การควบคุมหุ่นยนต์ทางไกลแบบมีข้อมูลเสริมผ่านทางพีดีเอ

น.ต.ขันชัย กิ่งกังวาลย์ วศ.บ. (วิศวกรรมไฟฟ้า)

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ
สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
พ.ศ.2551

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการวิทยานิพนธ์
(ผศ.ดร.พิชิต ฤกษนันทน์)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
(รศ.ดร.สยาม เจริญเสียง)

..... กรรมการ
(ดร.วรพจน์ อังกสิทธิ์)

..... กรรมการ
(ผศ.ดร.พูลศักดิ์ โกษียาภรณ์)

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การควบคุมหุ่นยนต์ทางไกลแบบมีข้อมูลเสริมผ่านทางพีดีเอ
หน่วยกิต	12
ผู้เขียน	น.ต.ขันชัย กิ่งกังวาลย์
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.สยาม เจริญเสียง
หลักสูตร	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ
คณะ	สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม
พ.ศ.	2551

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการออกแบบระบบการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ (Mobile Robot) ทางไกลแบบมีข้อมูลเสริม (Augmented Data) โดยใช้พีดีเอ (PDA) ซึ่งมีระบบปฏิบัติการเป็นวินโดว์โมไบล์ (Windows Mobile) ระบบนี้ออกแบบมาเพื่อให้ใช้งานได้ง่าย แม้แต่ผู้ที่ไม่เชี่ยวชาญทางด้านคอมพิวเตอร์ รวมทั้งการแสดงกราฟิกจำลองของเซ็นเซอร์ต่างๆ นอกจากนี้แล้วยังมีส่วนการควบคุมแบบชาญฉลาด (Intelligent Control) ร่วมกับการประมวลผลภาพ (Image Processing) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมหุ่นยนต์ โดยการสั่งงานให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายอย่างอัตโนมัติ การประมาณระยะทางของวัตถุจากกล้องตัวเดียว การตรวจจับการเคลื่อนที่ของมนุษย์ และการหลบหลีกสิ่งกีดขวางด้วยฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) ผลที่ได้ชี้ให้เห็นว่าระบบที่นำเสนอนี้จะช่วยให้ผู้ใช้สามารถควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพและเป็นไปตามธรรมชาติ

คำสำคัญ : พีดีเอ / หุ่นยนต์เคลื่อนที่ / ข้อมูลเสริม / ฟัซซี่ลอจิก / การประมวลผลทางภาพ

Thesis Title	Augmented Tele-Robot Control using PDA
Thesis Credits	12
Candidate	LC. Khanchai Kingkangwan
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Siam Charoenseang
Program	Master of Science
Field of Study	Robotics and Automation
Faculty	Institute of Field Robotics
B.E.	2551

Abstract

This research presents a design of an augmented control for a mobile robot using PDA via wireless communication under the Microsoft Windows Mobile operating system. The system is specially designed for non-expert users to control the robot with fully graphic display for sensor fusion. The computer server combines augmented data of sensors with video streaming and sends data packet to PDA. Furthermore, target tracking and distance estimation with single camera are implemented. The system is also able to detect human movement using image processing. Moreover, fuzzy system is implemented to enhance the performance of robot for obstacle avoidance. The results indicate that the proposed system assists user to control a mobile robot more effectively and intuitively.

Keywords: PDA / Mobile Robot / Computer Vision / Augmented Data / Image Processing

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.ดร. สยาม เจริญเสียง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์และควบคุมการวิจัย ที่ได้กรุณาแนะนำแนวทางในการดำเนินการวิจัย ให้ข้อมูล ตลอดจนประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้กับผู้วิจัย ทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบคุณคณาจารย์ของสถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนามซึ่งช่วยชี้แนะแนวทางและให้คำปรึกษา ขอขอบคุณสถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนามซึ่งอำนวยความสะดวกทั้งในเรื่องสถานที่ในการวิจัย ตลอดจนอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย รวมทั้งขอบคุณเจ้าหน้าที่และนักศึกษาของสถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนามซึ่งให้ข้อมูลและความต้องการต่างๆ ที่จำเป็นในการพัฒนาระบบให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น และขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คนในครอบครัว และญาติพี่น้องที่ช่วยเหลือ เป็นกำลังใจและให้โอกาสในการทำงานเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ข

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ค

กิตติกรรมประกาศ ง

สารบัญ จ

รายการตาราง ช

รายการรูปประกอบ ซ

รายการสัญลักษณ์ ฐ

ประมวลศัพท์และคำย่อ ฑ

บทที่

1. บทนำ **1**

1.1 ความสำคัญของวิทยานิพนธ์ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย 3

1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์ 3

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง **4**

2.1 คุณลักษณะของพีดีเอ 4

2.2 หลักการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง 7

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับบลูทูธ (Bluetooth) [6] 8

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการสื่อสารผ่านเครือข่ายไร้สาย 10

2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับกราฟิก 10

2.6 การเรียกฟังก์ชันด้วยดีลีเกท (Delegate) 13

2.7 การประมาณฟังก์ชัน (Interpolation Function) ด้วย Bezier Curve [9] 13

2.8 การประมาณค่าฟังก์ชันโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least-Squares Regression)[11] 15

2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17

3. การออกแบบและการทำงาน **22**

3.1 โครงสร้างการทำงานของระบบ 22

3.2 การออกแบบส่วนหุ่นยนต์ 22

3.3 การออกแบบส่วนประมวลผล 26

3.4 การออกแบบส่วนการเชื่อมต่อ 27

4. การสร้างและพัฒนาระบบ **28**

4.1 การสร้างหุ่นยนต์ 28

4.2 การพัฒนาระบบ 29

5. การทดลองและผลการทดลอง **61**

5.1 จุดมุ่งหมายของการทดลอง 61

5.2 รูปแบบการทดลอง 62

5.3 วิธีการทดลอง 62

5.4 ผลการทดลอง 77

6.สรุปและข้อเสนอแนะ **87**

6.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง 87

6.2 สรุป 89

6.3 ข้อเสนอแนะ 89

เอกสารอ้างอิง **90**

ประวัติผู้วิจัย **91**

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

2.1 โครงสร้างการทำงานของบลูทูธ [6] 8
4.1 คุณสมบัติ Pin change interrupt ของ ATMega168 [12] 30
5.1 ขนาดของ Memory Stream ของภาพแต่ละเฟรม (ไบต์) 77
5.2 การทดลองหาระยะทางด้วยเอ็นโค้ดเดอร์ 78
5.3 ข้อมูลสำหรับการคำนวณหาสมการเชิงเส้นของเอ็นโค้ดเดอร์ 78
5.4 การทดสอบการหันเลี้ยวของหุ่นยนต์ 80
5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและจำนวนพิกเซล (กล้องสูง 16.5 ซม.) 80
5.6 การหาระยะทางของสิ่งกีดขวางด้วยอัลตร้าโซนิกส์ 82
5.7 การทดลองวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของมนุษย์ 82
5.8 ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเป้าหมายในโหมดอัตโนมัติ 83
5.9 สรุปคะแนนจากการทดสอบและแบบสอบถาม 84

รายการรูปประกอบ

รูป **หน้า**

2.1 ส่วนประกอบของสี 11
2.2 การเรียกเมธอดผ่านดีลีเกท 13
2.3 Bezier Cure [9] 14
2.4 Bezier Basis / Blending Function [9] 15
2.5 การหาค่าเบี่ยงเบนของวิธีกำลังสองน้อยที่สุด[11] 16
2.6 การควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้พีดีเอ [1] 17
2.7 ระบบโดยรวม [1] 17
2.8 โหมดขับเคลื่อนด้วยมือ [1] 18
2.9 โหมดแสดงรูปภาพ [1] 18
2.10 โหมดแสดงเซ็นเซอร์ [1] 18
2.11 การควบคุมด้วยมือ [2] 19
2.12 กำหนดให้หุ่นยนต์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ [2] 19
2.13 ลักษณะการใช้งาน [3] 19
2.14 แสดงปุ่มควบคุมหุ่นยนต์ [3] 20
2.15 แสดงเฉพาะภาพ [3] 20
2.16 แสดงข้อมูลของเซ็นเซอร์ [3] 20
2.17 แสดงข้อมูลเซ็นเซอร์ซ้อนทับภาพ [3] 20
2.18 ภาพแสดงสถานที่จำลองที่สร้างขึ้น [4] 21
2.19 แสดงข้อมูลต่างๆ ร่วมกับภาพจำลอง [4] 21
2.20 แสดงภาพของข้อมูลเสริม [5] 21
3.1 โครงสร้างการทำงานของระบบ 22
3.2 แสดงแบบของหุ่นยนต์ที่ใช้ในการทดลอง 23
3.3 แสดงแบบมอเตอร์กระแสตรง 23
3.4 แสดงแบบล้อ 23
3.5 แสดงแบบการติดตั้งมอเตอร์และล้อ 23
3.6 แสดงแบบการติดตั้งแบตเตอรี่และเพลากลาง 23
3.7 แสดงแบบโครงสร้างด้านนอก 24
3.8 แสดงแบบการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ 24

3.9 แสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 24
3.10 แสดงกล้องไร้สายที่ติดตั้งหน้าหุ่นยนต์ 25
3.11 แสดง TV-Tuner 25
3.12 พีดีเอที่ใช้ในการทดลอง 25
3.13 ส่วนประมวลผลที่หุ่นยนต์ 26
3.14 ส่วนประมวลผลที่คอมพิวเตอร์แม่ข่าย 26
4.1 มอเตอร์กระแสตรงใช้ขับเคลื่อนหุ่นยนต์ 28
4.2 อลูมิเนียมที่ใช้ทำโครงสร้างหุ่นยนต์ 28
4.3 โครงสร้างหุ่นยนต์หลังจากประกอบมอเตอร์ 28
4.4 หุ่นยนต์เมื่อประกอบล้อ 28
4.5 หุ่นยนต์เมื่อประกอบฝาครอบ 29
4.6 หุ่นยนต์เมื่อประกอบสมบูรณ์แล้ว 29
4.7 ขั้นตอนของคอมพิวเตอร์วิชัน 32
4.8 Augmented Class ในส่วนคอมพิวเตอร์แม่ข่าย 32
4.9 ข้อมูลเสริมที่แสดงที่พีดีเอ 33
4.10 ขั้นตอนการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ 34
4.11 การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ 34
4.12 การขยายภาพและส่งข้อมูลภาพขนาด 320x240 พิกเซล ไปแสดงผลที่พีดีเอ 36
4.13 ขั้นตอนการตรวจจับเป้าหมาย 36
4.14 ระบบไม่พบเป้าหมาย 37
4.15 ระบบตรวจพบเป้าหมาย 37
4.16 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ 38
4.17 โปรแกรมตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ 38
4.18 ส่วนประกอบทั้งหมดของขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพ 39
4.19 การเลือกวิธีในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของมนุษย์ 39
4.20 ข้อมูลเสริมและกราฟิกที่วาดบนวัตถุ 39
4.21 การคัดลอกภาพเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ 39
4.22 การจัดเรียงแอดเดรสของค่าสีในหน่วยความจำ 40
4.23 นำภาพ RGB มาเปลี่ยนเป็นภาพขาวดำ 40
4.24 ผลของการวิเคราะห์ภาพเป็นบล็อค ขนาด 10x10 พิกเซล 41
4.25 ข้อมูลที่เก็บไบนารี่ 41
4.26 วิธี Background Subtraction 42

4.27 วิเคราะห์ความชันของวัตถุ 42
4.28 แสดงการวิเคราะห์ท่าทางการเดิน 43
4.29 การแบ่งอัตราส่วนของวัตถุที่ตรวจสอบ 44
4.30 แสดงการวิเคราะห์ขา 44
4.31 แสดงการวิเคราะห์ศีรษะ 45
4.32 แสดงการวิเคราะห์รูปทรง 45
4.33 Fuzzy Membership Functions 46
4.34 ขั้นตอนของฟัซซี่ 47
4.35 การกำหนดทิศทางของหุ่นยนต์ 47
4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทกับเอ้าท์พุท 49
4.37 ขั้นตอนการทำ Composition 49
4.38 เมตริกซ์มีความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง Near กับทิศทาง Left ของสิ่งกีดขวาง 49
4.39 เมตริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง Medium กับทิศทาง Little Left ของสิ่งกีดขวาง 50
4.40 เมตริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง Far กับทิศทาง Center ของสิ่งกีดขวาง 50
4.41 ความสัมพันธ์ของระยะทาง Left กับทิศทาง Center ของสิ่งกีดขวาง 50
4.42 นำผลที่ได้มา AND กัน 51
4.43 ผลที่ได้จากการ Else ด้วยวิธี Mamdadi Else 51
4.44 แสดงการหันเลี้ยวหลบสิ่งกีดขวาง 52
4.45 ระบบตรวจพบสิ่งกีดขวางทางด้านขวา 52
4.46 หุ่นยนต์หันเลี้ยวหลบสิ่งกีดขวาง 53
4.47 หุ่นยนต์หาทิศทางใหม่เพื่อไปยังเป้าหมาย 53
4.48 อัลตร้าโซนิกส์ก่อนกรองสัญญาณ 54
4.49 อัลตร้าโซนิกส์หลังกรองสัญญาณ 54
4.50 ข้อมูลจากอัลตร้าโซนิกส์ที่แสดงผลที่พีดีเอ 54
4.51 ส่วนการแสดงผลและท่าทางการควบคุม 55
4.52 Augmented Class ในส่วนพีดีเอ 55
4.53 แสดงภาพเมื่อเปิดโปรแกรมที่พีดีเอ 56
4.54 แสดงภาพการรับ-ส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย 56
4.55 ส่วนแสดงผลในโหมดอัตโนมัติ 56
4.56 การขยายภาพในบริเวณที่ต้องการ 57
4.57 การแปลงภาพจาก .gif เป็น Bitmap Sequential 58
4.58 ขั้นตอนการรับส่งภาพ 59

4.59 หุ่นยนต์อยู่นอกเครือข่าย 60
5.1 การวัดระยะทางเทียบกับจำนวนพิกเซล 64
5.2 กำหนดเส้นทางไปยังเป้าหมาย 1 เส้นทาง 65
5.3 การคำนวณหามุมหันเลี้ยว 65
5.4 กำหนดเส้นทางให้หุ่นยนต์มากกว่า 1 เส้นทาง 66
5.5 การคำนวณทิศทางเมื่อกำหนดเส้นทางมากกว่า 1 ตำแหน่ง 67
5.6 การตรวจจับคนเดินจากขวาไปซ้าย 67
5.7 การตรวจจับคนเดินตรงออกมา 68
5.8 การตรวจจับคนเดินทแยงออกจากมุมซ้ายไปขวา 68
5.9 การตรวจจับคนเดินก้มหน้าจากซ้ายไปขวา 68
5.10 การตรวจจับคนเดินล้วงกระเป๋า 68
5.11 การตรวจจับคนเดินสวนสนาม 69
5.12 การตรวจจับคนวิ่งเหยาะๆ 69
5.13 การตรวจจับคนวิ่ง 69
5.14 การตรวจจับคนวิ่งเร็ว 70
5.15 การตรวจจับคนออกกำลังกาย 70
5.16 การตรวจจับคนเดินเอียงไหล่และก้มศีรษะ 70
5.17 การตรวจจับคนคลาน 71
5.18 การทดสอบกฎของฟัซซี่ข้อที่ 1 71
5.19 การทดสอบกฎของฟัซซี่ข้อที่ 2 71
5.20 การทดสอบกฎของฟัซซี่ข้อที่ 3 72
5.21 การทดสอบกฎของฟัซซี่ข้อที่ 4 72
5.22 การทดสอบกฎของฟัซซี่ข้อที่ 5 72
5.23 การทดสอบกฎของฟัซซี่ข้อที่ 6 73
5.24 ระยะเป้าหมาย 75 ซม. (160,240),(109,167) 73
5.25 หุ่นยนต์หยุดห่างจากเป้าหมาย 4 ซม. 73
5.26 ระยะเป้าหมาย 112 ซม. (160,240),(238,140) 74
5.27 ระยะเป้าหมาย 67 ซม. (160,240),(50,170) 74
5.28 ระยะเป้าหมาย 55 ซม. (160,240),(111,173) 74
5.29ระยะเป้าหมาย 108 ซม. (160,240),(223,137) 74
5.30 เส้นทาง(160,240),(240,156),(66,135) 74
5.31 เส้นทาง (160,240),(31,145),(83,128) 74

5.32 เส้นทาง (160,240),(117,155),(172,130) 75
5.33 เส้นทาง (160,240),(79,166),(248,140) 75
5.34 เส้นทาง (160,240),(126,174),(246,122) 75
5.35 เส้นทาง (160,240),(242,169),(90,134) 75
5.36 แบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินระบบ 76
5.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของระยะทางกับจำนวนพิกเซล 81
5.38 กราฟเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเป้าหมายในโหมดอัตโนมัติ 84
5.39 ผลการประเมินด้านการติดต่อกับผู้ใช้ 85
5.40 ผลการประเมินด้านการแสดงข้อมูลเสริม 85
5.41 ผลการทดลองให้ควบคุมหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมาย 86
5.42 ตัวอย่างการทดลอง 86
6.1 โปรแกรมตรวจสอบขาไม่ครบ 2 ขา 87

รายการสัญลักษณ์

$B_{i,n}(u)$	=	Bernstein Polynomials
n	=	จำนวนเลขยกกำลัง
p	=	พิกัด ณ จุดใดๆ
$G(x)$	=	ฟังก์ชัน
D	=	ค่าความแตกต่างของข้อมูล
L	=	ระยะทางในการเคลื่อนที่
D	=	ค่าที่ได้จากการคำนวณของฟังก์ชันระยะทางจากกล้อง
θ	=	มุมที่หุ่นยนต์หันเลี้ยว

ประมวลศัพท์และคำย่อ

GUI	=	Graphic User Interface
3D	=	3 Dimensional
PDA	=	Personal Digital Assistance
OS	=	Operating System
PWM	=	Pulsc Width Modulation
GDI+	=	Graphic Device Interface Plus
TCP/IP	=	Transmission Control Protocol
UDP	=	User Datagram Protocol
I^2C	=	Inter-IC Communication
INT	=	Interrupt
EN	=	Enable
Dir	=	Direction
RGB	=	Red Green Blue
BRGA	=	Blue Red Green Alpha
COA	=	Center Of Area
ROM	=	Read Only Memory
RAM	=	Random Access Memory
P/Invoke	=	Platform Invoke
IEEE	=	Institute of Electrical and Electronics Engineers
WEP	=	Wired Equivalent Privacy

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของวิทยานิพนธ์

ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านระบบอัตโนมัติ (Automatic System) ได้เข้ามามีบทบาทในการดำเนินชีวิตของมนุษย์มากขึ้นทั้งในด้านการสื่อสาร อุตสาหกรรม ฯลฯ รวมทั้งหุ่นยนต์ก็นำระบบอัตโนมัติมาประยุกต์ใช้ เนื่องจากหุ่นยนต์ต้องการความถูกต้อง แม่นยำ และทำงานได้นานกว่ามนุษย์ ในต่างประเทศได้พัฒนาหุ่นยนต์เพื่อปฏิบัติงานแทนมนุษย์ในพื้นที่เสี่ยงอันตราย เช่น องค์การนาซ่าได้ใช้หุ่นยนต์สปิริต (Spirit) และออปพอร์ทูนิตี้ (Opportunity) ในการสำรวจดาวอังคาร กองทัพสหรัฐได้พัฒนาหุ่นยนต์ แพคบอต (PackBot) ช่วยทหารรบในสงครามอัฟกานิสถานและอิรัก

ในประเทศไทยสถานการณ์ความไม่สงบในพื้นที่ชายแดนภาคใต้นับวันยิ่งมีความรุนแรงมากขึ้น โดยผู้ก่อการร้ายได้ใช้วิธีวางระเบิดไว้ตามจุดต่างๆ และจุดชนวนด้วยโทรศัพท์มือถือซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมาก ดังนั้นกระทรวงกลาโหมจึงมีความต้องการที่จะจัดหาหุ่นยนต์เก็บกู้วัตถุระเบิด (Explosive Ordnance Disposal Robot) เพื่อสนับสนุนการปฏิบัติงานของเจ้าหน้าที่เพื่อลดความเสี่ยงจากอันตรายหากเกิดการระเบิดขึ้น

เนื่องจากหุ่นยนต์ที่จัดหาจากต่างประเทศมีราคาสูง จึงยังไม่สามารถจัดซื้อมาใช้ในราชการได้ ประกอบกับหุ่นยนต์เก็บกู้วัตถุระเบิดที่ใช้อยู่ในปัจจุบันนั้นสร้างขึ้นเพื่อใช้งานเฉพาะกิจซึ่งยังไม่คล่องตัวในการควบคุม ไม่สามารถเคลื่อนที่ในพื้นที่ต่างระดับเช่นบันไดหรือพื้นที่ขรุขระ มีน้ำหนักมากทำให้เคลื่อนย้ายลำบาก และมีความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำ ซึ่งเป็นปัญหาที่ต้องนำมาศึกษาค้นคว้าและพัฒนาให้ได้หุ่นยนต์ที่สมบูรณ์ขึ้น ในส่วนของการควบคุมนั้นจะใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) ทำหน้าที่ดังกล่าวซึ่งเมื่อพิจารณาจากภารกิจขณะทำการเก็บกู้วัตถุระเบิดแล้วอาจมีความคล่องตัวในระดับหนึ่งแต่อย่างไรก็ตามในการควบคุมนั้นเจ้าหน้าที่ก็ต้องติดตั้งคอมพิวเตอร์ไว้ประจำที่ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงความปลอดภัยแล้วอาจเป็นเป้าให้กับผู้ก่อการร้ายโจมตีได้ ดังนั้นหากมีเครื่องคำนวณที่ทำหน้าที่ควบคุมหุ่นยนต์ได้เหมือนกับคอมพิวเตอร์แต่มีขนาดเล็กกว่าเคลื่อนย้ายสะดวกและทำงานได้รวดเร็วก็จะช่วยให้เจ้าหน้าที่สามารถปฏิบัติภารกิจได้อย่างคล่องตัว โดยขณะควบคุมหุ่นยนต์ก็สามารถหาที่กำบังได้

วิทยานิพนธ์นี้จึงได้ประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ขนาดเล็กหรือพีดีเอ (Personal Digital Assistant) โดยจะใช้พ็อกเก็ตพีซี (PocketPC) ซึ่งมีระบบปฏิบัติการเป็นวินโดว์โมไบล์มาใช้แทนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล พีดีเอนั้นกำลังได้รับความนิยมในปัจจุบันแต่โดยทั่วไปแล้วผู้ใช้ส่วนใหญ่ยังมองประโยชน์ของคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กนี้ไปในทางที่ใช้สำหรับเป็นเครื่องช่วยจำ (Organizer) หรือใช้เพื่อความบันเทิง

ทั้งๆ ที่ขีดความสามารถของเครื่องคอมพิวเตอร์ชนิดนี้ยังมีมากกว่านั้น โดยสามารถนำมาใช้งานเกี่ยวกับการควบคุมได้ซึ่งจะสามารถชดเชยข้อเสียของคอมพิวเตอร์ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันที่มีขนาดใหญ่และส่วนมากจะใช้คอมพิวเตอร์ในการควบคุมที่เป็นฟังก์ชั่นง่ายๆ เช่น เปิด ปิด หรือนับปริมาณเท่านั้นจึงเป็นการใช้ทรัพยากรที่ไม่คุ้มค่า ทั้งนี้การใช้พีดีเอมาควบคุมหุ่นยนต์จะต้องมีคุณสมบัติหลักเทียบเท่ากับการใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล และเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของระบบแล้ววิทยานิพนธ์นี้ยังมีการเพิ่มเติมความสามารถอื่นๆ เช่น การรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ (Sensor) ที่ติดตั้งบนหุ่นยนต์มาแสดงเป็นข้อมูลเสริม (Augmented Data) ซ้อนทับกับภาพที่แสดงบนพีดีเอเพื่อแสดงข้อมูลที่จำเป็นต่างๆ ทำให้สื่อสารกับผู้ใช้ได้ดีมากขึ้น การตรวจจับการเคลื่อนที่ของมนุษย์ รวมทั้งการกำหนดเส้นทางเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้อัตโนมัติ เป็นต้น

วิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอวิธีการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบใหม่โดยมีข้อมูลเสริมผ่านทางพีดีเอ ผู้ใช้สามารถควบคุมได้ทั้งแบบสัมผัส (Touch) และใช้ปากกาป้อนข้อมูล (Stylus) เนื่องจากการใช้ปากกาป้อนข้อมูลอย่างเดียวไม่เหมาะสมกับทุกสถานการณ์ เช่น ผู้ควบคุมเดินหรือวิ่ง ระบบนี้ออกแบบเพื่อการควบคุมหุ่นยนต์ที่ปฏิบัติงานในสถานที่จริง โดยไม่ได้กำหนดสภาพแวดล้อมไว้ล่วงหน้า ผู้ควบคุมจะได้รับข้อมูลเสริมเพื่อที่จะควบคุมหุ่นยนต์ได้อย่างง่ายและเป็นไปตามธรรมชาติ สามารถควบคุมได้แบบปกติและแบบอัตโนมัติ นอกจากนี้แล้วยังเพิ่มเติมความสามารถทางปัญญาประดิษฐ์ ร่วมกับการประมวลผลภาพ (Image Processing) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมหุ่นยนต์ให้เหมาะสมกับการปฏิบัติงานภาคสนาม โดยเฉพาะภารกิจทางทหารหรือการช่วยเหลือผู้ประสบภัย เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาและออกแบบระบบให้แสดงข้อมูลเสริมซ้อนทับกับภาพและแสดงผลที่พีดีเอ
2. ศึกษาวิธีการพัฒนาโปรแกรมด้วยพีดีเอเพื่อใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์
3. ศึกษาวิธีการนำข้อมูลจากเซ็นเซอร์มาประกอบกัน เพื่อกำหนดเส้นทางให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมาย

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สามารถแสดงข้อมูลที่ได้รับจากเซ็นเซอร์เป็นแบบเสมือนจริงด้วยกราฟิก 2 มิติ ให้แสดงผลที่พีดีเอได้
2. สามารถประยุกต์ใช้ข้อมูลเสริมในการควบคุมหุ่นยนต์ในระยะที่สามารถสื่อสารข้อมูลผ่านเครือข่ายได้
3. สามารถนำระบบปฏิบัติการวินโดว์โมไบล์มาใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ได้

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

1. เป็นต้นแบบในการนำพีดีเอไปใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ โดยสามารถนำระบบดังกล่าวไปใช้กับภารกิจทางทหารได้
2. เพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมหุ่นยนต์ให้สามารถควบคุมได้สะดวกและคล่องตัวขึ้น

1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 6 บท โดยบทที่หนึ่งซึ่งเป็นบทนำจะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์และขอบเขตรวมทั้งประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์นี้ ในบทที่สองจะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์นี้ ในส่วนบทที่สามจะเป็นการอธิบายแนวคิดในการออกแบบและสร้างระบบ จากนั้นในบทที่สี่จะกล่าวถึงแนวทางในการพัฒนาระบบ ในบทที่ห้าจะกล่าวถึงการทดลองและผลที่ได้จากการทดลอง และในส่วนบทสุดท้ายคือบทที่หกจะเป็นสรุปและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 คุณลักษณะของพีดีเอ

พีดีเอเป็นอุปกรณ์ที่อำนวยความสะดวกในการจัดการงาน ช่วยในการจดบันทึก หรือเตือนนัดหมายต่างๆ และสามารถที่จะเพิ่มซอฟต์แวร์เข้าไป เช่น โปรแกรม รายรับ - รายจ่าย โปรแกรม ดิกชั่นนารี่ หรือแม้กระทั่งมัลติมีเดียต่างๆ เช่น ดูหนัง ฟังเพลง เล่นเกมส์ อีกทั้งพีดีเอบางรุ่นยังใช้เป็นโทรศัพท์มือถืออีกด้วย

พีดีเอนั้นจะมีอยู่หลายค่ายที่ผลิตออกมาจำหน่ายโดยแบ่งตามระบบปฏิบัติการ (OS) ดังนั้น พีดีเอจึงเป็นคำเรียกรวมๆ ของอุปกรณ์พกพาที่ช่วยในการจัดการของบุคคลส่วนพ็อกเก็ตพีซี (Pocket PC) คือ พีดีเอที่มีวินโดว์โมไบล์ เป็นระบบปฏิบัติการ โดยเหตุผลที่เลือกใช้พีดีเอมีดังนี้

- ผู้ผลิตและผู้แทนจำหน่ายเป็นบริษัทที่มีชื่อเสียงไม่ว่าจะเป็น Hewlett Packard, Toshiba, Fujitsu, Laser, Acer ฯลฯ จึงมั่นใจได้ในระยะยาว
- พ็อกเก็ตพีซีรุ่นที่ผลิตในปัจจุบัน จะใช้ซีพียู (CPU) เบอร์เดียวกันทั้งหมด หรือใช้ซีพียูที่เข้ากันได้ (Compatible) จึงใช้โปรแกรมร่วมกันได้แม้จะใช้เครื่องต่างยี่ห้อกัน และซีพียูก็มีความเร็วไม่น้อยกว่า 200 MHz ส่วนใหญ่ใช้ Intel Xscale PXA ความเร็ว 400 MHz ขึ้นไป มีหน่วยความจำไม่น้อยกว่า 64 Mbyte
- ขนาดและน้ำหนักของพ็อกเก็ตพีซี มีขนาดเล็กถึงเล็กมากเมื่อเทียบกับพีดีเออื่นๆ รวมทั้งอายุการใช้งานแบตเตอรี่ของพ็อกเก็ตพีซีมีการใช้งานต่อการชาร์จยาวนานกว่าพีดีเออื่นเมื่อเทียบกับพีดีเอที่ผลิตอยู่ในปัจจุบันด้วยกัน พ็อกเก็ตพีซีที่ผลิตในปัจจุบันเมื่อเปิดไฟส่องจอที่ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ซึ่งเป็นความสว่างที่มากพอสำหรับเกือบทุกสภาพแสง เปิดใช้เสียงเตือนตามปกติ ใช้งานทั่วไปโดยไม่ติดอุปกรณ์พิเศษ จะใช้งานได้ 6 - 10 ชั่วโมง หรือหากเทียบเป็นการใช้งานเฉลี่ยวันละครึ่งชั่วโมง พ็อกเก็ตพีซีก็จะใช้งานได้นานถึง 12 - 20 วัน นอกจากนี้แล้วพ็อกเก็ตพีซียังสามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ง่ายเหมือนโทรศัพท์มือถือจึงจัดหาแบตเตอรี่สำรองมาใช้ได้
- การใช้ข้อมูลร่วมกัน ด้วยความที่เป็นวินโดว์เหมือนกับคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานทั่วไปทำให้พ็อกเก็ตพีซีใช้งานไฟล์ต่างๆ ได้เลยโดยไม่ต้องแปลงเป็นรูปแบบอื่น ไม่ว่าจะเป็นไฟล์จากโปรแกรม Word หรือ Excel ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ
- พ็อกเก็ตพีซี ยังสามารถใช้กับอุปกรณ์เสริมต่างๆ ได้โดยไม่ต้องยุ่งยากติดตั้งไดร์เวอร์ (Driver) เพิ่มเติม หรือพ็อกเก็ตพีซีบางแบบมีช่องสำหรับใส่อุปกรณ์ CF ที่มีอุปกรณ์ให้เลือกใช้มากมาย ไม่ว่าจะเป็นการ์ดสำหรับนำภาพขึ้นจอใหญ่ได้เหมือนคอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์บอกตำแหน่งด้วยดาวเทียม (GPS) หรือโมเด็มไร้สาย เป็นต้น

2.1.1 การพัฒนาโปรแกรม

.NET Framework เป็นกรอบหรือโครงร่างการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งไมโครซอฟท์ (Microsoft) ได้เริ่มทำการพัฒนามาตั้งแต่เดือนกุมภาพันธ์ ปี ค.ศ 2002 และยังมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเทคโนโลยีนี้จะเน้นการทำงานของโปรแกรมต่างๆ ในรูปแบบของ Web Service ซึ่งเป็นส่วนที่ทำให้แอพพิเคชั่น (Application) ต่างๆ ของผู้ใช้สามารถติดต่อกันผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้ง่ายขึ้น โดยที่โปรแกรมที่ทำการเชื่อมต่อกันนั้น ไม่จำเป็นต้องอยู่บนระบบปฏิบัติการเดียวกัน เพราะฉะนั้น .NET Framework จึงไม่ใช่ภาษาที่ใช้เขียนโปรแกรมแต่เป็นชื่อเรียกโดยรวมของการพัฒนาโปรแกรมแบบใหม่ที่ไมโครซอฟท์พัฒนาขึ้น โดยสามารถทำการพัฒนาโปรแกรมได้ง่ายขึ้น เนื่องจากได้มีการเตรียมโปรแกรมพื้นฐาน (Base Class) ไว้ให้เรียบร้อยแล้ว มีความปลอดภัยมากขึ้น เนื่องจากการใช้งานทรัพยากรต่างๆ ในระบบจะถูกจัดการด้วย .NET Framework ทั้งหมด และการพัฒนาโปรแกรมไม่ได้ขึ้นอยู่กับภาษาที่ใช้เขียนต่อไปเนื่องจาก .NET มีกลุ่มของการพัฒนาโปรแกรมที่สามารถใช้พัฒนาได้หลายภาษา

ไมโครซอฟท์ได้เห็นความสำคัญในการพัฒนาโปรแกรมบนพีดีเอเช่นกันเนื่องจากพีดีเอก็เป็นอุปกรณ์ที่สามารถเชื่อมต่อใช้งานอินเทอเน็ตได้ดีเช่นกัน แต่เนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องพีดีเอยังมีอยู่มากไม่ว่าจะเป็นเรื่องของหน่วยความจำที่มีจำกัด ความเร็วของซีพียู ขนาดการแสดงผลเป็นต้น ไมโครซอฟท์จึงได้ทำการพัฒนา .NET Compact Framework [7] ที่มีขนาดเล็กลงเพื่อให้สามารถใช้พัฒนาโปรแกรมบนเครื่องพีดีเอได้

.NET Compact Framework กล่าวง่ายๆ คือเป็น .NET Framework อีกเวอร์ชั่นที่มีขนาดเล็กทำงานได้รวดเร็วและตัดคุณสมบัติการทำงานบางส่วนของ .NET Framework ออกไปสำหรับการพัฒนาโปรแกรมสำหรับอุปกรณ์ต่างๆโดยเฉพาะ โดยสามารถพัฒนาโปรแกรมสำหรับวินโดว์โมไบล์และ Windows CE ได้

ในการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาระดับสูงเช่นภาษา C++ หรือ C# นั้นตัวคอมไพเลอร์ (Compiler) จะทำการแปลงจากซอร์สโค้ด (Source Code) ไปเป็นแมทชีนโค้ด (Machine Code) ที่ซีพียูของเครื่องนั้นๆ รู้จักอยู่โดยที่ผู้เขียนโปรแกรมไม่ต้องไปยุ่งเกี่ยวกับการจัดการหน่วยความจำหรือทรัพยากรอื่นๆ เลย ปล่อยให้ไลบรารี่ (Library) ภายนอกจัดการให้ทั้งหมด เช่น DLL ไฟล์ทั้งหลายที่ใช้พัฒนาโปรแกรมบนวินโดว์ การเขียนโปรแกรมในลักษณะนี้ทำให้การนำโปรแกรมไปใช้งานในสภาวะแวดล้อมอื่นทำได้ยากเนื่องจากการทำงานของระบบปฏิบัติการที่แตกต่างกันทำให้ไม่สามารถนำโปรแกรมที่เขียนไปใช้งานในอีกระบบปฏิบัติการ ด้วยการพัฒนาโปรแกรมแบบเก่าทำให้เกิดปัญหาขึ้นได้ เช่น โปรแกรมไม่สามารถทำงานข้ามระบบปฏิบัติการได้เนื่องจากมีการทำงานที่แตกต่างกัน โปรแกรม

ที่เขียนบนซีพียูชนิดหนึ่งจะไม่สามารถทำงานบนซีพียูที่ต่างชนิดกันได้ หากเขียนโปรแกรมต่างภาษากันจะไม่สามารถทำให้โปรแกรมทั้ง 2 นั้นใช้งานอ็อบเจ็ค (Object) ต่างๆ ร่วมกันได้ เป็นต้น

.NET Compact Framework ได้ทำการแก้ไขปัญหาต่างๆ เหล่านี้โดยสามารถเลือกโปรแกรมได้ด้วยภาษา C#.NET, C++.NET หรือ VB.NET โดยสามารถทำงานและแลกเปลี่ยนการใช้งานอ็อบเจ็คระหว่างโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาที่ต่างกันได้เนื่องจากมีการแปลงไปเป็น Byte Code ในรูปแบบเดียวกัน การคอมไพล์โปรแกรมให้อยู่ในรูปแบบไบนารี่ (Binary) มีรูปแบบเหมือนกันแต่ขึ้นอยู่กับสถาปัตยกรรมของซีพียูนั้นๆ ทำให้สามารถเขียนโปรแกรมครั้งเดียวแล้ว Deploy ไปยังเครื่องพ็อกเก็ตพีซีที่ใช้ซีพียูชนิดต่างๆ ได้ โปรแกรมที่คอมไพล์เสร็จแล้วจะอยู่ในรูปของ Intermediate Language Byte Codes (IL Code) ทำให้สามารถทำงานได้ในหลายๆ ระบบปฏิบัติการที่มีการติดตั้ง .NET Compact Framework Runtime

2.1.2 การพัฒนาโปรแกรมบนวินโดว์โมไบล์ 5.0 ด้วย .NET CF 3.0

วินโดว์โมไบล์ 5.0 ได้มีการพัฒนาความสามารถในด้านต่างๆ มากมาย ที่เด่นที่สุดก็จะเป็นการเปลี่ยนแปลงเกี่ยวกับการใช้งานหน่วยความจำโดยเปลี่ยนไปใช้หน่วยความจำแบบ Persistent Storage ที่เป็นการใช้งานหน่วยความจำร่วมกันระหว่างหน่วยความจำชั่วคราว (RAM - Random Access Memory) กับหน่วยความจำถาวร (ROM - Read Only Memory) โดยข้อมูลที่ต้องใช้งานขณะทำงานจะถูกเก็บไว้ใน RAM เพื่อความรวดเร็ว ส่วนไฟล์ข้อมูลของระบบปฏิบัติการและโปรแกรมอื่นๆ ก็จะถูกติดตั้งไว้ใน ROM ซึ่งการทำงานด้วยวิธีนี้จะส่งผลดีหลายอย่างเช่น มีพื้นที่ใน RAM สำหรับใช้งานมากขึ้น ทำให้แบตเตอรี่ทำงานได้นานขึ้นเพราะไม่ต้องใช้ไฟไปเลี้ยงข้อมูลตลอดเวลาและ ข้อมูลต่างๆ ยังคงอยู่ถึงแม้ว่าแบตเตอรี่จะหมดไปเนื่องจากเก็บไว้ใน ROM เป็นต้น

.NET Compact Framework 3.0 นั้นเปรียบเสมือนเป็น .NET Framework 3.0 อีกเวอร์ชั่นที่มีขนาดเล็กทำงานได้รวดเร็ว แต่ได้ตัดคุณสมบัติการทำงานบางส่วนของ .NET Framework 3.0 ออกไปเช่น Class, Library เพื่อเป็นประโยชน์สำหรับการพัฒนาโปรแกรมสำหรับอุปกรณ์มือถือโดยเฉพาะซึ่งอุปกรณ์เหล่านั้นมีข้อจำกัดในเรื่องทรัพยากร เช่น หน่วยความจำ อายุการใช้งานของแบตเตอรี่เป็นต้น ซึ่งเครื่องพ็อกเก็ตพีซีที่จะสามารถใช้งานโปรแกรมต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นด้วย .NET Compact Framework 3.0 ได้นั้นจำเป็นต้องมีการติดตั้ง .NET Compact Framework 3.0 Runtime เอาไว้ด้วย โดยได้เพิ่มเติมฟังก์ชันจากเวอร์ชั่น 2 ที่สำคัญเช่น DirectX ใน Windows Mobile 5.0 ได้เริ่มมีการเพิ่มคุณสมบัติการแสดงผล 2 มิติ และ 3 มิติโดยคุณสมบัติดังกล่าวนั้นได้ทำการสืบทอดมาจาก DirectX API (Application Programming Interfaces) การทำงานกับ Threading ใน .NET CF 3.0 นี้ได้พัฒนา

คลาสที่เกี่ยวข้องกับ Thread ขึ้นมาอีกหลายอย่างเพื่อให้นักพัฒนาสามารถจัดการกับ Thread ได้ง่าย เช่น การสร้าง Background Thread เป็นต้น

2.1.3 เครื่องมือในการพัฒนาโปรแกรมบนพีดีเอ

ในการพัฒนาโปรแกรมบนพีดีเอด้วย .NET Compact Framework 3.0 สำหรับวินโดว์โมไบล์ 5.0 นั้น จำเป็นต้องใช้เครื่องมือต่างๆ ดังนี้

- Visual Studio 2008 เวอร์ชั่นที่สามารถทำการพัฒนาโปรแกรมบน Smart Device ได้นั้น ต้องเป็น Visual Studio 2008 Standard Edition หรือ Visual Studio 2008 Profession Edition หรือ Visual Studio 2008 Team System เท่านั้น

