

**สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง**

**การหาตำแหน่งของเป้าหมายภายในอาคารบนพื้นฐานเทคโนโลยี RFID**

**MOBILE TRACKING AND LOCALIZATION**

**BASED ON RFID TECHNOLOGY**



T119531

นายธนะ ไหลท่อมทวีกุล

THANA LAITHUAMTHAWEEKUL

นายธรณ์ธันย์ คำฝั้น

TORNTUN KHAMFUN

นางสาวนพวรรณ พันธุ์สวรรค์

NOPAWAN PANSAWAN

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 119531  
วัน,เดือน,ปี..... - 8 S.ศ. 2554

109500869  
b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2553

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# Mobile Tracking and Localization based on RFID Technology



**THIS THESIS IS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

**ACADEMIC YEAR 2010**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



หัวข้อปริญญานิพนธ์	การหาตำแหน่งของเป้าหมายภายในอาคารบนพื้นฐานเทคโนโลยี RFID		
รายนามนักศึกษา	นายชนะ	ไพลท้วมทวิกุล	รหัสนักศึกษา 50010631
	นายชรัตน์ชัย	คำฝั้น	รหัสนักศึกษา 50010662
	นางสาวนพวรรณ	พันธุ์สุวรรณค์	รหัสนักศึกษา 50010743
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ		
พ.ศ.	2553		
อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์	ดร.พนารัตน์ เจริญถนอมวงศ์		

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันเทคโนโลยี RFID เป็นที่นิยมในการใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากความสะดวกสบายในการดำเนินงานและการนำมาใช้ประโยชน์ รวมถึงความสามารถในการรับและส่งข้อมูล ซึ่งปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอในเรื่องของการติดตามการเคลื่อนที่และการหาตำแหน่งของเป้าหมายโดยใช้เทคโนโลยี RFID เพื่อประมาณค่าในการค้นหาตำแหน่งของเป้าหมายภายในอาคารทั้งแบบหยุดนิ่งและเคลื่อนที่ นอกจากนี้ยังได้มีการพัฒนาในส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้งาน (GUI) เพื่อที่ระบบสามารถประมาณค่าในการระบุตำแหน่งของเป้าหมายได้อย่างทันทีทันใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<b>Thesis Title</b>	Mobile Tracking and Localization based on RFID Technology	
<b>Student</b>	Mr. Thana Laithuamthaweekul	Student ID. 50010631
	Mr. Torntun Khamfun	Student ID. 50010662
	Miss. Nopawan Pansawan	Student ID. 50010743
<b>Degree</b>	Bachelor of Engineering	
<b>Program</b>	Information Engineering	
<b>Year</b>	2010	
<b>Thesis Advisor</b>	Dr.Panarat Cherntanomwong	

## ABSTRACT

Nowadays, RFID technology is very popular to use in a variety of applications because of its convenience for implementation and utilization, as well as capability of transmitting and receiving data. In this thesis, the mobile tracking and localization using RFID technology is proposed. The localization system is implemented to estimate the target location the indoor environment. The location of stationary and moving target can be estimated. Moreover, the graphic user interface (GUI) is developed to show the location of target in real time.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้อย่างดีด้วยคำแนะนำและคำปรึกษาเกี่ยวกับการดำเนินการศึกษา และวิจัยจาก ดร.พนารัตน์ เขิญถนอมวงศ์ และอาจารย์ในหลักสูตรวิศวกรรมสารสนเทศสาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ทุกท่าน ที่ได้ให้คำแนะนำตลอดมา อีกทั้งยังเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และเครื่องมือต่างๆที่ใช้ในการทดลอง และปฏิบัติงาน ผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง หากขาดบุคคลดังกล่าวแล้วผู้จัดทำคงไม่สามารถที่จะทำชิ้นงานนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในหลักสูตรวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ เป็นที่ปรึกษา เป็นกำลังใจ เป็นเพื่อนทุกข์เพื่อนยากเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณพ่อและคุณแม่ที่สั่งสอนและอบรมให้เป็นคนดี รวมทั้งเป็นผู้สนับสนุนทุนทรัพย์ในการศึกษาของข้าพเจ้า และให้กำลังใจตั้งแต่เริ่มต้นจนสำเร็จสมความตั้งใจ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีจากปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้จัดทำขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่าน ทั้งที่เอ่ยนามและมิได้เอ่ยนาม และหวังว่าปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้คงจะเป็นแนวทางสำหรับผู้ที่สนใจ และเริ่มศึกษาเกี่ยวกับเรื่อง RFID เพื่อเป็นการนำไปใช้หรือนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา<sup>III</sup> และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	3
1.3 ขอบเขตของโครงการ.....	3
1.4 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการนี้.....	3
1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้.....	3
1.6 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ.....	4
บทที่ 2 เทคโนโลยี RFID และเทคนิคการหาตำแหน่งโดยระบบ RFID.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบการสื่อสาร RFID.....	6
2.3 องค์ประกอบของระบบ RFID.....	7
2.3.1 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Transponder).....	7
2.3.2 เครื่องอ่าน (Reader).....	7
2.3.3 แท็ก (Tags).....	7
2.3.3.1 แท็กชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag).....	8
2.3.3.2 แท็กชนิดพาสซีฟ (Passive Tag).....	9
2.3.3.3 แท็กชนิดเซมิแอ็กทีฟ (Semi-Active Tag).....	10
2.3.4 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader).....	11
2.4 หลักการทำงานของระบบ RFID.....	12
2.4.1 การสื่อสารระหว่างแท็กกับตัวอ่าน.....	14
2.4.2 การเข้ารหัส (Coding).....	15
2.4.3 การผสมข้อมูลแบบดิจิทัล (Digital modulation procedure).....	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ IV และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.4.3.1 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (Amplitude Shift Keying: ASK).....	16
2.4.3.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency Shift Keying: FSK).....	16
2.4.3.3 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase Shift Keying: PSK).....	17
2.5 ความถี่ที่ใช้งานของระบบ RFID.....	17
2.6 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์.....	20
2.7 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง.....	20
2.8 การประยุกต์ใช้งานของระบบ RFID.....	21
2.8.1 RFID ในห่วงโซ่อุปทาน และระบบโลจิสติกส์.....	21
2.8.1.1 RFID ในอุตสาหกรรมการผลิต.....	22
2.8.1.2 RFID ในคลังสินค้า.....	22
2.8.1.3 RFID ในระบบการขนส่ง.....	23
2.8.1.4 RFID ระหว่างหน่วยธุรกิจในห่วงโซ่อุปทาน.....	23
2.8.1.5 RFID ในอุตสาหกรรมรถยนต์.....	24
2.8.1.6 RFID ในเกษตรกรรม.....	25
2.8.1.7 RFID ในการแพทย์.....	25
2.9 เทคนิคการหาตำแหน่งโดยระบบ RFID.....	26
2.9.1 เทคนิคการหาตำแหน่งของแท็ก (Tag localization).....	26
2.9.2 เทคนิคการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน (Reader localization).....	26
2.10 บทสรุป.....	27
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการของการหาตำแหน่งภายในอาคาร.....	28
3.1 บทนำ.....	28
3.2 การหาตำแหน่งโดยวิธีการเรขาคณิตรูปสามเหลี่ยม (Triangulation).....	28
3.2.1 วิธีการหาตำแหน่งด้วยระยะทาง.....	28
3.2.1.1 การหาตำแหน่งโดยอ้างอิงจากเวลาของการมาถึง (TOA).....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.1.2 การหาตำแหน่งโดยอ้างอิงจากความแตกต่างของเวลาสัญญาณที่มาถึง (TDOA).....	30
3.2.1.3 การหาตำแหน่งโดยอ้างอิงจากระยะทางได้มาจากการคำนวณการลดทอนของสัญญาณของสัญญาณวิทยุกับเวลาในการเคลื่อนที่ของสัญญาณ (Round Trip Time of Flight :RTOF).....	32
3.2.2 วิธีการหาตำแหน่งด้วยระยะทาง.....	33
3.2.2.1 วิธีการหาตำแหน่งด้วยมุม (Angle of Arrival : AOA) .....	33
3.3 วิธีหาตำแหน่งด้วยการวัดค่าความใกล้เคียงกับจุดอ้างอิง (Proximity).....	34
3.4 วิธีการหาตำแหน่งโดยการวิเคราะห์บริเวณเฉพาะ (Scene Analysis / Fingerprint).....	34
3.4.1 Offline Phase หรือ Training Phase.....	34
3.4.2 Online Phase หรือ Localization Phase.....	35
3.5 บทสรุป.....	36
บทที่ 4 วิธีการและขั้นตอนการทดลองวิจัย.....	37
4.1 บทนำ.....	37
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย.....	37
4.3 ขั้นตอนและรูปแบบวิธีการทดลองวิจัยในการหาตำแหน่ง.....	43
4.3.1 การจัดเตรียมการทดลองและสภาพแวดล้อมในการทดลอง.....	43
4.3.2 รูปแบบในการทดลองหาตำแหน่ง.....	47
4.3.3 ขั้นตอนในการทดลองหาตำแหน่ง.....	48
4.3.3.1 Offline Phase หรือ Training Phase.....	48
4.3.3.2 Online Phase หรือ Localization Phase.....	49
วิธีที่ 1: Maximum Number of Intersect Tags.....	50
วิธีที่ 2: Maximum and 2nd Maximum Numbers of Intersect Tags.....	53
วิธีที่ 3: Center of Gravity of Detected-Tag Locations.....	55
วิธีที่ 4: Center of Gravity of maximum and 2nd Detected-Tag Locations.....	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VI และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

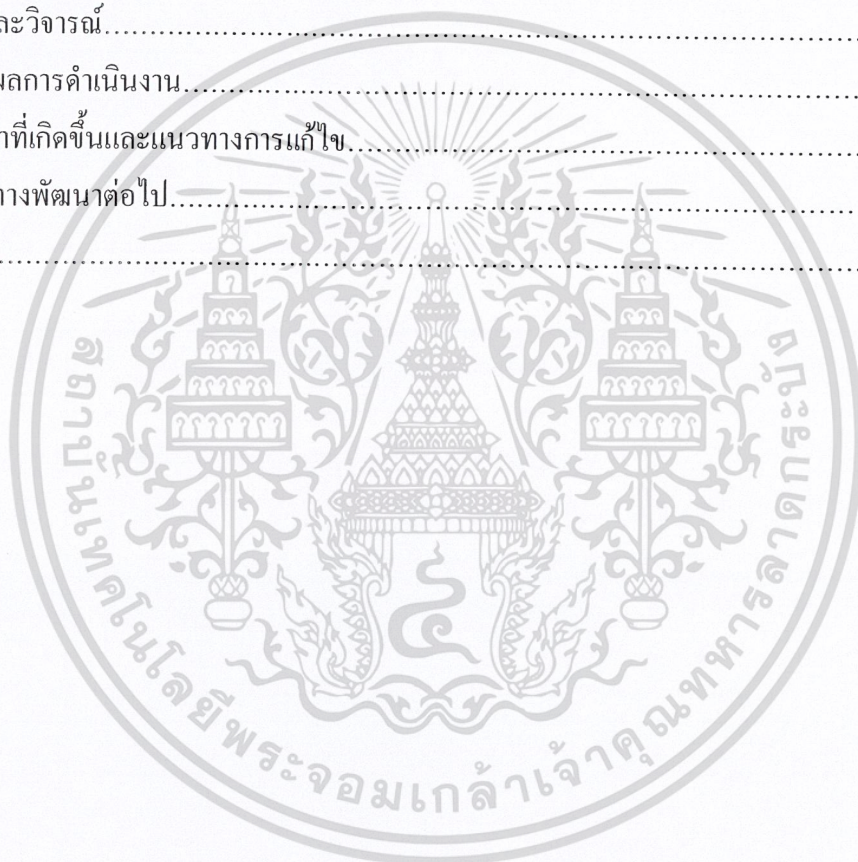
	หน้า
วิธีที่ 5: 1st, 2n ,and 3rd Maximum Numbers of Intersect Tags.....	59
วิธีที่ 6: Calculating the Center of Gravity of Detected Tags.....	61
วิธีที่ 7: Clustering method.....	61
4.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัยเพิ่มเติม (ส่วนที่2).....	63
4.5 ขั้นตอนและรูปแบบวิธีการทดลองวิจัยในการหาตำแหน่งของเป้าหมายแบบเคลื่อนที่.....	66
4.6 เส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์.....	71
4.6.1 แนวทดสอบเฉียงขวา.....	71
4.6.2 แนวทดสอบเฉียงซ้าย.....	71
4.6.3 ทดสอบแนวตั้งตรง (แบ่งครึ่งด้านซ้าย-ด้านขวา).....	72
4.6.4 ทดสอบแนวนอน (แบ่งครึ่งด้านบน-ด้านล่าง).....	73
4.6.5 ทดสอบแบบสุ่มการเคลื่อนที่.....	73
4.7 บทสรุป.....	74
บทที่ 5 ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์การหา ตำแหน่งของเป้าหมายภายในอาคาร.....	75
5.1 บทนำ.....	75
5.2 ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณ และค่าความผิดพลาดของตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1.....	75
5.3 ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณ และค่าความผิดพลาดของตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2.....	77
5.4 ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณ และค่าความผิดพลาดของตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3.....	79
5.5 ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณ และค่าความผิดพลาดของตำแหน่งด้วยวิธีที่ 4.....	80
5.6 ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณ และค่าความผิดพลาดของตำแหน่งด้วยวิธีที่ 5.....	81
5.7 ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณ และค่าความผิดพลาดของตำแหน่งด้วยวิธีที่ 6.....	82
5.8 ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณ และค่าความผิดพลาดของตำแหน่งด้วยวิธีที่ 7.....	83
5.9 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งทั้ง 7 วิธี.....	84
5.10 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งทั้ง 7 วิธี.....	86
5.11 ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1.....	89
5.11.1 ทดสอบแนวเฉียงขวา.....	89
5.11.2 ทดสอบแนวเฉียงซ้าย.....	90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VII และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.11.3 ทดสอบแนวตั้งตรง (แบ่งครึ่งด้านซ้าย-ด้านขวา).....	91
5.11.4 ทดสอบแนวนอน (แบ่งครึ่งด้านบน-ด้านล่าง).....	92
5.11.5 ทดสอบแบบสุ่มการเคลื่อนที่.....	93
5.12 บทสรุป.....	94
บทที่ 6 บทสรุปและวิจารณ์.....	95
6.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	95
6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไข.....	95
6.3 แนวทางพัฒนาต่อไป.....	95
บรรณานุกรม.....	96



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อ VIII และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้งานของระบบ RFID ในแต่ละแถบความถี่.....	19
4.1 เปรียบเทียบแสดงคุณสมบัติของแท็กแบบพาสซีฟและแท็กแบบแอ็กทีฟ.....	39
4.2 ตารางความถี่ในการใช้งานของระบบ RFID.....	40
4.3 รายละเอียดค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลองหาตำแหน่ง.....	47
4.4 ตารางรูปแบบฐานข้อมูลของการ fingerprint.....	49
5.1 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 1 และค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้จากสมการ 5.1.....	77
5.2 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 2 และค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้จากสมการ 5.1.....	78
5.3 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 3 และค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้จากสมการ 5.1.....	79
5.4 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 4 และค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้จากสมการ 5.1.....	80
5.5 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 5 และค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้จากสมการ 5.1.....	81
5.6 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 6 และค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้จากสมการ 5.1.....	82
5.7 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 7 และค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้จากสมการ 5.1.....	83
5.8 เปรียบเทียบตำแหน่งที่ได้จากอัลกอริทึมที่ 1-7.....	85
5.9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งทั้ง 7 วิธี.....	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา IX และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1 ภาพรวมของระบบการหาตำแหน่งบนพื้นฐานเทคโนโลยี RFID.....	2
2.1 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader) ในรูปแบบต่างๆ.....	5
2.2 ส่วนประกอบของระบบการสื่อสาร RFID.....	7
2.3 แท็กชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag).....	8
2.4 แท็กชนิดพาสซีฟ (Passive Tag).....	9
2.5 แท็กชนิดเซมิแอ็กทีฟ (Semi-Active Tag) ในรูปแบบ Wrist Band.....	10
2.6 แท็กในรูปแบบต่างๆ.....	10
2.7 โครงสร้างของเครื่องอ่านข้อมูล.....	11
2.8 วงจรเทียบเคียงของระบบ RFID.....	12
2.9 รูปแบบการทำงานของระบบ RFID.....	13
2.10 การสื่อสารแบบ Inductive Coupling.....	14
2.11 การสื่อสารแบบ Electromagnetic Propagation Coupling.....	14
2.12 ตัวอย่างการเข้ารหัสแบบต่างๆ.....	15
2.13 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (ASK).....	16
2.14 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK).....	16
2.15 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (PSK).....	17
2.16 รูปแสดงการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลแบบต่างๆ.....	18
2.17 ย่านความถี่ที่ใช้ในระบบ RFID.....	18
2.18 ตรวจสอบการย้อนกลับด้วย RFID.....	21
2.19 RFID ถูกนำไปใช้ในระบบจัดเก็บสัมภาระอัตโนมัติ.....	22
2.20 RFID ถูกนำไปใช้ในระบบการจัดเก็บจัดส่งสินค้าต่างๆ.....	23
2.21 ระบบกัญญแจอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic immobilizer).....	24
2.22 ตัวอย่างการใช้ RFID ในฟาร์ม.....	25
2.23 การหาตำแหน่งโดยใช้แท็ก (Tag localization).....	26
2.24 การหาตำแหน่งโดยใช้เครื่องอ่าน (Reader localization).....	26
3.1 แสดงการหาตำแหน่งด้วยการวัดแบบ TOA.....	29
3.2 แสดงการหาตำแหน่งด้วยการวัดแบบ TDOA.....	32
3.3 แสดงการหาตำแหน่งด้วยการวัดแบบ AOA.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.4 แสดงการหาตำแหน่งด้วยวิธีการหาตำแหน่งแบบ Fingerprint.....	35
4.1 โปรแกรมที่ใช้ทำการติดต่อกับเครื่องอ่าน RFID.....	38
4.2 อุปกรณ์แปลงพอร์ตอนุกรมเป็น US.....	38
4.3 แท็กแบบพาสซีฟที่มีสายอากาศแบบโพลาริซิงเส้น.....	39
4.4 เครื่องอ่าน RFID ที่ทำงานในย่านความถี่สูงยิ่ง UHF.....	41
4.5 โพลีชาร์ตของขั้นตอนการทดลองวิจัย.....	42
4.6 รูปแบบการจัดเรียงแท็กทั้ง 81 ตัวในการทดลอง (a).....	43
4.6 กำหนดหมายเลขตำแหน่งให้แท็กทั้ง 81 ตัว (1-81) (b).....	44
4.6 พิกัดของแท็กทั้ง 81 ตัว (c).....	44
4.7 แท็กแบบ Passive ทั้ง 81 ตัวที่ติดตั้งบนเพดาน.....	45
4.8 การจัดเตรียมการทดลอง.....	46
4.9 เครื่องอ่านขณะทำการอ่านแท็กโดยตรง.....	46
4.10 รูปแบบการทดลอง.....	48
4.11 แท็กแบบพาสซีฟที่ติดบนเพดาน.....	49
4.12 ตำแหน่งที่ทำการสุ่มทดลองทั้ง 15 ตำแหน่ง.....	50
4.13 โพลีชาร์ตของการเปรียบเทียบหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1.....	51
4.14 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 1 กรณีที่ 1.....	52
4.15 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 1 กรณีที่ 2.....	53
4.16 โพลีชาร์ตของการเปรียบเทียบหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2.....	54
4.17 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 2.....	55
4.18 โพลีชาร์ตของการเปรียบเทียบหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3.....	55
4.19 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 3 กรณีที่ 1.....	56
4.20 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 3 กรณีที่ 2.....	57
4.21 โพลีชาร์ตของการเปรียบเทียบหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 4.....	58
4.22 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 4.....	59
4.23 โพลีชาร์ตของการเปรียบเทียบหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 5.....	59
4.24 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 5.....	60
4.25 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 6.....	61
4.26 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 7.....	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา XI และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.27 หุ่นยนต์ทดสอบการเคลื่อนที่ ER1 ที่ได้ดัดแปลงเพิ่มเติมแล้ว.....	63
4.28 คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างกัน เพื่อใช้ในการบังคับการเคลื่อนที่.....	64
4.29 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ ER1.....	65
4.30 แสดงการตั้งค่าความเร็วหุ่นยนต์ที่ 0.1 เมตร/ วินาที.....	65
4.31 Joy Stick ใช้บังคับทิศทางหุ่นยนต์.....	66
4.32 โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ติดต่อกับผู้ใช้งาน.....	67
4.33 หน้าจอแสดงผลการเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งต่างๆ.....	68
4.34 การติดต่อในส่วน Connecting.....	68
4.35 โปรแกรมในส่วนของ RF Settings.....	69
4.36 โปรแกรมในส่วนของ Identify.....	69
4.37 โปรแกรมในส่วนของ Operation Info และ Tag No.....	70
4.38 เส้นทางแนวทดสอบเฉียงขวา.....	71
4.39 เส้นทางแนวทดสอบเฉียงซ้าย.....	72
4.40 เส้นทางทดสอบแนวตั้งตรง (แบ่งครึ่ง).....	72
4.41 เส้นทางทดสอบแนวนอน (แบ่งครึ่ง).....	73
4.42 เส้นทางทดสอบทดสอบแบบสุ่มการเคลื่อนที่.....	74
5.1 ตำแหน่งที่ทำการสุ่มทดลองทั้ง 15 ตำแหน่ง.....	76
5.2 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของทั้ง 7 วิธีทุกตำแหน่งที่สุ่มทดสอบ.....	86
5.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของทั้ง 7 วิธี.....	88
5.4 ผลการทดลองแนวเฉียงขวา.....	89
5.5 ผลการทดสอบแนวเฉียงซ้าย.....	90
5.6 ผลการทดสอบในแนวตั้งตรง (แบ่งครึ่ง).....	91
5.7 ผลการทดสอบในแนวนอน (แบ่งครึ่ง).....	92
5.8 ผลการทดสอบแบบสุ่มการเคลื่อนที่.....	93

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารไร้สายแทบจะทุกชนิดได้มีการพัฒนาระบบไปอย่างมาก รวมถึงมีการประยุกต์ใช้และการพัฒนาในหลายๆรูปแบบ ซึ่งได้มีการนำเอาระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification : RFID) นำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยจุดเด่นของระบบสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุคือ สามารถอ่านข้อมูลของวัตถุหลายๆ ข้อมูลได้พร้อมกัน โดยสามารถส่งผ่านข้อมูลไปยังเครื่องรับโดยไม่จำเป็นต้องอยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม สามารถอ่านข้อมูลได้ในขณะที่วัตถุกำลังเคลื่อนที่ ทนทานต่อสภาพแวดล้อมที่มีความเปียกชื้น การกระแทกกระแทก และสามารถเขียนทับข้อมูลได้ ทำให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งจะช่วยในเรื่องของการลดต้นทุนของการผลิต ความเสียหายที่น้อยกว่า ระบบความปลอดภัยที่สูงกว่า ยากต่อการปลอมแปลงและลอกเลียนแบบ สามารถจัดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการอ่านข้อมูลซ้ำที่อาจเกิดขึ้นจากระบบรหัสแถบ (Bar Code) ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุนี้ ได้มีการนำมาใช้งานเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากมีประโยชน์อันหลากหลายมากกว่า เทคโนโลยีระบบบ่งชี้อัตโนมัติอื่นๆในการใช้ที่จะระบุจำแนกบุคคลและสิ่งของต่างๆ

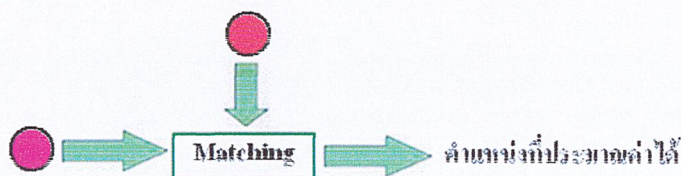
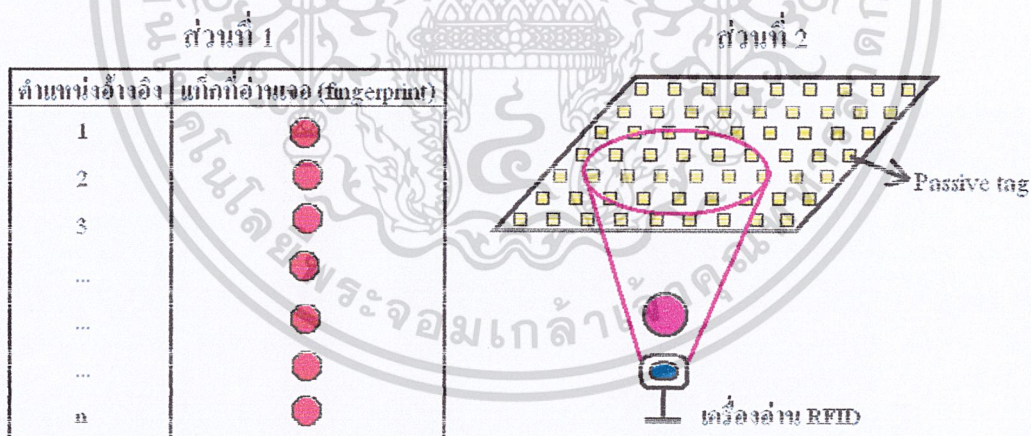
การสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุหรือการใช้คลื่นวิทยุเพื่อหาตำแหน่งได้มีการนำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย ทั้งภายในและภายนอกอาคาร การหาตำแหน่งภายนอกอาคารที่นิยมมากคือ GPS เช่น การใช้ในอุปกรณ์นำทางรถยนต์ การหาตำแหน่งของบุคคลภายนอกอาคาร นอกจากนี้ GPS ยังถูกนำมาใช้กับการหาตำแหน่งภายในอาคารด้วย แต่ข้อเสียของการใช้ GPS ในการระบุตำแหน่งคือ สภาพแวดล้อมจะต้องมีสิ่งกีดขวางน้อย และอยู่ในบริเวณที่เครื่องรับ GPS จะติดต่อกับดาวเทียมอย่างน้อย 3 ดวงซึ่งถือเป็นข้อจำกัดของการใช้ GPS ในการระบุตำแหน่งบริเวณในเมือง รวมถึงภายในอาคาร

ทางผู้เสนอโครงการจึงได้มองเห็นในการใช้เทคโนโลยีอื่นแทนการใช้ GPS เพื่อนำมาประยุกต์ใช้งานในการหาหรือระบุตำแหน่งของเป้าหมาย โดยที่สามารถใช้งานได้ในทุกสภาวะ ซึ่งจากข้อดีของ RFID ที่ได้กล่าวมาข้างต้น ทำให้ทางผู้เสนอโครงการได้สนใจนำเสนอเทคโนโลยี RFID มาใช้กับการประยุกต์หาในการระบุตำแหน่งของเป้าหมาย

โดยระบบการหาตำแหน่งของเป้าหมายบนพื้นฐานเทคโนโลยี RFID ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนคือ 1) เครื่องอ่าน RFID 2) แท็ก RFID ชนิด Passive 3) คอมพิวเตอร์และอัลกอริทึมในการหาตำแหน่งของเป้าหมาย ซึ่งทางผู้เสนอโครงการได้สร้างขึ้นเอง ในการระบุตำแหน่งนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 2 เทคนิคหลักคือ เทคนิคที่ใช้พื้นฐานของการหาระยะทาง (range-based) จะเป็นการหาตำแหน่งของเป้าหมาย โดยใช้การคำนวณระยะทางระหว่างโหนดอ้างอิงกับเป้าหมาย สามารถหาได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ที่ใช้ในการค้นหา และเทคนิคที่ใช้พื้นฐานของการคาดคะเน (proximity-based) ในการหาตำแหน่ง จากการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ของสัญญาณเป้าหมายเทียบกับพารามิเตอร์ของโหนดใกล้เคียง ตำแหน่งเป้าหมายสามารถประมาณค่าได้จากโหนดอ้างอิงที่มีค่าพารามิเตอร์ใกล้เคียงกับโหนดเป้าหมายมากที่สุด เรียกอีกแบบว่า Location Fingerprint Technique แม้ว่าจะมีกระบวนการในการวิเคราะห์การประมวลผลที่ซับซ้อนและใช้เวลามากกว่าแต่จะมีความแม่นยำกว่าการใช้เทคนิคแบบแรก โดยเทคนิคการหาตำแหน่งของเป้าหมายด้วย Fingerprint แบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักคือ

ส่วนที่ 1 ทำการทดลองเพื่อเก็บค่าของสัญญาณ (ข้อมูล) ณ ตำแหน่งที่รู้จัก

ส่วนที่ 2 ทำการวัดสัญญาณจากเป้าหมาย และนำสัญญาณที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าของสัญญาณที่ทดลองไว้ในข้อ 1 จากนั้นตำแหน่งของเป้าหมายจะประมาณได้จากตำแหน่งของสัญญาณในข้อ 1 ที่ใกล้เคียงกับสัญญาณจากเป้าหมายมากที่สุดดังรูป



- แท็กที่อ่านเจอ ณ ตำแหน่งอ้างอิง
- แท็กที่อ่านเจอ ณ ตำแหน่งของเป้าหมายที่สนใจ

รูปที่ 1.1 ภาพรวมของระบบการหาตำแหน่งบนพื้นฐานเทคโนโลยี RFID ซึ่งใช้เทคนิค Fingerprint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาและทำการทดลองเทคนิคในการหาตำแหน่งของเป้าหมายแบบหุคหนึ่งและเคลื่อนที่ภายในอาคาร โดยใช้เทคนิคการหาตำแหน่งภายในอาคารบนพื้นฐานเทคโนโลยี RFID
2. เพื่อพัฒนาอัลกอริทึมที่สอดคล้องกับเทคนิคที่ได้ศึกษาในข้อที่ 1
3. สามารถเลือกที่จะใช้วัสดุและอุปกรณ์ที่มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้งาน โดยออกแบบ ชิ้นงานที่มีต้นทุนต่ำ และประโยชน์การใช้งานที่คุ้มค่า
4. เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานของแบบแผนการวิจัยหรือการพัฒนาเทคโนโลยีต่อไป
5. เพื่อส่งเสริมการพัฒนาต่อยอดการใช้งานในเชิงพาณิชย์มากขึ้น

## 1.3 ขอบเขตของโครงการ

การศึกษการพัฒนาเทคนิคการหาตำแหน่งของเป้าหมายแบบหุคหนึ่งและเคลื่อนที่ภายในอาคาร โดยใช้เทคนิคการหาตำแหน่งภายในอาคารบนพื้นฐานเทคโนโลยี RFID ซึ่งจะทำการทดลองสถานะแวดล้อมภายในอาคาร โดยทำการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID ในขณะที่เครื่องอ่านหุคหนึ่งและเคลื่อนที่ เพื่อนำไปปรับปรุงระบบการหาตำแหน่งและสามารถใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

## 1.4 ประโยชน์และผลที่คาดว่าจะได้รับจากโครงการนี้

1. เพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาและระบุตำแหน่งแบบหุคหนึ่งและเคลื่อนที่ภายในอาคาร
2. สามารถออกแบบและนำมาพัฒนาประยุกต์ใช้งานได้จริง
3. สามารถที่จะนำไปต่อยอดทางความคิดเพื่อปรับปรุงอัลกอริทึมในการหาตำแหน่งที่มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ในอนาคต

## 1.5 อุปกรณ์ที่ต้องใช้

### - Hardware

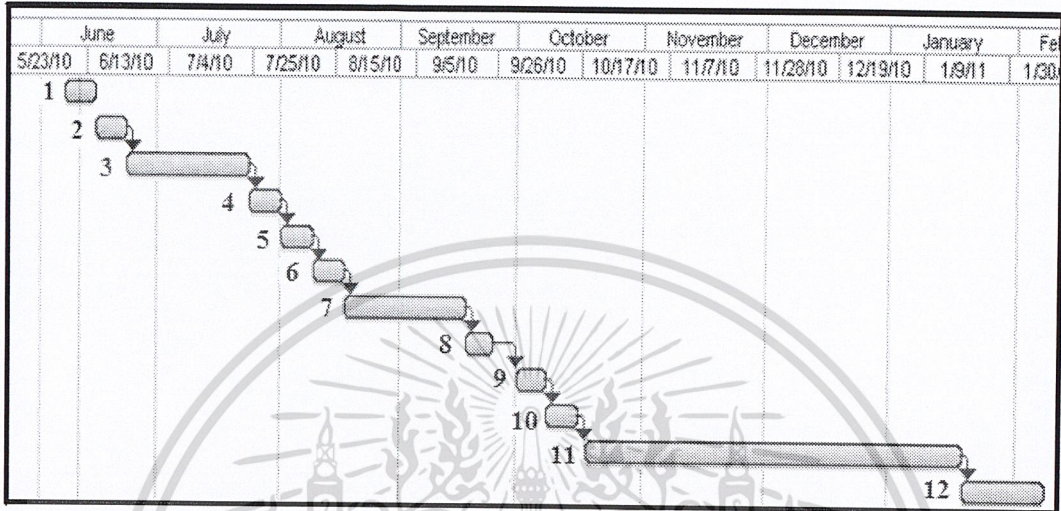
- |                                  |                 |
|----------------------------------|-----------------|
| ● เครื่องอ่าน RFID รุ่น UHF 901  | จำนวน 1 เครื่อง |
| ● RFID Tag แบบ Passive EPC-GEN2  | จำนวน 81 ตัว    |
| ● คอมพิวเตอร์โน้ตบุค             | จำนวน 1 เครื่อง |
| ● หุ่นยนต์ทดสอบการเคลื่อนที่ ER1 | จำนวน 1 ตัว     |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-Software

- Visual Basic

### 1.6 ขั้นตอนการดำเนินโครงการ



№	แผนการดำเนินงาน
1	ศึกษาข้อมูล
2	จัดเตรียมการทดลองและสภาพแวดล้อมในการทดลอง
3	ทำการทดลองและเก็บข้อมูลสำหรับเป้าหมายที่หยุดนิ่ง
4	หาค่าแห่งของเป้าหมายที่หยุดนิ่งโดยใช้อัลกอริทึมที่ศึกษา
5	วิเคราะห์ข้อผิดพลาดจากการทดลองและปรับปรุงอัลกอริทึมในการหาค่าแห่งของเป้าหมายที่หยุดนิ่ง
6	ทำการทดลองและเก็บข้อมูลซ้ำจนได้ผลที่น่าพอใจ
7	ทำการทดลองและเก็บข้อมูลสำหรับเป้าหมายที่เคลื่อนที่
8	หาค่าแห่งของเป้าหมายที่เคลื่อนที่โดยใช้อัลกอริทึมที่ศึกษา
9	วิเคราะห์ข้อผิดพลาดจากการทดลองและปรับปรุงอัลกอริทึมในการหาค่าแห่งของเป้าหมายที่เคลื่อนที่
10	ทำการทดลองและเก็บข้อมูลซ้ำจนได้ผลที่น่าพอใจ
11	สร้างส่วนติดต่อผู้ใช้ เพื่อติดตามเป้าหมายที่เคลื่อนที่
12	วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

# เทคโนโลยี RFID และเทคนิคการหาตำแหน่งโดยระบบ RFID

### 2.1 บทนำ

ปัจจุบันถึงแม้ว่าจะเป็นช่วงเศรษฐกิจถดถอยทำให้การการค้าขายไม่ค่อยคึกคักอย่างที่ควร แต่เชื่อแน่ว่าทุกคนคงเคยเข้าไปเดินจับจ่ายซื้อของตามห้างสรรพสินค้าร้านค้าต่างๆ ซึ่งจะสังเกตได้ว่าในขณะที่นำสินค้าไปยังแคชเชียร์เพื่อชำระเงิน พนักงานจะใช้อุปกรณ์บางอย่างตรวจสอบแถบรหัสหรือที่เรียกกันว่า แถบบาร์โค้ด ซึ่งเป็นที่นิยมและใช้กันมากในเมืองไทย แต่การเก็บข้อมูลแบบดังกล่าวก็ยังคงมีจุดด้อยที่ควรได้รับการแก้ไขอยู่หลายจุดในการอ่านค่าข้อมูลจากแถบดังกล่าวที่ต้องยิงลำแสงตรวจจับ หรือใช้กล้องซีซีดีขนาดเล็กจับภาพฉลากขึ้นมาเพื่ออ่านภาพก็ตาม ซึ่งถ้าหากว่าแถบข้อมูลดังกล่าวมีรอยเปื้อนหรือไม่ชัดเจน การอ่านค่าตอบกลับมาจากจะมีความผิดพลาด ซึ่งบางครั้งการอ่านค่าก็ไม่ใช่ทางที่สะดวกสำหรับงานบางประเภทเช่น กรณีงานที่ต้องการตรวจสอบเป็นจำนวนมากๆ ทำให้เกิดการพัฒนาระบบฉลากแบบใหม่ขึ้นซึ่งมีชื่อเรียกว่า “RFID”

ปัจจุบัน RFID กำลังกลายเป็นกระแสโลกเมื่อมีการประยุกต์ใช้ในการค้าระหว่างประเทศ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ ความมั่นคง ปลอดภัย และราคาถูกพอที่จะใช้กับวัตถุต่างๆ ได้ง่าย ซึ่งในบทนี้ได้กล่าวถึงความหมายของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification: RFID) องค์ประกอบของระบบ RFID ความถี่ที่ใช้งานของระบบ RFID ขั้นตอนการทำงานของระบบ การประยุกต์ใช้งานของระบบ RFID และเทคนิคการหาตำแหน่งโดยระบบ RFID ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้เป็นทฤษฎีพื้นฐานที่สำคัญของระบบ RFID



รูป 2.1 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader) ในรูปแบบต่างๆ [1]

## 2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบการสื่อสาร RFID

RFID (Radio Frequency Identification) คือป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (RFID Tag) ที่สามารถอ่านค่าได้โดยผ่านคลื่นวิทยุจากระยะห่าง เพื่อตรวจติดตามและบันทึกข้อมูลที่ติดอยู่กับป้าย ซึ่งนำไปฝังไว้หรือติดอยู่กับวัตถุต่างๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ กล่อง หรือสิ่งของใดๆ โดยการทำงานจะใช้เครื่องอ่านสื่อสารกับป้ายอิเล็กทรอนิกส์ (RFID Tag) ด้วยคลื่นวิทยุในการอ่านและเขียนข้อมูล

RFID มีประวัติความเป็นมาคือมีการประดิษฐ์ขึ้นใช้งานเป็นครั้งแรกซึ่งเป็นผลงานของ Leon Theremin ที่สร้างให้กับรัฐบาลของประเทศรัสเซียซึ่งอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมานั้นทำหน้าที่เป็นเครื่องมือดักจับสัญญาณวิทยุ และในปี ค.ศ.1970 ได้พัฒนานำไปใช้ในทางการทหารซึ่งในช่วงปลายสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้มีการนำ RFID มาใช้ในการเมื่อมีการประดิษฐ์วงอิเล็กทรอนิกส์ขนาดเล็กทำให้เกิดแนวคิดในการประยุกต์ใช้ในทางพลเรือน โดยเริ่มจากการสร้าง RFID ใช้ฝังในสัตว์เลี้ยงใช้ในการควบคุมการเข้าออกสถานที่ และใช้ในการขนส่ง ปัจจุบัน RFID กลายเป็นสิ่งที่เล็กลงมากและราคาถูกพอที่จะใช้กับวัตถุต่างๆ ได้ง่าย RFID กำลังกลายเป็นกระแสโลกเมื่อมีการประยุกต์ใช้ในการค้าระหว่างประเทศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความมั่นคงปลอดภัย ในยุคปลาย 1980 ถึง 1990 นั้นได้มีการนำเอาระบบ RFID นี้เข้ามาใช้ในอุตสาหกรรมขนส่งและคลังสินค้าอย่างแพร่หลาย สายการบินหลายแห่งได้ใช้ RFID เพื่อช่วยในการติดตามสัมภาระของผู้โดยสาร และทำเรืออีกหลายแห่งก็ใช้ RFID ที่ว่านี้ในการจัดการตู้คอนเทนเนอร์ เนื่องจากอุปกรณ์ RFID ในขณะนั้นสะดวกในการนำมาใช้งานเพราะมีขนาดใหญ่ ต่อมาได้มีการพัฒนา RFID อย่างต่อเนื่องจนสามารถย่อขนาดลงเป็นแผ่นเล็กๆ (CHIP) ได้จึงมีแนวความคิดหลากหลายที่จะนำ RFID มาใช้ในเชิงพาณิชย์กรรม บริหารและในทางราชการมากขึ้น

RFID จะมีลักษณะใกล้เคียงกับสมาร์ทการ์ดมากที่สุดกล่าวคือข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในการ์ดหรือแท็กเหมือนกันแต่ข้อแตกต่างที่เห็นได้ชัดคือการอ่าน/เขียนข้อมูลสามารถทำได้โดยไม่ต้องสัมผัสเหมือนกับสมาร์ทการ์ด ซึ่งอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความถี่วิทยุ (Radio Frequency) ในการติดต่อสื่อสารจึงเป็นสาเหตุให้ RFID ได้เปรียบระบบ Auto ID ทุกชนิดที่กล่าวมาแล้ว และมีแนวโน้มจะถูกใช้มากขึ้นเรื่อยๆ

