

การทำนายตำแหน่งในระบบเครือข่ายไร้สายภายในอาคาร
แบบคลัสเตอร์เรขาคณิต

WLAN LOCATION DETERMINATION TECHNIQUE WITH
CLUSTER-BASED GEOMETRIC APPROACH

พูนเทวี สังขะจันทร์
POONTAVEE SUNGKHACHAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2550

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การทำนายตำแหน่งในระบบเครือข่ายไร้สายภายในอาคาร
แบบคลัสเตอร์เรขาคณิต

WLAN LOCATION DETERMINATION TECHNIQUE WITH
CLUSTER-BASED GEOMETRIC APPROACH

พูนทวี สังข์จันทร์

POONTAVEE SUNGKHACHAN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....70928
วัน,เดือน,ปี.....22 ส.ค. 2550

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2550

**WLAN LOCATION DETERMINATION TECHNIQUE WITH
CLUSTER-BASED GEOMETRIC APPROACH**

POONTAVEE SUNGKHACHAN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2007

COPYRIGHT 2007

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การทำนายตำแหน่งในระบบเครือข่ายไร้สายภายในอาคาร
	แบบคลัสเตอร์เรขาคณิต
นักศึกษา	นายพูนทวี สังข์จันทร์
รหัสนักศึกษา	45060513
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2550
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ผศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบการทำนายตำแหน่งในเครือข่ายไร้สายภายในอาคาร โดยได้นำเสนอวิธีการสองวิธี ที่ให้ความแม่นยำในการทำนายตำแหน่งสูงขึ้นจากวิธีการแบบ RADAR วิธีการที่หนึ่งอาศัยการเพิ่มจำนวนข้อมูลความแรงของสัญญาณแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อที่จะนำค่าเฉลี่ยนั้นมาใช้ทำนายตำแหน่ง วิธีการดังกล่าวจัดอยู่ในเทคนิคที่อิงกับไคลแอนท์ (Client – Based Technique) ซึ่งคำนวณหาระยะห่างยูคลิเดียนระหว่างระดับความแรงของสัญญาณครั้งใหม่ที่รับได้ กับค่าความแรงของสัญญาณที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูลในขั้นตอน Online Training Phase วิธีการที่สองใช้วิธีการทางด้านกายภาพเข้ามาช่วยหาดำแหน่งที่เป็นไปได้จำนวนหนึ่ง สำหรับคำนวณจุดกึ่งกลาง ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ทำกรทำนายตำแหน่งผู้ใช้พบว่าทั้งสองวิธีที่นำเสนอให้ผลการทำนายตำแหน่งได้ใกล้เคียงกันและมีระยะความผิดพลาดต่ำกว่าวิธีการแบบดั้งเดิม

Thesis Title	Improved WLAN Location Determination System
Student	Mr. Poontavee Sungkhachan
Student ID.	45060513
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2007
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Pornchai Supnithi

ABSTRACT

This thesis presents an improvement in WLAN location determination system using two proposed methods; both of which are client-based techniques. The first method continually updates a user's average received signal strength. The Euclidean distance between the new average received signal level and the signal strength values in the database obtained during the offline phase are then computed. The second method makes use of cluster based technique. It computes the midpoint location from a number of possible locations, uses it as an estimate. The results show reduction in prediction error compared with traditional client – based methods like.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และ คำปรึกษาจาก ผศ.ดร.พรชัย ทรัพย์นิธิ ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างซึ่งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.มนัส สัจจวิมล ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ที่ให้การสนับสนุนในเรื่องเครื่องมือ อุปกรณ์ และ สถานที่ที่ใช้ทำการวิจัย

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณพี่ภัทรพงษ์ ผาสุขกิจ ที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

พูนทวี สังขะจันทร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	1
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน.....	2
1.6 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.7 ขั้นตอนการศึกษา.....	4
บทที่ 2 โครงสร้างและกลไกการสื่อสารข้อมูลเครือข่ายไร้สาย.....	4
2.1 เซอร์วิสเซตของเครือข่ายไร้สาย.....	4
2.1.1 พื้นที่ให้บริการเครือข่าย WLANแบบพื้นฐาน.....	4
2.1.2 การขยายพื้นที่ให้บริการของเครือข่าย WLAN.....	6
2.2 ชื่อสำหรับการให้บริการเครือข่าย WLAN(SSID).....	8
2.3 การเชื่อมโยงระบบเครือข่าย.....	8
2.3.1 การเชื่อมโยงระบบแบบ Ad – Hoc (Peer of Peer).....	8
2.3.2 การเชื่อมโยงระบบแบบ Infrastructure.....	9
2.4 กลไกการสื่อสารข้อมูลของเครือข่าย WLAN.....	9
2.4.1 ควบคุมการใช้งานสื่อกลางด้วยกลไก CSMA / CA.....	9
2.4.2 การลดการชนกันของข้อมูลแบบ RTS/CTS.....	10
2.5 เทคนิคการออกแบบและวางเครือข่าย WLAN.....	11
2.6 มาตรฐานเครือข่าย WLAN.....	11

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6.1 ช่องความถี่ของระบบ WLAN.....	13
2.6.2 เทคนิคการมอดูเลทในระบบ WLAN.....	14
2.6.3 การแบ่งช่องสัญญาณและแบนด์วิธของระบบ WLAN.....	15
2.6.4 ความเร็วในการรับ – ส่งข้อมูลกับความแรงของสัญญาณ.....	16
2.7 การเพิ่มประสิทธิภาพความจุของเครือข่าย WLAN.....	18
2.7.1 การคำนวณหาปริมาณแอสซอสายที่เพื่อรองรับจำนวนผู้ใช้งาน.....	18
2.7.2 การใช้โปรแกรม Network Strumbler ตรวจสอบหาเครือข่าย WLAN.....	21
2.7.3 การใช้โปรแกรม Network Strumbler เพื่อวัดสัญญาณ.....	21
2.7.4 การเดินสำรวจสัญญาณไวร์เลส.....	22
บทที่ 3 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในระบบทำนายตำแหน่ง.....	24
3.1 หลักการเบื้องต้น.....	24
3.1.1 การลดทอนเนื่องจากชั้นบรรยากาศ.....	25
3.1.2 การดูคกคลื่นสัญญาณ.....	26
3.1.3 การสะท้อน.....	27
3.1.4 การเลี้ยวเบนของคลื่น.....	28
3.2 แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่น.....	29
3.2.1 แบบจำลองแบบทั่วไป.....	29
3.2.2 แบบจำลองที่อาศัยลักษณะทางภูมิศาสตร์.....	31
3.2.3 แบบจำลองที่อาศัยการเก็บรวบรวมข้อมูล.....	32
บทที่ 4 ระบบการทำนายตำแหน่ง.....	33
4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำนายตำแหน่ง.....	33
4.1.1 Angle of Arrival (AOA).....	34
4.1.2 Time of Arrival (TOA).....	34
4.1.3 Time Difference of Arrival (TDOA).....	35
4.1.4 Signal Strength.....	35
4.2 ระบบทำนายตำแหน่งภายนอกอาคาร.....	36
4.2.1 ระบบการทำนายตำแหน่งที่อาศัยพื้นฐานของระบบดาวเทียม.....	36

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2.2 ระบบการค้นหาคำแหน่งที่อยู่บนพื้นฐานของเครือข่าย.....	37
4.3 ระบบทำนายตำแหน่งภายในอาคาร.....	38
4.3.1 ระบบทำนายตำแหน่งที่ใช้เทคนิคอิงกับ โคลเอนท์.....	39
4.3.1.1 วิธีการเชิงดีเทอร์มิเนติก.....	39
4.3.1.2 วิธีการเชิงความน่าจะเป็น.....	41
4.3.2 ระบบทำนายตำแหน่งแบบที่ใช้เทคนิคอิงกับ โครงข่าย.....	45
4.3.2.1 Sniffer.....	46
4.3.2.2 ความไม่สมมาตรกันของค่าความแรงของสัญญาณ.....	46
4.3.2.3 ขั้นตอนการทำนายตำแหน่งของเทคนิคที่อิงกับเครือข่าย.....	46
4.4 ระบบทำนายตำแหน่งที่นำเสนอ.....	47
4.4.1 วิธีการแบบ Online training data.....	47
4.4.2 วิธีการแบบ Cluster based geometric.....	49
4.5 การคำนวณค่าความซับซ้อนของระบบ.....	50
4.5.1 ค่าความซับซ้อนของระบบ RADAR.....	50
4.5.2 ค่าความซับซ้อนของระบบ Cluster based geometric.....	51
บทที่ 5 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล.....	51
5.1 การออกแบบ.....	51
5.2 ขั้นตอนการทำวิจัย.....	52
5.2.1 ขั้นตอนในการเก็บข้อมูลและสร้างฐานข้อมูล.....	52
5.3 ผลการทดลอง.....	56
5.3.1 วิธีการแบบ Online training data.....	56
5.3.2 วิธีการแบบ Cluster based geometric.....	57
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	59
บรรณานุกรม.....	60
ภาคผนวก.....	62
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	62

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ประวัติผู้เขียน.....	69

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงคุณสมบัติของมาตรฐานเครือข่าย WLANแบบ 802.11b และ802.11g.....	12
2.2 แสดงช่องความถี่ แบนด์วิธที่ใช้ และช่องนี้อยู่ในชุดความถี่ใดของระบบ WLAN.....	15
4.1 การเปรียบเทียบค่าความซับซ้อนระหว่างระบบ RADAR และ ระบบ Cluster based Geometric.....	50
5.1 แสดงตัวอย่างของฐานข้อมูลความแรงของสัญญาณภายในห้อง414 ของอาคารสำนักวิจัย คอมพิวเตอร์.....	55
5.2 ผลการทดลองที่ได้จากการเพิ่มจำนวนตัวอย่างข้อมูลในช่วง Online phase.....	56

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้าง Independent Basic Service Set ที่มีแอสเซสพอยท์เป็นศูนย์กลาง.....	6
2.2 โครงสร้าง Basic Service Set ของเครือข่าย WLANแบบ Infrastructure.....	7
2.3 โครงสร้าง Extended Service Set ของเครือข่าย WLAN.....	7
2.4 ลักษณะการเชื่อมโยงอุปกรณ์ WLANแบบ Ad – Hoc หรือ Peer to Peer.....	8
2.5 ลักษณะการเชื่อมโยงอุปกรณ์ WLANแบบ Infrastructure หรือ Client / Server.....	9
2.6 ขั้นตอนการศึกษาเพื่อการออกแบบระบบเครือข่าย WLAN.....	11
2.7 การรบกวนกันในพื้นที่คาบเกี่ยวจากแอสเซสพอยท์ 2 ตัว ที่ใช้ช่องความถี่เดียวกัน.....	13
2.8 ช่องสัญญาณของระบบไวร์เลสที่ไม่ซ้อนทับกับชุดต่าง ๆ ในย่าน 2.4 กิกะเฮิรตซ์.....	15
2.9 ระยะเวลาที่มีผลกระทบเรื่องความเร็วในระบบ WLAN 802.11b และ 802.11g.....	17
2.10 กราฟแสดงความเร็วในการรับ – ส่งข้อมูลกับระยะทางของระบบ WLAN ตามมาตรฐานต่าง ๆ.....	18
2.11 การเพิ่มความจุของเครือข่าย WLANให้เป็น 3 เท่า โดยการเพิ่มแอสเซสพอยท์ 3 ตัว.....	19
2.12 การใช้โปรแกรม Network stumbler สํารวจแอสเซสพอยท์ที่มีอยู่ในพื้นที่.....	21
2.13 ค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่ได้จากการเดินสำรวจพื้นที่ให้บริการ.....	22
3.1 รูปแบบจำลองการสะท้อนแบบ Two-ray.....	27
3.2 ระดับกำลังงานที่รับได้เปรียบเทียบกับที่ระยะทางต่างๆของรูปแบบการ แพร่กระจายคลื่นแบบต่างๆ.....	28
3.3 การเลี้ยวเบนของคลื่น.....	28
3.4 การแบ่งประเภทแบบจำลองรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น.....	30
3.5 แบบจำลอง Ray – optical.....	31
4.1 การทำนายตำแหน่งโดยใช้พารามิเตอร์ AOA.....	34
4.2 การทำนายตำแหน่งของตัวเครื่องรับโดยใช้พารามิเตอร์ TOA ต้องใช้วงกลมอย่างน้อย 3 วงตัดกัน.....	34
4.3 การทำนายตำแหน่งโดยใช้พารามิเตอร์ TDOA.....	35
4.4 โครงสร้างของระบบ A-GPS.....	38
4.5 แผนผังระบบทำนายตำแหน่งภายในอาคาร.....	39
4.6 ระบบทำนายตำแหน่งเชิงดิเทอร์มินิสติก.....	39
4.7 ตัวอย่างการประมาณค่าความหนาแน่นคอนเนลคอนเนลเก้้าเขียน.....	44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 ตัวอย่างของการประมาณค่าความหนาแน่นของฮิสโตแกรม.....	44
4.9 ค่าการทำนายตำแหน่งผิดพลาดเฉลี่ยเปรียบเทียบกันระหว่างวิธีการต่างๆ.....	45
4.10 การทำนายตำแหน่งด้วยวิธีการที่อาศัยเครื่องลูกข่ายเปรียบเทียบกับวิธีการที่อาศัย sniffer.....	47
4.11 ตัวอย่างของตำแหน่งกริดที่ใช้ค่าระยะห่างขุคลิเดียนต่ำสุดจำนวน 4 ค่า.....	50
5.1 แผนผังชั้น 4 ของอาคารสำนักวิจัยฯและตำแหน่งที่ติดตั้ง APs.....	51
5.2 แอ็กเซสพอยท์ (APs) ติดตั้งอยู่บริเวณภายในห้อง 415 และ หน้าห้อง 403.....	52
5.3 หน้าต่างของโปรแกรม Place Lab ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณ (RSSI).....	53
5.4 คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณ (RSSI).....	53
5.5 ฮิสโตแกรมความแรงของสัญญาณของ AP1 เปรียบเทียบกับจำนวนตัวอย่างข้อมูล 300- 3000 ค่า.....	54
5.6 ฮิสโตแกรมความแรงของสัญญาณที่รับได้จากแอ็กเซสพอยท์ทั้ง 4 ตัว.....	54
5.7 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการทำนายตำแหน่งระหว่างวิธีการแบบ Onlinetraining data ที่จำนวนตัวอย่างข้อมูลที่120 ตัวอย่าง กับวิธีการแบบ RADAR.....	57
5.8 การเปรียบเทียบผลจากการทำนายตำแหน่งของทั้ง 2 วิธีการ.....	58
5.9 ลักษณะการทำนายตำแหน่งที่ได้ค่าการทำนายตำแหน่งผิดพลาดไม่เป็นจำนวนเต็ม.....	59
5.10 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการทำนายตำแหน่งระหว่าง วิธีการแบบ Cluster based geometric กับวิธีการแบบ RADAR.....	59

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคนิคในการทำนายตำแหน่งที่ได้รับความนิยมอยู่ในปัจจุบันได้แก่วิธี RADAR (Radio Detection And Ranging) [1] และ ระบบจีพีเอส (Global Positioning System) ซึ่งได้มีผลิตภัณฑ์ในท้องตลาดอย่างแพร่หลายออกมาใช้เมื่อหลายปีที่ผ่านมา ทั้งสองระบบดังกล่าวอาศัยวิธีการรับค่าคลื่นวิทยุที่แพร่กระจายออกมาที่ช่วงเวลาหนึ่ง และ ทำการทำนายตำแหน่งอุปกรณ์ติดตามนั้นโดยใช้วิธีการคำนวณค่าความแตกต่างของเวลาที่คลื่นแพร่กระจายออกมา และในปัจจุบันการพัฒนา ระบบทำนายตำแหน่งโดยส่วนใหญ่แล้วมุ่งเน้น หรือให้ความสำคัญกับระบบจีพีเอส ระบบจีพีเอส จึงได้รับการพัฒนาจนทำให้เป็นระบบทำนายตำแหน่งที่เชื่อถือได้และมีความแม่นยำสูง แต่ระบบจีพีเอส ก็ยังมีข้อจำกัด คือ ไม่สามารถบอกตำแหน่งผู้ใช้ภายในอาคารได้ นอกจากนี้ยังมีการทำนายตำแหน่งที่อาศัยค่าพารามิเตอร์ความหนาแน่นความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength Intensity: RSSI) ที่อ่านค่าได้จากอุปกรณ์รับสัญญาณคลื่นวิทยุ(RF) อุปกรณ์เหล่านี้ไม่จำเป็นต้องรับสัญญาณในลักษณะแนวสายตาเพราะสัญญาณคลื่นวิทยุสามารถทะลุผ่านสิ่งกีดขวางได้เทคนิคนี้จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในพื้นที่บริเวณภายในอาคาร ดังนั้นการใช้ประโยชน์จากเครือข่ายไร้สายภายในอาคาร (Wireless Local Area Network: WLAN) เพื่อการทำนายตำแหน่ง โดยนำเอาสัญญาณที่ส่งออกมาจากแอคเซสพอยท์ (Access Point: APs) ได้แก่ ค่าความหนาแน่นความแรงของสัญญาณนั้น เข้ามาช่วยในการทำนายตำแหน่ง จึงเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาการทำนายตำแหน่งภายในอาคารดังกล่าวนี้ได้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มุ่งหวังที่จะศึกษาเทคนิคการทำนายตำแหน่งต่าง ๆ และนำเสนอการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบทำนายตำแหน่งภายในอาคาร โดยอาศัยเครือข่ายไร้สาย WLAN เป็นเครือข่ายพื้นฐานในการทดลอง โดยระบบเครือข่ายไร้สาย WLAN นี้มีข้อดีหลายข้อได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งไม่สูงมากนักเพราะอุปกรณ์ที่ใช้ในระบบนี้เป็นอุปกรณ์มาตรฐานทั่วไปที่ใช้ในสถานที่ทำงานและสถานที่สาธารณะทั่วไปในปัจจุบัน การทำนายตำแหน่งด้วยระบบสื่อสารนี้ยังมีความซับซ้อนน้อยกว่าวิธีการอื่น ๆ มีความแม่นยำในการทำนายตำแหน่งสูง รวมทั้งสามารถที่จะพัฒนาจนสำหรับใช้งานในสถานการณ์การจริงได้

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ระบบทำนายตำแหน่งในเครือข่ายไร้สายภายในอาคารแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ แบบที่ใช้เทคนิคอิงกับไคลเอ็นท์ (client-based technique) [1][2] และ แบบที่ใช้เทคนิคอิงกับโครงข่าย (infrastructure-based technique) [3][4][5] ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้วิธีการเชิงคิเทอร์มินิสติก (deterministic approach) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้เทคนิคที่อิงกับไคลเอ็นท์ ในวิทยานิพนธ์ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงระบบต่อจากระบบที่เรียกว่าRADAR [1]โดยใช้วิธีการเพิ่มจำนวนตัวอย่างข้อมูล (sample) ความแรงของสัญญาณ (RSSI) ที่นำมาทำนายตำแหน่งให้มากขึ้น ซึ่งเรียกวิธีการนี้ว่า Online training data approach และยังมีอีกวิธีการหนึ่งที่จะนำเสนอคือ Cluster-based geometric approach ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ตำแหน่งทางกายภาพมาช่วยในการทำนายตำแหน่ง

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

วิธีการทำนายตำแหน่งอุปกรณ์เคลื่อนที่ต่าง ๆ นั้นสามารถทำได้โดยการอาศัยเทคนิคที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับเครือข่ายพื้นฐานของแต่ละระบบ ตัวอย่างเช่น การทำนายตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้โครงข่ายไร้สาย WLAN อาศัยการเก็บข้อมูลค่าความหนาแน่นความแรงของสัญญาณ (RSSI) จากแอคเซสพอยท์ที่ติดตั้งไว้ จากนั้นทำการสร้างฐานข้อมูลขึ้นมาเรียกว่า Radio map เพื่อเป็นฐานข้อมูลอ้างอิง ส่วนในขั้นตอนการทำนายตำแหน่งก็อาศัยวิธีการ nearest neighbor เข้ามาช่วยคำนวณเพื่อทำนายตำแหน่งต่อไป ในงานวิจัยที่นำเสนอนี้ก็อาศัยแนวคิดดังกล่าวมาสร้างระบบเช่นกัน แต่ได้ทำการปรับปรุงโดยใช้การเพิ่มจำนวนข้อมูลในขั้นตอนการทำนายตำแหน่งให้มากขึ้น และ อาศัยการกำหนดกลุ่มของตำแหน่งที่เป็นไปได้ลงบนพิกัดจากนั้นใช้การคำนวณทางเรขาคณิตเข้ามาช่วยทำการทำนายตำแหน่ง ผลการทดลองที่ได้ก็คือสามารถปรับปรุงระบบแบบดั้งเดิมให้สามารถทำนายตำแหน่งได้แม่นยำใกล้เคียงมากยิ่งขึ้น

1.5 การเปรียบเทียบระหว่างวิธีการที่นำเสนอกับวิธีการแบบพื้นฐาน

หลักการเดิมของระบบ RADAR [1] มีขั้นตอนในการทำนายตำแหน่งอยู่ 2 ขั้นตอนคือ (1) Offline training data phase คือ ขั้นตอนในการเก็บข้อมูล RSSI ตามตำแหน่งต่างๆบนแผนที่มาจำนวนหนึ่งแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยเก็บไว้ในฐานข้อมูล (2) Online location determination phase ก็คือขั้นตอนในการทำนายตำแหน่งผู้ใช้ โดยนำค่าในฐานข้อมูลและค่าความแรงของสัญญาณครั้งใหม่ที่จะทำการทำนายตำแหน่งนั้นมาคำนวณตามสมการยูคลิดีเนียน

$$E_i = \sqrt{\sum_{l=1}^N (ss_l - \hat{ss}_l)^2} \quad (1.1)$$

โดยที่

- E_i = ค่าระยะห่างยูคลิเดียน
 ss_i = ค่าความแรงของสัญญาณเฉลี่ย (RSSI) ที่เก็บไว้ในฐานข้อมูลจากแอคเซสพอยท์ที่ i
 \hat{ss}_i = ค่าความแรงของสัญญาณ (RSSI) ครั้งใหม่ที่นำมาใช้ทำนายตำแหน่งจากแอคเซสพอยท์ที่ i
 N = จำนวนแอคเซสพอยท์

ตำแหน่งที่ตัดสินใจทำการทำนายตำแหน่ง \hat{l} โดยเลือกตำแหน่งที่ให้ค่า E_i ต่ำที่สุดกล่าวคือ

$$\hat{l} = \min E_i \quad (1.2)$$

โดยที่

$$\hat{l} = \text{ตำแหน่งที่ตัดสินใจทำนายตำแหน่ง}$$

วิธีการใหม่ที่น่าเสนอคือ

1. Online training data approach ก็คือทำการเก็บข้อมูล \hat{ss}_i ให้นานขึ้น (training data) ก็จะได้ค่าความแรงของสัญญาณเฉลี่ยที่ทำให้การทำนายตำแหน่งใกล้เคียงกับตำแหน่งจริงมากขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการแบบ RADAR ซึ่งใช้ค่า ss_i เพียงค่าเดียว
2. Cluster-based geometric approach คือวิธีการที่น่าเอาค่าระยะห่างยูคลิเดียน (E_i) ที่ต่ำที่สุดจำนวน K ค่ามาหาตำแหน่งแล้วกำหนดจุดเหล่านั้นลงบน grid coordinate ทำการหาจุดตรงกลางของ coordinate ผลที่ออกมา ก็จะได้ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำนายตำแหน่งผลลัพธ์ที่ได้ก็คือเมื่อเทียบกับวิธีการแรกนั้นค่าความผิดพลาดนั้นใกล้เคียงกันอยู่ที่ระยะไม่เกิน 1 ถึง 4 เมตร แต่มีความผิดพลาดเฉลี่ยน้อยกว่าวิธีการแบบ RADAR

1.6 ขอบเขตการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพระบบทำนายตำแหน่งภายในอาคาร โดยที่ได้ทำการทดลองภายในสภาวะแวดล้อมที่เป็นสำนักงานภายในชั้น 4 ของอาคารสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัยเป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้กันโดยทั่วไป และไม่ได้ใช้โมเดลลักษณะการกระจายคลื่นในการสร้างฐานข้อมูลใช้วิธีการเก็บข้อมูลจริงที่ส่งออกมาจากแอคเซสพอยท์และเครือข่าย ไร้สาย WLAN ที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นเครือข่าย

ประเภทที่อิงกับไคลเอนท์ (Client based system) ผลการทดลองที่ได้นำเสนอในรูปแบบของ
ระยะทางที่แต่ละวิธีทำการทำนายตำแหน่งผิดพลาดเปรียบเทียบกับ วิธีการแบบพื้นฐาน

1.7 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน
ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงโครงสร้างและกลไกการสื่อสารข้อมูลไร้สาย WLAN รวมถึงเทคนิคใน
การวางเครือข่ายไร้สาย WLAN

บทที่ 3 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานในระบบทำนายตำแหน่งได้แก่ลักษณะการแพร่กระจาย
คลื่นและรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

บทที่ 4 กล่าวถึงระบบทำนายตำแหน่งประกอบไปด้วยการทำนายตำแหน่งภายนอก
อาคารเช่นระบบจีพีเอส ระบบที่อาศัยเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ และการทำนายตำแหน่งภายใน
อาคารโดยอาศัยเครือข่ายไร้สาย WLAN

บทที่ 5 กล่าวถึงขั้นตอนการวิจัยและผลการวิจัย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอ
สามารถช่วยปรับปรุงให้การทำนายตำแหน่งภายในอาคารสามารถทำนายตำแหน่งได้แม่นยำขึ้น

บทที่ 6 เป็นบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

โครงสร้างและกลไกการสื่อสารข้อมูลเครือข่ายไร้สาย

การสร้างเครือข่ายขึ้นมาเพื่อรองรับการสื่อสารข้อมูลคอมพิวเตอร์ในยุคก่อนที่ จะมีเครือข่ายไร้สาย WLAN ใช้งาน เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ถูกโยงใยถึงกันผ่านสายสัญญาณ ไม่ว่าจะเป็นสาย Coaxial, UTP, STP หรือ เส้นใยแสง ตามลักษณะโครงสร้างของแต่ละเทคโนโลยี เช่น เครือข่ายอีเธอร์เน็ตแลน 10Base2, 10Base5 ใช้โครงสร้างการเชื่อมโยงแบบบัส (BUS) เครือข่ายอีเธอร์เน็ตแลน 10BaseT, 100BaseTX, 10BaseT ใช้โครงสร้างแบบสตาร์ (star) โดยมีฮับหรือสวิตช์เป็นศูนย์กลาง เป็นต้น เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย WLAN เองก็มีโครงสร้างระบบสำหรับการเชื่อมโยงอุปกรณ์ต่าง ๆ ให้สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารเช่นกัน รายละเอียดมีดังนี้ [6]

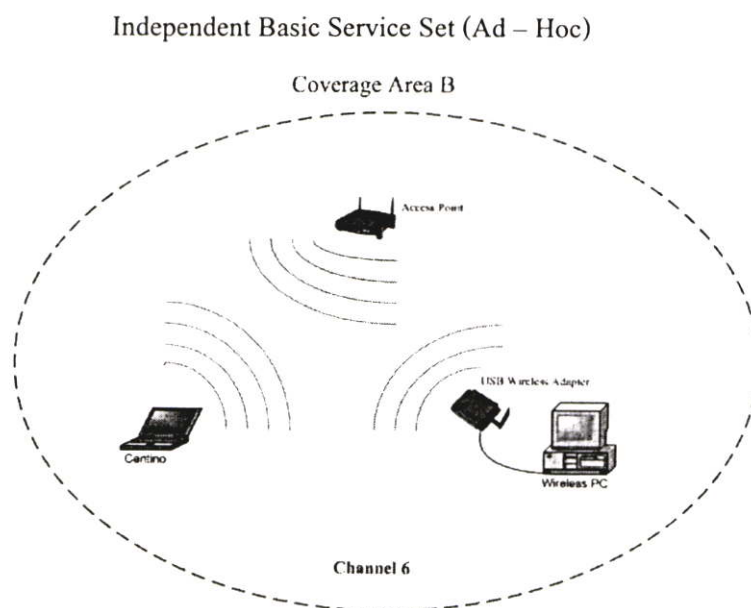
2.1 เซอร์วิสเซตของเครือข่ายไร้สาย

ก่อนอื่นต้องทำความรู้จักศัพท์เทคนิคคำว่า “เซอร์วิสเซต (Service Set)” กันก่อน Service Set ก็คือกลุ่มของอุปกรณ์ WLAN ตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไปอยู่ในขอบเขตพื้นที่ให้บริการ (Coverage Area) ที่ใช้ช่องสัญญาณ (Channel) สื่อสารข้อมูลช่องเดียวกันและอยู่ในรัศมีสามารถแพร่กระจายคลื่นถึงกันได้ Service Set แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ Basic Service Set (BSS) และ Extended Service Set (ESS)

2.1.1 พื้นที่ให้บริการเครือข่าย Wireless LAN แบบพื้นฐาน

เพื่อทำความเข้าใจเกี่ยวกับเรื่อง Basic Service Set (BSS) สามารถอธิบายโดยนำรูปที่ 2.1 มาประกอบ จะเห็นว่าเครือข่าย Wireless LAN (WLAN) ทั้งสามรูปมีวงกลมล้อมรอบอุปกรณ์อยู่ วงกลมนี้สื่อถึงขอบเขตพื้นที่ให้บริการ 1 พื้นที่ อุปกรณ์ทุกเครื่องที่อยู่ในวงกลมใช้ช่องสัญญาณหนึ่งช่องที่เหมือนกัน สำหรับสื่อสารข้อมูลและอุปกรณ์สามารถแพร่กระจายคลื่นถึงกันได้ (ถ้าขอบเขตพื้นที่ให้บริการกำหนดให้ใช้ช่องสัญญาณที่ 1 อุปกรณ์ทุกเครื่องก็ต้องกำหนดช่องสัญญาณของตนเป็นช่องที่ 1 เหมือนกันทั้งหมดจึงจะสามารถสื่อสารข้อมูลกับอุปกรณ์อื่น ๆ ได้) ขอบเขตพื้นที่ให้บริการ 1 พื้นที่เปรียบเสมือน 1 Basic Service Set นั่นเอง

1 พื้นที่ให้บริการ (Coverage Area) = 1 Basic Service Set = 1 Cell



รูปที่ 2.1 โครงสร้าง Independent Basic Service Set ที่มีแอสเซสพอยท์เป็นศูนย์กลาง

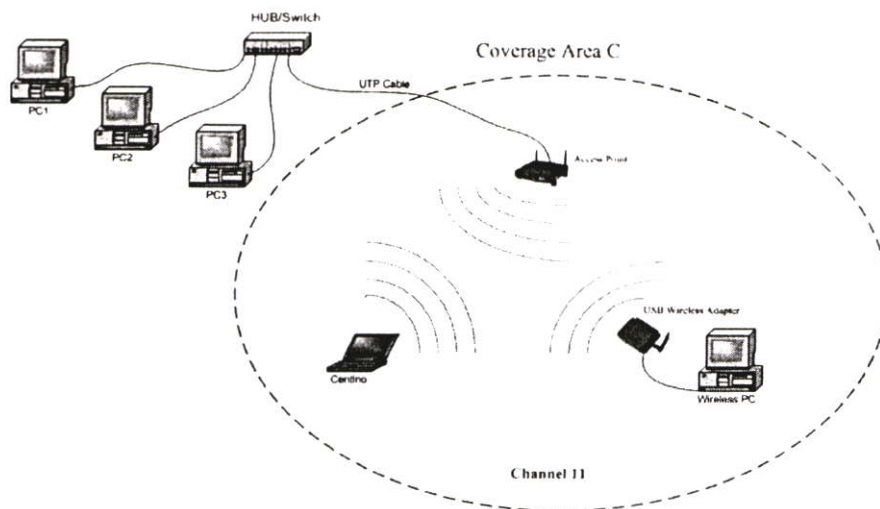
BSS ที่ไม่มีแอสเซสพอยท์เป็นศูนย์กลางเชื่อมโยงจะถูกเรียกว่าเป็นเครือข่ายไร้สายแลนแบบ Ad – Hoc อุปกรณ์ต่าง ๆ บนเครือข่าย WLAN แบบ Ad – Hoc สามารถสื่อสารข้อมูลถึงกันเองโดยตรง