- Windows Mobile 5.0 SDK ซึ่งใน Visual Studio 2008 ถ้าต้องการพัฒนาโปรแกรมเพื่อใช้งานกับวินโดว์โมไบล์ 5.0 นั้นไม่จำเป็นต้องติดตั้ง ชุดพัฒนาซอฟต์แวร์เพิ่มเติม แต่ถ้าเป็น Visual Studio เวอร์ชันต่ำกว่านี้ต้องติดตั้งเพิ่มเติม

- ActiveSync 4.5 สำหรับเชื่อมต่อระหว่างพีซีและพ็อกเก็ตพีซี

- .NET Compact Framework 3.0 Redistributable Package เป็นชุดสำหรับติดตั้ง .NET Compact Framework Runtime ให้กับพ็อกเก็ตพีซี โดยสามารถติดตั้งให้กับเครื่องที่มีระบบปฏิบัติการวินโดว์โมไบล์ 2003 หรือวินโดว์โมไบล์ 5.0 ก็ได้

2.2 หลักการควบคุมความเร็วมอเตอร์กระแสตรง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยพีดีเอ ดังนั้นจึงต้องศึกษาวิธีการควบคุมมอเตอร์กระแสตรงที่จะนำมาใช้สำหรับขับเคลื่อนหุ่นยนต์ นอกจากควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แล้ว ผู้ใช้ยังสามารถควบคุมความเร็วของหุ่นยนต์ได้ด้วย วิธีการควบคุมความเร็วมอเตอร์นั้นมีหลายวิธี ได้แก่

2.2.1 การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้

เป็นรูปแบบพื้นฐานที่สุดของการควบคุมมอเตอร์คือ ใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้อนุกรมกับมอเตอร์ โดยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้จะเป็นตัวกำหนดความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ การบังคับแบบนี้ไม่มีประสิทธิภาพเพราะกำลังไฟสูญเสียไปในตัวความต้านทาน มักนิยมใช้กับมอเตอร์ตัวเล็กๆ การบังคับแบบนี้ให้คุณสมบัติการสตาร์ทดี โดยให้แรงบิดสูงที่ความเร็วต่ำ แต่จะให้ความเร็วสูงมากเมื่อมอเตอร์อยู่ในภาวะที่มีโหลดน้อยๆ ดังนั้นการบังคับแบบนี้มีประโยชน์เฉพาะภาวะที่แรงต้านคงที่ เช่น การบังคับความเร็วของเครื่องจักรเย็บผ้า เป็นต้น

2.2.2 การควบคุมด้วยวิธีเปลี่ยนค่าแรงดัน

วิธีการนี้ดีกว่าวิธีการแรกแต่จะซับซ้อนกว่าต้องใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิคส์ที่ทีอัตราขยายกำลังสูง และมอเตอร์จะถูกป้อนด้วยแรงดันที่เปลี่ยนแปลงค่าได้ จากแหล่งจ่ายที่มีอิมพีแดนซ์ต่ำ ข้อดีของการควบคุมวิธีนี้คือ ถ้าความเร็วลดลงจากผลของแรงบิด แรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะเพิ่มขึ้นเพื่อรักษาระดับความเร็ว ส่วนข้อเสียจากการควบคุมวิธีนี้คือ เมื่อมอเตอร์มีความเร็วต่ำแรงดันที่ป้อนให้กับมอเตอร์จะมีค่าต่ำเช่นกัน

2.2.3 การควบคุมด้วยตัวต้านทานที่ปรับค่าได้

การควบคุมแบบนี้สามารถขับดีซีมอเตอร์ได้ความเร็ว 10 : 1 ผลของคุณสมบัติ ความเร็วและแรงบิดได้รับการปรับปรุงดีขึ้นกว่าการบังคับด้วยความต้านทานที่ปรับค่าได้ และให้การเร็คกูเลท (Regulate) ความเร็วคงที่ได้ดีขึ้นตลอดช่วงความเร็วที่กว้างกว่า

2.2.4 การควบคุมแบบ PWM (Pulse Width Modulation)

เป็นเทคนิคสำหรับควบคุมวงจรทางด้านฮาร์ดแวร์โดยใช้สัญญาณเอาท์พุตแบบดิจิตอลของไมโครโปรเซสเซอร์ควบคุมโดยมีข้อดีคือ PWM อินเตอร์เฟสกับไมโครคอนโทรลเลอร์ได้ง่าย ใช้เพียงแค่เอาท์พุตสัญญาณเดียวในการควบคุมความเร็ว และให้ค่าทอร์ค (Torque) และความเร็วสูงสุดของมอเตอร์

2.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับบลูทูธ (Bluetooth) [6]

สำหรับอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อเข้าด้วยกันเป็นเน็ตเวิร์กนั้น การส่งข้อมูลจากอุปกรณ์หนึ่งไปยังอุปกรณ์ปลายทางจำเป็นต้องมีการส่งข้อมูลอื่นๆ ประกอบเข้าไปกับข้อมูลที่ต้องการส่งนั้นด้วย เพื่อควบคุมเส้นทางของข้อมูลให้สามารถส่งไปถึงอุปกรณ์ปลายทางได้อย่างถูกต้อง ทำให้การส่งข้อมูลแต่ละครั้งเกิดการทำงานต่างๆ ขึ้นมากมาย จึงเกิดการสร้างโมเดลแทนการทำงานต่างๆ ดังกล่าวเพื่อให้สามารถมองเห็นภาพรวมของการทำงานทั้งหมดได้

ตารางที่ 2.1 โครงสร้างการทำงานของบลูทูธ [6]

Application Layer	Applications
Presentation Layer	RFCOMM/SDP
Session Layer	L2CAP
Transport Layer	HCI
Network Layer	Link Manager
Data Link Layer	Link Controller

Physical Layer	Base band
OSI Model	Radio
	Bluetooth Module

สำหรับโมเดลการทำงานของบลูทูธ (Bluetooth Module) ถูกกำหนดให้มีโครงสร้างการทำงานดังตารางที่ 2.1 ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีจำนวน 8 ชั้น มากกว่าโมเดล OSI อยู่ 1 ชั้น ทำให้ขอบเขตการทำงานในแต่ละชั้น แตกต่างจากโมเดล OSI แต่ลำดับการทำงาน มีลักษณะเหมือนกัน โดยแต่ละชั้นของโมเดล บลูทูธ มีชื่อ และหน้าที่การทำงานดังนี้

- ชั้นที่ 8 Applications เป็นส่วนของโปรแกรมที่ติดต่อรับหรือส่งข้อมูลกับผู้ใช้

- ชั้นที่ 7 RFCOMM/SDP สำหรับ RFCOMM เป็นโปรโตคอลเสมือนที่ทำให้แอพพลิเคชันด้านบนมองบลูทูธเป็นเหมือนพอร์ตอนุกรม (Serial Port) ทั่วไป ส่วน SDP (Service Discovery Protocol) เป็นโปรโตคอลที่ช่วยค้นหาบริการจากอุปกรณ์บลูทูธตัวอื่น

- ชั้นที่ 6 L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol) ทำหน้าที่มัลติเพล็กซ์ข้อมูลจากชั้นบนซึ่งอาจจะมีการทำงานของโปรแกรมหลายโปรแกรมพร้อมกัน และจัดแบ่งข้อมูลออกเป็นแพ็กเก็ต

- ชั้นที่ 5 HCI (Host Control Interface) เป็นโปรโตคอลเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมชั้นบนที่ทำงานอยู่บนระบบหนึ่ง เช่นโปรแกรมในเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กทำงานบน CPU x86 กับส่วนควบคุมการทำงานของบลูทูธ เช่น การ์ด PCMCIA บลูทูธที่ต่ออยู่ในเครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊กทำให้โปรแกรมรู้จักคำสั่งควบคุมอุปกรณ์บลูทูธ

- ชั้นที่ 4 Link Manager ทำหน้าที่แปลงคำสั่งที่ได้รับจากชั้นบนเป็นลำดับหน้าที่การทำงานที่ชั้นล่างรู้จัก และคอยส่งคำสั่งลงไปควบคุมการทำงานของชั้นล่างทั้งหมด

- ชั้นที่ 3 Link Controller ควบคุมการเชื่อมต่อพื้นฐานของบลูทูธทั้งหมด ไม่ว่าจะเป็นสถานะของอุปกรณ์ โหมดการทำงานของอุปกรณ์ การค้นหาอุปกรณ์บลูทูธใกล้เคียง รวมทั้งการเลือกว่าจะเป็นมาสเตอร์ (Master) หรือสเลฟ (Slave) ในสภาพแวดล้อมต่างๆ

- ชั้นที่ 2 Base Band การทำงานของชั้นนี้มีหน้าที่หลักของชั้นนี้คือการควบคุมวงจรภาคส่ง – รับคลื่นวิทยุที่อยู่ชั้นล่างสุด ซึ่งจุดสำคัญที่สุดของการควบคุมก็คือการเลือกช่องความถี่ในการรับส่งข้อมูลให้ตรงกันระหว่างมาสเตอร์และสเลฟที่ต้องมีการกระโดดไปในรูปแบบเดียวกัน

- ชั้นที่ 1 Radio เป็นส่วนที่เกิดการรับและส่งคลื่นวิทยุจริงๆ เป็นส่วนวงจรฮาร์ดแวร์ภาคส่ง – รับคลื่นวิทยุที่ถูกควบคุมจากชั้น Base Band ไม่ว่าจะเป็นความถี่และระดับความแรงของสัญญาณที่ใช้ รวมไปถึงเฟรมข้อมูลที่จะส่ง

2.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการสื่อสารผ่านเครือข่ายไร้สาย

เทคโนโลยีของระบบการเชื่อมต่อแบบไร้สายในปัจจุบันที่เด่น ๆ มีอยู่ 2 มาตรฐานด้วยกันคือ HomeRF และ IEEE 802.11b (Wi-Fi หรือ Wireless LAN) ซึ่งมาตรฐานที่สองจะได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายมากกว่า ไมโครซอฟท์จึงเลือกที่จะสนับสนุนมาตรฐาน IEEE 802.11b แต่เนื่องจากมาตรฐาน IEEE 802.11b ซึ่งใช้ระบบการตรวจสอบสิทธิ์และการเข้ารหัสข้อมูลที่เรียกว่า WEP (Wired Equivalent Privacy) นั้นได้รับการวิจารณ์ว่าไม่ค่อยที่จะปลอดภัยต่อการดักจับข้อมูล ทีมพัฒนาของไมโครซอฟท์จึงได้ร่วมมือกับ IEEE เพื่อพัฒนามาตรฐานของระบบหารตรวจสอบสิทธ์ และการเข้ารหัสข้อมูลสำหรับ IEEE 802.11b ขึ้นใหม่เพื่อใช้แทน WEP ซึ่งก็คือมาตรฐาน 802.1x ซึ่งสรุปได้ว่าตามมาตรฐานที่ใช้กันอยู่ปัจจุบันมี 3 มาตรฐาน คือ

2.4.1. IEEE 802.11b เป็นมาตรฐานที่นิยมใช้กันมากที่สุด และยังมีอุปกรณ์รองรับอีกมาก ระบบไร้สายประเภทนี้มีการเชื่อมโยงกันโดยใช้ช่วงสัญญาณคลื่นวิทยุ ช่วงความถี่ 2.4 GHz และยังสามารถที่จะส่งข้อมูลได้ในระดับ 11 Mbps ภายในรัศมี ในที่โล่งประมาณ 300 เมตร ตามทฤษฎี

2.4.2. IEEE 802.11a จะมีข้อดีและข้อด้อยกว่า IEEE 802.11b คือ สามารถที่จะส่งข้อมูลได้ที่ 54 Mbps และความยากต่อการรบกวนของสัญญาณแต่จะได้ระยะทางในการส่งเพียง 75 เมตรเท่านั้น และที่สำคัญคือความเข้ากันได้กับ 802.11b โดย IEEE 802.11a จะทำงานที่ย่านความถี่ 5 ถึง 6 GHz ในปัจจุบันมีการนำมาใช้ในย่านที่มีประชากรหนาแน่น

2.4.3. IEEE 802.11g เป็นมาตรฐานล่าสุดที่ออกมาทดแทนและแก้ปัญหาเรื่องของระบบความปลอดภัยและความเร็วของ 802.11b โดยที่สามารถทำงานร่วมกับ 802.11b ได้อย่างสมบูรณ์ในย่านสัญญาณ 2.45 GHz เช่นเดียวกับ 802.11b

การใช้อุปกรณ์ Wi-Fi 2 ตัวเชื่อมต่อกันโดยไม่ผ่าน Wireless Router นั้นจะเรียกว่า Ad-Hoc Network หรือกล่าวได้ว่าเป็นเครือข่ายที่สร้างขึ้นโดยไม่มีการอำนวยการส่วนกลาง ซึ่งเครือข่ายจะมีการเชื่อมต่อกันแบบไร้สาย เพื่อส่งข้อมูลในรูปของแพ็กเกตข้อมูลระหว่างกันซึ่งมีข้อดีคือโครงข่ายสามารถสร้างขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ไม่ยุ่งยากซับซ้อนและไม่ต้องมีโครงสร้างของสถานีฐานและไม่ต้องมีผู้ดูแลระบบโครงข่ายแต่ก็มีข้อด้อยของการเชื่อมโยงไร้สายยังมีปัญหาในเรื่องของสัญญาณรบกวน ทำให้สัญญาณข้อมูลด้านรับมีคุณภาพลดลง ซึ่งมีอัตราบิตผิดพลาด (Bit Error Rate) อยู่ในช่วง 10^{-4} - 10^{-5}

2.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับกราฟิก

วิทยานิพนธ์นี้มีการดำเนินการทางด้านกราฟิกหลายส่วน เริ่มตั้งแต่การรับภาพจากกล้องจากนั้นเข้าสู่กระบวนการเตรียมภาพให้พร้อมสำหรับการประมวลผลในขั้นต่อๆ ไป ดังนั้นจึงต้องศึกษาทำความเข้าใจทฤษฎีเกี่ยวกับกราฟิกต่างๆ

2.5.1 สี (Color)

สีเป็นพื้นฐานสำคัญในการสร้างกราฟิก ซึ่ง GDI+ จะกำหนดสีด้วย Color Structure โดย Reference จาก System.Drawing Namespace และแทนสีนั้นด้วย 4 องค์ประกอบ คือ ARGB (Alpha, Red, Green, Blue) ดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของสี [10]

แต่ละองค์ประกอบจะมีค่า 0 - 255 นอกจากจะพิจารณาองค์ประกอบของสีด้วย RGB แล้ว ยังสามารถแทนค่าสีใดๆ ได้ด้วย HSB (Hue, Saturation, Brightness) ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับนำไปประมวลผลภาพ เช่น พิจารณาเฉพาะค่าสีอย่างเดียวโดยตัดผลกระทบของแสงออกไปก็ใช้เฉพาะค่า Hue อย่างเดียว

2.5.2 GraphicsPath

การแสดงกราฟิกที่มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งหากพิจารณากราฟิกแยกกัน จะต้องกำหนดความสัมพันธ์ของกราฟิกทั้งหมดนั้นให้เคลื่อนย้ายตามกันไปด้วย ซึ่งในทางปฏิบัติต้องใช้การคำนวณค่อนข้างมาก แต่ GDI+ สามารถนำกราฟิกต่างๆ เช่น Lines, Ellipse, Text และอื่นๆ มารวมกันแล้วสร้างกราฟิกด้วยอ็อบเจ็คเดียวได้ด้วย GraphicsPath ทำให้สามารถดำเนินการต่าง เช่น Draw, Transform หรือ Rotate ได้ด้วยการดำเนินการครั้งเดียว

2.5.3 การเพิ่มประสิทธิภาพการแสดงกราฟิก

การแสดงกราฟิกนั้นนับว่าเป็นกระบวนการที่ใช้ทรัพยากรของระบบค่อนข้างมาก โดยเฉพาะถ้ามีกราฟิกจำนวนมาก หรือใช้พื้นที่แสดงผลขนาดใหญ่ เทคนิคต่างๆ ในการแสดงกราฟิกให้ Smooth มีหลายวิธี เช่น กำหนด SmoothingMode ของกราฟิก ซึ่งจะมีหลายรูปแบบเช่น AntiAlias, HighQuality, Default, HighSpeed, Invalid และ None หรือการใช้ Double Buffering เพื่อสำรองข้อมูลภาพไว้ก่อนในขณะแสดงผล นอกจากนี้ยังสามารถเลือกแสดงกราฟิกเฉพาะพื้นที่ที่ต้องการก็ได้

2.5.4 การนำกราฟิกมาซ้อนทับบนรูปภาพ

การนำรูปภาพมาซ้อนทับบนรูปภาพหรือกราฟิกซ้อนทับกราฟิกนั้นจะเรียกว่า Overlay เช่น ขณะแสดงรูปภาพอยู่นั้นต้องการสื่อความหมายบางอย่าง จึงวาดกราฟิกมาซ้อนทับเป็นรูปทรงที่ต้องการ หรือเขียนข้อความบรรยายซ้อนทับไปบนภาพนั้นเลย โดยสามารถกำหนดให้กราฟิกที่ซ้อนทับนั้นโปร่งใส (Transparent) เพื่อมองเห็นภาพด้านหลังได้ ถ้าต้องการแสดงภาพซ้อนทับกัน โดยที่ลบสีพื้นหลังของภาพบนออกไปด้วย วิธีที่ง่ายที่สุดคือใช้ความสามารถของ Bitmap Class ซึ่งจะใช้ MakeTransparent เมธอด (Method) สำหรับการทำพื้นหลังภาพให้โปร่งใสสามารถกำหนดความโปร่งใสของสีได้ด้วย Alpha มีค่า 0 – 255

2.5.5 การกำหนดพื้นที่กราฟิกด้วย Clipping Region

การกำหนดพื้นที่เฉพาะสำหรับการดำเนินการทางกราฟิกนั้นนับว่ามีประโยชน์อย่างมาก โดยเฉพาะเมื่อต้องการแสดงกราฟิกที่ซับซ้อน เช่น กำหนดพื้นที่เพื่อตรวจสอบการกระทำบางอย่างบนกราฟิก จะต้องคำนวณพื้นที่ของบริเวณที่ต้องการ ซึ่งทำได้ค่อนข้างยากรวมทั้งการคำนวณก็ใช้ทรัพยากรของระบบมากเช่นกัน แต่ถ้าใช้วิธีกำหนดพื้นที่ด้วย Clipping Region แล้วการดำเนินการทางกราฟิกจะง่ายกว่าการคำนวณมาก

2.5.6 Graphic Transformation

Transformation เป็นกระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะของ Graphics Objects เช่น Rotation, Scaling, Translation หรือ Shearing โดยใช้ Matrix Transformation สำหรับ GDI+ เมตริกซ์ที่จะนำไปคูณเรียกว่า Transformation Matrix ในระนาบสองมิตินั้นจะเป็น 3x3 เมตริกซ์

Transormation Matrix ของ Translation คือ

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & dx \\ 0 & 1 & dy \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Transformation Matrix ของ Rotation คือ

$$\begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Transformation Matrix ของ Scaling คือ

$$\begin{pmatrix} sx & 0 & 0 \\ 0 & sy & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Transformation Matrix ของ Shearing คือ

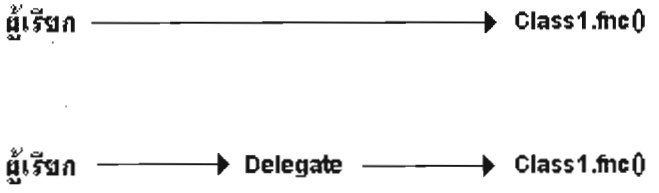
$$\begin{pmatrix} 1 & ay & 0 \\ bx & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

2.5.7 Graphic Animation

การทำให้กราฟิกเคลื่อนไหวนั้น จะใช้เทคนิคการอัพเดทกราฟิกด้วยวิธีการต่างๆ เช่น กำหนดตำแหน่งให้กราฟิกเปลี่ยนไป หรือใช้ Transformation เป็นต้น ซึ่งหากต้องการให้อัพเดทอัตโนมัติ จะใช้ Timer หรือ Thread ก็ได้สำหรับการแสดงภาพเคลื่อนไหวที่เป็น GIF Format นั้น GDI+ สามารถแสดงภาพเคลื่อนไหวได้ด้วยการจัดการภาพของแต่ละเฟรม โดยใช้ Image Animator Class

2.6 การเรียกฟังก์ชันด้วยดีลีเกท (Delegate)

เป็นการสร้างตัวแทนฟังก์ชัน ซึ่งดีลีเกทจะเก็บเมธอด สำหรับอ้างอิงไว้ โดยแทนที่จะเรียกใช้เมธอดนั้นโดยตรงแต่จะเรียกผ่านดีลีเกทแทน ดังรูปที่ 2.2



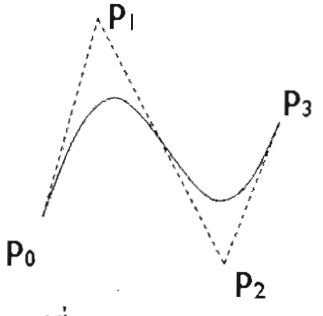
รูปที่ 2.2 การเรียกเมธอดผ่านดีลีเกท

ผู้เรียกดีลีเกทจะไม่รับรู้ว่าเมธอดจริงๆ อยู่ที่ส่วนใดของโปรแกรม จะเก็บตำแหน่งแอดเดรสของเมธอดที่เราจะเรียกใช้ ทำให้เราสามารถเรียกใช้เมธอด ใดๆ ผ่านดีลีเกทได้ ในเชิงการเขียนโปรแกรมนั้นดีลีเกทก็คือคลาสที่อ้างอิงไปยังเมธอดที่มี Signature ตรงตามคุณสมบัติของดีลีเกทตัวนั้น หรือกล่าวได้ว่าดีลีเกทก็คือ Pointer to Function ของ C++ นั่นเอง ถ้าต้องการให้ดีลีเกทเดียวไปเรียกหลายๆ เมธอดจะใช้วิธีการที่เรียกว่า Multicasting

2.7 การประมาณฟังก์ชัน (Interpolation Function) ด้วย Bezier Curve [9]

การประมาณฟังก์ชันที่มีข้อมูลเป็นแบบ Non-Linear จะใช้วิธีการต่างๆ เช่น Lagrange Method หรือวิธีถดถอยกำลังสองน้อยที่สุด (Least Square Regression) เป็นต้น ซึ่งจะเป็นการประมาณฟังก์ชันจากข้อมูลทั้งหมด สำหรับวิทยานิพนธ์นี้จะนำเสนอวิธีการประมาณฟังก์ชันด้วยการนำข้อมูลความสัมพันธ์มาพิจารณาครั้งละ 4 ตำแหน่ง ดังรูปที่ 2.3 มาประมาณฟังก์ชันด้วยเส้นโค้งที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเส้นโค้งไปตามพารามิเตอร์ u ซึ่งจะไม่ขึ้นอยู่กับระบบพิกัด (Coordinate System)

ดังนั้นค่า u ในแต่ละช่วงจะไม่เท่ากัน จากนั้นนำจุดสุดท้ายของเส้นโค้งแรกมาเป็นจุดเริ่มต้นของเส้นโค้งต่อไป การประมาณฟังก์ชั่นเป็นช่วงย่อมได้ค่าที่ถูกต้องมากกว่า



รูปที่ 2.3 Bezier Cure [9]

โดยมีความสัมพันธ์ใน Parametric Form ดังสมการ

$$p(u) = \sum_{i=0}^{n} p_i f_i(u) \qquad u \in [0,1] \tag{2.1}$$

แทนเส้นโค้งด้วย Bernstein Polynomials กำลังสาม

$f_i(u) = B_{i,n}(u)$: Bernstein Polynomials

$B_{i,n}(u) = \binom{n}{i} u^i (1-u)^{n-i}$: Cubic n = 3

$\binom{n}{i} = \frac{n!}{i!(n-i)!}$: Binomial Coefficient Function

แทนค่าในสมการ

$$B_{i,n}(u) = \left(\frac{n!}{i!(n-i)!}\right) u^i (1-u)^{n-i}$$

$$B_{0,3}(u) = (1-u)^3$$

$$B_{1,3}(u) = 3u(1-u)^2$$

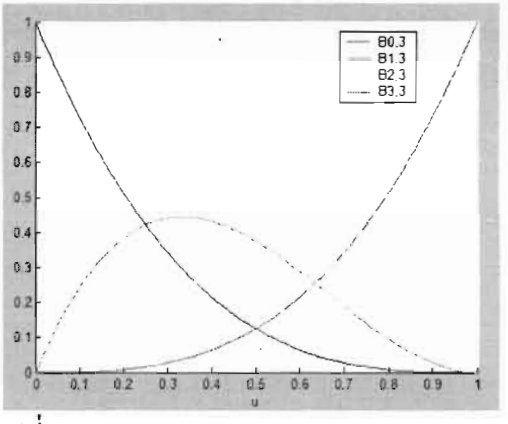
$$B_{2,3}(u) = 3u^2(1-u)$$

$$B_{3,3}(u) = u^3$$

จะได้

$$p(u) = (1-u)^3 P_0 + 3u(1-u)^2 P_1 + 3u^2(1-u) P_2 + u^3 P_3 \tag{2.2}$$

เมื่อนำสมการ (2.1) และ (2.2) มาพล็อตกราฟรวมกันจะได้ Bezier Basis หรือ Blending Function ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 Bezier Basis / Blending Function [9]

จาก Blending Function ทำให้เส้นโค้งมีคุณสมบัติดังนี้

- ทุกๆ จุดบนเส้นโค้งเป็นการรวมกัน (Linear Combination) ของแต่ละ Control Points
- ที่ u ต่างๆ จุดบน Blending Function รวมกันเท่ากับ 1
- เส้นโค้งจะผ่านจุดเริ่มต้นและจุดสุดท้าย
- บริเวณ Control Points เส้นโค้งจะมีลักษณะเป็น Convex Hull

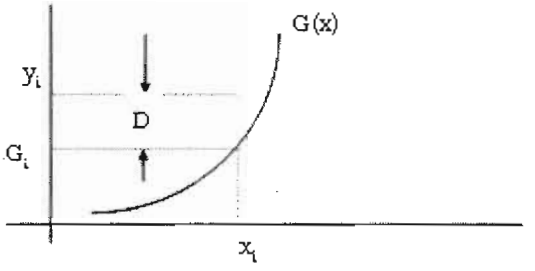
2.8 การประมาณค่าฟังก์ชันโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Least-Squares Regression)[11]

การประมาณค่าฟังก์ชันโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดจะได้ฟังก์ชันที่เป็นตัวแทนที่ดีที่สุดของข้อมูล เพราะได้จากการเกลี่ยค่าความคลาดเคลื่อนของข้อมูลให้เหลือน้อยที่สุด ดังนั้นเมื่อเขียนกราฟของฟังก์ชัน เส้นกราฟจะผ่านไปในบริเวณจุดต่างๆ ของข้อมูลโดยจะตัดผ่านจุดของข้อมูลบางจุด เส้นกราฟจะมีลักษณะราบเรียบใกล้เคียงความเป็นจริง การประมาณค่าโดยวิธีกำลังสองน้อยที่สุดจะได้สมการเชิงเส้นที่ไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนข้อมูล สามารถนำมาหาอนุพันธ์หรืออินทิเกรตเพื่อให้ได้ค่าที่ต้องการได้ง่าย โดยหลักการของวิธีกำลังสองน้อยที่สุด มีดังนี้

ถ้ามีข้อมูล x, y ทั้งสิ้น n ชุด ให้ฟังก์ชันที่ประมาณค่าข้อมูลชุดนี้เป็น $G(x)$ โดยที่

$$A\sum x_i + B\sum x^2{}_i = \sum x_i y_i \; G(x) = a_1 g_1(x) + a_2 g_2(x) + \ldots + a_m g_m(x) \qquad (2.3)$$

โดยที่ $m \le n$ และ $g_1(x),\ldots g_m(n)$ เป็นฟังก์ชันซึ่งขึ้นอยู่กับค่า x อาจจะอยู่ในรูปพหุนาม รูปล็อกการิทึม หรือเอ็กโพเนเชียล สมการจะสมบูรณ์ได้ก็ต่อเมื่อทราบค่า $a_1, a_2, \ldots, a_m$ โดยหาค่าสัมประสิทธิ์เหล่านี้ได้จากการทำให้ค่าเบี่ยงเบนของข้อมูลกับค่าประมาณที่ได้จากฟังก์ชัน $G(x)$ มีค่าน้อยที่สุด



รูปที่ 2.5 การหาค่าเบี่ยงเบนของวิธีกำลังสองน้อยที่สุด[11]

จากรูปที่ 2.5 ค่าแตกต่างของข้อมูลชุดที่ i คือ $y_i - G(x_i)$ เมื่อหาค่าแตกต่างของข้อมูลทุกชุดแล้วนำค่าแตกต่างเหล่านี้มารวมกันแล้วยกกำลังสองเพื่อขจัดเครื่องหมายลบจะได้

$$D = \sum_{i=1}^{n} [y_i - G(x_i)]^2 \tag{2.4}$$

ค่าสัมประสิทธ์ $a_1, a_2, ..., a_m$ จะเป็นตัวแปร เพราะเมื่อค่าเหล่านี้มีค่าต่างๆ กัน ฟังก์ชัน $G(x)$ จะเป็นฟังก์ชันที่แตกต่างกันออกไป แต่ต้องการหาค่า $a_1, a_2, ..., a_m$ ที่มีเงื่อนไขทำให้เกิดค่า D มีค่าน้อยที่สุด จากแคลคูลัสจึงได้

$$\frac{\partial D}{\partial a_1} = 0, \frac{\partial D}{\partial a_2} = 0, ... \frac{\partial D}{\partial a_m} = 0 \tag{2.5}$$

จะได้สมการออกมา m ชุด สามารถหาค่า $a_1, a_2, ..., a_m$ ได้โดยใช้สมการเชิงเส้น

ถ้าข้อมูลทั้ง n ชุด มีความสัมพันธ์กันในลักษณะเชิงเส้นตรง สมการเส้นตรงที่หาได้จากวิธีนี้เรียกว่า การถดถอยเชิงเส้น ให้ฟังก์ชันที่จะใช้เป็นตัวแทนข้อมูลนี้มีรูปสมการเป็น

$$G(y) = A + Bx \tag{2.6}$$

เมื่อเปรียบเทียบกับสมการ 2.6 นั่นคือ $g_1(x) = 1, g_2(x) = x$ เทอมต่อๆ ไปเป็นศูนย์ทั้งหมด ผลรวมกำลังสองของค่าเบี่ยงเบนจากสมการ 2.4 คือ

$$D = \sum_{i=1}^{n} (y_1 - A - Bx_1)^2 \tag{2.7}$$

A และ B คือค่าคงที่ที่ต้องการหา โดยทำให้ D มีค่าน้อยที่สุด นั่นคือ

$$\frac{\partial D}{\partial A} = -2\sum_{i=1}^{n} (y_1 - A - Bx_1) = 0$$

$$\frac{\partial D}{\partial B} = -2\sum_{i=1}^{n} (y_1 - A - Bx_1)(x_1) = 0$$

จัดรูปใหม่จะได้

$$nA + B\sum x_i = \sum y_i$$

$$A\sum x_i + B\sum x^2{}_i = \sum x_i y_i$$

แก้สมการหาค่า A และ B จะได้

$$A = \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum x_i \sum x_i y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (2.8)$$

$$B = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \quad (2.9)$$

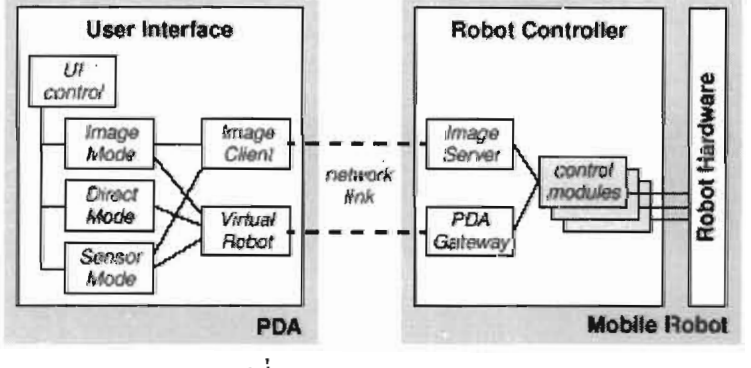
2.9 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่นำพีดีเอมาใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์นั้น ปัจจุบันเริ่มมีความนิยมมากขึ้น เนื่องจากคุณลักษณะเฉพาะของพีดีเอ ที่มีความสามารถเพียงพอในการพัฒนา การจะควบคุมหุ่นยนต์ให้ได้สะดวกนั้นจำเป็นจะต้องแสดงภาพที่พีดีเอด้วย แต่ด้วยข้อจำกัดของทรัพยากรของระบบ จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคในการรับส่งภาพและการประมวลผลทางด้านกราฟิกให้มีความรวดเร็วมากขึ้น ดังนี้

2.9.1 PdaDriver: A Handheld System for Remote Driving [1]

วิทยานิพนธ์นี้จะใช้ Compaq IPAQ PocketPC ซึ่งเป็นรุ่นที่สามารถมองเห็นได้ในแสงแดดโดยนำไปควบคุมหุ่นยนต์ที่ใช้ในภารกิจทางทหารผ่านทาง Wireless Ethernet

รูปที่ 2.6 การควบคุมหุ่นยนต์โดยใช้พีดีเอ [1]



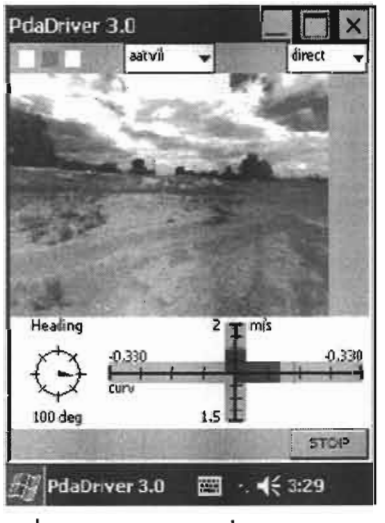
รูปที่ 2.7 ระบบโดยรวม [1]

จากโครงสร้างของระบบข้างต้น ภาพที่ได้จากหุ่นยนต์จะเก็บไว้ที่คอมพิวเตอร์แม่ข่ายก่อนแล้วจึงส่งข้อมูลให้กับพีดีเอผ่านทาง Gateway โดยใช้รูปแบบภาพเป็น JPEG เพื่อลดขนาดให้สามารถสื่อสารผ่านแบนด์วิดธ์ (Bandwidth) ที่จำกัดได้ ซึ่ง Gateway ที่ออกแบบนั้นจะเป็น Proxy Server สำหรับเชื่อมต่อกับโปรโตคอล (Protocol) ที่กำหนดขึ้นเอง หากไม่สามารถเชื่อมต่อกันได้หรือสัญญาณอ่อนมาก Gateway จะหยุดการเชื่อมต่อทันทีจึงเป็นการกำหนดความปลอดภัยระดับหนึ่ง สำหรับส่วนติดต่อกับผู้ใช้ (User Interface) นั้นจะพัฒนาด้วยจาวา (Java) โดยมี 3 ฟังก์ชัน (Function) ดังนี้

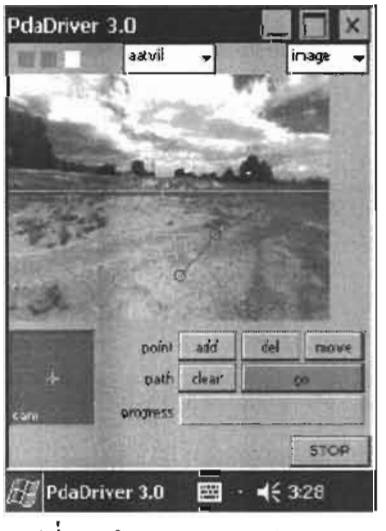
- โหมดขับเคลื่อนด้วยมือจะมีแกนอ้างอิง 2 แกนแสดงทิศทางโดยรับข้อมูลจากเข็มทิศแม่เหล็ก

- โหมดแสดงรูปภาพ เป็นการกำหนดเส้นทางไปบนภาพโดยการเลือกลำดับของตำแหน่งเป้าหมาย จากนั้นจะส่งข้อมูลที่ได้เป็นแบบ 2 มิติไปให้กับหุ่นยนต์โดยจะมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 5 เปอเซ็นต์

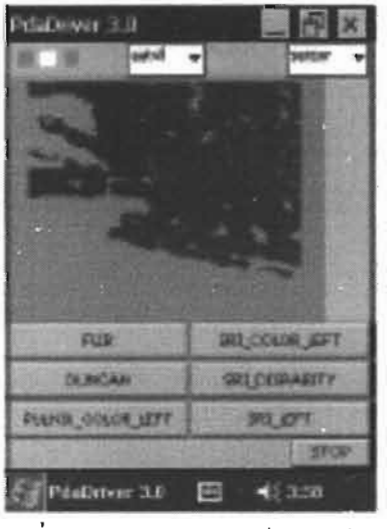
- โหมดแสดงเซ็นเซอร์ รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งที่หุ่นยนต์มาประมวลผล



รูปที่ 2.8 โหมดขับเคลื่อนด้วยมือ [1]



รูปที่ 2.9 โหมดแสดงรูปภาพ [1]



รูปที่ 2.10 โหมดแสดงเซ็นเซอร์ [1]

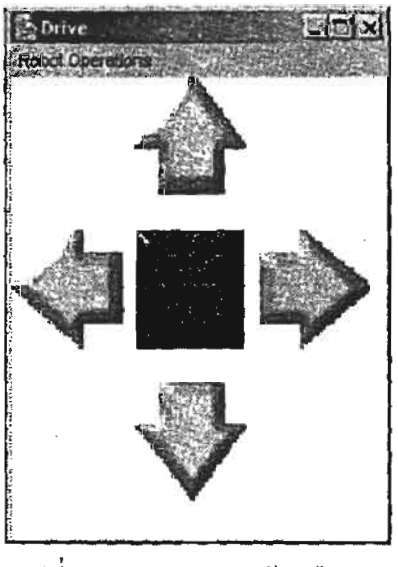
สำหรับการพัฒนาในขั้นต่อไปนั้นนักวิจัยต้องการสร้างแผนที่ไปพร้อมๆ กับที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่แต่ยังประสบปัญหาเกี่ยวกับการอ้างอิงระดับความลึกของพื้นที่ซึ่งจะต้องวิเคราะห์จากภาพให้ได้ ซึ่งอาจจะต้องใช้เซ็นเซอร์ชนิดอื่นมาเสริมเพื่อตรวจสอบสภาพพื้นผิว

2.9.2 PDA interface for a field robot [2]

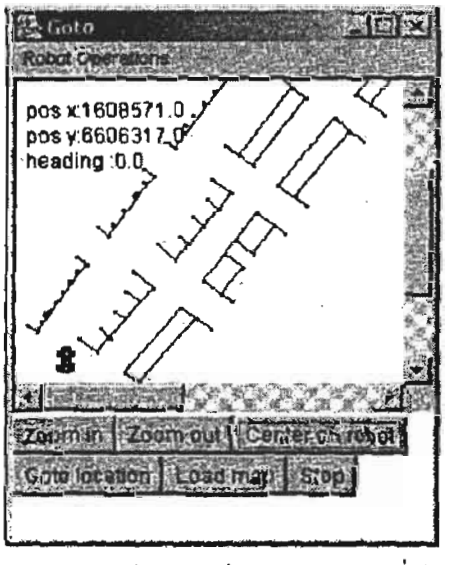
นักวิจัยได้ออกแบบอุปกรณ์ควบคุมเพื่อให้ผู้ที่ไม่เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์สามารถใช้งานได้ง่าย สำหรับใช้ในภารกิจทางทหารเช่นสร้างแผนที่ พิสูจน์ทราบวัตถุระเบิด สงครามเคมี หรือใช้ในการช่วยชีวิต ทั้งนี้การปฏิบัติภารกิจดังกล่าวจะไม่ทราบสภาพแวดล้อมล่วงหน้า ดังนั้นจึงต้องเป็น

ระบบที่เชื่อถือได้ ทำงานได้รวดเร็วและเข้าใจง่าย โดยใช้การเชื่อมต่อผ่านทางเครือข่ายไร้สาย ซึ่งมีคุณสมบัติ ดังนี้

- ขับเคลื่อนแบบควบคุมด้วยมือ
- กำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงสุด
- หุ่นยนต์สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้เอง
- หุนยนต์สามารถเคลื่อนที่ตามผู้ควบคุมได้เอง
- กำหนดพื้นที่ให้หุ่นยนต์สำรวจพร้อมทั้งสร้างแผนที่
- กำหนดเป้าหมายให้หุ่นยนต์ไปยังพื้นที่ที่กำหนด



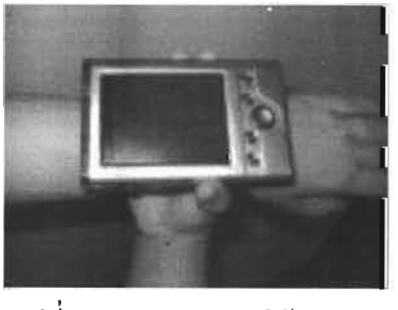
รูปที่ 2.11 การควบคุมด้วยมือ [2]