## 2.3 องค์ประกอบของระบบ RFID

### 2.3.1 ฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Transponder)

ฉลากอิเล็กทรอนิกส์หรือ Data Carrier หรือเรียกง่ายๆว่า “แท็ก” จะเป็นส่วนของการเก็บข้อมูลและถูกติดตั้งอยู่กับวัตถุที่เราต้องการชี้เฉพาะ (Identify)

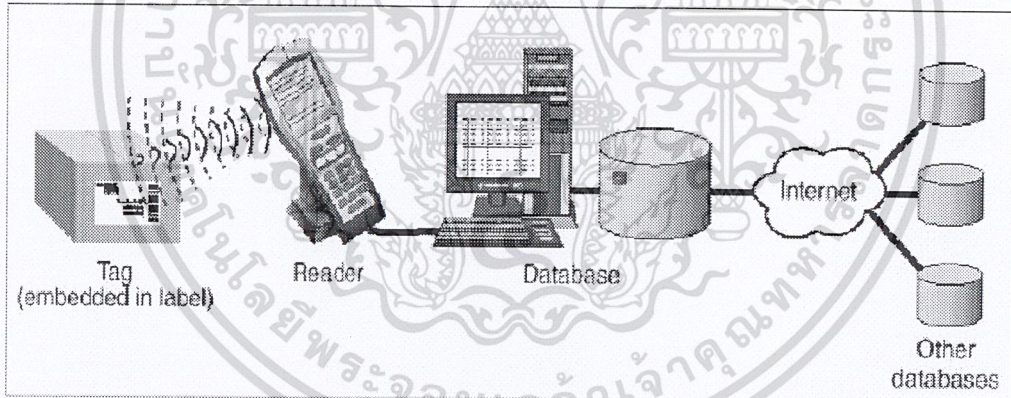
### 2.3.2 เครื่องอ่าน (Reader)

จะประกอบไปด้วยภาครับ/ส่งสัญญาณวิทยุ ส่วนควบคุมและเสาอากาศ (Antenna) ทำหน้าที่คล้องสัญญาณกับแท็ก และส่วนของการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ควบคุมภายนอก

### 2.3.3 แท็ก (Tags)

จะประกอบไปด้วยเสาอากาศทำหน้าที่คล้องสัญญาณที่ส่งมาจากเครื่องอ่านและส่วนของไมโครชิปในกรณีที่แท็กไม่มีแบตเตอรี่ในตัวหรืออยู่นอกพื้นที่ที่มีสัญญาณจะไม่มีการทำงานเกิดขึ้นแท็กจะทำงานก็ต่อเมื่อแท็กอยู่ในบริเวณพื้นที่ที่มีสัญญาณซึ่งแท็กจะได้รับพลังงานจากการคล้องกับ สัญญาณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและสร้างแรงดันไฟฟ้าขึ้นจำนวนหนึ่ง ซึ่งจะมีปริมาณเพียงพอที่จะใช้ในการทำงานของแท็ก

Components of an RFID System



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของระบบการสื่อสาร RFID [2]

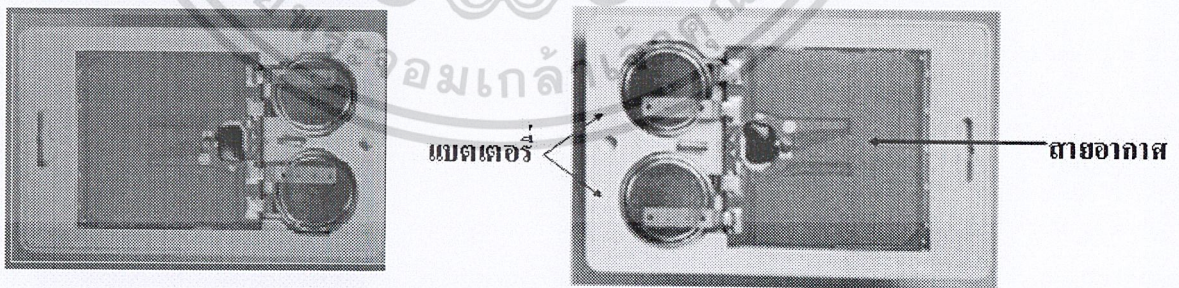
### ชนิดของแท็กแบ่งได้ดังนี้

- แท็กชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag)
- แท็กชนิดพาสซีฟ (Passive Tag)
- แท็กชนิดเซมิแอ็กทีฟ (Semi-Active Tag)

#### 2.3.3.1 แท็กชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag)

แท็กชนิดนี้ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ภายนอกเพื่อจ่ายพลังงานให้กับวงจรภายใน การทำงานนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้าให้แท็กทำงาน สามารถแบ่งตามหลักการทำงานได้เป็น transponder แบบแอ็ฟทีฟจะทำการส่งข้อมูลออกมาที่ต่อเมื่อได้รับสัญญาณจากเครื่องอ่านและเครื่องบอกตำแหน่งหรือเบคอน (Beacon) ซึ่งสัญญาณจะถูกปล่อยออกมาเป็นระยะๆ ตลอดเวลาการใช้งานของป้าย โดยป้ายแบบนี้สามารถมีหน่วยความจำขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์และสามารถอ่านได้ระยะไกลสูงสุดประมาณ 100 เมตรแต่ป้ายชนิดนี้มีข้อเสียคือมีราคาต่อหน่วยสูง มีขนาดค่อนข้างใหญ่และมีอายุการใช้งานที่จำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ซึ่งจะมีอายุการใช้งานประมาณ 3-7 ปี เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำแท็กไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการซีล (Seal) ที่ตัวแท็กจึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถออกแบบวงจรของแท็กให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี

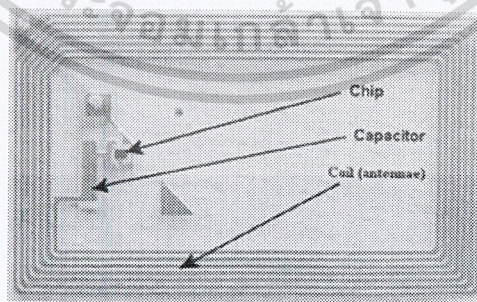
แท็กชนิดแอ็กทีฟนี้จะมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์มีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลได้ไกลสูงกว่าแท็กชนิดอื่นๆ นอกจากนี้ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี แต่ก็มีข้อเสียอยู่ด้วยเหมือนกันเช่น ราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด



รูปที่ 2.3 แท็กชนิดแอ็กทีฟ (Active Tag) [3]

### 2.3.3.2 แท็กชนิดพาสซีฟ (Passive Tag)

แท็กชนิดนี้ทำงานโดยไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอก จะทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล ใช้หลักการคู่ควบเหนี่ยวนำ (Inductive Coupling) ทั้งในย่านความถี่ต่ำและสูง การอ่านข้อมูลได้ในระยะทางที่ไม่ไกลมากนัก โดยทั่วไประยะอ่านสูงสุดประมาณ 1 เมตร ขึ้นอยู่กับกำลังงานของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ ป้ายชนิดนี้มักมีหน่วยความจำขนาดเล็กประมาณ 16-1024 ไบต์ซึ่งมีข้อดีคือมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และราคาต่อหน่วยต่ำ จึงทำให้แท็กชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบาและเล็กกว่าแท็กชนิดแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือใช้ได้ในระยะการรับส่งข้อมูลที่ใกล้ สามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดเพียง 1.5 เมตรโดยประมาณ ซึ่งเป็นระยะการอ่านที่สั้น มีหน่วยความจำขนาดเล็กซึ่งโดยทั่วๆ ไปประมาณ 32 ถึง 128 บิต และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไว กำลังที่สูง นอกจากนี้แท็กชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่า มีอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้แท็กชนิดพาสซีฟเป็นที่นิยมมากกว่า ไอซีของแท็กชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ ไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.4 แท็กชนิดพาสซีฟ (Passive Tag) [4]

### 2.3.3.3 แท็กชนิดเซมิแอ็กทีฟ (Semi-Active Tag)

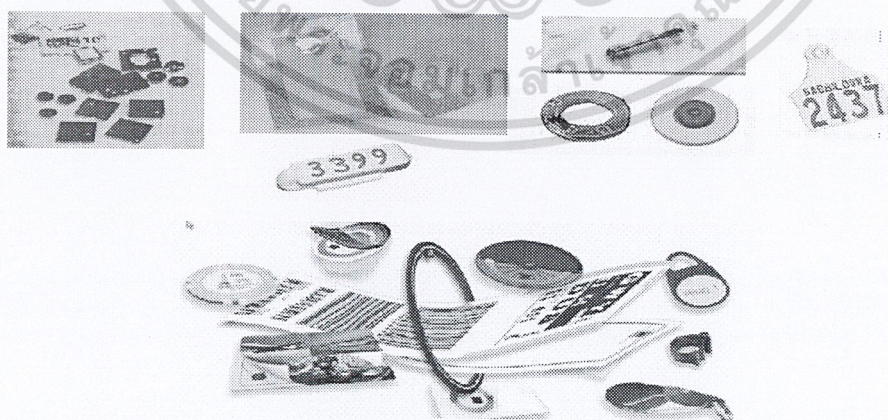
แท็กชนิดเซมิแอ็กทีฟ (Semi-Active Tag) บางรายเรียก เซมิพาสซีฟ (Semi-Passive Tags) จะมีความคล้ายคลึงกับแอ็กทีฟแท็ก แต่จะใช้แบตเตอรี่ในการให้พลังงานแก่ชิพเพียงอย่างเดียวแต่จะไม่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ในการสื่อสารกับเครื่องอ่าน เซมิแอ็กทีฟแท็กบางชนิดจะไม่ทำงานจนกว่าจะมีสัญญาณจากเครื่องอ่านเข้ามาเท่านั้นเพื่อกงความยาวนานของแบตเตอรี่ ดังนั้นเราสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้มากมายในงานที่ต้องการแท็กชนิดนี้มีหน่วยความจำพอๆกับแอ็กทีฟแท็กแต่ราคาค่อนข้างใกล้เคียงกับพาสซีฟแท็ก



รูปที่ 2.5 แท็กชนิดเซมิแอ็กทีฟ (Semi-Active Tag) ในรูปแบบ Wrist Band [5]

นอกจากนี้แท็กชนิดนี้ก็ยังคงแบ่งประเภทจากรูปแบบในการใช้งาน ได้เป็น 3 แบบ คือ

1. แบบที่สามารถถูกอ่านและเขียนข้อมูลได้อย่างอิสระ (Read-write)
2. แบบเขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างอิสระ (Write-One, Read-Many หรือ WORM)
3. แบบอ่านได้เพียงอย่างเดียว (Read-Only)



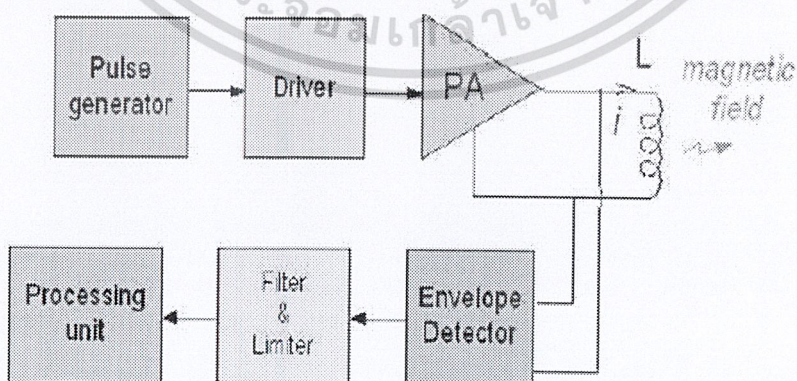
รูปที่ 2.6 แท็กในรูปแบบต่างๆ [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.4 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader)

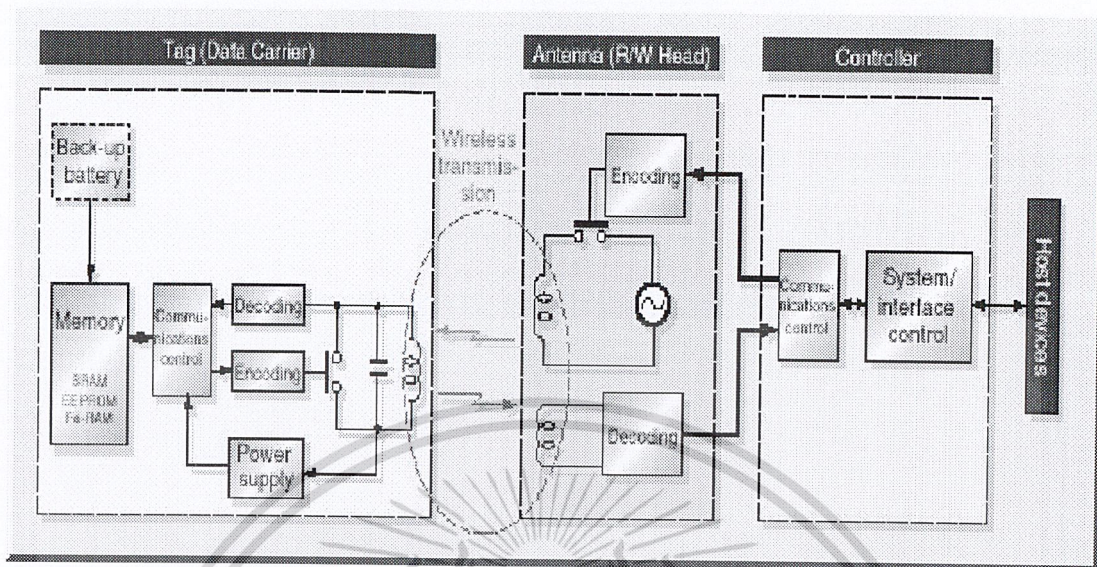
ทำหน้าที่เขียนหรืออ่านข้อมูลในแท็กด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ ภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วยเสาอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดง เพื่อใช้รับส่งสัญญาณภาครับและภาคส่ง สัญญาณวิทยุ และวงจรควบคุมการอ่าน/เขียนข้อมูลซึ่งตัวเครื่องอ่านจะมีทั้งแบบที่อยู่กับที่และแบบพกพา ประกอบด้วยภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุ ส่วนควบคุมและเสาอากาศ โดยความถี่ที่สร้างขึ้นจะมีขนาดเท่ากับความถี่ที่ RFID แท็กสามารถตอบสนองได้โดยอาศัยทฤษฎีการเหนี่ยวนำสัญญาณไฟฟ้า เมื่อคลื่นสัญญาณกระทบแผ่นป้ายระบุข้อมูล (RFID Tags) แผ่นป้ายระบุข้อมูลจะส่งข้อมูลของตัวเองกลับมายังเครื่องอ่านสัญญาณ (RFID Reader) จากนั้นจะแปลงสัญญาณที่ได้รับให้อยู่ในรูปดิจิทัล เพื่อใช้ประมวลผลทางคอมพิวเตอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์ต่อไป

หรือจะกล่าวได้อีกอย่างว่าหน้าที่สำคัญของเครื่องอ่านข้อมูล (Reader) ก็คือการรับข้อมูลที่ส่งมาจากแท็ก แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ได้รับ ซึ่งกระทำโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ อัลกอริทึมที่อยู่ภายในจะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณ ถอดรหัสสัญญาณที่ได้และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป นอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ ดังนั้นตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีระบบป้องกันเหตุการณ์เช่นนี้ที่เรียกว่าระบบ "Hands Down Polling" หรืออาจมีบางกรณีที่มีแท็กหลายแท็กอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกันหรือที่เรียกว่า "Batch Reading" ตัวอ่านข้อมูลควรมีความสามารถที่จะจัดลำดับการอ่านแท็กทีละตัวได้โดยทั่วไปเครื่องอ่านจะประกอบด้วย ส่วนประกอบหลักดังนี้ 1.ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ 2.ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ 3.หน่วยประมวลผลข้อมูล 4.ภาคสร้างสัญญาณพาหะ 5.วงจรจูนสัญญาณ 6.ภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเครื่องอ่านข้อมูล (Reader) [7]

## 2.4 หลักการทำงานของระบบ RFID



รูปที่ 2.8 วงจรเทียบเคียงของระบบ RFID [8]

RFID เป็นระบบที่นำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาห์เพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่เรียกว่า แท็ก (Tag) และตัวอ่านข้อมูล (Reader) ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless) โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่ง มาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูล ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุระหว่างแท็กกับเครื่องอ่าน จะมีประสิทธิภาพเมื่อสายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหะที่ใช้ งานสายอากาศที่ดูเหมาะสมจะใช้ร่วมกับแท็กมากที่สุดก็คือ สายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็กหรือที่มีชื่ออย่างเป็นทางการว่าสายอากาศแบบแมกเนติกไดโพล (Magnetic dipole Antenna) รูปแบบของสายอากาศแบบนี้ก็จะมียูหลากหลายทั้งแบบที่เป็นขดลวดพันแกนอากาศหรือแกนเฟอร์ไรต์หรือแบบที่เป็นวงลูปที่ทำขึ้นจากลายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ทั้งแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะและประเภทของงานด้วยเช่นกัน

นอกจากการรับส่งข้อมูลแล้วสายอากาศก็ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับแท็กด้วย โดยอาศัยหลักการทำงานตามแนวคิดของไมเคิล ฟาราเดย์ เรื่องแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็ก(จากเครื่องอ่าน) ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-varying magnetic field) พุ่งผ่านสายอากาศของแท็ก เมื่อแท็กและเครื่องอ่านตั้งอยู่ห่างกันในระยะ 0.16 เท่าของความยาวของคลื่นพาห์ที่ใช้เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า Transformer-type Coupling ซึ่งเป็นปรากฏการณ์แบบเดียวกับการเกิดแรงดัน ไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ในทรานฟอเมอร์ (Transformer) ที่เป็นวงจรพื้นฐานสำหรับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

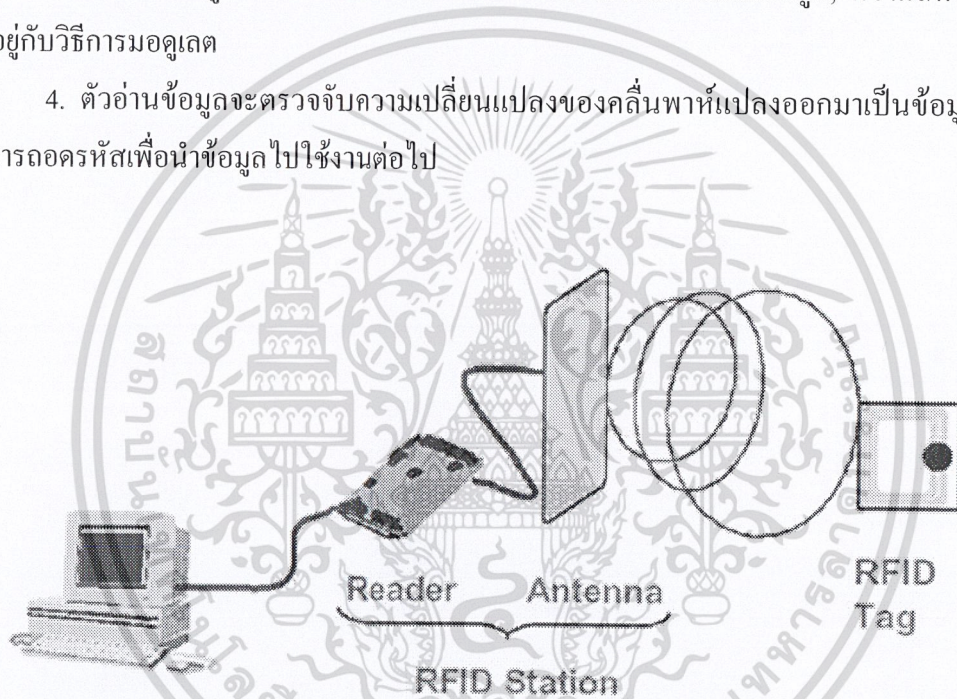
อธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลของแท็ก ซึ่งหลักการงานเบื้องต้นของระบบ RFID มีดังนี้คือ

1. ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา และคอยตรวจจับว่ามีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ (คอยตรวจจับว่ามีการมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่)

2. เมื่อมีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แท็กจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้แท็กเริ่มทำงาน และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาห้แล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในแท็ก

3. คลื่นพาห้ที่ถูกส่งออกมาจากแท็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด, ความถี่หรือเฟสขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต

4. ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาห้แปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป



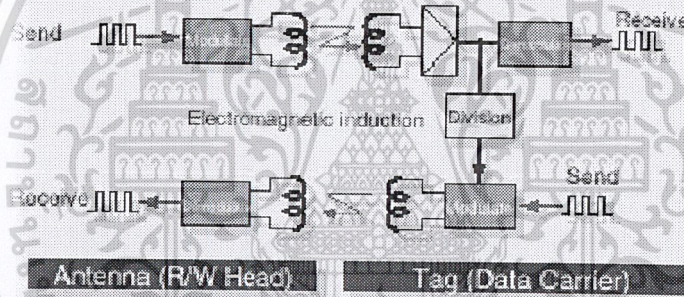
รูปที่ 2.9 รูปแบบการทำงานของระบบ RFID [9]

### 2.4.1 การสื่อสารระหว่างแท็กกับตัวอ่าน

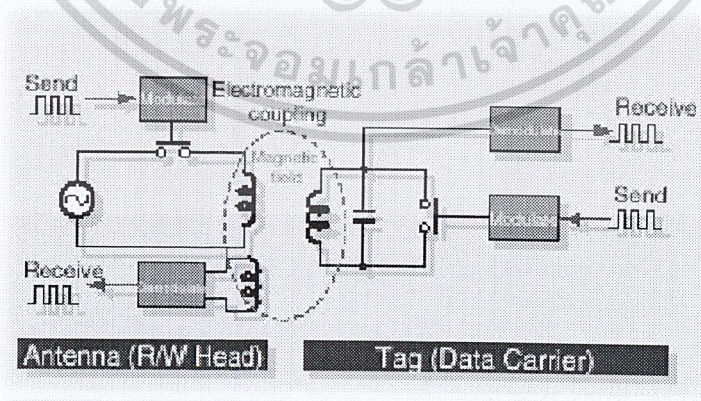
การสื่อสารข้อมูลของระบบ RFID คือระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูล (Reader) จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศโดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นพาห้ที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุโดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ

1. วิธีเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Inductive Coupling หรือ Proximity Electromagnetic) สำหรับย่านความถี่ต่ำ (Low frequency: LF) ต่ำกว่า 150 kHz และย่านความถี่สูง (High frequency: HF) 13.56 MHz

2. วิธีการแผ่คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Propagation Coupling) สำหรับย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra high frequency: UHF) 433/868/915 MHz และย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave 2.45/5.8GHz)



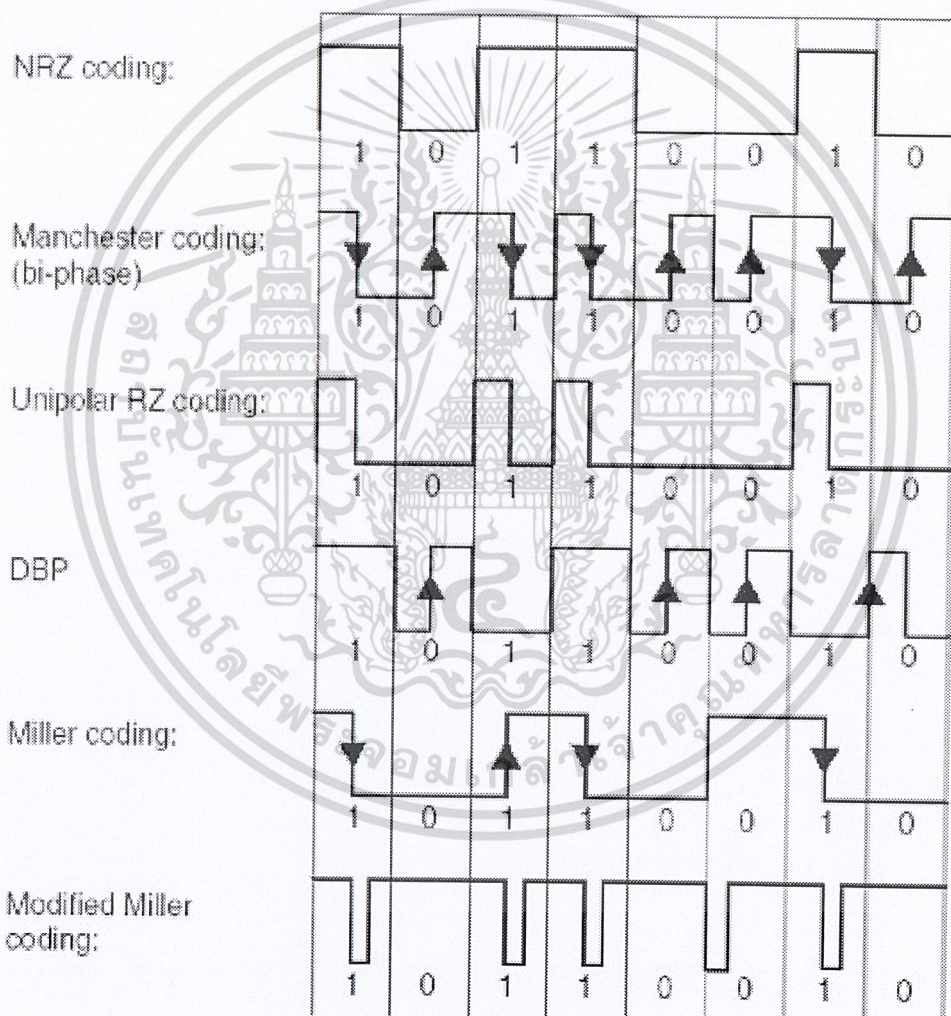
รูปที่ 2.10 การสื่อสารแบบ Inductive Coupling [10]



รูปที่ 2.11 การสื่อสารแบบ Electromagnetic Propagation Coupling [10]

### 2.4.2 การเข้ารหัส (Coding)

คือการเตรียมข้อมูลดิจิทัลที่จะส่งผ่าน โดยการเข้ารหัสให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสม สำหรับการส่งผ่านช่องสัญญาณ (Channel) คำว่าเหมาะสมโดยกระบวนการส่งสัญญาณระหว่าง RFID และเครื่องอ่านโดยทั่วไป เป็นไปตามกระบวนการทางการสื่อสารระบบดิจิทัลซึ่งหมายถึงสัญญาณมีโอกาสจะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน (Noise) โดยมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ซึ่งวิธีการเข้ารหัสนั้นมีหลายแบบโดยการเลือกใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับช่องสัญญาณที่จะส่งผ่าน ตัวอย่างเทคนิคการเข้ารหัสเช่น การเข้ารหัสแบบ NRZ การเข้ารหัสแบบ Manchester การเข้ารหัสแบบ DBP เป็นต้น



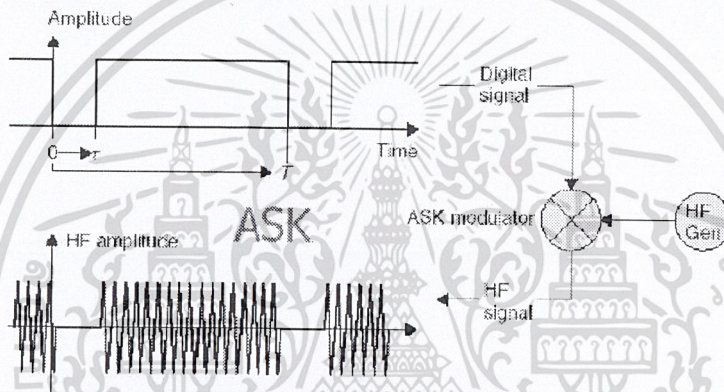
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการเข้ารหัสแบบต่างๆ [11]

### 2.4.3 การผสมข้อมูลแบบดิจิทัล (Digital modulation procedure)

เทคนิคการมอดูเลตข้อมูลเข้ากับคลื่นพาห่ก็มีด้วยกันหลายวิธีเช่น ASK (Amplitude Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying) หรือ PSK (Phase Shift Keying) ซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบจะเลือกให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท

#### 2.4.3.1 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (Amplitude Shift Keying: ASK)

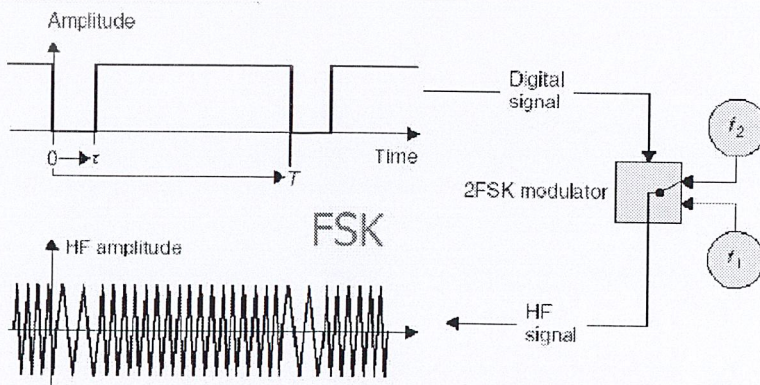
ความถี่ของคลื่นพาห่ (Carrier Wave) ซึ่งทำหน้าที่นำสัญญาณอนาล็อกผ่านตัวกลางสื่อสารนั้นจะคงที่ ลักษณะของสัญญาณมอดูเลตเมื่อค่าของบิตของสัญญาณข้อมูลดิจิทัลมีค่าเป็น 1 ขนาดของคลื่นพาห่จะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ขนาดของคลื่นพาห่จะตกลงกว่าปกติ การมอดูเลต ASK มักจะไม่ค่อยได้รับความนิยมเพราะจะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย



รูปที่ 2.13 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (ASK) [12]

#### 2.4.3.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency Shift Keying: FSK)

การมอดูเลตแบบ FSK ขนาดของคลื่นพาห่จะไม่เปลี่ยนแปลงที่เปลี่ยนแปลงคือความถี่ของคลื่นพาห่นั้นคือ เมื่อบิตมีค่าเป็น 1 ความถี่ของคลื่นพาห่จะสูงกว่าปกติและเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ความถี่ของคลื่นพาห่ก็จะต่ำกว่าปกติ



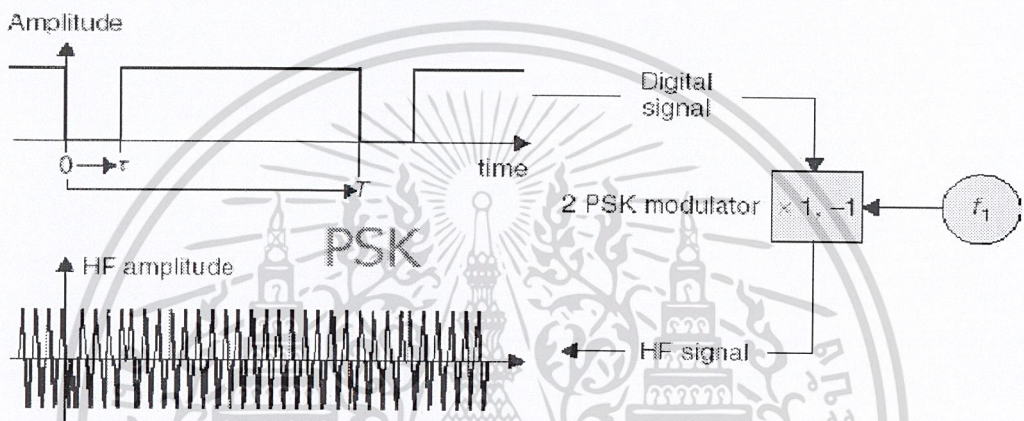
รูปที่ 2.14 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK) [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

### 2.4.3.3 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase Shift Keying: PSK)

หลักการของ Phase Keying (PSK) คือ ค่าของขนาดและความถี่ของคลื่นพาห้จะไม่มี การเปลี่ยนแปลงแต่ที่เปลี่ยนคือ เฟสของสัญญาณ กล่าวคือเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะของบิต จาก 1 ไปเป็น 0 หรือเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 เฟสของคลื่นจะเปลี่ยนไป 180 องศาด้วยหลักการ PSK สามารถทำได้ทั้งแบบ 2 เฟส (0, 90, 180 และ 270 องศา) และแบบ 8 เฟส (0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 และ 315 องศา) ในการมอดูเลตเพื่อเปลี่ยนสัญญาณข้อมูลดิจิทัลให้เป็นสัญญาณ อนุาล็อกทั้ง 3 แบบวิธีการแบบ PSK จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุดได้สัญญาณที่มีคุณภาพ ดีที่สุดแต่วงจรการทำงานจะยุ่งยากกว่าและราคาสูงกว่า



รูปที่ 2.15 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (PSK) [12]

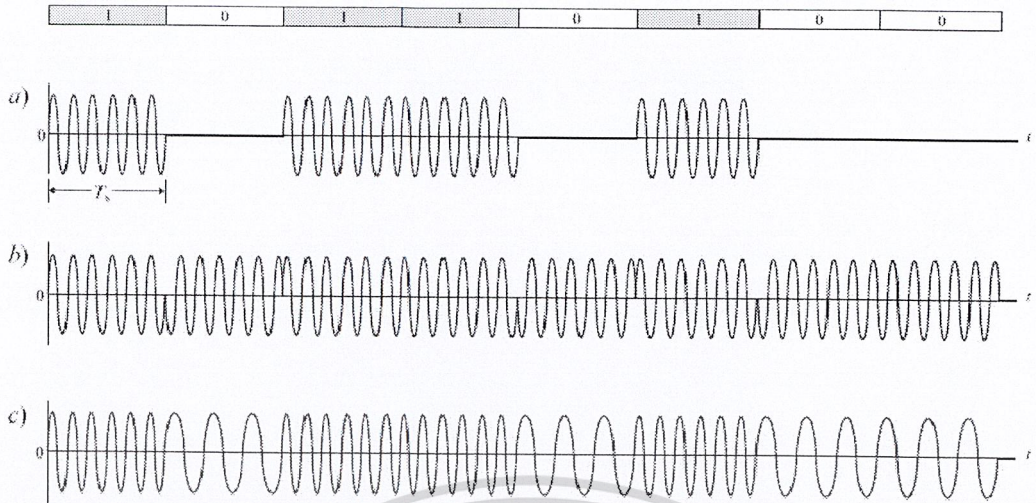
## 2.5 ความถี่ที่ใช้งานของระบบ RFID

ความถี่ที่นิยมใช้งานในระบบ RFID จะแบ่งออกเป็น 4 แถบความถี่ ได้แก่

- 1) ย่านความถี่ต่ำ (Low frequency: LF) ต่ำกว่า 150 kHz
- 2) ย่านความถี่สูง (High frequency: HF) 13.56 MHz
- 3) ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra high frequency: UHF) 433/868/915 MHz
- 4) ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave) 2.45/5.8 GHz

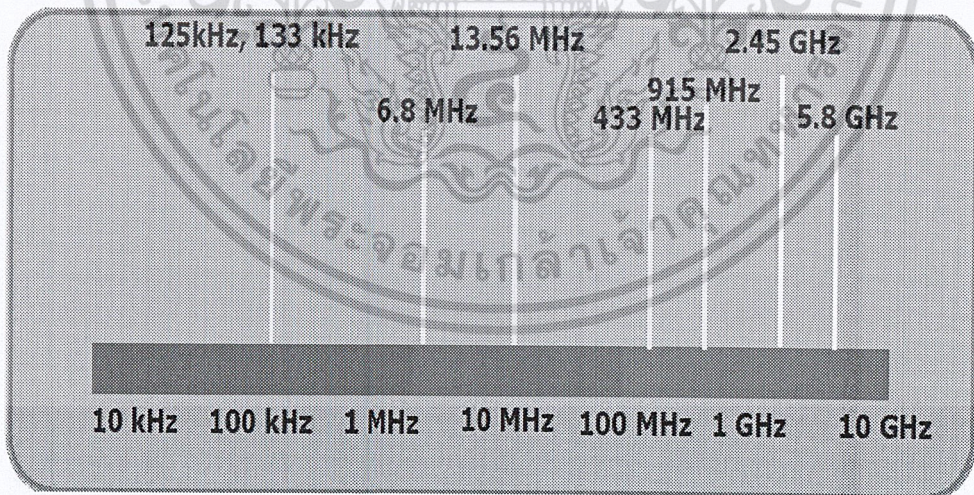
119531

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 รูปแสดงการมอดูเลตสัญญาณดิจิทัลแบบต่างๆ a) ASK b) PSK และ c) FSK [13]

ในด้านราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วระบบ RFID จะสังเกตเห็นว่ายิ่งความถี่สูงขึ้นความเร็วในการส่งข้อมูลก็สูงขึ้นและราคาก็แพงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงควรที่จะเลือกความถี่ใช้งานของ RFID ให้เหมาะกับงานที่ต้องการใช้ ซึ่งได้เลือกการใช้งานคลื่นความถี่สูงยิ่ง (UHF) มาใช้ในการทดลอง โดยที่แต่ละแถบความถี่มีคุณสมบัติและการใช้งานดังแสดงในตารางที่ 2.1



รูปที่ 2.17 ย่านความถี่ที่ใช้ในระบบ RFID [14]

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้งานของระบบ RFID ในแต่ละแถบความถี่

ย่านความถี่	คุณลักษณะ	การใช้งาน
<p><b>ย่านความถี่ต่ำ 100-500 kHz</b> ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไป คือ 125 kHz</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เริ่มใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980</li> <li>- เหมาะสำหรับการนำป้ายชื่อไปติดรอบๆ โลหะ</li> <li>- ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้</li> <li>- ต้นทุนไม่สูง</li> <li>- ความเร็วในการอ่านข้อมูลต่ำ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การเข้าออกอาคาร</li> <li>- ปุศสัตว์</li> <li>- ระบบคงคลัง</li> </ul>
<p><b>ย่านความถี่สูง 10-15 MHz</b> ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไป คือ 13.56 MHz</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เริ่มใช้ตั้งแต่กลางปี ค.ศ. 1990</li> <li>- ระยะการรับส่งข้อมูลปานกลาง (1เมตร)</li> <li>- ราคามีแนวโน้มถูกลงในอนาคต</li> <li>- ความเร็วในการอ่านข้อมูลปานกลาง</li> <li>- ความถี่ในย่านนี้ใช้ทั่วโลก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- การเข้าออกอาคาร</li> <li>- ระบบจัดการห้องสมุด</li> <li>- ระบบกระเป๋าเดินทางและเสื้อผ้า</li> </ul>
<p><b>ย่านความถี่สูงยิ่ง 433/868/915 MHz</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เริ่มใช้ปลายปี ค.ศ. 1990</li> <li>- ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (10 เมตร)</li> <li>- ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง</li> <li>- ราคาแพง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระบบขนส่ง</li> <li>- การหาตำแหน่งตู้สินค้า</li> </ul>
<p><b>ย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.4-5.8 GHz</b> ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไป คือ 2.45 GHz</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- เริ่มใช้เมื่อประมาณ 10 ปีที่ผ่านมา</li> <li>- ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (15 เมตร)</li> <li>- ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง</li> <li>- ราคาแพง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ระบบเก็บค่าผ่านทาง</li> </ul>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์

อัตราการรับส่งข้อมูล (Data Transfer Rate) จะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นพาห้โดยปกติถ้าความถี่ของคลื่นพาห้ยิ่งสูง อัตราการรับส่งข้อมูลก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ส่วนการเลือกแบนด์วิดท์หรือย่านความถี่นั้นก็จะมีผลต่ออัตราการรับส่งข้อมูลเช่นกัน โดยมีหลักว่าแบนด์วิดท์ควรจะมีความกว้างกว่าอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต้องการอย่างน้อยสองเท่า แต่การใช้แบนด์วิดท์ที่กว้างเกินไปก็อาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนมากหรือทำให้ S/N Ratio ต่ำลงนั่นเอง

## 2.7 ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

กำลังส่งของแท็กที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา ถึงแม้ในทางเทคนิคเราจะสามารถทำให้ตัวอ่านข้อมูลมีกำลังส่งมากแค่ไหนก็ได้ แต่โดยทั่วไปก็จะถูกจำกัด โดยกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่นเดียวกับความถี่ ดังนั้นในระบบ RFID โดยทั่วไปจะมีกำลังส่งเพียงระหว่าง 100 -500 mW

ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลในระบบ RFID ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือกำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล (Reader Power) กำลังส่งของแท็ก (Tag Power) และสภาพแวดล้อม ส่วนการออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะเวลาการรับส่งข้อมูลอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญ ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทาง โดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆรอบตัวเช่น โลหะ ก็อาจทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า "Multi-path Attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบ RFID ไปใช้งานก็ควรคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบกับระยะเวลาการรับส่งข้อมูล และการติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

