

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การพัฒนาเทคนิคการหาตำแหน่งภายในอาคารแบบ Fingerprint บนพื้นฐาน
RFID แบบพาสซีฟ

IMPROVEMENT OF ESTIMATION FOR INDOOR LOCATION USING
PASSIVE RFID BASED FINGERPRINT TECHNIQUE



T117132



เลขหมู่
เลขทะเบียน 117132
วันเดือนปี 23 ส.ค. 2554

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสารสนเทศ
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2553
KMITL-2010-EN-M-230-153

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**IMPROVEMENT OF ESTIMATION FOR INDOOR LOCATION USING
PASSIVE RFID BASED FINGERPRINT TECHNIQUE**



**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN INFORMATION ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2010
KMITL-2010-EN-M-230-153**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2010

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาเทคนิคการหาตำแหน่งภายในอาคารแบบ Fingerprint บนพื้นฐาน RFID แบบพาสซีฟ

Thesis Title Improvement of Estimation for Indoor Location using Passive RFID based Fingerprint Technique

นักศึกษา นายสุวัชชัย สุนจันทร์

รหัสประจำตัว 49061062

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

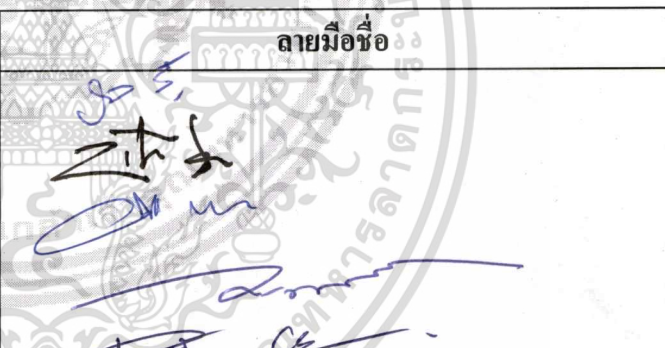
สาขาวิชา วิศวกรรมสารสนเทศ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2010-EN-M-230-153

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ลายมือชื่อ

รศ.ดร.ปิติเขต	สุริยา	
ผศ.ดร.พิทักษ์	ธรรมวาริน	
รศ.ดร.อรรถสิทธิ์	เหล่าสกุล	
รศ.ดร.กนก	เจนจิระพงศ์เวช	
ดร.พนารัตน์	เชิญถนอมวงศ์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2553 เวลา 13.00-15.00 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

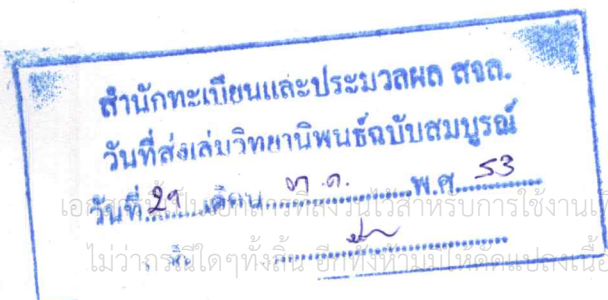
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.สุวัชวีร์ สุวรรณสวัสดิ์)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์



เอกสารนี้เป็นต้นฉบับที่ส่งมอบไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น วันที่ 15 ตุลาคม พ.ศ. 2553

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นทำเป็นหลักฐานเฉพาะเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาเทคนิคการหาตำแหน่งภายในอาคารแบบ Fingerprint บนพื้นฐาน RFID แบบพาสซีฟ
นักศึกษา	นายสุวิชัย สุนจันทร์
รหัสนักศึกษา	49061062
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมสารสนเทศ
พ.ศ.	2553
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.พนารัตน์ เจริญถนอมวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาเทคนิคการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคแบบ Fingerprint บนพื้นฐาน RFID แบบพาสซีฟ ซึ่งโดยทั่วไปการหาตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยี RFID สามารถจำแนกออกเป็น 2 แบบ คือ 1) การหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID และ 2) การหาตำแหน่งของแท็ก ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เลือกใช้การหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID เพราะว่าการใช้จ่ายในการทดลองไม่สูงมาก สำหรับการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID จะใช้แท็กจำนวนมากเป็นตัวอ้างอิงและลักษณะของแท็กที่ใช้จะเป็นแท็กแบบพาสซีฟ ในงานวิจัยนี้ได้ติดตั้งแท็กไว้บนเพดาน ณ พิกัดตำแหน่งที่ทราบค่าแล้วเพื่อใช้เป็นตัวอ้างอิงและนำเครื่องอ่าน RFID ไปติดไว้กับพาหนะที่ต้องการทราบตำแหน่ง เทคนิคในการหาตำแหน่งของเป้าหมายที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้คือ เทคนิค Fingerprint คือจะทำการนำข้อมูลของสัญญาณซึ่งได้รับจากเป้าหมายที่เราต้องการหาตำแหน่งมาทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลของสัญญาณที่เราได้ทำการเก็บบันทึกไว้แล้วในฐานะข้อมูลซึ่งข้อมูลที่เราทำการเก็บบันทึกไว้นั้นเราจะทราบพิกัดตำแหน่งไว้ก่อนหน้าแล้ว และข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ก่อนแล้วนี้จะเรียกว่า Fingerprint ดังนั้นตำแหน่งของเป้าหมายจะถูกประมาณจากตำแหน่งของ Fingerprint ที่มีความใกล้เคียงกับข้อมูลของสัญญาณที่ได้รับได้จากเป้าหมายมากที่สุด ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะพิจารณาว่าข้อมูลแท็กที่อ่านได้จากเครื่องอ่าน RFID ณ พิกัดตำแหน่งที่ทราบค่านั้นเป็น Fingerprint ต่อมาทำการหาพิกัดตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID ซึ่งเป็นเป้าหมายของเรา โดยวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเสนอวิธีการหาตำแหน่ง 3 วิธีบนพื้นฐานของการอินเตอร์เซกชันระหว่างแท็กที่พบจากเป้าหมายและ Fingerprint ซึ่งประสิทธิภาพความแม่นยำของทั้ง 3 วิธีที่ได้เสนอในการทดลองนี้จะพบว่าค่าความผิดพลาดน้อยที่สุดจะน้อยกว่า 35 เซนติเมตร โดยประมาณ

Thesis Title	Improvement of Estimation for Indoor Location using Passive RFID based Fingerprint Technique
Student	Mr. Suwatchai Soonjun
Student ID	49061062
Degree	Master of Engineering
Program	Information Engineering
Year	2010
Thesis Advisor	Dr. Panarat Cherntanomwong

ABSTRACT

This thesis presents improvement of an indoor localization using a fingerprint technique based on the Radio Frequency Identification (RFID) system. In general, the RFID localization can be categorized into two main types: one is the reader localization in which the reader locations will be estimated and one is the tag localization in which the tag locations will be estimated. The selection of these two types depends on the applications. In this paper, the reader localization is considered because of the lower system cost. For the reader localization, although a large number of tags is used, the tag cost is much cheaper than the reader cost. The passive tags are employed as references attached to the ceiling with known locations and the reader carrying on the vehicle of interest is the target to be localized. The basic principle of the fingerprint technique is to find the location of the target by comparing its signal (or information) pattern with a previously recorded database of known signal (or information)-location data referred to as a fingerprint. Therefore, there are two main steps to estimate the target location: (i) construction of database containing the signals (or information) and their corresponding locations, and (ii) estimation of the target location. In this thesis, firstly, the detected tags found by the reader at each location of interest are collected and from now on the detected tags are called a fingerprint. Secondly, the location of the reader can be estimated using three proposed methods using the intersection between the detected tags and fingerprints. The effectiveness of these methods is verified by experiment data. The best result of location estimation error among three proposed methods is less than 35 cm.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ดร.พนารัตน์ เชิญถนอมวงศ์ และ ดร.สถาพร พรหมวงศ์ อดีตหัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ ที่ให้คำปรึกษา คำชี้แนะช่วยเหลือแก้ปัญหาตลอดจนให้ความรู้และประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์ และกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา พี่สาว พี่เขยและญาติๆ ทั้งหลายของข้าพเจ้า ที่เป็นกำลังใจ ให้แรงผลักดันที่ทำให้ข้าพเจ้ามุ่งมั่นในการทำวิทยานิพนธ์ และให้การสนับสนุนในทุกๆ เรื่อง ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอบคุณเพื่อนๆ ที่คอยให้ข้อเสนอแนะ ให้กำลังใจ ช่วยทำการทดลอง และคอยสอบถามถึงความคืบหน้าของงานวิจัยจนงานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ขอขอบคุณกำลังใจจากหลานสาวตัวน้อย ค.ญ. วริศรา ทองแม่ ที่เป็นแรงผลักดันให้มีความพยายามที่จะตั้งใจทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ขึ้นมาเพื่อจะเป็นแบบอย่างที่ดีให้เห็นคุณค่าของการศึกษา เพื่อเป็นต้นแบบเมื่อเจริญเติบโตไปในภายภาคหน้าให้มีใจรักในการศึกษาและพัฒนาตนเองต่อไป

คุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่งของข้าพเจ้า

สุวัชชัย สุนจันทร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
รายการคำย่อและสัญลักษณ์.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....	3
1.6 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.7 ขั้นตอนของการศึกษา.....	4
บทที่ 2 เทคโนโลยี RFID และเทคนิคการหาตำแหน่งโดยระบบ RFID.....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบสื่อสาร RFID.....	5
2.3 องค์ประกอบของระบบ RFID.....	6
2.3.1 ทรานสปอนเดอร์หรือแท็กของระบบ RFID.....	7
2.3.1.1 แท็กแบบแอ็กทีฟ.....	9
2.3.1.2 แท็กแบบพาสซีฟ.....	9
2.3.1.3 แท็กแบบเซมิแอ็กทีฟ.....	10
2.3.2 เครื่องอ่านข้อมูล.....	11
2.4 หลักการทำงานของระบบ RFID.....	12
2.4.1 การสื่อสารระหว่างแท็กกับตัวอ่าน.....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.2 การเข้ารหัส.....	15
2.4.3 การผสมข้อมูลแบบดิจิทัล.....	16
2.4.3.1 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด.....	16
2.4.3.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่.....	16
2.4.3.3 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส.....	17
2.5 ความถี่ที่ใช้งานของระบบ RFID.....	18
2.6 แนวความคิดของมาตรฐานระบบเปิดกับระบบปิด.....	19
2.7 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์.....	20
2.8 ระยะการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง.....	20
2.9 การป้องกันการชนสำหรับระบบ RFID.....	21
2.10 การประยุกต์ใช้งานของระบบ RFID.....	21
2.10.1 การประยุกต์ใช้ RFID ในห่วงโซ่อุปทาน และระบบลอจิสติกส์.....	22
2.10.1.1 การประยุกต์ใช้ RFID ในอุตสาหกรรมการผลิต.....	23
2.10.1.2 การประยุกต์ใช้ RFID ในคลังสินค้า.....	23
2.10.1.3 การประยุกต์ใช้ RFID ในระบบการขนส่ง.....	24
2.10.1.4 การประยุกต์ใช้ RFID ในร้านค้า.....	24
2.10.1.5 การประยุกต์ใช้ RFID ระหว่างหน่วยธุรกิจในห่วงโซ่อุปทาน.....	24
2.10.2 การประยุกต์ใช้ RFID ในอุตสาหกรรมรถยนต์.....	25
2.10.3 การประยุกต์ใช้ RFID ในเกษตรกรรม.....	26
2.10.4 การประยุกต์ใช้ RFID ในการแพทย์.....	27
2.11 เทคนิคการหาตำแหน่งโดยระบบ RFID.....	28
2.11.1 เทคนิคการหาตำแหน่งของแท็ก.....	28
2.11.2 เทคนิคการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน.....	29
2.12 บทสรุป.....	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการของการหาตำแหน่งภายในอาคาร.....	30
3.1 บทนำ.....	30
3.2 การหาตำแหน่งโดยวิธีการเรขาคณิตรูปสามเหลี่ยม (Triangulation)	30
3.2.1 วิธีการหาตำแหน่งด้วยระยะทาง.....	31
3.2.1.1 การหาตำแหน่งโดยอ้างอิงจากเวลาของการมาถึง.....	31
3.2.1.2 การหาตำแหน่งโดยอ้างอิงความแตกต่างเวลาของสัญญาณที่มาถึง	32
3.2.1.3 การหาตำแหน่งโดยอ้างอิงจากระยะทางได้มาจากการคำนวณการลด ทอนของสัญญาณของสัญญาณวิทยุกับเวลาในการเคลื่อนที่ของ สัญญาณ.....	34
3.2.2 วิธีการหาตำแหน่งด้วยมุม.....	35
3.3 วิธีหาตำแหน่งด้วยการวัดค่าความใกล้เคียงกับจุดอ้างอิง.....	36
3.4 วิธีการหาตำแหน่งโดยการวิเคราะห์บริเวณเฉพาะ.....	36
3.4.1 Offline Phase หรือ Training Phase.....	36
3.4.2 Online Phase หรือ Localization Phase.....	37
3.5 บทสรุป.....	38
บทที่ 4 วิธีการและขั้นตอนการทดลองวิจัย.....	39
4.1 บทนำ.....	39
4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย.....	39
4.3 ขั้นตอนและรูปแบบวิธีการทดลองวิจัยในการหาตำแหน่ง.....	45
4.3.1 การจัดเตรียมการทดลองและสภาพแวดล้อมในการทดลอง.....	45
4.3.2 รูปแบบในการทดลองหาตำแหน่ง.....	48
4.3.3 ขั้นตอนในการทดลองหาตำแหน่ง.....	49
4.3.3.1 Offline Phase หรือ Training Phase.....	49
4.3.3.2 Online Phase หรือ Localization Phase.....	51
4.3.3.2.1 วิธีที่1.....	52
4.3.3.2.2 วิธีที่2.....	55
4.3.3.2.3 วิธีที่3.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา VI และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 บทสรุป.....	59
บทที่ 5 ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์การหาตำแหน่งของเป้าหมายภายในอาคาร.....	60
5.1 บทนำ.....	60
5.2 ผลการทดลองและผลการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1.....	60
5.3 ผลการทดลองและผลการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2.....	62
5.4 ผลการทดลองและผลการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3.....	64
5.5 ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1.....	66
5.6 ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2.....	67
5.7 ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3.....	69
5.8 เปรียบเทียบตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณทั้ง 3 วิธีกับตำแหน่งจริง.....	71
5.9 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งทั้ง 3 วิธี.....	72
5.10 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งทั้ง 3 วิธี.....	74
5.11 บทสรุป.....	76
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	77
6.1 บทนำ.....	77
6.2 บทสรุป.....	78
6.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	78
6.3.1 ปัญหาที่พบในงานวิจัย.....	78
6.3.1 ข้อเสนอแนะ.....	79
เอกสารอ้างอิง.....	80
ภาคผนวก ก.บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์.....	82
ประวัติผู้เขียน.....	97

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้งานของระบบ RFID ในแต่ละแถบความถี่.....	18
4.1 เปรียบเทียบแสดงคุณสมบัติของแท็กแบบพาสซีฟและแท็กแบบแอ็กทีฟ.....	41
4.2 ตารางความถี่ในการใช้งานของระบบ RFID.....	42
4.3 รายละเอียดค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลองหาตำแหน่ง.....	48
4.4 ตารางรูปแบบฐานข้อมูลของการ Fingerprint.....	50
5.1 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 1.....	60
5.2 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 2.....	62
5.3 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 3.....	64
5.4 ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1.....	66
5.5 ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2.....	68
5.6 ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3.....	69
5.7 ค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณของทั้ง 3 วิธี เทียบกับตำแหน่งพิกัดจริง.....	71
5.8 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งทั้ง 3 วิธี.....	73
5.9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งทั้ง 3 วิธี.....	74

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของระบบการสื่อสาร RFID.....	7
2.2 โครงสร้างภายในของแท็ก.....	7
2.3 แท็กในรูปแบบต่างๆ.....	8
2.4 แท็กแบบแอ็กทีฟ.....	9
2.5 แท็กแบบพาสซีฟ.....	10
2.6 แท็กแบบเซมิแอ็กทีฟ ในรูปแบบ Wrist Band.....	11
2.7 โครงสร้างของเครื่องอ่านข้อมูล.....	12
2.8 เครื่องอ่านข้อมูลในรูปแบบต่างๆ.....	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.....	16
2.14 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่.....	17
2.15 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส.....	17
2.16 ย่านความถี่ที่ใช้ในระบบ RFID.....	18
2.17 ระบบกัญญาอิเล็กทรอนิกส์.....	25
2.18 ตัวอย่างการใช้ RFID ในฟาร์ม.....	27
2.19 ตัวอย่างการใช้ RFID ในการแพทย์.....	28
2.20 การหาตำแหน่งโดยใช้แท็ก.....	28
2.21 การหาตำแหน่งโดยใช้เครื่องอ่าน.....	29
3.1 แสดงการหาตำแหน่งด้วยการวัดแบบ TOA.....	31
3.2 แสดงการหาตำแหน่งด้วยการวัดแบบ TDOA.....	34
3.3 แสดงการหาตำแหน่งด้วยการวัดแบบ AOA.....	35
3.4 แสดงการหาตำแหน่งด้วยวิธีการหาตำแหน่งแบบ Fingerprint.....	37
4.1 โปรแกรมที่ใช้ทำการติดต่อกับเครื่องอ่าน RFID.....	40
4.2 อุปกรณ์แปลงพอร์ตอนุกรมเป็นยูเอสบี.....	40
4.3 แท็กแบบพาสซีฟที่มีสายอากาศแบบโพลาไรซ์เชิงเส้น.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 เครื่องอ่าน RFID ที่ทำงานในย่านความถี่สูงยิ่ง.....	43
4.5 โฟลว์ชาร์ตของขั้นตอนการทดลองวิจัย.....	44
4.6 รูปแบบการจัดเรียงแท็กทั้ง 96 ตัวในการทดลอง.....	45
4.7 การติดตั้งแท็กที่ติดไว้กับพาดานมีทั้งแท็ก ณ ตำแหน่งที่ต้องการเก็บค่า Fingerprint และแท็ก อ้างอิง.....	46
4.8 เครื่องอ่านขณะทำการอ่านแท็กโดยตรง.....	47
4.9 การจัดเตรียมระบบการทดลอง.....	47
4.10 รูปแบบการทดลอง.....	49
4.11 แท็กแบบพาสซีฟที่ติดบนพาดานซึ่งรูปสี่เหลี่ยมสีเทาคือตำแหน่งที่ได้ทำ Fingerprint และ สี่ เหลี่ยมสีขาวคือแท็กที่ใช้ในการอ้างอิง.....	50
4.12 ตำแหน่งที่ทำการสุ่มทดลองทั้ง 20 ตำแหน่ง.....	51
4.13 โฟลว์ชาร์ตของการเปรียบเทียบหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1.....	52
4.14 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 1 ที่เกิดกรณีมีตำแหน่งของ Fingerprint ที่ทำให้เกิด N_{max} เพียงค่าเดียว.....	53
4.15 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 1 ในกรณีที่มีตำแหน่งของ Fingerprint ที่ทำให้เกิด N_{max} มากกว่า 1 ตำแหน่ง.....	54
4.16 โฟลว์ชาร์ตของการเปรียบเทียบหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2.....	55
4.17 ตัวอย่างตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 2.....	56
4.18 โฟลว์ชาร์ตของการเปรียบเทียบหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3.....	56
4.19 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 3 ที่เกิดกรณีมี Fingerprint ค่ามากที่สุดเพียงค่าเดียว.....	57
4.20 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 3 ที่เกิดกรณีมี Fingerprint ค่ามากที่สุดมากกว่าหนึ่งค่า.....	58
5.1 ตำแหน่งที่ทำการสุ่มทดลองทั้ง 20 ตำแหน่ง.....	61
5.2 การเปรียบเทียบตำแหน่งจริงและตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 1.....	62
5.3 การเปรียบเทียบตำแหน่งจริงและตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 2.....	64
5.4 การเปรียบเทียบตำแหน่งจริงและตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 3.....	65
5.5 กราฟค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1.....	67
5.6 กราฟค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2.....	69
5.7 กราฟค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3.....	70
5.8 การเปรียบเทียบตำแหน่งจริงและตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณทั้ง 3 วิธี.....	72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.9 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของทั้ง 3 วิธีทุกตำแหน่งที่สุ่มทดสอบ.....	74
5.10 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของทั้ง 3 วิธี.....	75



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์

ระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification)	RFID
เส้นทางตามแนวสายตา (Line of Sight)	LOS
เส้นทางที่ไม่ตามแนวสายตา (Non-Line of Sight)	NLOS
ระบบดาวเทียมบอกพิกัด(Global Positioning System)	GPS
ความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency)	UHF
เครือข่ายไร้สายท้องถิ่น (Wireless Local Area Network)	WLAN
เทคโนโลยีสื่อสารระยะสั้น(Ultrawideband)	UWB
หน่วยความจำหลักชนิดถาวร (Read Only Memory)	ROM
เครือข่ายไร้สายท้องถิ่น (Wireless Local Area Network)	WLAN
หน่วยความจำสำรอง(Random Access Memory)	RAM
หน่วยความจำอ่านอย่างเดียวชนิดเปลี่ยนแปลงได้ด้วยไฟฟ้า (Electrically Erasable Programmable Read Only Memory)	EEPROM
หน่วยความจำแบบเขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างอิสระ (Write-One, Read-Many)	WORM
การมอดูเลตแอมพลิจูด (Amplitude Modulation)	AM
การเข้าถึงหลายทางแบบแบ่งเวลา (Time Division Multiple Access)	TDMA
การเข้ารหัสที่ความกว้างพัลส์เท่ากับความกว้างคาบเวลา (Non Return to Zero)	NRZ
การเข้ารหัสแบบ (Differential Bi Phase)	DBP
ความถี่สูง (High Frequency)	HF
ความถี่ต่ำ (Low Frequency)	LF
การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (Amplitude shift keying)	ASK
การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency shift keying)	FSK
การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase shift keying)	PSK
หน่วยงานกำหนดมาตรฐานสากล (International Standard Organization)	ISO
หน่วยงานกำหนดแถบรหัส (Electronic Product Code)	EPC
อัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to noise ratio)	SNR
คณะกรรมการสื่อสารแห่งสหรัฐอเมริกา (Federal Communications Commission)	FCC
คณะกรรมการสื่อสารคลื่นวิทยุแห่งยุโรป (European Radio Communications Committee)	ERCC
การหาตำแหน่งโดยอ้างอิงจากเวลาของการมาถึง (Time of Arrival)	TOA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

การหาตำแหน่งโดยอ้างอิงจากความแตกต่างของเวลาของสัญญาณที่มาถึง (Time Difference of Arrival)	TDOA
การหาตำแหน่งโดยอ้างอิงจากระยะทางได้มาจากการคำนวณการลดทอนของสัญญาณของ สัญญาณวิทยุกับเวลาในการเคลื่อนที่ของสัญญาณ (Round Trip Time of Flight)	RTOF
การหาตำแหน่งเชิงมุม (Angle of Arrival)	AOA
มาตรฐานหน่วยวัด Voltage ของสัญญาณขณะมี Load (Decibel milli Watt)	dBm
จุดศูนย์กลาง (Center of Gravity)	CG
ความแรงของสัญญาณที่ได้รับ (Receive Signal Strength Indicator)	RSSI
การมอดูเลตความถี่ (Frequency Modulation)	FM
วงจรรวม (Integrated Circuit)	IC
ความถี่สูง (High Frequency)	HF
การชี้เฉพาะ (Identification)	ID
เครื่องส่ง (Transmitter)	Tx
ระยะทางระหว่างวัตถุกับ โหนดที่ i	R_i
ความเร็วแสง (Velocity of light) มีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที	c
ระยะเวลาในการเดินทางสัญญาณระหว่างวัตถุไปที่ โหนด i	t_i
ผลต่างของระยะทางระหว่าง โหนด ตำแหน่งที่ i และตำแหน่งที่ j	$R_{i,j}$
ความแตกต่างของเวลาของสัญญาณจากวัตถุไปที่ โหนด ตำแหน่งที่ i และตำแหน่งที่ j	$t_{i,j}$
ตำแหน่งที่ได้ทำการ fingerprint	F_i
กลุ่มของแท็กที่พบในขั้นตอนการ fingerprint	D_i
กลุ่มของแท็กที่พบในการทดสอบตำแหน่ง	DO_k
ตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ	x_{est}, y_{est}
จำนวนที่สูงที่สุดหลังจากการอินเตอร์เซกชันกัน ได้มากที่สุด	N_{max}
ฟังก์ชันของ fingerprint	$LF(x,y)$
ฟังก์ชันของแท็กที่ตรวจพบ ตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID	$T(x,y)$
เมกะไบต์ (Megabyte)	MByte
วินาที (Second)	s
เมตร (Meter)	m
เซนติเมตร (Centimeter)	cm
กิโลเมตร (Kilometer)	km

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายการคำย่อและสัญลักษณ์ (ต่อ)

ไบต์ (Byte)	Byte
บิต (Bit)	Bit
เฮิรตซ์ (Hertz)	Hz
กิกกะเฮิรตซ์ (Gigahertz)	GHz
กิโลเฮิรตซ์ (kilohertz)	KHz
เมกกะเฮิรตซ์ (Megahertz)	MHz



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบัน ได้มีการนำเทคโนโลยีระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification: RFID) มาใช้กันอย่างแพร่หลาย เพื่อระบุและจำแนกบุคคลและสิ่งของ ซึ่งระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุนี้ค่อนข้างมีการนำเข้ามาใช้งานเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ เพราะว่าระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุนี้มีประโยชน์อันหลากหลายมากกว่าเทคโนโลยีระบบบ่งชี้อัตโนมัติอื่นๆ เช่น เทคโนโลยีรหัสแถบ (Barcode) ที่มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน แต่ก็ยังมีข้อจำกัดตรงที่ระหว่างเครื่องอ่านกับป้ายชื่อ จะต้องเป็นเส้นทางตามแนวสายตา (Line of Sight: LOS) มีระยะทางการใช้งานสั้น ส่วนระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุนี้จุดเด่นของระบบนี้คือ ความสามารถในการอ่านข้อมูลของวัตถุได้พร้อมกันหลายๆ วัตถุโดยสามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่องรับได้โดยไม่ต้องนำไปจ่อในมุมที่เหมาะสมอย่างการใช้เครื่องรหัสแถบ สามารถอ่านได้ในขณะที่วัตถุกำลังเคลื่อนที่และทนต่อความเปียกชื้น การกระทบ กระแทก สามารถอ่านข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง สามารถเขียนทับข้อมูลได้ จึงทำให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ซึ่งจะลดต้นทุนของการผลิตป้ายสินค้า ความเสียหายของป้ายชื่อ (Tag) น้อยกว่า เนื่องจากไม่จำเป็นต้องติดไว้ภายนอกบรรจุภัณฑ์ ระบบความปลอดภัยสูงกว่า ยากต่อการปลอมแปลงและลอกเลียนแบบ สามารถจัดปัญหาที่เกิดขึ้นจากการอ่านข้อมูลซ้ำที่อาจเกิดขึ้นจากระบบรหัสแถบ

การใช้คลื่นวิทยุเพื่อหาตำแหน่งได้มีการทำวิจัยกันอย่างแพร่หลาย เพราะได้มีการประยุกต์ใช้กันอย่างมากมาย อาทิเช่น การประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่งของบุคคลหรือสิ่งของภายนอกอาคารหรือใช้ในอุปกรณ์นำทางรถยนต์ การหาตำแหน่งภายนอกอาคารที่มีการนำมาประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุดคือระบบการหาตำแหน่งโดยใช้ Global Positioning System (GPS) ส่วนการหาตำแหน่งภายในอาคาร อาทิเช่น ภายในบ้าน สำนักงาน โรงงานอุตสาหกรรม ระบบการขนส่ง การดูแลผู้ป่วยในโรงพยาบาล ซึ่งสิ่งเหล่านี้เราต้องการความแม่นยำและเป็นปัจจัยหลักในการหาตำแหน่ง แต่อย่างไรก็ตามเราก็ต้องคำนึงถึงเรื่องของความซับซ้อนและงบประมาณค่าใช้จ่ายด้วย โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงการพัฒนาเทคนิคการหาตำแหน่งภายในอาคารแบบ Fingerprint บนพื้นฐาน RFID แบบพาสซีฟ ที่ได้เลือกใช้เทคโนโลยี RFID เพราะว่าการใช้จ่ายในการทดลองไม่สูงมากนัก สำหรับการหาตำแหน่งโดยใช้เครื่องอ่านจะใช้แท็กที่ค่อนข้างเยอะแต่มีข้อดีคือราคาของแท็กนั้นถูกกว่าราคาของเครื่องอ่านค่อนข้างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

การหาตำแหน่งภายในอาคารได้รับความนิยมน้อยกว่าหลายในการทำงานวิจัย เนื่องจากสามารถนำไปใช้ได้ในงานหลายประเภทและมีความปลอดภัยของข้อมูลสูง เช่น ติดตามผู้ป่วยในโรงพยาบาล ติดตามเด็กในห้างสรรพสินค้า หรือในสวนสนุก การหาอุปกรณ์สินค้าในคลังสินค้า การติดตามในยานพาหนะ หรือใช้ในงานด้านทหาร และอื่นๆ ความถูกต้องแม่นยำและความน่าเชื่อถือจากการคำนวณหาตำแหน่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องการทราบอย่างไรก็ตามต้องคำนึงถึงเรื่องของความซับซ้อนและงบประมาณค่าใช้จ่ายด้วย เทคโนโลยี RFID จึงน่าจะเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการหาตำแหน่งภายในอาคารเนื่องจากมีข้อดีหลายอย่างดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีหาตำแหน่งภายในอาคารซึ่งใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยี RFID เพื่อให้สามารถหาตำแหน่งของวัตถุที่เราต้องการได้โดยมีความเที่ยงตรงหรือความถูกต้อง (Accuracy) และแม่นยำ (Precision) ในระดับที่เหมาะสม เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานของแบบแผนการวิจัยหรือการพัฒนาเทคโนโลยีนี้ต่อไป

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การพัฒนาเทคนิคการหาตำแหน่งภายในอาคารแบบ Fingerprint บนพื้นฐาน RFID แบบพาสซีฟนั้น ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการทดลองหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID (RFID Reader) โดยใช้แท็กติดไว้บนเพดานเพื่อทำหน้าที่ในการอ้างอิงข้อมูลตำแหน่งของเครื่องอ่าน โดยในการทดลองนี้จะเสนอวิธีการหาตำแหน่ง 3 วิธี โดยใช้อินเตอร์เซกชันของแท็กที่พบและ Fingerprint ซึ่งประสิทธิภาพความแม่นยำของทั้ง 3 วิธีนั้นจะทำการเปรียบเทียบจากค่าความผิดพลาดและค่าความผิดพลาดเฉลี่ย เพื่อนำมาวิเคราะห์ในการหาความแม่นยำของการหาตำแหน่งภายในอาคาร สมมติฐานของการศึกษานี้เพื่อให้เป็นไปตามคุณลักษณะของการใช้งานจริงในสถานะแวดล้อมภายในอาคารของเทคโนโลยีระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุโดยตัวแปรที่สำคัญที่น่าจะมีต่อผลกระทบต่อค่าความผิดพลาดน่าจะเป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในการหาตำแหน่ง ซึ่งจากการวิเคราะห์น่าจะมีอัลกอริทึมที่มีความซับซ้อนมากขึ้นก็น่าจะมีความแม่นยำในการค้นหาตำแหน่งเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย แต่กระนั้นเลยก็ยังมีค่าความซับซ้อนมากขึ้นเท่าไรก็ย่อมต้องใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วยเช่นเดียวกัน

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย คือ เทคนิคการหาตำแหน่งแบบวิเคราะห์ที่ตั้งแวดล้อม (Scene Analysis) บางครั้งนิยมเรียกว่า Fingerprint โดยจะเสนอวิธีการหาตำแหน่ง 3 วิธี โดยใช้อินเตอร์เซกชันระหว่างแท็กที่พบจากเครื่องอ่าน RFID เป้าหมายและ Fingerprint ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออยู่ภายใต้เงื่อนไขและข้อกำหนดการคุ้มครองตามกฎหมายที่สงวนไว้สำหรับเอกสารฉบับนี้ ไม่สามารถนำเอกสารไปเผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำการใช้เครื่องอ่าน RFID ที่ทำงานในย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF : 920-925 MHz) มาใช้ในการทดลอง และใช้แท็กในการอ้างอิงตำแหน่ง โดยจะนำเทคนิคนี้มาทำการวิจัยเพื่อวิเคราะห์ประเมินหาความแม่นยำในการหาตำแหน่ง ซึ่งความแม่นยำจะศึกษาจากการเปรียบเทียบจากค่าความผิดพลาดและค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองและวิจัย เพื่อนำมาสรุปประเมินในเรื่องของความแม่นยำต่อไป

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

มีงานวิจัยหลายเทคโนโลยีที่นำมาใช้ในการติดตามหาตำแหน่ง ซึ่งเป็นที่รู้จักกันดีเช่น (GPS) - Based , Cellular - Based , Wireless Local Area Network (WLAN) , Ultrawideband (UWB) และ Radio Frequency Identification (RFID) ส่วนในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณานำเทคโนโลยี RFID เข้ามาใช้ในการหาตำแหน่งภายในอาคาร โดยปกติแล้วการหาตำแหน่งด้วย RFID จะแบ่งออกเป็น 2 หลักใหญ่ แบบแรกคือ การหาตำแหน่งโดยใช้แท็ก แบบที่สองคือการหาตำแหน่งโดยใช้เครื่องอ่านซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้การหาตำแหน่งโดยใช้เครื่องอ่านเพราะว่าค่าใช้จ่ายค่อนข้างน้อยกว่าการหาตำแหน่งโดยใช้แท็ก สำหรับอัลกอริทึมที่ใช้ในการหาตำแหน่งนั้นจะมีหลัก ๆ 2 แบบ คือ แบบการคำนวณจากกฎสามเหลี่ยม (Triangulation) และแบบการวิเคราะห์สิ่งแวดล้อม (Scene Analysis) บางครั้งเรียกว่า Fingerprint โดยในวิทยานิพนธ์นี้เลือกใช้อัลกอริทึมที่ใช้ในการหาตำแหน่งแบบการวิเคราะห์สิ่งแวดล้อม ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมุ่งเน้นด้านการพัฒนาเทคนิคการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคแบบ Fingerprint บนพื้นฐาน RFID ซึ่งในการทดลองนี้จะเสนอวิธีการหาตำแหน่ง 3 วิธีโดยใช้การอินเตอร์เซกชันของแท็กที่พบและ Fingerprint โดยที่วิธีการทดลองพื้นฐานนั้นจะใช้วิธีการอินเตอร์เซกชันที่มีความซับซ้อนน้อยซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเพิ่มความซับซ้อนของการอินเตอร์เซกชันให้ละเอียดและมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นกว่าวิธีการพื้นฐาน โดยประสิทธิภาพความแม่นยำของทั้ง 3 วิธีที่ได้นำเสนอในการทดลองนั้นจะใช้การเปรียบเทียบจากค่าความผิดพลาดและค่าความผิดพลาดเฉลี่ย เพื่อนำมาวิเคราะห์ในการหาความแม่นยำของการหาตำแหน่งภายในอาคาร

1.6 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการศึกษาการพัฒนาเทคนิคการหาตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เทคนิคแบบ Fingerprint บนพื้นฐานเทคโนโลยี RFID โดยจะใช้เครื่องอ่าน RFID ที่ทำงานในย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF :920-925 MHz) ใช้สายอากาศที่มีการโพลาไรซ์เชิงเส้น (Linearly Polarized Antenna) มาใช้ในการทดลอง และใช้แท็กแบบพาสซีฟที่มีสายอากาศแบบโพลาไรซ์เชิงเส้น โดยทำการติดตั้งบนเพดานซึ่งจะทำการทดลองในสภาวะแวดล้อมภายในอาคาร โดยมีพื้นที่ในการหาตำแหน่งขนาดความกว้าง 3 เมตร และความยาว 3 เมตร โดยทำการหาตำแหน่งของงานการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ่านในขณะที่เครื่องอ่านอยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง เพื่อศึกษาเปรียบเทียบจากค่าความผิดพลาดและค่าความผิดพลาดเฉลี่ย ซึ่งนำมาสู่การวิเคราะห์ในการหาความแม่นยำของการหาตำแหน่งภายในอาคาร และสามารถนำไปปรับปรุงและพัฒนาระบบให้สามารถใช้งานได้โดยมีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงบทนำ ซึ่งประกอบไปด้วยความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย การเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน ขอบเขตการวิจัย และขั้นตอนของการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีของระบบ RFID และเทคนิคการหาตำแหน่ง โดยระบบ RFID ได้แบ่งเป็นหัวข้อย่อย ๆ ซึ่งประกอบด้วย บทนำ ความหมายและประวัติความเป็นมาของระบบ RFID องค์ประกอบของระบบ RFID หลักการทำงานของระบบ RFID ความถี่ที่ใช้งานของระบบ RFID แนวความคิดการป้องกันการชนสำหรับระบบ RFID การประยุกต์ใช้งานของระบบ RFID และจะได้กล่าวถึงเทคนิคการหาตำแหน่งโดยระบบ RFID และบทสรุป

บทที่ 3 กล่าวถึง ทฤษฎีและหลักการของการหาตำแหน่งภายในอาคาร ซึ่งจะประกอบด้วยหัวข้อย่อยคือ บทนำ การหาตำแหน่งโดยวิธีการเรขาคณิตรูปสามเหลี่ยม (Triangulation) การหาตำแหน่งโดยการวัดค่าความใกล้เคียงกับจุดอ้างอิง (Proximity) การหาตำแหน่งโดยการวิเคราะห์บริเวณเฉพาะ (Fingerprint) และบทสรุป

บทที่ 4 กล่าวถึง รูปแบบ วิธีการและขั้นตอนในการทดลองสำหรับระบบการหาตำแหน่งด้วยเทคนิค Fingerprint และอัลกอริทึมที่ใช้ในการหาตำแหน่ง รวมถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัยและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดในงานวิจัย

บทที่ 5 กล่าวถึง รายละเอียดของผลการทดลองและผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดและค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการหาตำแหน่งในแต่ละอัลกอริทึมที่ได้ทำการทดลองวิจัย

บทที่ 6 กล่าวถึง การสรุปผลในงานวิจัยและข้อเสนอแนะเพิ่มเติมของการวิจัยในอนาคต

บทที่ 2

เทคโนโลยี RFID และเทคนิคการหาตำแหน่งโดยระบบ RFID

2.1 กล่าวนำ

แม้ว่าในช่วงนี้จะเป็นเศรษฐกิจถดถอยและอาจทำให้การซื้อหาอะไรจะต้องคิดหน้าคิดหลังอยู่บ้าง แต่เชื่อแน่ว่าทุกคนคงเคยได้เข้าไปเดินจับจ่ายซื้อของตามห้างสรรพสินค้าต่าง ๆ ในขณะที่นำสินค้าไปยังแคชเชียร์เพื่อชำระเงิน ก็จะคุ้นเคยกับภาพของพนักงานที่ใช้อุปกรณ์บางอย่างตรวจสอบแถบรหัสหรือที่เรียกกันว่า แถบบาร์โค้ด บนตัวสินค้าเพื่ออ่านข้อมูลบางอย่างออกมา ซึ่งแม้ว่าฉลากแบบบาร์โค้ดจะเป็นที่นิยมและใช้กันมากในบ้านเรา แต่ทว่าวิธีการเก็บข้อมูลแบบดังกล่าวก็ยังคงมีจุดด้อยที่ควรได้รับการแก้ไขอยู่หลายจุด ปัญหาที่เห็นได้ชัดข้อหนึ่งก็คือ ปัญหาในการอ่านค่าข้อมูลจากแถบดังกล่าวที่ต้องยิงลำแสงตรวจจับลงไปยังฉลากเพื่ออ่านค่ากลับ หรือใช้กล้องซีซีดีขนาดเล็กจับภาพฉลากขึ้นมาเพื่ออ่านภาพก็ตาม ซึ่งถ้าหากว่าแถบข้อมูลดังกล่าวมีรอยเปื้อนหรือไม่ชัดเจน การอ่านค่ากลับมาอาจจะมีผิดพลาด นอกจากนั้นวิธีการอ่านค่าที่จำเป็นต้องนำเครื่องอ่านมาวางอยู่เหนือฉลากที่ต้องการอ่านค่าก็ไม่ใช่วิธีที่สะดวกสำหรับงานบางประเภท โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีฉลากต้องตรวจสอบเป็นจำนวนมากๆ นี้ ก็คงเป็นหนึ่งในหลายๆ เหตุผลที่ทำให้เกิดการพัฒนาระบบฉลากแบบใหม่ซึ่งมีชื่อเรียกว่า “RFID” ในบทนี้ได้กล่าวถึงความหมายของระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification: RFID) องค์ประกอบของระบบ RFID ความดีที่ใช้งานของระบบ RFID ขั้นตอนการทำงานของระบบ การประยุกต์ใช้งานของระบบ RFID และเทคนิคการหาตำแหน่งโดยระบบ RFID ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้เป็นทฤษฎีพื้นฐานที่สำคัญของระบบ RFID

2.2 ประวัติและความเป็นมาของระบบการสื่อสาร RFID

RFID ย่อมาจากคำว่า Radio Frequency Identification ในปี ค.ศ. 1945 อุปกรณ์ RFID มีการประดิษฐ์ขึ้นใช้งานเป็นครั้งแรกซึ่งเป็นผลงานของ Leon Theremin ซึ่งสร้างให้กับรัฐบาลของประเทศรัสเซียซึ่งอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมานั้นทำหน้าที่เป็นเครื่องมือดักจับสัญญาณวิทยุ ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวระบุเอกลักษณ์อย่างที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันและในปี ค.ศ. 1970 ได้พัฒนานำไปใช้ในทางการทหารซึ่งในช่วงปลายสงครามโลกครั้งที่ 2 ได้มีการนำ RFID มาใช้ในการสงคราม (ระบบ Friend or Foe ในเครื่องบินรบที่เอาไว้จำแนกศัตรูจากฝ่ายเดียวกัน) เมื่อฝ่ายสัมพันธมิตรมีหลายชาติเข้าร่วมรบโดยสัญญาณวิทยุที่เข้ารหัสเพื่อระบุว่าเป็นของฝ่ายมิตรหรือศัตรูฝ่ายตรงข้ามเป็นสิ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

