สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รถสำรวจนำทางด้วยระบบทำนายตำแหน่งโดยเครือข่ายไร้สายเฉพาะบริเวณ

Survey Car guided by WLAN Location Determination System

โดย

นายสุขุมเดช ด่านกุล

นายสุรสักก์ ฤทธิชิน

นายอดิเรก ปีติจอมวงศ์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 73185
วัน,เดือน,ปี 10 ก.ค. 2550

b 11788033
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถสำรวจนำทางด้วยระบบทำนายตำแหน่งโดยเครือข่ายไร้สายเฉพาะบริเวณ

SURVEY CAR GUIDED BY WLAN LOCATION DETERMINATION SYSTEM

โดย

นายสุขุมเดช ด่านกุล รหัส 45010841

นายสุรสักก์ ฤทธิสิน รหัส 45010877

นายอดิเรก ปิติจอมวงศ์ รหัส 45010900

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร. มนัส สังวรศิลป์

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2548

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง รถสำรวจนำทางด้วยระบบทำนายตำแหน่งโดยเครือข่ายไร้สายเฉพาะบริเวณ

ผู้จัดทำ

1. นายสุขุมเดช ด่านกุล
2. นายสุรสักก์ ฤทธิสิน
3. นายอดิเรก ปีติจอมวงศ์

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รศ.ดร. มนัส สังวรศิลป์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รถสำรวจนำทางด้วยโปรแกรมทำนายตำแหน่งจากเครือข่ายไร้สายเฉพาะบริเวณ

นายสุขุมเดช ด่านกุล รหัส 45010841
นายสุรสักก์ ฤทธิสิน รหัส 45010877
นายอดิเรก ปิติจอมวงศ์ รหัส 45010900

รศ.ดร. มนัส สังวรศิลป์ (อาจารย์ที่ปรึกษา)
ปีการศึกษา 2548

บทคัดย่อ

รถสำรวจนำทางด้วยโปรแกรมทำนายตำแหน่งจากเครือข่ายไร้สายเฉพาะบริเวณนั้นเราจะมีรถสำรวจซึ่งสร้างโดยใช้มอเตอร์กระแสตรงและบังคับการเคลื่อนที่โดยใช้โปรแกรมวิชวลเบสิก (Visual Basic) โดยส่งผ่านตัวรับ-ส่งสัญญาณ 2.4 GHz และที่ตัวรถจะมีกล้องไร้สายติดอยู่เพื่อถ่ายภาพภายในบริเวณที่เราทำการทดลองส่งกลับมายังคอมพิวเตอร์ที่ควบคุม โดยกล้องนี้สามารถหมุนซ้ายหรือหมุนขวาได้ นอกจากนี้ที่ตัวรถจะมีตัวรับสัญญาณจากแอกเซสพอยน์ (Access Point : AP) ทั้ง 4 เครื่องแล้วส่งข้อมูลกลับมายังคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมเพื่อทำการทำนายตำแหน่งโดยนำข้อมูลที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำไปแทนในสมการยูคลิเดียนเพื่อหาค่าระยะห่างยูคลิเดียนที่ต่ำที่สุดเราก็จะทำนายที่ตำแหน่งนั้น จากโปรแกรมทำนายตำแหน่งนี้ทำให้เราสามารถรู้ตำแหน่งของรถสำรวจได้ว่าในขณะนั้นรถสำรวจอยู่ที่บริเวณไหนของห้อง เมื่อเราทราบตำแหน่งของรถสำรวจแล้วเราสามารถบังคับรถให้ไปในตำแหน่งที่เราต้องการสำรวจได้จากโปรแกรมในส่วนที่ใช้ควบคุมรถสำรวจและสามารถบังคับหมุนกล้องเพื่อตรวจสอบว่าตรงบริเวณนั้นมีวัตถุใดอยู่บ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Survey Car guided by WLAN Location Determination System

Mr. Sukumdej Dankul 45010841
Mr. Surasak Rittisin 45010877
Mr. Adirek Pitijomwong 45010900

Assoc.Prof.Dr.Manas Sangworasil (Advisor)

Education Year 2005

Abstract

Survey Car guided by WLAN Location Determination System has a survey car make by DC motor and we control the car from visual basic. We transfer data to control the car by 2.4 GHz RF Module. At the car, it has a wireless camera for take a video in the area where we experiment and send back to the computer control. This camera can turn right and turn left. In the addition, the car has the signal's receiver that receive signal from 4 Access Points and send data back to the computer control for determine location by mean of data. Then we take mean of data in Euclidean distance's equation for search minimum Euclidean distance's error. We'll determine this location. This WLAN Determination Location System let we know location's survey car. Then we can control the car go to the location that we want to survey from control survey car program and can control to turn the camera to check that area have any object.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ รศ.ดร. มนัส สังวรศิลป์ (อาจารย์ที่ปรึกษา) และคุณภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ นักวิจัยของสำนักนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ ที่ให้การอุปการะในการให้คำปรึกษาและแนะนำเกี่ยวกับโครงงานนี้ ให้ยืมใช้เครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ในการทดลองและหนังสือต่างต่างที่เกี่ยวข้อง และสั่งสอนให้ความรู้จนสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานในการทำโครงงานครั้งนี้ ขอบพระคุณพ่อ คุณแม่ ที่คอยให้ความเป็นห่วง และให้กำลังใจพวกเราเสมอมา ทั้งในด้านการทำงานและการเรียน รวมทั้งเพื่อนๆทุกคนที่ให้คำปรึกษากับพวกเราด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	I
Abstract	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	2
2.1 ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN)	2
2.1.1 รูปแบบและการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สาย	3
2.1.2 รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สาย	3
2.1.2.1 Peer-to-peer (Ad hoc mode)	3
2.1.2.2 Client/server (Infrastructure mode)	4
2.1.2.3 Multiple access points and roaming	5
2.1.2.4 Use of an Extension Points	5
2.1.2.5 The Use of Directional Antennas	5
2.2 มาตรฐาน Wireless LANs	6
2.2.1 มาตรฐาน IEEE 802.11	8
2.2.2 มาตรฐาน IEEE 802.11b	8
2.2.3 มาตรฐาน IEEE 802.11a	10
2.2.4 มาตรฐาน IEEE 802.11g	12
2.3 Wireless LANs Technology	13
2.3.1 Narrow band Technology	13
2.3.2 Spread spectrum technology	13
2.3.3 Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)	14
2.3.4 Frequency – Hopping Spread Spectrum (FHSS)	14
2.3.5 Orthogonal frequency division multiplex (OFDM)	15
2.3.6 Infrared Technology	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

2.4 Wireless LANs Adapter and Applications 17
2.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ติดต่อเครือข่ายไร้สาย 17
2.4.1.1 LAN Adapters 17
2.4.1.2 Wireless access point 17
2.4.1.3 Outdoor Wireless bridge 18
2.4.2 การเลือกซื้ออุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย 18
2.5 คุณสมบัติของคลื่นวิทยุ 19
2.5.1 การลดทอนของคลื่น (Attenuation) 19
2.5.2 สิ่งกีดขวางกับผลกระทบต่อการรับสัญญาณคลื่นวิทยุ 20
2.5.3 ความถี่วิทยุกับผลกระทบต่อความแรงของสัญญาณ 21
2.5.4 การสะท้อนและการเดินทางของคลื่นจากหลายทิศทาง 21
2.6 การเลือกตำแหน่งติดตั้งแอ็กเซสพอยน์ 21
2.6.1 เทคนิคการวางแอ็กเซสพอยน์ให้มีพื้นที่ครอบคลุมมากที่สุด 23
2.6.2 การเลือกตำแหน่งติดตั้งในอาคารสำนักงานรูปตัว L 24
2.6.3 อัตราลดทอนสัญญาณวิทยุของสิ่งกีดขวางประเภทต่าง ๆ 26
2.7 ประเภทของการทำนายตำแหน่ง 27
2.7.1 Infrastructure – based 27
2.7.2 Client – Based 27
บทที่ 3 หลักการและขั้นตอนการออกแบบ 29
3.1 กล้องไร้สาย 30
3.2 ตัวรับสัญญาณของกล้องไร้สาย 32
3.3 คอมพิวเตอร์และโปรแกรม 33
3.4 พอร์ตอนุกรม (RS-232) 33
3.5 MAX232 34
3.6 วงจรควบคุมแรงดันไฟตรงคงที่ 5 โวลท์ 34
3.7 วงจรควบคุมแรงดันไฟตรงคงที่ 9 โวลท์ 35
3.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์และไอซีไดรฟ์มอเตอร์ 35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
3.8.1 ไมโครคอนโทรเลอร์ PIC16F628	36
3.8.1.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628	37
3.8.1.2 พอร์ต A	39
3.8.1.3 พอร์ต B	41
3.8.2 ไอซีไดรฟ์มอเตอร์ L298N	45
3.9 ส่วนโปรแกรมการทำงานของ Visual Basic6	50
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	57
4.1 การทดลองโดยใช้โปรแกรม MATLAB	57
4.2 ผลการทดลองจากโปรแกรม MATLAB	58
4.3 การทดลองโปรแกรมทำนายตำแหน่ง	72
4.4 ผลการทดลองโปรแกรมทำนายตำแหน่ง	72
4.5 การทดลองบังคับรถเพื่อทำการหาวัตถุที่ต้องการและส่งผลกลับมาแสดงยังคอมพิวเตอร์	76
4.6 ผลการทดลองบังคับรถเพื่อทำการหาวัตถุที่ต้องการและส่งผลกลับมาแสดงยังคอมพิวเตอร์	77
บทที่ 5 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	83
หนังสืออ้างอิง	84
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การทำงานแบบ Ac hoc mode	4
รูปที่ 2.2 การทำงานแบบ access point	4
รูปที่ 2.3 การทำงานแบบ Multiple access point and roaming	5
รูปที่ 2.4 การทำงาน แบบการใช้ Extension Points	5
รูปที่ 2.5 การทำงานแบบการใช้ Directional Antennas	6
รูปที่ 2.6 การเปรียบเทียบอัตราเร็วกับระยะทางระหว่าง มาตรฐาน 802.11a และ802.11b	11
รูปที่ 2.7 รัศมีการเชื่อมต่อกับ Access Point	18
รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความแรงสัญญาณกับระยะทาง	20
รูปที่ 2.9 การวางแอ็กเซสพอยน์ให้มีสัญญาณกระจายให้ทั่วถึงในออฟฟิศและลดการรั่วไหลของสัญญาณออกไป	24
รูปที่ 2.10 การติดตั้งแอ็กเซสพอยน์ผิดตำแหน่งในออฟฟิศรูปตัว L	25
รูปที่ 2.11 การย้ายตำแหน่งแอ็กเซสพอยน์มาตรงจุดศูนย์กลางของออฟฟิศรูปตัว L ช่วยให้สัญญาณดีขึ้น	25
รูปที่ 3.1 Block diagram แสดงหลักการทำงานของรถสำรวจ	28
รูปที่ 3.2 กล้องวงจรปิดไร้สาย	29
รูปที่ 3.3 ตัวรับสัญญาณวีดีโอจากกล้องวงจรปิดสีแบบไร้สาย	31
รูปที่ 3.4 คอนเนคเตอร์ DB9 Serial Port	32
รูปที่ 3.5 วงจรควบคุมแรงดันไฟตรงคงที่ 5	33
รูปที่ 3.6 วงจรควบคุมแรงดันไฟตรงคงที่ 9 โวลท์	34
รูปที่ 3.7 ไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล PIC16F628	35
รูปที่ 3.8 L298N	44
รูปที่ 3.9 Pin Connection ของ L298N	44
รูปที่ 3.10 Block Diagram วงจรภายใน L298N	45
รูปที่ 3.11 การต่อใช้งาน L298N กับมอเตอร์ชนิด DC	46
รูปที่ 3.12 การต่อเอาท์พุทเพื่อนำไปควบคุม DC มอเตอร์ทั้งสองลูก	47
รูปที่ 3.13 ทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ	48
รูปที่ 3.14 หน้าจอของโปรแกรม Visual Basic	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.1 แสดงการทำนายตำแหน่งเมื่อใช้จำนวนข้อมูล 1 sample 58
รูปที่ 4.2 แสดงการทำนายตำแหน่งเมื่อใช้จำนวนข้อมูล 30 sample 59
รูปที่ 4.3 แสดงการทำนายตำแหน่งเมื่อใช้จำนวนข้อมูล 60 sample 60
รูปที่ 4.4 แสดงการทำนายตำแหน่งเมื่อใช้จำนวนข้อมูล 90 sample 61
รูปที่ 4.5 แสดงการทำนายตำแหน่งเมื่อใช้จำนวนข้อมูล 120 sample 62
รูปที่ 4.6 แสดงการทำนายตำแหน่งเมื่อใช้จำนวนข้อมูล 150 sample 63
รูปที่ 4.7 แสดงการทำนายตำแหน่งเมื่อใช้จำนวนข้อมูล 300 sample 64
รูปที่ 4.8 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 4 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ 65
รูปที่ 4.9 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 45 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ 65
รูปที่ 4.10 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 15 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ 65
รูปที่ 4.11 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 31 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ 65
รูปที่ 4.12 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 82 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ 66
รูปที่ 4.13 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 84 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ 66
รูปที่ 4.14แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 86 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ 66
รูปที่ 4.15 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 97 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ 66
รูปที่ 4.16 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 113 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ 67
รูปที่ 4.17 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 123 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ 67
รูปที่ 4.18 ค่ากำลังงานของสัญญาณแต่ละ AP 68
รูปที่ 4.19 ฮิสโตรแกรมของสัญญาณของ AP ทั้ง 4 68
รูปที่ 4.20 การพยากรณ์ตำแหน่งโดยใช้วิธีการ Euclidean เมื่อจำนวนตัวอย่าง
ของข้อมูลที่ 60 ตัวอย่าง 69
รูปที่ 4.21 ค่า Euclidean เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มจำนวน Sample สูงขึ้น 69
รูปที่ 4.22 ผลของค่าระยะทางผิดพลาดจากการทำนายเมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวน Samples 70
รูปที่ 4.23 ผลการทดลองโดยที่สีน้ำเงินเป็นตำแหน่งจริงและสีแดงเป็น
ตำแหน่งที่โปรแกรมทำนายได้ 72
รูปที่ 4.24 ผลการทดลองโดยที่สีน้ำเงินเป็นตำแหน่งจริงและสีแดงเป็น
ตำแหน่งที่โปรแกรมทำนายได้ 73
รูปที่ 4.25 ผลการทดลองโดยที่สีน้ำเงินเป็นตำแหน่งจริงและสีแดงเป็น
ตำแหน่งที่โปรแกรมทำนายได้ 73

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.26 ผลการทดลองโดยที่สีน้ำเงินเป็นตำแหน่งจริงและสีแดงเป็นตำแหน่งที่โปรแกรมทำนายได้ 74
รูปที่ 4.27 ผลการทดลองโดยที่สีน้ำเงินเป็นตำแหน่งจริงและสีแดงเป็นตำแหน่งที่โปรแกรมทำนายได้ 74
รูปที่ 4.28 ค่าของสัญญาณที่โปรแกรมสามารถรับได้ 75
รูปที่ 4.29 รูปแสดงการทดลองตอนที่ 2 76
รูปที่ 4.30 77
รูปที่ 4.31 78
รูปที่ 4.32 79
รูปที่ 4.33 80
รูปที่ 4.34 81
รูปที่ 4.35 82

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 มาตรฐาน IEEE 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g	7
ตารางที่ 2.2 อัตราการส่งข้อมูลจำเพาะ ของ IEEE 802.11b	9
ตารางที่ 2.3 อัตราการส่งข้อมูลจำเพาะของ IEEE 802.11a	12
ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของคลื่นความถี่วิทยุและแสงอินฟราเรด	16
ตารางที่ 2.5 อัตราการลดทอนของสิ่งกีดขวางประเภทต่างๆ	26
ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของกล้อง	30
ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของตัวรับสัญญาณวีดีโอจากกล้องวงจรปิดสีแบบไร้สาย	31
ตารางที่ 3.3 คำอธิบายขาสัญญาณของพอร์ตอนุกรม	32
ตารางที่ 3.4 ขาของ PIC16F628	35
ตารางที่ 3.5 แสดงการทำงานของมอเตอร์ เมื่อให้อินพุทค่าต่างๆ	46
ตารางที่ 3.6 การป้อนอินพุทเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของรถโดยควบคุม Motor1 และ Motor2	48
ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการทำนายตำแหน่งโดยใช้ MATLAB	71

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ปัจจุบันมีการจัดการแข่งขันมากมายเกี่ยวกับรถสำรวจกู้ภัยต่างๆ โครงงานนี้จึงนำแนวคิดเกี่ยวกับรถสำรวจกู้ภัยนี้มาประยุกต์ใช้ร่วมกับโปรแกรมทำนายตำแหน่งจาก WLAN โครงงานรถสำรวจนำทางด้วยโปรแกรมทำนายตำแหน่งจากเครือข่ายไร้สายเฉพาะบริเวณนี้ ในส่วนของตัวรถสำรวจจะใช้ DC Motor ขับเคลื่อนและควบคุมโดยโปรแกรม Visual Basic และจะมีกล้องไร้สายติดอยู่เพื่อจับภาพสำรวจบริเวณที่รถเคลื่อนที่ไป ส่วนโปรแกรมการทำนายตำแหน่งนั้น จะใช้ค่าความแรงสัญญาณของ Access Point แต่ละตัวที่ตัวรับสัญญาณที่ติดกับตัวรถรับค่ามาได้ ซึ่งค่าความแรงสัญญาณนี้จะถูกส่งกลับมายังคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมเพื่อทำการทำนายตำแหน่งโดยนำข้อมูลที่ได้ไปหาค่าเฉลี่ย จากนั้นนำไปแทนในสมการยูคลิเดียนเพื่อหาค่าระยะห่างยูคลิเดียนที่ต่ำที่สุดเราก็จะทำนายที่ตำแหน่งนั้น และในส่วนของการควบคุมและแสดงผลจะมีอยู่ 3 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนของการควบคุมและแสดงสถานะของรถสำรวจ ส่วนของการแสดงภาพที่กล้องที่ติดอยู่กับรถสำรวจจับภาพได้ และส่วนของแผนที่ที่ใช้แสดงตำแหน่งของรถสำรวจ ในการใช้งานเมื่อเราทราบตำแหน่งของรถสำรวจจากโปรแกรมทำนายตำแหน่งแล้วเราสามารถบังคับรถให้ไปในตำแหน่งที่เราต้องการสำรวจได้จากโปรแกรมในส่วนที่ใช้ควบคุมรถสำรวจและสามารถบังคับหมุนกล้องเพื่อตรวจสอบว่าตรงบริเวณนั้นมีวัตถุใดอยู่บ้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

ปัจจุบันนี้การใช้ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์กำลังเป็นที่นิยมกันอย่างกว้างขวาง ในองค์กรหรือหน่วยงานต่างๆ ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่มีใช้อยู่กันเป็นที่แพร่หลายมีอยู่สองประเภทใหญ่ๆ คือระบบเครือข่ายบริเวณเฉพาะที่ (Local Area Network หรือ LAN) และ ระบบเครือข่ายบริเวณกว้าง (Wide Area Network หรือ WAN) ซึ่งส่วนมากจะนิยมใช้สายเคเบิลแบบ UPS CAT5 (Unshielded Twisted Pair Category 5) ในการเชื่อมโยงคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกัน แต่แนวโน้มในการพัฒนาเทคโนโลยี ทางด้านเครือข่ายเป็นไปอย่างรวดเร็วและไม่หยุดยั้ง และในปัจจุบันได้มีสื่อใหม่ที่เชื่อมโยงคอมพิวเตอร์เข้าด้วยกันโดยไม่ใช้สายเคเบิล หรือที่เรียกกันว่าระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN) เป็นเทคโนโลยีที่กำลังได้รับความนิยมและเป็นเป้าหมายที่น่าสนใจเป็นอย่างมากในยุคนี้

โดยทั่วไปเทคโนโลยีไร้สาย (Wireless Technology) สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภท ได้แก่

1. เครือข่ายไร้สายระยะใกล้หรือเครือข่ายส่วนบุคคล (Short- Range Wireless Network or Personal Area Networks)
2. เครือข่ายไร้สายเฉพาะบริเวณ (Wireless LAN)
3. ระบบไร้สายแบบเข้าถึงประจำที่ (Fixed-Access Wireless System)
4. เครือข่ายไร้สายบริเวณกว้าง (Wireless WAN)

ซึ่งในโครงงานนี้จะใช้เทคโนโลยีการเชื่อมต่อไร้สาย ประเภท เครือข่ายไร้สายเฉพาะบริเวณ (Wireless LAN) โดยจะกล่าวในหัวข้อถัดไป

2.1 ระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN)

ระบบเครือข่ายไร้สาย (WLAN = Wireless Local Area Network) คือ ระบบการสื่อสารข้อมูลที่มีความคล่องตัวมาก ซึ่งอาจจะนำมาใช้ทดแทนหรือเพิ่มต่อกับระบบเครือข่ายแลนใช้สายแบบดั้งเดิม โดยใช้การส่งคลื่นความถี่วิทยุในย่านวิทยุ RF และ คลื่นอินฟราเรด ในการรับและส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่อง ผ่านอากาศ, ทะลุกำแพง, เพดานหรือสิ่งก่อสร้างอื่นๆ โดยปราศจากความต้องการของการเดินสาย นอกจากนั้นระบบเครือข่ายไร้สายก็ยังมีคุณสมบัติครอบคลุมทุกอย่างเหมือนกับระบบ LAN แบบใช้สายที่สำคัญก็คือ การที่มันไม่ต้องใช้สายทำให้การเคลื่อนย้ายการใช้งานทำได้โดยสะดวก ไม่เหมือนระบบ LAN แบบใช้สาย ที่ต้องใช้เวลาและการลงทุนในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งการใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์ปัจจุบันนี้ โลกของเราเป็นยุค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แห่งการติดต่อสื่อสาร เทคโนโลยีต่างๆ เช่นโทรศัพท์มือถือ เป็นสิ่งจำเป็นต่อการดำเนินธุรกิจและการใช้ชีวิตประจำวัน ความต้องการข้อมูลและการบริการต่างๆ มีความจำเป็นสำหรับนักธุรกิจ เทคโนโลยีที่สนองต่อความต้องการเหล่านั้น มีมากมาย เช่น โทรศัพท์มือถือ เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก เครื่องปาล์ม ได้ถูกนำมาใช้เป็นอย่างกว้างขวาง

ประโยชน์ของระบบเครือข่ายไร้สาย

- มีความคล่องตัวสูง ดังนั้นไม่ว่าเราจะเคลื่อนที่ไปที่ไหน หรือเคลื่อนย้ายคอมพิวเตอร์ไปตำแหน่งใด ก็ยังมีการเชื่อมต่อ กับเครือข่ายตลอดเวลา ตราบใดที่ยังอยู่ในระยะการส่งข้อมูล

- สามารถติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว เพราะไม่ต้องเสียเวลาติดตั้งสายเคเบิล และไม่รกรุงรัง

- สามารถขยายระบบเครือข่ายได้ง่าย เพราะเพียงแค่มี พีซีการ์ดมาต่อเข้ากับโน้ตบุ๊ก หรือพีซี ก็เข้าสู่เครือข่ายได้ทันที

- ลดค่าใช้จ่ายโดยรวม ที่ผู้ลงทุนต้องลงทุน ซึ่งมีราคาสูง เพราะในระยะยาวแล้ว ระบบเครือข่ายไร้สายไม่จำเป็นต้องเสียค่าบำรุงรักษา และการขยายเครือข่ายก็ลงทุน
น้อยกว่าเดิมหลายเท่า เนื่องด้วยความง่ายในการติดตั้ง

- เครือข่ายไร้สายทำให้องค์กรสามารถปรับขนาดและความเหมาะสมได้ง่ายไม่ยุ่งยากเพราะสามารถโยกย้ายตำแหน่งการใช้งาน โดยเฉพาะระบบที่มีการเชื่อมระหว่างจุดต่อจุด เช่น
ระหว่างตึก

2.1.1 รูปแบบและการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สาย

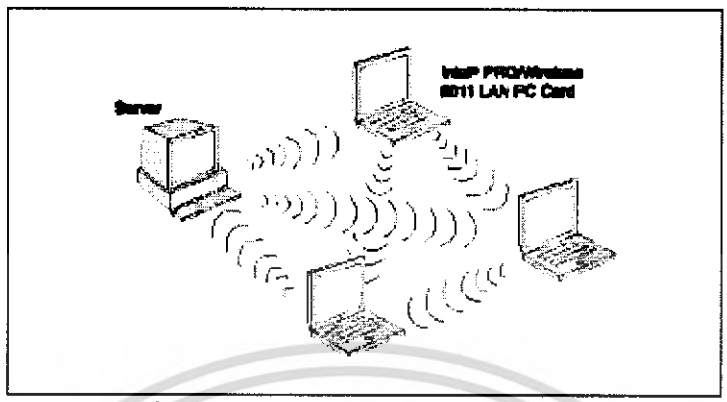
ระบบเครือข่ายไร้สาย เป็นระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ไม่มากนักและมักจำกัดอยู่ในอาคารหลังเดียวหรืออาคารในละแวกเดียวกัน การใช้งานที่น่าสนใจที่สุดของเครือข่ายไร้สายก็คือ ความสะดวกสบายที่ไม่ต้องติดอยู่กับที่ ผู้ใช้สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้โดยที่ยังสื่อสารอยู่ในระบบเครือข่าย

2.1.2 รูปแบบการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายไร้สาย

2.1.2.1 Peer-to-peer (Ad hoc mode)

รูปแบบการเชื่อมต่อระบบแลนไร้สายแบบ Peer to Peer เป็นลักษณะ การเชื่อมต่อแบบโครงข่ายโดยตรงระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ จำนวน 2 เครื่องหรือมากกว่านั้น เป็นการใช้งานร่วมกันของ wireless adapter cards โดยไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับเครือข่ายแบบใช้สายเลย โดยที่เครื่องคอมพิวเตอร์แต่ละเครื่องจะมีความเท่าเทียมกัน สามารถทำงานของตนเองได้และขอใช้บริการเครื่องอื่นได้ เหมาะสำหรับการนำมาใช้งานเพื่อจุดประสงค์ในด้านความรวดเร็วหรือติดตั้งได้โดยง่ายเมื่อไม่มีโครงสร้างพื้นฐานที่จะรองรับ ยกตัวอย่างเช่น ในศูนย์ประชุม, หรือการประชุมที่จัดขึ้นนอกสถานที่

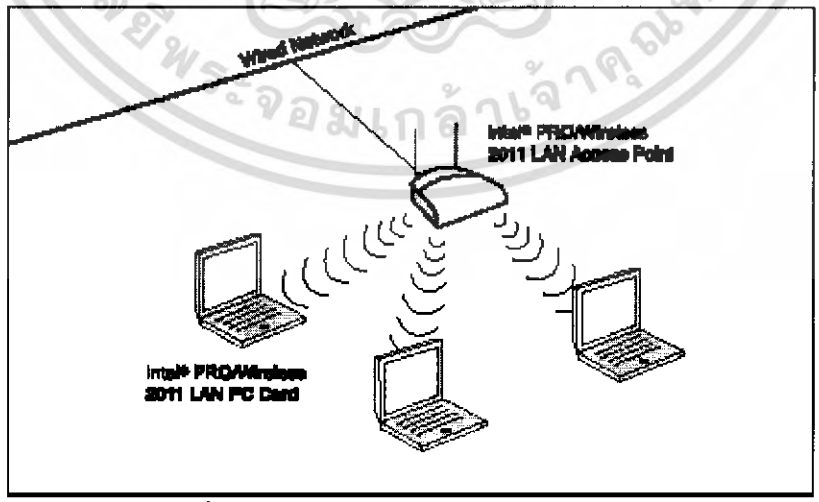
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 แสดงการทำงานแบบ Ac hoc mode

2.1.2.2 Client/server (Infrastructure mode)

ระบบเครือข่ายไร้สายแบบ Client / server หรือ Infrastructure mode เป็นลักษณะการรับส่งข้อมูลโดยอาศัย Access Point (AP) หรือเรียกว่า "Hot spot" ทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมต่อระหว่างระบบเครือข่ายแบบใช้สายกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (client) โดยจะกระจายสัญญาณคลื่นวิทยุเพื่อ รับ-ส่งข้อมูลเป็นรัศมีโดยรอบเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ในรัศมีของ AP จะกลายเป็นเครือข่ายกลุ่มเดียวกันทันที โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ จะสามารถติดต่อกัน หรือติดต่อกับ Server เพื่อแลกเปลี่ยนและค้นหาข้อมูลได้ โดยต้องติดต่อผ่านAP เท่านั้น ซึ่ง AP 1 จุด สามารถให้บริการเครื่องลูกข่ายได้ถึง 15-50 อุปกรณ์ ของเครื่องลูกข่าย เหมาะสำหรับการนำไปขยายเครือข่ายหรือใช้ร่วมกับระบบเครือข่ายแบบใช้สายเดิมในออฟฟิต, ห้องสมุด หรือในห้องประชุม เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้มากขึ้น

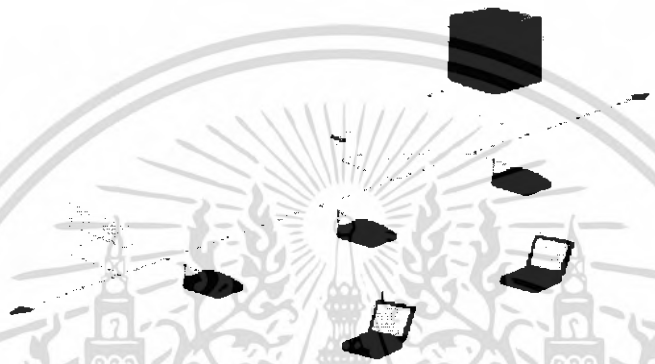


รูปที่ 2.2 แสดงการทำงานแบบ access point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.3 Multiple access points and roaming

โดยทั่วไปแล้ว การเชื่อมต่อสัญญาณระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ กับ Access Point ของเครือข่ายไร้สายจะอยู่ในรัศมีประมาณ 500 ฟุต ภายในอาคาร และ 1000 ฟุต ภายนอกอาคาร หากสถานที่ที่ติดตั้งมีขนาดกว้าง มากๆ เช่นคลังสินค้า บริเวณภายในมหาวิทยาลัย สนามบิน จะต้องมีการเพิ่มจุดการติดตั้ง AP ให้มากขึ้น เพื่อให้การรับ-ส่งสัญญาณในบริเวณของเครือข่ายขนาดใหญ่เป็นไปอย่างครอบคลุมทั่วถึง



รูปที่ 2.3 แสดงการทำงานแบบ Multiple access point and roaming

2.1.2.4 Use of an Extension Points

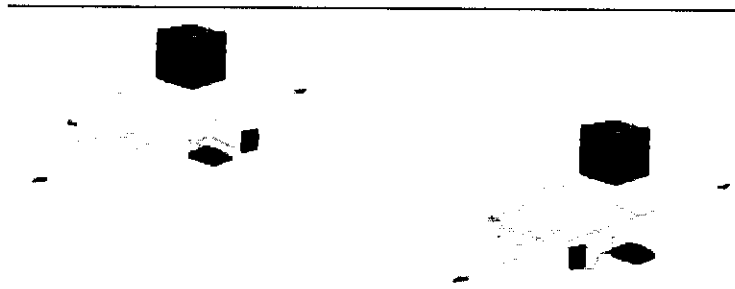
กรณีที่โครงสร้างของสถานที่ติดตั้งเครือข่ายแบบไร้สายมีปัญหาผู้ออกแบบระบบอาจจะใช้ Extension Points ที่มีคุณสมบัติเหมือนกับ Access Point แต่ไม่ต้องผูกติดไว้กับเครือข่ายไร้สาย เป็นส่วนที่ใช้เพิ่มเติมในการรับส่งสัญญาณ

รูปที่ 2.4 แสดงการทำงาน แบบการใช้ Extension Points

2.1.2.5 The Use of Directional Antennas

ระบบแลนไร้สายแบบนี้เป็นแบบใช้เสาอากาศในการรับส่งสัญญาณระหว่างอาคารที่อยู่ห่างกัน โดยการติดตั้งเสาอากาศที่แต่ละอาคาร เพื่อส่งและรับสัญญาณระหว่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 แสดงการทำงานแบบการใช้ Directional Antennas

2.2 มาตรฐาน Wireless LANs

มาตรฐานหลักของระบบเครือข่ายไร้สายและอุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย คือ มาตรฐาน IEEE 802.11 เป็นมาตรฐานระบบเครือข่ายไร้สายที่ถูกกำหนดขึ้นโดย Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE) ซึ่งเป็นองค์กรกำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับการสื่อสารของอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ โดยในส่วนมาตรฐาน IEEE 802.XX นั้นจะเป็นเรื่องเกี่ยวกับการสื่อสารผ่านครือข่าย เช่น IEEE 802.3 ก็คือมาตรฐานของเครือข่ายแบบ Ethernet โดยในส่วนย่อย IEEE 802.11 ก็จะเป็นการสื่อสารกับเครือข่าย แต่เป็นแบบไร้สายนั่นเอง

มาตรฐาน IEEE 802.11 นั้นเริ่มประกาศใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1997 มาตรฐานที่เกิดขึ้นนี้ยังมีข้อจำกัดในด้านเทคโนโลยี ซึ่งกำหนดระบบการส่งสัญญาณด้วยความเร็ว 2 Mbps และได้มีการพัฒนาเรื่อยมา โดยมีส่วนย่อยอยู่ด้วยกันถึง 9 ส่วน คือ a, b, c, d, e, f, g, h และ I โดยแต่ละชนิดนั้นก็จะมีลักษณะหรือมาตรฐานของรายละเอียดต่างกันไป ซึ่งหลังจาก 9 กลุ่มย่อยนี้ พัฒนามาตรฐาน IEEE 802.11 ในด้านต่างๆ จนเสร็จสิ้นแล้ว จึงได้มีการนำเอามาตรฐานที่พัฒนาเสร็จแล้วมานำเสนอและผลิตออกเป็นผลิตภัณฑ์ออกวางจำหน่าย โดยผลิตภัณฑ์ แรกที่ออกวางจำหน่ายเป็นผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาโดยกลุ่มย่อย b จึงทำให้เกิดมาตรฐาน IEEE 802.11b ในปี ค.ศ.1999 ย่านความถี่ที่เริ่มใช้เบื้องต้น คือ 2.4 GHz โดยมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลสูงสุดอยู่ที่ 11 Mbps ได้วางตลาดก่อนผลิตภัณฑ์กลุ่มอื่น จึงเป็นกลุ่มที่มาตรฐานได้รับการยอมรับและเป็นที่รู้จัก มากที่สุดในช่วงนี้ จากนั้นจึงตามด้วยกลุ่ม a ที่ออกความถี่สูงสุดถึง 5 GHz และมีความเร็วสูงสุดถึง 54 Mbps ใน ทั้งนี้ไม่เกี่ยวว่า a จะเก่ากว่า b และ c จะออกมาใหม่ในอนาคตตามตัวอักษร แต่จะขึ้นอยู่กับว่ามาตรฐานของกลุ่มใดทำเสร็จก่อนก็จะออกเปิดตัวก่อนโดยไม่เรียงลำดับตามตัวอักษร

ตารางที่ 2.1 แสดงมาตรฐาน IEEE 802.11, 802.11a, 802.11b, 802.11g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	802.11	802.11a	802.11b	802.11g
Standard Approved เริ่มประกาศใช้	July 1997 กรกฎาคม 2540	September 1999 กันยายน 2542	September 1999 กันยายน 2542	Draft stage.Completion Expected in 2002.
Available Bandwidth แถบความถี่ที่สามารถใช้ได้	83.5MHz	300 MHz	83.5MHz	83.5 MHz
Unlicensed Frequencies of Operation ช่วงความถี่ที่สามารถใช้ได้	2.4-2.4835 GHz DSSS,FHSS	5.15-5.35 GHz,OFDM 5.725-5.825 GHz,OFDM	2.4-2.4835 GHz DSSS	2.4-2.4835 GHz DSSS, OFDM
Number of Non-Overlapping Channels จำนวนช่องสัญญาณที่ไม่ทับซ้อนกัน	3 Indoor/Outdoor	4 Indoor (UNII1) 4 Indoor/Outdoor(UNII2) 4 Indoor/Outdoor(UNII3)	3 Indoor/Outdoor	3 Indoor/Outdoor
Data Rate per Channel อัตราการส่งข้อมูลต่อช่อง	1, 2 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps	1, 2, 5.5, 11 Mbps	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps
Modulation type	DQPSK	BPSK (6, 9 Mbps)	DQPSK/CCK	OFDM/CCK (6,9,12,18,24,36,48,54)
ชนิดของการมอดดูเลชัน	(2 Mbps DSSS) DBPSK (1 Mbps DSSS) 4GFSK (2MbpsFHSS) 2GFSK (1MbpsFHSS)	QPSK (12, 18 Mbps) 16-QAM (24, 36 Mbps) 64-QAM (48, 54 Mbps)	(11, 5.5 Mbps) DQPSK (2 Mbps) DBPSK (1 Mbps)	OFDM (6,9,12,18,24,36,48,54) DQPSK/CCK(22, 33, 11, 5.5) DQPSK (2 Mbps) DBPSK (1 Mbps)
Compatibility ความเข้ากันได้	802.11	Wi-Fi5	Wi-Fi	Wi-Fi at 11MbpsAnd below

