

วิธีการทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่ายในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายโดยใช้
วิธีแอดแอดฮ็อกและคลัสเตอร์

LOCATION OF CLIENTS ESTIMATION MECHANISM IN WLAN BY
USING LLR AND GEOMETRY CLUSTER ALGORITHMS



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2551

KMITL-2008-EN-M-040-128

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

**วิธีการทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่ายในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายโดยใช้
วิธีแอลแอลอาร์และคลัสเตอร์**

**LOCATION OF CLIENTS ESTIMATION MECHANISM IN WLAN BY
USING LLR AND GEOMETRY CLUSTER ALGORITHMS**



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน... 82686
วัน,เดือน,ปี... 21 ก.ค. 2551

b. 110 50103
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้เฉพาะเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไปอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
KMITL-2008-EN-M-040-128

**LOCATION OF CLIENTS ESTIMATION MECHANISM IN WLAN BY USING
LLR AND GEOMETRY CLUSTER ALGORITHMS**



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

2008

KMITL-2008-EN-M-040-128

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2008

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ วิธีการทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่ายในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายโดยใช้วิธี
 แอลแอลอาร์และคลัสเตอร์

Location of Clients Estimation Mechanism in WLAN by Using LLR and
Geometry Cluster Algorithms

นักศึกษา นายสุนทร จันทะเนตร

รหัสประจำตัว 49060416

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.มนัส สัจวรรศิลป์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.รัตติกกร	วรากุลศิริพันธุ์	
ผศ.ดร.บุษยนา	กิดใจเดียว	
ผศ.ดร.เฉลิมเอก	อินทนากรวิวัฒน์	
รศ.ดร.สุรพันธุ์	เอื้อไพมูลย์	
รศ.ดร.มนัส	สัจวรรศิลป์	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ 4 มีนาคม 2551 เวลา 14.00-16.00 น.

สถานที่สอบ ณ ห้องประชุม 5 ชั้น 5 อาคาร A

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.รวิวรรณ ชินะตระกูล)
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....16.....เดือน.....พฤษภาคม.....พ.ศ.....๒๕๕๑.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วิธีการทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่ายในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย โดยใช้วิธีแอลแอลอาร์และคลัสเตอร์
นักศึกษา	นายสุนทร จันทะเนตร
รหัสนักศึกษา	49060416
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2551
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.มนัส สัจวรศิลป์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ จะนำเสนอการศึกษาเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งของเครื่องลูกข่ายในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย โดยจะใช้เทคนิคในเชิงสถิติ มีวิธีการ RADAR(k -NN), วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ (Geometry Clustering), วิธีการแอลแอลอาร์ (Log-Likelihood Ratio: LLR) และวิธีการแบบเบย์ (Bayesian Estimated) วิธีการดังกล่าวเหล่านี้ จะสามารถระบุตำแหน่งที่ตั้งของเครื่องลูกข่ายได้บนระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย เทคโนโลยีนี้จะเกี่ยวข้องกับการบริการใหม่ๆ อีกมาก สำหรับการพัฒนาาระบบการสื่อสารทางคอมพิวเตอร์ไร้สายในอนาคต จึงมีความสำคัญที่จะค้นหาว่าเทคโนโลยีใดเหมาะสมจะใช้ปฏิบัติการบนระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย ถึงอย่างไรก็ตาม การที่จะประสบผลสำเร็จในการบริการ วิธีการนั้นๆ ก็ต้องมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่เป็นไปได้และง่ายต่อการใช้งาน สำหรับรูปแบบจำลองจะสร้างขึ้นโดยใช้ทฤษฎีการตัดสินใจและความน่าจะเป็นทางคณิตศาสตร์ ถึงแม้ว่าวิธีการแอลแอลอาร์ (LLR) ที่นำเสนอจะให้ความแม่นยำได้เทียบเท่ากับวิธีการ RADAR(k -NN) ที่ใช้อย่างยิ่งหลัก แต่ในการใช้พื้นที่จัดเก็บตัวแปรการสังเกตจะใช้น้อยกว่าวิธีการอื่นๆ ทั้งหมด เพราะฉะนั้นจึงมีประสิทธิภาพดีกว่า ในบทสรุป จะแสดงถึงความเป็นไปได้ในการระบุตำแหน่งเครื่องลูกข่าย

Thesis Title	Location of Clients Estimation Mechanism in WLAN by Using LLR and Geometry Cluster Algorithms
Student	Mr. Soontorn Chantanetra
Student ID.	49060416
Degree	Master of Engineering
Program	Electronics Engineering
Year	2008
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Manas Sangworasil

ABSTRACT

This thesis presents a study of the WLAN's client location algorithms. We present a performance comparison of the four techniques under a statistical approach. These are the RADAR (k -NN), the Geometry Clustering, the LLR (Log-Likelihood Ratio), and the Bayesian Estimated. These techniques are possible to determine the geographical position of the WLAN's client. Which related to many new services of the next revolution computer communication system. It is important to find out which location technology is suitable for Wireless-LAN. However, a success of service must concern with the lowest cost and easy to implement. Our simulation is created from the mathematical model such as the Deterministic and the Probabilistic models. Even Though the LLR method has an accuracy as same as the RADAR (k -NN), but it uses a few storage space of a observation variable less than other methods. Therefore, the performance of the LLR method performs better. In conclusion, the results will be shown as the feasibility of the method.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ “รศ.ดร.มนัส สวรรศิลป์” ผู้อำนวยการสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์และอาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้ความกรุณาการสนับสนุนทั้งในเรื่องวิชาการ เครื่องมือ อุปกรณ์ และ สถานที่ทำการศึกษาวิจัย ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม “ผศ.ดร. สุทธิชัย นพนาศิพงษ์”, “รศ.นิภา สีสารุจิ”, “รศ. สมยศ จุณณะปิยะ” และคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณ “คุณภัทรพงษ์ ผาสุกกิจ” สำหรับคำแนะนำและเครื่องมือวัดทดสอบ ขอขอบคุณเป็นพิเศษสำหรับ “พีธนากร คุ้มลำไทร” แม้จะไม่ใช่ญาติกันแต่ก็นับได้ว่าเป็นเหมือนดังญาติสนิท ทั้งคอยให้คำแนะนำ ซึ่งบางครั้งอาจจะได้ก้าวเดินพลาดพลั้งไป ก็ยังให้อภัยและยังคอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเสมอมา นอกจากนี้ยังมีเพื่อนร่วมงานในสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ ที่น่ารักทุกท่าน ที่ได้ช่วยเหลืออยู่ไม่ขาดเช่นกัน

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ “บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้า” ที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

สุนทร จันทะเนตร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (Wireless LAN).....	4
2.1 ประโยชน์ของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN).....	4
2.1.1 อุปกรณ์ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN).....	5
2.2 มาตรฐานเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย IEEE802.11.....	6
2.2.1 เทคโนโลยีสเปกตรัมแพร่กระจาย (Spread Spectrum)	7
2.2.2 ความเร็วในการรับ – ส่งข้อมูลกับความแรงของสัญญาณ.....	8
2.3 กลไกการสื่อสารข้อมูลของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย WLAN	10
2.3.1 การควบคุมการใช้งานสื่อกลางด้วยกลไก CSMA / CA	10
2.3.2 การลดการชนกันของข้อมูลแบบ RTS/CTS	11
2.4 ความแรงกำลังรับ (Signal Strength).....	11
2.4.1 ความเข้มสัญญาณพื้นที่ครอบคลุม (Signal Strength Coverage).....	11
2.4.2 สายอากาศ (Antenna).....	14
2.4.3 การลดทอนสัญญาณของคลื่นตามระยะทาง (FSL:Free Space Loss).....	15
2.4.4 การลดทอนของคลื่นที่ถูกดูดซับสัญญาณจากตัวกลาง (Attenuation).....	19
2.4.5 การลดทอนที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของสัญญาณคลื่นหลายเส้นทาง (Multipath).....	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.6 การแก้ปัญหาหมัดติพาส (Multipath)	23
2.4.7 ความแรงสัญญาณระหว่างภาครับและส่ง (Link Margin).....	24
2.5 สถาปัตยกรรมเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย WLAN IEEE802b/g.....	26
2.5.1 เครือข่ายที่ไม่มีจุดศูนย์กลางควบคุม (Ad – Hoc Network).....	27
2.5.2 เครือข่ายมีจุดศูนย์กลางควบคุม (Infrastructure Network).....	27
2.5.3 เครือข่ายแบบก้าวหน้า (Advance Network).....	28
2.6 การออกแบบและวางระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN).....	31
2.6.1 การคำนวณหาจำนวนแอ็คเซสพอยท์ (APs) เพื่อรองรับจำนวนผู้ใช้งาน.....	33
2.6.2 เครื่องมือวิเคราะห์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN).....	34
บทที่ 3 เทคโนโลยีการทำนายตำแหน่งภายในอาคาร.....	36
3.1 ภาพรวมของเทคโนโลยีในการระบุตำแหน่ง.....	36
3.1.1 เทคโนโลยีคลื่นวิทยุ (Radio Frequency :RF base System).....	36
3.1.2 ระบบอินฟราเรด (Infrared System:IR base System).....	37
3.1.3 ระบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic System)	36
3.1.4 ระบบสนามแม่เหล็ก (AC/DC electromagnetic).....	40
3.1.5 ระบบวิธีการทางแสง (Optical System).....	41
3.1.6 ระบบวิธีการอื่นๆ (Gravity & Inertail).....	42
3.2 หลักการเทคนิคทำนายตำแหน่ง.....	44
3.2.1 การทำนายตำแหน่งโดยหลักการเรขาคณิต (Geometric Approach).....	44
3.2.2 วิธี เซล Service Set Identity (SSID).....	44
3.2.3 วิธี Angle of Arrival (AOA).....	46
3.2.4 วิธี Time of Arrival (TOA).....	47
3.2.5 วิธี Time Difference of Arrival (TDOA).....	49
บทที่ 4 การทำนายตำแหน่งในเครือข่าย WLAN.....	50
4.1 การตัดสินใจทางคณิตศาสตร์ (Deterministic model).....	52
4.1.1 วิธีการเฉลี่ยค่าความเข้มของสัญญาณ	53
4.1.1.1 เมตริกซ์หรือฟังก์ชันระยะห่าง (Distance function).....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต

