ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ระบบค้นหาตำแหน่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยสัญญาณบลูทูธ

MOBILE ROBOT POSITION TRACKING SYSTEM VIA BLUETOOTH

H006606

ศราวุธ กุศลธัญวัฒน์
ปิติภัทร แววเพ็ชร

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....06606
วัน, เดือน, ปี..28 ก.พ. 2555

b.....
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ภาคเรียนที่ 3 ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบค้นหาตำแหน่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยสัญญาณบลูทูธ

MOBILE ROBOT POSITION TRACKING SYSTEM VIA BLUETOOTH

โดย

ศราวุธ กุศลธัญวัฒน์

ปิติภัทร แววเพ็ชร

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ.ดร. โอพาร วงศ์วิรัตน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 3 ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

MOBILE ROBOT POSITION TRACKING SYSTEM

VIA BLUETOOTH

SARAWUT KUSONTHANYAWAT

PITIPAT WAEOPHET

A PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF SCIENCE PROGRAM IN INFORMATION TECHNOLOGY

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

3/2010

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2011

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ประจำปีการศึกษา 2553

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ระบบค้นหาตำแหน่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยสัญญาณบลูทูธ

MOBILE ROBOT POSITION TRACKING SYSTEM

VIA BLUETOOTH

ผู้จัดทำ

1. นายศราวุธ กุศลธัญวัฒน์ รหัสประจำตัว 50070007
2. นายปิติภัทร แววเพ็ชร รหัสประจำตัว 50070071

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. โอพาร วงศ์วิรัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงงาน	ระบบค้นหาตำแหน่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยสัญญาณบลูทูธ		
นักศึกษา	นายศราวุธ	กุศลธัญวัฒน์	รหัสนักศึกษา 50070007
	นายปิติภัทร	แววเพ็ชร	รหัสนักศึกษา 50070071
ระดับการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ		
ปีการศึกษา	2553		
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร. โอฬาร วงศ์วิรัตน์		

บทคัดย่อ

เนื่องจากเทคโนโลยีการค้นหาตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายในอาคารในปัจจุบัน ยังคงมีข้อจำกัดอันเนื่องจากความแตกต่างของเทคโนโลยี วิธีการที่ใช้ และรูปแบบของแอปพลิเคชั่น ดังนั้นโครงงานนี้จึงเป็นการพัฒนาระบบการค้นหาตำแหน่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ระยะใกล้ภายในอาคารผ่านระบบไร้สายด้วยสัญญาณบลูทูธ เพื่อระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ควบคุมให้สามารถสั่งการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่มายังอุปกรณ์ควบคุมได้แบบไร้สาย โดยอาศัยเทคนิคความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง (Location fingerprint) ซึ่งใช้ความแรงของสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุที่ได้รับหรือ RSS (Receive signal strength) นำมาคำนวณหาระยะห่างตามหลักสามเหลี่ยมเชิงตรีโกณมิติ (Triangle trigonometry) ในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยค่าที่คำนวณได้ จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าตำแหน่งที่เป็นเอกลักษณ์ ซึ่งถูกเก็บบันทึกในฐานข้อมูลไว้แล้วก่อนหน้าในช่วงเฟสของการฝึกหัด (Training phase) ทำให้การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์เพื่อการค้นหาภายในอาคารเป็นไปอย่างถูกต้อง ในการพัฒนาระบบดังกล่าวได้ใช้ชุดทดลองเลโก้มายสตอร์มรุ่นเอ็นเอ็กซ์ที (LEGO Mindstorms NXT) ที่ติดตั้งเฟิร์มแวร์เลจอส (LeJOS firmware) เป็นฮาร์ดแวร์ในการจัดสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่ และใช้จาวาไอดีอี (Java IDE) เป็นเครื่องมือในการพัฒนาซอฟแวร์ ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางในพัฒนาระบบค้นหาตำแหน่งหุ่นยนต์ที่มีประสิทธิภาพได้ในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Title	Mobile robot position tracking system via Bluetooth		
Student	Mr. Sarawut	Kusonthanyawat	Student ID 50070007
	Mr. Pitipat	Waeophet	Student ID 50070071
Degree	Bachelor of Science		
Program	Information Technology		
Year	2010		
Advisor	Asst. Prof. Dr. Olarn Wongwirat		

ABSTRACT

Currently, the indoor position tracking technology of mobile robot still faces some limitations due to the differences in technologies, methodologies and applications. Therefore, this project is a development of mobile robot position tracking used indoor within a short range by using a Bluetooth signal. The system can identify the positions of robot and control device, which can command the robot to move to it without the wire connection, by using the location fingerprint technique. This technique uses the RSS (Receive signal strength) of radio frequency to calculate the distance and to identify the mobile robot position by using triangle trigonometry basis. The calculated value is used to compare with the location fingerprint that is stored in the database in advance in the training phase. By using this method, the indoor position tracking of mobile robot can be found correctly. The development of system uses a LEGO Mindstroms NXT with LeJOS firmware as hardware to construct the mobile robot and employs a Java IDE (Integrated development environment) as a software development tool. The system can be used as an approach to develop the robot position tracking system efficiently in the future.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับความช่วยเหลือและการให้คำปรึกษาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. โอพาร วงศ์วิรัตน์ ที่ให้คำแนะนำในทุกขั้นตอนที่ได้ทำการศึกษาปริญญานิพนธ์ รวมทั้งการตรวจสอบ แก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอบพระคุณคณาจารย์ประจำคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ให้การสั่งสอนรายวิชาที่เป็นพื้นฐานในการศึกษา ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นอันเป็นประโยชน์ต่อการทำปริญญานิพนธ์

ขอบพระคุณอาจารย์ อนันตพัฒน์ อนันตชัย ที่อนุญาตให้ใช้ห้องปฏิบัติการ 511 เพื่อใช้ในทำการทดลองในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

ขอบคุณเพื่อนๆรุ่นที่ 5 คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้เสมอมา

ท้ายที่สุดนี้ คุณค่าอันจักเป็นประโยชน์ คุณงามความดีทั้งปวงที่เกิดขึ้นจากปริญญานิพนธ์นี้ ขอมอบแด่บิดา มารดา และครอบครัวที่รักยิ่ง หากมีข้อบกพร่องด้วยประการใดๆ ผู้จัดทำขอน้อมรับไว้ด้วยความขอบคุณยิ่ง

ศราวุธ กุศลธัญวัฒน์

ปิติภัทร แววเพ็ชร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป IX

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 1

1.3 หลักการและเหตุผล 2

1.4 ขอบเขตของการพัฒนา 2

1.5 ขั้นตอนการพัฒนาระบบ 3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 เทคโนโลยีและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 เทคโนโลยีบลูทูธ 4

2.1.1 การสร้างโครงข่ายการเชื่อมต่อ 4

2.1.2 ช่วงความถี่ที่ใช้งาน 6

2.1.3 คุณสมบัติของแต่ละคลาส 6

2.1.4 เทคนิคการรับส่งข้อมูล 7

2.1.5 ระบบการความปลอดภัย 8

2.1.6 โปรโตคอล สแตก 8

2.2 เทคโนโลยีสมองกลฝังตัว 10

2.2.1 องค์ประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์ 10

2.2.2 องค์ประกอบทางด้านซอร์ฟแวร์ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 ชุดทดลองเลโก้ มายสตอร์ม เอ็นเอ็กซ์ที 14
2.3.1 เอ็นเอ็กซ์ทีฮาร์ดแวร์ 14
2.3.2 เอ็นเอ็กซ์ทีซอฟต์แวร์ 18
2.4 แนวทางการพัฒนาระบบ 20
2.4.1 วงจรการพัฒนาระบบ 20
2.4.2 แนวคิดการพัฒนาโดยใช้ยูเอ็มแอล 21
2.5 ทฤษฎีการคำนวณและการประมาณค่าพิกัดตำแหน่ง 24
2.5.1 การประมาณค่าตำแหน่งโดยใช้ความเข้มของสัญญาณ 24
2.5.2 การหาค่ามุมโดยใช้ฟังก์ชันตรีโกณมิติ 29

บทที่ 3 การวิเคราะห์ปัญหาและการออกแบบระบบ
3.1 ความต้องการของระบบ 32
3.1.1 หน้าที่ของระบบ 32
3.1.2 เงื่อนไขและสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการพัฒนาระบบ 32
3.2 การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ 32
3.3 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง 34
3.3 การออกแบบระบบ 35
3.3.1 แผนภาพยูสเคส (Usecase Diagram) 35
3.3.2 คำอธิบายยูสเคส (Usecase Description) 36
3.3.3 แผนภาพกิจกรรม (Activity Diagram) 49
3.3.4 แผนภาพคลาสไดอะแกรม (Class Diagram) 64
3.3.5 แผนภาพลำดับ (Sequence Diagram) 65
3.4 พจนานุกรมข้อมูล 70

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง
4.1 การทดลองเกี่ยวกับสร้างและยกเลิกการเชื่อมต่อด้วยสัญญาณบลูทูธ 72
4.2 การทดลองการรับค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธ 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 การทดลองเกี่ยวกับการค้นหาตำแหน่งและการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง 79

4.3.1 หุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน 79

4.3.2 หุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธอยู่ในตำแหน่งแนวแกน x 80

4.3.3 หุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธอยู่ในตำแหน่งแนวแกน y 82

4.3.4 หุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธไม่ได้อยู่ในแนวแกน x และ y เดียวกัน 84

บทที่ 5 สรุปโครงงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลโครงงาน.....87

5.2 ปัญหาและอุปสรรค.....87

5.2.1 ปัญหาทางด้านฮาร์ดแวร์.....88

5.2.2 ปัญหาทางด้านซอฟต์แวร์.....88

5.2.3 ปัญหาทางด้านสัญญาณบลูทูธ.....88

5.3 ข้อเสนอแนะ.....89

บรรณานุกรม 90

ภาคผนวก.....91

ประวัติผู้เขียน.....103

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ช่วงความถี่และจำนวนช่องสัญญาณของ ISM Band ที่สามารถใช้งานได้ 6
2.2 แสดงคุณสมบัติของบลูทูธแต่ละคลาส 6
2.3 อัตราความเร็วในแต่ละเวอร์ชันของบลูทูธ 7
2.4 การเปรียบเทียบระยะทางกับความเข้มของสัญญาณ 26
2.5 ค่าเฉลี่ยของความเข้มของสัญญาณในแต่ละตำแหน่ง 27
3.1 คำอธิบายยูสเคสการสร้างการเชื่อมต่อ 36
3.2 คำอธิบายยูสเคสการยกเลิกการเชื่อมต่อ 37
3.3 คำอธิบายยูสเคสการรอรับการเชื่อมต่อ 38
3.4 คำอธิบายยูสเคสการส่งและการรับข้อมูล 39
3.5 คำอธิบายยูสเคสการร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธ 40
3.6 คำอธิบายยูสเคสการคำนวณ 41
3.7 คำอธิบายยูสเคสการแสดงผลตำแหน่งบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ 42
3.8 คำอธิบายยูสเคสการแสดงผลตำแหน่งบนหน้าจออุปกรณ์ 42
3.9 คำอธิบายยูสเคสเก็บค่าความเข้มสัญญาณบลูทูธของหุ่นยนต์ 43
3.10 คำอธิบายยูสเคสเก็บค่าความเข้มสัญญาณบลูทูธของอุปกรณ์ 43
3.11 คำอธิบายยูสเคสการเริ่มต้นโปรแกรมในตัวหุ่นยนต์ 44
3.12 คำอธิบายยูสเคสการเริ่มต้นโปรแกรมในตัวอุปกรณ์ 44
3.13 คำอธิบายยูสเคสการรับค่าองศา 45
3.14 คำอธิบายยูสเคสการหมุน 46
3.15 คำอธิบายยูสเคสการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า 47
3.16 พจนานุกรมตาราง Robot 70
3.17 พจนานุกรมตาราง Device 70
3.18 พจนานุกรมตาราง Reference 71
4.1 การทดลองการสร้างและยกเลิกการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับหุ่นยนต์ 72
4.2 การทดลองการรับค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธ 77
4.3 การทดลองการเมื่อหุ่นยนต์และอุปกรณ์อยู่ในตำแหน่งเดียวกัน 79
4.4 การทดลองเมื่อหุ่นยนต์และอุปกรณ์อยู่ในแนวแกน x 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.5 การทดลองเมื่อหุ่นยนต์และอุปกรณ์อยู่ในแนวแกน y.....82

4.6 การทดลองเมื่อหุ่นยนต์และอุปกรณ์ไม่ได้อยู่ในแนว x และ y.....84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงข่ายไพโคเน็ต และการเชื่อมต่อระหว่างมาสเตอร์ - สเลฟ 5

2.2 โครงข่ายแบบสแกทเทอร์เน็ต 5

2.3 การส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุโดยเปลี่ยนความถี่ไปมา 7

2.4 บลูทูธโปรโตคอล สแตก 8

2.5 โครงสร้างของระบบสมองกลฝังตัว 10

2.6 สถาปัตยกรรมพื้นฐานของระบบสมองกลฝังตัว 11

2.7 การทำงานพื้นฐานของเอ็มพียู 11

2.8 การขอร้องให้ตอบสนองภายในเวลาที่กำหนด 13

2.9 สมองกลฝังตัวอัจฉริยะเอ็นเอ็กซ์ที 14

2.10 ปุ่มสีส้ม ณ ตำแหน่งหมายเลข 1 15

2.11 ปุ่มลูกศรสีเทาอ่อน ณ ตำแหน่งหมายเลข 2 15

2.12 ปุ่มกดสีเทาเข้ม ณ ตำแหน่งหมายเลข 3 16

2.13 สถาปัตยกรรมภายในสมองกลฝังตัวอัจฉริยะเอ็นเอ็กซ์ที 16

2.14 เซ็นเซอร์เข็มทิศ (Compass Sensor) 17

2.15 เซอร์โว มอเตอร์ (Servo Motor) 17

2.16 การทดสอบความสามารถของเซอร์โว มอเตอร์ (Servo Motor) 18

2.17 แผนภาพบลูโคฟ แสตก 19

2.18 วงจรการพัฒนาระบบ 20

2.19 ตัวอย่างแผนภาพขอบเขตของระบบตู้ถอนเงินอัตโนมัติ 22

2.20 ตัวอย่างแผนภาพกิจกรรมของระบบลงทะเบียน 22

2.21 ตัวอย่างแผนภาพลำดับการทำงาน 23

2.22 ตัวอย่างแผนภาพคลาสระบบสั่งซื้อของออนไลน์ 23

2.23 การทดลองเพื่อรับค่าสัญญาณบลูทูธ 25

2.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างระยะทางกับความเข้มของสัญญาณ 25

2.25 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง 26

2.26 ค่าตำแหน่งต่างๆที่ใช้ในการทดลอง 26

2.27 กราฟแสดงค่าความเข้มของสัญญาณ ณ ตำแหน่ง (1,1) 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.28 แผนภาพแสดงวิธีการทำงาน....28
2.29 การนิยามฟังก์ชันตรีโกณมิติด้วยอัตราส่วนด้าน 2 ด้านของสามเหลี่ยมมุมฉาก....29
2.30 ภาพจำลองการหาค่ามุม....30
3.1 ภาพโดยรวมของหุ่นยนต์เคลื่อนที่....33
3.2 ลักษณะการวางตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์และล้อหน้า....34
3.3 ลักษณะการวางตำแหน่งของล้อหลัง....34
3.4 ลักษณะการวางตำแหน่งของเซ็นเซอร์เข็มทิศ....34
3.5 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลองจริง....35
3.6 แผนภาพยูสเคสของระบบ....35
3.7 แผนภาพกิจกรรมการสร้างการเชื่อมต่อ....48
3.8 แผนภาพกิจกรรมการยกเลิกการเชื่อมต่อ....49
3.9 แผนภาพกิจกรรมการรอรับการเชื่อมต่อ....50
3.10 แผนภาพกิจกรรมการส่งและการรับข้อมูล....51
3.11 แผนภาพกิจกรรมการร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธ....52
3.12 แผนภาพกิจกรรมการคำนวณ....53
3.13 แผนภาพกิจกรรมการแสดงพิกัดตำแหน่งบนหน้าจอคอมพิวเตอร์....54
3.14 แผนภาพกิจกรรมการแสดงพิกัดตำแหน่งบนหน้าจออุปกรณ์....55
3.15 แผนภาพกิจกรรมการเก็บค่าความเข้มสัญญาณบลูทูธของหุ่นยนต์....56
3.16 แผนภาพกิจกรรมการเก็บค่าความเข้มสัญญาณบลูทูธของอุปกรณ์....57
3.17 แผนภาพกิจกรรมการเริ่มต้นโปรแกรมในตัวหุ่นยนต์....58
3.18 แผนภาพกิจกรรมการเริ่มต้นโปรแกรมในตัวโปรแกรม....59
3.19 แผนภาพกิจกรรมการเก็บค่าองศา....60
3.20 แผนภาพกิจกรรมการหมุน....61
3.21 แผนภาพกิจกรรมการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า....62
3.22 แผนภาพคลาสของระบบฝั่งคอมพิวเตอร์....63
3.23 แผนภาพคลาสของระบบฝั่งหุ่นยนต์....64
3.24 แผนภาพคลาสของระบบฝั่งอุปกรณ์บลูทูธ....65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.25 แผนภาพลำดับการสร้างและยกเลิกการเชื่อมต่อ 65
3.26 แผนภาพลำดับการรอรับการเชื่อมต่อ 65
3.27 แผนภาพลำดับการส่งและการรับข้อมูล 66
3.28 แผนภาพลำดับการร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธ 66
3.29 แผนภาพลำดับการคำนวณ 67
3.30 แผนภาพลำดับการแสดงพิกัดตำแหน่งบนหน้าจออุปกรณ์ 68
3.31 แผนภาพลำดับการเก็บค่าองศา 68
3.32 แผนภาพลำดับการหมุน 69
3.33 แผนภาพลำดับการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า 69
4.1 แสดงสถานะเชื่อมต่อสำเร็จที่ฝั่งเครื่องคอมพิวเตอร์ 72
4.2 แสดงสถานะเชื่อมต่อสำเร็จที่ฝั่งหุ่นยนต์ 73
4.3 แสดงสถานะยกเลิกการเชื่อมต่อสำเร็จที่ฝั่งเครื่องคอมพิวเตอร์ 73
4.4 แสดงสถานะยกเลิกการเชื่อมต่อสำเร็จที่ฝั่งหุ่นยนต์ 74
4.5 แสดงสถานะเชื่อมต่อสำเร็จที่ฝั่งเครื่องคอมพิวเตอร์ 74
4.6 แสดงสถานะเชื่อมต่อสำเร็จที่ฝั่งอุปกรณ์ 75
4.7 แสดงสถานะยกเลิกการเชื่อมต่อสำเร็จที่ฝั่งเครื่องคอมพิวเตอร์ 75
4.8 แสดงสถานะยกเลิกการเชื่อมต่อสำเร็จที่ฝั่งอุปกรณ์บลูทูธ 76
4.9 แสดงส่วนการสร้างและยกเลิกการเชื่อมต่อของโปรแกรมฝั่งคอมพิวเตอร์ 76
4.10 แสดงการรับค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธจากหุ่นยนต์ 77
4.11 แสดงการรับค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธจากอุปกรณ์ 78
4.12 แสดงปุ่มเพื่อการร้องขอความเข้มของสัญญาณบลูทูธ 78
4.13 แสดงค่าพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ 79
4.14 แสดงตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ 80
4.15 แสดงค่าพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ 81
4.16 แสดงตำแหน่งสุดท้ายของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ 82
4.17 แสดงตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ 83
4.18 แสดงค่าพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.19 แสดงตำแหน่งสุดท้ายของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ 84
4.20 แสดงตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ 85
4.21 แสดงการรับค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธจากอุปกรณ์ 85
4.22 แสดงตำแหน่งสุดท้ายของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากเทคโนโลยีการค้นหาตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายในอาคารในปัจจุบัน ยังคงมีข้อจำกัดอันเนื่องจากความแตกต่างของเทคโนโลยี วิธีการที่ใช้ รูปแบบของแอปพลิเคชั่น ทำให้เกิดปัญหาในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายในอาคารได้ไม่ถูกต้อง จึงไม่ทราบว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่อยู่ที่ตำแหน่งใดของตัวอาคาร ซึ่งส่งผลให้สูญเสียเวลาในการค้นหาหุ่นยนต์หรือหุ่นยนต์อาจจะสูญหาย อีกทั้งเทคโนโลยีที่ใช้ในปัจจุบัน อาทิเช่น เซนเซอร์อัลตราโซนิกส์ (Ultrasonic Sensor) และเทคโนโลยีไว-ไฟ (WiFi) จะต้องใช้งบประมาณ และพลังงานที่ใช้สูง ทำให้ไม่เหมาะกับการใช้งานร่วมกับอุปกรณ์สำหรับพกพาเมื่อเปิดใช้งานเป็นเวลานาน นอกจากนี้รูปแบบของแอพพลิเคชั่นดังกล่าวนั้นก็ใช้งานได้ยาก

โครงงานนี้จึงเป็นการพัฒนาระบบการค้นหาตำแหน่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ระยะใกล้ภายในอาคารผ่านระบบไร้สายด้วยสัญญาณบลูทูธ เพื่อจัดการแก้ไขปัญหาการค้นหา และระบุตำแหน่งหุ่นยนต์ภายในอาคาร ทำให้การระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์เป็นไปอย่างถูกต้องและมีแอปพลิเคชั่นที่ใช้งานได้ง่าย สามารถแสดงผลตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่หน้าจอของระบบได้ นอกจากนี้เทคโนโลยีบลูทูธสามารถแก้ปัญหาข้อจำกัดอื่นๆ อาทิเช่น ด้านงบประมาณ ด้านการใช้พลังงาน ด้านความสะดวกในการติดตั้ง ตลอดจนการรองรับการทำงานของอุปกรณ์ต่างๆในปัจจุบัน เพื่อให้ได้ระบบการค้นหาตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพ และได้ผลลัพธ์เป็นไปตามความต้องการของระบบที่กำหนดไว้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาหลักการติดต่อสื่อสารแบบไร้สายโดยใช้เทคโนโลยีบลูทูธ
2. เพื่อให้สามารถประยุกต์ใช้หลักการพัฒนาระบบเชิงวัตถุเข้ากับระบบฝังตัวได้
3. เพื่อศึกษาอัลกอริทึมการค้นหาตำแหน่งที่ใช้ในปัจจุบัน เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับระบบ
4. เพื่อใช้เป็นต้นแบบของระบบค้นหาตำแหน่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ระยะใกล้ภายในอาคารโดยใช้เทคโนโลยีบลูทูธ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 หลักการและเหตุผล

ระบบค้นหาตำแหน่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยสัญญาณบลูทูธ มีหลักการทำงานในเบื้องต้นคือ ใช้หุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยใช้ชุดทดลองเลโก้ มายสตอร์ม รุ่นเอ็นเอ็กซ์ทีที่มีโมดูลบลูทูธจำนวน 2 ตัว โดยตัวแรกใช้เป็นหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ส่วนตัวที่ 2 ใช้เป็นตัวแทนของอุปกรณ์ที่มีฟังก์ชันบลูทูธ และใช้คอมพิวเตอร์เพื่อทำการคำนวณหาตำแหน่งจากค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธที่ได้รับมาจากหุ่นยนต์เคลื่อนที่และชุดทดลองเอ็นเอ็กซ์ที หลังการคำนวณเสร็จสิ้นเครื่องคอมพิวเตอร์จะส่งข้อมูลและคำสั่งให้กับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ให้สามารถเคลื่อนที่ไปหาตำแหน่งของชุดทดลองอีกตัวหนึ่งในทิศทางและตำแหน่งที่ถูกต้อง

เหตุที่เลือกใช้สัญญาณบลูทูธเป็นสื่อกลางในการติดต่อสื่อสาร เนื่องจากไม่ต้องใช้สายในการเชื่อมต่อ ซึ่งตามคุณสมบัติของบลูทูธนั้นเป็นคลื่นวิทยุที่สามารถแผ่สัญญาณได้โดยรอบ มีรัศมีการทำงานที่เหมาะสำหรับการใช้งานภายในอาคาร ใช้พลังงาน และต้นทุนต่ำ สนับสนุนการส่งข้อมูลได้หลายรูปแบบ อาทิเช่น ข้อความ ภาพ และเสียง ในปัจจุบันอุปกรณ์ต่างๆสามารถรองรับการทำงานของบลูทูธได้อย่างแพร่หลาย อาทิเช่น พีดีเอ, เครื่องพรินเตอร์, โทรศัพท์มือถือ, ชุดหูฟังสมอลทอล์ก เป็นต้น ซึ่งช่วยลดต้นทุนด้านอุปกรณ์ได้เป็นอย่างดี โดยการระบุตำแหน่งนั้นจะอาศัยเทคนิคความเป็นเอกลักษณ์ของตำแหน่ง (Location fingerprint) ซึ่งใช้ความแรงของสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุที่ได้รับหรือ RSS (Receive signal strength) ซึ่งในที่นี้คือสัญญาณบลูทูธ นำมาคำนวณหาระยะห่างตามหลักสามเหลี่ยมเชิงตรีโกณมิติ (Triangle trigonometry) ในการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ โดยค่าที่คำนวณได้ จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าตำแหน่งที่เป็นเอกลักษณ์ ซึ่งถูกเก็บบันทึกในฐานข้อมูลไว้แล้วก่อนหน้าในช่วงเฟสของการฝึกหัด (Training phase) ทำให้สามารถระบุตำแหน่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายในอาคารได้อย่างถูกต้อง และสามารถสั่งการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่มายังอุปกรณ์ควบคุมแบบไร้สายได้อีกด้วย

1.4 ขอบเขตของการพัฒนา

ปริญญานิพนธ์นี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาและพัฒนาแอพพลิเคชันร่วมกับระบบสมองกลฝังตัว โดยใช้ชุดทดลองเลโก้ มายสตอร์ม รุ่นเอ็นเอ็กซ์ที เพื่อทดลองการค้นหาตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยสัญญาณบลูทูธในสภาพแวดล้อมที่กำหนด และพัฒนาขั้นตอนวิธีคิดคำนวณเพื่อควบคุมทิศทางให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังอุปกรณ์เป้าหมายได้ ซึ่งจะสามารถแสดงผลตำแหน่งที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปได้และตำแหน่งของอุปกรณ์ที่เป็นเป้าหมายบนหน้าจอผู้ใช้งานระบบ ภาษาที่ใช้พัฒนาคือ ภาษาจาวา โดยใช้เนตบีนเป็นเครื่องมือในการพัฒนา ผนวกเข้ากับเลจอส เฟิร์มแวร์ เพื่อให้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมชุดทดลองเลโก้ มายสตอร์ม รุ่นเอ็นเอ็กซ์ทีได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ขั้นตอนของการพัฒนาระบบ

1. ศึกษาการทำงานของระบบการค้นหาตำแหน่งในปัจจุบัน
2. ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎี และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องในการพัฒนาโครงงาน
3. เก็บรวบรวมความต้องการระบบ (Requirement)
4. ติดตั้ง และทดสอบการใช้งานระบบรุ่นทดลอง เพื่อใช้ในการปรับปรุงแก้ไข
5. ติดตั้ง และทดสอบการใช้งานระบบจริง
6. สรุปผลการพัฒนาโครงงาน
7. จัดทำรายงานและคู่มือการใช้งานระบบ

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับระบบฝังตัว (Embedded System) และอุปกรณ์ชุดทดลองเลโก้ มายสตอร์ม เอ็นเอ็กซ์ที

2. มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคโนโลยีบลูทูธ

3. สามารถนำขั้นตอนวิธี (Algorithm) ในการค้นหาตำแหน่งที่พัฒนาขึ้น นำมาประยุกต์ใช้กับระบบค้นหาตำแหน่งด้วยเทคโนโลยีอื่นหรือนำมาพัฒนาต่อยอดให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นได้

4. สามารถออกแบบและพัฒนาแอพพลิเคชันที่เป็นต้นแบบ (Prototype) สำหรับระบบค้นหาตำแหน่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยใช้สัญญาณบลูทูธได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
เทคโนโลยีและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีพื้นฐานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนา สามารถแบ่งออกเป็นหัวข้อต่างๆได้ดังนี้

1. เทคโนโลยีบลทูธ (Bluetooth)
2. เทคโนโลยีสมองกลฝังตัว (Embedded Technology)
3. ชุดทดลองเลโก้ มายด์สตอร์ม เอ็นเอ็กซ์ที (Lego Mindstorms NXT Toolkit)
4. แนวทางในการพัฒนาระบบ (System Development Approch)
5. ทฤษฎีการคำนวณ และการประมาณค่าพิกัดตำแหน่ง (Calculation and positioning estimation theories)

2.1 เทคโนโลยีบลูทูธ (Bluetooth Technology)

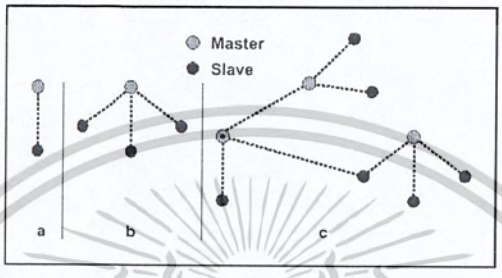
บลูทูธ เป็นข้อกำหนดสำหรับอุตสาหกรรมเครือข่ายส่วนบุคคล (PAN: Personal Area Networks) แบบไร้สายของอุปกรณ์เคลื่อนที่ระยะสั้นด้วยสัญญาณวิทยุ โดยบลูทูธเกิดจากแนวความคิดของกลุ่มวิศวกรของบริษัทอิริคสัน (Ericsson) ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาวิธีการรับส่งข้อมูลแบบไร้สายโดยใช้คลื่นวิทยุ เพื่อติดต่อสื่อสารกันระหว่างโทรศัพท์มือถือกับอุปกรณ์เสริมอื่นๆ ภายใต้แนวคิดที่มีต้นทุนราคาถูก และใช้พลังงานน้อย หลังจากนั้นจึงมีการจัดตั้งกลุ่ม Bluetooth SIG (Bluetooth Special Interest Group) ขึ้น เพื่อพัฒนา และกำหนดมาตรฐานบลูทูธทั้งหมด ปัจจุบันบลูทูธได้การรับรองมาตรฐาน โดย IEEE 802.15.1 (Bray and Sturman. 2001 : 2)

2.1.1 การสร้างโครงข่ายการเชื่อมต่อ

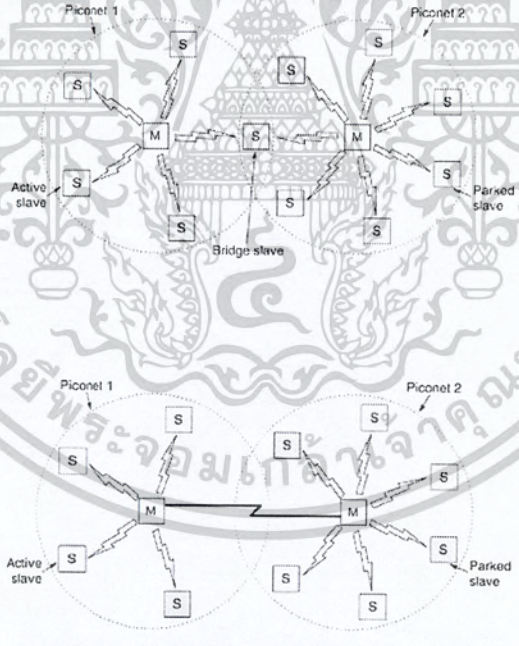
การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ตามมาตรฐานบลูทูธจะอยู่ในรูปแบบของ มาสเตอร์-สเลฟ (Master-Slave) โดยเมื่อเชื่อมต่อกันสำเร็จจะเปรียบเสมือนการสร้างระบบเครือข่ายขนาดเล็กขึ้น ซึ่งมีชื่อเรียกว่า ไพโคเน็ต (Piconet) ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งจะมีอุปกรณ์ที่เป็นมาสเตอร์ (Master) หรือตัวแม่ข่ายเพียง 1 ตัว เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการทำงาน และประสานงานให้กับอุปกรณ์ตัวอื่นๆในเครือข่ายเดียวกัน แต่สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ที่เป็นสเลฟ (Slave) หรือตัวลูกข่ายที่กำลังทำงานอยู่ได้ 7 ตัว ซึ่งโครงสร้างการทำงานของบลูทูธนี้คล้ายกับการใช้สายยูเอสบี (USB : Universal Serial Bus) ที่ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทั่วๆไป แต่ต่างกันในส่วนของการเชื่อมต่อ โดยอุปกรณ์บลูทูธส่วนใหญ่สามารถทำหน้าที่ได้ทั้งมาสเตอร์หรือสเลฟตามความเหมาะสม ซึ่งภายในเครือข่ายจะมีการจัดการกันเองโดยอัตโนมัติด้วยโปรโตคอลมาตรฐานจำนวนมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ในแต่ละพิโคเน็ตสามารถเชื่อมต่อข้ามเครือข่ายกัน เกิดเป็นเครือข่ายที่ใหญ่ขึ้น เรียกว่า สแกทเทอร์เน็ต (Scatternet) ส่งผลให้มีรัศมีการส่งสัญญาณเพิ่มขึ้น โดยการเชื่อมต่อระหว่างไพโคเน็ตทั้งสองจะเกิดขึ้นได้ 2 รูปแบบคือ มาสเตอร์ของไพโคเน็ตหนึ่งไปเป็นสเลฟของอีกไพโคเน็ตหนึ่ง และสเลฟของไพโคเน็ตหนึ่งไปเป็นสเลฟของอีกไพโคเน็ตหนึ่ง (Bray and Sturman. 2001 : 43) โดยรูปที่ 2.1 เป็นตัวอย่างการเชื่อมต่อระหว่างมาสเตอร์กับ สเลฟ และรูปที่ 2.2 เป็นตัวอย่างของโครงข่ายสแกทเทอร์เน็ท



รูปที่ 2.1 โครงข่ายแบบไพโคเน็ต และการเชื่อมต่อระหว่างมาสเตอร์ - สเลฟ



รูปที่ 2.2 โครงข่ายแบบสแกทเทอร์เน็ต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ช่วงความถี่ในการใช้งาน

บลูทูธมีจุดมุ่งหมายจะทำให้สามารถใช้งานได้ในทุกประเทศ ความถี่ที่ใช้เป็นคลื่นตัวนำหรือคลื่นพาหะ (Carrier wave) จึงจำเป็นต้องอยู่ในช่วงที่โลกเปิดให้ใช้งานโดยไม่ต้องขออนุญาต ช่วงความถี่ดังกล่าวคือ ช่วงความถี่ ISM (ISM Band: Industrial, Scientific and Medical Band) ซึ่งมีความถี่ใช้งานอยู่ในช่วง 2.4 กิกะเฮิร์ต (GHz) เนื่องจากช่วงความถี่นี้เป็นช่วงความถี่ที่สงวนไว้ใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม, ด้านวิทยาศาสตร์ และด้านการแพทย์ของทุกประเทศทั่วโลก ช่วงความถี่ ISM นั้นถูกกำหนดขอบเขตไว้ในช่วง 2,400 ถึง 2,483.5 กิกะเฮิร์ต (GHz) จะได้จำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดเท่ากับ 79 ช่อง แต่เนื่องจากมีบางประเทศ อาทิเช่น ประเทศฝรั่งเศส ที่ไม่เปิดช่วงความถี่ ISM เต็มช่วง จึงทำให้ในประเทศฝรั่งเศสเหลือช่องสัญญาณที่อนุญาตให้ใช้งานได้เพียง 23 ช่อง (Bray and Sturman. 2001 : 32)

ตารางที่ 2.1 ช่วงความถี่และจำนวนช่องสัญญาณของ ISM Band ที่สามารถใช้งานได้ (Bray and Sturman. 2001 : 33)

ประเทศ	ช่วงความถี่ ISM	Lower Guard Band	Upper Guard Band	จำนวนช่องที่ใช้ได้
ฝรั่งเศส	2.4465 – 2.4835 GHz	7.5 MHz	7.5 MHz	23
อื่นๆ	2.4000 – 2.4835 GHz	2 MHz	3.5 MHz	79

2.1.3 คุณสมบัติของแต่ละคลาส

ตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นการจัดแบ่งอุปกรณ์ออกเป็นคลาสต่างๆ ตามความสามารถในการรับ-ส่งข้อมูล ซึ่งจะเห็นได้ว่าระยะห่างไกลสูงสุดที่สามารถทำงานได้สูงถึง 100 เมตรสำหรับอุปกรณ์คลาส 1 แต่ในปัจจุบันอุปกรณ์ที่ผลิตออกมาส่วนใหญ่จะอยู่ในคลาส 3 เนื่องจากใช้กำลังไฟไม่สูงมาก ทำให้ประหยัดพลังงาน จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้กับอุปกรณ์พกพาขนาดเล็กเพื่อประหยัดแบตเตอรี (Wikipedia. 2010 : http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth)

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติของบลูทูธแต่ละคลาส (Bray and Sturman. 2001 : 35)

คลาส	กำลังไฟที่ใช้สูงสุด	กำลังไฟที่ใช้ต่ำสุด	ระยะการใช้งาน (โดยประมาณ)
1	100 mW (20 dBm)	1 mW (0 dBm)	100 เมตร
2	2.5 mW (4 dBm)	0.25 mW (-6 dBm)	10 เมตร
3	1 mW (0 dBm)	-	1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเร็วในการรับ-ส่งของบลูทูธจะขึ้นอยู่กับรุ่นหรือเวอร์ชัน (Version) ที่เลือกใช้งาน ซึ่งมีการพัฒนากันมาอย่างต่อเนื่อง โดยจะมีความเร็วแตกต่างกัน ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 อัตราความเร็วในแต่ละเวอร์ชันของบลูทูธ

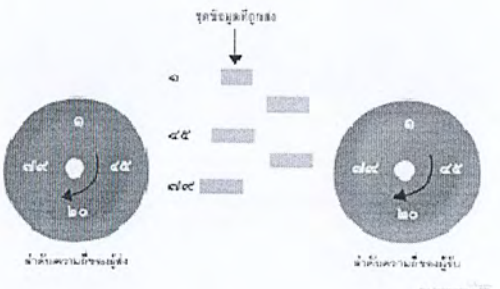
(Wikipedia. 2010 : http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth)

เวอร์ชัน	อัตราความเร็ว (Mbps)
1.2	1
2.0 with EDR (Enhanced Data Rate)	3
3.0 with HS (High Speed)	24

2.1.4 เทคนิคการรับ-ส่งข้อมูล

บลูทูธเลือกใช้เทคนิคการมอดูเลทโดยความถี่ (Frequency modulation) โดยใช้วิธี Gaussian Frequency – Shift keying (GFSK) โดยการรับส่งข้อมูลจะแบ่งข้อมูลออกเป็นแพ็คเกจย่อยๆแล้วส่งไปในรูปแบบการส่งทางเดียว (Half duplex) เพื่อประหยัดช่องสัญญาณ และให้แต่ละแพ็คเกจมีข้อมูลส่วนหัว (Header) เพื่อให้ทางฝั่งรับสามารถประกอบข้อมูลทั้งหมดเข้าด้วยกันอย่างถูกต้อง และทำการซิงโครไนซ์ (Synchronize) เพื่อให้เกิดการรับ-ส่งข้อมูลในจังหวะที่ถูกต้อง

นอกจากนี้ บลูทูธใช้เทคนิค การส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุด้วยการแผ่สเปกตรัม (Frequency Hopping Spread Sprectrum : FHSS) ผู้ส่งจะส่งข้อมูลบนความถี่ที่ถูกแบ่งออกเป็น 79 ช่องสัญญาณ โดยส่งข้อมูลไปบนช่องสัญญาณที่เปลี่ยนไปมาอย่างต่อเนื่องตามลำดับที่ได้กำหนดไว้ ถึง 1,600 ครั้งต่อวินาที ผู้รับก็ต้องรับข้อมูลด้วยลำดับความถี่ที่เปลี่ยนแปลงตามความถี่ของช่องสัญญาณที่ผู้ส่งส่งมาในเวลาเดียวกัน ดังรูปที่ 2.3 ทั้งนี้เพื่อป้องกันการดักจับข้อมูลจากผู้ใช้อื่น เนื่องจากลำดับความถี่ที่ส่งจะเข้าใจกันระหว่างผู้รับ และผู้ส่งเท่านั้น และลดอัตราการเกิดการชนกันของแต่ละแพคเกจในระหว่างการรับ-ส่งข้อมูล (Bray and Sturman. 2001 : 33)



รูปที่ 2.3 การส่งข้อมูลผ่านคลื่นวิทยุโดยเปลี่ยนความถี่ไปมา (Thai Telecom KM : http://www.thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/Bluetooth_Technology/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.5 ระบบความปลอดภัย

ความปลอดภัยในการเชื่อมต่อแบบไร้สายนั้นมีความสำคัญมาก ซึ่งบลูทูธมีการระบบรักษาความปลอดภัย ดังนี้

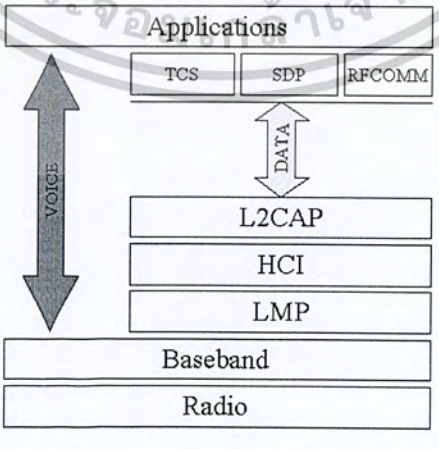
1. การยืนยัน/พิสูจน์ตัวตน (Authentication) โดยการจับคู่อุปกรณ์ (Pairing device)
2. การเข้ารหัส (Encryption) โดยใช้การเข้ารหัสแบบ SAFER+ ซึ่งมีความปลอดภัยสูง
3. การให้สิทธิ์การเข้าถึง (Authorization) จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อกระบวนการยืนยัน/พิสูจน์ตัวตนได้เสร็จสิ้นแล้ว

โดยจะมีการทำงานแตกต่างกันตามระดับชั้น โดยที่ตัวจัดการด้านความปลอดภัย (Security manager) จะเป็นผู้จัดการแลกเปลี่ยนข้อมูล และควบคุมดูแลความปลอดภัยของบลูทูธ (Bray and Sturman. 2001 : 310)

