

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การค้นหาดำแหน่งและจำลองแผนที่จากหุ่นยนต์เคลื่อนที่
โดยการวิเคราะห์ทางสถิติ

MOBILE ROBOT LOCALIZATION AND MAP CONSTRUCTION
USING STATISTICAL ANALYSIS



เกศรา ชุมสวี

KETSARA CHUMSAWEE

อพ.
ก ๗๗๓ก
๒๕๔๙

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 61621

วัน,เดือน,ปี..... 19 ก.ค. 2549

b..... 116 00348
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พศ. 2549

ISBN 974-15-2560-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**MOBILE ROBOT LOCALIZATION AND MAP CONSTRUCTION
USING STATISTICAL ANALYSIS**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2006

ISBN 974-15-2560-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2006

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การค้นหาคำแหน่งและจำลองแผนที่จากหุ่นยนต์เคลื่อนที่โดย การวิเคราะห์ทางสถิติ
นักศึกษา	นางสาวเกศรา ชุมสวี่
รหัสประจำตัว	44612901
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2549
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้กระบวนการทางสถิติมาวิเคราะห์ข้อมูลเชิงระยะทางที่ได้จาก หุ่นยนต์เคลื่อนที่เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองแผนที่ เพื่อเป็นข้อมูลในการนำร่องหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ภายในสถานะแวดล้อมแบบปิดภายในอาคาร โดยวิธีการทางสถิติวิเคราะห์ที่ใช้คือวิธีการประมาณค่า ความน่าจะเป็นในแต่ละจุดด้วยกระบวนการมาร์คอฟ ซึ่งจะใช้คำนวณและประมาณค่าตำแหน่ง สิ่ง กิจขวางรอบ ๆ ตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยหุ่นยนต์เป็นหุ่นยนต์ที่สร้างจากอุปกรณ์ในท้องตลาดทั่วไป ที่มีความแม่นยำในการวัดและการทำงานไม่สูงมาก ทั้งนี้เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการสร้างที่ต่ำ และสามารถนำไปใช้สำหรับการศึกษาและพัฒนาต่อไป

Thesis Title Mobile Robot Localization and Map Construction using
Statistical Analysis

Student Miss Ketsara Chumsawee

Student ID. 44612901

Degree Master of Engineering

Programme Information Technology Engineering

Year 2006

Thesis Adviser Assoc.Prof. Dr. Pitikhate Sooraksa



ABSTRACT

This research presents an algorithm of statistical analysis from raw distance of a mobile robot, for its navigation mapping in indoor environment. The proposed algorithm is based upon a probabilistic Markov localization method. The results are represented by probability value in each cell in the grid map. A propose of this research is to made a low-cost robot for education.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา	3
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	4
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
1.7 เนื้อหาที่น่าสนใจ.....	4
บทที่ 2 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยทฤษฎีความน่าจะเป็น.....	6
2.1 การนำสถิติวิเคราะห์มาใช้งาน.....	6
2.1.1 ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข	6
2.1.2 กระบวนการมาร์คอฟ.....	12
2.1.2.1 แนวความคิดพื้นฐานของกระบวนการมาร์คอฟ.....	12
2.2 กระบวนการระบุตำแหน่งมาร์คอฟ.....	14
2.2.1 การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นจากเซ็นเซอร์	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	21
3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย	21
3.1.1 เครื่องมือที่เป็นหุ่นยนต์เคลื่อนที่.....	21
3.1.1.1 การออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่.....	21
3.1.1.2 การประกอบหุ่นยนต์เคลื่อนที่.....	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.1.2 เครื่องมือที่เป็นโปรแกรม	37
3.1.1.2 การออกแบบโปรแกรม	37
3.2 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล	40
3.3 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล	43
บทที่ 4 ผลการทดลอง	46
4.1 การทดลองโดยใช้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำ... 46	
4.2 การทดลองโดยใช้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูง... 49	
4.3 การทดลองเปรียบเทียบผลเรื่องความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัด ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำ..... 53	
4.3.1 วิเคราะห์ผลการทดลองเรื่องความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัดในภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำ..... 55	
4.4 การทดลองเปรียบเทียบผลเรื่องความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัด ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนปานกลาง	57
4.4.1 วิเคราะห์ผลการทดลองเรื่องความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัด ในภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนปานกลาง	59
4.5 การทดลองเปรียบเทียบผลเรื่องความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัด ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูง	62
4.5.1 วิเคราะห์ผลการทดลองเรื่องความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัดในภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูง	64
4.6 สรุปผลการทดลอง	66
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	68
5.1 บทสรุป.....	68
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	69
เอกสารอ้างอิง	71
ภาคผนวก ก.....	73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

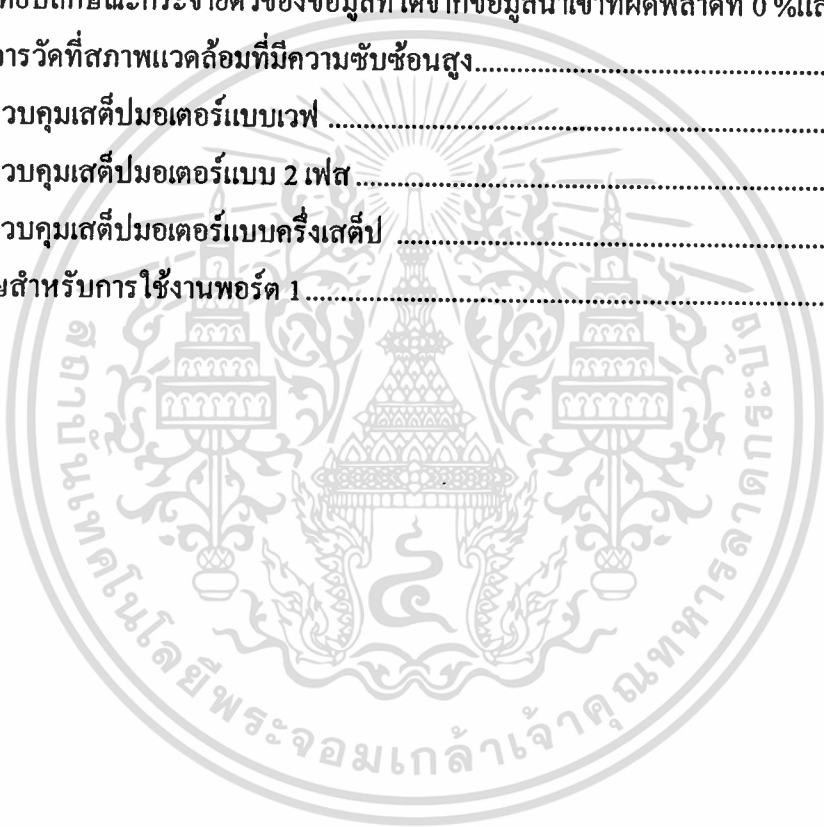
	หน้า
ภาคผนวก ข.....	76
ภาคผนวก ค.....	81
ภาคผนวก ง.....	89
ภาคผนวก จ.....	95
ภาคผนวก ฉ.....	105
ภาคผนวก ช.....	112



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก อินฟราเรด และเลเซอร์	23
4.1 การเปรียบเทียบลักษณะกระจายตัวของข้อมูลที่ได้จากข้อมูลนำเข้าที่ผิดพลาดที่ 0 %และ ที่ 10%ในการวัดที่สภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำ.....	55
4.2 การเปรียบเทียบลักษณะกระจายตัวของข้อมูลที่ได้จากข้อมูลนำเข้าที่ผิดพลาดที่ 0 %และ ที่ 10%ในการวัดที่สภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนปานกลาง	59
4.3 การเปรียบเทียบลักษณะกระจายตัวของข้อมูลที่ได้จากข้อมูลนำเข้าที่ผิดพลาดที่ 0 %และ ที่ 10%ในการวัดที่สภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูง.....	64
ง.1 ลำดับการควบคุมเสตีปมอเตอร์แบบเวฟ	92
ง.2 ลำดับการควบคุมเสตีปมอเตอร์แบบ 2 เฟส	93
ง.3 ลำดับการควบคุมเสตีปมอเตอร์แบบครึ่งเสตีป	94
จ.1 หน้าที่พิเศษสำหรับการใช้งานพอร์ต 1	101



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.1 การทดลองให้หุ่นยนต์เก็บข้อมูลในสภาวะแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำเป็นในที่นี้ใช้พื้นที่ในการทดสอบเป็นรูปตัวL	46
4.2 ภาพเค้าโครงพื้นที่ที่ได้จากโปรแกรม	47
4.3 ค่าความน่าจะเป็นสุดท้ายในจุดต่าง ๆ ที่ถูกนำเสนอในรูปแบบของกราฟ 3 มิติ.....	48
4.4 การทดลองให้หุ่นยนต์เก็บข้อมูลในสภาวะแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูงเป็นในที่นี้ใช้พื้นที่ในการทดสอบเป็นรูปตัว.....	49
4.5 ภาพเค้าโครงพื้นที่ที่ได้จากโปรแกรม	50
4.6 ค่าความน่าจะเป็นสุดท้ายในจุดต่าง ๆ ที่ถูกนำเสนอในรูปแบบของกราฟ 3 มิติ.....	51
4.7 สภาพแวดล้อมจำลองที่มีความซับซ้อนต่ำ.....	53
4.8 ภาพเค้าโครงแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำความผิดพลาดจากการวัด 0%	54
4.9 ภาพเค้าโครงแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำความผิดพลาดจากการวัด 10%	54
4.10 เปรียบเทียบปริมาณข้อมูลแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำ	56
4.11 การกระจายปริมาณข้อมูลแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำ.....	56
4.12 สภาพแวดล้อมจำลองที่มีความซับซ้อนปานกลาง	57
4.13 ภาพเค้าโครงแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำความผิดพลาดจากการวัด 0%	58
4.14 ภาพเค้าโครงแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำความผิดพลาดจากการวัด 10% ...	58
4.15 เปรียบเทียบปริมาณข้อมูลแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนปานกลาง.....	60
4.16 การกระจายปริมาณข้อมูลแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนปานกลาง	61
4.17 สภาพแวดล้อมจำลองที่มีความซับซ้อนสูง	62
4.18 ภาพเค้าโครงแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำความผิดพลาดจากการวัด 0%	63
4.19 ภาพเค้าโครงแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำความผิดพลาดจากการวัด 10% ...	63
4.20 เปรียบเทียบปริมาณข้อมูลแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูง.....	65
4.21 การกระจายปริมาณข้อมูลแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูง	66
ก.1 วงจรการทำงานส่วนควบคุมหลัก	74
ก.2 วงจรการทำงานส่วนเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก.....	74
ก.3 วงจรการทำงานส่วนภาคการสื่อสาร	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ข.1 ลายวงจรมิตรพ์ส่วนควบคุมหลัก	77
ข.2 การวางอุปกรณ์ส่วนควบคุมหลัก	78
ข.3ลายวงจรมิตรพ์ส่วนเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก	79
ข.4 การวางอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก	79
ข.5 ลายวงจรมิตรพ์ส่วนภาคการสื่อสาร	80
ข.6 การวางอุปกรณ์ส่วนภาคการสื่อสาร	80
ค.1 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ทอนุกรม SCON	82
ง.1 การควบคุม การพันขดลวด และวงจรถ่ายไฟของเสตีปมอเตอร์	91
จ.1 โครงสร้างพื้นฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	97
จ.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51	98

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันคงจะปฏิเสธไม่ได้ว่าหุ่นยนต์และเครื่องจักรต่าง ๆ ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อมนุษย์มากมาย ไม่ว่าจะเป็นในเรื่องของการอำนวยความสะดวก การช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน หรือแม้กระทั่งทำงานบางอย่างแทนมนุษย์

ในเรื่องของการใช้งานหุ่นยนต์หรือเครื่องจักรเพื่อทำงานบางอย่างแทนมนุษย์ เป็นหัวข้อที่สำคัญที่นำไปสู่การคิดค้นหุ่นยนต์หรือเครื่องจักรที่สามารถเลียนแบบพฤติกรรมการทำงานที่คล้ายคลึงกับลักษณะพฤติกรรมการทำงานของมนุษย์ อันเป็นเรื่องที่ยากมากที่จะเลียนแบบพฤติกรรมการทำงานของมนุษย์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของกระบวนการตัดสินใจต่าง ๆ

การที่กระบวนการตัดสินใจต่าง ๆ จะเกิดขึ้นได้นั้น จำเป็นที่ต้องอาศัยกระบวนการเรียนรู้และการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ กลุ่มนักวิจัยทางด้านหุ่นยนต์จึงหันมาสนใจที่จะศึกษากระบวนการเรียนรู้และวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อจะนำไปประยุกต์ใช้งานกับหุ่นยนต์และเครื่องจักรต่างๆ จึงเกิดกระบวนการที่ชื่อว่า กระบวนการเรียนรู้ด้วยจักรกล (Machine Learning) ซึ่งจัดเป็นหัวข้อที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากกระบวนการดังกล่าวสามารถขยายขอบเขตการทำงานไปสู่กระบวนการตัดสินใจต่าง ๆ ของหุ่นยนต์ หรือจักรกลเหล่านั้นได้ ทำให้มีความยืดหยุ่นในเรื่องของความสามารถในการตอบสนองต่อพฤติกรรมที่เป็นไปในลักษณะที่ไม่เป็นแบบแผน อีกทั้งในอดีตยังไม่เคยมีการเขียนโปรแกรมสั่งการที่สามารถที่จะตอบสนองการทำงานในลักษณะนี้ได้มาก่อน [16]

กลไกที่สำคัญประการหนึ่งของกระบวนการเรียนรู้ที่ได้อ้างอิงได้แก่ การได้มาซึ่งข้อมูล หรือการนำเข้าข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูล (Data Processing and Data Analysis) [9], [12] เพื่อให้เข้าสู่รูปแบบของการประมวลผลโดยทฤษฎีและกระบวนการต่าง ๆ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าได้มีการพัฒนาอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ช่วยในเรื่องของการได้มาซึ่งข้อมูล หนึ่งในอุปกรณ์เหล่านั้นก็คือเซนเซอร์ เซนเซอร์เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับความนิยมมากในการนำมาใช้เป็นตัววัดระยะทาง จึงได้มีการพัฒนาเพื่อให้มีประสิทธิภาพที่สูงทั้งในเรื่องความแม่นยำ หรือพัฒนาในเรื่องคุณสมบัติต่าง ๆ ให้สามารถใช้งานได้ในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ตามต้องการ การพัฒนาจำเป็นต้องอาศัยเทคโนโลยีที่สูงมาก และก็ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ เหล่านี้มีราคาสูงตามไปด้วย

ปัญหาที่เกิดขึ้นสำหรับผู้ใช้งานที่ต้องการอุปกรณ์ที่มีความแม่นยำสูงหรือเพื่อใช้ในเรื่องของการศึกษาก็แล้วแต่ ก็คืออุปกรณ์ดังกล่าวนอกจากจะมีราคาสูง คิดตั้งยากแล้ว ยังทำการหาซื้อได้ยากอีกด้วย และก็ด้วยข้อจำกัดเรื่องคุณสมบัติการใช้งาน บางประการของของตัวเซนเซอร์ที่ราคาสูงเหล่านี้เอง จึงทำให้ก็ไม่อาจใช้งานได้ในสภาวะแวดล้อมบางอย่าง ยกตัวอย่างเช่น เลเซอร์ที่เป็นที่รู้จัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันดีว่ามีประสิทธิภาพในเรื่องความแม่นยำในการวัดสูง แต่ด้วยข้อจำกัดเรื่องคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อวัตถุที่สะท้อนแสงและวัตถุที่ไม่โปร่งใสจึงทำให้ไม่สามารถทำงานได้ในบางสภาวะแวดล้อมเช่น ในบริเวณที่มีกระจกหรือมีฝุ่นควันเป็นจำนวนมาก บางครั้งจึงทำให้ดูเหมือนจะยังไม่คุ้มค่ากับการลงทุน แต่สิ่งแวดล้อมดังกล่าวกลับไม่มีผลกระทบกับเซนเซอร์ที่มีราคาถูกอย่างอัลตราโซนิกเซนเซอร์ (Ultrasonic sensor) ถึงแม้ว่าอัลตราโซนิกเซนเซอร์จะมีประสิทธิภาพในเรื่องความแม่นยำในการวัดระยะที่ค่อนข้างต่ำ แต่ผู้วิจัยเห็นว่าถ้าหากถ้ามีกระบวนการจัดการที่สามารถปรับปรุงค่าข้อมูลที่ได้มาเป็นอย่างดี จะเป็นการช่วยทำให้อุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในเรื่องความแม่นยำในการวัดระยะต่ำสามารถใช้งานได้ทัดเทียมกับอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในเรื่องความแม่นยำในการวัดระยะที่สูงได้ และทำให้ข้อจำกัดดังกล่าวไม่มีผลต่ออุปกรณ์ ถือเป็นเรื่องที่น่าสนใจอย่างยิ่งเพราะนอกจากจะเป็นการขยายขอบเขตความสามารถของอุปกรณ์ ช่วยในการลดต้นทุน สะดวกในการหาซื้อและติดตั้งแล้ว ยังช่วยเอื้อประโยชน์มากมายให้กับผู้ที่สนใจอยากจะทำการใช้งานหรือทดลองเพื่อศึกษาและพัฒนาต่อไปในอนาคต

ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการหาวิธีการ หรือกระบวนการที่ช่วยในเรื่องของการปรับปรุงค่าการวัดให้มีความแม่นยำต่ำให้มีค่าความน่าเชื่อถือมากขึ้น โดยนำกระบวนการวิเคราะห์ทางด้านสถิติ [14] เข้ามาช่วยประกอบกับความสนใจในด้านการสร้างหุ่นยนต์อย่างง่ายของผู้วิจัยเอง จึงได้เกิดแนวความคิดในการสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นตัวเก็บของมูลระยะทางระหว่างหุ่นและสิ่งกีดขวางที่วัดออกมา โดยอัลตราโซนิกเซนเซอร์ [11], [17] จากนั้นก็นำค่าที่ได้มาเข้าสู่กระบวนการทางสถิติดังกล่าว และจากการเคลื่อนที่เก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องบวกกับกระบวนการปรับปรุงค่าข้อมูลดังกล่าวจะช่วยให้ค่าสุดท้ายที่ได้มีลักษณะใกล้เคียงกับความเป็นจริงมาก จึงสามารถนำค่าที่ได้มาแสดงผลออกมาในรูปแบบเชิงภาพ หรือก็คือเค้าโครงของพื้นที่ที่ทำการเก็บข้อมูลนั่นเอง [14], [16]

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายที่จะทำการสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยล้อ พร้อมด้วยเซนเซอร์อัลตราโซนิกซึ่งมีประสิทธิภาพความแม่นยำในการวัดระยะทางเมื่อเปรียบเทียบกับเซนเซอร์ชนิดอื่นค่อนข้างต่ำ เพื่อเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล แต่ข้อดีก็คือราคาไม่แพงและการหาซื้อ และทำงานติดตั้งง่าย โดยใช้กระบวนการทางสถิติวิธีมาช่วยในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากเซนเซอร์ และนำไปหาค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุดของภาพที่สังเกต จากนั้นจึงนำข้อมูลความน่าจะเป็นในแต่ละจุดมาแสดงในเชิงภาพ ซึ่งกระบวนการการนำเสนอข้อมูลดังกล่าวจำเป็นที่จะต้องสามารถบอกถึงความแตกต่างของข้อมูลที่ต้องการ กับข้อมูลที่ถูกเพิกเฉยได้ เพื่อให้เห็นถึงเค้าโครงของพื้นที่ที่สังเกต ทั้งนี้ก็เพื่อขยายขอบเขตความสามารถของอุปกรณ์ นำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายในการสร้างหุ่นยนต์เพื่อใช้สำหรับการศึกษาและพัฒนาต่อไป ดังสามารถสรุปความมุ่งหมายในเชิงวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2.1 เพื่อสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยล้อ พร้อมด้วยเซนเซอร์อัลตราโซนิกวัดระยะทาง เพื่อเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล

1.2.2 เพื่อใช้กระบวนการทางสถิติวิธีในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ในการหาค่าความน่าจะเป็นในจุดภาพที่สังเกต

1.2.3 เพื่อนำข้อมูลความน่าจะเป็นในแต่ละจุด มาสร้างภาพจำลองแผนที่ จากสภาพแวดล้อมที่สังเกต

1.2.4 เพื่อชี้ให้เห็นถึงกระบวนการการนำเสนอข้อมูล ที่สามารถบอกถึงความแตกต่างของข้อมูลที่ต้องการ กับข้อมูลที่ถูกเพิกเฉย

1.2.5 เพื่อทดสอบในของเรื่องประสิทธิภาพของความแม่นยำในการวัดมีผลต่อกระบวนการหรือไม่อย่างไร

1.3 สมมุติฐานของการศึกษา

งานวิจัยชิ้นนี้ใช้ กระบวนการทางด้านสถิติในเรื่องของความน่าจะเป็นรวมถึงกระบวนการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ด้วยวิธีนี้จะทำให้ไม่ต้องคำนึงถึงระดับความถูกต้องอย่างละเอียดของข้อมูลที่ได้รับมากนัก เพราะเนื่องจากกระบวนการดังกล่าวจะนำค่าที่ได้ไปคำนวณให้อยู่ในรูปของความน่าจะเป็น ซึ่งหมายถึงมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเจือปนอยู่ แต่ท้ายที่สุดแล้วจากการเก็บค่าอย่างต่อเนื่องและหลักการวิเคราะห์เชิงปริมาณจะทำให้ได้ค่าที่มีความน่าจะเป็นใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด และสามารถนำค่าความน่าจะเป็นดังกล่าวนำเสนอออกมาในเชิงภาพ ซึ่งก็คือภาพเค้าโครงของพื้นที่ที่เก็บข้อมูลนั่นเอง ดังนั้นเพื่อให้ค่าในการคำนวณที่ถูกต้องจำเป็นต้องอาศัยการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง และจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมค่าความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดจากการเคลื่อนที่มีค่าน้อยที่สุด ส่วนในเรื่องค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเซนเซอร์นั้น ถึงแม้จะเกิดขึ้นแต่ถ้าอยู่ลักษณะที่เป็นแบบเชิงเส้น(linear) ก็จะไม่มีผลกระทบทำให้ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนได้ ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับเวลาในการเก็บข้อมูลด้วย ถ้าใช้เวลาในการเก็บข้อมูลมากพอ ผู้วิจัยมีสมมุติฐานว่า ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเซนเซอร์ดังกล่าวจะไม่มีผลใด ๆ กับกระบวนการนี้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้อาศัยทฤษฎีการหาความน่าจะเป็นมาหาความน่าจะเป็นที่เป็นไปตามคุณสมบัติของเซนเซอร์เพื่อหาค่าความน่าจะเป็นที่เกิดจากเซนเซอร์ จากนั้นได้ทำการการแบ่งสถานะ (State) ของข้อมูลตามการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ แล้วนำข้อมูลความน่าจะเป็นต่าง ๆ มาคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในทุก ๆ จุดภายใต้อาณาเขตที่เซนเซอร์ไปถึงตามหลักการหาความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของเบย์ (Bayes' Probability Theorem) ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆอย่างต่อเนื่อง จนในที่สุดจะได้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใกล้เคียงกับความเป็นจริง ซึ่งกระบวนการทั้งหมดที่กล่าวมานำมาจากแนวคิดทางด้านสถิติวิเคราะห์ในเรื่องของการวิเคราะห์เชิงปริมาณของมาร์คอฟ (Markov) นั่นเอง

1.5 ขอบเขตการวิจัย

- 1.5.1 ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่เพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการรวบรวมข้อมูล
- 1.5.2 สร้างกระบวนการในการเตรียมการประมวลผลข้อมูล (Data Preprocessing)
- 1.5.3 ออกแบบโปรแกรมคำนวณค่าความน่าจะเป็นในรูปของเมตริกซ์สองมิติซึ่งแทนค่าด้วยจุดต่าง ๆ ของพื้นที่สำรวจ
- 1.5.4 แสดงผลโดยการแทนค่าสีตามระดับของความน่าจะเป็นในจุดต่าง ๆ
- 1.5.5 แสดงผลเปรียบเทียบให้เห็นถึงผลให้เห็นว่าประสิทธิภาพความแม่นยำของอุปกรณ์ในการวัดมีผลต่อกระบวนการหรือไม่อย่างไร

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

- 1.6.1 ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.6.2 รวบรวมข้อมูลเพื่อประกอบการออกแบบเครื่องมือในการวิจัย
- 1.6.3 ออกแบบและสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่ เพื่อเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล
- 1.6.4 สร้างโปรแกรมคำนวณและแสดงผล
- 1.6.5 สร้างโปรแกรมจำลองการทำงาน (Simulator) เพื่อใช้ในส่วนของการเปรียบเทียบ
- 1.6.6 ทำการทดลองโดยใช้หุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล
- 1.6.7 ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบดูเรื่องของค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลว่ามีผลต่อกระบวนการหรือไม่อย่างไร โดยใช้โปรแกรมจำลองการทำงาน
- 1.6.8 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.7 เนื้อหาที่น่าสนใจ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย นั่นก็คือการวิเคราะห์ข้อมูลโดยทฤษฎีความน่าจะเป็น ซึ่งประกอบด้วยกระบวนการสถิติวิเคราะห์ กระบวนการระบุตำแหน่งมาร์คอฟ และการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นจากเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 กล่าวถึงวิธีดำเนินการวิจัย เริ่มตั้งแต่การออกแบบเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
ขั้นตอนต่างการรวบรวมข้อมูล ตลอดจนถึงวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการทดลองที่ได้จากการใช้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เก็บข้อมูลจากสภาวะ
แวดล้อมต่าง ๆ เพื่อแสดงให้เห็นว่ากระบวนการที่นำเสนอ นั้นสามารถที่ช่วยปรับปรุงค่าข้อมูลให้ม
ความน่าเชื่อถือมากขึ้นนำไปสู่การจำลองเค้าโครงของพื้นที่ได้ในที่สุด และใช้โปรแกรมจำลองแสดง
ผลเปรียบเทียบให้เห็นว่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลไม่ได้มีผลต่อกระบวนการที่นำเสนอ

บทที่ 5 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

การวิเคราะห์ข้อมูลโดยทฤษฎีความน่าจะเป็น

ขอบข่ายของการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ โดยส่วนใหญ่แล้วจะเน้นถึงกระบวนการประยุกต์ใช้หลักทางสถิติวิธีมาใช้ในการเตรียมข้อมูลก่อนการประมวล (Data preprocessing) และวิธีการประมวลผล ดังนั้นเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการสถิติวิเคราะห์ที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 กระบวนการสถิติวิเคราะห์ที่นำมาใช้งาน

ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่อยู่ในรูปแบบสายข้อมูล หรือ Data Stream จำเป็นที่จะต้องใช้กระบวนการทางด้านความน่าจะเป็นเพื่อที่จะทำการคัดกรองเอาข้อมูลที่มีความชัดเจน หรือข้อมูลที่มีความเป็นจริงสูงทำให้มีผลต่อการประมวลผลมาก โดยสามารถแยกความแตกต่างออกจากกันได้ในเรื่องศาสตร์ (Discrete) ซึ่งจะนำไปสู่การนำค่าดังกล่าวไปใช้ในการสร้างภาพเค้าโครงแผนที่ต่อไป โดยหลักการทางสถิติวิเคราะห์ที่ถูกนำมาใช้ได้แก่วิธี ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข กฎของโธมัส เบส์ และกระบวนการมาร์คอฟ ซึ่งมีรายละเอียดดังหัวข้อต่อไปนี้

2.1.1 ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข

โธมัส เบส์ (Thomas Bayes) นักคณิตศาสตร์ชาวอังกฤษ มีชีวิตอยู่ระหว่าง ค.ศ. 1701-1761[19] ได้คิดรูปแบบการหาค่าของความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข ซึ่งได้มาจากการคำนวณความเป็นไปได้ที่จะเกิดเหตุการณ์หนึ่งเมื่อกำหนดว่าจะต้องเกิดอีกเหตุการณ์หนึ่งขึ้นก่อนแล้ว (ขึ้นกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีตที่มีข้อมูลย้อนหลังเกี่ยวข้อง)

ซึ่งสามารถเขียนแทนด้วยตัวแปรเป็น A และ B ได้ดังนี้

$P(B|A)$ คือความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ B ภายใต้เงื่อนไขที่จะต้องเกิดเหตุการณ์ A ขึ้นก่อนแล้ว ซึ่งหาได้จากการนำค่าความน่าจะเป็นของการเกิดเหตุการณ์ A และ B ร่วมกันซึ่งเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $P(AB)$ หารด้วยค่าความน่าจะเป็นในการเกิดเหตุการณ์ A ในอดีตซึ่งเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $P(A)$ ทำให้เกิดการค้นพบความสัมพันธ์ใหม่ระหว่าง A และ B ดังสมการนี้

$$P(B|A) = \frac{P(AB)}{P(A)} \quad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อให้เกิดความเข้าใจอยากจะจึงขอยกตัวอย่างการเกิดเหตุการณ์ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข ดังกรณีศึกษาดังต่อไปนี้

ให้กระป๋องทีบหนึ่งใบ ภายในบรรจุลูกบอลไว้ 10 ลูก โดยมีเครื่องหมายกำกับดังนี้

- ลูกบอลสีขาวที่มีตัวอักษรกำกับไว้เป็นอักษร L 4 ลูก (โดยจะเขียนแทนลูกบอลเหล่านี้ด้วยสัญลักษณ์ “WL” หมายถึงสีขาวจะแทนด้วย W มาจากคำว่า white อักษร L มาจากคำว่า letter)
- ลูกบอลสีขาวที่มีตัวอักษรกำกับไว้เป็นอักษร N 2 ลูก (โดยจะเขียนแทนลูกบอลเหล่านี้ด้วยสัญลักษณ์ “WN” หมายถึงสีขาวจะแทนด้วย W มาจากคำว่า white อักษร N มาจากคำว่า number)
- ลูกบอลสีเหลืองที่มีตัวอักษรกำกับไว้เป็นอักษร L 3 ลูก (โดยจะเขียนแทนลูกบอลเหล่านี้ด้วยสัญลักษณ์ “YL” หมายถึงสีเหลืองจะแทนด้วย Y มาจากคำว่า yellow อักษร L มาจากคำว่า letter)
- ลูกบอลสีเหลืองที่มีตัวอักษรกำกับไว้เป็นอักษร N 2 ลูก (โดยจะเขียนแทนลูกบอลเหล่านี้ด้วยสัญลักษณ์ “YN” หมายถึงสีเหลืองจะแทนด้วย Y มาจากคำว่า yellow อักษร N มาจากคำว่า number)

โดยเมื่อแจกแจงความน่าจะเป็นนอกเป็นส่วน ๆ เมื่อให้สุ่มเลือกลูกบอลออกมาทีละหนึ่งลูก จากสิบลูก จะได้ค่าความน่าจะเป็นทั้งหมดดังนี้

$P(WL) =$	$\frac{4}{10} =$	0.4		
$P(YL) =$	$\frac{3}{10} =$	0.3		
$P(WN) =$	$\frac{2}{10} =$	0.2		
$P(YN) =$	$\frac{1}{10} =$	0.1		
โดยที่				
$P(W) =$	0.6 มาจาก	$P(WL)+P(WN) =$	$0.4+0.2 =$	0.6
$P(L) =$	0.7 มาจาก	$P(WL)+P(YL) =$	$0.4+0.3 =$	0.7
$P(Y) =$	0.4 มาจาก	$P(YL)+P(YN) =$	$0.3+0.1 =$	0.4
$P(N) =$	0.3 มาจาก	$P(WN)+P(YN) =$	$0.2+0.1 =$	0.3

ดังนั้นเมื่อใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นของโรมัส เบส เมื่อจะหาค่าความน่าจะเป็นที่จะดึงได้ลูกที่มีอักษร L กำกับ โดยมีเงื่อนไขว่าต้องเป็นลูกสีเหลืองด้วย คือการหาค่า $P(L|Y)$

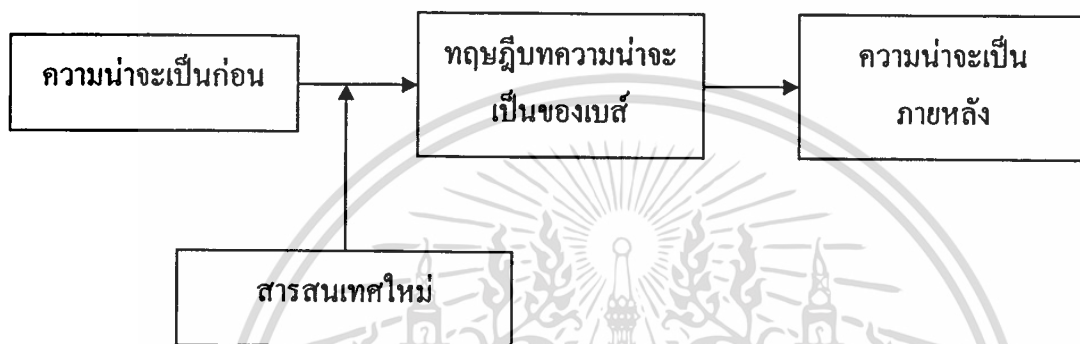
$$P(L|Y) = \frac{P(YL)}{P(Y)} \quad (2.2)$$

ซึ่งหมายความว่า ความน่าจะเป็นที่ลูกบอลสีเหลืองที่ล้วงออกมาได้จะมีอักษร L กำกับอยู่เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P(L|Y) = 0.3 / 0.4 = 0.75$$

ต่อมาได้มีการนำทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขดังกล่าว ผนวกเข้ากับข้อมูล หรือ สารสนเทศซึ่งจะมีเงื่อนไขประกอบสารสนเทศ คือสถานะซึ่งในทีนี้จะแปรผันไปตามเวลาที่จะถูก กำหนด โดยเรียกทฤษฎีนี้ว่า ความน่าจะเป็นภายหลังกับทฤษฎีบทความน่าจะเป็นของ โทมัส เบส์ (Posterior Probability and Thomas Bayes' Probability Theorem) ดังตัวอย่างในภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 แผนภาพความสัมพันธ์ระหว่างทฤษฎีบทความน่าจะเป็นของเบส์กับความน่าจะเป็นภายหลัง

โดยค่าความน่าจะเป็นภายหลังที่ได้ จะมีตัวแปรที่เพิ่มขึ้นมาคือ สารสนเทศใหม่ซึ่งวิธีการนี้จะ เหมาะสำหรับการใช้ประเมินค่าความน่าจะเป็นที่มีแนวโน้ม หรือรูปแบบของค่าความน่าจะเป็น โดย แสดงดังตัวอย่างดังนี้

กำหนดให้มีลูกเต๋ายู่สองลูก

- ลูกที่หนึ่งเป็นลูกปกติธรรมดาที่มีความน่าจะเป็นที่จะทอดได้แต้ม 3 จึงเท่ากับ $1/6 = 0.166$
- ลูกที่สองลูกถ่วงไว้ให้ ทำให้ความน่าจะเป็นที่จะทอดได้แต้ม 3 เท่ากับ 0.60

แต่ผู้ทำการสุ่มเลือก อยากทราบว่าลูกไหนลูกถ่วง และลูกไหนไม่ลูกถ่วง จึงหยิบสุ่มขึ้นมาทอด ดูผลการทอดปรากฏว่า

ผลการทอดครั้งที่ 1 ได้แต้มเท่ากับ 3 (การหยิบสุ่มขึ้นมาทอดดูแล้วได้แต้มเท่ากับ 3 นี้คือ สารสนเทศใหม่) แต่ก็ยังไม่สามารถทราบได้ว่า ลูกเต๋าคือลูกไหนที่หยิบขึ้นมาทอดนี้ได้ลูกถ่วงไว้หรือไม่

จากเงื่อนไขข้างต้นนี้ สามารถใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นของเบส์ ในการหาค่าความน่าจะเป็นที่ ลูกเต๋าลูกดังกล่าวจะถูกถ่วงไว้ ได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้สารสนเทศเดิมที่มีอยู่ก่อนที่จะใช้สารสนเทศใหม่ความน่าจะเป็นที่จะหยิบลูกเต๋ามาทอด

คือ $P(\text{ไม่ถ่วง}) = 0.50$ และ $P(\text{ถ่วง}) = 0.50$

เนื่องจากมีลูกเต๋าสองลูกแต่ให้ให้หยิบเพื่อทอดเพียงลูกเดียว โดยขณะเดียวกันก็ทราบว่า

$$P(3 | \text{ไม่ถ่วง}) = 0.166 \text{ และ } P(3 | \text{ถ่วง}) = 0.60$$

- การหาความน่าจะเป็นร่วมของ $P(3 \text{ กับ ไม่ถ่วง})$ และ $P(3 \text{ กับ ถ่วง})$ หาได้โดยใช้สมการที่ (2.3)

$$P(AB) = P(A | B) \times P(B) \quad (2.3)$$

โดยในขั้นแรกที่จะหา $P(3 \text{ กับ ไม่ถ่วง})$ โดยกำหนดให้

A แทนเหตุการณ์ที่ลูกเต๋าคือจะไม่ถ่วงและหงายหน้า 3 ในที่นี้เท่ากับ 0.166

B แทนเหตุการณ์ที่ลูกเต๋าคือไม่ถ่วง ในที่นี้เท่ากับ 0.50 เพราะมีอยู่เพียงสองลูก

$$\therefore P(AB) = (0.166)(0.50) = 0.083 \quad (2.4)$$

ต่อมาหา $P(3 \text{ กับ ถ่วง})$ โดยกำหนดให้

A แทนเหตุการณ์ที่ลูกเต๋าคือถ่วงและหงายหน้า 3 ในที่นี้เท่ากับ 0.6

B แทนเหตุการณ์ที่ลูกเต๋าคือถ่วงในที่นี้เท่ากับ 0.50 เพราะมีสองลูก

$$\therefore P(AB) = (0.60)(0.50) = 0.30 \quad (2.5)$$

จากการคำนวณในสมการที่ (2.4) และ (2.5) จะได้ว่าความน่าจะเป็นโดยรวมที่ลูกเต๋าคือทอดแล้วหงายหน้า 3 เท่ากับ $0.083 + 0.30$ หรือ 0.383 หมายความว่าไม่ว่าจะเอาลูกเต๋าลูกไหนมาทอดความน่าจะเป็นที่จะหงายหน้า 3 ก็เท่ากับ 0.383 ซึ่งค่าความน่าจะเป็นนี้เป็นค่าความน่าจะเป็น $P(AB)$ โดยรวมของลูกเต๋าคือทอดแล้วหงายหน้า 3 หรือ $P(3) = 0.383$

และจะนำเหตุการณ์ที่ลูกเต๋าคือขึ้นหน้า 3 นี้ไปเป็นเงื่อนไขบังคับกับการถ่วง หรือ ไม่ถ่วงอีกชั้นหนึ่ง แล้วหาค่าความน่าจะเป็นออกมาโดยใช้สมการที่ (2.6)

$$P(A | B) = \frac{P(AB)}{P(B)} \quad (2.6)$$

โดยขั้นแรกจะหา $P(\text{ไม่ถ่วง} | 3)$ หรือค่าความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าคือหน้า 3 ลูกนี้จะเป็นลูกเต๋าคือไม่ถ่วง โดยกำหนดให้

- A คือความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าคือไม่ถ่วงจะหงายหน้า 3 ในที่นี้เท่ากับ 0.083
 B คือความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าคือจะหงายหน้า 3 ในที่นี้เท่ากับ 0.383

$$\therefore P(A|B) = \frac{P(AB)}{P(B)} = \frac{0.083}{0.383} = 0.22 \quad (2.7)$$

และจะหา $P(\text{ถ่วง} | 3)$ หรือค่าความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าคือจะหงายหน้า 3 ลูกนี้จะเป็นลูกที่ถ่วงจะหาได้ โดยกำหนดให้

- A คือความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าคือไม่ถ่วงจะหงายหน้า 3 ในที่นี้เท่ากับ 0.300
 B คือความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าคือจะหงายหน้า 3 ในที่นี้เท่ากับ 0.383

$$\therefore P(A|B) = \frac{P(AB)}{P(B)} = \frac{0.300}{0.383} = 0.78 \quad (2.8)$$

ดังนั้น จึงสรุปได้ว่า

ความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าคือลูกนี้จะเป็นลูกที่ไม่ถ่วงมีค่าเท่ากับ 0.22

ความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าคือลูกนี้จะเป็นลูกที่ถ่วงมีค่าเท่ากับ 0.78

นอกจากสมการรูปแบบมาตรฐานในทฤษฎีความน่าจะเป็นของ โรมัส เบส์ แล้วยังสามารถหาความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขในรูปของสมการที่ (2.9)[23] ได้เช่นเดียวกัน

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B|A)P(A) + P(B|\bar{A})P(\bar{A})} \quad (2.9)$$

โดยการหาค่าความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าคือที่ทอดหงายหน้า 3 นี้จะเป็นลูกเต๋าคือไม่ถ่วงจากสมการที่ (2.9)

$$\begin{aligned} P(\text{ไม่ถ่วง}|3) &= \frac{(0.166)(0.5)}{(0.166)(0.5) + (0.6)(0.5)} \\ &= \frac{0.083}{0.383} = 0.22 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าทดลองหยิบลูกเต๋าลูกเดิมมาทอดอีกเป็นครั้งที่สอง แล้วลูกเต๋าทายหน้า 3 อีก จะยิ่งมั่นใจในคำตอบมากยิ่งขึ้น เพราะค่าความน่าจะเป็นยิ่งบ่งชี้ออกมาชัดเจนยิ่งขึ้น ดังนี้

ผลจากการทอดครั้งที่ 2 ได้แต้มเท่ากับ 3 อีก

ข้อมูลเดิม	$P(\text{ไม่ถ่วง})$	=	0.5
	$P(\text{ถ่วง})$	=	0.5
	$P(3,3 \text{ไม่ถ่วง})$	=	$(0.166)(0.166) = 0.027$
	$P(3,3 \text{ถ่วง})$	=	$(0.6)(0.6) = 0.36$

ด้วยความน่าจะเป็นร่วมที่ลูกเต๋าทายหน้า 3 ซ้ำสองครั้งติดต่อกัน ภายใต้เงื่อนไขที่จะถูกถ่วงหรือไม่ถูกถ่วง จะหาค่าความน่าจะเป็นได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 P(3,3 \text{ และ ไม่ถ่วง}) &= P(3,3 | \text{ไม่ถ่วง}) P(\text{ไม่ถ่วง}) \\
 &= (0.027)(0.5) = 0.013 \\
 P(3,3 \text{ และ ถ่วง}) &= P(3,3 | \text{ถ่วง}) P(\text{ถ่วง}) \\
 &= (0.36)(0.5) = 0.18
 \end{aligned}$$

ความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าทายหน้า 3 ติดต่อกันสองครั้งจะเท่ากับ

$$0.013 + 0.18 = 0.193$$

จากการที่ทอดลูกเต๋าลูกเดิมซ้ำอีกครั้งแล้วได้แต้ม 3 อีก จะทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าลูกนี้จะเป็นลูกเต๋าคู่ที่ไม่ถูกถ่วงหรือเป็นลูกเต๋าคู่ที่ถูกถ่วงนั้นมีค่าดังนี้

$$\begin{aligned}
 P(\text{ไม่ถ่วง} | 3, 3) &= P(3, 3 \text{ ไม่ถ่วง}) / P(3, 3) \\
 &= \frac{0.013}{0.193} = 0.067
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P(\text{ถ่วง} | 3, 3) &= P(3, 3 \text{ และ ถ่วง}) / P(3, 3) \\
 &= \frac{0.18}{0.193} = 0.933
 \end{aligned}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นสามารถสรุปลักษณะของค่าความน่าจะเป็นทั้งก่อน และภายหลังได้ดังนี้

ก่อนการทดลองที่จะหยิบลูกเต๋ามาทอด

$$\text{ความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าคจะไม่ถ่วง} = 0.5$$

$$\text{ความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าคจะถูกถ่วง} = 0.5$$

หลังการทดลองนำลูกเต๋ามาทอดครั้งที่หนึ่ง แล้วหงายหน้า 3

$$\text{ความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าคจะไม่ถ่วง} = 0.22$$

$$\text{ความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าคจะถูกถ่วง} = 0.78$$

หลังการทดลองนำลูกเต๋าคเดิมมาทอดครั้งที่สอง แล้วหงายหน้า 3 อีก

$$\text{ความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าคจะไม่ถ่วง} = 0.067$$

$$\text{ความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าคจะถูกถ่วง} = 0.933$$

จะเห็นได้ว่าสารสนเทศใหม่ที่เข้ามาจะมีส่วนที่จะทำให้เห็นถึงแนวโน้มของข้อมูลที่ควรจะเป็นชัดเจน โดยดูได้จากแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของค่าความน่าที่ที่เกิดขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ออกแบบวิธีดำเนินงานวิจัยดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 ให้มีการเก็บค่าข้อมูลสารสนเทศใหม่ และนำมาคำนวณเพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มของข้อมูลที่ควรจะเป็นชัดเจนขึ้น

