หุ่นยนต์สำหรับโรงพยาบาลโดยใช้สัญญาณบีแอลอี
ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

HOSPITAL ROBOT USING BLE SIGNAL
OF INDOOR POSITIONING SYSTEM

โดย

นางสาวพิมพ์ชนก พงษ์กาญจน์

นายภัทรพล หัตถาภรณ์สกุล

นายภูมิพัฒน์ บุญนิธิวัฒนา

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หุ่นยนต์สำหรับโรงพยาบาลโดยใช้สัญญาณบีแอลอี ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

HOSPITAL ROBOT USING BLE SIGNAL OF INDOOR POSITIONING SYSTEM

โดย

นางสาวพิมพ์ชนก	พงษ์กาญจน์	60010719
นายภัทรพล	หัตถาภรณ์สกุล	60010770
นายภูมิพัฒน์	บุญนิธิวัฒนา	60010800

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ. ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง หุ่นยนต์สำหรับโรงพยาบาลโดยใช้สัญญาณบีแอลอีในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร
HOSPITAL ROBOT USING BLE SIGNAL OF INDOOR POSITIONING SYSTEM

ผู้จัดทำ

1. นางสาวพิมพ์ชนก พงษ์กาญจน์ 60010719
2. นายภัทรพล หัตถาภรณ์สกุล 60010770
3. นายภูมิพัฒน์ บุญนิธิวัฒนา 60010800

..... **อาจารย์ที่ปรึกษา**

(รศ. ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ “หุ่นยนต์สำหรับโรงพยาบาลโดยใช้สัญญาณบีแอลอีในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร” จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์อย่างดียิ่งจาก รศ. ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง ที่คอยให้คำแนะนำและแนวทางแก้ไขปัญหาที่เป็นประโยชน์ รวมถึงสนับสนุนเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้ในปริญญานิพนธ์นี้

ขอขอบคุณรุ่นพี่และเพื่อนในภาควิชาโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำ และถ่ายทอดวิชาความรู้ให้แก่คณะผู้จัดทำ

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ให้ความรัก ความห่วงใย และที่สำคัญคือสนับสนุนให้โอกาสทางด้านการศึกษาอันมีค่ายิ่งแก่คณะผู้จัดทำ หากมีข้อบกพร่องประการใด คณะผู้จัดทำยินดีน้อมรับคำติชมจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนาต่อไป

นางสาวพิมพ์ชนก พงษ์กาญจน์
นายภัทรพล หัตถาภรณ์สกุล
นายภูมิพัฒน์ บุญนิธิวัฒนา
ผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หุ่นยนต์สำหรับโรงพยาบาลโดยใช้สัญญาณบีแอลอีในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

HOSPITAL ROBOT USING BLE SIGNAL OF INDOOR POSITIONING SYSTEM

โดย นางสาวพิมพ์ชนก พงษ์กาญจน์ 60010719
นายภัทรพล หัตถาภรณ์สกุล 60010770
นายภูมิพัฒน์ บุญนิธิวัฒนา 60010800

อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร.พิสิฐ บุญศรีเมือง

บทคัดย่อ

เนื่องจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ในปัจจุบัน ส่งผลกระทบต่อบุคลากรทางการแพทย์ที่ดูแลผู้ป่วยติดเชื้อ โดยในการดูแลผู้ป่วยจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ป้องกัน เช่น ชุดอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล (PPE), ถุงมือ และหน้ากากอนามัย ส่งผลให้อุปกรณ์ป้องกันเหล่านี้ขาดแคลน และเพื่อลดความเสี่ยงของบุคลากรทางการแพทย์ในการติดเชื้อ ปริญญานิพนธ์นี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับโรงพยาบาลโดยใช้การระบุตำแหน่งภายในอาคารจากสัญญาณบีแอลอีที่มีความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง โดยหุ่นยนต์จะทำการขนส่งอาหารและยาให้แก่ผู้ป่วยที่ติดเชื้อ ซึ่งระบบที่นำเสนอแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ 1. ส่วนนำเข้าข้อมูล ซึ่งจะเรียกใช้คำสั่งการผ่านส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) เพื่อรับค่าข้อมูลและส่งต่อไปยังส่วนประมวลผล 2. ส่วนประมวลผลข้อมูลจะรับคำสั่งและข้อมูลจากส่วนนำเข้าข้อมูลเพื่อนำมาทำนายตำแหน่งภายในอาคาร และ 3. ส่วนส่งออกข้อมูล โดยจะส่งผลการทำนายตำแหน่งจากส่วนประมวลผลกลับไปยังส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ABSTRACT

Due to the current situation of Coronavirus 2019 (COVID-19) affecting to the medical personnel who care for the infected patients. Its necessaries to use protective equipment such as PPE, medical glove and face mask. So, making this equipment to be lacking. This thesis was created for solve this problem and reduce the risk of medical personnel getting infected. The purpose of this thesis is designed and developed robots for hospital by using BLE signal for high accuracy indoor positioning. This system consists of 3 main sections. The first section is input data. The second is data processor by get data from first section for predict indoor positioning. The last section is output data after predicting indoor position, the coordinate will be sent to GUI for showing the result and robot move to send food and pharmacy to the infected patients.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

		หน้า
กิตติกรรมประกาศ		I
บทคัดย่อ		II
สารบัญ		IV
สารบัญรูป		VII
สารบัญตาราง		XVI
บทที่ 1	**บทนำ**	
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
	1.2 วัตถุประสงค์	1
	1.3 ขอบเขตของโครงงาน	1
บทที่ 2	**ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง**	
	2.1 บลูทูธพลังงานต่ำ (BLUETOOTH LOW ENERGY BEACONS)	2
	2.2 ESP32	2
	2.3 บีคอน (BEACON)	5
	2.4 RASPBERRY PI 4 MODEL B	7
	2.5 โมดูลเข็มทิศ GY-26	8
	2.6 RECEIVE SIGNAL STRENGTH INDICATOR (RSSI)	8
	2.7 กระบวนการ TRILATERATION	9
	2.8 การคำนวณ EUCLIDEAN DISTANCE	10
	2.9 การคำนวณวิธีจัดหมู่ (COMBINATION)	11
	2..10 ศึกษา ADDITIVE WHITE GAUSSIAN NOISE (AWGN)	11
	2.11 ศึกษา MULTIPATH FADING	11
	2.12 ปัญญาประดิษฐ์ (ARTIFICIAL INTELLIGENCE : AI)	12
	2.13 โมเดลของโครงข่ายประสาทเทียม	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	2.14 ศึกษาการตรวจสอบและกำจัด OUTLIER	25
	2.15 KERAS	26
	2.16 TENSORFLOW	26
	2.17 ภาษา C++	27
	2.18 ภาษาไพธอน (PYTHON)	27
	2.19 โปรแกรม ARDUINO IDE	28
	2.20 โปรแกรมแมทแลป	29
	2.21 โปรแกรม VISUAL STUDIO CODE	30
บทที่ 3	**การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์**	
	3.1 การออกแบบ	32
	3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	59
	3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง	63
บทที่ 4	**ผลการทดลอง**	
	4.1 ทดลองและเปรียบเทียบค่า RSSI ของเครื่องส่งที่เป็นบีคอนและ ESP32	64
	4.2 จำลองการระบุตำแหน่งในโปรแกรมแมทแลปโดยกระบวนการ TRILATERATION ซึ่งการใส่สัญญาณรบกวน GAUSSIAN NOISE (AWGN) และหาระยะคลาดเคลื่อนจากตำแหน่ง	68
	4.3 การคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ TRILATERATION และคำนวณระยะคลาดเคลื่อนโดยโปรแกรมแมทแลป	77
	4.4 การคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ TRILATERATION ที่กำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจากข้อมูลและคำนวณระยะคลาดเคลื่อนโดยโปรแกรมแมทแลป	86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
	4.5 ผลการทดสอบส่วนฝึกฝน AI โมเดลที่ 1	94
	4.6 ผลการทดสอบหลังนำโมเดลที่ 1 ไปใช้จริง	103
	4.7 ผลการทดสอบส่วนฝึกฝน AI โมเดลที่ 2	111
	4.8 ผลการทดสอบหลังนำโมเดลที่ 2 ไปใช้จริง	113
	4.9 ผลการทดสอบส่วนฝึกฝน AI โมเดลที่ 3	121
	4.10 ผลการทดสอบหลังนำโมเดลที่ 3 ไปใช้จริง	123
	4.11 ผลการทดสอบส่วนฝึกฝน AI โมเดลที่ 4	132
	4.12 ผลการทดสอบหลังนำโมเดลที่ 4 ไปใช้จริง	133
	4.13 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งภายในอาคารด้วยวิธีต่างๆ	139
	4.14 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ ULTRASONIC	142
	4.15 ผลการทดสอบการทำนายตำแหน่งของหุ่นยนต์	143
บทที่ 5	**สรุปผลและข้อเสนอแนะ**	
	5.1 สรุปผล	153
	5.2 ข้อเสนอแนะ	153
บรรณานุกรม		154
ภาคผนวก ก	คำสั่งการสแกนหาสัญญาณบีแอลอี, รับค่า RSSI และค่ามุมบนเครื่องส่ง	157
ภาคผนวก ข	คำสั่งส่งสัญญาณของเครื่องส่งสัญญาณ	162
ภาคผนวก ค	คำสั่งส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่และทำนายตำแหน่งหุ่นยนต์	165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ESP32 รุ่น V2	4
2.2	ขาของ DEVKITC ESP32	5
2.3	บีคอน	5
2.4	ส่วนประกอบต่างๆ ใน RASPBERRY PI 4 MODEL B	7
2.5	โมดูลเข็มทิศ GY-26	8
2.6	การอ้างอิงระยะทางระหว่างโนดอ้างอิง (TRANSMITTERS) และวัตถุ	9
2.7	โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น	13
2.8	สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมโดยทั่วไป	14
2.9	แสดงโครงสร้างพื้นฐานของโหนดของโครงข่ายประสาทเทียม	15
2.10	ขั้นตอน BACK PROPAGATION	16
2.11	กราฟ SIGMOID FUNCTION	17
2.12	กราฟ TANH FUNCTION	17
2.13	กราฟ RELU FUNCTION	18
2.14	กราฟ GRADIENT DESCENT	20
2.15	กราฟ OVERFITTING และ UNDERFITTING	23
2.16	โปรแกรม ARDUINO IDE	29
2.17	หน้าต่างโปรแกรม MATLAB	29
2.18	โปรแกรม VISUAL STUDIO CODE	31
3.1	บล็อกไดอะแกรมของระบบโดยรวม	32
3.2	แผนผังการทำงานการสแกนสัญญาณบีแอลอีและรับค่า RSSI จากบีคอน	33
3.3	หน้าต่างผลการรับค่า RSSI จากบีคอน	33
3.4	แผนผังการทำงานการสแกนสัญญาณบีแอลอีและรับค่า RSSI จาก ESP32	34
3.5	หน้าต่างผลการรับค่า RSSI จาก ESP32	34
3.6	แผนผังการทำงานของการจำลองการระบุพิกัดโดยมีการใส่สัญญาณ AWGN	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.7	ตำแหน่งทดสอบและตำแหน่งติดตั้งเครื่องส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัวภายในห้องทดลอง	37
3.8	แผนผังการทำงานของ SOCKET	39
3.9	แผนผังเงื่อนไขการเก็บค่า RSSI	40
3.10	แผนผังการทำงานของการคำนวณตำแหน่งและคำนวณระยะคลาดเคลื่อนจากกระบวนการ TRILATERATION	42
3.11	แผนผังการทำงานของการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ TRILATERATION และคำนวณระยะคลาดเคลื่อน โดยกำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจากข้อมูลอื่น	43
3.12	ตัวอย่างการจัดเตรียมข้อมูลก่อนการฝึกฝน AI	44
3.13	อัตราส่วนการแบ่ง TRAINING SET และ TEST SET	45
3.14	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม	45
3.15	แผนผังการทำงานของระบบการฝึกฝน AI และการทำนายค่าตำแหน่ง	46
3.16	แผนผังการวัดความคลาดเคลื่อนจากโมเดล	47
3.17	แผนผังการทำงานของหุ่นยนต์	48
3.18	ภาพจำลอง 3 มิติโครงสร้างของหุ่นยนต์	49
3.19	หุ่นยนต์ที่ประกอบแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน	49
3.20	แผนภาพ SCHEMATIC บอร์ดควบคุมหุ่นยนต์	50
3.21	การเชื่อมต่อวงจรโดยรวม	51
3.22	เคลื่อนที่ไปข้างหน้า	52
3.23	เคลื่อนที่ไปข้างหลัง	52
3.24	เคลื่อนที่ไปทางซ้าย	52
3.25	เคลื่อนที่ไปทางขวา	52
3.26	การเชื่อมต่อวงจร ESP32 และโมดูลเข็มทิศ GY-26	53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
3.27	แผนผังการรับค่า RSSI และมุมที่ได้รับของหุ่นยนต์	54
3.28	หน้าต่าง GUI ควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์	55
3.29	หน้าต่าง GUI แสดงแผนผังในห้องทดลอง	56
3.30	คำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไปข้างหน้าและข้างหลัง	57
3.31	คำสั่งควบคุมการเลี้ยวของหุ่นยนต์ไปทางซ้ายและทางขวา	57
3.32	ใช้คำสั่งรอการเชื่อมต่อจาก CLIENT	58
3.33	กรอก IP ADRESS ของ RASPBERRY PI ในหน้าต่าง GUI	58
3.34	หน้าต่างแสดงสถานะการเชื่อมต่อระหว่าง CLIENT และ SERVER	58
3.35	บอร์ดควบคุมหุ่นยนต์	59
3.36	เกียร์มอเตอร์	60
3.37	แบตเตอรี่ 18650	60
3.38	รางแบตเตอรี่ 18650	60
3.39	แผ่นอะคริลิก	61
3.40	วงจร LED	61
3.41	โมดูล ULTRASONIC	61
3.42	ล้อ	62
3.43	MICRO SD CARD 16 GB	62
3.44	สาย MICRO USB TYPE B TO USB 2.0 TYPE A	62
4.1	กราฟเปรียบเทียบการแกว่งของสัญญาณระหว่างบีคอน และ ESP32 ที่ระยะ 0.5 เมตร	64
4.2	กราฟเปรียบเทียบการแกว่งของสัญญาณระหว่างบีคอน และ ESP32 ที่ระยะ 1 เมตร	65
4.3	กราฟเปรียบเทียบการแกว่งของสัญญาณระหว่างบีคอน และ ESP32 ที่ระยะ 2 เมตร	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.4	กราฟเปรียบเทียบการแกว่งของสัญญาณระหว่างบีคอน และ ESP32 ที่ระยะ 3 เมตร	66
4.5	กราฟเปรียบเทียบการแกว่งของสัญญาณระหว่างบีคอน และ ESP32 ที่ระยะ 4 เมตร	66
4.6	กราฟเปรียบเทียบค่า RSSI จากการทดลองและทฤษฎี	67
4.7	ตำแหน่งของเครื่องรับเมื่อมีการใส่ AWGN ที่ SNR เท่ากับ 0 DB	68
4.8	ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อให้ SNR เท่ากับ 0 DB	69
4.9	ตำแหน่งของเครื่องรับเมื่อมีการใส่ AWGN ที่ SNR เท่ากับ 5 DB	69
4.10	ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อให้ SNR เท่ากับ 5 DB	69
4.11	ตำแหน่งของเครื่องรับเมื่อมีการใส่ AWGN ที่ SNR เท่ากับ 10 DB	70
4.12	ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อให้ SNR เท่ากับ 10 DB	70
4.13	ตำแหน่งของเครื่องรับเมื่อมีการใส่ AWGN ที่ SNR เท่ากับ 15 DB	71
4.14	ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อให้ SNR เท่ากับ 15 DB	71
4.15	ตำแหน่งของเครื่องรับเมื่อมีการใส่ AWGN ที่ SNR เท่ากับ 20 DB	72
4.16	ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อให้ SNR เท่ากับ 20 DB	72
4.17	ตำแหน่งของเครื่องรับเมื่อมีการใส่ AWGN ที่ SNR เท่ากับ 25 DB	73
4.18	ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อให้ SNR เท่ากับ 25 DB	73
4.19	ตำแหน่งของเครื่องรับเมื่อมีการใส่ AWGN ที่ SNR เท่ากับ 30 DB	74
4.20	ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อให้ SNR เท่ากับ 30 DB	74
4.21	ตำแหน่งของเครื่องรับเมื่อมีการใส่ AWGN ที่ SNR เท่ากับ 35 DB	75
4.22	ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อให้ SNR เท่ากับ 35 DB	75
4.23	ตำแหน่งของเครื่องรับเมื่อมีการใส่ AWGN ที่ SNR เท่ากับ 40 DB	76
4.24	ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อให้ SNR เท่ากับ 40 DB	76
4.25	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SNR (DB) และความคลาดเคลื่อน (เมตร)	77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.26	ตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยกระบวนการ TRILATERATION ที่ตำแหน่ง (-8,8)	78
4.27	ระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณที่ตำแหน่ง (-8,8)	78
4.28	ตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยกระบวนการ TRILATERATION ที่ตำแหน่ง (-6,-11)	79
4.29	ระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณที่ตำแหน่ง (-6,-11)	79
4.30	ตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยกระบวนการ TRILATERATION ที่ตำแหน่ง (4,2)	80
4.31	ระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณที่ตำแหน่ง (4,2)	80
4.32	ตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยกระบวนการ TRILATERATION ที่ตำแหน่ง (-8,8)	86
4.33	ระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณที่ตำแหน่ง (-8,8)	87
4.34	ตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยกระบวนการ TRILATERATION ที่ตำแหน่ง (-6,-11)	87
4.35	ระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณที่ตำแหน่ง (-6,-11)	87
4.36	ตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยกระบวนการ TRILATERATION ที่ตำแหน่ง (4,2)	88
4.37	ระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณที่ตำแหน่ง (4,2)	88
4.38	กราฟ ACCURACY จำนวน HIDDEN LAYER 1 LAYER และโหนด 10 โหนด	94
4.39	กราฟ MODEL LOSS จำนวน HIDDEN LAYER 1 LAYER และโหนด 10 โหนด	95
4.40	กราฟ ACCURACY จำนวน HIDDEN LAYER 1 LAYER และโหนด 30 โหนด	95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.41	กราฟ MODEL LOSS จำนวน HIDDEN LAYER 1 LAYER และโหนด 30 โหนด	96
4.42	กราฟ ACCURACY จำนวน HIDDEN LAYER 1 LAYER และโหนด 50 โหนด	96
4.43	กราฟ MODEL LOSS จำนวน HIDDEN LAYER 1 LAYER และโหนด 50 โหนด	97
4.44	กราฟ ACCURACY จำนวน HIDDEN LAYER 1 LAYER และโหนด 100 โหนด	97
4.45	กราฟ MODEL LOSS จำนวน HIDDEN LAYER 1 LAYER และโหนด 100 โหนด	98
4.46	กราฟ ACCURACY จำนวน HIDDEN LAYER 1 LAYER และโหนด 120 โหนด	99
4.47	กราฟ MODEL LOSS จำนวน HIDDEN LAYER 1 LAYER และโหนด 120 โหนด	99
4.48	รูปที่ 4.47 กราฟ ACCURACY จำนวน HIDDEN LAYER 2 LAYERS จำนวนโหนด 100 และ 180 โหนดตามลำดับ	100
4.49	กราฟ MODEL LOSS จำนวน HIDDEN LAYER 2 LAYERS จำนวนโหนด 100 และ 180 โหนดตามลำดับ	100
4.50	กราฟ ACCURACY จำนวน HIDDEN LAYER 3 LAYERS จำนวนโหนด 100, 180 และ 200 โหนดตามลำดับ	101
4.51	กราฟ MODEL LOSS จำนวน HIDDEN LAYER 3 LAYERS จำนวนโหนด 100, 180 และ 200 โหนดตามลำดับ	101
4.52	ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (-8,8)	104
4.53	ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (-8,8)	104
4.54	ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (-6,-11)	105
4.55	ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (-6,-11)	105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.56	ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (4,2)	106
4.57	ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (4,2)	106
4.58	กราฟ ACCURACY จำนวน HIDDEN LAYER 3 LAYERS จำนวนโหนด 100, 180 และ 200 โหนดตามลำดับ ของโมเดลที่ 2	112
4.59	กราฟ MODEL LOSS จำนวน HIDDEN LAYER 3 LAYERS จำนวนโหนด 100, 180 และ 200 โหนดตามลำดับ ของโมเดลที่ 2	112
4.60	ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อน ที่ตำแหน่ง (-8,8) ของโมเดลที่ 2	113
4.61	ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (-8,8) ของโมเดลที่ 2	113
4.62	ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อน ที่ตำแหน่ง (-6,-11) ของโมเดลที่ 2	114
4.63	ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (-6,-11) ของโมเดลที่ 2	114
4.64	ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อน ที่ตำแหน่ง (4,2) ของโมเดลที่ 2	115
4.65	ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (4,2) ของโมเดลที่ 2	115
4.66	กราฟเทียบค่าพิกัด X ระหว่างค่าที่ได้จากไฟล์กับค่าพิกัดที่ได้จากการทำนาย	121
4.67	กราฟเทียบค่าพิกัด Y ระหว่างค่าที่ได้จากไฟล์กับค่าพิกัดที่ได้จากการทำนาย	122
4.68	กราฟ MODEL LOSS พิกัด X ของโมเดลที่ 3	122
4.69	กราฟ MODEL LOSS พิกัด Y ของโมเดลที่ 3	123
4.70	ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อน ที่ตำแหน่ง (-8,8) ของโมเดลที่ 3	124
4.71	ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (-8,8) ของโมเดลที่ 3	124
4.72	ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อน ที่ตำแหน่ง (-6,-11) ของโมเดลที่ 3	125
4.73	ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (-6,-11) ของโมเดลที่ 3	125

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.74	ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อน ที่ตำแหน่ง (4,2) ของโมเดลที่ 3	126
4.75	ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (4,2) ของโมเดลที่ 3	126
4.76	กราฟ MODEL LOSS พิกัด X ของโมเดลที่ 4	132
4.77	กราฟ MODEL LOSS พิกัด Y ของโมเดลที่ 4	132
4.78	ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อน ที่ตำแหน่ง (-8,8) ของโมเดลที่ 4	133
4.79	ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (-8,8) ของโมเดลที่ 4	133
4.80	ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อน ที่ตำแหน่ง (-6,-11) ของโมเดลที่ 4	134
4.81	ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (-6,-11) ของโมเดลที่ 4	134
4.82	ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อน ที่ตำแหน่ง (4,2) ของโมเดลที่ 4	135
4.83	ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (4,2) ของโมเดลที่ 4	135
4.84	กราฟเปรียบเทียบระยะคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณตำแหน่งจาก กระบวนการ TRILATERATION กับการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ TRILATERATION โดยกำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจากข้อมูลอื่น	140
4.85	กราฟเปรียบเทียบระยะคลาดเคลื่อนระหว่างการทำนายตำแหน่ง จากโมเดล AI ที่ 1, 2, 3 และ 4	140
4.86	กราฟเปรียบเทียบระยะคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณตำแหน่งจาก กระบวนการ TRILATERATION โดยกำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจาก ข้อมูลอื่น โมเดล AI ที่ 1, 2, 3 และ 4	141
4.87	กราฟความแปรปรวนของระยะคลาดเคลื่อนทั้ง 145 ตำแหน่งของโมเดลที่ 4	142
4.88	ตำแหน่งเริ่มต้นที่วางหุ่นยนต์	143

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่		
4.89	ตำแหน่งเริ่มต้นที่ทำนายได้แสดงผลบน GUI	144
4.90	ตำแหน่งเป้าหมาย	144
4.91	ตำแหน่งสิ้นสุดของหุ่นยนต์	144
4.92	ตำแหน่งสิ้นสุดที่ทำนายได้แสดงผลบน GUI	145
4.93	ตำแหน่งเริ่มต้นที่วางหุ่นยนต์	146
4.94	ตำแหน่งเริ่มต้นที่ทำนายได้แสดงผลบน GUI	146
4.95	ตำแหน่งเป้าหมาย	147
4.96	ตำแหน่งสิ้นสุดของหุ่นยนต์	147
4.97	ตำแหน่งสิ้นสุดที่ทำนายได้แสดงผลบน GUI	148
4.98	ตำแหน่งเริ่มต้นที่วางหุ่นยนต์	149
4.99	ตำแหน่งเริ่มต้นที่ทำนายได้แสดงผลบน GUI	150
4.100	ตำแหน่งเป้าหมาย	150
4.101	ตำแหน่งสิ้นสุดของหุ่นยนต์	151
4.102	ตำแหน่งสิ้นสุดที่ทำนายได้แสดงผลบน GUI	151

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	กำหนดชื่อเครื่องส่งจาก MAC ADDRESS และตำแหน่งที่ติดตั้งของเครื่องส่งแต่ละตัว	38
4.1	ระยะคลาดเคลื่อนของทั้ง 145 ตำแหน่ง	81
4.2	ระยะคลาดเคลื่อนของทั้ง 145 ตำแหน่ง เมื่อกำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจากข้อมูลอื่น	89
4.3	ผลลัพธ์ค่า ACCURACY ของโมเดล ที่กำหนด HIDDEN LAYER, จำนวนโหนด จำนวนการฝึกฝน EPOCHS และ BATCH SIZE	102
4.4	ระยะคลาดเคลื่อนของทั้ง 145 ตำแหน่ง เมื่อใช้โมเดลที่ 1	106
4.5	ระยะคลาดเคลื่อนของทั้ง 145 ตำแหน่ง เมื่อใช้โมเดลที่ 2	116
4.6	ระยะคลาดเคลื่อนของทั้ง 145 ตำแหน่ง เมื่อใช้โมเดลที่ 3	127
4.7	ระยะคลาดเคลื่อนของทั้ง 145 ตำแหน่ง เมื่อใช้โมเดลที่ 4	136
4.8	ผลการทดสอบการวัดระยะห่างระหว่างวัตถุกับเซนเซอร์ ULTRASONIC	142
4.9	ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ที่วางจริงและทำนายได้	145
4.10	ตำแหน่งเป้าหมาย, ตำแหน่งหุ่นยนต์จริงและตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้	145
4.11	ระยะคลาดเคลื่อน	145
4.12	ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ที่วางจริงและทำนายได้	148
4.13	ตำแหน่งเป้าหมาย, ตำแหน่งหุ่นยนต์จริงและตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้	148
4.14	ระยะคลาดเคลื่อน	149
4.15	ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ที่วางจริงและทำนายได้	151
4.16	ตำแหน่งเป้าหมาย, ตำแหน่งหุ่นยนต์จริงและตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้	151
4.17	ระยะคลาดเคลื่อน	152

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปริญญานิพนธ์นี้มีแรงบันดาลใจจากสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ในปัจจุบันที่ส่งผลกระทบต่อบุคลากรทางการแพทย์ที่ดูแลผู้ป่วยติดเชื้อ โดยในการดูแลผู้ป่วยจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ป้องกัน เช่น ชุดอุปกรณ์ป้องกันภัยส่วนบุคคล (PPE), ถุงมือ และหน้ากากอนามัย ส่งผลให้อุปกรณ์ป้องกันเหล่านี้ขาดแคลน และเพื่อลดความเสี่ยงของบุคลากรทางการแพทย์ในการติดเชื้อ จึงเป็นเหตุจูงใจให้นำเสนอปริญญานิพนธ์นี้

หุ่นยนต์สำหรับโรงพยาบาลโดยใช้สัญญาณบีแอลอีในการระบุตำแหน่งภายในอาคารได้รับการออกแบบและนำเสนอเพื่อช่วยจัดการปัญหาข้างต้น โดยหุ่นยนต์สำหรับโรงพยาบาลนี้ถูกออกแบบให้มีความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง เพื่อใช้ในการขนส่งอาหารและยาให้แก่ผู้ป่วยติดเชื้อ โดยระบบที่นำเสนอแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ 1. ส่วนนำเข้าข้อมูล ซึ่งจะเรียกใช้คำสั่งการผ่านส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) เพื่อรับค่าข้อมูลและส่งต่อไปยังส่วนประมวลผล 2. ส่วนประมวลผลข้อมูลจะรับคำสั่งและข้อมูลจากส่วนนำเข้าข้อมูลเพื่อนำมาทำนายตำแหน่งภายในอาคาร และ 3. ส่วนส่งออกข้อมูล โดยจะส่งผลการทำนายตำแหน่งจากส่วนประมวลผลกลับไปยังส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) และหุ่นยนต์จะทำการขนส่งอาหารและยาให้แก่ผู้ป่วยที่ติดเชื้อ

1.2 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ส่งสัญญาณที่ใช้ในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร
2) เพื่อออกแบบระบบระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้สัญญาณบีแอลอี
3) เพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ระบุไว้ได้อย่างแม่นยำ
4) เพื่อสร้างโปรแกรมควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

ออกแบบระบบระบุตำแหน่งโดยใช้สัญญาณบีแอลอีในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร และพัฒนาหุ่นยนต์สำหรับโรงพยาบาลเพื่อขนส่งอาหารและยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 บลูทูธพลังงานต่ำ (Bluetooth low energy: BLE)

บลูทูธพลังงานต่ำเป็นคุณลักษณะของเทคโนโลยีบลูทูธตั้งแต่มาตรฐาน 4.0 ขึ้นไป ที่มีเป้าหมายในการใช้งานสำหรับอุปกรณ์ไร้สายรุ่นใหม่ที่ใช้พลังงานต่ำและ latency ต่ำภายในระยะทางใกล้ๆ

เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำทำงานในช่วงคลื่นความถี่ช่วงเดียวกันกับเทคโนโลยีบลูทูธแบบดั้งเดิม (2402-2480 MHz) แต่ใช้ช่องสัญญาณกว้าง 40.2 MHz เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำจะใช้แบบแผนการกระโดดข้ามช่องสัญญาณซึ่งแตกต่างจากเทคโนโลยีบลูทูธแบบดั้งเดิม แม้ว่าเทคโนโลยีบลูทูธจะถูกจำแนกโดยองค์กร FCC และ ETSI ให้เป็นประเภทที่ใช้วิธีกระจายช่วงคลื่นแบบกระโดดข้ามความถี่ (Frequency-Hopping Spread Spectrum: FHSS) แต่เทคโนโลยีบลูทูธพลังงานต่ำจะถูกจำแนกเป็นระบบที่ใช้วิธีมอดูเลชันแบบดิจิทัล (Digital Modulation) หรือการกระจายช่วงคลื่นแบบลำดับโดยตรง (Direct-Sequence Spread Spectrum) แทน

คุณสมบัติพิเศษของบลูทูธพลังงานต่ำคือสามารถทำงานกับอุปกรณ์ที่ใช้พลังงานต่ำและสามารถส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์สื่อสารที่ต่อพ่วงกับคอมพิวเตอร์ และมือถือด้วยความเร็วสูง โดยใช้อัตราการส่งข้อมูล 3 Mbps บลูทูธความเร็วสูงนี้จะใช้มาตรฐานการรับส่งข้อมูล Wi-Fi ที่ 802.11g เป็นตัวส่งข้อมูลได้ระยะทางประมาณ 60 เมตร จากตัวส่งซึ่งเป็นมาตรฐานการส่งข้อมูล Wi-Fi ทั่วไป บลูทูธความเร็วสูงนี้ยังสามารถส่งผ่านภาพวีดีโอ, เพลง และรูปภาพระหว่าง โทรศัพท์ กล่อง คอมพิวเตอร์ และโทรทัศน์ [1]

2.2 ESP32

ESP32 เป็นชื่อของไอซีไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่อ Wi-Fi และ Bluetooth 4.2 BLE ในตัว ผลิตโดยบริษัท Espressif จากประเทศจีน (บอร์ดพัฒนาสำเร็จรูป) โดยตัวไอซี ESP32 มีสเปคโดยละเอียด ดังนี้

- ซีพียูใช้ Tensilica LX6 แบบ 2 แกนสมอง สัญญาณนาฬิกา 240 MHz
- มีแรมในตัว 512 KB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- รองรับการเชื่อมต่อรอมภายนอกสูงสุด 16 MB
- มีบลูทูธในตัว รองรับการใช้งานในโหมด 2.0 และโหมด 4.0 BLE
- ใช้แรงดันไฟฟ้าในการทำงาน 2.6 V ถึง 3 V
- ทำงานได้ที่อุณหภูมิ -40°C ถึง 125°C

นอกจากนี้ ESP32 ยังมีเซนเซอร์ต่างๆ มาในตัวด้วย ดังนี้

- วงจรกรองสัญญาณรบกวนในวงจรขยายสัญญาณ
- เซนเซอร์แม่เหล็ก
- เซนเซอร์สัมผัส (Capacitive touch) รองรับ 10 ช่อง
- รองรับการเชื่อมต่อคลิสตอล 32.768 kHz สำหรับใช้กับส่วนวงจรนับเวลาโดยเฉพาะ

ขาใช้งานต่างๆ ของ ESP32 รองรับการเชื่อมต่อบัสต่างๆ ดังนี้

- มี GPIO จำนวน 32 ช่อง
- รองรับ UART จำนวน 3 ช่อง
- รองรับ SPI จำนวน 3 ช่อง
- รองรับ I2C จำนวน 2 ช่อง
- รองรับ ADC จำนวน 12 ช่อง
- รองรับ DAC จำนวน 2 ช่อง
- รองรับ I2S จำนวน 2 ช่อง
- รองรับ PWM / Timer ทุกช่อง
- รองรับการเชื่อมต่อกับ SD-Card

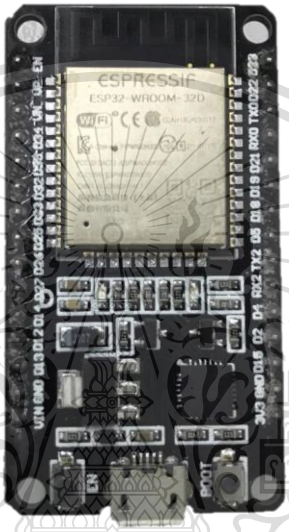
ในด้านประสิทธิภาพการใช้งาน ตัว ESP32 สามารถทำงานได้ดี โดย รับ – ส่ง ข้อมูลได้ความเร็วสูงสุดที่ 150 Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11n HT40 ได้ความเร็วสูงสุด 72 Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11n HT20 ได้ความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11g และได้ความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps เมื่อเชื่อมต่อแบบ 11b

เมื่อใช้การเชื่อมต่อผ่านโปรโตคอล UDP จะสามารถรับ – ส่งข้อมูลได้ที่ความเร็ว 135 Mbps ในโหมด Sleep ใช้กระแสไฟฟ้าเพียง 2.5 uA ด้วยเหตุนี้ ESP32 จึงเหมาะสำหรับนำมาใช้งานมาก ด้วยเหตุผลทางด้านราคา และประสิทธิภาพที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2.1 บอร์ดพัฒนา ESP32 (DevKitC ESP32)

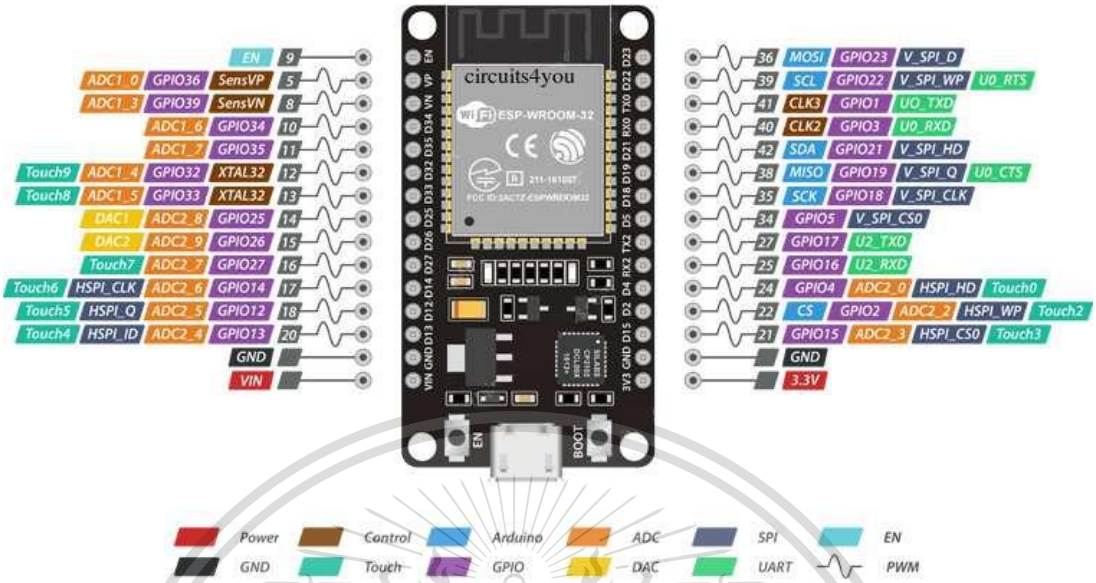
บอร์ดพัฒนา ESP32 ที่ผลิตโดยบริษัท Espressif ที่เป็นผู้ผลิตชิปไอซี ESP32 (ผู้ผลิตไอซี ผลิตโมดูล และผลิตบอร์ดพัฒนาเอง) เป็นบอร์ดพัฒนา ESP32 บอร์ดแรก ทำให้ตำแหน่งขาต่างๆ ของ DevKitC ESP32 ถูกใช้เป็นมาตรฐาน ของบอร์ดพัฒนา ESP32 ของบริษัทอื่นๆ อีกด้วย บอร์ดพัฒนา DevKitC ESP32 มีอยู่ด้วยกัน 2 รุ่น คือ V1 บอร์ดสีฟ้า และ V2 เปลี่ยนสีของแผ่นวงจรพิมพ์เป็นสีดำ โดยปริญญานิพนธ์ใช้รุ่น V2 ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ESP32 รุ่น V2

บอร์ด DevKitC ESP32 ใช้โมดูลรุ่น ESP32-WROOM-32 ที่บริษัท Espressif เป็นผู้ผลิตขึ้นเอง และใช้ชิปไอซีแปลง USB เป็น UART เบอร์ CP2102 จาก Silicon Labs สามารถเข้าโหมดอัปโหลดโปรแกรมแบบอัตโนมัติโดยใช้วงจรแบบ nodemcu มีรอม 4 MB (หรือ 32 Mbit) ใช้ไอซีเรกกูเลเตอร์แบบ LDO เบอร์ AMS1117-3.3 รองรับแรงดันเข้าสูงสุด 7 V และจ่ายกระแสได้สูงสุด 700 mA ใช้พลังงานไฟฟ้าและสื่อสารผ่านพอร์ต MicroUSB มีขาต่อใช้งานทั้งหมด 38 ขา เรียงขาแบบเดียวกับบนโมดูล ESP-WROOM-32 เมื่อนำไปเสียบลงโพรโต้บอร์ด จะเหลือช่องให้ใช้งานเพียงด้านเดียว 1 ช่อง โดยการใช้งานขาต่างๆ ของ DevKitC ESP32 แสดงดังรูปที่ 2.2 [2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.2 ขาของ ESP32 [2]

2.3 บีคอน (Beacon)

บีคอน คืออุปกรณ์ขนาดเล็กที่ถูกติดตั้งในสมาร์ทโฟนหรือสมาร์ทดีไวซ์รุ่นใหม่ๆ และมีอีกแบบเป็นตัวบีคอนเฉพาะ ที่ไม่ได้อยู่ในโทรศัพท์ แสดงดังรูปที่ 2.3 การนำระบบนำทางภายในอาคารมาใช้กับบีคอน (ชนิดที่พบมากที่สุด คือ iBeacon และ Eddystone) ซึ่งมีข้อดีแตกต่างกันสำหรับโครงการที่ต้องการนำไปใช้งาน โดยจะต้องมีความแม่นยำสูงและต้องการรวมอุปกรณ์เครื่องส่งสัญญาณด้วย ตัวอย่างการใช้งาน เช่น สามารถใช้งานระบบนำทางภายในอาคารสำหรับผู้โดยสารสายการบินโดยใช้แอปพลิเคชันข้ามแพลตฟอร์มและมีความแม่นยำสูงสุดถึง 1 เมตร การติดตามด้วยบีคอนของเซิร์ฟเวอร์สำหรับบุคคลหรือสินค้า สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ ได้ เช่น Infinity Locator Node, Cisco และ Aruba เป็นต้น [3]

รูปที่ 2.3 บีคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3.1 โครงสร้างภายในบีคอน

โครงสร้างภายในบีคอนมี 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1. บลูทูธพลังงานต่ำใช้สื่อสารข้อมูลระหว่างตัวบีคอนกับแอปพลิเคชันมือถือ

2. ARM Cortex M0 Processor เป็น CPU ที่ใช้ควบคุมการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์ รวมถึงการปรับแต่งค่าของตัวบีคอน เช่น ระยะเวลาในการส่งสัญญาณ (ให้ส่งครั้งละ 1 วินาทีหรือน้อยกว่านั้น) ระยะทางสูงสุดที่ส่งสัญญาณออกไป

3. Coin Battery เป็นถ่านแบบเม็ดกระดุม ซึ่งสามารถใช้งานได้นานถึง 2 ปี

2.3.2 ชุดข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจากบีคอน

ทุกครั้งที่บีคอนส่งสัญญาณออกมา จะมี Package หรือชุดข้อมูลเล็กๆ ถูกส่งออกมาด้วยเสมอ ข้อมูลเหล่านั้น ได้แก่

1. Proximity UUID (string) ข้อมูลชุดตัวอักษรใช้บอกว่าบีคอนตัวนี้ผลิตจากบริษัทใด

2. Major (int) ข้อมูลตัวเลขใช้แทนกลุ่มของบีคอน

3. Minor (int) ข้อมูลตัวเลขใช้ระบุตัวบีคอนแต่ละตัว

4. TxPower (int) ข้อมูลตัวเลขค่าความเข้มของสัญญาณที่บีคอน ปล่อยออกมา อยู่ในช่วง -30 ถึง 40 เดซิเบล ค่านี้จะถูกนำไปคำนวณด้วยสมการคณิตศาสตร์ เพื่อให้ได้ระยะความใกล้ระหว่างมือถือกับตัวบีคอน

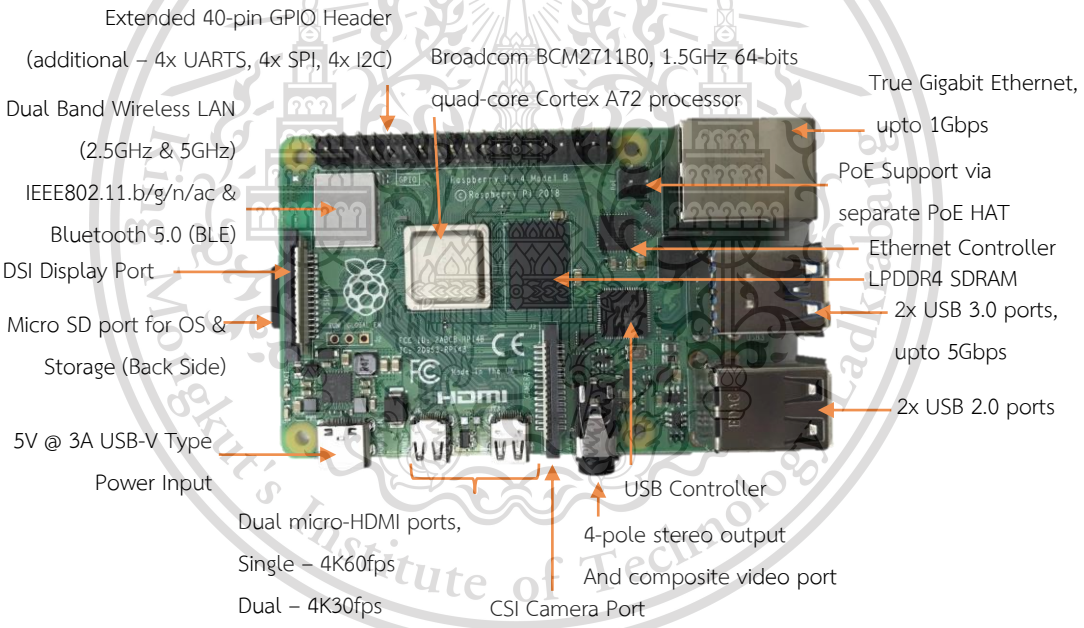
บลูทูธบีคอนเป็นเครื่องส่งสัญญาณวิทยุขนาดเล็กที่ส่งสัญญาณในรัศมี 10 - 30 เมตร (ภายในพื้นที่) ข้อดีของบีคอนที่เห็นได้ชัดเจนคือมีประสิทธิภาพในการประหยัดค่าใช้จ่าย (3 ถึง 30 ยูโร) สามารถติดตั้งได้ง่าย สามารถระบุตำแหน่งได้แม่นยำภายในรัศมี 1 เมตรและสามารถรองรับการใช้งานบนระบบปฏิบัติการและอุปกรณ์ต่างๆ ได้ นอกจากนี้ ฟังก์ชันระบบ BLE (Bluetooth Low Energy) แบบใหม่ยังประหยัดพลังงานมาก บีคอนสามารถใช้งานผ่านทางแอปพลิเคชันได้ทั้งในรูปแบบ client-based และแบบ server-based ด้วยบีคอนจะทำให้สามารถตรวจสอบพื้นที่ในชั้นปัจจุบันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4 Raspberry Pi 4 Model B

Raspberry Pi 4 Model B คือผลิตภัณฑ์ตัวใหม่ในกลุ่มคอมพิวเตอร์ Raspberry Pi ที่ได้รับความนิยม โดยมีความเร็วโปรเซสเซอร์ที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด มีประสิทธิภาพการทำงานของมัลติมีเดียที่ดีขึ้น และหน่วยความจำที่มากขึ้น รวมถึงการเชื่อมต่อที่พัฒนาให้ดีกว่าเมื่อเทียบกับรุ่นก่อนหน้าอย่าง Raspberry Pi 3 Model B+

Raspberry Pi 4 Model B โดดเด่นด้วยโปรเซสเซอร์แบบ 4 คอร์ รุ่น 64 บิต ทำงานที่ความเร็ว 1.5 GHz, พร้อมรองรับการแสดงผลแบบสองจอในความคมชัดสูงสุด 4K ที่อัตรา 60 fps, RAM สูงสุด 4 GB, LAN ไร้สายที่รองรับทั้งคลื่น 2.4/5.0 GHz, Bluetooth 5.0/BLE, เครือข่าย True Gigabit Ethernet, USB 3.0 และการใช้งานเทคโนโลยี PoE (ผ่านส่วนเสริม PoE HAT แบบแยก) ซึ่งส่วนประกอบต่างๆ ใน Raspberry Pi 4 Model B แสดงดังรูปที่ 2.4 [4]

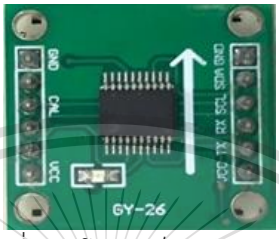


รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบต่างๆ ใน Raspberry Pi 4 Model B

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.5 โมดูลเข็มทิศ GY-26

เป็นโมดูลที่ใช้สำหรับบอกค่ามุม มีขนาดเล็ก มีแรงดันไฟฟ้าขาเข้าและใช้พลังงานต่ำ การใช้งานคือเซนเซอร์แม่เหล็กบนโมดูลเข็มทิศตอบสนองต่อแกนแม่เหล็กโลก เพื่อรับค่ามุม มีความแม่นยำสูง มีเสถียรภาพสูง เอาท์พุทของ baud rate คือ 9600 และสามารถปรับค่าให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในการทำงานที่แตกต่างกันได้ [5] แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โมดูลเข็มทิศ GY-26

2.6 Receive Signal Strength Indicator (RSSI)

RSSI ย่อมาจาก Receive Signal Strength Indicator เป็นคำที่ใช้บอกความแรงของสัญญาณวิทยุที่ได้รับในเทอมของพลังงาน มีหน่วยเป็น dBm (decibels milliwatt) โดยค่า RSSI จะแปรผันตรงกับความแรงของสัญญาณ คือถ้าค่า RSSI มีค่ามากแสดงว่าสัญญาณที่ได้รับมีความแรงสูง คือตัวส่งและตัวรับอยู่ใกล้กัน และในทางกลับกันหากค่า RSSI มีค่าน้อยแสดงว่าสัญญาณที่ได้รับมีความแรงต่ำ คือตัวส่งและตัวรับอยู่ไกลกัน [6]

2.6.1 การคำนวณค่า RSSI

สามารถคำนวณค่า RSSI โดยคิดจากสมการที่ 2.1 ดังนี้

$$RSSI = A_0 - 10\,n\,log_{10}\,\frac{d}{d_0} \tag{2.1}$$

โดย A_0 คือ ค่าเฉลี่ย RSSI ที่ระยะ d_0

n คือ ดัชนีการสูญเสียเชิงวิถี กำหนดให้ n = 2

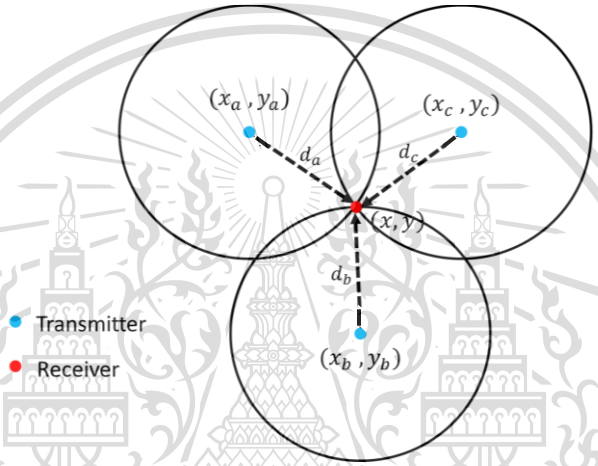
d คือ ระยะทางระหว่างตัวปล่อยสัญญาณกับตัวรับสัญญาณ

d_0 คือ ระยะทางที่โหนดอ้างอิง ซึ่งกำหนด d_0 = 1 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.7 กระบวนการ Trilateration

Trilateration เป็นกระบวนการที่ใช้ในการหาพิกัดของโหนดของวัตถุที่ต้องการทราบตำแหน่งในโครงข่ายเซนเซอร์ไร้สาย เพื่อระบุตำแหน่งของวัตถุนั้นๆ โดยจะอาศัยโหนดอ้างอิงอย่างน้อย 3 โหนด ซึ่งแต่ละโหนดอ้างอิงจะมีรัศมีครอบคลุมแพร่ออกไปในลักษณะของวงกลม ซึ่งเป็นระดับของความแรงของสัญญาณที่แพร่ออกจากสายอากาศของอุปกรณ์ที่โหนดอ้างอิง วัตถุที่ต้องการหาตำแหน่งจะต้องอยู่ในรัศมีครอบคลุมของโหนดอ้างอิงทั้ง 3 โหนด การอ้างอิงระยะทางระหว่างโหนดอ้างอิง [7] แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การอ้างอิงระยะทางระหว่างโหนดอ้างอิง (Transmitters) และวัตถุ

การคำนวณหาตำแหน่งของวัตถุ สามารถทำได้โดยใช้ชุดสมการที่ 2.2 – 2.5 ดังต่อไปนี้

$$v_a = \frac{(d_b^2 - d_c^2) - (x_b^2 - x_c^2) - (y_b^2 - y_c^2)}{2} \tag{2.2}$$

$$v_b = \frac{(d_b^2 - d_a^2) - (x_b^2 - x_a^2) - (y_b^2 - y_a^2)}{2} \tag{2.3}$$

$$y = \frac{v_b(x_c - x_b) - v_a(x_a - x_b)}{(y_a - y_b)(x_c - x_b) - (y_c - y_b)(x_a - x_b)} \tag{2.4}$$

$$x = \frac{v_a - y(y_c - y_b)}{(x_c - x_b)} \tag{2.5}$$

โดย d_a คือ ระยะห่างระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งที่พิกัด x_a และ y_a

d_b คือ ระยะห่างระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งที่พิกัด x_b และ y_b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

d_c คือ ระยะห่างระหว่างเครื่องรับและเครื่องส่งที่พิกัด x_c และ y_c

x คือ พิกัดของเครื่องรับในแกน x

y คือ พิกัดของเครื่องรับในแกน y

2.8 การคำนวณ Euclidean distance

Euclidean distance คือระยะทางปกติระหว่างจุดสองจุดในแนวเส้นตรงหรือเป็นระยะห่างระหว่างจุดสองจุดที่น้อยที่สุด ซึ่งมีที่มาจากทฤษฎีบทพีทาโกรัส สามารถคำนวณได้จากพิกัดคาร์ทีเซียนของจุด โดยจะใช้ทฤษฎีบทพีทาโกรัส เนื่องจากเป็นการวัดระยะทางในปริภูมิแบบยุคลิด คำนวณได้ดังสมการที่ 2.6 [8]

$$d(p,q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \ldots + (p_n - q_n)^2} \qquad (2.6)$$

โดย $p = (p_1, p_2, \ldots, p_n)$

$q = (q_1, q_2, \ldots, q_n)$

n คือ จำนวนมิติบนปริภูมิยุคลิด

ในปริญญานิพนธ์นี้ใช้การคำนวณสองมิติแบบยุคลิด กำหนดให้ $p = (p_1, p_2)$ และ $q = (q_1, q_2)$ ระยะทางระหว่าง p และ q สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2.7

$$d(p,q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2} \qquad (2.7)$$

โดย p_1 คือ พิกัดในแกน x ของจุด p

q_1 คือ พิกัดในแกน x ของจุด q

p_2 คือ พิกัดในแกน y ของจุด p

q_2 คือ พิกัดในแกน y ของจุด q

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.9 การคำนวณวิธีจัดหมู่ (Combination)

Combination คือจำนวนวิธีในการเลือกที่เป็นไปได้ในการจัดหมู่ โดยไม่ให้ความสำคัญกับลำดับในการเลือก ซึ่งจะสามารถคำนวณจำนวนวิธีทั้งหมดได้ดังสมการที่ 2.8 [9]

$$C(n,r) = \frac{n!}{r!(n-r)!} \tag{2.8}$$

โดย n คือ จำนวนสิ่งของทั้งหมด

r คือ จำนวนสิ่งของที่ต้องการเลือก

2.10 ศึกษา Additive White Gaussian Noise (AWGN)

สัญญาณรบกวน (noise signal) ในระบบสื่อสารมักถูกกำหนดให้มี probability density function (pdf) ที่อยู่ในรูปของ Gaussian distribution ซึ่งมีรูปร่างคล้ายระฆังคว่ำ ดังสมการ 2.9 [10]

$$f(x,\mu,\sigma) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \tag{2.9}$$

โดย x คือ ขนาดของสัญญาณรบกวน

σ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation)

μ คือ ค่าเฉลี่ยกลาง (mean)

2.11 ศึกษา Multipath fading

การสูญเสียจากการจางหายหลายเส้นทาง (Multipath fading) เกิดจากการที่สายอากาศของเครื่องรับสัญญาณอยู่ใกล้กับพื้นผิวมาก ดังนั้นสิ่งกีดขวางต่างๆ รอบข้างจึงส่งผลให้เกิดการสะท้อนและการหักเหของสัญญาณในหลายทิศทาง ส่งผลทำให้สัญญาณที่รับได้ประกอบด้วยจำนวนสัญญาณหลายๆ สัญญาณที่เดินทางมาจากทิศทางที่แตกต่างกัน โดยมีทั้งขนาดและเฟสที่แตกต่างกัน ผลกระทบของ Multipath fading ทำให้ระดับของสัญญาณที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างบ่อยครั้งมาก และการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณอาจจะเกิดขึ้นมากถึง 30-40 dB [11]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.12 ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence : AI)

Artificial Intelligence (AI) หมายถึงเทคโนโลยีที่การจำลองความฉลาดของมนุษย์ลงในเครื่องจักรที่ถูกตั้งโปรแกรมให้คิดและเลียนแบบเหมือนมนุษย์ โดยการพัฒนาระบบเพื่อให้มีความสามารถในการรับรู้ เรียนรู้ ใช้เหตุผล และตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีสุดจากการวิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ตามเงื่อนไขที่กำหนด โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท

1. Artificial Narrow Intelligence (ANI) หรือ Weak AI หรือ Narrow AI คือ ปัญญาประดิษฐ์ที่มีระดับปัญญาและความสามารถในการเรียนรู้เฉพาะด้านใดเรื่องหนึ่ง

2. Artificial General Intelligence (AGI) หรือ Strong AI หรือ Deep AI คือ ปัญญาประดิษฐ์ที่มีระดับปัญญาและความสามารถเทียบเท่ากับมนุษย์ โดยสามารถเรียนรู้ได้หลายด้านเวลาเดียวกัน

3. Artificial Super Intelligence (ASI) คือปัญญาประดิษฐ์ที่มีระดับปัญญาและความสามารถเหนือกว่ามนุษย์ โดยมีความสามารถที่หลากหลายรวมถึงการแก้ปัญหาและการตัดสินใจที่เหนือกว่ามนุษย์

2.12.1 การเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning)

Machine Learning คือประเภทของปัญญาประดิษฐ์ Artificial Intelligence (AI) ที่ระบบมีความสามารถในการเรียนรู้ได้ด้วยตัวเองจากข้อมูลที่มีอยู่ เพื่อพัฒนากระบวนการแก้ปัญหาที่เหมาะสม ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีการกำหนดคำสั่งไว้อย่างชัดเจน โดยแบ่งออกเป็น 3 ประเภท

1. Supervised Learning หรือ การเรียนรู้แบบมีผู้สอน คืออัลกอริทึมที่เรียนรู้จากข้อมูลตัวอย่าง โดยข้อมูลตัวอย่างนั้นมีทั้งข้อมูลอินพุตและเอาต์พุตที่ถูกต้อง ซึ่งจะมีข้อมูลสำหรับการฝึกฝน (training data) และส่วนที่รับค่ากลับมาเพื่อปรับปรุง (feedback) เพื่อที่จะเรียนรู้ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลที่ถูกป้อนเข้ามาสู่ข้อมูลที่ออกไป

2. Unsupervised Learning หรือ การเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน คือ อัลกอริทึมที่เรียนรู้จากข้อมูลตัวอย่าง โดยข้อมูลตัวอย่างนั้นปราศจากเอาต์พุต โดยจะหาเอาต์พุตจากความสัมพันธ์ของข้อมูล และเนื่องจากการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนนั้นใช้ข้อมูลแบบปราศจากเอาต์พุต ทำให้ไม่มีส่วนที่รับค่ากลับมาเพื่อปรับปรุง