รูปที่ 2.12 กำหนดให้หุ่นยนต์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการ [2]

2.9.3 PDA–Based Human–Robotic Interface [3]

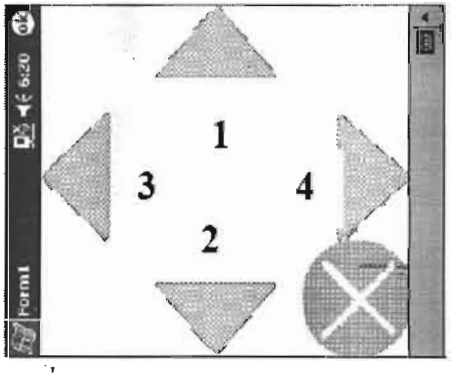
นักวิจัยได้ออกแบบให้พีดีเอสามารถทำงานควบคุมได้ง่ายขึ้น โดยไม่ใช้ปากกาป้อนข้อมูลในการป้อนคำสั่งเนื่องจากได้วิเคราะห์แล้วว่าขณะเดินหรือวิ่งหากใช้ปากกาในการป้อนข้อมูลจะไม่สะดวก ประกอบกับหน้าจอที่มีขนาดเล็ก ซึ่งหากจะใช้ท่าทาง (Gesture) ในการควบคุมก็อาจจะ วิเคราะห์ผลได้ไม่ดีนักเนื่องจากข้อจำกัดของสภาพแวดล้อม และหากจะใช้การสั่งงานด้วยเสียง (Speech) ก็อาจจะไม่เหมาะกับทุกสถานการณ์โดยเฉพาะในบริเวณที่มีเสียงรบกวน



รูปที่ 2.13 ลักษณะการใช้งาน [3]

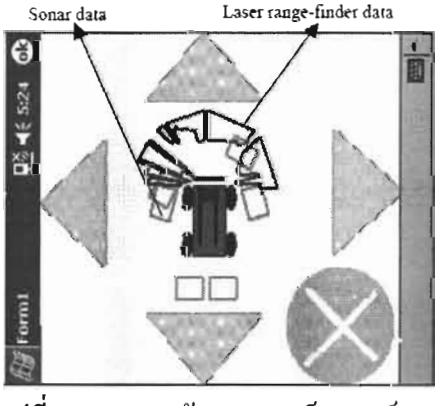
จากเหตุผลข้างต้น นักวิจัยจึงออกแบบให้พีดีเอสามารถใช้งานได้ง่ายที่สุด โดยใช้งานในแนวนอน เพื่อให้มีพื้นที่หน้าจอใหญ่ขึ้น จึงมีลักษณะคล้ายกับนาฬิกาข้อมือ ดังรูปที่ 2.13 คำสั่งควบคุมรวมทั้งข้อมูลจากเซ็นเซอร์จะแสดงเป็นกราฟิกโปร่งใสขนาดใหญ่ซ้อนทับกับภาพบนหน้าจอและมีฟังก์ชันดังนี้

- Image-Only Screen เมื่อต้องการให้ผู้ใช้มองเห็นภาพอย่างเดียว
- Sonar and Laser Range Finder Based Screen เมื่อต้องการดูข้อมูลจาก เซ็นเซอร์
- Image with Sensor Overlay Screen เมื่อต้องการดูข้อมูลทั้งหมดพร้อมกัน

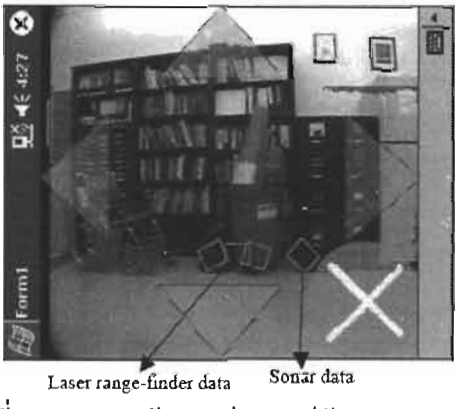


รูปที่ 2.14 แสดงปุ่มควบคุมหุ่นยนต์ [3]

รูปที่ 2.15 แสดงเฉพาะภาพ [3]



รูปที่ 2.16 แสดงข้อมูลของเซ็นเซอร์ [3]

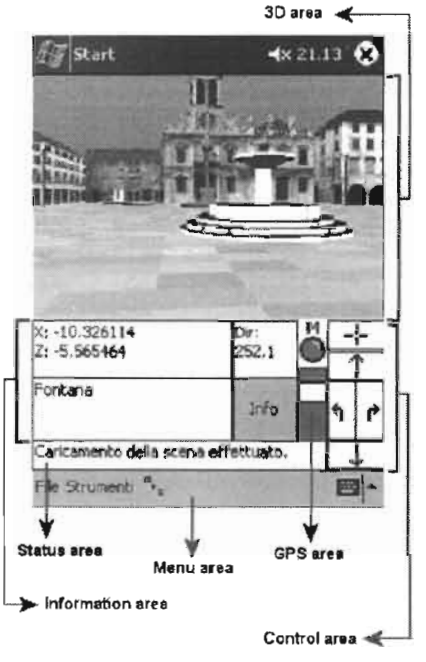


รูปที่ 2.17 แสดงข้อมูลเซ็นเซอร์ซ้อนทับภาพ [3]

2.9.4 Location-aware visualization of a 3D world to select tourist information on a mobile device [4]

เป็นการนำพีดีเอมาใช้เพื่อให้ข้อมูลแก่นักท่องเที่ยว โดยใช้เทคนิค Artificial, Augmented และ Virtual Realities แสดงภาพเป็นแบบ 2 มิติ สำหรับการใช้งานภายนอกอาคารนั้นจะใช้การรับข้อมูลจากดาวเทียมด้วย GPS แต่ปัญหาสำคัญคือ GPS ต้องจับสัญญาณดาวเทียมได้อย่างน้อย 4 ดวง จึงจะเพียงพอในการประมาณตำแหน่ง

รูปที่ 2.18 ภาพแสดงสถานที่จำลองที่สร้างขึ้น [4]



รูปที่ 2.19 แสดงข้อมูลต่างๆ ร่วมกับภาพจำลอง [4]

สำหรับส่วนติดต่อกับผู้ใช้นั้นจะแบ่งเป็นสองส่วนคือส่วนบนจะเป็นภาพ 2 มิติ และส่วนล่างจะเป็นสถานะแสดงข้อมูลต่างๆ จาก GPS เช่นความเร็ว มุมและตำแหน่ง

2.9.5 Implementation of an Augmented Reality System on a PDA [5]

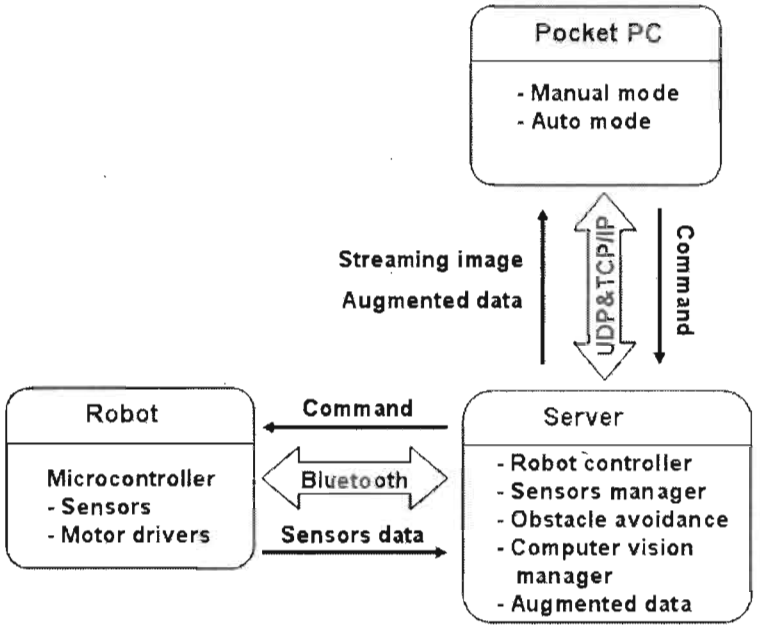
ด้วยข้อจำกัดของพีดีเอที่ไม่มีอุปกรณ์แสดงผล 3 มิติ จึงใช้เทคนิคการประมวลผลที่คอมพิวเตอร์แม่ข่ายเพื่อประมวลผล Augmented Reality จากนั้นจะส่งข้อมูลไปให้กับพีดีเอเพื่อที่จะแสดงผล การทำงานของระบบคือพีดีเอ จะจับภาพเป็นแบบ RGB และส่งข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Sever) เพื่อทำการสร้างข้อมูลเสริมซ้อนทับภาพนั้น โดยที่คอมพิวเตอร์แม่ข่ายจะใช้ไลบรารี่ ARToolkit สำหรับใช้ประมวลผลจากการ Track Markers และแสดงวัตถุเสมือน (Virtual Object) จากนั้นก็จะส่งผลที่ได้ไปแสดงผลเป็นภาพซ้อนทับที่พีดีเอผ่านทางการเครือข่ายไร้สาย

รูปที่ 2.20 แสดงภาพของข้อมูลเสริม [5]

บทที่ 3 การออกแบบและการทำงาน

3.1 โครงสร้างการทำงานของระบบ

การควบคุมหุ่นยนต์ทางไกลแบบมีข้อมูลเสริมผ่านทางพีดีเอ ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนหุ่นยนต์ ส่วนประมวลผล และส่วนพีดีเอ ซึ่งมีโครงสร้างการทำงานของระบบดังรูปที่ 3.1 โดยส่วนหุ่นยนต์นั้นจะมีไมโครคอนโทรลเลอร์สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์และรับ-ส่งข้อมูลของเซ็นเซอร์กับคอมพิวเตอร์แม่ข่ายผ่านทางบลูทูธ ส่วนคอมพิวเตอร์แม่ข่ายก็จะรับภาพและข้อมูลต่างๆ มาทำข้อมูลเสริมพร้อมทั้งปัญญาประดิษฐ์ต่างๆ ส่วนสุดท้ายคือส่วนพีดีเอจะเป็นส่วนสำหรับติดต่อกับผู้ใช้ โดยจะรับ-ส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์แม่ข่ายผ่านทางเครือข่ายไร้สายด้วยโปรโตคอล UDP (User Datagram Protocol) และ TCP/IP (Transmission Control Protocol)



รูปที่ 3.1 โครงสร้างการทำงานของระบบ

3.2 การออกแบบส่วนหุ่นยนต์

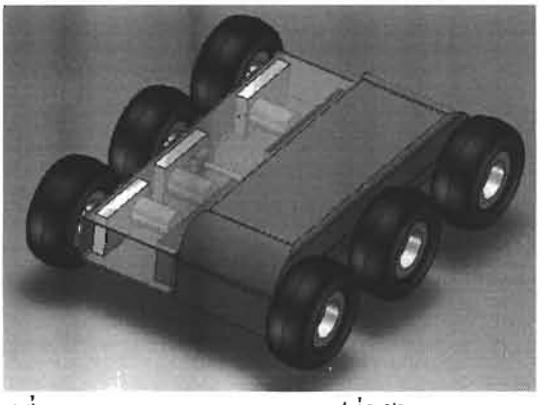
วิทยานิพนธ์นี้จะใช้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในการทดสอบ ซึ่งจะออกแบบและสร้างหุ่นยนต์ขึ้นใหม่ ให้มีความเหมาะสมในการปฏิบัติงานนอกพื้นที่ การออกแบบประกอบด้วย 2 ส่วนคือการออกแบบในส่วนทางกลและการออกแบบในส่วนอิเล็กทรอนิกส์

3.2.1 การออกแบบในส่วนทางกล

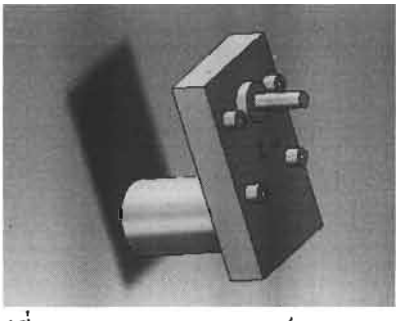
การออกแบบหุ่นยนต์เพื่อใช้ในการทดสอบมีจุดมุ่งหมายสำหรับใช้ในภารกิจทางทหารหรือการช่วยเหลือผู้ประสบภัย ดังนั้นจึงออกแบบหุ่นยนต์ให้ขับเคลื่อน 6 ล้อ โดยล้อแต่ละด้าน

เคลื่อนที่อิสระเพื่อเข้าไปในพื้นที่ขรุขระได้ ด้วยการแยกส่วนหุ่นยนต์เป็น 2 ส่วน และเชื่อมต่อกันด้วยเพลากลาง หุ่นยนต์มีขนาดกว้าง 30 ซม. ยาว 48 ซม. สูง 13 ซม.

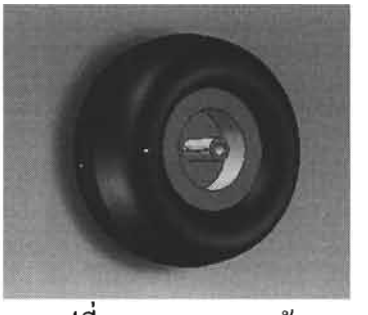
หุ่นยนต์ที่ออกแบบดังรูปที่ 3.2 – รูปที่ 3.8 มีข้อดีคือโครงสร้างไม่ซับซ้อน น้ำหนักเบากว่าหุ่นยนต์ที่ใช้งานในการเก็บกู้วัตถุระเบิดที่กองทัพมีใช้อยู่ในปัจจุบัน สามารถเคลื่อนย้ายได้ด้วยกำลังพลเพียงคนเดียว ควบคุมทิศทางด้วยการหันเลี้ยวโดยให้จุดหมุนอยู่ที่กึ่งกลางของหุ่นยนต์



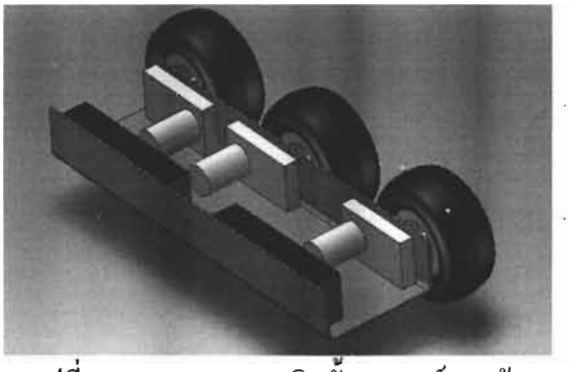
รูปที่ 3.2 แสดงแบบของหุ่นยนต์ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3.3 แสดงแบบมอเตอร์กระแสตรง

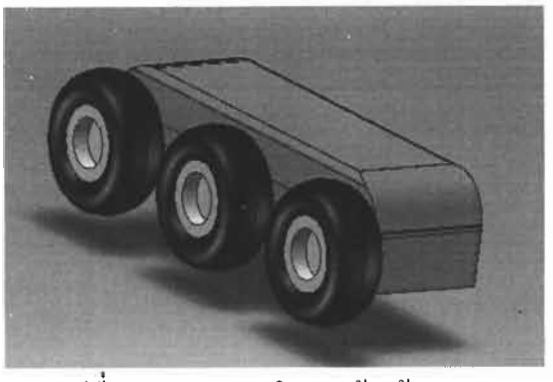


รูปที่ 3.4 แสดงแบบล้อ

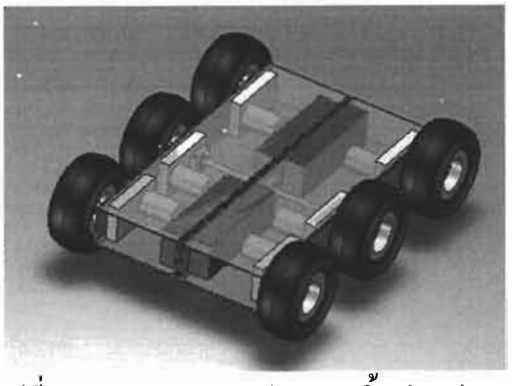


รูปที่ 3.5 แสดงแบบการติดตั้งมอเตอร์และล้อ

รูปที่ 3.6 แสดงแบบการติดตั้งแบตเตอรี่และเพลากลาง



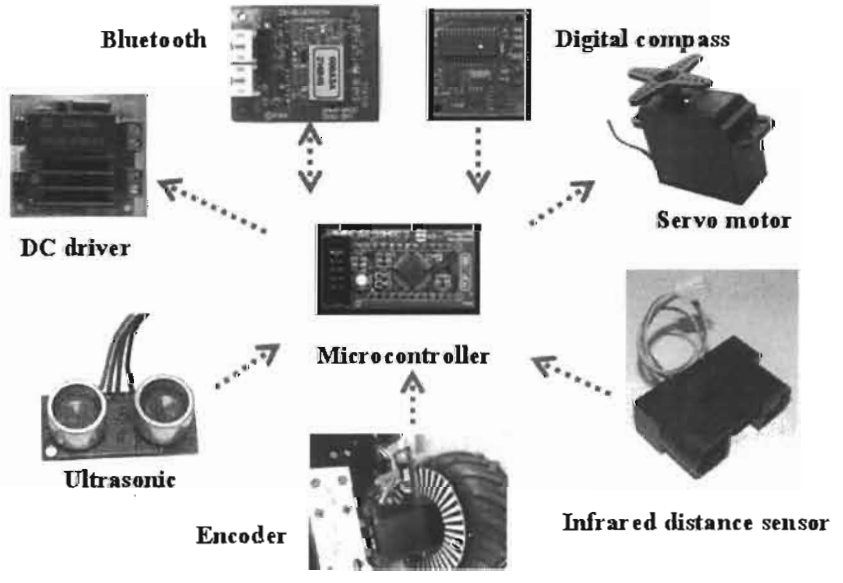
รูปที่ 3.7 แสดงแบบโครงสร้างด้านนอก



รูปที่ 3.8 แสดงแบบการประกอบชิ้นส่วนต่างๆ

3.2.2 การออกแบบในส่วนอิเล็กทรอนิกส์

วิทยานิพนธ์นี้จะเป็นการทดสอบการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยพีดีเอ โดยจะมีทั้งโหมดควบคุมด้วยมือและโหมดอัตโนมัติ ซึ่งการเคลื่อนที่ในโหมดอัตโนมัตินั้น จำเป็นจะต้องใช้ข้อมูลของเซ็นเซอร์ต่างๆ มาประมวลผลร่วมกัน โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงการเชื่อมต่อของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

- POP-168 Module เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีขนาดเล็ก มีพอร์ตสำหรับต่ออุปกรณ์ภายนอก 16 ขา สามารถดาวน์โหลดโปรแกรมได้ในตัว พัฒนาโปรแกรมได้ด้วยภาษาซี ใช้ชิป ATMega 168 ของ Atmel มีหน่วยความจำ Flash 16 กิโลไบต์ แรม 1 กิโลไบต์ อีอีพรอม 512 ไบต์ รับสัญญาณอะนาล็อกความละเอียดในการแปลงสัญญาณ 10 บิต สัญญาณนาฬิกา 16 MHz

- อัลตร้าโซนิกส์ (Ultrasonic) ติดตั้งอยู่บนเซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor) ด้านหน้าหุ่นยนต์ เพื่อใช้ตรวจสอบวัตถุรอบๆ หุ่นยนต์

- เซอร์โวมอเตอร์ จะติดตั้งอยู่หน้าหุ่นยนต์โดยจะหมุน 0-180 องศา เพื่อให้ทราบทิศทางของสิ่งกีดขวาง

- เซ็นเซอร์วัดระยะทางด้วยแสง (Infrared Distance Sensors) ติดตั้งไว้ด้านหลังหุ่นยนต์เพื่อตรวจสอบว่าหุ่นยนต์หลบพ้นสิ่งกีดขวางแล้วหรือไม่

- เอ็นโค้ดเดอร์ (Encoder) ติดตั้งไว้ที่ล้อหน้าเพื่อคำนวณระยะทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

- เข็มทิศดิจิตอล (Digital Compass) เพื่อกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

- บลูทูธโมดูล (Bluetooth Module) สำหรับเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

- ชุดขับมอเตอร์กระแสตรง (DC Driver) สำหรับควบคุมทิศทางการหมุนและควบคุมความเร็วของมอเตอร์ได้ด้วย PWM

- กล้องไร้สาย ติดตั้งไว้ที่หน้าหุ่นยนต์ โดยมีความละเอียด 320x240 พิกเซล ที่ 25 เฟรมต่อวินาที เป็นกล้องขนาดเล็กที่ทำงานด้วยการส่งคลื่นวิทยุมายังกล่องรับภาพในรัศมีทำการ 30-50 เมตร ให้ภาพสี สามารถต่อเข้า TV/MONITOR ได้

รูปที่ 3.10 แสดงกล้องไร้สายที่ติดตั้งหน้าหุ่นยนต์

รูปที่ 3.11 แสดง TV-Tuner

- ทีวีจูนเนอร์ (TV-Tuner) สำหรับรับภาพจากกล้องผ่านทาง AV และเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์แม่ข่ายทาง USB

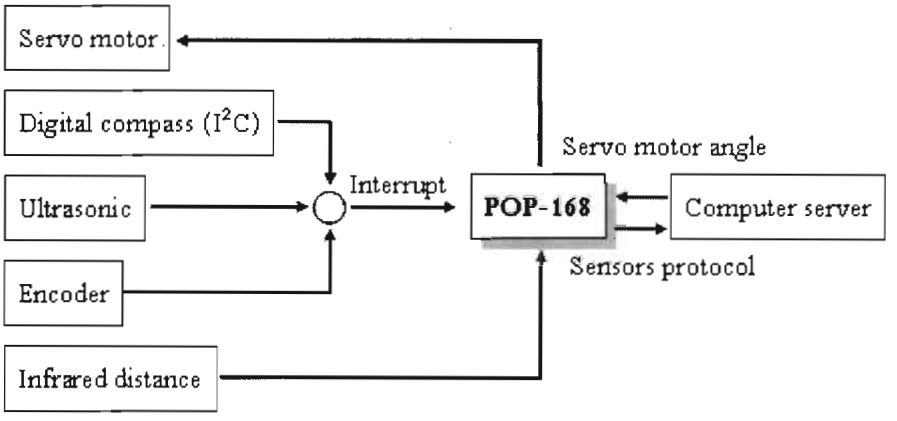
- คอมพิวเตอร์แม่ข่ายใช้คอมพิวเตอร์โน้ตบุค Acer Aspire 4520, AMD Turion 64x2 Mobile Technology TL 56 (1.8 GHz, 2 x 512 KB L2 cache), NVIDIA GeForce 7000M TurboCache, GDDR2 1 GB, 802.11b/g WLAN, Bluetooth 2.0+EDR, Microsoft Windows XP Professional Version 2002 Service Pack 2

- พีดีเอใช้ของ ASUS P535 จอสัมผัส TFT-LCD 65,536 สี 240 x 320 พิกเซล (2.8 นิ้ว) ปุ่มควบคุม 5 ทิศทาง ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows Mobile 5.0 CPU เป็น Intel XScale PXA270 Processor ความเร็ว 520 MHz หน่วยความจำ 256 MB Flash ROM / 64MB WiFi 802.11b/g ,WLAN (Wireless LAN) บลูทูธ 2.0 ดังรูปที่ 3.12

รูปที่ 3.12 พีดีเอที่ใช้ในการทดลอง [13]

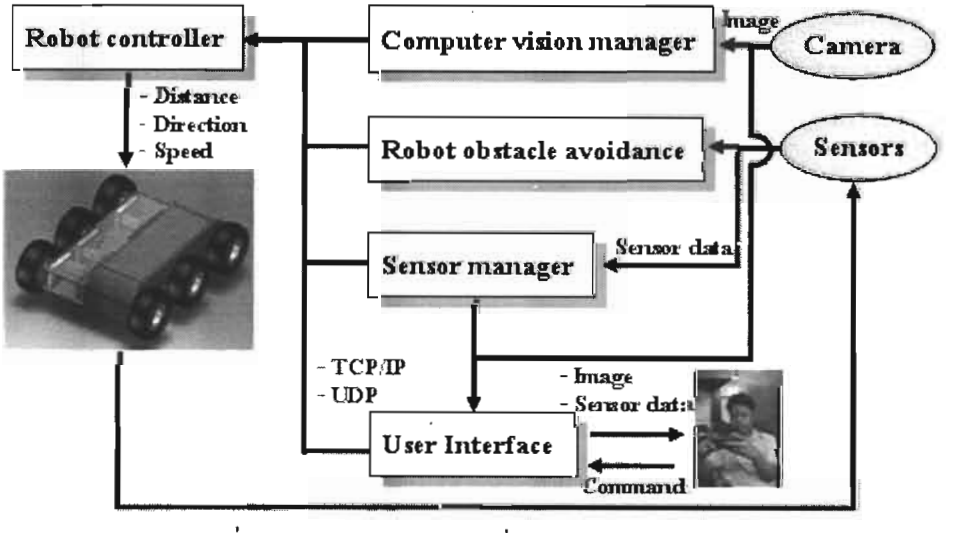
3.3 การออกแบบส่วนประมวลผล

ส่วนประมวลผลนั้นจะประกอบไปด้วย 3 ส่วน คือ ส่วนประมวลผลที่หุ่นยนต์ ส่วนประมวลผลที่คอมพิวเตอร์แม่ข่ายและส่วนประมวลผลที่พีดีเอ ส่วนประมวลผลที่หุ่นยนต์ดังรูปที่ 3.13 จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่รับ-ส่งข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆ ให้กับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย รวมทั้งทำหน้าที่ควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ด้วย



รูปที่ 3.13 ส่วนประมวลผลที่หุ่นยนต์

ข้อมูลของเซ็นเซอร์จะถูกนำไปประมวลผลร่วมกับภาพที่คอมพิวเตอร์แม่ข่าย เพื่อทำข้อมูลเสริม รวมทั้งประมวลผลระบบปัญญาประดิษฐ์ต่างๆ ประกอบด้วยโมดูลต่างๆ ดังรูปที่ 3.14 คือคอมพิวเตอร์วิชั่น (Computer Vision Manager) ทำหน้าที่ประมวลผลภาพและสร้างข้อมูลเสริม การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง (Robot Obstacle Avoidance) การกรองสัญญาณจากเซ็นเซอร์และการบันทึกข้อมูลเซ็นเซอร์และการบันทึกวีดีโอ



รูปที่ 3.14 ส่วนประมวลผลที่คอมพิวเตอร์แม่ข่าย

ส่วนประมวลผลที่พีดีเอนั้นจะเป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้ ใช้สำหรับส่งคำสั่งในการควบคุมหุ่นยนต์ และแสดงผลต่างๆ โดยสามารถเลือกควบคุมหุ่นยนต์ได้ 2 โหมด (Mode) คือ โหมดควบคุมด้วยมือ (Manual Mode) ประกอบด้วยคำสั่งพื้นฐานในการควบคุมหุ่นยนต์คือ เดินหน้าถอยหลัง เลี้ยวซ้าย เลี้ยวขวา หยุด และการกำหนดความเร็วของหุ่นยนต์ และโหมดอัตโนมัติ (Automatic Mode) จะเป็นการกำหนดเส้นทางให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมาย

3.4 การออกแบบส่วนการเชื่อมต่อ

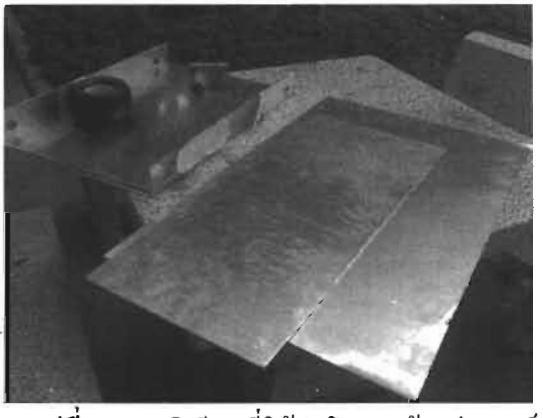
จากรูปที่ 3.1 ส่วนการเชื่อมต่อของระบบจะมีอยู่ 2 ส่วนคือการเชื่อมต่อระหว่างหุ่นยนต์กับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย จะสื่อสารผ่านบลูทูธโดยกำหนดโปรโตคอลในการสื่อสารระหว่างกันเพื่อแยกแยะข้อมูลของแต่เซ็นเซอร์ต่างๆ ส่วนการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์แม่ข่ายกับพีดีเอนั้นจะสื่อสารผ่านเครือข่ายไร้สายโดยโปรโตคอล TCP/IP ใช้สำหรับรับ-ส่งคำสั่งควบคุมต่างๆ และโปรโตคอล UDP ใช้สำหรับรับ-ส่งข้อมูลเสริม

บทที่ 4 การสร้างและพัฒนาระบบ

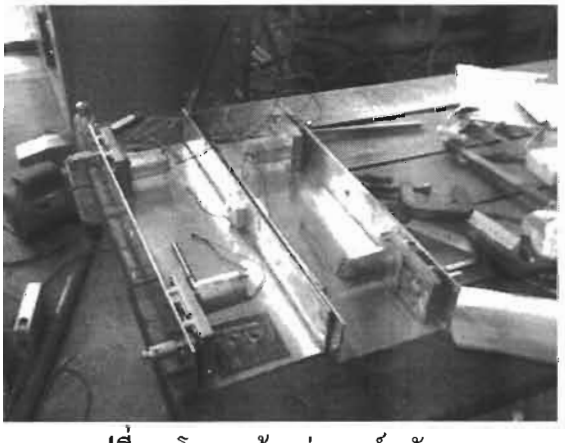
4.1 การสร้างหุ่นยนต์

จากต้นแบบหุ่นยนต์ที่ออกแบบไว้ ได้ดำเนินการสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่ เพื่อใช้ในการทดสอบ เนื่องจากหุ่นยนต์มีน้ำหนักประมาณ 10 กก. จึงเลือกใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาด 24 โวลต์ ความเร็ว 110 รอบต่อนาที ล้อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ซม. แหล่งจ่ายไฟใช้แบตเตอรี่ขนาด 12 โวลต์ 3.5 แอมป์ จำนวน 3 ก้อนต่ออนุกรมกัน สามารถใช้งานได้ต่อเนื่องประมาณ 30 นาที โครงสร้างใช้อลูมิเนียมขนาด 5 มม. ส่วนฝาครอบด้านบนใช้ขนาด 1 มม. โดยมีขั้นตอนการประกอบหุ่นยนต์ ดังรูปที่ 4.1 – รูปที่ 4.6

รูปที่ 4.1 มอเตอร์กระแสตรงใช้ขับเคลื่อนหุ่นยนต์

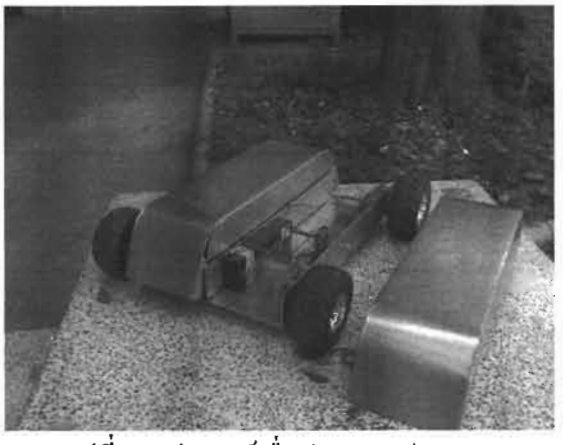


รูปที่ 4.2 อลูมิเนียมที่ใช้ทำโครงสร้างหุ่นยนต์



รูปที่ 4.3 โครงสร้างหุ่นยนต์หลังจากประกอบมอเตอร์

รูปที่ 4.4 หุ่นยนต์เมื่อประกอบล้อ



รูปที่ 4.5 หุ่นยนต์เมื่อประกอบฝาครอบ

รูปที่ 4.6 หุ่นยนต์เมื่อประกอบสมบูรณ์แล้ว

4.2 การพัฒนาระบบ

การพัฒนาระบบประกอบด้วย 3 ส่วน คือ การพัฒนาส่วนประมวลผลที่หุ่นยนต์ การพัฒนาส่วนประมวลผลที่คอมพิวเตอร์แม่ข่าย และการพัฒนาส่วนประมวลผลที่พีดีเอ

4.2.1 การพัฒนาส่วนประมวลผลที่หุ่นยนต์

การประมวลผลที่หุ่นยนต์จะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ ATMega168 หรือเรียกว่า POP-168 มีอินเทอรัปท์จากภายนอก 2 ตัว INT0 และ INT1 ซึ่งขาอินเทอรัปท์นี้จะใช้สำหรับรับข้อมูลจากเอ็นโค้ดเดอร์และอัลตร้าโซนิกส์ ทำให้เข็มทิศดิจิตอลต้องทำงานแบบโพลลิ่ง (Polling) แต่ขณะหุ่นยนต์ทำงานนั้นเซ็นเซอร์ทั้งสามตัวนี้จะต้องทำงานพร้อมๆ กันรวมทั้งต้องส่งข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์แม่ข่ายตลอดเวลาด้วยเช่นกัน หากใช้วิธีต่อเข็มทิศดิจิตอลแบบโพลลิ่งแล้วจะทำให้การส่งข้อมูลช้ากว่าเซ็นเซอร์ตัวอื่น

การทำงานของอัลตร้าโซนิกส์จะต้องหน่วงเวลาอย่างน้อย 10 มิลลิวินาทีเพื่อรออ่านค่าความกว้างพัลส์ที่สะท้อนกลับมาเพื่อคำนวณเป็นระยะทาง ในช่วงที่หน่วงเวลาไปนั้นจะทำให้เอ็นโค้ดเดอร์และเข็มทิศดิจิตอลทำงานผิดพลาดเนื่องจากอุปกรณ์ทั้งหมดนี้จะต้องทำงานและส่งข้อมูลให้กับคอมพิวเตอร์แม่ข่ายตลอดเวลา ดังนั้นจึงต้องกำหนดให้เซ็นเซอร์ทั้งสามนี้ทำงานเป็นอิสระแยกจากกัน จึงต้องใช้เทคนิคของการอินเทอรัปท์ แต่ก็มีปัญหาตรงที่ไมโครคอนโทรลเลอร์มีอินเทอรัปท์จากภายนอกแค่ 2 ตัว ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น

สำหรับ ATMega168 จะมีคุณสมบัติพิเศษที่เรียกว่า Pin Change Interrupt โดยสามารถกำหนดรีจิสเตอร์ให้ขาอื่นๆ ทำงานเป็นอินเทอรัปท์ได้ ดังตารางที่ 4.1 ดังนั้นจึงกำหนดให้เอ็นโค้ดเดอร์และเข็มทิศดิจิตอลทำงานเป็นอินเทอรัปท์จากภายนอกและอัลตร้าโซนิกส์ทำงานแบบ Pin Change Interrupt ทำให้สามารถใช้งานเซ็นเซอร์ทั้ง 3 ตัวนี้ได้พร้อมๆ กัน

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติ Pin change interrupt ของ ATMega168 [12]

Vector No.	Program Address(2)	Source	Interrupt Definition
1	0x000(1)	RESET	External Pin, Power-on Reset, Brown-out Reset, and Watchdog Reset
2	0x001	INT0	External Interrupt Request 0
3	0x002	INT1	External Interrupt Request 1
4	0x003	TIMER2 COMP	Timer/Counter2 Compare Match
5	0x004	TIMER2 OVF	Timer/Counter2 Overflow
6	0x005	TIMER1 CAPT	Timer/Counter1 Capture Event
7	0x006	TIMER1 COMPA	Timer/Counter1 Compare Match A
8	0x007	TIMER1 COMPB	Timer/Counter1 Compare Match B
9	0x008	TIMER1 OVF	Timer/Counter1 Overflow
10	0x009	TIMER0 OVF	Timer/Counter0 Overflow
11	0x00A	SPI, STC	Serial Transfer Complete
12	0x00B	USART, RXC	USART, Rx Complete
13	0x00C	USART, UDRE	USART Data Register Empty
14	0x00D	USART, TXC	USART, Tx Complete
15	0x00E	ADC	ADC Conversion Complete
16	0x00F	EE_RDY	EEPROM Ready
17	0x010	ANA_COMP	Analog Comparator
18	0x011	TWI	Two-wire Serial Interface
19	0x012	SPM_RDY	Store Program Memory Ready

ในการควบคุมมอเตอร์นั้น ได้ทดลองขับมอเตอร์ 3 รูปแบบ คือ ใช้ไอซี L298 ใช้ทรานซิสเตอร์ BDX53 และใช้มอสเฟต (Mosfet) ร่วมกับรีเลย์ (Relay) สรุปได้ว่าการขับมอเตอร์ด้วยมอสเฟตร่วมกับรีเลย์ สามารถควบคุมทิศทางของมอเตอร์และเมื่อปรับความเร็วมอเตอร์ด้วยวิธี PWM แล้วมอเตอร์ยังคงมีแรงบิดเพียงพอที่จะขับเคลื่อนหุ่นยนต์ได้โดยวัดแรงดันตกคร่อมที่มอเตอร์เปรียบเทียบกับวิธีที่ 1 และ 2 แล้วให้ค่าแรงดันสูงกว่า แต่มีข้อแตกต่างในการใช้งานคือ การขับมอเตอร์ด้วยวิธีที่ 1 และ 2 จะใช้สายสัญญาณ 3 เส้นในการขับ คือ EN และ DIR จำนวน 2 เส้น ในขณะที่วิธีที่ 3 ใช้สัญญาณเพียง 2 เส้นคือ EN และ DIR และเป็น Active Low ดังนั้นค่าของดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle) จะกลับกันคือ PWM ความกว้างเต็มที่จะมีค่าเป็น 0 และ PWM ต่ำสุดจะมีค่าเท่ากับ 255 การใช้สัญญาณในการขับแบบ 2 เส้นนี้ทำให้การสั่งหยุดมอเตอร์ จะเป็นการกำหนด PWM มีค่าเป็น 255 ทำให้มอเตอร์ไม่หยุดทันทียังคงมีแรงเฉื่อยต่อไปอีก ไม่เหมือนกับการขับมอเตอร์ตามวิธีที่ 1 และ 2 ซึ่งจะป้อนสัญญาณให้กับขั้วทั้งสองขั้วมอเตอร์ทำให้มอเตอร์หยุดทันที พฤติกรรมเช่นนี้มีผลดีคือทำให้หุ่นยนต์หยุดอย่างนิ่มนวล ไม่ทำให้อุปกรณ์ที่วางอยู่บนหุ่นยนต์เสียหาย แต่จะส่งผลในการวัดระยะทางของ

เอ็นโค้ดเดอร์ทำให้ระยะทางคลาดเคลื่อนได้ ดังนั้นจึงได้กำหนดรูปแบบในการหยุดการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไว้ 2 รูปแบบ คือโหมดปกติจะไม่คำนึงถึงแรงเฉื่อย แต่โหมดอัตโนมัติต้องการความแม่นยำของเอ็นโค้ดเดอร์จะใช้วิธีการหยุดมอเตอร์โดยการสั่งงานให้มอเตอร์หมุนกลับทิศทางในช่วงเวลาสั้นๆ หลังจากหยุดมอเตอร์ก็จะทำให้มอเตอร์หยุดหมุนทันทีได้เช่นกัน

การนับจำนวนพัลส์จากเอ็นโค้ดเดอร์เพื่อวัดระยะทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้น จะใช้ในโหมดอัตโนมัติโดยการประมวลผลให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามตำแหน่งที่กำหนด (Waypoint) โดยแต่ละเส้นทางที่ต่อกันนั้นจะเป็นเส้นตรง ดังนั้นจึงติดตั้งเอ็นโค้ดเดอร์ไว้ที่ล้อหน้าเพียงตัวเดียว ขณะที่หุ่นยนต์เลี้ยว และถอยหลังจึงต้องสั่งให้หยุดการทำงานของเอ็นโค้ดเดอร์ด้วย ส่วนทิศทางของหุ่นยนต์นั้นจะประมวลผลจากเข็มทิศดิจิตอล

การสั่งงานจากคอมพิวเตอร์แม่ข่ายให้เซอร์โวมอเตอร์หมุนไปกลับ 0-180 องศา นั้นมีเหตุผลอยู่ 2 ประการ คือลดการส่งข้อมูลของไมโครคอนโทรลเลอร์ เนื่องจากไมโครคอนโทรลเลอร์จะได้ไม่ต้องส่งค่ามุมออกมาให้คอมพิวเตอร์แม่ข่ายตลอดเวลา และอีกเหตุผลหนึ่งก็คือใช้ในการตรวจสอบการเชื่อมต่อกันของสัญญาณบลูทูธ โดยหากไมโครคอนโทรลเลอร์ไม่ได้รับค่ามุมจากคอมพิวเตอร์แม่ข่ายในเวลาที่กำหนดก็แสดงว่าหุ่นยนต์อยู่นอกรัศมีสัญญาณของบลูทูธ และเพื่อความปลอดภัยไมโครคอนโทรลเลอร์จะสั่งงานให้หุ่นยนต์หยุดการเคลื่อนที่ทันที การส่งค่ามุมจากคอมพิวเตอร์แม่ข่ายไปนั้นจะส่งเป็นไบต์มีค่าเป็นไบต์โดยค่า 0-180 เป็นมุมของเซอร์โวมอเตอร์ และค่า 181-255 จะใช้สำหรับคำสั่งอื่นๆ