2.1.2 กระบวนการมาร์คอฟ

กระบวนการมาร์คอฟ เป็นผลงานของ มาร์คอฟ อังเดร อังเดรเชวิช (Markov, Andrei Andreevich) นักคณิตศาสตร์ชาวสหภาพโซเวียต ผู้มีชีวิตอยู่ระหว่างปี ค.ศ. 1856-1922 [20]

มาร์คอฟได้พัฒนาหลักการขึ้นมาเพื่อใช้ทำนายพลวัตของอนุภาคก๊าซที่ถูกบรรจุอยู่ในภาชนะปิด แต่นักเศรษฐศาสตร์ได้นำมาประยุกต์ใช้ทำนายสถานการณ์ทางธุรกิจได้หลายอย่าง เช่น ความภักดีต่อผลิตภัณฑ์ของผู้บริโภค ส่วนครองตลาดของบริษัท ความน่าจะเป็นที่ลูกหนี้จะไม่ชำระหนี้ ความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะเสีย เป็นต้น

2.1.2.1 แนวความคิดพื้นฐานของกระบวนการมาร์คอฟ (basic concept of Markov process)

พลวัตของเหตุการณ์ทางธุรกิจมักจะแปรเปลี่ยนไปอย่างเป็นกระบวนการและต่อเนื่องกันราวกับลูกโซ่ จากสถานะหนึ่งในคาบเวลาหนึ่ง ไปเป็นอีกสถานะหนึ่งในคาบเวลาต่อไป กระบวนการมาร์คอฟที่จะอธิบายไปในบทนี้คือ เครื่องมืออย่างหนึ่งในการวิเคราะห์หาค่าความน่าจะเป็นของการแปรเปลี่ยนสถานะนี้เอง ผลของการแปรเปลี่ยนอย่างเป็นกระบวนการและต่อเนื่องนี้ทำให้กระบวนการมาร์คอฟได้อีกชื่อหนึ่งว่า ลูกโซ่มาร์คอฟ (Markov chain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนคำว่าคาบเวลาที่มีหน่วยนับเป็นลักษณะนามเป็น ชั่วโมง วัน สัปดาห์ เดือน ปี ฯลฯ ก็ได้นั้น ในภาษาของกระบวนการมาร์คอฟเรียกว่า ช่วงเวลา หรือ Stage ซึ่งหมายถึง คราว สมัย [21] แต่ละช่วงเวลาในกระบวนการมาร์คอฟไม่จำเป็นต้องกินเวลายาวนานเท่ากัน

กระบวนการมาร์คอฟมีคุณสมบัติสำคัญ 3 ประการคือ

1. กระบวนการมาร์คอฟประกอบด้วยช่วงเวลาหลายช่วงเวลา แต่สามารถนับจำนวนได้ถ้วน
2. ในแต่ละช่วงเวลาของกระบวนการมาร์คอฟมีสถานะได้หลายสถานะ แต่สามารถนับจำนวนได้ถ้วน
3. ก่อนหน้าที่จะถึงช่วงเวลาแรกของกระบวนการมาร์คอฟ สถานะต่างๆ อาจมีการแปรเปลี่ยนมามากแล้วก็ได้ ไม่ใช่เพิ่งจะเริ่มแปรเปลี่ยน แต่การใช้ประโยชน์ของกระบวนการมาร์คอฟไม่ต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนก่อนหน้าที่จะเข้าไปสังเกตนั้น คุณสมบัติอันนี้เรียกว่า คุณสมบัติไร้ความจำ (memory less property)

พฤติกรรมการเปลี่ยนสถานะในกระบวนการมาร์คอฟมีอยู่สี่รูปแบบคือ

1. สถานะเกิดซ้ำ (recurrent state) หมายถึง สถานะที่แปรเปลี่ยนไปเป็นอย่างอื่นแล้วย้อนกลับมาเกิดขึ้นอีก จากนั้นจึงหมุนแปรเปลี่ยนออกไปอีก การหมุนกลับมาเกิดซ้ำอีกนี้ ต้องหมุนกลับมาอย่างแน่นอน แปลว่า ค่าความน่าจะเป็นที่จะหมุนกลับมาเกิดซ้ำเท่ากับ 1 ส่วนจะแปรเปลี่ยนไปที่สถานะจึงจะวนกลับมาเป็นอีกเรื่องหนึ่ง
2. สถานะดูดกลืน (absorbing state) สถานะนี้ถือเป็นกรณีพิเศษของสถานะเกิดซ้ำ กล่าวคือเมื่อกลับมาเกิดซ้ำแล้วไม่ยอมแปรเปลี่ยนไปเป็นอย่างอื่นอีก แปลว่า ค่าความน่าจะเป็นที่จะคงสถานะเดิมเท่ากับ 1
3. สถานะชั่วคราว (transient state) หมายถึง สถานะที่แปรเปลี่ยนไปเรื่อย ๆ ไม่มีวันย้อนกลับมาเกิดซ้ำอีก
4. ภาวะเป็นคาบ (periodicity) ในบางกรณี สถานะในกระบวนการมาร์คอฟจะมีลักษณะสลับกันไปมา เช่น การเปิดปิดไฟฟ้า จะมีอยู่สองสถานะสลับกันคือ เปิด กับ ปิด เป็นคั่น ในภาวะเป็นคาบเช่นนี้ การทำนายสถานะในอนาคตย่อมทำได้ไม่ยาก เช่น เมื่อพบว่าเริ่มต้นสังเกตไฟฟ้าปิด จะปิดอยู่นานเพียงใดก็ได้ รู้แต่ว่าสถานะต่อไปคือ ไฟฟ้าเปิด หรือสถานะทางเศรษฐกิจที่มี รุ่งเรือง ถดถอย ตกต่ำ และฟื้นตัว หมุนเวียนอยู่เป็นลำดับในวงจรธุรกิจเป็นคั่น

จากแนวความคิดเรื่องการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นของการแปรเปลี่ยนสถานะในกระบวนการมาร์คอฟ ดังที่กล่าวมาทั้งหมด นับว่าเป็นหนึ่งกระบวนการที่ช่วยในเรื่องการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ผู้วิจัยจึงได้นำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ ในส่วนของกระบวนการระบุตำแหน่งเพื่อช่วยในการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็น ดังที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 กระบวนการระบุตำแหน่งมาร์คอฟ

การระบุตำแหน่งมาร์คอฟ (Markov Localization) [4,5] เป็นการสร้างจุดและคำนวณค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุดสังเกตของพื้นที่ ที่ได้จากการวัดระยะห่างระหว่างจุดต่าง ๆ กับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยกำหนดให้ $Bel(L_t = l)$ คือ ตำแหน่งที่เชื่อว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่นั้นตั้งอยู่ ณ จุด l โดยที่ l จะถูกระบุอยู่ในรูปของระบบคาร์ทีเซียน (x, y, α) ที่เวลา t ซึ่งเวลาจะถูกมองเป็นกาลก่อนหน้า (L_{t-1}) และกาลปัจจุบัน (L_t) โดย α คือมุมบ่ายเบนของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ เมื่อเริ่มต้น $Bel(L_0)$ จะแสดงจุดศูนย์กลางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยจะถือเป็นจุดที่ทราบตำแหน่งเริ่มต้น โดยกำหนดให้เป็นจุด $l = (0, 0, 0^\circ)$ และจะมีการเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อ หุ่นยนต์นั้นเคลื่อนที่

ในการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุดนั้นจะเกิดขึ้นจากสองกรณีคือ กรณีที่หุ่นยนต์มีการเคลื่อนที่ไปยังจุดอื่น ๆ และในกรณีที่มิชข้อมูลจากเซ็นเซอร์ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุดมีค่าที่เปลี่ยนแปลงดังนี้

การเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลระบุตำแหน่งจากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เนื่องจากเงื่อนไขของการคำนวณ ค่าความน่าจะเป็นในรูปของ $p_o(l|l') \cdot p_o(l|l')$ โดยที่ p_o คือค่าความน่าจะเป็นจากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Action) โดยค่าความน่าจะเป็นเมื่อปรับปรุงค่าแล้วสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.10) โดย $p_o(l|l')$ จะคำนวณมาจากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

$$\hat{Bel}(L_t = l) \leftarrow \sum_p p_o(l|l') \cdot Bel(L_{t-1} = l') \quad (2.10)$$

การเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุดเนื่องจากการเซ็นเซอร์ระบุค่าระยะทาง $p(s|l)$ คือค่าความน่าจะเป็นที่ได้จากการอ่านค่าเซ็นเซอร์ ณ จุด l โดย s แทนการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ (Sense) โดยสามารถคำนวณค่าได้ดังสมการที่ (2.11)

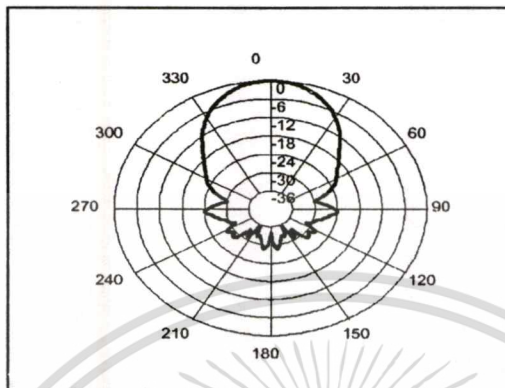
$$Bel(L_t = l) \leftarrow \frac{p(s|l) \cdot \hat{Bel}(L_t = l)}{p(s)} \quad (2.11)$$

2.3 การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นจากเซ็นเซอร์

นอกเหนือจากกระบวนการคำนวณค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุดตามหลักการข้างต้นแล้ว เพื่อให้การคำนวณค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุด [6] มีความถูกต้อง จำเป็นต้องมีการปรับปรุงค่าที่ได้มาจากการอ่านค่าเซ็นเซอร์ให้มีน้ำหนักในการให้ค่าความน่าจะเป็น ในแต่ละจุดมีความแตกต่างกันตามคุณสมบัติการตอบสนองของสัญญาณเสียงที่กำเนิดจากอัลตราโซนิคเซ็นเซอร์ต่อมุดกกระทบลักษณะ

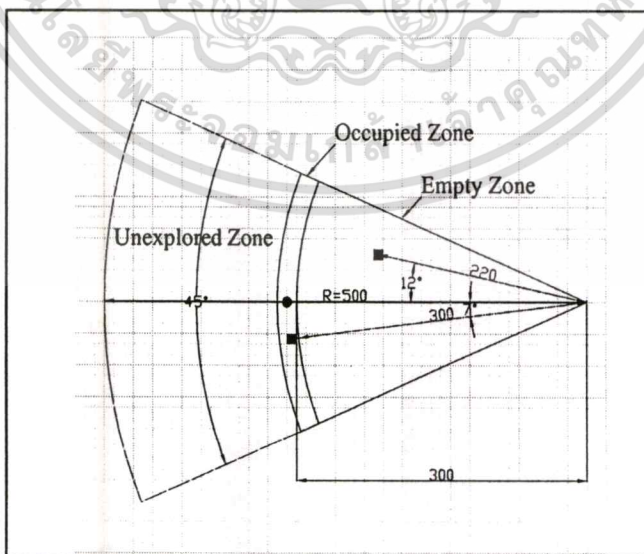
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เบี่ยงเบนจากมุมสะท้อนที่ 0° หรือตั้งฉากกับเซ็นเซอร์แต่ละชุดดังภาพที่ 2.2 จะเห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อความน่าเชื่อถือของเซ็นเซอร์ชนิดนี้ก็คือเรื่องของระยะทางและมุมที่เบี่ยงเบนออกจากแกนที่ตั้งฉากจากเซ็นเซอร์นั่นเอง



ภาพที่ 2.2 การส่งคลื่นและการตอบสนองของอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ โดยมุมตกกระทบแกนคือองศา ซีดบนแกนคือระยะ

ถ้าทำการแบ่งพื้นที่ภายใต้อาณาเขตการเดินทางของสัญญาณเสียงที่ปล่อยออกมาจากอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ ออกเป็นสามส่วน ดังรูปที่ 2.3 ได้แก่ ส่วนพื้นที่สิ่งกีดขวาง (Occupied Zone) ส่วนพื้นที่ว่าง (Empty Zone) และส่วนพื้นที่ยังไม่ได้สำรวจ (Unexplored Zone) โดยพิสัยที่เซ็นเซอร์วัดระยะได้สูงสุดคือค่า R มีค่าเท่ากับ 500 cm. ค่าที่วัดจากเซ็นเซอร์ไปถึงจุดสะท้อนมีค่าเท่ากับ 300 cm.



ภาพที่ 2.3 แบบจำลองการคำนวณค่าความน่าจะเป็นแบบถดถอย ตามมุมบ่ายเบนของเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการคำนวณจะพิจารณาหาความน่าจะเป็นในทุก ๆ จุดภายใต้พื้นที่เพียงสองพื้นที่คือพื้นที่สิ่งกีดขวาง(Occupied Zone) และพื้นที่ว่าง (Empty Zone) โดยให้พิสัยในการวัดสูงสุดของเซ็นเซอร์คือ R ส่วนมุมที่ใช้ในการคำนวณจะใช้มุมที่เบนออกแกนของเซ็นเซอร์คือจากที่ 0° ซึ่งในที่นี่ครึ่งของมุมของ 45° ก็คือ 22.5° แทนด้วยสัญลักษณ์ β ซึ่งทั้งสองค่าดังกล่าวจะเป็นค่าคงที่ตลอดการคำนวณ ถึงแม้จะใช้ตัวแปรเหมือนกันในแต่ละสมการ แต่จริง ๆ แล้วนั้นคิดแยกกันเป็นแต่ละพื้นที่โดยไม่เกี่ยวข้องกัน

ส่วนค่าที่จะนำมาคำนวณในแต่ละจุดในแต่ละพื้นที่ได้แก่ ระยะจากหุ่นยนต์ ถึงจุดที่ต้องการคำนวณคือ r และมุมบ่าเบนของจุดที่ทำการคำนวณกับแนวตั้งจาก α กับเซ็นเซอร์ตัวนั้น ๆ โดยในพื้นที่สิ่งกีดขวาง(Occupied Zone) การคำนวณหาความน่าจะเป็นในแต่ละจุดบนพื้นที่นี้จะคำนวณได้จากการค่าความน่าจะเป็นที่จะเป็นพื้นที่ที่มีสิ่งกีดขวางได้ตั้งสมการที่ (2.12) [22]

$$p(s|Occ) = \frac{\frac{R-r}{R} + \frac{\beta-\alpha}{\beta}}{2} \cdot Max_{occupied} \quad (2.12)$$

โดยค่า $Max_{occupied}$ ก็เป็นค่าคงที่ความน่าจะเป็นสูงสุดที่จะเป็นไปได้ เช่น 0.98 ส่วนในบริเวณพื้นที่ว่าง(Empty Zone) การคำนวณหาความน่าจะเป็นในแต่ละจุดบนพื้นที่นี้จะคำนวณได้จากความน่าจะเป็นที่จะเป็นพื้นที่ว่างนั้นคำนวณได้ตั้งสมการที่ (2.13)

$$p(s|Empty) = \frac{\frac{R-r}{R} + \frac{\beta-\alpha}{\beta}}{2} \quad (2.13)$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุดจากสมการที่ 2.12 และ 2.13 จากภาพที่ 2.3

การหาความน่าจะเป็นในตำแหน่งที่ระยะห่างจากเซ็นเซอร์ 300 cm. มุมเบี่ยงเบนจากแกน 7° เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ในบริเวณที่พื้นที่สิ่งกีดขวาง (Occupied Zone) จึงต้องใช้สมการ 2.12 คำนวณได้ค่าดังนี้

$$p(s|Occ) = \frac{\frac{500-300}{500} + \frac{22.5-7}{22.5}}{2} \cdot 0.98 = 0.53$$

การหาความน่าจะเป็นในตำแหน่งที่ระยะห่างจากเซ็นเซอร์ 220 cm. มุมเบี่ยงเบนจากแกน 12° เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ว่าง (Empty Zone) จึงต้องใช้สมการ 2.13 คำนวณได้ค่าดังนี้
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p(s | Empty) = \frac{\frac{500 - 220}{500} + \frac{22.5 - 12}{22.5}}{2} = 0.513$$

จากคุณสมบัติของสมการการหาค่าความน่าจะเป็นในแต่ละพื้นที่เหล่านี้ ทำให้สามารถนำสมการดังกล่าวมาปรับแต่งให้เหมาะสมเพื่อแทนค่าจุดต่าง ๆ แล้วนำค่าที่ได้นำไปแสดงผลออกมาในเชิงภาพ ซึ่งก็คือเค้าโครงของพื้นที่ที่ต้องการนั่นเอง แต่สำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยกำหนดให้

- ความน่าจะเป็นในพื้นที่ที่คาดว่าจะเป็สิ่งกีดขวางมีค่าความน่าจะเป็นใกล้ค่า 1 คือให้ค่าที่มากกว่า 0.5 ขึ้นไปจนถึง 1 อยู่ในพื้นที่นี้ และให้แสดงผลออกมาเป็นสีดำ
- ส่วนความน่าจะเป็นในพื้นที่ที่คาดว่าจะเป็พื้นที่ว่างมีค่าความน่าจะเป็นใกล้ค่า 0 คือให้ค่าที่ต่ำกว่า 0.5 ลงไปจนถึง 0 อยู่ในพื้นที่นี้และให้แสดงผลออกมาเป็นสีขาว
- ส่วนความน่าจะเป็นในพื้นที่ที่ยังไม่ได้วัดหรือยังไม่แน่ใจมีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.5 และแสดงผลออกมาเป็นสีเทา

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับใช้สมการที่ 2.12 และ 2.13 ใหม่ได้ดังนี้

ในบริเวณพื้นที่สิ่งกีดขวาง(Occupied Zone) จะมีการหาค่าความน่าจะเป็นในทุกจุดในพื้นที่ตามสมการที่ 2.14 โดยกำหนดให้ค่า $Max_{occupied}$ คือเป็นค่าคงที่ความน่าจะเป็นสูงสุดที่จะเป็นไปได้เท่ากับ 1 และเพื่อเป็นการปรับค่าในบริเวณนี้ให้เห็นถึงความแตกต่างกับในบริเวณพื้นที่ว่าง (Empty Zone) ชัดเจนขึ้นจึงทำการบวกด้วย 0.3 เข้าไปทั้งสองข้างของสมการ

$$P_{shift}(s | Occ) = p(s | Occ) + 0.3 = \frac{\frac{R-r}{R} + \frac{\beta - \alpha}{\beta}}{2} \cdot Max_{occupied} + 0.3 \quad (2.14)$$

ส่วนในบริเวณพื้นที่ว่าง(Empty Zone) นั้นใช้คุณสมบัติจากเรื่องความน่าจะเป็นที่ว่าความน่าจะเป็นมีค่ารวมกันเป็น 1 เพื่อให้ได้ค่าที่ออกมาตามที่ต้องการคือ

$$p(s | Occ) = 1 - p(s | Empty) \quad (2.15)$$

$$p(s | Occ) = 1 - \frac{\frac{R-r}{R} + \frac{\beta - \alpha}{\beta}}{2} \quad (2.16)$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุดจากสมการที่ 2.14 และ 2.16 จากภาพที่ 2.3

การหาค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งที่ระยะห่างจากเซนเซอร์ 300 cm.มุมเบี่ยงเบนจากแกน 7° เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ในบริเวณที่พื้นที่สิ่งกีดขวาง (Occupied Zone) จึงต้องใช้สมการ 2.14 คำนวณได้ค่าดังนี้

$$p(s | Occ) + 0.3 = \frac{500 - 300}{500} + \frac{22.5 - 7}{22.5} \cdot 1 + 0.3 = 0.54$$

การหาค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งที่ระยะห่างจากเซนเซอร์ 220 cm.มุมเบี่ยงเบนจากแกน 12° เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ว่าง (Empty Zone) จึงต้องใช้สมการ 2.16 คำนวณได้ค่าดังนี้

$$p(s | Occ) = 1 - \frac{500 - 220}{500} + \frac{22.5 - 12}{22.5} = 0.487$$

จะเห็นได้จากตัวอย่างการคำนวณแล้วว่าค่าที่ได้จากสมการที่ 2.14 ซึ่งเป็นสมการที่ใช้คำนวณค่าที่อยู่ในบริเวณที่พื้นที่สิ่งกีดขวาง (Occupied Zone) จะให้ค่าใกล้เคียงค่ามากกว่า 0.5 จึงสามารถกำหนดให้แสดงผลออกมาให้เป็นสีดำได้ ส่วนตัวอย่างการคำนวณค่าที่ได้จากสมการที่ 2.16 ซึ่งเป็นสมการที่ใช้คำนวณค่าที่อยู่ในบริเวณที่พื้นที่ว่าง (Empty Zone) จะให้ค่าที่ต่ำกว่า 0.5 จึงสามารถกำหนดให้แสดงผลออกมาเป็นสีขาวได้เช่นเดียวกัน

ถ้าลองสุ่มตำแหน่งต่าง ๆ ในภาพที่ 2.3 ให้กระจายอย่างสมมาตรแล้วลองแทนค่าโดยใช้สมการที่ 2.14 และ 2.16 ได้ค่าดังนี้

หาค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งที่ระยะห่างจากเซนเซอร์ 300 cm.มุมเบี่ยงเบนจากแกน 0° เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ในบริเวณที่พื้นที่สิ่งกีดขวาง (Occupied Zone) จึงต้องใช้สมการ 2.14 คำนวณได้ค่าดังนี้

$$p(s | Occ) + 0.3 = \frac{500 - 300}{500} + \frac{22.5 - 0}{22.5} \cdot 1 + 0.3 = 1.00$$

หาค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งที่ระยะห่างจากเซนเซอร์ 300 cm.มุมเบี่ยงเบนจากแกน 22.5° เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ในบริเวณที่พื้นที่สิ่งกีดขวาง (Occupied Zone) จึงต้องใช้สมการ 2.14 คำนวณได้ค่าดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$p(s | Occ) + 0.3 = \frac{500 - 300}{500} + \frac{22.5 - 22.5}{22.5} \cdot 1 + 0.3 = 0.50$$

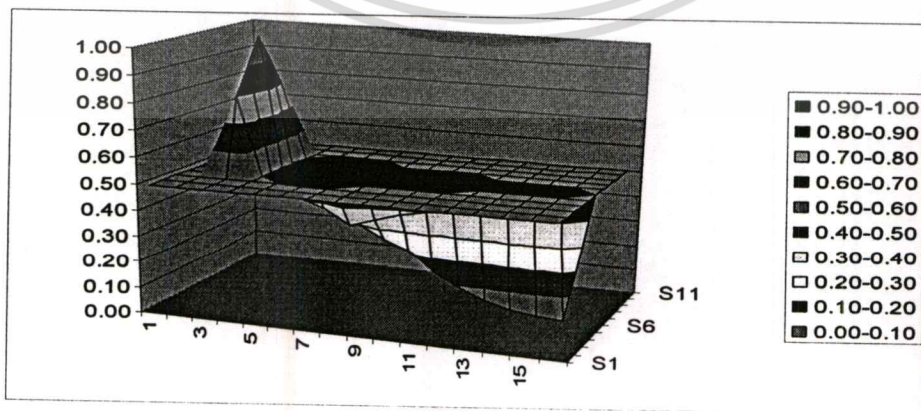
หาค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งที่ระยะห่างจากเซนเซอร์ 0 cm.มุมเบี่ยงเบนจากแกน 0° เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ในบริเวณพื้นที่ว่าง (Empty Zone) จึงต้องใช้สมการ 2.16 คำนวณได้ค่าดังนี้

$$p(s | Occ) = 1 - \frac{500 - 0}{500} + \frac{22.5 - 0}{22.5} = 0$$

และเมื่อลองสุ่มแหล่ง ในภาพที่ 2.3 ให้กระจายอย่างสมมาตรในหลายตำแหน่งมากขึ้นก็จะได้ค่าดังตารางที่แสดงในภาพที่ 2.4 ในกรอบสี่เหลี่ยมคือพื้นที่สิ่งกีดขวาง (Occupied Zone) ส่วนในกรอบสามเหลี่ยมคือพื้นที่ว่าง (Empty Zone) ซึ่งสามารถแสดงผลในแบบ 3 มิติ ดังภาพที่ 2.5

S11	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	0.50	0.51	0.49	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	0.50	0.54	0.47	0.49	0.48	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	0.50	0.65	0.46	0.46	0.47	0.45	0.42	0.40	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	0.50	0.70	0.45	0.41	0.38	0.32	0.35	0.38	0.30	0.20	0.10	0.50	0.50	0.50	0.50	
	S6	0.50	1.00	0.44	0.40	0.35	0.30	0.25	0.22	0.14	0.09	0.05	0.02	0.01	0.00	0.50
		0.50	0.70	0.45	0.41	0.38	0.32	0.35	0.38	0.30	0.20	0.10	0.50	0.50	0.50	0.50
		0.50	0.65	0.46	0.46	0.47	0.45	0.42	0.40	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		0.50	0.54	0.47	0.49	0.48	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
		0.50	0.51	0.49	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
S1	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	
	1	3	5	7	9	11	13	15								

ภาพที่ 2.4 ค่าที่ได้จากการคำนวณตามสมการที่ 2.14 และ 2.16 โดยสุ่มในตำแหน่งต่าง ๆ อย่างสมมาตร



ภาพที่ 2.5 การแสดงผลค่าที่คำนวณได้จากภาพที่ 2.4 ในแบบ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการคำนวณค่าที่ได้ จากสมการที่เกิดจากคุณสมบัติ ในเรื่อง ความน่าเชื่อถือของเซนเซอร์ คังสมการที่ 2.14 และ 2.16 จะเห็นได้ว่าสามารถแสดงออกมาในเชิงภาพที่สามารถชี้ให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างพื้นที่ว่างกับพื้นที่สิ่งกีดขวางได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ยังสามารถให้ค่าความน่าเชื่อถือของข้อมูลในแต่ละตำแหน่งที่ลดหลั่นตามคุณสมบัติของเซนเซอร์ เมื่อนำค่าที่ได้เข้าสู่กระบวนการวิเคราะห์ทางสถิติช่วยเพื่อประมวลผลบวกกับการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องและกระจายทั่วถึงทั้งพื้นที่นั้น จะทำให้สามารถแยกความแตกต่างระหว่างพื้นที่ว่างกับพื้นที่สิ่งกีดขวางได้ทั่วทั้งพื้นที่เพื่อที่จะนำไปสู่การสร้างภาพเค้าโครงของแผนที่ในที่สุด

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาทฤษฎีต่าง ๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อสร้างกระบวนการเตรียมการประมวลผลข้อมูลในงานวิจัยชิ้นนี้ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทนี้เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการวิจัยไปตามวิธีดำเนินการวิจัยตามที่ได้กล่าวไว้ในบทถัดไป



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการดำเนินการวิจัย ซึ่งจะได้มีการกล่าวถึงเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยทั้งส่วนเครื่องมือที่เป็นหุ่นยนต์และเครื่องมือที่เป็นโปรแกรม รวมไปถึงขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล ตลอดจนวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

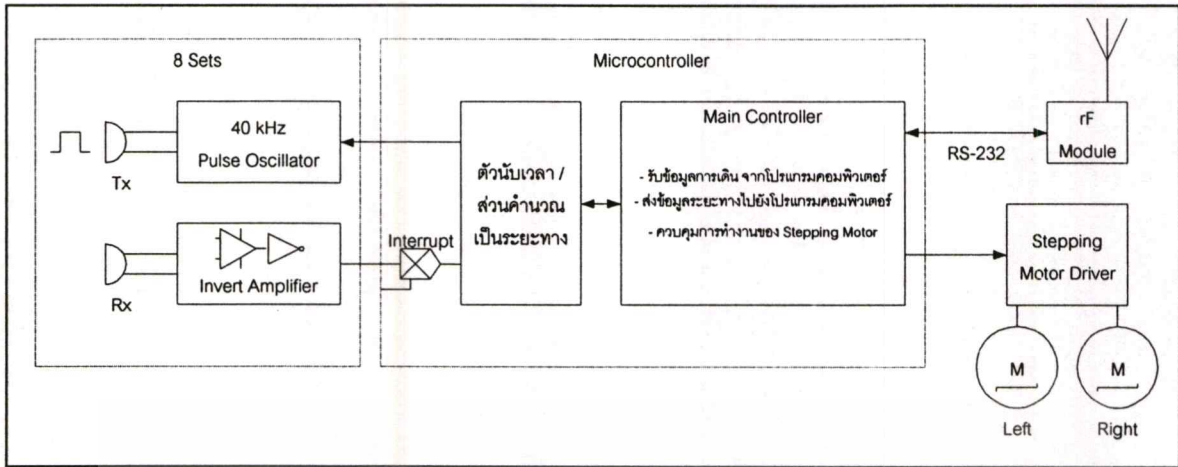
ในการดำเนินการวิจัยในงานวิจัยชิ้นนี้ ได้แบ่งลักษณะเครื่องมือที่ใช้ออกเป็นสองลักษณะได้แก่ เครื่องมือที่เป็นหุ่นยนต์เคลื่อนที่ และเครื่องมือที่เป็นโปรแกรมประมวลผลข้อมูลที่ได้มาจากหุ่นยนต์เคลื่อนที่เพื่อนำข้อมูลระยะทางที่ได้จากเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก นำมาประมวลผลและสร้างเป็นภาพเค้าโครงแผนที่ตาม โดยกระบวนการทางสถิติวิธีต่อไป

3.1.1 เครื่องมือที่เป็นหุ่นยนต์เคลื่อนที่

หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในการใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลจึงจำเป็นที่จะต้องมีการศึกษาข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบเป็นอย่างดี ให้สามารถวิเคราะห์ได้จริงและจะต้องมีความคล่องตัวในการเคลื่อนที่มากพอสมควร เพื่อให้ข้อมูลที่ได้มีค่าความคลาดเคลื่อนจากการเคลื่อนที่น้อยที่สุด

3.1.1.1 การออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่

ระบบการทำงานของหุ่นยนต์เคลื่อนที่นั้น ได้ออกแบบในลักษณะแยกส่วนการทำงานตามหน้าที่หลักของแต่ละส่วนการทำงาน โดยในการออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้แบ่งหน้าที่การทำงานหลักออกเป็นสี่ส่วนด้วยกัน ดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ผังการทำงานรวมของหุ่นยนต์เคลื่อนที่

จากภาพที่ 3.1 จะแสดงให้เห็นถึงส่วนประกอบหลักของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่สำคัญ ซึ่งส่วนด้วยกันได้แก่ ส่วนเซ็นเซอร์วัดระยะทาง ส่วนภาคการสื่อสาร ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ ส่วนควบคุมกลาง ซึ่งการทำงานในส่วนแรกจะถูกควบคุมและประมวลผลโดยส่วนควบคุมกลาง โดยส่วนการทำงานทั้งสี่ส่วนนี้มีหลักการทำงาน และการออกแบบดังนี้

1. ส่วนเซ็นเซอร์วัดระยะทาง

การวัดระยะทางระหว่างตัวกำเนิดไปยังเป้าหมายนั้น สามารถทำได้ในหลากหลายวิธี โดยมีทั้งวิธีการวัดโดยตรง และวิธีวัดโดยทางอ้อม โดยการวัดโดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่แล้วจะเป็นวิธีการวัดโดยทางอ้อม ซึ่งจะใช้คุณสมบัติต่าง ๆ ของแหล่งกำเนิดหรือตัวกลางเป็นเครื่องมือที่ช่วยให้ได้ข้อมูลซึ่งสามารถที่จะนำมาซึ่งระยะห่างระหว่างแหล่งกำเนิดและเป้าหมายได้ โดยเซ็นเซอร์ลักษณะนี้ที่มีใช้อย่างกว้างขวางในปัจจุบันได้แก่ อัลตราโซนิคเซนเซอร์ อินฟราเรดเซนเซอร์ และเลเซอร์เซนเซอร์ เป็นต้น

โดยตารางที่ 3.1 จะทำการเปรียบเทียบคุณสมบัติของเซ็นเซอร์ทั้งสามประเภท โดยใช้เกณฑ์ในการใช้งานเป็นตัวเปรียบเทียบคุณสมบัติ

ตารางที่ 3.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก อินฟราเรด และเลเซอร์

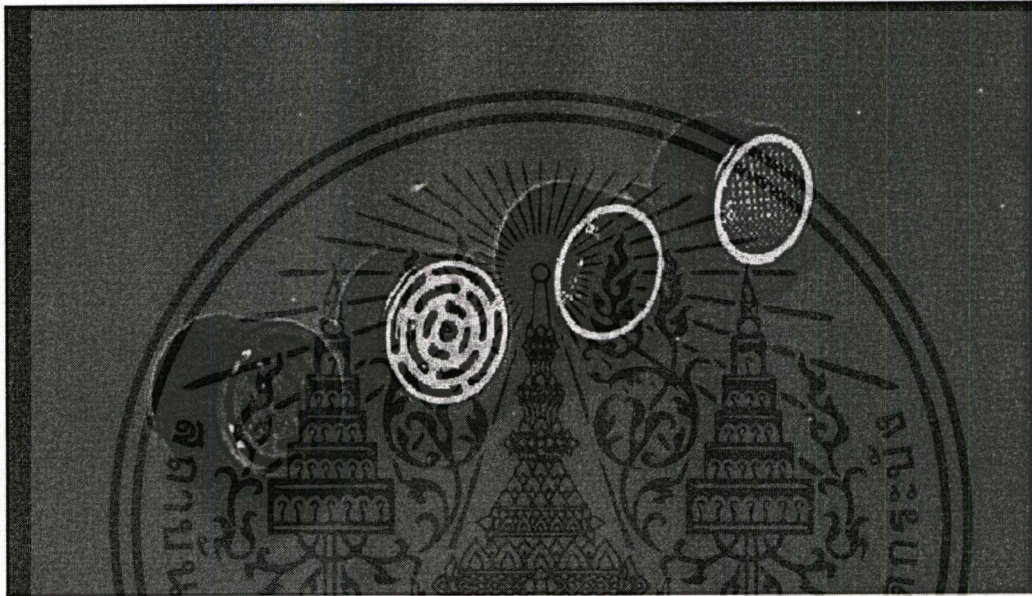
ลักษณะการใช้งาน	เซ็นเซอร์		
	อัลตราโซนิก	อินฟราเรด	เลเซอร์
1. ความแม่นยำของระยะทาง	ปานกลาง	ดี	ดีมาก
2. มุมในการวัด	กว้าง (15° - 45°)	แคบ (< 5°)	แคบมาก (< 1°)
3. ระยะทางที่สามารถวัดได้	ปานกลาง (< 5m.)	น้อย (< 2m.)	มาก (< 100m.)
4. ผลของอุณหภูมิที่มีต่อการวัด	สูง	ปานกลาง	น้อย
5. ผลกระทบกับวัตถุซึมซับเสียง	มาก	น้อย	น้อย
6. ผลกระทบการวัดระยะกับวัตถุสะท้อนแสง	ไม่มี	มาก	มาก
7. ผลกระทบการวัดระยะกับวัตถุโปร่งใส	ไม่มี	มาก	มาก
8. ผลของมุมตกกระทบวัตถุ	ปานกลาง	มาก	มาก
9. การติดตั้งใช้งาน	ง่าย	ง่าย	ยาก
10. ราคา	ต่ำ	ปานกลาง	สูงมาก

จากข้อมูลการเปรียบเทียบในตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่า เซ็นเซอร์ที่เหมาะสมกับการใช้ในสภาพแวดล้อมแบบภายในอาคาร (Indoor environment) นั้นได้แก่อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์ และอินฟราเรดเซ็นเซอร์ ซึ่งมีความเหมาะสมในเรื่องของการติดตั้งใช้งาน และราคาที่ไม่สูงมากเมื่อเทียบกับเซ็นเซอร์ประเภทอื่น ส่วนในเรื่องของความคลาดเคลื่อนจากการวัด ซึ่งจะเกิดขึ้นจากการนำมาใช้ในสภาวะแวดล้อมจริงนั้นถือได้ว่า สามารถที่จะควบคุมและใช้กระบวนการทางสถิติวิธีช่วยในการปรับปรุงค่าดังกล่าวให้สามารถลดลงได้ เนื่องจากเนื้อหาของการวิจัยนี้เป็นการประมาณค่าซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้เซ็นเซอร์ที่มีความแม่นยำสูงมากอย่างเช่นเลเซอร์เซ็นเซอร์

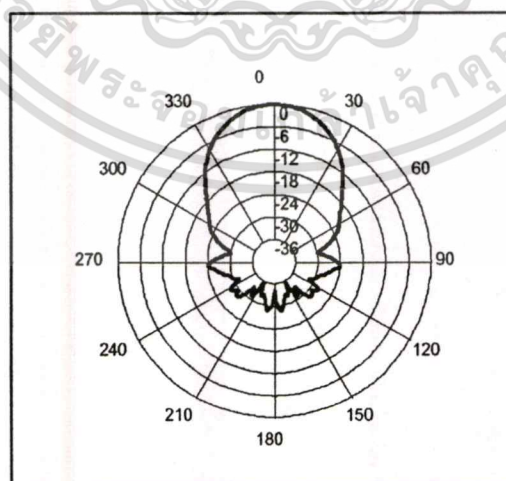
จากความเหมาะสมในเรื่องของราคา และสามารถทำการวัดในมุมการวัดที่กว้างทำให้ลดในส่วนของภาระการหมุนเซ็นเซอร์เพื่อการกวาด (Sweep scan) ทำให้การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่มีความคล่องตัวมากขึ้น และลดความผิดพลาดของระยะที่จะเกิดจากการเคลื่อนที่ที่ทางกลได้อีกทางหนึ่ง ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงได้เลือกอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์เป็นเซ็นเซอร์ที่จะใช้ในการออกแบบสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยคุณสมบัติพื้นฐานของเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกมีดังนี้

อัลตราโซนิกเซนเซอร์

โดยทั่วไปแล้วอัลตราโซนิกเซนเซอร์ดังรูปที่ 3.2 จะเป็นเซนเซอร์ประเภทที่ใช้คลื่นเสียงที่อยู่ในย่านสูงกว่าที่มนุษย์จะได้ยิน คือมีความถี่เสียงสูงกว่า 20 kHz ทั้งนี้เพื่อลดการรบกวนจากแหล่งกำเนิดเสียงในย่านความถี่เสียงที่มนุษย์สามารถรับฟังได้ และในย่านความถี่เสียงที่สูงขึ้น เสียงสามารถที่จะมีมุมในการกระจายเสียงที่มีรูปร่างชัดเจน ดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.2 อัลตราโซนิกเซนเซอร์



ภาพที่ 3.3 มุมกระจายสัญญาณเสียงของอัลตราโซนิกเซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าในระยะที่ตั้งฉากกับเซนเซอร์นั้น มุมในการวัดได้กว้างถึงกว่า 60° ทำให้การออกแบบหุ่นยนต์โดยทางกายภาพนั้นไม่จำเป็นต้องใช้วิธีการกวาด เพื่อให้ได้มุมในการวัดที่กว้างเหมือนอย่างเช่นอินฟราเรดเซนเซอร์ และเลเซอร์เซนเซอร์

ความรู้พื้นฐานเรื่องเสียง

เนื่องจากอัลตราโซนิกเซนเซอร์นั้นอาศัยหลักการสะท้อนของเสียงมาเป็นตัวคำนวณระยะทาง ดังนั้น ในการนำอัลตราโซนิกเซนเซอร์มาใช้งานนั้น จำเป็นต้องทราบถึงคุณสมบัติพื้นฐานในเรื่องของเสียง ทั้งนี้เพื่อที่จะสามารถนำมาคำนวณหาระยะทางที่ถูกต้องได้ต่อไป

คุณสมบัติพื้นฐานของคลื่นเสียง

- เสียงเป็นคลื่นพลังงานที่อาศัยตัวกลางในการเดินทาง ดังนั้นเสียงจึงไม่สามารถเดินทางได้ในสุญญากาศ

- ความเร็วของเสียงขึ้นอยู่กับตัวกลางที่เสียงเดินทาง โดยทั่วไปจะถูกนำมาใช้ในตัวกลางอากาศและตัวกลางน้ำ ซึ่งจะมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าโซนาร์ (Sonar)

- เสียงเดินทางในอากาศความดันบรรยากาศที่ 0 องศาเซลเซียส ด้วยความเร็วประมาณ 331.5 เมตรต่อวินาที (m/s) โดยที่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น 1 องศาเซลเซียส เสียงจะเดินทางได้เร็วขึ้น 0.6 เมตรต่อวินาที ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะใช้ค่าความเร็วของเสียงในอุณหภูมิเฉลี่ยทั่วไปที่ 25 องศาเซลเซียส คือประมาณ 346.5 เมตรต่อวินาที

- การสะท้อนของคลื่นเสียงจะทำได้ดี กับวัตถุที่เป็นของแข็ง และมุมสะท้อนจะมีขนาดเท่ากับมุมที่คลื่นเสียงตกกระทบ

ดังนั้น ในการหาระยะทางจากแหล่งกำเนิดเสียงไปยังตำแหน่งสะท้อน หรือสิ่งกีดขวางสามารถทำได้โดยจับเวลาตั้งแต่เริ่มส่งสัญญาณเสียงไปจนกระทั่งเสียงสะท้อนกลับมายังตัวรับที่ตำแหน่งเดียวกับแหล่งกำเนิด แล้วนำเวลาที่ได้เป็นวินาทีไปคูณกับค่าความเร็วเสียงหารด้วยสอง เนื่องจากระยะทางสะท้อนเป็นระยะทางไปและกลับ ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$D = \frac{346.5 \times t}{2} \quad (3.1)$$

โดยที่ D คือระยะทางจากแหล่งกำเนิดไปยังเป้าหมาย (เมตร)

t คือเวลาตั้งแต่เริ่มส่งสัญญาณจนกระทั่งสัญญาณสะท้อนกลับมายังเซ็นเซอร์ (วินาที)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่ 3.1 แสดงการคำนวณระยะทางจากข้อมูลเวลาของเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก เมื่อวงจรนับจับเวลาได้ 20 มิลลิวินาที ซึ่งในงานวิจัยนี้ทำการทดลองในห้องที่มีอุณหภูมิ 22.5 องศาเซลเซียส คือค่าความเร็วเสียงประมาณ 345 เมตรต่อวินาที

จาก

$$D = \frac{345 \times t}{2}$$

$$D = \frac{345 \times (20 \times 10^{-3})}{2} \quad ; \text{เมื่อ } t = 20 \text{ ms}$$

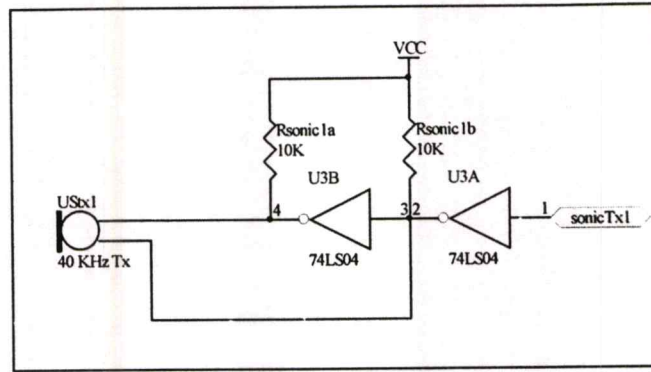
$$D = \frac{6.90}{2} = 3.45$$

$$\therefore D = 3.45 \text{ m.}$$

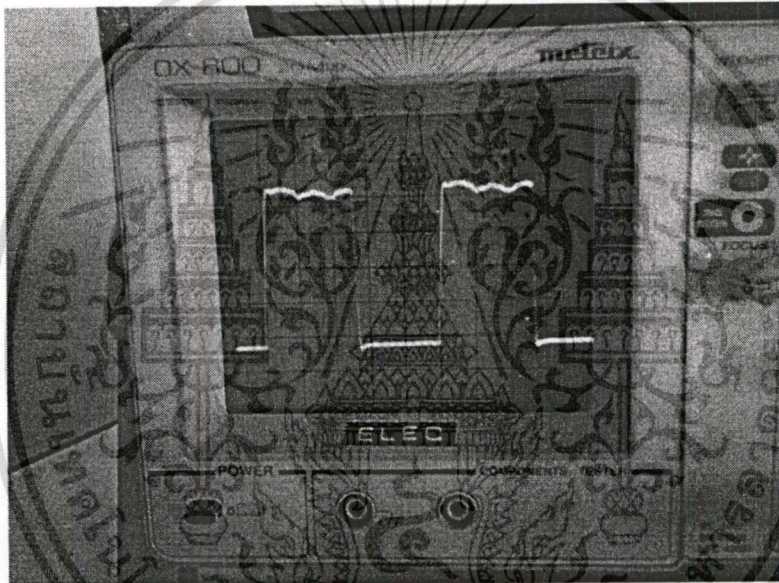
การออกแบบวงจรส่วนเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก

ในส่วนของการออกแบบวงจรวัดระยะทางโดยใช้อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์นั้น ได้แบ่งภาคการทำงานออกเป็นสองส่วนย่อยด้วยกัน คือภาคส่ง (Tx) และภาครับ (Rx) โดยในหุ่นยนต์เคลื่อนที่หนึ่งตัวนั้นจะประกอบด้วยเซ็นเซอร์ดังกล่าวทั้งหมดแปดชุด ซึ่งแต่ละชุดจะทำมุมต่อกัน 45° มีมุมในการวัดที่ครอบคลุมเป็นแบบรอบตัว 360°

ในส่วนของภาคส่งนั้นจะใช้ลักษณะของการส่งสัญญาณรูปคลื่นสี่เหลี่ยม (Pulse) โดยให้ความถี่ที่ 40 kHz ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่อัลตราโซนิกเซ็นเซอร์สามารถตอบสนองได้ดีที่สุด โดยขนาดของระดับแรงดันสัญญาณนั้นจะเป็นระดับสัญญาณแบบ TTL ลอจิก ซึ่งมี $V_p = 5V$. โดยสัญญาณขนาด 40 kHz จะถูกกำเนิดจากส่วนควบคุมกลาง และมีการผ่านสัญญาณดังกล่าวมายังลอจิกเกตที่มีการทำงานแบบ Inverting Buffer ทำให้สัญญาณมีการกลับเฟสต่อกัน 180° ซึ่งโดยผลรวมทำให้ได้ขนาดของแรงดันสัญญาณเพิ่มขึ้นเป็น $V_{p-p} = 10V$. ส่งผลให้เซ็นเซอร์สามารถส่งสัญญาณได้ไกลขึ้นกว่าเดิม โดยมีวงจรการทำงานภาคส่งดังภาพที่ 3.4 และรูปสัญญาณจากการวัดด้วยออสซิลโลสโคปดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.4 วงจรภาคส่งสัญญาณอัลตราโซนิก

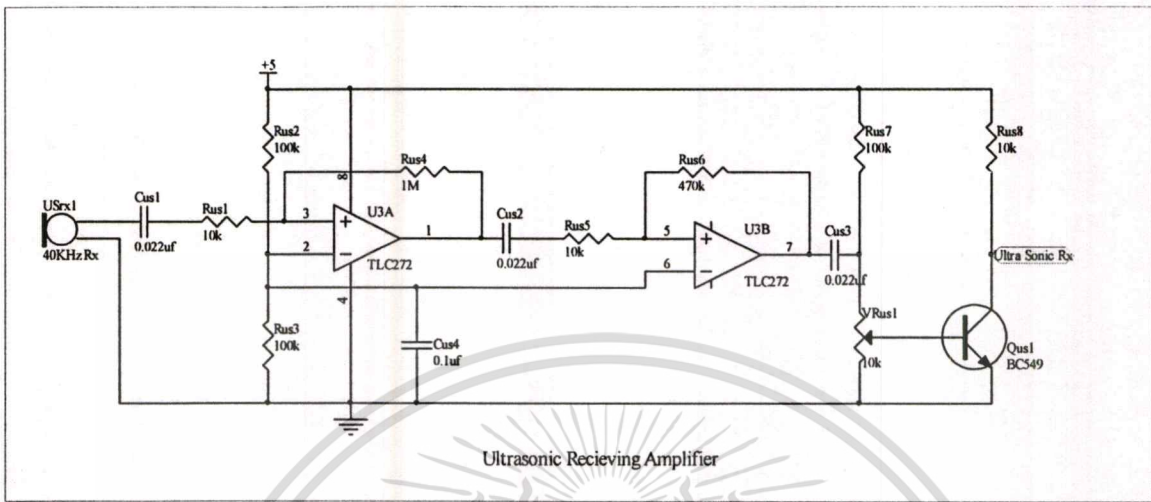


ภาพที่ 3.5 รูปสัญญาณภาคส่งจากการวัดด้วยออสซิลโลสโคป

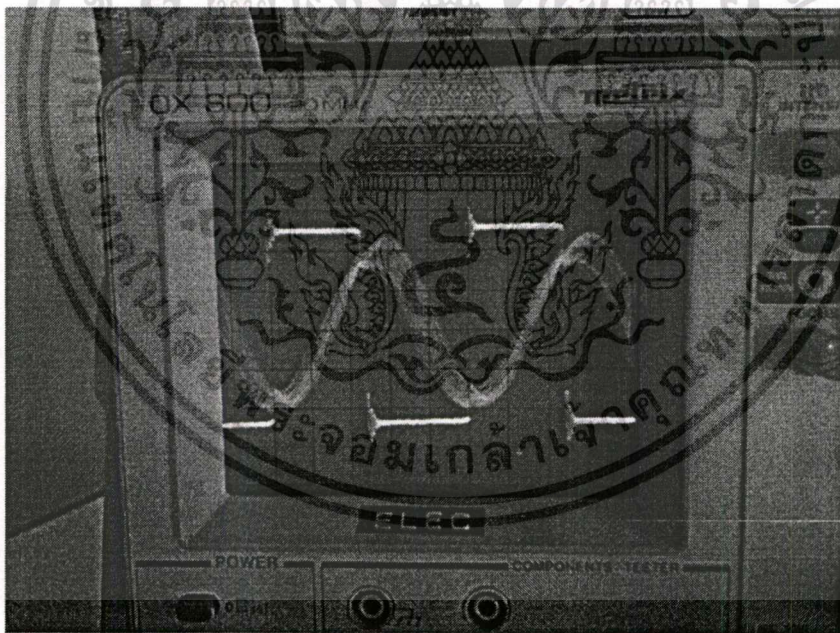
ภาครับวงจรอัลตราโซนิกเซ็นเซอร์

ในส่วนของภาครับจะประกอบไปด้วยวงจรรขยายออปแอมป์ โดยใช้ออปแอมป์ TLC272 ซึ่งจะมีวงจรรออปแอมป์อยู่ภายใน 2 ชุด ซึ่งเพียงพอต่อการใช้งาน โดยที่ตัวแรก จะทำการขยายแบบกลับเฟสที่ 100 เท่า โดยอัตราขยายจะคำนวณได้จาก R_{us4}/R_{us1} คือ $10\text{ M Ohm} / 10\text{ k Ohm}$ จึงได้อัตราขยาย 100 เท่า และออปแอมป์ตัวที่สอง ก็จะทำการขยายแบบกลับเฟสอีกเช่นกัน โดยมีอัตราขยายที่ 47 เท่า ทั้งนี้ เพื่อให้วงจรรับ สามารถรับสัญญาณสะท้อนที่มาจากกระยะไกล ซึ่งจะมีสัญญาณที่อ่อนมากได้ โดยสามารถปรับความไวในการรับได้ที่ VR_{us} ดังแสดงในภาพที่ 3.6 และมีลักษณะรูปคลื่นที่วัดได้จากเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกภาครับดังภาพที่ 3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.6 วงจรภาครับสัญญาณอัลตราโซนิก



ภาพที่ 3.7 รูปสัญญาณภาครับเปรียบเทียบกับภาคส่งจากการวัดด้วยออสซิลโลสโคป

จากการทดลองวัดสัญญาณด้วยออสซิลโลสโคปเพื่อเปรียบเทียบสัญญาณระหว่างภาครับกับภาคส่งดังภาพที่ 3.7 จะเห็นได้ว่าถึงแม้สัญญาณภาครับจะมีรูปร่างเปลี่ยนไปแต่คาบเวลายังคงที่จึงสามารถนำค่านี้นำไปคำนวณระยะทางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ส่วนภาคการสื่อสาร

ภาคการสื่อสารนั้น ได้ถูกออกแบบไว้เพื่อการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างหุ่นยนต์เคลื่อนที่กับคอมพิวเตอร์ โดยมาตรฐานการสื่อสารที่ใช้นั้น ได้ใช้มาตรฐานการสื่อสาร แบบ RS-232 ซึ่งเป็นมาตรฐานการสื่อสารมาตรฐานของไมโครคอนโทรลเลอร์ และคอมพิวเตอร์โดยการสื่อสารข้อมูลแบบอะซิงโครนัสคือการรับและส่งข้อมูลโดยไม่จำเป็นต้องมีส่วนสัญญาณนาฬิกาพร้อมด้วยแต่จะใช้การกำหนดค่าอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูลให้มีค่าเท่ากัน ซึ่งเรียกอัตราเร็วนี้ว่า อัตราบอด หรือ บอดเรต (baud rate) มีหน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bit per second : bps)

รูปแบบของข้อมูลที่ใช้ในการส่งเป็นแบบอะซิงโครนัสซึ่งประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

1. บิตเริ่มต้น (start bit) มีขนาด 1 บิต
2. บิตข้อมูลแบบอนุกรม มีขนาด 8 บิต
3. บิตตรวจสอบพาริตี (parity bit) มีขนาด 1 บิตหรือไม่มี
4. บิตปิดท้ายหรือบิตหยุด (stop bit) มีขนาด 1 บิต

ภาพที่ 3.8 แสดงรูปแบบของข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส เมื่อไม่มีการส่งข้อมูล ขา DATA จะมีสถานะลอจิก “1” เรียกสถานะนี้ว่า สถานะหยุดรอ (waiting stage) การเริ่มต้นส่งข้อมูลจะเริ่มจากการให้ขา DATA มีลอจิก “0” ด้วยช่วงระยะเวลา 1 บิต เรียกบิตนี้ว่า บิตเริ่มต้น (start bit) จากนั้นบิตข้อมูลจะถูกส่งออกไป โดยเริ่มจากบิตที่มีนัยสำคัญต่ำสุดหรือบิต LSB ก่อน ซึ่งข้อมูลที่ต้องการส่งมีจำนวน 8 บิต จากนั้นตามด้วย บิตพาริตี (parity bit) ซึ่งใช้ในการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการส่งข้อมูล บิตสุดท้ายที่จะส่งคือ บิตปิดท้าย หรือ บิตหยุด (stop bit) โดยจะเป็นการทำให้ขา DATA มีสถานะลอจิก “1” อีกครั้งด้วยระยะเวลาอย่างน้อย 1 บิต 1.5 บิต หรือ 2 บิต เพื่อเป็นการแสดงว่าสิ้นสุดข้อมูลแล้ว

สถานะหยุดรอ	บิตเริ่มต้น	LSB ข้อมูล บิต 0	ข้อมูล บิต 1	ข้อมูล บิต 2	ข้อมูล บิต 3	ข้อมูล บิต 4	ข้อมูล บิต 5	ข้อมูล บิต 6	MSB ข้อมูล บิต 7	บิตพาริตี	บิตหยุด	สถานะหยุดรอ
		1	0	0	1	1	0	0	1			

ภาพที่ 3.8 รูปแบบข้อมูลอนุกรมแบบอะซิงโครนัส

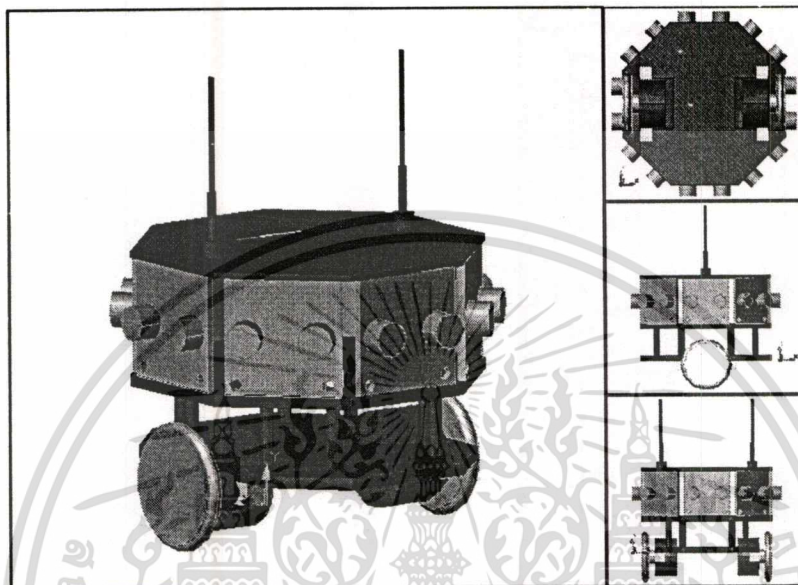
อัตราความเร็วในการรับส่งข้อมูลของการรับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัสหรืออัตราบอดหรือบอดเรตที่ใช้สำหรับพอร์ตอนุกรม RS-232 มีด้วยกันหลายค่า ตั้งแต่ 110 ถึง 19,200 บิตต่อวินาที โดยมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามเทคโนโลยีของคอมพิวเตอร์ เนื่องจากอัตราบอดคือค่าของจำนวนบิตที่สามารถส่งได้ใน 1 วินาที สมมติว่า ข้อมูลอนุกรมมีขนาด 8 บิต ไม่มีการตรวจสอบพาริตี มีบิตเริ่มต้น 1 บิต และบิตปิดท้าย 1 บิต ความยาวของข้อมูล 1 ไบต์จะมีความยาวเท่ากับ 10 บิต ถ้าใช้บอดเรตในการส่งข้อมูลเท่ากับ 9,600 บิตต่อวินาที ก็จะสามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็ว 960 ไบต์ต่อวินาที

การตรวจสอบพาริตีสามารถกำหนดให้เป็นแบบคี่ (odd) แบบคู่ (even) หรือไม่มีการตรวจสอบพาริตีก็ได้ พาริตีคี่หรือพาริตีคู่แสดงถึงจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดภายในข้อมูลที่ส่งไป 1 ไบต์รวมทั้งด้วยพาริตีว่ามีจำนวนเป็นเลขคู่หรือเลขคี่ ยกตัวอย่าง ข้อมูลที่จะทำการส่งมีขนาด 8 บิต มีค่าเท่ากับ 99H หรือ 10011001B จะเห็นว่าข้อมูลใน ไบต์นี้มีจำนวนลอจิก “1” จำนวน 4 ตัว ซึ่งเป็นเลขคู่ ดังนั้นถ้ากำหนดค่าพาริตีเป็นคู่ ค่าของบิตพาริตีจะต้องมีลอจิกเป็น “0” แต่ถ้ากำหนดพาริตีเป็นคี่ ค่าของบิตพาริตีจะต้องเป็น “1” เพื่อให้ข้อมูล “1” เพื่อให้ข้อมูล 1 ไบต์รวมทั้งบิตพาริตีเป็นคี่

บิตพาริตีถูกสร้างขึ้นจากภาคส่งข้อมูลของ UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) ซึ่งทางภาครับต้องกำหนดการตรวจสอบพาริตีที่ตรงกันเอาไว้ว่าจะตรวจสอบพาริตีคี่หรือคู่ จากนั้นภาครับของ UART จะทำการตรวจสอบค่าพาริตีไว้เป็นคู่หรือเป็นคี่ โดยการนับจำนวนลอจิก “1” ทั้งหมดรวมทั้งบิตพาริตีด้วย ถ้ากำหนดพาริตีไว้เป็นคู่แต่อ่านค่าตัวเลขในการนับออกมาได้ตัวเลขเป็นคี่ ทางภาครับจะแสดงข้อผิดพลาดออกมาให้ผู้ใช้ทราบ กระบวนการดังกล่าวเป็นวิธีการตรวจสอบความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการรับส่งข้อมูลที่ง่ายที่สุด แต่มันสามารถตรวจสอบได้เมื่อมีบิตข้อมูลที่ทำให้การรับส่งผิดพลาดเพียงบิตเดียวเท่านั้น ถ้าข้อมูลที่ทำการส่งมีบิตที่ผิดพลาดมากกว่า 1 บิต การตรวจสอบด้วยวิธีนี้จะไม่ได้ผลสำหรับการตั้งพาริตีเป็น NONE นั้นทั้งภาครับและส่งจะไม่มีการตรวจสอบพาริตี สำหรับการปฏิบัติงานในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ซึ่งมีรีจิสเตอร์ที่เกี่ยวข้องอยู่ด้วยกัน 2 ตัวนั้นสามารถดูได้จากภาคผนวก ค.

3. ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่

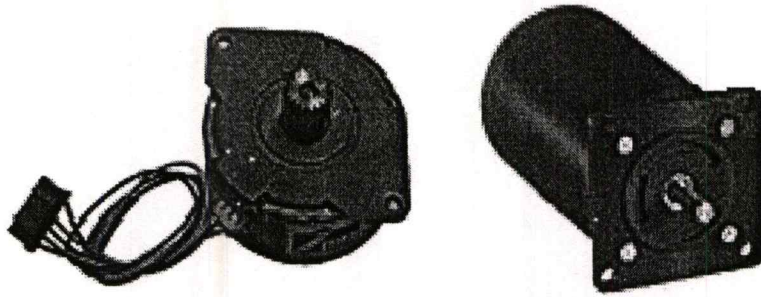
ในส่วนของการออกแบบ หุ่นยนต์เคลื่อนที่ ที่ใช้เป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูลจากสภาวะแวดล้อมจริงแบบปิด ได้ออกแบบให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ด้วยล้อ ซึ่งจะมีล้อหลักอยู่ด้วยกันสองล้อ และมีล้อลูกปืนทำหน้าที่ประกอบตัวหุ่นยนต์ ดังการออกแบบในภาพที่ 3.9



ภาพที่ 3.9 การออกแบบลักษณะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่

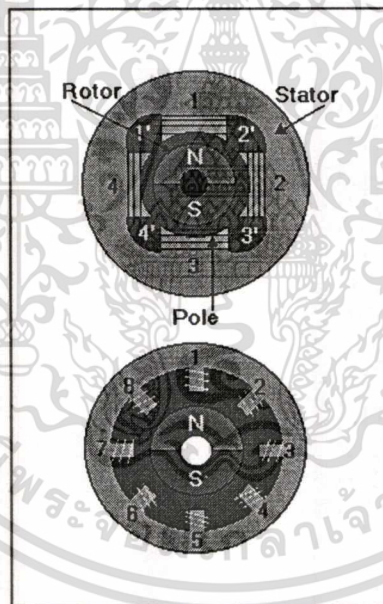
โดยมอเตอร์ที่จะนำมาใช้ต้องเป็นมอเตอร์ที่สามารถควบคุมการหมุนได้อย่างแม่นยำ และสามารถกำหนดจำนวนรอบในการหมุนได้ ซึ่งในที่นี้จะเลือกใช้มอเตอร์แบบสเต็ปมอเตอร์

สเต็ปมอเตอร์ (Step motor) เป็นมอเตอร์ที่มีลักษณะเมื่อป้อนไฟฟ้าให้กับมอเตอร์ทำให้หมุนเพียงเล็กน้อยตามเส้นรอบวงและหยุด ซึ่งต่าง จากมอเตอร์ ทั่วไปที่จะหมุนทันทีและตลอดเวลาเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าข้อดีของสเต็ปมอเตอร์ สามารถกำหนด ตำแหน่งของการหมุนด้วยตัวเลข (องศาหรือระยะทาง) ได้อย่างละเอียดโดย ใช้คอมพิวเตอร์หรือ ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็น เครื่องกำหนดและจัดเก็บตัวเลข ดังตัวอย่างในภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 สเต็ปมอเตอร์แบบต่าง ๆ

โครงสร้างของขั้วแม่เหล็กบนสเตเตอร์ทำมาจากแผ่นเหล็กวงแหวนที่มีซี่ยื่นออกมาประกอบกันเป็นชั้น ๆ โดยที่แต่ละชั้นนั้นจะมีคอยล์ (ขดลวด) พันสวมอยู่ เมื่อมีการป้อนกระแสผ่านคอยล์ทำให้เกิดสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic) ดังภาพที่ 3.11



ภาพที่ 3.11 โครงสร้างภายในสเต็ปมอเตอร์

ลักษณะการนำไปใช้งาน สเต็ปมอเตอร์ ใช้งานลักษณะระบบเปิด (Open loop system) โดย สเต็ปมอเตอร์สามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีการป้อนค่าพารามิเตอร์กลับมา (feedback) แต่ทุกวิธีที่ต้องการกำหนดตำแหน่งที่แน่นอนนั้นจะต้องการป้อนกลับไปยังระบบและตัวบอก ตำแหน่งว่าถูกต้องหรือผิดพลาดให้รับทราบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สเต็ปมอเตอร์เป็นอุปกรณ์จำพวกเชิงกลทางไฟฟ้า โดยมีกรู๊ปของไบนารีโวลต์เตทเป็นอินพุต และการเคลื่อนที่แบบเชิงมุมเป็นเอาต์พุต หรือว่าหมุนทีละสเต็ปซึ่งอยู่ระหว่าง 0.1 - 30 องศา อยู่ที่โครงสร้างของสเต็ปมอเตอร์ โดยตามสัญญาณพัลส์ที่จ่ายให้กับขดลวดสเตเตอร์ ทำให้เกิดแรงผลักขึ้นกับโรเตอร์หมุนไป สเต็ปมอเตอร์มีขดลวดหลายชุดในที่นี้เราเรียกว่า เฟส (Phase) ดังนั้นสัญญาณที่ต่อเนื่องเป็นลำดับ (Sequence) ลักษณะของไบนารี (Binary) ซึ่งจะต้องไปผ่านวงจรขับ (Driver) ซึ่งจะทำให้โรเตอร์หมุนไปอย่างต่อเนื่อง สำหรับโครงสร้างและการทำงานของสเต็ปมอเตอร์นั้นสามารถดูได้จากภาคผนวก ง.

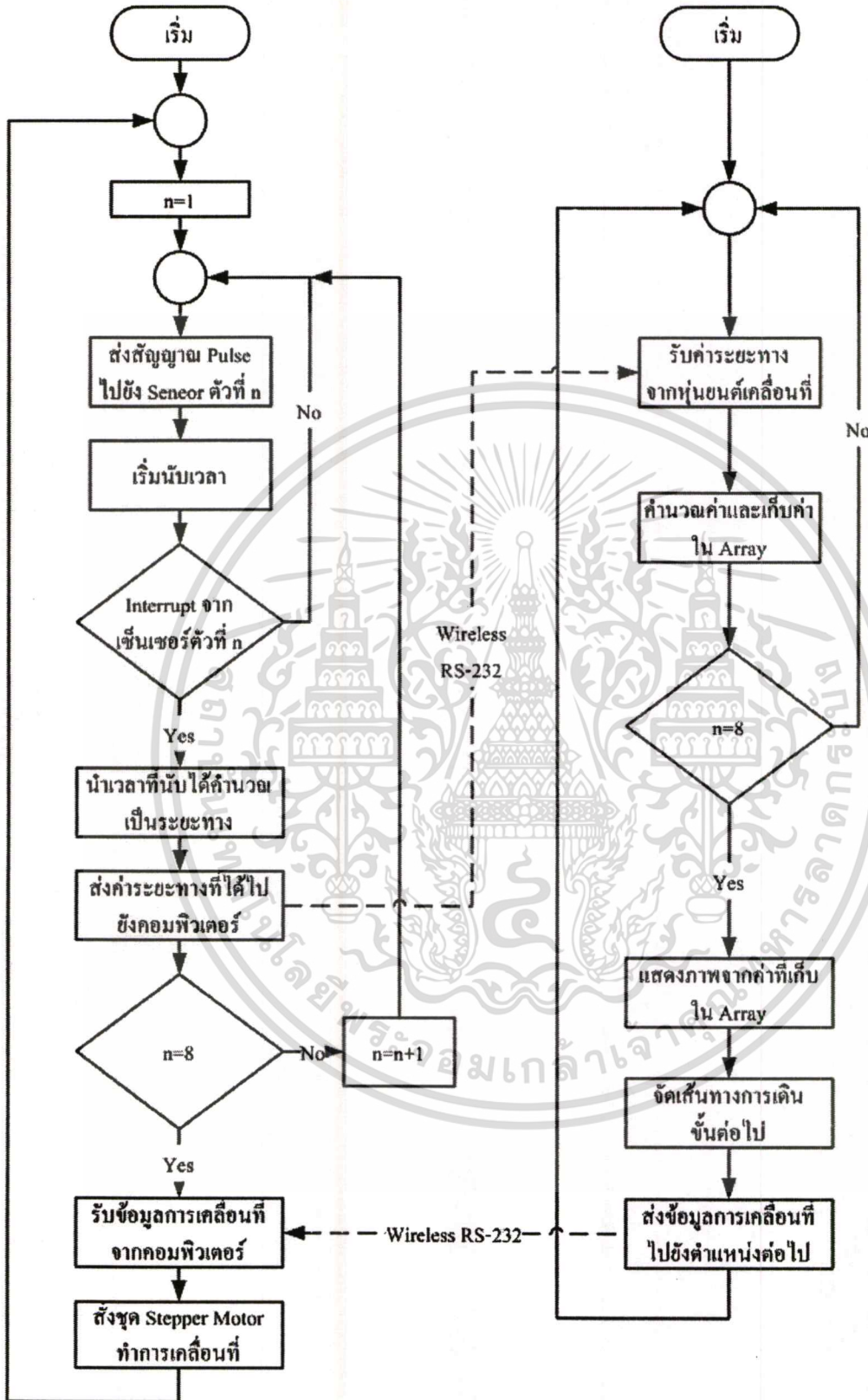
4. ส่วนควบคุมกลาง

การทำงานทั้งหมดของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ จะถูกควบคุมโดยส่วนควบคุมกลางซึ่งทำหน้าที่ทั้งการผลิตความถี่ขนาด 40 kHz ให้กับส่วนเซ็นเซอร์ในภาคส่ง ส่วนการจับเวลาการสะท้อนกลับในส่วนเซ็นเซอร์ภาครับ ส่วนควบคุมการติดต่อสื่อสารกับคอมพิวเตอร์โดยใช้มาตรฐานการติดต่อแบบ RS-232 และส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ซึ่งควบคุมสเต็ปมอเตอร์ โดยภาพที่ 3.12 แสดงการทำงานโดยรวมของระบบควบคุมกลาง



ผังการทำงานส่วนหุ่นยนต์เคลื่อนที่

ผังการทำงานส่วนโปรแกรมคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 3.12 ผังการทำงานของระบบควบคุมกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพที่ 3.12 เป็นภาพที่แสดงการทำงานโดยมีการส่งข้อมูลกันระหว่างหุ่นยนต์เคลื่อนที่ และ คอมพิวเตอร์ที่ทำหน้าที่ในการคำนวณค่า และแสดงค่าเป็นภาพเค้าโครงแผนที่ โดยส่วนการทำงานทั้งสองนั้นจะเชื่อมโยงและส่งผ่านข้อมูลถึงกันโดยใช้มาตรฐานการสื่อสาร RS-232 โดยผ่านทางระบบคลื่นวิทยุไร้สาย (Wireless rf) โดยใช้คลื่นความถี่ 443 MHz ในระบบ FM โดยมีกำลังส่งในระดับต่ำประมาณ 10 mW โดยมีรัศมีในการสื่อสารประมาณ 10-15 เมตรภายในอาคาร

การทำงานในส่วนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่จะเริ่มต้นด้วยการทำงานของเซ็นเซอร์ โดยโปรแกรมที่ผลิตสัญญาณพัลส์ที่มีความถี่ 40 kHz โดยในขณะที่เริ่มส่งสัญญาณพัลส์ วงจรนับ (Counter) จะเริ่มทำการนับทันที โดยวงจรนับจะหยุดการนับเมื่อเซ็นเซอร์ในภาครับ ได้รับสัญญาณพัลส์ที่สะท้อนสิ่งกีดขวางกลับมายังเซ็นเซอร์ โดยกระบวนการนี้เรียกว่ากระบวนการขัดจังหวะทางฮาร์ดแวร์ (Hardware interrupt) โดยหากเกิดการโอเวอร์โฟลว์ (Over flow) ของวงจรรับวงจรภายในจะทำการรีเซ็ตวงจรนับใหม่ ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดคารวนรอบนับอย่างไม่รู้จบ อันจะเป็นผลทำให้เกิดการไม่ตอบสนองของหุ่นยนต์เคลื่อนที่

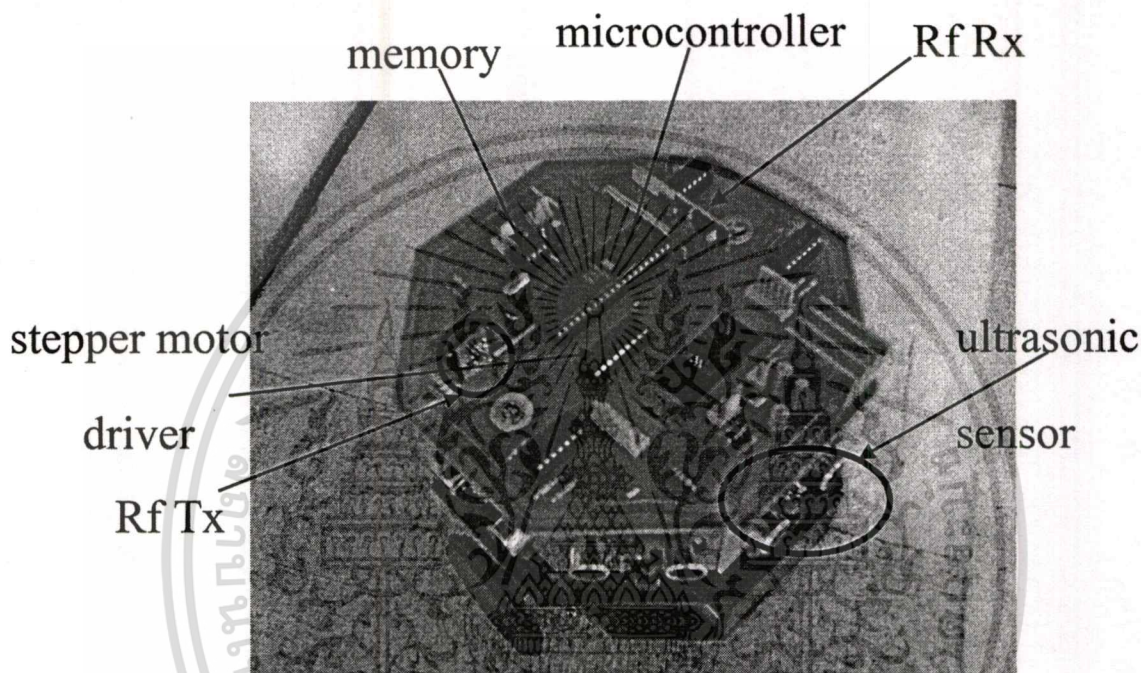
หลังจากที่วงจรรับได้ทำการนับตั้งแต่การส่งสัญญาณพัลส์ไปยังภาคส่งของเซ็นเซอร์ จนถึงการสะท้อนกลับมาของสัญญาณพัลส์ในภาครับของเซ็นเซอร์ โปรแกรมในส่วนการแปลงค่าจากจำนวนการนับที่นับได้ แปลงเป็นช่วงเวลาเพื่อจะนำไปหาระยะทางในขั้นต่อไป โดยค่าที่ได้จากการคำนวณจำเป็นต้องนำไปหารสอง เพื่อที่จะได้ระยะทางที่แท้จริง เนื่องจากระยะทางที่ได้เป็นเพียงครึ่งหนึ่งของเวลาที่สัญญาณจากเซ็นเซอร์เคลื่อนที่ไปและกลับ

ในกระบวนการหาระยะทางของเซ็นเซอร์ จะทำการวัดระยะทางไปจนครบแปดตัว ซึ่งครอบคลุมพื้นที่ที่อยู่รอบ ๆ ตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยในทุกครั้งก็จะมี การส่งข้อมูลที่ได้ไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อนำค่าระยะทางที่ได้ดังกล่าวนำไปคำนวณ โดยกระบวนการของเบส และมาร์คอฟ ซึ่งได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 โดยการเก็บข้อมูลนั้นจะเก็บข้อมูลลงในอาเรย์ซึ่งมีขนาดเท่ากับขนาดของพื้นที่และจุดภาพที่แสดงบนโปรแกรม

เมื่อโปรแกรมคอมพิวเตอร์ได้ทำการคำนวณจนครบทั้งแปดทิศทางแล้ว ก็จะเข้าสู่กระบวนการประมาณจุดเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในตำแหน่งต่อไป ซึ่งจะกำหนดเป็นมุมที่จะเคลื่อนที่และระยะทางที่เคลื่อนที่ โดยข้อมูลดังกล่าวจะถูกส่งกลับไปยังหุ่นยนต์เคลื่อนที่ผ่านทาง Wireless RS-232 และกระบวนการข้างต้นทั้งหมดก็จะกลับไปเริ่มทำงานใหม่ จนกว่าการเก็บข้อมูลจะครอบคลุมในพื้นที่ที่ต้องการ ในระบบควบคุมกลางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่นี้จะอ้างอิงถึง ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งสามารถดูได้จากภาคผนวก จ.

3.1.1.2 การประกอบหุ่นยนต์เคลื่อนที่

การออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่นั้นมีจุดประสงค์หลักคือเน้นให้มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ สามารถใช้อุปกรณ์ที่มีอยู่ในท้องตลาดทั่วไปในการสร้าง ดังนั้น โครงสร้างทางกายภาพของหุ่นยนต์เคลื่อนที่นั้นจะถูกสร้างโดยการออกแบบ แผ่นวงจรพิมพ์ PCB (Print Circuit Board) ที่สามารถประกอบเข้าด้วยกันเป็นตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ ดังแสดงในภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่

โดยวงจรการทำงานจะแสดงในภาคผนวก ก. ลายวงจรพิมพ์และแผนผังการวางอุปกรณ์จะแสดงในภาคผนวก ข.

โดยพลังงานที่ใช้เป็นหลักในหุ่นยนต์เคลื่อนที่ คือพลังงานจากแบตเตอรี่แบบเซลล์แห้ง ขนาดแรงดัน 12V. ซึ่งจะสามารถทำการขับเคลื่อนมอเตอร์โดยใช้แรงดันที่ 12V. ผ่านวงจรขับซึ่งใช้ไอซี ULN2003 เชื่อมต่อกับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพื่อให้สามารถควบคุมการหมุนของสเต็ปมอเตอร์ได้ตามการโปรแกรม ส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์อื่น ๆ ที่ใช้แรงดัน 5V. นั้นจะใช้การเปลี่ยนระดับแรงดันโดยวงจรภาคจ่ายไฟ ที่มีเรกกูเลเตอร์ไอซี 7805 ทำการเปลี่ยนระดับแรงดันจาก 12V. ไปเป็น 5V.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 เครื่องมือที่เป็นโปรแกรม

ในส่วนของโปรแกรมประมวลผลข้อมูลนั้น นอกเหนือจากโปรแกรมในส่วนการรับค่าจากหุ่นยนต์เคลื่อนที่เพื่อนำมาแปลผลในแบบปกติแล้ว ทางผู้วิจัยได้สร้างโปรแกรมจำลองการทำงาน (Simulator) เพื่อให้สามารถที่จะจำลองการทำงานภายใต้เงื่อนไขที่สามารถควบคุมและเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ ได้ ช่วยในการประมาณการ หรือคาดการณ์ผลการทดลอง เพื่อการเปรียบเทียบผลและวิเคราะห์ข้อมูลตามกระบวนการวิจัย

3.1.2.1 การออกแบบโปรแกรม

การออกแบบโปรแกรมนั้นมีจุดมุ่งหมายเพื่อให้การแสดงผลในรูปแบบข้อมูลที่จะได้รับมาจากหุ่นยนต์เคลื่อนที่เพื่อนำมาแสดงผลโดยให้อยู่ในเชิงภาพ ซึ่งในท้ายที่สุดภาพที่ได้มาจากการประมวลผลข้อมูลนั้นก็จะเป็นเอาท์พุทที่ต้องการ คือภาพเค้าโครงแผนที่

ในการเขียนโปรแกรมนั้นทางผู้วิจัยได้เลือกใช้การเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา Visual Basic เวอร์ชัน 6.0 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่พัฒนาบนระบบปฏิบัติการ Windows โดยสาเหตุที่ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Visual Basic ในการพัฒนานั้นเนื่องจากความสะดวกในการออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) ซึ่งสามารถกำหนดส่วนการรับข้อมูลเข้า และแสดงผลได้หลากหลาย

การออกแบบโปรแกรมเพื่อใช้สำหรับการวิจัยนี้ ทางผู้จัดทำได้ออกแบบโปรแกรมไว้ทั้งหมดด้วยกันสองส่วนคือส่วนติดต่อประสานงานกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ และส่วนประมวลผลในสภาวะแวดล้อมจำลอง

1. การออกแบบโปรแกรมส่วนติดต่อประสานงานกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่

การออกแบบโปรแกรมส่วนติดต่อประสานงานกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่เพื่อรับข้อมูลระยะทางที่หุ่นยนต์วัดได้แล้วนำมาประมวลผลในเชิงภาพบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ หลังจากนั้นก็ส่งข้อมูลเพื่อกำหนดทิศทางในการเดินต่อไปของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ซึ่งกระบวนการทำงานของโปรแกรมเป็นลักษณะพิกัดสองมิติ (X,Y) โดยสามารถกำหนดค่าต่าง ๆ ได้ตามคุณสมบัติของตัวเซนเซอร์ และสามารถแสดงค่าความน่าจะเป็นแต่ละตำแหน่งได้ดังภาพที่ 3.14 ซึ่งส่วนประกอบการทำงานของโปรแกรมมีด้วยกันดังนี้

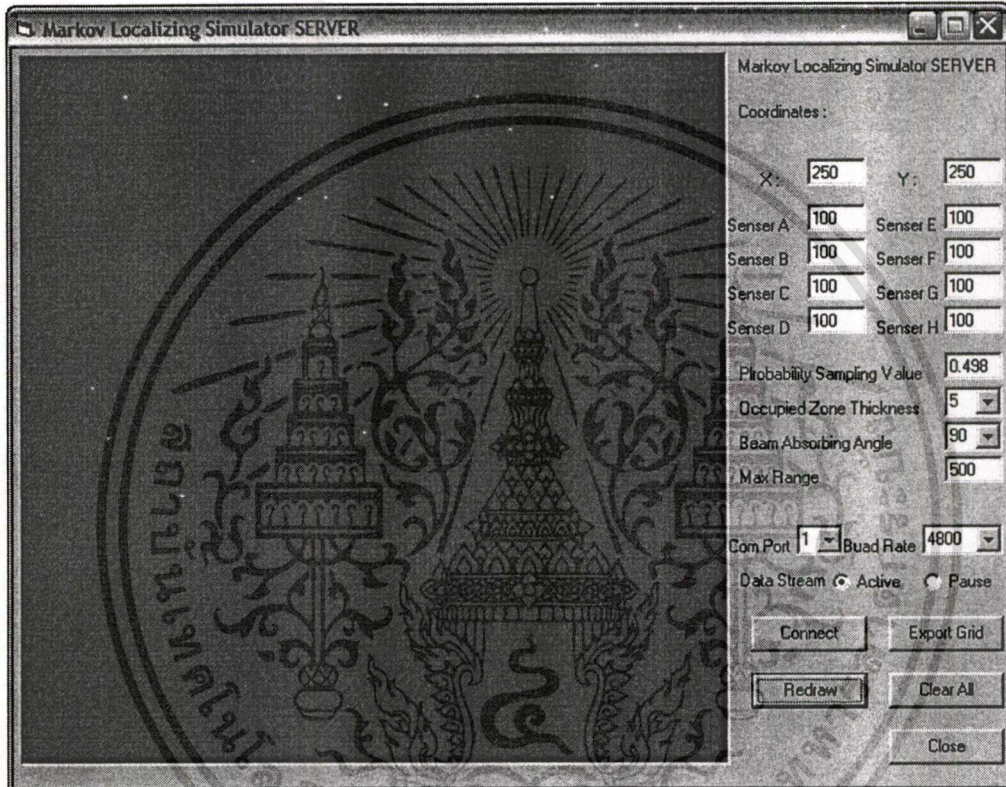
1. หน้าต่างแสดงผลการทำงานขนาด 500 x 500 พิกเซล ซึ่งแทนขนาดของพื้นที่ 25 ตารางเมตร
2. ส่วนบอกตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ในระบบพิกัดฉาก 2 มิติ
3. ส่วนบอกค่าระยะที่วัดได้จากหุ่นยนต์เคลื่อนที่ กับสิ่งกีดขวางของเซ็นเซอร์ทั้งแปดตัว พร้อมทั้งแสดงภาพรัศมีทางหน้าต่างแสดงผล
4. ส่วนการดูค่าสุ่มตัวอย่างความน่าจะเป็นในแต่ละจุดบนหน้าต่างแสดงผล ซึ่งคือการแสดงค่าที่

อยู่เมตริกซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ส่วนการปรับค่าขยับเบนของมุมในการวัดของเซ็นเซอร์ โดยเป็นค่าที่กำหนดค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นของเซ็นเซอร์โดยรวม
6. ส่วนระยะระยะสูงสุดที่เซ็นเซอร์สามารถวัดได้ หน่วยเป็นเซ็นติเมตร
7. ส่วนกำหนดค่าพอร์ตสื่อสารแบบอนุกรม และกำหนดความเร็วในการส่งข้อมูล
8. ส่วนการนำออกข้อมูลในเมตริกซ์ให้อยู่ในรูปของเท็กซ์ไฟล์ ทั้งนี้เพื่อที่จะนำค่าที่ได้ไปประมวลผลโดยใช้โปรแกรมที่สามารถนำเสนอข้อมูลในรูปของกราฟ



ภาพที่ 3.14 การออกแบบส่วนโปรแกรมใช้งานเพื่อติดต่อกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่

การจัดเก็บค่าในการคำนวณที่เกิดขึ้นในแต่ละจุดนั้น จะใช้การเก็บค่าเป็นลักษณะเลขทศนิยม (Floating point) โดยเก็บอยู่ในตัวแปรประเภทอาร์เรย์สองมิติ ขนาดเท่ากับจำนวนจุดภาพที่แสดงผลบนหน้าต่างของโปรแกรม คืออาร์เรย์ขนาด 500x500 และค่าตัวเลขที่จัดเก็บในอาร์เรย์นี้ก็จะเป็ค่าที่ใช้ในการแสดงผลเป็นลักษณะเฉดสีเทา (Gray scale) โดยจะใช้การกำหนดค่าแถบสี แดง เขียว น้ำเงิน (RGB) ในอัตราที่เท่ากัน โดยค่าความน่าจะเป็นช่วงที่สูงสุดคือ 1 จะถูกแทนค่าด้วยสีขาว และค่าความน่าจะเป็นในช่วงที่ต่ำที่สุดคือ 0 จะถูกแทนค่าด้วยสีดำ โดยค่าอื่น ๆ ที่อยู่ระหว่าง 0 และ 1 จะมีความเข้มเปลี่ยนไปตามค่าความน่าจะเป็นที่เกิดขึ้น

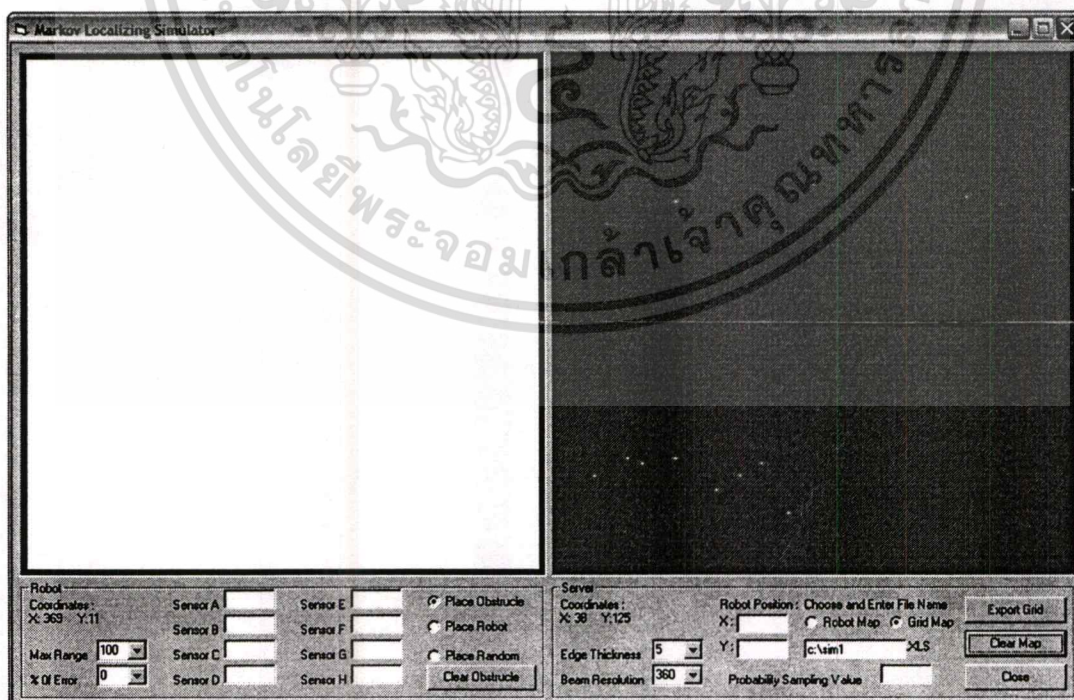
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยโปรแกรมข้างต้นต้องทำงานร่วมกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ซึ่งสามารถให้ผลการทดลองที่อยู่ในรูปแบบภาพเค้าโครงแผนที่จากสภาวะแวดล้อมจริงได้ ซึ่งในการวิจัยอาจเกิดความไม่สะดวกในการเก็บค่า ทางผู้วิจัยจึงได้สร้างโปรแกรมซึ่งสามารถจำลองสภาพแวดล้อมได้จากการสร้างผ่านหน้าต่างทำงาน และสามารถกำหนดจุดวางหุ่นยนต์ได้ทั้งในแบบสุ่มและกำหนดจุดวางได้ด้วยตัวเอง ทั้งนี้เพื่อการวิเคราะห์ผลการทดลอง และอภิปรายผลการทดลองในสภาพจำลองแบบต่าง ๆ