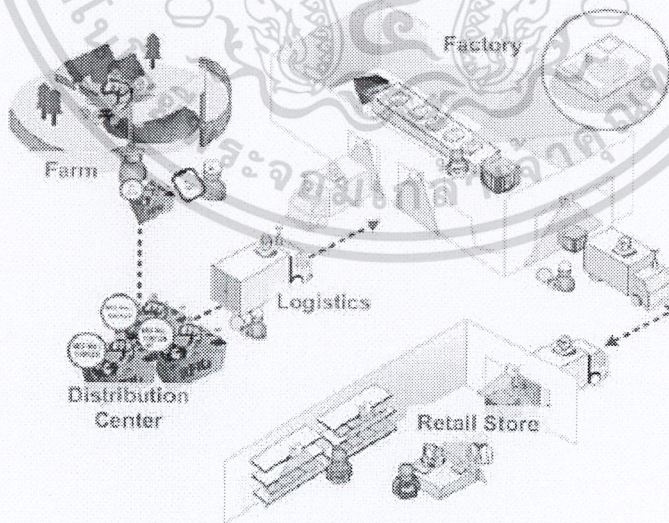
## 2.8 การประยุกต์ใช้งานของระบบ RFID

ระบบ RFID สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายประเภท ทั้งในอุตสาหกรรมการผลิต การค้า หรือการบริการต่างๆ เช่น

### 2.8.1 RFID ในห่วงโซ่อุปทาน และระบบโลจิสติกส์

เริ่มต้นที่ในโรงงานผลิตน้ำอัดลมกระป๋อง ซึ่งจะมีการนำแถบ RFID (RFID Tags) ไปติดไว้ที่น้ำอัดลมทุกกระป๋อง โดยแต่ละแถบ RFID ก็จะเก็บรหัสสินค้าที่ต่างกันไว้ซึ่งแถบ RFID เหล่านี้เองจะช่วยให้สามารถระบุถึงรายละเอียดของสินค้าแต่ละกระป๋องได้ ดังนั้นการนับจำนวน และการติดตามสินค้าจึงเป็นไปได้ไปอย่างอัตโนมัติ ซึ่งเป็นวิธีการที่จะช่วยลดต้นทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในส่วนของผู้บริโภคก็จะได้รับความสะดวกสบายมากขึ้น เนื่องจากไม่ต้องไปเข้าคิวเพื่อรอการจ่ายเงินที่แคชเชียร์ ผู้ซื้อสามารถเดินออกจากประตูพร้อมกับสิ่งของที่ต้องการ เครื่องอ่าน RFID จะทำงานอัตโนมัติในการจัดกลุ่มของการทำรีไซเคิล ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายลงจากกระบวนการเดิมที่ทำด้วยมือ แล้วกระป๋องเหล่านี้ก็จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการผลิตอีกครั้ง

การนำเทคโนโลยี RFID เข้ามาประยุกต์ใช้ใน โลจิสติกส์สามารถทำได้มากมาย แต่ตัวอย่างที่ชัดเจนและมีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดก็คงหนีไม่พ้นในห่วงโซ่อุปทาน และระบบโลจิสติกส์ด้วยเทคโนโลยี RFID ที่ติดไว้ในผลิตภัณฑ์ช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์นั้นๆ สื่อสารระหว่างกันได้ และยังสามารถสื่อสาร ไปยังหน่วยธุรกิจและผู้บริโภคได้เช่นกัน ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ในกระบวนการผลิต การขาย และการจับจ่ายซื้อสินค้า



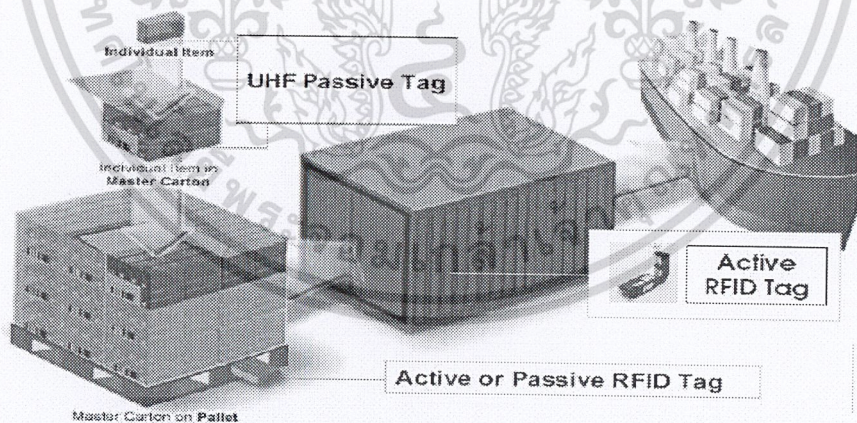
รูปที่ 2.18 ตรวจสอบการย้อนกลับด้วย RFID [15]

### 2.8.1.1 RFID ในอุตสาหกรรมการผลิต

เทคโนโลยี RFID จะสามารถช่วยลดเวลาในการจัดซื้อ การรักษาปริมาณวัตถุดิบให้เพียงพอต่อการใช้งาน การจัดสรรปริมาณการใช้กำลังคน อุปกรณ์ต่างๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพในกระบวนการจัดซื้อ และเก็บรักษาวัตถุดิบต่างๆ รวมถึงยังช่วยกระชับเวลาในวงจรของการจัดซื้อเพิ่มประสิทธิภาพ ในกระบวนการผลิต การติดตามสถานะของสิ่งของต่างๆ ได้ทุกระยะป้องกันการสูญหายได้เป็นอย่างดี ในส่วนของการใช้ประโยชน์ของสินทรัพย์ต่างๆ RFID จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายโดยสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Reusable) และรวมถึงการบำรุงรักษาเพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือต่างๆ

### 2.8.1.2 RFID ในคลังสินค้า

เทคโนโลยี RFID จะช่วยลดระยะเวลาในการนับจำนวนตรวจสอบสินค้าลง รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบความถูกต้องของสินค้า ในส่วนของการสั่งซื้อก็จะช่วยเพิ่มความถูกต้อง และความปลอดภัยให้สูงขึ้นในกระบวนการรับ และส่งสินค้า ในส่วนของการจัดวางสินค้าก็จะช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดจากการวางสิ่งของผิดที่ผิดตำแหน่ง และย่นระยะเวลาในการระบุตำแหน่งที่ใช้ในการวางสินค้านั้นๆ โดยแถบ RFID จะแสดงถึงตำแหน่งที่ใช้ในการวางสินค้านั้น โดยอัตโนมัติ และส่งสัญญาณเตือนเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้นช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนงานต่างๆ ทั้งการจัดการอุปสงค์ อุปทาน และรวมถึงการเชื่อมโยงระหว่างคลังสินค้ากับหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง



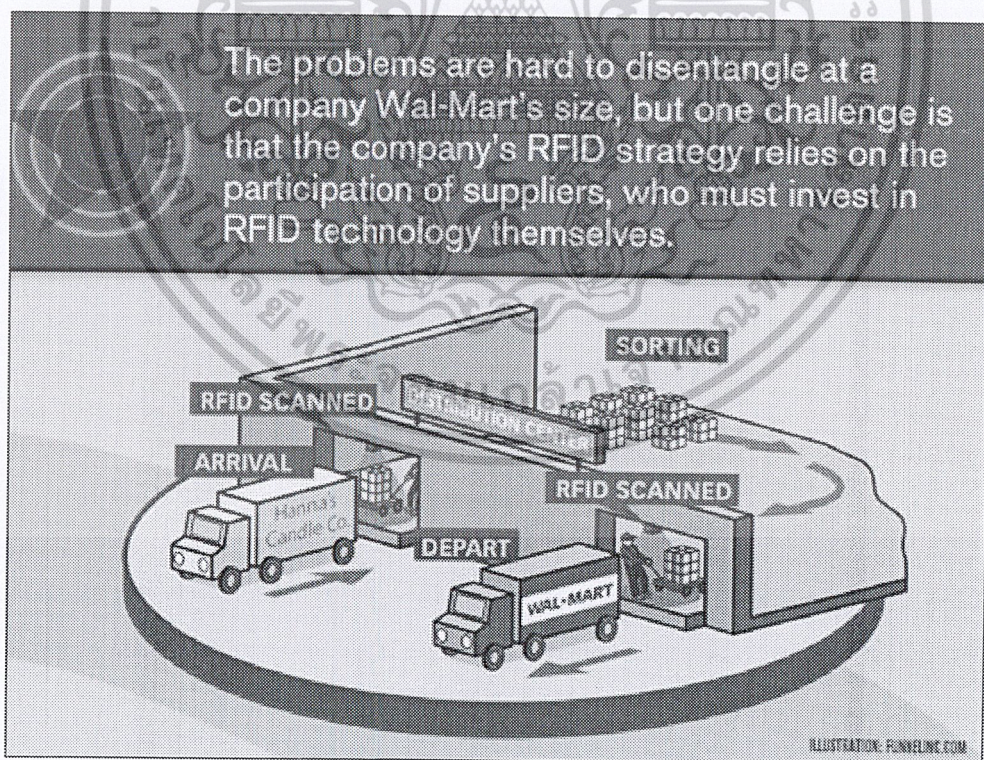
รูปที่ 2.19 RFID ถูกนำไปใช้ในระบบจัดเก็บสัมภาระอัตโนมัติ เช่น เครื่องบินหรือเรือเดินสมุทร [15]

### 2.8.1.3 RFID ในระบบการขนส่ง

ในเรื่องของการบริหารจัดการ และการดูแลรักษาทรัพย์สินนั้น เทคโนโลยี RFID จะเข้ามาช่วยเหลือในส่วนของการเพิ่มประสิทธิภาพที่ได้รับจากการใช้บริการสินทรัพย์นั้นๆ ลดความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้น และป้องกันความผิดพลาดจากการปฏิบัติงานที่อาจเกิดขึ้น ในส่วนของการบริหารจัดการภายในลานจอดรถ RFID จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพที่ได้รับจากการใช้บริการสินทรัพย์ต่างๆ เช่นกัน และรวมไปถึงการติดตามรถขนส่ง การติดตามสินค้า การตรวจสอบความถูกต้องของเส้นทางรถขนส่ง เพิ่มความน่าเชื่อถือ และประสิทธิภาพโดยรวม นอกเหนือจากนี้ ยังสามารถใช้ในการติดตาม และประเมินศักยภาพของผู้ทำสัญญารับช่วงได้อีกเป็นอย่างดี

### 2.8.1.4 RFID ระหว่างหน่วยธุรกิจในห่วงโซ่อุปทาน

เทคโนโลยี RFID จะช่วยลดปัญหาสินค้าหมดเนื่องจากสามารถตรวจสอบปริมาณสินค้าได้ตลอดเวลา และยังช่วยให้สามารถวางแผนการจัดซื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยอ้างอิงจากพฤติกรรม การซื้อของผู้บริโภคโดยตรง ทุกหน่วยธุรกิจสามารถส่งข้อมูลต่างๆ ไปยังส่วนงานที่เกี่ยวข้องได้โดยสะดวกในระยะเวลาอันสั้น การซื้อขายสินค้าปลอมแปลงก็จะลดปริมาณลง ประสิทธิภาพของสินค้าสูงขึ้น ในส่วนของความปลอดภัยก็จะช่วยลดการรูด้าของสิ่งของเครื่องมือต่างๆ ที่ไม่ได้รับอนุญาตให้เข้าในแต่ละพื้นที่หวงห้าม เป็นต้น

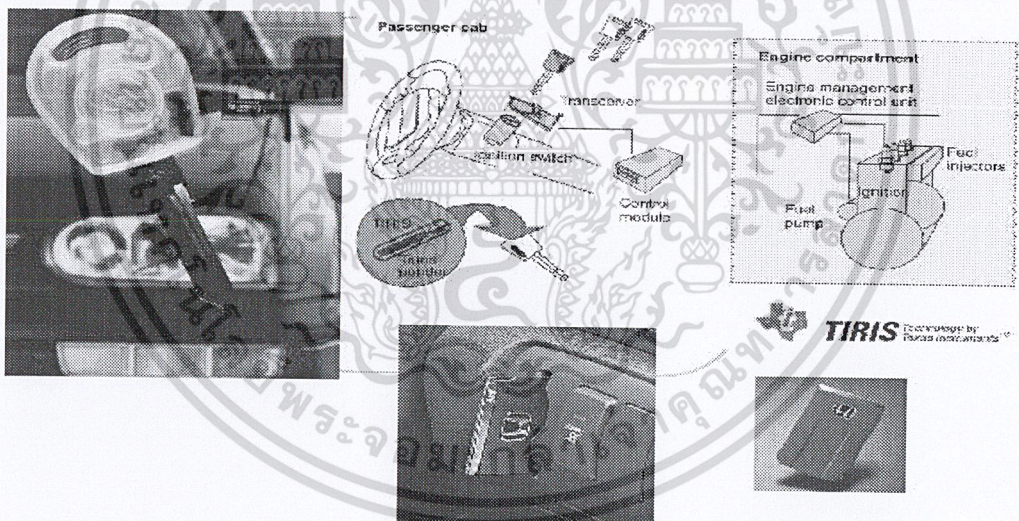


รูปที่ 2.20 RFID ถูกนำไปใช้ในระบบการจัดการเก็บ จัดส่งสินค้าต่างๆ [16]

### 2.8.1.5 RFID ในอุตสาหกรรมรถยนต์

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RFID กับอุตสาหกรรมรถยนต์สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภทงานหลักๆ ในการนำมาประยุกต์ใช้คือ

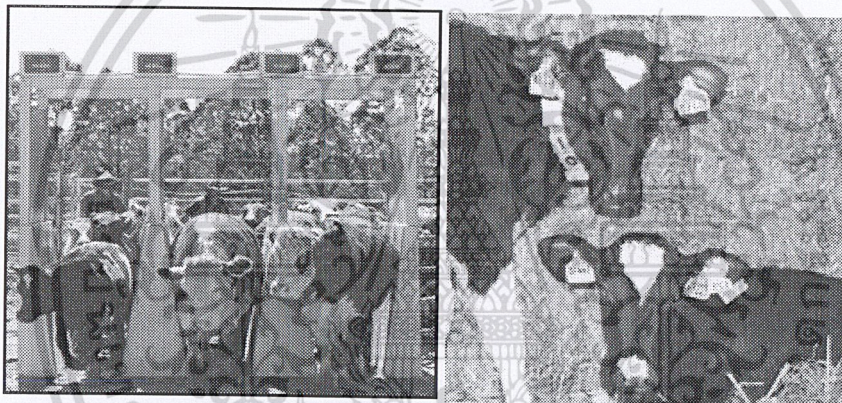
1. การติดตามส่วนประกอบรถยนต์ การบริหารจัดการอุปกรณ์ เครื่องมือ และการประยุกต์ใช้กับตัวรถยนต์
2. การประกอบรถยนต์ การป้องกันการขโมย การยืนยันความถูกต้องของตัวสินค้าว่าเป็นของแท้ ไม่ได้มีการทำลอกเลียนแบบ การบำรุงรักษา และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) อีกด้านหนึ่งในส่วนของการประยุกต์ใช้กับตัวรถยนต์ ก็จะทำให้ความสำคัญในเรื่อง การแสดงตัวของรถยนต์แต่ละคัน การอนุญาตการเข้า-ออก (การฝัง RFID ไว้กับกุญแจ หรือ คีย์การ์ดสำหรับเปิดประตูรถ) การติดตามวัดแรงดันของยางรถยนต์
3. หลักการทำงานของ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RFID ในอุตสาหกรรมรถยนต์ ก็จะมี ความคล้ายคลึงกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RFID ในห่วงโซ่อุปทาน และระบบโลจิสติกส์ กล่าวคือ ต้องการระบุว่าสิ่งของนั้นๆ คืออะไร มีรายละเอียดเป็นอย่างไร มาจากไหน แล้วจะต้องไปที่ไหน โดยจะต้องสามารถควบคุมดูแล และตรวจสอบให้ตลอดเส้นทางการเคลื่อนย้าย



รูปที่ 2.21 ระบบกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic immobilizer) [17]

### 2.8.1.6 RFID ในเกษตรกรรม

ได้มีการนำซอฟต์แวร์ที่ชื่อว่า Porcode Management System ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ของประเทศเนเธอร์แลนด์ มาใช้ร่วมกับเทคโนโลยี RFID เพื่อควบคุมเครื่องให้อาหารแม่วัว ซึ่งระบบจะควบคุมให้เครื่องให้อาหารปล่อยอาหารมาตามปริมาณที่เหมาะสมกับแม่วัวแต่ละตัว โดยเริ่มต้นด้วยการตั้งโปรแกรมการให้อาหารแม่วัว (Feed Curve) พร้อมบันทึกหมายเลขประจำตัวและป้อนข้อมูลส่วนตัวเช่น น้ำหนัก อายุ การเป็นสัด การท้อง การคลอด ฯลฯ ของแม่วัวแต่ละตัวไว้ในระบบ ซึ่งโปรแกรม Porcode Management System จะประมวลผลปริมาณอาหารที่เหมาะสมกับน้ำหนักและอายุของแม่วัวตัวนั้นๆ ให้โดยอัตโนมัติ เมื่อแม่วัวเข้าไปกินอาหารในบริเวณเครื่องปล่อยอาหาร (Feed Station) ซึ่งสามารถเข้าได้ที่ละตัว เครื่องอ่าน RFID ที่ติดอยู่ที่ผนังบริเวณจุดปล่อยอาหารจะอ่านแถบ RFID ที่หูของแม่วัวแล้วส่งหมายเลขประจำตัวแม่วัวไป สามารถจัดเก็บข้อมูลของวัวแต่ละตัวได้มากขึ้น



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างการใช้ RFID ในฟาร์ม [18]

### 2.8.1.7 RFID ในการแพทย์

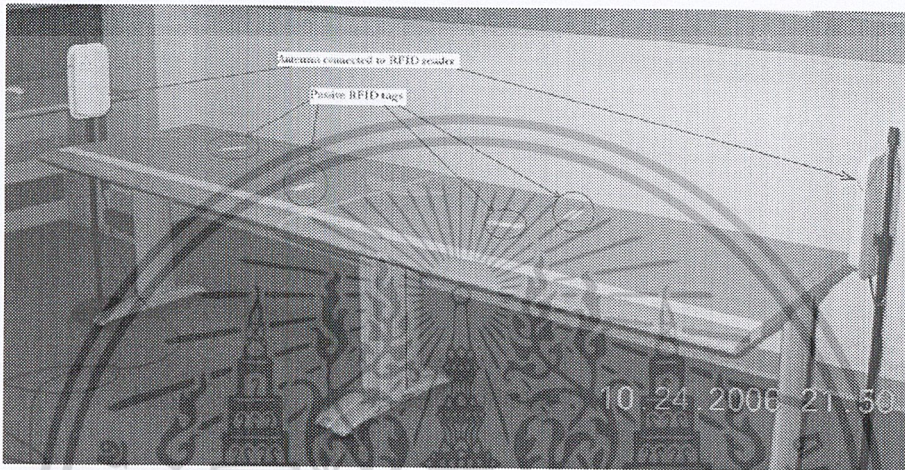
ในปัจจุบันได้เริ่มมีการนำเทคโนโลยี RFID เข้าไปประยุกต์ใช้ทางการแพทย์และได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง มีการใช้เครื่องมือหรือเทคโนโลยี ฝังชิ้นส่วนของไมโครชิพหรือเก็บหน่วยข้อมูลอัจฉริยะขนาดจิ๋ว ซึ่งทำงานด้วยระบบ RFID เข้าสู่ผิวหนังผู้ป่วยโดยใช้ฉีดยาเข้าไปฝังตัวใต้ผิวหนังของผู้ป่วย เพื่อช่วยเก็บข้อมูลในทางการแพทย์อาทิเช่น ข้อมูลกรุ๊ปเลือด ข้อมูลการเกิดภูมิแพ้ ข้อมูลลักษณะเฉพาะของผู้ป่วยแต่ละบุคคล เพื่อให้แพทย์ช่วยรักษาและวินิจฉัยให้ตรงกับโรคมากที่สุดอีกทั้งยังใช้ เป็นรหัสส่วนบุคคลของผู้ป่วยอีกด้วย

## 2.9 เทคนิคการหาตำแหน่งโดยระบบ RFID

โดยทั่วไปการหาตำแหน่งด้วย RFID จะแบ่งออกเป็น 2 หลักใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้

### 2.9.1 เทคนิคการหาตำแหน่งของแท็ก (Tag localization)

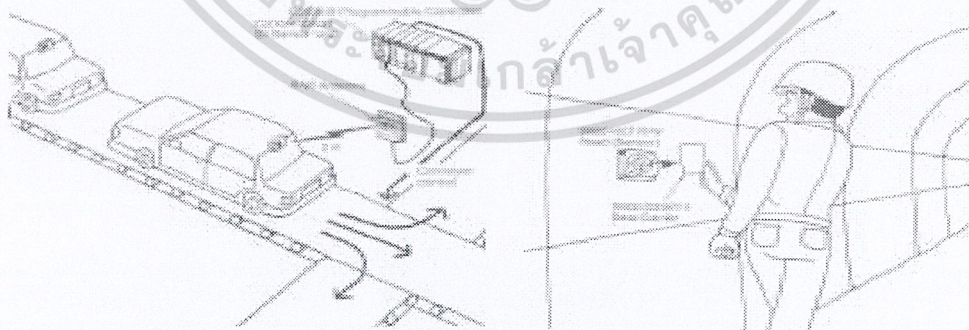
ใช้แท็กติดไปยังบุคคล สัตว์ วัตถุ หรือสิ่งที่ต้องการทราบตำแหน่งซึ่งวิธีนี้จะใช้เครื่องอ่านที่ใช้ในการหาตำแหน่งของแท็กมากกว่าหนึ่งเครื่อง



รูปที่ 2.23 การหาตำแหน่ง โดยใช้แท็ก (Tag localization) [19]

### 2.9.2 เทคนิคการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน (Reader localization)

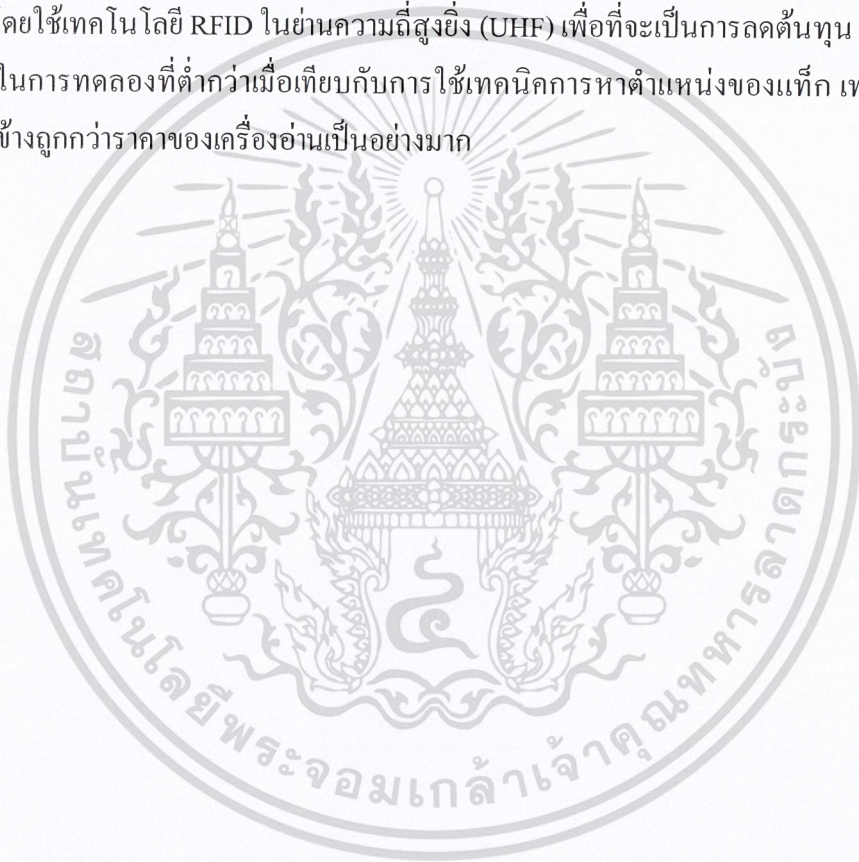
ใช้เครื่องอ่านติดไปยัง บุคคล สัตว์ วัตถุหรือสิ่งที่ต้องการทราบตำแหน่งและใช้แท็กติดที่เพดานหรือกำแพงในการอ้างอิงตำแหน่ง ซึ่งวิธีนี้จะใช้แท็กในการอ้างอิงตำแหน่งค่อนข้างมาก



รูปที่ 2.24 การหาตำแหน่ง โดยใช้เครื่องอ่าน (Reader localization) [20]

## 2.10 บทสรุป

ปัจจุบันได้มีการนำเอาเทคโนโลยี RFID เข้ามาประยุกต์ใช้ในโลกรธุรกิจได้อย่างมากมาย แต่ตัวอย่างที่ชัดเจนและมีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดก็คงหนีไม่พ้นในระบบการอุปโภค บริโภค และระบบโลจิสติกส์ที่นำเอาระบบเทคโนโลยี RFID เข้ามาช่วยใช้งาน เพื่อให้เกิดความสะดวกสบาย รวดเร็วตรงตามเวลาที่ต้องการมากขึ้นซึ่งการสื่อสารในหน่วยของธุรกิจและผู้บริโภค จัดเป็นการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ในกระบวนการผลิต การขาย และการจับจ่ายซื้อสินค้า นอกจากนี้รวมถึงยังได้กล่าวถึงทฤษฎีบทพื้นฐานของระบบ RFID และเทคนิคในการหาตำแหน่ง โดยระบบ RFID ซึ่งจะใช้เทคนิคการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน (Reader localization) ในการหาตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยี RFID ในย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF) เพื่อที่จะเป็นการลดต้นทุน ประหยัดค่าใช้จ่ายในการทดลองที่ต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการใช้เทคนิคการหาตำแหน่งของแท็ก เพราะราคาแท็กค่อนข้างถูกกว่าราคาของเครื่องอ่านเป็นอย่างมาก



## บทที่ 3

# ทฤษฎีและหลักการของการหาตำแหน่งภายในอาคาร

### 3.1 บทนำ

ในปัจจุบันวิธีการหาตำแหน่งภายในอาคารเป็นที่นิยมมาก มีการพัฒนาประยุกต์ใช้งานในการหาตำแหน่งภายในอาคารมากมายเช่น การหาตำแหน่งของสินค้า การหาตำแหน่งของบุคลากรภายในอาคาร การหาตำแหน่งของพนักงานดับเพลิงในอาคารที่เกิดเพลิงไหม้ การหาตำแหน่งของสุนัขตำรวจที่ถูกฝึกให้ค้นหาวัตถุระเบิดในอาคาร และอื่นๆอีกมากมายตามแต่ที่จะนำมาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและหลักการในการหาตำแหน่งภายในอาคารในวิธีการต่างๆ โดยได้อธิบายพร้อมทั้งจำแนกประเภทและเทคนิคในการหาตำแหน่งภายในอาคารซึ่งมีวิธีการคำนวณหาตำแหน่งมีด้วยกันทั้งสิ้น 3 วิธี คือ

- 1) การคำนวณหาตำแหน่งโดยวิธีการเรขาคณิตรูปสามเหลี่ยม (Triangulation)
- 2) การคำนวณหาตำแหน่งโดยการวัดค่าความใกล้เคียงกับจุดอ้างอิง (Range-Based)
- 3) การคำนวณหาตำแหน่งโดยการวิเคราะห์บริเวณเฉพาะ (Scene Analysis)

ทั้งนี้ปัญญาประดิษฐ์ขั้นสูงจะมุ่งเน้นในการพัฒนาเทคนิคในการหาตำแหน่งภายในอาคารแบบ Fingerprint บนพื้นฐานเทคโนโลยี RFID โดยจะทำการทดลองหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID โดยใช้แท็กติดไว้บนเพดานเพื่อทำหน้าที่ในการอ้างอิงข้อมูลตำแหน่งของเครื่องอ่าน โดยใช้วิธีการอินเทอร์เฟซชั้นระหว่างแท็กที่พบจากเครื่องอ่าน RFID และ Fingerprint เพื่อนำมาวิเคราะห์ในการหาความแม่นยำของการหาตำแหน่งภายในอาคาร

### 3.2 การหาตำแหน่งโดยวิธีการเรขาคณิตรูปสามเหลี่ยม (Triangulation)

การหาตำแหน่งโดยวิธีการเรขาคณิตรูปสามเหลี่ยม (Triangulation) โดยวิธีนี้สามารถจำแนกได้ออกเป็นวิธีย่อย 2 วิธีด้วยกันคือ

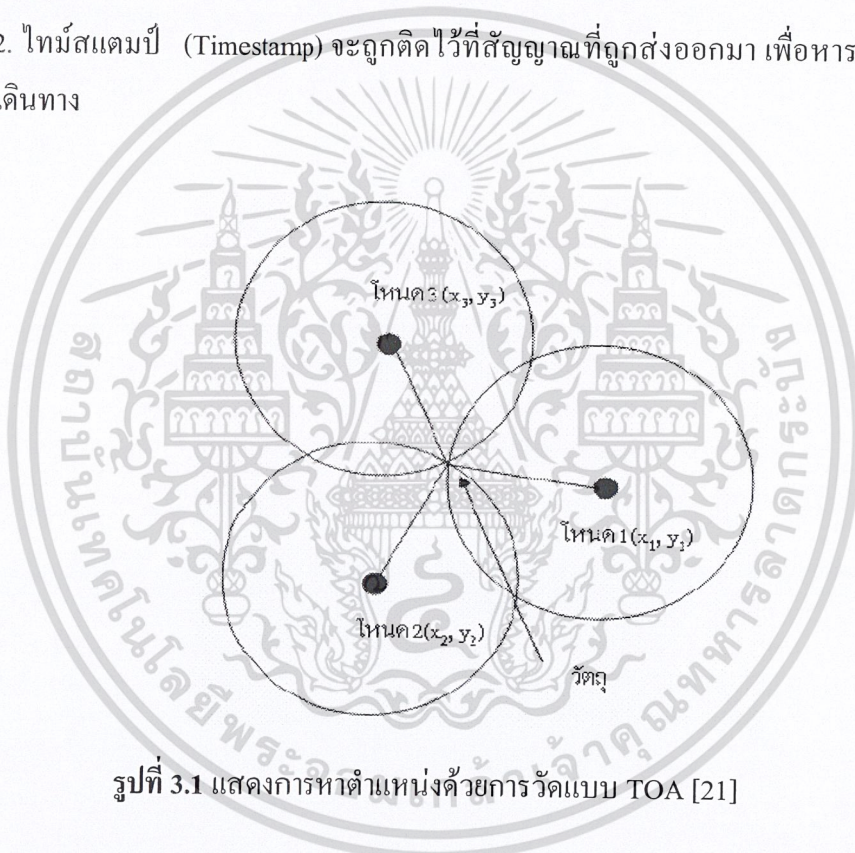
**3.2.1 วิธีการหาตำแหน่งด้วยระยะทาง (Lateration)** เป็นวิธีการหาตำแหน่งโดยการวัดระยะทางจากหลายจุดอ้างอิง (Reference Point) ซึ่งเทคนิควิธีการที่ใช้หลักการในการหาตำแหน่งด้วยระยะทางมีหลายวิธีอาทิเช่น การวัดโดยอ้างอิงจากเวลาของการมาถึง (Time of Arrival: TOA) หรือการวัดโดยอ้างอิงจากความแตกต่างของเวลาของสัญญาณที่มาถึง (Time Difference of Arrival: TDOA) และการวัดโดยอ้างอิงจากระยะทางที่ได้มาจากการคำนวณการลดทอนของ

สัญญาณหรือการทำการคูณความเร็ว (Velocity) ของสัญญาณวิทยุกับเวลาในการเคลื่อนที่ของสัญญาณ Round Trip Time Of Flight (RTOF)

### 3.2.1.1 การหาตำแหน่งโดยอ้างอิงจากเวลาของการมาถึง (Time of Arrival: TOA)

การหาตำแหน่งโดยอ้างอิงจากเวลาของการมาถึง (TOA) ในกรณีที่เป็นการเป็นตำแหน่ง 2 มิติ จะต้องพิจารณาสัญญาณอย่างน้อย 3 จุดตามรูปที่ 3.1 และจับเวลาในการเคลื่อนที่ของสัญญาณทางเดียว (one-way) เพื่อคำนวณระยะทางระหว่างหน่วยวัดกับเครื่องส่งสัญญาณ (Signal Transmitter) โดยทั่วไปวิธี TOA จะพบปัญหา 2 ข้อคือ

1. เครื่องส่งและรับสัญญาณในระบบจะต้องทำให้พร้อมกัน เป็นจังหวะเดียวกัน (Synchronize)
2. ไทม์สแตมป์ (Timestamp) จะถูกติดไว้ที่สัญญาณที่ถูกส่งออกมา เพื่อหาระยะทางที่สัญญาณเดินทาง



รูปที่ 3.1 แสดงการหาตำแหน่งด้วยการวัดแบบ TOA [21]

สำหรับวิธีการคำนวณตำแหน่งแบบวิธีการอ้างอิงจากเวลาของการมาถึง คือการหาระยะห่างระหว่างวัตถุและโหนด หลักการคือเราสามารถหาระยะห่าง  $R_i$  ซึ่งเป็นระยะทางระหว่างวัตถุกับโหนดที่  $i$  ได้จากสมการ

$$R_i = ct_i \tag{3.1}$$

เมื่อ  $c$  คือค่าความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที

และ  $t_i$  คือระยะเวลาในการเดินทางสัญญาณ (TOA) ระหว่างวัตถุไปที่โหนด  $i$

แต่วิธีการนี้ต้องมีวงจรในการสร้างความสอดคล้องของสัญญาณนาฬิการะหว่างวัตถุกับ โหนดจึงจะทำให้สามารถวัดค่า  $t_i$  ได้ พิจารณาจากสมการมาตรฐานของวงกลมที่รัศมี  $R$  คือ

$$R_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2 + (Z_i - z)^2} \quad \text{โดย } i = 1, 2, 3, \dots, N \quad (3.2)$$

เมื่อ  $(X_i, Y_i, Z_i)$  เป็นพิกัดของโหนด  $i$

และ  $(x, y, z)$  เป็นพิกัดของตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการทราบตำแหน่ง

จากที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นว่าการหาตำแหน่งของวัตถุด้วยวิธีนี้มีข้อเสียของวิธีการ ค้นหาตำแหน่งด้วยวิธีนี้ได้แก่การต้องการความสอดคล้องกันของสัญญาณนาฬิกา ระหว่างวัตถุ และโหนดจะพบว่าเมื่อนับระยะเวลาของสัญญาณจากวัตถุไปที่โหนดผิดพลาด 1 ไมโครวินาทีจะ ให้วัดระยะทางผิดพลาดถึง 300 เมตร

### 3.2.1.2 การหาตำแหน่งโดยอ้างอิงจากความแตกต่างของเวลาของสัญญาณที่มาถึง

#### (Time Difference of Arrival :TDOA)

การหาตำแหน่งโดยอ้างอิงจากความแตกต่างของเวลาของสัญญาณที่มาถึง (TDOA) ได้แนวคิดมาใช้เพื่อแก้ปัญหาด้านความถูกต้องของความสอดคล้องของสัญญาณนาฬิกา ระหว่างวัตถุกับโหนด (Synchronize) โดยเนื่องจากสัญญาณเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแสงทำให้พบว่าในกรณีที่ วัดเวลาผิดพลาดเพียง 1 ไมโครวินาทีทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการวัดระยะทางถึง 300 เมตร ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาเรื่องของการสอดคล้องของสัญญาณนาฬิกาทำให้เกิดแนวคิดแทนที่จะทำการ นับเวลาที่มาถึงโหนดเราจะทำการนับเวลาที่แตกต่างกันที่รับได้จากโหนดจำนวน 2 คู่เพื่อนำ ข้อมูลมาสร้างสมการไฮเปอร์โบลิกเพื่อหาตำแหน่งของวัตถุโดยพิจารณาการหาค่าตำแหน่งของ โหนดได้โดยใช้หลักการของการนับเวลาเวลาที่แตกต่างกันที่นับได้จากคู่ของสัญญาณจากวัตถุ ไปที่โหนดตำแหน่งที่  $i$  และตำแหน่งที่  $j$  เพื่อสร้างของสมการไฮเปอร์โบลิกพิจารณา ความสัมพันธ์ของผลต่างของระยะทางระหว่างโหนดตำแหน่งที่  $i$  และตำแหน่งที่  $j$  ดังนี้

$$R_{i,j} = ct_{i,j} = R_i - R_j \quad (3.3)$$

โดยที่  $R_{i,j}$  เป็นผลต่างของระยะทางระหว่างโหนด ตำแหน่งที่  $i$  และตำแหน่งที่  $j$  และ  $t_{i,j}$  เป็น ความแตกต่างของเวลาของสัญญาณจากวัตถุไปที่ โหนดตำแหน่งที่  $i$  และตำแหน่งที่  $j$  และ  $c$  คือค่า ความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาทีและ  $R_i$  คือระยะห่างระหว่างโหนด ที่ตำแหน่งที่ พิกัด  $(x, y)$  กับวัตถุซึ่งมีพิกัดเป็น  $(X_i, Y_i)$  ดังสมการนี้

$$R_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2 - 2X_i x - 2Y_i y + x^2 + y^2} \quad (3.4)$$

และสามารถหาความสัมพันธ์ของผลต่างของระยะทางได้จากวัตถุไปที่โหนดที่  $i, j$  โดยมีความสัมพันธ์ตามสมการดังนี้

$$R_{i,j} = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} = \sqrt{(X_j - x)^2 + (Y_j - y)^2} \quad (3.5)$$

โดยที่  $R_{i,j}$  เป็นผลต่างของระยะทางระหว่างวัตถุตำแหน่งที่  $i$  และตำแหน่งที่  $j$  และ  $(X_i, Y_i)$  และ  $(X_j, Y_j)$  เป็นพิกัดของ โหนดที่  $i$  และ  $j$  และ  $(x, y)$  เป็นตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการทราบตำแหน่ง เราสามารถหาคำตอบของสมการได้เมื่อจำนวนสมการเท่ากับจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่าเนื่องจากสมการที่ (3.5) ทำการแก้สมการค่อนข้างยากทำให้ต้องจัดรูปแบบของสมการใหม่ดังนี้

$$R_i^2 = (R_{i,j} + R_1)^2 \quad (3.6)$$

ทำให้ทำการจัดรูปของสมการที่ (3.5) เขียนได้เป็น

$$R_{i,1}^2 + 2R_{i,1}R_1 + R_1^2 = X_i^2 + Y_i^2 - 2X_i x - 2Y_i y + x^2 + y^2 \quad (3.7)$$

ทำการลบค่าของสมการที่ (3.6) ที่  $i=1$  ออกจากสมการที่ (3.7) จะได้เป็น

$$R_{i,1}^2 + 2R_{i,1}R_1 = X_i^2 + Y_i^2 - 2X_{i,1}x - 2Y_{i,1}y \quad (3.8)$$

เมื่อ  $X_{i,1}$  และ  $Y_{i,1}$  มีค่าเท่ากับ  $(X_i - X_1)$  และ  $(Y_i - Y_1)$  ตามลำดับ สมการที่ (8) สามารถหาคำตอบของสมการได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} X_{2,1} & Y_{2,1} \\ X_{3,1} & Y_{3,1} \end{bmatrix}^{-1} \times \left\{ \begin{bmatrix} R_{2,1} \\ R_{3,1} \end{bmatrix} R_1 + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} R_{2,1}^2 - K_2 + K_1 \\ R_{3,1}^2 - K_3 + K_1 \end{bmatrix} \right\} \quad (3.9)$$

เมื่อ

$$K_1 = X_1^2 + Y_1^2$$

$$K_2 = X_2^2 + Y_2^2$$

$$K_3 = X_3^2 + Y_3^2$$

เราสามารถทำการหาค่า  $x$  และ  $y$  ได้ในเทอมของ  $R_1$  ได้ โดยการแทนค่าของ  $x$  และ  $y$  ในสมการที่ (3.9) ไปแทนค่าในสมการที่ (3.8) และจัดรูปแบบสมการที่ (3.8) ในเทอมของ  $R_1$  ในรูปแบบของสมการ Quadratic ดังนี้

$$aR_1^2 + bR_1 + c = 0 \quad (3.10)$$

สามารถหาคำตอบของสมการตามสูตรได้เป็น

$$R_1 = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (3.11)$$

เลือกใช้รากของสมการเพียงค่าเดียวเนื่องจาก  $R_1$  เป็นระยะห่างระหว่างวัตถุและโหนดที่ 1 ทำให้รากของสมการมีค่าเป็นบวกเพียงค่าเดียวแล้วนำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสมการที่ (3.9)



รูปที่ 3.2 แสดงการการหาค่าตำแหน่งด้วยการวัดแบบ TDOA [21]

### 3.2.1.3 การหาค่าตำแหน่งโดยอ้างอิงจากระยะทางได้มาจากการคำนวณการลตทอนของสัญญาณวิทยุกับเวลาในการเคลื่อนที่ของสัญญาณ (Round Trip Time of Flight: RTOF)