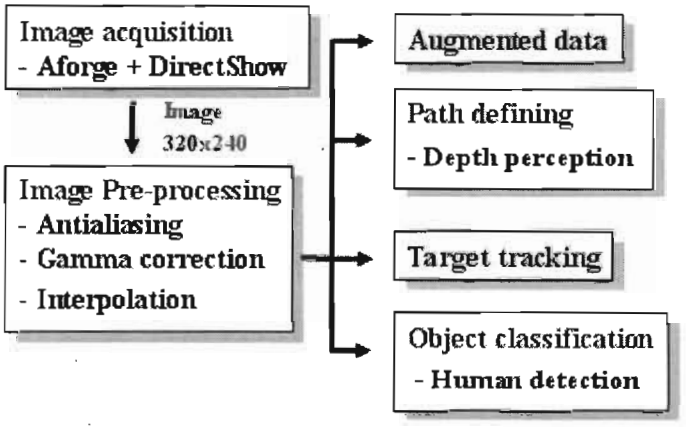
4.2.2 การพัฒนาส่วนประมวลผลที่คอมพิวเตอร์แม่ข่าย

การประมวลผลภาพและปัญญาประดิษฐ์ต่างๆ จะดำเนินการที่คอมพิวเตอร์แม่ข่าย เนื่องจากข้อจำกัดของพีดีเอที่มีหน่วยประมวลผลไม่มากนัก จึงไม่เหมาะสมที่จะดำเนินกระบวนการดังกล่าวที่พีดีเอ การพัฒนาส่วนประมวลผลที่คอมพิวเตอร์แม่ข่ายประกอบด้วยการพัฒนาคอมพิวเตอร์วิชัน การสร้างข้อมูลเสริมซ้อนทับบนวีดีโอ การกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ การตรวจจับเป้าหมาย การตรวจจับการเคลื่อนไหวของคน การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง การกรองสัญญาณจากเซ็นเซอร์และการบันทึกข้อมูลเซ็นเซอร์ และการบันทึกวีดีโอ

4.2.2.1 การพัฒนาคอมพิวเตอร์วิชัน

ส่วนของคอมพิวเตอร์วิชันเป็นส่วนการประมวลผลภาพและระบบปัญญาประดิษฐ์ต่างๆ โดยเริ่มจากการรับภาพมาจากกล้อง (Image Acquisition) โดยมีกระบวนการดังรูปที่ 4.7 ซึ่งจะใช้ไลบรารี่ Aforge.NET ร่วมกับ DirectShow หรือ OpenCV DotNet [8] ภาพมีขนาด 320x240 พิกเซล ที่ 25 เฟรม

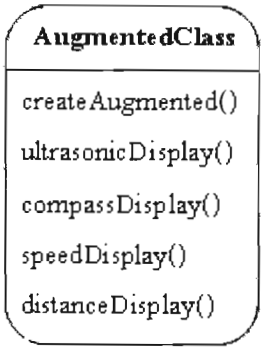
ต่อวินาที จากนั้นเข้าสู่กระบวนการปรับปรุงภาพ (Image Pre-Processing) ให้เหมาะสมด้วยกระบวนการ Antialiasing Gamma Correction และ Interpolation ด้วย High Quality Bicubic อัลกอริทึ่ม ขั้นตอนต่อไปคอมพิวเตอร์วิชันจะนำข้อมูลภาพมาดำเนินการสร้างข้อมูล (Augmented Data) ซ้อนทับบนวีดีโอ การกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ (Path Defining) การตรวจจับเป้าหมาย (Target Tracking) และการแยกแยะวัตถุ (Object Classification) ด้วยการตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ (Human Movement Detection)



รูปที่ 4.7 ขั้นตอนของคอมพิวเตอร์วิชัน

4.2.2.1.1 การสร้างข้อมูลเสริมซ้อนทับบนวีดีโอ

การสร้างข้อมูลเสริมนั้นจะมีทั้งสองส่วนคือ ส่วนแรกสร้างที่คอมพิวเตอร์แม่ข่ายและอีกส่วนสร้างที่พีดีเอ สำหรับข้อมูลเสริมที่คอมพิวเตอร์แม่ข่ายนั้นเป็นการนำข้อมูลที่ได้จากเซ็นเซอร์ต่างๆ รวมทั้งข้อมูลที่จำเป็นมาแสดงเป็นกราฟิกซ้อนทับบนวีดีโอ เพื่อสื่อสารให้ผู้ใช้เข้าใจได้ง่ายที่สุด โดยสร้าง Augmented Class ดังรูปที่ 4.8



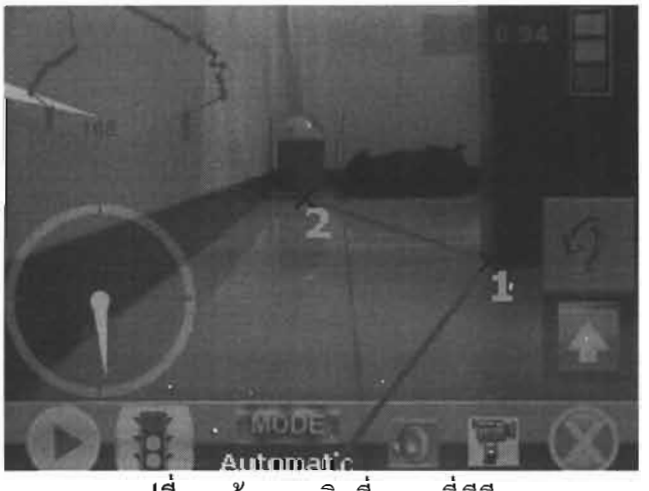
รูปที่ 4.8 Augmented Class ในส่วนคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

ข้อมูลเสริมจะใช้ไลบรารี่ Graphic Device Interface Plus (GDI+) [10] ในการสร้างกราฟิกให้โปร่งใส สามารถมองทะลุไปที่ภาพด้านหลังได้ รวมทั้งแสดงภาพเคลื่อนไหวซ้อนทับบนวีดีโอ กราฟิกที่แสดงจะแทนด้วยสัญลักษณ์การทำงานของเซ็นเซอร์ต่างๆ เพื่อสื่อความหมายให้เข้าใจมากขึ้น และใช้

เทคนิคของ Double Buffering เพื่อลดการกระพริบ (Flicker) ของภาพ และช่วยให้การประมวลผลภาพเร็วขึ้น

การนำภาพมาซ้อนทับบนวีดีโอได้เลย โดยกำหนดตำแหน่งที่จะซ้อนทับบนวีดีโอแต่หากนำภาพที่เป็น JPEG หรือ Bitmap มาซ้อนทับเลยนั้น ภาพดังกล่าวจะมีพื้นหลังด้วยจึงต้องแปลงภาพเป็นไอคอนเสียก่อนจึงจะไม่เห็นพื้นหลัง และหากต้องการให้ภาพนั้นกระพริบเป็นจังหวะเช่นสัญญาณไฟเลี้ยวจะใช้ Timer ในการควบคุมซึ่งการควบคุม Timer จากพีดีเอมาที่หุ่นยนต์โดยตรงจะทำไม่ได้ต้องใช้ Delegate จึงจะควบคุม Timer ได้ สำหรับภาพเคลื่อนไหวนั้นสามารถนำมาซ้อนทับบนวีดีโอได้เลยเช่นกัน โดยใช้ Image Animator Class

ข้อมูลเสริมที่คอมพิวเตอร์แม่ข่ายประกอบด้วย การตรวจสอบวัตถุรอบๆ หุ่นยนต์คล้ายกับเรดาร์ ระดับความเร็วและทิศทางของหุ่นยนต์ เช่นจากรูปที่ 4.9 นั้นความหมายของข้อมูลเสริมจากซ้ายไปขวาคือด้านซ้ายของหุ่นยนต์จะมีสิ่งกีดขวางอยู่ในระยะใกล้ ด้านหน้าหุ่นยนต์เป็นที่โล่งและด้านขวาหุ่นยนต์มีสิ่งกีดขวางอยู่ระยะปานกลาง หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปแล้ว 0.94 เซนติเมตร มีความเร็วระดับ 1 และทิศทางของหุ่นยนต์อยู่ที่ 175 องศา



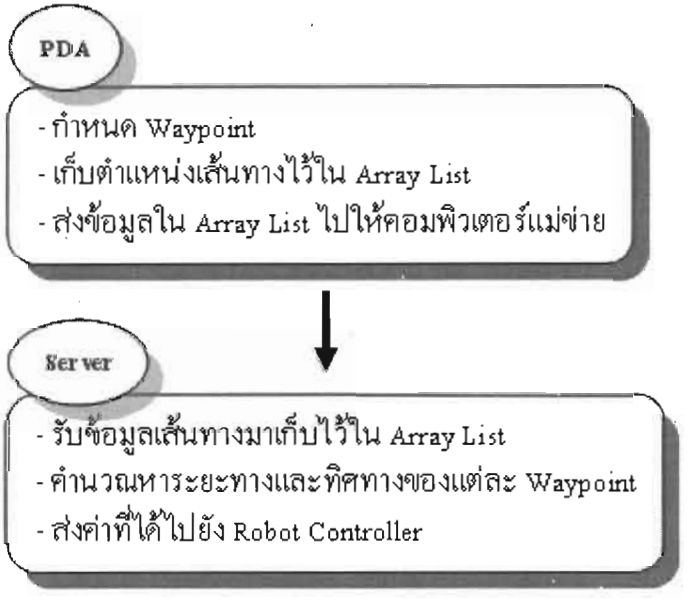
รูปที่ 4.9 ข้อมูลเสริมที่แสดงที่พีดีเอ

การสร้างข้อมูลเสริมที่พีดีเอจะต้องรับภาพมาก่อนแล้วจึงจะประมวลผลต่อได้ แต่เนื่องจากภาพถูกส่งมาตลอดเวลาข้อมูลภาพจึงมีมาก กอปรกับความเร็วของหน่วยประมวลผลที่มีจำกัดของพีดีเอจึงประมวลผลไม่ทันส่งผลให้ภาพหน่วงเวลาไปมาก ดังนั้นข้อมูลเสริมส่วนใหญ่จะดำเนินการที่คอมพิวเตอร์แม่ข่าย อย่างไรก็ตามเมื่อสร้างข้อมูลเสริมและส่งออกไปทางเครือข่ายไร้สายพร้อมกับการส่งภาพ จะทำให้พีดีเอรับข้อมูลมาแยกกันไม่สามารถแสดงผลพร้อมกันได้ ดังนั้นเมื่อสร้างข้อมูลเสริมรวมทั้งกราฟิกต่างๆ

เรียบร้อยก่อนแล้วจึงจะนำข้อมูลทั้งหมดไปแปลงเป็น Byte Array จากนั้นจึงส่งออกไปเป็นข้อมูลชุดเดียวกัน

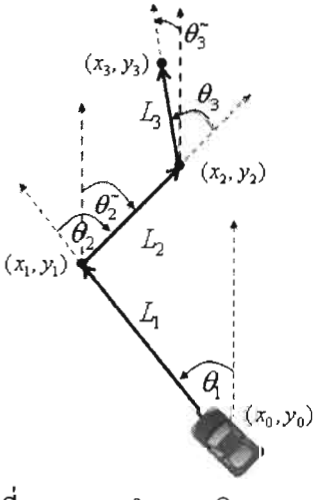
4.2.2.1.2 การกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

การควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในโหมดอัตโนมัตินั้น ผู้ควบคุมจะใช้ปากกาป้อนข้อมูล กำหนดตำแหน่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไป โดยแต่ละตำแหน่งจะประกอบกันเป็นเส้นทางซึ่งจะเริ่มต้นจากจุดกึ่งกลางของหุ่นยนต์เสมอ และมีขั้นตอนตามรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 ขั้นตอนการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

การคำนวณทิศทางการเคลื่อนที่ในโหมดอัตโนมัติจะใช้เทคนิคการตั้งแกนอ้างอิงใหม่ทุกครั้งเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปถึงแต่ละตำแหน่งจะคำนวณจากระยะทางระหว่างจุดในภาพจริงๆ คือ L แต่ในการเคลื่อนที่จะใช้ระยะทางจากการประมาณระยะทางด้วยกล้องตัวเดียว ดังรูปที่ 4.11

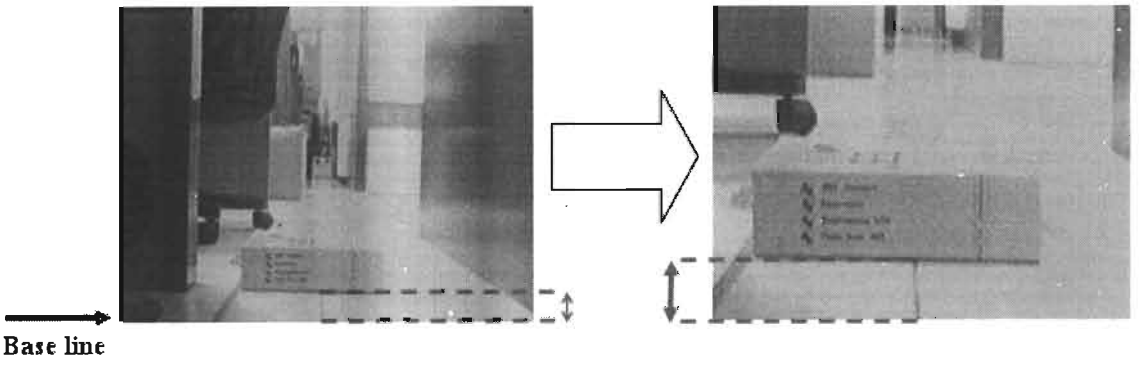


รูปที่ 4.11 การกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่

4.2.2.1.3 การประมาณระยะทางด้วยกล้องตัวเดียว (Distance Estimation with Single Camera)
เมื่อผู้ใช้กำหนดเส้นทางให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการแล้ว คอมพิวเตอร์แม่ข่ายจะประมาณระยะทางของวัตถุแต่ละตำแหน่ง เพื่อส่งข้อมูลที่ได้ไปควบคุมระยะทางด้วยเอ็นโค้ดเดอร์และควบคุมทิศทางด้วยเข็มทิศดิจิตอลต่อไป

การประมาณระยะทางของวัตถุในวิทยานิพนธ์ส่วนใหญ่จะใช้กล้อง 2 กล้อง (Stereo Camera) และวัดมุมของแต่ละกล้อง จากนั้นคำนวณหาระยะทางจากมุมดังกล่าวได้ แต่หากติดตั้งกล้องไว้ด้านหน้าหุ่นยนต์เพียงกล้องเดียว ภาพที่ได้จะมีลักษะเป็น Perspective หมายถึง ภาพที่อยู่ใกล้จะมีขนาดใหญ่และภาพที่อยู่ไกลจะมีขนาดเล็กลง ซึ่งหากทราบขนาดของวัตถุก็จะสามารถคำนวณระยะห่างของวัตถุได้ด้วยการพิจารณาจากขนาดของภาพที่เห็นได้ เนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้จะติดตั้งกล้องตัวเดียวไว้หน้าหุ่นยนต์ จึงต้องประมาณระยะทางของ เส้นทางในแต่ละตำแหน่งโดยการคำนวณหาความลึกของวัตถุในภาพ วิธีนี้จะพิจารณาข้อมูลเป็นช่วงๆ ทีละ 4 จุด ข้อดีของ Bezier Blending Function คือ ทุกๆ จุดบนเส้นโค้งจะเป็นการรวมกันของ Control Points โดยเส้นโค้งจะผ่านจุดแรกและจุดสุดท้าย และเส้นโค้งมีลักษณะเป็น Convex Hull ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนเริ่มจาก กำหนดความสูงและมุมกล้องให้คงที่ จากนั้นเก็บข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางจริงกับจำนวนพิกเซลจาก Base Line และขั้นตอนสุดท้ายเป็นการประมาณข้อมูลที่เป็น Non-Linear ด้วย Bezier Interpolation โดยมีความโค้งเป็น Bernstein Polynomials

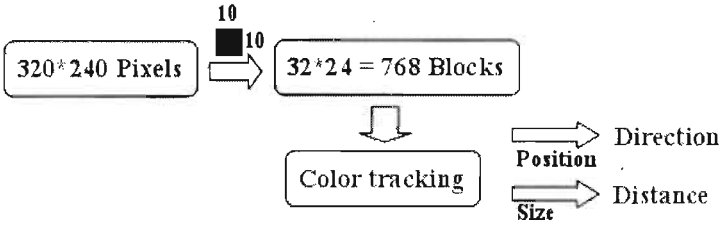
ในความเป็นจริงเมื่อวัตถุอยู่ระยะไกลเกินกว่า 1 เมตรขึ้นไป จำนวนพิกเซลเปลี่ยนแปลงไปแค่ 1 พิกเซล แต่ระยะทางจริงเปลี่ยนไปมาก เนื่องจากหน้าจอของพีดีเอมีขนาด 320x240 พิกเซล จึงมีระยะความสูงของภาพแค่ 240 พิกเซล เท่านั้น ส่งผลให้การวัดระยะทางคลาดเคลื่อนมาก แต่หากภาพมีขนาดใหญ่กว่านี้เช่น 640x480 พิกเซล หรือ 1280x960 พิกเซล จะทำให้เพิ่มระยะตามแกน y ได้อีก ทำให้วัดระยะความลึกของวัตถุได้ละเอียดมากขึ้น แต่ข้อจำกัดของพีดีเอดังกล่าวจึงไม่สามารถส่งภาพขนาดใหญ่กว่า 320x240 พิกเซล ไปแสดงผลที่พีดีเอได้ดังนั้นจึงใช้วิธีการขยายจำนวนพิกเซลให้มากขึ้นและเลือกบริเวณที่ต้องการมาพิจารณา โดยเริ่มจากคัดลอกภาพ (Clone Image) มาเก็บไว้ในหน่วยความจำ จากนั้น ขยายขนาด (Resize) จาก 320x240 พิกเซล เป็น 640x480 พิกเซล ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการเลือกบริเวณ (Crop) ที่ต้องการให้เท่ากับขนาดหน้าจอของพีดีเอคือ 320x240 พิกเซล และส่งข้อมูลภาพที่ได้ไปแสดงผลที่พีดีเอดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การขยายภาพและส่งข้อมูลภาพขนาด 320x240 พิกเซล ไปแสดงผลที่พีดีเอ

4.2.2.1.4 การตรวจจับเป้าหมาย

เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายตามเส้นทางที่กำหนดและพบเป้าหมายจะยกเลิกระบบนำทางด้วยโหมดอัตโนมัติ จากนั้นคอมพิวเตอร์แม่ข่ายจะทำการตรวจสอบสีของเป้าหมายแทน จากภาพที่หน้าจอของพีดีเอจะมีข้อมูลทั้งหมด 76,800 พิกเซล ซึ่งไม่สามารถประมวลผลภาพได้ทั้งหมด จึงทำการแบ่งภาพเป็นบล็อกเล็กๆ ขนาด 10x10 พิกเซล ทำให้ข้อมูลภาพลดลงเหลือ 768 บล็อก ตามรูปที่ 4.13 โดยแต่ละบล็อกจะเป็นการหาค่าเฉลี่ยของสีในบล็อกนั้นๆ จากนั้นจะทำการค้นหาเป้าหมายจากสีทั้งหมดในภาพ และใช้เทคนิคค้นหาจากตำแหน่งเริ่มต้นและตำแหน่งสุดท้ายของภาพพร้อมๆ กัน เพื่อให้ตรวจสอบสีที่ต้องการได้เร็วขึ้น กระบวนการนี้จะกระทำในหน่วยความจำ ทำให้ประมวลผลได้อย่างรวดเร็ว

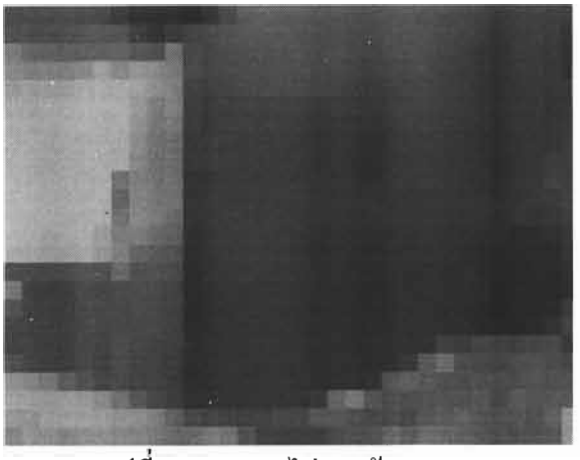


รูปที่ 4.13 ขั้นตอนการตรวจจับเป้าหมาย

เมื่อตรวจจับเป้าหมายได้แล้ว จะสามารถทราบตำแหน่งและขนาดของเป้าหมาย ดังรูปที่ 4.14 และรูปที่ 4.15 ตามลำดับ จากนั้นคอมพิวเตอร์วิชันจะส่งข้อมูลดังกล่าวไปให้กับ Robot Controller เพื่อคำนวณระยะทางและทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ให้ไปยังเป้าหมายได้

เมื่อพบเป้าหมายแล้วคอมพิวเตอร์แม่ข่ายจะทราบตำแหน่งและขนาดของเป้าหมายโดยจะนำตำแหน่งไปประมวลผลเพื่อหาทิศทางของเป้าหมายและส่งข้อมูลให้เข็มทิศดิจิตอลควบคุมทิศทางต่อไป โดยจะเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายทีละครึ่งหนึ่งของระยะทางแล้วหยุดเพื่อตรวจสอบเป้าหมายอีกครั้งว่าทิศทางถูกต้องหรือไม่ จากนั้นจะเคลื่อนที่ไปตามทิศทางนั้นทีละครึ่งของระยะทางไปเรื่อยๆ จนถึง

เป้าหมาย สำหรับระยะทางนั้นเนื่องจากวิทยานิพนธ์นี้จะสมมติเป้าหมายเป็นวัตถุระเบิดซึ่งจะทราบขนาดของเป้าหมายอยู่แล้วทำให้สามารถนำขนาดของเป้าหมายที่ตรวจสอบได้มาประมวลผลเพื่อวิเคราะห์ระยะทางได้ โดยใช้หลักความจริงที่ว่าเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าใกล้เป้าหมายขนาดของเป้าหมายก็จะใหญ่ขึ้นเรื่อยๆ และเมื่อขนาดของเป้าหมายใหญ่ขึ้นจนถึงขนาดที่กำหนดไว้ก็แสดงว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ถึงเป้าหมายแล้ว



รูปที่ 4.14 ระบบไม่พบเป้าหมาย

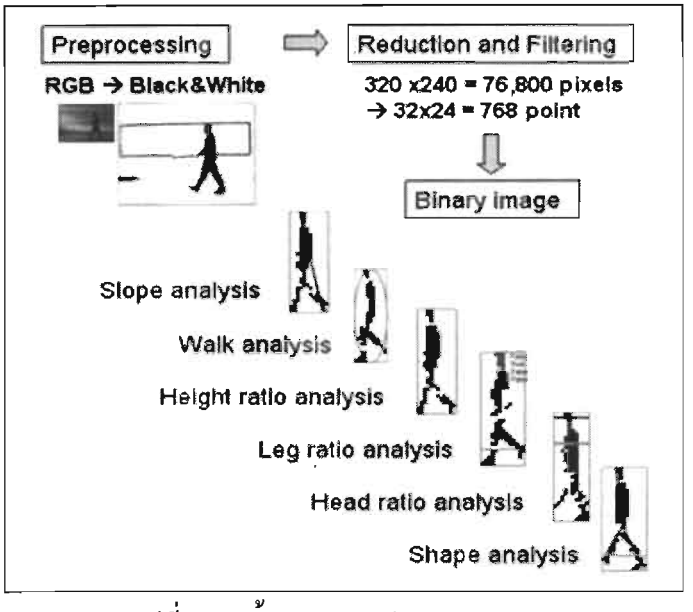
รูปที่ 4.15 ระบบตรวจพบเป้าหมาย

4.2.2.1.5 การตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์

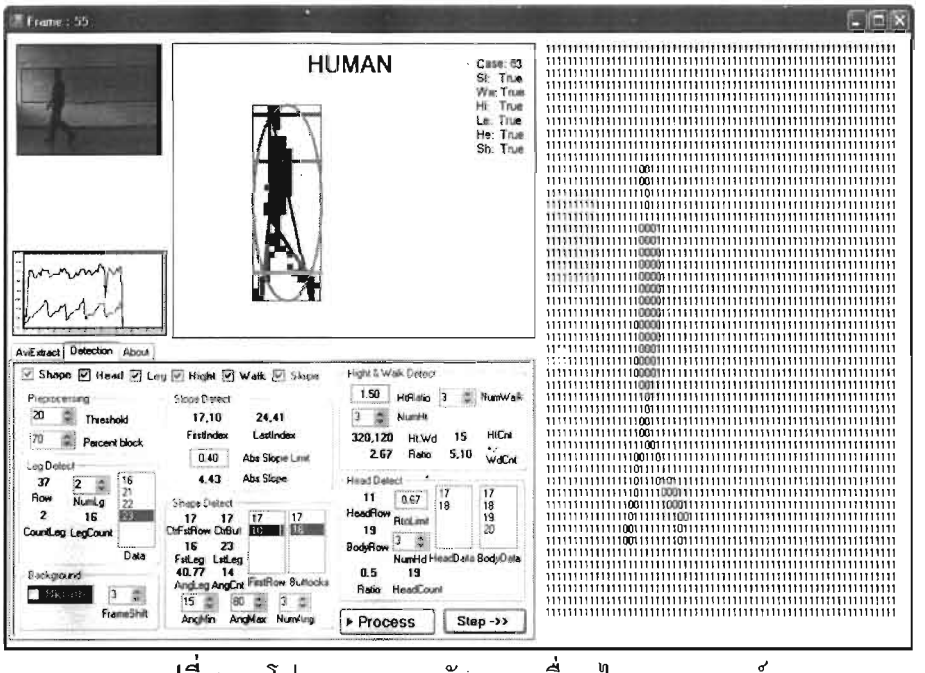
การปฏิบัติภารกิจขณะเข้าทำการเก็บกู้วัตถุระเบิดนั้นเพื่อความปลอดภัยจะต้องไม่มีคนอยู่ในรัศมีทำการของระเบิด คอมพิวเตอร์วิชั่นจึงมีระบบตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์ โดยใช้การประมวลผลภาพซึ่งจะวิเคราะห์วัตถุว่าเป็นคนหรือไม่จากการวิเคราะห์ความชัน ท่าทางการเดิน ความสูง ขา ศีรษะ และรูปทรงของวัตถุ

4.2.2.1.5.1 กระบวนการทำ Segmentation

การประมวลผลจะพิจารณาข้อมูลภาพเป็น Binary Format นั่นคือ “0” แทนข้อมูลของคนและ “1” แทนพื้นที่อื่น โดยพิกเซลที่ไม่ต้องการ (Noise) จะถูกกำจัดด้วยการฟิลเตอร์จากภาพ 320x240 พิกเซล โดยการควอนไตซ์ (Quantization) ให้เหลือข้อมูลภาพเป็น 32x24 จุด ซึ่งจะช่วยลดเวลาการประมวลผลลงด้วย ถ้าตรวจสอบจาก 6 วิธีแล้วเป็นจริง จะสรุปได้ว่าวัตถุนั้นเป็นคน ดังรูปที่ 4.16 และโปรแกรมดังรูปที่ 4.17 ตามลำดับ

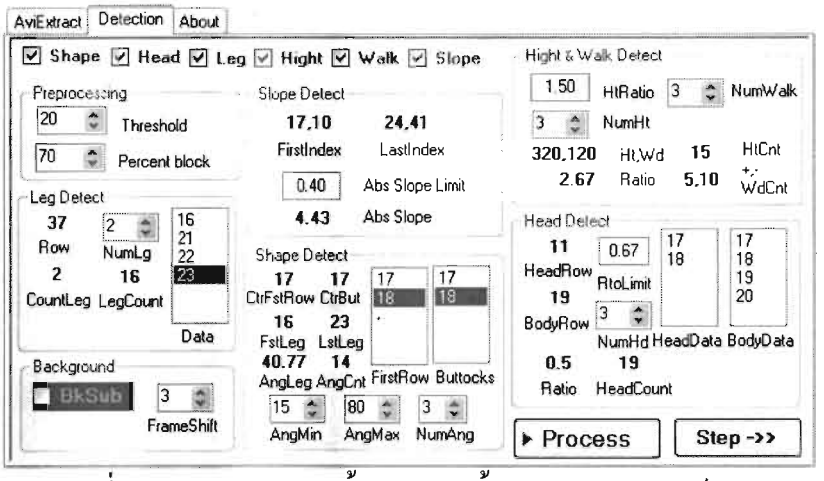


รูปที่ 4.16 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ



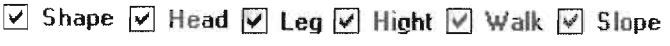
รูปที่ 4.17 โปรแกรมตรวจจับการเคลื่อนไหวของมนุษย์

ขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพ จะใช้ 6 วิธีประกอบกัน คือ วิเคราะห์ความชัน วิเคราะห์ท่าทางการเดิน วิเคราะห์ความสูง วิเคราะห์ขา วิเคราะห์ศีรษะ และวิเคราะห์รูปทรง ดังรูปที่ 4.18



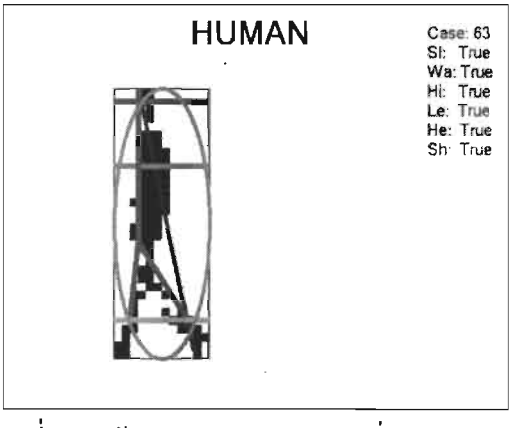
รูปที่ 4.18 ส่วนประกอบทั้งหมดของขั้นตอนการวิเคราะห์ภาพ

จาก 6 วิธีที่ใช้ในการวิเคราะห์ เมื่อนำแต่ละวิธีมาผสมกันแล้ว จะได้ 63 กรณี โดยใช้หลักการคิดแบบเลขฐาน 2 ดังรูปที่ 4.19 หากเลือกวิเคราะห์ทุกวิธีจะได้ Case ที่ 63



รูปที่ 4.19 การเลือกวิธีในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของมนุษย์

การแสดงผลจะเป็นข้อมูลเสริมซ้อนทับบนภาพ ดังรูปที่ 4.20



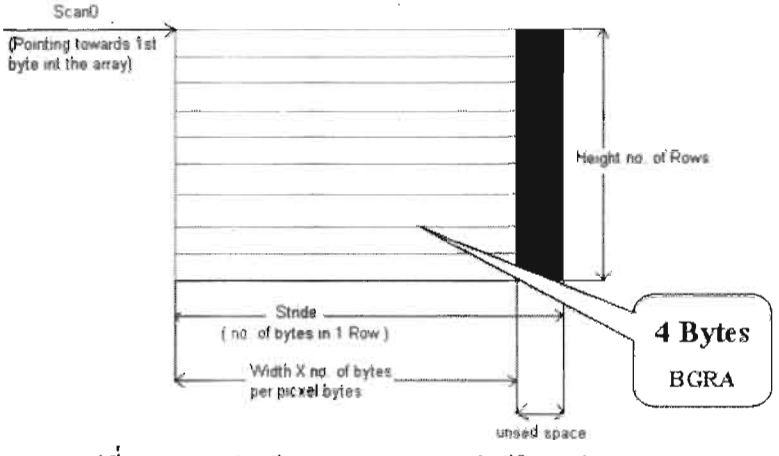
รูปที่ 4.20 ข้อมูลเสริมและกราฟิกที่วาดบนวัตถุ

ใช้การคัดลอกภาพมาแสดงเพื่อเปรียบเทียบภาพเดิมกับภาพที่ประมวลผลแล้ว ดังรูปที่ 4.21

รูปที่ 4.21 การคัดลอกภาพเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบ

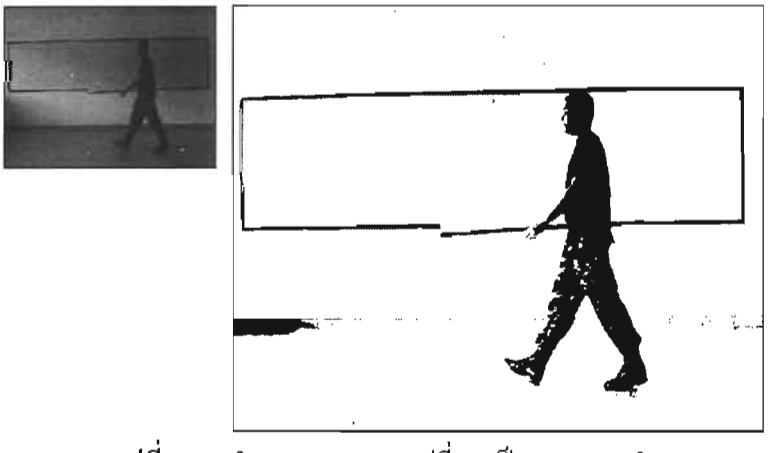
4.2.2.1.5.2 กระบวนการ Preprocessing

จะทำการแปลงภาพจาก RGB เป็นภาพขาวดำ กระบวนการนี้จะวิเคราะห์ค่าสีของทุกๆ พิกเซล ของภาพแต่ละเฟรมขนาด 320x240 พิกเซล โดยจะประมวลผลในหน่วยความจำและใช้พ้อยเตอร์ ในการกำหนดแอดเดรส ซึ่งจะทำให้การประมวลผลเร็วกว่าการวิเคราะห์จากภาพที่เห็นมาก โดยที่ การเก็บข้อมูลสีนั้นจะเก็บทีละ 4 ไบต์ เป็น BGRA โดยที่ถ้าค่าสี ณ ตำแหน่งพิกเซลใดๆ มีค่าน้อยกว่า Threshold ก็จะให้เป็นสีดำ (0) แต่ถ้ามากกว่าก็จะให้เป็นสีขาว (255) ดังรูปที่ 4.22



รูปที่ 4.22 การจัดเรียงแอดเดรสของค่าสีในหน่วยความจำ

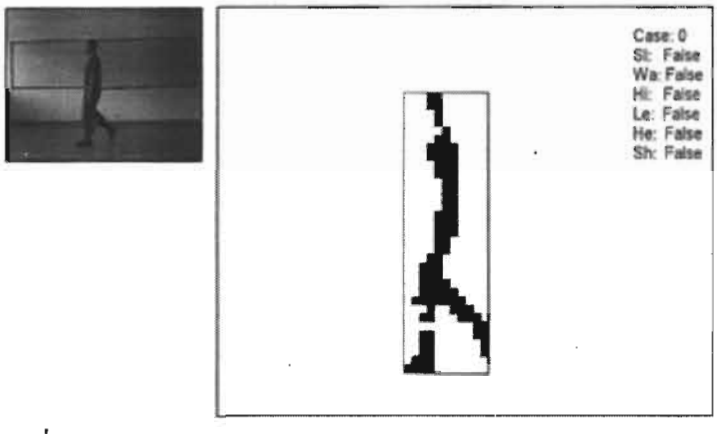
เมื่อพิจารณาจากภาพแล้วจะเห็นว่าภาพของคนที่ต้องการวิเคราะห์นั้นเป็นสีดำ แต่ขอบของกระดานพื้น รวมทั้งจุดดำอื่นๆ ที่กระจายอยู่บนพื้นหลังอีกเป็นจำนวนมากดังรูปที่ 4.23 ซึ่งจุดสีดำเหล่านี้จะเป็นสัญญาณรบกวน หากนำมาวิเคราะห์ด้วยจะทำให้การประมวลผลผิดพลาดทันที จึงต้องกำจัดสัญญาณรบกวนเหล่านี้ออกไปให้หมดก่อน



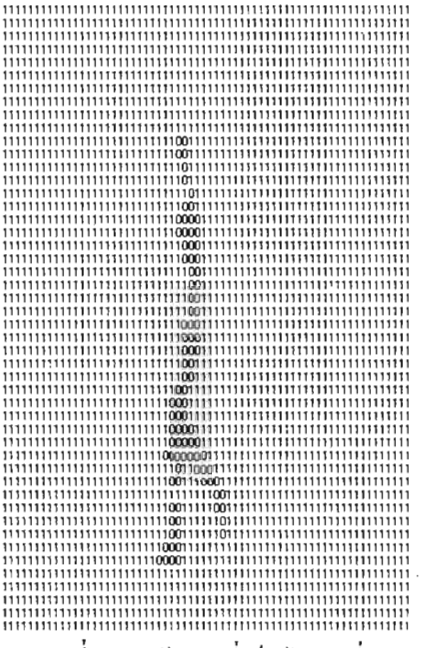
รูปที่ 4.23 นำภาพ RGB มาเปลี่ยนเป็นภาพขาวดำ

4.2.2.1.5.3 กระบวนการทำ Reduction และ Filtering

จากปัญหาข้างต้นที่ต้องกำจัดสัญญาณรบกวนให้หมดจึงใช้การแบ่งข้อมูลภาพออกเป็นบล็อคเล็กๆ ขนาด 10x10 พิกเซล จากนั้นจะพิจารณาค่าสีดำในแต่ละบล็อค ว่ามีจำนวนจุดสีดำมากกว่าค่า Threshold ที่ตั้งไว้หรือไม่ ถ้ามากกว่าก็ให้บล็อคนั้นเป็นสีดำ แต่ถ้าน้อยกว่าก็ให้บล็อคนั้นเป็นสีขาว ดังรูปที่ 4.24 ซึ่งจากเดิมขนาดภาพ 76,800 พิกเซล คงเหลือ 32x24 พิกเซล เท่ากับ 768 จุด จากนั้นเก็บข้อมูลไว้ในอาเรย์ 2 มิติ ขนาด 32x24 โดยที่ก่อนเก็บนั้นเปลี่ยนจากเลขจาก 255 เป็น 1 ดังรูปที่ 4.25 เพื่อความสะดวกในการวิเคราะห์ วิธีการดังกล่าวจะทำให้ลดข้อมูลในการประมวลผลลงได้ถึง 100 เท่า ส่งผลให้การประมวลผลเร็วขึ้น รวมทั้งเป็นการกำจัดสัญญาณรบกวนไปพร้อมๆ กัน เนื่องจากสัญญาณรบกวนส่วนใหญ่กระจายตัวอยู่ เมื่อพิจารณาเป็นบล็อคแล้วก็จะมีจุดสีดำไม่เกิน Threshold ที่กำหนดไว้

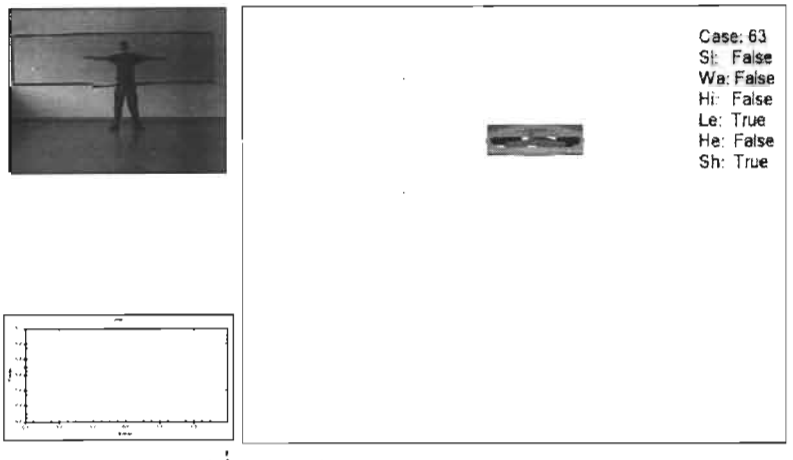


รูปที่ 4.24 ผลของการวิเคราะห์ภาพเป็นบล็อค ขนาด 10x10 พิกเซล



รูปที่ 4.25 ข้อมูลที่เก็บไบนารี่

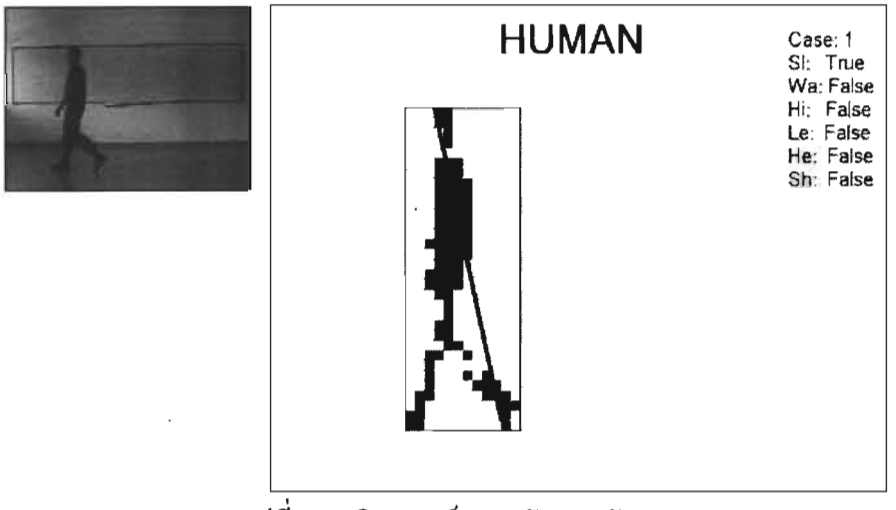
การทำ Segmentation ด้วยวิธีแบ่งบล็อกจะให้ผลดีกว่าวิธี Background Subtraction เนื่องจากใช้จำนวนเฟรมน้อยกว่าสามารถใช้เฟรมที่ติดกันได้ รวมทั้งวิธีนี้จะใช้ไม่ได้กับภาพคนที่อยู่กับที่ตามรูปที่ 4.26 ภาพคนกำลังทำท่ากายบริหาร โดยคนจะยืนอยู่กับที่เมื่อพิจารณาข้อมูลของเฟรมก่อนหน้าและเฟรมปัจจุบันแล้ววัตถุจะถูกลบไปเกือบหมดเนื่องจากข้อมูลส่วนใหญ่จะอยู่ตำแหน่งเดียวกัน จะทำให้ลบข้อมูลของวัตถุออกไปด้วย