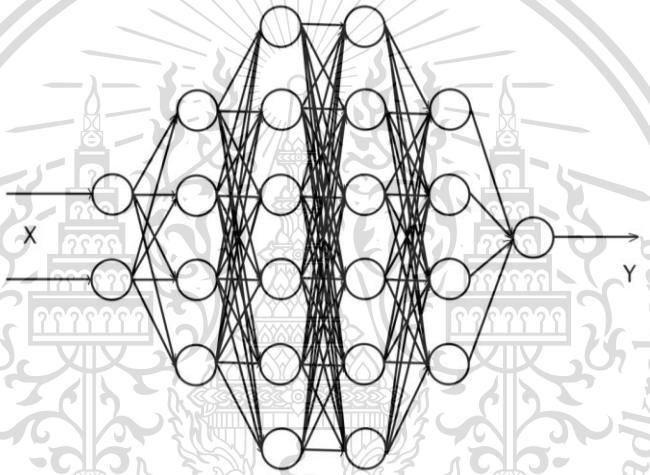
3. Reinforcement Learning หรือ การเรียนรู้แบบเสริมกำลัง คือ อัลกอริทึมที่มีเรียนรู้จากสถานการณ์ โดยให้เรียนรู้วิธีการตัดสินใจที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุดในสถานการ์นั้น ซึ่งจะมีความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ซับซ้อนมากกว่าการเรียนรู้แบบมีผู้สอนและการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอน อีกทั้งยังใช้เวลาในการฝึกฝนมากกว่า [10]

2.12.2 การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning)

Deep Learning คือ ศาสตร์แขนงหนึ่งของ Machine Learning ซึ่งมีวิธีการเรียนรู้แบบอัตโนมัติด้วยการเลียนแบบการทำงานของโครงข่ายประสาทของมนุษย์ (Neurons) โดยนำระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) ที่มีการซ้อนกันหลายชั้น (Layer) แสดงดังรูปที่ 2.7 ซึ่ง Deep Learning จะทำการเรียนรู้ข้อมูลตัวอย่าง โดยที่ข้อมูลดังกล่าวจะถูกนำไปใช้ในการตรวจจับรูปแบบหรือจัดหมวดหมู่ข้อมูล [11]



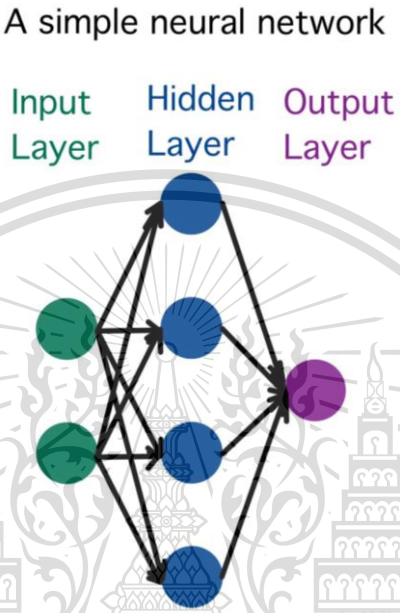
รูปที่ 2.7 โครงข่ายประสาทเทียมแบบหลายชั้น

2.12.3 โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network : ANN)

Artificial Neural Network เป็นศาสตร์แขนงหนึ่งของทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence : AI) โดยมีแนวคิดที่ออกแบบระบบโครงข่ายคอมพิวเตอร์ให้เลียนแบบการทำงานของสมองมนุษย์ ซึ่งการประมวลผลต่างๆ เกิดขึ้นในหน่วยประมวลผลย่อยเรียกว่าโหนด (Node) ซึ่งโหนดเป็นการจำลองลักษณะการทำงานมาจากเซลล์การส่งสัญญาณ ระหว่างโหนดที่เชื่อมต่อกัน จำลองมาจากการเชื่อมต่อของใยประสาทและแกนประสาทในระบบประสาทของสมองมนุษย์ ภายในโหนดจะมีฟังก์ชันกำหนดสัญญาณส่งออกที่เรียกว่า ฟังก์ชันการแปลง (transfer function) ซึ่งทำหน้าที่เปรียบเสมือนกระบวนการทำงานในเซลล์ แสดงในรูปที่ 2.8 ซึ่งแต่ละโหนดจะถูกเชื่อมต่อกันโดยมีการคูณค่าน้ำหนัก (Weight) และมีค่า Bias บวกรวมก่อนจะเข้าฟังก์ชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กระตุ้น (Activation Function) เพื่อหาผลลัพธ์และส่งค่าไปยัง Layer ถัดไป โดยมีเป้าหมายหลักคือ การพัฒนากระบวนการเรียนรู้ของเครื่องจักรให้มีประสิทธิภาพสูง โดยที่การนำเอาโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้งานแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนหลักคือ ขั้นตอนฝึกฝน (Training) หรือเรียนรู้ (Learning) และขั้นตอนการทดสอบ (Testing) หรือการใช้งานจริง (Working) [12][13]



รูปที่ 2.8 สถาปัตยกรรมของโครงข่ายประสาทเทียมโดยทั่วไป

ลักษณะการทำงานของ Artificial Neural Network จากรูปที่ 2.8 จะแสดงให้เห็นว่าส่วนประกอบของ Artificial Neural Network แบ่งออกเป็น 3 ส่วน

1. อินพุต Layer โดยชั้นนี้จะเป็นชั้นของข้อมูลอินพุต จำนวนโหนดขึ้นอยู่กับข้อมูล
2. Hidden Layer โดยชั้นนี้จะอยู่ระหว่างกลางระหว่างอินพุต Layer และเอาต์พุต Layer ทำหน้าที่รับค่าจากอินพุต Layer ซึ่งภายใน Hidden Layer จะมี Activation Function ที่ทำการแปลงค่าและส่งไปยัง Layer ถัดไป โดยในชั้นนี้มีผลอย่างมากต่อประสิทธิภาพในการเรียนรู้ อีกทั้ง Hidden Layer ยังสามารถมีได้หลายชั้นและหลายโหนดตามความเหมาะสมในการใช้งาน
3. เอาต์พุต Layer โดยที่ชั้นนี้จะเป็นชั้นที่นำเอาข้อมูลจากการคำนวณไปใช้งาน จำนวนของโหนดในชั้นนี้ ขึ้นอยู่กับรูปแบบของเอาต์พุตที่จะนำไปใช้งาน [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.12.4 Forward Propagation

Forward Propagation เป็นขั้นตอนที่ทำให้ Artificial Neural Network ส่งต่อข้อมูลไปข้างหน้าทีละ Layer จนได้เอาต์พุตออกมาโดยจะมีการคำค่าน้ำหนัก (Weight) และค่า Bias ไปใช้ในการประมวลผลร่วมด้วยดังสมการที่ 2.10 [15] และแสดงในรูปที่ 2.9

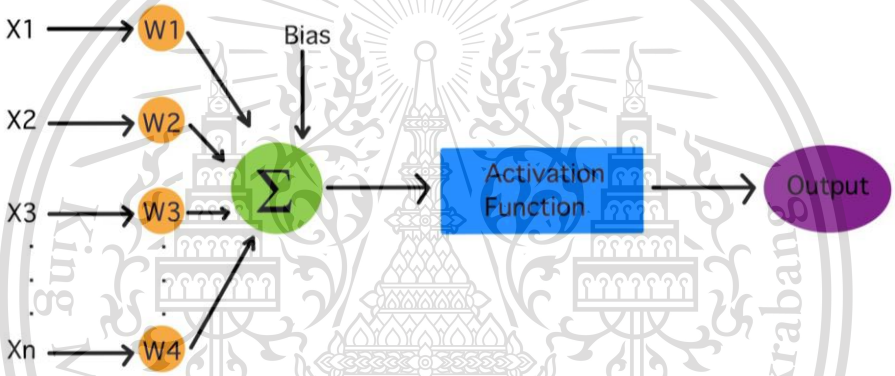
$$Z = \sum_{i=1}^{n}(W_i x_i) + b \quad (2.10)$$

โดย Z คือ ผลของการคูณเมตริกซ์

n คือ โหนดของอินพุต

W คือ weight โดยค่านี้จะถูกสุ่มขึ้นมาก่อน

b คือ ค่า bias

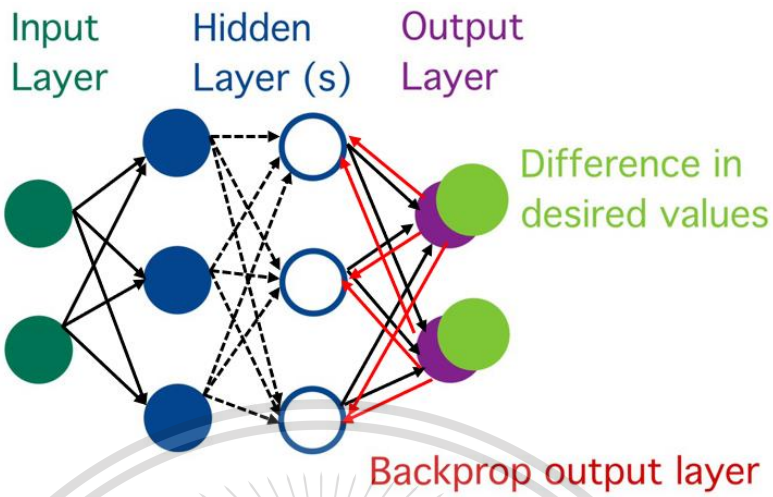


รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของโหนดของโครงข่ายประสาทเทียม

2.12.5 Back Propagation

Back Propagation คือ ขั้นตอนที่ Artificial Neural Network ใช้ในการเรียนรู้ข้อมูลเกิดจากการเอาค่า Forward Propagation มาเทียบกับค่าผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจริง ได้ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้น โดยโมเดลจะทำการปรับ Weight และ Bias ที่ทำให้ค่าความผิดพลาดลดลง จากนั้นจะทำการปรับ Weight และ Bias ทีละ Layer เพื่อให้มีผลลัพธ์ที่แม่นยำมากขึ้น [16] แสดงในรูปที่ 2.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.10 ขั้นตอน Back propagation

2.12.6 ฟังก์ชันกระตุ้นของโครงข่ายประสาทเทียม (Activation Function)

Activation Function คือ ฟังก์ชันที่รับผลรวมการประมวลผลทั้งหมดจากทุกอินพุต (ทุก Dendrite) ภายใน 1 นิวรอน แล้วพิจารณาว่าจะส่งต่อเป็นเอาต์พุตเท่าไร โดยในปริญญานิพนธ์นี้ศึกษา Activation Function 4 รูปแบบดังนี้ [17][18]

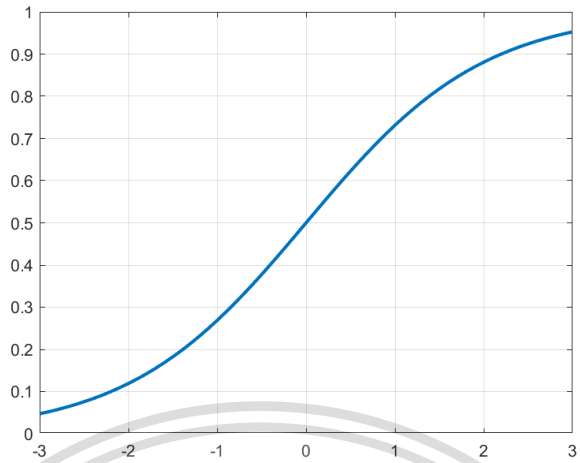
1. Sigmoid Function เป็นฟังก์ชันที่เปลี่ยนค่าทั้งหมดให้มีผลลัพธ์ค่าระหว่างช่วง 0 ถึง 1 โดยมีสมการของ Sigmoid Function ดังสมการที่ 2.11 ลักษณะของกราฟแสดงดังรูปที่ 2.11

$$Sigmoid(x) = \frac{1}{1+e^{-x}} = \frac{e^{x}}{e^{x}+1} \tag{2.11}$$

โดย $Sigmoid(x)$ คือ เอาต์พุตของฟังก์ชัน Sigmoid Function

x คือ อินพุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



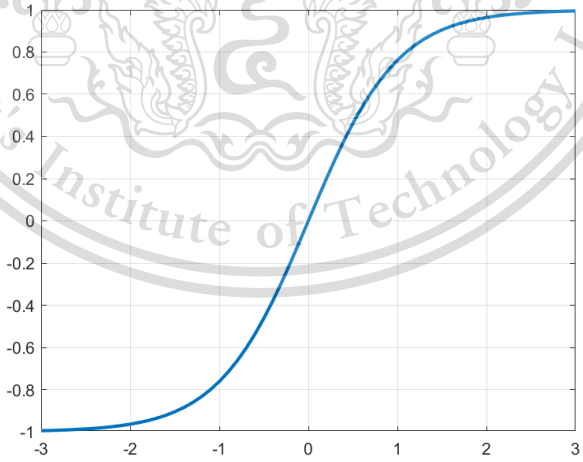
รูปที่ 2.11 กราฟ Sigmoid Function

2. Tanh Function หรือชื่อเต็มคือ Hyperbolic Tangent Activation Function เป็นฟังก์ชันที่มีลักษณะการทำงานคล้ายกับ Sigmoid Function แต่เปลี่ยนช่วงของผลลัพธ์เป็น -1 ถึง 1 โดยมีสมการของ Sigmoid Function ดังสมการที่ 2.12 ลักษณะของกราฟแสดงดังรูปที่ 2.12

$$Tanh(x) = \frac{2}{1+e^{-2x}} - 1 \tag{2.12}$$

โดย $Tanh(x)$ คือ เอาต์พุตของฟังก์ชัน Sigmoid Function

x คือ อินพุต



รูปที่ 2.12 กราฟ Tanh Function

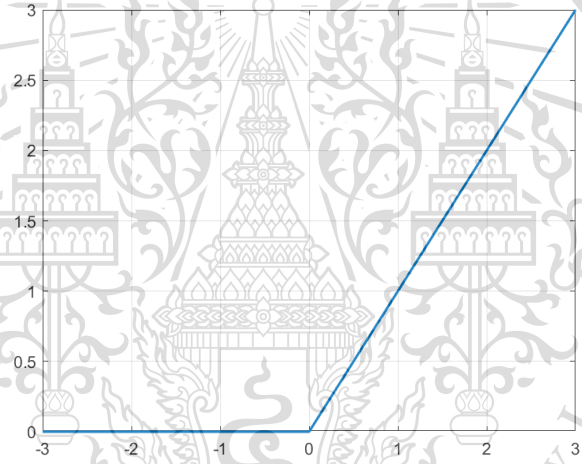
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. ReLU Function หรือ Rectified Linear Unit Function เป็นฟังก์ชันเส้นตรงที่ถูกปรับแก้ ทำให้เป็นฟังก์ชันที่เรียบง่ายกว่าทุก Activation Function ที่ผ่านมาถ้าอินพุตเป็นบวกความชันจะเท่ากับ 1 เสมอโดยมีสมการของ ReLU Function ดังสมการที่ 2.13 ลักษณะของกราฟแสดงดังรูปที่ 2.13

$$f(x) = \max(0, x) = \begin{cases} 0 \; for \; x \leq 0 \\ x \; for \; x > 0 \end{cases} \tag{2.13}$$

โดย $f(x)$ คือ เอาต์พุตของฟังก์ชัน ReLU

x คือ อินพุต



รูปที่ 2.13 กราฟ ReLU Function

4. Softmax Function หรือชื่อเต็มคือ SoftArgMax Function หรือ Normalized Exponential Function ฟังก์ชันที่รับอินพุตเป็นเวกเตอร์ของจำนวนจริง แล้ว Normalize ออกมาเป็นความน่าจะเป็นที่ผลรวมเท่ากับ 1 ดังสมการที่ 2.14

$$\sigma(\bar{z})_i = \frac{e^{z_i}}{\sum_{j-1}^{K} e^{z_i}} \tag{2.14}$$

โดย $\sigma(\bar{z})_i$ คือ เอาต์พุตของฟังก์ชัน Softmax

$\bar{z}$ คือ เวกเตอร์อินพุต

e^{z_i} คือ เวกเตอร์เอาต์พุต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.12.7 Optimizer

Optimizer เป็นอัลกอริทึมที่ใช้สำหรับการปรับ Weight และค่า Bias ที่ใช้ในการฝึกฝนโครงข่ายประสาทเทียมของ Deep Learning [19]

1. Gradient Descent

สำหรับหลักการของ Gradient Descent เริ่มแรกคือทำการสุ่มค่าน้ำหนัก จากนั้นทำการปรับค่า Gradient ให้ค่าน้ำหนักเปลี่ยนดังสมการที่ 2.15 และมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของฟังก์ชันดังรูปที่ 2.14 [20]

$$w_n = w_0 - \eta \frac{\partial E}{\partial w_0} \tag{2.15}$$

โดย w_n คือ ค่าน้ำหนักค่าใหม่

w_0 คือ ค่าน้ำหนักปัจจุบัน

η คือ ค่า อัตราการเรียนรู้ (Learning Rate)

$\frac{\partial E}{\partial w_0}$ คือ ค่า Gradient ปัจจุบัน

สำหรับค่าผิดพลาดที่ใช้เป็นค่า Mean Square Error ดังสมการที่ 2.16

$$MSE = \frac{1}{n}\sum_{i-1}^{n}(y_p - y_a)^2 \tag{2.16}$$

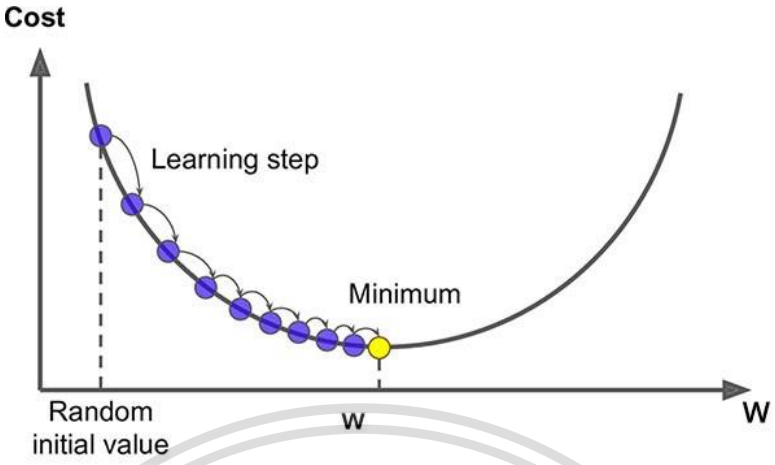
โดย MSE คือ ค่า Mean Square Error

n คือ จำนวนอินพุต

y_p คือ ค่าเอาต์พุตที่ต้องการ

y_a คือ ค่าเอาต์พุตจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.14 กราฟ Gradient Descent [21]

1.1) Stochastic Gradient Descent (SGD)

SGD เป็นอัลกอริทึมที่อัปเดตค่าพารามิเตอร์ในทุกๆชุดข้อมูลฝึกฝน ซึ่งจะอัปเดตแค่ครั้งเดียวต่อการฝึกฝน 1 รอบ ดังสมการที่ 2.17

$$\theta = \theta - \eta^{\nabla J(\theta;x(i);y(i))} \tag{2.17}$$

โดย $x(i)$ และ $y(i)$ คือ ข้อมูลชุดฝึกฝน

∇J คือ Gradient Vector ของ Cost Function

η คือ Learning Rate

θ คือ ค่าน้ำหนัก

1.2) Mini Batch Gradient Descent

Mini Batch Gradient Descent เป็นอัลกอริทึมที่ถูกพัฒนาขึ้น จากข้อดีของ Gradient Descent และ SGD โดยอัลกอริทึมนี้จะอัปเดตค่าเป็นชุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2. Momentum

Momentum เป็นอัลกอริทึมที่ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเร่งความเร็วของ SGD โดยให้ความสำคัญในการพุ่งไปยังทิศทางที่ใกล้จุดกลางมากที่สุด แล้วทำให้ทิศทางที่ไม่เกี่ยวข้องมีความสำคัญลดลง ดังสมการที่ 2.18

$$V(t) = \gamma V(t-1) + \eta \nabla J(\theta) \tag{2.18}$$

โดย $V(t)$ คือ ค่าของฟังก์ชัน ณ เวลาปัจจุบัน

θ คือ ค่าน้ำหนักซึ่ง $\theta = \theta - V(t)$

η คือ Learning Rate

γ คือ เป็นค่าคงที่ นิยมใช้กันที่ 0.9

3. Adagrad

Adagrad เป็น Optimizer ที่สามารถปรับค่า Learning Rate ให้เหมาะสมกับพารามิเตอร์ได้ โดยจะมีการอัปเดตจำนวนมากสำหรับค่าพารามิเตอร์ที่มีจำนวนน้อย และอัปเดตไม่มากสำหรับพารามิเตอร์ที่มีจำนวนมาก จึงเหมาะสมสำหรับข้อมูลที่มีความกระจายสูง ดังสมการที่ 2.19

$$\theta_{t+1,i} = \theta_{t,i} - \frac{\eta}{\sqrt{G_{t,ii} + \varepsilon}} \cdot g_{t,i} \tag{2.19}$$

โดย $g_{t,i} = \nabla_\theta J(\theta_i)$ ซึ่ง $\nabla_\theta J$ คือ Gradient Vector ของ Cost Function

$\theta_{t,i}$ คือ ค่าน้ำหนัก ณ เวลาปัจจุบัน

ε คือ ค่าคงที่ซึ่งมากกว่า 0 และมีค่าน้อยมาก

η คือ Learning Rate

$G_{t,ii}$ คือ ผลรวมของ Gradient ถึงเวลา t

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. AdaDelta

AdaDelta เป็น Optimizer ที่พัฒนาขึ้นจาก AdaGrad เพื่อลดปัญหา Decaying Learning Rate โดยการจำกัดการสะสมค่าการคำนวณของ Gradient เพื่อแก้ค่าน้ำหนักที่เกิดขึ้นด้วยการหาผลรวมของ Gradient แทนการเก็บค่าน้ำหนักที่ได้รับมาก่อนหน้าซึ่งยังใช้การไม่ได้ ดังสมการที่ 2.20

$$\nabla\theta_t = -\frac{\eta}{\sqrt{E(g^2)_t + \varepsilon}}\, g_t \tag{2.20}$$

โดย $\nabla\theta_t$ คือ Gradient Vector ของ Cost Function

g_t คือ ค่า Gradient ณ เวลาปัจจุบัน

η คือ Learning Rate

ε คือ ค่าคงที่ซึ่งมากกว่า 0 และมีค่าน้อยมาก

$E(g^2)_t$ คือ ค่าเฉลี่ยของ Gradient เก่ายกกำลังสอง

5. Adaptive Moment Estimation (Adam)

Adaptive Moment Estimation (Adam) เป็น Optimizer ที่สามารถปรับอัตราการเรียนรู้ (Learning Rate) สำหรับพารามิเตอร์ในแต่ละครั้งและยังสามารถแก้ปัญหา decaying ของ gradients ในแต่ละ Step ที่ผ่านมาได้เหมือนกับ AdaDelta อีกทั้งยังอธิบายการเกิด decaying average ของ gradients M(t) เหมือนกับ momentum [22]

2.12.8 Loss Function

Loss Function เป็นฟังก์ชันที่ใช้ชี้วัดว่า AI มีประสิทธิภาพมากเพียงใด [23] ซึ่งในปริญญานิพนธ์นี้ มี 3 ฟังก์ชัน ได้แก่

1) Categorical cross Entropy Loss Function

Categorical cross Entropy Loss Function เป็น Loss Function ที่นิยมใช้สำหรับ AI ประเภท Classification โดยทำการเปรียบเทียบความผิดพลาดด้วยฟังก์ชัน Softmax

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2) Mean Absolute Error (MAE)

Mean Absolute Error (MAE) เป็น Loss Function ที่เปรียบเทียบความผิดพลาดโดยการหาค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดจากอินพุตเป็นคู่ๆ

3) Mean Squared Error (MSE) เป็น Loss Function ที่เปรียบเทียบความผิดพลาดโดยการหาค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดยกกำลังสอง

2.12.9 Regularization

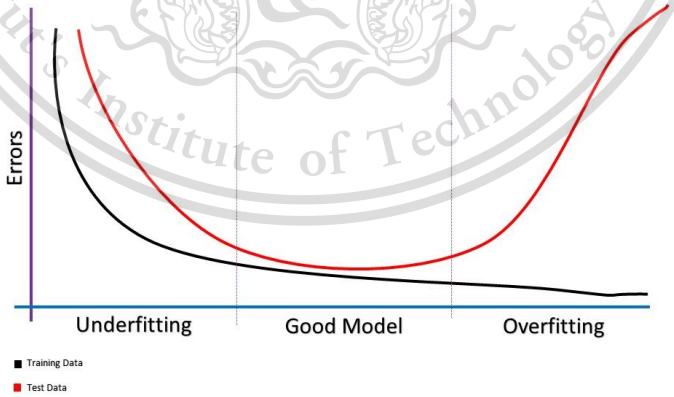
คือการปรับแต่งให้โมเดลมีประสิทธิภาพในการทำนายที่ดี ลดความผิดพลาดจากข้อมูลที่ไม่เคยมีมาก่อน ดังนั้นจึงกล่าวอีกอย่างหนึ่งว่า Regularization คือวิธีที่ใช้เพื่อแก้ปัญหา Underfitting หรือ Overfitting ของโมเดล [24]

1) Overfitting

Overfitting เป็นปัญหาเมื่อทำนาย Deep Learning แล้วได้ผลที่ไม่เหมาะสมกับข้อมูลชุดอื่นๆที่ไม่เคยใช้ฝึกฝนเนื่องจากข้อมูลตอบสนองกับข้อมูลรบกวนมากเกินไป โมเดลนี้จะมีค่าความแปรปรวนของข้อมูลสูง

2) Underfitting

Underfitting เป็นปัญหาเมื่อทำนาย Deep Learning แล้วได้ผลที่ไม่เหมาะสมกับชุดข้อมูลที่เอาไว้ฝึกฝน อาจเกิดจากข้อมูลมีจำนวนน้อยเกินไปหรือโมเดลไม่เหมาะสม โดยกราฟแสดงตัวอย่างการ Overfitting และ Underfitting ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 กราฟ Overfitting และ Underfitting [25]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.12.10 Batch Normalization

Batch Normalization คือเทคนิคที่ใช้ระหว่างการฝึกฝน Machine Learning เพื่อปรับเลื่อนหรือสเกลให้ Activation ที่อยู่ภายใน Hidden Layer ของ Deep Neural Network ให้มีขนาดเหมาะสม โดยดูเทียบจากค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตราฐานของทุก Activation ใน Layer ซึ่งอาจใช้ร่วมกับการทำ Dropout การทำ Dropout คือการสุ่มถอดบางโหนดออกในระหว่างการฝึกฝนเพื่อประหยัดเวลาและทรัพยากร Dropout ถือเป็นวิธี Regularization แบบหนึ่ง ที่ช่วยลดการ Overfitting ของโมเดล [26][27]

2.13 โมเดลของโครงข่ายประสาทเทียม

ประเภทของเอาต์พุตของโครงข่ายประสาทเทียมสำหรับ Deep Learning มักจะถูกแบ่งเป็น 2 ประเภทดังนี้

1. Classification

เป็นโมเดลที่ใช้ในการทำนายลักษณะข้อมูลที่เป็นกลุ่มและต้องการเอาต์พุตที่ไม่มีความต่อเนื่อง เช่น การตัดสินใจถูกหรือผิด การแยกแยะประเภทสิ่งของ เป็นต้น [28][29] โดยจะแบ่งเป็น 4 ประเภทคือ

1.1 Binary Classification (การจำแนกแบบไบนารี)

การจำแนกแบบไบนารีคือการแยกประเภทโดยตัวแปรที่แบ่งเป็นเพียงสองหมวดหมู่ เช่น ผลลัพธ์แบบใช่หรือไม่ใช่ โดยผลลัพธ์มี 2 หมวดหมู่

1.2 Multi-Class Classification (การจำแนกประเภทหลายคลาส)

การจำแนกประเภทหลายคลาสต่างกับการจำแนกแบบไบนารีตรงที่มีหมวดหมู่มากกว่าสอง ยกตัวอย่างเช่น การจำแนกคำศัพท์ที่คาดว่าจะพิมพ์ในคีย์บอร์ดคือหมวดหมู่เพื่อค้นหารูปภาพที่คล้ายคลึงกับรูปภาพที่อัปโหลด โดยผลลัพธ์ที่มีได้มากกว่า 2 หมวดหมู่

1.3 Multi-Label Classification (การจำแนกประเภทหลายเลเบล)

จะคล้ายกับการจำแนกประเภทหลายคลาสเพื่อเปรียบเทียบให้เข้าใจง่ายขึ้น ขอยกตัวอย่างเช่น รูปภาพรูปหนึ่งสามารถมีรูปดอกไม้ ท้องฟ้า ก้อนเมฆได้ แต่รูปภาพรูปนั้นจะจัดว่าเป็นหมวดหมู่รูปวาด รูปถ่าย หรือรูปเสีย Multi-Label Classification คือการเลเบลหรือติด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ฉลากว่าในรูปนั้นๆ มีดอกไม้หรือไม่ มีก้อนเมฆหรือไม่ ส่วน Multi-Class Classification จะจำแนกว่ารูปนั้นเป็นรูปวาด รูปถ่ายหรือรูปเสีย ซึ่งโมเดลนี้เป็นโมเดลที่ใช้กับปริญญานิพนธ์ที่นำเสนอ

1.4. Imbalanced Classification (การจำแนกแบบข้อมูลไม่เท่าเทียม)

เป็นปัญหาที่เกิดจากข้อมูลที่ไม่เท่าเทียม (Imbalanced dataset) ตัวอย่างเช่นข้อมูลการทุจริต โดยข้อมูลส่วนใหญ่ย่อมเป็นข้อมูลที่จัดว่าไม่ทุจริตและจะมีเปอร์เซ็นต์น้อยที่จัดว่าเป็นทุจริต เป็นต้น

2. Regression

เป็นโมเดลที่ใช้ในการทำนายข้อมูลที่ต้องการเอาต์พุตที่มีความต่อเนื่องซึ่งอาศัยข้อมูลในอดีตด้วยตัวอย่างเช่น การทำนายอุณหภูมิในวันถัดไป การทำนายสภาพการจราจรในวันถัดไป เป็นต้น [30]

2.14 ศึกษาการตรวจสอบและกำจัด Outlier

Outlier คือสิ่งที่ผิดปกติภายในข้อมูล ซึ่งอาจเกิดจากความผิดพลาดที่มาจากแหล่งข้อมูลหรือมาจากความผิดพลาดจากการกรอกข้อมูล เรียกข้อมูลกลุ่มนี้ว่า Anomaly

Outlier สามารถเรียกได้หลายชื่อ ได้แก่ anomaly, extreme value คือ data points ที่มีค่าสูงหรือต่ำกว่า data points ส่วนใหญ่ในชุดข้อมูลหนึ่งๆ อย่างมาก [31]

หลักการกำจัด Outlier ได้แก่

1. คำนวณ Quartile

2. คำนวณ Interquartile Range (IQR) จากสมการที่ 2.21

$$IQR = Q3 - Q1 \tag{2.21}$$

โดย IQR คือ ค่าการกระจายตัวของข้อมูล

$Q1$ คือ เปอร์เซ็นไทล์ที่ 1

$Q3$ คือ เปอร์เซ็นไทล์ที่ 3

3. คำนวณ Upper และ Lower Bound เพื่อใช้ตัดค่า outliers โดยคำนวณจากสมการที่ 2.22 และสมการที่ 2.23 ตามลำดับ

$$Upper\ Bound = Q3 + 1.5(IQR) \tag{2.22}$$

โดย IQR คือ ค่าการกระจายตัวของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

$Q3$ คือ เปอร์เซ็นไทล์ที่ 3

$$Lower\ Bound = Q1 - 1.5(IQR) \quad (2.23)$$

โดย IQR คือ ค่าการกระจายตัวของข้อมูล

$Q1$ คือ เปอร์เซ็นไทล์ที่ 1

4. สร้างเงื่อนไขเพื่อกำจัด Outlier โดยมีเงื่อนไขคือ ค่า Outlier มีค่ามากกว่า Upper Bound หรือ น้อยกว่า Lower Bound

2.15 Keras

Keras เป็นหนึ่งใน API เครือข่ายประสาทระดับสูง ถูกเขียนใน Python และรองรับเอ็นจิ้นการคำนวณโครงข่ายประสาทหลายแบ็คเอนด์ Keras ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้ทำงานกับ Python API ได้รับการออกแบบมาเพื่อมนุษย์ไม่ใช่เครื่องจักรและปฏิบัติตามแนวทางปฏิบัติที่ดีที่สุดในการลดภาระการรับรู้เหตุผลที่ดีที่สุดในการใช้ Keras นั้นเกิดจากหลักการชี้นำซึ่งส่วนใหญ่เกี่ยวกับการใช้งานง่าย นอกเหนือจากความสะดวกในการเรียนรู้และความสะดวกในการสร้างแบบจำลองแล้ว Keras ยังมีข้อได้เปรียบของการนำไปใช้ในวงกว้างการสนับสนุนสำหรับตัวเลือกการปรับใช้ในการผลิตที่หลากหลายการรวมเข้ากับเอ็นจิ้นแบ็คเอนด์อย่างน้อยห้าตัว และการสนับสนุนที่แข็งแกร่งสำหรับ GPU หลายตัวและการฝึกอบรมแบบกระจาย นอกจากนี้ Keras ยังได้รับการสนับสนุนโดย Google, Microsoft, Amazon, Apple, Nvidia, Uber และอื่นๆ [33]

2.16 TensorFlow

TensorFlow เป็นไลบรารีที่ใช้ในการพัฒนา Machine Learning ได้รับการพัฒนาโดยบริษัท Google ซึ่ง TensorFlow นั้นจะเป็น Open source ที่จะใช้ python ในการเขียน รองรับเวอร์ชันทั้ง python2 และ Python3 โดย TensorFlow สามารถทำงานบน CPU และ GPUs รองรับระบบปฏิบัติการ Linux, macOS, Windows และ Android ซึ่ง TensorFlow รับข้อมูลเป็นอาร์เรย์หลายมิติ หรือเรียกว่า tensors และมีหน้าที่จัดเรียงลำดับการประมวลผลเป็นแผนผังข้อมูลที่ถูกป้อนไปจะผ่านกระบวนการจนออกมาเป็นเอาต์พุต โดยด้านสถาปัตยกรรมแบ่งเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การเตรียมประมวลผลข้อมูล การสร้างแบบจำลอง และฝึกและประเมินแบบจำลอง [34]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.17 ภาษา C++

C++ คือ ภาษา C programming language รุ่นใหม่ เป็นภาษาในการเขียนโปรแกรม ถูกพัฒนาโดย Dr.Bjarne Stroustrup ซึ่งเป็นนักวิจัยอยู่ที่ห้องปฏิบัติการ Bell Labs ประเทศสหรัฐอเมริกาในระหว่างปี พ.ศ. 2525-2528 ภาษา C++ เกิดจากแนวคิดในการเพิ่มประสิทธิภาพภาษา C โดยได้นำความสามารถของภาษา C มาพัฒนาให้เป็นโปรแกรมภาษาที่มีความเป็น Object Oriented Programming (โปรแกรมเชิงวัตถุ) จากการพัฒนานี้ทำให้ทุกสิ่งที่ภาษา C ทำได้ ภาษา C++ ก็จะสามารถทำได้ แต่สิ่งที่ภาษา C++ ทำได้ ภาษา C อาจจะทำไม่ได้

2.17.1 ข้อดีของภาษา C++

1. ภาษา C++ มีการทำงานที่ค่อนข้างเร็วมากเมื่อเทียบกับภาษาอื่นและยังสามารถดำเนินการกับฮาร์ดแวร์ ได้ โดยที่โปรแกรมภาษาบางโปรแกรมอาจจะไม่สนับสนุนคุณลักษณะนี้

2. ภาษา C++ มีความเป็น Object Oriented Programming และยังเป็น Structure Programming ซึ่งเหมาะที่จะใช้ ศึกษาเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมสำหรับผู้เริ่มต้น และนอกจากนั้นถ้าหากเราจะเรียนเรื่อง Data Structure หรือทางด้านอัลกอริทึม ในต่างประเทศจะนิยมใช้ C++ ในการสอน รวมถึงการเรียนรู้ถึงระบบการทำงานของระบบปฏิบัติการ ตำราส่วนใหญ่ก็จะใช้ C++ ในการสอน ซึ่งถ้าเราสามารถอ่าน Source code C++ รู้เรื่องก็จะทำให้เราเรียนรู้เกี่ยวกับการเป็นโปรแกรมเมอร์ได้ง่ายขึ้น [35]

2.18 ภาษาไพธอน (Python)

ภาษาไพธอน (Python) พัฒนาโดย Guido van Rossum ชาวเยอรมันซึ่งได้ถูกออกแบบมาเพื่อให้ทำงานได้กับเว็บแอปพลิเคชัน มีลักษณะคล้ายกับภาษา Perl, PHP, JAVA และ ASP ภาษาไพธอนมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. สามารถใช้ได้ทุกแพลตฟอร์ม คือสามารถทำงานได้ทุก CPU หลายระบบปฏิบัติการ ผู้เขียนโปรแกรมสามารถเขียนจากแพลตฟอร์มหนึ่ง แล้วนำโปรแกรมที่ได้ไปทำงานต่างแพลตฟอร์มกันได้

2. ไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจัดซื้อโปรแกรมต้นฉบับ โดยปกติแล้วโปรแกรมภาษาทั่วๆไปจะต้องจัดซื้อโปรแกรมต้นฉบับเพื่อนำมาติดตั้งในราคาที่สูงมาก แต่โปรแกรมภาษาไพธอนสามารถดาวน์โหลดจาก www.python.org ได้โดยตรง แล้วนำมาติดตั้งและศึกษาการใช้ด้วยตนเอง เพราะเป็นโปรแกรมประเภท Open Source

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. ภาษาไพธอนได้นำข้อดีของโปรแกรมในอดีตเข้ามาไว้ด้วยกัน เช่น ภาษา C, C++, Java และ Perl เป็นต้น

4. มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากภาษาไพธอนทำงานด้าน Server เป็นหลัก เมื่อมีการร้องขอจากเครื่อง Client จะประมวลผลที่เครื่อง Server ซึ่งผู้ใช้ทั่วไปไม่สามารถเข้าถึงเครื่อง Server ได้โดยตรงจึงทำให้มีความปลอดภัยสูงกว่า

5. ใช้ในการพัฒนา Web Service ซึ่งในปัจจุบันการพัฒนาซอฟต์แวร์ได้เน้นให้มีการแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกันทั้งในองค์กรเดียวกันหรือแม้แต่ต่างองค์กรกัน ทำให้เกิดความสะดวก ลดขั้นตอนการแปลงข้อมูลเพื่อให้เข้ากันได้ มีโครงสร้างภาษาที่ไม่ซับซ้อน ซึ่งโครงสร้างภาษาคล้ายคลึงกับภาษา C แต่จะมีความกระชับกว่า [36]

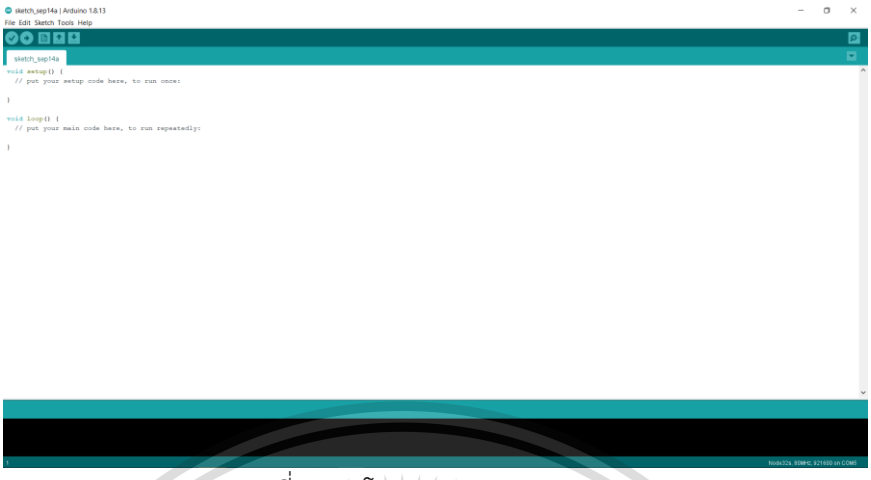
2.18.1 คุณลักษณะเด่นของภาษา Python

1. สนับสนุนการเขียนโปรแกรมแบบ OOP (Object Oriented Programming)
2. คำสั่งที่เขียนด้วย Python สามารถนำไปรันบนระบบปฏิบัติการได้หลากหลาย
3. เป็น Dynamic typing คือ สามารถเปลี่ยนชนิดข้อมูลได้ง่ายและสะดวก
4. มีไลบรารีสนับสนุนด้านปัญญาประดิษฐ์
5. มีฟังก์ชันสนับสนุนฐานข้อมูล เช่น MySQL, Sybase, Oracle, Informix, ODBC

2.19 โปรแกรม Arduino IDE

Arduino จะใช้โปรแกรมที่เรียกว่า Arduino IDE ในการเขียนโปรแกรมและคอมไพล์ลงบอร์ด โดยขนาดของโปรแกรม Arduino โดยปกติแล้วจะใหญ่กว่าคำสั่ง AVR ปกติ เนื่องจากคำสั่ง AVR เป็นการเข้าถึงจากรีจิสเตอร์โดยตรง แต่คำสั่ง Arduino เข้าถึงผ่านฟังก์ชัน เพื่อให้สามารถเขียนคำสั่งได้ง่ายมากกว่าการเขียนคำสั่งแบบ AVR [37] โดยในปริญญานิพนธ์นี้ใช้โปรแกรมนี้เพื่อเขียนคำสั่งของเครื่องรับ เครื่องส่งสัญญาณบีแอลอีและโมดูลเข็มทิศ แสดงดังรูปที่ 2.16

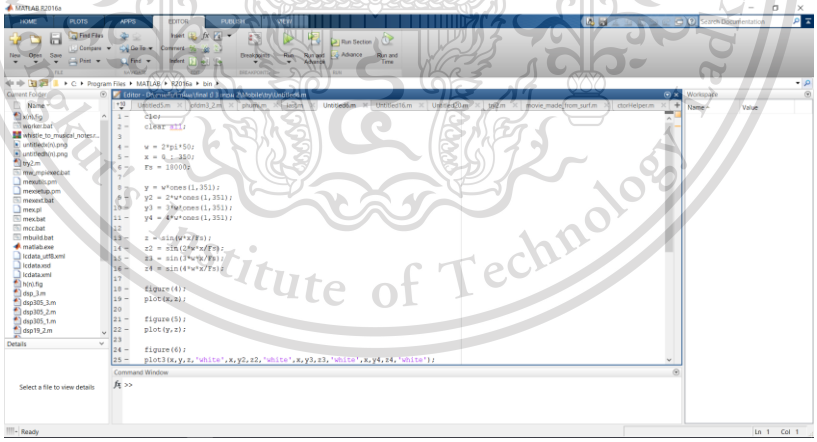
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.16 โปรแกรม Arduino IDE

2.20 โปรแกรมแมทแลป (MATLAB)

เป็นภาษาคอมพิวเตอร์ระดับสูงที่ใช้สำหรับคำนวณเชิงตัวเลข Numerical Computing แสดงผลกราฟฟิกและเขียนแอปพลิเคชัน ทำให้สามารถคำนวณผลลัพธ์ พัฒนาอัลกอลิทึม สร้างแบบจำลองและแอปพลิเคชันได้ง่ายและรวดเร็วมาก โดยในปริญญานิพนธ์นี้ใช้โปรแกรมนี้เพื่อจำลองการระบุตำแหน่งภายในอาคาร แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 หน้าต่างโปรแกรม MATLAB

ภายในตัวแมทแลป ประกอบด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ Toolbox กลุ่มฟังก์ชันสำเร็จรูปในแต่ละสาขาวิชาและฟังก์ชันพื้นฐานจำนวนมาก ทำให้การวิเคราะห์ทำได้หลากหลายวิธี พร้อมกับคำตอบที่รวดเร็ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แมทแลปสามารถทำงานได้ทั้งในลักษณะของการติดต่อโดยตรง คือการเขียนคำสั่งเข้าไปทีละคำสั่ง เพื่อให้แมทแลปประมวลผลไปเรื่อยๆหรือสามารถที่จะรวบรวมชุดคำสั่งนั้นเป็นโปรแกรมได้ ข้อสำคัญอย่างหนึ่งของแมทแลปคือข้อมูลทุกตัวจะถูกเก็บในลักษณะของแถวลำดับ คือในแต่ละตัวแปรจะได้รับการแบ่งเป็นส่วนย่อยเล็กๆขึ้น ซึ่งการใช้ตัวแปรเป็นแถวลำดับ แมทแลป ไม่จำเป็นที่จะต้องจองมิติเหมือนกับการเขียนโปรแกรมในภาษาขั้นพื้นฐานทั่วไป ซึ่งทำให้สามารถที่แก้ปัญหาของตัวแปรที่อยู่ในลักษณะของเมทริกซ์และเวกเตอร์ได้โดยง่าย [38]

2.20.1 ความสามารถหลักของแมทแลปที่เหมาะสมกับการทำงานด้านวิศวกรรม

1. แมทแลปเป็นโปรแกรมเพื่อการคำนวณและแสดงผลได้ทั้งตัวเลขและรูปภาพซึ่งมีประสิทธิภาพสูง

2. แมทแลปควบคุมการทำงานด้วยชุดคำสั่งและยังสามารถรวบรวมชุดคำสั่งเป็นโปรแกรมได้อีกด้วย

3. แมทแลปมีฟังก์ชันที่เหมาะสมกับงานทางวิศวกรรมพื้นฐาน

4. ลักษณะการเขียนโปรแกรมในแมทแลปจะใกล้เคียงการเขียนสมการทางคณิตศาสตร์ที่คุ้นเคย จึงง่ายกว่าการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษาชั้นสูงเช่น C, Fortran หรืออื่นๆ

5. MATLAB มีความสามารถในการเขียนกราฟและรูปภาพทั้ง 2 มิติและ 3 มิติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

6. MATLAB สามารถทำ Dynamic Link กับโปรแกรมอื่นๆ ได้ไม่ว่าจะเป็น Word, Excel หรืออื่นๆ ที่ร่วมทำงานอยู่บน windows

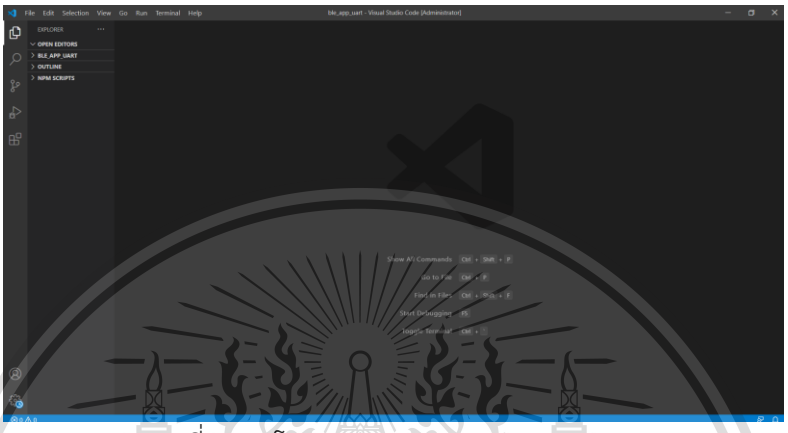
7. MATLAB มี toolbox หรือชุดฟังก์ชันพิเศษสำหรับผู้ใช้ที่ต้องการใช้งานเฉพาะทางหรืองานด้านวิศวกรรมขั้นสูงอื่นๆ

2.21 โปรแกรม Visual Studio Code

เป็นโปรแกรมประเภท Editor ใช้ในการแก้ไขคำสั่งที่มีขนาดเล็ก แสดงดังรูปที่ 2.18 แต่มีประสิทธิภาพสูง เป็น Open Source โปรแกรมจึงสามารถนำมาใช้งานได้โดยไม่มีค่าใช้จ่าย เหมาะสำหรับนักพัฒนาโปรแกรมที่ต้องการใช้งานหลายแพลตฟอร์ม รองรับการใช้งานทั้งบน Windows, macOS และ Linux รองรับหลายภาษาทั้ง JavaScript, TypeScript และ Node.js ในตัว สามารถนำมาใช้งานได้ง่ายไม่ซับซ้อน มีเครื่องมือและส่วนขยายต่างๆให้เลือกใช้ รองรับการเปิดใช้งานภาษาอื่นๆ ทั้งภาษา C++, C#, Java, Python, PHP หรือ Go มีส่วน Debugger และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Commands เป็นต้น [39] โดยในปริญญานิพนธ์นี้ใช้โปรแกรมนี้เพื่อเขียนคำสั่งการเก็บบันทึกผลค่า RSSI เขียนคำสั่งการทำนายการระบุตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้โมเดล AI และสร้างส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) เพื่อสร้างหน้าต่างสั่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์และแสดงผลตำแหน่งของหุ่นยนต์จากการทำนาย



รูปที่ 2.18 โปรแกรม Visual Studio Code

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

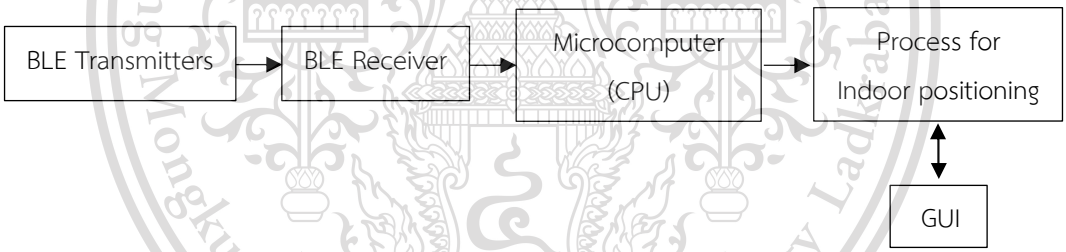
บทที่ 3

การออกแบบและการจัดทำปริญญานิพนธ์

3.1 การออกแบบ

3.1.1 การออกแบบการทำงานของระบบ

หุ่นยนต์สำหรับโรงพยาบาลโดยใช้สัญญาณบีแอลอีในการระบุตำแหน่งภายในอาคาร นี้ถูกออกแบบให้มีความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง เพื่อใช้ในการขนส่งอาหารและยาให้แก่ผู้ป่วยติดเชื้อ โดยระบบที่นำเสนอแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ 1. ส่วนนำเข้าข้อมูล ซึ่งจะเรียกใช้คำสั่งการผ่านส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) เพื่อรับค่าข้อมูลและส่งต่อไปยังส่วนประมวลผล 2. ส่วนประมวลผลข้อมูลจะรับคำสั่งและข้อมูลจากส่วนนำเข้าข้อมูลเพื่อนำมาทำนายตำแหน่งภายในอาคาร และ 3. ส่วนส่งออกข้อมูล โดยจะส่งผลการทำนายตำแหน่งจากส่วนประมวลผลแล้วแสดงกลับไปยังส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 บล็อกไดอะแกรมของระบบโดยรวม

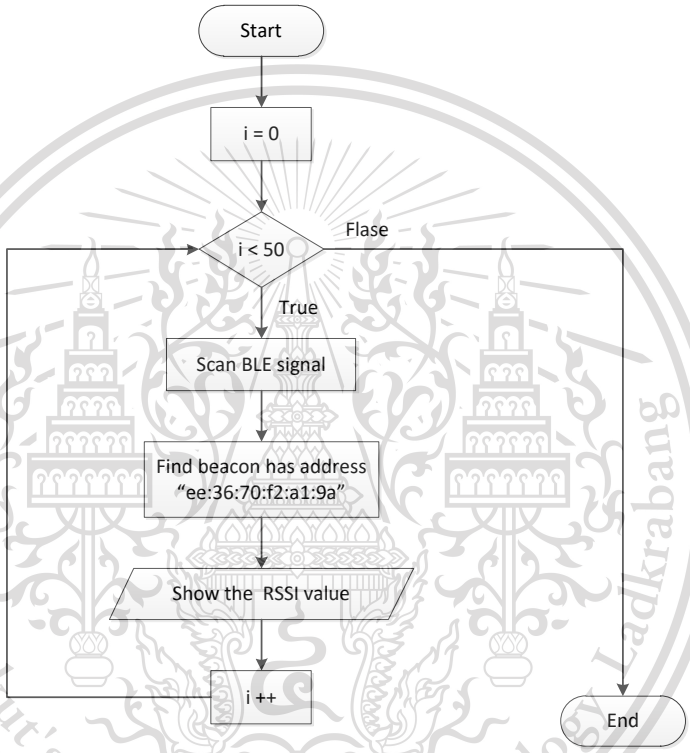
3.1.2 ออกแบบการทดลองและเปรียบเทียบค่า RSSI ของเครื่องส่งที่เป็นบีคอนและ ESP32

โดยจะทำการเปรียบเทียบการแกว่งของสัญญาณ (fluctuations of RSSI) ระหว่างใช้เครื่องส่งเป็นบีคอนและเครื่องส่งเป็น ESP32 โดยมีเครื่องรับเป็น ESP32 อีกตัว ซึ่งจะทำการบันทึกค่า RSSI จำนวน 50 samples ที่ระยะทาง 0.5 เมตร, 1 เมตร, 2 เมตร, 3 เมตร และ 4 เมตร โดยได้ออกแบบโปรแกรม Arduino เพื่อรับค่า RSSI ดังนี้

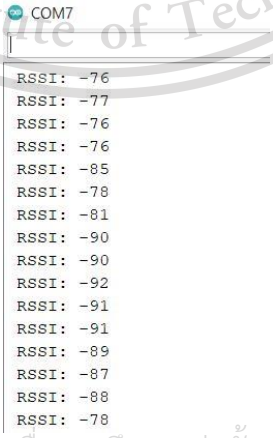
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2.1 ออกแบบโปรแกรม Arduino เพื่อรับค่า RSSI จากบีคอน

ทำการสแกนหาสัญญาณบีแอลอี โดยใช้เครื่องส่งเป็นบีคอนและเครื่องรับเป็น ESP32 เพื่อทำการแสดงค่า RSSI ที่ได้รับ โดยนำค่า mac address ของบีคอนเครื่องส่งมาระบุในคำสั่งเพื่อเลือกรับเฉพาะค่า RSSI ที่มาจากเครื่องส่งดังกล่าว เพื่อนำไปเปรียบเทียบค่า RSSI ได้รับจากเครื่องส่ง ESP32 แสดงแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.2 และได้ผลการรับค่า RSSI จากบีคอนแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.2 แผนผังการทำงานการสแกนสัญญาณบีแอลอีและรับค่า RSSI จากบีคอน

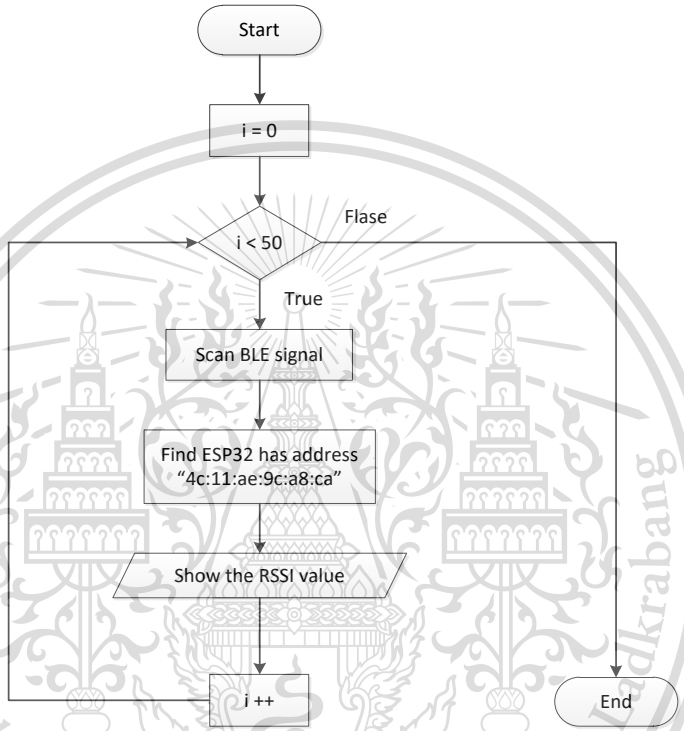


รูปที่ 3.3 หน้าต่างผลการรับค่า RSSI จากบีคอน

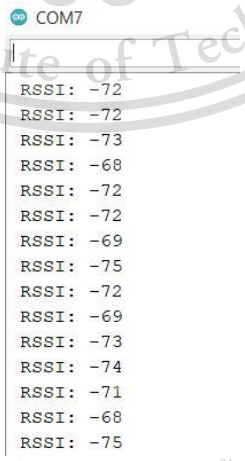
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2.2 ออกแบบโปรแกรม Arduino เพื่อรับค่า RSSI จาก ESP32

ทำการสแกนหาสัญญาณบีแอลอี โดยใช้เครื่องส่ง และเครื่องรับเป็น ESP32 เพื่อทำการแสดงค่า RSSI ที่ได้รับ โดยนำค่า mac address ของ ESP32 เครื่องส่งมาระบุในคำสั่งเพื่อเลือกรับเฉพาะค่า RSSI ที่มาจากเครื่องส่งดังกล่าว แสดงแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.4 และได้ผลการรับค่า RSSI จาก ESP32 แสดงดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 แผนผังการทำงานการสแกนสัญญาณบีแอลอีและรับค่า RSSI จาก ESP32



รูปที่ 3.5 หน้าต่างผลการรับค่า RSSI จาก ESP32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

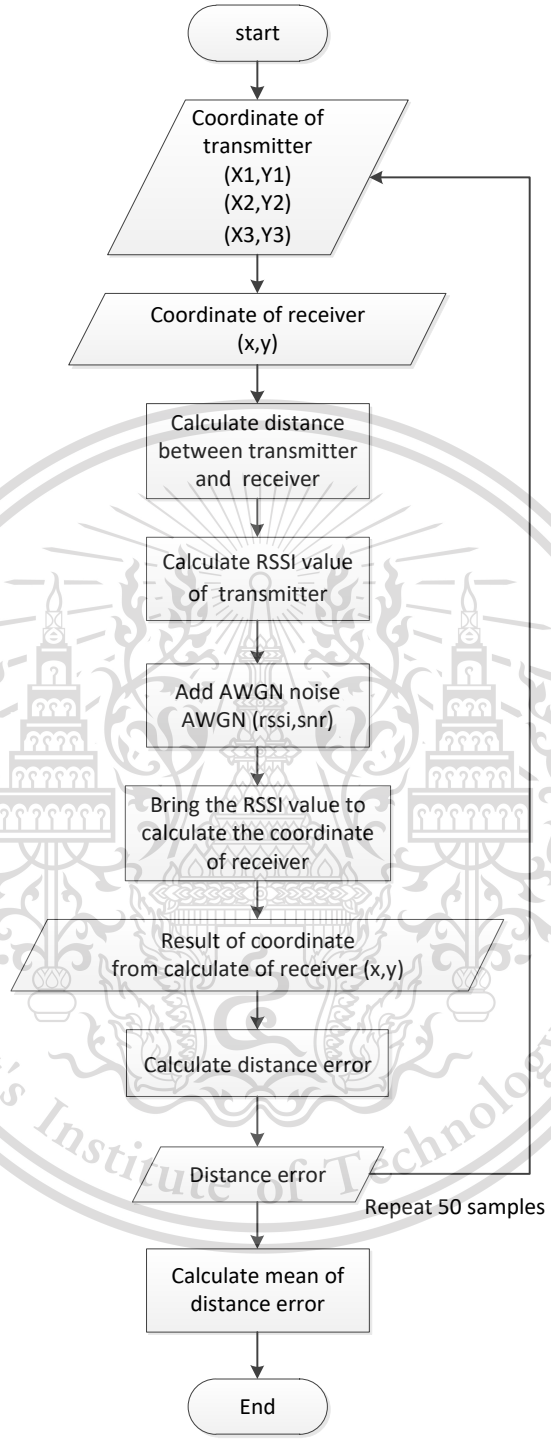
3.1.4 ออกแบบการจำลองการระบุตำแหน่งในโปรแกรมแมทแลปโดยกระบวนการ Trilateration ซึ่งใส่สัญญาณรบกวน Gaussian noise (AWGN)