การหาค่าตำแหน่งโดยอ้างอิงจากระยะทางได้มาจากการคำนวณการลตทอนของสัญญาณของสัญญาณวิทยุกับเวลาในการเคลื่อนที่ของสัญญาณ (Round Trip Time of Flight: RTOF) วิธีนี้จะคำนวณเวลาการเดินทางของสัญญาณที่เดินทางจากเครื่องส่งสัญญาณไปยังจุดวัด แล้วย้อนกลับไปที่เครื่องส่งสัญญาณอีกครั้ง สำหรับวิธีนี้ต้องการการซิงโครไนเซชันของเวลา (Clock Synchronization) มากกว่าวิธี TOA ลักษณะการคำนวณของวิธีนี้คล้ายกับ TOA แต่อย่างไรก็ตามเป็นการยากสำหรับหน่วยวัดที่จะทราบการประวิงเวลาที่ถูกต้องในระบบการส่งสัญญาณระยะยาว (Long Range) หรือระยะกลาง (Medium Range) จะไม่คิดการประวิงเวลานี้ถ้ามีเวลาน้อยมาก

เมื่อเทียบกับเวลาในการส่งสัญญาณ สำหรับระบบการส่งสัญญาณระยะสั้น (Short Range) ไม่สามารถคิดการประวิงเวลาได้ สำหรับทางเลือกที่จะใช้หลักการของมอดูเลชัน Modulation Reflection คือจะใช้กับระบบการส่งสัญญาณระยะสั้นเท่านั้น การหาตำแหน่งโดยใช้ TOA ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับ RTOF ได้โดยตรง

**3.2.2 วิธีการหาตำแหน่งด้วยมุม** วิธีนี้จะเป็นการหาตำแหน่งด้วยการคำนวณมุมอ้างอิง (Angle Relative) ที่ทำกับจุดอ้างอิงหลายๆจุด

**3.2.2.1 วิธีการหาตำแหน่งด้วยมุม (Angle of Arrival: AOA)**

วิธีการหาตำแหน่งด้วยมุม (Angle of Arrival: AOA) เป็นเทคนิคการหาตำแหน่ง โดยใช้ค่ามุมของสัญญาณที่ส่งมาจากวัตถุโดยเราสามารถค้นหาตำแหน่งของวัตถุจากค่ามุมที่ได้รับที่ โหนดจำนวน 2 มุมในแต่ละโหนดและนำข้อมูลที่ได้รับมาสร้างสมการเส้นตรงหาตำแหน่งของ วัตถุได้ดังสมการ

$$(y - y_i) = \tan(\theta_i)(x - x_i) \tag{3.12}$$

$$(y - y_j) = \tan(\theta_j)(x - x_j) \tag{3.13}$$

โดยที่  $\theta_i = \tan^{-1}\left(\frac{|y_i - y|}{|x_i - x|}\right)$  และ  $\theta_j = \tan^{-1}\left(\frac{|y_j - y|}{|x_j - x|}\right)$

และ  $(x, y)$  เป็น พิกัดที่ต้องการทราบของวัตถุที่ต้องการทราบตำแหน่ง  
 $(x_i, y_i)$  เป็น พิกัดที่ต้องการทราบของโหนด ตามแนวแกน  $x$  และ  $y$  จุดที่  $i$   
 $(x_j, y_j)$  เป็น พิกัดที่ต้องการทราบของโหนด ตามแนวแกน  $x$  และ  $y$  จุดที่  $j$



รูปที่ 3.3 แสดงการหาตำแหน่งด้วยการวัดแบบ AOA [21]

จากรูปที่ 3.3 แสดงวิธีการวัดมุมจากทิศทางของสัญญาณคือต้องการจำนวน โหนดจำนวนเพียง 2 โหนดเพื่อการคำนวณตำแหน่งซึ่งน้อยกว่าวิธีการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีอ้างอิงจากเวลาของการมาถึง โดยวิธีอ้างอิงจากเวลาแตกต่างของเวลาของสัญญาณที่มาถึง จะต้องมีการวัดมุมอย่างน้อยจำนวน 3 โหนดขึ้นไปแต่ข้อเสียของการค้นหาตำแหน่งด้วยวิธีนี้คือการเกิดเส้นทางของสัญญาณหรือการขาดเส้นทางในแนวเส้นสายตา (Line of Sign: LOS) ที่ส่งผลต่อการวัดมุมที่ผิดพลาดมากยิ่งขึ้นและการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการปรับแต่งเสาอากาศเพื่อให้วัดค่าได้อย่างถูกต้องอย่างสม่ำเสมอ

### 3.3 วิธีหาตำแหน่งด้วยการวัดค่าความใกล้เคียงกับจุดอ้างอิง (Range-Based)

วิธีการหาตำแหน่งด้วยวัดค่าความใกล้เคียงกับจุดอ้างอิง (Range-Based) จะบอกตำแหน่งที่สัมพันธ์กับสัญลักษณ์ (Symbolic Relative Location) อาศัยความหนาแน่นของกริดของสายอากาศ เมื่อเป้าหมายถูกตรวจจับได้ด้วยสายอากาศเดี่ยว แต่ถ้ามีหลายๆสายอากาศที่สามารถตรวจจับเป้าหมายได้ จะเลือกพิจารณาสัญญาณที่รับได้ที่มีความเข้มสัญญาณที่สุด ระบบที่ใช้จะเป็นพวกระบบคลื่นอินฟราเรด (IR) และคลื่นวิทยุ (RF) เช่นวิธีพิสูจน์ว่าเป็นเซลล์เดียวกัน (Cell Identification (Cell-ID)) วิธีนี้อาศัยเครือข่ายเซลลูลาร์ (Mobile Cellular Network) ในการระบุตำแหน่งอย่างคร่าวๆ ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ ข้อดีของ Cell-ID คือถูกใช้งานในปัจจุบันและสามารถใช้ได้กับทุกอุปกรณ์เคลื่อนที่

### 3.4 วิธีการหาตำแหน่งโดยการวิเคราะห์บริเวณเฉพาะ (Scene Analysis / Fingerprint)

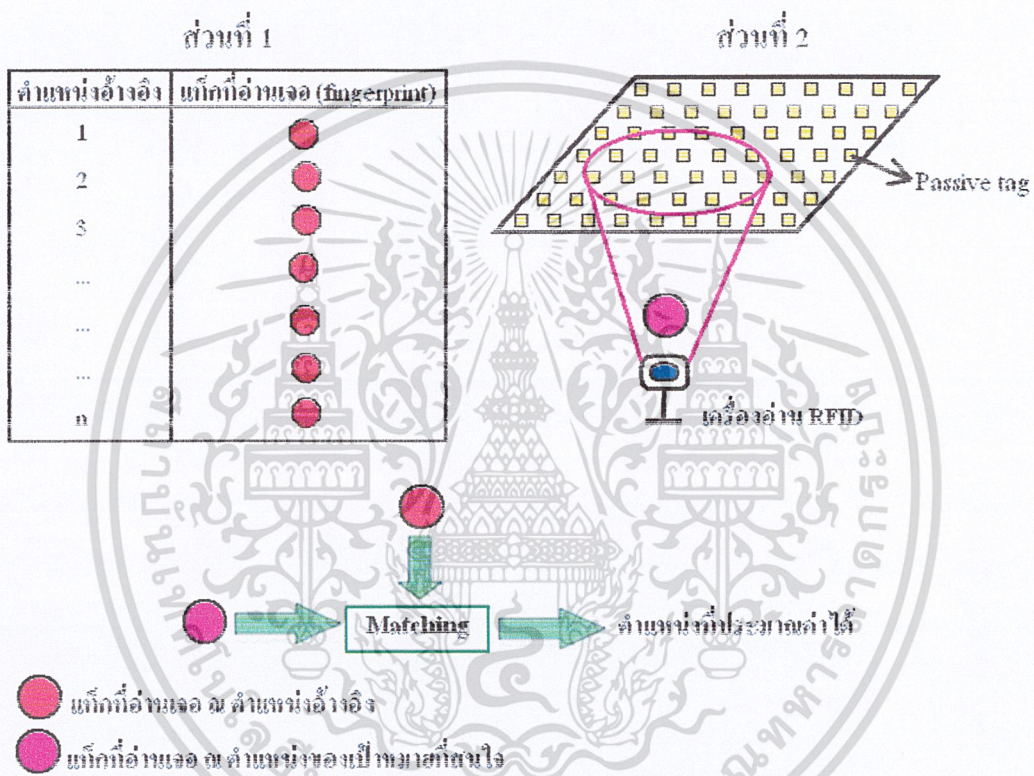
วิธีการหาตำแหน่งโดยการวิเคราะห์บริเวณเฉพาะ (Scene Analysis) บางครั้งเรียกว่า Fingerprint จะต้องมีการเก็บค่าของสัญญาณก่อนแล้วจึงนำสัญญาณที่เก็บไว้มาทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ต้องการค้นหาตำแหน่ง โดยใช้อัลกอริทึมในการเปรียบเทียบ ซึ่งวิธีนี้จะสามารถแบ่งการทำงานได้เป็น 2 ขั้นตอน โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

#### 3.4.1 Offline Phase หรือ Training Phase

เป็นการเก็บข้อมูลแท็ก ซึ่งจะต้องทำการกำหนดตำแหน่ง (Grid Point) ที่ต้องการเก็บข้อมูลแท็กให้ครอบคลุมบริเวณที่ต้องการหาตำแหน่ง โดยจะทำการเก็บข้อมูลของแท็กที่เครื่องอ่านทำการตรวจเจอในแต่ละตำแหน่ง ส่วนข้อมูลของแท็กที่เก็บได้ในแต่ละตำแหน่งจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูล เพื่อนำไปคำนวณค่าทางสถิติ ซึ่งเรียกว่าเป็นการทำ Radio Map และข้อมูลของแท็กที่เก็บได้ในแต่ละตำแหน่งที่กำหนดจะเรียกว่า Fingerprint

### 3.4.2 Online Phase หรือ Localization Phase

เป็นการหาตำแหน่ง โดยจะทำการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID ด้วยการอ่านข้อมูลของแท็กที่ตรวจพบ ณ ตำแหน่งที่เครื่องอ่านอยู่ขณะนั้น แล้วนำค่าแท็กที่ตรวจพบเจอไปทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้เก็บไว้ในฐานข้อมูลในช่วงแรก (Fingerprint) จากนั้นเมื่อเปรียบเทียบเสร็จแล้วก็จะแสดงตำแหน่งของเครื่องอ่านออกมา โดยส่วนมากจะแสดงออกมาเป็นตัวเลขพิกัดและตัวเลข ซึ่งประสิทธิภาพของการหาตำแหน่งที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับ Radio Map ที่ได้ทำการทดลองเก็บเอาไว้ในช่วงแรกและอัลกอริทึมที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบ



รูปที่ 3.4 แสดงการหาตำแหน่งด้วยวิธีการหาตำแหน่งแบบ Fingerprint

จากรูปที่ 3.4 จะเป็นการแสดงการหาตำแหน่งด้วยวิธีการหาตำแหน่งแบบ Fingerprint ซึ่งรูปแบบในการทดลองวิจัยนี้ได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือส่วนที่ 1 จะทำการเก็บข้อมูลของแท็กที่เครื่องอ่านทำการตรวจเจอในแต่ละตำแหน่ง โดยในรูปแบบจะแทนด้วยสัญลักษณ์วงกลมสีแดง ซึ่งบางครั้งจะเรียกว่า Fingerprint และในส่วนที่ 2 จะเป็นขั้นตอนในการหาตำแหน่งของเป้าหมาย โดยจะนำข้อมูลของแท็กที่เครื่องอ่านทำการตรวจเจอ ณ ตำแหน่งของเป้าหมาย ซึ่งตั้งรูปที่ 3.4 จะแทนด้วยสัญลักษณ์วงกลมสีชมพู และนำไปทำการเปรียบเทียบกับค่าที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลในส่วนที่ 1 ด้วยอัลกอริทึมต่างๆ เมื่อเปรียบเทียบเสร็จแล้ว เราก็จะสามารถประมาณค่าตำแหน่งของเครื่องอ่านออกมาได้ โดยข้อมูลจะแสดงออกมาเป็นค่าของพิกัดตำแหน่งของเครื่องอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.5 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีวิธีการที่ใช้ในการหาตำแหน่งภายในอาคารแบบต่างๆซึ่งได้มีการจำแนกประเภทเทคนิคของการหาตำแหน่งภายในอาคารเป็นแบบต่างๆ เพื่อที่จะมุ่งเน้นในการพัฒนาเทคนิคในการหาตำแหน่งภายในอาคารแบบ Fingerprint บนพื้นฐานเทคโนโลยี RFID โดยเลือกใช้วิธีการทดลองด้วยการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน เพราะว่าเป็นวิธีที่ค่อนข้างประหยัดค่าใช้จ่าย เนื่องจากใช้เครื่องอ่าน RFID เพียงตัวเดียว สำหรับในบทถัดไปจะกล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอนและการดำเนินการทดลองวิจัยเพื่อพิจารณาตามทฤษฎีและอยู่บนหลักของเหตุและผลเป็นสำคัญ



## บทที่ 4

# วิธีการและขั้นตอนการทดลองวิจัย

### 4.1 บทนำ

ในปัจจุบันเทคนิคในการหาตำแหน่งของเป้าหมายมีมากมายหลากหลายวิธี แต่ในการทดลองนี้ วิธีการหาตำแหน่งของเป้าหมายที่เราสนใจคือ เทคนิคการวิเคราะห์บริเวณเฉพาะ(Scene Analysis) บางครั้งเรียกว่า Fingerprint โดยในที่นี้จะกำหนดให้เครื่องอ่าน RFID เป็นเป้าหมายที่ต้องการหาตำแหน่งและกลุ่มของแท็กจะเป็นตัวอ้างอิงเพื่อใช้ในการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID โดยได้ทำการแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนคือ

ส่วนที่ 1 หาตำแหน่งของเป้าหมายแบบหยุดนิ่ง โดยการเปรียบเทียบรูปแบบของสัญญาณที่ได้รับมาจากเครื่องอ่าน (Reader) กับสัญญาณที่ได้ทำการสำรวจเก็บข้อมูลเอาไว้ในฐานข้อมูล โดยใช้อัลกอริทึมต่างๆในการเปรียบเทียบ และพิจารณาว่าอัลกอริทึมใดมีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการหาตำแหน่งของเป้าหมายแบบเคลื่อนที่ต่อไป

ส่วนที่ 2 นำเอาอัลกอริทึมที่เหมาะสมจากการพิจารณาในส่วนที่ 1 มาพัฒนาหาตำแหน่งของเป้าหมายแบบเคลื่อนที่ และทำการพัฒนาในส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้งาน (GUI) เพื่อให้เกิดความสะดวกสบายแก่ผู้ใช้งานมากขึ้นต่อไป

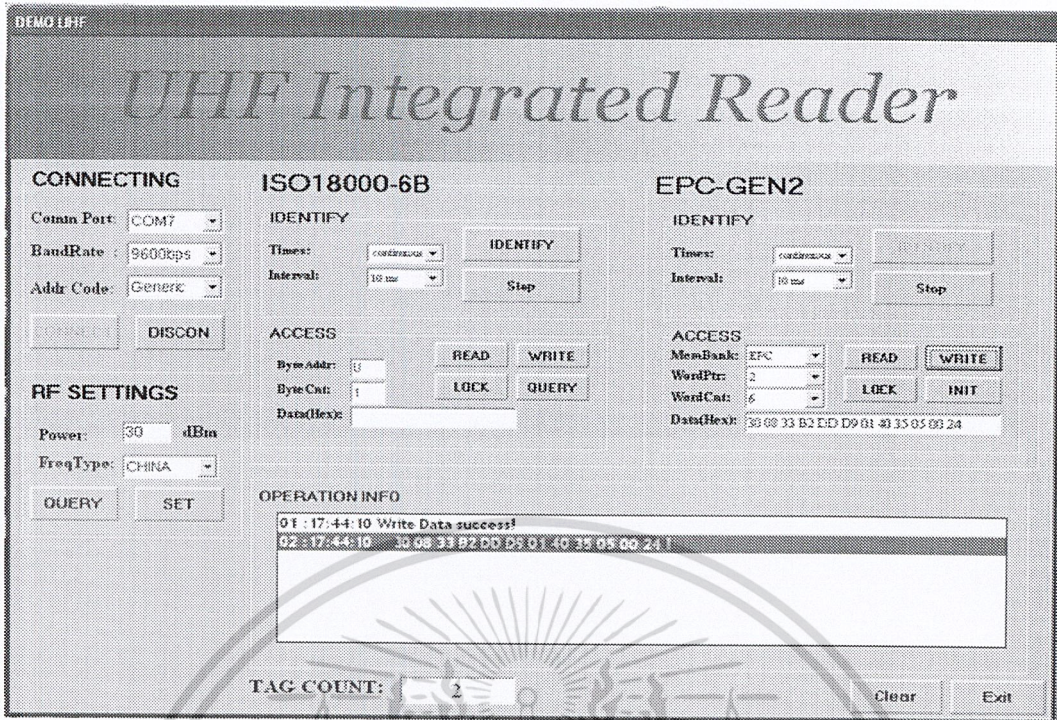
### ส่วนที่ 1

### 4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย

ในการทดลองหาตำแหน่งซึ่งในการทดลองวิจัยในปริภูมิกำหนดฉบับนี้ได้ทำการทดลองบริเวณหน้าลิฟต์ ชั้น 12 อาคาร 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทดลองมีดังต่อไปนี้

#### - เครื่องโน้ตบุคคอมพิวเตอร์

โดยนำเครื่องโน้ตบุคคอมพิวเตอร์มาทำการติดตั้งโปรแกรมติดต่อกับเครื่องอ่าน RFID (แสดงดังรูปที่ 4.1) โดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างโน้ตบุคคอมพิวเตอร์และเครื่องอ่าน RFID ซึ่งเครื่องอ่าน RFID จะใช้พอร์ตอนุกรม (RS232) ในการติดต่อกับโน้ตบุคคอมพิวเตอร์แต่ว่าเครื่อง โน้ตบุคคอมพิวเตอร์ที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นมีแค่พอร์ต USB จึงต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติมก็คืออุปกรณ์แปลงพอร์ตอนุกรมเป็น USB ดังรูป 4.2



รูปที่ 4.1 โปรแกรมที่ใช้ทำการติดต่อกับเครื่องอ่าน RFID



รูปที่ 4.2 อุปกรณ์แปลงพอร์ตอนุกรมเป็น USB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา<sup>38</sup> ต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

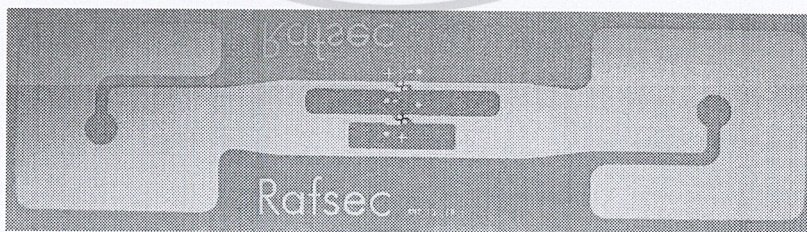
**- แท็กแบบพาสซีฟ**

เหตุผลที่เลือกใช้แท็กแบบพาสซีฟเพราะว่า ราคาของแท็กถูกกว่าชนิดอื่นๆ อยู่พอสมควร และระยะในการอ่านข้อมูลก็อยู่ในระยะที่เหมาะสมกับการทดลองครั้งนี้ โดยแท็กที่ใช้เป็นของยี่ห้อ Rafsec ซึ่งเป็นมาตรฐาน EPC Class1 Gen2 มีหน่วยความจำภายใน 240 บิต รองรับย่านความถี่ตั้งแต่ 860-960 MHz ใช้สายอากาศแบบโพลาไรซ์เชิงเส้น วัสดุที่ใช้ทำสายอากาศเป็นแบบอะลูมิเนียม และไม่ต้องใช้แบตเตอรี่ในการทำงาน ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้แท็กทั้งหมดจำนวน 81 ตัว

**ตารางที่ 4.1** เปรียบเทียบแสดงคุณสมบัติของแท็กแบบพาสซีฟและแท็กแบบแอ็กทีฟ

แท็กแบบแอ็กทีฟ (Active Tag)	แท็กแบบพาสซีฟ (Passive Tag)
- มีแหล่งพลังงานในตัว	- ไม่มีแหล่งพลังงานในตัว (ใช้พลังงานจากเครื่องอ่าน)
- ระยะอ่านได้ไกล ทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี	- ระยะไม่ไกลมากนักเมื่อเทียบกับแท็กแบบแอ็กทีฟ
- สภาพแวดล้อมมีผลน้อยต่อการอ่านข้อมูล	- มีปัญหาเมื่อนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูง
- ขนาดใหญ่	- ขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ราคาถูก
- ต้นทุนสูง	- อายุการใช้งานยาวนาน
- ราคาแพง	
- อายุการใช้งานจำกัด	

เมื่อได้ดูตารางเปรียบเทียบแสดงคุณสมบัติของแท็กแบบพาสซีฟและแท็กแบบแอ็กทีฟแล้วจะพบว่าแท็กแบบพาสซีฟค่อนข้างเหมาะสมกับการทดลองวิจัยนี้เพราะว่าแท็กแบบพาสซีฟนั้นราคาถูกและน้ำหนักเบา ระยะในการอ่านก็เหมาะสมกับการทดลองวิจัยนี้คือระยะประมาณ 3-5 เมตรในการทดลอง เราจึงทำการเลือกใช้แท็กแบบพาสซีฟมาทำการทดลอง



**รูปที่ 4.3** แท็กแบบพาสซีฟที่มีสายอากาศแบบโพลาไรซ์เชิงเส้น

## - เครื่องอ่าน RFID

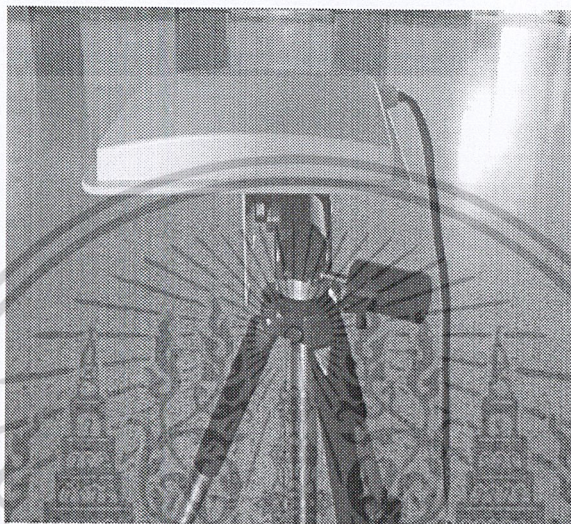
ในการทดลองนี้ได้เลือกใช้เครื่องอ่าน RFID ที่ทำงานในย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF) มาใช้ในการทดลองเพราะว่าระยะในการอ่านค่อนข้างจะเหมาะสมกับการทดลองนี้และราคาก็ไม่แพงจนเกินไป เครื่องอ่าน RFID ที่เลือกใช้ในการทดลองนี้เป็นของบริษัท เอเซเนเทค (ประเทศไทย) จำกัด รุ่น URW801 ทำงานในย่านความถี่ 902-928 MHz รองรับมาตรฐานโปรโตคอล ISO 18000-6B, 6C และ EPC Gen 2 กำลังส่งสัญญาณ 20-30 dBm การมอดูเลตสัญญาณแบบ ASK หรือ FSK ติดต่อสื่อสารกับเครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยพอร์ตอนุกรม (RS232)

ตารางที่ 4.2 ตารางความถี่ในการใช้งานของระบบ RFID

ย่านความถี่	ระยะการอ่าน	ความเร็วในการรับส่งข้อมูล	การประยุกต์ใช้งาน
ย่านความถี่ต่ำ 100-500 kHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปคือ 125 kHz	10-20 เมตร	ต่ำ	- การเข้าออกอาคาร - ปุศุสัตว์ - ระบบคลัง
ย่านความถี่กลาง 10-15 MHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปคือ 13.56 MHz	1 เมตร	ต่ำถึงปานกลาง	- การเข้าออกอาคาร - ระบบจัดการห้องสมุด - ระบบกระเป๋าเดินทางและเสื้อผ้า
ย่านความถี่สูงยิ่ง 433/868/915 MHz	1-10 เมตร	ปานกลางถึงสูง	- ระบบขนส่ง - การหาตำแหน่งตู้สินค้า
ย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.4-5.8 GHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปคือ 2.45 GHz	<10 เมตร	สูง	- ระบบเก็บค่าผ่านทาง

### - ขาดั้งกล้องและรถเข็น

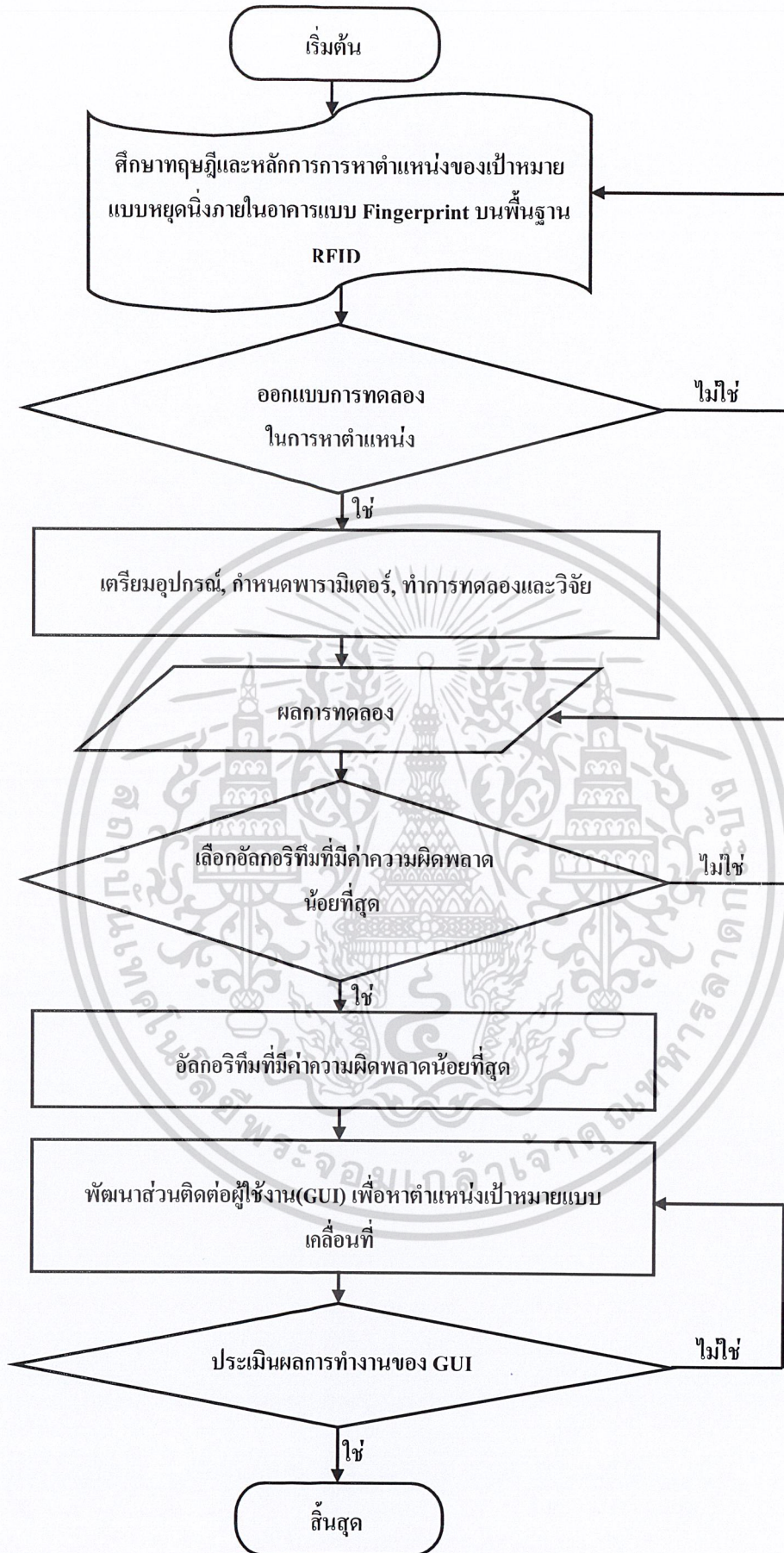
ในการทดลองนี้ได้นำขาดั้งกล้องมาทำการยึดกับเครื่องอ่าน RFID เพราะขาดั้งกล้องมีความสามารถในการปรับระดับความสูงต่ำได้สะดวกโดยเครื่องอ่าน RFID ยึดติดไว้ที่ขาดั้งกล้องและได้นำเอาโน้ตบุคคอมพิวเตอร์มาใส่ไว้ในรถเข็นเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายหาตำแหน่งขณะที่ทำการทดลอง



รูปที่ 4.4 เครื่องอ่าน RFID ที่ทำงานในย่านความถี่สูงถึง UHF (902-928 MHz)

### - โฟม พิวเจอร์บอร์ด สก๊อตเทปและกรรไกร

ในการทดลองนี้ได้นำโฟมขนาดหนามาทำการตัดให้มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของแท็กเล็กน้อยแล้วทำการติดแท็กไว้กับโฟมแล้วนำไปติดกับฟิวเจอร์บอร์ดที่ตัดไว้เป็นแผ่นยาวๆเพื่อให้ง่ายต่อการติดแท็กบนเพดาน ช่วยลดเวลาและสะดวกในการเคลื่อนย้ายก่อนที่จะนำมาติดกับเพดานอีกที โดยใช้โฟมที่มีความหนาประมาณ 1 นิ้ว ซึ่งเหตุผลที่ต้องนำโฟมมาทำการรองก่อนติดแท็กนั้น ก็เพราะว่า แท็กแบบพาสซีฟเมื่อมีโลหะหรือสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าบริเวณใกล้ๆก็จะมีผลต่อการรับ-ส่งข้อมูล ผู้ทดลองได้จึงทำการรองโฟมไว้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการรบกวนการส่งข้อมูล ซึ่งการรองด้วยโฟมนั้นอาจไม่สามารถป้องกันการรบกวนได้ทั้งหมดทีเดียว



รูปที่ 4.5 โฟลว์ชาร์ตแสดงขั้นตอนการทดลองวิจัยและพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (GUI)

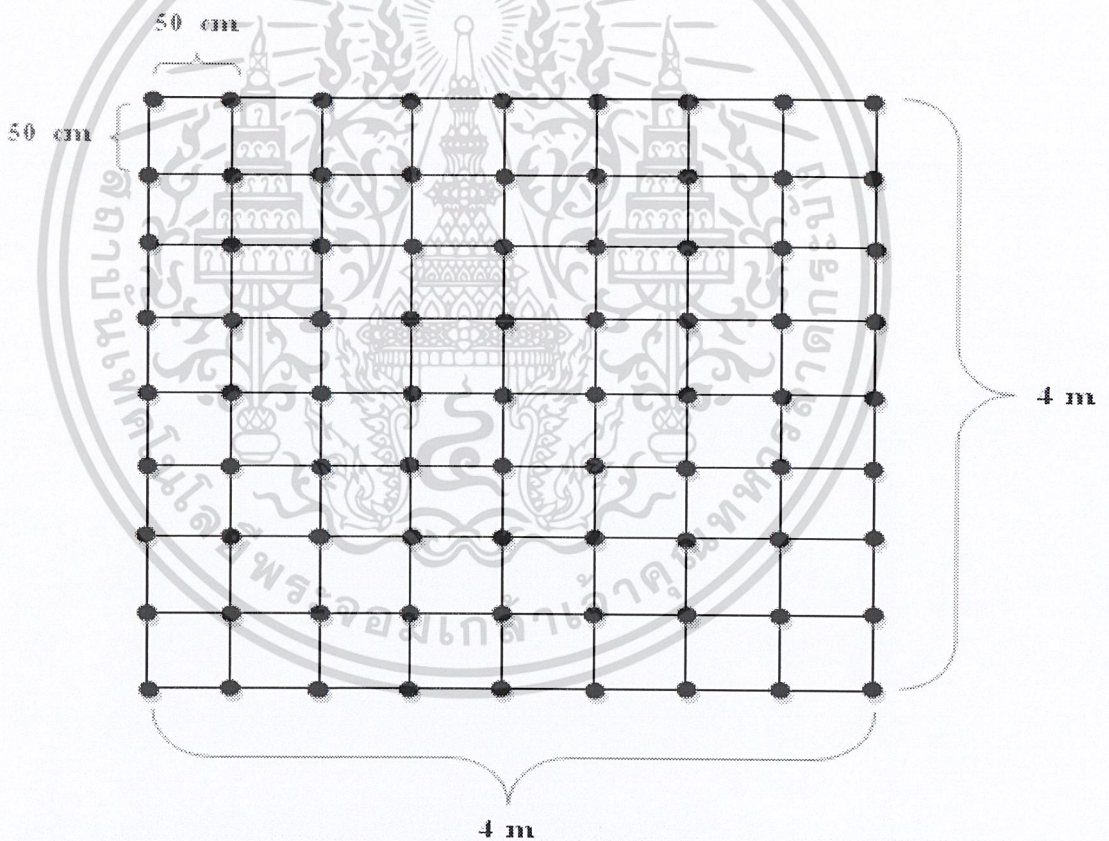
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา<sup>42</sup>จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 4.3 ขั้นตอนและรูปแบบวิธีการทดลองวิจัยในการหาตำแหน่ง

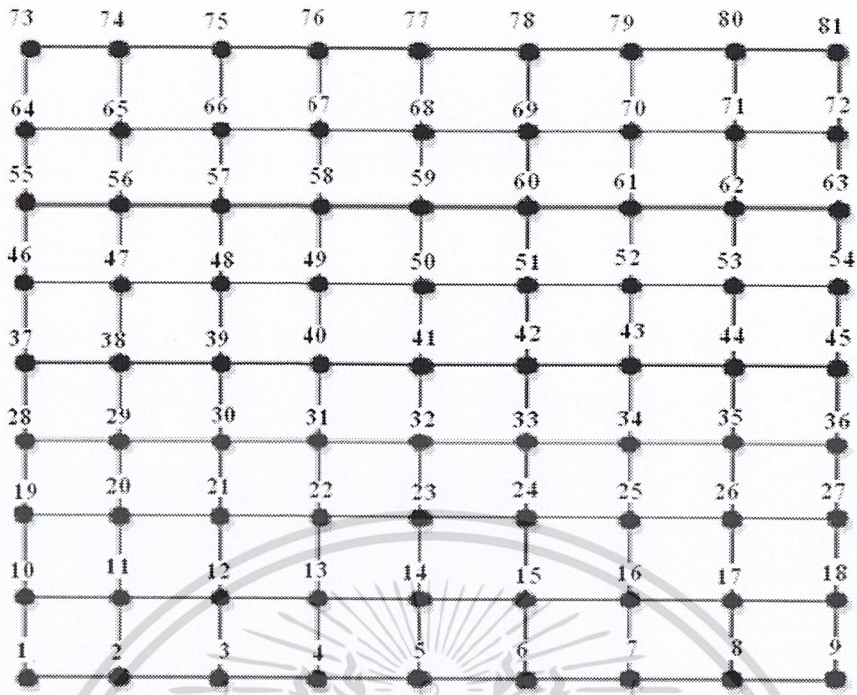
ในหัวข้อนี้จะเสนอขั้นตอนและรูปแบบวิธีการทดลองวิจัยในการหาตำแหน่ง โดยมีวิธีการดังต่อไปนี้

#### 4.3.1 การจัดเตรียมการทดลองและสภาพแวดล้อมในการทดลอง

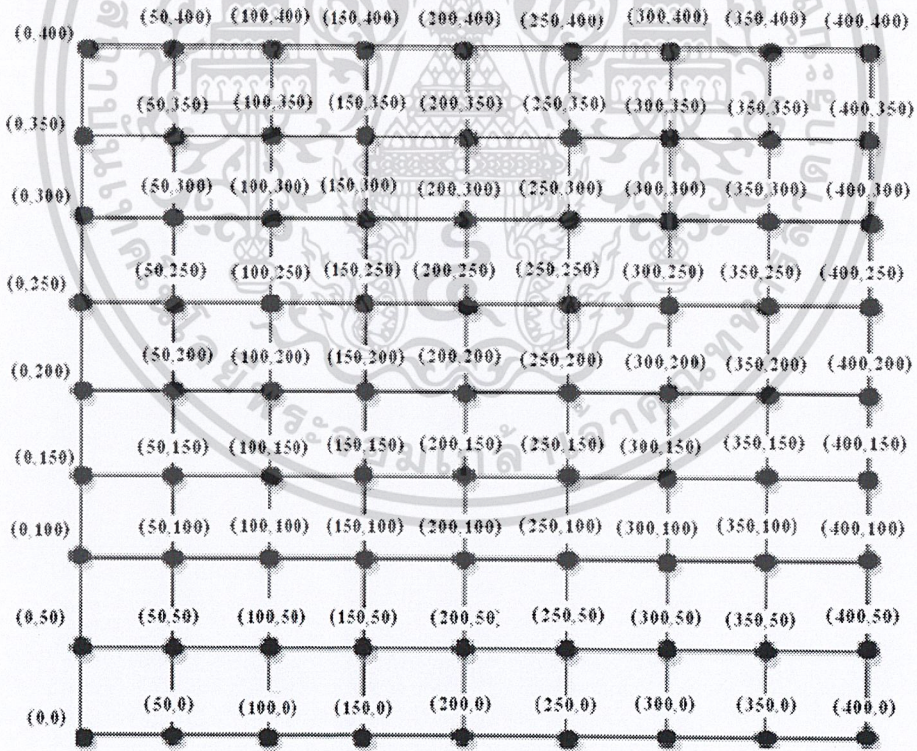
โดยขั้นแรกต้องทำการเขียนข้อมูลลงในแท็กทั้ง 81 ตัวก่อน โดยใช้เครื่อง RFID มาทำการเขียนข้อมูล (หมายเลข 1-81) ลงในแท็กทีละตัวทั้ง 81 ตัว เมื่อทำการเขียนข้อมูลลงในแท็กเรียบร้อยแล้วจึงค่อยทำการติดตั้งแท็กบนเพดาน โดยการนำโคมที่ทำการตัดขนาดใหญ่กว่าแท็กเล็กน้อยมาทำการติดรองแท็กไว้อีกทีก่อน ต่อมาจึงนำแท็กทั้ง 81 ตัวไปทำการติดไว้บนเพดาน โดยมีการจัดเรียงแท็กดังรูปที่ 4.6 (a)



รูปที่ 4.6 (a) รูปแบบการจัดเรียงแท็กทั้ง 81 ตัวในการทดลอง



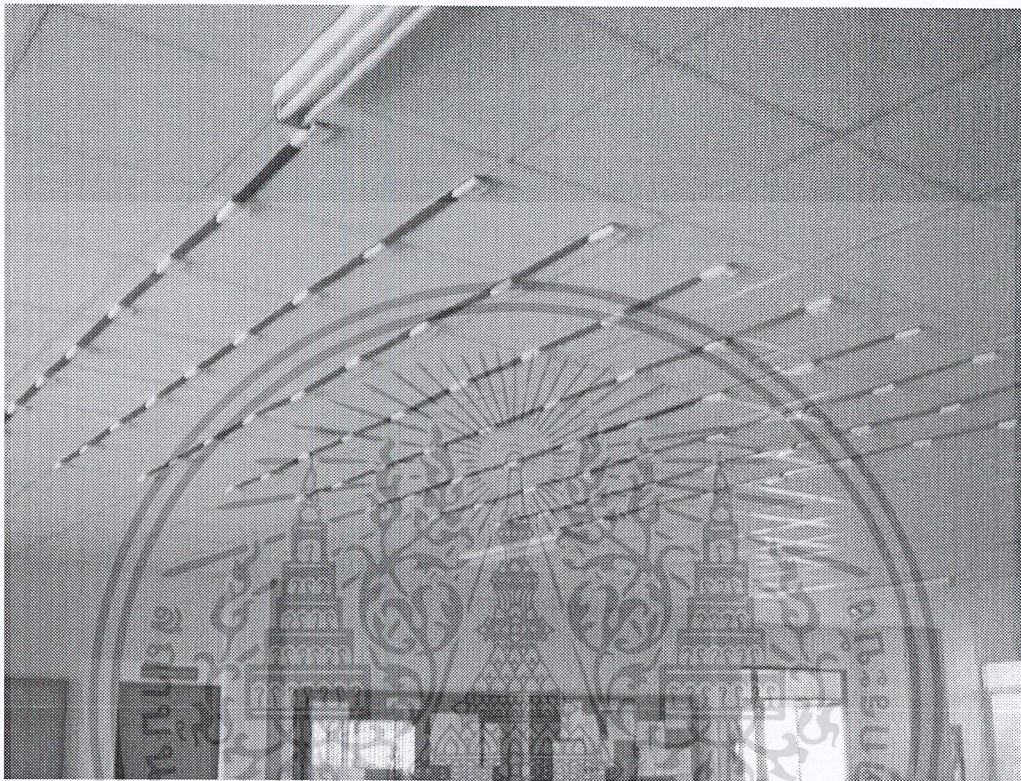
รูปที่ 4.6 (b) กำหนดหมายเลขตำแหน่งให้แก่ทั้ง 81 ตัว (1-81)