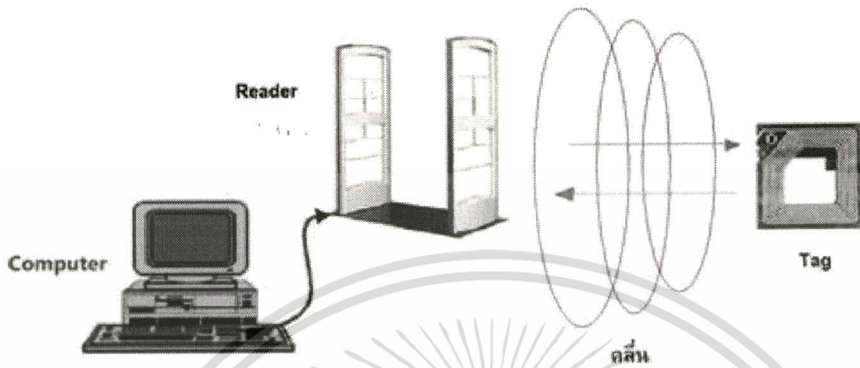
ที่จำเป็นอย่างยิ่ง ชงหรือแถบสีที่กำหนดเพื่อสื่อสารระหว่างกันเป็นต้นแบบยุคแรกๆ ของการกำหนด แถบเพื่อสื่อสารถึงกัน และต่อมาเมื่อมีการประดิษฐ์วงจรถอณิกส์ขนาดเล็กทำให้เกิดแนวคิดในการประยุกต์ใช้ในทางพลเรือน โดยเริ่มจากจากการสร้าง RFID ใช้ฝังในสัตว์เลี้ยง ใช้ในด้านการควบคุมการเข้าออกสถานที่ และใช้ในการขนส่ง ในปัจจุบัน RFID กลายเป็นสิ่งที่เล็กลงมากและราคาถูกพอที่จะใช้กับวัตถุต่างๆ ได้ง่าย RFID กำลังกลายเป็นกระแสโลกเมื่อมีการประยุกต์ใช้ในการค้าระหว่างประเทศเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความมั่นคงปลอดภัย และในยุคปลาย 1980 ถึง 1990 นั้นได้มีการนำเอาระบบ RFID นี้เข้ามาใช้ในอุตสาหกรรมขนส่งและคลังสินค้ากันอย่างแพร่หลาย สายการบินหลายแห่งได้ใช้ RFID เพื่อช่วยในการติดตามสัมภาระของผู้โดยสาร และท่าเรืออีกหลายแห่งก็ใช้ RFID ที่ว่านี้ในการจัดการตู้คอนเทนเนอร์ หนึ่งในนั้นคือท่าเรือแห่งสิงคโปร์ที่ได้ใช้ RFID นี้มานานแล้ว เนื่องจากอุปกรณ์ RFID ในขณะนั้นไม่สะดวกในการนำมาใช้งานเพราะมีขนาดใหญ่ นอกจากนั้นแล้วยังมีราคาแพง จึงไม่ได้ความนิยมมากเพียงพอที่จะนำมาใช้ในเชิงพาณิชย์กรรมได้ ต่อมาได้มีการพัฒนา RFID อย่างต่อเนื่องจนสามารถย่อขนาดลงเป็นแผ่นเล็กๆ ได้จึงมีแนวความคิดหลากหลายที่จะนำ RFID มาใช้ในเชิงพาณิชย์กรรม บริหาร และในทางราชการ

2.3 องค์ประกอบของระบบ RFID

ในระบบ RFID จะมีองค์ประกอบหลักๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกคือทรานสปอนเดอร์ หรือแท็ก (Transponder/Tag) ที่ใช้ติดกับวัตถุต่างๆ ที่เราต้องการ โดยแท็กที่ว่าจะเป็นที่เก็บข้อมูล เกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆ เอาไว้ ส่วนที่สองก็คือเครื่องสำหรับอ่าน / เขียน ข้อมูลภายในแท็ก (Interrogator/Reader) ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ หากจะเปรียบเทียบกับระบบบาร์โค้ดเพื่อให้เห็นภาพชัดเจน แท็กในระบบ RFID ก็คือ ตัวบาร์โค้ดที่ติดกันฉลากของสินค้า และเครื่องอ่านในระบบ RFID ก็คือเครื่องอ่านบาร์โค้ด (Scanner) โดยข้อแตกต่างของทั้งสองระบบคือ ระบบ RFID จะใช้คลื่นความถี่วิทยุในการอ่าน/เขียนส่วนระบบบาร์โค้ดจะใช้แสงเลเซอร์ในการอ่านโดยข้อเสียของระบบบาร์โค้ดคือหลักการอ่านเป็นการใช้แสงในการอ่านบาร์โค้ดซึ่งจะต้องอ่านโดยที่ไม่มีอะไรปิดหรือต้องอยู่ในเส้นตรงแนวเดียวกับลำแสงที่ยิงจากเครื่องสแกนและอ่านได้ทีละแท็กในระยยะใกล้ๆ แต่ระบบ RFID จะแตกต่างโดยสามารถอ่านแท็กได้ โดยไม่ต้องเห็นแท็ก หรือแท็กนั้นซ่อนอยู่ภายในวัตถุและไม่จำเป็นต้องอยู่ในเส้นตรงกับคลื่น เพียงอยู่ในบริเวณที่สามารถรับคลื่นวิทยุได้ก็สามารถอ่านข้อมูลได้ และการอ่านแท็กในระบบ RFID ยังสามารถอ่านได้หลายๆ แท็กในเวลาเดียวกัน โดยระยะในการอ่านข้อมูลได้ไกลกว่าระบบบาร์โค้ดอีกด้วย จากรูป 2.1 จะแสดงองค์ประกอบของระบบ RFID คือเมื่อเครื่องสำหรับอ่านหรือเขียนข้อมูลภายในแท็กซึ่งจะทำการแปลงคลื่นวิทยุที่ได้รับจากแท็กเป็นข้อมูลดิจิทัลทั้งสองส่วนจะสื่อสารกันโดยอาศัยช่องสัญญาณความถี่วิทยุ สัญญาณนี้สามารถผ่านได้ทั้ง

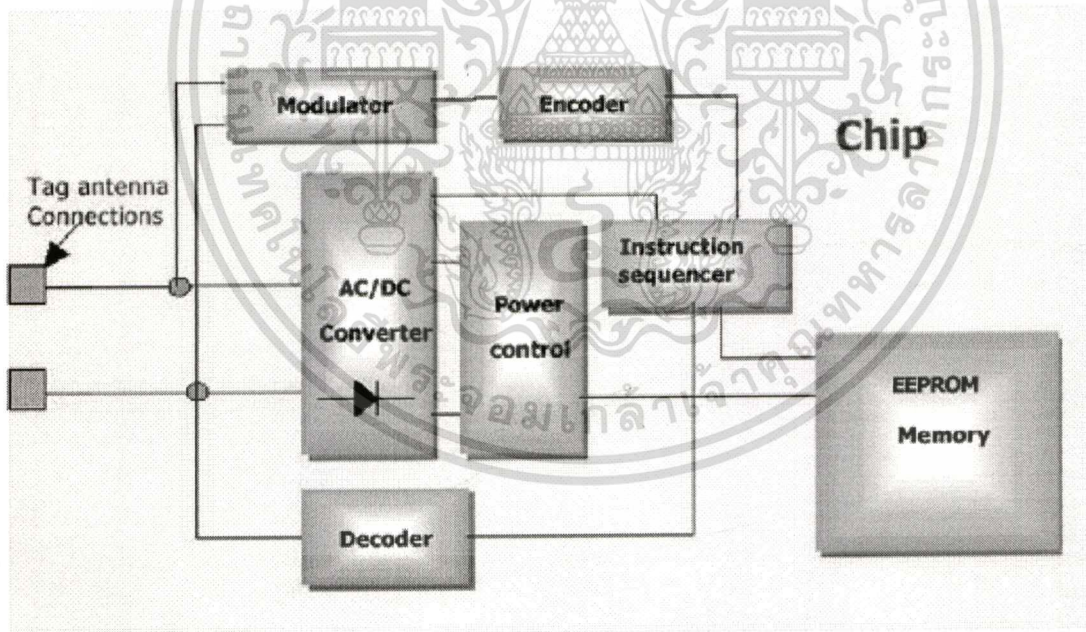
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โลหะและอโลหะ เมื่อเครื่องอ่านส่งข้อมูลผ่านคลื่นความถี่วิทยุ แสดงถึงความต้องการของข้อมูลที่ถูกระบุไว้จากแท็ก แท็กจะตอบข้อมูลกลับและเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลต่อไปยังส่วนประมวลผลหลักของคอมพิวเตอร์



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของระบบการสื่อสาร RFID [1]

2.3.1 ทรานสปอนเดอร์หรือแท็ก (Transponder/Tag) ของระบบ RFID



รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในของแท็ก [2]

ทรานสปอนเดอร์หรือแท็ก มีลักษณะเป็นไมโครชิพ (microchip) ที่ยอมให้ผู้ใช้ติดเข้าระหว่างชั้นของกระดาษหรือพลาสติกที่ใช้ทำป้ายฉลาก ไมโครชิพหรือแท็กอาจมีรูปร่างได้หลายแบบขึ้นอยู่กับการใช้งาน โดยอาจมีรูปร่างเหมือนบัตรเครดิตในการใช้งานทั่วไป หรือเล็กขนาดใส่ดินสอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ยาวเพียง 10 มิลลิเมตร เพื่อฝังเข้าไปใต้ผิวหนังสัตว์ในกรณีนำไปใช้ในงานปศุสัตว์ หรืออาจมีขนาดใหญ่มากสำหรับแท็กที่ใช้ติดกับเครื่องจักรขณะทำการขนส่ง แท็กอาจนำไปติดไว้กับสินค้าในร้านค้าปลีกทั่วไปเพื่อป้องกันขโมย โดยจะมีการติดตั้งสายอากาศของตัวอ่านข้อมูลขนาดใหญ่ไว้ตรงประตูทางออกเพื่อทำการตรวจจับขโมย โดยแท็กจะรับพลังงานจากสัญญาณคลื่นวิทยุ เพื่อติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่าน หรือใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่บรรจุภายในป้าย ซึ่งเป็นแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน มีอายุการใช้งานที่ยาวนาน จึงมักนำมาใช้กับแท็กแบบนี้ แท็กจะประกอบไปด้วยสายอากาศที่มีขนาดเล็กที่จะช่วยให้แท็กตอบสนองกับเครื่องอ่าน โดยสายอากาศจะแผ่สัญญาณวิทยุจำนวนหนึ่งออกมา เพื่อกระตุ้นให้แท็กอ่านหรือเขียน ข้อมูลลงไป สายอากาศสามารถทำได้ทุกขนาดและรูปร่าง เพื่อที่จะสามารถออกแบบให้ติดตั้งได้ทุกที่ และเพื่อให้เกิดความครอบคลุมได้ดีที่สุดในหลายๆระบบสายอากาศจะถูกติดไปโดยตรงกับเครื่องส่งสัญญาณเหมือนกับเป็นอุปกรณ์ติดกัน ไมโครชิพที่อยู่ในแท็กจะมีหน่วยความจำซึ่งอาจเป็นแบบอ่านได้เพียงอย่างเดียว หรือทั้งอ่านทั้งเขียน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการในการใช้งาน โดยปกติ หน่วยความจำแบบอ่านได้เพียงอย่างเดียวจะใช้เก็บข้อมูลเกี่ยวกับการรักษาความปลอดภัย เช่น ข้อมูลของบุคคลที่มีสิทธิผ่านเข้าออกในบริเวณที่มีการควบคุมหรือระบบปฏิบัติการ ในขณะที่หน่วยความจำแบบทั้งอ่านทั้งเขียนจะใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวในระหว่างที่แท็กและตัวอ่านข้อมูลทำการติดต่อสื่อสารกัน นอกจากนี้มีการนำหน่วยความจำแบบ EEPROM มาใช้ในกรณีต้องการเก็บข้อมูลในระหว่างที่แท็กและเครื่องอ่านข้อมูลทำการสื่อสาร และข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้กับแท็กก็ตาม



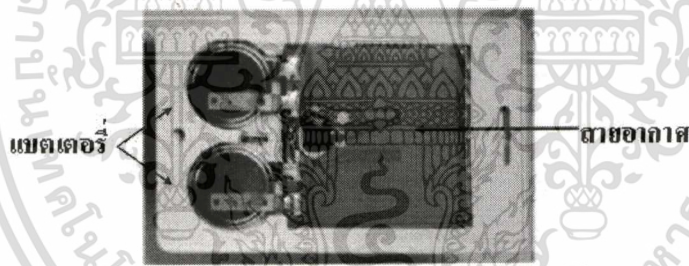
รูปที่ 2.3 แท็กในรูปแบบต่างๆ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แท็กที่มีการใช้งานกันอยู่นั้นจะมีอยู่ 3 ชนิด โดยแต่ละชนิดก็จะมี ความแตกต่างกันในแง่ของ การใช้งาน ราคา โครงสร้างและหลักการทำงานอยู่ ซึ่งจะสามารถแยกออกเป็นดังนี้

2.3.1.1 แท็กแบบแอ็กทีฟ (Active Tag)

แท็กแบบนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในซึ่งใช้เป็นแหล่งจ่ายไฟขนาดเล็ก เพื่อป้อนพลังงานไฟฟ้า ให้แท็กทำงาน โดยปกติแท็กแบบนี้มีฟังก์ชันการทำงานทั่วไปทั้งอ่านและเขียนข้อมูลลงในแท็กได้ และการที่ต้องใช้แบตเตอรี่จึงทำให้แท็กแบบแอ็กทีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อ แบตเตอรี่หมดก็ต้องนำแท็กไปทิ้งไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการซีล (Seal) ที่ตัว แท็กจึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถออกแบบวงจรของแท็กให้กินกระแส ไฟน้อย ๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี แท็กแบบแอ็กทีฟนี้จะมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ ได้ถึง 1 เมกะไบต์ มีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลได้ไกลสูงกว่าแท็กแบบอื่นๆ นอกจากนี้ ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี แม้แท็กแบบนี้จะมีข้อคืออยู่หลายข้อแต่ก็มีข้อเสียอยู่ด้วย เหมือนกัน เช่น ราคาต่อหน่วยแพง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีระยะเวลาในการทำงานที่จำกัด



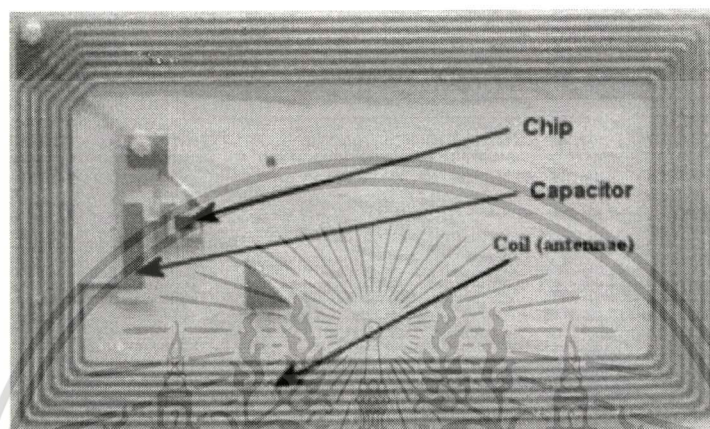
รูปที่ 2.4 แท็กแบบแอ็กทีฟ (Active Tag) [4]

2.3.1.2 แท็กแบบพาสซีฟ (Passive Tag)

แท็กแบบนี้จะไม่มีแบตเตอรี่อยู่ภายในหรือไม่จำเป็นต้องรับแหล่งจ่ายไฟใด ๆ เพราะจะ ทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากตัวอ่านข้อมูล (มีวงจร กำเนิดไฟฟ้าขนาดเล็กอยู่ในตัว)หรือที่เรียกว่าอุปกรณ์ Transceiver จึงทำให้แท็กแบบพาสซีฟมีน้ำหนักเบาและเล็กกว่าแท็กแบบแอ็กทีฟ ราคาถูกกว่า และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่ข้อเสียก็คือระยะ การรับส่งข้อมูลใกล้ซึ่งสามารถส่งข้อมูลได้ไกลสุดเพียง 1.5 เมตรโดยประมาณ ซึ่งเป็นระยะการอ่านที่ สั้น มีหน่วยความจำขนาดเล็กซึ่งโดยทั่ว ๆ ไปประมาณ 32 ถึง 128 บิต และตัวเครื่องอ่านข้อมูลจะ ต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้แท็กแบบพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อม ที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วยที่ต่ำกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แท็กแบบแอ็กทีฟและอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้แท็กแบบพาสซีฟนี้เป็นที่นิยมมากกว่า ไมโครชิพของแท็กแบบพาสซีฟที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ ไปจนถึงขนาดใหญ่จนสะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดงานที่แตกต่างกัน



รูปที่ 2.5 แท็กแบบพาสซีฟ (Passive Tag) [3]

2.3.1.3 แท็กแบบเซมิแอ็กทีฟ (Semi-Active Tag)

แท็กแบบเซมิแอ็กทีฟ (Semi-Active Tag) บางรายเรียก Semi-Passive Tags จะมีความคล้ายคลึงกับแท็กแบบแอ็กทีฟ แต่จะใช้แบตเตอรี่ในการให้พลังงานแก่ไมโครชิพเพียงอย่างเดียวแต่จะไม่ใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ในการสื่อสารกับเครื่องอ่าน แท็กแบบเซมิแอ็กทีฟบางชนิดจะไม่ทำงานจนกว่าจะมีสัญญาณจากเครื่องอ่านเข้ามาเท่านั้นเพื่อคงความยาวนานของแบตเตอรี่ ดังนั้นเราสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้มากมายในงานที่ต้องการแท็กที่มีหน่วยความจำพอกับแท็กแบบพาสซีฟแต่ราคาค่อนข้างใกล้เคียงกับแท็กแบบพาสซีฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



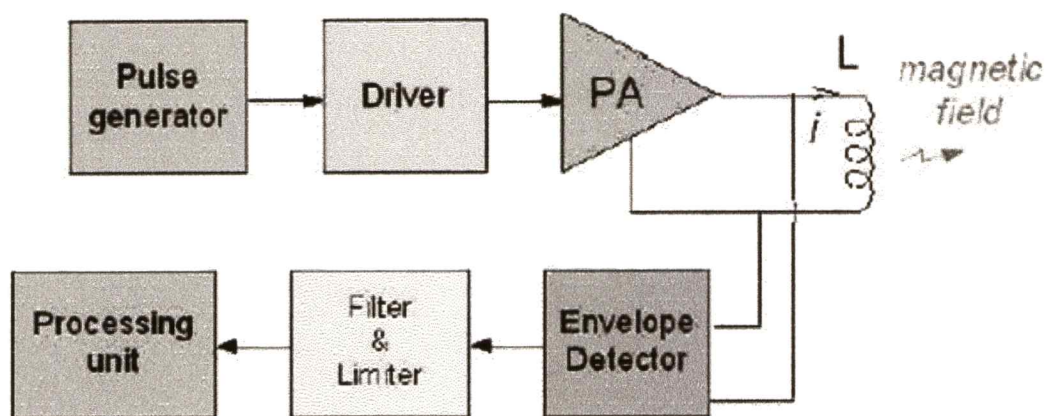
รูปที่ 2.6 แท็กแบบเซมิแอ็กทีฟ (Semi-Active Tag) ในรูปแบบ Wrist Band [5]

นอกจากการแท็กแบ่งจากชนิดที่ว่ามาแล้วแท็กก็ยังคงแบ่งประเภทจากรูปแบบในการใช้งานได้เป็น 3 แบบ คือ

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

2.3.2 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator)

หน้าที่สำคัญของเครื่องอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) ก็คือการรับข้อมูลที่ส่งมาจากแท็ก แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ได้รับซึ่งกระทำโดยไมโครคอนโทรลเลอร์ อัลกอริทึมที่อยู่ในเฟิร์มแวร์ (Firmware) ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณ ถอดรหัสสัญญาณที่ได้ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป นอกจากนี้ตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำ เช่น ในกรณีที่แท็กถูกวางทิ้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่ง ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการรับหรืออ่านข้อมูลจากแท็กซ้ำอยู่เรื่อยๆ ไม่สิ้นสุด ดังนั้นตัวอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีระบบป้องกันการรบกวนเช่นนี้ที่เรียกว่าระบบ "Hands Down Polling" โดยตัวอ่านข้อมูล จะสั่งให้แท็กหยุดการส่งข้อมูลในกรณีเกิดเหตุการณ์ดังกล่าว หรืออาจมีบางกรณีที่มีแท็กหลายแท็กอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าพร้อมกัน หรือที่เรียกว่า "Batch Reading" ตัวอ่านข้อมูลควรมีความสามารถที่จะจัดลำดับการอ่านแท็กทีละตัวได้



รูปที่ 2.7 โครงสร้างของเครื่องอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator) [6]



รูปที่ 2.8 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator) ในรูปแบบต่างๆ [7]

2.4 หลักการทำงานของระบบ RFID

RFID เป็นระบบที่นำเอาคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาหะเพื่อใช้ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างอุปกรณ์สองชนิดที่เรียกว่า แท็ก (Tag) และตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) ซึ่งเป็นการสื่อสารแบบไร้สาย (Wireless) โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่ง มาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูล ในการรับส่งข้อมูลหรือสัญญาณวิทยุระหว่างแท็กกับเครื่องอ่าน จะได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อเมื่อสายอากาศมีความยาวที่เหมาะสมกับความถี่พาหะที่ใช้งาน เช่น เมื่อความถี่ใช้งานเป็น 13.56 เมกะเฮิร์ตซ์ ความยาวของเสาอากาศ (เป็นเส้นตรง) ที่เหมาะสมก็คือ 22.12 แน่นอนว่าในทางปฏิบัติคงไม่สามารถนำเสาอากาศที่ใหญ่ขนาดนั้นมาใช้ร่วมกับแท็กขนาดเล็กได้ สายอากาศที่ดูจะเหมาะสมจะใช้ร่วมกับแท็กมากที่สุดก็คือ สายอากาศที่เป็นขดลวดขนาดเล็กหรือที่มีชื่ออย่างเป็นทางการว่าสายอากาศแบบแมกเนติกไดโพล (Magnetic dipole Antenna) รูปแบบของสายอากาศแบบนี้จะมีอยู่หลากหลายทั้งแบบที่เป็นขดลวด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นแกนอากาศหรือแกนเฟอร์ไรต์ แบบที่เป็นวงรูปที่ทำขึ้นจากสายทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ ทั้งที่เป็นรูปแบบวงกลมและสี่เหลี่ยม ทั้งนี้ความเหมาะสมในการใช้งานก็แตกต่างกันไปตามความถี่พาหะและประเภทของงานด้วยเช่นกัน

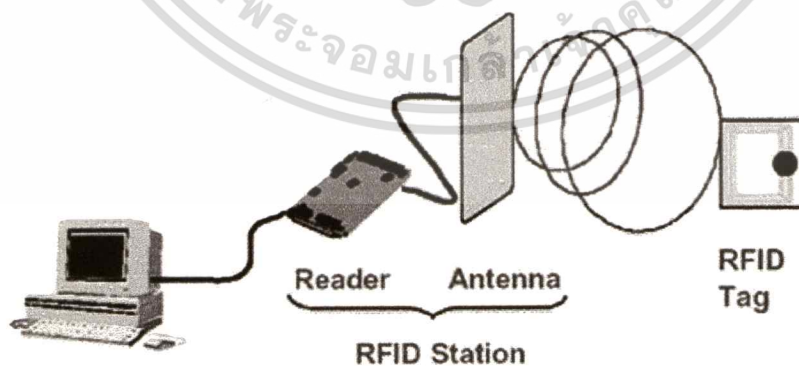
นอกจากการรับส่งข้อมูลแล้วสายอากาศก็ยังทำหน้าที่เป็นแหล่งจ่ายไฟให้กับแท็กด้วย โดยอาศัยหลักการทำงานตามแนวคิดของไมเคิล ฟาราเดย์ เรื่องแรงดันเหนี่ยวนำในขดลวดที่เกิดขึ้นจากเส้นแรงแม่เหล็ก (จากเครื่องอ่าน) ที่มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา (Time-varying magnetic field) พุ่งผ่านสายอากาศของแท็ก เมื่อแท็กและเครื่องอ่านตั้งอยู่ห่างกันในระยะ 0.16 เท่าของความยาวของคลื่นพาหะที่ใช้ เรียกปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นว่า Transformer-type Coupling ซึ่งเป็นปรากฏการณ์แบบเดียวกันกับการเกิดแรงดันไฟฟ้าเหนี่ยวนำขึ้นระหว่างขดลวดปฐมภูมิ (Primary) และขดลวดทุติยภูมิ (Secondary) ใน ทรานฟอเมอร์ (Transformer) จะเป็นวงจรพื้นฐานสำหรับอธิบายกลไกที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลของแท็ก ซึ่งหลักการทำงานเบื้องต้นของระบบ RFID มีดังนี้คือ

1. ตัวอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลา และคอยตรวจจับว่ามีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ หรืออีกนัยหนึ่งก็คือการคอยตรวจจับว่ามีกรมอดูเลตสัญญาณเกิดขึ้นหรือไม่

2. เมื่อมีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แท็กจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้แท็กเริ่มทำงาน และจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะแล้วออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในแท็ก

3. คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากแท็กจะเกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูด, ความถี่ หรือเฟส ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต

4. ตัวอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูลแล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป



รูปที่ 2.9 รูปแบบการทำงานของระบบ RFID [8]

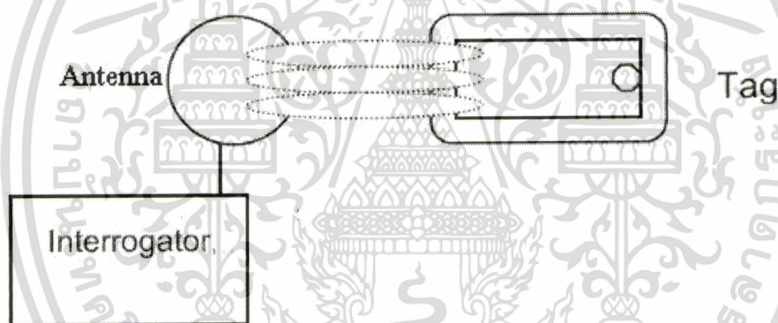
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 การสื่อสารระหว่างแท็กกับตัวอ่าน

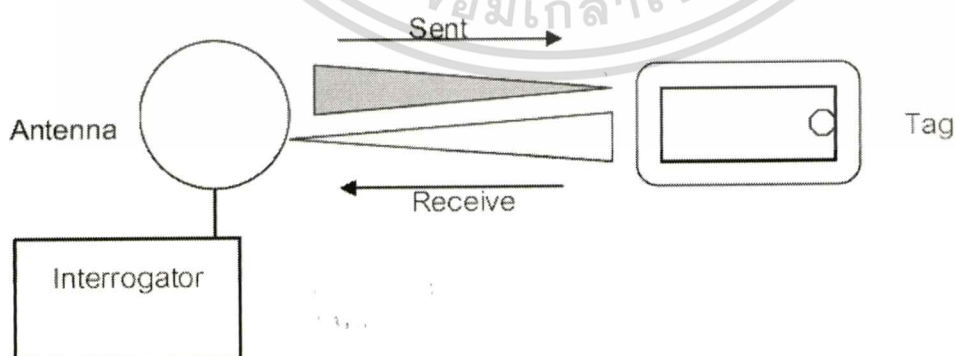
การสื่อสารข้อมูลของระบบ RFID คือระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) จะสื่อสารแบบไร้สายผ่านอากาศ โดยจะนำข้อมูลมาทำการมอดูเลต (Modulation) กับคลื่นพาหะที่เป็นคลื่นความถี่วิทยุโดยมีสายอากาศ (Antenna) ที่อยู่ในตัวอ่านข้อมูลเป็นตัวรับและส่งคลื่นซึ่งแบ่งออกเป็น 2 วิธีด้วยกันคือ

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) 2.45/5.8 GHz



รูปที่ 2.10 การสื่อสารแบบ Inductive Coupling [9]

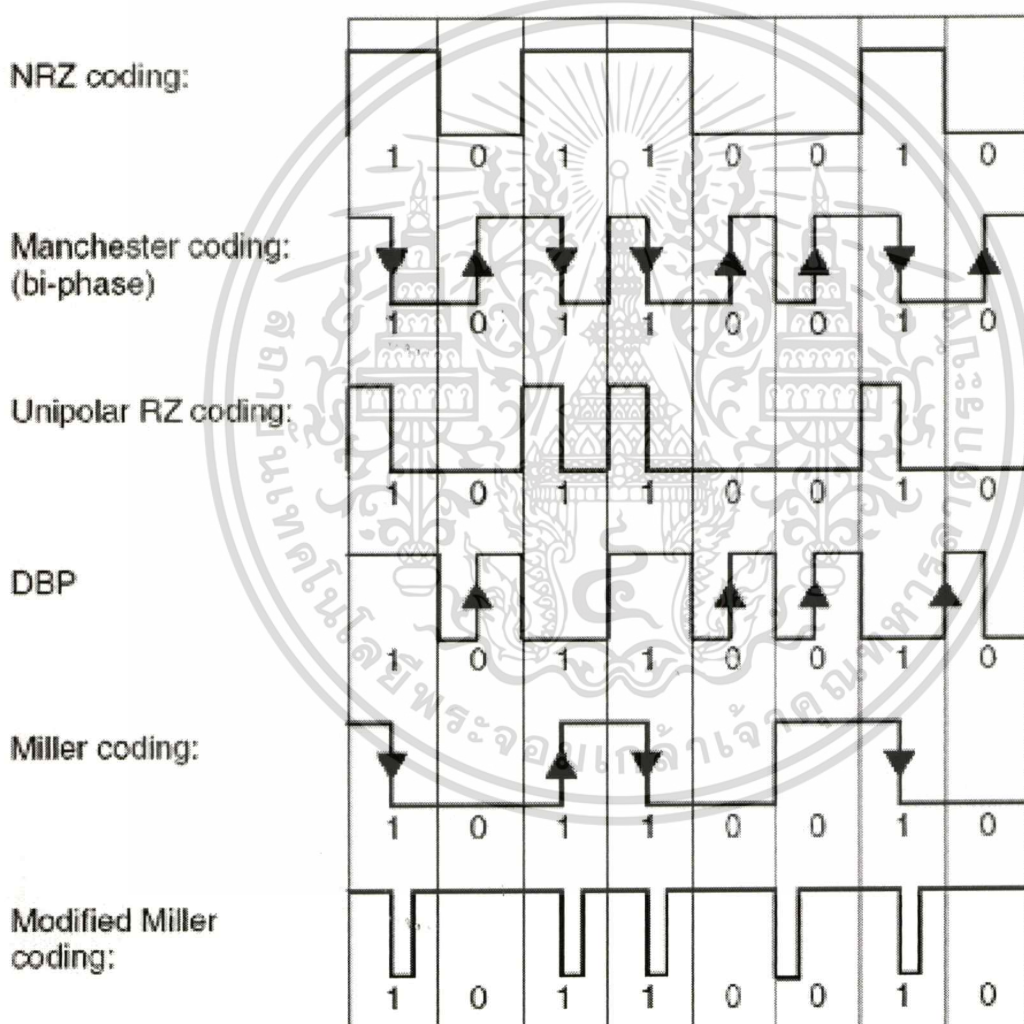


รูปที่ 2.11 การสื่อสารแบบ Electromagnetic Propagation Coupling [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 การเข้ารหัส (Coding)

กระบวนการส่งสัญญาณระหว่าง RFID และเครื่องอ่านโดยทั่วไป เป็นไปตามกระบวนการทางการสื่อสารระบบดิจิทัล นั่นคือการเตรียมข้อมูลดิจิทัลที่จะส่งผ่าน โดยการเข้ารหัสให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมสำหรับการส่งผ่านช่องสัญญาณ (Channel) คำว่าเหมาะสม หมายถึงว่า สัญญาณมีโอกาสจะถูกส่งผ่านช่องสัญญาณที่มีสัญญาณรบกวน (Noise) โดยมีค่าผิดพลาดน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ซึ่งวิธีการเข้ารหัสนั้นมีหลายแบบโดยการเลือกใช้นั้นจะขึ้นอยู่กับช่องสัญญาณที่จะส่งผ่าน ตัวอย่างเทคนิค การเข้ารหัสเช่น การเข้ารหัสแบบ NRZ การเข้ารหัสแบบ Manchester การเข้ารหัสแบบ DBP เป็นต้น



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างการเข้ารหัสแบบต่างๆ [10]

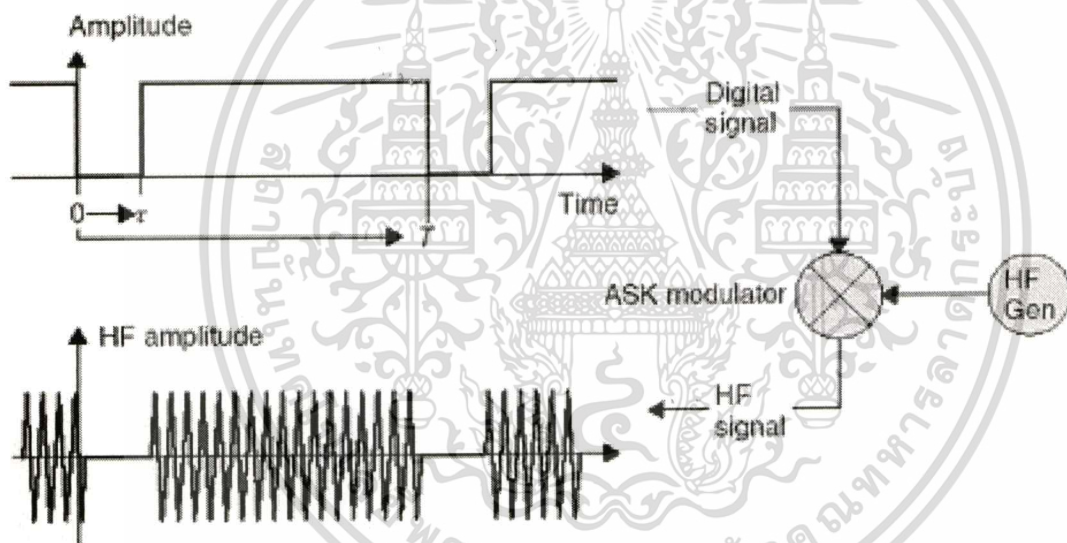
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 การผสมข้อมูลแบบดิจิทัล (Digital modulation procedure)

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

2.4.3.1 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (Amplitude shift keying: ASK)

ความถี่ของคลื่นพาหะ (Carrier Wave) ซึ่งทำหน้าที่นำสัญญาณอนาล็อกผ่านตัวกลางสื่อสารนั้น จะคงที่ ลักษณะของสัญญาณมอดูเลตเมื่อค่าของบิตของสัญญาณข้อมูลดิจิทัลมีค่าเป็น 1 ขนาดของคลื่นพาหะจะสูงขึ้นกว่าปกติ และเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ขนาดของคลื่นพาหะจะตกลงกว่าปกติ การมอดูเลต ASK มักจะไม่ค่อยได้รับความนิยมเพราะจะถูกรบกวนจากสัญญาณอื่นได้ง่าย

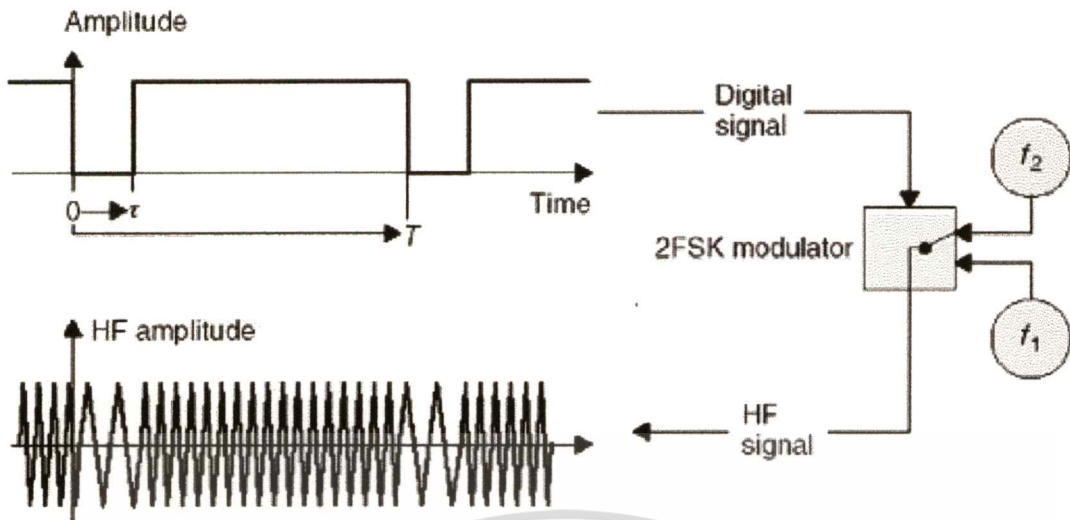


รูปที่ 2.13 การมอดูเลตเชิงเลขทางแอมพลิจูด (ASK) [10]

2.4.3.2 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (Frequency shift keying: FSK)

การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ขนาดของคลื่นพาหะจะไม่เปลี่ยนแปลงที่เปลี่ยนแปลงคือความถี่ของคลื่นพาหะนั้นคือ เมื่อบิตมีค่าเป็น 1 ความถี่ของคลื่นพาหะจะสูงกว่าปกติและเมื่อบิตมีค่าเป็น 0 ความถี่ของคลื่นพาหะก็จะต่ำกว่าปกติ

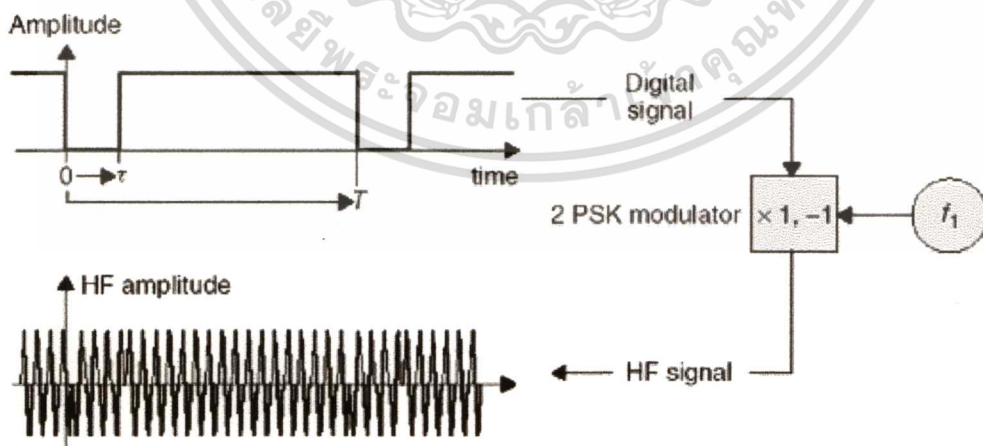
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง



รูปที่ 2.14 การมอดูเลตเชิงเลขทางความถี่ (FSK) [10]

2.4.3.3 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (Phase shift keying: PSK)

หลักการของการมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส คือ ค่าของขนาดและความถี่ของคลื่นพาห้จะไม่มี การเปลี่ยนแปลงแต่ที่เปลี่ยนคือ เฟสของสัญญาณกล่าวคือ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะของบิต จาก 1 ไปเป็น 0 หรือเปลี่ยนจาก 0 ไปเป็น 1 เฟสของคลื่นจะเปลี่ยน (Shift) ไป 180 องศาด้วย หลัก การของการมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส สามารถทำได้ทั้งแบบ 2 เฟส (0, 90, 180 และ 270 องศา) และ แบบ 8 เฟส (0, 45, 90, 135, 180, 225, 270 และ 315 องศา) ในการมอดูเลตเพื่อเปลี่ยนสัญญาณ ข้อมูลดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกทั้ง 3 แบบ วิธีการมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส จะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นน้อยที่สุดได้สัญญาณที่มีคุณภาพดีที่สุดแต่วงจรการทำงานจะยุ่งยากกว่าและราคาสูงกว่า

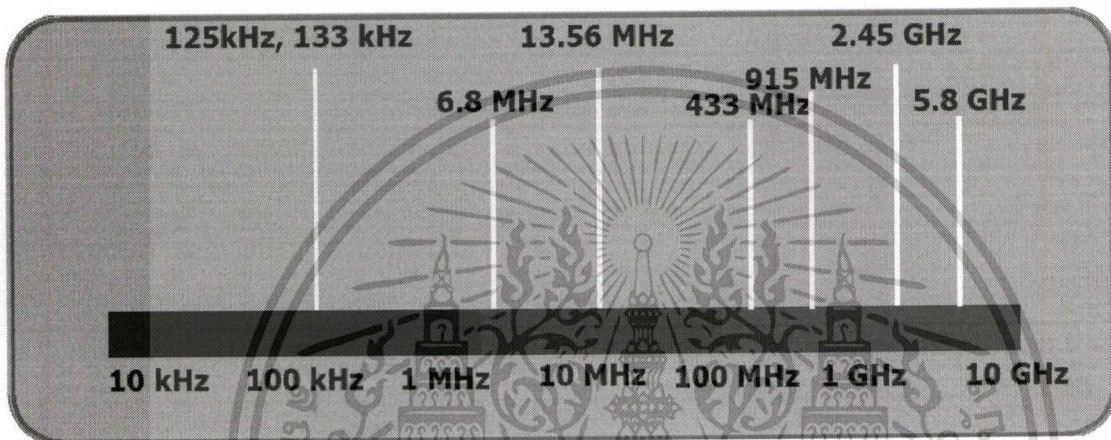


รูปที่ 2.15 การมอดูเลตเชิงเลขทางเฟส (PSK) [10]

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



รูปที่ 2.16 ย่านความถี่ที่ใช้ในระบบ RFID [7]

ในด้านราคาและความเร็วในการสื่อสารข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วระบบ RFID จะสังเกตเห็นได้ว่ายิ่งความถี่สูงขึ้นความเร็วในการส่งข้อมูลก็สูงขึ้นและราคาก็แพงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงควรที่จะเลือกความถี่ใช้งานของ RFID ให้เหมาะสมกับงานที่ต้องการใช้ ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้เลือกใช้งานคลื่นความถี่สูงยิ่ง (UHF) มาใช้ในการทดลอง โดยที่แต่ละแถบความถี่มีคุณสมบัติและการใช้งานดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติและการประยุกต์ใช้งานของระบบ RFID ในแต่ละแถบความถี่

ย่านความถี่	คุณลักษณะ	การใช้งาน
ย่านความถี่ต่ำ 100-500 kHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปคือ 125 kHz	<ul style="list-style-type: none"> - เริ่มใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1980 - เหมาะสำหรับการนำป้ายชื่อไปติดรอบๆ โลหะ - ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ - ต้นทุนไม่สูง - ความเร็วในการอ่านข้อมูลต่ำ 	<ul style="list-style-type: none"> - การเข้าออกอาคาร - ปศุสัตว์ - ระบบคลัง - รถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ย่านความถี่	คุณลักษณะ	การใช้งาน
ย่านความถี่สูง 10-15 MHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปคือ 13.56 MHz	<ul style="list-style-type: none"> - เริ่มใช้ตั้งแต่กลางปี ค.ศ. 1990 - ระยะการรับส่งข้อมูลปานกลาง - ราคามีแนวโน้มถูกลงในอนาคต - ความเร็วในการอ่านข้อมูลปานกลาง - ความถี่ย่านนี้เป็นที่แพร่หลายทั่วโลก 	<ul style="list-style-type: none"> - การเข้าออกอาคาร - ระบบจัดการห้องสมุดและกระเป๋าเดินทาง
ย่านความถี่สูงยิ่ง 433/868/915 MHz	<ul style="list-style-type: none"> - เริ่มใช้ปลายปี ค.ศ. 1990 - ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (2-5 เมตร) - ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง - ราคาแพง 	<ul style="list-style-type: none"> - ระบบขนส่ง - ตู้สินค้า
ย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.4-5.8 GHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปคือ 2.45 GHz	<ul style="list-style-type: none"> - เริ่มใช้เมื่อประมาณ 10 ปีที่ผ่านมา - ระยะการรับส่งข้อมูลไกล (> 5 เมตร) - ความเร็วในการอ่านข้อมูลสูง - ราคาแพง 	<ul style="list-style-type: none"> - รถไฟ - ระบบเก็บค่าผ่านทาง