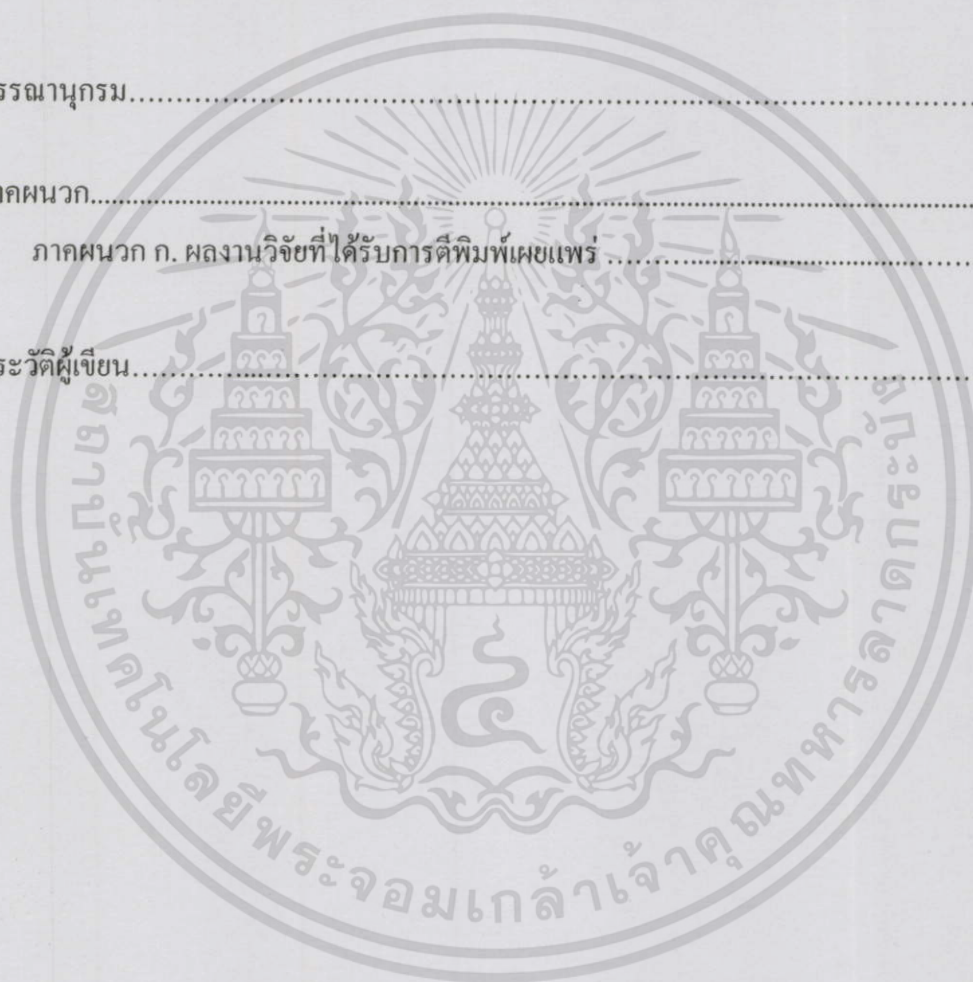
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1.2 วิธีการ RADAR (k -NN).....	59
4.1.2.1 ขั้นตอนของวิธีการ RADAR (k -NN).....	60
4.1.3 วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ (Geometry Clustering)	63
4.1.3.1 ขั้นตอนของวิธีการ.....	63
4.1.3.2 ฟังก์ชันการประมาณค่าในช่วง (Interpolation).....	65
4.1.4 วิธีการแอลแอลอาร์ (Log Likelihood Ratio:LLR)	66
4.1.4.1 ฟังก์ชันค่าขีดเริ่ม (Threshold Function).....	67
4.1.4.2 ขั้นตอนของวิธีการ.....	68
4.2 วิธีการเชิงความน่าจะเป็น (Probability).....	70
4.2.1 วิธีการแบบเบย์ (Bayesian Estimated)	71
4.2.2 ทฤษฎีบทของเบย์ (Baye' s Theorem).....	74
4.2.3 ขั้นตอนของวิธีการ.....	75
4.3 การวัดค่าความถูกต้องในการทำนาย.....	78
บทที่ 5 การประเมินค่าวิธีการและการวิเคราะห์ผล.....	79
5.1 การแบบออกแบบการทดลอง.....	79
5.1.1 เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย KMITL-WiFi.....	80
5.1.2 เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ในพื้นที่ทดสอบวิธีการ.....	81
5.2 ขั้นตอนการรวบรวมและสร้างฐานข้อมูล(Calibrate Phase).....	86
5.2.1 การสร้างกริดเมทริกซ์ข้อมูล.....	87
5.3 การทำนายตำแหน่ง (Prediction Phase).....	91
5.3.1 กระบวนการวัดทดสอบ.....	91
5.3.2 กระบวนการในการทดลองตามวิธีการ.....	93
5.4 ผลการทดลอง.....	98
5.4.1 วิธีการ RADAR (k -NN).....	98
5.4.2 วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ (Geometry Clustering).....	101
5.4.3 วิธีการแอลแอลอาร์ LLR (Log-Likelihood Ratio)	103
5.4.4 วิธีการแบบเบย์ (Bayesian Estimated)	106

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ.....	113
6.1 ความคลาดเคลื่อน (E) ของวิธีการต่าง ๆ.....	113
6.2 การใช้จำนวนพื้นที่ จัดเก็บตัวแปรการสังเกต (Storage Space Observation).....	119
6.3 สรุปภาพรวม ข้อดี ข้อเสีย และเทคนิคของวิธีการต่างๆ.....	120
บรรณานุกรม.....	124
ภาคผนวก.....	127
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	127
ประวัติผู้เขียน.....	128