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 มาตรฐาน IEEE 802.11

มาตรฐาน IEEE 802.11 เหมือนกับมาตรฐาน IEEE 802.3 Ethernet ซึ่งใช้กับเครือข่าย LAN แบบใช้สาย และ IEEE 802.5 สำหรับเครือข่าย Token Ring ตรงที่ มาตรฐาน IEEE 802.11 จะมุ่งความสนใจไปที่ระดับล่างสุดสองระดับของ ISO model (คือ physical layer และ data link layer) ซึ่งจะทำให้ application, network OS, protocol, รวมทั้ง TCP/IP ใดๆก็ตามสามารถใช้งานบน 802.11 compliant WLANs ได้ง่ายๆเช่นเดียวกับใช้งานบน Ethernet โดยทั่วๆไปมาตรฐาน 802.11 นี้ใช้การส่งสัญญาณแบบคลื่นวิทยุที่ความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นความถี่ ISM (Industrial, Scientific and Medical) band สามารถส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราความเร็ว ค่อนข้างต่ำ คือ 1 และ 2 Mbps เท่านั้น โดยใช้เทคนิคการส่งสัญญาณหลักอยู่ 2 รูปแบบ คือ DSSS (Direct Sequent Spread Spectrum) และ FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) ซึ่งถูกคิดค้นมาจากหน่วยงานทหาร การส่งสัญญาณทั้ง 2 รูปแบบจะใช้ความกว้างของช่องสัญญาณ (bandwidth) ที่มากกว่า การส่งสัญญาณแบบ narrow band แต่ทำให้สัญญาณมีความแรงมากกว่าซึ่งง่ายต่อการตรวจจับมากกว่า แบบ narrow band หน่วยงานทหารใช้วิธีการเหล่านี้ในการปิดกั้นการใช้งานจากอุปกรณ์อื่นๆที่จะมาทำให้ระบบเกิดปัญหา โดยการส่งสัญญาณแบบ FHSS สัญญาณจะกระโดดจากความถี่หนึ่งไปยังอีกความถี่หนึ่งในอัตราที่ได้กำหนดไว้แล้ว ซึ่งจะรู้กันเฉพาะตัวรับกับตัวส่งเท่านั้น ส่วนการส่งสัญญาณแบบ DSSS จะมีการส่ง chipping code ไปกับสัญญาณแต่ละครั้งด้วย ซึ่งจะมีเฉพาะตัวรับกับตัวส่งเท่านั้นที่จะรู้ลำดับของ chip สำหรับการใช้งานระบบเครือข่ายแบบไร้สายทุกวันนี้ DSSS มีคุณสมบัติที่โดดเด่นและให้ throughput ที่มากกว่า เมื่อเร็วๆนี้เองที่ได้มีการพัฒนาจนได้อัตราการส่งข้อมูล 11 Mbps ผ่านการส่งแบบ DSSS และเป็นมาตรฐานที่โดดเด่นของ WLAN ผลิตภัณฑ์ซึ่งรองรับมาตรฐาน 802.11b (อัตราส่งถ่ายข้อมูลสูง 11 Mbps) นี้สามารถทำงานร่วมกับผลิตภัณฑ์ซึ่งทำงานกับมาตรฐาน DSSS แบบเก่า 802.11 (อัตราส่งถ่ายข้อมูล 1 และ 2 Mbps) ได้ แต่ ระบบ FHHS จะถูกใช้กับอุปกรณ์ที่มีกำลังส่งต่ำ, เป็น application ที่ใช้งานในย่านต่ำๆ เช่นโทรศัพท์ไร้สายความถี่ 2.4 GHz แต่จะใช้งานร่วมกับผลิตภัณฑ์ DSSS ไม่ได้

2.2.2 มาตรฐาน IEEE 802.11b

มาตรฐาน IEEE 802.11b ซึ่งเป็นมาตรฐานระบบเครือข่ายไร้สายที่ได้รับการยอมรับมากที่สุดในโลกเพราะมีการเปิดตัวก่อนมาตรฐานอื่นและมีผลิตภัณฑ์ออกวางจำหน่ายแล้วมากและแพร่หลายที่สุดมาตรฐาน IEEE 802.11b นั้นล่าสุดได้รับการตั้งชื่อใหม่ว่า Wi-Fi โดยได้รับการรับรองมาตรฐานและกำหนดรายละเอียดโดยกลุ่ม WECA หรือ wireless Ethernet Compatibility Alliance ที่ประกอบด้วยสมาชิกจากผู้ผลิตในอุตสาหกรรมคอมพิวเตอร์ชื่อดังอย่าง 3com, Cisco Systems, Intersil, Agere Systems, Nokia และSymbol Technologies ซึ่งปัจจุบันก็ยังมีสมาชิกจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บริษัทต่างๆ อีกกว่า 110 บริษัทเข้าร่วมอยู่ในมาตรฐานนี้ สำหรับรายละเอียดด้านคุณสมบัติ ของ IEEE 802.11b จะสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุดที่ 11 Mbps โดยใช้ความถี่คลื่นวิทยุที่ 2.4 GHz ใช้เทคนิคการส่งสัญญาณแบบ DSSS โดยย่านความถี่ที่ใช้เป็น ISM (Industrial, Scientific and Medical) band จากระดับความเร็วที่ค่อนข้างต่ำ คือทำได้เพียง 11 Mbps เท่านั้นเมื่อเทียบกับระบบ LAN แบบมีสาย ที่มาตรฐานปัจจุบัน อยู่ที่ระดับ 100 Mbps และล่าสุดมาตรฐานความเร็ว 1 Gbps กำลังเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้งานมากขึ้นเรื่อย ๆ ก็จะเห็นว่า IEEE 802.11b นั้นค่อนข้างช้ากว่ามาก ไม่เพียงเท่านั้น คลื่นความถี่วิทยุที่ 2.4 GHz ที่ IEEE 802.11b ใช้อยู่นั้นยังมีอุปกรณ์อื่นๆ ร่วมใช้งานอยู่ด้วยหลายชนิด เช่น เตาไมโครเวฟ หรือ โทรศัพท์มือถือ ซึ่งหากมีอุปกรณ์เหล่านี้ทำงานอยู่ใกล้ๆ กับเครือข่าย IEEE 802.11b ก็จะทำให้ความเร็วในการรับส่งข้อมูลช้าลง แต่จุดเด่นก็คือการใช้ความถี่คลื่นวิทยุที่ค่อนข้างต่ำ เพียง 2.4 GHz นั้นทำให้IEEE 802.11b มีระยะทางในการติดต่อระหว่างอุปกรณ์ค่อนข้างไกล ทำให้ชุดเครือข่ายไร้สายแบบ IEEE 802.11b ไม่จำเป็นต้องมีจุดรับส่งสัญญาณ หรือที่เรียกกันว่า Access Point หรือ นะ Hot Spot มากนัก ซึ่งช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายได้ดี

ตารางที่ 2.2 แสดงอัตราการส่งข้อมูลจำเพาะ ของ IEEE 802.11b

Data Rate (Mbps) อัตราการส่งข้อมูล	Code Length ความยาวของรหัส	Modulation ชนิดของ การมอดดูเลต	Symbol Rate (Mbps) อัตรา Symbol	Bits/Symbol
1	11 (Barker sequence) ลำดับของบาร์เกอร์	BPSK	1	1
2	11 (Barker sequence) ลำดับของ บาร์เกอร์	QPSK	1	2
5.5	8(CCK)	QPSK	1.375	4
11	8(CCK)	QPSK	1.375	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 มาตรฐาน IEEE 802.11a

มาตรฐาน IEEE 802.11a นั้นเกิดขึ้นหลังการวางตลาดของมาตรฐาน IEEE 802.11b โดยผลิตภัณฑ์ IEEE 802.11a มีจุดเด่นที่เหนือกว่า IEEE 802.11b ตรงที่ความเร็วในการรับส่งข้อมูลนั้นจะเร็วกว่า คือ ทำได้สูงสุดถึง 54 Mbps และเร็วกว่า IEEE 802.11b ในทุกระยะทาง (ความเร็วของเครือข่ายไร้สายทุกมาตรฐานจะลดลงเมื่อระยะทางมากขึ้น) โดยมีความถี่คลื่นวิทยุอยู่ที่ 5 GHz ซึ่งเป็นย่านความถี่วิทยุ ของ Unlicensed National Information Infrastructure (U-NII) band มีความกว้างของความถี่ทั้งหมด 300 MHz โดยแบ่งเป็น 3 ระดับระดับละ 100 MHz คือ ต่ำ, ปานกลาง และสูง ซึ่งแต่ล่ะระดับมีระดับมีการสามารถใช้งานและกำลังส่งแตกต่างกัน

- ย่านความถี่ระดับต่ำ (low band) ย่านความถี่ที่ทำงานจาก 5.15 ถึง 5.25 GHz กำลังส่งสูงสุด เท่ากับ 50 mW

- ย่านความถี่ระดับปานกลาง (middle band) ย่านความถี่ที่ทำงานจาก 5.25 ถึง 5.35 GHz ด้วยกำลังส่งสูงสุด เท่ากับ 250 mW

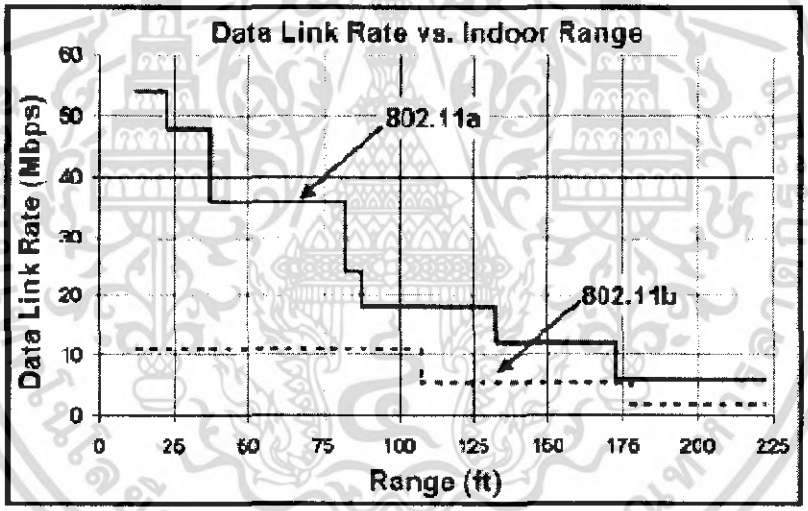
- ย่านความถี่ระดับสูง (high band) ย่านความถี่ที่ทำงานจาก 5.725 ถึง 5.825 GHz ด้วยกำลังส่งสูงสุดเท่ากับ 1000 mW

โดยกำลังส่งที่สูงของเครื่องรับ-ส่งสัญญาณของระบบเครือข่ายไร้สายและช่วงความถี่ 5.8 GHz จะทำให้สามารถส่งสัญญาณติดต่อกัน ระหว่างอาคารหนึ่ง กับอีกอาคารหนึ่งได้ ส่วนการใช้งานภายในอาคารจะใช้งานในย่านความถี่ระดับปานกลางและต่ำ ซึ่งในอเมริกาสามารถใช้งานได้ทั้ง 3 ย่านความถี่ แต่ปัญหาเรื่องของกฎหมายเกี่ยวกับคลื่นความถี่ระดับ 5 GHz ที่ในแถบยุโรปและประเทศญี่ปุ่นมีข้อกำหนด ค่อนข้างเคร่งครัด คือ ในยุโรปกำลังทำข้อตกลงร่วมกันระหว่าง IEEE และ European Telecommunications Standards Institute (ETSI) ส่วนในประเทศญี่ปุ่นอนุญาตให้ใช้ได้เฉพาะ ย่านความถี่ต่ำเท่านั้น

ดังนั้นการใช้งานในย่านความถี่ปานกลางและต่ำ จึงมีความกว้างของสัญญาณรวมกันเท่ากับ 200 MHz สามารถส่งข้อมูลได้ด้วยอัตราเร็วสูงสุดถึง 54 Mbps ได้สำเร็จ โดยใช้หลักการ ส่งสัญญาณความถี่ย่อยโดยอัตราเร็วต่ำๆ พร้อมๆกัน เมื่อนำทั้งหมดมารวมกัน ก็จะสามารถสร้างช่องสัญญาณที่มีอัตราเร็วสูงขึ้นได้ ตามที่ได้รับอนุญาตให้ใช้ช่วงความถี่ดังกล่าว สามารถแบ่งการใช้งานได้ ถึง 8 ช่องสัญญาณโดยไม่ทับซ้อนกัน แต่ละช่องสัญญาณมีความกว้าง เท่ากับ 20 MHz ใช้การมอดูเลชั่นแบบ OFDM (Orthogonal Frequency division Multiplex) ในการส่งสัญญาณ ซึ่งเป็นเทคนิคการส่งสัญญาณแบบแยกส่งเป็นความถี่ย่อย ๆ (Narrow-band subcarriers) และมีความเป็นอิสระต่อกัน แต่ละความถี่ย่อยจะมีความกว้างเท่ากับ 300 KHz จำนวน 52 ช่องสัญญาณความถี่ย่อย สัญญาณความถี่ย่อยจะทำการu3619 รับและส่งข้อมูลโดยส่งไปแบบขนาน ด้านรับสัญญาณจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้รับข้อมูลทั้งหมดพร้อมกัน ซึ่งนั้นก็หมายความว่าข้อมูลที่ส่งจะมีขนาดใหญ่ และต้องการความต่อเนื่องในการส่งสัญญาณ เพราะฉะนั้นเพื่อป้องกัน การสูญหายของข้อมูล (data loss feature) จึงเพิ่ม Forward Error Correction (FEC) เข้าไปใน 802.11a ด้วย ซึ่งจะมีเฉพาะใน 802.11a เท่านั้น (ไม่พบใน 802.11b) อัตราการส่งข้อมูลและระยะทางในการส่งข้อมูลมาตรฐาน 802.11a รองรับอัตราความเร็วของการส่งข้อมูล เท่ากับ 6, 9,12, 18, 24, 36, 48 และ 54 Mbps อัตราความเร็วจะลดลงเองอย่างอัตโนมัติขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่าง Access point กับ เครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย โดยที่ความเร็วสูงสุดที่ 54 Mbps นั้นใช้การมอดูเลชั่นสัญญาณความถี่ย่อย แบบ 64-level Quadrature Amplitude Modulation (64 QAM) คล้ายกันกับ 802.11b ที่ เครื่องลูกข่ายมาตรฐาน 802.11a จะมีอัตราเร็วลดลงเหมือนระยะทางจาก Access Point มากขึ้น แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันแล้ว 802.11a ยังมีความเร็วที่เหนือกว่าในทุกระยะทาง



รูปที่ 2.6 แสดงการเปรียบเทียบอัตราเร็วกับระยะทางระหว่าง มาตรฐาน 802.11a และ802.11b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงอัตราการส่งข้อมูลจำเพาะของ IEEE 802.11a

Data Rate(Mbps) อัตราการส่งข้อมูล	Code Rate (R) อัตราการส่งรหัส	Modulation ชนิดของการมอดดูเลชั่น	Code bits per subcarrier (NBPSC) จำนวนบิตของรหัสต่อ subcarrier	Code bits per OFDM symbol (NCBPS) จำนวนบิตของรหัสต่อ OFDM Symbol	Data bits per OFDM symbol (NDBPS) จำนวนบิตของข้อมูลต่อ OFDM symbol
6	1/2	BPSK	1	48	24
9	3/4	BPSK	1	48	36
12	1/2	QPSK	2	96	48
18	3/4	QPSK	2	96	72
24	1/2	16-QAM	4	192	96
36	3/4	16-QAM	4	192	144
48	2/3	16-QAM	6	288	192
54	3/4	16-QAM	6	288	216

2.2.4 มาตรฐาน IEEE 802.11g

เป็นมาตรฐานที่กำลังอยู่ระหว่างการพัฒนาและคาดว่าจะสามารถวางตลาดได้ในช่วงปลายปี 2002 จุดเด่นของ IEEE 802.11g ก็คือการใช้คลื่นความถี่วิทยุ 2.4 GHz ซึ่งเป็นคลื่นสาธารณะที่ได้รับอนุญาตให้ใช้งานได้โดยไม่ผิดกฎหมาย เหมือนมาตรฐาน IEEE802.11b แต่ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีแบบ OFDM ในการส่งสัญญาณ ทำให้มีความเร็วสูงสุดมากกว่า 20 Mbps เหมือนมาตรฐาน IEEE 802.11a จุดเด่นที่สำคัญของ 802.1 g ก็คือสามารถใช้งานร่วมกับ 802.11b ที่มีอยู่แล้วได้

2.3 Wireless LANs Technology

โดยทั่วไปแล้วระบบเครือข่ายไร้สายจะใช้เทคโนโลยีในการส่งสัญญาณอยู่ 2 ประเภท คือ ประเภทที่ใช้สัญญาณคลื่นความถี่วิทยุซึ่งแบ่งเป็น 2 แบบ คือ Narrow band และ Spread spectrum และประเภทที่ใช้สัญญาณอินฟราเรด ในการติดต่อรับ - ส่ง ข้อมูล โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

2.3.1 Narrow band Technology

ระบบวิทยุแบบความถี่แคบ เป็นการรับ – ส่ง สัญญาณคลื่นวิทยุบนความถี่เฉพาะ โดยคลื่นความถี่ดังกล่าว เป็นที่รู้จักในชื่อของแถบความถี่ ISM (Industrial Scientific / Medical) ที่มีความถี่แบ่งเป็น 3 ช่วง ได้แก่ 902 MHz ถึง 928 MHz, 2.14 MHz ถึง 2.484 และ 5.725 MHz ถึง 5.850 MHz สัญญาณจะมีกำลังต่ำ (โดยทั่วไปประมาณ 1 มิลลิวัตต์) และใช้ในการรับ-ส่ง ข้อมูลระหว่างต้นทางกับปลายทางเพียง 1 คู่เท่านั้น และไม่สามารถส่งสัญญาณข้ามโหนดไปมาได้ การส่งข้อมูลแบบนี้ เปรียบได้กับคู่สายโทรศัพท์ที่สามารถคุยได้เฉพาะต้นทางกับปลายทางแต่ ไม่สามารถคุยพร้อมกันได้ หลายๆ คน

ข้อจำกัดของการใช้สัญญาณแบบนี้ คือจะต้องของอนุญาตจาก FCC (Federal Communication Committee) ซึ่งเป็นหน่วยงานที่กำหนดความถี่ในการใช้สัญญาณคลื่นวิทยุแบบ Narrow band นี้

2.3.2 Spread spectrum technology

ระบบเครือข่ายไร้สายส่วนใหญ่นิยมใช้เทคนิค Spread spectrum technology ซึ่งใช้ความถี่ที่กว้างกว่า Narrow band Technology ซึ่ง Spread Spectrum ก็คือ วิธีการเปลี่ยนแปลงสัญญาณข้อมูลเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ความถี่วิทยุมากเกินความจำเป็น แรกทีเดียวเทคนิคนี้ได้รับการพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ในกิจการทางทหารซึ่งต้องการความเชื่อถือได้ในระดับสูงมากในระหว่างการรบ ข้าศึกอาจใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ดักฟังสัญญาณเพื่อขโมยความลับหรือรบกวนการทำงาน แต่ในระบบนี้การส่งสัญญาณถูกส่งออกไปหลายความถี่พร้อมกันจึงทำให้การดักฟังเป็นไปได้ยากขึ้น รวมทั้งการรบกวนการสื่อสารก็ยากมากขึ้นด้วยเพราะจะต้องค้นหาคลื่นความถี่ทั้งหมดให้ได้ โดยการส่งสัญญาณจะใช้แถบความถี่ ISM ที่ช่วงความถี่ ระหว่าง 902-928 MHz และ 2.4-2.484 GHz เทคนิค Spread Spectrum สามารถแบ่งได้ เป็น 2 แบบ คือ Direct Sequence และ Frequency – Hopping

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)

Direct Sequence Spread Spectrum เป็นเทคนิคที่ยังใช้คลื่นพาหะที่ต้องระบุความถี่ที่ใช้ สามารถส่งข้อมูลได้มากกว่า แบบ narrow band ข้อมูลจะถูกกระจายให้ช่วงความถี่กว้างขึ้น (RF bandwidth) ในรูปแบบของรหัสเฉพาะ รูปแบบของรหัสเฉพาะที่เป็นที่รู้จักกันดีคือ Pseudo-noise Sequence หรือ PN sequence

รูปแบบนี้จะใช้การเข้ารหัสในวิธีพิเศษ โดยการแปลงเลขฐานสองแต่ละบิทในข้อมูลดั้งเดิมที่จะส่งไปให้อยู่ในรูปแบบเลขฐานสองที่มีความยาวเพิ่มมากขึ้น ตัวอย่างเช่น ข้อมูลเลขฐานสอง 1 อาจจะถูกแปลงเป็น 0010010101 และข้อมูล 0 จะถูกแปลงเป็น Inverse ของ 1 คือ 1101101010 แล้วข้อมูลที่แปลงแล้วเหล่านี้จะถูกส่งไปพร้อมๆกัน ในลักษณะขนาน ซึ่งหากผู้รับสามารถจดจำรูปแบบการแปลงข้อมูลได้ก็จะถูกส่งไป โดยที่สัญญาณรบกวนไม่สามารถทำให้ข้อมูลเสียหายไปได้ หรือหากรูปแบบที่ส่งไปเกิดผิดพลาดไปไม่ว่าจะด้วยสาเหตุใดก็ตาม ทางฝ่ายรับก็สามารถที่จะใช้เทคนิคในทางสถิติเพื่อกู้ข้อมูลที่ผิดพลาดไปให้กลับคืนมาได้ วิธีนี้จะใช้ในมาตรฐาน IEEE802.11 และIEEE 802.11b ผู้ผลิตระบบเครือข่ายไร้สายส่วนใหญ่จะเลือกใช้วิธีการนี้เพราะว่าเป็นวิธีที่เหมาะมากกว่าวิธีอื่นในสภาพแวดล้อมที่มีการแทรกสอดรบกวนจากคลื่นวิทยุอื่นๆ อย่างรุนแรง นอกจากนี้ยังเปิดโอกาสให้ผู้ใช้ตัดสินใจได้ว่าจะทำการจัดสรรแถบความถี่ในการส่งข้อมูลอย่างไรบ้าง เช่น อาจจัดแบ่งแถบความถี่เป็นช่วงย่อยหลายช่วงเพื่อใช้ส่งข่าวสารหลายชิ้นไปพร้อมกัน

2.3.4 Frequency – Hopping Spread Spectrum (FHSS)

การส่งสัญญาณรูปแบบนี้จะใช้ความถี่แคบพาหะเพียงความถี่เดียว (narrow band) และจะเปลี่ยนแปลงความถี่(กระโดด)ไปมาอย่างต่อเนื่อง ในลักษณะหรือรูปแบบที่เป็นที่เข้าใจตรงกันระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับสามารถทำงานประสานกันได้แล้ว

วิธีการส่งแบบนี้ป้องกันสัญญาณรบกวนที่เกิดจากความถี่ข้างเคียงได้เป็นอย่างดี เพราะว่าความถี่จะมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยการส่งและรับแต่ละครั้งที่ส่วนหัวของ packet ข้อมูลจะบอก รับก็สามารถที่จะปรับเปลี่ยนไปได้ตลอดเวลาอันจะทำให้เกิดความปลอดภัยของข้อมูลสูงมากขึ้น ผู้ผลิตระบบเครือข่ายเฉพาะที่ไร้สายแบบ Frequency Hopping ให้ความเห็นว่าการส่งข้อมูลวิธีนี้สามารถส่งข้อมูลไปพร้อมๆกันหลายช่องสัญญาณได้ด้วยการกำหนดให้มีรูปแบบของการเปลี่ยนแปลงหลายๆ รูปแบบทำงานไปพร้อมกัน ซึ่งจะทำสามารถใช้ประโยชน์แถบความถี่ได้ดีกว่าและทำให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพสูงกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการตัดสินใจเลือกใช้วิธีใดวิธีหนึ่งนั้น การนำไปใช้งานจะเป็นตัวกำหนดว่า ถ้าคำนึงถึงปัญหาทางด้านประสิทธิภาพและคลื่นรบกวนก็ควรใช้วิธี DSSS ถ้าต้องการใช้อะแดปเตอร์ไร้สายขนาดเล็กและราคาไม่แพงสำหรับเครื่องโน้ตบุ๊ก หรือ เครื่อง PDA ก็ควรเลือกแบบ FHSS

2.3.5 Orthogonal frequency division multiplex (OFDM)

เทคนิคนี้ถูกนำมาใช้ในเพื่อเพิ่มความเร็วในการส่งข้อมูลในมาตรฐาน ใหม่ๆ ของระบบเครือข่ายไร้น3626 สาย คือ IEEE 802.11a และ 802.11g การส่งสัญญาณคลื่นวิทยุแบบนี้ เป็นการมัลติเพล็กสัญญาณ โดยช่องสัญญาณความถี่จะถูกแบ่งออกเป็นความถี่พาหะย่อย (subcarrier) หลายๆความถี่ โดยแต่ละความถี่พาหะย่อยจะตั้งฉากซึ่งกันและกัน ทำให้มันเป็นอิสระต่อกัน ความถี่ที่คลื่นพาหะที่ตั้งฉากกันนั้นทำให้ไม่มีปัญหาการซ้อนทับกันของสัญญาณที่อยู่ติดกัน

OFDM เป็นเทคนิคการมัลติเพล็กโดยการแบ่งความถี่ เมื่อช่องความถี่ถูกแบ่งออกเป็นขนาดเล็กๆ N ช่องแต่ละช่องมีขนาดเท่ากับขนาดของสัญลักษณ์ (bit rate) ดิจิตอล ทางด้านส่งจะมีสัญญาณดิจิตอล ความเร็วสูงที่ถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มข้อมูลย่อยๆ ที่มีความถี่ต่ำกว่า จะถูกมอดูเลตกับสัญญาณพาหะย่อย 1 สัญญาณ และนำสัญญาณทั้งหมดส่งขนานกันออกไป รูปแบบในการมอดูเลตสัญญาณพาหะย่อยที่นิยมทั่วไปได้แก่ QAM, 16 QAM หรือ 64 QAM เป็นต้น ในOFDM กลุ่มของข้อมูลจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปขนานกัน โดยการมอดูเลตกับสัญญาณพาหะย่อย ดังนั้น จะกลายมาเป็นสัญญาณบนแกนความถี่ ซึ่งการแปลงสัญญาณกลับให้อยู่บนแกนเวลาอีกครั้งโดยการแปลงกลับฟาสท์ฟูเรียร์ (IFFT) จากนั้นจะสัญลักษณ์บนแกนเวลาจะถูกมัลติเพล็กเข้าด้วยกันให้เป็นอนุกรมของสัญญาณ แล้วจึงส่งสัญญาณออกไปทางเสาอากาศ

หลังจากการมอดูเลตแบบ OFDM จะมีการสอดแทรกช่วงแถบป้องกันแคบๆ เพื่อลดสัญญาณรบกวนระหว่างสัญลักษณ์ (Inter symbol Interference: ISI) ที่เกิดจากสัญญาณหลายเส้นทาง (multi-path) เราเรียกแถบป้องกันแคบๆนี้ว่า การเสริมไซคริก (cyclic prefix) ส่วนในเครื่องรับจะดำเนินกระบวนการตรงข้ามกับเครื่องส่ง ในเครื่องรับจะใช้การแปลงฟาสท์ฟูเรียร์แปลงสัญญาณที่อยู่บนแกนเวลาไปเป็นแถบความถี่สมมูล

ข้อดีของ OFDM คือสามารถใช้งานแถบความถี่ในระบบที่เคยใช้สัญญาณพาหะเดี่ยวได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ (spectral efficiency), สามารถป้องกันผลกระทบจากการเคลื่อนที่ของสัญญาณหลายเส้นทาง (immunity to muti-path) และมีความไวต่ำต่อการเลื่อนหายไปของความถี่ที่เลือก (less sensitivity to frequency selective fading)

2.3.6 Infrared Technology

ลำแสงอินฟราเรด (Infrared : IR) เป็นส่วนหนึ่งของสเปกตรัมแม่เหล็กไฟฟ้าอยู่ในย่านความถี่ของแสง ที่อยู่ต่ำกว่าแสงสีแดงที่ตาของคนเราจะไม่สามารถมองเห็นลำแสงที่มีความถี่ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นี้ เป็นลำแสงอีกชนิดหนึ่งที่ถูกนำมาใช้เพื่อการสื่อสารที่ใช้ในระยะใกล้ ตัวอย่างของการใช้ลำแสงอินฟราเรดที่พบได้ในชีวิตประจำวันได้แก่ อุปกรณ์ควบคุมระยะไกลแบบไร้สาย (wireless remote control) ที่ใช้ควบคุมเครื่องรับโทรทัศน์ เครื่องเล่นวีดีโอ เครื่องเสียงและอุปกรณ์ไฟฟ้าต่างๆ ในระบบคอมพิวเตอร์ เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์บางชนิดได้ใช้ลำแสงอินฟราเรดเพื่อการติดต่อสื่อสารระหว่างกันแบบจุด ต่อ จุด เช่นคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก เครื่องคอมพิวเตอร์มือถือ (Hand held) หรือเครื่องขนาดฝ่ามือ (palmtop) จะมีพอร์ตอินฟราเรดเพื่อรับส่งข้อมูลออกไปยังเครื่องพิมพ์ ซึ่งเครื่องพิมพ์แบบเลเซอร์สำหรับสำนักงานบางรุ่นจะรับข้อมูลผ่านทางพอร์ตอินฟราเรด

คุณสมบัติเด่นของคลื่นอินฟราเรดและคลื่นสั้น คือเดินทางเป็นแนวตรง ราคาถูก และง่ายต่อการผลิตใช้งาน แต่คลื่นประเภทนี้ไม่สามารถเดินทางผ่านวัตถุหรือสิ่งกีดขวางได้ ซึ่งเป็นข้อดีคือสามารถนำอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นอินฟราเรดมาใช้ในห้องทำงานที่อยู่ติดกันได้แม้ว่าอุปกรณ์ทั้งสองชิ้นนั้นจะใช้ความถี่เดียวกัน ยิ่งกว่านั้นอุปกรณ์ที่ใช้คลื่นอินฟราเรดยังปลอดภัยต่อการถูกลักลอบดักสัญญาณด้วย คุณสมบัติเหล่านี้ทำให้คลื่นอินฟราเรดสามารถนำมาใช้ในการสื่อสารในระบบเครือข่ายเฉพาะบริเวณได้เป็นอย่างดี

ตารางที่ 2.4 เปรียบเทียบคุณสมบัติของคลื่นความถี่วิทยุและแสงอินฟราเรด

	Spread Spectrum	**Infrared**
Frequency ความถี่	902 MHz to 928 MHz 2.4 GHz to 2.4385 GHz 5.725 GHz to 5.825 GHz	3 x 1014 Hz
Maximum coverage ครอบคลุมพื้นที่ส่วนใหญ่	105 to 800 feet, or up 50,000 square feet	30 to 80 feet
Line of sight required ความต้องการเส้นทาง	No	Yes
Transmit power กำลังส่ง	Less than 1 w	N/A
License required ลิขสิทธิ์	No	No
Interbuilding use การใช้ภายในอาคาร	Possible with antenna	Possible
Rated speed (% of 10 Mbps wire) อัตราเร็ว	20% to 50%	50% to100%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

2.4 Wireless LANs Adapter and Applications (เครื่องมือและอุปกรณ์ของเครือข่ายไร้สาย)

2.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ติดต่อเครือข่ายไร้สาย

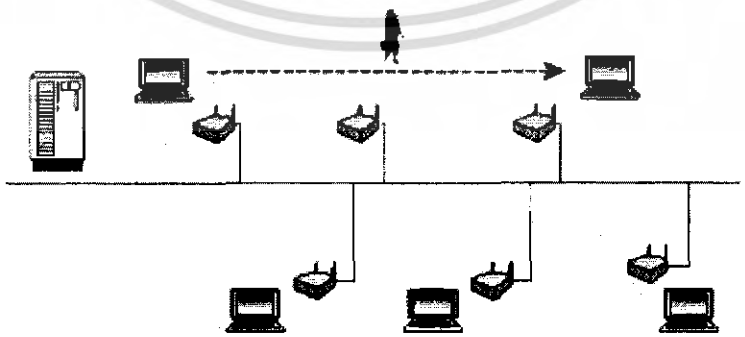
มีอุปกรณ์หลักๆ อยู่ 3 ชนิดเป็นพื้นฐาน

2.4.1.1 LAN Adapters

เป็น adapter แบบไร้สายซึ่งทำหน้าที่พื้นฐานคล้ายๆแบบใช้สายซึ่งมีอินเตอร์เฟสแบบ PCMCIA(Personal Computer Memory Card International Association), PCI Peripheral Component Interconnect Cards), ISA (Industry Standard Architecture Cards), Cardbus และ USB มีหน้าที่ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงโครงข่ายได้ในเครือข่าย LAN แบบใช้สาย, adapter เป็นตัวอินเตอร์เฟสระหว่าง OS ของระบบเครือข่ายและสายสัญญาณ ส่วนในเครือข่าย WLAN จะทำหน้าที่เป็นอินเตอร์เฟสระหว่าง OS ของระบบเครือข่ายกับเสาอากาศ เพื่อจะสร้างการเชื่อมต่อไปยังโครงข่ายอื่นต่อไป

2.4.1.2 Wireless access point

เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่คล้ายกับ ฮับ ของระบบ LAN แบบใช้สาย มันจะรับ, เป็น buffers และส่งข้อมูลระหว่าง WLAN และโครงข่ายแบบใช้สาย สนับสนุนการใช้งานของอุปกรณ์ไร้สายแบบเป็นกลุ่ม ตัว Access Point จะเชื่อมต่อกับ backbone ของโครงข่ายใช้สายผ่านมาตรฐานเคเบิ้ลแบบ Ethernet และสื่อสารกับอุปกรณ์ไร้สายโดยผ่านเสาอากาศ ปกติตัว Access Point จะติดตั้งอยู่ที่กำแพงหรือบนเพดาน เหมือนๆกับ cells ในเครือข่ายโทรศัพท์ไร้สายแบบ cellular เมื่อมี Access Point หลายๆตัวก็จะสามารถใช้งานแบบ hand-off หรือ roaming ได้ (การเคลื่อนที่จากการรับส่งสัญญาณกับ Access Point ตัวหนึ่ง ไปยัง Access Point อีกตัวหนึ่ง)



รูปที่ 2.7 แสดงรัศมีการเชื่อมต่อกับ Access Point

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
73185

รัศมีของการเชื่อมต่อกับ Access Point เราเรียกเป็น microcell มีระยะอยู่ที่ 20 เมตรถึง 500 เมตร และ Access Point หนึ่งตัวสนับสนุนผู้ใช้งานได้ 15 ถึง 250 คน (ขึ้นอยู่กับเทคโนโลยี, การ config และการใช้) มันมีความสามารถในการขยายระบบได้โดยง่าย ซึ่งทำได้โดยการเพิ่ม Access Point เข้าไปซึ่งจะทำให้ลดความคับคั่งของการใช้งานโครงข่ายและเพิ่มรัศมีครอบคลุมการใช้งานมากขึ้น ตัว Access Point สามารถสะกดรอยติดตามผู้ใช้งานผ่านขอบเขตของมันได้ นอกจากนั้นก็ยังยอมรับหรือปฏิเสธการใช้งานของผู้ใช้งานผ่านตัวมันได้

2.4.1.3 Outdoor Wireless bridge

ใช้สำหรับเชื่อมต่อระบบเครือข่าย กับอาคารอื่นๆ เนื่องจากค่าใช้จ่ายในการลากสายไฟเบอร์ออพติค ระหว่างอาคารมีราคาสูง โดยเฉพาะถ้ามีสิ่งก่อสร้างขวางกั้นอยู่ด้วย เช่น ทางด่วนหรือแม่น้ำลำ-คลอง WLAN bridge จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ มันให้อัตรารับส่งข้อมูลสูงและมีรัศมีการรับส่งหลายไมล์แต่ต้องอยู่ในลักษณะระดับสายตา lineof-sight

2.4.2 การเลือกซื้ออุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย

การเลือกอุปกรณ์เครือข่ายไร้สายนั้น ควรพิจารณาคัดเลือกผลิตภัณฑ์จากบริษัทขนาดใหญ่ที่มีมาตรฐานและควรมีชื่อเสียงในด้านนี้โดยเฉพาะ เนื่องจากปัจจุบันมาตรฐานสากลของระบบเครือข่ายไร้สายกำลังอยู่ในระหว่างการดำเนินการเสียเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งตอนนี้มีมาตรฐานให้เลือกเพียง 2 ชนิด คือ IEEE 802.1b ที่เปิดตัวก่อนและวางจำหน่ายทั่วไปแล้วในปัจจุบัน และเป็นที่ยอมรับกันทั่วโลก อีกทั้งยังมีระยะทางในการส่งค่อนข้างไกลเพราะใช้คลื่นความถี่วิทยุไม่ค่อนสูงมาก แต่มีจุดอ่อนอยู่ตรงที่ถูกรบกวนได้ง่าย เพราะคลื่นความถี่ในย่านที่ใช้ มีอุปกรณ์อื่นๆ ร่วมใช้งานอยู่ด้วยมากมาย ซึ่งจะมาคอยรบกวนการรับส่งข้อมูลของระบบได้มาก อีกทั้งยังมีความเร็วค่อนข้างต่ำเพียง 11 Mbps เท่านั้น มาตรฐานที่เป็นทางเลือกที่ดีกว่า เช่น IEEE 802.11a ที่มีจุดเด่นที่ใช้ความถี่ที่ 5 GHz ซึ่งไม่มีอุปกรณ์รบกวนในย่านความถี่นี้ นอกจากนั้นยังมีความเร็วสูงกว่า คือ 54 Mbps ในระยะทางที่เท่าๆกัน อีกด้วย แต่ปัญหาใหญ่ของIEEE 802.11a ก็คือ เรื่องการถูกห้ามใช้งานในยุโรปเนื่องจากคลื่นความถี่ไปอยู่ในช่วงที่กฎหมาย ในยุโรปกำหนดไว้เป็นคลื่นความถี่เฉพาะ ทำให้หากผู้ใช้เลือกใช้เครือข่ายมาตรฐานนี้จะไม่สามารถนำอุปกรณ์ไปใช้งานในยุโรปได้ รวมทั้งในเอเชียบางประเทศ เช่น ญี่ปุ่น ด้วย ทางเลือกใหม่ที่น่าจะเป็นอนาคตที่ดีของเครือข่ายไร้สายก็คือ IEEE 802.11g ที่รวมเอาข้อดี ของมาตรฐานทั้ง2 ไว้ด้วยกันคือ ใช้ความถี่ที่ 2.4 GHz และมีความเร็ว 54 Mbps ซึ่งรอการเปิดตัวอยู่ในขณะนี้ อีกทั้งตอนนี้ยังมีอุปกรณ์แบบ Dual Band กันแล้ว ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่ทำงานได้ทั้ง ความถี่ที่ 2.4 GHz และ ความถี่ที่ 5 GHz เพื่อแก้ปัญหาความเข้ากันไม่ได้ของอุปกรณ์ a และ b ที่มีวางตลาดแล้วในปัจจุบัน ผู้ซื้อจึงต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ โดยเลือกเน้นไปที่จุดเด่นของแต่ละรุ่นเป็นหลัก โดยหากต้องการความเร็วในการรับส่งข้อมูลที่สูง และไม่ต้องกังวล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่องระยะทางในการติดต่อระหว่างแม่ข่ายและลูกข่ายมากนัก และไม่ต้องเน้นการใช้งานในต่างประเทศหรือในยุโรป 802.11a จะเป็นแบบที่เหมาะสม