2. ส่วนประมวลผลในสภาวะแวดล้อมจำลอง

ในการทำงานของโปรแกรมในส่วนการประมวลผลในสภาวะแวดล้อมจำลองนั้นจะมีการทำงานของส่วนการแสดงผลข้อมูลเช่นเดียวกับโปรแกรมส่วนติดต่อกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยส่วนที่เพิ่มเติมขึ้นมาคือหน้าต่างสร้างสภาพแวดล้อมจำลอง โดยผู้ใช้งานสามารถสร้างสิ่งกีดขวางขึ้นในรูปแบบที่ต้องการได้ โดยมีขนาดเท่ากับหน้าต่างแสดงผล และผู้ใช้งานสามารถกำหนดจุดวางหุ่นยนต์จำลองได้ตามที่ต้องการในจุดต่าง ๆ และสามารถที่จะกำหนดตำแหน่งการวางหุ่นยนต์จำลองแบบสุ่มตำแหน่งได้ดังแสดงในภาพที่ 3.15

นอกเหนือจากนี้ ในส่วนของการทดลองเปรียบเทียบผลของเอาต์พุตที่ได้ระหว่างข้อมูลที่มีความเที่ยงตรงในการวัดระยะห่างระหว่างสิ่งกีดขวางกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่มีค่าความผิดพลาดต่ำ กับข้อมูลที่มีความผิดพลาดจากการวัดสูง โปรแกรมจำลองนี้ยังมีส่วนเพิ่มร้อยละความผิดพลาดของข้อมูลจากการวัดระยะห่าง โดยเป็นการให้ความผิดพลาดแบบสุ่มซึ่งมีค่าสูงสุดไม่เกินค่าที่กำหนดไว้



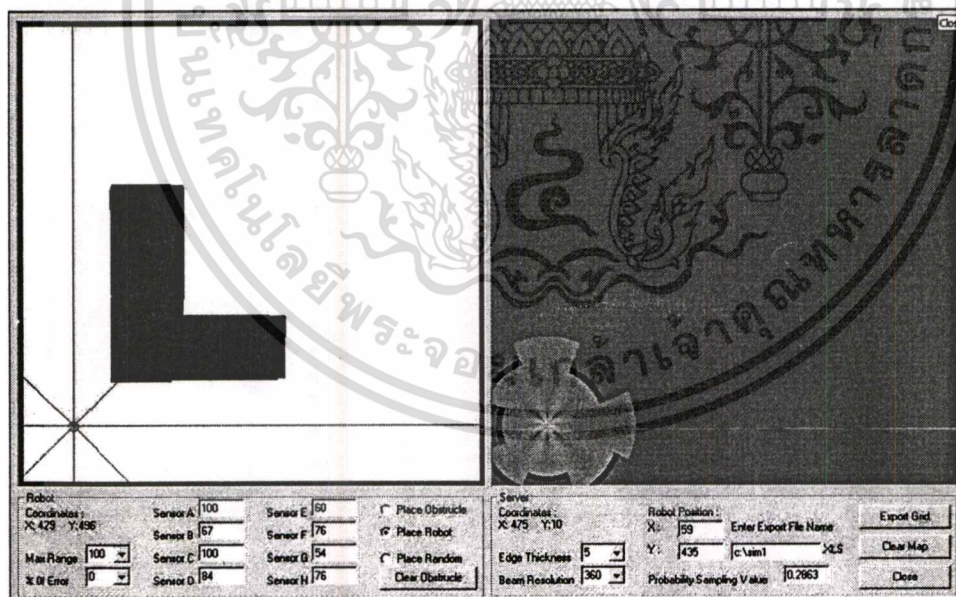
ภาพที่ 3.15 โปรแกรมประมวลผลในสภาวะแวดล้อมจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูล

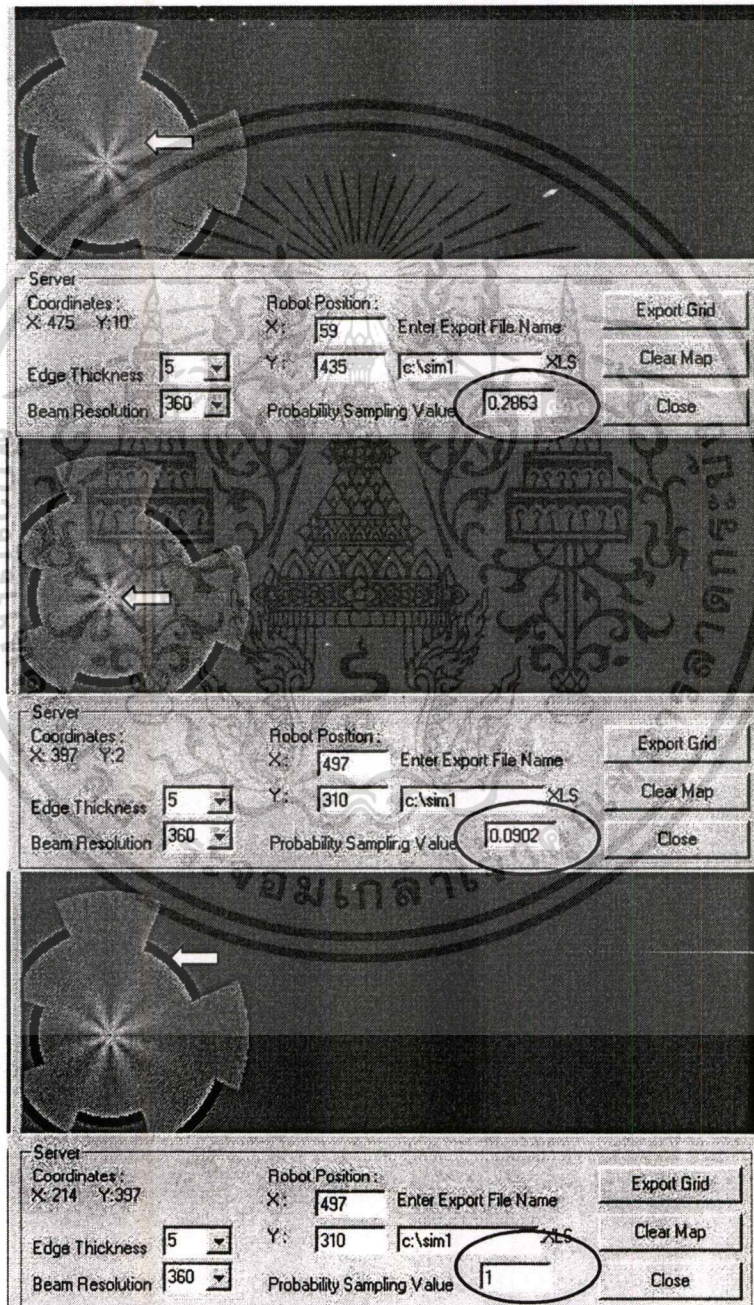
ข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดจะอยู่ในรูปของเมตริกซ์ ขนาดเท่ากับขอบเขตของสภาวะแวดล้อมที่ทำการสำรวจ ซึ่งในที่นี้ได้กำหนดให้สภาวะแวดล้อมมีขนาด 5 เมตร x 5 เมตร ซึ่งมีพื้นที่เท่ากับ 25 ตารางเมตร โดยขนาดของแต่ละหน่วยในเมตริกซ์ ซึ่งในที่นี้จะถูกเรียกว่า Grid จะมีขนาดเท่ากับ 1 ตารางเซนติเมตร ซึ่งทำให้เมตริกซ์มีจำนวน Grid ทั้งหมด 250,000 Grid ซึ่งการเขียน โปรแกรมเมตริกซ์นี้ จะอยู่ในรูปของ Array ในตัวแปรแบบ 2 มิติ ขนาด 500 x 500 ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการประมวลผลที่ต้องใช้เวลาประมาณสามถึงห้าวินาที ในคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ขนาดความถี่นาฬิกา 1.5 GHz และมีการกำหนดค่าเริ่มต้นให้ทุกตำแหน่งมีความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.5 และแสดงผลออกมาเป็นสีเทา จากนั้นนำหุ่นยนต์เคลื่อนที่ลงไปวางในพื้นที่ที่จัดเตรียมไว้ หลังจากนั้นทำการสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่วัดระยะทางของสิ่งกีดขวางหรืออาจจะเป็นการกำบังรอบตัว จากนั้นส่งผลไปประมวลค่าบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ เพื่อหาค่าความน่าจะเป็นที่แท้จริงในตำแหน่งต่าง ๆ โดยใช้กระบวนการสถิติวิเคราะห์ที่ได้ได้นำเสนอไว้แล้วในบทที่ 2 เพื่อหาว่าตำแหน่งไหนเป็นพื้นที่ว่างและตำแหน่งไหนเป็นพื้นที่ของสิ่งกีดขวาง และเพื่อแสดงเห็นถึงการทำงานชัดเจนดังที่ได้อธิบายมาในตอนต้นผู้วิจัยจึงขอใช้โปรแกรมจำลองแสดงให้ดูดังภาพที่ 3.16 ในกรอบสี่เหลี่ยมคือกรอบการจำลองการวัดระยะรอบตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ส่วนกรอบสี่เหลี่ยมขวามือเป็นการแสดงผลในหน้าจอหลังจากที่นำข้อมูลระยะทางที่ได้ไปประมวลผลแล้ว



ภาพที่ 3.16 การจำลองการเก็บข้อมูลระยะทางระหว่างตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่และสิ่งกีดขวาง

เนื่องจากผู้วิจัยได้กำหนดให้ในบริเวณพื้นที่ว่างแสดงค่าความน่าจะเป็นที่เข้าใกล้ศูนย์ และแสดงผลออกมาเป็นสีขาว ส่วนในบริเวณพื้นที่ที่เป็นสิ่งกีดขวางแสดงค่าความน่าจะเป็นที่เข้าใกล้หนึ่ง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแสดงผลออกมาเป็นสีดำ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าหลังจากที่ได้ทำการประมวลผลแล้วนั้น ในส่วนพื้นที่ที่เป็นพื้นที่ว่างจะมีค่าความน่าจะเป็นที่เปลี่ยนไปคือมีค่าที่ต่ำกว่า 0.5 และในตำแหน่งที่ยังใกล้กับหุ่นยนต์ก็จะมีค่าความน่าจะเป็นที่ค่ามากขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะที่ตำแหน่งที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตั้งอยู่นั้นมีค่าเกือบเท่ากับศูนย์ เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่หุ่นสามารถอยู่ได้ก็แสดงว่าเป็นจะพื้นที่ว่างอย่างแน่นอน ส่วนพื้นที่ที่เป็นสิ่งกีดขวางจะมีค่าความน่าจะเป็นที่เปลี่ยนไปคือมีค่าที่สูงกว่า 0.5 โดยเฉพาะที่ตำแหน่งที่ห้ามุมศูนย์องศากับเซ็นเซอร์มีค่าเท่ากับ หนึ่ง ดังแสดงได้ดังภาพที่ 3.17

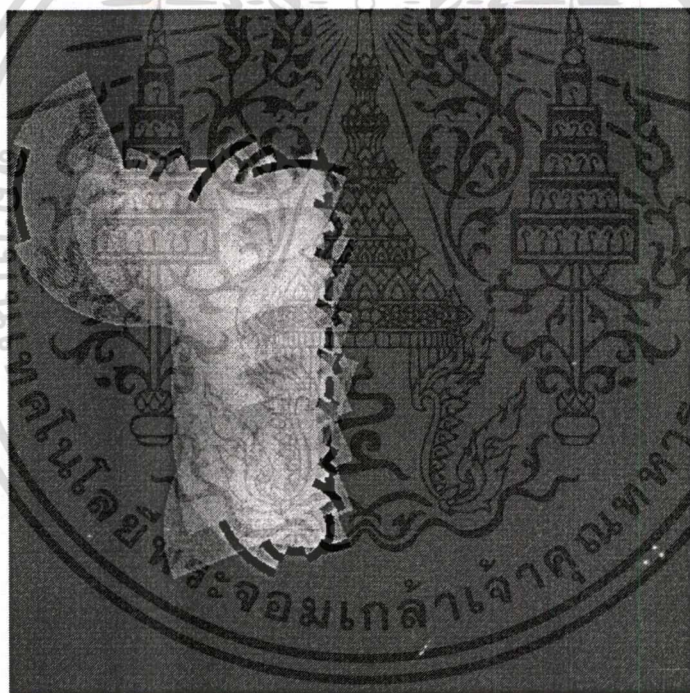


ภาพที่ 3.17 ค่าความน่าจะเป็นที่ตำแหน่งต่าง ๆ

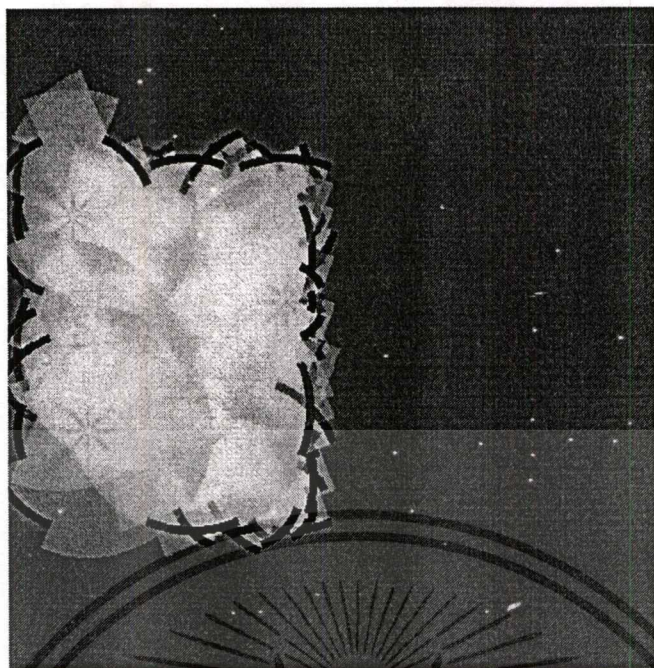
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การรวบรวมข้อมูลนั้นจะเป็นการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ และจะเป็นการรวบรวมข้อมูลแบบไม่เจาะจงว่าหุ่นยนต์ต้องเคลื่อนที่เป็นลักษณะเดิม (Pattern) ในทุกครั้ง เนื่องจากการรวบรวมข้อมูลสามารถทำได้ในแบบสุ่ม (Sampling) ดังนั้นปริมาณข้อมูลที่มาก จะเป็นผลทำให้ความชัดเจนของเอาต์พุตที่ได้เพิ่มสูงขึ้น และการสุ่มข้อมูลในลักษณะที่มีการกระจายตัวสูง จะทำให้ข้อมูลใหม่มีความน่าเชื่อถือในตำแหน่งของข้อมูลลดลง ทำให้ผลของภาพเค้าโครงมีความชัดเจนยิ่งขึ้น ดังภาพที่ 3.18 ซึ่งมีการสุ่มข้อมูลเพียง 10 ครั้ง และภาพที่ 3.19 ที่มีการสุ่มข้อมูล 20 ครั้ง ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน

โดยการรวบรวมข้อมูลนั้นไม่ได้กำหนดจำนวนครั้งสูงสุดในการสุ่มตำแหน่งเก็บข้อมูล เนื่องจากการเก็บข้อมูลในลักษณะค่าที่ต่อเนื่องเป็นรูปแบบของห่วงโซ่ข้อมูล (Data Chain) ซึ่งถ้ายังมีการสุ่มตำแหน่งเก็บข้อมูลมากขึ้น ก็จะยิ่งทำให้ข้อมูลที่ได้มีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งโดยปกติแล้วความละเอียดในการเก็บข้อมูล ก็ขึ้นอยู่กับลักษณะของสภาวะแวดล้อมที่สังเกต ว่ามีความซับซ้อนเพียงใด



ภาพที่ 3.18 การสุ่มข้อมูลจำนวน 10 ครั้ง



ภาพที่ 3.19 การสุ่มข้อมูลจำนวน 20 ครั้ง

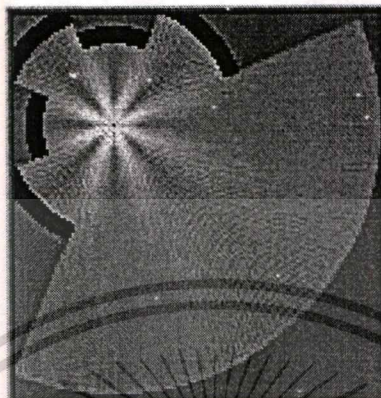
การรวบรวมข้อมูลที่จะถูกนำไปใช้ในการทดลอง นอกเหนือจากปริมาณการสุ่มค่าตัวอย่างที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ยังมีการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการเก็บข้อมูลและแสดงผลของโปรแกรมจำลองดังกล่าว โดยการจัดสภาพแวดล้อมของกลุ่มตัวอย่างให้มีความซับซ้อนแตกต่างกัน เพื่อหาผลกระทบของความซับซ้อนในสภาพแวดล้อมที่จะส่งผลกระทบต่อการทำงาน เพื่อนำไปสู่การหาจุดเหมาะสมที่เครื่องมือนี้จะถูกนำไปใช้ได้อย่างเหมาะสม และมีประสิทธิภาพสูงสุด

3.3 วิธีวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลนั้นจะใช้วิธีการเปรียบเทียบภาพเค้าโครงแผนที่ที่ได้ กับสถานะแวดล้อมจริงในกรณีที่ใช้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เก็บค่า ก็จะใช้การเปรียบเทียบกับสถานะแวดล้อมเสมือนที่ถูกสร้างขึ้นกับสถานะแวดล้อมจริงที่หุ่นเก็บค่ามา ในส่วนของโปรแกรมจำลอง นอกจากจะเปรียบเทียบกับสถานะแวดล้อมเสมือนที่ถูกสร้างขึ้นแล้ว ยังได้นำผลค่าความน่าจะเป็นแต่ละค่าในแต่ละตำแหน่งรวบรวมมาทำการแยกจัดกลุ่มการกระจายตัวของข้อมูลในแต่ละค่าความน่าจะเป็นสรุปเป็นตาราง และทำการวิเคราะห์ค่าดังกล่าวโดยนำเสนอให้อยู่ในรูปของกราฟ เพื่อสรุปการกระจายตัวของกลุ่มข้อมูล เพื่อนำมาเปรียบเทียบกันระหว่างกลุ่มข้อมูลที่มีความผิดพลาดจากการวัดด้วยเซนเซอร์ที่มีความผิดพลาดต่ำ กับกลุ่มของข้อมูลที่มีความผิดพลาดจากการวัดด้วยเซนเซอร์ที่มีความผิดพลาดสูง ว่ามีผลแตกต่างกันมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

น้อยอย่างไร ส่วนผลค่าความน่าจะเป็นแต่ละค่าในแต่ละตำแหน่งนั้นคือค่าความน่าจะเป็นในแต่ละตำแหน่งภายใต้อาณาเขตที่เซนเซอร์ไปถึงหรือก็คือค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุดของเค้าโครงพื้นที่ทำการเก็บข้อมูลแสดงเป็นตัวอย่างได้ดังภาพที่ 3.20 3.21 และ 3.22

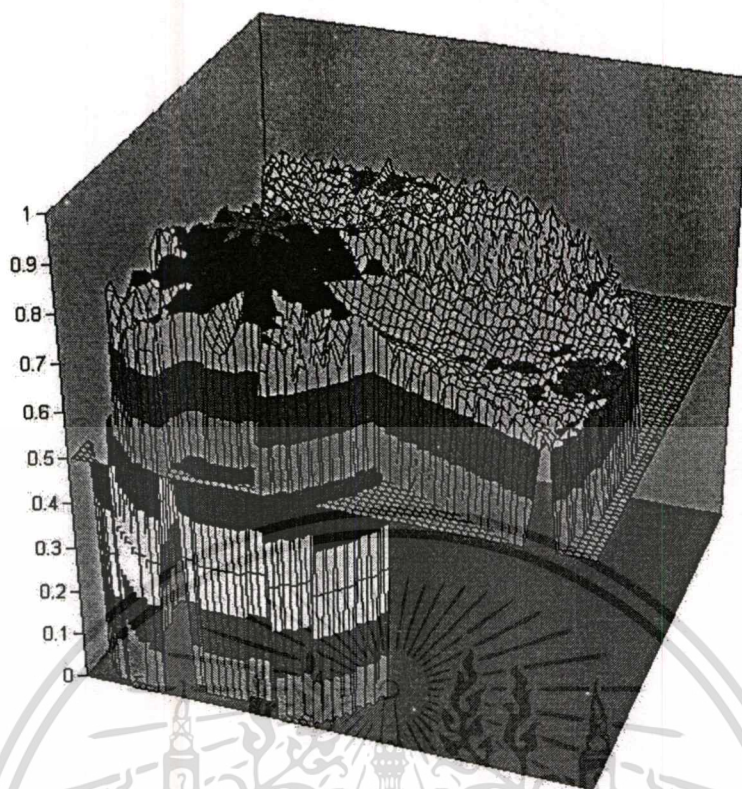


ภาพที่ 3.20 ภาพเค้าโครงของพื้นที่ภายใต้อาณาเขตของเซนเซอร์

A1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0.5	0.5	0.5	0.5
3	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0	0.79	0.8	0.5	0.5	0.5	0.5
4	0.5	0.5	0	0	0	0	0	0.74	0.77	0.79	0.77	0.06	0	0	0
5	0.5	0	0	0	0	0	0.75	0.72	0.73	0.76	0.77	0.78	0	0	0
6	0.5	0	0	0	0	0.68	0.73	0.78	0.78	0.78	0.8	0.82	0	0	0
7	0	0	0	0	0.69	0.75	0.7	0.72	0.76	0.8	0.8	0.82	0.82	0.78	0.8
8	0	0	0	0.71	0.74	0.68	0.71	0.76	0.72	0.73	0.76	0.78	0.79	0.8	0.81
9	0	0	0.78	0.71	0.75	0.69	0.72	0.69	0.77	0.76	0.75	0.76	0.78	0.84	0.83
10	0	0	0.78	0.75	0.71	0.78	0.7	0.76	0.68	0.73	0.81	0.83	0.84	0.85	0.84
11	0	0.75	0.8	0.79	0.73	0.77	0.75	0.71	0.73	0.71	0.72	0.78	0.83	0.85	0.84
12	0	0.75	0.8	0.8	0.75	0.75	0.8	0.73	0.76	0.7	0.77	0.73	0.76	0.8	0.84
13	0.5	0.75	0.81	0.81	0.76	0.76	0.81	0.78	0.74	0.8	0.7	0.76	0.79	0.8	0.84
14	0.5	0.5	0.5	0.38	0.78	0.82	0.83	0.83	0.76	0.81	0.78	0.71	0.72	0.83	0.87
15	0.5	0.5	0.5	0	0	0.15	0.83	0.84	0.8	0.81	0.83	0.76	0.76	0.72	0.83
16	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0.8	0.8	0.82	0.85	0.86	0.82	0.78	0.76	0.73
17	0.5	0.5	0	0	0	0	0.81	0.82	0.84	0.85	0.87	0.85	0.85	0.88	0.74
18	0.5	0.5	0	0	0	0.77	0.78	0.8	0.79	0.81	0.83	0.84	0.9	0.91	0.91
19	0.5	0.5	0	0	0	0.74	0.75	0.76	0.77	0.78	0.79	0.81	0.84	0.89	0.91
20	0.5	0.5	0	0	0	0.73	0.73	0.73	0.72	0.71	0.73	0.72	0.71	0.75	0.82
21	0.5	0.5	0	0	0	0.74	0.75	0.76	0.77	0.78	0.79	0.81	0.84	0.89	0.91
22	0.5	0.5	0	0	0	0.77	0.78	0.8	0.79	0.81	0.83	0.84	0.84	0.9	0.91
23	0.5	0.5	0	0	0	0	0.81	0.82	0.84	0.85	0.87	0.85	0.85	0.88	0.74
24	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0.8	0.8	0.81	0.85	0.86	0.82	0.78	0.76	0.73
25	0.5	0.5	0.5	0	0	0	0.83	0.84	0.8	0.81	0.83	0.76	0.76	0.72	0.83
26	0.5	0.5	0.5	0	0.78	0.82	0.83	0.83	0.76	0.81	0.78	0.71	0.72	0.83	0.87
27	0.5	0.75	0.81	0.81	0.76	0.76	0.81	0.78	0.74	0.8	0.7	0.76	0.79	0.8	0.84
28	0	0.75	0.8	0.8	0.75	0.75	0.8	0.73	0.76	0.7	0.77	0.73	0.76	0.8	0.84
29	0	0	0.8	0.79	0.73	0.77	0.75	0.71	0.73	0.71	0.72	0.78	0.83	0.85	0.84
30	0	0	0.78	0.75	0.71	0.78	0.7	0.76	0.68	0.73	0.81	0.83	0.84	0.85	0.84
31	0	0	0	0.71	0.75	0.69	0.72	0.69	0.77	0.76	0.75	0.76	0.78	0.84	0.83
32	0	0	0	0	0.74	0.68	0.71	0.69	0.72	0.73	0.76	0.78	0.79	0.8	0.81
33	0	0	0	0	0	0.75	0.7	0.72	0.76	0.8	0.8	0.82	0.82	0.78	0.8
34	0.5	0	0	0	0	0.73	0.78	0.78	0.78	0.8	0.82	0.81	0.78	0.78	0.78

ภาพที่ 3.21 ค่าความน่าจะเป็นในแต่ละตำแหน่งภายใต้อาณาเขตที่เซนเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.22 การแสดงค่าความน่าจะเป็นในแต่ละตำแหน่งภายใต้อาณาเขตที่เซนเซอร์ในแบบ 3 มิติ

นอกจากการเปรียบเทียบระหว่างสภาพแวดล้อมจริง กับสภาพแวดล้อมที่ได้จากการสุ่มเก็บค่าขึ้นมาแล้ว การวิเคราะห์ข้อมูลที่สำคัญอีกประการหนึ่งก็คือการวิเคราะห์โดยการดูลักษณะพื้นฐานที่ปรากฏของรูปร่างวัตถุ เพื่อหาจุดรูปร่างของวัตถุที่เปลี่ยนไปเมื่อถูกนำมาแสดงบนหน้าต่างแสดงผล โดยข้อสันนิษฐานเบื้องต้น วัตถุที่มีขนาดเล็ก และมีรูปร่างที่ไม่เป็นเรขาคณิตปกติ เช่นรูปหลายเหลี่ยม หรือวัตถุขนาดเล็กที่ไม่เป็นรูปทรงชัดเจน จะไม่สามารถแสดงและตีความอย่างชัดเจนได้ว่า วัตถุดั้งเดิมมีลักษณะเป็นอย่างไร โดยการทดลองในส่วนนี้จะเสริมเข้าไปในส่วนการทดลองสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูง ปานกลาง และต่ำเพิ่มเติมเข้าไปด้วย

เมื่อได้ดำเนินการวิจัยตามวิธีดำเนินการวิจัยดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทนี้ ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเก็บข้อมูลในสภาวะต่าง ๆ เพื่อประมวลผล ทั้งที่ใช้ข้อมูลที่ได้จากหุ่นยนต์เคลื่อนที่และใช้โปรแกรมจำลองที่ได้ออกแบบขึ้น จนได้ผลดังที่ได้แสดงในบทถัดไป

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดลองที่ได้จากการดำเนินการวิจัยตามวิธีที่การที่ได้นำเสนอไว้แล้ว ในบทที่ 3 โดยนำเสนอทั้งผลการทดลองที่ได้จากการใช้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เก็บข้อมูลจากสถานะแวดล้อมต่าง ๆ และใช้โปรแกรมจำลองแสดงผลเปรียบเทียบให้เห็นว่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลไม่ได้มีผลต่อกระบวนการที่นำเสนอ ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การทดลองโดยให้หุ่นยนต์เก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำ

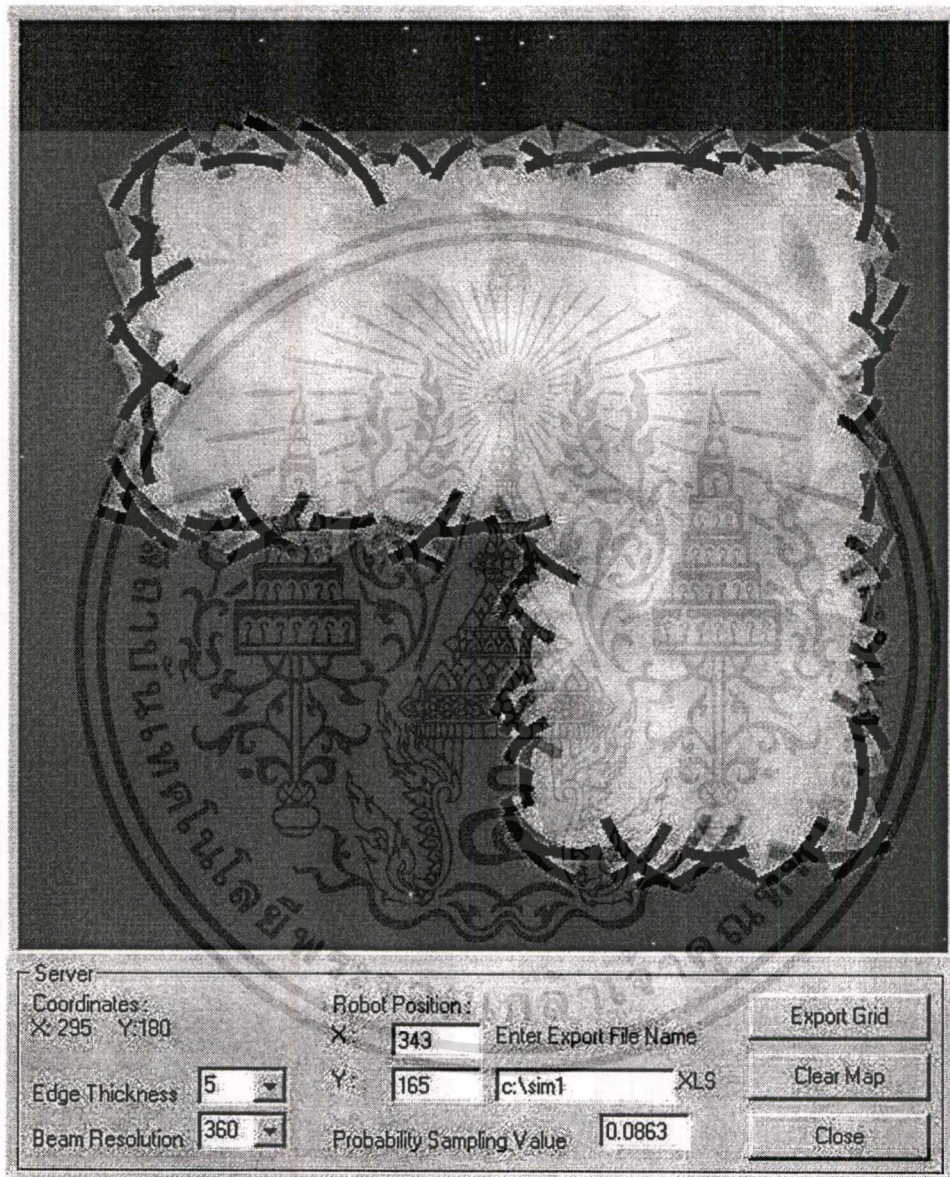
เพื่อเป็นการทดสอบกระบวนการวิเคราะห์ทางด้านสถิติที่คิดค้นขึ้น และเพื่อจะได้ทราบถึงปัญหาที่จะเกิดขึ้นจากการใช้งานจริงจึงได้ทำการทดลองให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในสภาพแวดล้อมจริงโดยเริ่มจากสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำก่อน ซึ่งก็คือพื้นที่ที่มีลักษณะมีเหลี่ยมมุมตั้งฉากกันและมีเหลี่ยมมุมไม่มากนัก ดังแสดงในภาพที่ 4.1 เป็นการให้หุ่นยนต์เก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมที่มีลักษณะเป็นรูปตัว L



ภาพที่ 4.1 การทดลองให้หุ่นยนต์เก็บข้อมูลในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำในที่นี้ใช้พื้นที่ในการทดสอบเป็นรูปตัว L

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการที่ได้ทดลองให้หุ่นทำการเดินเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องแล้วส่งผ่านไปยังคอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผลในสถานะแวดล้อมจริงที่มีความซับซ้อนต่ำโดยใช้เวลานานพอสมควรในที่นี่ใช้เวลา ประมาณ 3 นาที และหลังจากที่ คอมพิวเตอร์ได้ทำการประมวลผลได้ภาพที่แสดงออกมาเป็นภาพเค้าโครงพื้นที่ดังภาพที่ 4.2

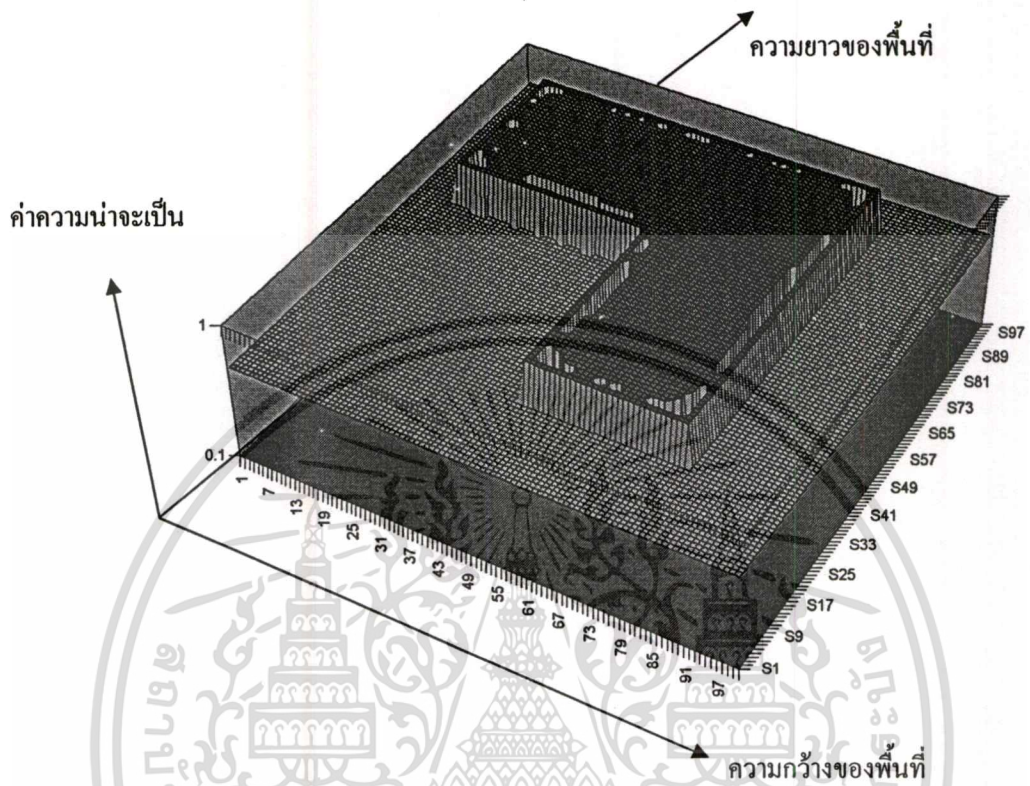


ภาพที่ 4.2 ภาพเค้าโครงพื้นที่ที่ได้จากโปรแกรม

จากนั้นได้นำค่าความน่าจะเป็นสุดท้ายที่ได้จากการคำนวณนำมานำเสนอในรูปแบบของกราฟ จะได้ภาพ 3 มิติเป็นรูปตัวเอลในลักษณะที่ต่ำกว่าพื้นผิวทำให้มองเห็นรูปร่างไม่ค่อยชัดเจน ดังนั้นจึงทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกลับที่ได้ค่าจาก 1 เป็น 0 และ 0 เป็น 1 เพื่อให้เห็นภาพที่ชัดเจนดังภาพที่ 4.3 โดยแกนตั้งเป็นค่าความน่าจะเป็น ส่วนด้านข้างทั้งสองคือค่าความยาวแต่ละด้านของพื้นที่



ภาพที่ 4.3 ค่าความน่าจะเป็นสุดท้ายในจุดต่าง ๆ ที่ถูกนำเสนอในรูปแบบของกราฟ 3 มิติ

จะเห็นได้ว่าเมื่อเราทำการเก็บค่าโดยหุ่นยนต์เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องในสภาวะที่มีความซับซ้อนต่ำ ในเวลาที่นานพอสมควร จะทำให้เราได้ภาพเค้าโครงของพื้นที่ และเมื่อมาดูค่ากราฟค่าความน่าจะเป็นสุดท้ายที่ได้จะเห็นว่าข้อมูลมีค่าเกาะกลุ่มแยกกันระหว่างพื้นที่ว่างและขอบ จนทำให้เห็นถึงรูปร่างของพื้นที่ได้อย่างชัดเจน

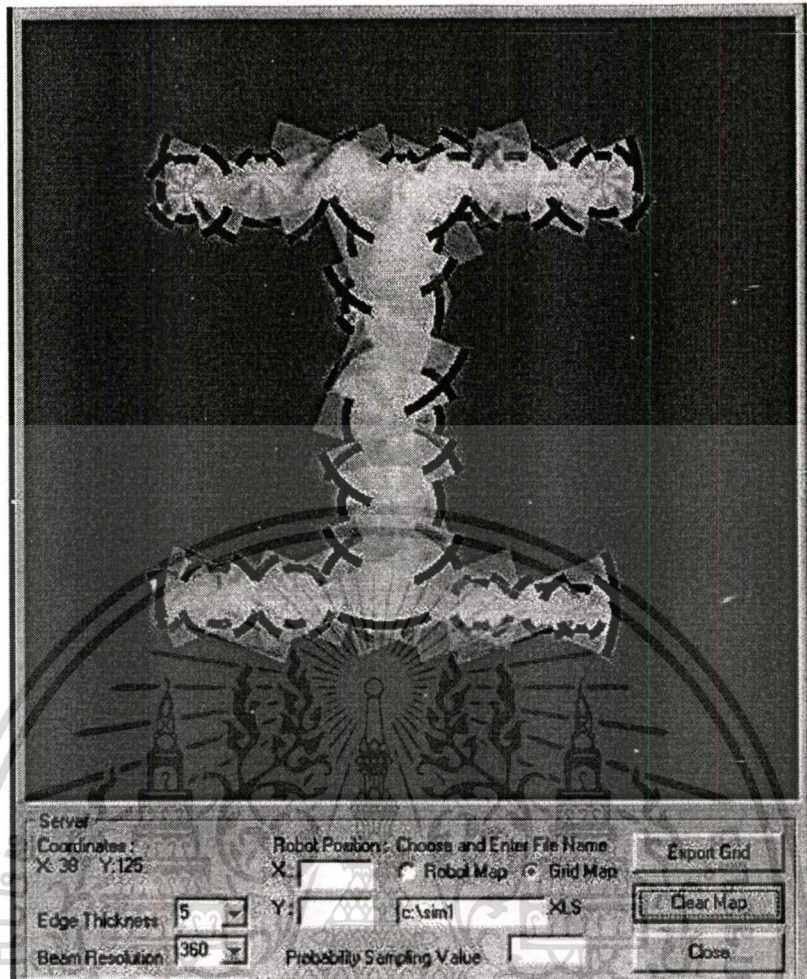
4.2 การทดลองโดยให้หุ่นยนต์เก็บข้อมูลในสภาวะแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูง

หลังจากที่ได้ทดสอบกระบวนการการวิเคราะห์ทางด้านสถิติที่คิดขึ้น โดยให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เก็บข้อมูลในสภาวะแวดล้อมจริงที่มีความซับซ้อนต่ำไปแล้ว จึงได้ทำการทดลองทำการเก็บข้อมูลเช่นเดิม ในเวลาที่เท่าเดิม แต่เปลี่ยนสภาวะแวดล้อมเป็นสภาวะแวดล้อมจริงที่มีความซับซ้อนสูงขึ้นเพื่อเปรียบเทียบผลที่เกิดขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4.4 เป็นการให้หุ่นยนต์เก็บข้อมูลในสภาวะแวดล้อมที่มีลักษณะเป็นรูปตัว I



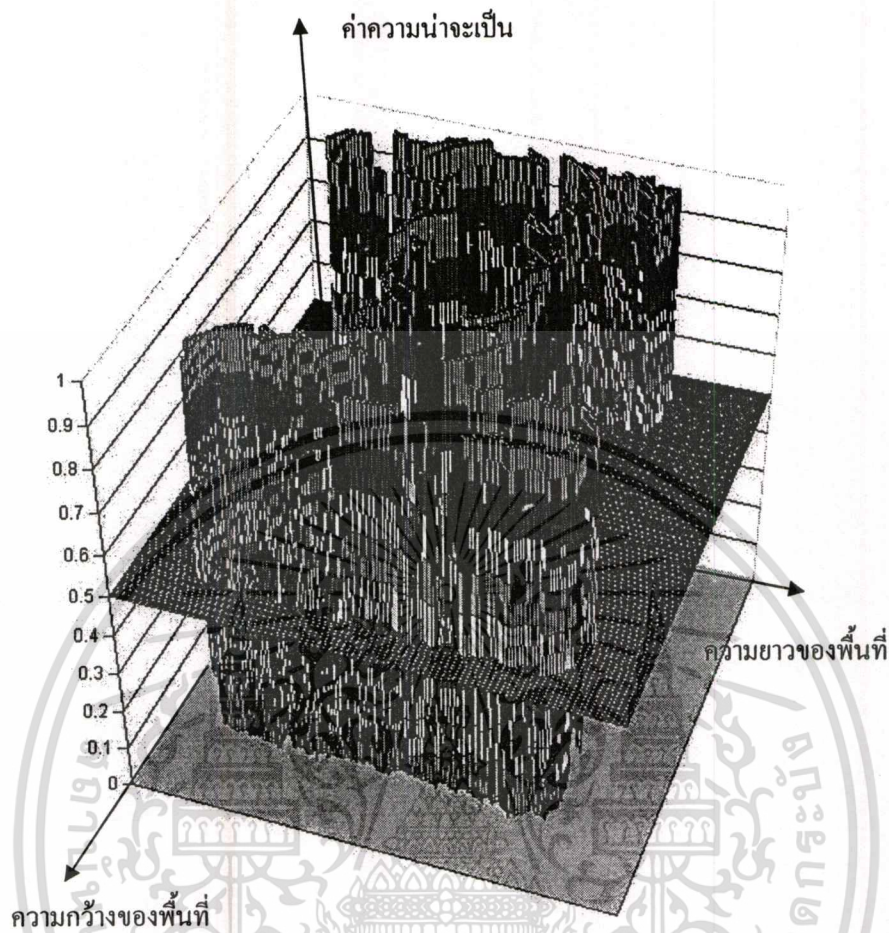
ภาพที่ 4.4 การทดลองให้หุ่นยนต์เก็บข้อมูลในสภาวะแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูง ในที่นี้ใช้พื้นที่ในการทดสอบเป็นรูปตัว I

จากการที่ได้ทดลองให้หุ่นทำการเดินเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องแล้วส่งผ่านไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลในสภาวะแวดล้อมจริงที่มีความซับซ้อนสูง โดยใช้เวลานานเท่ากันกับแบบสภาวะแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำ ซึ่งก็คือประมาณ 3 นาที และหลังจากที่ คอมพิวเตอร์ได้ทำการประมวลผลได้ภาพที่แสดงออกมาเป็นภาพเค้าโครงพื้นที่ดังภาพที่ 4.5



ภาพที่ 4.5 ภาพเค้าโครงพื้นที่ที่ได้จากโปรแกรม

จากนั้นได้นำค่าความน่าจะเป็นสุดท้ายที่ได้จากการคำนวณมานำเสนอในรูปแบบของกราฟ ดังได้ภาพที่ 4.6 โดยแกนตั้งเป็นค่าความน่าจะเป็น ส่วนด้านล่างทั้งสองคือค่าความยาวแต่ละด้านของพื้นที่