หาก BSS มีแอสเซสพอยท์เป็นศูนย์กลางเชื่อมโยงอุปกรณ์ WLAN ถึงกันแต่เป็นแอสเซสพอยท์เครื่องนั้นไม่ได้เชื่อมต่อสัญญาณ UTP เข้าระบบอีเธอร์เน็ตแลน จะเรียกระบบนี้ว่า Independent Basic Service Set ดังรูปที่ 2.1 และเมื่อใดที่นำสายสัญญาณ UTP เชื่อมต่อแอสเซสพอยท์เข้ากับสวิตช์หรือสวิตช์บนระบบอีเธอร์เน็ตแลน Independent BSS ก็จะกลายเป็นเครือข่ายไร้สาย WLAN แบบ Infrastructure ทั้งนี้ รายละเอียดเพิ่มเติมจะอธิบายในหัวข้อ 2.3.2

2.1.2 การขยายพื้นที่ให้บริการของเครือข่ายไร้สาย WLAN

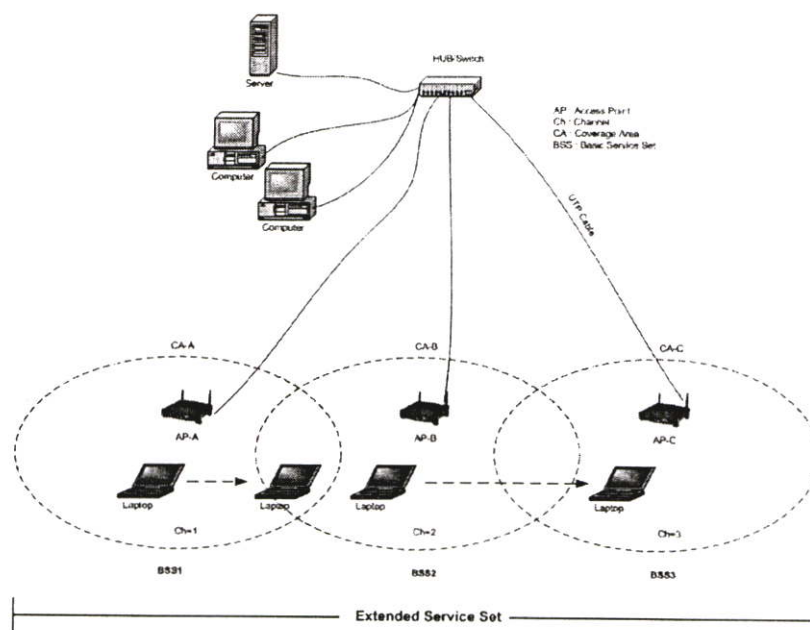
เครือข่าย WLAN ถูกออกแบบมาให้ผู้ใช้สามารถเชื่อมโยงเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สายของตนเองเพื่อสื่อสารข้อมูลจากจุดใด ๆ ได้อย่างอิสระภายในหนึ่งขอบเขตพื้นที่ให้บริการ แต่เมื่อไรก็ตามที่ผู้ใช้เคลื่อนย้ายออกนอกขอบเขตพื้นที่ให้บริการ เครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สายก็จะไม่สามารถเชื่อมโยงเข้าสู่เครือข่าย WLAN ได้ส่งผลให้การสื่อสารข้อมูลหยุดชะงัก

IEEE802.11 จึงมีโครงสร้างเชื่อมโยงแบบหนึ่งซึ่งสามารถเพิ่มขอบเขตพื้นที่ให้บริการให้กว้างไกลโครงสร้างนี้เรียกว่า “Extended Service Set (ESS)” ภายในโครงสร้างเครือข่าย ESS ประกอบไปด้วย Infrastructure BSS หลายๆ ระบบรวมกันอยู่ โดยแต่ละ Infrastructure BSS จะถูกเชื่อมโยงกันผ่านเครือข่ายอีเธอร์เน็ตแลนดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 โครงสร้าง Basic Service Set ของเครือข่าย WLAN แบบ Infrastructure

ผู้ใช้งานสามารถเคลื่อนย้ายการทำงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งภายใน Infrastructure BSS ทั้ง 3 พื้นที่ โดยการสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สายที่เคลื่อนย้ายกับเครือข่ายก็ยังคงดำเนินอยู่ต่อไป



รูปที่ 2.3 โครงสร้าง Extended Service Set ของเครือข่าย WLAN

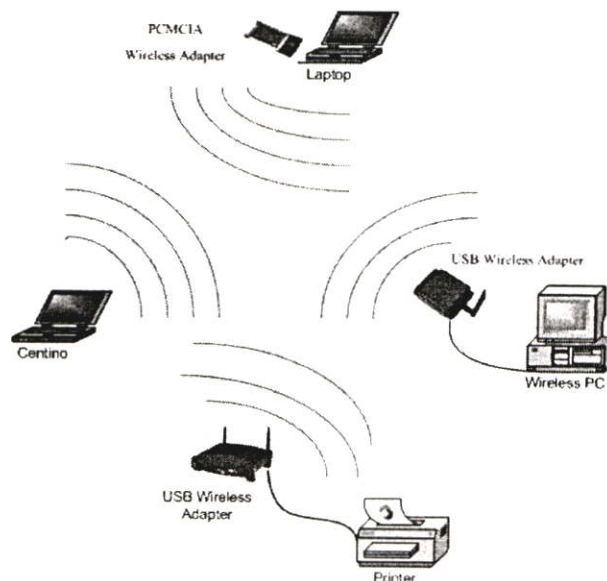
2.2 ชื่อสำหรับการให้บริการเครือข่ายไร้สาย WLAN (SSID)

Service Set Identifier เป็นกลุ่มตัวอักษรที่มีขนาดความยาวไม่เกิน 32 อักขร ใช้เป็นสื่ออ้างอิง Service Set ของเครือข่าย WLAN อุปกรณ์ WLAN ทุกเครื่องทุกเครื่องที่ต้องการสื่อสารข้อมูลระหว่างกันบนเครือข่ายไร้สาย WLAN แบบ Ad – Hoc หรือต้องการเชื่อมโยงเข้าเครือข่ายแบบ Infrastructure ผ่านแอคเซสพอยท์ที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการนั้น ๆ จะต้องระบุ Service Set ID ของตนเองเป็นชื่อเดียวกับชื่อ Service Set ID ของพื้นที่ให้บริการ หากอุปกรณ์ WLAN ที่อยู่ในขอบเขตพื้นที่ให้บริการเดียวกันแต่ระบุ Service Set ID แตกต่างกันแล้ว อุปกรณ์ก็จะไม่สามารถสื่อสารข้อมูลระหว่างกันได้

2.3 การเชื่อมโยงระบบเครือข่าย

2.3.1 การเชื่อมโยงระบบแบบ Ad – Hoc (Peer of Peer)

โครงสร้างการเชื่อมโยงระบบแบบ Ad – Hoc หรือ Peer to Peer เป็นการสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สายและอุปกรณ์ต่าง ๆ ตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไป โดยที่ไม่มีจุดศูนย์กลางควบคุม อุปกรณ์ทุกเครื่องสามารถสื่อสารข้อมูลถึงกันได้เอง ตัวส่งก็จะวิธีการแพร่กระจายคลื่นออกไปยังทุกทิศทางโดยไม่ทราบจุดหมายปลายทางของตัวรับว่าอยู่ที่ใด ซึ่งตัวรับจะต้องอยู่ในขอบเขตพื้นที่ให้บริการที่คลื่นสามารถเดินทางมาถึงและคอยเช็คข้อมูลว่าใช่ของตนหรือไม่ ด้วยการตรวจสอบค่า MAC Address ผู้รับปลายทางในเฟรมข้อมูลที่แพร่กระจายออกมา ถ้าใช่ข้อมูลของตนก็จะนำข้อมูลเหล่านั้นไปประมวลผลต่อไป

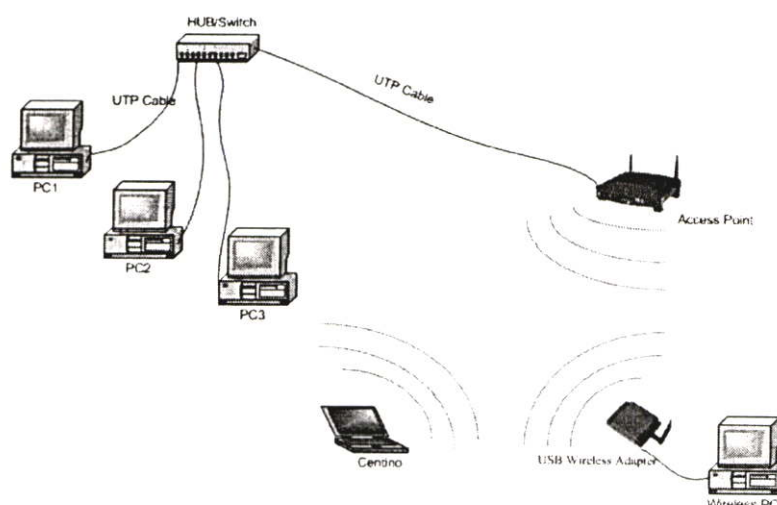


รูปที่ 2.4 ลักษณะการเชื่อมโยงอุปกรณ์ WLAN แบบ Ad – Hoc หรือ Peer to Peer

เครือข่าย WLAN ที่ใช้โครงสร้างการเชื่อมโยงแบบ Ad – Hoc ไม่สามารถเชื่อมโยงเข้าสู่ระบบเครือข่ายอีเทอร์เน็ตได้ เนื่องจากบนระบบไม่มีการใช้สายสัญญาณเลข ดังรูปที่ 2.4

2.3.2 การเชื่อมโยงระบบแบบ Infrastructure

โครงสร้างการเชื่อมโยงระบบแบบ Infrastructure หรือ Client / Server มีข้อพิเศกว่าระบบแบบ Ad – Hoc ตรงที่มีแอกเซสพอยท์เป็นศูนย์กลางเชื่อมโยง (ทำหน้าที่คล้ายสับ) และเป็นสะพานเชื่อมเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สายอุปกรณ์ เข้าสู่เครือข่ายอีเทอร์เน็ตแลนหลัก (Ethernet Backbone) รวมถึงควบคุมการสื่อสารข้อมูลของอุปกรณ์ WLAN



รูปที่ 2.5 ลักษณะการเชื่อมโยงอุปกรณ์ WLANแบบ Infrastructure หรือ Client / Server

2.4 กลไกการสื่อสารข้อมูลของเครือข่าย WLAN

บนเครือข่าย ประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ มากมาย เช่น แอ็กเซสพอยท์ ไร้เลสพริเตอร์ เซิร์ฟเวอร์ ไร้เลสบริดจ์ และเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สาย อุปกรณ์เหล่านี้สื่อสารข้อมูลถึงกันผ่านสื่อกลาง (media) ที่เป็นอากาศ โดยอุปกรณ์ทุกเครื่องมีสิทธิครอบครองและเข้าใช้งานสื่อกลางสำหรับสื่อสารข้อมูลเท่าเทียมกัน หากไม่มีกลไกคอยควบคุม ต่างคนต่างส่งข้อมูลโดยไม่ตรวจสอบก่อนว่าขณะนั้นมีคนอื่นกำลังใช้สื่อกลางส่งข้อมูลอยู่หรือไม่ ผลที่ตามมาก็คือ การสื่อสารข้อมูลบนเครือข่าย WLAN อาจจะมีปัญหาอันเนื่องมาจากการชนกันของข้อมูลในระหว่างการขนส่ง (Collision) มาตรฐาน IEEE 802.11 จึงได้มีการกำหนดกลไกขึ้นมาสำหรับควบคุม มีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 ควบคุมการใช้งานสื่อกลางด้วยกลไก CSMA / CA

หากเปรียบเทียบง่าย ๆ สื่อกลางก็คือ ถนนสาธารณะที่ใช้เป็นเส้นทางลำเลียงข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง อุปกรณ์ WLAN ทุก ๆ เครื่องมีสิทธิใช้ถนนสาธารณะนี้ได้เท่าเทียมกัน ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดกฎกติกาการใช้งานขึ้นมา โดยมาตรฐาน IEEE 802.11 ใช้ CSMA / CA

(Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance) เป็นกลไกควบคุมการเข้าใช้งานสื่อกลาง สำหรับการสื่อสารข้อมูลของอุปกรณ์บนเครือข่าย WLAN ซึ่งหลักการของกลไก CSMA / CA มีดังต่อไปนี้

1. ก่อนที่อุปกรณ์ WLAN จะส่งข้อมูลไปบนสื่อกลาง อุปกรณ์ WLAN จะตรวจเช็คก่อนว่ามีอุปกรณ์อื่นกำลังส่งข้อมูลบนสื่อกลางหรือไม่ (Listening)
2. ถ้ามีอุปกรณ์อื่นกำลังส่งข้อมูลอยู่ อุปกรณ์ WLAN จะหยุดรอและสุ่มเวลา (Random) เพื่อตรวจเช็คอีกครั้งว่ามีอุปกรณ์อื่นกำลังส่งข้อมูลบนสื่อกลางอีกหรือไม่ (Listening) (กลับไปขั้นตอนที่ 1)
3. ถ้าไม่มีอุปกรณ์อื่นส่งข้อมูล อุปกรณ์ WLAN ก็เริ่มทยอยส่งข้อมูลไปบนสื่อกลางจนกระทั่งส่งข้อมูลเสร็จสิ้น (และเมื่ออุปกรณ์ WLAN ต้องการส่งข้อมูลชุดใหม่ก็จะกลับไปเริ่มที่ขั้นตอนที่ 1 อีกครั้ง)

หลักการทำงานของกลไก CSMA/CA จะคล้ายกับกลไกการเข้าใช้งานสื่อกลางของระบบบิเธอร์เน็ตแลน (IEEE 802.3) ในบางครั้งก็จะมีคนเรียกกลไก CSMA/CA ว่าเป็น “Listening Before Talking (LBT)”

2.4.2 การลดการชนกันของข้อมูลแบบ RTS/CTS

ถึงแม้ว่าเครือข่าย WLAN มีกลไก CSMA/CA คอยควบคุมการเข้าใช้งานสื่อกลางก็ไม่ได้หมายความว่าเหตุการณ์ที่อุปกรณ์ WLAN ส่งข้อมูลออกมาชนกันจะไม่เกิดขึ้น ยังมีจำนวนอุปกรณ์ WLAN ในเครือข่ายมากเท่าไร อัตราการชนกันของข้อมูลที่ส่งออกมาก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้ประสิทธิภาพของเครือข่าย WLAN ลดลง เครือข่าย WLAN จึงมีกลไก Request to Send / Clear to Send (RTS / CTS) ในระหว่างการสื่อสารข้อมูลเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดขึ้นน้อยลง ตัวอย่างของการทำงานของกลไก RTS / CTS มีดังนี้

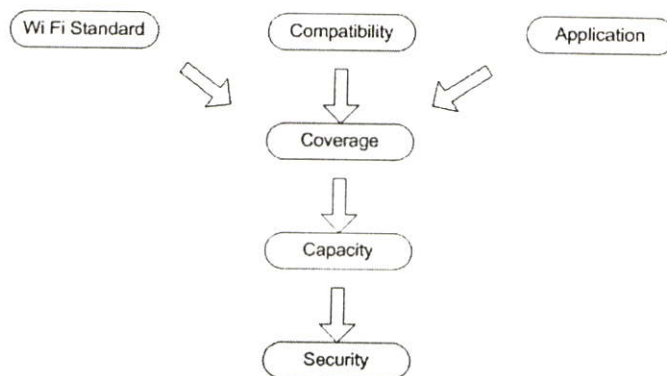
1. สมมติว่าแอสเซสพอยท์ได้รับข้อมูลที่ส่งมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์ A ในระบบบิเธอร์เน็ตแลน เพื่อส่งต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สาย B ในเครือข่าย WLAN
2. แอสเซสพอยท์จะส่งข้อมูล RTS เพรมไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สาย B เพื่อร้องขอส่งข้อมูลไปให้
3. เครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สาย B ได้รับข้อมูล RTS เพรมจะตอบกลับไปยังแอสเซสพอยท์ด้วยข้อมูล CTS เพรม เพื่อบอกว่าตนเองพร้อมที่จะรับข้อมูลและได้หยุดการสื่อสารกับอุปกรณ์อื่น ๆ แล้ว
4. เมื่อแอสเซสพอยท์ได้รับข้อมูล CTS เพรมตอบกลับ แอสเซสพอยท์ก็จะส่งข้อมูลไปให้เครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สาย B จนกระทั่งเสร็จสิ้น ในขณะที่การสื่อสารข้อมูลระหว่างแอสเซสพอยท์

กับเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สาย B กำลังดำเนินการอยู่อุปกรณ์อื่น ๆ บนเครือข่าย WLAN และจะหยุดส่งข้อมูลและรอนจนกว่าข้อมูลจะส่งเสร็จ เพื่อไม่ให้เกิดการชนกันของข้อมูล

2.5 เทคนิคการออกแบบและวางเครือข่าย WLAN

ในการออกแบบเครือข่ายไร้สายทั่วไป ผู้ออกแบบมักจะมีคำนึงถึงเรื่องพื้นที่ให้บริการของแอคเซสพอยท์มากกว่าเรื่องความจุของเครือข่าย (Capacity) ที่จะให้บริการได้ ก็เพราะช่วงแรกบุคคลเหล่านี้ไม่ได้ใช้เครือข่าย WLAN เป็นเครือข่ายหลัก จึงมองไม่เห็นปัญหานี้ ต่อเมื่อวันหนึ่งผู้ใช้งานทั่ว ๆ ไป จะเริ่มใช้งานเครือข่ายไร้สายนี้เป็นเครือข่ายหลัก เพราะคุ้นเคยกับเครือข่ายนี้ ปัญหาที่เกิดขึ้นตามมาก็คือ เครือข่าย WLAN มีความจุไม่เพียงพอ เพราะมีผู้ใช้งานจำนวนมาก และผู้ใช้งานเหล่านี้ก็มีความต้องการที่จะรับ ส่งไฟล์ในเครือข่ายใหญ่อีกด้วย นั่นทำให้ต้องทำความเข้าใจก่อนว่าการติดตั้งเครือข่าย WLAN ในสำนักงานนั้นยากกว่าการติดตั้งในบ้านหลายเท่าตัว และมีหลายประเด็นที่จะต้องทำความเข้าใจก่อนจึงจะออกแบบระบบเครือข่ายได้ดี

ก่อนออกแบบระบบเครือข่าย WLAN จะต้องเรียนรู้เรื่องมาตรฐานความเข้ากันได้ ปัญหาเรื่องพื้นที่ให้บริการ ความจุของเครือข่าย และเรื่องการรักษาความปลอดภัยเครือข่าย ทั้งหมดนี้เป็นสิ่งที่ไม่ควรละเว้น



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการศึกษาเพื่อการออกแบบระบบเครือข่าย WLAN

2.6 มาตรฐานเครือข่าย WLAN

มาตรฐานเครือข่าย WLAN ที่ได้รับการรับรองจากสถาบัน IEEE นั้นมีด้วยกัน 3 มาตรฐานคือ 802.11b, 802.11a และ 802.11g แต่ละตัวก็มีสมบัติพิเศษแตกต่างกันออกไป โดยตัวที่เก่าที่สุดคือ 802.11b ได้รับการรับรองเมื่อปี ค.ศ. 1999 เป็นมาตรฐานที่มีผู้ใช้มากที่สุด เนื่องจากใช้ความถี่ย่าน 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ซึ่งเป็นความถี่ย่านสากลที่ไม่ต้องขอสัมปทาน และแม้ว่ามาตรฐานนี้จะเปิดตัวมานานหลายปี แต่ก็เริ่มเป็นที่นิยมใช้กันมากเมื่อปี ค.ศ. 2003 เพราะบริษัทอินเทลเริ่มจำหน่ายชิป

เซต Intel PRO Wireless 2100 ให้กับผู้ผลิตโน้ตบุ๊กในแบรนด์เซทริโอ ทำให้โน้ตบุ๊กทุกตัวในตอนนั้นมี การ์ด WLAN ติดตัวมาด้วย ข้อดีของมาตรฐานนี้ก็คือ ราคาถูก มีความเข้ากันได้กับอุปกรณ์ต่าง ๆ สูง แอคเซสพอยท์ส่วนใหญ่จะรองรับมาตรฐานนี้ แต่มีข้อเสียคือ ความเร็วในการทำงานต่ำ

ต่อมาเมื่อปลายปี ค.ศ. 2001 ทางสถาบัน IEEE ก็รองรับมาตรฐาน 802.11a ซึ่งใช้ความถี่ย่าน 5 กิกะเฮิรตซ์ มีความเร็วในการทำงานที่ 54 เมกะบิตต่อวินาที แม้ว่ามีความเร็วสูงแต่ก็มีระยะทางใช้งานสั้นเพียง 50 เมตร ในประเทศไทยมาตรฐาน 802.11a ไม่สามารถใช้งานได้เนื่องจากความถี่ย่านนี้ถูกสงวนเอาไว้ด้านดาวเทียม และมาตรฐานสุดท้ายที่จะกล่าวถึงก็คือ มาตรฐาน 802.11g เป็นตัวที่พัฒนาต่อมาจากมาตรฐาน 802.11b ทำให้มีความเข้ากันได้ สามารถนำเอาการ์ดเครือข่ายของมาตรฐาน 802.11b ไปใช้ร่วมกับมาตรฐาน 802.11g มาตรฐานใหม่นี้ถูกออกแบบมาเพื่อแก้ไขปัญหาค่าความเร็วในการทำงานที่ค่อนข้างช้าของ 802.11b โดยมาตรฐานตัวใหม่นี้จะมีความเร็วที่ 54 เมกะบิตต่อวินาที ซึ่งก็เพียงพอสำหรับการใช้งานทั่วไป ปัจจุบัน เครื่องโน้ตบุ๊กส่วนใหญ่จะติดตั้ง WLAN การ์ดที่เป็น 802.11g มาพร้อมกับเครื่องใหม่ทุกเครื่อง หากต้องการสร้างเครือข่าย WLAN ใหม่ก็ควรเลือกแอคเซสพอยท์ตามมาตรฐาน 802.11g จะดีกว่ามาตรฐานตัวเก่า

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของมาตรฐานเครือข่าย WLAN แบบ 802.11b และ 802.11g

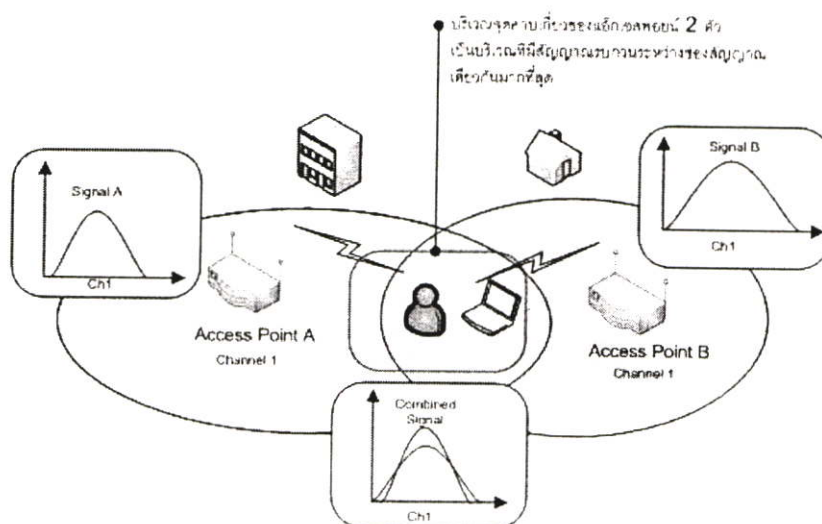
	802.11b	802.11g
ความเร็วในทางทฤษฎี	11 Mbps	54 Mbps
ความเร็วในทางปฏิบัติ	4 – 6 Mbps	18 – 27 Mbps
ระดับความเร็ว	11 Mbps, 5.5 Mbps 2 Mbps, 1 Mbps	54 Mbps, 48 Mbps, 36 Mbps, 24 Mbps, 12 Mbps, 6 Mbps
ระยะใช้งาน	27 เมตร @ 54 Mbps	48 เมตร @ 11 Mbps
คลื่นความถี่ที่ใช้	ISM Band 2.4 – 2.4835 GHz	ISM Band 2.4 – 2.4835 GHz
การโมดูเลตสัญญาณ	DSSS	DSSS, OFDM
จำนวนช่องที่ไม่ซ้อนทับ	3	3

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

ข้อดี	ใช้งานกันมาก เป็นที่นิยม อุปกรณ์ราคาถูก	มีความเร็วสูง มีความทนทานต่อ ปัญหาคลื่นที่มาจากหลายทิศทาง ได้ดีกว่า เข้ากันได้กับอุปกรณ์ 802.11b
ข้อเสีย	ความเร็วต่ำและกำลังจะล้าสมัย ถูก รบกวนด้วยอุปกรณ์อื่น ที่ใช้ย่าน ความถี่ 2.4 GHz ได้ง่าย ช่องสัญญาณให้เลือกใช้น้อย	อุปกรณ์ราคาสูงแต่ก็เริ่มลดลงแล้ว ถูกรบกวนด้วยอุปกรณ์อื่น ที่ใช้ ย่านความถี่ 2.4 GHz ได้ง่าย ช่องสัญญาณให้เลือกใช้น้อย

2.6.1 ช่องความถี่ของระบบ WLAN

ปัญหาการรบกวนกันในช่องสัญญาณเดียวกัน (Co - Channel Interference) ก็เป็นปัญหาหนึ่งที่พบได้ในระบบ WLAN ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะไม่มี การติดตั้ง แอ็กเซสพอยท์ 2 ตัวที่ใช้ช่องความถี่เดียวกันในบริเวณใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพื่อป้องกันปัญหาสัญญาณจากแอ็กเซสพอยท์ตัวหนึ่งไปรบกวนการทำงานของแอ็กเซสพอยท์อีกตัวหนึ่ง ปัญหาเหล่านี้จะรุนแรงมากในพื้นที่ให้บริการซึ่งคาบเกี่ยวกันของสัญญาณวิทยุระหว่างแอ็กเซสพอยท์ตัวแรกกับตัวที่สอง หากอยู่ในบริเวณที่แอ็กเซสพอยท์ตัวใดมีกำลังส่งแรงกว่าก็จะรับสัญญาณได้จากตัวนั้นและไม่สามารถรับสัญญาณจากตัวอื่นได้ ในบางตำแหน่งสัญญาณจากแอ็กเซสพอยท์ทั้งสองก็มีความแรงใกล้เคียงกันมากจนไม่สามารถแยกรับข้อมูลใด ๆ ได้



รูปที่ 2.7 การรบกวนกันในพื้นที่คาบเกี่ยวจากแอ็กเซสพอยท์ 2 ตัว ที่ใช้ช่องความถี่เดียวกัน

เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาสัญญาณรบกวนที่จะเกิดขึ้นนี้ ก็ไม่ควรเลือกใช้ช่องความถี่เดียวกันสำหรับแอสซิงโครนัสที่อยู่บริเวณเดียวกัน แต่การเลือกใช้ช่องความถี่ที่ต่างกันนั้นยังไม่พอเพราะในระบบ WLAN นั้น ช่องสัญญาณแต่ละช่องจะมีแบนด์วิธที่กว้างและมีการซ้อนทับกันอยู่ หากเลือกไม่เหมาะสมก็จะเกิดการซ้อนทับกันได้อีก นั่นคือสิ่งที่จะต้องศึกษาเกี่ยวกับเทคนิคการโมดูเลชันที่ใ้รับ ส่งข้อมูลในระบบ WLAN

2.6.2 เทคนิคการมอดูเลทในระบบ WLAN

ในช่วงความถี่ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ เป็นความถี่ย่านสากลที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใด ๆ ก็สามารถใช้งาน ความถี่นี้ในการรับ - ส่งข้อมูล นั้นอาจจะทำให้อุปกรณ์ไฟฟ้าเหล่านี้มีโอกาสที่จะรบกวนกันเองสูง ดังนั้น การแก้ไขทำได้โดยใช้เทคนิคการโมดูเลชันแบบ Spread Spectrum ที่จะมีการกระจายข้อมูลออกไปในช่วงต่าง ๆ ของย่านความถี่นี้ หากมีสัญญาณในมารบกวนที่ความถี่หนึ่ง ๆ ก็จะเป็นจุดเล็ก ๆ เท่านั้น ไม่ได้ทำให้การสื่อสารนี้ถูกตัดขาดลงไป เนื่องจากยังมีข้อมูลอื่น ๆ ที่เหลืออยู่ในช่วงที่ส่งสัญญาณนี้ เมื่อผู้ได้รับข้อมูลก็จะใช้ข้อมูลที่เหลือกู้ข้อมูลที่สูญหายไป

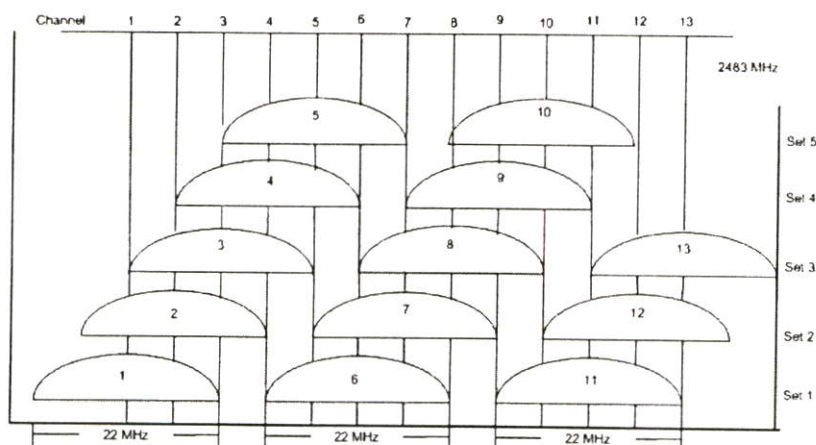
เทคนิคการ โมดูเลชันแบบนี้ ทำให้มีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนในรูปแบบต่าง ๆ ได้ดี ไม่ว่าจะเป็นสัญญาณรบกวนจากปัญหาคลื่นสะท้อน (Multipath Interference) การรบกวนจากการใช้ช่องความถี่เดียวกันของอุปกรณ์ไวร์เลส โดยเทคนิคที่นิยมกันมี 2 รูปแบบ คือ

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) เป็นเทคนิคที่มีการแบ่งช่วงความถี่ออกเป็นช่องสัญญาณย่อย ๆ แล้วมีการย้ายความถี่ไปเรื่อย ๆ เป็นจังหวะที่ผู้รับและส่งทราบถึงความถี่ถัดไปนี้คือความถี่อะไร การย้ายความถี่ไปเรื่อย ๆ นี้ช่วยลดปัญหาสัญญาณรบกวนได้ เนื่องจากเมื่อมีสัญญาณรบกวนที่ความถี่หนึ่ง ๆ ก็จะไม่สามารถรบกวนความถี่ที่เหลือได้ การสื่อสารจึงไม่ถูกตัดขาดลง ต่างจากวิธีแบบเดิมที่ใช้ความถี่เดียวในการรับ - ส่งข้อมูล เมื่อถูกรบกวนที่ความถี่นี้ก็จะไม่ติดต่อกันได้เลย

DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum) เป็นเทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นมาอีกขั้นหนึ่ง และนิยมใช้กันมากในระบบ WLAN ตามมาตรฐาน 802.11b เนื่องจากรับ - ส่งข้อมูลได้เร็วกว่าระบบ FHSS และยังมี ความทนทานต่อสัญญาณรบกวนมากกว่า เคล็ดลับการทำงานของวิธีนี้คือการใช้ Chip code ซึ่งเป็นบิตจำนวนมากกว่าบิตข้อมูลจริง เมื่อส่งออกอากาศไปก็จะกระจายอยู่ในช่วงความถี่นั้น ๆ หากถูกสัญญาณรบกวน บิตข้อมูลก็จะเสียไป หากมีจำนวนไม่มากก็สามารถกู้ข้อมูลจาก Chip code ที่เหลือมาได้ นั่นก็ทำให้การ โมดูเลชันแบบนี้มีความเร็วและมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนสูงกว่า แต่ก็มียข้อเสียคือ กินช่วงแบนด์วิธค่อนข้างกว้างกว่าแบบธรรมดา