รูปที่ 4.6 (c) พิกัดของแท่งทั้ง 81 ตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา<sup>44</sup>จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 (b) และ 4.6 (c) จะเห็นว่าตำแหน่งของแท็กในรูปมีการกำหนดเป็นหมายเลข และพิกัดเพื่อให้ง่ายต่อการอ้างอิงของข้อมูลในการทดลองแต่ละครั้ง ซึ่งจะช่วยให้ง่ายต่อการดู ตำแหน่ง ณ หมายเลขต่างๆ สามารถใช้อ้างอิงเชื่อมโยงต่อการดูตำแหน่งต่างๆ ได้ง่ายขึ้น



รูปที่ 4.7 แสดงการจัดเตรียมและการติดตั้งการทดลอง

รูปที่ 4.7 แสดงการจัดเตรียมและการติดตั้งการทดลอง และรูปที่ 4.8 แสดงภาพรวมของ แท็กทุกตัวที่ติดตั้งเสร็จแล้ว เมื่อทำการติดตั้งแท็กเรียบร้อยแล้วก็จะทำการติดตั้งเครื่องอ่าน RFID เข้ากับขาตั้งกล้อง โดยเครื่องอ่านจะทำการเชื่อมต่อกับเครื่องโน้ตบุคคอมพิวเตอร์ที่ได้ทำการ ติดตั้งโปรแกรมไว้เรียบร้อยแล้ว โดยติดต่อผ่านอุปกรณ์แปลงพอร์ตอนุกรมเป็น USB เข้าทาง พอร์ต USB ของเครื่องโน้ตบุคคอมพิวเตอร์และทำการเอาไปวางไว้บนรถเข็นเพื่อให้สะดวกแก่ การเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ โดยรูปที่ 4.9 จะเป็นรูปที่แสดงเครื่องอ่าน RFID ขณะทำการอ่านแท็ก โดยตรง



รูปที่ 4.8 แสดงภาพรวมของแท็กทุกตัวที่ติดตั้งเสร็จแล้ว



รูปที่ 4.9 เครื่องอ่านขณะทำการอ่านแท็กโดยตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 46 ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

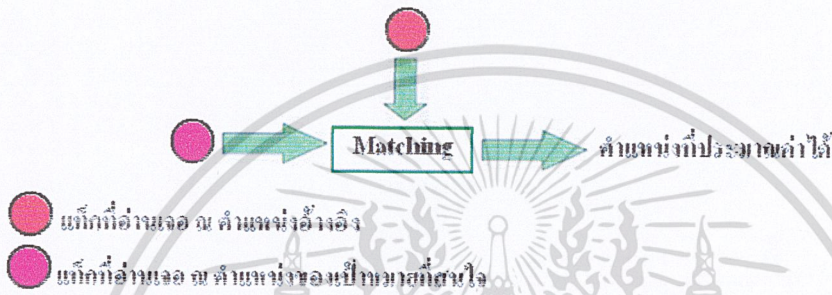
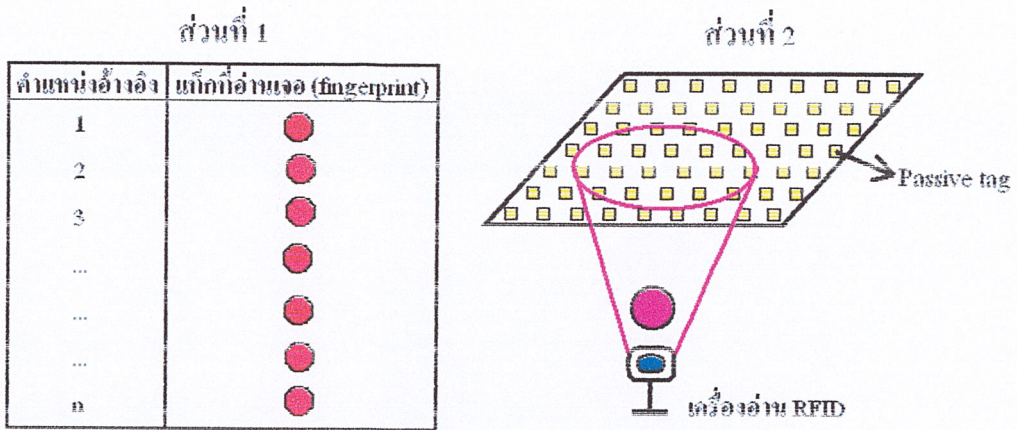
ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองบริเวณหน้าลิฟท์ชั้น 12 อาคาร 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเพดานของห้องมีความสูงจากพื้น 300 ซม. และเครื่องอ่านมีความสูงจากพื้น 120 ซม. ซึ่งกำหนดกำลังส่งของเครื่องอ่าน RFID ที่ 25 dBm เพราะกำลังส่งของเครื่องอ่าน มีผลต่อจำนวนแท็กที่ตรวจพบ ดังนั้นเราจึงต้องใช้กำลังส่งที่ไม่มากหรือน้อยเกินไป โดยใช้พื้นที่ในการหาตำแหน่ง 400×400 ซม. และใช้แท็กทั้งหมด 81 ตัว

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลองหาตำแหน่ง

รายละเอียด	ค่า
จำนวนแท็ก	81 ตัว
ความสูงของเพดานจากพื้น	300 ซม.
ความสูงของเครื่องอ่านจากพื้น	120 ซม.
กำลังส่งของเครื่องอ่าน RFID	25 dBm
พื้นที่ในการหาตำแหน่ง	400×400 ซม.
สายอากาศของแท็ก	แบบโพลาไรซ์เชิงเส้น
ย่านความถี่ของเครื่องอ่าน RFID	902-928 MHz
เสาอากาศของเครื่องอ่าน RFID	แบบโพลาไรซ์เชิงเส้น

#### 4.3.2 รูปแบบในการทดลองหาตำแหน่ง

จากที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 ถึงทฤษฎีการหาตำแหน่งแบบการวิเคราะห์บริเวณเฉพาะ (Scene Analysis) บางครั้งเรียกว่า Fingerprint ซึ่งรูปแบบในการทดลองวิจัยนี้จะแสดงได้ดังรูปที่ 4.10 โดยในส่วนที่ 1 จะทำการเก็บข้อมูลของแท็กที่เครื่องอ่านทำการตรวจเจอในแต่ละตำแหน่ง โดยในรูปแบบจะแทนด้วยสัญลักษณ์วงกลมสีแดง ซึ่งบางครั้งจะเรียกว่า Fingerprint และในส่วนที่ 2 จะเป็นขั้นตอนในการหาตำแหน่งของเป้าหมาย โดยจะนำข้อมูลของแท็กที่เครื่องอ่านทำการตรวจเจอ ณ ตำแหน่งของเป้าหมาย ซึ่งดังรูปที่ 4.10 จะแทนด้วยสัญลักษณ์วงกลมสีชมพู และนำไปทำการเปรียบเทียบกับค่าที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลในส่วนที่ 1 ด้วยอัลกอริทึมต่างๆ (ในปริยายานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการเสนออัลกอริทึมที่ใช้ในการเปรียบเทียบหาตำแหน่งของเครื่องอ่านทั้งหมด 7 อัลกอริทึมดังที่ได้เสนอในบทที่ 3) เมื่อเปรียบเทียบเสร็จแล้ว เราก็จะสามารถประมาณค่าตำแหน่งของเครื่องอ่านออกมาได้ โดยข้อมูลจะแสดงออกมาเป็นค่าของพิกัดตำแหน่งของเครื่องอ่าน



รูปที่ 4.10 รูปแบบการทดลอง

### 4.3.3 ขั้นตอนในการทดลองหาคำแทน

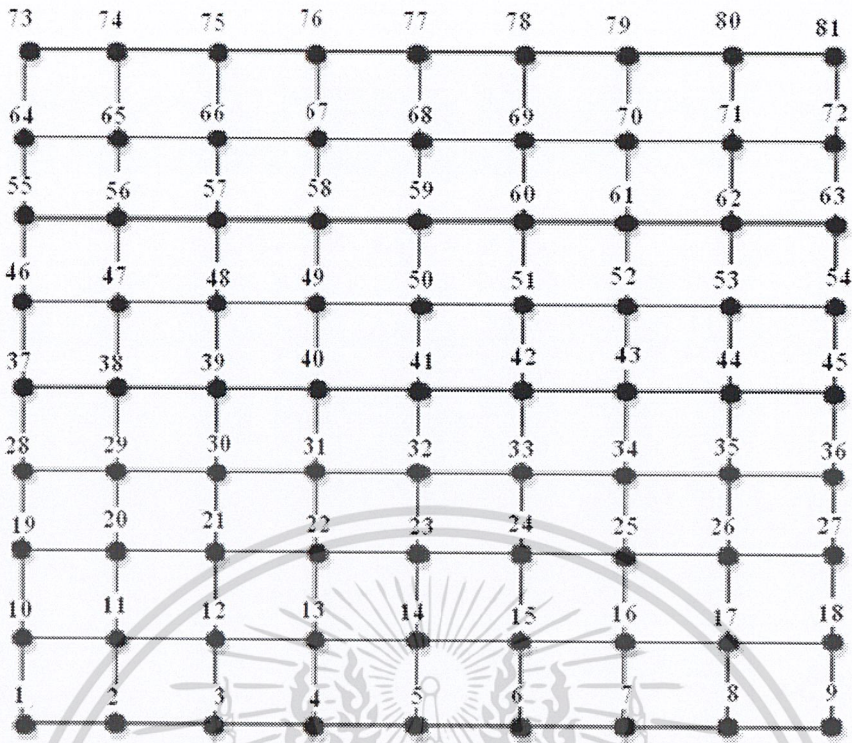
ในการทดลองหาคำแทนโดยการใช้เทคนิคการหาคำแทนแบบการวิเคราะห์บริเวณเฉพาะ (Scene Analysis) ซึ่งบางครั้งเรียกว่า Fingerprint โดยวิธีนี้จะสามารถแบ่งการทำงานได้เป็น 2 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

#### 4.3.3.1 Offline Phase หรือ Training Phase

ในการทำงานของช่วงนี้จะเป็นช่วงของการเก็บข้อมูลแท็กโดยจะทำการเก็บข้อมูลของแท็กที่เครื่องอ่านทำการตรวจเจอในแต่ละตำแหน่ง โดยจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- กำหนดตำแหน่งของ Fingerprint ที่จะทำการสำรวจเก็บไว้ในฐานข้อมูล โดยการทดลองนี้ได้กำหนดตำแหน่งของ Fingerprint ทั้งหมด 81 ตำแหน่งซึ่งแทนได้ด้วยสัญลักษณ์  $F_1, F_2, F_3, \dots, F_{81}$  ดังแสดงในตารางที่ 4.4 และจุดวงกลมสีคำ ณ ตำแหน่งต่างๆ ในรูปที่ 4.11 คือตำแหน่งของ Fingerprint ทั้ง 81 คำ

- และทำการบันทึกหมายเลขของแท็กที่พบโดยเครื่องอ่าน RFID ในทุกๆ ตำแหน่งของ Fingerprint โดยที่กลุ่มของแท็กที่ตรวจพบในขั้นตอนการ Fingerprint จะกำหนดโดยใช้อักษร  $D_1, D_2, D_3, \dots, D_{81}$  ซึ่งหมายถึง Fingerprint ที่ตำแหน่งของ Fingerprint  $F_1, F_2, F_3, \dots, F_{81}$  ซึ่งจะทำให้การทดลองซ้ำทั้งหมด 10 รอบแล้วจะนำมาหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 4.11 แท็กแบบพาสซีฟที่ติดบนเพดาน

ข้อมูลของ Fingerprint ที่สัมพันธ์กับตำแหน่งของ Fingerprint จะถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลดังจะแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางรูปแบบฐานข้อมูลของการ Fingerprint

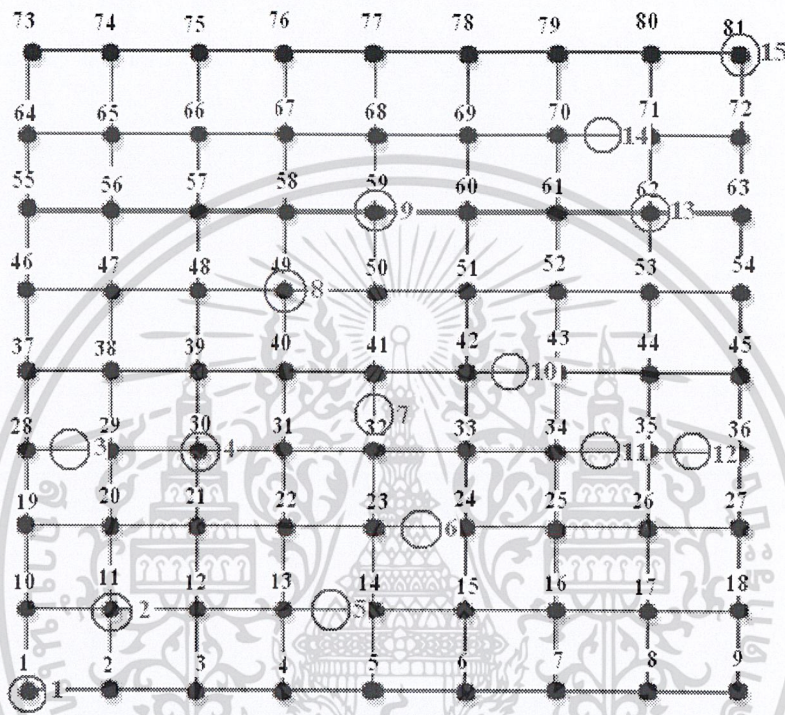
Fingerprint location	Fingerprint information
$F_1$	$D_1 = \{\text{Reference tags be detected at } F_1\}$
$F_2$	$D_2 = \{\text{Reference tags be detected at } F_2\}$
$\vdots$	$\vdots$
$F_{80}$	$D_{80} = \{\text{Reference tags be detected at } F_{80}\}$
$F_{81}$	$D_{81} = \{\text{Reference tags be detected at } F_{81}\}$

#### 4.3.3.2 Online Phase หรือ Localization Phase

ในการทำงานช่วงนี้จะเป็นช่วงของการหาตำแหน่ง โดยจะทำการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID ด้วยการอ่านข้อมูลของแท็กที่ตรวจพบ ณ ตำแหน่งที่เครื่องอ่านอยู่ขณะนั้น แล้วนำค่าแท็กที่ตรวจพบเจอไปทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้เก็บไว้ในฐานข้อมูลในช่วงแรก ด้วยเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 49. จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัลกอริทึมต่างๆ ต่อกันนั้นเมื่อเปรียบเทียบเสร็จแล้วก็จะแสดงตำแหน่งของเครื่องอ่านออกมาเป็นตัวเลขพิกัด โดยจะมีขั้นตอนการทดลองวิจัยดังต่อไปนี้

- นำเครื่องอ่าน RFID มาวางไว้ที่ตำแหน่งที่เราสนใจและเราเรียกตำแหน่งนี้ว่าตำแหน่งทดสอบ ในการทดลองนี้จะทำการทดสอบสุ่มตำแหน่งทั้งหมด 15 ตำแหน่งโดยจะใช้สัญลักษณ์วงกลมสีแดงแล้วมีตัวเลขกำกับดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ตำแหน่งที่ทำการสุ่มทดลองทั้ง 15 ตำแหน่ง

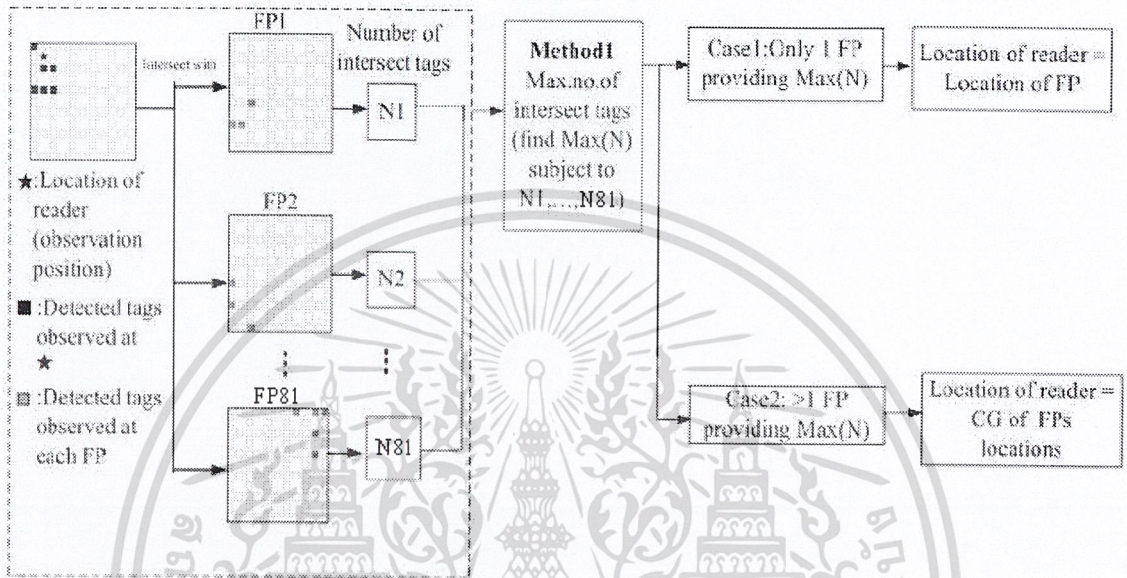
นอกจากนี้ยังได้กำหนดสัญลักษณ์  $O_1, O_2, O_3, \dots, O_{15}$  เป็นตำแหน่งทดสอบ ส่วนกลุ่มของแท็กที่พบในการทดสอบตำแหน่งจะกำหนดโดยสัญลักษณ์  $DO_1, DO_2, DO_3, \dots, DO_{15}$  ขึ้นต่อมาจะทำการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID ในแต่ละตำแหน่งทดสอบโดยในปริภูมิตวินนี้จะเสนอวิธีการหาตำแหน่งทั้งหมด 7 วิธีโดยจะขอเรียกสั้นๆว่า วิธีที่ 1, วิธีที่ 2, วิธีที่ 3 จนถึงวิธีที่ 7 ตามลำดับ

**วิธีที่ 1: Maximum Number of Intersect Tags**

วิธีนี้จะนำกลุ่มของแท็กที่พบในการทดสอบแต่ละตำแหน่ง  $DO_1, DO_2, DO_3, \dots, DO_{15}$  มาทำการเปรียบเทียบกับกลุ่มของแท็กที่พบในขั้นตอนของการ Fingerprint  $D_1, D_2, D_3, \dots, D_{81}$  โดยการอินเทอเซ็คชันแล้วแต่ละการอินเทอเซ็คชันจะได้จำนวนการอินเทอเซ็คชันของแท็กเกิดขึ้น โดยจะแทนด้วย  $N_1, N_2, N_3, \dots, N_{81}$

$$N_i = \text{Number of } DO_i \cap D_k \quad (4.1)$$

กำหนดให้  $i = 1, 2, 3, \dots, 15$  คือ เลขดัชนีของตำแหน่งที่ทดสอบทั้ง 15 ตำแหน่งและ  $k = 1, 2, 3, \dots, 81$  คือเลขของดัชนีของตำแหน่ง Fingerprint ทั้ง 81 ตำแหน่ง ต่อมาหาจำนวนที่มีการอินเทอเซกชันกันได้มากที่สุด ( $N_{\max}$ ) แล้วมาวิเคราะห์ในสองกรณีดังโพลีชาร์ตรูปที่ 4.13

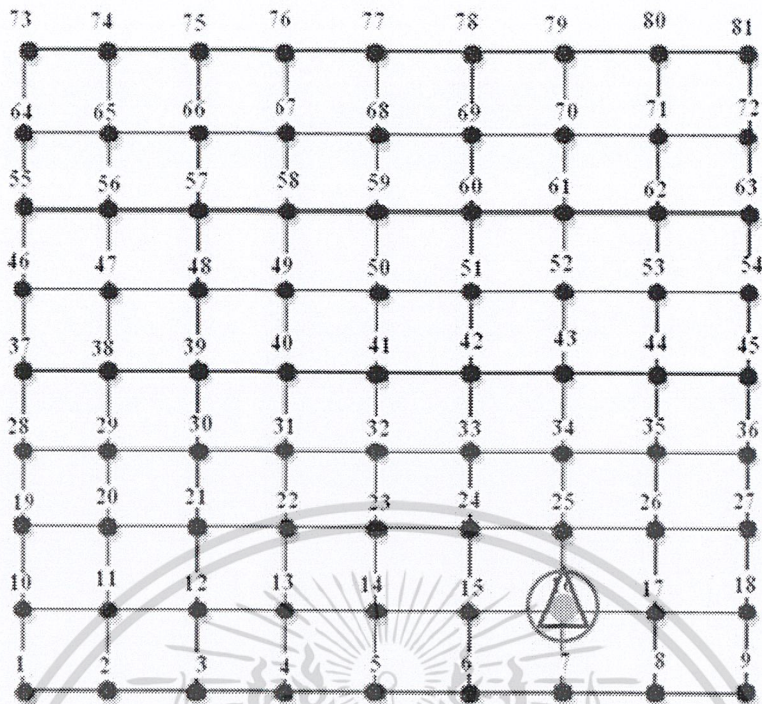


รูปที่ 4.13 โพลีชาร์ตของการเปรียบเทียบหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1 [24]

จากโพลีชาร์ตจะเห็นได้ว่าวิธีที่ 1 สามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกมาได้เป็น 2 กรณีดังนี้  
**กรณีแรก** ถ้ามีเพียง 1 Fingerprint ที่ทำให้มี  $N_{\max}$  แล้วตำแหน่งของ Fingerprint นั้นก็คือตำแหน่งของเครื่องอ่าน กำหนดให้  $LF(x, y)$  คือพิกัดของ Fingerprint ตำแหน่งของเครื่องอ่านสามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$(x_{\text{est}}, y_{\text{est}}) = LF(x, y) \quad (4.2)$$

โดย  $(x_{\text{est}}, y_{\text{est}})$  คือ ตำแหน่งของเครื่องอ่านที่ได้จากการคำนวณในที่นี้จะขอยกตัวอย่างดังต่อไปนี้



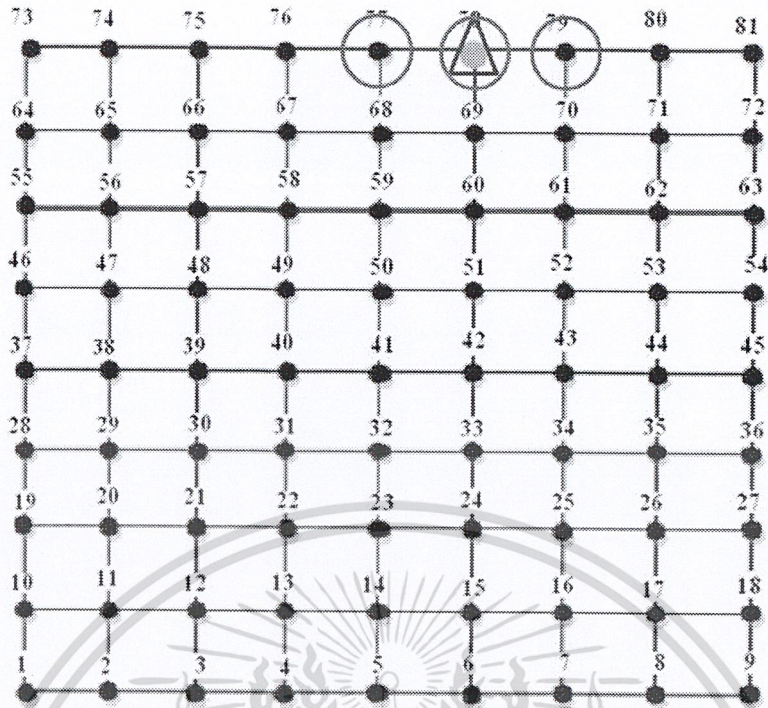
รูปที่ 4.14 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 1 กรณีที่ 1

จากรูป 4.14 สัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมจะเป็นตำแหน่งทดสอบ เมื่อได้ค่าแท็กที่ตรวจพบมาแล้วก็จะนำข้อมูลแท็กที่ตรวจพบมาทำการอินเทอเซ็คชันกันกับ Fingerprint ทั้ง 81 ค่าจะได้ค่าที่อินเทอเซ็คชันกันมากที่สุดในตัวอย่างนี้คือ  $N_{\max} = 11$  ซึ่งจะเป็นค่าของ Fingerprint ตำแหน่งที่ 16 ( $F_{16}$ ) เพราะฉะนั้นตำแหน่งของเป้าหมายที่สามารถคำนวณออกมาได้คือ ตำแหน่งที่มีสัญลักษณ์จุดวงกลมสีเขียว ( $F_{16}$ ) พิกัดคือ (300, 50) นั่นเอง

**กรณีที่สอง** ถ้ามี Fingerprint มากกว่า 1 ค่า ที่ทำให้ได้  $N_{\max}$  ตำแหน่งของเครื่องอ่านจะสามารถคำนวณได้จากจุดศูนย์กลาง Center of Gravity (CG) ของตำแหน่ง Fingerprint ซึ่งจุดศูนย์กลาง (CG) ของตำแหน่งสามารถอธิบายคร่าวๆ ได้ดังต่อไปนี้ กำหนดให้  $LF(x, y)$  คือพิกัดของ Fingerprint ในกรณีที่มี Fingerprint มากกว่า 1 เกิดขึ้น ตำแหน่งของเครื่องอ่านที่คำนวณได้จะเป็นดังสมการ

$$(x_{est}, y_{est}) = \left( \frac{LF_{1x} + LF_{2x} + \dots + LF_{nx}}{n}, \frac{LF_{1y} + LF_{2y} + \dots + LF_{ny}}{n} \right) \quad (4.3)$$

โดย  $(x_{est}, y_{est})$  คือตำแหน่งของเครื่องอ่านที่ได้จากการคำนวณ  $LF_{1x}, LF_{2x}, \dots, LF_{nx}$  คือตำแหน่ง Fingerprint ในแนวแกน x และ  $LF_{1y}, LF_{2y}, \dots, LF_{ny}$  คือตำแหน่ง Fingerprint ในแนวแกน y ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างดังต่อไปนี้

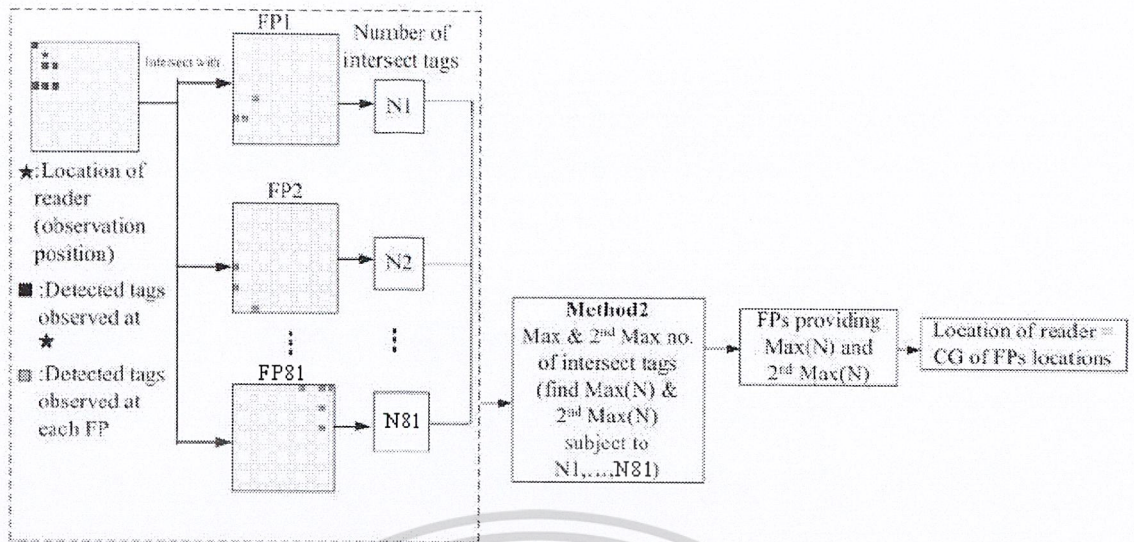


รูปที่ 4.15 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 1 กรณีที่ 2

จากรูป 4.15 สัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมจะเป็นตำแหน่งทดสอบ เมื่อได้ค่าแท็กที่ตรวจพบมาแล้วก็จะนำข้อมูลแท็กที่ตรวจพบมาทำการอินเทอเซ็คชันกันกับ Fingerprint ทั้ง 81 ค่าจะได้ค่าที่ อินเทอเซ็คชันกันมากที่สุดในตัวอย่างนี้คือ  $N_{max} = 5$  ซึ่งจะเป็นค่าของ Fingerprint ตำแหน่งที่ 77 ( $F_{77}$ ), ตำแหน่งที่ 78 ( $F_{78}$ ) และตำแหน่งที่ 79 ( $F_{79}$ ) จากในรูปคือสัญลักษณ์วงกลมสีฟ้า เพราะฉะนั้นค่าที่สามารถคำนวณออกมาได้คือ ค่าจุดศูนย์กลางถ่วง Center of Gravity (CG) ของ  $F_{77}$ ,  $F_{78}$  และ  $F_{79}$  ก็คือตำแหน่งที่มีสัญลักษณ์จุดวงกลมสีเขียวที่มีพิกัดเป็น (250, 400) นั่นเอง

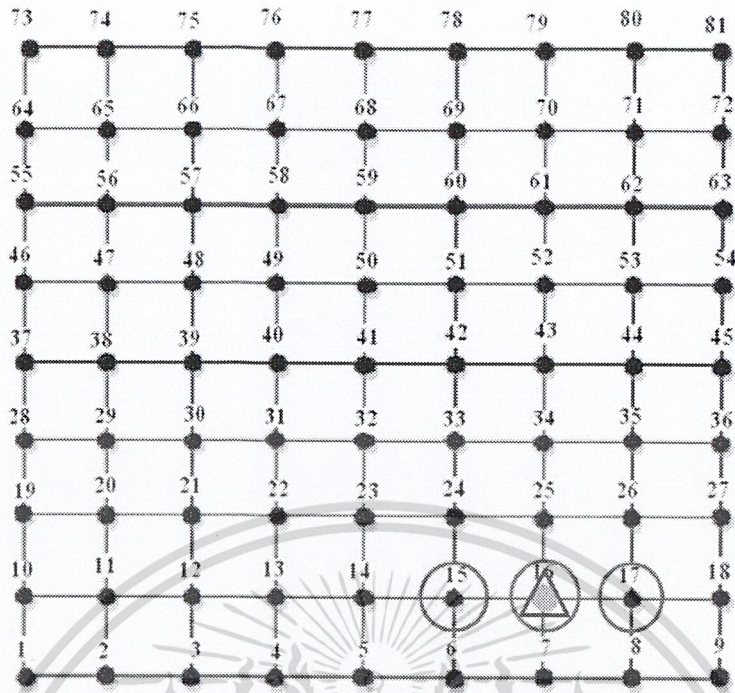
**วิธีที่ 2: Maximum and 2<sup>nd</sup> Maximum Numbers of Intersect Tags**

วิธีนี้เป็นส่วนขยายต่อมาจากวิธีที่ 1 โดยในส่วนของวิธีที่ 1 จะพิจารณาเฉพาะค่าที่อินเทอเซ็คชัน ( $N_{max}$ ) กันได้มากที่สุดเพียงอย่างเดียว แต่วิธีที่ 2 จะนำค่าอินเทอเซ็คชันที่มีค่ารองลงมา ( $N_{2nd}$ ,  $N_{max}$ ) นำมาทำการพิจารณาด้วย โดยตำแหน่งของเครื่องอ่านสามารถคำนวณได้จากวิธีจุดศูนย์กลางถ่วงของ (CG) ของตำแหน่ง Fingerprint ของแท็กที่เป็นผลจากการอินเทอเซ็คชันที่มากที่สุดกับตำแหน่งของ Fingerprint ที่มีค่ารองลงมาดังสมการที่ 4.3 ดังโพลีชาร์ตรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 โฟลว์ชาร์ตของการเปรียบเทียบหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2 [24]

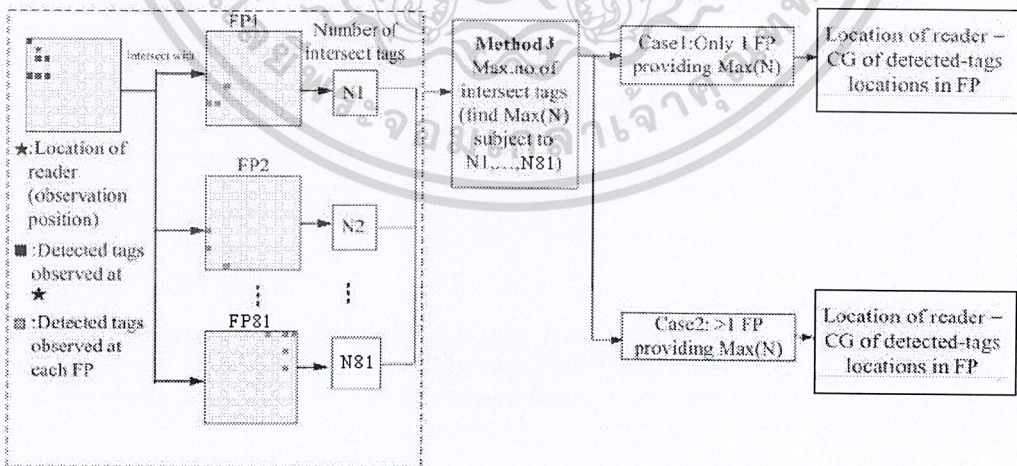
ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างดังต่อไปนี้จากรูปที่ 4.17 ให้สัญลักษณ์สามเหลี่ยมเป็นตำแหน่งทดสอบ เมื่อได้ค่าแท็กที่ตรวจพบมาแล้วก็จะนำข้อมูลแท็กที่ตรวจพบมาทำการอินเทอเซ็คชันกันกับ Fingerprint ทั้ง 81 ค่า จะได้ค่าที่อินเทอเซ็คชันกันมากที่สุดในตัวอย่างนี้คือ  $N_{\max} = 11$  ซึ่งเป็นค่าของ Fingerprint ตำแหน่งที่ 16 ( $F_{16}$ ) จากในรูปคือสัญลักษณ์วงกลมสีฟ้า และค่าอินเทอเซ็คชันค่ามากรองลงมาในตัวอย่างนี้คือ  $N_{2\text{nd-max}} = 10$  ซึ่งจะเป็นค่าของ Fingerprint ตำแหน่งที่ 15 ( $F_{15}$ ) และตำแหน่งที่ 17 ( $F_{17}$ ) จากในรูปคือสัญลักษณ์วงกลมสีแดงเพราะฉะนั้นค่าตำแหน่งที่สามารถคำนวณออกมาได้คือ ค่าจุดศูนย์กลาง Center of Gravity (CG) ของ  $F_{15}$ ,  $F_{16}$ ,  $F_{17}$  ก็คือตำแหน่งจุดวงกลมสีเขียวนั่นเอง และตำแหน่งที่ 16 ( $F_{16}$ ) ก็คือตำแหน่งจุดวงกลมสีเขียวเลย พิกัดคือ (300, 50) นั่นเอง



รูปที่ 4.17 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 2

**วิธีที่ 3: Center of Gravity of Detected-Tag Locations**

วิธีนี้จะคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องอ่านโดยวิธีการคำนวณจุดศูนย์กลางถ่วงของตำแหน่งของแท็กที่ตรวจพบจากการเปรียบเทียบโดยการอินเทอร์เซคชันกับ Fingerprint ซึ่งในการหาตำแหน่งสามารถวิเคราะห์ในสองกรณีดังโพลีชาร์ตรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 โพลีชาร์ตของการเปรียบเทียบหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3 [24]

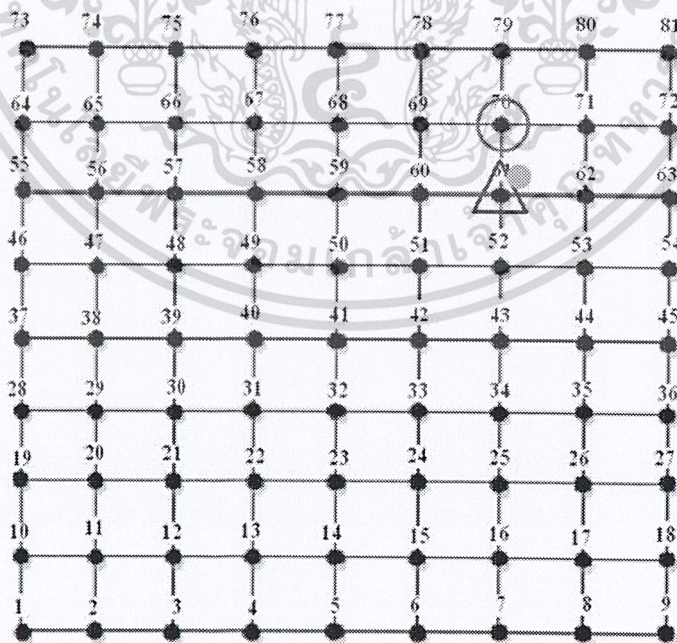
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 55 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากโพลีชาร์ตจะเห็นได้ว่าวิธีที่ 3 สามารถแบ่งการวิเคราะห์ห่อออกมาได้เป็น 2 กรณีดังนี้

**กรณีแรก** ถ้าค่าอินเทอเซ็คชันของแท็ก ณ ตำแหน่งทดสอบกับ Fingerprint (1-81) มีค่ามากที่สุดเพียงค่าเดียวคือ  $N_{max}$  ตำแหน่งของเครื่องอ่านก็สามารถคำนวณได้จาก จุดศูนย์กลางของตำแหน่งของแท็กที่ตรวจพบ ณ ตำแหน่ง Fingerprint ที่มีค่าอินเทอเซ็คชันมากที่สุด กำหนดให้  $T(x,y)$  คือพิกัดของแท็กที่ตรวจพบ ดังนั้นตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID (เป้าหมาย) สามารถคำนวณได้จากสมการนี้

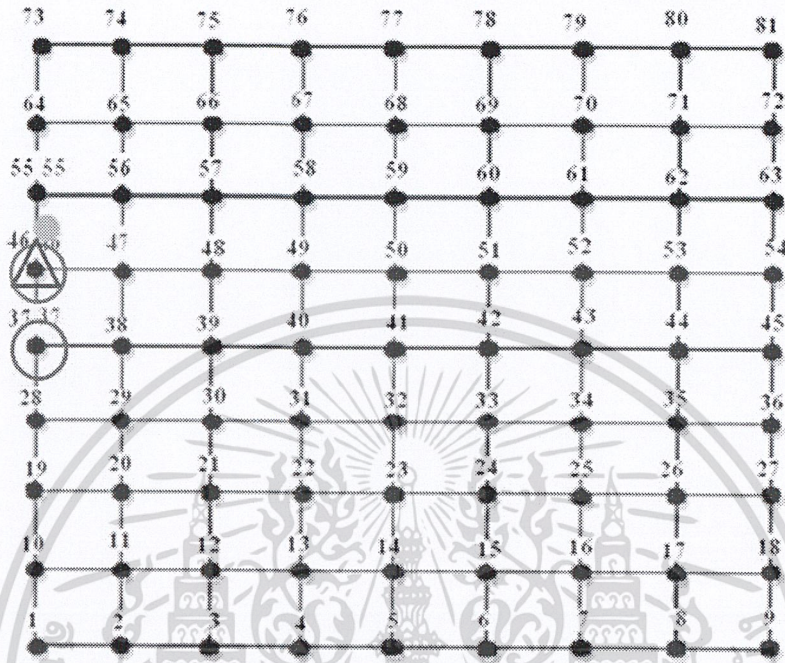
$$(x_{est}, y_{est}) = \left( \frac{T_{1x} + T_{2x} + \dots + T_{nx}}{n}, \frac{T_{1y} + T_{2y} + \dots + T_{ny}}{n} \right) \quad (4.4)$$

กำหนด  $(x_{est}, y_{est})$  คือตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ  $T_{1x}, T_{2x}, \dots, T_{nx}$  คือตำแหน่งของแท็กที่ตรวจพบในแนวแกน x และ  $T_{1y}, T_{2y}, \dots, T_{ny}$  คือตำแหน่งของแท็กที่ตรวจพบในแนวแกน y ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างดังต่อไปนี้จากรูปที่ 4.19 ให้สัญลักษณ์สามเหลี่ยมเป็นตำแหน่งทดสอบ เมื่อได้ค่าแท็กที่ตรวจพบมาแล้วก็จะนำข้อมูลแท็กที่ตรวจพบมาทำการอินเทอเซ็คชันกับ Fingerprint ทั้ง 81 ค่าจะได้ค่าที่อินเทอเซ็คชันกันมากที่สุดในตัวอย่างนี้คือ  $N_{max} = 13$  ที่ Fingerprint 70 และตำแหน่งของแท็กที่ Fingerprint 70 แสดงด้วยตัวเลขสีน้ำเงิน {42, 43, 44, 60, 61, 62, 63, 70, 71, 78, 79, 80, 81} โดยจะคำนวณตำแหน่งของเป้าหมายได้จากสมการที่ 4.4 ซึ่งตำแหน่งที่ประมาณค่าได้จะอยู่ที่พิกัด (319.23, 315.38) ซึ่งแทนด้วยจุดสีเขียวในรูป 4.19