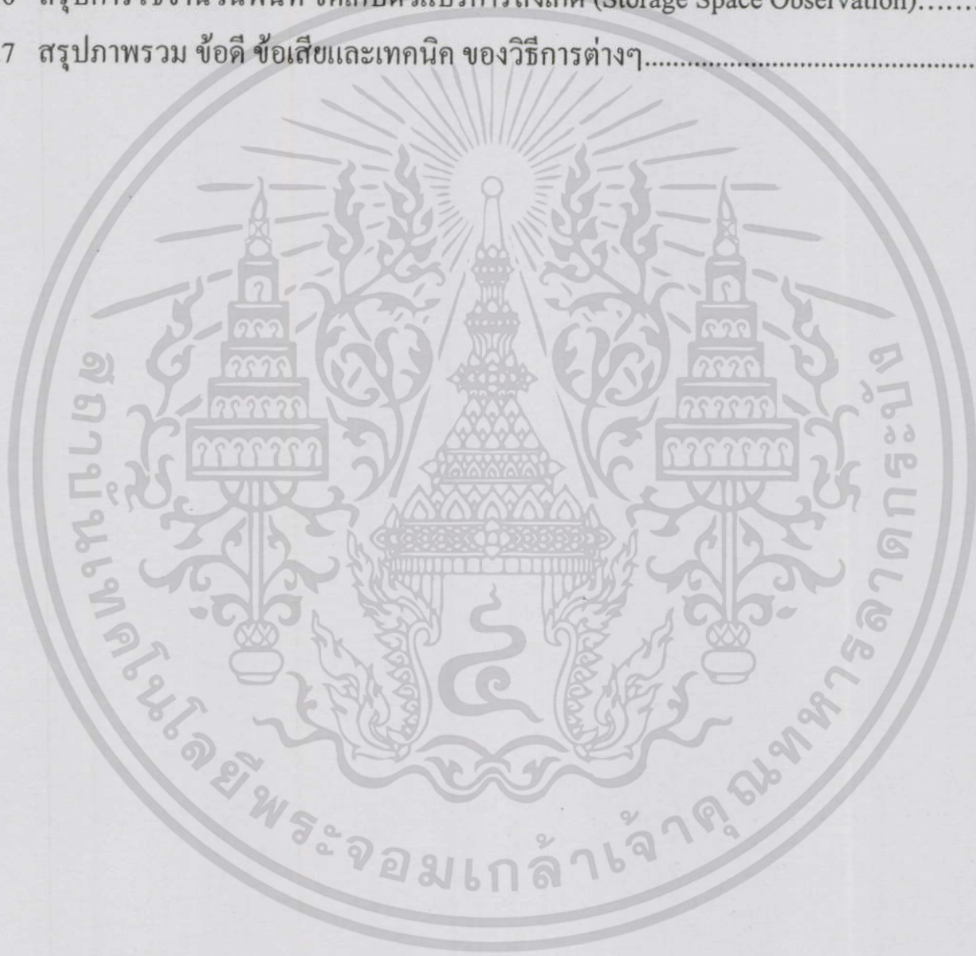


สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงคุณสมบัติของมาตรฐานเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย แบบ IEEE802.11b/g.....	7
2.2 แสดงตัวอย่างของอัตราการดูดซับสัญญาณคลื่นของวัสดุ ต่างๆ.....	19
2.3 แสดงค่าพารามิเตอร์สำหรับแทนค่าสมการลดทอน (<i>Path Loss: L_p</i>).....	26
2.4 แสดงการจัดสรรช่องความถี่ระหว่างประเทศไทยและประเทศอื่นๆ.....	29
5.1 แสดงแอ็คเซสพอยท์ (APs) ที่ใช้ในการทดลอง.....	84
5.2 แสดงค่าสัญญาณต่างๆ (<i>dBm</i>) ทุกๆ ตำแหน่งและทุก APs ในช่วง Calibrate phase.....	90
5.3	
(ก) แสดงค่าสัญญาณต่างๆ (<i>dBm</i>) ที่พิกัด 1,2 1,5 1,9 2,2 2,5 2,9 3,2 3,5 และ 3,9 ทุก APs ในช่วง Prediction phase.....	92
(ข) แสดงค่าความน่าจะเป็นของ RSSI ที่พิกัด 1,2 1,5 1,9 2,2 2,5 2,9 3,2 3,5 และ 3,9 ทุก APs ในช่วง Prediction phase.....	92
5.4 ตัวอย่างการทำนายตำแหน่งด้วยวิธีการ RADAR (7 APs) ที่ตำแหน่ง 3, 9	98
5.5 แสดงสรุปพิกัดคาดการณ์ของวิธีการ RADAR (<i>k-NN</i>) ตั้งแต่ 3 7 APs	99
5.6 แสดงสรุปค่าวัดความคลาดเคลื่อน (ϵ) ของวิธีการ RADAR (<i>k-NN</i>).....	100
5.7 ตัวอย่างการทำนายตำแหน่งด้วยวิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ (7 APs) ที่ตำแหน่ง 1,2.....	101
5.8 แสดงสรุปพิกัดคาดการณ์ของวิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ ตั้งแต่ 3 7 APs.....	102
5.9 แสดงสรุปค่าวัดความคลาดเคลื่อน (ϵ) ของวิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์.....	102
5.10 ตัวอย่างการทำนายตำแหน่งด้วยวิธีการแอลแอลอาร์ (7 APs) ที่ตำแหน่ง 2,2.....	104
5.11 แสดงสรุปพิกัดคาดการณ์ของวิธีการแอลแอลอาร์ (LLR) ตั้งแต่ 3 7 APs	105
5.12 แสดงสรุปค่าวัดความคลาดเคลื่อน (ϵ) ของวิธีการแอลแอลอาร์ (LLR).....	105
5.13 แสดงค่า $P_i(L_i E_i)$ ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขก่อน (Prior Probability) ช่วงการเรียนรู้แบบ เบย์ (7 APs).....	108
5.14 แสดงค่า $P_i(L_i E_i)$ ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขหลัง (Posterior Probability) ช่วงสมมติฐานที่ 1,3 ของจุดทดสอบ 1,2 (7 APs).....	109
5.15 สรุปสมมติฐานที่น่าจะเป็นจริง เมื่อทดสอบ ที่ตำแหน่ง 1,2 และ 1,5 (7APs).....	110
5.16 แสดงสรุปพิกัดคาดการณ์ของวิธีการแบบเบย์ ตั้งแต่ 3 7 APs	111
5.17 ตารางสรุปค่าวัดความคลาดเคลื่อนของวิธีการแบบเบย์.....	111
6.1 แสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน (ϵ) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 3 APs.....	113

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
6.2 แสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน (e) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 4 APs.....	114
6.3 แสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน (e) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 5 APs.....	115
6.4 แสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน (e) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 6 APs.....	116
6.5 แสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน (e) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 7 APs.....	117
6.6 สรุปการใช้จำนวนพื้นที่ จัดเก็บตัวแปรการสังเกต (Storage Space Observation).....	119
6.7 สรุปภาพรวม ข้อดี ข้อเสียและเทคนิค ของวิธีการต่างๆ.....	121



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แอ็กเซสพอยท์ (APs) อุปกรณ์ในฝั่งเครือข่าย.....	5
2.2 ไวส์เลสการ์ด PCI และ PCMCIA เป็นอุปกรณ์ในฝั่งเครื่องลูกข่าย.....	5
2.3 แสดงช่วงความถี่ ISM Band ที่มีการใช้ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN).....	6
2.4 ระยะทางมีผลกระทบต่อความเร็วใน IEEE 802.11b และ 802.11g	9
2.5 การขยายตัวของหน้าคลื่นจากวัตถุทรงกลมกับพื้นที่การรับกำลังงาน.....	12
2.6 สายอากาศ WLAN ณ อาคารสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สจล.....	15
2.7 อัตราการลดทอน FSL, LOS และ NLOS ของ IEEE802.11 ความถี่ 2 GHz	17
2.8 การเกิดแนวทางเดินคลื่นหลายเส้นทาง (Multipath).....	21
2.9 ผลที่เกิดจากการสอดแทรกสัญญาณคลื่น (Constructive-Destructive Interference).....	22
2.10 แสดงขอบเขตเฟรสเนล (Fresnel Zone).....	23
2.11 เครือข่ายแบบไม่มีจุดศูนย์กลาง (Ad-hoc Network).....	27
2.12 เครือข่ายแบบมีจุดศูนย์กลาง (Infrastructure Network).....	28
2.13 แสดงช่องสัญญาณ IEEE802.11b/g 14 Channel	28
2.14 การรบกวนกันในพื้นที่คาบเกี่ยวจากแอ็กเซสพอยท์ (APs) 2 ตัว ที่ใช้ช่องความถี่เดียวกัน	30
2.15 เครือข่ายขนาดใหญ่แบบหลายเครือข่าย (Advance Network).....	31
2.16 แสดงจำนวน(N) ในการนำความถี่เดิมมาใช้งาน (Frequency Re-use).....	32
2.17 การใช้โปรแกรมเน็ตสตีมเบลอร์ ณ สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์.....	34
2.18 กราฟฟีกแสดง อัตราส่วน S/N ณ สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์	35
3.1 การระบุตำแหน่งด้วยระบบจีพีเอส (GPS).....	37
3.2 ระบบอินฟราเรด (Infrared System:IR)	38
3.3 ตัวคลิกเก็ต สถาบันเทคโนโลยีแห่งแมสซาชูเซตส์ (MIT).....	39
3.4 การประยุกต์ใช้ DC electromagnetic ในอุตสาหกรรมการทำภาพยนตร์.....	40
3.5 การประยุกต์การระบุตำแหน่งทางแสง ของระบบสแกนภาพ 3-D แสงเลเซอร์.....	41
3.6 เอสซีเลเตอร์ (Accelerometer) และหลักการทำงาน.....	42
3.7 การประยุกต์ใช้ การวัดความเอียงกับพาหนะสองล้อ “SegWay”	43
3.8 ตำแหน่งที่เป็นไปได้ของเครื่องลูกข่าย WLAN ในแบบเซลเดียว.....	45
3.9 การทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่าย WLAN โดยใช้พารามิเตอร์ AOA.....	46
3.10 การวัดเวลาในการเดินทางของ Packet ใน WLAN เป็นกรณี Half-Duplex	47

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.11 การทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) โดยใช้พารามิเตอร์ TOA	48
3.12 แสดงการทำนายตำแหน่งโดยใช้พารามิเตอร์ TDOA	49
4.1 แสดงขั้นตอนการทำนายตำแหน่งแบบไม่ใช้เรขาคณิต.....	52
4.2	
(ก) แสดงการรวบรวมข้อมูลความแรงของสัญญาณ (RSSI) 240 ตัวอย่าง.....	55
(ข) แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยฮิสโตแกรมกราฟ.....	55
4.3 แสดงฟังก์ชันระยะห่าง (Distance function)	
(ก) แบบยูคลิดีเนียน(Euclidean Distance) (ข) แบบแมนฮัตตัน (Manhattan Distance).....	56
4.4 แสดงการทำนายด้วยฟังก์ชันระยะห่างแบบยูคลิดีเนียน (Euclidean Distance).....	59
4.5 แสดงเทคนิค k -Nearest Neighbors (3-NN) ในทางอุดมคติ.....	60
4.6 แสดงวิธีการ Cluster-Based Geometric approach.....	66
4.7 แสดงการตัดสินใจด้วยฟังก์ชันค่าขีดเริ่ม (Threshold Function)	67
4.8 แสดงการลำดับการเปรียบเทียบ LLR ใน 4 ค่า.....	68
4.9 แสดงการคาดการณ์แบบ LLR 4 ขนาด 4 โหนด(4 APs).....	69
4.10 แสดงการแจกแจงความน่าจะเป็น ณ จุดสังเกตหนึ่ง ของ AP1, AP2, AP3 และ AP4.....	72
4.11 แสดงความสัมพันธ์ทฤษฎีของเบย์.....	74
4.12 การแบ่งความน่าจะเป็นของส่วนย่อย (Partition) ของ $P(X, Y RSSI)$	75
5.1 ภาพรวม KMITL-WiFi ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง.....	79
5.2 แสดงการเชื่อมต่อโหนดเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (KMITL-WiFi).....	80
5.3 แสดงโหนดที่ 1 ในส่วนการควบคุมแอ็กเซสพอยท์ (APs) ของสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สจล.....	81
5.4 ตำแหน่งแอ็กเซสพอยท์ (APs) อาคารสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สจล. ในชั้นที่ 1.....	82
5.5 ตำแหน่งจริงของแอ็กเซสพอยท์ (APs) ในชั้นที่ 1 ณ สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์	83
5.6 ตำแหน่งแอ็กเซสพอยท์ (APs) อาคารสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สจล. ในชั้นที่ 2.....	84
5.7 ตำแหน่งจริงของแอ็กเซสพอยท์ (APs) ในชั้นที่ 2 ณ สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์	85
5.8 เครื่องมือและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณ (RSSI).....	86
5.9 การสำรวจค่าความแรงสัญญาณ RSSI ในชั้นที่ 2 สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์.....	87
5.10 แสดงภาพ 3 มิติ ของการแพร่กระจายสัญญาณ RSSI ทั้งหมด.....	88
5.11 แสดงภาพ 2 มิติ ของการแพร่กระจายสัญญาณ RSSI ของแต่ละแอ็กเซสพอยท์ (AP).....	89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.12 ค่า $RSSI$ ที่วัดได้ห้องทดสอบ Server Farm 213 จำนวน 33 ตำแหน่ง.....	91
5.13 แสดงกระบวนการในการทดลอง.....	93
5.14 แสดงกระบวนการในการทดลองตามวิธีการ RADAR (k -NN).....	94
5.15 แสดงกระบวนการในการทดลองตามวิธีการเรขาคณิตคลิกสเตอร์ (Geometry Clustering).....	95
5.16 แสดงกระบวนการในการทดลองตามวิธีการ แอลแอลอาร์ (LLR).....	96
5.17 แสดงกระบวนการในการทดลองตามวิธีการแบบเบย์ (Bayesian Estimated).....	97
5.18 แสดงภาพการทำนาย วิธีการRADAR (7-NN) ด้วยจุดทดสอบทั้ง 9 ตำแหน่ง จาก $RSSI$ เมทริกซ์สังเกตการณ์ 33 ตำแหน่ง โดยใช้สัญญาณแอ็คเซสพอยท์ (APs) ทั้งหมด 7 ตัว.....	99
5.19 กราฟแสดงผลการทำนาย ของวิธีการRADAR (k -NN).....	100
5.20 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อน (ϵ) ของวิธีการเรขาคณิตคลิกสเตอร์.....	103
5.21 กราฟแสดงผลการทำนาย ของวิธีการแอลแอลอาร์ (LLR)	106
5.22 กราฟแสดงผลการทำนาย ของวิธีการแบบเบย์ (Bayesian Estimated).....	112
6.1 กราฟแสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน(ϵ) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 3 APs	113
6.2 กราฟแสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน(ϵ) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 4 APs	114
6.3 กราฟแสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน(ϵ) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 5 APs	115
6.4 กราฟแสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน(ϵ) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 6 APs	116
6.5 กราฟแสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน(ϵ) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 7 APs	117
6.6 พื้นที่ทดสอบห้อง Server Farm 213 อาคารสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์.....	118
6.7 กราฟแสดงการใช้จำนวนพื้นที่ จัดเก็บตัวแปรสังเกตการณ์.....	119
6.8 แสดงตัวอย่าง PDA ที่ประยุกต์ใช้งานของการทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่าย.....	120