2.6.3 การแบ่งช่องสัญญาณและแบนด์วิธของระบบ WLAN

ด้วยเทคนิคการโมดูเลชันแบบ DSSS ทำให้สัญญาณที่ได้หลังจากโมดูเลทใช้ความกว้างแบนด์วิธสูงถึง 22 เมกะเฮิร์ตซ์ แต่ในย่าน 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์นั้นมีแบนด์วิธเพียง 83 เมกะเฮิร์ตซ์เท่านั้น ทำให้แบ่งช่องสัญญาณเป็นช่องที่ไม่ซ้อนทับกันได้เพียง 3 ช่อง ส่วนแบนด์วิธที่เหลือระหว่างช่องจะเป็น Guard Band เพื่อป้องกันการรบกวนกันระหว่างสัญญาณต่าง ๆ เรียกช่องความถี่ที่ไม่ซ้อนทับกันว่า “Non – Overlapping Channel”



รูปที่ 2.8 ช่องสัญญาณของระบบ ไวร์เลสที่ไม่ซ้อนทับกับชุดต่าง ๆ ในย่าน 2.4 กิกะเฮิร์ตซ์

ในการกำหนดช่องสัญญาณของระบบ WLAN จะกำหนดให้ช่องแรกเริ่มต้นที่ความถี่ 2412 เมกะเฮิร์ตซ์ และช่องถัดมาจะห่างกันช่องละ 5 เมกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งถ้านับก็จะมีเท่ากับ 13 ช่อง แต่สามารถใช้งานได้เพียง 3 ช่องเท่านั้น จึงจะไม่มีการซ้อนทับกันระหว่างช่อง การใช้ Non – Overlapping Channel จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการรบกวนกันของระบบ WLAN ซึ่งสามารถแบ่งความถี่ออกเป็นชุดที่ไม่ซ้อนทับกัน ชุดแรกคือ ช่อง 1, 6, 11 ชุดที่สองคือ 2, 7, 12 ชุดที่ 3 คือ 3, 8, 13 ชุดที่ 4 คือ 4, 9 ชุดที่ 5 คือ 5, 10 ในการใช้งานควรจะใช้ชุดความถี่ชุดใดชุดหนึ่งเท่านั้น ไม่ควรเลือกใช้ช่องความถี่ที่อยู่ในชุดต่างกัน เพราะจะทำให้เกิดปัญหาการรบกวนกันได้

ตาราง 2.2 แสดงช่องความถี่ แบนด์วิธที่ใช้ และช่องนี้อยู่ในชุดความถี่ใดของระบบ WLAN

ช่อง	ความถี่กลาง	ช่วงสเปกตรัมที่ใช้งาน	อยู่ในชุดความถี่ที่
1	2412 (GHz)	2401 – 2423 (GHz)	1
2	2417 (GHz)	2406 – 2418 (GHz)	2
3	2422 (GHz)	2411 – 2433 (GHz)	3
4	2427 (GHz)	2416 – 2438 (GHz)	4
5	2432 (GHz)	2421 – 2443 (GHz)	5

ตาราง 2.2 (ต่อ)

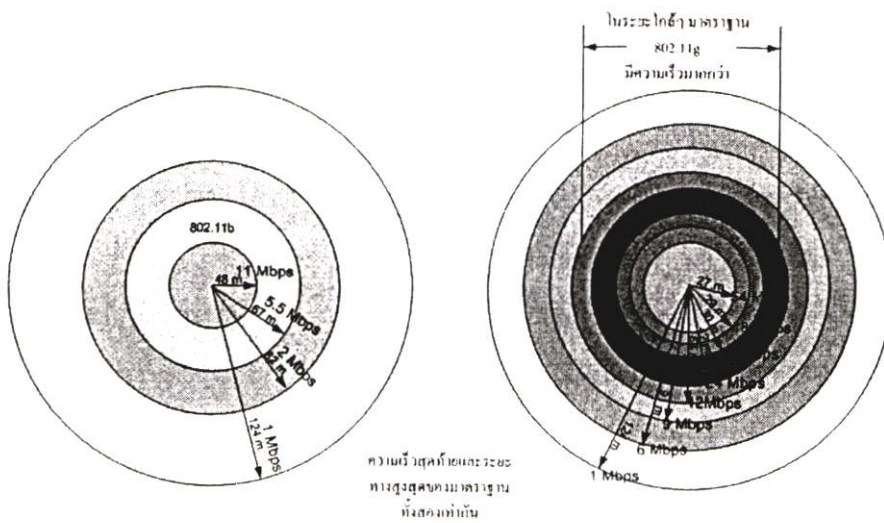
6	2437 (GHz)	2426 – 2448 (GHz)	1
7	2442 (GHz)	2431 – 2453 (GHz)	2
8	2447 (GHz)	2436 – 2458 (GHz)	3
9	2452 (GHz)	2441 – 2463 (GHz)	4
10	2457 (GHz)	2446 – 2468 (GHz)	5
11	2462 (GHz)	2451 – 2473 (GHz)	1
12	2467 (GHz)	2456 – 2478 (GHz)	2
13	2472 (GHz)	2461 – 2483 (GHz)	3

ในการกำหนดช่องความถี่ของเครือข่าย WLAN นั้นสามารถทำได้โดยการกำหนดความถี่และชื่อ SSID ของแอสเซสพอยท์ตัวนี้ เมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์ในระบบไวร์เลสตรวจหาเครือข่ายที่ให้บริการในบริเวณนี้ ก็จะปรากฏชื่อ SSID ของแอสเซสพอยท์ตัวต่าง ๆ ในบริเวณนั้นขึ้นมา ถ้าเลือกใช้เครือข่ายที่มีชื่อ SSID จากแอสเซสพอยท์ตัวใด การ์ดไวร์เลสในเครื่องก็จะเปลี่ยนมาใช้ช่องความถี่ที่ถูกกำหนดไว้ในแอสเซสพอยท์ตัวนั้น โดยอัตโนมัติ นั่นเป็นกระบวนการกำหนดความถี่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ตามค่าของแอสเซสพอยท์

2.6.4 ความเร็วในการรับ - ส่งข้อมูลกับความแรงของสัญญาณ

ความเร็วในการรับ - ส่งสัญญาณของเครือข่าย WLAN นั้น จะแปรผันกับความแรงของสัญญาณวิทยุ นั้นหมายความว่าเมื่อสัญญาณวิทยุมีความแรงก็จะส่งข้อมูลได้เร็ว แต่เมื่อสัญญาณวิทยุอ่อนแรงลง ก็จะส่งข้อมูลได้ช้าลง ที่เป็นเช่นนี้เพราะระบบ WLAN จะเลือกวิธีการ โมดูเลทให้เหมาะสมกับความแรงของสัญญาณ ตามมาตรฐาน 802.11b จะมีความเร็วในการทำงาน 4 ระดับ คือ 11, 5.5, 2 และ 1 เมกะบิตต่อวินาที และ 802.11g จะมีความเร็วในการทำงาน 8 ระดับ คือ 54, 48, 36, 24, 11, 5.5, 2 และ 1 เมกะบิตต่อวินาที

ตัวอย่างเช่น ในมาตรฐาน 802.11b เมื่ออยู่ใกล้แอสเซสพอยท์ ก็จะมีสัญญาณวิทยุแรง ระบบก็จะใช้การ โมดูเลทแบบ CCK ทำให้มีความเร็วที่ 5.5 – 11 เมกะบิตต่อวินาที ต่อมาอยู่ห่างออกไปทำให้สัญญาณวิทยุอ่อนแรงลง ระบบก็จะเปลี่ยนการ โมดูเลทไปเป็นแบบ QPSK ซึ่งเป็นวิธีที่ทนทานต่อสัญญาณรบกวนมากกว่าแต่ความเร็วก็จะลดลงเหลือ 2 เมกะบิตต่อวินาที จนในที่สุดเมื่ออยู่ห่างออกไปอีก ก็จะเปลี่ยนวิธี โมดูเลทเป็นแบบ BPSK ซึ่งเป็นวิธีสุดท้ายที่มีความเร็วเพียง 1 เมกะบิตต่อวินาทีเท่านั้น

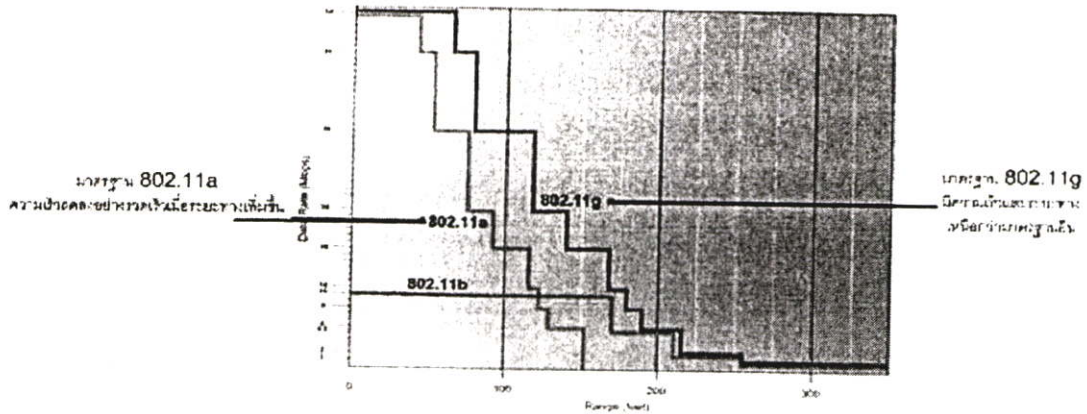


รูปที่ 2.9 ระยะทางมีผลกระทบต่อเรื่องความเร็วในระบบ WLAN 802.11b และ 802.11g

จากรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่า เมื่ออยู่ห่างจากแอคเซสพอยท์ไม่มาก มาตรฐาน 802.11g จะมีความเร็วสูงมากแต่เมื่อห่างออกไปจะมีความเร็วลดลงใกล้เคียงกับมาตรฐาน 802.11b ที่เป็นเช่นนี้เพราะมาตรฐาน 802.11g ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ตามมาตรฐาน 802.11b มาตรฐานตัวใหม่นี้จึงสามารถใช้การ โมดูเลทวิธีเดียวกับของ 802.11b โดยเมื่อ WLAN การ์ดอยู่ใกล้กับแอคเซสพอยท์ก็จะใช้การ โมดูเลทแบบ OFDM แบบใหม่ แต่เมื่ออยู่ห่างออกไปก็จะใช้การ โมดูเลทแบบเดิมตามมาตรฐาน 802.11b นั่นก็เป็นสาเหตุว่าทำไมมาตรฐานทั้งสองถึงมีระยะการทำงานและความเร็วที่ใกล้เคียงกันเมื่อมีระยะห่างออกไป

การปรับค่าความเร็วในการรับ - ส่งจะเป็นไปโดยอัตโนมัติ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับตัวแอคเซสพอยท์และ WLAN การ์ดที่จะตกลงกันตามค่าความแรงของสัญญาณ ซึ่งสามารถสังเกตได้จากเมื่ออุปกรณ์ไวร์เลสอยู่ห่างจากแอคเซสพอยท์ออกไปก็จะมี การเปลี่ยนแปลงวิธีการ โมดูเลททำให้ความเร็วลดลง ทำให้ความเร็วในการทำงานกับระยะทางมีรูปร่างเป็นขั้นบันได

จากรูป 2.10 จะเป็นกราฟที่แสดงความเร็วกับระยะทางในสภาพการใช้งานในสำนักงาน ซึ่งจะเห็นได้ว่าเครือข่ายตามมาตรฐาน 802.11a จะมีความเร็วลดลงอย่างมากเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้นที่เป็นเช่นนี้เพราะมาตรฐานนี้ใช้กำลังส่งที่ต่ำมาก และมีปัญหาการลดทอนสัญญาณจากสิ่งกีดขวาง ต่างจากมาตรฐาน 802.11g ที่มีความเร็วลดลงแต่ก็ใช้งานได้ระยะทางไกลกว่า ซึ่งหากเปรียบเทียบกันระหว่างมาตรฐาน 802.11g และ 802.11b ทั้งสองจะมีความเร็วสุดท้ายที่ระยะทางใช้งานสูงสุดที่เท่ากัน แอคเซสพอยท์จะเปลี่ยนวิธีการ โมดูเลทให้เหมาะกับ ความแรงของสัญญาณวิทยุ หากมีอุปกรณ์ WLAN ตัวใดที่อยู่ห่างจากแอคเซสพอยท์ออกไป พยายามเชื่อมต่อเข้ามากก็จะบังคับให้แอคเซสพอยท์เปลี่ยนวิธีการ โมดูเลทเป็นวิธีที่ทนทานต่อสัญญาณรบกวนมากขึ้น นั่นก็จะทำให้เครือข่าย WLAN โดยรวมทั้งหมดลดความเร็วลงด้วย



รูปที่ 2.10 กราฟแสดงความเร็วในการรับ – ส่งข้อมูลกับระยะทางของระบบ WLANตามมาตรฐานต่าง ๆ [6]

ตัวอย่างเช่น WLANการ์ดที่อยู่ห่างออกไปในระยะ 200 ฟุต ก็จะทำให้แอกเซสพอยท์ลดความเร็วเหลือเพียง 2 เมกะบิตต่อวินาที ซึ่งก็เป็นปัญหาหนึ่งที่ต้องใช้พิจารณาในการออกแบบเครือข่ายว่าควรรักษาระดับความแรงของสัญญาณให้มีความแรงตลอดพื้นที่ให้บริการที่ต้องการเพื่อป้องกันเครือข่ายไวร์เลสแลนโดยรวมทำงานช้าลง

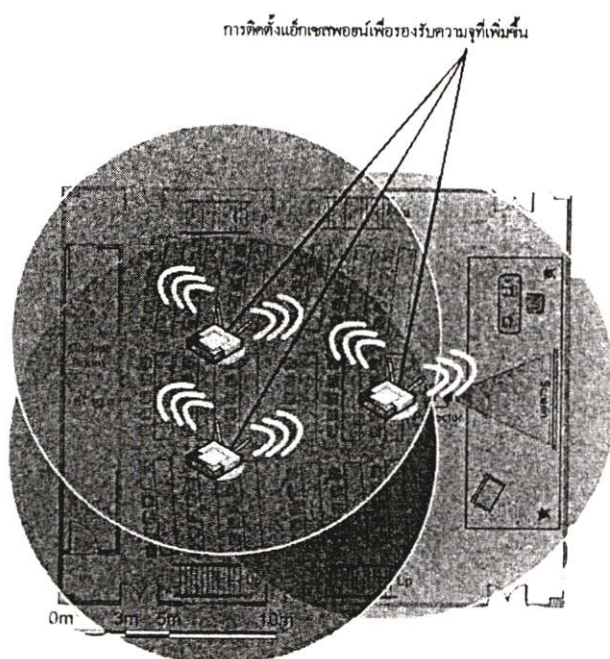
2.7 การเพิ่มประสิทธิภาพความจุของเครือข่าย WLAN

แอกเซสพอยท์ตัวหนึ่งที่มีความสามารถรองรับผู้ใช้ได้จำนวนหนึ่ง การเพิ่มจำนวนแอกเซสพอยท์ก็หมายถึงการเพิ่มความจุของเครือข่าย WLAN นั้นเอง แต่นั่นก็มีปัญหาคือ ช่องสัญญาณที่ไม่ซ้อนทับกันในระบบ WLANตามมาตรฐาน 802.11b/g นั้นมีเพียง 3 ช่อง ดังนั้น การเพิ่มแอกเซสพอยท์เพื่อเพิ่มความจุของเครือข่ายในบริเวณหนึ่ง ๆ จึงทำได้มากที่สุดเพียง 3 ตัว ในตอนนี้ก็จะมาเรียนรู้การคำนวณหาจำนวนแอกเซสพอยท์ที่ต้องเพิ่มเข้าไปเพื่อรองรับความจุที่ต้องการ และจะทำอย่างไรเมื่อความจุเครือข่ายที่ต้องการนั้นเกินจำนวนช่องสัญญาณที่ใช้งานได้

2.7.1 การคำนวณหาปริมาณแอกเซสพอยท์เพื่อรองรับจำนวนผู้ใช้งาน

แอกเซสพอยท์ตัวหนึ่งนั้นมีหน้าที่ในการควบคุมการรับ – ส่งข้อมูลในระบบ WLAN ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และมีหน้าที่เชื่อมต่อไปยังเครือข่ายหลัก หากจำนวนผู้ใช้มีปริมาณมากขึ้น หรือผู้ใช้แต่ละคนมีความต้องการรับ ส่งข้อมูลปริมาณมากขึ้น ในการออกแบบเครือข่ายนั้นก็มีหลักการดังต่อไปนี้

เครือข่ายแรกสุดที่จะนำมาเป็นตัวอย่างคือ 802.11b ที่มีความเร็ว 11 เมกะบิตต่อวินาที เครือข่ายนี้มีการใช้งานอย่างแพร่หลายแต่ก็มีปัญหาเรื่องความเร็วในการทำงานที่ต่ำ การเพิ่มประสิทธิภาพทำได้โดยการเพิ่มแอดเซสพอยท์เข้าไปในบริเวณที่มีผู้ใช้จำนวนมาก แต่แอดเซสพอยท์นี้ก็ต้องใช้ความถี่ที่ไม่ซ้อนทับกันด้วย (Non – Overlapping Channel) จึงจะได้ประสิทธิภาพอย่างเต็มที่ การคำนวณหาจำนวนแอดเซสพอยท์จะเริ่มจากการบันทึกข้อมูลถึงปริมาณการใช้งานของผู้ใช้โดยเฉลี่ยทั้งรับ – ส่ง หาเปอร์เซ็นต์การทำงานของแต่ละคนก่อน จากนั้นก็จะได้ปริมาณข้อมูลที่จะต้องรับ – ส่งผ่านระบบเครือข่าย WLAN นำค่านี้นำมาหารด้วยความเร็วในการเชื่อมต่อตามมาตรฐาน WLAN ที่เลือกใช้แล้วคูณด้วยประสิทธิภาพของระบบนั้น ๆ ก็จะได้จำนวนแอดเซสพอยท์ที่ต้องใช้ออกมา



รูปที่ 2.11 การเพิ่มความจุของเครือข่าย WLAN ให้เป็น 3 เท่า โดยการเพิ่มแอดเซสพอยท์ 3 ตัว

ตัวอย่างเช่น เครือข่าย WLAN ตามมาตรฐาน 802.11b ในห้องประชุมแห่งหนึ่งที่มีผู้ใช้จำนวน 100 คน แต่ละคนต้องการทั้งดาวน์โหลดและอัปโหลดข้อมูลด้วยความเร็ว 250 กิโลบิตต่อวินาทีพร้อม ๆ กัน ขณะนั้นจะมีผู้ใช้งานพร้อม ๆ กัน ประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมด และเครือข่าย WLAN นี้มีประสิทธิภาพเพียง 50 % ให้หาจำนวนแอดเซสพอยท์เพื่อรองรับการใช้งานนี้

$$AP = \frac{Bandwidth \times NumberofUser \times ActiveperUser}{\%Efficiency \times SpeedofAP} \quad (2.1)$$

$$= \frac{(2 \times 250kbps) \times 100 \times 25\%}{50\% \times 11Mbps}$$

$$= 2.27 \quad \text{ตัว}$$

จากคำตอบข้างต้นคือ 2.27 ตัว ซึ่งในทางปฏิบัติก็คือ การติดตั้งแอสเซสพอยท์ 3 ตัว ที่ใช้ความถี่ไม่ซ้อนทับกัน 3 ความถี่ในบริเวณเดียวกันได้ นั้นจะไม่ทำให้เกิดการรบกวนกันได้ ตามมาตรฐานของ 802.11b แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อผู้ใช้เพิ่มความต้องการทั้งดาวน์โหลดและอัปโหลด ข้อมูลเป็น 750 กิโลบิตต่อวินาทีพร้อม ๆ กัน โดยตัวแปรอื่น ๆ ยังเหมือนเดิม จะต้องทำการเพิ่มแอสเซสพอยท์อีกกี่ตัวจึงจะรองรับผู้ใช้เหล่านั้นได้

$$= \frac{(2 \times 750 \text{ kbps}) \times 100 \times 25\%}{50\% \times 11 \text{ Mbps}}$$

$$= 6.8 \quad \text{ตัว}$$

คำตอบก็คือ 7 (6.8) ตัว ซึ่งเป็นไปได้ยาก เพราะในทางปฏิบัติการใช้แอสเซสพอยท์ 7 ตัว ก็ต้องใช้ความถี่ถึง 7 ความถี่ ในมาตรฐาน WLAN 802.11b มีชุดความถี่ที่ไม่ซ้อนทับกัน (Non – Overlapping Channel) ให้เลือกเพียง 3 ความถี่ นั้นหมายความว่า จะใช้ความถี่ซ้ำกันในบริเวณเดียวกัน จะทำให้เกิดปัญหาสัญญาณรบกวนกันระหว่างแอสเซสพอยท์ที่อยู่ใกล้เคียงกันได้ เพราะในห้องประชุมนี้จะกว้างไม่มาก คลื่นจากแอสเซสพอยท์ตัวหนึ่งในบริเวณห้องประชุมสามารถเดินทางไปรบกวนอีกตัวหนึ่งที่ใช้ความถี่เดียวกันได้

วิธีการเพิ่มแอสเซสพอยท์จึงไม่สามารถเพิ่มความจุได้ตามต้องการ เทคนิคที่ใช้เพิ่มความจุสำหรับห้องประชุมแห่งนี้ก็คือ การเปลี่ยนอุปกรณ์ไวร์เลสทั้งหมดเป็นมาตรฐาน 802.11g ที่ความเร็วเท่ากับ 54 เมกะบิตต่อวินาที แม้ว่าประสิทธิภาพของมาตรฐานนี้จะอยู่ที่ประมาณ 40% แต่ก็ช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้โดยเมื่อคำนวณหาจำนวนแอสเซสพอยท์จะพบว่าต้องใช้แอสเซสพอยท์เท่ากับ

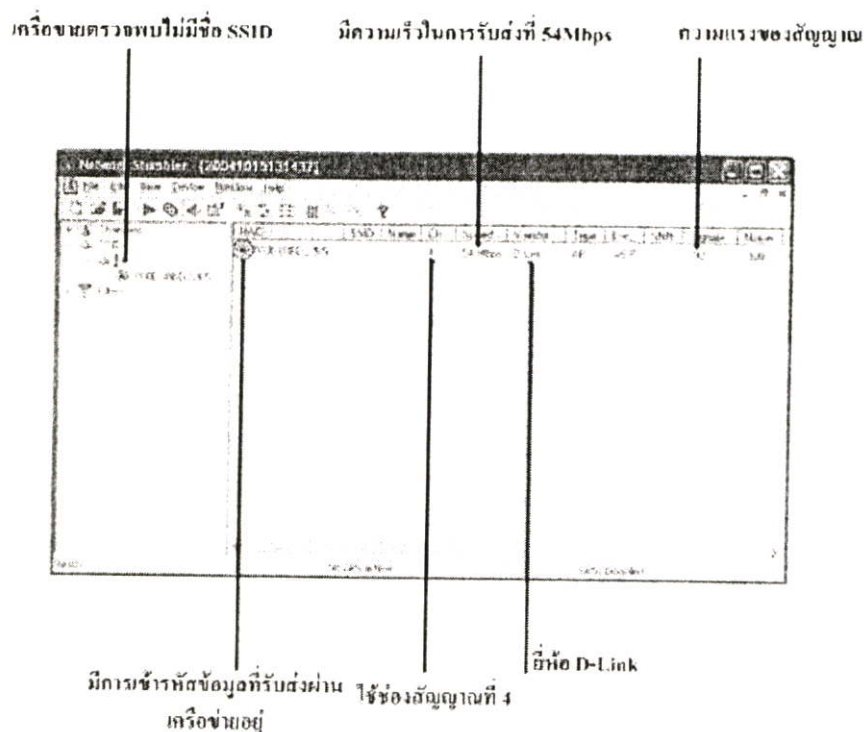
$$= \frac{(2 \times 750 \text{ kbps}) \times 100 \times 25\%}{50\% \times 54 \text{ Mbps}}$$

$$= 1.73 \quad \text{ตัว}$$

นั่นหมายความว่า จะต้องใช้แอสเซสพอยท์เท่ากับ 2 (1.73) ตัว เพื่อการรองรับการใช้งานเครือข่ายไวร์เลสบริเวณห้องประชุมนี้ แต่ก็มีปัญหาคือ การเปลี่ยนอุปกรณ์ไปใช้มาตรฐาน 802.11g คือ ต้องลงทุนเปลี่ยนอุปกรณ์ทั้งหมดซึ่งเสียค่าใช้จ่ายไม่ใช่น้อย

2.7.2 การใช้โปรแกรม Network Strumbler ตรวจสอบเครือข่าย WLAN

การใช้งานโปรแกรม Network strumbler นั้นทำได้ง่าย ๆ โดยติดตั้งโปรแกรมนี้ในเครื่องที่มี WLANการ์ด หลังจากเปิดโปรแกรมขึ้นมา โปรแกรมก็จะแสดงรายละเอียดของแอคเซสพอยท์ที่เครื่องรับสัญญาณได้



รูปที่ 2.12 การใช้โปรแกรม Network strumbler สํารวจแอคเซสพอยท์ที่มีอยู่ในพื้นที่นี้

หลังจากที่ทราบว่ามีในพื้นที่บริเวณนั้นๆ มีแอคเซสพอยท์ตัวใดเปิดใช้งานอยู่บ้าง จากนั้นก็ให้เริ่มถือเครื่องโน้ตบุ๊กออกเดินสำรวจรอบ ๆ เพื่อตรวจสอบว่าแอคเซสพอยท์นี้อยู่บริเวณใดของอาคาร โดยสังเกตจากจุดที่มีความแรงของสัญญาณสูงสุด แล้วบันทึกค่าต่าง ๆ ได้จากโปรแกรมไม่ว่าจะเป็นตำแหน่งของแอคเซสพอยท์ ช่องสัญญาณและความแรงของสัญญาณวิทยุ คือ ความเร็วในการทำงาน ระบบรักษาความปลอดภัย มาบันทึกไว้เพื่อใช้ในการวางแผนความถี่ต่อไป

2.7.3 การใช้โปรแกรม Network Strumbler เพื่อวัดสัญญาณ

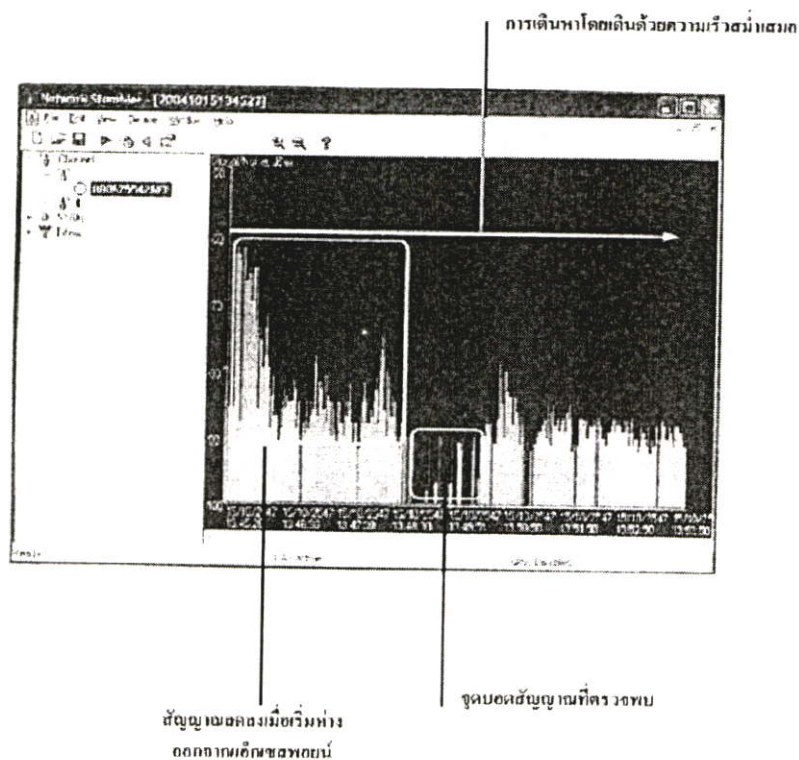
การใช้โปรแกรม Network Strumbler เป็นทางเลือกหนึ่งที่ดีกว่า เพราะโปรแกรมนี้สามารถทำงานได้กับไวร์เลสการ์ดส่วนใหญ่ได้อย่างไม่มีปัญหา นอกจากนี้โปรแกรมยังรายงานข้อมูลสำคัญ ๆ ที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อแก้ไขปัญหาเครือข่ายไร้สายได้เป็นอย่างดี ตัวอย่างข้อมูลสำคัญที่โปรแกรมแสดงออกมา ได้แก่ ค่า SSID ช่องสัญญาณที่ใช้งาน ความเร็วของอุปกรณ์นี้ ผู้ผลิตอุปกรณ์นี้ ความแรงของสัญญาณ ค่า SNR (Signal to Noise Ratio) ที่บอกอัตราส่วนสัญญาณวิทยุต่อสัญญาณรบกวน

ในการวัดสัญญาณรบกวนนั้น บางครั้งจะไม่พบเนื่องจากอุปกรณ์ไฟฟ้าดังกล่าวไม่ได้ทำงานเพียงช่วงสั้น หากต้องการวัดสัญญาณรบกวนนี้ก็สามารถทำได้โดยการเปิดอุปกรณ์ไฟฟ้าแล้วเอาไม้ตึกเข้าใกล้ก็จะสังเกตเห็นว่าระดับสัญญาณรบกวนสูงขึ้น หรือปัญหาอีกประการหนึ่งก็คือ การเลือกใช้ไดรเวอร์ของไวร์เลสการ์ดไม่เหมาะสม หรือไวร์เลสการ์ดนี้ไม่รองรับโปรแกรมก็จะไม่แสดงระดับสัญญาณรบกวนออกมา ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยการเลือกไดรเวอร์ใหม่จากเมนู Device

หลังจากตรวจพบโปรแกรมก็ให้เดินตรวจหาเพื่อหาตำแหน่งของแอคเซสพอยท์ และบอกให้ผู้ช่วยผู้ใช้งานเครือข่ายไวร์เลสตัวนี้เพื่อความปลอดภัยของเครือข่ายหลัก และถ้าหากเป็นของแฮกเกอร์ที่ลักลอบติดตั้งไว้ก็ให้ถอดปลั๊กออกแล้วเก็บไว้เป็นหลักฐานในการดำเนินคดีต่อไป

2.7.4 การเดินสำรวจสัญญาณไวร์เลส

การเดินสำรวจสัญญาณไวร์เลสหรือที่มักจะเรียกกันว่า “ไซต์เซอร์เวย์ (Site Survey)” จะเป็นการตรวจหาสัญญาณ WLAN ในจุดต่าง ๆ ที่ต้องการใช้งาน เพื่อให้มั่นใจได้ว่าทุก ๆ จุดที่มีการใช้งานจะรับสัญญาณไวร์เลสได้ การทำไซต์เซอร์เวย์ก็ควรทดสอบในสภาวะการใช้งานจริงด้วย เช่น การติดตั้งแอคเซสพอยท์ไว้นอกห้อง และผู้ใช้งานส่วนใหญ่อยู่ในห้องก็ควรปิดประตูห้องก่อนทำการทดสอบด้วย ในการสำรวจควรให้ความสำคัญในจุดที่คาดว่าจะจะเป็นจุดอับสัญญาณ และต้องใช้ไวร์เลสในจุดนี้หรือไม่ เช่น ในห้องครัว ห้องเก็บของ หากต้องการนำไม้ตึกไปใช้ในห้องเหล่านี้ก็ต้องทดสอบสัญญาณด้วย