รูปที่ 4.19 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 3 กรณีที่ 1

กรณีสอง ในกรณีนี้จะคิดในกรณีที่มีทั้งค่าอินเทอเซ็คชันของแท็กที่ตรวจพบมากที่สุดมีมากกว่าหนึ่งค่า ตำแหน่งของเครื่องอ่าน สามารถคำนวณได้จากจุดศูนย์กลางถ่วงของตำแหน่งของแท็กที่ตรวจพบ ณ ตำแหน่ง Fingerprint ทั้งหมด ที่มีค่าอินเทอเซ็คชันมากที่สุดโดยใช้สมการที่ 4.4

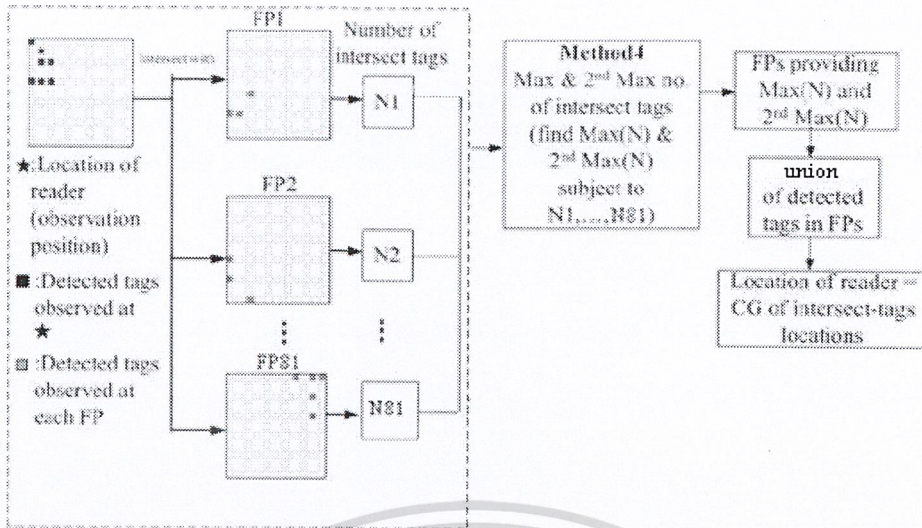


รูปที่ 4.20 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 3 กรณีที่ 2

ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างดังต่อไปนี้จากรูปที่ 4.20 สัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมจะเป็นตำแหน่งทดสอบ เมื่อได้ค่าแท็กที่ตรวจพบมาแล้วก็จะนำข้อมูลแท็กที่ตรวจพบมาทำการอินเทอเซ็คชันกันกับ Fingerprint ทั้ง 81 ค่า จะได้ค่าที่อินเทอเซ็คชันกันมากที่สุดในตัวอย่างนี้คือ  $N_{max} = 4$  ซึ่งจะเป็นค่าของ Fingerprint ตำแหน่งที่  $F_{37}, F_{46}$  ซึ่งสมาชิกของ  $F_{37}$  คือ  $\{37, 46, 47, 55\}$  แสดงในรูป 4.20 ด้วยตัวเลขสีแดงและ  $F_{46}$  คือ  $\{37, 46, 55, 56\}$  แสดงในรูป 4.20 ด้วยตัวเลขสีน้ำเงิน เพราะฉะนั้นค่าตำแหน่งที่สามารถคำนวณออกมาได้คือ ค่าจุดศูนย์กลางถ่วง Center of Gravity (CG) ของ  $\{37, 37, 46, 46, 47, 55, 55, 56\}$  ก็คือพิกัด  $(6.25, 256.25)$  ตำแหน่งจุดสีเขียวในรูป 4.20 นั่นเอง

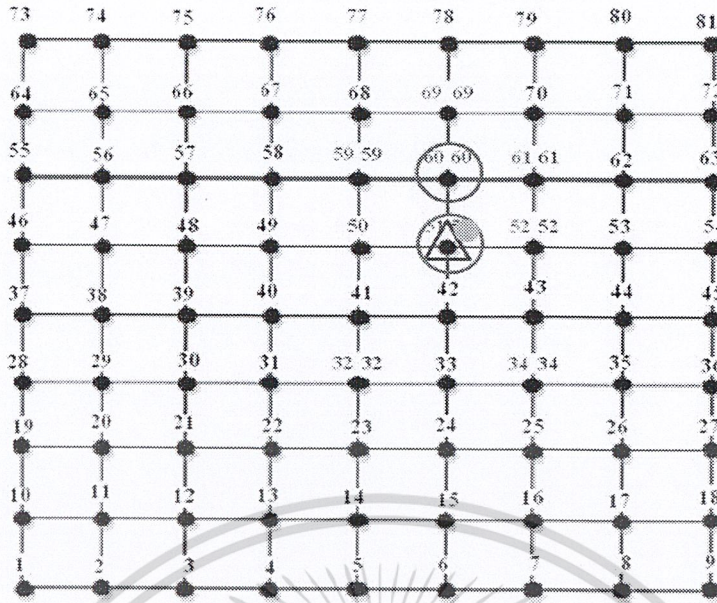
**วิธีที่ 4: Center of Gravity of Maximum and 2<sup>nd</sup> Detected-Tag Locations**

วิธีนี้จะคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน โดยวิธีการคำนวณจุดศูนย์กลางถ่วงของตำแหน่งของแท็กที่ตรวจพบจากการเปรียบเทียบกับ Fingerprint (1-81) โดยการนำค่าอินเทอเซ็คชันมากที่สุด ( $N_{max}$ ) และรองลงมา ( $N_{2nd-max}$ ) คำนวณดังสมการที่ 4.4 ซึ่งในการหาตำแหน่งสามารถวิเคราะห์ในโพลีชาร์ตรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 โพลีชาร์ตของการเปรียบเทียบหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 4 [24]

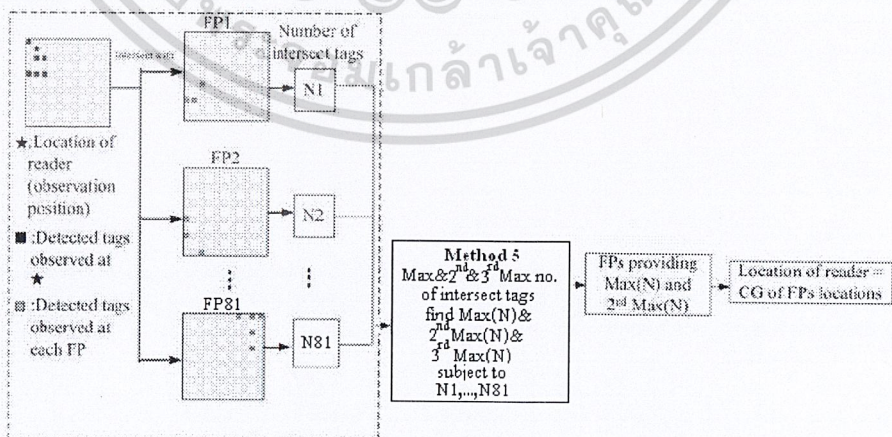
ในรูปที่ 4.22 สัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมจะเป็นตำแหน่งทดสอบ เมื่อได้ค่าแท็กที่ตรวจพบมาแล้วก็จะนำข้อมูลแท็กที่ตรวจพบมาทำการอินเทอเซ็คชันกันกับ Fingerprint ทั้ง 81 ค่าจะได้ค่าที่ อินเทอเซ็คชันกันมากที่สุดในตัวอย่างนี้คือ  $N_{\max} = 11$  ซึ่งจะเป็นค่าของ Fingerprint ตำแหน่งที่  $F_{51}$  ซึ่งสมาชิกของ  $F_{51}$  คือ {32, 34, 50, 51, 52, 54, 59, 60, 61, 69, 77} แสดงในรูป 4.22 ด้วยตัวเลขสีน้ำเงิน และค่าที่อินเทอเซ็คชันกันมากรองลงมาอันดับ 2 คือตำแหน่งที่  $F_{60}$  มีค่า  $N_{2\text{nd-max}} = 8$  คือ {32, 34, 51, 52, 59, 60, 61, 69} แสดงในรูป 4.22 ด้วยตัวเลขสีแดง เพราะฉะนั้นค่าตำแหน่งที่สามารถคำนวณออกมาได้คือ ค่าจุดศูนย์กลาง Center of Gravity (CG) ของ {32, 32, 34, 34, 50, 51, 51, 52, 52, 54, 59, 59, 60, 60, 61, 61, 69, 69, 77} ก็คือพิกัด (257.9, 263.16) ตำแหน่งจุดสีเขียวในรูป 4.22 นั่นเอง



รูปที่ 4.22 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 4

วิธีที่ 5: 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> Maximum Numbers of Intersect Tags

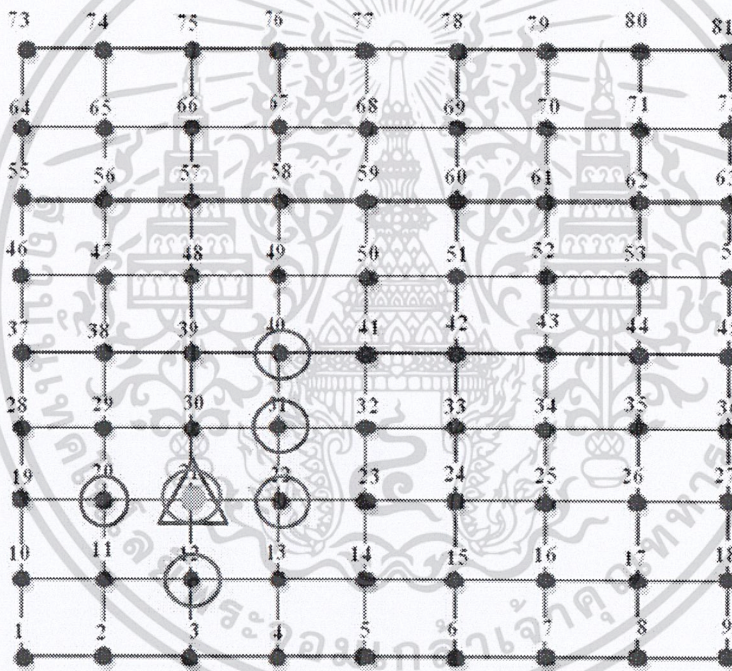
วิธีนี้เป็นส่วนขยายต่อมาจากวิธีที่ 2 โดยในส่วนของวิธีที่ 2 จะพิจารณาเฉพาะค่าที่อินเทอร์เซกชันกันได้มากที่สุดและค่าอินเทอร์เซกชันรองลงมาอันดับสองแต่ วิธีที่ 5 จะนำค่าอินเทอร์เซกชันที่มีค่ารองลงมาอันดับสามนำมาทำการพิจารณาด้วย โดยวิธีจุดศูนย์กลาง (CG) ของตำแหน่ง Fingerprint ที่เป็นผลจากการอินเทอร์เซกชันที่มากที่สุด รองลงมาอันดับสองและรองลงมาอันดับสาม ก็คือตำแหน่งของเครื่องอ่าน สามารถคำนวณออกมาได้ดังสมการที่ 4.3 ดังโพลีชาร์ตรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 โพลีชาร์ตของการเปรียบเทียบหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 5 [24]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 59 ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างดังต่อไปนี้จากรูปที่ 4.24 ให้สัญลักษณ์สามเหลี่ยมเป็นตำแหน่งทดสอบ เมื่อได้ค่าเท็ทที่ตรวจพบมาแล้วก็จะนำข้อมูลเท็ทที่ตรวจพบมาทำการอินเทอเซ็คชันกันกับ Fingerprint ทั้ง 81 ค่าจะได้ค่าที่อินเทอเซ็คชันกันมากที่สุดในตัวอย่างนี้คือ  $N = 12$  ซึ่งจะเป็นค่าของ Fingerprint ตำแหน่งที่ 21 ( $F_{21}$ ) จากในรูปคือสัญลักษณ์วงกลมสีฟ้า ต่อมาค่าการอินเทอเซ็คชันค่ามากรองลงมาอันดับสอง ในตัวอย่างนี้คือ  $N_{2nd-max} = 7$  ซึ่งจะเป็นค่าของ Fingerprint ตำแหน่งที่ 12 ( $F_{12}$ ), 22 ( $F_{22}$ ) จากในรูปคือสัญลักษณ์วงกลมสีแดง และค่าอินเทอเซ็คชันค่ามากรองลงมาอันดับสามในตัวอย่างนี้คือ  $N_{3rd-max} = 6$  ซึ่งจะเป็นค่าของ Fingerprint ตำแหน่งที่ 20 ( $F_{20}$ ), 31 ( $F_{31}$ ), 40 ( $F_{40}$ ) จากในรูปคือสัญลักษณ์วงกลมสีม่วงเพราะฉะนั้นค่าตำแหน่งที่สามารถคำนวณออกมาได้คือ ค่าจุดศูนย์กลางถ่วง Center of Gravity (CG) ของ  $F_{12}$ ,  $F_{20}$ ,  $F_{21}$ ,  $F_{22}$ ,  $F_{31}$ ,  $F_{40}$  ก็คือตำแหน่งพิกัด (100, 100) หรือตำแหน่ง Fingerprint ที่ 16 ( $F_{16}$ ) รูปจุดวงกลมสีเขียวนั่นเอง

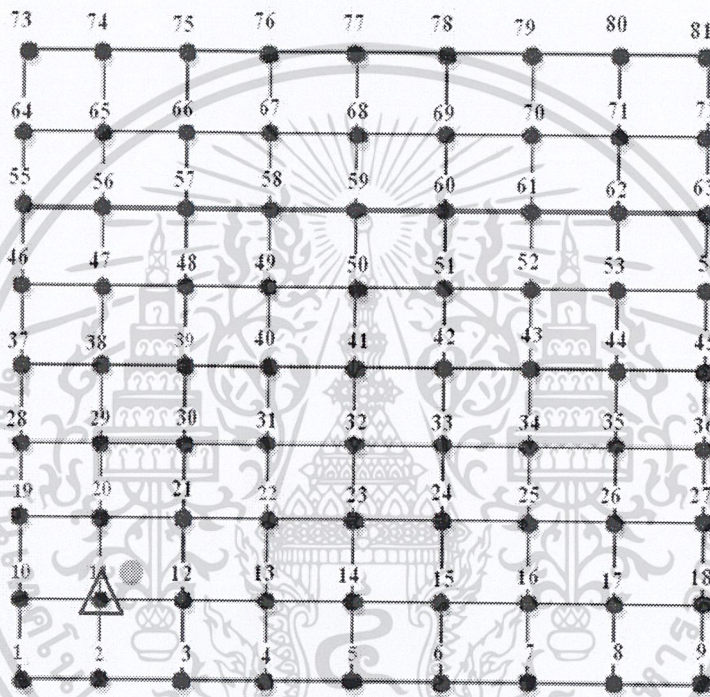


รูปที่ 4.24 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 5

### วิธีที่ 6: Calculating the Center of Gravity of Detected Tags

วิธีนี้จะเป็นการนำแท็กที่ตรวจพบที่ตำแหน่งทดสอบนำมาหาค่าเฉลี่ยได้เลย โดยจะคำนวณจากสมการที่ 4.4 ก็จะสามารถประมาณค่าตำแหน่งของเครื่องอ่านได้

ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างในรูปที่ 4.25 จะเป็นการหาตำแหน่งของเป้าหมายที่ตำแหน่งของ Fingerprint ตำแหน่งที่ 11 ( $F_{11}$ ) ซึ่งแท็กที่ตรวจพบ ณ ตำแหน่ง Fingerprint ที่ 11 มีทั้งหมด 9 ตำแหน่งคือ (1, 2, 5, 10, 11, 19, 20, 22, 39) แสดงด้วยตัวเลขสีแดงและนำตำแหน่งที่ได้ไปคำนวณหาตำแหน่งของเป้าหมายได้พิกัดที่ (72.22, 66.66) ซึ่งแสดงด้วยจุดสีเขียวในรูปที่ 4.25

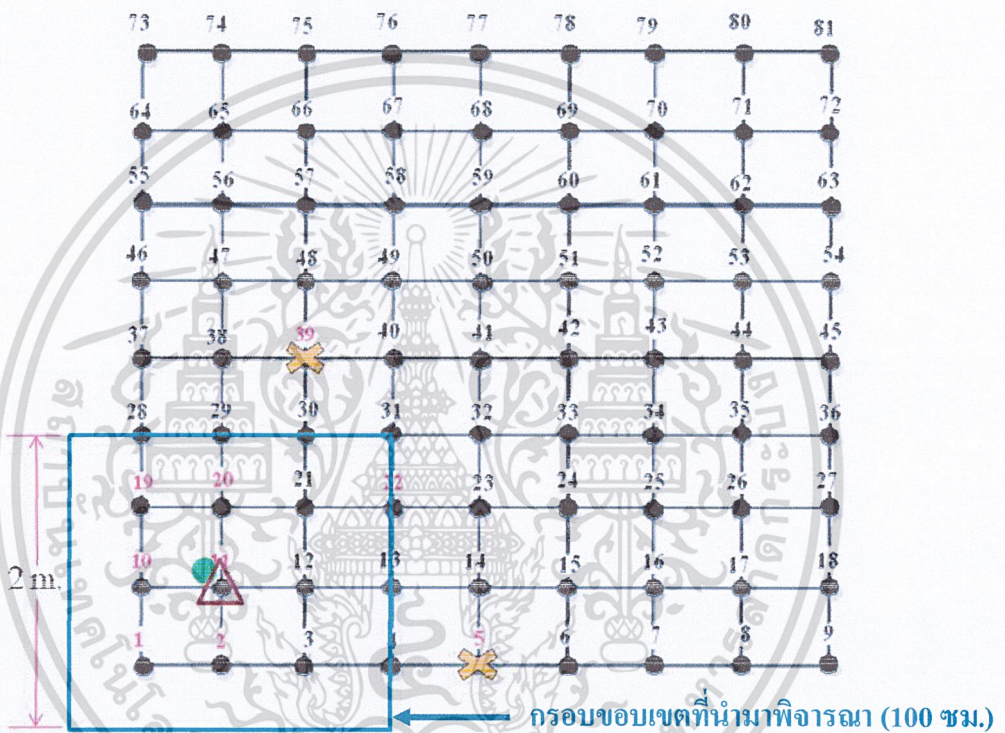


รูปที่ 4.25 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 6

### วิธีที่ 7: Clustering Method

วิธีนี้จะเป็นการประยุกต์มาจากวิธีที่ 6 โดยที่วิธีที่ 6 นั้นจะนำแท็กที่ตรวจพบที่ตำแหน่งทดสอบทุกตำแหน่งนำมาหาค่าเฉลี่ยเลย แต่วิธีนี้เราจะสนใจเฉพาะแท็กที่ตรวจพบบริเวณใกล้เคียงกับตำแหน่งทดสอบ โดยผู้ทดลองได้กำหนดบริเวณไว้ที่ 100 ซม. จากตำแหน่งทดสอบและถ้าเครื่องอ่านตรวจพบแท็กนอกเหนือบริเวณที่กำหนดไว้ ก็จะไม่นำมาพิจารณา โดยตำแหน่งที่ประมาณค่าได้ของเครื่องอ่านจะคำนวณจากสมการที่ 4.4

ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างในรูปที่ 4.26 จะเป็นการหาดำแหน่งของเป้าหมาย ที่ตำแหน่งของ Fingerprint ตำแหน่งที่ 11 ( $F_{11}$ ) ซึ่งแท้กที่ตรวจพบ ณ ตำแหน่ง Fingerprint ที่ 11 มีทั้งหมด 9 ตำแหน่งคือ (1, 2, 5, 10, 11, 19, 20, 22, 39) แสดงด้วยตัวเลขสีแดง และกรอบสี่เหลี่ยมสีน้ำเงินคือ ขอบเขตที่นำมาพิจารณา โดยตำแหน่งที่ไม่นำมาพิจารณาเพราะอยู่นอกเหนือบริเวณที่สนใจ (จาก จุดทดสอบ 100 ซม.) มีทั้งหมด 2 ตำแหน่งคือ ตำแหน่งที่ 5 และ 39 ดังนั้นตำแหน่งที่อยู่ในบริเวณ ที่พิจารณามีทั้งหมด 7 ตำแหน่งแล้วนำไปคำนวณหาตำแหน่งของจุดทดสอบจากสมการที่ 4.4 ซึ่ง ได้พิกัดของตำแหน่งทดสอบ (42.85, 57.14) แสดงด้วยจุดสีเขียวในรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 7

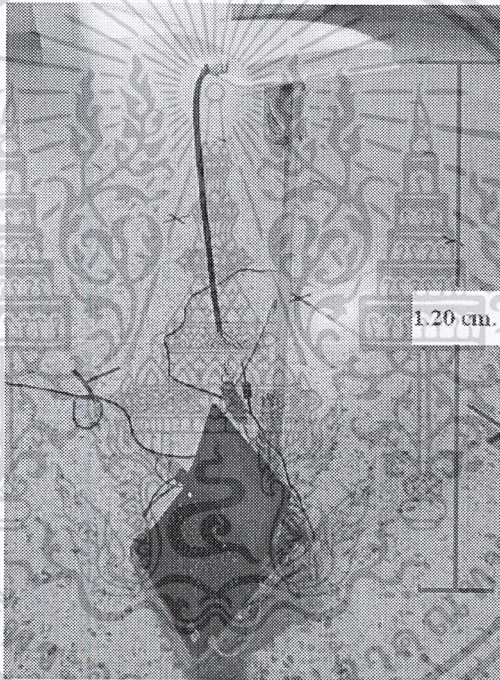
## ส่วนที่ 2

เป็นการนำเอาอัลกอริทึมที่เหมาะสมมาพัฒนาหาตำแหน่งของเป้าหมายแบบเคลื่อนที่ และทำการพัฒนาในส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้งาน (GUI) เพื่อให้เกิดความสะดวกสบายแก่ผู้ใช้งานมากขึ้นต่อไป

### 4.4 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัยเพิ่มเติม (ส่วนที่ 2)

#### - ตัวหุ่นยนต์ทดสอบการเคลื่อนที่ ER1

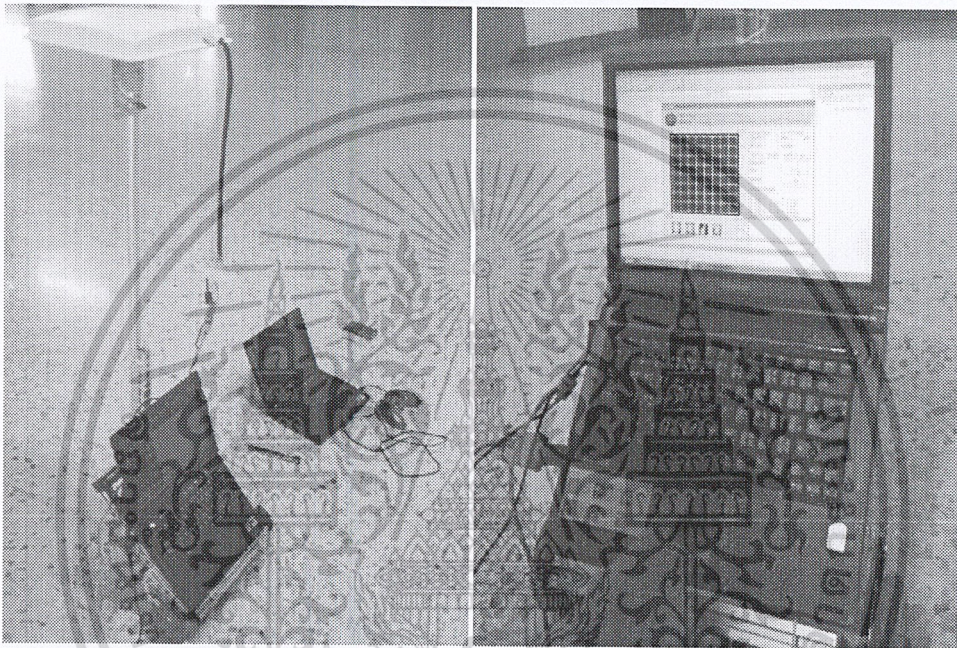
ในการทดลองครั้งนี้ได้มีการนำเอาตัวหุ่นยนต์ทดสอบการเคลื่อนที่ ER1 มาดัดแปลงเพิ่มเติมเพื่อที่จะใช้ในการเคลื่อนที่ได้ในส่วนของการยึดติดกับอุปกรณ์เช่น เครื่องอ่าน RFID ให้ได้ความสูงที่พอดีกับการทดลองในส่วนที่หนึ่ง (120 ซม.) ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 หุ่นยนต์ทดสอบการเคลื่อนที่ ER1 ที่ได้ดัดแปลงเพิ่มเติมแล้ว

### - เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ทดสอบ

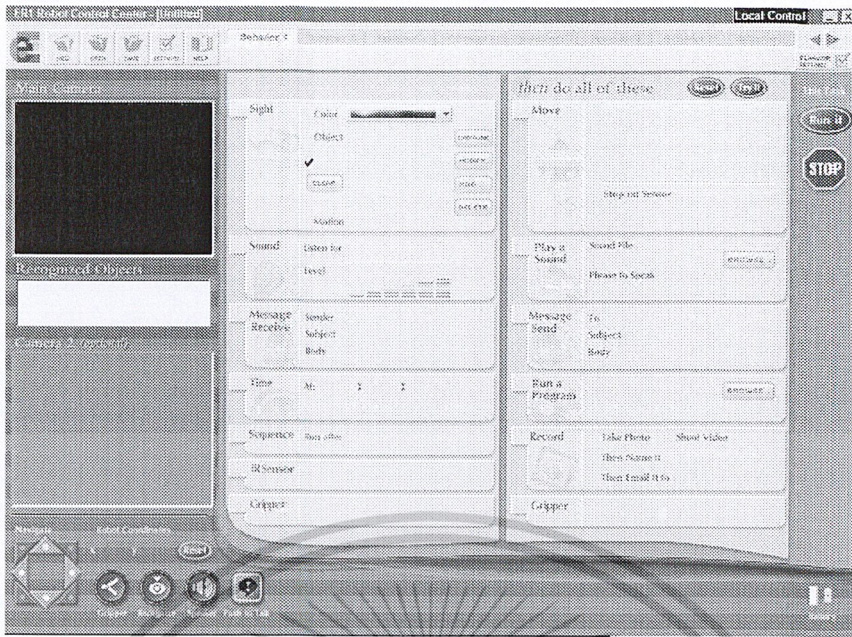
ใช้เครื่อง โน้ตบุคคอมพิวเตอร์ยี่ห้อ DELL จำนวน 2 ตัวซึ่งมีขนาดค่อนข้างเล็กเหมาะกับตัวหุ่นยนต์ทดสอบการเคลื่อนที่ ER1 โดยตัวแรกจะวางไว้บนตัวหุ่นยนต์ทดสอบเพื่อที่จะใช้ในการอ่านค่าตำแหน่งเป้าหมายต่างๆ ส่วนตัวที่สองจะติดต่อกับ Joy Stick เพื่อที่จะใช้ในการบังคับให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปทางทิศต่างๆ ตามที่กำหนด ซึ่งคอมพิวเตอร์ทั้งสองตัวจะมีโปรแกรมที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างกันในการบังคับการเคลื่อนที่ดังรูปที่ 4.28



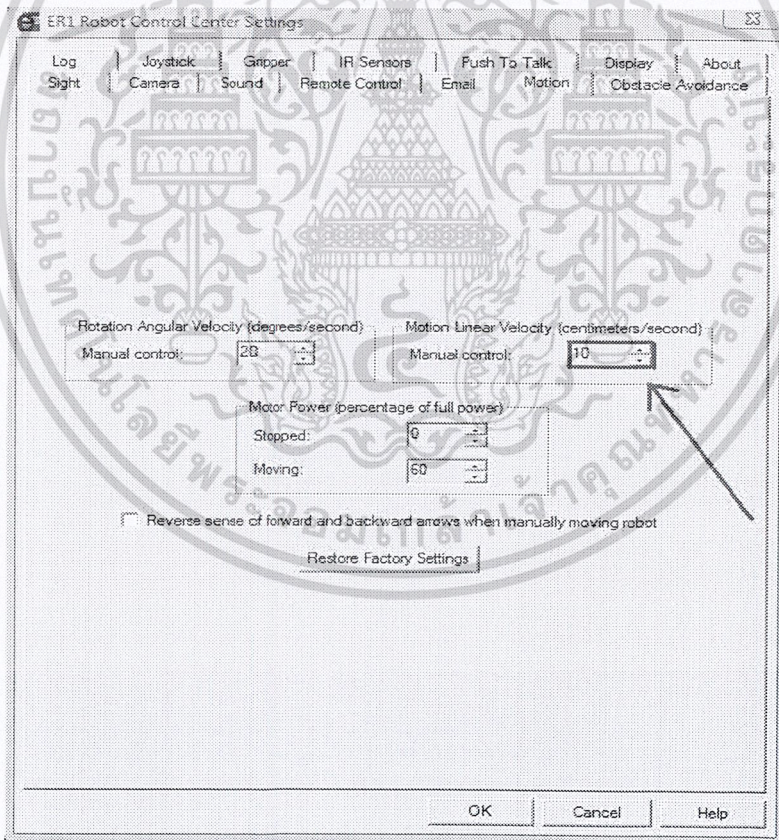
รูปที่ 4.28 โน้ตบุคคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างกัน เพื่อใช้ในการบังคับการเคลื่อนที่

### - ER1 Robot Control Center

เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ ER1 ดังรูปที่ 4.29 โดยได้เข้าไปตั้งค่าความเร็วของหุ่นยนต์ที่ใช้ในการเคลื่อนที่ให้มีความเร็วที่ 0.1 เมตร/วินาที ดังรูปที่ 4.30



รูปที่ 4.29 โปรแกรมที่ใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ ER1

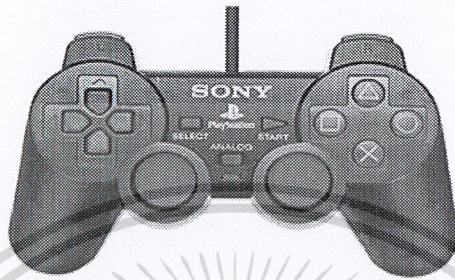


รูปที่ 4.30 แสดงการตั้งค่าความเร็วหุ่นยนต์ที่ 0.1 เมตร/วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 65 จะต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## - Joy Stick

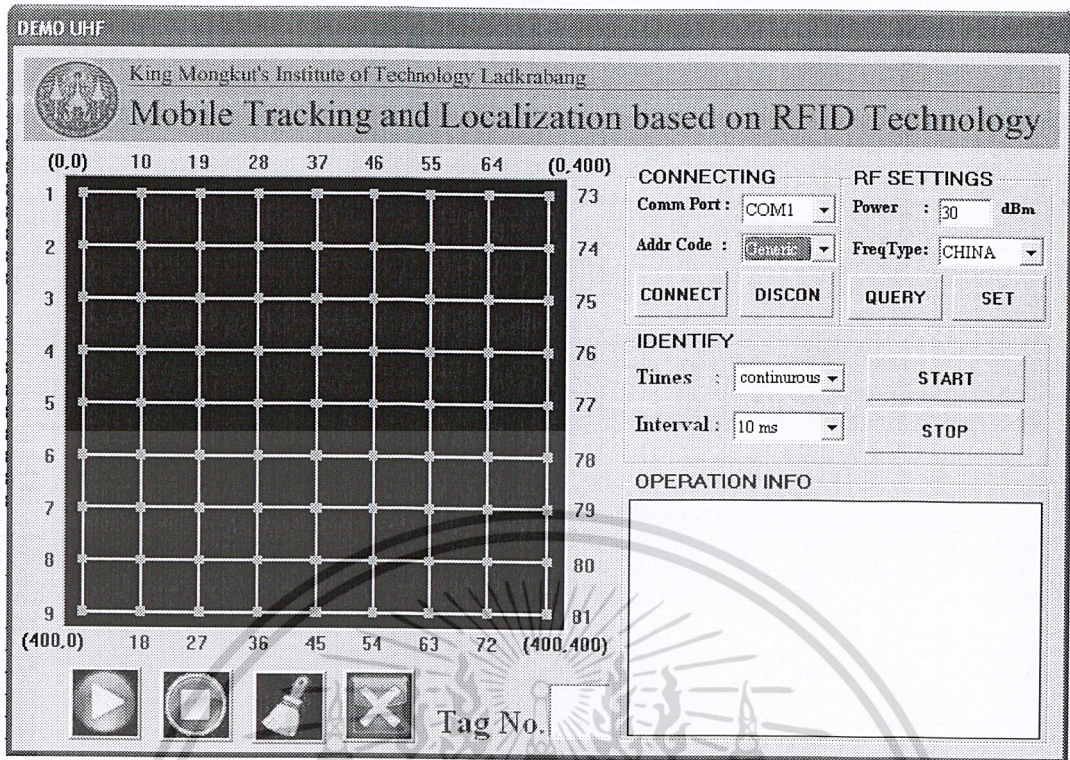
ใช้ในการบังคับทิศทางเคลื่อนที่ในการควบคุมหุ่นยนต์ทดสอบ ER1 ให้เดินไปในทิศทางต่างๆตามที่เรากำหนด เช่น ทิศซ้าย ทิศขวา ข้างหน้า ข้างหลัง หรือเดินเฉียง เป็นต้นดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 Joy Stick ใช้บังคับทิศทางหุ่นยนต์

### 4.5 ขั้นตอนและรูปแบบวิธีการทดลองวิจัยในการหาตำแหน่งของเป้าหมายแบบเคลื่อนที่

จากที่ได้กล่าวไปแล้วในส่วนแรกถึงทฤษฎีการหาตำแหน่งแบบการวิเคราะห์บริเวณเฉพาะ (Scene Analysis) ซึ่งบางครั้งเรียกว่า Fingerprint นั้นจะต้องมีการเก็บค่าของสัญญาณก่อนแล้วจึงค่อยมีการนำสัญญาณที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ต้องการค้นหาตำแหน่งโดยใช้อัลกอริทึมในการเปรียบเทียบทั้งหมด 7 อัลกอริทึม ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบพบว่าวิธีที่ 1 Maximum Number of Intersect Tags มีค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่ได้จากการหาตำแหน่งของเป้าหมายน้อยที่สุด ดังนั้นเราจึงได้นำวิธีการดังกล่าวมาใช้ เพื่อพัฒนาหาตำแหน่งของเป้าหมายแบบเคลื่อนที่และทำการพัฒนาโปรแกรมเพื่อติดต่อกับผู้ใช้งาน

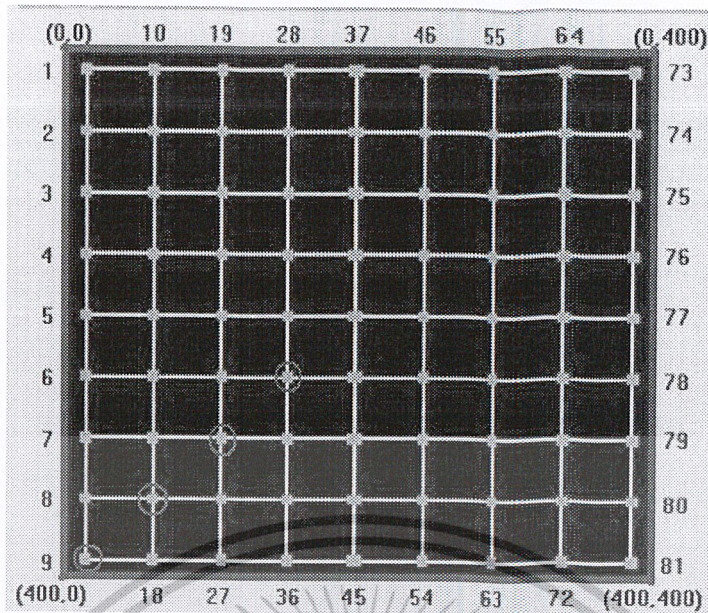


รูปที่ 4.32 แสดงโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นเพื่อใช้ติดต่อกับผู้ใช้งาน

รายละเอียดในส่วนต่างๆของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

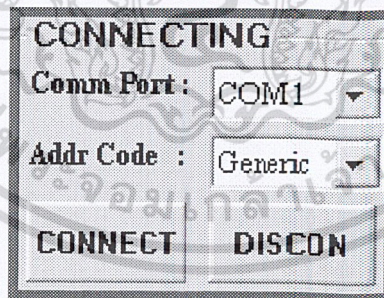
- หน้าจอแสดงผล

เป็น ส่วนที่แสดงตำแหน่งของเป้าหมาย ซึ่งจากรูปที่ 4.33 จะเห็นได้ว่าจุดสีเขียวที่บ่งชี้แสดงถึงตำแหน่งของ Fingerprint ณ ตำแหน่งต่างๆทั้ง 81 จุดและวงกลมสีแดงแสดงให้เห็นเมื่อตำแหน่งของเป้าหมายเคลื่อนที่ไป ณ ตำแหน่งต่างๆ



รูปที่ 4.33 หน้าจอแสดงผลการเคลื่อนที่ ณ ตำแหน่งต่างๆ

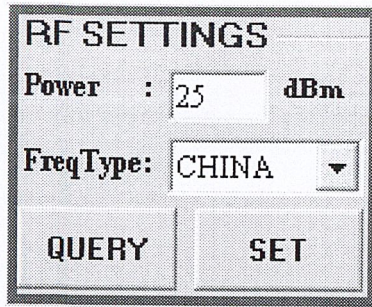
- ส่วนของการติดต่อ **Connecting** ดังรูปที่ 4.34 แบ่งออกเป็น
  - Comm Port เป็นส่วนที่ใช้ในการเลือก port ที่ใช้ในการเชื่อมต่อ
  - Addr Code เป็นประเภทของโค้ดที่ใช้ในการเชื่อมต่อ
  - Connect เป็นปุ่มที่ใช้ในการเชื่อมต่อ
  - Discon เป็นปุ่มที่ใช้ยกเลิกการเชื่อมต่อ



รูปที่ 4.34 การติดต่อในส่วน Connecting

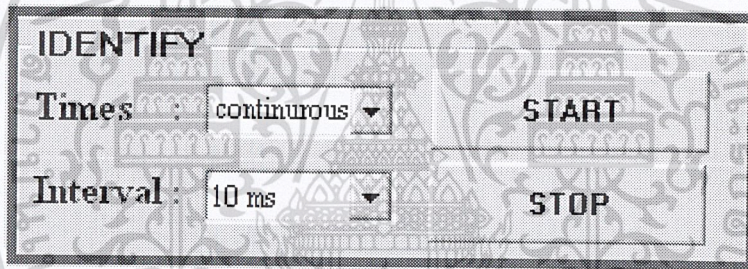
- **RF Settings** ดังรูปที่ 4.35 แบ่งออกเป็น
  - Power เป็นส่วนที่ใช้ในการตั้งค่ากำลังที่ใช้ในการรับส่งสัญญาณ
  - Freq Type เป็นการเลือกประเภทของความถี่
  - Query เป็นปุ่มที่แสดงถึงการตั้งค่าของผู้ใช้งาน
  - Set เป็นปุ่มที่ใช้ตั้งค่าให้กับอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 68 ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



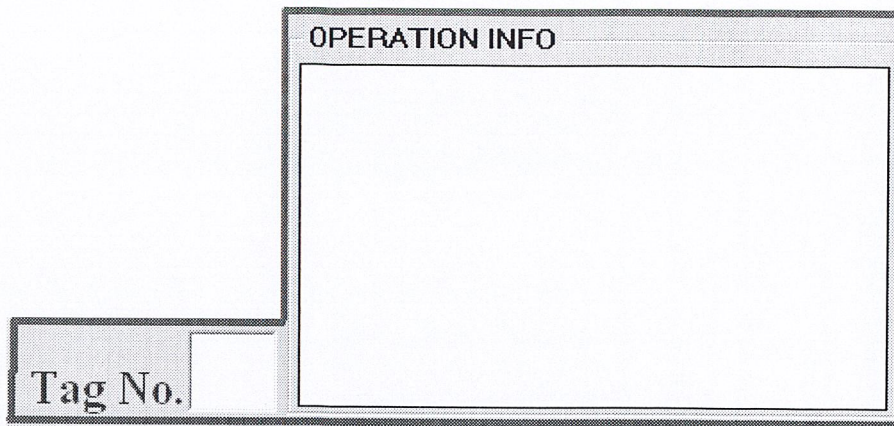
รูปที่ 4.35 โปรแกรมในส่วนของ RF Settings

- **Identify** ดังรูปที่ 4.36 แบ่งออกเป็น
  - Times เป็นปุ่มตั้งค่าระยะเวลาในการอ่านของเครื่องอ่าน
  - Interval เป็นปุ่มที่ใช้ตั้งจำนวนรอบเครื่องอ่านแต่ละครั้ง
  - Start เริ่มการทำงานของโปรแกรม(การหาตำแหน่งของเป้าหมายแบบหยุดนิ่ง)
  - Stop หยุดโปรแกรมการทำงาน