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันความก้าวหน้าเทคโนโลยีด้านต่างๆ ได้เข้ามามีบทบาทในการดำเนินชีวิตเป็นอย่างมากและเทคโนโลยีเหล่านั้น ได้มีการพัฒนาต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา ในส่วนของเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งก็มีการพัฒนาอย่างมากเช่นเดียวกัน โดยระบบที่เป็นรู้จักคุ้นเคยกันเป็นอย่างดี คือการระบุตำแหน่งด้วยจีพีเอส (Global Positioning System :GPS) ปัจจุบันเจ้าของดาวเทียม จีพีเอส (GPS) คือกระทรวงกลาโหมประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งในช่วงหลายปีที่ผ่านมาได้เปิดกว้างให้ภาคเอกชนได้ใช้งานดาวเทียมจีพีเอส (GPS) นี้ด้วย ซึ่งระบบดังกล่าวนี้ เป็นระบบทำนายตำแหน่งที่เชื่อถือได้และยอมรับจนเป็นมาตรฐานสากล ดังนั้นจึงมีการใช้งานในปัจจุบันอย่างกว้างขวางหลากหลายวงการ ทั้งระบบแผนที่นำทางในการขนส่ง (Navigator System) ระบบอาวุธนำวิถีทางการทหาร (Military mission) เป็นต้น โดยมีความแม่นยำสูงถึง 5 เมตร จึงเป็นที่นิยมในการใช้งานอย่างกว้างขวางทั่วโลก แต่ระบบดังกล่าวนี้ ก็ยังมีข้อด้อยที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor Positioning System) ปัญหาเนื่องจากจุดอ่อนของสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส (GPS) เอง ที่โดยธรรมชาติสัญญาณวิทยุไม่สามารถที่จะทะลุผ่านผนังกำแพงในอาคารต่าง ๆ ได้ (Non light of Sight :NLOS) ซึ่งเครื่องลูกข่ายจำเป็นต้องได้รับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอส (GPS) ให้ได้ ซึ่งอย่างน้อย ต้องรับสัญญาณจีพีเอส (GPS) ให้ได้ถึง 3 ดวง สำหรับในระบบ 2 มิติ (x,y) และ 4 ดวง สำหรับระบบ 3 มิติ (x,y,z) จากดาวเทียมทั้งหมด 29 ดวง ตามพิกัดต่าง ๆ ของวงโคจร รอบโลก จึงจะสามารถทำนายตำแหน่งได้

เทคโนโลยีการระบุตำแหน่งมีวิธีการต่างๆ อยู่หลากหลายรูปแบบ โดยเทคโนโลยีนี้ จะเข้าไปเกี่ยวข้องกับการบริการใหม่ๆ (New Enhance Services) ที่จะเกิดขึ้นตามมาอีกมาก ขึ้นอยู่กับ การออกแบบและจุดประสงค์ของการใช้งาน จากประเด็นดังกล่าวนักศึกษาผู้วิจัยซึ่งทำงานประจำอยู่ที่สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ได้เล็งเห็นประโยชน์และความสำคัญของเทคโนโลยีดังกล่าว ผู้เขียนจึงได้นำเสนองาน ศึกษาวิจัยนี้ต่อหน่วยงานต้นสังกัด โดยได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ โดยหน่วยงานสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ดังกล่าว เป็นหน่วยงานหลักในวางระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ให้กับสถาบันฯ ที่มีระบบทั้งแบบมีสายและแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) โดยจะใช้เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย KMITL Wi-Fi ในการทดลอง ณ ปัจจุบันมีจำนวนแอคเซสพอยท์ (Access Points: APs) มากถึง 500 กว่าหน่วย ครอบคลุมอาคารพื้นที่ใช้งานสำคัญ ๆ ของสถาบันฯ เกือบทั้งหมด ซึ่งคาดว่าจะมีเพิ่มขึ้นอีกเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันฯ สำหรับการให้บริการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

การทำนายตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย(WLAN's Client) ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) นั้น จะเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการให้บริการใหม่ๆ โดยตรงของสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ ให้สูงค่ามากยิ่งขึ้น โดยสรุปคือ

- เพื่อศึกษาถึงข้อได้เปรียบ เสียเปรียบ ของวิธีการต่าง ๆ ในการทำนายตำแหน่งที่ตั้งเครื่องลูกข่าย (WLAN's Client) ที่มีใช้ในปัจจุบัน เป็นพื้นฐานองค์ความรู้
- เพื่อค้นหาวิธีการ ที่จะมีความแม่นยำสูงขึ้น มีการปรับตัวยืดหยุ่นดีขึ้น ทั้งยังมีความซับซ้อนน้อยกว่าวิธีการพื้นฐานอื่น ๆ
- สามารถนำผลที่ได้จากการศึกษาและวิจัยแล้วนี้ นำไปปฏิบัติการพัฒนา ต่อยอดไปเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้งานในสถานการณ์จริงได้ เช่น การบอกระยะ ทิศทางที่ตั้งตำแหน่งที่ใกล้เคียงของหน่วยงานบริการต่างๆ (Nearest Navigator) ภายในสถาบันฯ
- หน่วยงานที่ดูแลเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย WLAN ก็สามารถนำหลักการไปใช้ในการวางแผนปรับปรุง การแพร่สัญญาณคลื่นวิทยุของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย KMITL WiFi ในสถาบันฯ ที่อาจจะเกิดอับสัญญาณในพื้นที่บางจุดได้ด้วยเช่นกัน

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในการทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่ายภายในอาคารดังกล่าวนี้ สามารถที่จะนำหลักการพื้นฐานการรับ-ส่งคลื่นสัญญาณวิทยุ (Radio Frequency: RF) มาตั้งเป็นสมมติฐานในการทำนายตำแหน่ง (WLAN's Client) ได้โดยใช้โมเดลทฤษฎีการตัดสั่นใจและทฤษฎีความน่าจะเป็นทางคณิตศาสตร์ ที่ได้จากค่าวัดความแรงของสัญญาณ (Receive Signal Strange Indicator: RSSI) ที่เครื่องลูกข่าย (WLAN's Client) ได้รับจากแอ็คเซสพอยท์ (APs) ต่าง ๆ ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) โดยความแม่นยำขึ้นอยู่กับวิธีการต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการคำนวณ โดยจะใช้เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย KMITL Wi-Fi โหนด ภายในอาคารสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ ในการทดลองและประเมินผล

การศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้เขียนจึงมีความสนใจเป็นพิเศษที่จะศึกษาพัฒนา วิธีการทำนายตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย (WLAN's Client) ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น โดยที่จะไม่ไปเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางฮาร์ดแวร์ของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) เดิม ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการออกแบบแผนการทดลองจึงไม่สูงมาก เพราะใช้อุปกรณ์ที่ใช้เป็นอุปกรณ์มาตรฐาน IEEE802.11 ที่มีใช้ทั่วไปอยู่แล้ว โดยมีตัวอย่างเครื่องลูกข่าย (WLAN's Client) จะใช้งานได้ เช่น พีดีเอ (PDA), พ็อกเก็ต พีซี (PocketPC), พรินเตอร์ ไร้-ไฟ (Printer Wi-Fi), สมาร์ทโฟน (Smart Phone), ไอโฟน (iPhone), และคอมพิวเตอร์แบบพกพา (Notebook) เป็นต้น หรืออุปกรณ์ใดๆ ก็ตามที่ใช้การ์ดไวส์เลสในการติดต่อกับระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ได้

1.4 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำเสนอระบบการทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่าย (WLAN's Client) ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) โดยที่เป็นการนำเสนอในเชิงเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการทำนายตำแหน่งกับวิธีการต้นแบบ “Microsoft RADAR System Project” ที่ทำการวิจัยโดยทีมงานวิจัยไวร์เลส (WLAN) ของบริษัทไมโครซอฟต์รีเสิร์ช (Microsoft Research) [1][25]

โดยทั่วไปแล้ว การใช้เทคนิคการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ (Radio Propagation) เพื่อทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่าย (WLAN's Client) ในเครือข่ายการสื่อสาร ไร้สาย มีอยู่ด้วยกัน 2 รูปแบบคือ

- การทำนายตำแหน่งโดยหลักการเชิงเรขาคณิต (Geometric Approach)
- การทำนายตำแหน่งโดยไม่ใช้หลักการเชิงเรขาคณิต (Non-Geometric Approach)