ภาพที่ 4.6 ค่าความน่าจะเป็นสุดท้ายในจุดต่าง ๆ ที่ถูกนำเสนอในรูปแบบของกราฟ 3 มิติ

จะเห็นได้ว่าเมื่อเราทำการเก็บค่าโดยหุ่นยนต์เคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องในสภาวะที่มีความซับซ้อนสูง ในเวลาที่นานเท่ากันกับในสภาวะที่มีความซับซ้อนต่ำซึ่งก็คือประมาณ 3 นาที จะทำให้เราได้ภาพเค้าโครงของพื้นที่เช่นกัน และเมื่อมาดูค่ากราฟค่าความน่าจะเป็นสุดท้ายที่ได้ถึงแม้จะเห็นว่าข้อมูลมีค่าเกาะกลุ่มแยกกันระหว่างพื้นที่ว่างและขอบ จนทำให้เห็นถึงรูปร่างของพื้นที่ได้ แต่มีความละเอียดค่อนข้างต่ำและมีความชัดเจนน้อยมาก แต่สามารถเห็นแนวโน้มได้ว่าถ้าใช้เวลาในการเก็บข้อมูลมากขึ้นก็จะทำให้ภาพละเอียดและชัดเจนขึ้นกว่านี้ ดังนั้นแสดงว่าถ้าสภาวะแวดล้อมมีความซับซ้อนที่สูงขึ้น จำเป็นจะต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลที่นานขึ้นตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

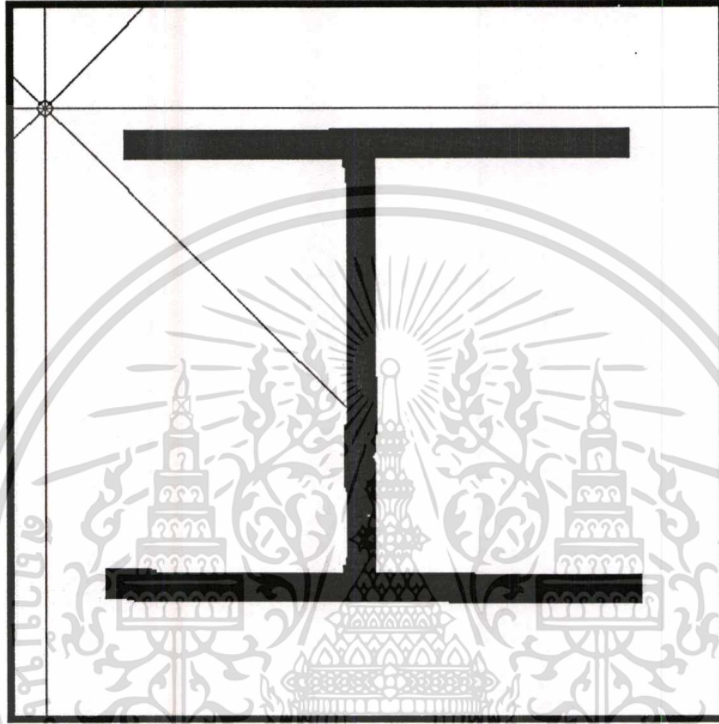
ในส่วนของการทดลองจริงนั้นได้กำหนดสถานการณ์เพื่อใช้ประกอบการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลในเชิงปริมาณ แต่เพื่อหาผลของระบบในเชิงคุณภาพ จำเป็นต้องทำในแต่สภาวะแวดล้อมจำลอง ดังนั้นจึงได้ทำการทดสอบการประมวลผลในรูปแบบที่แตกต่างกันเพื่อหาความแตกต่างและจุดที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน จึงทำการทดลองกำหนดค่าในโปรแกรมจำลองทุกอย่างในสภาวะแวดล้อมต่าง ๆ ให้เหมือนกัน จำนวนข้อมูลที่เก็บก็มีจำนวนที่เท่ากัน หรือแม้แต่กระทั่งลักษณะการเดินของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ จะมีก็แต่เพียงค่าความถูกต้องของข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการประมวลผลเท่านั้นที่มีการให้ค่าที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ก็เพื่อที่จะทำการเปรียบเทียบว่าความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัดนั้นมีผลต่อกระบวนการนี้หรือไม่ อย่างไร ดังจะได้แสดงในหัวข้อต่อไปนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

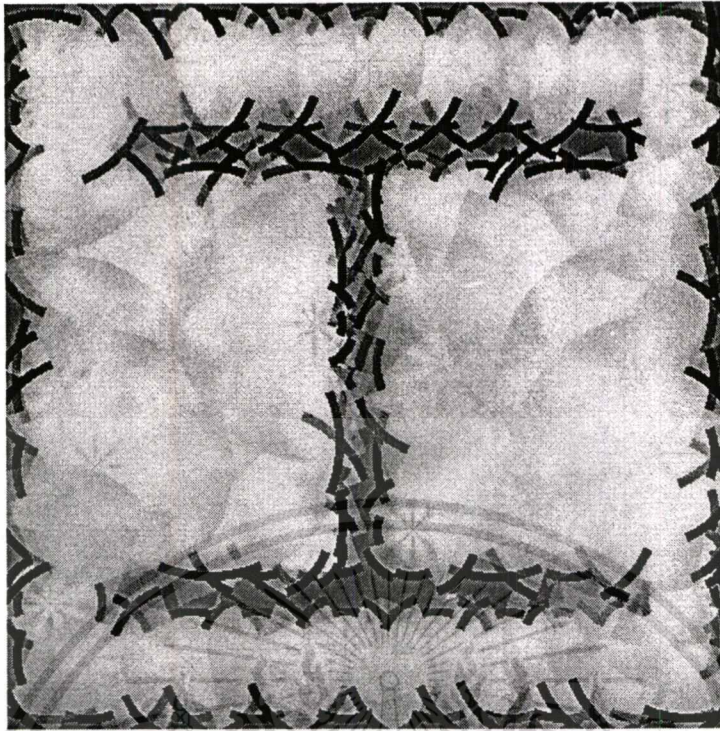
4.3 การทดลองเปรียบเทียบผลเรื่องความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัดใน สภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำ

ในการทดลองในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำนั้น ลักษณะของสิ่งกีดขวางที่มีขนาดใหญ่
และมีลักษณะทำมุมตั้งฉากกันเป็นรูปตัว I ดังภาพที่ 4.7

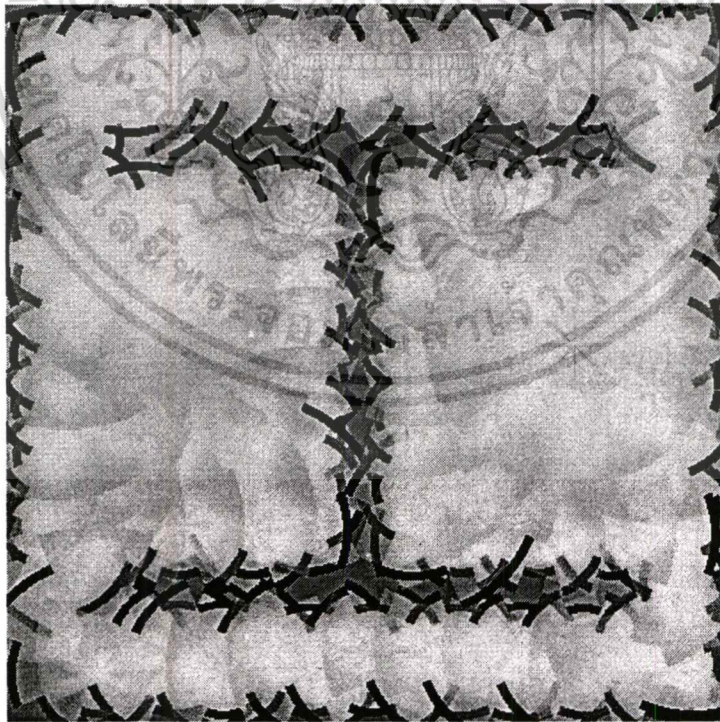


ภาพที่ 4.7 สภาพแวดล้อมจำลองที่มีความซับซ้อนต่ำ

ทำการเก็บข้อมูลจำนวนทั้งหมด 250,000 ข้อมูล ในสภาพแวดล้อมดังกล่าว โดยการจำลอง
ข้อมูลที่มีความผิดพลาด 0% เปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีความผิดพลาดสูงสุดไม่เกิน 10% ดังแสดงในภาพ
ที่ 4.8 และภาพที่ 4.9



ภาพที่ 4.8 เส้นโครงข่ายที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำความผิดพลาดจากการวัดที่ 0%



ภาพที่ 4.9 เส้นโครงข่ายที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำความผิดพลาดจากการวัดที่ 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลในทุกตำแหน่งของแผนที่ซึ่งได้จากการนำข้อมูลให้ออกมาอยู่ในรูปของตารางเมตริกซ์ เมื่อนำมาวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าความน่าจะเป็นตั้งแต่ 0 ถึง 1 สามารถแสดงได้ดังในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบลักษณะกระจายตัวของข้อมูลที่ได้จากข้อมูลนำเข้าที่ผิดพลาดที่ 0% และที่ 10 % ในการวัดที่สภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำ

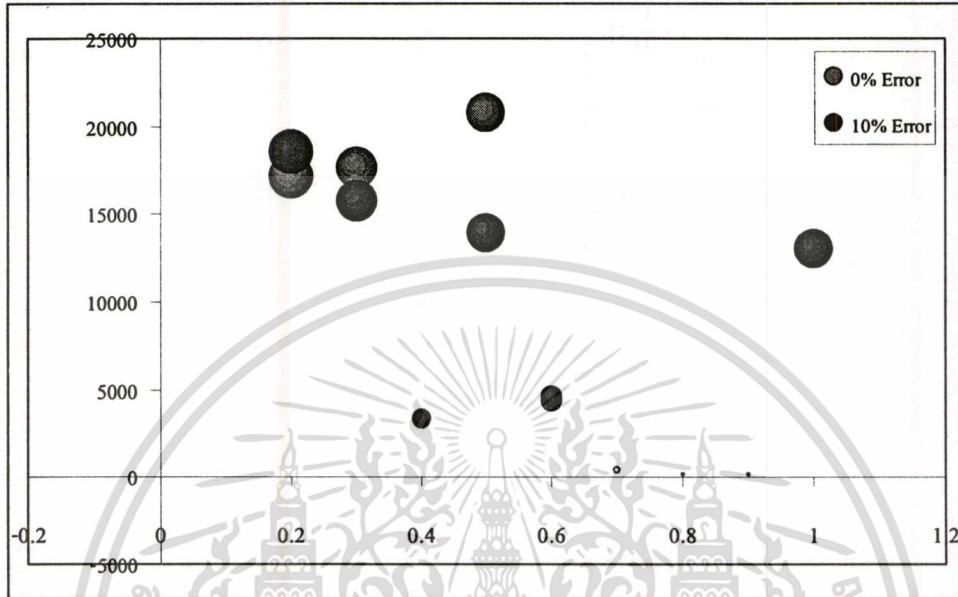
ค่าความน่าจะเป็น	จำนวนข้อมูลในการทดลองที่ 0%	จำนวนข้อมูลในการทดลองที่ 10%	จำนวนเฉลี่ย (%)
0	0	0	0
0.1	157,828	169,756	65.7
0.2	17,152	18,544	7.3
0.3	17,680	15,760	6.9
0.4	3,320	3,432	1.8
0.5	20,796	13,972	7.4
0.6	4,416	4,672	1.8
0.7	424	400	0.3
0.8	160	172	0.1
0.9	220	220	0.1
1	28,004	13,072	8.6
จาก 250,000 ข้อมูล เฉลี่ยรวม			100

4.3.1 วิเคราะห์ผลการทดลองสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำ

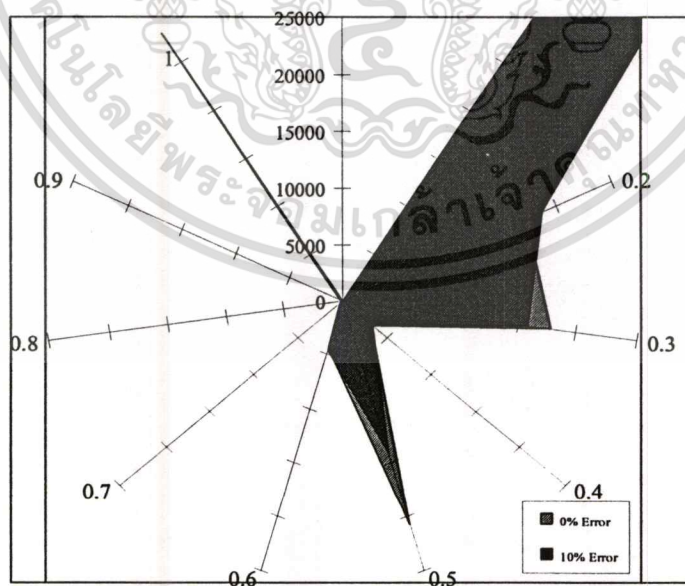
จากการวิเคราะห์โดยใช้ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่า จะเห็นได้ว่า จำนวนข้อมูลในช่วงความน่าจะเป็นที่ต่ำกว่า 0.5 ซึ่งถือเป็นพื้นที่ว่างหรือ Empty Zone มีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก ส่วนจำนวนข้อมูลในช่วงความน่าจะเป็นที่สูงกว่า 0.5 ซึ่งถือเป็นพื้นที่สิ่งกีดขวางหรือ Occupied Zone มีความแตกต่างกันน้อยมาก หรือเท่ากันเลยในค่าความน่าจะเป็นที่เข้าใกล้ 1 ซึ่งก็คือถึงแม้ข้อมูลที่ได้มา จะมีความถูกต้องที่แตกต่างกัน แต่จากการประมวลผลตามกระบวนการนี้ก็ยังสามารถหาค่าความน่าจะเป็นในบริเวณที่เป็นพื้นที่สิ่งกีดขวางหรือ Occupied Zone ได้ใกล้เคียงกัน และเมื่อเราลองวิเคราะห์ภาพรวมการกระจายตัวของข้อมูลในกราฟ ดังภาพที่ 4.10 และ 4.11 จะเห็นได้ว่าการกระจายตัวเป็นไปในทิศทางที่ใกล้เคียงกัน จึงส่งผลให้ข้อมูลเมื่อนำเสนอเป็นภาพแผนที่ที่มีความใกล้เคียงกันมาก โดยมีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนค่าเฉลี่ยในตารางช่องขาวสุคนั้นจะเห็นว่าข้อมูลส่วนใหญ่จะอยู่ที่ความน่าจะเป็นที่ 0.1 และ 1 ซึ่งให้เห็นถึงการเกาะกลุ่มของข้อมูลในพื้นที่ว่างและมีสิ่งกีดขวางอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่ากระบวนการนี้สามารถบอกถึงความแตกต่างของข้อมูลที่ต้องการ กับข้อมูลที่ถูกเพิกเฉยได้เป็นอย่างดี



ภาพที่ 4.10 เปรียบเทียบปริมาณข้อมูลแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำ แกนตั้งคือปริมาณข้อมูล ส่วนแกนนอนคือค่าความน่าจะเป็น

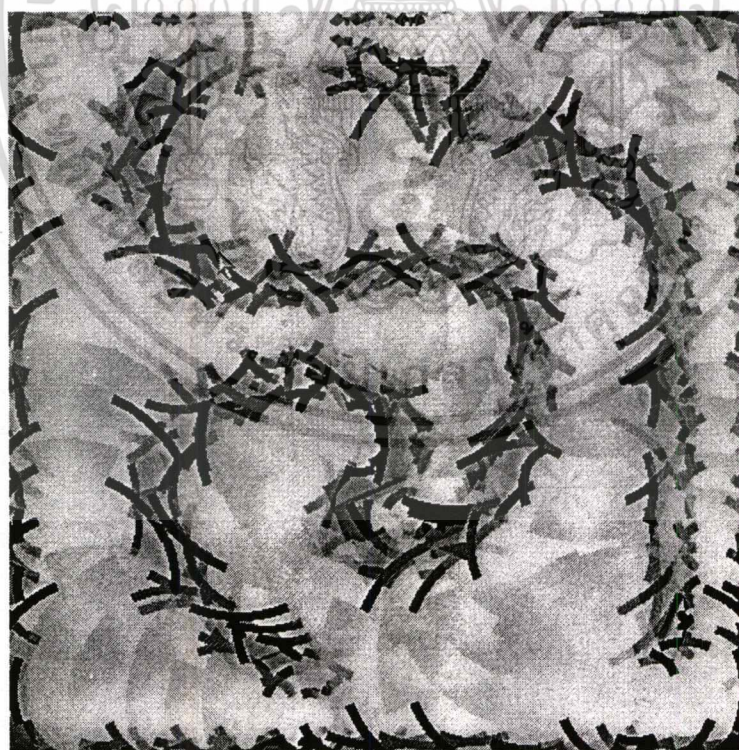


ภาพที่ 4.11 การกระจายปริมาณข้อมูลแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนต่ำ แกนแต่ละแกนแทน

ค่าความน่าจะเป็นแต่ละค่า ส่วนขีดแต่ละขีดบนแกนแทนปริมาณข้อมูลที่วัดได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 เค็มโครงแผ่นที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นปานกลางซึ่งผลิตจากการวัดที่ 0%



ภาพที่ 4.14 เค็มโครงแผ่นที่ในสภาพแวดล้อมที่ความชื้นปานกลางซึ่งผลิตจากการวัดที่ 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากข้อมูลในทุกตำแหน่งของแผนที่ซึ่งได้นำข้อมูลให้ออกมาอยู่ในรูปของตารางเมตริกซ์ เมื่อนำมาวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าความน่าจะเป็นตั้งแต่ 0 ถึง 1 ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 การเปรียบเทียบลักษณะกระจายตัวของข้อมูลที่ได้จากข้อมูลนำเข้าที่ผิดพลาดที่ 0% และที่ 10% ในการวัดที่มีสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนปานกลาง

ค่าความน่าจะเป็น	จำนวนข้อมูลในการทดลองที่ 0%	จำนวนข้อมูลในการทดลองที่ 10%	จำนวนเฉลี่ย (%)
0	0	0	0
0.1	181,312	189,976	74.3
0.2	12,744	10,672	4.7
0.3	10,300	8,880	3.8
0.4	2,196	2,020	0.8
0.5	18,184	15,016	6.6
0.6	2,648	2,768	1.1
0.7	232	268	0.1
0.8	168	132	0.1
0.9	144	164	0.1
1	22,072	20,104	8.4
จาก 250,000 ข้อมูล เฉลี่ยรวม			100

4.4.1 วิเคราะห์ผลการทดลองสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนปานกลาง

จากการวิเคราะห์โดยใช้ตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบค่า จะเห็นได้ว่าถึงแม้พื้นที่ที่จะมีความซับซ้อนมากขึ้น แต่จำนวนข้อมูลในช่วงความน่าจะเป็นที่ต่ำกว่า 0.5 ซึ่งถือเป็นพื้นที่ว่างหรือ Empty Zone มีความแตกต่างกันค่อนข้างมากเช่นเดิม ส่วนจำนวนข้อมูลในช่วงความน่าจะเป็นที่สูงกว่า 0.5 ซึ่งถือเป็นพื้นที่สิ่งกีดขวางหรือ Occupied Zone ก็ยังคงมีความแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งก็คือถึงแม้ข้อมูลที่ได้อาจมีความถูกต้องที่แตกต่างกัน และพื้นที่เก็บข้อมูลก็ซับซ้อนขึ้น แต่จากการประมวลผลตามกระบวนการนี้ ก็ยังสามารถหาค่าความน่าจะเป็นในบริเวณที่เป็นพื้นที่สิ่งกีดขวางหรือ Occupied Zone ได้ใกล้เคียงกันและเมื่อเราลองวิเคราะห์ภาพรวมการกระจายตัวของข้อมูลในกราฟดังภาพที่ 4.15 และ 4.16 จะเห็นได้ว่า การกระจายตัวเป็นไปในทิศทางที่ใกล้เคียงกัน จึงส่งผลให้ข้อมูลเมื่อนำเสนอเป็นภาพแผนที่มีความใกล้เคียงกันมาก แต่จะเห็นได้ว่าความชัดเจนในภาพเค้าโครงแผนที่ที่ได้มาจากข้อมูลซึ่งผิดพลาดจากการวัด 10% มีค่าน้อยกว่าจากภาพเค้าโครงจากข้อมูลซึ่งผิดพลาดจากการวัด 0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

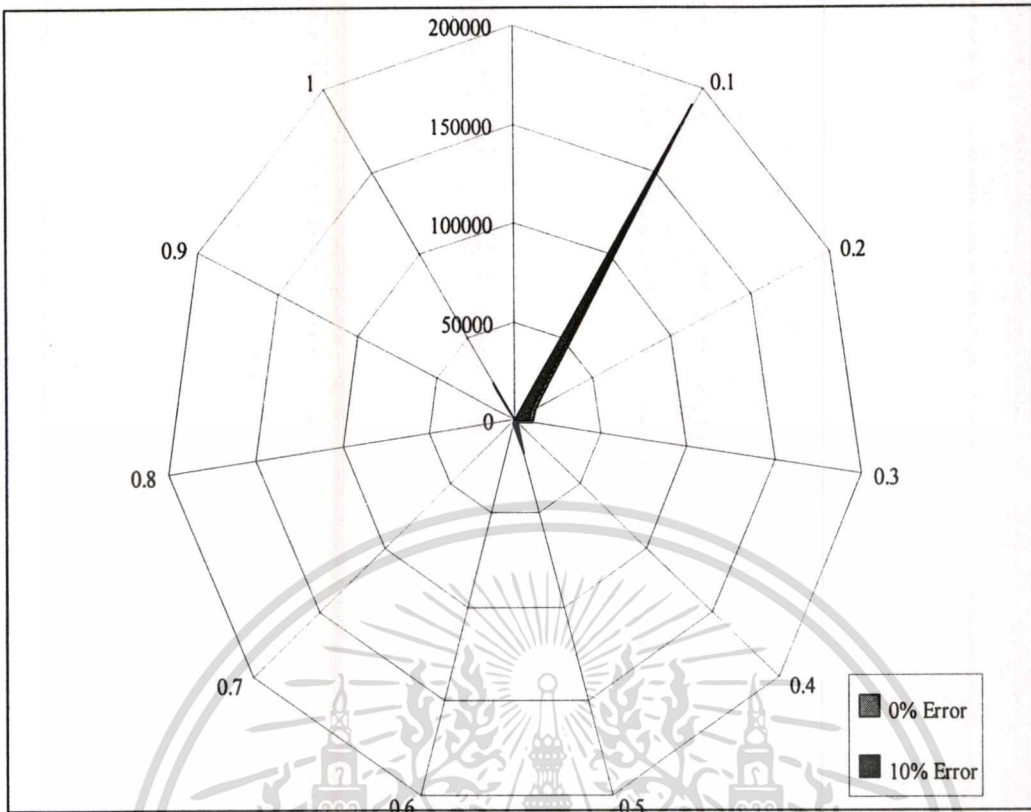
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องมาจากความซับซ้อนที่มากขึ้นของพื้นที่นั่นเอง

ส่วนค่าเฉลี่ยในตารางช่องขวาสุดนั้นจะเห็นว่าข้อมูลส่วนใหญ่จะอยู่ที่ความน่าจะเป็นที่ 0.1 และ 1 ซึ่งให้เห็นถึงการเกาะกลุ่มของข้อมูลในพื้นที่ว่างและมีสิ่งกีดขวางอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่ากระบวนการนี้ยังคงสามารถบอกถึงความแตกต่างของข้อมูลที่ต้องการ กับข้อมูลที่ถูกเพิกเฉยได้เป็นอย่างดี ถึงแม้พื้นที่จะมีความซับซ้อนมากขึ้นก็ตาม



ภาพที่ 4.15 เปรียบเทียบปริมาณข้อมูลพื้นที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนปานกลาง แกนตั้งคือปริมาณข้อมูล ส่วนแกนนอนคือค่าความน่าจะเป็น



ภาพที่ 4.16 การกระจายปริมาณข้อมูลพื้นที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนปานกลางแกนแต่ละแกนแทนค่าความน่าจะเป็นแต่ละค่า ส่วนขีดแต่ละขีดบนแกนแทนปริมาณข้อมูลที่วัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

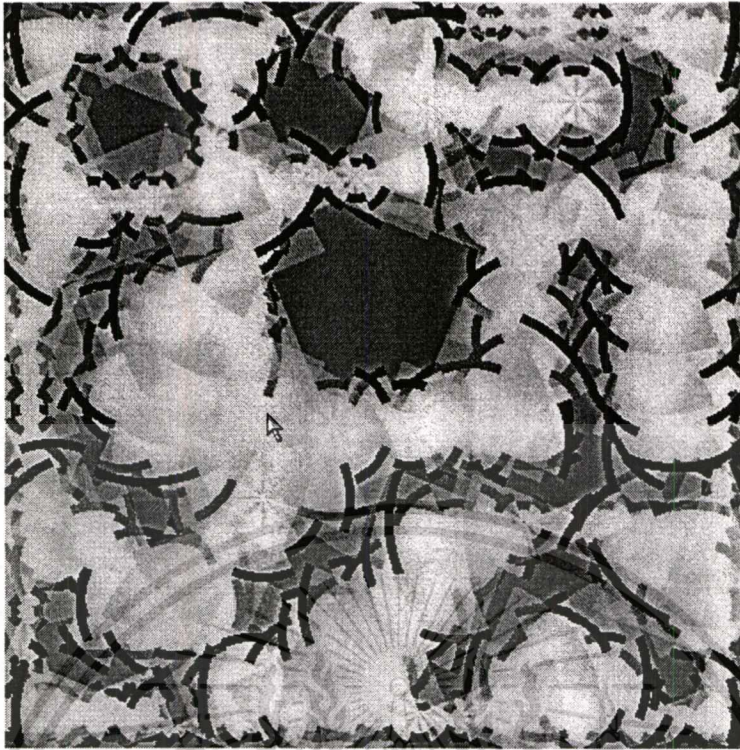
4.3 การทดลองเปรียบเทียบผลเรื่องความถูกต้องของข้อมูลที่ได้จากการวัดใน สภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูง

ในการทดลองในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูงนั้น ลักษณะของสิ่งกีดขวางเป็นสิ่งกีดขวางที่มีรูปร่างแตกต่างกันและมีขนาดที่ไม่ใหญ่ และมีการวางตัวอย่างไม่เจาะจง ดังภาพที่ 4.17



ภาพที่ 4.17 สภาพแวดล้อมจำลองที่มีความซับซ้อนสูง

จากการเก็บข้อมูลจำนวนทั้งหมด 250,000 ข้อมูล ในสภาพแวดล้อมดังกล่าว ได้ใช้การจำลองที่มีความผิดพลาดของข้อมูลที่มีความผิดพลาด 0% เปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีความผิดพลาดสูงสุดไม่เกิน 10% ดังแสดงในภาพที่ 4.18 และภาพที่ 4.19



ภาพที่ 4.18 เค้าโครงแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูงความผิดพลาดจากการวัดที่ 0%



ภาพที่ 4.13 เค้าโครงแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูงความผิดพลาดจากการวัดที่ 10%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และจากข้อมูลในทุกตำแหน่งของแผนที่ซึ่งได้นำข้อมูลให้ออกมาอยู่ในรูปของตารางเมตริกซ์ เมื่อนำมาวิเคราะห์โดยการเปรียบเทียบโดยใช้ค่าความน่าจะเป็นตั้งแต่ 0 ถึง 1 ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลที่ได้จากข้อมูลนำเข้าที่ผิดพลาดที่ 0% และที่ 10% ในการวัดที่มีสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูง

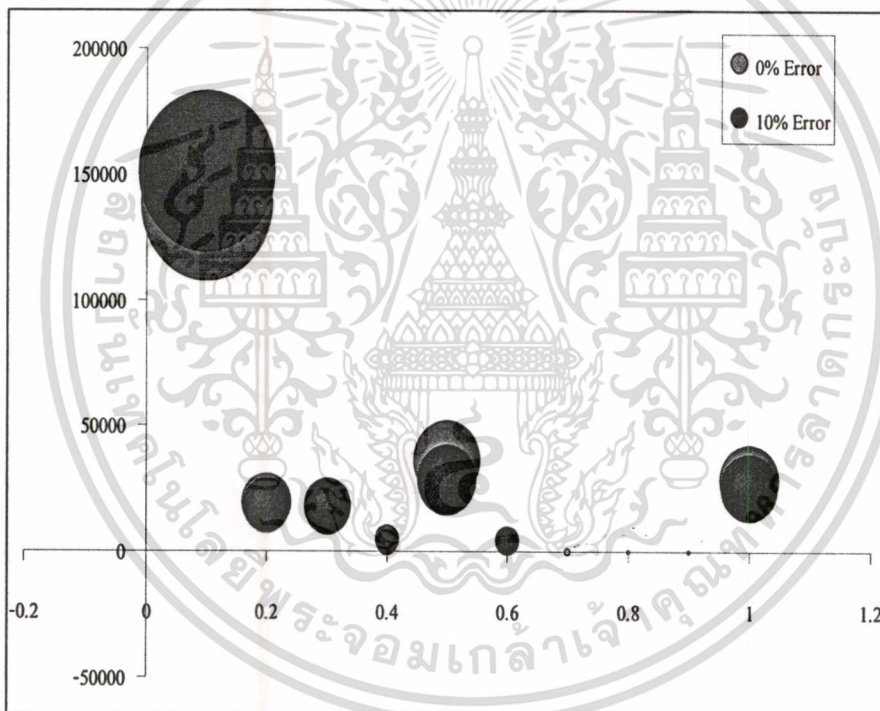
ค่าความน่าจะเป็น	จำนวนข้อมูลในการทดลองที่ 0%	จำนวนข้อมูลในการทดลองที่ 10%	จำนวนเฉลี่ย (%)
0	0	0	0
0.1	138,132	151,216	57.8
0.2	19,720	18,124	7.6
0.3	18,484	17,388	7.2
0.4	4,688	3,844	1.7
0.5	36,124	28,780	13
0.6	3,500	4,280	1.5
0.7	276	284	0.1
0.8	172	200	0.1
0.9	180	200	0.1
1	28,724	25,684	10.9
จาก 250,000 ข้อมูล เฉลี่ยรวม			100

4.5.1 วิเคราะห์ผลการทดลองสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูง

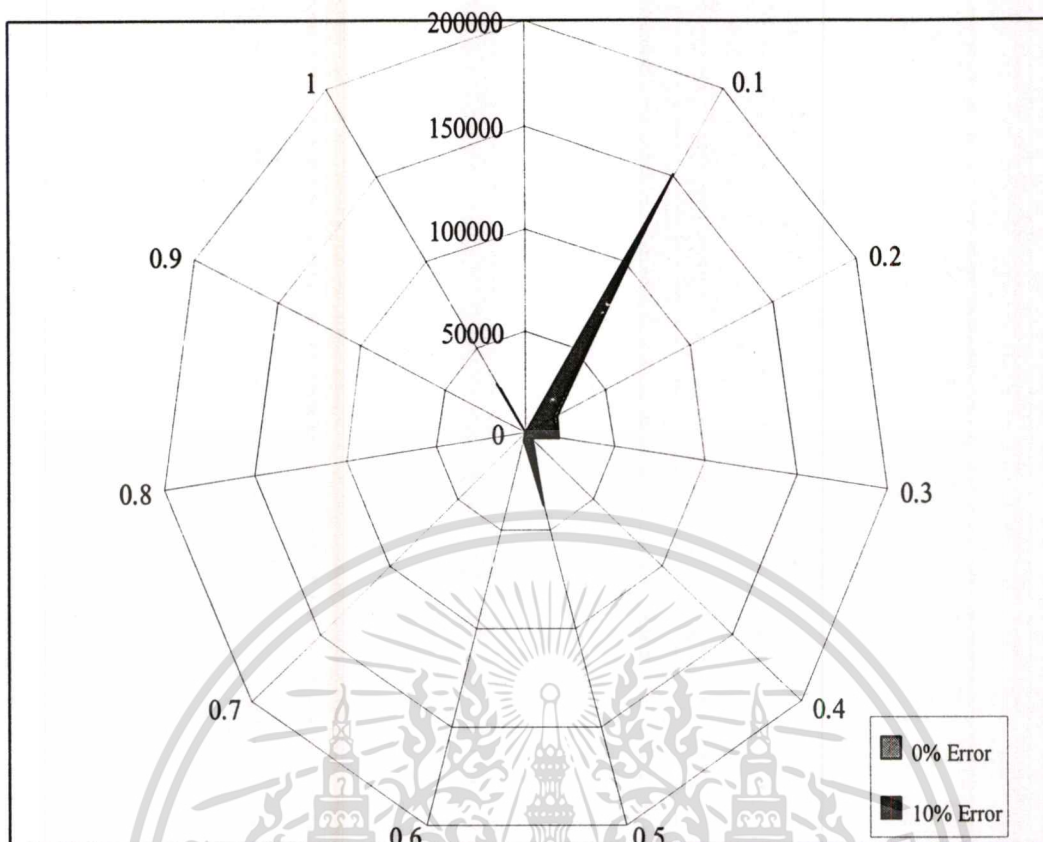
จากการวิเคราะห์โดยใช้ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบค่า จะเห็นได้ว่าถึงแม้พื้นที่ที่จะมีความซับซ้อนมากขึ้น แต่จำนวนข้อมูลในช่วงความน่าจะเป็นที่ต่ำกว่า 0.5 ซึ่งถือเป็นพื้นที่ว่างหรือ Empty Zone มีความแตกต่างกันค่อนข้างมากเช่นเดิม ส่วนจำนวนข้อมูลในช่วงความน่าจะเป็นที่สูงกว่า 0.5 ซึ่งถือเป็นพื้นที่สิ่งกีดขวางหรือ Occupied Zone ก็ยังคงมีความแตกต่างกันน้อยมาก ซึ่งก็คือถึงแม้ข้อมูลที่ได้นั้นจะมีความถูกต้องที่แตกต่างกัน และพื้นที่เก็บข้อมูลก็ซับซ้อนขึ้น แต่จากการประมวลผลตามกระบวนการนี้ ก็ยังสามารถหาค่าความน่าจะเป็นในบริเวณที่เป็นพื้นที่สิ่งกีดขวางหรือ Occupied Zone ได้ใกล้เคียงกันและเมื่อเราลองวิเคราะห์ภาพรวมการกระจายตัวของข้อมูลในกราฟดังภาพที่ 4.18 และ 4.19 จะเห็นได้ว่า การกระจายตัวเป็นไปในทิศทางที่ใกล้เคียงกัน จึงส่งผลให้ข้อมูลเมื่อนำเสนอเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นภาพแผนที่ที่มีความใกล้เคียงกันมาก แต่จะเห็นได้ว่าความชัดเจนในภาพเค้าโครงแผนที่ที่ได้มาจากข้อมูลซึ่งผิดพลาดจากการวัด 10% มีค่าน้อยกว่าจากภาพเค้าโครงจากข้อมูลซึ่งผิดพลาดจากการวัด 0% มากกว่าในสถานะที่มีความซับซ้อนต่ำและปานกลางมาก และจะเห็นได้ว่าข้อมูลส่วนใหญ่เกาะกลุ่มที่ค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0 ซึ่งก็คือพื้นที่ว่างหรือ Empty Zone มากกว่านั้นคือไม่สามารถหาค่าความน่าจะเป็นในบริเวณที่เป็นพื้นที่สิ่งกีดขวางหรือ Occupied Zone ได้ เนื่องจากความซับซ้อนที่มากขึ้นของพื้นที่นั่นเอง

ส่วนค่าเฉลี่ยในตารางช่องขวาสุดนั้นจะเห็นว่าข้อมูลส่วนใหญ่จะอยู่ที่ความน่าจะเป็นที่ 0.1 และ 1 ซึ่งให้เห็นถึงการเกาะกลุ่มของข้อมูลในพื้นที่ว่างและมีสิ่งกีดขวางอย่างชัดเจน แสดงให้เห็นว่ากระบวนการนี้ยังสามารถบอกถึงความแตกต่างของข้อมูลที่ต้องการ กับข้อมูลที่ถูกเพิกเฉยได้เป็นอย่างดี ถึงแม้พื้นที่จะมีความซับซ้อนมากขึ้นก็ตาม



ภาพที่ 4.20 เปรียบเทียบปริมาณข้อมูลแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูง
แกนตั้งคือปริมาณข้อมูล ส่วนแกนนอนคือค่าความน่าจะเป็น



ภาพที่ 4.21 การกระจายปริมาณข้อมูลแผนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีความซับซ้อนสูง แกนแต่ละแกนแทนค่าความน่าจะเป็นแต่ละค่า ส่วนขีดแต่ละขีดบนแกนแทนปริมาณข้อมูลที่วัดได้

4.4 สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองที่ผ่านมาทั้งในส่วนที่ได้ทำการทดลองให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เก็บข้อมูลจริงแล้วนำค่าที่ได้ไปประมวลผลและที่ใช้โปรแกรมจำลองทำให้เห็นถึงจุดเด่น และข้อจำกัดบางประการของระบบที่ได้ออกแบบมา โดยการวิเคราะห์จะวิเคราะห์จากผลของภาพที่ได้จากการประมวลผลจำลองการสร้างแผนที่ ความสัมพันธ์ของการให้ค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ได้จากการวัด และความซับซ้อนของสภาพแวดล้อมที่สำรวจ โดยสามารถสรุปเป็นข้อ ๆ ได้ดังนี้

4.4.1 การใช้งานหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่ใช้เป็นตัวเก็บข้อมูลพบว่าหุ่นยนต์ดังกล่าวเหมาะกับสภาพแวดล้อมปิดเชิงระนาบ (พื้นที่เรียบ) เนื่องจากหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่ทราบการเดินทางในแนวระนาบเท่านั้น แต่ในเรื่องของประสิทธิภาพในการเก็บข้อมูลถือว่าอยู่ในขอบเขตที่น่าพอใจ

4.4.2 การเก็บข้อมูลจากหุ่นยนต์เคลื่อนที่แล้วนำข้อมูลไปประมวลผล พบว่ากระบวนการทางด้านสถิติในเรื่องของความน่าจะเป็นรวมไปถึงกระบวนการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่นำมาประยุกต์ใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในงานวิจัยนี้ สามารถประมวลผลออกมาเป็นเค้าโครงพื้นที่ได้ แต่ทั้งนี้ขึ้นกับกระบวนการเก็บข้อมูลด้วยว่าต้องอาศัยการเก็บข้อมูลที่ต่อเนื่อง และจำเป็นต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลที่มากพอ แต่เวลาที่ใช้ในการประมวลผลค่อนข้างใช้เวลามากไป จำเป็นต้องพัฒนาโปรแกรมการประมวลผลให้ใช้เวลาน้อยลง และจากการที่ทดลองในสถานะที่มีความซับซ้อนต่างกันแต่ใช้เวลาเท่ากันพบว่า ถ้าพื้นที่ที่ทำการเก็บข้อมูลมีความซับซ้อนมาก ก็จำเป็นที่จะต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลที่มากขึ้นเพื่อให้ครอบคลุมทั่วพื้นที่ที่ได้ทำการเก็บข้อมูล

4.4.3 การทดลองที่ใช้โปรแกรมจำลองจำลองการทำงานของโปรแกรมที่มีค่าข้อมูลคลาดเคลื่อนพบว่า ถึงแม้ว่าค่าที่ได้จากการวัดจะเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้น แต่จากการทดลองจะเห็นได้ว่ายังสามารถแสดงผลเค้าโครงของพื้นที่ออกมาได้ แสดงว่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการวัดด้วยเซ็นเซอร์จะมีผลต่อระบบน้อยลงเมื่อมีการสำรวจอย่างครอบคลุม และเมื่อดูการกระจายตัวของข้อมูลเปรียบเทียบกันพบว่ามีแนวโน้มเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ส่วนในเรื่องของความซับซ้อนก็เช่นเดียวกันกับการทดลองที่ใช้หุ่นเก็บข้อมูลจริงก็คือถ้าพื้นที่ที่ทำการเก็บข้อมูลมีความซับซ้อนมาก ก็จำเป็นที่จะต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลที่มากขึ้นเพื่อให้ครอบคลุมทั่วพื้นที่ ภาพเค้าโครงแผนที่ที่ได้จะลดความละเอียดลง เมื่อมีความซับซ้อนของรูปร่าง และขนาดของสิ่งกีดขวาง โดยหากสิ่งกีดขวางมีความซับซ้อนในเรื่องของรูปร่างมาก เช่นมีรูปร่างที่ไม่เป็นทรงเรขาคณิตปกติ จะทำให้ภาพที่ได้เป็นเพียงกลุ่มของสิ่งกีดขวางเท่านั้น ส่วนขนาดจะมีผลโดยตรงคือยิ่งสิ่งกีดขวางมีขนาดเล็ก ระบบอาจจะไม่ทราบถึงตำแหน่งของสิ่งกีดขวาง โดยการแก้ไขสามารถทำได้โดยลดระยะที่เซ็นเซอร์จะวัดได้ลดลงให้มีพื้นที่ที่สามารถจะเนค่าได้มีพื้นที่แคบลง ให้เหมาะสมกับสิ่งกีดขวางที่มีขนาดเล็กลง

ดังนั้นการปรับแต่งค่าเพื่อความเหมาะสมกับพื้นที่ที่จะทำการสำรวจ นับเป็นสิ่งที่ส่งผลกระทบต่อข้อมูลเอาท์พุทที่ได้โดยตรง โดยการปรับแต่งค่าให้มีความละเอียดจะส่งผลในเรื่องของเวลาในการเก็บข้อมูลซึ่งจะใช้เวลาานมากขึ้น และต้องสำรวจในตำแหน่งที่ละเอียดขึ้น ซึ่งจะส่งผลทำให้ประสิทธิภาพในเรื่องของเวลาในการทำงานลดลงตามไปด้วย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทนี้สรุปผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอโดยใช้กระบวนการทางสถิติว่ามีประสิทธิภาพในการช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูลได้หรือไม่ อย่างไร ตลอดจนได้เสนอแนะให้กับผู้ที่สนใจเพื่อจะได้ทำการศึกษาและพัฒนาต่อไป

5.1 บทสรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอกระบวนการวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อช่วยเพิ่มค่าความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการวัดด้วยอุปกรณ์ที่มีความน่าเชื่อถือในเรื่องของความแม่นยำในการวัดตัวอย่างอัลตราโซนิคเซนเซอร์ เพื่อนำค่าที่ได้ไปแสดงผลในเชิงภาพเป็นเค้าโครงพื้นที่หรือแผนที่ที่ได้จากการเก็บข้อมูล ดังได้เห็นจากการทดลองจริง และผลการจำลองในโปรแกรมจำลองผลในบทที่ 4 นั้น จะเห็นได้ว่ากระบวนการทางสถิติในเรื่องความน่าจะเป็นรวมไปถึงกระบวนการวิเคราะห์เชิงปริมาณที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้จะทำให้ไม่ต้องคำนึงถึงระดับความถูกต้องอย่างละเอียดของข้อมูลที่ได้รับมากนักเพราะเนื่องจากกระบวนการดังกล่าวจะนำค่าที่ได้ไปคำนวณให้อยู่ในรูปของความน่าจะเป็น ซึ่งหมายถึงมีความคลาดเคลื่อนของข้อมูลเจือปนอยู่ แต่ท้ายที่สุดแล้วจากการเก็บค่าอย่างต่อเนื่องและหลักการวิเคราะห์เชิงปริมาณจะทำให้ได้ค่าที่มีความน่าจะเป็นใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด เป็นการช่วยขยายขอบเขตความสามารถของอุปกรณ์นำไปสู่การลดค่าใช้จ่ายในการสร้างหุ่นยนต์เพื่อใช้สำหรับการศึกษาและพัฒนาต่อไป ดังสามารถสรุปได้ตามจุดความมุ่งหมายในเชิงวัตถุประสงค์ซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 1 ได้ดังนี้

5.1.1 หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยล้อ พร้อมด้วยเซนเซอร์อัลตราโซนิควัดระยะทาง เพื่อเป็นเครื่องมือในการเก็บข้อมูล ที่สร้างขึ้นสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ได้เป็นอย่างดี และให้ค่าในการนำไปคำนวณที่ถูกต้อง ทั้งนี้จำเป็นต้องอาศัยการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่องและจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องควบคุมค่าความคลาดเคลื่อนที่จะเกิดจากการเคลื่อนที่ให้มีค่าน้อยที่สุด

5.1.2 กระบวนการทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มาจากหุ่นยนต์เคลื่อนที่ สามารถนำมาประมวลผลให้อยู่ในรูปแบบของค่าความน่าจะเป็นในจุดภาพที่สังเกตได้ โดยมีลักษณะการกระจายค่าความน่าเชื่อถือ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ตามคุณสมบัติที่เป็นจริงของอุปกรณ์ และเมื่อทำการเก็บข้อมูลอย่างต่อเนื่อง จากนั้นนำค่าที่ได้มาประมวลผลตามกระบวนการดังกล่าว ทำให้สามารถแทนค่าที่มีความน่าจะเป็นใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด ในจุดภาพจากการสังเกตตลอดทั้งพื้นที่ได้

5.1.3 ข้อมูลความน่าจะเป็นในแต่ละจุดจนกว่าค่าสุดท้ายที่ได้มาจากการประมวลผลตามกระบวนการนี้สามารถนำมาสร้างภาพจำลองแผนที่ จากสภาพแวดล้อมที่สังเกตได้ใกล้เคียงความเป็นจริงมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเวลาในการเก็บข้อมูลด้วยเช่นกัน

5.1.4 กระบวนการการนำเสนอข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้สามารถบอกถึงความแตกต่างของข้อมูลที่ต้องการกับข้อมูลที่ถูกเพิกเฉยได้เป็นอย่างดี ทำให้สามารถนำค่าที่ได้มานำเสนอในเชิงภาพหรือกล่าวได้อีกอย่างว่าเป็นเค้าโครงของพื้นที่ที่สังเกตหรือเค้าโครงของแผนที่ที่เก็บข้อมูลได้

5.1.5 ในเรื่องของการทดสอบประสิทธิภาพของความแม่นยำในการวัดกับความถูกต้องของภาพเค้าโครงสุดท้ายที่ได้พบว่า ถ้าค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเซนเซอร์เกิดในลักษณะที่เป็นแบบเชิงเส้นจะไม่มีผลกระทบต่อภาพเค้าโครงที่ได้ ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับเวลาในการเก็บข้อมูลด้วย ถ้าใช้เวลาในการเก็บข้อมูลมากพอ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากเซนเซอร์ดังกล่าวก็แทบไม่มีผลใด ๆ กับกระบวนการนี้ ซึ่งวิธีที่น่าเสนอนี้มีข้อจำกัดหากค่าความคลาดเคลื่อนมีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น (non-linear)

5.1.6 ในเรื่องของสภาพแวดล้อมก็เป็นอีกปัจจัยที่สำคัญที่ต้องคำนึงถึง เนื่องจากผลการทดลองพบว่า ถ้าสภาวะแวดล้อมมีความซับซ้อนมากขึ้นจึงจำเป็นที่จะต้องใช้เวลาในการเก็บข้อมูลมากขึ้นตามไปด้วย หรือบางครั้งอาจจะต้องทำการปรับแต่งค่าเซ็นเซอร์ให้เหมาะสมก่อนที่จะทำการเก็บข้อมูล ทั้งนี้เพื่อให้ได้ภาพเค้าโครงที่มีความถูกต้องและชัดเจนมากขึ้นนั่นเอง

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากข้อจำกัดที่ได้กล่าวไว้ในผลการทดลองจึงขอเสนอแนะสำหรับการพัฒนางานวิจัยดังนี้

5.2.1 ควรพัฒนาส่วนกลไกของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่สามารถใช้บนสภาพพื้นผิวที่ขรุขระได้

5.2.2 ควรพัฒนากระบวนการประมวลผลให้มีความเร็วในการประมวลผลที่สูงมากขึ้น เนื่องจากวิธีการเดิมนั้นจะคำนวณค่าในทุกจุด ซึ่งยังมีพื้นที่ในการทดลองมากขึ้น เวลาที่จะใช้ในการคำนวณยิ่งสูงขึ้นตามไปด้วย

5.2.3 การแสดงผลสามารถนำค่าที่แสดงผลได้ไปปรับปรุงให้เป็นค่าเชิงมุมได้ เนื่องจากภาพแผนที่ที่แสดงออกมาเป็นลักษณะเชิงภาพ (Raster) ในการนำค่าดังกล่าวไปใช้งานเชิงสำรวจอาจไม่สะดวกมากนัก จึงแนะนำให้สามารถนำค่าข้อมูลดังกล่าวสามารถแสดงผลในลักษณะเชิงมุม (Vector) ได้

เนื่องจากจุดมุ่งหมายของการวิจัยนี้เพื่อการนำอุปกรณ์ หรือกระบวนการที่มีความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ไม่สูงนักมาปรับปรุงด้วยกระบวนการที่เป็นไปโดยลำดับขั้นต่อเนื่องกัน ไปเป็นลูกโซ่หรือกระบวนการมาร์คอฟ ซึ่งนำมาใช้เป็นกระบวนการหลักในการทดลองกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ซึ่งเป็นการขยายขอบเขตขององค์ความรู้ที่มีอยู่ ซึ่งเดิมอาจจะถูกใช้อยู่ในเพียงวงการสถิติหรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เศรษฐศาสตร์เท่านั้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเป็นตัวอย่างหนึ่งของการประยุกต์องค์ความรู้
เชิงสหวิทยาการ โดยการกำหนดเครื่องมือในการวิจัยเป็นหุ่นยนต์เคลื่อนที่ซึ่งสร้างจากวัสดุที่หา
ได้ทั่วไป ให้มีประสิทธิภาพการทำงานที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้นด้วยวิธีการทางสถิติขั้นสูง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] A.I. Eliazar, and R. Parr, **Learning Probabilistic Motion Models for Mobile Robots**, Darham USA : Department of Computer Science, Duke University 1991.
- [2] J.J. Leonard and H.F. Durrant-Whyte, **Directed Sonar Sensing for Mobile Robot Navigation**, Boston, MA : Kluwer Academic. 1992.
- [3] R. Grabowski, and P. Khosla, "Localization Technique for a Team of Small Robots." **Technical Report CMU**, Pittsburgh, USA : Department of Electrical and Computer Engineering, 1994.
- [4] D. Fox, W. Burgard ,and S. Thrun, "Active markov localization for mobile robots." **Robotic and Autonomous Systems**, 1998. pp. 195-207.
- [5] S. Thrun "Probabilistic Algorithms in Robotics," **Technical Report CMU-CS-00-126**, Pittsburgh, USA : School of Computer Science, Carnegie Mellon University, 2000.
- [6] R. Grabowski, P. Khosla and H. Choset, "An Enhanced Occupancy Map for Exploration via pose Separation." **Technical Report CMU**, Pittsburgh, USA : School of Computer Science, Carnegie Mellon University, 1998.
- [7] S. Borenstein, J. Everett, and L. Feng, **Navigating Mobile Robots: Sensors and Techniques** Wellesley, MA : A.K. Peters, Ltd. 1996.
- [8] D. Lee, W. Chung, and M. Kim, **Probabilistic Localization of the Service Robot by Map Matching Algorithm**, ICCAS : 2002.
- [9] H.R. Everett, **Understanding Ultrasonic Ranging Sensors. The Robotics Practical methods of optimization**, New York NJ : J. Wiley & Sons, 1995.
- [10] I. A. Getting, "The Global Positioning System." **IEEE Spectrum**, Dec. 1993. pp. 36-47.
- [11] J. Borenstein and Y. Koren, "The vector field histogram fast obstacle avoidance for mobile robots." **IEEE Lournal of Robotics and Automation**, Vol.7, No.3, June. 1991. pp. 278-288.
- [12] J. Matas, C. Galambos and J. Kittler. **Probabalistic Hough Transform**, Center For Machine Perception Czech : Technicak University. 1998.
- [13] K.L. Chung, **Markov chains with stationary transition probabilities**. Springer Publisher, Berlin, 1960.
- [14] J.F. Leonard and H.F. Durrant-Whyte, "Mobile Robot Localization by Tracking Geometric Beacons." **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, Vol.7, No.3, 1993, pp. 376-382.