2.5 คุณสมบัติของคลื่นวิทยุ

คลื่นวิทยุส่วนใหญ่ก็จะมีคุณสมบัติเหมือนกับคลื่นทั่ว ๆ ไป ไม่ว่าจะเป็นคุณคุณสมบัติการแทรกสอดการเลี้ยวเบน การสะท้อน หรือการหักเห คุณสมบัติเหล่านี้คุณเยศึกษามาแล้ว แต่มีคุณสมบัติของคลื่นบางประการที่คุณควรทราบเพิ่มเติมดังต่อไปนี้

2.5.1 การลดทอนของคลื่น (Attenuation)

การแพร่กระจายของคลื่นวิทยุก็คล้ายกับแสงไฟ เมื่อเราอยู่ใกล้กับหลอดไฟก็จะเห็นว่าหลอดไปสว่างจ้าจนแทบจะมองไม่ได้ และเมื่อคุณเดินห่างจากหลอดไฟออกไปก็จะสังเกตเห็นว่าหลอดไฟนี้สว่างลดลง สาเหตุก็เพราะว่าเมื่อลำแสงกระจายออกไป เมื่อคุณอยู่ใกล้ ๆ ก็จะมีลำแสงจำนวนมากกระจายผ่านพื้นทีหนึ่ง ๆ มาก แต่เมื่อห่างออกไปจำนวนลำแสงที่ผ่านพื้นที่วงกลมก็จะลดลง นั่นทำให้ความเข้มของแสงต่อพื้นที่ลดลงด้วย

การแพร่กระจายของคลื่นวิทยุก็มีลักษณะคล้ายกับแสงเช่นกันเพราะคลื่นวิทยุก็เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่งเหมือนกัน ความแรงของสัญญาณวิทยุก็จะลดลงตามระยะห่างจากต้นกำเนิดเป็นอัตราส่วนผกผันกำลังสอง นั่นหมายความว่า ยิ่งคุณอยู่ห่างจากต้นกำเนิดแสงมากเท่าไร ความแรงของสัญญาณก็จะยิ่งลดลงมากเป็นทวีคูณ ตามสมการความเข้มของสัญญาณของ Friis

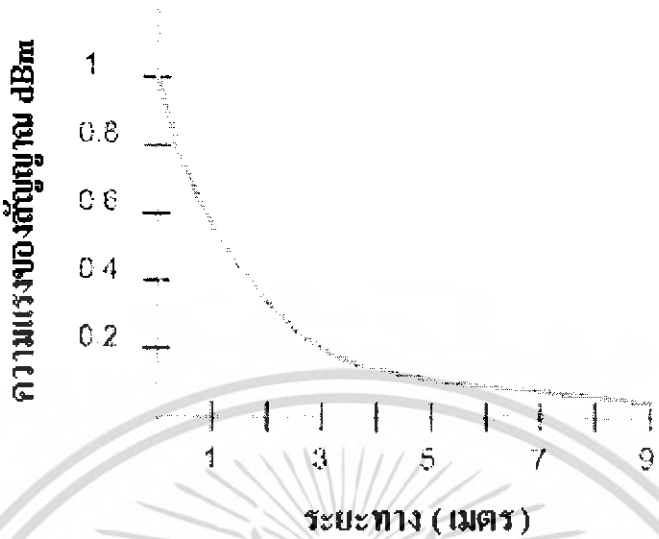
$$P_d = \frac{P_T}{4 \pi d^2}$$

โดย Pr คือความแรงของสัญญาณจากเครื่องส่ง

Pd คือความเข้มของสัญญาณที่เครื่องรับซึ่งห่างจากเครื่องส่งเป็นระยะทาง

d คือระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความแรงสัญญาณกับระยะทาง

จากสมการข้างต้นจะพบว่าความเข้มของสัญญาณจะแปรผกผันในอัตราส่วนของระยะทางกำลังสอง ซึ่งเป็นการลดทอนในห้องทดลองที่เป็นสภาวะสุญญากาศเท่านั้นซึ่งเป็นสภาวะจริงนั้นความแรงของสัญญาณจะลดทอนลงมากขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ ภูมิประเทศ สิ่งกีดขวาง และความถี่ของคลื่นที่ใช้งานอีกด้วย

2.5.2 สิ่งกีดขวางกับผลกระทบต่อการรับสัญญาณคลื่นวิทยุ

ในสภาวะการใช้งานทั่วไป คงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะมีสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นอาคาร ต้นไม้ เสาไฟฟ้า ผนังห้อง หรือกระจก สิ่งเหล่านี้อาจจะมีคุณสมบัติในการลดทอนและการดูดซับคลื่น ซึ่งวัสดุที่มีผลต่อคลื่นวิทยุที่สำคัญก็คือ โลหะ ซึ่งคุณสามารถสังเกตได้ง่าย ๆ ว่าเมื่อคุณอยู่ในลิฟต์ โทรศัพท์มือถือมักจะรับสัญญาณไม่ได้ หรือสายมักจะหลุดบ่อย ประการที่สองก็คือ ผนังคอนกรีตจะมีอัตราการลดทอนสัญญาณสูง เมื่อคลื่นวิทยุปะทะกับผนังคอนกรีดก็จะผ่านไปไม่ได้ ดังจะสังเกตได้จากการเดินเข้าไปในอาคารจอดรถชั้นใต้ดิน ซึ่งมักจะมีผนังคอนกรีตหนา ๆ กันอยู่ วัสดุเหล่านี้จะป้องกันไม่ให้คลื่นผ่านได้ทำให้รับสัญญาณไม่ได้

ลักษณะของสิ่งกีดขวางอีกประการหนึ่งก็คือ การบังคลื่นของสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่ทำให้เกิดเขตเงา (Shadow) โดยเฉพาะอยู่ในเขตอาคารสูงมาก ๆ หรืออาศัยอยู่ในอาคารพาณิชย์หรือตึกแถว อาจจะพบกับปัญหานี้มากขึ้น

2.5.3 ความถี่วิทยุกับผลกระทบต่อความแรงของสัญญาณ

ความถี่ของคลื่นวิทยุมีผลต่ออัตราการลดทอนของคลื่นวิทยุ กล่าวคือ คลื่นความถี่ต่ำๆ จะมีอัตราการลดทอนต่ำกว่าคลื่นที่มีความถี่สูง ๆ ตัวอย่างเช่น คลื่นความถี่วิทยุกระจายเสียง ซึ่งอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในช่วง 100 เมกะเฮิรตซ์ นั้นจะไม่มีผลกระทบต่อฝนหรืออัตราความชื้นในอากาศ ซึ่งต่างจากคลื่นความถี่ของโทรทัศน์ผ่านดาวเทียมที่มีความถี่ประมาณ 10 กิกะเฮิรตซ์ (10,000 เมกะเฮิรตซ์) คลื่นนี้จะไม่สามารถทะลุผ่านฝนได้ ทุกครั้งที่ฝนตกหนักจึงไม่สามารถดูโทรทัศน์ระบบดาวเทียมได้ จะเห็นว่าความถี่สูง ๆ เมื่อเจอกับสิ่งกีดขวางนั้นก็จะถูกลดทอนได้ง่ายกว่า

คลื่นความถี่ที่ใช้ในระบบไวร์เลสแลนนั้นมีความถี่ที่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งความถี่นี้ก็จัดว่าเป็นความถี่ที่สูง มักจะเดินทางได้ไม่ไกล แต่กลับเป็นผลดี เนื่องจากการเดินทางได้ไม่ไกลทำให้คุณสามารถควบคุมระยะทางการแพร่กระจายคลื่นได้ง่ายขึ้น ทำให้ลดปัญหาคลื่นเดินทางไปรบกวนกับเครือข่ายข้างเคียงได้ง่ายขึ้น

2.5.4 การสะท้อนและการเดินทางของคลื่นจากหลายทิศทาง

นอกเหนือจากคุณสมบัติการลดทอนแล้ว คลื่นยังมีคุณสมบัติการสะท้อนจากวัตถุต่าง ๆ ได้ เมื่อส่งสัญญาณวิทยุออกอากาศมา คลื่นก็จะเดินทางมาจากหลายทิศทาง เพราะเกิดจากการสะท้อนจากวัตถุหลาย ๆ อย่างรอบตัวเรา ซึ่งปรากฏการณ์นี้มีทั้งข้อดีและข้อเสีย

ข้อดีก็คือ การสะท้อนของคลื่นจากหลายทิศทางทำให้เราสามารถรับสัญญาณได้ แม้ว่าจะอยู่หลังอาคารสูง ๆ หรือในหุบเขา คลื่นที่เดินทางมาก็จะสะท้อนกับวัตถุรอบกายเราจนเดินทางมาถึงตัวเราได้ โดยไม่จำเป็นว่าต้องอยู่ในระยะสายตากับเครื่องส่งคลื่นวิทยุนั้น แต่บางครั้งก็กลายเป็นข้อเสีย กล่าวคือ การเดินทางของคลื่นที่มาจากหลายทิศทาง ทำให้คลื่นเดินทางมายังปลายทางซ้ำและเร็วไม่เท่ากันทำให้รูปร่างสัญญาณที่มาถึงยังเครื่องรับมีรูปร่างผิดเพี้ยนไปเครื่องรับก็จะรับสัญญาณได้ไม่ชัดเจนนี่เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องรับมากที่สุด ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดก็คือ เมื่อตั้งเครื่องรับวิทยุไว้บางจุดก็จะรับสัญญาณไม่ชัด แต่เมื่อเปลี่ยนที่ตั้งก็จะรับสัญญาณได้ชัดเจนขึ้น

2.6 การเลือกตำแหน่งติดตั้งแอ็กเซสพอยน์

การเลือกตำแหน่งการติดตั้งแอ็กเซสพอยน์นั้นมีความสำคัญมาก เป็นตัวแปรหลักที่จะบอกว่าบริเวณใดในสำนักงาน จะใช้เครือข่ายไวร์เลสแลนได้หรือไม่ นั่นก็เป็นเพราะคลื่นที่ใช้ในระบบไวร์เลสแลน อยู่ในย่านไมโครเวฟที่มีอัตราการลดทอนค่อนข้างสูงเมื่อเจอกับสิ่งกีดขวาง การเลือกตำแหน่งติดตั้งที่ถูกต้องจะช่วยให้สัญญาณวิทยุเดินทางได้ไกลออกไป โดยมีหลักการง่าย ๆ คือ ตำแหน่งที่ติดตั้งของแอ็กเซสพอยน์ควรจะเป็นจุดที่อยู่ในระยะสายตาของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการใช้ระบบไวร์เลสแลน

การที่แอ็กเซสพอยน์อยู่ในระยะสายตานั้นหมายความว่าคลื่นสามารถเดินทางได้ตรงจากแอ็กเซสพอยน์มายังไวร์เลสแลนการ์ดในเครื่องของคุณได้โดยไม่ปะทะกับสิ่งกีดขวางก่อน ซึ่งส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใหญ่จะเป็นตำแหน่งที่สูงกว่าขึ้นไป โดยทั่วไปแล้วจะมีลักษณะการติดตั้งแอ็กเซสพอยน์ไว้ในตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้ต่อไปนี้

1.ติดตั้งแอ็กเซสพอยน์ห้อยไว้กับเพดาน วิธีนี้จะค่อนข้างวุ่นวายเพราะต้องเดินสายไฟไปเลี้ยงแอ็กเซสพอยน์นี้ และหม้อแปลงไฟฟ้าของแอ็กเซสพอยน์ก็มีน้ำหนักทำให้ยึดติดเพดานลำบาก หากคุณติดตั้งแอ็กเซสพอยน์บนเพดานนี้ก็ควรหาอุปกรณ์เสริมยึดติดแอ็กเซสพอยน์และหม้อแปลงไฟฟ้ากับเพดานเมื่อป้องกันไม่ให้อุปกรณ์หล่นลงมา ข้อดีของการติดตั้งแอ็กเซสพอยน์บนเพดานก็คือ จุดนี้จะเป็นจุดศูนย์กลางของออฟฟิศและไม่ให้วัตถุใดมาบังสัญญาณ เป็นวิธีที่ควรเลือกใช้เป็นวิธีแรก

2.ติดตั้งแอ็กเซสพอยน์ไว้ข้างฝาผนัง ถ้าจะให้ติดตั้งแอ็กเซสพอยน์ห้อยไว้กับเพดานนั้นจะยากเพราะเพดานมีทั้งแบบเป็นซีเมนต์ ทำให้การเจาะยึดอุปกรณ์ทำได้ลำบากหรือจะเป็นแบบทีบาร์ที่อยู่ในออฟฟิศทั่วไปซึ่งรับน้ำหนักได้ไม่มาก การติดตั้งไว้กับฝากผนังจึงเป็นทางออกที่ดีกว่าเพราะจะสะดวกกับการเจาะยึดอุปกรณ์กว่าฝ้าเพดาน ติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าง่ายกว่าไม่ต้องกังวลว่าอุปกรณ์จะหล่นลงมา แต่ก็มีข้อเสียคือ ผนังจะเป็นตัวบังสัญญาณวิทยุทำให้คลื่นเดินทางได้ไม่ไกล ยิ่งเป็นผนังปูนก็จะอัตราลดทอนมาก และจุดที่เป็นผนังส่วนใหญ่จะไม่ใช่จุดศูนย์กลางของออฟฟิศด้วย หากคุณติดตั้งแอ็กเซสพอยน์ที่ฝาผนังและด้านหลังเป็นออฟฟิศของเพื่อนบ้านก็จะทำให้คลื่นทะลุผ่านผนังนี้ไปยังออฟฟิศข้างเคียงได้ง่ายขึ้น

3.ติดตั้งบนตู้หรือโต๊ะ เป็นวิธีที่ง่ายที่สุด เหมาะสำหรับออฟฟิศขนาดเล็ก ๆ เท่านั้น ด้วยความสะดวกในการติดตั้งนี้เองอาจจะทำให้เกิดปัญหาไปสะดุดปลั๊กไฟ ทำให้อุปกรณ์หยุดทำงานโดยที่คุณไม่รู้ตัว หรือจะเป็นปัญหาแอ็กเซสพอยน์ถูกขโมยได้ง่าย ๆ ในกรณีที่มีผู้คนแปลกหน้าเดินผ่านบริเวณนี้บ่อยครั้ง นี่ก็เป็นปัญหาประการหนึ่งเท่านั้น แต่ปัญหาที่สำคัญ คือ ตำแหน่งบนโต๊ะหรือบนตู้ไม่ใช่จุดที่อยู่ในระยะสายตาจากอุปกรณ์ไวร์เลสอื่น ๆ มักจะมีสิ่งกีดขวางมาบังสัญญาณ ดังนั้น ในการติดตั้งก็ควรเลือกจุดที่เหมาะสมด้วย

นอกจากการเลือกตำแหน่งจุดศูนย์กลางของแอ็กเซสพอยน์ในออฟฟิศแล้ว สิ่งที่คุณควรคำนึงถึงอีกประการหนึ่งก็คือ บริเวณที่มักจะมีการใช้งานของผู้ใช้เครือข่ายไร้สาย ตัวอย่างเช่น คุณติดตั้งแอ็กเซสพอยน์ไว้กลางออฟฟิศก็จริง แต่บริเวณนั้นห่างจากห้องประชุมที่มีผู้นำโน้ตบุ๊คไปใช้งาน และผู้ใช้มักจะบ่นว่าสัญญาณไม่ดี หลุดๆ ติดๆ บ่อยครั้ง นี่ก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่คุณควรคำนึงถึงเหมือนกัน เพราะการติดตั้งแอ็กเซสพอยน์ไว้ใกล้กับจุดที่มีผู้ใช้จำนวนมาก ๆ จะทำให้สัญญาณดีและยังมีความเร็วในการใช้งานสูงอีกด้วย

สำหรับการใช้งานตามบ้านทั่วไป หากเป็นบ้านไม้ 2 ชั้นก็ไม่ค่อยมีปัญหาอะไร แต่ถ้าเป็นตึกแถวทาวน์เฮาส์ที่มีหลายชั้นนั้นค่อนข้างจะมีปัญหา เพราะสัญญาณเดินทางไปไม่ถึงทุก ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

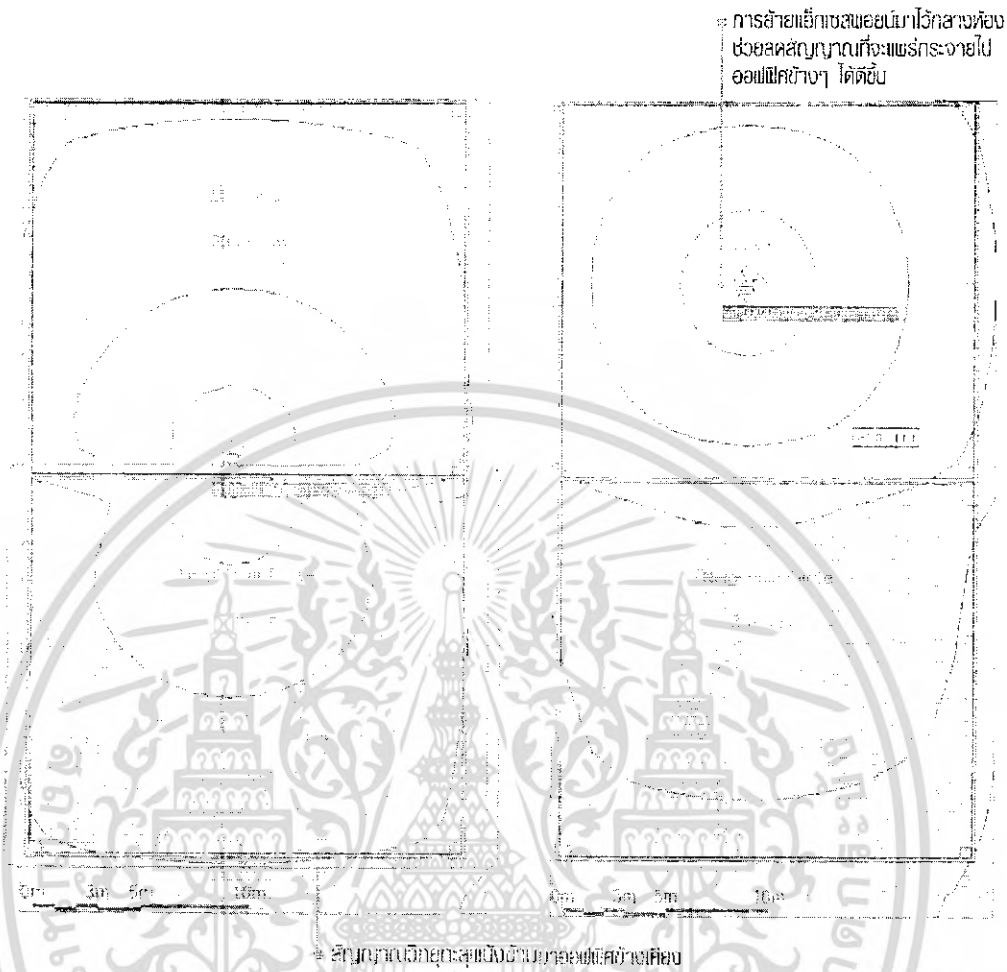
ชั้น ตัวอย่างเช่น การติดตั้งไว้ชั้นแรก อาจจะทำให้ขั้นที่ 3 สัญญาณอ่อนมากขนทำงานไม่ได้ ทางเลี่ยงก็คือ การติดตั้งแอ็กเซสพอยน์นี้ไว้ในบริเวณใกล้กับช่องบันได จะทำให้สัญญาณเดินทางได้ดีกว่าบริเวณที่ติดตั้งจะต้องใกล้กับบริเวณที่ใช้งานบ่อย ๆ หากใช้งานที่ชั้นหนึ่งมากก็ให้ติดใกล้ช่องบันไดชั้นที่ 1 ซึ่งหลังจากติดตั้งคุณก็ควรสำรวจพื้นที่ให้บริหารเพื่อให้แน่ใจว่าเราใช้งานได้ดีไม่มีปัญหาแม้ว่าในบริเวณนั้นจะมีลักษณะเป็นจุดอับทึบก็ตาม

2.6.1 เทคนิคการวางแอ็กเซสพอยน์ให้มีพื้นที่ครอบคลุมมากที่สุด

แอ็กเซสพอยน์ส่วนใหญ่จะใช้เสาอากาศแบบรอบทิศทาง (Omni Directional Antenna) ทำให้สัญญาณที่แพร่กระจายออกจากเสาอากาศที่รูปร่างคล้ายวงกลม และจะมีความแรงลดลงเมื่อระยะห่างจากจุดศูนย์กลางออกไป หากคุณต้องการให้แอ็กเซสพอยน์มีพื้นที่ครอบคลุมมากที่สุดก็ควรวางแอ็กเซสพอยน์ไว้ตรงจุดศูนย์กลางของทุก ๆ จุดที่ใช้งาน เพราะสัญญาณจะเดินทางไปยังจุดต่าง ๆ ได้ดียิ่งขึ้น ลดโอกาสที่จะเกิดจุดอับสัญญาณได้

การย้ายตำแหน่งที่ติดตั้งแอ็กเซสพอยน์จากผนังมาไว้ที่เพดานกลางห้องจะช่วยให้สัญญาณแพร่กระจายในออฟฟิศของเราสม่ำเสมอยิ่งขึ้น และยังช่วยลดคลื่นวิทยุที่แพร่กระจายออกไปยังออฟฟิศข้างเคียงได้อีกด้วย และหากว่าสัญญาณที่รั่วไหลออกไปยังออ ฟฟิศข้าง ๆ มีระดับต่ำจนอุปกรณ์ไวร์เลสนั้นทำงานไม่ได้จะช่วยให้เครือข่ายไวร์เลสของเราปลอดภัยจากการลักลอบใช้ได้อีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

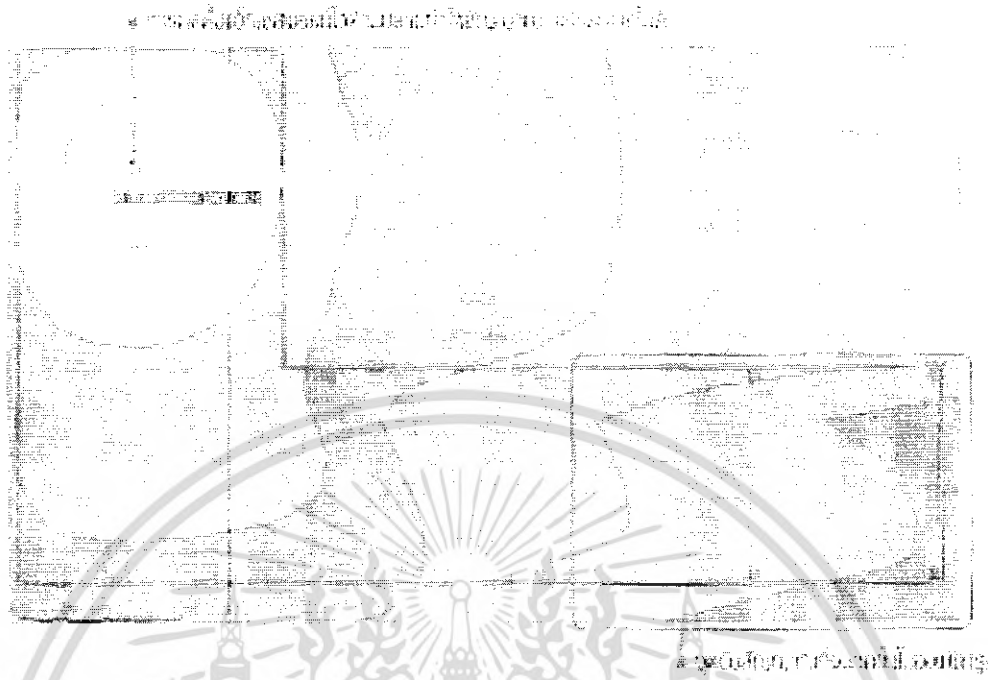


รูปที่ 2.9 การวางแอ็กเซสพอยน์ให้มีสัญญาณกระจายให้ทั่วถึงในออฟฟิศและลดการรั่วไหลของสัญญาณออกไป

2.6.2 การเลือกตำแหน่งติดตั้งในอาคารสำนักงานรูปตัว L

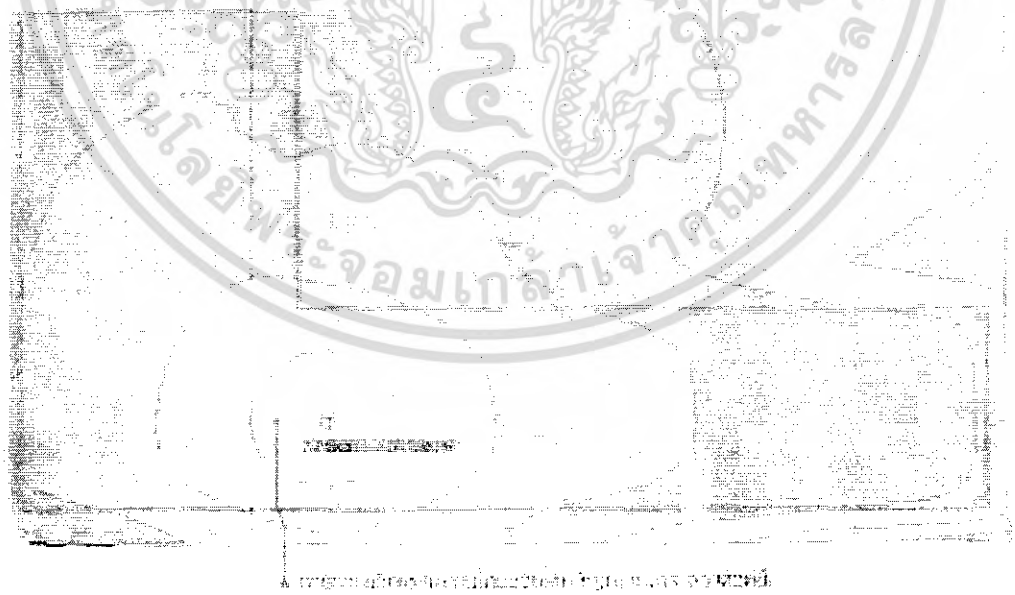
อาคารสำนักงานรูปตัว L ที่มีด้านยาวที่สุดมากกว่า 20 เมตร ส่วนใหญ่ก็จะเกิดปัญหาจุดบอดของสัญญาณในทันที เมื่อคุณติดตั้งแอ็กเซสพอยน์ไว้ชิดด้านใดด้านหนึ่งของรูปตัว L สัญญาณอีกฝั่งหนึ่งก็จะอ่อนลงในปลายฝั่งตรงข้ามกลายเป็นจุดบอดสัญญาณ เนื่องจากสัญญาณที่กระจายออกมาจากแอ็กเซสพอยน์จะถูกลดทอนด้วยผนังด้านหนึ่ง ทำให้สัญญาณอ่อนกำลังลงมาก เมื่อมาถึงปลายห้องอีกด้านหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 การติดตั้งแอ็กเซสพอยน์ผิดตำแหน่งในออฟฟิศรูปตัว L ทำให้สัญญาณแพร่กระจายไม่ดี

การแก้ไขปัญหานี้ทำได้โดยการย้ายตแหน่งติดตั้งแอ็กเซสพอยน์ มาอยู่ตรงจุดศูนย์กลางระหว่างสองด้านของแขนทั้งปีกทั้งสองด้านของรูปตัว L วิธีนี้จะช่วยให้แอ็กเซสพอยน์อยู่ตรงจุดศูนย์กลางของออฟฟิศนี่ก็คือ หลักการที่เรากล่าวมาเบื้องต้นเรื่องการวางแอ็กเซสพอยน์ หลังจากย้ายตำแหน่งคุณจะเห็นว่าสัญญาณมีการแพร่กระจายได้ดีขึ้น



รูปที่ 2.11 การย้ายตำแหน่งแอ็กเซสพอยน์มาตรงจุดศูนย์กลางของออฟฟิศรูปตัว L ช่วยให้สัญญาณดีขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.3 อัตราลดทอนสัญญาณวิทยุของสิ่งกีดขวางประเภทต่าง ๆ

ในการติดตั้งแอ็กเซสพอยน์ในจุดต่าง ๆ ต้องคำนึงถึงเรื่องอัตราลดทอนของสัญญาณของสิ่งกีดขวางประเภทต่าง ๆ เช่น คุณติดตั้งแอ็กเซสพอยน์ไว้หน้าประตูเหล็กกันไฟ คุณก็ต้องทราบว่าตำแหน่งนี้คลื่นวิทยุมีอัตราการลดทอนสูง ไม่สามารถทะลุผ่านประตูนี้ไปได้ หรือการติดตั้งแอ็กเซสพอยน์ในอาคารสำนักงานที่ใช้ผนังยิปซัมกั้นห้องคลื่นจะสามารถเดินทางไปได้ไกลกว่าอาคารที่ใช้อิฐกั้นห้อง ซึ่งอัตราการลดทอนทั้งหมดนี้สามารถสรุปออกมาเป็นตารางได้ดังต่อไปนี

ตารางที่ 2.5

ประเภทสิ่งกีดขวาง	อัตราการลดทอน	ตัวอย่าง
พื้นที่โล่ง	ต่ำมาก	ห้องโถง สนามหญ้า
ไม้	ต่ำ	ผนังไม้ ประตู พื้นไม้
พลาสติก	ต่ำ	พาร์ติชันพลาสติก ประตูพลาสติก
อิฐเบา ผนังยิปซัม	ต่ำ	อิฐเบา ผนังยิปซัม
แก้ว กระจก	ต่ำ	ประตูแก้ว หน้าต่างแก้ว
กระจกนิรภัย	ปานกลาง	กระจกนิรภัย
ร่างกายมนุษย์	ปานกลาง	กลุ่มคนจำนวนมาก
น้ำ	ปานกลาง	ตู้ปลา
อิฐแดง	ปานกลาง	ผนังห้อง
หินอ่อน	ปานกลาง	พื้น ผนัง ป้าย
กระดาษ	สูง	กองกระดาษ กองหนังสือ
คอนกรีต	สูง	ผนังห้อง เสา
กระจกกันกระสุน	สูง	กระจกกันกระสุน
โลหะ	สูงมาก	โต๊ะเหล็ก ช่องลิฟต์
กระจกเงา	สูงมาก	กระจกเงา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ประเภทของการทำนายตำแหน่ง

การทำนายตำแหน่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ คือ

2.7.1 Infrastructure – based เป็นวิธีที่ต้องใช้ฮาร์ดแวร์ที่เรียกว่าสนิฟเฟอร์ (Sniffer) เพิ่มด้วย ซึ่งฮาร์ดแวร์ตัวนี้จะสามารถเป็นได้ทั้งตัวรับสัญญาณและตัวส่งสัญญาณไม่เหมือนกับตัว Wireless LAN โดยวิธีการทำนายด้วยวิธีนี้จะมีส่วนที่เป็นเซิฟเวอร์อยู่ทำหน้าที่รับข้อมูลจากเครือข่ายทั้งหมดแล้วสามารถแสดงข้อมูลของแต่ละตัวทางหน้าจอได้

2.7.2 Client – Based แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ

- Probabilistic Approach เป็นวิธีที่ทำนายโดยการหาความน่าจะเป็นของแต่ละตำแหน่งแล้วดูว่าตำแหน่งไหนมีความน่าจะเป็นใกล้เคียง 1 มากที่สุดก็จะทำนายที่ตำแหน่งนั้น โดยจะต้องทำการเก็บฐานข้อมูลไว้ก่อน

- Deterministic Approach เป็นวิธีทำนายโดยต้องทำการเก็บฐานข้อมูลของแต่ละตำแหน่งไว้ก่อน ในส่วนของการทำนายตำแหน่งเมื่อรับสัญญาณจากแอคเซสพอยต์เข้ามาจะนำไปแทนค่าในสมการยูคลิเดียนซึ่งจะต้องแทนค่ากับฐานข้อมูลทุกค่าแล้วเปรียบเทียบว่าตำแหน่งไหนมีค่าผิดพลาดจากสมการน้อยที่สุดจะตัดสินใจทำนายที่ตำแหน่งนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างการคำนวณของโปรแกรมการทำนายตำแหน่ง โดยเราสมมติให้ค่า database (ss) ของแต่ละจุดเป็นดังตารางข้างล่าง หลังจากนั้นสมมติว่าค่าของความแรงของสัญญาณที่ตำแหน่งที่เราต้องการทำนายเป็นไปตามค่าที่เรากำหนดให้ ($\hat{ss}$) แล้วนำค่า offline phase กับค่า online phase เข้าไปแทนในสมการยูคลิเดียนก็จะได้ค่าดังแสดงในอีกตารางหนึ่งซึ่งจะได้ค่าออกมาทั้งหมด 4 ค่า เราจะเห็นว่าในจุดที่ 1 มีค่าความผิดพลาดจากสมการยูคลิเดียนน้อยที่สุดเราก็จะทำนายตรงตำแหน่งนั้น

L	ความแรงของสัญญาณ (RSSI)			
	ss1	ss2	ss3	ss4
1	-60	-35	-53	-62
2	-65	-40	-58	-58
3	-70	-45	-49	-51
4	-75	-50	-60	-65

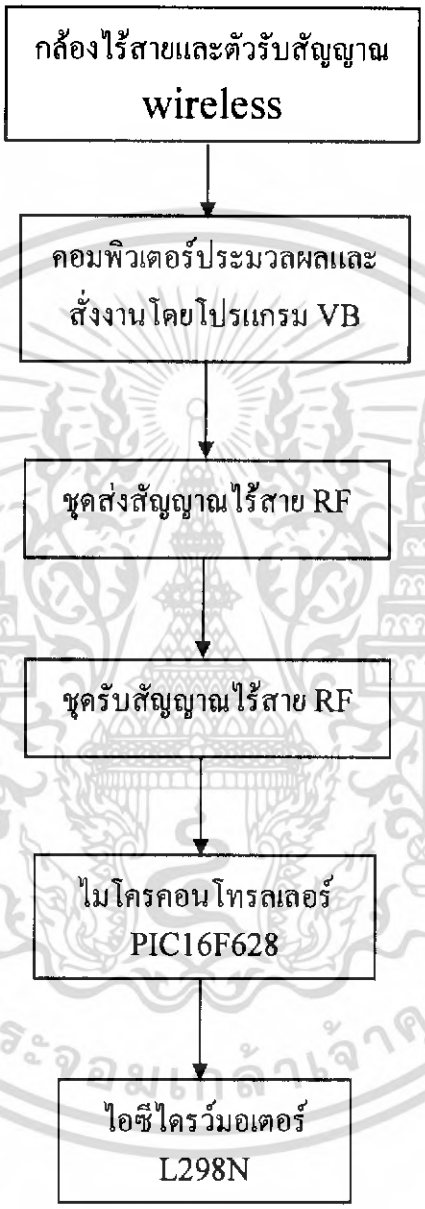
กำหนดให้ $\hat{SS}_1 = -56$ $\hat{SS}_2 = -42$ $\hat{SS}_3 = -48$ $\hat{SS}_4 = -60$

นำไปแทนค่าในสมการยูคลิเดียนเทียบกับตารางข้างบนทุกค่า จะได้ค่าดังตารางข้างล่างนี้

L	EL
1	**9.69**
2	13.74
3	18.08
4	24.37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
หลักการและขั้นตอนการออกแบบ



รูปที่ 3.1 Block diagram แสดงหลักการทำงานของรถสำรวจ

ในรูปที่ 3.1 เป็น Block diagram แสดงหลักการทำงานของรถสำรวจ โดยเริ่มจากกล้องไร้สายซึ่งติดตั้งอยู่บนตัวรถรับภาพของวัตถุจากนั้นส่งภาพที่ได้ไปยังคอมพิวเตอร์โดยตัวรับสัญญาณกล้องไร้สาย ซึ่งโปรแกรม VB จะนำภาพที่ได้มาประมวลผลตามอัลกอริทึมของโปรแกรมเพื่อสั่งการให้รถเคลื่อนที่ตามวัตถุ และจะมีตัวรับสัญญาณ wireless ส่งค่ากลับมายังโปรแกรม VB เพื่อทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำมาทำนายตำแหน่งเพื่อตรวจสอบว่ารถสำรวจอยู่ตรงตำแหน่งไหน จากนั้นส่งคำสั่งเพื่อบังคับรถไปทางชุดส่งสัญญาณ RF ไร้สาย เมื่อตัวรับสัญญาณ RF ไร้สายได้รับข้อมูลแล้ว ไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628 ก็จะนำคำสั่งที่ได้มาประมวลผลอีกทีเพื่อทำการส่งค่าลอจิกไปที่อินพุทของไอซีไดรว์มอเตอร์ เพื่อให้ไอซีขับกระแสไปขับเคลื่อนล้อให้เป็นไปตามคำสั่งของโปรแกรม

3.1 กล้องไร้สาย

LYD208CV (Wireless)

