ระบบความจริงเสริมสำหรับการปรากฏทางไกลเพื่อการเรียนรู้

นายคมกฤช ทิพย์เกษร 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 ระบบความจริงเสริมสำหรับการปรากฏทางไกลเพื่อการเรียนรู้
หน่วยกิต 12
ผู้เขียน นายคมกฤช ทิพย์เกษร
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.สยาม เจริญเสียง
หลักสูตร วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา วิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ
คณะ สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม
พ.ศ. 2551

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการใช้ความจริงเสริมร่วมกับการปรากฏทางไกลเพื่อเป็นเครื่องมือในการเรียนรู้เกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยจะใช้ความจริงเสริมในการสร้างวัตถุเสมือนได้แก่ สิ่งกีดขวางและเซ็นเซอร์เสมือน ซึ่งผู้ใช้งานสามารถกำหนดชนิดของสิ่งกีดขวางรวมทั้งระบุตำแหน่งของสิ่งกีดขวางลงบนสนามและสามารถเลือกชนิดของเซ็นเซอร์รวมทั้งระบุตำแหน่งของเซ็นเซอร์ลงบนหุ่นยนต์ได้ ในส่วนการปรากฏทางไกลจะใช้ในการส่งข้อมูลโปรแกรมที่ผู้ใช้เขียนขึ้นจากฝั่งผู้ใช้งาน (Remote Site) ไปทดสอบการทำงานที่ฝั่งเครื่องแม่ข่าย (Server Site) และส่งผลการทดสอบในรูปแบบวีดีโอแสดงการทำงานของหุ่นยนต์กลับมาแสดงผลให้กับผู้ใช้ในลักษณะเรียลไทม์ (Real Time)โดยงานวิจัยนี้นับเป็นต้นแบบในการเพิ่มขีดความสามารถของเครื่องมือการทดลองและอุปกรณ์ในการเรียนรู้ให้ผู้ที่ต้องการเรียนรู้สามารถเรียนรู้และทดลองในเรื่องต่างๆ ผ่านระบบเครือข่ายได้จากทุกที่ที่ผู้ใช้ต้องการ โดยระบบนี้มีจุดเด่นในเรื่องของส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ ซึ่งใช้รูปแบบการเขียนโปรแกรมในลักษณะคล้ายกับการเขียนบล็อกไดอะแกรม ซึ่งจากผลการทดสอบการทำงานของระบบพบว่าระบบนี้สามารถช่วยให้ผู้ที่ไม่มีพื้นฐานในการเขียนโปรแกรมสามารถเรียนรู้และเข้าใจหลักการในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมหุ่นยนต์ได้ดีขึ้น

คำสำคัญ : ระบบความจริงเสริม / การปรากฏทางไกล / การประมวลผลทางภาพ

Thesis Title Augmented Telepresence System for Learning
Thesis Credits 12
Candidate Mr. Komkrit Thipgesorn
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

In this research, augmented telepresence system is proposed for learning mobile robot programming remotely. This system utilizes augmented reality for creating virtual objects such as virtual obstacles and virtual sensors with computer graphics. The positions of virtual obstacles are located on a real testing robot's field by the user. Furthermore, the user can add up to 4 virtual sensors and specify their locations on a real mobile robot. Telepresence is used to enhance the communication between the client site and server site. The visual programming language is used to program the robot, by which the commands are represented in form of block diagrams. All compiled commands are sent from the client site over the internet to the server site for controlling the real mobile robot. At the client site, user can see a real time streaming video of robot operation which is fed back from the server. Using this system, user can learn a mobile robot programming wherever they can access through the internet. The aim of the research is to develop an educational tool for learning in robot programming. The results show that the system assists user who does not have any prior knowledge of programming to understand and can program the commands to control the robot effectively.

Keywords: Augmented Reality System / Telepresence System / Computer Vision

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ รศ.ดร. สยาม เจริญเสียง ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์และควบคุมการวิจัย ที่ได้กรุณาแนะนำแนวทางในการดำเนินการวิจัย ให้ข้อมูล ตลอดจนประสิทธิ์ประสาทความรู้ให้กับผู้วิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี 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	ญ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ฎ
บทที่	
1 บทนำ	**1**
1.1 ความสำคัญของวิทยานิพนธ์	1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย	2
1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์	2
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**3**
2.1 ระบบความจริงเสริม (Augmented Reality)	3
2.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing)	5
2.3 การตรวจสอบการชนของกราฟิก 2 มิติ (2D Graphic Collision Detection)	8
2.4 ระบบการปรากฏทางไกล (Telepresence)	11
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	12
3 การออกแบบระบบและการทำงาน	**18**
3.1 ภาพรวมการทำงานของระบบ	18
3.2 การออกแบบระบบในส่วนทางกล	19
3.3 การออกแบบระบบในส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์	19
3.4 การออกแบบระบบในส่วนโปรแกรม	20

4 การสร้างและพัฒนาระบบ **25**

4.1 การสร้างและพัฒนาระบบทางกล 25

4.2 การสร้างและพัฒนาระบบทางอิเล็กทรอนิกส์ 25

4.3 การสร้างและพัฒนาโปรแกรม 27

5 การทดลองและผลการทดลอง **35**

5.1 จุดมุ่งหมายของการทดลอง 35

5.2 รูปแบบการทดลอง 35

5.3 วิธีการทดลอง 36

5.4 ผลการทดลอง 42

6 สรุปและข้อเสนอแนะ **46**

6.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง 46

6.2 สรุปผล 48

6.3 ข้อเสนอแนะ 49

เอกสารอ้างอิง **51**

ประวัติผู้วิจัย **52**

รายการตาราง

ตาราง **หน้า**

3.1 แสดงคำสั่งเบื้องต้นสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ 23
3.2 แสดงรูปแบบเซ็นเซอร์และสิ่งกีดขวางเสมือน 24
4.1 แสดงรูปแบบการสื่อสารข้อมูลระหว่างหุ่นยนต์กับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย 28
4.2 แสดงชุดคำสั่งของข้อมูลสี่บิตล่าง (Low Byte) 29

รายการรูปประกอบ

รูป **หน้า**

2.1 แผนผังแสดงระบบความจริงเสริมแบบแสดงผลโดยการมองผ่านกล้องวีดีโอ 3

2.2 แผนผังแสดงระบบความจริงเสริมแบบแสดงผลโดยจอภาพ 4

2.3 แผนผังแสดงระบบความจริงเสริมแบบแสดงผลโดยการมองผ่านเลนซ์ 4

2.4 ไดอะแกรมแสดงการหาตำแหน่งของรูปสี่เหลี่ยมภายในภาพ 7

2.5 ไดอะแกรมแสดงการหาตำแหน่งของสีภายในภาพ 8

2.6 แสดงการกำหนดแกนอ้างอิงในการตรวจสอบการชนด้วยวิธี Separating Axis Theorem 9

2.7 แสดงการฉายวัตถุลงบนแกนอ้างอิงในการตรวจสอบการชนด้วยวิธี Separating Axis Theorem 9

2.8 แสดงรูปแบบการทับซ้อนกันของภาพฉายวัตถุในการตรวจสอบการชนด้วยวิธี Separating Axis Theorem 10

2.9 แสดงตรวจสอบการทับซ้อนเทียบกับแกนอื่นๆในการตรวจสอบการชนด้วยวิธี Separating Axis Theorem 10

2.10 แสดงการหาระยะห่างของวัตถุที่เกิดการชนกัน 11

2.11 แสดงการทำงานของการเข้ารหัสภาพด้วย H.263 12

2.12 แสดงการทำงานของการถอดรหัสภาพด้วย H.263 12

2.13 แสดงระบบ Tele-Robotic Garden on the World Wide Web 13

2.14 หน้าต่างในการทำงานของCollaborative Teleoperation via the Internet 13

2.15 ระบบควบคุมหุ่นยนต์ระยะไกลด้วยความจริงเสริม 14

2.16 การควบคุมหุ่นยนต์ทรงกลมร่วมกับระบบความจริงเสริม 15

2.17 แสดงระบบควบคุมอุปกรณ์ระยะไกลด้วย Active Virtual Guides 15

2.18 แสดงรูปแบบการทำงานของโปรแกรม PYGMALION 16

2.19 แสดงรูปแบบโครงสร้างภาษาของโปรแกรมสแคลช (Scratch) 17

2.20 แสดงโปรแกรมและโครงสร้างภาษาของโปรแกรมโลโก้บล็อก (Logo Blocks) 17

3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่อการทำงานของระบบ 18

3.2 แสดงภาพรวมของระบบความจริงเสริมสำหรับการปรากฏทางไกลเพื่อการเรียนรู้ 18

3.3 แสดงแบบของหุ่นยนต์ที่ใช้ในการทดลอง 19

3.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 20

3.5 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานในส่วนของฝั่งเครื่องแม่ข่าย 20

3.6 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของฝั่งผู้ใช้งาน 22

4.1 แสดงรูปของหุ่นยนต์ที่ใช้ในการทดลอง 25
4.2 แสดงการติดตั้งส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์ 26
4.3 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในส่วนอิเล็กทรอนิกส์ 26
4.4 แสดงลักษณะของส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานในส่วนแม่ข่าย 28
4.5 แสดงลักษณะของส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ 30
4.6 แสดงตัวแปรโครงสร้างและคลาสที่สำคัญในส่วนการเขียนโปรแกรม 30
4.7 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างคลาสและตัวแปรโครงสร้าง 31
4.8 แสดงลักษณะของส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานสำหรับแสดงผลการทำงานของหุ่นยนต์ 32
4.9 แสดงส่วนเชื่อมต่อเครือข่ายในส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานฝั่งผู้ใช้งาน (GUI Remote Site) 33
4.10 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบ TCP/IP 34
4.11 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบ UDP 34
5.1 แบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินระบบ 38
5.2 แบบทดสอบเพื่อประเมินความรู้พื้นฐาน 40
5.3 แบบทดสอบผลการใช้งานโปรแกรม 41
5.4 แสดงผลการทดสอบความพึงพอใจในการใช้งานระบบในส่วนสำหรับเขียนโปรแกรม 43
5.5 แสดงผลการทดสอบความพึงพอใจในการใช้งานระบบในส่วนเซ็นเซอร์และวัตถุเสมือน 43
5.6 แสดงผลการทดสอบความพึงพอใจในการใช้งานระบบในส่วนทดสอบการทำงาน 44
5.7 แสดงผลการวัดความสามารถในการใช้งานระบบ 44
5.8 แสดงผลการวัดความรู้ความเข้าใจในการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ 45

รายการสัญลักษณ์

A	=	Camera Intrinsic Matrix
c	=	ค่าการบิดของแกน X และแกน Y
u	=	Ideal Pixel Coordinate X
u_0	=	ค่าพิกัดของ Principle Point ในแนวแกน X
$\tilde{u}$	=	Corresponding Real Observed Image Coordinate X
v	=	Ideal Pixel Coordinate Y
v_0	=	ค่าพิกัดของ Principle Point ในแนวแกน Y
$\tilde{v}$	=	Corresponding Real Observed Image Coordinate Y
x	=	Ideal Normalized Image Coordinate X
x_c	=	ค่าพิกัด 3 มิติของกล้องในแนวแกน X
x_w	=	ค่าพิกัด 3 มิติของวัตถุในโลก 3 มิติในแนวแกน X
y	=	Ideal Normalized Image Coordinate Y
y_c	=	ค่าพิกัด 3 มิติของกล้องในแนวแกน Y
y_w	=	ค่าพิกัด 3 มิติของวัตถุในโลก 3 มิติในแนวแกน Y
z_c	=	ค่าพิกัด 3 มิติของกล้องในแนวแกน Z
z_w	=	ค่าพิกัด 3 มิติของวัตถุในโลก 3 มิติในแนวแกน Z
α	=	ค่า Scale Factor ในแนวแกน X
β	=	ค่า Scale Factor ในแนวแกน Y

ประมวลศัพท์และคำย่อ

AR	=	Augmented Reality
HMD	=	Head-Mounted Display
ITU	=	International Telecommunication Union
UI	=	User Interface
3D	=	3 Dimensional
CG	=	Computer Graphics
VPL	=	Visual Programming Language
GUI	=	Graphic User Interface
ISP	=	In System Programming

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของวิทยานิพนธ์

เครื่องมือในการเรียนรู้และการทดลองต่างๆ นับเป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้เรียนในปัจจุบัน ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนสามารถคิดและทำความเข้าใจสิ่งที่เรียนได้อย่างเป็นระบบ แต่ด้วยหลายเหตุปัจจัยทั้งเรื่องเครื่องมือที่มีราคาสูง จำนวนผู้ใช้งานน้อยไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนทำให้ผู้เรียนในหลายๆแห่งขาดโอกาสในการใช้งานเครื่องมือเหล่านี้ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเรียนรู้ เพื่อเป็นการลดช่องว่างทางการเรียนรู้เหล่านี้งานวิจัยนี้จึงนำเสนอระบบการเรียนรู้ระยะไกลผ่านระบบเครือข่ายหรือการเรียนรู้ผ่านระบบการปรากฏทางไกล (Telepresence) โดยใช้ความจริงเสริม (Augmented Reality, AR) สำหรับช่วยในการเรียนรู้ โดยจากผลงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้ระบบความจริงเสริมทำให้ผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้ได้รวดเร็วมากยิ่งขึ้น ดังนั้นการนำความจริงเสริมมาใช้ร่วมกับการเรียนรู้ระยะไกลจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้ งานวิจัยนี้จึงนับเป็นต้นแบบในการสร้างศูนย์กลางสำหรับเครื่องมือในการเรียนรู้และการทดลองเพื่อให้ผู้ที่ต้องการใช้งานจากที่ต่างๆ สามารถเรียนรู้และทำการทดลองผ่านระบบเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โดยงานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอการใช้ความจริงเสริมร่วมกับการปรากฏทางไกลเพื่อเป็นเครื่องมือในการเรียนรู้เกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ (Mobile Robot) และใช้ระบบความจริงเสริมในการจำลองการทำงานของเซ็นเซอร์และสิ่งกีดขวางต่างๆ เพื่อให้ผู้เรียนสามารถปรับแต่งและทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์ได้ตามความต้องการ ซึ่งจะช่วยให้ผู้เรียนเข้าใจถึงแนวคิดและวิธีการในการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ได้ดียิ่งขึ้น โดยการใช้หุ่นยนต์ยนต์จริงในการทดลองแทนการใช้โปรแกรมในการจำลองการทำงานของหุ่นยนต์จะช่วยให้ผู้เรียนรู้เข้าใจถึงข้อจำกัดของหุ่นยนต์ในด้านต่างๆ เช่น การสลิปของล้อ ความเร็วของมอเตอร์ที่ไม่เท่ากัน เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ผู้เรียนรู้สามารถเข้าใจหลักการควบคุมหุ่นยนต์ได้อย่างถูกต้อง

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาและออกแบบระบบความจริงเสริมสำหรับการปรากฏทางไกลเพื่อใช้ในการเรียนรู้
2. ศึกษาและออกแบบการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานในส่วนการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ในแบบกราฟิก เพื่อให้ผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ได้ง่าย ลดความผิดพลาดและเข้าใจการทำงานอย่างเป็นระบบ

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1. ศึกษาระบบการปรากฏทางไกลผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์
2. ออกแบบและสร้างระบบเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานของระบบความจริงเสริมสำหรับการปรากฏทางไกลเพื่อใช้ในการเรียนรู้การเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์แบบเคลื่อนที่

1.4 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

1. เป็นต้นแบบในการเพิ่มขีดความสามารถของเครื่องมือการทดลองและอุปกรณ์ในการเรียนรู้ให้ผู้ที่ต้องการเรียนรู้สามารถเรียนรู้และทดลองในเรื่องต่างๆ ผ่านระบบเครือข่ายได้จากทุกที่ที่ผู้ใช้ต้องการ
2. เป็นต้นแบบในการสร้างระบบการจัดสรรทรัพยากรทางการศึกษาเพื่อการใช้งานเครื่องมือและอุปกรณ์การทดลองร่วมกันผ่านระบบเครือข่าย
3. เป็นการเปิดโอกาสทางการศึกษาของโรงเรียนที่ขาดแคลนให้มีศักยภาพทางการศึกษาทัดเทียมกับโรงเรียนอื่น

1.5 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็นทั้งหมดหกบทด้วยกัน โดยบทที่หนึ่งซึ่งเป็นบทนำจะกล่าวถึงความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์ วัตถุประสงค์และขอบเขตรวมทั้งประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัยนี้ ในบทที่สองจะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและมีมาก่อนหน้า การจำแนกระบบความจริงเสริม ทฤษฎีในการสร้างระบบการปรากฏทางไกล การประมวลผลภาพ และการตรวจสอบการชนของกราฟิก ซึ่งในส่วนบทที่สามจะเป็นการอธิบายภาพรวมการทำงานของระบบ และแนวคิดในการออกแบบระบบในแต่ละส่วน จากนั้นในบทที่สี่จะกล่าวถึงแนวทางในการสร้างและพัฒนาระบบตามแนวคิดในการออกแบบจากที่กล่าวไปในบทที่ผ่านมา ในบทที่ห้าจะกล่าวถึงการออกแบบการทดลองและผลที่ได้จากการทดลอง และในส่วนบทสุดท้ายคือบทที่หกจะเป็นการวิเคราะห์การทำงานประสิทธิภาพของระบบและสรุปผลการทดลองของระบบ

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่องความจริงเสริมสำหรับการปรากฏทางไกลเพื่อการเรียนรู้นี้ ประกอบด้วยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่สำคัญสองส่วน คือ ระบบความจริงเสริม และการปรากฏทางไกล โดยระบบการปรากฏทางไกลจะใช้ในการสื่อสารระหว่างผู้ใช้งานกับอุปกรณ์การทดลองโดยมีระบบความจริงเสริมช่วยเพิ่มข้อมูลกราฟิกให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าใจการทำงานของระบบได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังนี้

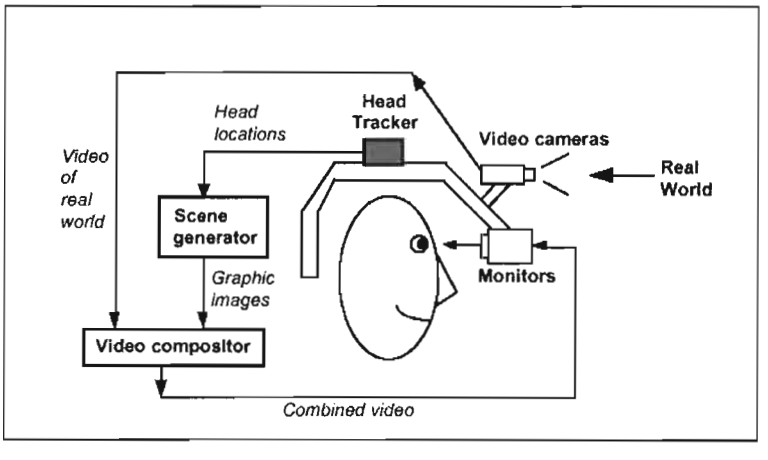
2.1 ระบบความจริงเสริม (Augmented Reality)

ระบบความจริงเสริมเป็นระบบที่นำภาพจริงมารวมกับกราฟิกที่สร้างขึ้นด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อเพิ่มเติมข้อมูลรายละเอียดต่างๆ และแสดงผลภาพให้กับผู้ใช้งาน ซึ่งทฤษฎีที่ใช้ในระบบความจริงเสริมจะประกอบไปด้วยการประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งที่จะสร้างกราฟิกซ้อนทับลงบนภาพจริงและการตรวจสอบการชนกันของกราฟิกภายในภาพนั้น โดยระบบความจริงเสริมสามารถแบ่งออกได้ ดังนี้

2.1.1 ชนิดของระบบความจริงเสริม

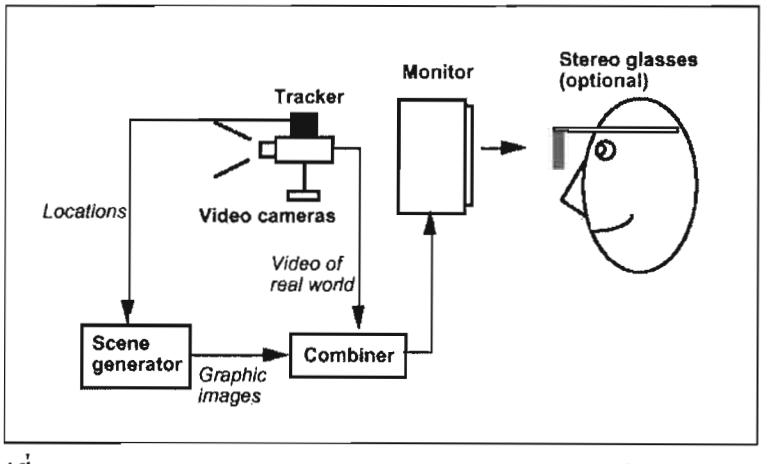
ระบบความจริงเสริมมีการนำไปใช้ที่หลากหลาย ซึ่งหากแบ่งระบบความจริงเสริมออกตามรูปแบบการแสดงผลภาพให้กับผู้ใช้งานสามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ดังนี้

- ความจริงเสริมแบบแสดงผลโดยการมองผ่านกล้องวีดีโอ (Video See-Through Augmented Reality) มีลักษณะการทำงานคือ ภาพของสภาพแวดล้อมจริงในมุมมองของผู้ใช้ จะถูกเก็บภาพด้วยกล้องวีดีโอ จากนั้นจะถูกนำมารวมกับภาพกราฟิกที่สร้างขึ้นด้วยคอมพิวเตอร์ แล้วนำผลที่ได้ส่งไปยังจอแสดงผลที่อยู่ตรงตาของผู้ใช้ในอุปกรณ์ Head-Mounted Display (HMD) เพื่อแสดงผลให้ผู้ใช้มองเห็น



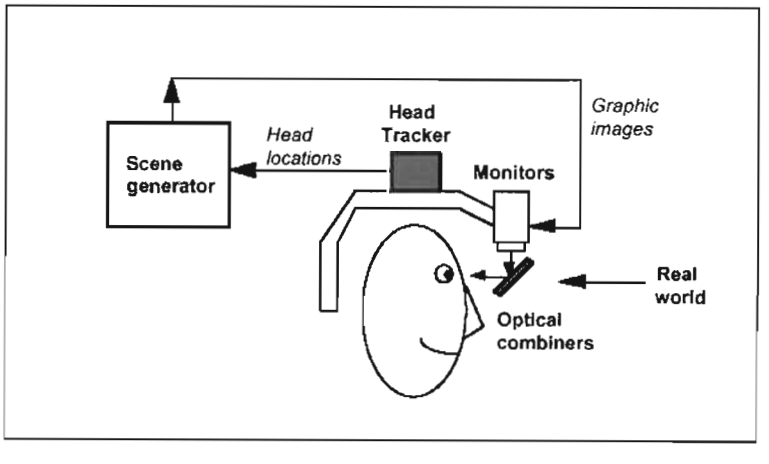
รูปที่ 2.1 แผนผังแสดงระบบความจริงเสริมแบบแสดงผลโดยการมองผ่านกล้องวีดีโอ [1]

- ความจริงเสริมแบบแสดงผลโดยจอภาพ (Monitor Based Augmented Reality) มีลักษณะการทำงานจะใช้กล้องวีดีโอทำหน้าที่รับภาพจริงเข้ามา โดยตำแหน่งของกล้องจะถูกส่งไปยังคอมพิวเตอร์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการสร้างภาพกราฟิก ภาพกราฟิกที่ได้จะถูกนำไปรวมกับภาพจริงที่ได้จากกล้องวีดีโอ แล้วผลที่ได้จะถูกนำไปแสดงผลยังหน้าจอ ซึ่งในกรณีที่ต้องการสร้างภาพในลักษณะสองตาโดยใช้กล้องสองตัว จะใช้การแสดงผลที่หน้าจอด้วยการสลับการแสดงผลของกล้องไปมา โดยผู้ใช้งานจะสวมแว่นสเตอริโอเพื่อใช้ในการบังตาทีละข้างให้สอดคล้องกับจังหวะการแสดงผลของภาพบนหน้าจอ