2.1.6 โปรโตคอล สแตก

สำหรับอุปกรณ์ที่มีการเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายนั้น การส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ต้นทางไปยังอุปกรณ์ปลายทางจำเป็นต้องมีการส่งข้อมูลอื่นๆประกอบเข้าไปกับข้อมูลจริงที่ต้องการส่งนั้นด้วย เพื่อควบคุมเส้นทางการส่งข้อมูลให้สามารถส่งไปถึงปลายทางได้อย่างถูกต้อง ทำให้การส่งข้อมูลแต่ละครั้งเกิดการทำงานต่างๆขึ้นมากมาย จึงเกิดการสร้างโมเดล (Model) แทนการทำงานต่างๆ เรียกว่า โปรโตคอลสแตก (Protocol stack) เพื่อให้สามารถมองเห็นภาพรวมของการทำงานทั้งหมดได้ (Bray and Sturman. 2001 : 5)

การควบคุมการเชื่อมต่อการทำงานระหว่างอุปกรณ์บลูทูธกับแอพพลิเคชันจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของบลูทูธ โปรโตคอล แสตก (Bluetooth Protocol stack)



รูปที่ 2.4 บลูทูธโปรโตคอล สแตก (Bluetooth Protocol Stack: http://developers.sun.com/mobility/midp/articles/bluetooth1/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึงแผนภาพแสดงการติดต่อสื่อสารในแต่ละชั้นการทำงาน โดยรายละเอียดในแต่ละชั้นการทำงานของบลูทูธ โปรโตคอล สแตก มีดังนี้

- Application Layer เป็นส่วนของโปรแกรมที่ติดต่อรับหรือส่งข้อมูลกับผู้ใช้งาน

- RFCOMM and SDP สำหรับ RFCOMM (Radio Frequency Communication) เป็นโปรโตคอลที่ทำให้แอพพลิเคชันด้านบนมองบลูทูธเป็นเหมือนพอร์ตอนุกรม (Serial Port) ทั่วไป ส่วน SDP (Service Discovery Protocol) เป็นโปรโตคอลที่ช่วยค้นหาบริการจากอุปกรณ์บลูทูธตัวอื่นที่อยู่ในขอบเขตไพโคเนตเดียวกัน

- L2CAP (Logical Link and Adaptation Protocol) ทำหน้าที่มัลติเพล็กซ์ (Multiplex) ข้อมูลจากชั้นบนซึ่งอาจมีการทำงานของโปรแกรมหลายโปรแกรมพร้อมกัน และจัดแบ่งข้อมูลออกเป็นแพ็คเกจ

- HCI (Host Controller Interface) ทำหน้าที่ในการจัดหาคำสั่งควบคุมการเชื่อมต่อระหว่างชั้น Radio, Baseband และ Link Controller

- LMP (Link Manager Protocol) ทำหน้าที่ในการจัดการดูแลควบคุมการติดต่อพื้นฐานของอุปกรณ์บลูทูธ กำหนดขนาดของแพคเกจ และควบคุมดูแลด้านความปลอดภัย

- Baseband ทำหน้าที่ควบคุมวงจรภาครับ-ส่งคลื่นวิทยุที่อยู่ในชั้นล่างสุด จุดสำคัญที่สุดของการควบคุมก็คือการเลือกช่องความถี่ในการรับส่งข้อมูลให้ตรงกันระหว่างมาสเตอร์กับสเลฟ เพื่อให้มีจังหวะในการกระโดดทางความถี่ของสัญญาณอย่างถูกต้องตรงกัน ซึ่งการทำงานในชั้นนี้ถือได้ว่าเป็นหัวใจของบลูทูธในด้านฮาร์ดแวร์

- Radio เป็นส่วนที่เกิดการรับ และส่งคลื่นวิทยุจริงๆที่ถูกควบคุมโดยชั้น Baseband ไม่ว่าเป็นช่วงความถี่ ระดับความเข้มของสัญญาณที่ใช้ รวมถึงเฟรมข้อมูล

โดยกลไกการรับ-ส่งข้อมูลหรือการเชื่อมต่อเพื่อให้เกิดระบบเครือข่ายของบลูทูธ มีขั้นตอนดังนี้

1. Inquire คือ การค้นหาอุปกรณ์บลูทูธที่อยู่ในรัศมีการทำงาน เพื่อทำการจับคู่ (Pairing)
2. Page คือ กระบวนการซิงโครไนซ์ (Synchronize) กันระหว่างอุปกรณ์บลูทูธ
3. Establish a link คือ การสร้างการเชื่อมต่อโดย LMP (Link Manager Protocol)
4. Discover services คือ การค้นหาบริการต่างๆจากอุปกรณ์บลูทูธปลายทางโดยใช้ SDP (Service Discovery Protocol)
5. Create an L2CAP Channel คือ กระบวนสร้างช่องทางการสื่อสารสำหรับโปรโตคอล L2CAP (Logical Link Control and Adaptation Protocol) โดยนำข้อมูลที่ได้จากโปรโตคอล SDP
6. Create an RFCOMM channel คือ กระบวนสร้างช่องทางการสื่อสารสำหรับโปรโตคอล RFCOMM (Radio Frequency Communications) ซึ่งขึ้นอยู่กับแต่ละแอพพลิเคชัน
7. Authenticate คือ การยืนยันหรือพิสูจน์ตัวตนโดยการใส่ PIN code เพื่อความปลอดภัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. Log in คือ หากอุปกรณ์ดังกล่าวใช้ PPP (Point-to-Point Protocol) จะต้องมีการ log in เพื่อเข้าสู่ระบบก่อน เช่น การเข้าใช้งานบัญชีอีเมล์

9. Send and receive data คือ การทำการรับ และส่งข้อมูลระหว่างกัน เมื่อสร้างช่องทางการสื่อสาร และทำการยืนยันตัวตนเรียบร้อยแล้ว

2.2 เทคโนโลยีสมองกลฝังตัว (Embedded Technology)

ระบบสมองกลฝังตัวเป็นเป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้ควบคุมการทำงานเฉพาะทางหรืออุปกรณ์เฉพาะด้านที่มีฟังก์ชัน (Function) การใช้งานที่ชัดเจน และสามารถตอบสนองการทำงานแบบเรียลไทม์ (Real Time) คือสามารถตอบสนองได้ในช่วงเวลาที่จำกัด แต่ก็ขึ้นอยู่กับงานหรือฟังก์ชันที่ทำว่าให้ความสำคัญกับการตอบสนองมากน้อยเท่าใด โดยการตอบสนองแบบเรียลไทม์มี 2 แบบ ได้แก่

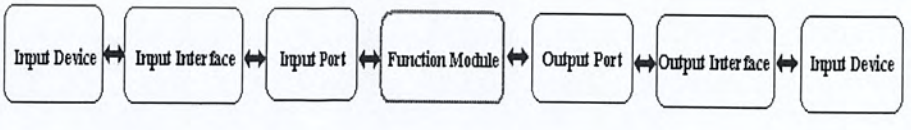
1. ฮาร์ดเรียลไทม์ (Hard-Real Time) คือ ระบบสมองกลฝังตัวจะต้องตอบสนองกับการทำงานได้ทันที ไม่มีความยืดหยุ่น

2. ซอฟต์เรียลไทม์ (Soft-Real Time) คือ ระบบสมองกลฝังตัวที่มีความยืดหยุ่นในเรื่องของเวลา สามารถตอบสนองกับการทำงานได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด หรือไม่ล่าช้าจนเกินไป

โดยระบบฝังตัวนั้นมีองค์ประกอบหลักๆ 2 องค์ประกอบคือองค์ประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์ และองค์ประกอบทางด้านซอฟต์แวร์ (Japan System House Association. 2006 : 5)

2.2.1 องค์ประกอบทางด้านฮาร์ดแวร์ (Elements of Embedded Hardware)

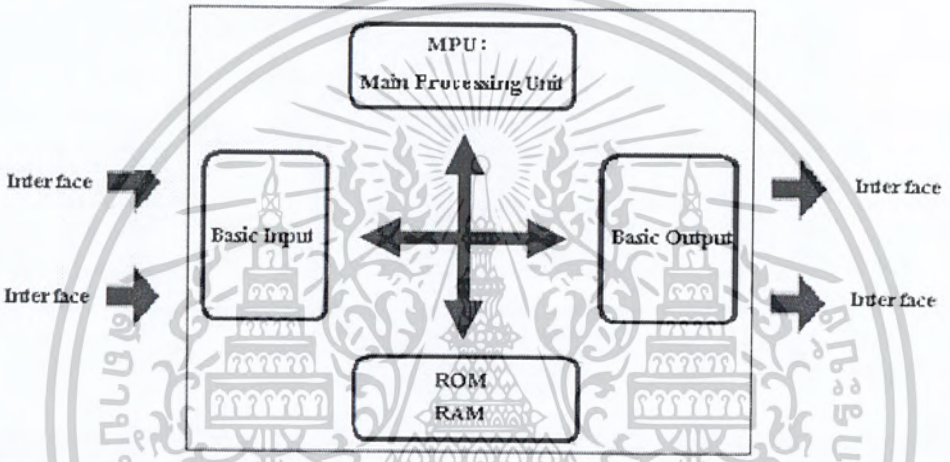
ภาพรวมส่วนประกอบฮาร์ดแวร์ของระบบสมองกลฝังตัว กล่าวถึงอุปกรณ์ที่เป็นองค์ประกอบในระบบสมองกลฝังตัว ซึ่งประกอบได้ด้วย อุปกรณ์อินพุตเอาท์พุต อินเทอร์เฟสอินพุตเอาท์พุต พอร์ตอินพุตเอาท์พุต ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โครงสร้างของระบบสมองกลฝังตัว (Japan System House Association. 2006: 89)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

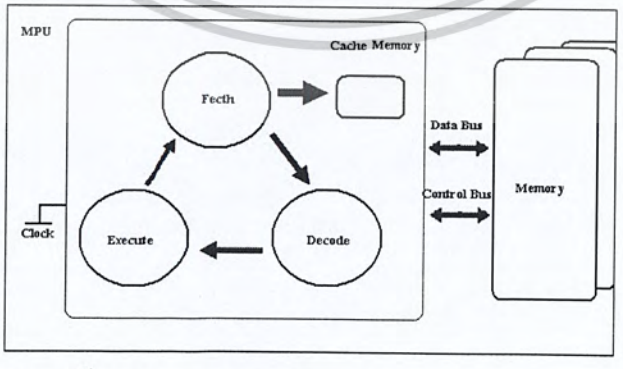
ส่วนสำคัญที่ถือได้ว่าเป็นปัจจัยหลักของระบบฝังตัวคือ ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ซึ่งเปรียบเสมือนเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็กที่ใช้ในการประมวลผล และการจัดการทางด้านต่างๆ โดยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ในการประมวลผลมีส่วนประกอบที่สำคัญได้แก่ เอ็มพียู (MPU), หน่วยความจำ (Memory), บัส (Bus) และอินพุต/เอาท์พุต (I/O) เรียกได้ว่าเป็นสถาปัตยกรรมพื้นฐานของระบบสมองกลฝังตัว (Embedded System Architecture) ดังรูปที่ 2.6 ภาพรวมส่วนประกอบฮาร์ดแวร์ของระบบสมองกลฝังตัว กล่าวถึงอุปกรณ์ที่เป็นองค์ประกอบในระบบสมองกลฝังตัว ซึ่งประกอบได้ด้วย อุปกรณ์อินพุตเอาต์พุต อินเทอร์เฟสอินพุตเอาต์พุต พอร์ตอินพุตเอาต์พุต



รูปที่ 2.6 สถาปัตยกรรมพื้นฐานของระบบสมองกลฝังตัว (Japan System House Association. 2006)

ลักษณะโครงสร้างพื้นฐานของระบบสมองกลฝังตัวดังรูปที่ 2.7 ประกอบด้วย

1. เอ็มพียู เปรียบเสมือนหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) ในเครื่องคอมพิวเตอร์ มีหน้าที่ในการประมวลผลคำสั่งต่างๆ และตอบสนองต่อคำสั่งนั้นๆ



รูปที่ 2.7 การทำงานพื้นฐานของเอ็มพียู (Japan System House Association. 2006 : 92)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. บัส (Bus) เป็นช่องทางในการติดต่อสื่อสาร แลกเปลี่ยนข้อมูลของระบบสมองกลฝังตัว แบ่งตามอุปกรณ์ที่ใช้งานได้ 2 ประเภทหลักๆ คือ บัสภายใน (Internal Bus) และบัสภายนอก (External Bus)

3. แรม (RAM: Random-access memory) เป็นหน่วยความจำชั่วคราว ต้องจ่ายไฟในการจัดเก็บข้อมูลที่บันทึกไว้ (Volatile) มีความเร็วในการเข้าถึงข้อมูลสูง โดยมีแอดเดรสเป็นตัวระบุตำแหน่งของข้อมูลนั้น ๆ

4. รอม (ROM: Read-only memory) เป็นหน่วยความจำถาวร ไม่ต้องจ่ายไฟในการจัดเก็บข้อมูลที่บันทึกไว้ (Non-volatile) โดยมีแอดเดรสเป็นตัวระบุตำแหน่งของข้อมูลนั้นๆ

5. อินพุตพอร์ต (Input Ports) เป็นส่วนที่รับข้อมูลหรือสัญญาณต่างๆ ของระบบสมองกลฝังตัว โดยส่งข้อมูลเป็นดิจิตอลไปที่เอ็มพียู เพื่อนำไปประมวลผลต่อ

6. เอาต์พุตพอร์ต (Output Ports) เป็นตัวส่งสัญญาณที่ได้จากการคำนวณของเอ็มพียู ไปยังอุปกรณ์เอาต์พุตต่างๆ

ในส่วนของอุปกรณ์เซนเซอร์จำเป็นที่จะต้องมีอินเทอร์เฟส ที่ทำหน้าที่แปลงสัญญาณจากตัวเซนเซอร์เป็นสัญญาณที่ส่วนอินพุตของไมโครคอมพิวเตอร์รับได้

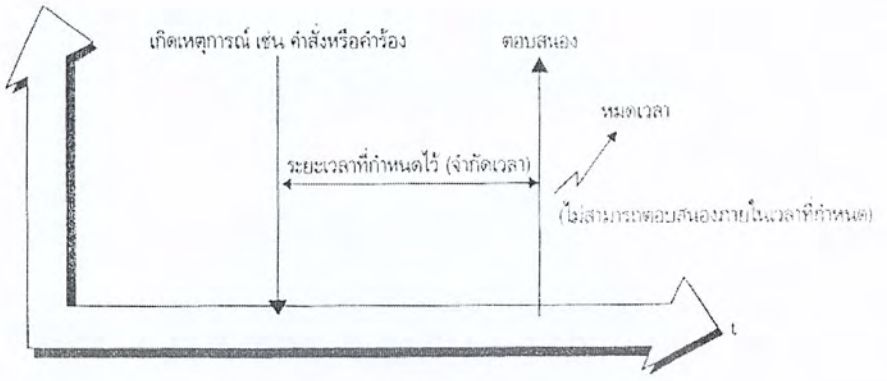
2.2.2 องค์ประกอบทางด้านซอฟแวร์ (Elements of Embedded Software)

ซอฟแวร์เป็นชุดคำสั่งหรือโปรแกรมเพื่อให้อุปกรณ์คอนโทรลเลอร์เกิดการทำงานให้เป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้งาน โดยซอฟต์แวร์ทำหน้าที่จัดการ และควบคุมการประมวลผลต่างๆ ของระบบสมองกลฝังตัว

จุดประสงค์ของซอฟต์แวร์ระบบฝังตัวคือ การเพิ่มขีดความสามารถหรือฟังก์ชันการทำงานของระบบ โดยระบบที่มีไมโครชิฟอยู่นั้นส่วนใหญ่จะเป็นระบบที่สามารถตอบสนองได้ทันที หรือที่เรียกว่า ระบบเรียลไทม์ (Real-Time System) ซึ่งจะรับสัญญาณจากภายนอก และจะตอบสนองภายในเวลาที่กำหนด

โดยทั่วไประบบฝังตัวจะรับคำร้องขอประมวลผลต่างๆจากภายนอกระบบเช่น การเริ่มทำงานของอุปกรณ์ตามค่าที่ได้จากเซ็นเซอร์ (Sensor) ซึ่งส่วนใหญ่ต้องการความเป็นเรียลไทม์ หมายความว่าการประมวลผลต้องเสร็จสิ้นตามเวลาที่กำหนด และมีการตอบสนองอะไรบางอย่างกลับไป การได้รับคำสั่งจากภายนอกโดยต้องการการตอบสนองจากระบบ เรียกสภาวะนั้นว่า เหตุการณ์ (Event) ดังรูปที่ 2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 การขอร้องให้ตอบสนองภายในเวลาที่กำหนด (Japan System House Association:JASA) . 2006. แปล และเรียบเรียงโดย ดร.ธนารักษ์ ธีระมั่นคง : 16)

1. ระบบปฏิบัติการ (Operating system) เป็นซอฟต์แวร์ที่มีหน้าที่ให้กรอบการทำงานแก่ซอฟต์แวร์อื่นๆ คอยจัดการทรัพยากรเพื่อรองรับการทำงานของแอพพลิเคชั่นต่างๆ ซึ่งประกอบด้วย

- เรียลไทม์ เคอร์เนล (Real-time Kernel) ทำหน้าที่ในการควบคุมจัดการเอ็มพียูหรือหน่วยประมวลผล เพื่อให้ง่ายต่อการสร้างระบบเรียลไทม์ เป็นส่วนสนับสนุนฟังก์ชันพื้นฐานที่จะทำให้เกิดการประมวลผลแบบเรียลไทม์ ได้แก่

- ฟังก์ชันการจัดการตารางเวลางาน (Task Scheduling Function) เป็นการใช้ตารางเวลาในการจัดเก็บค่าความสำคัญ (Priority) ของแต่ละงาน โดยงานที่มีค่าความสำคัญสูงกว่าค่าพรีเอมพ์ชั่น (Preemption) หรือค่าความสำคัญสูงที่สุดก็จะได้ทำงานก่อน ซึ่งกระบวนการการเกิดอินเทอร์รัพต์ประกอบด้วย การเริ่มงาน การหยุดงาน การอินพุตเอาท์พุต การหยุดโปรเซส

- ฟังก์ชันการควบคุมอินเทอร์รัพต์ (Interruption Control Function) เป็นการจัดการและควบคุมอินเทอร์รัพต์ที่เกิดขึ้น โดยการบันทึกค่าของตัวจัดการอินเทอร์รัพต์ และการตั้งค่าเวกเตอร์ (Vector)

- ฟังก์ชันซิสเต็มคอล (System Call Function) เป็นฟังก์ชันที่ทำให้งาน (Task) สามารถทำงานพร้อม ๆ กันได้ และสามารถตอบสนองภายในเวลาที่กำหนด โดยมีการเริ่มงาน (Task Start) หยุดงาน (Task Stop) การลบงาน (Task Cancellation) การติดต่อสื่อสารระหว่างงาน (Inter-Task Communication) การเข้าจังหวะ (Synchronization) และการป้องกันการเกิดภาวะตาย (Dead Lock and Mutual Exclusive Control) เป็นตัวที่จัดการอินเทอร์รัพต์ (Interrupt handler)

- ดีไวซ์ไดรเวอร์ (Device driver) เป็นโมดูลที่ทำให้เกิดการควบคุมอุปกรณ์อินพุต และเอาท์พุต มีหน้าที่ซ่อนรายละเอียดของฮาร์ดแวร์ออกจากแอพพลิเคชัน ทำให้แอพพลิเคชันเป็นอิสระจากการประมวลผลเพื่อควบคุมอุปกรณ์ และส่งผลกระทบน้อยที่สุดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มิดเดิลแวร์ (Middleware) เป็นโมดูลที่ทำหน้าที่สนับสนุนฟังก์ชันการทำงานทั่วไปของระบบปฏิบัติการ เช่น ระบบแฟ้มข้อมูล (File System) ในระบบทั่วไปดีไวซ์ไดรเวอร์ และมิดเดิลแวร์ จะรวมเข้ากับเคอร์เนลประกอบกันเป็นระบบปฏิบัติการส่วนประกอบทั้งหมด นอกจากเป็นอุปกรณ์ชนิดพิเศษซึ่งสามารถต้องติดตั้ง ดีไวซ์ไดรเวอร์หรือมิดเดิลแวร์ได้เองภายหลัง

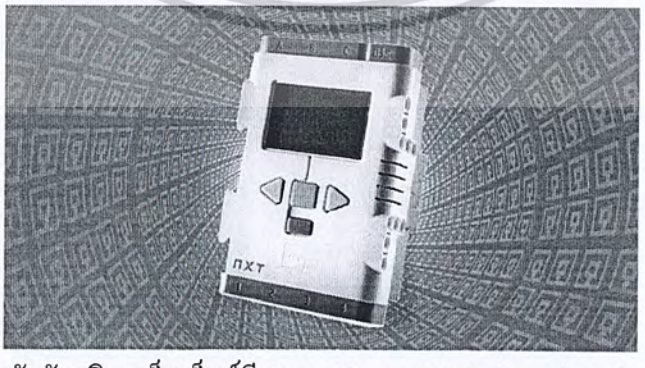
2. โปรแกรมประยุกต์ (Application software) เป็นโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อทำหน้าที่เฉพาะอย่าง หรือประมวลผลแก้ไขปัญหาโดยเฉพาะ ภายใต้กรอบงานที่ระบบปฏิบัติการเสนอให้

2.3 ชุดทดลองเลโก้ มายด์สตอร์ม เอ็นเอ็กซ์ที (Lego Mindstorms NXT Toolkit)

ชุดทดลองเลโก้ มายด์สตอร์ม เอ็นเอ็กซ์ที เป็นชุดโปรแกรมหุ่นยนต์ที่พัฒนาโดยบริษัทเลโก้ (The Lego Group) และวางจำหน่ายในปลายเดือนกรกฎาคม ปี ค.ศ. 2006 ซึ่งเรียกได้ว่าเป็นระบบการประดิษฐ์หุ่นยนต์ (Robotics Invention System) จึงเป็นเหตุให้ผู้ทำโครงการเลือกใช้ LEGO MINDSTORMS รุ่น NXT เวอร์ชัน 2.0 (เวอร์ชันล่าสุด) เนื่องจากตัวผลิตภัณฑ์มีความยืดหยุ่นต่อการประกอบหรือสร้างตัวหุ่นเป็นอย่างดี มีอุปกรณ์เสริมต่างๆเพื่อให้ครอบคลุมต่อการใช้งาน และการพัฒนา นอกจากนี้มีภาษาที่ช่วยสนับสนุน เครื่องมือที่ช่วยออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสม มีความสอดคล้องกับการพัฒนาในโครงการนี้ ซึ่งในกรณีของผู้สนใจจะนำไปพัฒนาต่อจำเป็นจะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบทั้งหลายที่มีความสัมพันธ์ และสอดคล้องกัน

2.3.1 เอ็นเอ็กซ์ที ฮาร์ดแวร์ (NXT Hardware)

- สมองกลฝังตัวอัจฉริยะเอ็นเอ็กซ์ที (NXT Intelligence brick) เป็นส่วนประกอบหลักสำคัญเปรียบเสมือนสมองหรือหัวใจหลักของหุ่นยนต์ ดังรูปที่ 2.9 มีหน้าที่ในด้านการประมวลผลและด้านการควบคุม



รูปที่ 2.9 สมองกลฝังตัวอัจฉริยะ เอ็นเอ็กซ์ที (Lego Group 2010 : http://mindstorms.lego.com/eng/Products/NXT+Intelligent+Brick/9841.aspx)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนประกอบต่างๆ และคุณสมบัติของสมองกลฝังตัวอัจริยะเอ็นเอ็กซ์ที ได้แก่

1. เอาท์พุตพอร์ต (Output ports) ในเอ็นเอ็กซ์ทีมีเอาท์พุต 3 ตัว สำหรับควบคุมมอเตอร์ (Motor) หรือแอคทูเอเตอร์ (Actuator) ประกอบด้วยพอร์ต เอ (A), บี (B) และซี (C)

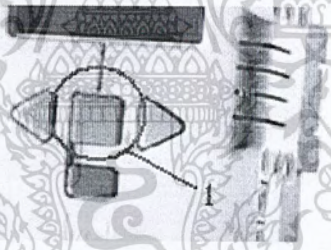
2. เซ็นเซอร์พอร์ต (Sensor Ports) ในเอ็นเอ็กซ์ทีมีอินพุต 4 พอร์ต สำหรับรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ ประกอบด้วย พอร์ต 1, 2, 3 และ 4

3. ยูเอสบีพอร์ต (USB port) เวอร์ชัน 2.0 เป็นช่องทางการติดต่อกับยูเอสบีจากภายนอก สำหรับดาวน์โหลด (Download) โปรแกรมจากเครื่องคอมพิวเตอร์ไปยังตัวเอ็นเอ็กซ์ทีนี้หรืออัพโหลด (Upload) ข้อมูลจากตัวหุ่นยนต์ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งมีความเร็วสูงสุดในการรับส่งข้อมูลอยู่ที่ 12 เมกะบิตต่อวินาที (12 Mbps) และสามารถใช้การติดต่อในรูปแบบบลูทูธ (Bluetooth) เพื่อรับ-ส่งข้อมูลได้

4. ลำโพง (Loudspeaker) ความถี่ 8 Hz ใช้สำหรับแสดงเสียงเมื่อมีการดำเนินงาน (Run) โปรแกรมเกิดขึ้นหรือมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น

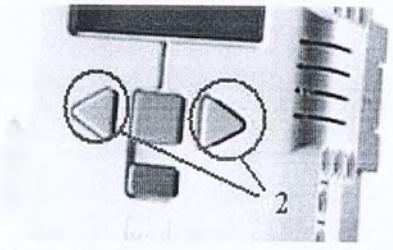
5. ปุ่มบนตัวเอ็นเอ็กซ์ที (NXT Buttons) ใช้สำหรับควบคุมการใช้งานบนรายการเลือก (Menu) ของตัวเอ็นเอ็กซ์ที ประกอบด้วย

- ปุ่มสีส้ม ดังรูปที่ 2.10 ใช้สำหรับเปิด (On), เข้ารายการ (Enter) หรือดำเนินงาน (Run)



รูปที่ 2.10 ปุ่มสีส้ม ณ ตำแหน่งหมายเลข 1 (Lego Group 2010 : http://mindstorms.lego.com/eng/Products/NXT+Intelligent+Brick/9841.aspx)

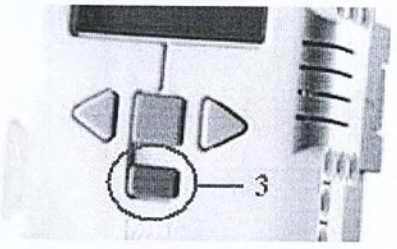
- ปุ่มลูกศรสีเทาอ่อน ดังรูปที่ 2.11 ใช้สำหรับเลื่อนรายการเลือกของให้ขึ้นหรือลง



รูปที่ 2.11 ปุ่มลูกศรสีเทาอ่อน ณ ตำแหน่งหมายเลข 2 (Lego Group 2010 : Products/NXT+ Brick /9841.aspx)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปุ่มกดสีเทาเข้ม ดังรูปที่ 2.12 ใช้สำหรับลบ (Clear) หรือย้อนกลับ (Go back)



รูปที่ 2.12 ปุ่มกดสีเทาเข้ม ณ ตำแหน่งหมายเลข 3 (Lego Group 2010 : http://mindstorms.lego.com/eng/Products/NXT+Intelligent+Brick/9841.aspx)

6. หน่วยแสดงผลของตัวเอ็นเอ็กซ์ที (NXT Display) เป็นจอภาพแอลซีดี (LCD) มีขนาด 100 x 64 พิเซล (Pixel) ใช้สำหรับแสดงข้อมูลที่จำเป็นต่อการทำงาน อาทิ โหมดทางเลือกการทำงาน (Options), รูปภาพไอคอน (Icons)

7. แหล่งพลังงาน (Power source) ใช้ถ่านแบตเตอรี่ AA จำนวน 6 ก้อน

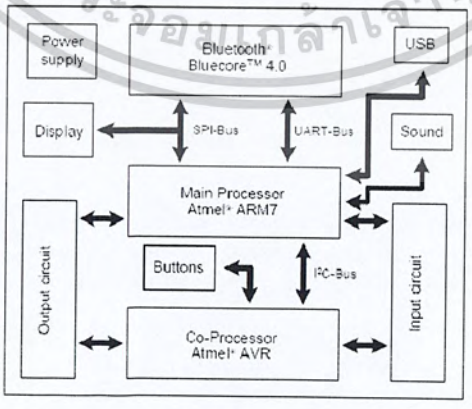
8. รายละเอียดเฉพาะทางเทคนิค (Technical Specifications) ของสมองกลฝังตัวอัจริยะเอ็นเอ็กซ์ที ได้แก่

- หน่วยประมวลผลหลัก รุ่นเออาร์เอ็มเซเว่น (Atmel®32-bit ARM7® processor) พร้อมหน่วยความจำแบบแฟลช ขนาด 256 Kb และแรมขนาด 64 Kb

- หน่วยประมวลผลร่วม รุ่นเอวีอาร์ (Atmel® 8-bit AVR processor) พร้อมหน่วยความจำแบบแฟลช ขนาด 4 Kb และแรมขนาด 512 Kb

- การติดต่อสื่อสารไร้สายด้วยบลูทูธเวอร์ชั่น 2.0 (Bluetooth Class II Version 2)

ดังนั้น สามารถสรุปสถาปัตยกรรมภายในของสมองกลอัจฉริยะเอ็นเอ็กซ์ที ดังรูปที่ 2.13



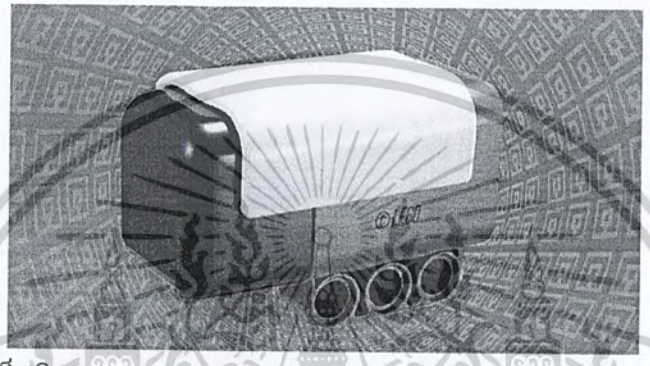
รูปที่ 2.13 สถาปัตยกรรมภายในสมองกลฝังตัวอัจฉริยะเอ็นเอ็กซ์ที (http://photos1.blogger.com/blogger/7893/2789/320/howitworks.png)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ห้องสมุดคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ชุดทดลองเลโก้ เอ็นเอ็กซ์ที มีเซ็นเซอร์ (Sensor) และแอคทูเอเตอร์ (Actuator) ที่นำมาใช้ในโครงงาน ดังต่อไป

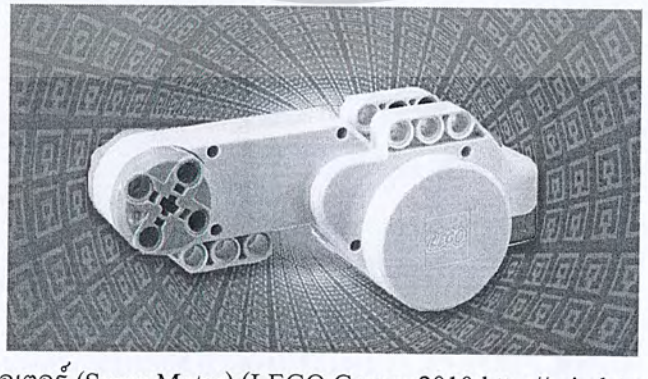
- เซ็นเซอร์เข็มทิศ (Compass Sensor) เป็นอุปกรณ์เข็มทิศดิจิทัลที่มีเข็มทิศในตัวเอง สามารถหาทิศทางโดยวัดค่าสนามแม่เหล็กของโลก เพื่อช่วยบอกทิศทางให้แก่หุ่นยนต์ได้โดยการบอกทิศทางแบบอิซิมุท (Azimuth) กล่าวคือ วัดขนาดของมุมทางราบที่วัดจากแนวทิศเหนือเวียนตามเข็มนาฬิกามากับแนวเป้าหมายที่ต้องการ ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าองศาตั้งแต่ 0-359 องศา โดยที่ค่า 0 องศาจะหมายถึงทิศเหนือ เป็นต้น



รูปที่ 2.14 เซ็นเซอร์เข็มทิศ (Compass Sensor) (LEGO Group. 2010: http://mindstorms.LEGO.com /eng/Overview/Compass_Sensor.aspx.)

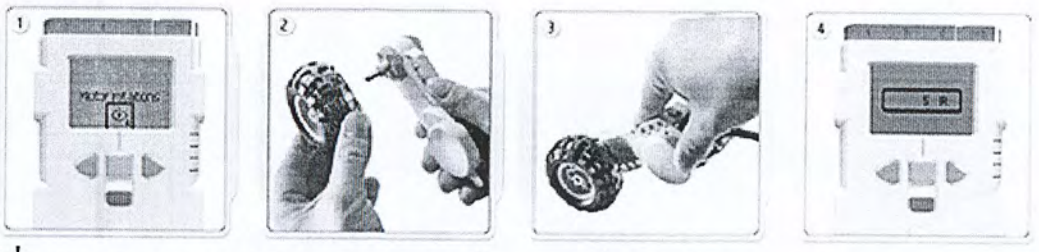
- เซอร์โว มอเตอร์ (Servo Motor) ดังรูปที่ 2.15 เป็นอุปกรณ์แอคทูเอเตอร์ที่ทำให้หุ่นยนต์มีความสามารถในการเคลื่อนที่ ประกอบด้วยมอเตอร์ 3 ตัว โดยมีมอเตอร์ 2 ตัว ทำงานพร้อมกัน (Synchronize) ทำให้หุ่นยนต์สามารถเดินเป็นเส้นตรงได้

มอเตอร์แต่ละตัวมีเซ็นเซอร์สำหรับการหมุน(Rotation) ของแกนมอเตอร์เพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้อย่างแม่นยำไม่เกิน +/- 1 องศา (Degree) โดยการหมุนของแกนมอเตอร์ 1 รอบ มีค่าเท่ากับ 360 องศา



รูปที่ 2.15 เซอร์โว มอเตอร์ (Servo Motor) (LEGO Group. 2010:http://mindstorms.LEGO.com/eng Overview/ interactive_Servo_Motors.aspx.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
06606



รูปที่ 2.16 การทดสอบความสามารถของเซอร์โว มอเตอร์ (LEGO Group. 2010: http://cache.lego.com/downloads/education/9797_LME_UserGuide_US_low.pdf)

2.3.2 เอ็นเอ็กซ์ที ซอฟต์แวร์ (NXT Sortware)

- LeJOS (Java for LEGO MINDSTORMS) เป็นชุดคำสั่งในการพัฒนาชุดทดลองเอ็นเอ็กซ์ที ซึ่งมีพื้นฐานจากภาษาจาวา (Java Language) รองรับการพัฒนาโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object Oriented Programming), การจัดลำดับความสำคัญของงาน (Preemptive Threads), การใช้งานอาร์เรย์หลายมิติ (Multi-Dimensional Arrays), การแจ้งข้อผิดพลาด (Exceptions), รองรับการทำงานแบบมัลติเธรด (Multithread), สามารถทำงานร่วมกับ IDE (Integrated Development Environment) อย่างเช่น NetBeans และมีเอพีไอหรือส่วนต่อประสานโปรแกรม (API: Application Programming Interface) สำหรับใช้ในการพัฒนาโปรแกรม ในปัจจุบัน LeJOS ได้พัฒนาจนถึงเวอร์ชันที่มีชื่อว่าเอ็นเอ็กซ์เจ (NXJ) ประกอบด้วย

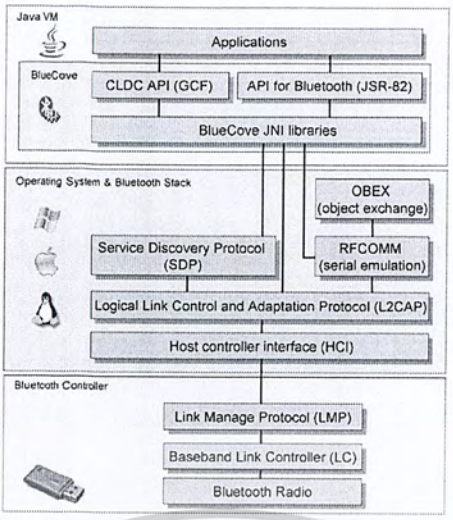
1. เฟิร์มแวร์ (Firmware) ซึ่งมีการรวมเอาจาวาเวอร์ชวลแมชชีน (Java Virtual Machine) ที่ทำหน้าที่แทนเฟิร์มแวร์พื้นฐานเดิมของชุดทดลองเลโก้ มายด์สตอร์ม เอ็นเอ็กซ์ที

2. ชุดคำสั่งที่จัดเตรียมเอพีไอ (API: Application Programming Interface)

3. PC API หรือ API ฝั่งเครื่องควบคุม สำหรับการเขียนโปรแกรมติดต่อไปยังเลจอสเอ็นเอ็กซ์เจที่ฝั่งหุ่นยนต์ โดยใช้ Java streams ผ่านช่องทางการสื่อสารไร้สายแบบบลูทูธ (Bluetooth) ซึ่งมีการนำเอาบลูโคฟ (Bluecove) ที่ทำการรวมเอา JSR-82 (Java Spectification Request-82) มาใช้งานร่วมด้วย (LeJOS NXJ. 2008 : http://lejos.sourceforge.net)

- บลูโคฟ (BlueCove) คือจาวาไลบรารี (Java Library) ที่นำเอา JSR-82 มาใช้งานบน J2SE (Java Standard Edition) จึงทำให้แอพพลิเคชันที่ทำงานอยู่บนจาวาเวอร์ชวลแมชชีนที่ได้นำเอาบลูโคฟมาใช้งาน สามารถติดต่อกับอุปกรณ์อื่นๆที่มีบลูทูธได้ โดยมีสแตกไดอะแกรม ดังรูปที่ 2.17 (BlueCove Team. 2008 : http://bluecove.org/)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 แผนภาพบลูโดฟ แสตก (BlueCove Team. 2008 : http://snapshot.bluecove.org)

- JSR-82 (Java Specification Request-82) เป็นบลูทูธเอพีไอ ซึ่งถูกกำหนดมาตรฐานโดย JSR-82 Expert Group ซึ่ง JSR-82 ประกอบไปด้วยแพคเกจ (package) จำนวน 2 แพคเกจ คือ

1. Javax.bluetooth ประกอบไปด้วยคลาสจำนวน 13 คลาส สำหรับสร้างการสื่อสารไร้สายด้วยโปรโตคอลของบลูทูธ

2. Javax.obex ประกอบไปด้วยคลาสจำนวน 8 คลาสสำหรับใช้ในการส่งผ่านออปเจ็ค (Object) ระหว่างอุปกรณ์

โปรโตคอล OBEX ถูกใช้สำหรับส่งออปเจ็คไปมาระหว่างอุปกรณ์มาเป็นเวลานานแล้ว โดยใช้เทคโนโลยีอินฟาเรด ซึ่งบลูทูธได้ทำการดัดแปลงโปรโตคอลนี้มาใช้ในการส่งออปเจ็คเช่นกัน และเนื่องจาก JSR-82 เป็น Bluetooth API อย่างเป็นทางการของภาษาจาวา ดังนั้นผู้ผลิตทุกๆรายจึงที่จะนำเอาไปใช้ จะต้องทำการรวมเลเยอร์ (Layer) และโพรไฟล์ (Profile) มาตรฐานตามที่กำหนดรวมไว้ใน SDK (Software Development Kit) ด้วย ดังนั้น Bluetooth SDK ที่ใช้ JSR-82 จะต้องมี Bluetooth Stack layer มาตรฐานดังต่อไปนี้

1. Host Controller Interface (HCI)
2. Logical Link Control and Adaptation Protocol (L2CAP)
3. Service Discovery Protocol (SDP)
4. Radio Frequency Communication (RFCOMM)

และจำเป็นต้องมีบลูทูธโพรไฟล์ (Bluetooth Profile) ดังต่อไปนี้

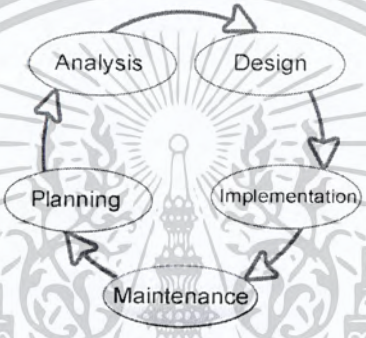
1. Generic Access Profile
2. Service Discovery Application Profile
3. Serial Port Profile
4. Generic Object Exchange Profile

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 แนวทางการพัฒนาระบบ (System Development Approach)

ระบบสมองกลฝังตัวนั้นเป็นระบบที่ซับซ้อน มีความหลากหลายในด้านฟังก์ชันการทำงาน และเป็นระบบที่ฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ต้องทำงานร่วมกัน ถ้าไม่มีการวางแผนการที่ดี อาจทำให้พบปัญหาต่างๆ ตามมา และยากต่อการแก้ไข จึงต้องมีกระบวนการในการพัฒนาตามหลักการในการพัฒนาต่างๆ เพื่อให้ได้แนวทางในการพัฒนาที่มีประสิทธิภาพ ดังนี้

2.4.1 วงจรการพัฒนาระบบ (SDLC: System Development Life Cycle)



รูปที่ 2.18 วงจรการพัฒนาระบบ (SDLC: System Development Life Cycle) (Wikipedia. 2010:http ://en.wikipedia.org/wiki/SDLC)

วงจรการพัฒนาระบบ ดังรูปที่ 2.18 คือกระบวนในการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อแก้ปัญหาทางธุรกิจ และตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้ โดยภายในวงจรนั้นจะมีขั้นตอนการพัฒนา 5 ขั้นตอน หลังจากที่ได้ทำการกำหนด และเลือกระบบที่จะพัฒนา ดังนี้

1. การวางแผน (Planning) คือการวางแผนการพัฒนา ด้านทรัพยากรต่างๆ ระยะเวลา ขอบเขตของงานที่พัฒนา ให้มีความสอดคล้อง และมีความเป็นไปได้ พิจารณาค่าใช้จ่ายหรือต้นทุน และความคุ้มค่าในการพัฒนา

2. การวิเคราะห์ระบบ (System Analysis) คือการรวบรวมข้อมูลจากระบบงานเดิม มาเขียนเป็นโครงสร้างการปฏิบัติงานโดยใช้เครื่องมือต่างๆ เพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจในขั้นตอนต่อๆไป

3. การออกแบบระบบ (System Design) คือการออกแบบรูปแบบของระบบ ซึ่งจะแบ่งเป็นการออกแบบเชิงตรรกะ (Logical design) หรือเชิงแนวคิด (conceptual design) อาทิ การออกแบบฐานข้อมูลโดยใช้ Entity Relationship diagram (E-R diagram) และการออกแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชิงกายภาพ (Physical design) อาทิเช่น การออกแบบส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (GUI: Graphic user interface) หรือรายงานต่างๆ ที่ได้จากระบบที่สร้างขึ้น