รูปที่ 4.36 โปรแกรมในส่วนของ Identify

1. **Operation Info** ดังรูปที่ 4.37 คือส่วนที่แสดงข้อมูลของแท็กที่เครื่องอ่านตรวจพบ
2. **Tag No.** ดังรูปที่ 4.37 คือตำแหน่งของเป้าหมายที่คำนวณได้ ณ ตำแหน่ง Fingerprint ต่างๆ (1-81)



รูปที่ 4.37 โปรแกรมในส่วนของ Operation Info และ Tag No

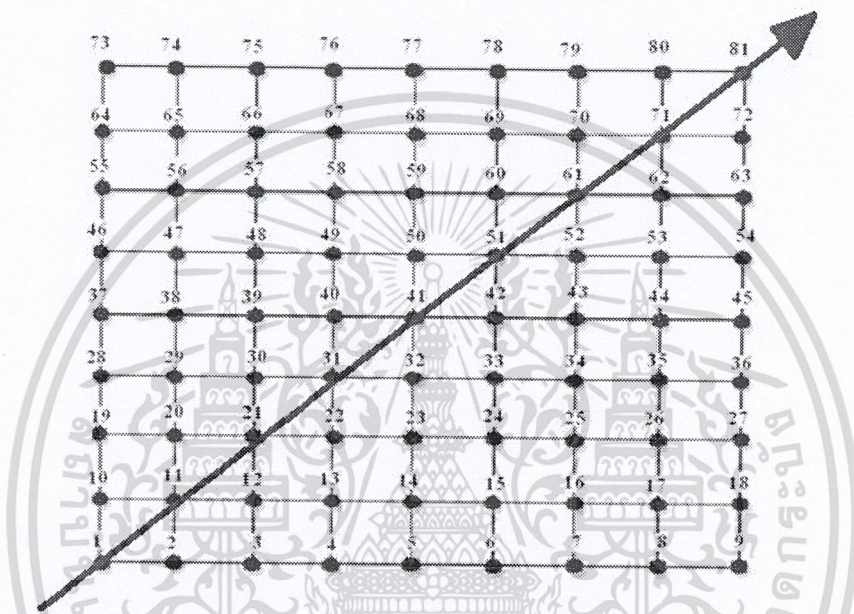
3.  ปุ่มเริ่มการทำงานของโปรแกรม (เคลื่อนที่)
4.  ปุ่มหยุด โปรแกรมการทำงาน
5.  ปุ่มดิ่งหน้าจอแสดงผล ให้กลับเข้าสู่หน้าจอปกติ
6.  ปุ่มออกจากโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 70 ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 4.6 เส้นทางเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

### 4.6.1 แนวทดสอบเฉียงขวา

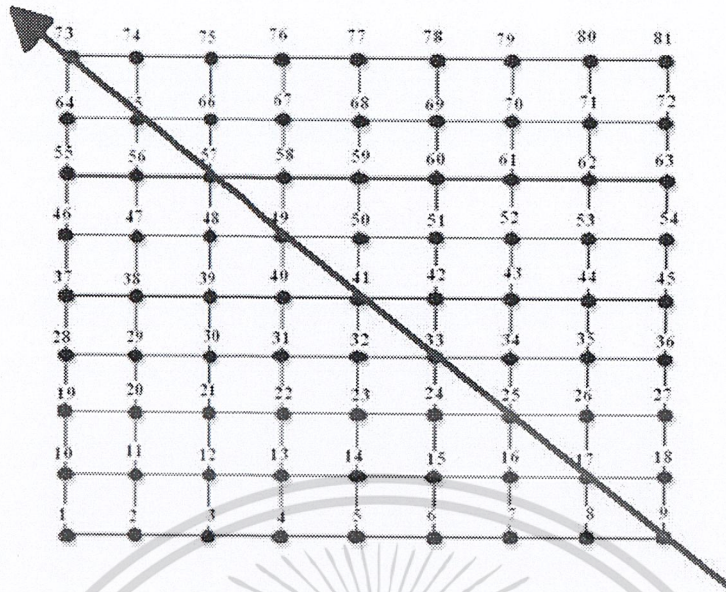
เป็นการทดสอบหาตำแหน่งของเป้าหมายโดยให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เฉียงขึ้นไปทางทิศขวา ซึ่งจากรูปเรากำหนดให้เส้นตรงสีน้ำเงินเป็นเส้นทางที่เรากำหนดทิศทางในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จริงซึ่งในที่นี้หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ผ่าน Fingerprint ที่ตำแหน่งที่ 1, 11, 21, 31, 41, 51, 61, 71 และ 81 ตามลำดับดังรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.38 เส้นทางแนวทดสอบเฉียงขวา

### 4.6.2 แนวทดสอบเฉียงซ้าย

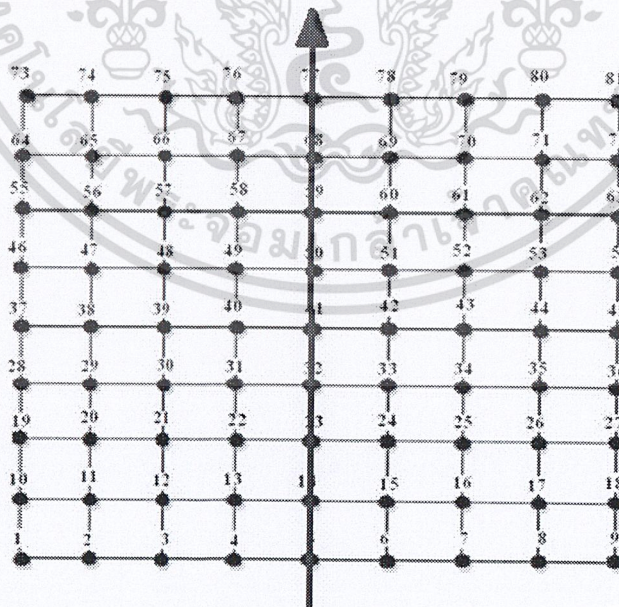
เป็นการทดสอบหาตำแหน่งของเป้าหมายโดยให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เฉียงขึ้นไปทางทิศซ้าย ซึ่งจากรูปเรากำหนดให้เส้นตรงสีน้ำเงินเป็นเส้นทางที่เรากำหนดทิศทางในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ซึ่งในที่นี้หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ผ่าน Fingerprint ที่ตำแหน่งที่ 9, 17, 25, 33, 41, 49, 57, 65 และ 73 ตามลำดับดังรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 เส้นทางแนวทศสอบเฉียงซ้าย

#### 4.6.3 ทศสอบแนวตั้งตรง (แบ่งครึ่งด้านซ้าย – ด้านขวา)

เป็นการทดสอบหาตำแหน่งของเป้าหมายโดยให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงแนวตั้ง ซึ่งจากรูปเรากำหนดให้เส้นตรงสีน้ำเงินเป็นเส้นทางที่เรากำหนดทิศทางในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งในที่นี้หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ผ่าน Fingerprint ที่ตำแหน่งที่ 5, 14, 23, 32, 41, 50, 59, 68 และ 77 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.40

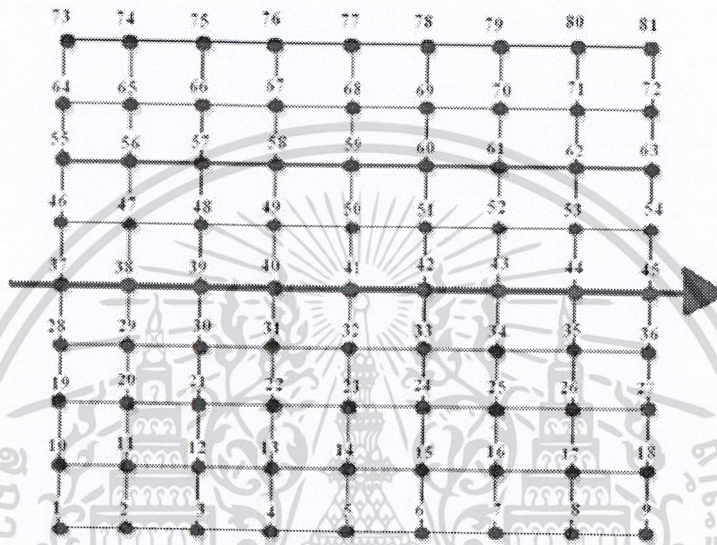


รูปที่ 4.40 เส้นทางทดสอบแนวตั้งตรง (แบ่งครึ่งด้านซ้าย – ด้านขวา)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา 72 ละต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.6.4 ทดสอบแนวนอน (แบ่งครึ่งด้านบน – ด้านล่าง)

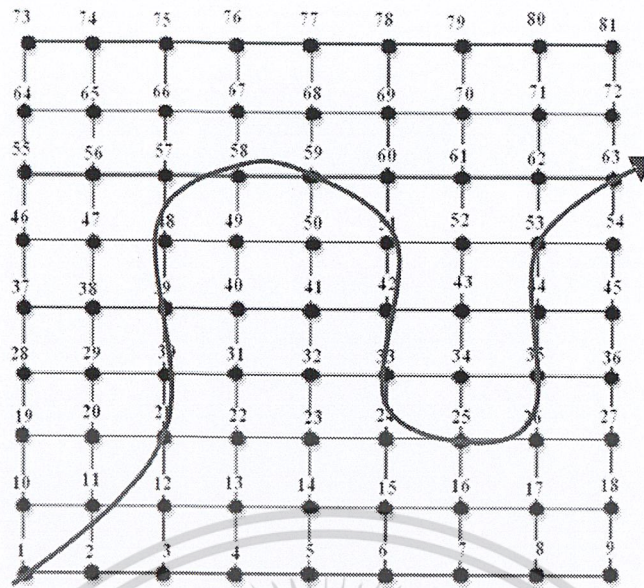
เป็นการทดสอบหาตำแหน่งของเป้าหมายโดยให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงแนวนอน ซึ่งจากรูปเรากำหนดให้เส้นตรงสีน้ำเงินเป็นเส้นทางที่เรากำหนดทิศทางในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ซึ่งในที่นี้หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ผ่าน Fingerprint ที่ตำแหน่งที่ 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44 และ 45 ตามลำดับดังรูปที่ 4.41



รูปที่ 4.41 เส้นทางทดสอบแนวนอน (แบ่งครึ่งด้านบน – ด้านล่าง)

#### 4.6.5 ทดสอบแบบสุ่มการเคลื่อนที่

เป็นการทดสอบหาตำแหน่งของเป้าหมายโดยให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามที่เรากำหนด โดยกำหนดให้เส้นตรงสีน้ำเงินเป็นเส้นทางที่เรากำหนดทิศทางในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ซึ่งในที่นี้หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ผ่าน Fingerprint ที่ตำแหน่งที่ 1, 11, 21, 30, 39, 48, 58, 59, 42, 33, 24, 25, 35, 44, 53 และ 63 ตามลำดับดังรูปที่ 4.42



รูปที่ 4.42 เส้นทางทดสอบทดสอบแบบสุ่มการเคลื่อนที่

#### 4.7 บทสรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการและขั้นตอนในการทดลองหาตำแหน่งซึ่งในการทดลองวิจัยในปริญญาโทฉบับนี้จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์บริบทเฉพาะ (Scene Analysis) บางครั้งเรียกว่า Fingerprint มาทำการหาตำแหน่งโดยการเปรียบเทียบรูปแบบของสัญญาณที่ได้รับมากับสัญญาณที่ได้จากการสำรวจเก็บข้อมูลเอาไว้ในฐานข้อมูล โดยใช้อัลกอริทึมในการเปรียบเทียบรูปแบบของสัญญาณทั้งหมด 7 อัลกอริทึม จากนั้นเลือกเอาอัลกอริทึมที่ดีที่สุดนั้นคือ อัลกอริทึมที่ 1 Maximum Number of Intersect Tags (ค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด) มาทำการพัฒนาเพื่อหาตำแหน่งของเป้าหมายแบบเคลื่อนที่และเพิ่มส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้งาน (GUI) โดยได้อธิบายถึงรายละเอียดในส่วนของการใช้งานต่างๆ เพื่อให้เกิดความสะดวกรวดเร็วแก่ผู้ใช้งานมากขึ้นต่อไป ซึ่งในบทต่อไปจะได้กล่าวถึงรายละเอียดของผลการทดลองและผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดและค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการหาตำแหน่งในแต่ละอัลกอริทึมที่ได้ทำการทดลองวิจัย

## บทที่ 5

# ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ การหาตำแหน่งของเป้าหมายภายในอาคาร

### 5.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและผลการวิเคราะห์โดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนเช่นกันกับในบทที่ 4 กล่าวคือ

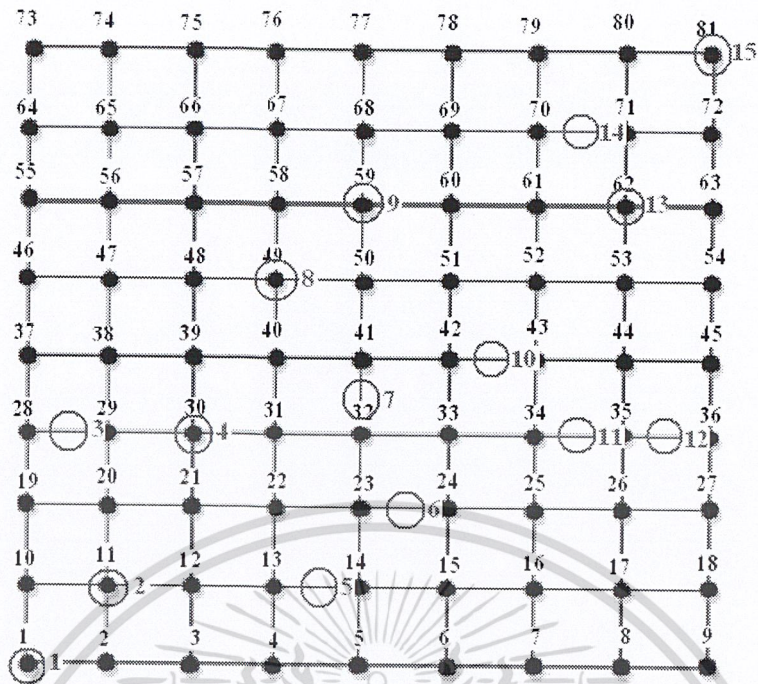
ส่วนที่ 1 จะเป็นการหาตำแหน่งของเป้าหมายแบบหยุดนิ่งภายในอาคาร โดยใช้เทคนิค Fingerprint บนพื้นฐานเทคโนโลยี RFID ซึ่งในการทดลองหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Fingerprint นั้น ได้ทำการนำอัลกอริทึมมาทำการเปรียบเทียบ ทั้งหมด 7 อัลกอริทึมด้วยกัน โดยนำค่าของตำแหน่งที่ได้มาจากการคำนวณในแต่ละอัลกอริทึมมาทำการเปรียบเทียบหาความแม่นยำในการหาตำแหน่ง ซึ่งความแม่นยำจะศึกษาจากการเปรียบเทียบจากค่าความผิดพลาดและค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองและวิจัย เพื่อนำมาสรุปประเมินในเรื่องของตำแหน่งต่อไป

ส่วนที่ 2 จะเป็นในเรื่องของการนำเอาอัลกอริทึมที่ดีที่สุด (วิธีที่ 1) มาพัฒนาในส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้งาน ด้วยภาษา Visual Basic โดยเขียนหน้าจอแสดงผลการหาตำแหน่งต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อให้เกิดความสะดวกรวดเร็วแก่การระบุตำแหน่งต่างๆ ที่ถูกต้องแม่นยำมากขึ้นกว่าเดิม

### ส่วนที่ 1

### 5.2 ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณ และค่าความผิดพลาดของตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1: **Maximum Number of Intersect Tags**

จากผลการทดลอง ได้ทำการทดลองโดยการสุ่มทดสอบตำแหน่งทั้งหมด 15 ตำแหน่งโดยทำการทดลองซ้ำกัน 10 ครั้งและทำการหาค่าเฉลี่ยดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ตำแหน่งที่ทำการสุ่มทดลองทั้ง 15 ตำแหน่ง

นำวิธีการคำนวณหาตำแหน่งโดยทำการเปรียบเทียบโดยใช้วิธีที่ 1: Maximum Number of Intersect Tags จะสามารถคำนวณได้พิกัดออกมา ส่วนการหาค่าความผิดพลาดนั้นจะนำเทคนิคของ Euclidean Distance มาคำนวณหาค่าความผิดพลาด ซึ่งสมการที่ใช้คำนวณหาค่าความผิดพลาดของตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณกับตำแหน่งจริงเป็นดังสมการนี้

$$\text{Error distance} = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (5.1)$$

โดยที่  $x_1$  และ  $y_1$  เป็นพิกัดตำแหน่งจริง ส่วน  $x_2$  และ  $y_2$  เป็นพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณของแต่ละวิธีในแนวแกน x และแนวแกน y ตามลำดับ ซึ่งในการคำนวณหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1 และคำนวณหาค่าความผิดพลาดจากสมการ 5.1 จะได้ดังตารางที่ 5.1 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 1 และค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้จากสมการ 5.1

ตำแหน่งสุ่มทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 1	ค่าความผิดพลาด (cm.)
ตำแหน่งที่ 1	(0, 0)	(0, 0)	0
ตำแหน่งที่ 2	(50, 50)	(50, 50)	0
ตำแหน่งที่ 3	(25, 150)	(25, 150)	0
ตำแหน่งที่ 4	(100, 150)	(100, 150)	0
ตำแหน่งที่ 5	(175, 50)	(200, 50)	25
ตำแหน่งที่ 6	(225, 100)	(200, 100)	25
ตำแหน่งที่ 7	(200, 175)	(200, 200)	25
ตำแหน่งที่ 8	(150, 250)	(150, 250)	0
ตำแหน่งที่ 9	(200, 300)	(200, 300)	0
ตำแหน่งที่ 10	(275, 200)	(250, 200)	25
ตำแหน่งที่ 11	(325, 150)	(300, 150)	25
ตำแหน่งที่ 12	(375, 150)	(350, 150)	25
ตำแหน่งที่ 13	(350, 300)	(350, 300)	0
ตำแหน่งที่ 14	(325, 350)	(300, 350)	25
ตำแหน่งที่ 15	(400, 400)	(350, 387.50)	51.54

จากตารางที่ 5.1 เมื่อคำนวณพิกัดเฉลี่ยด้วยวิธีที่ 1 เรียบร้อยแล้วนำค่ามาหาความผิดพลาดจากสมการ 5.1 สังเกตที่ค่าความผิดพลาดของการสุ่มตำแหน่งที่ 15 จะมีค่าที่แตกต่างกับที่ตำแหน่งอื่นค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งสุ่มทดสอบอื่นๆ สาเหตุอาจจะเป็นเพราะที่ตำแหน่งสุ่มที่ 15 นั้นอยู่ใกล้กับหลอดไฟ กำแพง ประตูห้องน้ำหรืออาจจะเกิดจากความผิดพลาดขณะติดตั้งการทดลองรวมถึงความผิดพลาดอื่นๆที่ยังไม่ทราบได้จากการทดลองนี้

### 5.3 ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณ และค่าความผิดพลาดของตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2:

#### Maximum and 2<sup>nd</sup> Maximum Numbers of Intersect Tags

จากผลการทดลองที่ได้ทำการสุ่มทดสอบทั้ง 15 ตำแหน่งโดยทำการทดลองซ้ำกัน 10 ครั้ง และทำการหาค่าเฉลี่ยดังรูปที่ 5.1 นำวิธีการคำนวณหาตำแหน่งโดยทำการเปรียบเทียบโดยใช้วิธีที่ 2 จะได้พิกัดที่สามารถคำนวณออกมา ส่วนการหาค่าความผิดพลาดนั้นจะนำสมการ 5.1 มาคำนวณ ซึ่งในการคำนวณหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2 และคำนวณหาค่าความผิดพลาดจากสมการ 5.1 จะได้ดังตารางที่ 5.2 ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา<sup>77</sup> และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 2 และค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้จากสมการ 5.1

ตำแหน่งสุ่มทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 1	ค่าความผิดพลาด (cm.)
ตำแหน่งที่ 1	(0, 0)	(33.33, 33.33)	47.14
ตำแหน่งที่ 2	(50, 50)	(50, 50)	0
ตำแหน่งที่ 3	(25, 150)	(33.33, 166.67)	18.64
ตำแหน่งที่ 4	(100, 150)	(75, 175)	35.36
ตำแหน่งที่ 5	(175, 50)	(200, 75)	35.36
ตำแหน่งที่ 6	(225, 100)	(216.67, 116.67)	18.64
ตำแหน่งที่ 7	(200, 175)	(212.50, 187.50)	17.68
ตำแหน่งที่ 8	(150, 250)	(150, 250)	0
ตำแหน่งที่ 9	(200, 300)	(200, 325)	25
ตำแหน่งที่ 10	(275, 200)	(275, 200)	0
ตำแหน่งที่ 11	(325, 150)	(300, 175)	35.36
ตำแหน่งที่ 12	(375, 150)	(350, 175)	35.36
ตำแหน่งที่ 13	(350, 300)	(333.33, 316.67)	23.57
ตำแหน่งที่ 14	(325, 350)	(325, 350)	0
ตำแหน่งที่ 15	(400, 400)	(345.83, 337.50)	82.70

จากตารางที่ 5.2 เมื่อคำนวณพิกัดเฉลี่ยด้วยวิธีที่ 2 เรียบร้อยแล้วนำมาหาค่าความผิดพลาดจากสมการ 5.1 สังเกตค่าความผิดพลาดของการสุ่มตำแหน่งที่ 1, 15 จะมีค่าความผิดพลาดที่ค่อนข้างสูงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งสุ่มทดสอบอื่นๆ อาจจะเป็นเพราะสาเหตุที่ตำแหน่งสุ่มที่ 1, 15 นั้นอยู่ใกล้กับหลอดไฟ กำแพง ประตูห้องน้ำหรืออาจจะเกิดจากความผิดพลาดขณะติดตั้งการทดลองรวมถึงความผิดพลาดอื่นๆ ที่ยังไม่ทราบได้จากการทดลองนี้ ซึ่งถ้าดูโดยรวมจะสังเกตเห็นว่า ถ้านำมาเปรียบเทียบกับวิธีที่ 1 อาจเห็นว่าค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 2 นั้นจะให้ผลลัพธ์ในการคำนวณหาตำแหน่งมีค่ามากกว่าวิธีที่ 1

## 5.4 ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณ และค่าความผิดพลาดของตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3:

### Center of Gravity of Detected-Tag Locations

จากผลการทดลองที่ได้ทำการสุ่มทดสอบทั้ง 15 ตำแหน่งโดยทำการทดลองซ้ำกัน 10 ครั้ง และทำการหาค่าเฉลี่ยดังรูปที่ 5.1 แล้วนำวิธีการคำนวณหาตำแหน่งมาทำการเปรียบเทียบโดยใช้วิธีที่ 3 จะได้พิกัดที่สามารถคำนวณออกมา ส่วนการหาค่าความผิดพลาดนั้นจะนำสมการ 5.1 มาคำนวณ ซึ่งในการคำนวณหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3 และคำนวณหาค่าความผิดพลาดจากสมการ 5.1 จะได้ดังตารางที่ 5.3 ดังนี้

ตารางที่ 5.3 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 3 และค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้จากสมการ 5.1

ตำแหน่งสุ่มทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 1	ค่าความผิดพลาด (cm.)
ตำแหน่งที่ 1	(0, 0)	(50, 30)	58.30
ตำแหน่งที่ 2	(50, 50)	(68.75, 75)	31.25
ตำแหน่งที่ 3	(25, 150)	(25, 125)	25
ตำแหน่งที่ 4	(100, 150)	(85.71, 164.28)	20.20
ตำแหน่งที่ 5	(175, 50)	(215, 75)	47.17
ตำแหน่งที่ 6	(225, 100)	(225, 125)	25
ตำแหน่งที่ 7	(200, 175)	(216.67, 188.89)	21.70
ตำแหน่งที่ 8	(150, 250)	(166.67, 266.67)	23.57
ตำแหน่งที่ 9	(200, 300)	(230, 320)	36.06
ตำแหน่งที่ 10	(275, 200)	(277.27, 200)	2.27
ตำแหน่งที่ 11	(325, 150)	(300, 166.67)	30.05
ตำแหน่งที่ 12	(375, 150)	(328.57, 142.86)	46.98
ตำแหน่งที่ 13	(350, 300)	(331.25, 293.75)	19.76
ตำแหน่งที่ 14	(325, 350)	(319.23, 315.38)	35.10
ตำแหน่งที่ 15	(400, 400)	(362.50, 387.50)	39.53

จากตารางที่ 5.3 เมื่อคำนวณพิกัดเฉลี่ยด้วยวิธีที่ 3 เรียบร้อยแล้วนำมาหาค่าความผิดพลาดจากสมการ 5.1 สังเกตที่ค่าความผิดพลาดของการสุ่มตำแหน่งที่ 1, 5, 12 จะมีค่าความผิดพลาดที่ค่อนข้างมากกว่าตำแหน่งอื่นเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งสุ่มทดสอบอื่นๆ อาจจะเป็นเพราะสาเหตุที่ตำแหน่งสุ่มที่ 1, 5, 12 นั้นอยู่ใกล้กับหลอดไฟ กำแพง ประตูห้องน้ำหรืออาจจะเกิดจากความผิดพลาดขณะติดตั้งการทดลองรวมถึงความผิดพลาดอื่นๆ ที่ยังไม่ทราบได้จากการทดลองนี้ ซึ่งถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดเห็นเป็นประโยชน์ในการนำ

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดูโดยรวมจะสังเกตเห็นว่า ถ้านำมาเปรียบเทียบกับวิธีที่ 1 อาจเห็นว่าค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 3 นั้นจะให้ผลลัพธ์ในการคำนวณหาตำแหน่งมีค่ามากกว่าวิธีที่ 1

## 5.5 ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณ และค่าความผิดพลาดของตำแหน่งด้วยวิธีที่ 4

: Center of Gravity of maximum and 2<sup>nd</sup> Detected-Tag Locations

จากผลการทดลองที่ได้ทำการสุ่มทดสอบทั้ง 15 ตำแหน่ง โดยทำการทดลองซ้ำกัน 10 ครั้ง และทำการหาค่าเฉลี่ยดังรูปที่ 5.1 แล้วนำวิธีการคำนวณหาตำแหน่งโดยทำการเปรียบเทียบโดยใช้วิธีที่ 4 จะได้พิกัดที่สามารถคำนวณออกมา ส่วนการหาค่าความผิดพลาดนั้นจะนำสมการ 5.1 มาคำนวณ ซึ่งในการคำนวณหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 4 จะได้ดังตารางที่ 5.4 ดังนี้

ตารางที่ 5.4 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 4 และค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้จากสมการ 5.1

ตำแหน่งสุ่มทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 1	ค่าความผิดพลาด (cm.)
ตำแหน่งที่ 1	(0, 0)	(46.15, 34.61)	57.69
ตำแหน่งที่ 2	(50, 50)	(61.36, 63.36)	17.54
ตำแหน่งที่ 3	(25, 150)	(26.09, 128.26)	21.77
ตำแหน่งที่ 4	(100, 150)	(80.77, 169.23)	27.20
ตำแหน่งที่ 5	(175, 50)	(218.42, 78.95)	52.19
ตำแหน่งที่ 6	(225, 100)	(230.36, 121.43)	22.09
ตำแหน่งที่ 7	(200, 175)	(209.09, 165.15)	13.40
ตำแหน่งที่ 8	(150, 250)	(156.25, 246.86)	6.99
ตำแหน่งที่ 9	(200, 300)	(213.89, 313.89)	19.64
ตำแหน่งที่ 10	(275, 200)	(257.14, 173.81)	31.70
ตำแหน่งที่ 11	(325, 150)	(298.39, 167.70)	31.98
ตำแหน่งที่ 12	(375, 150)	(342.30, 150)	32.70
ตำแหน่งที่ 13	(350, 300)	(330, 312.50)	23.58
ตำแหน่งที่ 14	(325, 350)	(325, 316.67)	33.33
ตำแหน่งที่ 15	(400, 400)	(363.75, 372.25)	45.65

จากตารางที่ 5.4 เมื่อคำนวณพิกัดเฉลี่ยด้วยวิธีที่ 4 เรียบร้อยแล้วนำมาหาค่าความผิดพลาดจากสมการ 5.1 สังเกตที่ค่าความผิดพลาดของการสุ่มตำแหน่งที่ 1, 5, 15 จะมีค่าความผิดพลาดที่ค่อนข้างมากกว่าตำแหน่งอื่นเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งสุ่มทดสอบอื่นๆ อาจจะเป็นเพราะสาเหตุที่ตำแหน่งสุ่มที่ 1, 5, 15 นั้นอยู่ใกล้กับหลอดไฟ กำแพง ประตูห้องน้ำหรืออาจจะเกิดจากความผิดพลาดขณะติดตั้งการทดลองรวมถึงความผิดพลาดอื่นๆ ที่ยังไม่ทราบได้จากการทดลองนี้ ซึ่งถ้าดูโดยรวมจะสังเกตเห็นว่า ถ้านำมาเปรียบเทียบกับกับวิธีที่ 1 อาจเห็นว่าค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 4 นั้นจะให้ผลลัพธ์ในการคำนวณหาตำแหน่งมีค่ามากกว่าวิธีที่ 1

### 5.6 ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณ และค่าความผิดพลาดของตำแหน่งด้วยวิธีที่ 5: 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> Maximum Numbers of Intersect Tags

จากผลการทดลองที่ได้ทำการสุ่มทดสอบทั้ง 15 ตำแหน่งโดยทำการทดลองซ้ำกัน 10 ครั้ง และทำการหาค่าเฉลี่ยดังรูปที่ 5.1 แล้วนำวิธีการคำนวณหาตำแหน่งโดยทำการเปรียบเทียบโดยวิธีที่ 5: 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> Maximum Numbers of Intersect Tags จะได้พิกัดที่สามารถคำนวณออกมา ส่วนการหาค่าความผิดพลาดนั้นจะนำสมการ 5.1 มาคำนวณซึ่งในการคำนวณหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 5 และคำนวณหาค่าความผิดพลาดจากสมการ 5.1 จะได้ดังตารางที่ 5.5 ดังนี้

ตารางที่ 5.5 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 5 และค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้จากสมการ 5.1

ตำแหน่งสุ่มทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 1	ค่าความผิดพลาด (cm.)
ตำแหน่งที่ 1	(0, 0)	(56.25, 43.75)	71.26
ตำแหน่งที่ 2	(50, 50)	(62.50, 50)	12.50
ตำแหน่งที่ 3	(25, 150)	(20, 150)	5
ตำแหน่งที่ 4	(100, 150)	(66.67, 166.67)	37.24
ตำแหน่งที่ 5	(175, 50)	(187.50, 50)	12.50
ตำแหน่งที่ 6	(225, 100)	(220, 110)	11.18
ตำแหน่งที่ 7	(200, 175)	(210, 180)	11.18
ตำแหน่งที่ 8	(150, 250)	(150, 257)	7.14
ตำแหน่งที่ 9	(200, 300)	(200, 325)	25
ตำแหน่งที่ 10	(275, 200)	(275, 175)	25
ตำแหน่งที่ 11	(325, 150)	(295, 165)	33.54
ตำแหน่งที่ 12	(375, 150)	(333.33, 183.33)	53.36
ตำแหน่งที่ 13	(350, 300)	(310, 340)	56.57
ตำแหน่งที่ 14	(325, 350)	(300, 337.50)	27.95

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สงวนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต

ตำแหน่งที่ 15	(400, 400)	(338.46, 338.46)	87.03
---------------	------------	------------------	-------

จากตารางที่ 5.5 เมื่อคำนวณพิกัดเฉลี่ยด้วยวิธีที่ 5 เรียบร้อยแล้วนำมาหาค่าความผิดพลาดจากสมการ 5.1 สังเกตที่ค่าความผิดพลาดของการสุ่มตำแหน่งที่ 1, 12, 13, 15 จะมีค่าความผิดพลาดที่ค่อนข้างมากกว่าตำแหน่งอื่นเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งสุ่มทดสอบอื่นๆ อาจจะเป็นเพราะสาเหตุที่ตำแหน่งสุ่มที่ 1, 12, 13, 15 นั้นอยู่ใกล้กับหลอดไฟ กำแพง ประตูห้องน้ำหรือ อาจเกิดจากความผิดพลาดขณะติดตั้งการทดลองรวมถึงความผิดพลาดอื่นๆ ที่ยังไม่ทราบได้ซึ่งถ้าดูโดยรวมจะสังเกตเห็นว่า ถ้านำมาเปรียบเทียบกับวิธีที่ 1 เห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 5 นั้นจะให้ผลลัพธ์ในการคำนวณหาตำแหน่งมีค่ามากกว่าวิธีที่ 1

## 5.7 ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณ และค่าความผิดพลาดของตำแหน่งด้วยวิธีที่ 6:

### Calculating the Center of Gravity of Detected Tags

จากผลการทดลองที่ได้ทำการสุ่มทดสอบทั้ง 15 ตำแหน่งโดยทำการทดลองซ้ำกัน 10 ครั้ง และทำการหาค่าเฉลี่ยดังรูปที่ 5.1 แล้วนำวิธีการคำนวณหาตำแหน่งโดยจะคำนวณจากตำแหน่งแท็กที่เครื่องอ่านตรวจพบวิธีที่ 6: Calculating the Center of Gravity of Detected Tags จะได้พิกัดที่สามารถคำนวณออกมา ส่วนการหาค่าความผิดพลาดนั้นจะนำสมการ 5.1 มาคำนวณ ซึ่งในการคำนวณหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 6 และคำนวณหาค่าความผิดพลาดจากสมการ 5.1 จะได้ดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 6 และค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้จากสมการ 5.1

ตำแหน่งสุ่มทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 1	ค่าความผิดพลาด (cm.)
ตำแหน่งที่ 1	(0, 0)	(50, 30)	58.30
ตำแหน่งที่ 2	(50, 50)	(66.66, 66.66)	23.56
ตำแหน่งที่ 3	(25, 150)	(25, 125)	25
ตำแหน่งที่ 4	(100, 150)	(85.71, 164.28)	20.20
ตำแหน่งที่ 5	(175, 50)	(215, 75)	47.20
ตำแหน่งที่ 6	(225, 100)	(231.81, 140.90)	41.46
ตำแหน่งที่ 7	(200, 175)	(220, 180)	20.61
ตำแหน่งที่ 8	(150, 250)	(128.57, 278.57)	35.71
ตำแหน่งที่ 9	(200, 300)	(22.72, 304.54)	23.16
ตำแหน่งที่ 10	(275, 200)	(287.50, 195.83)	13.17

ตำแหน่งที่ 11	(325, 150)	(300, 166.66)	30.04
ตำแหน่งที่ 12	(375, 150)	(355.55, 161.11)	22.39
ตำแหน่งที่ 13	(350, 300)	(331.25, 293.75)	19.76
ตำแหน่งที่ 14	(325, 350)	(319.23, 325.38)	35.09
ตำแหน่งที่ 15	(400, 400)	(360, 360)	56.56

จากตารางที่ 5.6 เมื่อคำนวณพิกัดเฉลี่ยด้วยวิธีที่ 6 เรียบร้อยแล้วนำมาหาค่าความผิดพลาดจากสมการ 5.1 สังเกตที่ค่าความผิดพลาดของการสุ่มตำแหน่งที่ 1, 5, 6, 15 จะมีค่าความผิดพลาดที่ค่อนข้างมากกว่าตำแหน่งอื่นเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งสุ่มทดสอบอื่นๆ สาเหตุอาจจะเป็นเพราะที่ตำแหน่งสุ่มที่ 1, 5, 6, 15 นั้นอยู่ใกล้กับหลอดไฟ กำแพง ประตูห้องน้ำหรืออาจเกิดจากความผิดพลาดขณะติดตั้งการทดลองรวมถึงความผิดพลาดอื่นๆ ที่ยังไม่ทราบได้จากการทดลองนี้ ซึ่งถ้าดูโดยรวมจะสังเกตเห็นว่า ถ้านำค่ามาเปรียบเทียบกับวิธีที่ 1 จะเห็นว่าค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 6 นั้นจะให้ผลลัพธ์ในการคำนวณหาตำแหน่งมีค่ามากกว่าวิธีที่ 1

### 5.8 ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณ และค่าความผิดพลาดของตำแหน่งด้วยวิธีที่ 7: Clustering Method

จากผลการทดลองที่ได้ทำการสุ่มทดสอบทั้ง 15 ตำแหน่งโดยทำการทดลองซ้ำกัน 10 ครั้ง และทำการหาค่าเฉลี่ยดังรูปที่ 5.1 แล้วนำวิธีการคำนวณหาตำแหน่งโดยจะคำนวณจากตำแหน่งแท็กที่เครื่องอ่านตรวจพบ วิธีที่ 7: Clustering Method จะได้พิกัดที่สามารถคำนวณออกมา ส่วนการหาค่าความผิดพลาดนั้นจะนำสมการ 5.1 มาคำนวณ ซึ่งในการคำนวณหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 7 และคำนวณหาค่าความผิดพลาดจากสมการ 5.1 จะได้ดังตารางที่ 5.7 ดังนี้

ตารางที่ 5.7 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 7 และค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้จากสมการ 5.1

ตำแหน่งสุ่มทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 1	ค่าความผิดพลาด (cm.)
ตำแหน่งที่ 1	(0, 0)	(50, 12.50)	51.53
ตำแหน่งที่ 2	(50, 50)	(42.85, 57.14)	10.10
ตำแหน่งที่ 3	(25, 150)	(25, 125)	25
ตำแหน่งที่ 4	(100, 150)	(83.33, 141.66)	18.63
ตำแหน่งที่ 5	(175, 50)	(200, 57.14)	25.99
ตำแหน่งที่ 6	(225, 100)	(225, 93.75)	6.25
ตำแหน่งที่ 7	(200, 175)	(228.57, 164.28)	30.51
ตำแหน่งที่ 8	(150, 250)	(128.57, 278.57)	35.71

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ ห้ามเผยแพร่โดยไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

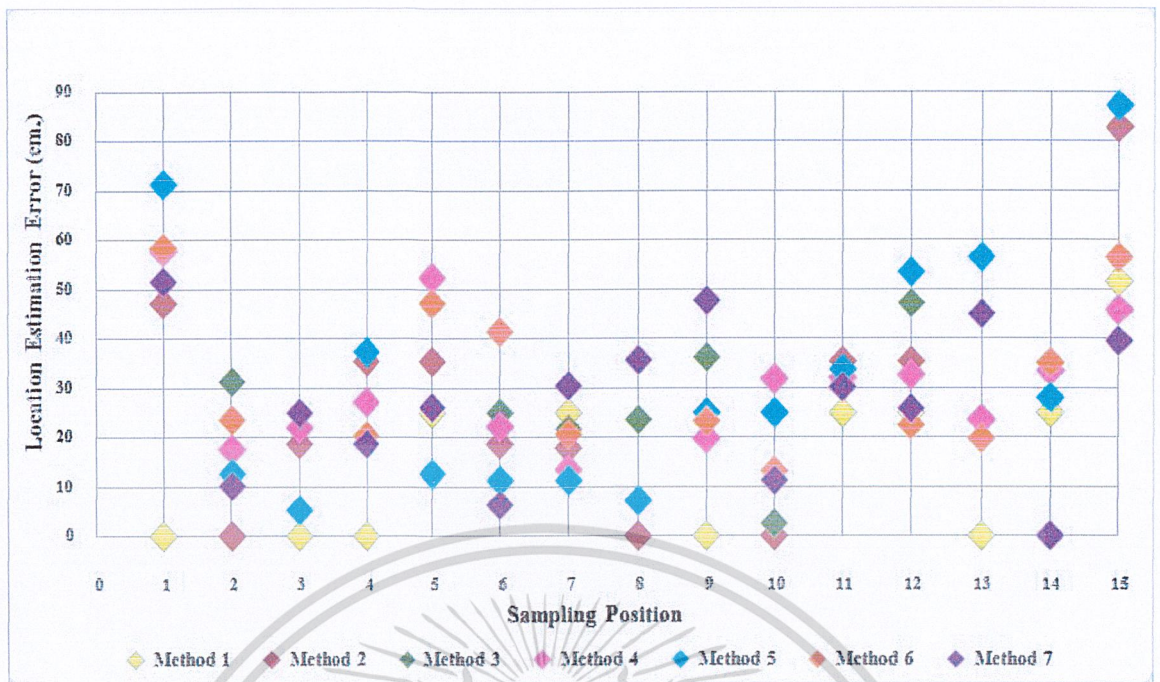
ตำแหน่งที่ 9	(200, 300)	(218.75, 343.75)	47.59
ตำแหน่งที่ 10	(275, 200)	(265, 195)	11.18
ตำแหน่งที่ 11	(325, 150)	(300, 166.66)	30.04
ตำแหน่งที่ 12	(375, 150)	(350, 143.75)	25.76
ตำแหน่งที่ 13	(350, 300)	(333.33, 341.66)	44.87
ตำแหน่งที่ 14	(325, 350)	(325, 350)	0
ตำแหน่งที่ 15	(400, 400)	(362.50, 387.50)	39.52