รูปที่ 2.2 แผนผังแสดงระบบความจริงเสริมแบบแสดงผลโดยจอภาพ [1]

- ความจริงเสริมแบบแสดงผลโดยการมองผ่านเลนส์ (Optical See-Through Augmented Reality Display) มีลักษณะการทำงานคือ Optical See-through HMD นี้จะมีอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่รวมแสงอยู่ด้านหน้าของตาผู้ใช้ โดยทำหน้าที่ลดแสงที่ผู้ใช้มองเห็นจากสภาพแวดล้อมจริงและสะท้อนแสงที่ได้มาจากจอภาพกราฟิกเข้าไปยังตาของผู้ใช้ ผลรวมของแสงทั้งสองจะทำให้เกิดการรวมภาพจริงและภาพเสมือน ส่วนมากอุปกรณ์นี้ทำการลดแสงจากสิ่งแวดล้อมจริง ดังนั้นในขณะที่ยังไม่ทำงานจะมีลักษณะเหมือนแว่นกันแดด



รูปที่ 2.3 แผนผังแสดงระบบความจริงเสริมแบบแสดงผลโดยการมองผ่านเลนส์ [1]

2.2 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

การประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งของวัตถุภายในภาพจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพของภาพที่ได้จากกล้องเพื่อความแม่นยำในการระบุตำแหน่งของวัตถุ ซึ่งใช้เทคนิค Camera Calibration และ Lens Distortion [3] ซึ่งจะช่วยลดปัญหาที่เกิดจากความโค้งงอและบิดเบี้ยวของภาพ จากนั้นจึงนำภาพที่ปรับปรุงแล้วไปทำการประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งของวัตถุภายในภาพอีกทีหนึ่ง

2.2.1 Camera Calibration และ Lens Distortion [2]

ในการทำงานที่ต้องมีการใช้กล้องเข้ามาช่วยในการประมวลผลทางภาพนั้น จำเป็นต้องสอบเทียบค่าพารามิเตอร์ของกล้อง (Camera Calibration) ทั้งภายใน (Intrinsic Parameter) และภายนอก (Extrinsic Parameter) ของกล้องก่อน เพราะว่าข้อมูลจากการติดตั้งกล้อง และเลนส์ที่ใช้นั้น อาจไม่เป็นค่าที่ถูกต้องแน่นอน ซึ่งสามารถทำให้ผลการทดลองผิดพลาดได้ โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการสอบเทียบกล้องจะมีด้วยกัน 2 ประเภท คือ

2.2.1.1 พารามิเตอร์ภายนอก คือ ค่า Rotation Matrix และ Translation Matrix ค่าพารามิเตอร์ภายนอกเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงพิกัดของวัตถุในโลก 3 มิติ (3D World Coordinate System) ให้เป็นค่าพิกัด 3 มิติของกล้อง (3D Camera Coordinate System) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.1)

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} + T \qquad (2.1)$$

โดย

x_c, y_c, z_c เป็นค่าพิกัด 3 มิติของกล้องในแนวแกน X,Y และ Z ตามลำดับ

x_w, y_w, z_w เป็นค่าพิกัด 3 มิติของวัตถุในโลก 3 มิติในแนวแกน X,Y และ Z ตามลำดับ

2.2.1.2 พารามิเตอร์ภายใน คือ ค่าพิกัดของ Principle Point (u,v), ค่า Scale Factor ในแนวแกน X และ Y (α และ β ตามลำดับ) และค่าการบิดของแกน X และแกน Y ค่าพารามิเตอร์ภายใน เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงจากพิกัด 3 มิติของกล้อง ให้เป็นค่าพิกัด 2 มิติของภาพ (2D Image Coordinate System) สามารถแสดงได้ดังสมการที่ (2.2)

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = A \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ 1 \end{bmatrix}, \; A = \begin{bmatrix} \alpha & c & u_0 \\ 0 & \beta & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \qquad (2.2)$$

โดย

A คือ Camera Intrinsic Matrix

u_0, v_0 คือ ค่าพิกัดของ Principle Point แนวแกน X และ Y

α, β คือ ค่า Scale Factor ในแนวแกน X และ Y

c คือ ค่าการบิดของแกน X และแกน Y

ดังนั้นจึงสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดของวัตถุในโลก 3 มิติ (3D World Coordinate System) และพิกัด 2 มิติของภาพ (2D Image Coordinate System, $\tilde{m}$) ได้ดังสมการที่ (2.3)

$$\tilde{m} = \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = A\begin{bmatrix} R & T \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \tag{2.3}$$

จากนั้นทำการหักล้างค่าความบิดเบือนที่เกิดจากเลนส์ (Lens Distortion) จากการประมาณค่า Coefficients of the Radial Distortion (k_1, k_2) จากสมการที่ (2.4)

$$\begin{bmatrix} (u-u_0)(x^2+y^2) & (u-u_0)(x^2+y^2)^2 \\ (v-v_0)(x^2+y^2) & (v-v_0)(x^2+y^2)^2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} k_1 \\ k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \breve{u}-u \\ \breve{v}-v \end{bmatrix} \tag{2.4}$$

โดย

(u, v) คือ Ideal Pixel Image Coordinates

$(\breve{u}, \breve{v})$ คือ Corresponding Real Observed Image Coordinates

(x, y) คือ Ideal Normalized Image Coordinates

นำค่า k_1 และ k_2 ที่ได้จากสมการที่ (2.4) นำไปประมาณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากวิธีการ Minimization ดังสมการที่ (2.5)

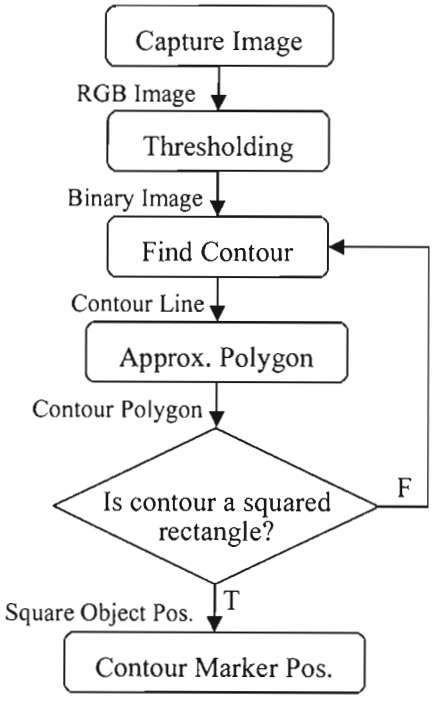
$$\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}\left\| m_{ij} - \hat{m}(A, R_i, t_i, M_j) \right\|^2 \tag{2.5}$$

จากนั้นนำค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่หาได้จากสมการที่ (2.5) นำไปคำนวณหาค่า Coefficients of the Radial Distortion (k_1, k_2) ในสมการที่ (2.4) ทำไปเรื่อยจนการทั่งค่าที่คำนวณได้ไม่เปลี่ยนแปลง

2.2.2 การหาตำแหน่งของวัตถุภายในภาพ

ในการหาตำแหน่งของวัตถุภายในภาพจะอาศัยหลักการในการหาตำแหน่งของมาร์กเกอร์ที่กำหนดไว้ภายในภาพ โดยมาร์กเกอร์ที่ใช้จะมีเป็นลักษณะกรอบสี่เหลี่ยมจัตุรัสซึ่งจะเป็นรูปทรงที่สามารถประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งได้ง่าย และภายในกรอบของมาร์กเกอร์นั้นจะมีสัญลักษณ์เพื่อระบุชนิดและการหมุนของมาร์กเกอร์โดยในงานวิจัยนี้จะใช้สีสองสีแทนสัญลักษณ์ภายในมาร์กเกอร์นั้น

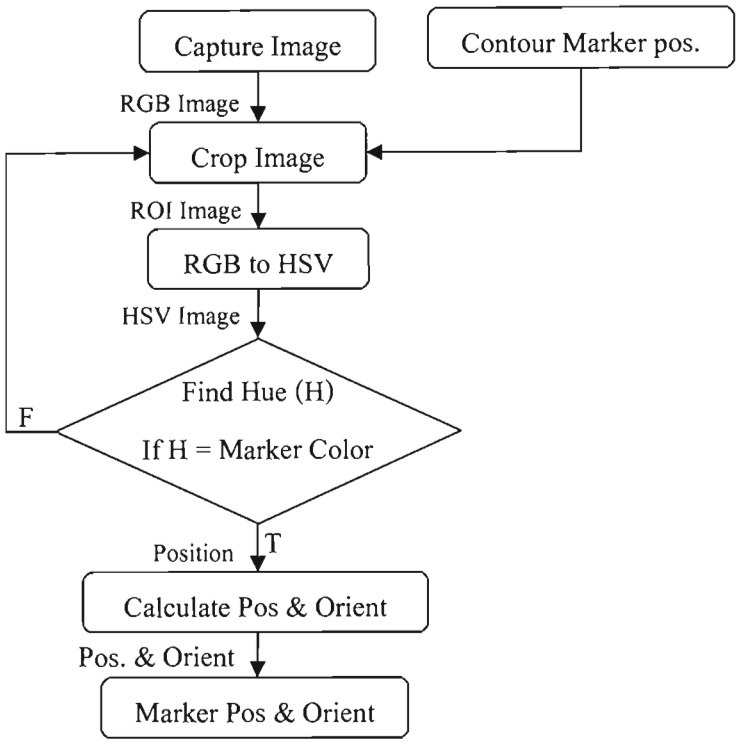
2.2.2.1 การหารูปสี่เหลี่ยมภายในภาพ (Rectangle Extraction) การหารูปสี่เหลี่ยมภายในภาพจะอาศัยการหาจากรูปทรงของวัตถุซึ่งไม่สนใจสีของวัตถุนั้น โดยมีหลักการทำงานดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ไดอะแกรมแสดงการหาตำแหน่งของรูปสี่เหลี่ยมภายในภาพ

จากรูปไดอะแกรมเมื่อทำการรับภาพจากกล้องวีดีโอมาแล้วจะนำภาพที่ได้นั้นมาทำการตัดค่าสีในช่วงที่สนใจ (Thresholding) และนำภาพที่ได้มาทำการหาขอบของวัตถุภายในภาพ จากนั้นจะนำขอบของวัตถุทีละชิ้นมาทำการประมาณค่าเพื่อปรับให้ขอบของวัตถุที่ได้มีลักษณะเป็นรูปโพลีกอน แล้วจึงทำการตรวจสอบภาพโพลีกอนของวัตถุนั้นว่ามีขนาดของด้านทั้งสี่เท่ากันหรือไม่ ถ้าเท่ากันแสดงว่าวัตถุนั้นคือวัตถุรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส แต่หากไม่เท่ากันจะทำการตรวจสอบวัตถุชิ้นต่อไปภายในภาพนั้นจนกว่าจะครบทั้งภาพ

2.2.2.2 การหาตำแหน่งของสีภายในภาพ เมื่อทราบตำแหน่งของมาร์กเกอร์จากกระบวนการข้างต้นแล้ว จะทำการหาค่าสีที่อยู่ภายในตำแหน่งของมาร์กเกอร์นั้นเพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งและทิศทางการหมุนของมาร์กเกอร์ โดยมีหลักการทำงานดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ไดอะแกรมแสดงการหาตำแหน่งของสีภายในภาพ

จากรูปไดอะแกรมเมื่อทำการรับภาพมาจากกล้องวีดีโอมาแล้วจะนำภาพที่ได้มาตัดให้เหลือเฉพาะส่วนที่เป็นมาร์กเกอร์โดยอาศัยการอ้างอิงตำแหน่งของมาร์กเกอร์จากกระบวนการหาตำแหน่งของรูปสี่เหลี่ยมภายในภาพตามวิธีการในหัวข้อ 2.2.2.1 จากนั้นจะนำภาพที่ตัดแล้วมาทำการแปลงจากโมเดลสี RGB ให้เป็น HSV แล้วทำการหาค่าสีภายในภาพนั้นว่าตรงกับค่าสีของมาร์กเกอร์หรือไม่ ถ้าไม่ตรงก็จะกลับไปยังกระบวนการตัดภาพของมาร์กเกอร์ใหม่ แต่หากตรงจะนำภาพที่ได้ไปทำการหาค่าตำแหน่งและมุมในการหมุนของภาพอีกที

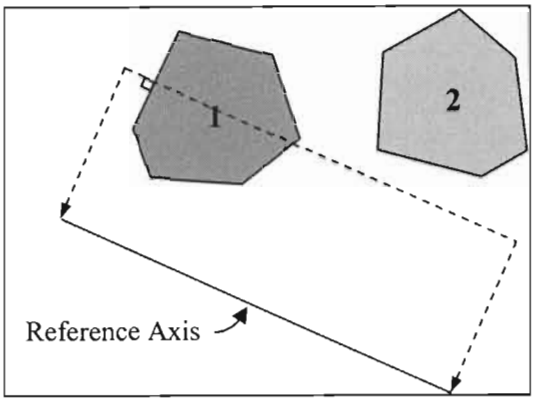
2.3 การตรวจสอบการชนของกราฟิก 2 มิติ (2D Graphic Collision Detection)

ในการหาผลลัพธ์ของเซ็นเซอร์เสมือนสำหรับการวัดระยะห่างของวัตถุเสมือน จะใช้หลักการตรวจสอบการชนของวัตถุเสมือนกับเซ็นเซอร์เสมือนด้วยวิธี Separating Axis Theorem [3] แล้วทำการหาระยะห่างของวัตถุเสมือนว่ามีระยะห่างจากจุดกำเนิดของเซ็นเซอร์เสมือนเป็นระยะทางเท่าใด โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 การตรวจสอบการชนด้วยวิธี Separating Axis Theorem [3]

การทำงานของวิธี Separating Axis Theorem [3] นี้จะใช้หลักการตรวจจับการชนโดยการเปรียบเทียบการทับซ้อนของภาพฉายในแต่ละด้านของวัตถุทั้งสองชิ้น โดยมีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

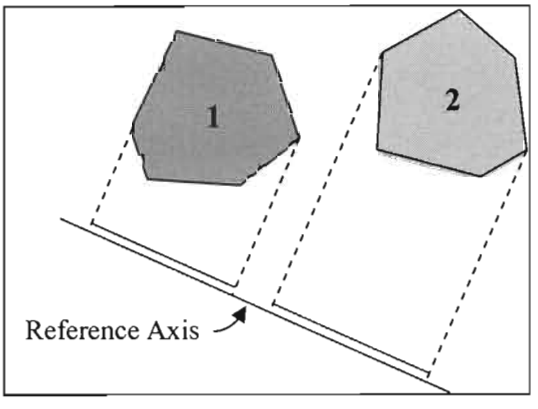
- กำหนดแกนอ้างอิงซึ่งตั้งฉากกับด้านใดด้านหนึ่งของวัตถุชิ้นที่ 1 แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการกำหนดแกนอ้างอิงในการตรวจสอบการชน

ด้วยวิธี Separating Axis Theorem

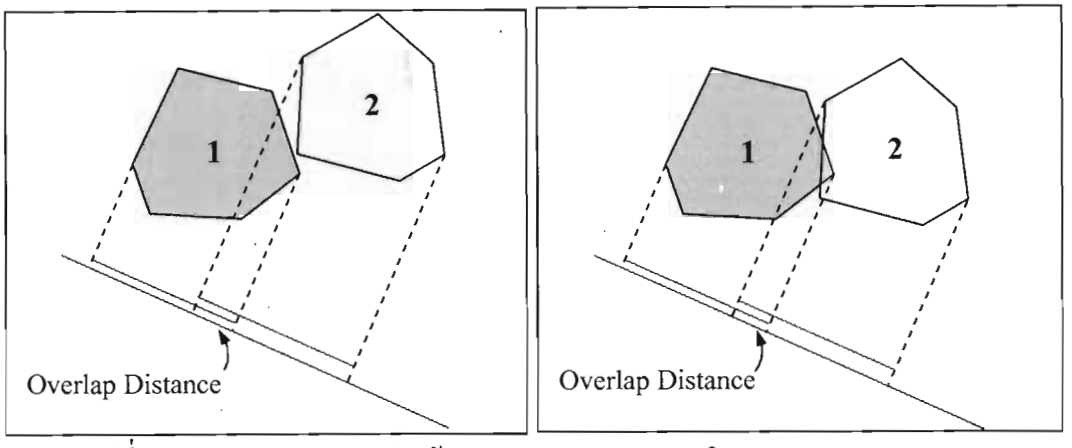
- ทำการฉายวัตถุชิ้นที่สองลงบนแกนอ้างอิงนั้นโดยเปรียบเทียบกับภาพฉายของวัตถุชิ้นที่ 1 แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงการฉายวัตถุลงบนแกนอ้างอิงในการตรวจสอบการชน

ด้วยวิธี Separating Axis Theorem

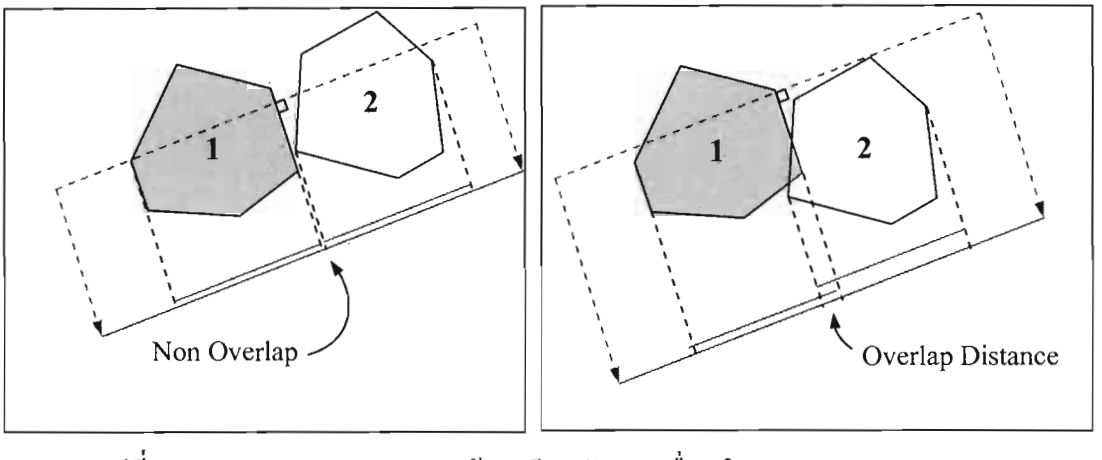
- ถ้าภาพฉายของวัตถุทั้งสองมีการซ้อนทับกันด้านใดด้านหนึ่งแสดงว่าวัตถุทั้งสองมีโอกาสเกิดการชนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นรูปแบบของวัตถุที่ภาพฉายเกิดการทับซ้อนกัน ในขณะที่ภาพด้านซ้ายวัตถุไม่ได้ทับซ้อนกันและในภาพด้านขวาวัตถุเกิดการทับซ้อนกัน



รูปที่ 2.8 แสดงรูปแบบการทับซ้อนกันของภาพฉายวัตถุในการตรวจสอบการชน

ด้วยวิธี Separating Axis Theorem

- ตรวจสอบการซ้อนทับกันให้ครบทุกด้านของวัตถุชิ้นที่ 1 โดยการเปลี่ยนแกนอ้างอิงให้ตั้งฉากกับด้านที่เหลือ แล้วทำตามขั้นตอนขั้นต้นจนครบทุกด้าน ถ้าหากเกิดการทับซ้อนกันครบทุกด้าน แสดงว่าวัตถุทั้งสองเกิดการชนกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.9 รูปด้านซ้ายแสดงให้เห็นว่าเมื่อวัตถุไม่ได้เกิดการทับซ้อนกันจะมีภาพฉายของแกนใดแกนหนึ่งเป็นอย่างน้อยที่ไม่ทับซ้อนกัน ในขณะภาพด้านขวาหากวัตถุทับซ้อนกันจริงภาพฉายในทุกๆด้านก็จะซ้อนทับกันหมด



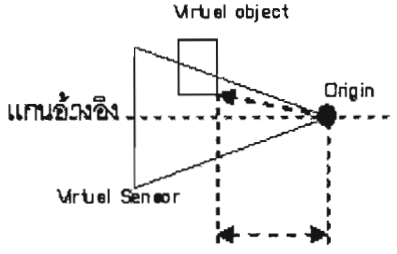
รูปที่ 2.9 แสดงตรวจสอบการทับซ้อนเทียบกับแกนอื่นๆในการตรวจสอบการชน

ด้วยวิธี Separating Axis Theorem

2.3.2 การหาระยะห่างของวัตถุที่เกิดการชนกัน

เมื่อสามารถตรวจจับได้ว่าวัตถุเสมือนเกิดการชนกับเซ็นเซอร์เสมือน สิ่งที่จำเป็นต้องรู้เพื่อเป็นข้อมูลให้กับการทำงานของหุ่นยนต์คือ ระยะห่างระหว่างจุดกำเนิดของเซ็นเซอร์กับวัตถุที่ชนเข้ามาในเซ็นเซอร์ โดยหาได้จากการหาเวกเตอร์จากจุดกำเนิดของเซ็นเซอร์เสมือนไปยังแต่ละมุมของวัตถุที่ชนเข้ามา แล้วทำการฉายเวกเตอร์นั้นลงบนแกนอ้างอิงด้วยวิธี Dot Product โดยแกนอ้างอิงกำหนดให้เป็นเวกเตอร์จากจุดกำเนิดของเซ็นเซอร์ไปยังจุดกึ่งกลางของตำแหน่งปลายสุดของเซ็นเซอร์เสมือน

จากนั้นจึงนำขนาดของภาพที่ฉายลงไปในแต่ละมุมมาหาระยะทางที่สั้นที่สุด ซึ่งนั่นก็คือระยะที่วัตถุเข้ามาชนในเซ็นเซอร์เสมือน ซึ่งขนาดของภาพที่ฉายลงไปคำนวณได้จากระยะห่างจากจุดกำเนิดของเซ็นเซอร์ถึงมุมของวัตถุเสมือนตามแกนอ้างอิง ดังแสดงในรูปที่ 2.10



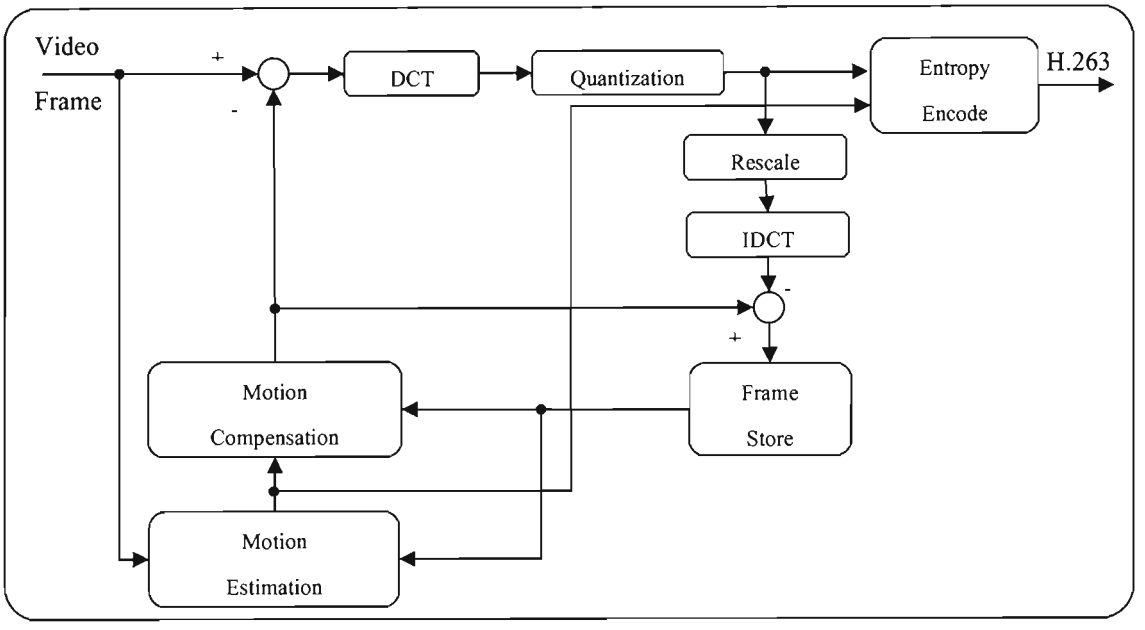
รูปที่ 2.10 แสดงการหาระยะห่างของวัตถุที่เกิดการชนกัน