รูปที่ 3.2 กล้องวงจรปิดไร้สาย

กล้องไร้สาย จะติดตั้งอยู่บนตัวหุ่นยนต์รถ และรับภาพวัตถุ จากนั้นจะส่งภาพที่ได้ให้แก่คอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลโดยโปรแกรม VB โดยจะมีตัวรับสัญญาณไร้สายทำหน้าที่รับสัญญาณภาพ และทำงานร่วมกับ card capture ตารางด้านล่างแสดงคุณสมบัติของกล้องไร้สาย

ตารางที่ 3.1 คุณสมบัติของกล้อง

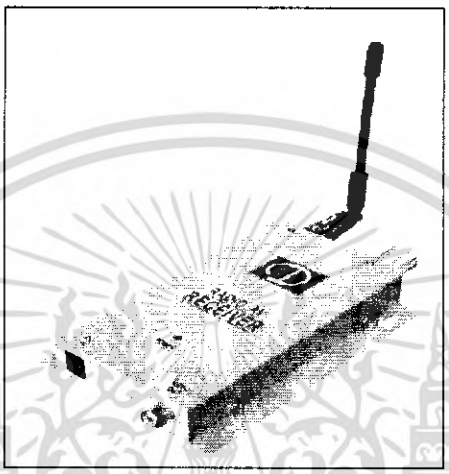
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	PAL	NTSC
Picture sensor :	1/3"	1/4"
System :	PAL/CCIR	NTSC/EIA
Effective pixel :	628 × 582	510×492
Picture region :	5.78×4.19mm	4.69×3.45mm
Horizontal shRPNESS :	380 lines	380 lines
Scan frequency :	50Hz	60Hz
Output level :	300mW	50mW
Output frequency :	0.9GHz	1.2GHz
Straight transmission distance:	300-500 Meters	50-100 Meters
Minimum luminance :	3 LUX	
Sensitivity :	+18/db-AGL , ON-OFF	
Frequency control:	Extremely high frequency stability because of the frequency phaselocking loop control	
Transmission sight:	Picture and voice	
Voltage :	DC+8V	
Current :	200mA	
Power consumption :	640mW	
Dimensions :	25×35×15 mm	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ตัวรับสัญญาณของกล้องไร้สาย

RC100 Manual-modulated receiver



รูปที่ 3.3 ตัวรับสัญญาณวีดีโอจากกล้องวงจรปิดสีแบบไร้สาย

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของตัวรับสัญญาณวีดีโอจากกล้องวงจรปิดสีแบบไร้สาย

High receiver sensitivity :	18/db
Receive frequency:	0.9G/1.2G
Receive Signal :	Video Only
Voltage :	DC 9V
Current :	500mA
Size :	115×60×20 mm

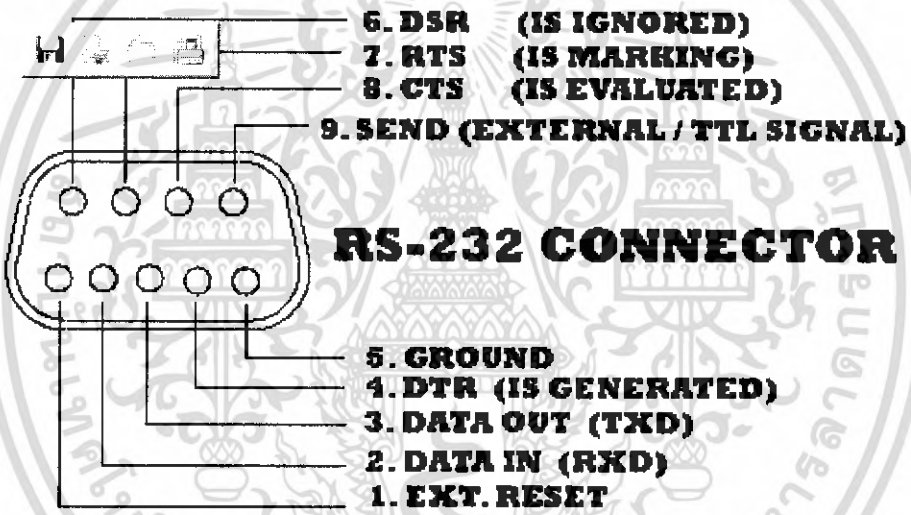
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 คอมพิวเตอร์และโปรแกรม

ใช้ในการรับส่งข้อมูลภาพจากกล้องไร้สาย โดยนำภาพที่ได้มาแสดงบนหน้าจอคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรม VB และให้โปรแกรมทำการประมวลผลภาพตามอัลกอริทึมที่เขียนไว้เพื่อควบคุมและสั่งงานให้รถเคลื่อนที่ตามเป้าหมายผ่านทางพอร์ตอนุกรม

เหตุผลที่เลือกใช้โปรแกรม VB เนื่องจากมีความง่ายในการศึกษาและสร้างคอมโพเนนต์ต่างๆได้อย่างไม่ยากนัก รวมทั้งภาษาไม่ซับซ้อนมาก เหมาะสำหรับการเขียนโปรแกรมขึ้นมาทดลองศึกษาหลักการเบื้องต้นในโครงงานนี้ นอกจากนี้ยังมี คอนโทรลเสริมของโปรแกรมชื่อว่า VideoOcx ซึ่งช่วยให้ทำการติดต่อรับภาพจากกล้องทำได้สะดวกขึ้น ช่วยลดเวลาในการพัฒนาโปรแกรมลงได้มาก

3.4 พอร์ตอนุกรม (RS-232)



รูปที่ 3.4 คอนเนคเตอร์ DB9 Serial Port

ตารางที่ 3.3 คำอธิบายขาสัญญาณของพอร์ตอนุกรม

ขาสัญญาณ	คำอธิบาย
1	Carrier Detect
2	Receive Data
3	Transmit Data
4	Data Terminal Ready
5	Signal Ground
6	Data Set Ready
7	Request To Send

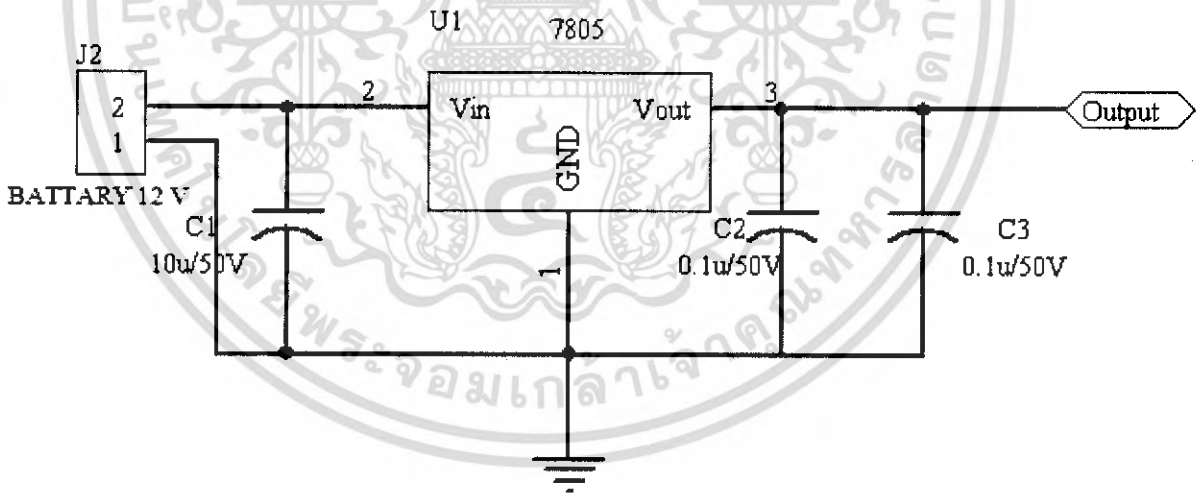
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8	Clear To Send
9	Ring Indicator

3.5 MAX232

ภายในไอซี MAX 232 จะมีชุดในการรับส่งข้อมูลผ่านพอร์ตอนุกรมอยู่ทั้งหมด 2 ชุด แต่ละชุดมี 2 ทิศทาง คือการรับและส่ง ใช้ไอซีตัวนี้เพื่อเชื่อมต่อพอร์ตอนุกรมระหว่างคอมพิวเตอร์กับตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ควบคุมส่วนเอาท์พุท เพราะเป็นการแปลงสัญญาณจากคอมพิวเตอร์ให้สามารถใช้ได้กับไมโครคอนโทรลเลอร์ เพราะแรงดันไฟฟ้าที่ออกมาจากคอมพิวเตอร์อยู่ที่ระดับสัญญาณ -15 โวลท์ ถึง 15 โวลท์ แต่สำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์จะอยู่ที่ระดับ 0 ถึง 5 โวลท์ ซึ่งการนำไปใช้งานเราจะต่อขา Tin ของไอซี เข้ากับขา Tx ของไมโครคอนโทรลเลอร์ และ Tout ของไอซี เข้ากับขา Rx ของคอมพิวเตอร์ ส่วนอีกชุดต่อขา Rin ของไอซีเข้ากับขา Rx ของไมโครคอนโทรลเลอร์และ Rout ของไอซีเข้ากับขา Rxของคอมพิวเตอร์ และต่อตัวเก็บประจุที่ตำแหน่งต่างๆตาม Data sheet

3.6 วงจรควบคุมแรงดันไฟตรงคงที่ 5 โวลท์



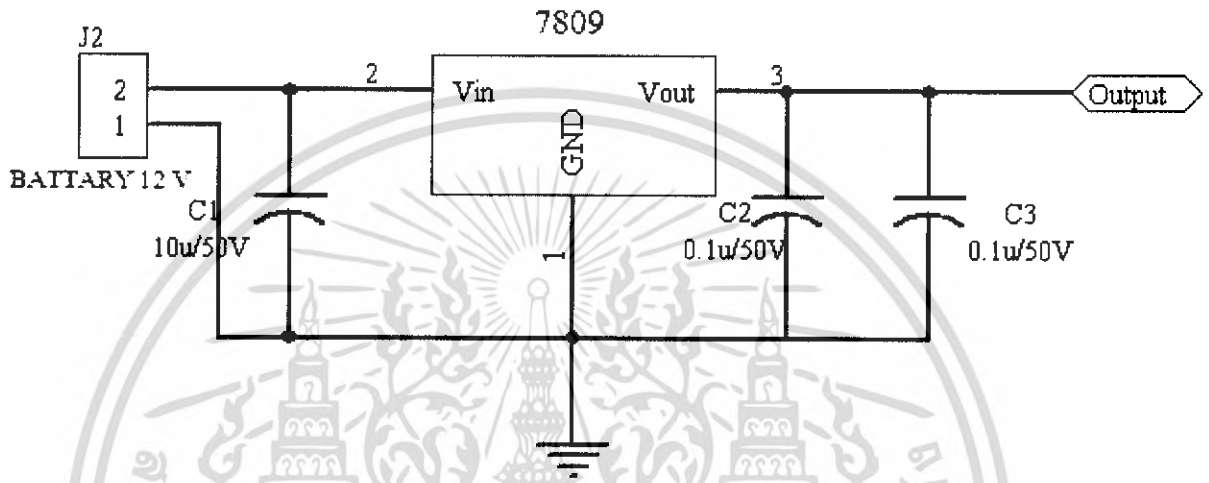
รูปที่ 3.5 วงจรควบคุมแรงดันไฟตรงคงที่ 5 โวลท์

ส่วนของวงจรควบคุมแรงดันไฟตรงคงที่ 5 โวลท์ ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟตรงจากแบตเตอรี่ 12โวลท์ ให้มีค่าลดลงอยู่ที่ระดับ 5 โวลท์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้แก่ไมโครคอนโทรลเลอร์ และ ชุดรับส่งสัญญาณไร้สาย (RF Module) นอกจากนี้ยังต่อเอาท์พุทของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนนี้ ไปเชื่อมต่อกับขา Input Enable ของไอซีไดรว์มอเตอร์ L298N ให้ทำงานในโหมด High เพื่อควบคุมสถานการณ์ทำงานของมอเตอร์

3.7 วงจรควบคุมแรงดันไฟตรงคงที่ 9 โวลท์



รูปที่ 3.6 วงจรควบคุมแรงดันไฟตรงคงที่ 9 โวลท์

ส่วนของวงจรควบคุมแรงดันไฟตรงคงที่ 9 โวลท์ ทำหน้าที่แปลงแรงดันไฟตรงจากแบตเตอรี่ 12โวลท์ ให้มีค่าลดลงอยู่ที่ระดับ 9 โวลท์ เพื่อเป็นแหล่งจ่ายพลังงานให้แก่กล้องไร้สาย

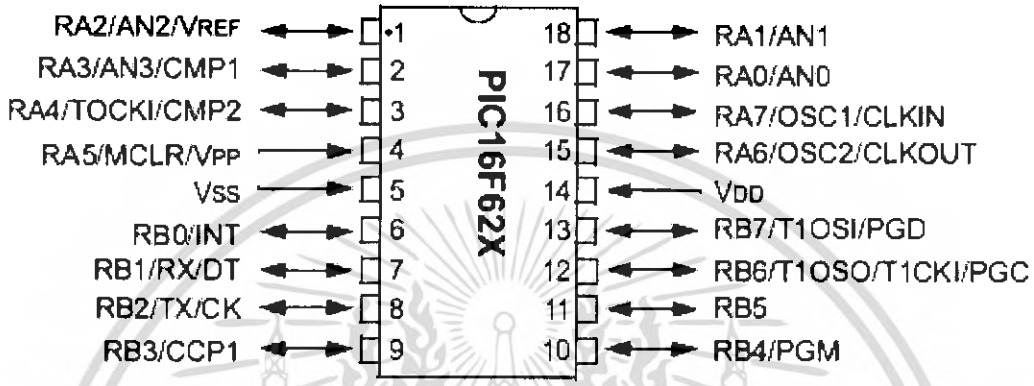
3.8 ไมโครคอนโทรลเลอร์และไอซีไดรว์มอเตอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์คือ ไอซีหน่วยประมวลผลกลาง (Central Processing Unit) ประเภทหนึ่งที่สามารถรับสัญญาณข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก เพื่อนำมาคำนวณ ตัดสินใจ และส่งสัญญาณออกไปยังอุปกรณ์ภายนอก เพื่อสั่งให้ทำงานตามโปรแกรมและข้อมูลที่รับเข้ามา มีคุณสมบัติความเป็น Single Chip คือสามารถทำงานได้โดยตัวเอง ไม่ต้องต่อวงจรเพิ่มหรือต่อเพิ่มน้อยที่สุด ประโยชน์ที่ได้รับก็คือการออกแบบวงจรทำได้ง่ายขึ้น ใช้อุปกรณ์ประกอบวงจรน้อยกว่าเดิม พื้นที่วงจรรวมมีขนาดเล็กลงเป็นอย่างมาก กินไฟเลี้ยงวงจรน้อยลงทำให้ต้นทุนการผลิตและต้นทุนการทำงานลดต่ำลง นอกจากนี้การบันทึกโปรแกรมที่เขียนลงในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ก็สามารถทำได้ง่ายและรวดเร็ว โดยเลือกรุ่นที่มีแฟลชเมมโมรีในตัวที่สามารถเขียนโปรแกรมลงไปได้ ทำให้ไม่ต้องต่ออีพรอมเพื่อเก็บโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในโครงงานนี้ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC16F628 มีขาทั้งหมด 18 ขา สามารถทำงานได้ที่ความถี่สัญญาณนาฬิกาถึง 20 MHz รายละเอียดและคุณสมบัติต่างๆมีดังต่อไปนี้

3.8.1 ไมโครคอนโทรเลอร์ PIC16F628



รูปที่ 3.7 ไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล PIC16F628

ตารางที่3.4 แสดงขาของ PIC16F628

RA0-7 : Input/Output port A	Vpp : Programming voltage input
RB0-7 : Input/Output port B	T0CKI : Clock input to Timer0
AN0-3 : Analog input port	T1OSO : Timer1 oscillator output
RX : USART Asynchronous Receive	T1OSI :Timer1 oscillator input
TX : USART Asynchronous Transmit	PGD : Serial programming data
DT : Synchronous Data	PGC : Serial programming clock
CK : Synchronous Clock	PGM : Low voltage programinng input
CCP1 : Capture In/Compare Out/PWM Out	INT : External interrupt
OSC1/CLKIN : Oscillator In/Ecternal Clock In	VDD : Positive supply for logic and I/O pins
OSC2/CLKOUT : Oscillator Out/Clock Out	Vss : Ground reference for logic and I/O pins
MCLR : Master Clear (Active low Reset)	

ไมโครคอนโทรเลอร์ตระกูล PIC เป็นไมโครคอนโทรเลอร์ที่มีสถาปัตยกรรมแบบฮาร์วาร์ด คือมีการจัดแยกหน่วยความจำข้อมูลออกจากกัน มีบัสสำหรับติดต่อแยกกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากการจัดสถาปัตยกรรมแบบนี้แล้ว การกระทำคำสั่งทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์ PIC ยังใช้กระบวนการที่เรียกว่า ไปป์ไลน์ (pipeline) ทำให้สามารถเฟตช์คำสั่งถัดไป ในขณะที่กำลังเอ็กซิคิวต์คำสั่งในปัจจุบัน ส่งผลให้ความเร็วในการทำงานของไมโครคอนโทรเลอร์เพิ่มมากขึ้น นั่นจึงเป็นที่มาของความสามารถในการกระทำคำสั่ง 1 คำสั่งภายในสัญญาณนาฬิกา 1 สูก (กระบวนการเฟตช์ เป็นกระบวนการเรียกคำสั่งออกจากหน่วยความจำโปรแกรมแล้วทำการแปลคำสั่งนั้นให้เป็นเลขฐานสิบหกเพื่อให้ซีพียูเข้าใจ ส่วนกระบวนการเอ็กซิคิวต์ เป็นการกระทำคำสั่งให้เกิดผลลัพธ์ตามที่คำสั่งนั้นๆกำหนด)

3.8.1.1 โครงสร้างของไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628

มีส่วนประกอบหลักเหมือนกับไมโครคอนโทรเลอร์ PIC16F684 แต่จะมีส่วนที่เพิ่มเติมเข้ามามากพอควร ได้แก่ วงจรบราวเอาต์รีเซต (brown-out reset) สำหรับสร้างสัญญาณรีเซตซีพียูเมื่อไฟเลี้ยงลดต่ำลงเกินกว่าที่กำหนด ,วงจรโปรแกรมข้อมูลแรงดันต่ำ (low-voltage programming) ,ไทเมอร์ที่มีมากถึง 3 ตัว , โมดูลแรงดันเปรียบเทียบ (reference voltage module) ,โมดูลเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอก 2 ชุด(analog comparator) , วงจรสื่อสารอนุกรม (USART) และโมดูลตรวจจับสัญญาณ-เปรียบเทียบข้อมูล-วงจรสร้างสัญญาณมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์หรือ PWM

นอกจากนั้นขนาดของหน่วยความจำทั้งส่วนโปรแกรม , ข้อมูล , รีจิสเตอร์ และหน่วยความจำอีอีพรอมในไมโครคอนโทรลเลอร์ PIC16F628 ก็มีเพิ่มมากขึ้น โดยสามารถสรุปคุณสมบัติทางเทคนิคได้ดังนี้

- ซีพียูเป็นแบบ RISC (Reduce Instrution-Set Computer) มีคำสั่งใช้งานเพียง 35 คำสั่ง
- ความถี่สัญญาณนาฬิกา ตั้งแต่ไฟตรงถึง 20 MHz (สูงสุด)
- ขนาดหน่วยความจำโปรแกรม 2 กิโลเวิร์ด สำหรับ PIC 16F628
- หน่วยความจำแรมข้อมูล 224 ไบต์
- หน่วยความจำข้อมูลอีอีพรอม 128 ไบต์
- ตอบสนองแหล่งกำเนิดอินเตอร์รัปต์ 10 แหล่ง
- มีสแต็ก 8 ระดับ
- มีวงจรเพาเวอร์ออนรีเซต (POR) , เพาเวอร์อัปไทเมอร์ (PWRT) และออสซิลเลเตอร์สตาร์ตอัปไทเมอร์ (OST)
- มีวอตช์ดอกไทเมอร์ (WDT) ที่มีวงจรออสซิลเลเตอร์ในตัว ทำให้มีความน่าเชื่อถือในการทำงานสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เลือกป้องกันข้อมูลทั้งในหน่วยความจำโปรแกรมและหน่วยความจำข้อมูล และเลือกระดับการป้องกันได้
- เลือกใช้วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาได้ 6 โหมดหลัก
    1. โหมด EC ใช้สัญญาณนาฬิกาจากภายนอก
    2. โหมด ER ใช้ตัวต้านทานภายนอก
    3. โหมด INTRC ใช้วงจร RC ภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ มี 2 ความถี่ให้เลือก
    4. โหมด LP ใช้คริสตอลพลังงานต่ำ ความถี่สูงสุดไม่เกิน 200 kHz
    5. โหมด XT ใช้คริสตอล ความถี่ตั้งแต่ 100 kHz สูงสุดไม่เกิน 4 MHz
    6. โหมด HS ใช้คริสตอลความถี่สูง สูงสุดไม่เกิน 20 MHz
- สามารถโปรแกรมโดยใช้แรงดัน +5V ได้
- สามารถโปรแกรมในวงจรได้
- ไฟเลี้ยง +3 ถึง +5.5V
- กระแสซิงก์และซอร์สของพอร์ต 25mA
- ขาพอร์ตปกติ 15 บิต สูงสุด 16 บิต เมื่อทำงานในโหมด INTRC และกำหนดให้ MCLR เป็นพอร์ตอินพุต
- ไทเมอร์ 3 ตัว
- มีโมดูล CCP (Capture/Compare/PWM) 1 ชุด
- มีโมดูลเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอก 2 ชุด
- มีโมดูลสร้างแรงดันอ้างอิง
- มีโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม USART
- มีวงจรตรวจจับระดับแรงดันไฟเลี้ยงหรือบราวเอาต์ดีเท็กชั่น (Brown-out detection) เพื่อสร้างสัญญาณรีเซตซีพียูหรือเรียกว่า บราวเอาต์รีเซต (Brown-out reset : BOR)
- การใช้พลังงานไฟฟ้าในกรณีไม่ขับโหลดน้อยกว่า 2mA ที่ +5V และสัญญาณนาฬิกา 4MHz , 15uA ที่ +3V และสัญญาณนาฬิกา 32kHzน้อยกว่า 1uA ในโหมดประหยัดพลังงานหรือสแตนด์บายที่ไฟเลี้ยง +3V

PIC16F628 มีพอร์ตใช้งาน 2 พอร์ต คือพอร์ต A และ B มีความสามารถในการจ่ายกระแสเอาท์พุตของขาพอร์ตที่ไฟเลี้ยง +5V คือ 25mA ต่อขาทั้งกระแสซิงก์และกระแสซอร์ส ในขณะที่กระแสเอาท์พุตรวมของแต่ละพอร์ตมีค่าสูงสุด 200mA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.1.2 พอร์ต A

มีทั้งสิ้น 8 ช่องหรือ 8 บิต กำหนดชื่อขาเป็น RA0-RA7 โดยปกติจะใช้งานได้ทันที 5 บิตคือ RA0-RA4 ส่วน RA5-RA7 ต้องมีการกำหนดเป็นพิเศษที่ configuration ของไมโครคอนโทรลเลอร์ รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ PORT A มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x05 (แบงก์ 0) เป็น รีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ส่วนการกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้กระทำผ่านรีจิสเตอร์TRISAซึ่งมี
แอดเดรสอยู่ที่ 0x85 (แบงก์ 1)มีขนาด 8 บิต บิต 0 ของ TRISA ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RA0 ไล่เรียงลำดับจนถึงบิต 7 ของ TRISA ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RA7 หากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตในบิตใดเป็นอินพุตต้องเขียนข้อมูล "1" ไปยังบิตนั้นและในทางตรงกันข้ามหากต้องการกำหนดให้เป็นขาเอาท์พุต ให้เขียนข้อมูล "0" ไปยังบิตนั้น อย่างไรก็ตามเฉพาะ RA5 สามารถใช้งานเป็นอินพุตได้เพียงอย่างเดียว

ก. โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

พอร์ต A สามารถทำงานเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาท์พุตปกติ เป็นขาอินพุตสัญญาณอะนาลอกสำหรับวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอก และเอาท์พุตของโมดูลสร้างแรงดันอ้างอิง

RA0/AN0 และ RA1/AN1

ทำหน้าที่เป็นพอร์ตอินพุตเอาท์พุตดิจิตอลและอินพุตอะนาลอกสำหรับวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอกช่อง 0 และ 1 ตามลำดับ ที่ขาพอร์ตมีแอนด์เกตทำหน้าที่เลือกการทำงานของขาพอร์ตเมื่อเป็นขาอินพุต

RA2/AN2/Vref

พอร์ตนี้สามารถทำงานได้ 3 หน้าที่ คือเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาท์พุตดิจิตอลสามารถรับสัญญาณดิจิตอลระดับทีทีแอลได้โดยตรง หากทำงานเอาต์พุตก็จะสามารถขับโหลดที่ต้องการกระแสประมาณ 25mA ได้ หน้าที่ที่สองคือเป็นขาอินพุตอะนาลอกสำหรับวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอก และสุดท้ายสามารถทำงานเป็นขาเอาท์พุตของโมดูลสร้างแรงดันอ้างอิง

การเลือกโหมดทำงานของขาพอร์ตนี้เหมือนกับ RA0 และ RA1 คือมีแอนด์เกตทำหน้าที่เลือกการทำงานของขาพอร์ต
เมื่อขา RA2 ทำงานเป็นขาเอาท์พุตของแรงดันอ้างอิง ที่ขานี้จะมีอิมพีแดนซ์สูงมาก ดังนั้นจึงต้องกำหนดข้อมูลของบิต 2 ในรีจิสเตอร์ TRISA ให้เป็นอินพุต ทั้งนี้เพื่อทำให้ขาพอร์ตนี้เกิดสภาวะอิมพีแดนซ์สูง

RA3/AN3/CMP1

พอร์ตนี้สามารถทำงานได้ 3 หน้าที่คือ เป็นขาพอร์ตดิจิตอล(RA3) ขาอินพุตสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อะนาลอกสำหรับวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอกและขาเอาท์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอก พอร์ต RA3 จะคล้ายกับ RA2 มาก เพียงมีวงจรควบคุมสัญญาณเอาท์พุตจากวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอกเพิ่มเติมเข้ามา

RA4/TOCKI/CMP2

พอร์ตนี้สามารถทำงานได้ 3 หน้าที่คือเป็นขาพอร์ตอินพุตเอาท์พุตปกติ (RA4)ขาอินพุตรับสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกของโมดูลไทเมอร์ 0 (TOCKI) และขาเอาท์พุตของวงจรเปรียบเทียบแรงดันอะนาลอก

วงจรอินพุตบัฟเฟอร์ที่ขาพอร์ตนี้เป็นแบบชมิตต์ทริกเกอร์ ทั้งนี้เพื่อจัดการให้สัญญาณอินพุตที่เข้ามามีความสมบูรณ์มากที่สุด และจะต้องต่อตัวต้านทานพูลอัปค่าประมาณ 4.7k-10k ที่ขานี้เสมอเมื่อใช้งานเป็นอินพุต

ในกรณีที่ใช้งานเป็นพอร์ตเอาท์พุต วงจรเอาท์พุตจะเป็นแบบเดรนเปิด (open drain) ในการใช้งานจึงต่อตัวต้านทานอนุกรมกับโหลดและไฟเลี้ยงของโหลดไม่ว่าจะเป็นในโหมดดิจิตอลหรืออะนาลอก

RA5/MCLR/THV

พอร์ตนี้สามารถทำงานได้ 3 หน้าที่คือ เป็นขาพอร์ตอินพุตดิจิตอล(RA5-เป็นขาอินพุตได้เท่านั้น) ขารีเซตหลัก (MCLR) และขาอินพุตรับแรงดันสูงสำหรับการโปรแกรม (THV) โดยถ้าทำงานในโหมดปกติขา RA5 นี้จะรับแรงดันสูงสุดในระดับทีทีแอล (+5V) เท่านั้น แต่เมื่อเข้าสู่โหมดโปรแกรมขาพอร์ตนี้จะสามารถรับพัลส์แรงดันสำหรับโปรแกรมได้สูงสุด +14V โดยเมื่อเข้าสู่โหมดโปรแกรมวงจรตรวจจับแรงดันสูงจะทำงานเพื่อกำหนดให้การโปรแกรมเกิดขึ้นอย่างสมบูรณ์

ในโหมดทำงานปกติขาพอร์ต RA5 นี้สามารถเป็นได้ทั้งขาพอร์ตอินพุตและขารีเซตหลักจึงต้องมีการกำหนดที่ configuration ด้วย หากเลือกให้ขานี้เป็นขา MCLR จะมีการส่งสัญญาณ MCLRE มาเพื่อกำหนดการทำงาน

RA6/OSC2/CLKOUT

พอร์ตนี้สามารถทำงานได้ 3 หน้าที่คือ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาท์พุตดิจิตอล (RA6) ขาเอาท์พุตของคริสตอลออสซิลเลเตอร์เมื่อเลือกโหมดสัญญาณนาฬิกาแบบ LP,XT และ HS โดยขานี้จะต่อกับคริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์ที่ใช้กำเนิดความถี่ สุดท้ายทำหน้าที่เป็นขาเอาท์พุตสัญญาณนาฬิกา (CLKOUT) ที่มีความถี่เป็น ? ของค่าความถี่ที่ป้อนเข้ามายังขา OSC1 เมื่อทำงานในโหมดสัญญาณนาฬิกาแบบ ER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RA7/OSC1/CLKIN

พอร์ตนี้สามารถทำงานได้ 3 หน้าที่คือ เป็นขาพอร์ตอินพุตเอาท์พุตดิจิตอล (RA7) ขาอินพุตของคริสตอลออสซิลเลเตอร์เมื่อเลือกโหมดสัญญาณนาฬิกาแบบ LP,XT และ HS โดยขานี้จะต่อกับคริสตอลหรือเซรามิกเรโซเนเตอร์ที่ใช้กำเนิดความถี่ สุดท้ายทำแบบ ERหน้าที่เป็นขาอินพุตสัญญาณนาฬิกา (CLKIN) เมื่อทำงานในโหมดสัญญาณนาฬิกา

ข. การติดต่อเพื่อกำหนดการทำงานและเขียนข้อมูลไปยังพอร์ต A

เลือกแบงก์สำหรับติดต่อกับรีจิสเตอร์ PORT A จากนั้นส่งข้อมูล "0" เพื่อเคลียร์ข้อมูลทั้งหมด ค่าเริ่มต้นของพอร์ต A ที่ทำงานกับสัญญาณอะนาลอกจะถูกกำหนดให้เป็นอินพุตอะนาลอกทั้งหมด ดังนั้นหากต้องการใช้งานเป็นพอร์ตดิจิตอลต้องทำการกำหนดข้อมูล 0x07 แล้วเขียนลงในรีจิสเตอร์ CMCON เพื่อดิสเอเบิลการทำงานกับสัญญาณอะนาลอก

จากนั้นจึงเลือกแบงก์ใหม่เพื่อติดต่อกับรีจิสเตอร์ TRISA แล้วเขียนข้อมูลเพื่อกำหนดทิศทางของขาพอร์ตตามที่ต้องการลงในรีจิสเตอร์ TRISA

3.8.1.3 พอร์ต B

มี 8 บิต กำหนดชื่อขาเป็น RB0-RB7 รีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลคือ PORT B มีแอดเดรสอยู่ที่ 0x06 (แบงก์ 0) และ 0x106 (แบงก์ 2) เป็นรีจิสเตอร์ขนาด 8 บิต ส่วนการกกำหนดทิศทางของพอร์ตนี้กระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISB ซึ่งมีแอดเดรสอยู่ที่ 0x86 (แบงก์ 1) และ 0x186 (แบงก์ 3) มีขนาด 8 บิต เช่นเดียวกับพอร์ต A บิต 0 ของ TRISB ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RB0 ไล่เรียงลำดับจนถึงบิต 7 ของ TRISB ใช้กำหนดทิศทางของขาพอร์ต RB7หากต้องการกำหนดให้ขาพอร์ตในบิตใดเป็นอินพุตต้องเขียนข้อมมูล "1" ไปยังบิตนั้น และในทางตรงกันข้ามหากต้องการให้เป็นขาเอาท์พุต ต้องเขียนข้อมูล "0" ไปยังบิตนั้น นอกจากนั้นพอร์ต B ยังมีความสามารถพิเศษอื่นรวมอยู่ด้วย ดังนี้

RB0/INT เป็นขาพอร์ต B บิต 0 และอินพุตสัญญาณอินเตอร์รัปต์จากภายนอก

RB1/RxD/DT เป็นขาพอร์ต B บิต 1, อินพุตรับข้อมูลของโมดูลสื่อสารอนุกรม USART และขารับส่งข้อมูลอนุกรมแบบซิงโครนัส

RB2/TxD/CK เป็นขาพอร์ต B บิต 2, เอาต์พุตส่งข้อมูลของโมดูลสื่อสารอนุกรม USART และขาสัญญาณนาฬิกาในการรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบซิงโครนัส

RB3/CCP1 เป็นขาพอร์ต B บิต 3 และขาอินพุตเอาต์พุตของโมดูลตรวจจับสัญญาณ-เปรียบเทียบข้อมูล-วงจรมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ (PWM) หรือ CCP

RB4/PGM เป็นขาพอร์ต B บิต 4 และขาอินพุตรับแรงดัน + 5V สำหรับการโปรแกรมแบบแรงดันต่ำ (LVP : Low voltage programming)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RB5 เป็นขาพอร์ต B บิต 5

RB6/T1OSO/T1CKI/PGC เป็นขาพอร์ต B บิต 6, ขาเอาต์พุตสัญญาณออสซิลเตอร์ของไทเมอร์ 1, ขาอินพุตรับสัญญาณนาฬิกาของไทเมอร์ 1 และขารับสัญญาณนาฬิกาสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำในโหมดโปรแกรม

RB7/T1OSI/PGD เป็นขาพรอ์ต B บิต 7, ขาอินพุตสัญญาณออสซิลแตอร์ของไทเมอร์ 1 และขารับ-ส่งข้อมูลสำหรับการโปรแกรมหน่วยความจำในโหมดโปรแกรม

นอกจากนั้นที่ขา RB4-RB7 สามารถกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงระดับลอจิกที่ขาพอร์ตทั้งสี่ด้วย

ก. โครงสร้างทางฮาร์ดแวร์

เนื่องจากพอร์ต B สามารถใช้งานได้หลายหน้าที่ สามารถกำหนดให้มีการพูลอัปกระแสต่ำประมาณ 200 uA ช่วยให้สามารถใช้งานพอร์ต B เป็นอินพุตที่ต่อกับสวิตช์ได้ทันที โดยไม่ต้องต่อตัวต้านทานพูลอัปภายนอก โดยการกำหนดนี้ทำได้โดยเคลียร์บิต RBPU ซึ่งเป็นบิต 7 ของรีจีสเตอร์ OPTON อย่างไรก็ตาม หากกำหนดให้ขาพอร์ต B เป็นเอาต์พุต การพูลอัปที่ขาพอร์ต B นี่จะถูกยกเลิกโดยอัตโนมัติ นอกจากนั้นการพูลอัปนี้จะได้รับการยกเลิกเมื่องเกิดพาเวอร์ออนรีเซตขึ้น

ในกรณีที่เอ็นเอเบิลการตอบสนองอินเตอร์รัปต์แบบตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงลอจิกที่พอร์ต RB4-RB7 เมื่อเกิดอินเตอร์รัปต์ขึ้น บิต RBIF ในรีจิสเตอร์ INTCON บิต 0 จะเซต หลังจากตอบสนองการอินเตอร์รัปต์แล้ว ต้องเคลียร์บิต RBIF ด้วยกระบวนการทางซอฟต์แวร์เสมอ โครงสร้างและการทำงานโดยสรุปของขาพอร์ตแต่ละขาดังนี้

RB0/INT

หากบิต RBPU เป็นลอจิก "0" จะเป็นการเอ็นเอเบิลการพูลอัปภายในที่ขาพอร์ตนี้ ทำให้ช่วยลดอุปกรณ์ในการต่อพูลอัปภายนอกเมื่อกำหนดให้ขานี้ทำงานเป็นพอร์ตอินพุต หากมีการกำหนดให้ขานี้เป็นอินพุตรับสัญญาณอินเตอร์รัปต์ สัญญาณจะส่งผ่านมายังวงจรบัฟเฟอร์ชมิตต์ทริกเกอร์เข้าสู่ส่วนตรวจจับสัญญาณอินเตอร์รัปต์

RB1/RxD/DT

พอร์ตนี้สามารถทำงานได้ 3 หน้าที่คือ เป็นขาพอร์ตปกติ (RB1) ขารับข้อมูลสำหรับโมดูลสื่อสารข้อมูลอนุกรม USART (RxD) และขารับ-ส่งข้อมูลอนุกรมแบบซิงโครนัส (DT) สัญญาณที่ใช้ควบคุมการทำงานของขาพอร์ตนี้มี2เส้นคือ PORT/PERIPHERAL Select และ Peripheral OE โดยสาย PORT/PERIPHERAL Select ใช้เลือกระหว่างการทำงานเป็นขาข้อมูลของพอร์ตตามปกติและขาเอาท์พุตของวงจรเพอริเฟอรัล ซึ่งในที่นี้คือ การทำหน้าที่เป็นขาส่งข้อมูลอนุกรมแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซิงโครนัส (DT) ส่วนสาย Peripheral OE เป็นสัญญาณควบคุมการปรากฏขึ้นของข้อมูลที่ขาพอร์ต ซึ่งจะทำงานก็ต่อเมื่อเลือกให้ขาพอร์ตทำงานกับวงจรเพอริเฟอรัล