4. การสร้างระบบ (Implementation) คือการเขียนโปรแกรมตามขั้นตอนที่ได้ออกแบบไว้ จึงนำโปรแกรมมาทดสอบหาข้อผิดพลาด เมื่อผ่านการทดสอบแล้วจึงจะนำไปติดตั้ง และใช้งานจริง

5. การดูแล และบำรุงรักษาระบบ (Maintenance) เป็นขั้นตอนสุดท้ายในการพัฒนาระบบ ซึ่งการดูแล และบำรุงรักษาระบบ จะมีการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องที่เกิดขึ้นของโปรแกรม หลังจากที่ได้มีการใช้งานจริง ให้โปรแกรมสามารถทำงานมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

2.4.2 แนวคิดการพัฒนาโดยใช้ยูเอ็มแอล (UML: Unified Modeling Language)

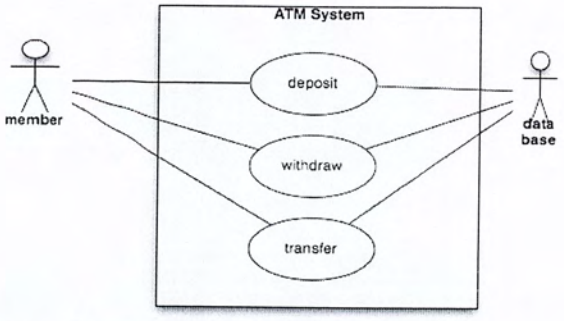
ในปัจจุบันการพัฒนาระบบ ไม่ได้หยุดอยู่แค่การทำระบบหนึ่งๆ และปล่อยให้จบไปโดยที่ไม่ได้มีการพัฒนาต่อยอดหรือนำแนวคิดมาประยุกต์ใช้ต่อ เพราะเหตุนี้ ทำให้การพัฒนาระบบเชิงวัตถุได้เข้ามามีบทบาทมาก และได้รับความนิยมอย่างมากในโลกปัจจุบัน เพราะเหตุนี้จึงได้มีหลักการที่จะนำแนวความคิดเชิงวัตถุดังกล่าวมาเพื่อที่จะใช้สร้างระบบฝังตัวที่มีความแตกต่างจากระบบฝังตัวแบบเดิมโดยมีแนวคิดเชิงวัตถุเข้ามาเกี่ยวข้อง และสามารถพัฒนาต่อยอดในอนาคตได้เป็นหลัก (ดร.อดิศร ณ อุบล. 2548 : 2)

ยูเอ็มแอลเป็นรูปภาพ หรือสัญลักษณ์ (Graphical Language) ใช้เพื่อถ่ายทอดความคิดของผู้พัฒนาที่มีต่อระบบมาเป็นแผนภาพ ซึ่งประกอบไปด้วยรูปภาพหรือสัญลักษณ์ตามกฎในการสร้างแผนภาพนั้น (กิตติ ภักดีวัฒนะกุล และพนิดา พานิชกุล. 2548 : 80)

การวางแผนงานหรือแบบจำลองของระบบโดยใช้โมเดลยูเอ็มแอลนั้น จำเป็นจะต้องจำแนกแต่ละสโคป (Scope) หรือมุมมองของการออกแบบออกเป็นหลายส่วนตามไดอะแกรมที่ยูเอ็มแอลได้วางไว้ ซึ่งการจะเลือกใช้ไดอะแกรมใดบ้างนั้นขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของผู้ออกแบบ และพัฒนารวมไปถึงผู้ใช้งานต่อไปเป็นสำคัญ โดยไดอะแกรมที่เห็นว่ามีความสำคัญ มีดังต่อไปนี้

1. แผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram) เป็นแผนภาพที่ใช้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผู้ที่มาติดต่อกับระบบที่พัฒนา โดยการพัฒนาแผนภาพยูสเคสจะต้องทราบถึงความต้องการของระบบทั้งหมดก่อน โดยศึกษาว่าความต้องการของระบบมีงานอะไรที่ต้องทำ และงานที่ทำนั้นต้องติดต่อกับระบบหรือผู้ใช้อย่างไร ซึ่งต้องมีการกำหนดขอบเขตที่ชัดเจน และแน่นอน ดังรูป 2.19 เป็นตัวอย่างของแผนภาพยูสเคสที่เป็นระบบเอทีเอ็ม (ATM) แสดงให้เห็นถึง ระบบการบริการของธนาคารที่ให้บริการกับสมาชิกของธนาคาร

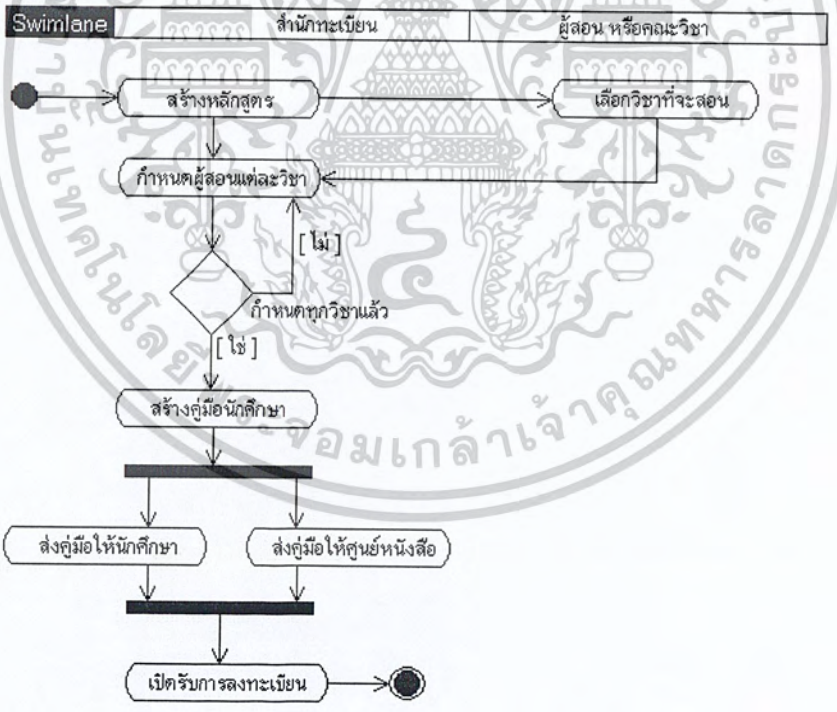
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 ตัวอย่างแผนภาพขอบเขตของระบบตู้ถอนเงินอัตโนมัติ

2. แผนภาพกิจกรรม หรือแอกทิวิตี้ไดอะแกรม (Activity Diagram เป็นแผนภาพที่ใช้ที่แสดงขั้นตอนการทำงานของยูสเคส เช่นเดียวกับ ซีเควนซ์ไดอะแกรม แต่จะเน้นไปที่งานย่อยของวัตถุ โดยจะมีกระบวนการทำงานคล้ายกับโฟลวชาร์ต (Flowchart) ดังรูปที่ 2.20

แอกทิวิตี้ไดอะแกรมบางครั้งมีลักษณะคล้ายสวิมเลน (Swimlane) โดยจะแบ่งกลุ่มกิจกรรมที่เกิดขึ้นเป็นช่อง โดยกำกับแต่ละช่องด้วยชื่อของออปเจ็กต์ แต่ละสวิมเลนแสดงถึงกิจกรรมที่เกิดขึ้นกับออปเจ็คนั้นๆ

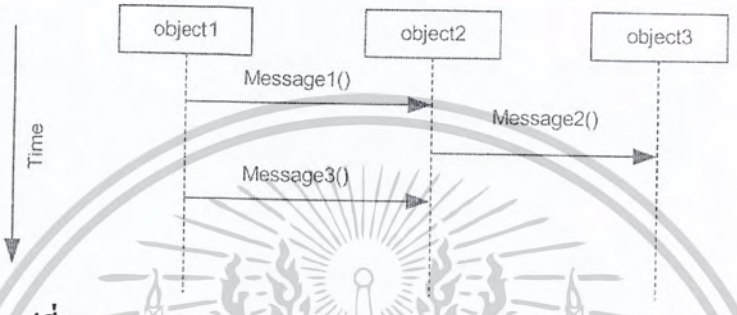


รูปที่ 2.20 ตัวอย่างแผนภาพกิจกรรมของระบบลงทะเบียน (thaiall.com. 2011 : http://www.thaiall.com/uml/act_regist1.gif.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

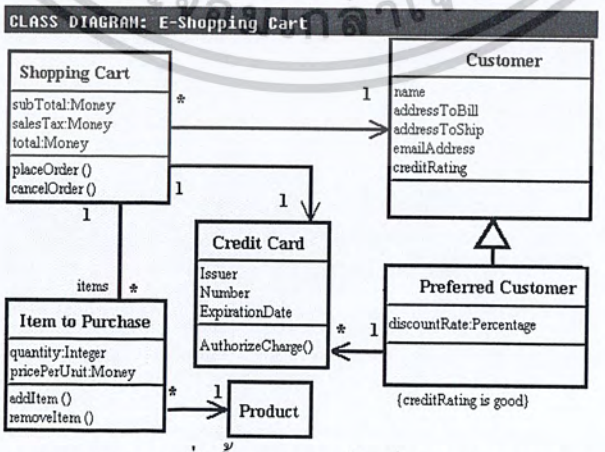
3. แผนภาพลำดับการทำงาน หรือซีเควนซ์ไดอะแกรม (Sequence Diagram) เป็นแผนภาพที่ใช้อธิบายการทำงานของยูสเคสเพื่อแสดงถึงขั้นตอนการทำงาน และลำดับของการสื่อสารระหว่างออปเจ็คที่ตอบโต้กัน

แผนภาพลำดับการทำงาน จะแสดงอยู่ในรูปแบบ 2 มิติ โดยเส้นประแนวตั้ง (Lifeline) จะนำเสนอในด้านเวลา ส่วนเส้นแนวนอน (Message) จะนำเสนอเกี่ยวกับการโต้ตอบกันระหว่างออปเจ็คหรือคลาสต่างๆ ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 ตัวอย่างแผนภาพลำดับการทำงาน (thaiall.com. 2011 : http://www.thaiall.com/uml/seqeunce1.gif)

4. แผนภาพคลาส หรือคลาสไดอะแกรม (Class Diagram) เป็นแผนภาพที่ใช้ในการแสดงกลุ่มของคลาส โครงสร้างของคลาส อินเตอร์เฟส (Interface) และแสดงความสัมพันธ์ (Relationship) ระหว่างคลาส โดยคลาสจะแบ่งเป็นสามส่วน ส่วนแรกคือ ชื่อ ส่วนที่สองคือ คุณลักษณะของคลาส (Attribute) มีลักษณะเป็นอย่างไร ส่วนที่สามคือ พฤติกรรม (Behavior) ของคลาส มีความสามารถทำอะไรได้บ้าง และส่วนที่ใช้ในการแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างคลาส ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างแผนภาพคลาสระบบสั่งซื้อของออนไลน์(thaiall.com. 2001 : http://www.thaiall.com/uml/class01.gif.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 ทฤษฎีการคำนวณและการประมาณค่าพิกัดตำแหน่ง (Calculation and position estimation theories)

2.5.1 การประมาณค่าตำแหน่งโดยใช้ความเข้มของสัญญาณ (Position estimation based on Signal Strength)

การประมาณค่าตำแหน่งจะใช้ค่าอาร์เอสเอสไอ หรือ RSSI (Received Signal Strength Indicator) เป็นตัวบ่งชี้ความแรงหรือความเข้มของการรับสัญญาณวิทยุ (ในเชิงผลรวมของพลังงานที่ได้รับทั้งหมด) เพื่อแสดงถึงคุณภาพของการเชื่อมต่อ (Link Quality) โดยที่ค่าความเข้มของสัญญาณที่วัดได้นั้น ผู้ผลิตอุปกรณ์แต่ละคนจะส่งค่าออกไปในรูปแบบต่างๆ อาทิเช่น ในมาตรฐาน IEEE 802.11 จะส่งค่าออกมาในช่วงของตัวเลข 0-255 ตามแต่ผู้ผลิตออกแบบ โดยค่า 0 หมายถึงไม่ได้รับสัญญาณ

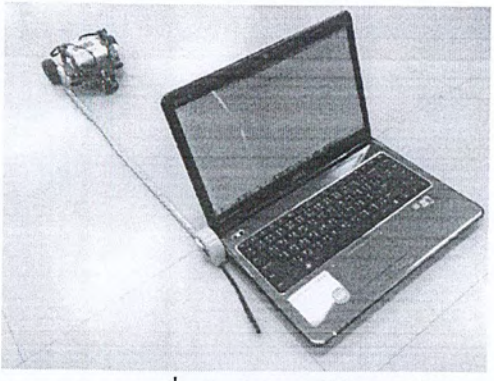
ค่าอาร์เอสเอสไอจะต้องมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับระยะห่างระหว่างอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุ และจะแปรผันตรงกับความแรงของสัญญาณ กล่าวคือ ถ้าค่าความเข้มของสัญญาณมีค่ามากแสดงว่าสัญญาณที่ได้รับมีความแรงสูง นั่นคือตัวส่งและตัวรับสัญญาณอยู่ใกล้กัน ดังนั้นในทางกลับกัน หากค่าความเข้มของสัญญาณมีค่าน้อย แสดงว่าสัญญาณที่ได้รับมีความแรงต่ำ ตัวส่งและตัวรับสัญญาณอยู่ไกลกัน ซึ่งจากข้อมูลตรงนี้จะสามารถทำให้เราประมาณระยะทางจากอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณ และตัวรับสัญญาณได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่สภาพแวดล้อม

จากการทดลองรับค่าความเข้มของสัญญาณจากการเชื่อมต่อบลูทูธระหว่างชุดทดลองเลโก้ เอ็นเอ็กซ์ทีกับคอมพิวเตอร์ เพื่อทดสอบว่าค่าความเข้มของสัญญาณมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับระยะห่างระหว่างอุปกรณ์รับ-ส่งและแปรผันตรงกับความแรงของสัญญาณ โดยทดสอบในพื้นที่โล่ง ไม่มีสิ่งกีดขวาง ดังรูปที่ 2.23 ซึ่งหุ่นยนต์หยุดนิ่งและรับค่าความเข้มของสัญญาณทุกๆ 3 วินาที จากนั้นทำการเปลี่ยนตำแหน่งของหุ่นยนต์เป็นเส้นตรงไปทุกๆ 30 เซนติเมตร ไปจนถึงระยะ 600 เซนติเมตร (6 เมตร) โดยใช้คอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาทางด้านฮาร์ดแวร์ที่ไม่ตรงกัน ซึ่งอาจเกิดผลต่อค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับ โดยมีคุณสมบัติ ดังนี้

- คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค ยี่ห้อ Compaq รุ่น V3610TU หน่วยประมวลผล Intel Core2Duo
- หน่วยความจำ DDR2 ขนาดความจุ 2 กิกะไบต์
- ระบบปฏิบัติการ Windows XP Professional service pack 2
- บลูทูธ HP Integrated Module with Bluetooth 2.0 Wireless Technology ไดรเวอร์ Broadcom เวอร์ชัน 5.1.0.2900

จากนั้นทำการทดลอง แล้วบันทึกผล ได้ผลลัพธ์ดังนี้ดังตารางที่ 2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

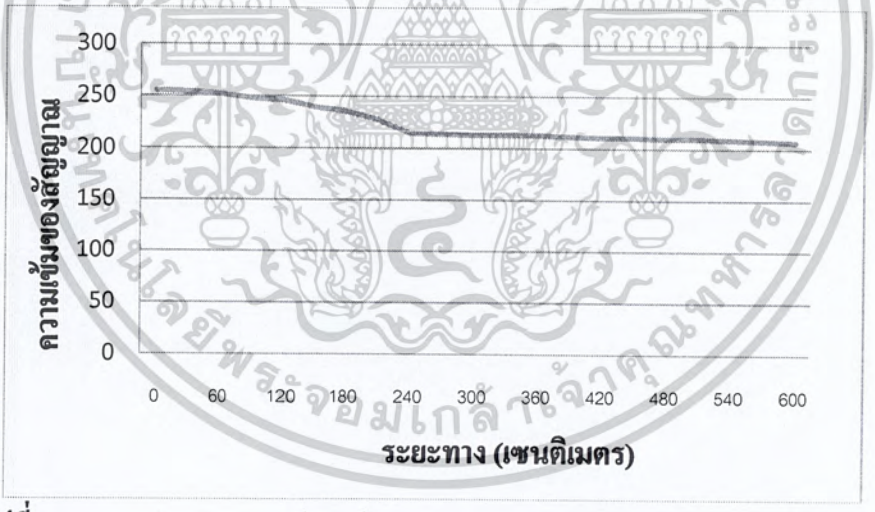


รูปที่ 2.23 การทดลองเพื่อรับค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธ

ตารางที่ 2.4 การเปรียบเทียบระยะทางกับความเข้มของสัญญาณ

ระยะทาง(ซม.)	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300
ความเข้มของสัญญาณ	255	254	252	248	246	240	236	228	215	213

ระยะทาง(ซม.)	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600
ความเข้มของสัญญาณ	213	213	212	211	211	210	210	209	208	207

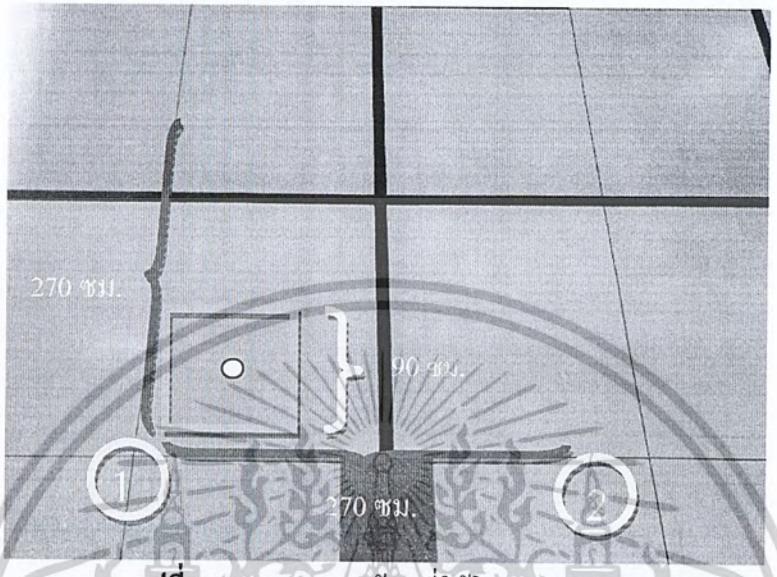


รูปที่ 2.24 กราฟแสดงการเปรียบเทียบระหว่างระยะทางกับความเข้มของสัญญาณ

จากกราฟในรูปที่ 2.24 แสดงให้เห็นว่า ความเข้มของสัญญาณที่ได้รับ มีค่าลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจนในช่วง 0 ถึง 270 เซนติเมตร และจะมีค่าค่อนข้างคงที่หรือลดลงเล็กน้อย เมื่ออุปกรณ์ทั้งสองอยู่ห่างกันออกไปที่ระยะ 270 เซนติเมตร จนถึง 6 เมตร เมื่อทำการแบ่งช่วงที่มีค่าลดลงอย่างชัดเจน เพื่อกำหนดตำแหน่งสำหรับนำมาใช้ในการคำนวณหาพิกัดตำแหน่งต่อไป จะได้เป็น 3 ช่วง ความยาวช่วงละ 90 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นได้ทำการทดลองเก็บข้อมูลค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธบริเวณชั้นลอย อาคารเรียนรวมและปฏิบัติการ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดังรูปที่ 2.25 โดยมีวิธีการทดลองดังนี้



รูปที่ 2.25 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง

1. แบ่งพื้นที่ออกเป็นช่อง เป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสยาวช่องละ 90 เซนติเมตร ซึ่งจะแบ่งพื้นที่ออกเป็นช่องได้ทั้งหมด 9 ช่อง

2. ทำการกำหนดค่า X และ Y เพื่อใช้อ้างอิงตำแหน่ง ดังรูปที่ 2.26

(1,3)	(2,3)	(3,3)
(1,2)	(2,2)	(3,2)
(1,1)	(2,1)	(3,1)

รูปที่ 2.26 ค่าตำแหน่งต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

3. ตั้งคอมพิวเตอร์อยู่ที่ตำแหน่งที่ 1 ดังรูปที่ 2.25 และให้หุ่นยนต์อยู่กึ่งกลางของตำแหน่งที่กำหนดไว้โดยหุ่นยนต์จะต้องหยุดนิ่ง ไม่เคลื่อนที่

4. สั่งให้คอมพิวเตอร์ทำการรับค่าอาร์เอสเอสไอจากหุ่นยนต์ทุกๆ 3 วินาที เป็นจำนวน 100 ครั้ง เก็บลงในฐานข้อมูล

5. ทำซ้ำข้อ 4 แต่ให้เปลี่ยนตำแหน่งของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปจนครบทั้ง 9 ช่อง

5. ทำการเปลี่ยนตำแหน่งของคอมพิวเตอร์ไปยังตำแหน่งหมายเลข 2 ดังรูปที่ 2.25

6. ทำซ้ำในข้อ 4. และ 5.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการทดลองจากการเก็บค่าในแต่ละตำแหน่ง จำนวน 100 ครั้ง และนำค่าที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยในแต่ละช่องได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ค่าเฉลี่ยของความเข้มของสัญญาณในแต่ละตำแหน่ง

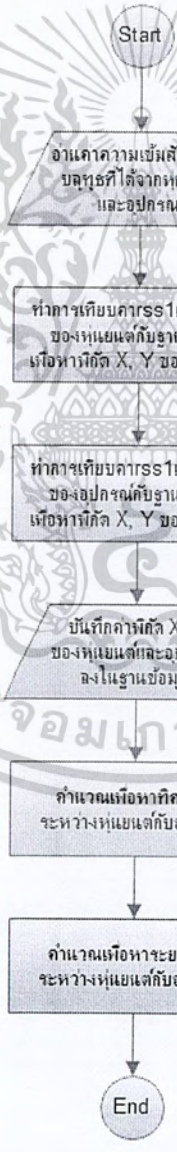
ตำแหน่งคอมพิวเตอร์ / ตำแหน่งพิกัด	ความเข้มเฉลี่ยของสัญญาณ อ้างอิงจากตำแหน่งที่ 1 (ซ้าย)	ความเข้มเฉลี่ยของสัญญาณ อ้างอิงจากตำแหน่งที่ 2 (ขวา)
(1,1)	253.80	229.67
(1,2)	233.29	224.18
(1,3)	220.58	221.15
(2,1)	251.35	250.62
(2,2)	245.35	239.97
(3,3)	218.61	229.74
(3,1)	222.76	251.65
(3,2)	241.00	235.15
(3,3)	214.17	236.13

จากการสังเกตค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับนั้น เมื่อนำมาวาดเป็นกราฟแล้ว จะแสดงให้เห็นได้ว่าในตำแหน่งที่หุ่นยนต์อยู่ใกล้กับคอมพิวเตอร์ ค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับจะความสัมพันธ์กับค่าระยะทาง คือ ระยะห่างจากอุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณต่ำ จะมีค่าความเข้มของสัญญาณสูง ยกตัวอย่างกราฟในตำแหน่ง (1,1) เมื่อคอมพิวเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่ 1 ดังรูปที่ 2.27

รูปที่ 2.27 กราฟแสดงค่าความเข้มของสัญญาณ ณ ตำแหน่ง (1,1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่อย่างไรก็ตาม ในบางตำแหน่งนั้น ค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับมีการเปลี่ยนแปลงและความไม่แน่นอนสูง อีกทั้งไม่สัมพันธ์กับระยะทาง ซึ่งทำให้การนำค่าตัวชี้วัดความเข้มของสัญญาณ (RSSI) นี้มาใช้ในสูตรการหาค่าตำแหน่งที่ถูกต้องจึงทำได้ยาก เนื่องจากปัจจัยจากสภาพแวดล้อมภายนอกต่างๆที่ไม่อาจควบคุมได้และอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองที่อาจต้องทำการออกแบบหรือประดิษฐ์ขึ้นเอง เพื่อนำมาใช้ระบุตำแหน่งได้อย่างถูกต้องและแม่นยำ จึงทำการประยุกต์การระบุตำแหน่ง โดยทำการเก็บค่าความเข้มของสัญญาณ ณ ตำแหน่งต่างๆของพื้นที่ที่ใช้ทำการทดลอง เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการเปรียบเทียบตำแหน่งของอุปกรณ์ โดยใช้อุปกรณ์ส่งสัญญาณ 2 จุดและทำการเก็บค่า 2 ครั้ง นำมาเปรียบเทียบเพื่อหาจุดตัดของความเข้มของสัญญาณ ซึ่งแสดงเป็นแผนภาพการทำงานได้ดังนี้



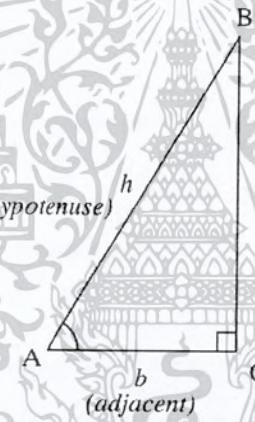
รูปที่ 2.28 แผนภาพแสดงวิธีการทำงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยระบบจะทำการเปรียบเทียบค่าความเข้มของสัญญาณกับข้อมูลที่ทำการเก็บไว้ในฐานข้อมูล หากไม่ตรงจะทำการเพิ่มสลับกับการลดค่าครั้งละ 1 หน่วย เพื่อค้นหาตำแหน่งที่มีค่าความเข้มของสัญญาณที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด ทำให้ได้ค่าพิกัดของอุปกรณ์นั้นมา ซึ่งเงื่อนไขและผลการทดลองของระบบ จะกล่าวในบทถัดไป

2.5.2 การหาค่ามุมโดยใช้ฟังก์ชันตรีโกณมิติ (Trigonometry function)

ฟังก์ชันตรีโกณมิติ มีความสำคัญในการศึกษารูปสามเหลี่ยมและปรากฏการณ์ในลักษณะที่เป็นคาบ ฟังก์ชันอาจนิยามด้วยอัตราส่วนของด้าน 2 ด้านของรูปสามเหลี่ยมมุมฉาก ดังรูปที่ 2.29 หรืออัตราส่วนของพิกัดของจุดบนวงกลมหนึ่งหน่วย หรือนิยามในรูปทั่วไปเช่น อนุกรมอนันต์ หรือสมการเชิงอนุพันธ์ รูปสามเหลี่ยมที่นำมาใช้จะอยู่ในระนาบแบบยุคลิด ดังนั้น ผลรวมของมุมทุกมุมจึงเท่ากับ 180 องศาเสมอ



รูปที่ 2.29 การนิยามฟังก์ชันตรีโกณมิติด้วยอัตราส่วนด้าน 2 ด้านของสามเหลี่ยมมุมฉาก

กำหนดให้มุมใดมุมหนึ่งในรูปสามเหลี่ยมมุมฉากเป็นมุม A เรียกชื่อด้านแต่ละด้านของสามเหลี่ยมดังนี้

- ไซน์ (Sin) ของมุม คือ อัตราส่วนของความยาวด้านตรงข้ามต่อความยาวด้านตรงข้ามมุมฉาก ในที่นี้คือ

$$\sin(A) = \frac{\text{opposite}}{\text{hypotenuse}} = \frac{a}{h} \tag{2.1}$$

- โคไซน์ (Cos) ของมุม คือ อัตราส่วนของความยาวด้านประชิดต่อความยาวด้านตรงข้ามมุมฉาก ในที่นี้คือ

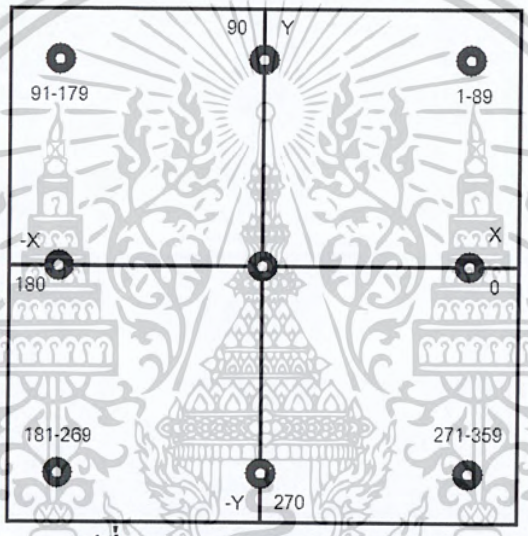
$$\cos(A) = \frac{\text{adjacent}}{\text{hypotenuse}} = \frac{b}{h} \tag{2.2}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- แทนเจนต์ (Tan) ของมุม คือ อัตราส่วนของความยาวด้านตรงข้ามต่อความยาวด้านประชิด ในที่นี้คือ

$$\tan(A) = \frac{\text{opposite}}{\text{adjacent}} = \frac{a}{b} \qquad (2.3)$$

ดังนั้น หากเราทราบความยาวของด้านตรงข้ามต่อความยาวด้านประชิดแล้ว เราจะสามารถหาค่าองศาของมุม A ได้โดยใช้ฟังก์ชันแทนเจนต์ (tan) ซึ่งนำมาประยุกต์ใช้กับระบบ เนื่องจากจะต้องมีคำนวณหามุมระหว่างหุ่นยนต์และอุปกรณ์โดยใช้ฟังก์ชันตรีโกณมิติ ซึ่งมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.30 ภาพจำลองการหาค่ามุม

1. หากค่าพิกัด X, Y ของหุ่นยนต์และอุปกรณ์มีค่าเท่ากัน แสดงว่าหุ่นยนต์และอุปกรณ์อยู่ที่ตำแหน่งเดียวกัน

2. หากค่าพิกัด X ของหุ่นยนต์และอุปกรณ์มีค่าเท่ากัน แต่ค่าพิกัด Y ของหุ่นยนต์มีค่ามากกว่าอุปกรณ์แสดงว่าหุ่นยนต์ทำมุม 90 องศากับอุปกรณ์ในระบบพิกัดฉากสองมิติ

3. หากค่าพิกัด X ของหุ่นยนต์และอุปกรณ์มีค่าเท่ากัน แต่ค่าพิกัด Y ของหุ่นยนต์มีค่าน้อยกว่าอุปกรณ์แสดงว่าหุ่นยนต์ทำมุม 270 องศากับอุปกรณ์ในระบบพิกัดฉากสองมิติ

4. หากค่าพิกัด X ของหุ่นยนต์มีค่ามากกว่าอุปกรณ์ แต่ค่าพิกัด Y ของหุ่นยนต์และอุปกรณ์มีค่าเท่ากัน แสดงว่าหุ่นยนต์ทำมุม 180 องศากับอุปกรณ์ในระบบพิกัดฉากสองมิติ

5. หากค่าพิกัด X ของหุ่นยนต์มีค่ามากกว่าอุปกรณ์ แต่ค่าพิกัด Y ของหุ่นยนต์มีค่าน้อยกว่าอุปกรณ์แสดงว่าหุ่นยนต์ทำมุมกับอุปกรณ์อยู่ในช่วงระหว่าง 91 ถึง 179 องศาในระบบพิกัดฉาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สองมิติ โดยสามารถคำนวณหามุมได้จากการนำค่าสัมบูรณ์ของพิกัด X, Y ระหว่างหุ่นยนต์และอุปกรณ์มาใช้ฟังก์ชันตรีโกณมิติ tan ซึ่งจะทำให้ได้ค่ามุมสุทธิออกมา

6. หากค่าพิกัด X, Y ของหุ่นยนต์มีค่ามากกว่าอุปกรณ์ แสดงว่าหุ่นยนต์ทำมุมกับอุปกรณ์อยู่ในช่วงระหว่าง 181 ถึง 269 องศาในระบบพิกัดฉากสองมิติ โดยสามารถคำนวณหามุมได้จากการนำค่าสัมบูรณ์ของพิกัด X, Y ระหว่างหุ่นยนต์และอุปกรณ์มาใช้ฟังก์ชันตรีโกณมิติ tan ซึ่งจะทำให้ได้ค่ามุมสุทธิออกมา

7. หากค่าพิกัด X ของหุ่นยนต์มีค่าน้อยกว่าอุปกรณ์ แต่ค่าพิกัด Y ของหุ่นยนต์และอุปกรณ์มีค่าเท่ากัน แสดงว่าหุ่นยนต์ทำมุม 0 องศากับอุปกรณ์ในระบบพิกัดฉากสองมิติ

8. หากค่าพิกัด X ของหุ่นยนต์มีค่าน้อยกว่าอุปกรณ์ แต่ค่าพิกัด Y ของหุ่นยนต์มีค่ามากกว่าอุปกรณ์แสดงว่าหุ่นยนต์ทำมุมกับอุปกรณ์อยู่ในช่วงระหว่าง 271 ถึง 359 องศาในระบบพิกัดฉากสองมิติ โดยสามารถคำนวณหามุมได้จากการนำค่าสัมบูรณ์ของพิกัด X, Y ระหว่างหุ่นยนต์และอุปกรณ์มาใช้ฟังก์ชันตรีโกณมิติ tan ซึ่งจะทำให้ได้ค่ามุมสุทธิออกมา

9. หากค่าพิกัด X, Y ของหุ่นยนต์มีค่าน้อยกว่าอุปกรณ์ แสดงว่าหุ่นยนต์ทำมุมกับอุปกรณ์อยู่ในช่วงระหว่าง 1 ถึง 89 องศาในระบบพิกัดฉากสองมิติ โดยสามารถคำนวณหามุมได้จากการนำค่าสัมบูรณ์ของพิกัด X, Y ระหว่างหุ่นยนต์และอุปกรณ์มาใช้ฟังก์ชันตรีโกณมิติ tan ซึ่งจะทำให้ได้ค่ามุมสุทธิออกมา

เมื่อได้ค่ามุมสุทธิเพื่อใช้สำหรับการหมุนของหุ่นยนต์แล้ว สามารถคำนวณระยะทางได้จากทฤษฎีบทของปีทาโกรัส จากสมการ

$$a^2 + b^2 = c^2 \tag{2.4}$$

โดยที่ค่า a และ b ที่ใช้ในสมการได้จากค่าผลต่างของค่า X และ Y ระหว่างหุ่นยนต์และอุปกรณ์ ซึ่งเมื่อนำมาเข้าสมการดังกล่าวแล้ว จะได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าระยะกระจัดระหว่างหุ่นยนต์กับอุปกรณ์นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การวิเคราะห์ และออกแบบระบบ

ในบทนี้จะอธิบายถึงการประยุกต์กระบวนการพัฒนาระบบเพื่อใช้ในการพัฒนาระบบค้นหาตำแหน่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่โดยใช้สัญญาณบลูทูธ ซึ่งมีรายละเอียดการพัฒนาดังต่อไปนี้

3.1 ความต้องการของระบบ

3.1.1 หน้าที่ของระบบ

1. ระบบสามารถสร้างการเชื่อมต่อ ตัดการเชื่อมต่อ และรับ-ส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์เป้าหมายได้จากระยะไกลผ่านการสื่อสารไร้สายแบบบลูทูธได้
2. ระบบสามารถรับค่าระดับสัญญาณของการสื่อสารไร้สายแบบบลูทูธระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับหุ่นยนต์ได้ และระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ได้
3. ระบบสามารถระบุพิกัดตำแหน่งของอุปกรณ์เป้าหมายได้
4. ระบบสามารถคำนวณ และสั่งการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังอุปกรณ์เป้าหมายที่อยู่ ณ พิกัดตำแหน่งนั้นๆได้
5. ระบบสามารถแสดงพิกัดของหุ่นยนต์และอุปกรณ์เป้าหมายได้

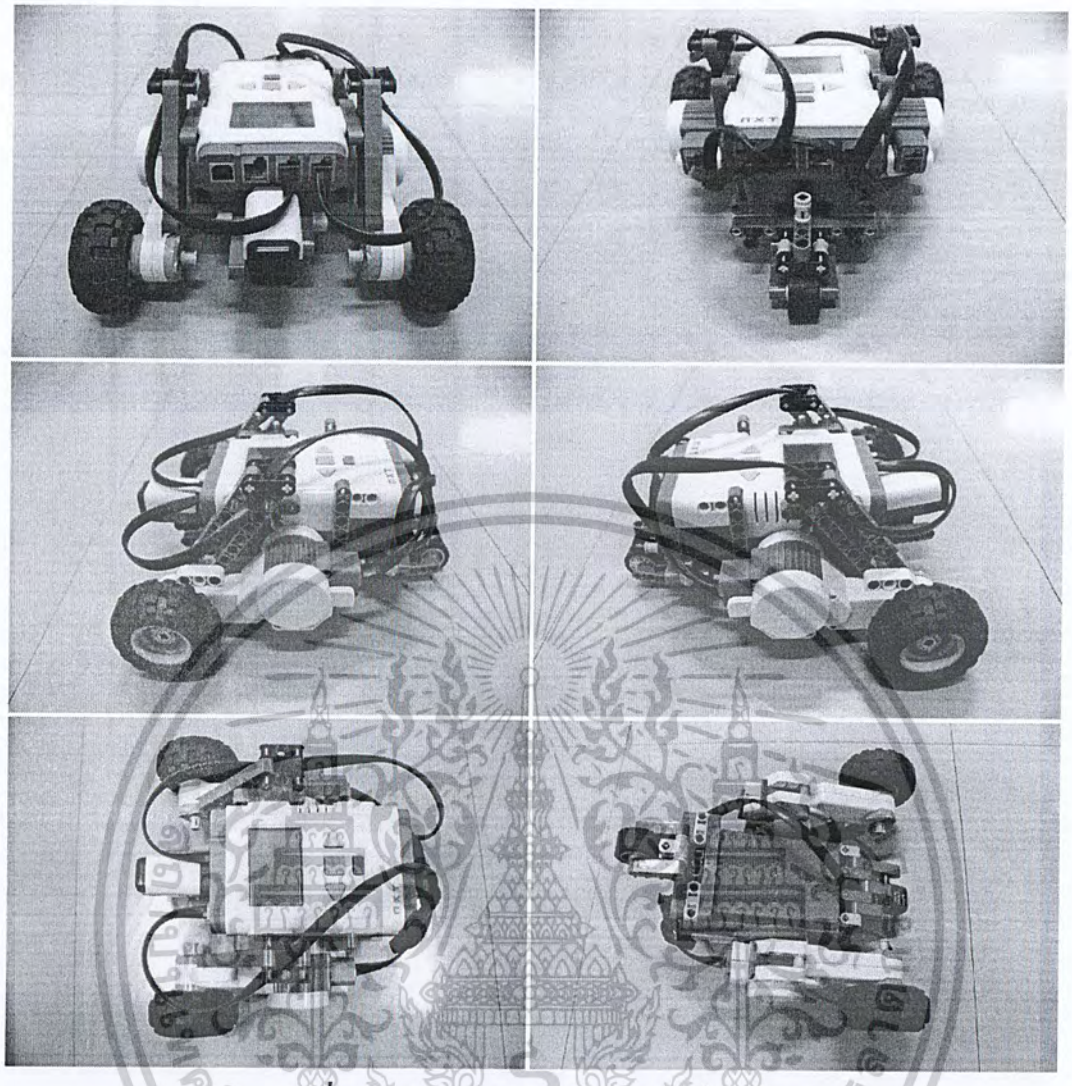
3.1.2 เงื่อนไขและสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการพัฒนาระบบ

1. พื้นที่ที่ทดสอบ เป็นพื้นที่โล่ง ไม่ลื่น ไม่ขรุขระและไม่มีสิ่งกีดขวาง
2. อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบทั้งหมด จะต้องวางอยู่ในแนวระดับกับพื้น
3. อุปกรณ์จะต้องเชื่อมต่อกันกันแบบ 1 ต่อ 1 เท่านั้น เนื่องจากการเชื่อมต่อพร้อมกันจะส่งผลให้ค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับมีค่าลดต่ำลงกว่าที่เป็นจริง
4. มีการสมมติตำแหน่ง (x,y) เพื่อทดสอบการหาตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธ รวมไปถึงทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ถูกต้อง

3.2 การออกแบบโครงสร้างของหุ่นยนต์เคลื่อนที่

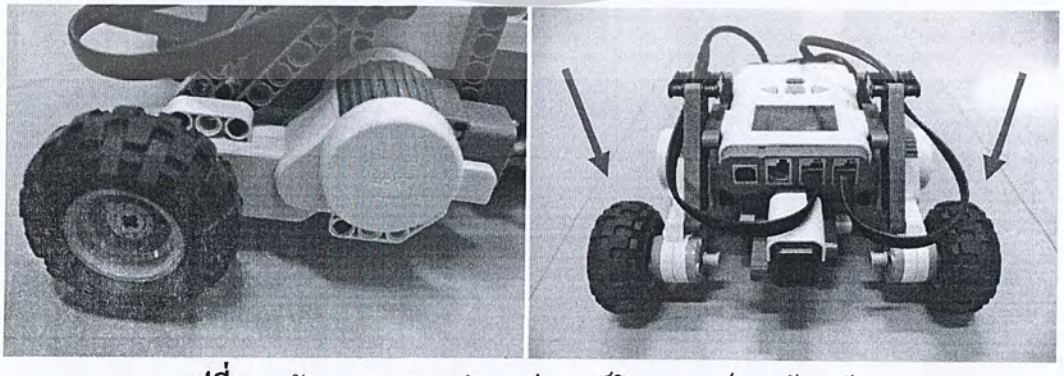
จากรูปที่ 3.1 แสดงลักษณะหุ่นยนต์โดยรวมที่ได้ออกแบบไว้ โดยการออกแบบหุ่นยนต์จะต้องคำนึงถึงโครงสร้างส่วนที่ใช้ในการขับเคลื่อน ซึ่งจะต้องรับน้ำหนักของตัวคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์เซ็นเซอร์ ตลอดจนชิ้นส่วนต่างๆ จึงต้องมีสมดุล มีความแข็งแรง และความคล่องตัวในการเคลื่อนที่ เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 ภาพโดยรวมของหุ่นยนต์เคลื่อนที่

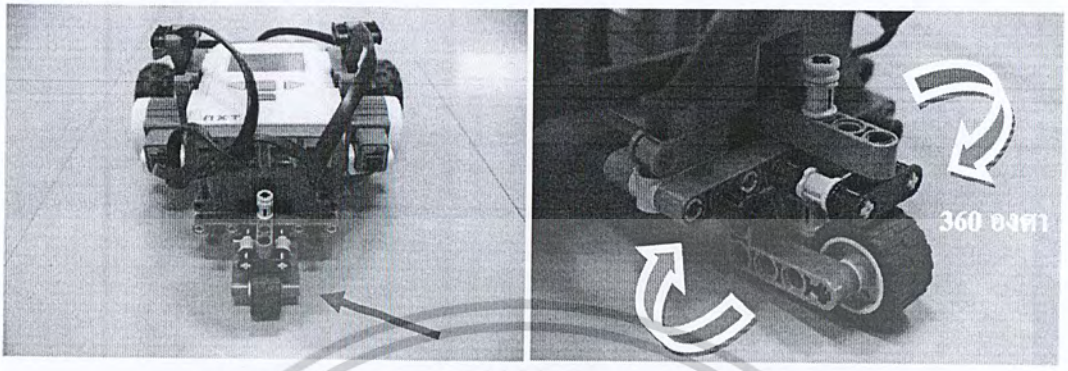
1. เซอร์โวมอเตอร์ เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ ซึ่งหุ่นยนต์ขับเคลื่อนโดยใช้ล้อหน้า จึงต้องประกอบล้อหน้าเข้ากับมอเตอร์โดยให้ทั้งสองด้านขนานกัน ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ลักษณะการวางตำแหน่งเซอร์โวมอเตอร์และล้อหน้า