2.4 ระบบการปรากฏทางไกล (Telepresence)

ระบบการปรากฏทางไกลเป็นระบบที่ช่วยในการสื่อสารข้อมูลระหว่างผู้ใช้งานกับผู้ใช้งานหรืออุปกรณ์ต่างๆ ที่อยู่ห่างไกลกัน ให้สามารถสื่อสารหรือใช้งานอุปกรณ์เหล่านั้นได้สะดวกและให้ความรู้สึกเสมือนอยู่ในพื้นที่เดียวกัน โดยสิ่งสำคัญของระบบการปรากฏทางไกลนั้นคือ การรับรู้ในการมองเห็น (Sense of Vision) ซึ่งในการสื่อสารข้อมูลระยะไกลการส่งข้อมูลภาพซึ่งมีขนาดใหญ่จะทำให้การสื่อสารข้อมูลทำได้ช้าและทำให้เกิดปัญหาในการสื่อสารข้อมูล ดังนั้นจึงจำเป็นต้องลดขนาดของข้อมูลภาพเพื่อให้มีขนาดเล็กลงโดยการเข้ารหัสภาพวีดีโอจากฝั่งผู้ส่งและมีการถอดรหัสภาพวีดีโอเมื่อได้รับข้อมูลภาพแล้ว

2.4.1 การเข้ารหัสภาพวีดีโอ

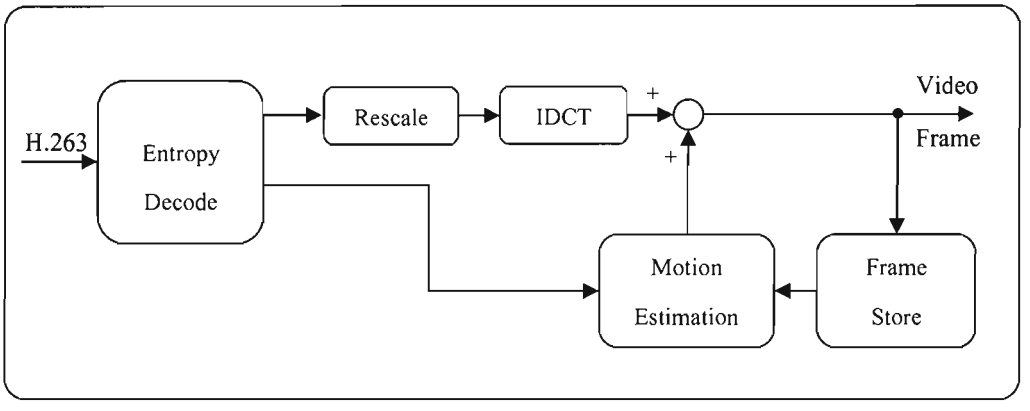
การเข้ารหัสภาพวีดีโอจะทำให้ข้อมูลภาพวีดีโอที่จะทำการส่งส่งมีขนาดเล็กลงเพื่อความรวดเร็วในการส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย โดยการเข้ารหัสจะใช้การเข้ารหัสภาพตามมาตรฐาน H.263 ของ International Telecommunication Union [4] (ITU) ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้สำหรับการบีบอัดข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับระบบเครือข่ายที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลต่ำ โดยมีการทำงานดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงการทำงานของการเข้ารหัสภาพด้วย H.263 [4]

2.4.2 การถอดรหัสภาพวีดีโอ

การถอดรหัสภาพวีดีโอจะเป็นการนำข้อมูลภาพที่ได้รับมาจากเครื่องแม่ข่ายซึ่งทำการเข้ารหัสมาแล้วมาแปลงข้อมูลกลับมาเป็นภาพวีดีโออีกครั้งเพื่อแสดงผลให้กับผู้ใช้งานในฝั่งเครื่องลูกข่าย โดยการถอดรหัสตามมาตรฐาน H.263 มีการทำงานดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของการถอดรหัสภาพด้วย H.263 [4]

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่องระบบความจริงเสริมสำหรับการปรากฏทางไกลเพื่อการเรียนรู้นี้เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่สำคัญ 3 ด้านคือ ระบบการปรากฏทางไกล ระบบความจริงเสริม และการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานสำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ โดยระบบความจริงเสริมสำหรับการปรากฏทางไกลเพื่อการเรียนรู้มุ่งเน้นการสร้างต้นแบบในการใช้ทรัพยากรการเรียนรู้ร่วมกันผ่านระบบเครือข่าย ระบบการ

ปรากฏทางไกลที่ดีจึงเป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานเครื่องมือหรืออุปกรณ์การเรียนรู้ระยะไกลได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบการปรากฏทางไกลที่นับว่าเป็นแบบอย่างในการใช้เครื่องมือหรืออุปกรณ์ร่วมกันผ่านระบบเครือข่ายที่น่าสนใจคือ งานวิจัยเรื่อง A Tele-Robotic Garden on the World Wide Web [5] ซึ่งเป็นงานวิจัยในเรื่องของการควบคุมหุ่นยนต์ผ่านระบบเครือข่ายเพื่อใช้ในการปลูกต้นไม้ โดยผู้ที่เข้ามาใช้งานระบบสามารถที่จะปลูกและดูแลรักษาต้นไม้ได้ด้วยตนเองผ่านระบบเครือข่าย

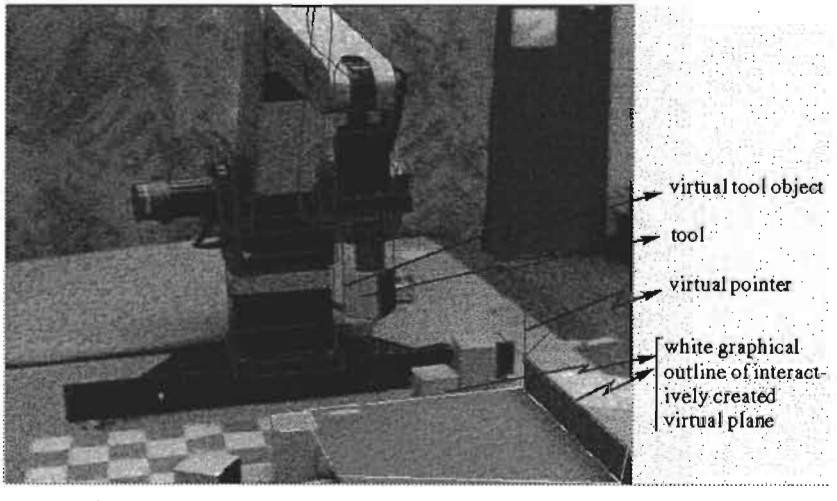
รูปที่ 2.13 แสดงระบบ Tele-Robotic Garden on the World Wide Web [5]

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยเรื่อง Collaborative Teleoperation via the Internet [6] ซึ่งเป็นการควบคุมอุปกรณ์ระยะไกลที่มีผู้ใช้งานหลายคนในการควบคุมอุปกรณ์ชิ้นเดียวกัน โดยจะใช้แขนกลเป็นอุปกรณ์สำหรับควบคุม ซึ่งอาศัยผลรวมเวกเตอร์ในการควบคุมของผู้ใช้งานแต่ละคนในการกำหนดตำแหน่งในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

รูปที่ 2.14 หน้าต่างในการทำงานของ Collaborative Teleoperation via the Internet [6]

นอกเหนือจากระบบการปรากฏทางไกลแล้วงานวิจัยที่สำคัญอีกส่วนคือ ระบบความจริงเสริม ซึ่งจะใช้ในการเพิ่มเติมข้อมูลกราฟิกต่างๆ เพื่อช่วยเสริมความเข้าใจให้แก่ผู้ใช้งาน โดยงานวิจัยที่ใช้ระบบความจริงเสริมร่วมกับการปรากฏทางไกลที่น่าสนใจได้แก่

งานวิจัยเรื่อง Design of an Interface for Teleoperation in Unstructured Environments using Augmented Reality Displays [7] ซึ่งเป็นการควบคุมหุ่นยนต์ระยะไกลเพื่อหยิบจับวัตถุรูปทรงเรขาคณิต โดยจะเน้นในเรื่องประสิทธิภาพในการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface, UI) โดยจะประกอบด้วยการแสดงผลของภาพวีดีโอในลักษณะ 3 มิติ (3 Dimensional, 3D) แบบ Stereoscopic video display เพื่อใช้ในการแสดงผล และระบบความจริงเสริมเพื่อบอกตำแหน่งของวัตถุ และจำลองการทำงานของหุ่นยนต์ซ้อนทับบนภาพจริงเพื่อลดปัญหาการส่งข้อมูลภาพล่าช้า



รูปที่ 2.15 ระบบควบคุมหุ่นยนต์ระยะไกลด้วยความจริงเสริม [7]

งานวิจัยเรื่อง Moving eye – Interactive Telepresence Over Internet with a Ball Shaped Mobile Robot [8] ซึ่งการควบคุมหุ่นยนต์ทรงกลมผ่านอินเตอร์เน็ท โดยใช้เซ็นเซอร์และกล้องวีดีโอที่ติดอยู่ตามสถานที่ต่างๆในการส่งข้อมูลมายังผู้ควบคุมให้สามารถควบคุมหุ่นยนต์ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งรูปแบบการควบคุมจะเป็นแบบ Open-loop เนื่องจากระบบอินเตอร์เน็ทมีความเร็วไม่แน่นอน แต่จะใช้คอมพิวเตอร์กราฟิก (Computer Graphics, CG) ในลักษณะของระบบความจริงเสริม ในการเดาและจำลองเหตุการณ์ล่วงหน้าเพื่อลดปัญหาการส่งข้อมูลล่าช้า โดยในการแสดงผลยังสามารถแสดงข้อมูลรายละเอียดของสิ่งต่างๆที่อยู่ในภาพได้อีกด้วย

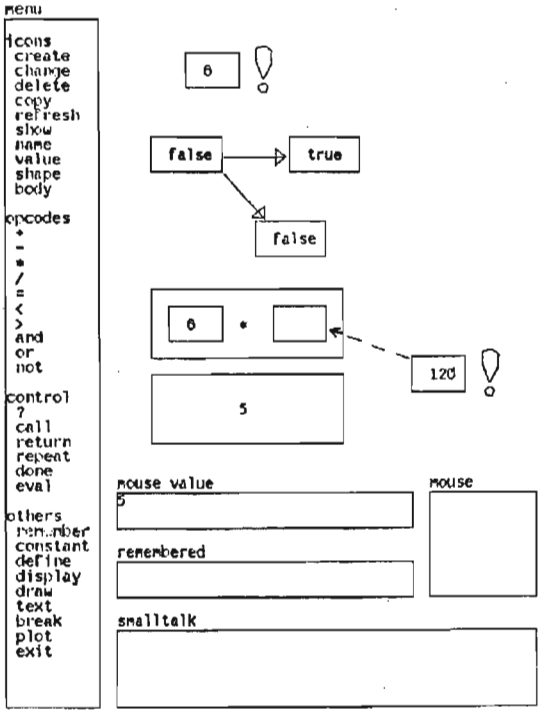
รูปที่ 2.16 การควบคุมหุ่นยนต์ทรงกลมร่วมกับระบบความจริงเสริม [8]

งานวิจัยเรื่องActive Virtual Guides as an Apparatus for Augmented Reality Based Telemanipulation System on the Internet [9] เป็นการใช้ระบบความจริงเสริมช่วยในการบอกตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการควบคุม โดยเสนอการนำกราฟิกเสริมในรูปแบบตอบสนองได้ (Active Virtual Guides) มาช่วยในการบอกตำแหน่งวัตถุ ซึ่งจากผลการทดลอง โดยให้ผู้ใช้ควบคุมหุ่นยนต์เพื่อชี้ไปยังวัตถุที่ตำแหน่งต่างๆ พบว่า การใช้กราฟิกเสริมในรูปแบบตอบสนองได้ จะทำให้ผู้ใช้สามารถตัดสินใจได้เร็วขึ้นและมีความแม่นยำสูงขึ้นด้วย

รูปที่ 2.17 แสดงระบบควบคุมอุปกรณ์ระยะไกลด้วย Active Virtual Guides [9]

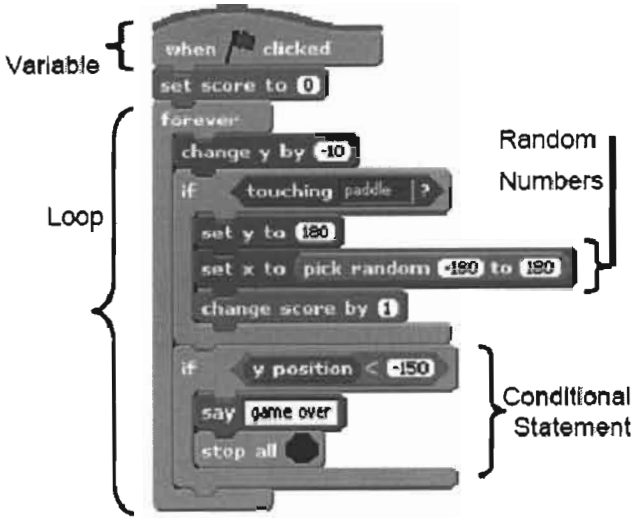
นอกจากงานวิจัยที่สำคัญในสองส่วนที่กล่าวมา งานวิจัยในส่วนที่สำคัญส่วนสุดท้ายคือ การเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานสำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ ซึ่งเป็นส่วนที่ปฏิสัมพันธ์กับผู้ใช้โดยตรง ซึ่งหากโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์สามารถใช้งานและเข้าใจได้ง่ายจะช่วยให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และเข้าใจหลักการในการเขียนโปรแกรมได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งในอดีตที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาระบบการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานในการเขียนโปรแกรมมาโดยตลอด โดยรูปแบบหนึ่งของภาษาโปรแกรมที่น่าสนใจคือ Visual Programming Language (VPL) ซึ่งเป็นภาษาโปรแกรมที่ใช้รูปภาพแทนการเขียนด้วย

ตัวหนังสือ โดยเป็นการผสมผสานความรู้ในเรื่องของคอมพิวเตอร์กราฟิก โปรแกรมภาษา และการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานเข้าด้วยกัน งานวิจัยในยุคแรกๆที่นับเป็นจุดเริ่มต้นของ VPL นั้นคือ งานวิจัยเรื่อง PYGMALION: A Creative Programming Environment [10] ของ David Canfield Smith เผยแพร่ในปี คศ. 1975 ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนารูปแบบของโปรแกรมภาษาให้เป็นแบบกราฟิกในลักษณะไอคอนแทนการเขียนโปรแกรมด้วยรูปแบบภาษา ดังแสดงในรูปที่ 2.18

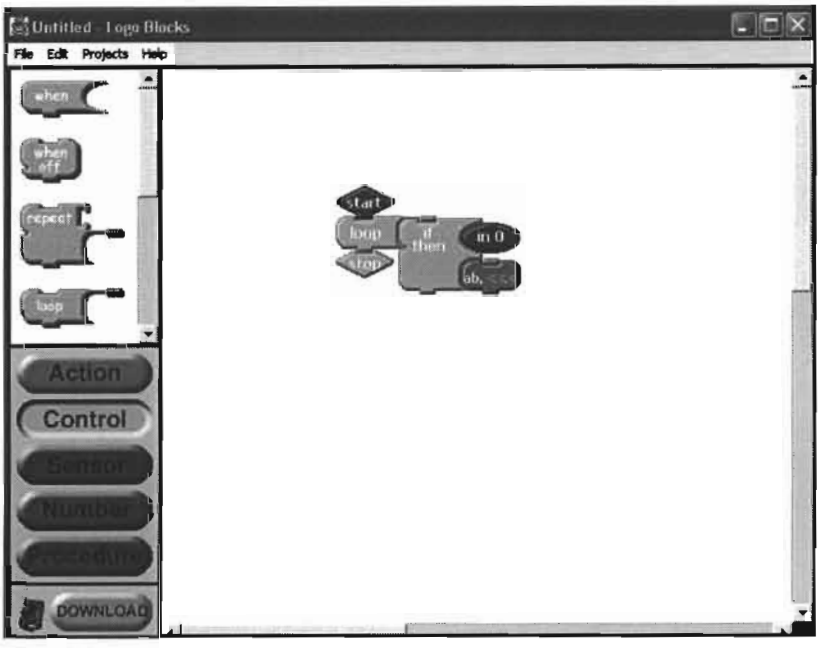


รูปที่ 2.18 แสดงรูปแบบการทำงานของโปรแกรม PYGMALION [10]

หลังจากงานวิจัยนี้รูปแบบของโปรแกรมภาษาแบบกราฟิกก็มีการพัฒนาออกมาหลากหลายรูปแบบตามแต่วัตถุประสงค์ในการนำไปใช้งาน โดยโปรแกรมภาษาแบบกราฟิกที่พัฒนาขึ้นเพื่อนำมาใช้ในการเรียนรู้จะเน้นรูปแบบของโปรแกรมที่มีลักษณะใกล้เคียงกับโครงสร้างโปรแกรมภาษาทั่วไปที่เป็นตัวหนังสือ ซึ่งจะช่วยให้ผู้ที่เริ่มศึกษาด้วยภาษาโปรแกรมแบบกราฟิกสามารถนำความรู้ที่ได้ไปใช้ในการพัฒนาโปรแกรมภาษาทั่วไปได้ โดยตัวอย่างโปรแกรมภาษาแบบกราฟิกสำหรับการเรียนรู้ ได้แก่ โลโก้บล็อก (Logo Blocks) สแคลช (Scratch) ซึ่งมีรูปแบบการเขียนโปรแกรมใกล้เคียงกับการเขียนโฟลว์ชาร์ตของโปรแกรมภาษาทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 2.19 และ 2.20



รูปที่ 2.19 แสดงรูปแบบโครงสร้างภาษาของโปรแกรมสแคลช (Scratch)



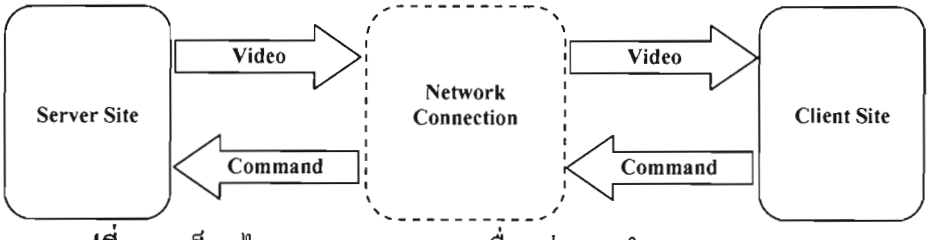
รูปที่ 2.20 แสดงโปรแกรมและโครงสร้างภาษาของโปรแกรมโลโก้บล็อก (Logo Blocks)

จากแนวคิดและงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นถึงแนวทางในงานวิจัยซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้กับงานวิจัยนี้ทั้งในเรื่องของการปรากฏทางไกล การประยุกต์ใช้ระบบความจริงเสริม และการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานในส่วนของการเขียนโปรแกรม ซึ่งจากแนวคิดและทฤษฎีที่กล่าวมาแล้วจะนำมาใช้ในการออกแบบระบบความจริงเสริมสำหรับการปรากฏทางไกลเพื่อการเรียนรู้ดังจะกล่าวถึงในส่วนถัดไป

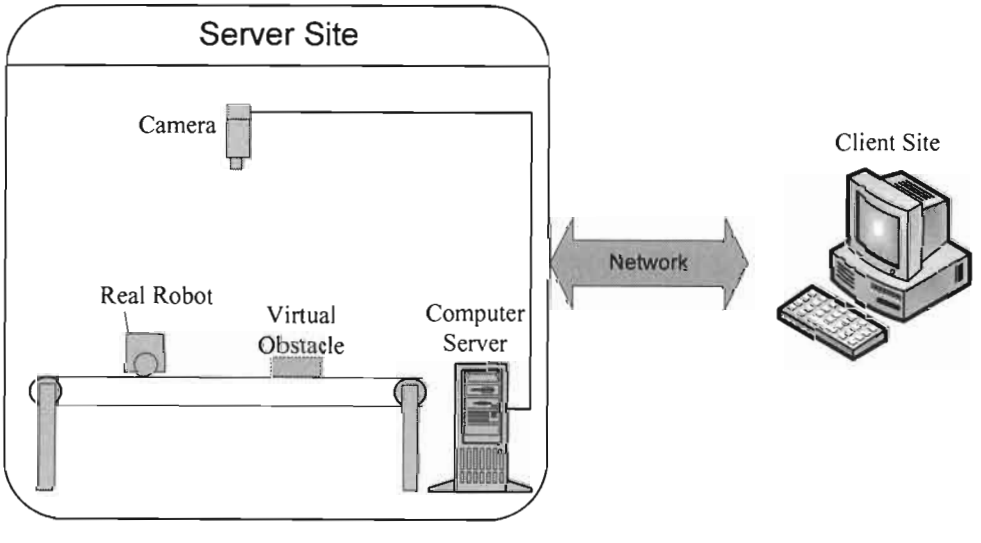
บทที่ 3 การออกแบบระบบและการทำงาน

3.1 ภาพรวมการทำงานของระบบ

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบระบบเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการเรียนรู้ในเรื่องการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ โดยผู้ใช้งานสามารถเขียนโปรแกรมจากฝั่งของผู้ใช้งานแล้วส่งข้อมูลโปรแกรมนั้นผ่านระบบเครือข่ายเพื่อนำไปทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์ที่ฝั่งของเครื่องแม่ข่าย ซึ่งผู้ใช้สามารถเพิ่มเติมอุปกรณ์ตรวจวัดเสมือนซึ่งเป็นภาพกราฟิกลงบนหุ่นยนต์ และสามารถกำหนดชนิดและตำแหน่งของสิ่งกีดขวางเสมือนลงบนสนามได้ โดยการทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์จะแสดงกลับมายังผู้ใช้ในรูปแบบของภาพวีดีโอแสดงการทำงาน งานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักได้แก่ ส่วนของฝั่งเครื่องแม่ข่าย ส่วนของฝั่งผู้ใช้งาน และส่วนของการเชื่อมต่อเครือข่าย โดยทั้งสามส่วนมีการเชื่อมต่อกันดังแสดงในรูปที่ 3.1 ภาพรวมการทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 3.2



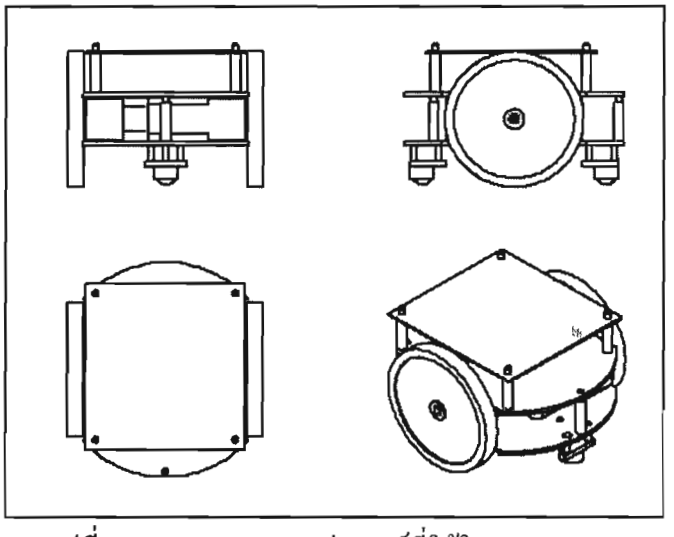
รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่อการทำงานของระบบ