RB2/TxD/CK

สามารถทำงานได้ 3 หน้าที่คือ เป็นขาพอร์ตปกติ (RB2) ขาส่งข้อมูลอนุกรมของโมดูล USART(TxD) และขาสัญญาณนาฬิกาของการรับส่งข้อมูลอนุกรมแบบซิงโครนัส (CK) การกำหนดหน้าที่ของขาพอร์ตนี้กระทำผ่านสัญญาณควบคุม 2 เส้น เช่นเดียวกับขาพอร์ต RB1 คือ PORT/PERIPHERAL และ Peripheral OE

เมื่อกำหนดให้ทำงานในโหมดสื่อสารอนุกรม USART ขา RB1 และ RB2 จะทำงานร่วมกันโดย RB1 ทำหน้าที่รับข้อมูล ส่วน RB2 ทำหน้าที่ส่งข้อมูล และควรต่อกับไอซีเพื่อขับสัญญาณออก พอร์ตอนุกรมตามมาตรฐาน RS-232

RB3/CCP1

สามารถเลือกทำงานได้ 2 หน้าที่คือ ขาพอร์ตปกติ (RB3) และขาอินพุทเอาท์พุตของโมดูล CCP (CCP1) การควบคุมหน้าที่ของขาพอร์ตใช้สัญญาณ PORT/PERIPHERAL Select ซึ่งกำหนดโดยบิต 0-3 ของรีจิสเตอร์ CCP1CON เนื่องจากโมดูล CCP สามารถทำงานได้อีก 3 หน้าที่คือ อินพุตตรวจจับสัญญาณ (capture) เอาท์พุตวงจรเปรียบเทียบสัญญาณดิจิตอล (compare) และเอาท์พุตสัญญาณมอดูเลชั่นทางความกว้างของพัลส์ หรือ PWM โดยสัญญาณเอาท์พุตทั้งหมดจะผ่านวงจรมัลติเพล็กซ์ก่อนออกไปทางขาพอร์ตในขณะที่สัญญาณอินพุตจะถูกส่งเข้ามาผ่านวงจรบัฟเฟอร์แบบทีทีแอลเมื่อทำในในโหมดพอร์ตดิจิตอลปกติ และผ่านเข้าวงจรบัฟเฟอร์ชมิตต์ทริกเกอร์เมื่อทำวานเป็นอินพุตของวงจรตรวจจับสัญญาณของโมดูล CC

RB4/PGM

สามารถกำหนดให้ทำงานได้ 2 หน้าที่ คือ เป็นพอร์ตปกติ (RB4) และเป็นขาอินพุตรับแรงดันต่ำสำหรับโปรแกรม (PGM) การเลือกหน้าที่ของขาสัญญาณนี้จะใช้สัญญาณ LVP ซึ่งกำหนดจากข้อมูล configuration ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อทำการเอ็นเอเบิลความสามารถนี้การอินเตอร์รัปต์อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกของขาพอร์ต B และการพูลอัปภายในที่ขาพอร์ต B จะได้รับการดิสเอเบิลอัตโนมัติทันที

อย่างไรก็ตาม ค่าเริ่มต้นของขาพอร์ตนี้ในกรณีเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตัวใหม่ ทางผู้ผลิตจะเอ็นเอเบิลความสามารถของขาพอร์ตนี้เป็นขาอินพุตรับแรงดันต่ำสำหรับโปรแกรมไว้ ดังนั้นหากต้องการเลือกขาพอร์ตนี้ให้ทำงานเป็นขาพอร์ตปกติต้องเลือกดิสเอเบิลความสามารถ LVP ที่ configuration ของไมโครคอนโทรลเลอร์ในขณะโปรแกรมหรือกำหนดที่ตอนต้นของโปรแกมที่ทำการรเขียนก็ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อความสามารถ LVP ได้รับการเอ็นเอเบิล ขาพอร์ตนี้จะรอรับแรงดัน +5V แล้วส่งผ่านไปยังสายสัญญาณ PGM input เพื่อส่งเข้าไปยังส่วนจัดการโปรแกรมด้วนแรงดันต่ำต่อไป ในขณะที่สัญญาณนาฬิกาและข้อมูลสำหรับการโปรแกรมจะส่งผ่านทางขวา RB6 และ RB7 เหมือนกับการโปรแกรมด้วยแรงดันสูงปกติ แต่ถ้าไม่ไมโครคอนโทรลเลอร์อยู่ในโหมดการทำงานปกติ และสามารถ LVP ได้รับการเอ็นเอเบิลไว้ ที่ขาพอร์ต RB4 นี้จะสภาวะลอยตัว มีค่าความต้านทานสูงมาก ใช้เป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตไม่ได้ หรืออาจกล่าวได้ว่า หากต้องการใช้ความสามารถ LVP ต้องสงวนการใช้งานขาพอร์ต RB4 นี้ไว้

RB5

เป็นขาพอร์ตเดียวของพอร์ต B ที่ทำงานเป็นพอร์ตอินพุตเอาต์พุตเพียงหน้าที่เดียว บรรจุความสามารถพื้นฐานของพอร์ต B ไว้ครบถ้วน เช่น การกำเนิดสัญญาณอินเตอร์รัปต์อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงลอจิก หรือการเลือกพลูอัปอัตโนมัติ การกำหนดทิศทางกระทำผ่านรีจิสเตอร์ TRISB

RB6/T1OSO/T1CKI/PGC

สามารถทำงานได้มากถึง 4 หน้าที่ คือ เป็นขาพอร์ตปกติ (RB6), ขาเอาต์พุตสัญญาณออสซิสเลเตอร์ของไทเมอร์ 1 (T1OSO), ขาอินพุตสัญญาณนาฬิกาสำหรับไทเมอร์ 1 (T1CKI), และขาสัญญาณสำหรับการโปรแกรมข้อมูลลงในหน่วยความจำของไมโครคอนโทรลเลอร์ (PGC) การเลือกให้ขาพอร์ตนี้ทำงานกับไทเมอร์ 1 สามารถกำหนดได้ที่ T1OSCEN ในไทเมอร์ 1 ส่วนรายละเอียดในการทำงานจะอธิบายในหัวข้อไทเมอร์ 1 ต่อไป และถ้าหากกำหนดให้ทำงานในโหมดโปรแกรม การอินเตอร์รัปต์อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกของขาพอร์ต B และการพูลอัปภายในที่ขาพอร์ต B จะได้รับการดิสเอเบิลอัตโนมัติทันที

RB7/T1OSI/PGD

สามารถกำหนดให้ทำงานได้ 3 หน้าที่ คือ เป็นขาพอร์ตปกติ (RB7), ขาอินพุตสัญญาณออสซิสเลเตอร์ของไทเมอร์ 1 (T1OSI) และขารับส่งข้อมูลสำหรับการโปรแกรม (PGD)

เช่นเดียวกับขอ RB6 การเลือกให้ขาพอร์ต RB7 ทำงานกับไทเมอร์ 1 กระทำได้โดยการกำหนดที่ T1OSCEN ส่วนรายละเอียดในการทำงานจะอธิบายในหัวข้อไทเมอร์ 1 ต่อไป และถ้าหากกำหนดให้ทำงานในโหมดโปรแกรม การอินเตอร์รัปต์อันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงลอจิกของขาพอร์ต B และการพูลอัปภายในที่ขาพอร์ด B จะได้รับการดิสเอเบิลอัตโนมัติทันที

ข. การติดต่อเพื่อกำหนดการทำงานและเขียนข้อมูลไปยังพอร์ต B

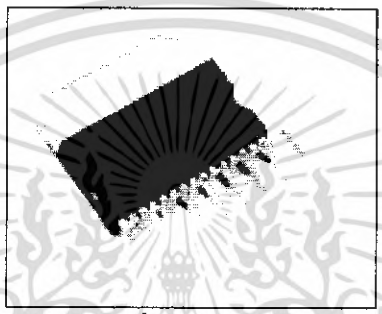
เหมือนกับพอร์ต A โดยเริ่มต้นเคลียร์ข้อมูลในรีจิสเตอร์ POTR B จากนั้นกำหนดทิศทางของในรีจิสเตอร์ TRISB ในโหมดของพอร์ตอินพุตเอาต์พุตแบบดิจิตอล ถ้าหากไม่ได้กำหนดให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

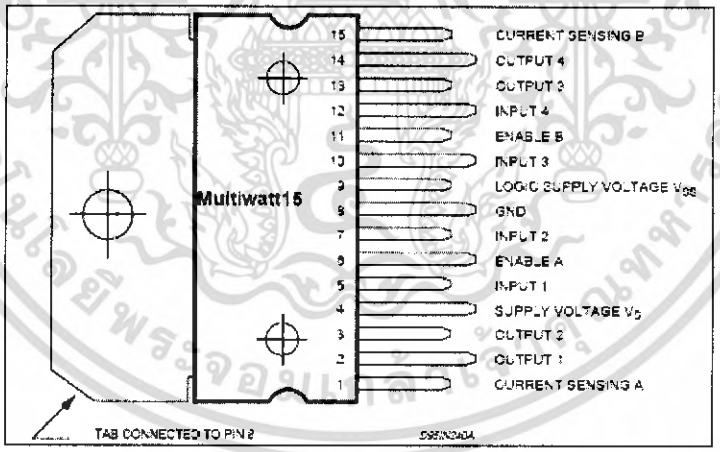
พอร์ต B ทั้งหมดเป็นพอร์ตอินพุต การเอ็นเอเบิลวงจรพูลอัปภายในก็ไม่จำเป็นต้องกระทำ ให้ทำการต่อตัวต้านทานพูลอัปที่ขาพอร์ต ซึ่งกำหนดให้เป็นอินพุตแยกกันไป

3.8.2 ไอซีไดรว์มอเตอร์ L298N

เนื่องจาก ไมโครคอนโทรเลอร์ PIC16F628 ไม่สามารถจ่ายกระแสให้มอเตอร์หมุนโดยตรงได้ ดังนั้นจึงต้องใช้ ไอซีไดรว์มอเตอร์ L298N ช่วยในการจ่ายกระแสให้กับมอเตอร์

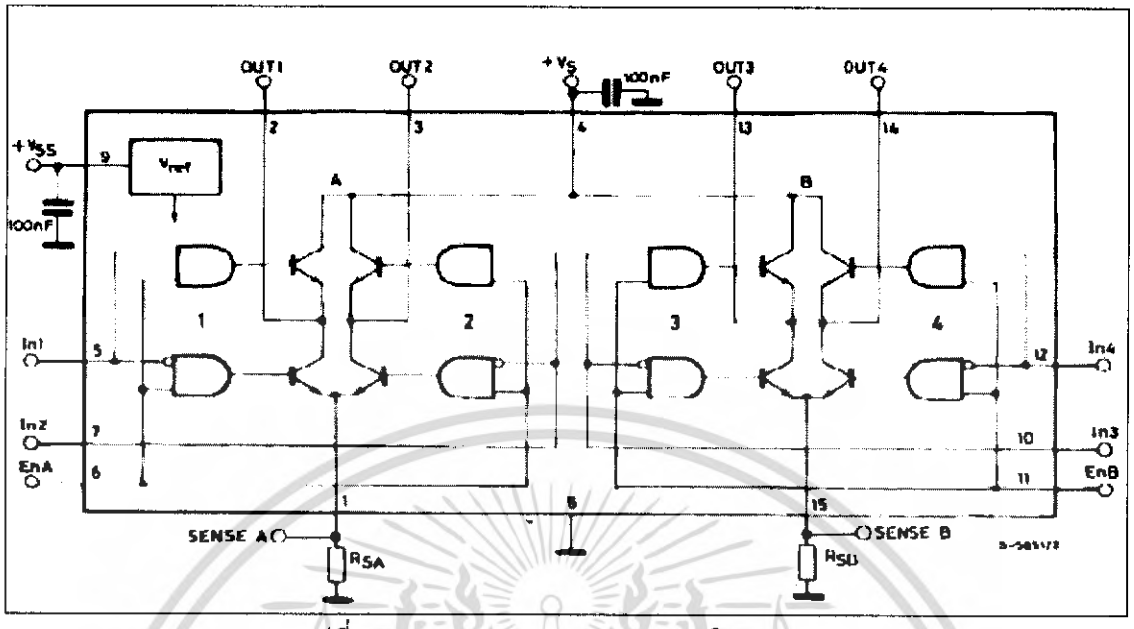


รูปที่ 3.8 L298N



รูปที่ 3.9 แสดง Pin Connection ของ L298N

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 Block Diagram วงจรภายใน L298N

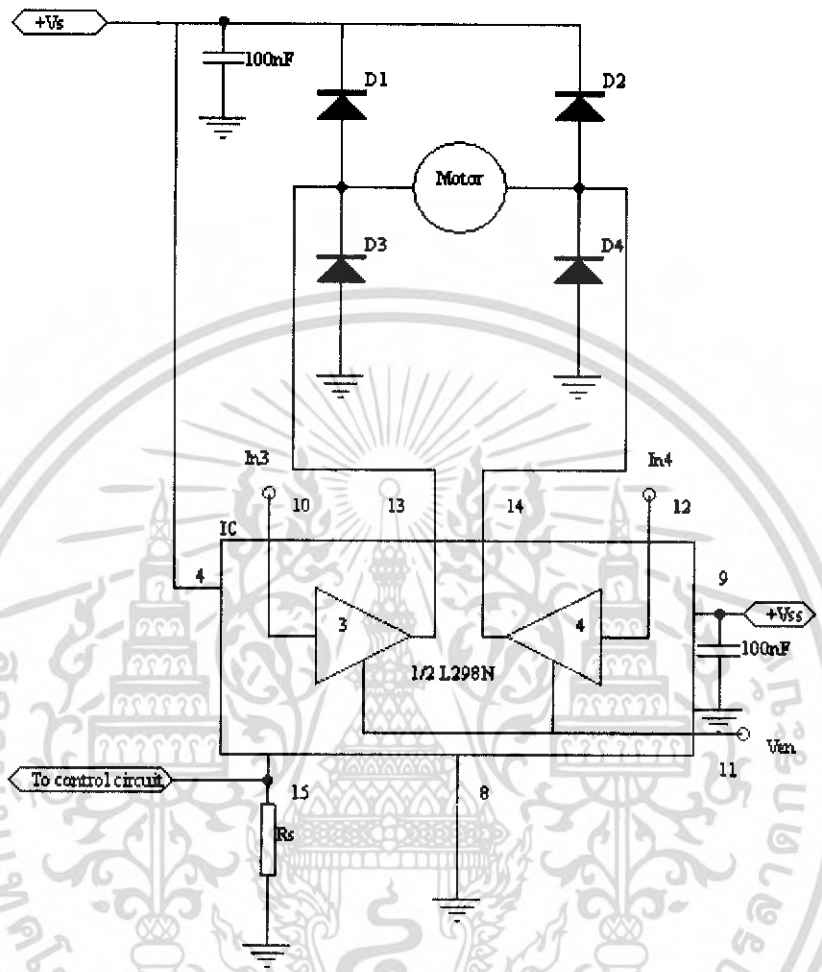
<u>คุณสมบัติของ L298N</u>

- สามารถทำงานได้ที่ระดับแรงดันสูงถึง 46 โวลท์
- จ่ายกระแสได้สูงสุด 4 A
- แรงดันเมื่ออยู่ในสภาวะอิ่มตัวต่ำ
- ลอจิก "0" ของแรงดันอินพุทมีค่าได้สูงถึง 1.5 โวลท์

จาก Block Diagram จะเห็นได้ว่า L298N มี 4 อินพุท และ 4 เอาท์พุท มี 2 Supply แยกจากกันคือ Vs(Supply Voltage)มีค่าได้สูงสุด 46 โวลท์ และ Vss(Logic Supply Voltage)มีค่าได้สูงสุด 7 โวลท์ มีขา Enable 2 ขา เป็นตัวควบคุมการทำงานของแต่ละอินพุท ที่ขา 1 และขา 15 ของไอซี ต่อกับตัวต้านทานเพื่อช่วยควบคุมกระแสที่จะจ่ายไปยังโหลด ซึ่งVsens มีค่าได้ตั้งแต่ -1 ถึง 2.3 โวลท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>แสดงการต่อใช้งานของไอซี</u>



รูปที่ 3.11 แสดงการต่อใช้งาน L298N กับมอเตอร์ชนิด DC

จากรูปที่ 3.11 เป็นการต่อใช้งานของ L298N กับมอเตอร์ชนิด DC โดยให้อินพุทแก่ In3 และ In 4 และต่อ เอาท์พุทจากขา 13 และ 14 เข้ากับแต่ละขั้วของ DC มอเตอร์ ดังรูป การทำงานของ L298N จะเป็นดังตารางด้านล่างนี้

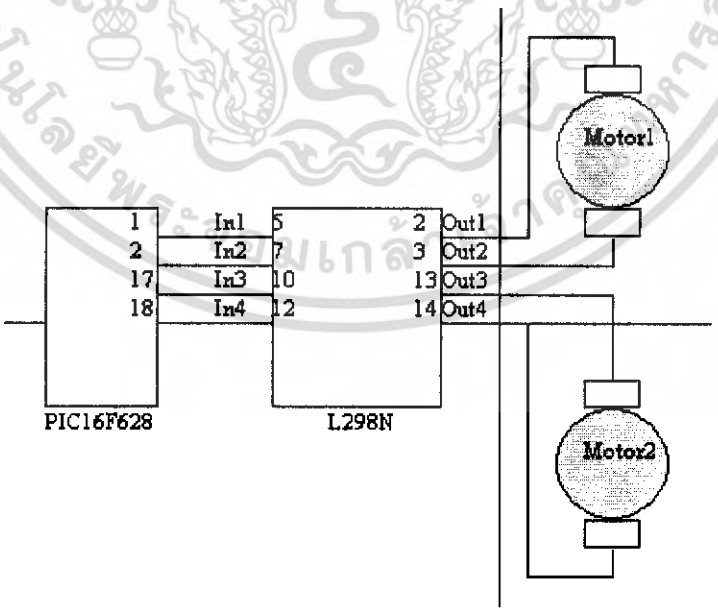
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 แสดงการทำงานของมอเตอร์ เมื่อให้อินพุทค่าต่างๆ

Inputs		**Function**
Ven = H	In3 = H ; In4 = L	Forward
	In3 = L ; In4 = H	Reverse
	In3 = In4	Fast Motor Stop
Ven = L	In3 = X ; In4 = X	Free Running Motor Stop

L = Low H = High X = Don't care

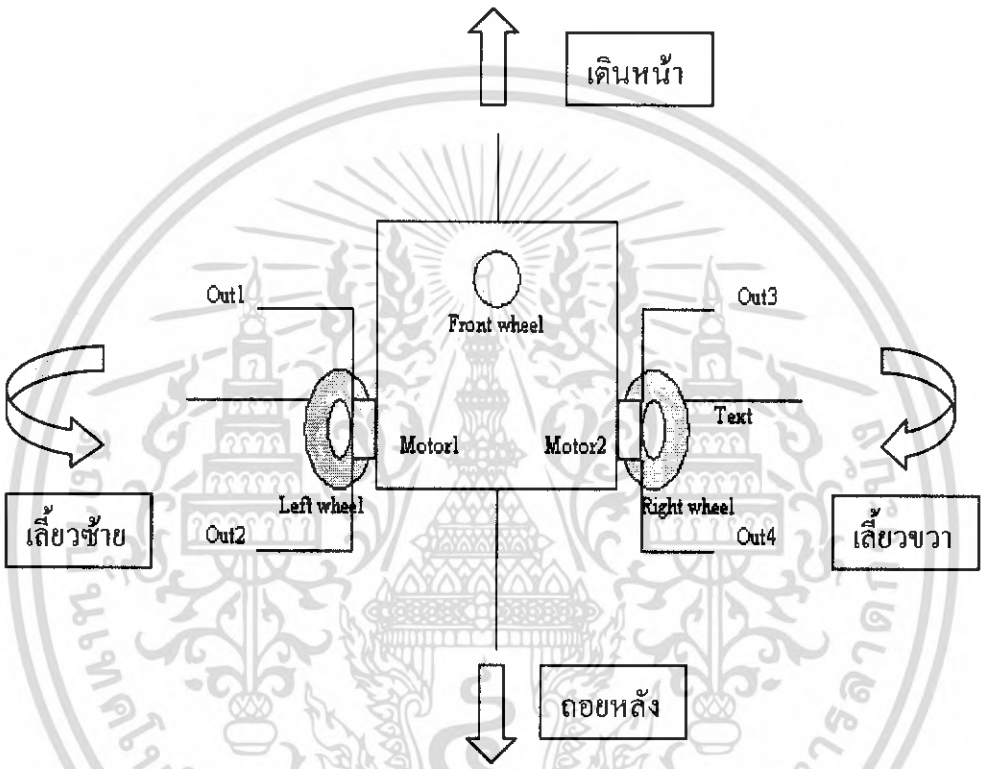
ในโครงงานนี้ได้ทำการต่อใช้งานในโหมด Ven = H โดยต่อขา 6 และ ขา 11ของ L298N เข้ากับเอาท์พุทของ วงจรเรกกูเลเตอร์ 5 โวลท์ โดยการควบคุมการเคลื่อนที่ของรถทำได้โดยการต่อขาพอร์ตเอาท์พุทของ PIC16F628 ทั้งหมด 6 พอร์ต เข้ากับ ขาอินพุททั้ง 6 ขา ของมอเตอร์ ดังนั้นจะได้เอาท์พุททั้งหมด 6 ค่า แบ่งเป็นสามชุด โดยเอาท์พุทชุดแรกนำไปต่อเพื่อควบคุม DC มอเตอร์ลูกที่ 1 และเอาท์พุทชุดที่สองนำไปต่อเพื่อควบคุม DC มอเตอร์ลูกที่สอง ดังรูป 2.11 ส่วนเอาท์พุทชุดที่สามนำไปต่อเพื่อควบคุม DC มอเตอร์ลูกที่สามเพื่อนำไปควบคุมการหมุนของกล้อง



รูปที่ 3.12 แสดงการต่อเอาท์พุทเพื่อนำไปควบคุม DC มอเตอร์ทั้งสองลูก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นส่วนไมโครคอนโทรลเลอร์จะเป็นตัวสั่งการให้ L298N ทำงาน (ไมโครคอนโทรลเลอร์แปลคำสั่งมาจาก โปรแกรม VB อีกทีหนึ่ง)เพื่อควบคุมให้รถเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ ซึ่งการต่อขาเอาท์พุทของ L298N เข้ากับมอเตอร์ทั้งสอง ต้องสัมพันธ์กับการสั่งงานพอร์ตของไมโครคอนโทรลเลอร์(ลอจิก H,L)



รูปที่ 3.13 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของรถ

ตารางที่ 3.6 การป้อนอินพุทเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของรถโดยควบคุม Motor1 และ Motor2

ทิศทางการเคลื่อนที่	Motor1		Motor2	
	Input1	Input2	Input3	Input4
หยุด	0	0	0	0
เดินหน้า	1	0	1	0
ถอยหลัง	0	1	0	1
เลี้ยวซ้าย	0	0	1	0
เลี้ยวขวา	1	0	0	0

0 = Logic Low ; 1 = Logic High

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 2.5 การป้อนอินพุทเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่ของรถ แสดงให้เห็นว่า เมื่อต้องการให้รถเคลื่อนที่ไปข้างหน้าจะกำหนดให้ Input1 และ Input3 เป็น High ขณะเดียวกันก็ให้ Input2 และ Input4 เป็น Low มอเตอร์จะหมุนไปในทิศทางเดียวกัน ถ้าต้องการให้รถเคลื่อนที่ถอยหลัง ก็ป้อนอินพุทให้ตรงกันข้าม ส่วนเมื่อต้องการให้รถเลี้ยวไปในทิศทางใดทิศทางหนึ่งก็ป้อนอินพุทเพื่อให้ล้อใดล้อหนึ่งหยุดอยู่กับที่ ก็จะสามารถทำให้รถเลี้ยวไปในทิศทางที่ต้องการได้

สำหรับในส่วนของการบังคับกล้องนั้นเราจะทำการสลับลอจิกของ Input5 และ Input6 ให้ตัวหนึ่งเป็น High และอีกตัวหนึ่งเป็น Low ก็จะสามารถบังคับให้กล้องหมุนซ้ายละขวาได้

3.9 ส่วนโปรแกรมการทำงานของ Visual Basic6

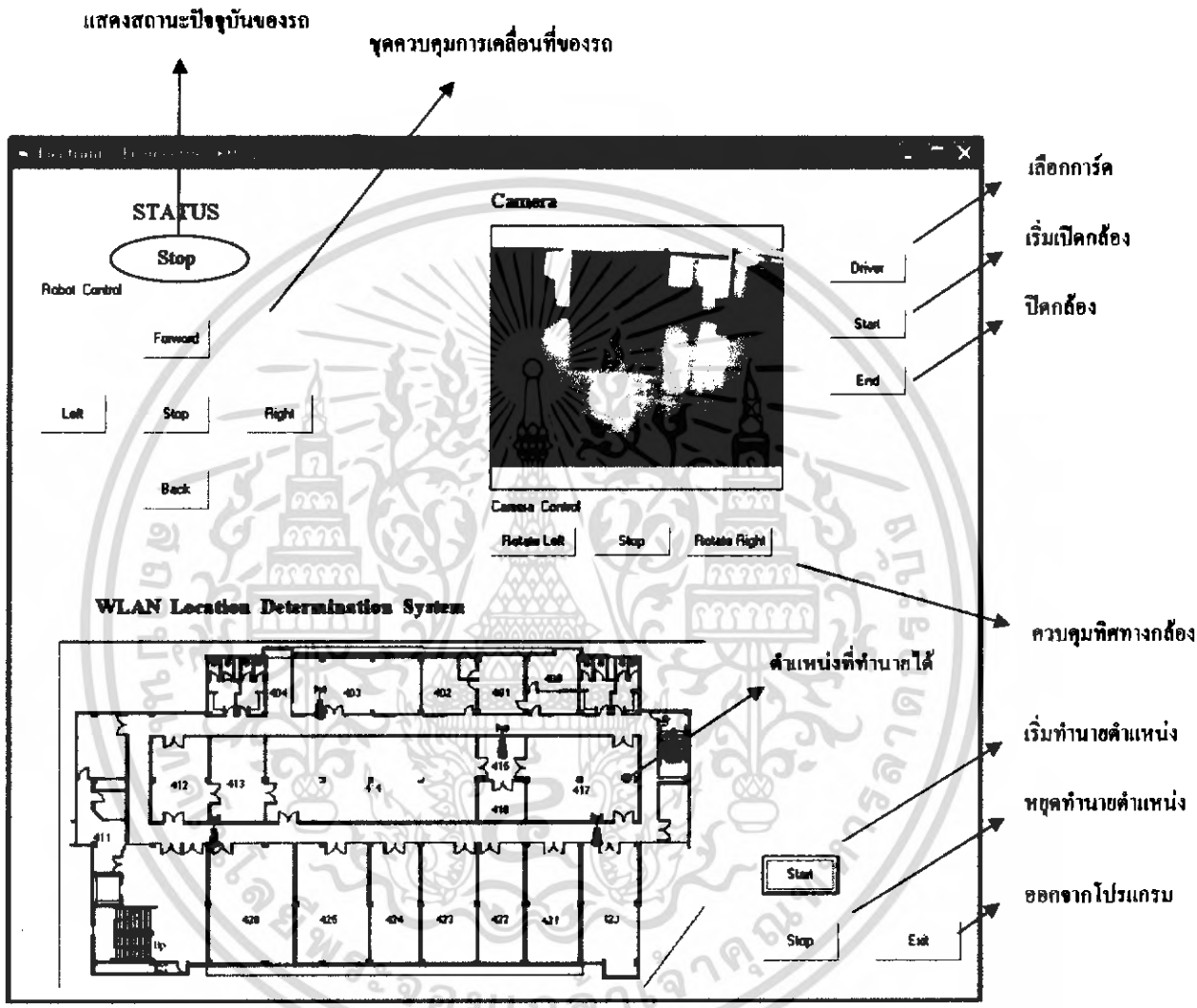
ในส่วนของการทำงานของ Visual Basic แบ่งการทำงานเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนควบคุมรถ , ส่วนแสดงภาพและควบคุมกล้องบนรถ และส่วนของการระบุตำแหน่งที่ทำนายได้

1) ส่วนควบคุมรถ จะใช้การส่งตัวอักษร (Characteristic) ผ่านออกทางพอร์ทอนุกรม ไปยังตัวส่งไวร์เลส 2.4 GHz โดยส่ง F สำหรับเดินหน้า , B สำหรับถอยหลัง , R สำหรับเลี้ยวขวา , L สำหรับเลี้ยวซ้าย และ S สำหรับหยุด

2) ส่วนแสดงภาพและควบคุมกล้องบนรถ สำหรับการแสดงภาพจะใช้ VideoOCX ในการแสดงภาพจากกล้องไร้สายบนรถ ซึ่งกล้องนี้สามารถหมุนซ้าย-ขวาได้โดยการควบคุมจากโปรแกรมเหมือนการควบคุมรถ แต่จะใช้อักษร

3) ส่วนของการระบุตำแหน่งที่ทำนาย ใช้ Microsoft Access ในการเก็บฐานข้อมูล ซึ่งเก็บค่าความแรงเฉลี่ยของแต่ละจุดจาก access point ทั้ง 4 ตัวไว้ และในการใช้งานจริงโปรแกรมจะทำการรับค่าความแรงสัญญาณของ access point ทั้ง 4 ตัว จากตัวรับสัญญาณ wireless (อาจจะเป็นโน้ตบุ๊คหรือ Pocket PC) แล้วนำค่าความแรงของแต่ละ access point ไปเข้าสมการยูคลีเดียนเทียบกับค่าที่เก็บไว้ในฐานข้อมูล แล้วจุดในฐานข้อมูลที่ให้ค่ายูคลีเดียนผิดพลาดน้อยที่สุด ก็จะเลือกที่ตำแหน่งนั้น แล้วนำไปแสดงผลโดยใช้คำสั่งพล็อตจุดบนรูปตามตำแหน่งที่ทำนายได้

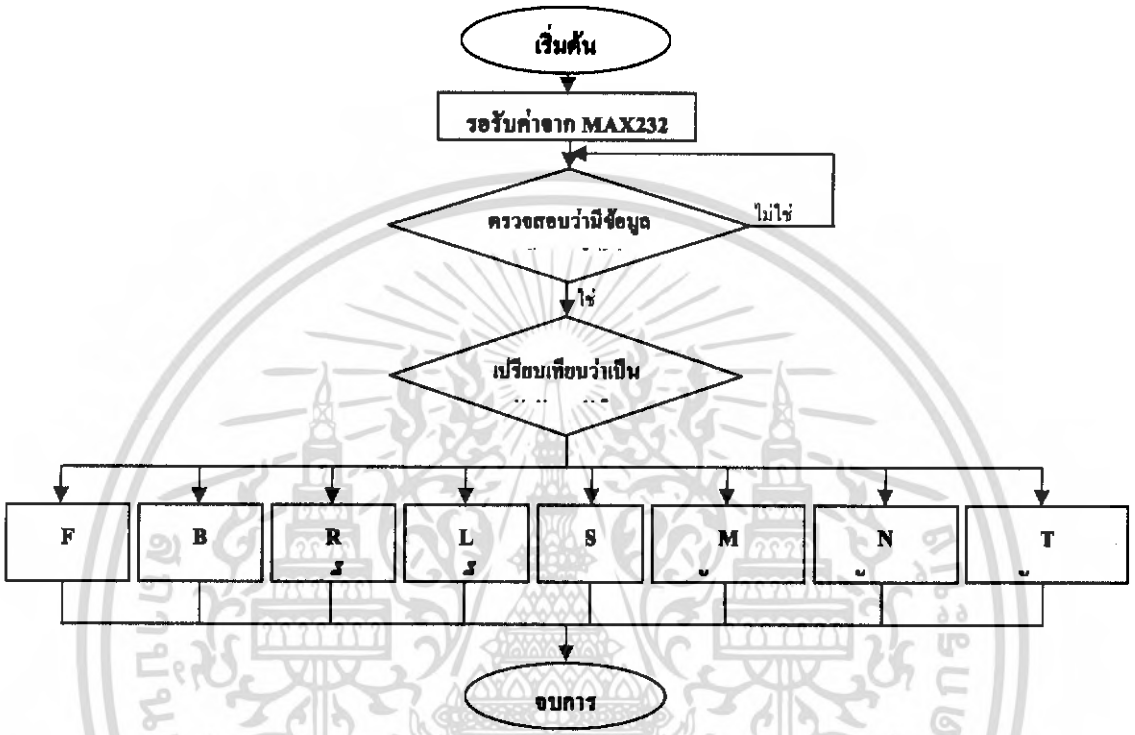
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 แสดงหน้าจอของโปรแกรม Visual Basic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

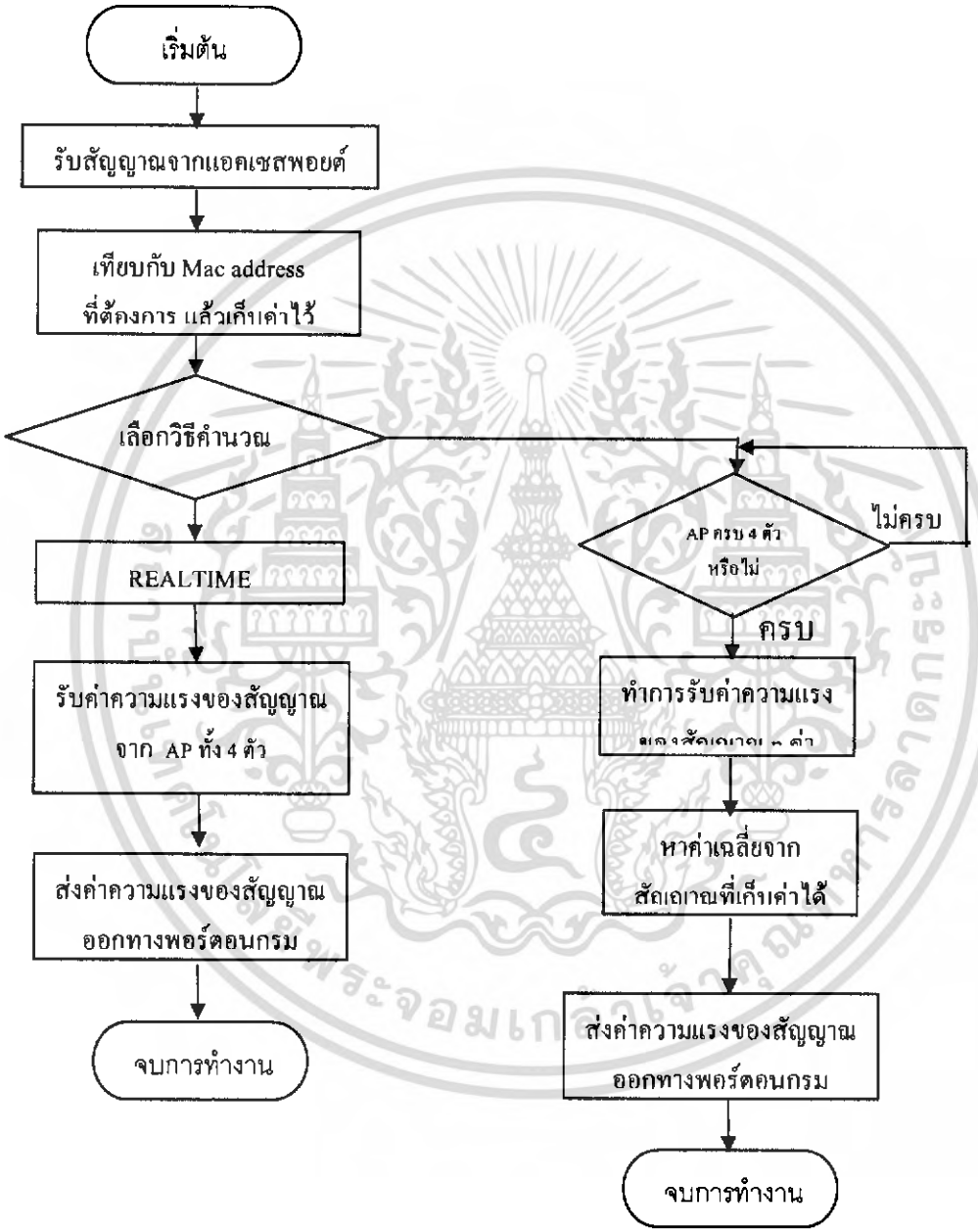
Flow Chart แสดงการทำงานของ PIC16F628



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flow Chart

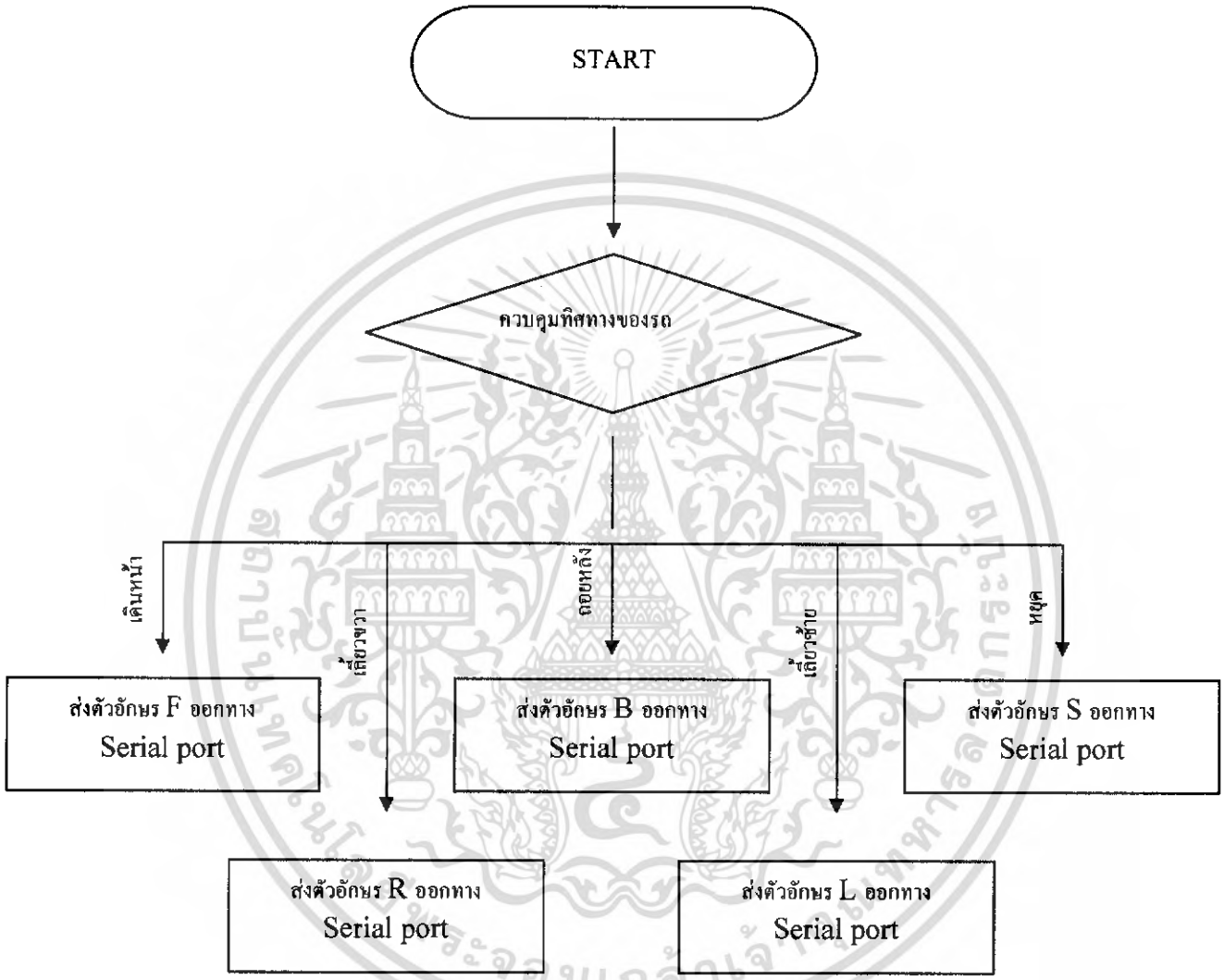
แสดงการทำงานของโปรแกรมรับสัญญาณจากแอคเซสพอยต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flow Chart