จากตารางที่ 5.7 เมื่อกำหนดพิกัดเฉลี่ยด้วยวิธีที่ 7 แล้วนำมาหาค่าความผิดพลาดจากสมการ 5.1 สังเกตที่ค่าความผิดพลาดของการสุ่มตำแหน่งที่ 1, 9, 13, 15 จะมีค่าความผิดพลาดที่ค่อนข้างมากกว่าตำแหน่งอื่นเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งสุ่มทดสอบอื่นๆ อาจจะเป็นเพราะสาเหตุที่ตำแหน่งสุ่มที่ 1, 9, 13, 15 นั้นอยู่ใกล้กับหลอดไฟ กำแพง ประตูห้องน้ำหรืออาจเกิดจากความผิดพลาดขณะติดตั้งการทดลองรวมถึงความผิดพลาดอื่นๆ ที่ยังไม่ทราบได้ จากการทดลองนี้ ซึ่งถ้าดูโดยรวมจะสังเกตเห็นว่า ถ้านำมาเปรียบเทียบกับกับวิธีที่ 1 อาจเห็นว่าค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 7 นั้นจะให้ผลลัพธ์ในการคำนวณหาตำแหน่งมีค่ามากกว่าวิธีที่ 1

## 5.9 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งทั้ง 7 วิธี

จากผลการทดลองที่ได้ทำการสุ่มทดสอบทั้ง 15 ตำแหน่งแล้วนำวิธีการคำนวณหาตำแหน่งทั้ง 7 วิธี เมื่อได้พิกัดที่คำนวณออกมาได้ก็จะทำการเปรียบเทียบกับพิกัดจริงและหาค่าความผิดพลาดดังสมการที่ 5.1 จะได้ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งทั้ง 7 วิธี ดังตารางที่ 5.8 โดยจากตารางที่ 5.8 เมื่อนำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการคำนวณหาตำแหน่งของทั้ง 7 วิธีจะได้ดังรูปที่ 5.2 ซึ่งสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนสีเหลืองคือค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 1 ส่วนสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนสีน้ำตาลคือค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 2 ส่วนสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนสีเขียวคือค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 3 ส่วนสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนสีชมพูคือค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 4 ส่วนสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนสีฟ้าคือค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 5 ส่วนสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนสีส้มคือค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 6 และสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนสีม่วงคือค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 7 แกน  $x$  จะเป็นตำแหน่งที่สุ่มทดสอบทั้งหมด 15 ตำแหน่ง ส่วนแกน  $y$  จะเป็นค่าความผิดพลาดจากการคำนวณหาตำแหน่งมีหน่วยเป็นเซนติเมตร ดังตารางที่ 5.8 ดังนี้

No.	(x,y)	Method 1	Method 2	Method 3	Method 4	Method 5	Method 6	Method 7
1	0,0	0,0	33.33,33.33	50,30	46.15,34.61	56.25,43.75	50,30	50,12.5
2	50,50	50,50	50,50	68.75,75	61.36,63.36	62.5,50	66.66,66.66	42.85,57.14
3	25,150	25,150	33.33,166.67	25,125	26.09,128.26	20,150	25,125	25,125
4	100,150	100,150	75,175	85.71,164.28	80.77,169.23	66.67,166.67	85.71,164.28	83.33,141.66
5	175,50	200,50	200,75	215,75	218.42,78.95	187.5,50	215,75	200,57.14
6	225,100	200,100	216.67,116.67	225,125	230.36,121.43	220,110	231.81,140.90	225,93.75
7	200,175	200,200	212.5,187.5	216.67,188.89	209.09,165.15	210,180	220,180	228.57,164.28
8	150,250	150,250	150,250	156.67,266.67	156.25,246.86	150,257	128.57,278.57	128.57,278.57
9	200,300	200,300	200,325	230,320	213.89,313.89	200,325	22.72,304.54	218.75,343.75
10	275,200	250,200	275,200	277.27,200	257.14,173.81	275,175	287.5,195.83	265,195
11	325,150	300,150	300,175	300,166.67	298.39,167.7	295,165	300,165.65	300,166.66
12	375,150	350,150	350,175	328.57,142.86	342.3,150	333.33,183.33	355.55,161.11	350,143.75
13	350,300	350,300	333.33,316.67	331.25,293.75	330.312,50	310,340	331.25,293.75	333.33,341.66
14	325,350	300,350	325,350	319.23,315.38	325,316.67	300,337.50	319.23,325.38	325,350
15	400,400	350,387.50	345.83,337.5	352.5,387.5	363.75,372.25	338.46,338.46	360,360	362.5,387.5



รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของทั้ง 7 วิธีทุกตำแหน่งที่สุ่มทดสอบ

จากรูปที่ 5.2 จะสังเกตเห็นโดยรวมแล้วจะเห็นได้ว่าวิธีที่ 1 จะมีค่าความผิดพลาดจากการคำนวณหาตำแหน่งน้อยที่สุด รองลงมาคือวิธีที่ 2 และวิธีที่ 6 ตามลำดับ 3 อันดับแรกจากน้อยไปมาก และจะเห็นว่าตำแหน่งสุ่มที่ 1, 5 และ 15 ก่อนข้างมีค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่ง สูงกว่าตำแหน่งทดสอบอื่นๆซึ่งสาเหตุก็อาจจะเป็นดังที่กล่าวมาแล้ว คืออยู่ใกล้กับหลอดไฟ กำแพง ประตูห้องน้ำหรืออาจจะเกิดจากความผิดพลาดจากการติดตั้งการทดลอง รวมถึงความผิดพลาดอื่นๆ ที่ยังไม่ทราบได้จากการทดลองนี้

### 5.10 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งทั้ง 7 วิธี

จากผลการทดลองที่ได้ทำการสุ่มทดสอบทั้ง 15 ตำแหน่งแล้วนำวิธีการคำนวณหาตำแหน่งทั้ง 7 วิธี เมื่อได้พิกัดที่คำนวณแต่ละวิธีออกมาและนำไปหาค่าความผิดพลาดตั้งสมการ 5.1 จะได้ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งทั้ง 7 วิธีและนำค่าความผิดพลาดในแต่ละวิธีมาทำการหาค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 5.9 ดังนี้

ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งทั้ง 7 วิธี

ตำแหน่งสุ่มทดสอบ	ค่าความผิดพลาดของวิธีที่ 1 (cm.)	ค่าความผิดพลาดของวิธีที่ 2 (cm.)	ค่าความผิดพลาดของวิธีที่ 3 (cm.)	ค่าความผิดพลาดของวิธีที่ 4 (cm.)	ค่าความผิดพลาดของวิธีที่ 5 (cm.)	ค่าความผิดพลาดของวิธีที่ 6 (cm.)	ค่าความผิดพลาดของวิธีที่ 7 (cm.)
ตำแหน่งที่ 1	0	47.14	58.30	57.69	71.26	58.30	51.53
ตำแหน่งที่ 2	0	0	31.25	17.54	12.50	23.56	10.10
ตำแหน่งที่ 3	0	18.64	25	21.77	5	25	25
ตำแหน่งที่ 4	0	35.36	20.20	27.20	37.24	20.20	18.63
ตำแหน่งที่ 5	25	35.36	47.17	52.19	12.50	47.20	25.99
ตำแหน่งที่ 6	25	18.64	25	22.09	11.18	41.46	6.25
ตำแหน่งที่ 7	25	17.68	21.70	13.40	11.18	20.61	30.51
ตำแหน่งที่ 8	0	0	23.57	6.99	7.14	35.71	35.71
ตำแหน่งที่ 9	0	25	36.06	19.64	25	23.16	47.59
ตำแหน่งที่ 10	25	0	2.27	31.70	25	13.17	11.18
ตำแหน่งที่ 11	25	35.36	30.05	31.98	33.54	30.04	30.04
ตำแหน่งที่ 12	25	35.36	46.98	32.70	53.36	22.39	25.76
ตำแหน่งที่ 13	0	23.57	19.76	23.58	56.57	19.76	44.87
ตำแหน่งที่ 14	25	0	35.10	33.33	27.95	35.09	0
ตำแหน่งที่ 15	51.54	82.70	39.53	45.65	87.03	56.56	39.52
ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด	15.10	24.99	30.80	29.16	31.76	31.48	26.84

โดยจากตารางที่ 5.9 เมื่อนำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของการคำนวณหาตำแหน่งของทั้ง 7 วิธี จะได้ดังรูปที่ 5.3 โดยกำหนดให้

**Method 1:** Maximum Number of Intersect Tags

**Method 2:** Maximum and 2<sup>nd</sup> Maximum Numbers of Intersect Tags

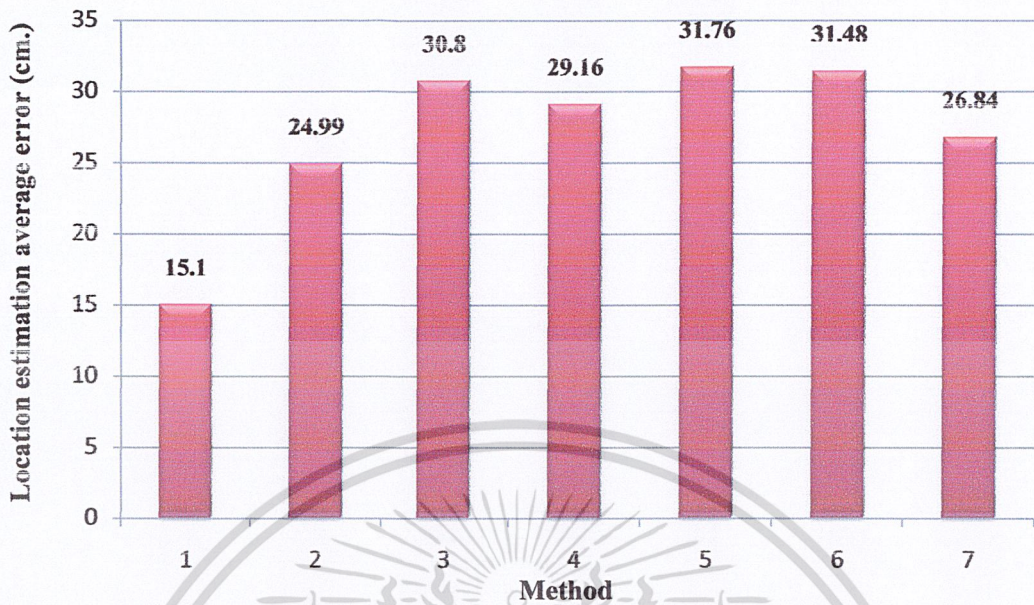
**Method 3:** Center of Gravity of Detected-Tag Locations

**Method 4:** Center of Gravity of Maximum and 2<sup>nd</sup> Detected-Tag Locations

**Method 5:** 1<sup>st</sup>, 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> Maximum Numbers of Intersect Tags

**Method 6:** Calculating the Center of Gravity of Detected Tags

**Method 7:** Clustering Method



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของทั้ง 7 วิธี

จากรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของวิธีที่ 1-7 เปรียบเทียบกันจากกราฟสามารถที่จะเรียงอันดับวิธีที่มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดจากน้อยไปหามากได้คือ วิธีที่  $1 < 2 < 7 < 4 < 3 < 6 < 5$  โดยที่ วิธีที่ 1 จะมีความผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งจะเห็นว่าการคำนวณที่ซับซ้อนก็ไม่ได้เป็นดัชนีชี้วัดความแม่นยำได้เสมอไป

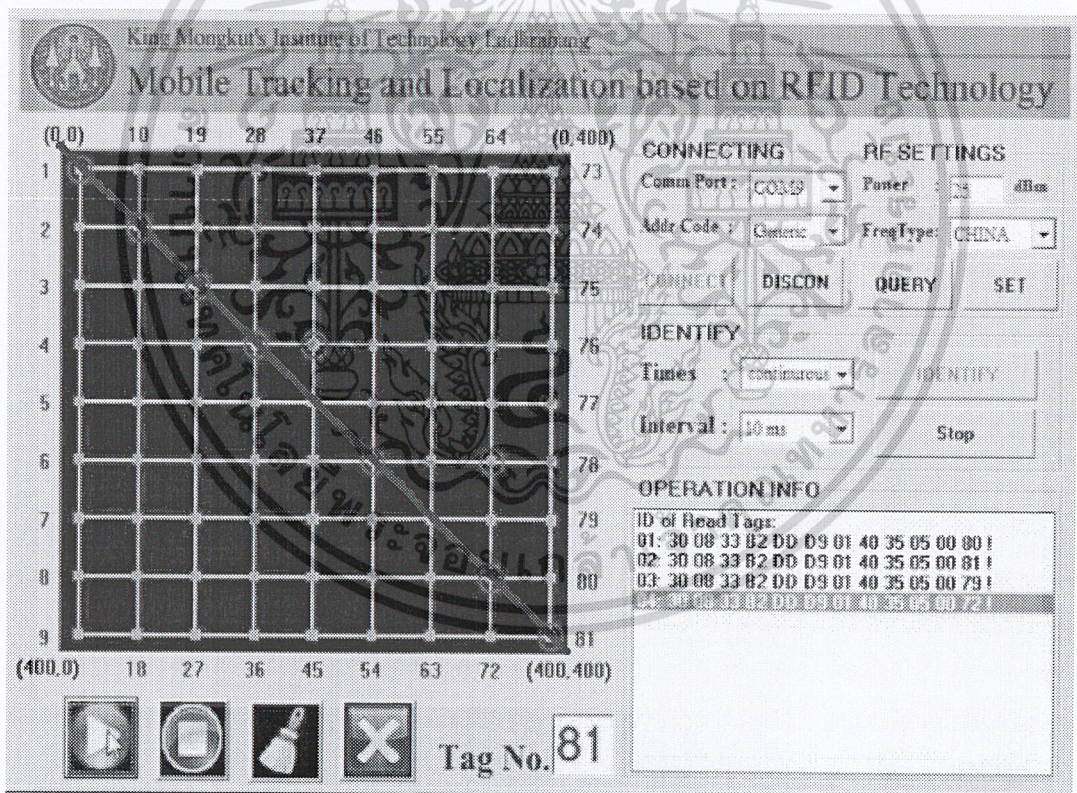
## ส่วนที่ 2

จะเป็นในเรื่องของการนำเอาอัลกอริทึมที่ดีที่สุด (วิธีที่ 1) มาพัฒนาในส่วนของการติดต่อกับผู้ใช้งาน โดยใช้ภาษา Visual Basic ในการเขียนหน้าจอแสดงผลการหาค่าตำแหน่งต่างๆ ดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น เพื่อให้เกิดความสะดวกรวดเร็วแก่การระบุตำแหน่งต่างๆ ที่ถูกต้องแม่นยำมากขึ้นกว่าเดิม

## 5.11 ผลการทดลองที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1: Maximum Number of Intersect Tags

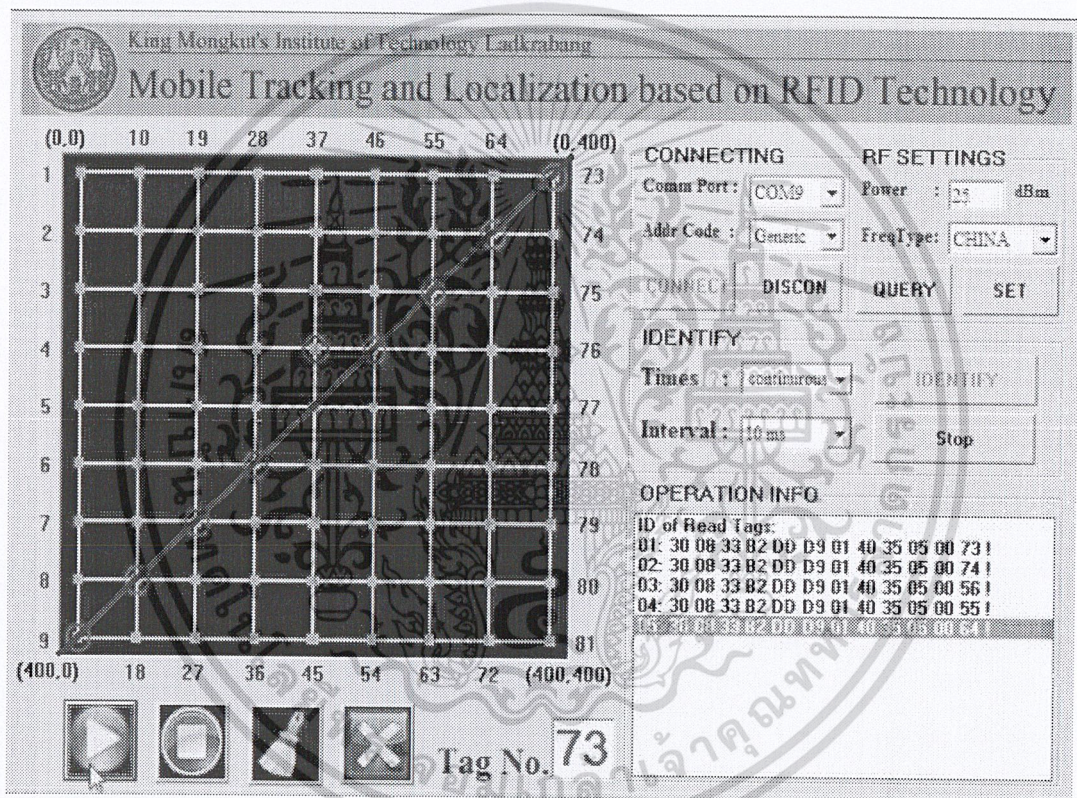
จากผลการทดลอง ได้ทำการทดลองการเคลื่อนที่ในการหาตำแหน่งของเป้าหมายโดยการสุ่มทดสอบตำแหน่งทั้งหมดดังต่อไปนี้

5.11.1 ทดสอบแนวเฉียงขวา เป็นการทดสอบหาตำแหน่งของเป้าหมายโดยให้หุ่นยนต์ที่ติดตั้งเครื่องอ่าน RFID เคลื่อนที่เฉียงลงไปทางทิศขวาเป็นเส้นตรง ซึ่งจากรูปเรากำหนดให้เส้นตรงสีน้ำเงินเป็นเส้นทางที่เรากำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ซึ่งในที่นี้ได้แก่ตำแหน่งที่ 1, 11, 21, 31, 41, 51, 61, 71 และ 81 ตามลำดับ และในส่วนของวงกลมสีแดงเป็นเส้นทางที่ได้จากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จริงเทียบกับทิศทางที่เรากำหนดไว้ในตอนแรกซึ่งได้ผลการทดลองการเคลื่อนที่เป็นตำแหน่งที่ 1, 11, 21, 31, 40, 51, 69, 71 และ 81 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่แนวเฉียงขวา พบค่าตำแหน่งผิดพลาด 2 จุดจากทั้งหมด 9 จุด ดังแสดงได้ดังรูป 5.4



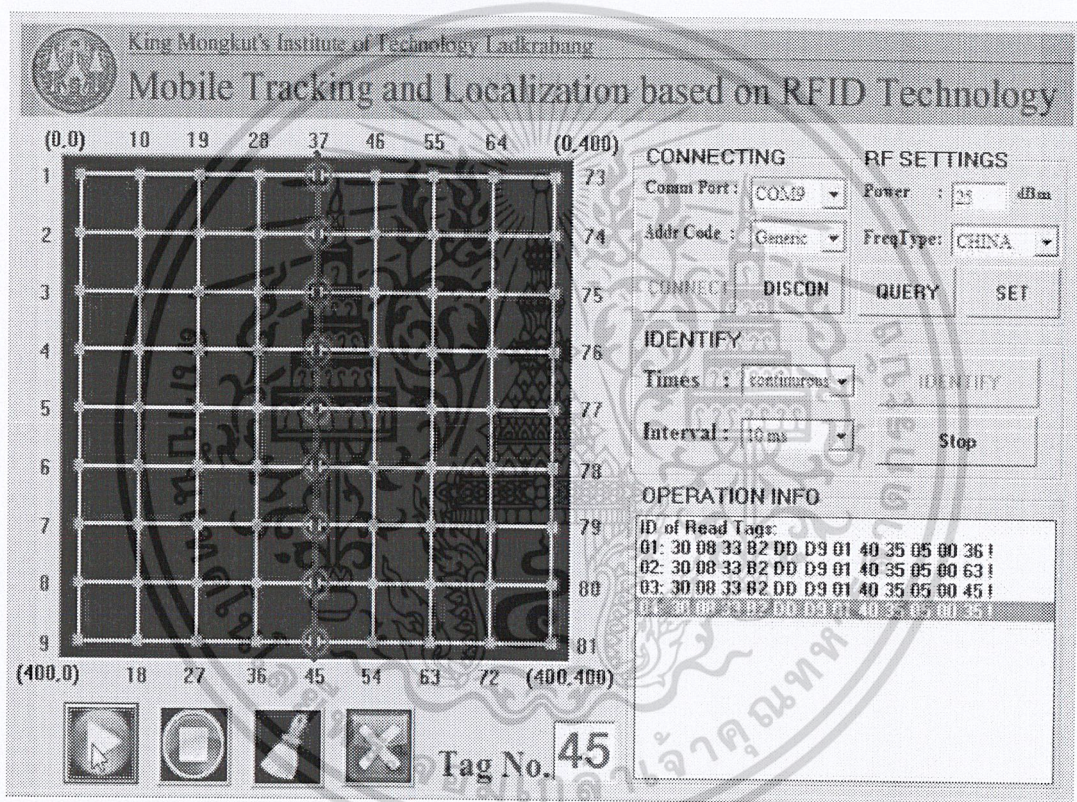
รูปที่ 5.4 ผลการทดลองแนวเฉียงขวา

5.11.2 ทดสอบแนวเฉียงซ้าย เป็นการทดสอบหาตำแหน่งของเป้าหมายโดยให้หุ่นยนต์ที่ติดตั้งเครื่องอ่าน RFID เคลื่อนที่เฉียงขึ้นไปทางทิศซ้ายเป็นเส้นตรง ซึ่งจากรูปเรากำหนดให้เส้นตรงสีน้ำเงินเป็นเส้นทางที่เรากำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ซึ่งในที่นี้ได้แก่ตำแหน่งที่ 9, 17, 25, 33, 41, 49, 57, 65 และ 73 ตามลำดับ และในส่วนของวงกลมสีแดงเป็นเส้นทางที่ได้จากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จริงเทียบกับทิศทางที่เรากำหนดไว้ในตอนแรกซึ่งได้ผลการทดลองการเคลื่อนที่เป็นตำแหน่งที่ 9, 17, 25, 33, 40, 49, 57, 65 และ 73 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ทดสอบแนวเฉียงซ้าย พบค่าตำแหน่งผิดพลาด 1 จุดจากทั้งหมด 9 จุด ดังแสดงได้ดังรูปที่ 5.5



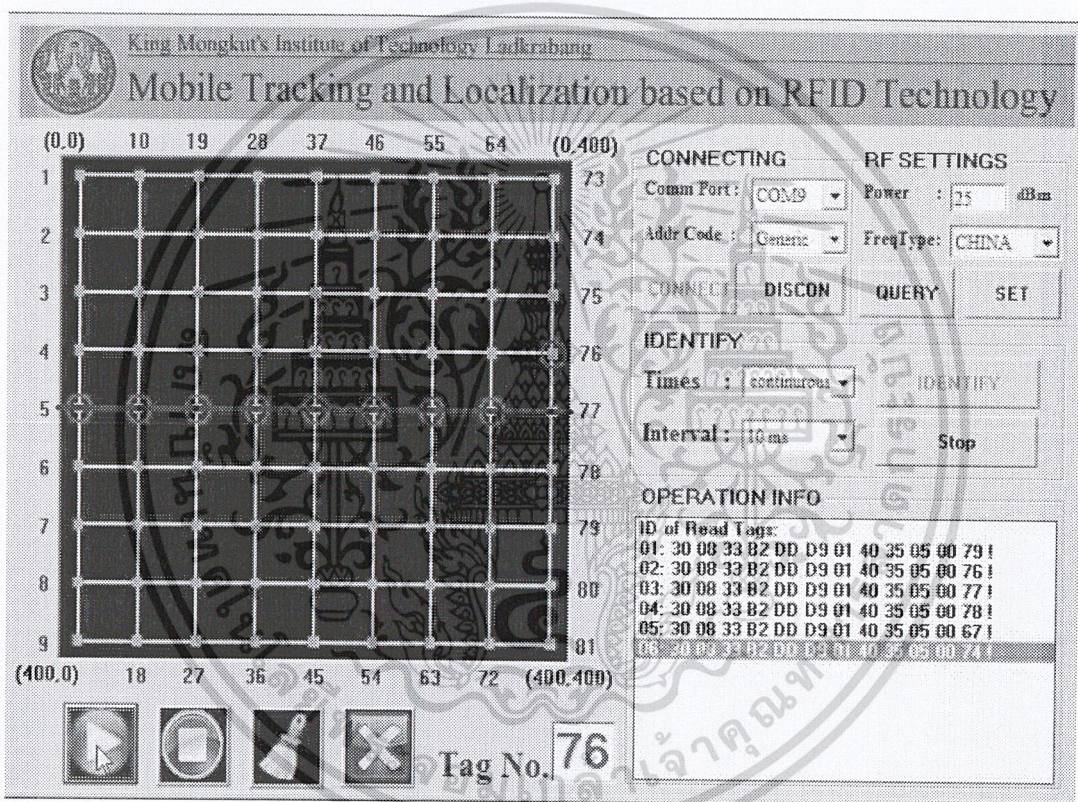
รูปที่ 5.5 ผลการทดสอบแนวเฉียงซ้าย

5.11.3 ทดสอบแนวตั้งตรง (แบ่งครึ่งด้านซ้าย – ด้านขวา) เป็นการทดสอบหาตำแหน่งของเป้าหมายโดยให้หุ่นยนต์ที่ติดตั้งเครื่องอ่าน RFID เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงแนวตั้ง ซึ่งจากรูปเรากำหนดให้เส้นตรงสีน้ำเงินเป็นเส้นทางที่เรากำหนดทิศทางในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ซึ่งในที่นี่ได้แก่ตำแหน่งที่ 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44 และ 45 ตามลำดับ และในส่วนของวงกลมสีแดงเป็นเส้นทางที่ได้จากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จริงเทียบกับทิศทางที่เรากำหนดไว้ในตอนแรกซึ่งได้ผลการทดลองการเคลื่อนที่เป็นตำแหน่งที่ 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44 และ 45 ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่ทดสอบแนวตั้งตรง พบว่าไม่มีค่าความผิดพลาดการหาตำแหน่งของเป้าหมาย ดังแสดงได้ดังรูปที่ 5.6



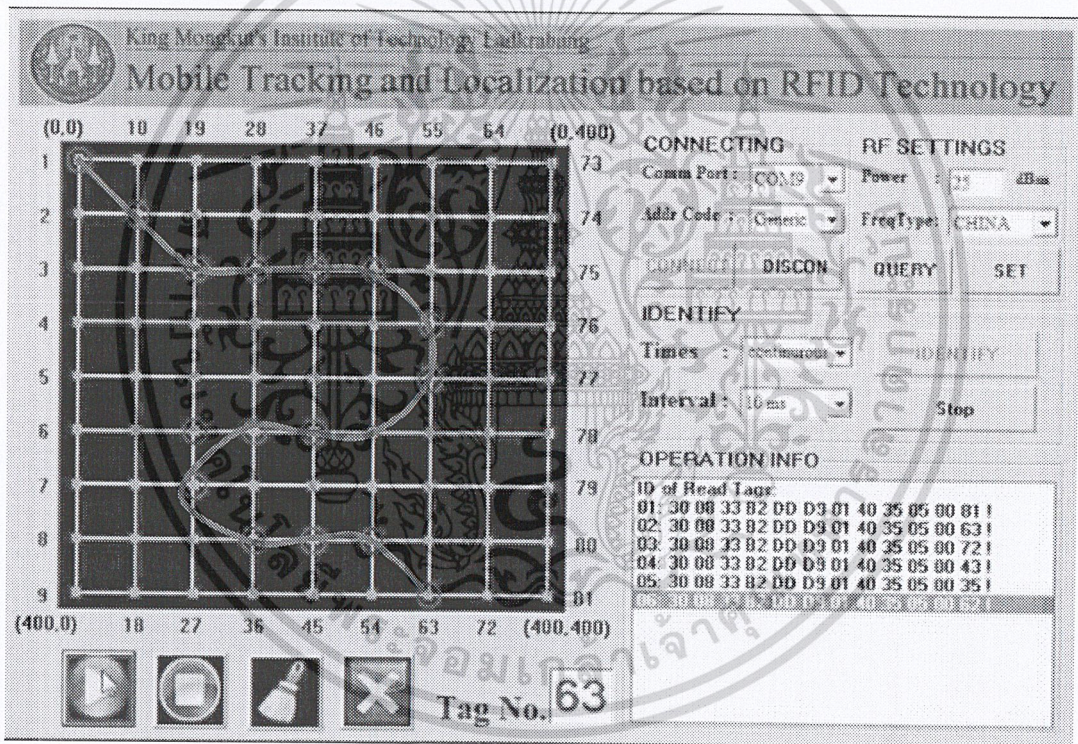
รูปที่ 5.6 ผลการทดสอบในแนวตั้งตรง (แบ่งครึ่งด้านซ้าย - ด้านขวา)

5.11.4 ทดสอบแนวนอน (แบ่งครึ่งด้านบน - ด้านล่าง) เป็นการทดสอบหาตำแหน่งของเป้าหมายโดยให้หุ่นยนต์ที่ติดตั้งเครื่องอ่าน RFID เคลื่อนที่เป็นเส้นตรงแนวนอน ซึ่งจากรูปเรา กำหนดให้เส้นตรงสีน้ำเงินเป็นเส้นทางที่เรากำหนดทิศทางในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ซึ่งในที่นี่ ได้แก่ตำแหน่งที่ 5, 14, 23, 32, 41, 50, 59, 68 และ 77 ตามลำดับ และในส่วนของวงกลมสีแดง เป็นเส้นทางที่ได้จากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จริงเทียบกับทิศทางที่เรากำหนดไว้ในตอนแรกซึ่ง ได้ผลการทดลองการเคลื่อนที่เป็นตำแหน่งที่ 5, 14, 23, 32, 41, 50, 59, 68 และ 76 ตามลำดับซึ่งจะ เห็นได้ว่าในการเคลื่อนที่ทดสอบแนวนอน พบค่าตำแหน่งผิดพลาด 1 จุดจากทั้งหมด 9 จุดดัง แสดงได้ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ผลการทดสอบในแนวนอน (แบ่งครึ่งด้านบน - ด้านล่าง)

5.11.5 ทดสอบแบบสุ่มการเคลื่อนที่ เป็นการทดสอบหาตำแหน่งของเป้าหมายโดยให้หุ่นยนต์ที่ติดตั้งเครื่องอ่าน RFID เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางต่างๆตามที่กำหนด โดยเราจะกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ให้ครอบคลุมพื้นที่ให้มากที่สุด ซึ่งจากรูปเรากำหนดให้เส้นตรงสีน้ำเงินเป็นเส้นทางที่เรากำหนดทิศทางในการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ซึ่งในที่นี้ได้แก่ตำแหน่งที่ 1, 11, 21, 30, 39, 48, 58, 59, 51, 42, 33, 25, 35, 44, 53 และ 63 ตามลำดับ และในส่วนของวงกลมสีแดงเป็นเส้นทางที่ได้จากการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จริงเทียบกับทิศทางที่เรากำหนดไว้ในตอนแรกซึ่งได้ผลการทดลองการเคลื่อนที่เป็นตำแหน่งที่ 1, 11, 21, 30, 39, 48, 58, 59, 42, 33, 24, 25, 35, 44, 53 และ 63 ตามลำดับซึ่งจะเห็นได้ว่าการเคลื่อนที่แบบสุ่มนี้ พบว่ามีค่าความผิดพลาดการหาตำแหน่งของเป้าหมายค่อนข้างต่ำ ซึ่งเกิดจากเครื่องอ่านไม่อ่านแท็ก ณ ตำแหน่งนั้นๆ และบางตำแหน่งก็อ่านพบเพิ่มเข้ามา ดังแสดงได้ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 ผลการทดสอบแบบสุ่มการเคลื่อนที่

## 5.12 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ในการหาตำแหน่งของเป้าหมายภายในอาคารโดยใช้เทคโนโลยี RFID โดยผลที่คำนวณตำแหน่งของเป้าหมายหาได้จากอัลกอริทึมที่นำเสนอทั้งหมด 7 วิธี และทำการเลือกอัลกอริทึมที่ดีที่สุดมาทำการหาตำแหน่งของเป้าหมายแบบเคลื่อนที่ โดยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมในส่วนติดต่อผู้ใช้งาน เพื่อให้เกิดความสะดวกรวดเร็วกับผู้ใช้งาน



## บทที่ 6

# บทสรุปและวิจารณ์

### 6.1 สรุปผลการดำเนินงาน

ปริญญานิพนธ์นี้ได้นำเสนอในเรื่องของการติดตามการเคลื่อนที่ และการหาตำแหน่งของ เป้าหมายโดยใช้เทคโนโลยี RFID เพื่อประมาณค่าในการค้นหาตำแหน่งของเป้าหมายภายใน อาคารทั้งแบบหยุดนิ่งและเคลื่อนที่ นอกจากนี้ยังมีการพัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (GUI) เพื่อที่จะ สามารถระบุตำแหน่งของเป้าหมายได้อย่างทันทีทันใด

จากการดำเนินงานได้ทดลองและวิเคราะห์ผลในการหาตำแหน่งของเป้าหมายภายใน อาคารแบบหยุดนิ่ง และได้อัลกอริทึมที่ดีที่สุดจากทั้งหมด 7 วิธี มาทำการหาตำแหน่งแบบ เคลื่อนที่ โดยโปรแกรมสามารถระบุตำแหน่งของเป้าหมายแบบเคลื่อนที่ได้อย่างทันทีทันใด

### 6.2 ปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางการแก้ไข

ปัญหาที่พบในส่วนแรกคือพอร์ตในการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องอ่าน RFID กับ โน้ตบุค คอมพิวเตอร์ เนื่องจากเครื่องอ่าน RFID เป็นพอร์ตอนุกรม (RS232) แต่โน้ตบุคคอมพิวเตอร์ ส่วนมากจะเป็นพอร์ต USB จึงต้องแปลงพอร์ตอนุกรมเป็น USB เพื่อแก้ปัญหาการเชื่อมต่อ ระหว่างโน้ตบุคคอมพิวเตอร์กับเครื่องอ่าน RFID ปัญหาต่อมาคือวัตถุที่จะนำไปติดแท็กเนื่องจาก ถ้านำแท็กไปติดกับโลหะโดยตรง โลหะจะทำให้ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่าง รวดเร็วทำให้เครื่องอ่าน RFID ตรวจพบแท็กได้น้อย จึงต้องแก้ปัญหาด้วยการนำโฟมมาติดกับ แท็กเพื่อแก้ปัญหา ปัญหาสุดท้ายคือปัญหาในการอ่านแท็กเนื่องจากตรวจพบแท็กที่ไม่คาดคิด โดยที่แท็กนั้นอยู่ไกลกว่าเครื่องอ่าน RFID อย่างมาก สาเหตุอาจมาจาก หลอดไฟ กำแพง ประตู หนองน้ำ หรืออาจเกิดจากความผิดพลาดในการทดลอง เพราะว่าสาเหตุที่ได้กล่าวมานั้นคลื่นความถี่ ที่แผ่ออกจากเครื่องอ่าน RFID เกิดการสะท้อนหรือเลี้ยวเบนกับวัตถุต่างๆ เป็นต้น

### 6.3 แนวทางพัฒนาต่อไป

โครงการนี้เป็นโครงการกึ่งงานวิจัยเมื่อออกแบบการทดลองแล้วต้องทำการวิจัยก่อนและ พัฒนาส่วนติดต่อผู้ใช้งาน (GUI) ซึ่งสามารถเพิ่มเติมให้ระบบมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยที่ ผู้ใช้งานสามารถหาตำแหน่งเป้าหมายผ่านทางอินเทอร์เน็ตได้โดยตรง และเก็บข้อมูลหรือพิกัด ของเครื่องอ่าน RFID ไว้ เพื่อที่จะให้ผู้ใช้สามารถทราบตำแหน่งย้อนหลังได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บรรณานุกรม

- [1] วีระศักดิ์ ชื่นตา, RFID เทคโนโลยี RFID และการประยุกต์ใช้งาน  
Available : <http://www.ecti-thailand.org/emagazine/views/60>
- [2] ดร. เศรษฐพงศ์ มะลิสุวรรณ, หลักการทำงานเบื้องต้นของ RFID, วันพุธที่ 17 ธ.ค. 51  
Available : [http://aplus-itm.blogspot.com/2008\\_12\\_14\\_archive.html](http://aplus-itm.blogspot.com/2008_12_14_archive.html)
- [3] อนุชนารถ, โครงสร้างภายใน Tag, วันจันทร์ที่ 15 กันยายน พ.ศ. 2551  
Available : <http://rfid-datacom.blogspot.com/>
- [4] CHATCHAWAN KANCHANAPHUSIT, Tag Classes,  
Available : [http://wiki.nectec.or.th/ru/IT630\\_2\\_2008Students/ChatchawanKanReport](http://wiki.nectec.or.th/ru/IT630_2_2008Students/ChatchawanKanReport)
- [5] อนุชนารถ, การประยุกต์ใช้งาน RFID, วันจันทร์ที่ 15 กันยายน พ.ศ. 2551  
Available : <http://rfid-datacom.blogspot.com/>
- [6] The Technology Corner, Jud Early, Corporate Vice President, Research, October 2005  
Available : <http://www.techexchange.com/thelibrary/techcorner/oct2005/oct2005.html>
- [7] PFH-9210-660 Long Range RFID Reader For Reading Active Tags (6M) & EM Proximity Card (40CM), May 30, 2009  
Available : [http://2r-he.blogspot.com/2009\\_05\\_01\\_archive.html](http://2r-he.blogspot.com/2009_05_01_archive.html)
- [8] กันต์ฤทัย อัสวรุ้งไพศาล มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, RFID สำคัญแค่ไหน  
Available : <http://thai-axapta.blogspot.com/2010/06/rfid.html>
- [9] Sunantha ITM0379, Radio Frequency Identification (RFID)#2, 26 สิงหาคม พ.ศ. 2553  
Available : <http://sunantha-ai.blogspot.com/2010/08/radio-frequency-identification-rfid2.html>
- [10] ระบบ RFID, รูปแบบการส่งสัญญาณ,  
Available : [http://www.omron-ap.co.th/solutions/rfid/overview\\_rfid04.asp](http://www.omron-ap.co.th/solutions/rfid/overview_rfid04.asp)
- [11] Communication Systems/Line Codes, Communication Systems,  
Available : [http://en.wikibooks.org/wiki/Communication\\_Systems/Line\\_Codes](http://en.wikibooks.org/wiki/Communication_Systems/Line_Codes)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

- [12] W.Noothong, N.Panitantum, A.Yordthein, A.Worapishetand M.Thamsirianunt “ASIC Design of a Single Chip CMOS RFID Transponder”, NECTEC, Slide presentation, 2002
- [13] อ.ชนันต์ ศรีสกุล, OOK-ASK-FSK-PSK  
Available : <http://wara.com/article-818.html>
- [14] วัชรกร หนุทอง อนุคุณ น้อยไม้ และปรีนันท์ วรรณสว่าง, “RFID เทคโนโลยีสารพัดประโยชน์”, สาร NECTEC, กันยายน – ตุลาคม พ.ศ.2547
- [15] WAL MART GRAPPLES WITH RFID, How is RFID technology related to Wal-Mart business model? How does it benefit supplier?  
Available : <http://betweenonline.blogspot.com/2010/03/wal-mart-grapples-witrfid.html>
- [16] เทคโนโลยี RFID, เทคโนโลยีแห่งความปลอดภัย RFID and Biometric Technology,  
Available : <http://www.bloggang.com/viewdiary.php?id=yaymai&month=02-2010&date=07&group=1&gblog=2>
- [17] ระติชัย ชาราชีพ, RFID ในระบบป้องกันการโจรกรรมรถยนต์,  
Available : <http://w506667.exteen.com/20080216/rfid>
- [18] กานต์วี ปานสีทา, RF-ID จากเทคโนโลยี ผู้อุตสาหกรรมในประเทศ,  
Available : [http://ibeachh.multiply.com/journal?&page\\_start=40](http://ibeachh.multiply.com/journal?&page_start=40)
- [19] Sanpechuda, “T.Kovavisaruch, L., “A Review of RFID Localization Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology 2008,ECTI-CON2008, pp. 769-772, vol.2, 14-17 May 2008
- [20] ระบบติดตามการขนส่ง, การทำงานของระบบ, Available :  
[http://www.acentech.net/cms/index.php?option=com\\_content&task=view&id=805&Itemid=241](http://www.acentech.net/cms/index.php?option=com_content&task=view&id=805&Itemid=241)
- [21] SUWATCHI SOONJUN , Thesis Year 2553, “ Improvement of RFID based location fingerprint technique for indoor environment”, Dept. of Inf. Eng., King Mongkut's Inst. of Technol. Ladkrabang, Bangkok, Thailand