รูปที่ 4.26 วิธี Background Subtraction

4.2.2.1.5.4 การตรวจสอบเฉพาะวัตถุที่เคลื่อนไหว (Motion Detection)
จะประมวลผลเฉพาะวัตถุที่เคลื่อนไหวเท่านั้น โดยใช้การตรวจสอบข้อมูลไบนารี่ที่มีการเปลี่ยนแปลง จากนั้นจะวาดกราฟิกเป็นกรอบสี่เหลี่ยมสีแดงครอบวัตถุที่เคลื่อนไหวนั้น

4.2.2.1.5.5 การวิเคราะห์หาความชันของวัตถุ (Slope Analysis)
โดยพิจารณาข้อมูลภาพตำแหน่งแรกกับตำแหน่งสุดท้ายที่เป็นสีดำ จากนั้นจะหาความชันของเส้นตรงระหว่างจุดดังกล่าว โดยพิจารณาจากข้อเท็จจริงคือหากเป็นคนแล้วความชันของเส้นนี้จะมีลักษณะเอียงเล็กน้อยจนถึงตั้งตรง จึงวิเคราะห์ความชันเฉพาะค่าบวกเท่านั้น เช่นความชันเท่ากับ 4.27 ซึ่งหากเป็นสัตว์สี่ขาเส้นตรงนี้จะมีลักษณะเป็นแนวนอน นั่นคือมีค่าความชันน้อยกว่า 0.40

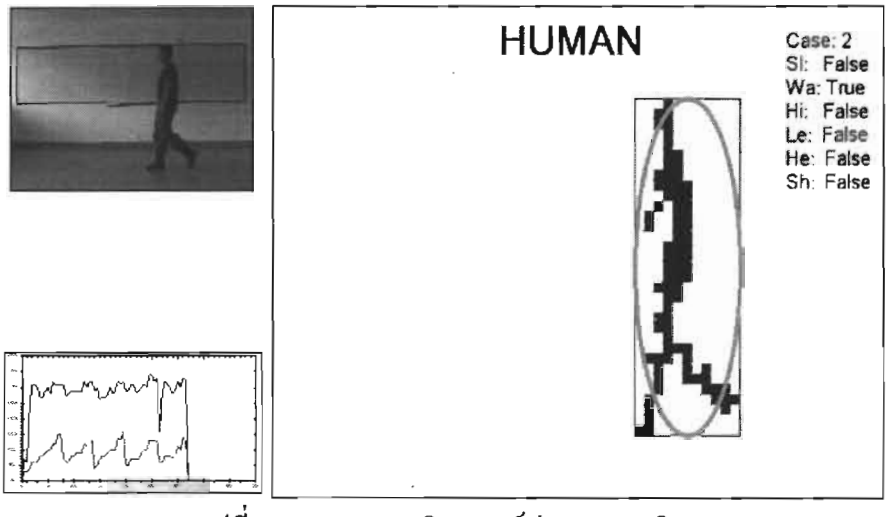


รูปที่ 4.27 วิเคราะห์ความชันของวัตถุ

4.2.2.1.5.6 การวิเคราะห์ท่าทางการเดิน (Walk Analysis)
จากสมมติฐานที่ว่าหากเป็นการเดินของคนแล้ว ความกว้างของวัตถุจะมีขนาดเล็กลงและใหญ่ขึ้นสลับกันไป จึงได้นำความกว้างของวัตถุของภาพเฟรมติดกันมาพิจารณา เช่น วัดความกว้างของวัตถุได้

90 พิกเซล หากเฟรมต่อไปเป็นจังหวะที่คนก้าวขาเดินก็จะทำให้ความกว้างของวัตถุมากขึ้นเช่น จากเดิม 90 เพิ่มเป็น 120 พิกเซล เมื่อนำความกว้างของเฟรมก่อนหน้าลบกับเฟรมปัจจุบัน จะได้เครื่องหมายติดลบ ก็จะไปเพิ่มตัวนับ (Counter) ของค่าติดลบ ทำนองเดียวกันหากเฟรมต่อไปเป็นจังหวะที่ชักขาเข้ามาก็จะทำให้ความกว้างของวัตถุน้อยลง จะได้เครื่องหมายบวก ก็จะไปเพิ่มตัวนับของค่าบวก

จากการพิจารณาเครื่องหมายนี้ทำให้ทราบได้ว่าหากตัวนับของเครื่องหมายบวกและลบถึงค่าที่กำหนดไว้ก็จะวิเคราะห์ได้ว่าน่าจะเป็นท่าทางการเดินของคน ซึ่งหากเป็นสัตว์สี่ขาแล้ว เวลาเดินความกว้างจะเปลี่ยนแปลงไม่มาก และเพื่อลดความผิดพลาดจึงใช้อัตราส่วนของวัตถุพิจารณาร่วมด้วย



รูปที่ 4.28 แสดงการวิเคราะห์ท่าทางการเดิน

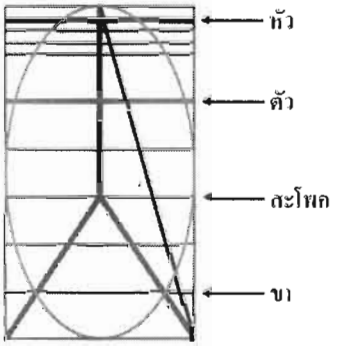
เมื่อประมวลผลครบทุกเฟรมแล้ว นำข้อมูลความกว้างของวัตถุมาวาดกราฟ จะเห็นว่ากราฟมีลักษณะขึ้นลงแบบฟันเลื่อย โดยกราฟสีแดงเป็นความกว้างและสีน้ำเงินเป็นความสูง ดังนั้นจึงเป็นไปตามสมมติฐานที่ว่าหากเป็นท่าทางการเดินแล้วความกว้างของวัตถุ จะต้องลดลงและเพิ่มขึ้นสลับกันไป และเมื่อพิจารณาจากกราฟจะสามารถนับจำนวนก้าวที่เดินได้ดังรูปที่ 4.28 นับการขึ้นลงของกราฟได้ 5 ครั้ง แสดงว่าเดินไป 5 ก้าวเป็นต้น

4.2.2.1.5.7 การวิเคราะห์ความสูงของวัตถุ (High Ratio Analysis)

จะพิจารณาอัตราส่วนระหว่างความสูงและความกว้างของวัตถุ ซึ่งหากเป็นคนยืนแล้วจะมีอัตราส่วนของความสูงกับความกว้างมากกว่า 1.50 เช่น จากรูปที่ 4.28 มีความสูง 330 กว้าง 110 หาอัตราส่วนได้เท่ากับ 330/110 เท่ากับ 3 หากมากกว่าค่า Threshold ที่กำหนดไว้ก็จะเพิ่มตัวนับของความสูงไปเรื่อยๆ จนกว่าจะถึงจำนวนครั้งที่กำหนด ก็แสดงว่าน่าจะเป็นความสูงของคน

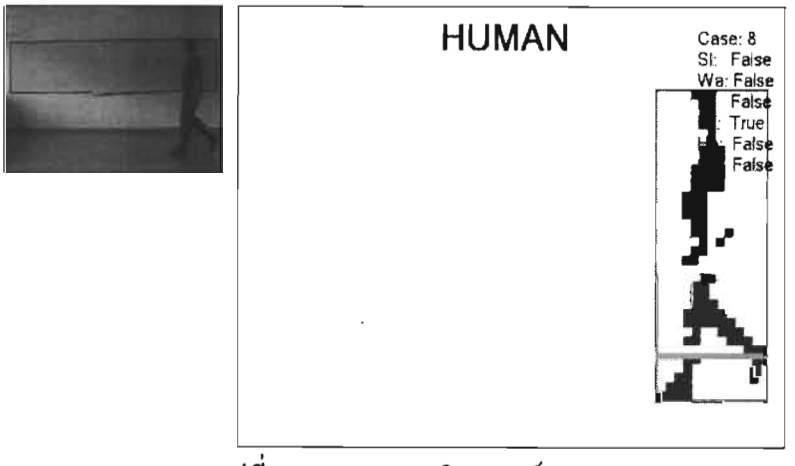
4.2.2.1.5.8 การวิเคราะห์ขา (Leg Analysis)

ขั้นตอนต่อไปนี้จะใช้การแบ่งวัตถุออกเป็น 7 ส่วนดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 การแบ่งอัตราส่วนของวัตถุที่ตรวจสอบ

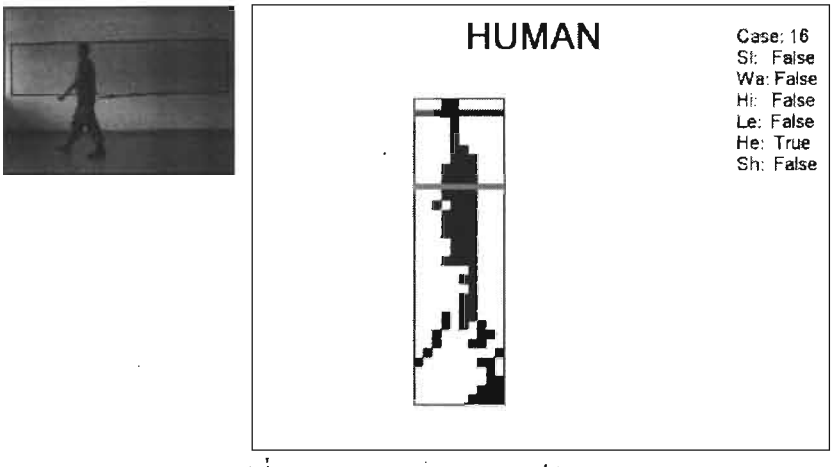
สำหรับขานั้นจะวิเคราะห์แถวที่ 6 ของวัตถุ จากรูปที่ 4.30 ด้านล่าง แถวที่ 6 ของวัตถุ เมื่อตรวจพบข้อมูลที่แถวนี้ครบ 2 ครั้งแสดงว่าน่าจะเป็นขาของคน



รูปที่ 4.30 แสดงการวิเคราะห์ขา

4.2.2.1.5.9 การวิเคราะห์ศีรษะ (Head Ratio Analysis)

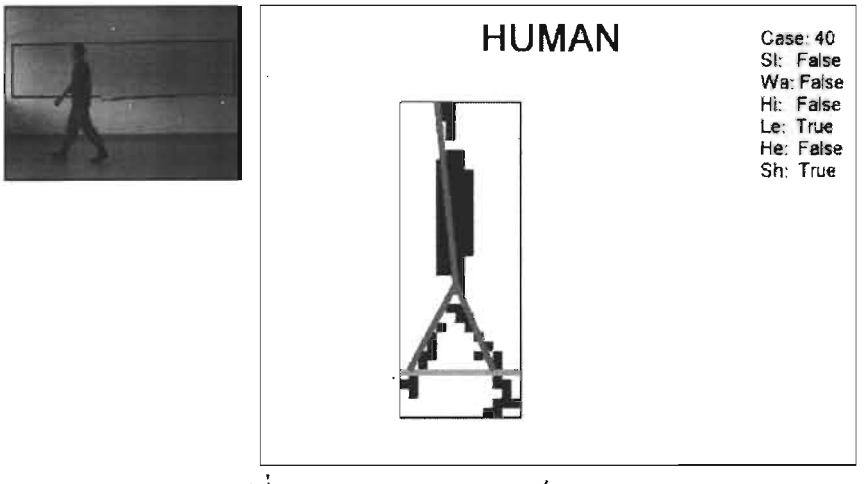
จะพิจารณาอัตราส่วนของส่วนที่ 1 จาก 7 ส่วน โดยนำส่วนที่ 1 มาแบ่งเป็น 3 แถว และพิจารณาเฉพาะแถวที่ 1 ใน 3 แถวนี้เท่านั้น ซึ่งแถวนี้จะเป็นข้อมูลของศีรษะ โดยนำข้อมูลไปเทียบกับแถวที่ 2 ซึ่งแถวนี้จะเป็นส่วนของลำตัว โดยที่หากเป็นศีรษะคนแล้วจะต้องมีจำนวนข้อมูลน้อยกว่าส่วนลำตัวอย่างน้อย 1 ตำแหน่ง จากรูปที่ 4.31 จะได้ว่าส่วนศีรษะอยู่ในแถวที่ 11 โดยมีข้อมูล 2 ค่า คือที่คอลัมน์ 21 และ 22 และส่วนของลำตัวนั้นจะอยู่แถวที่ 19 โดยมีข้อมูล 4 ตัว คือ 21,22,23,24 จึงสามารถหาอัตราส่วนได้คือ 2/4 เท่ากับ 0.5 ซึ่งจะน้อยกว่า 3/4 เท่ากับ 0.67 ซึ่งเป็น Threshold ที่กำหนดไว้ ก็จะไปเพิ่มตัวนับของศีรษะอีก โดยถ้านับได้ถึง 3 ครั้งก็วิเคราะห์ได้ว่าวัตถุที่ตรวจสอบมีลักษณะของศีรษะคน



รูปที่ 4.31 แสดงการวิเคราะห์ศีรษะ

4.2.2.1.5.10 การวิเคราะห์รูปทรง (Shape Analysis)

จากสมมติฐานที่ว่าหากเป็นคนเดินแล้วเมื่อลากเส้นตรงจากจุดศูนย์กลางของวัตถุที่วิเคราะห์แถวแรกมายังจุดศูนย์กลางของลำตัวบริเวณสะโพก และลากเส้นตรงจากจุดศูนย์กลางของสะโพกไปที่ปลายขาทั้งสองข้างแล้ว จะได้โครงร่างของเส้นประกอบกันเป็นลักษณะตัว Y คว่ำ ดังนั้นจึงวิเคราะห์ข้อมูลของวัตถุแถวแรกก่อน จากรูปที่ 4.32 ข้อมูลแถวแรกคือคอลัมน์ที่ 19,20 จุดศูนย์กลางคือ 19 ส่วนจุดศูนย์กลางของลำตัวนั้นจะคิดอัตราส่วนแถวที่ 4 จาก 7 แถว ซึ่งจะเป็นบริเวณสะโพก จุดศูนย์กลางของลำตัวคือคอลัมน์ที่ 21 ดังนั้นจึงวาดกราฟิกเป็นเส้นตรงจากจุดศูนย์กลางของศีรษะมายังจุดศูนย์กลางของลำตัว จากนั้นจะใช้การพิจารณาอีก 2 จุด จากการวิเคราะห์ของขาประกอบกัน เช่น จากรูปจะได้ว่าอัตราส่วนที่เป็นขา แถวที่ 6 เส้นสีชมพู จะพบข้อมูลตำแหน่งแรกที่คอลัมน์ 16 และตำแหน่งสุดท้ายที่คอลัมน์ 25 ดังนั้นจึงสามารถลากเส้นตรงจากจุดศูนย์กลางของลำตัวมายังปลายขาทั้งสองข้างได้



รูปที่ 4.32 แสดงการวิเคราะห์รูปทรง

การวิเคราะห์ว่าเส้นตรงทั้ง 3 เส้นนี้ จะมีลักษณะเป็น Y ควำ่หรือไม่ ด้วยขั้นตอนดังนี้

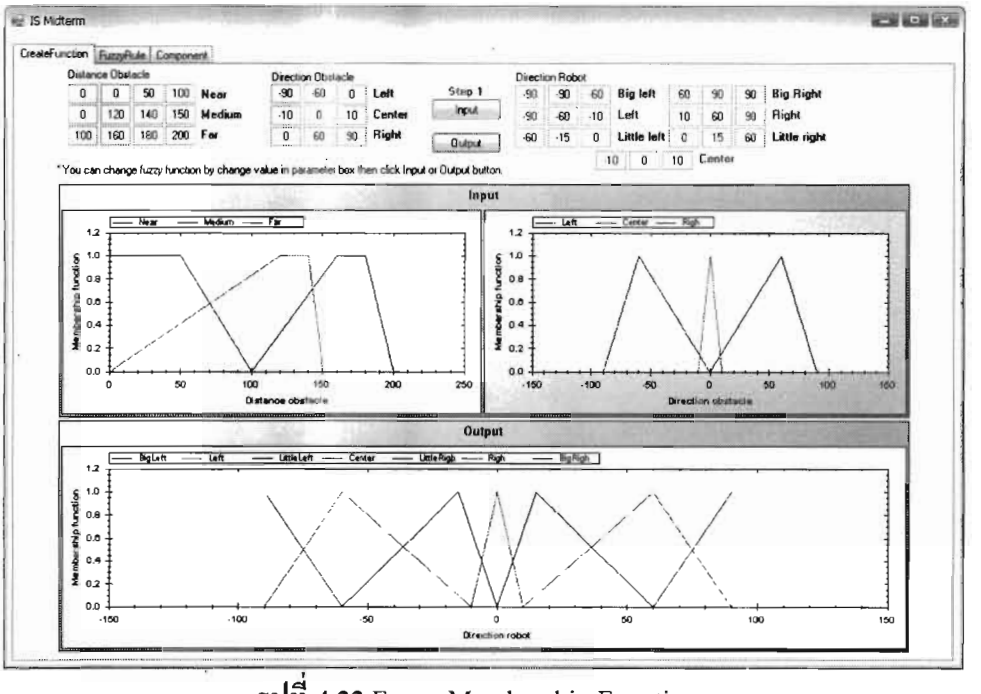
- พิจารณาก่อนว่าสามารถวาดเส้นตรงจากจุดศูนย์กลางของศีรษะมายังจุดศูนย์กลางของลำตัวได้หรือไม่ หากอัตราส่วนแถวที่ตรวจสอบมีข้อมูลก็จะสามารถวาดเส้นนี้ได้ โดยเส้นนี้จะมีลักษณะตั้งตรง และมีความชันใกล้เคียงกับความชันของการวิเคราะห์ความชันข้างต้น

- พิจารณาส่วนประกอบของ 2 เส้น ที่เหลือเมื่อคนก้าวเดิน 2 เส้นนี้จะมีลักษณะคล้ายสามเหลี่ยม แต่ยังมีด้านไม่ครบ จึงต้องหาด้านที่สามมาประกอบด้วย สำหรับด้านที่สามนี้ก็หาได้จากความยาวจากจุดปลายขาทั้งสองด้านนั่นเอง

- เมื่อได้ส่วนประกอบด้านล่างเป็นสามเหลี่ยมแล้ว จะวิเคราะห์มุมด้านบนสุดของสามเหลี่ยมโดยใช้ Law of Cosines

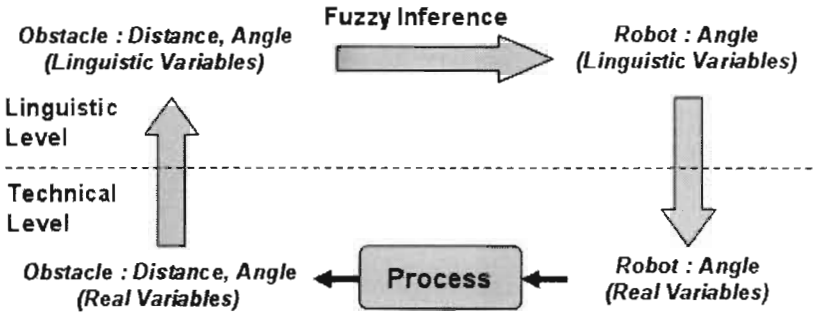
4.2.2.1.6 การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

ในระหว่างการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์นั้น อาจมีสิ่งกีดขางตามเส้นทางได้ ดังนั้นหุ่นยนต์จะต้องมีความสามารถในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางแล้วคำนวณเส้นทางใหม่เพื่อเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายได้ วิทยานิพนธ์นี้จึงใช้หลักการของฟัซซี่ลอจิก โดยนำข้อมูลที่ได้จากอัลตร้าโซนิกส์เป็นอินพุทให้กับระบบฟัซซี่ สำหรับเอ้าท์พุทนั้นจะเป็นทิศทางของหุ่นยนต์ดังรูปที่ 4.33 โดยหุ่นยนต์จะหลบหลีกวัตถุที่เข้ามาใกล้ที่สุดด้วยกฎของฟัซซี่ (Fuzzy Rules)



รูปที่ 4.33 Fuzzy Membership Functions

การหลบหลีกสิ่งกีดขวางด้วยระบบฟัซซี่ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังรูปที่ 4.34 ได้แก่ Fuzzification, Fuzzy Inference และ Defuzzification

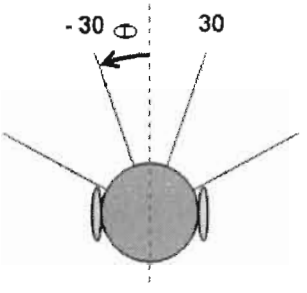


รูปที่ 4.34 ขั้นตอนของฟัซซี่

4.2.2.1.6.1 ขั้นตอนที่ 1 Fuzzification

จากประโยคคำพูด (Linguistic Variables) จะเป็นการกำหนดตัวแปรทั้งหมดที่จะนำไปใช้กับกฎของฟัซซี่ (Fuzzy Rules) โดยมีอินพุทเป็นระยะทาง (0-500 ซม.) และทิศทางของสิ่งกีดขวาง (-90 ถึง 90 องศา) สำหรับเอ้าท์พุทคือทิศทางของหุ่นยนต์ (-90 ถึง 90 องศา) ดังนี้

- ระยะทางของสิ่งกีดขวางแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ Near, Medium, Far
- ทิศทางของสิ่งกีดขวางแบ่งเป็น 3 ระดับ คือ Left, Center, Right
- ทิศทางของหุ่นยนต์แบ่งเป็น 7 ระดับ คือ BigLeft, Left, LittleLeft, Center, LittleRight, Right, BigRight โดยมีทิศทางอ้างอิงดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 การกำหนดทิศทางของหุ่นยนต์

กฎของฟัซซี่ มีดังนี้

1. If obstacle distance is Near and direction is Left then robot direction is BigRight else
2. If obstacle distance is Near and direction is Center then robot direction is BigLeft else
3. If obstacle distance is Near and direction is Right then robot direction is BigLeft else
4. If obstacle distance is Medium and direction is Left then robot direction is LittleRight else
5. If obstacle distance is Medium and direction is Center then robot direction is LittleLeft else
6. If obstacle distance is Medium and direction is Right then robot direction is LittleLeft else
7. If obstacle distance is Far and direction is Left then robot direction is Center else

8. If obstacle distance is Far and direction is Center then robot direction is Center else
9. If obstacle distance is Far and direction is Right then robot direction is Center

จากนั้นสร้างฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function) ดังนี้

- ฟังก์ชันระยะทางของสิ่งกีดขวาง Near กำหนดเป็นฟังก์ชันTrapezoid (0.0, 0.0, 50.0, 100.0)
- ฟังก์ชันระยะทางของสิ่งกีดขวาง Medium กำหนดเป็นฟังก์ชันTrapezoid (0.0, 120.0, 140.0, 150.0)
- ฟังก์ชันระยะทางของสิ่งกีดขวาง Far กำหนดเป็นฟังก์ชันTrapezoid (100.0, 160.0, 180.0, 200.0)
- ฟังก์ชันทิศทางของสิ่งกีดขวาง Left กำหนดเป็นฟังก์ชัน Triangular (-90.0, -60.0, 0.0)
- ฟังก์ชันทิศทางของสิ่งกีดขวาง Center กำหนดเป็นฟังก์ชัน Triangular (-10.0, 0.0, 10.0)
- ฟังก์ชันทิศทางของสิ่งกีดขวาง Right กำหนดเป็นฟังก์ชัน Triangular (0.0, 60.0, 90.0)
- ฟังก์ชันทิศทางของหุ่นยนต์ BigLeft กำหนดเป็นฟังก์ชัน Triangular (-90.0, -90.0, -60.0)
- ฟังก์ชันทิศทางของหุ่นยนต์ Left กำหนดเป็นฟังก์ชัน Triangular (-90.0, -60.0, -10.0)
- ฟังก์ชันทิศทางของหุ่นยนต์ LittleLeft กำหนดเป็นฟังก์ชัน Triangular (-60.0, -15.0, 0.0)
- ฟังก์ชันทิศทางของหุ่นยนต์ Center กำหนดเป็นฟังก์ชัน Triangular (-10.0, 0.0, 10.0)
- ฟังก์ชันทิศทางของหุ่นยนต์ LittleRight กำหนดเป็นฟังก์ชัน Triangular (0.0, 15.0, 60.0)
- ฟังก์ชันทิศทางของหุ่นยนต์ Right กำหนดเป็นฟังก์ชัน Triangular (10.0, 60.0, 90.0)
- ฟังก์ชันทิศทางของหุ่นยนต์ BigRight กำหนดเป็นฟังก์ชัน Triangular (60.0, 90.0, 90.0)

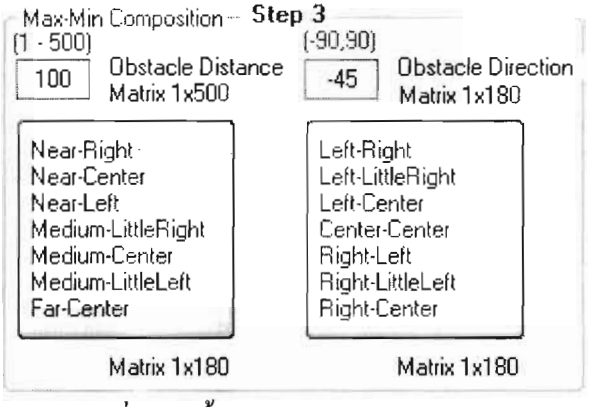
สำหรับความเร็วของมอเตอร์นั้นไม่ได้นำมาพิจารณาในขั้นตอนของระบบฟัซซี่ เนื่องจากกำหนดความเร็วของมอเตอร์จาก PWM ซึ่งสามารถปรับความเร็วได้ 3 ระดับ คือ ต่ำ กลาง และเร็ว จึงใช้การกำหนดความเร็วต่างหาก โดยถ้าระยะทางของสิ่งกีดขวางมากกว่า 350 ซม. จะใช้ความเร็วสูง ถ้าระยะทางน้อยกว่า 350 ซม. จะให้ความเร็วเป็นกลาง และถ้าระยะทางของสิ่งกีดขวางน้อยกว่า 100 ซม. จะใช้ความเร็วต่ำ

4.2.2.1.6.2 ขั้นตอนที่ 2 Inference

สร้างความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทกับเอ้าท์พุทด้วยวิธีการของ Mamdani Min ได้แก่ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางของสิ่งกีดขวางกับทิศทางของหุ่นยนต์ และทิศทางของสิ่งกีดขวางและทิศทางของหุ่นยนต์ ดังรูป 4.36

รูปที่ 4.36 ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทกับเอ้าท์พุท

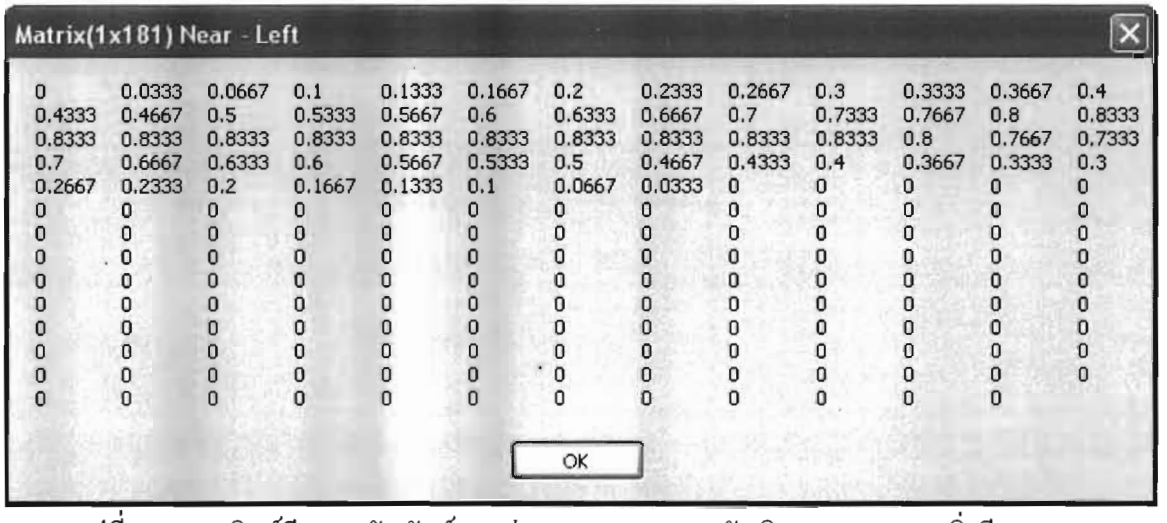
ทำการ Composition กับอินพุทที่เข้ามากระตุ้นกับความสัมพันธ์ทั้งสอง ดังรูปที่ 4.37



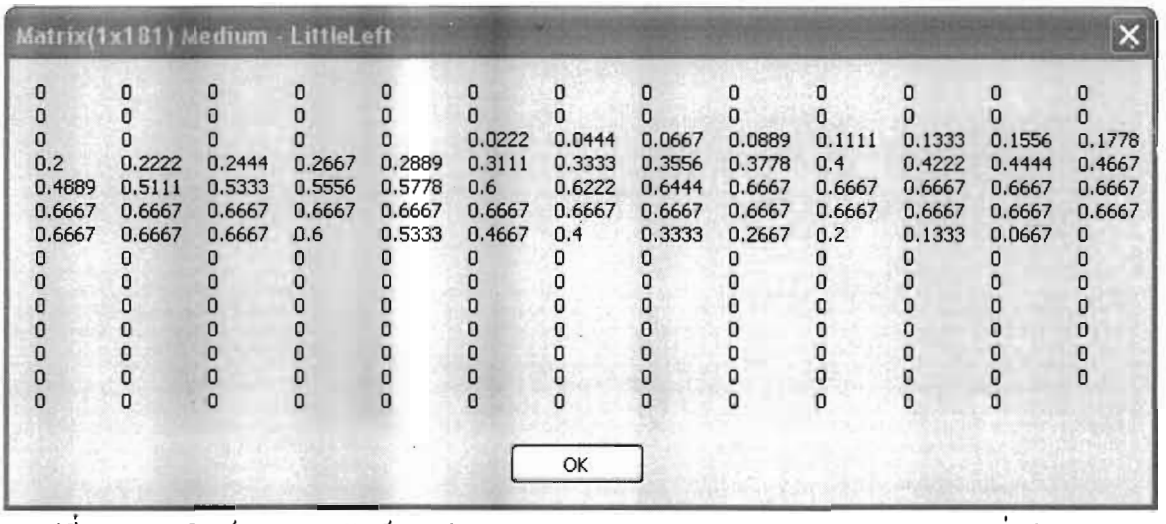
รูปที่ 4.37 ขั้นตอนการทำ Composition

จากตัวอย่างระยะทางของสิ่งกีดขวางเท่ากับ 100 ซม. และทิศทางของสิ่งกีดขวางเท่ากับ -45 องศา จะสามารถวิเคราะห์ผลขั้นต้นได้โดยพิจารณาจากเมตริกซ์ ดังนี้

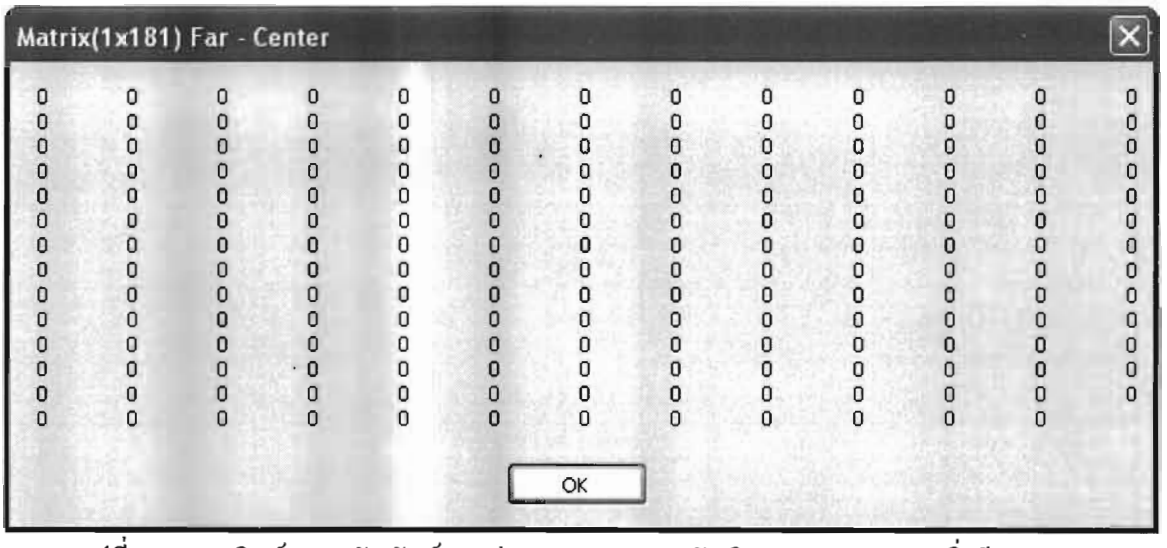
- จากระยะทาง 100 ซม. จะอยู่ในช่วง Near และ Medium ดังนั้นเมตริกซ์ที่ได้ควรจะต้องมีค่าของความเป็น Near และ Medium เท่านั้น แต่ความเป็น Far นั้นจะต้องเป็น 0 ทั้งหมดโดยสามารถเปรียบเทียบได้จากรูปที่ 4.38 – 4.41



รูปที่ 4.38 เมตริกซ์มีความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง Near กับทิศทาง Left ของสิ่งกีดขวาง

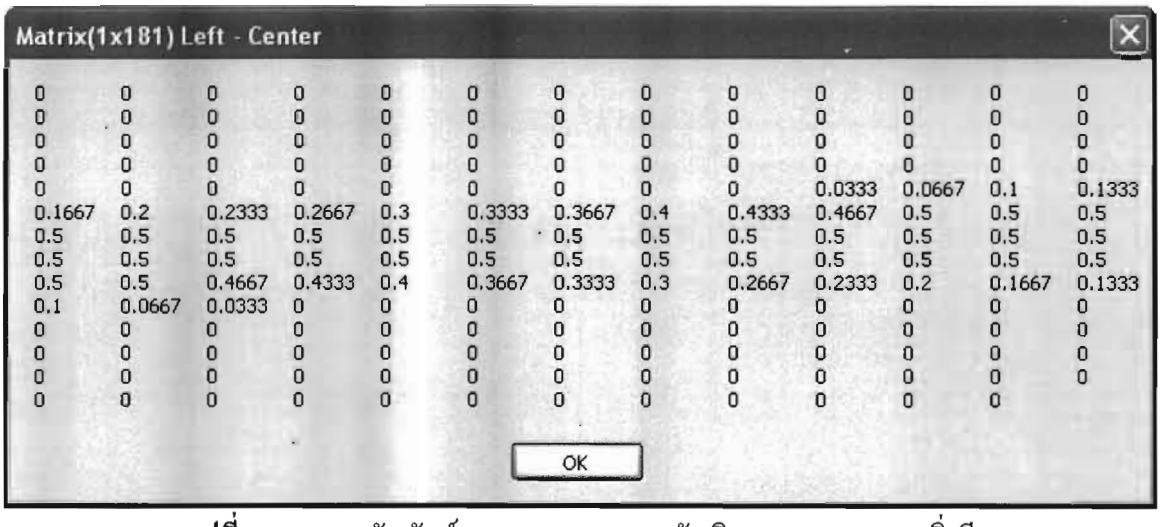


รูปที่ 4.39 เมตริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง Medium กับทิศทาง Little Left ของสิ่งกีดขวาง



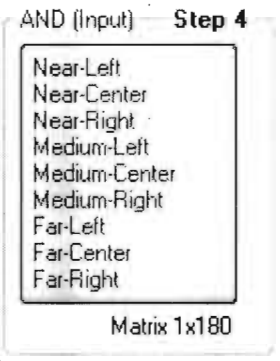
รูปที่ 4.40 เมตริกซ์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทาง Far กับทิศทาง Center ของสิ่งกีดขวาง

- เมื่อพิจารณาแล้วจะต้องมีความสัมพันธ์ระหว่างความเป็น Left เท่านั้น ดังรูปที่ 4.41



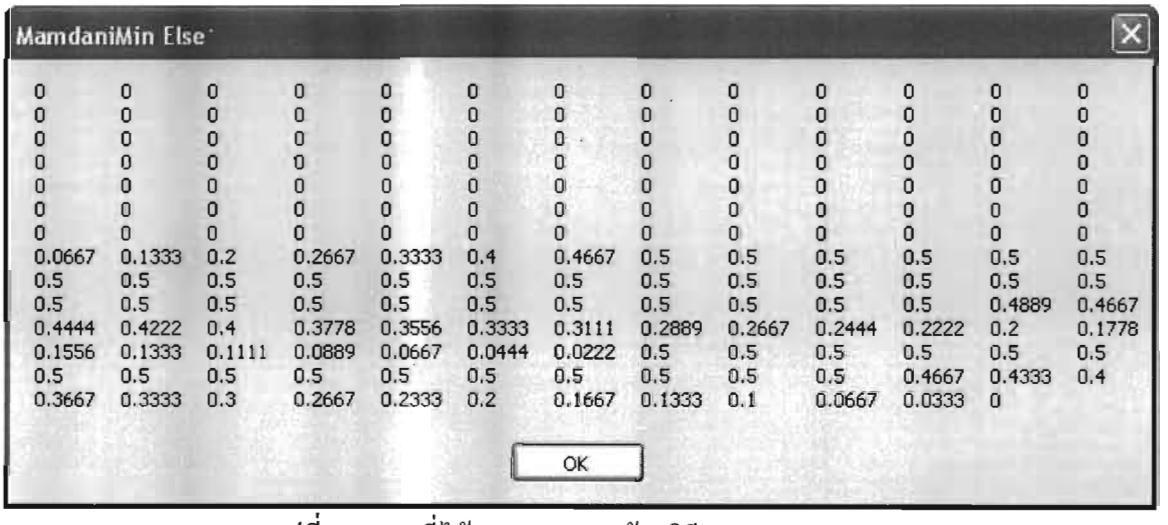
รูปที่ 4.41 ความสัมพันธ์ของระยะทาง Left กับทิศทาง Center ของสิ่งกีดขวาง

จากกฎของฟัซซี่จะเห็นว่าจะต้องพิจารณาอินพุท 2 อย่าง คือระยะทางและทิศทางของสิ่งกีดขวาง ขั้นตอนต่อไปจึงนำผลที่ได้มา AND กันก่อน ดังรูปที่ 4.42



รูปที่ 4.42 นำผลที่ได้มา AND กัน

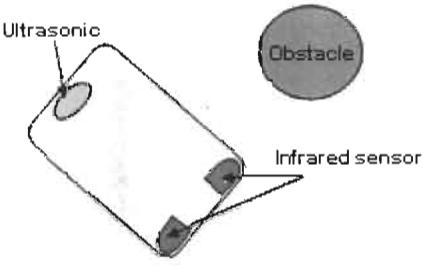
จากนั้นนำผลที่ได้ของทุกกฎมาทำการ Else โดยใช้วิธีการ Mamdadi จะได้เมตริกซ์ผลลัพธ์ดังรูปที่ 4.43 เป็นเมตริกซ์ขนาด 180x180



รูปที่ 4.43 ผลที่ได้จากการ Else ด้วยวิธี Mamdadi Else

4.2.2.1.6.3 ขั้นตอนที่ 3 Defuzzification

ขั้นตอนสุดท้ายเป็นการคำนวณหาทิศทางของหุ่นยนต์ที่จะหันเลี้ยวเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่เป็นตัวเลข (Crisp Value) โดยจะใช้การ Defuzzification ด้วยวิธี COA (Center Of Area) เมื่อหุ่นยนต์พบสิ่งกีดขวางและสามารถคำนวณทิศทางที่จะหันเลี้ยวเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้แล้ว หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปตามทิศทางนั้นจนกว่าจะพ้นสิ่งกีดขวาง ซึ่งสามารถตรวจสอบว่าพ้นสิ่งกีดขวางแล้วหรือไม่ด้วยอินฟราเรดวัดระยะทางที่ติดตั้งไว้ด้านหลังของหุ่นยนต์ ดังรูปที่ 4.44 แสดงการหลบสิ่งกีดขวางไปทางด้านซ้าย ดังนั้นจะนำข้อมูลจากอินฟราเรดที่ติดตั้งอยู่ด้านขวาของหุ่นยนต์มาประมวลผลว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่พ้นสิ่งกีดขวางแล้วหรือไม่