2.6 แนวความคิดของมาตรฐานระบบเปิด กับระบบปิด

ระบบเปิด (Open System) คือ ระบบที่มีรูปแบบของข้อมูลที่ส่งในลักษณะกลุ่มมีกฎระเบียบที่สามารถอ่านได้จากเครื่องอ่านจำนวนมาก ความเป็นมาตรฐานจะถูกกำหนดจากเครื่องมือที่สร้างข้อมูล ผู้ใช้โดยทั่วไปสามารถอ่านข้อมูลดังกล่าวได้ ซึ่งอาจเกิดจากการใช้วิธีการหลาย ๆ อย่างร่วมกัน

ระบบปิด (Closed System) คือ ระบบที่กฎของการเข้ารหัส (encode) และการถอดรหัส (decode) ถูกกำหนดไว้โดยเฉพาะเจาะจง หรือรู้เฉพาะกลุ่มผู้ใช้ที่เป็นเจ้าของ

สำหรับป้าย RFID ปัจจุบันนี้ถือว่าเป็นมาตรฐานระบบเปิด ดังนั้นผู้ขาย (vendor) ต้องผลิตและสนับสนุนระบบของตนเอง ส่วนเทคโนโลยีบาร์โค้ด เป็นระบบที่มีความเป็นมาตรฐานทั้งระบบเปิดและระบบปิด

อย่างไรก็ดี ปัจจุบันนี้มีอุตสาหกรรมและองค์กรมาตรฐานจำนวนมากที่พยายามพัฒนาระบบ RFID ให้มีความเป็นมาตรฐานยิ่งขึ้นมาก The International Standards Organization (ISO) Sub-Committee (SC 31) ซึ่งเป็นข้อตกลงที่อยู่ภายใต้การสำรวจเทคโนโลยีบาร์โค้ด และ RFID ของ ISO

ในปัจจุบัน SC 31 จะเน้นที่ระบบมาตรฐานแบบเปิด โดยประเด็นที่องค์กรมาตรฐานได้คำนึงถึง ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วิธีการเปลี่ยนป้ายของระบบปิดไปเป็นระบบเปิด เครื่องอ่านต้องสามารถแยกได้ทั้งสองระบบ
- เพราะว่า RFID สามารถอ่านแท็กหลายแท็กได้ในเวลาเดียวกัน ดังนั้นความเป็นมาตรฐานต้องไม่มีความซ้ำซ้อนกันระหว่างข้อมูลหลากหลายที่มีเข้ามา
- RFID บางชนิดยอมให้อ่าน / เขียนข้อมูลได้ แต่บาร์โค้ด ไม่สามารถทำได้ และข้อบังคับจะทำให้เกิดผลเล็กน้อยกับการติดตั้งภายนอก ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องนำมาพิจารณา

ความสำคัญของการใช้ RFID จะเกี่ยวข้องกับการพัฒนาไปสู่ความเป็นมาตรฐานไม่ได้เน้นไปที่จำนวนองค์กรจากอุตสาหกรรมต่าง ๆ ว่ามีส่วนร่วมกับ SC 31 มากน้อยเพียงใด แม้ว่าส่วนใหญ่จะเป็นการทำงานร่วมกัน มีการแสดงให้เห็นถึงกลุ่มผลประโยชน์ต่าง ๆ ออกมา แต่ก็ยังมีหลักฐานแสดงให้เห็นว่า มีองค์กรในอุตสาหกรรม RFID จำนวนมากที่ไม่ค่อยคำนึงถึงความเป็นมาตรฐาน ทำให้คนทั่ว ๆ ไปเชื่อว่านี่คือ การขาดความเป็นมาตรฐาน ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ขัดขวางการพัฒนาเทคโนโลยี RFID

2.7 อัตราการรับส่งข้อมูลและแบนด์วิดท์

อัตราการรับส่งข้อมูล (Data Transfer Rate) จะขึ้นอยู่กับความถี่ของคลื่นพาหะ โดยปกติถ้าความถี่ของคลื่นพาหะยิ่งสูง อัตราการรับส่งข้อมูลก็จะยิ่งสูงตามไปด้วย ส่วนการเลือกแบนด์วิดท์ หรือย่านความถี่นั้นก็จะมีผลต่ออัตราการรับส่งข้อมูลเช่นกัน โดยมีหลักว่า แบนด์วิดท์ ควรจะมีค่ามากกว่าอัตราการรับส่งข้อมูลที่ต้องการอย่างน้อยสองเท่า ยกตัวอย่างเช่น ถ้าใช้แบนด์วิดท์ในช่วง 2.4-2.5 GHz ก็จะสามารถรองรับอัตราการรับส่งข้อมูลได้ถึงประมาณ 2 เมกะบิตต่อวินาที เป็นต้น แต่การใช้แบนด์วิดท์ ที่กว้างเกินไปก็อาจทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับสัญญาณรบกวนมาก หรือทำให้ S/N Ratio ต่ำลงนั่นเอง ดังนั้นการเลือกใช้แบนด์วิดท์ ให้ถูกต้องก็เป็นส่วนสำคัญในการพิจารณา

2.8 ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลและกำลังส่ง

ระยะเวลาการรับส่งข้อมูลในระบบ RFID ขึ้นอยู่กับปัจจัยสำคัญต่างๆ คือ กำลังส่งของตัวอ่านข้อมูล (Reader/Interrogator Power) กำลังส่งของแท็ก (Tag Power) และสภาพแวดล้อม ส่วนการออกแบบสายอากาศของตัวอ่านข้อมูล จะเป็นตัวกำหนดลักษณะรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่แผ่กระจายออกมาจากสายอากาศ ดังนั้นระยะเวลาการรับส่งข้อมูล บางทีอาจขึ้นอยู่กับมุมของการรับส่งระหว่างแท็กและตัวอ่านข้อมูลด้วยเช่นกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับรูปร่างของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นสำคัญความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยทั่วไปจะลดลงตามระยะทางโดยแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสอง แต่ในบางสภาพแวดล้อมซึ่งอาจมีการสะท้อนกลับของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากสิ่งต่างๆรอบตัว เช่น โลหะ ก็อาจทำให้

ความเข้มของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าลดลงอย่างรวดเร็ว โดยอาจแปรผกผันกับระยะทางยกกำลังสี่ ปรากฏการณ์เช่นนี้เราเรียกว่า "Multi-path Attenuation" ซึ่งจะส่งผลให้ระยะการรับส่งข้อมูลสั้นลง หรือแม้กระทั่งความชื้นในอากาศก็อาจมีผลในกรณีที่ความถี่สูงๆ ดังนั้นการนำระบบ RFID ไปใช้งานก็ควรมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อม เพราะจะมีผลกระทบกับระยะการรับส่งข้อมูล และพยายามติดตั้งระบบให้ห่างไกลจากโลหะ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสะท้อนของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้

กำลังส่งของแท็กที่จะส่งกลับมายังตัวอ่านข้อมูลนั้น โดยทั่วไปจะมีกำลังที่ต่ำมากเมื่อเทียบกับกำลังส่งของ ตัวอ่านข้อมูล ดังนั้นความไวในการตรวจจับสัญญาณของตัวอ่านข้อมูล ก็เป็นอีกจุดหนึ่งที่ต้องพิจารณา

ถึงแม้ในทางเทคนิคเราจะสามารถทำให้ตัวอ่านข้อมูลมีกำลังส่งมากแค่ไหนก็ได้ แต่โดยทั่วไปก็จะถูกจำกัดโดยกฎหมายของแต่ละประเทศ เช่นเดียวกับความถี่ ดังนั้นในระบบ RFID โดยทั่วไปจะมีกำลังส่งเพียงระหว่าง 100 -500 mW

2.9 การป้องกันการชนสำหรับระบบ RFID

ในการที่จะรับข้อมูลจากแท็กหลายๆ อัน ทั้งแท็กและตัวเครื่องอ่านต้องได้รับการออกแบบให้รองรับสถานะที่มีแท็กมากกว่า 1 อันทำงาน (ส่งสัญญาณ) มิเช่นนั้นแล้วสัญญาณพาหะก็จะมีผลส่งออกในเวลาเดียวกันทำให้เกิดการชนของสัญญาณ (Collusion) จะทำให้ไม่มีข้อมูลใดๆ ส่งถึงตัวเครื่องอ่านเลย การติดต่อระหว่างแท็กกับตัวเครื่องอ่านเปรียบเสมือน บัสแบบอนุกรม แต่บัสชนิดนี้จะใช้อากาศเป็นตัวกลางในการส่งสัญญาณ ในระบบบัสที่ใช้เคเบิลเป็นตัวกลางก็ต้องมีการควบคุมไม่ให้เกิดการชนกันของสัญญาณ RFID ก็จำเป็นที่จะต้องมีการป้องกันให้มีการส่งสัญญาณจากแท็กอันเดียวต่อช่วงเวลานั้นเช่นกัน

2.10 การประยุกต์ใช้งานของระบบ RFID

ระบบ RFID สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายประเภท ทั้งในอุตสาหกรรมการผลิต การค้า หรือการบริการต่างๆ ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลที่ต้องการได้ เช่น บันทึกเวลาทำงานของพนักงาน เก็บเงินค่าใช้บริการทางด่วน หรือระบบกันขโมยรถยนต์ ปัจจุบันได้มีการนำระบบ RFID มาประยุกต์ใช้งาน เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.1 การประยุกต์ใช้ RFID ในห่วงโซ่อุปทาน และระบบลอจิสติกส์

การนำเทคโนโลยี RFID เข้ามาประยุกต์ใช้ในห่วงโซ่อุปทาน สามารถทำได้มากมาย แต่ตัวอย่างที่ชัดเจนและมีการนำไปใช้กันอย่างแพร่หลายที่สุดก็คงหนีไม่พ้นในห่วงโซ่อุปทาน และระบบลอจิสติกส์ ด้วยเทคโนโลยี RFID ที่ติดไว้ในผลิตภัณฑ์ จะช่วยทำให้ผลิตภัณฑ์นั้น ๆ สื่อสารระหว่างกันได้ และยังสื่อสารไปยังหน่วยธุรกิจและผู้บริโภคได้เช่นกัน ซึ่งจะเป็นการเปลี่ยนแปลงครั้งใหญ่ในกระบวนการผลิต การขาย และการจับจ่ายซื้อสินค้า โดยมีตัวอย่างวิธีการทำงานดังนี้

เริ่มต้นที่ในโรงงานผลิตน้ำอัดลมกระป๋อง ซึ่งจะมีการนำแท็ก ไปติดไว้ที่น้ำอัดลมทุกกระป๋อง โดยแต่ละแท็กก็จะเก็บรหัสสินค้าที่ต่างกันไว้ ซึ่งแท็กเหล่านี้เองจะช่วยให้สามารถระบุถึงรายละเอียดของสินค้าแต่ละกระป๋องได้ ดังนั้นการนับจำนวน และการติดตามสินค้าจึงเป็นไปอย่างอัตโนมัติ ซึ่งเป็นวิธีการที่จะช่วยลดต้นทุนได้อย่างมีประสิทธิภาพ หลังจากนั้นกระป๋องน้ำอัดลมเหล่านี้จะถูกบรรจุใส่ลังที่มีแท็กที่มีรหัสต่างกันติดไว้เช่นกันแล้วจึงขนเข้าไปในรถบรรทุกเพื่อรอการขนส่งต่อไป เมื่อรถบรรทุกน้ำอัดลมกระป๋องเดินทางมาถึงศูนย์กระจายสินค้า เครื่องอ่าน RFID ซึ่งอยู่ในบริเวณที่รับสินค้าก็จะทำการตรวจสอบน้ำอัดลมทุกกระป๋องโดยไม่ต้องเปิดบรรจุภัณฑ์ออกมาจึงสามารถทำให้การจัดส่งน้ำอัดลมกระป๋องไปยังรถบรรทุกคันคันที่เหมาะสมในการขนถ่ายไปยังร้านค้าปลีกไปได้อย่างสะดวก รวดเร็ว ร้านค้าปลีกจะสามารถติดตามสถานการณ์ขนส่งของน้ำอัดลมกระป๋องที่ตนสั่งให้ตลอดเวลา เมื่อน้ำอัดลมกระป๋องมาถึงก็จะผ่าน โทดิงสินค้าที่ติดเครื่องอ่าน RFID ไว้ ดังนั้นระบบการซื้อขายปลีกก็จะสามารถอัปเดตข้อมูลของน้ำอัดลมกระป๋องที่มาถึงได้โดยอัตโนมัติ และยังสามารถระบุตำแหน่งการจัดเรียงน้ำอัดลมกระป๋องทั้งหมด ในคลังสินค้าได้โดยอัตโนมัติเช่นกัน ทำให้การจัดเก็บสินค้ามีความถูกต้อง และประหยัดค่าใช้จ่าย ภายในร้านค้าปลีก ก็มีการติดตั้งเครื่องอ่าน RFID ไว้ที่วางของเช่นกัน เมื่อน้ำอัดลมกระป๋องถูกนำมาวาง ชั้นวางของก็จะทราบโดยอัตโนมัติว่ามีสิ่งใดมาวางที่ชั้น และเมื่อลูกค้ามาหยิบน้ำอัดลมกระป๋องออกไปจากชั้นวาง เครื่องอ่าน RFID ก็จะส่งข้อความไปยังระบบของทางร้านค้าปลีกโดยอัตโนมัติ ว่าสินค้าที่อยู่ในชั้นมีจำนวนลดลงให้นำสินค้าเข้ามาเติมให้เต็มอีกครั้ง ซึ่งในตัวระบบเองก็จะสามารถทำการสั่งซื้อ ไปยังโรงงานผลิตน้ำอัดลมกระป๋อง จึงจะส่งผลให้ต้นทุนในการรักษาสินค้าคงคลังถูกจำกัดลง ในส่วนของผู้บริโภคก็จะได้รับความสะดวกสบาย มากขึ้น เนื่องจากไม่ต้องไปเข้าคิวเพื่อรอการจ่ายเงินที่แคชเชียร์ ผู้ซื้อสามารถเดินออกจากประตูพร้อมกับสิ่งของที่ต้องการ แล้วเครื่องอ่านที่อยู่ประตูทางออกจะสามารถจำแนกสินค้า ที่อยู่ในรถเข็นตามรหัสเฉพาะของสินค้าแต่ละชิ้นเพื่อการจ่ายเงิน โดยจะสามารถหักจากบัตรเครดิต หรือเดบิตก็ได้ เมื่อกลับถึงบ้านแล้วนำน้ำอัดลมกระป๋องที่ซื้อไปเก็บในตู้เย็นในตู้เย็นก็จะมีการอัปเดตปริมาณน้ำอัดลมกระป๋องที่นำไปแช่เพิ่ม เมื่อใดก็ตามที่น้ำอัดลมกระป๋องหมดลงตู้เย็นก็จะเพิ่มรายการเครื่องดื่มที่ต้องการซื้อจากราคาปลีกให้โดยอัตโนมัติ ในส่วนของการทำลาย เมื่อ

กระป๋องน้ำอัดลมมาถึงศูนย์ไซเคิล เครื่องอ่าน RFID ก็จะทำงานอัตโนมัติในการจัดกลุ่มของการทำรีไซเคิล ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่ายลงจากกระบวนการเดิมที่ทำด้วยมือ แล้วกระป๋องเหล่านี้ก็จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการผลิตอีกครั้ง

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RFID ในห่วงโซ่อุปทาน และระบบลอจิสติกส์ สามารถแบ่งแยกในรายละเอียดถึงการนำไปประยุกต์ใช้ในหน่วยงานต่าง ๆ ได้ดังนี้

2.10.1.1 การประยุกต์ใช้ RFID ในอุตสาหกรรมการผลิต

ในกระบวนการจัดซื้อ และเก็บรักษาวัตถุดิบต่าง ๆ เทคโนโลยี RFID จะสามารถช่วยลดเวลาในการจัดซื้อ, รักษาปริมาณวัตถุดิบให้เพียงพอต่อการใช้งานและจัดสรรปริมาณการใช้กำลังคน และอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงยังช่วยกระชับเวลาในวงจรของการจัดซื้อ เพิ่มประสิทธิภาพ ในกระบวนการผลิต เช่นเดียวกันเทคโนโลยี RFID จะช่วยในการจัดสรรปริมาณการใช้กำลังคน และอุปกรณ์ต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวมถึงยังช่วยกระชับเวลาในวงจรของการจัดซื้อ เพิ่มประสิทธิภาพและช่วยให้สามารถติดตามสถานะของสิ่งของต่าง ๆ ได้ทุกระยะ จึงป้องกันการสูญหายได้เป็นอย่างดี ในส่วนของการใช้ประโยชน์ของสินทรัพย์ต่าง ๆ RFID จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายโดยสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ (Reusable) และรวมถึงการบำรุงรักษา เพื่อยืดอายุการใช้งานของเครื่องมือต่าง ๆ เป็นต้น

2.10.1.2 การประยุกต์ใช้ RFID ในคลังสินค้า

ในกระบวนการรับ และส่งสินค้า เทคโนโลยี RFID จะช่วยย่นระยะเวลาในการนับจำนวนตรวจสอบสินค้าลง รวมถึงเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบความถูกต้องของสินค้าดังกล่าวในส่วนของการสั่งซื้อก็จะช่วยเพิ่มความถูกต้อง และความปลอดภัยให้สูงขึ้น ในส่วนของการจัดวางสินค้าก็จะช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดจากการวางสิ่งของผิดที่ผิดตำแหน่ง และย่นระยะเวลาในการระบุตำแหน่งที่ใช้ในการวางสินค้านั้น ๆ โดยแท็กจะแสดงถึงตำแหน่งที่ใช้ในการวางสินค้านั้น โดยอัตโนมัติ และส่งสัญญาณเตือนเมื่อเกิดความผิดพลาดขึ้น นอกเหนือจากที่กล่าวมาข้างต้น เทคโนโลยี RFID ยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนงานต่างๆ ทั้งการจัดการอุปสงค์ อุปทาน และรวมถึงการเชื่อมโยงระหว่างคลังสินค้ากับหน่วยงานอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2.10.1.3 การประยุกต์ใช้ RFID ในระบบการขนส่ง

ในเรื่องของการบริหารจัดการ และการดูแลรักษาทรัพย์สินนั้น เทคโนโลยี RFID จะเข้ามาช่วยเหลือในส่วนของการเพิ่มประสิทธิผลที่ได้รับจากการให้บริการสินทรัพย์นั้น ๆ ลดความเสียหายที่อาจเกิดขึ้น และป้องกันความผิดพลาดจากการปฏิบัติงานที่อาจเกิดขึ้น ในส่วนของการบริหารจัดการภายในลานจอดรถ RFID จะช่วยเพิ่มประสิทธิผลที่ได้รับจากการให้บริการสินทรัพย์ต่าง ๆ เช่นกัน และยังรวมไปถึงการติดตามรถขนส่ง การติดตามสินค้า การตรวจสอบความถูกต้องของเส้นทางการขนส่ง เพิ่มความน่าเชื่อถือ และประสิทธิภาพโดยรวม นอกเหนือจากนี้ ยังสามารถใช้การติดตาม และประเมินศักยภาพของผู้ทำสัญญารับช่วง ได้อีกเป็นอย่างดี

2.10.1.4 การประยุกต์ใช้ RFID ในร้านค้า

เริ่มต้นตั้งแต่ในส่วนของการรับสินค้า RFID จะช่วยลดระยะเวลาในการตรวจรับสินค้า และรวมถึงการลดปริมาณคนงานที่ทำหน้าที่รับสินค้า เพิ่มประสิทธิภาพ และความถูกต้อง จากงานวิจัยของ Accenture กล่าวว่า ระบบ RFID สามารถลดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับคนงานลงได้โดย ลดค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับการตรวจสอบรับสินค้าลง 65% คลังสินค้า 25% การนับสินค้าถึง 100% ในส่วนของการจัดเรียงก็จะช่วยย่นระยะเวลาในการจัดเรียงเนื่องจากสามารถระบุตำแหน่งในการตรวจสอบสินค้าคงเหลือ นอกจากนั้น RFID ยังสามารถช่วยเหลือในงานรับคืนสินค้า โดยจะตรวจสอบได้ว่าสินค้านั้น ๆ เป็นสินค้าที่ขายไปจากที่ไหน เมื่อไร ในสภาพเช่นไร และยังรวมถึงเพิ่มความถูกต้องในการคืนเงิน ภายหลังจากขาย RFID สามารถช่วยตรวจสอบสภาพการรับประกันสินค้า โดยสามารถทำให้การตรวจสอบเป็นไปด้วยความรวดเร็ว และทำให้การซ่อมบำรุง หรือเปลี่ยนสินค้าทดแทนมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

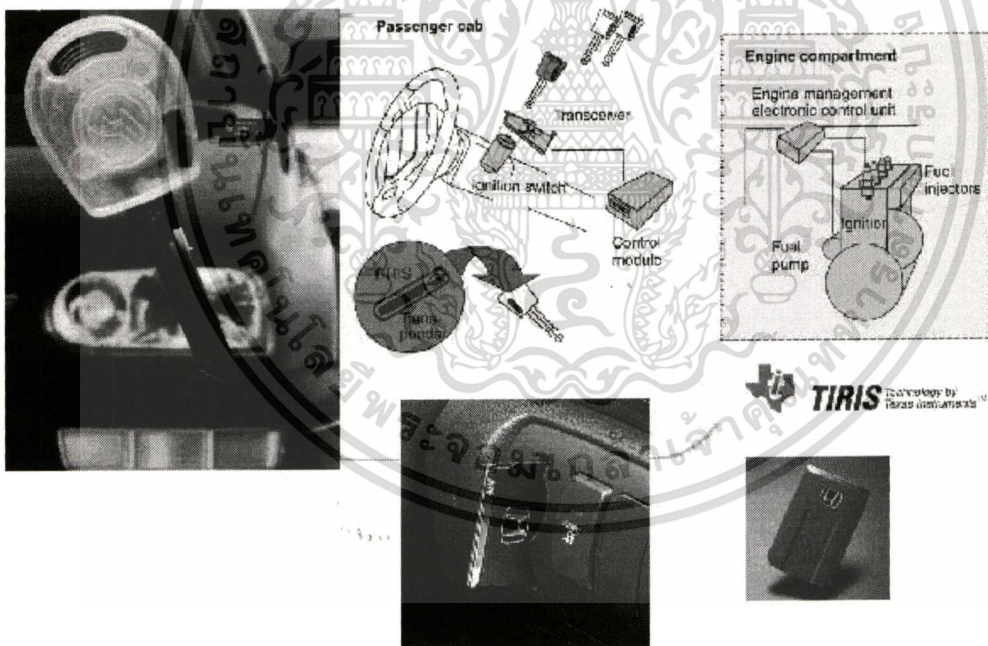
2.10.1.5 การประยุกต์ใช้ RFID ระหว่างหน่วยธุรกิจในห่วงโซ่อุปทาน

เทคโนโลยี RFID จะช่วยลดปัญหาสินค้าหมดเนื่องจากสามารถตรวจสอบปริมาณสินค้าได้ตลอดเวลา และยังช่วยให้สามารถวางแผนการจัดซื้อได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยอ้างอิงจากพฤติกรรม การซื้อของผู้บริโภคโดยตรง ลดปริมาณสินค้าคงคลัง (Safety Stock) ทุกหน่วยธุรกิจสามารถส่งข้อมูลต่าง ๆ ไปยังส่วนงานที่เกี่ยวข้องได้โดยสะดวก และในระยะเวลาอันสั้น การซื้อขายสินค้าปลอมแปลงก็จะลดปริมาณลง ประสิทธิภาพของสินค้าสูงขึ้น ในส่วนของความปลอดภัยก็จะช่วยลดการรुक้าของสิ่งของ เครื่องมือต่าง ๆ ที่ไม่ได้รับอนุญาตให้เข้าในแต่ละพื้นที่หวงห้าม เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.2 การประยุกต์ใช้ RFID ในอุตสาหกรรมรถยนต์

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RFID กับอุตสาหกรรมรถยนต์สามารถจำแนกออกเป็น 3 ประเภทงานหลัก ๆ คือ การติดตามส่วนประกอบรถยนต์ การบริหารจัดการอุปกรณ์ เครื่องมือ และการประยุกต์ใช้กับตัวรถยนต์ ในส่วนของการติดตามส่วนประกอบรถยนต์ ก็จะประกอบไปด้วย การบริหารสินค้าคงคลัง การประกอบรถยนต์ การป้องกันการขโมย การยืนยันความถูกต้องของตัวสินค้าว่าเป็นของแท้ไม่ได้มีการทำลอกเลียนแบบ การบำรุงรักษา และการนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycle) อีกด้านหนึ่งในส่วนของการประยุกต์ใช้กับตัวรถยนต์ ก็จะให้ความสำคัญในเรื่อง การแสดงตัวของรถยนต์แต่ละคัน การอนุญาตการเข้า-ออก (การฝัง RFID ไว้กับกุญแจ หรือ คีย์การ์ดสำหรับเปิดประตูรถ) และการติดตามวัดแรงดันของยางรถยนต์ เป็นต้น หลักการทำงานของ การประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RFID ในอุตสาหกรรมรถยนต์ ก็จะมีคล้ายคลึงกับการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RFID ในห่วงโซ่อุปทาน และระบบลอจิสติกส์ กล่าวคือ ต้องการระบุว่ามีสิ่งของนั้น ๆ คืออะไร มีรายละเอียดเป็นอย่างไร มาจากไหน แล้วจะต้องไปที่ไหน โดยจะต้องสามารถควบคุมดูแล และตรวจสอบให้ตลอดเส้นทางเคลื่อนย้าย



รูปที่ 2.17 ระบบกุญแจอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic immobilizer) [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.10.3 การประยุกต์ใช้ RFID ในเกษตรกรรม

RFID มีผลกระทบต่ออย่างยิ่งในอุตสาหกรรมการเกษตรตามที่ได้กล่าวมาแล้วในข้างต้น สำหรับภายในประเทศไทยเองก็ได้มีการนำมาประยุกต์ใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพโดยรวมเช่นเดียวกัน เช่น ในปัจจุบัน ฟาร์มเอสพีเอ็ม ที่จังหวัดราชบุรี ได้นำเทคโนโลยี RFID มาใช้ในการเลี้ยงสุกร เพื่อให้ได้มาตรฐาน ไม่อ้วนหรือผอมเกินไป ในอุตสาหกรรมการเลี้ยงหมู หมูที่เลี้ยงจะมีสองประเภท คือ หมูขุน และ หมูพันธุ์ ซึ่งมีวิธีการเลี้ยงที่แตกต่างกัน สำหรับการเลี้ยงหมูขุนนั้น จะเน้นการทำน้ำหนักเพื่อขาย จึงสามารถกินได้เต็มที่และเลี้ยงรวมในคอกขนาดใหญ่ได้ โดยไม่ต้องกังวลเรื่องปริมาณอาหารที่ได้รับ แต่สำหรับหมูพันธุ์แล้ว สุขภาพของแม่หมูเป็นเรื่องสำคัญ คือ แม่หมูต้องสุขภาพดี ไม่อ้วนหรือผอมเกินไป ซึ่งจะทำให้มีปัญหาบ่อย สามารถผสมติดได้ดี ทำให้โอกาสมีลูกและคลอดคอกขึ้น ถ้าแม่หมูอ้วนเกินไป กินเยอะ การผสมติดก็จะยาก และลูกหมูที่ได้มาก็จะไม่แข็งแรง ทำให้การเลี้ยงหมูพันธุ์ต้องมีการควบคุมน้ำหนัก เพื่อรักษารูปร่างให้ได้มาตรฐานนั่นเอง โดยทั่วไปผู้เลี้ยงมักจะเลี้ยงหมูพันธุ์แบบกรงดับ (กรงขังเดี่ยว) เพื่อสามารถควบคุมการตกอาหารให้แม่หมูกินทีละตัว ๆ ตามปริมาณที่แต่ละตัวต้องกินได้ เช่น แม่หมูปกติให้กิน 2 กิโลกรัม ส่วนแม่หมูที่อ้วนจะต้องลดปริมาณอาหารลงเหลือ 1.5 กิโลกรัม เป็นต้น แต่ปัญหาก็คือ แม่หมูที่อยู่กรงดับจะไม่แข็งแรง เพราะไม่ได้ออกกำลังกาย มีแต่กินกับนอนอยู่ที่แคบ ๆ ดังนั้น ทางฟาร์มจึงได้เปลี่ยนวิธีการเลี้ยงมาเป็นระบบปล่อยแบบคอกรวมขนาดใหญ่ ที่แม่หมูสามารถเดินออกกำลังกายได้ ส่วนปัญหาการควบคุมปริมาณอาหารนั้น ทางฟาร์มได้นำซอฟต์แวร์ที่ชื่อว่า Porcode Management System ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ของประเทศเนเธอร์แลนด์ มาใช้ร่วมกับเทคโนโลยี RFID เพื่อควบคุมเครื่องให้อาหารแม่หมู ซึ่งระบบจะควบคุมให้เครื่องให้อาหารปล่อยอาหารมาตามปริมาณที่เหมาะสมกับแม่หมูแต่ละตัว ระบบให้อาหารหมูอัตโนมัตินี้ ประกอบไปด้วย แถบ RFID สำหรับระบุหมายเลขประจำตัวของแม่หมูแต่ละตัว ซึ่งจะติดไว้ที่หูของแม่หมู, เครื่องอ่าน RFID ซึ่งจะติดอยู่ที่ผนังบริเวณจุดให้อาหารทำหน้าที่รับสัญญาณจากแท็กทำให้รู้ว่าแม่หมูที่เข้ามากินอาหารเป็นแม่หมูหมายเลขใด, โปรแกรม Porcode Management System สำหรับตั้งโปรแกรมปริมาณอาหาร แพงควบคุมและชุดอุปกรณ์ปล่อยอาหาร โดยการทำงานของระบบนี้ จะเริ่มต้นด้วยการตั้งโปรแกรมการให้อาหารแม่หมู (Feed Curve) ซึ่งตั้งครั้งเดียวในตอนแรก โดยจะกำหนดปริมาณอาหารเริ่มต้นและปริมาณอาหารที่เพิ่มขึ้นในแต่ละสัปดาห์ แบ่งตามช่วงอายุและรูปร่างของแม่หมู รวมถึงสถานการณ์ตั้งท้อง เช่น ถ้าอายุปกติเริ่มเข้าโปรแกรมหมูแม่พันธุ์ 0-2 สัปดาห์ หมูรูปร่างปกติให้กินอาหาร 2.4 กิโลกรัมต่อวัน หมูผอม 2.7 กิโลกรัมต่อวัน หมูอ้วน 2.3 กิโลกรัมต่อวัน และเมื่ออายุ 2-4 สัปดาห์ ให้เพิ่มอีก 0.6 กิโลกรัม เมื่อหมูเริ่มท้องก็ให้อาหารน้อยลง และเมื่อท้องแก่ก็ค่อยเพิ่มอาหารขึ้นเรื่อย ๆ จากนั้นจึงติดแท็กที่หูของแม่หมูแต่ละตัว พร้อมบันทึกหมายเลขประจำตัวและป้อนข้อมูลส่วนตัว เช่น น้ำหนัก อายุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเป็นสัตว์ การท้อง การคลอด ฯลฯ ของแม่หมูแต่ละตัวไว้ในระบบ ซึ่งโปรแกรม Porcode จะประมวลผลปริมาณอาหารที่เหมาะสมกับน้ำหนักและอายุของแม่หมูตัวนั้น ๆ ให้โดยอัตโนมัติ เมื่อแม่หมูเข้าไปกินอาหารในบริเวณเครื่องปล่อยอาหาร (Feed Station) ซึ่งสามารถเข้าได้ที่สัตว์ เครื่องอ่าน RFID ที่ติดอยู่ที่ผนังบริเวณจุดปล่อยอาหารจะอ่านแท็กที่หูของแม่หมูแล้วส่งหมายเลขประจำตัวแม่หมู ไปตรวจสอบปริมาณโควตาอาหารที่เหลืออยู่ของแม่หมูตัวนั้น ๆ ถ้าโควตายังเหลืออยู่ระบบจะควบคุมประตูทางเข้ากินอาหารให้ปิดประตูเพื่อไม่ให้แม่หมูตัวอื่นเข้ามารบกวน จากนั้นเครื่องปล่อยอาหารจะปล่อยอาหารออกมาตามปริมาณโควตาของแม่หมูตัวนั้น ๆ หากโควตาอาหารในวันนั้นของแม่หมูหมดแล้วหรือแม่หมูกินอิ่มแล้ว (ดูจากการที่แม่หมูเอาหูออกห่างจากบริเวณปล่อยอาหาร ทำให้ไม่สามารถรับสัญญาณแท็กได้) เครื่องปล่อยอาหารจะหยุดปล่อยอาหาร และประตูทางเข้าจะเปิดให้แม่หมูตัวใหม่เข้ามากินอาหารต่อได้ กรณีโควตายังเหลืออยู่ แม่หมูไม่สามารถเข้ามากินรอบสองได้ ระบบที่เลี้ยงแบบปล่อยนี้จะแพงกว่าการเลี้ยงแบบกรงคับ แต่ก็คุ้มค่ากว่า เพราะแม่หมูจะมีสุขภาพแข็งแรง ทำให้ประหยัดต้นทุนโดยรวม



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการใช้ RFID ในฟาร์ม [7]

2.10.4 การประยุกต์ใช้ RFID ในการแพทย์

ในปัจจุบันได้เริ่มมีการนำเทคโนโลยี RFID เข้าไปประยุกต์ใช้ทางการแพทย์และได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เช่นในประเทศสหรัฐอเมริกา องค์การอาหารและยาของประเทศให้การรับรองและอนุญาตให้มีการใช้เครื่องมือหรือเทคโนโลยี ฟิงจิ้นส่วนของไมโครชิพ หรือ เก็บหน่วยข้อมูลอัจฉริยะขนาดจิ๋ว ซึ่งทำงานด้วยระบบ RFID เข้าสู่ผิวหนังผู้ป่วยได้ โดยลักษณะรูปร่างของเจ้าไมโครชิพนี้จะมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขนาดเล็กมาก ๆ มีขนาดเท่า “ เมล็ดข้าว ” เท่านั้นเอง และใช้ฉีดเข้าไปฝังตัวใต้ผิวหนังของผู้ป่วย เพื่อช่วยเก็บข้อมูลในทางการแพทย์ อาทิเช่น ข้อมูลกรุปเลือด ข้อมูลการเกิดภูมิแพ้ ข้อมูลลักษณะเฉพาะของผู้ป่วยแต่ละบุคคล เพื่อให้แพทย์ช่วยรักษาและวินิจฉัยให้ตรงกับโรคมกที่สุดอีกทั้งยังใช้ เป็นรหัสส่วนบุคคลของผู้ป่วยอีกด้วย



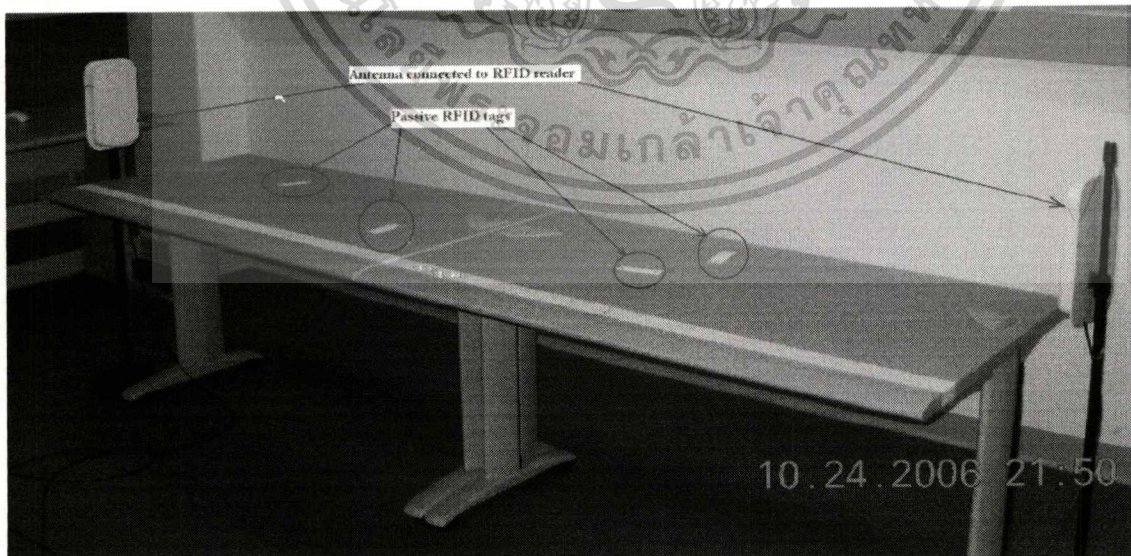
รูปที่ 2.19 ตัวอย่างการใช้ RFID ในการแพทย์ [7]

2.11 เทคนิคการหาตำแหน่งโดยระบบ RFID

ในการประยุกต์การใช้งาน RFID มาทำการหาตำแหน่งภายในอาคารนั้น โดยทั่วไปการหาตำแหน่งด้วย RFID จะแบ่งออกเป็น 2 หลักใหญ่ ๆ ดังต่อไปนี้

2.11.1 เทคนิคการหาตำแหน่งของแท็ก (Tag localization) [11]

เทคนิคในการหาตำแหน่งโดยใช้แท็กนี้จะใช้แท็กทำการติดไปยังบุคคล สัตว์ วัตถุ หรือสิ่งที่ต้องการทราบตำแหน่งซึ่งวิธีนี้จะใช้เครื่องอ่านที่ใช้ในการหาตำแหน่งของแท็กมากกว่าหนึ่งตัวขึ้นไป

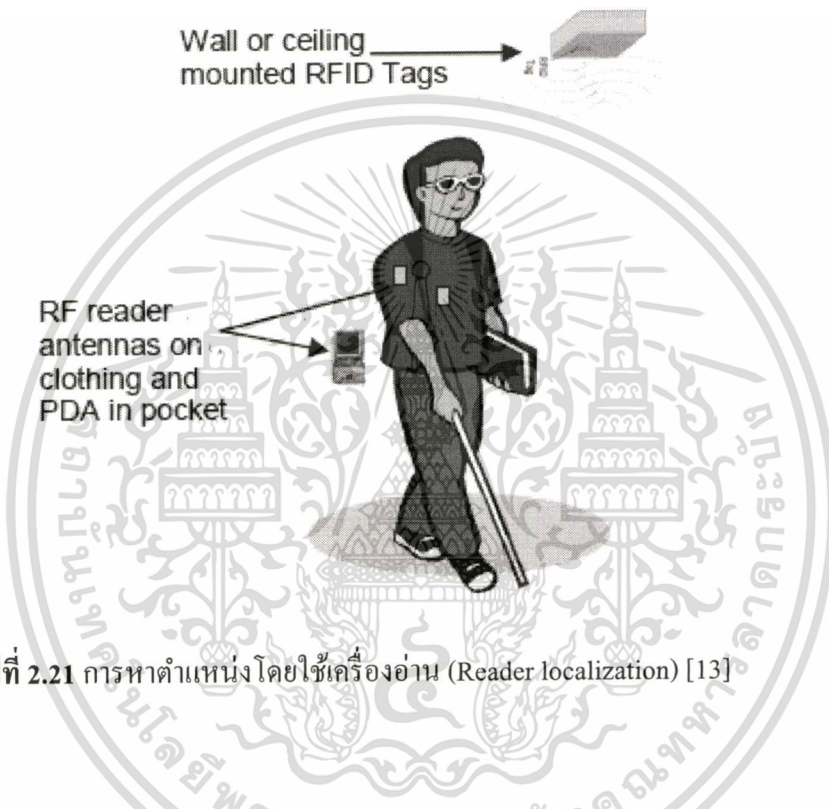


รูปที่ 2.20 การหาตำแหน่งโดยใช้แท็ก (Tag localization) [12]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.11.2 เทคนิคการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน (Reader localization) [11]

เทคนิคในการหาตำแหน่งโดยใช้เครื่องอ่านนี้จะนำเครื่องอ่านติดไปยัง บุคคล สัตว์ วัตถุหรือสิ่ง ที่ต้องการทราบตำแหน่งและใช้แท็กติดที่เพดานหรือกำแพงเพื่อใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งซึ่งวิธีนี้จะใช้ แท็กในการอ้างอิงตำแหน่งค่อนข้างมาก



รูปที่ 2.21 การหาตำแหน่งโดยใช้เครื่องอ่าน (Reader localization) [13]

2.12 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของระบบ RFID และ เทคนิคในการหาตำแหน่งโดยระบบ RFID ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเน้นสนใจในเรื่องของการหาตำแหน่งโดยใช้เทคโนโลยี RFID โดยจะใช้เทคนิคการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน (Reader localization) ซึ่งจะใช้เครื่องอ่านในย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF) เหตุผลที่เลือกใช้วิธีนี้เพราะว่าค่าใช้จ่ายในการทดลองวิจัยต่ำกว่าเมื่อเทียบกับการใช้เทคนิคการหาตำแหน่งของแท็ก เพราะราคาแท็กค่อนข้างถูกกว่าราคาของเครื่องอ่านเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม วิธีการหาตำแหน่งของเป้าหมายที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้สามารถประยุกต์ใช้ได้กับทั้งเทคนิคการหาตำแหน่งของเครื่องอ่านและเทคนิคการหาตำแหน่งของแท็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ทฤษฎีและหลักการของการหาตำแหน่งภายในอาคาร

3.1 กล่าวนำ

การหาตำแหน่งภายในอาคารเป็นที่นิยมมากในปัจจุบัน มีการประยุกต์ใช้งานการหาตำแหน่งภายในอาคารมากมาย อาทิเช่น การหาตำแหน่งของสินค้าในคลังสินค้า การหาตำแหน่งของคนไข้หรือบุคลากรภายในโรงพยาบาล การหาตำแหน่งของพนักงานดับเพลิงในอาคารที่เกิดเพลิงไหม้ การหาตำแหน่งของสุนัขตำรวจที่ถูกฝึกให้ค้นหาวัตถุระเบิดในอาคาร และการหาป้ายของเครื่องมือบำรุงรักษาหรืออุปกรณ์ที่กระจัดกระจายในโรงงาน ในบทนี้ได้อธิบายถึงทฤษฎีและหลักการในการหาตำแหน่งภายในอาคาร โดยในหัวข้อนี้จะอธิบายพร้อมทั้งจำแนกประเภทและเทคนิคในการหาตำแหน่งภายในอาคาร ซึ่งวิธีการคำนวณหาตำแหน่งโดยทั่วไปมีด้วยกัน 3 วิธี คือ การคำนวณหาตำแหน่งโดยวิธีการเรขาคณิตรูปสามเหลี่ยม (Triangulation) การคำนวณหาตำแหน่งโดยการวัดค่าความใกล้เคียงกับจุดอ้างอิง (Proximity) และการคำนวณหาตำแหน่งโดยการวิเคราะห์บริเวณเฉพาะ (Scene Analysis) ซึ่งบางครั้งเรียกว่า Fingerprint [14] ทั้งนี้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมุ่งเน้นในการพัฒนาเทคนิคในการหาตำแหน่งภายในอาคารแบบ Fingerprint บนพื้นฐานเทคโนโลยี RFID โดยจะทำการทดลองหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID โดยใช้แท็กติดไว้บนเพดานเพื่อทำหน้าที่ในการอ้างอิงข้อมูลตำแหน่งของเครื่องอ่าน โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเสนอวิธีการหาตำแหน่ง 3 วิธีโดยใช้การอินเตอร์เซกชันระหว่างแท็กที่พบจากเครื่องอ่าน RFID และ Fingerprint ซึ่งประสิทธิภาพความแม่นยำของทั้ง 3 วิธีนั้นจะทำการเปรียบเทียบจากค่าความผิดพลาดและค่าความผิดพลาดเฉลี่ย เพื่อนำมาวิเคราะห์ในการหาความแม่นยำของการหาตำแหน่งภายในอาคาร