โดยจะกล่าวอย่างละเอียดในบทถัดไป

1.5 ขอบเขตในการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์นี้จะมีขอบเขตการศึกษาวิจัย ตั้งอยู่บนระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย KMITL Wi-Fi ในโหนดของสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สจล. โดยมีอุปกรณ์ทดสอบตามมาตรฐาน IEEE 802.11 โดยจะประเมินผลถึงประสิทธิภาพวิธีการทดลอง ตามวิธีการเรดาร์ (k-NN), แอลแอลอาร์ (Log Likelihood Ratio: LLR), การจัดกลุ่มเชิงกายภาพ (Cluster-based geometric approach) และความน่าจะเป็นตามทฤษฎีบทของเบย์ (Baye's Theorem)

1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

ในการศึกษาวิจัย ผู้เขียน ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็นบทต่างๆ จำนวน 6 บท ดังนี้

- บทที่ 1** บทนำจะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของงานและขอบเขตของงานวิจัย
- บทที่ 2** กล่าวถึงความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับ ระบบ เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) เป็นองค์ความรู้พื้นฐานในแง่มุมต่างๆ สำหรับผู้เริ่มต้นศึกษา
- บทที่ 3** กล่าวถึงภาพรวมของเทคโนโลยีในการทำนายตำแหน่งที่มีใช้กันในปัจจุบัน ในแบบต่างๆ เป็นความรู้พอสังเขป
- บทที่ 4** กล่าวถึงทฤษฎีคณิตศาสตร์ที่สามารถนำมาอธิบาย การทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่าย ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ที่สอดคล้องกับการศึกษาวิจัย
- บทที่ 5** กล่าวถึง ผลการทดลองหรือการวิเคราะห์ เพื่อแสดงถึงการประเมินผลวิธีการนำเสนอ
- บทที่ 6** สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ สำหรับผู้ที่สนใจ

บรรณานุกรม

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (Wireless LAN)

ในปี ค.ศ. 1971 เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ได้เกิดขึ้นครั้งแรกที่เกาะฮาวาย โดยเป็นโครงการ “ALOHNET” ของนักศึกษาในมหาวิทยาลัยฮาวาย ซึ่งขณะนั้นเป็นการส่งข้อมูลแบบ “Bi-direction” ส่งข้อมูลไป-กลับแบบง่าย ๆ ผ่านคลื่นความถี่วิทยุ โดยสื่อสารกันระหว่างคอมพิวเตอร์ 7 เครื่อง ซึ่งตั้งอยู่บนเกาะ 4 แห่ง โดยมีศูนย์กลางการเชื่อมต่ออยู่ที่เกาะฮาวาย

ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) จึงหมายถึง เครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ช่วยให้การติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ 2 เครื่องหรือมากกว่า จนถึงกลุ่มของเครื่องคอมพิวเตอร์สามารถที่จะทำการสื่อสารกันได้กับอุปกรณ์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ใด ๆ ก็ตาม ที่ใช้การ์ดไวร์เลส (Wireless Card) ในการติดต่อโดยใช้คลื่นสัญญาณวิทยุเป็นช่องทางในการสื่อสาร เรียกว่าการเชื่อมต่อผ่านอากาศ (Air interface)

2.1 ประโยชน์ของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN)

ในปัจจุบันความนิยมการใช้งานเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) มีมากขึ้นเรื่อย ๆ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องในอนาคต โดยมีจุดให้บริการจุดเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต (Hotspots) ที่เพิ่มขึ้นในหลาย ๆ สถานที่ต่าง ๆ กันเช่นใน สถานศึกษา มหาวิทยาลัย ห้างสรรพสินค้า ในร้านอาหาร โรงแรม สถานีรถไฟหรือสนามบิน เป็นต้น

โดยมีประโยชน์สรุปโดยย่อได้ดังนี้ [20][21]

- ความคล่องตัว: ผู้ใช้สามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) จากที่ไหน ก็ได้ภายในองค์กร ที่สัญญาณไปถึง
- ความสะดวกในการติดตั้ง: เนื่องจากระบบเครือข่ายไร้สายไม่ต้องเดินสายสัญญาณ (Cable) ทำให้การติดตั้งทำได้อย่างรวดเร็ว ใช้เวลาดำเนินการน้อย ไม่ยุ่งยาก
- ความยืดหยุ่น: เมื่อต้องการปรับเปลี่ยนเครือข่ายที่ล้ำสมัย การปรับเปลี่ยนระบบก็ทำได้รวดเร็ว เพราะการขยายเครือข่ายทำได้ไม่สิ้นสุด อีกทั้งมีความเข้ากันได้กับระบบสายส่งสัญญาณ (Cable) แบบเดิม
- ประหยัดค่าใช้จ่าย: ลดค่าติดตั้งสายสัญญาณ (Cable) ณ ปัจจุบันการขยายเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) จึงมีค่าใช้จ่ายถูกกว่าแบบมีสายสัญญาณ (Cable)
- การจัดการเครือข่าย: ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) สามารถที่จะคอนฟิกได้หลายรูปแบบ ใช้ได้ตั้งแต่ระบบขนาดเล็กไปถึงเครือข่ายขนาดใหญ่ หน่วยงานสามารถที่จะเฝ้าตรวจสอบระบบและปรับเปลี่ยนแก้ไข ปัญหาที่อาจจะเกิดขึ้นได้กับ

2.1.1 อุปกรณ์ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN)

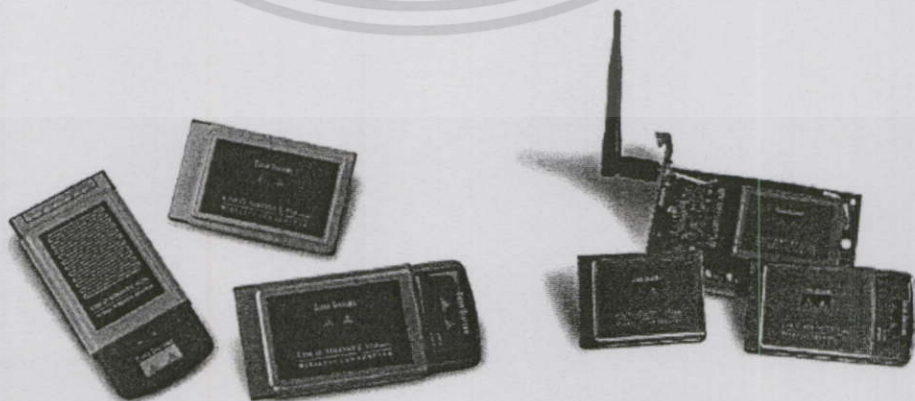
เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ เพื่อใช้ติดต่อระหว่างเครื่องลูกข่าย โดยผ่านการเชื่อมต่อกระจายคลื่นสัญญาณทางอากาศ (Air Interface) อุปกรณ์ดังกล่าวจึงมีอยู่ด้วยกัน 2 กลุ่ม คือกลุ่มฝั่งเครือข่าย (Network side) และฝั่งเครื่องลูกข่าย (Client side) โดยที่ฝั่งเครือข่ายจะมีแอ็กเซสพอยท์ (APs) ทำหน้าที่กระจายคลื่นสัญญาณความถี่ 2.4 GHz เพื่อเชื่อมโยงระหว่างเครื่องลูกข่ายเข้ากับระบบเครือข่าย โดยเครือข่ายจะทำหน้าที่ดังนี้

- เป็นจุดศูนย์กลางสำหรับ Wireless Network
- บางเครื่องสามารถถอดเปลี่ยนเสาอากาศ เพื่อเพิ่มระยะการรับ - ส่งได้
- สามารถเข้ารหัสข้อมูลที่รับเข้าและส่งออกหลากหลายแบบ เช่นรหัส 128 บิต เป็นต้น
- จำกัดการเชื่อมต่อ ด้วยการลงทะเบียน MAC address สามารถปรับโหมดการทำงานได้หลายแบบ ได้แก่ Client mode, Infrastructure, Repeater และ Multipoint repeater



รูปที่ 2.1 แอ็กเซสพอยท์ (APs) อุปกรณ์ในฝั่งเครือข่าย

ส่วนในฝั่งของเครื่องลูกข่ายก็จะมีไวส์เลสการ์ดเพื่อทำหน้าที่ใน การรับ-ส่งคลื่นสัญญาณวิทยุ ที่แผ่กระจายออกจากแอ็กเซสพอยท์ (APs) จากนั้นจึงแปลงเป็นข้อมูลทางคอมพิวเตอร์ส่งให้เครื่องคอมพิวเตอร์ทำงานต่อไป ตัวเลนการ์ดไร้สายมีหลายแบบ เช่น PCI, PCMCIA, USB และแบบ Compact Flash เป็นต้น

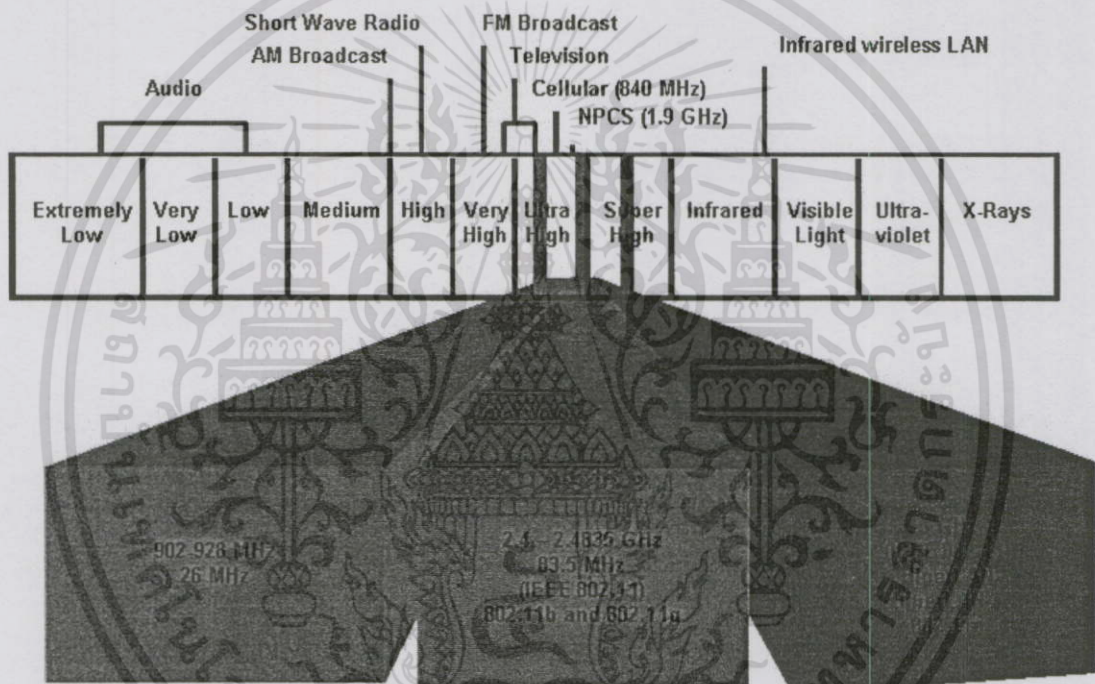


รูปที่ 2.2 ไวส์เลสการ์ด PCI และ PCMCIA เป็นอุปกรณ์ในฝั่งเครื่องลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 มาตรฐานเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย IEEE802.11

มาตรฐานหลักของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (Wireless LAN) ที่ได้รับการรับรองจากสถาบัน IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers) นั้น ปัจจุบันมีอยู่ด้วยกัน 3 มาตรฐาน คือ IEEE802.11b, IEEE802.11a และ IEEE802.11g แต่ละมาตรฐานก็มีคุณสมบัติพิเศษแตกต่างกันออกไปบ้างเล็กน้อย โดยที่ความถี่ใช้งานจะอยู่ในที่ช่วงสงวนไว้ใน การศึกษาวิจัยทางอุตสาหกรรม วิทยาศาสตร์และการแพทย์ (Industrial Science Medicine: ISM BAND) ช่วงความถี่ดังกล่าวนี้ โดยไม่ต้องขอสัมปทาน ก็สามารถใช้ในการปฏิบัติการได้ แต่จำกัดเพียงกำลังส่งไว้ไม่เกิน 100 (mW) มิลลิวัตต์



รูปที่ 2.3 แสดงช่วงความถี่ ISM Band ที่มีการใช้ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) [17]

อย่างไรก็ตามความถี่ที่ใช้ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) นี้ ที่ขึ้นอยู่กับนโยบายบริหารความถี่ของแต่ละประเทศ ที่อาจจะไม่เหมือนกัน มาตรฐาน IEEE802.11a ใช้ความถี่ย่าน 5 GHz (กิกะเฮิรตซ์) ในการแพร่คลื่นสัญญาณวิทยุ มีความเร็วในการทำงานที่ 54 Mbps (เมกะบิตต่อวินาที) แม้ว่าจะมีความเร็วสูงแต่ก็มีระยะทางใช้งานเพียง 50 เมตร ในประเทศไทยมาตรฐาน IEEE802.11a นี้ จะไม่สามารถใช้งานได้ เนื่องจากความถี่ย่านนี้ จะถูกสงวนไว้ใช้งานสำหรับการสื่อสารผ่านดาวเทียมเพื่อไม่ให้เกิดการรบกวนกัน

ในที่นี้จึงจะกล่าวถึงแต่เพียง มาตรฐาน IEEE802.11b และ IEEE802.11g เท่านั้น โดย IEEE802.11g ถูกพัฒนาต่อมาจากมาตรฐาน IEEE802.11b ทำให้มีความเข้ากันได้ สามารถนำเอาการ์ดไวเลสของมาตรฐาน IEEE802.11b ไปใช้งานร่วมกับมาตรฐาน IEEE802.11g ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยืมเห็นประโยชน์ประการใด กรุณาแจ้งผู้ยืมทราบ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย IEEE802.11g ใหม่ นี้ ถูกออกแบบมาเพื่อแก้ไข ปัญหา ด้านความเร็วในการทำงานที่ค่อนข้างช้าของ IEEE802.11b โดยจะมีความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น 54 Mbps (เมกะบิตต่อวินาที) ซึ่งเพียงพอสำหรับการใช้งานทั่วไป

ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของมาตรฐานเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย แบบ IEEE802.11b/g [20]

	IEEE802.11b	IEEE802.11g
คลื่นความถี่ที่ใช้	ISM Band 2.4 – 2.4835 GHz	ISM Band 2.4 – 2.4835 GHz
ความเร็วในทางทฤษฎี/ ปฏิบัติ	11 Mbps(4 – 6 Mbps)	54 Mbps(18 – 27 Mbps)
ระดับความเร็ว (Bit rate)	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	50 เมตร @ 11 Mbps
วิธีการส่งสัญญาณ	DSSS	DSSS, OFDM
กลไกควบคุมการเข้าถึง ตัวกลางสื่อสารข้อมูล (Media Access Control)	CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)	CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)
การมอดูเลตสัญญาณ (Modulation)	DBPSK: 1 Mbps DQPSK: 2 Mbps CCK : 5.5, 11Mbps	BPSK : 6, 9 Mbps QPSK : 12, 18 Mbps 16-QAM : 24, 36 Mbps 64-QAM: 48, 54 Mbps

2.2.1 เทคโนโลยีสเปกตรัม (Spread Spectrum)

คือการผสมผสานระหว่างเทคโนโลยีแบริวแบนด์ (Narrow Band) กล่าวคือ ช่วงความถี่ ที่ใช้จะกว้างกว่า แต่จะแบ่งออกเป็นช่องสัญญาณย่อย ๆ หลายช่อง แล้วส่งสัญญาณ โดยใช้ ช่องสัญญาณทีละช่อง เทคนิคที่นิยมกันมี 2 รูปแบบ คือ

FHSS: (Frequency Hopping Spread Spectrum) เป็นเทคนิคที่มีการแบ่งช่วงความถี่ ออกเป็นช่องสัญญาณย่อย ๆ แล้วจะมีการย้ายความถี่ไปเรื่อย ๆ เป็นจังหวะที่ผู้รับและส่งทราบ ว่า ความถี่ถัดไปนี้คือความถี่อะไร การย้ายความถี่ไปเรื่อย ๆ เช่นนี้จะช่วยลดปัญหาสัญญาณรบกวน กันเองได้ หรือสัญญาณรบกวนจากแหล่งกำเนิดอื่น ๆ ได้ ดังนั้น การสื่อสารจึงไม่ถูกตัดขาดลง ต่างจากวิธีแบบเดิมที่ใช้ความถี่เดียวในการรับ – ส่งข้อมูล เมื่อถูกรบกวนที่ความถี่นี้ ก็จะไม่ ติดต่อกันได้เลย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DSSS: (Direct Sequence Spread Spectrum) เป็นเทคนิคที่ถูกพัฒนาขึ้นมาอีกขั้นหนึ่ง และนิยมใช้กันมากในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ตามมาตรฐาน 802.11b เนื่องจาก การรับ - ส่งข้อมูล ทำได้เร็วกว่าระบบ FHSS และยังมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนมากกว่า เคล็ดลับการทำงานของวิธีนี้คือ การใช้ ชิปปิงโค้ด (Chipping code) ซึ่งเป็นบิตเข้ารหัสมีจำนวนมากกว่าบิตข้อมูลจริง เมื่อส่งออกอากาศไปก็จะกระจายอยู่ในช่วงความถี่นั้น ๆ หากถูกสัญญาณรบกวน มีโอกาสที่บิตข้อมูลจะเสียไปน้อย หากมีจำนวนไม่มากก็สามารถกู้ข้อมูลจาก Chip code ที่เหลือกลับมาได้ ดังนั้นทำให้การ โมดูเลชันแบบนี้มีความเร็วและมีความทนทานต่อสัญญาณรบกวนสูงกว่า แต่ก็มีข้อเสียคือ กินช่วงแบนด์วิธค่อนข้างกว้างกว่าแบบธรรมดา

HR/DSSS: (High Rate / Direct Sequence Spread Spectrum) เทคนิคการส่งจะคล้ายกับ DSSS แต่ส่งในอัตราข้อมูลที่สูงกว่า

OFDM: (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) วิธีนี้จะใช้เทคนิคของการมัลติเพล็กซ์ความถี่ในการส่งสัญญาณ

ด้วยเทคนิคการ โมดูเลชันแบบ DSSS ทำให้สัญญาณที่ได้หลังจาก โมดูเลทใช้ความถี่กว้างแบนด์วิธสูงถึง 22 MHz (เมกะเฮิร์ตซ์) แต่ในย่าน 2.4 GHz (กิกะเฮิร์ตซ์) นั้น จะมีแบนด์วิธเพียง 83 MHz (เมกะเฮิร์ตซ์) เท่านั้น ทำให้การแบ่งช่องสัญญาณเป็นช่องที่ไม่ซ้อนทับกันทำได้เพียง 3 ช่อง ส่วนแบนด์วิธที่เหลือระหว่างช่องจะเป็น Guard Band เพื่อป้องกันการรบกวนกันระหว่างช่องสัญญาณด้วยกัน เรียกช่องความถี่ที่ไม่ซ้อนทับกันว่า “Non - Overlapping Channel”

วิธีการนี้จะทำให้อัตราการรับส่งเร็วขึ้นและมีกำลังมากขึ้น ทำให้การรับ-ส่งสัญญาณง่ายขึ้น ทนทานต่อการรบกวนกันเอง (Multipart Interference) หรือจากแหล่งกำเนิดความถี่อื่น เพราะในช่วงความถี่ 2.4 GHz (กิกะเฮิร์ตซ์) เป็นความถี่ย่านสากลที่เครื่องใช้ไฟฟ้าใด ๆ ก็ได้ ดังนั้น จึงจะมีการกระจายข้อมูลออกไปในช่วงต่าง ๆ ของย่านความถี่นี้ได้ หากมีสัญญาณมารบกวนที่ความถี่หนึ่ง ๆ ก็จะมีผลเพียงเล็กน้อย ไม่ได้ทำให้การสื่อสารทั้งหมดนี้ถูกตัดขาดลง ไป เนื่องจากยังมีข้อมูลอื่น ๆ ที่เหลืออยู่ในช่วงที่ส่งสัญญาณนี้ เมื่อผู้ได้รับข้อมูลก็จะใช้ข้อมูลที่เหลือกู้ข้อมูลที่สูญหายไปได้