รูปที่ 3.2 แสดงภาพรวมของระบบความจริงเสริมสำหรับการปรากฏทางไกลเพื่อการเรียนรู้

3.2 การออกแบบระบบในส่วนทางกล

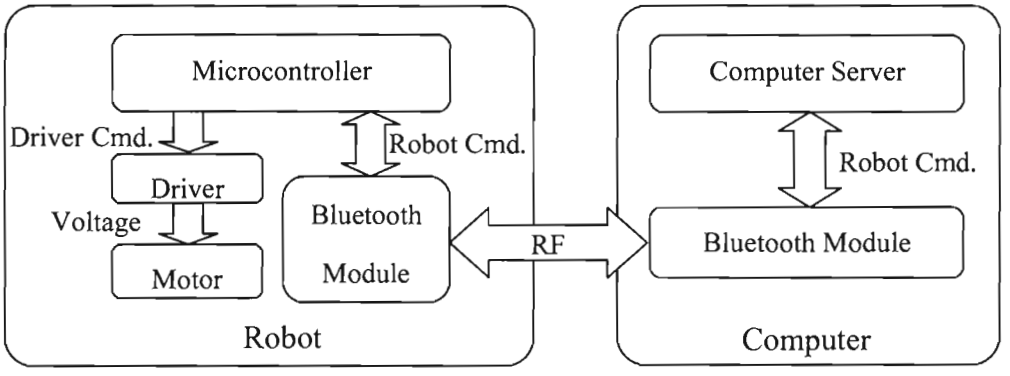
หุ่นยนต์ที่ใช้สำหรับการทดสอบการทำงานของโปรแกรมได้ออกแบบให้มีขนาดเล็กซึ่งจะทำให้ลดพื้นที่ในการทดสอบการทำงาน และต้องมีการเคลื่อนที่ที่สามารถควบคุมได้ง่ายเพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถศึกษาและเข้าใจการทำงานของโปรแกรมและหุ่นยนต์ได้โดยไม่ยากนัก ด้วยข้อจำกัดข้างต้นจึงได้ออกแบบให้หุ่นยนต์มีขนาดกว้าง 11 ซม. ยาว 11 ซม. สูง 10 ซม. และควบคุมการเคลื่อนที่ด้วยล้อเพียงสองล้อในแบบดิฟเฟอร์เรนเชียลติดตั้งอยู่กลางหุ่นยนต์และติดตั้งล้อพยุงที่ด้านหน้าและหลังของหุ่นยนต์ โดยให้จุดหมุนอยู่ที่กึ่งกลางของตัวหุ่นยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงแบบของหุ่นยนต์ที่ใช้ในการทดลอง

3.3 การออกแบบระบบในส่วนทางอิเล็กทรอนิกส์

ในส่วนของภาคอิเล็กทรอนิกส์จะเป็นส่วนสำหรับเชื่อมต่อและควบคุมหุ่นยนต์แบบเคลื่อนที่ ซึ่งส่วนประกอบและการเชื่อมต่อการทำงานของหุ่นยนต์สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4 โดยส่วนประมวลผลจะใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 โดยไมโครคอนโทรลเลอร์นี้จะเชื่อมต่อกับฝั่งของคอมพิวเตอร์ผ่านโมดูลของบลูทูธ โดยคอมพิวเตอร์จะทำการส่งคำสั่งสำหรับควบคุมหุ่นยนต์ผ่านบลูทูธมายังไมโครคอนโทรลเลอร์จากนั้นไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำการสั่งให้บอร์ดขับมอเตอร์ (Motor Drive Board) ทำการจ่ายไฟให้กับมอเตอร์อีกทีหนึ่ง โดยบอร์ดขับมอเตอร์ของหุ่นยนต์นี้ใช้ไอซี ULN2003 เป็นตัวขับกระแสไฟฟ้า



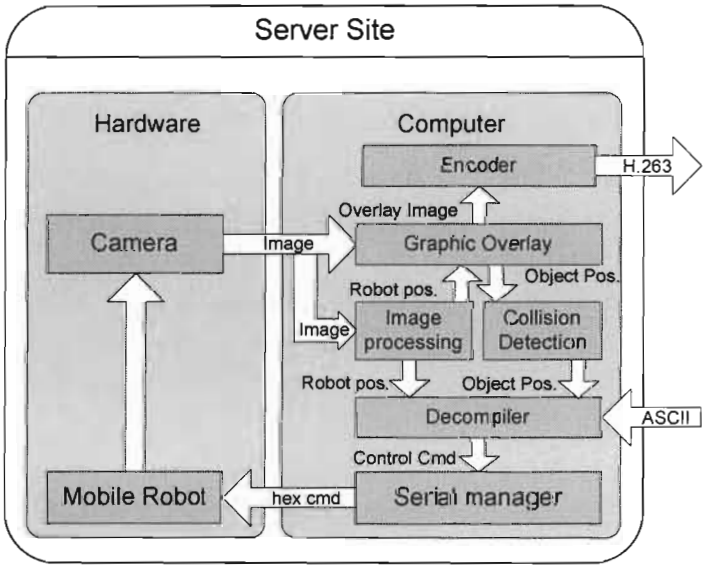
รูปที่ 3.4 บล็อกไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์

3.4 การออกแบบระบบในส่วนโปรแกรม

ในส่วนการออกแบบโปรแกรมสามารถแบ่งการออกแบบได้เป็น 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนของฝั่งเครื่องแม่ข่าย ส่วนของฝั่งผู้ใช้งาน และส่วนของการเชื่อมต่อเครือข่าย

3.4.1 การออกแบบโปรแกรมและการทำงานในส่วนแม่ข่าย (Server Site)

ส่วนของฝั่งเครื่องแม่ข่ายจะประกอบด้วย หุ่นยนต์ กล้องวีดีโอ และคอมพิวเตอร์ โดยหุ่นยนต์จะใช้สำหรับทดสอบการทำงานของโปรแกรมที่ผู้ใช้เขียนขึ้น ซึ่งที่ด้านบนของตัวหุ่นยนต์จะติดแถบสีไว้เพื่อใช้ในการหาตำแหน่งของหุ่นยนต์โดยวิธีการประมวลผลภาพด้วยกล้องวีดีโอซึ่งติดตั้งอยู่ที่ด้านบนของสนามสำหรับทดสอบหุ่นยนต์ และใช้คอมพิวเตอร์เป็นส่วนประมวลผลการทำงานทั้งหมด ทั้งในส่วนการประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งของหุ่นยนต์ การเพิ่มวัตถุเสมือนลงบนภาพ การตรวจสอบการชนของวัตถุเสมือน การควบคุมหุ่นยนต์ รวมทั้งการรับข้อมูลคำสั่งของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์จากฝั่งผู้ใช้งานและการส่งข้อมูลภาพไปยังฝั่งของผู้ใช้งาน การทำงานในส่วนแม่ข่ายนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5



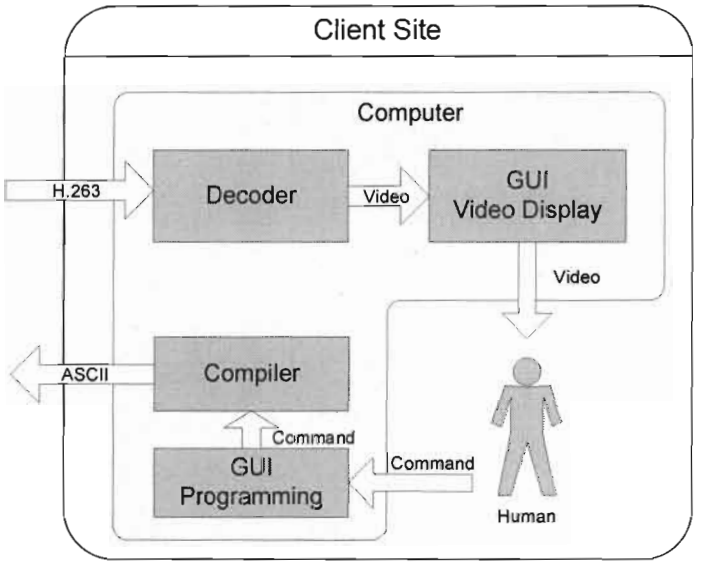
รูปที่ 3.5 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานในส่วนของฝั่งเครื่องแม่ข่าย

จากรูปแสดงให้เห็นการทำงานของระบบในส่วนแม่ข่าย โดยจะเริ่มการทำงานเมื่อผู้ใช้สั่งให้โปรแกรมในส่วนนี้เริ่มทำการรับ-ส่งข้อมูล ซึ่งระบบจะเริ่มทำงานจากการรับข้อมูลภาพของหุ่นยนต์เข้ามาที่กล้องวีดีโอแล้วนำข้อมูลนั้นมาทำการประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งของหุ่นยนต์ภายในภาพ โดยในส่วนการประมวลผลภาพนี้ในส่วนผู้ใช้จะต้องทำการปรับพารามิเตอร์เพื่อให้โปรแกรมตรวจจับวัตถุได้ถูกต้องแม่นยำและข้อมูลตำแหน่งที่ตรวจจับได้นี้จะถูกนำไปใช้เป็นข้อมูลในการสร้างกราฟิกของเซ็นเซอร์เสมือนซ้อนทับลงบนตัวหุ่นยนต์พร้อมกับการสร้างสิ่งกีดขวางเสมือนอื่นๆ จากนั้นภาพวีดีโอที่ถูกซ้อนทับด้วยข้อมูลกราฟิกแล้วจะถูกส่งต่อไปยังกระบวนการบีบอัดข้อมูลเพื่อเตรียมพร้อมในการส่งข้อมูลภาพไปยังฝั่งของผู้ใช้งานต่อไป นอกจากนี้ข้อมูลกราฟิกที่ซ้อนทับลงบนภาพจะถูกส่งไปยังส่วนของการตรวจสอบการชนเพื่อใช้ข้อมูลเหล่านี้ในการจำลองการทำงานของเซ็นเซอร์เสมือนแล้วนำไปรวมกับข้อมูลโปรแกรมที่ได้รับจากฝั่งผู้ใช้งานเพื่อนำไปควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ตามคำสั่งของโปรแกรมที่เขียนขึ้นโดยผู้ใช้งาน ซึ่งรายละเอียดการทำงานในแต่ละส่วนที่สำคัญ มีดังนี้

- การประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งและทิศทางการหมุนของหุ่นยนต์จากข้อมูลที่ได้จากภาพโดยใช้การหาตำแหน่งของสีของมาร์กเกอร์ที่ติดอยู่บนตัวหุ่นยนต์ โดยอัลกอริทึ่มที่ใช้ในการหาตำแหน่งของสีรายละเอียดกล่าวอยู่ในหัวข้อ 2.2.2
- การเพิ่มเติมข้อมูลกราฟิก ซึ่งจะมีกราฟิกที่ต้องการเพิ่มเติมในสองส่วนได้แก่ ส่วนของเซ็นเซอร์ที่ติดอยู่บนหุ่นยนต์ซึ่งจะอาศัยข้อมูลตำแหน่งและทิศทางการหมุนของหุ่นยนต์ที่หาได้จากกระบวนการประมวลผลภาพในการอ้างอิงตำแหน่ง และส่วนสิ่งกีดขวางที่จะใส่ลงไปบนพื้นสนามซึ่งตำแหน่งที่กำหนดลงไปจะอ้างอิงกับพื้นที่ของสนามโดยตรง โดยกราฟิกที่เพิ่มเติมลงไปจะเป็นกราฟิกสองมิติ
- การตรวจสอบการชนของวัตถุ เป็นการตรวจสอบการชนรวมทั้งหาระยะการชนว่าห่างจากจุดกำเนิดของรูปกราฟิกเป็นระยะทางเท่าไหร่เพื่อใช้เป็นข้อมูลจำลองของเซ็นเซอร์เสมือน โดยการตรวจสอบการชนใช้วิธี Separating Axis Theorem ในการคำนวณว่าวัตถุแต่ละชิ้นมีการชนกันหรือไม่ ส่วนระยะทางที่ชนกันของวัตถุหาได้จากการเปลี่ยนแกนอ้างอิงของวิธี Separating Axis Theorem จากการอ้างอิงกับเวกเตอร์ที่ขนานกับขอบของวัตถุเป็นการอ้างอิงกับเวกเตอร์จากจุดเริ่มต้นของเซ็นเซอร์เสมือนไปยังจุดกึ่งกลางของปลายเซ็นเซอร์เสมือนดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.3
- การเข้ารหัสภาพวีดีโอ ซึ่งจะทำให้ข้อมูลภาพวีดีโอที่จะส่งมีขนาดเล็กลงเพื่อความรวดเร็วในการส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย จากฝั่งเครื่องแม่ข่ายไปยังฝั่งของเครื่องลูกข่ายได้อย่างรวดเร็วซึ่งการเข้ารหัสภาพจะใช้การเข้ารหัสตามมาตรฐาน H.263 ดังที่กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 2.4.1

3.4.2 การออกแบบโปรแกรมและการทำงานในส่วนของฝั่งผู้ใช้งาน (Remote Site)

ในส่วนของลูกข่ายจะเป็นส่วนที่ติดต่อกับผู้ใช้งานทั้งในส่วนของการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ รวมทั้งการแสดงผลการทำงานของหุ่นยนต์และกำหนดตำแหน่งวัตถุเสมือนต่างๆ โดยฝั่งลูกข่ายนี้จะมีส่วนที่สำคัญคือ ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกลางในการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์กับผู้ใช้งาน โดยจะมีหน้าที่หลักในสองส่วนคือ ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานสำหรับแสดงผลภาพวีดีโอ (GUI Video Display) และส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานสำหรับเขียนโปรแกรม (GUI Programming) ซึ่งส่วนสำหรับแสดงผลภาพวีดีโอจะรับข้อมูลของภาพวีดีโอที่ถูกส่งมาจากฝั่งเครื่องแม่ข่ายแล้วนำมาผ่านขั้นตอนการถอดรหัส (Decoder) เพื่อนำข้อมูลภาพนั้นมาแสดงผลให้กับผู้ใช้งาน และในส่วนสำหรับการเขียนโปรแกรมจะเป็นเครื่องมือช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถออกแบบโปรแกรมสำหรับควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ด้วยการต่อบล็อกของคำสั่งและเงื่อนไขต่างๆแทนการใช้คำสั่งที่เป็นลักษณะของภาษาเพื่อลดความผิดพลาดในการเขียนโปรแกรมภาษา เมื่อผู้ใช้งานทำการเขียนโปรแกรมเสร็จแล้วจะสามารถทดสอบการทำงานและควบคุมการทดสอบได้ด้วยการควบคุมที่ส่วนสำหรับเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานสำหรับแสดงผลภาพวีดีโอ ซึ่งระบบจะส่งคำสั่งโปรแกรมกลับไปยังฝั่งเครื่องแม่ข่ายเพื่อทดสอบการทำงานของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์และเครื่องแม่ข่ายจะส่งวีดีโอแสดงผลการทำงานกลับมายังฝั่งผู้ใช้งานอีกครั้งหนึ่ง โดยไดอะแกรมแสดงการทำงานของฝั่งผู้ใช้งานแสดงได้ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งรายละเอียดการทำงานในแต่ละส่วนที่สำคัญ มีดังนี้



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของฝั่งผู้ใช้งาน

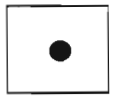
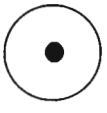
- ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานสำหรับเขียนโปรแกรม นับเป็นส่วนสำคัญของระบบ ซึ่งจำเป็นต้องออกแบบให้เหมาะสมกับผู้ที่เริ่มต้นฝึกฝนและเรียนรู้ด้วยตัวเอง จึงออกแบบการเขียนโปรแกรมให้มีลักษณะเดียวกับการต่อบล็อกไดอะแกรมซึ่งจะลดปัญหาความผิดพลาดของการเขียนรูปแบบคำสั่งได้ โดยคำสั่งเบื้องต้นที่สามารถเรียกใช้งานได้แสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงคำสั่งเบื้องต้นสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์

คำสั่ง	รายละเอียด
ควบคุมโปรแกรม (CTRL)	
- If	คำสั่งกำหนดให้ทำคำสั่งต่อไปถ้าเงื่อนไขเป็นจริง
- While	คำสั่งทำซ้ำตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยถ้าเป็นจริงทำ เป็นเท็จจะไม่ทำ
- For	คำสั่งสำหรับทำซ้ำตามจำนวนรอบที่กำหนด (สูงสุด 100 รอบ/คำสั่ง)
- Calculate	คำสั่งสำหรับคำนวณตัวแปรต่างๆ
รับค่าเซ็นเซอร์เสมือน (SENSE)	
- Read Pos_X	คำสั่งอ่านค่าตำแหน่งในแนวแกน x ของหุ่นยนต์และเก็บลงในตัวแปรที่กำหนด
- Read Pos_Y	คำสั่งอ่านค่าตำแหน่งในแนวแกน y ของหุ่นยนต์และเก็บลงในตัวแปรที่กำหนด
- Read Orient	คำสั่งอ่านค่าตำแหน่งการหมุนของหุ่นยนต์และเก็บลงในตัวแปรที่กำหนด
- UltraSonic	คำสั่งอ่านค่าเซ็นเซอร์วัดระยะห่างของวัตถุและเก็บลงในตัวแปรที่กำหนด
ควบคุมหุ่นยนต์ (DRIVE)	
- Start Motor	คำสั่งควบคุมมอเตอร์ให้เริ่มทำงาน
- Stop Motor	คำสั่งควบคุมมอเตอร์ให้หยุดทำงาน
- Set Motor L	คำสั่งกำหนดพารามิเตอร์ทิศทางและความเร็วของมอเตอร์ด้านซ้าย
- Set Motor R	คำสั่งกำหนดพารามิเตอร์ทิศทางและความเร็วของมอเตอร์ด้านขวา
- Forward	คำสั่งกำหนดพารามิเตอร์ให้หุ่นยนต์เดินหน้าโดยสามารถกำหนดความเร็วได้
- Backward	คำสั่งกำหนดพารามิเตอร์ให้หุ่นยนต์ถอยหลังโดยสามารถกำหนดความเร็วได้
- Turn Left	คำสั่งกำหนดพารามิเตอร์ให้หุ่นยนต์เลี้ยวซ้ายโดยสามารถกำหนดความเร็วได้
- Turn Right	คำสั่งกำหนดพารามิเตอร์ให้หุ่นยนต์เลี้ยวขวาโดยสามารถกำหนดความเร็วได้

- ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานสำหรับแสดงผลภาพวีดีโอ โดยส่วนนี้จะเป็นส่วนสำหรับใช้ในการทดสอบผลการทำงานของโปรแกรมที่ผู้ใช้งานเขียนขึ้น และยังเป็นส่วนที่ผู้ใช้สามารถกำหนดตำแหน่งของสิ่งกีดขวางเสมือนและเซ็นเซอร์เสมือนลงบนสนามและบนหุ่นยนต์ก่อนเริ่มการทดสอบได้ ซึ่งผู้ใช้สามารถสั่งให้เริ่มและหยุดการทดสอบได้ตลอดเวลา โดยมีรูปแบบเซ็นเซอร์และสิ่งกีดขวางดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงรูปแบบเซ็นเซอร์และสิ่งกีดขวางเสมือน

รูปแบบวัตถุเสมือน	รายละเอียด
	เซ็นเซอร์วัดระยะทาง จำลองการทำงานของอัลตร้าโซนิค
	สิ่งกีดขวางเสมือนรูปทรงสี่เหลี่ยม
	สิ่งกีดขวางเสมือนรูปทรงสามเหลี่ยม
	สิ่งกีดขวางเสมือนรูปทรงกลม

- การถอดรหัสภาพวีดีโอ จะเป็นส่วนที่นำข้อมูลภาพที่ถูกเข้ารหัสและส่งมาจากฝั่งของเครื่องแม่ข่ายมาแปลงกลับเป็นข้อมูลภาพเพื่อนำมาแสดงผลยังส่วนการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานสำหรับแสดงผลการทำงานของหุ่นยนต์ โดยรายละเอียดการถอดรหัสภาพกล่าวอยู่ในหัวข้อที่ 2.4.2

3.4.3 การออกแบบโปรแกรมและการทำงานในส่วนการเชื่อมต่อเครือข่าย (Network Connection)

ส่วนของการเชื่อมต่อเครือข่าย มีหน้าที่เป็นตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างส่วนของฝั่งผู้ใช้งานกับส่วนของฝั่งเครื่องแม่ข่าย โดยจะรับข้อมูลภาพจากฝั่งเครื่องแม่ข่ายส่งมายังฝั่งของผู้ใช้งาน และทำการส่งข้อมูลคำสั่งของโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์จากฝั่งของผู้ใช้งานกลับไปยังฝั่งของเครื่องแม่ข่าย ระบบนี้มีการรับ-ส่งข้อมูลในสองรูปแบบคือ ข้อมูลภาพวีดีโอที่ถูกเข้ารหัสมาแล้ว กับข้อมูลโปรแกรมคำสั่งสำหรับควบคุมหุ่นยนต์ โดยในส่วนของข้อมูลภาพวีดีโอต้องการความต่อเนื่องในการรับส่งข้อมูลสูงแต่สามารถยอมรับความผิดพลาดของข้อมูลได้ในบางส่วนจึงใช้รูปแบบโปรโตคอลแบบ UDP ในการรับ-ส่งข้อมูล และในส่วนข้อมูลโปรแกรมคำสั่งควบคุมหุ่นยนต์ต้องการความถูกต้องของข้อมูลสูงจึงใช้รูปแบบการส่งข้อมูลแบบ TCP-IP ในการรับ-ส่งข้อมูล

บทที่ 4 การสร้างและพัฒนาระบบ

การสร้างและการพัฒนาระบบความจริงเสริมสำหรับการปรากฏทางไกลเพื่อการเรียนรู้ ได้อาศัยแนวความคิดในการออกแบบระบบการทำงานจากบทที่ผ่านมาเพื่อเป็นแนวทางในการสร้างและพัฒนาระบบทั้งในส่วนทางกล ทางอิเล็กทรอนิกส์ และส่วนของโปรแกรมควบคุมการทำงานและติดต่อกับผู้ใช้งานต่างๆ โดยมีรายละเอียดในการสร้างและพัฒนาระบบ ดังนี้