รูปที่ 2.13 ค่าความแรงสัญญาณวิทยุที่ได้จากการเดินสำรวจพื้นที่ให้บริการ

การทำไซต์เซอร์เวย์นั้น ควรเริ่มจากการเดินให้ห่างจากแอคเซสพอยท์ไปตามทางเดินก่อน และจะพบว่าเมื่อหากออกไปความแรงของสัญญาณก็จะลดลงอย่างรวดเร็ว และสัญญาณอาจจะขาดหายไปเป็นบางช่วงขึ้นอยู่กับลักษณะสิ่งแวดล้อม จนในที่สุดสัญญาณวิทยุก็จะหมดไป เมื่อสำรวจตามทางเดินเสร็จก็ให้เริ่มสำรวจในห้องต่าง ๆ ว่ามีระดับสัญญาณเป็นอย่างไร ควรตรวจสอบให้ครบทุกจุด และควรกำหนดเป็นสภาวะการทดสอบให้ใกล้เคียงกับการใช้งานจริงมากที่สุด

บทที่ 3

ทฤษฎีพื้นฐานในระบบทำนายตำแหน่ง

ในระบบการค้นหาค่าแห่งที่อยู่บนพื้นฐานของสัญญาณวิทยุ สิ่งสำคัญที่ควรทราบคือ คุณสมบัติในการแพร่กระจายของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า ปฏิกิริยาการตามธรรมชาติ อย่างเช่น การลดทอนของสัญญาณ การสะท้อน การกระเจิง และการเลี้ยวเบนของคลื่น ซึ่งทั้งหมดมีความสำคัญในการค้นหาค่าแห่ง ระบบที่ไม่ใช่ดาวเทียม (Non - satellite) ซึ่งมีรูปแบบการแพร่กระจายที่ซับซ้อนตามสภาพแวดล้อม อย่างเช่น ภายในบริเวณเมือง หรือ พื้นที่ที่เป็นภูเขา ในบทนี้ได้ทำการแสดงทฤษฎีที่สำคัญของการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ และ รูปแบบ ของการแพร่กระจายที่เกี่ยวข้อง

3.1 หลักการเบื้องต้น

แนวคิดพื้นฐานในทฤษฎีของการแผ่พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า คือ สนามไฟฟ้า ซึ่งเกี่ยวข้องกับไปสู่กระแสไฟฟ้า โดยที่สนามไฟฟ้า E นิยามได้ เป็นทิศทางและขนาดที่แต่ละจุด ในทางขนาดอยู่ในรูปของ $|E|$ มีหน่วยเป็นโวลต์ต่อเมตร (V/m) ช่วงของการกระเพื่อมของสนามไฟฟ้า เรียกว่า คลื่นวิทยุ (radio wave) คลื่นวิทยุสามารถแยกย่อยออกมาอยู่ในองค์ประกอบของ orthogonal เป็นองค์ประกอบในแนวนอนและแนวตั้ง ทิศทางของสนามไฟฟ้านิยามได้เป็นรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (polarization) โดยในกรณีที่มีขนาดซึ่งเป็นองค์ประกอบในแนวตั้งเป็นศูนย์ตลอด ผลก็คือ เวกเตอร์ทิศทางก็จะขนานไปตามแนวนอนด้วย กล่าวได้ว่าเป็นคลื่นที่มีการแพร่กระจายในแนวนอน

สนามไฟฟ้ามีผลสอดคล้องไปสู่ ค่า ความหนาแน่นของกำลังงานไฟฟ้า (Power density flow F) มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อ ตร.เมตร (W/m^2) ซึ่งเป็นสัดส่วนกับขนาดของสนามไฟฟ้า ยกกำลังสอง เรากำหนดให้ค่า ความหนาแน่นของกำลังงานไฟฟ้า อัตราขยายของเสาอากาศตัวรับ (G_r) ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดทางกายภาพของเสาอากาศ และความถี่, ความยาวคลื่น (λ) และการสูญเสียที่ ฮาร์ดแวร์ ของระบบ (L) กำลังงานที่รับได้ คือ

$$P_R = \frac{F G_r \lambda^2}{4\pi L} \quad (3.1)$$

อย่างไรก็ตามค่าความยาวคลื่น λ ในสมการที่ 3.1 ไม่ได้เป็นไปตามค่ากำลังงานที่รับได้ ซึ่งมีอัตราการเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนตามค่าความยาวคลื่นยกกำลังสอง เพราะความยาวคลื่นมีผลเกี่ยวข้องกับค่าอัตราขยายของเสาอากาศที่ตัวรับ G_r ด้วย ตามความเป็นจริง ถ้าหากขนาดทางกายภาพของเสาอากาศและค่า ความหนาแน่นของกำลังงานไฟฟ้า เป็นค่าคงที่ ตัวแปรของความ

ชาวคลื่นจะเป็นอิสระจากตัวแปรอื่นๆ และด้วยเหตุนี้ค่ากำลังงานที่รับได้จะไม่ขึ้นกับความถี่ อย่างไรก็ตาม ค่าความถี่มีผลกับจะเป็นอิสระจากพจน์อื่นๆ และด้วยเหตุนี้ค่ากำลังงานที่รับได้จะไม่ขึ้นกับความถี่ อย่างไรก็ตามความถี่มีผลกับค่า power density flow เนื่องมาจากความสัมพันธ์กันในการแพร่กระจายที่สื่อกลาง ซึ่งเรื่องนี้จะมีการกล่าวถึงในลำดับถัดไป

เนื่องด้วยค่าของกำลังงานที่รับได้มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ในช่วงกว้าง เพื่อความสะดวกจึงนำ อัตราส่วน Logarithmic scale มาใช้ อัตราส่วนของสองจำนวนสามารถแสดงในรูปของเดซิเบล (dB) ซึ่งก็คือ logarithm ของอัตราส่วนคูณด้วยสิบหน่วยของเดซิเบลวัตต์ (dBw) คืออัตราส่วนของกำลังงานอ้างอิงกับหนึ่งวัตต์ การเปลี่ยนหน่วยระหว่างวัตต์ และเดซิเบลวัตต์ ทำได้ตามสองสมการนี้

$$P[dBw] = 10 \log(P[w]) \quad (3.2)$$

$$P[w] = 10^{\frac{P[dBw]}{10}} \quad (3.3)$$

ยกตัวอย่าง เช่น 0 dBw เท่ากับ 1 วัตต์ การแปลงระหว่างหน่วยเดซิเบลสองหน่วยนี้ คือ เดซิเบลมิลลิวัตต์ (dBm) มีนิยามคล้ายคลึงกัน นั่นคือ อัตราส่วนของกำลังงานอ้างอิงต่อหนึ่งมิลลิวัตต์ การแปลงระหว่างเดซิเบลสองหน่วยนี้ คือ เดซิเบลวัตต์ และเดซิเบลมิลลิวัตต์ ทำได้โดยบวกค่าคงที่เข้าไปที่ค่าเดิม สองสมการทางด้านล่างนี้คือ สมการที่ถูกใช้สำหรับการแปลงหน่วยกลับไปกลับมาระหว่างเดซิเบลวัตต์และ เดซิเบลมิลลิวัตต์

$$P[dBm] = P[dBw] + 30 \text{ P [dBm]} \quad (3.4)$$

$$P[dBw] = P[dBm] - 30 \text{ P [dBw]} \quad (3.5)$$

เพราะรูปแบบความสัมพันธ์ที่ง่ายระหว่างหน่วยเดซิเบลที่แตกต่างกัน ต่อจากนี้เราใช้คำว่า เดซิเบลเพื่อแสดงถึงประเภทของหน่วยเดซิเบล ซึ่งจำนวนเดซิเบลที่ใช้ทั้งหมดต้องแสดงอยู่ในรูปของหน่วยที่เหมือนกัน

3.1.1 การลดทอนเนื่องจากชั้นบรรยากาศ

เพราะการประมวลผลของคลื่นเป็นแบบ 3 มิติ ค่ากำลังงานที่รับได้สูงสุดที่ระยะ d ต้องลดลงผกผันกับพื้นที่ของ โลกที่รัศมี d ถ้าหากไม่นำค่าการสูญเสียจากการดูดกลืนของการแพร่กระจายที่สื่อกลางมาคิด ทำให้ได้ค่าความหนาแน่นของกำลังงานไฟฟ้า F คือ

$$F = \frac{Pr Gr}{4\pi d^2} \quad (3.6)$$

P_r คือ กำลังงานที่ส่งออกมา G_r คือตัวแปรที่ขึ้นอยู่กับเสาอากาศตัวส่ง และ d คือระยะทางรวมสมการที่ (3.1) และ (3.6) เข้าด้วยกัน ทำให้ได้กำลังงานที่รับได้ ซึ่งแสดงอยู่ในหน่วยเดซิเบลคือ

$$P_R[dB] = P_T[dB] + 10\log(G_T) + 10\log(G_R) + 20\log(\lambda) - 20\log(d) - 22.0 \quad (3.7)$$

สมการที่ (3.6) และ (3.7) ใช้ได้ก็ต่อเมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมแบบ free – space โดยที่ไม่นำการสะท้อน การดูดกลืน การเบี่ยงเบน รวมถึงสภาพของความชื้นมาคิดด้วย ถ้าหากว่าตำแหน่งระหว่างตัวส่งและตัวรับเกิดการกีดขวางขึ้น ค่ากำลังงานที่รับได้ของสัญญาณจะมีค่าต่ำกว่าการเกิดขึ้นที่ free – space ยิ่งกว่านั้นเราไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงตำแหน่งของตัวรับและตัวส่งใน free – space

3.1.2 การดูดกลืนสัญญาณ

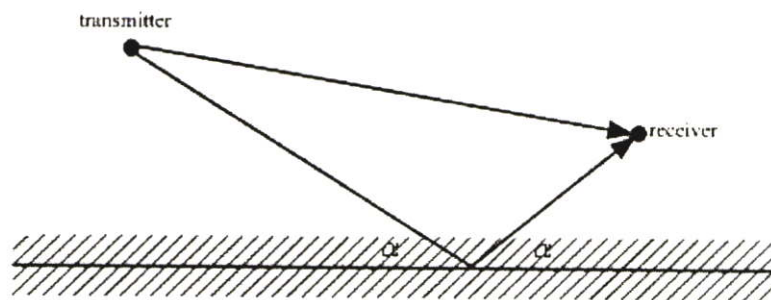
ในระบบการสื่อสาร การแพร่กระจายของสัญญาณเกิดขึ้นกับสื่อกลาง สื่อกลางหลักของระบบ ไร้สาย บนพื้นโลก คือชั้นบรรยากาศ และรองลงมา คือ พวกวัสดุ อย่างเช่น แก้ว คอนกรีต ไม้และอื่นๆ เนื่องจากการเกิดการแพร่กระจายของสัญญาณที่สื่อกลางทำให้สัญญาณเกิดการสูญเสียพลังงานขึ้นตามระยะทางที่เกิดการแพร่กระจาย ดังนั้นสภาพของการดูดกลืนสัญญาณเป็นเหตุให้ค่าความหนาแน่นของกำลังงานไฟฟ้า (Power density flow) ลดลงอย่างเป็นสัดส่วนตามค่า γ^{-d} ซึ่ง d คือระยะทาง และ γ คือค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสื่อกลางและความถี่ของสัญญาณ โดยมีหน่วยเป็นเดซิเบล สภาพการสูญเสียอยู่ในลักษณะเป็นเชิงเส้นกับระยะทาง

ค่าการสูญเสียจากสภาพการดูดกลืนจะมีค่าสูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ ย่านความถี่ที่มีค่าสูงกว่าย่านไมโครเวฟ ที่ความถี่สูงกว่า 10 GHz จากสภาพของการดูดกลืนสัญญาณที่บริเวณชั้นบรรยากาศที่ความถี่นี้เทียบได้กับ free-space attenuation ในสภาพที่เกิดฝนตกหนัก และระยะทางที่ห่างกันมากระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ ความถี่ที่ถูกใช้กันมากในระบบ ไร้สาย คือ ที่ความถี่ต่ำกว่า 10 GHz โดยจะไม่เกิดการสูญเสียเนื่องจากการดูดกลืนสัญญาณที่ชั้นบรรยากาศจนกระทั่งที่ระยะห่างระหว่างเครื่องส่งกับเครื่องรับอยู่ที่ 10 กิโลเมตร.

โดยทั่วไปแล้วสภาพการดูดกลืนที่สื่อกลางชนิดอื่นที่ไม่ใช่อากาศมีค่าค่อนข้างสูงมาก ยิ่งกว่านั้น การดูดกลืนที่สิ่งบดบัง เป็นเหตุให้คลื่นเกิดการสะท้อน ซึ่งทำให้ค่ากำลังงานที่ส่งผ่านมีกำลังลดลง ผลที่เกี่ยวข้องเนื่องจากการสะท้อนและการดูดกลืน คือ ค่าผลรวมของการลดทอนต่อสิ่งบดบัง มีค่า 1 – 20 dB ที่ความถี่ต่ำกว่า 10 GHz และ มีค่า 1 – 60 dB ที่ความถี่สูงกว่า 10 GHz

3.1.3 การสะท้อน

การสะท้อนเกิดขึ้นเมื่อคลื่นพบกับสิ่งกีดขวางที่มีขนาดใหญ่กว่าความยาวคลื่น ส่วนของคลื่นที่ไม่เกิดการสะท้อนจะเกิดการสูญเสีย กำลังงานขึ้นเนื่องมาจากการดูดกลืนของวัสดุ และยังมีอีกส่วนหนึ่งที่สามารถผ่านวัสดุที่กีดขวางซึ่งทำให้เกิดการสะท้อนนี้ได้ ในระบบสื่อสารบนพื้นผิวโลกตามปกติคลื่นเกิดการสะท้อนจากพื้นดิน รูปที่ 3.1 แสดง โมเดล ของ two – ray จากเครื่องส่ง ไปสู่เครื่องรับ ระนาบของการตกกระทบ มีทั้งลำคลื่นตกกระทบ และลำคลื่นสะท้อน และมุมตกกระทบ คือ มุมระหว่าง พื้นผิวที่เกิดการสะท้อนและลำคลื่นตกกระทบ



รูปที่ 3.1 รูปแบบจำลองการสะท้อนแบบ Two-ray

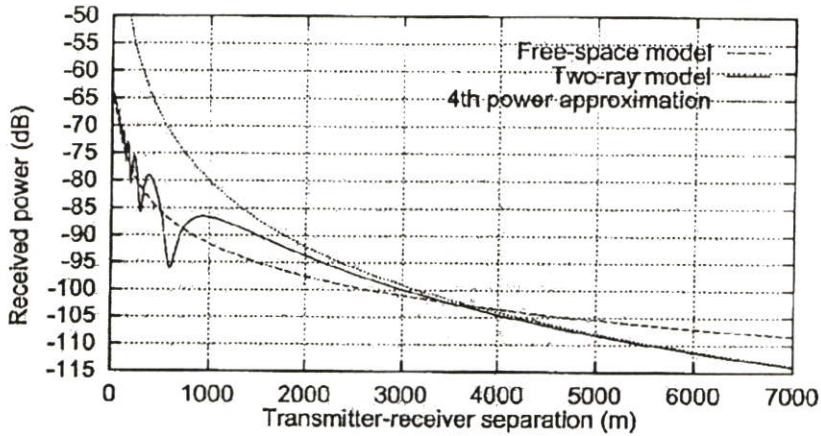
สัญญาณที่รับได้ประกอบด้วย ลำคลื่นที่รับได้โดยตรงและลำคลื่นสะท้อน สองลำคลื่นที่เข้ามาสู่เครื่องรับสามารถมีเฟสต่างกัน ได้ และในกรณีที่ไม่คิดก็ทำให้เกิดการหักล้างกันเอง ขนาดของสัญญาณสะท้อนขึ้นอยู่กับสัมประสิทธิ์การสะท้อน (Fresnel reflection coefficient) ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการสะท้อนที่พื้นดิน ความถี่ของคลื่นและมุมตกกระทบ พื้นผิวของพื้นที่ไม่เรียบมีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนน้อยกว่าพื้นผิวที่เรียบ โดยทั่วไปค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนมีค่าแตกต่างกันที่องค์ประกอบทางแนวตั้งและแนวนอนของคลื่น เป็นผลให้การโพลาไรเซชัน ของคลื่นเปลี่ยนไป

รูปที่ 3 .2 แสดงการลดทอนของรูปแบบจำลอง two – ray โดยมีตัวแปรที่กำหนดค่าไว้แล้ว สมการของ two – ray แสดงอยู่ใน [7] จากรูปเห็นได้ว่าที่ระยะไกลออกไปรูปแบบจำลอง two – ray จะตรงกันพอดีกับ Fourth – power approximation ซึ่งมีค่าดังนี้

$$P_R [dB] = P_T [dB] + 10 \log(G_T) + 10 \log(G_R) + 20 \log(\lambda) - 40 \log(d) - 22.0 \quad (3.8)$$

ค่ากำลังงานที่รับได้ของ Fourth power มีอัตราส่วนผกผันกับระยะทาง เช่นเดียวกับ ค่ากำลังสองของระยะทางที่ปรากฏอยู่ใน free – space model ระดับพลังงานที่รับได้ขึ้นอยู่กับกำลังงานที่เครื่องส่งซึ่งเป็นฟังก์ชันระอย่างห่างของเครื่องส่งและเครื่องรับ เปรียบเทียบระหว่าง แบบ Two ray [7] แบบ 4th power approximation (3.8) และแบบ Free space (3.7) ซึ่งมีพารามิเตอร์

ดังต่อไปนี้ ความสูงของเครื่องส่ง = 50 เมตร ความสูงของเครื่องรับ = 2 เมตร ความถี่ ที่ 900 MHz อัตราขยายของสายอากาศ และค่าความสูญเสีย = 1 (ไม่มีค่าความสูญเสีย)

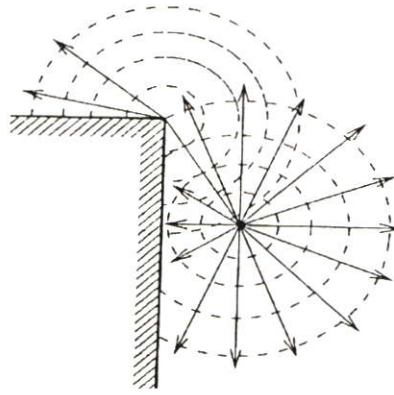


รูปที่ 3.2 ระดับกำลังงานที่รับได้เปรียบเทียบกับที่ระยะทางต่างๆของรูปแบบการแพร่กระจายคลื่นแบบต่างๆ [10]

3.1.4 การเลี้ยวเบนของคลื่น

ตามหลักการของ Huygens ทุกจุดบนหน้าคลื่น คือ จุดที่เป็น sources ของคลื่นในลำดับถัดไปที่มีการแพร่กระจายคลื่นในทุกทิศทาง นั่นคือ ทุกครั้งที่คลื่น ผ่าน ไปสู่บริเวณที่เป็นขอบ อย่างเช่น มุมของสิ่งก่อสร้างต่างๆ คลื่นจะเกิดการเบนออกของคลื่นในรูป 2. 3 เป็นเหตุการณ์ที่เครื่องส่งอยู่ใกล้กับวัตถุบดบัง ลูกศรเป็นตัวบอกทิศทางของการแพร่กระจาย ซึ่งสัญญาณที่แพร่กระจายไปตามพื้นที่ของมุมมองเนื่องจาก ที่บริเวณมุมของสิ่งบดบังนี้เป็น source ลำดับถัดไปของคลื่น โดย source ที่เกิดขึ้นลำดับถัดมา ดังแสดงในรูป 3.3 นี้เป็นเพียงแค่หนึ่งใน source จากจำนวน source ที่เกิดขึ้นที่บริเวณหน้าคลื่นอีกเป็นจำนวนไม่จำกัด

คลื่นที่มีการเบนออกไปตามมุมมากๆ นั้นหมายถึงมีการสูญเสียพลังงานมากตามไปด้วย นั่นคือ พื้นที่ซึ่งลำคลื่นมีการเบนออกมา ยังผลให้ความแรงของสนามมีค่าน้อยกว่า พื้นที่ซึ่งลำคลื่นเกือบทั้งหมด สามารถผ่านไปได้แบบเป็นเชิงเส้น ความแรงของสนาม source ลำดับถัดมาต้องมีค่าน้อยกว่า source ที่เกิดขึ้นก่อน ในทางปฏิบัติการเลี้ยวเบนของคลื่นอาจไม่ต้องสนใจก็ได้ หากว่าเครื่องส่งและเครื่องรับอยู่ในระนาบที่ไม่มีการบดบัง



รูปที่ 3.3 การเลี้ยวเบนของคลื่น

3.2 แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่น

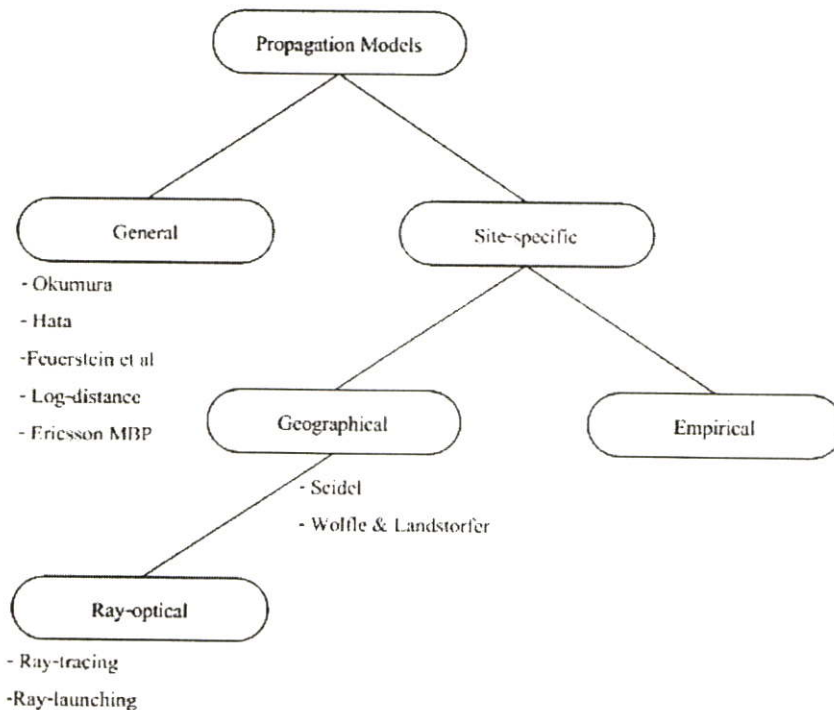
การพยากรณ์การแพร่กระจายของคลื่นวิทยุ มีประโยชน์อย่างมากในเรื่องของการจัดสรรแบนวิธด์ การออกแบบเซลล์ และการค้นหาตำแหน่ง แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่น (Propagation models) ถูกใช้เพื่อพยากรณ์คุณลักษณะของการแพร่กระจายคลื่น กำลังงานของสัญญาณที่รับได้ และการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำมาพยากรณ์โพลาไรเซชัน (polarization) เวลาในการกระจายความถี่ (time dispersion) การเลือกเชิงความถี่ (frequency selectivity) และคุณสมบัติอื่นๆ ที่มีผลเกี่ยวเนื่องกับระบบการสื่อสาร

รูปแบบของทฤษฎีที่กล่าวมาก่อนหน้านี้สามารถนำเข้ามาใช้ในเรื่องนี้ โดยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่เป็นอยู่และความถูกต้องที่ต้องการในการพยากรณ์ ยกตัวอย่างคือ เมื่อต้องการทำการวางแผนการสื่อสารระบบดาวเทียมหรือระบบเชื่อมโยงการสื่อสารที่ระยะห่าง 10 กิโลเมตร อย่างพอเพียงกับความต้องการ ได้มีการนำเรื่องของ การลดทอนที่ชั้นบรรยากาศ (free - space attenuation) การดูดกลืนและการสะท้อนที่พื้นดิน มาเป็นตัวแปรด้วย อีกด้านหนึ่งก็คือสภาพการสะท้อนและการเลี้ยวเบนในแหล่งชุมชนเนื่องมาจากสิ่งก่อสร้างและการกระเจิงของคลื่นซึ่งทั้งหมดนำไปสู่การเกิดรูปแบบของการแพร่กระจายคลื่น ดังนั้นแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่นที่ใช้จึงอยู่บนพื้นฐานของสภาพแวดล้อม โดยมีการแบ่งแบบจำลองการแพร่กระจายคลื่น (propagation model) ออกเป็นรูปต่างๆ ไป กับแบบ site - specific ดังแสดงในรูปที่ 3.4 ความแตกต่างของ แบบจำลองการแพร่กระจายคลื่น แบบต่างๆ ได้มีการกล่าวถึงไว้ในลำดับถัดไป

3.2.1 แบบจำลองแบบทั่วไป

แบบจำลองแบบทั่วไป (General Model) อธิบายเป็นความแรงของสนามไฟฟ้าตามฟังก์ชันของระยะทางระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับตัวอย่างของแบบจำลองแบบทั่วไป ตามปกติแบบจำลอง นี้เป็นไปตามปัจจัยบางชนิด อย่างเช่นคุณสมบัติของพื้นดิน หรือสัมประสิทธิ์การ

สะท้อน fresnel ในแบบจำลองแบบ two-ray แบบจำลองประเภทหนึ่งของแบบจำลองแบบทั่วไปที่นิยมกันอย่างมาก คือ แบบจำลองของโอคุมูระ (Okumura model) ซึ่งประกอบด้วย ค่าการสูญเสียในชั้นบรรยากาศ (free - space) (สมการที่ 3.7) และค่าปรับแก้ (correction factor) ได้มาจากฟังก์ชันของระยะทางและความถี่ของสัญญาณ โอคุมูระแสดงฟังก์ชันกราฟในลักษณะเป็นเส้นโค้ง ความแตกต่างของเส้นโค้งเป็นไปตามสภาพการทำงานแบบเปิด เสมือนเปิด สภาพพื้นที่เป็นชานเมืองและภายในตัวเมืองต่อมา ฮาตะ (Hata) ได้นำข้อมูลจากการทดลองที่ได้มาจากโอคุมูระมาใช้และได้เป็นสูตรทางคณิตศาสตร์ออกมา ซึ่งรู้จักกันในชื่อ แบบจำลองของฮาตะ (Hata model) ซึ่งเส้นโค้งที่ได้มีความใกล้เคียงอย่างมาก กับเส้นโค้งของโอคุมูระ



รูปที่ 3.4 การแบ่งประเภทแบบจำลองรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น

แบบจำลองของฮาตะได้มีการดำเนินต่อโดย Cost - 231 ให้มีการทำงานที่ความถี่สูงขึ้น ซึ่งรวมไปถึงที่ความถี่ 1800 MHz ซึ่งได้ถูกนำไปใช้ในระบบโทรศัพท์แบบเซลลูลาร์ บางระบบข้อเสียอย่างหนึ่งของแบบจำลองของฮาตะและโอคุมูระ (Hata - Okumura models) นั่นคือ การมีข้อจำกัดของระยะทางที่ 1 กิโลเมตร หรือมากกว่านั้น

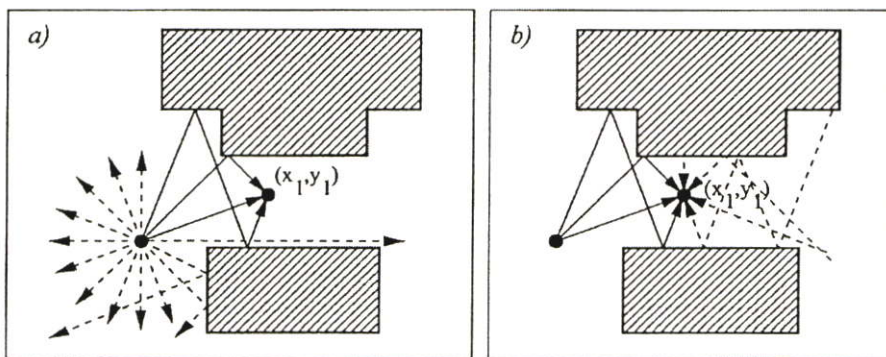
แบบจำลองแบบ Log - loss หรือแบบ Log-distance เป็นแบบจำลองที่แตกแขนงมาจากการลดทอนเนื่องจากชั้นบรรยากาศ ในสมการที่ 3.7 มีค่ากำลังงานที่รับได้เป็น

$$P_R [dB] = P_T [dB] + \beta_0 + \beta_1 \log(d) + e \quad (3.9)$$

β_0 และ β_1 คือตัวแปรที่แสดงว่า ความแรงของสัญญาณลดลงตามฟังก์ชันของระยะทาง และ c คือ ค่าความสูญเสีย(error) หากว่า β_1 คือ-20 การลดทอนนี้สอดคล้องกับแบบจำลองแบบ free – space และ β_1 ที่ - 40 สอดคล้องกับ fourth – power approximation

3.2.2 แบบจำลองที่อาศัยลักษณะทางภูมิศาสตร์

ถ้าหากรู้ข้อมูลการวิเคราะห์ลักษณะทางภูมิประเทศ อย่างเช่น ลักษณะทางภูมิประเทศของโลก แผนที่ ข้อมูลของสิ่งก่อสร้าง และอื่นๆ เราสามารถนำแบบจำลองที่อาศัยลักษณะทางภูมิศาสตร์(geographical model) มาใช้เพื่อทำนายลักษณะการแพร่กระจายคลื่นได้[8] โดยนำแบบจำลองนี้มาใช้ก่อนที่จะมีการดำเนินการในระบบจริง สิ่งที่สำคัญเป็นอย่างยิ่งสำหรับการทำนายตำแหน่งทุกรูปแบบ คือ การทำนายการแพร่กระจายคลื่นที่มีประสิทธิภาพที่สุดก่อนที่ระบบจะถูกสร้างขึ้นจริง สำหรับตัวอย่างของแบบจำลองนี้คือ ray – optical ที่ใช้สมการสะท้อนและการเลี้ยวเบนเพื่อจำลองเส้นทางเดินของสัญญาณ แบบจำลองแบบ ray – optical มีรูปแบบหลักสองแบบที่ถูกนำมาใช้ ray – launching และ ray – tracing ในรูปที่ 3.5แสดง รูปแบบของหลายๆ ลำคลื่นที่ส่งออกมาจากเครื่องส่งไปสู่ทุกทิศทาง ลำคลื่นจะแพร่กระจายออกเป็นเส้นตรงจนกระทั่งไปกระทบสิ่งกีดขวาง ทำให้เกิดการหักเหหรือการเลี้ยวเบนของลำคลื่นขึ้น การทำนายผลของสนาม คำนวณโดยพิจารณาที่จุดที่ทุกๆ ลำคลื่นจากเครื่องส่งนั้นผ่านโดยตลอด อีกทางหนึ่งคือการใช้ ray – tracing ซึ่งเริ่มจากจุดหนึ่งจากบางจุดในพื้นที่ที่ต้องการทำนาย และพิจารณาศักย์ไฟฟ้าของลำคลื่นที่ได้มาจากจุดนั้นในทุกๆ ทิศทาง รูปที่3.5 a) คือ ray-launching และ รูป 3.5 b) คือ ray-tracing ที่พิกัด (x_1, y_1) เป็นจุดที่เกิดปรากฏการณ์ของลำคลื่นขึ้นซึ่งแสดงด้วยลูกศรเส้นทึบ เครื่องส่งแสดงด้วยจุดทึบซึ่งอยู่ทางด้านซ้ายมีอนงสิ่งกีดขวาง



รูปที่3.5 แบบจำลอง Ray – optical

Ray – optical สามารถทำนายได้อย่างถูกต้อง โดยไม่ต้องมีข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์หรือการสังเกตมาก่อน แต่อย่างไรก็ตามสิ่งที่ปัญหาและอุปสรรค สำหรับแบบจำลองนี้คือ การขาดรายละเอียดและรูปแบบของสภาพแวดล้อมในขณะนั้นหรือสภาพแวดล้อมเกิดการ