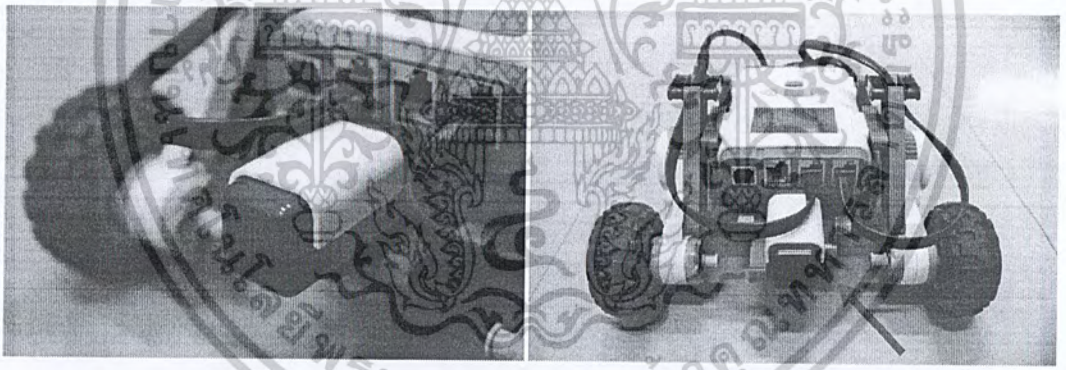
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ล้อหลัง ทำหน้าที่ประสานการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์กับมอเตอร์ และล้อหน้า ซึ่งติดตั้งอยู่ที่ด้านหลังของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เพียงล้อเดียว โดยสามารถหมุนได้รอบทิศ (360 องศา) เพื่อลดข้อจำกัดของเซอร์โวมอเตอร์ขณะทำการเลี้ยว ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ลักษณะและการวางตำแหน่งของล้อหลัง

3. อุปกรณ์เซ็นเซอร์เข็มทิศ (Compass sensor) สามารถบอกทิศจากสนามแม่เหล็กโลกได้ โดยจะมีค่า 0-359 ซึ่งค่า 0 หมายถึง ทิศเหนือ ค่า 180 หมายถึงทิศใต้ โดยจะวางเซ็นเซอร์เข็มทิศอยู่ด้านหน้าตรงตำแหน่งกึ่งกลางของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ ดังรูปที่ 3.4

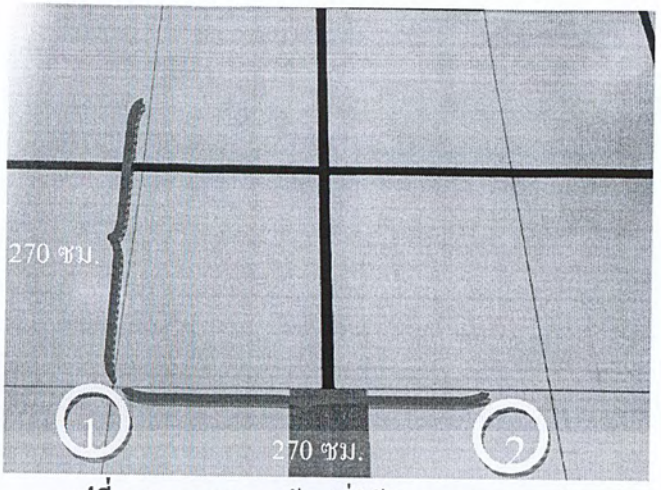


รูปที่ 3.4 ลักษณะการวางตำแหน่งของเซ็นเซอร์เข็มทิศ

3.3 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง

บริเวณชั้นลอย อาคารเรียนรวมและปฏิบัติการ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ซึ่งมีลักษณะตรงตามเงื่อนไขของระบบ คือ เป็นพื้นที่โล่ง ไม่ลื่น ไม่ขรุขระและไม่มีสิ่งกีดขวาง มีขนาด 270 x 270 เซนติเมตร ตามที่ได้ทำการทดลองไว้ในหัวข้อที่ 2.5.1 ดังรูปที่ 3.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

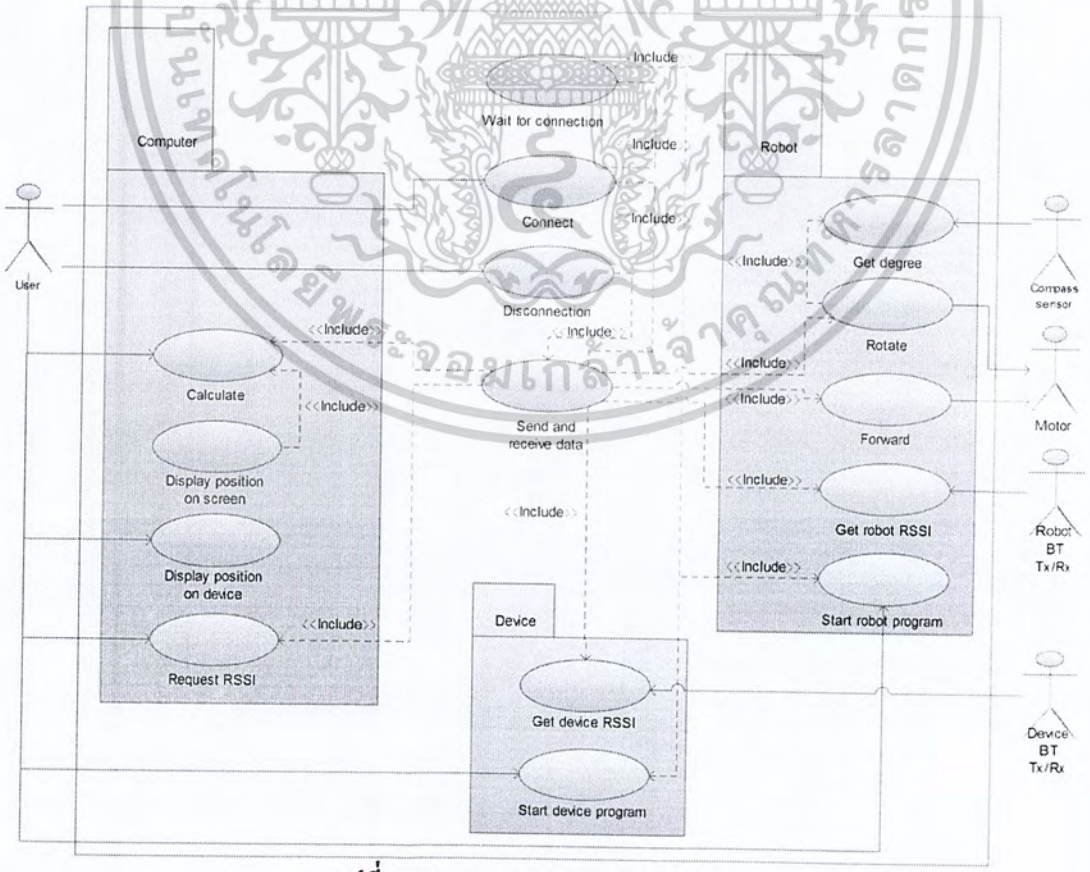


รูปที่ 3.5 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลองจริง

3.4 การออกแบบระบบ

3.4.1 แผนภาพยูสเคส (Use Case Diagram)

การออกแบบแผนภาพยูสเคสจะแสดงถึงความสัมพันธ์ (Relationship) และขอบเขตงานของระบบ (Boundary) ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แผนภาพยูสเคสของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.6 แผนภาพยูสเคสของระบบประกอบด้วย ผู้กระทำ (Actor) ทั้งหมด 5 ตัว คือ ผู้ใช้ (User), เซ็นเซอร์เข็มทิศ (Compass sensor), มอเตอร์ (Motoer), ตัวรับ-ส่งสัญญาณบลูทูธของหุ่นยนต์ (Robot Bluetooth Transmit/Receive) และตัวรับ-ส่งสัญญาณบลูทูธของอุปกรณ์ (Device Bluetooth Transmit/Receive) โดยหน้าที่ของระบบประกอบไปด้วยการสร้างการเชื่อมต่อ (Connect), การยกเลิกการเชื่อมต่อ (Disconnection), การส่งและรับข้อมูล (Send and receive data), การร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธ (Request RSSI), การคำนวณ (Calculate), การแสดงผลพิกัดตำแหน่งบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ (Display position on screen), การแสดงผลพิกัดตำแหน่งบนหน้าจอของอุปกรณ์ (Display position on device), การรับค่าองศา (Get degree), การหมุน (Rotate), การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Forward), การเก็บค่าความเข้มสัญญาณบลูทูธของหุ่นยนต์ (Get robot RSSI), การเก็บค่าความเข้มสัญญาณบลูทูธของอุปกรณ์ (Get device RSSI), การเริ่มต้นโปรแกรมในตัวหุ่นยนต์ (Start robot program) และการเริ่มต้นโปรแกรมในตัวอุปกรณ์ (Start device program)

3.4.2 คำอธิบายยูสเคส (Use Case Description)

แสดงถึงความสัมพันธ์ และรายละเอียดเกี่ยวกับแผนภาพยูสเคสของระบบ

ตารางที่ 3.1 คำอธิบายของยูสเคสการสร้างการเชื่อมต่อ (Connect)

Use Case Name : Connect	**ID :** 1	**Importance Level :** High
Primary Actor : User	**Use Case Type :** Function	
Brief Description : สร้างการเชื่อมต่อไร้สายแบบบลูทูธระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์		
Pre-Condition : หุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ทำการรอรับการเชื่อมต่อเรียบร้อยแล้ว		
Post-Condition : การเชื่อมต่อเสร็จสมบูรณ์		
Trigger : ผู้ใช้งานกดปุ่มสร้างการเชื่อมต่อ		
Relationships : **Association :** User **Include :** Wait for connection		
Normal Flow of Events : 1. ผู้ใช้กดปุ่ม Connect บนหน้าจอแอพพลิเคชั่น 2. คอมพิวเตอร์ส่งคำสั่งเพื่อสร้างการเชื่อมต่อไปยังหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ 3. หุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ทำการตอบรับการเชื่อมต่อ 4. คอมพิวเตอร์ตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อว่าสำเร็จหรือไม่		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 (ต่อ)

5. คอมพิวเตอร์แสดงสถานะการเชื่อมต่อสำเร็จ 6. หุ่นยนต์หรืออุปกรณ์แสดงสถานะการเชื่อมต่อเสร็จสมบูรณ์ พร้อมทั้งแสดงผลด้วยเสียง
SubFlows: -
Alternate/Exception Flows : 4.a หากทำการเชื่อมต่อไม่สำเร็จ จะแสดงข้อความแจ้งเตือน “Connect fail” และจะทำการสร้างเชื่อมต่อใหม่ให้อัตโนมัติ

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดของยูสเคสยกเลิกการเชื่อมต่อ (Disconnection)

Use Case Name : Disconnection	**ID :** 2	**Importance Level :** High
Primary Actor : User	**Use Case Type :** Function	
Brief Description : ยกเลิกการเชื่อมต่อไร้สายแบบบลูทูธระหว่างคอมพิวเตอร์กับหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์		
Pre-Condition : การเชื่อมต่อบลูทูธระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ และหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ได้ถูกสร้างการเชื่อมต่อไว้เรียบร้อยแล้ว		
Post-Condition : การเชื่อมต่อถูกยกเลิก		
Trigger : ผู้ใช้กดปุ่มตัดการเชื่อมต่อ		
Relationships : **Association :** User **Include :** Send and receive data		
Normal Flow of Events : 1. ผู้ใช้กดปุ่ม Disconnect บนหน้าจอแอพพลิเคชั่น 2. คอมพิวเตอร์ตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อ 3. คอมพิวเตอร์ทำการส่งคำสั่งยกเลิกเชื่อมต่อไปยังหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ 4. หุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ทำการยกเลิกการเชื่อมต่อ 5. คอมพิวเตอร์แสดงสถานะการเชื่อมต่อถูกยกเลิก 6. หุ่นยนต์หรืออุปกรณ์สถานะการเชื่อมต่อถูกยกเลิก พร้อมทั้งแสดงผลด้วยเสียง		
SubFlows: -		
Alternate/Exception Flows : 2.a หากตรวจพบว่าไม่มีการเชื่อมต่อที่ถูกสร้างไว้ก่อนแล้ว จะแสดงข้อความแจ้งเตือน “Disconnect already”		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดของยูสเคสการรอรับการเชื่อมต่อ (Wait for connection)

Use Case Name : Wait for connection	**ID :** 3	**Importance Level :** High
Primary Actor : -	**Use Case Type :** Function	
Brief Description : หุ่นยนต์หรืออุปกรณ์รอรับการเชื่อมต่อไร้สายแบบบลูทูธจากคอมพิวเตอร์		
Pre-Condition : ทำการรันโปรแกรมในตัวหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ไว้เรียบร้อยแล้ว		
Post-Condition : หุ่นยนต์หรืออุปกรณ์อยู่ในสถานะรอรับการเชื่อมต่อไร้สายแบบบลูทูธจากคอมพิวเตอร์		
Trigger : หุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ต้องการรอรับการเชื่อมต่อไร้สายแบบบลูทูธจากคอมพิวเตอร์		
Relationships : **Include :** Start robot program, Start device program		
Normal Flow of Events : 1. หุ่นยนต์เริ่มต้นการทำงานโปรแกรมโดยยูสเคส Start robot program 2. อุปกรณ์เริ่มต้นการทำงานโปรแกรมโดยยูสเคส Start device program 3. หุ่นยนต์หรืออุปกรณ์อยู่ในสถานะรอรับการเชื่อมต่อไร้สายแบบบลูทูธ พร้อมทั้งแสดงข้อความ “Wait for connection”		
SubFlows: -		
Alternate/Exception Flows : -		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.4 คำอธิบายของยูสเคสการส่งและรับข้อมูล (Send and receive data)

Use Case Name : Send and Receive data	**ID :** 4	**Importance Level :** High
Primary Actor : -	**Use Case Type :** Function	
Brief Description : ส่ง และรับข้อมูลหรือคำสั่งระหว่างคอมพิวเตอร์กับหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์		
Pre-Condition : การเชื่อมต่อแบบบลูทูธระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ และหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ได้ถูกสร้างการเชื่อมต่อไว้เรียบร้อยแล้ว		
Post-Condition : ข้อมูลถูกส่งจากอุปกรณ์ต้นทางไปยังอุปกรณ์ปลายทาง		
Trigger : อุปกรณ์ต้นทางต้องการส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์ปลายทาง		
Relationships : **Association :** - **Include :** Connect, Calculate, Request RSSI, Get robot RSSI, Get device RSSI, Rotate, Forward, Start robot program, Start device program		
Normal Flow of Events : กรณีฝั่งต้นทางคือคอมพิวเตอร์ 1. คอมพิวเตอร์ทำการจัดเตรียมข้อมูล โดยแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่กำหนด 2. คอมพิวเตอร์ส่งข้อมูลไปยังหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ 3. หุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ทำการรับข้อมูล และนำข้อมูลเหล่านั้นไปประมวลผล กรณีฝั่งต้นทางคือหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ 1. หุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ทำการจัดเตรียมข้อมูล โดยแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่กำหนด 2. หุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์ 3. คอมพิวเตอร์ทำการรับข้อมูล และนำข้อมูลเหล่านั้นไปประมวลผล		
SubFlows: -		
Alternate/Exception Flows : -		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 คำอธิบายของยูสเคสการร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธ (Request RSSI)

Use Case Name : Request RSSI	**ID :** 5	**Importance Level :** High
Primary Actor : User	**Use Case Type :** Function	
Brief Description : ร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธระหว่างคอมพิวเตอร์กับหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์		
Pre-Condition : การเชื่อมต่อแบบบลูทูธระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ และหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ได้ถูกสร้างการเชื่อมต่อไว้เรียบร้อยแล้ว		
Post-Condition : การร้องขอ		
Trigger : ผู้ใช้กดปุ่มร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธ		
Relationships : **Association :** User		
Normal Flow of Events : 1. ผู้ใช้กดปุ่มร้องขอความเข้มของสัญญาณบลูทูธบนหน้าจอแอพพลิเคชั่น 2. คอมพิวเตอร์ร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธถูกส่งไปยังหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ 3. หุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ทำการเก็บค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธ โดยยูสเคส Get robot RSSI และยูสเคส Get robot RSSI ตามลำดับ 4. คอมพิวเตอร์รอรับค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธจากหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ 5. หุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ส่งค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธมายังคอมพิวเตอร์ 6. คอมพิวเตอร์ตรวจสอบว่าได้รับค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธครบตามจำนวนที่ต้องการหรือไม่ 7. คอมพิวเตอร์ทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธที่ได้รับ 8. คอมพิวเตอร์บันทึกค่าเฉลี่ยที่ได้จากข้อ 7 ลงในฐานข้อมูล		
SubFlows: -		
Alternate/Exception Flows : 6.a หากตรวจสอบพบว่าค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับไม่ครบตามจำนวนที่ต้องการ ให้กลับไปเริ่มทำตั้งแต่ข้อ 2 ใหม่อีกครั้ง		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.6 คำอธิบายของยูสเคสการคำนวณ (Calculate)

Use Case Name : Calculate	**ID :** 6	**Importance Level :** High
Primary Actor : User	**Use Case Type :** Function	
Brief Description : คำนวณหาค่ามุมที่ใช้ในการหมุนของหุ่นยนต์ จำนวนรอบของมอเตอร์ที่ต้องทำการหมุน และค่าพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์		
Pre-Condition : มีค่าเฉลี่ยความเข้มของสัญญาณของหุ่นยนต์และอุปกรณ์เก็บในฐานข้อมูลแล้ว		
Post-Condition : ทราบตำแหน่งพิกัดของหุ่นยนต์ และอุปกรณ์บลูทูธ		
Trigger : ผู้ใช้ต้องการให้ระบบทำการคำนวณ		
Relationships : **Association :** User		
Normal Flow of Events : 1. ผู้ใช้ทำการกดปุ่ม Calculate 2. คอมพิวเตอร์นำค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับจากหุ่นยนต์และอุปกรณ์มาทำการเปรียบเทียบกับค่าความเข้มของสัญญาณเฉลี่ยที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล เพื่อหาพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ 3. บันทึกค่าพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ลงในฐานข้อมูล 4. นำค่าพิกัดตำแหน่งที่ได้ไปคำนวณหาองศาของมุมที่จะให้หุ่นยนต์ทำการหมุน 5. นำค่าพิกัดตำแหน่งหุ่นยนต์และอุปกรณ์มาหาค่าระยะกระจัดระหว่างหุ่นยนต์กับอุปกรณ์ 6. แปลงค่าระยะกระจัดเป็นจำนวนรอบที่ใช้ในการหมุนของมอเตอร์ 7. บันทึกค่าองศาของมุมและจำนวนรอบของมอเตอร์ที่คำนวณได้ลงในฐานข้อมูล		
Alternate/Exception Flows : 2.a หากตรวจสอบพบว่าค่าความเข้มของสัญญาณไม่ตรงกับค่าใดๆในฐานข้อมูลเลย ให้ทำการเพิ่ม-ลดค่าความเข้มของสัญญาณครั้งละ 1 หน่วย และทำข้อ 2 ใหม่		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.7 การแสดงผลพิกัดตำแหน่งบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ (Display position on screen)

Use Case Name : Display position on screen	**ID :** 7	**Importance Level :** High
Primary Actor : -	**Use Case Type :** Function	
Brief Description : แสดงผลพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์บนหน้าจอคอมพิวเตอร์		
Pre-Condition : มีค่าพิกัดตำแหน่งที่คำนวณสำเร็จแล้วบันทึกไว้ในฐานข้อมูล		
Post-Condition : ตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธถูกแสดงขึ้นที่หน้าจอคอมพิวเตอร์		
Trigger : การคำนวณตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ถูกบันทึกลงในฐานข้อมูล		
Relationships : **Include :** Calculate		
Normal Flow of Events : 1. แสดงผลตำแหน่งพิกัดของหุ่นยนต์ และอุปกรณ์ออกทางหน้าจอคอมพิวเตอร์		
SubFlows: -		
Alternate/Exception Flows :		

ตารางที่ 3.8 การแสดงผลพิกัดตำแหน่งบนหน้าจออุปกรณ์ (Display position on device)

Use Case Name : Display position on device	**ID :** 8	**Importance Level :** High
Primary Actor : User	**Use Case Type :** Function	
Brief Description : แสดงผลพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์บนหน้าจออุปกรณ์		
Pre-Condition : มีค่าพิกัดตำแหน่งที่คำนวณสำเร็จแล้วบันทึกไว้ในฐานข้อมูล		
Post-Condition : ตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธถูกแสดงขึ้นที่หน้าจออุปกรณ์		
Trigger : การคำนวณตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ถูกบันทึกลงในฐานข้อมูล		
Relationships : **Association :** User **Include :** Calculate		
Normal Flow of Events : 1. ผู้ใช้กดปุ่ม Show position 2. แสดงผลตำแหน่งพิกัดของหุ่นยนต์ และอุปกรณ์ออกทางหน้าจออุปกรณ์		
SubFlows: -		
Alternate/Exception Flows :		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.9 คำอธิบายของยูสเคสเก็บค่าความเข้มสัญญาณบลูทูธของหุ่นยนต์ (Get Robot RSSI)

Use Case Name : Get Robot RSSI	**ID :** 9	**Importance Level :** High
Primary Actor : Robot BT Tx/Rx	**Use Case Type :** Function	
Brief Description : เก็บค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธระหว่างคอมพิวเตอร์กับหุ่นยนต์		
Pre-Condition : การเชื่อมต่อแบบบลูทูธระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับหุ่นยนต์ได้ถูกสร้างการเชื่อมต่อไว้เรียบร้อยแล้ว		
Post-Condition : หุ่นยนต์ส่งค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธที่ได้กลับไปยังคอมพิวเตอร์		
Trigger : คอมพิวเตอร์ส่งคำสั่งร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธมายังหุ่นยนต์		
Relationships : **Association :** Robot BT Tx/Rx		
Normal Flow of Events : 1. คอมพิวเตอร์ร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธถูกส่งไปยังหุ่นยนต์ 2. ตัวรับส่งสัญญาณบลูทูธของหุ่นยนต์ทำการเก็บค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธ 3. หุ่นยนต์ทำการส่งค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธกลับไปยังคอมพิวเตอร์		
Alternate/Exception Flows : -		

ตารางที่ 3.10 คำอธิบายของยูสเคสเก็บค่าความเข้มสัญญาณบลูทูธของอุปกรณ์ (Get Device RSSI)

Use Case Name : Get Device RSSI	**ID :** 10	**Importance Level :** High
Primary Actor : Device BT Tx/Rx	**Use Case Type :** Function	
Brief Description : เก็บค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธระหว่างคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์		
Pre-Condition : การเชื่อมต่อแบบบลูทูธระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์ได้ถูกสร้างการเชื่อมต่อไว้เรียบร้อยแล้ว		
Post-Condition : อุปกรณ์ส่งค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธที่ได้กลับไปยังคอมพิวเตอร์		
Trigger : คอมพิวเตอร์ส่งคำสั่งร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธมายังอุปกรณ์		
Relationships : **Association :** Device BT Tx/Rx		
Normal Flow of Events : 1. คอมพิวเตอร์ร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธถูกส่งไปยังอุปกรณ์ 2. ตัวรับส่งสัญญาณบลูทูธของอุปกรณ์ทำการเก็บค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธ 3. อุปกรณ์ทำการส่งค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธกลับไปยังคอมพิวเตอร์		
Alternate/Exception Flows : -		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.11 คำอธิบายของยูสเคสการเริ่มต้นโปรแกรมในตัวหุ่นยนต์ (Start robot program)

Use Case Name : Start robot program	**ID :** 11	**Importance Level :** High
Primary Actor : User	**Use Case Type :** Function	
Brief Description : สั่งโปรแกรมในตัวหุ่นยนต์ให้เริ่มทำงาน		
Pre-Condition : หุ่นยนต์ถูกเปิดการทำงานแล้ว (Power on)		
Post-Condition : โปรแกรมในตัวหุ่นยนต์ทำงาน		
Trigger : ผู้ใช้ทำการกดปุ่มเพื่อให้โปรแกรมในตัวหุ่นยนต์เริ่มทำงาน		
Relationships : **Association :** User		
Normal Flow of Events : 1. ผู้ใช้กดปุ่มสีส้มบนตัวหุ่นยนต์ 2. หุ่นยนต์เปิดการทำงาน 3. ผู้ใช้กดปุ่มสีส้มบนหุ่นยนต์อีกครั้ง 4. โปรแกรมในตัวหุ่นยนต์จะเริ่มทำงาน		
Alternate/Exception Flows : -		

ตารางที่ 3.12 คำอธิบายของยูสเคสการเริ่มต้นโปรแกรมในตัวอุปกรณ์ (Start device program)

Use Case Name : Start device program	**ID :** 12	**Importance Level :** High
Primary Actor : User	**Use Case Type :** Function	
Brief Description : สั่งโปรแกรมในตัวอุปกรณ์ให้เริ่มทำงาน		
Pre-Condition : อุปกรณ์ถูกเปิดการทำงานแล้ว (Power on)		
Post-Condition : โปรแกรมในตัวอุปกรณ์ทำงาน		
Trigger : ผู้ใช้ทำการกดปุ่มเพื่อให้โปรแกรมในตัวอุปกรณ์เริ่มทำงาน		
Relationships : **Association :** User		
Normal Flow of Events : 1. ผู้ใช้กดปุ่มสีส้มบนตัวอุปกรณ์ 2. อุปกรณ์เปิดการทำงาน 3. ผู้ใช้กดปุ่มสีส้มบนอุปกรณ์อีกครั้ง 4. โปรแกรมในตัวอุปกรณ์จะเริ่มทำงาน		
Alternate/Exception Flows : -		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.13 คำอธิบายของยูสเคสการรับค่าองศา (Get degree)

Use Case Name : Get degree	**ID :** 13	**Importance Level :** High
Primary Actor : Compass sensor	**Use Case Type :** Function	
Brief Description : รับค่าองศาของมุมในปัจจุบันจากเซ็นเซอร์เข็มทิศ (Compass sensor) เพื่อให้ทราบทิศทางในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์		
Pre-Condition :		
Post-Condition : หุ่นยนต์ได้รับค่าองศาของมุมในปัจจุบันจากเซ็นเซอร์เข็มทิศ		
Trigger : หุ่นยนต์ร้องขอค่าองศาของมุมในปัจจุบันจากเซ็นเซอร์เข็มทิศ		
Relationships : **Association :** Compass sensor		
Normal Flow of Events : 1. หุ่นยนต์ร้องขอค่ามุมในปัจจุบันจากเซ็นเซอร์เข็มทิศ 2. เซ็นเซอร์เข็มทิศทำการเก็บค่าองศาของมุมในปัจจุบัน (0-359) 3. เซ็นเซอร์เข็มทิศส่งค่าองศาของมุมในปัจจุบันกลับมายังหุ่นยนต์ 4. หุ่นยนต์รับค่าองศาของมุมในปัจจุบัน		
SubFlows: -		
Alternate/Exception Flows : -		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.14 คำอธิบายของยูสเคสการหมุน (Rotate)

Use Case Name : Rotate	**ID :** 14	**Importance Level :** High
Primary Actor : Motor	**Use Case Type :** Function	
Brief Description : สั่งให้มอเตอร์ของหุ่นยนต์หมุนเพื่อให้หุ่นยนต์หันหน้าตรงตามองศาของมุมที่ได้รับจากฐานข้อมูล		
Pre-Condition : มีค่าองศาของมุมที่ได้จากการคำนวณในฐานข้อมูล		
Post-Condition : มอเตอร์ของหุ่นยนต์ทำการหมุนจนหุ่นยนต์หันหน้าตรงตามองศาของมุมที่ได้รับจากฐานข้อมูล		
Trigger : หุ่นยนต์ต้องการทำการหมุน		
Relationships : **Association :** Motor **Include :** Get degree		
Normal Flow of Events : 1. ดึงค่าองศาของมุมที่จะให้หุ่นยนต์ทำการหมุนจากฐานข้อมูล 2. สั่งการให้มอเตอร์ทำการหมุน เพื่อเปลี่ยนค่าองศาในปัจจุบัน 3. มอเตอร์ทั้งสองทำการหมุนในทิศทางตรงกันข้าม 4. รับค่าองศาของมุมในปัจจุบัน โดยยูสเคส Get degree 5. นำค่าองศาที่ได้จากฐานข้อมูลนำมาเปรียบเทียบกับค่าองศาที่ได้จากยูสเคส Get degree ว่าตรงกันหรือไม่ 6. สั่งการให้มอเตอร์หยุดหมุน 7. มอเตอร์หยุดหมุน		
SubFlows: -		
Alternate/Exception Flows : - 5.a หากตรวจสอบพบว่าค่าองศาที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์ไม่ตรงกันกับค่าองศาที่ได้จากยูสเคส Get degree ให้กลับไปทำตั้งแต่ข้อ 2 ใหม่อีกครั้ง		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.15 คำอธิบายของยูสเคสการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Forward)

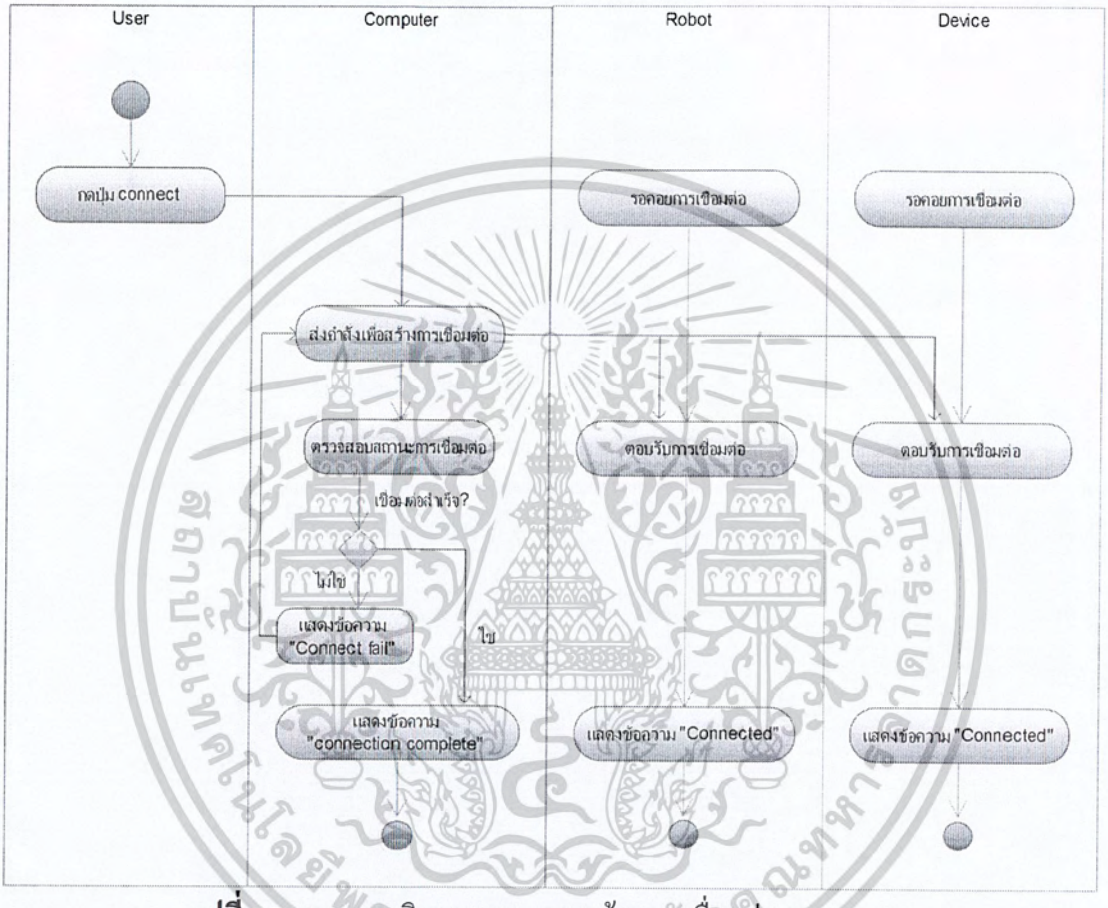
Use Case Name : Forward	**ID :** 15	**Importance Level :** High
Primary Actor : Motor	**Use Case Type :** Function	
Brief Description : การสั่งให้มอเตอร์หมุนไปได้ครบตามจำนวนรอบที่ได้จากฐานข้อมูล		
Pre-Condition : มีค่าจำนวนรอบของมอเตอร์ที่ได้จากการคำนวณในฐานข้อมูล		
Post-Condition : หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามจำนวนรอบที่ได้จากฐานข้อมูล		
Trigger : หุ่นยนต์ต้องการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า		
Relationships : **Association :** Motor		
Normal Flow of Events : 1. ดึงค่าจำนวนรอบที่จะให้มอเตอร์หมุนจากฐานข้อมูล 2. สั่งให้มอเตอร์ทำการหมุนไปข้างหน้า 3. มอเตอร์ทั้งสองทำการหมุนไปข้างหน้า 4. รับค่าจำนวนรอบที่มอเตอร์ทำการหมุนไปแล้วในปัจจุบัน 5. ตรวจสอบว่าจำนวนรอบมอเตอร์ที่หมุนไปแล้วในปัจจุบันกับจำนวนรอบที่ได้จากฐานข้อมูลหรือไม่ 6. สั่งการให้มอเตอร์หยุดหมุน 7. มอเตอร์หยุดหมุน พร้อมแสดงผลต่อด้วยเสียง		
SubFlows: -		
Alternate/Exception Flows : - 3.a หากตรวจสอบพบว่าจำนวนรอบที่หมุนไปแล้วในปัจจุบันไม่ตรงกับจำนวนรอบที่ได้จากฐานข้อมูล ให้กลับไปทำตั้งแต่ข้อ 3 ใหม่อีกครั้ง		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3 แผนภาพกิจกรรม (Activity Diagram)

เป็นแผนภาพแสดงกิจกรรมของระบบ โดยจะแสดงกระบวนการขั้นตอนของการทำงานของระบบแต่ละกิจกรรม ดังรูปต่อไปนี้

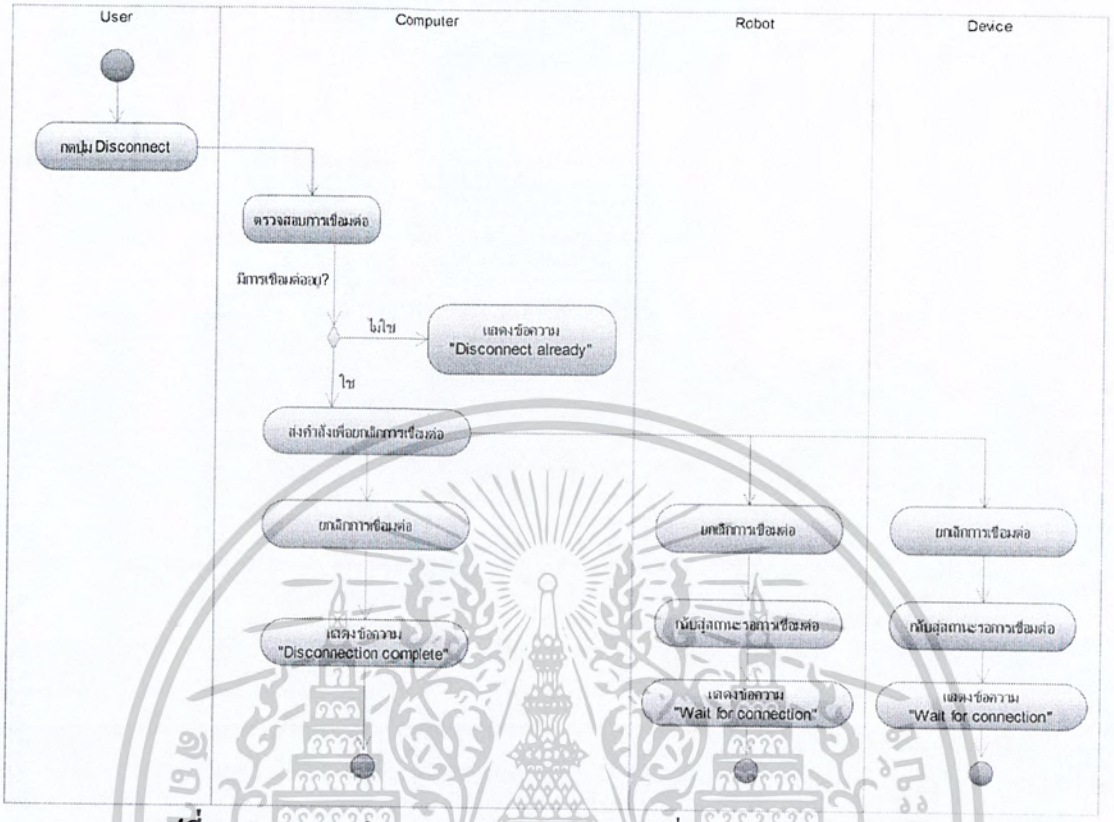
3.4.3.1 การสร้างการเชื่อมต่อ (Connect)



รูปที่ 3.7 แผนภาพกิจกรรมของการสร้างการเชื่อมต่อ (Connect)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

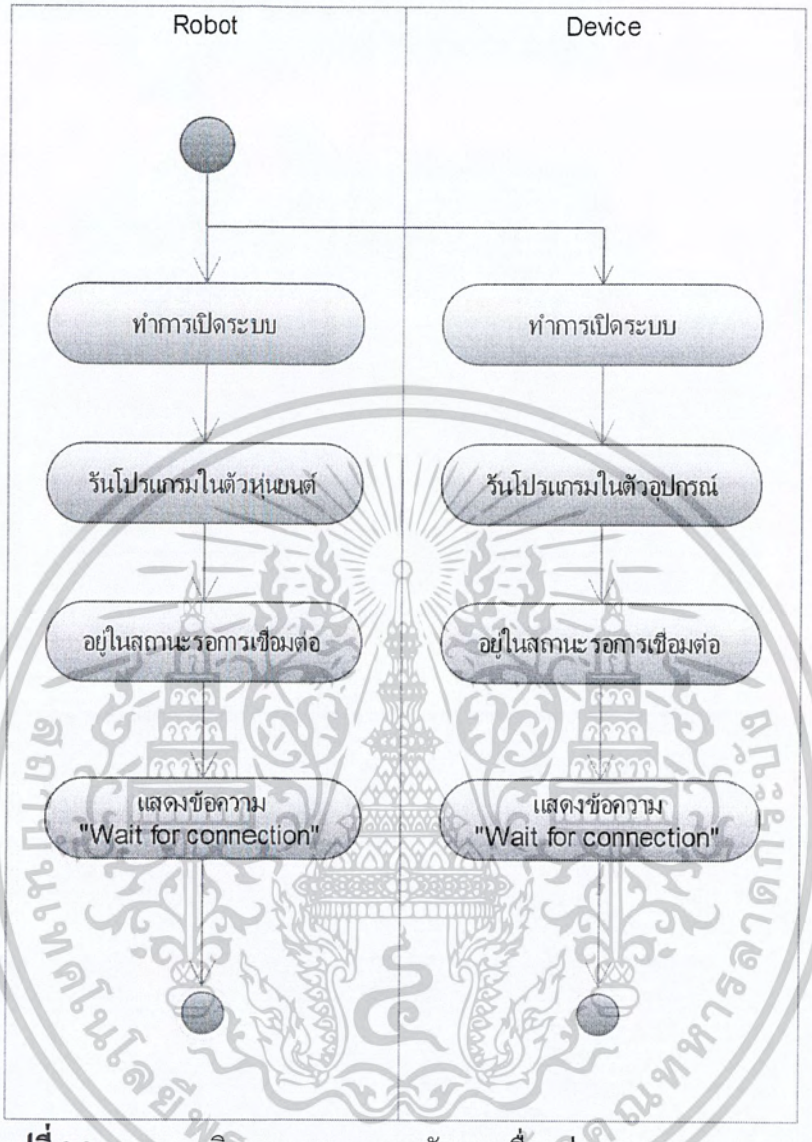
3.4.3.2 การยกเลิกการเชื่อมต่อ (Disconnection)



รูปที่ 3.8 แผนภาพกิจกรรมของการยกเลิกการเชื่อมต่อ (Disconnection)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