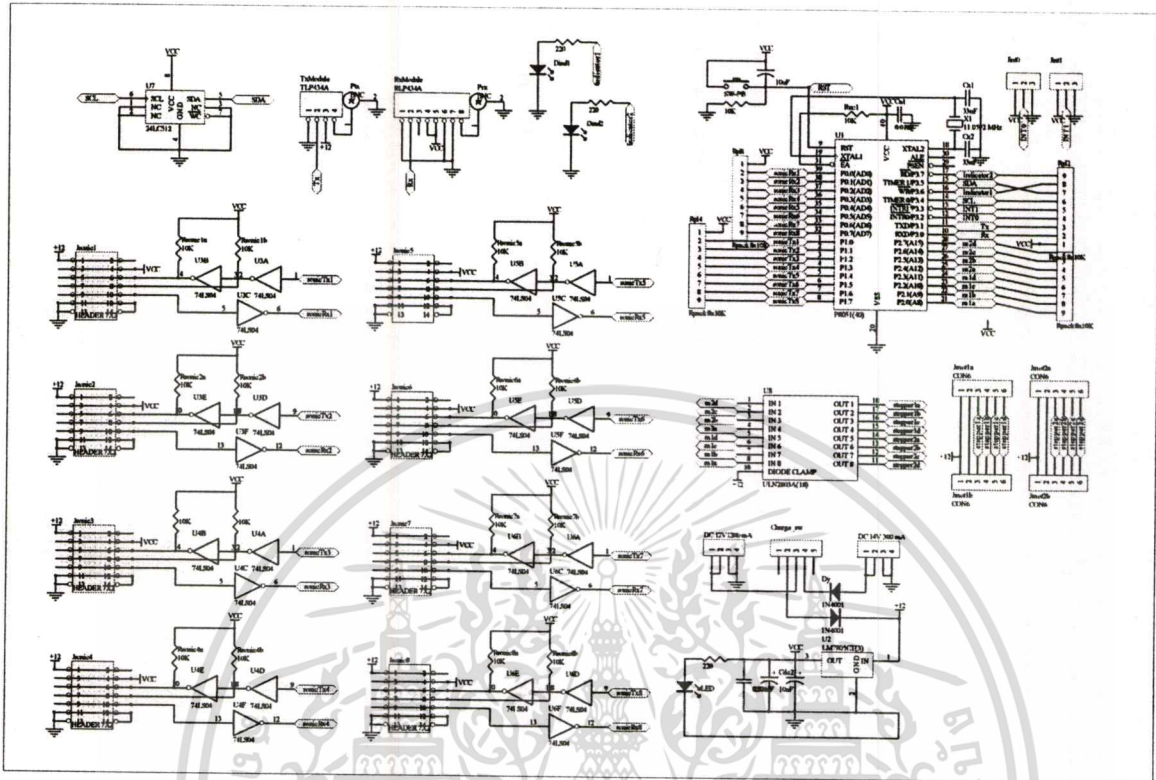
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] D. Marioli, C. Narduzzi, C. Offelli, D. Petri, E. Sardini and A. Taroni “Digital Time-of-flight Measurement for Ultrasonic Sensors.” **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**, Vol.41, No.1, Feb. 1992, pp. 93-97.
- [16] E.R. Stuck, A. Manz, D.A. Green and S. Elgazzar, “Map Updating and Path Planning for Real-Time Mobile Robot Navigation.” **1994 International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS '94), Munich, Germany.** Sept. 1994, pp. 753-760.
- [17] H.W. When and P.R. Belanger, “Ultrasound-Based Robot Position Estimation.” **IEEE Transactions on Robotics and Automation**, Vol.13, No.5, Oct. 1997, pp. 682-692.
- [18] W. Burgard, D. Fox, D. Hennig and T. Schmidt, “Position tracking with position probability grids.” **In Proceedings of the Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence**, Menlo Park, Aug, 1996.
- [19] “Bayes 2001:Introduction.” [Online]. Available : <http://www.stat.ucla.edu/~yuille/alan5.htm>, 2001.
- [20] ศัพท์คณิตศาสตร์ ฉบับราชบัณฑิตยสถาน. พ.ศ. 2540. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ : ราชบัณฑิตยสถาน.
- [21] พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2539. กรุงเทพฯ : อักษรเจริญทัศน์. 2539.
- [22] T. Hellstrom, “11 Localizing and map making” [Online], Available : <http://www.cs.umu.se/kurser/TDBD17/VT04/dl/ch11a.pdf> 2004.
- [23] K. Vastola, “Bayes Formula.” [Online]. Available : <http://networks.ecse.rpi.edu/~vastola/pslinks/perf/node8.html> 1996.

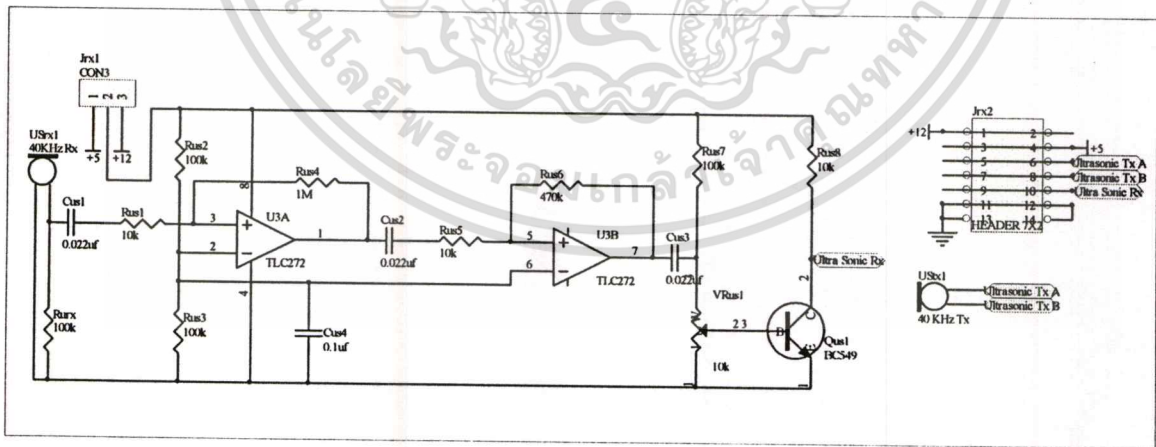


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรการทำงานของอุปกรณ์

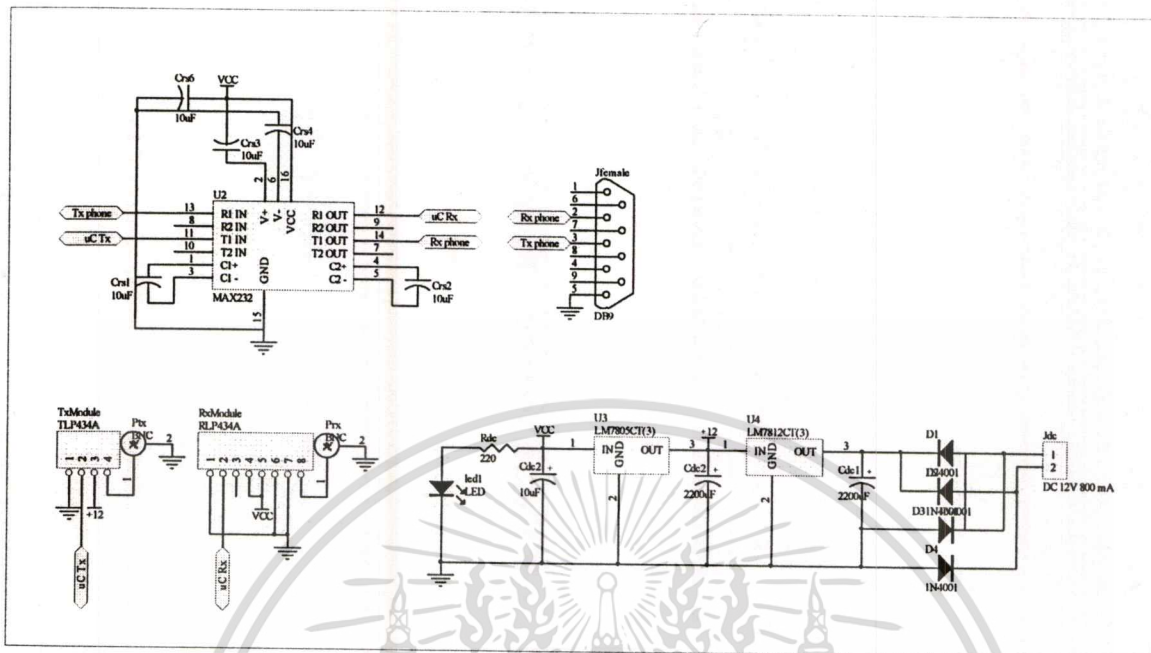


ภาพที่ ก. 1 วงจรการทำงานส่วนควบคุมหลัก



ภาพที่ ก. 2 วงจรการทำงานส่วนเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ก.3 วงจรการทำงานส่วนภาคการสื่อสาร

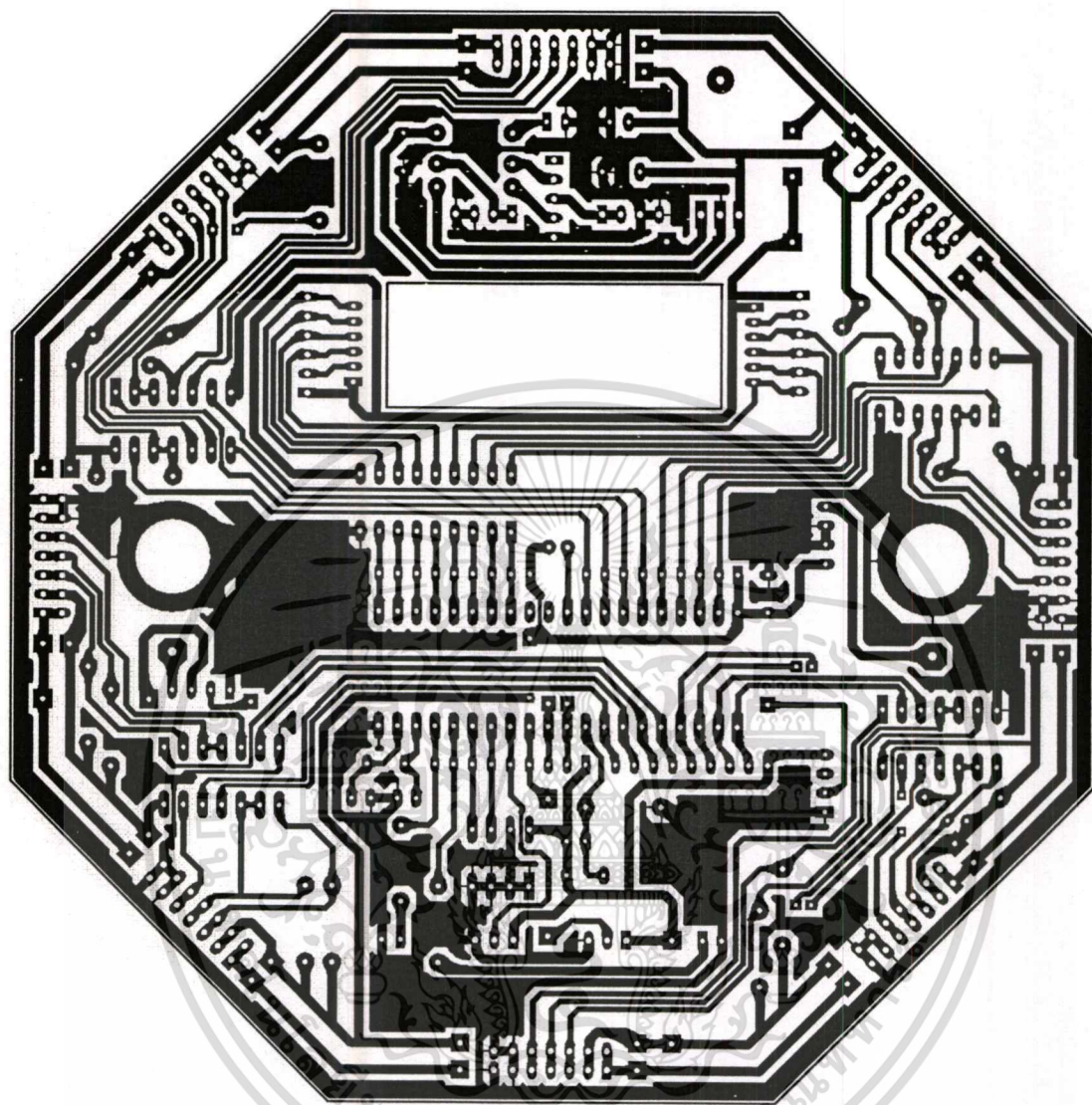
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.

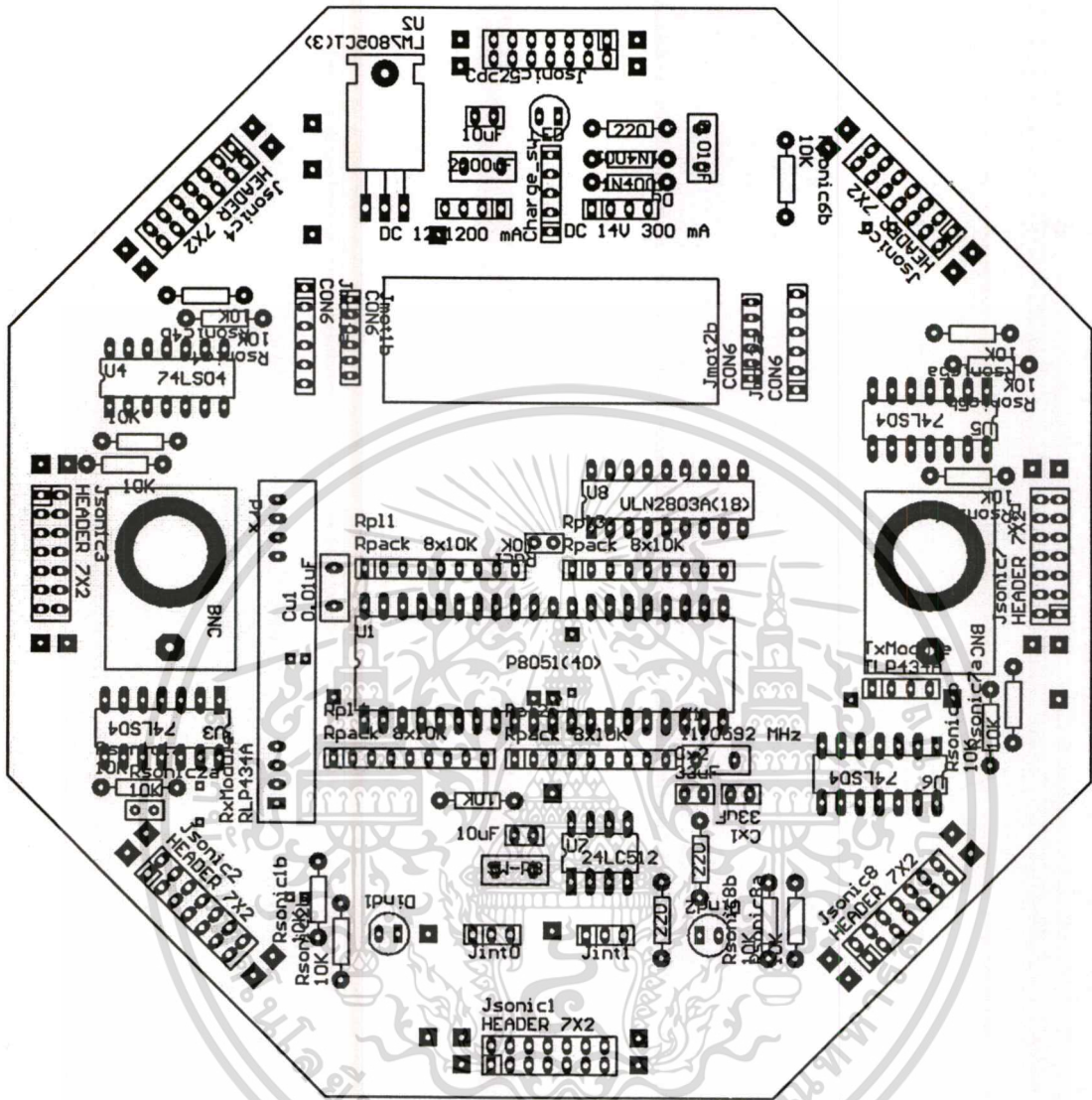
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลายวงจรพิมพ์และการจัดวางอุปกรณ์



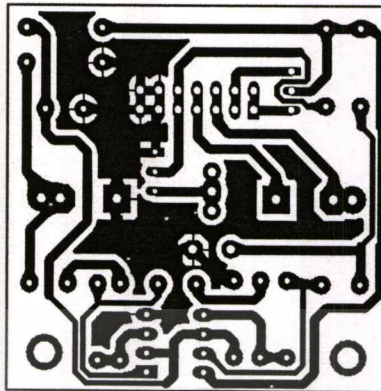
ภาพที่ ข. 1 ลายวงจรพิมพ์ส่วนควบคุมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

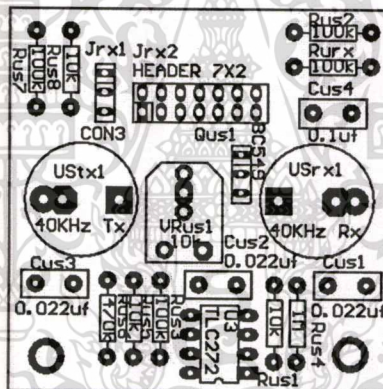


ภาพที่ ข.2 การวางอุปกรณ์ส่วนควบคุมหลัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

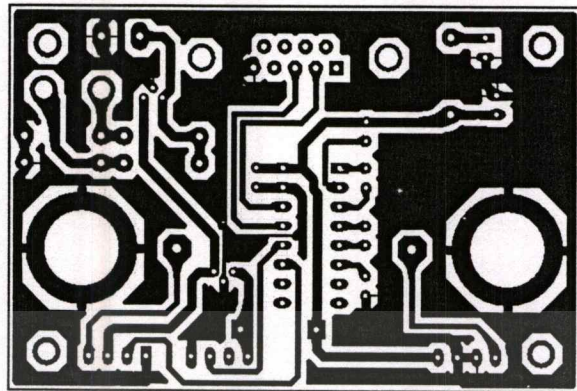


ภาพที่ ข. 3 ลายวงจรพิมพ์ส่วนเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก

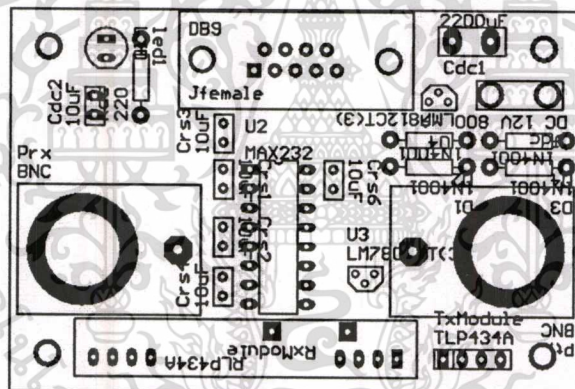


ภาพที่ ข. 4 การวางอุปกรณ์ส่วนเซ็นเซอร์อัลตราโซนิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ ข.5 ถายวงจรพิมพ์ส่วนภาคการสื่อสาร



ภาพที่ ข.6 การวางอุปกรณ์ส่วนภาคการสื่อสาร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ค.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ค.1 รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์ของพอร์ตอนุกรมหรือ SBUF (Serial data buffer register)

มีแอดเดรสอยู่ที่ 99H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ฟังก์ชันพิเศษหรือ SFR มีขนาด 8 บิต แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ รีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล (transmit buffer register) และรับข้อมูล (receive buffer register) เมื่อมีการเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลนั้นจะถูกส่งต่อไปยังบัฟเฟอร์สำหรับส่งข้อมูล เพื่อส่งออกจากไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา TxD หรือขา P3.1 ในกรณีที่มีการอ่านข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF ข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยังรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับรับข้อมูลเพื่อส่งต่อไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป สำหรับการรับข้อมูลอนุกรมจากภายนอกนั้นจะผ่านมาทางขา RxD หรือ P3.0 ของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบเฟลช

ค.2 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม SCON (Serial port Control Register)

เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต มีแอดเดรสอยู่ที่ 98H ในพื้นที่ของรีจิสเตอร์ SFR สามารถเข้าถึงได้ในระดับบิต มีรายละเอียดการทำงานดังภาพที่ ก.1

บิต 7	บิต 6	บิต 5	บิต 4	บิต 3	บิต 2	บิต 1	บิต 0
SM0	SM1	SM2	REN	TB8	RB8	TI	RI

ภาพที่ ก.1 รีจิสเตอร์ควบคุมการทำงานของพอร์ตอนุกรม SCON

โดยรีจิสเตอร์ในแต่ละบิตมีการทำงานดังนี้

SM0-SM1 (Serial Port mode bit 0-1) : ใช้ในการเลือกโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

SM2 : ใช้ในการเอ็นเอเบิลการสื่อสารในแบบมัลติโปรเซสเซอร์ (multiprocessor) ในการทำงานของโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ถ้าบิตนี้เป็น “1” บิต RI จะไม่แอกติฟถ้าบิตที่ 9 ที่รับเข้ามาเป็น “0” (ข้อมูลบิตที่ 9 เก็บไว้ที่บิต RB8) ในการทำงานโหมด 1 ถ้าบิตนี้เซต บิต RI จะไม่แอกติฟถ้ายังไม่ได้รับบิตหยุด ส่วนในโหมด 0 บิตนี้ไม่มีการใช้งาน

REN (Enable serial reception) : ใช้ในการเอ็นเอเบิลการรับข้อมูลของพอร์ตอนุกรม ทำการเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์ ถ้าต้องการให้มีการรับส่งข้อมูลต้องเซตบิตนี้ให้เป็น “1”

TB8 : ใช้สำหรับเก็บข้อมูลบิตที่ 9 ที่ต้องการส่งออกไปในการทำงานโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

RB8 : ใช้สำหรับรับบิตข้อมูลบิตที่ 9 ที่เข้ามาในการทำงานโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แต่ถ้าหากพอร์ตอนุกรมทำงานอยู่ในโหมด 1 และบิต SM2 เป็น “0” ข้อมูลที่บิต RB8 คือข้อมูลของบิตหยุด (STOP bit) สำหรับในการทำงานโหมด 0 บิตนี้จะไม่ใช้งาน บิต RB8 นี้สามารถเซตและเคลียร์ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์

TI (Transmit Interrupt flag) : ใช้ในการแสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการส่งข้อมูลออกจากพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อทำการส่งข้อมูลบิตที่ 8 ไปเรียบร้อยแล้วในการทำงานในโหมด 0 ส่วนในการทำงานโหมดอื่น บิตนี้จะเซตเมื่อมีการส่งบิตหยุดออกไป การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

RI (Receive Interrupt flag) : ใช้แสดงการเกิดอินเตอร์รัปต์เมื่อมีการรับข้อมูลเข้าสู่พอร์ตอนุกรม สามารถเซตได้ด้วยกระบวนการทางฮาร์ดแวร์ เมื่อทำการรับข้อมูลบิตที่ 8 เรียบร้อยแล้วในการทำงานโหมด 0 ส่วนในการทำงานโหมดอื่น บิตนี้จะเซตเมื่อมีสามารถรับบิตหยุดของข้อมูลอนุกรมไปได้ครึ่งทางแล้ว ยกเว้นในกรณีที่บิต SM2 มีการเซต บิตนี้จะเซตได้ก็ต่อเมื่อการรับบิตหยุดหรือบิตที่ 9 เกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์แล้ว การเคลียร์บิตนี้ต้องใช้กระบวนการทางซอฟต์แวร์เท่านั้น

โหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมใน MCS-51

พอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถเลือกการทำงานได้ถึง 4 โหมดคือ

1. โหมด 0 เป็นการกำหนดให้พอร์ตอนุกรมทำงานในลักษณะชิพตรีจิสเตอร์
2. โหมด 1 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 8 บิต สามารถเลือกอัตราบอดได้
3. โหมด 2 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต โดยมีอัตราบอดคงที่
4. โหมด 3 เป็นการกำหนดให้เป็น UART ขนาด 9 บิต สามารถเลือกอัตราบอดได้

โดยการเลือกการทำงานในโหมดต่าง ๆ สามารถทำได้ด้วยการกำหนดข้อมูลให้แก่บิต SMO และ SM1 ในรีจิสเตอร์ SCON

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานในโหมด 0 ของวงจรถอดอนุกรม

ข้อมูลอนุกรมจะผ่านเข้าและออกทางขา RxD ส่วนขา TxD ทำหน้าที่เป็นสัญญาณนาฬิกาของการเลื่อนข้อมูล (shift clock) ในโหมดนี้มีจำนวนข้อมูล 8 บิต โดยทำการรับและส่งข้อมูลในบิต LSB ก่อน อัตราในการรับส่งข้อมูลหรืออัตราบอดถูกกำหนดไว้คงที่ที่ $1/12$ ของความถี่สัญญาณนาฬิกา เริ่มต้นการส่งข้อมูลด้วยการเขียนข้อมูลที่ต้องการส่งมายังรีจิสเตอร์ SBUF สัญญาณเขียนข้อมูล SBUF แยกตีฟเป็น "1" ที่สเตต 6 เฟส 2 (S6P2) ของแมชชีนไซเคิล ส่งมายังวงจรถควบคุมการส่ง (TX control) ทำให่วงจรถควบคุมเริ่มต้นส่งข้อมูล สัญญาณ SEND จะแยกตีฟเป็น "1" ตลอดการส่งข้อมูล

ข้อมูลจากรีจิสเตอร์ SBUF จะถูกเลื่อนออกที่ขา P3.0 หรือขา RxD ครั้งละบิต ตามจังหวะของสัญญาณนาฬิกาที่ส่งออกมาทางขา P3.1 หรือ TxD โดยสัญญาณนาฬิกาของการเลื่อนข้อมูลจะมีขอบขาลงของสัญญาณที่สเตต 3 เฟส และมีขอบขาขึ้นของสัญญาณที่สเตต 6 เฟส 1 ของแต่ละแมชชีนไซเคิลในกระบวนการส่งข้อมูล จนกระทั่งเมื่อส่งข้อมูลครบ 8 บิตแล้ว บิต TI ในรีจิสเตอร์ SCON จะเกิดการเซตเป็นการแจ้งให้ทราบว่าส่งข้อมูลครบแล้ว หากการอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรมได้รับการเอ็นเอเบิลไว้ก็จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นในระบบ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการรับข้อมูล สัญญาณ SEND จะกลายเป็น "0" จนกว่าจะเริ่มต้นกระบวนการรับข้อมูลใหม่

ในกระบวนการรับข้อมูลเริ่มต้นด้วยการเซต REN ให้เป็น "1" และเคลียร์บิต RI ในรีจิสเตอร์ SCON ก่อนที่สเตต 6 เฟส 2 ของแมชชีนไซเคิลถัดไป วงจรถควบคุมการรับ (Rx control) จะทำการเขียนข้อมูล 11111110 ไปยังชิฟต์รีจิสเตอร์สำหรับรับข้อมูลและทำการแยกตีฟสัญญาณ RECEIVE ให้เป็น "1" ในสัญญาณนาฬิกาถูกถัดไป

เมื่อสัญญาณ RECEIVE แยกตีฟ ก็จะเกิดการส่งสัญญาณนาฬิกาของการเลื่อนข้อมูล (Shift clock) ขึ้นผ่านทางขา P3.1 หรือ TxD เพื่อทำการกำหนดจังหวะการรับส่งข้อมูลครั้งละบิต โดยสัญญาณนาฬิกานี้จะเกิดขึ้นในช่วงสเตต 3 เฟส 1 ถึงสเตต 6 เฟส 1 ของแต่ละแมชชีนไซเคิล การรับข้อมูลเข้ามาทางขา P3.0 หรือ RxD จะเกิดขึ้นที่สเตต 5 เฟส 2 ในแมชชีนไซเคิลเดียวกับสัญญาณนาฬิกาของการเลื่อนข้อมูล จนกระทั่งรับข้อมูลครบทั้ง 8 บิต บิต RI จะได้รับการเซตเพื่อแจ้งการเสร็จสิ้นกระบวนการรับส่งข้อมูล หากการอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรมได้รับการเอ็นเอเบิลไว้ก่อนก็จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นในระบบ เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการรับส่งข้อมูล สัญญาณ RECEIVE จะกลายเป็น "0" จนกว่าจะเริ่มต้นกระบวนการรับส่งข้อมูลใหม่

การทำงานในโหมดนี้ของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้ในการเชื่อมต่อกับไอซีรีจิสเตอร์ภายนอกเพื่อทำการขยายจำนวนพอร์ตอินพุตหรือเอาต์พุต แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานมากนัก เนื่องจากในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 เองมีพอร์ตกู้ก่อนข้างมาก และติดต่อกับพอร์ตเหล่านั้นได้ง่ายและเร็วกว่ามาก

การทำงานในโหมด 1 ของวงจรถอดอนุกรม

ในโหมดนี้ใช้ในการรับส่งข้อมูลรวม 10 บิต โดยส่งข้อมูลออกทางขา P3.1 หรือ TxD และรับข้อมูลเข้าทางขา P3.0 หรือ RxD ข้อมูลทั้ง 10 บิตประกอบด้วย บิตเริ่มต้น (มีค่าเป็น "0") 1 บิต บิตข้อมูล 8 บิต โดยรับหรือส่งข้อมูลในบิต LSB ก่อน และบิตหยุดหรือบิตปิดท้าย (มีค่าเป็น "1") ในการรับข้อมูล บิตหยุดจะถูกเก็บไว้ในบิต RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON อัตราบอดในโหมดนี้ได้รับการกำหนดโดยอัตราการเกิดโอเวอร์โฟลวของไทมเมอร์ 1 ใน AT89C51 ส่วนในไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ AT89C52 และในอนุกรม AT89Sxx สามารถเลือกใช้อัตราเกิดโอเวอร์โฟลวของไทมเมอร์ 1 หรือไทมเมอร์ 2 ในการกำหนดอัตราบอดได้

กระบวนการส่งข้อมูลเริ่มต้นด้วยการแอกตีฟสัญญาณเขียนข้อมูลมายังรีจิสเตอร์ SUBF ส่งมายังวงจรถควบคุมการส่ง (TX control) จากนั้นวงจรถควบคุมจะทำการแอกตีฟสัญญาณ SEND ที่สเตท 1 เฟส 1 ของแมชชีนไซเคิลต่อมา โดยสัญญาณ SEND จะเป็น "0" ตลอดการส่งข้อมูล เมื่อสัญญาณ SEND แอกตีฟ จะทำการส่งบิตเริ่มต้นก่อนเป็นบิตแรก โดยมีคาบเวลาของบิตเริ่มต้นเท่ากับ 1 แมชชีนไซเคิล จากนั้นตามด้วยการส่งบิตข้อมูล 8 บิต เรียงลำดับจากบิต LSB โดยข้อมูลที่ทำการส่งถูกเรียกออกมาจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์สำหรับการส่งข้อมูล ในทุกๆ บิตข้อมูลที่ทำการส่งออกไป จะเกิดสัญญาณพัลส์ SHIFT ขึ้น เพื่อให้เรียกข้อมูลในแต่ละบิตจากรีจิสเตอร์บัฟเฟอร์การกำหนดจังหวะการส่งข้อมูลใช้สัญญาณนาฬิกาการส่ง (TX clock) เป็นตัวกำหนด โดยสัญญาณนาฬิกานี้ได้มาจากการหารสัญญาณ TCLK จากไทมเมอร์ 1 ด้วย 16 หลังจากการส่งบิตข้อมูลก็จะทำการส่งบิตหยุดหรือบิตปิดท้าย 1 บิต ดังนั้นการส่งข้อมูลจะใช้สัญญาณนาฬิกา 10 ลูก เมื่อทำการส่งข้อมูลครบถ้วนเรียบร้อยแล้ว จะทำการเซตบิต TI ในรีจิสเตอร์ SCON หากการอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรมได้รับการเอ็นเอเบิลไว้ ก็จะมีการอินเตอร์รัปต์ขึ้นในระบบ หลังจากที่ทำกรบริการอินเตอร์รัปต์หรือส่งข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ต้องทำการเคลียร์บิต TI ก่อนเป็นอันดับแรก เพื่อให้การรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมดำเนินต่อไปได้

ด้านการรับข้อมูล จะทำการตรวจจับการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกจาก "1" เป็น "0" ที่ขา RxD โดยใช้อัตราการสุ่มเท่ากับ 1/16 เท่าของอัตราบอด เมื่อตรวจจับพบ ไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ที่ใช้ในการกำหนดอัตราบอดจะรีเซตและทำการเขียนข้อมูล IFFH ไปยังชิฟต์รีจิสเตอร์ ข้อมูลจะเริ่มเดินทางเข้าสู่พอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านทางขา RxD ในการตีความว่าบิตที่เข้ามาเป็น "0" หรือ "1" จะใช้ผลการสุ่มข้างมาก โดยบิตของข้อมูลที่เข้ามาได้รับการแบ่งออกเป็น 16 สเตท การสุ่มข้อมูลจะทำการสุ่มสเตทที่ 7 8 และ 9 หาก 2 ใน 3 ของการสุ่มพบว่าข้อมูลเป็นลอจิกใด จะตีความข้อมูลในบิตนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นตามเสียงข้างมาก ยกตัวอย่าง สุ่มพบลอจิก “1” 2 ใน 3 ครั้ง จะตีความว่าบิตของข้อมูลที่รับได้นั้น เป็น “1”

ลำดับของการรับข้อมูลมีลักษณะเกี่ยวกับการส่งข้อมูลคือ เริ่มด้วยบิตเริ่มต้นก่อน ตามด้วยบิตข้อมูล และบิตปิดท้าย ในทุกๆ การรับข้อมูลได้ 1 บิต จะมีพัลส์ SHIFT เกิดขึ้น เพื่อทำการเลื่อนข้อมูลเข้าสู่รีจิสเตอร์บัพเฟอร์การรับข้อมูล การกำหนดจังหวะการรับข้อมูลใช้สัญญาณนาฬิกาการรับข้อมูล (RX clock) หลังจากสัญญาณนาฬิกาถูกสุกดท้าย อันหมายถึงสามารถรับข้อมูลได้ครบแล้ว วงจรควบคุมการรับข้อมูลจะทำการส่งข้อมูลจากรีจิสเตอร์บัพเฟอร์ไปยังรีจิสเตอร์ SBUF และบิต RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON โดยข้อมูลในบิต RB8 ก็คือข้อมูลของบิตหยุดนั่นเอง พร้อมกันนั้นยังทำการเซตบิต RI ในรีจิสเตอร์ SCON ด้วย หากการอินเตอร์รัปต์จากพอร์ตอนุกรมได้รับการเอ็นเอเบิลไว้ก็จะเกิดการอินเตอร์รัปต์ขึ้นในระบบ หลังจากบริการอินเตอร์รัปต์หรือรับข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ต้องทำการเคลียร์บิต RI ก่อน เพื่อให้การรับส่งข้อมูลทางพอร์ตอนุกรมดำเนินต่อไปได้

การทำงานในโหมดนี้ได้รับความนิยมสูงสุด เนื่องจากมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อนและสามารถทำการรับส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

การทำงานในโหมด 2 และ 3 ของวงจรถอดอนุกรม

ในทั้งสองโหมดนี้จะใช้รูปแบบข้อมูลรวม 11 บิต ประกอบด้วยบิตเริ่มต้น มีค่าเป็น “0” จำนวน 1 บิต , บิตข้อมูล 8 บิต โดยทำการรับและส่งบิต LSB ก่อน , บิตข้อมูลบิตที่ 9 และบิตปิดท้ายมีค่าเป็น “1” จำนวน 1 บิตในการส่งข้อมูล ข้อมูลบิตที่ 9 จะได้รับการเก็บไว้ในบิต TB8 ในรีจิสเตอร์ SCON และในการรับข้อมูล ข้อมูลบิตที่ 9 จะนำไปเก็บไว้ในบิต RB8 ในรีจิสเตอร์ SCON สำหรับอัตราบอดในโหมด 2 จะคงที่โดยเลือกได้ 2 ค่าคือ 1/32 หรือ 1/64 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา สำหรับในโหมด 3 อัตราบอดสามารถปรับได้เหมือนกับในโหมด 1

การทำงานในโหมด 2 และ 3 ของพอร์ตอนุกรม การทำงานโดยรวมจะคล้ายกับการทำงานในโหมด 1 ส่วนที่แตกต่างกันคือ จำนวนบิตของข้อมูลที่ใช้ในโหมด 2 และ 3 จะมีเพิ่มมาอีก 1 บิต โดยส่วนใหญ่จะใช้เป็นบิตตรวจสอบพาริตี

อัตราบอดของพอร์ตอนุกรมในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

โหมด 0

อัตราบอดของ โหมดนี้มีค่าคงที่ โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ ค.1

อัตราบอดในโหมด 0 = ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา / 12 หน่วยเป็น บิตต่อวินาที (ค.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญต์เห็นาเบใช้ประโยชน์ใดนการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหมด 1 และ 3

เนื่องจากทั้งสองโหมดนี้สามารถเลือกแหล่งกำเนิดอัตราบอดได้ 2 แหล่งคือ จากอัตราโอเวอร์โพลวของไทมเมอร์ 1 และ 2 สำหรับอัตราบอดเมื่อใช้การโอเวอร์โพลวของไทมเมอร์ 1 จะต้องใช้ค่าของบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON (จะกล่าวถึงรายละเอียดของรีจิสเตอร์ตัวนี้ในบทที่ว่าด้วยการทำงานในโหมดประหยัดพลังงาน) มาพิจารณาประกอบด้วย สามารถคำนวณค่าอัตราบอดได้จากสมการที่ ค.2

$$\text{อัตราบอด} = (2 \text{ ค่าของบิต SMOD} / 32) \times \text{อัตราโอเวอร์โพลวของไทมเมอร์ 1} \quad (\text{ค.2})$$

ถ้าหากในไทมเมอร์ 1 ไม่ได้เอนเอเบิลการอินเตอร์รัปต์ไว้ สามารถคำนวณค่าอัตราบอดได้จากสมการที่ ค.3

$$\text{อัตราบอด} = (2 \text{ ค่าในรีจิสเตอร์ SMOD} / 32) \times (\text{ความถี่สัญญาณนาฬิกา} / \{12 \times [256 - (TH)]\}) \quad (\text{ค.3})$$