เปลี่ยนแปลง แต่เทคนิคของกระบวนการเริ่มต้นบางอย่าง อาจจัดการกับปัญหาที่เกิดขึ้นนี้ในภายหลัง สำหรับ แบบจำลองที่อาศัยลักษณะทางภูมิศาสตร์(geographical models) แบบอื่นๆ ยกตัวอย่างคือ neural network ซึ่งถูกนำมาใช้ในการทำนายความเข้มของสัญญาณภายในสิ่งก่อสร้าง โดยใช้คุณลักษณะบางอย่างที่ได้มาจากแปลนของสิ่งก่อสร้างนั้นมาเป็นอินพุท ของเครือข่าย

3.2.3 แบบจำลองที่อาศัยการเก็บรวบรวมข้อมูล

แบบจำลองที่อาศัยการเก็บรวบรวมข้อมูล(Empirical model) ต้องการข้อมูลในอดีตที่รวบรวมไว้ใน ตำแหน่งที่ต้องการปฏิบัติการจริง ดังนั้นจึงมีกระบวนการที่ตรงข้ามกับแบบจำลองแบบทั่วไป(general model) และแบบจำลองที่อาศัยลักษณะทางภูมิศาสตร์(geographical model) แบบจำลองนี้(empirical model) สามารถใช้ได้ก็ต่อเมื่อระบบได้มีการปฏิบัติการไปแล้ว ข้อมูลที่นำมาใช้มีลักษณะการวิเคราะห์เป็นไปในแนวทางเดียวกันกับการวิเคราะห์เชิงสถิติ ตามความเป็นจริงแล้ว หลายๆ รูปแบบจำลอง ก็คือ รูปแบบทางสถิติ แบบจำลองที่อาศัยการเก็บรวบรวมข้อมูล(empirical model) ก่อนข้างให้ความถูกต้องสูง เพราะว่าการทำนายนี้สอดคล้องกับการแพร่กระจายตามธรรมชาติที่เกิดขึ้นจริง โดยไม่นำรูปแบบทางสภาพแวดล้อมมาเกี่ยวข้องด้วย ข้อเสียของแบบจำลองนี้ คือการที่ต้องการข้อมูลที่รวบรวมไว้ก่อนหน้านี้อแล้ว นอกจากนี้ที่บริเวณพื้นที่ที่ไม่เคยมีการปฏิบัติการมาก่อนก็ไม่สามารถใช้ แบบจำลองนี้ในการทำนายได้ และแบบจำลองนี้ ยังต้องมีการสร้างขึ้นใหม่ทุกครั้งที่สภาพแวดล้อมเปลี่ยนไป

บทที่ 4

ระบบการทำนายตำแหน่ง

ระบบการทำนายตำแหน่งในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก ๆ คือ ระบบทำนายตำแหน่งภายนอกอาคาร และ ระบบทำนายตำแหน่งภายในอาคาร [9] [10] ระบบทำนายตำแหน่งภายนอกอาคารประกอบไปด้วย ระบบทำนายตำแหน่งที่อาศัยดาวเทียม (จี พี เอส) จี พี เอส เป็นระบบที่ให้ความถูกต้องแม่นยำค่อนข้างสูง แต่ยังมีข้อจำกัดในเรื่องไม่ครอบคลุมพื้นที่ระหว่างอาคารสูง บริเวณภายในอาคาร และยังใช้พลังงานของอุปกรณ์ที่สูงมาก ระบบทำนายตำแหน่งภายนอกอาคารอีกประเภทหนึ่ง คือ ระบบที่อาศัยเครือข่ายโทรศัพท์แบบเซลลูลาร์ (Cellular telephone network) ซึ่งระบบดังกล่าวนี้สามารถทำนายตำแหน่งได้แบบหยาบ ๆ และเมื่อต้องการความถูกต้องที่สูงขึ้น จำเป็นที่จะต้องทำการวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ อาทิเช่น เวลาที่สัญญาณล่าช้า (Time delay) มุมของสัญญาณที่ส่งกลับมา (Angle of arrival) ซึ่งรายละเอียดของพารามิเตอร์เหล่านี้จะอธิบายในลำดับต่อไป

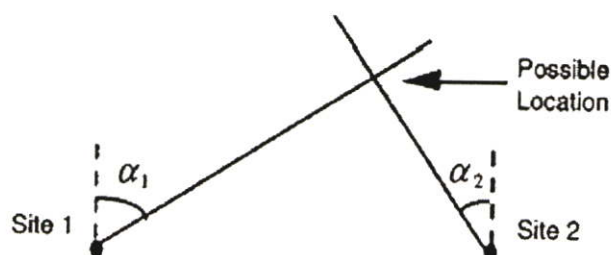
การทำนายตำแหน่งภายในอาคารในบทนี้ ได้กล่าวถึง ระบบทำนายตำแหน่งที่อาศัยเครือข่ายไร้สาย WLAN (WLAN) ซึ่งประกอบไปด้วย การทำนายตำแหน่งประเภทที่อิงกับโคลแอนท์ และ ประเภทที่อิงกับเครือข่าย นอกจากนี้ยังมีวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัย เรียกว่าวิธีการแบบ On line training data และ วิธีการแบบ Cluster-based geometric ซึ่งสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของการทำนายตำแหน่งให้ดีขึ้น มีความผิดพลาดน้อยกว่าวิธีการแบบพื้นฐาน

4.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทำนายตำแหน่ง

การทำนายตำแหน่งนั้นสามารถดำเนินการได้โดยใช้พารามิเตอร์ที่แตกต่างกันหลากหลายชนิด การทำนายตำแหน่งมี 2 วิธีได้แก่ วิธีการเชิงเรขาคณิต (Geometric approach) และ วิธีการแบบ non-geometric วิธีการเชิงเรขาคณิตอาศัยพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่มุม ระยะห่าง และ เวลาที่ล่าช้าของสัญญาณ (time delay) เป็นต้น วิธีการเชิงเรขาคณิตอาจนำมาใช้เพื่อปรับปรุงความถูกต้องให้ดีขึ้น อัลกอริทึมพื้นฐานของวิธีการเชิงเรขาคณิตจะมีการกล่าวถึงในส่วนถัดไป สำหรับตัวอย่างของการนำวิธีการแบบ non – geometric เข้ามาใช้แสดงอยู่ใน [11][12]

4.1.1 Angle of Arrival (AOA)

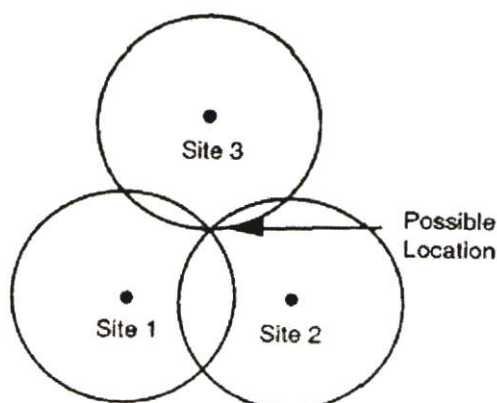
การพิจารณาดำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ สามารถทำได้โดยพิจารณาจากมุมของโทรศัพท์เคลื่อนที่จากสถานีฐาน วิธีการนี้จำเป็นที่จะต้องพิจารณาจากสถานีฐานอย่างน้อย 2 แห่งด้วยกัน โดยตำแหน่งที่ได้นั้นเป็นจุดตัดของเส้นที่ลากทำมุมตามที่วัดได้ของสถานีฐานแห่งหนึ่งกับเส้นที่ลากทำมุมของอีกสถานีฐานหนึ่ง วิธีการนี้จำเป็นต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์เพิ่มขึ้นจากเดิมคือ Directional antenna เป็นดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การทำนายตำแหน่งโดยใช้พารามิเตอร์ AOA

4.1.2 Time of Arrival (TOA)

การพิจารณาดำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ด้วยพารามิเตอร์ Time of Arrival (TOA) คือวิธีการพิจารณาดำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยใช้การตัดกันของวงกลม ซึ่งเป็นวงกลมที่มีรัศมีเท่ากับระยะทางที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ห่างจากสถานีฐาน สามารถหาระยะทางได้โดยการคำนวณเวลาที่สัญญาณจากโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นเดินทางมาถึงสถานีฐาน ด้วยวิธีการนี้จำเป็นต้องใช้วงกลมอย่างน้อย 3 วงมาตัดกันจึงจะได้ตำแหน่งที่แน่ชัด ดังรูปที่ 4.2 ด้วยวิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องเพิ่มเติมอุปกรณ์ใด ๆ กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ แต่ต้องการฮาร์ดแวร์ และ ซอฟต์แวร์สำหรับสถานีฐาน ให้ค่าความถูกต้องของตำแหน่งอยู่ในระยะ 40 – 125 เมตร



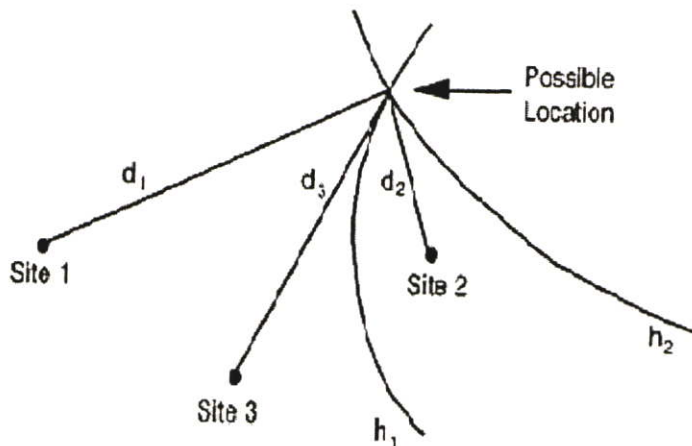
รูปที่ 4.2 การทำนายตำแหน่งของตัวเครื่องรับโดยใช้พารามิเตอร์ TOA ต้องใช้วงกลมอย่างน้อย 3 วงตัดกัน

4.1.3 Time Difference of Arrival (TDOA)

การพิจารณาค่าแห่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ด้วยพารามิเตอร์ Time difference of arrival (TDOA) มีลักษณะคล้ายกับวิธีของ TOA เนื่องจาก TOA พิจารณาเวลาที่สัญญาณใช้ในการเดินทางของแต่ละสถานีฐาน ส่วนวิธี TDOA จะวัดความแตกต่างของเวลาในแต่ละคู่สถานีฐาน จากนั้นนำมาแสดงผลในรูปกราฟของไฮเพอร์โบลิก (Hyperbolic) ซึ่งบอกถึงระยะห่างระหว่างคู่สถานีฐาน เพื่อให้ได้ค่าตำแหน่งจำเป็นต้องมีเส้นกราฟอย่างน้อย 2 เส้นที่ตัดกัน ซึ่งเกิดจากสถานีฐานอย่างน้อย 3 สถานี ดังรูปที่ 4.3 สิ่งที่สำคัญของวิธีนี้คือแต่ละสถานีฐานต้อง Synchronicity กัน สมการพื้นฐานของ TDOA แสดงได้ในรูป

$$r_{i,j} = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2} \quad (4.1)$$

โดย $r_{i,j}$ คือค่าหน่วงเวลา (time delay) ระหว่างตัวเครื่องรับและสถานีฐาน i และ j เมื่อ (x_i, y_i) และ (x_j, y_j) คือพิกัดของสถานีฐาน i และ j และ x กับ y คือพิกัดของเครื่องรับ สมการ 4.1 เป็นสมการเส้นโค้งไฮเพอร์โบลิก วิธี TDOA สามารถนำไปใช้ใน ระบบจีพีเอส และยังเป็นมาตรฐานในเครือข่าย GSM ซึ่งมีชื่อที่ว่า Enhanced Observed Time Difference (E - OTD)[13]



รูปที่ 4.3 การทำนายตำแหน่งโดยใช้พารามิเตอร์ TDOA

4.1.4 Signal Strength

เมื่อทราบค่าความเข้มของสัญญาณและระยะห่างระหว่างสถานีฐานกับตัวเครื่องรับจะสามารถทำการทำนายตำแหน่งได้ในรูปแบบที่คล้ายกับที่ใช้ในวิธี TOA ดังนั้นอัลกอริทึมของ TOA สามารถนำมาใช้ได้กับการวัดระดับความเข้มของสัญญาณ วิธีการแบบ non - geometric บางชนิดก็แสดงอยู่ในรูปของการวัดความเข้มของสัญญาณ [11] อย่างไรก็ตาม ข้อมูลความเข้มของสัญญาณก็ไม่เพียงพอที่จะทำให้สามารถทำนายตำแหน่งได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ซึ่งก็หมายความว่าความผิดพลาดในการทำนายตำแหน่งก็มีมากกว่า 100 เมตร

4.2 ระบบทำนายตำแหน่งภายนอกอาคาร

ระบบที่จะพิจารณาต่อไป คือ ระบบที่อยู่บนพื้นฐานของระบบดาวเทียมหรือเครือข่ายโทรศัพท์เซลลูลาร์ ระบบโดยส่วนมากเป็นผลิตภัณฑ์ในเชิงการค้า และมีรูปแบบหลักๆ ตามลักษณะของบริษัทรุ่นๆ

4.2.1 ระบบการทำนายตำแหน่งที่อาศัยพื้นฐานของระบบดาวเทียม

ระบบการค้นหาค่าตำแหน่งแบบอาศัยระบบดาวเทียม บ่อยครั้งจะถูกเรียกว่า satellite navigation system ระบบหนึ่งที่ได้รับคามนิยมอย่างสูงคือ ระบบ Global Positioning System (จีพีเอส) ซึ่งถูกนำไปใช้ในทางการทหารและในเชิงการค้า ตัวอย่างเช่น ระบบนำร่องในยานพาหนะ การนำทาง และการชิงโครโนซ์สัญญาณพิกา เทคโนโลยีระบบนี้ได้พัฒนาขึ้นโดยกระทรวงกลาโหม ประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2521 โดยอาศัยดาวเทียมและระบบวิทยุนำร่องเป็นพื้นฐานในการกำหนดค่าตำแหน่งค่าพิกัดของเครื่องรับ (Receiver) ดาวเทียมที่ใช้ในระบบ จีพีเอส มีจำนวนดาวเทียมทั้งสิ้น 24 ดวง พร้อมด้วยสถานีควบคุมภาคพื้นดินเพื่อให้ระบบ จีพีเอสสามารถที่จะทำงานได้ทุกสภาวะและตลอด 24 ชั่วโมง ความถูกต้องของค่าพิกัดที่ได้จากระบบ จีพีเอส จะขึ้นอยู่กับความสามารถของอุปกรณ์เครื่องรับซึ่งอาจจะมีค่าความถูกต้องได้ตั้งแต่ 1 เซนติเมตรไปจนถึง 300 เมตร โดยยังสามารถที่จะลดค่าความผิดพลาดได้อีก ด้วยการนำค่า Selective Availability (SA) ออกจากสัญญาณดาวเทียมเพื่อทำให้การคำนวณค่าพิกัดคลาดเคลื่อนลดลง อย่างไรก็ตามก็ยังคงมีวิธีการที่จะแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ด้วยการใช้วิธี Differential Correction ซึ่งทำให้ความถูกต้องของค่าพิกัดที่ได้อยู่ในช่วง 1-5 เมตรเท่านั้น เรียกระบบนี้ว่า differential จีพีเอส (DGPS) ในปัจจุบันระบบ DGPS มีสองระบบคือ

1) ระบบที่รับสัญญาณจากสถานีภาคพื้นดิน (Differential Correction)

หลักการ คือ สถานีภาคพื้นดินรับสัญญาณจากดาวเทียมแล้วเทียบตำแหน่งจริงของตนกับพิกัดที่อ่านได้จากดาวเทียม จากนั้นก็ทำการคำนวณความคลาดเคลื่อนของพิกัดที่อ่านได้จากดาวเทียม แล้วก็จะส่งข้อมูลแก้ไขพิกัดที่เรียกว่า คาบแก้ว ในรูปสัญญาณวิทยุผ่าน Beacon Transmitter ไปยังเครื่อง จีพีเอส ที่ต่อพ่วงกับ DGPS Receiver ระบบนี้มีขีดจำกัด ใช้ได้เฉพาะในรัศมีที่สถานีภาคพื้นดินส่งสัญญาณวิทยุไปถึงเท่านั้น ในเมืองไทยมีสถานีที่วางที่ท่าเรือคลองเตย รัศมีทำการ 100 กิโลเมตร

2) ระบบที่รับสัญญาณจากดาวเทียม

หลักการเหมือนระบบที่กล่าวถึงก่อนหน้านี้ แต่ต่างกันที่มีสถานีภาคพื้นดินประจำภูมิภาคคอยแก้ไขความคลาดเคลื่อนของดาวเทียมทั้งระบบ คาบแก้วจะถูกส่งขึ้นไปที่ดาวเทียมเพื่อส่งกลับมายังเครื่อง จีพีเอส ที่ต่อพ่วงกับเครื่องรับ DGPS อีกทอดหนึ่ง รัศมีทำการจึงมีไม่จำกัด สถานีภาคพื้นดินในภูมิภาคนี้ที่อยู่ใกล้ไทยที่สุดอยู่ที่ออสเตรเลีย ไม่ว่าจะใช้ในการทหารหรืองานพลเรือนก็สามารถขอเช่าสัญญาณนี้ผ่าน ESRI ซึ่งเป็นตัวแทน Omni Star (Australia) ได้

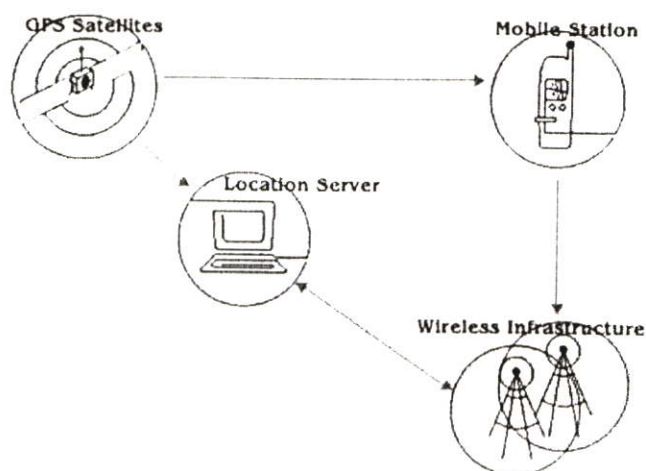
ข้อดีของระบบจีพีเอส คือสามารถใช้ได้ทั่วโลก ให้ความแม่นยำสูง และให้บริการกับผู้ใช้ อย่างเท่าเทียมกัน โดยไม่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม ระบบจีพีเอสนี้ทำงานได้ก็ต่อเมื่อดาวเทียมแต่ละดวง อยู่ในระยะแนวระดับสายตา (line – of – sight) กับตัวเครื่องรับจีพีเอส ซึ่งนี่ก็เป็นเหตุให้ระบบจีพีเอสแบบธรรมดาไม่สามารถที่จะนำมาใช้ได้บางสถานที่ ตัวอย่างของกรณีที่มีปัญหาเช่น บริเวณที่มีต้นไม้หนาที่บ ะหว่างตึกสูงและภายในตัวอาคาร นอกจากนี้ยังต้องการฮาร์ดแวร์ ที่มีราคาสูงหากต้องการให้การนำขาค่าแหน่งที่มีความแม่นยำสูง

4.2.2 ระบบการค้นหาค่าแหน่งที่อยู่บนพื้นฐานของเครือข่าย

วิธีการในการบอกค่าแหน่งของตัวเครื่องรับผ่านเครือข่ายไร้สายนั้นมี 2 วิธีคือการค้นหาค่าแหน่งจากสถานีเครือข่าย (Network-based solutions) วิธีการนี้จะใช้สัญญาณที่ส่งจากโทรศัพท์มือถือ หรือ อุปกรณ์การสื่อสารไร้สาย จากนั้นระบบจะวัดค่า Angle of Arrival (AOA) และ Time of Arrival (TOA) ที่สถานีฐานเพื่อวัดค่าแหน่งของตัวเครื่องรับ วิธีการนี้มีข้อจำกัด คือ สภาพคลื่นสัญญาณที่มีความแรงของสัญญาณค่อนข้างต่ำ ความพร้อมของสถานีฐานในการให้บริการ และ มีค่าใช้จ่ายในการอัปเดตเครือข่าย เพื่อรองรับระบบดังกล่าวค่อนข้างสูง อีกทั้งยังให้การนำขาค่าแหน่งที่มีความคลาดเคลื่อนสูง

การค้นหาค่าแหน่งจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Handset-based solutions) วิธีการนี้จะใช้เทคโนโลยีระบบ จีพีเอส วิธีการนี้จะต้องใช้ระยะเวลาในการรับสัญญาณ กล่าวคือ อุปกรณ์รับสัญญาณ อาจจะต้องใช้เวลาประมาณ 10 นาที ในการประมวลค่าพิกัดตำแหน่ง นอกจากนี้โทรศัพท์เคลื่อนที่เอง ก็มีข้อด้อยในการหาค่าแหน่งของดาวเทียมเนื่องจากอุปสรรคทางด้านกายภาพ เช่น เมื่ออยู่ในอาคารสูง หรือที่จอดรถ

การค้นหาค่าแหน่งจากเครือข่าย และ จีพีเอส สามารถทำงานร่วมกันได้ กล่าวคือ ในพื้นที่ชนบทที่โทรศัพท์ เคลื่อนที่มักจะมีสัญญาณอ่อน แต่ อุปกรณ์รับสัญญาณ จีพีเอส จะสามารถมองเห็นดาวเทียมประมาณ 4 ดวง หรือมากกว่านั้น ส่วนในพื้นที่ตัวเมืองที่แออัด หรือภายในอาคาร อุปกรณ์รับสัญญาณ จีพีเอส จะไม่สามารถจับคลื่นสัญญาณดาวเทียมได้เพียงพอที่จะหาค่าพิกัดตำแหน่งได้ แต่โทรศัพท์เคลื่อนที่จะสามารถรับสัญญาณจากสถานีเครือข่ายได้มากกว่า 2 สถานี ซึ่งเทคโนโลยี A-จีพีเอส (Assisted Global Positioning System) ทำให้ มีระบบ ค้นหาตำแหน่งที่มีความแม่นยำและเที่ยงตรงสูงและยังสามารถทำงานได้ในทุกสภาพแวดล้อม ดังที่ได้แสดงโครงสร้างของระบบ A-จีพีเอส ไว้ในรูปที่ 4.4

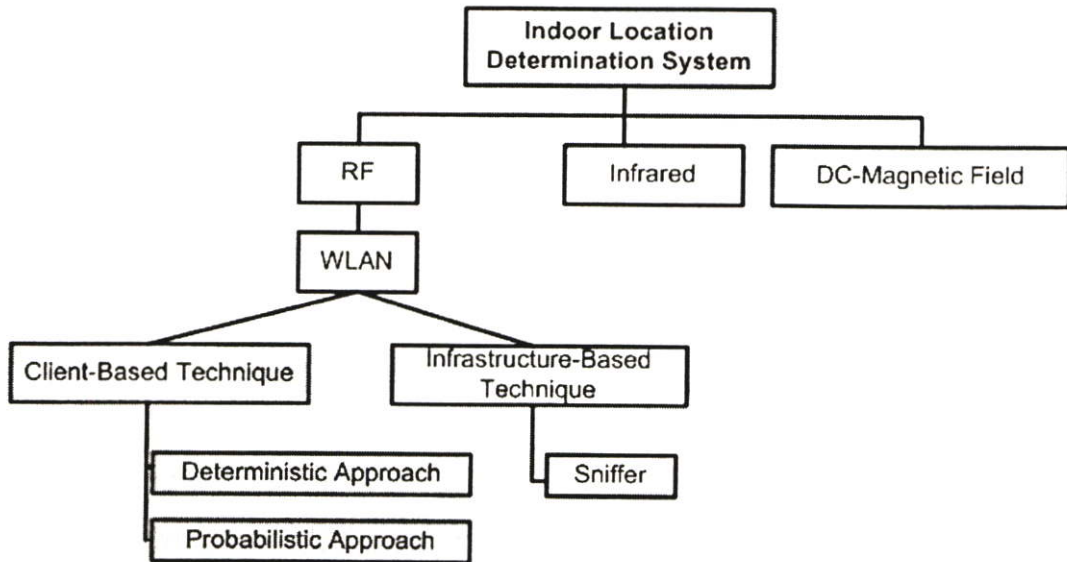


รูปที่ 4.4 แสดงโครงสร้างของระบบ A-จีพีเอส

4.3 ระบบทำนายตำแหน่งภายในอาคาร

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะกล่าวถึงระบบทำนายตำแหน่งภายในอาคารที่อาศัยพื้นฐานโครงข่าย WLAN โดยแบ่งตามประเภทของเครือข่ายได้เป็น 2 ประเภทดังต่อไปนี้คือ วิธีที่ใช้เทคนิคอิงกับไคลเอนท์ (client-based technique) และ วิธีที่ใช้เทคนิคอิงกับโครงข่าย (infrastructure-based technique) ซึ่งวิธีที่ใช้เทคนิคอิงกับไคลเอนท์ยังแบ่งได้อีก 2 ประเภทคือวิธีการเชิงดีเทอร์มิเนติก (deterministic approach) และ วิธีการเชิงความน่าจะเป็น (probabilistic approach) ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในลำดับต่อไป

นอกจากนี้ยังมีระบบทำนายตำแหน่งที่ไม่ได้ใช้สื่อกลางเป็นคลื่นวิทยุแต่อาศัยคลื่นอินฟราเรดในการทำนายตำแหน่ง [14] ในระบบนี้จะติดตั้งเครื่องส่งอินฟราเรดไว้ที่เพดานซึ่งรู้ตำแหน่ง และอาศัยเครื่องรับรับสัญญาณและใช้ซอฟต์แวร์ทำการคำนวณเพื่อทำนายตำแหน่ง ระบบที่ใช้สัญญาณอินฟราเรดนี้มีข้อเสียคือ 1) ย่านความถี่อินฟราเรดมีขอบเขตที่จำกัด 2) แสงอาทิตย์มีผลต่อคลื่นอินฟราเรด และ 3) ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและบำรุงรักษาสูงมาก นอกจากนี้ยังมีระบบทำนายตำแหน่งอีกประเภทหนึ่งที่ใช้ Pulsed DC magnetic fields จะมีการติดแผ่นเซนเซอร์หลาย ๆ แผ่นไว้ตามร่างกาย และเอาต์พุตที่ได้จะถูกนำไปดำเนินการเพื่อการทำนายตำแหน่งตัวบุคคลและทิศทางของคนนั้น ๆ ซึ่งให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำสูงมาก เทคโนโลยีนี้ได้ขยายออกไปใช้ในงานอุตสาหกรรมแอนิเมชัน (Animation) อย่างไรก็ตามระบบนี้ก็ยังมีข้อเสียที่คล้าย ๆ กับ ระบบอินฟราเรดก็คือ ราคาแพง ย่านที่ใช้งานจำกัดและไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานในขอบเขตที่กว้าง ๆ ซึ่งแผนผังโครงสร้างของการทำนายตำแหน่งภายในอาคารแสดงดังรูป 4.5

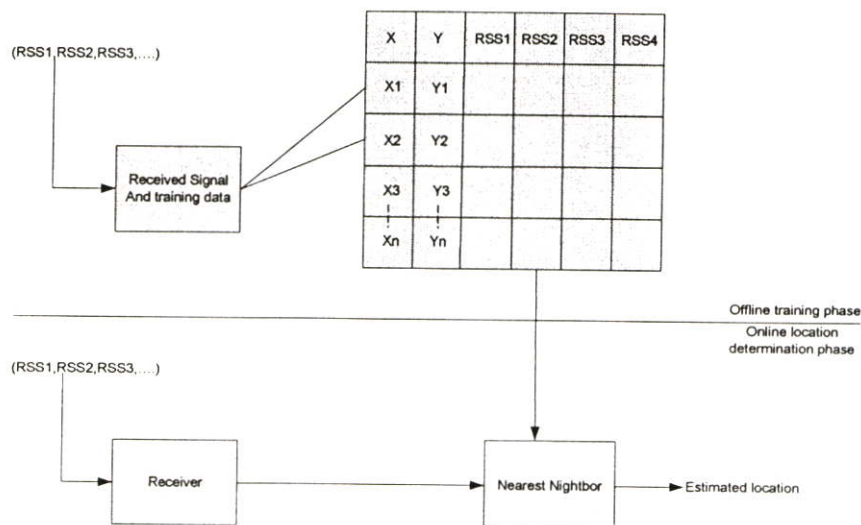


รูปที่ 4.5 แผนผังระบบทำนายตำแหน่งภายในอาคาร

4.3.1 ระบบทำนายตำแหน่งที่ใช้เทคนิคอิงกับไคลแอนท์

จากที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 เครื่องข่ายแบบไคลแอนท์เป็นการสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สายและอุปกรณ์ต่าง ๆ ตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไป โดยที่ไม่มีจุดศูนย์กลางควบคุม อุปกรณ์ทุกเครื่องสามารถสื่อสารข้อมูลถึงกันได้เอง ตัวส่งก็จะ วิธีการแพร่กระจายคลื่นออกไปยังทุกทิศทางโดยไม่ทราบจุดหมายปลายทางของตัวรับว่าอยู่ที่ใด ซึ่งตัวรับจะต้องอยู่ในขอบเขตพื้นที่ให้บริการที่คลื่นสามารถเดินทาง

4.3.1.1 วิธีการเชิงดีเทอร์มินิสติก



รูปที่ 4.6 ระบบทำนายตำแหน่งเชิงดีเทอร์มินิสติก

การทำนายตำแหน่งประเภทนี้แบ่งได้อีก 2 ประเภทคือ วิธีการเชิงดีเทอร์มิเนติก (deterministic approach) [1] [14] และ วิธีการเชิงความน่าจะเป็น (probabilistic approach) [15] [16] แสดงดังรูป 4.6 ระบบทำนายเชิงดีเทอร์มิเนติกแบ่งขั้นตอนในการทำนายตำแหน่งเป็นสองขั้นตอนได้แก่

1. ขั้นตอนในการสร้างฐานข้อมูล (offline training phase)

เป็นขั้นตอนที่สำคัญของระบบทำนายตำแหน่งประเภทนี้ ซึ่งจะทำการเก็บข้อมูลคลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของตำแหน่งของผู้ใช้และใช้ข้อมูลเหล่านั้นสร้างรูปแบบการแพร่กระจายคลื่น (empirical model) ขึ้นมาเพื่อใช้เป็นตัวอ้างอิงในขั้นตอนของการทำนายตำแหน่งต่อไป ข้อมูลคลื่นความถี่วิทยุที่เก็บนั้นอยู่ในลักษณะของความเข้มของสัญญาณ (Signal Strength: SS) มีหน่วยเป็น dBm และข้อมูลอัตราส่วนกำลังสัญญาณต่อกำลังสัญญาณรบกวน (signal to noise ratio: SNR) มีหน่วยเป็น dB ในการบันทึกข้อมูลนั้นระบบจะทำการบันทึกข้อมูลดังต่อไปนี้ด้วย คือ ตำแหน่งของผู้ใช้ (user location) ทิศทางที่ทำการบันทึกข้อมูล ซึ่งทิศทางสายอากาศของตัวเครื่องรับจำเป็นที่จะต้องอยู่ที่ทิศทางระดับสายตากับตัวสถานีฐาน (base station) เพราะบางครั้งร่างกายของผู้ใช้งานเองอาจจะเป็นสิ่งกีดขวางสัญญาณที่ส่งออกมา ดังนั้นตัวแปรในการบันทึกข้อมูลเพื่อที่จะนำไปสร้างฐานข้อมูลเป็นดังนี้ (x, y, d, ss_i, snr_i) โดยที่ (x, y) คือ d คือ และ $i \in \{1, 2, 3, \dots\}$ เป็นจำนวนสถานีฐาน สำหรับแต่ละตำแหน่ง (x, y, d) นั้นจะทำการคำนวณหาค่าเฉลี่ย (mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) และค่ามัธยฐาน (median) ของค่าความเข้มของสัญญาณเพื่อประโยชน์ในขั้นตอนการทำนายตำแหน่งต่อไป

2. ขั้นตอนในการทำนายตำแหน่ง (online location determination phase)