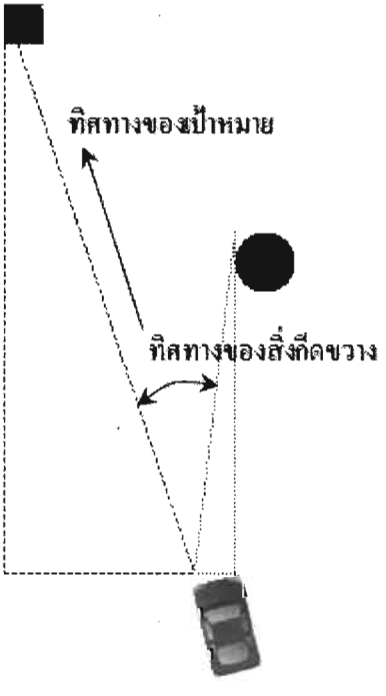


รูปที่ 4.44 แสดงการหันเลี้ยวหลบสิ่งกีดขวาง

สรุปขั้นตอนการเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายในโหมดอัตโนมัติ

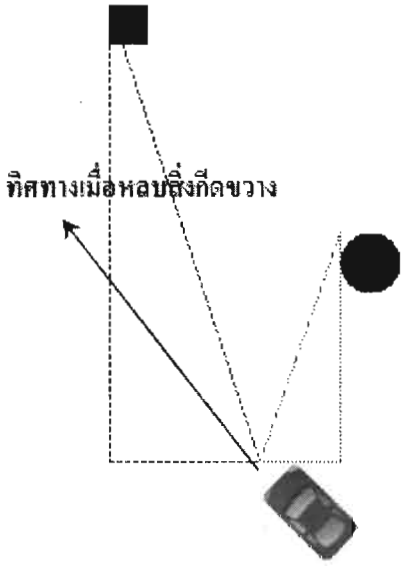
1. เมื่อไม่พบสิ่งกีดขวางคอมพิวเตอร์แม่ข่ายจะคำนวณระยะทางและทิศทางของเป้าหมาย จากนั้นจะส่งข้อมูลไปให้ Robot Controller เพื่อสั่งงานให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามระยะทางด้วยเอ็นโค้ดเดอร์และทิศทางด้วยเข็มทิศดิจิตอล

2. เมื่อหุ่นยนต์ตรวจพบสิ่งกีดขวางจากอัลตร้าโซนิกส์ที่ติดตั้งไว้ด้านหน้าหุ่นยนต์จะทำให้ทราบระยะทางและทิศทางของสิ่งกีดขวางนั้น จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้ไปประมวลผลด้วยระบบฟัซซี่ เช่น จากรูปที่ 4.45 ตรวจพบสิ่งกีดขวางทางด้านขวา



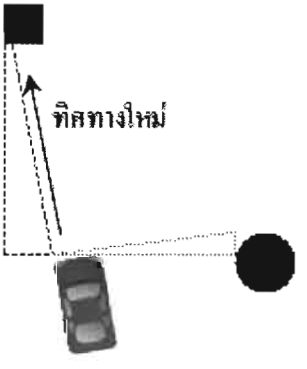
รูปที่ 4.45 ระบบตรวจพบสิ่งกีดขวางทางด้านขวา

3. ระบบฟัซซี่จะคำนวณทิศทางตามกฎที่ตั้งไว้ จากนั้นหุ่นยนต์จะหันเลี้ยวไปด้วยมุมที่ได้โดยเคลื่อนที่ตรงไปจนกว่าจะพ้นสิ่งกีดขวางนั้น ซึ่งตรวจสอบได้จากอินฟราเรดเซ็นเซอร์ที่ติดตั้งไว้ด้านหลังหุ่นยนต์ ดังรูป 4.46



รูปที่ 4.46 หุ่นยนต์หันเลี้ยวหลบสิ่งกีดขวาง

4. เมื่อเคลื่อนที่พ้นสิ่งกีดขวางแล้ว คอมพิวเตอร์แม่ข่ายจะคำนวณทิศทางใหม่เพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายเดิม ดังรูป 4.47



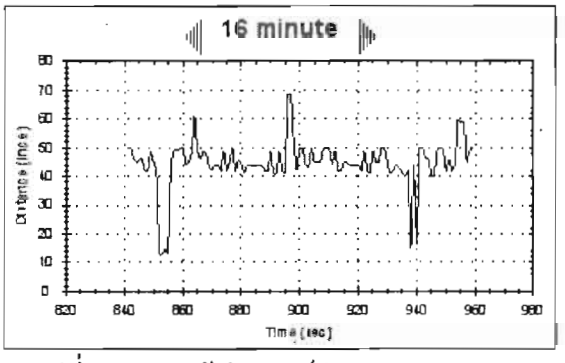
รูปที่ 4.47 หุ่นยนต์หาทิศทางใหม่เพื่อไปยังเป้าหมาย

4.2.2.2 การกรองสัญญาณจากเซ็นเซอร์และการบันทึกข้อมูลเซ็นเซอร์

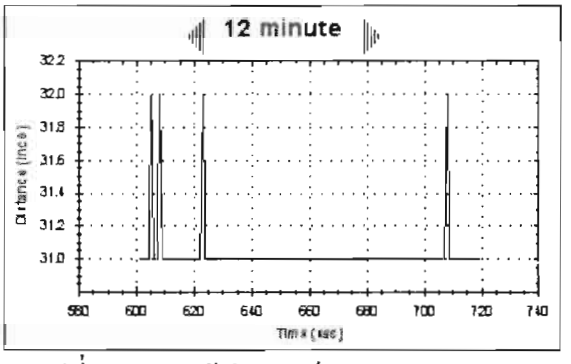
ข้อมูลระยะทางของสิ่งกีดขวางที่ได้จากอัลตร้าโซนิกส์นั้นจะกำหนดเป็น 3 ระยะ คือระยะปลอดภัย ระยะเตือน และระยะอันตรายซึ่งหากสิ่งกีดขวางเข้ามาในระยะเตือนก็จะส่งข้อมูลไปที่คอมพิวเตอร์แม่ข่าย และลดความเร็วของหุ่นยนต์อัตโนมัติ โดยที่ผู้ควบคุมจะมีเสียงเตือนดังขึ้นจากพีดีเอ และหากสิ่งกีดขวางเข้ามาในระยะอันตรายก็จะสั่งให้หุ่นยนต์หยุดเองอัตโนมัติ

บางครั้งค่าของอัลตร้าโซนิกส์จะแกว่งมาที่ระยะอันตรายเองทำให้หุ่นยนต์หยุดการเคลื่อนที่ทั้งๆ ที่ไม่พบสิ่งกีดขวาง ดังรูปที่ 4.48 ปัญหานี้แก้ไขด้วยโปรแกรมกรองสัญญาณ (Filter) โดยใช้ตัวนับเพื่อนับจำนวนครั้งของระยะทางที่ตรวจวัดได้ ซึ่งหากเป็นสิ่งกีดขวางจริงตัวนับจะนับได้ถึงค่าที่

กำหนดไว้และจะสั่งให้หยุดการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เมื่อผ่านโปรแกรมกรองสัญญาณแล้วจะมีบางครั้งที่ข้อมูลแกว่งไปเช่นกันแต่จะแกว่งไปแค่ระดับเดียวเท่านั้น เช่น ระยะของสิ่งกีดขวางอยู่ที่ 31 ซม. หรือ 32 ซม. ดังรูปที่ 4.49 เป็นต้น

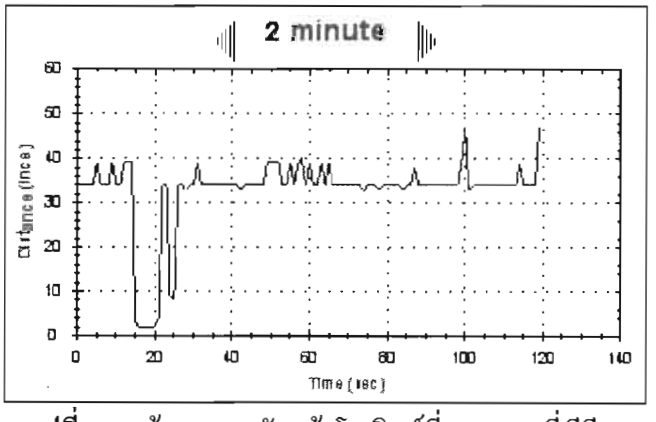


รูปที่ 4.48 อัลตร้าโซนิกส์ก่อนกรองสัญญาณ



รูปที่ 4.49 อัลตร้าโซนิกส์หลังกรองสัญญาณ

ระหว่างที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไป คอมพิวเตอร์แม่ข่ายจะเก็บข้อมูลของเซ็นเซอร์ไว้ เช่น ข้อมูลของอัลตร้าโซนิกส์จะเก็บข้อมูลไว้ทุกๆ 1 วินาทีและบันทึกข้อมูลเป็นกราฟทุกๆ 2 นาที โดยผู้ใช้จะสามารถเลือกดูข้อมูลของเซ็นเซอร์ต่างๆ ได้จากพีดีเอดังรูปที่ 4.50



รูปที่ 4.50 ข้อมูลจากอัลตร้าโซนิกส์ที่แสดงผลที่พีดีเอ

4.2.2.3 การบันทึกวีดีโอ

ผู้ใช้สามารถสั่งงานให้คอมพิวเตอร์แม่ข่ายบันทึกเป็นวีดีโอ เพื่อบันทึกเหตุการณ์ต่างๆ ไว้โดยเฉพาะหากนำไปใช้ในภารกิจทางทหาร เช่น ตรวจสอบวัตถุระเบิด ก็สามารถบันทึกวีดีโอไว้เป็นหลักฐานเพื่อประโยชน์ในการตรวจสอบต่อไป การบันทึกวีดีโอจะใช้ไลบรารี่ของ DirectShow โดยสามารถเลือกรูปแบบการบีบอัดข้อมูลให้เหมาะสมได้ อีกทั้งยังสามารถตั้งเวลาเริ่มและหยุดการบันทึกได้

4.2.3 การพัฒนาส่วนประมวลผลที่พีดีเอ

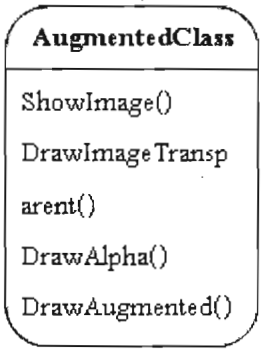
การพัฒนาส่วนประมวลผลที่พีดีเอ เป็นการพัฒนาสำหรับส่วนติดต่อกับผู้ใช้ เพื่อรับ-ส่งข้อมูลระหว่างหุ่นยนต์แสดงผลที่พีดีเอ โดยมีคอมพิวเตอร์แม่ข่ายเป็นศูนย์กลาง ดังนี้

4.2.3.1 การออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ GUI (Graphic User Interface)

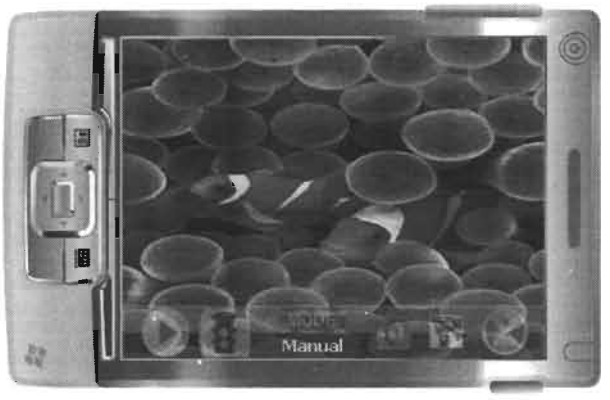
การออกแบบส่วนติดต่อกับผู้ใช้ จะต้องใช้งานง่าย เช่น การควบคุมความเร็วด้วยการใช้ปลายนิ้วลากไปบนหน้าจอ หรือการควบคุมทิศทางโดยการกดปุ่ม Softkey ดังรูปที่ 4.51 นอกจากนี้แล้วยังสามารถควบคุมการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์และเซ็นเซอร์ทั้งหมดบนหุ่นยนต์ได้ด้วย เช่น การควบคุมการทำงานของอัลตร้าโซนิกส์ การเรียกดูข้อมูลของเซ็นเซอร์แบบกราฟ หรือการบันทึกวีดีโอเป็นต้นการออกแบบกราฟิกเพื่อรับอินพุทจากผู้ใช้จะต้องให้มีขนาดใหญ่พอสำหรับการใช้ปลายนิ้วควบคุม รวมทั้งใช้กราฟิกแสดงสัญลักษณ์การทำงานของเซ็นเซอร์ต่างๆ เพื่อสื่อความหมายให้เข้าใจมากขึ้น

รูปที่ 4.51 ส่วนการแสดงผลและท่าทางการควบคุม

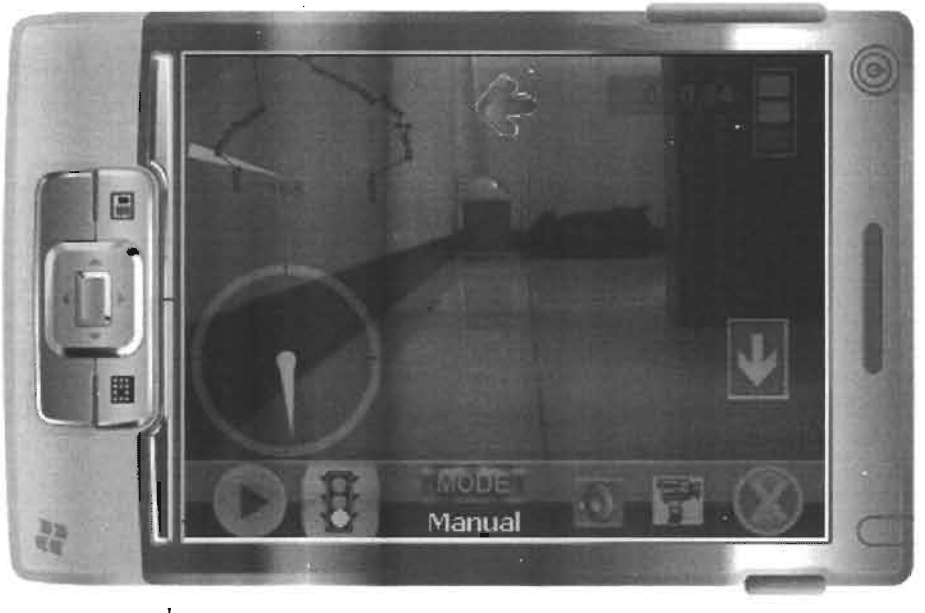
เนื่องจากข้อจำกัดหลายๆ อย่าง .NET Compact Framework จึงตัดฟังก์ชันเกี่ยวกับกราฟิกไปบางส่วน โดยเฉพาะคุณสมบัติ Gradient และ Alpha Blend ซึ่งต้องใช้ในการสร้างกราฟิกที่พีดีเอเพื่อซ้อนทับบนวีดีโอให้โปร่งใสมองเห็นภาพด้านหลังได้ แต่อย่างไรก็ตามก็ยังสามารถจัดการกราฟิกในระดับ API ได้ จึงได้สร้างคลาสสำหรับ Graphic Gradient และ Alpha Blend ขึ้นมาสำหรับ Compact Framework ดังรูปที่ 4.52



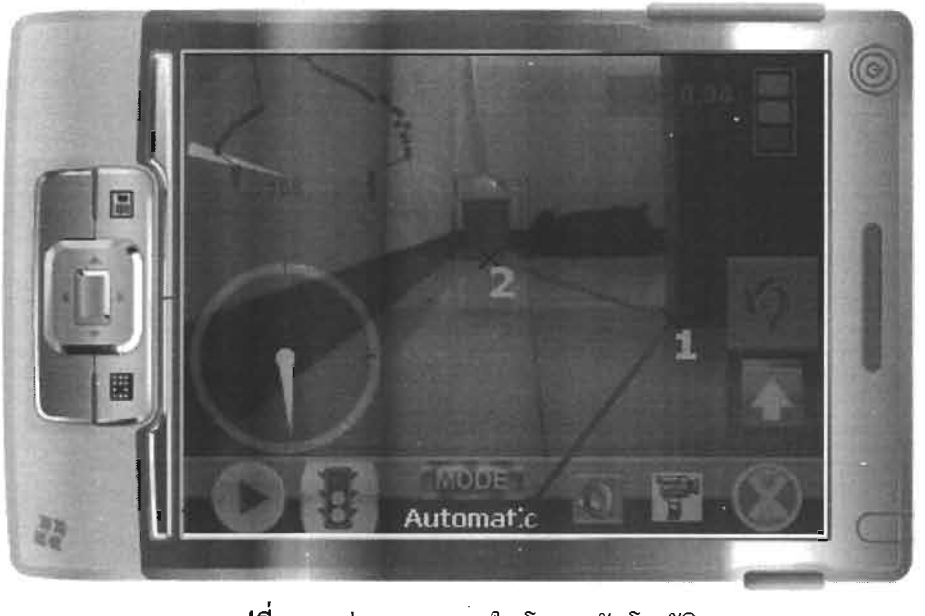
รูปที่ 4.52 Augmented Class ในส่วนพีดีเอ



รูปที่ 4.53 แสดงภาพเมื่อเปิดโปรแกรมที่พีดีเอ



รูปที่ 4.54 แสดงภาพการรับ-ส่งข้อมูลกับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

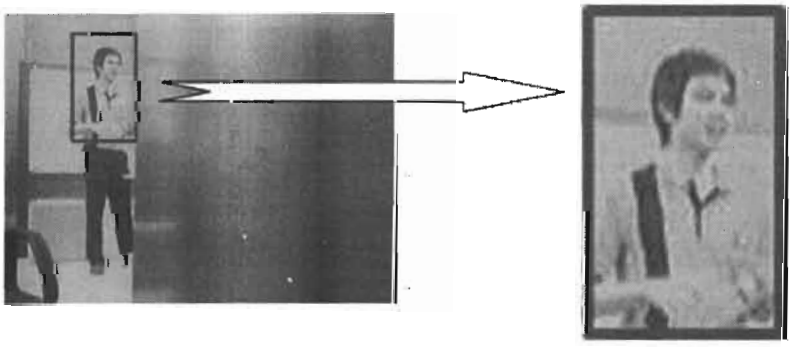


รูปที่ 4.55 ส่วนแสดงผลในโหมดอัตโนมัติ

นอกจากการกราฟิกที่ซ้อนทับบนวีดีโอแล้วยังนำรูปภาพทั้งภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวมาซ้อนทับบนวีดีโอเพื่อแสดงสัญลักษณ์ต่างๆ ได้ชัดเจนขึ้น เนื่องจาก .NET Compact Framework จะไม่มี Image Animator Class เหมือนกับ .NET Framework ดังนั้นหากต้องการแสดงภาพเคลื่อนไหวจะต้องสร้างคลาสขึ้นใหม่โดยการ Extract ภาพ .gif ให้เป็น Bitmap Sequential แล้วบันทึกภาพใหม่เป็น .gif โดยคลาสนี้จะทำการโหลดภาพมาเก็บไว้ในเมโมรี่และอัพเดทภาพด้วย Timer ในการดึงภาพในเมโมรี่มาแสดงผลในพื้นที่ที่กำหนดก็จะเห็นเป็นภาพเคลื่อนไหวได้

การสร้างกราฟิกจะต้องทำให้เสร็จในหน่วยความจำแทนที่จะวาดกราฟิกโดยตรงไปที่หน้าจอ ซึ่งจะทำให้การแสดงผลเร็วขึ้นประมาณ 50% เนื่องจากภาพ Bitmaps ที่โหลดมาจากไฟล์สตรีม จะไม่ใช่ Device-Compatible ซึ่งจะทำให้การแสดงกราฟิกช้า เพื่อแก้ปัญหานี้จะสร้าง Bitmap ขึ้นมาใหม่ที่มีขนาดเท่ากับภาพที่ต้องการ จากนั้นสำเนาข้อมูลภาพไว้ในหน่วยความจำใหม่นี้ วิธีนี้จะทำให้ได้ Bitmap ใหม่นี้เป็น Device-Compatible ทำให้การแสดงกราฟิกเร็วขึ้น

ภาพที่มีพื้นหลังเป็นสี่เหลี่ยมเมื่อนำมาซ้อนทับบนวีดีโอนั้นจะมองเห็นขอบ ซึ่งไม่ตรงกับความต้องการของการแสดงผลที่พีดีเอ การแสดงภาพซ้อนทับบนวีดีโอโดยไม่แสดงสีขอบนั้นสำหรับ GDI+ สามารถกำหนดไม่ให้แสดงสีที่ไม่ต้องการได้ด้วย Image Attributes Class การประมวลผลภาพและกราฟิกจะใช้เทคนิคของ Double Buffering เพื่อลดการกระพริบของภาพ โดยแสดงผลเต็มจอในแนวนอนซึ่งสามารถหมุนภาพไป 90 องศา ทั้งทวนเข็มและตามเข็มนาฬิกา ทำให้สามารถควบคุมได้ทั้งมือซ้ายและมือขวา รวมทั้งนำภาพเคลื่อนไหวมาซ้อนทับบนวีดีโอ เพื่อสื่อความหมายให้ชัดเจน แต่ภาพต่างๆ ที่มาซ้อนทับนั้นจะกำหนดให้โปร่งใสสามารถมองเห็นภาพด้านหลังได้ นอกจากนี้แล้วยังใช้เสียงประกอบที่แตกต่างกันสำหรับการกระทำต่างๆ เช่น เสียงเตือนเมื่อหุ่นยนต์เข้าใกล้สิ่งกีดขวาง เสียงปุ่มกดควบคุมทิศทางที่แตกต่างกัน ทำให้ควบคุมหุ่นยนต์ได้โดยไม่ต้องมองดูที่หน้าจอพีดีเอตลอดเวลา ผู้ควบคุมสามารถเลือกขยายภาพได้ตามพื้นที่ที่ต้องการโดยใช้เทคนิคของดิจิตอลซูม ดังรูปที่ 4.56



รูปที่ 4.56 การขยายภาพในบริเวณที่ต้องการ

4.2.3.2 การสร้างเสียงที่พีดีเอ

การควบคุมหุ่นยนต์จะใช้เสียงประกอบการกระทำต่างๆ เพื่อสื่อสารกับผู้ใช้ให้สามารถแยกแยะการกระทำจากเสียงได้ รวมทั้งเสียงเตือนต่างๆ เช่น เสียงเตือนเมื่อหุ่นยนต์เข้าใกล้สิ่งกีดขวางเป็นต้น .NET Compact Framework จะไม่มีคำสั่งพื้นฐานของการสร้างเสียงแม้แต่คำสั่งให้สร้างเสียงเตือน (Beep) ดังนั้นหากต้องการให้โปรแกรมมีเสียงเตือน ก็จะต้องใช้วิธีการพิเศษในการสร้างคำสั่งเกี่ยวกับเสียงซึ่ง C# มีวิธีการเรียกใช้คำสั่งที่มีอยู่ใน ROM หรือ dll ไฟล์ ของพ็อกเก็ตพีซีเรียกว่า Platform Invoke หรือ P/Invoke วิธีการนี้จะเรียกใช้ไฟล์ dll ซึ่งบรรจุคำสั่งต่าง ๆ ที่ใช้ในพีดีเอ เช่น คำสั่งให้เล่นไฟล์เสียง คำสั่งหมุนโทรศัพท์เป็นต้น แล้วมาสร้างเป็นคำสั่งใหม่ที่ C# สามารถเรียกใช้ได้เหมือนเป็นคำสั่งปกติ การใช้ P/Invoke ได้นั้น จะต้องอ้างถึงกลุ่มคำสั่งภายใน System.Runtime.InteropServices

4.2.3.3 การวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนที่ของอินพุท

การวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของนิ้ว (Gestures) ได้นำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะ Internet Browsers เป็นที่นิยมมาก สำหรับพีดีเอนั้นเนื่องจากหน้าจอเป็นแบบสัมผัสแต่เป็นการสัมผัสแค่จุดเดียว (Single Touch Screen) แต่ก็สามารถวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนที่ได้ โดยการพิจารณาจากเหตุการณ์ของ MouseDown และ MouseUp ซึ่งจะพิจารณาจากสถานะต่างๆ เช่น พิกัด และระยะทางก่อนและหลัง เป็นต้น สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ใช้การวิเคราะห์ท่าทางการเคลื่อนที่เพื่อใช้ในการเพิ่มและลดความเร็วของหุ่นยนต์ เช่น การลากนิ้วมือจากด้านล่างหน้าจอไปด้านบนเป็นการเพิ่มความเร็วเป็นต้น ร่วมกับการใช้เสียงประกอบท่าทางด้วย การวิเคราะห์ท่าทางนี้จะให้ความรู้สึกถึงการกระทำของผู้ใช้ได้ดีกว่าปุ่มกด การกำหนดท่าทางการเคลื่อนไหว สามารถทำได้มากกว่านี้แต่หากมีท่าทางที่ซับซ้อนมากขึ้นอาจต้องใช้กระบวนการจดจำ (Recognition) ขั้นสูง เช่น Neural Network เป็นต้น

4.2.3.4 การแสดงภาพเคลื่อนไหวที่พีดีเอ

นอกจากการนำกราฟิกมาซ้อนทับบนวีดีโอแล้วยังสามารถนำรูปภาพทั้งภาพนิ่งและภาพเคลื่อนไหวมาซ้อนทับบนวีดีโอเพื่อแสดงสัญลักษณ์ต่างๆ ได้ชัดเจนขึ้น เช่น ภาพกล้อง ภาพไฟเลี้ยว เป็นต้น โดยการนำภาพมาซ้อนทับบนวีดีโอนั้น เนื่องจาก .Net Compact Framework จะไม่มี Image Animator Class ดังนั้นหากต้องการแสดงภาพเคลื่อนไหวจะต้องเขียนคลาสขึ้นใหม่และใช้การ Extract ภาพ .gif ให้เป็น Bitmap Sequential ดังรูปที่ 4.57 แล้วบันทึกภาพใหม่เป็น .gif โดยคลาสนี้จะทำการโหลดภาพมาเก็บไว้ในเมโมรี่และอัพเดทภาพด้วย DrawImage เมธอดและใช้ Timer ในการดึงภาพในหน่วยความจำมาแสดงผลในพื้นที่ที่กำหนดไว้ก็จะเห็นเป็นภาพเคลื่อนไหวได้

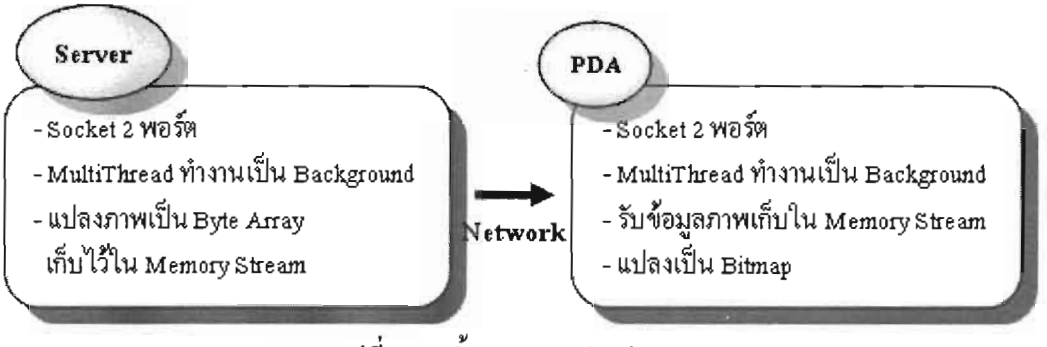
รูปที่ 4.57 การแปลงภาพจาก .gif เป็น Bitmap Sequential

4.2.4 การพัฒนาส่วนการเชื่อมต่อ

การเชื่อมต่อของระบบมี 2 รูปแบบ คือ การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์แม่ข่ายกับพีดีเอและการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์แม่ข่ายกับหุ่นยนต์

4.2.4.1 การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์แม่ข่ายกับพีดีเอ

ระหว่างคอมพิวเตอร์แม่ข่ายกับพีดีเอจะเชื่อมต่อด้วยเครือข่ายไร้สาย หากบริเวณสถานที่ปฏิบัติงานไม่มีโครงข่ายก็ยังสามารถเชื่อมต่อกันได้ด้วยเครือข่ายไร้สายแบบ Peer to Peer ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์แม่ข่ายกับพีดีเอโดยตรง โดยมีข้อดีคือไม่ต้องใช้แบนด์วิดธ์ร่วมกับผู้อื่นทำให้การรับส่งข้อมูลเร็วกว่า การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์แม่ข่ายกับพีดีเอจะใช้การสื่อสารไร้สายโดยคำสั่งควบคุมหุ่นยนต์จะสื่อสารผ่าน TCP/IP ส่วนภาพและข้อมูลเสริมนั้นจะสื่อสารผ่าน UDP ซึ่งสามารถเชื่อมต่อกันได้ทั้งเครือข่ายอินเตอร์เน็ตและ Peer to Peer สำหรับการรับส่งภาพนั้นจะมีขั้นตอนตามรูปที่ 4.58



รูปที่ 4.58 ขั้นตอนการรับส่งภาพ

เนื่องจากโปรโตคอล TCP/IP นั้นจะมีการตรวจสอบข้อมูลระหว่างฝ่ายส่งและฝ่ายรับ ทำให้เสียเวลาในการตรวจสอบไปบางส่วน จึงเหมาะสมสำหรับใช้ในการรับส่งข้อมูลคำสั่งจากพีดีเอซึ่งข้อมูลคำสั่งนั้นจะมีแค่ไบต์เดียว เมื่อพิจารณาจากความต้องการของระบบแล้ว ต้องการรับภาพจากหุ่นยนต์แบบเรียลไทม์ (Real Time) โดยที่ภาพจะส่งมาตลอดเวลาด้วย 25 เฟรมต่อวินาที ดังนั้นจึงเลือกใช้โปรโตคอล UDP ในการรับส่งภาพและข้อมูลเสริมเนื่องจากไม่มีการตรวจสอบข้อมูลทำให้ส่งภาพมาแสดงผลที่พีดีเอได้เร็วกว่าโปรโตคอลข้างต้น หากเกิดปัญหาในการสื่อสารไม่สามารถรับส่งภาพบางเฟรมได้ก็ไม่ส่งผลเสียแต่อย่างใดเพราะภาพเฟรมต่อไปก็จะส่งมาอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากกระบวนการทั้งหมดดำเนินการใน Thread ซึ่งการที่จะ แสดงผลข้อมูลใดๆ จากต่าง Thread กันนั้น (Cross Thread) โดยทั่วไปจะทำไม่ได้ ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยใช้ดีลีเกท โดยมีขั้นตอนการรับ-ส่งภาพดังนี้

1. ใช้ Socket เปิดพอร์ต 2 พอร์ต (5000, 5001) โดยพอร์ต 5000 ใช้สำหรับการรับส่งภาพ และเพื่อไม่ให้ข้อมูลชนกันจึงเปิดพอร์ต 5001 ไว้สำหรับรับส่งคำสั่งควบคุมรวมทั้งข้อมูลเซ็นเซอร์จากหุ่นยนต์

2. ใช้ 3 Thread โดยมี Thread หลักและอีก 2 Thread ทำงานอยู่เบื้องหลังตลอดเวลา เพื่อคอยตรวจสอบการรับส่งภาพและรับส่งข้อมูล

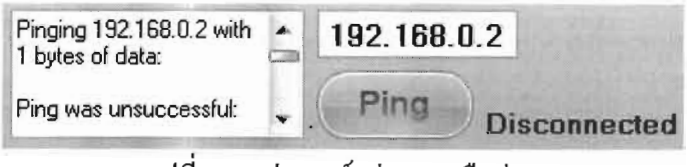
3. แปลงข้อมูลภาพเป็น Byte Array และเก็บไว้ใน Memory Stream จากนั้นส่งข้อมูลออกไปเป็น Streaming Data โดยใช้การบีบอัดข้อมูลภาพด้วยมาตรฐาน JPEG ดังนั้นจึงเป็นการส่งข้อมูลจากหน่วยความจำโดยตรงทำให้การส่งภาพได้เร็วกว่าการเก็บข้อมูลภาพไว้ก่อนแล้วจึงส่งออกไป

4. พีดีเอก็จะใช้ 3 Thread เช่นเดียวกัน โดยจะรับข้อมูลภาพมาเก็บไว้ใน Memory Stream จากนั้นจะนำข้อมูลที่ได้แปลงเป็น Bitmap เพื่อแสดงผลต่อไป

เพื่อความปลอดภัยคอมพิวเตอร์แม่ข่ายจะสั่งให้หุ่นยนต์หยุดการเคลื่อนที่ทันทีในกรณีที่พีดีเออออกนอกรัศมีของสัญญาณ ซึ่งสามารถตรวจสอบการเชื่อมต่อกันของเครือข่ายต้นทางและปลายทางได้ 2 วิธี คือ

1. ตรวจสอบจาก SocketException โดยการทดลองนี้จะใช้ตรวจสอบหากเกิด Execption ขึ้นก็จะสั่งงานให้ปิดการเชื่อมต่อทันที และสั่งงานให้หุ่นยนต์หยุดการเคลื่อนที่

2. Asynchronous Ping เป็นวิธีตรวจสอบการส่งกลับของข้อมูล (Data Package)โดยที่ถ้าไม่มีการเชื่อมต่อฝ่ายส่งจะไม่ได้รับข้อมูลตอบกลับในเวลาที่กำหนด (Timeout) ดังรูปที่ 4.59



รูปที่ 4.59 หุ่นยนต์อยู่นอกเครือข่าย

4.2.4.2 การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์แม่ข่ายกับหุ่นยนต์

การเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์แม่ข่ายกับหุ่นยนต์จะสื่อสารผ่านบลูทูธ ซึ่งเป็นการสื่อสารตามมาตรฐานของ RS232 ดังนั้นจึงไม่มีคุณสมบัติสำหรับตรวจสอบว่ายังสามารถเชื่อมต่อกันได้อยู่หรือไม่ แต่สามารถใช้เทคนิคในการตรวจสอบโดยส่งข้อมูลออกไปจากคอมพิวเตอร์แม่ข่าย เช่น “Are you there” หรือส่งข้อมูลเป็นไบต์ก็ได้ เช่น “00 00 11 11 00 00” จากนั้นตรวจเช็คระดับสัญญาณเช่น CDC, DSR, RTS, CTS, RI หากมีการเชื่อมต่อสัญญาณเหล่านี้จะมีค่าเป็น High และหากไม่มีการเชื่อมต่อจะได้สัญญาณเป็น Low

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง

ระบบที่ออกแบบสำหรับการปฏิบัติงานภาคสนาม จึงทำการทดสอบโดยการกำหนดสภาพแวดล้อมต่างๆ กัน อย่างไรก็ตามระบบต้นแบบที่ทำการสร้างขึ้นนั้นจะต้องทำการประเมิน เพื่อตรวจสอบความเหมาะสมและความสามารถในการใช้งาน สำหรับเป็นข้อมูลในการพัฒนาระบบต่อๆ ไป

5.1 จุดมุ่งหมายของการทดลอง

จุดมุ่งหมายในการทดลองนั้นเพื่อทดสอบการใช้งานระบบ และประเมินความสามารถในการนำระบบไปใช้ในการปฏิบัติงานจริง โดยพิจารณาเป็นส่วนๆ ดังนี้

5.1.1 ประสิทธิภาพของระบบ (System Performance)

ข้อมูลเชิงปริมาณที่บ่งบอกถึงความสามารถในการทำงาน การคำนวณ ความรวดเร็ว ความถูกต้อง ความทันต่อเหตุการณ์ จำนวนครั้งที่การทำงานสำเร็จต่อการทำงานที่ไม่สำเร็จ เวลาที่สูญเสียไปในการใช้งาน เป็นต้น ซึ่งจะสะท้อนถึงความเหมาะสมและประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่นำมาใช้งานในระบบนั่นเอง

5.1.2 ความสามารถในการใช้งานได้ (Usability)

ข้อมูลเชิงคุณภาพที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการใช้งานระบบได้อย่าง ง่าย รวดเร็ว ยืดหยุ่น และเรียนรู้ได้ง่าย และสามารถติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะเป็นส่วนที่บอกถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อการใช้งานระบบ

5.1.3 คุณค่าสำหรับปัญหาเฉพาะ (Values for Specific Task)

ข้อมูลเชิงปริมาณและคุณภาพที่บอกถึงความเหมาะสมของระบบที่พัฒนาขึ้น เมื่อนำมาใช้ในปัญหาเฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งข้อมูลจะบอกถึงข้อดีข้อด้อยของระบบเมื่อนำมาใช้งานในปัญหาที่พิจารณา และระบบสามารถช่วยในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้ดีมากน้อยเพียงใด โดยในที่นี้ปัญหาเฉพาะของระบบคือการควบคุมหุ่นยนต์ทางไกลโดยใช้พีดีเอให้ได้อย่างคล่องตัวมากที่สุด

การทดสอบนี้จะทดสอบการทำงานของระบบจากกลุ่มตัวอย่าง โดยแบบทดสอบที่ใช้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ แบบทดสอบความเข้าใจของส่วนติดต่อกับผู้ใช้และแบบทดสอบผลการใช้งาน โดยแบบทดสอบความเข้าใจของส่วนติดต่อกับผู้ใช้จะใช้ในการประเมินเพื่อนำไปวิเคราะห์ว่าผู้ใช้เข้าใจการทำงานของฟังก์ชันและสัญลักษณ์ต่างๆ อย่างไร ส่วนแบบทดสอบผลการใช้งานนั้นเพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบ

5.2 รูปแบบการทดลอง

เนื่องจากระบบที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นระบบต้นแบบ รูปแบบการทดลองจึงเป็นไปในลักษณะการหาประสิทธิภาพการทำงาน ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน รวมทั้งผลสัมฤทธิ์ที่ได้จากการใช้งานของระบบ เพื่อนำมาประเมินหาข้อผิดพลาดและสิ่งที่ควรปรับปรุงเพื่อใช้ในการพัฒนาระบบให้ดียิ่งขึ้นต่อไป โดยรูปแบบที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

5.2.1 การทดลอง (Experiment)

การทำการทดสอบจำเป็นจะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ ชุดทดสอบ และมีการกำหนดปัญหาในการทดสอบ โดยที่จะมีการตรวจสอบและเก็บผลของผู้ใช้งานแต่ละคน ซึ่งจะทำการทดสอบโดยผู้ใช้งานและเก็บข้อมูลเชิงปริมาณของจำนวนครั้งที่ผู้ใช้งานสามารถแก้ปัญหาที่กำหนดไว้ได้สำเร็จ รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา เป็นต้น แล้วจึงรวบรวมข้อมูลดังกล่าวจากการทดลองทั้งหมดไปวิเคราะห์

5.2.2 การสังเกต (Observation)

ในระหว่างการทดสอบการทำงานโดยผู้ใช้งาน สามารถทำการสังเกตพฤติกรรม ท่าทาง และคำพูดของผู้ใช้งาน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงความเหมาะสม ความสะดวกในการทำงานของผู้ใช้งาน รวมถึงความผิดพลาดของระบบในการติดต่อและสื่อสารกับผู้ใช้งาน ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาปรับปรุงระบบต่อไป

5.2.3 ข้อคิดเห็นของผู้ใช้งาน (User Opinion)

ภายหลังจากการทำการทดสอบการเก็บข้อคิดเห็นจากผู้ใช้งาน ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพของระบบ โดยที่ข้อมูลเหล่านี้จะบ่งชี้ข้อดีและข้อด้อยของระบบได้อย่างรวดเร็ว และชัดเจนที่สุด ซึ่งสามารถทำได้โดยการสอบถามเพื่อเก็บข้อมูล และการทำการประเมินระบบด้วยแบบสอบถาม

5.3 วิธีการทดลอง

5.3.1 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ

การทดสอบประสิทธิภาพจะทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงคณิตศาสตร์ของอุปกรณ์นั้นๆ และอีกส่วนจะเป็นการทดสอบการทำงานในโหมดต่างๆ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

5.3.1.1 การทดลองรับ-ส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย

จะทำการทดสอบในสองส่วนได้แก่ความไวในการรับ-ส่งข้อมูลภาพ และความผิดพลาดในการรับ-ส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย ซึ่งความไวในการรับ-ส่งข้อมูลภาพจะใช้การวัดโดยเปรียบเทียบจำนวนภาพต่อวินาที ระหว่างฝั่งเครื่องแม่ข่ายกับเครื่องลูกข่าย และความผิดพลาดในการรับ-ส่งข้อมูลภาพจะวัดโดยการทดลองส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายและเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้รับกับข้อมูลต้นฉบับ โดยจะให้พีดีเอส่งคำสั่งมาที่คอมพิวเตอร์แม่ข่าย จากนั้นให้ทั้งสองฝั่งนับจำนวนเฟรมที่ได้ใน 1 วินาที เมื่อครบหนึ่งวินาทีแล้วให้แสดงจำนวนที่นับได้ โดยที่คอมพิวเตอร์แม่ข่ายจะนับได้ 20 เฟรมต่อวินาที ส่วนพีดีเอนับได้ 15 เฟรมต่อวินาที การรับ-ส่งข้อมูลภาพ ผ่านระบบเครือข่ายเป็นการส่งข้อมูลที่แตกต่างจากการส่งข้อมูลชนิดข้อความ นั่นคือ จะต้องทราบขนาดของรูปภาพที่ต้องการจัดส่งเสียก่อน เพื่อจะได้เตรียมบัฟเฟอร์ (Buffer) สำหรับรับข้อมูลได้ตามขนาดที่ถูกต้อง โดยจะใช้ Memory Stream ในการเก็บข้อมูล