เริ่มต้นจากการกำหนดตำแหน่งของเครื่องส่ง 3 ตัวและเครื่องรับ 1 ตัว นำค่าตำแหน่งที่กำหนดของเครื่องส่งและเครื่องรับไปคำนวณค่าระยะห่างระหว่างตำแหน่งของเครื่องส่งและเครื่องรับทั้ง 3 ตัว ดังสมการที่ 2.7

เมื่อได้ค่าระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับทั้ง 3 ค่า นำค่าระยะห่างที่ได้รับมาคำนวณค่า RSSI ของเครื่องส่งแต่ละตัวดังสมการที่ 2.1

หลังจากนั้นนำค่า RSSI ที่ได้รับจากเครื่องส่งแต่ละตัวแปลงเป็นรูปเพื่อทำให้สามารถสังเกตการแพร่กระจายของสัญญาณออกได้โดยง่าย ซึ่งจะทำการใส่ AWGN ที่ค่า RSSI ด้วยฟังก์ชัน AWGN (rssi,snr) โดยเริ่มต้นจาก Signal to Noise Ratio (SNR) 0 dB จนถึง 40 dB และนำค่า RSSI ที่ได้รับมาคำนวณตำแหน่งของเครื่องรับด้วยกระบวนการ Trilateration ดังสมการที่ 2.2 – 2.5 ซึ่งจำลองสัญญาณ AWGN ซ้ำ 50 samples จากนั้นทำการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนจากระยะห่างระหว่างตำแหน่งเครื่องรับจริงและเครื่องรับจำลองหลังจากใส่ AWGN และนำระยะคลาดเคลื่อนทั้ง 50 samples มาคำนวณค่าเฉลี่ย จะได้ผลลัพธ์เป็นระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในหน่วยเมตร แสดงแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

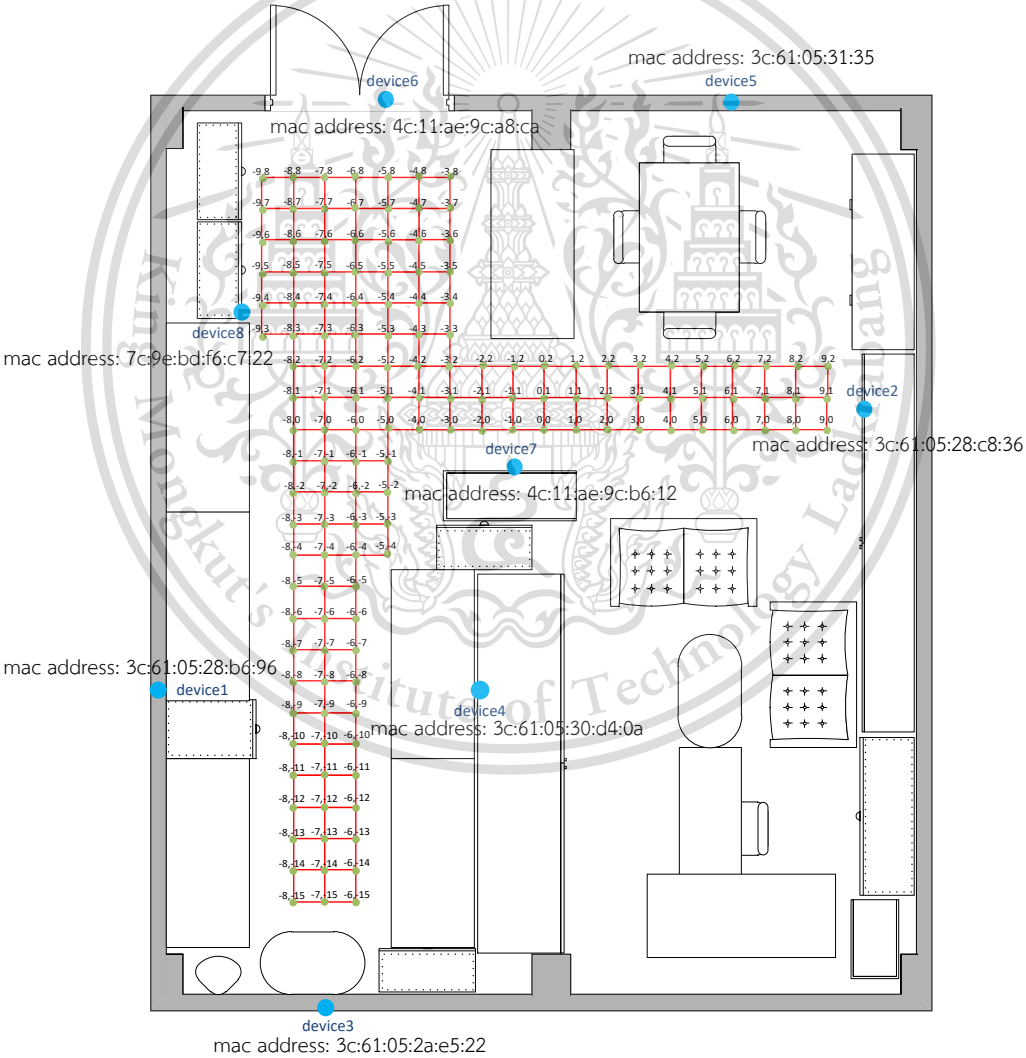


รูปที่ 3.6 แผนผังการทำงานของการจำลองการระบุพิกัดโดยมีการใส่สัญญาณ AWGN

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.5 ออกแบบการติดตั้งเครื่องส่งสัญญาณและตำแหน่งทดสอบภายในห้องทดลอง

ทำการออกแบบตำแหน่งการติดตั้งเครื่องส่งสัญญาณภายในห้อง T203 ตึกภาควิชาโทรคมนาคมที่มีขนาดความกว้าง 7.17 เมตรและยาว 8.42 เมตร เพื่อให้เครื่องส่งสามารถส่งสัญญาณครอบคลุมทุกตำแหน่งที่ต้องการทดสอบ ซึ่งภายในห้องทดลองแบ่งตำแหน่งทดสอบเป็นตารางขนาด 0.3 x 0.3 เมตร จำนวน 145 ตำแหน่ง ซึ่งแต่ละตำแหน่งแสดงเป็นจุดสีเขียวและได้ออกแบบให้มีการติดตั้งเครื่องส่งจำนวน 8 ตัว แสดงเป็นจุดสีฟ้าดังรูปที่ 3.7 กำหนดชื่อเครื่องส่งและตำแหน่งติดตั้งของเครื่องส่งแต่ละตัวดังตารางที่ 3.1



รูปที่ 3.7 ตำแหน่งทดสอบและตำแหน่งติดตั้งเครื่องส่งสัญญาณจำนวน 8 ตัวภายในห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

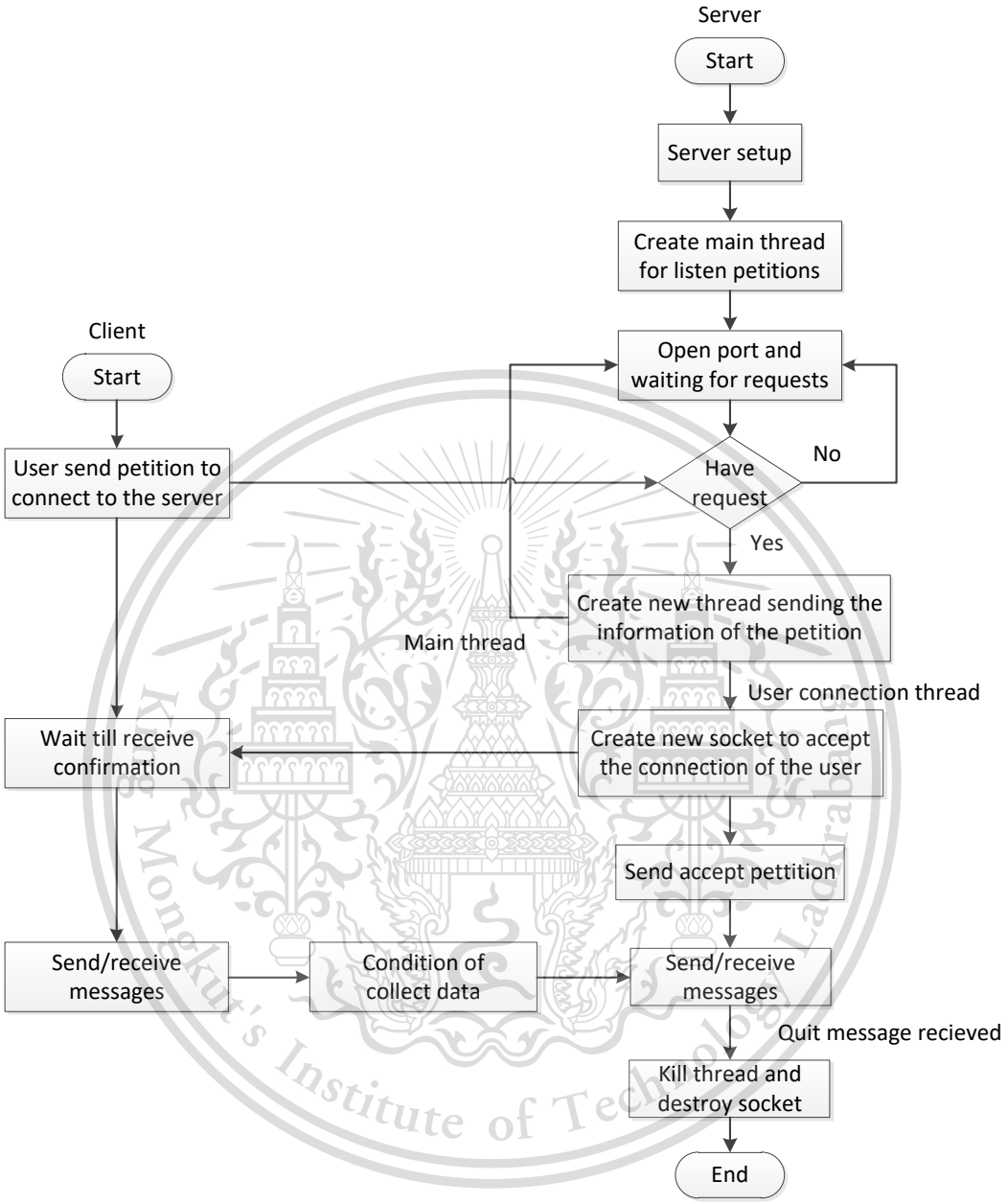
ตารางที่ 3.1 กำหนดชื่อเครื่องส่งจาก mac address และตำแหน่งที่ติดตั้งของเครื่องส่งแต่ละตัว

ชื่อเครื่องส่งสัญญาณ	mac address ของเครื่องส่ง	ตำแหน่งที่ติดตั้งภายในห้องทดลอง
Device 1	3c:61:05:28:b6:96	(-11.67,-9.00)
Device 2	3c:61:05:28:c8:36	(10.20,0.00)
Device 3	3c:61:05:2a:e5:22	(-7.00,-18.00)
Device 4	3c:61:05:30:d4:0a	(-2.00,-9.00)
Device 5	3c:61:05:31:35:0a	(6.00,9.83)
Device 6	4c:11:ae:9c:a8:ca	(-5.50,9.83)
Device 7	4c:11:ae:9c:b6:12	(-1.00,-1.00)
Device 8	7c:9e:bd:f6:c7:22	(-9.67,3.00)

3.1.6 ออกแบบการจัดเก็บข้อมูล RSSI

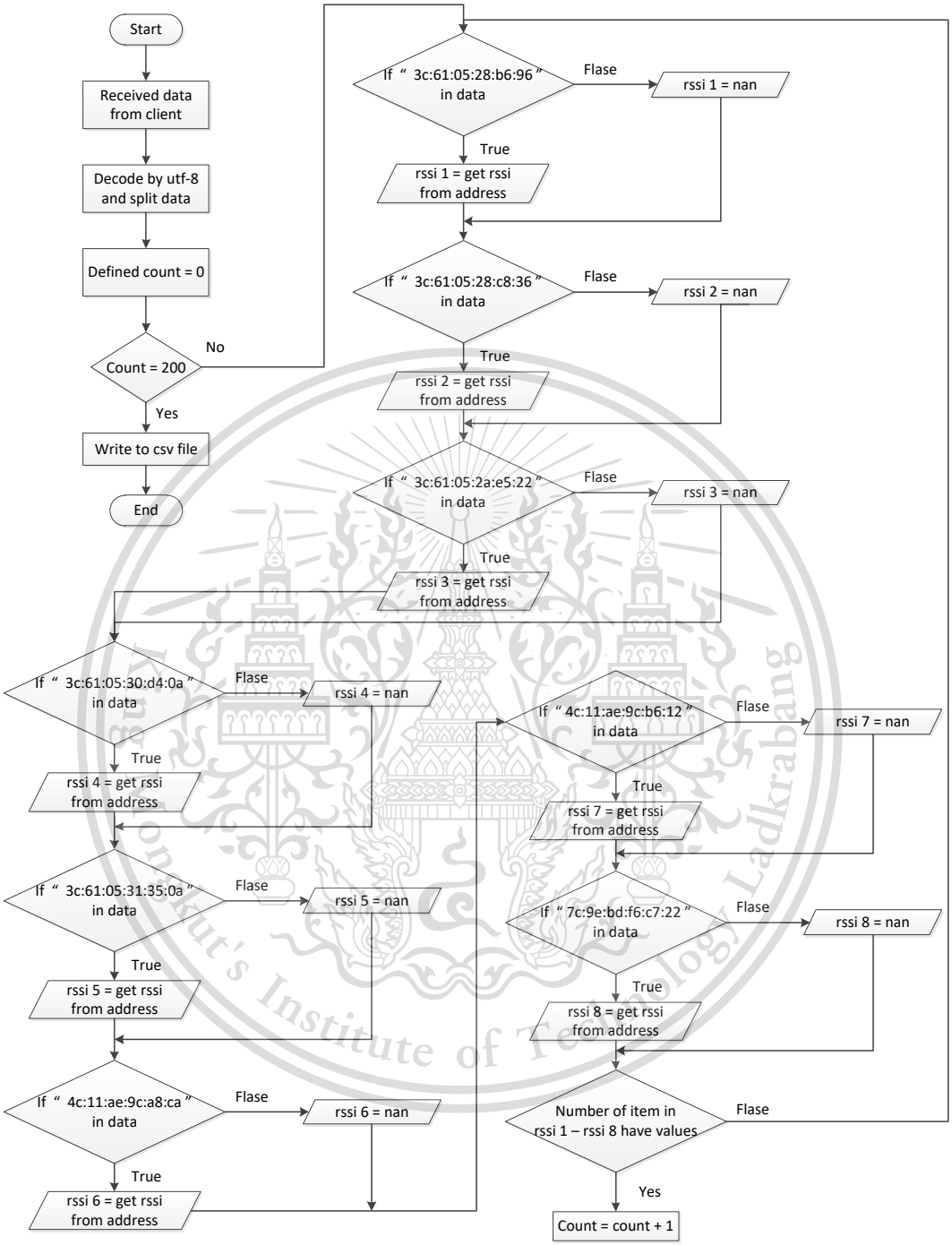
ในการจัดเก็บข้อมูล RSSI นั้นจะให้เครื่องรับวัดค่า RSSI ของเครื่องส่งแต่ละตัวและส่งกลับมายังคอมพิวเตอร์โดยใช้หลักการทำงานของ socket ในการใช้งาน socket นั้นจะต้องมีฝั่งหนึ่งที่ทำการเริ่มสร้างช่องทางการเชื่อมต่อขึ้นมา แล้วให้อีกฝั่งหนึ่งเข้ามาเชื่อมต่อ ซึ่งส่วนใหญ่ server จะเป็นฝั่งที่สร้างเอาไว้และให้ client เข้ามาเชื่อมต่อ โดยจะกำหนดให้คอมพิวเตอร์เป็น server และให้เครื่องรับสัญญาณบีแอลอีเป็น client ดังแผนผังการทำงานรูปที่ 3.8 หลังจาก server เชื่อมต่อกับ client จะกำหนดเงื่อนไขให้นำค่า RSSI ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ 8 ซึ่งตรงกับ mac address ที่กำหนดไว้ ในการเก็บ 1 sample จะรับ RSSI ให้ครบ 8 ตัวจึงจะนับเป็น 1 sample และจะทำการเก็บค่าจนครบ 200 รอบ จึงจะเสร็จสิ้นกระบวนการและสร้างไฟล์ .csv ดังแผนผังการทำงานรูปที่ 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.8 แผนผังการทำงานของ socket

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



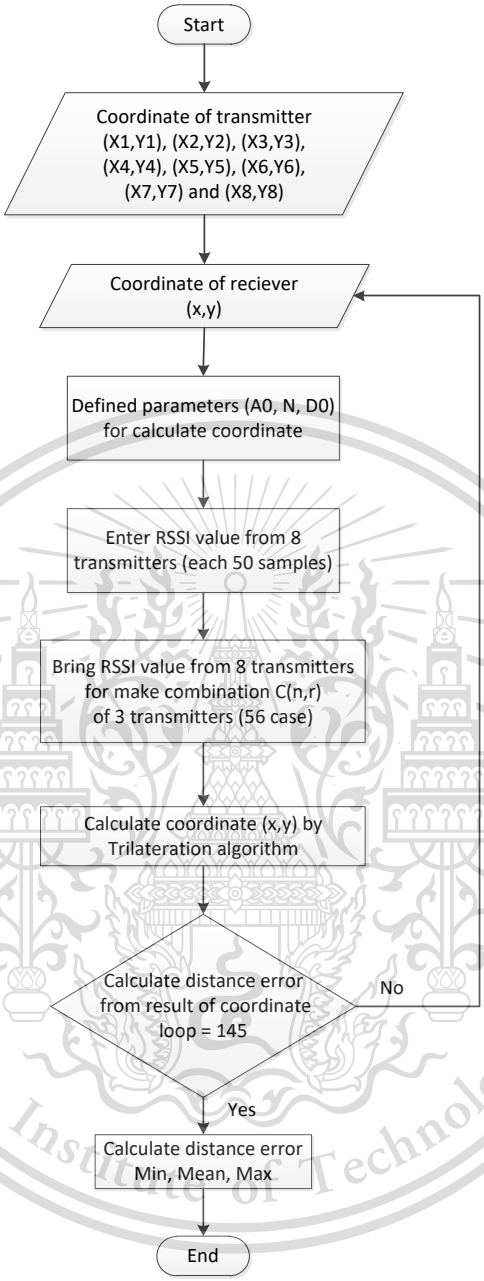
รูปที่ 3.9 แผนผังเงื่อนไขการเก็บค่า RSSI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.7 ออกแบบการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration และคำนวณระยะคลาดเคลื่อนโดยโปรแกรมแมทแลป

หลังจากจัดเก็บข้อมูล RSSI ภายในห้องทดลองทั้ง 50 samples นำข้อมูล RSSI มาคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration โดยคำนวณหาค่าตำแหน่งที่ได้และคำนวณระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่ได้กับตำแหน่งเครื่องรับจริง ในส่วนของการคำนวณหาค่าตำแหน่งจากข้อมูล RSSI ของเครื่องส่งทั้ง 8 ตัว จะใช้ความน่าจะเป็นของการจัดกลุ่ม โดยนำค่า RSSI ของเครื่องส่งทั้ง 8 ตัว มาจัดกลุ่มทีละ 3 ตัว ซึ่งจะได้วิธีทั้งหมด 56 วิธี จากนั้นนำแต่ละวิธีเข้าสู่กระบวนการ Trilateration เพื่อคำนวณตำแหน่ง ในส่วนของการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนจะใช้สมการ Euclidean distance ในการคำนวณ โดยจะเลือกค่า RSSI ของเครื่องส่ง 3 ตัว ที่ทำให้ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยน้อยที่สุดหรือเลือกกรณีที่ดีที่สุดใน 56 วิธี จากนั้นทำการหาค่าระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย ระยะคลาดเคลื่อนที่มากที่สุด และระยะคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดของทุกตำแหน่งภายในห้องทดลอง โดยมีแผนผังการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration และคำนวณระยะคลาดเคลื่อนแสดงดังรูปที่ 3.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

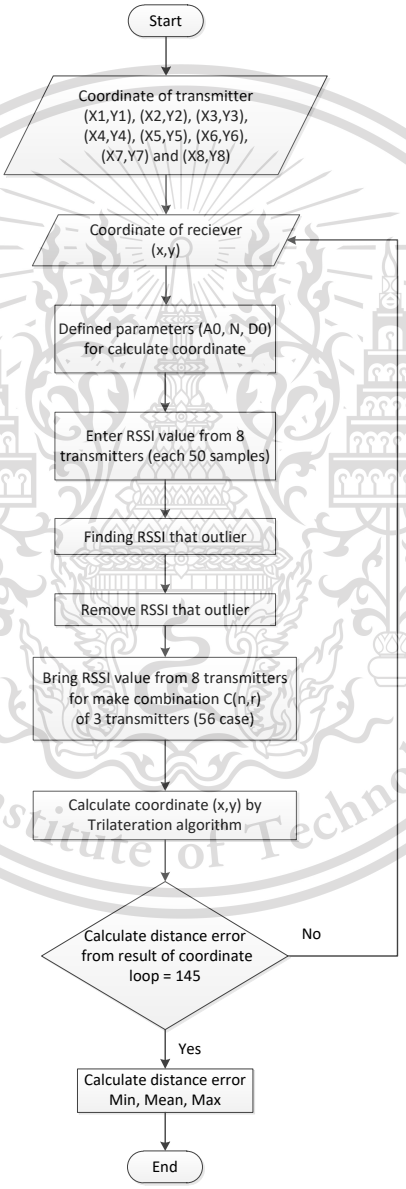


รูปที่ 3.10 แผนผังการทำงานของการคำนวณตำแหน่ง
และคำนวณระยะคลาดเคลื่อนจากกระบวนการ Trilateration

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.8 ออกแบบการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration ที่กำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจากข้อมูลและคำนวณระยะคลาดเคลื่อนโดยโปรแกรมแมทแลป

เนื่องจากข้อมูล RSSI บางค่ามีความผิดปกติจากข้อมูลชุดอื่น ผู้จัดทำจึงทำการตัดข้อมูลที่ผิดปกติออกจากการใช้งานและทำกระบวนการดังหัวข้อที่ 3.1.7 โดยมีแผนผังการคำนวณตำแหน่งที่มีการกำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจากข้อมูลอื่นจากกระบวนการ Trilateration และคำนวณระยะคลาดเคลื่อนแสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แผนผังการทำงานของการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration และคำนวณระยะคลาดเคลื่อน โดยกำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจากข้อมูลอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.9 ออกแบบการจัดเตรียมข้อมูลก่อนการฝึกฝน AI

ทำการนำข้อมูล RSSI ของเครื่องส่งทั้ง 8 ตัวที่เก็บค่าไว้ 145 ตำแหน่ง ตำแหน่งละ 200 samples จากไฟล์สกุล csv เมื่อเสร็จสิ้นนำข้อมูลมาแบ่งเป็นส่วนอินพุตและส่วนเอาต์พุต โดยกำหนดให้ข้อมูลคอลัมน์ที่ 1 ถึง 8 เป็นอินพุตค่า RSSI ของของเครื่องส่งที่ 1 ถึง 8 ตามลำดับ ส่วนข้อมูลคอลัมน์ที่ 9 ถึง 10 เป็นเอาต์พุตค่าตำแหน่ง x และ y ตามลำดับ คอลัมน์ที่ 11 เป็น case ที่กำหนดขณะเก็บข้อมูล โดยตำแหน่ง (-9,8) เป็น case ที่ 1 ไปจนถึงตำแหน่ง (9,0) เป็น case ที่ 145 แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.12

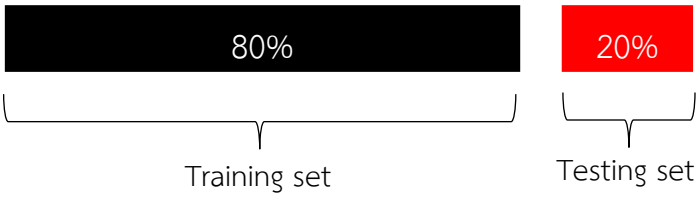
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	RSSI1	RSSI2	RSSI3	RSSI4	RSSI5	RSSI6	RSSI7	RSSI8	X	Y	case
2	-79	-71	-76	-73	-88	-77	-68	-69	-9	8	1
3	-78	-71	-73	-75	-81	-77	-75	-69	-9	8	1
4	-79	-71	-72	-69	-84	-77	-70	-68	-9	8	1
5	-78	-71	-71	-68	-85	-78	-72	-66	-9	8	1
6	-78	-70	-77	-76	-85	-79	-69	-69	-9	8	1
7	-78	-70	-72	-67	-84	-77	-72	-69	-9	8	1

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างการจัดเตรียมข้อมูลก่อนการฝึกฝน AI

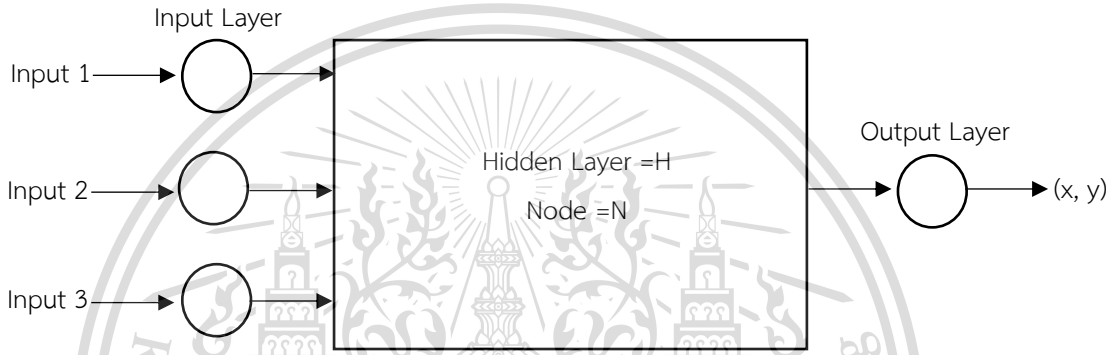
3.1.10 ออกแบบการฝึกฝน AI และทำนายค่าตำแหน่ง

การออกแบบ AI จะเลือกใช้แบบโครงข่ายประสาทเทียม (ANN) ซึ่งจากการจัดเตรียมข้อมูลจะกำหนดคอลัมน์ที่ต้องการใช้เป็นอินพุตสำหรับการฝึกฝนและทำนาย ส่วนเอาต์พุตเป็นเคส หรือคอลัมน์ที่ 11 หลังจากนั้นนำอินพุตไปเข้าฟังก์ชัน Standard Scaler เพื่อสเกลข้อมูลให้ variance มีค่าเป็น 1 หรือใกล้เคียง อีกทั้งยังทำให้ค่าเฉลี่ยของข้อมูลเป็นกลางมากขึ้น โดยเมื่อสเกลแล้วจะทำให้ข้อมูลมีขนาดใกล้เคียงกันเพื่อลดเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาด และนำเอาต์พุตไปเข้าฟังก์ชัน One Hot Encoding เพื่อช่วยให้โมเดลสามารถเรียนรู้และเข้าใจตรรกะที่เป็นตัวเลขได้ รวมไปถึงการคำนวณทางคณิตศาสตร์ต่างๆ จากนั้นแบ่งข้อมูลออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ Training Set กับ Test Set โดยอัตราการแบ่งอยู่ที่ 80:20 ดังรูปที่ 3.13 เมื่อแบ่งข้อมูลเสร็จสิ้นจึงเริ่มออกแบบโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งมีโครงสร้างดังรูปที่ 3.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.13 อัตราส่วนการแบ่ง Training Set และ Test Set



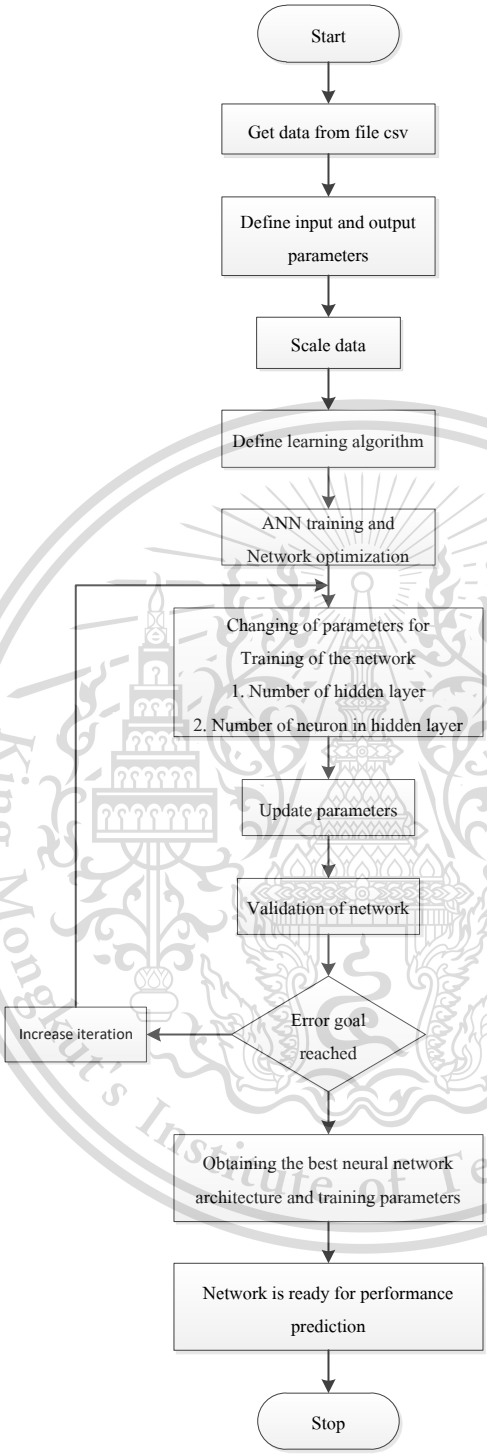
รูปที่ 3.14 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียม

โดยการกำหนดจำนวน Hidden Layer จำนวนโหนดและเทคนิคที่ใช้ จะทำการปรับและดูผลลัพธ์จนกว่าจะได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสม จากนั้นจึงบันทึกเป็นโมเดลโดยผลจากการปรับจำนวน Hidden Layer จำนวนโหนดและเทคนิคที่ใช้จะนำไปแสดงในส่วนบันทึกผลการทดลอง

ในส่วนของ Activation Function หรือฟังก์ชันที่รับผลรวมการประมวลผลทั้งหมดจากทุกอินพุต แล้วพิจารณาการเลือกใช้ Relu และ Sigmoid เนื่องจากเหมาะสำหรับการทำ Classification

โดยในส่วนของ Optimization เลือกใช้ Adaptive Moment Estimation เพราะรวมจุดเด่นของแต่ละ Optimizer แต่ละตัวไว้และช่วยให้โมเดลไม่หยุดเรียนรู้ได้ และลดปัญหาการแกว่งของพารามิเตอร์อีกทั้งยังมีความเร็วสูงกว่าตัวอื่น ในส่วนของ Loss Function เลือกใช้เป็น categorical crossentropy หลังจากทำนายผลเสร็จสิ้นจะนำค่าที่ทำนายมาหาค่าความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนของโมเดล เพื่อเทียบกับข้อมูลต้นฉบับสามารถแสดงแผนผังการทำงานของระบบการฝึกฝน AI และการทำนายค่าตำแหน่งดังรูปที่ 3.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

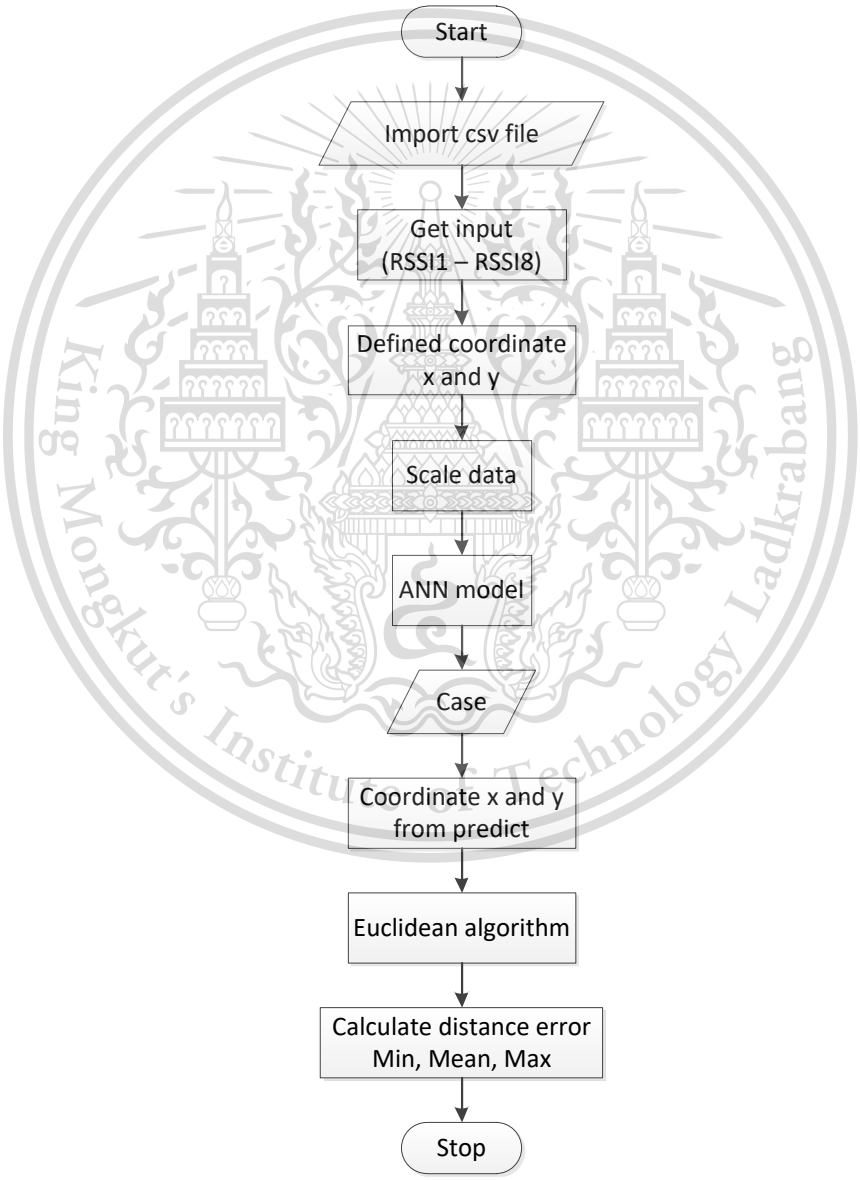


รูปที่ 3.15 แผนผังการทำงานของระบบการฝึกฝน AI และการทำนายค่าตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.11 การออกแบบการวัดความคลาดเคลื่อนจากโมเดลเมื่อนำไปใช้จริง

จะทำการเก็บผลของ RSSI ที่ใช้จริงในทุกตำแหน่งภายในห้องทดลองใส่ไฟล์นามสกุล csv หลังจากนั้นนำโมเดลที่ทำการบันทึกไว้มาใช้ โดยจะทำการระบุตำแหน่งที่จะใช้คำนวณระยะคลาดเคลื่อนแต่ละตำแหน่งโดยโปรแกรมจะแสดงค่าตำแหน่งที่ทำนายได้ ระยะคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งโดยเฉลี่ย ระยะคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่น้อยที่สุดและระยะคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งที่มากที่สุด ออกมาตามลำดับแสดงแผนผังการทำงานของระบบดังรูปที่ 3.16

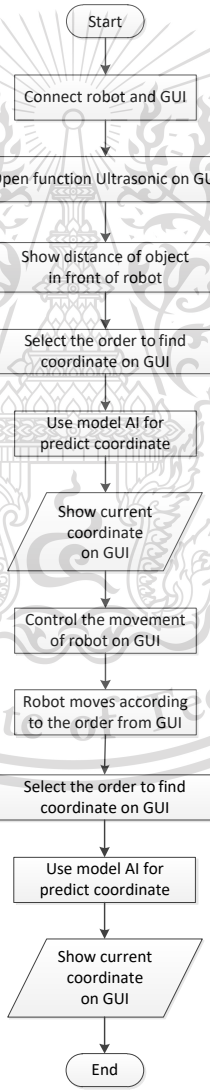


รูปที่ 3.16 แผนผังการวัดความคลาดเคลื่อนจากโมเดล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.12 ออกแบบการทำงานของหุ่นยนต์

การทำงานของหุ่นยนต์เริ่มจากเชื่อมต่อการทำงานกับส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) ผ่าน Raspberry Pi 4 Model B ที่ประกอบอยู่ในหุ่นยนต์ เพื่อรับคำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยหุ่นยนต์จะติด ESP32 เป็นเครื่องรับสัญญาณ แล้วทำการส่งค่า RSSI และ mac address ที่ได้รับไปยังโมเดล AI เพื่อทำนายตำแหน่งปัจจุบันของหุ่นยนต์ อีกทั้งยังมีโมดูลเข็มทิศที่รับค่ามุม เพื่อบอกทิศการหันหน้าของหุ่นยนต์ และมีเซนเซอร์ Ultrasonic เพื่อวัดระยะห่างของสิ่งกีดขวางที่อยู่หน้าหุ่นยนต์ จากนั้นจะแสดงผลตำแหน่ง ทิศของหุ่นยนต์และระยะห่างของสิ่งกีดขวางผ่าน GUI ซึ่งแผนผังการทำงานของหุ่นยนต์แสดงดังรูปที่ 3.17

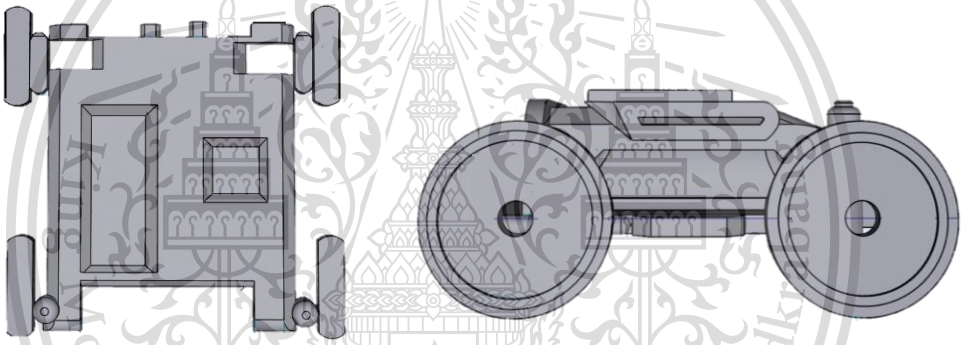


รูปที่ 3.17 แผนผังการทำงานข้องหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.12.1 ออกแบบส่วนประกอบของหุ่นยนต์

ออกแบบส่วนโครงของหุ่นยนต์ให้มีขนาดฐานกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 18 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร ซึ่งภายในหุ่นยนต์ประกอบไปด้วยแผ่นอะคริลิกที่ใช้ประกอบเป็นฐานรองและโครงของหุ่นยนต์แสดงดังรูปที่ 3.39 ภายในมีวงจรสำหรับควบคุมหุ่นยนต์ ดังรูปที่ 3.35 ที่นำมาต่อกับ Raspberry Pi 4 Model B มีมอเตอร์ซ้ายและขวาอย่างละ 2 ตัว ดังรูปที่ 3.36 ล้อจำนวน 4 อันดังรูปที่ 3.42 แบตเตอรี่ 18650 จำนวน 2 ก้อน และรางสำหรับใส่แบตเตอรี่ ดังรูปที่ 3.37 และรูปที่ 3.38 ตามลำดับ วงจร LED จำนวน 2 อันดังรูปที่ 3.40 เซนเซอร์ Ultrasonic ดังรูปที่ 3.41 ในส่วนด้านบนติด ESP32 และโมดูลเข็มทิศเพื่อรับค่า RSSI และมุม โดยจำลองโครงของหุ่นยนต์เป็นโครงสร้าง 3 มิติได้ดังรูปที่ 3.18 และได้หุ่นยนต์ที่ประกอบแต่ชิ้นส่วนเข้าด้วยกันแสดงดังรูปที่ 3.19



(ก) มุมมองด้านบน (ข) มุมมองด้านข้าง

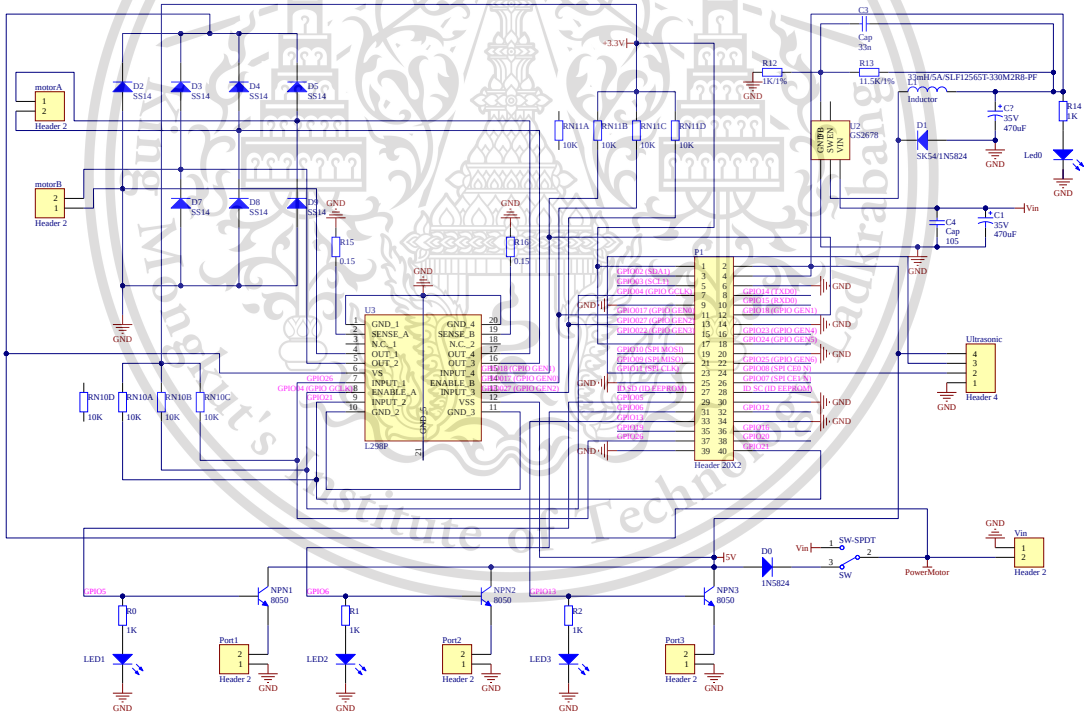
รูปที่ 3.18 ภาพจำลอง 3 มิติโครงสร้างของหุ่นยนต์

รูปที่ 3.19 หุ่นยนต์ที่ประกอบแต่ละส่วนเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

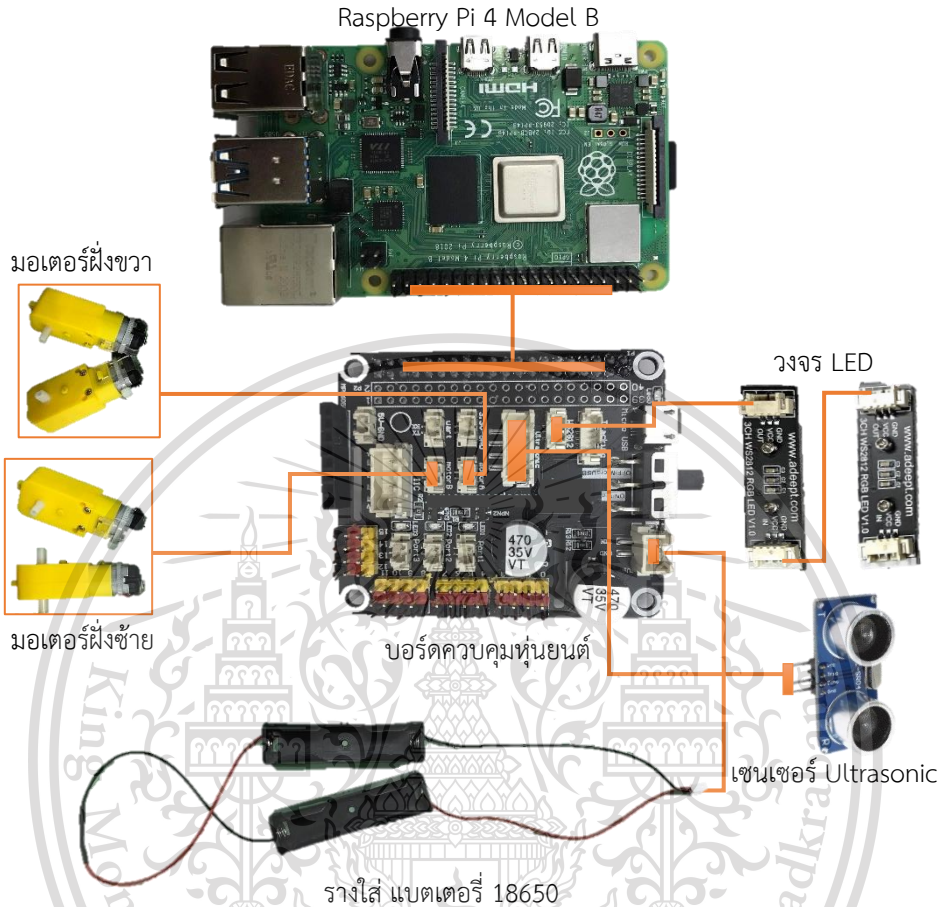
3.1.12.2 ออกแบบวงจรควบคุมหุ่นยนต์

โดยบอร์ดควบคุมหุ่นยนต์มี Header 20X2 ที่เป็นแผงเชื่อมต่อการทำงานไปยัง Raspberry Pi 4 Model B ใช้วงจร L298P เป็นวงจรขับ DC Motor แรงดันไฟฟ้าสูง กระแสไฟฟ้า full-bridge เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ซึ่งจะทำการเชื่อมต่อกับมอเตอร์ทั้ง 4 ตัว เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของล้อในหุ่นยนต์ทั้ง 4 ล้อ มีวงจร GS2678 ซึ่งเป็นวงจรที่มีความถี่คงที่ 350 KHz ที่เปลี่ยนแรงดันไฟฟ้า DC จากแหล่งจ่ายไฟฟ้าที่มีค่าคงที่ ให้ได้แรงดันเอาท์พุต DC มีวงจร LED ที่ใช้ในการควบคุมการเปิด ปิด ลด หรือเพิ่มความสว่างของไฟทั้ง 3 สีคือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน มีวงจร Ultrasonic เพื่อวัดค่าระยะห่างของสิ่งกีดขวางหน้าหุ่นยนต์และมีสวิตช์ เปิดปิดเพื่อเปลี่ยนการเรียกใช้พลังงานมาเป็นแบตเตอรี่ แสดงเป็นแผนภาพ Schematic ของวงจรทั้งหมดบนบอร์ดควบคุมหุ่นยนต์ได้ดังรูปที่ 3.20 และแสดงภาพการเชื่อมต่อวงจรโดยรวมทั้งหมดดังรูปที่ 3.21



รูปที่ 3.20 แผนภาพ Schematic บอร์ดควบคุมหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.21 การเชื่อมต่อวงจรโดยรวม

3.1.12.3 ออกแบบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ผู้จัดทำได้ใช้หลักการเคลื่อนที่แบบ 4 Wheel drive ซึ่งเป็นการเคลื่อนที่โดยใช้ 4 ล้อในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ โดยกำหนดให้มีการเคลื่อนที่ทั้งหมด 4 รูปแบบ ดังนี้

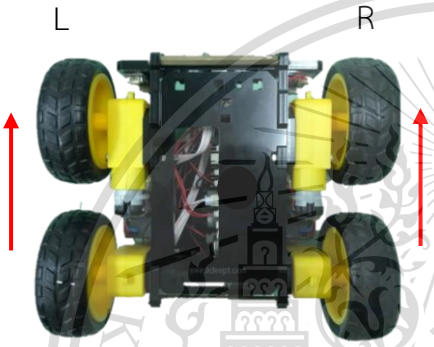
1) เคลื่อนที่ไปด้านหน้า จะทำการหมุนทั้ง 4 ล้อไปด้านหน้าในอัตราเร็วที่เท่ากัน แสดงดังรูปที่ 3.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

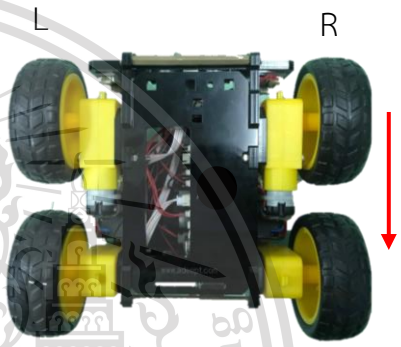
2) เคลื่อนที่ไปด้านหลัง จะทำการหมุนทั้ง 4 ล้อไปด้านหลังในอัตราเร็วที่เท่ากัน แสดงดังรูปที่ 3.23

3) เคลื่อนที่ไปทางซ้าย จะทำการหมุน 2 ล้อด้านขวาไปด้านหน้าและ 2 ล้อด้านซ้ายไปด้านหลังด้วยอัตราเร็วที่เท่ากัน แสดงดังรูปที่ 3.24

4) เคลื่อนที่ไปทางขวา จะทำการหมุน 2 ล้อด้านซ้ายไปด้านหน้าและ 2 ล้อด้านขวาไปด้านหลังด้วยอัตราเร็วที่เท่ากัน แสดงดังรูปที่ 3.25

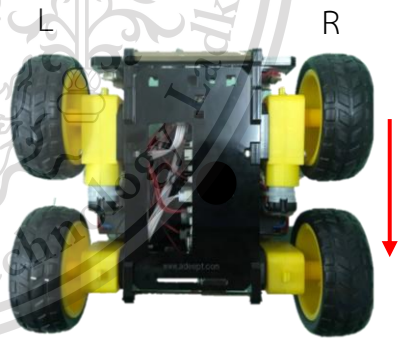


รูปที่ 3.22 เคลื่อนที่ไปข้างหน้า



รูปที่ 3.23 เคลื่อนที่ไปข้างหลัง

รูปที่ 3.24 เคลื่อนที่ไปทางซ้าย

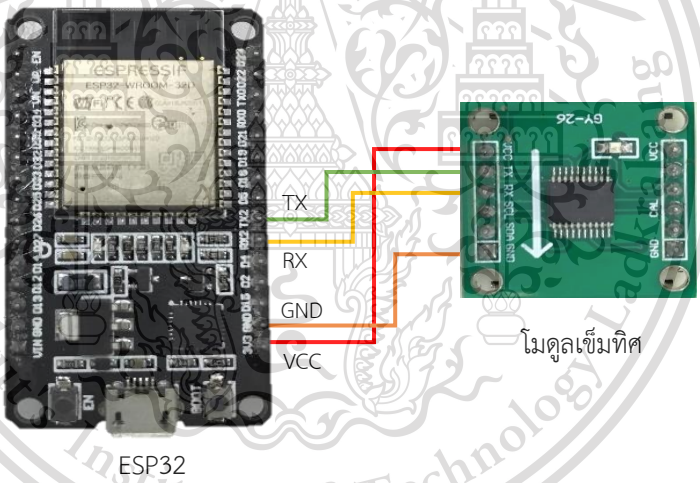


รูปที่ 3.25 เคลื่อนที่ไปทางขวา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

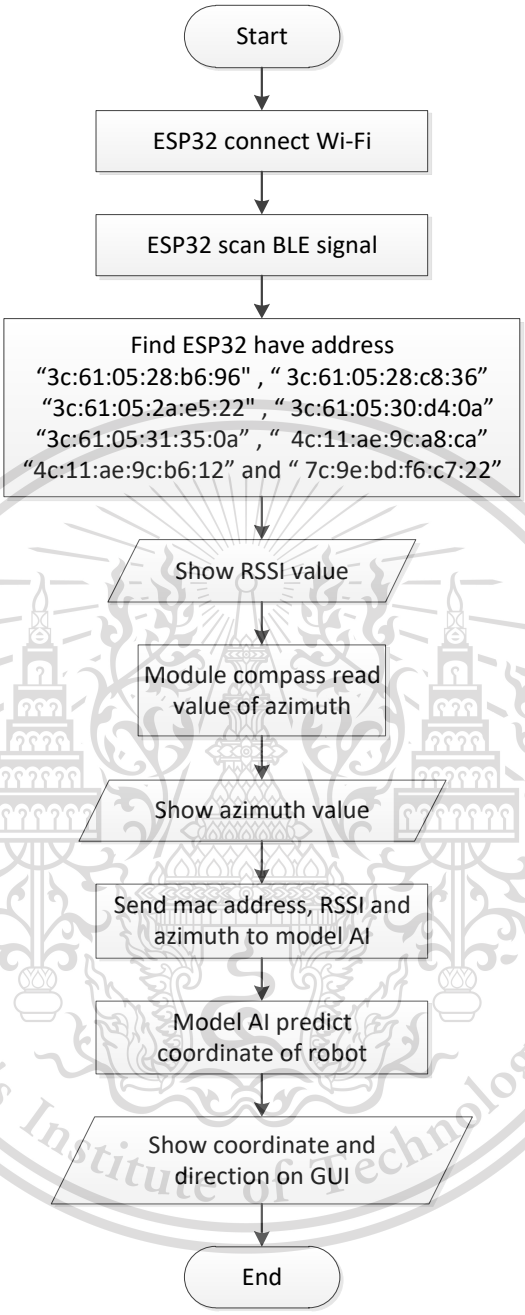
3.1.12.4 ออกแบบโปรแกรมรับค่า RSSI และมุมที่ได้รับจากหุ่นยนต์

โดยจะทำการรับค่า RSSI จาก ESP32 และมุมที่ได้รับจากโมดูลเข็มทิศที่ติดอยู่กับหุ่นยนต์ ส่งไปยังโมเดล AI เพื่อทำการระบุตำแหน่ง พร้อมทั้งแสดงค่ามุมเพื่อระบุทิศการหันหน้าของหุ่นยนต์ ซึ่งในการรับค่า RSSI จาก ESP32 ทำได้โดยการส่งค่า RSSI ผ่าน Wi-Fi ไปยังโมเดล AI โดยมีโมดูลเข็มทิศ GY-26 เชื่อมต่ออยู่กับ ESP32 เพื่อใช้ในการส่งค่ามุมผ่าน ESP32 ไปยังโมเดล AI โดยแสดงการเชื่อมต่อวงจรระหว่าง ESP32 และโมดูลเข็มทิศ GY-26 ดังรูปที่ 3.26 โดยการทำงานเริ่มจาก ESP32 เชื่อมต่อ Wi-Fi แล้วทำการสแกนหาสัญญาณบีแอลอี เพื่อหา mac address ของเครื่องส่งทั้ง 8 ตัว แล้วรับค่า RSSI จากเครื่องส่งทั้ง 8 ตัว ซึ่งโมดูลเข็มทิศจะทำการรับค่ามุมแล้วส่งผ่านไปยัง ESP32 หลังจากนั้นค่า mac address, RSSI และมุมจะถูกส่งเข้าสู่โมเดล AI เพื่อนำไปทำนายตำแหน่งของหุ่นยนต์และแสดงผลตำแหน่งและทิศการหันหน้าของหุ่นยนต์บน GUI โดยมีแผนผังการทำงานดังรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.26 การเชื่อมต่อวงจร ESP32 และโมดูลเข็มทิศ GY-26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

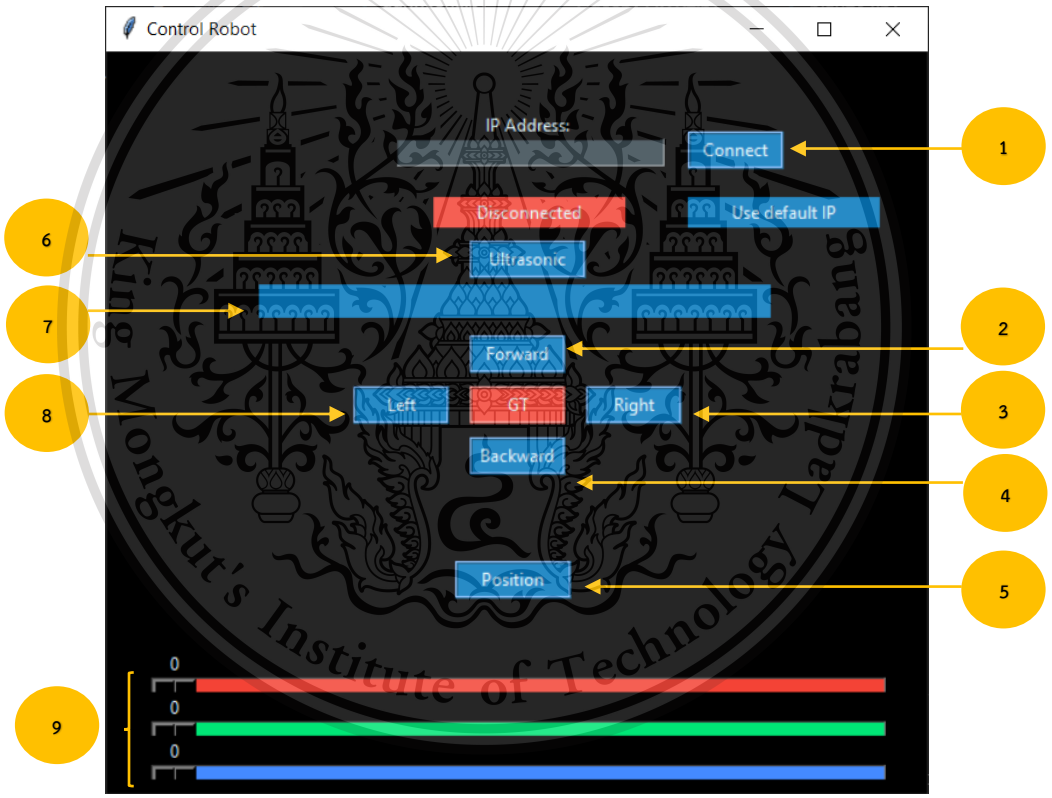


รูปที่ 3.27 แผนผังการรับค่า RSSI และมุมที่ได้รับของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.13 ออกแบบส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI)