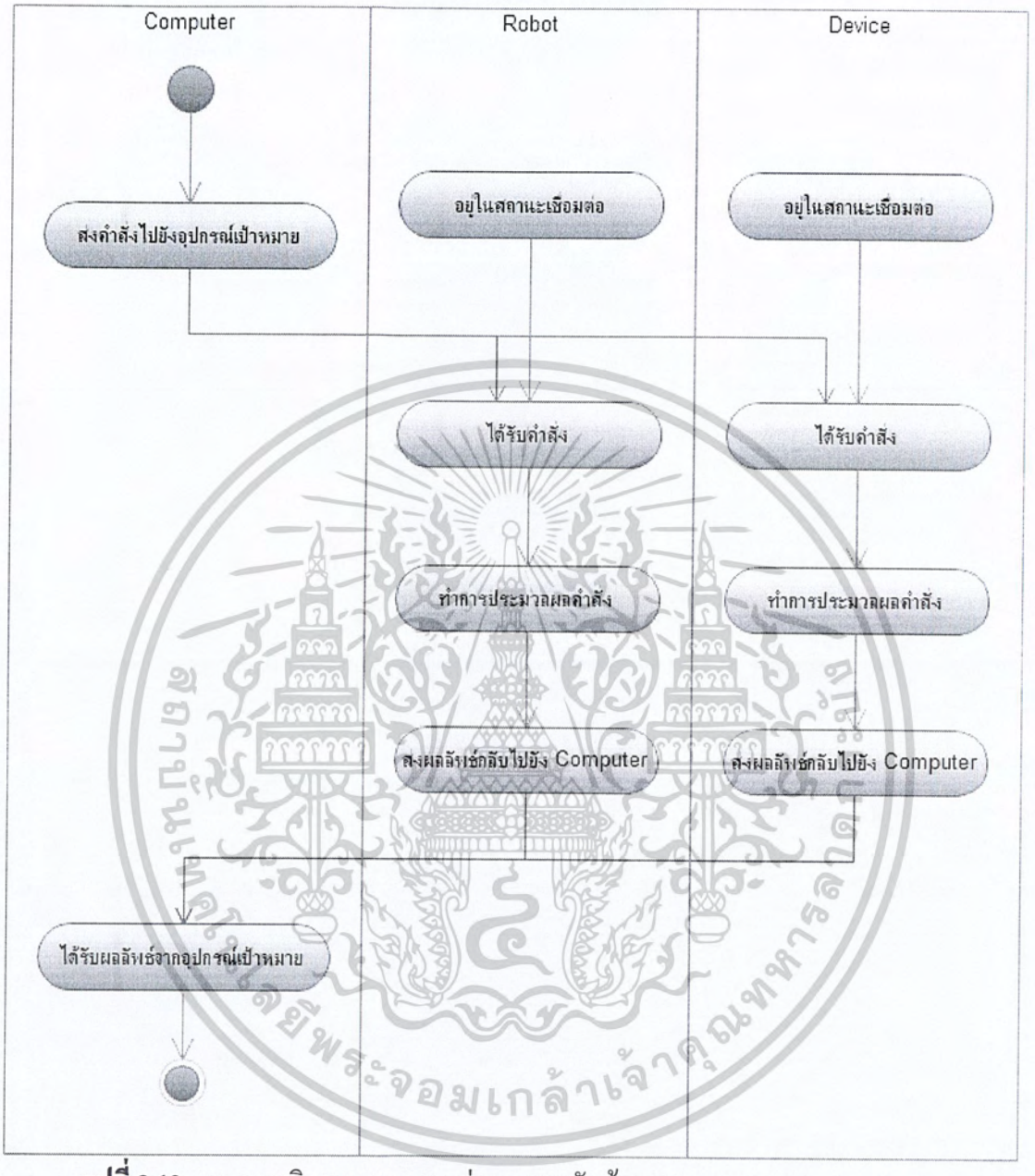
3.4.3.3 การรอรับการเชื่อมต่อ (Wait for connection)



รูปที่ 3.9 แผนภาพกิจกรรมของการรอรับการเชื่อมต่อ (Wait for connection)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

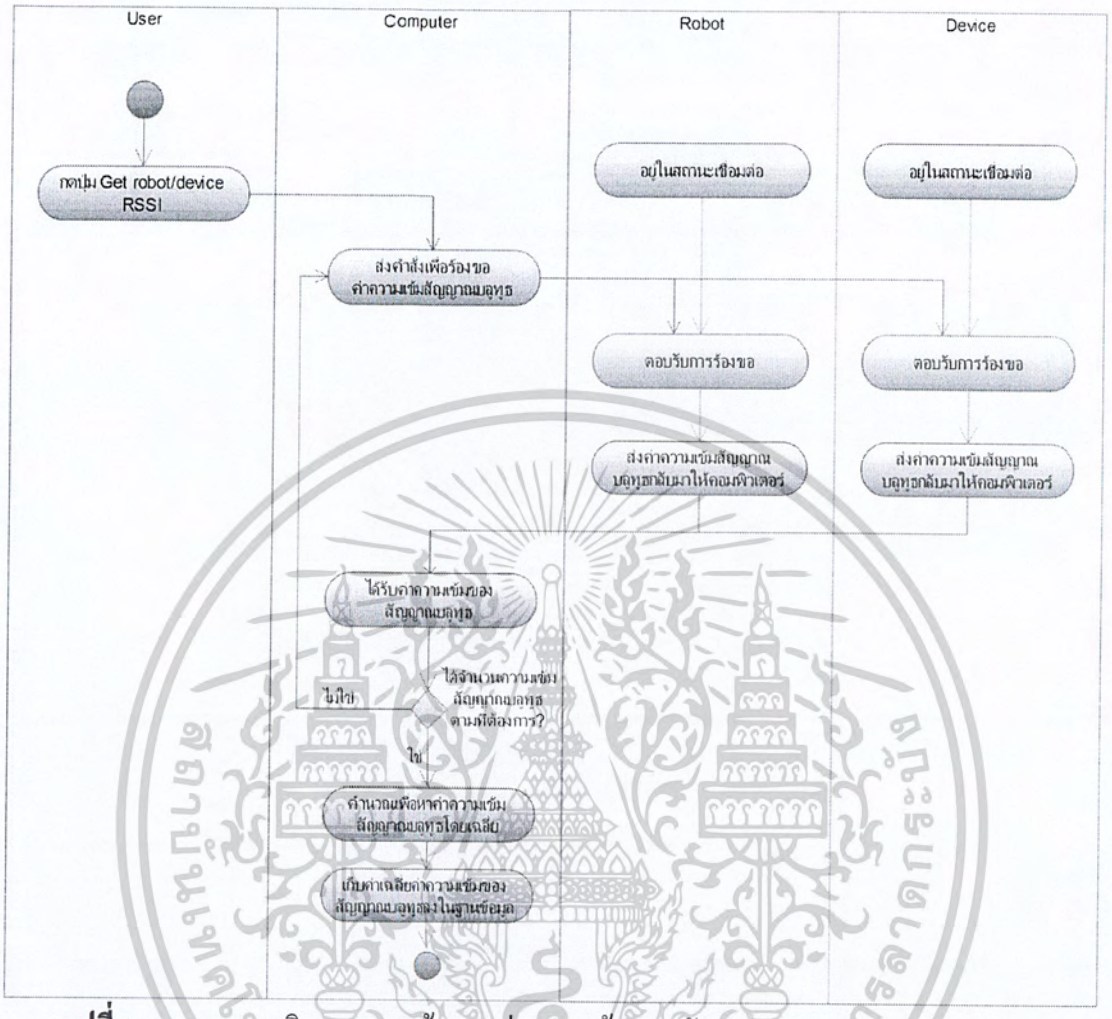
3.4.3.4 การส่ง และการรับข้อมูล (Send and receive data)



รูปที่ 3.10 แผนภาพกิจกรรมของการส่งและการรับข้อมูล (Send and Receive data)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

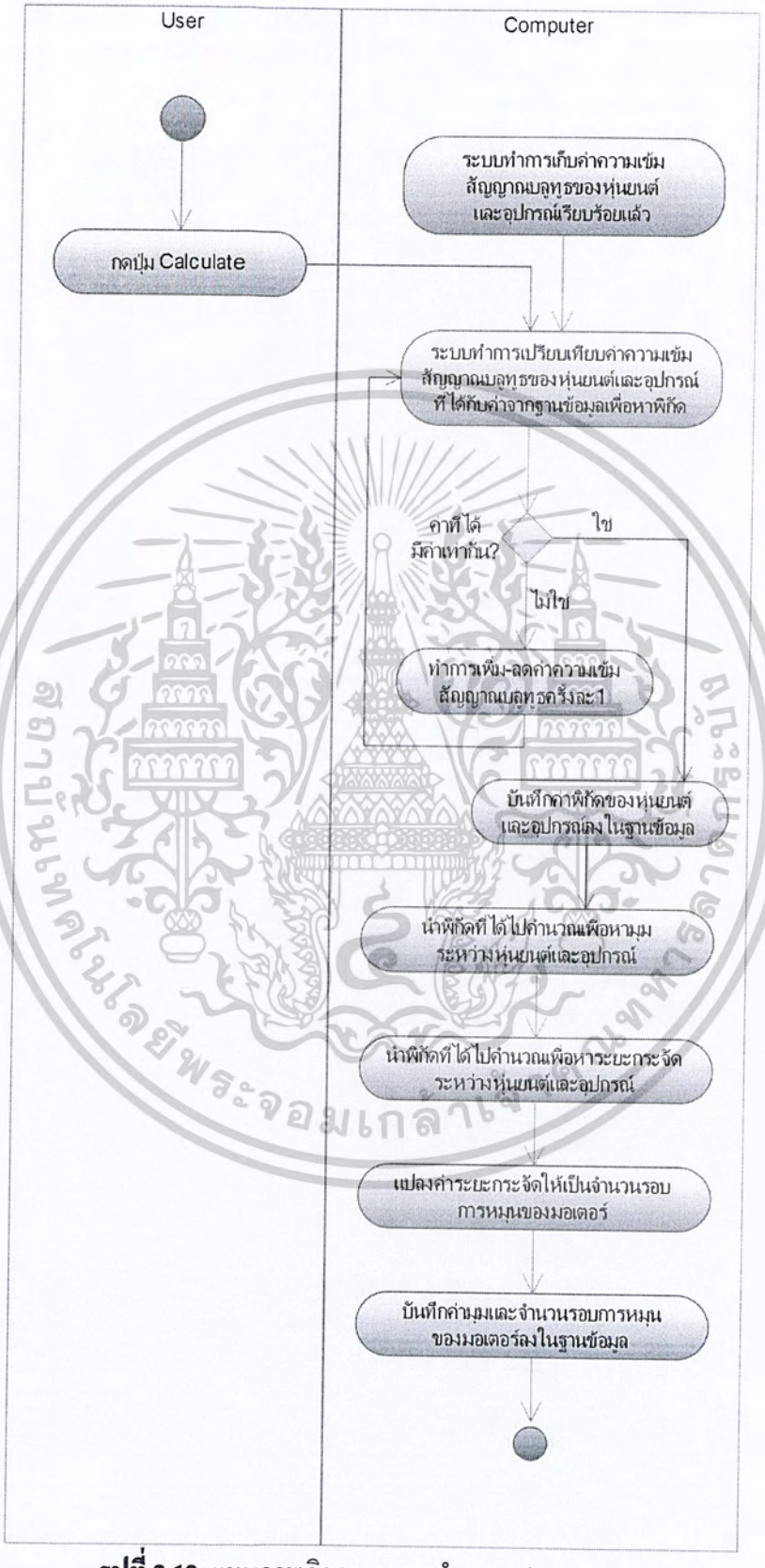
3.4.3.5 การร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธ (Request RSSI)



รูปที่ 3.11 แผนภาพกิจกรรมการร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธ (Request RSSI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

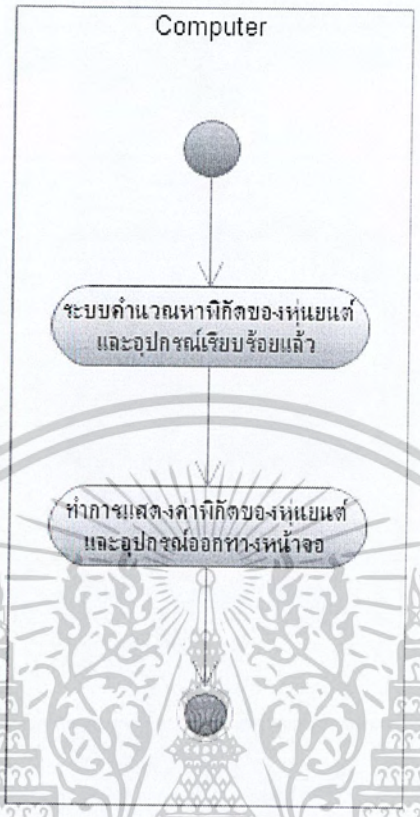
3.4.3.6 การคำนวณ (Calculate)



รูปที่ 3.12 แผนภาพกิจกรรมการคำนวณ (Calculate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

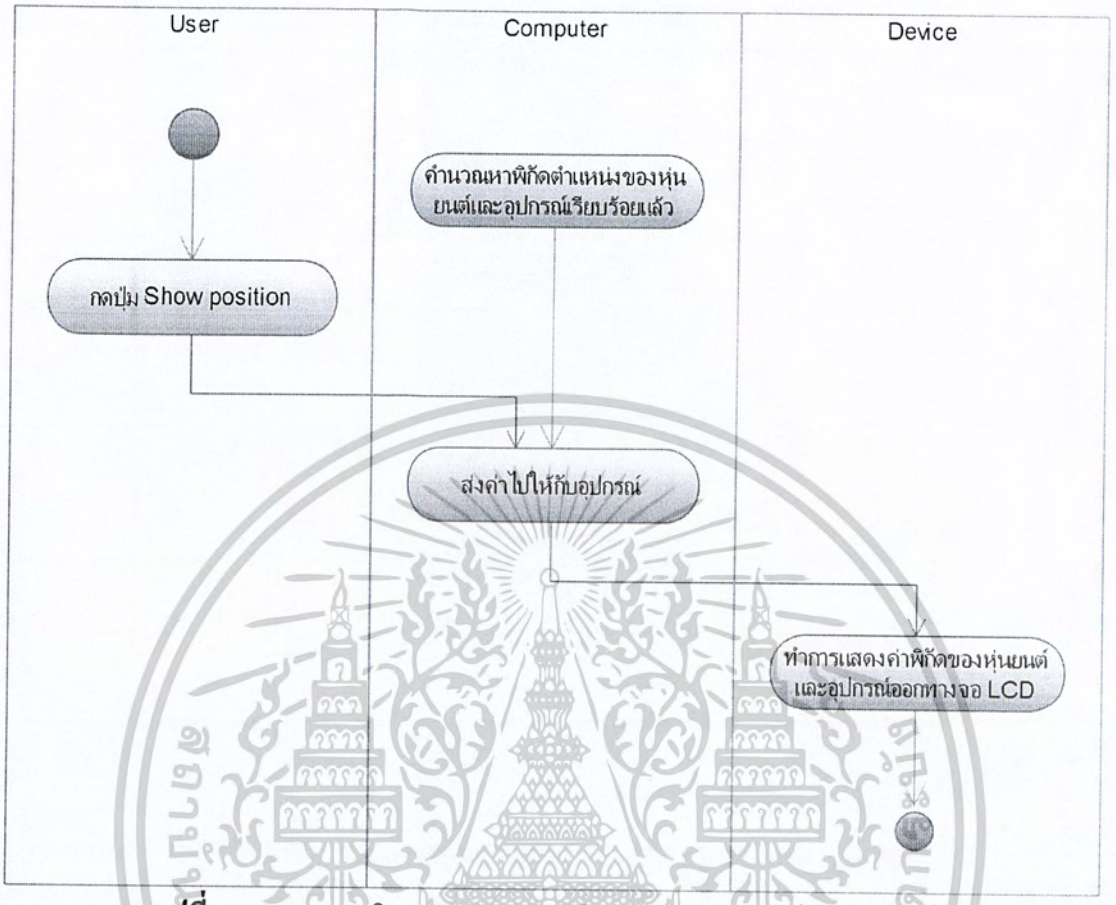
3.4.3.7 การแสดงพิกัดตำแหน่งบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ (Display position on screen)



รูปที่ 3.13 แผนภาพกิจกรรมการแสดงพิกัดตำแหน่งบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ (Display position on screen)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

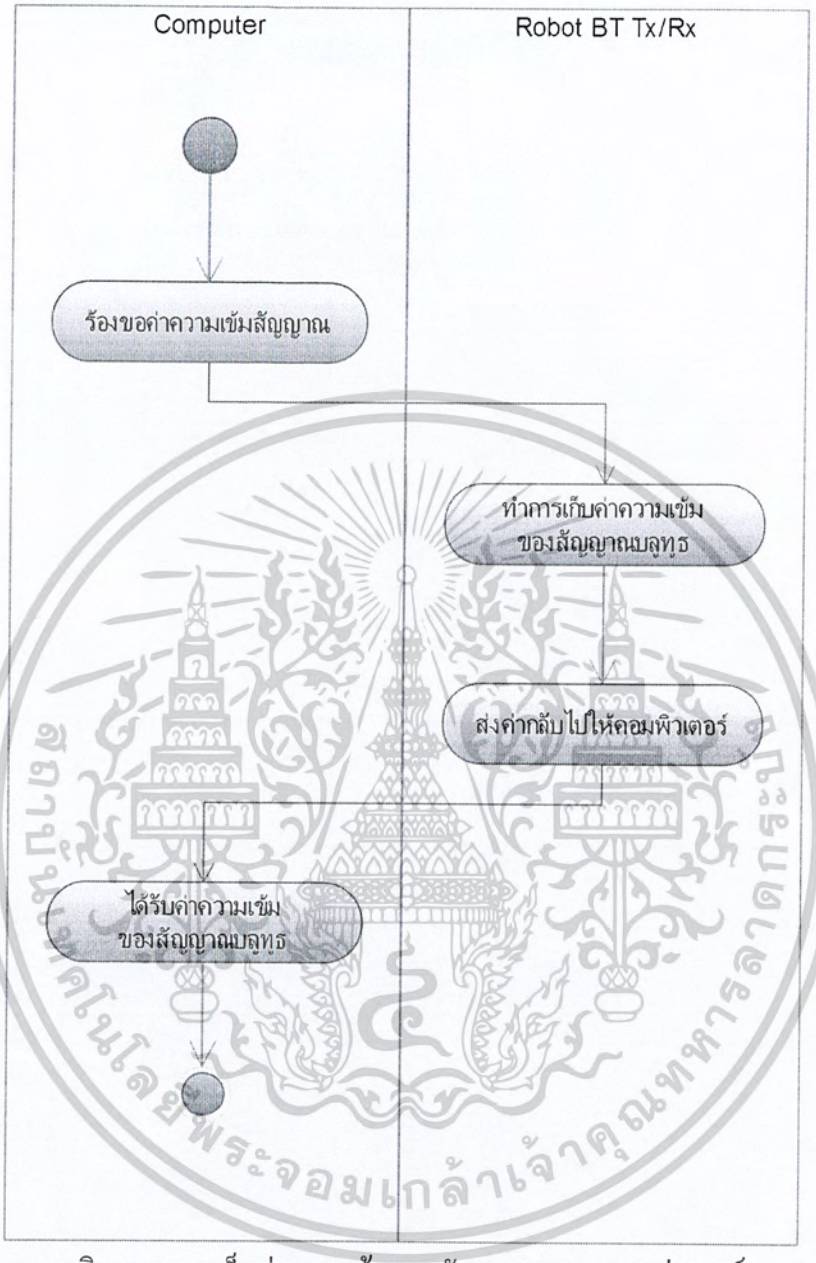
3.4.3.8 การแสดงพิกัดตำแหน่งบนหน้าจออุปกรณ์ (Display position on device)



รูปที่ 3.14 แผนภาพกิจกรรมการแสดงพิกัดตำแหน่งบนหน้าจออุปกรณ์ (Display position on device)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

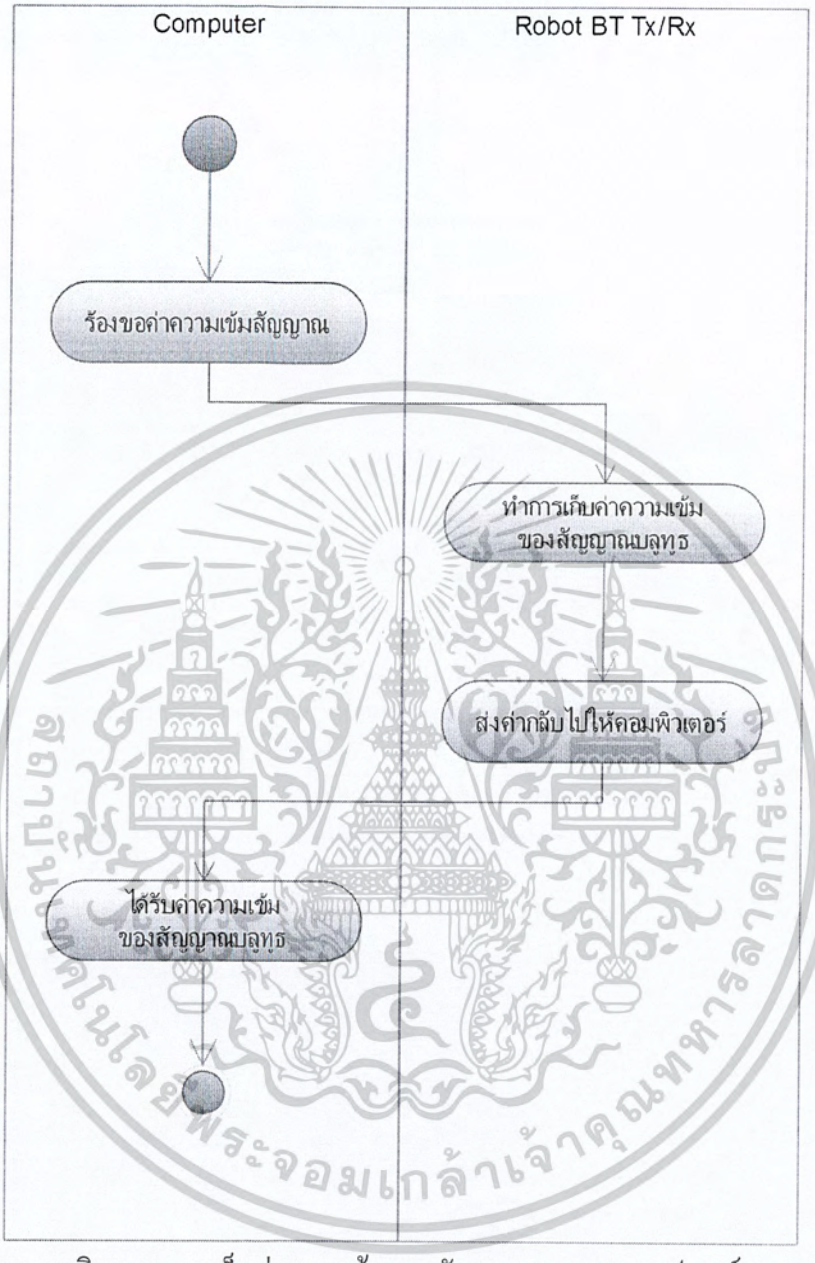
3.4.3.9 การเก็บค่าความเข้มสัญญาณบลูทูธของหุ่นยนต์ (Get robot RSSI)



รูปที่ 3.15 แผนภาพกิจกรรมการเก็บค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธของหุ่นยนต์ (Get robot RSSI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

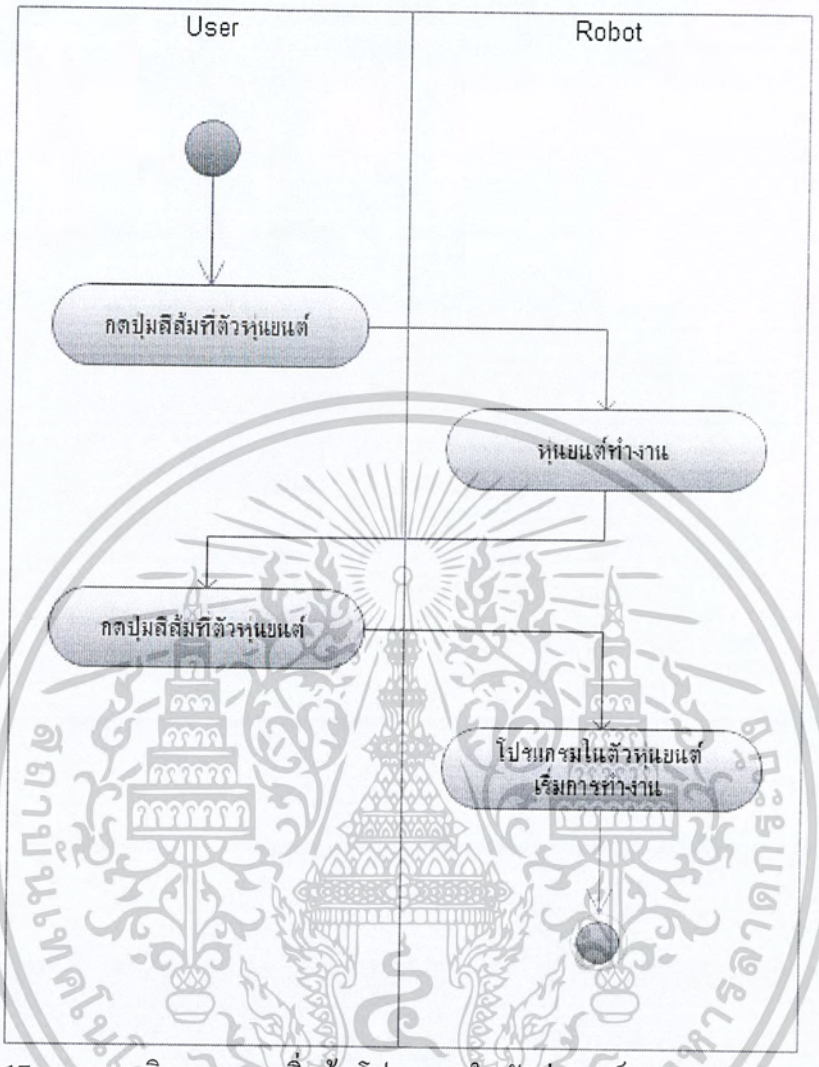
3.4.3.10 การเก็บค่าความเข้มสัญญาณบลูทูธของอุปกรณ์ (Get device RSSI)



รูปที่ 3.16 แผนภาพกิจกรรมการเก็บค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธของอุปกรณ์(Get device RSSI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

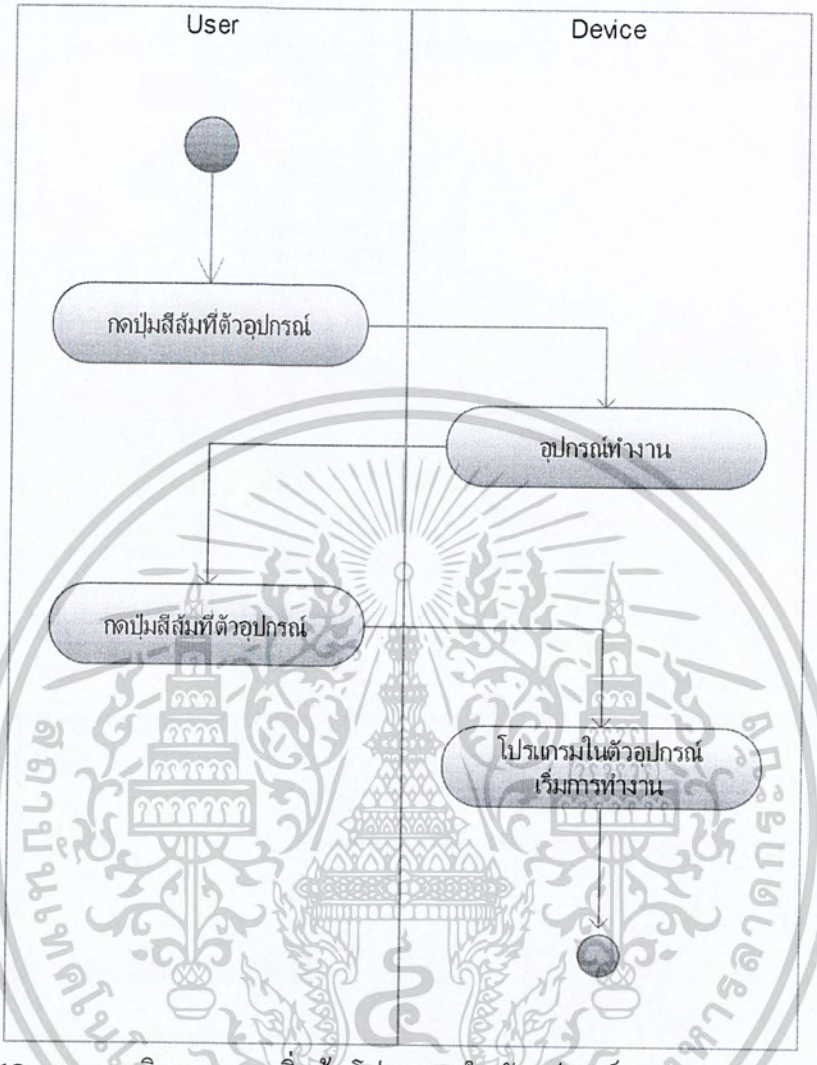
3.4.3.11 การเริ่มต้นโปรแกรมในตัวหุ่นยนต์ (Start robot program)



รูปที่ 3.17 แผนภาพกิจกรรมการเริ่มต้นโปรแกรมในตัวหุ่นยนต์ (Start robot program)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

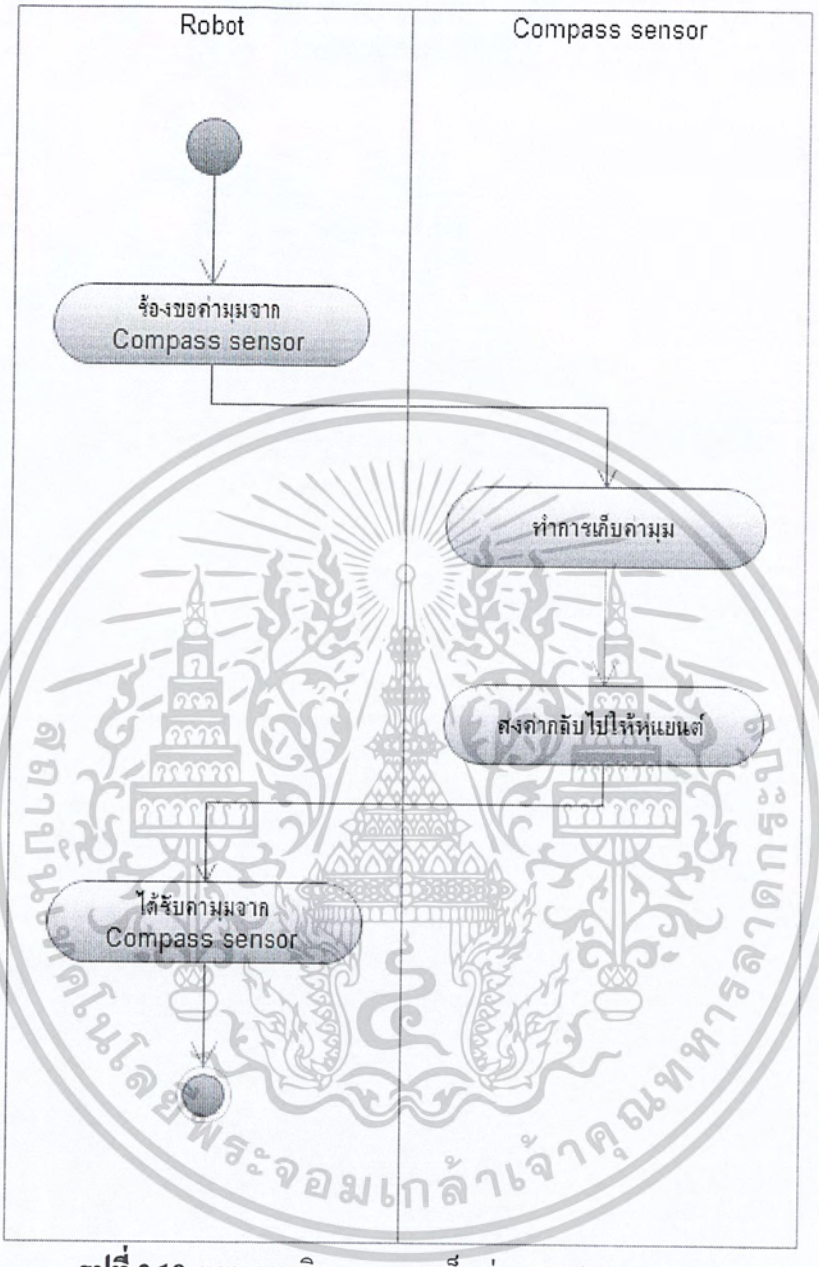
3.4.3.12 การเริ่มต้นโปรแกรมในตัวอุปกรณ์ (Start device program)



รูปที่ 3.18 แผนภาพกิจกรรมการเริ่มต้นโปรแกรมในตัวอุปกรณ์ (Start device program)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

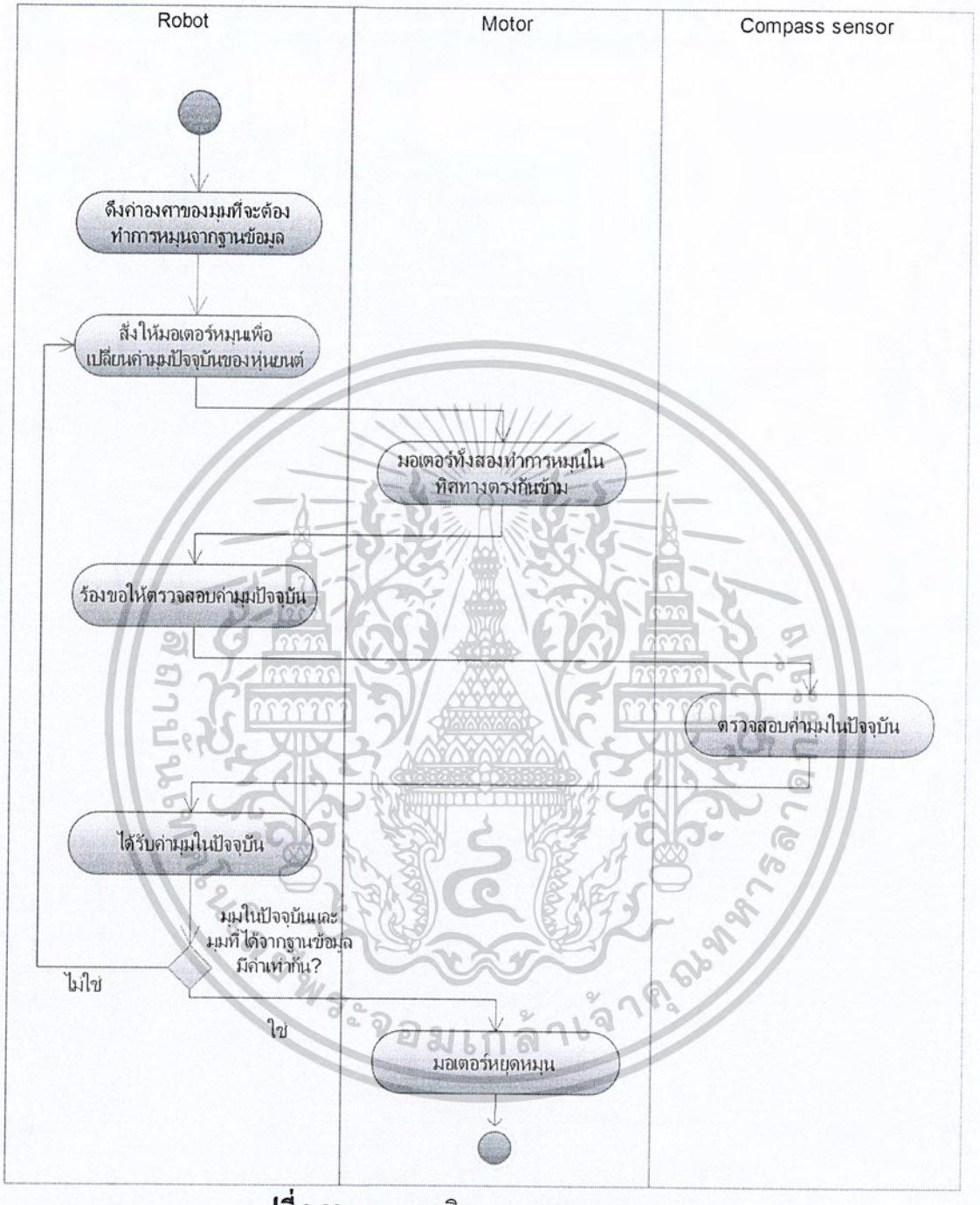
3.4.3.13 การเก็บค่าองศา (Get degree)



รูปที่ 3.19 แผนภาพกิจกรรมการเก็บค่าองศา (Get degree)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

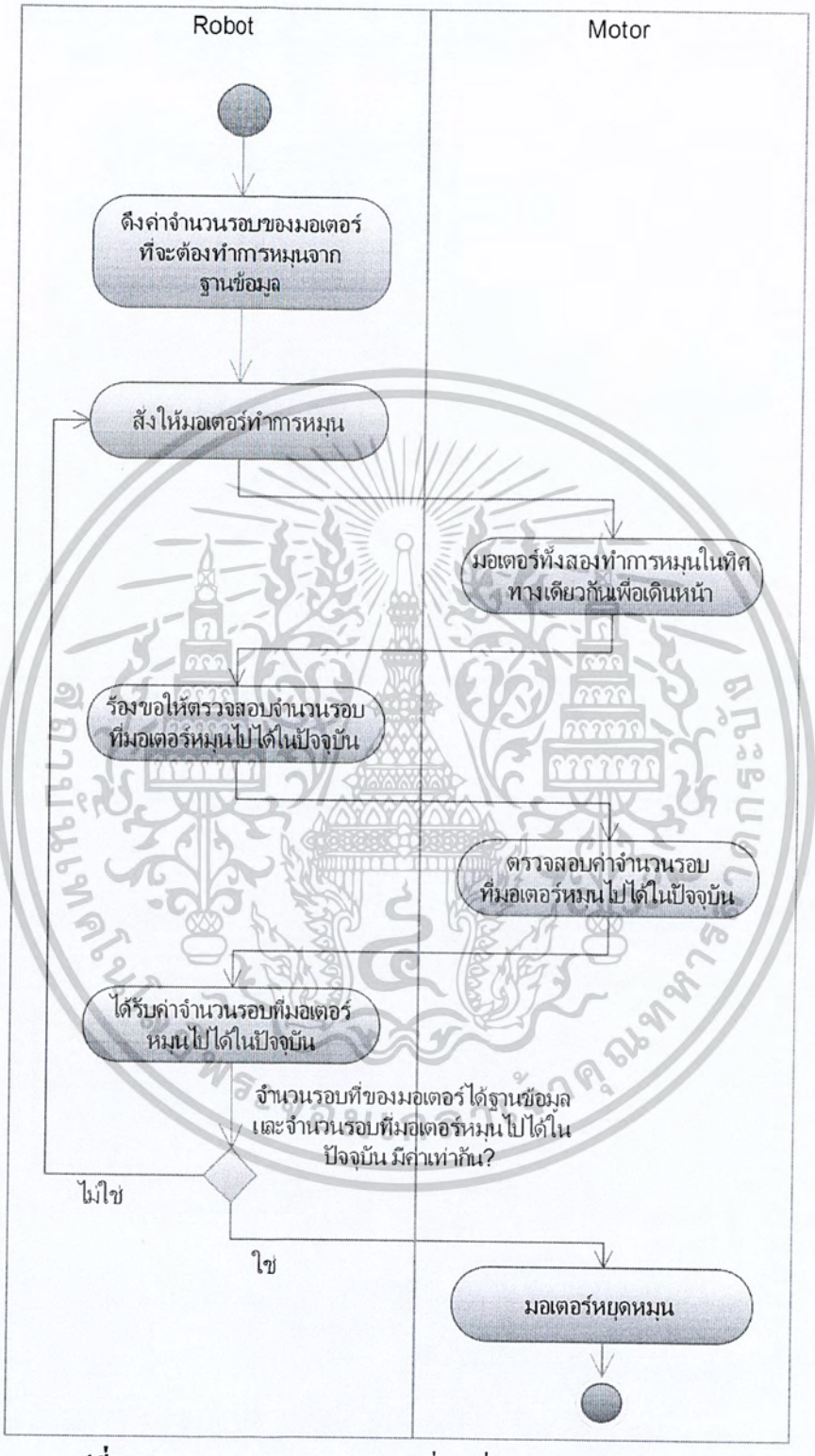
3.4.3.14 การหมุน (Rotate)



รูปที่ 3.20 แผนภาพกิจกรรมการหมุน (Rotate)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.3.15 การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Forward)

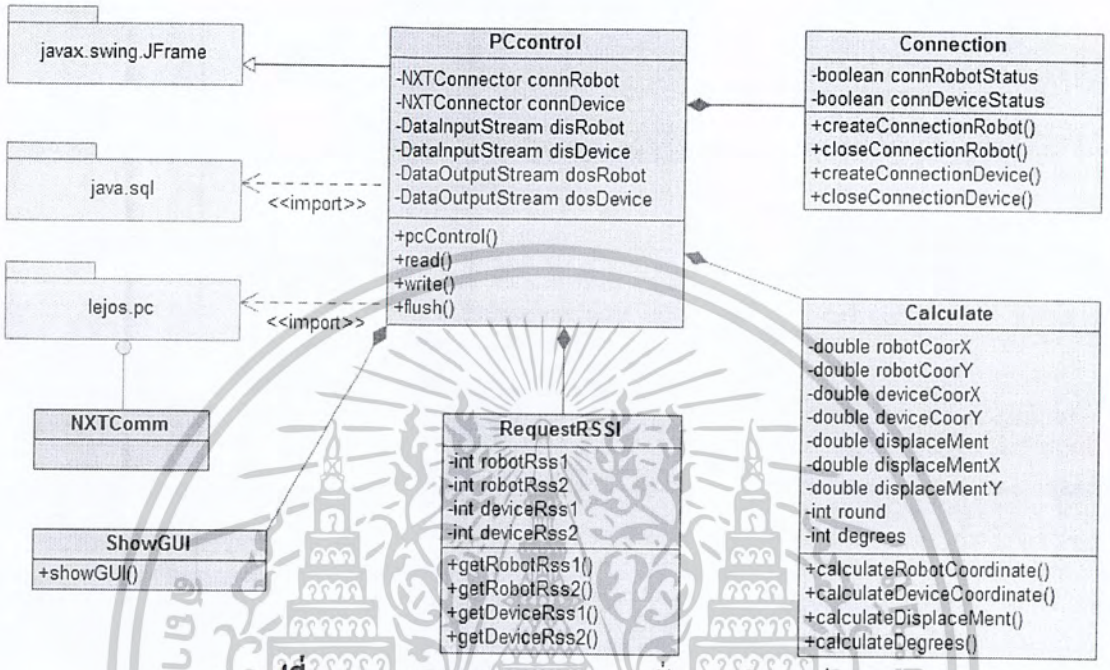


รูปที่ 3.21 แผนภาพกิจกรรมการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Forward)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.4 แผนภาพคลาส (Class diagram)

แสดงโครงสร้างของระบบในมุมมองเชิงวัตถุ ประกอบด้วยอินเตอร์เฟส (Interface) ความสัมพันธ์ระหว่างคลาส (Relationship) ใช้แสดงลักษณะ และรายละเอียดของแต่ละคลาส



รูปที่ 3.22 แผนภาพคลาสของระบบฝั่งคอมพิวเตอร์

จากรูปที่ 3.22 คลาสในส่วนควบคุมของฝั่งคอมพิวเตอร์สามารถแบ่งออกเป็นคลาสหลักได้ทั้งหมด 4 คลาส ดังนี้