4.1 การสร้างและพัฒนาระบบทางกล

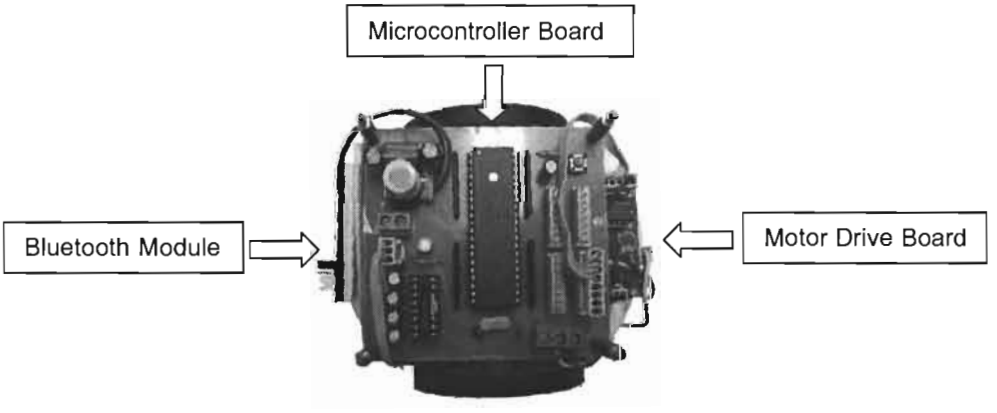
จากการออกแบบในบทที่ผ่านมา ได้นำมาพัฒนาและสร้างโดยโครงสร้างของหุ่นยนต์เลือกใช้อะคลิลิกซึ่งมีน้ำหนักเบาและปรับแต่งได้ง่าย และใช้มอเตอร์กระแสตรงขนาดเล็กแบบมีเฟืองทดเป็นตัวขับเคลื่อนล้อของหุ่นยนต์ ซึ่งใช้ล้อพลาสติกหุ้มด้วยยางเพื่อเพิ่มแรงเสียดทานและลดการสลิปของหุ่นยนต์ และใช้ล้อพยุงแบบล้อบอลติดตั้งทั้งด้านหน้าและหลังของหุ่นยนต์ โดยที่ด้านบนของหุ่นยนต์ติดตั้งมาร์กเกอร์สำหรับใช้ในการประมวลผลภาพเพื่อหาตำแหน่งของหุ่นยนต์ซึ่งมาร์กเกอร์ที่ใช้เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขอบของมาร์กเกอร์มีสีดำและภายในมาร์กเกอร์จะมีแถบสีสองสีเพื่อใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งและทิศทางของหุ่นยนต์ โดยจะใช้แถบสีเขียวแทนด้านหน้าและใช้แถบสีชมพูแทนด้านหลังของหุ่นยนต์ ความเร็วสูงสุดของหุ่นยนต์อยู่ที่ประมาณ 17 เซ็นติเมตร/วินาที รูปของหุ่นยนต์สำหรับทดสอบการทำงานของโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 แสดงรูปของหุ่นยนต์ที่ใช้ในการทดลอง

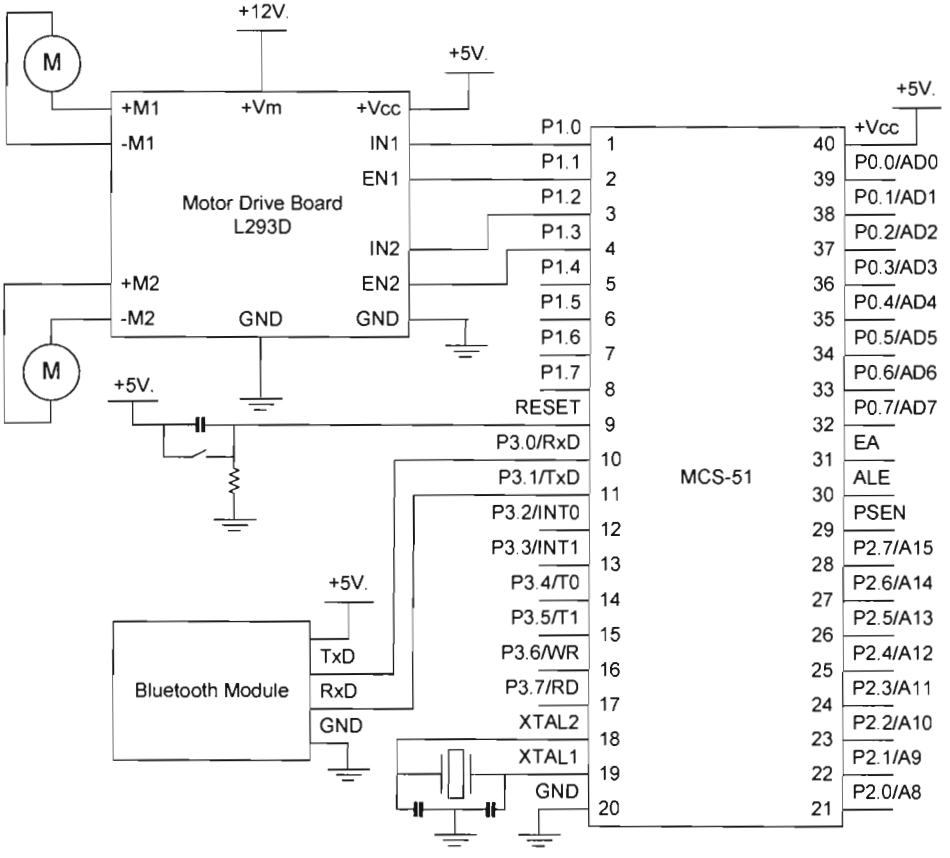
4.2 การสร้างและพัฒนาระบบทางอิเล็กทรอนิกส์

จากการออกแบบระบบทางอิเล็กทรอนิกส์ในบทที่ผ่านมา ในส่วนการสร้างและพัฒนาได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS-51 เบอร์ p89v51rd2 เนื่องจากมีความสามารถในการเขียนโปรแกรมลงไมโครคอนโทรลเลอร์ขณะที่ยังอยู่ในระบบ (In System Programming, ISP) ทำให้สะดวกในการแก้ไขโปรแกรม ในส่วนการสื่อสารข้อมูลได้เลือกใช้โมดูลบลูทูธ ZX-Bluetooth ของบริษัท INEX ซึ่งเป็นโมดูลสำเร็จรูปซึ่งมีขนาดเล็กทำให้สะดวกในการติดตั้ง และในส่วนวงจรในการขับมอเตอร์กระแสตรงขนาดเล็กซึ่งมีกระแสโหลดสูงสุดไม่เกิน 1 แอมป์ ได้เลือกใช้ไอซีสำเร็จรูป

เบอร์ L293D ซึ่งแหล่งจ่ายไฟที่ใช้แบ่งออกเป็น 2 ชุด คือชุดสำหรับจ่ายวงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั้งหมดใช้แบตเตอร์รี่ขนาด 9 โวลท์ และชุดสำหรับจ่ายให้กับมอเตอร์ใช้แบตเตอร์รี่ขนาด AA 1.2 โวลท์ จำนวน 4 ก้อนโดยการติดตั้งส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์แสดงดังรูปที่ 4.2 และการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในส่วนอิเล็กทรอนิกส์แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 แสดงการติดตั้งส่วนประกอบทางอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 4.3 แสดงการเชื่อมต่ออุปกรณ์ในส่วนอิเล็กทรอนิกส์

4.3 การสร้างและพัฒนาโปรแกรม

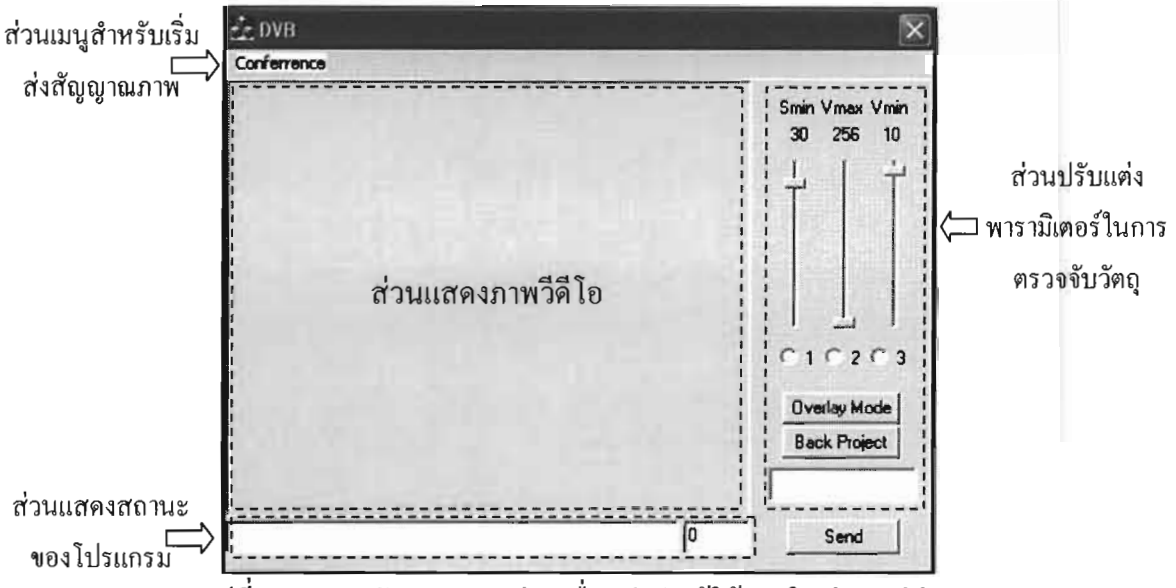
จากแนวคิดในการออกแบบโปรแกรมและการทำงานในบทที่ผ่านมาได้นำมาสร้างและพัฒนาโดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual C++ ในการพัฒนาทั้ง 3 ส่วน คือ ส่วนแม่ข่าย ส่วนผู้ใช้งาน และส่วนการเชื่อมต่อเครือข่าย ซึ่งมีรายละเอียดในการพัฒนาดังนี้

4.3.1 การสร้างและพัฒนาโปรแกรมในส่วนแม่ข่าย

จากการออกแบบในบทที่ผ่านมา การสร้างและการพัฒนาโปรแกรมในส่วนแม่ข่ายมีส่วนสำคัญทั้งหมด 4 ส่วน ได้แก่ การประมวลผลภาพ การเพิ่มเติมข้อมูลกราฟิก การตรวจสอบการชนของวัตถุ และการเข้ารหัสภาพวีดีโอ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- การประมวลผลภาพอาศัยไลบรารี่ OpenCV ในการจัดการและประมวลผลเพื่อหาตำแหน่งของมาร์กเกอร์ของหุ่นยนต์ โดยอาศัยคลาส cvcam ของไลบรารี่ OpenCV ในส่วนของกระบวนการดึงข้อมูลภาพออกมาจากกล้อง และใช้คลาส cv ของไลบรารี่ OpenCV ซึ่งเป็นคลาสหลักในการจัดการเกี่ยวกับกระบวนการประมวลผลภาพในการหารูปสี่เหลี่ยมของมาร์กเกอร์ภายในภาพ รวมทั้งการตรวจสอบและหาตำแหน่งสีของมาร์กเกอร์
- การเพิ่มเติมข้อมูลกราฟิก ซึ่งได้แสดงข้อมูลทั้งในรูปแบบของตัวหนังสือและรูปภาพกราฟิกในแบบสองมิติ ได้ใช้ไลบรารี่ของ OpenCV ในส่วนของคลาส cxcore ในการจัดการกราฟิกซึ่งในคลาสนี้สามารถจัดการกราฟิกสองมิติได้ทั้งในส่วนของตัวอักษรและรูปทรงต่างๆในรูปแบบโพลีกอนและลายเส้นต่างๆ
- การตรวจสอบการชนของวัตถุด้วยวิธีการ Seperated Axis Theorem จะเน้นไปที่จัดการเวกเตอร์ โดยในการพัฒนาอาศัยคลาสในการจัดการเวกเตอร์ของ Olivier renaul เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการพัฒนาคลาสสำหรับการตรวจสอบการชนของวัตถุสองมิติตามขั้นตอนในหัวข้อที่ 2.3
- การเข้ารหัสภาพวีดีโอตามมาตรฐาน H.263 ของ ITU ได้อาศัยการรวบรวมและการพัฒนาคลาสสำหรับจัดการภาพวีดีโอของ Nagareshwar Y Talekar ในการพัฒนาโปรแกรมในส่วนการเข้ารหัสข้อมูลภาพวีดีโอตามมาตรฐาน H.263 ซึ่งมีหลักการทำงานดังที่แสดงในหัวข้อ 2.4.1

ในส่วนการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานในส่วนของฝั่งแม่ข่ายนี้ หน้าต่างของโปรแกรมจะประกอบด้วยส่วนของเมนูสำหรับเริ่มส่งสัญญาณภาพวีดีโอเพื่อกำหนดการเริ่มต้นส่งข้อมูลภาพและเตรียมพร้อมในการรับข้อมูลจากฝั่งผู้ใช้งานทั้งในส่วนของคำสั่งรวมทั้งข้อมูลของวัตถุเสมือนต่างๆ ส่วนแสดงภาพวีดีโอเพื่อใช้แสดงผลตัวอย่างภาพวีดีโอที่จะถูกส่งออกไป ส่วนสำหรับปรับพารามิเตอร์ในการตรวจจับวัตถุซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในการทำการประมวลผลภาพเพื่อหาวัตถุภายในภาพซึ่งใช้ในการอ้างอิงในการวางวัตถุเสมือนลงในภาพรวมทั้งตรวจสอบการชนของวัตถุเสมือน และส่วนแสดงสถานะการทำงานเพื่อแสดงสถานะการทำงานของโปรแกรม ดังแสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะของส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานในส่วนแม่ข่าย

นอกจากฟังก์ชันและหน้าที่ของโปรแกรมดังที่กล่าวมาแล้ว ส่วนสำคัญอีกส่วนหนึ่งของโปรแกรมในส่วนแม่ข่ายนั่นคือ การส่งคำสั่งเพื่อใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ให้ทำงานตามคำสั่งที่ผู้ใช้เขียนโปรแกรมขึ้น โดยส่วนสำคัญของโครงสร้างโปรแกรมในส่วนนี้คือรูปแบบการสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายกับหุ่นยนต์ ซึ่งมีรูปแบบการสื่อสารข้อมูลดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงรูปแบบการสื่อสารข้อมูลระหว่างหุ่นยนต์กับคอมพิวเตอร์แม่ข่าย

Command	Byte1	Byte2								Byte3							
Forward(speed)	0xFF	x	x	x	x	0	0	0	1	x	speed 1 - 100						
Backward(speed)		x	x	x	x	0	0	1	0	x	speed 1 - 100						
TurnLeft(speed)		x	x	x	x	0	0	1	1	x	speed 1 - 100						
TurnRight(speed)		x	x	x	x	0	1	0	0	x	speed 1 - 100						
SetMotorLeft(dir,speed)		x	x	F	B	0	1	0	1	x	speed 1 - 100						
SetMotorRight(dir,speed)		x	x	F	B	0	1	1	0	x	speed 1 - 100						
MotorStart()		x	x	x	x	0	1	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x
MotorStop()		x	x	x	x	1	0	0	0	x	x	x	x	x	x	x	x

เมื่อ F มีค่า 1 จะเป็นการสั่งให้มอเตอร์หมุนไปด้านหน้าของหุ่นยนต์

B มีค่า 1 จะเป็นการสั่งให้มอเตอร์หมุนไปด้านหลังของหุ่นยนต์

Byte1 : คือไบต์เริ่มต้นของคำสั่ง ซึ่งต้องกำหนดให้มีค่า 0xFF เพื่อเป็นไบต์เริ่มต้นในการส่งข้อมูลคำสั่งไปยังหุ่นยนต์

Byte2 : เป็นไบต์สำหรับกำหนดคำสั่งในการทำงานของหุ่นยนต์โดยแบ่งข้อมูลออกเป็นสองส่วนดังนี้

- ข้อมูลสี่บิตบน (High Byte) ใช้สำหรับกำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์แต่ละตัว โดยเมื่อมีค่า 0001 จะสั่งให้หมุนไปด้านหน้าของหุ่นยนต์ และถ้ามีค่า 0010 จะเป็นการสั่งให้หมุนไปด้านหลังของหุ่นยนต์

- ข้อมูลสี่บิตล่าง (Low Byte) ใช้สำหรับกำหนดคำสั่งในการทำงานของหุ่นยนต์ โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงชุดคำสั่งของข้อมูลสี่บิตล่าง (Low Byte)

รูปแบบคำสั่ง	คำอธิบายคำสั่ง
0x01	คำสั่งสำหรับสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าโดยสามารถปรับความเร็วได้
0x02	คำสั่งสำหรับสั่งให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหลังโดยสามารถปรับความเร็วได้
0x03	คำสั่งสำหรับสั่งให้หุ่นยนต์หมุนไปทางซ้ายโดยสามารถปรับความเร็วได้
0x04	คำสั่งสำหรับสั่งให้หุ่นยนต์หมุนไปทางขวาโดยสามารถปรับความเร็วได้
0xN5*	คำสั่งสำหรับกำหนดทิศทางและความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ด้านขวา
0xN6*	คำสั่งสำหรับกำหนดทิศทางและความเร็วในการหมุนของมอเตอร์ด้านซ้าย
0x07	คำสั่งให้หุ่นยนต์เริ่มการทำงาน
0x08	คำสั่งให้หุ่นยนต์หยุดการทำงาน

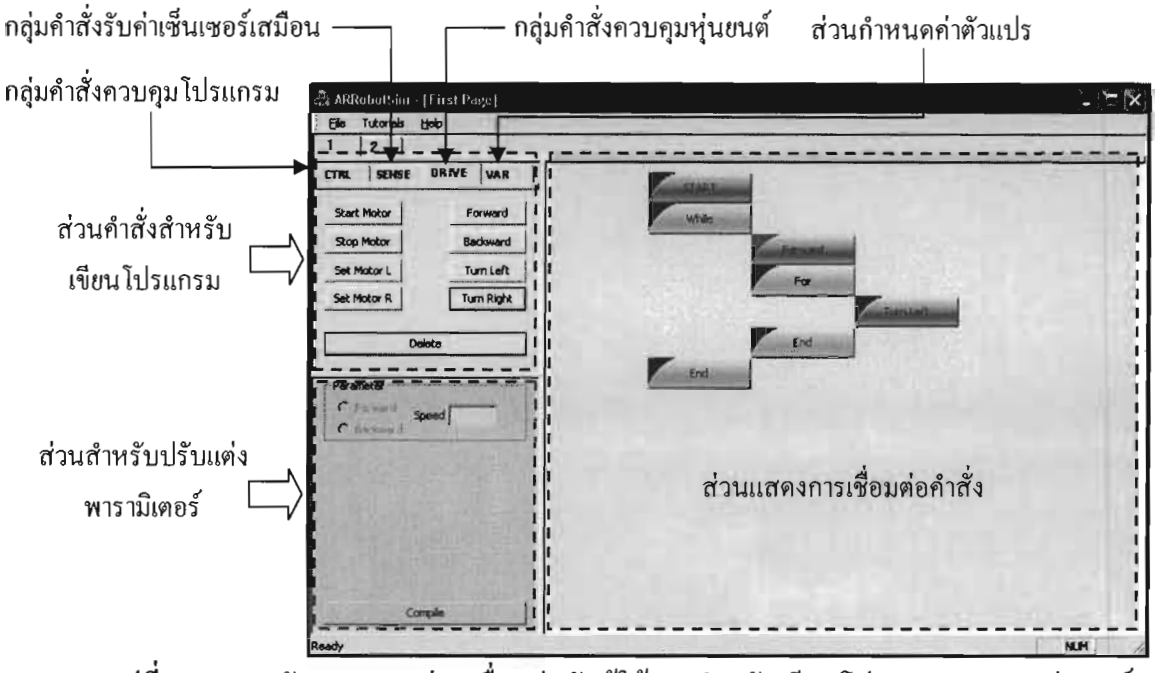
* คำสั่งที่สามารถกำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์ได้ โดย N คือข้อมูลไบต์บนที่ใช้ในการกำหนดทิศทางการหมุนของมอเตอร์

Byte3 : เป็นไบต์ที่ใช้สำหรับกำหนดความเร็วของมอเตอร์ซึ่งมีค่าความเร็วตั้งแต่ 1 - 100(0x01 – 0x40) ซึ่งสามารถใช้ได้กับคำสั่ง 0x01 – 0x06

4.3.2 การสร้างและพัฒนาโปรแกรมในส่วนผู้ใช้งาน

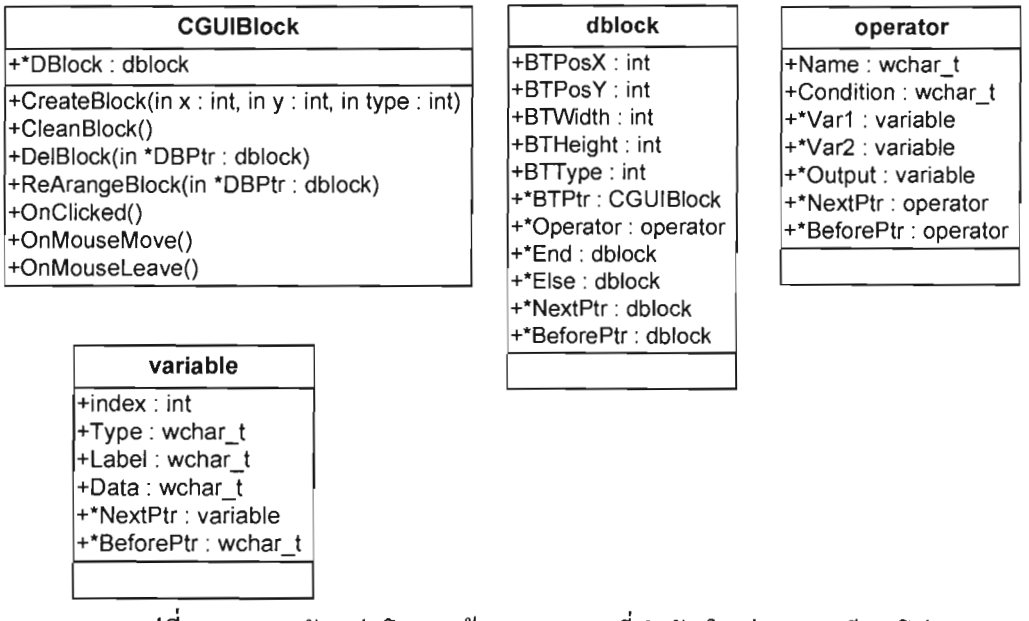
จากการออกแบบในบทที่ผ่านมาโปรแกรมในส่วนนี้มีส่วนที่สำคัญ 3 ส่วนคือ ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานสำหรับเขียนโปรแกรม ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานสำหรับแสดงผลภาพวีดีโอ และส่วนการถอดรหัสภาพวีดีโอ ซึ่งจากการออกแบบข้างต้นได้มีการพัฒนาให้มีลักษณะดังนี้

- ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานสำหรับเขียนโปรแกรม มีลักษณะของหน้าต่างโปรแกรมดังแสดงในรูปที่ 4.5 ซึ่งในหน้าต่างโปรแกรมประกอบด้วย ส่วนคำสั่งสำหรับเขียนโปรแกรม ส่วนสำหรับปรับแต่งพารามิเตอร์ และส่วนแสดงการเชื่อมต่อคำสั่ง โดยส่วนคำสั่งสำหรับเขียนโปรแกรมจะเป็นส่วนสำหรับเพิ่มหรือลดคำสั่งหรือตัวแปรสำหรับควบคุมหุ่นยนต์ ส่วนสำหรับปรับแต่งพารามิเตอร์จะใช้ในการปรับแต่งพารามิเตอร์ของแต่ละคำสั่งโดยจะแสดงช่องสำหรับปรับแต่งพารามิเตอร์เมื่อผู้ใช้เลือกคำสั่งที่ต้องการจะแก้ไขหรือปรับแต่ง และส่วนสุดท้ายคือส่วนแสดงการเชื่อมต่อคำสั่งจะเป็นส่วนสำหรับแสดงการเชื่อมต่อบล็อกของคำสั่งสำหรับควบคุมหุ่นยนต์ที่ผู้ใช้เขียนขึ้น

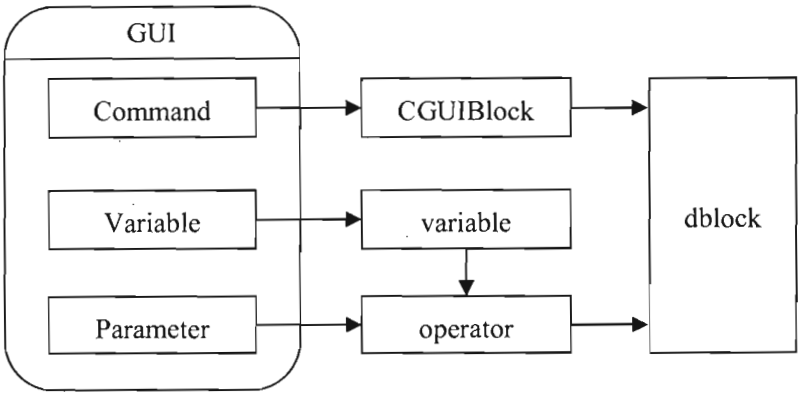


รูปที่ 4.5 แสดงลักษณะของส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานสำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์

