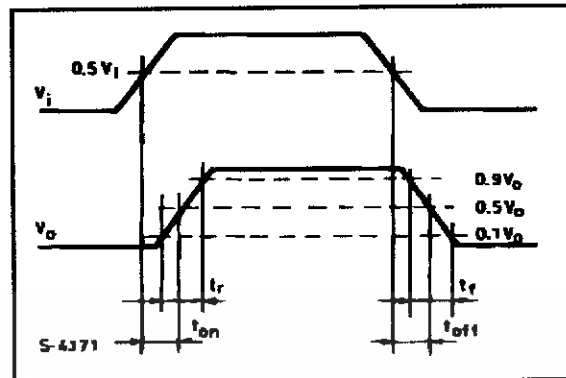
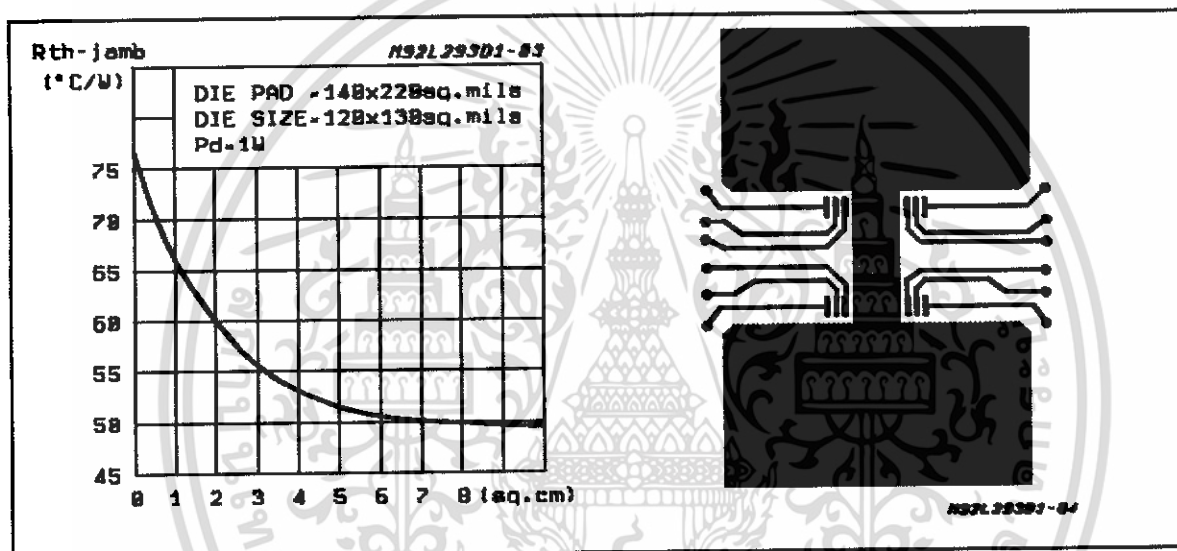
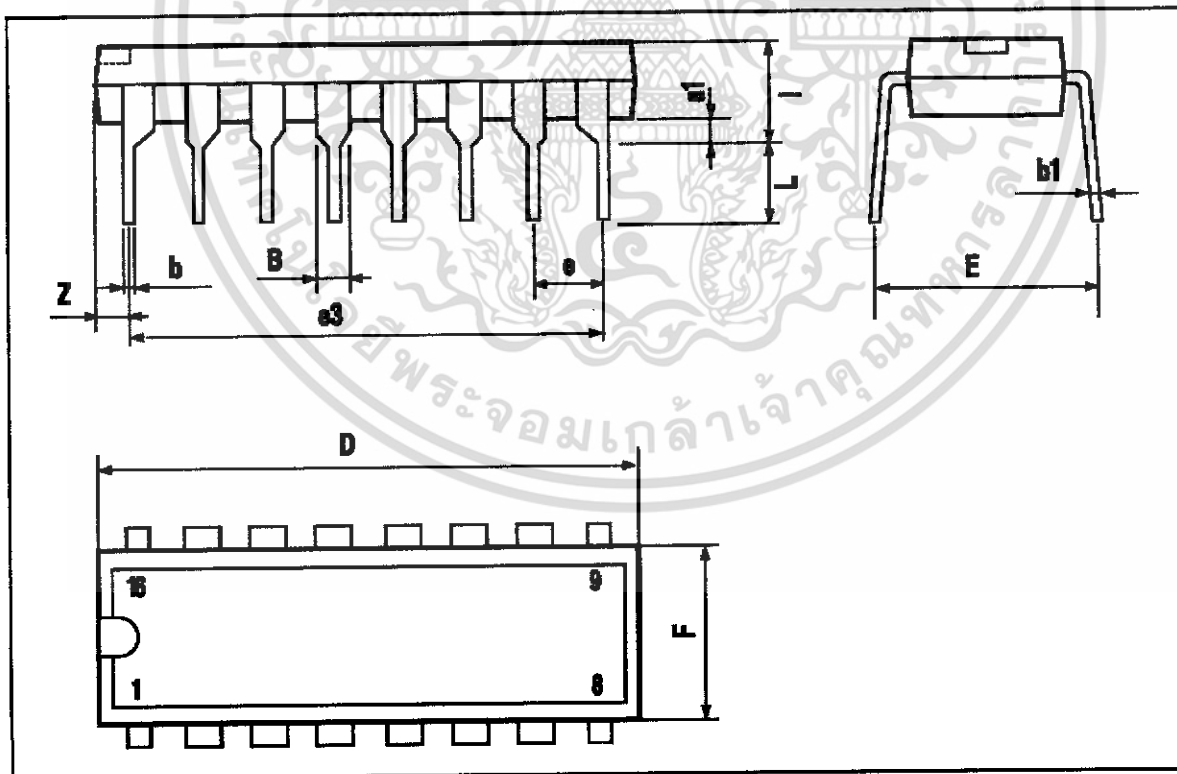