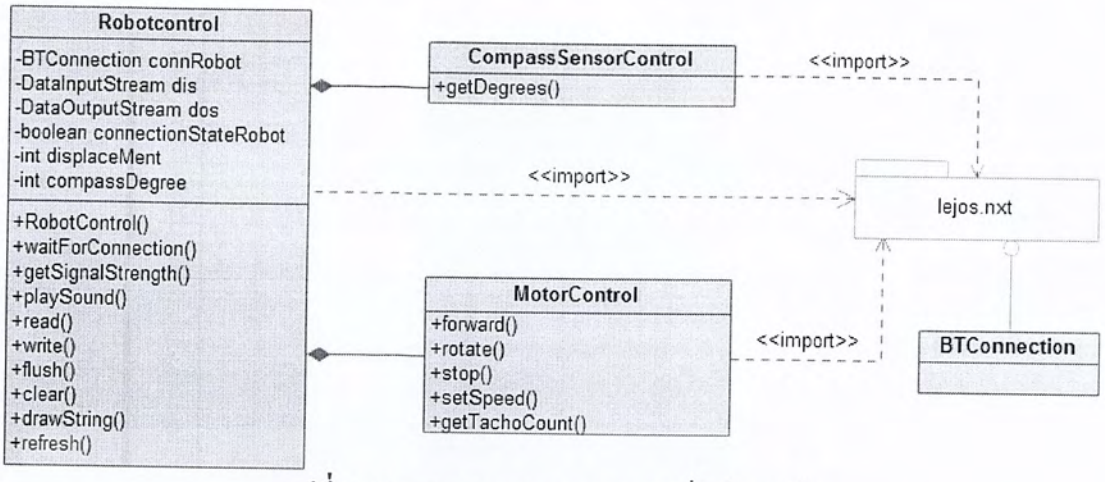
1. คลาสควบคุมคอมพิวเตอร์ (PCControl) เป็นคลาสหลักในการควบคุมการทำงานทั้งหมดของระบบฝั่งคอมพิวเตอร์

2. คลาสการเชื่อมต่อ (Connnection) เป็นคลาสที่ใช้ทำการเชื่อมต่อ และยกเลิกการเชื่อมต่อการสื่อสารไร้สายโดยใช้สัญญาณบลูทูธ

3. คลาสการคำนวณ (Calculate) เป็นคลาสที่ใช้ในการคำนวณค่าต่างๆ เพื่อนำข้อมูลที่ได้ส่งไปให้คลาสหลักต่อไป

4. คลาสการแสดงผล (showGUI) เป็นคลาสที่ใช้ควบคุมเกี่ยวกับการแสดงผลลัพธ์บนหน้าจอแสดงผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



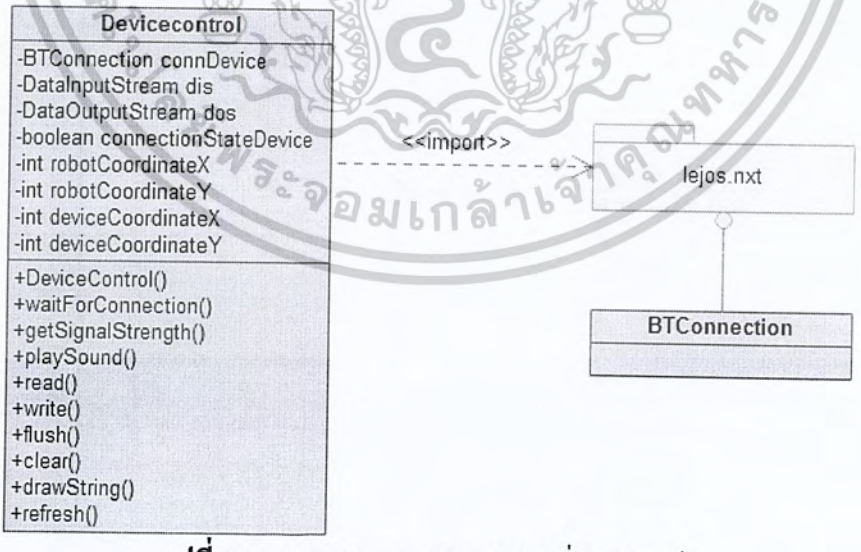
รูปที่ 3.23 แผนภาพคลาสของระบบฝั่งหุ่นยนต์

จากรูปที่ 3.23 คลาสในส่วนควบคุมของฝั่งหุ่นยนต์สามารถแบ่งออกเป็นคลาสหลักได้ทั้งหมด 3 คลาส ดังนี้

1. คลาสควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ (RobotControl) เป็นคลาสหลักในการควบคุมการทำงานหลักของหุ่นยนต์เคลื่อนที่

2. คลาสมอเตอร์ (MotorControl) เป็นคลาสที่ใช้ในการควบคุมเซอร์โว มอเตอร์ให้ทำงานตามค่าที่ได้รับมา

3. คลาสเซ็นเซอร์เข็มทิศ (CompassSensorControl) เป็นคลาสที่ใช้รับค่าองศาจากเซ็นเซอร์เข็มทิศเพื่อใช้ในการหาทิศทางของหุ่นยนต์



รูปที่ 3.24 แผนภาพคลาสของระบบฝั่งอุปกรณ์

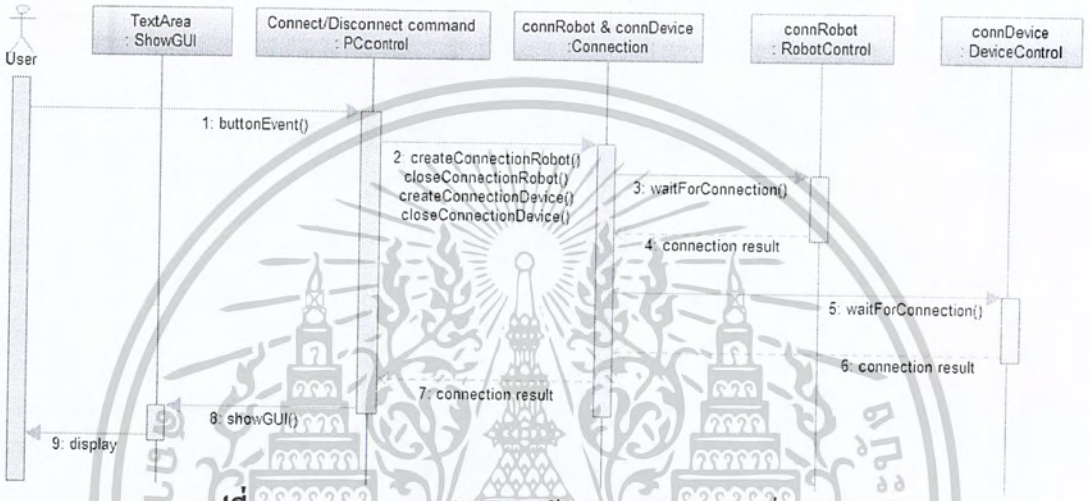
จากรูปที่ 3.24 คลาสในส่วนควบคุมของฝั่งอุปกรณ์ จะมีเพียงคลาสหลักเพียงคลาสเดียว เพื่อควบคุมการทำงานทั้งหมดของอุปกรณ์บลูทูธ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5 แผนภาพลำดับ (Sequence Diagram)

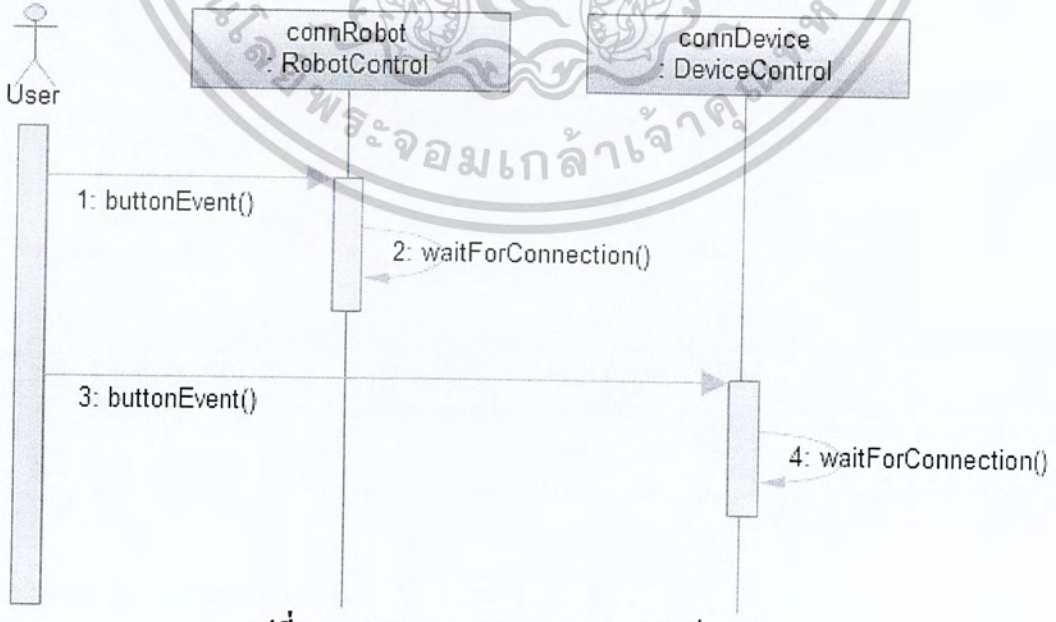
เป็นแผนภาพที่แสดงปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ระหว่างอ็อบเจกต์ โดยมีการส่งสาร (Message) ระหว่างอ็อบเจกต์ตามลำดับของเวลาที่เกิดเหตุการณ์ใช้แสดงถึงขั้นตอการทำงาน และลำดับของการสื่อสสารระหว่างอ็อบเจกต์ตอบโต้กัน

3.4.5.1 การสร้าง และยกเลิกการเชื่อมต่อ (Connect and Disconnection)



รูปที่ 3.25 แผนภาพลำดับการสร้าง และยกเลิกการเชื่อมต่อ

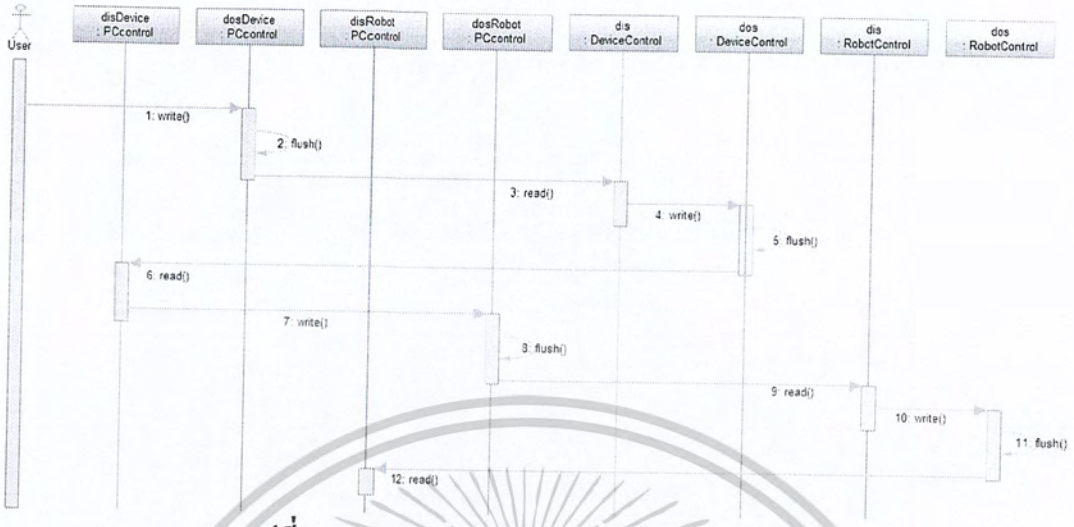
3.4.5.2 การรอรับการเชื่อมต่อ (Wait for connection)



รูปที่ 3.26 แผนภาพลำดับการรอรับการเชื่อมต่อ

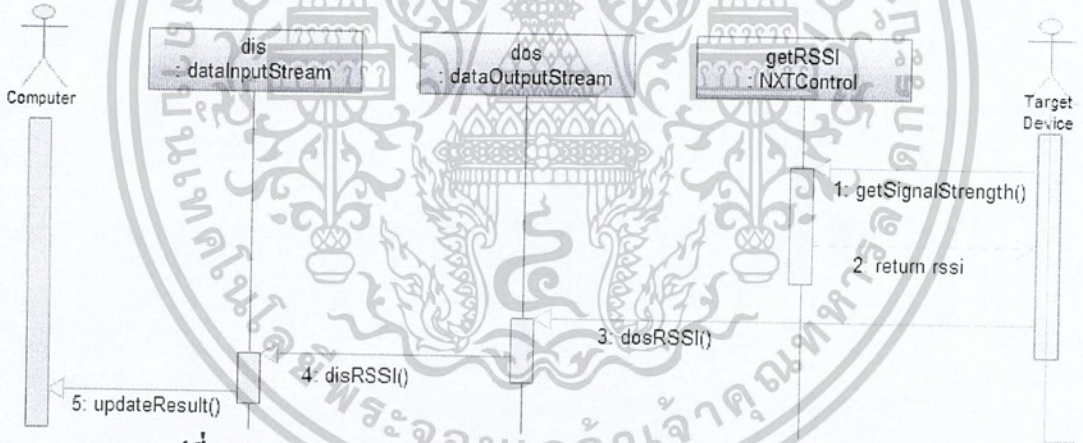
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5.3 การส่ง และการรับข้อมูล (Send and receive data)



รูปที่ 3.27 แผนภาพลำดับการส่ง และการรับข้อมูล

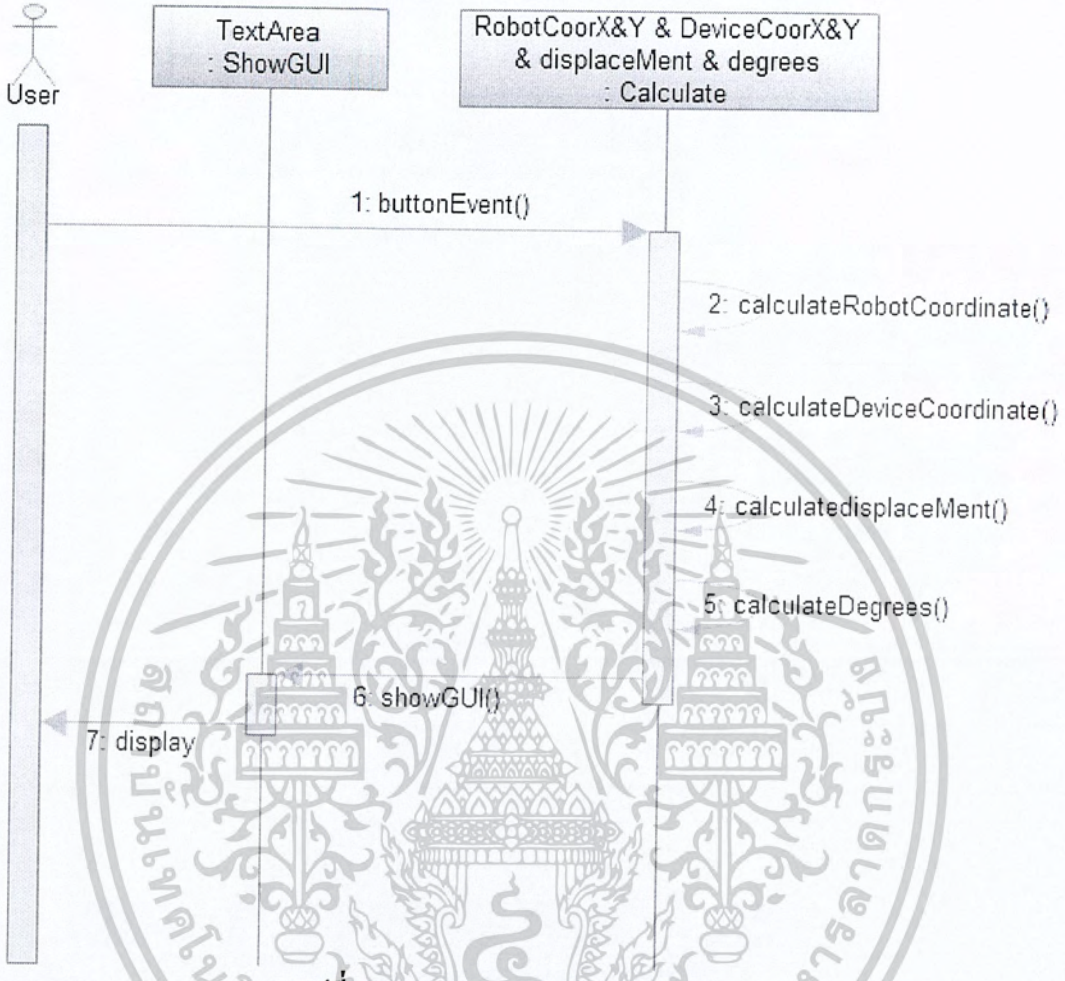
3.4.5.3 ร้องขอความเข้มของสัญญาณบลูทูธ (Request RSSI)



รูปที่ 3.28 แผนภาพลำดับการร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

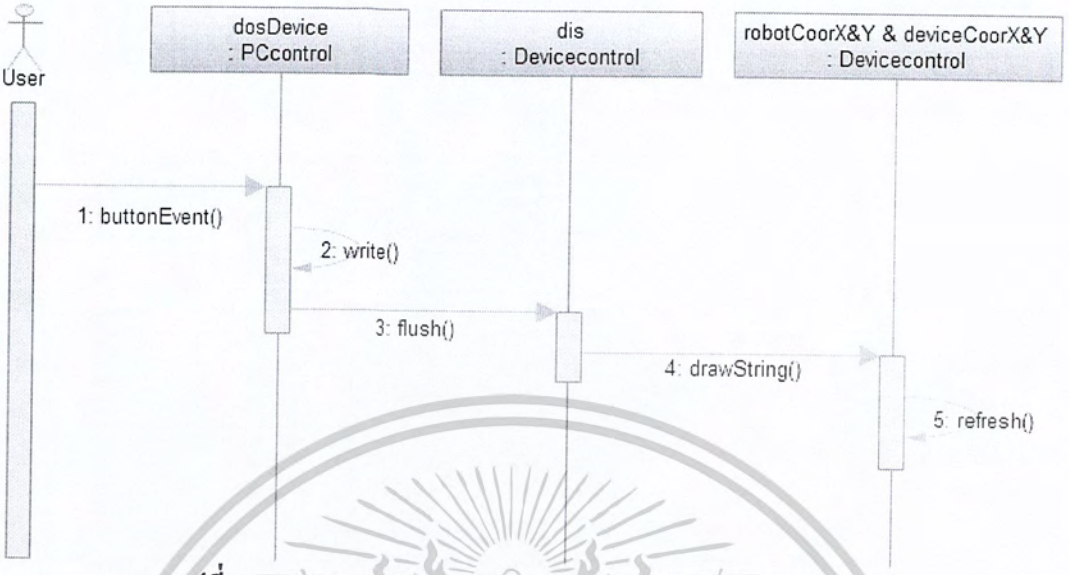
3.4.5.4 การคำนวณ (Calculate)



รูปที่ 3.29 แผนภาพลำดับการคำนวณ

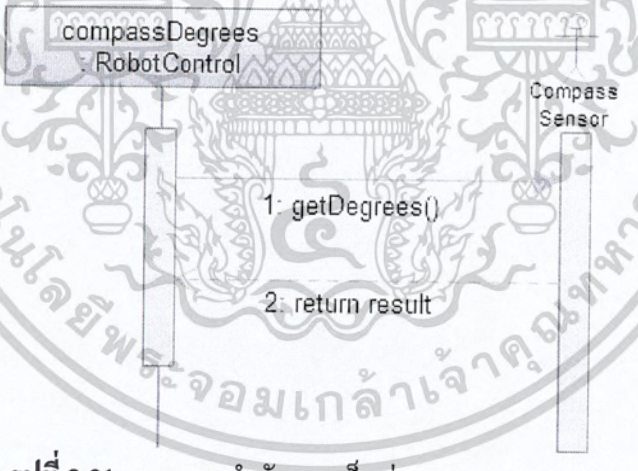
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5.5 การแสดงตำแหน่งบนหน้าจออุปกรณ์ (Display position on device)



รูปที่ 3.30 แผนภาพลำดับการแสดงตำแหน่ง (Show position)

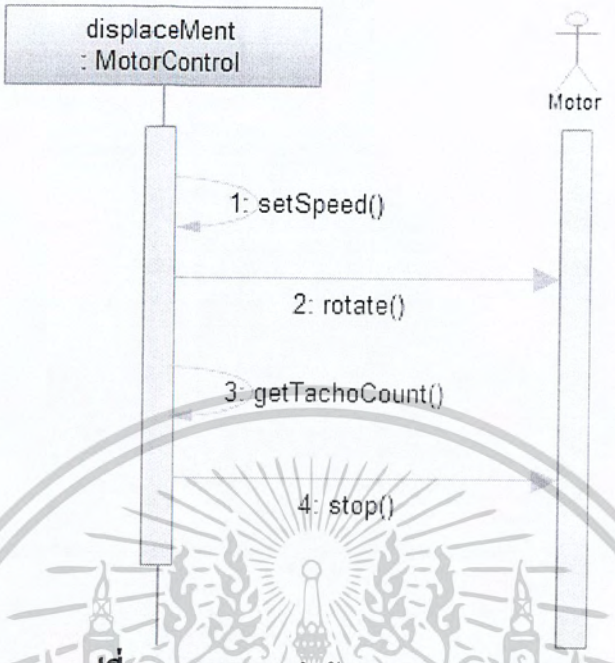
3.4.5.6 การเก็บค่าองศา (Get degree)



รูปที่ 3.31 แผนภาพลำดับการเก็บค่าองศา (Get degree)

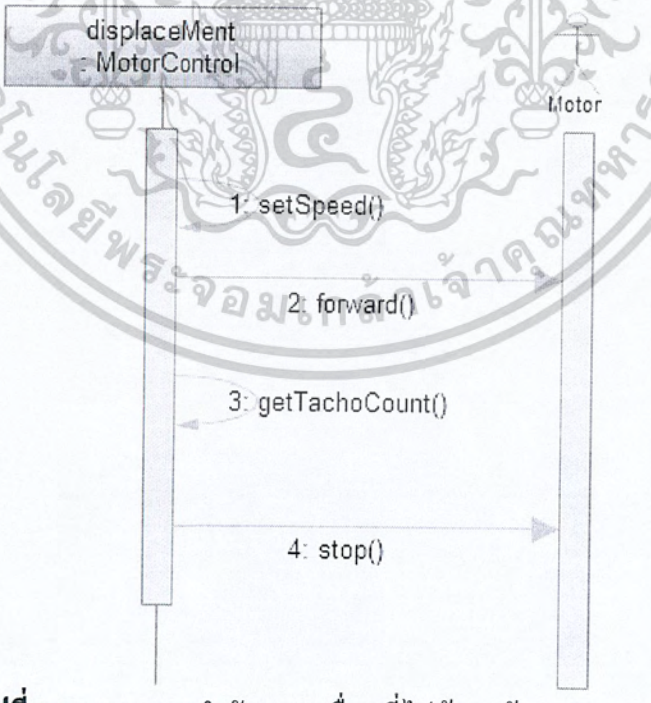
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.5.8 การหมุน (Rotate)



รูปที่ 3.32 แผนภาพลำดับการหมุน (rotate)

3.4.5.9 การเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (Forward)



รูปที่ 3.33 แผนภาพลำดับการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (forward)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 พจนานุกรมฐานข้อมูล (Data dictionary)

ตารางที่ 3.16 พจนานุกรมของตาราง Robot

Attribute Name	Description	Types	Length	Key
Round	จำนวนรอบของการทดลอง	Int (auto increment)	-	PK
Rssi1	ค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับจากคอมฯเมื่ออยู่ในตำแหน่งหมายเลข 1 (ซ้าย)	Int	-	-
Rssi2	ค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับจากคอมฯเมื่ออยู่ในตำแหน่งหมายเลข 2 (ขวา)	Int	-	-
CoorX	พิกัด X ของหุ่นยนต์ที่ได้จากการคำนวณ	Int	-	-
CoorY	พิกัด Y ของหุ่นยนต์ที่ได้จากการคำนวณ	Int	-	-
Angle	องศามุมที่หุ่นยนต์จะต้องทำการหมุน	Int	-	-
Distance	ระยะการกระจัดระหว่างหุ่นยนต์กับอุปกรณ์	Int	-	-

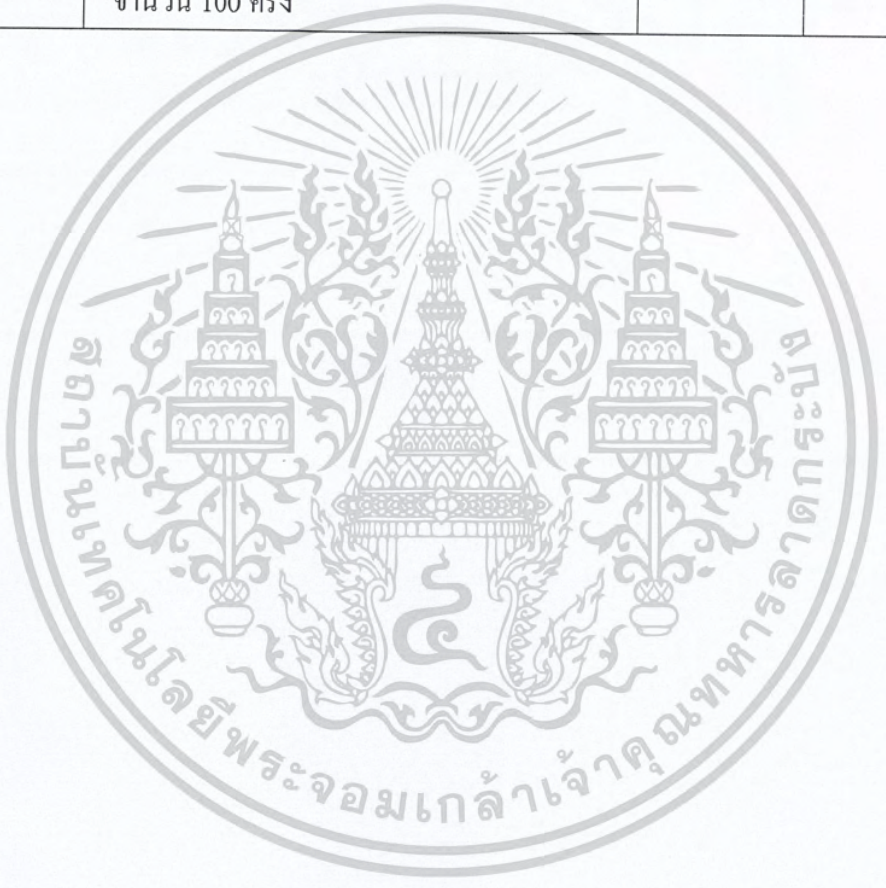
ตารางที่ 3.17 พจนานุกรมของตาราง Device

Attribute Name	Description	Types	Length	Key
Round	จำนวนรอบของการทดลอง	int (auto increment)	-	PK
Rssi1	ค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับจากคอมฯเมื่ออุปกรณ์อยู่ในตำแหน่งหมายเลข 1 (ซ้าย)	Int	-	-
Rssi2	ค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับจากคอมฯเมื่ออุปกรณ์อยู่ในตำแหน่งหมายเลข 2 (ขวา)	Int	-	-
CoorX	พิกัด X ของอุปกรณ์ที่ได้จากการคำนวณ	Int	-	-
CoorY	พิกัด Y ของอุปกรณ์ที่ได้จากการคำนวณ	Int	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.18 พจนานุกรมของตาราง Reference

Attribute Name	Description	Types	Length	Key
Coordinate	ค่าพิกัดตำแหน่งอ้างอิงในสภาพแวดล้อม	int (auto increment)	-	PK
AvgRssiLeft	ค่าเฉลี่ยของความเข้มของสัญญาณที่เก็บเป็นจำนวน 100 ครั้ง	Int	-	-
AvgRssiRight	ค่าเฉลี่ยของความเข้มของสัญญาณที่เก็บเป็นจำนวน 100 ครั้ง	Int	-	-



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

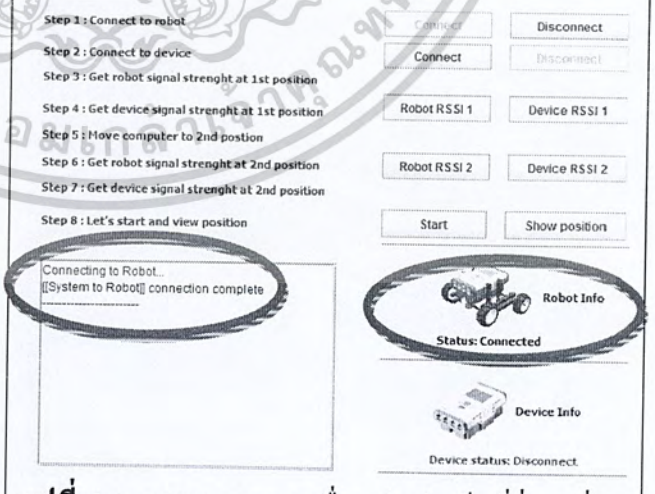
ในบทนี้จะเป็นการทดลองในส่วนต่างๆของระบบ ตามที่ได้ทำการออกแบบไว้ โดยมีการทดลองและสรุปผลการทดลองได้ดังต่อไปนี้

4.1 การทดลองเกี่ยวกับสร้างและยกเลิกการเชื่อมต่อด้วยสัญญาณบลูทูธ

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบการสร้างและยกเลิกการเชื่อมต่อด้วยสัญญาณบลูทูธระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ และเครื่องคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์บลูทูธ

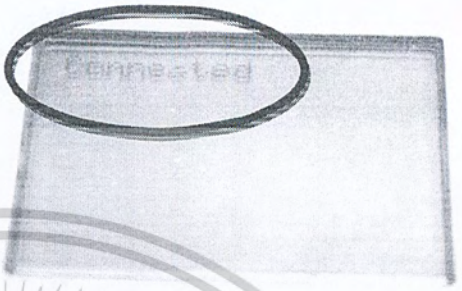
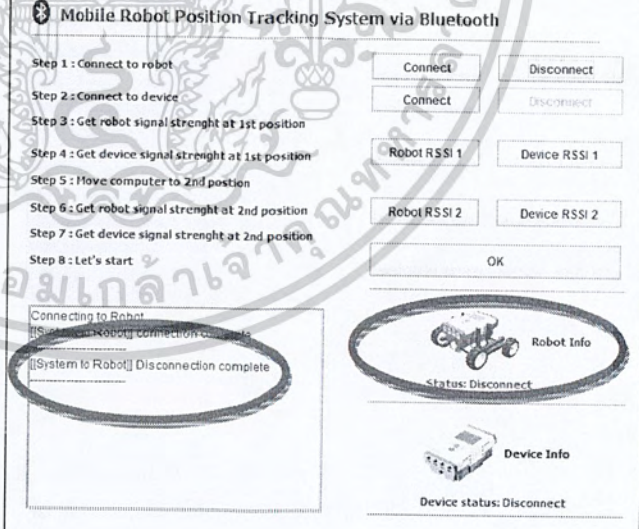
สมมติฐาน เมื่อหุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธอยู่ในสถานะรอการเชื่อมต่อ คอมพิวเตอร์สามารถสร้างการเชื่อมต่อไปยังหุ่นยนต์และอุปกรณ์ได้ เมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์ทำการยกเลิกการเชื่อมต่อ หุ่นยนต์และอุปกรณ์จะกลับมาอยู่ในสถานะรอการเชื่อมต่อ

ตารางที่ 4.1 การทดลองสร้างและยกเลิกการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์กับหุ่นยนต์เคลื่อนที่

วิธีการทดลอง	ผลการทดลอง
1. ทำการเปิดโปรแกรมฝั่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ให้อยู่ในสถานะรอการเชื่อมต่อ และสร้างการเชื่อมต่อคลิกที่ปุ่ม Connect จากเครื่องคอมพิวเตอร์ สังเกตลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์และเครื่องคอมพิวเตอร์	โปรแกรมฝั่งคอมพิวเตอร์สามารถทำการเชื่อมต่อไปยังหุ่นยนต์ได้สำเร็จ ดังรูปที่ 4.1  **รูปที่ 4.1** แสดงสถานะเชื่อมต่อสำเร็จที่ฝั่งเครื่องคอมพิวเตอร์

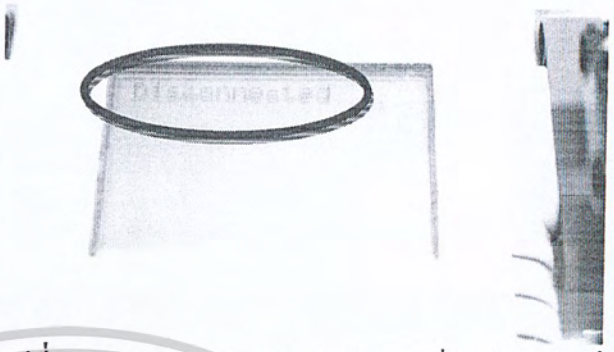
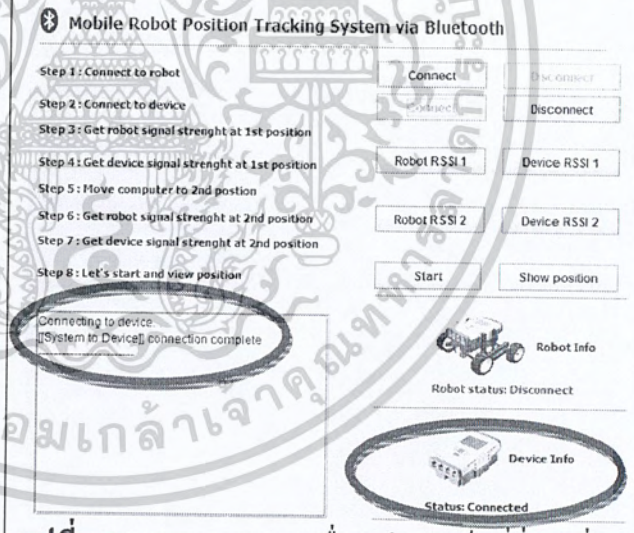
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

วิธีการทดลอง	ผลการทดลอง
	ฝั่งหุ่นยนต์จะแสดงผลสถานะการเชื่อมต่อได้สำเร็จ ดังรูปที่ 4.2  **รูปที่ 4.2** แสดงสถานะเชื่อมต่อสำเร็จที่ฝั่งหุ่นยนต์
2. ทำการยกเลิกการเชื่อมต่อจากคอมพิวเตอร์ สังเกตลักษณะการทำงานของหุ่นยนต์และเครื่องคอมพิวเตอร์	เมื่อคอมพิวเตอร์ส่งคำสั่งยกเลิกการเชื่อมต่อโปรแกรมฝั่งคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์จะทำการปิดการเชื่อมต่อ ดังรูปที่ 4.3 และ 4.4 ตามลำดับ หลังจากนั้น หุ่นยนต์จะกลับมาอยู่ในสถานะรอการเชื่อมต่อ  **รูปที่ 4.3** แสดงสถานะยกเลิกการเชื่อมต่อสำเร็จที่ฝั่งคอมพิวเตอร์

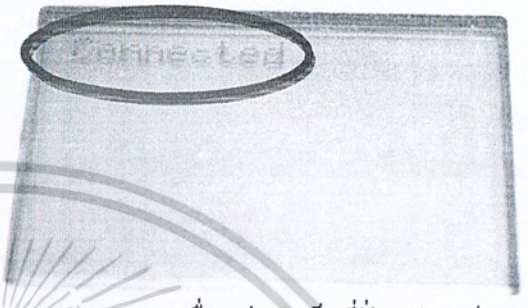
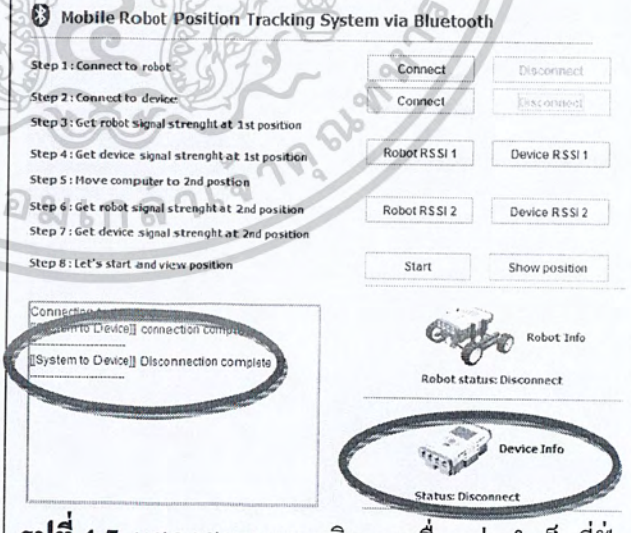
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

วิธีการทดลอง	ผลการทดลอง
	 **รูปที่ 4.4** แสดงสถานะการยกเลิกการเชื่อมต่อสำเร็จที่ฝั่งหุ่นยนต์
3. ทำการเปิดโปรแกรมฝั่งอุปกรณ์บลูทูธให้อยู่ในสถานะรอการเชื่อมต่อและสร้างการเชื่อมต่อโดยคลิกที่ปุ่ม Connect จากเครื่องคอมพิวเตอร์ สังเกตลักษณะการทำงานของอุปกรณ์บลูทูธและเครื่องคอมพิวเตอร์	โปรแกรมฝั่งคอมพิวเตอร์สามารถทำการเชื่อมต่อไปยังอุปกรณ์บลูทูธได้สำเร็จ ดังรูปที่ 4.5  **รูปที่ 4.5** แสดงสถานะเชื่อมต่อสำเร็จที่ฝั่งเครื่องคอมพิวเตอร์

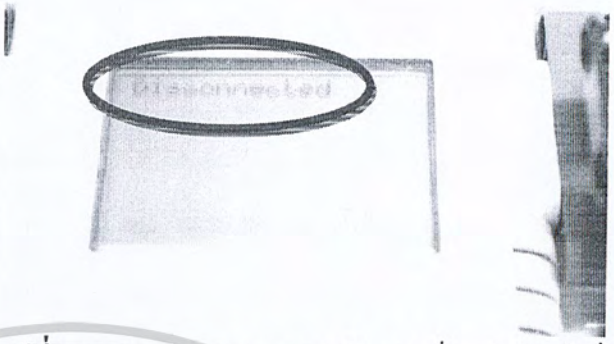
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

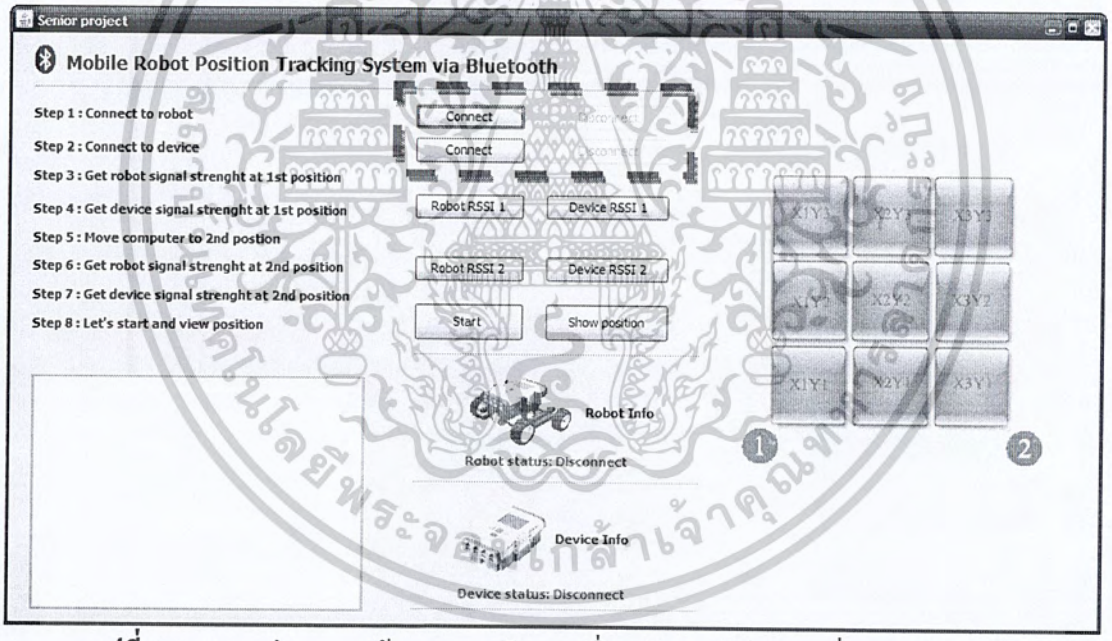
วิธีการทดลอง	ผลการทดลอง
	ฝั่งอุปกรณ์บลูทูธจะแสดงผลสถานะการเชื่อมต่อได้สำเร็จ ดังรูปที่ 4.6  **รูปที่ 4.6** แสดงสถานะเชื่อมต่อสำเร็จที่ฝั่งอุปกรณ์
4. ทำการยกเลิกการเชื่อมต่อจากคอมพิวเตอร์ สังเกตลักษณะการทำงานของอุปกรณ์บลูทูธและเครื่องคอมพิวเตอร์	เมื่อคอมพิวเตอร์ส่งคำสั่งยกเลิกการเชื่อมต่อโปรแกรมฝั่งคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์บลูทูธจะทำการปิดการเชื่อมต่อ ดังรูปที่ 4.7 หลังจากนั้น อุปกรณ์บลูทูธจะกลับมาอยู่ในสถานะรอการเชื่อมต่ออีกครั้ง ดังรูปที่ 4.8  **รูปที่ 4.7** แสดงสถานะยกเลิกการเชื่อมต่อสำเร็จที่ฝั่งคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

วิธีการทดลอง	ผลการทดลอง
	

รูปที่ 4.8 แสดงสถานะการยกเลิกการเชื่อมต่อสำเร็จที่ฝั่งอุปกรณ์บลูทูธ



รูปที่ 4.9 แสดงส่วนการสร้างและยกเลิกการเชื่อมต่อของโปรแกรมฝั่งคอมพิวเตอร์

วิเคราะห์ คอมพิวเตอร์สามารถสร้างการเชื่อมต่อไปยังหุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธได้ก็ต่อเมื่อเปิดโปรแกรมแล้วเท่านั้น ซึ่งจะใช้เวลาในการเชื่อมต่อสักครู่หนึ่ง บลูทูธชิพจึงเริ่มทำงาน ส่วนการยกเลิกการเชื่อมต่อจะทำได้ต่อเมื่อมีสถานะของการเชื่อมต่ออยู่ ฝั่งหุ่นยนต์และอุปกรณ์จะกลับมายังสถานะรอการเชื่อมต่ออีกครั้ง