3.2 การหาตำแหน่งโดยวิธีการเรขาคณิตรูปสามเหลี่ยม (Triangulation)

การหาตำแหน่งโดยวิธีการเรขาคณิตรูปสามเหลี่ยม (Triangulation) โดยวิธีนี้สามารถจำแนกได้ออกเป็นวิธีย่อย 2 วิธีด้วยกันคือ คือ วิธีการหาตำแหน่งด้วยระยะทาง (Lateration) และวิธีการหาตำแหน่งด้วยมุม (Angulation)

- วิธีการหาตำแหน่งด้วยระยะทาง (Lateration) เป็นวิธีการหาตำแหน่งโดยการวัดระยะทางจากหลายจุดอ้างอิง (Reference Point) ซึ่งเทคนิควิธีการที่ใช้หลักการในการหาตำแหน่งด้วยระยะทางมีหลายวิธี อาทิเช่น การวัดโดยอ้างอิงจากเวลาของการมาถึง (Time of Arrival :TOA) [15] หรือการวัดโดยอ้างอิงจากความแตกต่างของเวลาของสัญญาณที่มาถึง (Time Difference of Arrival :TDOA) [15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการวัดโดยอ้างอิงจากระยะทางได้มาจากการคำนวณการลดทอนของสัญญาณหรือการทำการคูณความเร็ว (Velocity) ของสัญญาณ วิทยุกับเวลาในการเคลื่อนที่ของสัญญาณ Round Trip Time of Flight (RTOF) [15]

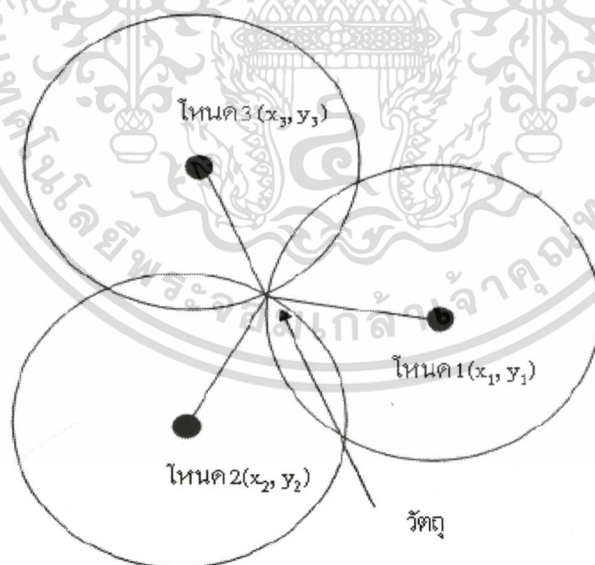
- วิธีการหาตำแหน่งด้วยมุม โดยวิธีนี้จะเป็นการหาตำแหน่งด้วยการคำนวณมุมอ้างอิง (Angle Relative) ที่ทำกับจุดอ้างอิงหลายๆ จุด

3.2.1 วิธีการหาตำแหน่งด้วยระยะทาง

3.2.1.1 การหาตำแหน่งโดยอ้างอิงจากเวลาของการมาถึง (Time of Arrival :TOA)

การหาตำแหน่งโดยอ้างอิงจากเวลาของการมาถึง (TOA) ในกรณีที่เป็นตำแหน่ง 2 มิติ การวัดแบบ TOA จะต้องพิจารณาสัญญาณที่มาจากอย่างน้อย 3 จุด ตามรูปที่ 3.1 และจับเวลาในการเคลื่อนที่ของสัญญาณทางเดียว (One Way) เพื่อคำนวณระยะทางระหว่างหน่วยวัดกับเครื่องส่งสัญญาณ (Signal Transmitter) โดยทั่วไปวิธี TOA จะพบปัญหา 2 ข้อคือ

- เครื่องส่งและรับสัญญาณในระบบจะต้องทำให้พร้อมกัน เป็นจังหวะเดียวกัน (Synchronize)
- ไทม์สแตมป์ (Timestamp) จะถูกคิดไว้ที่สัญญาณที่ถูกส่งออกมา เพื่อหาระยะทางที่สัญญาณเดินทาง



รูปที่ 3.1 แสดงการหาตำแหน่งด้วยการวัดแบบ TOA

สำหรับวิธีการคำนวณตำแหน่งแบบวิธีการอ้างอิงจากเวลาของการมาถึง คือการหาระยะห่างระหว่างวัตถุและโหนด หลักการคือเราสามารถหาระยะห่าง R_i ซึ่งเป็นระยะทางระหว่างวัตถุกับ โหนด ที่ i ได้จากสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$R_i = ct_i \quad (1)$$

เมื่อ c คือค่าความเร็วแสงมีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาที

และ t_i คือระยะเวลาในการเดินทางสัญญาณ (TOA) ระหว่างวัตถุไปที่โหนด i แต่วิธี
การนี้ต้องมีจรรยาในการสร้างความสอดคล้องของสัญญาณนาฬิการะหว่างวัตถุกับโหนดจึงจะทำให้
สามารถวัดค่า t_i ได้ พิจารณาจากสมการมาตรฐานของวงกลมที่รัศมี R คือ

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

เมื่อ (x_i, y_i, z_i) เป็นพิกัดของโหนด i

และ (x, y, z) เป็นพิกัดของตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการทราบตำแหน่ง

จากที่ได้กล่าวไปแล้วข้างต้นว่าการหาตำแหน่งของวัตถุด้วยวิธีนี้มีข้อเสียของวิธีการค้นหาตำแหน่ง
ด้วยวิธีนี้ได้แก่การต้องการความสอดคล้องกันของสัญญาณนาฬิการะหว่างวัตถุและโหนดจะพบว่า
เมื่อนับระยะเวลาของสัญญาณจากวัตถุไปที่โหนดผิดพลาด 1 ไมโครวินาทีจะให้วัระยะทาง ผิด
พลาดถึง 300 เมตร

3.2.1.2 การหาตำแหน่งโดยอ้างอิงจากความแตกต่างของเวลาของสัญญาณที่มาถึง (Time Difference of Arrival : TDOA)

การหาตำแหน่งโดยอ้างอิงจากความแตกต่างของเวลาของสัญญาณที่มาถึง (TDOA) ได้
แนวคิดมาใช้เพื่อแก้ปัญหาด้านความถูกต้องของความสอดคล้องของสัญญาณนาฬิการะหว่างวัตถุกับ
โหนด (Synchronize) โดยเนื่องจากสัญญาณเคลื่อนที่ด้วยความเร็วแสงทำให้พบว่าในกรณีที่วัดเวลา
ผิดพลาดเพียง 1 ไมโครวินาทีทำให้เกิดข้อผิดพลาดในการวัดระยะทางถึง 300 เมตร ดังนั้นเพื่อแก้
ปัญหาเรื่องของการสอดคล้องของสัญญาณนาฬิกาทำให้เกิดแนวคิดแทนที่จะทำการนับเวลาที่มาถึง
โหนดเราจะทำการนับเวลาที่แตกต่างกันที่รับได้จากโหนดจำนวน 2 คู่เพื่อนำข้อมูลมาสร้างสมการ
ไฮเปอร์โบลิกเพื่อหาตำแหน่งของวัตถุโดยพิจารณาการหาค่าตำแหน่งของโหนดได้โดยใช้หลักการ
ของการนับเวลาเวลาที่แตกต่างกันที่นับได้จากคู่ของสัญญาณจากวัตถุไปที่โหนดตำแหน่งที่ i และ
ตำแหน่งที่ j เพื่อสร้างของสมการไฮเปอร์โบลิกพิจารณาความสัมพันธ์ของผลต่างของระยะทาง
ระหว่าง โหนด ตำแหน่งที่ i และตำแหน่งที่ j ดังนี้

$$R_{i,j} = ct_{i,j} = R_i - R_j \quad (3)$$

โดยที่ $R_{i,j}$ เป็นผลต่างของระยะทางระหว่างโหนด ตำแหน่งที่ i และตำแหน่งที่ j และ $t_{i,j}$ เป็นความ
แตกต่างของเวลาของสัญญาณจากวัตถุไปที่ โหนดตำแหน่งที่ i และตำแหน่งที่ j และ c คือค่าความเร็ว

แสงมีค่าเท่ากับ 3×10^8 เมตรต่อวินาทีและ R_i คือระยะห่างระหว่างโหนด ที่ตำแหน่งที่พิกัด (x, y) กับวัตถุซึ่งมีพิกัดเป็น (X_i, Y_i) ดังสมการนี้

$$R_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} = \sqrt{X_i^2 + Y_i^2 - 2X_i x - 2Y_i y + x^2 + y^2} \quad (4)$$

และสามารถหาความสัมพันธ์ของผลต่างของระยะทางได้จากวัตถุไปที่ โหนด ที่ i, j โดยมีความสัมพันธ์ตามสมการดังนี้

$$R_{i,j} = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} = \sqrt{(X_j - x)^2 + (Y_j - y)^2} \quad (5)$$

โดยที่ $R_{i,j}$ เป็นผลต่างของระยะทางระหว่างวัตถุตำแหน่งที่ i และตำแหน่งที่ j และ (X_i, Y_i) และ (X_j, Y_j) เป็นพิกัดของ โหนด ที่ i และ j และ (x, y) เป็นตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการทราบตำแหน่ง เราสามารถหาคำตอบของสมการได้เมื่อจำนวนสมการเท่ากับจำนวนตัวแปรที่ไม่ทราบค่าเนื่องจากสมการที่ 5 ทำการแก้สมการค่อนข้างยากทำให้ต้องจัดรูปแบบของสมการใหม่ดังนี้

$$R_i^2 = (R_{i,j} + R_1)^2 \quad (6)$$

ทำให้ทำการจัดรูปของสมการ(5)เขียนได้เป็น

$$R_{i,1}^2 + 2R_{i,1}R_1 + R_1^2 = X_i^2 + Y_i^2 - 2X_i x - 2Y_i y + x^2 + y^2 \quad (7)$$

ทำการลบค่าของสมการ(6) ที่ $i = 1$ ออกจากสมการ(7) จะได้เป็น

$$R_{i,1}^2 + 2R_{i,1}R_1 = X_i^2 + Y_i^2 - 2X_{i,1}x - 2Y_{i,1}y \quad (8)$$

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

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} X_{2,1} & Y_{2,1} \\ X_{3,1} & Y_{3,1} \end{bmatrix}^{-1} \times \left\{ \begin{bmatrix} R_{2,1} \\ R_{3,1} \end{bmatrix} R_1 + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} R_{2,1}^2 - K_2 + K_1 \\ R_{3,1}^2 - K_3 + K_1 \end{bmatrix} \right\} \quad (9)$$

เมื่อ

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

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

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

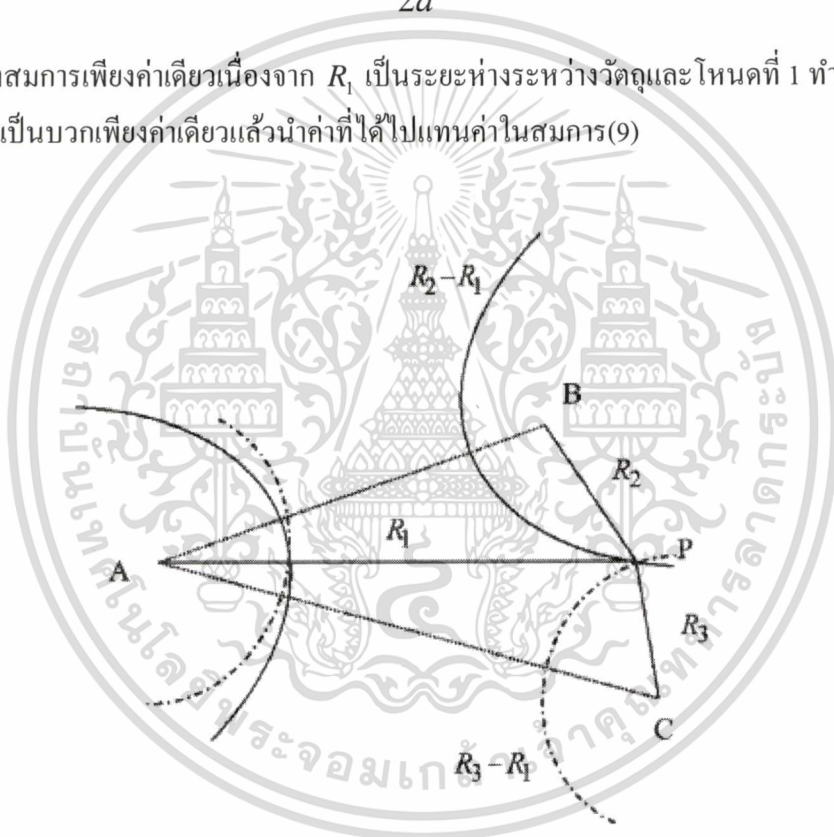
เราสามารถทำการหาค่า x และ y ได้ในเทอมของ R_1 ได้ โดยการแทนค่าของ x และ y ในสมการที่ 9 ไปแทนค่าในสมการ(8) และจัดรูปแบบสมการ(8) ในเทอมของ R_1 ในรูปแบบของสมการQuadratic ดังนี้

$$aR_1^2 + bR_1 + c = 0 \quad (10)$$

สามารถหาคำตอบของสมการตามสูตรได้เป็น

$$R_1 = \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (11)$$

เลือกใช้รากของสมการเพียงค่าเดียวเนื่องจาก R_1 เป็นระยะห่างระหว่างวัตถุและโหนดที่ 1 ทำให้รากของสมการมีค่าเป็นบวกเพียงค่าเดียวแล้วนำค่าที่ได้ไปแทนค่าในสมการ(9)



รูปที่ 3.2 แสดงการการหาคำแหน่งด้วยการวัดแบบ TDOA [15]

3.2.1.3 การหาคำแหน่งโดยอ้างอิงจากระยะทางได้มาจากการคำนวณการลตทอนของสัญญาณของสัญญาณวิทยุกับเวลาในการเคลื่อนที่ของสัญญาณ (Round Trip Time of Flight :RTOF)

การหาคำแหน่งโดยอ้างอิงจากระยะทางได้มาจากการคำนวณการลตทอนของสัญญาณของสัญญาณวิทยุกับเวลาในการเคลื่อนที่ของสัญญาณ (Round Trip Time of Flight :RTOF) วิธีนี้จะคำนวณเวลาการเดินทางของสัญญาณที่เดินทางจากเครื่องส่งสัญญาณไปยังจุดวัด แล้วย้อนกลับไปที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องส่งสัญญาณอีกครั้ง สำหรับวิธีนี้ต้องการการซิงโครไนซ์ของเวลา (Clock Synchronization) มากกว่าวิธี TOA ลักษณะการคำนวณของวิธีนี้คล้ายกับ TOA หน่วยวัดจะถูกพิจารณาคล้ายกับเครื่องหาวัตถุในระยะไกลทั่วไป ทรานส์พอนเดอร์เป้าหมายตอบรับที่จะซิงโครไนซ์สัญญาณเรดาร์ และเวลาในการเคลื่อนที่ไปและกลับถูกวัดที่หน่วยวัด แต่อย่างไรก็ตาม เป็นการยากสำหรับหน่วยวัดที่จะทราบการประวิงเวลาที่ถูกต้อง ในระบบการส่งสัญญาณระยะยาว (Long Range) หรือระยะกลาง (Medium Range) จะไม่คิดการประวิงเวลานี้ถ้ามีเวลาน้อยมาก เมื่อเทียบกับเวลาในการส่งสัญญาณ อย่างไรก็ตาม สำหรับระบบการส่งสัญญาณระยะสั้น (Short Range) ไม่สามารถไม่คิดการประวิงเวลาได้ สำหรับทางเลือกที่จะใช้หลักการของมอดูเลชัน Modulation Reflection คือเหมาะสมที่จะใช้กับระบบการส่งสัญญาณระยะสั้นเท่านั้น การหาตำแหน่งโดยใช้ TOA สามารถประยุกต์ใช้กับ RTOF ได้โดยตรง

3.2.2 วิธีการหาตำแหน่งด้วยมุม(Angle of Arrival :AOA)

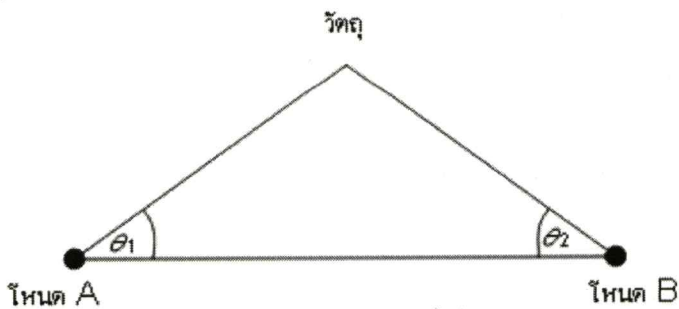
วิธีการหาตำแหน่งด้วยมุม (Angle of Arrival :AOA) [16] เป็นการหาตำแหน่ง โดยใช้ค่ามุมของสัญญาณที่ส่งมาจากวัตถุโดยเราสามารถค้นหาตำแหน่งของวัตถุจากค่ามุมที่ได้รับที่โหนดจำนวน 2 มุมในแต่ละโหนดและเมื่อนำข้อมูลที่ได้รับมาสร้างสมการเส้นตรงทำให้เราสามารถหาตำแหน่งของวัตถุได้ ดังสมการ

$$(y - y_i) = \tan(\theta_i)(x - x_i) \tag{12}$$

$$(y - y_j) = \tan(\theta_j)(x - x_j) \tag{13}$$

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 3.3 แสดงวิธีการวัดมุมจากทิศทางของสัญญาณคือต้องการจำนวนโหนดจำนวนเพียง 2 โหนดเพื่อการคำนวณตำแหน่งซึ่งน้อยกว่าวิธีการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีอ้างอิงจากเวลาของการมาถึง และวิธีอ้างอิงจากความแตกต่างของเวลาของสัญญาณที่มาถึง ซึ่งต้องมีจำนวนโหนดอย่างน้อยจำนวน 3 โหนดขึ้นไปแต่ข้อเสียของการค้นหาตำแหน่งด้วยวิธีนี้คือการเพิ่มค่าใช้จ่ายในการปรับแต่งเสาอากาศเพื่อให้วัดค่าได้อย่างถูกต้องอย่างสม่ำเสมอ รวมทั้งให้ค่าความถูกต้องค่อนข้างต่ำในสภาพแวดล้อมในชุมชนเมืองที่มีสิ่งปลูกสร้างจำนวนมาก ทำให้เกิดเส้นทางของสัญญาณหรือการขาดเส้นทางในแนวเส้นสายตา (Line of Sight: LOS) ส่งผลต่อการวัดมุมที่ผิดพลาดมากยิ่งขึ้น

3.3 วิธีหาตำแหน่งด้วยการวัดค่าความใกล้เคียงกับจุดอ้างอิง(Proximity)

วิธีการหาตำแหน่งด้วยวัดค่าความใกล้เคียงกับจุดอ้างอิง(Proximity) [17] จะบอกตำแหน่งที่สัมพันธ์กับสัญลักษณ์ (Symbolic Relative Location) โดยปกติจะอาศัยความหนาแน่นของกริดของสายอากาศ โดยเมื่อเป้าหมายถูกตรวจจับได้ด้วยสายอากาศเดียว แต่ถ้ามีหลายๆ สายอากาศที่สามารถตรวจจับเป้าหมายได้ จะทำเลือกพิจารณาสัญญาณที่รับได้ที่มีความเข้มสัญญาณที่สุด ระบบที่ใช้ระบบจะใช้คลื่นอินฟราเรด (IR) และคลื่นวิทยุ ตัวอย่างอื่นๆ เช่น วิธีพิสูจน์ว่าเป็นเซลล์เดียวกัน (Cell Identification (Cell-ID)) หรือ Cell of Origin (COO) วิธีนี้อาศัยเครือข่ายเซลลูลาร์ (Mobile Cellular Network) ในการระบุตำแหน่งอย่างคร่าวๆ ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ ข้อดีของ Cell-ID คือถูกใช้งานในปัจจุบันและสามารถใช้ได้กับทุกอุปกรณ์เคลื่อนที่

3.4 วิธีการหาตำแหน่งโดยการวิเคราะห์บริเวณเฉพาะ (Scene Analysis / Fingerprint)

วิธีการหาตำแหน่งโดยการวิเคราะห์บริเวณเฉพาะ (Scene Analysis) บางครั้งเรียกว่า Fingerprint [18] วิธีนี้จะต้องมีการเก็บค่าของสัญญาณก่อนครั้งหนึ่งแล้วจึงค่อยมีการนำสัญญาณที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ต้องการค้นหาตำแหน่ง โดยใช้อัลกอริทึมในการเปรียบเทียบ ซึ่งวิธีนี้จะสามารถแบ่งการทำงานได้เป็น 2 ขั้นตอนซึ่งจะได้อธิบายแต่ละขั้นตอนบนพื้นฐานของเทคนิคการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID ซึ่งเป็นเทคนิคที่เลือกใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดยแต่ละขั้นตอนมีรายละเอียดดังนี้

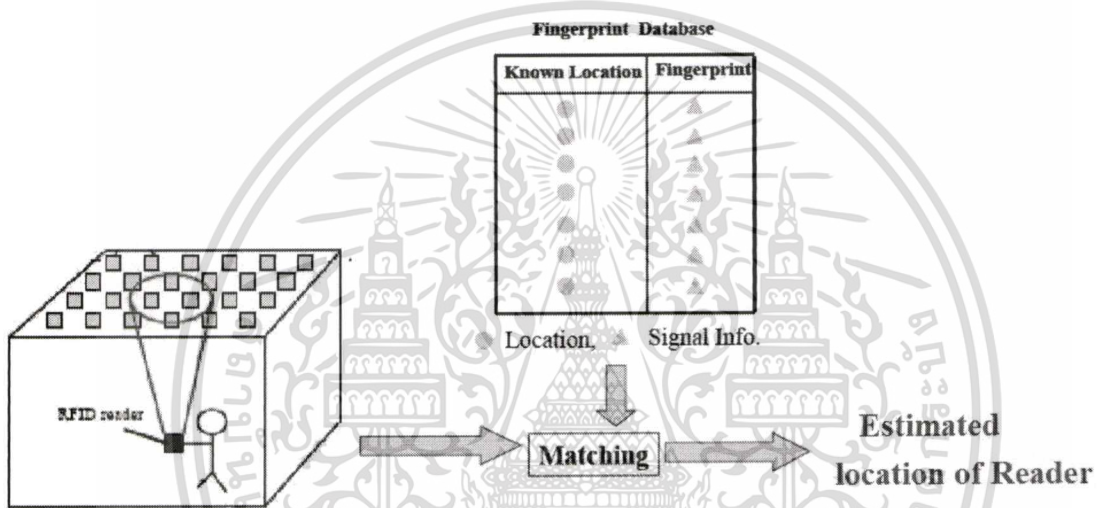
3.4.1 Offline Phase หรือ Training Phase

ในการทำงานของช่วงนี้จะเป็นช่วงของการเก็บข้อมูลแท็ก โดยจะทำการเก็บข้อมูลของแท็กที่เครื่องอ่านทำการตรวจเจอในแต่ละตำแหน่ง ซึ่งจะต้องทำการกำหนดตำแหน่ง (Grid Point) ที่ต้องการเก็บข้อมูลแท็กให้ครอบคลุมบริเวณที่ต้องการหาตำแหน่ง ส่วนข้อมูลของแท็กที่เก็บได้ในแต่ละตำแหน่งจะถูกเก็บไว้ในฐานข้อมูล เพื่อนำไปคำนวณค่าทางสถิติ ซึ่งเรียกว่าเป็นการทำ Radio map และข้อมูลของแท็กที่เก็บได้ในแต่ละตำแหน่งที่กำหนดจะเรียกว่า Fingerprint

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 Online Phase หรือ Localization Phase

ในการทำงานช่วงนี้จะเป็นช่วงของการหาตำแหน่ง โดยจะทำการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID ด้วยการอ่านข้อมูลของแท็กที่ตรวจพบ ณ ตำแหน่งที่เครื่องอ่านอยู่ขณะนั้น แล้วนำค่าแท็กที่ตรวจพบเจอ ไปทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้เก็บไว้ในฐานข้อมูลในช่วงแรก (Fingerprint) ด้วยอัลกอริทึมต่างๆ ต่อจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบเสร็จแล้วก็จะแสดงตำแหน่งของเครื่องอ่านออกมา โดยส่วนมากจะแสดงออกมาเป็นตัวเลขพิกัด ซึ่งประสิทธิภาพของการหาตำแหน่งที่ได้นั้นจะขึ้นอยู่กับ Radio Map ที่ทำไว้ในช่วงแรกและอัลกอริทึมที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบ



รูปที่ 3.4 แสดงการหาตำแหน่งด้วยวิธีการหาตำแหน่งแบบ Fingerprint

จากรูปที่ 3.4 จะเป็นการแสดงการหาตำแหน่งด้วยวิธีหาตำแหน่งแบบ Fingerprint โดยขั้นตอนแรกจะทำการเก็บข้อมูลของแท็กที่เครื่องอ่านทำการตรวจเจอในแต่ละตำแหน่ง โดยในรูปแบบจะแทนสัญลักษณ์วงกลมเป็นตำแหน่งของเครื่องอ่านและสัญลักษณ์สามเหลี่ยมจะแทนด้วยข้อมูลของแท็กที่เครื่องอ่านทำการตรวจเจอ โดยข้อมูลทั้งหมดนี้จะทำการเก็บไว้ในฐานข้อมูล ในขั้นตอนต่อมาจะเป็นขั้นตอนในการหาตำแหน่ง โดยจะนำข้อมูลของแท็กที่เครื่องอ่านทำการตรวจเจอ ไปทำการเปรียบเทียบกับ Fingerprint ที่ได้เก็บไว้ในฐานข้อมูลในช่วงแรก ด้วยอัลกอริทึมต่างๆ (ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการเสนออัลกอริทึมที่ใช้ในการเปรียบเทียบหาตำแหน่งของเครื่องอ่านทั้งหมด 3 อัลกอริทึม โดยจะทำการอธิบายแต่ละอัลกอริทึมในบทถัดไป) เมื่อเปรียบเทียบเสร็จแล้วก็จะแสดงตำแหน่งของเครื่องอ่านออกมา โดยข้อมูลจะแสดงออกมาเป็นพิกัด

3.5 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีและอัลกอริทึมที่สำคัญที่ใช้ในการหาตำแหน่งภายในอาคารและได้จำแนกประเภทเทคนิคของการหาตำแหน่งภายในอาคาร ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมุ่งเน้นในการพัฒนาเทคนิคในการหาตำแหน่งภายในอาคารแบบ Fingerprint บนพื้นฐานเทคโนโลยี RFID โดยจะทำการทดลองหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน เพราะว่าค่อนข้างเป็นวิธีที่ประหยัดค่าใช้จ่าย เนื่องจากใช้เครื่องอ่าน RFID เพียงตัวเดียว สำหรับในบทถัดไปจะกล่าวถึงรายละเอียดของขั้นตอนและการดำเนินการทดลองวิจัยเพื่อพิจารณาตามทฤษฎีและอยู่บนหลักของเหตุและผลเป็นสำคัญ



บทที่ 4

วิธีการและขั้นตอนการทดลองวิจัย

4.1 กล่าวนำ

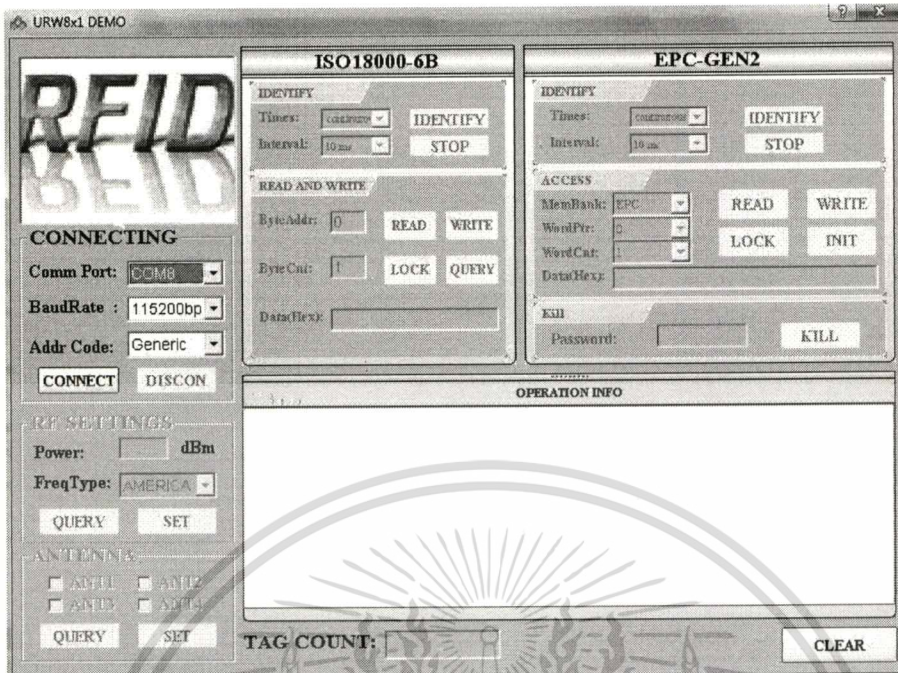
ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการและขั้นตอนในการทดลองหาตำแหน่งซึ่งในการทดลองวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์บริเวณเฉพาะ (Scene Analysis) บางครั้งเรียกว่า Fingerprint มาทำการหาตำแหน่งโดยการเปรียบเทียบรูปแบบของสัญญาณที่ได้รับมาจากสถานีฐานหรือเป้าหมายกับสัญญาณที่ได้ทำการสำรวจเก็บข้อมูลเอาไว้แล้วในฐานข้อมูล โดยใช้อัลกอริทึมในการเปรียบเทียบรูปแบบของสัญญาณ เทคนิคการวิเคราะห์บริเวณเฉพาะ (Fingerprint) สามารถใช้ได้แม้มีสถานีฐานเพียงตัวเดียวซึ่งในที่นี้ก็เปรียบเหมือนใช้เครื่องอ่าน RFID เพียงตัวเดียวในการหาตำแหน่งหรือทำหน้าที่เป็นเป้าหมาย โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ใช้เครื่องอ่าน RFID ที่ทำงานในย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF) ในการทดลองวิจัยนี้จะนำแท็กแบบพาสซีฟติดไว้บนแพคานซึ่งทราบพิกัดตำแหน่งที่ติดตั้งไว้แล้วและนำเครื่องอ่านไปติดไว้กับพาหนะที่ต้องการทราบตำแหน่ง ขั้นแรกจะทำการเก็บข้อมูลไว้ในฐานข้อมูลก่อน (ข้อมูลที่เก็บคือแท็กที่เครื่องอ่านตรวจพบทำหน้าที่เป็น Fingerprint) ต่อมาเมื่อเครื่องอ่านเป้าหมายทำการอ่านข้อมูลก็จะนำข้อมูลที่อ่านได้มาทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ทำการเก็บไว้ในฐานข้อมูลและทำการคำนวณหาพิกัดของตำแหน่งของเครื่องอ่านเป้าหมาย รายละเอียดของวิธีการและขั้นตอนในการทดลองนั้นจะแสดงในหัวข้อต่อไป

4.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองวิจัย

ในการทดลองหาตำแหน่งซึ่งในการทดลองวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการตึก 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทดลองมีดังต่อไปนี้

- เครื่องคอมพิวเตอร์พกพา (Notebook Computer)

เครื่องคอมพิวเตอร์พกพาพร้อมทำการติดตั้งลงโปรแกรมติดต่อกับเครื่องอ่าน RFID โดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic 6.0 ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างคอมพิวเตอร์พกพาและเครื่องอ่าน RFID (แสดงดังรูปที่ 4.1) เครื่องอ่าน RFID จะใช้ พอร์ตอนุกรม (RS232) ในการติดต่อกับคอมพิวเตอร์พกพาแต่ว่าเครื่องคอมพิวเตอร์พกพาที่นำมาใช้ในการทดลองนั้นมีแค่พอร์ตยูเอสบีซีจึงต้องมีอุปกรณ์เพิ่มเติมก็คืออุปกรณ์แปลงพอร์ตอนุกรมเป็นยูเอสบีซีดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 โปรแกรมที่ใช้ทำการติดต่อกับเครื่องอ่าน RFID



รูปที่ 4.2 อุปกรณ์แปลงพอร์ตอนุกรมเป็นยูเอสบี

- แท็กแบบพาสซีฟ

ในการทดลองนี้ได้ใช้แท็กแบบพาสซีฟในการทดลองเพราะว่าราคาก่อนข้างถูกกว่าราคาของแท็กแบบอื่นอยู่พอสมควรและระยะในการอ่านข้อมูลก็อยู่ในระยะที่เหมาะสมกับการทดลองวิจัยนี้ โดยแท็กที่ใช้เป็นของยี่ห้อ Rafsec โดยชิพเป็นมาตรฐาน EPC Class1 Gen2 มีหน่วยความจำภายใน 240 บิต รองรับย่านความถี่ตั้งแต่ 860-960 MHz โดยใช้สายอากาศแบบโพลาริซเซชันเชิงเส้น วัสดุที่ใช้ทำสายอากาศ

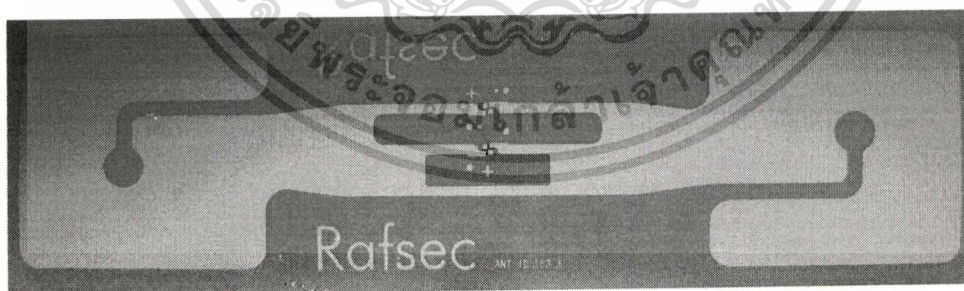
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นแบบอคูมิเนียม และไม่ต้องใช้แบตเตอรี่ในการทำงาน ซึ่งในการทดลองนี้ได้ใช้แท็กทั้งหมดจำนวน 96 ตัว ในการทดลอง ตารางดังต่อไปนี้เป็นตารางเปรียบเทียบแสดงคุณสมบัติของแท็กแบบพาสซีฟ และแท็กแบบแอ็กทีฟ

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบแสดงคุณสมบัติของแท็กแบบพาสซีฟและแท็กแบบแอ็กทีฟ

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

เมื่อได้ดูตาราง เปรียบเทียบแสดงคุณสมบัติของแท็กแบบพาสซีฟและแท็กแบบแอ็กทีฟแล้วจะพบว่าแท็กแบบพาสซีฟค่อนข้างเหมาะสมกับการทดลองวิจัยนี้เพราะว่าแท็กแบบพาสซีฟนั้นราคาถูกและน้ำหนักเบา ระยะในการอ่านก็เหมาะสมกับการทดลองวิจัยนี้ประมาณ 3-5 เมตรในการทดลอง เราจึงทำการเลือกแท็กแบบพาสซีฟมาทำการทดลอง



รูปที่ 4.3 แท็กแบบพาสซีฟที่มีสายอากาศแบบโพลาริซิงเส้น

- เครื่องอ่าน RFID

ในการทดลองวิจัยนี้ได้เลือกใช้เครื่องอ่าน RFID ที่ทำงานในย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF) มาใช้ในการทดลองเพราะว่าระยะในการอ่านค่อนข้างจะเหมาะสมกับการทดลองนี้และราคาก็ไม่แพงจนเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

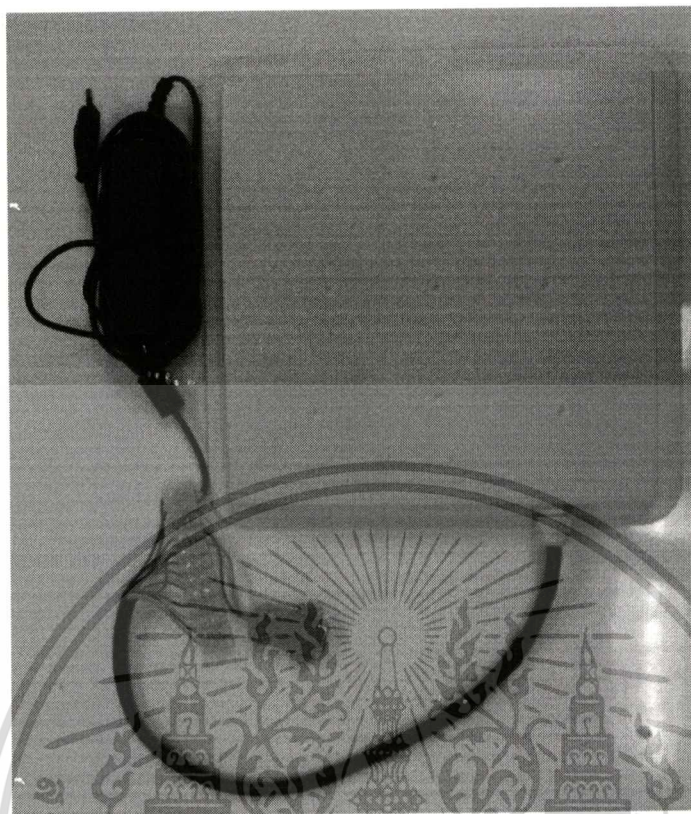
ไป เครื่องอ่าน RFID ที่เลือกใช้ในการทดลองนี้ นำเข้าโดย บริษัท เอเชนเทค (ประเทศไทย) จำกัด รุ่น URW801 ทำงานในย่านความถี่ 902-928 MHz รองรับมาตรฐานโปรโตคอล ISO 18000-6B,6C และ EPC Gen2 กำลังส่งสัญญาณ 20-30 dBm การมอดูเลตสัญญาณแบบ ASK หรือ FSK ติดต่อสื่อสารกับ เครื่องคอมพิวเตอร์ด้วยพอร์ตอนุกรม (RS232) ต่อไปนี้เป็นตารางความถี่ในการใช้งานของระบบ RFID

ตารางที่ 4.2 ตารางความถี่ในการใช้งานของระบบ RFID

ย่านความถี่	ระยะการอ่าน	ความเร็วในการรับส่งข้อมูล	การประยุกต์ใช้งาน
ย่านความถี่ต่ำ 100-500 kHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปคือ 125 kHz	น้อยกว่า 1 เมตร	ต่ำ	- การเข้าออกอาคาร - ปุศสัตว์ - ระบบคลัง - รถยนต์
ย่านความถี่สูง 10-15 MHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปคือ 13.56 MHz	น้อยกว่า 1 เมตร	ต่ำถึงปานกลาง	- การเข้าออกอาคาร - ระบบจัดการห้องสมุด - กระเป๋าเดินทาง
ย่านความถี่สูงยิ่ง 433/868/915 MHz	2-5 เมตร	ปานกลางถึงสูง	- ระบบขนส่ง - ตู้สินค้า
ย่านความถี่ไมโครเวฟ 2.4-5.8 GHz ความถี่มาตรฐานที่ใช้งานทั่วไปคือ 2.45 GHz	มากกว่า 5 เมตร	สูง	- รถไฟ - ระบบเก็บค่าผ่านทาง

เมื่อดูจากตารางความถี่จะพบว่าเครื่องอ่าน RFID ย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF) ระยะการอ่านจะอยู่ประมาณ 2-5 เมตรซึ่งค่อนข้างเหมาะสำหรับการทดลองวิจัย เราจึงเลือกเครื่องอ่าน RFID ย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF) มาใช้ในการทดลองนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



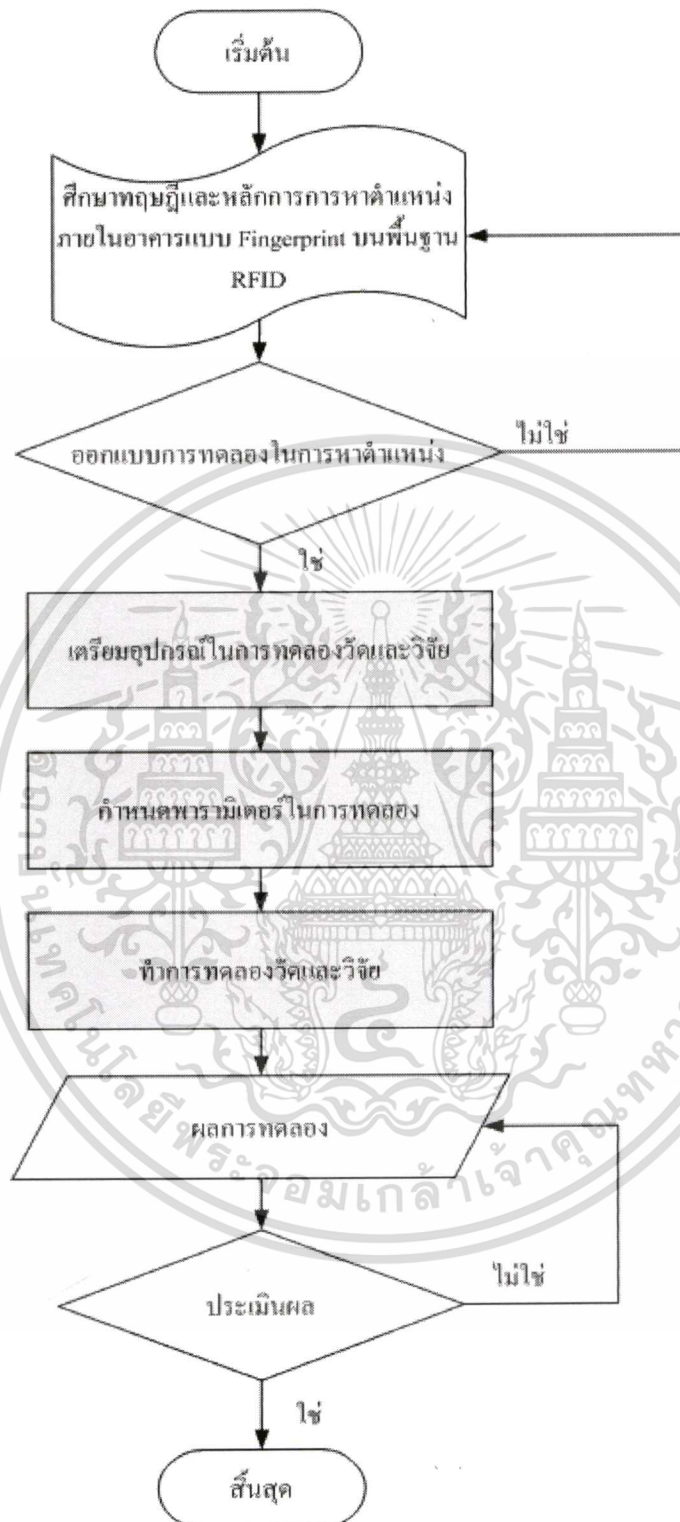
รูปที่ 4.4 เครื่องอ่าน RFID ที่ทำงานในย่านความถี่สูงยิ่ง UHF (920-925 MHz)