ในกรณีที่ใช้ไทมเมอร์ 2 ในการกำหนดอัตราบอด โดยให้ไทมเมอร์ 2 ทำงานในโหมดกำเนิดอัตราบอด (baud rate generator) สามารถคำนวณหาอัตราบอดได้จากสมการที่ ค.4

$$\text{อัตราบอด} = \text{อัตราโอเวอร์โพลวของไทมเมอร์ 2} / 16 \text{ หน่วยเป็น บิตต่อวินาที} \quad (\text{ค.4})$$

ถ้าหากกำหนดให้ไทมเมอร์ 2 ทำงานในโหมดปกติ สามารถคำนวณหาอัตราบอดได้จากสมการที่ ค.5

$$\text{อัตราบอด} = \text{ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา} / (32 \times (65536 - (RCAP2H, RCAP2L))) \quad (\text{ค.5})$$

โดยที่ (RCAP2H, RCAP2L) เป็นค่าของรีจิสเตอร์ RCAP2H และ RCAP2L มีขนาด 16 บิตไม่คิดเครื่องหมาย

โหมด 2

ในโหมดนี้อัตราบอดจะขึ้นอยู่กับค่าของบิต SMOD ในรีจิสเตอร์ PCON ถ้า SMOD เป็น "0" อัตราบอดจะเท่ากับ 1/64 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา ในกรณีที่ SMOD เป็น "1" อัตราบอดจะเท่ากับ 1/32 ของความถี่สัญญาณนาฬิกา สามารถแสดงเป็นสูตรคำนวณทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ ค.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราบอด = (2 ค่าของบิต SMOD /64) X ความถี่สัญญาณนาฬิกา

(ค.6)

การกำหนดค่าของไทมเมอร์เพื่อเลือกอัตราบอด

ในการใช้งานพอร์ตอนุกรมของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สิ่งที่ต้องให้ความสนใจมากที่สุดประการหนึ่งคือ อัตราการถ่ายข้อมูล หรือ อัตราบอด ซึ่งการกำหนดบอดนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของสัญญาณนาฬิกาเป็นหลัก สำหรับโหมดการทำงานของพอร์ตอนุกรมที่สามารถเลือกอัตราบอดได้อย่างอิสระคือ ในโหมด 1 และ 3 โดยกำหนดได้จากอัตราการเกิดโอเวอร์โฟลวของไทมเมอร์ 1 โดยถ้าหากไทมเมอร์ 1 มีการเกิดโอเวอร์โฟลวในอัตราที่สูงมากเท่าใด อัตราบอดก็จะมีค่าสูงมากขึ้นตาม ดังนั้นจึงหมายถึงอัตราในการถ่ายทอดข้อมูลจะสูงมาก สามารถถ่ายทอดข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ง.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างและการทำงานของสเต็ปมอเตอร์

ง.1 การพันขดลวดบนสเตเตอร์ของสเต็ปมอเตอร์ มีด้วยกัน 2 วิธี คือ แบบ ไบโพลาร์ (Bipolar) กับ แบบ (ยูนิโพลาร์) Unipolar

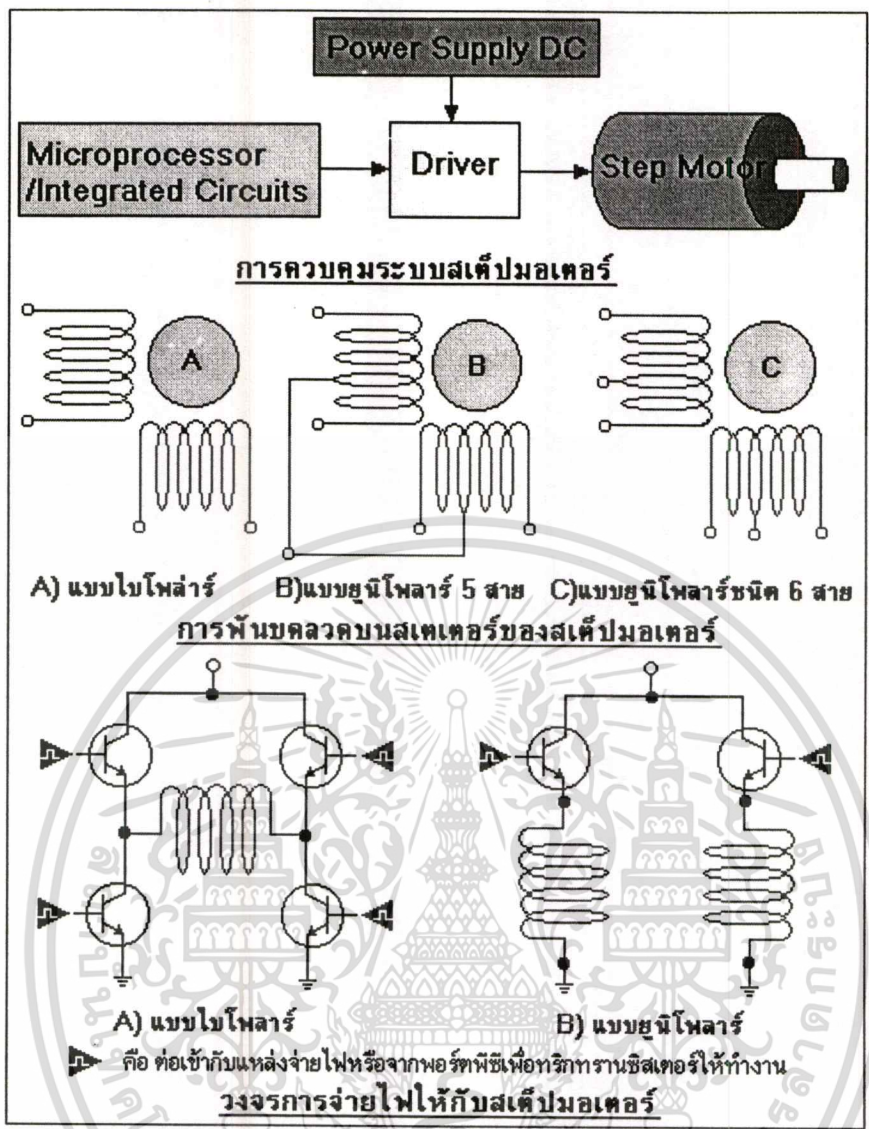
- การพันขดลวดแบบไบโพลาร์

การพันขดลวด ในแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ โดยขั้วแม่เหล็กที่เกิดขึ้น สเตเตอร์จะถูกกำหนดโดยทิศทางของการไหลของกระแสไฟฟ้า ซึ่งสามารถทำให้เกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้ามได้เพียงกลับทิศทางของการไหลของกระแสไฟฟ้า โดยมาจากการควบคุมของวงจรสวิตซ์ซึ่งให้กลับขั้วไฟฟ้า

- การพันขดลวดแบบยูนิโพลาร์

การพันแบบนี้มี 2 ขด บนแต่ละขั้วแม่เหล็กของสเตเตอร์ ทำให้แต่ละขดลวดเกิดขั้วแม่เหล็กในทิศทางตรงกันข้าม เช่นกันกับการกลับทิศทางขั้วแม่เหล็กทำได้โดยใช้วงจรสวิตซ์ซึ่งให้สลับขั้วหนึ่งไปยังอีกขั้วหนึ่งแทน

พื้นฐานการสวิตซ์ซึ่ง แบบยูนิโพลาร์จะทำให้เกิดแรงบิดน้อยกว่าแบบไบโพลาร์ โดยจุดสังเกตสามารถสังเกตจาก สายไฟที่ต่อมาจากตัวสเต็ปมอเตอร์ซึ่งแบบไบโพลาร์จะมี 4 สาย ส่วนเป็นแบบยูนิโพลาร์จะมี 5 สายหรือ 6 สาย



ภาพที่ ง.1 การควบคุม การพันขดลวด และวงจรการจ่ายไฟของสเต็ปมอเตอร์

ง.2 การควบคุมการหมุนสเต็ปมอเตอร์

การควบคุมและสั่งงานให้สเต็ปมอเตอร์ทำงาน ไปที่ละสเต็ปสามารถทำได้โดยการจ่ายกำลังไฟไปยังขดลวด ในแต่ละขดบนสเตเตอร์ โดยการป้อนจะทำในลักษณะเป็นลำดับหรือเรียกว่า ซีควีนเชียล ในรูปที่ถูกต้อง ซึ่งจะ ได้เป็น 3 รูปแบบ คือ แบบเวฟ (wave) แบบ 2 เฟส (2 phase) และแบบครึ่งสเต็ป (half step) ทั้ง 3 แบบนี้ก็จะมียุติและข้อเสียต่างกันออกไป

- การควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบเวฟ

จะเป็นการกระตุ้นแบบที่ง่ายที่สุด ซึ่งจะทำให้การกระตุ้นขดลวดทีละขดในเวลาหนึ่งๆเรียงกันไป ตัวอย่างเช่น ขดที่ 1, 2, 3, 4, 1, 2, 3, 4 เป็นลำดับแบบนี้ หรือ ขด 1, 4, 3, 2, 1, 4, 3, 2 เป็นลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับทิศทางที่เราต้องให้มอเตอร์หมุนไป วงจรที่นำมากระตุ้นนั้นจะมีราคาค่อนข้างจะถูกกว่าและง่ายกว่า ดังตารางที่ ง.1

ตารางที่ ง.1 แสดงลำดับการควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบเวฟ

ลำดับที่	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
1	ON			
2		ON		
3			ON	
4				ON
5	ON			
6		ON		

- การควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบ 2 เฟส

แบบนี้ก็จะคล้ายกับการกระตุ้น ในแบบเวฟแต่จะต่างกันตรงที่ แบบ 2 เฟส จะกระตุ้นทีละ 2 ขด ที่อยู่ใกล้กันใน เวลาเดียวกัน และจะเรียงลำดับกันไป ดังเช่นแบบเดียวกับแบบเวฟ จะยกตัวอย่างการกระตุ้นขดลวดในลักษณะ ซีเควนให้ดูดังนี้ 12, 23, 34, 41, 12, 23, 34, 41 เรียงลำดับกันไปเรื่อยๆ หรือจะเป็น 14, 43, 32, 21, 14, 43, 32, 21 เรียงกันไปเรื่อยๆเช่นกัน ถ้าจะมากล่าวถึงข้อดีข้อเสียของแบบ 2 เฟส แล้วมีดังนี้

ข้อดี

การที่เราจะเพิ่มจำนวนขดลวดที่ถูกกระตุ้นจะทำให้แรงบิดได้มากกว่า แบบเวฟ ซึ่งโรเตอร์จะหมุนด้วยแรง ดึงแบบเต็ม ๆ แรงจาก ทั้ง 2 ขดลวดที่กระตุ้นพร้อมกัน

ข้อเสีย

การควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบ 2 เฟส จะกระตุ้นขดลวดนั้นต้องใช้กำลังไฟมากขึ้นเป็น 2 เท่าของแบบเวฟ ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าแบบเวฟ

ตารางที่ ง.2 ลำดับการควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบ 2 เฟส

ลำดับที่	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
1	ON	ON		
2		ON	ON	
3			ON	ON
4	ON			ON
5	ON	ON		
6		ON	ON	

3). การควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ป

การควบคุมแบบนี้เป็นรูปแบบผสมผสานของการกระตุ้นระหว่าง แบบเวฟ กับ แบบ 2 เฟส เพื่อให้จำนวนรอบของสเต็ปให้ มากขึ้นเป็น 2 เท่า ซึ่งในระบบนี้จะทำการกระตุ้นขดลวดเรียงกันไปเรื่อยๆเป็นลำดับ ดังจะยกตัวอย่างต่อไปนี้ 1, 12, 2, 23, 3, 34, 4, 41, 1, 12, 2, 23, 3, 34, 4, 41, 1 เป็นลำดับอยู่อย่างนี้ โดยถ้าเราจะกลับทิศทางการหมุนก็จะไคเป็นดังนี้ 1, 41, 4, 43, 3, 32, 2, 21, 1, 41, 4, 43, 3, 32, 2, 21, 1 เป็นลำดับ โดยการควบคุมสเต็ปมอเตอร์แบบครึ่งสเต็ป มีข้อดี ข้อเสียในการใช้งานดังนี้

ข้อดี

การกระตุ้นแบบนี้จะให้แรงบิดที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากช่วงสเต็ปที่มีระยะสั้นลงอีกประการหนึ่งแต่ละ สเต็ปเกิดแรงดึงจากขดลวด 2 ขดที่ถูกกระตุ้นพร้อมกันเป็นผลให้ค่าตำแหน่งความถูกต้องมากขึ้นไปด้วย

ข้อเสีย

เช่นเดียวกับแบบ 2 เฟส ที่ต้องจ่ายกำลังไฟเป็น 2 เท่าของแบบเวฟหรือจะใช้เท่ากับแบบ 2 เฟส

ตารางที่ ง.3 ลำดับการควบคุมเสต็ปมอเตอร์แบบครึ่งเสต็ป

ลำดับที่	เฟส 1	เฟส 2	เฟส 3	เฟส 4
1	ON			
2	ON	ON		
3		ON		
4		ON	ON	
5			ON	
6			ON	ON
7				ON
8	ON			ON
9	ON			
10	ON	ON		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51

ในระบบควบคุมกลางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่นี้จะอ้างอิงถึงไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 ซึ่งมีหน่วยความจำภายในเป็นแบบแฟลช (flash memory) ของ Atmel Corporation มีเบอร์ขึ้นต้นด้วย AT89 โดยสาเหตุที่เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ เนื่องมาจากคุณสมบัติเด่นของไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 มีด้วยกันหลายประการดังนี้

1. หน่วยความจำโปรแกรมในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นแบบแฟลช ทำให้สามารถลบและเขียนใหม่ได้นับพันครั้ง จึงสามารถใช้งานในรูปแบบของไมโครคอนโทรลเลอร์ชิปเดี่ยว ไม่ต้องใช้หน่วยความจำภายนอก ส่งผลให้สามารถใช้งานพอร์ตอินพุตเอาต์พุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ
2. ต้นทุนและเวลาในการพัฒนาระบบไมโครคอนโทรลเลอร์ลดลงอย่างมาก เนื่องจากไม่ต้องใช้เครื่องมือพัฒนาจำพวกอีมูเลเตอร์และเครื่องโปรแกรมอีพรอม
3. บริษัทผู้ผลิตได้ทำการผลิตไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลนี้ออกมาหลายเบอร์ และมีความสามารถแตกต่างกันไป ทำให้มีทางเลือกในการใช้งานสูง
4. ด้วยการใช้หน่วยความจำในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ทำให้สามารถป้องกันการคัดลอกข้อมูลของหน่วยความจำโปรแกรมได้เป็นอย่างดี
5. ในบางเบอร์ของไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ผลิตโดย Atmel สามารถทำการโปรแกรมข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมได้โดยไม่ต้องถอดตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ออกมาทำการโปรแกรมใหม่ หรือเรียกว่า การโปรแกรมในวงจรร หรือ ในระบบ (In-system programming) ทำให้การพัฒนาหรือการซ่อมบำรุง ตลอดจนการปรับปรุงหรืออัปเดตข้อมูลในหน่วยความจำโปรแกรมทำได้สะดวก ภายใต้งบประมาณที่ไม่สูงมากนัก

คุณสมบัติของไมโครคอนโทรลเลอร์ ตระกูล MCS-51 อนุกรม AT89xx

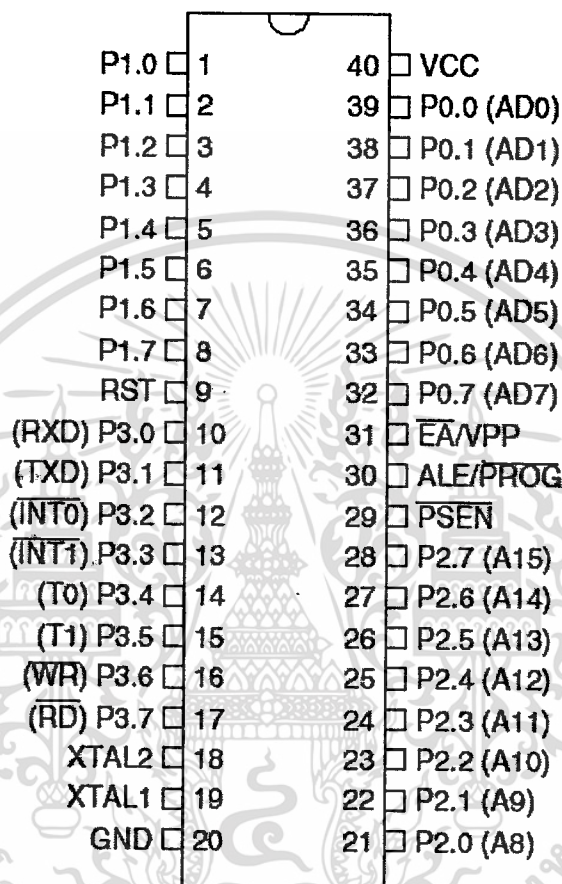
- เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ซีพียูขนาด 8 บิต
- ภายในมีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบแฟลชสามารถลบและเขียนใหม่ได้พันครั้ง
- มีหน่วยความจำข้อมูลพื้นฐานเป็นหน่วยความจำแบบแรม ในบางอนุกรมจะมีหน่วยความจำแบบอีอีพรอมเพิ่มเติม
- ขาพอร์ตเป็นแบบสองทิศทาง สามารถใช้งานเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต
- มีวงจรสื่อสารอนุกรมแบบฟูลดูเพล็กซ์
- ไทมเมอร์/คาน์เตอร์ขนาด 16 บิตอย่างน้อย 2 ตัว
- สามารถรองรับแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ได้ 6 ประเภท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การเขียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ทุกเบอร์จะมีสถาปัตยกรรมและขาใช้งาน พื้นฐานเหมือนกัน ดังแสดงในภาพที่ จ.1 และ ภาพที่ จ.2 โดยมีรายละเอียดขั้นต้น ดังนี้

PDIP



ภาพที่ จ.2 การจัดขาของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51

ขา Vcc ใช้สำหรับต่อไฟเลี้ยง +5V

ขา GND เป็นขากราวด์ สำหรับต่อกับกราวด์ของระบบ

ขาพอร์ต 0 (P0.0-P0.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ต 0 ขาใดขาหนึ่งเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล “1” ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อกับขั้ว ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูงสามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนั้นขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์ต่ำของหน่วยความจำภายนอก (A0-A7) และขาข้อมูล (D0-D7) โดยใช้กระบวนการมัลติเพล็กซ์เข้าช่วย เพื่อสลับการทำงานเป็นได้ทั้งขาติดต่อแอดเดรสและขาข้อมูล

ขาพอร์ต 1 (P1.0-P1.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย นอกจากนี้ในอนุกรม AT89Sxx จะใช้ขา P1.0 เป็นขาอินพุตสำหรับนับค่าของไทเมอร์ 2 และ P1.1 เป็นขาอินพุตทริกเกอร์ของไทเมอร์ 2 ในขณะที่ขา P1.4 ถึง P1.7 เป็นขาสำหรับเชื่อมต่อแบบ SPI เพื่อทำการ โปรแกรมข้อมูลในระบบ

ขาพอร์ต 2 (P2.0-P2.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ตนี้ยังถูกใช้งานในการติดต่อกับขาแอดเดรสไบต์สูงของหน่วยความจำภายนอก (A8-A15)

ขาพอร์ต 3 (P3.0-P3.7) มี 8 ขา แต่ละขาสามารถกำหนดให้เป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต สำหรับใช้งานทั่วไป ถ้าหากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตใดเป็นอินพุตสามารถทำได้โดยการเขียนข้อมูล "1" ไปยังแต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการติดต่อด้วย ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีสถานะปล่อยลอย (float) จึงมีอินพุตอิมพีแดนซ์สูง สามารถใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตได้ นอกจากนี้ขาพอร์ต 3 ยังเป็นขาที่มีการใช้งานพิเศษ ดังมีรายละเอียดขั้นต้นต่อไปนี้

P3.0 ใช้ เป็นขาอินพุตสำหรับรับข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา RxD

P3.1 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับส่งข้อมูลจากการสื่อสารแบบอนุกรม หรือขา TxD

P3.2 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา $\overline{INT0}$

P3.3 ใช้เป็นขาอินพุตรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา $\overline{INT1}$

P3.4 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณไทเมอร์จากภายนอกช่อง 0 หรือขา T0

P3.5 ใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับสัญญาณอินเทอร์รัปต์จากภายนอกช่อง 1 หรือขา T1

P3.6 ใช้เป็นขาสัญญาณ WR ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

P3.7 ใช้เป็นขาสัญญาณ RD ในกรณีที่ใช้เชื่อมต่อกับหน่วยความจำภายนอก

ขารีเซต (Reset) ใช้ในการรีเซตการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยในการป้อนสัญญาณเพื่อรีเซตสถานะที่ขานี้ต้องอยู่ในระดับรีเซตอย่างน้อย 2 เมกซีไนซ์กิล โดยที่วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกายังคงทำงานต่อเนื่องไปอย่างปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขา ALE/PROG (Address latch enable/Program pulse input) เป็นขาที่ใช้ในการควบคุมการแลตช์ของขาพอร์ต 0 เมื่อมีการใช้งานหน่วยความจำภายนอก นอกจากนั้นขานี้ยังใช้เป็นขาสำหรับรับพัลส์ของการโปรแกรมสำหรับโปรแกรมข้อมูลลงในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 ในรุ่นที่มีหน่วยความจำโปรแกรมเป็นแบบอีพรอม

ขา PSEN (Program store enable) ขานี้ใช้ในการส่งสัญญาณเพื่อร้องขอติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก เมื่อไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ต้องการอ่านข้อมูลจากหน่วยความจำโปรแกรมภายนอกตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณออกมาที่ขานี้ 2 ครั้งในแต่ละเมซินไซเคิล แต่ถ้าหากติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ขานี้จะไม่มีสัญญาณใดๆออกมา

ขา EA/Vpp (External Access enable/Programming voltage input) ใช้สำหรับเลือกการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมจากภายนอกหรือภายในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ถ้าหากขานี้เป็น "0" เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก แต่ถ้าหากขานี้เป็น "1" เป็นการเลือกให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ติดต่อกับหน่วยความจำในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ นอกจากนี้ ขาที่ยังใช้เป็นขาอินพุตสำหรับรับแรงดันไฟสูงสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชต้องการแรงดันสำหรับการโปรแกรม +12V

ขา XTAL1 และ XTAL2 เป็นขาสำหรับติดต่อกับคริสตัลเพื่อสร้างสัญญาณนาฬิกาในการกำหนดจังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

โครงสร้างและการทำงานของพอร์ต

ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีพอร์ตให้ใช้งานทั้งสิ้น 4 พอร์ตคือ พอร์ต 0 ถึง พอร์ต 3 แต่ละพอร์ตมีขนาด 8 บิต เป็นพอร์ตแบบ 2 ทิศทาง กล่าวคือ สามารถเป็นได้ทั้งอินพุตสำหรับรับสัญญาณข้อมูลเข้าและเอาต์พุตสำหรับส่งสัญญาณข้อมูลออก ทุกพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชมีวงแลตช์และวงจรขั้วตลอดจนบัฟเฟอร์อินพุต ดังแสดงให้เห็นในสถาปัตยกรรมในภาพที่ จ.1

ที่พอร์ต 0 และพอร์ต 2 จะใช้งานเป็นพอร์ตอินพุตและเอาต์พุตสำหรับงานทั่วไป และใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก สำหรับพอร์ต 3 ทั้งพอร์ตและพอร์ต 1 บางขานอกจากจะใช้เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตตามปกติแล้ว ยังสามารถใช้งานในหน้าที่พิเศษได้อีก ขึ้นอยู่กับว่าเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชเบอร์ใด สรุปได้ในตารางที่ จ.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ จ.1 หน้าทีพิเศษสำหรับการใช้งานพอร์ต 1

ขา	เบอร์ของ ไมโครคอนโทรลเลอร์	หน้าที่พิเศษ
P1.0	AT89C52/AT89Sxx	ขา T2 เป็นขาอินพุตนับค่าของ ไทเมอร์/เคาท์เตอร์ 2
P1.1	AT89C52/AT89Sxx	ขาควบคุมการทำงานของ T2
P1.4	AT89Sxx	ขา \overline{SS} (Slave Select) เป็นขาเลือกการติดต่อในกรณีที่ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์สเลฟ ในระบบการติดต่อแบบ SPI
P1.5	AT89Sxx	ขา MOSI (Master data output, Slave data input) ใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
P1.6	AT89Sxx	ขา MISO (Master data input, Slave data output) ใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI
P1.7	AT89Sxx	ขา SCK (Master clock output) เป็นขาสัญญาณนาฬิกาใช้ในการติดต่อกับพอร์ต SPI

วงจรภายในของแต่ละพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช วงจรของพอร์ต 0 วงจรแลตซ์ของแต่ละบิตในแต่ละพอร์ตก็คือวงจรดีฟลิปฟลอป การอ่านค่าสถานะของพอร์ตแต่ละสถานะของวงจรแลตซ์สามารถกระทำได้อย่างอิสระด้วยสัญญาณที่แยกจากกันคือ สัญญาณอ่านข้อมูลจากขาพอร์ต และสัญญาณอ่านข้อมูลจากวงจรแลตซ์ ส่วนการเขียนข้อมูลมายังพอร์ตต้องส่งสัญญาณมายังขา CLK ของดีฟลิปฟลอปในขณะที่ข้อมูลจะผ่านทางขาบัสข้อมูลภายในเข้าสู่ขา D ของดีฟลิปฟลอป

ที่พอร์ตนี้มีวงจรมัลติเพล็กซ์สำหรับกำหนดลักษณะการทำงานของพอร์ตว่า ต้องการใช้งานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตปกติหรือใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอกไมโครคอนโทรลเลอร์

เนื่องจากที่ขาพอร์ต 0 ไม่มีวงจรพูลอัพภายใน หากมีการนำพอร์ต 0 ไปใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต จะต้องต่อตัวต้านทางพูลอัพภายนอกเข้าที่ขาพอร์ต 0 ทุกขาด้วย

วงจรของพอร์ต 1 มีลักษณะโดยทั่วไปคล้ายกับพอร์ต 0 หากแต่ไม่มีวงจรมัลติเพล็กซ์ เนื่องจากพอร์ตนี้จะไม่ใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก แต่จะมีวงจรพูลอัพภายในที่แต่ละบิตของพอร์ตนี้แทน

วงจรภายในของพอร์ต 2 จะคล้ายกับพอร์ต 0 มาก ต่างกันเพียงมีวงจรพูลอัพเพิ่มเติมเข้ามา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรภายในของพอร์ต 3 จะเห็นได้ว่าคล้ายกับพอร์ต 1 มีการเพิ่มเติมวงจรบัฟเฟอร์และวงจรอินพุตเอาต์พุตเมื่อทำงานในฟังก์ชันพิเศษเข้ามา เนื่องจากพอร์ต 3 สามารถนำไปใช้งานในหน้าที่พิเศษได้ทุกขา

การใช้งานเป็นพอร์ตอินพุต

เนื่องจากพอร์ตทั้งหมดของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถเป็นได้ทั้งอินพุตและเอาต์พุต ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งต้องทำความเข้าใจถึงการกำหนดลักษณะการทำงานให้แก่พอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลช

ในการกำหนดให้เป็นพอร์ตอินพุต ต้องเริ่มต้นด้วยการเขียนข้อมูล "1" มาที่แต่ละบิตของพอร์ตที่ต้องการใช้งานเป็นอินพุต เพื่อหยุดการทำงานของเฟตที่ใช้ในการขับสัญญาณเอาต์พุตของบิตนั้น ๆ ทำให้ขาสัญญาณของพอร์ตเชื่อมต่อเข้ากับวงจรพูลอัพภายใน โดยตรง ส่งผลให้ขาพอร์ตนั้นมีลอจิกเป็น "1" สามารถรับสัญญาณลอจิก "0" จากอุปกรณ์ภายนอกได้ง่าย สัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอกจะถูกส่งเข้ามาแล้วเก็บไว้ในวงจรบัฟเฟอร์ภายในพอร์ต แล้วรอให้ซีพียูมาอ่านค่าเข้าไป เมื่อเป็นเช่นนี้ อุปกรณ์ภายนอกที่เชื่อมต่อกับพอร์ตอินพุตของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชควรกำหนดให้ทำงานในสถานะลอจิก "0"

การทำงานเป็นพอร์ตเอาต์พุต

โดยปกติแล้ว ขาพอร์ตจะกำหนดให้มีลักษณะเป็นเอาต์พุตอยู่แล้ว ดังนั้นจึงสามารถส่งข้อมูลออกไปได้ด้วยวิธีการโปรแกรม กล่าวคือ เมื่อต้องการส่งข้อมูล "0" ออกไปทางเอาต์พุตก็ให้เขียนข้อมูล "0" ไปยังวงจรแลตช์ ซึ่งก็จะส่งต่อไปขับเฟต ทำให้เฟตทำงาน ที่ขาพอร์ตที่กำหนดให้ทำงานก็จะเกิดลอจิก "0" ขึ้น ในทางตรงข้ามหากต้องการส่งข้อมูล "1" ออกไป ก็ให้เขียนข้อมูล "1" ไปยังวงจรแลตช์ วงจรขับก็จะหยุดทำงาน ทำให้ที่ขาพอร์ตเชื่อมต่อกับวงจรพูลอัพภายในเกิดเป็นลอจิก "1" ที่ขาพอร์ตนั้น ซึ่งจะคล้ายกับการกำหนดให้เป็นขาอินพุตมาก เพียงแต่แตกต่างกันที่กระบวนการในการเคลื่อนย้ายข้อมูล โดยถ้าเป็นอินพุตจะมีสัญญาณมาอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์ แต่ถ้าเป็นเอาต์พุตจะไม่มีมาอ่านข้อมูลที่บัฟเฟอร์แต่อย่างใด เว้นแต่ในกรณีที่ต้องการตรวจสอบข้อมูลที่ส่งออกมาทางเอาต์พุต

เมื่อใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุต แต่ละขา (หรือแต่ละบิต) ของแต่ละพอร์ตมีความสามารถในการจ่ายกระแสหรือที่เรียกว่า กระแสซอร์ส (source current) ได้สูงสุด 10 mA และทุกขาารวมกันในแต่ละพอร์ต (ทั้ง 8 บิต) สูงสุด 26 mA สำหรับพอร์ต 0 และ 15 mA สำหรับพอร์ต 1-3 ในกรณีที่ใช้งานทุกพอร์ตเอาต์พุตจะสามารถจ่ายกระแสได้รวมกันสูงสุด 71 mA ดังนั้นในการใช้งานเป็นพอร์ตเอาต์พุตเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับความสามารถในการจ่ายกระแสจึงควรต่อบัฟเฟอร์ทางเอาต์พุตเพื่อช่วยในการขับกระแสอีกทางหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การอ่านค่าลอจิกจากพอร์ต

ในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 แบบแฟลชสามารถอ่านค่าลอจิกพอร์ตได้ 2 ลักษณะคือ อ่านจากขาพอร์ตโดยตรง และอ่านจากวงจรแลตช์ของแต่ละพอร์ต

ในกรณีที่พอร์ตต่อกับขาเบสทรานซิสเตอร์ชนิด NPN และขาอิมิตเตอร์ของทรานซิสเตอร์ตัวนั้นต่อลงกราวด์ หากมีการส่งข้อมูล “1” ไปยังทรานซิสเตอร์ จะทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานสถานะลอจิกที่ขาพอร์ตจะเป็น “0” เนื่องจากเมื่อทรานซิสเตอร์ทำงาน จะเสมือนว่าขาพอร์ตนั้นถูกต่อลงกราวด์ ทำให้หากอ่านค่าลอจิกที่ขาพอร์ตจะได้ผลตรงข้ามกับที่ส่งออกมา แต่ถ้าหากทำงานอ่านค่าลอจิกที่วงจรแลตช์ จะได้ค่าที่ตรงกับค่าที่ต้องการส่งจริงดังนั้น ในการอ่านค่าลอจิกจากพอร์ตจึงต้องเลือกวิธีการให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่นำมาต่อด้วย

จังหวะการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์

ในการใช้งานไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะต้องทำความเข้าใจถึงจังหวะการทำงานของซีพียูและลำดับขั้นตอนการประมวลผลคำสั่ง ในการประมวลผลคำสั่งของซีพียูจะมีขั้นตอนหลักๆ 2 ขั้นตอนคือ กระบวนการเฟตช์ (Fetch) เป็นการเรียกคำสั่งออกจากหน่วยความจำโปรแกรมแล้วทำการแปลรหัสคำสั่งนั้นเป็นภาษาเครื่องเพื่อเตรียมการประมวลผล ขั้นตอนต่อมาคือ กระบวนการเอ็กซีคิวต์ (Execute) เป็นการกระทำตามคำสั่งที่กำหนดหรือตามที่เฟตช์ขึ้นมาโดยกระบวนการก่อนหน้านี้ เมื่อทำการเอ็กซีคิวต์คำสั่งเรียบร้อยแล้ว ก็จะไปเริ่มกระบวนการเฟตช์คำสั่งใหม่ต่อไป

เมื่อเริ่มจ่ายไฟให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์จะเกิดการรีเซ็ตในลักษณะที่เรียกว่า เพาเวอร์ออนรีเซ็ต (Power-On Reset) ซีพียูเริ่มต้นการทำงานที่แอดเดรส 0000H ของหน่วยความจำโปรแกรม จังหวะการทำงานของซีพียูจะเป็นไปตามรูปแบบ โดยได้รับการกำหนดมาจากรอบการทำงานหรือแมชชีนไซเคิล (Machine Cycle) โดยใน 1 รอบการทำงานหรือแมชชีนไซเคิลจะแบ่งย่อยออกเป็น 6 สเตท (State) กำหนดชื่อเป็น S1-S6 ในแต่ละสเตทมีค่าเวลาเท่ากับ 2 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา ถ้าสัญญาณนาฬิกามีความถี่ 12 MHz จะมีคาบเวลาเท่ากับ 1 ms คาบเวลาทั้งสองภายในหนึ่งสเตทจะเรียกว่า เฟส 1 (Phase 1) และเฟส 2 (Phase 2)

การเอ็กซีคิวต์คำสั่งที่ใช้เวลา 1 ไซเคิล เริ่มต้นที่สเตท 1 จะเป็นการอ่านค่าออปโค้ด อันเป็นกระบวนการแลตช์ค่าของออปโค้ดส่งไปให้รีจิสเตอร์คำสั่ง (Instruction Register : IR) การเฟตช์ครั้งที่สองจะเกิดขึ้นที่สเตท 4 ภายในแมชชีนไซเคิลเดียวกัน ในกรณีที่เป็นการสั่งไบต์เดียว การเฟตช์ครั้งที่ 2 ภายในแมชชีนไซเคิลเดียวกันจะถูกตัดทิ้งไป ในคำสั่งที่มีใช้เวลา 1 ไซเคิล จะสิ้นสุดการทำงานในสเตท 6 ของแมชชีนไซเคิลเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่คำสั่งใช้เวลา 2 ไชเกิล การทำงานของคำสั่งนั้นจะสิ้นสุดในสเตท 6 ของเมชีน ไชเกิลที่สอง สำหรับในการกระทำคำสั่ง MOVX ซึ่งเป็นคำสั่งขนาด 1 ไบต์ 2 ไชเกิล จะไม่มีการเฟตช์เกิดขึ้นในไชเกิลที่สองของคำสั่ง MOVX นี้ เนื่องจากซีพียูจะไปทำการติดต่อกับหน่วยความจำภายนอก จะเห็นได้ว่า เวลาในการเอ็คซิควิต์จะไม่ได้ขึ้นอยู่กับว่าทำการติดต่อกับหน่วยความจำโปรแกรมภายในหรือภายนอก

การเข้าถึงหน่วยความจำโปรแกรมภายนอก ในขณะที่ยังไม่มีการทำงานคำสั่ง MOVX สัญญาณที่ขา ALE และ PSEN จะเกิดการแอกตีฟ 2 ครั้งภายในหนึ่งเมชีน ไชเกิล ในทุกครั้งที่ ALE เกิดการแอกตีฟที่พอร์ต 0 (P0) จะมีค่าของรีจิสเตอร์ PC ในไบต์ต่ำออกมา ในขณะที่พอร์ต 2 (P2) ก็จะมีค่าของ PC ในไบต์สูงเพื่อชี้ไปยังแอดเดรสภายนอก ในกรณีที่กระทำคำสั่ง MOVX เพื่อเข้าถึงหน่วยความจำข้อมูลภายนอก ที่ขา PSEN จะไม่เกิดการแอกตีฟ 2 ครั้งภายใน 1 เมชีน ไชเกิลเนื่องจากบัสแอดเดรสและบัสข้อมูลจะถูกใช้ในการติดต่อกับหน่วยความจำข้อมูลภายนอกแทน แต่สำหรับสัญญาณ ALE ยังคงแอกตีฟตามจังหวะการทำงานเหมือนเดิม

จากโคอะแกรมเวลาสามารถสรุปได้ว่า ในการทำงาน 1 รอบหรือ 1 เมชีน ไชเกิล ซีพียูในไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะใช้เวลา 12 คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา นั่นคือ เวลาในการทำงาน 1 ไชเกิลมีค่าเท่ากับ 1 ms หรือมีความเร็วในการทำงานภายใน 1 MHz ในกรณีที่ใช้ความถี่สัญญาณนาฬิกา 12 MHz ดังนั้นถ้าต้องการทราบความเร็วของการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถหาได้จาก ค่าความถี่สัญญาณนาฬิกาด้วย 12 และถ้าต้องการหาค่าเวลาของ 1 รอบการทำงานหรือ 1 เมชีน ไชเกิล สามารถทำได้โดยการหาส่วนกลับของความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 สามารถสรุปได้เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังสมการที่ จ.1

ความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์เท่ากับ
โดยที่

ความถี่ของสัญญาณนาฬิกา (ค่าของคริสตอลที่ต่ออยู่ที่ขา XTAL1 และ XTAL2)/12

$$\text{เวลา 1 เมชีน ไชเกิล} = 1/\text{ความเร็วในการทำงานภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์} \quad (\text{จ.1})$$



ภาคผนวก ฉ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การค้นหาค่าตำแหน่งและจำลองแผนที่จากหุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยการ วิเคราะห์ทางสถิติ

Mobile Robot Localization and Map Construction using Statistical Analysis

เกศรา ชุมสวี่¹ สุทธิศักดิ์ สุขุมศรี² และ รศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

²ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้ นำเสนอการใช้กระบวนการทางสถิติวิเคราะห์ โดยนำมาวิเคราะห์ข้อมูลระยะทางที่ได้จากหุ่นยนต์เคลื่อนที่ เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองแผนที่ เพื่อเป็นข้อมูลในการนำร่องหุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายในสภาวะแวดล้อมแบบปิดภายในอาคาร โดยวิธีการทางสถิติวิเคราะห์ที่ใช้คือวิธีการประมาณค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุด โดยกระบวนการมาร์คอฟ ซึ่งจะใช้คำนวณและประมาณค่าตำแหน่ง และสิ่งกีดขวางรอบ ๆ ตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยหุ่นยนต์เป็นหุ่นยนต์ที่สร้างจากอุปกรณ์ในท้องตลาดทั่วไป ที่มีความแม่นยำในการวัดและการทำงานไม่สูงมาก ทั้งนี้เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการสร้างที่ต่ำ และสามารถนำไปใช้สำหรับการศึกษาและพัฒนาต่อไป

ABSTRACT

This research represents an algorithm of statistical analysis from raw distance of a mobile robot, for its navigation mapping in indoor environment. The proposed algorithms is based upon a probabilistic Markov localization method. The results represent by probability value in each cell call grid map. A propose of this research is to made a low-cost robot for education in later.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ประดิษฐ์กรรมทางวิศวกรรมศาสตร์ในปัจจุบันที่มีการเจริญเติบโตและมีผู้ให้ความสนใจในการวิจัยและพัฒนาในอัตราที่สูง คือการสร้างหุ่นยนต์ในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งในทางตรงคือการวิจัยและสร้างเพื่อนำไปแก้ปัญหาหรือช่วยในการทำงานแทนมนุษย์ซึ่งโดยส่วนใหญ่หุ่นยนต์ประเภทนี้จะเป็นหุ่นยนต์ชนิดที่ติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Robot) [1,2] ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปไหนได้ด้วยตัวเอง หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นแขนกล สามารถเคลื่อนไหวได้เฉพาะแต่ละข้อต่อ ภายในตัวเองเท่านั้น ส่วนมากมักถูกนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรม อีกประเภทหนึ่งคือหุ่นยนต์ชนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Robot) [1,2] ซึ่งหุ่นยนต์ประเภทนี้จะสามารถเคลื่อนที่ไปไหนมาไหนได้ด้วยตัวเอง จากการบังคับตามโปรแกรมหรือเงื่อนไข โดยส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่โดยการใช้อล้อ แต่ในปัจจุบันก็มีการพัฒนาการเคลื่อนที่โดยการไต่ขา ซึ่งหุ่นยนต์ประเภทนี้มักจะเป็นต้นแบบสำหรับการวิจัย เพื่อพัฒนาออกมาใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ เช่นหุ่นยนต์เพื่อการสำรวจในพื้นที่ที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าถึงได้ หรือมีความเสี่ยงต่ออันตรายสูง หรือแม้กระทั่งในปัจจุบันหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ก็ถูกนำไปพัฒนาเป็นของเล่น หรือเป็นผู้ช่วยของมนุษย์

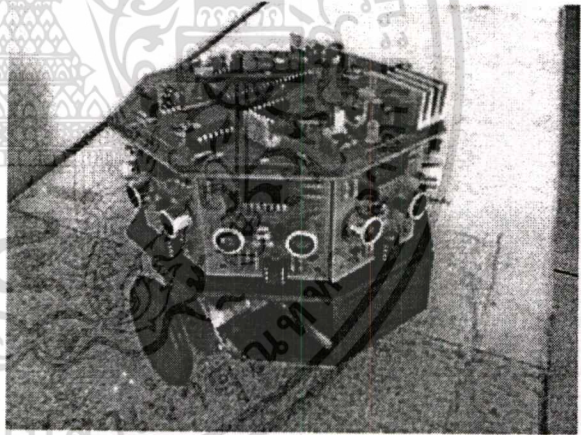
จากข้างต้น จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่สำคัญในการทำงานของหุ่นยนต์เคลื่อนที่นั้น คือการระบุตำแหน่งของตัวเอง (Localization) และเรียนรู้ถึงสภาพแวดล้อมทางกายภาพรอบ ๆ ตัวหุ่นยนต์ เช่นสิ่งกีดขวาง ระดับความแตกต่างของพื้นที่เคลื่อนที่ ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างจำลองแผนที่จากการระบุตำแหน่งของตัวเอง ซึ่งในกระบวนการนี้จะแยกออกได้เป็นสองแนวทาง คือ การระบุตำแหน่งโดยตรง (Passive Localization) [2] คือการระบุตำแหน่งโดยใช้ข้อมูลโดยตรงจาก เซ็นเซอร์หรือเครื่องมือต่าง ๆ เช่น ดาวเทียมระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS) , การหาระยะห่างโดยใช้โซนาร์ (Sonar) เป็นต้น อีกแนวทางหนึ่งคือ การระบุตำแหน่งแบบต่อเนื่อง (Dynamic Localization)

[2] ซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้จะเป็นการใช้กระบวนการทางสถิติวิเคราะห์ ในความน่าจะเป็นของข้อมูลที่ได้มาจากการสุ่มอ่านค่าจากจุดต่าง ๆ และคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่องในจุดต่าง ๆ เพื่อนำมาจำลองสร้างภาพแผนที่

2. วิธีการและเครื่องมือในการศึกษาวิจัย

2.1 หุ่นยนต์เคลื่อนที่

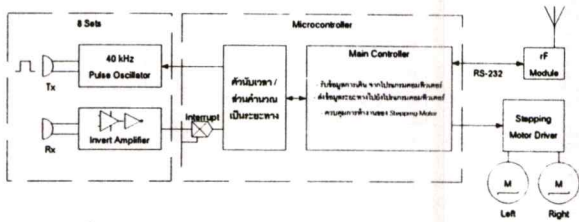
การออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ เป็นแบบเคลื่อนที่โดยใช้ล้อขับเคลื่อนสองล้อ โดยมีเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกจำนวนทั้งหมด 8 ชุด โดยทำมุม 45° ต่อกันเพื่อให้สามารถที่จะได้พื้นที่ต่อการวัดค่าหนึ่งครั้งเป็นแบบรอบตัว (Omni) โดยการวางระดับเซ็นเซอร์ให้อยู่ในแนวระนาบ ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงภาพหุ่นยนต์เคลื่อนที่