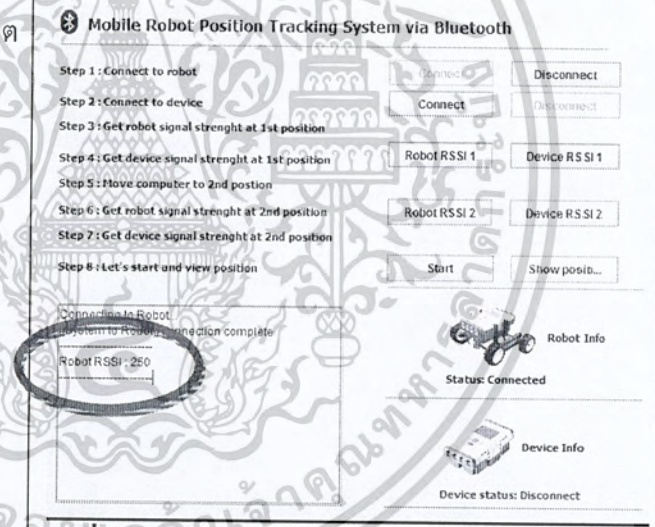
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การทดลองการรับค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธ

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบการรับค่าความเข้มของสัญญาณของบลูทูธระหว่างคอมพิวเตอร์กับหุ่นยนต์และคอมพิวเตอร์กับอุปกรณ์บลูทูธ

สมมติฐาน เมื่อหุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธอยู่ในสถานะเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เรียบร้อยแล้ว คอมพิวเตอร์สามารถทำการร้องขอและรับค่าความเข้มของสัญญาณได้

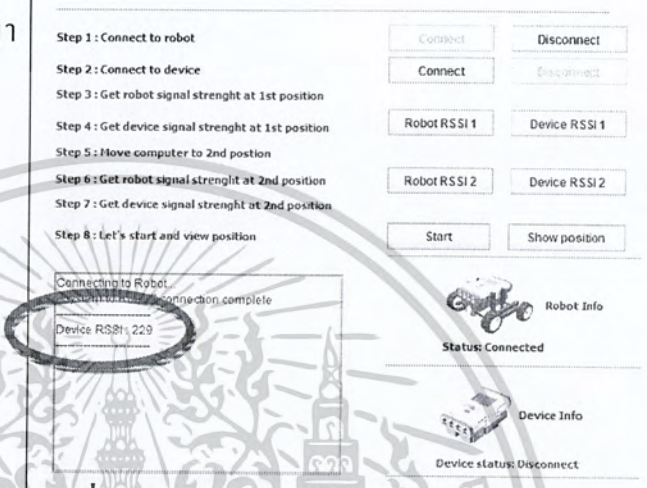
ตารางที่ 4.2 การทดลองการรับค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธ

วิธีการทดลอง	**ผลการทดลอง**
1. ทำการเปิดโปรแกรมฝั่งหุ่นยนต์และสร้างการเชื่อมต่อจากคอมพิวเตอร์ จากนั้นให้คอมพิวเตอร์ส่งคำสั่งโดยใช้ปุ่ม เพื่อให้หุ่นยนต์ส่งข้อมูลความเข้มของสัญญาณ บลูทูธกลับมา สังเกตโปรแกรมที่ฝั่งคอมพิวเตอร์	ค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธจากหุ่นยนต์ปรากฏที่หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมฝั่งคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 4.10  **รูปที่ 4.10** แสดงการรับค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธจากหุ่นยนต์

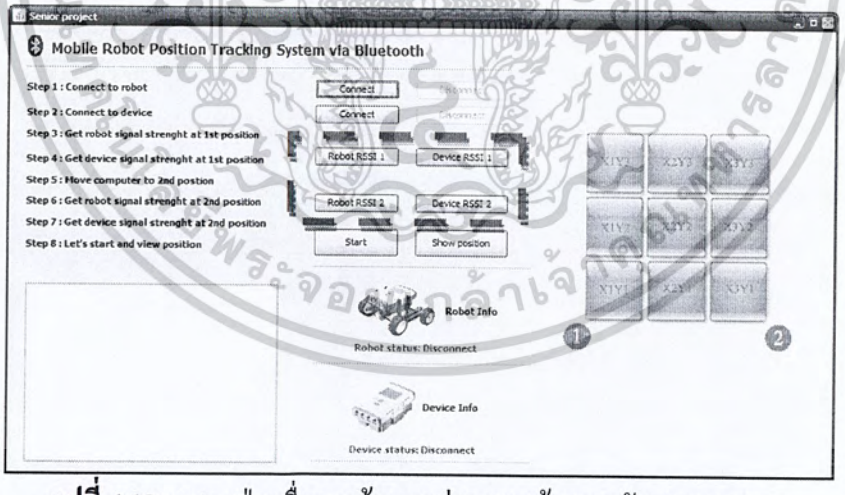
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 (ต่อ)

วิธีการทดลอง	ผลการทดลอง
2. ทำการเปิดโปรแกรมฝั่งอุปกรณ์บลูทูธและสร้างการเชื่อมต่อจากคอมพิวเตอร์ จากนั้นให้คอมพิวเตอร์ส่งคำสั่งโดยใช้ปุ่ม เพื่อให้อุปกรณ์ส่งข้อมูลความเข้มของสัญญาณบลูทูธกลับมาสังเกตโปรแกรมที่ฝั่งคอมพิวเตอร์	ค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธจากอุปกรณ์ปรากฏที่หน้าจอแสดงผลของโปรแกรมฝั่งคอมพิวเตอร์ ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงการรับค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธจากอุปกรณ์



รูปที่ 4.12 แสดงปุ่มเพื่อการร้องขอค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธ

วิเคราะห์ คอมพิวเตอร์สามารถสร้างรับค่าสัญญาณบลูทูธจากหุ่นยนต์หรืออุปกรณ์ได้ หากได้ทำการเชื่อมต่อและการเชื่อมต่อนั้นยังคงอยู่ แต่ในกรณีที่ทำการเชื่อมต่อหุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธพร้อมกัน ค่าสัญญาณที่ได้รับจะลดลง อาจเกิดจากการแบ่งทรัพยากรของบลูทูธชิพในขณะที่มีการทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์มากกว่า 1 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

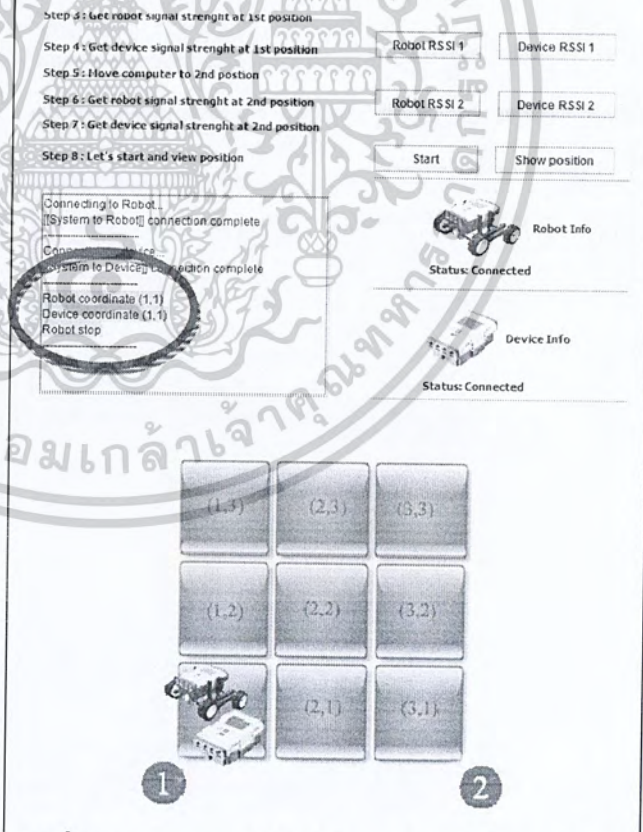
4.3 การทดลองเกี่ยวกับการค้นหาพิกัดตำแหน่งและการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง

4.3.1 หุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบการค้นหาตำแหน่งของระบบและการควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง

สมมติฐาน เมื่อทำการรับค่าความเข้มของสัญญาณแล้ว สั่งการให้คอมพิวเตอร์ทำการประมวลผล จะสามารถบอกพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ได้ ซึ่งหุ่นยนต์จะอยู่ในตำแหน่งเดิม เนื่องจากอยู่ในพิกัดเดียวกันกับอุปกรณ์

ตารางที่ 4.3 การทดลองการค้นหาตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่ออยู่ในตำแหน่งเดียวกัน

วิธีการทดลอง	**ผลการทดลอง**
1. วางหุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธลงในตำแหน่ง (1,1) ทำการสร้างการเชื่อมต่อ เก็บค่าความเข้มของสัญญาณของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ทั้งสองจากคอมพิวเตอร์ในตำแหน่งที่ 1 (ซ้าย) และตำแหน่งที่ 2 (ขวา)จากนั้นทำการกดปุ่มเพื่อให้คอมพิวเตอร์คำนวณพิกัดตำแหน่งและควบคุมหุ่นยนต์ สังเกตโปรแกรมฝั่งเครื่องคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์	คอมพิวเตอร์คำนวณค่าพิกัดของหุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธได้ตำแหน่งพิกัดที่ (1,1) ดังรูปที่ 4.13  **รูปที่ 4.13** แสดงค่าพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

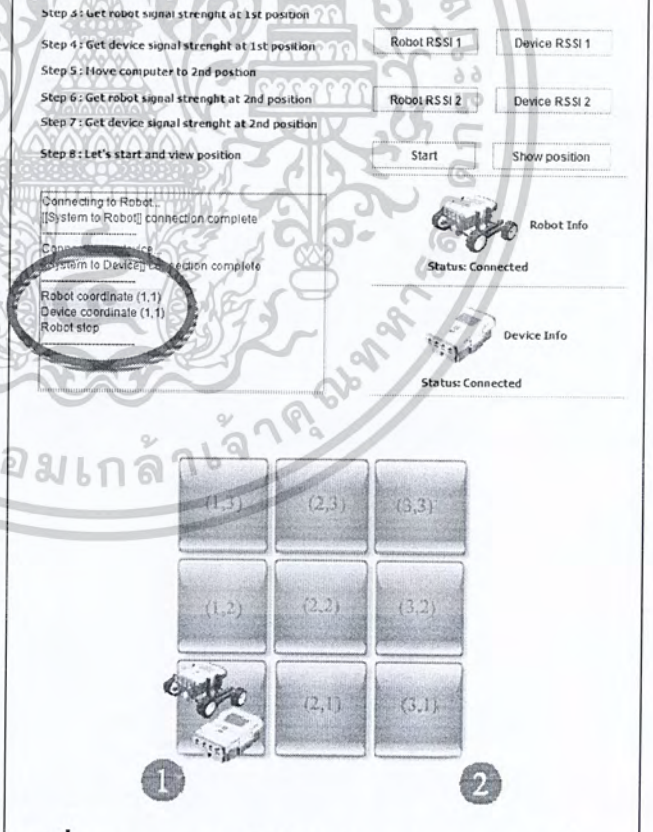
4.3 การทดลองเกี่ยวกับการค้นหาพิกัดตำแหน่งและการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง

4.3.1 หุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธอยู่ในตำแหน่งเดียวกัน

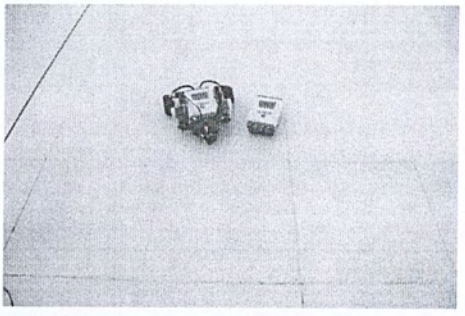
วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบการค้นหาตำแหน่งของระบบและการควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง

สมมติฐาน เมื่อทำการรับค่าความเข้มของสัญญาณแล้ว สั่งการให้คอมพิวเตอร์ทำการประมวลผล จะสามารถบอกพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ได้ ซึ่งหุ่นยนต์จะอยู่ในตำแหน่งเดิม เนื่องจากอยู่ในพิกัดเดียวกันกับอุปกรณ์

ตารางที่ 4.3 การทดลองการค้นหาตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เมื่ออยู่ในตำแหน่งเดียวกัน

วิธีการทดลอง	**ผลการทดลอง**
1. วางหุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธลงในตำแหน่ง (1,1) ทำการสร้างการเชื่อมต่อ เก็บค่าความเข้มของสัญญาณของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ทั้งสองจากคอมพิวเตอร์ในตำแหน่งที่ 1 (ซ้าย) และตำแหน่งที่ 2 (ขวา)จากนั้นทำการกดปุ่มเพื่อให้คอมพิวเตอร์คำนวณพิกัดตำแหน่งและควบคุมหุ่นยนต์ สังเกตโปรแกรมฝั่งเครื่องคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์	คอมพิวเตอร์คำนวณค่าพิกัดของหุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธได้ตำแหน่งพิกัดที่ (1,1) ดังรูปที่ 4.13  **รูปที่ 4.13** แสดงค่าพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หุ่นยนต์หยุดนิ่งอยู่กับที่ ดังรูปที่ 4.14  **รูปที่ 4.14** แสดงตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์

วิเคราะห์ 1. คอมพิวเตอร์สามารถคำนวณหาพิกัดได้ถูกต้อง ค่าความเข้มของสัญญาณที่ได้รับนั้น เมื่อนำไปคำนวณแล้วทำการเปรียบเทียบกับค่าที่บันทึกในฐานข้อมูลตรงตามกับพิกัดตำแหน่งจำลองที่ได้ทำการกำหนดเอาไว้

2. หุ่นยนต์ไม่เคลื่อนที่ไปจากตำแหน่งเดิม เนื่องจากการคำนวณจากคอมพิวเตอร์ส่งคำสั่งไปให้หุ่นยนต์ทราบว่าเป็นตำแหน่งที่ถูกต้อง จึงหยุดอยู่กับที่

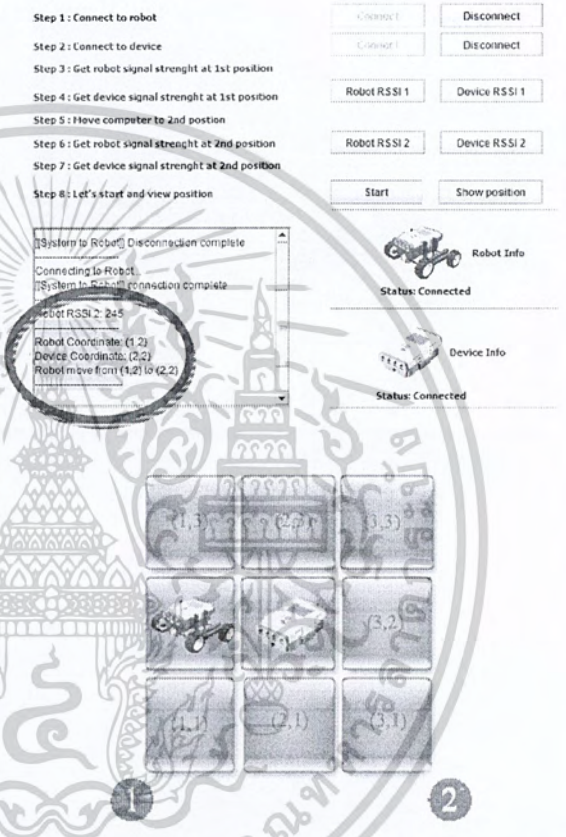
4.3.2 หุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธอยู่ในตำแหน่งแนวแกน x

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบการค้นหาตำแหน่งของระบบและการควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง

สมมติฐาน เมื่อทำการรับค่าความเข้มของสัญญาณแล้ว สั่งการให้คอมพิวเตอร์ทำการประมวลผล จะสามารถบอกพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ได้ ซึ่งหุ่นยนต์จะต้องเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน x ในทิศทางซ้ายหรือขวา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธ

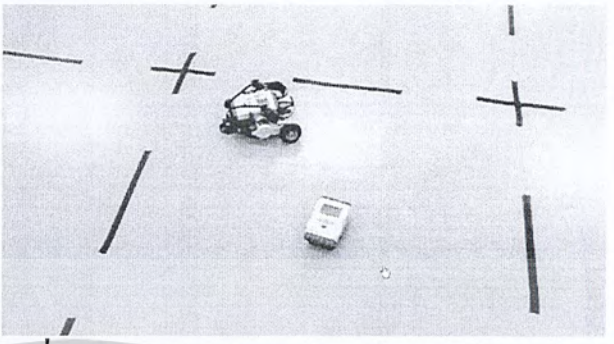
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 การทดลองการค้นหาตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เมื่อหุ่นยนต์และอุปกรณ์อยู่ในแนวแกน x

วิธีการทดลอง	**ผลการทดลอง**
1. วางหุ่นยนต์ลงในตำแหน่ง (1,1) และวางอุปกรณ์ลงในตำแหน่ง (2,1) ทำการสร้างการเชื่อมต่อ เก็บค่าความเข้มของสัญญาณของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ทั้งสองในตำแหน่งที่ 1 (ซ้าย) และตำแหน่งที่ 2 (ขวา) จากนั้นทำการกดปุ่มเพื่อให้คอมพิวเตอร์คำนวณพิกัดตำแหน่งและควบคุมหุ่นยนต์ สังเกตโปรแกรมฝั่งเครื่องคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์	คอมพิวเตอร์คำนวณค่าพิกัดของหุ่นยนต์ได้ตำแหน่งพิกัดที่ (1,2) และอุปกรณ์บลูทูธได้ตำแหน่งพิกัดที่ (2,2) ดังรูปที่ 4.15  **รูปที่ 4.15** แสดงค่าพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

วิธีการทดลอง	ผลการทดลอง
	 **รูปที่ 4.16** แสดงตำแหน่งสุดท้ายของหุ่นยนต์และอุปกรณ์

วิเคราะห์

1. จากพิกัดของหุ่นยนต์ที่ถูกต้องคือ (1,1) และพิกัดของอุปกรณ์ที่ถูกต้องคือ (2,1) แต่คอมพิวเตอร์คำนวณพิกัดได้เป็น (1,2) และ (2,2) ซึ่งเกิดจากความเข้มของสัญญาณที่ได้รับในขณะที่คอมพิวเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่ 1 มีค่าลดลงกว่าปกติ ทำให้การคำนวณออกมาผิดพลาดไป 1 คู่อันดับ
2. หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางขวาจนถึงตัวอุปกรณ์โดยอยู่ในตำแหน่งเดียวกันทั้งคู่แม้พิกัดตำแหน่งจะผิดพลาด แต่อยู่พิกัดดังกล่าวนั้นอยู่ตรงกันในระนาบแกน x ทำให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่มาแล้ว มาอยู่ในพิกัดเดียวกันกับอุปกรณ์ ซึ่งอยู่ห่างกัน 40 เซนติเมตร (วัดจากกึ่งกลางหุ่นยนต์กับอุปกรณ์)

4.3.3 หุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธอยู่ในตำแหน่งแนวแกน y

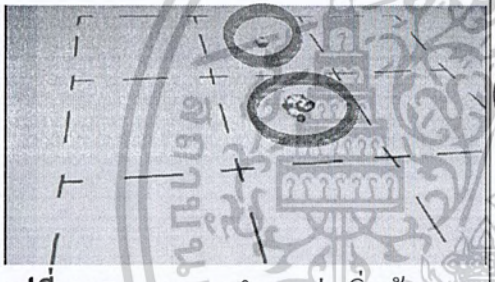
วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบการค้นหาตำแหน่งของระบบและการควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง

สมมติฐาน เมื่อทำการรับค่าความเข้มของสัญญาณแล้ว สั่งการให้คอมพิวเตอร์ทำการประมวลผล จะสามารถบอกพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ได้ ซึ่งหุ่นยนต์จะต้องเคลื่อนที่ไปตามแนวแกน y ในทิศทางซ้ายหรือขวา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธ

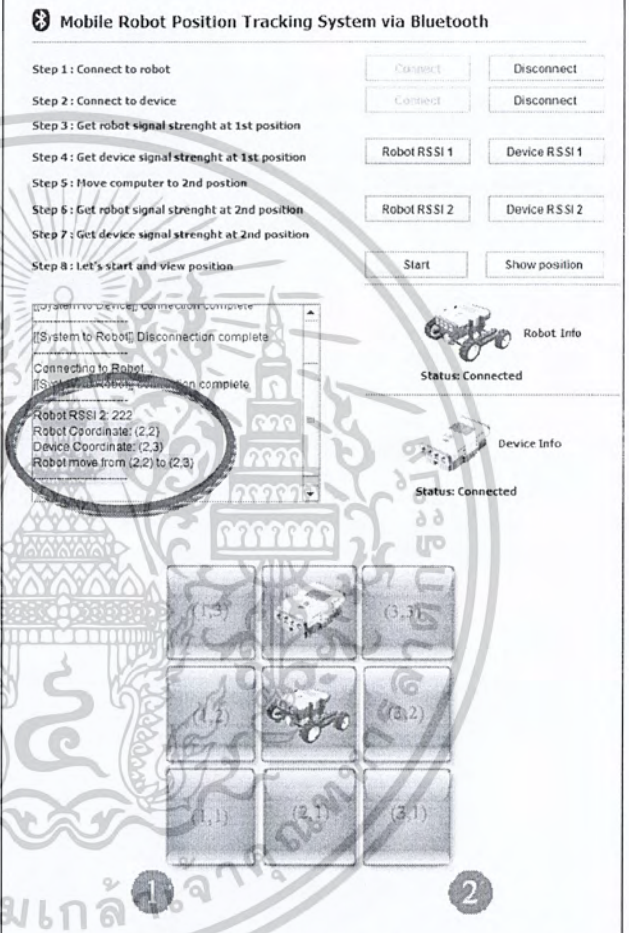
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 การทดลองการค้นหาตำแหน่งและการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ เมื่อหุ่นยนต์และอุปกรณ์อยู่ในแนวแกน y

วิธีการทดลอง	**ผลการทดลอง**
1. วางหุ่นยนต์ลงในตำแหน่ง (2,2) และวางอุปกรณ์ลงในตำแหน่ง (2,3) ดังรูปที่ 4.17 ทำการสร้างการเชื่อมต่อ เก็บค่าความเข้มของสัญญาณของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ทั้งสองในตำแหน่งที่ 1 (ซ้าย) และตำแหน่งที่ 2 (ขวา) จากนั้นทำการกดปุ่มเพื่อให้คอมพิวเตอร์คำนวณพิกัดตำแหน่งและควบคุมหุ่นยนต์ สังเกตโปรแกรมฝั่งเครื่องคอมพิวเตอร์และหุ่นยนต์	คอมพิวเตอร์คำนวณค่าพิกัดของหุ่นยนต์ได้ตำแหน่งพิกัดที่ (2,2) และอุปกรณ์บลูทูธได้ตำแหน่งพิกัดที่ (2,3) ดังรูปที่ 4.18



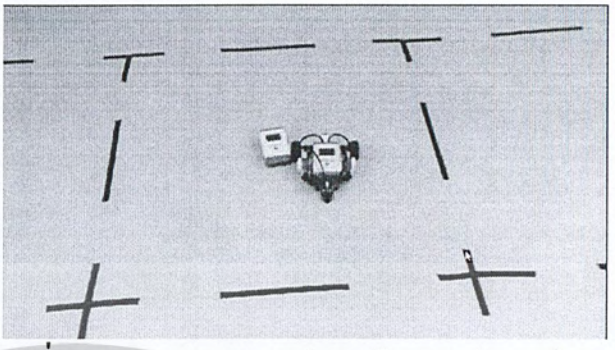
รูปที่ 4.17 แสดงตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์และอุปกรณ์



รูปที่ 4.18 แสดงค่าพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 (ต่อ)

วิธีการทดลอง	ผลการทดลอง
	 **รูปที่ 4.19** แสดงตำแหน่งสุดท้ายของหุ่นยนต์และอุปกรณ์

วิเคราะห์

1. คอมพิวเตอร์สามารถคำนวณหาพิกัดได้ถูกต้อง ค่าพิกัดสุดท้ายของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ คือ (2,2) และ (2,3) ตามลำดับ
2. หุ่นยนต์ทำการหมุนและเคลื่อนที่ไปจนถึงพิกัดเดียวกับตัวอุปกรณ์ อยู่ห่างจากกันเพียง 15 เซนติเมตร (วัดจากกึ่งกลางหุ่นยนต์กับอุปกรณ์)

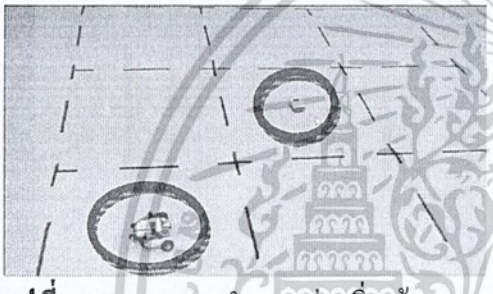
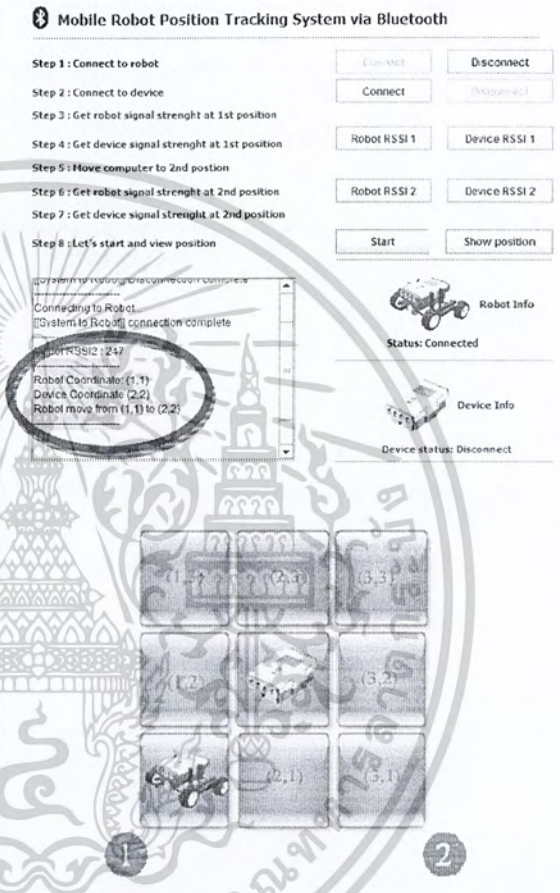
4.3.4 หุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธอยู่ในตำแหน่งที่ไม่ได้อยู่ในแนวแกน x และ y เดียวกัน

วัตถุประสงค์ เพื่อทดสอบการค้นหาตำแหน่งของระบบและการควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ถูกต้อง

สมมติฐาน เมื่อทำการรับค่าความเข้มของสัญญาณแล้ว สั่งการให้คอมพิวเตอร์ทำการประมวลผล จะสามารถบอกพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ได้ หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ถูกต้อง

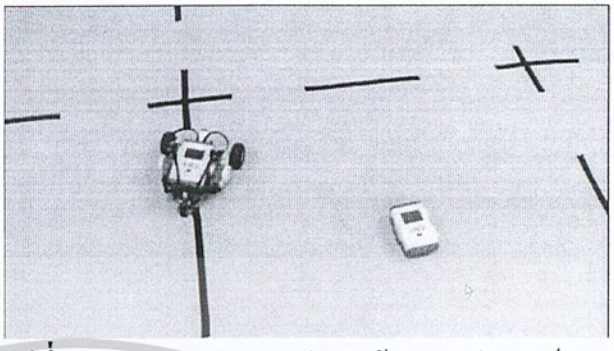
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 การทดลองเมื่อหุ่นยนต์และอุปกรณ์ไม่ได้อยู่ในแนวแกน x และ y เดียวกัน

วิธีการทดลอง	**ผลการทดลอง**
1. วางหุ่นยนต์ลงในตำแหน่ง (1,1) และวางอุปกรณ์ลงในตำแหน่ง (2,2) ดังรูปที่ 4.20 ทำการสร้างการเชื่อมต่อ เก็บค่าความเข้มของสัญญาณของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ทั้งสองในตำแหน่งที่ 1 (ซ้าย) และตำแหน่งที่ 2 (ขวา) จากนั้นทำการกดปุ่มเพื่อให้คอมพิวเตอร์คำนวณตำแหน่งและควบคุมหุ่นยนต์ ทำการสังเกตผลที่ได้  **รูปที่ 4.20** แสดงตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์และอุปกรณ์	คอมพิวเตอร์คำนวณค่าพิกัดของหุ่นยนต์ได้ตำแหน่งพิกัดที่ (1,1) และอุปกรณ์บลูทูธได้ตำแหน่งพิกัดที่ (2,2) ดังรูปที่ 4.21  **รูปที่ 4.21** แสดงการรับค่าความเข้มของสัญญาณบลูทูธจากอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 (ต่อ)

วิธีการทดลอง	ผลการทดลอง
	 **รูปที่ 4.22** แสดงตำแหน่งสุดท้ายของหุ่นยนต์และอุปกรณ์

วิเคราะห์

1. คอมพิวเตอร์สามารถคำนวณหาพิกัดได้ถูกต้อง ค่าพิกัดสุดท้ายของหุ่นยนต์และอุปกรณ์ คือ (1,1) และ (2,2) ตามลำดับ
2. หุ่นยนต์หมุนและเคลื่อนที่มาจนถึงตำแหน่งพิกัดเดียวกันกับอุปกรณ์บลูทูธ ซึ่งองศาที่เคลื่อนที่มานั้นยังไม่ถูกต้อง อาจเกิดจากการรับค่าองศาของเซ็นเซอร์เข็มทิศผิดพลาด ทำให้อยู่หุ่นยนต์และอุปกรณ์อยู่ห่างกัน 60 เซนติเมตร (วัดจากกึ่งกลางหุ่นยนต์กับอุปกรณ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปโครงงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลโครงงาน

จากการศึกษาวิธีการออกแบบและพัฒนาระบบค้นหาตำแหน่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยสัญญาณบลูทูธ ซึ่งเป็นการศึกษาพัฒนาระบบเชิงวัตถุเข้ากับระบบสมองกลฝังตัวด้วยชุดทดลองเลโก้ เอ็นเอ็กซ์ที โดยการนำสัญญาณบลูทูธมาใช้ในการสร้างขั้นตอนวิธีและการทดลอง เพื่อให้สามารถทำการหาพิกัดตำแหน่งในระยะทางใกล้ๆได้ สามารถเป็นต้นแบบของการพัฒนาการค้นหาตำแหน่งในอนาคตต่อไป โดยในการทดลองนั้นมีความผิดพลาดอยู่บ้าง อันเกิดจากความไม่คงที่ของระดับสัญญาณ ฮาร์ดแวร์และสภาพแวดล้อมภายนอก

โครงงานนี้บรรลุวัตถุประสงค์ในการพัฒนาระบบตามแนวทางการพัฒนาระบบ มีการนำแนวคิดเชิงวัตถุเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยใช้ยูเอ็มแอล (UML: Unified Modeling Language) ซึ่งทำให้สามารถถ่ายทอดแนวความคิดของผู้พัฒนา และสามารถพัฒนาต่อยอดในอนาคตได้ง่ายยิ่งขึ้น

5.2 ปัญหาและอุปสรรค

5.2.1 ปัญหาทางด้านฮาร์ดแวร์

- อุปกรณ์เซ็นเซอร์เข็มทิศ (Compass sensor) มีความคลาดเคลื่อนในการบอกค่าองศา หากบริเวณนั้นมีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากแหล่งอื่นๆเข้าไปรบกวนการทำงาน จะทำให้เซ็นเซอร์บอกค่าผิดพลาด ส่งผลให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ตามองศาที่ไม่ตรงกับในความเป็นจริง มีโอกาสทำให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ไม่ถูกต้องได้
- ตัวคอนโทรลเลอร์ของชุดทดลองเลโก้ เอ็นเอ็กซ์ทีสามารถรองรับการเชื่อมต่อได้เพียง 1 การเชื่อมต่อเท่านั้น จึงไม่สามารถรับการเชื่อมต่อได้มากกว่า 1 การเชื่อมต่อในเวลาเดียวกัน ทำให้ไม่สามารถรับค่าความเข้มของสัญญาณจากคอมพิวเตอร์จำนวนมากกว่า 1 เครื่องได้ในเวลาเดียวกัน หากต้องการทำเช่นนั้นจะต้องทำการเชื่อมต่อสลับกันทีละเครื่อง แล้วค่อยทำการรับค่าความเข้มของสัญญาณ ทำให้เกิดความยุ่งยากและสูญเสียเวลา ไม่เหมาะที่จะใช้พัฒนาระบบแบบเรียลไทม์ (Real-time) นอกจากนี้ยังมีหน่วยความจำ (Flash memory) ในตัวที่ไม่มาก ผนวกกับไม่มีซอฟแวร์ควบคุมการจัดสรรหน่วยความจำ ทำให้ไม่สามารถทำการดำเนินการ (Run) ได้พร้อมๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เซอร์โว มอเตอร์มีความผิดพลาดในการหมุน ถึงแม้จะมีการส่งคำสั่งให้มอเตอร์ทำงานอย่างใดอย่างหนึ่ง แต่ในความเป็นจริงกลับหมุนได้ไม่ตรงตามคำสั่ง ทั้งนี้อาจเกิดจากความผิดพลาดของตัวมอเตอร์เอง โปรแกรมที่ควบคุมการทำงานหรือพลังงานของแบตเตอรีที่อ่อนกำลังลง

- การศึกษาปัญหาข้อมูลการทำงานเชิงลึกของฮาร์ดแวร์ทำได้ยาก เนื่องจากผู้ผลิตไม่เปิดเผยและให้ข้อมูล ส่งผลให้ทำการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับฮาร์ดแวร์และพัฒนาระบบได้ยาก

5.2.2 ปัญหาทางด้านซอฟต์แวร์

- การเขียนโปรแกรมควบคุมที่บรรจุอยู่ในหุ่นต์ยนต์เคลื่อนที่ จะไม่สามารถสร้างออบเจ็คของคลาสแต่ละคลาสได้มากกว่า 1 ตัว

- ไม่รองรับการใช้อาเรย์หลายมิติและไม่สนันสนุนให้ใช้ตัวแปรบางประเภท เช่น long

- ถึงแม้จะรองรับการพัฒนาด้วยระบบเชิงวัตถุ แต่บางส่วนต่อประสานซอฟแวร์ประยุกต์ (Application Programming Interface: API) ก็ยังใช้งานไม่ได้จริง

- เนื่องจากการเรียกใช้เมธอด getSignalStrength() เพื่อรับ-ส่งค่าความเข้มของสัญญาณอาจทำให้เกิดข้อผิดพลาดของอินพุตเอาต์พุต (IO Exception) ได้ จึงต้องมีการตรวจจับข้อผิดพลาดที่ดี

- เลจอส (leJos) ซึ่งเป็นเฟิร์มแวร์ (Firmware) ของชุดทดลองเอ็นเอ็กซ์ที ซึ่งเป็นซอฟแวร์ที่คอยควบคุมการทำงานและการแสดงผลยังคงไม่สมบูรณ์ จำเป็นต้องอัพเกรดเฟิร์มแวร์เสมอ

5.2.3 ปัญหาทางด้านสัญญาณบลูทูธ

- เนื่องจากบลูทูธเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จึงมีสมบัติหลักของคลื่น อันได้แก่ การสะท้อน (Reflection), การหักเห (Refraction), การเบี่ยงเบนหรือแพร่กระจาย (Diffraction), การแทรกสอด (Interference) นอกจากนี้ยังมีคุณสมบัติอื่นๆที่อาจเกิดขึ้นได้ อาทิเช่น การถูกดูดกลืน (Absorption), การกระจัดกระจาย (Scattering) และการลดทอนพลังงาน (Attenuation) ซึ่งส่งผลกระทบต่อการวัดค่าความเข้มของสัญญาณ อาจทำให้ค่าผิดเพี้ยนจากความเป็นจริง ทั้งนี้เกิดจากปัจจัยสภาพแวดล้อมภายในและภายนอกอื่นๆด้วย

- อุปกรณ์แต่ละอุปกรณ์ใช้บลูทูธชิฟที่แตกต่างกัน ซอฟแวร์ที่ควบคุมบลูทูชิฟก็แตกต่างกัน ทำให้ความแรงและระยะการส่งสัญญาณไม่เท่ากัน อาจส่งผลต่อความเข้มของสัญญาณที่ได้รับ

- การเชื่อมต่ออุปกรณ์มาก ๆ อาทิเช่น คอมพิวเตอร์เชื่อมต่อกับหุ่นยนต์ พร้อมทั้งเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ด้วย จะทำให้ค่าสัญญาณที่ได้รับมีค่าลดลงมาก จึงต้องทำการสลับการเชื่อมต่อในทำการรับค่าความเข้มของสัญญาณ

- ในบางครั้งหากปล่อยให้มีการเชื่อมต่อนานจนเกินไป สัญญาณบลูทูธอาจถูกตัดขาดหายไป (Connection loss) ซึ่งไม่สามารถบอกได้ว่าช่วงเวลานั้นนานเพียงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. การออกแบบวิธีการวัดค่าความเข้มของสัญญาณ ทำได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับงบประมาณและวิธีการในการวัด

2. สัญญาณบลูทูธยังมีข้อจำกัดในหลายๆด้าน ดังนั้นการนำเอาสัญญาณบลูทูธมาใช้ในการระบุตำแหน่งจึงมีข้อจำกัดตามไปด้วย

3. ระบบฝังตัวมีความเกี่ยวข้องกันระหว่างซอฟแวร์และฮาร์แวร์ ดังนั้นหากมีการปรับเปลี่ยนโครงสร้างฮาร์ดแวร์ในอนาคต จะส่งผลกระทบต่อซอฟแวร์ที่ควบคุมการทำงานในปัจจุบันอยู่ได้

4. การพัฒนาโปรแกรมเพื่อควบคุมอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่างๆ นั้น จำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบระบบจำนวนหลายๆครั้งเพื่อหาข้อผิดพลาดและแก้ไขในส่วนต่างๆ ที่เกิดขึ้นโดยจะต้องปรับสมรรถภาพของกระบวนการการควบคุมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อรองรับกับสภาพแวดล้อมที่ได้กำหนดเอาไว้ได้หลากหลายรูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Bray Jennifer, Sturman Charles F. 2001. **Bluetooth: Connect Without Cables**. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.

[2] Japan System House Association (JASA). 2549. **เทคโนโลยีสมองกลฝังตัว Embedded Technology**. แปล และเรียบเรียงโดย ดร.ธนารักษ์ ธีระมั่นคง. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

[3] กิตติ ภักดีวัฒนะกุล และพนิดา พานิชกุล. 2548. **คัมภีร์การพัฒนาระบบเชิงวัตถุด้วย UML และ Java**. กรุงเทพฯ : เคทีพี คอมพ์ แอนด์ คอนซัลท์.

[4] ดร. อดิศร ณ อุบล. **พื้นฐานการวิเคราะห์และออกแบบระบบเชิงวัตถุด้วย UML.** [Online]. Available: http://cdn.learners.in.th/assets/media/files/000/018/595/original_UML.ppt?1285350081

[5] BlueCove Team. 2008. **BlueCove.** [Online]. Available: http://bluecove.org/index.html

[6] LeJOS NXJ. 2008. **Application Programming Interface**. [Online]. Available: http://lejos.sourceforge.net/nxt/nxj/api/index.html.

[7] LEGO Group. 2010. **The NXT.** [Online]. Available: http://mindstorms.lego.com/en-us/Overview/The_NXT.aspx

[8] Qusay H. Mahmoud. 2003. **The Bluetooth Protocol Stack.** [Online]. Available: http://developers.sun.com/mobility/midp/articles/bluetooth1/

[9] Thaiall. 2011. **การโปรแกรมเชิงวัตถุ และยูเอ็มแอล.** [Online]. Available: http://www.thaiall.com/uml/indexo.html

[10] Wikipedia. 2011. **Bluetooth Specifications**. [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth.