โดยการเชื่อมต่อคำสั่งสำหรับควบคุมหุ่นยนต์ได้ถูกออกแบบและพัฒนาให้มีความยืดหยุ่นสามารถกำหนดคำสั่งรวมทั้งตัวแปรได้อย่างอิสระซึ่งช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถออกแบบคำสั่งควบคุมหุ่นยนต์ได้อย่างอิสระใกล้เคียงกับการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ทั่วไป ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องกำหนดโครงสร้างของการเก็บข้อมูลคำสั่งที่ผู้ใช้งานเขียนขึ้นในลักษณะของ Link List ซึ่งช่วยให้สามารถเพิ่มหรือลดจำนวนของคำสั่งได้อย่างอิสระ โดยคลาสและตัวแปรโครงสร้างที่สำคัญในส่วนของการเขียนโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 แสดงตัวแปรโครงสร้างและคลาสที่สำคัญในส่วนการเขียนโปรแกรม



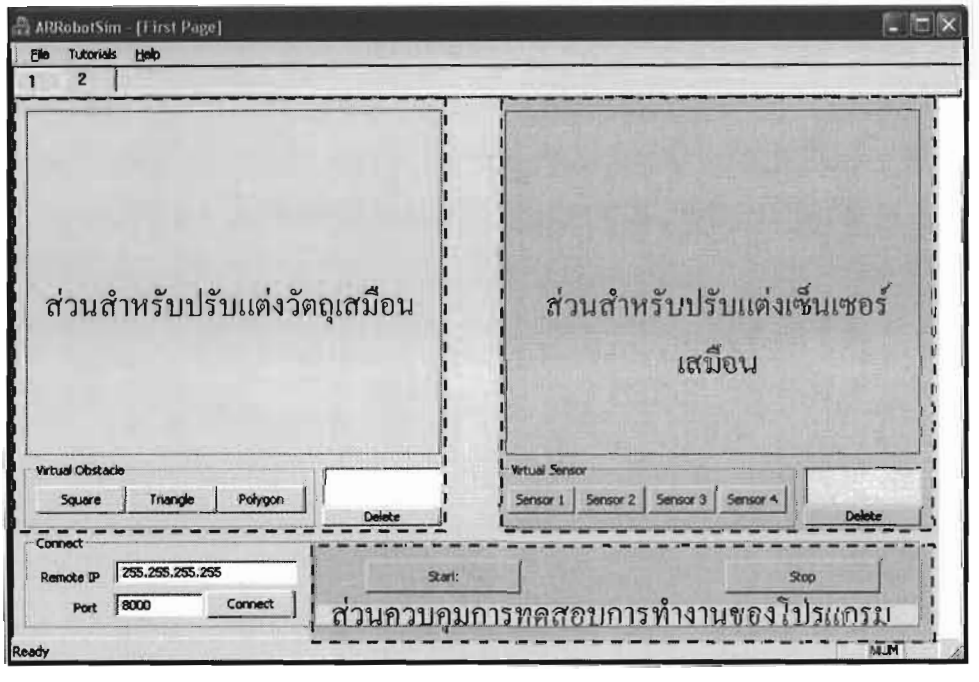
รูปที่ 4.7 แสดงการเชื่อมต่อระหว่างคลาสและตัวแปรโครงสร้าง

จากรูปที่ 4.7 ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานในส่วนการเขียนโปรแกรมจะมี 3 ส่วน คือ ส่วนของคำสั่ง (Command) ส่วนของตัวแปร (Variable) และส่วนของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ (Parameter) โดยส่วนของคำสั่ง จะมีทั้งคำสั่งที่เป็นลักษณะของคำสั่งควบคุมโปรแกรม คำสั่งสำหรับรับค่าเซ็นเซอร์เสมือน และคำสั่งสำหรับควบคุมหุ่นยนต์ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ซึ่งเมื่อผู้ใช้งานเลือกคำสั่งแล้วระบบจะทำการส่งข้อมูลคำสั่งที่ผู้ใช้งานเลือกไปยังคลาส CGUIBlock เพื่อทำการสร้างและแสดงผลบล็อกของคำสั่งออกทางจอแสดงผล และทำการส่งข้อมูลของบล็อกคำสั่งที่สร้างขึ้นเก็บลงในตัวแปรโครงสร้างที่ชื่อ dblock โดยตัวแปรโครงสร้างดังกล่าวจะถูกสร้างขึ้นใหม่เพื่อเก็บข้อมูลของคำสั่งและพารามิเตอร์ต่างๆทุกครั้งที่ผู้ใช้งานเลือกคำสั่งของโปรแกรม

ส่วนของตัวแปร จะเป็นส่วนสำหรับสร้างตัวแปรเพื่อเก็บค่าข้อมูลรวมทั้งใช้ในการสร้างเงื่อนไขและการคำนวณต่างๆ โดยการสร้างตัวแปรผู้ใช้งานจะต้องกำหนดชนิดของตัวแปร ชื่อของตัวแปร และค่าของตัวแปรขึ้นมา เมื่อกำหนดแล้วระบบจะทำการส่งข้อมูลเหล่านี้เก็บลงในตัวแปรโครงสร้างที่ชื่อ Variable ซึ่งตัวแปร Variable นี้ จะถูกเรียกไปใช้โดยตัวแปรโครงสร้าง Operator เพื่อใช้เป็นตัวแปรสำหรับการดำเนินการในการคำนวณรวมทั้งใช้ในการเก็บผลลัพธ์จากการคำนวณต่างๆ

ส่วนของค่าพารามิเตอร์ จะเป็นส่วนสำหรับเก็บข้อมูลพารามิเตอร์ต่างๆที่กำหนดขึ้น ซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เก็บจะขึ้นอยู่กับชนิดของบล็อกคำสั่งที่สร้างขึ้น โดยเมื่อผู้ใช้งานกำหนดค่าพารามิเตอร์แล้วระบบจะทำการส่งค่าของพารามิเตอร์นี้ไปเก็บยังตัวแปรโครงสร้างที่ชื่อ Operator ซึ่งตัวแปรโครงสร้างนี้จะเป็นส่วนหนึ่งของตัวแปรโครงสร้าง dblock ดังแสดงในรูปที่ 4.6 ในกรณีของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของบล็อกคำสั่งในการคำนวณหรือคำสั่งเงื่อนไข เพื่อให้ระบบสามารถรองรับคำสั่งเงื่อนไขซ้อนเงื่อนไขหรือการคำนวณแบบหลายวงเล็บได้ จึงได้กำหนดให้ตัวแปร Operator มีการเก็บข้อมูลโดยอาศัยการเชื่อมต่อกันของตัวแปรโครงสร้าง Operator ในรูปแบบของ Link List

- ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานสำหรับแสดงผลภาพวีดีโอ ลักษณะของโปรแกรมในส่วนนี้แสดงดังรูปที่ 4.8 ซึ่งมีส่วนที่สำคัญ 3 ส่วน ส่วนแรกได้แก่ส่วนสำหรับปรับแต่งวัตถุเสมือน โดยส่วนสำหรับปรับแต่งวัตถุเสมือนใช้สำหรับเพิ่มวัตถุเสมือนลงบนสนามได้โดยการกดปุ่มเลือกชนิดของวัตถุและสามารถปรับแต่งตำแหน่งได้โดยการคลิ๊กซ้ายที่วัตถุที่ต้องการเลื่อนตำแหน่งและสามารถหมุนได้โดยการคลิ๊กขวาแล้วเลื่อนเมาส์ไปในมุมต่างๆ ส่วนที่สองคือส่วนสำหรับปรับแต่งเซ็นเซอร์เสมือนใช้สำหรับปรับแต่งและเพิ่มลดเซ็นเซอร์วัดระยะทางลงบนหุ่นยนต์โดยสามารถปรับแต่งตำแหน่งและองศาการติดตั้งได้เช่นเดียวกับวัตถุเสมือน ซึ่งรูปแบบของวัตถุและเซ็นเซอร์เสมือนแสดงในตารางที่ 3.2 และในส่วนสุดท้ายคือส่วนสำหรับควบคุมการทดสอบการทำงานโปรแกรมใช้สำหรับควบคุมการเริ่มและหยุดการทดสอบด้วยการคลิ๊กที่ปุ่ม Start หรือ Stop



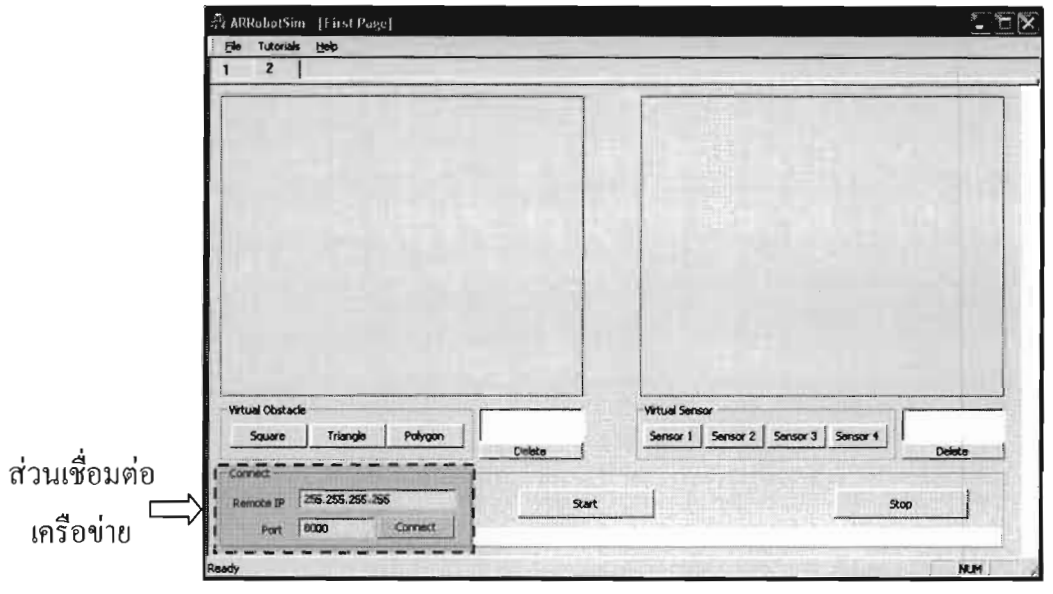
รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะของส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานสำหรับแสดงผลการทำงานของหุ่นยนต์

- การถอดรหัสภาพวีดีโอตามมาตรฐาน H.263 ของ ITU ได้อาศัยการรวบรวมและการพัฒนาคลาสสำหรับจัดการภาพวีดีโอของ Nagareshwar Y Talekar ในการพัฒนาโปรแกรมในส่วนการถอดรหัสข้อมูลภาพวีดีโอตามมาตรฐาน H.263 ซึ่งมีหลักการทำงานดังที่แสดงในหัวข้อ 2.4.2

4.3.3 การสร้างและพัฒนาโปรแกรมในส่วนการเชื่อมต่อเครือข่าย

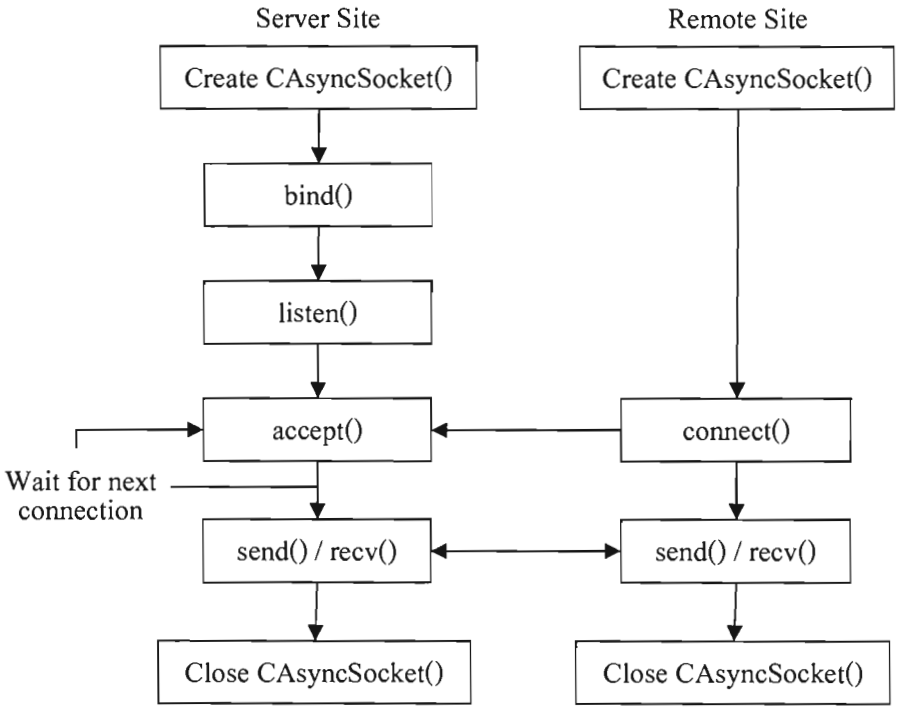
ส่วนการเชื่อมต่อเครือข่ายคือ ส่วนที่ทำการเชื่อมต่อระหว่างฝั่งแม่ข่ายกับฝั่งผู้ใช้งาน ซึ่งในส่วนของฝั่งเครื่องแม่ข่ายได้กำหนดพารามิเตอร์ในการสร้างการเชื่อมต่อไว้แล้วทำให้ส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานในฝั่งแม่ข่ายจะไม่มีส่วนกำหนดพารามิเตอร์ โดยจะเริ่มการรับ-ส่งข้อมูลพร้อมกับการเริ่มการส่งข้อมูลภาพวีดีโอ และในส่วนของฝั่งผู้ใช้งานในการเชื่อมต่อกับฝั่งแม่ข่ายจำเป็นต้องกำหนดค่า IP

Address และค่า Port ให้ตรงกับเครื่องแม่ข่ายซึ่งสามารถกำหนดได้ในส่วนของการเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานในส่วนของการเชื่อมต่อเครือข่าย ดังแสดงในรูปที่ 4.9

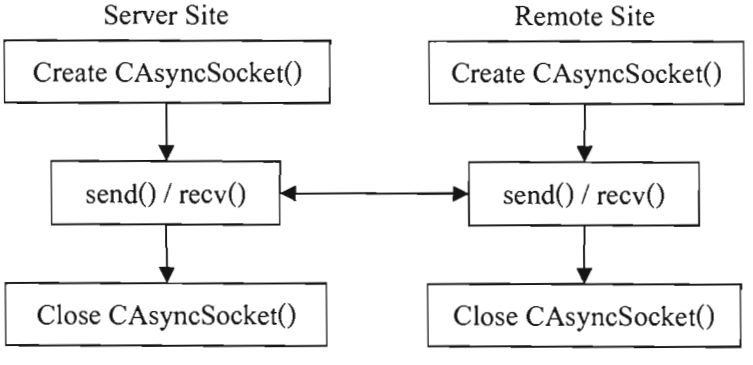


รูปที่ 4.9 แสดงส่วนเชื่อมต่อเครือข่ายในส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานฝั่งผู้ใช้งาน (GUI Remote Site)

ในส่วนการเชื่อมต่อเครือข่ายนี้ได้ออกแบบให้ใช้โปรโตคอล TCP/IP ในการรับ-ส่งข้อมูลโปรแกรมคำสั่งควบคุมหุ่นยนต์ และเลือกใช้โปรโตคอล UDP ในการส่งข้อมูลภาพวีดีโอ โดยในการพัฒนาโปรแกรมในส่วนนี้จะใช้คลาส CAsyncSocket() ในการสร้างการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างฝั่งเครื่องแม่ข่ายกับฝั่งผู้ใช้งาน โดยในการสร้างการเชื่อมต่อในรูปแบบของโปรโตคอล TCP/IP จะกำหนดในการสร้างคลาส CAsyncSocket() ในส่วนของ Type ให้เป็น SOCK_STREAM ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.10 และในการสร้างการเชื่อมต่อแบบ UDP จะกำหนดในการสร้างคลาส CAsyncSocket() ในส่วนของ Type ให้เป็น SOCK_DGRAM โดยมีขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบ TCP/IP



รูปที่ 4.11 บล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของการเชื่อมต่อเครือข่ายแบบ UDP

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง

จากการออกแบบสู่การสร้างและการพัฒนาระบบสิ่งสำคัญอีกส่วนหนึ่งของการวิจัยคือ การทดสอบและทดลองการทำงานของระบบเพื่อประเมินประสิทธิภาพและประสิทธิผลในการทำงานของระบบ โดยในงานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายของการทดลอง รูปแบบการทดลอง วิธีการทดลอง และผลการทดลอง ดังนี้

5.1 จุดมุ่งหมายของการทดลอง

จุดมุ่งหมายในการทดลองนั้นเพื่อทดสอบการใช้งานระบบ และประเมินความสามารถในการใช้ระบบเพื่อช่วยในการเรียนรู้การเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ โดยที่จะสามารถแยกพิจารณาออกเป็นส่วนๆดังนี้

5.1.1 ประสิทธิภาพของระบบ (System Performance)

ข้อมูลเชิงปริมาณที่บ่งบอกถึงความสามารถในการทำงาน การคำนวณ ความรวดเร็ว ความถูกต้อง ความทันต่อเหตุการณ์ เป็นต้น ซึ่งจะสะท้อนถึงความเหมาะสมและประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่นำมาใช้งานในระบบ

5.1.2 ความสามารถในการใช้งานได้ (Usability)

ข้อมูลเชิงคุณภาพที่บ่งชี้ถึงความสามารถในการใช้งานระบบได้อย่างง่าย รวดเร็ว ยืดหยุ่น และเรียนรู้ได้ง่าย และสามารถติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี ซึ่งจะเป็นส่วนที่บอกถึงความพึงพอใจของผู้ใช้งานต่อการใช้งานระบบ

5.1.3 คุณค่าสำหรับปัญหาเฉพาะ (Values for Specific Task)

ข้อมูลเชิงปริมาณและคุณภาพที่บอกถึงความเหมาะสมของระบบที่พัฒนาขึ้น เมื่อนำมาใช้ในปัญหาเฉพาะอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งข้อมูลจะบอกถึงข้อดีข้อด้อยของระบบเมื่อนำมาใช้งานในปัญหาที่พิจารณา และระบบสามารถช่วยในการแก้ปัญหาดังกล่าวได้ดีมากน้อยเพียงใด โดยในที่นี้ปัญหาเฉพาะของระบบคือการสร้างระบบที่จะสามารถช่วยในการเรียนรู้ในเรื่องการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ด้วยระบบความจริงเสริมผ่านระบบเครือข่าย

5.2 รูปแบบการทดลอง

เนื่องจากระบบที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นระบบต้นแบบ รูปแบบการทดลองจึงเป็นไปในลักษณะการหาประสิทธิภาพการทำงาน ความพึงพอใจของผู้ใช้งาน รวมทั้งผลสัมฤทธิ์ที่ได้จากการใช้งานของระบบ

เพื่อนำมาประเมินหาข้อผิดพลาดและสิ่งที่ควรปรับปรุงเพื่อใช้ในการพัฒนาระบบให้ดียิ่งขึ้นต่อไป โดยรูปแบบที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

5.2.1 การทดลอง (Experiment)

การทดลองจำเป็นจะต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ ชุดทดลอง และมีการกำหนดปัญหาในการทดลอง โดยที่จะมีการตรวจสอบและเก็บผลของผู้ใช้งานแต่ละคน ซึ่งจะทำการทดสอบใช้งานโดยผู้ใช้งานและเก็บข้อมูลเชิงปริมาณของจำนวนครั้งที่ผู้ใช้งานสามารถแก้ปัญหาที่กำหนดไว้ได้สำเร็จ รวมทั้งเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา เป็นต้น แล้วจึงรวบรวมข้อมูลดังกล่าวจากการทดลองทั้งหมดไปวิเคราะห์ ซึ่งในการทดสอบนี้จะให้ข้อมูลของประสิทธิภาพการทำงานของระบบ

5.2.2 การสังเกต (Observation)

ในระหว่างการทดสอบการทำงานโดยผู้ใช้งาน สามารถทำการสังเกตพฤติกรรม ท่าทาง และคำพูดของผู้ใช้งาน ซึ่งข้อมูลเหล่านี้สามารถเป็นตัวบ่งชี้ถึงความเหมาะสม ความสะดวกในการทำงานของผู้ใช้งาน รวมถึงความผิดพลาดของระบบในการติดต่อและสื่อสารกับผู้ใช้งาน ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการพัฒนาปรับปรุงระบบต่อไป โดยที่เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลจากการสังเกตจะสามารถเพิ่มเติมหรือแก้ไขข้อมูลที่จำเป็นซึ่งจะทำให้พัฒนาการทางด้านการเรียนรู้ของผู้ใช้มีความถูกต้องและรวดเร็ว

5.2.3 ข้อคิดเห็นของผู้ใช้งาน (User Opinion)

ภายหลังจากการทำการทดสอบการเก็บข้อคิดเห็นจากผู้ใช้งาน ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพของระบบ โดยที่ข้อมูลเหล่านี้จะบ่งชี้ข้อดีและข้อด้อยของระบบได้อย่างรวดเร็ว และชัดเจนที่สุด ซึ่งสามารถทำได้โดยการสอบถามเพื่อเก็บข้อมูล และการทำการประเมินระบบด้วยแบบสอบถาม

5.3 วิธีการทดลอง

ในส่วนของการทดลองจะทำการทดลองเพื่อทดสอบทั้งในส่วนของประสิทธิภาพของระบบ คุณค่าสำหรับปัญหาเฉพาะ และความสามารถในการใช้งานได้ โดยมีวิธีการทดลองในแต่ละส่วน ดังนี้

5.3.1 การทดสอบประสิทธิภาพของระบบ

การทดสอบประสิทธิภาพจะทดสอบใน 2 ส่วน ได้แก่ การรับ-ส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย และการประมวลผลภาพ โดยมีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

5.3.1.1 การรับ-ส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย จะทำการทดสอบในสองส่วนได้แก่ความไวในการรับ-ส่งข้อมูลภาพ และความผิดพลาดในการรับ-ส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย ซึ่งความไวในการรับ-ส่งข้อมูลภาพจะอาศัยการวัดโดยเปรียบเทียบจำนวนภาพต่อวินาที (Frame Rate) ระหว่างฝั่งเครื่องแม่ข่าย

กับเครื่องลูกข่าย และความผิดพลาดในการรับ-ส่งข้อมูลภาพจะวัดโดยการทดลองส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายและเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้รับกับข้อมูลต้นฉบับ

5.3.1.2 การประมวลผลภาพ จะทดสอบในเรื่องของความเร็วในการประมวลผลโดยการเปรียบเทียบจำนวนภาพต่อวินาทีของข้อมูลภาพก่อนการประมวลผลภาพและหลังการประมวลผลภาพ และทดสอบในด้านความถูกต้องในการหาตำแหน่งของวัตถุโดยการทดสอบการหาวัตถุในตำแหน่งต่างๆ และนับจำนวนครั้งที่สามารถหาตำแหน่งได้ถูกต้องแม่นยำ

5.3.2 การทดสอบความสามารถในการใช้งานได้

ภายหลังจากการฝึกและทดสอบการใช้งานระบบ ผู้ทดสอบจะทำการประเมินระบบด้วยการตอบแบบสอบถาม ซึ่งจะเป็นข้อมูลจากความคิดเห็นของผู้ใช้งานโดยตรง โดยที่แบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินจะแสดงได้ดังรูปที่ 5.1

แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งาน
ระบบความจริงเสริมสำหรับการปรากฏทางไกลเพื่อการเรียนรู้

โปรดใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่องคะแนน หรือกรอกข้อมูลตามความเป็นจริง

ผู้ทำการทดสอบ : เพศ ☐ ชาย อายุ.....