ในส่วนของขั้นตอนนี้จำเป็นที่จะต้องใช้เมตริกส์และวิธีการคำนวณที่จะทำการเปรียบเทียบข้อมูลความแรงของสัญญาณทั้งหมดภายในฐานข้อมูลกับข้อมูลความแรงของสัญญาณที่รับมาเพื่อที่จะเลือกตำแหน่งเพียง 1 ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดในการทำนายตำแหน่งต่อไป วิธีการทั่วไปใช้เทคนิคทางด้าน nearest neighbor in signal space (NNSS) โดยมีวิธีการคำนวณดังต่อไปนี้ ทำการคำนวณระยะห่างระดับสัญญาณระหว่าง ความแรงของสัญญาณที่จุดสังเกต SS ตามสมการที่ 4.2

$$SS = (ss_1, ss_2, \dots, ss_n) \quad (4.2)$$

$$SS' = (ss'_1, ss'_2, \dots, ss'_n) \quad (4.3)$$

และความแรงของสัญญาณที่บันทึกไว้ในฐานข้อมูล SS' ดังสมการ 4.3 ซึ่งมีข้อมูลของตำแหน่งบันทึกไว้ด้วย จากนั้นทำการคำนวณระยะห่างของสัญญาณที่ต่ำที่สุดโดยอาศัย ระยะห่างยูคลิเดียน (Euclidean distance) ตามสมการ 4.4 และตำแหน่งที่เป็นไปได้ที่จะทำการทำนายตำแหน่งก็คือตำแหน่งที่ให้ค่าระยะห่างยูคลิเดียนต่ำที่สุด

$$E_i = \sqrt{((ss_1 - ss'_1) + (ss_2 - ss'_2) + \dots + (ss_n - ss'_n))} \quad (4.4)$$

หรือ อาจจะใช้วิธีการคำนวณระยะห่างด้วยวิธีการอื่น เช่น ใช้ผลรวมของค่าความแตกต่างสัมบูรณ์ของแต่ละสถานีฐาน หรือ เรียกว่า Manhattan distance

4.3.1.2 วิธีการเชิงความน่าจะเป็น

วิธีการเชิงความน่าจะเป็นใช้วิธีการสร้างฐานข้อมูลเช่นเดียวกับวิธีการเชิงดีเทอร์มินิสติก แต่ในทางตรงกันข้ามในฐานข้อมูลแทนที่จะเก็บค่าเฉลี่ยของข้อมูลความแรงของสัญญาณก็จะเก็บลักษณะการกระจายของข้อมูล(Probability distribution) เข้าไปแทน

การทำนายตำแหน่งโดยใช้วิธีการเชิงความน่าจะเป็นใช้เทคนิคการคำนวณที่เรียกว่า machine learning ซึ่งก็คือการสั่งการให้คอมพิวเตอร์หรือเครื่องจักรสามารถเรียนรู้จากตัวอย่างต่าง ๆ ได้เองโดยอัตโนมัติ [16] ในการทำนายตำแหน่งสามารถนำวิธีการ machine learning มาใช้ประโยชน์ในลักษณะดังต่อไปนี้ ขั้นตอนแรก คือ การเก็บรวบรวม calibration data ซึ่งประกอบไปด้วยการวัดค่าสัญญาณต่าง ๆ จากตำแหน่งที่แตกต่างกันไป แต่แต่ละครั้งของการวัดจำเป็นที่จะต้องรู้ตำแหน่งที่ถูกต้องเสมอ calibration data จะถูกนำไปใช้ในการสร้างโมเดลซึ่งภายหลังโมเดลนี้สามารถใช้เป็นตัวทำนายตำแหน่งของการวัดค่าสัญญาณครั้งใหม่ได้ ทางด้านเทคนิคของ machine learning นี้ให้คำจำกัดความของขั้นตอนเหล่านี้ว่า pattern recognition หรือ pattern classification [17]

ในส่วนของ การทดสอบ (testing phase) ประสิทธิภาพของการทำนายตำแหน่ง ก็คือการวัดค่าฟังก์ชันของความผิดพลาดจากการทำนายตำแหน่งซึ่งเป็นฟังก์ชันของการทำนายตำแหน่งและตำแหน่งจริงที่ใช้ทดสอบ และการทดสอบนี้ขึ้นอยู่กับชุดของข้อมูลทดสอบซึ่งจะเป็นอิสระไม่เกี่ยวเนื่องกับชุดข้อมูล calibration data

ในเนื้อหาต่อไปนี้จะได้อธิบายถึงค่าตัวแปรสุ่มและค่าตัวแปรต่างๆที่ใช้ในวิธีการเชิงความน่าจะเป็น กำหนดให้ l คือ ตำแหน่งในการทดสอบ และ o คือ ตัวแปรสังเกต ซึ่งกำหนดให้ตัวแปรสังเกตเป็นเวกเตอร์ของค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ซึ่งเป็นเซตของแอกเซสพอยท์ทั้งหมดในเครือข่าย training data (D) ประกอบไปด้วยจำนวนตัวอย่าง n ตัวอย่าง ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูป (l_i, o_i) โดยที่ $i \in \{1, \dots, n\}$ นอกจากนี้ยังสามารถเขียนความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านี้ให้อยู่ในรูปแบบของลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็น (probability distribution) โดยแทนด้วย $p(\cdot)$ และในส่วนของตัวแปรที่เป็นแบบต่อเนื่อง และ แบบไม่ต่อเนื่อง (discrete) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของ $p(\cdot, \cdot)$

ในการทำนายตำแหน่งจะใช้โมเดลลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็นทำการทำนายเหตุการณ์ที่เกิดตัวแปรสังเกต o ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าของตัวแปรตำแหน่ง l หรืออีกอย่างหนึ่งก็

คือถ้าทราบค่าตำแหน่งใด ๆ สามารถเขียนลักษณะการกระจายของความน่าจะเป็นออกมาได้ดังนี้ $p(o \setminus l)$ จากกฎของเบย์ (Bayes rule) สามารถเขียนโมเดลการกระจายของความน่าจะเป็น ซึ่งเรียกว่า posterior distribution ได้ในรูป

$$p(l \setminus o) = \frac{p(o \setminus l)p(l)}{p(o)} = \frac{p(o \setminus l)p(l)}{\sum_{l \in L} p(o \setminus l')p(l')} \quad (4.5)$$

โดย $p(l)$ คือ prior probability ที่ตำแหน่ง l ก่อนที่จะรู้ค่าตัวแปรสังเกต
 L คือ ผลรวมเซตของตำแหน่งที่เป็นไปได้ทั้งหมด
 $p(o \setminus l)$ คือ ฟังก์ชัน likelihood ซึ่งก็คือค่าความน่าจะเป็น หรือ โอกาสที่จะเกิดตัวแปรสังเกตขึ้นอยู่ กับตัวแปรของตำแหน่ง

การทำนายฟังก์ชัน likelihood นี้ สามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีการของเคอเนล (Kernel method) และใช้วิธีการทางฮิสโตแกรม (Histogram method) ฟังก์ชัน likelihood เป็นตัวแปรความน่าจะเป็นที่สำคัญเป็นอย่างยิ่งในการสร้าง posterior distribution ซึ่งในการทำนายตำแหน่งที่จะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดก็ขึ้นอยู่กับตัวแปรนี้ด้วย posterior distribution $p(l \setminus o)$ สามารถที่จะนำไปใช้ในการเลือกตัวทำนายตำแหน่งซึ่งอยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันของความผิดพลาด และจะใช้ตัวทำนายตำแหน่งที่ให้ค่าความผิดพลาดที่น้อยที่สุดในการทำนายตำแหน่ง

$$E[l \setminus o] = \sum_{l \in L} l' p(l' \setminus o) \quad (4.6)$$

กำหนดให้ ค่า Expectation ของตัวแปรตำแหน่งเป็นการกำหนดค่าที่ดีที่สุด ตัวอย่างเช่นตัวแปรของตำแหน่งเป็นค่าทางนับเมอร์ริคอล (numerical)

วิธีการเคอเนล

จากวิธีการของเคอเนล มวลของความน่าจะเป็น (Probability mass) คือ กำหนดให้ kernel อยู่รอบ ๆ การสังเกตการณ์ใน training data (D) เพราะฉะนั้นผลลัพธ์การประมาณค่าความหนาแน่นของตัวแปรสังเกต (o) ที่ตำแหน่ง (l) ก็คือ การรวมกันของ n_1 และ weighted density function โดยที่ n_1 คือ จำนวนเวกเตอร์ training ในตัวแปร l

$$p(o \setminus l) = \frac{1}{n_1} \sum_{l_i=l} K(o; o_i) \quad (4.7)$$

กำหนดให้ $K(o; o_i)$ เป็นเคอเนลฟังก์ชันซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ฟังก์ชันแบบเกาส์เรียกว่า เคอเนลแบบเกาส์ (Gaussian kernel) เขียนได้ในรูป

$$K_{Gauss}(o; o_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(o - o_i)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (4.8)$$

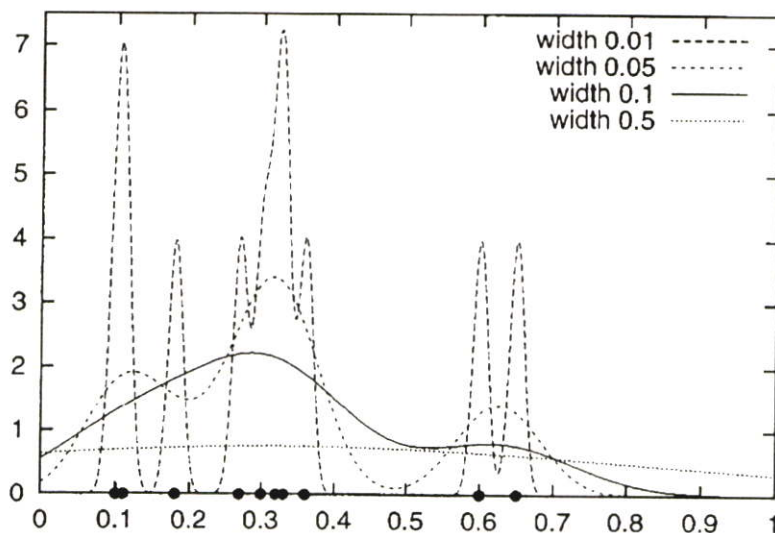
โดย σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็นพารามิเตอร์สำหรับปรับขนาดความกว้างของเคอเนล จากวิธีการของเคอเนลสามารถทำการ training ข้อมูลใน 2 ลักษณะ คือ 1 แบ่งกลุ่มของข้อมูลออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ แต่ละกลุ่มทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากตำแหน่ง ตำแหน่งเดียว ลักษณะที่ 2 คือ การประมาณค่าความหนาแน่นของสัญญาณที่รับได้จากจุดสังเกตเพียงจุดเท่านั้น เป็นที่น่าสังเกตว่าวิธีการทำนายตำแหน่งด้วยระยะห่างยูคลิดเป็นเพียงกรณีหนึ่งของวิธีการเคอเนลแบบเกาส์ กล่าวคือ ในกรณีที่ σ มีค่าเท่ากับศูนย์นั่นเอง ในรูปที่ 4.6 แสดงผลกระทบของพารามิเตอร์ σ ต่อการประมาณค่าเคอเนล และตัวอย่างการประมาณค่าความหนาแน่นเคอเนลโดยใช้เคอเนลแบบเกาส์ และเปรียบเทียบระหว่างค่าความกว้างของเคอเนล σ โดยที่ค่า σ ที่มีค่ามากจะทำให้ค่าการประมาณค่าที่ราบเรียบ ค่าที่ใช้ในการสังเกตเป็นดังนี้ 0.1, 0.11, 0.18, 0.27, 0.3, 0.32, 0.33, 0.36, 0.6, 0.65

วิธีการฮิสโตแกรม (Histogram method)

วิธีการฮิสโตแกรมเป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการทำนายฟังก์ชันความหนาแน่น (density function) และสามารถนำไปใช้ในการทำนายตำแหน่งคั้งที่มีผลงานออกมาคงต่อไปนี้ [15] [16] ขั้นตอนแรกทำการกำหนดให้ตัวแปรสังเกตให้มีมิติเพียง 1 มิติ ซึ่งตัวแปรนี้จะทราบค่าสูงสุดและต่ำสุดเท่านั้น วิธีการนี้ต้องกำหนดเซตของ *bins* จำนวนของ *bins* กำหนดให้เป็น k ซึ่งก็คือพารามิเตอร์ตัวปรับคั้งนั่นเอง โดยทั่วไปการที่จะทำให้การประมาณค่าความหนาแน่นออกมาให้ได้ค่าที่ดีที่สุดนั้นมีวิธีการที่ง่ายที่สุดเรียกว่า equal-width bins ซึ่งแสดงดังสมการที่ 4.9

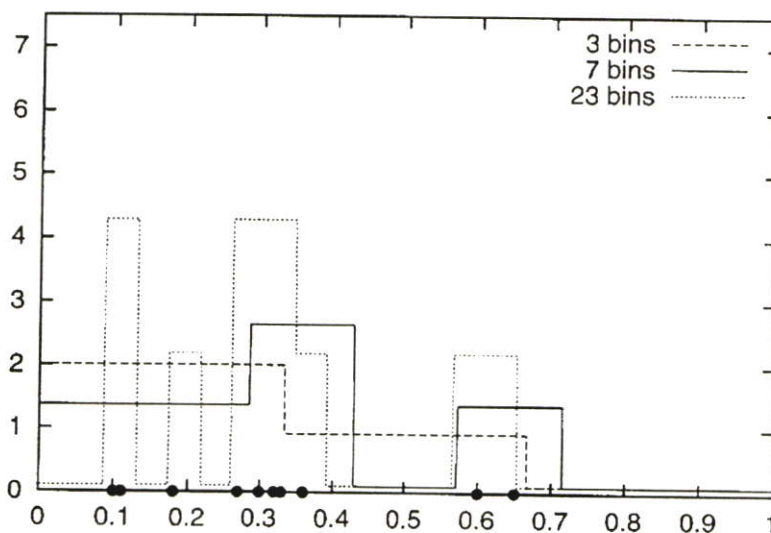
$$[\min + iw, \min + (i + 1)w] \quad (4.9)$$

โดย $0 \leq i \leq k$, \max = ค่าสูงสุดของตัวแปรสังเกต, \min = ค่าต่ำสุดของตัวแปรสังเกต และ $w = (\max - \min) / k$

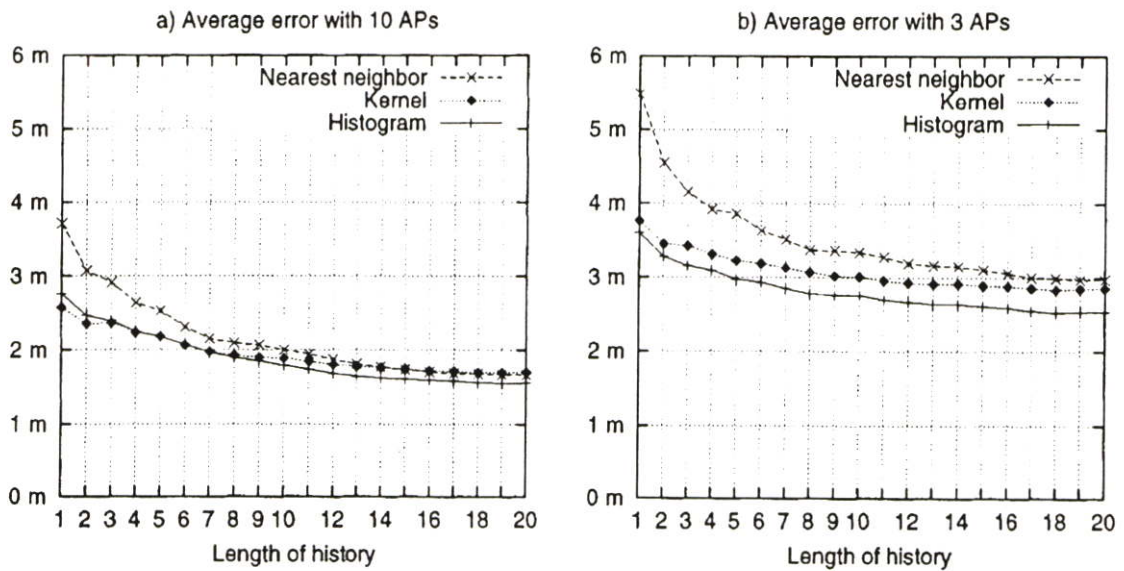


รูปที่ 4.7 ตัวอย่างการประมาณค่าความหนาแน่นคอนเนลโดยใช้คอนเนลเก้าเซียน

ในการที่จะกำหนดให้ความหนาแน่นของฮิสโตแกรมมีลักษณะเฉพาะตัว (uniquely) ที่แตกต่างกันนั้นสามารถกำหนดได้ที่ค่าพารามิเตอร์ k ซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.7 ในรูปดังกล่าว แสดงตัวอย่างของการประมาณค่าความหนาแน่นของฮิสโตแกรม (histogram density) โดยที่เปรียบเทียบกันที่จำนวนที่แตกต่างกันของ bin และค่าที่ใช้ในการสังเกตก็เหมือนกับในรูปที่ 4.8 คือค่า 0.1, 0.11, 0.18, 0.27, 0.3, 0.32, 0.33, 0.36, 0.6, 0.65



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างของการประมาณค่าความหนาแน่นของฮิสโตแกรม



รูปที่ 4.9 ค่าการทำนายตำแหน่งผิดพลาดเฉลี่ยเปรียบเทียบกันระหว่างวิธีการต่างๆ

จากรูปที่ 4.9(a) แสดงให้เห็นค่าการทำนายตำแหน่งผิดพลาดเฉลี่ย (เฉลี่ยจากจุดที่ใช้ทดสอบทั้งหมด) เปรียบเทียบค่า length of history เมื่อกล่าวได้ว่าค่าความแตกต่างของเวลาจากการสังเกต 2 จุดใช้เวลา 100 ms ถ้าใช้เวลา 2 s ในการสังเกต (หรือใช้ length of history เท่ากับ 20) ปรากฏว่าค่าความผิดพลาดตกลงมาอยู่ที่ประมาณ 1.5 เมตรจากเดิมอยู่ที่ประมาณ 3-4 เมตร โดยที่ไม่ได้มีการ history และเมื่อมีการ history ในช่วงสั้นๆ วิธีการทำนายตำแหน่งเชิงความน่าจะเป็นสามารถทำนายตำแหน่งได้แม่นยำกว่าวิธีการแบบ nearest neighbor แต่เมื่อมีการ history เพิ่มช่วงเวลาผลของการทำนายตำแหน่งจะได้ค่าความผิดพลาดที่ใกล้เคียงกัน

4.3.2 ระบบทำนายตำแหน่งที่ใช้เทคนิคอิงกับโครงข่าย

ในการพัฒนาระบบทำนายตำแหน่งโดยใช้เครือข่าย WLAN ประเภทที่อิงกับโครงข่ายโดยปกติจะใช้ sniffer เป็นตัวมอนิเตอร์เครื่องลูกข่าย (client) และใช้โมเดลค่าความแรงของสัญญาณเป็นตัวทำนายตำแหน่ง ในหัวข้อต่อไปนี้จะได้อธิบายถึงโครงสร้างทั่วไปของตัว sniffer รวมไปถึงการแลกเปลี่ยนกันของค่าความแรงของสัญญาณ จำนวนแพคเกจของข้อมูลที่ถูกจับได้โดย sniffer ซึ่งข้อมูลเหล่านี้เป็นตัวแปรสำคัญยิ่งในการทำนายตำแหน่งประเภทนี้ ในส่วนของงานวิจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับเรื่องนี้ก็มีระบบ LEASE [5] ซึ่งเป็นระบบแรกที่ถูกเสนอออกมา และในรายละเอียดได้ยกตัวอย่างระบบ อีกระบบหนึ่งคือ The palantir system [4] ซึ่งถูกพัฒนามาจากระบบ LEASE ซึ่งจะใช้เป็นตัวอย่างในการอธิบายระบบทำนายตำแหน่งประเภทนี้ต่อไป

4.3.2.1 Sniffer

sniffer เป็นอุปกรณ์หลักในระบบทำนายตำแหน่งแบบที่ใช้เทคนิคอิงกับโครงข่าย เป็นอุปกรณ์ซึ่งเกิดบอร์ดคอมพิวเตอร์ประกอบไปด้วยพอร์ตสื่อสาร 2 พอร์ต Ethernet และ PCMCIA สำหรับใส่การ์ดไวร์เลส [17] sniffer ทำงานใน 2 ลักษณะคือ สแกน และ ตรวจจับ แพคเกจบนช่องสัญญาณไวร์เลสทั้งหมดหรือเป็นบางช่องสัญญาณที่กำหนดไว้ ตัว sniffer จะทำการดักฟังการสื่อสารจากตัวไวร์เลส และ บันทึกเก็บไว้ และทำการบันทึกเวลาเข้าไปในข้อมูลเหล่านั้นด้วย ดังรายละเอียดดังต่อไปนี้ sniffer จะทำการจับเฟรมข้อมูล การจัดการ และเฟรมควบคุม และถอดรหัสข้อมูลเหล่านั้นให้อยู่ในรูปของ MAC id หรือ SSID เป็นต้น

ในการดักจับหรือวัดค่าสัญญาณ ข้อมูลจะถูกส่งไปที่ฐานข้อมูลกลางและใช้ข้อมูลเหล่านี้เพื่อรักษาความปลอดภัยให้กับเครือข่ายหรือไว้สำหรับทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่ายต่อไป ซึ่งข้อมูลที่ส่งไปยังฐานข้อมูลนั้นส่งผ่านพอร์ต ethernet

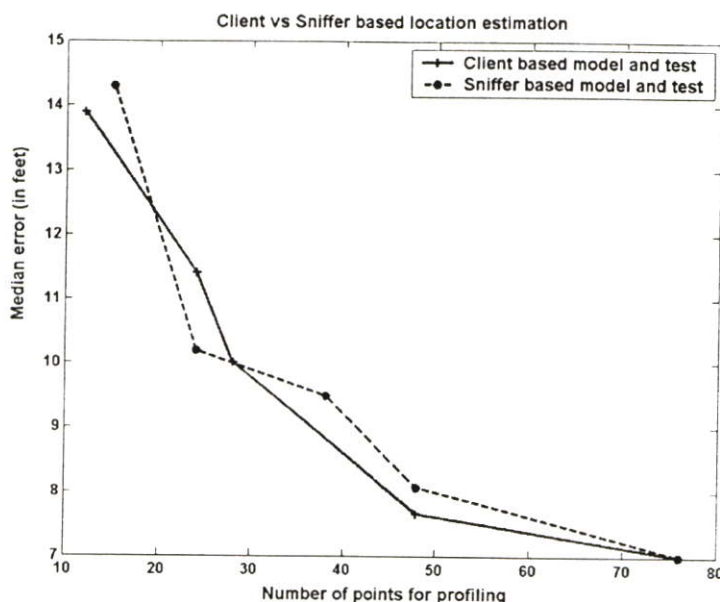
4.3.2.2 ความไม่สมมาตรกันของค่าความแรงของสัญญาณ

ในการวัดค่าความแรงของสัญญาณระหว่างอุปกรณ์ 2 ตัว จะพบว่าเมื่อทำการติดตั้ง sniffer ไว้ตำแหน่งเดียวกันกับแอสเซสพอยท์ ตัวเครื่องลูกข่ายวัดสัญญาณที่รับได้จากแอสเซสพอยท์ ในระหว่างที่ sniffer ก็วัดสัญญาณที่รับได้จากตัวเครื่องลูกข่าย จากนั้นทำการคำนวณหาค่าความแตกต่างของสัญญาณ (ΔSS) และ เมื่อเปลี่ยนตำแหน่งตัวเครื่องลูกข่ายไปอีกก็ปรากฏว่า ΔSS มีค่ามากกว่า 10 dBm เหตุผลที่เกิดค่าความแตกต่างนี้อาจมีสาเหตุมาจากการวัดสัญญาณในลักษณะ 2 ทิศทางในเวลาที่แตกต่างกัน ซึ่งเมื่อนำมาวิเคราะห์นั้นก็ยังไม่ทราบเป็นที่แน่ชัดว่าค่าความแตกต่างนี้จะส่งผลกระทบต่อระบบทำนายตำแหน่งหรือไม่

4.3.2.3 ขั้นตอนการทำนายตำแหน่งของเทคนิคที่อิงกับเครือข่าย

1. ทำการกำหนดกริดขึ้นบนพื้นของอาคาร (พิกัด (x, y)) ทำการวัดความแรงของสัญญาณจากตัวแอสเซสพอยท์ที่ตัวเครื่องลูกข่าย (client based) ทำการวัดทุก ๆ ตำแหน่งกริดและทำการบันทึกค่าเรียกว่า *client reading* ((x, y) , client ss vector)
2. ขั้นตอนต่อไปทำการส่งแพคเกจข้อมูลสั้นๆออกจากตัวเครื่องลูกข่าย ตัว sniffer ทำการวัดและบันทึกค่าความแรงของสัญญาณที่ออกจากตัวเครื่องลูกข่าย พร้อมทั้งส่งข้อมูลเหล่านั้นไปที่ฐานข้อมูลกลางและทำการบันทึกเวลาลงไปด้วย เรียกขั้นตอนนี้ว่า *sniffer reading* ((x, y) , sniffer ss vector)
3. ขั้นตอนในการทำนายตำแหน่ง เครื่องลูกข่ายจะทำการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้จากตัว sniffer ทั้งหมด จากนั้นทำการค้นหาและใช้อัลกอริทึม nearest neighbor เปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูล และ ทำการทำนายตำแหน่งตัวเครื่องลูกข่ายออกมา

รูปที่ 4.10 เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำนายตำแหน่งระหว่างวิธีการที่อาศัยเครื่องถูกข่าวกับวิธีการที่อาศัย sniffer ผลที่ได้ปรากฏว่าทั้งสองวิธีการให้ผลการทำนายตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อมีการเพิ่มจำนวนของข้อมูลในการเก็บให้นานขึ้นปรากฏว่าทั้งสองวิธีสามารถทำนายตำแหน่งได้ใกล้เคียงขึ้น



รูปที่ 4.10 การทำนายตำแหน่งด้วยวิธีการที่อาศัยเครื่องถูกข่าวก่อนเปรียบเทียบกับวิธีการที่อาศัย sniffer

4.4 ระบบทำนายตำแหน่งที่นำเสนอ

ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้นำเสนอวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพของการทำนายตำแหน่งภายในอาคาร โดยเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิม หรือ วิธีการแบบ RADAR [1] โดยวิธีการที่นำเสนอ มี 2 วิธี ได้แก่ On line training data approach และ Cluster based geometric approach

4.4.1 วิธีการแบบ Online training data

วิธีการนี้เป็นการทำนายตำแหน่งอีกประเภทหนึ่งของวิธีการเชิงดีเทอร์มินิสติก ในขั้นตอนการสร้างฐานข้อมูลนั้นใช้วิธีการที่เหมือนกัน ซึ่งมีรายละเอียดดังกล่าวคือ ก่อนอื่นทำการกำหนดตำแหน่งกริด (พิกัด) ลงบนพื้นที่ทั้งหมดโดยที่ระยะห่างของแต่ละกริดนั้นเว้นระยะห่างให้มีระยะห่างที่เท่ากัน และจากนั้นทำการเก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณของแอคเซสพอยท์ ทุกๆตัว ที่ตำแหน่งกริด ทุกๆตำแหน่ง ดังนั้น ค่าความแรงของสัญญาณที่วัดค่าได้นั้นจะอยู่ในฟังก์ชันของตำแหน่ง ทำการวัดสัญญาณให้ครบทุกตำแหน่งแล้วนำมาสร้างเป็นฐานข้อมูล เพื่อใช้ในการทำนายตำแหน่งต่อไป ในขั้นตอนการทำนายตำแหน่ง ผู้ใช้จะทำการวัดค่าความแรงของสัญญาณที่ตำแหน่งที่ยืนอยู่จากนั้น นำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูลและทำการทำนายตำแหน่งต่อไป แต่วิธีการที่นำเสนอนั้นทำการปรับปรุงในส่วนขั้นตอนการทำนายตำแหน่ง

โดยการเก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณครั้งใหม่ของผู้ใช้ให้นานขึ้น จากนั้นนำค่าความแรงของสัญญาณที่ได้นำมาเฉลี่ย แล้วนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่มีอยู่ในฐานข้อมูล โดยอาศัย สมการระยะห่างยูคลิดีอัน (Euclidean distance)

กำหนดให้ ใช้จำนวนตำแหน่งกริด จำนวน N ตำแหน่ง

$$S_i = [S_{i,1}, S_{i,2}, \dots, S_{i,p}] \quad (4.10)$$

$$\hat{S} = [\hat{S}_1, \hat{S}_2, \dots, \hat{S}_p] \quad (4.11)$$

โดย

S_i = ค่าความแรงของสัญญาณของแอกเซสพอยท์แต่ละตัวที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล

\hat{S} = ค่าความแรงของสัญญาณของแต่ละแอกเซสพอยท์

P = จำนวนแอกเซสพอยท์

i = ตำแหน่งพิกัดกริดมีจำนวนทั้งหมด N ตำแหน่ง

ดังนั้นระยะห่างยูคลิดีอันระหว่างความแรงของสัญญาณของผู้ใช้ และความแรงของสัญญาณทุก ๆ ตำแหน่งในฐานข้อมูลสามารถคำนวณได้จาก

$$E_i = \|S_i - \hat{S}\| = \sum_{j=1}^P (S_{i,j} - \hat{S}_j)^2 \quad (4.12)$$

ซึ่ง i^{th} และ j^{th} เป็น แถว และ หลัก ในฐานข้อมูล

ในการทำนายตำแหน่งผู้ใช้สามารถหาได้จากตำแหน่ง (x_i, y_i) ที่ให้ค่าระยะห่างยูคลิดีอันต่ำที่สุด กล่าวคือ

$$E_i = \min E_j \quad (4.13)$$

จากสมการที่ 4.11 วิธีการแบบ Online training data นี้คือทำการเก็บข้อมูลของผู้ใช้ \hat{S} ในขั้นตอน Online phase ให้นานมากขึ้นแล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย สมการของ \hat{S}_o แสดงในสมการที่ 4.14 และ ทำการคำนวณหาค่าระยะห่างยูคลิดีอันต่อไปตามสมการที่ 4.9

$$\hat{S}_o = \frac{\sum_{i=1}^N \left([\hat{S}_{i,1} \hat{S}_{i,2} \dots \hat{S}_{i,p}] \right)}{N} \quad (4.14)$$

การทำนายตำแหน่งสามารถทำนายตำแหน่งได้จากตำแหน่งที่ได้ระยะห่างยูคลิดีอันต่ำที่สุด

4.4.2 วิธีการแบบ Cluster-based geometric

วิธีการที่นำเสนอนี้เป็นอีกวิธีหนึ่ง ซึ่งสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของการทำนายตำแหน่งได้นั้นก็คือ วิธีการแบบ Cluster-based geometric วิธีการนี้ทำการสร้างฐานข้อมูลเหมือนกับวิธีการแบบ RADAR แต่ปรับปรุงการทำนายตำแหน่งคือ จะไม่ทำการทำนายตำแหน่งของผู้ใช้ทันที แต่ทำการกำหนดกลุ่ม (cluster) ของตำแหน่ง (coordinate) ที่เป็นไปได้ก่อน เพื่อให้การทำนายตำแหน่ง หลักการในการพิจารณาเลือกกลุ่มตำแหน่งนี้หาได้จากตำแหน่งที่ให้ค่าระยะห่างยูคลิดี้นต่ำที่สุดจำนวน K ตำแหน่ง จากนั้นทำการหาตำแหน่งกึ่งกลางของกลุ่มตำแหน่ง (cluster) นี้ กำหนดให้

$$K = \text{จำนวนกริดที่เป็นไปได้ที่ใช้การทำนายตำแหน่ง}$$

$$(x_i, y_i), i = 1, 2, 3, \dots, K$$

การทำนายตำแหน่ง (\hat{x}, \hat{y}) โดยคำนวณหาจุดกึ่งกลางของทุก ๆ กริดที่เป็นไปได้เป็นดังสมการที่ 4.15 กล่าวคือ