Figure 2: Junction to ambient thermal resistance vs. area on board heatsink (SO12+4+4 package)



POWERDIP16 PACKAGE MECHANICAL DATA

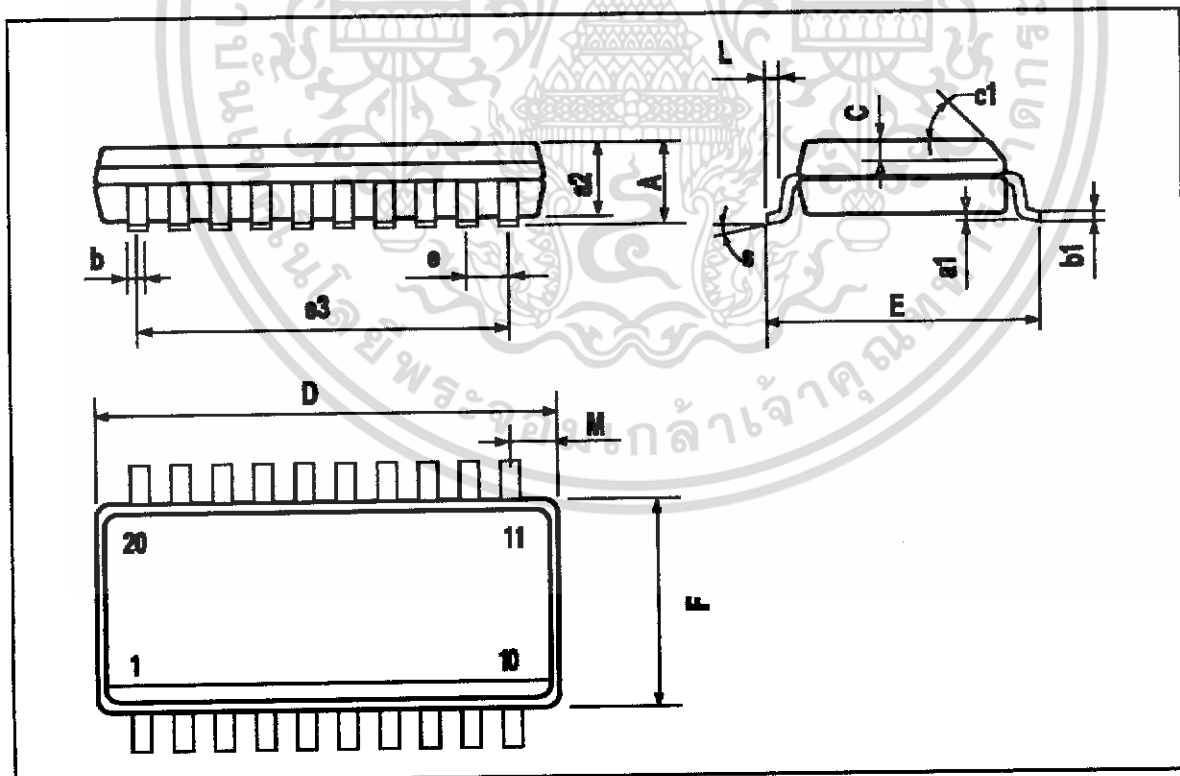
DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
a1	0.51			0.020		
B	0.85		1.40	0.033		0.055
b		0.50			0.020	
b1	0.38		0.50	0.015		0.020
D			20.0			0.787
E		8.80			0.346	
e		2.54			0.100	
e3		17.78			0.700	
F			7.10			0.280
I			5.10			0.201
L		3.30			0.130	
Z			1.27			0.050



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SO20 PACKAGE MECHANICAL DATA

DIM.	mm			inch		
	MIN.	TYP.	MAX.	MIN.	TYP.	MAX.
A			2.65			0.104
a1	0.1		0.2	0.004		0.008
a2			2.45			0.096
b	0.35		0.49	0.014		0.019
b1	0.23		0.32	0.009		0.013
C		0.5			0.020	
c1		45			1.772	
D		1	12.6		0.039	0.496
E	10		10.65	0.394		0.419
e		1.27			0.050	
e3		11.43			0.450	
F		1	7.4		0.039	0.291
G	8.8		9.15	0.346		0.360
L	0.5		1.27	0.020		0.050
M			0.75			0.030
S	8° (max.)					





Information furnished is believed to be accurate and reliable. However, SGS-THOMSON Microelectronics assumes no responsibility for the consequences of use of such information nor for any infringement of patents or other rights of third parties which may result from its use. No license is granted by implication or otherwise under any patent or patent rights of SGS-THOMSON Microelectronics. Specification mentioned in this publication are subject to change without notice. This publication supersedes and replaces all information previously supplied. SGS-THOMSON Microelectronics products are not authorized for use as critical components in life support devices or systems without express written approval of SGS-THOMSON Microelectronics.

© 1996 SGS-THOMSON Microelectronics – Printed in Italy – All Rights Reserved

SGS-THOMSON Microelectronics GROUP OF COMPANIES

Australia - Brazil - Canada - China - France - Germany - Hong Kong - Italy - Japan - Korea - Malaysia - Malta - Morocco - The Netherlands - Singapore - Spain - Sweden - Switzerland - Taiwan - Thailand - United Kingdom - U.S.A.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้