[11] Wikipedia. 2011. **System Development Life Cycle.** [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/SDLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
การติดตั้ง และกำหนดค่าซอฟท์แวร์สำหรับการพัฒนา

วิธีการติดตั้งโปรแกรมสำหรับการพัฒนาชุดทดลองเลโก้ เอ็นเอ็กซ์ที (LEGO NXT)

1. ติดตั้งชุดพัฒนาภาษ จาวา (Java)

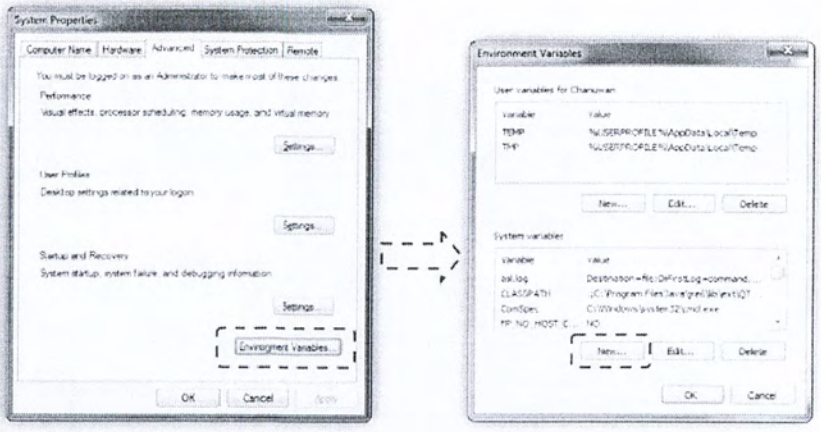
ในเครื่องคอมพิวเตอร์(Computer) ที่ใช้ในการพัฒนา จำเป็นที่จะต้องมีชุดพัฒนาโปรแกรมภาษาจาวา เพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถแปลโปรแกรมหรือทำการคอมไพล์ (Compile) ได้ ซึ่งมีโปรแกรมที่จะต้องติดตั้ง คือ Java SE (Standard Edition), JRE (Java Runtime Environment) และ JDK (Java Development Kit) โดยสามารถดาวน์โหลด (Download) ชุดพัฒนาภาษาจาวาได้จาก http://java.sun.com/javase/download/index.jsp ดังรูปที่ ก.1

รูปที่ ก.1 หน้าเว็บสำหรับดาวน์โหลดชุดพัฒนาภาษาจาวา

เมื่อทำการดาวน์โหลดเสร็จสิ้น ให้ทำดังต่อไปนี้

1. เริ่มการติดตั้งโดยคลิกที่ jdk-6u24-windows-i586.exe
2. กำหนดวิถี (Path) เพื่อทำการติดตั้ง
3. ตรวจสอบวิถี เพื่อความถูกต้องและดำเนินการติดตั้งจนเสร็จสมบูรณ์
4. ทำการเพิ่มค่า Environment Variables โดยไปที่ Control Panel > System > Advance > Environment Variables > New ดังรูปที่ ก.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

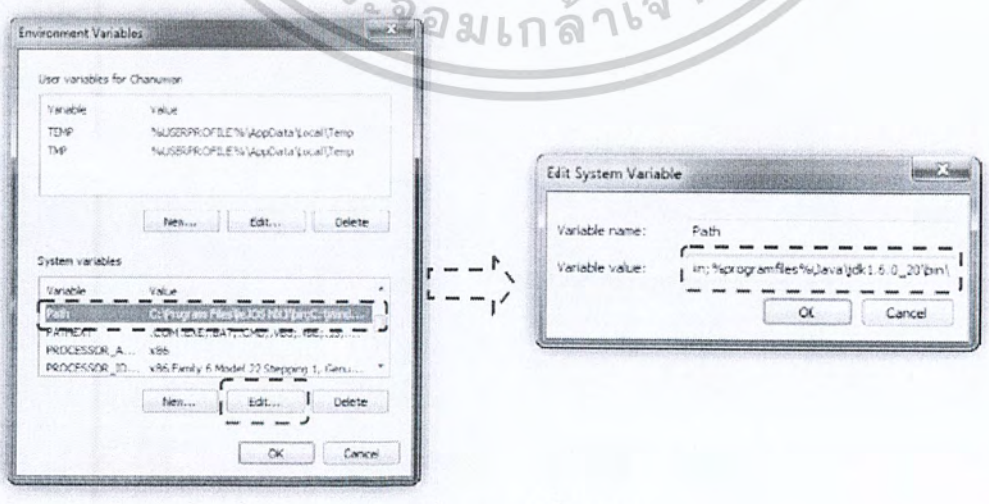


รูปที่ ก.2 การเพิ่มค่า Environment Variables

5. ใน New system variable dialog ให้ทำการตั้งค่า Variable name เป็น JAVA_HOME และ Variable value เป็น C:\Program\Java\jdk1.6.0_24 ดังรูปที่ ก.3

รูปที่ ก.3 การตั้งค่า Environment Variables

6. ตั้งค่าในหมวดของวิถี แล้วใส่ค่า ";C:\Program Files\Java\jdk1.6.0_24\bin" ต่อท้ายจากเดิมที่มีอยู่ ดังรูป ก.4 หลังจากนั้นกดปุ่ม "OK" และทำการรีสตาร์ท (Restart) เครื่องคอมพิวเตอร์

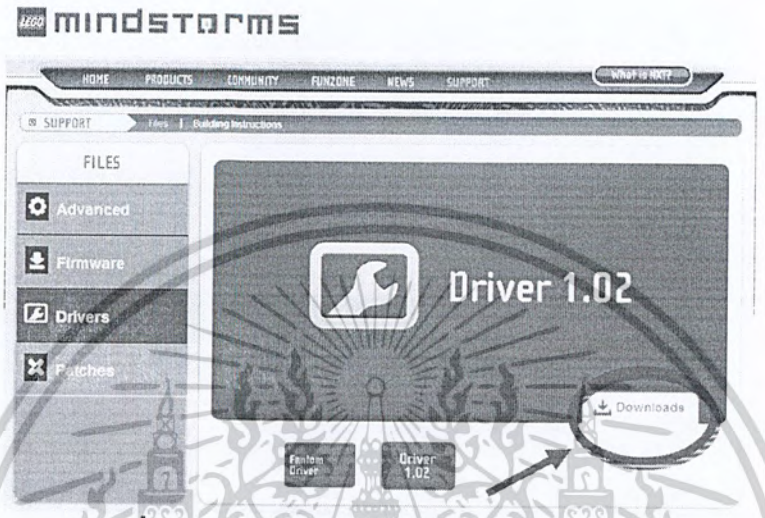


รูปที่ ก.4 การตั้งค่าวิถี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ติดตั้งไดรเวอร์ (Driver)

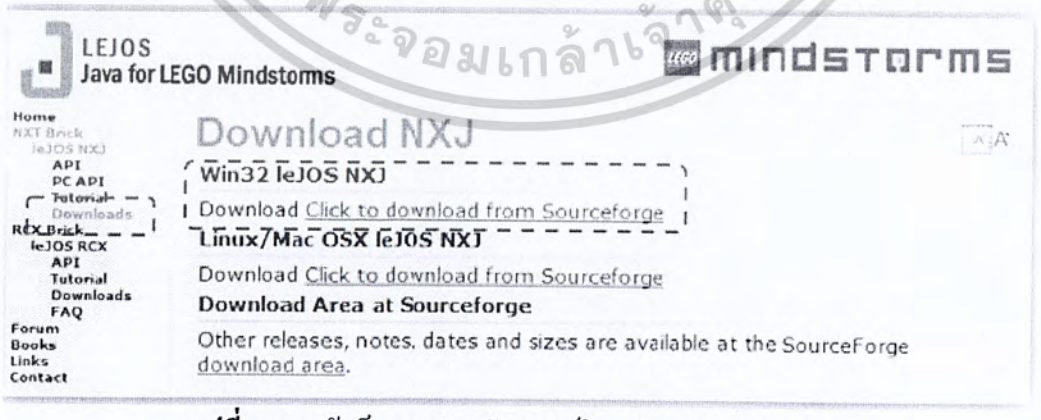
ทำการติดตั้งไดรเวอร์ (Driver) สำหรับชุดทดลองเลโก้เอ็นเอ็กซ์ทีเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถโอนย้ายโปรแกรมเข้าสู่ชุดทดลองเลโก้ เอ็นเอ็กซ์ทีได้ที่ http://mindstorms.lego.com/en-us/support/files/default.aspx#Driver ดังรูปที่ ก.5



รูปที่ ก.5 หน้าเว็บเพจสำหรับดาวน์โหลดไดรเวอร์

3. ติดตั้ง leJos NXJ firmware

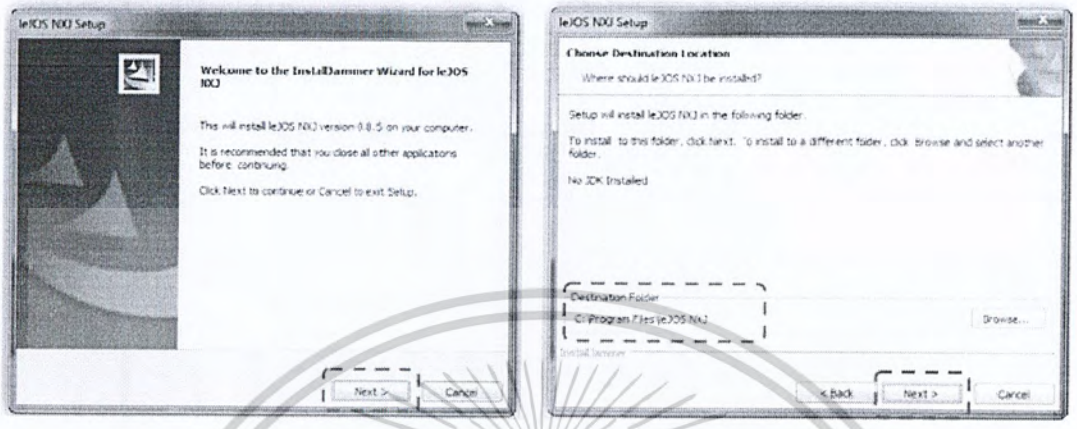
leJOS firmware เป็นคำสั่งของโปรแกรมเพื่อควบคุมการทำงานของชุดทดลองเลโก้เอ็นเอ็กซ์ที ซึ่งจะต้องติดตั้งลงในเครื่องคอมพิวเตอร์และชุดทดลอง โดยสามารถดาวน์โหลดได้ที่ http://lejos.sourceforge.net/Index.php ดังรูปที่ ก.6



รูปที่ ก.6 หน้าเว็บเพจสำหรับดาวน์โหลด leJOS Firmware

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. เชื่อมต่อชุดทดลองเลโก้ เอ็นเอ็กซ์ทีเข้ากับคอมพิวเตอร์ พร้อมกับเปิดการทำงาน จากนั้นจึงทำการติดตั้ง leJOS firmware ลงบนเครื่องคอมพิวเตอร์โดยคลิกที่ "leJOS_NXT_0.85-Setup.exe" ดังรูปที่ ก.7



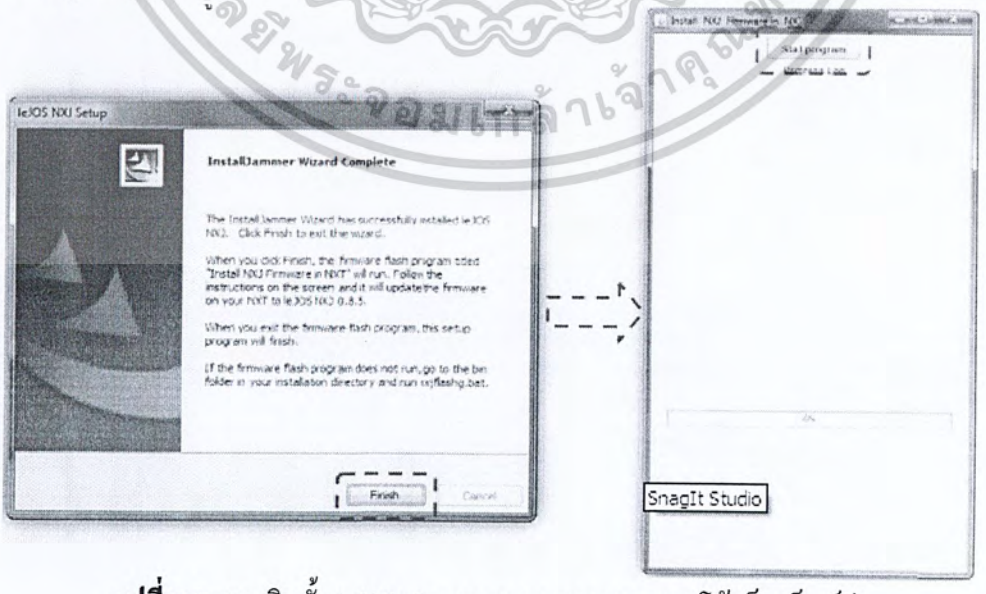
รูปที่ ก.7 การกำหนดแฟ้มปลายทางของ leJOS firmware

2. กำหนดแฟ้มปลายทาง (Destination Folder) โดยปกติจะกำหนดไว้ที่ "C:\Program File\leJOS NXJ"

3. กำหนดแฟ้มโครงการ (Project Folder) สำหรับเก็บตัวอย่างโครงการที่มาพร้อมกับการติดตั้งโดยปกติจะกำหนดไว้ที่ <%Home%>leJISNXJProjects

4. ตรวจสอบการกำหนดวิธีต่างๆ และดำเนินการติดตั้ง

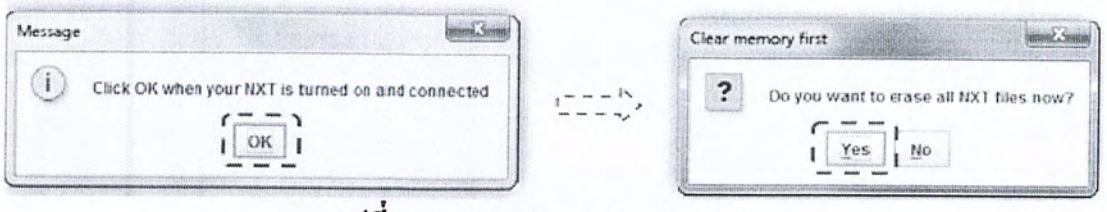
5. เมื่อติดตั้งลงในเครื่องคอมพิวเตอร์เสร็จเรียบร้อย โปรแกรมจะเริ่มติดตั้งลงบนชุดทดลอง ดังรูปที่ ก.8



รูปที่ ก.8 การติดตั้ง leJOS firmware บนชุดทดลองเลโก้ เอ็นเอ็กซ์ที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการลบ firmware ที่มีอยู่เดิม ดังรูปที่ ก.9



รูปที่ ก.9 การลบ leJOS firmware เดิม

7. โปรแกรมจะดำเนินการติดตั้ง เมื่อติดตั้งเสร็จเรียบร้อยจะสอบถามเกี่ยวกับการติดตั้งใหม่อีกครั้ง ให้คลิก "No" ดังรูปที่ ก.10

รูปที่ ก.10 ดำเนินการติดตั้ง leJOS firmware ใหม่

4. ติดตั้ง NetBeans Integrated Development Environment

NetBeans IDE เป็นเครื่องมือสำหรับพัฒนาโปรแกรมที่ใช้กับชุดทดลองเลโก้ เอ็นเอ็กซ์ที โดยสามารถดาวน์โหลดได้ที่ http://netbeans.org/downloads/index.html

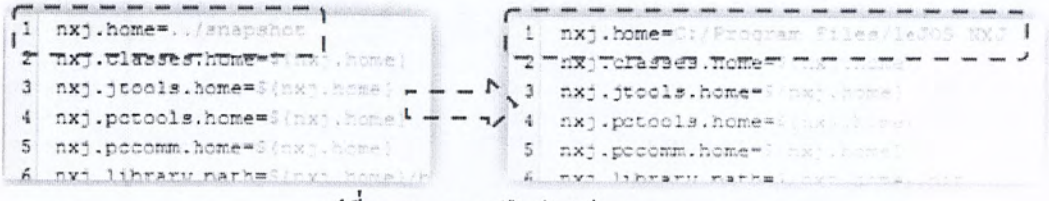
1. หลังจากทำการดาวน์โหลดเสร็จสิ้น ให้ทำการติดตั้งโดยคลิกที่ "Netbeans-6.8-ml-java"

2. กำหนดแฟ้ม (Folder) สำหรับการติดตั้งโปรแกรม โดยปกติจะกำหนดไว้ที่ "C:\Program File\Java\jdk1.6.0_24"

3. ตรวจสอบชื่อแฟ้มต่างๆ และดำเนินการติดตั้ง

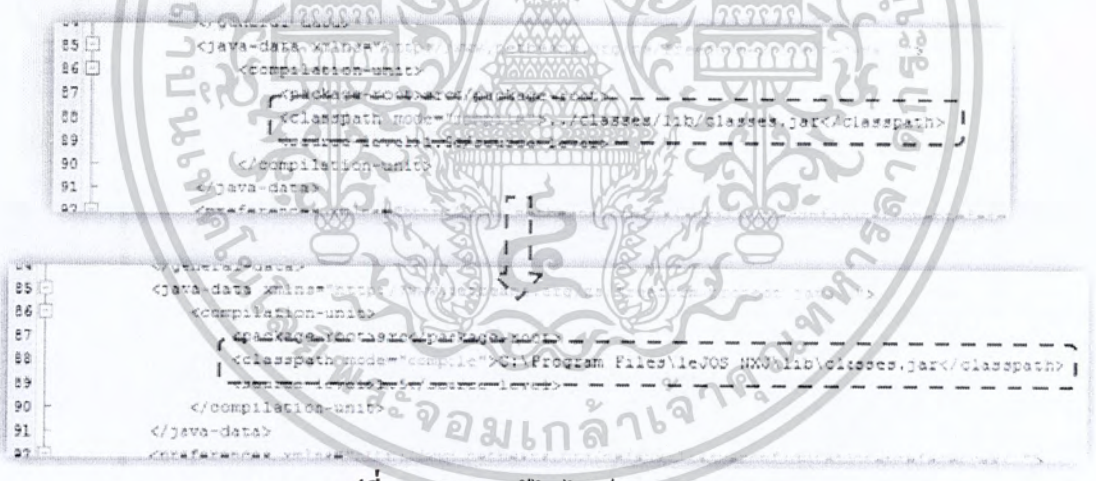
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อติดตั้งNetBeans เสร็จเรียบร้อย ให้แก้ไขวิถีในไฟล์ที่อยู่ใน “NXJSampleProject.zip” โดยไปที่ “C:\Users\[Username]\leJOSNXJProjects\NXJPlugin\src\nxjplugin” ที่มาพร้อมกับการติดตั้ง leJOS NXJ firmware ในขั้นตอนที่ 3 โดยแก้ไขวิถีในไฟล์ “build.properties” เดิมจาก “nxj.home = ../snapshot” แก้ไขเป็น “nxj.home = C:/Program File/leJOS NXJ” ดังรูปที่ ก.11



รูปที่ ก.11 การแก้ไขไฟล์ build.properties

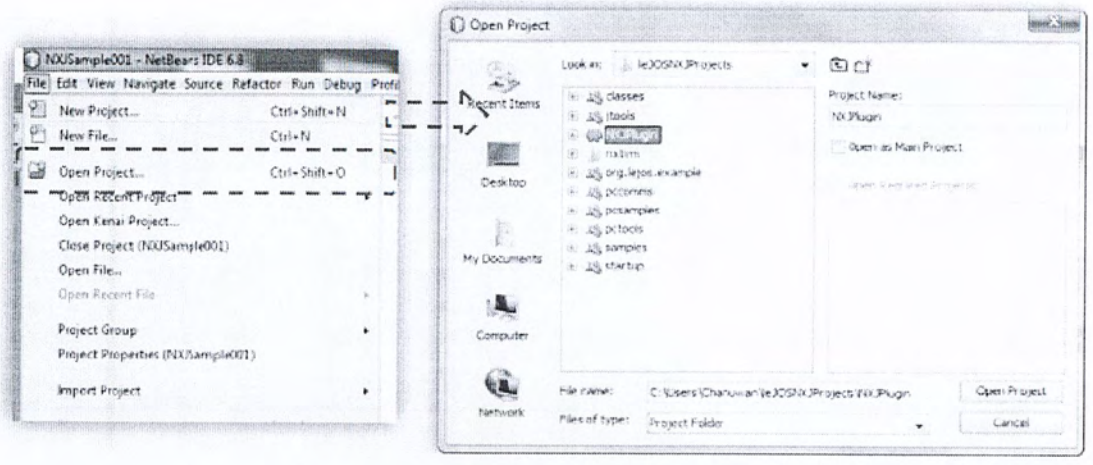
5. แก้ไขไฟล์ “private\project.xml” ที่อยู่แฟ้ม private (private\project.xml) เดิมจาก <classpath mode=”compile”>../classes/lib/classes.jar</classpath>
แก้ไขเป็น <classpath mode=”compile” >C:\Program Files\leJOS NXJ\lib\classes.jar</classpath> ดังรูปที่ ก.12



รูปที่ ก.12 การแก้ไขไฟล์ project.xml

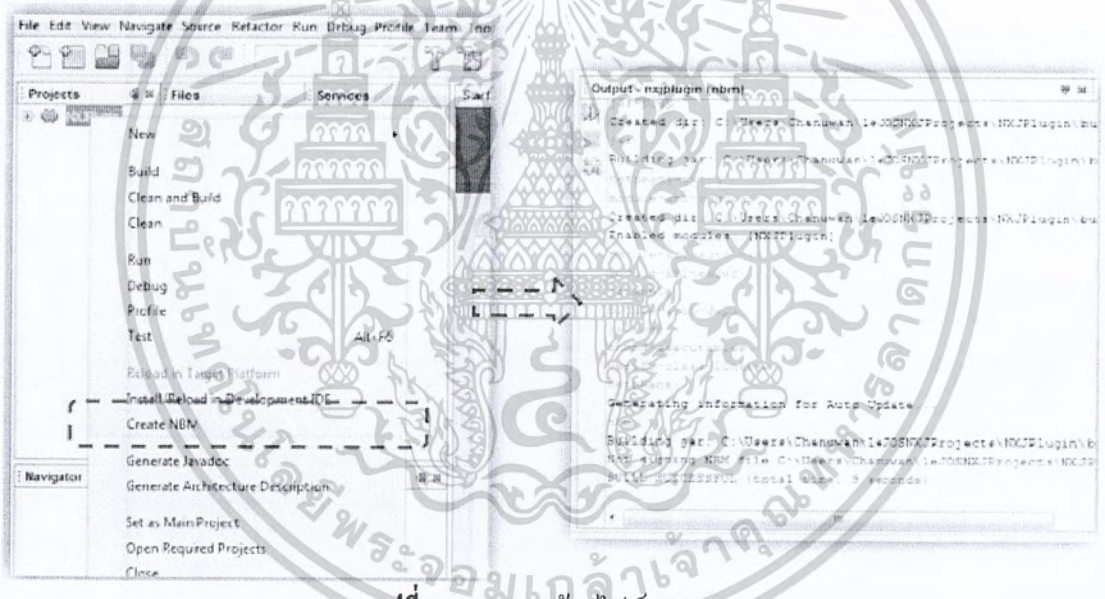
6. สร้างส่วนเสริม (Plugin) ของ leJOS firmware เพื่อให้ NetBeans สามารถพัฒนาโปรแกรมบนชุดทดลองเลโก้ เอ็นเอ็กซ์ทีได้ โดยเปิดโปรแกรม NetBeans IDE และไปที่ File > Open Project.. จากนั้นเลือก “C:\Users\[username]\leJOSNXJProjects\NXJPlugin\” ดังรูปที่ ก.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.13 การเปิดโครงการ NXJPlugin

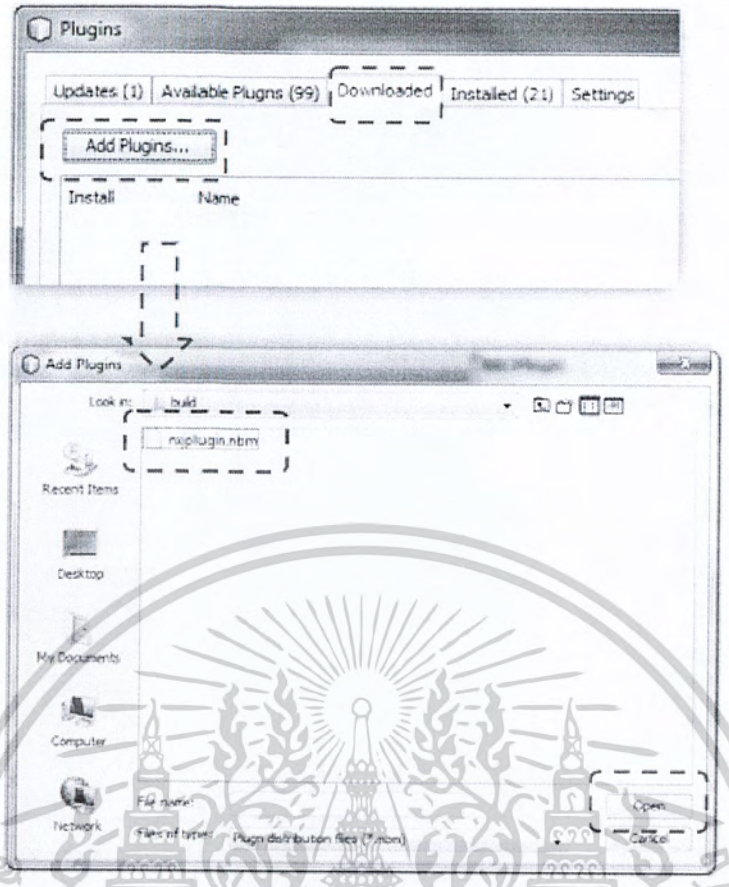
7. ทำการคลิกขวาที่ “NXJPlugin” และไปที่ Create NBM โปรแกรมจะสร้าง NXJPlugin ตามวิถีที่ได้กำหนดไว้ ดังรูปที่ ก.14



รูปที่ ก.14 การสร้างไฟล์ NBM

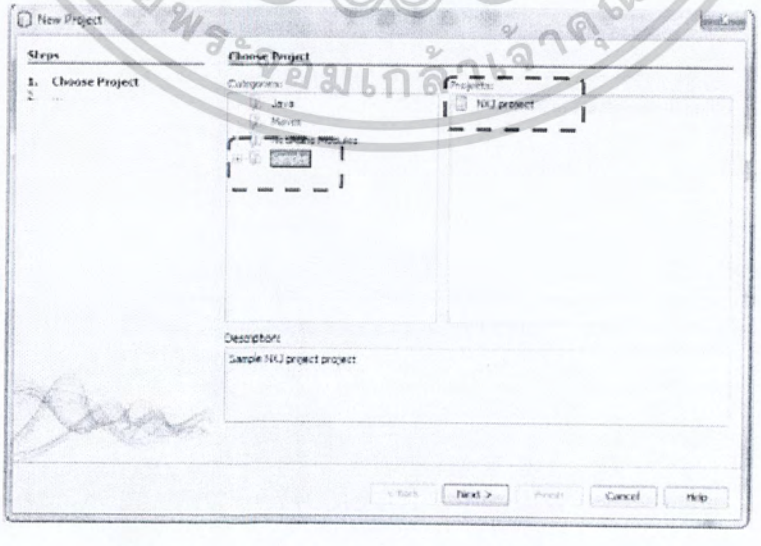
8. ทำการติดตั้งโดยไปที่ Tools > Plugins > Download > Add Plugins.. และเลือกไฟล์ nxjplugin.nbm ที่อยู่ใน “C:\Users\[username]\leJOSNXJProjects\NXJPlugin\build” ดังรูปที่ ก.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.15 การสร้างไฟล์ NBM

9. เมื่อเลือกไฟล์ nxjplugin.nbm แล้วจะสามารถทำการติดตั้งส่วนเสริมได้โดยการคลิก เมื่อติดตั้งเสร็จเรียบร้อยจะสามารถตรวจสอบสถานะการติดตั้งได้โดยไปที่ File > New Project และ Categories เลือก Samples จะปรากฏ NXJ project ทางด้านขวา ดังรูปที่ ก.16



รูปที่ ก.16 การตรวจสอบสถานะการติดตั้งส่วนเสริม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.
วิธีการใช้งานระบบ

ระบบค้นหาตำแหน่งหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยสัญญาณบลูทูธ แบ่งออกเป็น 5 ส่วน ดังนี้

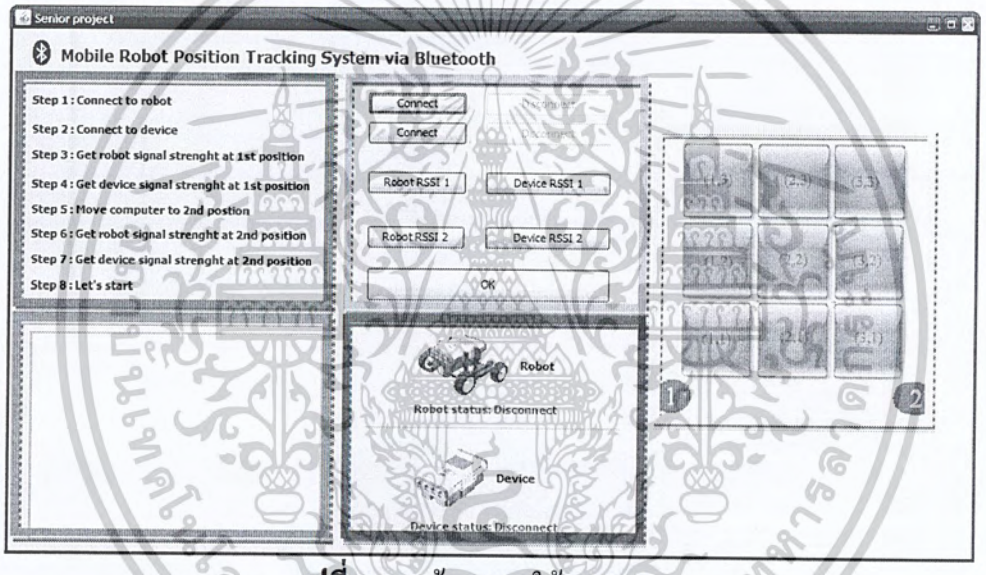
ส่วนที่ 1. เป็นส่วนที่แสดงข้อความที่เป็นขั้นตอนการใช้งานระบบ

ส่วนที่ 2. เป็นส่วนที่แสดงข้อความที่เป็นข้อมูลต่างๆของระบบ

ส่วนที่ 3. เป็นส่วนของปุ่มที่ใช้ควบคุมการทำงานต่างๆ

ส่วนที่ 4. เป็นส่วนของสถานะการเชื่อมต่อของหุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธ

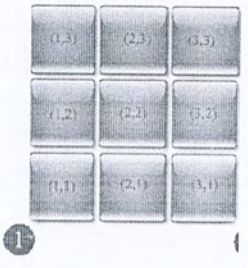
ส่วนที่ 5. เป็นส่วนที่แสดงพิกัดตำแหน่งและสภาพแวดล้อมของระบบที่ใช้ทดลอง



รูปที่ ข.1 หน้าจอการใช้งานระบบ

โดยมีวิธีการใช้งานระบบ ดังต่อไปนี้

1. ให้คอมพิวเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่ 1 ดังรูป ข.2

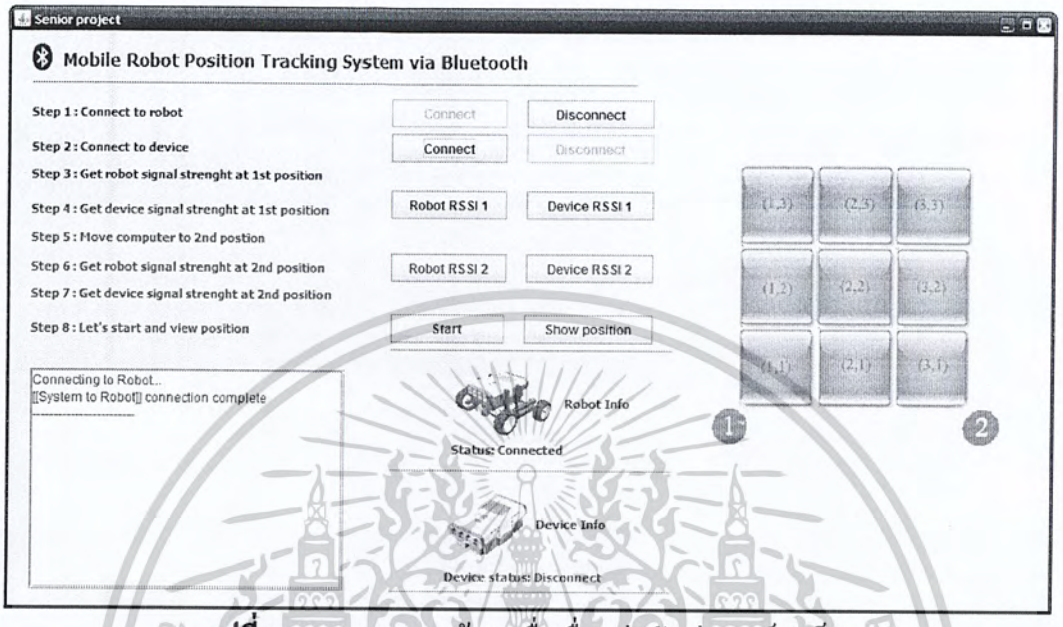


รูปที่ ข.2 ตำแหน่งที่ 1 ที่ใช้วางคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ให้หุ่นยนต์และอุปกรณ์บลูทูธอยู่ในตำแหน่ง (X,Y) ที่ต้องการ

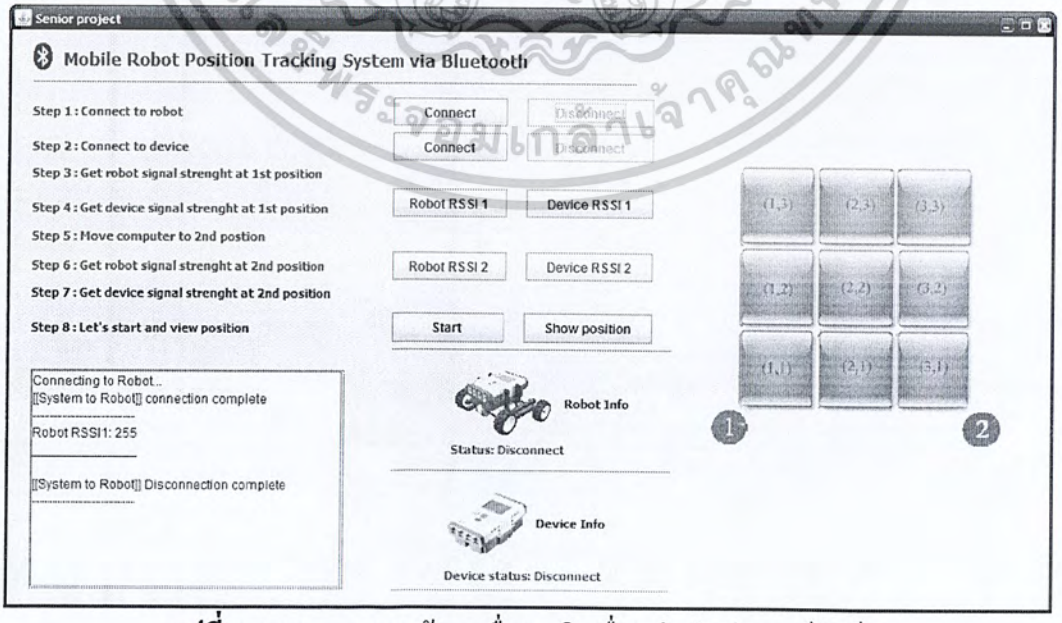
3. ทำการเชื่อมต่อกับหุ่นยนต์ โดยกดปุ่ม Connect ไปยังหุ่นยนต์ หากทำการเชื่อมต่อได้สำเร็จ Robot status จะเปลี่ยนจาก Disconnect เป็น Connected ดังรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.1 แสดงภาพหน้าจอเมื่อเชื่อมต่อกับหุ่นยนต์สำเร็จ

4. กดปุ่ม Robot RSSI 1 เพื่อรับค่าความเข้มของสัญญาณครั้งที่ 1 จากหุ่นยนต์

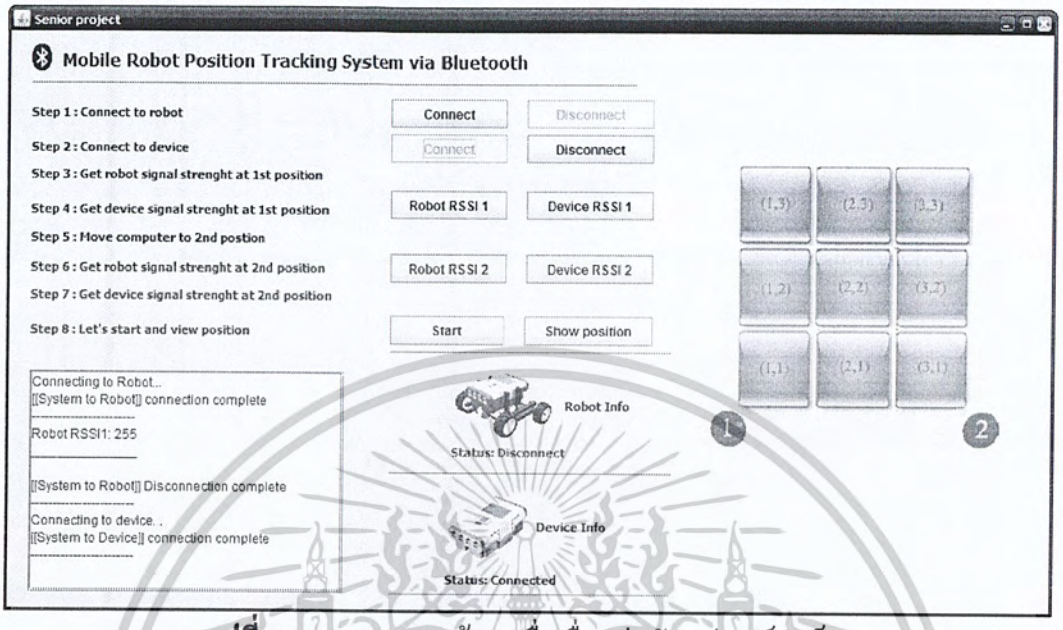
5. ทำการยกเลิกการเชื่อมต่อหุ่นยนต์ โดยกดปุ่ม Disconnect หากทำการยกเลิกการเชื่อมต่อได้สำเร็จ Robot status จะเปลี่ยนจาก Connected เป็น Disconnect ดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.3 แสดงภาพหน้าจอเมื่อยกเลิกเชื่อมต่อกับหุ่นยนต์สำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ทำการเชื่อมต่อโดยกดปุ่ม Connect ไปยังอุปกรณ์บลูทูธ หากทำการเชื่อมต่อได้สำเร็จ Device status จะเปลี่ยนจาก Disconnect เป็น Connected ดังรูปที่ ข.4



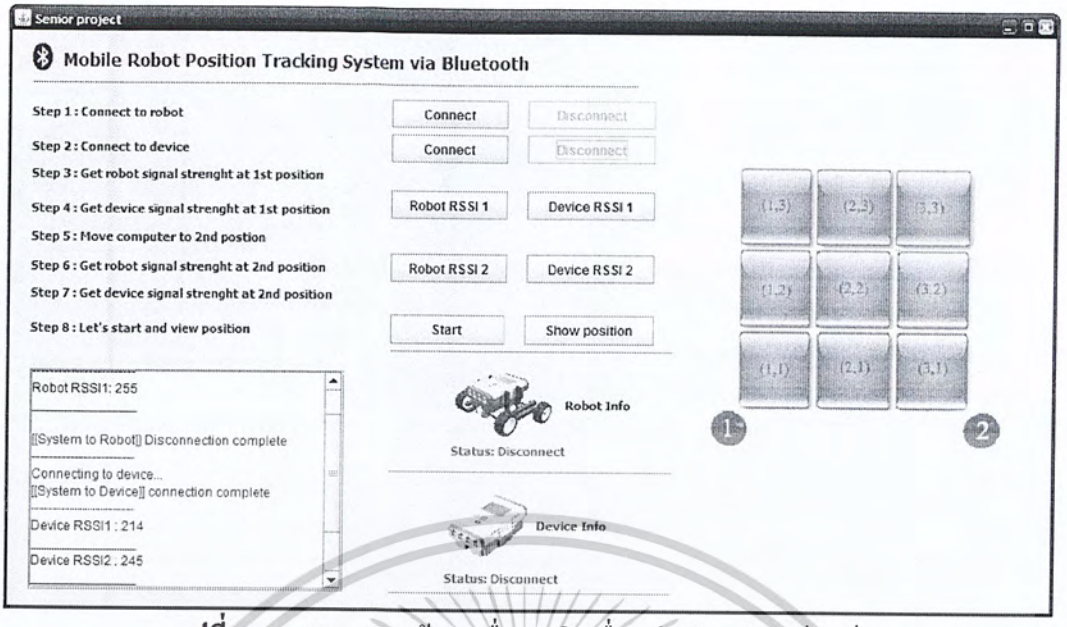
รูปที่ ข.4 แสดงภาพหน้าจอเมื่อเชื่อมต่อกับอุปกรณ์สำเร็จ

7. กดปุ่ม Device RSSI 1 เพื่อรับค่าความเข้มของสัญญาณครั้งที่ 1 จากอุปกรณ์
8. เคลื่อนย้ายคอมพิวเตอร์ไปยังตำแหน่งที่ 2 ดังรูป ข.5

รูปที่ ข.5 ตำแหน่งที่ 2 ที่ใช้วางคอมพิวเตอร์

9. กดปุ่ม Device RSSI 2 เพื่อรับค่าความเข้มของสัญญาณครั้งที่ 2 จากอุปกรณ์
10. ทำการยกเลิกการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ โดยกดปุ่ม Connect ไปยังอุปกรณ์บลูทูธ หากทำการเชื่อมต่อได้สำเร็จ Device status จะเปลี่ยนจาก Connected เป็น Disconnect ดังรูปที่ ข.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

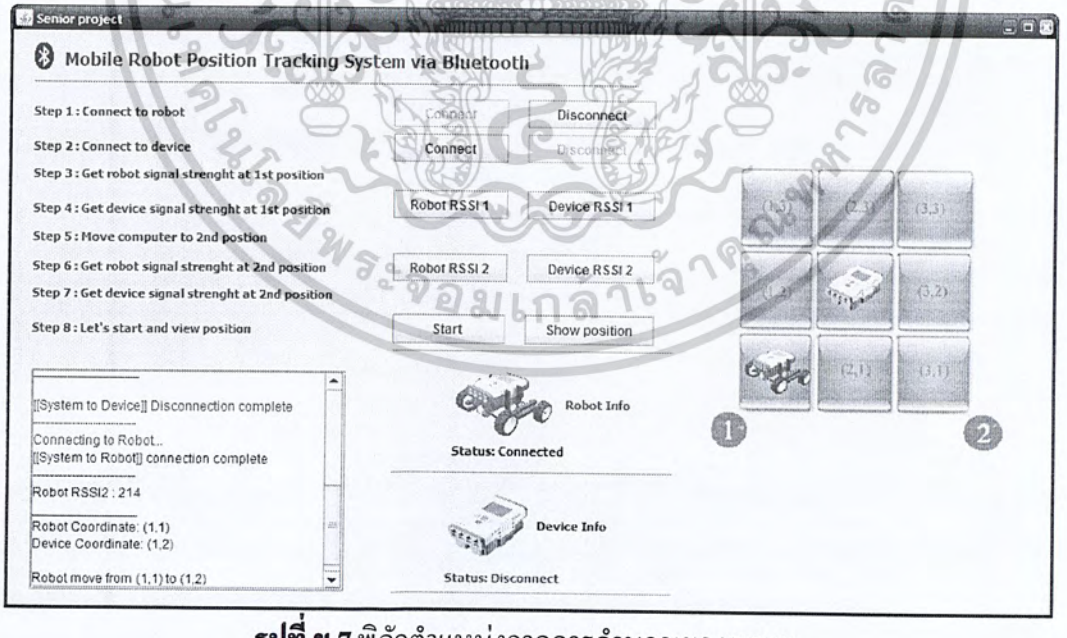


รูปที่ ข.6 แสดงภาพหน้าจอเมื่อยกเลิกเชื่อมต่อกับอุปกรณ์สำเร็จ

11. ทำการเชื่อมต่อกับหุ่นยนต์อีกครั้ง

12. กดปุ่ม Robot RSSI 2 เพื่อรับค่าความเข้มของสัญญาณครั้งที่ 2 จากหุ่นยนต์

13. กดปุ่ม Start เพื่อให้ระบบเริ่มทำการคำนวณ สังเกตผลลัพธ์ของพิกัดตำแหน่งที่ระบบคำนวณได้ ดังรูปที่ ข.7 และสังเกตการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์



รูปที่ ข.7 พิกัดตำแหน่งจากการคำนวณของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายศราวุธ กุศลธัญวัฒน์
วัน เดือน ปีเกิด	7 กรกฎาคม 2531 จังหวัดกรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	89/28 หมู่ 16 หมู่บ้านนิรันดร์วิลล์ ซอยศรีด่าน 22 ถนนศรีนครินทร์ ตำบลบางแก้ว อำเภอบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ 10540 โทรศัพท์ 081-247-5385
อีเมล	seal.aki@gmail.com
ประวัติการศึกษา	
2548	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนวชิรธรรมสาธิต
2553	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ชื่อ – นามสกุล	นายปิติภัทร แววเพ็ชร
วัน เดือน ปีเกิด	7 กันยายน 2531 จังหวัดราชบุรี
ที่อยู่	154/69 ถนนศรีสุริยวงศ์ ตำบลหน้าเมือง อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี 70000 โทรศัพท์ 089-912-3431
อีเมล	piti_plug@hotmail.com
ประวัติการศึกษา	
2549	มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเบญจมราชูทิศ ราชบุรี
2553	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้