☐ หญิง

พื้นฐานด้านการเขียนโปรแกรม: ☐ เคยเขียนโปรแกรม ☐ มีความรู้พื้นฐานแต่ไม่เคยเขียน
☐ ไม่มีความรู้ด้านการเขียน

1 = ไม่ดี 2 = ไม่ค่อยดี 3 = ดี 4 = ค่อนข้างดีมาก 5 = ดีมาก	1	2	3	4	5
1. ส่วนสำหรับเขียนโปรแกรม					
1.1 การวางตำแหน่งของเครื่องมือสำหรับเขียนโปรแกรม					
1.2 รูปแบบการเขียนโปรแกรมด้วยการต่อบล็อกไดอะแกรม					
1.3 การกำหนดพารามิเตอร์ของแต่ละคำสั่ง					
1.4 การกำหนดเงื่อนไขของคำสั่งประเภทเงื่อนไขและการคำนวณ					
1.5 รูปแบบการแสดงผลการต่อบล็อกคำสั่ง					
1.6 การแก้ไขคำสั่ง					
1.7 การแก้ไขพารามิเตอร์ต่างๆ					
1.8 ความยืดหยุ่นในการเขียนโปรแกรม					
2. ส่วนสำหรับกำหนดตำแหน่งวัตถุและเซ็นเซอร์เสมือน					
2.1 การกำหนดตำแหน่งของวัตถุเสมือน					
2.2 การกำหนดรูปแบบของวัตถุเสมือน					
2.3 การแก้ไขรูปแบบของวัตถุเสมือน					
2.4 การแก้ไขตำแหน่งของวัตถุเสมือน					
2.5 การแสดงผลตำแหน่งของวัตถุและเซ็นเซอร์เสมือน					
2.6 จำนวนรูปแบบของวัตถุเสมือน					
3. การทดสอบการทำงานของโปรแกรม					
3.1 ขนาดของภาพที่แสดงผลการทำงาน					
3.2 การควบคุมการแสดงผลการทำงาน(start, stop)					
3.3 การแสดงผลเมื่อเกิดการชนกันของวัตถุ					
3.4 ความเพียงพอของข้อมูลที่แสดงผล					
3.5 การตอบสนองของภาพที่แสดงผลการทำงาน					

รูปที่ 5.1 แบบสอบถามที่ใช้ในการประเมินระบบ

5.3.3 การทดสอบคุณค่าสำหรับปัญหาเฉพาะ

การทดสอบนี้จะใช้การทดสอบการทำงานของโปรแกรมจากกลุ่มตัวอย่างซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 5 คน ได้แก่ กลุ่มผู้ที่มีพื้นฐานการเขียนโปรแกรม และกลุ่มผู้ที่ไม่มีพื้นฐานการเขียนโปรแกรม โดยแบบทดสอบที่ใช้จะแบ่งออกเป็น 2 ชุด ได้แก่ แบบทดสอบความรู้พื้นฐาน และแบบทดสอบผลการใช้งานโปรแกรม โดยแบบทดสอบความรู้พื้นฐานจะใช้ในการทดสอบเพื่อประเมินความรู้พื้นฐานของผู้ทดสอบเพื่อนำไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสื่อหรือข้อมูลในการเรียนรู้ว่าระบบนี้เหมาะสมกับการเรียนรู้ด้วยตนเองมากน้อยเพียงใด ส่วนแบบทดสอบผลการใช้งานโปรแกรมจะใช้ในการวัดประสิทธิภาพการเรียนรู้ว่าผู้ใช้งานมีทักษะในการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์และเข้าใจกระบวนการและหลักการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์มากน้อยเพียงใด ซึ่งขั้นตอนการทดสอบมีดังนี้

5.3.3.1 ให้ผู้ทดสอบทำแบบทดสอบเพื่อประเมินความรู้พื้นฐาน แบบทดสอบเพื่อประเมินความรู้แสดงดังรูปที่ 5.2

5.3.3.2 ให้ผู้ทดสอบเรียนรู้การใช้งานโปรแกรมและศึกษาการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมหุ่นยนต์จากสื่อหรือข้อมูลภายในโปรแกรมและจากการทดลองของผู้ทดสอบ

5.3.3.3 ให้ผู้ทดสอบทำการทดสอบความรู้และความเข้าใจจากการใช้งานโปรแกรม จากการทำแบบทดสอบการใช้งานโปรแกรม ซึ่งแบบสอบถามจะมี 2 ส่วน โดยในส่วนแรกจะเป็นการทดสอบโดยการทดลองทำโจทย์ด้วยการใช้งานโปรแกรมจริง และในส่วนที่สองจะเป็นการตอบคำถามเพื่อวัดความรู้ความเข้าใจหลังจากการใช้งานโปแกรม แบบทดสอบการใช้งานโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 5.3

5.3.3.4 วิเคราะห์ประสิทธิภาพในการเรียนรู้ของระบบจากข้อมูลที่บันทึกไว้

<u>แบบทดสอบความรู้พื้นฐาน</u>

<u>ส่วนที่ 1</u> : ทดสอบความรู้ความเข้าใจเบื้องต้นด้านการเขียนโปรแกรม

1. จงอธิบายการใช้งานคำสั่ง/เครื่องหมายต่อไปนี้

For :

While :

If.. Else.. :

= :

= = :

&& :

|| :

<u>ส่วนที่ 2</u> : ทดสอบความรู้ความเข้าใจพื้นฐานในด้านหุ่นยนต์

1. จงอธิบายหลักการทำงานของหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบ Differential Drive

2. จงอธิบายประโยชน์และการใช้งานของเซ็นเซอร์ พร้อมยกตัวอย่าง

3. จงอธิบายปัญหาการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ดังต่อไปนี้ พร้อมแนวทางการแก้ไข

ปัญหาการ Slip :

ปัญหาความเร็วล้อ :

รูปที่ 5.2 แบบทดสอบเพื่อประเมินความรู้พื้นฐาน

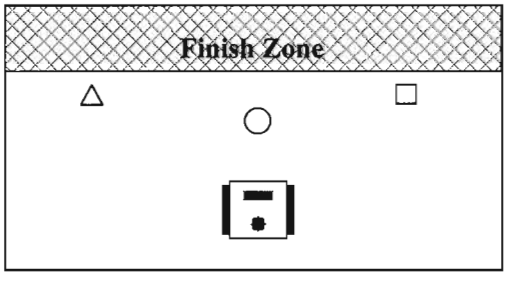
<u>แบบทดสอบผลการใช้งานโปรแกรม</u>

<u>ส่วนที่ 1</u> : ทดสอบการใช้งานโปรแกรมและการควบคุมหุ่นยนต์

1. ทดสอบการใช้งานคำสั่งพื้นฐานสำหรับควบคุมหุ่นยนต์ โดยให้ผู้ทดสอบทำการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามรูปแบบต่อไปนี้ โดยผู้ใช้งานสามารถทำได้ไม่เกิน 3 ครั้ง ครั้งละไม่เกิน 3 นาที

1) 2)

2. ทดสอบความเข้าใจการใช้งานคำสั่งเงื่อนไข โดยให้ผู้ทดสอบเขียนโปรแกรมคำสั่งสำหรับควบคุมหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปยังโซนที่กำหนดโดยไม่ชนสิ่งกีดขวางที่กำหนดไว้ โดยใช้เซ็นเซอร์ในการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง ดังแสดงในรูป โดยผู้ใช้งานสามารถทำได้ไม่เกิน 3 ครั้ง ครั้งละไม่เกิน 7 นาที



<u>ส่วนที่ 2</u> : ทดสอบความรู้ความเข้าใจในการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์

1. จงอธิบายคำสั่ง IF คำสั่ง For และคำสั่ง While แตกต่างกันอย่างไร พร้อมยกตัวอย่าง

_____

_____

2. หากต้องการเขียนโปรแกรมสำหรับวนลูปเพื่อตรวจสอบค่าของเซ็นเซอร์ซึ่งมีเงื่อนไขดังนี้ เซ็นเซอร์มีค่ามากกว่า Thresh ให้เก็บค่า 1 ลงในตัวแปร Output แต่หากค่าของเซ็นเซอร์น้อยกว่า Thresh ให้เก็บค่า ลงในตัวแปร Output โดยตัวแปรที่เก็บค่าของเซ็นเซอร์ชื่อ DSensor จงตอบคำถามต่อไปนี้

   2.1. จะใช้คำสั่งใดในการตรวจสอบค่าของเซ็นเซอร์ (If / While / For)

   _____

   _____

   2.2. จากคำสั่งที่เลือกในข้อ 2.I จงแสดงการเขียนหรืออธิบายการเขียนโปรแกรมตามเงื่อนไขในข้อ 2 ตามความเข้าใจ

   _____

   _____

   _____

3. จงอธิบายปัญหาที่พบในการควบคุมหุ่นยนต์ไปยังตำแหน่งที่ต้องการพร้อมแนวทางการแก้ปัญหา

_____

_____

_____

รูปที่ 5.3 แบบทดสอบผลการใช้งานโปรแกรม

5.4 ผลการทดลอง

จากการวิธีการทดลองในข้างต้นได้ทำการทดสอบทั้งด้านของประสิทธิภาพของระบบ คุณค่าต่อปัญหาเฉพาะ และความสามารถในการใช้งานได้ ซึ่งผลการทดลองทั้งใน 3 ส่วนสามารถสรุปได้ ดังนี้

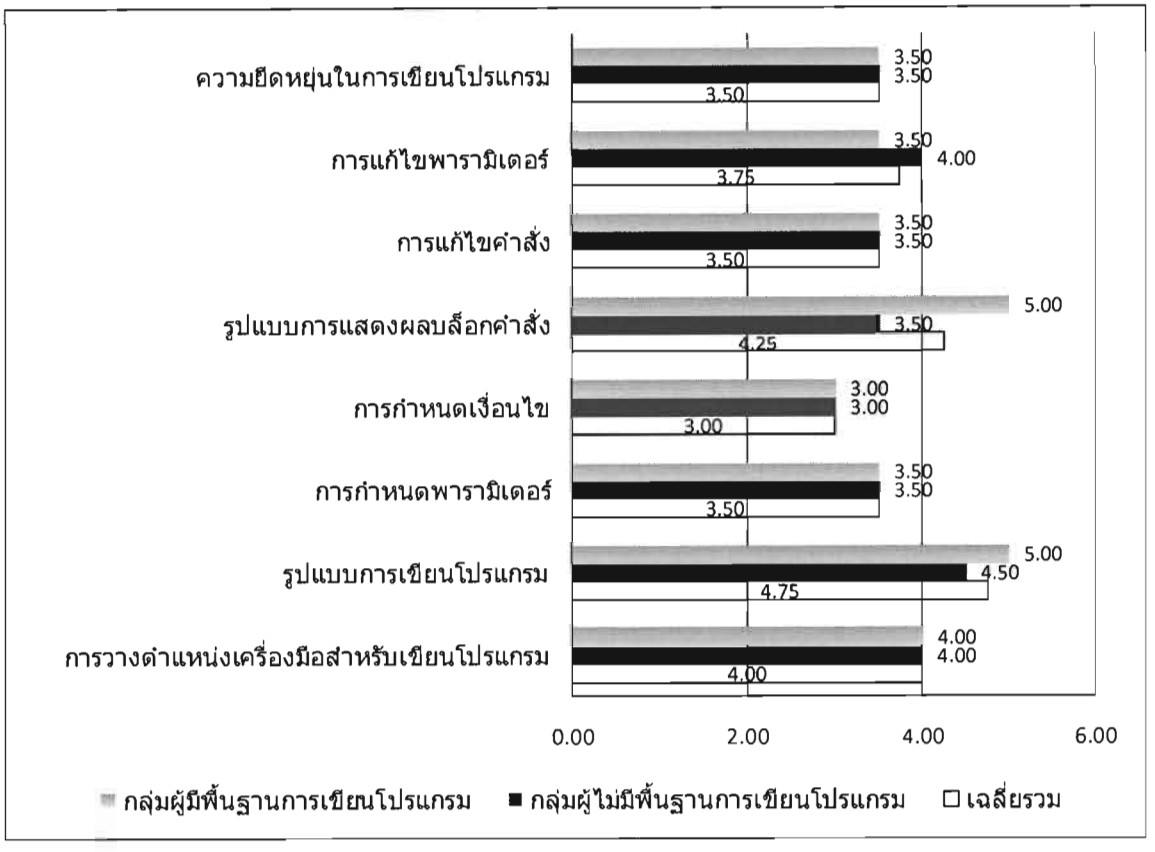
5.4.1 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของระบบ

จากการทดสอบตามวิธีการข้างต้น ผลที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของระบบความจริงเสริมสำหรับการปรากฏทางไกลเพื่อการเรียนรู้ มีดังนี้

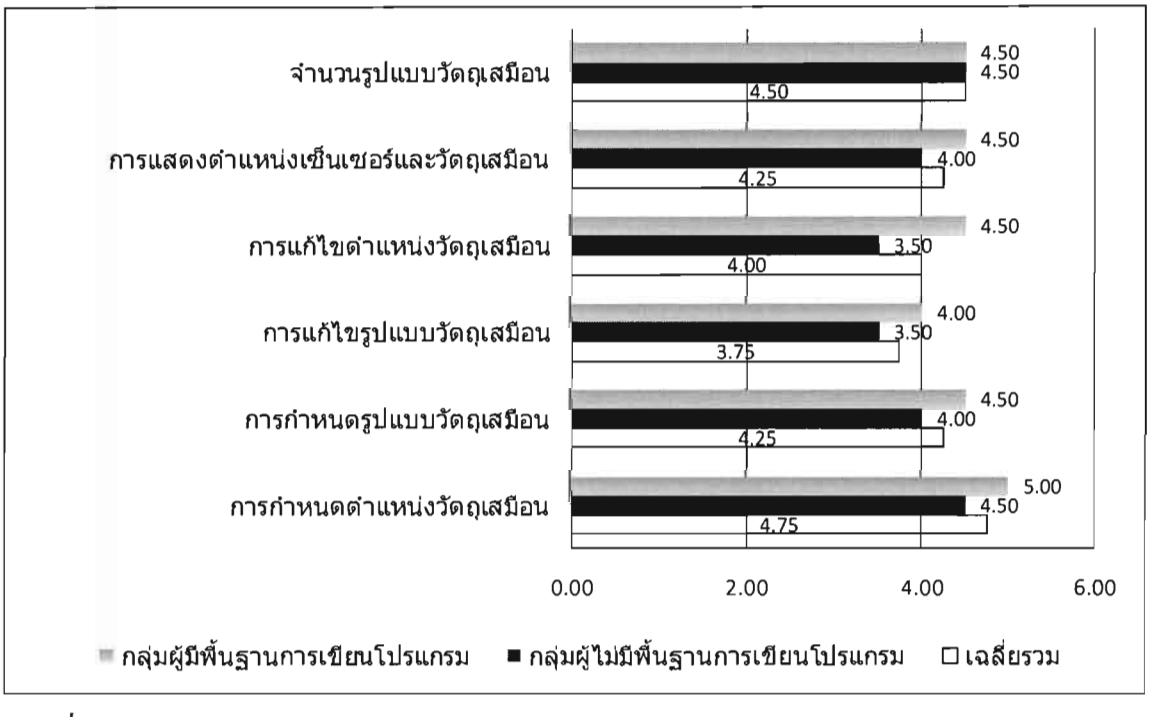
- ความไวในการรับ-ส่งข้อมูลภาพ จากข้อมูลตั้งต้น 13 ภาพต่อวินาที สามารถส่งข้อมูลภาพได้ 12 ภาพต่อวินาที ซึ่งจำนวนภาพลดลง 1 ภาพต่อวินาที หรือใช้เวลาในการส่งประมาณ 0.03 วินาที
- ความผิดพลาดในการรับ-ส่งข้อมูล โดยทำการทดลองส่งข้อมูลด้วยโปรโตคอล UDP มีความผิดพลาดประมาณ 0.04 % ส่วนโปรโตคอล TCP/IP ไม่มีความผิดพลาดในการส่งข้อมูล
- ความเร็วในการประมวลผลภาพ ใช้เวลาในการประมวลผลภาพ 1 ภาพต่อวินาที หรือประมาณ 0.03 วินาที
- ความถูกต้องแม่นยำในการหาตำแหน่งมาร์กเกอร์ของหุ่นยนต์ จากการทดสอบพบว่าในสภาวะแสงที่สม่ำเสมอทั่วทั้งสนามระบบสามารถหาตำแหน่งได้ถูกต้องแม่นยำ 100 เปอร์เซ็นต์

5.4.2 ผลการทดสอบความสามารถในการใช้งานได้

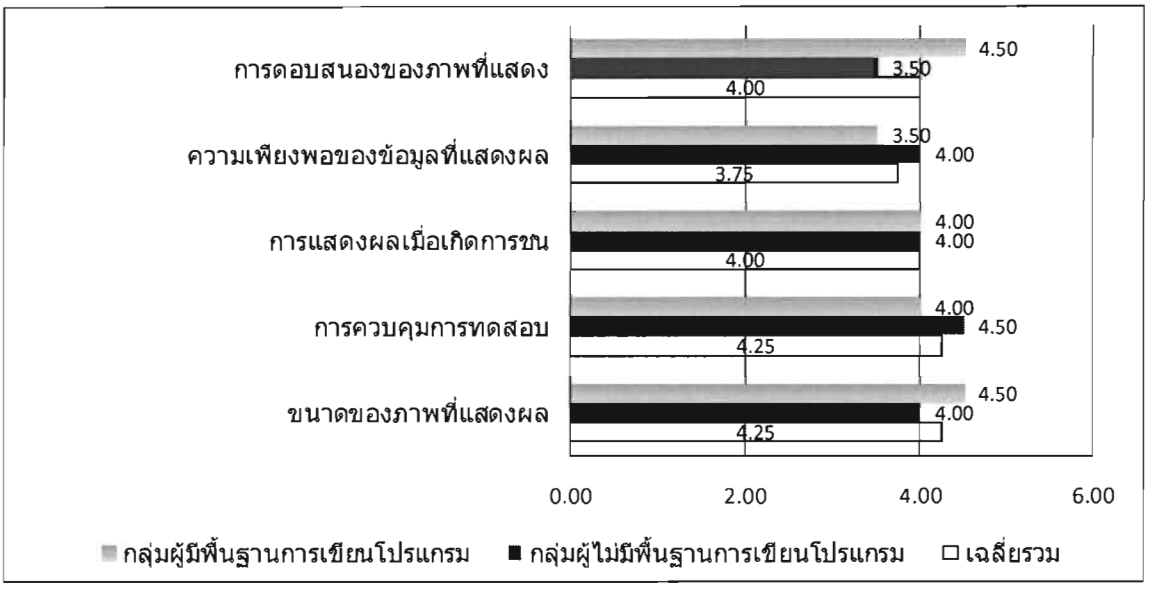
จากการทดสอบตามวิธีการข้างต้น ผลที่ได้จากการทดสอบคือความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบทั้งในส่วนสำหรับการเขียนโปรแกรม ส่วนกำหนดเซ็นเซอร์และวัตถุเสมือน และส่วนทดสอบการทำงานของโปรแกรมแสดงได้ดังรูปที่ 5.4-5.6 โดยระดับความพึงพอใจมีค่าตั้งแต่ 0-5 ซึ่ง 0 คือความพอใจต่ำที่สุดและ 5 คือความพอใจสูงที่สุด



รูปที่ 5.4 แสดงผลการทดสอบความพึงพอใจในการใช้งานระบบในส่วนสำหรับเขียนโปรแกรม



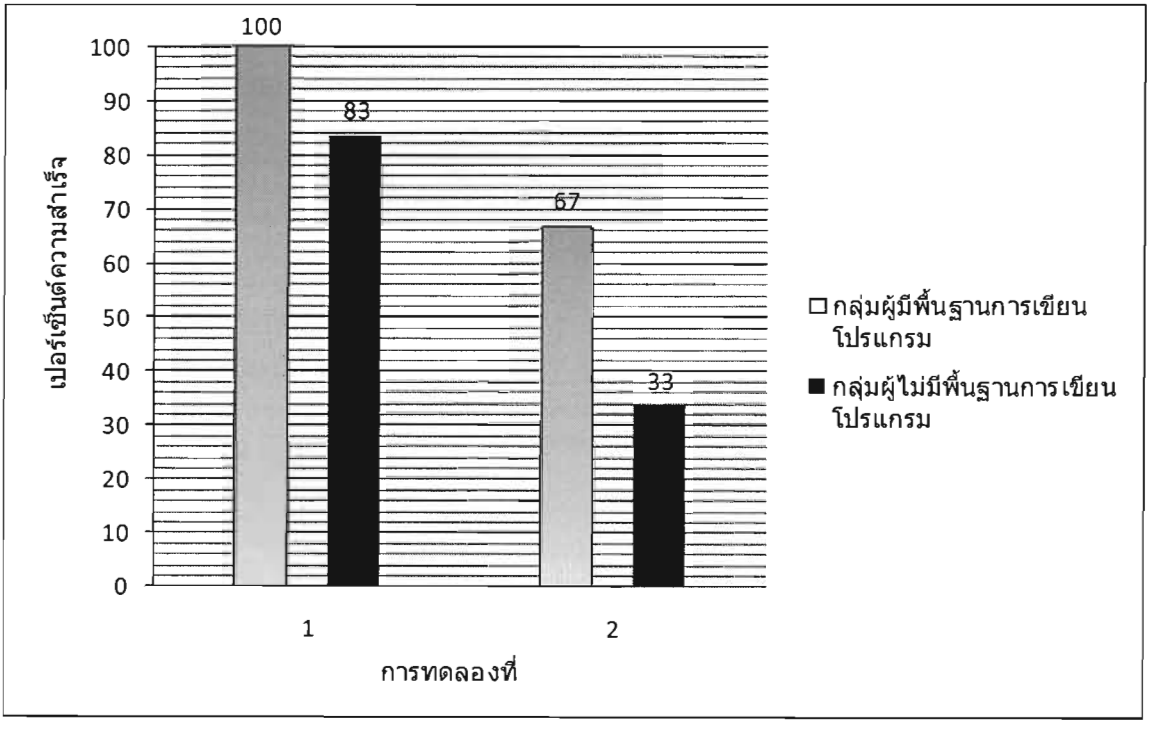
รูปที่ 5.5 แสดงผลการทดสอบความพึงพอใจในการใช้งานระบบในส่วนเซ็นเซอร์และวัตถุเสมือน



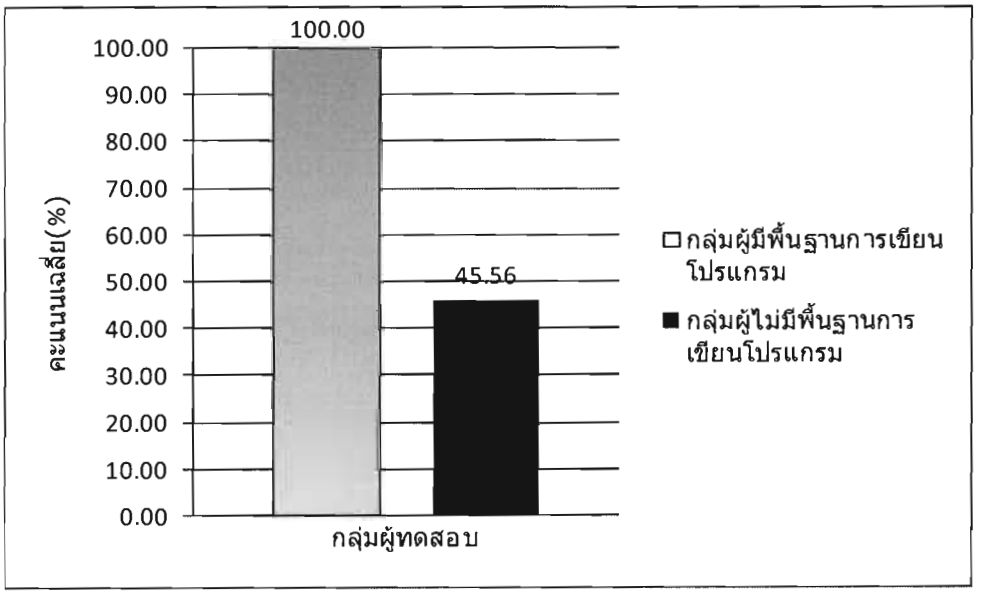
รูปที่ 5.6 แสดงผลการทดสอบความพึงพอใจในการใช้งานระบบในส่วนทดสอบการทำงาน