5.3.1.2 การทดลองวัดระยะทางด้วยเอ็นโค้ดเดอร์

ทำการทดลองวัดการอ่านค่าจำนวนพัลส์จากเอ็นโค้ดเดอร์เพื่อมาคำนวณระยะทางที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไป โดยเก็บข้อมูลจำนวนพัลส์เทียบกับระยะทางจริง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาหาสมการเพื่อใช้แทนข้อมูลชุดนี้ เอ็นโค้ดเดอร์ที่ใช้มี 45 ช่อง รัศมีล้อ 6 ซม. เมื่อล้อหมุนครบ 1 รอบ จะได้ระยะทางเท่ากับเส้นรอบวงกลม ดังนี้

$$2\pi r = 45 \text{ ช่อง}$$

$$1 \text{ พัลส์} = \frac{2\times\frac{22}{7}\times 6}{45} = 0.84 \text{ เซนติเมตร}$$

$$\text{ดังนั้น ระยะทาง 1 เมตร } \frac{100}{0.84} = 119.05 \text{ พัลส์}$$

การวัดระยะทางด้วยเอ็นโค้ดเดอร์จะมีความคลาดเคลื่อนได้จาก รัศมีของล้อไม่คงที่เนื่องจากน้ำหนักรถทำให้ล้อยุบตัวลง รวมทั้งความฝืดของพื้นที่ทดสอบ เช่น พื้นดิน พื้นซีเมนต์ หรือพื้นกระเบื้อง ส่งผลให้ได้ระยะทางคลาดเคลื่อนได้

5.3.1.3 การทดลองวัดทิศทางด้วยเข็มทิศดิจิตอล

ทำการทดลองโดยรับค่าที่อ่านได้จากเข็มทิศโดยเมื่อเปิดโปรแกรมครั้งแรกจะกำหนดให้ค่าที่อ่านได้นั้นเป็น 0 องศา ซึ่งก็คือทิศทางด้านหน้าของหุ่นยนต์ การวัดมุมตามเข็มนาฬิกาเป็นบวก เมื่อหุ่นยนต์หมุนทางซ้ายมุมจะเป็นลบ เพื่อให้เป็นไปตามกฎของฟัซซี่ที่กำหนดไว้ ในขณะที่หุ่นยนต์เลี้ยวไปเรื่อยๆ นั้น ค่ามุมจะเปลี่ยนแปลงตามไปแต่บางครั้งค่าที่ได้จะกระโดดข้ามมุมที่ต้องการไป เช่น ต้องการเลี้ยวทางซ้าย 10 องศา แต่ค่าที่อ่านมาได้กระโดดข้ามมุมนี้ไป เนื่องมาจากความเร็วของหุ่นยนต์ และข้อจำกัดของอุปกรณ์เอง เช่น ระนาบของเข็มทิศ ดังนั้นจึงควรเลี้ยวด้วยความเร็วต่ำที่สุด

ซึ่งกำหนดได้ด้วย PWM โดยมีขั้นตอนการกำหนดการหันเลี้ยวหุ่นยนต์ ในการโปรแกรมว่าจะให้เริ่มประมวลผลเมื่อไร จะใช้เทคนิคการแบ่งค่ามุมเป็น 4 ส่วน เพราะว่าค่ามุมจากเข็มทิศจะไม่ต่อเนื่อง รวมทั้งตอบสนองได้ไม่เร็ว เมื่อเลี้ยวเสร็จแล้วต้องกำหนดมุมอ้างอิงใหม่ โดยใช้ค่ามุมปัจจุบันเป็นมุมอ้างอิง ในระหว่างหันเลี้ยวนั้นต้องให้เซ็นเซอร์ที่ไม่เกี่ยวข้องหยุดการทำงานก่อนเพื่อให้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านค่าจากเข็มทิศดิจิตอลได้อย่างรวดเร็วที่สุด

5.3.1.4 การทดลองวัดระยะทางสิ่งกีดขวางด้วยอัลตร้าโซนิกส์

การหาระยะทางสิ่งกีดขวางด้วยอัลตร้าโซนิกส์สามารถหาได้หลายวิธี เช่น วัดจากความกว้างของพัลส์ซึ่งได้เป็นเวลาการเดินทางของเสียงไป-กลับและความ เร็วเสียงของอัลตร้าโซนิกส์ซึ่งมีความเร็วคงที่ 346 เมตรต่อวินาที แล้วนำมาคำนวณด้วยหลักฟิสิกส์ ในการทดลองนี้จะใช้หลักการเทียบค่าที่ได้จากการทดลองซึ่งจะให้ผลที่แน่นอนกว่า โดยเริ่มจับเวลาเมื่ออัลตร้าโซนิกส์ส่งคลื่นเสียงออกไป จากนั้นคำนวณเวลาเมื่อคลื่นสะท้อนกลับ

5.3.1.5 การทดลองวัดระยะทางของเป้าหมายด้วยภาพจากกล้องตัวเดียว

การที่จะสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายในโหมดอัตโนมัติได้นั้น จะต้องทดลองวัดระยะทางเทียบกับจำนวนพิกเซลแล้วเก็บผลที่ได้เพื่อนำมาประมาณฟังก์ชันเสียก่อน การวัดระยะทางจะเริ่มวัดจากพิกเซลด้านล่างของภาพและเพิ่มระยะทางขึ้นไปทีละ 5 ซม. ดังรูปที่ 5.1 โดยจะต้องกำหนดมุมเอียงและความสูงของกล้องให้คงที่ สำหรับมุมหันเลี้ยวของหุ่นยนต์นั้นสามารถคำนวณได้จากตำแหน่งปลายทางได้เลย

รูปที่ 5.1 การวัดระยะทางเทียบกับจำนวนพิกเซล

5.3.1.6 การทดลองควบคุมหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมายในโหมดควบคุมด้วยมือ

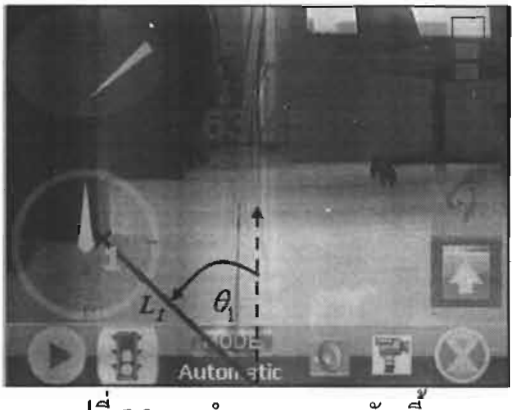
ทำการทดลองโดยให้ผู้ใช้ควบคุมหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมาย ในสภาพพื้นที่ต่างๆ กัน จากนั้นนำสิ่งกีดขวางมาวางไว้เพื่อทดสอบว่าผู้ใช้สามารถควบคุมหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมายได้หรือไม่ และใช้เวลาเท่าไร

5.3.1.7 การทดลองให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่ง (Waypoint) ที่กำหนด

การทดลองให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมาย จะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ มีเส้นทางเดียว และหลายเส้นทาง โดยมีขั้นตอน ดังนี้

- กำหนดตำแหน่งที่ต้องการจากพีดีเอ โดยเก็บไว้ใน Array List
- สั่งให้เคลียร์ข้อมูลใน Array List ฝั่งคอมพิวเตอร์แม่ข่าย
- ส่งข้อมูลที่เก็บไว้ใน Array List ไปยังคอมพิวเตอร์แม่ข่าย
- คอมพิวเตอร์แม่ข่ายประมวลผลเพื่อหาทิศทางและระยะทางของตำแหน่งนั้นๆ
- คอมพิวเตอร์แม่ข่ายส่งข้อมูลที่ประมวลผลได้ให้กับ Robot Controller

รูปที่ 5.2 กำหนดเส้นทางไปยังเป้าหมาย 1 เส้นทาง



รูปที่ 5.3 การคำนวณหามุมหันเลี้ยว

ตัวอย่างการคำนวณ

ตำแหน่งต้นทางคือ 160,240 ตำแหน่งปลายทางคือ 61,149

ระยะทางแกน $x = x_2 - x_1 = 61 - 160 = -99$

ระยะทางแกน $y = y_1 - y_2 = 240\text{-}149 = 91$

$$\tan\theta_1 = \frac{x}{y} = \frac{-99}{91} = -1.09$$

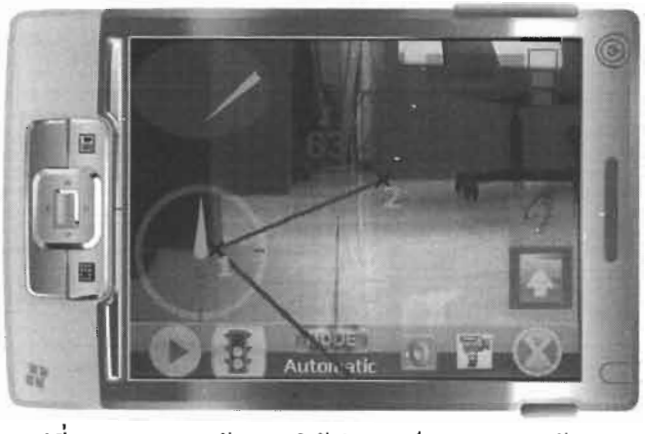
$$\theta_1 = \tan^{-1} -1.09 = -47.41$$

ตามการกำหนดมุมอ้างอิง มุมที่ได้มีค่าเป็นลบ ดังนั้นหุ่นยนต์จะหันเลี้ยวไปทางซ้าย ด้วยมุม -48 องศา จากนั้นจะเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง L_1 การคำนวณหาระยะ L_1 จะเป็นไปตามกระบวนการหาระยะทางของวัตถุจากกล้องตัวเดียว ซึ่งจะประมาณฟังก์ชันตามหลักการของ Bezier Curve และเนื่องจากเส้นทางการเคลื่อนที่ไม่ได้เป็นเส้นตรง ดังนั้นจะนำมาแทนในฟังก์ชันระยะทางเลยไม่ได้ จะต้องคำนวณระยะทางชดเชยด้วย จะได้

$$L_1 = \frac{D}{\cos\theta_1} \tag{5.3}$$

โดยที่ D คือ ค่าที่ได้จากการคำนวณของฟังก์ชันระยะทางจากกล้อง

การทดลองให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมาย 2 เส้นทาง



รูปที่ 5.4 กำหนดเส้นทางให้หุ่นยนต์มากกว่า 1 เส้นทาง

ตัวอย่างการคำนวณ

- ตำแหน่งต้นทางคือ 160,240 ตำแหน่งที่ 1 คือ 61,149 ตำแหน่งที่ 2 คือ 184,99
- กำหนดมุมอ้างอิงโดยให้ค่ามุมที่อ่านได้จากเข็มทิศดิจิตอลเป็น 0
- เคลื่อนที่ไปยังจุดที่ 1 เป็นไปตามการคำนวณข้างต้น คือ

ระยะทางแกน $x_1 = 61 - 160 = -99$

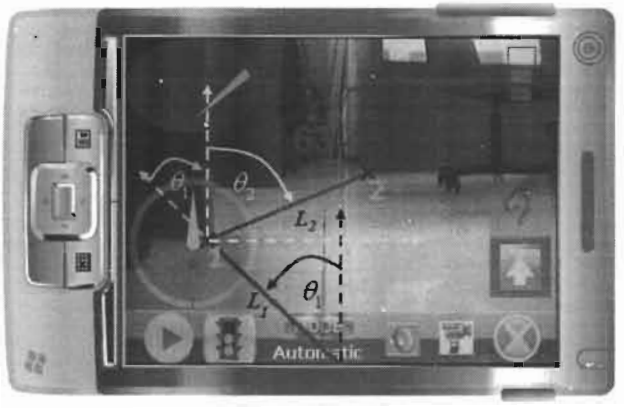
ระยะทางแกน $y_1 = 240-149 = 91$

$$\tan\theta_1 = \frac{x_1}{y_1} = \frac{-99}{91} = -1.09$$

$$\theta_1 = \tan^{-1} -1.09 = -47.41$$

$$L_1 = \frac{D}{\cos\theta_1}$$

- เคลื่อนที่ไปยังจุดที่ 2 โดยจะให้จุดที่ 1 เป็นจุดตั้งต้นแทน ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 การคำนวณทิศทางเมื่อกำหนดเส้นทางมากกว่า 1 ตำแหน่ง

ดังนั้นจุดเริ่มต้นใหม่จะเป็น 61,149 คำนวณหามุม θ_2

ระยะทางแกน x_2 = 184-61 = 123

ระยะทางแกน y_2 = 149-99 = 50

$$\tan\theta_2 = \frac{x_2}{y_2} = \frac{123}{50} = 2.46$$

$$\theta_2 = \tan^{-1} 2.46 = 63.43$$

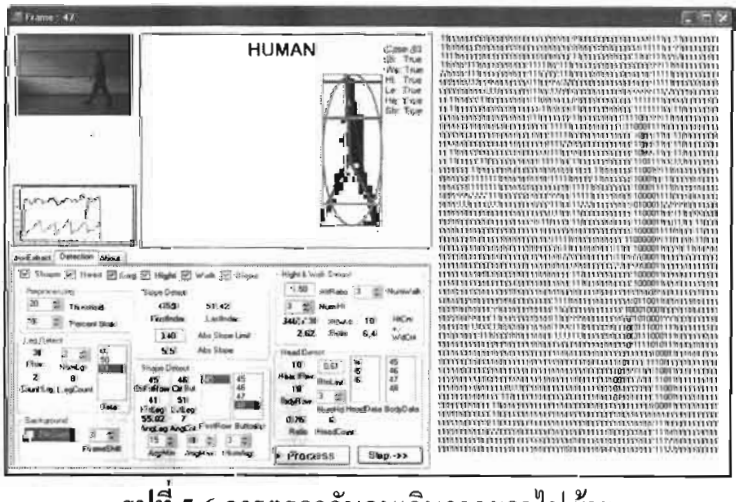
จะได้มุมเป็นบวก เนื่องจากการหันเลี้ยวจะต้องเปรียบเทียบกับมุมอ้างอิงเสมอ ดังนั้นหุ่นยนต์จะต้องหันเลี้ยวกลับมาด้วยค่ามุมเดิม (θ_1) แต่ทิศทางตรงกันข้ามก่อน จากนั้นจึงหันเลี้ยวไปเป็นมุม θ_2 และจะเคลื่อนที่ไปเป็นระยะทาง L_2 โดย

$$L_2 = \frac{D}{\cos\theta_2}$$

5.3.1.8 การทดลองตรวจจับการเคลื่อนไหวของคน

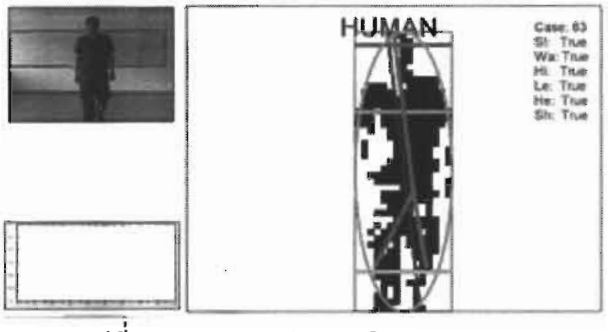
ได้ทดลองให้คนเดินด้วยท่าทางต่างๆ โดยจำกัดสถานที่ในห้องทดสอบ ซึ่งจะมีบอร์ดประกาศอยู่บนผนัง ดังนี้

- คนเดินจากขวาไปซ้าย



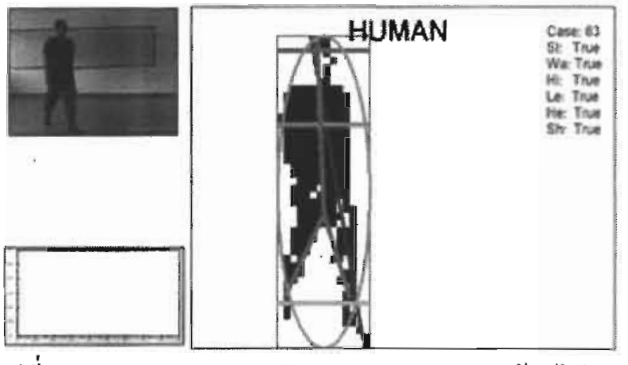
รูปที่ 5.6 การตรวจจับคนเดินจากขวาไปซ้าย

- คนเดินตรงออกมา



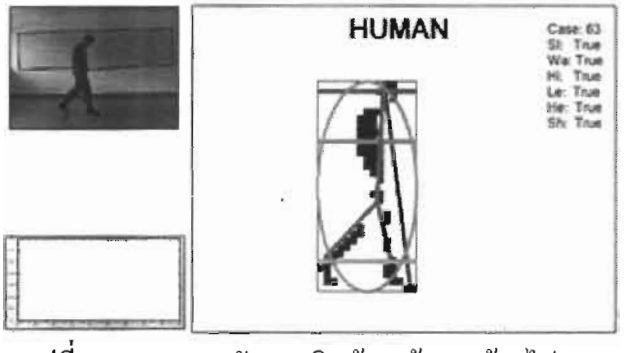
รูปที่ 5.7 การตรวจจับคนเดินตรงออกมา

- คนเดินทแยงออกจากมุมซ้ายไปขวา



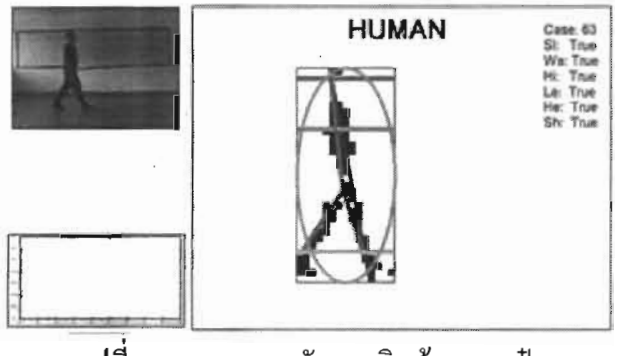
รูปที่ 5.8 การตรวจจับคนเดินทแยงออกจากมุมซ้ายไปขวา

- คนเดินก้มหน้าจากซ้ายไปขวา



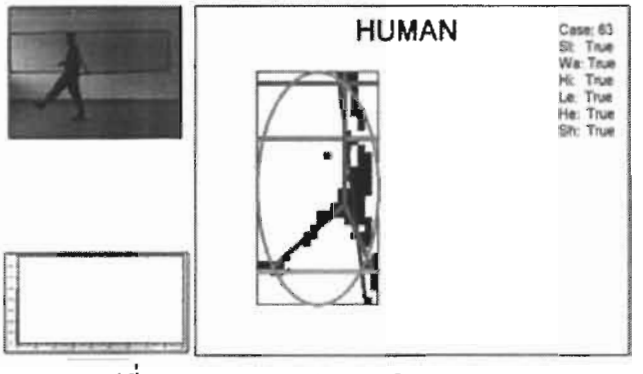
รูปที่ 5.9 การตรวจจับคนเดินก้มหน้าจากซ้ายไปขวา

- คนเดินล้วงกระเป๋า



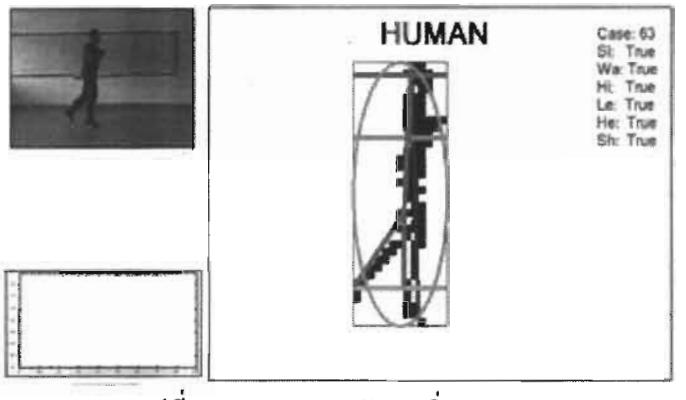
รูปที่ 5.10 การตรวจจับคนเดินล้วงกระเป๋า

- คนเดินสวนสนาม



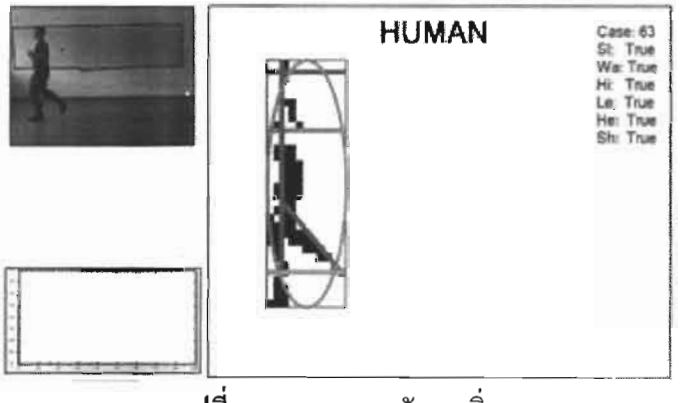
รูปที่ 5.11 การตรวจจับคนเดินสวนสนาม

- คนวิ่งเหยาะๆ



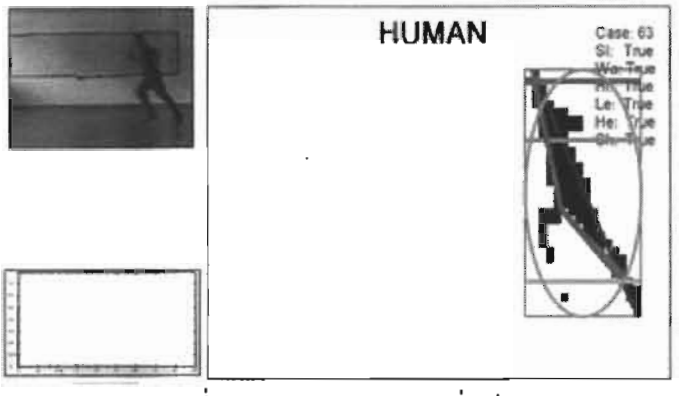
รูปที่ 5.12 การตรวจจับคนวิ่งเหยาะๆ

- คนวิ่ง



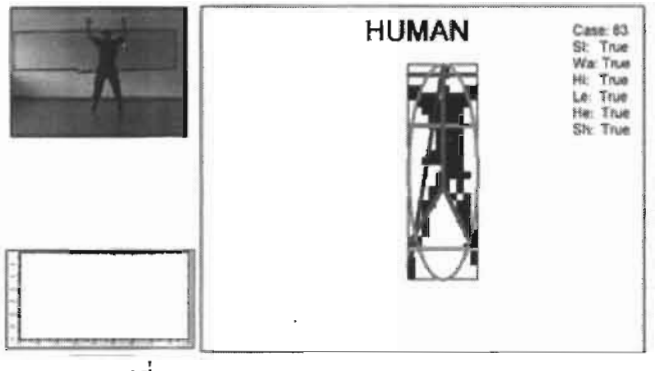
รูปที่ 5.13 การตรวจจับคนวิ่ง

- คนวิ่งเร็ว



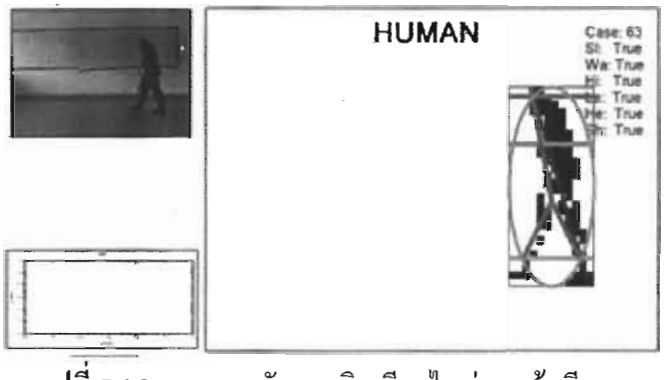
รูปที่ 5.14 การตรวจจับคนวิ่งเร็ว

- คนออกกำลังกาย (กระโดดตบ)



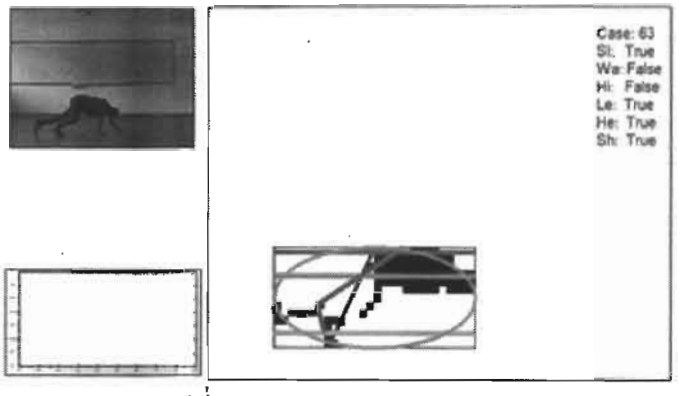
รูปที่ 5.15 การตรวจจับคนออกกำลังกาย

- คนเดินเอียงไหล่และก้มศีรษะ



รูปที่ 5.16 การตรวจจับคนเดินเอียงไหล่และก้มศีรษะ

- คนคลาน



รูปที่ 5.17 การตรวจจับคนคลาน

5.3.1.9 การจำลองการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

ก่อนทำการทดลองจริงได้ทดลองวิเคราะห์ผลจากแบบจำลอง เพื่อทดสอบระบบหลบหลีกสิ่งกีดขวางก่อน โดยการสุ่มระยะทางและทิศทางของสิ่งกีดขวาง เพื่อให้ระบบประมวลผล ตามกฎข้อต่างๆ ดังนี้

กฎข้อที่ 1 If If obstacle distance is Near and direction is Left then robot direction is Right

ให้ Obstacle distance = 100 และ Obstacle direction = -45 ดังรูป 5.18

รูปที่ 5.18 การทดสอบกฎของฟัซซี่ข้อที่ 1

กฎข้อที่ 2 If obstacle distance is Near and direction is Right then robot direction is Left

ให้ Obstacle distance = 150 และ Obstacle direction = 60 ดังรูป 5.19

รูปที่ 5.19 การทดสอบกฎของฟัซซี่ข้อที่ 2

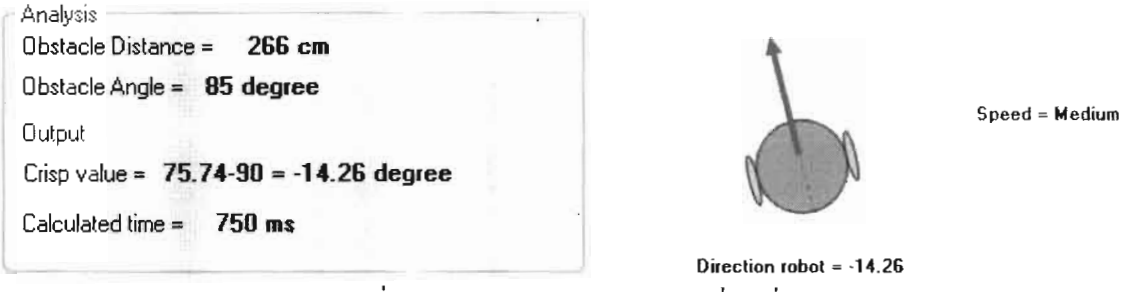
กฎข้อที่ 3 If obstacle distance is Medium and direction is Left then robot direction is LittleRight

ให้ Obstacle distance = 220 และ Obstacle direction = -70 ดังรูปที่ 5.20

รูปที่ 5.20 การทดสอบกฎของฟัซซี่ข้อที่ 3

กฎข้อที่ 4 If obstacle distance is Medium and direction is Right then robot direction is LittleLeft

ให้ Obstacle distance = 266 และ Obstacle direction = 85 ดังรูปที่ 5.21



รูปที่ 5.21 การทดสอบกฎของฟัซซี่ข้อที่ 4

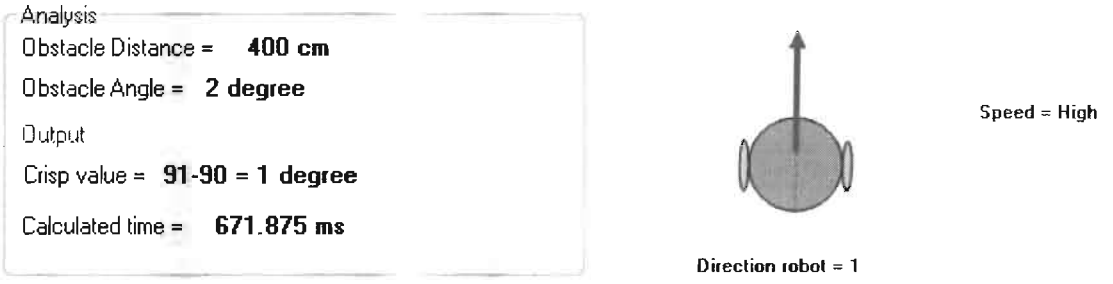
กฎข้อที่ 5 If obstacle distance is Far and direction is Left then robot direction is Center

ให้ Obstacle distance = 355 และ Obstacle direction = -10 ดังรูปที่ 5.22

รูปที่ 5.22 การทดสอบกฎของฟัซซี่ข้อที่ 5

กฎข้อที่ 6 If obstacle distance is Far and direction is Center then robot direction is Center

ให้ Obstacle distance = 400 และ Obstacle direction = 2 ดังรูปที่ 5.23



รูปที่ 5.23 การทดสอบกฎของฟัซซี่ข้อที่ 6

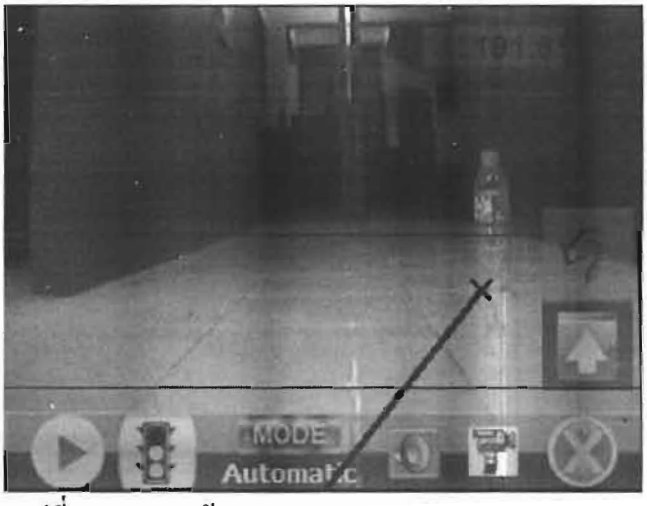
5.3.1.10 การทดลองให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายอัตโนมัติ

การทดลองกำหนดเส้นทางให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมาย ผู้ใช้จะเลือกตำแหน่งของเป้าหมายโดยใช้ปากกาป้อนข้อมูลกำหนดตำแหน่งไปบนหน้าจอพีดีเอ โดยที่เป้าหมายจะต้องอยู่ไม่เกินเส้นสีแดงด้านบนซึ่งเป็นตำแหน่งที่สามารถประมาณระยะทางได้ด้วยกล้องตัวเดียว และมีข้อกำหนดว่าผู้ใช้จะต้องเลือกตำแหน่งของเป้าหมายบริเวณที่เป้าหมายสัมผัสกับพื้นเท่านั้น เมื่อกำหนดเป้าหมายได้แล้ว พีดีเอจะส่งข้อมูลตำแหน่งของเป้าหมายนั้นไปให้กับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย เพื่อประมวลผลหาทิศทางและระยะทางของเป้าหมายตามกระบวนการประมาณระยะทางจากกล้องตัวเดียว จากนั้นคอมพิวเตอร์แม่ข่ายจะส่งข้อมูลที่ประมวลผลแล้วไปให้กับ Robot Controller เพื่อสั่งงานให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายต่อไป การทดลองจะแบ่งเป็น 2 แบบ คือ กำหนดเส้นทางไปยังเป้าหมาย 1 เส้นทาง และกำหนดเส้นทางไปยังเป้าหมาย 2 เส้นทาง ดังนี้

1. กำหนดเส้นทางไปยังเป้าหมาย 1 เส้นทาง

รูปที่ 5.24 ระยะเป้าหมาย 75 ซม. (160,240),(109,167)

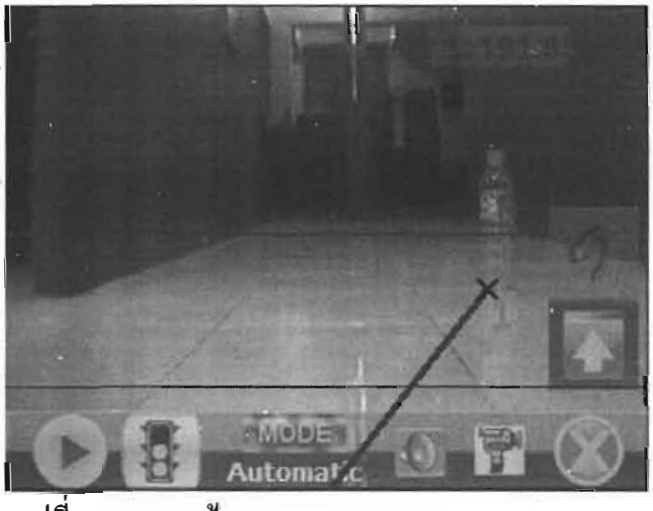
รูปที่ 5.25 หุ่นยนต์หยุดห่างจากเป้าหมาย 4 ซม.



รูปที่ 5.26 ระยะเป้าหมาย 112 ซม. (160,240),(238,140)

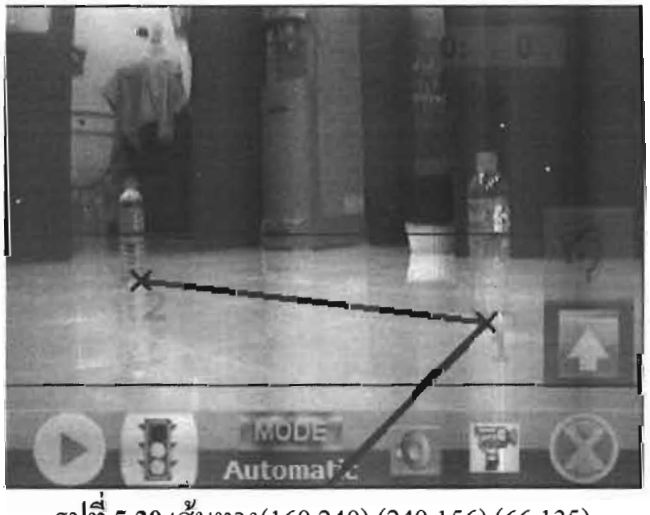
รูปที่ 5.27 ระยะเป้าหมาย 67 ซม. (160,240),(50,170)

รูปที่ 5.28 ระยะเป้าหมาย 55 ซม. (160,240),(111,173)



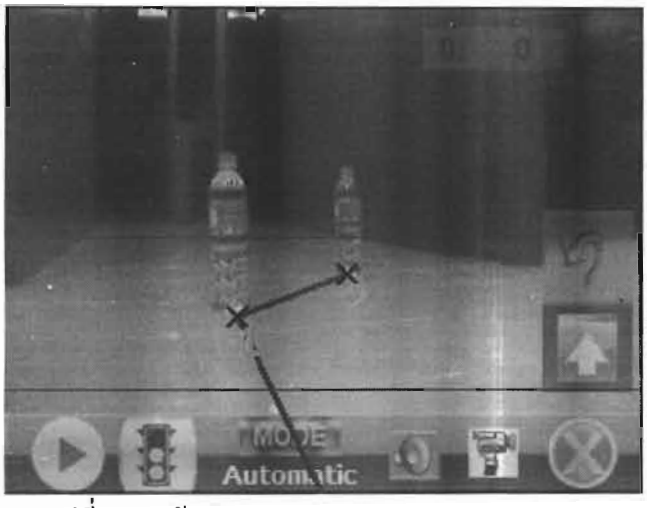
รูปที่ 5.29 ระยะเป้าหมาย 108 ซม. (160,240),(223,137)

2. กำหนดเส้นทางไปยังเป้าหมาย 2 เส้นทาง

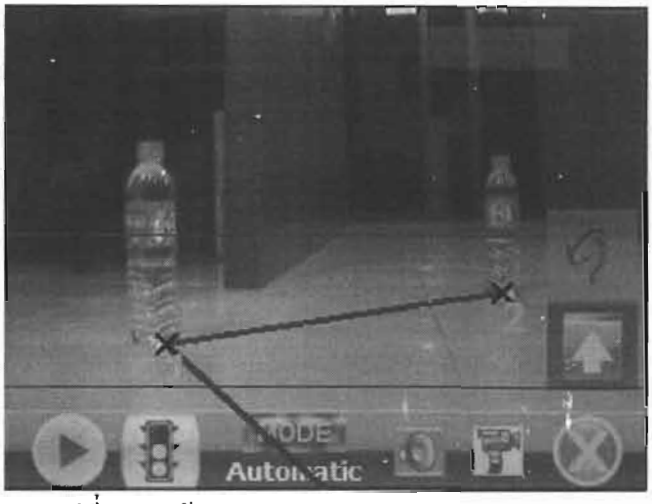


รูปที่ 5.30 เส้นทาง(160,240),(240,156),(66,135)

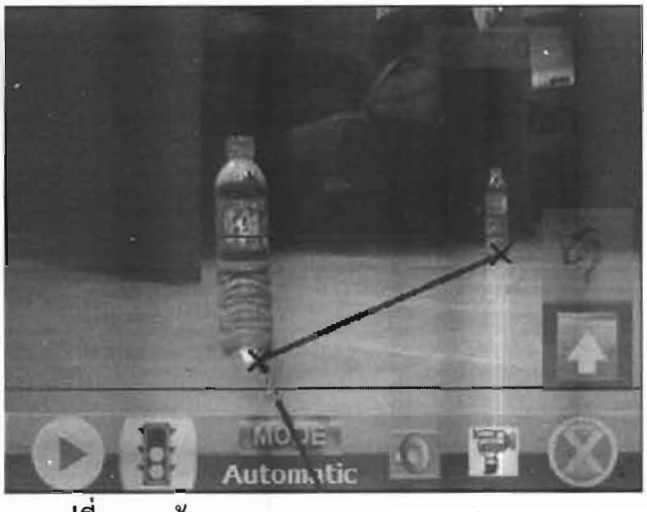
รูปที่ 5.31 เส้นทาง (160,240),(31,145),(83,128)



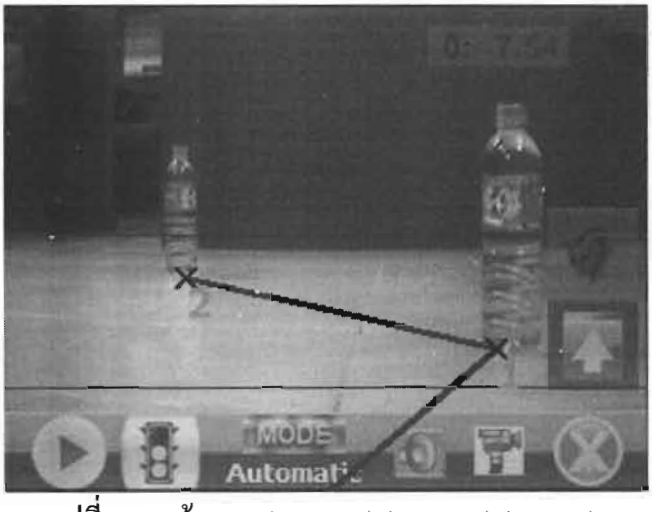
รูปที่ 5.32 เส้นทาง (160,240),(117,155),(172,130)



รูปที่ 5.33 เส้นทาง (160,240),(79,166),(248,140)



รูปที่ 5.34 เส้นทาง (160,240),(126,174),(246,122)



รูปที่ 5.35 เส้นทาง (160,240),(242,169),(90,134)

5.3.2 การทดสอบความสามารถในการใช้งานได้

ข้อมูลเชิงคุณภาพที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการใช้งานระบบได้อย่างง่าย รวดเร็ว ยืดหยุ่น เรียนรู้ได้ง่าย และสามารถติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะเป็นส่วนที่บอกถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อการใช้งานระบบ

ภายหลังจากการทดสอบการใช้งานระบบ ผู้ทดสอบจะทำการประเมินระบบด้วยการตอบแบบสอบถาม ซึ่งจะเป็นข้อมูลจากความคิดเห็นของผู้ใช้งานโดยตรง โดยที่แบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินจะแสดงได้ดังรูปที่ 5.36

แบบสอบถามการใช้งาน
การควบคุมหุ่นยนต์ทางไกลแบบมีข้อมูลเสริมผ่านทางพีดีเอ

โปรดใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องคะแนน หรือกรอกข้อมูลตามความเป็นจริง

ผู้ทำการทดสอบ : เพศ ☐ ชาย อายุ.....