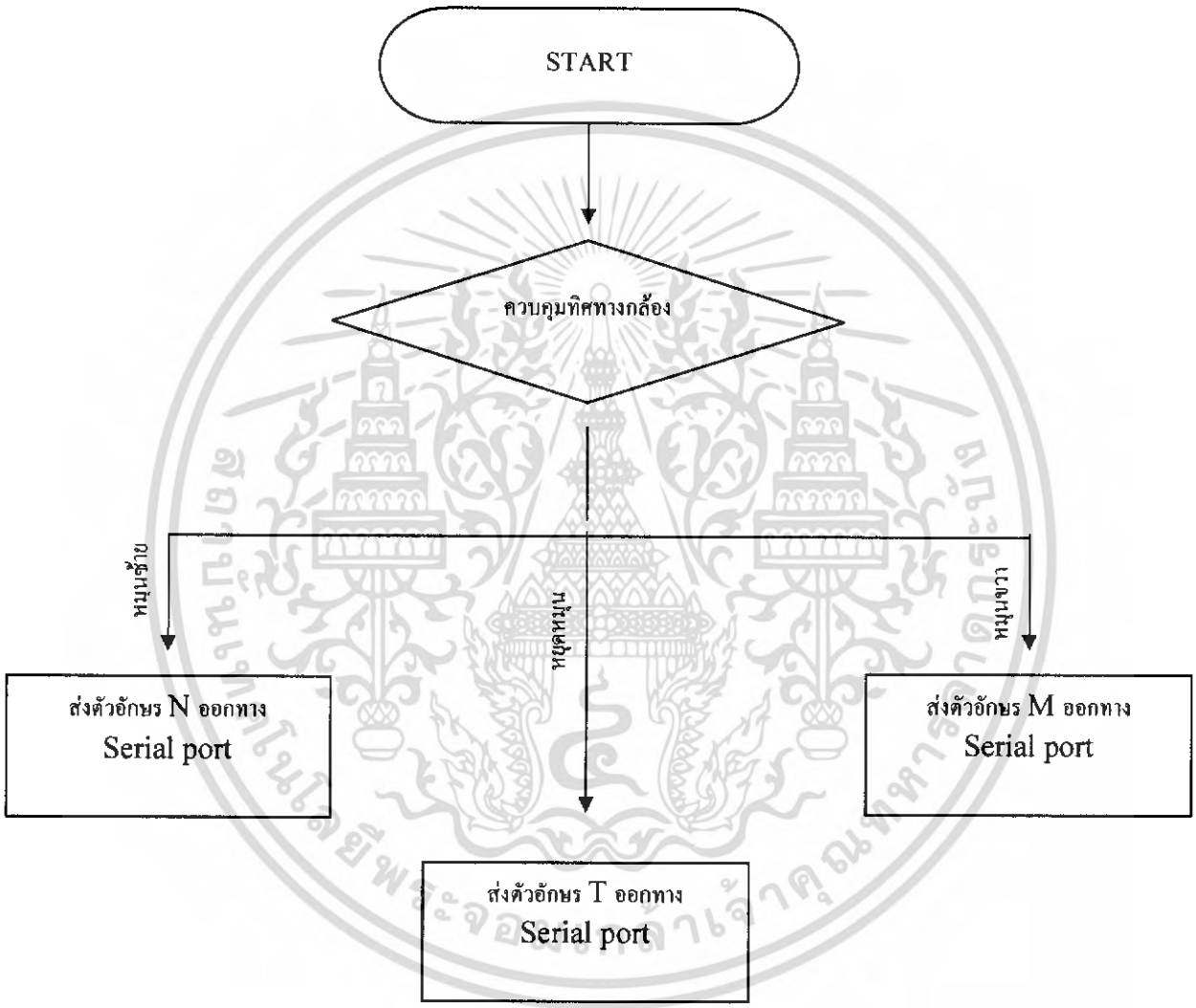
ส่วนควบคุม การเคลื่อนที่ของรถ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flow Chart

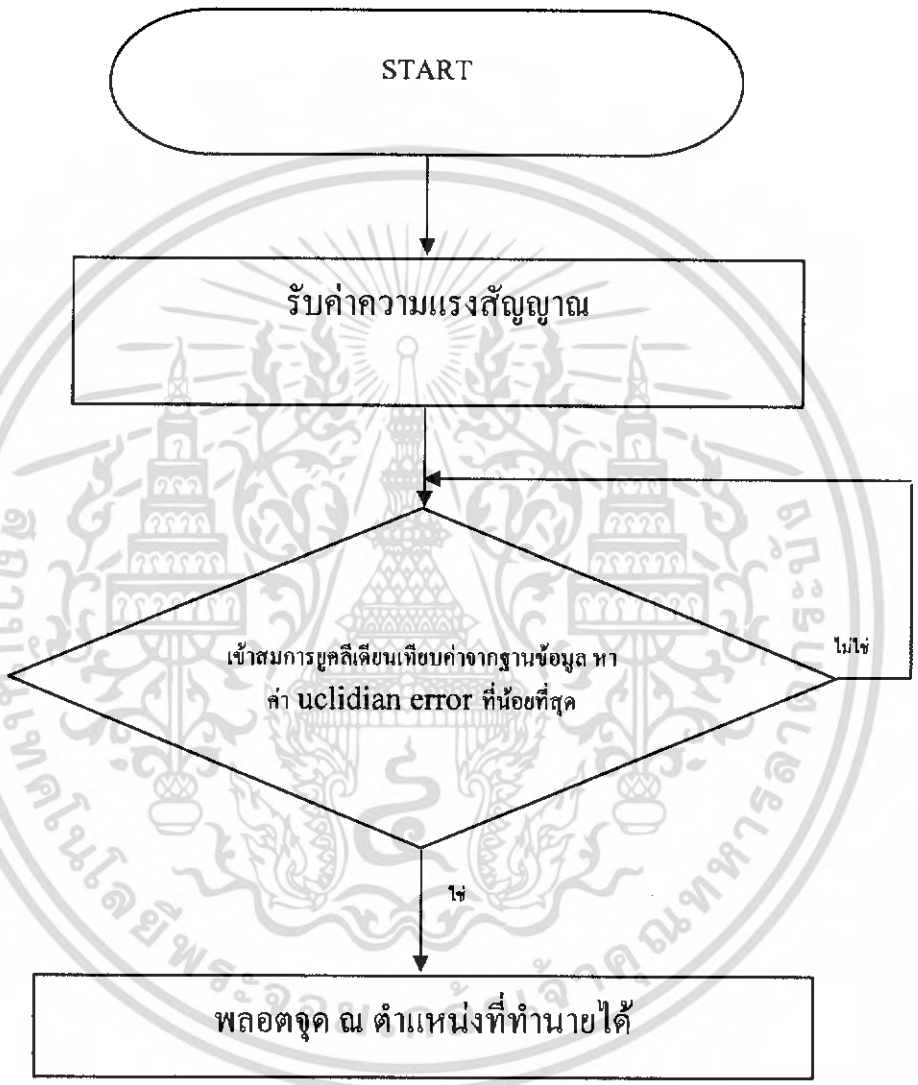
ส่วนควบคุม การหมุนของกล้อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Flow Chart

แสดงการทำงานของส่วนโปรแกรมทำนายตำแหน่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

การทดลอง

4.1 การทดลองตอนที่ 1 ทดลองโดยใช้ MATLAB ในการคำนวณ

4.1.1 ทำการเก็บข้อมูลที่เป็นระดับสัญญาณ RSSI ของทั้ง 4 AP ตรงตำแหน่งที่ต้องการพยากรณ์ มา 1 ตัวอย่าง โดยใช้โปรแกรม Placelab

4.1.2 นำข้อมูลที่เก็บได้มาหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณแต่ละ AP

4.1.3 ใช้โปรแกรม MATLAB ทำการคำนวณ โดยนำค่าที่ได้จากการเฉลี่ยแทนลงในสมการยูคลิเดียนเพื่อคำนวณหา Euclidean Error ทั้งหมดดังแสดงดังรูปที่ 4.1 โดยจากรูปตัวอย่างจะเห็นว่าค่า Euclidean Error ที่น้อยที่สุดคือ **0.5711**

4.1.4 นำค่า Euclidean Error ทั้งหมดไปเปรียบเทียบกับฐานข้อมูลในเอ็กเซลเพื่อดูว่าตรงตำแหน่งไหนมีค่า Euclidean Error น้อยที่สุด จึงทำการพยากรณ์ที่ตำแหน่งนั้น ดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยจะเห็นว่าค่า Euclidean Error ที่มีค่าน้อยที่สุด คือ **0.5711** ตรงกับตำแหน่งในฐานข้อมูลตำแหน่งที่ 44 (จากตัวอย่างเป็นการทดลองที่ตำแหน่งที่ 45 โดยใช้จำนวนข้อมูล 30 ตัวอย่าง)

4.1.5 ทำการเก็บข้อมูลตรงตำแหน่งเดิมเพิ่มเป็น 30 , 60 , 90 , 120 , 150 , 300 ค่าแล้วทำซ้ำในข้อ 2-3

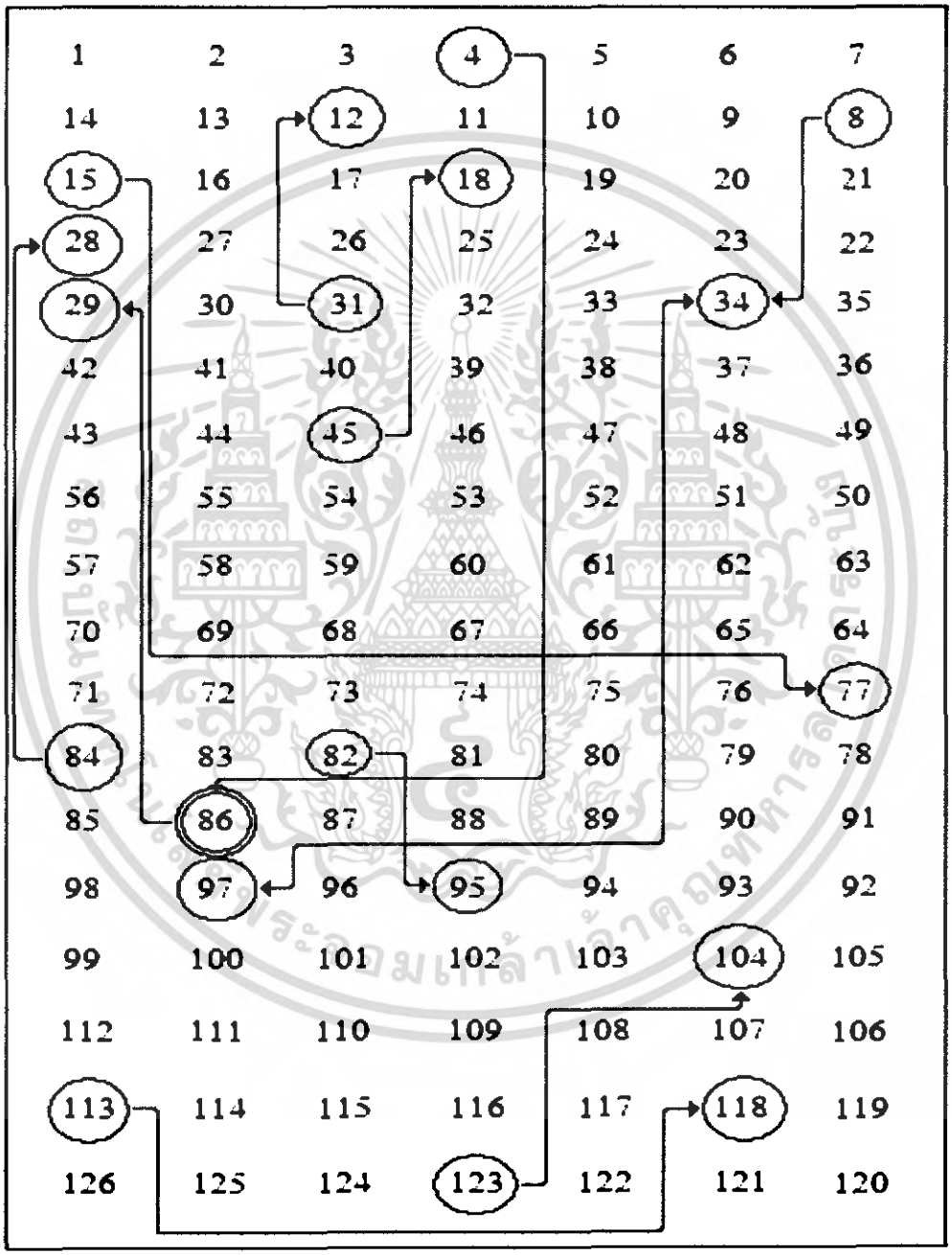
4.1.5 เปลี่ยนตำแหน่งที่ต้องการพยากรณ์อีก 10 ตำแหน่งแล้วทำซ้ำในข้อ 1-4

4.1.7 เปรียบเทียบตำแหน่งที่ MATLAB ทำนายเมื่อเราทำการเก็บข้อมูลไม่เท่ากันว่าผิดพลาดจากตำแหน่งจริงมากน้อยเพียงใด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

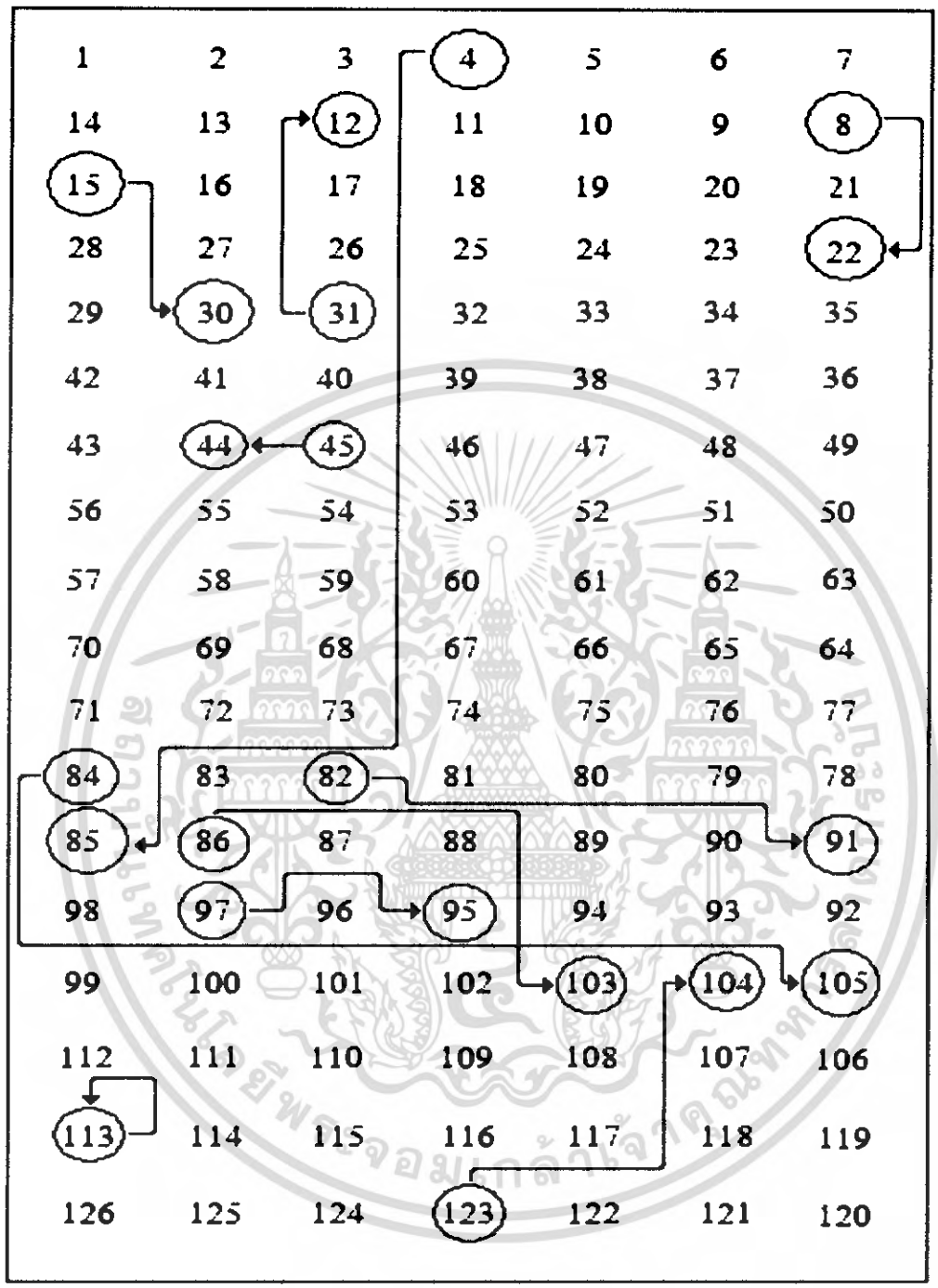
4.2 ผลการทดลองตอนที่ 1

4.2.1 ผลการทดลองตอนที่ 1 แสดงโดยเปรียบเทียบกันระหว่างจุดต่างๆที่จำนวน sample เดียวกัน



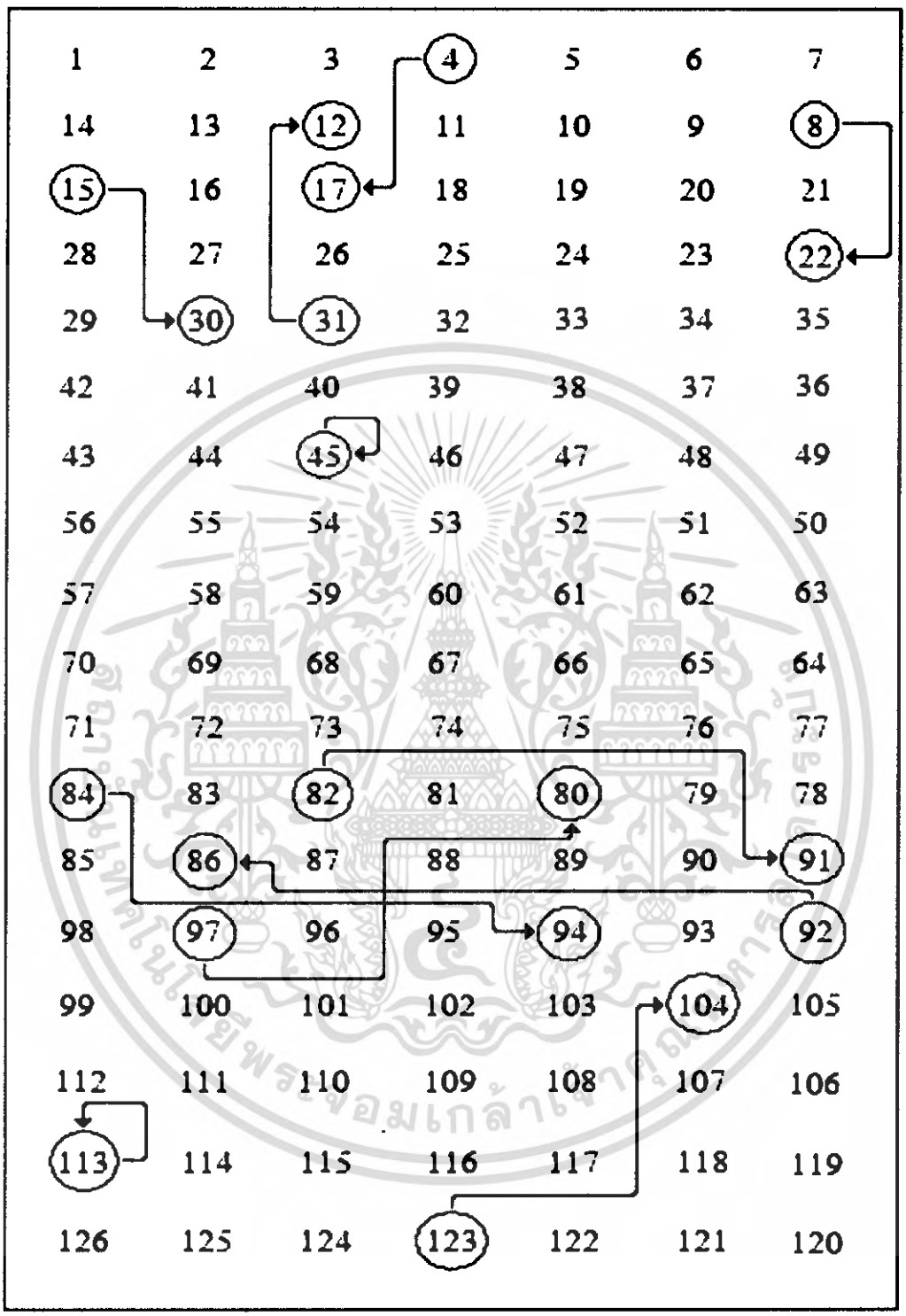
รูปที่ 4.1 แสดงการทำนายตำแหน่งเมื่อใช้จำนวนข้อมูล 1 sample

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



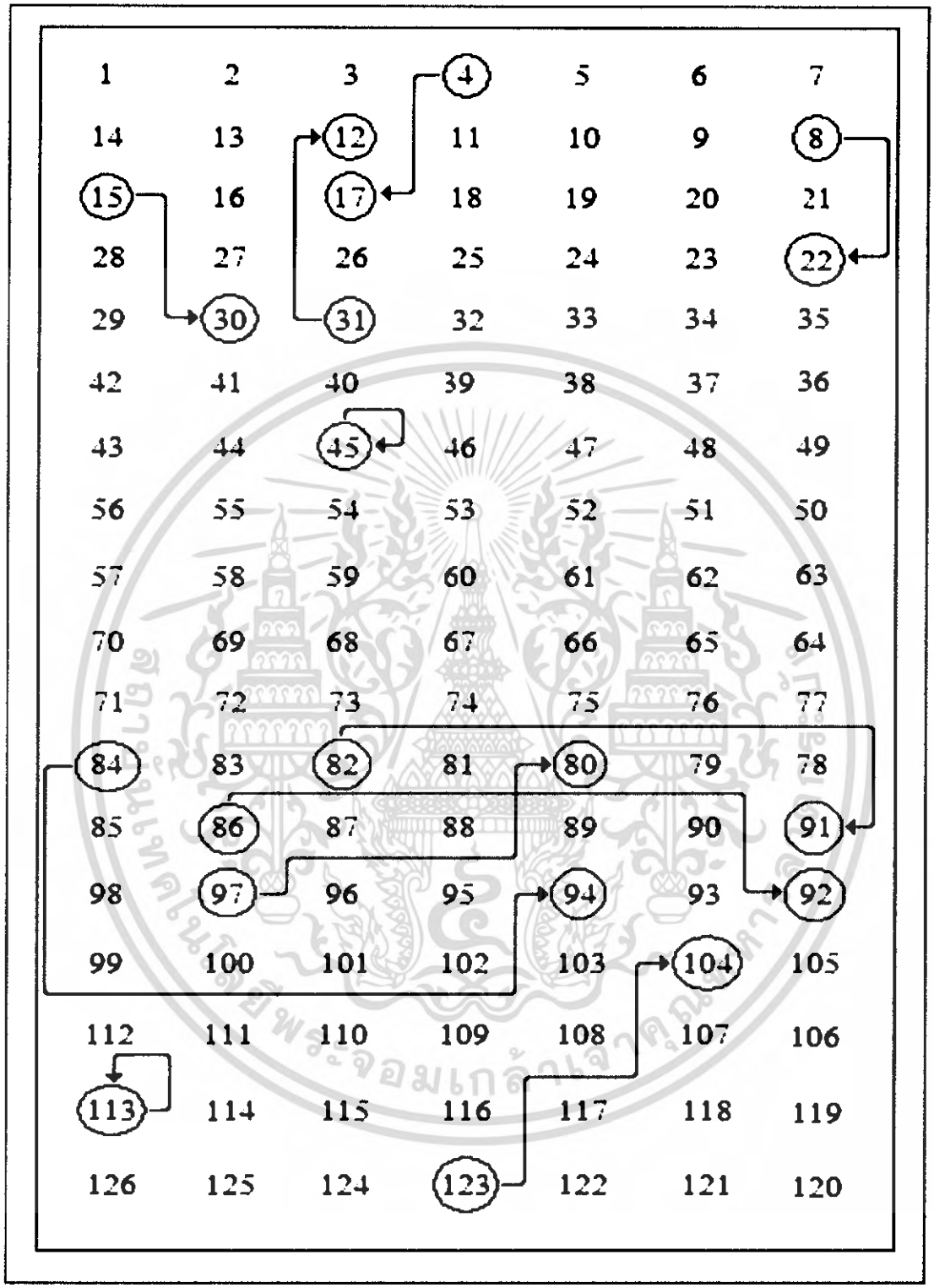
รูปที่ 4.2 แสดงการทำนายตำแหน่งเมื่อใช้จำนวนข้อมูล 30 samples

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



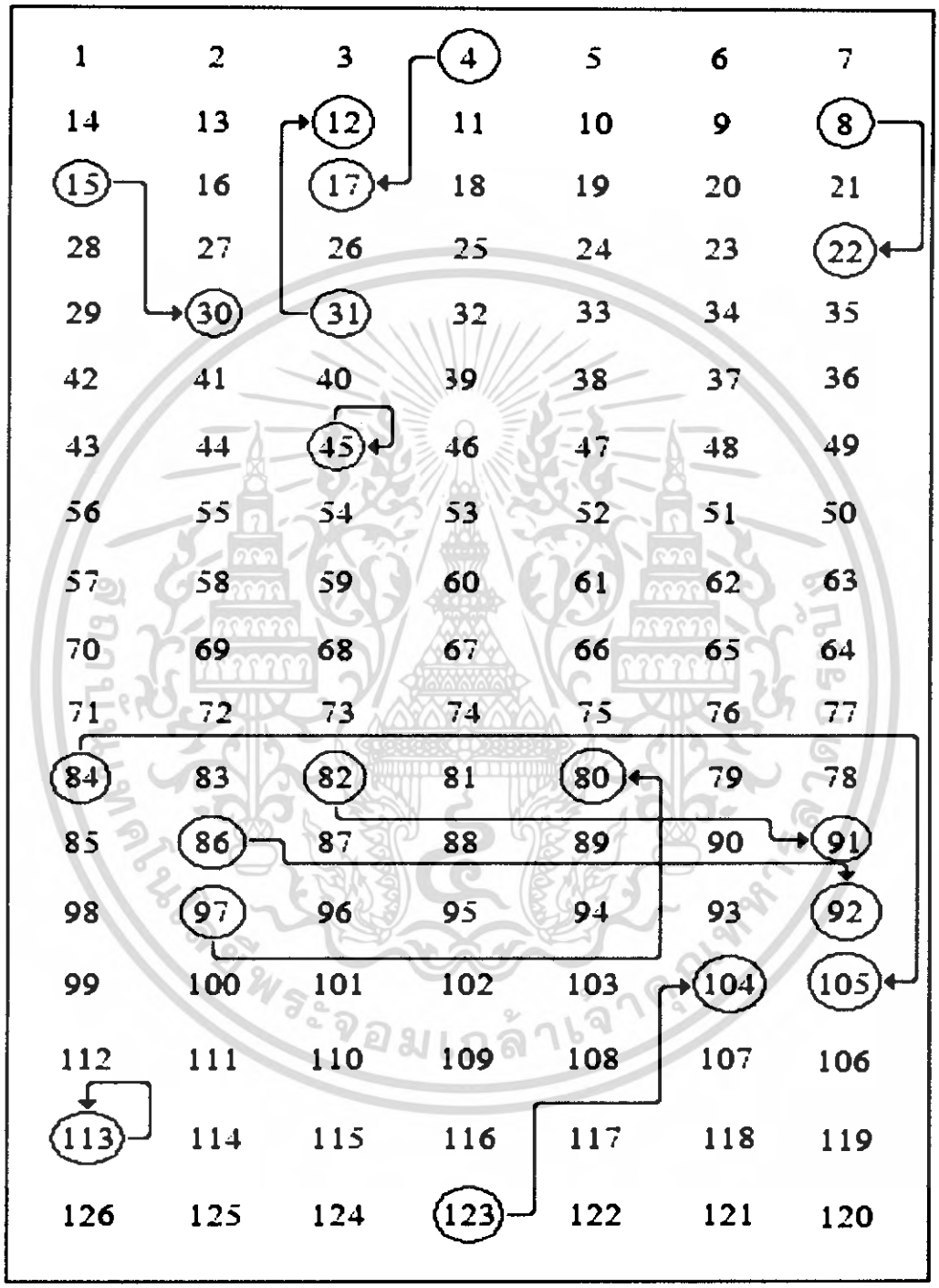
รูปที่ 4.3 แสดงการทำนายตำแหน่งเมื่อใช้จำนวนข้อมูล 60 samples

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



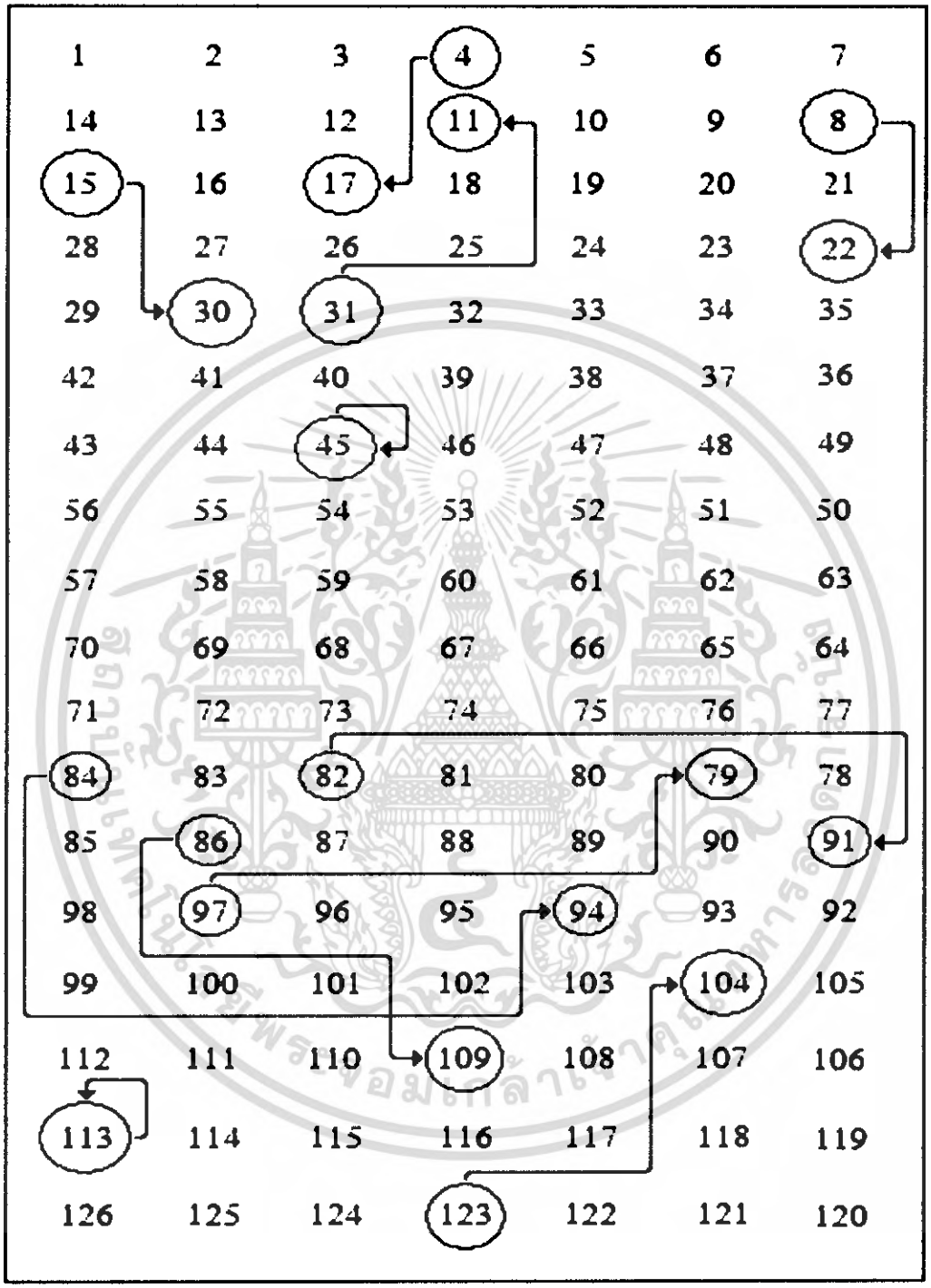
รูปที่ 4.4 แสดงการทำนายตำแหน่งเมื่อใช้จำนวนข้อมูล 90 samples

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



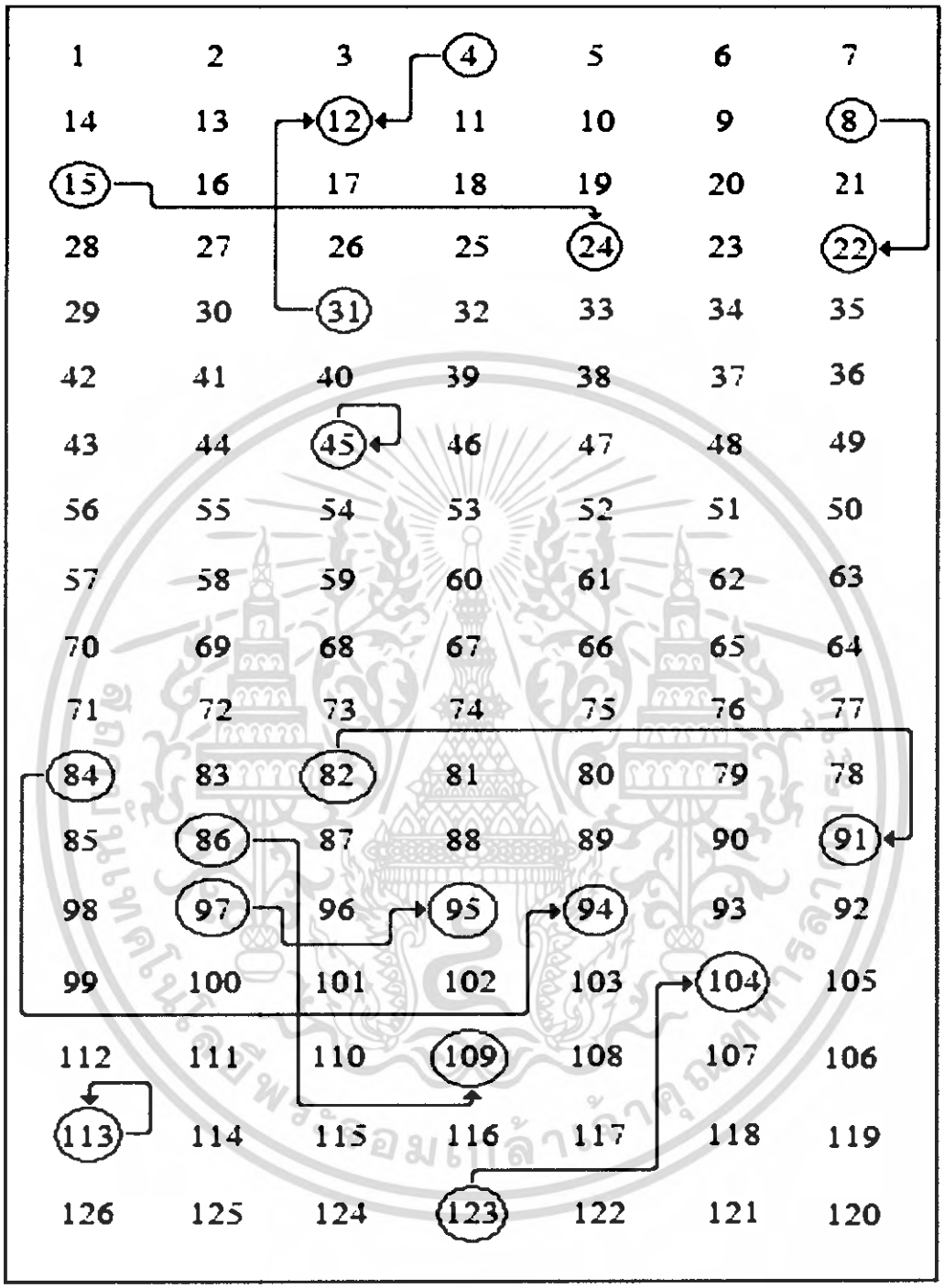
รูปที่ 4.5 แสดงการทำนายตำแหน่งเมื่อใช้จำนวนข้อมูล 120 samples