การออกแบบโปรแกรมควบคุมหุ่นยนต์เพื่อที่จะใช้ออกคำสั่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์และคำสั่งการเรียกดูตำแหน่งปัจจุบันของหุ่นยนต์ เพื่อที่จะรับค่ากลับมาแสดงผลในโปรแกรม โดยใช้การสื่อสารระหว่างโปรแกรมกับส่วนของอุปกรณ์ไมโครคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูล ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบโปรแกรมควบคุมและแสดงผล คือโมดูลที่ชื่อว่า tkinter เป็นเครื่องมือสำหรับสร้างส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) ผ่านภาษา Python ซึ่งในการเขียนโปรแกรมจะเริ่มจากการออกแบบ GUI ด้วยการสร้างหน้าต่าง และออกแบบวิดเจ็ตภายในหน้าต่าง หลังจากวางตำแหน่งวิดเจ็ตภายในหน้าต่างครบถ้วนจะเป็นการเขียนฟังก์ชันเรียกกลับเพื่อตอบสนองการดำเนินการของผู้ใช้งาน ซึ่งหน้าต่าง GUI ที่ได้ออกแบบไว้แสดงดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 หน้าต่าง GUI ควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

โดยปุ่ม Connect (หมายเลข1) จะใช้เชื่อมต่อ client และ server เมื่อกรอก IP Address ลงในช่อง IP Address: ส่วนปุ่ม Forward (หมายเลข2) เป็นการสั่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไปข้างหน้า ปุ่ม Right (หมายเลข3) เป็นการสั่งการเลี้ยวของหุ่นยนต์ไปด้านขวา ปุ่ม Left (หมายเลข8) เป็นการสั่งการเลี้ยวของหุ่นยนต์ไปด้านซ้าย ปุ่ม Backward (หมายเลข4) เป็นการสั่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไปข้างหลัง ปุ่ม Position (หมายเลข5) คือการเรียกดูตำแหน่งและทิศการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หันหน้าของหุ่นยนต์โดยแสดงแผนผังห้องขึ้นมาในหน้าต่างใหม่ดังรูปที่ 3.29 ปุ่ม Ultrasonic (หมายเลข6) เป็นปุ่มเปิดการทำงานของเซนเซอร์วัดระยะห่างของววัตถุที่อยู่หน้าหุ่นยนต์ แถบหมายเลข 7 เป็นแถบแสดงระยะห่างของวัตถุที่อยู่หน้าหุ่นยนต์ และปุ่มปรับความเข้มของแสงไฟทั้ง 3 ดวง (หมายเลข9) โดยมีไฟสีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน

ทำการออกแบบหน้าต่างแสดงผลการระบุตำแหน่งของหุ่นยนต์ พร้อมทั้งบอกทิศการหันหน้าของหุ่นยนต์ โดยแสดงเป็นแผนผังจำลองของห้องทดลอง ซึ่งออกแบบหน้าต่างแสดงผลดังรูปที่ 3.29

รูปที่ 3.29 หน้าต่าง GUI แสดงแผนผังในห้องทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การออกแบบคำสั่งการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าและไปข้างหลังของหุ่นยนต์จะใช้คำสั่ง time.sleep เพื่อบังคับระยะการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือไปข้างหลังในระยะ 0.3 เมตร ต่อ 1 การกดคำสั่งการเคลื่อนที่ใน GUI แสดงคำสั่งดังรูปที่ 3.30

```
def call_forward(event):          #When this function is called,client commands the car to move forward
    global c_f_stu
    if c_f_stu == 0:
        tcpClicSock.send(('forward').encode())
        c_f_stu=1
        time.sleep(0.5)
        c_f_stu=0


def call_back(event):             #When this function is called,client commands the car to move backward
    global c_b_stu
    if c_b_stu == 0:
        tcpClicSock.send(('backward').encode())
        c_b_stu=1
        time.sleep(0.5)
        c_f_stu=0
```

รูปที่ 3.30 คำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไปข้างหน้าและข้างหลัง

ออกแบบคำสั่งการเลี้ยวของหุ่นยนต์โดยใช้คำสั่ง time.sleep เพื่อกำหนดมุมการเลี้ยวของหุ่นยนต์ให้เลี้ยวไปทางซ้ายหรือไปทางขวาเป็นมุม 90 องศา ต่อ 1 การกดคำสั่งการเลี้ยวใน GUI แสดงคำสั่งดังรูปที่ 3.31

```
def call_Left(event):             #When this function is called,client commands the car to turn left
    global c_l_stu
    if c_l_stu == 0:
        tcpClicSock.send(('left').encode())
        c_l_stu=1
        time.sleep(0.37)
        c_f_stu=0


def call_Right(event):            #When this function is called,client commands the car to turn right
    global c_r_stu
    if c_r_stu == 0:
        tcpClicSock.send(('right').encode())
        c_r_stu=1
        time.sleep(0.37)
        c_f_stu=0
```

รูปที่ 3.31 คำสั่งควบคุมการเลี้ยวของหุ่นยนต์ไปทางซ้ายและทางขวา

ขั้นตอนการเชื่อมต่อระหว่าง GUI (client) และหุ่นยนต์ (server) มีดังนี้

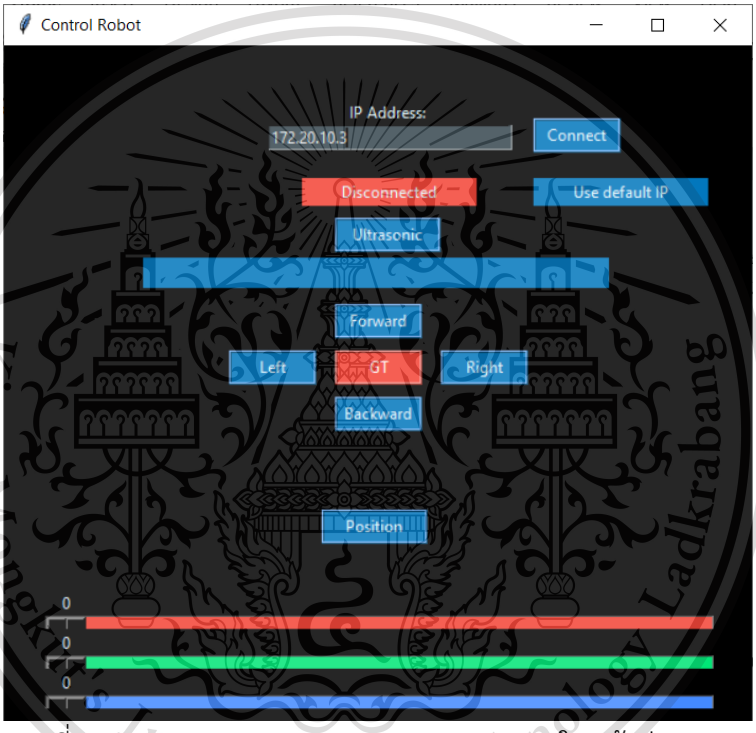
1. ทำการเขียนคำสั่ง ServerTest.py ลงใน Raspberry Pi

2. เรียกใช้คำสั่ง sudo python3 adeept_awr/server/serverTest.py ในหน้าต่าง Terminal ของฝั่ง server แสดงดังรูปที่ 3.32 เพื่อรอการเชื่อมต่อจาก client

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

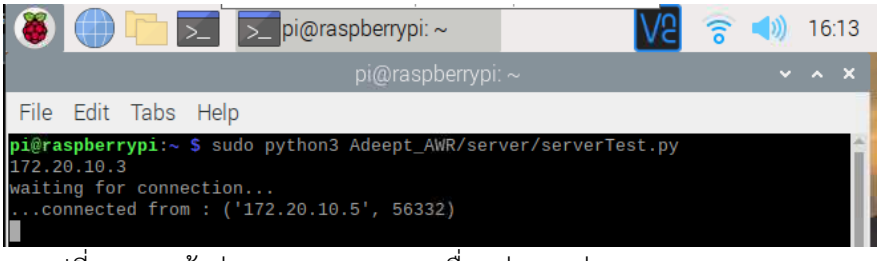
รูปที่ 3.32 ใช้คำสั่งรอการเชื่อมต่อจาก client

3. ทำการ Run คำสั่งในฝั่ง client เพื่อเปิดหน้าต่าง GUI และทำการเชื่อมต่อกับฝั่ง server โดยกรอก IP Address ของ Raspberry Pi และกด Connect แสดงดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 กรอก IP Adress ของ Raspberry Pi ในหน้าต่าง GUI

4. เมื่อเชื่อมต่อเสร็จเรียบร้อยจะขึ้นข้อความการเชื่อมต่อสมบูรณ์ในฝั่ง server แสดงดังรูปที่ 3.34



รูปที่ 3.34 หน้าต่างแสดงสถานะการเชื่อมต่อระหว่าง client และ server

5. ใช้คำสั่งควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ได้ผ่าน GUI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

ในปริญญานิพนธ์นี้มีอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลอง ดังนี้

3.2.1 บีคอน

ในปริญญานิพนธ์นี้เลือกใช้บีคอนโมดูล NRF51822 ชิปเซ็ต ประเภทบลูทูธ 4.0 แสดงดังรูปที่ 2.3 โดยในปริญญานิพนธ์นี้ใช้เป็นเครื่องส่งสัญญาณบีแอลอี ในช่วงแรกของการทำปริญญานิพนธ์

3.2.2 ESP32

ในปริญญานิพนธ์นี้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ คือ ESP32-WROOM-32 แสดงดังรูปที่ 2.1 ซึ่งเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่รองรับการเชื่อมต่อ Wi-Fi และ BLE โดยในปริญญานิพนธ์นี้ใช้เป็นเครื่องส่งและเครื่องรับสัญญาณบีแอลอี

3.2.3 Raspberry Pi 4 Model B

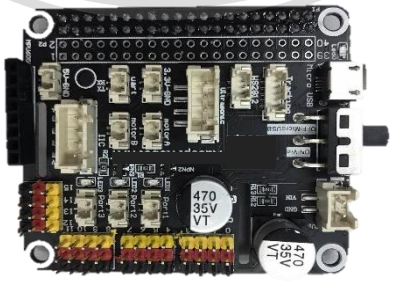
ในปริญญานิพนธ์นี้เลือกใช้ไมโครคอมพิวเตอร์ คือ Raspberry Pi 4 Model B แสดงดังรูปที่ 2.4 โดยเป็นตัวสั่งการและประมวลผลการทำงานของระบบ เชื่อมต่อการสั่งการการทำงานของหุ่นยนต์

3.2.4 โมดูลเข็มทิศ GY-26

ในปริญญานิพนธ์นี้เลือกใช้โมดูลเข็มทิศ GY-26 ในการรับค่ามุมเพื่อมาระบุทิศการหันหน้าของหุ่นยนต์ แสดงดังรูปที่ 2.5

3.2.5 บอร์ดควบคุมหุ่นยนต์

บอร์ดควบคุมหุ่นยนต์ที่ใช้ร่วมกับ Raspberry Pi โดยทำการเชื่อมต่อกับเกียร์มอเตอร์เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของล้อในหุ่นยนต์ และมีการเชื่อมต่อกับแบตเตอรี่โดยมีสวิตช์เปิดปิดเพื่อเปลี่ยนการเรียกใช้พลังงานมาเป็นแบตเตอรี่ แสดงดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 บอร์ดควบคุมหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.6 เกียร์มอเตอร์

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับควบคุมรอบการทำงานของการเคลื่อนที่ โดยอาศัยหลักการทำงานจากมอเตอร์แปลงพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานกลทำให้วัตถุสามารถเคลื่อนที่ได้ มีฟันเฟืองหรือเกียร์ทำหน้าที่ลดรอบความเร็วหรือทดรอบแรงบิด แสดงดังรูปที่ 3.36

รูปที่ 3.36 เกียร์มอเตอร์

3.2.7 แบตเตอรี่ 18650 และรางแบตเตอรี่

แบตเตอรี่ 18650 ถูกเรียกตามเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของตัว (18mm x 65mm) ด้านในตัวแบตเตอรี่เป็นเซลล์ชนิดลิเธียมไอออนระดับแรงดันใช้งานปกติของแบตเตอรี่ชนิดลิเธียม จะอยู่ที่ 3.7V โดยแรงดันที่ชาร์จเต็มจะอยู่ที่ 4.2V แสดงดังรูปที่ 3.37 พร้อมทั้งรางใส่แบตเตอรี่ 18650 แสดงดังรูปที่ 3.38

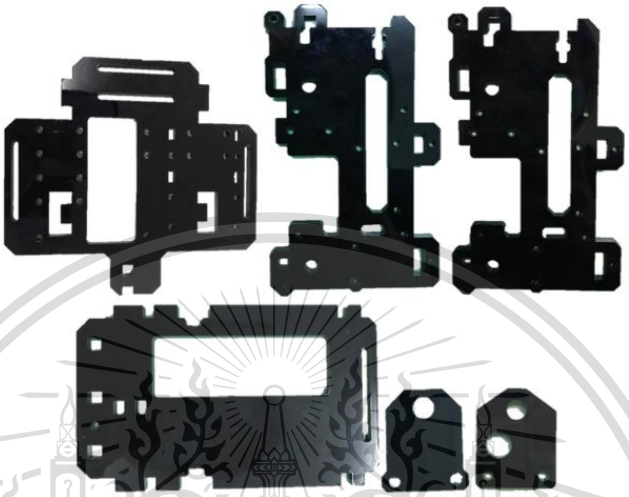
รูปที่ 3.37 แบตเตอรี่ 18650

รูปที่ 3.38 รางแบตเตอรี่ 18650

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.8 แผ่นอะคริลิก

แผ่นอะคริลิกที่ใช้ประกอบฐานและโครงของหุ่นยนต์เพื่อประกอบส่วนต่างๆ ของหุ่นยนต์เข้าด้วยกันแสดงดังรูปที่ 3.39



รูปที่ 3.39 แผ่นอะคริลิก

3.2.9 วงจร LED

เป็นวงจรที่ใช้ในการเปิด ปิด เพิ่มหรือลดความสว่างของหลอดไฟ โดยวงจรนี้ประกอบไปด้วยหลอดไฟ 3 สี ได้แก่ สีแดง สีเขียวและสีน้ำเงิน แสดงดังรูปที่ 3.40

รูปที่ 3.40 วงจร LED

3.2.10 เซนเซอร์ Ultrasonic

เป็นเซนเซอร์วัดระยะห่าง ซึ่งใช้สำหรับวัดระยะห่างวัตถุที่อยู่หน้าหุ่นยนต์เพื่อหลีกเลี่ยงการชน แสดงดังรูปที่ 3.41

รูปที่ 3.41 โมดูล Ultrasonic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2.11 ล้อ

เป็นอุปกรณ์ที่ประกอบกับตัวขับมอเตอร์เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนหุ่นยนต์ ซึ่งใช้ทั้งหมดจำนวน 4 ล้อ แสดงดังรูปที่ 3.42

รูปที่ 3.42 ล้อ

3.2.12 Micro SD card 16 GB

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดเก็บข้อมูลซึ่งใช้ร่วมกับ Raspberry Pi 4 Model B โดยเลือกใช้ Micro SD card ความจำ 16 GB แสดงดังรูปที่ 3.43

รูปที่ 3.43 Micro SD card 16 GB

3.2.13 สาย Micro USB Type B to USB 2.0 Type A

เป็นสายสำหรับเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์สำหรับการส่งข้อมูลและให้กำลังไฟ โดยมีหัวฝั่งนึงเป็น Micro USB Type B และอีกฝั่งเป็น USB 2.0 Type A แสดงดังรูปที่ 3.44

รูปที่ 3.44 สาย Micro USB Type B to USB 2.0 Type A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.3 การจัดเก็บผลการทดลอง

3.3.1 ทดลองและเปรียบเทียบค่า RSSI ของเครื่องส่งที่เป็นบีคอน และ ESP32

3.3.2 จำลองการระบุตำแหน่งในโปรแกรมแมทแลปโดยกระบวนการ Trilateration ซึ่งการใส่สัญญาณรบกวน Gaussian noise (AWGN)และหาระยะคลาดเคลื่อนจากตำแหน่ง

3.3.3 การคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration และคำนวณระยะคลาดเคลื่อนโดยโปรแกรมแมทแลป

3.3.4 การคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration ที่กำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจากข้อมูลและคำนวณระยะคลาดเคลื่อนโดยโปรแกรมแมทแลป

3.3.5 ทดสอบส่วนฝึกฝน AI โมเดลที่ 1

3.3.6 ทดสอบการใช้งานจริงของโมเดลที่ 1

3.3.7 ทดสอบส่วนฝึกฝน AI โมเดลที่ 2

3.3.8 ทดสอบการใช้งานจริงของโมเดลที่ 2

3.3.9 ทดสอบส่วนฝึกฝน AI โมเดลที่ 3

3.3.10 ทดสอบการใช้งานจริงของโมเดลที่ 3

3.3.11 ทดสอบส่วนฝึกฝน AI โมเดลที่ 3

3.3.12 ทดสอบการใช้งานจริงของโมเดลที่ 4

3.3.13 เปรียบเทียบการระบุตำแหน่งภายในอาคารด้วยวิธีต่างๆ

3.3.14 ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ Ultrasonic

3.3.15 ทดสอบการทำนายตำแหน่งของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

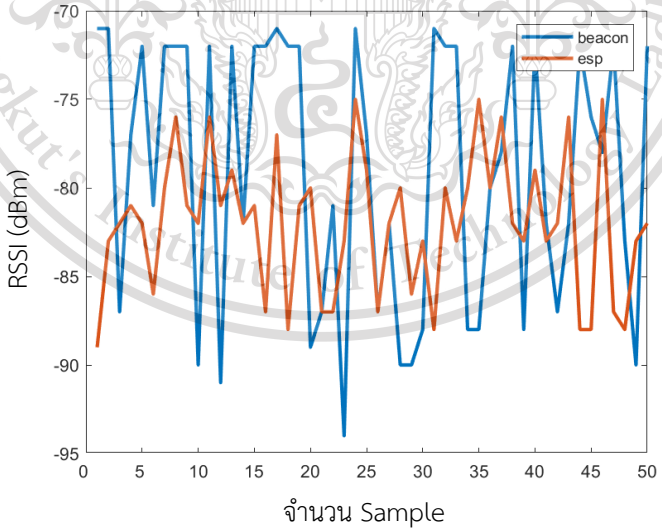
บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 ทดลองและเปรียบเทียบค่า RSSI ของเครื่องส่งที่เป็นบีคอนและ ESP32

ทำการวัดค่า RSSI โดยใช้ ESP32 เป็นเครื่องรับสัญญาณบีแอลอีแล้วนำค่า RSSI มาเปรียบเทียบการแกว่งของสัญญาณ (fluctuations of RSSI) ระหว่างใช้เครื่องส่งเป็นบีคอนและใช้เครื่องส่งเป็น ESP32 ซึ่งทำการบันทึกค่า RSSI ที่วัดได้จำนวน 50 samples ที่ระยะทาง 0.5 เมตร, 1 เมตร, 2 เมตร, 3 เมตร และ 4 เมตรตามลำดับ โดยการเปรียบเทียบการแกว่งของสัญญาณจะเปรียบเทียบจากค่าความแปรปรวน (Variance) และพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวน samples และ RSSI โดยแกน X แสดงจำนวน samples และแกน Y แสดงค่า RSSI ซึ่งเส้นสีฟ้าแทนค่า RSSI ที่ได้รับจากบีคอน ส่วนเส้นสีส้มแทนค่า RSSI ที่ได้รับจาก ESP32

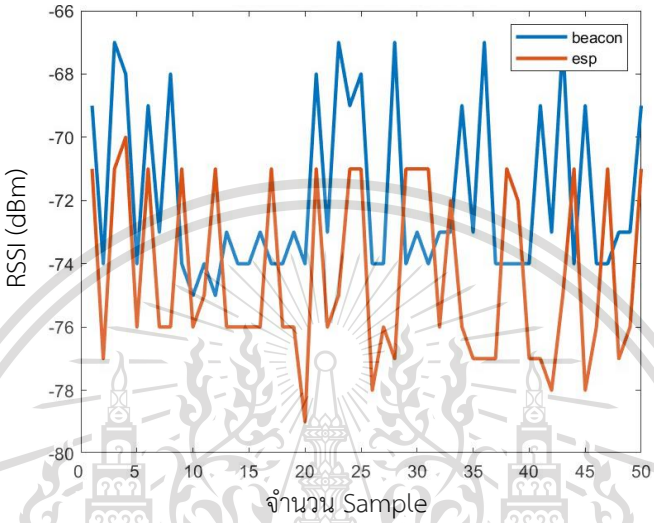
การแกว่งของสัญญาณที่ระยะ 0.5 เมตรได้ค่าความแปรปรวนของเครื่องส่งที่เป็น ESP32 และบีคอนได้เท่ากับ 15.61 และ 56.45 ตามลำดับ จากผลที่ได้แสดงว่าที่ระยะ 0.5 เมตร ESP32 มีแกว่งของสัญญาณน้อยกว่าบีคอน และพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง samples และ RSSI ได้ดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟเปรียบเทียบการแกว่งของสัญญาณระหว่างบีคอน และ ESP32 ที่ระยะ 0.5 เมตร

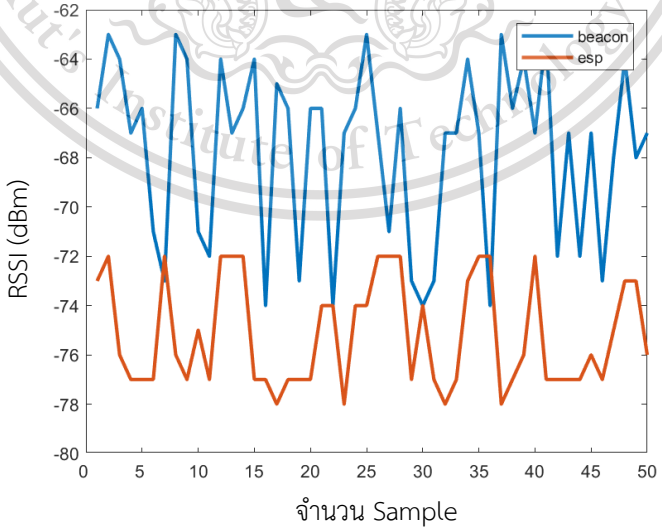
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การแกว่งของสัญญาณที่ระยะ 1 เมตรได้ค่าความแปรปรวนของเครื่องส่งที่เป็น ESP32 และ บีคอนได้เท่ากับ 7.38 และ 7.59 ตามลำดับจากผลที่ได้แสดงว่าที่ระยะ 1 เมตร ESP32 มีแกว่งของสัญญาณน้อยกว่าบีคอน และพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง samples และ RSSI ได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 กราฟเปรียบเทียบการแกว่งของสัญญาณระหว่างบีคอน และ ESP32 ที่ระยะ 1 เมตร

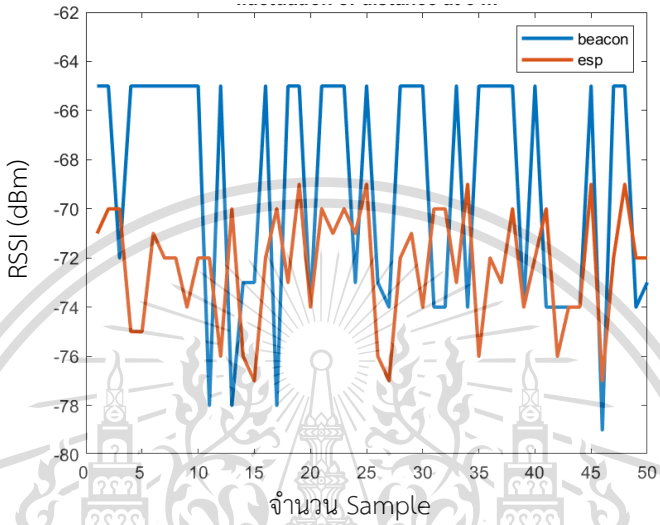
การแกว่งของสัญญาณที่ระยะ 2 เมตรได้ค่าความแปรปรวนของเครื่องส่งที่เป็น ESP32 และ บีคอนได้เท่ากับ 4.80 และ 12.91 ตามลำดับจากผลที่ได้แสดงว่าที่ระยะ 2 เมตร ESP32 มีแกว่งของสัญญาณน้อยกว่าบีคอน และพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง samples และ RSSI ได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 กราฟเปรียบเทียบการแกว่งของสัญญาณระหว่างบีคอน และ ESP32 ที่ระยะ 2 เมตร

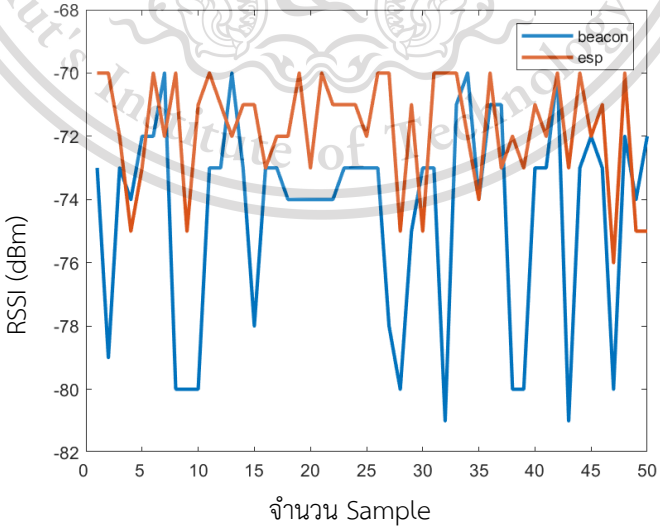
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การแกว่งของสัญญาณที่ระยะ 3 เมตรได้ค่าความแปรปรวนของเครื่องส่งที่เป็น ESP32 และ บีคอนได้เท่ากับ 5.81 และ 23.90 ตามลำดับจากผลที่ได้แสดงว่าที่ระยะ 3 เมตร ESP32 มีแกว่งของสัญญาณน้อยกว่าบีคอน และพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง samples และ RSSI ได้ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟเปรียบเทียบการแกว่งของสัญญาณระหว่างบีคอน และ ESP32 ที่ระยะ 3 เมตร

การแกว่งของสัญญาณที่ระยะ 4 เมตรได้ค่าความแปรปรวนของเครื่องส่งที่เป็น ESP32 และ บีคอนได้เท่ากับ 3.08 และ 10.81 ตามลำดับจากผลที่ได้แสดงว่าที่ระยะ 4 เมตร ESP32 มีแกว่งของสัญญาณน้อยกว่าบีคอน และพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง samples และ RSSI ได้ดังรูปที่ 4.5

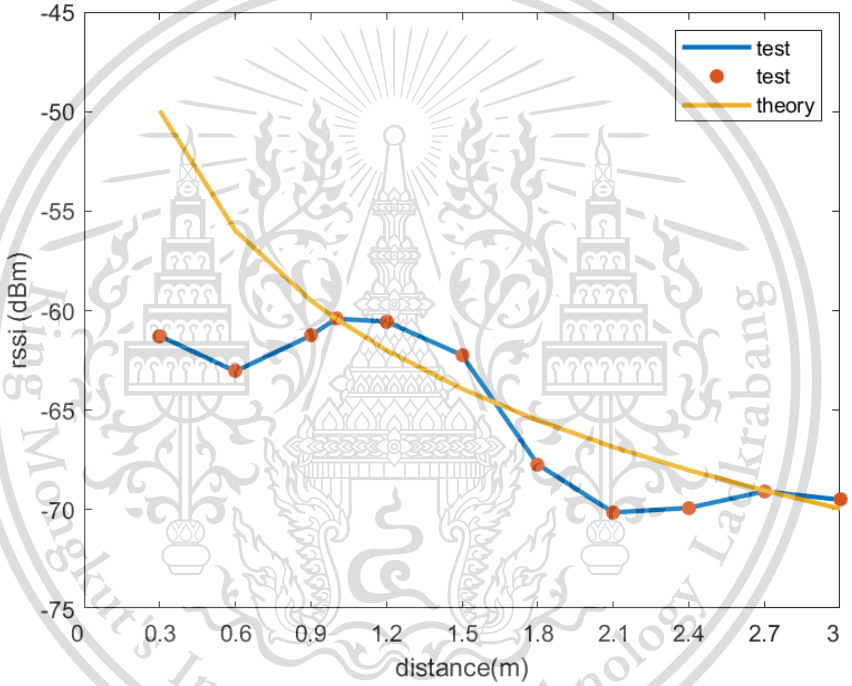


รูปที่ 4.5 กราฟเปรียบเทียบการแกว่งของสัญญาณระหว่างบีคอน และ ESP32 ที่ระยะ 4 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากผลการทดลองที่ระยะ 0.5, 1, 2, 3 และ 4 เมตรจะได้ผลว่าการแกว่งของสัญญาณของเครื่องส่งที่เป็น ESP32 มีแกว่งของสัญญาณน้อยกว่าบีคอนจากเหตุผลนี้ทางผู้จัดทำจึงเลือกใช้ ESP32 เป็นเครื่องส่ง

ทำการคำนวณค่า RSSI ทางทฤษฎีโดยใช้โปรแกรมแมทแลปเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่า RSSI ที่ทดลองได้จากเครื่องส่ง ESP32 ที่ระยะทาง 3 เมตร ซึ่งเมื่อนำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบกันโดยมีเส้นสีเหลืองเป็นค่าทางทฤษฎีและเส้นสีน้ำเงินเป็นค่าที่ได้จากการทดลอง และมีแกน X เป็นเวลา และแกน Y เป็นค่า RSSI จะได้ว่าค่าที่ได้จากการทดลองมีส่วนน้อยมากที่ใกล้เคียงกับค่าทางทฤษฎี แสดงดังรูปที่ 4.6

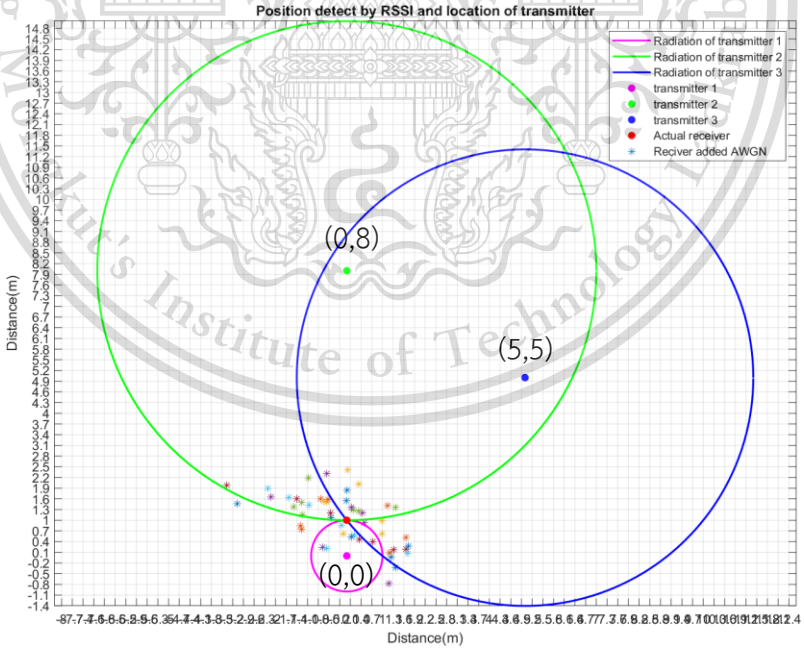


รูปที่ 4.6 กราฟเปรียบเทียบค่า RSSI จากการทดลองและทฤษฎี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2 จำลองการระบุตำแหน่งในโปรแกรมแมทแลปโดยกระบวนการ Trilateration ซึ่งใส่สัญญาณรบกวน AWGN และหาระยะคลาดเคลื่อนจากตำแหน่ง

ในการจำลองจะเริ่มต้นจากการกำหนดตำแหน่งของเครื่องส่ง 3 ตัวที่พิกัด (0,0), (0,8) และ (5,5) ตามลำดับ และกำหนดเครื่องรับอยู่ที่ตำแหน่ง (0,1) นำค่าตำแหน่งที่กำหนดของเครื่องส่งและเครื่องรับไปคำนวณค่า RSSI ที่เครื่องรับควรจะได้รับจากเครื่องส่งแต่ละตัว โดยตำแหน่งที่กำหนดเมื่อผ่านการจำลองจะได้ค่า RSSI ของตัวส่งแต่ละตัว หลังจากนั้นนำค่า RSSI ที่ได้จากเครื่องส่งแต่ละตัวใส่ AWGN บนเครื่องส่งทั้ง 3 ตัว โดยกำหนดค่า Signal to Noise Ratio (SNR) เริ่มต้นจาก 0 dB จนถึง 40 dB โดยเพิ่มทีละ 5 dB และนำค่า RSSI ที่ได้มาคำนวณตำแหน่งของเครื่องรับด้วยกระบวนการ Trilateration ซึ่งจำลองสัญญาณรบกวนซ้ำ 50 samples แล้ววัดระยะคลาดเคลื่อนจากตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 4.7 โดยเส้นสีม่วงแสดงถึงการแพร่กระจายของสัญญาณจากเครื่องส่งตัวที่ 1 เส้นสีเขียวแสดงถึงการแพร่กระจายของสัญญาณจากเครื่องส่งตัวที่ 2 เส้นสีฟ้าแสดงถึงการแพร่กระจายของสัญญาณจากเครื่องส่งตัวที่ 3 จุดสีม่วงแสดงตำแหน่งเครื่องส่งตัวที่ 1 จุดสีเขียวแสดงตำแหน่งเครื่องส่งตัวที่ 2 จุดสีฟ้าแสดงตำแหน่งเครื่องส่งตัวที่ 3 จุดสีแดงแสดงตำแหน่งเครื่องรับ และเครื่องหมายดอกจันแสดงตำแหน่งของเครื่องรับที่จำลอง



รูปที่ 4.7 ตำแหน่งของเครื่องรับเมื่อมีการใส่ AWGN ที่ SNR เท่ากับ 0 dB

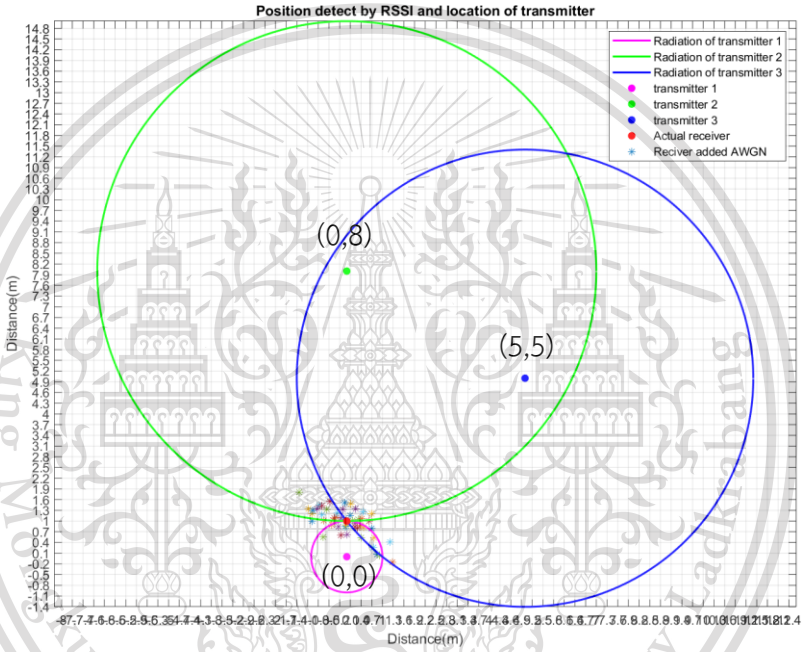
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คำนวณระยะคลาดเคลื่อนจากระยะห่างระหว่างตำแหน่งเครื่องรับจริงและเครื่องรับจำลอง หลังจากใส่ AWGN และนำระยะคลาดเคลื่อนทั้ง 50 samples มาคำนวณค่าเฉลี่ย จะได้ผลลัพธ์เป็นระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในหน่วยเมตร แสดงดังรูปที่ 4.8

```
Mean of distance error = 1.1962
```

รูปที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อให้ SNR เท่ากับ 0 dB

ทำการเพิ่ม SNR จาก 0 dB เป็น 5 dB และทำการจำลองสัญญาณรบกวน AWGN 50 samples แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 ตำแหน่งของเครื่องรับเมื่อมีการใส่ AWGN ที่ SNR เท่ากับ 5 dB

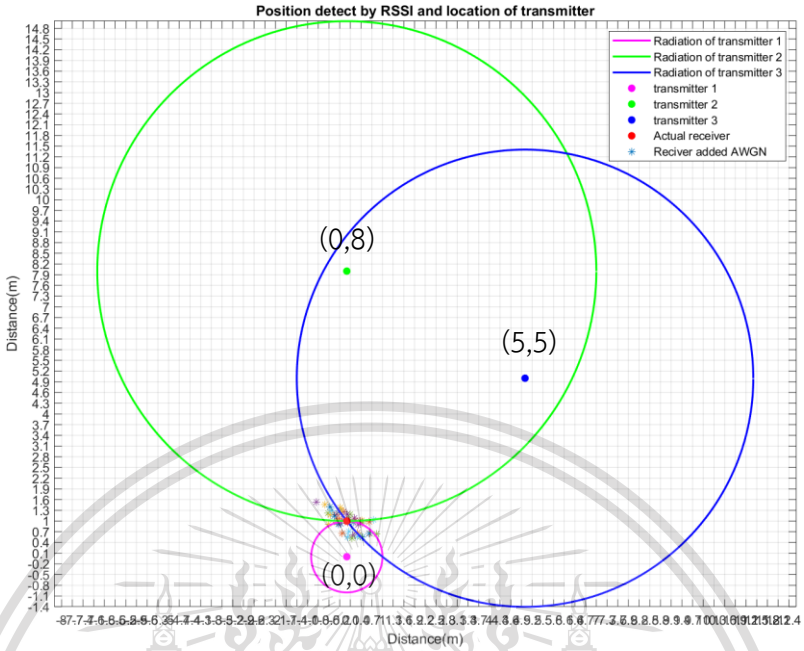
คำนวณระยะคลาดเคลื่อนจากระยะห่างระหว่างตำแหน่งเครื่องรับจริงและเครื่องรับจำลอง หลังจากใส่ AWGN และนำระยะคลาดเคลื่อนทั้ง 50 samples มาคำนวณค่าเฉลี่ย จะได้ผลลัพธ์เป็นระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในหน่วยเมตร แสดงดังรูปที่ 4.10

```
Mean of distance error = 0.6489
```

รูปที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อให้ SNR เท่ากับ 5 dB

ทำการเพิ่ม SNR จาก 5 dB เป็น 10 dB และทำการจำลองสัญญาณรบกวน AWGN 50 samples แสดงดังรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.11 ตำแหน่งของเครื่องรับเมื่อมีการใส่ AWGN ที่ SNR เท่ากับ 10 dB

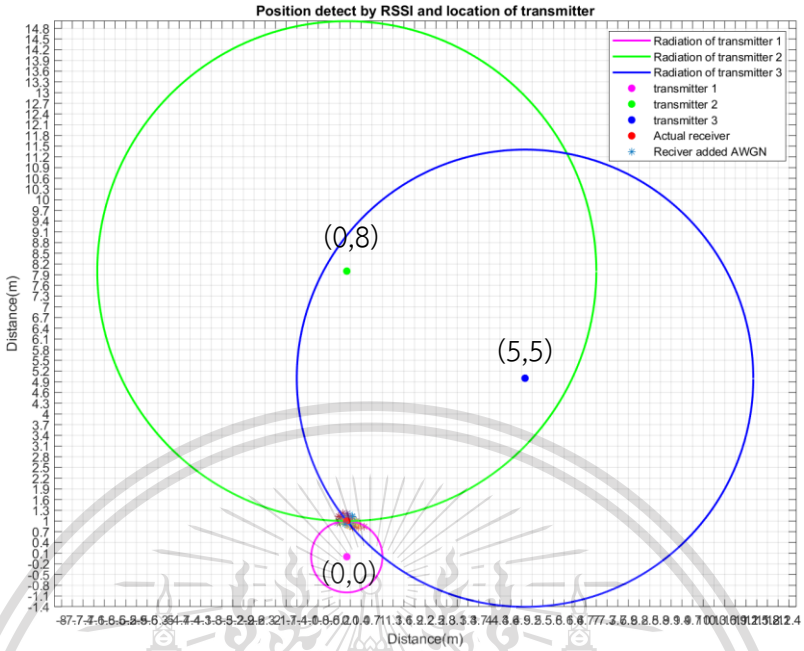
คำนวณระยะคลาดเคลื่อนจากระยะห่างระหว่างตำแหน่งเครื่องรับจริงและเครื่องรับจำลอง หลังจากใส่ AWGN และนำระยะคลาดเคลื่อนทั้ง 50 samples มาคำนวณค่าเฉลี่ย จะได้ผลลัพธ์เป็นระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในหน่วยเมตร แสดงดังรูปที่ 4.12

```
Mean of distance error = 0.3634
```

รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อให้ SNR เท่ากับ 10 dB

ทำการเพิ่ม SNR จาก 10 dB เป็น 15 dB และทำการจำลองสัญญาณรบกวน AWGN 50 samples แสดงดังรูปที่ 4.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.13 ตำแหน่งของเครื่องรับเมื่อมีการใส่ AWGN ที่ SNR เท่ากับ 15 dB

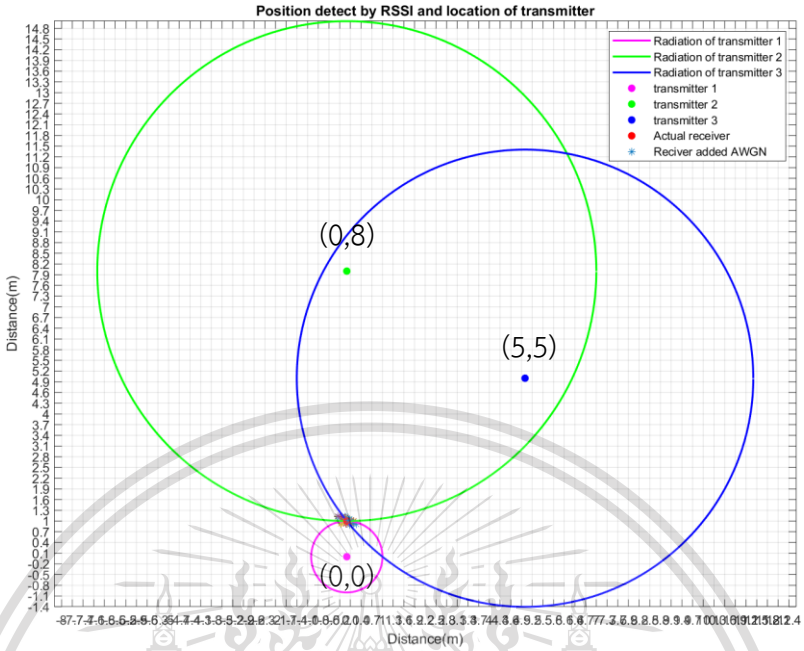
คำนวณระยะคลาดเคลื่อนจากระยะห่างระหว่างตำแหน่งเครื่องรับจริงและเครื่องรับจำลอง หลังจากใส่ AWGN และนำระยะคลาดเคลื่อนทั้ง 50 samples มาคำนวณค่าเฉลี่ย จะได้ผลลัพธ์เป็นระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในหน่วยเมตร แสดงดังรูปที่ 4.14

```
Mean of distance error = 0.1955
```

รูปที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อให้ SNR เท่ากับ 15 dB

ทำการเพิ่ม SNR จาก 15 dB เป็น 20 dB และทำการจำลองสัญญาณรบกวน AWGN 50 samples แสดงดังรูปที่ 4.15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.15 ตำแหน่งของเครื่องรับเมื่อมีการใส่ AWGN ที่ SNR เท่ากับ 20 dB

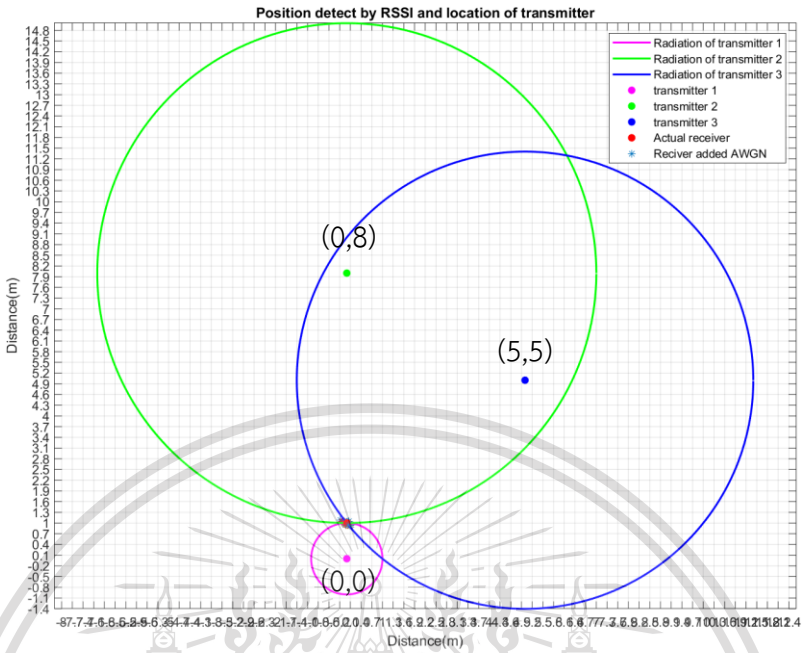
คำนวณระยะคลาดเคลื่อนจากระยะห่างระหว่างตำแหน่งเครื่องรับจริงและเครื่องรับจำลอง หลังจากใส่ AWGN และนำระยะคลาดเคลื่อนทั้ง 50 samples มาคำนวณค่าเฉลี่ย จะได้ผลลัพธ์เป็นระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในหน่วยเมตร แสดงดังรูปที่ 4.16

```
Mean of distance error = 0.1179
```

รูปที่ 4.16 ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อให้ SNR เท่ากับ 20 dB

ทำการเพิ่ม SNR จาก 20 dB เป็น 25 dB และทำการจำลองสัญญาณรบกวน Gaussian noise (AWGN) 50 samples แสดงดังรูปที่ 4.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.17 ตำแหน่งของเครื่องรับเมื่อมีการใส่ AWGN ที่ SNR เท่ากับ 25 dB

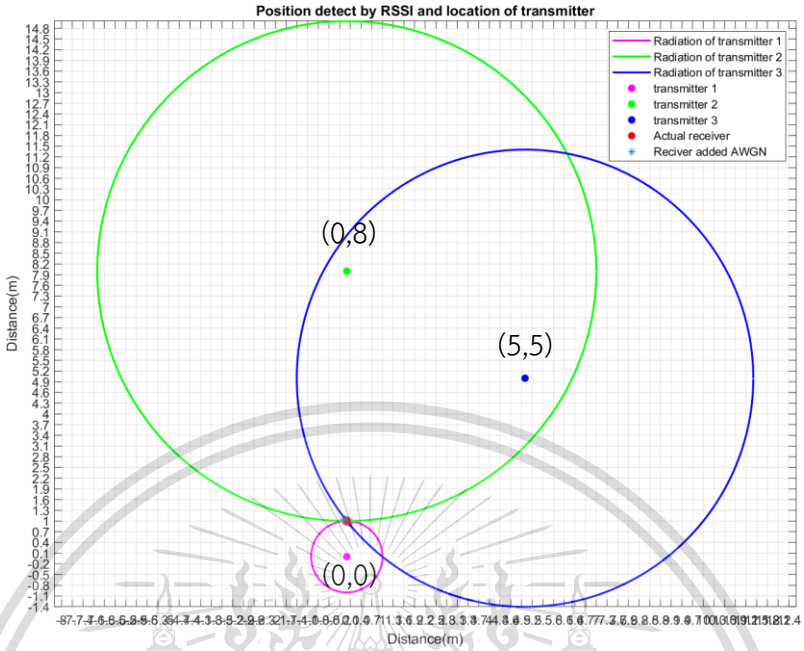
คำนวณระยะคลาดเคลื่อนจากระยะห่างระหว่างตำแหน่งเครื่องรับจริงและเครื่องรับจำลอง หลังจากใส่ AWGN และนำระยะคลาดเคลื่อนทั้ง 50 samples มาคำนวณค่าเฉลี่ย จะได้ผลลัพธ์เป็นระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในหน่วยเมตร แสดงดังรูปที่ 4.18

```
Mean of distance error = 0.0650
```

รูปที่ 4.18 ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อให้ SNR เท่ากับ 25 dB

ทำการเพิ่ม SNR จาก 25 dB เป็น 30 dB และทำการจำลองสัญญาณรบกวน AWGN 50 samples แสดงดังรูปที่ 4.19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.19 ตำแหน่งของเครื่องรับเมื่อมีการใส่ AWGN ที่ SNR เท่ากับ 30 dB

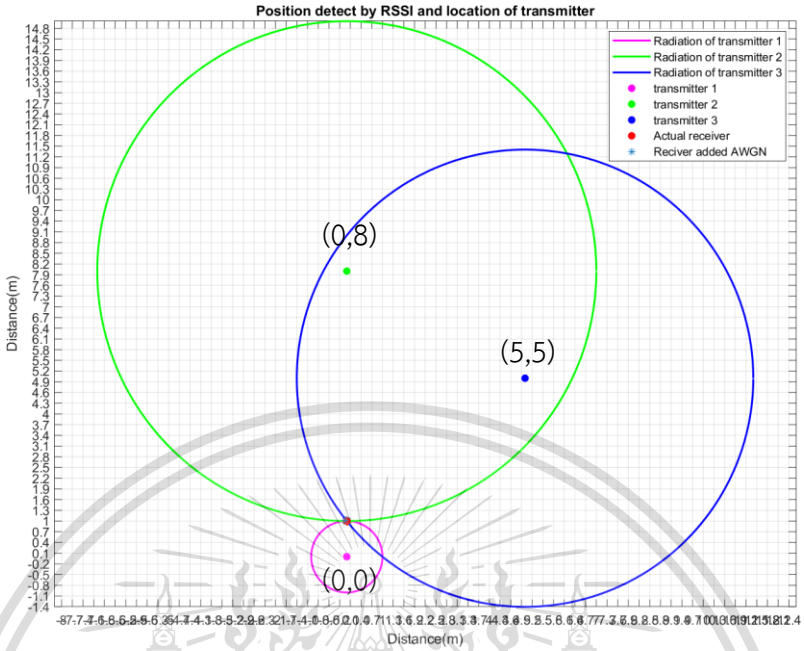
คำนวณระยะคลาดเคลื่อนจากระยะห่างระหว่างตำแหน่งเครื่องรับจริงและเครื่องรับจำลอง หลังจากใส่ AWGN และนำระยะคลาดเคลื่อนทั้ง 50 samples มาคำนวณค่าเฉลี่ย จะได้ผลลัพธ์เป็นระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในหน่วยเมตร แสดงดังรูปที่ 4.20

```
Mean of distance error = 0.0366
```

รูปที่ 4.20 ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อให้ SNR เท่ากับ 30 dB

ทำการเพิ่ม SNR จาก 30 dB เป็น 35 dB และทำการจำลองสัญญาณรบกวน AWGN 50 samples แสดงดังรูปที่ 4.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.21 ตำแหน่งของเครื่องรับเมื่อมีการใส่ AWGN ที่ SNR เท่ากับ 35 dB

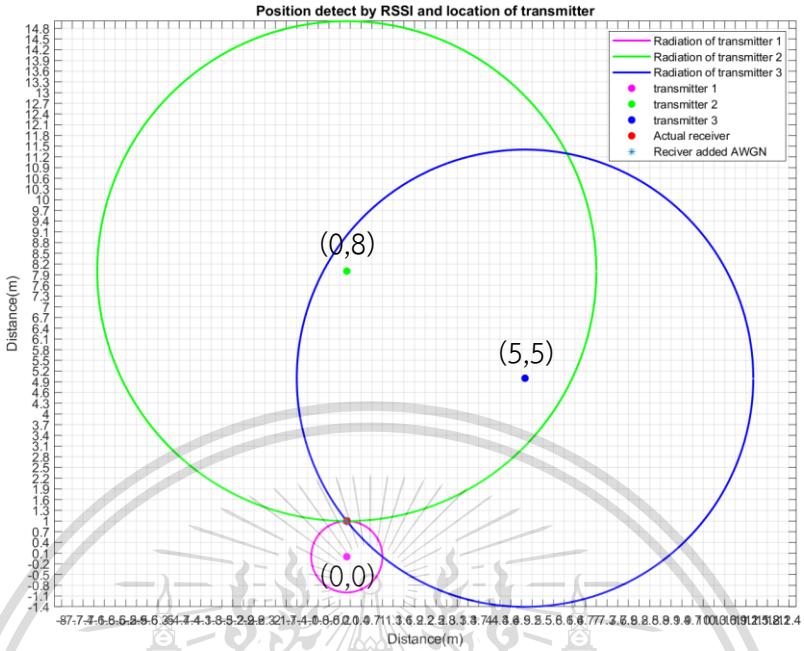
คำนวณระยะคลาดเคลื่อนจากระยะห่างระหว่างตำแหน่งเครื่องรับจริงและเครื่องรับจำลอง หลังจากใส่ AWGN และนำระยะคลาดเคลื่อนทั้ง 50 samples มาคำนวณค่าเฉลี่ย จะได้ผลลัพธ์เป็นระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในหน่วยเมตร แสดงดังรูปที่ 4.22

```
Mean of distance error = 0.0200
```

รูปที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อให้ SNR เท่ากับ 35 dB

ทำการเพิ่ม SNR จาก 35 dB เป็น 40 dB และทำการจำลองสัญญาณรบกวน AWGN 50 samples แสดงดังรูปที่ 4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.23 ตำแหน่งของเครื่องรับเมื่อมีการใส่ AWGN ที่ SNR เท่ากับ 40 dB

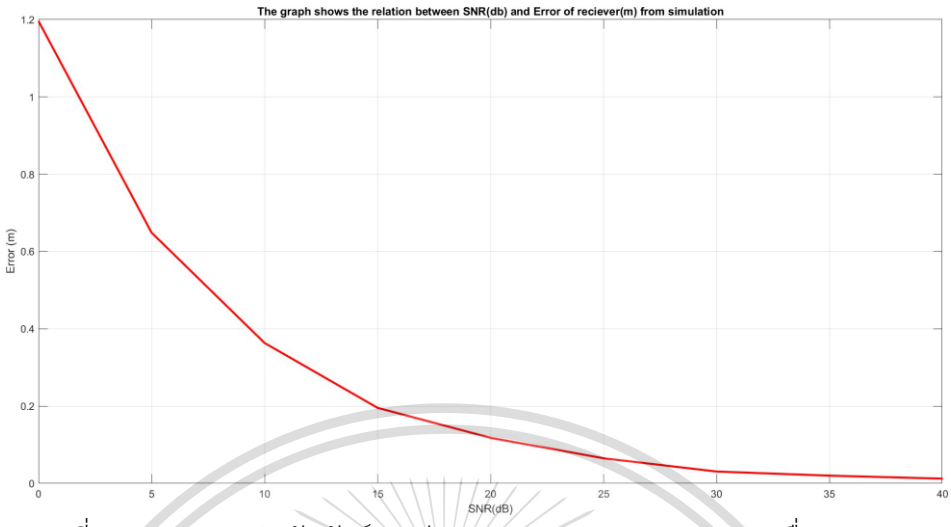
คำนวณระยะคลาดเคลื่อนจากระยะห่างระหว่างตำแหน่งเครื่องรับจริงและเครื่องรับจำลอง หลังจากใส่ AWGN และนำระยะคลาดเคลื่อนทั้ง 50 samples มาคำนวณค่าเฉลี่ย จะได้ผลลัพธ์เป็นระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยในหน่วยเมตร แสดงดังรูปที่ 4.24

```
Mean of distance error = 0.0122
```

รูปที่ 4.24 ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเมื่อให้ SNR เท่ากับ 40 dB

เมื่อนำค่าระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเมื่อกำหนดให้ SNR เพิ่มขึ้นจาก 0 dB ถึง 40 dB โดยเพิ่มทีละ 5 dB มีค่าเท่ากับ 1.20, 0.65, 0.36, 0.20, 0.12, 0.07, 0.03, 0.02 และ 0.01 ตามลำดับ มาสร้างเป็นกราฟเพื่อสังเกตความสัมพันธ์ระหว่าง SNR และความคลาดเคลื่อน ได้ดังรูปที่ 4.25

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง SNR (dB) และความคลาดเคลื่อน (เมตร)

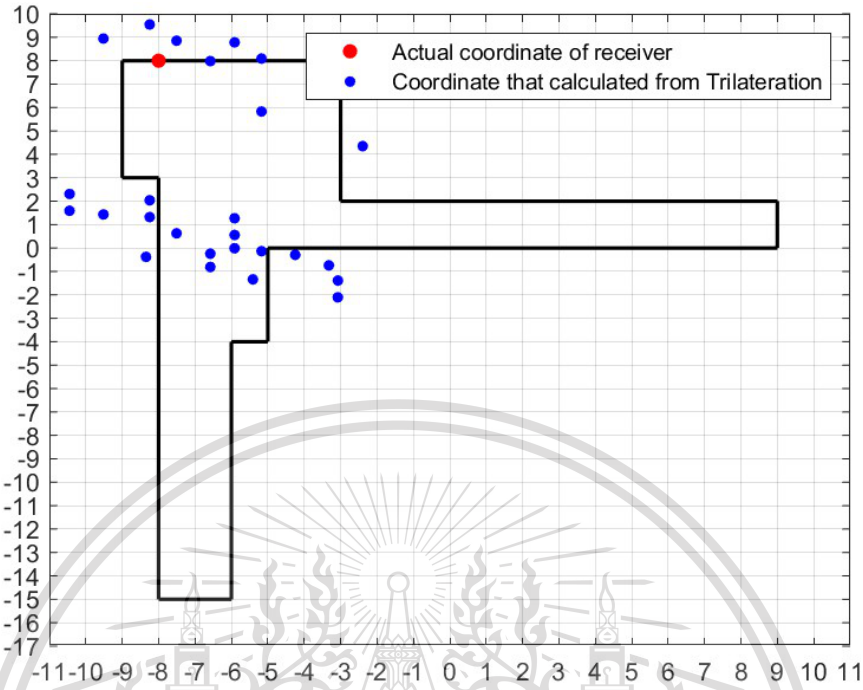
จากกราฟจะพบว่าผลลัพธ์ที่ได้เป็นไปตามทฤษฎี โดยสัญญาณที่มีความเข้มสูงเมื่อเทียบกับสัญญาณรบกวน ทำให้มีความคลาดเคลื่อนจากตำแหน่งน้อยลง และแสดงให้เห็นว่ากระบวนการ Trilateration ในการหาตำแหน่งโดยมีสัญญาณรบกวน AWGN จะมีระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.20 เมตร เมื่อ SNR มีค่าเท่ากับ 0 dB ดังนั้นหากสัญญาณรบกวนจากการวัดเป็นแบบ AWGN จะมีค่าระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 1.20 เมตร