☐ หญิง

1 = ไม่ดี 2 = ไม่ค่อยดี 3 = ดี 4 = ค่อนข้างดีมาก 5 = ดีมาก	1	2	3	4	5
1. การติดต่อกับผู้ใช้					
1.1 การมองเห็นสภาพแวดล้อมการทำงานผ่านทางหน้าจอพีดีเอ					
1.2 การวางตำแหน่งเมนูและความง่ายในการใช้งาน					
1.3 ความเข้าใจเมนูการทำงาน					
1.4 ท่าทางในการควบคุม (การถือพีดีเอ, ปุ่มกด, ระบบสัมผัส)					
1.5 การแยกแยะเสียงประกอบการกระทำ					
2. การแสดงข้อมูลเสริม					
2.1 การวางตำแหน่งกราฟิกของข้อมูลเสริม					
2.2 ขนาดและสีของข้อมูลเสริม					
2.3 ความเข้าใจความหมายของข้อมูลเสริมการตรวจจับสิ่งกีดขวาง					
2.4 ความเข้าใจความหมายของข้อมูลเสริมทิศทางของหุ่นยนต์					
2.5 ความเข้าใจความหมายของข้อมูลเสริมระยะทางการเคลื่อนที่					
2.6 ความเข้าใจความหมายของข้อมูลเสริมระดับความเร็ว					
2.7 ความเพียงพอของข้อมูลที่แสดงผล					
3. การควบคุมหุ่นยนต์ในโหมดควบคุมด้วยมือ					
3.1 ความคล่องตัวในการควบคุมหุ่นยนต์ (ทิศทางและความเร็ว)					
3.2 การตอบสนองของหุ่นยนต์ เช่นการสั่งเลี้ยว หยุด					
4. การควบคุมหุ่นยนต์ในโหมดอัตโนมัติ					
4.1 ความเข้าใจในวิธีการทำงาน					
4.2 ความถูกต้องแม่นยำของการประมวลผล					

ข้อเสนอแนะ

.....

.....

รูปที่ 5.36 แบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินระบบ

5.3.3 การทดสอบคุณค่าสำหรับปัญหาเฉพาะ

การทดสอบนี้จะเป็นการทดสอบการทำงานของโปรแกรมโดยผู้ใช้ที่มีพื้นฐานด้านคอมพิวเตอร์ที่แตกต่างกัน โดยให้ทดลองใช้พีดีเอทำการควบคุมหุ่นยนต์ในลักษณะต่างๆ กัน ได้แก่ ให้ควบคุมหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมายโดยไม่มีสิ่งกีดขวางและมีสิ่งกีดขวางในเวลาที่กำหนด เพื่อทดสอบว่าผู้ควบคุมจะสามารถควบคุมหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมายได้หรือไม่ รวมทั้งวิเคราะห์จำนวนครั้งที่ประสบความสำเร็จเพื่อนำมาประเมินประสิทธิภาพของระบบ สำหรับการควบคุมโหมดอัตโนมัตินั้นได้กำหนดเป้าหมายให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปจากนั้นตรวจสอบระยะทางเทียบกับเป้าหมาย เมื่อทดสอบทางด้านประสิทธิภาพของระบบเสร็จแล้วก็ให้ผู้ใช้ตอบแบบสอบถามด้วย

5.4 ผลการทดลอง

5.4.1 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ

จากการทดสอบตามวิธีการข้างต้น ผลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบ มีดังนี้

5.4.1.1 การรับ-ส่งภาพ โดยทดลองเก็บขนาดของภาพ 20 เฟรม ดังตารางที่ 5.1 โดยส่งข้อมูลภาพแบบ Peer to Peer ด้วยความเร็วในการส่งข้อมูล 54Mbps จะใช้ Memory Stream มีขนาดเฉลี่ย 11254.25 ไบต์ ตามตารางที่ 5.1 ภาพที่ได้จะมีการหน่วงเวลาประมาณ 0.2 วินาที จึงได้ปรับเปลี่ยนเวลาในการส่งใหม่จากเดิมทุกๆ 40 มิลลิวินาที เป็น 120 มิลลิวินาที แต่ข้อมูลที่ส่งไปนั้นจะลดลงไป 3 เท่า ทำให้การรับส่งข้อมูลเร็วขึ้นการหน่วงเวลาที่พีดีเอจึงเหลือประมาณ 0.05 วินาที ภาพที่ได้ก็ยังสามารถดูได้โดยไม่ส่งผลเสียต่อการควบคุมหุ่นยนต์

ตารางที่ 5.1 ขนาดของ Memory Stream ของภาพแต่ละเฟรม (ไบต์)

11268	11249	11245	11255	11214	11278	11251	11263	11228	11264
11210	11273	11251	11281	11273	11253	11241	11243	11282	11263

ทดสอบความผิดพลาดในการรับ-ส่งข้อมูล โดยทำการทดลองส่งข้อมูลภาพด้วยโปรโตคอล UDP มีความผิดพลาดประมาณ 0.04 % ส่วนโปรโตคอล TCP/IP ไม่มีความผิดพลาดในการส่งข้อมูล

5.4.1.2 การวัดระยะทางด้วยเอ็นโค้ดเดอร์ ได้ผลดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 การทดลองหาระยะทางด้วยเอ็นโค้ดเดอร์

จำนวนพัลส์ (x)	ระยะทาง (ซม.)		คลาดเคลื่อน
	จากการคำนวณ	ระยะทางจริง (y)	
5	4.71	6.1	1.39
10	9.42	12.3	2.88
15	14.13	16.6	2.47
20	18.84	20.3	1.46
40	37.64	38.8	1.16
60	56.52	58.2	1.68
80	75.36	78.1	2.74
100	94.2	97.4	3.20
120	113.04	117.6	3.72
140	131.88	135.4	3.52
160	150.72	153.6	2.88
180	169.56	174.3	4.74
200	188.40	192.6	4.20

การคำนวณหาสมการเชิงเส้นเพื่อใช้แทนข้อมูลของเอ็นโค้ดเดอร์จะใช้วิธีกำลังสองถดถอยน้อยที่สุด เนื่องจากข้อมูลมีความสัมพันธ์เชิงเพื่อสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยการนำข้อมูลจากการทดลองมาหาความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนพัลส์ของเอ็นโค้ดเดอร์กับระยะทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

ตารางที่ 5.3 ข้อมูลสำหรับการคำนวณหาสมการเชิงเส้นของเอ็นโค้ดเดอร์

x	x^2	y	y^2	xy
5	25	6.1	37.21	30.5
10	100	12.3	151.29	123
15	255	16.6	275.56	249
20	400	20.3	412.09	406
40	1600	38.8	1505.44	1552
60	3600	58.2	3387.24	3492

80	6400	78.1	6099.61	6248
100	10000	97.4	9486.76	9740
120	14400	117.6	13829.76	14112
140	19600	135.4	18333.16	18956
160	25600	153.6	23592.96	24576
180	32400	174.3	30380.49	31374
200	40000	192.6	37094.76	38520
$\sum x_i = 1130$	$\sum x_i^2 = 154380$	$\sum y_i = 1101.3$	$\sum y_i^2 = 144586.33$	$\sum x_i y_i = 149378.5$

จากข้อมูล จะได้ n = 13

แทนค่าในสมการ 2.8 และ 2.9

$$A = \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum x_i \sum x_i y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$B = \frac{n\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{n\sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}$$

$$A = \frac{(1101.3 \times 154380) - (1130 \times 149378.5)}{13 \times 154380 - (1130)^2}$$

$$= \frac{170018694 - 168797705}{2006940 - 1276900}$$

$$= \frac{1220989}{730040}$$

$$= 1.67$$

$$B = \frac{(13 \times 149378.5) - (1130 \times 1101.3)}{(13 \times 154380) - (1130)^2}$$

$$= \frac{1941920.5 - 1244469}{2006940 - 1276900}$$

$$= \frac{697451.5}{730040}$$

$$= 0.96$$

สมการเชิงเส้นที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนข้อมูลของเอ็นโค้ดเดอร์คือ

$$y = 1.67 + 0.96x \qquad (5.1)$$

โดยที่ x = จำนวนพัลส์

y = ระยะทางที่ได้

5.4.1.3 ผลการทดลองกำหนดทิศทางให้หุ่นยนต์หันเลี้ยว ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 การทดสอบการหันเลี้ยวของหุ่นยนต์

มุมที่กำหนด	มุมที่วัดได้
-10	-12
10	13
-20	-22
20	22
-30	-33
30	32
-40	-43
40	43
-60	-62
60	63
-80	-83
80	83
-90	-92
90	93

จากตารางที่ 5.4 จะเห็นว่าค่ามุมที่ได้นั้นจะคลาดเคลื่อนไปประมาณ 3 องศา ทั้งนี้เนื่องจากหุ่นยนต์หันเลี้ยวเป็นจังหวะซึ่งไม่สามารถควบคุมหุ่นยนต์ให้หันเลี้ยวด้วยความเร็วต่ำๆ ได้ เพราะเมื่อปรับ PWM ให้น้อยลงไประดับหนึ่งมอเตอร์จะไม่มีกำลังพอที่จะหันเลี้ยวหุ่นยนต์

5.4.1.4 ผลการทดลองวัดระยะทางของเป้าหมายด้วยกล้องตัวเดียว ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางและจำนวนพิกเซล (กล้องสูง 16.5 ซม.)

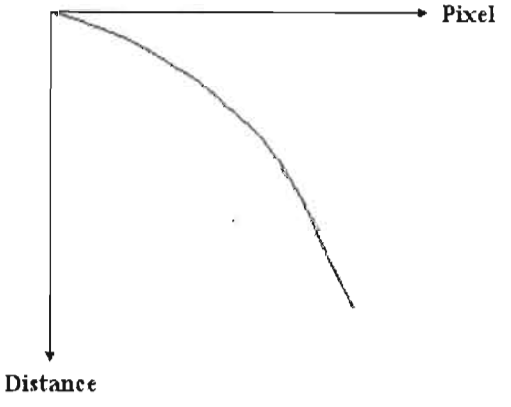
Pixel	Distance (cm)
0	36
19	40
33	45
43	50
54	55

63	60
70	65
75	70
79	75
84	80
88	85
92	90
95	95
99	100
102	105
103	110
105	115
108	120

จากตารางที่ 5.5 จะสังเกตว่าที่ระยะทางประมาณ 100 ซม. ขึ้นไป ระยะห่างพิกเซลเพิ่มเพียงเล็กน้อย แต่ระยะทางเพิ่มขึ้นมาก ดังนั้นระยะทางที่พอจะประมาณได้ด้วยกล้องตัวเดียวไม่ควรเกิน 120 ซม. จาก Base Line เมื่อทำการประมาณฟังชันก์ด้วยวิธี Bezier แล้ว จะได้ความสัมพันธ์เป็นไปตามสมการ

$$p(u) = (1-u)^3 P_0 + 3u(1-u)^2 P_1 + 3u^2(1-u)P_2 + u^3 P_3 \qquad (5.2)$$

นำข้อมูลมาพล็อตเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 5.37



รูปที่ 5.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของระยะทางกับจำนวนพิกเซล

5.4.1.5 ผลการทดลองวัดระยะทางสิ่งกีดขวางด้วยอัลตร้าโซนิกส์

ตารางที่ 5.6 การหาระยะทางของสิ่งกีดขวางด้วยอัลตร้าโซนิกส์

ระยะทาง (ซม.)	คาบของพัลส์
10	600 us
20	1.2 ms
30	1.8 ms
40	2.4 ms
50	3.0 ms
60	3.6 ms
70	4.2 ms
80	4.8 ms
90	5.4 ms
100	6.0 ms

จากตารางที่ 5.6 จะเห็นว่าระยะทางของสิ่งกีดขวางทุกๆ 10 ซม. อัลตร้าโซนิกส์จะใช้เวลาเท่าๆ กัน คือ 0.6 มิลลิวินาที

5.4.1.6 ผลการทดลองวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของมนุษย์ ได้ผลตารางที่ 5.7 โดยสามารถวิเคราะห์ได้ในสภาพแวดล้อมที่กำหนด โดยมีความถูกต้องประมาณ 80%

ตารางที่ 5.7 การทดลองวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของมนุษย์

ท่าทาง	ผลการวิเคราะห์
คนเดินจากขวาไปซ้าย	วิเคราะห์ได้โดยใช้ทั้ง 6 วิธีร่วมกัน (Case 63)
คนเดินตรงออกมา	วิเคราะห์ได้โดยใช้ทั้ง 6 วิธีร่วมกัน (Case 63)
คนเดินทแยงออกจากมุมซ้ายไปขวา	วิเคราะห์ได้โดยใช้ทั้ง 6 วิธีร่วมกัน (Case 63)
คนเดินก้มหน้าจากซ้ายไปขวา	วิเคราะห์ได้โดยใช้ทั้ง 6 วิธีร่วมกัน (Case 63)
คนเดินล้วงกระเป๋า	วิเคราะห์ได้โดยใช้ทั้ง 6 วิธีร่วมกัน (Case 63)
คนเดินสวนสนาม	วิเคราะห์ได้โดยใช้ทั้ง 6 วิธีร่วมกัน (Case 63)
คนวิ่งเหยาะๆ	วิเคราะห์ได้โดยใช้ทั้ง 6 วิธีร่วมกัน (Case 63)
คนวิ่งเร็ว	วิเคราะห์ได้โดยใช้ทั้ง 6 วิธีร่วมกัน (Case 63)
คนกระโดดตบ	วิเคราะห์ได้โดยใช้ทั้ง 6 วิธีร่วมกัน (Case 63)

คนเดินเอียงไหล่และก้มศีรษะ	วิเคราะห์ได้โดยใช้ทั้ง 6 วิธีร่วมกัน (Case 63)
คนคลาน	ไม่สามารถวิเคราะห์ได้โดยใช้ทั้ง 6 วิธีร่วมกัน

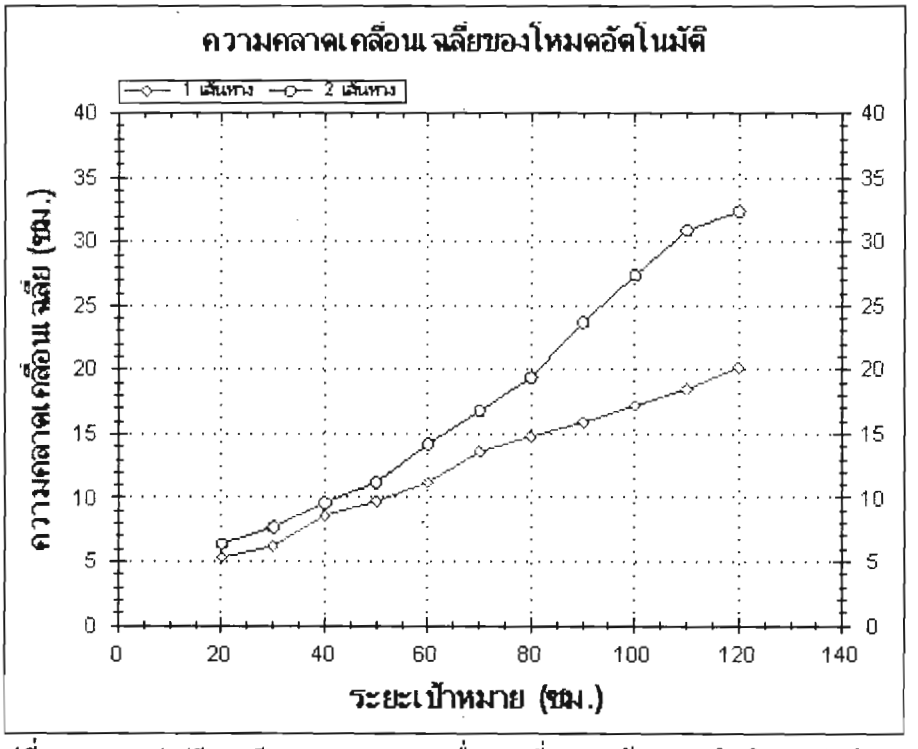
5.4.1.7 การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง เมื่อพิจารณาจากผลการคำนวณแล้วทิศทางของหุ่นยนต์ที่ได้จะเป็นไปตามกฎที่ตั้งไว้ทุกประการ โดยใช้เวลาในการคำนวณ 500-900 มิลลิวินาที ทั้งนี้เวลาส่วนใหญ่จะใช้ในการแสดงผลกราฟิกรวมถึงการแสดงข้อมูลต่างๆ เพื่อวิเคราะห์ผล

5.4.1.8 การควบคุมหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมายในโหมดควบคุมด้วยมือสามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้อย่างแม่นยำในเวลาที่กำหนด แต่เมื่อมีสิ่งกีดขวางผู้ใช้ส่วนใหญ่ก็ยังสามารถควบคุมหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมายได้ โดยมีอัตราความสำเร็จ 87.7 เปอร์เซ็นต์

5.4.1.9 การควบคุมหุ่นยนต์ในโหมดอัตโนมัติมีความคลาดเคลื่อนบ้างเนื่องจากปัญหาทางด้านชิ้นส่วนทางกลและอิเล็กทรอนิกส์ แต่อย่างไรก็ตามก็สามารถปรับปรุงทางด้านซอฟแวร์ให้ได้ระยะทางใกล้เคียงกับเป้าหมายมากที่สุด โดยมีอัตราความสำเร็จ 60.5 เปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเป้าหมายในโหมดอัตโนมัติ

ระยะเป้าหมาย (ซม.)	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (ซม.)	
	1 เส้นทาง	2 เส้นทาง
20	5.3	6.4
30	6.2	7.7
40	8.6	9.6
50	9.7	11.2
60	11.2	14.2
70	13.6	16.8
80	14.8	19.4
90	15.9	23.7
100	17.2	27.4
110	18.5	30.9
120	20.2	32.4



รูปที่ 5.38 กราฟเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของเป้าหมายในโหมดอัตโนมัติ

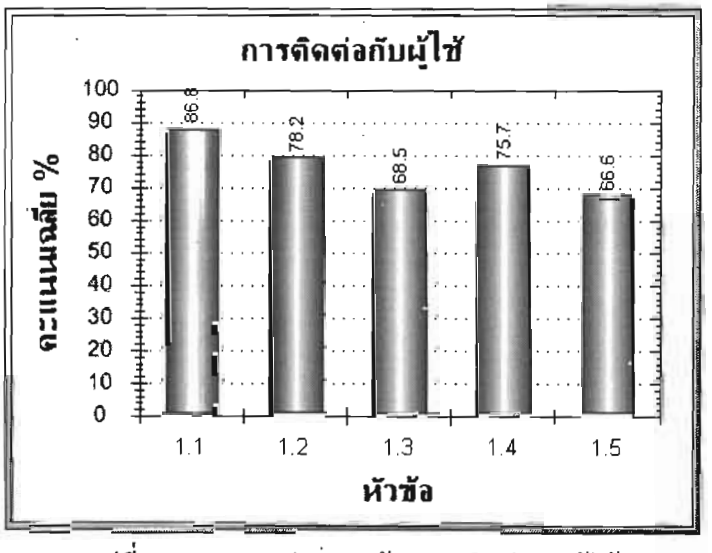
5.4.2 ผลการทดสอบความสามารถในการใช้งานได้

จากการทดสอบตามวิธีการข้างต้น ผลที่ได้จากการทดสอบคือความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบทั้งในส่วนติดต่อกับผู้ใช้ การควบคุมหุ่นยนต์ในโหมดควบคุมด้วยด้วยมือและโหมดอัตโนมัติ ได้ผลดังตารางที่ 5.9

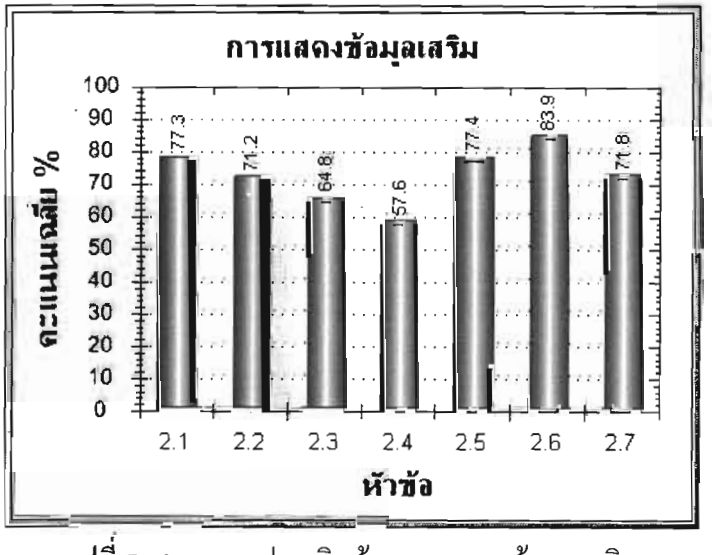
ตารางที่ 5.9 สรุปคะแนนจากการทดสอบและแบบสอบถาม

1. การติดต่อกับผู้ใช้	**คะแนนที่ได้ (%)**
1.1 การมองเห็นสภาพแวดล้อมการทำงานผ่านทางหน้าจอพีดีเอ	86.8
1.2 การวางตำแหน่งเมนูและความง่ายในการใช้งาน	78.2
1.3 ความเข้าใจเมนูการทำงาน	68.5
1.4 ท่าทางในการควบคุม (การถือพีดีเอ, ปุ่มกด, ระบบสัมผัส)	75.7
1.5 การแยกแยะเสียงประกอบการกระทำ	66.6
2. การแสดงข้อมูลเสริม	
2.1 การวางตำแหน่งกราฟิกของข้อมูลเสริม	77.3
2.2 ขนาดและสีของข้อมูลเสริม	71.2
2.3 ความเข้าใจความหมายของข้อมูลเสริมการตรวจจับสิ่งกีดขวาง	64.8
2.4 ความเข้าใจความหมายของข้อมูลเสริมทิศทางของหุ่นยนต์	57.6

2.5 ความเข้าใจความหมายของข้อมูลเสริมระยะทางการเคลื่อนที่	77.4
2.6 ความเข้าใจความหมายของข้อมูลเสริมระดับความเร็ว	83.9
2.7 ความเพียงพอของข้อมูลที่แสดงผล	71.8
3. การควบคุมหุ่นยนต์ในโหมดควบคุมด้วยมือ	
3.1 ความคล่องตัวในการควบคุมหุ่นยนต์ (ทิศทางและความเร็ว)	87.7
3.2 การตอบสนองของหุ่นยนต์ เช่นการสั่งเลี้ยว หยุด	91.8
4. การควบคุมหุ่นยนต์ในโหมดอัตโนมัติ	
4.1 ความเข้าใจในวิธีการทำงาน	66.6
4.2 ความถูกต้องแม่นยำของการประมวลผล	60.5



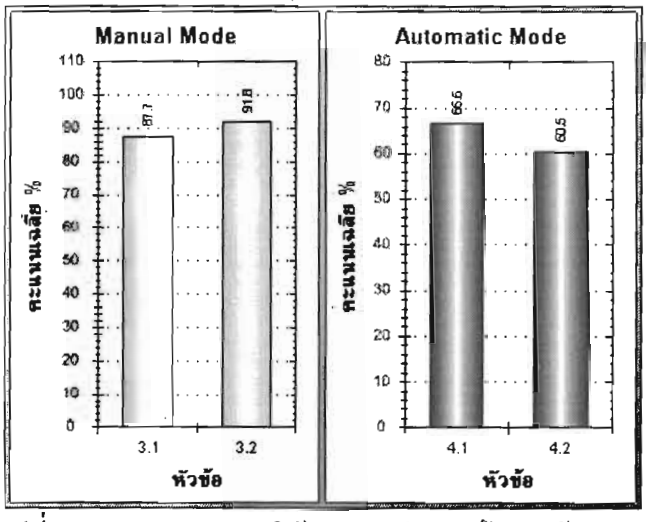
รูปที่ 5.39 ผลการประเมินด้านการติดต่อกับผู้ใช้



รูปที่ 5.40 ผลการประเมินด้านการแสดงข้อมูลเสริม

5.4.3 การทดสอบคุณค่าสำหรับปัญหาเฉพาะ

ตัวอย่างการทดสอบดังรูปที่ 5.42 เป็นการทดสอบผลการใช้งานในการควบคุมหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมาย จากนั้นให้ผู้ใช้ตอบแบบสอบถามดังรูปที่ 5.36 ผลของการสอบถามผู้ใช้เห็นว่าระบบมีความสามารถในการควบคุมหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมายในโหมดควบคุมด้วยมือ 91.8 เปอร์เซ็นต์ และการควบคุมหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมายในโหมดอัตโนมัติ 60.5 เปอร์เซ็นต์ ดังรูปที่ 5.41



รูปที่ 5.41 ผลการทดลองให้ควบคุมหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมาย

รูปที่ 5.42 ตัวอย่างการทดลอง

บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

6.1.1 ประสิทธิภาพของระบบ

- การแสดงภาพที่พีดีเอนั้นจะหน่วงเวลาเล็กน้อยประมาณ 0.05 วินาที ซึ่งไม่ส่งผลกระทบต่อการควบคุมหุ่นยนต์ ภาพที่ส่งมานั้นมีความต่อเนื่องแต่หากหุ่นยนต์อยู่ไกลเกินระยะของการสื่อสาร เช่น หุ่นยนต์เริ่มออกจากรัศมีคลื่นวิทยุของกล้อง ภาพที่ได้ก็จะมีสัญญาณรบกวน

- ข้อมูลเสริมสามารถประมวลผลและแสดงผลที่พีดีเอแบบเรียลไทม์ ที่ 15 เฟรมต่อวินาที ซึ่งช่วยให้ผู้ควบคุมทราบข้อมูลที่จำเป็นและสภาพแวดล้อมรอบๆ หุ่นยนต์ ทำให้ควบคุมหุ่นยนต์ได้ง่าย และเป็นธรรมชาติ สามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้แม้แต่ในสถานที่คับแคบหรือมีสิ่งกีดขวางอยู่รอบๆ

- จากการทดลองประสิทธิภาพของระบบอยู่ในเกณฑ์ดีโดยเฉพาะในโหมดควบคุมด้วยมือ ผู้ใช้สามารถควบคุมหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมายได้ถึง 91.8 เปอร์เซ็นต์ แม้แต่ผู้ที่ไม่เชี่ยวชาญด้านคอมพิวเตอร์ แต่การควบคุมแบบอัตโนมัตินั้นได้ผลที่คลาดเคลื่อนไปบ้าง เนื่องจากข้อจำกัดของอุปกรณ์ต่างๆ

- การประมาณระยะทางจากกล้องตัวเดียวให้ผลที่ใกล้เคียงกับระยะทางจริงในช่วงไม่เกิน 1.20 เมตร วิธีที่นำเสนอนี้มีข้อดีคือใช้เวลาประมวลผลน้อยมาก เนื่องจากไม่ต้องนำพารามิเตอร์ของกล้องมาคำนวณด้วยและไม่ต้องใช้อุปกรณ์เสริมใดๆ แต่มีข้อจำกัดคือขึ้นอยู่กับความสูงและมุมของกล้อง

- การตรวจสอบการเคลื่อนไหวของมนุษย์นั้น สามารถตรวจสอบได้ทั้งคนเดิน คนออกกำลังกาย หรือคนวิ่งได้ โดยจะให้ผลที่แม่นยำมากขึ้นถ้าสามารถแยกแยะพื้นหลังกับวัตถุออกจากกันได้ เช่น หากพิจารณาเป็นบางเฟรมแล้วไม่สามารถตรวจสอบขาได้เนื่องจากท่าวิ่งจังหวะที่คนยกขาขึ้นจะตรวจสอบขาได้แค่ขาเดียวดังรูปที่ 6.1 และส่งผลให้ตรวจสอบโครงร่างไม่ได้ตามไปด้วย จึงต้องใช้จำนวนเฟรมมากขึ้นซึ่งจะมีบางจังหวะที่ตรวจสอบได้ 2 ขา

รูปที่ 6.1 โปรแกรมตรวจสอบขาไม่ครบ 2 ขา

- การตรวจจับเป้าหมายนั้น สามารถประมวลผลภาพได้ที่ 15 เฟรมต่อวินาที อย่างไรก็ตาม วิทยานิพนธ์นี้เป็นการสมมติว่าในพื้นที่นั้นมีวัตถุระเบิดเป็นเป้าหมายและไม่มีวัตถุอื่นที่มีสีเดียวกันกับวัตถุระเบิดวางอยู่ในบริเวณใกล้เคียง จึงสามารถตรวจจับเป้าหมายได้อย่างถูกต้อง

- การหลบหลีกสิ่งกีดขวางอัตโนมัตินั้น ทดสอบโดยการจำลองสถานการณ์ ผลที่ได้หุ่นยนต์สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขางได้ตามกฎที่ตั้งไว้ทุกประการ แต่การใช้งานจริงขึ้นอยู่กับเซ็นเซอร์ที่ใช้ตรวจจับสิ่งกีดขวางเป็นสิ่งสำคัญ

- การกำหนดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายอัตโนมัติด้วย 1 เส้นทาง จะให้ผลของระยะความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 2 เส้นทาง ซึ่งความคลาดเคลื่อนนั้นเนื่องจากขณะหุ่นยนต์หันเลี้ยวนั้นหุ่นยนต์ไม่ได้หันเลี้ยวอยู่กับที่แต่จะมีการลื่นไถลไปด้วย เนื่องจากทำการทดลองบนพื้นกระเบื้องรวมทั้งใช้วิธีการหันเลี้ยวเป็นจังหวะเพื่อให้เข็มทิศดิจิตอลประมวลผลทิศทางได้ทัน ดังนั้นยิ่งมุมหันเลี้ยวมากเท่าใดตำแหน่งของหุ่นยนต์ก็จะเลื่อนไปจากจุดศูนย์กลางมากเท่านั้น ส่งผลให้ระยะทางที่ประมวลผลได้คลาดเคลื่อนไปด้วย รวมทั้งการกำหนดตำแหน่งเป้าหมายในแต่ละครั้งไม่ตรงกันถึงแม้ว่าเป้าหมายจะเป็นตำแหน่งเดิม เนื่องจากผู้ใช้กำหนดตำแหน่งจากปากกาป้อนข้อมูล หากมีความคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเพียงแค่ 1 พิกเซล โดยเฉพาะเมื่อเป้าหมายอยู่ไกลแล้ว ระยะทางที่คำนวณได้ก็จะไม่เท่ากันด้วย

6.1.2 ความสามารถในการใช้งานได้

จากการวิเคราะห์แบบสอบถาม การสัมภาษณ์รวมทั้งสังเกตจากการใช้งานแล้ว ผู้ใช้มีความเข้าใจส่วนติดต่อกับผู้ใช้อยู่ในเกณฑ์ดี ได้คะแนนเฉลี่ย 75.16 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ส่วนการแยกแยะเสียงประกอบการกระทำนั้นได้คะแนนน้อยที่สุดคือ 66.6 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผู้ใช้แนะนำว่าถ้ามีเสียงพูดประกอบด้วยก็จะทำให้แยกแยะได้ชัดเจนยิ่งขึ้น สำหรับการแสดงข้อมูลเสริมนั้นผู้ใช้มีความเข้าใจความหมายของข้อมูลเสริมอยู่ในเกณฑ์ดีได้คะแนนเฉลี่ย 72 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ความเข้าใจความหมายของข้อมูลเสริมทิศทางของหุ่นยนต์ได้คะแนนน้อยที่สุดคือ 57.6 เปอร์เซ็นต์

6.1.3 คุณค่าสำหรับปัญหาเฉพาะ

การวัดความสามารถในการใช้งานโดยให้ผู้ใช้ควบคุมหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมาย ผลการทดลองและตอบแบบสอบถามพบว่าระบบมีความคล่องตัวในการควบคุมหุ่นยนต์ 87.7 เปอร์เซ็นต์ ผู้ใช้เห็นว่าระบบมีความสามารถในการควบคุมหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมายในโหมดควบคุมด้วยมือ 91.8 เปอร์เซ็นต์ และการควบคุมหุ่นยนต์ไปยังเป้าหมายในโหมดอัตโนมัติ 60.5 เปอร์เซ็นต์

6.2 สรุป

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการควบคุมหุ่นยนต์ทางไกลแบบมีข้อมูลเสริมผ่านทางพีดีเอ โดยข้อมูลเสริมนั้นจะเป็นกราฟิกซ้อนทับบนภาพที่แสดงสถานะของหุ่นยนต์และข้อมูลของเซ็นเซอร์ นอกจากนั้นยังได้เพิ่มประสิทธิภาพการควบคุมด้วยการประมวลผลภาพและปัญญาประดิษฐ์ต่างๆ ให้สามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้อย่างสะดวกสบายมากขึ้น

ข้อดีของหุ่นยนต์ที่ออกแบบมานั้นจะใช้อุปกรณ์ไม่มากจึงสามารถประกอบได้อย่างรวดเร็ว มีความคล่องตัวในการควบคุม สามารถเคลื่อนที่ในพื้นที่ขรุขระได้ น้ำหนักเบา เคลื่อนที่ได้เร็ว สามารถเคลื่อนย้ายได้โดยใช้กำลังพลเพียงคนเดียว แต่ก็มีข้อจำกัดบางประการ เช่น ไม่สามารถขึ้นบันไดได้ อย่างไรก็ตามหากจะนำหุ่นยนต์ไปติดตั้งปืนยิงน้ำเพื่อทำลายวงจรวัตถุระเบิด จะต้องเพิ่มขนาดของมอเตอร์ให้เหมาะสม

ทางด้านประสิทธิภาพของระบบ จากการทดสอบด้านการสื่อสาร พบว่าระบบมีความผิดพลาดในการรับ-ส่งข้อมูลภาพที่ยอมรับได้ ภาพที่ได้มีความชัดเจนและมีมุมมองที่ไม่แคบเกินไป ในส่วนของคำสั่งควบคุมนั้นไม่มีข้อผิดพลาดสามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้อย่างคล่องแคล่ว ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะการสื่อสารด้วย

ทางด้านคุณค่าสำหรับปัญหาเฉพาะ จากผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลแสดงให้เห็นว่าระบบนี้มีความเหมาะสมสำหรับใช้ในภารกิจที่ต้องการความคล่องตัว สามารถเคลื่อนย้ายระบบได้ง่ายและเรียนรู้ได้ไม่ยาก ระบบนี้สามารถนำไปแก้ปัญหาที่เจ้าหน้าที่ประสบอยู่ได้ โดยเฉพาะแนวคิดที่นำพีดีเอมาใช้กับภารกิจทางทหารนั้นนับว่ามีความเหมาะสมเป็นอย่างมาก

6.3 ข้อเสนอแนะ

ในส่วนของข้อมูลเสริมนั้นผู้ใช้บางรายยังไม่เข้าใจความหมายของข้อมูลเสริมเช่น ไม่เข้าใจว่าสิ่งกีดขวางที่ตรวจสอบได้คืออะไร ดังนั้นจึงควรปรับปรุงรูปแบบของข้อมูลเสริมให้เข้าใจง่ายยิ่งขึ้น เช่น แสดงสิ่งกีดขวางให้มีขนาดสอดคล้องกับวัตถุ รวมทั้งหาวิธีการป้อนแรงย้อนกลับ (Haptic Feedbacks) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้ดีมากขึ้นเป็นต้น

การทดลองนี้ใช้การสื่อสารแบบ Peer to Peer จึงสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็วแต่หากจะใช้การสื่อสารผ่านเครือข่ายวิธีอื่นแล้วควรจะต้องมีการบีบอัดข้อมูลให้มีขนาดเหมาะสม และการใช้งานจริงอาจจะต้องติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มเติมในการขยายระยะการสื่อสารให้ไกลมากขึ้น

เอกสารอ้างอิง

1. Terrence Fong, Charles Thorpe, Betty Glass, 2002, **PdaDriver: A Handheld System for Remote Driving**, The Robotics Institute The Robotics Institute CIS – SAIC Carnegie Mellon University Carnegie Mellon University.

2. Carl Lundberg, Carl Barck-Holst, John Folkeson, & Henrik I. Christensen, 2003, **PDA interface for a field robot**, Centre for Autonomous Systems, Numerical Analysis and Computer Science Royal Institute of Technology (KTH), Sweden.

3. Hande Kaymaz Keskinpala, Julie A. Adams, Kazuhiko Kawamura, 2003, **PDA–Based Human–Robotic Interface**, Center for Intelligent Systems, Vanderbilt University.

4. Luca Chittaro, 2003, **Location-aware visualization of a 3D world to select tourist inFormation on a mobile device**, HCI Lab Dept. of Math and Computer Science University of Udinevia delle Scienze, Italy.

5. Wouter Pasman, Charles Woodward, 2003, **Implementation of an Augmented Reality System on a PDA**, Delft University of Technology Faculty of InFormation Tech and Systems, Technical Research Centre of Finland VTT InFormation Technology.

6. Jennifer Bray, Charles F. Sturman, 2001, **Bluetooth Connect Without Cables**, 1st edition, Prentice Hall PTR, United States of America, pages 1 – 191.

7. Microsoft, 2009, **.NET Compact Framework** [Online], Available : http://en.wikipedia.org/wiki/.NET_Compact_Framework [2007, October 9].

8. Elad Ben, 2008, **OpenCVDotNet** [Online], Available : http://code.google.com/p/opencvdotnet/ [2008, December 22].

9. Neil Dodgson, 2000, **Bezier curve** [Online], Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Bezier_curves [2008, November 13].

10. Microsoft Developer Network, 2009, **GDI+** [Online], Available : http://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms533798(VS.85).aspx [2007, August 22].

11. Bretscher Otto, 1995, **Least squares** [Online], Available : http://en.wikipedia.org/wiki/Least_squares [2007, February 14].

12. Arduino team, 2008, **Arduino** [Online], Available : http://arduino.cc [2008, April, 26].

13. ASUSTeK, 2007, **PDAs** [Online], Available : http://asus.com [2007, May, 11].

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล น.ต.ขันชัย กิ่งกังวาลย์

วัน เดือน ปีเกิด 22 มกราคม 2517

ประวัติการศึกษา

ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา พ.ศ. 2536

ระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2539

ระดับปริญญาโท วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2551

ทุนการศึกษา ทุนกองทัพเรือ พ.ศ.2539
ทุนสำนักวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีกลาโหม พ.ศ.2549

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ Siam Charoenseang and Khanchai Kingkangwan, 2008, "Augmented Control for Mobile Robot using PocketPC", **2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (ROBIO2008)**, 21-26 February 2009, Bangkok, Thailand.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ข้อตกลงว่าด้วยการโอนลิขสิทธิ์วิทยานิพนธ์

วันที่ .....**20** ...เดือน.....**พฤษภาคม**..... พ.ศ.....**2552** .....

ข้าพเจ้า.....**น.ต.ขันชัย กิ่งกังวาลย์**.....รหัสประจำตัว .....**49432302**.....
เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับปริญญา ☒ โท ☐ เอก
หลักสูตร .....**ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต**..... สาขาวิชา..... **วิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ**.....
คณะ .....**สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม**.....
อยู่บ้านเลขที่..... **123/10** .....หมู่ที่ .....-.....ตรอก/ซอย..... **สุขสวัสดิ์ 26**.....ถนน .....**สุขสวัสดิ์**.....
ตำบล/แขวง.....**บางปะกอก**.....อำเภอ/เขต..... **ราษฎร์บูรณะ**..... จังหวัด.....**กรุงเทพมหานคร**.....
รหัสไปรษณีย์.....**10140**.....

ขอโอนลิขสิทธิ์วิทยานิพนธ์ให้ไว้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี..... **รศ.ดร.ชิต เหล่าวัฒนา**.....
ตำแหน่ง.....**ผู้อำนวยการสถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม**..... เป็นผู้รับโอนลิขสิทธิ์และมีข้อตกลงดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง..... **การควบคุมหุ่นยนต์ทางไกลแบบมีข้อมูลเสริมผ่านทางพีดีเอ**.....
ซึ่งอยู่ในความควบคุมของ ..... **รศ.ดร.สยาม เจริญเสียง**..... ตามมาตรา 14 แห่ง พ.ร.บ.ลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 และถือว่าเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

2. ข้าพเจ้าตกลงโอนลิขสิทธิ์จากผลงานทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากการสร้างสรรค์ของข้าพเจ้าในวิทยานิพนธ์ให้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ตลอดอายุแห่งการคุ้มครองลิขสิทธิ์ตามมาตรา 23 แห่งพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 ตั้งแต่วันที่ได้รับอนุมัติโครงร่างวิทยานิพนธ์จากมหาวิทยาลัย

3. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปใช้ในการเผยแพร่ในสื่อใดๆก็ตาม ข้าพเจ้าจะต้องระบุว่าวิทยานิพนธ์เป็นผลงานของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีทุก ๆ ครั้งที่มีการเผยแพร่

4. ในกรณีที่ข้าพเจ้าประสงค์จะนำวิทยานิพนธ์ไปเผยแพร่ หรืออนุญาตให้ผู้อื่นทำซ้ำหรือดัดแปลงหรือเผยแพร่ต่อสาธารณชนหรือกระทำการอื่นใด ตามมาตรา 27, มาตรา 28, มาตรา 29 และมาตรา 30 แห่งพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2537 โดยมีค่าตอบแทนในเชิงธุรกิจ ข้าพเจ้าจะกระทำได้เมื่อได้รับความยินยอมเป็นลายลักษณ์อักษรจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ลงชื่อ .....ผู้โอนลิขสิทธิ์
(..... น.ต.ขันชัย กิ่งกังวาลย์ .....)

ลงชื่อ .....ผู้รับโอนลิขสิทธิ์
(.....รศ.ดร.ชิต เหล่าวัฒนา .....)

ลงชื่อ .....พยาน
(..... รศ.ดร.สยาม เจริญเสียง .....)

ลงชื่อ .....พยาน
(.....ผศ.ดร.พิชิต ฤกษนันทน์ .....)