- ขาดตั้งกล้องและรถเข็น

ในการทดลองนี้ได้นำขาดตั้งกล้องมาทำการยึดกับเครื่องอ่าน RFID เพราะว่าขาดตั้งกล้องมีความสามารถในการปรับระดับความสูงต่ำได้สะดวกและนำขาดตั้งกล้อง เครื่องอ่าน RFID และคอมพิวเตอร์ มาใส่ไว้ในรถเข็นเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายหาตำแหน่ง

- โฟม สก๊อตเทปและกรรไกร

ในการทดลองนี้ได้นำโฟมมาทำการตัดให้ขนาดพอดีกับขนาดของแท็กแล้วทำการแปะแท็กไว้กับโฟมก่อนที่จะติดกับเพดานอีกที โดยใช้โฟมที่มีความหนาประมาณ 1-2 มิลลิเมตร ซึ่งเหตุผลที่ต้องนำโฟมมาทำการรองก่อนติดแท็กกับเพดานก่อนเพราะว่าก่อนหน้านั้นเคยทำการทดลองโดยติดแท็กกับเพดานเลยโดยติดตรงขอบที่เป็นโลหะพบว่าเครื่องอ่าน RFID อ่านแท็กเจอได้จำนวนน้อยมากผิดปกติทางผู้วิจัยจึงทำการลองนำโฟมมาทำการรองแท็กก่อนที่จะติดบนเพดานพบว่าเครื่องอ่าน RFID พบแท็กมากขึ้นกว่าเดิม อาจสืบเนื่องมาจากโลหะน่าจะมีผลกระทบต่อการอ่านของเครื่องอ่าน RFID และแท็กแบบพาสซีฟก็เป็นได้



รูปที่ 4.5 โฟลว์ชาร์ตของขั้นตอนการทดลองวิจัย

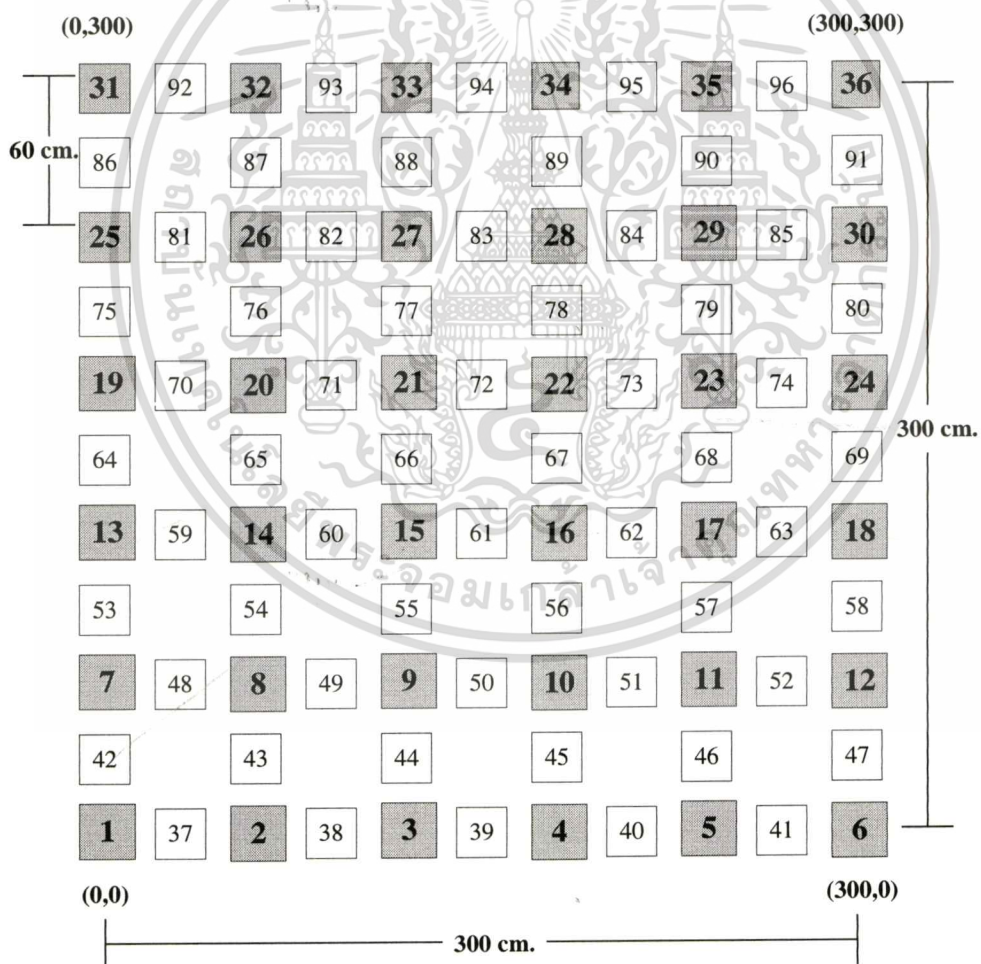
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ขั้นตอนและรูปแบบวิธีการทดลองวิจัยในการหาตำแหน่ง

ในหัวข้อนี้จะเสนอขั้นตอนและรูปแบบวิธีการทดลองวิจัยในการหาตำแหน่ง โดยโฟลว์ชาร์ตของขั้นตอนการทดลองวิจัย แสดงได้ดังรูปที่ 4.5 และมีวิธีการดังต่อไปนี้

4.3.1 การจัดเตรียมการทดลองและสภาพแวดล้อมในการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้มีการจัดเตรียมการทดลองและสภาพแวดล้อมในการทดลอง โดยขั้นแรกต้องทำการเขียนข้อมูลหมายเลขประจำตัวแท็ก (Tag ID) ลงในแท็กทั้ง 96 ตัวก่อนซึ่งจะนำเครื่องอ่าน/เขียน RFID มาทำการเขียนข้อมูลลงในแท็กทีละตัวจนครบ 96 ตัว โดยจะทำการเขียนข้อมูลเลข 1-96 ลงในแท็กแต่ละตัว เมื่อทำการเขียนข้อมูลลงในแท็กเรียบร้อยแล้วจึงนำโคมที่ทำการตัดขนาดพอดีกับแท็กมาทำการแปะรองแท็กไว้อีกทีหนึ่งก่อน ต่อมาจึงนำแท็กทั้ง 96 ตัวไปทำการติดไว้บนเพดานโดยมีการจัดเรียงแท็กดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 รูปแบบการจัดเรียงแท็กทั้ง 96 ตัวในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าสีของแท็กในรูปมีสีที่แตกต่างกัน โดยสังเกตได้ว่า แท็กเบอร์ 1-36 จะมีสีเข้มกว่าแท็กสีอื่นซึ่งเพราะว่าตำแหน่งที่ติดแท็กนี้จะเป็นตำแหน่งที่จะเก็บข้อมูลหรือเป็นตำแหน่งในการวางเครื่องอ่านเพื่อเก็บค่า Fingerprint นั้นเอง ส่วนแท็กอื่นๆจะเป็นแท็กในการอ้างอิง รูปที่ 4.7 แสดงการติดตั้งแท็กที่ติดไว้กับเพดานมีทั้งแท็กอ้างอิงและแท็ก ณ ตำแหน่งที่ต้องการเก็บข้อมูลหรือเก็บค่า Fingerprint นั้นเอง



รูปที่ 4.7 การติดตั้งแท็กที่ติดไว้กับเพดานซึ่งมีทั้งแท็ก ณ ตำแหน่งที่ต้องการเก็บค่า Fingerprint และแท็กอ้างอิง

ในขั้นตอนต่อมาเมื่อทำการติดตั้งแท็กเรียบร้อยแล้วก็จะทำการติดตั้งเครื่องอ่าน RFID เข้ากับขาตั้งกล้องโดยจะหันเครื่องอ่าน RFID ให้มีทิศทางที่หันตรงกับแท็ก โดยเครื่องอ่านจะทำการเชื่อมต่อกับเครื่องคอมพิวเตอร์พกพาที่ได้ทำการติดตั้งโปรแกรมไว้เรียบร้อยแล้วโดยติดต่อผ่านอุปกรณ์แปลงพอร์ตอนุกรมเป็นยูเอสบีเข้าทางพอร์ตยูเอสบีของเครื่องคอมพิวเตอร์พกพาและทำการเอาไปวางไว้บนรถเข็นเพื่อให้สะดวกแก่การเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ โดยรูปที่ 4.8 จะเป็นรูปที่แสดงเครื่องอ่าน RFID ขณะทำการอ่านแท็กโดยตรง ส่วนรูปที่ 4.9 จะแสดงการจัดเตรียมระบบในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่4.8 เครื่องอ่านขณะทำการอ่านเท็กโดยตรง



รูปที่4.9. การจัดเตรียมระบบการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

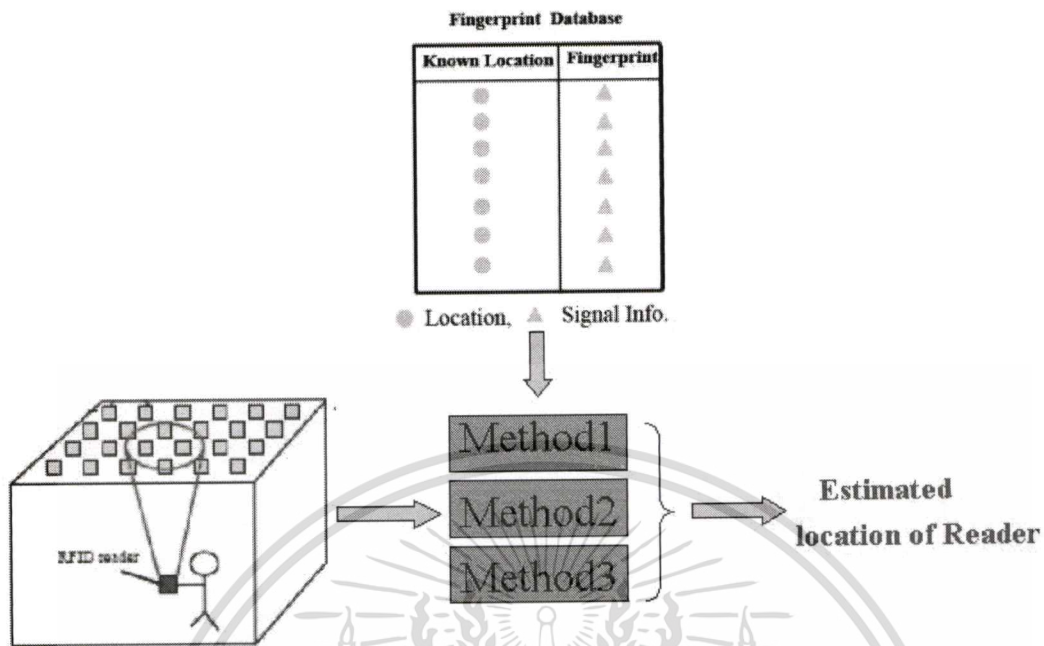
ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการตึก 12 ชั้น คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยเพดานของห้องมีความสูงจากพื้น 300 เซนติเมตร และเครื่องอ่านมีความสูงจากพื้น 130 เซนติเมตร ซึ่งกำหนดกำลังส่งของเครื่องอ่าน RFID ที่ 26 dBm พื้นที่ในการหาตำแหน่ง 300x300 เซนติเมตร ใช้แท็กทั้งหมด 96 ตัว

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดค่าต่างๆที่ใช้ในการทดลองหาตำแหน่ง

รายละเอียด	ค่า
จำนวนแท็ก	96 ตัว
ความสูงของเพดานจากพื้น	300 เซนติเมตร
ความสูงของเครื่องอ่านจากพื้น	130 เซนติเมตร
กำลังส่งของเครื่องอ่าน RFID	26 dBm
พื้นที่ในการหาตำแหน่ง	300x300 เซนติเมตร
สายอากาศของแท็ก	แบบโพลาไรซ์เชิงเส้น
ย่านความถี่ของเครื่องอ่าน RFID	920-925 MHz
สายอากาศของเครื่องอ่าน RFID	แบบโพลาไรซ์เชิงเส้น

4.3.2 รูปแบบในการทดลองหาตำแหน่ง

จากที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 ถึงทฤษฎีการหาตำแหน่งแบบการวิเคราะห์บริเวณเฉพาะ (Scene Analysis) บางครั้งเรียกว่า Fingerprint ซึ่งวิธีนี้จะต้องมีการเก็บค่าของสัญญาณก่อนครั้งหนึ่ง แล้วจึงค่อยมีการนำสัญญาณที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับสัญญาณที่ต้องการค้นหาตำแหน่ง โดยใช้อัลกอริทึมในการเปรียบเทียบ รูปแบบในการทดลองวิจัยนี้จะเป็นดังรูปที่ 4.10 โดยขั้นตอนแรกจะทำการเก็บข้อมูลของแท็กที่เครื่องอ่านทำการตรวจเจอในแต่ละตำแหน่ง โดยในรูปจะแทนสัญลักษณ์วงกลมเป็นตำแหน่งของเครื่องอ่านและสัญลักษณ์สามเหลี่ยมจะแทนด้วยข้อมูลของแท็กที่เครื่องอ่านทำการตรวจเจอ โดยข้อมูลทั้งหมดนี้จะทำการเก็บไว้ในฐานข้อมูล ในขั้นตอนต่อมาจะเป็นขั้นตอนในการหาตำแหน่งโดยจะนำข้อมูลของแท็กที่เครื่องอ่านทำการตรวจเจอไปทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้เก็บไว้ในฐานข้อมูลในช่วงแรก ด้วยอัลกอริทึมต่างๆ (ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการเสนออัลกอริทึมที่ใช้ในการเปรียบเทียบหาตำแหน่งของเครื่องอ่านทั้งหมด 3 อัลกอริทึม) เมื่อเปรียบเทียบเสร็จแล้วก็จะแสดงตำแหน่งของเครื่องอ่านออกมา โดยข้อมูลจะแสดงออกมาเป็นค่าของพิกัด



รูปที่ 4.10 รูปแบบการทดลอง

4.3.3 ขั้นตอนในการทดลองหาตำแหน่ง

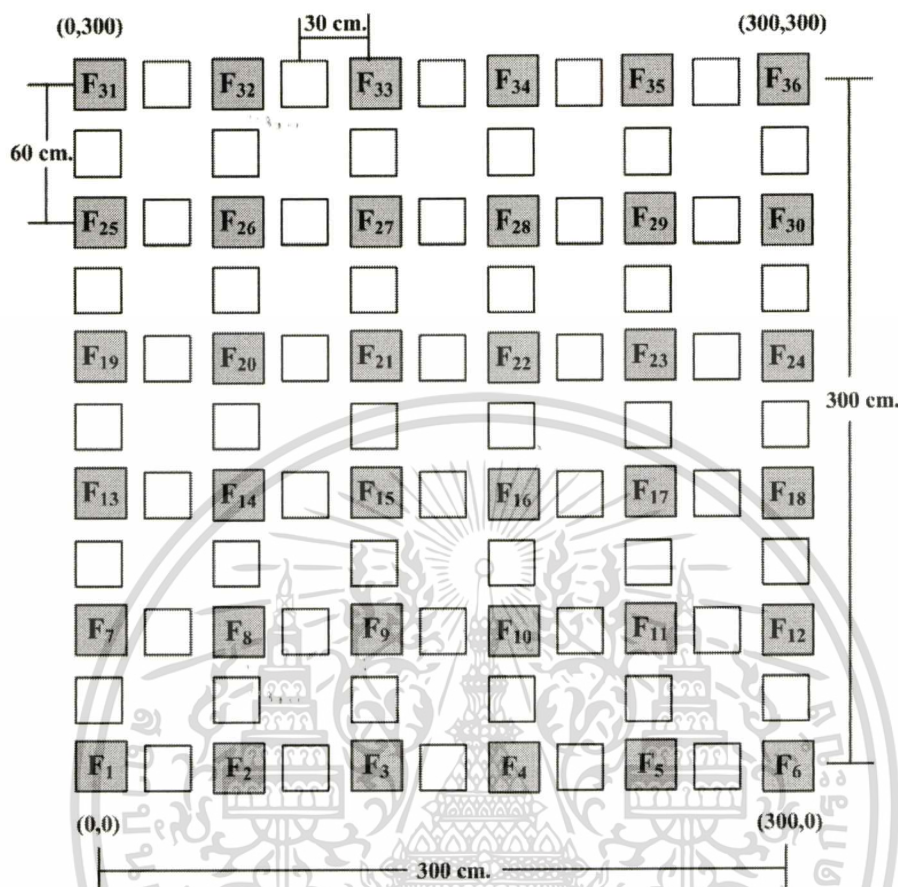
ในการทดลองหาตำแหน่งโดยการใช้เทคนิคการหาตำแหน่งแบบการวิเคราะห์บริเวณเฉพาะ (Scene Analysis) บางครั้งเรียกว่า Fingerprint ซึ่งวิธีนี้จะสามารถแบ่งการทำงานได้เป็น 2 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.3.3.1 Offline Phase หรือ Training Phase

ในการทำงานของช่วงนี้จะเป็นช่วงของการเก็บข้อมูลแท็ก โดยจะทำการเก็บข้อมูลของแท็กที่เครื่องอ่านทำการตรวจเจอในแต่ละตำแหน่ง โดยจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

- กำหนดตำแหน่งของ Fingerprint ที่จะทำการสำรวจเก็บไว้ในฐานข้อมูล โดยการทดลองวิจัยนี้ ได้กำหนดตำแหน่งของ Fingerprint โดยใช้ตัวอักษร $F_1, F_2, F_3, \dots, F_{36}$ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งสี่เหลี่ยมสีเทาคือตำแหน่งของ Fingerprint และ สี่เหลี่ยมสีขาวคือแท็กที่ใช้ในการอ้างอิง

- นำเครื่องอ่าน RFID มาวาง ณ ตำแหน่ง Fingerprint ซึ่งแสดงในรูปที่ 4.11 แล้วบันทึกแท็กที่พบโดยเครื่องอ่าน RFID ในทุก ๆ ตำแหน่งของ Fingerprint กลุ่มของแท็กที่พบในขั้นตอนการ Fingerprint จะกำหนดโดยใช้อักษร $D_1, D_2, D_3, \dots, D_{36}$ ซึ่งหมายถึง Fingerprint ที่ตำแหน่ง Fingerprint $F_1, F_2, F_3, \dots, F_{36}$ ซึ่งจะทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 2 รอบแล้วจะนำค่ามาทำการเฉลี่ย



รูปที่ 4.11 แท็กแบบพาสซีฟที่ติดบนเพดานซึ่งรูปสี่เหลี่ยมสีเทาคือตำแหน่งที่ได้ Fingerprint และ สีเหลี่ยมสีขาวคือแท็กที่ใช้ในการอ้างอิง

ข้อมูลของการ Fingerprint ที่ถูกจัดเก็บไว้ในฐานข้อมูลนี้จะแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ตารางรูปแบบฐานข้อมูลของการ Fingerprint

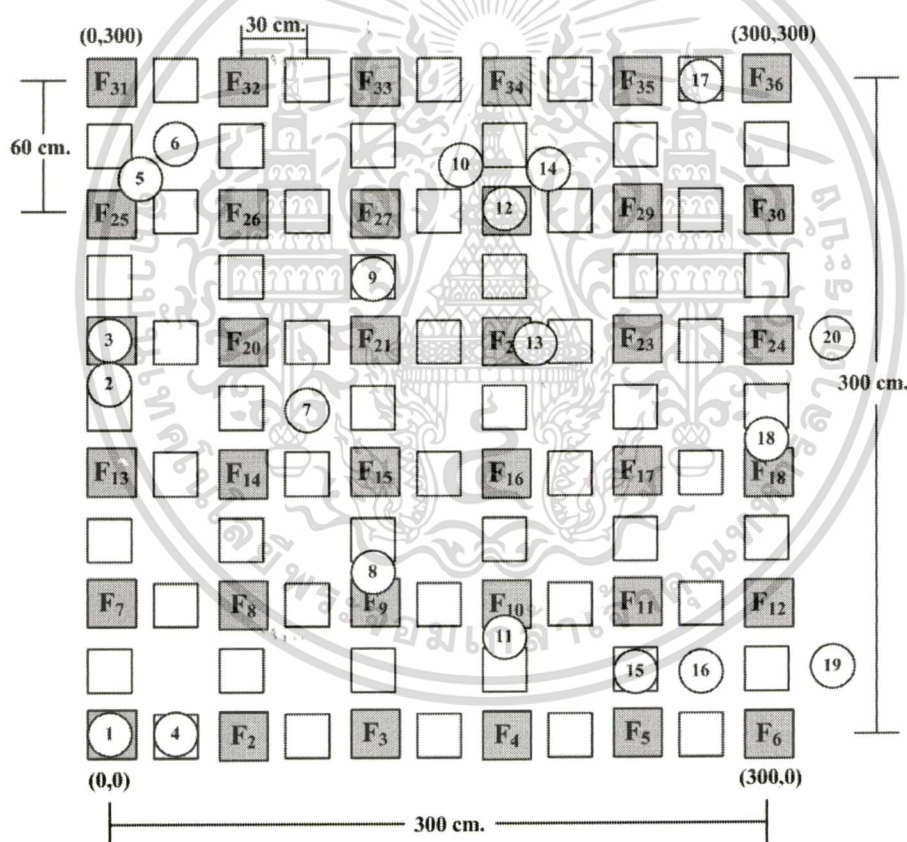
Fingerprint location	Fingerprint information
F_1	$D_1 = \{\text{Reference tags be detected at } F_1\}$
F_2	$D_2 = \{\text{Reference tags be detected at } F_2\}$
\vdots	\vdots
F_{35}	$D_{35} = \{\text{Reference tags be detected at } F_{35}\}$
F_{36}	$D_{36} = \{\text{Reference tags be detected at } F_{36}\}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3.2 Online Phase หรือ Localization Phase

ในการทำงานช่วงนี้จะจะเป็นช่วงของการหาตำแหน่ง โดยจะทำการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID ด้วยการอ่านข้อมูลของแท็กที่ตรวจพบ ณ ตำแหน่งที่เครื่องอ่านอยู่ขณะนั้น แล้วนำค่าแท็กที่ตรวจพบเจอ ไปทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้เก็บไว้ในฐานข้อมูลในช่วงแรก ด้วยอัลกอริทึมต่างๆ ต่อจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบเสร็จแล้วก็จะแสดงตำแหน่งของเครื่องอ่านออกมา โดยส่วนมากจะแสดงออกมาเป็นตัวเลขพิกัด โดยจะมีขั้นตอนการทดลองวิจัยดังต่อไปนี้

- นำเครื่องอ่าน RFID มาวางไว้ที่ตำแหน่งที่เราสนใจและจะเรียกตำแหน่งนี้ว่าตำแหน่งทดสอบ ในการทดลองนี้จะทำการทดสอบสุ่มตำแหน่งทดสอบทั้งหมด 20 ตำแหน่ง ซึ่งจะทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 2 รอบแล้วจะนำค่ามาทำการเฉลี่ย โดยจะใช้สัญลักษณ์วงกลมแล้วมีตัวเลขกำกับดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 ตำแหน่งที่ทำการสุ่มทดลองทั้ง 20 ตำแหน่ง

นอกจากนี้ยังได้กำหนดสัญลักษณ์ตัวอักษร $O_1, O_2, O_3, \dots, O_{20}$ แทนตำแหน่งสุ่มทดสอบ ส่วนกลุ่มของแท็กที่พบในตำแหน่งสุ่มทดสอบจะกำหนดโดยใช้อักษร $DO_1, DO_2, DO_3, \dots, DO_{20}$ ขึ้นต่อมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

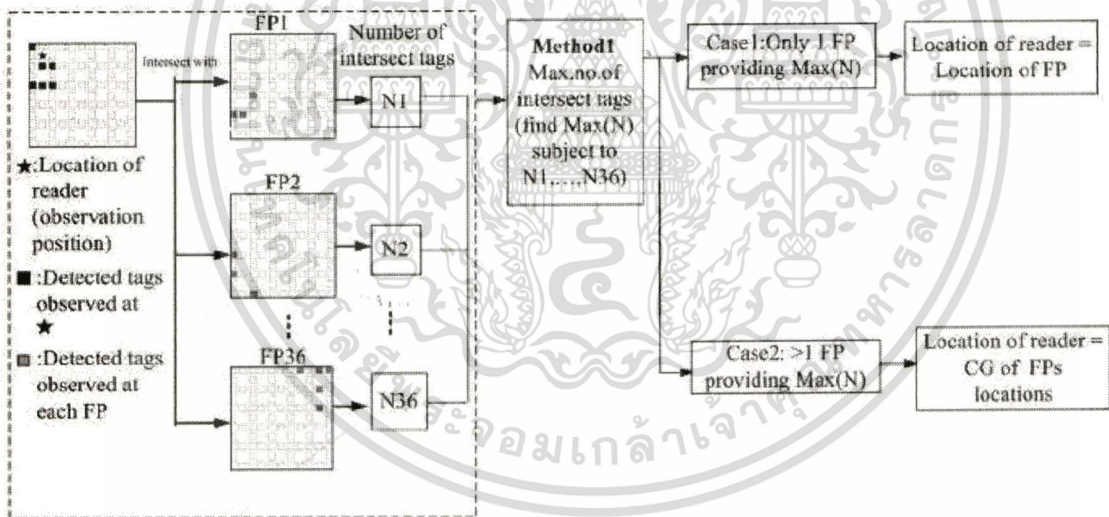
จะทำการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID ในแต่ละตำแหน่งสุ่มทดสอบโดยในบทความนี้จะเสนอวิธีการหาตำแหน่งทั้งหมด 3 วิธี โดยจะขอเรียกสั้นๆว่า วิธีที่1 วิธีที่2 และ วิธีที่3 ตามลำดับ

4.3.3.2.1 วิธีที่1 : Maximum Number of Intersect Tags

วิธีนี้จะนำกลุ่มของแท็กที่พบในการทดสอบแต่ละตำแหน่ง $DO_1, DO_2, DO_3, \dots, DO_{20}$ มาทำการเปรียบเทียบกับกลุ่มของแท็กที่พบในขั้นตอนของการ Fingerprint $D_1, D_2, D_3, \dots, D_{36}$ โดยการอินเตอร์เซกชันแล้วแต่ละการอินเตอร์เซกชันจะได้จำนวนการอินเตอร์เซกชันของแท็กเกิดขึ้น โดยจะแทนด้วย $N_1, N_2, N_3, \dots, N_{36}$ ซึ่งจะเป็นการเปรียบเทียบแท็กที่ทดสอบกับ ตำแหน่ง Fingerprint ทุกตำแหน่ง

$$N_i = \text{Number of } D_i \cap DO_k \tag{1}$$

กำหนดให้ $i = 1, 2, 3, \dots, 36$ คือเลขของดัชนีของตำแหน่ง Fingerprint ทั้ง 36 ตำแหน่ง และ $k = 1, 2, 3, \dots, 20$ คือเลขดัชนีของตำแหน่งที่ทดสอบทั้ง 20 ตำแหน่ง ต่อมาหาจำนวนที่สูงที่สุดหลังจากการอินเตอร์เซกชันกันได้มากที่สุด ($N_{\max} = \text{Max}(N_1, \dots, N_{36})$) แล้วมาวิเคราะห์ในสองกรณีดังโพลีชาร์ตรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 โพลีชาร์ตของการเปรียบเทียบหาตำแหน่งด้วยวิธีที่1

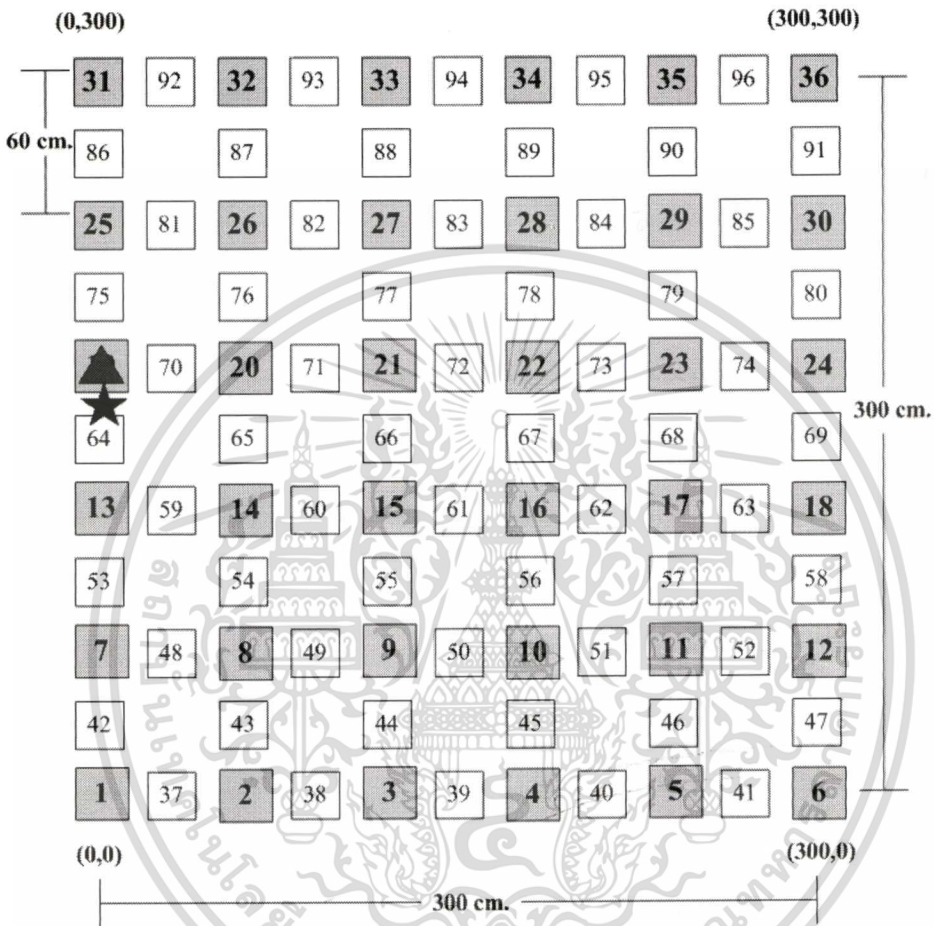
จากโพลีชาร์ตจะเห็นได้ว่าวิธีที่1 สามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกมาได้เป็น 2 กรณีดังนี้

- **กรณีแรก** ถ้ามีเพียง 1 ตำแหน่งของ Fingerprint ที่เกิด N_{\max} ตำแหน่งของ Fingerprint นั้นก็คือตำแหน่งของเครื่องอ่าน(เป้าหมาย) ถ้ากำหนดให้ $LF(x,y)$ คือพิกัดตำแหน่งของ Fingerprint ที่ทำให้เกิด N_{\max} ตำแหน่งของเครื่องอ่านสามารถคำนวณได้ดังสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$(x_{est}, y_{est}) = LF(x, y) \tag{2}$$

กำหนด (x_{est}, y_{est}) คือ ตำแหน่งที่ได้จากการประมาณ
 ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.14 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 1 ที่เกิดกรณีมีตำแหน่งของ Fingerprint ที่ทำให้เกิด N_{max} เพียงค่าเดียว

จากรูป 4.14 สัญลักษณ์รูปดาวจะเป็นตำแหน่งสุ่มทดสอบ เมื่อได้ค่าแท็กที่ตรวจพบมาแล้วก็จะนำข้อมูลแท็กที่ตรวจพบมาทำการอินเตอร์เซกชันกันกับ Fingerprint จากตำแหน่งของ Fingerprint 36 ตำแหน่งจะได้ค่าที่อินเตอร์เซกชันกันมากที่สุดในตัวอย่างนี้คือ $N_{max} = 8$ ซึ่งเกิดจากการนำข้อมูลแท็กที่ตรวจพบมาทำการอินเตอร์เซกชันกับ Fingerprint ณ ตำแหน่ง Fingerprint ที่ 19 (F_{19}) เพราะฉะนั้นค่าที่สามารถประมาณออกมาได้คือ ตำแหน่งที่มีสัญลักษณ์สามเหลี่ยม (F_{19}) พิกัดคือ $(0, 180)$ นั่นเอง

- กรณีที่สอง ถ้ามีตำแหน่งของ Fingerprint มากกว่า 1 ตำแหน่ง ที่มีค่าอินเตอร์เซกชันกันได้มากที่สุด ตำแหน่งของเครื่องอ่านจะสามารถคำนวณได้จากจุดศูนย์กลางถ่วง Center of Gravity (CG) ของตำแหน่งของ Fingerprint จุดศูนย์กลางถ่วง(CG) ของตำแหน่งสามารถอธิบายคร่าวๆ ได้ดังต่อไปนี้ กำหนด

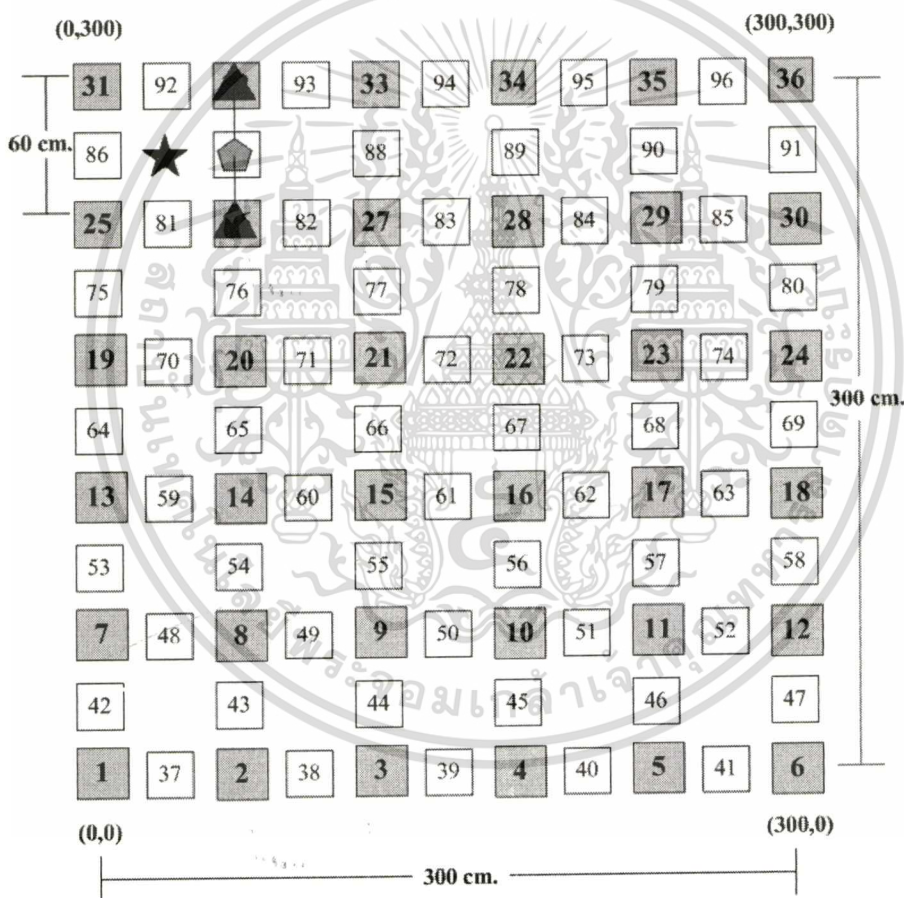
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ $LF(x,y)$ คือพิกัดของ Fingerprint ในกรณีที่มีตำแหน่งของ Fingerprint มากกว่า 1 ตำแหน่งเกิดขึ้น ตำแหน่งของเครื่องอ่านที่คำนวณได้จะเป็นคังสมการ

$$(x_{est}, y_{est}) = \left(\frac{LF_{1x} + LF_{2x} + \dots + LF_{nx}}{n}, \frac{LF_{1y} + LF_{2y} + \dots + LF_{ny}}{n} \right) \quad (3)$$

กำหนด (x_{est}, y_{est}) คือ ตำแหน่งของเป้าหมายที่ได้จากการคำนวณ $LF_{1x}, LF_{2x}, \dots, LF_{nx}$ คือ พิกัดของตำแหน่ง Fingerprint ในแนวแกน x และ $LF_{1y}, LF_{2y}, \dots, LF_{ny}$ คือ พิกัดตำแหน่ง Fingerprint ในแนวแกน y

ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างดังต่อไปนี้



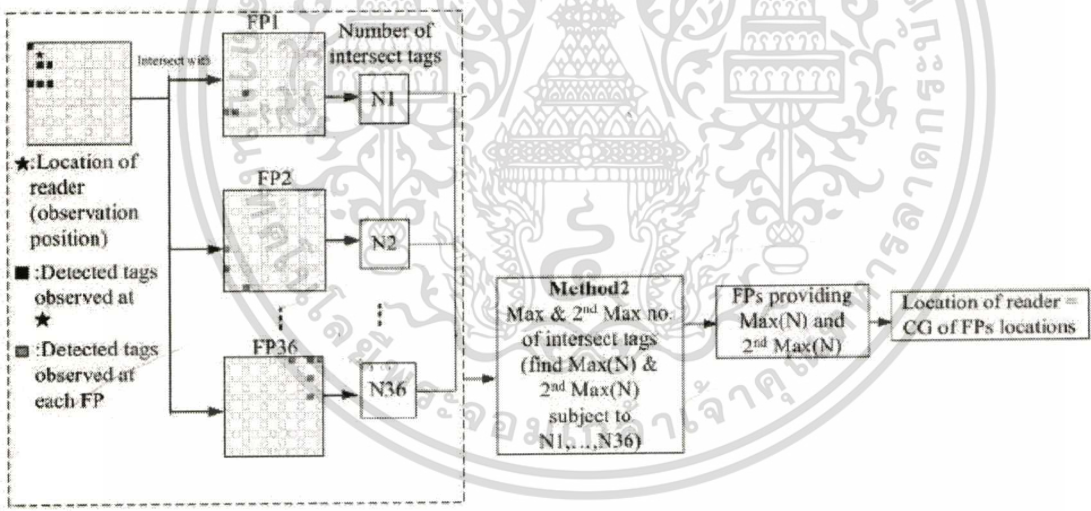
รูปที่ 4.15 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 1 ในกรณีที่มีตำแหน่งของ Fingerprint ที่ทำให้เกิด N_{max} มากกว่า 1 ตำแหน่ง

จากรูป 4.15 สัญลักษณ์รูปดาวจะเป็นตำแหน่งสุ่มทดสอบ เมื่อได้ค่าเท็กที่ตรวจพบมาแล้วก็จะนำข้อมูลเท็กที่ตรวจพบมาทำการอินเตอร์เซกชันกันกับ Fingerprint จากตำแหน่งของ Fingerprint 36

ตำแหน่ง จะได้ค่าที่อินเตอร์เซกชันกันมากที่สุด ในตัวอย่างนี้คือ $N_{max} = 5$ ซึ่งเกิดจากการนำข้อมูลแท็กที่ตรวจพบมาทำการอินเตอร์เซกชันกับ Fingerprint ณ ตำแหน่งที่ 32 (F_{32}) และตำแหน่งที่ 26 (F_{26}) ซึ่งจากในรูปคือสัญลักษณ์สามเหลี่ยม เพราะฉะนั้นค่าที่สามารถคำนวณออกมาได้คือ ค่าจุดศูนย์กลางวง Center of Gravity (CG) ของ F_{32} กับ F_{26} ซึ่งจะได้ผลลัพธ์คือตำแหน่งที่มีสัญลักษณ์ห้าเหลี่ยม พิกัดคือ (60,270) นั่นเอง

4.3.3.2.2 วิธีที่ 2 : Maximum and 2nd Maximum Numbers of Intersect Tags

วิธีนี้เป็นส่วนขยายต่อมาจากวิธีที่ 1 โดยในส่วนของวิธีที่ 1 จะพิจารณาเฉพาะ N_{max} ซึ่งเป็นจำนวนสูงสุดหลังจากการอินเตอร์เซกชันกันเพียงอย่างเดียว แต่วิธีที่ 2 จะนำจำนวนสูงสุดรองลงมาหลังจากการอินเตอร์เซกชัน(เป็นอันดับสอง) นำมาทำการพิจารณาคด้วย โดย จุดศูนย์กลางวง (CG) ตำแหน่งของ Fingerprint ของแท็กที่เป็นผลจากการอินเตอร์เซกชันที่มากที่สุดกับที่มีค่ารองลงมาก็จะคือตำแหน่งของเครื่องอ่านเป้าหมาย ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการ(3) และสำหรับวิธีนี้แสดงได้ดังโพล์ชาร์ตรูปที่ 4.16

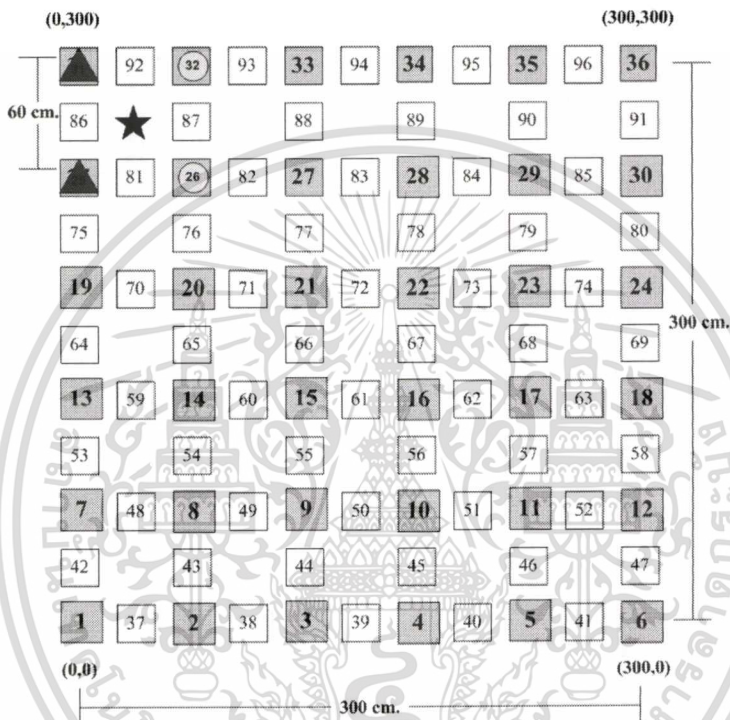


รูปที่ 4.16 โพล์ชาร์ตของการเปรียบเทียบหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2

ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างดังต่อไปนี้จากรูปที่ 4.17 สัญลักษณ์ดาวจะเป็นตำแหน่งทดสอบเดียวกับรูปที่ 4.15 แต่คราวนี้จะลองทำการเปรียบเทียบด้วยวิธีที่ 2 เมื่อได้ค่าแท็กที่ตรวจพบมาแล้วก็จะนำข้อมูลแท็กที่ตรวจพบมาทำการอินเตอร์เซกชันกันกับ Fingerprint ทั้ง 36 ค่า จะได้ค่าที่อินเตอร์เซกชันกันมากที่สุด ในตัวอย่างนี้คือ $N_{max} = 5$ ซึ่งเกิดจากการนำข้อมูลแท็กที่ตรวจพบมาทำการอินเตอร์เซกชันกับ Fingerprint ณ ตำแหน่งที่ 32 (F_{32}) และตำแหน่งที่ 26 (F_{26})จากในรูปคือสัญลักษณ์วงกลม ต่อมาลองทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

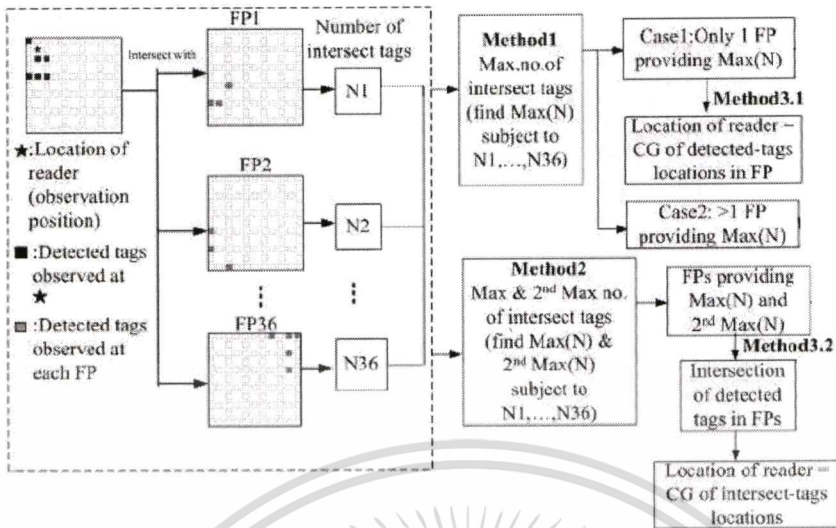
การคำนวณหลังจากการอินเตอร์เซกชันที่มีค่ามากรองลงมา(เป็นอันดับสอง)ในตัวอย่างนี้คือ $N_{2nd\ max}=4$ ซึ่งเกิดจากการนำข้อมูลแท็กที่ตรวจพบมาทำการอินเตอร์เซกชันกับ Fingerprint ณ ตำแหน่งที่ 31 (F_{31}) และตำแหน่งที่ 25 (F_{25}) จากในรูปคือสัญลักษณ์สามเหลี่ยม เพราะฉะนั้นค่าตำแหน่งที่สามารถคำนวณออกมาได้คือ ค่าจุดศูนย์กลางถ่วง Center of Gravity (CG) ของ F_{32} , F_{26} , F_{31} , F_{25} ก็คือตำแหน่งดาวเลย พิกัดคือ (30,270) นั่นเอง



รูปที่ 4.17 ตัวอย่างตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 2

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

วิธีนี้จะคำนวณหาตำแหน่งของเครื่องอ่านโดยวิธีการคำนวณจุดศูนย์กลางถ่วงของแท็กที่ตรวจพบ หลังจากการเปรียบเทียบโดยการอินเตอร์เซกชันกับ Fingerprint ซึ่งในการหาตำแหน่งสามารถวิเคราะห์ในสองกรณีดังโพลีชาร์ตรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 โฟลว์ชาร์ตของการเปรียบเทียบหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3

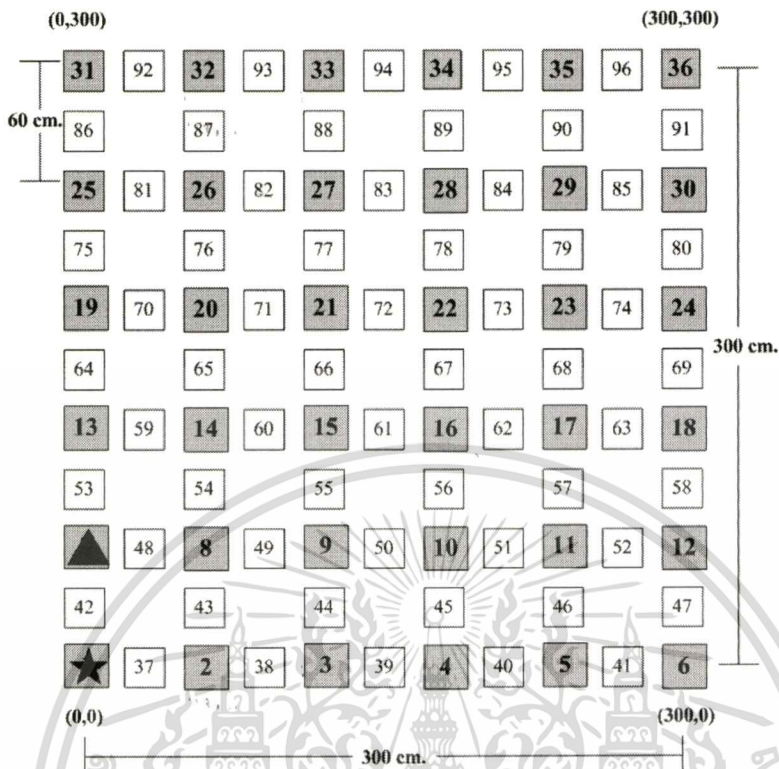
จากโฟลว์ชาร์ตจะเห็นได้ว่าวิธีที่ 3 สามารถแบ่งการวิเคราะห์ออกมาได้เป็น 2 กรณีดังนี้

- **กรณีแรก** ถ้ามีเพียง 1 ตำแหน่งของ Fingerprint ที่ทำให้เกิด N_{max} ตำแหน่งของเครื่องอ่านก็สามารถคำนวณได้จากจุดศูนย์กลางของแท็ก ณ ตำแหน่งของ Fingerprint ถ้ากำหนดให้ $T(x,y)$ คือพิกัดของแท็ก ณ ตำแหน่งของ Fingerprint นั้น ตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID (เป้าหมาย) สามารถคำนวณได้จากสมการนี้

$$(x_{est}, y_{est}) = \left(\frac{T_{1x} + T_{2x} + \dots + T_{nx}}{n}, \frac{T_{1y} + T_{2y} + \dots + T_{ny}}{n} \right) \tag{4}$$

กำหนด (x_{est}, y_{est}) คือ ตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณ $T_{1x}, T_{2x}, \dots, T_{nx}$ คือพิกัดของแท็กในแนวแกน x และ $T_{1y}, T_{2y}, \dots, T_{ny}$ คือพิกัดของแท็กในแนวแกน y

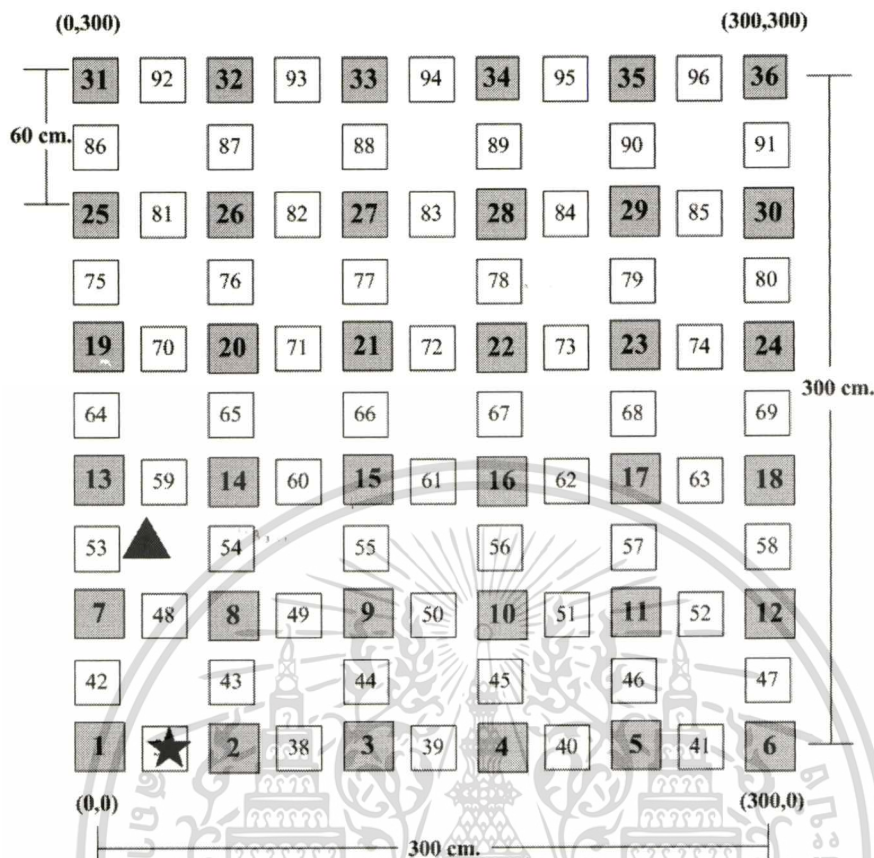
ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างดังต่อไปนี้จากรูปที่ 4.18 สัญลักษณ์รูปดาวจะเป็นตำแหน่งทดสอบ เมื่อได้ค่าแท็กที่ตรวจพบมาแล้ว ก็จะนำข้อมูลแท็กที่ตรวจพบมาทำการอินเตอร์เซกชันกันกับ Fingerprint ทั้ง 36 ตำแหน่งของ Fingerprint จะได้ค่าที่อินเตอร์เซกชันกันมากที่สุดในตัวอย่างนี้คือ $N_{max}=1$ ซึ่งเกิดจากการนำข้อมูลแท็กที่ตรวจพบมาทำการอินเตอร์เซกชันกับ Fingerprint ณ ตำแหน่ง $F_1, F_2, F_{13}, F_{14}, F_{19}, F_{20}$ ซึ่งสมาชิกของ $F_1, F_2, F_{13}, F_{14}, F_{19}, F_{20}$ นี้มีเหมือนหนึ่งตัว ($N_{max}=1$) คือเลข 7 เพราะฉะนั้น ค่าที่สามารถคำนวณออกมาได้คือ เลข 7 (สัญลักษณ์สามเหลี่ยม) พิกัดคือ (0,60) นั่นเอง



รูปที่ 4.19 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 3 ที่เกิดกรณีมี Fingerprint ค่ามากที่สุดเพียงค่าเดียว

● กรณีสอง ในกรณีนี้จะคิดในกรณีที่มีจำนวนสูงสุด (N_{\max}) หลังจากการอินเตอร์เซกชันของแท็กกับจำนวนสูงสุดรองลงมา (อันดับสอง $N_{2\text{nd max}}$) ตำแหน่งของเครื่องอ่าน สามารถคำนวณได้จากจุดศูนย์กลางของตำแหน่งของแท็กในตำแหน่งของ Fingerprint ซึ่งเกิดจาก N_{\max} และ $N_{2\text{nd max}}$

ในที่นี้จะขอยกตัวอย่างดังต่อไปนี้จากรูปที่ 4.20 สัญลักษณ์รูปดาวจะเป็นตำแหน่งสุ่มทดสอบ เมื่อได้ค่าแท็กที่ตรวจพบมาแล้วก็จะนำข้อมูลแท็กที่ตรวจพบมาทำการอินเตอร์เซกชันกับ Fingerprint จากตำแหน่งของ Fingerprint 36 ตำแหน่ง จะได้ค่าที่อินเตอร์เซกชันกันมากที่สุดในตัวอย่างนี้คือ $N_{\max}=4$ ซึ่งเกิดจากการนำข้อมูลแท็กที่ตรวจพบมาทำการอินเตอร์เซกชันกับ Fingerprint ณ ตำแหน่งของ Fingerprint ที่ 19 (F_{19}) และ 20 (F_{20}) ซึ่งสมาชิกหลังจากการอินเตอร์เซกชันกับ F_{19} และ F_{20} คือ { 7 13 14 48 } ต่อมาลองทำการดูค่าอินเตอร์เซกชันที่มีค่ามากที่สุด (เป็นอันดับสอง) ในตัวอย่างนี้คือ $N_{2\text{nd max}}=3$ ซึ่งเกิดจากการนำข้อมูลแท็กที่ตรวจพบมาทำการอินเตอร์เซกชันกับ Fingerprint ณ ตำแหน่งของ Fingerprint ที่ 1 (F_1) ซึ่งสมาชิกหลังจากการอินเตอร์เซกชันคือ { 7 14 48 } เพราะฉะนั้นค่าตำแหน่งที่สามารถคำนวณออกมาได้คือ ค่าจุดศูนย์กลาง Center of Gravity (CG) ของ { 7 13 14 48 } ก็คือตำแหน่งสัญลักษณ์สามเหลี่ยม พิกัดคือ (22.5,90) นั่นเอง



รูปที่ 4.20 ตำแหน่งทดสอบวิธีที่ 3 ที่เกิดกรณีมี Fingerprint ค่ามากที่สุดมากกว่าหนึ่งค่า

4.4 บทสรุป

ในบทนี้จะกล่าวถึงรายละเอียดของวิธีการและขั้นตอนในการทดลองเพื่อหาตำแหน่งของเป้าหมายซึ่งในการทดลองวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้เทคนิคการวิเคราะห์บริเวณเฉพาะ (Scene Analysis) ซึ่งบางครั้งเรียกว่า Fingerprint มาทำการหาตำแหน่งโดยการเปรียบเทียบรูปแบบของสัญญาณที่ได้รับมาจากสถานีฐานกับสัญญาณที่ได้ทำการสำรวจเก็บข้อมูลเอาไว้แล้วในฐานข้อมูล โดยใช้อัลกอริทึมในการเปรียบเทียบรูปแบบของสัญญาณทั้งหมด 3 อัลกอริทึม โดยในการทดลองต้องการกำหนดแผนการทดลองและขั้นตอนทำการทดลองวิจัยให้คำนึงถึงปัจจัยต่างๆ อันได้แก่ สถานที่ที่ทำการทดลองวิจัย กำลังส่งของเครื่องอ่าน RFID ความสูงของเครื่องอ่าน RFID พื้นที่ในการหาตำแหน่ง ความสูงของแท่งที่ติดบนเพดาน เป็นต้น เพื่อให้สอดคล้องกับการนำไปประยุกต์ในการใช้งานจริงของเทคโนโลยีระบุตัวตนด้วยคลื่นความถี่วิทยุนี้และให้ได้มาซึ่งผลงานวิจัยที่เชื่อถือได้ ในบทต่อไปจะได้กล่าวถึงรายละเอียดของผลการทดลองและผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดและค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของการหาตำแหน่งในแต่ละอัลกอริทึมที่ได้ทำการทดลองวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลองและผลการวิเคราะห์การหาตำแหน่งของเป้าหมายภายในอาคาร

5.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ในการหาตำแหน่งของเป้าหมายภายในอาคาร โดยใช้เทคนิค Fingerprint บนพื้นฐานเทคโนโลยี RFID ซึ่งในการทดลองหาตำแหน่งภายในอาคารด้วยเทคนิค Fingerprint นั้น ในการทดลองนี้ได้ทำการนำอัลกอริทึมมาทำการเปรียบเทียบ ทั้งหมด 3 อัลกอริทึมด้วยกัน โดยนำค่าของตำแหน่งที่ได้มาจากการคำนวณในแต่ละอัลกอริทึมมาทำการเปรียบเทียบหาความแม่นยำในการหาตำแหน่งซึ่งความแม่นยำจะศึกษาจากการเปรียบเทียบจากค่าความผิดพลาดและค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่ได้จากการทดลองและวิจัย เพื่อนำมาสรุปประเมินในเรื่องของความแม่นยำต่อไป

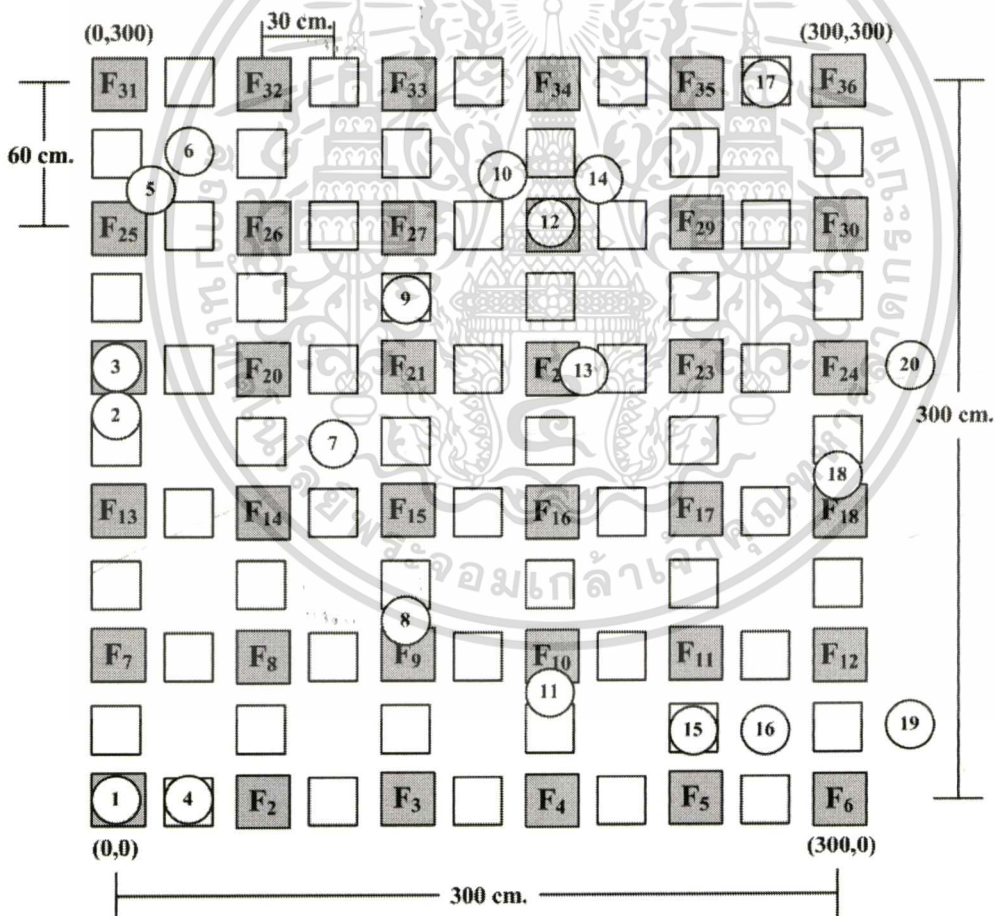
5.2 ผลการทดลองและผลการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1 : Maximum Number of Intersect Tags

จากผลการทดลองที่ได้ทำการสุ่มทดสอบทั้ง 20 ตำแหน่งโดยทำการทดลองซ้ำกัน 2 ครั้ง และทำการหาค่าเฉลี่ยดังรูปที่ 5.1 แล้วนำวิธีการคำนวณหาตำแหน่งโดยทำการเปรียบเทียบโดยใช้วิธีที่ 1 : Maximum Number of Intersect Tags จะได้พิกัดที่สามารถคำนวณออกมาได้ดังตารางที่ 5.1 ดังนี้

ตารางที่ 5.1 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 1

ตำแหน่งสุ่มทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 1
ตำแหน่งที่ 1	(0 , 0)	(30 , 90)
ตำแหน่งที่ 2	(0 , 165)	(0 , 180)
ตำแหน่งที่ 3	(0 , 180)	(30 , 180)
ตำแหน่งที่ 4	(30 , 0)	(60 , 90)
ตำแหน่งที่ 5	(15 , 255)	(60 , 240)
ตำแหน่งที่ 6	(30 , 270)	(60 , 270)
ตำแหน่งที่ 7	(90 , 150)	(60,180)
ตำแหน่งที่ 8	(120 , 75)	(150 , 60)
ตำแหน่งที่ 9	(120 , 210)	(120 , 240)
ตำแหน่งที่ 10	(165 , 255)	(120 , 240)

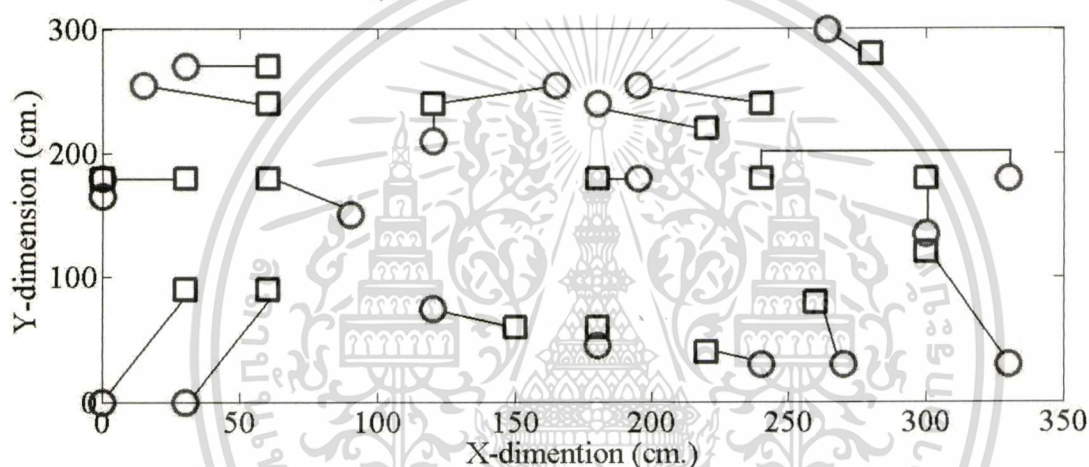
ตำแหน่งผู้ทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 1
ตำแหน่งที่ 11	(180 , 45)	(180 , 60)
ตำแหน่งที่ 12	(180 , 240)	(220 , 220)
ตำแหน่งที่ 13	(195 , 180)	(180 , 180)
ตำแหน่งที่ 14	(195 , 255)	(240 , 240)
ตำแหน่งที่ 15	(240 , 30)	(220 , 40)
ตำแหน่งที่ 16	(270 , 30)	(260 , 80)
ตำแหน่งที่ 17	(270 , 300)	(280 , 280)
ตำแหน่งที่ 18	(300 , 135)	(300 , 180)
ตำแหน่งที่ 19	(330 , 30)	(300 , 120)
ตำแหน่งที่ 20	(330 , 180)	(240 , 180)



รูปที่ 5.1 ตำแหน่งที่ทำการสุ่มทดลองทั้ง 20 ตำแหน่ง

โดยจากรูปที่ 5.1 เมื่อนำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบตำแหน่งระหว่างพิกัดจริงและพิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 1 จะได้ดังรูปที่ 5.2 ซึ่งสัญลักษณ์วงกลมคือพิกัดของตำแหน่งจริง ส่วนเอกลักษณ์สี่เหลี่ยมคือพิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ด้วยวิธีที่ 1 และเส้นที่ลากเชื่อมต่อระหว่างวงกลมและสี่เหลี่ยมแต่ละอัน อีกรหัสที่ติดแปะบนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สี่เหลี่ยมแต่ละอันจะหมายถึงผลลัพธ์จากการทดสอบตำแหน่งในตำแหน่งเดียวกัน โดยเป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ของพิกัดจริงและพิกัดเฉลี่ยที่คำนวณออกมาได้ด้วยวิธีที่ 1 จากรูปที่ 5.2 ถ้าสังเกตจากเส้นที่ลากเชื่อมต่อระหว่างวงกลมและสี่เหลี่ยมจะเห็นว่าเส้นของจุดสุ่มทดสอบที่ 1, 4, 19, 20 (ดูเปรียบเทียบกับรูปที่ 5.1) เส้นที่ลากเชื่อมต่อก่อนข้างยาวกว่ากว่าเส้นในตำแหน่งจุดสุ่มทดสอบอื่นๆ แสดงว่าจุดสุ่มทดสอบที่ 1, 4, 19, 20 ค่าของพิกัดเฉลี่ยที่ได้มาจากการคำนวณออกมาด้วยวิธีที่ 1 จะห่างกับพิกัดจริงค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งสุ่มทดสอบอื่นๆ อาจจะเป็นสาเหตุมาจากตำแหน่งสุ่มทดสอบที่ 1 และ 4 เป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับประตูทางเข้าทางออกและกำแพงและตำแหน่งที่ 19 และ 20 อาจจะเป็นตำแหน่งที่อยู่ภายนอกขอบเขตของการวางแท็กอ้างอิงหรืออาจจะเกิดจากความผิดพลาดขณะติดตั้งการทดลองรวมถึงความผิดพลาดอื่นๆ ที่ยังไม่ทราบได้จากการทดลองนี้



รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบตำแหน่งจริงและตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 1

5.3 ผลการทดลองและผลการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2 : Maximum and 2nd

Maximum Numbers of Intersect Tags

จากผลการทดลองที่ได้ทำการสุ่มทดสอบทั้ง 20 ตำแหน่งดังรูปที่ 5.1 แล้วนำวิธีการคำนวณหาตำแหน่งโดยทำการเปรียบเทียบโดยใช้วิธีที่ 2 : Maximum and 2nd Maximum Numbers of Intersect Tags จะได้พิกัดที่สามารถคำนวณออกมาได้ดังตารางที่ 5.2 ดังนี้

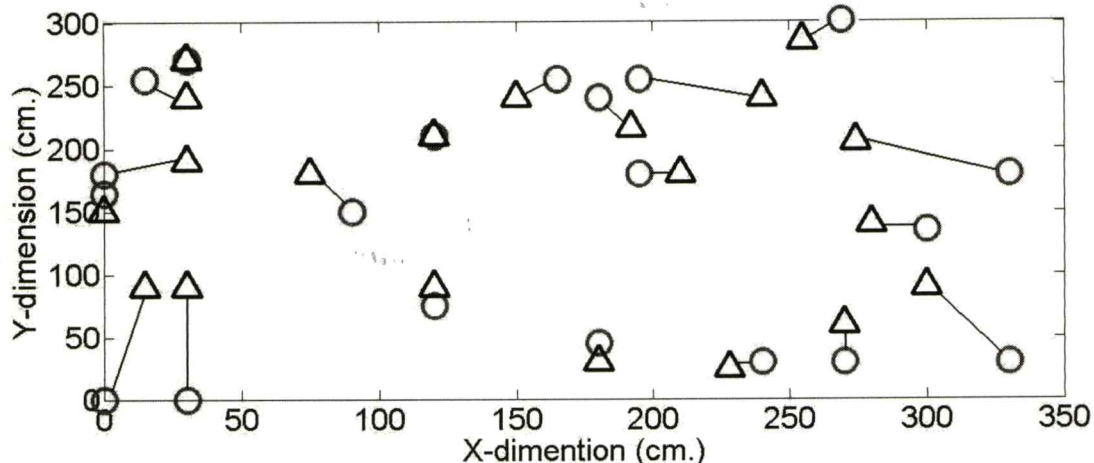
ตารางที่ 5.2 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 2

ตำแหน่งสุ่มทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 2
ตำแหน่งที่ 1	(0, 0)	(15, 90)
ตำแหน่งที่ 2	(0, 165)	(0, 150)
ตำแหน่งที่ 3	(0, 180)	(30, 190)
ตำแหน่งที่ 4	(30, 0)	(30, 90)

ตำแหน่งผู้ทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 2
ตำแหน่งที่ 5	(15 , 255)	(30 , 240)
ตำแหน่งที่ 6	(30 , 270)	(30 , 270)
ตำแหน่งที่ 7	(90 , 150)	(75 , 180)
ตำแหน่งที่ 8	(120 , 75)	(120 , 90)
ตำแหน่งที่ 9	(120 , 210)	(120 , 210)
ตำแหน่งที่ 10	(165 , 255)	(150 , 240)
ตำแหน่งที่ 11	(180 , 45)	(180 , 30)
ตำแหน่งที่ 12	(180 , 240)	(192 , 216)
ตำแหน่งที่ 13	(195 , 180)	(210 , 180)
ตำแหน่งที่ 14	(195 , 255)	(240 , 240)
ตำแหน่งที่ 15	(240 , 30)	(228 , 24)
ตำแหน่งที่ 16	(270 , 30)	(270 , 60)
ตำแหน่งที่ 17	(270 , 300)	(255 , 285)
ตำแหน่งที่ 18	(300 , 135)	(280 , 140)
ตำแหน่งที่ 19	(330 , 30)	(300 , 90)
ตำแหน่งที่ 20	(330 , 180)	(274.2 , 205.71)

โดยจากตารางที่ 5.2 เมื่อนำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบตำแหน่งระหว่างพิกัดจริงและพิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 2 จะได้ดังรูปที่ 5.3 ซึ่งสัญลักษณ์วงกลมคือพิกัดของตำแหน่งจริง ส่วนสัญลักษณ์สามเหลี่ยมคือพิกัดที่คำนวณได้ด้วยวิธีที่ 2 และเส้นที่ลากเชื่อมต่อระหว่างวงกลมและสามเหลี่ยมแต่ละอันจะหมายถึงผลลัพธ์จากการทดสอบตำแหน่งในตำแหน่งเดียวกันโดยจะเป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ของพิกัดจริงและพิกัดเฉลี่ยที่คำนวณออกมาได้ด้วยวิธีที่ 2 จากรูปที่ 5.3 จะสังเกตได้เช่นเดียวกันกับวิธีที่ 1 ว่าจุดผู้ทดสอบที่ 1 , 4 , 19 , 20 (ดูเปรียบเทียบกับรูปที่ 5.1) ค่าของพิกัดที่ได้มาจากการคำนวณออกมาด้วยวิธีที่ 2 ยังคงห่างกับพิกัดจริงค่อนข้างมากเมื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งผู้ทดสอบอื่นๆ เหตุผลที่เป็นเช่นนั้นก็น่าจะดังที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น ซึ่งถ้าดูโดยรวมจะสังเกตเห็นว่า ถ้านำมาเปรียบเทียบกับวิธีที่ 1 อาจเห็นว่าพิกัดเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 2 นั้นจะให้ผลลัพธ์ในการคำนวณหาตำแหน่งใกล้เคียงกับพิกัดจริงมากกว่าวิธีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.3 การเปรียบเทียบตำแหน่งจริงและตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 2

5.4 ผลการทดลองและผลการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3 : Center of Gravity of Detected-Tag Locations

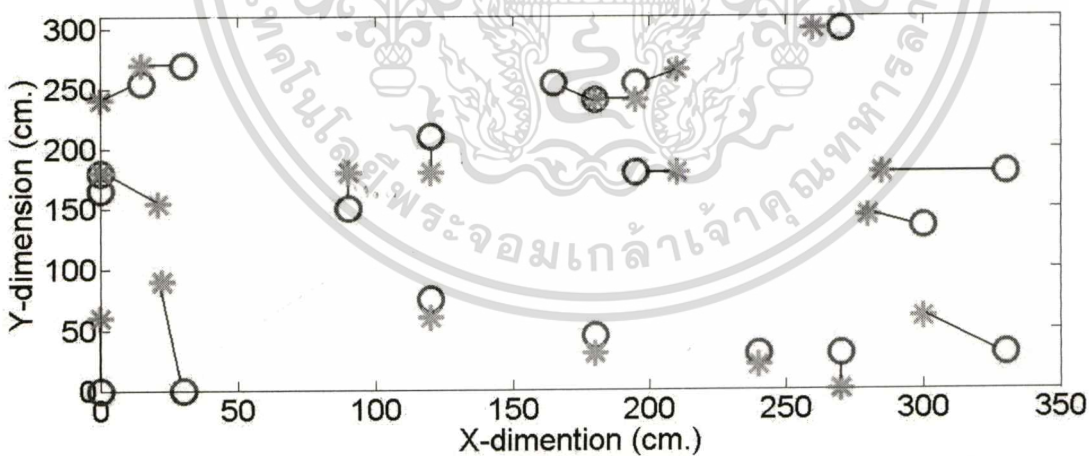
จากผลการทดลองที่ได้ทำการสุ่มทดสอบทั้ง 20 ตำแหน่งดังรูปที่ 5.1 แล้วนำวิธีการคำนวณหาตำแหน่งโดยทำการเปรียบเทียบโดยใช้วิธีที่ 3 : Center of Gravity of Detected-Tag Locations จะได้พิกัดที่สามารถคำนวณออกมาได้ดังตารางที่ 5.3 ดังนี้

ตารางที่ 5.3 พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 3

ตำแหน่งสุ่มทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 3
ตำแหน่งที่ 1	(0, 0)	(0, 60)
ตำแหน่งที่ 2	(0, 165)	(0, 180)
ตำแหน่งที่ 3	(0, 180)	(21.43, 154.29)
ตำแหน่งที่ 4	(30, 0)	(22.5, 90)
ตำแหน่งที่ 5	(15, 255)	(0, 240)
ตำแหน่งที่ 6	(30, 270)	(15, 270)
ตำแหน่งที่ 7	(90, 150)	(90, 180)
ตำแหน่งที่ 8	(120, 75)	(120, 60)
ตำแหน่งที่ 9	(120, 210)	(120, 180)
ตำแหน่งที่ 10	(165, 255)	(180, 240)
ตำแหน่งที่ 11	(180, 45)	(180, 30)
ตำแหน่งที่ 12	(180, 240)	(195, 240)
ตำแหน่งที่ 13	(195, 180)	(210, 180)
ตำแหน่งที่ 14	(195, 255)	(210, 265.7)
ตำแหน่งที่ 15	(240, 30)	(240, 20)

ตำแหน่งสุ่มทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 3
ตำแหน่งที่ 16	(270 , 30)	(270 , 0)
ตำแหน่งที่ 17	(270 , 300)	(260 , 300)
ตำแหน่งที่ 18	(300 , 135)	(280 , 144)
ตำแหน่งที่ 19	(330 , 30)	(300 , 60)
ตำแหน่งที่ 20	(330 , 180)	(285 , 180)

โดยจากตารางที่ 5.3 เมื่อนำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบตำแหน่งระหว่างพิกัดจริงและพิกัดที่คำนวณด้วยวิธีที่ 3 จะได้ดังรูปที่ 5.4 ซึ่งสัญลักษณ์วงกลมคือพิกัดของตำแหน่งจริง ส่วนสัญลักษณ์รูปดาวคือพิกัดเฉลี่ยที่คำนวณได้ด้วยวิธีที่ 3 และเส้นที่ลากเชื่อมต่อระหว่างวงกลมและรูปดาวแต่ละอันจะหมายถึงผลลัพธ์จากการทดสอบตำแหน่งในตำแหน่งเดียวกัน โดยเป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ของพิกัดจริงและพิกัดเฉลี่ยที่คำนวณออกมาได้ด้วยวิธีที่ 3 จากรูปที่ 5.4 ก็พอจะสังเกตได้ว่าจุดสุ่มทดสอบที่ 1 , 4 , 19 , 20 (ดูเปรียบเทียบกับรูปที่ 5.1) ค่าของพิกัดเฉลี่ยที่ได้มาจากการคำนวณออกมาด้วยวิธีที่ 3 ก็ค่อนข้างที่จะห่างกับพิกัดจริงค่อนข้างจะมากกว่าในตำแหน่งสุ่มทดสอบอื่นๆเช่นเดียวกันกับที่กล่าวมาแล้วในข้างต้น ซึ่งถ้าดูโดยรวมจะสังเกตเห็นว่าถ้านำมาเปรียบเทียบกันกับวิธีที่ 1 และ วิธีที่ 2 จะเห็นว่าพิกัดเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 3 นั้นจะใกล้เคียงกับพิกัดจริงมากกว่าวิธีที่ 1 และ วิธีที่ 2



รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบตำแหน่งจริงและตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1 : Maximum

Number of Intersect Tags

ในการทดลองวิจัยนี้ได้นำ เทคนิคของ Euclidean Distance มาคำนวณหาค่าความผิดพลาด ซึ่งสมการที่ใช้คำนวณหาค่าความผิดพลาดของพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณกับพิกัดตำแหน่งจริงเป็นดังสมการนี้

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

โดยที่ x_1 และ y_1 เป็นพิกัดตำแหน่งจริง ส่วน x_2 และ y_2 เป็นพิกัดตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณในแนวแกน x และแนวแกน y ตามลำดับซึ่งในการคำนวณหาตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1 มีค่าความผิดพลาดดังตารางที่ 5.4 ดังนี้

ตารางที่ 5.4 ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1

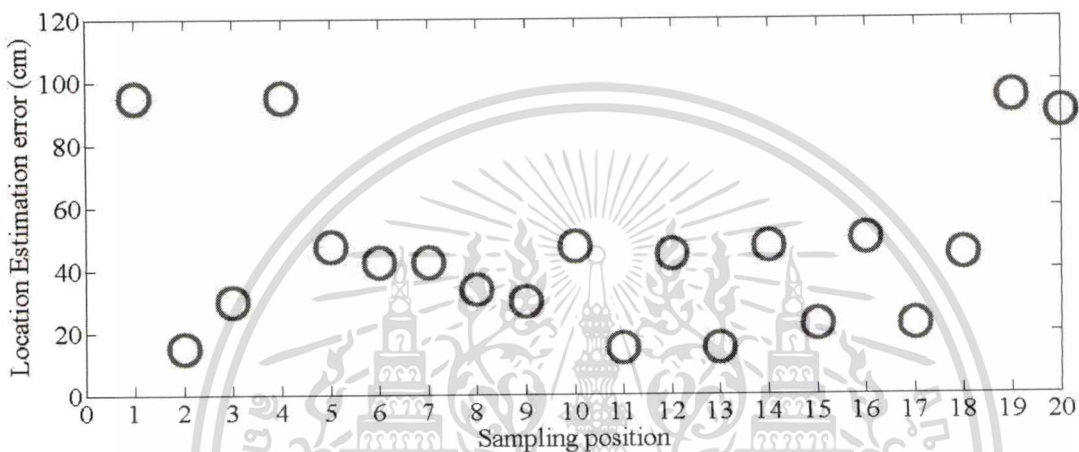
ตำแหน่งผู้ทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 1	ค่าความผิดพลาด (cm.)
ตำแหน่งที่ 1	(0, 0)	(30, 90)	94.86
ตำแหน่งที่ 2	(0, 165)	(0, 180)	15.00
ตำแหน่งที่ 3	(0, 180)	(30, 180)	30.00
ตำแหน่งที่ 4	(30, 0)	(60, 90)	94.87
ตำแหน่งที่ 5	(15, 255)	(60, 240)	47.43
ตำแหน่งที่ 6	(30, 270)	(60, 270)	42.43
ตำแหน่งที่ 7	(90, 150)	(60, 180)	42.43
ตำแหน่งที่ 8	(120, 75)	(150, 60)	33.54
ตำแหน่งที่ 9	(120, 210)	(120, 240)	30.00
ตำแหน่งที่ 10	(165, 255)	(120, 240)	47.43
ตำแหน่งที่ 11	(180, 45)	(180, 60)	15.00
ตำแหน่งที่ 12	(180, 240)	(220, 220)	44.72
ตำแหน่งที่ 13	(195, 180)	(180, 180)	15.00
ตำแหน่งที่ 14	(195, 255)	(240, 240)	47.43
ตำแหน่งที่ 15	(240, 30)	(220, 40)	22.36
ตำแหน่งที่ 16	(270, 30)	(260, 80)	50.00
ตำแหน่งที่ 17	(270, 300)	(280, 280)	22.36
ตำแหน่งที่ 18	(300, 135)	(300, 180)	45.00
ตำแหน่งที่ 19	(330, 30)	(300, 120)	94.87

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาของสำนักงานเพื่อส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งสุ่มทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 1	ค่าความผิดพลาด (cm.)
ตำแหน่งที่ 20	(330 , 180)	(240 , 180)	90.00

โดยจากตารางที่ 5.4 เมื่อนำค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1 มาทำการพล็อตกราฟจะได้ดังรูปที่ 5.5 ซึ่งสัญลักษณ์วงกลมคือค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1 แกน x จะเป็นตำแหน่งที่สุ่มทดสอบทั้งหมด 20 ตำแหน่ง ส่วนแกน y จะเป็นค่าความผิดพลาดจากการคำนวณหาตำแหน่งมีหน่วยเป็นเซนติเมตร



รูปที่ 5.5 กราฟค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1

จากรูปที่ 5.5 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่ 1, 4, 19 และ 20 ค่อนข้างมีค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 1 สูงกว่าตำแหน่งทดสอบอื่นๆ ซึ่งสาเหตุก็อาจจะเป็นดังที่กล่าวมาแล้ว คือ อาจมาจากตำแหน่งสุ่มทดสอบที่ 1 และ 4 เป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับประตูทางเข้าทางออกและกำแพงและตำแหน่งที่ 19, 20 อาจจะเป็นตำแหน่งที่อยู่ภายนอกขอบเขตของการวางแท็กอ้างอิงหรืออาจเกิดจากความผิดพลาดจากการติดตั้งการทดลอง รวมถึงความผิดพลาดอื่นๆ ที่ยังไม่ทราบได้จากการทดลองนี้

5.6 ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2 : Maximum and 2nd

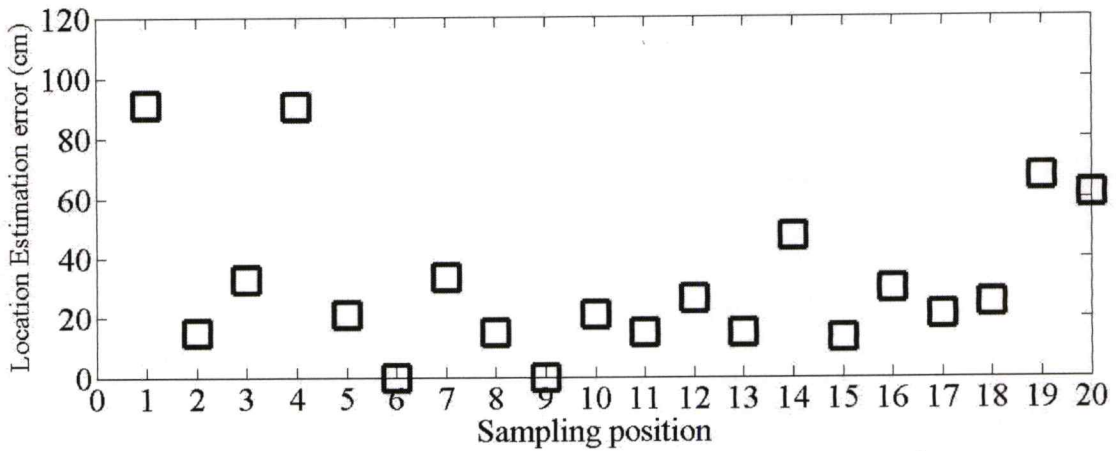
Maximum Numbers of Intersect Tags

จากผลการทดลองที่ได้ทำการสุ่มทดสอบทั้ง 20 ตำแหน่ง นำวิธีการคำนวณหาตำแหน่งโดยทำการเปรียบเทียบโดยใช้วิธีที่ 2 : Maximum and 2nd Maximum Numbers of Intersect Tags จะได้พิกัดที่สามารถคำนวณออกมาได้และนำพิกัดที่คำนวณออกมาได้มาทำการเปรียบเทียบกับพิกัดจริงและหาค่าความผิดพลาดดังสมการ(5.1) จะได้ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2 ดังตารางที่ 5.5 ดังนี้ ซึ่งงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.5 ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2