4.3 การคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration และคำนวณระยะคลาดเคลื่อนโดยโปรแกรมแมทแลป

จากการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration และคำนวณระยะคลาดเคลื่อนโดยโปรแกรมแมทแลป ซึ่งคำนวณจากค่า RSSI ที่ได้รับจากเครื่องส่งทั้ง 8 ตัว และมีตำแหน่งเครื่องรับทั้งหมด 145 ตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 3.8

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration ที่ตำแหน่ง (-8,8) แสดงดังรูปที่ 4.26 โดยที่จุดสีแดงแสดงตำแหน่งจริงของเครื่องรับและจุดสีน้ำเงินแสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยกระบวนการ Trilateration และระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณ โดยใช้สมการ Euclidean distance แสดงดังรูปที่ 4.27 โดยตัวแปร Error3Devicemax แสดงระยะคลาดเคลื่อนที่มากที่สุด (เมตร) Error3Devicemean แสดงระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร) และ Error3Devicemin แสดงระยะคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด (เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



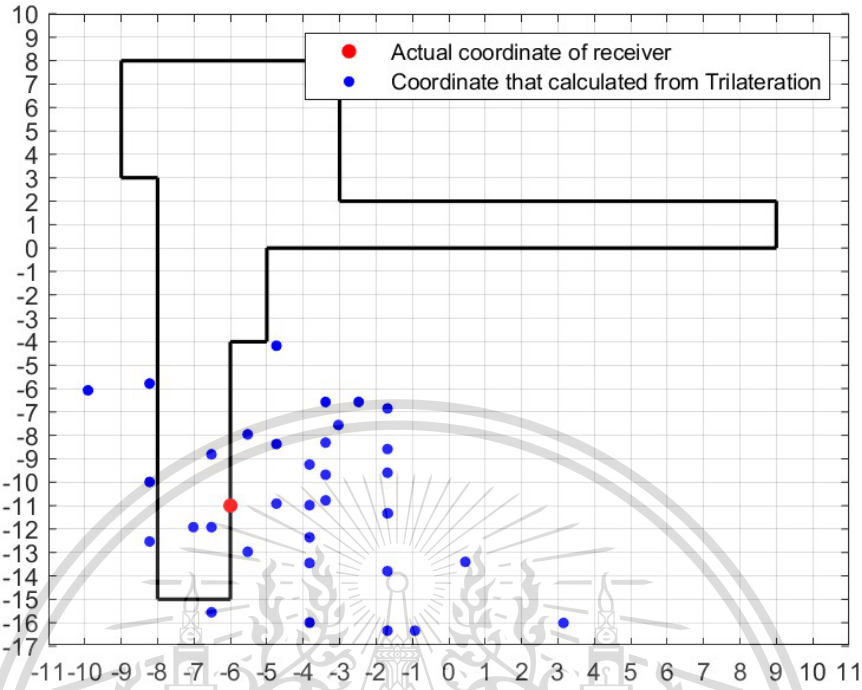
รูปที่ 4.26 ตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยกระบวนการ Trilateration ที่ตำแหน่ง (-8,8)

Error3Devicemax	3.3721
Error3Devicemean	1.8557
Error3Devicemin	0.2954

รูปที่ 4.27 ระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณที่ตำแหน่ง (-8,8)

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration ที่ตำแหน่ง (-6,-11) แสดงดังรูปที่ 4.28 โดยที่จุดสีแดงแสดงตำแหน่งจริงของเครื่องรับและจุดสีน้ำเงินแสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยกระบวนการ Trilateration และระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ Euclidean distance แสดงดังรูปที่ 4.29 โดยตัวแปร Error3Devicemax แสดงระยะคลาดเคลื่อนที่มากที่สุด (เมตร) Error3Devicemean แสดงระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร) และ Error3Devicemin แสดงระยะคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด (เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



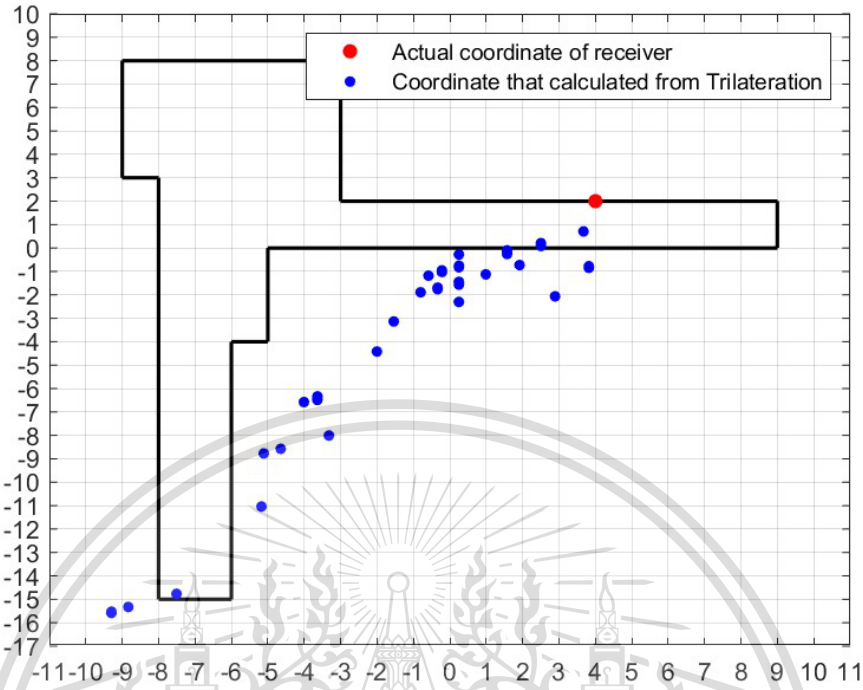
รูปที่ 4.28 ตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยกระบวนการ Trilateration ที่ตำแหน่ง (-6,-11)

Error3Devicemax	3.7381
Error3Devicemean	1.4775
Error3Devicemin	0.3164

รูปที่ 4.29 ระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณที่ตำแหน่ง (-6,-11)

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration ที่ตำแหน่ง (4,2) แสดงดังรูปที่ 4.30 โดยที่จุดสีแดงแสดงตำแหน่งจริงของเครื่องรับและจุดสีน้ำเงินแสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยกระบวนการ Trilateration และระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ Euclidean distance แสดงดังรูปที่ 4.31 โดยตัวแปร Error3Devicemax แสดงระยะคลาดเคลื่อนที่มากที่สุด (เมตร) Error3Devicemean แสดงระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร) และ Error3Devicemin แสดงระยะคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด (เมตร)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.30 ตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยกระบวนการ Trilateration ที่ตำแหน่ง (4,2)

Error3Devicemax	8.0875
Error3Devicemean	2.3775
Error3Devicemin	0.3997

รูปที่ 4.31 ระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณที่ตำแหน่ง (4,2)

จะได้ผลการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย, ระยะคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด และระยะคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดของทั้ง 145 ตำแหน่งแสดงดังตาราง 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.1 ระยะคลาดเคลื่อนของทั้ง 145 ตำแหน่ง

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-9,8)	9.05	3.19	41.74	(-6,-11)	1.48	0.32	3.74
(-9,7)	2.84	1.29	5.48	(-6,-12)	3.29	1.67	9.31
(-9,6)	3.27	2.24	5.17	(-6,-13)	6.90	1.58	19.66
(-9,5)	8.70	2.37	76.58	(-6,-14)	2.31	0.08	5.22
(-9,4)	6.45	0.83	23.85	(-6,-15)	6.76	1.66	36.34
(-9,3)	4.18	1.55	14.02	(-5,8)	2.53	1.35	9.30
(-8,8)	1.86	0.30	3.37	(-5,7)	2.87	0.65	12.41
(-8,7)	2.32	0.19	5.54	(-5,6)	4.55	0.33	38.61
(-8,6)	6.41	0.68	27.54	(-5,5)	1.34	0.31	5.64
(-8,5)	3.74	1.14	8.69	(-5,4)	4.27	0.15	15.25
(-8,4)	2.70	1.28	5.67	(-5,3)	2.13	0.67	11.43
(-8,3)	3.17	0.34	21.38	(-5,2)	3.21	0.79	12.18
(-8,2)	2.46	1.39	7.32	(-5,1)	2.14	1.13	6.25
(-8,1)	2.06	0.70	5.17	(-5,0)	3.41	1.52	8.31
(-8,0)	2.18	0.14	13.55	(-5,-1)	3.28	0.72	9.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-8,-1)	4.18	0.45	24.70	(-5,-2)	1.54	0.17	12.93
(-8,-2)	5.45	0.49	17.68	(-5,-3)	2.55	2.55	6.17
(-8,-3)	3.16	1.01	19.14	(-5,-4)	2.95	0.11	6.60
(-8,-4)	4.13	0.44	18.50	(-4,8)	8.24	0.09	24.42
(-8,-5)	3.26	0.38	6.81	(-4,7)	6.03	1.24	19.51
(-8,-6)	2.48	0.78	8.21	(-4,6)	3.68	0.11	8.23
(-8,-7)	4.12	1.35	9.74	(-4,5)	2.08	0.60	3.80
(-8,-8)	7.17	0.39	28.92	(-4,4)	2.06	0.10	12.36
(-8,-9)	3.66	0.46	12.72	(-4,3)	3.80	1.33	6.07
(-8,-10)	4.47	0.27	10.06	(-4,2)	3.13	0.44	12.15
(-8,-11)	22.35	2.08	104.21	(-4,1)	1.92	0.57	6.96
(-8,-12)	15.36	4.07	79.59	(-4,0)	3.85	0.54	43.56
(-8,-13)	8.64	0.94	63.14	(-3,8)	5.06	1.86	34.13
(-8,-14)	12.32	2.55	154.91	(-3,7)	5.76	2.42	13.40
(-8,-15)	1.58	0.10	2.76	(-3,6)	3.44	0.32	11.49
(-7,8)	6.78	1.42	27.83	(-3,5)	2.45	0.28	3.51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-7,7)	15.23	2.11	132.86	(-3,4)	1.72	0.28	4.26
(-7,6)	4.07	1.98	9.35	(-3,3)	5.73	1.33	29.29
(-7,5)	2.27	0.15	6.17	(-3,2)	2.95	1.10	6.78
(-7,4)	2.72	0.34	14.86	(-3,1)	5.07	0.58	11.48
(-7,3)	2.53	0.74	7.91	(-3,0)	2.92	1.41	7.18
(-7,2)	2.22	0.34	7.99	(-2,2)	2.36	0.36	8.62
(-7,1)	3.02	0.30	31.39	(-2,1)	4.06	0.28	10.81
(-7,0)	2.89	1.60	6.11	(-2,0)	1.12	0.09	3.53
(-7,-1)	1.90	0.17	4.47	(-1,2)	3.19	1.93	6.55
(-7,-2)	5.39	0.55	17.94	(-1,1)	11.73	0.84	90.26
(-7,-3)	6.81	0.24	103.41	(-1,0)	8.66	1.96	12.68
(-7,-4)	6.10	0.15	23.05	(0,2)	2.17	0.08	8.10
(-7,-5)	4.09	3.04	6.00	(0,1)	1.75	0.30	7.55
(-7,-6)	7.38	0.89	37.52	(0,0)	2.17	0.07	6.61
(-7,-7)	10.96	0.88	50.36	(1,2)	2.35	0.72	8.09
(-7,-8)	7.01	0.86	184.53	(1,1)	4.44	0.23	9.74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-7,-9)	4.68	1.54	9.89	(1,0)	2.92	0.48	7.59
(-7,-10)	5.84	0.65	18.65	(2,2)	10.74	1.67	31.41
(-7,-11)	2.21	1.45	5.27	(2,1)	5.77	1.69	13.00
(-7,-12)	5.88	0.49	30.44	(2,0)	3.50	0.27	17.86
(-7,-13)	8.41	1.81	26.16	(3,2)	5.99	1.83	13.54
(-7,-14)	4.74	1.27	9.90	(3,1)	13.46	3.27	36.35
(-7,-15)	3.19	1.47	5.32	(3,0)	4.79	0.96	15.55
(-6,8)	3.79	0.71	14.28	(4,2)	2.38	0.40	8.09
(-6,7)	13.79	0.48	34.06	(4,1)	3.87	0.33	23.37
(-6,6)	8.35	0.80	29.43	(4,0)	9.40	3.18	23.21
(-6,5)	1.85	1.02	3.18	(5,2)	2.87	0.15	8.33
(-6,4)	7.22	1.17	135.06	(5,1)	7.81	3.46	15.55
(-6,3)	6.72	2.53	23.60	(5,0)	3.68	1.11	16.66
(-6,2)	1.65	0.59	6.19	(6,2)	6.64	0.39	21.80
(-6,1)	3.38	0.87	9.56	(6,1)	2.89	1.49	7.62
(-6,0)	1.72	0.08	6.00	(6,0)	3.85	1.40	9.56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

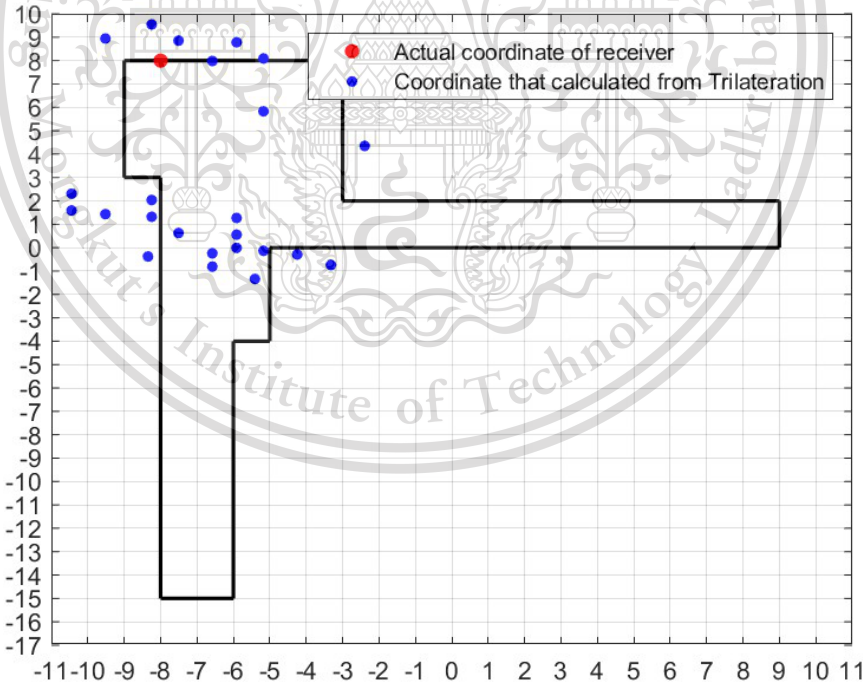
ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-6,-1)	2.36	0.91	3.68	(7,2)	4.74	1.24	8.55
(-6,-2)	6.77	1.33	24.86	(7,1)	2.23	0.44	7.15
(-6,-3)	1.77	0.06	9.42	(7,0)	8.49	0.73	24.62
(-6,-4)	2.85	1.30	11.60	(8,2)	2.83	0.62	5.44
(-6,-5)	8.10	1.52	60.29	(8,1)	3.49	0.72	35.58
(-6,-6)	17.55	0.61	70.88	(8,0)	1.81	0.40	5.03
(-6,-7)	4.72	1.07	9.23	(9,2)	1.90	0.76	3.93
(-6,-8)	3.20	0.67	8.43	(9,1)	1.62	0.77	3.68
(-6,-9)	13.17	0.45	127.02	(9,0)	4.34	1.45	10.93
(-6,-10)	6.30	0.70	60.36				

จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเครื่องรับทั้ง 145 ตำแหน่ง และนำค่าทั้งหมด 145 ตำแหน่งมาเฉลี่ยจะได้ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 4.82 เมตร ระยะคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดเท่ากับ 0.97 เมตร และระยะคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดเท่ากับ 22.65 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4 การคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration และคำนวณระยะคลาดเคลื่อนโดยโปรแกรมแมทแลป โดยกำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจากข้อมูลอื่น

จากหัวข้อที่ 4.3 เนื่องจากข้อมูล RSSI บางค่ามีความผิดปกติจากข้อมูลชุดอื่น จึงทำให้ค่าระยะคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดมีค่าสูง และส่งผลให้ค่าระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยสูงขึ้นด้วย ผู้จัดทำจึงทำการตัดข้อมูลที่ผิดปกติออกจากข้อมูลอื่นก่อนที่จะทำกระบวนการ Trilateration เพื่อลดระยะคลาดเคลื่อนที่เกิดจากข้อมูลที่มีค่าผิดปกติ โดยตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration ที่ตำแหน่ง (-8,8) แสดงดังรูปที่ 4.32 โดยที่จุดสีแดงแสดงตำแหน่งจริงของเครื่องรับและจุดสีน้ำเงินแสดตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยกระบวนการ Trilateration และระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ Euclidean distance แสดงดังรูปที่ 4.33 โดยที่ตัวแปร Error3Devicemax แสดงระยะคลาดเคลื่อนที่มากที่สุด (เมตร) Error3Devicemean แสดงระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร) และ Error3Devicemin แสดงระยะคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด (เมตร)



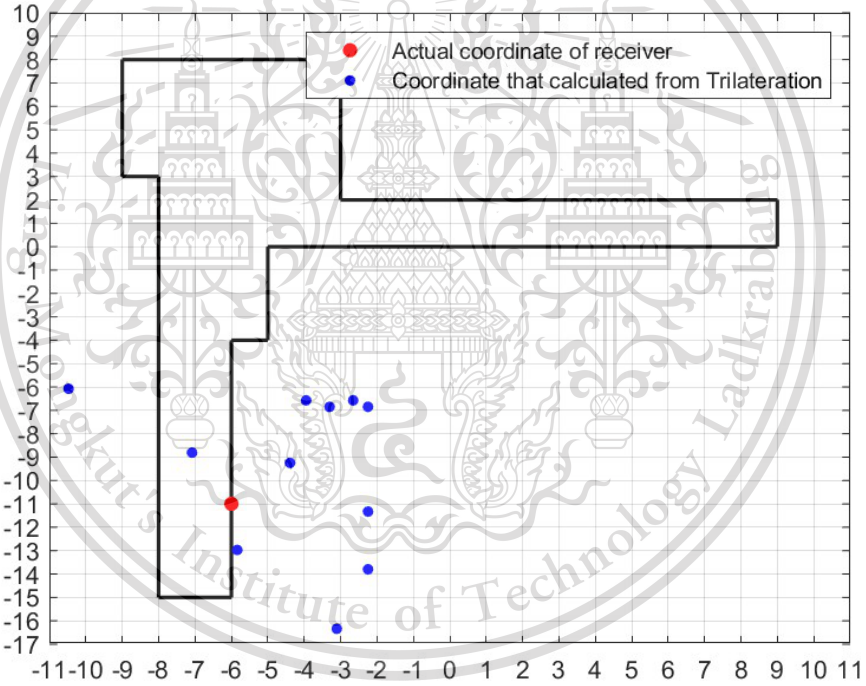
รูปที่ 4.32 ตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยกระบวนการ Trilateration ที่ตำแหน่ง (-8,8)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Error3Devicemax	2.9748
Error3Devicemean	1.7514
Error3Devicemin	0.2954

รูปที่ 4.33 ระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณที่ตำแหน่ง (-8,8)

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration ที่ตำแหน่ง (-6,-11) แสดงดังรูปที่ 4.34 โดยที่จุดสีแดงแสดงตำแหน่งจริงของเครื่องรับและจุดสีน้ำเงินแสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยกระบวนการ Trilateration และระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ Euclidean distance แสดงดังรูปที่ 4.35 โดยตัวแปร Error3Devicemax แสดงระยะคลาดเคลื่อนที่มากที่สุด (เมตร) Error3Devicemean แสดงระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร) และ Error3Devicemin แสดงระยะคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด (เมตร)



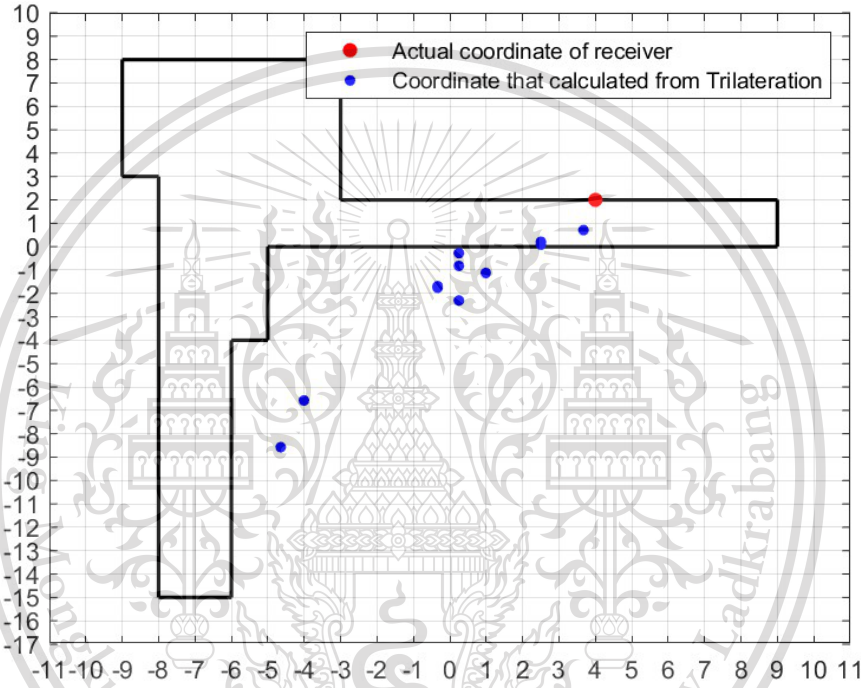
รูปที่ 4.34 ตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยกระบวนการ Trilateration ที่ตำแหน่ง (-6,-11)

Error3Devicemax	2.3979
Error3Devicemean	1.4805
Error3Devicemin	0.5924

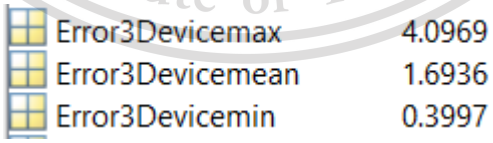
รูปที่ 4.35 ระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณที่ตำแหน่ง (-6,-11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration ที่ตำแหน่ง (4,2) แสดงดังรูปที่ 4.36 โดยที่จุดสีแดงแสดงตำแหน่งจริงของเครื่องรับและจุดสีน้ำเงินแสดงตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยกระบวนการ Trilateration และระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ Euclidean distance แสดงดังรูปที่ 4.37 โดยตัวแปร Error3Devicemax แสดงระยะคลาดเคลื่อนที่มากที่สุด (เมตร) Error3Devicemean แสดงระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร) และ Error3Devicemin แสดงระยะคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด (เมตร)



รูปที่ 4.36 ตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยกระบวนการ Trilateration ที่ตำแหน่ง (4,2)



รูปที่ 4.37 ระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณที่ตำแหน่ง (4,2)

จะได้ผลการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย, ระยะคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุด และระยะคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดของทั้ง 145 ตำแหน่งเมื่อกำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจากข้อมูลอื่น แสดงดังตาราง 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 ระยะคลาดเคลื่อนของทั้ง 145 ตำแหน่ง เมื่อกำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจากข้อมูลอื่น

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-9,8)	3.90	1.62	10.19	(-6,-11)	1.48	0.59	2.40
(-9,7)	2.95	1.42	5.48	(-6,-12)	2.46	0.37	9.42
(-9,6)	3.45	2.44	5.17	(-6,-13)	2.84	1.09	4.17
(-9,5)	2.48	0.26	23.45	(-6,-14)	1.66	0.13	3.06
(-9,4)	6.28	0.83	22.91	(-6,-15)	8.02	0.86	24.68
(-9,3)	1.66	0.35	4.54	(-5,8)	2.10	1.50	3.12
(-8,8)	1.75	0.30	2.97	(-5,7)	2.26	2.02	3.26
(-8,7)	1.47	0.63	2.70	(-5,6)	2.70	0.37	7.56
(-8,6)	4.78	0.57	24.14	(-5,5)	1.30	0.31	5.28
(-8,5)	3.65	1.14	7.66	(-5,4)	0.79	0.15	3.10
(-8,4)	3.10	1.26	5.43	(-5,3)	1.34	0.39	4.73
(-8,3)	1.31	0.12	3.38	(-5,2)	2.66	0.65	7.71
(-8,2)	2.41	1.39	7.32	(-5,1)	2.03	0.84	3.87
(-8,1)	1.87	1.03	3.03	(-5,0)	2.88	0.56	8.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-8,0)	2.30	1.65	3.05	(-5,-1)	4.09	0.53	24.67
(-8,-1)	1.95	0.79	4.86	(-5,-2)	0.94	0.30	3.98
(-8,-2)	3.63	0.76	10.04	(-5,-3)	2.13	1.66	3.21
(-8,-3)	0.93	0.21	1.67	(-5,-4)	3.21	0.26	6.45
(-8,-4)	1.54	0.14	6.28	(-4,8)	7.32	1.83	16.79
(-8,-5)	3.98	0.94	6.81	(-4,7)	3.17	1.21	9.18
(-8,-6)	2.14	0.78	6.29	(-4,6)	2.41	0.46	4.40
(-8,-7)	2.32	0.95	3.97	(-4,5)	1.80	1.55	2.05
(-8,-8)	0.80	0.60	1.37	(-4,4)	1.57	0.40	3.06
(-8,-9)	2.74	0.46	6.76	(-4,3)	3.30	0.37	10.18
(-8,-10)	2.78	1.30	5.07	(-4,2)	1.14	0.77	1.52
(-8,-11)	4.30	1.86	8.55	(-4,1)	1.58	0.12	4.55
(-8,-12)	16.22	1.09	56.11	(-4,0)	1.78	0.96	2.32
(-8,-13)	4.82	0.86	17.47	(-3,8)	3.76	1.87	9.56
(-8,-14)	5.88	2.55	11.78	(-3,7)	4.20	1.45	17.51
(-8,-15)	1.82	0.72	3.06	(-3,6)	2.54	1.47	4.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-7,8)	5.32	3.33	8.01	(-3,5)	1.38	0.75	2.82
(-7,7)	3.57	1.95	9.86	(-3,4)	1.59	0.36	3.10
(-7,6)	2.76	0.48	22.16	(-3,3)	5.70	1.33	42.01
(-7,5)	2.27	0.15	6.17	(-3,2)	1.91	0.12	6.43
(-7,4)	2.87	0.50	14.86	(-3,1)	5.36	1.30	11.61
(-7,3)	2.00	0.36	5.01	(-3,0)	3.02	1.41	7.18
(-7,2)	1.62	0.86	2.61	(-2,2)	1.44	0.49	3.28
(-7,1)	2.92	2.47	3.14	(-2,1)	2.78	0.31	8.65
(-7,0)	3.21	1.92	6.18	(-2,0)	0.48	0.31	0.78
(-7,-1)	1.85	0.20	4.27	(-1,2)	1.40	0.80	2.31
(-7,-2)	5.72	0.60	17.94	(-1,1)	7.86	2.54	9.38
(-7,-3)	1.14	0.13	2.79	(-1,0)	5.10	2.08	11.08
(-7,-4)	1.29	0.35	4.49	(0,2)	2.11	0.50	8.08
(-7,-5)	1.57	1.33	1.83	(0,1)	1.08	0.30	3.32
(-7,-6)	3.84	1.13	17.39	(0,0)	1.84	0.07	6.54
(-7,-7)	4.77	1.17	12.83	(1,2)	2.11	1.56	3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-7,-8)	1.72	1.24	2.30	(1,1)	4.35	0.23	9.74
(-7,-9)	3.52	3.28	3.62	(1,0)	1.15	0.26	3.47
(-7,-10)	4.22	0.21	10.71	(2,2)	10.22	1.67	25.09
(-7,-11)	1.98	1.52	2.59	(2,1)	2.82	1.17	4.59
(-7,-12)	1.64	0.37	2.36	(2,0)	3.46	0.27	17.86
(-7,-13)	4.30	1.81	11.66	(3,2)	4.85	1.83	17.67
(-7,-14)	3.73	1.21	5.77	(3,1)	11.94	7.04	19.16
(-7,-15)	4.03	1.31	7.18	(3,0)	5.58	1.63	15.55
(-6,8)	2.95	0.94	8.63	(4,2)	1.69	0.40	4.10
(-6,7)	2.59	1.17	4.23	(4,1)	3.09	0.48	12.25
(-6,6)	1.72	0.64	2.19	(4,0)	9.56	2.90	27.98
(-6,5)	1.68	0.25	4.76	(5,2)	2.77	0.27	5.65
(-6,4)	1.20	0.75	1.50	(5,1)	2.68	2.41	3.33
(-6,3)	4.66	2.60	11.25	(5,0)	2.04	0.75	3.35
(-6,2)	0.89	0.12	3.72	(6,2)	2.34	0.24	8.30
(-6,1)	3.19	0.30	10.87	(6,1)	1.76	0.32	2.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง (x,y)	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง (x,y)	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด		เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-6,0)	1.64	0.13	3.13	(6,0)	2.51	1.40	7.62
(-6,-1)	2.28	1.15	3.62	(7,2)	4.56	1.74	13.20
(-6,-2)	2.70	0.21	10.69	(7,1)	2.11	0.44	7.15
(-6,-3)	1.51	0.11	5.79	(7,0)	8.57	0.73	24.62
(-6,-4)	2.36	0.18	4.26	(8,2)	2.22	0.42	4.82
(-6,-5)	4.32	0.81	14.91	(8,1)	2.86	1.30	8.53
(-6,-6)	3.60	0.30	31.12	(8,0)	1.34	0.20	3.25
(-6,-7)	4.91	0.60	24.45	(9,2)	1.82	0.76	2.83
(-6,-8)	2.85	0.19	8.78	(9,1)	1.36	0.59	3.14
(-6,-9)	8.08	1.63	28.41	(9,0)	3.01	0.22	8.44
(-6,-10)	2.45	1.59	3.00				

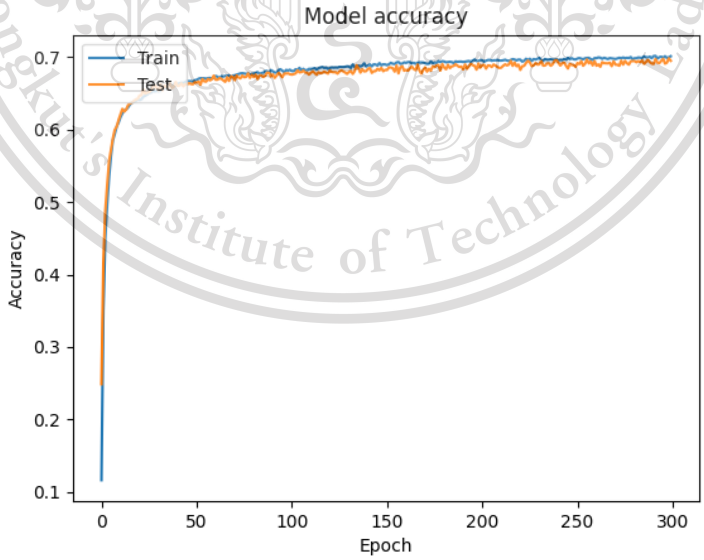
จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งเครื่องรับทั้ง 145 ตำแหน่งโดยทำการโดยกำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจากข้อมูลก่อนที่จะใช้ในกระบวนการ Trilateration และนำค่าทั้งหมด 145 ตำแหน่งมาเฉลี่ยจะได้ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ยเท่ากับ 3.12 เมตร ระยะคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดเท่ากับ 0.96 เมตร และระยะคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดเท่ากับ 8.69 เมตร โดยสามารถสรุปได้ว่าการกำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจากข้อมูลก่อนที่จะใช้ในกระบวนการ Trilateration จะให้ระยะคลาดเคลื่อนที่น้อยกว่าแบบที่ไม่ได้กำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจากข้อมูล จากการทดลองหัวข้อที่ 4.2 ทำให้ทราบว่าระยะคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น ไม่ได้เกิดจากสัญญาณรบกวนที่มาจาก AWGN เพียงอย่างเดียวแต่ยังเกิดจากสภาพแวดล้อมภายในห้องที่มีสิ่งกีด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ขวางบางอย่างซึ่งมีความสามารถในการสะท้อนคลื่น จึงส่งผลให้เกิดสภาวะ Multipath fading โดยการแก้ Multipath fading จะใช้การชดเชยสัญญาณรบกวน (Channel estimate) แต่อุปกรณ์เครื่องส่งสัญญาณไม่สามารถชดเชยสัญญาณรบกวนได้ จึงใช้วิธีการระบุตำแหน่งโดยการทำนายผลจาก AI โมเดลต่างๆ

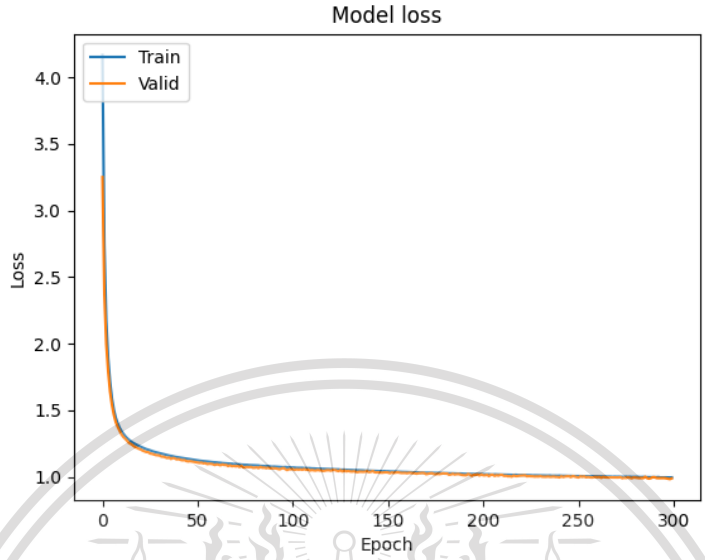
4.5 ผลการทดสอบส่วนฝึกฝน AI โมเดลที่ 1

ผลการทำนายเคสจากการฝึกฝน AI แบบ classification หรือการจำแนกประเภทโดยกำหนดจำนวน Hidden Layer 1 layer และโหนด จำนวน 10 โหนด โดยใช้ Activation Function คือ Relu และ Activation Function ของ Output layer เป็น Softmax โดยมีจำนวนการฝึกฝนที่ 300 epochs และ Batch Size เท่ากับ 32 ได้ผลลัพธ์ค่า Accuracy ของโมเดลเท่ากับ 69.50 เปอร์เซ็นต์ โดยแสดงกราฟเทียบค่า Accuracy ของโมเดลระหว่างค่า Training Set ใช้สำหรับทดสอบว่าโมเดลทำงานได้ดีแค่ไหน กับ Testing Set ใช้สำหรับทดสอบว่าโมเดลจะทำงานได้ดีแค่ไหนกับข้อมูลที่ไม่เคยเห็นมาก่อนดังรูปที่ 4.38 โดยแกนตั้งคือ ค่า Accuracy ของโมเดล ส่วนแกนนอนคือ จำนวนตัวอย่างที่นำมาทดสอบ และแสดงกราฟ Model Loss เพื่อดูว่าการทำนายมีการ Under-fitting หรือ Over-fitting หรือไม่ดังรูปที่ 4.39



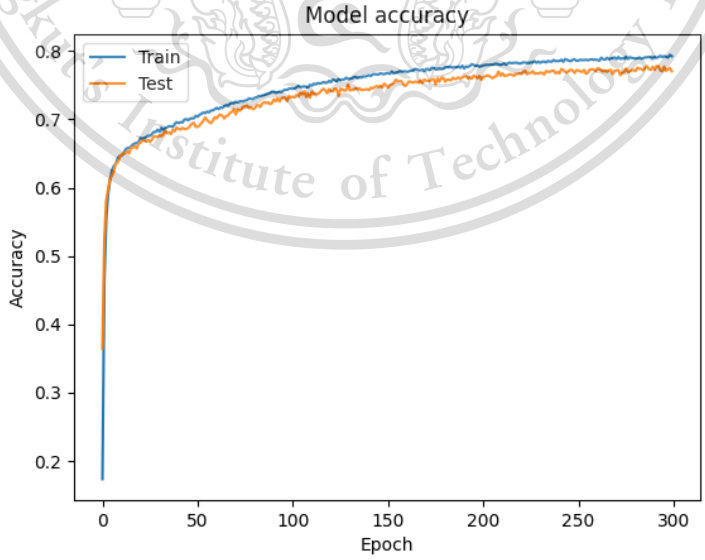
รูปที่ 4.38 กราฟ Accuracy จำนวน Hidden Layer 1 layer และโหนด 10 โหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



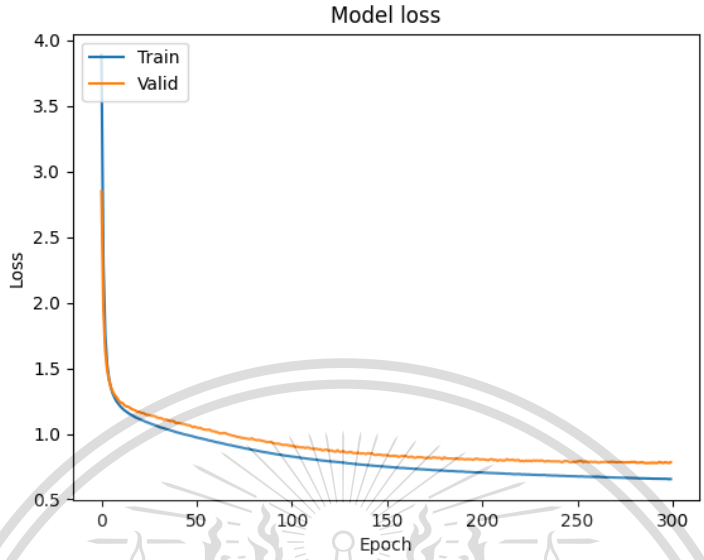
รูปที่ 4.39 กราฟ Model Loss จำนวน Hidden Layer 1 layer และโหนด 10 โหนด

ผลการทำนายเคสจากการเพิ่มจำนวนโหนดจาก 10 โหนดเป็น 30 โหนด ได้ผลลัพธ์ค่า Accuracy ของโมเดลจาก 69.50 เปอร์เซ็นต์เป็น 77.00 เปอร์เซ็นต์โดยแสดงกราฟเทียบค่า Accuracy ของโมเดลระหว่างค่า Training Set กับ Testing Set ดังรูปที่ 4.40 และแสดงกราฟ Model Loss ดังรูปที่ 4.41



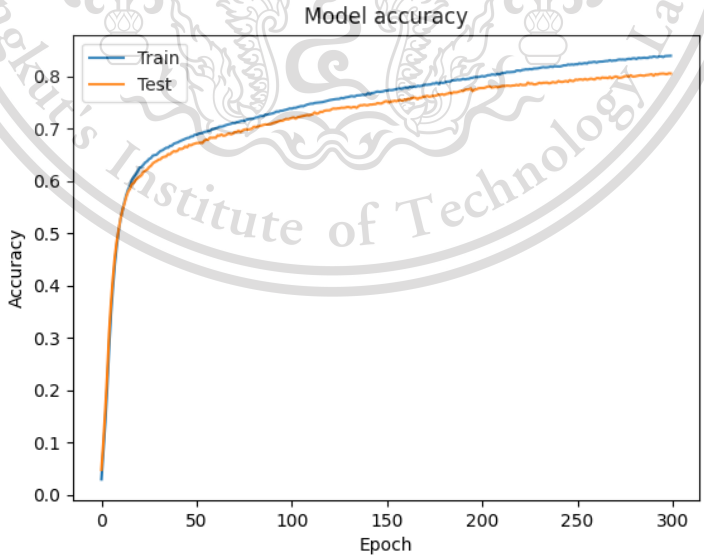
รูปที่ 4.40 กราฟ Accuracy จำนวน Hidden Layer 1 layer และโหนด 30 โหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



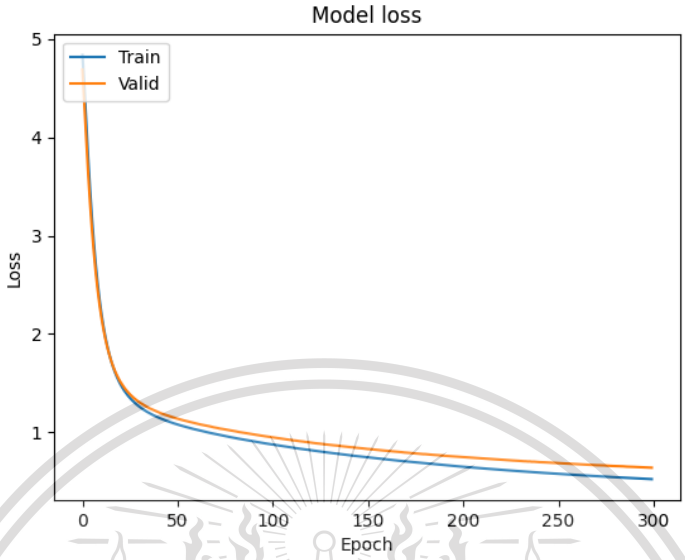
รูปที่ 4.41 กราฟ Model Loss จำนวน Hidden Layer 1 layer และโหนด 30 โหนด

ผลการทำนายเคสจากการเพิ่มจำนวนโหนดจาก 30 โหนดเป็น 50 โหนด ได้ผลลัพธ์ค่า Accuracy ของโมเดลจาก 77.00 เปอร์เซ็นต์เป็น 79.43 เปอร์เซ็นต์โดยแสดงกราฟเทียบค่า Accuracy ของโมเดลระหว่างค่า Training Set กับ Testing Set ดังรูปที่ 4.42 และแสดงกราฟ Model Loss ดังรูปที่ 4.43



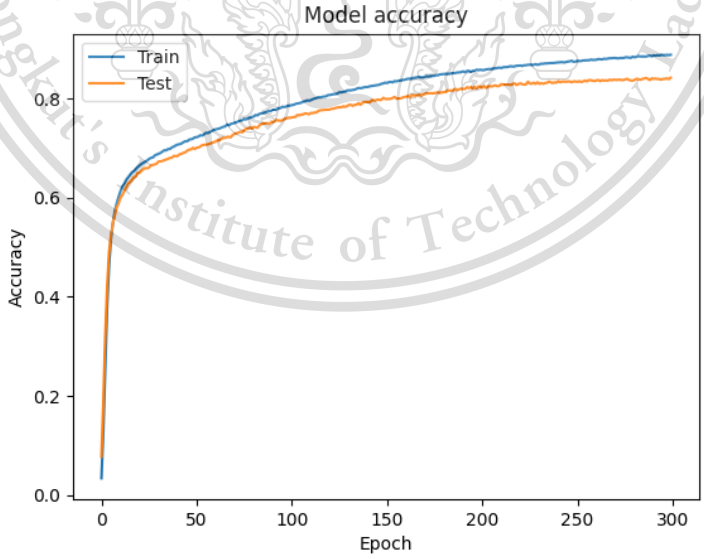
รูปที่ 4.42 กราฟ Accuracy จำนวน Hidden Layer 1 layer และโหนด 50 โหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



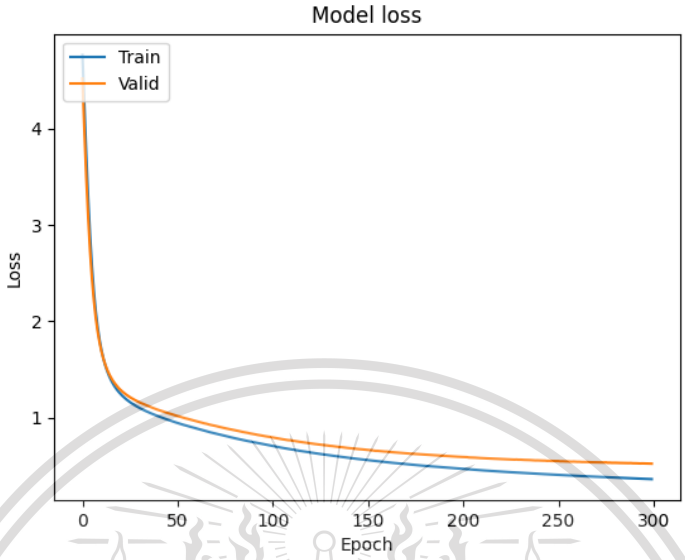
รูปที่ 4.43 กราฟ Model Loss จำนวน Hidden Layer 1 layer และโหนด 50 โหนด

ผลการทำนายเคสจากการเพิ่มจำนวนโหนดจาก 50 โหนดเป็น 100 โหนด ได้ผลลัพธ์ค่า Accuracy ของโมเดลจาก 79.43 เปอร์เซ็นต์เป็น 83.83 เปอร์เซ็นต์โดยแสดงกราฟเทียบค่า Accuracy ของโมเดลระหว่างค่า Training Set กับ Testing Set ดังรูปที่ 4.44 และแสดงกราฟ Model Loss ดังรูปที่ 4.45



รูปที่ 4.44 กราฟ Accuracy จำนวน Hidden Layer 1 layer และโหนด 100 โหนด

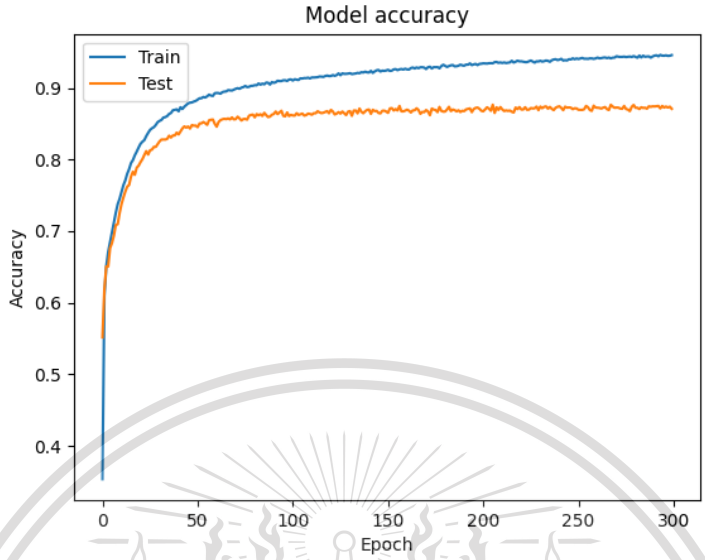
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



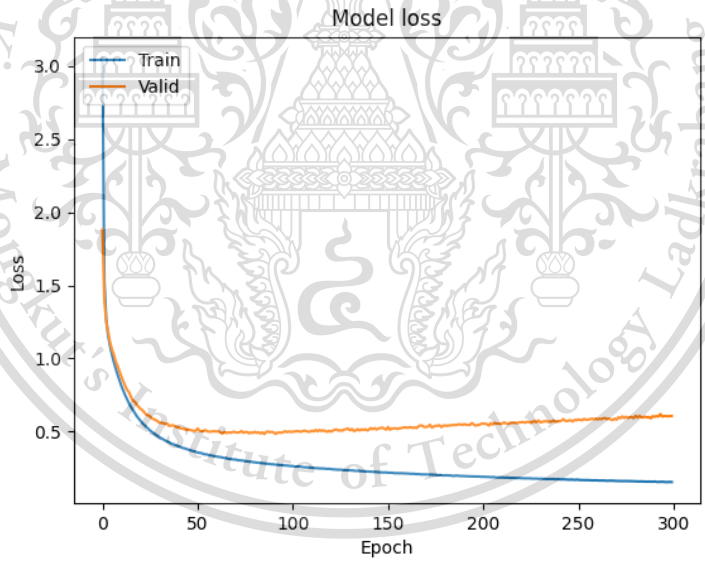
รูปที่ 4.45 กราฟ Model Loss จำนวน Hidden Layer 1 layer และโหนด 100 โหนด

ผลการทำนายเคสจากการเพิ่มจำนวนโหนดจาก 100 โหนดเป็น 120 โหนด ได้ผลลัพธ์ค่า Accuracy ของโมเดลจาก 88.83 เปอร์เซ็นต์เป็น 89.00 เปอร์เซ็นต์โดยแสดงกราฟเทียบค่า Accuracy ของโมเดลระหว่างค่า Training Set กับ Testing Set ดังรูปที่ 4.46 และแสดงกราฟ Model Loss ดังรูปที่ 4.47 แต่เมื่อดูจากกราฟ Model Loss จะสังเกตได้ว่า การทำนายมีการ Over-fitting จึงเลือกที่จะเปลี่ยนเป็นเพิ่ม Hidden Layer แทนที่จะเพิ่มจำนวนโหนดต่อไปและใช้เทคนิคการทำ drop out , kernel regularizer และ batch normalization เพื่อช่วยลด Over-fitting

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



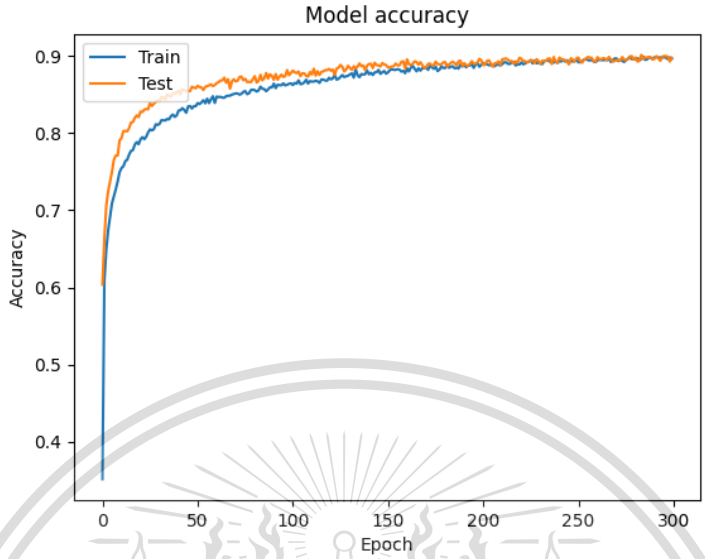
รูปที่ 4.46 กราฟ Accuracy จำนวน Hidden Layer 1 layer และโหนด 120 โหนด



รูปที่ 4.47 กราฟ Model Loss จำนวน Hidden Layer 1 layer และโหนด 120 โหนด

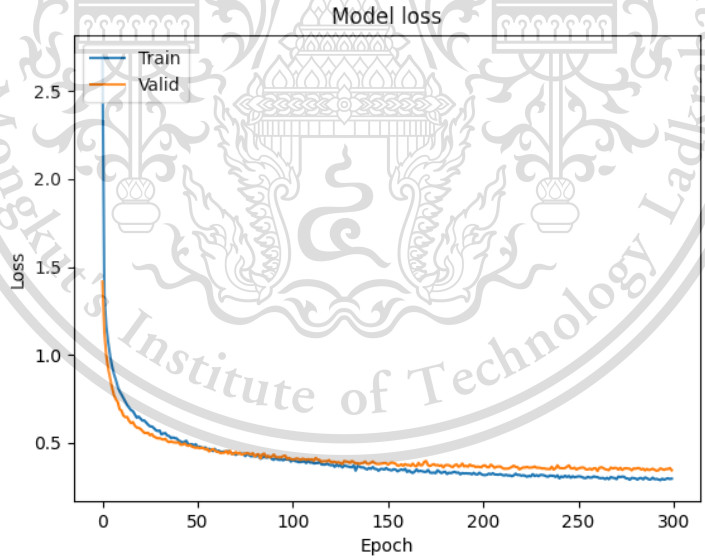
ผลการทำนายเคสจากการเพิ่มจำนวน Hidden Layer จาก 1 layer เป็น 2 layers และจำนวนโหนด ของ layer ที่ 2 เท่ากับ 180 โหนด ได้ผลลัพธ์ค่า Accuracy ของโมเดลจาก 88.83 เปอร์เซ็นต์เป็น 89.00 เปอร์เซ็นต์โดยแสดงกราฟเทียบค่า Accuracy ของโมเดลระหว่างค่า Training Set กับ Testing Set ดังรูปที่ 4.48 และแสดงกราฟ Model Loss ดังรูปที่ 4.49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.48 กราฟ Accuracy จำนวน Hidden Layer 2 layers

จำนวนโหนด 100 และ 180 โหนดตามลำดับ

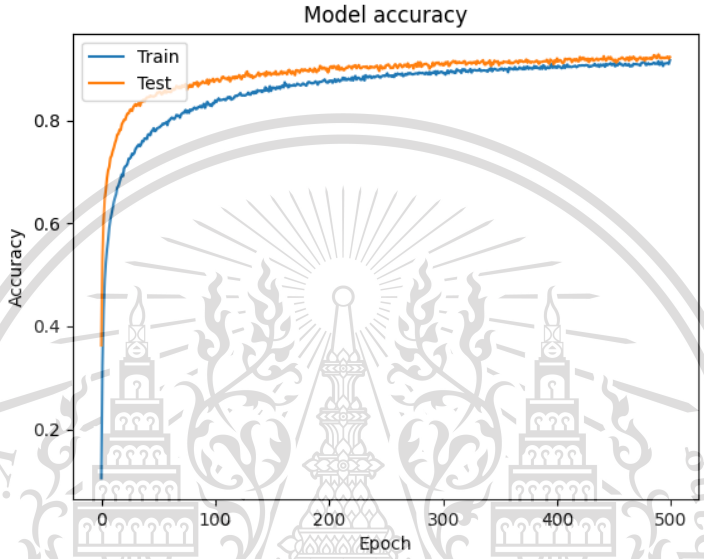


รูปที่ 4.49 กราฟ Model Loss จำนวน Hidden Layer 2 layers

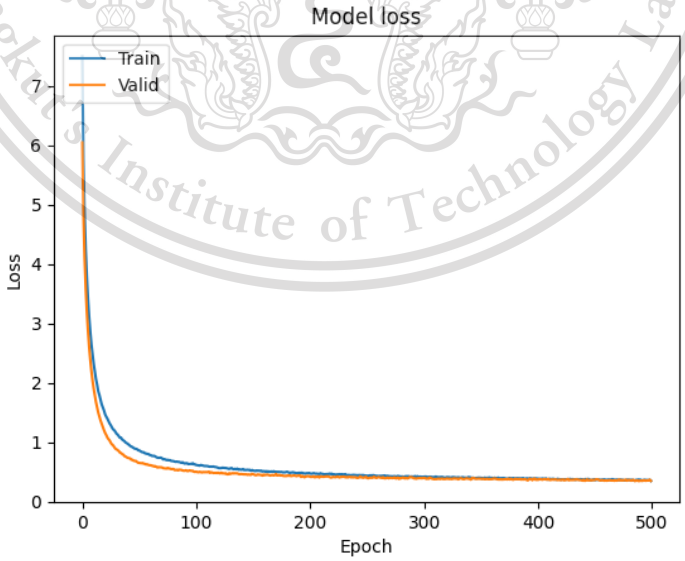
จำนวนโหนด 100 และ 180 โหนดตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลการทำนายเคสจากการเพิ่มจำนวน Hidden Layer จาก 2 layers เป็น 3 layers โดยเพิ่มจำนวนโหนดของ layer ที่ 3 เท่ากับ 200 โหนด และเพิ่มจำนวนรอบการฝึกฝนจาก 300 เป็น 500 epochs ได้ผลลัพธ์ค่า Accuracy ของโมเดลจาก 89.00 เปอร์เซ็นต์เป็น 92.09 เปอร์เซ็นต์ โดยแสดงกราฟเทียบค่า Accuracy ของโมเดลระหว่างค่า Training Set กับ Testing Set ดังรูปที่ 4.50 และแสดงกราฟ Model Loss ดังรูปที่ 4.51



รูปที่ 4.50 กราฟ Accuracy จำนวน Hidden Layer 3 layers จำนวนโหนด 100, 180 และ 200 โหนดตามลำดับ



รูปที่ 4.51 กราฟ Model Loss จำนวน Hidden Layer 3 layers จำนวนโหนด 100, 180 และ 200 โหนดตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สรุปผลลัพธ์ของโมเดลโดยการกำหนดจำนวน Hidden Layer จำนวนโหนด จำนวนการฝึกฝน epochs และ Batch Size ได้ผลลัพธ์เป็นค่า Accuracy ของโมเดลแสดงดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลลัพธ์ค่า Accuracy ของโมเดล ที่กำหนด Hidden Layer จำนวนโหนด จำนวนการฝึกฝน epochs และ Batch Size

จำนวน Hidden Layer	จำนวนโหนดใน Hidden Layer ที่ 1	จำนวนโหนดใน Hidden Layer ที่ 2	จำนวนโหนดใน Hidden Layer ที่ 3	จำนวนการฝึกฝน epochs	ใช้เทคนิค drop out , regularizer และ batch normalization	Accuracy
1	10	-	-	300	-	69.50 %
1	15	-	-	300	-	72.00 %
1	20	-	-	300	-	74.55 %
1	25	-	-	300	-	75.61 %
1	30	-	-	300	-	77.00 %
1	40	-	-	300	-	78.62 %
1	50	-	-	300	-	79.43 %
1	60	-	-	300	-	80.04 %
1	70	-	-	300	-	81.12 %
1	80	-	-	300	-	82.00 %
1	100	-	-	300	-	83.83 %
1	120	-	-	300	-	89.00 % *
2	100	40	-	500	✓	79.00 %
2	100	80	-	500	✓	82.23 %
2	100	120	-	500	✓	84.50 %
2	100	160	-	500	✓	88.20 %
2	100	180	-	500	✓	89.00 %
2	100	200	-	500	✓	88.70 %
3	100	180	100	500	✓	88.00 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จำนวน Hidden Layer	จำนวนโหนดใน Hidden Layer ที่ 1	จำนวนโหนดใน Hidden Layer ที่ 2	จำนวนโหนดใน Hidden Layer ที่ 3	จำนวนการฝึกฝน epochs	ใช้เทคนิค drop out , regularizer และ batch normalization	Accuracy
3	100	180	140	500	✓	88.12 %
3	100	180	180	500	✓	90.02 %
3	100	180	200	500	✓	92.05 %
3	100	180	220	500	✓	90.00 %