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \left(\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K x_i, \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K y_i \right) \quad (4.15)$$

จากการสังเกตจะพบว่าจากการทำนายตำแหน่งที่ให้ค่าความผิดพลาดมาก ๆ นั้นจะลดลงได้ด้วยวิธีการแบบ Cluster-based geometric ลองพิจารณาตัวอย่างการทำนายตำแหน่งโดยใช้ค่าจำนวนกริดที่เป็นไปได้หรือ $K = 4$ ที่แสดงอยู่ในรูปที่ 4.11 การคำนวณหาจุดกึ่งกลางเพื่อที่จะนำมาทำนายตำแหน่งนั้นหาได้ดังขั้นตอนต่อไปนี้

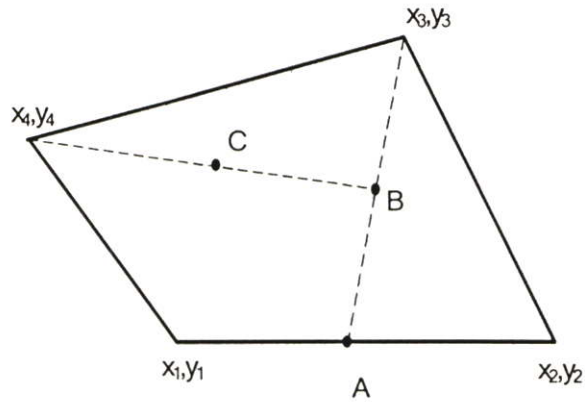
เมื่อเครื่องลูกข่าย (client) รับค่าความแรงของสัญญาณจากแอคเซสพอยท์ทุกตัวแล้ว อาจจะใช้จำนวนตัวอย่างข้อมูลที่เก็บมานั้นเพียงค่าเดียวหรือหลายค่าโดยนำค่าที่ได้นั้นมาเฉลี่ย จากนั้นทำการคำนวณหาค่าระยะห่างยูคลิดี้นต่ำที่สุดจำนวน K ค่าด้วยกัน

ในขั้นตอนในส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์จะทำการกำหนดค่าระยะห่างยูคลิดี้นที่ได้ให้เป็นการทำนายพิกัด (coordinate) เป็นค่าดังต่อไปนี้ $x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4$ โดยที่พิกัด x_1, y_1 เป็นตำแหน่งที่มีค่าระยะห่างยูคลิดี้นต่ำสุด และ เรียงลงมา ก็จะเป็นค่า $x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4$ ตามลำดับ

คำนวณหาจุดกึ่งกลางระหว่าง x_1, y_1 และ x_2, y_2 ให้ตำแหน่งที่คำนวณได้แทนด้วย A

คำนวณหาจุดกึ่งกลางระหว่าง A และ x_3, y_3 ให้ตำแหน่งที่คำนวณได้แทนด้วย B

คำนวณหาจุดกึ่งกลางระหว่าง B และ x_4, y_4 ให้ตำแหน่งที่คำนวณได้แทนด้วย C และตำแหน่ง C คือตำแหน่งที่ทำนายทำนายตำแหน่ง



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างของตำแหน่งกริดที่ให้ค่าระยะห่างยูคลิเดียนต่ำสุดจำนวน 4 ค่า

4.5 การคำนวณค่าความซับซ้อนของระบบ

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบทำนายตำแหน่งนั้น นอกจากจะอยู่ในรูปความแม่นยำถูกต้องแล้วยังจำเป็นที่จะต้องพิจารณาในเรื่องความซับซ้อนของระบบด้วย

4.5.1 ค่าความซับซ้อนของระบบ RADAR

ค่าความซับซ้อนของระบบแบ่งได้เป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ ขั้นตอนการสร้างฐานข้อมูล (Off line phase) และ ขั้นตอนการทำนายตำแหน่ง (On line phase) สำหรับ ในส่วนของการสร้างฐานข้อมูล ขนาดฐานข้อมูลความแรงของสัญญาณขึ้นอยู่กับ จำนวนตำแหน่งกริด (N_{grid}) และ จำนวนแอสเซนเซอร์ (P) ดังนั้นความต้องการในการเก็บข้อมูลเป็นดังต่อไปนี้

$$\text{Amount of storage} = N_{grid} \times P \quad (4.16)$$

สำหรับในส่วนของการทำนายตำแหน่ง ต้องการที่จะคำนวณหาระยะห่างยูคลิเดียนจากสมการที่ (4.12) ซึ่งก็คือระดับความแตกต่าง ระหว่าง ระดับสัญญาณจริงที่ได้จากแอสเซนเซอร์กับระดับสัญญาณที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล ในการคำนวณระยะห่างยูคลิเดียนต้องการค่าความซับซ้อนอยู่ในเทอมของ $O\{N_{grid} \times P\}$ และในส่วนของขั้นตอนการทำนายตำแหน่ง ทำการค้นหาตำแหน่งที่มีระยะห่างยูคลิเดียนต่ำสุด ดังนั้นค่าความซับซ้อนในส่วนนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่าจำนวนกริด $O\{N_{grid}\}$ ดังนั้นความซับซ้อนสุทธิในส่วนของการทำนายตำแหน่งคือ

$$O\{N_{grid} \times P + N_{grid}\} \quad (4.17)$$

4.5.2 ค่าความซับซ้อนของระบบ Cluster-based geometric

ในระบบนี้อัลกอริทึมในการสร้างฐานข้อมูลเหมือนกันกับวิธีการแบบ RADAR ดังนั้นความต้องการที่ต้องใช้ในการเก็บข้อมูลจึงเหมือนกัน อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการทำนายตำแหน่งจะต้องมีการเรียงค่าระยะห่างยูคลิเดียนจากมากไปน้อยเพื่อที่จะหาจำนวนกริดที่เป็นไปได้ที่มีระยะห่างยูคลิเดียนที่ต่ำที่สุดจำนวน K จำนวน ในการเรียงค่านั้นใช้ค่าความซับซ้อนในระดับของ

$$O\{N_{grid} \log N_{grid}\} \quad (4.18)$$

ซึ่งในการทำนายตำแหน่งนั้นค่าความซับซ้อนในส่วนนี้ก็ขึ้นอยู่กับค่า $O\{K\}$ ดังนั้นค่าความซับซ้อนรวมมีค่าเท่ากับ

$$O\{N_{grid} \times P + N_{grid} \log N_{grid} + K\} \quad (4.19)$$

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบค่าความซับซ้อนระหว่างระบบ RADAR และ ระบบ Cluster based Geometric

System	Off line phase storage requirements	Online location determination phase
RADAR	$N_{grid} \times P$	$O\{N_{grid} \times P\}$
Cluster-based geometric approach	$N_{grid} \times P$	$O\{N_{grid} \times P + N_{grid} \log N_{grid} + K\}$

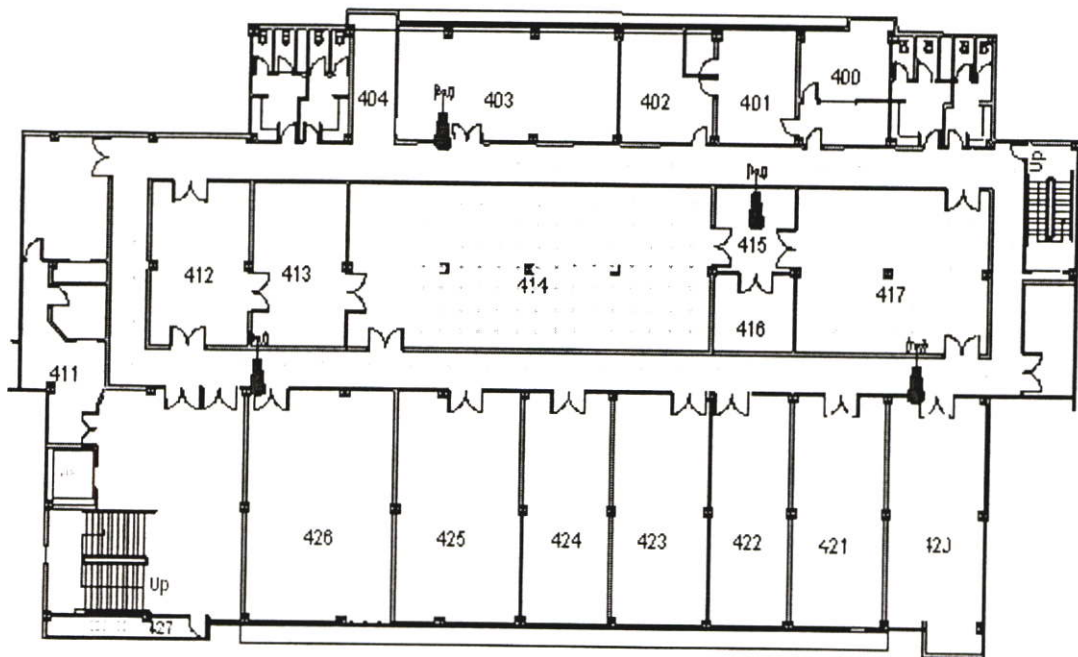
บทที่ 5

ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล

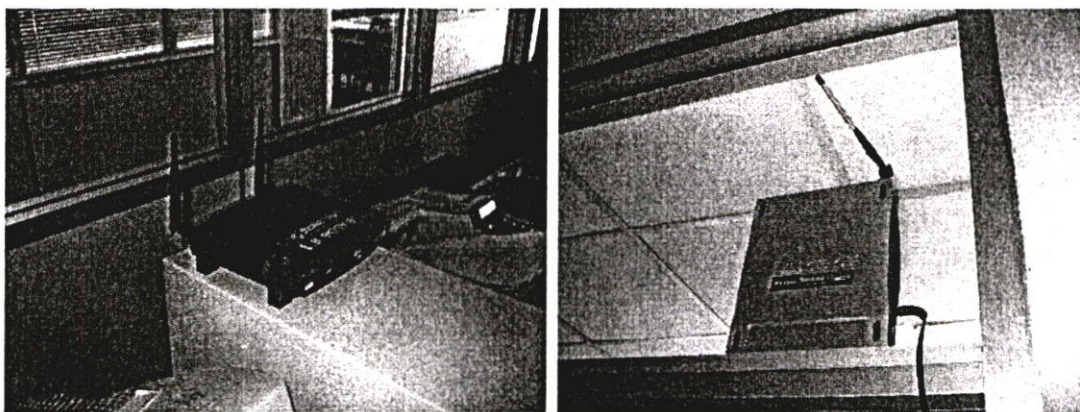
ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนการวิจัย ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล อาทิเช่น การติดตั้ง แอคเซสพอยท์ การกำหนดกริด (Grid) หรือ ตำแหน่งบนพื้นอาคารและขั้นตอนการวิจัยด้วยวิธีการแบบต่าง ๆ โดยผลที่ได้จะแสดงให้เห็นว่า วิธีการที่นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับ วิธีการแบบดั้งเดิมนั้น สามารถทำนายตำแหน่งได้ใกล้เคียงกว่า

5.1 การออกแบบ

ในขั้นตอนของการทำวิจัยนั้นได้ทำการศึกษา และ ทดลองบนชั้น 4 ของอาคารสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ ของ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยพื้นที่บนชั้น 4 เป็นสภาพแวดล้อมแบบสำนักงาน โดยมีพื้นที่ทั้งหมดประมาณ 26*48 เมตร หรือ 1,248 ตารางเมตร ในขั้นตอนแรก ได้ทำการสำรวจตำแหน่งที่จะติดตั้งแอคเซสพอยท์เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดของสำนักงาน และกำหนดระยะห่างของกริดบนพื้นห้อง 414, 417, 421, และ 423 โดยกำหนดไว้ที่ระยะ 1 เมตร และ ในบริเวณทางเดินกำหนดตำแหน่งกริดไว้ที่ 2 เมตร ติดตั้งแอคเซสพอยท์จำนวน 4 เครื่องไว้ตามตำแหน่งต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แผนผังชั้น 4 ของอาคารสำนักวิจัยฯและตำแหน่งที่ติดตั้งแอคเซสพอยท์



รูปที่ 5.2 แอ็กเซสพอยท์ที่ติดตั้งอยู่บริเวณภายในห้อง 415 และ หน้าห้อง 403

ตำแหน่งที่ติดตั้งแอ็กเซสพอยท์ทั้งสี่เครื่อง ได้แก่ AP1 ติดตั้งอยู่หน้าห้อง 426 AP2 ติดตั้งอยู่ภายในห้อง 415 AP3 ติดตั้งอยู่หน้าห้อง 403 และ AP4 ติดตั้งอยู่บริเวณห้อง 420 ตัวอย่างของแอ็กเซสพอยท์ที่ได้ติดตั้งไว้ นั้นแสดงดังรูปที่ 5.2

5.2 ขั้นตอนการทำวิจัย

ในขั้นตอนนี้ได้ทำการแบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ

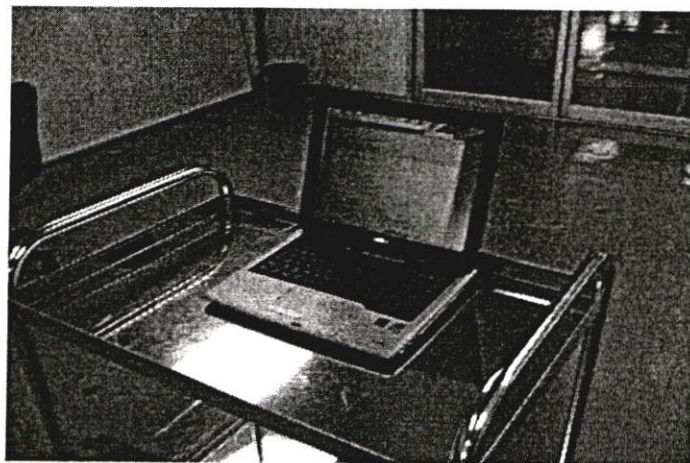
1. ขั้นตอนในการเก็บข้อมูล และสร้างฐานข้อมูล (Off line training phase)
2. ขั้นตอนการทำนายตำแหน่ง (Online location determination phase)

5.2.1 ขั้นตอนในการเก็บข้อมูลและสร้างฐานข้อมูล

หลังจากที่ได้ทำการกำหนดพิกัด (Coordinate) ลงบนกริดแล้ว ลำดับถัดไปก็คือทำการเก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณ (RSSI: Receive Signal Strength Intensity) โดยใช้ โปรแกรม Place Lab [19] ซึ่งเป็นโปรแกรมที่รู้จักกันอย่างแพร่หลาย และเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการทำไซด์เซอร์เวย์ ดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ทำการเก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณซึ่งมีหน่วยเป็น -dBm จำนวน 300 ตัวอย่าง (Sample) ตัวอย่างละ 2 วินาที ทุกๆ ตำแหน่งบนกริด จากนั้นนำค่าความแรงของสัญญาณที่เก็บรวบรวมในแต่ละตำแหน่งมาเฉลี่ย และ เก็บเข้าไว้ในฐานข้อมูล รูปหน้าต่างของโปรแกรม Place Lab และรูปคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล แสดงดังรูปที่ 5.3 และ 5.4 ตามลำดับ

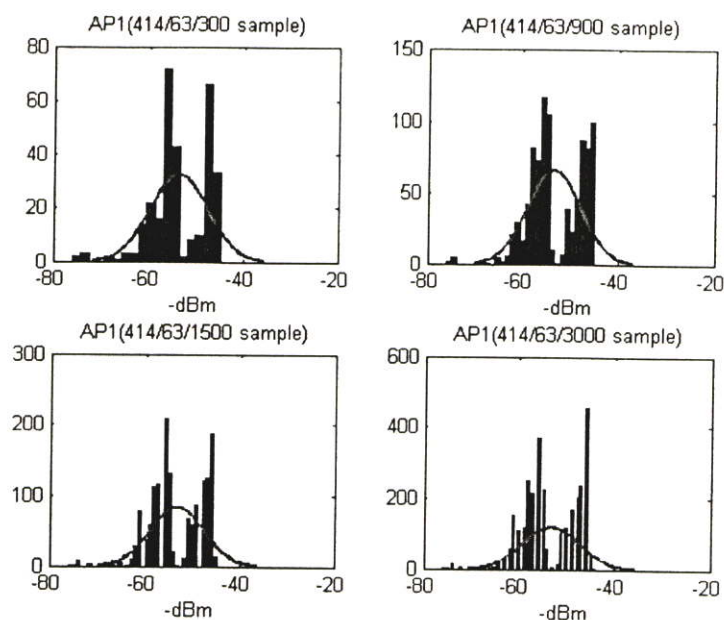
SSID	MAC Address	RSSI	New?	Lat	Lon	WEP?	fixed?	Time Seen
linksys3	00:12:17:19:25:...	-68	true	NaN	NaN	false	true	12:02:37
KMITL-WIFI	00:0c:41:d6:4b:f0	-76	true	NaN	NaN	false	true	12:02:37
meeting	00:12:17:70:5e:4f	-47	true	NaN	NaN	false	true	12:02:37

รูปที่ 5.3 หน้าต่างของ โปรแกรม Place Lab ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณ (RSSI)



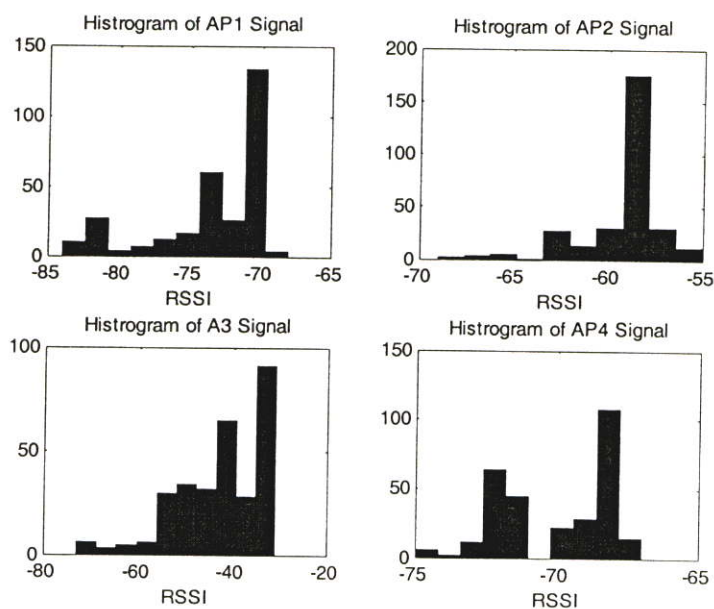
รูปที่ 5.4 คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณ (RSSI)

ในส่วนของการขั้นตอนการเก็บข้อมูลได้มีการทำการทดสอบ เพิ่มจำนวนตัวอย่างข้อมูลที่เก็บแล้วนำมาเฉลี่ยในฐานข้อมูลจาก 300 ค่า จนถึง 3000 ค่า เพื่อทดสอบว่า จำนวนตัวอย่างข้อมูลที่เก็บนั้นต้องใช้จำนวนเท่าไรจึงจะเหมาะสมที่สุด และ จำนวนตัวอย่างข้อมูลมีผลอย่างไรต่อการทำนายตำแหน่ง จากการเก็บข้อมูลนำข้อมูลที่ได้อาปพลิเคชันโปรแกรม ปรากฏว่าโปรแกรมที่ได้มีรูปร่างคล้ายกัน และมีค่าเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกันมาก ดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 5.5 ซึ่งจากการทดลองสรุปได้ว่าจำนวนตัวอย่างข้อมูลที่เก็บนั้นที่ตำแหน่งเดียวกันเมื่อเก็บตัวอย่างข้อมูลจำนวน 300 ค่าขึ้นไปลักษณะการกระจายของข้อมูลจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก ค่าเฉลี่ยที่ได้จะใกล้เคียงกัน และจากเหตุผลดังกล่าวนี้ทำให้ในขั้นตอนการสร้างฐานข้อมูลจึงได้ทำการเก็บข้อมูลจำนวน 300 ตัวอย่าง เพื่อที่จะนำไปสร้างฐานข้อมูลต่อไป



รูป 5.5 ฮิสโตแกรมความแรงของสัญญาณของ AP1 เปรียบเทียบกับจำนวนตัวอย่างข้อมูล 300-3000 ค่า

จากการสังเกต พบว่าค่าความแรงของสัญญาณที่แต่ละตำแหน่งจะเกิดการแกว่งตัวของสัญญาณ เนื่องจากแต่ละตำแหน่งที่ทำการวัดสัญญาณนั้นมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันดังตัวอย่างในรูปที่ 5.6 ที่ แอคเซสพอยท์ตัวที่ 2 (AP2) จะมีค่าความแรงของสัญญาณจะกระจายอยู่ในลักษณะที่เป็นเก๊าเซียนต์ ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าที่ตำแหน่งนี้เครื่องรับรับสัญญาณส่วนใหญ่จากแอคเซสพอยท์อยู่ในลักษณะในแนวสายตา (line of sight)



รูปที่ 5.6 ฮิสโตแกรมความแรงของสัญญาณที่รับได้จากแอคเซสพอยท์ทั้ง 4 ตัว

เมื่อได้ข้อมูลความแรงของสัญญาณครบ 300 ตัวอย่างแล้ว จากนั้นทำการเฉลี่ยและเก็บข้อมูลเหล่านั้นลงในฐานข้อมูลซึ่งแสดงในตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงตัวอย่างของฐานข้อมูลความแรงของสัญญาณภายในห้อง 414 ของอาคาร
สำนักวิจัยคอมพิวเตอร์

Coordinate	RSSI of AP1	RSSI of AP2	RSSI of AP3	RSSI of AP4
1,1	-53.95	-46.4933333	-56.0033333	-50.68
1,2	-52.2033333	-47.8566667	-58.9733333	-52.5033333
1,3	-53.8533333	-43.6566667	-59.7133333	-50.7533333
1,4	-52.8766667	-45.02	-59.68	-51.61
1,5	-57.4189723	-42.9920949	-60.2490119	-52.1897233
1,6	-56.7666667	-40.52	-60.85	-51.3566667
1,7	-55.62	-37.0266667	-62.42	-53.2
1,8	-56.6533333	-40.22	-63.22	-51.05
1,9	-55.21	-43.6433333	-62.5933333	-53.02
1,10	-57.8766667	-42.32	-61.6866667	-51.7433333
2,1	-55.8552189	-40.5016835	-60.959596	-45.4309764
2,2	-53.3166667	-41.07	-58.59	-48.1333333
2,3	-55.01	-45.2666667	-55.53	-46.9066667
2,4	-53.9733333	-45.4733333	-55.4166667	-47.84
2,5	-57.11	-43.69	-55.3366667	-50.16
2,6	-55.2133333	-45.67	-56.71	-49.2133333
2,7	-50.2633333	-42.1733333	-59.85	-47.9633333
2,8	-56.7966667	-43.8666667	-61.1133333	-47.9266667
2,9	-55.59	-42.5933333	-63.05	-49.6733333
2,10	-53.3466667	-41.3666667	-62.41	-52.0033333
3,1	-56.7833333	-43.8666667	-61.3833333	-51.6233333
3,2	-60.08	-43.64	-62.5266667	-47.31
3,3	-56.1466667	-41.5466667	-61.8766667	-50.07
3,4	-57.9366667	-41.1033333	-55.96	-50.1433333
3,5	-59.5566667	-45.0833333	-60.4466667	-49.7466667
3,6	-55.1466667	-43.2033333	-58.1	-47.35
3,7	-56.28	-43.9466667	-58.0666667	-48.2266667
3,8	-58.0466667	-43.63	-55.79	-47.11
3,9	-55.7833333	-43.1833333	-55.0133333	-40.3333333
3,10	-55.68	-41.68	-55.3733333	-49.3
4,1	-56.4366667	-40.74	-55.4266667	-40.7666667
4,2	-55.9566667	-45.43	-63.57	-46.9733333
4,3	-51.39	-42.9633333	-60.8733333	-45.7066667
4,4	-57.29	-50.06	-65.1433333	-43.7466667
4,5	-59.92	-45.0933333	-65.4533333	-48.45
4,6	-59.9533333	-43.16	-63.31	-49.8066667
4,7	-58.7566667	-42.51	-63.3766667	-45.09
4,8	-57.67	-47.2833333	-65.38	-45.0866667
4,9	-55.3466667	-42.4166667	-62.6133333	-46.47
4,10	-51.52	-45.1866667	-59.7733333	-45.8166667

5.3 ผลการทดลอง

5.3.1 วิธีการแบบ Online training data

วิธีการแบบ Online training data ก็คือ การเพิ่มจำนวนข้อมูลความแรงของสัญญาณในช่วงของการทำนายตำแหน่งให้มากขึ้น ในการทดลองนี้ได้ทำการทดลองภายในห้อง 414 ทำเพิ่มจำนวนตัวอย่างข้อมูลความแรงของสัญญาณตั้งแต่ 1 ตัวอย่างไปจนถึง 300 ตัวอย่าง และผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มจำนวนตัวอย่างข้อมูลในขั้นตอนของการทำนายตำแหน่งให้มากขึ้นนั้น ผลที่ได้ก็คือ การทำนายตำแหน่งส่วนใหญ่ให้ผลการทำนายตำแหน่งที่ผิดพลาดโดยเฉลี่ยลดลง และ จากการทดลองได้นำค่าความผิดพลาดจากการทำนายตำแหน่ง ของวิธีการแบบ Online phase โดยใช้จำนวนตัวอย่างข้อมูลที่ 120 ตัวอย่าง นำมาพล็อตเปรียบเทียบกับวิธีการแบบ RADAR

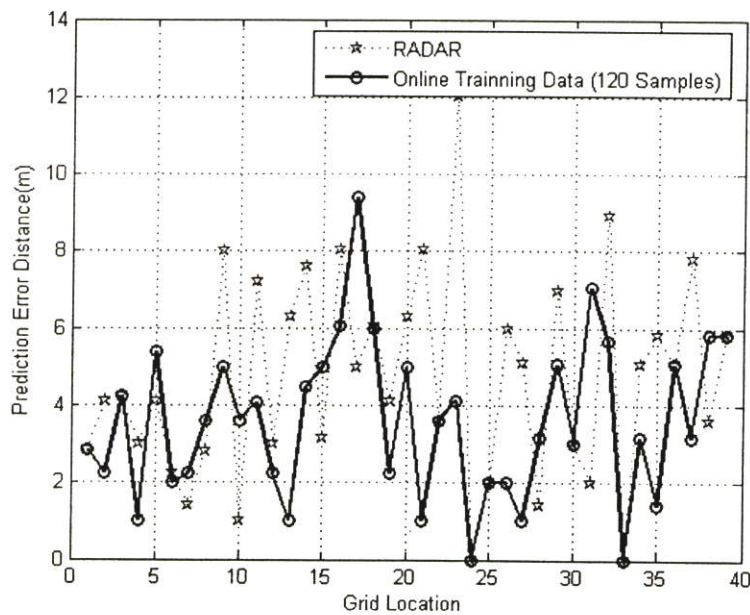
ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองที่ได้จากการเพิ่มจำนวนตัวอย่างข้อมูลในช่วง online phase

ความผิดพลาดจากการทำนายตำแหน่ง(เมตร)						
Location	1 sample	30 sample	60 sample	90 sample	120 sample	150 sample
จุดที่ 3	5.5401	1.1716	2.2772	1.2283	0.8684	1.1947
จุดที่ 12	2.1733	3.2206	2.9798	2.5065	2.5025	2.3151
จุดที่ 19	13.081	3.5196	1.7892	1.9258	1.4925	1.2594
จุดที่ 22	2.6789	2.8597	2.5548	2.5123	2.7849	2.9362
จุดที่ 27	2.5091	1.6499	2.0538	2.5933	2.1136	2.1086
จุดที่ 30	5.4949	1.1061	0.8994	1.6092	1.9032	2.1198

ตารางที่ 5.2 (ต่อ) ผลการทดลองที่ได้จากการเพิ่มจำนวนตัวอย่างข้อมูลในช่วง online phase

ความผิดพลาดจากการทำนายตำแหน่ง(เมตร)					
Location	180 sample	210 sample	240 sample	270 sample	300 sample
จุดที่ 3	1.0354	2.2253	1.3103	1.2782	1.4994
จุดที่ 12	2.6353	2.7777	3.1209	3.2912	3.413
จุดที่ 19	0.81	0.6819	1.3778	1.9939	2.0103
จุดที่ 22	2.8553	2.6945	2.5731	2.4159	2.2713
จุดที่ 27	2.0435	2.0912	2.0987	2.1983	2.4306
จุดที่ 30	2.6355	3.0837	2.8035	2.6767	2.3931

รูปกราฟ ดังกล่าวแสดงดังรูปที่ 5.7 ในการทดลองหาตำแหน่งของผู้ใช้นั้น ได้ทำการเก็บข้อมูล และ ทดลองตรงบริเวณตำแหน่งที่อยู่บนกริดเท่านั้น จากกราฟจะสังเกตเห็นว่าจะมีบางตำแหน่งที่วิธีการแบบ RADAR สามารถทำนายตำแหน่งได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งจริงมากกว่าวิธีการแบบ Online training data ยกตัวอย่างที่ตำแหน่งกริดที่ 10 และ ที่ 15 แต่โดยเฉลี่ยแล้ว วิธีการแบบ Online training data สามารถทำนายตำแหน่งได้แม่นยำกว่า ซึ่งก็คือ การทำนายตำแหน่งด้วยวิธีการแบบ RADAR ให้ค่าความผิดพลาดจากการทำนายตำแหน่งที่ประมาณ 5.69 เมตรและวิธีการแบบ Online training data ที่จำนวนตัวอย่างข้อมูล 120 ตัวอย่าง จะให้ค่าความผิดพลาดที่ประมาณ 3.58 เมตร ซึ่งสามารถทำนายตำแหน่งได้แม่นยำกว่าวิธีการแบบ RADAR ประมาณ 69.23% และ เหตุผลที่ได้ผลการทำนายตำแหน่งที่ดีขึ้นก็เพราะว่าการ training data ก่อนที่จะนำมาคำนวณทำนายตำแหน่งเป็นวิธีการที่เก็บข้อมูลเพิ่มมากขึ้น ทำให้ข้อมูลนั้นมีการกระจายของข้อมูล และค่าเฉลี่ย ที่ตำแหน่งนั้น ๆ มีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลที่เกิดขึ้นในฐานข้อมูล แต่วิธีการนี้ก็เพิ่มค่าความซับซ้อนในการคำนวณให้กับระบบมากขึ้น

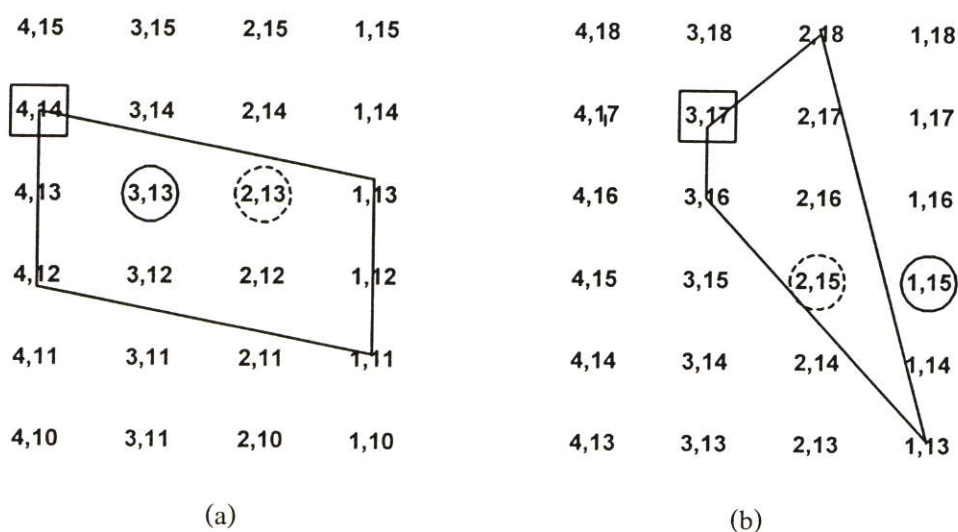


รูปที่ 5.7 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการทำนายตำแหน่งระหว่างวิธีการแบบ Online training data ที่จำนวนตัวอย่างข้อมูล 120 ตัวอย่าง กับวิธีการแบบ RADAR