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงการทำนายตำแหน่งเมื่อใช้จำนวนข้อมูล 150 samples

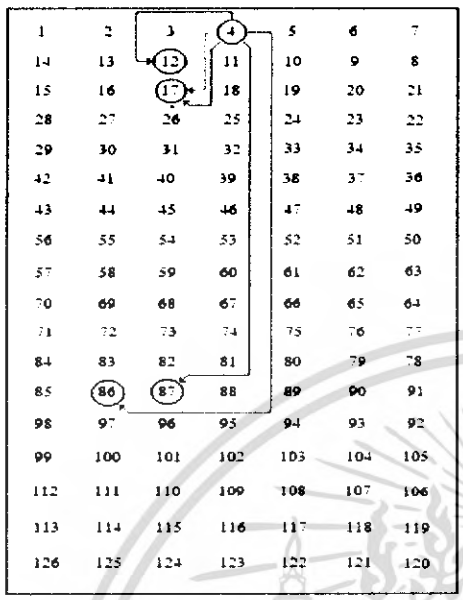
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



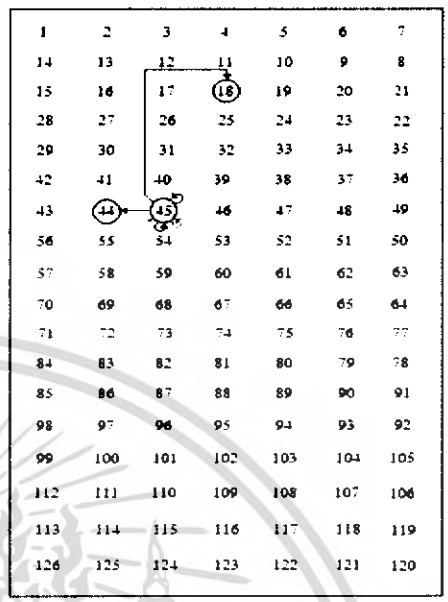
รูปที่ 4.7 แสดงการทำนายตำแหน่งเมื่อใช้จำนวนข้อมูล 300 samples

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

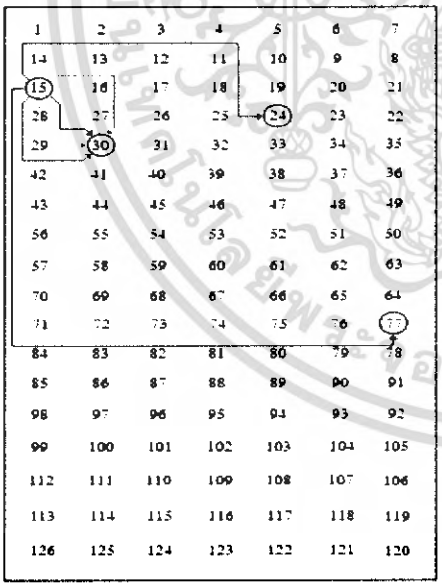
4.2.2 ผลการทดลองตอนที่ 1_ แสดงโดยเปรียบเทียบที่จุดเดียวกันแต่จำนวน sample แปลี่ยนแปลง



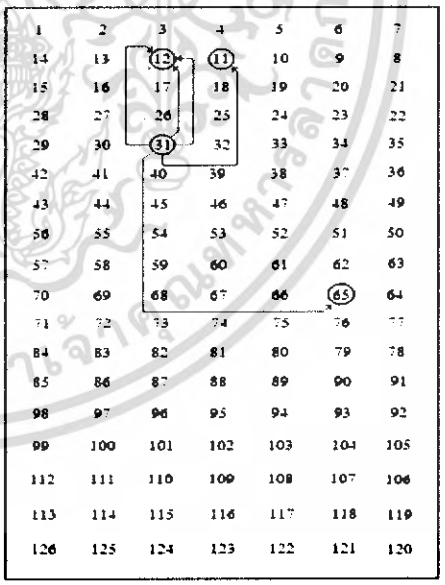
รูปที่ 4.8 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 4 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ



รูปที่ 4.9 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 45 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ

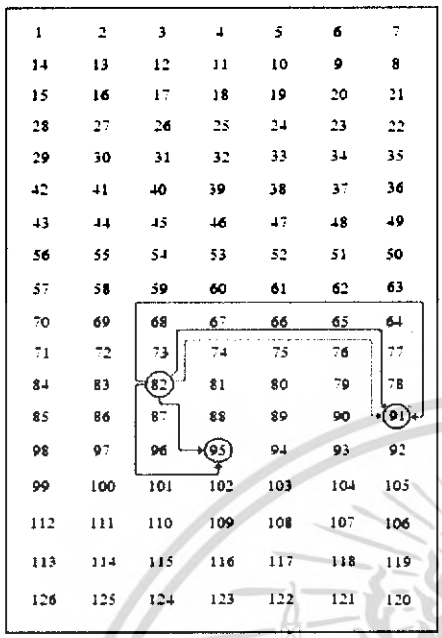


รูปที่ 4.10 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 15 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ

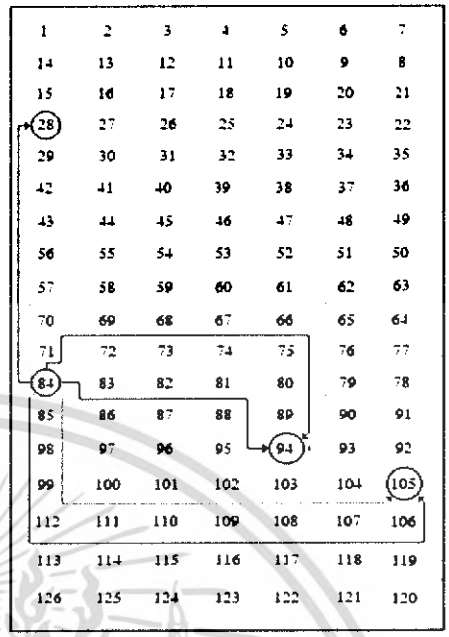


รูปที่ 4.11 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 31 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ

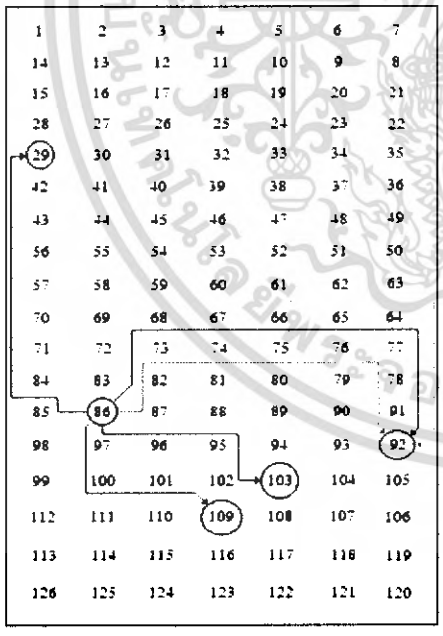
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



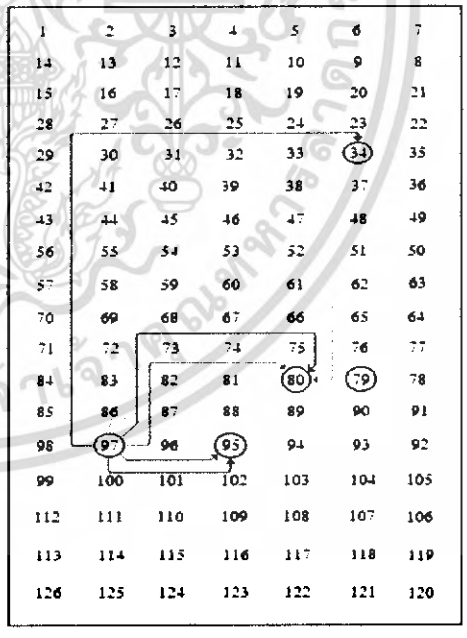
รูปที่ 4.12 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 82 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ



รูปที่ 4.13 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 84 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ

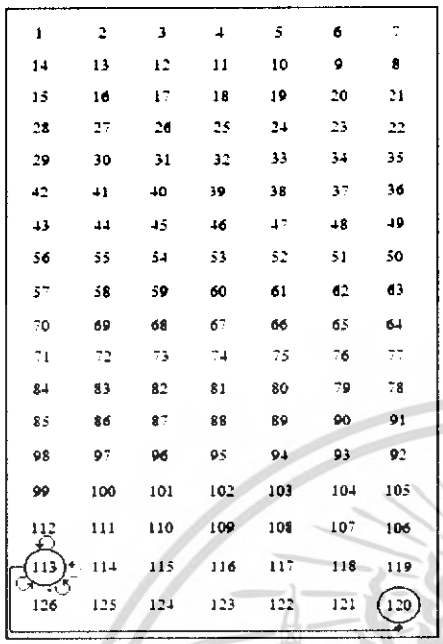


รูปที่ 4.14 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 86 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ



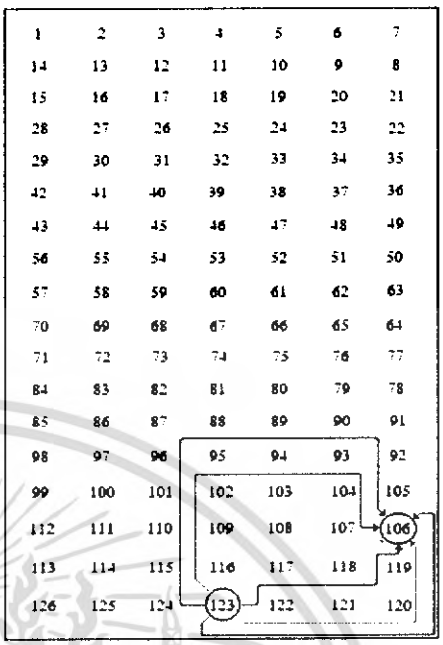
รูปที่ 4.15 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 97 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



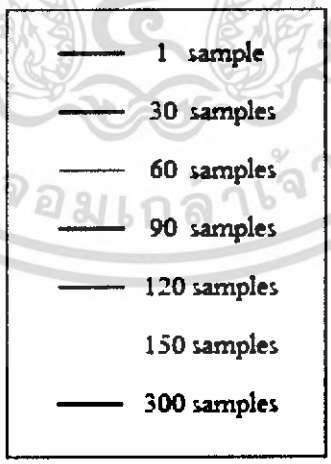
1	2	3	4	5	6	7
14	13	12	11	10	9	8
15	16	17	18	19	20	21
28	27	26	25	24	23	22
29	30	31	32	33	34	35
42	41	40	39	38	37	36
43	44	45	46	47	48	49
56	55	54	53	52	51	50
57	58	59	60	61	62	63
70	69	68	67	66	65	64
71	72	73	74	75	76	77
84	83	82	81	80	79	78
85	86	87	88	89	90	91
98	97	96	95	94	93	92
99	100	101	102	103	104	105
112	111	110	109	108	107	106
113	114	115	116	117	118	119
126	125	124	123	122	121	120

รูปที่ 4.16 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 113 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ

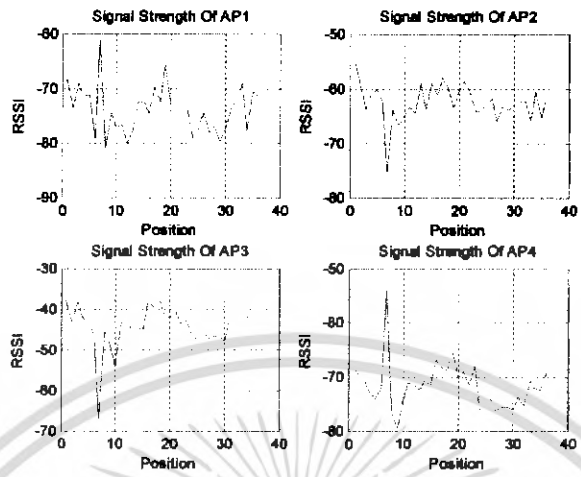


1	2	3	4	5	6	7
14	13	12	11	10	9	8
15	16	17	18	19	20	21
28	27	26	25	24	23	22
29	30	31	32	33	34	35
42	41	40	39	38	37	36
43	44	45	46	47	48	49
56	55	54	53	52	51	50
57	58	59	60	61	62	63
70	69	68	67	66	65	64
71	72	73	74	75	76	77
84	83	82	81	80	79	78
85	86	87	88	89	90	91
98	97	96	95	94	93	92
99	100	101	102	103	104	105
112	111	110	109	108	107	106
113	114	115	116	117	118	119
126	125	124	123	122	121	120

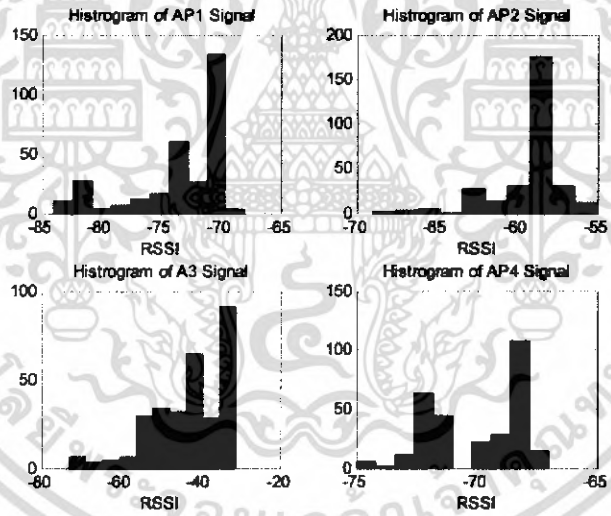
รูปที่ 4.17 แสดงการทำนายตำแหน่งของจุดที่ 123 โดยใช้จำนวน sample ค่าต่างๆ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ค่ากำลังงานของสัญญาณแต่ละ AP

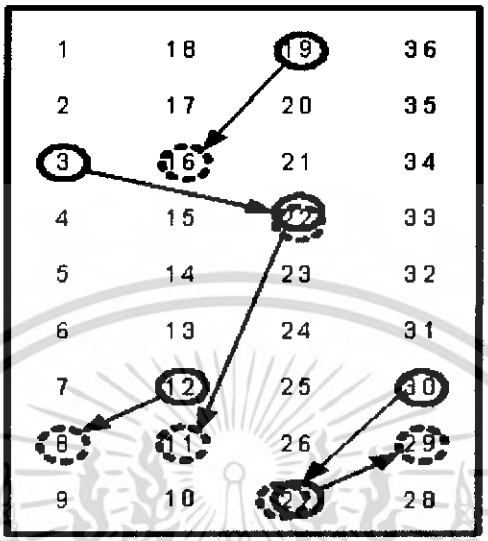


รูปที่ 4.19 ฮิสโตรแกรมของสัญญาณของ AP ทั้ง 4

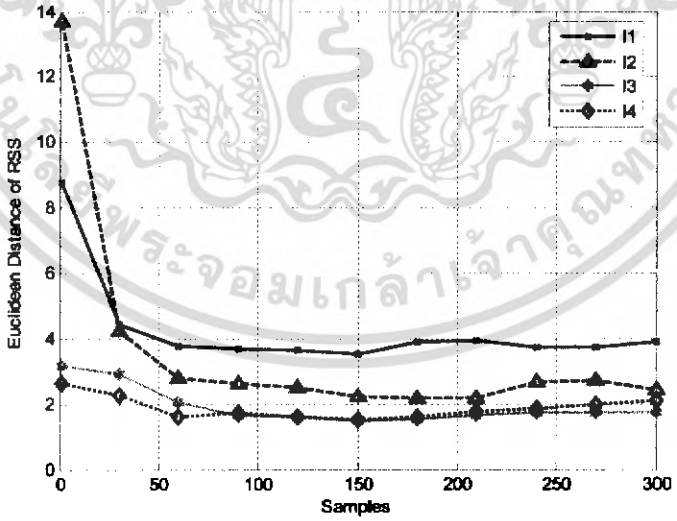
รูปที่ 4.18 แสดงระดับของกำลังงานของสัญญาณที่รับได้ ณ ตำแหน่งใดๆ และ รูปที่ 4.19 แสดงฮิสโตรแกรมของสัญญาณที่ตำแหน่งใดๆ มีลักษณะการกระจายค่าของระดับสัญญาณของแต่ละ AP โดยในรูปที่ 4.19 แสดงให้เห็นว่า AP1 และ AP2 มีการกระจายของค่าระดับสัญญาณที่รับได้ไม่มาก แต่ AP3 และ AP4 มีการกระจายของสัญญาณที่มีค่าความแปรปรวนสูง ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดความผิดพลาดในการบอกตำแหน่ง ซึ่งเมื่อใช้วิธีการทาง Euclidean จะเกิดความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ในการบอกตำแหน่งพิกัด เพราะว่าในสมการของ Euclidean จะประกอบด้วยพจน์ของสัญญาณทั้ง 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AP ดังในรูปที่ 4.19 แสดงจุดที่พยากรณ์ตำแหน่งของอีกห้องหนึ่งที่ได้ทำการทดลองด้วย ซึ่งเส้นทึบแสดงจุดที่ถูกต้อง และ เส้นประแสดงจุดที่พยากรณ์ตำแหน่งโดยใช้ Euclidean



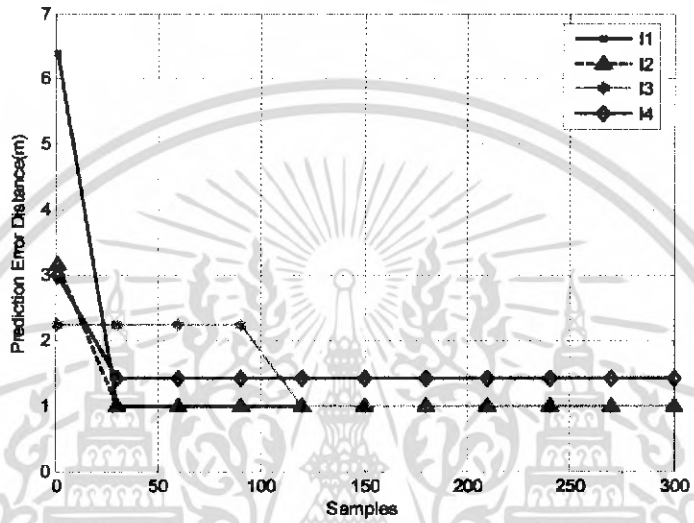
รูปที่ 4.20 การพยากรณ์ตำแหน่งโดยใช้วิธีการ Euclidean เมื่อจำนวนตัวอย่างของข้อมูลที่ 60 ตัวอย่าง



รูปที่ 4.21 ค่า Euclidean เปลี่ยนแปลงเมื่อเพิ่มจำนวน Sample สูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปแสดงให้เห็นว่าค่าความแตกต่างของระดับสัญญาณของแต่ละ AP ณ ตำแหน่งต่างๆ จะลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนของข้อมูล ก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนในการคำนวณ Euclidean และในรูปที่ 4.21 แสดงผลของการเพิ่มจำนวนตัวอย่างของข้อมูลก่อนทำการคำนวณด้วย Euclidean มีความผิดพลาดของระยะทางในการพยากรณ์ตำแหน่ง



รูปที่ 4.22 ผลของค่าระยะทางผิดพลาดจากการทำนายเมื่อเปลี่ยนแปลงจำนวน Samples

จากรูปที่ 4.22 แสดงความระยะทางผิดพลาดของแต่ละตำแหน่งเมื่อใช้ Euclidean โดยทำการเพิ่มจำนวน ข้อมูลของ สัญญาณ เพิ่มมากขึ้น เห็นได้ว่าจำนวนของข้อมูลมีผลต่อความถูกต้องมากยิ่งขึ้น โดยเพิ่มจำนวนข้อมูล 1, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300 ตัวอย่าง แสดงให้เห็นว่า ที่จำนวนของข้อมูลที่ 1 samples จะให้ระยะทางผิดพลาดมาก และยิ่งเพิ่มจำนวนตัวอย่างข้อมูลมากยิ่งขึ้น ระยะทางผิดพลาดน้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความผิดพลาดที่เกิดจากการทำนายตำแหน่งโดยใช้ MATLAB

จุดที่ทำนาย	ระยะทางที่คลาดเคลื่อนจากตำแหน่งจริงของจำนวน samples ค่าต่างๆ (เมตร)						
	1	30	60	90	120	150	300
4	12.16	12.36	2.24	2.24	2.24	2.24	1.41
8	3.16	2	2	2	2	2	2
15	10	2.24	2.24	2.24	2.24	2.24	4.12
31	3	3	3	3	3	3.16	3
45	4.12	1	0	0	0	0	0
82	8	6.71	4.12	4.12	4.12	4.12	4.12
84	2.24	4.12	4.47	4.47	6.71	4.47	4.47
86	8.06	3.61	5.1	5.1	5.1	3.61	3.61
97	9.85	2	3.61	3.61	3.61	4.47	2
113	5	1	0	0	0	0	0
123	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61	3.61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การทดลองตอนที่ 2 ทดลองโปรแกรมทำนายตำแหน่ง

4.3.1 นำเอาโน้ทบุ๊คไปวางไว้ตรงตำแหน่งที่เราทำการทดลอง

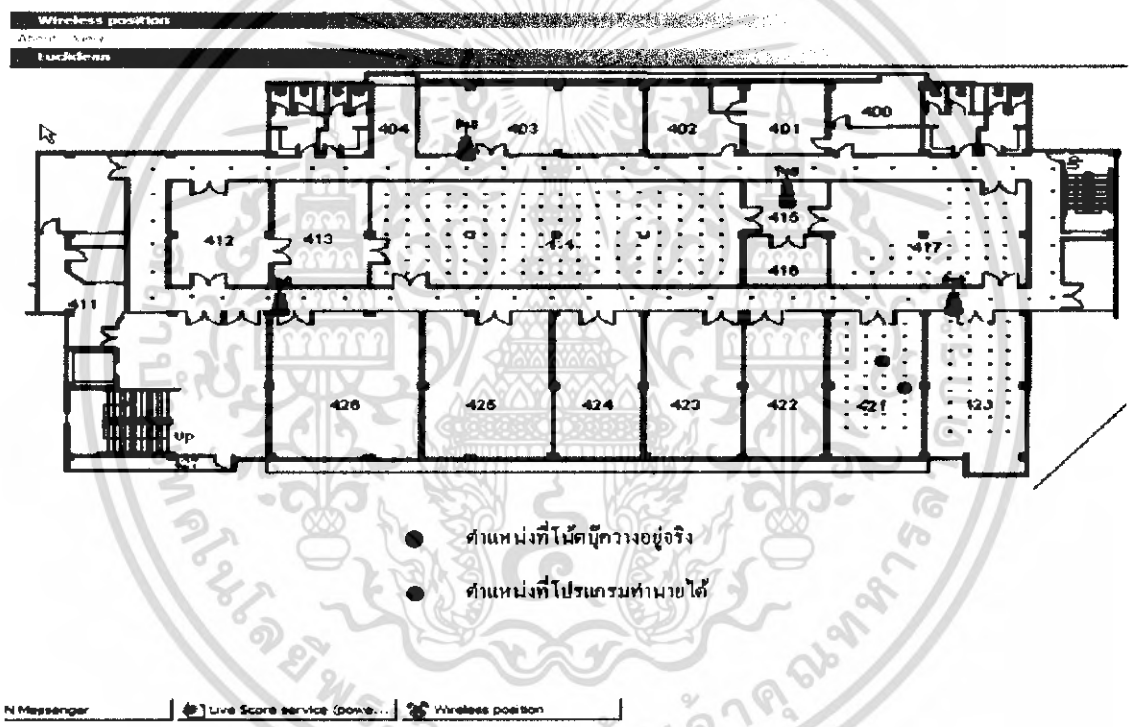
4.3.2 ทำการเปิดโปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

4.3.3 ทำการบันทึกรูปภาพที่โปรแกรมทำการทำนายตำแหน่งไว้

4.3.4 นำเอาค่าที่ได้จากโปรแกรมไปเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริงว่าใกล้เคียงหรือไม่

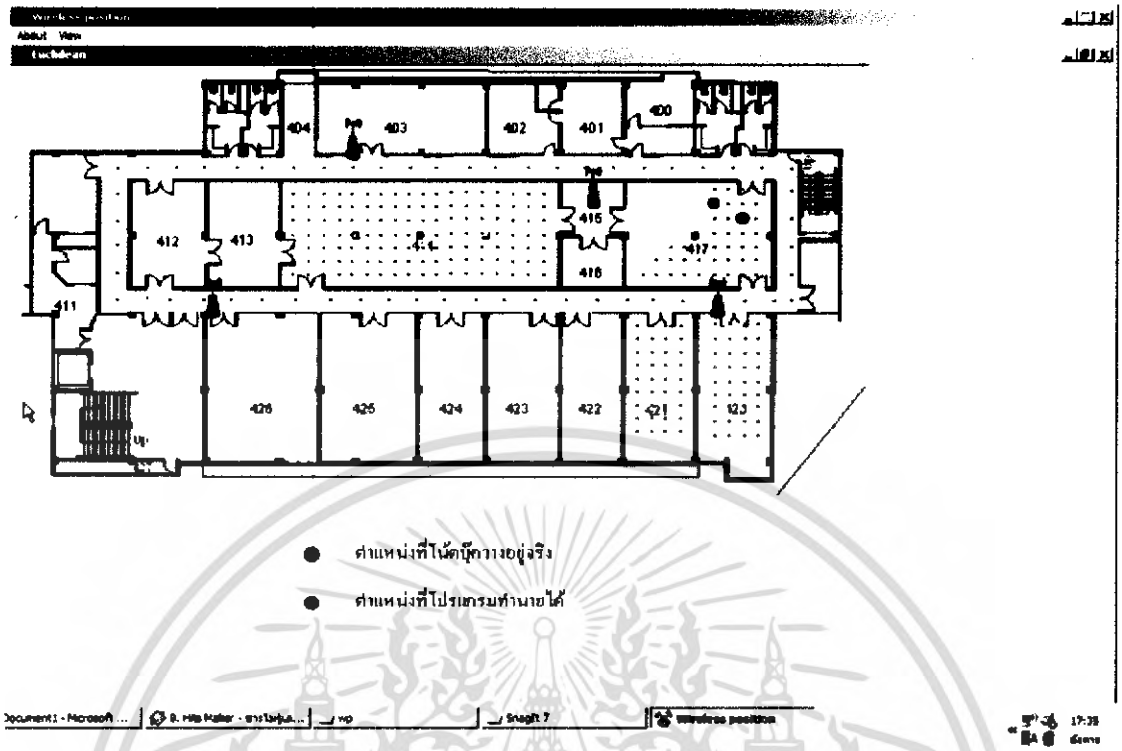
4.3.5 ทำการย้ายตำแหน่งของโน้ตบุ๊คแล้วทำการทดลองเหมือนเดิม

4.4 ผลการทดลองตอนที่ 2

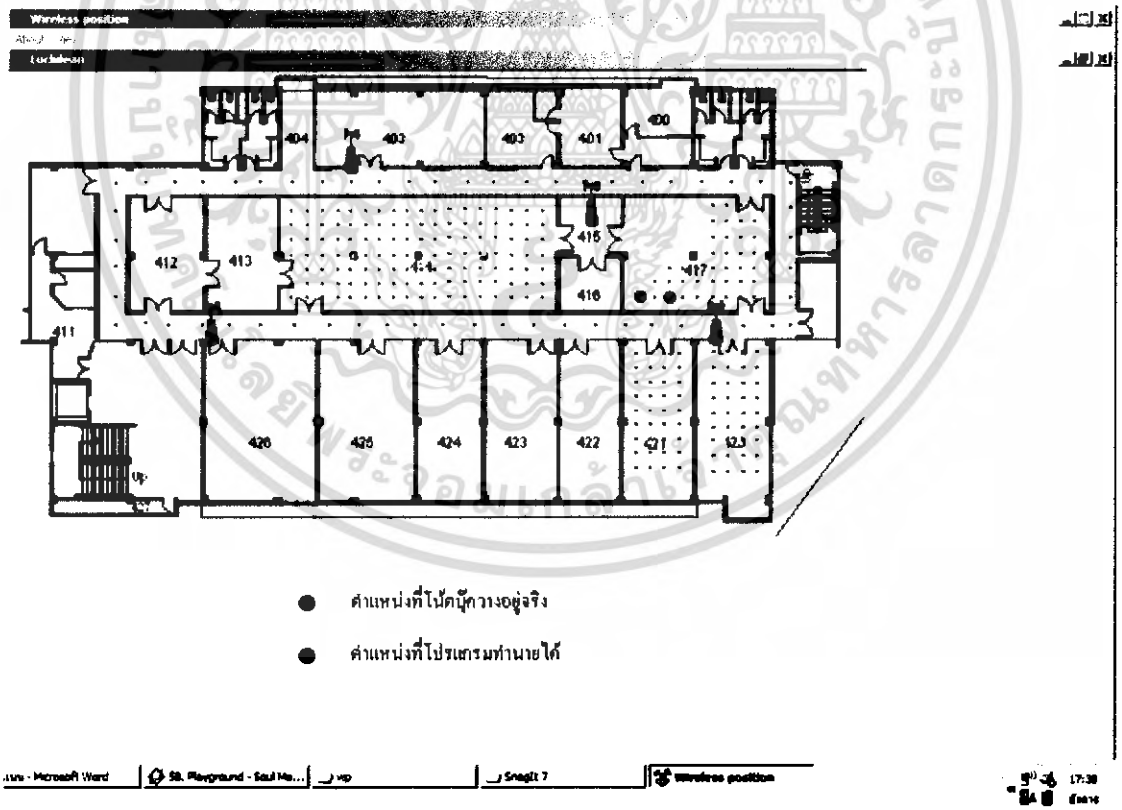


รูปที่ 4.23 แสดงผลการทดลองโดยที่สีน้ำเงินเป็นตำแหน่งจริงและสีแดงเป็นตำแหน่งที่โปรแกรมทำนายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

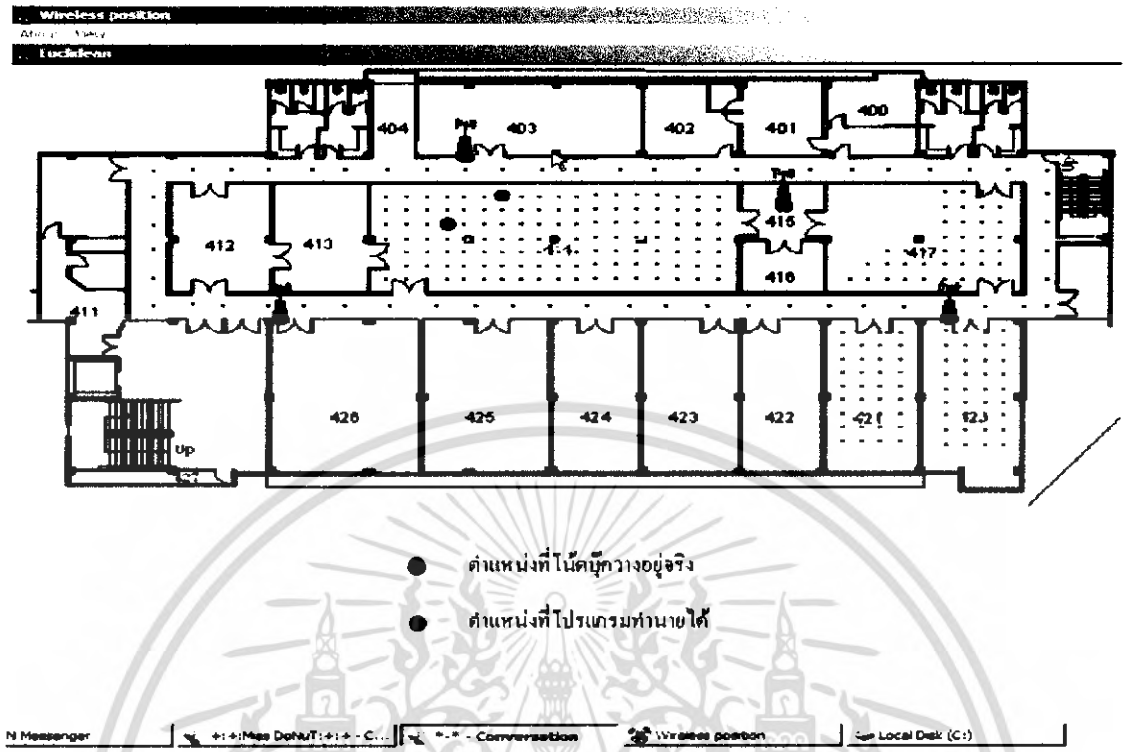


รูปที่ 4.24 แสดงผลการทดลองโดยที่สีน้ำเงินเป็นตำแหน่งจริงและสีแดงเป็นตำแหน่งที่โปรแกรมทำนายได้

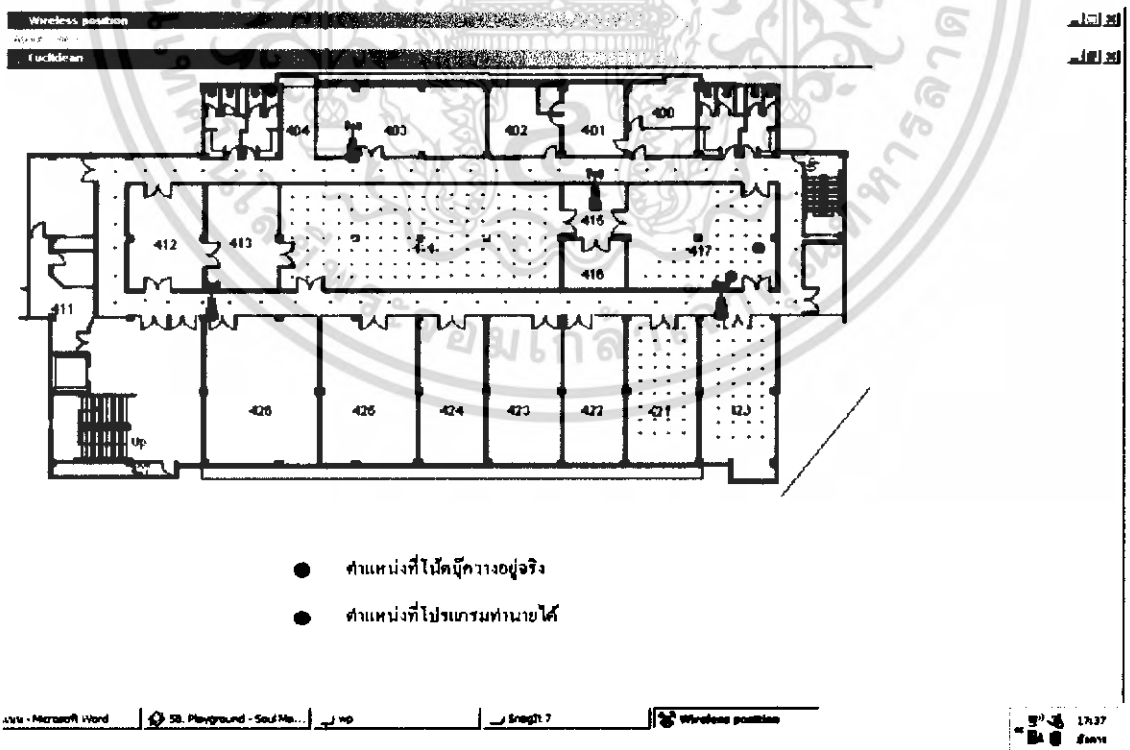


รูปที่ 4.25 แสดงผลการทดลองโดยที่สีน้ำเงินเป็นตำแหน่งจริงและสีแดงเป็นตำแหน่งที่โปรแกรมทำนายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

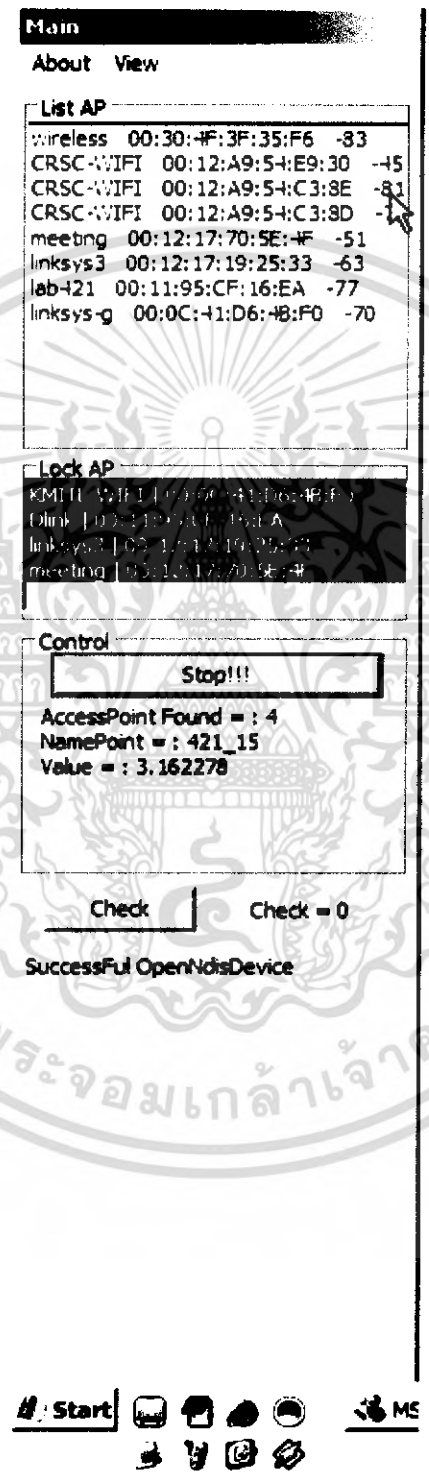


รูปที่ 4.26 แสดงผลการทดลองโดยที่สีน้ำเงินเป็นตำแหน่งจริงและสีแดงเป็นตำแหน่งที่โปรแกรมทำนายได้