5.4.3 ผลการทดสอบคุณค่าสำหรับปัญหาเฉพาะ

จากการทดสอบผลการใช้งานโปรแกรมสามารถเก็บผลการทดลองได้สองส่วน คือ ส่วนการวัดความสามารถในการใช้งานระบบ แสดงดังรูปที่ 5.2 และส่วนการวัดความรู้ความเข้าใจในการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ แสดงดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.7 แสดงผลการวัดความสามารถในการใช้งานระบบ



รูปที่ 5.8 แสดงผลการวัดความรู้ความเข้าใจในการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์

บทที่ 6 สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการทดลองและผลการทดลองในบทที่ผ่านมาสามารถนำมาวิเคราะห์และประเมินผลการทำงานของระบบรวมทั้งสรุปผลการทำงานและข้อเสนอแนะต่างๆ ได้ดังนี้

6.1 วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองและผลการทดลองในบทที่ผ่านมา สามารถวิเคราะห์เพื่อหาข้อดีข้อเสียและความเหมาะสมของระบบ ทั้งในด้านของประสิทธิภาพของระบบ คุณค่าสำหรับปัญหาเฉพาะ และความสามารถในการใช้งานได้ ดังนี้

6.1.1 ประสิทธิภาพของระบบ

ประสิทธิภาพของระบบนี้มีส่วนสำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ การรับ-ส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่าย และการประมวลผลภาพ โดยการรับ-ส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายจะมีผลต่อความไวในการแสดงผลของภาพซึ่งจะมีผลต่อผู้ใช้งานในด้านความสะดวกและความต่อเนื่องในการใช้งาน ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าในด้านการส่งข้อมูลภาพระบบสามารถแสดงผลภาพได้ 12 ภาพต่อวินาที จากต้นฉบับที่มีความไวในการแสดงผล 13 ภาพต่อวินาที เท่ากับใช้เวลาในการส่งเพียง 0.03 วินาที ซึ่งเป็นความเร็วที่เพียงพอให้ภาพวีดีโอมีความต่อเนื่องและมีความหน่วงของภาพวีดีโอน้อย นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ในเรื่องของความผิดพลาดของข้อมูลหลังจากส่งไปแล้ว พบว่ามีความผิดพลาดเพียง 0.04 เปอร์เซ็นต์ต่อภาพ ถ้าเปรียบเทียบกับภาพที่ใช้ในการแสดงผลขนาด 320x240 = 76,800 พิกเซล จะมีจำนวนพิกเซลที่ผิดเพี้ยนไปเพียง 31 พิกเซล ซึ่งนับว่ามีความผิดพลาดน้อยมากและไม่มีผลต่อการรับรู้ของผู้ใช้งาน

ในส่วนการประมวลผลภาพ จากการทดลองเพื่อวัดค่าเวลาที่ใช้ในการประมวลผลภาพพบว่า ในแต่ละภาพจะใช้เวลาในการประมวลผลประมาณ 1 วินาที ซึ่งข้อมูลภาพจากกล้องที่ได้รับอยู่ที่ประมาณ 15-30 ภาพต่อวินาที ดังนั้นหลังจากประมวลผลแล้วจะมีความเร็วในการแสดงผลอย่างน้อย 14 ภาพต่อวินาที ซึ่งเพียงต่อต่อการรับรู้ในการมองเห็น และในด้านความถูกต้องในการหาตำแหน่งของวัตถุในสภาวะแสงที่สม่ำเสมอทั่วทั้งสนามระบบสามารถหาตำแหน่งของวัตถุได้ถูกต้องแม่นยำ

6.1.2 ความสามารถในการใช้งานได้

จากการวิเคราะห์แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อระบบในส่วนต่างๆพบว่า ผู้ใช้งานทั้งในกลุ่มที่มีพื้นฐานและไม่มีพื้นฐานการเขียนโปรแกรมมีความพึงพอใจระบบอยู่ในระดับที่ดี ซึ่งมีผลคะแนนความพึงพอใจทั้งระบบจากทั้งสองกลุ่มโดยเฉลี่ยอยู่ที่ 4.03 คะแนน โดยกลุ่มผู้ที่มีพื้นฐานมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 4.16 คะแนน ส่วนผู้ที่ไม่มีพื้นฐานมีคะแนนเฉลี่ยอยู่ที่ 3.90 คะแนน จากคะแนนเต็ม

5 คะแนน เมื่อพิจารณาในกลุ่มผู้ที่มีความรู้พื้นฐานด้านการเขียนโปรแกรมพบว่า ความพึงพอใจสูงสุดอยู่ที่ส่วนของรูปแบบการเขียนโปรแกรมด้วยการต่อบล็อกไดอะแกรมและการกำหนดตำแหน่งของวัตถุเสมือนซึ่งมีคะแนนความพึงพอใจอยู่ที่ 5.00 คะแนน และส่วนที่พึงพอใจน้อยที่สุดคือการกำหนดเงื่อนไขของคำสั่งเงื่อนไขและการคำนวณซึ่งมีคะแนนความพึงพอใจอยู่ที่ 3.00 คะแนน และเมื่อพิจารณาในกลุ่มของผู้ที่ไม่มีพื้นฐานด้านการเขียนโปรแกรมพบว่าความพึงพอใจสูงสุดอยู่ที่ส่วนของรูปแบบการเขียนโปรแกรม จำนวนรูปแบบวัตถุเสมือน การกำหนดตำแหน่งวัตถุเสมือน และการควบคุมการทดสอบโปรแกรมซึ่งมีคะแนนความพึงพอใจอยู่ที่ 4.50 คะแนน และส่วนที่พึงพอใจน้อยที่สุดคือการกำหนดเงื่อนไขของคำสั่งเงื่อนไขและการคำนวณซึ่งมีคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ที่ 3.00 คะแนน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าจุดเด่นในการออกแบบการทำงานของระบบนี้คือ รูปแบบการเขียนโปรแกรมด้วยการต่อบล็อกไดอะแกรมและการกำหนดตำแหน่งของวัตถุเสมือนซึ่งมีคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ที่ 4.75 คะแนน เนื่องจากช่วยให้ผู้ใช้งานเข้าใจโครงสร้างของโปรแกรมได้ง่ายเพราะมีลักษณะเป็นกราฟิกคล้ายกับรูปแบบของโฟล์ชาร์ตและสามารถลดความผิดพลาดในการเขียนโปรแกรมอันเนื่องมาจากรูปแบบโครงสร้างภาษาได้ ซึ่งจุดด้อยของระบบนี้คือส่วนการกำหนดเงื่อนไขของคำสั่งเงื่อนไขและการคำนวณซึ่งมีคะแนนความพึงพอใจเฉลี่ยอยู่ที่ 3.00 คะแนน เนื่องมาจากความซับซ้อนในการเขียนคำสั่งเงื่อนไขที่มีลักษณะเงื่อนไขซ้อนเงื่อนไขซึ่งแม้จะช่วยลดความผิดพลาดจากการเขียนโปรแกรมด้วยภาษาทั่วไปได้แต่การเขียนด้วยบล็อกคำสั่งก็ทำได้ยากกว่าการเขียนด้วยคำสั่งด้วยโปรแกรมภาษา

6.1.3 คุณค่าสำหรับปัญหาเฉพาะ

จากการทดสอบผลการใช้งานโปรแกรมสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองจากการวัดความสามารถในการใช้งานระบบ และการวัดความรู้ความเข้าใจในการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ ได้ดังนี้

6.1.3.1 การวัดความสามารถในการใช้งานของระบบ จากการทดสอบโดยการให้ผู้ใช้งานเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ตามโจทย์ที่กำหนดให้ ในการทดลองข้อที่ 1 ซึ่งเป็นการควบคุมหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ตามที่กำหนด ผลการทดสอบพบว่ากลุ่มผู้ที่มีความรู้ในด้านการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์สามารถทำคะแนนได้เต็ม 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนในการทดลองข้อที่ 2 ซึ่งเป็นการควบคุมหุ่นยนต์หลบหลีกสิ่งกีดขวางซึ่งจำเป็นต้องใช้คำสั่งเงื่อนไขในการแก้ปัญหา ผลการทดสอบพบว่ากลุ่มผู้ที่มีความรู้ในด้านการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ทำคะแนนเฉลี่ยได้พียง 67 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเกิดจากปัญหาในการใช้งานส่วนเชื่อมต่อกับผู้ใช้งานในส่วนการกำหนดเงื่อนไขซึ่งผู้ใช้งานไม่คุ้นเคยทำให้ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ทันตามเวลาที่กำหนด ในขณะที่กลุ่มผู้ที่ไม่มีความรู้ในด้านการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์มาก่อนสามารถทำคะแนนเฉลี่ยในข้อที่ 1 ได้ประมาณ 83 เปอร์เซ็นต์ และในข้อที่ 2 ได้คะแนนเฉลี่ยประมาณ 33 เปอร์เซ็นต์ แสดงให้เห็นว่าในกลุ่มผู้ที่ไม่มีความรู้ในด้านการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์มาก่อนมีแนวโน้มในการเข้าใจหลักการควบคุมหุ่นยนต์ขั้นพื้นฐานใน

ระดับที่ดี แต่ยังไม่สามารถทำการแก้ปัญหาในลักษณะเงื่อนไขหรือยังไม่เข้าใจหลักการเขียนโปรแกรมได้ดีมากนัก

6.1.3.2 การวัดความรู้ความเข้าใจในการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์ การทดสอบในส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์ผู้ทดสอบว่ามีความรู้ความเข้าใจในหลักการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์เพิ่มขึ้นหรือไม่ ซึ่งผลการทดลองนี้จะเป็นตัวชี้วัดเพื่อแยกแยะผู้ใช้งานระบบว่ามีความรู้ความเข้าใจจากการทำแบบทดสอบเพื่อวัดความรู้ ซึ่งจากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าสำหรับผู้ที่สามารถแก้ปัญหาตามโจทย์ที่ตั้งไว้ให้ ในจำนวนผู้ที่ไม่มีพื้นฐานด้านการเขียนโปรแกรมมาก่อนสามารถทำแบบทดสอบได้คะแนนเฉลี่ยประมาณ 45.56 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบนี้สามารถช่วยในการเรียนรู้ได้

6.2 สรุป

ระบบความจริงเสริมสำหรับการปรากฏทางไกลเพื่อการเรียนรู้นี้ ได้ออกแบบมาเพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการเรียนรู้เรื่องการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์แบบเคลื่อนที่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและพัฒนาเครื่องมือที่ช่วยในการเรียนรู้สำหรับผู้ที่ขาดแคลนเครื่องมือและอุปกรณ์ในการเรียนรู้และการทดลองต่างๆให้สามารถมีศักยภาพได้ทัดเทียมกับผู้อื่น ซึ่งระบบนี้จะช่วยให้ผู้ที่สนใจในการเริ่มต้นศึกษาและพัฒนาความรู้ ได้ทำการทดลองและแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ด้วยตนเอง ได้จากทุกที่ ทุกเวลาผ่านระบบเครือข่าย ซึ่งนับเป็นต้นแบบในการจัดการสื่อการเรียนการสอนเพื่อช่วยให้ผู้ที่ขาดโอกาสในการเรียนรู้ได้มีโอกาสใช้สื่อการเรียนการสอนและได้ทำการทดลองจริง แม้จะอยู่ในพื้นที่ที่ห่างไกลก็ตาม

ผลจากการทดลองและทดสอบการทำงานของระบบพบว่า ในด้านการสื่อสารข้อมูลมีความผิดพลาดของข้อมูลน้อยและมีความหน่วงในการรับ-ส่งข้อมูลต่ำทำให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานระบบได้สะดวก และในส่วนการประมวลผลภาพระบบมีความสามารถในการหาตำแหน่งของวัตถุได้อย่างถูกต้องแม่นยำในสภาวะที่มีแสงสม่ำเสมอจึงจำเป็นต้องจัดสถานที่ในการติดตั้งสนามและมีการจัดแสงให้เหมาะสม จึงจะทำให้สามารถเพิ่มเติมข้อมูลกราฟฟิกทั้งในส่วนของวัตถุและเซ็นเซอร์เสมือนได้อย่างถูกต้องแม่นยำ

ระบบนี้มีจุดเด่นในเรื่องของรูปแบบการเขียนคำสั่งโปรแกรมที่เป็นลักษณะของบล็อกไดอะแกรมซึ่งช่วยลดความผิดพลาดในการเขียนโปรแกรมเนื่องจากโครงสร้างภาษาได้ รวมทั้งสามารถทำความเข้าใจคำสั่งได้ง่าย แต่จุดด้อยของระบบที่ควรปรับปรุงได้แก่ส่วนการกำหนดเงื่อนไขสำหรับคำสั่งเงื่อนไขและคำนวณซึ่งในการกำหนดเงื่อนไขซ้อนเงื่อนไขทำได้ค่อนข้างยากแม้จะมีข้อดีในเรื่องของการลดความผิดพลาดจากรูปแบบโปรแกรมภาษา ดังนั้นเพื่อเป็นการรวมข้อดีของทั้งสองรูปแบบจึงควรปรับปรุงระบบให้สามารถกำหนดเงื่อนไขได้ทั้งรูปแบบบล็อกคำสั่งและการเขียนในลักษณะ

โปรแกรมภาษาเพื่อให้ผู้ที่มีทักษะความชำนาญในการเขียนโปแกรมมาบ้างแล้วสามารถใช้งานโปรแกรมได้สะดวกขึ้น

แม้ว่าระบบจะยังมีจุดด้อยในเรื่องของการกำหนดคำสั่งเงื่อนไขซึ่งทำได้ค่อนข้างยาก แต่จากการทดสอบก็พบว่าเมื่อผู้ใช้เกิดความคุ้นเคยกับระบบแล้วระบบนี้จะสามารถช่วยให้ผู้เรียนสามารถมีความรู้ความเข้าใจในเรื่องการควบคุมหุ่นยนต์ได้ดีขึ้น รวมทั้งระบบนี้ยังช่วยให้ผู้ที่ไม่มีพื้นฐานในเรื่องการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์สามารถเข้าใจหลักการควบคุมหุ่นยนต์ขั้นพื้นฐานได้ ซึ่งหากมีการศึกษาข้อมูลเพิ่มเติมและมีการนำระบบนี้ไปใช้ในการทดสอบความรู้ความเข้าใจ ก็จะมีแนวโน้มให้ผู้ใช้งานมีความรู้ความเข้าใจการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์มากขึ้นเป็นลำดับ

6.3 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้นับเป็นงานวิจัยต้นแบบที่สามารถพัฒนาเพื่อนำไปใช้ในเครื่องมือหรือสื่อการเรียนการสอนอื่นๆ เพื่อให้เป็นสื่อการเรียนการสอนระยะไกลได้ โดยในส่วนการนำไปใช้ในการเรียนรู้สำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์นั้นมีส่วนที่สามารถพัฒนาเพิ่มเติมเพื่อให้เกิดประโยชน์ในการใช้งานมากขึ้นสองส่วนได้แก่ ส่วนการจัดการการเรียนรู้ และส่วนการจัดการการใช้งาน โดยในส่วนการจัดการการเรียนรู้นั้นนอกจากจะมีการทดสอบการทำงานกับหุ่นยนต์จริงเพื่อให้ผู้เรียนสามารถเรียนรู้และเข้าใจหลักการรวมทั้งข้อจำกัดของหุ่นยนต์ในด้านต่างๆแล้ว ควรจะมีการทดสอบการทำงานกับโปรแกรมจำลองการทำงานเพื่อทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในเบื้องต้นก่อนจะนำไปทดสอบการทำงานกับหุ่นยนต์จริง และในการทดสอบการทำงานจริงอาจจะมีการเพิ่มข้อมูลความจริงเสริมเพื่อแสดงคำสั่งที่ใช้ควบคุมหุ่นยนต์เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถทำความเข้าใจการทำงานของโปรแกรมซึ่งสอดคล้องกับการแสดงผลการทำงานของหุ่นยนต์ได้ รวมทั้งควรพัฒนาคู่มือในการเรียนรู้โดยให้ผู้เรียนสามารถทำการทดลองการใช้งานโปรแกรมไปพร้อมกับการแนะนำโปรแกรมส่วนต่างๆขณะใช้งาน ทดแทนการเรียนรู้แบบเดิมที่ใช้เป็นวีดีโอให้ผู้เรียนศึกษาการทำงานและข้อแนะนำต่างๆ ในส่วนการพัฒนาระบบการจัดการสำหรับผู้ใช้งาน ควรพัฒนาระบบลงทะเบียนสำหรับผู้ที่ต้องการใช้งานเพื่อให้สามารถเก็บข้อมูลและจัดลำดับผู้ที่ต้องการใช้งานได้ นอกจากนี้ควรมีระบบการจัดการเวลาทำงานเพื่อควบคุมเวลาในการใช้งานให้ผู้ที่ลงทะเบียนสามารถใช้งานระบบได้อย่างทั่วถึงและสามารถแจ้งให้ผู้ต้องการใช้งานลำดับต่อไปทราบได้ รวมถึงควรมีการจัดการข้อมูลการเรียนรู้เพื่อเก็บประวัติและบันทึกข้อมูลการทดลองต่างๆสำหรับผู้ใช้งาน เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถนำข้อมูลเหล่านั้นไปใช้ในการเรียนรู้ต่อไปและสามารถแบ่งปันข้อมูลเหล่านั้นให้กับผู้สนใจได้ ซึ่งการพัฒนาในสิ่งเหล่านี้จะช่วยเพิ่มศักยภาพในการจัดการสื่อการเรียนการสอนให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงได้ทัดเทียมกัน รวมทั้งยังมีส่วนช่วยให้ผู้เรียนสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลความรู้ต่างๆเอาไว้เพื่อใช้ในการทบทวน

วิเคราะห์ และทำความเข้าใจ รวมถึงใช้ในการแบ่งปันข้อมูลให้กับผู้ที่สนใจในเรื่องเดียวกันได้ศึกษาทำความเข้าใจร่วมกัน ซึ่งจะช่วยให้เกิดสังคมแห่งการเรียนรู้ได้

เอกสารอ้างอิง

1. Azuma, R.T., 1997, "A Survey of Augmented Reality", **Teleoperators and Virtual Environments**, Vol. 6, pp. 355-385.

2. ณัฐพล ปฐมอารีย์, 2547, **ระบบความจริงเสริมสำหรับการถ่ายทอดทักษะการประกอบชิ้นงาน**, ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล.

3. David Eberly, 2008, **Intersection of Convex Objects: The Method of Separating Axes,** Geometric Tools, LLC.

4. Telecommunication Standardization Sector of ITU (ITU-T), 2005, **Series H: Audiovisual and Multimedia Systems Infrastructure of audiovisual services – Coding of moving video.**

5. Ken Goldberg, Joseph Santarromana, George Bekey, Steven Gentner, Rosemary Morris, Carl Sutter, Jeff Wiegley, 1995, **A Tele-Robotic Garden on the World Wide Web**, University of Southern California.

6. Ken Goldberg, B.C., Rory Solomon, Steve Bui, Bobak Farzin, Jacob Heitler, Derek Poon, Gordon Smith, 2000, **Collaborative Teleoperation Via the Internet**.

7. Rastogi, A., 1996, **Design of an Interface for Teleoperation in Unstructured Environments Using Augmented Reality Displays**, University of Toronto, Toronto.

8. Panu Harmo, A.H., Hannu Pitkänen , Petri Virekoski, Matias Halinen, , Jussi Suomela, 2000, **Moving Eye – Interactive Telepresence over Internet with a Ball Shaped Mobile Robot**.

9. S. Otmane, M.M., A. Kheddar, F. Chavand, 2000, **Active Virtual Guides as an Apparatus for Augmented Reality Based Telemanipulation System on the Internet**.

10. David C. Smith, 1977, **Pygmalion: A Creative Programming Environment**, Ph.D. thesis, Computer Science Department, Stanford University.

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ – สกุล	นายคมกฤช ทิพย์เกษร
วัน เดือน ปีเกิด	16 ธันวาคม 2526
ประวัติการศึกษา	
ระดับอาชีวศึกษา	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างไฟฟ้ากำลัง โรงเรียนกองทัพบกอุปถัมภ์ช่างกลขนส่งทหารบก พ.ศ. 2543
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า-ไฟฟ้ากำลัง สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล พ.ศ. 2547
ระดับปริญญาโท	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี พ.ศ. 2551
ทุนการศึกษา	ทุนการศึกษาเพชรพระจอมเกล้า ประจำปีการศึกษา 2548
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	คมกฤช ทิพย์เกษร และ สยาม เจริญเสียง, 2550, “ความจริงเสริมสำหรับการปรากฏทางไกล”, **การประชุมวิชาการทางเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและหุ่นยนต์ 2550**, 14-15 มิถุนายน 2550, นครปฐม.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ข้อตกลงว่าด้วยการโอนลิขสิทธิ์วิทยานิพนธ์

วันที่ .....**19** ...เดือน.....**พฤษภาคม**..... พ.ศ.....**2552** .....

ข้าพเจ้า..... **นายคมกฤช ทิพย์เกษร** .....รหัสประจำตัว..... **48432307**.....

เป็นนักศึกษาของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ระดับปริญญา ☒ โท ☐ เอก

หลักสูตร .....**ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต**..... สาขาวิชา..... **วิทยาการหุ่นยนต์และระบบอัตโนมัติ**.....

คณะ .....**สถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม**.....

อยู่บ้านเลขที่..... **93/237** .....หมู่ที่ ..... **5**.....ตรอก/ซอย..... **ลาดปลาเค้า 76** .....ถนน ..... **รามอินทรา**.....

ตำบล/แขวง.....**อนุเสาวรีย์** .....อำเภอ/เขต..... **บางเขน** ..... จังหวัด ..... **กรุงเทพมหานคร** .....

รหัสไปรษณีย์..... **10220**.....

ขอโอนลิขสิทธิ์วิทยานิพนธ์ให้ไว้กับมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยมี ..... **รศ.ดร.ชิต เหล่าวัฒนา**.....

ตำแหน่ง ..... **ผู้อำนวยการสถาบันวิทยาการหุ่นยนต์ภาคสนาม**..... เป็นผู้รับโอนลิขสิทธิ์และมีข้อตกลงดังนี้

1. ข้าพเจ้าได้จัดทำวิทยานิพนธ์เรื่อง.....**ระบบความจริงเสริมสำหรับการปรากฏทางไกลเพื่อการเรียนรู้** ..... 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 .....คมกฤช ทิพย์เกษร..... ผู้โอนลิขสิทธิ์

(.....นายคมกฤช ทิพย์เกษร.....)

ลงชื่อ ..... ผู้รับโอนลิขสิทธิ์

(.....รศ.ดร.ชิต เหล่าวัฒนา .....)

ลงชื่อ ..... พยาน

(..... รศ.ดร.สยาม เจริญเสียง .....)

ลงชื่อ ..... พยาน

(.....ผศ.ดร.พิชิต ฤกษนันทน์ .....)