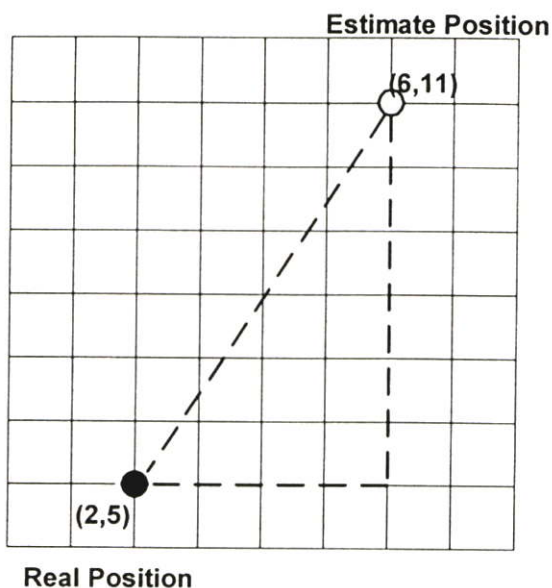
5.3.2 วิธีการแบบ Cluster based geometric

วิธีการแบบ cluster based geometric คือวิธีการที่นำเอาตำแหน่งที่เป็นไปได้มาคำนวณหาจุดกึ่งกลางโดยตำแหน่งดังกล่าวกำหนด หรือ เลือกจากตำแหน่งที่ให้ค่าระยะห่างยูคลิดีเนียนต่ำที่สุดจำนวน K ค่าในการทดลองนี้ให้ค่า K เท่ากับ 4 ซึ่งเป็นค่าจำนวน ตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 5.8 ซึ่งแสดงตัวอย่างผลของการทำนายตำแหน่ง 2 ตัวอย่างเป็นการเปรียบเทียบกันระหว่างวิธีแบบดั้งเดิม (วิธีการแบบ RADAR) และวิธีที่ได้นำเสนอ ซึ่งวิธีการที่นำเสนอนั้นสามารถปรับปรุงค่าความถูกต้องแม่นยำให้ดีขึ้น ในรูป 5.9 (a) ตำแหน่งจริงที่ทำกรทำนายตำแหน่งกำหนดให้เป็นรูปวงกลมทึบใกล้กับตำแหน่ง 3,13 และตำแหน่งที่ใช้วิธีการแบบ RADAR ทำนายคือ ตำแหน่งที่ 4, 14 ซึ่งแสดงโดยรูปสี่เหลี่ยม ส่วนวิธีการแบบ Cluster based geometric ที่นำเสนอนั้นทำการทำนายได้ผลลัพธ์ที่แสดงโดยวงกลมเส้นประ จะเห็นได้ว่าวิธีการแบบ Cluster based geometric สามารถทำนายตำแหน่งได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งจริงมากกว่าวิธีการแบบ RADAR ส่วนในรูปที่ 5.8 (b) ผลที่ได้มีลักษณะคล้ายคลึงกับในรูป (a)

ในส่วนของการทดลองทำนายตำแหน่งผู้ใช้ ได้ทำการทดลองภายในห้อง 414 และ นำผลที่ได้มาพล็อตเป็นกราฟแสดงดังรูปที่ 5.9 เมื่อนำผลที่ได้มาหาค่าความผิดพลาดจากการทำนายตำแหน่งปรากฏว่าวิธีการแบบ RADAR ทำนายตำแหน่งผิดพลาดเฉลี่ยอยู่ที่ 5.69 เมตร และวิธีการแบบ Cluster based geometric สามารถทำนายตำแหน่งได้ค่าความผิดพลาดอยู่ที่ประมาณ 3.65 เมตร ซึ่งวิธีการที่เราแนะนำสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของการทำนายตำแหน่งภายในอาคารให้ดีขึ้นได้

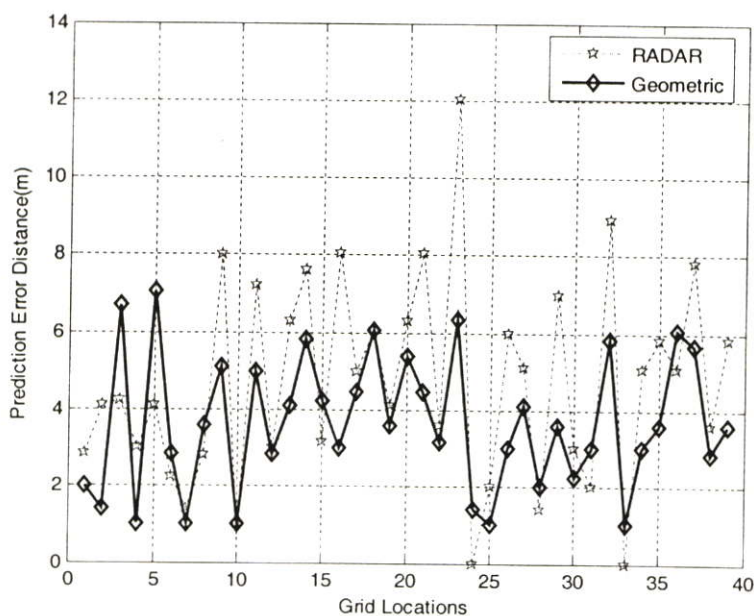


รูปที่ 5.8 การเปรียบเทียบผลจากการทำนายตำแหน่งของทั้ง 2 วิธีการ



รูปที่ 5.9 ลักษณะการทำนายตำแหน่งที่ได้ค่าการทำนายตำแหน่งผิดพลาดไม่เป็นจำนวนเต็ม

ในการหาระยะทางที่ทำการทำนายตำแหน่งผิดพลาดนั้นบางครั้งจะพบว่าค่าที่ได้ไม่จำเป็นต้องเป็นจำนวนเต็มเสมอไป ยกตัวอย่างดังเช่นในรูป 5.9 ที่ตำแหน่งจุดที่บเป็นตำแหน่งจริงของผู้ใช้ที่ทำการทำนายตำแหน่ง และที่ตำแหน่งวงกลมเป็นตำแหน่งที่วิธีการแบบ Cluster ทำการทำนายตำแหน่งได้ จะเห็นได้ว่าระยะทางที่ทำการทำนายตำแหน่งผิดพลาดจะเท่ากับ $\sqrt{4^2 + 6^2}$ หรือเท่ากับ 7.21 เมตร ในการทำนายตำแหน่งจริงนั้นผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องอยู่บนกริดเสมอไป แต่ในการทำนายตำแหน่งทุกครั้งนั้นจะทำการทำนายตำแหน่งได้เฉพาะบนกริดเท่านั้น



รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดจากการทำนายตำแหน่งระหว่างวิธีการแบบ Cluster based geometric กับวิธีการแบบ RADAR

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายในปัจจุบันได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวันมากขึ้นทุกวัน และ อุปกรณ์บอกตำแหน่งก็ได้มีการพัฒนาจนมีแอปพลิเคชันใช้กันอย่างกว้างขวาง อย่างเช่น ระบบ จี พี เอส (GPS: Global Positioning System) ซึ่งระบบ จี พี เอส นี้ไม่สามารถที่จะนำมาใช้บอกตำแหน่งภายในอาคารได้ ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นเทคนิคต่างๆที่สามารถนำมาใช้บอกตำแหน่งภายในอาคารได้ อย่างเช่น วิธีการที่เรียกว่า RADAR ซึ่งใช้อุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย WLAN มาเป็นเครือข่ายพื้นฐานในการสร้างระบบ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอ วิธีการปรับปรุงระบบทำนายตำแหน่งภายในอาคารโดยใช้เครือข่ายไร้สาย WLAN ประเภท Client-based ระบบทำนายตำแหน่งนี้ต้องการเพียงค่าความหนาแน่นของสัญญาณ (RSSI) ที่รับได้จากแอคเซสพอยท์ซึ่งเป็นอุปกรณ์มาตรฐานที่ใช้งานโดยทั่วไป ในงานวิจัยของเราได้นำเสนอวิธีการ 2 วิธีในการเพิ่มความแม่นยำในการทำนายตำแหน่ง คือ วิธีการ Online training data ซึ่งใช้การเพิ่มจำนวนข้อมูล (training) ที่จะนำมาใช้ทำนายตำแหน่งให้มากขึ้นส่วนอีก วิธีการหนึ่งคือ Cluster based geometric ได้นำวิธีการทางเรขาคณิตมาใช้ โดยกำหนดตำแหน่งที่เป็นไปได้ขึ้นมาและทำการคำนวณหาจุดกึ่งกลาง การทำนายตำแหน่งจากจุดกึ่งกลางนี้ ผลที่ได้เสนอในรูปแบบของระยะทางที่ทำนายตำแหน่งผิดพลาดเปรียบเทียบกับวิธีการแบบ RADAR จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า วิธีการที่นำเสนอนั้นสามารถปรับปรุงระบบดังกล่าวให้สามารถทำนายตำแหน่งได้ใกล้เคียงกับตำแหน่งจริงมากขึ้น

ในการทดลองนั้นได้ใช้อุปกรณ์และเครื่องมือที่มีจำหน่ายอยู่ตามท้องตลาดทั่วไป ไม่ว่าจะเป็น ตัวแอคเซสพอยท์ หรือตัวเครื่องมือที่ใช้เก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณ ก็เป็น freeware ที่หาได้ทั่วไป ผลที่ได้จากการทดลองจึงให้ค่าความถูกต้องแม่นยำอยู่ในระดับหนึ่ง แต่ถ้าเครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ใช้นั้นมีคุณภาพสูง สามารถเก็บข้อมูลที่ให้ค่าได้ถูกต้องแม่นยำ เช่น spectrum analyzer ผลการทดลองทำนายตำแหน่งก็จะแม่นยำขึ้นมากเช่นกัน แต่ราคาของเครื่องมือดังกล่าวก็จะสูงขึ้นเช่นเดียวกัน

การปรับปรุงประสิทธิภาพระบบทำนายตำแหน่งภายในอาคารนั้นมีอีกหลายวิธีการที่น่าศึกษาและทำการวิจัยเพิ่มเติมเป็นอย่างยิ่ง เช่น ลักษณะการกระจายข้อมูลความแรงของสัญญาณภายในได้เงื่อนไขสภาพแวดล้อมต่าง ๆ อย่างเช่น WEF (Wall Effect Factor) ซึ่งตัวแปรเหล่านี้ส่งผลต่อข้อมูลที่เก็บอยู่ในฐานข้อมูล (radio map) ทำให้ฐานข้อมูลนั้นไม่เพียงพอที่จะใช้ทำนายตำแหน่งอย่างแม่นยำ หรือ อาจจะใช้วิธีการทางสถิติเข้ามากรองข้อมูลเหล่านี้เพื่อให้ได้ฐานข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำที่สุด

บรรณานุกรม

- [1] P. Bahl and V. N. Padmanabhan. “**RADAR: An In-Building RF-based User Location and Tracking System**”. In IEEE Infocom 2000, volume2, pages 775-784, March 2000.
- [2] A. Smailagic, D. P. Siewiorek, J. Anhalt, D. Kogan, and Y. Wang. “**Location Sensing and Privacy in a Context Aware computing Environment,**” Pervasive Computing, 2001.
- [3] T. W. Christ, P. A. Godwin, “**A Prisin Guard Duress Alarm Location System,**” Proc. IEEE International Carnahan Conference on Scurity Technology, October 1993.
- [4] S. Ganu, A. S. Krishnakumar, P. Krishnan, “**Infrastructure-based Location Estimation in WLAN Network,**” IEEE Wireless Communcation and Networking Conference (WCNC2004), 2004.
- [5] P. Krismnan, A. S. Krishnakumar, Wen-Hua Ju, C. Mallows, S. Ganu, “**A System for LEASE: System for Location Estimation Assisted by Station Emitters for Indoor RF Wireless Networks,**” Proceedings of IEEE Inforcom 2004, Hong Kong March 2004 .
- [6] อำนาง มีมงคล, อรรถพร ชันธิกุล, “**ออกแบบและติดตั้งเครือข่าย Wireless LAN**” อินโฟเพรส, หน้า 77-130
- [7] J. B. Andersen, T. S. Rappaport, and S Yoshida, “**Propagation Mesurements and Models for Wireless Communication Channels**” IEEE Communications Magazine, 33(1)
- [8] G. Wolfle, and Landstorfer, “**Prediction of Field Strength in side Buildings with Empirical, Neural, and Ray-optical Prediction Models,**” 7th COST 259 MCM-Metting in Thessaloniki.
- [9] T. S. Rappaport, J. H. Reed, and B. D. Woerner, “**Position Location Using Wireless Communication on Highway of the Future**” IEEE Communications Magazine, October 1996, page 33-41.
- [10] J. Syrjarinne, “**Studies of Modern Techniqes for Personal Positioning**” D.Sc Thisis, Tampere University of Technology.
- [11] J. M. Latapy, “**GSM Mobile Station Locating**” Master’s Thisis, Norwegian University of Science and Technology, Trondhiem.
- [12] U. S. Wireless, “**Location Pattern Matching and RadioCamara Network**” www.uscorp.com/USWCMainpage/oue.htm.

- [13] T. Rantalainen and A. Picford, "E-OTD Description to LCs Stage 2 Annex"
www.tl.org/index/0521.htm.
- [14] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, J. Gibbons., "**The Active Badge Location System**," ACM Transactions on Information system, vol. 40 No.1, January 1992, page 91-102.
- [15] M. Moustafa Youssef, Ashok Agrawala, A. Udaya Shankar, "**WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions**," IEEE International Conferon Pervasive Computing and Communications (PerCom)2003, Fort Wort, Texas, March 23-26, 2003.
- [16] T. Roos, P. Myllymaki, H. Tirri, P. Misikangas, and J. Sievanen, "**A Probabilistic Approach to WLAN Location Estimation**" Internationnal Journal of Wireless Informatio Network, 9(3), July 2002.
- [17] R. O. Duda and P. E. Hart, "**Pattern Classification and Scene Analysis**" Wiley Interscience, Newyork, 1973.
- [18] Soekris Engineering, www.soekris.com.
- [19] www.placelab.com

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] P. Sungkhachan, P. Supnithi, P. Phasukkit and M. Sangworasil, “**A Cluster-Based Geometric approach to WLAN Location Determination Systems**”, The IASTED International Conference on Networks and Communication Systems (NCS 2006), Chiangmai, Thailand, 2006.

Proceedings of the IASTED International Conference on
Networks and Communication Systems

March 29 - 31, 2006
Chiang Mai, Thailand

*Editors: P. Prapinmonkolkarn
T. Angkaew*

International Program Committee

Additional Reviewers

Information on Publication

Table of Contents

Author Index



ACTA Press

Anaheim | Calgary | Zurich

A CLUSTER-BASED GEOMETRIC APPROACH TO WLAN LOCATION DETERMINATION SYSTEMS

P. Sungkhachan, P. Supnithi, P. Phasukkit and M. Sangworasil
 Faculty of Engineering Research Center for Communication and Information Technology
 Computer Research and Service Center
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
 Ladkrabang district, Bangkok 10320, Thailand
poontavee_02@hotmail.com, pornchai@telecom.kmitl.ac.th, kppattar@kmitl.ac.th

ABSTRACT

This paper presents an improvement in deterministic WLAN location determination system using triangulation method. It is a client-based approach which the online location estimation phase, K possible estimates are produced, location estimate is computed as the midpoint of all possible coordinates. The results show that locations with large estimation errors can be drastically reduced thus improvement in prediction error compared with traditional methods.

KEY WORDS

Location Estimation, Wireless Network, Location-awareness

1. Introduction

The field of research prediction of user location is an active area with the current trend to be an emphasis in a complementary system to Global Position System (GPS). Even though GPS provides a reliable location determination method, it is unsatisfactory for indoor purpose. An approach to solve this problem is to utilize wireless LAN (WLAN) beacon signals from the APs. The beacon signal provides the signal strength or received signal strength intensity (RSSI). There are many softwares available for such purpose [1-2]. Two main types of location determination are deterministic method and probabilistic method. Additionally, one can classify them into client-based and infrastructure-based techniques [3][5]. For deterministic approach, the computation of Euclidean distance aids location estimation. Although, probabilistic methods [4][5] are shown to provide improved accuracy in location computation by taking into account of RSSI distribution, they are more complexed. The two mentioned approaches belong to client-based category. An infrastructure-based method [6] employs sniffer program to scan the RSSIs received by APs, thus, the APs are aware of each user.

In this paper, we present an improved WLAN location determination system where we resort to select a cluster

of possible estimates then compute the midpoint based on triangulation as the user's location estimate during the location computation phase.

2. Phases of Deterministic WLAN Location Determination Systems

Deterministic WLAN location determination systems typically consist of 2 procedures or phases: (1) Offline training phase and (2) Online phase.

The offline training phase aims to construct a footprint database containing the received signal strength intensity (RSSI) levels obtained from each access point on the floor or in the building. The RSSIs are recorded in dBm at every grid point in the areas depending on required accuracy. For each grid point (x_i, y_i) , a number of RSSIs are received from each AP then averaged before putting into the database. An example of database table in the case of 4 APs is shown in Table 1, where x_i and y_i represent a i^{th} grid coordinate or the i^{th} entry in the database. The columns of RSSI 1 to RSSI 4 are the averaged RSSIs obtained from the APs. For probabilistic approach, the distribution of RSSIs at each grid position is recorded.

The online phase is the location determination phase. To estimate a user's location, first the RSSIs from each AP must be obtained then compared with the values in the database table obtained during the first phase. Given N grid points, let $\mathbf{S}_i = [s_{i,1} \ s_{i,2} \ \dots \ s_{i,P}]$ be the signal strengths recorded for each APs at the i^{th} grid location, where $i=1,2,\dots,N$. Let $\hat{\mathbf{S}} = [\hat{s}_1 \ \hat{s}_2 \ \dots \ \hat{s}_P]$ be the RSSIs from each of the AP, where P is the number of available APs. The Euclidean distance E_i between user's signal strengths and the i^{th} entry in the database can be determined from

$$E_i = \|\mathbf{S}_i - \hat{\mathbf{S}}\| = \sum_{j=1}^P (s_{i,j} - \hat{s}_j)^2 \quad (1)$$

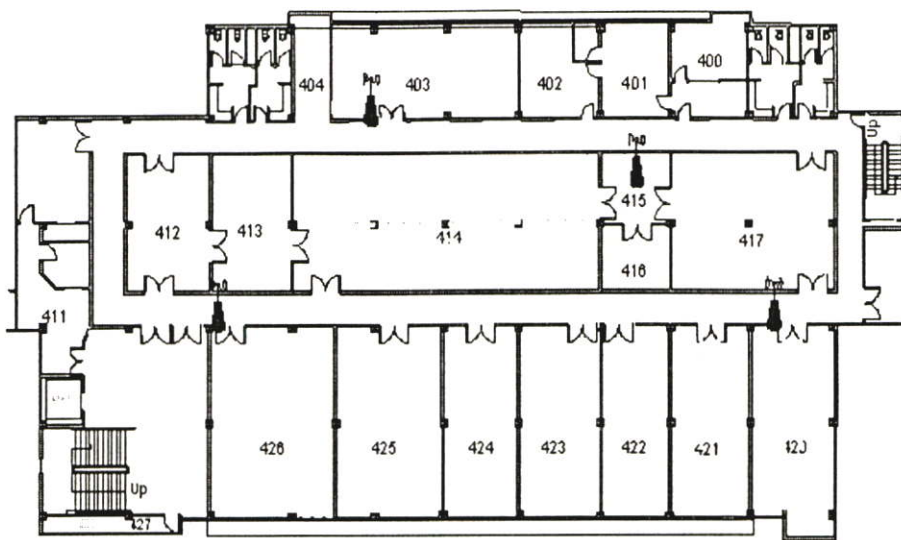


Figure 1. Floor structure and access point location

where $s_{i,j}$ is entry on the i^{th} row and j^{th} column in the database and $\|X\|^2 = X^T X$. An estimate of user's location $(x_i, y_i), (\hat{x}_i, \hat{y}_i)$ corresponds to the grid location with minimum Euclidean value, *i.e.*,

$$E_i = \min E_j \quad (2)$$

A Cluster-based Geometric approach

One may improve the estimate accuracy by considering a cluster of possible grid estimates, then choosing among the grids in the cluster, using additional information to determine the most likely coordinate. Notice that because the location estimate is the grid position estimate, as long as the user's position is not on the grid position, there will always be an error in the estimate. One can improve the accuracy further by making decision on the finer location coordinates rather than the grid coordinates. Given K possible grid estimates with the lowest Euclidean values, let $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, K$, the location estimate (\hat{x}, \hat{y}) is computed as the midpoint of all K coordinates, *i.e.*,

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \left(\frac{1}{K} \sum_{i=1}^K x_i, \frac{1}{K} \sum_{i=1}^K y_i \right) \quad (3)$$

In our experiment, it has been observed that large estimate errors which contribute to the averaged estimate error can be reduced by using this cluster-based technique. Consider an example using $K = 4$ possible grid estimates as shown in Figure 2. Without a *priori* information of previous location of the user's terminal, the location estimate can be determined as the midpoint among all 4 possible grid coordinates. In this case, the implementation consists of the following steps.

1. Obtain the signal strengths from all APs at the terminal. One may use a number of samples of signal values and then use the average values. Compute Euclidean values and consider the K coordinates with lowest Euclidean values.
2. In the software, fix each coordinate point on the map as $x_1y_1, x_2y_2, x_3y_3, x_4y_4$, if x_1y_1 is the coordinate with minimum Euclidean values and x_2y_2, x_3y_3, x_4y_4 are the remaining ones.
3. Compute middle point in (b), label the result as A.
4. Compute a mid-point between point A and x_3y_3 , then a result as label B.
5. Compute a middle point between point B and x_4y_4 , then label the result as C. C is thus the location estimate.

Table 1. The database from offline training phase

x	y	RSS1	RSS2	RSS3	RSS4
x1	y1				
x2	y2				
⋮	⋮				
xn	yn				

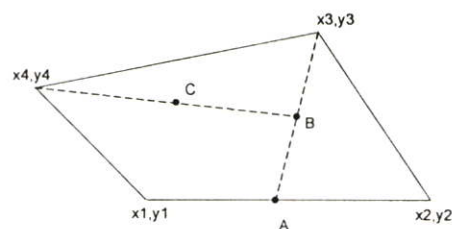


Figure 2. An example of grid locations which gives 4 lowest Euclidean values

Complexity of RADAR System

The complexity of the RADAR system consists of two parts: offline phase and online-phase. For the offline phase, a size of the database of signal strength depends on the number of grid locations N_{grid} and the number of installed access points P . Therefore, the amount of required storage is

$$\text{Amount of storage} = N_{grid} \times P \quad (4)$$

For the online location determination phase, we need to compute the Euclidian distance from equation (2) which is sum of the difference between the real-time signal strength level of each access point and the stored signal strength. The calculation of Euclidean distance requires the complexity in terms of $O(N_{grid} \times P)$. The estimation of user location can be done by searching for the minimum of Euclidean distance; this results to complexity of $O\{N_{grid}\}$. The total complexity of location determination phase is thus $O\{N_{grid} * P + N_{grid}\}$

Complexity of Cluster-based Geometric Approach

The algorithm of constructed database is the same as the Radar system, therefore the required storage is the same. The estimation of user location, however, requires sorting the computed Euclidean distance and then select the smallest K entries. Then the triangulation method is employed to obtain the estimated user location. The sorting requires a complexity of $O\{N_{grid} \log N_{grid}\}$. The estimation has a complexity of $O(K)$. The total complexity is thus $O\{N_{grid} \times P + N_{grid} \log N_{grid} + K\}$

Table 2. Comparison of Complexity between RADAR and Cluster-based geometric approach

System	Off line phase storage requirements	Online location determination phase
RADAR	$N_{grid} \times P$	$O\{N_{grid} * P + N_{grid}\}$
Cluster-based geometric approach	$N_{grid} \times P$	$O\{N_{grid} \times P + N_{grid} \log N_{grid} + K\}$

3. Experimental Results and Discussions

The location of our experiment is on the 4th floor of Computer Research and Service Center (CRSC) building located on King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) campus in Bangkok, Thailand. The layout of the floor is shown in figure 1. The floor has a dimension of 26 meters by 48 meters with the total area of 1248 square meters. We place four access point (APs): AP1, AP2, AP3, and AP4, at various locations on the floor as indicated by red icons on the map.

Signal Strength Distribution

During the offline phase, we collect the signal strength levels at the grid location, each of which is 1-meter apart in Room 414, 417, 421 and 423, and 2-meter apart on the passageway. The grids are more separated on the hallway because we emphasize on the accuracy in the rooms over the hallway. The four APs are placed in front of Room 426, Room 403, Room 420 and inside the Room 415, respectively. The location of Wi-Fi lab is Room 420. The signal strength is recorded in terms of received signal strength intensity (RSSI). A number of softwares to collect signal values is available but for this project, we use PlaceLab [8]. At each grid, 300 values of RSSIs from each AP are recorded. We have written a script to automatically record the 300 values.

In figure 3, we show an example of signal strength level received from each AP. For each position or location, the received signal strength varies by the APs; it is typically highest for the closest AP.

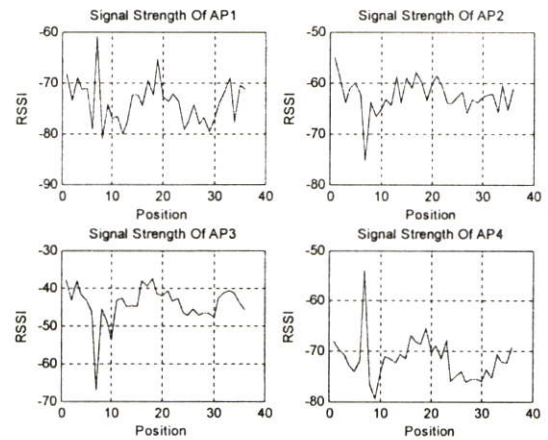


Figure 3. Examples of RSSIs from each AP as a function of position

For example, at position on the map in Figure 1, AP3 can be the closest access point. The signal strength RSSI at each location fluctuates due to changing environment. We observe that measured RSSIs from nearby APs tend to fluctuate more than those from very distant APs. The histogram of RSSIs are depicted in figure 4. For each AP, the RSSI values do not change much for each of the 300 collected samples. In our case, it is evident that the distribution is not just Gaussian. At each grid, we experiment with the number of samples collected to be 300, 600, 1200, 1500, and 3000 samples. The RSSI distribution do not change much using at least 600 samples. We estimate the user location rather than the grid location using a cluster-based geometric method as described in Section II. In figure 5, we show two examples of location estimation using the method similar to RADAR [1] and compare the results with our method and demonstrate the scenarios where our approach would improve the accuracy. In figure 5(a), the true location as denoted by a solid circle is near the grid (3,13). With one single grid estimate, the estimate is grid (4,14) denoted by a square, but using our approach, the estimate as dotted circle is closer to the actual position of the user terminal. Similar result is also evident as shown in figure 5(b). In figure 6, we compare the prediction error using RADAR-like approach and cluster-based geometric method. Of all the tested positions, it is evident that the cluster-based performs better than other methods that result in figure 6 the geometric method has prediction error distance to minimum compare with conventional (RADAR) method, percent of better location about 69.23%. In table 3 a geometric method has average error 3.65 meters better than RADAR approach.

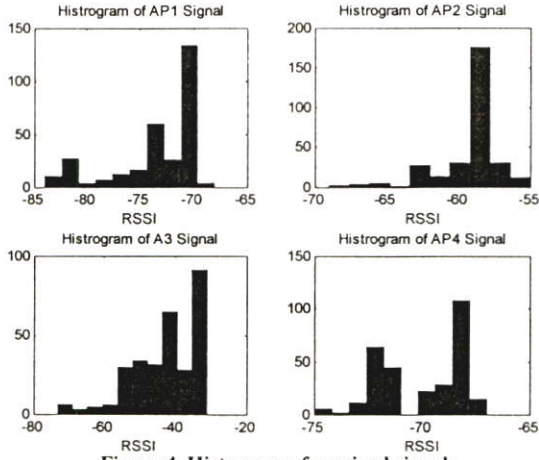


Figure 4. Histogram of received signals

Table 3. Comparison of average error between RADAR and Cluster-based geometric approach

System	Average Error (m)
RADAR	4.69
On-Line Data (120 Samples)	3.58
Geometric	3.65

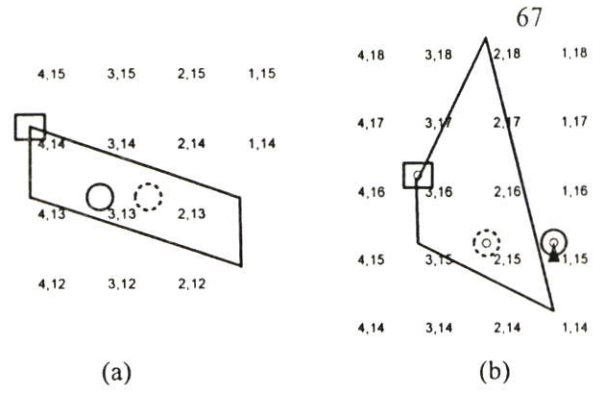


Figure 5. Comparison of location estimation methods

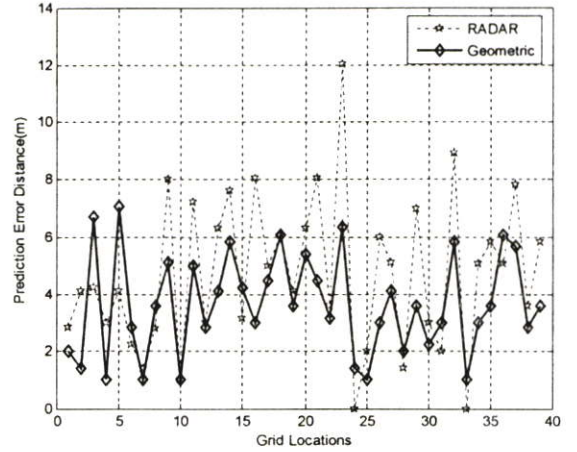


Figure 6. Comparison of prediction error between cluster-based geometric approach and the RADAR-like approach

4. Conclusions

In this paper, we present an improvement of an existing client-based deterministic WLAN location determination system. Our approach utilizes additional possible estimates rather than a single one, then use a triangulation method to compute the midpoint. This point is then used as the estimate with improved accuracy, in particular, for the locations where large estimation errors do normally occur. The results show improvement in terms of estimation error over traditional methods. For more results, we would like need to test on more positions at the experimental site. Future works include improved accuracy using wall effect factor (WEF) and applying approach to infrastructure-based location determination system

References

- [1] Kisnet, <http://www.kismetwireless.net>
- [2] Ekahau Inc, <http://www.ekahau.com>
- [3] P.Bahl and V.N. Padmanabhan. RADAR: An In-Building RF-Based User Location and tracking System. In *IEEE Infocom 2000*, volume 2 , pages 775-784, March 2000.
- [4] Moustafa Youssef, Ashok Agrawala, A. Udaya Shankar, "WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions," *IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications (PerCom)2003*, Fort Wort, Texas, March 23-26, 2003.
- [5] Andrew M. Ladd, Kostas E. Bekris, Algis Rudys, Guillaume Marceau, Lydia E. Kavraki, Dan S., "Robotic-based Location Sensing using Wireless Ethernet," *The Eighth ACM MOBICOM conf.*, September 2002.
- [6] S. Ganu, A.S.Krishnakumar, P.Krishnan, "Infrastructure-based Location Estimation in WLAN Network," *IEEE Wireless Communication and Networking Conference (WCNC2004)*, 2004.
- [7] D. Maligan, E. Elnahrawy, R. Martin, W. Ju, P. Krshnan, and A.S krishnakumar, "Bayesian Indoor Positioning System," *IEEE infocom 2005*, Miami, FL, March 2005.
- [8] <http://www.placelab.com>

ประวัติผู้เขียน

นายพูนทวี สังฆะจันทร์ เกิดเมื่อวันที่ 29 ธันวาคม พ.ศ.2522 ที่จังหวัดตาก สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ จากภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2545