รูปที่ 4.27 แสดงผลการทดลองโดยที่สีน้ำเงินเป็นตำแหน่งจริงและสีแดงเป็นตำแหน่งที่โปรแกรมทำนายได

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.28 แสดงค่าของสัญญาณที่โปรแกรมสามารถรับได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การทดลองตอนที่ 3 บังคับรถเพื่อทำการหาวัตถุที่ต้องการและส่งผลกลับมาแสดงยังคอมพิวเตอร์

4.5.1 นำวัตถุไปวางในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง

4.5.2 นำเอาโน้ตบุ๊คที่มีโปรแกรมทำนายตำแหน่งมาวางไว้บนรถสำรวจดังรูปที่ 4.8 และเปิดโปรแกรมทำนายตำแหน่งไว้ด้วย

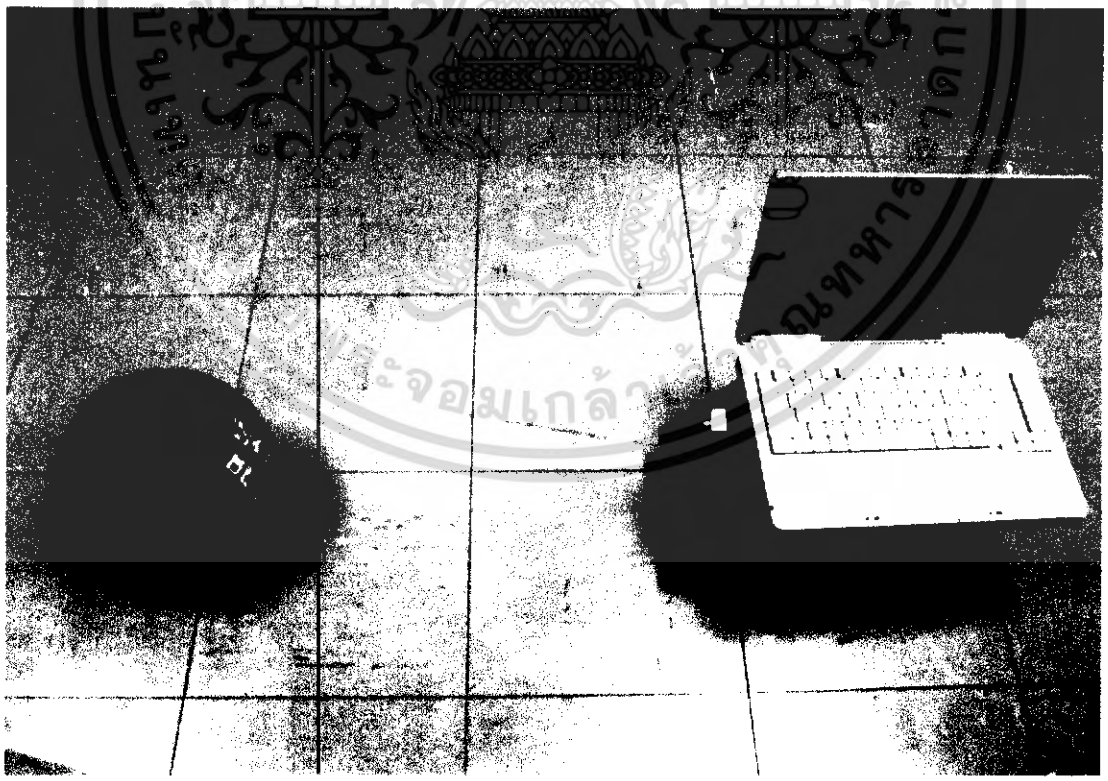
4.5.3 เปิดโปรแกรม Visual Basic ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการคอนโทรลและแสดงผล

4.5.4 ใช้กล้องในการแพลนดูว่าวัตถุอยู่ในรัศมีของกล้องหรือไม่ ถ้าไม่อยู่ให้ทำการเคลื่อนรถไปตามที่เราต้องการและทำการใช้กล้องตรวจหาวัตถุจนกว่าจะพบวัตถุ

4.5.5 เมื่อพบวัตถุแล้วให้ทำการบังคับรถให้วิ่งเข้าไปใกล้วัตถุให้มากที่สุด

4.5.6 ตรวจสอบจากโปรแกรมทำนายตำแหน่งว่าวัตถุอยู่ที่ตำแหน่งไหน จากนั้นนำไปเปรียบเทียบกับตำแหน่งจริงว่าเกิดความผิดพลาดมากน้อยแค่ไหน

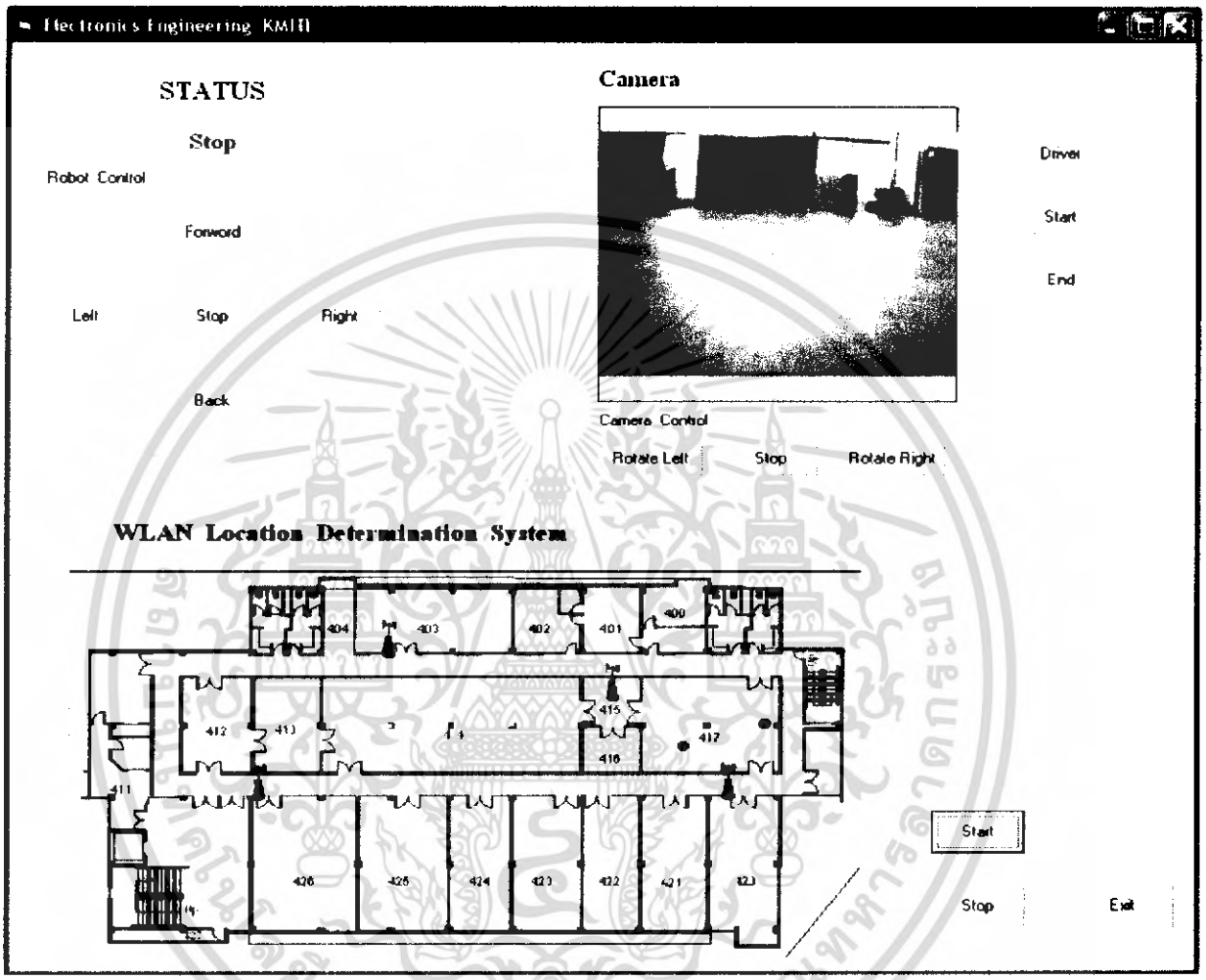
4.5.7 ลองเปลี่ยนตำแหน่งที่วางของวัตถุและทำการทดลองเหมือนเดิม



รูปที่ 4.29 รูปแสดงการทดลองตอนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

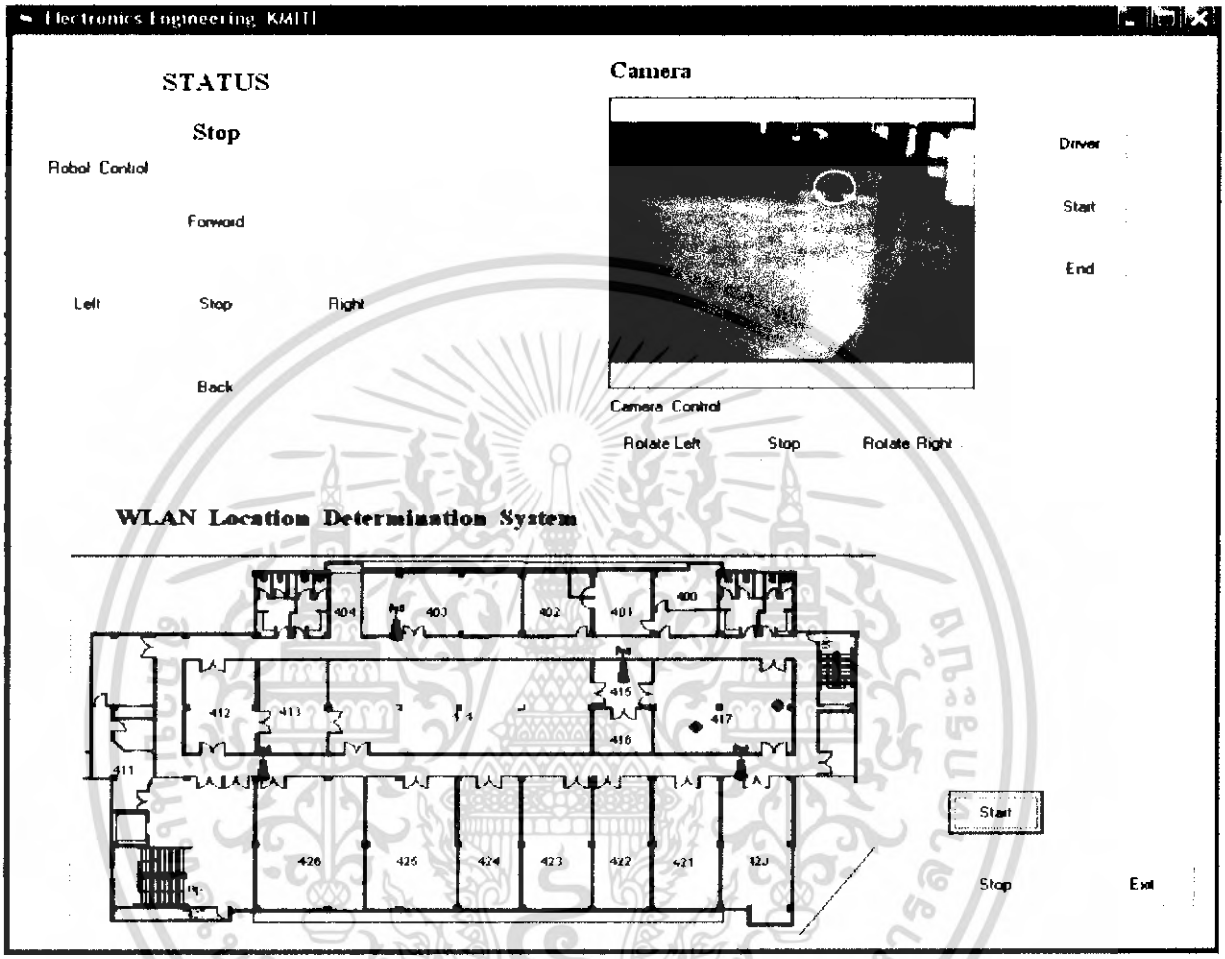
4.6 ผลการทดลองตอนที่ 3 วัตถุที่ใช้ในการทดลองคือลูกบาสเก็ตบอล



รูปที่ 4.30

จากรูปที่ 4.30 เป็นการแสดงหน้าจอที่ใช้ควบคุมรถสำรวจและเสดงผล (โปรแกรม Visual Basic) โดยที่ด้านซ้ายบนของหน้าจอจะเป็นปุ่มควบคุมและแสดงสถานะของรถสำรวจ ที่ด้านขวาบนของหน้าจอจะแสดงภาพที่กล้องที่ติดกับรถสำรวจจับได้และจะมีปุ่มไว้สำหรับควบคุมกล้อง ที่ด้านล่างของหน้าจอจะแสดงตำแหน่งของรถสำรวจว่าอยู่ที่ตำแหน่งใดในแผนที่ ซึ่งจุดสีแดงคือตำแหน่งของรถสำรวจ ส่วนจุดสีน้ำเงินคือตำแหน่งขอวัตถุที่รถสำรวจต้องการค้นหา (จุดสีน้ำเงินเป็นจุดที่สมมติขึ้น ไม่มีในหน้าจอจริง) เมื่อนำรถสำรวจมาวางที่ตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่ง กล้องก็จะเริ่มจับภาพ และส่วนของแผนที่จะแสดงตำแหน่งของรถสำรวจ (จุดสีแดง)

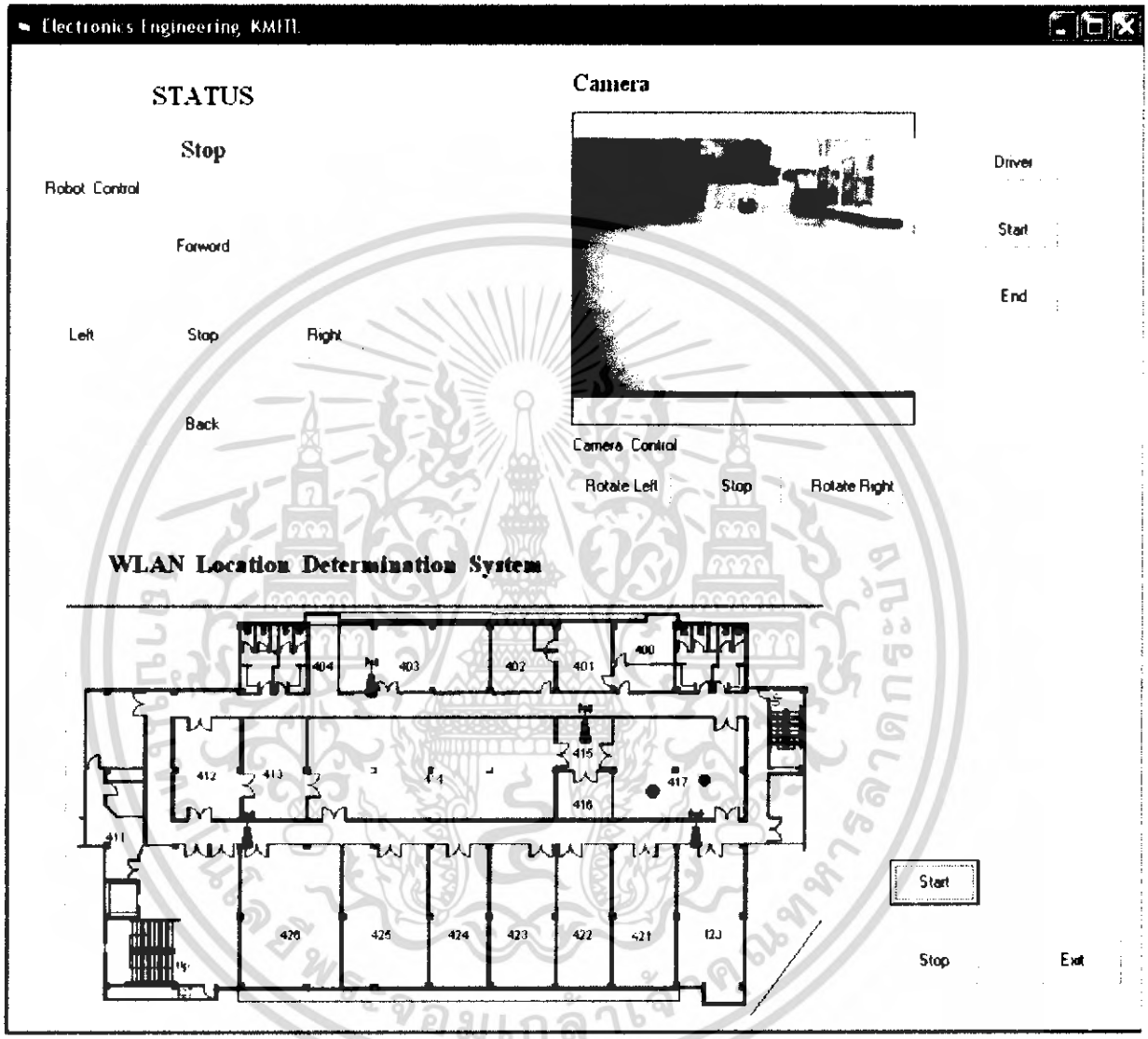
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.31

จากรูปที่ 4.31 รถสำรวจจะเริ่มแพลนกล้องเพื่อค้นหาวัตถุที่ต้องการ เมื่อพบวัตถุที่ต้องการแล้ว จะทำการควบคุมรถสำรวจให้เคลื่อนที่ไปยังวัตถุที่ต้องการ

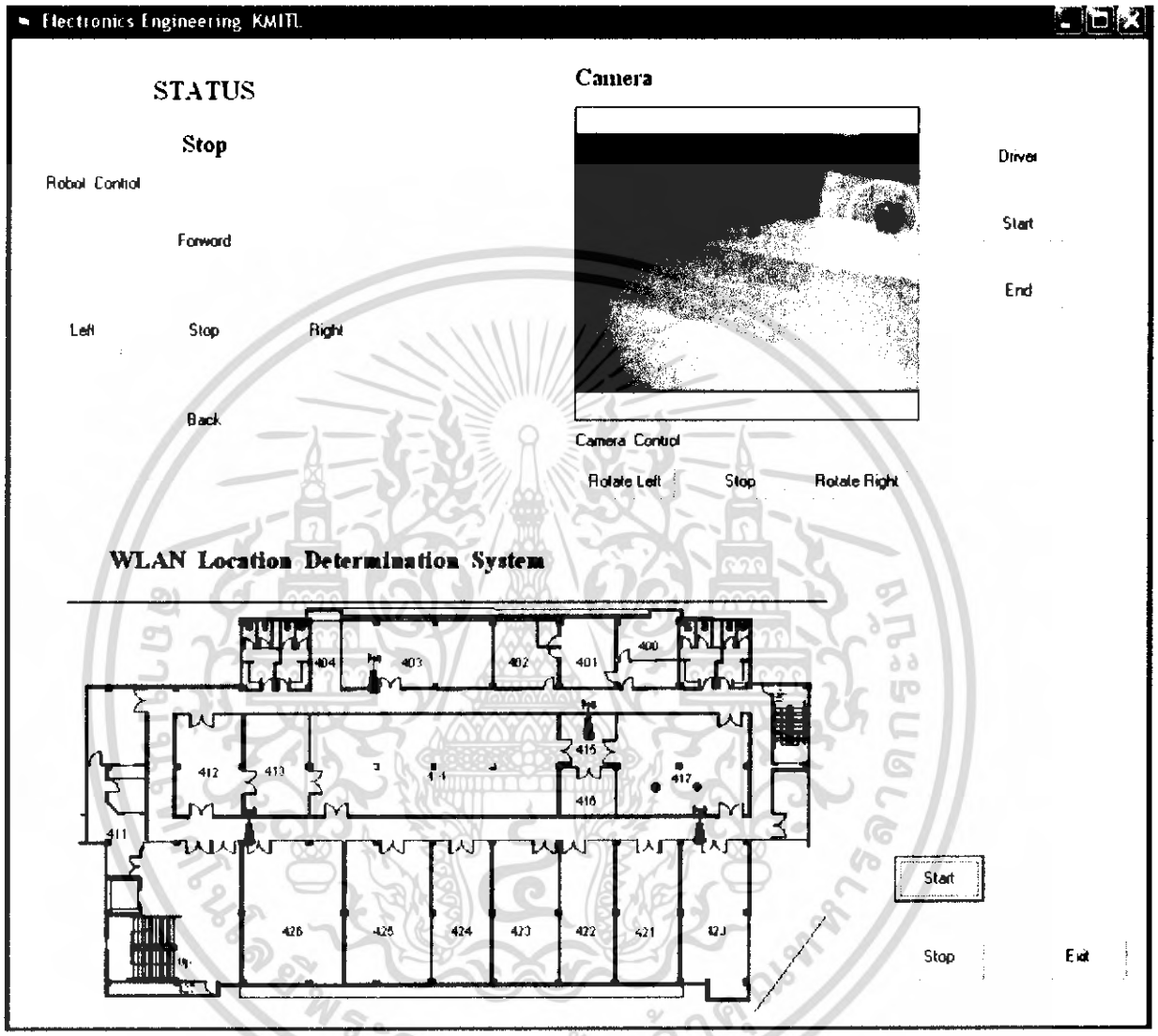
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.32

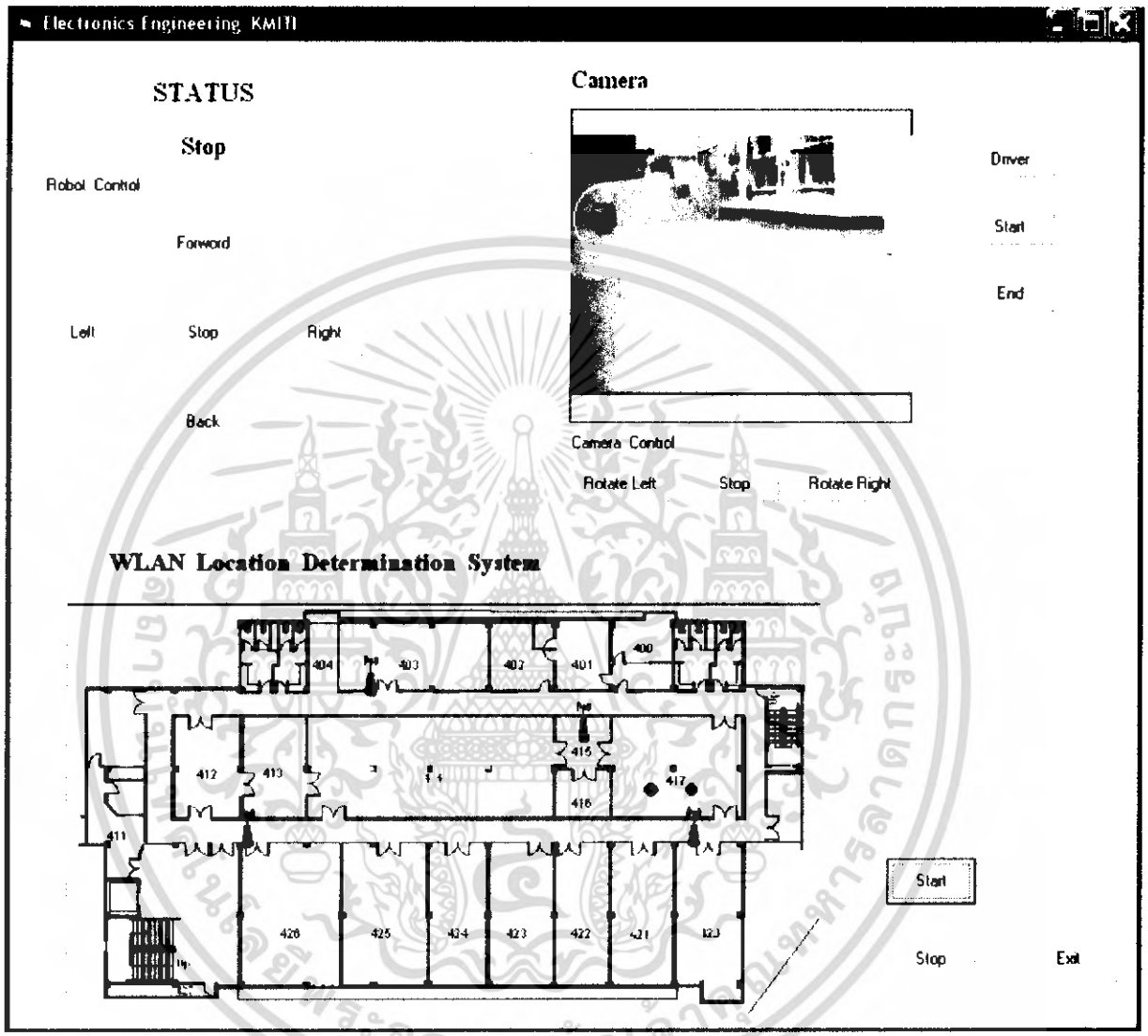
จากรูปที่ 4.32 รถสำรวจจะเคลื่อนที่เข้าใกล้วัตถุที่ต้องการค้นหามากขึ้นเรื่อยๆ และจะพยายามแพลนกล้องจับภาพวัตถุเอาไว้ ตำแหน่งของรถสำรวจในแผนที่ก็จะเปลี่ยนไปตามตำแหน่งจริงของรถสำรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.33

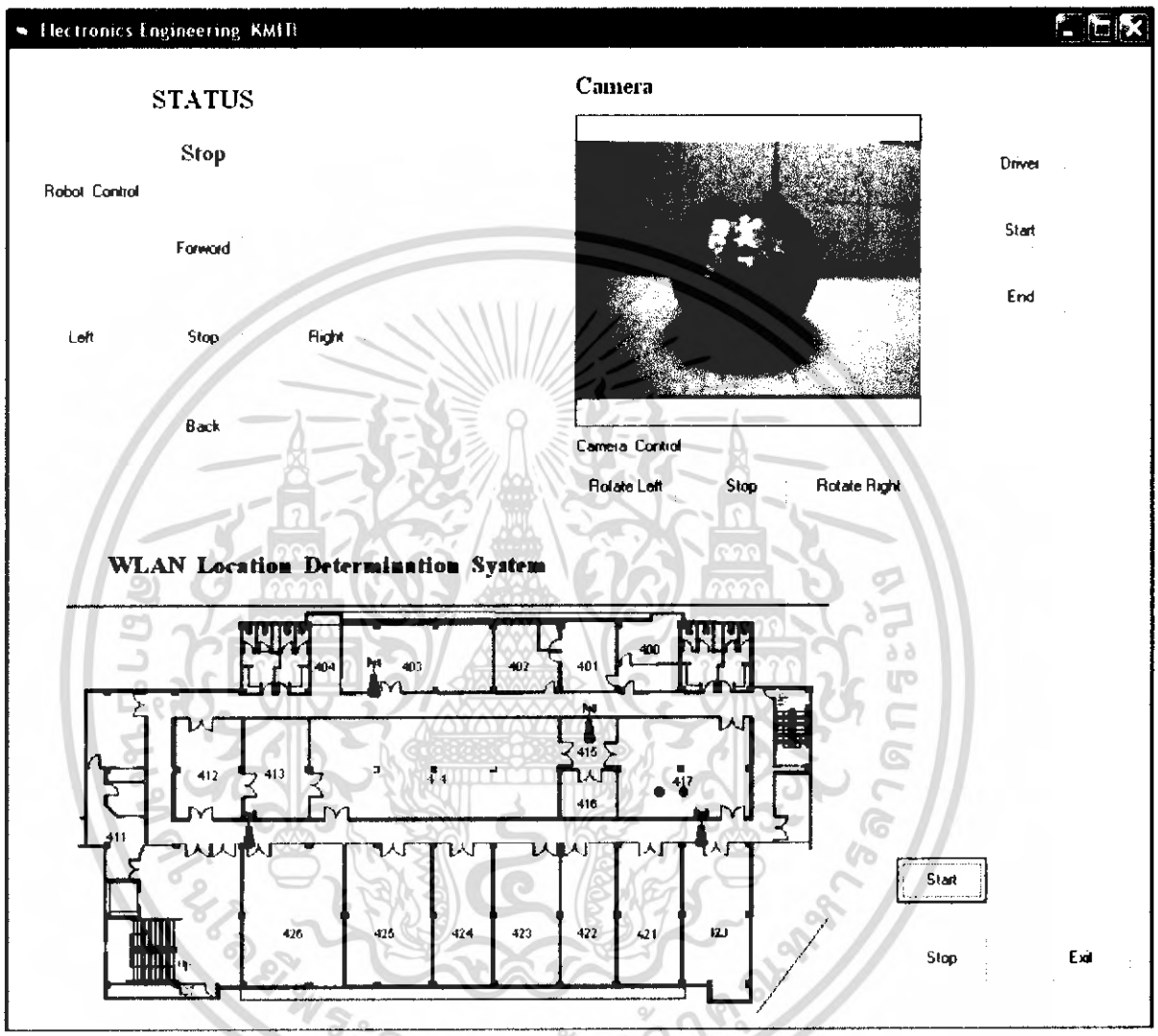
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.34

จากรูปที่ 4.33 และ 4.34 รถสำรวจจะเคลื่อนที่เข้าใกล้วัตถุที่ต้องการค้นหาและทำการแพลนกล้องไปทางซ้ายและขวาเพื่อสำรวจสิ่งแวดล้อมของวัตถุที่ต้องการค้นหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.35

จากรูปที่ 4.35 รถสำรวจจะเคลื่อนที่ไปถึงตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการค้นหา ในส่วนแผนที่จะเห็นว่าจุดสีแดง (ตำแหน่งของรถสำรวจ) จะอยู่ค่อนข้างใกล้เคียงกับจุดสีน้ำเงิน (ตำแหน่งของวัตถุที่ต้องการค้นหา) ซึ่งจะมีค่าความผิดพลาดอยู่เล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

สำหรับโครงงานรถสำรวจนำทางโดยระบบทำนายตำแหน่งจากเครือข่ายไร้สายเฉพาะบริเวณนั้น จากการทดลองนั้นในกรณีที่โปรแกรมทำนายตำแหน่งเป็นแบบเรียลไทม์นั้นเราจะเห็นว่าโปรแกรมทำนายตำแหน่งนั้นจะได้ค่าที่ไม่ค่อยนิ่งเราจึงไม่อาจแน่ใจได้ว่าขณะนั้นรถสำรวจอยู่ที่บริเวณใดโดยถ้าต้องการมั่นใจเราอาจจะต้องให้รถหยุดอยู่ตรงตำแหน่งนั้นนานหน่อยแล้วสังเกตว่าตำแหน่งที่โปรแกรมทำนายบ่อยที่สุดคือตำแหน่งไหน แล้วค่อยตัดสินใจว่ารถสำรวจอยู่ที่ตำแหน่งนั้น แต่ถ้าเราใช้โปแกรมที่ทำการเก็บค่าความแรงหลายค่าแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยจะได้ตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับตำแหน่งจริงมากยิ่งขึ้นโดยส่วนใหญ่จะเกิดความผิดพลาดไม่เกิน 2 - 4 เมตร ทำให้สามารถบอกตำแหน่งของรถสำรวจได้ใกล้เคียงความจริงมากยิ่งขึ้น และที่รถยังมีกล้องใช้เพื่อสำรวจหาสิ่งของต่างๆภายในห้องนั้นได้ด้วยโดยที่กล้องสามารถหมุนซ้าย – ขวาได้ จากโครงงานนี้เราสามารถแบ่งการประยุกต์ใช้ได้ 2 ประเภท คือ ใช้กล้องสำรวจหาวัตถุและเมื่อพบวัตถุที่ต้องการแล้วสามารถบอกตำแหน่งของวัตถุชิ้นนั้นได้ และอีกแบบคือถ้าเราทราบตำแหน่งของวัตถุแล้วเราสามารถบังคับรถสำรวจให้เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่วัตถุตั้งอยู่ได้โดยใช้โปรแกรมทำนายตำแหน่งในการนำทาง สำหรับวิธีที่เรานำมาใช้เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำนายตำแหน่งนั้นเราทำโดยเขียนโปรแกรมรับค่าให้ทำงานไวขึ้นกว่าเดิมทำให้สามารถรับค่าของสัญญาณได้จำนวนมากขึ้นกว่าเดิมในเวลาที่เท่ากัน ซึ่งนับว่าช่วยได้พอสมควรเนื่องจากเราจะได้ค่าของสัญญาณที่ใกล้เคียงค่าจริงมากยิ่งขึ้น และอีกวิธีหนึ่งที่เราสามารถคิดได้คือ การหาวิธีในการทำนายตำแหน่งใหม่จากเดิมที่เราหาค่าที่มีค่าความผิดพลาดยูคลิเดียนน้อยที่สุดแล้วทำนายที่ตำแหน่งนั้น แล้วเปลี่ยนเป็นนำค่าความผิดพลาดยูคลิเดียนที่น้อยที่สุดมา 4 ตำแหน่ง แล้วสร้างเป็นรูปสี่เหลี่ยมจากนั้นแบ่งจุดกึ่งกลางของทั้ง 4 ด้านแล้วลากเชื่อมด้านที่อยู่ตรงข้ามกัน เราจะได้จุดตัดระหว่างเส้นสองเส้นนี้จากนั้นจะทำการตรวจสอบดูว่าจุดตัดที่ได้ใกล้เคียงตำแหน่งไหนก็จะทำนายที่ตำแหน่งนั้น โดยในการทดลองทางทฤษฎีของวิธีนี้นั้นจะช่วยลดระยะทางของตำแหน่งที่ผิดพลาดไปได้บ้างไม่มากก็น้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

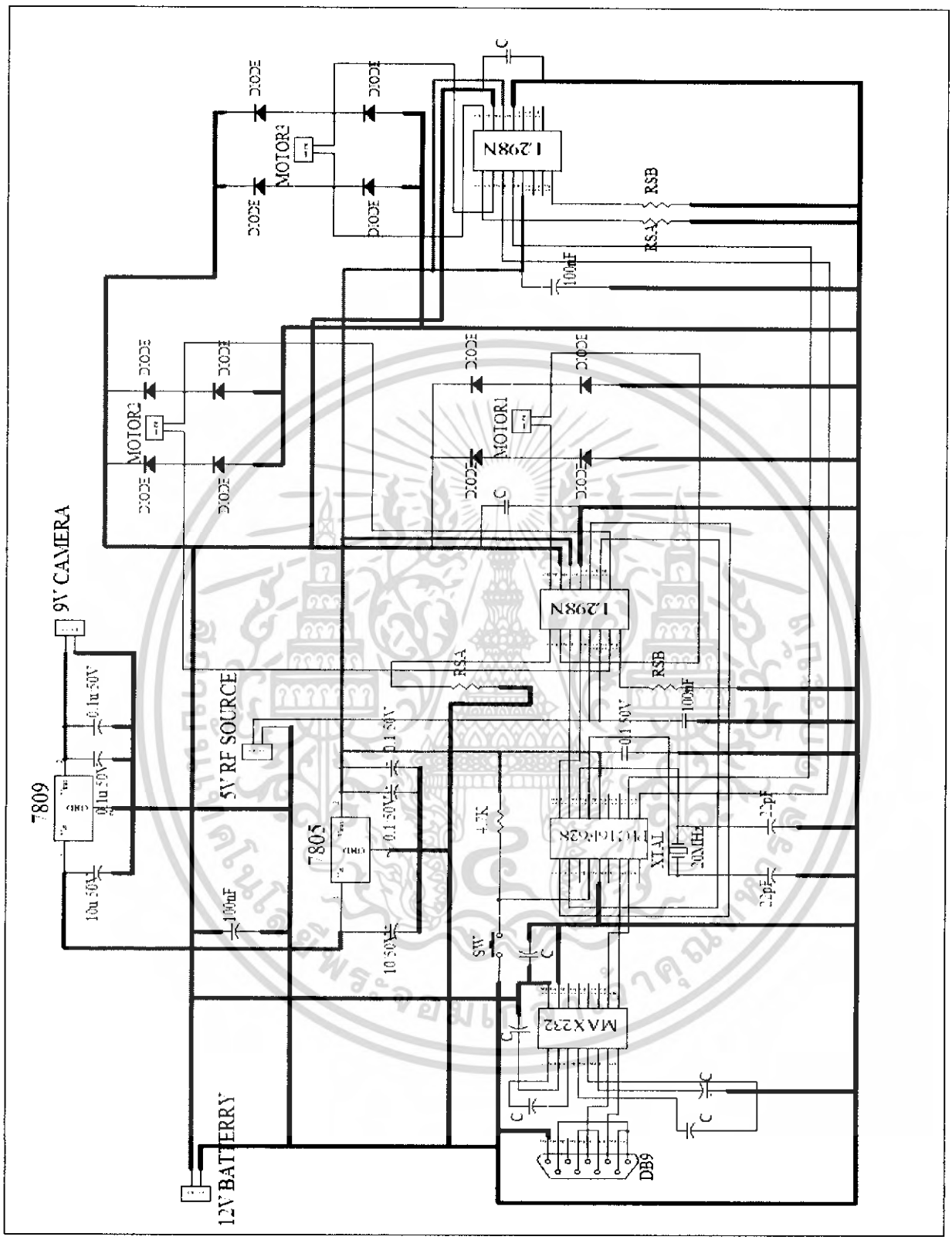
บรรณานุกรม

1. อำนาจ มีมงคล , อรรณพ ขันธิกุล , " ออกแบบและติดตั้งเครือข่าย Wireless LAN " , อินโฟเพรส , 412 หน้า , 2547
2. http://ccs.wu.ac.th
3. http://cosco.hiit.fi/Articles/ijwin02.pdf
4. www.winlab.rutgers.edu/~sachin/papers/wcnc2004-camera.pdf

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปแสดงวงจรของรถสำรวจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้