หมายเหตุ เครื่องหมาย * เมื่อดูจากกราฟ Model Loss จะสังเกตได้ว่า การทำนายมีการ Over-fitting

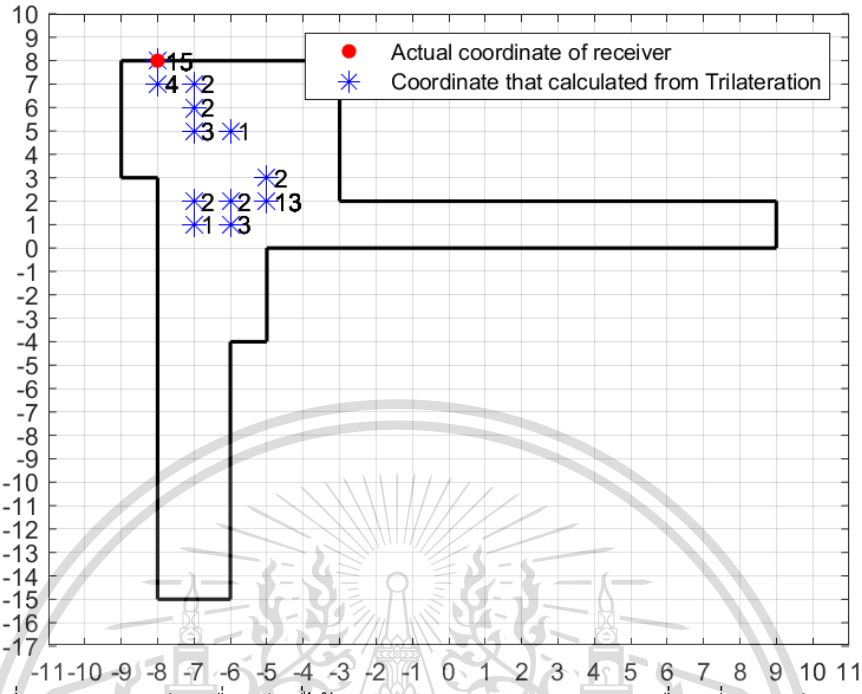
จากผลลัพธ์ค่า Accuracy ของโมเดลที่ได้ทำการฝึกฝนจะเลือกใช้จำนวน Hidden Layer 3 layers และโหนดจำนวน 100, 180, 200 โหนดตามลำดับ โดยมีจำนวนการฝึกฝนที่ 500 epochs และ Batch Size เท่ากับ 32 ได้ค่า Accuracy เท่ากับ 92.05 เปอร์เซ็นต์

4.6 ผลการทดสอบหลังนำโมเดลที่ 1 ไปใช้จริง

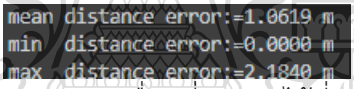
การทดสอบโมเดลจากการใช้จริงจะทำการเก็บข้อมูล RSSI ของเครื่องส่งทั้ง 8 ตัว ให้ครบ 145 ตำแหน่งภายในห้องทดลองโดยจะได้เป็นไฟล์นามสกุล csv ทั้งหมด 145 ไฟล์ หลังจากนั้นเมื่อนำไฟล์นั้นของแต่ละตำแหน่งภายในห้องทดลองไปใช้กับโมเดลที่ได้ฝึกฝนไว้เจะได้ผลลัพธ์เป็นระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งโดยเฉลี่ย ระยะคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดของตำแหน่งและระยะคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดของตำแหน่งหน่วยเป็นเมตร

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (-8,8) แสดงดังรูปที่ 4.52 โดยที่จุดสีแดงแสดงถึงตำแหน่งจริงของเครื่องรับและจุดสีน้ำเงินแสดงถึงตำแหน่งที่ได้จากการทำนายจากโมเดล และระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ Euclidean distance แสดงดังรูปที่ 4.53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



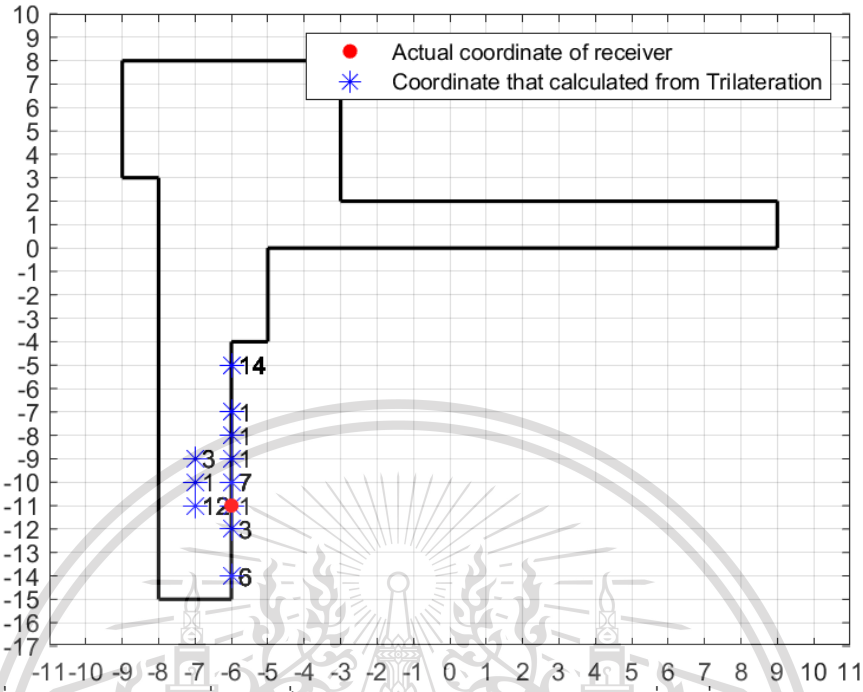
รูปที่ 4.52 ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (-8,8)



รูปที่ 4.53 ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (-8,8)

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (-6,-11) แสดงดังรูปที่ 4.54 โดยที่จุดสีแดงแสดงถึงตำแหน่งจริงของเครื่องรับและจุดสีน้ำเงินแสดงถึงตำแหน่งที่ได้จากการทำนายจากโมเดล และระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ Euclidean distance แสดงดังรูปที่ 4.55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



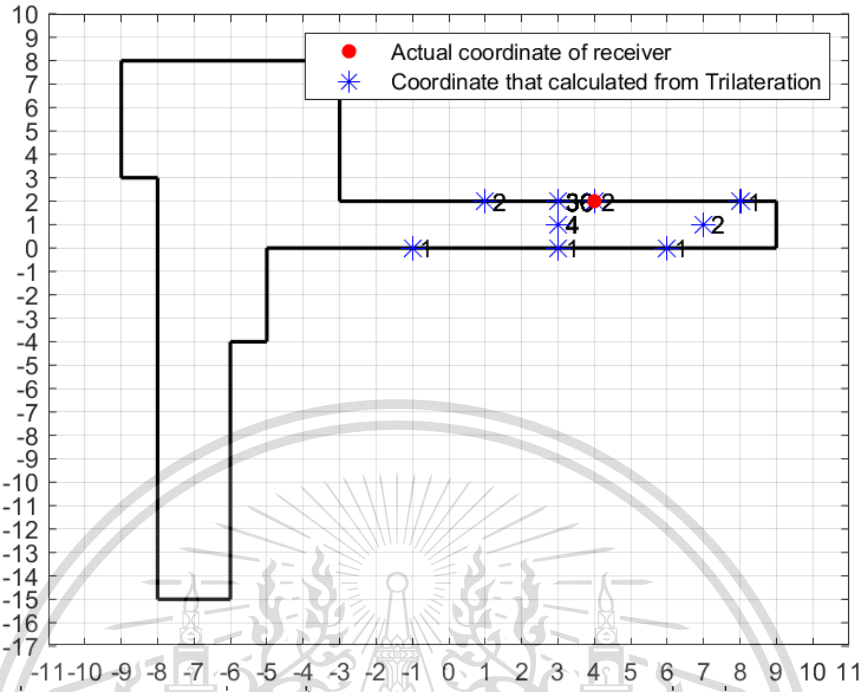
รูปที่ 4.54 ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (-6,-11)

```
mean distance error:-0.8467 m
min  distance error:-0.0000 m
max  distance error:-1.8000 m
```

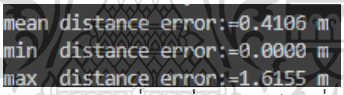
รูปที่ 4.55 ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (-6,-11)

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (4,2) แสดงดังรูปที่ 4.56 โดยที่จุดสีแดงแสดงถึงตำแหน่งจริงของเครื่องรับและจุดสีน้ำเงินแสดงถึงตำแหน่งที่ได้จากการทำนายจากโมเดล และระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ Euclidean distance แสดงดังรูปที่ 4.57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.56 ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (4,2)



รูปที่ 4.57 ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (4,2)

เมื่อทำครบทั้ง 145 ตำแหน่งภายในห้องทดลองและบันทึกผลจะได้ผลลัพธ์แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ระยะคลาดเคลื่อนของทั้ง 145 ตำแหน่ง เมื่อใช้โมเดลที่ 1

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (แมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-9,8)	1.03	0.00	4.17	(-6,-11)	0.85	0.00	1.80
(-9,7)	1.89	0.00	4.70	(-6,-12)	2.13	0.30	5.73
(-9,6)	1.04	0.00	4.18	(-6,-13)	1.25	0.00	5.41
(-9,5)	0.91	0.30	3.42	(-6,-14)	1.44	0.30	5.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-9,4)	1.10	0.00	4.81	(-6,-15)	1.43	0.30	2.40
(-9,3)	0.89	0.00	1.90	(-5,8)	1.65	0.00	4.43
(-8,8)	1.06	0.00	2.18	(-5,7)	1.24	0.00	6.07
(-8,7)	1.12	0.00	4.21	(-5,6)	1.07	0.00	2.55
(-8,6)	0.90	0.00	5.41	(-5,5)	0.85	0.30	2.42
(-8,5)	1.13	0.30	4.18	(-5,4)	0.87	0.00	1.50
(-8,4)	0.78	0.00	3.13	(-5,3)	0.91	0.00	1.92
(-8,3)	0.94	0.00	1.82	(-5,2)	0.79	0.00	1.90
(-8,2)	1.19	0.00	2.10	(-5,1)	0.84	0.30	2.18
(-8,1)	1.06	0.30	2.42	(-5,0)	1.25	0.30	3.95
(-8,0)	1.63	0.60	2.42	(-5,-1)	1.55	0.30	2.42
(-8,-1)	1.11	0.42	3.30	(-5,-2)	0.99	0.00	3.13
(-8,-2)	1.55	0.00	3.35	(-5,-3)	0.95	0.00	3.23
(-8,-3)	1.40	0.42	3.31	(-5,-4)	0.92	0.00	3.30
(-8,-4)	1.29	0.00	3.60	(-4,8)	1.63	0.00	3.00
(-8,-5)	0.97	0.00	5.24	(-4,7)	1.66	0.00	2.77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (แมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-8,-6)	1.63	0.00	5.37	(-4,6)	0.96	0.00	2.68
(-8,-7)	1.42	0.00	5.25	(-4,5)	1.22	0.42	4.37
(-8,-8)	1.80	0.00	4.21	(-4,4)	0.94	0.00	1.92
(-8,-9)	1.82	0.00	4.51	(-4,3)	1.05	0.42	2.01
(-8,-10)	0.95	0.30	2.85	(-4,2)	0.98	0.30	1.90
(-8,-11)	1.12	0.42	2.77	(-4,1)	1.72	0.42	3.61
(-8,-12)	1.46	0.00	6.16	(-4,0)	1.24	0.00	3.61
(-8,-13)	1.42	0.30	6.58	(-3,8)	0.68	0.00	4.95
(-8,-14)	2.32	0.42	6.48	(-3,7)	1.00	0.00	2.77
(-8,-15)	1.04	0.00	2.47	(-3,6)	1.32	0.00	3.13
(-7,8)	1.33	0.00	6.61	(-3,5)	0.82	0.00	1.70
(-7,7)	1.98	0.00	5.71	(-3,4)	1.17	0.42	2.01
(-7,6)	1.49	0.00	5.41	(-3,3)	1.09	0.00	1.82
(-7,5)	1.22	0.00	3.30	(-3,2)	0.78	0.00	1.90
(-7,4)	0.87	0.00	3.91	(-3,1)	1.09	0.30	2.58
(-7,3)	1.15	0.00	4.88	(-3,0)	1.56	0.42	2.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-7,2)	0.65	0.00	1.90	(-2,2)	1.05	0.00	2.34
(-7,1)	0.65	0.00	4.21	(-2,1)	0.95	0.00	1.92
(-7,0)	0.78	0.00	2.47	(-2,0)	0.73	0.30	2.18
(-7,-1)	1.23	0.00	3.31	(-1,2)	0.82	0.00	2.34
(-7,-2)	1.14	0.00	3.31	(-1,1)	1.49	0.00	2.34
(-7,-3)	1.06	0.00	3.71	(-1,0)	1.03	0.60	2.47
(-7,-4)	1.25	0.00	3.01	(0,2)	1.26	0.00	2.72
(-7,-5)	1.03	0.42	2.42	(0,1)	0.72	0.30	2.68
(-7,-6)	0.53	0.30	3.06	(0,0)	1.63	0.42	2.55
(-7,-7)	1.47	0.30	4.50	(1,2)	0.95	0.00	2.42
(-7,-8)	1.14	0.30	3.95	(1,1)	0.89	0.30	2.58
(-7,-9)	0.95	0.00	2.12	(1,0)	1.17	0.00	2.47
(-7,-10)	1.01	0.30	4.02	(2,2)	0.55	0.00	2.83
(-7,-11)	1.52	0.42	3.95	(2,1)	0.42	0.00	2.47
(-7,-12)	1.30	0.00	5.71	(2,0)	0.85	0.00	3.19
(-7,-13)	0.67	0.00	3.31	(3,2)	0.56	0.00	2.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-7,-14)	2.11	0.30	6.38	(3,1)	0.71	0.00	2.83
(-7,-15)	0.44	0.00	2.10	(3,0)	0.73	0.00	3.35
(-6,8)	1.58	0.30	6.03	(4,2)	0.41	0.00	1.62
(-6,7)	1.17	0.00	4.43	(4,1)	0.88	0.00	3.50
(-6,6)	1.04	0.00	2.95	(4,0)	0.39	0.00	3.23
(-6,5)	1.10	0.60	2.42	(5,2)	0.91	0.30	3.35
(-6,4)	1.42	0.30	3.31	(5,1)	1.79	0.00	3.35
(-6,3)	1.19	0.00	2.72	(5,0)	2.08	0.30	4.00
(-6,2)	0.80	0.30	2.47	(6,2)	0.77	0.00	2.18
(-6,1)	1.81	0.00	4.21	(6,1)	1.50	0.95	4.21
(-6,0)	1.30	0.30	2.42	(6,0)	0.37	0.00	4.02
(-6,-1)	0.76	0.00	3.00	(7,2)	0.90	0.00	4.50
(-6,-2)	0.98	0.00	2.85	(7,1)	1.23	0.00	3.31
(-6,-3)	1.94	0.00	3.42	(7,0)	1.32	0.00	5.95
(-6,-4)	1.51	0.00	3.65	(8,2)	0.60	0.00	2.47
(-6,-5)	1.30	0.30	4.00	(8,1)	0.72	0.00	3.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

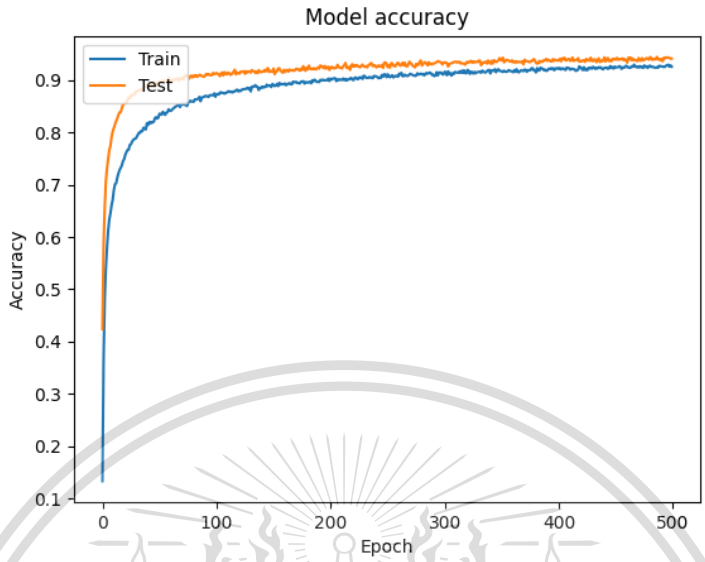
ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-6,-6)	1.38	0.30	3.65	(8,0)	1.71	0.00	4.84
(-6,-7)	1.14	0.00	2.47	(9,2)	0.66	0.30	0.90
(-6,-8)	1.17	0.60	1.80	(9,1)	0.84	0.00	5.13
(-6,-9)	0.49	0.00	2.10	(9,0)	0.40	0.00	1.34
(-6,-10)	1.29	0.30	4.88				

สรุปผลการทดสอบโมเดลจากการใช้จริงทั้ง 145 ตำแหน่งภายในห้องทดลองโดยจะได้ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของโมเดลเท่ากับ 1.13 เมตรหรือ 113 เซนติเมตร, ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนต่ำสุดของโมเดลเท่ากับ 0.12 เมตรหรือ 12.00 เซนติเมตร, ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนต่ำสุดของโมเดลเท่ากับ 3.37 เมตรหรือ 337 เซนติเมตร

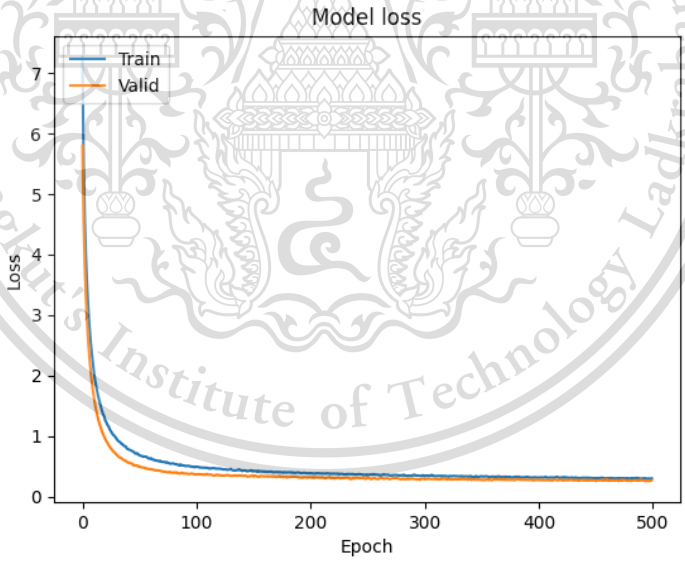
4.7 ผลการทดสอบส่วนฝึกฝน AI โมเดลที่ 2

นำโมเดลที่ 1 มาทำการกำจัดข้อมูลที่มีค่าผิดปกติออกจากการเก็บผล RSSI ทั้ง 145 ตำแหน่งโดยใช้หลักการทำ Outlier เพื่อหาและกำจัดข้อมูลที่มีค่าผิดปกติออก โดยจะเปลี่ยนค่าที่ผิดปกติที่ต้องการกำจัดออกเป็นค่าเฉลี่ยของแต่ละ samples เพื่อที่จะไม่ทำให้ข้อมูลนั้นถูกตัดจนมีข้อมูลน้อยเกินไปที่จะทำการฝึกฝน AI โดยหลังจากที่ตัดค่าผิดปกติออกจะนำมาฝึกฝน AI โดยใช้กำหนดจำนวน Hidden Layer จำนวนโหนด จำนวนการฝึกฝน epochs จำนวน Batch Size และพารามิเตอร์ต่างๆ เดียวกับโมเดลที่ 1 คือ จำนวน Hidden Layer เท่ากับ 3 layers จำนวนโหนดเท่ากับ 100, 180, 200 โหนดตามลำดับ โดยมีจำนวนการฝึกฝนที่ 500 epochs และ Batch Size เท่ากับ 32 จะได้ Accuracy เพิ่มขึ้นจาก 92.05 เป็น 94.36 เปอร์เซ็นต์โดยแสดงกราฟเทียบค่า Accuracy ของโมเดลระหว่างค่า Training Set กับ Testing Set ดังรูปที่ 4.58 และแสดงกราฟ Model Loss ดังรูปที่ 4.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.58 กราฟ Accuracy จำนวน Hidden Layer 3 layers จำนวนโหนด 100, 180 และ 200 โหนดตามลำดับ ของโมเดลที่ 2

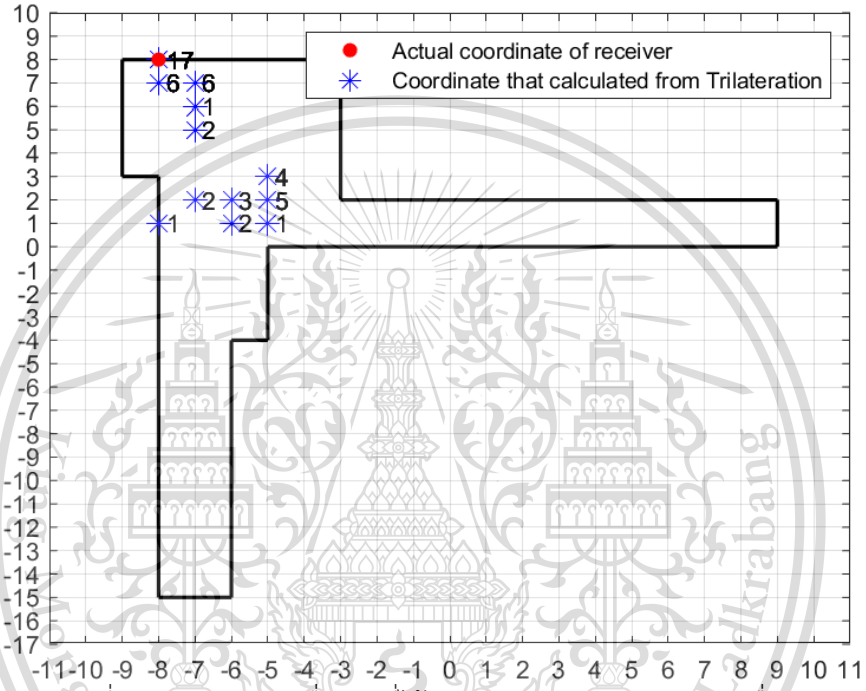


รูปที่ 4.59 กราฟ Model Loss จำนวน Hidden Layer 3 layers จำนวนโหนด 100, 180 และ 200 โหนดตามลำดับ ของโมเดลที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.8 ผลการทดสอบหลังนำโมเดลที่ 2 ไปใช้จริง

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (-8,8) แสดงดังรูปที่ 4.60 โดยที่จุดสีแดงแสดงถึงตำแหน่งจริงของเครื่องรับและจุดสีน้ำเงินแสดงถึงตำแหน่งที่ได้จากการทำนายจากโมเดล และระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ Euclidean distance แสดงดังรูปที่ 4.61



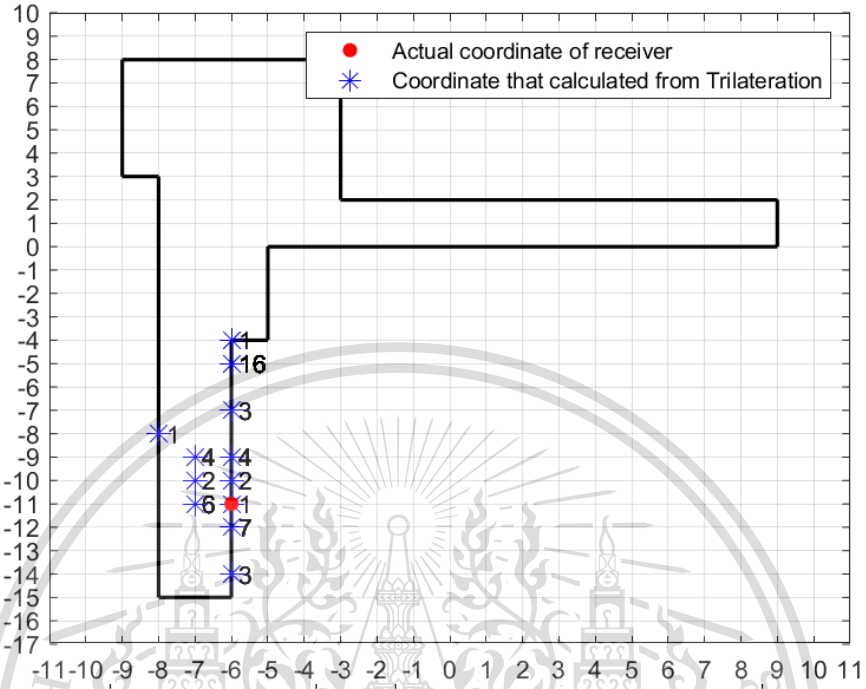
รูปที่ 4.60 ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (-8,8) ของโมเดลที่ 2

```
mean distance error:=0.8414 m
min  distance error:=0.0000 m
max  distance error:=2.2847 m
```

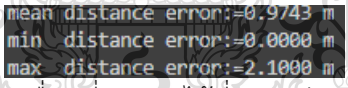
รูปที่ 4.61 ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (-8,8) ของโมเดลที่ 2

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (-6,-11) แสดงดังรูปที่ 4.62 โดยที่จุดสีแดงแสดงถึงตำแหน่งจริงของเครื่องรับและจุดสีน้ำเงินแสดงถึงตำแหน่งที่ได้จากการทำนายจากโมเดล และระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ Euclidean distance แสดงดังรูปที่ 4.63

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



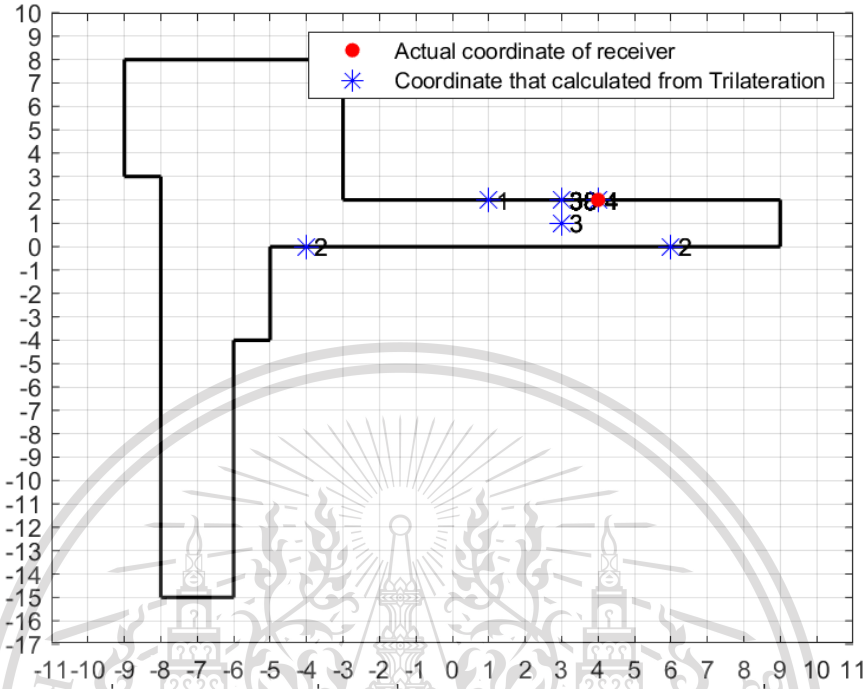
รูปที่ 4.62 ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อน
ที่ตำแหน่ง (-6,-11) ของโมเดลที่ 2



รูปที่ 4.63 ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (-6,-11) ของโมเดลที่ 2

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (4,2) แสดงดังรูปที่ 4.64 โดยที่จุดสีแดงแสดงถึงตำแหน่งจริงของเครื่องรับและจุดสีน้ำเงินแสดงถึงตำแหน่งที่ได้จากการทำนายจากโมเดล และระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ Euclidean distance แสดงดังรูปที่ 4.65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.64 ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อน
ที่ตำแหน่ง (4,2) ของโมเดลที่ 2

```
mean distance error:=0.4044 m
min  distance error:=0.0000 m
max  distance error:=2.4739 m
```

รูปที่ 4.65 ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (4,2) ของโมเดลที่ 2

เมื่อทำครบทั้ง 145 ตำแหน่งภายในห้องทดลองและบันทึกผลจะได้ผลลัพธ์แสดงดัง
ตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.5 ระยะคลาดเคลื่อนของทั้ง 145 ตำแหน่ง เมื่อใช้โมเดลที่ 2

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-9,8)	1.13	0.00	5.14	(-6,-11)	0.97	0.00	2.10
(-9,7)	1.73	0.00	3.95	(-6,-12)	1.91	0.30	5.73
(-9,6)	1.11	0.00	4.57	(-6,-13)	1.54	0.00	5.41
(-9,5)	0.92	0.42	5.43	(-6,-14)	1.20	0.30	3.30
(-9,4)	1.13	0.00	3.01	(-6,-15)	1.40	0.00	2.40
(-9,3)	1.03	0.00	3.61	(-5,8)	1.50	0.00	3.84
(-8,8)	0.84	0.00	2.28	(-5,7)	1.31	0.00	4.24
(-8,7)	1.37	0.00	6.00	(-5,6)	0.99	0.00	2.16
(-8,6)	0.97	0.00	3.65	(-5,5)	0.88	0.30	2.42
(-8,5)	1.09	0.30	4.18	(-5,4)	0.89	0.00	1.53
(-8,4)	0.89	0.30	4.84	(-5,3)	0.92	0.00	4.21
(-8,3)	0.80	0.30	1.53	(-5,2)	0.72	0.00	2.01
(-8,2)	1.21	0.00	2.10	(-5,1)	0.71	0.30	2.18
(-8,1)	0.94	0.30	2.18	(-5,0)	1.69	0.42	4.24
(-8,0)	1.55	0.42	2.42	(-5,-1)	1.71	0.30	3.01

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-8,-1)	1.15	0.42	3.30	(-5,-2)	0.56	0.00	3.13
(-8,-2)	1.46	0.00	3.35	(-5,-3)	0.72	0.00	3.06
(-8,-3)	1.00	0.42	2.70	(-5,-4)	0.77	0.00	3.51
(-8,-4)	1.31	0.00	3.06	(-4,8)	1.50	0.00	5.24
(-8,-5)	0.76	0.00	5.24	(-4,7)	1.55	0.00	2.55
(-8,-6)	1.46	0.00	3.91	(-4,6)	0.88	0.30	2.34
(-8,-7)	1.26	0.00	4.30	(-4,5)	1.06	0.30	2.42
(-8,-8)	1.46	0.00	4.81	(-4,4)	0.97	0.00	1.92
(-8,-9)	1.12	0.00	4.21	(-4,3)	1.11	0.00	2.12
(-8,-10)	1.08	0.00	2.85	(-4,2)	0.99	0.30	1.90
(-8,-11)	1.31	0.67	5.53	(-4,1)	1.62	0.42	3.31
(-8,-12)	1.20	0.00	6.16	(-4,0)	1.02	0.00	3.61
(-8,-13)	1.18	0.30	2.72	(-3,8)	0.90	0.00	4.95
(-8,-14)	2.27	0.00	6.36	(-3,7)	0.94	0.30	2.47
(-8,-15)	0.68	0.00	2.47	(-3,6)	1.42	0.00	2.83
(-7,8)	1.18	0.00	5.11	(-3,5)	0.68	0.00	1.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (แมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-7,7)	1.54	0.00	5.71	(-3,4)	1.34	0.42	2.01
(-7,6)	1.26	0.00	5.41	(-3,3)	1.03	0.00	1.82
(-7,5)	1.16	0.00	3.30	(-3,2)	0.85	0.30	1.50
(-7,4)	0.62	0.00	3.91	(-3,1)	1.32	0.42	3.31
(-7,3)	1.20	0.00	4.51	(-3,0)	1.43	0.30	2.47
(-7,2)	0.63	0.00	1.90	(-2,2)	0.88	0.00	1.70
(-7,1)	0.37	0.00	2.12	(-2,1)	0.75	0.00	2.10
(-7,0)	0.82	0.60	2.42	(-2,0)	0.85	0.30	2.68
(-7,-1)	1.24	0.30	3.31	(-1,2)	0.73	0.00	2.34
(-7,-2)	1.18	0.00	3.31	(-1,1)	0.85	0.30	2.18
(-7,-3)	1.14	0.30	3.71	(-1,0)	0.97	0.00	2.47
(-7,-4)	1.17	0.00	3.01	(0,2)	0.43	0.00	1.53
(-7,-5)	0.83	0.30	2.70	(0,1)	0.66	0.00	2.34
(-7,-6)	0.44	0.00	3.06	(0,0)	1.12	0.00	2.40
(-7,-7)	1.40	0.30	4.50	(1,2)	0.64	0.00	2.18
(-7,-8)	1.30	0.30	3.95	(1,1)	0.82	0.30	2.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-7,-9)	0.62	0.00	2.12	(1,0)	1.10	0.00	2.12
(-7,-10)	1.13	0.30	2.12	(2,2)	0.43	0.00	1.08
(-7,-11)	1.33	0.30	4.80	(2,1)	0.32	0.00	0.95
(-7,-12)	1.36	0.30	6.07	(2,0)	0.51	0.00	1.80
(-7,-13)	0.76	0.30	1.82	(3,2)	0.65	0.00	2.18
(-7,-14)	2.27	0.00	6.38	(3,1)	0.51	0.00	1.24
(-7,-15)	0.42	0.00	1.80	(3,0)	0.71	0.00	2.72
(-6,8)	1.33	0.30	6.03	(4,2)	0.40	0.00	2.47
(-6,7)	1.08	0.00	4.81	(4,1)	0.54	0.00	1.80
(-6,6)	1.31	0.00	5.43	(4,0)	0.46	0.00	5.09
(-6,5)	1.12	0.42	3.90	(5,2)	1.10	0.00	4.88
(-6,4)	1.40	0.30	3.31	(5,1)	1.29	0.00	2.42
(-6,3)	1.41	0.00	4.54	(5,0)	1.67	0.00	3.13
(-6,2)	0.85	0.30	2.47	(6,2)	0.92	0.00	4.00
(-6,1)	1.34	0.30	2.28	(6,1)	1.24	0.95	3.65
(-6,0)	1.40	0.30	2.77	(6,0)	0.64	0.00	3.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

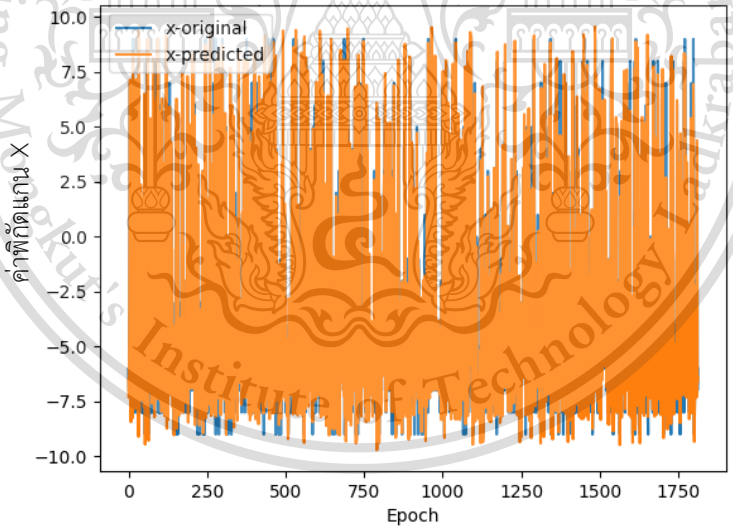
ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-6,-1)	1.02	0.42	4.59	(7,2)	0.99	0.00	4.00
(-6,-2)	1.01	0.00	2.85	(7,1)	1.13	0.00	3.31
(-6,-3)	1.54	0.00	3.35	(7,0)	1.35	0.42	4.99
(-6,-4)	1.21	0.00	3.65	(8,2)	0.60	0.00	3.90
(-6,-5)	1.01	0.00	2.47	(8,1)	0.76	0.00	4.30
(-6,-6)	1.05	0.30	3.50	(8,0)	1.62	0.30	4.59
(-6,-7)	1.31	0.00	4.24	(9,2)	0.68	0.00	2.18
(-6,-8)	1.18	0.60	1.80	(9,1)	0.74	0.00	4.21
(-6,-9)	0.61	0.00	2.10	(9,0)	0.38	0.00	2.70
(-6,-10)	1.53	0.30	5.14				

สรุปผลการทดสอบโมเดลจากการใช้จริงทั้ง 145 ตำแหน่งภายในห้องทดลองโดยจะได้ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของโมเดลเท่ากับ 1.06 เมตรหรือ 106 เซนติเมตร, ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนต่ำสุดของโมเดลเท่ากับ 0.12 เมตรหรือ 12.00 เซนติเมตร, ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนต่ำสุดของโมเดลเท่ากับ 3.31 เมตรหรือ 331 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

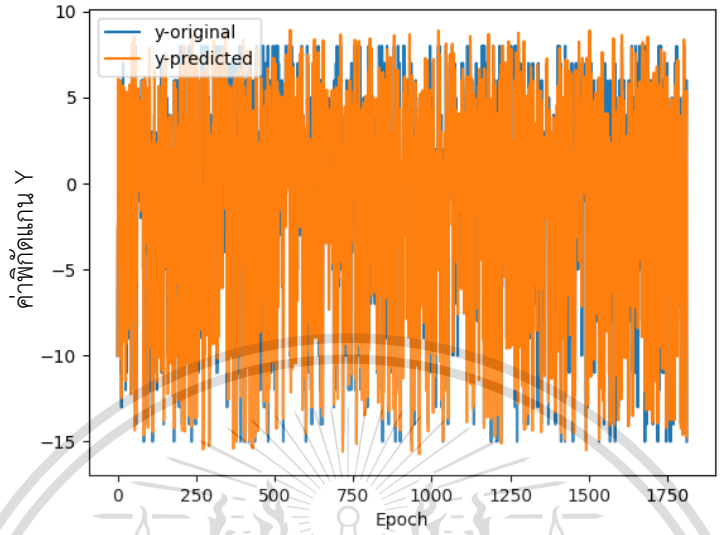
4.9 ผลการทดสอบส่วนฝึกฝน AI โมเดลที่ 3

ผลการทำนายตำแหน่ง (x,y) จากการฝึกฝน AI โดยเปลี่ยนการฝึกฝนจากแบบ classification หรือการจำแนกประเภทเป็นแบบ regression หรือการวิเคราะห์การถดถอยและเปลี่ยนข้อมูลที่ใช้ในการฝึกจาก 200 samples เป็น 250 samples โดยจากเดิมจะได้ผลการทำนายออกมาเป็นเคสจะเปลี่ยนเป็นตำแหน่ง (x, y) ซึ่งจะทำการฝึกฝนโมเดลสำหรับ ตำแหน่ง x และ y แยกกันโดยกำหนดจำนวน Hidden Layer 3 layer และโหนด จำนวน 100, 180, 200 โหนด ตามลำดับเช่นเดียวกับโมเดลที่ 1 และ 2 แต่จะเปลี่ยน Activation Function จาก Relu เป็น tanh โดยมีจำนวนการฝึกฝนที่ 300 epochs และเปลี่ยน Batch Size จาก 32 เป็น 256 ได้ผลลัพธ์เป็นค่า Mean square error (MSE) ของโมเดลเท่ากับ 69.50 โดยแสดงกราฟเทียบค่าพิกัด x และ y ระหว่างค่าที่ได้จากไฟล์กับค่าพิกัดที่ได้จากการทำนายดังรูปที่ 4.66 และ 4.67 ตามลำดับ ซึ่งแกนตั้งคือค่าตำแหน่งพิกัดและแกนนอนคือจำนวนตัวอย่างที่นำมาทดสอบ และแสดงกราฟ Model Loss ของโมเดลในการทำนาย x และ y ดังรูปที่ 4.68 และ 4.69 ตามลำดับ

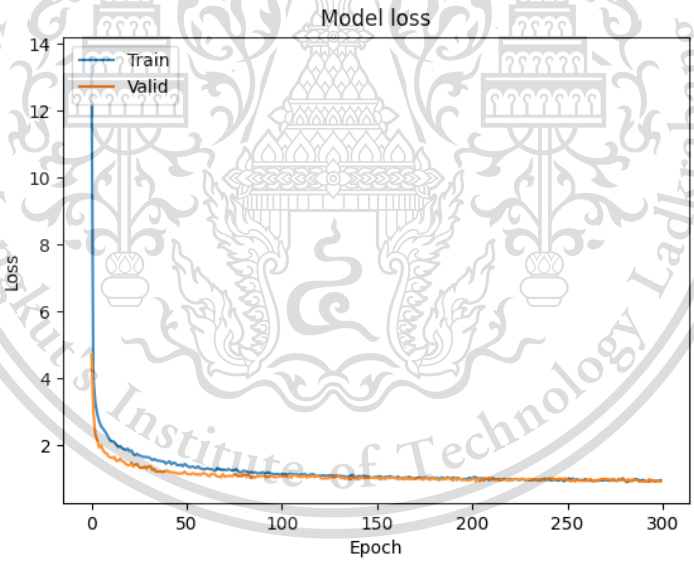


รูปที่ 4.66 กราฟเทียบค่าพิกัด x ระหว่างค่าที่ได้จากไฟล์กับค่าพิกัดที่ได้จากการทำนาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

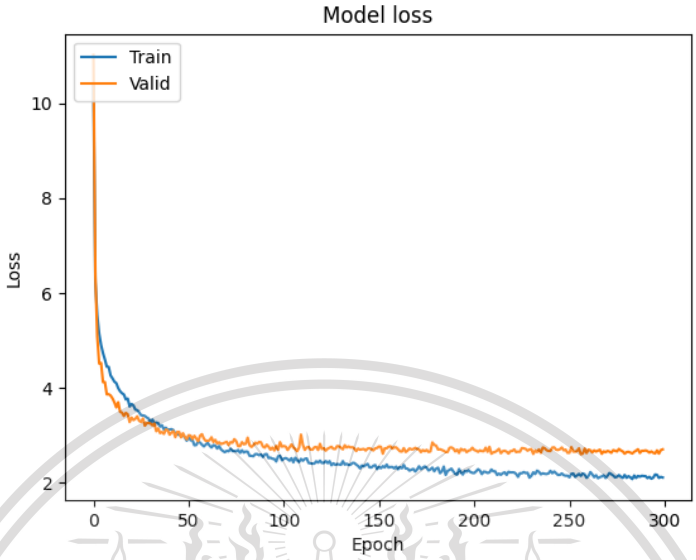


รูปที่ 4.67 กราฟเทียบค่าพิกัด y ระหว่างค่าที่ได้จากไฟล์กับค่าพิกัดที่ได้จากการทำนาย



รูปที่ 4. 68 กราฟ Model Loss พิกัด x ของโมเดลที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

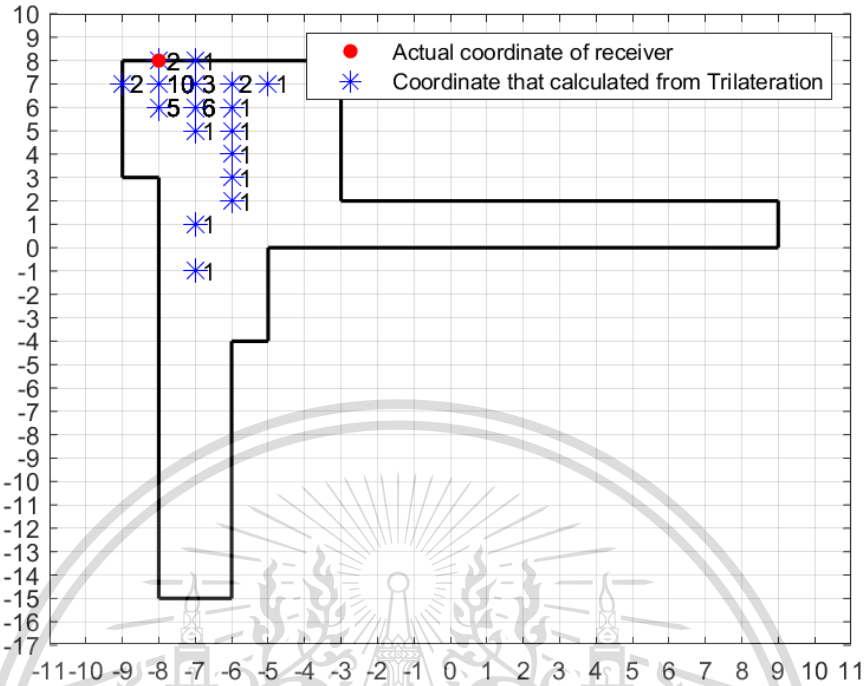


รูปที่ 4.69 กราฟ Model Loss พิกัด y ของโมเดลที่ 3

4.10 ผลการทดสอบหลังนำโมเดลที่ 3 ไปใช้จริง

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (-8,8) แสดงดังรูปที่ 4.70 โดยที่จุดสีแดงแสดงถึงตำแหน่งจริงของเครื่องรับและจุดสีน้ำเงินแสดงถึงตำแหน่งที่ได้จากการทำนายจากโมเดล และระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ Euclidean distance แสดงดังรูปที่ 4.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



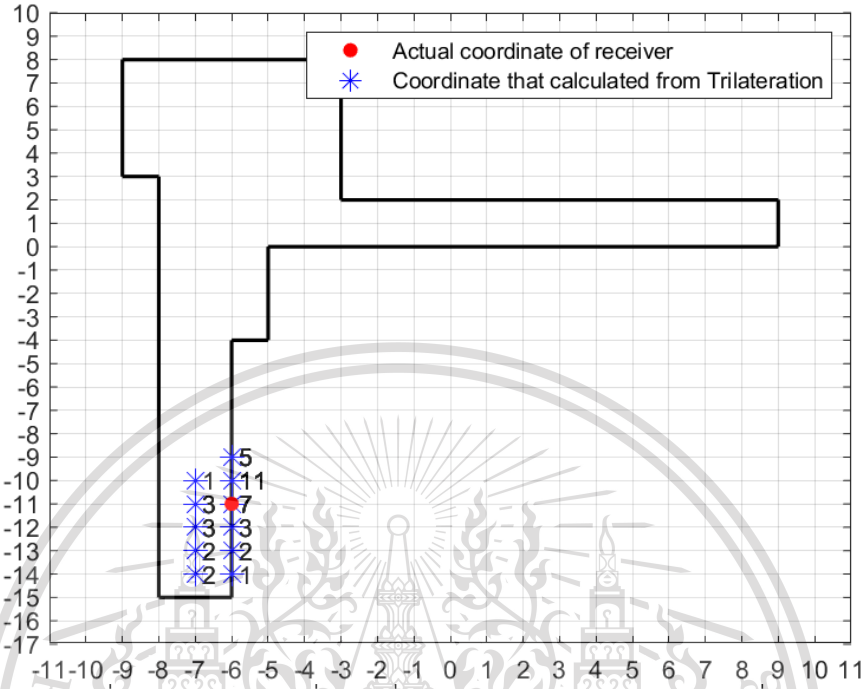
รูปที่ 4.70 ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (-8,8) ของโมเดลที่ 3

```
mean distance error:=0.6827 m
min  distance error:=0.0000 m
max  distance error:=2.7166 m
```

รูปที่ 4.71 ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (-8,8) ของโมเดลที่ 3

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (-6,-11) แสดงดังรูปที่ 4.72 โดยที่จุดสีแดงแสดงถึงตำแหน่งจริงของเครื่องรับและจุดสีน้ำเงินแสดงถึงตำแหน่งที่ได้จากการทำนายจากโมเดล และระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ Euclidean distance แสดงดังรูปที่ 4.73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



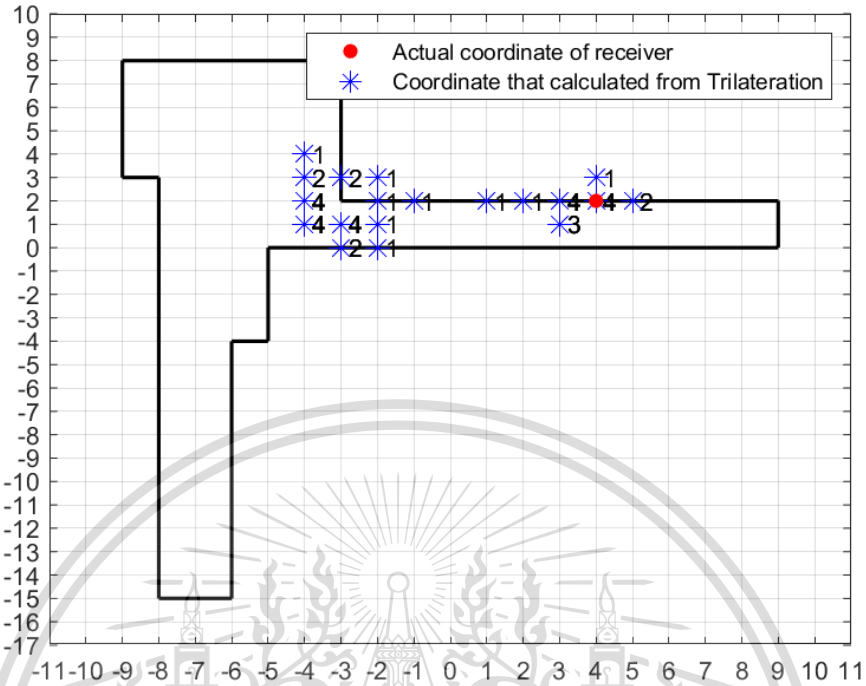
รูปที่ 4.72 ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อน
ที่ตำแหน่ง (-6,-11) ของโมเดลที่ 3

```
mean distance error:=0.3784 m
min  distance error:=0.0000 m
max  distance error:=0.9487 m
```

รูปที่ 4.73 ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (-6,-11) ของโมเดลที่ 3

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (4,2) แสดงดังรูปที่ 4.74 โดยที่จุดสีแดงแสดงถึงตำแหน่งจริงของเครื่องรับและจุดสีน้ำเงินแสดงถึงตำแหน่งที่ได้จากการทำนายจากโมเดล และระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ Euclidean distance แสดงดังรูปที่ 4.75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.74 ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อน
ที่ตำแหน่ง (4,2) ของโมเดลที่ 3

```
mean distance error:=1.4350 m
min  distance error:=0.0000 m
max  distance error:=2.4739 m
```

รูปที่ 4.75 ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (4,2) ของโมเดลที่ 3

เมื่อทำครบทั้ง 145 ตำแหน่งภายในห้องทดลองและบันทึกผลจะได้ผลลัพธ์แสดงดัง
ตารางที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.6 ระยะคลาดเคลื่อนของทั้ง 145 ตำแหน่ง เมื่อใช้โมเดลที่ 3

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-9,8)	0.93	0.30	1.53	(-6,-11)	0.38	0.00	0.95
(-9,7)	1.07	0.30	2.34	(-6,-12)	0.83	0.00	1.80
(-9,6)	0.64	0.00	1.53	(-6,-13)	0.70	0.00	2.10
(-9,5)	0.35	0.00	0.85	(-6,-14)	0.92	0.00	3.31
(-9,4)	0.63	0.00	0.95	(-6,-15)	1.02	0.30	2.12
(-9,3)	0.60	0.30	1.50	(-5,8)	2.09	0.30	5.43
(-8,8)	0.68	0.00	2.72	(-5,7)	0.90	0.30	2.18
(-8,7)	1.30	0.30	6.61	(-5,6)	0.77	0.00	2.01
(-8,6)	0.80	0.00	5.40	(-5,5)	0.58	0.00	1.53
(-8,5)	0.80	0.00	1.62	(-5,4)	0.66	0.00	1.90
(-8,4)	0.42	0.00	1.20	(-5,3)	0.79	0.00	3.01
(-8,3)	0.43	0.00	0.95	(-5,2)	0.56	0.00	1.82
(-8,2)	0.56	0.00	1.34	(-5,1)	0.96	0.00	3.30
(-8,1)	1.12	0.30	1.92	(-5,0)	0.81	0.42	2.18
(-8,0)	0.85	0.00	1.53	(-5,-1)	0.82	0.00	2.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-8,-1)	1.19	0.30	3.01	(-5,-2)	0.42	0.00	2.72
(-8,-2)	1.53	0.00	3.01	(-5,-3)	0.66	0.00	1.62
(-8,-3)	1.71	0.42	3.35	(-5,-4)	0.43	0.00	2.10
(-8,-4)	1.23	0.30	2.72	(-4,8)	2.29	0.30	5.18
(-8,-5)	1.10	0.30	2.85	(-4,7)	1.80	0.30	3.95
(-8,-6)	1.18	0.00	2.70	(-4,6)	0.81	0.00	2.18
(-8,-7)	0.81	0.00	2.12	(-4,5)	0.66	0.00	2.28
(-8,-8)	1.42	0.42	4.08	(-4,4)	0.77	0.00	1.90
(-8,-9)	0.69	0.30	1.62	(-4,3)	0.49	0.00	1.24
(-8,-10)	0.83	0.30	1.62	(-4,2)	0.59	0.00	1.24
(-8,-11)	0.71	0.30	1.62	(-4,1)	1.08	0.30	2.10
(-8,-12)	1.33	0.30	3.31	(-4,0)	0.87	0.00	2.77
(-8,-13)	1.08	0.30	2.42	(-3,8)	1.07	0.00	3.06
(-8,-14)	0.99	0.00	3.00	(-3,7)	0.89	0.00	3.42
(-8,-15)	0.53	0.30	0.95	(-3,6)	0.97	0.00	3.09
(-7,8)	0.97	0.42	1.62	(-3,5)	0.57	0.00	1.08

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-7,7)	1.59	0.00	4.81	(-3,4)	0.62	0.00	1.27
(-7,6)	0.62	0.00	3.31	(-3,3)	0.73	0.00	1.50
(-7,5)	0.48	0.00	1.20	(-3,2)	0.65	0.00	1.34
(-7,4)	0.17	0.00	0.60	(-3,1)	0.98	0.00	1.62
(-7,3)	0.80	0.30	1.53	(-3,0)	0.76	0.00	2.12
(-7,2)	0.61	0.00	1.27	(-2,2)	0.42	0.00	0.95
(-7,1)	0.33	0.00	0.67	(-2,1)	0.37	0.00	1.20
(-7,0)	0.26	0.00	0.95	(-2,0)	0.86	0.30	1.90
(-7,-1)	0.92	0.00	3.60	(-1,2)	0.79	0.00	1.53
(-7,-2)	0.59	0.00	1.53	(-1,1)	0.70	0.00	2.01
(-7,-3)	1.11	0.00	2.83	(-1,0)	0.69	0.30	1.34
(-7,-4)	1.28	0.00	3.00	(0,2)	0.72	0.00	1.62
(-7,-5)	1.79	0.90	2.72	(0,1)	0.71	0.30	1.80
(-7,-6)	0.96	0.00	2.12	(0,0)	1.25	0.42	1.82
(-7,-7)	0.66	0.00	1.53	(1,2)	0.56	0.00	1.24
(-7,-8)	0.89	0.00	2.12	(1,1)	0.47	0.00	0.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-7,-9)	1.06	0.00	1.82	(1,0)	0.74	0.30	1.50
(-7,-10)	0.64	0.00	1.53	(2,2)	0.49	0.00	0.85
(-7,-11)	0.76	0.00	1.53	(2,1)	0.60	0.30	1.24
(-7,-12)	0.61	0.00	1.24	(2,0)	0.94	0.30	2.58
(-7,-13)	0.83	0.00	1.82	(3,2)	0.42	0.00	1.50
(-7,-14)	0.64	0.00	1.53	(3,1)	0.43	0.00	0.95
(-7,-15)	1.03	0.00	2.12	(3,0)	0.36	0.00	0.90
(-6,8)	0.76	0.00	1.34	(4,2)	1.44	0.00	2.47
(-6,7)	1.22	0.00	3.61	(4,1)	0.78	0.00	3.06
(-6,6)	0.87	0.30	3.01	(4,0)	0.68	0.00	1.75
(-6,5)	0.79	0.30	1.80	(5,2)	0.74	0.30	2.47
(-6,4)	0.66	0.00	3.90	(5,1)	1.51	0.00	2.72
(-6,3)	0.76	0.00	3.31	(5,0)	0.56	0.00	1.82
(-6,2)	0.45	0.00	1.08	(6,2)	0.92	0.00	2.40
(-6,1)	1.02	0.00	2.18	(6,1)	0.78	0.00	1.50
(-6,0)	0.79	0.00	1.90	(6,0)	1.08	0.00	2.42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

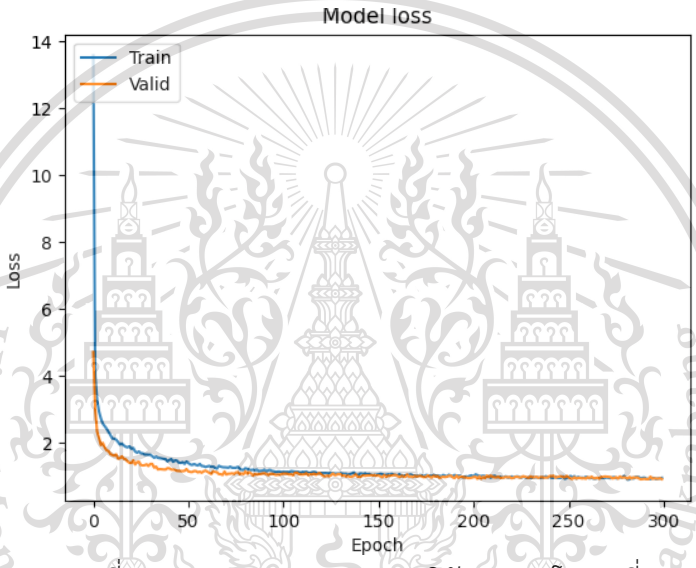
ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)			ตำแหน่ง	ระยะคลาดเคลื่อน (เมตร)		
(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด	(x,y)	เฉลี่ย	น้อยสุด	มากสุด
(-6,-1)	0.58	0.00	2.40	(7,2)	0.43	0.00	1.53
(-6,-2)	1.13	0.00	2.77	(7,1)	0.64	0.00	3.30
(-6,-3)	0.51	0.00	1.82	(7,0)	0.82	0.42	1.24
(-6,-4)	1.25	0.30	3.00	(8,2)	0.26	0.00	0.67
(-6,-5)	1.36	0.90	3.00	(8,1)	0.46	0.00	2.42
(-6,-6)	1.43	0.00	2.72	(8,0)	0.47	0.00	1.24
(-6,-7)	1.12	0.00	2.42	(9,2)	0.21	0.00	1.82
(-6,-8)	0.40	0.00	1.53	(9,1)	0.73	0.00	4.54
(-6,-9)	0.56	0.00	1.80	(9,0)	0.56	0.30	3.00
(-6,-10)	0.84	0.00	1.62				