การทำงานของหุ่นยนต์เคลื่อนที่จะถูกแบ่งออกเป็นสี่ส่วนการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งจะประกอบด้วย ส่วนการวัดระยะด้วยอัลตราโซนิก ส่วนประมวลผลกลาง ส่วนภาคการสื่อสาร และส่วนภาคขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



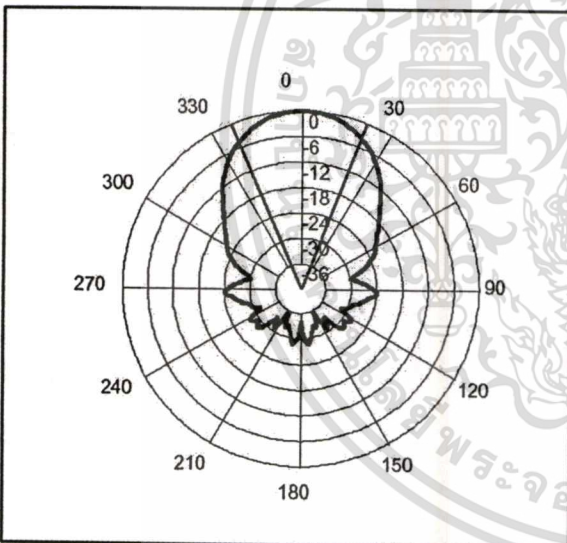
รูปที่ 2 แสดงผังการทำงานของหุ่นยนต์เคลื่อนที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ส่วนวัดระยะทางด้วยอัลตราโซนิก

ส่วนของเซ็นเซอร์วัดระยะทางที่ใช้จะเป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้หลักการวัดระยะ โดยการสะท้อนกับวัตถุ โดยในที่นี้ได้ใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกที่มีการตอบสนองความถี่ที่ 40 kHz โดยในตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ติดตั้งทั้งตัวรับ และตัวส่งในแนวตั้งฉากกับพื้นทั้งหมดจำนวน 8 ชุด โดยแต่ละชุดจะทำมุมต่อกัน 45° ทำให้สามารถครอบคลุมทิศทางการวัดได้รอบตัวโดยไม่จำเป็นต้องเคลื่อนที่ไปเป็นลักษณะการกวาด (Sweep) ซึ่งจะช่วยลดการผิดพลาดจากการเคลื่อนที่อันเนื่องมาจากการหมุนรอบตัวเพื่อทำการวัดระยะในมุมที่แคบลง และเนื่องจากมุมในการใช้งานอัลตราโซนิกค่อนข้างกว้าง ดังรูปที่ 3 และสามารถให้ระยะในมุมที่เหมาะสมกับการออกแบบ ทำให้ใช้เซ็นเซอร์ในจำนวนที่ไม่มากเกินไปจนความจำเป็น



รูปที่ 3 แสดงมุมตอบสนองของเซ็นเซอร์

ในการหาระยะห่างที่แท้จริงนั้น จะใช้วิธีการเทียบกับฐานเวลาที่เริ่มนับตั้งแต่ให้สัญญาณพัลส์ ไปยังตัวส่งอัลตราโซนิก และได้รับสัญญาณสะท้อนกลับมายังตัวรับ ซึ่งค่ามาตรฐานความเร็วของการเดินทางของเสียงที่ใช้ในการคำนวณค่าคือ 345 เมตรต่อวินาที [2] ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่ใช้งานได้ เนื่องจาก

ความเร็วในการเดินทางของเสียงนั้น จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ แต่เนื่องจากพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบ มีระยะทางที่ไม่ไกลมาก ผลจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ อันจะมีต่อการคำนวณระยะทางในอัตราที่ต่ำ จึงไม่ถึงว่ามีผลต่อการคำนวณค่าระยะทางจริง

2.1.2 ส่วนควบคุมกลาง และการสื่อสาร

ส่วนควบคุมกลางทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน และการนับเวลาของส่วนเซ็นเซอร์วัดระยะทาง ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และส่วนการสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ โดยส่วนควบคุมกลางนั้น ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ตระกูล MCS-51 โดยหน้าที่หลักคือการสร้างฐานเวลาสำหรับกำเนิดสัญญาณพัลส์ขนาด 40 kHz เพื่อใช้สำหรับกระตุ้นตัวส่งสัญญาณอัลตราโซนิก และยังทำหน้าที่เป็นตัวจับเวลาที่ใช้ในการสะท้อนกับสิ่งกีดขวาง โดยใช้วิธีการนับ (Counter) เทียบกับฐานเวลามาตรฐาน เพื่อใช้คำนวณระยะห่างระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวาง (Obstacle) [3]

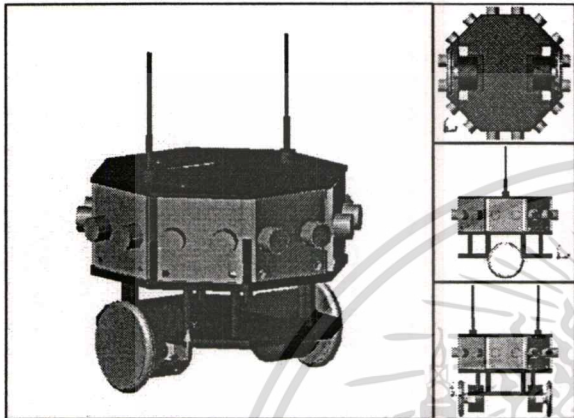
การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ทำการสื่อสารแบบ UART RS-232 โดย rf-module ซึ่งทำให้การสื่อสารระหว่างหุ่นยนต์เคลื่อนที่กับคอมพิวเตอร์ ทำได้สะดวกขึ้น โดยมีระยะในการสื่อสารไม่เกิน 10 เมตร โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง ข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจากตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้แก่เวลาที่ใช้ในการสะท้อนระหว่างหุ่นยนต์เคลื่อนที่กับสิ่งกีดขวางของเซ็นเซอร์ทั้ง 8 ชุด และชุดคำสั่งควบคุมจังหวะการสื่อสาร และการเคลื่อนที่ ส่วนข้อมูลที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่จะได้รับจากการคำนวณเส้นทางของคอมพิวเตอร์ คือ ตำแหน่งและระยะทางที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ควรเดินทาง โดยให้ค่าเป็นระยะทาง และมุมในการหมุน

2.1.3 ส่วนการขับเคลื่อน

การออกแบบหุ่นยนต์ มีพื้นฐานการออกแบบให้เคลื่อนที่ด้วยล้อ จำนวน 2 ล้อ [3] โดยให้สามารถทำการหมุนเพื่อเปลี่ยนทิศทางบายเบนได้โดยมีจุดหมุนเป็นจุดศูนย์กลางของหุ่นยนต์ ทั้งนี้เพื่อลดการผิดพลาดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งหุ่นยนต์ที่เกิดขึ้นจากการหมุนอยู่กับที่ โดยมีขนาดฐานล้อกว้าง 155 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 4 ซึ่งสามารถใช้กับการสร้างแผนที่ที่มีตารางขนาดตั้งแต่ 100 x 100 มิลลิเมตร จนถึง ขนาด 200 x 200 มิลลิเมตร ได้โดยการขับเคลื่อนใช้เสตีปมอเตอร์แบบ 7.5° ต่อเสตีป



รูปที่ 4 แสดงภาพจำลองการออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่

2.2 กระบวนการระบุตำแหน่งมาร์คอฟ

การระบุตำแหน่งมาร์คอฟ(Markov Localization) [4,5] เป็นสร้างจุดและคำนวณค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุดสังเกตของพื้นที่ ที่ได้จากการวัดระยะห่างจากจุดต่าง ๆ ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยกำหนดให้ $Bel(L_t = l)$ คือตำแหน่งที่เชื่อว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่นั้นตั้งอยู่ ณ จุด l โดยที่ l จะถูกระบุอยู่ในรูปของระบบคาร์ทีเซียน (x, y, α) ที่เวลา t ซึ่งเวลาจะถูกมองเป็นกาลก่อนหน้า (L_{t-1}) และกาลปัจจุบัน (L_t) โดย α คือมุมบ่ายเบนของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ เมื่อเริ่มต้น $Bel(L_0)$ จะแสดงจุดศูนย์กลางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยจะถือเป็นจุดที่ทราบตำแหน่งเริ่มต้น โดยกำหนดให้เป็นจุด $l = (0, 0, 0^\circ)$ และจะมีการเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อ หุ่นยนต์นั้นเคลื่อนที่

ในการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุดนั้นจะเกิดขึ้นจากสองกรณีคือ กรณีที่หุ่นยนต์มีการเคลื่อนที่ไปยังจุดอื่น ๆ และในกรณีที่มิข้อมูลจากเซ็นเซอร์ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุดมีค่าที่เปลี่ยนแปลงดังนี้

การเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลระบุตำแหน่งจากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เนื่องจาเงื่อนไขของการคำนวณ ค่าความน่าจะเป็นในรูปของ $p_a(l|l') \cdot p_a(l|l')$ โดยที่ P_a คือค่าความน่าจะเป็นจากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Action) โดยค่าความน่าจะเป็นเมื่อปรับปรุงค่าแล้ว ดังสมการที่ (1) โดย $P_a(l|l')$ จะคำนวณมาจากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

$$\hat{Bel}(L_t = l) \leftarrow \sum_p p_a(l|l') \cdot Bel(L_{t-1} = l') \dots(1)$$

การเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุด เนื่องจากการเซ็นเซอร์ระบุค่าระยะทาง $p(s|l)$ คือค่าความน่าจะเป็นที่ได้จากการอ่านค่าเซ็นเซอร์ ณ จุด l โดย s แทนการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ (Sense) โดยมีสมการคำนวณค่าดัง (2)

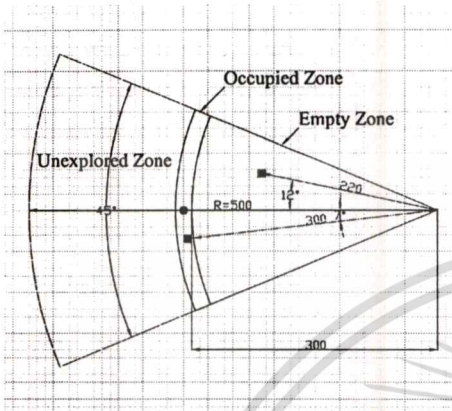
$$Bel(L_t = l) \leftarrow \frac{p(s|l) \cdot \hat{Bel}(L_t = l)}{p(s)} \dots(2)$$

2.3 การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นจากเซ็นเซอร์

นอกเหนือจากกระบวนการคำนวณค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุดตามหลักการข้างต้นแล้ว เพื่อให้การคำนวณค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุด [6] มีความถูกต้อง จำเป็นต้องมีการปรับปรุงค่าที่ได้มาจากการอ่านค่าเซ็นเซอร์ ให้มีน้ำหนักในการให้ค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุดมีความแตกต่างกันตามองศาเบี่ยงเบนจากมุมสะท้อนที่ 0° หรือตั้งฉากกับเซ็นเซอร์แต่ละชุด โดยมีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นสามส่วน ดังรูปที่ 5 ได้แก่ ส่วนพื้นที่ซึ่งกีดขวาง (Occupied Zone) ส่วนพื้นที่ว่าง (Empty Zone) และส่วนพื้นที่ซึ่งไม่ได้สำรวจ (Unexplored Zone) โดยพิสัยที่เซ็นเซอร์วัดระยะได้สูงสุดคือค่า R จนถึงระยะที่เซ็นเซอร์วัดระยะถึงจุดสะท้อนจะอยู่ในส่วนพื้นที่ซึ่งไม่ได้สำรวจ ซึ่งทุกจุดในส่วนนี้ จะมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นที่ 0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะที่อยู่ในช่วงระยะสะท้อนเป็นส่วนพื้นที่สิ่งกีดขวาง จะมีค่าความน่าจะเป็นสูงสุดที่มุมตั้งฉากกับเซ็นเซอร์เท่ากับ 1 และส่วนพื้นที่ว่าง คือระยะจากหุ่นยนต์จนถึงระยะสิ่งกีดขวาง จะมีค่าความน่าจะเป็นใกล้ 0



รูปที่ 5 แสดงการแบบจำลองการคำนวณค่าความน่าจะเป็นแบบดลลอย ตามมุมบ่ายเบนของเซ็นเซอร์

ในการคำนวณค่าจะพิจารณาค่าเพียงสองพื้นที่คือพื้นที่สิ่งกีดขวาง และพื้นที่ว่าง โดยให้พิสัยในการวัดสูงสุดของเซ็นเซอร์คือ R มุมในการวัดซึ่งในการคำนวณจะใช้ค่าเพียงครั้งหนึ่งของมุมในการวัดทั้งหมด (ในที่นี้ครึ่งของมุมในการวัดเท่ากับ 22.5°) คือ β ซึ่งทั้งสองค่าดังกล่าวจะเป็นค่าคงที่ตลอดการคำนวณ

ส่วนค่าที่จะนำมาระบุคำนวณในแต่ละจุดได้แก่ระยะจากหุ่นยนต์ ถึงจุดที่ต้องการคำนวณคือ r และมุมบ่ายเบนของจุดที่ทำการคำนวณกับแนวตั้งฉาก α โดยค่าในพื้นที่สิ่งกีดขวางคำนวณดังสมการที่ (3)

$$p(s | Occ) = \frac{R-r + \beta - \alpha}{R + \beta} \cdot Max_{occupied} \dots(3)$$

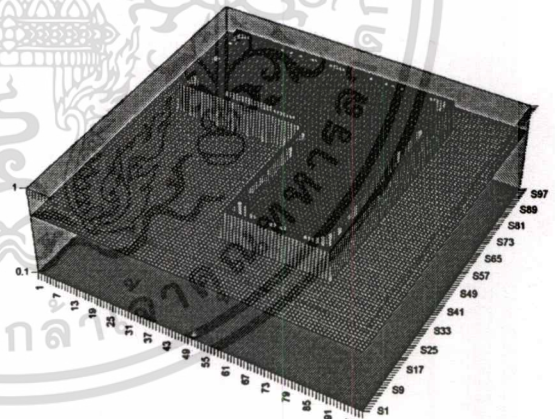
โดยค่า $Max_{occupied}$ คือค่าคงที่ความน่าจะเป็นสูงสุดที่จะเป็นไปได้ เช่น 0.98 ส่วนการคำนวณค่าความน่าจะเป็นดลลอยในพื้นที่ว่างนั้นมีการคำนวณดังสมการที่ (4)

$$p(s | Empty) = \frac{R-r + \beta - \alpha}{R + \beta} \dots(4)$$

ดังนั้นเมื่อแทนค่าเพื่อการสร้างแผนที่ จะได้พื้นที่ในช่วงของสิ่งกีดขวางเป็นสีดำ มีความหมายถึงค่าความน่าจะเป็นใกล้ 1 พื้นที่ว่างที่หุ่นยนต์สามารถเดินได้จะเป็นสีขาว หมายถึงมีค่าความน่าจะเป็นใกล้ 0 และพื้นที่นอกเหนือจากสิ่งกีดขวางจะมีสีเทา ซึ่งหมายถึงมีค่าความน่าจะเป็น 0.5

3. ผลการศึกษาวิจัย

จากการทดลองและคำนวณค่า ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบของรูปภาพตามลักษณะความเข้มตามค่าความน่าจะเป็นที่ถูกระบุในแต่ละจุด จะให้เค้าโครงแผนที่ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับสภาพแวดล้อมจริง ดังรูปที่ 6 โดยมีระยะในการสำรวจที่ไม่กว้างเกินกว่าพิสัยที่เซ็นเซอร์จะทำงานได้ดี คือมีระยะต่อช่วงประมาณ 5 เมตร



รูปที่ 6 แสดงแบบจำลองแผนที่จากค่าความน่าจะเป็น

จากผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อการทดลอง ให้ผลของข้อมูลดี เนื่องจากจากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เป็นไปอย่างราบรื่น ส่งผลให้ความผิดพลาดจากการเคลื่อนที่ไม่ตรงกับจุดหรือมุมที่ต้องการ (Kidnapping) หรือการลื่นไหลของมอเตอร์ (Slip) ไม่ส่งผลทำให้เกิดความผิดพลาดในการทดลองนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สรุปผลการศึกษาวิจัย

เนื่องการวิจัยนี้เป็นการสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบเพื่อศึกษาถึงทฤษฎีและกระบวนการทางสถิติ ไม่ได้เน้นสำหรับการใช้งานจริงในพื้นที่จริง เนื่องจากอุปสรรคของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะมีสูง เช่นพื้นผิวที่มีระดับแตกต่างกัน หรือพื้นผิวที่มีความราบเรียบไม่เท่ากัน เหล่านี้จะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งจะทำให้ผลของค่าที่ได้ ผิดพลาดได้ในอัตราที่สูงมาก เนื่องจากการคำนวณค่าจะยึดความน่าจะเป็นในแต่ละจุด จะถือค่าตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เห็นสำคัญในสมการที่ (1) และ (2) ดังนั้นเพื่อการศึกษาวิจัยในขั้นต่อไป จึงควรนำการสังเกตจุดสำคัญในสภาพแวดล้อม (Landmark) นำมาเป็นส่วนช่วยยืนยันตำแหน่งของหุ่นยนต์ ในกรณีที่มีการเคลื่อนที่ที่ผิดพลาดไปจากจุดที่กำหนดไว้ หรือผลจากการสิ้นไหลของมอเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] A.I. Eliazar, R. Parr. 2004. "Learning Probabilistic Motion Models for Mobile Robots." Darham, USA : Department of Computer Science, Duke University.
- [2] J.J. Leonard and H.F. Durrant-Whyte. 1992. "Directed Sonar Sensing for Mobile Robot Navigation." Boston, MA : Kluwer Academic .
- [3] R. Grabowski, and P. Khosla. 2001. "Localization Technique for a Team of Small Robots." **Technical Report CMU**. Pittsburgh, USA : Department of Electrical and Computer Engineering.
- [4] D.Fox, W.Burgard, and S. Thrun. 1998. "Active markov localization for mobile robots." **Robotic and Autonomous Systems**, 25:195-207.
- [5] S. Thrun. 2000. "Probabilistic Algorithms in Robotics." **Technical Report CMU-CS-00-126**. Pittsburgh, USA : School of Computer Science, Carnegie Mellon University.
- [6] R. Grabowski, P. Khosla, and H. Choset. 2003. "An Enhanced Occupancy Map for Exploration via pose Separation." **Technical Report CMU**. Pittsburgh, USA : School of Computer Science, Carnegie Mellon University.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การค้นหาดำแหน่งและจำลองแผนที่จากหุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยการ วิเคราะห์ทางสถิติ

Mobile Robot Localization and Map Construction using Statistical Analysis

เกศรา ชุมสรี¹ สุทธิศักดิ์ สุขัมศรี² และ รศ.ดร.ปิติเขต สุรักษา¹

¹ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

²ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

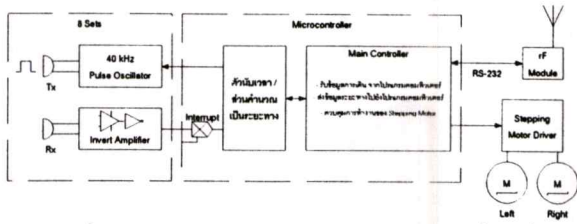
บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้ นำเสนอการใช้กระบวนการทางสถิติวิเคราะห์ โดยนำมาวิเคราะห์ข้อมูลระยะทางที่ได้จากหุ่นยนต์เคลื่อนที่ เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองแผนที่ เพื่อเป็นข้อมูลในการนำร่องหุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายในสภาวะแวดล้อมแบบปิดภายในอาคาร โดยวิธีการทางสถิติวิเคราะห์ที่ใช้คือวิธีการประมาณค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุด โดยกระบวนการมาร์คอฟ ซึ่งจะใช้คำนวณและประมาณค่าตำแหน่ง และสิ่งกีดขวางรอบ ๆ ตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยหุ่นยนต์เป็นหุ่นยนต์ที่สร้างจากอุปกรณ์ในท้องตลาดทั่วไป ที่มีความแม่นยำในการวัดและการทำงานไม่สูงมาก ทั้งนี้เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการสร้างที่ต่ำ และสามารถนำไปใช้สำหรับการศึกษาและพัฒนาต่อไป

ABSTRACT

This research represents an algorithm of statistical analysis from raw distance of a mobile robot, for its navigation mapping in indoor environment. The proposed algorithms is based upon a probabilistic Markov localization method. The results represent by probability value in each cell call grid map. A propose of this research is to made a low-cost robot for education in later.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 แสดงผังการทำงานของหุ่นยนต์เคลื่อนที่



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

ประดิษฐ์กรรมทางวิศวกรรมศาสตร์ในปัจจุบันที่มีการเจริญเติบโตและมีผู้ให้ความสนใจในการวิจัยและพัฒนาในอัตราที่สูง คือการสร้างหุ่นยนต์ในรูปแบบต่าง ๆ ทั้งในทางตรงคือการวิจัยและสร้างเพื่อนำไปแก้ปัญหาหรือช่วยในการทำงานแทนมนุษย์ซึ่งโดยส่วนใหญ่หุ่นยนต์ประเภทนี้จะเป็นหุ่นยนต์ชนิดที่ติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Robot) [1,2] ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปไหนได้ด้วยตัวเอง หุ่นยนต์ประเภทนี้จะมีลักษณะเป็นแขนกล สามารถเคลื่อนไหวได้เฉพาะแต่ละข้อต่อ ภายในตัวเองเท่านั้น ส่วนมากมักถูกนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรม อีกประเภทหนึ่งคือหุ่นยนต์ชนิดที่เคลื่อนที่ได้ (Mobile Robot) [1,2] ซึ่งหุ่นยนต์ประเภทนี้จะสามารถเคลื่อนที่ไปไหนมาไหนได้ด้วยตัวเอง จากการบังคับตามโปรแกรมหรือเงื่อนไข โดยส่วนใหญ่จะเคลื่อนที่โดยการใช้ล้อ แต่ในปัจจุบันก็มีการพัฒนาการเคลื่อนที่โดยการใช้ขา ซึ่งหุ่นยนต์ประเภทนี้มักจะเป็นต้นแบบสำหรับการวิจัย เพื่อพัฒนาออกมาใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ เช่นหุ่นยนต์เพื่อการสำรวจในพื้นที่ที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าถึงได้ หรือมีความเสี่ยงต่ออันตรายสูง หรือแม้กระทั่งในปัจจุบันหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ก็ถูกนำไปพัฒนาเป็นของเล่น หรือเป็นผู้ช่วยของมนุษย์

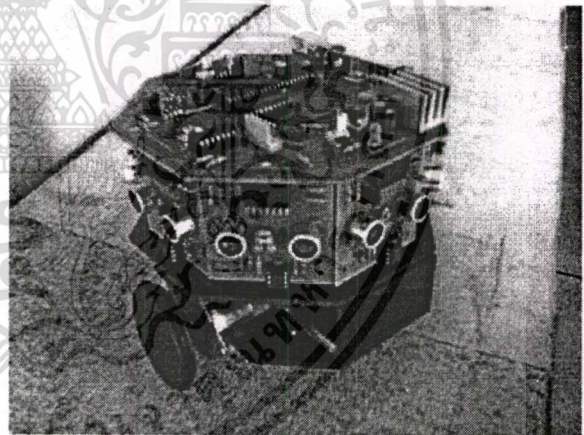
จากข้างต้น จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่สำคัญในการทำงานของหุ่นยนต์เคลื่อนที่นั้น คือการระบุตำแหน่งของตัวเอง (Localization) และเรียนรู้ถึงสภาพแวดล้อมทางกายภาพรอบ ๆ ตัวหุ่นยนต์ เช่นสิ่งกีดขวาง ระดับความแตกต่างของพื้นที่เคลื่อนที่ ซึ่งจะนำไปสู่การสร้างจำลองแผนที่จากการระบุตำแหน่งของตัวเอง ซึ่งในกระบวนการนี้จะแยกออกได้เป็นสองแนวทาง คือ การระบุตำแหน่งโดยตรง (Passive Localization) [2] คือการระบุตำแหน่งโดยใช้ข้อมูลโดยตรงจาก เซ็นเซอร์หรือเครื่องมือต่าง ๆ เช่น ดาวเทียมระบุพิกัดทางภูมิศาสตร์ (GPS) , การหาระยะห่างโดยใช้โซนาร์ (Sonar) เป็นต้น อีกแนวทางหนึ่งคือ การระบุตำแหน่งแบบต่อเนื่อง (Dynamic Localization)

[2] ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้จะเป็นการใช้กระบวนการวิเคราะห์ ในความน่าจะเป็นของข้อมูลที่ได้อ่านค่ามาจากจุดต่าง ๆ และคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นแบบต่อเนื่องในจุดต่าง ๆ เพื่อนำมาจำลองสร้างภาพแผนที่

2. วิธีการและเครื่องมือในการศึกษาวิจัย

2.1 หุ่นยนต์เคลื่อนที่

การออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ เป็นแบบเคลื่อนที่โดยใช้ล้อขับเคลื่อนสองล้อ โดยมีเซ็นเซอร์อัลตราโซนิกจำนวนทั้งหมด 8 ชุด โดยทำมุม 45° ต่อกันเพื่อให้สามารถที่จะได้พื้นที่ต่อการวัดค่าหนึ่งครั้งเป็นแบบรอบตัว (Omni) โดยการวางระดับเซนเซอร์ให้อยู่ในแนวระนาบ ดังแสดงในรูปที่ 1



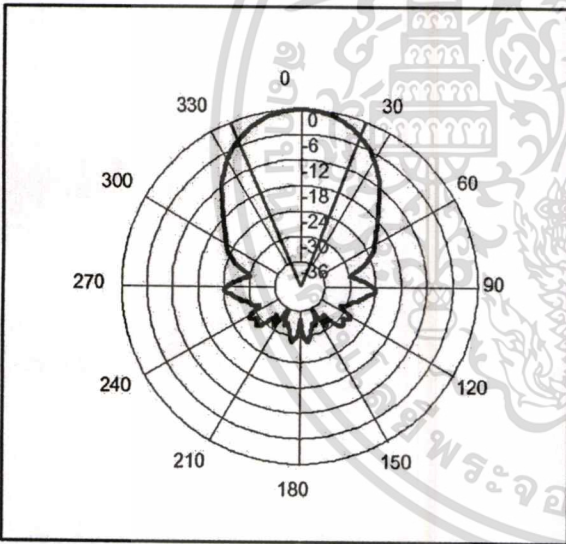
รูปที่ 1 แสดงภาพหุ่นยนต์เคลื่อนที่

การทำงานของหุ่นยนต์เคลื่อนที่จะถูกแบ่งออกเป็นสี่ส่วนการทำงาน ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งจะประกอบด้วย ส่วนการวัดระยะด้วยอัลตราโซนิก ส่วนประมวลผลกลาง ส่วนภาคการสื่อสาร และส่วนภาคขับเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.1 ส่วนวัฏระยะทางด้วยอัลตราโซนิก

ส่วนของเซ็นเซอร์วัฏระยะทางที่ใช้จะเป็นเซ็นเซอร์ที่ใช้หลักการวัฏระยะ โดยการสะท้อนกับวัตถุ โดยในที่นี้ได้ใช้เซ็นเซอร์อัลตราโซนิกที่มีการตอบสนองความถี่ที่ 40 kHz โดยในตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ติดตั้งทั้งตัวรับ และตัวส่งในแนวตั้งฉากกับพื้นทั้งหมดจำนวน 8 ชุด โดยแต่ละชุดจะทำมุมต่อกัน 45° ทำให้สามารถครอบคลุมทิศทางการวัดได้รอบตัวโดยไม่จำเป็นต้องเคลื่อนที่ไปเป็นลักษณะการกวาด (Sweep) ซึ่งจะช่วยลดการผิดพลาดจากการเคลื่อนที่อันเนื่องมาจากการหมุนรอบตัวเพื่อทำการวัดระยะในมุมที่แคบลง และเนื่องจากมุมในการใช้งานอัลตราโซนิกค่อนข้างกว้าง ดังรูปที่ 3 และสามารถให้ระยะในมุมที่เหมาะสมกับการออกแบบ ทำให้ใช้เซ็นเซอร์ในจำนวนที่ไม่มากเกินไปจนความจำเป็น



รูปที่ 3 แสดงมุมตอบสนองของเซ็นเซอร์

ในการหาระยะห่างที่แท้จริงนั้น จะใช้วิธีการเทียบกับฐานเวลาที่เริ่มนับตั้งแต่ให้สัญญาณพัลส์ ไปยังตัวส่งอัลตราโซนิก และได้รับสัญญาณสะท้อนกลับมายังตัวรับ ซึ่งค่ามาตรฐานความเร็วของการเดินทางของเสียงที่ใช้ในการคำนวณค่าคือ 345 เมตรต่อวินาที [2] ซึ่งสามารถปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับพื้นที่ที่ใช้งานได้ เนื่องจาก

ความเร็วในการเดินทางของเสียงนั้น จะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิ แต่เนื่องจากพื้นที่ที่ใช้ในการทดสอบ มีระยะทางที่ไม่ไกลมาก ผลจากการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ อันจะมีต่อการคำนวณระยะทางในอัตราที่ต่ำ จึงไม่ถือว่ามีผลต่อการคำนวณค่าระยะทางจริง

2.1.2 ส่วนความคุมกลาง และการสื่อสาร

ส่วนควบคุมกลางทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน และการนับเวลาของส่วนเซ็นเซอร์วัฏระยะทาง ส่วนควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ และส่วนการสื่อสารกับคอมพิวเตอร์ โดยส่วนควบคุมกลางนั้นใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต ตระกูล MCS-51 โดยหน้าที่หลักคือการสร้างฐานเวลาสำหรับกำเนิดสัญญาณพัลส์ขนาด 40 kHz เพื่อใช้สำหรับกระตุ้นตัวส่งสัญญาณอัลตราโซนิก และยังทำหน้าที่เป็นตัวจับเวลาที่ใช้ในการสะท้อนกับสิ่งกีดขวาง โดยใช้วิธีการนับ (Counter) เทียบกับฐานเวลามาตรฐาน เพื่อใช้คำนวณระยะห่างระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวาง (Obstacle) [3]

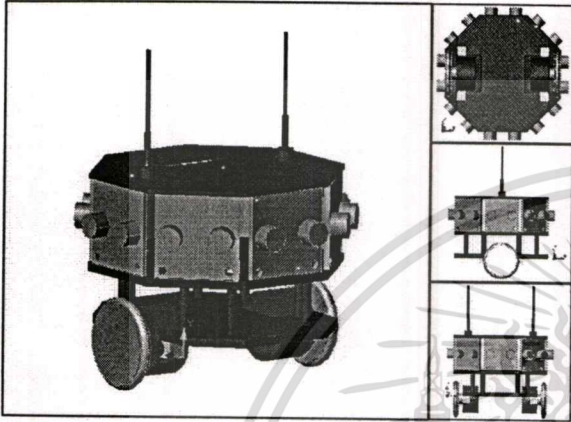
การเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ทำการสื่อสารแบบ UART RS-232 โดย rf-module ซึ่งทำให้การสื่อสารระหว่างหุ่นยนต์เคลื่อนที่กับคอมพิวเตอร์ ทำได้สะดวกขึ้น โดยมีระยะในการสื่อสารไม่เกิน 10 เมตร โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง ข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจากตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้แก่เวลาที่ใช้ในการสะท้อนระหว่างหุ่นยนต์เคลื่อนที่กับสิ่งกีดขวางของเซ็นเซอร์ทั้ง 8 ชุด และชุดคำสั่งควบคุมจังหวะการสื่อสาร และการเคลื่อนที่ ส่วนข้อมูลที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่จะได้รับจากการคำนวณเส้นทางของคอมพิวเตอร์ คือ ตำแหน่งและระยะทางที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่ต้องเดินทาง โดยให้ค่าเป็นระยะทาง และมุมในการหมุน

2.1.3 ส่วนการขับเคลื่อน

การออกแบบหุ่นยนต์ มีพื้นฐานการออกแบบให้เคลื่อนที่ด้วยล้อ จำนวน 2 ล้อ [3] โดยให้สามารถทำการหมุนเพื่อเปลี่ยนทิศทางบายเบนได้โดยมีจุดหมุนเป็นจุดศูนย์กลางของหุ่นยนต์ ทั้งนี้เพื่อลดการผิดพลาดของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งหุ่นยนต์ที่เกิดขึ้นจากการหมุนอยู่กับที่ โดยมีขนาดฐานล้อกว้าง 155 มิลลิเมตร คังรูปที่ 4 ซึ่งสามารถใช้กับการสร้างแผนที่ที่มีตารางขนาดตั้งแต่ 100 x 100 มิลลิเมตร จนถึง ขนาด 200 x 200 มิลลิเมตร ได้โดยการขับเคลื่อนใช้เสตีปมอเตอร์แบบ 7.5° ต่อเสตีป



รูปที่ 4 แสดงภาพจำลองการออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่

2.2 กระบวนการระบุตำแหน่งมาร์คอฟ

การระบุตำแหน่งมาร์คอฟ(Markov Localization) [4,5] เป็นสร้างจุดและคำนวณค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุดสังเกตของพื้นที่ ที่ได้จากการวัดระยะห่างจากจุดต่าง ๆ ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยกำหนดให้ $Bel(L_t = l)$ คือตำแหน่งที่เชื่อว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่นั้นตั้งอยู่ ณ จุด l โดยที่ l จะถูกระบุอยู่ในรูปของระบบคาร์ทีเซียน (x, y, α) ที่เวลา t ซึ่งเวลาจะถูกมองเป็นกาลก่อนหน้า (L_{t-1}) และกาลปัจจุบัน (L_t) โดย α คือมุมข่ายเบนของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ เมื่อเริ่มต้น $Bel(L_0)$ จะแสดงจุดศูนย์กลางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยจะถือเป็นจุดที่ทราบตำแหน่งเริ่มต้น โดยกำหนดให้เป็นจุด $l = (0,0,0^\circ)$ และจะมีการเปลี่ยนแปลงก็ต่อเมื่อ หุ่นยนต์นั้นเคลื่อนที่

ในการเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุดนั้นจะเกิดขึ้นจากสองกรณีคือ กรณีที่หุ่นยนต์มีการเคลื่อนที่ไปยังจุดอื่น ๆ และในกรณีที่มิข้อมูลจากเซ็นเซอร์ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความน่าจะเป็น ในแต่ละจุดมีค่าที่เปลี่ยนแปลงดังนี้

การเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นของข้อมูลระบุตำแหน่งจากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เนื่องจากเงื่อนไขของการคำนวณ ค่าความน่าจะเป็นในรูปของ $p_a(l|l') \cdot p_a(l|l')$ โดยที่ P_a คือค่าความน่าจะเป็นจากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Action) โดยค่าความน่าจะเป็นเมื่อปรับปรุงค่าแล้ว ดังสมการที่ (1) โดย $P_a(l|l')$ จะคำนวณมาจากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

$$\hat{Bel}(L_t = l) \leftarrow \sum_p p_a(l|l') \cdot Bel(L_{t-1} = l') \dots(1)$$

การเปลี่ยนแปลงค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุด เนื่องจากการเซ็นเซอร์ระยะทาง $p(s|l)$ คือค่าความน่าจะเป็นที่ได้จากการอ่านค่าเซ็นเซอร์ ณ จุด l โดย s แทนการอ่านค่าจากเซ็นเซอร์ (Sense) โดยมีสมการคำนวณค่าดัง (2)

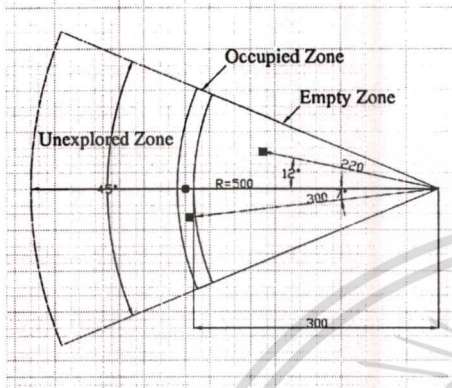
$$Bel(L_t = l) \leftarrow \frac{p(s|l) \cdot \hat{Bel}(L_t = l)}{p(s)} \dots(2)$$

2.3 การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นจากเซ็นเซอร์

นอกเหนือจากกระบวนการคำนวณค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุดตามหลักการข้างต้นแล้ว เพื่อให้การคำนวณค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุด [6] มีความถูกต้อง จำเป็นต้องมีการปรับปรุงค่าที่ได้มาจากการอ่านค่าเซ็นเซอร์ ให้มีน้ำหนักในการให้ค่าความน่าจะเป็นในแต่ละจุดมีความแตกต่างกันตามองศาเบี่ยงเบนจากมุมสะท้อนที่ 0° หรือตั้งฉากกับเซ็นเซอร์แต่ละชุด โดยมีการแบ่งพื้นที่ออกเป็นสามส่วน ดังรูปที่ 5 ได้แก่ ส่วนพื้นที่สิ่งกีดขวาง (Occupied Zone) ส่วนพื้นที่ว่าง (Empty Zone) และส่วนพื้นที่ซึ่งไม่ได้สำรวจ (Unexplored Zone) โดยพิสัยที่เซ็นเซอร์วัดระยะได้สูงสุดคือค่า R จนถึงระยะที่เซ็นเซอร์วัดระยะถึงจุดสะท้อนจะอยู่ในส่วนพื้นที่ซึ่งไม่ได้สำรวจ ซึ่งทุกจุดในส่วนนี้ จะมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นที่ 0.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะที่อยู่ในช่วงระยะสะท้อนเป็นส่วนพื้นที่สิ่งกีดขวาง จะมีค่าความน่าจะเป็นสูงสุดที่มุมตั้งฉากกับเซ็นเซอร์เท่ากับ 1 และส่วนพื้นที่ว่าง คือระยะจากหุ่นยนต์จนถึงระยะสิ่งกีดขวาง จะมีค่าความน่าจะเป็นใกล้ 0



รูปที่ 5 แสดงการแบ่งจำลองการคำนวณค่าความน่าจะเป็นแบบถดถอย ตามมุมบ่ายเบนของเซ็นเซอร์

ในการคำนวณค่าจะพิจารณาค่าเพียงสองพื้นที่คือพื้นที่สิ่งกีดขวาง และพื้นที่ว่าง โดยให้พิสัยในการวัดสูงสุดของเซ็นเซอร์คือ R มุมในการวัดซึ่งในการคำนวณจะใช้ค่าเพียงครึ่งหนึ่งของมุมในการวัดทั้งหมด (ในที่นี้ครึ่งของมุมในการวัดเท่ากับ 22.5°) คือ β ซึ่งทั้งสองค่าดังกล่าวจะเป็นค่าคงที่ตลอดการคำนวณ

ส่วนค่าที่จะนำมาระบุคำนวณในแต่ละจุดได้แก่ระยะจากหุ่นยนต์ ถึงจุดที่ต้องการคำนวณคือ r และมุมบ่ายเบนของจุดที่ทำการคำนวณกับแนวตั้งฉาก α โดยค่าในพื้นที่สิ่งกีดขวางคำนวณดังสมการที่ (3)

$$p(s | Occ) = \frac{R-r}{R} + \frac{\beta-\alpha}{\beta} \cdot Max_{occupied} \dots(3)$$

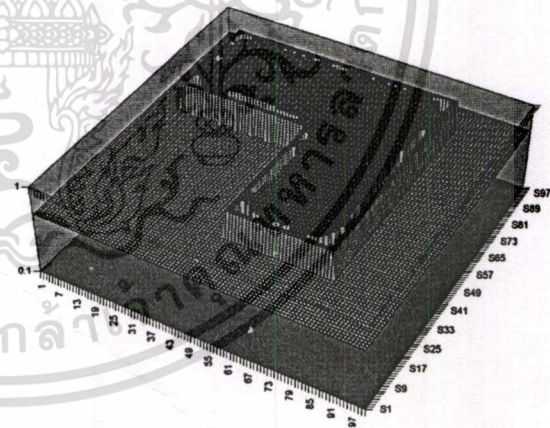
โดยค่า $Max_{occupied}$ คือค่าคงที่ความน่าจะเป็นสูงสุดที่จะเป็นไปได้ เช่น 0.98 ส่วนการคำนวณค่าความน่าจะเป็นถดถอยในพื้นที่ว่างนั้นมีการคำนวณดังสมการที่ (4)

$$p(s | Empty) = \frac{R-r}{R} + \frac{\beta-\alpha}{\beta} \dots(4)$$

ดังนั้นเมื่อแทนค่าเพื่อการสร้างแผนที่ จะได้พื้นที่ในช่วงของสิ่งกีดขวางเป็นสีดำ มีความหมายถึงค่าความน่าจะเป็นใกล้ 1 พื้นที่ว่างที่หุ่นยนต์สามารถเดินได้จะเป็นสีขาว หมายถึงมีค่าความน่าจะเป็นใกล้ 0 และพื้นที่นอกเหนือจากสิ่งกีดขวางจะมีสีเทา ซึ่งหมายถึงมีค่าความน่าจะเป็น 0.5

3. ผลการศึกษาวิจัย

จากการทดลองและคำนวณค่า ซึ่งจะแสดงผลในรูปแบบของรูปภาพตามลักษณะความเข้มตามค่าความน่าจะเป็นที่ถูกระบุในแต่ละจุด จะให้เค้าโครงแผนที่ ที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับสภาพแวดล้อมจริง ดังรูปที่ 6 โดยมีระยะในการสำรวจที่ไม่กว้างเกินกว่าพิสัยที่เซ็นเซอร์จะทำงานได้ดี คือมีระยะต่อช่วงประมาณ 5 เมตร



รูปที่ 6 แสดงแบบจำลองแผนที่จากค่าความน่าจะเป็น

จากผลการทดลองในสภาวะแวดล้อมที่ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อการทดลอง ให้ผลของข้อมูลดี เนื่องจากจากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เป็นไปอย่างราบรื่น ส่งผลให้ความผิดพลาดจากการเคลื่อนที่ไม่ตรงกับจุดหรือมุมที่ต้องการ (Kidnapping) หรือการลื่นไหลของมอเตอร์ (Slip) ไม่ส่งผลทำให้เกิดความผิดพลาดในการทดลองนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สรุปผลการศึกษาวิจัย

เนื่องการวิจัยนี้เป็นการสร้างหุ่นยนต์ต้นแบบเพื่อศึกษาถึงทฤษฎีและกระบวนการทางสถิติ ไม่ได้เน้นสำหรับการใช้งานจริงในพื้นที่จริง เนื่องจากอุปสรรคของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะมีสูง เช่นพื้นผิวที่มีระดับแตกต่างกัน หรือพื้นผิวที่มีความราบเรียบไม่เท่ากัน เหล่านี้จะส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งจะทำให้ผลของค่าที่ได้ ผิดพลาดได้ในอัตราที่สูงมาก เนื่องจากการคำนวณค่าจะยึดความน่าจะเป็นในแต่ละจุด จะถือค่าตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เห็นสำคัญในสมการที่ (1) และ (2) ดังนั้นเพื่อการศึกษาวิจัยในขั้นต่อไป จึงควรนำการสังเกตจุดสำคัญในสภาพแวดล้อม (Landmark) นำมาเป็นส่วนช่วยยืนยันตำแหน่งของหุ่นยนต์ ในกรณีที่มีการเคลื่อนที่ที่ผิดพลาดไปจากจุดที่กำหนดไว้ หรือผลจากการลื่นไหลของมอเตอร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] A.I. Eliazar, R. Parr. 2004. "Learning Probabilistic Motion Models for Mobile Robots." Darham, USA : Department of Computer Science, Duke University.
- [2] J.J. Leonard and H.F. Durrant-Whyte. 1992. "Directed Sonar Sensing for Mobile Robot Navigation." Boston, MA : Kluwer Academic .
- [3] R. Grabowski, and P. Khosla. 2001. "Localization Technique for a Team of Small Robots." **Technical Report CMU**. Pittsburgh, USA : Department of Electrical and Computer Engineering.
- [4] D.Fox, W.Burgard, and S. Thrun. 1998. "Active markov localization for mobile robots." **Robotic and Autonomous Systems**, 25:195-207.
- [5] S. Thrun. 2000. "Probabilistic Algorithms in Robotics." **Technical Report CMU-CS-00-126**. Pittsburgh, USA : School of Computer Science, Carnegie Mellon University.
- [6] R. Grabowski, P. Khosla, and H. Choset. 2003. "An Enhanced Occupancy Map for Exploration via pose Separation." **Technical Report CMU**. Pittsburgh, USA : School of Computer Science, Carnegie Mellon University.





ภาคผนวก ซ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวเกศรา ชุมสวีกเกิดเมื่อวันที่ 22 ธันวาคม 2520 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปี 2543 และได้เข้ารับการศึกษาคือในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต ในสาขาวิศวกรรมสารสนเทศที่สถาบันเทคโนโลยีเจ้าคุณทหารลาดกระบังในปี 2544
และได้มีประสบการณ์ในการทำงานดังนี้

- บริษัท ซี ดี จี ซิสเต็มส์ จำกัด ปี 2545 - 2547
- บริษัท วิสมาร์ท จำกัด ปี 2548 - 2549



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้