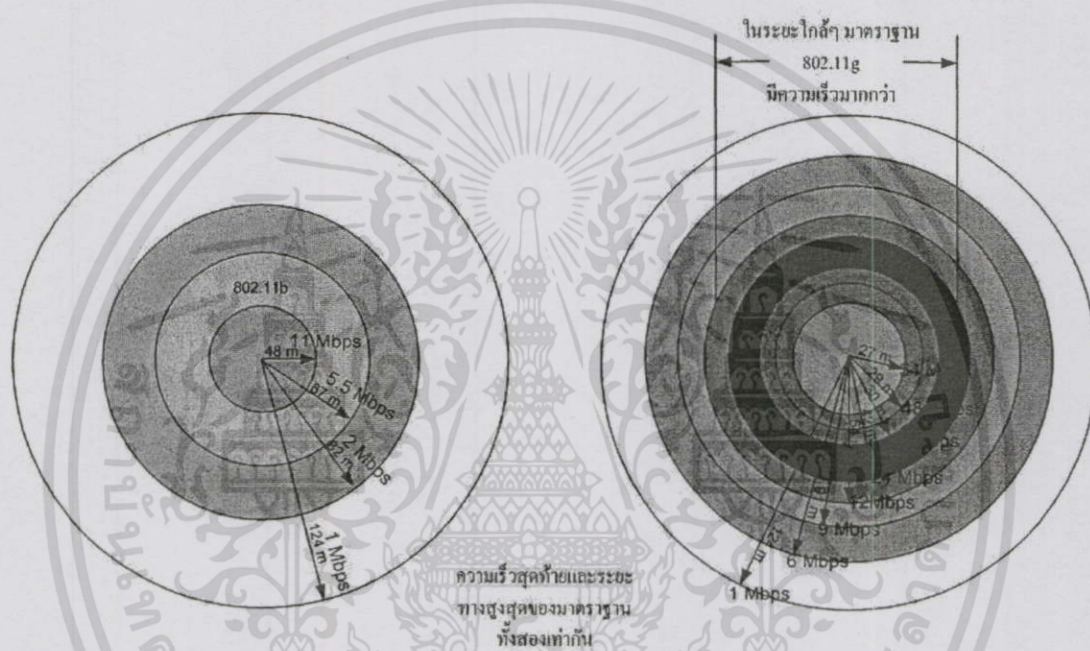
2.2.2 ความเร็วในการรับ - ส่งข้อมูลกับความแรงของสัญญาณ

ความเร็วในการรับ - ส่งสัญญาณของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) นั้น จะแปรผันกับความแรงของสัญญาณวิทยุ หมายความว่า เมื่อสัญญาณวิทยุมีความแรงก็จะส่งข้อมูลได้เร็ว แต่เมื่อสัญญาณวิทยุอ่อนแรงลง ก็จะส่งข้อมูลได้ช้าลง ที่เป็นเช่นนี้เพราะระบบ เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) จะเลือกวิธีการ โมดูเลทให้เหมาะกับความแรงของสัญญาณ ตามมาตรฐาน IEEE802.11b จะมีความเร็วในการทำงาน 4 ระดับ คือ 11, 5.5, 2 และ 1 Mbps (เมกะบิตต่อวินาที) และ IEEE802.11g จะมีความเร็วในการทำงาน 8 ระดับ คือ 54, 48, 36, 24, 11, 5.5, 2

และ 1 Mbps (เมกะบิตต่อวินาที) ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง

ในมาตรฐาน IEEE802.11b เมื่ออยู่ใกล้แอ็คเซสพอยท์ (APs) จะมีสัญญาณวิทยุแรง
 ตอนนี้จะใช้การ โมดูเลทแบบ CCK ทำให้มีความเร็วที่ 5.5 –11 Mbps (เมกะบิตต่อวินาที) ต่อมา
 เมื่ออยู่ห่างออกไปทำให้สัญญาณวิทยุอ่อนแรงลง ระบบก็จะเปลี่ยนการ โมดูเลทไปเป็นแบบ
 QPSK ซึ่งเป็นวิธีที่ทนทานต่อสัญญาณรบกวนมากกว่า แต่ความเร็วก็จะลดลงเหลือ 2 Mbps (เมกะ
 บิตต่อวินาที) จนในที่สุดเมื่ออยู่ห่างออกไปอีก ก็จะเปลี่ยนวิธี โมดูเลทเป็นแบบ BPSK ซึ่งเป็นวิธี
 สุดท้าย ที่มีความเร็วเพียง 1 Mbps (เมกะบิตต่อวินาที) เท่านั้น



รูปที่ 2.4 ระยะทางมีผลกระทบต่อความเร็วใน IEEE 802.11b และ 802.11g [20]

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นได้ว่าเมื่ออยู่ห่างจากแอ็คเซสพอยท์ (APs) ไม่มาก มาตรฐาน 802.11g จะมีความเร็วสูงมาก แต่เมื่อห่างออกไปจะมีความเร็วลดลงใกล้เคียงกับมาตรฐาน 802.11b ที่เป็นเช่นนี้เพราะมาตรฐาน 802.11g ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ตามมาตรฐาน 802.11b ด้วย มาตรฐาน802.11g ตัวใหม่นี้ จึงสามารถใช้การ โมดูเลทวิธีเดียวกับของ 802.11b โดยเมื่อ ไวร์เลสการ์ดเครื่องถูกย้ายอยู่ใกล้กับแอ็คเซสพอยท์ (APs) ก็จะใช้การ โมดูเลทแบบ OFDM แบบใหม่ แต่เมื่ออยู่ห่างออกไปก็จะใช้การ โมดูเลทแบบเดิมตามมาตรฐาน 802.11b นั่นก็เป็นสาเหตุว่าทำไมมาตรฐานทั้งสองถึงมีระยะการทำงานและความเร็วที่ใกล้เคียงกันเมื่อมีระยะห่างออกไป

2.3 กลไกการสื่อสารข้อมูลของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) [18]

บนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) จะประกอบด้วยอุปกรณ์ต่าง ๆ มากมาย เช่น แอ็กเซสพอยท์ (APs), พีดีเอ (PDA), พ็อกเกต พีซี (PocketPC), พรินเตอร์ ไว-ไฟ (Printer Wi-Fi), สมาร์ทโฟน (Smart Phone), ไอโฟน (iPhone), และคอมพิวเตอร์แบบพกพา (Notebook) เป็นต้น อุปกรณ์เหล่านี้สื่อสารข้อมูลถึงกันผ่านสื่อกลาง (media) หรือบัส ที่เป็นอากาศ (Air interface) ดังนั้นอุปกรณ์ทุกเครื่องจึงมีสิทธิที่จะครอบครองบัสและเข้าใช้งานสื่อกลางสำหรับสื่อสารข้อมูลเท่าเทียมกัน หากว่าไม่มีกลไกควบคุม เช่น ต่างเครื่องต่างส่งข้อมูลโดยไม่ตรวจเช็คก่อนว่าขณะนั้น มีเครื่องอื่นกำลังใช้สื่อกลางส่งข้อมูลอยู่หรือไม่ ผลที่ตามมาคือ การสื่อสารข้อมูลบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) อาจจะมีห้วงเวลาอันเนื่องจากการชนกันของข้อมูลในบัสระหว่างการชนส่ง (Collision) มาตรฐาน IEEE 802.11 จึงได้มีการกำหนดกลไกขึ้นมาสำหรับควบคุม มีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 การควบคุมการใช้งานสื่อกลางด้วยกลไก CSMA / CA

หากเปรียบเทียบอย่างง่าย ๆ สื่อกลางก็คือ ถนนสาธารณะที่ใช้เป็นเส้นทางลำเลียงข้อมูลจากต้นทางไปยังอุปกรณ์ WLAN ปลายทาง ทุก ๆ เครื่องมีสิทธิใช้ถนนสาธารณะนี้ได้เท่าเทียมกัน ดังนั้น จึงต้องมีการกำหนดกฎการใช้งานขึ้นมา หลักการทำงานของกลไก CSMA/CA จะคล้ายกับกลไกการเข้าใช้งานสื่อสารของระบบอีเธอร์เน็ตแลน (IEEE 802.3) ซึ่งเป็นแบบฮาล์ฟ-ดูเพล็กซ์ (Half-Duplex) โพรโตคอลนี้ จะแบ่งการใช้งานระหว่าง โหนดและเครื่องลูกข่าย ในบางครั้งก็จะเรียกกลไก CSMA/CA ว่าเป็น “Listening Before Talking (LBT)” หรือรอโอกาสมาก่อน แล้วค่อยทำการส่ง

โดยมาตรฐาน IEEE 802.11 ใช้ CSMA / CA (Carrier Sense Multiple Access Collision Avoidance) เป็นกลไกควบคุมการเข้าใช้งานสื่อกลาง สำหรับการสื่อสารข้อมูลของอุปกรณ์บนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ซึ่งหลักการของกลไก CSMA / CA มีดังต่อไปนี้

1. ก่อนที่อุปกรณ์ WLAN จะส่งข้อมูลไปบนสื่อกลาง อุปกรณ์ WLAN จะตรวจเช็คก่อนว่ามีอุปกรณ์อื่น กำลังส่งข้อมูลบนสื่อกลางหรือไม่ (Listening)
2. ถ้ามีอุปกรณ์อื่น กำลังส่งข้อมูลอยู่ อุปกรณ์ WLAN จะหยุดรอและสุ่มเวลา (Random) เพื่อตรวจเช็คอีกครั้ง ว่ามีอุปกรณ์อื่นกำลังส่งข้อมูลบนสื่อกลางอีกหรือไม่ (Listening) (กลับไปขั้นตอนที่ 1)
3. ถ้าไม่มีอุปกรณ์อื่นส่งข้อมูล อุปกรณ์ WLAN ก็เริ่มทยอยส่งข้อมูลไปบนสื่อกลาง จนกระทั่งการส่งข้อมูลเสร็จสิ้น (และเมื่ออุปกรณ์ WLAN ต้องการส่งข้อมูลชุดใหม่ก็จะกลับไปเริ่มที่ขั้นตอนที่ 1 อีกครั้ง)