สรุปผลการทดสอบโมเดลจากการใช้จริงทั้ง 145 ตำแหน่งภายในห้องทดลองโดยจะได้ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของโมเดลเท่ากับ 0.82 เมตรหรือ 82 เซนติเมตร ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนต่ำสุดของโมเดลเท่ากับ 0.10 เมตรหรือ 10.00 เซนติเมตรและค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนต่ำสุดของโมเดลเท่ากับ 2.16 เมตรหรือ 216 เซนติเมตร

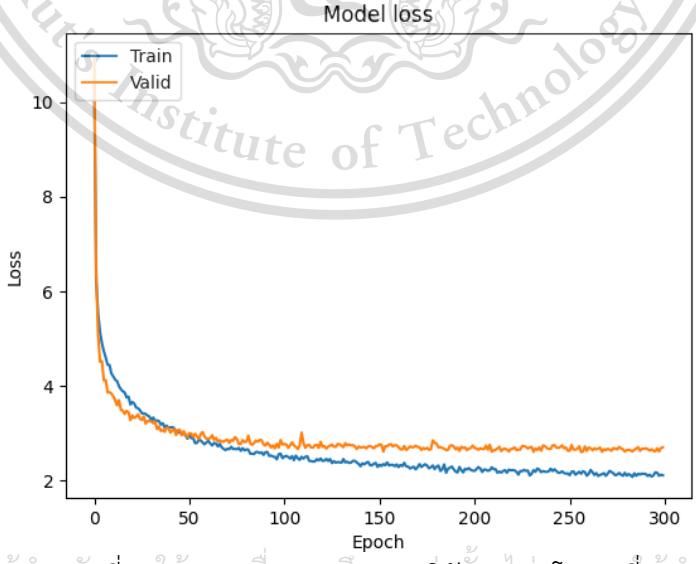
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.11 ผลการทดสอบส่วนฝึกฝน AI โมเดลที่ 4

นำโมเดลที่ 3 มาทำการเปลี่ยนเงื่อนไขในการใช้โมเดลจากการที่จะตัดสินใจออกมาทุก samples เป็นการเลือกผลที่ซ้ำกันเยอะที่สุดในทุก samples มาเป็นผลลัพธ์เพียงค่าเดียว เพราะฉะนั้นค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของโมเดล ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนต่ำสุดของโมเดล ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนต่ำสุดของโมเดลจะมีค่าเท่ากันจึงเก็บแค่ผลค่าเฉลี่ยเพียงค่าเดียวส่วนผลการทำนายได้ผลลัพธ์เดียวกับโมเดลที่ 3 แสดงกราฟ Model Loss ของโมเดลในการทำนาย x และ y ดังรูปที่ 4.76 และ 4.77 ตามลำดับ



รูปที่ 4.76 กราฟ Model Loss พิกัด x ของโมเดลที่ 4

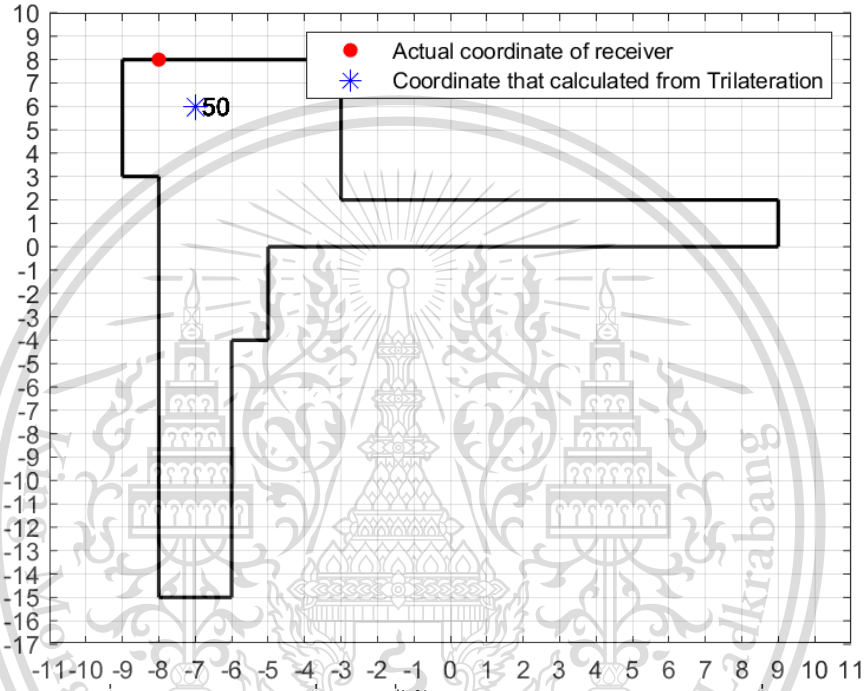


รูปที่ 4.77 กราฟ Model Loss พิกัด y ของโมเดลที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.12 ผลการทดสอบหลังนำโมเดลที่ 4 ไปใช้จริง

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (-8,8) แสดงดังรูปที่ 4.78 โดยที่จุดสีแดงแสดงถึงตำแหน่งจริงของเครื่องรับและจุดสีน้ำเงินแสดงถึงตำแหน่งที่ได้จากการทำนายจากโมเดล และระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ Euclidean distance แสดงดังรูปที่ 4.79



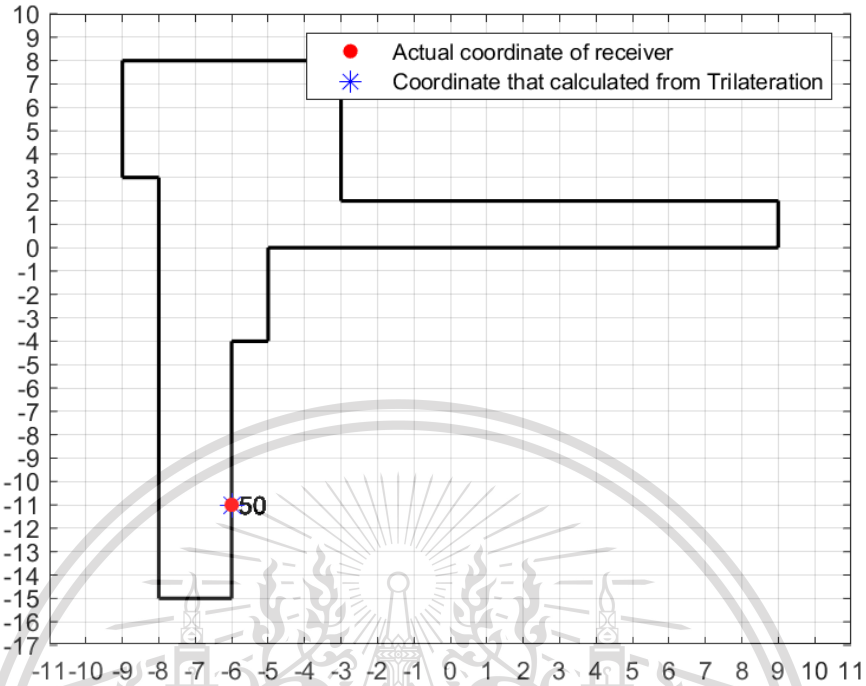
รูปที่ 4.78 ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (-8,8) ของโมเดลที่ 4

```
mean distance error:=0.6708 m
min  distance error:=0.6708 m
max  distance error:=0.6708 m
```

รูปที่ 4.79 ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (-8,8) ของโมเดลที่ 4

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (-6,-11) แสดงดังรูปที่ 4.80 โดยที่จุดสีแดงแสดงถึงตำแหน่งจริงของเครื่องรับและจุดสีน้ำเงินแสดงถึงตำแหน่งที่ได้จากการทำนายจากโมเดล และระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ Euclidean distance แสดงดังรูปที่ 4.81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



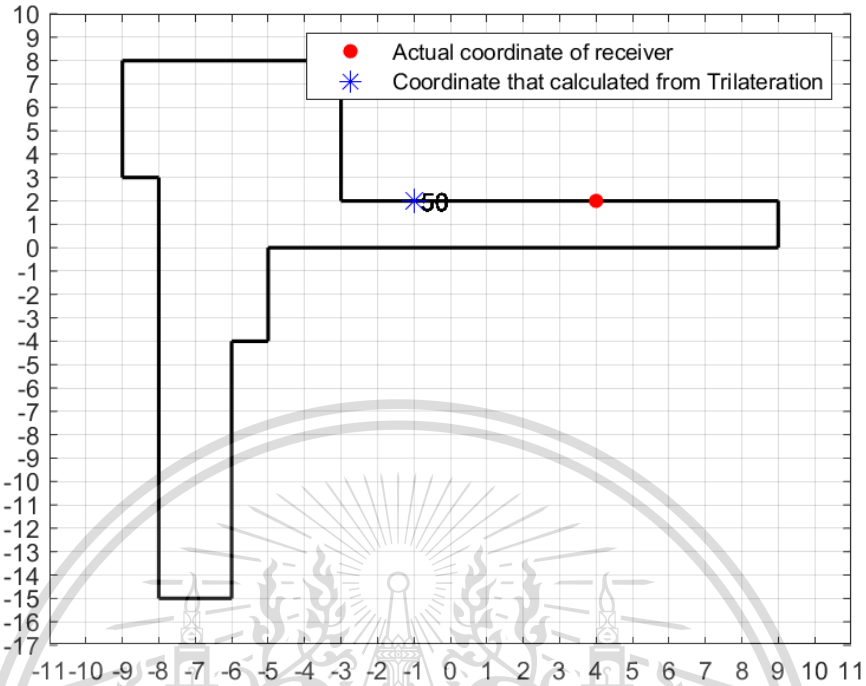
รูปที่ 4.80 ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (-6,-11) ของโมเดลที่ 4

```
mean distance error:=0.0000 m
min  distance error:=0.0000 m
max  distance error:=0.0000 m
```

รูปที่ 4.81 ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (-6,-11) ของโมเดลที่ 4

ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่ตำแหน่ง (4,2) แสดงดังรูปที่ 4.82 โดยที่จุดสีแดงแสดงถึงตำแหน่งจริงของเครื่องรับและจุดสีน้ำเงินแสดงถึงตำแหน่งที่ได้จากการทำนายจากโมเดล และระยะคลาดเคลื่อนที่ได้จากการคำนวณโดยใช้สมการ Euclidean distance แสดงดังรูปที่ 4.83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.82 ตำแหน่งเครื่องรับที่ได้จากการคำนวณระยะคลาดเคลื่อน
ที่ตำแหน่ง (4,2) ของโมเดลที่ 4

```
mean distance error:=1.5000 m
min  distance error:=1.5000 m
max  distance error:=1.5000 m
```

รูปที่ 4.83 ระยะคลาดเคลื่อนที่คำนวณได้ที่ตำแหน่ง (4,2) ของโมเดลที่ 4

เมื่อทำครบทั้ง 145 ตำแหน่งภายในห้องทดลองและบันทึกผลจะได้ผลลัพธ์แสดงดัง
ตารางที่ 4.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.7 ระยะคลาดเคลื่อนของทั้ง 145 ตำแหน่ง เมื่อใช้โมเดลที่ 4

ตำแหน่ง (x,y)	ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร)	ตำแหน่ง (x,y)	ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร)	ตำแหน่ง (x,y)	ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร)
(-9,8)	0.95	(-7,-11)	0.42	(-4,2)	0.42
(-9,7)	1.08	(-7,-12)	0.30	(-4,1)	0.60
(-9,6)	0.67	(-7,-13)	0.90	(-4,0)	0.30
(-9,5)	0.30	(-7,-14)	0.60	(-3,8)	0.95
(-9,4)	0.67	(-7,-15)	0.90	(-3,7)	0.95
(-9,3)	0.42	(-6,8)	0.60	(-3,6)	0.90
(-8,8)	0.67	(-6,7)	1.24	(-3,5)	0.42
(-8,7)	1.20	(-6,6)	0.42	(-3,4)	0.42
(-8,6)	0.60	(-6,5)	0.60	(-3,3)	0.42
(-8,5)	0.60	(-6,4)	0.60	(-3,2)	0.60
(-8,4)	0.42	(-6,3)	0.30	(-3,1)	0.85
(-8,3)	0.30	(-6,2)	0.42	(-3,0)	0.60
(-8,2)	0.60	(-6,1)	0.90	(-2,2)	0.42
(-8,1)	1.08	(-6,0)	0.60	(-2,1)	0.30
(-8,0)	0.67	(-6,-1)	0.30	(-2,0)	0.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง (x,y)	ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร)	ตำแหน่ง (x,y)	ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร)	ตำแหน่ง (x,y)	ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร)
(-8,-1)	0.67	(-6,-2)	0.95	(-1,2)	0.60
(-8,-2)	0.85	(-6,-3)	0.60	(-1,1)	0.30
(-8,-3)	1.24	(-6,-4)	1.24	(-1,0)	0.67
(-8,-4)	0.67	(-6,-5)	1.20	(0,2)	0.42
(-8,-5)	1.08	(-6,-6)	1.53	(0,1)	0.30
(-8,-6)	0.67	(-6,-7)	0.90	(0,0)	1.24
(-8,-7)	0.42	(-6,-8)	0.30	(1,2)	0.30
(-8,-8)	0.95	(-6,-9)	0.30	(1,1)	0.30
(-8,-9)	0.42	(-6,-10)	0.95	(1,0)	0.42
(-8,-10)	0.42	(-6,-11)	0.00	(2,2)	0.30
(-8,-11)	0.67	(-6,-12)	0.67	(2,1)	0.42
(-8,-12)	1.24	(-6,-13)	0.60	(2,0)	0.67
(-8,-13)	0.95	(-6,-14)	0.95	(3,2)	0.42
(-8,-14)	0.95	(-6,-15)	0.95	(3,1)	0.30
(-8,-15)	0.42	(-5,8)	2.12	(3,0)	0.30
(-7,8)	0.90	(-5,7)	0.67	(4,2)	1.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตำแหน่ง (x,y)	ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร)	ตำแหน่ง (x,y)	ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร)	ตำแหน่ง (x,y)	ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร)
(-7,7)	1.53	(-5,6)	0.67	(4,1)	0.67
(-7,6)	0.60	(-5,5)	0.30	(4,0)	0.42
(-7,5)	0.30	(-5,4)	0.42	(5,2)	0.42
(-7,4)	0.00	(-5,3)	0.42	(5,1)	1.50
(-7,3)	0.67	(-5,2)	0.30	(5,0)	0.42
(-7,2)	0.60	(-5,1)	0.67	(6,2)	0.67
(-7,1)	0.00	(-5,0)	0.67	(6,1)	0.60
(-7,0)	0.00	(-5,-1)	0.00	(6,0)	1.20
(-7,-1)	0.60	(-5,-2)	0.00	(7,2)	0.30
(-7,-2)	0.42	(-5,-3)	0.30	(7,1)	0.30
(-7,-3)	0.60	(-5,-4)	0.30	(7,0)	0.90
(-7,-4)	0.60	(-4,8)	2.18	(8,2)	0.30
(-7,-5)	1.80	(-4,7)	1.80	(8,1)	0.30
(-7,-6)	0.90	(-4,6)	0.85	(8,0)	0.42
(-7,-7)	0.30	(-4,5)	0.42	(9,2)	0.30
(-7,-8)	0.67	(-4,4)	0.60	(9,1)	0.60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

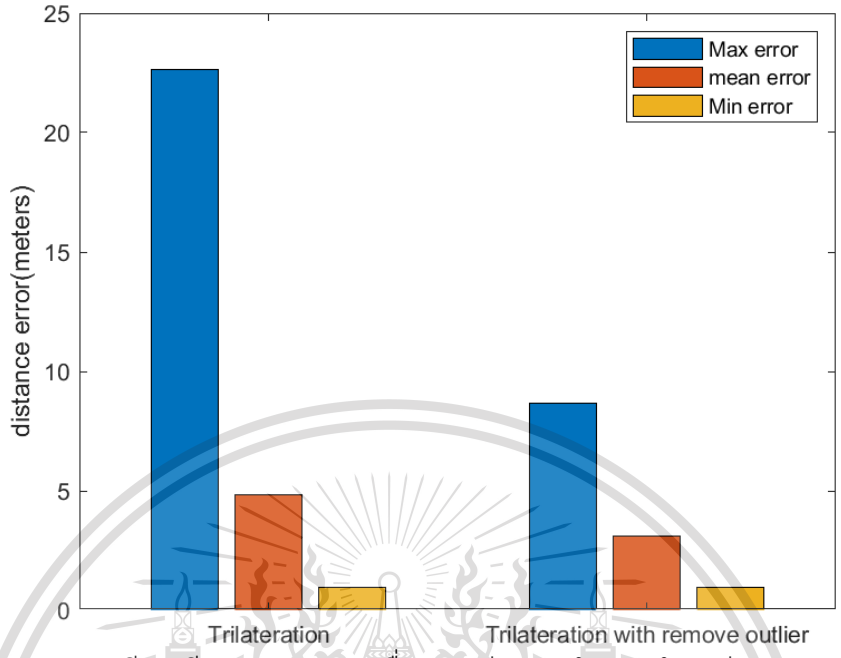
ตำแหน่ง (x,y)	ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร)	ตำแหน่ง (x,y)	ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร)	ตำแหน่ง (x,y)	ระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย (เมตร)
(-7,-9)	1.20	(-4,3)	0.30	(9,0)	0.67
(-7,-10)	0.30				

สรุปผลการทดสอบโมเดลจากการใช้จริงทั้ง 145 ตำแหน่งภายในห้องทดลองโดยจะได้ค่าเฉลี่ยระยะคลาดเคลื่อนของโมเดลเท่ากับ 0.65 เมตรหรือ 65 เซนติเมตร

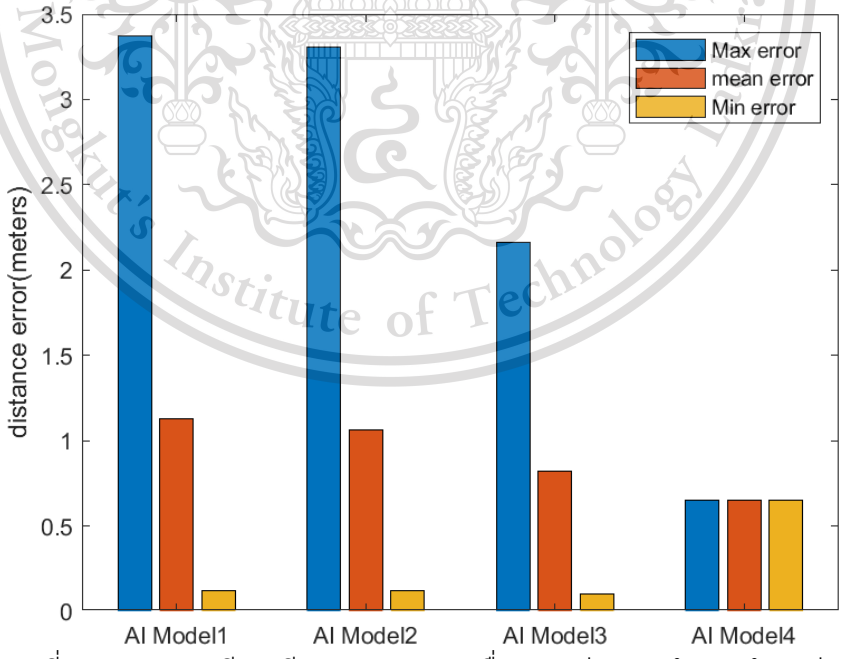
4.13 ผลการทดสอบการเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งภายในอาคารด้วยวิธีต่างๆ

ผลการทดสอบจะเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งภายในอาคารด้วยวิธีต่างๆ ด้วยค่าระยะคลาดเคลื่อนของแต่ละวิธีการ โดยการเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration กับการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration โดยกำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจากข้อมูลอื่นซึ่งจะแสดงผล ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของระยะคลาดเคลื่อนดังรูปที่ 4.84 ส่วนการเปรียบเทียบระหว่างการทำนายตำแหน่งจากการนำโมเดล AI ที่ 1, 2, 3 และ 4 ไปใช้จริงซึ่งจะแสดงผล ค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของระยะคลาดเคลื่อนดังรูปที่ 4.85

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



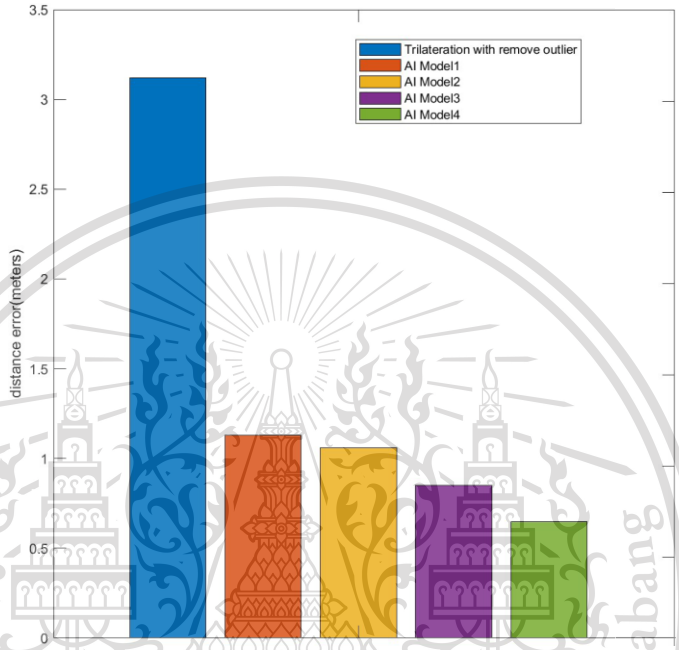
รูปที่ 4.84 กราฟเปรียบเทียบระยะคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration กับการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration โดยกำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจากข้อมูลอื่น



รูปที่ 4.85 กราฟเปรียบเทียบระยะคลาดเคลื่อนระหว่างการทำนายตำแหน่งจากโมเดล AI ที่ 1, 2, 3 และ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

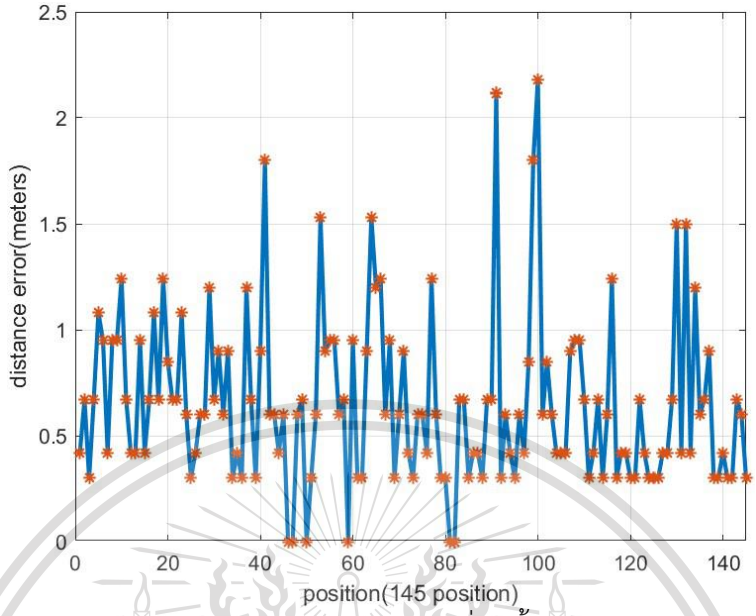
ผลการทดสอบการเปรียบเทียบการระบุตำแหน่งภายในอาคารระหว่างการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration โดยกำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจากข้อมูลอื่นกับการทำนายตำแหน่งจากการนำโมเดล AI ที่ 1, 2, 3 และ 4 ไปใช้จริงซึ่งจะแสดงผลเฉพาะค่าเฉลี่ยของระยะคลาดเคลื่อน แสดงดังรูปที่ 4.85



รูปที่ 4.86 กราฟเปรียบเทียบระยะคลาดเคลื่อนระหว่างการคำนวณตำแหน่งจากกระบวนการ Trilateration โดยกำจัดข้อมูล RSSI ที่มีค่าผิดปกติออกจากข้อมูลอื่น โมเดล AI ที่ 1, 2, 3 และ 4

จากผลการทดสอบการเปรียบเทียบระยะคลาดเคลื่อนในการระบุตำแหน่งภายในอาคารด้วยวิธีต่างๆ สรุปได้ว่าผู้จัดทำใช้โมเดล AI ที่ 4 ในการทำนายตำแหน่งภายในอาคารเพราะได้ระยะคลาดเคลื่อนต่ำที่สุดคือ 0.65 เมตรหรือ 65 เซนติเมตร คำนวณค่าความแปรปรวนของระยะคลาดเคลื่อนทั้ง 145 ตำแหน่งได้เท่ากับ 0.15 แสดงกราฟความแปรปรวนของระยะคลาดเคลื่อนทั้ง 145 ตำแหน่ง ได้ดังรูปที่ 4.87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.87 กราฟความแปรปรวนของระยะคลาดเคลื่อนทั้ง 145 ตำแหน่งของโมเดลที่ 4

4.14 การทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ Ultrasonic

ทดสอบการทำงานของเซนเซอร์ Ultrasonic โดยวัดระยะห่างระหว่างวัตถุกับเซนเซอร์ตั้งแต่ระยะ 0.1 ถึง 0.5 เมตร โดยเพิ่มทีละ 0.1 เมตร จำนวน 10 ครั้งในแต่ละรอบ แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ย แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบการวัดระยะห่างระหว่างวัตถุกับเซนเซอร์ Ultrasonic

ระยะ (เมตร)	ครั้งที่										เฉลี่ย (เมตร)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
0.1	0.12	0.12	0.11	0.11	0.11	0.12	0.11	0.11	0.10	0.10	0.11
0.2	0.22	0.21	0.21	0.21	0.22	0.23	0.22	0.19	0.21	0.19	0.21
0.3	0.31	0.31	0.31	0.32	0.30	0.31	0.32	0.29	0.30	0.31	0.31
0.4	0.40	0.41	0.39	0.39	0.39	0.39	0.41	0.41	0.42	0.42	0.41
0.5	0.49	0.50	0.49	0.49	0.49	0.50	0.51	0.50	0.51	0.50	0.50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

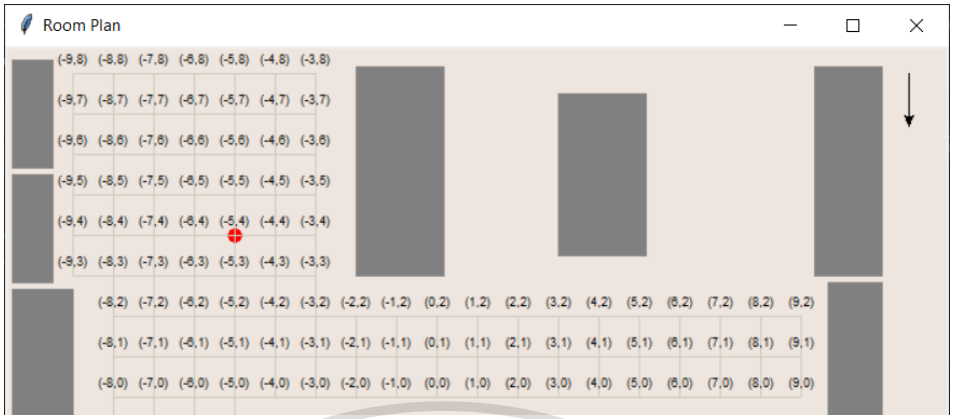
ผลที่ได้จากการทดสอบคือระยะทางเฉลี่ยระหว่างระยะห่างของวัตถุกับเซนเซอร์ Ultrasonic มีความใกล้เคียงกับระยะจริง ซึ่งนำไปใช้ในการตรวจสอบระยะวัตถุที่มีระยะใกล้กับหุ่นยนต์ เพื่อหลีกเลี่ยงการชน

4.15 ผลการทดสอบการทำนายตำแหน่งของหุ่นยนต์

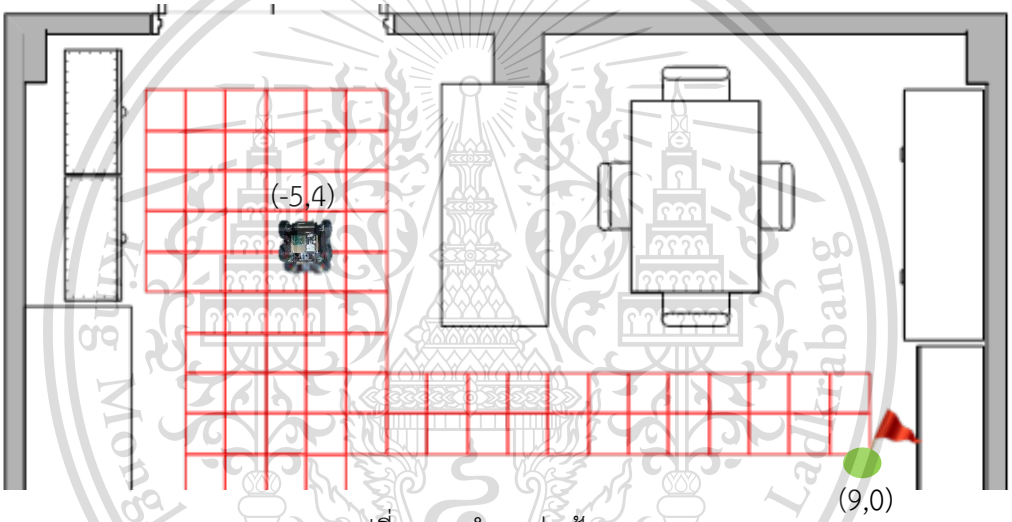
ทดสอบการทำนายตำแหน่งของหุ่นยนต์ โดยกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นที่วางหุ่นยนต์เป็น (-6,6) ดังรูปที่ 4.88 ผลการทำนายตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ได้ (-5,4) ดังรูปที่ 4.89 ต้องการเคลื่อนที่หุ่นยนต์ไปยังตำแหน่ง (9,0) จึงกดคำสั่งเคลื่อนที่หุ่นยนต์ไปข้างหน้า 4 ช่อง เลี้ยวซ้าย 90 องศา และไปข้างหน้าอีก 14 ช่องแสดงระยะทางไปยังตำแหน่งเป้าหมายดังรูปที่ 4.90 เมื่อสิ้นสุดการเคลื่อนที่หุ่นยนต์มีตำแหน่งอยู่ที่ (8,2) แสดงดังรูปที่ 4.91 ผลการทำนายตำแหน่งสิ้นสุดของหุ่นยนต์ได้ (8,2) แสดงดังรูปที่ 4.92 โดยแสดงตารางตำแหน่งเริ่มต้นและสิ้นสุดของหุ่นยนต์ที่วางจริงและทำนายได้ ดังตารางที่ 4.9 และ 4.10 ตามลำดับ และคำนวณระยะคลาดเคลื่อนแสดงดังตารางที่ 4.11

รูปที่ 4.88 ตำแหน่งเริ่มต้นที่วางหุ่นยนต์

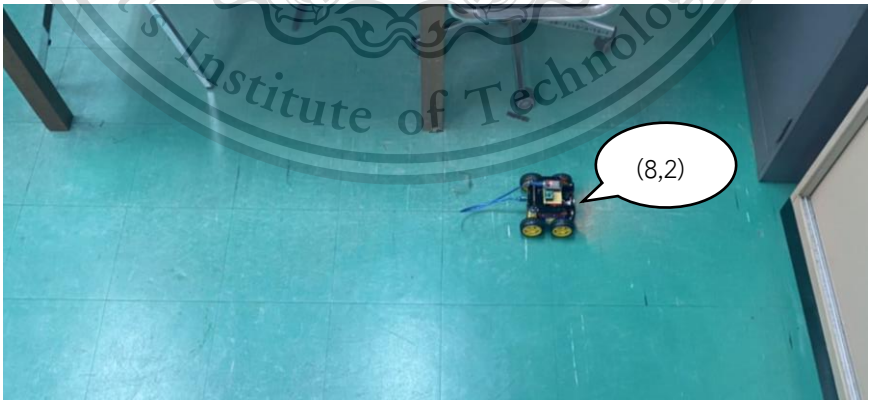
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.89 ตำแหน่งเริ่มต้นที่ทำนายได้แสดงผลบน GUI

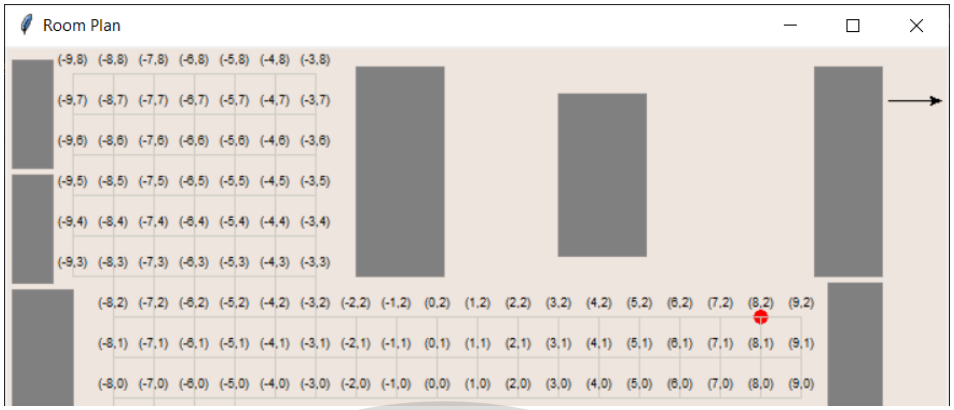


รูปที่ 4.90 ตำแหน่งเป้าหมาย



รูปที่ 4.91 ตำแหน่งสิ้นสุดของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.92 ตำแหน่งสิ้นสุดที่ทำนายได้แสดงผลบน GUI

ตารางที่ 4.9 ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ที่วางจริงและทำนายได้

เริ่มต้น	
ตำแหน่งหุ่นยนต์จริง	ตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้
(-6,6)	(-5,4)

ตารางที่ 4.10 ตำแหน่งเป้าหมาย, ตำแหน่งหุ่นยนต์จริงและตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้

สิ้นสุด		
ตำแหน่งเป้าหมาย	ตำแหน่งหุ่นยนต์จริง	ตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้
(9,0)	(8,2)	(8,2)

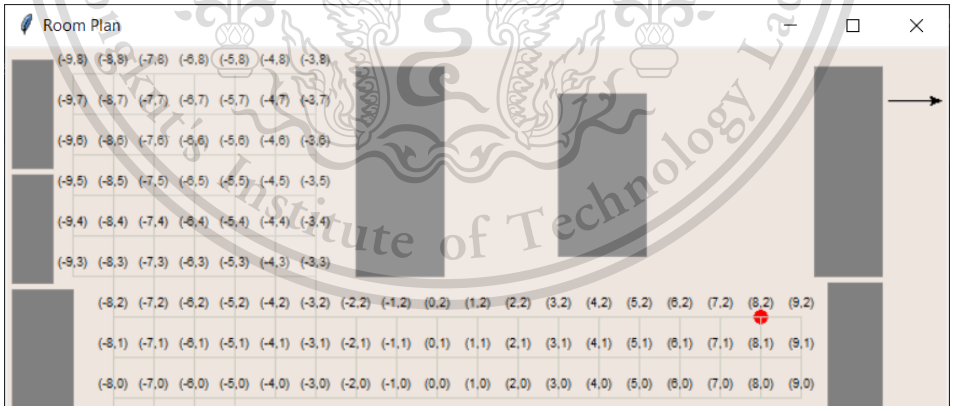
ตารางที่ 4.11 ระยะคลาดเคลื่อน

ระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้เทียบหุ่นยนต์จริงตอนเริ่มต้น (เมตร)	ระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้เทียบหุ่นยนต์จริงตอนสิ้นสุด (เมตร)	ระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้เทียบกับตำแหน่งเป้าหมายตอนสิ้นสุด (เมตร)	ระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งหุ่นยนต์จริงเทียบกับตำแหน่งเป้าหมายตอนสิ้นสุด (เมตร)
0.67	0.00	0.67	0.67

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

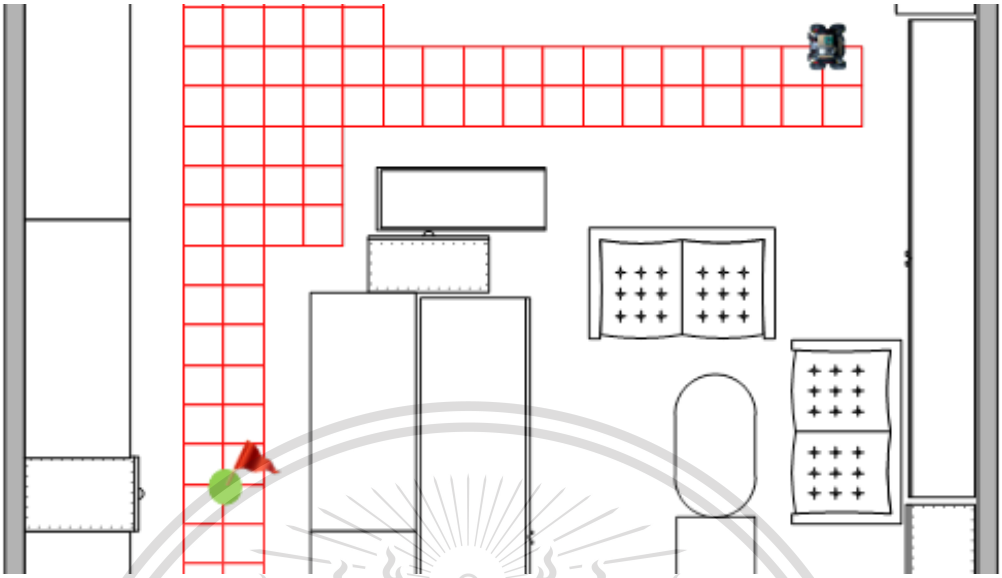
ทดสอบการทำนายตำแหน่งของหุ่นยนต์ โดยกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นที่วางหุ่นยนต์เป็น (8,2) ดังรูปที่ 4.93 ผลการทำนายตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ได้ (8,2) ดังรูปที่ 4.94 ต้องการเคลื่อนที่หุ่นยนต์ไปยังตำแหน่ง (-7,-10) จึงกดคำสั่งเคลื่อนที่หุ่นยนต์ไปข้างหน้า 15 ช่อง เลี้ยวซ้าย 90 องศา และไปข้างหน้าอีก 11 ช่องแสดงระยะทางไปยังตำแหน่งเป้าหมายดังรูปที่ 4.95 เมื่อสิ้นสุดการเคลื่อนที่ หุ่นยนต์มีตำแหน่งอยู่ที่ (-7,-10) แสดงดังรูปที่ 4.96 ผลการทำนายตำแหน่งสิ้นสุดของหุ่นยนต์ได้ (-7,-6) แสดงดังรูปที่ 4.97 โดยแสดงตารางตำแหน่งเริ่มต้นและสิ้นสุดของหุ่นยนต์ที่วางจริงและทำนายได้ ดังตารางที่ 4.12 และ 4.13 ตามลำดับ และคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของตำแหน่งที่วางหุ่นยนต์จริงกับทำนายได้ ดังตารางที่ 4.14

รูปที่ 4.93 ตำแหน่งเริ่มต้นที่วางหุ่นยนต์

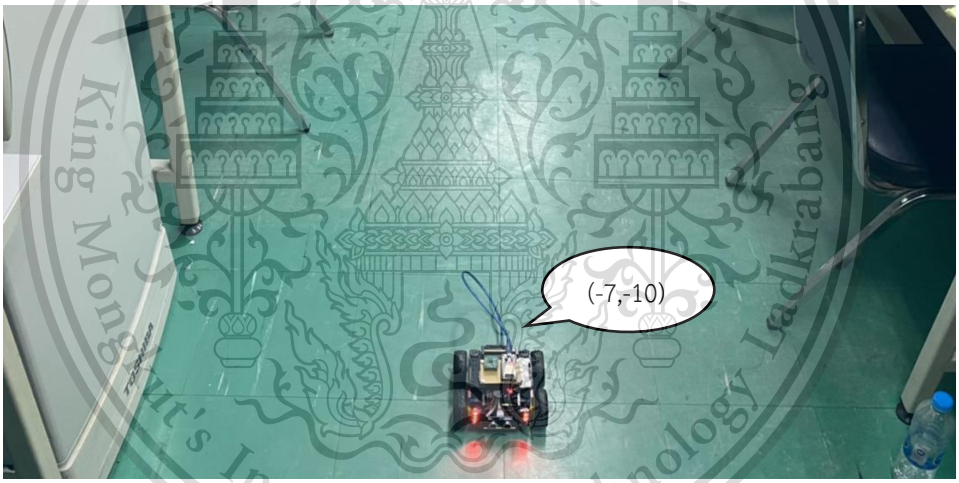


รูปที่ 4.94 ตำแหน่งเริ่มต้นที่ทำนายได้แสดงผลบน GUI

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

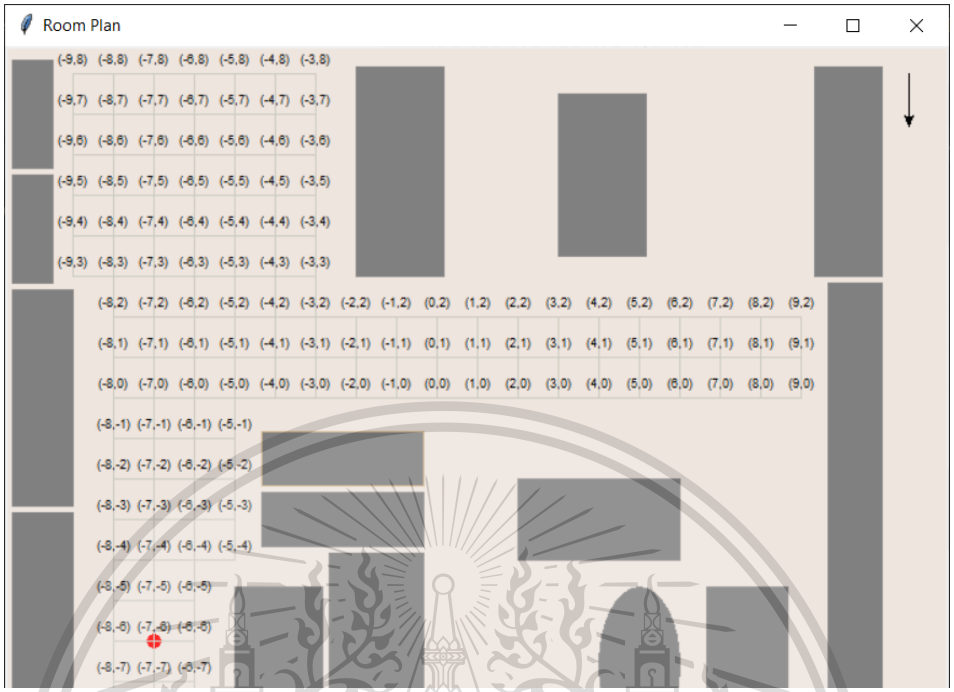


รูปที่ 4.95 ตำแหน่งเป้าหมาย



รูปที่ 4.96 ตำแหน่งสิ้นสุดของหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.97 ตำแหน่งสิ้นสุดที่ทำนายได้แสดงผลบน GUI

ตารางที่ 4.12 ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ที่วางจริงและทำนายได้

เริ่มต้น	
ตำแหน่งหุ่นยนต์จริง	ตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้
(8,2)	(8,2)

ตารางที่ 4.13 ตำแหน่งเป้าหมาย, ตำแหน่งหุ่นยนต์จริงและตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้

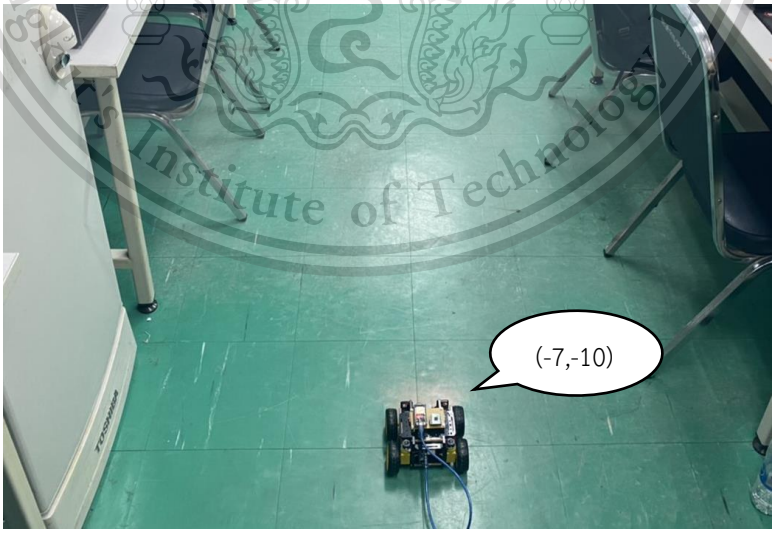
สิ้นสุด		
ตำแหน่งเป้าหมาย	ตำแหน่งหุ่นยนต์จริง	ตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้
(-7,-10)	(-7,-10)	(-7,-6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.14 ระยะคลาดเคลื่อน

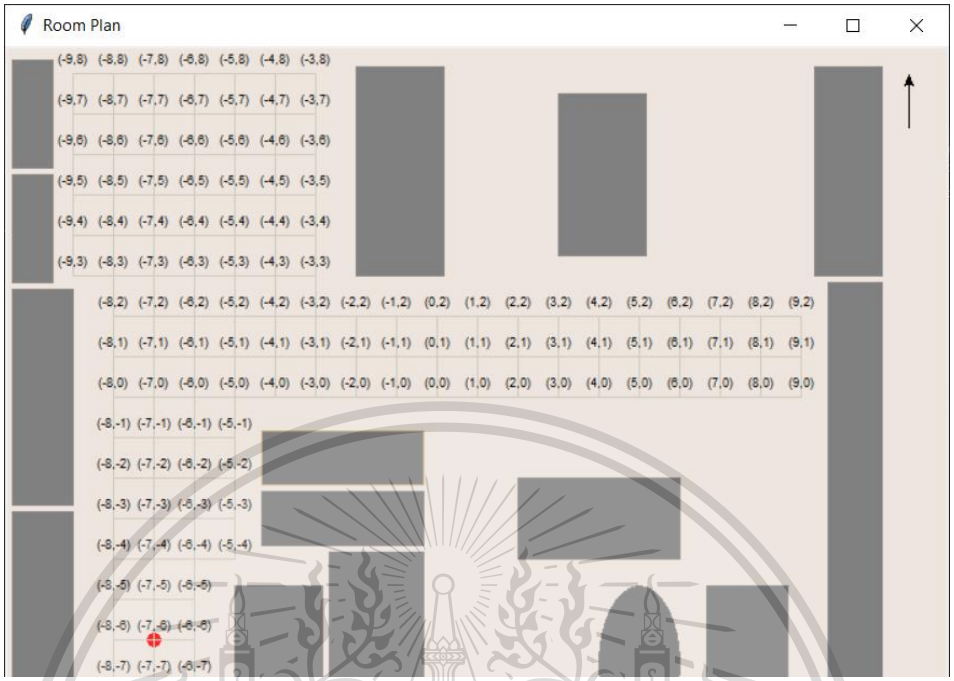
ระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้เทียบหุ่นยนต์จริงตอนเริ่มต้น (เมตร)	ระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้เทียบหุ่นยนต์จริงตอนสิ้นสุด (เมตร)	ระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้เทียบกับตำแหน่งเป้าหมายตอนสิ้นสุด (เมตร)	ระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งหุ่นยนต์จริงเทียบกับตำแหน่งเป้าหมายตอนสิ้นสุด (เมตร)
0.00	1.20	1.20	0.00

ทดสอบการทำนายตำแหน่งของหุ่นยนต์ โดยกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นที่วางหุ่นยนต์เป็น (-7,-10) ดังรูปที่ 4.98 ผลการทำนายตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ได้ (-7,-6) ดังรูปที่ 4.99 ต้องการเคลื่อนที่หุ่นยนต์ไปยังตำแหน่ง (-7,6) จึงกดคำสั่งเคลื่อนที่หุ่นยนต์ไปข้างหน้า 12 ช่อง แสดงระยะทางไปยังตำแหน่งเป้าหมายดังรูปที่ 4.100 เมื่อสิ้นสุดการเคลื่อนที่ หุ่นยนต์มีตำแหน่งอยู่ที่ (-7,2) แสดงดังรูปที่ 4.101 ผลการทำนายตำแหน่งสิ้นสุดของหุ่นยนต์ได้ (-7,4) แสดงดังรูปที่ 4.102 โดยแสดงตารางตำแหน่งเริ่มต้นและสิ้นสุดของหุ่นยนต์ที่วางจริงและทำนายได้ ดังตารางที่ 4.15 และ 4.16 ตามลำดับ และคำนวณระยะคลาดเคลื่อนที่จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของตำแหน่งที่วางหุ่นยนต์จริงกับทำนายได้ ดังตารางที่ 4.17

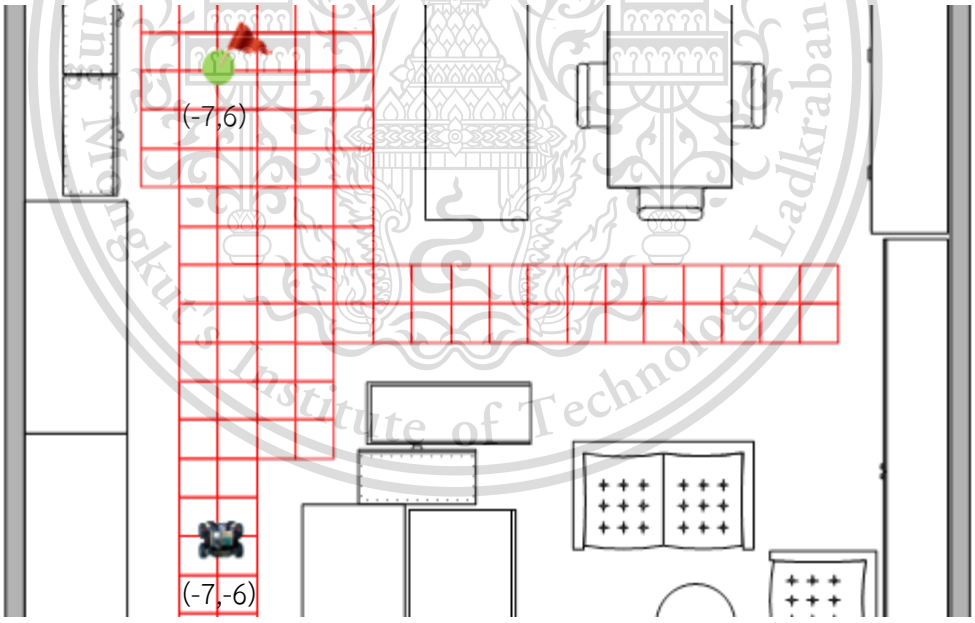


รูปที่ 4.98 ตำแหน่งเริ่มต้นที่วางหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

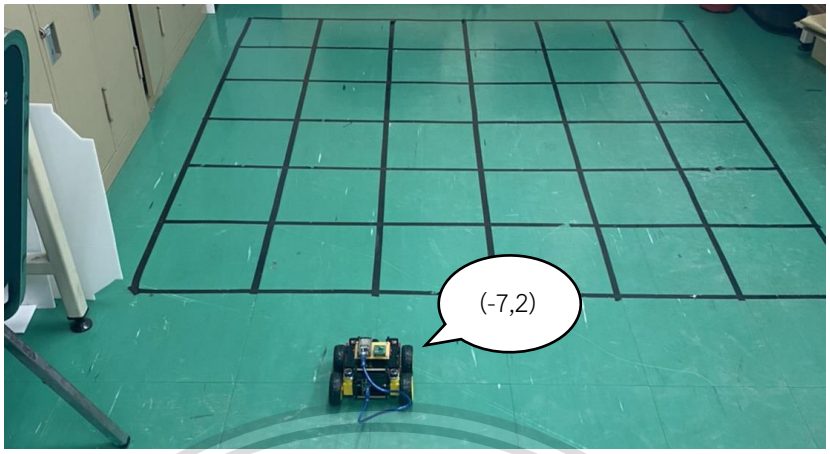


รูปที่ 4.99 ตำแหน่งเริ่มต้นที่ทำนายได้แสดงผลบน GUI

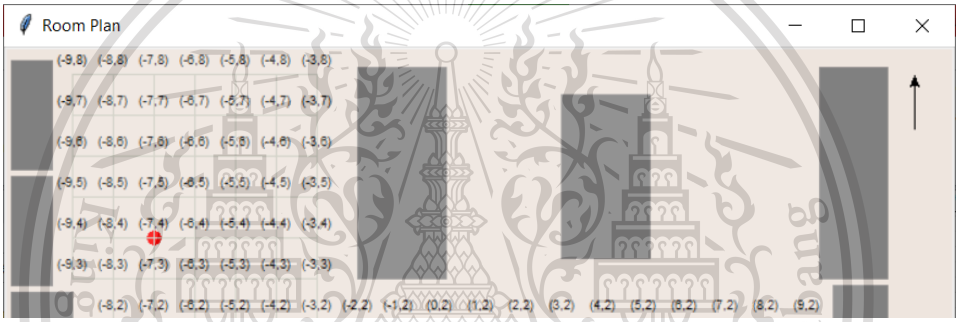


รูปที่ 4.100 ตำแหน่งเป้าหมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.101 ตำแหน่งสิ้นสุดของหุ่นยนต์



รูปที่ 4.102 ตำแหน่งสิ้นสุดที่ทำนายได้แสดงผลบน GUI

ตารางที่ 4.15 ตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์ที่วางจริงและทำนายได้

เริ่มต้น	
ตำแหน่งหุ่นยนต์จริง	ตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้
(-7,-10)	(-7,-6)

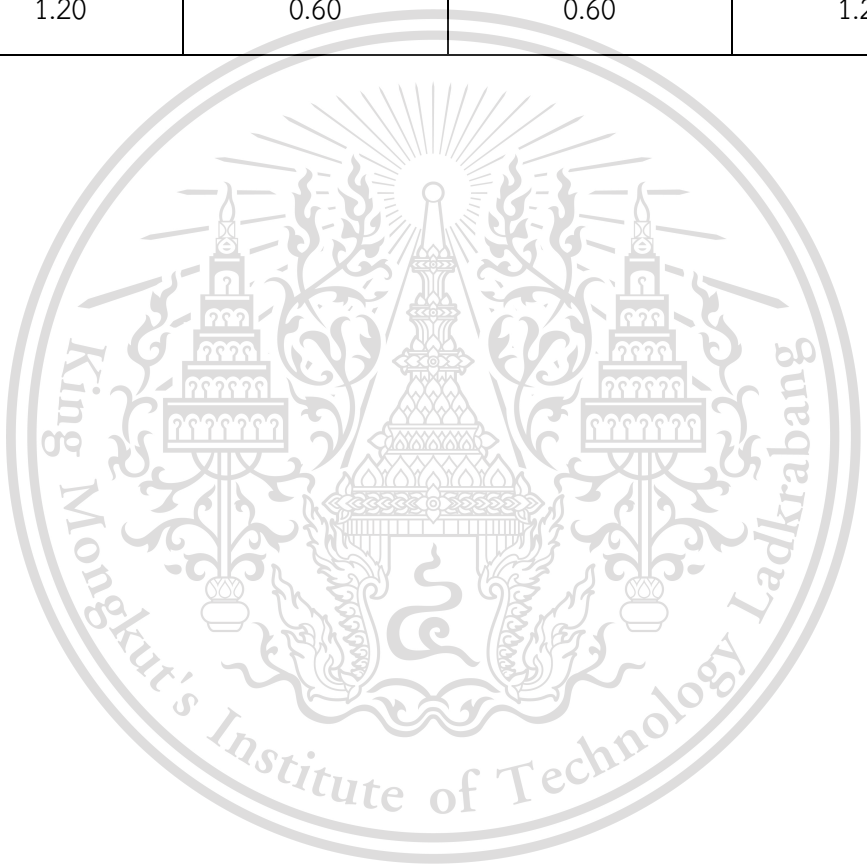
ตารางที่ 4.16 ตำแหน่งเป้าหมาย, ตำแหน่งหุ่นยนต์จริงและตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้

สิ้นสุด		
ตำแหน่งเป้าหมาย	ตำแหน่งหุ่นยนต์จริง	ตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้
(-7,6)	(-7,2)	(-7,4)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.17 ระยะคลาดเคลื่อน

ระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้เทียบหุ่นยนต์จริงตอนเริ่มต้น (เมตร)	ระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้เทียบหุ่นยนต์จริงตอนสิ้นสุด (เมตร)	ระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งที่หุ่นยนต์ทำนายได้เทียบกับตำแหน่งเป้าหมายตอนสิ้นสุด (เมตร)	ระยะคลาดเคลื่อนของตำแหน่งหุ่นยนต์จริงเทียบกับตำแหน่งเป้าหมายตอนสิ้นสุด (เมตร)
1.20	0.60	0.60	1.20



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

ปริญญานิพนธ์นี้มีเป้าหมายเพื่อลดความเสี่ยงต่อการแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโคโรนา 2019 (COVID-19) ของบุคคลากรทางการแพทย์ที่ดูแลผู้ป่วยที่ติดเชื้อ โดยใช้หุ่นยนต์สำหรับโรงพยาบาลที่ถูกออกแบบให้มีความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง เพื่อใช้ในการขนส่งอาหารและยาให้แก่ผู้ป่วยติดเชื้อ โดยระบบที่นำเสนอแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลักๆ คือ 1. ส่วนนำเข้าซึ่งจะเรียกใช้คำสั่งการผ่านส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) เพื่อรับค่าข้อมูลและส่งต่อไปยังส่วนประมวลผล 2. ส่วนประมวลผลข้อมูลจะรับคำสั่งและข้อมูลจากส่วนนำเข้าข้อมูลเพื่อนำมาทำนายตำแหน่งภายในอาคาร และ 3. ส่วนส่งออกข้อมูล โดยจะส่งผลการทำนายตำแหน่งจากส่วนประมวลผลกลับไปยังส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI)

หลังจากศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ส่งสัญญาณ ผู้จัดทำได้เลือกใช้ ESP32 เป็นอุปกรณ์ส่งและรับสัญญาณบีแอลอี เพื่อนำค่า Receive Signal Strength Indicator (RSSI) มาใช้ในการวิเคราะห์และสร้างระบบระบุตำแหน่งภายในอาคาร โดยจากการศึกษาและพัฒนาระบบผู้จัดทำเลือกวิธีการระบุตำแหน่งโดยใช้ Artificial Intelligence (AI) ซึ่งหลังจากพัฒนาระบบเพื่อให้ระบุตำแหน่งได้อย่างแม่นยำ ได้ผลระยะคลาดเคลื่อนเฉลี่ย คือ 0.65 เมตร หรือ 65 เซนติเมตร และได้สร้างส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) เพื่อควบคุมการเคลื่อนที่และแสดงตำแหน่งปัจจุบันของหุ่นยนต์

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในขณะนี้การทำนายตำแหน่งยังมีระยะคลาดเคลื่อนอยู่ ควรพัฒนาระบบและใช้เทคโนโลยีอื่นเพื่อมาช่วยลดระยะคลาดเคลื่อนของการระบุตำแหน่งให้มีระยะคลาดเคลื่อนเข้าใกล้ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

[1] “บลูทูธพลังงานต่ำ”. https://th.wikipedia.org/wiki/บลูทูธพลังงานต่ำ

[2] โรบอทสยาม. “รู้จัก ไมโครคอนโทรลเลอร์ ESP32”. www.robotsiam.com/article/42/esp32-1

[3] Falco. “ระบบระบุตำแหน่ง ระบบติดตาม ระบบนำทางภายในอาคารด้วย Beacons”. https://www.falco.co.th/location-tracking-beacons/.