ตำแหน่งที่ทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 2	ค่าความผิดพลาด (cm.)
ตำแหน่งที่ 1	(0, 0)	(15, 90)	91.24
ตำแหน่งที่ 2	(0, 165)	(0, 150)	15.00
ตำแหน่งที่ 3	(0, 180)	(30, 190)	33.00
ตำแหน่งที่ 4	(30, 0)	(30, 90)	90.00
ตำแหน่งที่ 5	(15, 255)	(30, 240)	21.21
ตำแหน่งที่ 6	(30, 270)	(30, 270)	0
ตำแหน่งที่ 7	(90, 150)	(75, 180)	33.54
ตำแหน่งที่ 8	(120, 75)	(120, 90)	15.00
ตำแหน่งที่ 9	(120, 210)	(120, 210)	0
ตำแหน่งที่ 10	(165, 255)	(150, 240)	21.21
ตำแหน่งที่ 11	(180, 45)	(180, 30)	15.00
ตำแหน่งที่ 12	(180, 240)	(192, 216)	26.50
ตำแหน่งที่ 13	(195, 180)	(210, 180)	15.00
ตำแหน่งที่ 14	(195, 255)	(240, 240)	47.43
ตำแหน่งที่ 15	(240, 30)	(228, 24)	13.42
ตำแหน่งที่ 16	(270, 30)	(270, 60)	30.00
ตำแหน่งที่ 17	(270, 300)	(255, 285)	21.21
ตำแหน่งที่ 18	(300, 135)	(280, 140)	25.00
ตำแหน่งที่ 19	(330, 30)	(300, 90)	67.08
ตำแหน่งที่ 20	(330, 180)	(274.2, 205.71)	61.36

โดยจากตารางที่ 5.5 เมื่อนำค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2 มาทำการพล็อตกราฟจะได้ดังรูปที่ 5.6 ซึ่งสัญลักษณ์สีเหลี่ยมคือค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2 แกน x จะเป็นตำแหน่งที่สุ่มทดสอบทั้งหมด 20 ตำแหน่ง ส่วนแกน y จะเป็นค่าความผิดพลาดจากการคำนวณหาตำแหน่งมีหน่วยเป็นเซนติเมตร



รูปที่ 5.6 กราฟค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2

จากรูปที่ 5.6 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่ 1, 4, 19 และ 20 ก่อนข้างมีค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 2 สูงกว่าตำแหน่งทดสอบอื่นๆ ซึ่งสาเหตุก็อาจจะเป็นดังที่กล่าวมาแล้ว คือ อาจมาจากตำแหน่งสุ่มทดสอบที่ 1 และ 4 เป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับประตูทางเข้าทางออกและกำแพงและตำแหน่งที่ 19, 20 อาจจะเป็นตำแหน่งที่อยู่ภายนอกขอบเขตของการวางแท็กอ้างอิงหรืออาจจะเกิดจากความผิดพลาดจากการติดตั้งการทดลอง รวมถึงความผิดพลาดอื่นๆ ที่ยังไม่ทราบได้จากการทดลองนี้

5.7 ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3 : Center of Gravity of Detected-Tag Locations

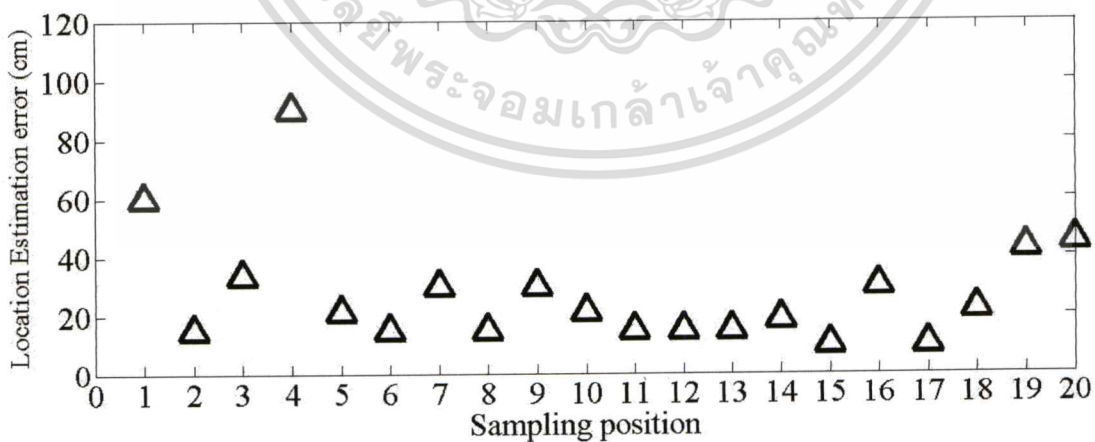
จากผลการทดลองที่ได้ทำการสุ่มทดสอบทั้ง 20 ตำแหน่ง แล้วนำวิธีการคำนวณหาตำแหน่งโดยทำการเปรียบเทียบโดยใช้วิธีที่ 3 : Center of Gravity of Detected-Tag Locations จะได้พิกัดที่สามารถคำนวณออกมาได้และนำพิกัดที่คำนวณออกมาได้มาทำการเปรียบเทียบกับพิกัดจริงและหาค่าความผิดพลาดดังสมการ(5.1) จะได้ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3 ดังตารางที่ 5.6 ดังนี้

ตารางที่ 5.6 ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3

ตำแหน่งสุ่มทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 3	ค่าความผิดพลาด (cm.)
ตำแหน่งที่ 1	(0, 0)	(0, 60)	60.00
ตำแหน่งที่ 2	(0, 165)	(0, 180)	15.00
ตำแหน่งที่ 3	(0, 180)	(21.43, 154.29)	33.47
ตำแหน่งที่ 4	(30, 0)	(22.5, 90)	90.31
ตำแหน่งที่ 5	(15, 255)	(0, 240)	21.21
ตำแหน่งที่ 6	(30, 270)	(15, 270)	15.00

ตำแหน่งสุ่มทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 3	ค่าความผิดพลาด (cm.)
ตำแหน่งที่ 7	(90 , 150)	(90 , 180)	30.00
ตำแหน่งที่ 8	(120 , 75)	(120 , 60)	15.00
ตำแหน่งที่ 9	(120 , 210)	(120 , 180)	30.00
ตำแหน่งที่ 10	(165 , 255)	(180 , 240)	21.21
ตำแหน่งที่ 11	(180 , 45)	(180 , 30)	15.00
ตำแหน่งที่ 12	(180 , 240)	(195 , 240)	15.00
ตำแหน่งที่ 13	(195 , 180)	(210 , 180)	15.00
ตำแหน่งที่ 14	(195 , 255)	(210 , 265.7)	18.43
ตำแหน่งที่ 15	(240 , 30)	(240 , 20)	10.00
ตำแหน่งที่ 16	(270 , 30)	(270 , 0)	30.00
ตำแหน่งที่ 17	(270 , 300)	(260 , 300)	10.00
ตำแหน่งที่ 18	(300 , 135)	(280 , 144)	22.00
ตำแหน่งที่ 19	(330 , 30)	(300 , 60)	42.43
ตำแหน่งที่ 20	(330 , 180)	(285 , 180)	45.00

โดยจากตารางที่ 5.6 เมื่อนำค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3 มาทำการพล็อตกราฟจะได้ดังรูปที่ 5.7 ซึ่งสัญลักษณ์สามเหลี่ยมคือค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3 แกน x จะเป็นตำแหน่งที่สุ่มทดสอบทั้งหมด 20 ตำแหน่ง ส่วนแกน y จะเป็นค่าความผิดพลาดจากการคำนวณหาตำแหน่งมีหน่วยเป็นเซนติเมตร



รูปที่ 5.7 กราฟค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3

จากรูปที่ 5.7 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่ 1 , 4 , 19 และ 20 ค่อนข้างมีค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งด้วยวิธีที่ 3 สูงกว่าตำแหน่งทดสอบอื่นๆ ซึ่งสาเหตุก็อาจจะเป็นดังที่กล่าวมาแล้ว คือ อาจมาจากตำแหน่งสุ่มทดสอบที่ 1 และ 4 เป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับประตูทางเข้าทาง

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกและกำแพงและตำแหน่งที่ 19, 20 อาจจะเป็นตำแหน่งที่อยู่ภายนอกขอบเขตของการวางแท็กอ้างอิงหรืออาจจะเกิดจากความผิดพลาดจากการติดตั้งการทดลอง รวมถึงความผิดพลาดอื่นๆ ที่ยังไม่ทราบได้จากการทดลองนี้

5.8 เปรียบเทียบตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณทั้ง 3 วิธีกับตำแหน่งจริง

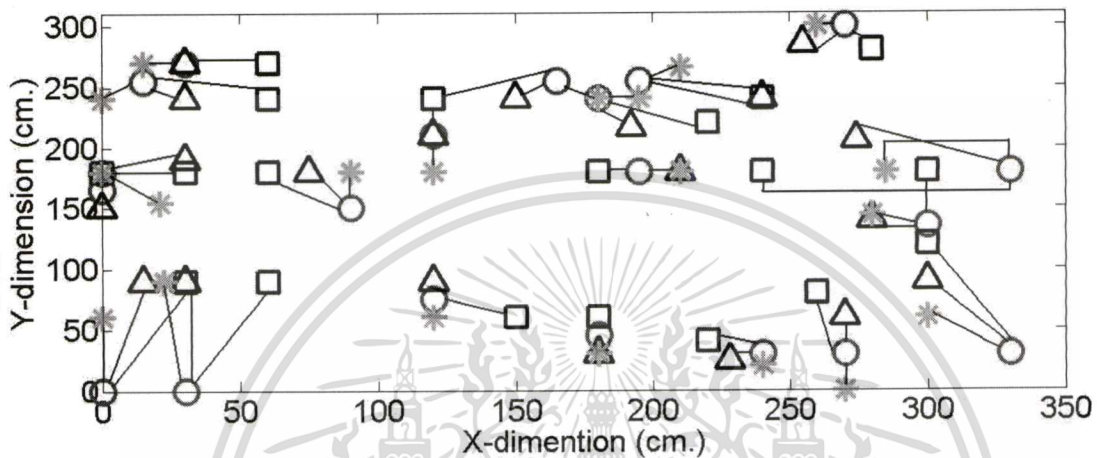
จากผลการทดลองที่ได้ทำการสุ่มทดสอบทั้ง 20 ตำแหน่งแล้วนำวิธีการคำนวณหาตำแหน่งทั้ง 3 วิธีมาคำนวณหาตำแหน่ง โดยทำการเปรียบเทียบตำแหน่งจริงกับตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณของทั้ง 3 วิธี ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 ค่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณของทั้ง 3 วิธี เทียบกับตำแหน่งพิกัดจริง

ตำแหน่งสุ่มทดสอบ	พิกัดจริง	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 1	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 2	พิกัดเฉลี่ยที่คำนวณด้วยวิธีที่ 3
ตำแหน่งที่ 1	(0, 0)	(30, 90)	(15, 90)	(0, 60)
ตำแหน่งที่ 2	(0, 165)	(0, 180)	(0, 150)	(0, 180)
ตำแหน่งที่ 3	(0, 180)	(30, 180)	(30, 190)	(21.43, 154.29)
ตำแหน่งที่ 4	(30, 0)	(60, 90)	(30, 90)	(22.5, 90)
ตำแหน่งที่ 5	(15, 255)	(60, 240)	(30, 240)	(0, 240)
ตำแหน่งที่ 6	(30, 270)	(60, 270)	(30, 270)	(15, 270)
ตำแหน่งที่ 7	(90, 150)	(60, 180)	(75, 180)	(90, 180)
ตำแหน่งที่ 8	(120, 75)	(150, 60)	(120, 90)	(120, 60)
ตำแหน่งที่ 9	(120, 210)	(120, 240)	(120, 210)	(120, 180)
ตำแหน่งที่ 10	(165, 255)	(120, 240)	(150, 240)	(180, 240)
ตำแหน่งที่ 11	(180, 45)	(180, 60)	(180, 30)	(180, 30)
ตำแหน่งที่ 12	(180, 240)	(220, 220)	(192, 216)	(195, 240)
ตำแหน่งที่ 13	(195, 180)	(180, 180)	(210, 180)	(210, 180)
ตำแหน่งที่ 14	(195, 255)	(240, 240)	(240, 240)	(210, 265.7)
ตำแหน่งที่ 15	(240, 30)	(220, 40)	(228, 24)	(240, 20)
ตำแหน่งที่ 16	(270, 30)	(260, 80)	(270, 60)	(270, 0)
ตำแหน่งที่ 17	(270, 300)	(280, 280)	(255, 285)	(260, 300)
ตำแหน่งที่ 18	(300, 135)	(300, 180)	(280, 140)	(280, 144)
ตำแหน่งที่ 19	(330, 30)	(300, 120)	(300, 90)	(300, 60)
ตำแหน่งที่ 20	(330, 180)	(240, 180)	(274.2, 205.71)	(285, 180)

แม้ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจากตารางที่ 5.7 เมื่อนำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบตำแหน่งระหว่างพิกัดจริงและพิกัดเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณทั้ง 3 วิธี จะได้ดังรูปที่ 5.8 ซึ่งสัญลักษณ์วงกลมคือพิกัดของตำแหน่งจริง ส่วนสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมคือพิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 1 และสัญลักษณ์สามเหลี่ยมคือพิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 2 และสัญลักษณ์รูปดาวคือพิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 3 และเส้นที่ลากเชื่อมต่อจะหมายถึงผลลัพธ์จากการทดสอบตำแหน่งในตำแหน่งเดียวกัน โดยเป็นเส้นแสดงความสัมพันธ์ของพิกัดจริงและพิกัดที่ได้จากการคำนวณจากทั้ง 3 วิธี



รูปที่ 5.8 การเปรียบเทียบตำแหน่งจริงและตำแหน่งที่ได้จากการคำนวณทั้ง 3 วิธี

จากรูปที่ 5.8 จะสังเกตโดยรวมแล้วจะเห็นได้ว่าสัญลักษณ์วงกลมค่อนข้างที่จะอยู่ใกล้กับสัญลักษณ์รูปดาวมากกว่าสัญลักษณ์อื่น นั่นหมายความว่า พิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 3 ค่อนข้างที่จะใกล้เคียงกับตำแหน่งพิกัดจริงมากกว่าวิธีอื่น และจากโดยรวมแล้วจะเห็นได้ว่าสัญลักษณ์สามเหลี่ยมก็จะใกล้เคียงวงกลมมากกว่าสัญลักษณ์สี่เหลี่ยม นั่นก็หมายความว่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 2 จะใกล้เคียงกับพิกัดจริงมากกว่าพิกัดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 1

5.9 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งทั้ง 3 วิธี

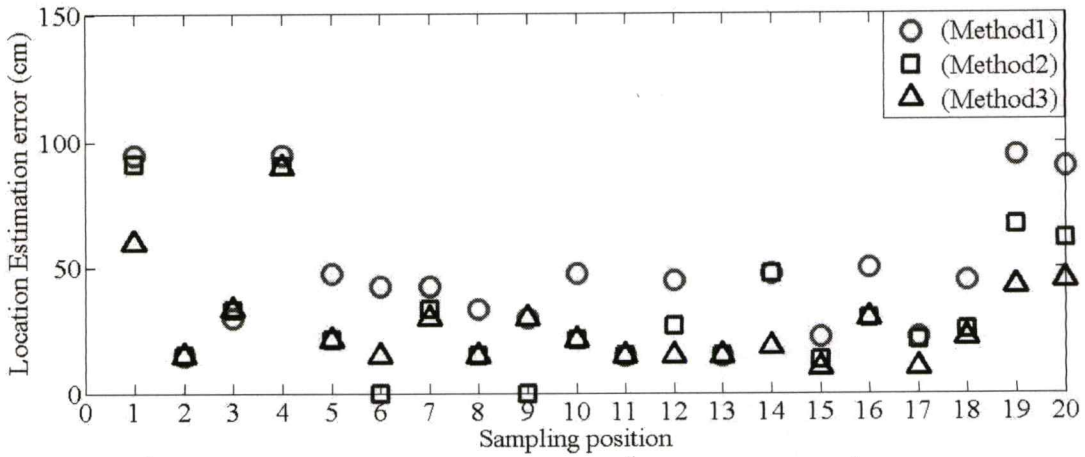
จากผลการทดลองที่ได้ทำการสุ่มทดสอบทั้ง 20 ตำแหน่ง แล้วนำวิธีการคำนวณหาตำแหน่งทั้ง 3 วิธี เมื่อได้พิกัดที่คำนวณออกมาได้ก็จะทำการเปรียบเทียบกับพิกัดจริงและหาค่าความผิดพลาดดังสมการที่ 1 จะได้ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งทั้ง 3 วิธี ดังตารางที่ 5.8 ดังนี้

ตารางที่ 5.8 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งทั้ง 3 วิธี

ตำแหน่งที่ทดสอบ	ค่าความผิดพลาด ของวิธีที่ 1 (cm.)	ค่าความผิดพลาดของ วิธีที่ 2 (cm.)	ค่าความผิดพลาดของ วิธีที่ 3 (cm.)
ตำแหน่งที่ 1	94.86	91.24	60.00
ตำแหน่งที่ 2	15.00	15.00	15.00
ตำแหน่งที่ 3	30.00	33.00	33.47
ตำแหน่งที่ 4	94.87	90.00	90.31
ตำแหน่งที่ 5	47.43	21.21	21.21
ตำแหน่งที่ 6	42.43	0	15.00
ตำแหน่งที่ 7	42.43	33.54	30.00
ตำแหน่งที่ 8	33.54	15.00	15.00
ตำแหน่งที่ 9	30.00	0	30.00
ตำแหน่งที่ 10	47.43	21.213	21.21
ตำแหน่งที่ 11	15.00	15.00	15.00
ตำแหน่งที่ 12	44.72	26.495	15.00
ตำแหน่งที่ 13	15.00	15.00	15.00
ตำแหน่งที่ 14	47.43	47.43	18.43
ตำแหน่งที่ 15	22.36	13.42	10.00
ตำแหน่งที่ 16	50.00	30.00	30.00
ตำแหน่งที่ 17	22.36	21.21	10.00
ตำแหน่งที่ 18	45.00	25.00	22.00
ตำแหน่งที่ 19	94.87	67.08	42.43
ตำแหน่งที่ 20	90.00	61.36	45.00

โดยจากตารางที่ 5.8 เมื่อนำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของการคำนวณหาตำแหน่งของทั้ง 3 วิธี จะได้ดังรูปที่ 5.9 ซึ่งสัญลักษณ์วงกลมคือค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 1 ส่วนสัญลักษณ์สี่เหลี่ยมคือค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 2 และสัญลักษณ์สามเหลี่ยมคือค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณด้วยวิธีที่ 3 แกน x จะเป็นตำแหน่งที่สุ่มทดสอบทั้งหมด 20 ตำแหน่ง ส่วนแกน y จะเป็นค่าความผิดพลาดจากการคำนวณหาตำแหน่งมีหน่วยเป็นเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.9 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดของทั้ง 3 วิธีทุกตำแหน่งที่สุ่มทดสอบ

จากรูปที่ 5.9 จะสังเกตโดยรวมแล้วจะเห็นได้ว่าวิธีที่ 3 จะมีค่าความผิดพลาดจากการคำนวณหาตำแหน่งน้อยที่สุด รองลงมาก็คือวิธีที่ 2 และวิธีที่ 1 ตามลำดับ และจะเห็นว่าตำแหน่งที่ 1, 4, 19 และ 20 ค่อนข้างมีค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่ง สูงกว่าตำแหน่งทดสอบอื่นๆ ซึ่งสาเหตุก็อาจจะเป็นดังที่กล่าวมาแล้ว คือ อาจมาจากตำแหน่งสุ่มทดสอบที่ 1 และ 4 เป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับประตูทางเข้าทางออกและกำแพงและตำแหน่งที่ 19, 20 อาจจะเป็นตำแหน่งที่อยู่ภายนอกขอบเขตของการวางแท่งอ้างอิงหรืออาจเกิดจากความผิดพลาดจากการติดตั้งการทดลอง รวมถึงความผิดพลาดอื่นๆ ที่ยังไม่ทราบได้จากการทดลองนี้

5.10 เปรียบเทียบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งทั้ง 3 วิธี

จากผลการทดลองที่ได้ทำการสุ่มทดสอบทั้ง 20 ตำแหน่ง แล้วนำวิธีการคำนวณหาตำแหน่งทั้ง 3 วิธี เมื่อได้พิกัดที่คำนวณออกมาได้ก็จะทำการเปรียบเทียบกับพิกัดจริงและหาค่าความผิดพลาดดังสมการที่ 1 จะได้ค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งทั้ง 3 วิธี และนำค่าความผิดพลาดในแต่ละวิธีมาทำการหาค่าเฉลี่ยดังตารางที่ 5.9 ดังนี้

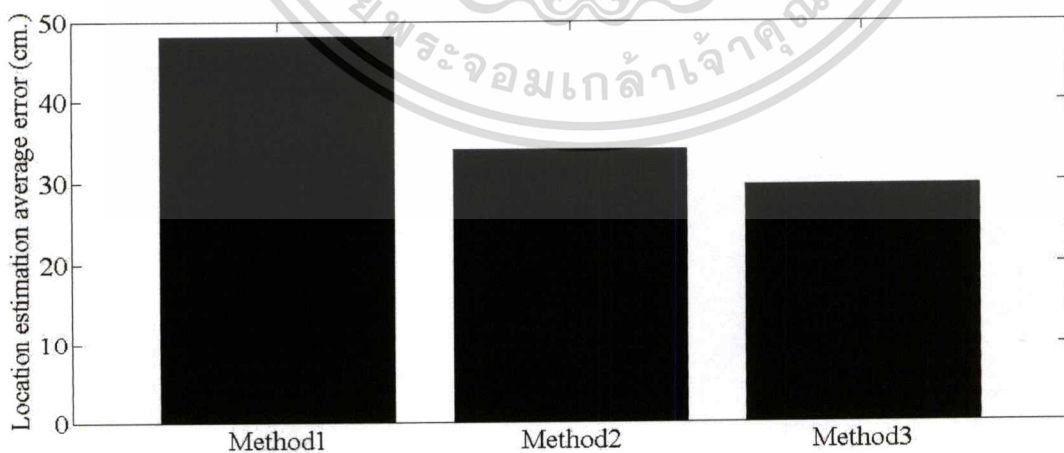
ตารางที่ 5.9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งทั้ง 3 วิธี

ตำแหน่งสุ่มทดสอบ	ค่าความผิดพลาดของวิธีที่ 1 (cm.)	ค่าความผิดพลาดของวิธีที่ 2 (cm.)	ค่าความผิดพลาดของวิธีที่ 3 (cm.)
ตำแหน่งที่ 1	94.86	91.24	60.00
ตำแหน่งที่ 2	15.00	15.00	15.00
ตำแหน่งที่ 3	30.00	33.00	33.47
ตำแหน่งที่ 4	94.87	90.00	90.31
ตำแหน่งที่ 5	47.43	21.21	21.21
ตำแหน่งที่ 6	42.43	15.00	15.00

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินทางปัญญาที่สงวนไว้สำหรับงานวิชาการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งผู้ทดสอบ	ค่าความผิดพลาด ของวิธีที่ 1 (cm.)	ค่าความผิดพลาดของ วิธีที่ 2 (cm.)	ค่าความผิดพลาดของ วิธีที่ 3 (cm.)
ตำแหน่งที่ 7	42.43	33.54	30.00
ตำแหน่งที่ 8	33.54	15.00	15.00
ตำแหน่งที่ 9	30.00	0	30.00
ตำแหน่งที่ 10	47.43	21.21	21.21
ตำแหน่งที่ 11	15.00	15.00	15.00
ตำแหน่งที่ 12	44.72	26.50	15.00
ตำแหน่งที่ 13	15.00	15.00	15.00
ตำแหน่งที่ 14	47.43	47.43	18.43
ตำแหน่งที่ 15	22.36	13.42	10.00
ตำแหน่งที่ 16	50.00	30.00	30.00
ตำแหน่งที่ 17	22.36	21.21	10.00
ตำแหน่งที่ 18	45.00	25.00	22.00
ตำแหน่งที่ 19	94.87	67.08	42.43
ตำแหน่งที่ 20	90.00	61.36	45.00
ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด	48.09	34.09	29.58

โดยจากตารางที่ 5.9 เมื่อนำมาพล็อตกราฟเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของการ
คำนวณหาตำแหน่งของทั้ง 3 วิธี จะได้ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของทั้ง 3 วิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.10 จะเห็นได้ว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของวิธีที่ 1 วิธีที่ 2 และวิธีที่ 3 เปรียบเทียบกัน โดยจากกราฟจะพบว่าวิธีที่ 3 มีค่าเฉลี่ยความผิดพลาดน้อยที่สุดจากการเปรียบเทียบกับอีก 2 วิธี และจะเห็นได้ว่า วิธีที่ 2 ดีกว่า วิธีที่ 1 อย่างไรก็ตามความแม่นยำยิ่งมากก็ยิ่งต้องใช้การคำนวณที่มากขึ้นด้วยเช่นกัน

5.11 บทสรุป

ในบทนี้ได้กล่าวถึงผลการทดลองและผลการวิเคราะห์ในการหาตำแหน่งของเป้าหมายภายในอาคารโดยใช้เทคโนโลยี RFID โดยผลที่คำนวณตำแหน่งของเป้าหมายหาได้จากอัลกอริทึมที่นำเสนอทั้งหมด 3 วิธี ซึ่งผลที่คำนวณออกมาได้ในแต่ละวิธีจะนำมาทำการเปรียบเทียบกับพิกัดตำแหน่งจริง เพื่อทำการวิเคราะห์หาความแม่นยำในแต่ละวิธี โดยทำการเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดและค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในแต่ละวิธี ซึ่งบทสรุปและข้อเสนอแนะของวิทยานิพนธ์นี้จะกล่าวถึงในบทต่อไป



บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุ (Radio Frequency Identification: RFID) มาใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งภายในอาคารและภายนอกอาคาร และยังเป็นเทคโนโลยีที่สามารถช่วยเพิ่มความสะดวกรวดเร็วแก่ภาครัฐกิจและอุตสาหกรรม อีกทั้งยังมีบทบาทในชีวิตประจำวันแก่ผู้ใช้งานทั่วไปมากขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้มีการนำเทคโนโลยีระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุมาประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่งของเป้าหมายภายในอาคาร ซึ่งโดยปกติแล้วการหาตำแหน่งภายในอาคารมีการใช้เทคโนโลยีการหาตำแหน่งได้หลากหลายประเภท อาทิเช่น Wireless Local Area Network (WLAN) แต่ที่ได้เลือกใช้เทคโนโลยีระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุเพราะว่าตอนนี้เริ่มมีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายและกว้างขวางมากขึ้นเรื่อยๆ อีกทั้งเครื่องมือและอุปกรณ์ของเทคโนโลยีระบบการสื่อสารแบบระบุตัวตนด้วยคลื่นวิทยุนั้นก็เริ่มที่จะมีราคาที่ถูกลง โดยการหาตำแหน่งในการทดลองวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคการหาตำแหน่งแบบวิเคราะห์สิ่งแวดล้อม (scene analysis) ซึ่งบางครั้งนิยมเรียกว่า Fingerprint โดยใช้เครื่องอ่าน RFID ที่ทำงานในย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF : 920-925 MHz) มาใช้ในการทดลอง และใช้แท็กแบบพาสซีฟในการอ้างอิงตำแหน่ง โดยในการทดลองนี้จะทำการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID เนื่องจากวิธีการหาตำแหน่งแบบนี้ค่อนข้างมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่าวิธีการหาตำแหน่งของแท็กเพราะในการหาตำแหน่งของแท็กจะใช้เครื่องอ่าน RFID หลายตัวในการหาตำแหน่งซึ่งราคาของเครื่องอ่าน RFID ราคาค่อนข้างจะสูง จึงได้เลือกใช้การหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID ซึ่งจะมีค่าใช้จ่ายในการทดลองที่ถูกลง เนื่องจากวิธีนี้จะใช้เครื่องอ่าน RFID เพียงตัวเดียว แต่ใช้แท็กในการอ้างอิงตำแหน่งค่อนข้างเยอะ แต่อย่างไรก็ตามราคาแท็กนั้นค่อนข้างถูกกว่าราคาของเครื่องอ่าน RFID เป็นอย่างมาก ซึ่งในการทดลองวิจัยนี้จะเสนอวิธีการหาตำแหน่งทั้งหมด 3 วิธี โดยใช้การอินเตอร์เซกชันระหว่างแท็กที่พบกับ Fingerprint โดยที่วิธีการทดลองพื้นฐานนั้นจะใช้วิธีการอินเตอร์เซกชันที่มีความซับซ้อนน้อยซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเพิ่มความซับซ้อนของการอินเตอร์เซกชันให้ละเอียดและมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นกว่าวิธีการพื้นฐาน โดยประสิทธิภาพความแม่นยำของทั้ง 3 วิธีที่ได้นำเสนอในการทดลองนั้นจะใช้การเปรียบเทียบจากค่าความผิดพลาดและค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของทั้ง 3 วิธี โดยจะนำค่าความผิดพลาดและค่าความผิดพลาดเฉลี่ยมาวิเคราะห์ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เฉลี่ยมาวิเคราะห์ในการหาความแม่นยำของการหาตำแหน่งของเป้าหมายภายในอาคาร ซึ่งสามารถสรุปผลการทดลองวิจัยได้ดังหัวข้อต่อไปนี้

6.2 บทสรุป

จากการศึกษาวิธีการที่ใช้ในระบบการหาตำแหน่งของเป้าหมายภายในอาคารบนพื้นฐานเทคโนโลยี RFID โดยใช้เทคนิคการหาตำแหน่งแบบวิเคราะห์สิ่งแวดล้อมหรือ Fingerprint ในที่นี้จะทำการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID ในขณะหยุดนิ่ง โดยใช้แท็กแบบพาสซีฟในการอ้างอิงตำแหน่งและทำการทดลองภายในอาคารพื้นที่ที่ใช้ในการทดลองหาตำแหน่งขนาด 3x3 เมตร ซึ่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนออัลกอริทึมในการเปรียบเทียบทั้งหมด 3 วิธี โดยแต่ละอัลกอริทึมก็จะมีข้อดีข้อด้อยในการเปรียบเทียบแตกต่างกันออกไป โดยใช้การอินเตอร์เซกชันระหว่างแท็กที่ตรวจพบกับ Fingerprint ซึ่งวิธีที่ 1 จะใช้จำนวนสูงสุดของแท็กหลังจากการอินเตอร์เซกชัน และ วิธีที่ 2 จะใช้ทั้งจำนวนสูงสุดและจำนวนสูงสุดรองลงมาของแท็กหลังจากการอินเตอร์เซกชันระหว่างแท็กที่ตรวจพบกับ Fingerprint ส่วนสำหรับวิธีที่ 3 จะใช้จุดศูนย์กลางของตำแหน่งของแท็กที่ตรวจพบใน Fingerprint จากผลการทดลองที่ได้ทำการทดลองวิจัยจะเห็นได้ว่าในบางตำแหน่งจะมีความผิดพลาดมากกว่าตำแหน่งอื่นๆ โดยเฉพาะตำแหน่งกลุ่ม 1, 4, 19 และ 20 ค่อนข้างมีค่าความผิดพลาดที่ได้จากการคำนวณตำแหน่งสูงกว่าตำแหน่งกลุ่มทดสอบอื่นๆ ซึ่งสาเหตุก็อาจจะเป็นมาจากตำแหน่งกลุ่มทดสอบที่ 1 และ 4 เป็นตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับประตูทางเข้าทางออกและกำแพงและตำแหน่งที่ 19 และ 20 อาจจะเป็นตำแหน่งที่อยู่ภายนอกขอบเขตของการวางแท็กอ้างอิงหรืออาจจะเกิดจากความผิดพลาดจากการติดตั้งการทดลอง รวมถึงความผิดพลาดอื่นๆ ที่ยังไม่ทราบได้จากการทดลองนี้ โดยจากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าวิธีที่ 3 มีผลลัพธ์ดีที่สุดและวิธีที่ 2 และ วิธีที่ 1 ก็ดีในลำดับถัดมา นอกจากนั้นค่าความผิดพลาดเฉลี่ยจะต่ำกว่า 50 เซนติเมตร สำหรับวิธีที่ 1 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆจะพบว่าวิธีที่ 1 จะแย่ที่สุด ส่วนในวิธีที่ 3 จะพบว่าค่าความผิดพลาดเฉลี่ยมีค่าน้อยกว่า 30 เซนติเมตร ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยในการทดลองวิจัยครั้งนี้มุ่งหวังว่าจะมีประโยชน์ในการนำเทคโนโลยี RFID มาประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่งของเป้าหมายภายในอาคาร อาทิเช่น การใช้งานการหาตำแหน่งของรถพอล์ฟคลิฟท์ภายในคลังสินค้าซึ่งในการใช้งานนี้เราจะรู้ตำแหน่งของสินค้าที่วางไว้แล้วและเราต้องการหารถพอล์ฟคลิฟท์ที่อยู่ใกล้กับสินค้ามากที่สุดเพื่อที่จะไปหยิบสินค้านั้นได้เร็วที่สุด โดยจะนำเครื่องอ่าน RFID ติดไว้กับรถพอล์ฟคลิฟท์ที่เราต้องการทำการหาตำแหน่งและนำแท็กติดไว้บนเพดานของคลังสินค้าเพื่อใช้ในการอ้างอิงตำแหน่ง ซึ่งทางผู้วิจัยหวังว่าผลงานวิจัยที่ได้จัดทำขึ้นน่าจะมีประโยชน์สามารถจะนำมาประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่งภายในอาคารได้ต่อไปในภายภาคหน้า

6.3 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

6.3.1 ปัญหาที่พบในงานวิจัย

ปัญหาที่พบในงานวิจัยนี้โดยในส่วนแรกคือพอร์ตของเครื่องอ่าน RFID ที่ใช้ในการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์พกพาซึ่งพอร์ตที่ใช้ในการเชื่อมต่อเครื่องอ่าน RFID จะเป็นพอร์ตอนุกรม (RS232) แต่คอมพิวเตอร์พกพารุ่นใหม่ ๆ จะไม่ค่อยมีพอร์ตอนุกรมมาให้แล้ว ส่วนมากจะมีแต่พอร์ตยูเอสบีซีจึงต้องใช้อุปกรณ์แปลงพอร์ตอนุกรมเป็นยูเอสบีซีเพื่อทำการแก้ปัญหาการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์พกพากับเครื่องอ่าน RFID ปัญหาต่อมาคือวัตถุที่จะนำแท็กไปทำการติดคือจากก่อนหน้านี้เคยทำการทดลองโดยติดแท็กกับเพดานโดยนำแท็กติดตรงขอบที่เป็นโลหะพบว่าเครื่องอ่าน RFID อ่านแท็กเจอได้จำนวนน้อยมากผิดปกติ ทางผู้วิจัยจึงทำการลงนำโฟมมาทำการรองแท็กก่อนที่จะติดบนเพดานพบว่าเครื่องอ่าน RFID พบแท็กมากขึ้นกว่าเดิม อาจสืบเนื่องมาจากโลหะน่าจะมีผลกระทบต่อการทำงานของเครื่องอ่าน RFID และแท็กแบบพาสซีฟก็เป็นได้ จึงได้มีการนำโฟมมารองแท็กก่อนทำการติดกับวัตถุใดๆ เพื่อเป็นการแก้ปัญหาในการทดลองวิจัยนี้

6.3.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองวิจัยนี้ได้ทำการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID ในขณะที่หยุดนิ่ง ถ้าในการพัฒนาต่อเสนอแนะให้ลองทำการวิจัยหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID ในขณะที่เคลื่อนที่และทำการหาอัลกอริทึมที่เหมาะสมกับการหาตำแหน่งของเครื่องอ่าน RFID ในขณะเคลื่อนที่หรือไม่ก็อาจจะทดลองโดยทำการเปลี่ยนแท็กอ้างอิงจากแท็กแบบพาสซีฟเป็นแท็กแบบแอ็กทีฟเพราะแท็กแบบแอ็กทีฟมีคุณสมบัติที่ดีกว่าแท็กแบบพาสซีฟ อาทิเช่น คุณสมบัติความสามารถในการแสดงความแรงของสัญญาณที่ได้รับ (Receive Signal Strength Indicator : RSSI) แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นก็ขึ้นอยู่กับงบประมาณค่าใช้จ่ายในการทดลองด้วยเพราะราคาของแท็กแบบแอ็กทีฟค่อนข้างที่จะมีราคาสูงกว่าแท็กแบบพาสซีฟอยู่พอสมควร สุดท้ายนี้ทางผู้วิจัยหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์และสามารถที่จะนำเทคโนโลยี RFID มาประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่งของเป้าหมายภายในอาคารได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไปในภายภาคหน้า

เอกสารอ้างอิง

- [1] Davis L. **RFID: Definitions** . [Slide]. London : Lucent Technology, 1997.
- [2] Miles S.B. Sarma S.E. and Williams J.R., **RFID Technology and Applications**. Cambridge University Press., 2008
- [3] บุรินทร์ อรุณ โรจน์, **RFID เทคโนโลยีที่ต้องตามให้ทัน**, กรมวิทยาศาสตร์บริการ Department of Science Service(DSS). 2548
- [4] Sarma S., Brock D. and Engels D. “Radio frequency identification and electronic product code.” **IEEE Micro.**, vol. 21, no. 6, Nov.-Dec. 2001, pp. 50-54
- [5] Finkenzeller K. **RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification** .,2nd Edition. John Wiley and Sons Ltd. 2003.
- [6] Kyter E. 2002 **Radio Frequency Identification Tags**, Slide presentation.
- [7] วัชรกร หนูทอง อนุกุล น้อยไม้ และ ปรีนันท วรรณสว่าง, **RFID เทคโนโลยีสารพัดประโยชน์**. สาร NECTEC, กันยายน – ตุลาคม 2547
- [8] Bhuptani M. and Moradpour S. **RFID Field Guide Deploying Radio Frequency Identification Systems**, Sun Microsystems Press, A Prentice Hall Title, 2005.
- [9] Harmon K, **An RFID Primer**, Mississippi Valley State University, Slide presentation, Nov 2002.
- [10] Noothong W, Panitantum E, Yordthein A, Worapishet A. and Thamsirianunt M. **ASIC Design of a Single Chip CMOS RFID Transponder**, [Slide], NECTEC presentation, 2002.
- [11] Shah Z. **Simulation and Analysis of RFID Localization Algorithms.**, Wright State University . 2006
- [12] Sanpechuda S. and Kovavisaruch T. “A Review of RFID Localization : Application and Techniques,” **Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology 2008, ECTI-CON2008**, Vol. 2 , 14-17 May 2008, pp.769–772
- [13] Lim A. and Zhang M. “A Robust RFID-based method for precise indoor positioning,” **APCC2008**, vol. 4031, June 2008, pp. 1189–1199
- [14] Kaemarungsi K. and Krishnamurthy P. “Modeling of indoor positioning systems based on location fingerprinting,” **The 23 annual joint conference of the IEEE computer and communications societies**, vol. 2, March 2004, pp. 1012–1022

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] Rappaport T.S. "Position Location Using Wireless Communication on Highway of The Future," **IEEE Communication Magazine**, Oct 1996, pp. 33-41
- [16] Hui T. Shuang W. Huaiyao X. "Localization Using Cooperative AOA Approach," **Wireless Communications Networking and Mobile Computing 2007, WICOM2007**, 21-25 Sept. 2007, pp.2416-2419
- [17] Sayed A.H. Tarighat A. and Khajehnouri N. "Network-based wireless location: challenges faced in developing techniques for accurate wireless location information," **IEEE Signal Processing Magazine**, July 2005, pp. 24-40
- [18] Daniel M. Dobkin. **The RF in RFID: Passive UHF RFID in Practice**. Communication Engineering Series, 2007.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

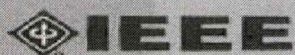
บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์

งานประชุมในระดับนานาชาติ

- [1] **S. Soonjun**, S. Promwong and P. Cherntanomwong, "Improvement of RFID based Location Fingerprint Technique for Indoor Environment," The 9th International Symposium on Communication and Information Technology 2009 (ISCIT2009), pp.916-921 ,Incheon, Korea., 28-30 September 2009.

งานประชุมในระดับนานาชาติ

- [2] **S. Soonjun**, D. Boontri and P. Cherntanomwong, "A Novel Approach of RFID Based Indoor Localization Using Fingerprinting Techniques," The 15th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC2009), pp. 180-184 , Shanghai, China, 8-10 Oct 2009.

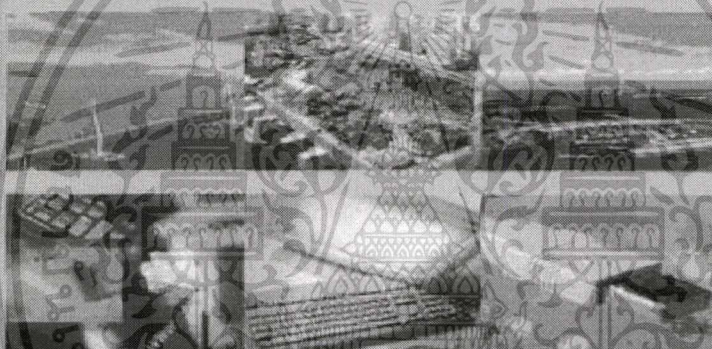


ISCIT
IS 2009

The 9th International Symposium
on Communication and
Information Technology 2009

(ISCIT 2009)

September 28-30, 2009
Songdo-IFEZ Convensia, Incheon, Korea



Conference Program

| Hosted by |



| Organized by |



| Co-Sponsored by |



| Supported by |



<http://www.iscit2009.org>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Improvement of RFID based Location Fingerprint Technique for Indoor Environment

Suwatchai Soonjun, Sathaporn Promwong, and Panarat Chermtanomwong
 Department of Information Engineering
 Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Emails: krpanara@kmitl.ac.th

Abstract—In this paper, the improvement of an indoor localization using a fingerprint technique is proposed. The Radio Frequency Identification (RFID) system is utilized. In general, the RFID localization can be categorized into two main types: one is the reader localization in which the reader locations will be estimated and one is the tag localization in which the tag locations will be estimation. The selection of these two types depends on the applications. In this paper, the reader localization is considered because of the lower system cost. For the reader localization, although a large number of tags is used, the tag cost is much cheaper than the reader cost. The passive tags are employed as references attached to the ceiling at known locations and the reader carrying on the vehicle of interest is the target to be localized. The basic principle of the fingerprint technique is to find the location of the target by comparing its signal (or information) pattern with a previously recorded database of known signal (or information)-location data. Therefore, there are two main steps to estimate the target location: (i) construction of database containing the signals (or information) and their corresponding locations, and (ii) estimation of the target location. In this paper, firstly, the detected tags found by the reader at each location of interest are collected and from now on the detected tags are called a fingerprint. Secondly, the location of the reader can be estimated using three proposed methods using the intersection between the detected tags and fingerprints. The effectiveness of each method is verified by experiment data. The best result of location estimation error among three proposed methods is less than 35 cm.