[4] Globaltronic Intertrade. “Raspberry Pi 4 Model B คือ”. https://www.raspberrypithailand.com/en/articles/162986-raspberry-pi-4

[5] “โมดูลเข็มทิศ GY-26”. https://th.aliexpress.com/item/4000414695188.html

[6] วิริยพร ภัทรภาพ, “ค่า RSSI คืออะไร” http://www3.eng.psu.ac.th/pec/6/pec6/paper/CoE/PEC6OR170.pdf

[7] Elif Cay ,Yeliz Mert , Ali Bahcetepe , Bugra Kagan Akyazi , Arif Selcuk Ogrenci . “Beacons for Indoor Positioning”. https://ieeexplore.ieee.org document/8308143.

[8] “Euclidean distance”. https://th.wikipedia.org/wiki/ระยะทางแบบยุคลิด

[9] “Combination”. https://en.wikipedia.org/wiki/Combination

[10] “Gaussian Noise”. http://www.komkid.biz/GaussianNoiseDetail.php

[9] “Multipath fading”. https://kb.psu.ac.th/psukb/bitstream/2010/9037/1/373970

[10] mindphp. “Machine Learning”. https://medium.com/mmp-การเรียนรู้ของเครื่อง

[11] “Deep learning”. https://new.abb.com/news/detail/58004/deep-learning

[12] “ANN”. http://www.mut.ac.th/research-detail-92

[13] “โครงข่ายประสาทเทียมแบบชั้นเดียว”. https://en.wikipedia.org/wiki/Neural_network

[14] “พื้นฐาน Deep Learning (ทฤษฎี): The Neural Network”. https://lloli.medium.com/-deep-learning -how-does-ann-learn-

[15] “ForwardandBack”. https://lloli.medium.com/พื้นฐาน-deep-learning-ทฤษฎี-how-does-ann-learn-d3b24ce2778a

[16] “Back Propagation”.https://www.guru99.com/backpropogation-neural-network.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use. Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[17] “Activation Function”. https://www.bualabs.com/archives/1261/what-is-activation-

[18] “Activation Function”.https://medium.com/@dopplerz/bayesian-neural-network

[19] Mr.PL. “Deep Learning แบบฉบับสามัญชน”. https://medium.com/mmp-li/deep-learning แบบฉบับสามัญชน-ep-2-optimization-activation-function เรียนกันสบายๆสไตส์ชิลๆ-9feb5a87e3b2

[20] Mr.PL. “Gradient Descent”. https://medium.com/mmp-li/gradient-descent-คีย์เวิร์ดที่-data-science-ต้องรู้จัก machine-learning-101-b5c78c1787a0.

[21] Agnes Sauer. “Quick Guide to Gradient Descent”. https://morioh.com/p/15c995420be6

[22] “Loss Function”. https://www.bualabs.com/archives/1928/what-is-mean-absolute-error-mae-mean-squared-error-mse-root-mean-squared-error-

[23] Keng Surapong. “Loss Function”. https://www.bualabs.com/archives/2673/what-is-loss-function-cost-function-error-function-loss-function-how-cost-function-work-machine-learning-ep-1/.

[24] missinglink.ai. “Neural Network Bias: Bias Neuron, Overfitting and Underfitting.” https://missinglink.ai/guides/neural-network-concepts/neural-network-bias-bias-neuron-overfitting-underfitting/.

[25] MYITALIANITA. “Overfitting / Underfitting – How Well Does Your Model Fit?” https://meditationsonbianddatascience.com/2017/05/11/overfitting-underfitting-how-well-does-your-model-fit/

[26] KENG SURAPONG. “BatchNorm คืออะไร”. https://www.bualabs.com/archives/2617/what-is-batchnorm-teach-batch-normalization-train-machine-learning-model-deep-convolutional-neural-network-convnet-ep-5/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[27] KENG SURAPONG. “Dropout คืออะไร”.
https://www.bualabs.com/archives/1533/what-is-dropout-benefits-dropout-reduce-overfit-deep-learning-training-model-deep-neural-network-regularization-ep-2

[28] missinglink.ai. “Classification with Neural Networks: Is it the Right Choice?.”
https://missinglink.ai/guides/neural-network-concepts/classification-neural-networks-neural-network-right-

[29] Achieve.Plus “4 Classification ที่สำคัญใน Supervised Learning”.
https://medium.com/achieve-space/4-classification-supervised-learning-a64e75250141

[30] missinglink.ai. “Neural Networks for Regression (Part 1)—Overkill or Opportunity?.”https://missinglink.ai/guides/neural-network-concepts/neural-networks-regression-part-1-overkill-opportunity

[31] Kasidis Satangmongkol. “วิธีตรวจจับ Outliers ในข้อมูล”.
https://datarockie.com/2019/10/31/excel-detect-outliers

[32] Chakrit. “Anomaly Detection”.
https://www.softnix.co.th/2020/02/10/anomaly-detections-part-outlier-distribution.

[33] “Keras”. https://tha.small-business-tracker.com/what-is-keras-deep-neural-network-api-explained-645057

[34] “TensorFlow”. https://www.thaiprogrammer.org/มาทำความรู้จัก-TensorFlow

[35] mindphp. “C++ คืออะไร” https://www.mindphp.com/คู่มือ/2183-api-.

[36] MarcusCode. “ภาษา Python”. http://marcuscode.com/lang/python.

[37] กรัณวิณัฐ วงษ์ไชยมูล “Arduino คืออะไร ?”.
https://sites.google.com/site/karanwinatktech/unit1.

[38] mindphp. “โปรแกรม MATLAB”.https://www.mindphp.com/what-is-matlab.html

[39] mindphp. “โปรแกรม Visual Studio Code”. https://www.mindphp.com/visual-studio-code.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ก

คำสั่งการสแกนหาสัญญาณบีแอลอี, รับค่า RSSI และค่ามุมบนเครื่องส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คำสั่งการสแกนหาสัญญาณบีแอลอี รับค่า RSSI และรับค่ามุมโดยมีเครื่องรับสัญญาณและเครื่องส่งสัญญาณเป็น ESP32 ซึ่งสามารถแสดงคำสั่งของเครื่องรับได้ดังต่อไปนี้

```
#define RX2 17
#define TX2 16
#include <Wire.h>
#include <MechaQMC5883.h>
#include <HMC5883L.h>
#include <WiFi.h>
#include <BLEDevice.h>
#include <BLEUtils.h>
#include <BLEScan.h>
#include <BLEAdvertisedDevice.h>

const char* ssid = "Phattharaphon’s iPhone";
const char* password =  "boss60010770";

const uint16_t port = 5000;
const char * host = "172.20.10.4";

String A;
int scanTime = 2; //In seconds
BLEScan* pBLEScan;
int count = 0;

char valorbyte[8];
int graus,graus_2 = 0;
int contador = 0;
byte valor = 0;
int New_graus =0;
int old_graus =0;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
// Record any errors that may occur in the compass.
int error = 0;

class MyAdvertisedDeviceCallbacks: public BLEAdvertisedDeviceCallbacks {
    void onResult(BLEAdvertisedDevice advertisedDevice) {
      if (advertisedDevice.haveServiceUUID())
      if
((strcmp(advertisedDevice.getAddress().toString().c_str(),"7c:9e:bd:f6:c7:22")              ==
0)||(strcmp(advertisedDevice.getAddress().toString().c_str(),"4c:11:ae:9c:a8:ca") == 0)

||(strcmp(advertisedDevice.getAddress().toString().c_str(),"4c:11:ae:9c:b6:12")              ==
0)||(strcmp(advertisedDevice.getAddress().toString().c_str(),"3c:61:05:28:c8:36") == 0)

||(strcmp(advertisedDevice.getAddress().toString().c_str(),"3c:61:05:2a:e5:22")              ==
0)||(strcmp(advertisedDevice.getAddress().toString().c_str(),"3c:61:05:28:b6:96") == 0)

||(strcmp(advertisedDevice.getAddress().toString().c_str(),"3c:61:05:30:d4:0a")              ==
0)||(strcmp(advertisedDevice.getAddress().toString().c_str(),"3c:61:05:31:35:0a") == 0)) {
          Serial.print(advertisedDevice.getAddress().toString().c_str());
          Serial.print(";");
          Serial.print(advertisedDevice.getRSSI());
          Serial.println(";");
          A = A + advertisedDevice.getAddress().toString().c_str();
          A = A + ";";
          A = A + advertisedDevice.getRSSI();
          A = A + ";";
      }
    }
};
void setup() {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
  Wire.begin();
  Serial.begin(9600);
  WiFi.mode(WIFI_STA);
  WiFi.begin(ssid,password);
  while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    //delay(500);
    Serial.println("...");
  }

  Serial.print("WiFi connected with IP: ");
  Serial.println(WiFi.localIP());
  BLEDevice::init("");
  pBLEScan = BLEDevice::getScan(); //create new scan
  pBLEScan->setAdvertisedDeviceCallbacks(new
MyAdvertisedDeviceCallbacks());
  pBLEScan->setActiveScan(true); //active scan uses more power, but get
results faster
  pBLEScan->setInterval(100);
  pBLEScan->setWindow(99);  // less or equal setInterval value
  Serial2.begin(9600, SERIAL_8N1, RX2, TX2);
}

void leitura() {
  valor = 0;
 Serial2.write(0x31);
  do {
    if (Serial2.available()) {
      valorbyte[contador] = Serial2.read();
      contador = (contador + 1) % 8;
      if (contador == 0) {
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
                graus = (valorbyte[2] - 48) * 100 + (valorbyte[3] - 48) * 10 +
(valorbyte[4] - 48);
                valor = 1;
                }
               }
            } while (valor == 0);

            if(old_graus+3 >= graus && old_graus-3 <= graus){
                graus = old_graus;
            }
            //delay(300);
          }

          void loop() {
            A = "";
              WiFiClient client;
              if (!client.connect(host, port)) {
                Serial.println("Connection to host failed");
                //delay(500);
                return;
              }
              Serial.println("Connected to server successful!");
              Serial.println("Disconnecting...");
              BLEScanResults foundDevices = pBLEScan->start(scanTime, false);
              leitura();
              Serial.println(graus);
              A = A + "angle" + ";" + graus;
              client.print(A);
              pBLEScan->clearResults();
              old_graus = graus;
          }
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ข

คำสั่งส่งสัญญาณของเครื่องส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คำสั่งการส่งสัญญาณบีแอลอีโดยมีเครื่องส่งสัญญาณเป็น ESP32 สามารถแสดงคำสั่งของเครื่องส่งได้ดังต่อไปนี้

```
#include <BLEDevice.h>
#include <BLEUtils.h>
#include <BLEServer.h>

// See the following for generating UUIDs:
// https://www.uuidgenerator.net/

#define SERVICE_UUID        "4fafc201-1fb5-459e-8fcc-c5c9c331914b"
#define CHARACTERISTIC_UUID "beb5483e-36e1-4688-b7f5-ea07361b26a8"

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Serial.println("Starting BLE work!");

  BLEDevice::init("Long name works now");
  BLEServer *pServer = BLEDevice::createServer();
  BLEService *pService = pServer->createService(SERVICE_UUID);
  BLECharacteristic *pCharacteristic = pService->createCharacteristic(
                                         CHARACTERISTIC_UUID,
                                         BLECharacteristic::PROPERTY_READ |
                                         BLECharacteristic::PROPERTY_WRITE
                                       );

  pCharacteristic->setValue("Hello World says Neil");
  pService->start();
  // BLEAdvertising *pAdvertising = pServer->getAdvertising();  // this still is working for backward compatibility
  BLEAdvertising *pAdvertising = BLEDevice::getAdvertising();
  pAdvertising->addServiceUUID(SERVICE_UUID);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
  pAdvertising->setScanResponse(true);
  pAdvertising->setMinPreferred(0x06);  // functions that help with iPhone connections
issue
  pAdvertising->setMinPreferred(0x12);
  BLEDevice::startAdvertising();
  Serial.println("Characteristic defined! Now you can read it in your phone!");
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  delay(2000);
}
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ค

คำสั่งส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่และทำนายตำแหน่งหุ่นยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

คำสั่งส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ควบคุมการเคลื่อนที่และทำนายตำแหน่งหุ่นยนต์แสดงได้ดังต่อไปนี้

```
import cv2
import zmq
import base64
import numpy as np
from socket import *
import sys
import time
import threading as thread
import tkinter as tk
import socket as sk
import pandas as pd
import numpy as np
from keras.models import Sequential, load_model
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.preprocessing import OneHotEncoder, StandardScaler
from sklearn.metrics import accuracy_score, mean_squared_error
import serial
import time
from statistics import mode
ip_stu=1        #Shows connection status
c_f_stu = 0
c_b_stu = 0
c_l_stu = 0
c_r_stu = 0
c_ls_stu= 0
c_rs_stu= 0
funcMode= 0
tcpClicSock = ''
root = ''
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
stat = 0
ultra_data = 'Ultrasonic OFF'
SportModeOn = 0
rssi1=''
rssi2=''
rssi3=''
rssi4=''
rssi5=''
rssi6=''
rssi7=''
rssi8=''
angle=''
global x
global y
def blefromesp() :
    host = "172.20.10.5"
    port = 5000
    sever = sk.socket()
    sever.bind((host,port))
    sever.listen(1)
    client,addr = sever.accept()
    for x in range(2):
        data = client.recv(1024).decode('utf-8')
        list_values=data.split(';')
        if '3c:61:05:28:b6:96' in list_values:
            rssidevice1 = list_values.index('3c:61:05:28:b6:96') +1
            Device1 = '3c:61:05:28:b6:96'
            rssi1 =list_values[rssidevice1]
            print(rssi1)
        #print(list_values[rssidevice1])
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
if '3c:61:05:28:c8:36' in list_values:
    rssidevice2 = list_values.index('3c:61:05:28:c8:36') +1
    Device2 = '3c:61:05:28:c8:36'
    rssi2 =list_values[rssidevice2]
    print(rssi2)
    #print(list_values[rssidevice1])
if '3c:61:05:2a:e5:22' in list_values:
    rssidevice3 = list_values.index('3c:61:05:2a:e5:22') +1
    Device3 = '3c:61:05:2a:e5:22'
    rssi3 =list_values[rssidevice3]
    print(rssi3)
    #print(list_values[rssidevice1])
if '3c:61:05:30:d4:0a' in list_values:
    rssidevice4 = list_values.index('3c:61:05:30:d4:0a') +1
    Device4 = '3c:61:05:30:d4:0a'
    rssi4 =list_values[rssidevice4]
    print(rssi4)
    #print(list_values[rssidevice1])
if '3c:61:05:31:35:0a' in list_values:
    rssidevice5 = list_values.index('3c:61:05:31:35:0a') +1
    Device5 = '3c:61:05:31:35:0a'
    rssi5 =list_values[rssidevice5]
    print(rssi5)
    #print(list_values[rssidevice1])
if '4c:11:ae:9c:a8:ca' in list_values:
    rssidevice6 = list_values.index('4c:11:ae:9c:a8:ca') +1
    Device6 = '4c:11:ae:9c:a8:ca '
    rssi6 =list_values[rssidevice6]
    print(rssi6)
    #print(list_values[rssidevice1])
if '4c:11:ae:9c:b6:12' in list_values:
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
            rssidevice7 = list_values.index('4c:11:ae:9c:b6:12') +1
            Device7 = '4c:11:ae:9c:b6:12'
            rssi7 =list_values[rssidevice7]
            print(rssi7)
            #print(list_values[rssidevice1])
        if '7c:9e:bd:f6:c7:22' in list_values:
            rssidevice8 = list_values.index('7c:9e:bd:f6:c7:22') +1
            Device8 = '7c:9e:bd:f6:c7:22'
            rssi8 =list_values[rssidevice8]
            print(rssi8)
            #print(list_values[rssidevice1])
        if 'angle' in list_values:
            rssidevice9 = list_values.index('angle') +1
            Device9 = 'angle'
            angle =list_values[rssidevice9]
            print(angle)
            #print(list_values[rssidevice1])
    return rssi1,rssi2,rssi3,rssi4,rssi5,rssi6,rssi7,rssi8,angle
def ai(rssi1,rssi2,rssi3,rssi4,rssi5,rssi6,rssi7,rssi8,angle):
    df = pd.read_csv('250samples.csv')
    x = df.iloc[:,0:8].values
    case = df['case'].values.tolist()
    coord_x = df['x'].values.tolist()
    coord_y = df['y'].values.tolist()
    std = StandardScaler()
    x  = std.fit(x)

    xtest=np.array([[rssi1,rssi2,rssi3,rssi4,rssi5,rssi6,rssi7,rssi8]])
    xtest=std.transform(xtest)
    model_1 = load_model('newmodelphumix2.h5')
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
model_2 = load_model('newmodelphumiy3.h5')
coordx1=model_1.predict(xtest)
coordy1=model_2.predict(xtest)

x=np.round(coordx1)
y=np.round(coordy1)

# print(xtest)
'''
model_2 = load_model('predicfrom8.h5')
y=model_2.predict(xtest)
#print(y)

pred = list()
for i in range(len(y)):
    pred.append(np.argmax(y[i])+1)
#Converting one hot encoded test label to label
coord = []
for i in pred:
    index = case.index(i)
    xx = coord_x[index]
    yy = coord_y[index]
    a = str(xx)+','+str(yy)
    coord.append(a)

#print(pred)
print(coord)
new_coord = ''.join(coord)
new_coord = new_coord.split(',')
print(new_coord)
x=new_coord[0]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
    print(x)
    y=new_coord[1]
    print(y)
    '''
    return x,y,angle

def replace_num(initial,new_num):   #Call this function to replace data in '.txt' file
    newline=""
    str_num=str(new_num)
    with open("ip.txt","r") as f:
        for line in f.readlines():
            if(line.find(initial) == 0):
                line = initial+"%s" %(str_num)
            newline += line
    with open("ip.txt","w") as f:
        f.writelines(newline)    #Call this function to replace data in '.txt' file

def num_import(initial):            #Call this function to import data from '.txt' file
    with open("ip.txt") as f:
        for line in f.readlines():
            if(line.find(initial) == 0):
                r=line
    begin=len(list(initial))
    snum=r[begin:]
    n=snum
    return n

def call_SportMode(event):
    global SportModeOn
    if SportModeOn:
        tcpClicSock.send(('SportModeOff').encode())
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
    else:
        tcpClicSock.send(('SportModeOn').encode())

def call_forward(event):          #When this function is called,client commands the car to move forward
    global c_f_stu
    if c_f_stu == 0:
        tcpClicSock.send(('forward').encode())
        c_f_stu=1
        time.sleep(0.55)
        c_f_stu=0

def call_back(event):          #When this function is called,client commands the car to move backward
    global c_b_stu
    if c_b_stu == 0:
        tcpClicSock.send(('backward').encode())
        c_b_stu=1
        time.sleep(0.6)
        c_f_stu=0

def call_FB_stop(event):          #When this function is called,client commands the car to stop moving
    global c_f_stu,c_b_stu,c_l_stu,c_r_stu,c_ls_stu,c_rs_stu
    c_f_stu=0
    c_b_stu=0
    tcpClicSock.send(('DS').encode())

def call_Turn_stop(event):          #When this function is called,client commands the car to stop moving
    global c_f_stu,c_b_stu,c_l_stu,c_r_stu,c_ls_stu,c_rs_stu
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
    c_l_stu=0
    c_r_stu=0
    c_ls_stu=0
    c_rs_stu=0
    tcpClicSock.send(('TS').encode())

def call_Left(event):              #When this function is called,client commands the car to
turn left
    global c_l_stu
    if c_l_stu == 0:
        tcpClicSock.send(('left').encode())
        c_l_stu=1
        time.sleep(0.45)
        c_f_stu=0

def call_Right(event):             #When this function is called,client commands the car to
turn right
    global c_r_stu
    if c_r_stu == 0:
        tcpClicSock.send(('right').encode())
        c_r_stu=1
        time.sleep(0.45)
        c_f_stu=0

def connection_thread():
    global funcMode, ultrasonicMode, canvas_rec, canvas_text, SportModeOn
    while 1:
        car_info = (tcpClicSock.recv(BUFSIZ)).decode()
        if not car_info:
            continue
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
        elif 'SportModeOn' in car_info:
            SportModeOn = 1
            Btn_GT.config(bg='#00E676')

        elif 'SportModeOff' in car_info:
            SportModeOn = 0
            Btn_GT.config(bg='#F44336')

        elif 'FunEnd' in car_info:
            funcMode = 0
            all_btn_normal()
            ultrasonicMode = 0
            canvas_rec=canvas_ultra.create_rectangle(0,0,352,30,fill = color_btn,width=0)
            canvas_text=canvas_ultra.create_text((9    0    ,    1    1    )    ,text='Ultrasonic
OFF',fill=color_text)

def Info_receive():
    global CPU_TEP,CPU_USE,RAM_USE
    HOST = ''
    INFO_PORT = 2256                        #Define port serial
    ADDR = (HOST, INFO_PORT)
    InfoSock = socket(AF_INET, SOCK_STREAM)
    InfoSock.setsockopt(SOL_SOCKET,SO_REUSEADDR,1)
    InfoSock.bind(ADDR)
    InfoSock.listen(5)                      #Start server,waiting for client
    InfoSock, addr = InfoSock.accept()
    print('Info connected')
    while 1:
        try:
            info_data = ''
            info_data = str(InfoSock.recv(BUFSIZ).decode())
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
            info_get = info_data.split()
            CPU_TEP,CPU_USE,RAM_USE= info_get

#print('cpu_tem:%s\ncpu_use:%s\nram_use:%s'%(CPU_TEP,CPU_USE,RAM_USE))
            CPU_TEP_lab.config(text='CPU Temp: %s℃'%CPU_TEP)
            CPU_USE_lab.config(text='CPU Usage: %s'%CPU_USE)
            RAM_lab.config(text='RAM Usage: %s'%RAM_USE)
        except:
            pass

def ultra_receive():
    global ultra_data, canvas_text, canvas_rec
    ultra_HOST = ''
    ultra_PORT = 2257                    #Define port serial
    ultra_ADDR = (ultra_HOST, ultra_PORT)
    ultra_Sock = socket(AF_INET, SOCK_STREAM)
    ultra_Sock.setsockopt(SOL_SOCKET,SO_REUSEADDR,1)
    ultra_Sock.bind(ultra_ADDR)
    ultra_Sock.listen(5)                 #Start server,waiting for client
    ultra_Sock, addr = ultra_Sock.accept()
    canvas_text=canvas_ultra.create_text((90,11),text='Ultrasonic OFF',fill=color_text)
    while 1:
        try:
            ultra_data = str(ultra_Sock.recv(BUFSIZ).decode())
            try:
                ultra_data = float(ultra_data)
                if float(ultra_data) < 3:
                    #print(ultra_data)
                    try:
                        canvas_ultra.delete(canvas_text)
                        canvas_ultra.delete(canvas_rec)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
                except:
                    pass

#canvas_rec=canvas_ultra.create_rectangle(0 , 0 ,int(float(ultra_data)/1 4 5 * 3 ) ,3 0 ,fill =
'#FFFFFF')
                canvas_rec=canvas_ultra.create_rectangle(0    ,    0    ,(3    5    2    -
int(float(ultra_data)*352/3)),30,fill = '#448AFF',width=0)
                canvas_text=canvas_ultra.create_text((9 0 , 1 1 ) ,text='Ultrasonic  Output:
%sm'%ultra_data,fill=color_text)
                #print('xxx')
            except:
                pass
        except:
            pass

def socket_connect():     #Call this function to connect with the server
    global ADDR,tcpClicSock,BUFSIZ,ip_stu,ipaddr
    ip_adr=E1.get()       #Get the IP address from Entry

    if ip_adr == '':      #If no input IP address in Entry,import a default IP
        ip_adr=num_import('IP:')
        l_ip_4.config(text='Connecting')
        l_ip_4.config(bg='#FF8F00')
        l_ip_5.config(text='Default:%s'%ip_adr)
        pass


    SERVER_IP = ip_adr
    SERVER_PORT = 10223   #Define port serial
    BUFSIZ = 1024         #Define buffer size
    ADDR = (SERVER_IP, SERVER_PORT)
    tcpClicSock = socket(AF_INET, SOCK_STREAM) #Set connection value for socket
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
    for i in range (1,6): #Try 5 times if disconnected
        if ip_stu == 1:
            print("Connecting to server @ %s:%d..." %(SERVER_IP, SERVER_PORT))
            print("Connecting")
            tcpClicSock.connect(ADDR)        #Connection with the server
            print("Connected")
            l_ip_5.config(text='IP:%s'%ip_adr)
            l_ip_4.config(text='Connected')
            l_ip_4.config(bg='#558B2F')
            replace_num('IP:',ip_adr)
            E1.config(state='disabled')      #Disable the Entry
            Btn14.config(state='disabled')   #Disable the Entry
            ip_stu=0                         #'0' means connected
            connection_threading=thread.Thread(target=connection_thread)        #Define
a thread for FPV and OpenCV
            connection_threading.setDaemon(True)                    #'True' means it is
a front thread,it would close when the mainloop() closes
            connection_threading.start()                            #Thread starts
            info_threading=thread.Thread(target=Info_receive)       #Define a thread for
FPV and OpenCV
            info_threading.setDaemon(True)                          #'True' means it is a front
thread,it would close when the mainloop() closes
            info_threading.start()                                  #Thread starts
            ultra_threading=thread.Thread(target=ultra_receive)     #Define a thread for
FPV and OpenCV
            ultra_threading.setDaemon(True)                         #'True' means it is a front
thread,it would close when the mainloop() closes
            ultra_threading.start()                                 #Thread starts
            video_threading=thread.Thread(target=opencv_r)          #Define a thread for
FPV and OpenCV
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
            video_threading.setDaemon(True)                    #'True' means it is a front
thread,it would close when the mainloop() closes
            video_threading.start()                            #Thread starts
            break
        else:
            print("Cannot connecting to server,try it latter!")
            l_ip_4.config(text='Try %d/5 time(s)'%i)
            l_ip_4.config(bg='#EF6C00')
            print('Try %d/5 time(s)'%i)
            ip_stu=1
            time.sleep(1)
            continue
    if ip_stu == 1:
        l_ip_4.config(text='Disconnected')
        l_ip_4.config(bg='#F44336')
def connect(event):       #Call this function to connect with the server
    if ip_stu == 1:
        sc=thread.Thread(target=socket_connect) #Define a thread for connection
        sc.setDaemon(True)                 #'True' means it is a front thread,it would close
when the mainloop() closes
        sc.start()                         #Thread starts
def connect_click():      #Call this function to connect with the server
    if ip_stu == 1:
        sc=thread.Thread(target=socket_connect) #Define a thread for connection
        sc.setDaemon(True)                 #'True' means it is a front thread,it would close
when the mainloop() closes
        sc.start()                         #Thread starts
def set_R(event):
    time.sleep(0.03)
    tcpClicSock.send(('wsR %s'%var_R.get()).encode())
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
def set_G(event):
    time.sleep(0.03)
    tcpClicSock.send(('wsG %s'%var_G.get()).encode())
def set_B(event):
    time.sleep(0.03)
    tcpClicSock.send(('wsB %s'%var_B.get()).encode())
def call_ai(event):
    done = False
    cnt=0
    ds=[]
    while not done :
        try :
            while True:
                try:
                    rssi1,rssi2,rssi3,rssi4,rssi5,rssi6,rssi7,rssi8,angle=blefromesp()
                    print(rssi1,rssi2,rssi3,rssi4,rssi5,rssi6,rssi7,rssi8)
                    print(angle)
                    break
                except UnboundLocalError:
                    continue
            x, y, angle = ai(rssi1,rssi2,rssi3,rssi4,rssi5,rssi6,rssi7,rssi8,angle)
            a=[np.array([x,y,angle])]
            print(cnt)
            if len(a[0]) == 3:
                ds.extend(a)
                cnt += 1
            if cnt == 5 :
                done = True
        except UnboundLocalError :
            continue
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
dff= pd.DataFrame(ds, columns =['x','y','angle'])
x_ii = dff['x'].values.tolist()
y_ii = dff['y'].values.tolist()
angle = dff['angle'].values.tolist()
x_ii = np.array(x_ii)
y_ii =  np.array(x_ii)
angle =  np.array(angle)
try :
    x=str(mode(x_ii))
except :
    x=str(round(np.mean(x_ii)))
try :
    y=str(mode(y_ii))
except :
    y=str(round(np.mean(y_ii)))
try :
    angle=int(mode(angle))
except :
    angle=int(round(np.mean(angle)))
print(x_ii,y_ii)
print(angle)
lebel1 = tk.Label(root, text=x+','+y, width=12, fg=color_text,bg=color_btn)
lebel1.place (x=230,y=390)
x=int(x)
y=int(y)
angle=int(angle)

#หน้าต่าง
if  155 <int(angle) <206 :
    print(angle)
    angle1=670
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
    angle2=20
    angle3=670
    angle4=60

#ประตู
 if  0 <int(angle) <72 or 288 <int(angle) <360 :
    print(angle)
    angle1=670
    angle2=60
    angle3=670
    angle4=20

 #ล็อกเกอร์
 if  207 <int(angle) <287 :
    print(angle)
    angle1=690
    angle2=40
    angle3=650
    angle4=40

 #ตู้
 if  73 <int(angle) <154 :
    print(angle)
    angle1=655
    angle2=40
    angle3=695
    angle4=40

 if x==-9 :
    xx=0
 elif x==-8 :
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
    xx=30
elif x==-7 :
    xx=60
elif x==-6 :
    xx=90
elif x==-5 :
    xx=120
elif x==-4 :
    xx=150
elif x==-3 :
    xx=180
elif x==-2 :
    xx=210
elif x==-1 :
    xx=240
elif x==0 :
    xx=270
elif x==1 :
    xx=300
elif x==2 :
    xx=330
elif x==3 :
    xx=360
elif x==4 :
    xx=390
elif x==5 :
    xx=420
elif x==6 :
    xx=450
elif x==7 :
    xx=480
```

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
elif x==8 :
    xx=510
elif x==9 :
    xx=540
if y==8 :
    yy=0
elif y==7 :
    yy=30
elif y==6 :
    yy=60
elif y==5 :
    yy=90
elif y==4 :
    yy=120
elif y==3 :
    yy=150
elif y==2 :
    yy=180
elif y==1 :
    yy=210
elif y==0 :
    yy=240
elif y==-1 :
    yy=270
elif y==-2 :
    yy=300
elif y==-3 :
    yy=330
elif y==-4 :
    yy=360
elif y==-5 :
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
    yy=390
elif y==-6 :
    yy=420
elif y==-7 :
    yy=450
elif y==-8 :
    yy=480
elif y==-9 :
    yy=510
elif y==-10 :
    yy=540
elif y==-11 :
    yy=570
elif y==-12 :
    yy=600
elif y==-13 :
    yy=630
elif y==-14 :
    yy=660
elif y==-15 :
    yy=690

gui = tk.Tk()
gui.geometry("700x800")
gui.title("Room Plan")
newcanvas = tk.Canvas(gui, width=700,height=800,bg='Seashell2')
newcanvas.pack()
point = newcanvas.create_oval(45, 15, 55, 25, width=1, outline="red", fill="red")
newcanvas.move(point,xx,yy)
line1 = newcanvas.create_line(angle1, angle2, angle3, angle4, arrow=tk.LAST)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(50, 20, 80, 50, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 20, 110, 50, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 20, 140, 50, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(140, 20, 170, 50, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(170, 20, 200, 50, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(200, 20, 230, 50, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(50, 50, 80, 80, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 50, 110, 80, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 50, 140, 80, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(140, 50, 170, 80, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(170, 50, 200, 80, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(200, 50, 230, 80, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(50, 80, 80, 110, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 80, 110, 110, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 80, 140, 110, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(140, 80, 170, 110, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(170, 80, 200, 110, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(200, 80, 230, 110, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(50, 110, 80, 140, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 110, 110, 140, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 110, 140, 140, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(140, 110, 170, 140, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(170, 110, 200, 140, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(200, 110, 230, 140, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(50, 140, 80, 170, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 140, 110, 170, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 140, 140, 170, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(140, 140, 170, 170, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(170, 140, 200, 170, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(200, 140, 230, 170, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 170, 110, 200, outline="gray")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 170, 140, 200, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(140, 170, 170, 200, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(170, 170, 200, 200, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(200, 170, 230, 200, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 200, 110, 230, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 200, 140, 230, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(140, 200, 170, 230, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(170, 200, 200, 230, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(200, 200, 230, 230, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(230, 200, 260, 230, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(260, 200, 290, 230, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(290, 200, 320, 230, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(320, 200, 350, 230, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(350, 200, 380, 230, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(380, 200, 410, 230, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(410, 200, 440, 230, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(440, 200, 470, 230, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(470, 200, 500, 230, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(500, 200, 530, 230, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(530, 200, 560, 230, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(560, 200, 590, 230, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 230, 110, 260, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 230, 140, 260, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(140, 230, 170, 260, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(170, 230, 200, 260, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(200, 230, 230, 260, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(230, 230, 260, 260, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(260, 230, 290, 260, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(290, 230, 320, 260, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(320, 230, 350, 260, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(350, 230, 380, 260, outline="gray")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(380, 230, 410, 260, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(410, 230, 440, 260, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(440, 230, 470, 260, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(470, 230, 500, 260, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(500, 230, 530, 260, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(530, 230, 560, 260, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(560, 230, 590, 260, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 260, 110, 290, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 290, 110, 320, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 320, 110, 350, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 350, 110, 380, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 380, 110, 410, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 410, 110, 440, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 440, 110, 470, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 470, 110, 500, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 500, 110, 530, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 530, 110, 560, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 560, 110, 590, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 590, 110, 620, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 620, 110, 650, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 650, 110, 680, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(80, 680, 110, 710, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 260, 140, 290, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 290, 140, 320, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 320, 140, 350, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 350, 140, 380, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 380, 140, 410, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 410, 140, 440, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 440, 140, 470, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 470, 140, 500, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 500, 140, 530, outline="gray")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 530, 140, 560, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 560, 140, 590, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 590, 140, 620, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 620, 140, 650, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 650, 140, 680, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(110, 680, 140, 710, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(140, 260, 170, 290, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(140, 290, 170, 320, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(140, 320, 170, 350, outline="gray")
rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(140, 350, 170, 380, outline="gray")
text1 = newcanvas.create_text(50,10, font=("Purisa", 7), text="(-9,8)")
text1 = newcanvas.create_text(80,10, font=("Purisa", 7), text="(-8,8)")
text1 = newcanvas.create_text(110,10, font=("Purisa", 7), text="(-7,8)")
text1 = newcanvas.create_text(140,10, font=("Purisa", 7), text="(-6,8)")
text1 = newcanvas.create_text(170,10, font=("Purisa", 7), text="(-5,8)")
text1 = newcanvas.create_text(200,10, font=("Purisa", 7), text="(-4,8)")
text1 = newcanvas.create_text(230,10, font=("Purisa", 7), text="(-3,8)")
text1 = newcanvas.create_text(50,40, font=("Purisa", 7), text="(-9,7)")
text1 = newcanvas.create_text(80,40, font=("Purisa", 7), text="(-8,7)")
text1 = newcanvas.create_text(110,40, font=("Purisa", 7), text="(-7,7)")
text1 = newcanvas.create_text(140,40, font=("Purisa", 7), text="(-6,7)")
text1 = newcanvas.create_text(170,40, font=("Purisa", 7), text="(-5,7)")
text1 = newcanvas.create_text(200,40, font=("Purisa", 7), text="(-4,7)")
text1 = newcanvas.create_text(230,40, font=("Purisa", 7), text="(-3,7)")
text1 = newcanvas.create_text(50,70, font=("Purisa", 7), text="(-9,6)")
text1 = newcanvas.create_text(80,70, font=("Purisa", 7), text="(-8,6)")
text1 = newcanvas.create_text(110,70, font=("Purisa", 7), text="(-7,6)")
text1 = newcanvas.create_text(140,70, font=("Purisa", 7), text="(-6,6)")
text1 = newcanvas.create_text(170,70, font=("Purisa", 7), text="(-5,6)")
text1 = newcanvas.create_text(200,70, font=("Purisa", 7), text="(-4,6)")
text1 = newcanvas.create_text(230,70, font=("Purisa", 7), text="(-3,6)")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
text1 = newcanvas.create_text(50,100, font=("Purisa", 7), text="(-9,5)")
text1 = newcanvas.create_text(80,100, font=("Purisa", 7), text="(-8,5)")
text1 = newcanvas.create_text(110,100, font=("Purisa", 7), text="(-7,5)")
text1 = newcanvas.create_text(140,100, font=("Purisa", 7), text="(-6,5)")
text1 = newcanvas.create_text(170,100, font=("Purisa", 7), text="(-5,5)")
text1 = newcanvas.create_text(200,100, font=("Purisa", 7), text="(-4,5)")
text1 = newcanvas.create_text(230,100, font=("Purisa", 7), text="(-3,5)")
text1 = newcanvas.create_text(50,130, font=("Purisa", 7), text="(-9,4)")
text1 = newcanvas.create_text(80,130, font=("Purisa", 7), text="(-8,4)")
text1 = newcanvas.create_text(110,130, font=("Purisa", 7), text="(-7,4)")
text1 = newcanvas.create_text(140,130, font=("Purisa", 7), text="(-6,4)")
text1 = newcanvas.create_text(170,130, font=("Purisa", 7), text="(-5,4)")
text1 = newcanvas.create_text(200,130, font=("Purisa", 7), text="(-4,4)")
text1 = newcanvas.create_text(230,130, font=("Purisa", 7), text="(-3,4)")
text1 = newcanvas.create_text(50,160, font=("Purisa", 7), text="(-9,3)")
text1 = newcanvas.create_text(80,160, font=("Purisa", 7), text="(-8,3)")
text1 = newcanvas.create_text(110,160, font=("Purisa", 7), text="(-7,3)")
text1 = newcanvas.create_text(140,160, font=("Purisa", 7), text="(-6,3)")
text1 = newcanvas.create_text(170,160, font=("Purisa", 7), text="(-5,3)")
text1 = newcanvas.create_text(200,160, font=("Purisa", 7), text="(-4,3)")
text1 = newcanvas.create_text(230,160, font=("Purisa", 7), text="(-3,3)")
text1 = newcanvas.create_text(80,190, font=("Purisa", 7), text="(-8,2)")
text1 = newcanvas.create_text(110,190, font=("Purisa", 7), text="(-7,2)")
text1 = newcanvas.create_text(140,190, font=("Purisa", 7), text="(-6,2)")
text1 = newcanvas.create_text(170,190, font=("Purisa", 7), text="(-5,2)")
text1 = newcanvas.create_text(200,190, font=("Purisa", 7), text="(-4,2)")
text1 = newcanvas.create_text(230,190, font=("Purisa", 7), text="(-3,2)")
text1 = newcanvas.create_text(260,190, font=("Purisa", 7), text="(-2,2)")
text1 = newcanvas.create_text(290,190, font=("Purisa", 7), text="(-1,2)")
text1 = newcanvas.create_text(320,190, font=("Purisa", 7), text="(0,2)")
text1 = newcanvas.create_text(350,190, font=("Purisa", 7), text="(1,2)")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
text1 = newcanvas.create_text(380,190, font=("Purisa", 7), text="(2,2)")
text1 = newcanvas.create_text(410,190, font=("Purisa", 7), text="(3,2)")
text1 = newcanvas.create_text(440,190, font=("Purisa", 7), text="(4,2)")
text1 = newcanvas.create_text(470,190, font=("Purisa", 7), text="(5,2)")
text1 = newcanvas.create_text(500,190, font=("Purisa", 7), text="(6,2)")
text1 = newcanvas.create_text(530,190, font=("Purisa", 7), text="(7,2)")
text1 = newcanvas.create_text(560,190, font=("Purisa", 7), text="(8,2)")
text1 = newcanvas.create_text(590,190, font=("Purisa", 7), text="(9,2)")
text1 = newcanvas.create_text(80,220, font=("Purisa", 7), text="(-8,1)")
text1 = newcanvas.create_text(110,220, font=("Purisa", 7), text="(-7,1)")
text1 = newcanvas.create_text(140,220, font=("Purisa", 7), text="(-6,1)")
text1 = newcanvas.create_text(170,220, font=("Purisa", 7), text="(-5,1)")
text1 = newcanvas.create_text(200,220, font=("Purisa", 7), text="(-4,1)")
text1 = newcanvas.create_text(230,220, font=("Purisa", 7), text="(-3,1)")
text1 = newcanvas.create_text(260,220, font=("Purisa", 7), text="(-2,1)")
text1 = newcanvas.create_text(290,220, font=("Purisa", 7), text="(-1,1)")
text1 = newcanvas.create_text(320,220, font=("Purisa", 7), text="(0,1)")
text1 = newcanvas.create_text(350,220, font=("Purisa", 7), text="(1,1)")
text1 = newcanvas.create_text(380,220, font=("Purisa", 7), text="(2,1)")
text1 = newcanvas.create_text(410,220, font=("Purisa", 7), text="(3,1)")
text1 = newcanvas.create_text(440,220, font=("Purisa", 7), text="(4,1)")
text1 = newcanvas.create_text(470,220, font=("Purisa", 7), text="(5,1)")
text1 = newcanvas.create_text(500,220, font=("Purisa", 7), text="(6,1)")
text1 = newcanvas.create_text(530,220, font=("Purisa", 7), text="(7,1)")
text1 = newcanvas.create_text(560,220, font=("Purisa", 7), text="(8,1)")
text1 = newcanvas.create_text(590,220, font=("Purisa", 7), text="(9,1)")
text1 = newcanvas.create_text(80,250, font=("Purisa", 7), text="(-8,0)")
text1 = newcanvas.create_text(110,250, font=("Purisa", 7), text="(-7,0)")
text1 = newcanvas.create_text(140,250, font=("Purisa", 7), text="(-6,0)")
text1 = newcanvas.create_text(170,250, font=("Purisa", 7), text="(-5,0)")
text1 = newcanvas.create_text(200,250, font=("Purisa", 7), text="(-4,0)")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
text1 = newcanvas.create_text(230,250, font=("Purisa", 7), text="(-3,0)")
text1 = newcanvas.create_text(260,250, font=("Purisa", 7), text="(-2,0)")
text1 = newcanvas.create_text(290,250, font=("Purisa", 7), text="(-1,0)")
text1 = newcanvas.create_text(320,250, font=("Purisa", 7), text="(0,0)")
text1 = newcanvas.create_text(350,250, font=("Purisa", 7), text="(1,0)")
text1 = newcanvas.create_text(380,250, font=("Purisa", 7), text="(2,0)")
text1 = newcanvas.create_text(410,250, font=("Purisa", 7), text="(3,0)")
text1 = newcanvas.create_text(440,250, font=("Purisa", 7), text="(4,0)")
text1 = newcanvas.create_text(470,250, font=("Purisa", 7), text="(5,0)")
text1 = newcanvas.create_text(500,250, font=("Purisa", 7), text="(6,0)")
text1 = newcanvas.create_text(530,250, font=("Purisa", 7), text="(7,0)")
text1 = newcanvas.create_text(560,250, font=("Purisa", 7), text="(8,0)")
text1 = newcanvas.create_text(590,250, font=("Purisa", 7), text="(9,0)")
text1 = newcanvas.create_text(80,280, font=("Purisa", 7), text="(-8,-1)")
text1 = newcanvas.create_text(110,280, font=("Purisa", 7), text="(-7,-1)")
text1 = newcanvas.create_text(140,280, font=("Purisa", 7), text="(-6,-1)")
text1 = newcanvas.create_text(170,280, font=("Purisa", 7), text="(-5,-1)")
text1 = newcanvas.create_text(80,310, font=("Purisa", 7), text="(-8,-2)")
text1 = newcanvas.create_text(110,310, font=("Purisa", 7), text="(-7,-2)")
text1 = newcanvas.create_text(140,310, font=("Purisa", 7), text="(-6,-2)")
text1 = newcanvas.create_text(170,310, font=("Purisa", 7), text="(-5,-2)")
text1 = newcanvas.create_text(80,340, font=("Purisa", 7), text="(-8,-3)")
text1 = newcanvas.create_text(110,340, font=("Purisa", 7), text="(-7,-3)")
text1 = newcanvas.create_text(140,340, font=("Purisa", 7), text="(-6,-3)")
text1 = newcanvas.create_text(170,340, font=("Purisa", 7), text="(-5,-3)")
text1 = newcanvas.create_text(80,370, font=("Purisa", 7), text="(-8,-4)")
text1 = newcanvas.create_text(110,370, font=("Purisa", 7), text="(-7,-4)")
text1 = newcanvas.create_text(140,370, font=("Purisa", 7), text="(-6,-4)")
text1 = newcanvas.create_text(170,370, font=("Purisa", 7), text="(-5,-4)")
text1 = newcanvas.create_text(80,400, font=("Purisa", 7), text="(-8,-5)")
text1 = newcanvas.create_text(110,400, font=("Purisa", 7), text="(-7,-5)")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
text1 = newcanvas.create_text(140,400, font=("Purisa", 7), text="(-6,-5)")
text1 = newcanvas.create_text(80,430, font=("Purisa", 7), text="(-8,-6)")
text1 = newcanvas.create_text(110,430, font=("Purisa", 7), text="(-7,-6)")
text1 = newcanvas.create_text(140,430, font=("Purisa", 7), text="(-6,-6)")
text1 = newcanvas.create_text(80,460, font=("Purisa", 7), text="(-8,-7)")
text1 = newcanvas.create_text(110,460, font=("Purisa", 7), text="(-7,-7)")
text1 = newcanvas.create_text(140,460, font=("Purisa", 7), text="(-6,-7)")
text1 = newcanvas.create_text(80,490, font=("Purisa", 7), text="(-8,-8)")
text1 = newcanvas.create_text(110,490, font=("Purisa", 7), text="(-7,-8)")
text1 = newcanvas.create_text(140,490, font=("Purisa", 7), text="(-6,-8)")
text1 = newcanvas.create_text(80,520, font=("Purisa", 7), text="(-8,-9)")
text1 = newcanvas.create_text(110,520, font=("Purisa", 7), text="(-7,-9)")
text1 = newcanvas.create_text(140,520, font=("Purisa", 7), text="(-6,-9)")
text1 = newcanvas.create_text(75,550, font=("Purisa", 7), text="(-8,-10)")
text1 = newcanvas.create_text(110,550, font=("Purisa", 7), text="(-7,-10)")
text1 = newcanvas.create_text(145,550, font=("Purisa", 7), text="(-6,-10)")
text1 = newcanvas.create_text(75,580, font=("Purisa", 7), text="(-8,-11)")
text1 = newcanvas.create_text(110,580, font=("Purisa", 7), text="(-7,-11)")
text1 = newcanvas.create_text(145,580, font=("Purisa", 7), text="(-6,-11)")
text1 = newcanvas.create_text(75,610, font=("Purisa", 7), text="(-8,-12)")
text1 = newcanvas.create_text(110,610, font=("Purisa", 7), text="(-7,-12)")
text1 = newcanvas.create_text(145,610, font=("Purisa", 7), text="(-6,-12)")
text1 = newcanvas.create_text(75,640, font=("Purisa", 7), text="(-8,-13)")
text1 = newcanvas.create_text(110,640, font=("Purisa", 7), text="(-7,-13)")
text1 = newcanvas.create_text(145,640, font=("Purisa", 7), text="(-6,-13)")
text1 = newcanvas.create_text(75,670, font=("Purisa", 7), text="(-8,-14)")
text1 = newcanvas.create_text(110,670, font=("Purisa", 7), text="(-7,-14)")
text1 = newcanvas.create_text(145,670, font=("Purisa", 7), text="(-6,-14)")
text1 = newcanvas.create_text(75,700, font=("Purisa", 7), text="(-8,-15)")
text1 = newcanvas.create_text(110,700, font=("Purisa", 7), text="(-7,-15)")
text1 = newcanvas.create_text(145,700, font=("Purisa", 7), text="(-6,-15)")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(5, 10, 35, 90, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(5, 95, 35, 175, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(5, 180, 50, 340, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(5, 345, 50, 505, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(5, 510, 50, 560, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(5, 565, 50, 725, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_oval(55, 730, 150, 790, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(160, 730, 235, 790, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(170, 400, 235, 560, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(170, 565, 235, 725, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(240, 375, 310, 725, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(190, 330, 310, 370, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(190, 285, 310, 325, outline="tan",
fill="antiquewhite")


    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(260, 15, 325, 170, outline="tan",
fill="antiquewhite")
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(410, 35, 475, 155, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(600, 15, 650, 170, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(610, 175, 650, 530, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(610, 535, 650, 645, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(590, 650, 630, 730, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(410, 650, 570, 720, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(440, 520, 500, 645, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_oval(440, 400, 500, 515, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    rectangle1 = newcanvas.create_rectangle(380, 320, 500, 380, outline="tan",
fill="antiquewhite")
    B2 = tk.Button(gui, text = "EXIT", command = gui.destroy)
    B2.pack()
    B2.place(x=650,y=700)
    gui.mainloop()
    return x,y
def loop():                    #GUI

    global
tcpClicSock,root,E1,connect,l_ip_4,l_ip_5,color_btn,color_text,Btn14,CPU_TEP_lab,CPU
_USE_lab,RAM_lab,canvas_ultra,color_text,var_R,var_B,var_G,Btn_Steady,Btn_FindColo
r,Btn_WatchDog,Btn_Fun4 ,Btn_Fun5 ,Btn_Fun6 ,label_ins,Btn_GT      #The value of
tcpClicSock changes in the function loop(),would also changes in global so the other
functions could use it.
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
while True:
    color_bg='#000000'        #Set background color
    color_text='#E1F5FE'      #Set text color
    color_btn='#0277BD'       #Set button color
    color_line='#01579B'      #Set line color
    color_can='#212121'       #Set canvas color
    color_oval='#2196F3'      #Set oval color
    target_color='#FF6D00'

    root = tk.Tk()            #Define a window named root
    root.title('Control Robot')      #Main window title

    root.geometry('565x510')  #Main window size, middle of the English letter x.
    root.config(bg=color_bg)  #Set the background color of root window
    try:
        logo =tk.PhotoImage(file = 'logo.png')        #Define the picture of logo,but only supports '.png' and '.gif'
        l_logo=tk.Label(root,image = logo,bg=color_bg) #Set a label to show the logo picture
        l_logo.place(x=30,y=13)                       #Place the Label in a right position
    except:
        pass
    l_ip_4=tk.Label(root,width=18,text='Disconnected',fg=color_text,bg='#F44336')
    l_ip_4.place(x=225,y=100)                         #Define a Label and put it in position
    l_ip_5=tk.Label(root,width=18,text='Use default IP',fg=color_text,bg=color_btn)
    l_ip_5.place(x=400,y=100)                         #Define a Label and put it in position
    E1 = tk.Entry(root,show=None,width=30,bg="#37474F",fg='#eceff1')
    E1.place(x=200,y=60)                              #Define a Entry and put it in position
ช่องกรอก IP
    l_ip_3=tk.Label(root,width=25,text='IP Address:',fg=color_text,bg='#000000')
    l_ip_3.place(x=200,y=40)                          #Define a Label and put it in position
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
canvas_ultra=tk.Canvas(root,bg=color_btn,height=23,width=352,highlightthickness=0)
        canvas_ultra.place(x=105,y=160)
        Btn0 = tk.Button(root, width=8 ,
text='Forward',fg=color_text,bg=color_btn,relief='ridge')
        Btn1 = tk.Button(root, width=8 ,
text='Backward',fg=color_text,bg=color_btn,relief='ridge')
        Btn2 = tk.Button(root, width=8 ,
text='Left',fg=color_text,bg=color_btn,relief='ridge')
        Btn3 = tk.Button(root, width=8 ,
text='Right',fg=color_text,bg=color_btn,relief='ridge')
        Btn5 = tk.Button(root, width=1 0 ,
text='Position',fg=color_text,bg=color_btn,relief='ridge')
        Btn0.place(x=250,y=195)
        Btn1.place(x=250,y=265)
        Btn2.place(x=170,y=230)
        Btn3.place(x=330,y=230)
        Btn5.place(x=240,y=350)
        Btn0.bind('<ButtonPress-1>', call_forward)
        Btn1.bind('<ButtonPress-1>', call_back)
        Btn2.bind('<ButtonPress-1>', call_Left)
        Btn3.bind('<ButtonPress-1>', call_Right)
        Btn5.bind('<ButtonRelease-1>', call_ai)
        Btn0.bind('<ButtonRelease-1>', call_FB_stop)
        Btn1.bind('<ButtonRelease-1>', call_FB_stop)
        Btn2.bind('<ButtonRelease-1>', call_Turn_stop)
        Btn3.bind('<ButtonRelease-1>', call_Turn_stop)
        root.bind('<KeyPress-w>', call_forward)
        root.bind('<KeyPress-a>', call_Left)
        root.bind('<KeyPress-d>', call_Right)
        root.bind('<KeyPress-s>', call_back)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
root.bind('<KeyPress-q>', call_LeftSide)
root.bind('<KeyPress-e>', call_RightSide)
root.bind('<KeyRelease-q>', call_Turn_stop)
root.bind('<KeyRelease-e>', call_Turn_stop)
root.bind('<KeyRelease-w>', call_FB_stop)
root.bind('<KeyRelease-a>', call_Turn_stop)
root.bind('<KeyRelease-d>', call_Turn_stop)
root.bind('<KeyRelease-s>', call_FB_stop)
Btn_GT = tk.Button(root, width=8 , text='GT',bg='#F4 4 3 3 6 ',
fg='#FFFFFF',relief='ridge')
Btn_home = tk.Button(root, width=8 ,
text='Home',fg=color_text,bg=color_btn,relief='ridge')
Btn_GT.place(x=250,y=230)
Btn_Cleft = tk.Button(root, width=8 ,
text='\\',fg=color_text,bg=color_btn,relief='ridge')
Btn_Cright = tk.Button(root, width=8 ,
text='/',fg=color_text,bg=color_btn,relief='ridge')
root.bind('<KeyPress-g>', call_SportMode)
root.bind('<KeyPress-u>', call_CLeft)
root.bind('<KeyPress-o>', call_CRight)
root.bind('<KeyPress-i>', call_headup)
root.bind('<KeyPress-k>', call_headdown)
root.bind('<KeyPress-j>', call_headleft)
root.bind('<KeyPress-l>', call_headright)
root.bind('<KeyPress-f>', call_headhome)
Btn_Cleft.bind('<ButtonPress-1>', call_CLeft)
Btn_Cright.bind('<ButtonPress-1>', call_CRight)
Btn_up.bind('<ButtonPress-1>', call_headup)
Btn_down.bind('<ButtonPress-1>', call_headdown)
Btn_left.bind('<ButtonPress-1>', call_headleft)
Btn_right.bind('<ButtonPress-1>', call_headright)
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
        Btn_GT.bind('<ButtonPress-1>', call_SportMode)
        Btn_home.bind('<ButtonPress-1>', call_headhome)
        Btn1 4 = tk.Button(root, width=8 ,height=1 ,
text='Connect',fg=color_text,bg=color_btn,command=connect_click,relief='ridge')
        Btn14.place(x=400,y=55)                    #Define a Button and put it in position
        root.bind('<Return>', connect)
        var_R = tk.StringVar()
        var_R.set(0)
        Scale_R = tk.Scale(root,label=None,
        from_=0,to=255,orient=tk.HORIZONTAL,length=505,
showvalue=1,tickinterval=None,resolution=1,variable=var_R,troughcolor='#F44336',co
mmand=set_R,fg=color_text,bg=color_bg,highlightthickness=0)
        Scale_R.place(x=30,y=410)                  #Define a Scale and put it in
position
        var_G = tk.StringVar()
        var_G.set(0)
        Scale_G = tk.Scale(root,label=None,
        from_=0,to=255,orient=tk.HORIZONTAL,length=505,
showvalue=1,tickinterval=None,resolution=1,variable=var_G,troughcolor='#00E676',co
mmand=set_G,fg=color_text,bg=color_bg,highlightthickness=0)
        Scale_G.place(x=30,y=440)                  #Define a Scale and put it in
position
        var_B = tk.StringVar()
        var_B.set(0)
        Scale_B = tk.Scale(root,label=None,
        from_=0,to=255,orient=tk.HORIZONTAL,length=505,
showvalue=1,tickinterval=None,resolution=1,variable=var_B,troughcolor='#448AFF',co
mmand=set_B,fg=color_text,bg=color_bg,highlightthickness=0)
        Scale_B.place(x=30,y=470)                  #Define a Scale and put it in
position
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```
canvas_cover=tk.Canvas(root,bg=color_bg,height=30,width=510,highlightthickness=0)
        canvas_cover.place(x=30,y=500)
        Btn_Steady = tk.Button(root, width=1 0 ,
text='Ultrasonic',fg=color_text,bg=color_btn,relief='ridge')
        Btn_Steady.place(x=250,y=130)
        root.bind('<KeyPress-z>', call_steady)
        Btn_Steady.bind('<ButtonPress-1>', call_steady)
        ins_threading=thread.Thread(target=instruction)          #Define a thread for FPV
and OpenCV
        ins_threading.setDaemon(True)                            #'True' means it is a front
thread,it would close when the mainloop() closes
        ins_threading.start()                                    #Thread starts
        global stat
        if stat==0:             # Ensure the mainloop runs only once
            root.mainloop()  # Run the mainloop()
            stat=1          # Change the value to '1' so the mainloop() would not run again.
if __name__ == '__main__':
    try:
        loop()                  # Load GUI
    except:
        tcpClicSock.close()         # Close socket or it may not connect with the server
again
        footage_socket.close()
        cv2.destroyAllWindows()
        pass
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.