I. INTRODUCTION

Radio localization has been extensively researched because of its importance to many wireless applications. The example for outdoor applications are determining/guiding the people or object locations and navigating the car. Moreover, the enhanced 911 (E-911) public safety service outlined in the 1996 ruling issued by the U.S. Federal Communications Commission (FCC) is one of the well-known outdoor applications. It requires wireless carriers to report the location of mobile terminals [1]. Most of the outdoor localization application use the Global Positioning System (GPS) [2]. The example for indoor applications are instruction detection, home, office, industrial automation, supply chain, logistics, wildlife monitoring, patient monitoring, intelligent transport systems and so on. The accuracy of the location estimation and the reliable localization system are the main factors required. Nevertheless, the relatively simple and low cost system is also preferable.

To deal with these requirements, many localization techniques related with the recent technologies have been proposed in the literature.

As previously mentioned, GPS is suitable for the outdoor localization but not for indoor localization because it is based on outer space satellites and need very clear space to see at least four satellites at the same time. For indoor applications, wireless LAN (WLAN) has been used to measure positioning [3]. This method, however needs complex calculations. The radio frequency identification (RFID) is expected to be a good way of achieving position based services economically indoors. The normal approach is to measure the radio power of the received signals from three RFID readers, similar to GPS, and then calculate position. This is accurate but the downside is its complexity. There are extensive researches on RFID-based localization in literature [4]-[6]. In general, the RFID based localization is divided into two main categories: one is the tag localization in which the tag location is estimated, e.g.[7] and another one is the reader localization in which the reader location is estimated, e.g.[8]. In this paper, the reader localization is considered because of the lower system cost compared to the tag localization. For the reader localization, although a large number of tags is used, the tag cost is much cheaper than the reader cost.

For the localization algorithms, there can be classified into two main categories: (i) triangulation and (ii) scene analysis (sometimes called fingerprint) [9]. For the triangulation-based localization techniques, conventional angle of arrival (AOA), time of arrival (TOA) or time difference of arrival (TDOA) [10]-[11] are measured and required multiple base stations (BSs) used for localization and often fail to estimate locations of mobile terminals in a dense multipath environment. Moreover, time-based localization (TOA and TDOA) needs a high accuracy of time synchronization between mobile terminal and BSs. Fingerprint techniques have been developed [12]-[14] to overcome those issues. The basic principle of the location fingerprinting algorithm is to find the location of the mobile terminal by comparing a signal pattern received by a BS with prior known signal information stored in the database via signal pattern matching algorithms. The database needs to be constructed in advance wherein the finer the spatial resolution of the database, the more accurate the estimate of the mobile

terminal locations [15].

As previously mentioned, the relatively simple and low cost system is also preferable. The fingerprint technique is utilized since only one BS is needed and the comparatively simple equipment can be employed. Since the RFID technology has many advantages among the other wireless technologies, it is used in this work. Three indoor localization techniques based on UHF band RFID is proposed. Passive tags are attached to the ceiling at known locations and an RFID reader is attached to the vehicle of interest. Firstly, the data will be recorded in database. Then, the data (i.e. the detected tags) the RFID read are compared with as a fingerprint in the database to estimate the location. The effectiveness of these proposed techniques are evaluated using experiment data. The rest of the paper is organized as follows. In section II, the measurement system and setup are explained. Section III and section IV describe the construction of the fingerprint database and the proposed location estimation techniques, respectively. Section V presents results and discussion and Finally the conclusion is given in section VI.

II. MEASUREMENT SYSTEM AND SETUP

The RFID based localization system consists of the reader, the computer with the software collecting the data received by the reader and tags. In general, there are three types of tags: active, passive and semi-passive tags. However, the passive tags are utilized in this paper because of cost effectiveness. Figure 1 illustrates the used passive tag with linear polarization. Each tag has a unique ID number. The UHF-band (902-928 MHz) RFID reader equipped with the linear polarized antenna are used and shown in Fig. 2.

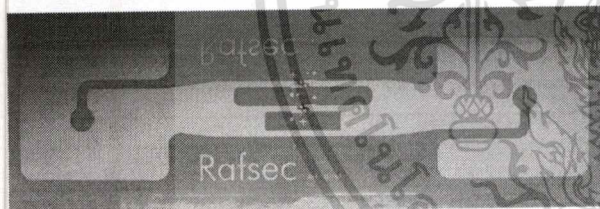


Fig. 1. Passive tag with linear polarization [16]

Figure 3 shows experiment setup and measurement environment. The reader is placed on the camera tripod facing directly to the tags attached at the ceiling. The reader together with the computer installing the software and application development kit is placed on a simple carrier. Figures 4 and 5 are the photos of the tags and reader and the tags placed on the ceiling, respectively. The height from the floor to the ceiling is 300 cm and the reader is set at the height of 130 cm from the floor. The transmission power is set at 26 dBm. The fingerprint database composes of the 36 fingerprint locations. Figure 6 demonstrates the effective area of measurement where its size is 300 cm by 300 cm. The total number of used tags is 96 depicted by a square where the dark-gray square represents the fingerprint location and the white square represents the

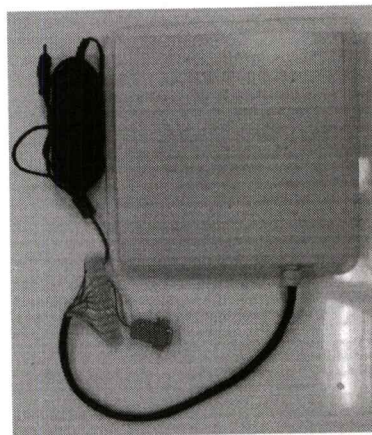


Fig. 2. The UHF-band (902-928 MHz) RFID reader [16]

reference tags. The alphabet "F" subscripting the number represents the fingerprint location.



Fig. 3. System outline

III. CONSTRUCTION OF FINGERPRINT DATABASE

The location estimation using the fingerprint technique is divided into two main steps. In the first step, the signal or other data collected by the target is measured at known location and stored in the database. The collected data is referred to as fingerprints. In the second step, the target location is estimated by matching its signal parameters to those in the database. The location of the data provides best match to the target data is returned as the estimated location of the target. In this section, the construction of the fingerprint database is explained.

A fingerprint database is obtained by the measurement according to the following steps.

- Preparing the measurement and defining the fingerprint location represented F_1, F_2, \dots, F_{36} in Fig. 6.
- Placing the RFID reader at the fingerprint location shown in Fig. 6, then recording the tags detected by the reader at every fingerprint location. The group of detected tags obtained from each fingerprint location represents by



Fig. 4. Reader facing directly to tags.

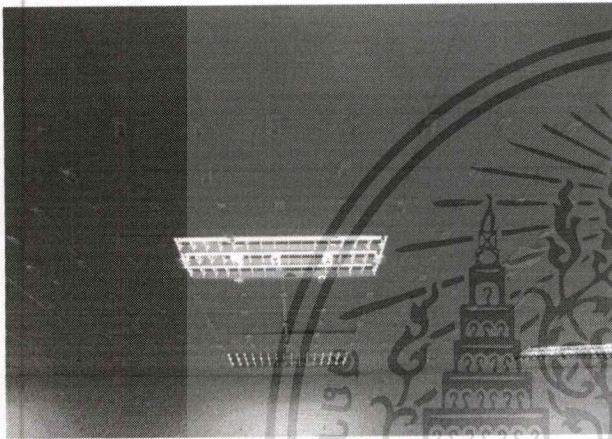


Fig. 5. Tag placed on the ceiling used as reference and fingerprint

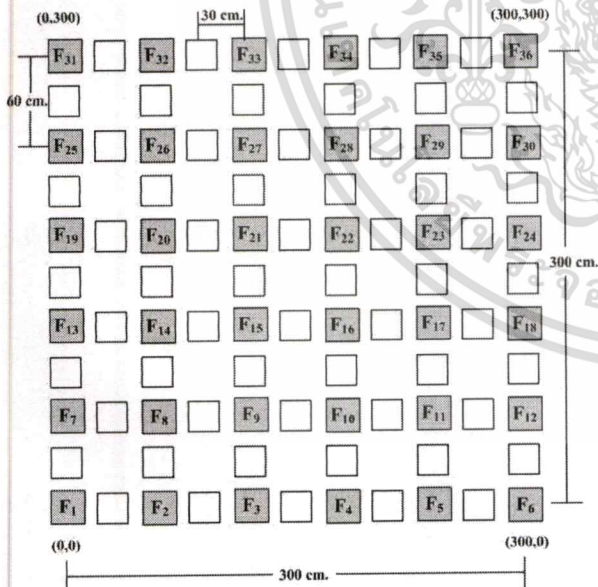


Fig. 6. Passive tag placed on the ceiling where the dark-gray square representing the fingerprint location and the white square representing the reference tags

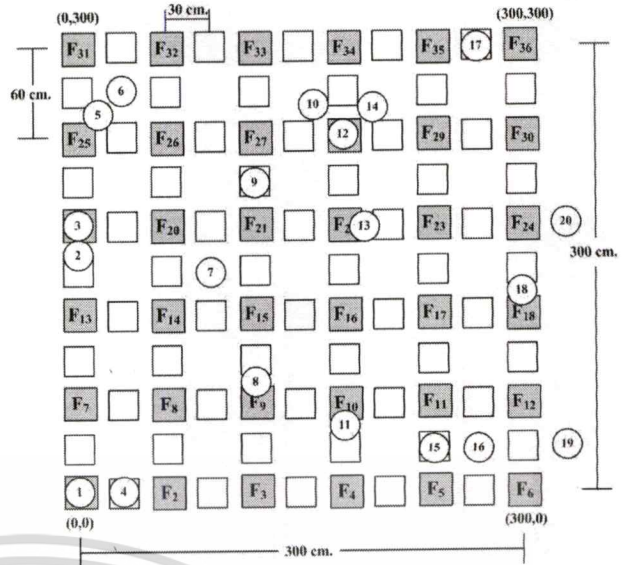


Fig. 7. Twenty sampling positions

D_1, D_2, \dots, D_{36} are referred to as fingerprints at the fingerprint locations F_1, F_2, \dots, F_{36} .

The fingerprint database can then be shown in Fig. 8. The location of the target (the reader at the observed location) can be estimated using the proposed methods which will be explained in the next section.

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_{35}	$D_{35} = \{\text{Reference tags be detected at } F_{35}\}$
F_{36}	$D_{36} = \{\text{Reference tags be detected at } F_{36}\}$

Fig. 8. Constructed fingerprint database

IV. PROPOSED LOCATION ESTIMATION METHODS

In this section, three proposed location estimation techniques are explained.

The first step to estimate the location for all techniques is to place the RFID reader at the location of interest and from hereon be called the observed location. In this work, 20 observed locations are considered so they are represented by the circle with number illustrated in Fig. 7. Moreover, the defined symbols are O_1, O_2, \dots, O_{20} . The group of detected tags obtained from each observed location is represented by $DO_1, DO_2, \dots, DO_{20}$. Then the second step is to find the location of the reader at each observed location using three proposed methods which are explained from hereon. Method 1, Method 2, and Method 3 are called for each method for short.

A. Method 1: Maximum Number of Intersect Tags

The group of detected tags obtained from each observed location, $DO_1, DO_2, \dots, DO_{20}$, is compared to all groups of fingerprints, D_1, D_2, \dots, D_{36} by intersection. Then, for each pair of intersection, the intersect number of detected tags is obtained and referred to as N_1, N_2, \dots, N_{36} corresponding to the 36 pairs obtained by comparing between each observed location and all fingerprint locations.

$$N_i = \text{Number of } D_i \cap U_k, \quad (1)$$

where $i = 1, 2, \dots, 20$ is the location index of the 20 observed locations and $k = 1, 2, \dots, 36$ is the location index of the 36 fingerprint locations. The maximum number of the intersect number is searched. There are two cases concerned as follows.

- If only one fingerprint provides the maximum number, the location of the fingerprint returns as the location of the reader. Let $LF(x, y)$ denotes the coordinate of the fingerprint, the location of the reader can be estimated as

$$(x_{\text{est}}, y_{\text{est}}) = LF(x, y), \quad (2)$$

where $(x_{\text{est}}, y_{\text{est}})$ is the estimated location.

- If more than one fingerprints provide the maximum number, the location of the reader can be calculated from the center of gravity (CG) of these fingerprint locations. The CG of locations can be briefly explained as follows. Let $LF(x, y)$ denotes the coordinate of the fingerprint. In case of more than one fingerprints provide the maximum number, the location of the reader can be estimated as

$$(x_{\text{est}}, y_{\text{est}}) = \left(\frac{LF_{1x} + LF_{2x} + \dots + LF_{nx}}{n}, \frac{LF_{1y} + LF_{2y} + \dots + LF_{ny}}{n} \right), \quad (3)$$

where $(x_{\text{est}}, y_{\text{est}})$ is the estimated location $LF_{1x}, LF_{2x}, \dots, LF_{nx}$ are the location of fingerprint in x direction and $LF_{1y}, LF_{2y}, \dots, LF_{ny}$ are the location of fingerprint in y direction.

B. Method 2: Maximum and 2nd Maximum Numbers of Intersect Tags

This method is the extension of Method 1. In Method 1, the maximum number of the intersect tag is only considered. However, in Method 2, the second maximum number of the intersect tags is also considered. The CG of the fingerprint locations providing both maximum and second maximum numbers of the intersect tags is the estimated location of the reader (using (3)).

C. Method 3: Center of Gravity of Detected-Tag Locations

In this method, the location of the reader can be estimated by calculation of the CG of the detected tag in the fingerprint. Two cases are considered.

- In the case of only one maximum number of intersect tags is considered, the location of the reader can be estimated from the CG of the locations of detected tags in the fingerprint.

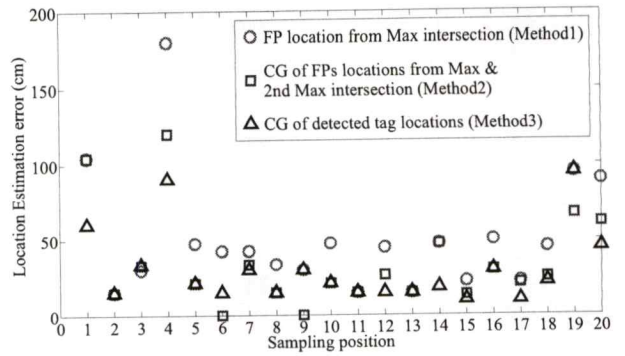


Fig. 10. Comparison of location estimation error between Method 1, Method 2, and Method 3 for all observed locations

Let $T(x, y)$ denotes the coordinate of the detected tags. The location of the reader can be estimated from

$$(x_{\text{est}}, y_{\text{est}}) = \left(\frac{T_{1x} + T_{2x} + \dots + T_{nx}}{n}, \frac{T_{1y} + T_{2y} + \dots + T_{ny}}{n} \right), \quad (4)$$

where $(x_{\text{est}}, y_{\text{est}})$ is the estimated location, $T_{1x}, T_{2x}, \dots, T_{nx}$ are the location of detected tags in x direction and $T_{1y}, T_{2y}, \dots, T_{ny}$ are the location of detected tags in y direction.

- In the case of both maximum and second maximum numbers of the intersect tags are considered, the location of the reader can be estimated from the CG of the locations of detected tags in the fingerprints providing maximum and second maximum numbers of the intersect tags (using (4)).

All proposed methods can be summarized in Fig. 9.

V. RESULTS AND DISCUSSION

In order to evaluate the performance of the proposed methods, the experiment were conducted. In the experiment, the measurements were conducted in 20 locations (one location for one measurement) of the reader by randomly adjusting the reader. As previously explained, three localization methods are proposed. Comparison of the location estimation errors using Method 1, Method 2 and Method 3 is illustrated in Fig. 10 for all observed locations. It is observed that Method 3 gives the best estimation (smallest error) compared to other two methods. However, for specifically, the observed location number 1 and number 4 seem that the estimation errors are relatively high. This is highly possible that the observed locations were placed near the exit door and wall. Also, it may cause from the unknown impaired experiment.

Figure 11 shows comparison of the true observed location and the estimated location using Method 1, Method 2 and Method 3 where the circle represents the true observed location, the square represents the estimated location using Method 1, the triangle represents the estimated location using Method 2 and the star represents the estimated location using Method 3. The lines connecting from these four symbols mean that the results are from the same observed locations. In the same

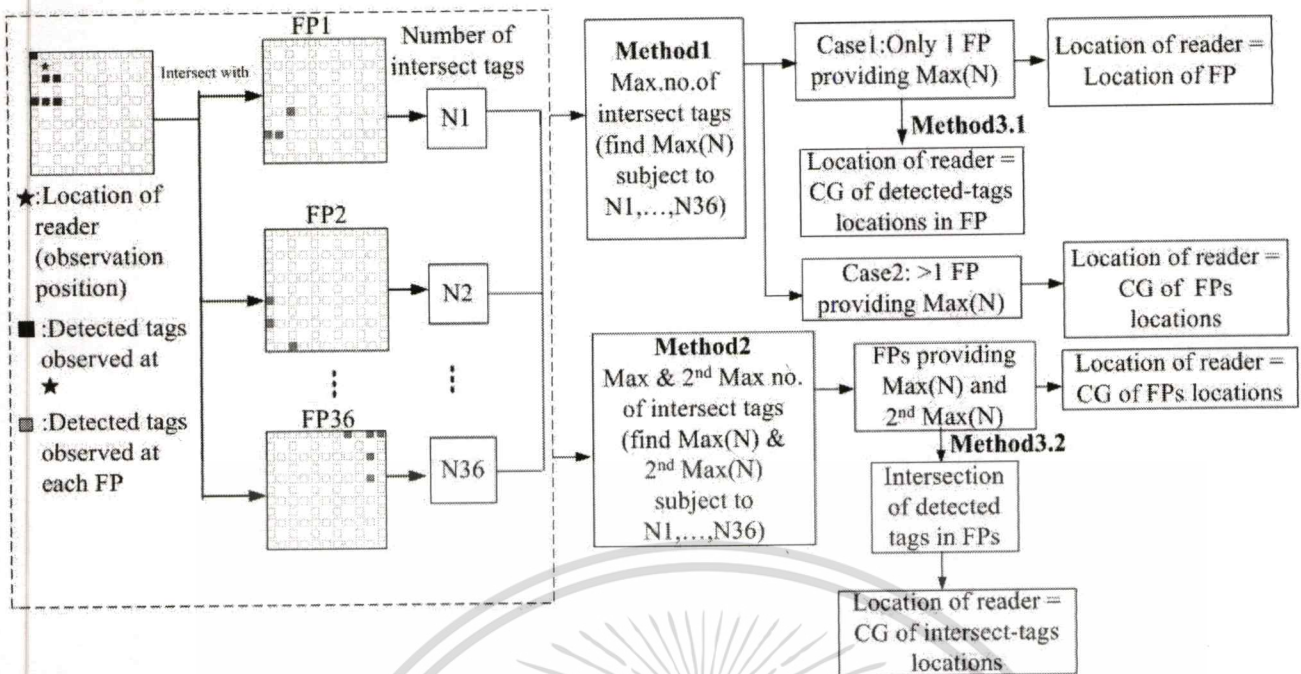


Fig. 9. Summary of three proposed location estimation methods

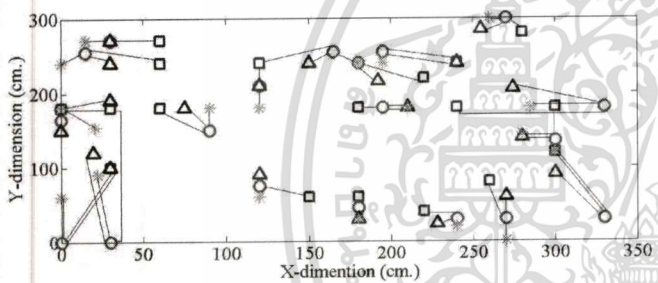


Fig. 11. Comparison of true location and estimated location using Method 1, Method 2 and Method 3 for all observed locations

trend, it is observed that Method 3 gives the best estimation compared to other two methods.

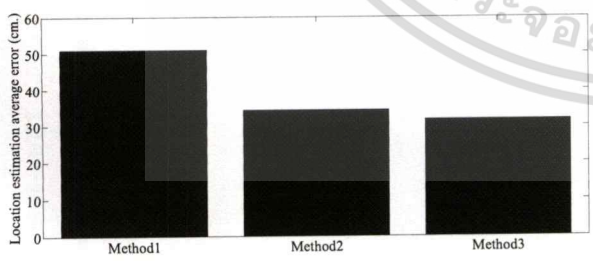


Fig. 12. Comparison of average location estimation error between Method 1, Method 2 and Method 3

Figure 12 shows the average estimation location error compared between Method 1, Method 2 and Method 3. It

is clearly found that Method 3 gives the best result (smaller error) compared to other two methods. Moreover, it is also found that Method 2 is better than Method 1. However, the higher accuracy obtained, the more tough computation.

VI. CONCLUSION

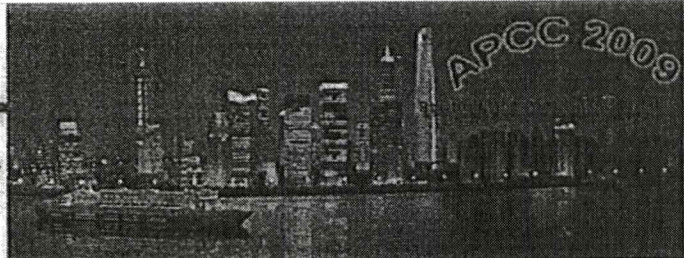
This paper proposed three simple methods of the indoor location estimation using RFID technology. The localization algorithm used is the fingerprint technique. The concept of the intersection between detected tags and fingerprint is utilized. Method 1 uses the maximum intersected tags and Method 2 use both maximum and 2nd maximum intersected tags for further estimating the location of the reader. For Method 3, the reader location is estimated from the CG of the detected tags in the fingerprint providing the maximum number of the intersect tag. The best to worse results are from Method 3, Method 2 and Method 1, respectively. However, the average location estimation is less than 50 cm for Method 1, which gives the worse results compared to other two methods. Additionally, the average location estimation is less than 35 cm for Method 3, which give the best results. Therefore, these proposed method is able to be applied to the real applications in the indoor environment.

REFERENCES

- [1] <http://www.fcc.gov/911/enhanced/>
- [2] P. K. Engee, The global positioning system: Signals, measurements and performance, *Int. J. Wireless Inf. Netw.*, vol. 1, no. 2, pp. 83-105, 1994.
- [3] C. L. Wu, L. C. Fu, and F. L. Lian, WLAN location determination in ehome via support vector classification, *Proc. IEEE International Conference on Netw., Sens. Control*, pp. 1026-1031, vol. 2, 2004.

- [4] T. Shiraishi, N. Komuro, H. Ueda, H. Kasai and T. Tsuboi, "Indoor Location Estimation Technique using UHF band RFID" *Information Networking, 2008. ICOIN 2008. International Conference on 23-25 Jan. 2008* pp. 1-5
- [5] L. Andrew and Z. Kaicheng, "A Robust RFID-Based Method for Precise Indoor Positioning" Springer Berlin / Heidelberg. ISSN 0302-9743 1611-3349 *Advances in Applied Artificial Intelligence*. pp. 1189-1199
- [6] R. Ahmed Wasif and G. Tan Kim, "Investigation of Indoor Location Sensing via RFID Reader Network Utilizing Grid Covering Algorithm" *Springer Netherlands. Wireless Personal Communications*. Volume 49, Number 1. pp. 67-80 / April, 2009
- [7] J. Hightower, R. Want and G. Borriello, SpotON: An Indoor 3D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength, *Technical Report UW-CSE, University of Washington, Department of Computer Science and Engineering, Seattle WA, 2000.*
- [8] M.C. Lee, Localization of Mobile Robot Based on Radio Frequency Identification Devices, *SICE-ICASE, International Joint Conference*, pp.5934-5939, October 2006
- [9] H. Liu, H. Darabi, P. Ganesan, and J. Liu, "Survey of Wireless Indoor Positioning Techniques and Systems," *IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics-Part C: Applications and Reviews*, pp. 1067-1080, Vol. 37, No. 6, November 2007.
- [10] T.S. Rappaport, J.H. Reed, and B.D. Woerner, "Position location using wireless communications on highways of the future," *IEEE Communications Magazine*, pp. 33-41, October 1996.
- [11] A.H. Sayed, A. Tarighat, and N. Khajehnouri, "Network-based wireless location: challenges faced in developing techniques for accurate wireless location information," *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 24-40, July 2005.
- [12] G. Sun, J. Chen, W. Guo, and K. J. R. Liu, "Signal processing techniques in network aided positioning", *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 12-23, July 2005.
- [13] A. Lim and K. Zhang, "A Robust RFID-based method for precise indoor positioning", *Advances in applied artificial intelligence*, pp. 1189-1199, vol. 4031, June 2006.
- [14] K. Kaemarungsi and P. Krishnamurthy, "Modeling of indoor positioning systems based on location fingerprinting", *The 23 annual joint conference of the IEEE computer and communications societies*, vol. 2, pp. 1012-1022, March 2004.
- [15] P. Chertanomwong, J. Takada, and H. Tsuji, "A novel approach in constructing a database for location fingerprint technique", *Accepted to be published in IEICE Transactions on Communications*.
- [16] <http://acentech.net/cms/index.php>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



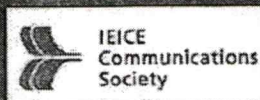
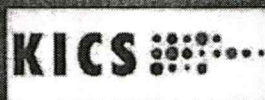
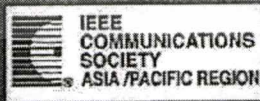
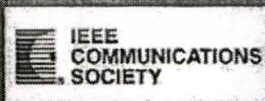
www.apcc2009.sjtu.edu.cn

Proceedings of the 15th Asia-Pacific Conference on Communications APCC 2009

Sponsored by:



Technically Co-Sponsored by:



上海交通大学电子音像出版社

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A Novel Approach of RFID Based Indoor Localization Using Fingerprinting Techniques

Suwatchai Soonjun, Dokor Boontri, and Panarat Cherntanomwong
 Department of Information Engineering
 Faculty of Engineering
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Emails: krpanara@kmitl.ac.th

Abstract—In this paper, a novel approach for an indoor localization using a fingerprint technique is proposed. The UHF band Radio Frequency Identification (RFID) system is utilized. The passive RFID tags are employed as references attached to the ceiling at known locations and the RFID reader carrying on the vehicle of interest is the target to be localized. The basic principle of the fingerprint technique is to find the location of the target by comparing its signal (or information) pattern with a previously recorded database of known signal (or information)-location data. Therefore, there are two main steps to estimate the target location: (i) construction of database containing the signals (or information) and their corresponding locations, and (ii) estimation of the target location. In this paper, firstly, the detected tags found by the reader at each location of interest are collected and from now on the detected tags are called a fingerprint. Secondly, the location of the reader can be estimated using two proposed methods using the intersection between the detected tags and fingerprints. These two methods are compared to a simple method called the center of gravity (C.G.). The effectiveness of this method is verified by an indoor experiment. The result of location estimation error is less than 60 cm.

I. INTRODUCTION

Recently, the localization of mobile target become a popular issue in wireless communication. The location information can be more useful as it combined with geographic information or road map, such as the applications of GPS (Global Positioning System) [1]. The combination of the location information and wireless network create great convenience in life.

However, GPS is not suitable for the indoor localization because it is based on outer space satellites. For indoor use, wireless LANs have been used to measure positioning [2]. This method, however needs complex calculations. RFID (Radio Frequency Identification) is expected to be a good way of achieving position based services economically indoors. The normal approach is to measure the radio power of the signals from three RFID readers, similar to GPS, and calculate position. This is accurate but the downside is its complexity. There are extensive researches on RFID-based Localization in literature [3]-[5]. In general, the RFID based localization is divided into two main categories: one is the tag localization in which the tag location is estimation, e.g.[6] and another one is the reader localization in which the reader location is estimated, e.g.[7]. In this paper, the reader localization is considered because the equipments have been already pos-

sessed. A novel indoor location estimation technique based on UHF band RFID is proposed. Passive tags are attached to the ceiling with known location and an RFID reader is attached to the vehicle of interest. Firstly, the data will be recorded in database. Then, the data (i.e. the detected tags) the RFID read are compare with as a fingerprint in the database to estimate the location. Two simple location estimation methods are proposed, and their estimation accuracing are evaluated using experiment data. The rest of the paper is organized as follows. In section II, the measurement system and setup are explained. Section III describes the proposed location estimation techniques. Section IV presents result and discussion and Finally the conclusion is given in section V.

II. MEASUREMENT SYSTEM AND SETUP

The RFID based localization system consists of the reader, the computer with the software collecting the data received by the reader and tags. In general, there are three types of tags: active, passive and semi-passive tags. However, the passive tags are utilized in this paper because of cost effectiveness. Figure 1 illustrates the used passive tag with linear polarization. Each tag has a unique ID number. The UHF-band (902-928 MHz) RFID reader equipped with the linear polarized antenna are used and shown in Fig. 2.



Fig. 1. Passive tag with linear polarization [8].

Figure 3 shows experiment setup and measurement environment. The reader is placed on the camera tripod facing directly to the tags attached at the ceiling. The reader together with the computer installing the software and application development kit is placed on a simple carrier. Figures 4 and 5 are the photos of the tags and reader and the tags placed on the ceiling, respectively. The height from the floor to the ceiling is 300 cm and the reader is set at the height of 130 cm from the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

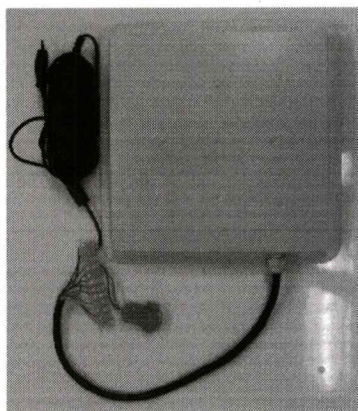


Fig. 2. The UHF-band (902-928 MHz) RFID reader [8].



Fig. 4. Reader facing directly to tags.

floor. The transmission power is set at 26 dBm. The fingerprint database composes of the 36 fingerprint locations. Figure 6 demonstrates the effective area of measurement where its size is 300 cm by 300 cm. The total number of used tags is 96 depicted by a square where the dark-gray square represents the fingerprint location and the white square represents the reference tags. The alphabet "F" subscripting the number represents the fingerprint location.

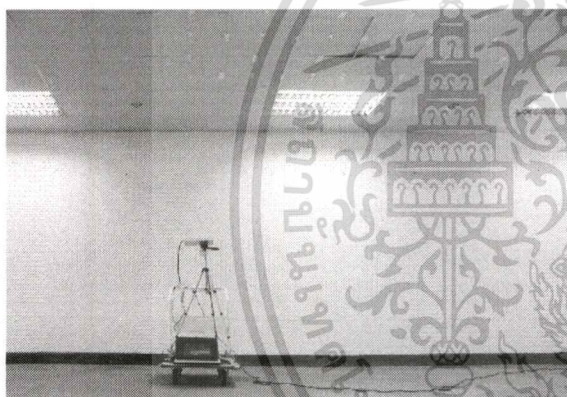


Fig. 3. System outline.

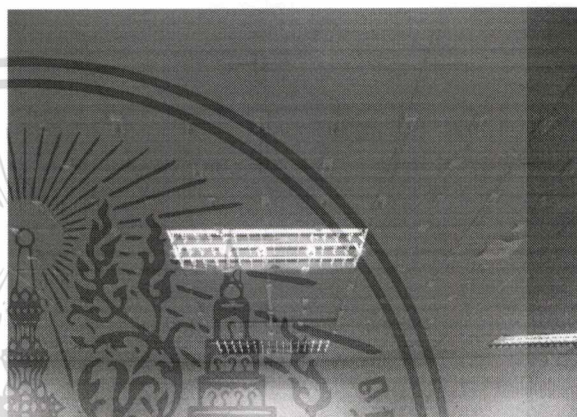


Fig. 5. Tag placed on the ceiling used as reference and fingerprint.

III. LOCATION ESTIMATION TECHNIQUES

In this section, two proposed location estimation techniques are explained.

The first step to estimate the location for all techniques is to place the RFID reader at the location of interest and from hereon be called the observed location. In this work, 20 observed locations are considered so they are represented by the circle with number illustrated in Fig. 7. Moreover, the defined symbols are O_1, O_2, \dots, O_{20} . The group of detected tags obtained from each observed location is represented by $DO_1, DO_2, \dots, DO_{20}$. Then the second step is to find the location of the reader at each observed location using two

proposed methods which are explained from hereon. Method 1 and Method 2 are called for each method for short.

- **Method1: Maximum intersected tags method**

The group of detected tags obtained from each observed location, $DO_1, DO_2, \dots, DO_{20}$, is compared to all groups of fingerprints, D_1, D_2, \dots, D_{36} by intersection. Then, for each pair of intersection, the intersect number of detected tags is obtained and referred to as N_1, N_2, \dots, N_{36} corresponding to the 36 pairs comparing between each observed location and all fingerprint locations.

$$N_i = \text{Number of } D_i \cap U_k, \quad (1)$$

where $i = 1, 2, \dots, 20$ is the location index of the 20 observed locations and $k = 1, 2, \dots, 36$ is the location index of the 36 fingerprint location. The maximum number of the intersect number is searched. There are two cases concerned as follows.

- If only one fingerprint provides the maximum number, the location of the fingerprint returns as the location of the reader. Let $LF(x, y)$ denotes the

coordinate of the fingerprint, the location of the reader can be estimated as

$$(x_{est}, y_{est}) = LF(x, y), \quad (2)$$

where (x_{est}, y_{est}) is the estimated location.

- If more than one fingerprints provide the maximum number, the location of the reader can be calculated from the center of gravity (CG) of these fingerprint locations.

The CG of locations can be briefly explained as follows.

Let $LF(x, y)$ denotes the coordinate of the fingerprint. In case of more than one fingerprints provide the maximum number, the location of the reader can be estimated as

$$(x_{est}, y_{est}) = \left(\frac{LF_{1x} + \dots + LF_{nx}}{n}, \frac{LF_{1y} + \dots + LF_{ny}}{n} \right), \quad (3)$$

where (x_{est}, y_{est}) is the estimated location, $LF_{1x}, LF_{2x}, \dots, LF_{nx}$ are the locations of fingerprints in x direction and $LF_{1y}, LF_{2y}, \dots, LF_{ny}$ are the locations of fingerprints in y direction.

Method 2: Maximum and 2nd Maximum intersected tags method

This method is the extension of Method 1. In Method 1, the maximum number of the intersect tag is only considered. However, in Method 2, the second maximum number of the intersect tags is also considered. The CG of the fingerprint locations providing both maximum and second maximum numbers of the intersect tags is the estimated location of the reader (using (3)).

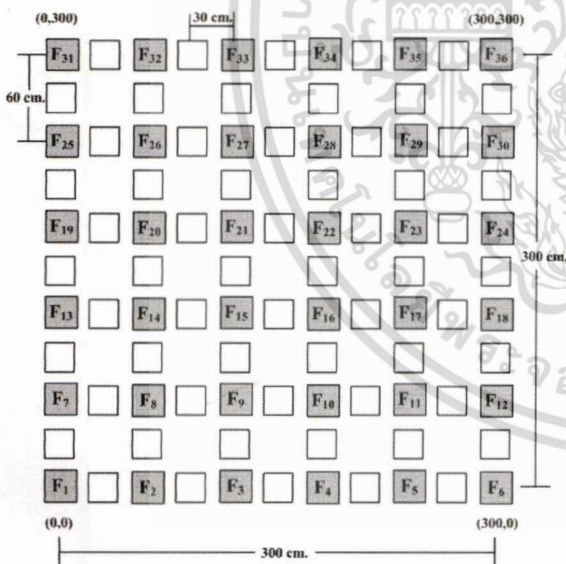


Fig. 6. Passive tag placed on the ceiling where the dark-gray square representing the fingerprint location and the white square representing the reference tags.

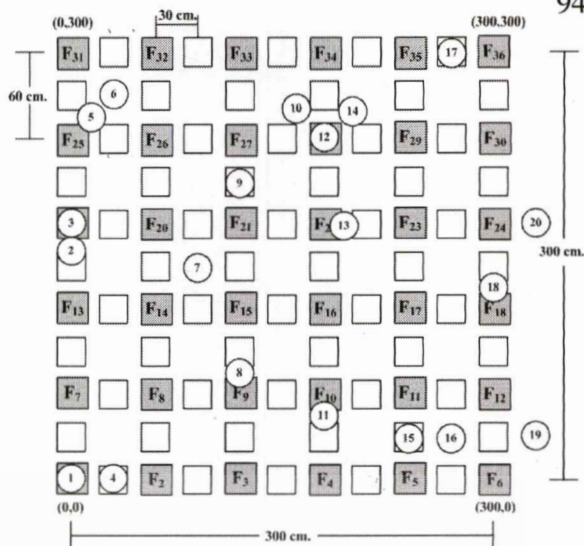


Fig. 7. Twenty sampling positions.

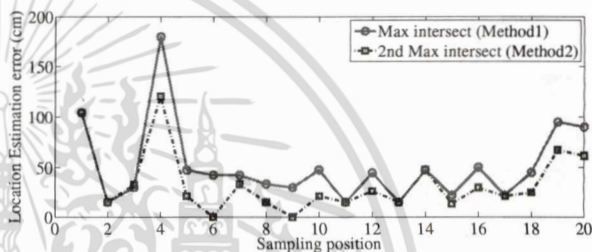


Fig. 8. Comparison of location estimation error between Method 1 and Method 2 for all observed locations.

IV. RESULTS AND DISCUSSION

In order to evaluate the performance of the proposed method, the experiment was conducted. In the experiment, the measurements were conducted in 20 locations (one location for one measurement) of the reader by randomly adjusting the reader. As previously explained, Method 1 and Method 2 are proposed. Comparison of the location estimation errors using Method 1 and Method 2 is illustrated in Fig. 8. It is observed that the estimation errors for all observed locations are smaller for Method 2 in which both maximum and 2nd maximum intersected tags are used for estimating the location. However, the observed location number 1 and number 4 seem that the estimation errors are relatively high. This is highly possible that the observed locations were placed near the exit door and wall. Moreover, it may cause from the unknown impaired experiment. In addition, at the observed locations number 19 and number 20, there are small estimation errors. This maybe because of the effect from closed windows and wall.

Figure 9 shows comparison of the true observed location and the estimated location using Method 1 (Max. Intersect) and Method 2 (2nd Max. Intersect) where the circle represents

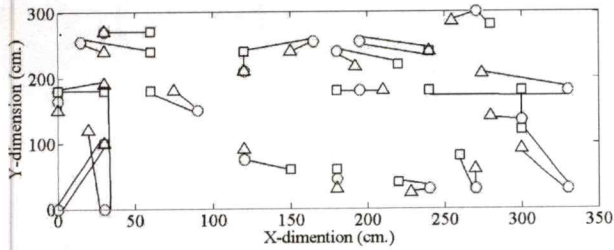


Fig. 9. Comparison of true location and estimated location using Method 1 and Method 2 for all observed locations.

the true observed location, the square represents the estimated location using Method 1, and the triangle represents the estimated location using Method 2. The lines connecting from these three symbols mean that the results are from the same observed locations.

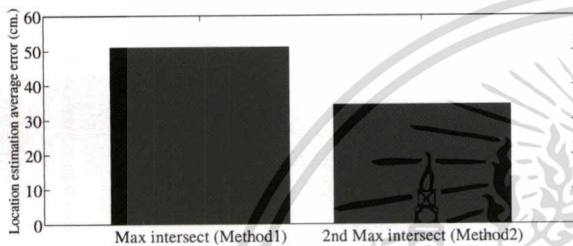


Fig. 10. Comparison of average location estimation error between Method 1 and Method 2.

Figure 10 shows the average estimation location error compared between Method 1 (Max. Intersect) and Method 2 (2nd Max. Intersect). It is clearly found that Method 2 gives better results (smaller error) compared to Method 1. However, it is more tough computational than Method 1.

V. CONCLUSION

This paper proposed a new method of the indoor location estimation using RFID technology. The localization algorithm used is the fingerprint technique. Two methods for estimating location are proposed. The concept of the intersection between detected tags and fingerprint is utilized. Method 1 uses the maximum intersected tags and Method 2 use both maximum and 2nd maximum intersected tags for further estimating the location of the reader. The result shows that Method 2 gives better performance than Method 1 for all observed locations; however, it is more computational. The location estimation error is less than 60 cm for all observed location for both Method 1 and Method 2. Therefore, these proposed method is able to be applied to the real applications in the indoor environment.

REFERENCES

- [1] P. K. Engee, The global positioning system: Signals, measurements and performance, *Int. J. Wireless Inf. Netw.*, vol. 1, no. 2, pp. 83105, 1994.
- [2] C. L. Wu, L. C. Fu, and F. L. Lian, WLAN location determination in ehome via support vector classification, in *Proc. IEEE Int. Conf. Netw., Sens. Control*, 2004, vol. 2, pp. 10261031.
- [3] T. Shiraishi, N. Komuro, H. Ueda, H. Kasai and T. Tsuboi, "Indoor Location Estimation Technique using UHF band RFID" *Information Networking*, 2008. ICOIN 2008. International Conference on 23-25 Jan. 2008 Page(s):1 - 5
- [4] L. Andrew and Z. Kaicheng, "A Robust RFID-Based Method for Precise Indoor Positioning" Springer Berlin / Heidelberg. ISSN 0302-9743 1611-3349 *Advances in Applied Artificial Intelligence*. Pages1189-1199
- [5] R. Ahmed Wasif and G. Tan Kim, "Investigation of Indoor Location Sensing via RFID Reader Network Utilizing Grid Covering Algorithm" Springer Netherlands. *Wireless Personal Communications*. Volume 49, Number 1 / April, 2009. Pages 67 - 80
- [6] J. Hightower, R. Want and G. Borriello, SpotON: An Indoor 3D Location Sensing Technology Based on RF Signal Strength, Technical Report UW-CSE, University of Washington, Department of Computer Science and Engineering, Seattle WA, 2000. H.J. Lee and
- [7] M.C. Lee, Localization of Mobile Robot Based on Radio Frequency Identification Devices, SICE-ICASE, International Joint Conference, pp.5934-5939, October 2006
- [8] <http://acentech.net/cms/index.php>

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล นายสุวัชชัย สุนจันทร์
 วัน เดือน ปีเกิด 13 ธันวาคม 2524
 ที่อยู่ 333/105 หมู่ 11 ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กทม.
 10520

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2543 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร (เกียรตินิยมอันดับ 2)

ประสบการณ์ทำงาน

พ.ศ. 2547-ปัจจุบัน System Engineer ธนาคารกรุงเทพ จำกัด(มหาชน)

พ.ศ.2552 ผลงานวิจัย
 S. Soonjun, S. Promwong and P. Cherntanomwong, "Improvement of RFID based Location Fingerprint Technique for Indoor Environment," The 9th International Symposium on Communication and Information Technology 2009 (ISCIT2009), pp.916-921 ,Incheon, Korea., 28-30 September 2009.

พ.ศ.2552 S. Soonjun, D. Boontri and P. Cherntanomwong, "A Novel Approach of RFID Based Indoor Localization Using Fingerprinting Techniques," The 15th Asia-Pacific Conference on Communications (APCC2009), pp. 180-184 , Shanghai, China, 8-10 Oct 2009.