2.3.2 การลดการชนกันของข้อมูลแบบ RTS/CTS

ถึงแม้ว่าเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) จะมีกลไก CSMA/CA คอยควบคุมการเข้าใช้งานสื่อกลาง ก็ไม่ได้หมายความว่าเหตุการณ์ที่อุปกรณ์ WLAN ส่งข้อมูลออกมาชนกันจะไม่เกิดขึ้น การชนกันเป็นเรื่องธรรมดา ถ้าไม่ก่อให้เกิดการคับคั่งของข้อมูล (Congestion) ที่มากกว่า 60% ระบบก็ยังสามารถทำงานต่อไปได้ ถ้ายังมีจำนวนอุปกรณ์ WLAN ในเครือข่ายมากเท่าไร อัตราการชนกันของข้อมูลที่ส่งออกมาก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ทำให้ประสิทธิภาพของเครือข่ายลดลง

เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) จึงมีกลไก Request to Send / Clear to Send (RTS / CTS) ในระหว่างการสื่อสารข้อมูลเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว ทำให้ปัญหาเกิดขึ้นน้อยลง ตัวอย่างการทำงานของกลไก RTS / CTS มีดังนี้

1. สมมติว่าแอ็กเซสพอยท์ (AP) ได้รับข้อมูลที่ส่งมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์ A ในระบบอีเธอร์เน็ตแลน เพื่อส่งต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สาย B ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN)
2. แอ็กเซสพอยท์ (AP) จะส่งข้อมูล RTS เพรมไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สาย B เพื่อร้องขอส่งข้อมูลไปให้
3. เครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สาย B ได้รับข้อมูล RTS เพรม จะตอบกลับไปยังแอ็กเซสพอยท์ (AP) ด้วยข้อมูล CTS เพรม เพื่อบอกว่า ตนเองพร้อมที่จะรับข้อมูลและได้หยุดการสื่อสารกับอุปกรณ์อื่นๆ แล้ว
4. เมื่อแอ็กเซสพอยท์ (AP) ได้รับข้อมูล CTS เพรมตอบกลับ แอ็กเซสพอยท์ (AP) ก็จะส่งข้อมูลไปให้เครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สาย B จนกระทั่งเสร็จสิ้น ในขณะที่การสื่อสารข้อมูลระหว่างแอ็กเซสพอยท์ (AP) กับเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สาย B กำลังดำเนินอยู่ อุปกรณ์อื่นๆ บนเครือข่าย WLAN จะหยุดส่งข้อมูลและรอจนกว่าข้อมูลจะส่งเสร็จ เพื่อไม่ให้เกิดการชนกันของข้อมูล

2.4 ความแรงกำลังรับ (Signal Strength)

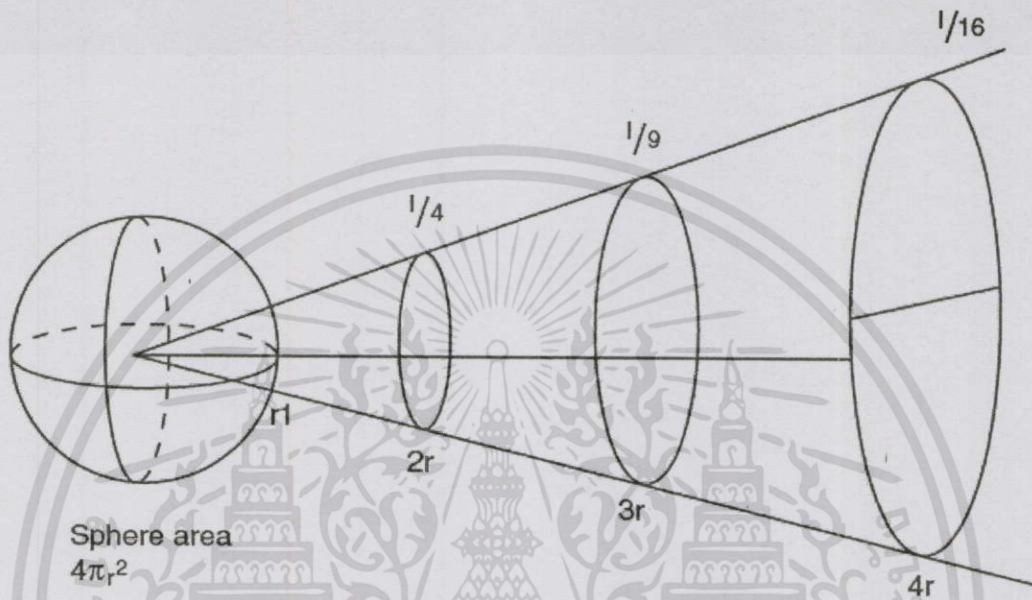
ในปฏิบัติการทำนายตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) กรณีที่จะไม่ใช้ความรู้เกี่ยวกับ วงกลม รัศมี มุม รูปสามเหลี่ยม หรือ ระยะทาง เป็นต้น โดยทั่วไปจะใช้ค่าความเข้มของสัญญาณคลื่นวิทยุ (RSSI) ในบริเวณพื้นที่ครอบคลุมสัญญาณ (Signal Strength Coverage) เป็นพื้นฐานในการทำนายตามวิธีการต่างๆ

2.4.1 ความเข้มสัญญาณพื้นที่ครอบคลุม (Signal Strength Coverage)

โดยค่าความเข้มของสัญญาณคลื่นวิทยุ (RSSI) คือค่าการวัดกำลังงานที่รับได้ด้วยอุปกรณ์

เอกสารนี้มาตรฐานสามารถอ้างอิงได้ ในที่นี้ก็คือการวัดค่าความหนาแน่นความแรงสัญญาณจากแอ็กเซสพอยท์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอยท์ เพราะว่าคลื่นวิทยุเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ความสัมพันธ์ระหว่างความแรงของสัญญาณคลื่นกับระยะทางจึงลดลงตามระยะทางต้นกำเนิด เป็นอัตราส่วนผกผันกำลังสองคือ $1/r^2$ เมื่อ (r) ก็คือระยะทางระหว่างเครื่องส่ง (Transmitter) ไปยังเครื่องรับ (Receiver) ซึ่งอธิบายได้ ดังรูปแสดง รูปที่ 2.5 การขยายตัวของหน้าคลื่นจากวัตถุทรงกลมกับพื้นที่การรับกำลังงาน ดังนี้



รูปที่ 2.5 การขยายตัวของหน้าคลื่นจากวัตถุทรงกลมกับพื้นที่การรับกำลังงาน [17]

สมมติว่าคลื่นแพร่กระจายสัญญาณคลื่นไปจากจุดเล็กๆ จุดหนึ่งในอากาศ ซึ่งจะเรียกว่า “แหล่งกำเนิดในอุดมคติ (Isotropic source)” โดยมีกำลังส่งคือ

P_i (วัตต์) และมีระยะห่างคือ r (เมตร) จากแหล่งกำเนิดสัญญาณไปยังเครื่องรับสัญญาณแล้ว

กำลังต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ของแหล่งกำเนิดในอุดมคติแพร่กระจายไปยังพื้นที่รับเป็นรูปทรงกลม ($4\pi r^2$) มีค่าเป็น $P_i / (4\pi r^2)$ (วัตต์ต่อตารางเมตร) ดังนั้นจึงสามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$P_D = \frac{P_i}{4\pi r^2} \quad (2.1)$$

โดยที่

P_i คือกำลังส่งมีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt)

P_D คือการกำลังการกระจายของคลื่น วัตต์/ตารางเมตร (W / m^2)

r คือระยะระหว่างสายอากาศถึงจุดหมาย มีหน่วยเป็นเมตร (m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (2.1) เมื่อเพิ่มอัตราขยายของสายอากาศ (G_r) ซึ่งโดยปกติจะมีหน่วยเป็น dB เมื่อวัดในแบบอูคมคติ ซึ่งจะได้สมการที่ปรับแล้วคือ

$$P_D = \frac{P_t G_t}{4\pi r^2} \quad (2.2)$$

ค่าประสิทธิภาพในการแพร่กระจายคลื่น (Effective Isotropic Radiated Power: **EIRP**) มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) ซึ่งนิยามได้คือ

$$EIRP = P_t G_t \quad (2.3)$$

จากสมการที่ (2.2) เมื่อปรับแก้ไขด้วยสมการ (2.3) จะได้เป็น

$$P_D = \frac{EIRP}{4\pi r^2} \quad (2.4)$$

ในส่วนของฝั่งรับ ประสิทธิภาพของพื้นที่สายอากาศรับ สามารถนิยามได้ดังนี้

$$A_{eff} = \frac{P_r}{P_D} \quad (2.5)$$

โดยที่

A_{eff} คือ พื้นที่หน้ารับของสายอากาศด้านรับ มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m^2)

P_r คือกำลังรับสายอากาศมีหน่วยเป็น วัตต์ (Watt)

P_D คือการกำลังการกระจายของคลื่นมีหน่วยเป็น วัตต์/ตารางเมตร (W/m^2)

เมื่อนำสมการที่ (2.5) ไปรวมกับสมการที่ (2.2) ก็จะได้สมการใหม่คือ

$$\begin{aligned} P_r &= A_{eff} P_D \\ &= \frac{A_{eff} P_t G_t}{4\pi r^2} \end{aligned} \quad (2.6)$$

ดังนั้น จากสมการที่ (2.6) ซึ่งจะสามารถแสดงถึงประสิทธิภาพของกำลังรับสายอากาศ ได้คือ

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2 G_r}{4\pi} \quad (2.7)$$

โดยที่

G_r คืออัตราขยายกำลังของสายอากาศฝั่งรับ

λ คือความยาวคลื่น

เมื่อนำสมการที่ (2.6) และสมการที่ (2.7) ก็จะได้สมการในเทอมของสายอากาศในรูปแบบทั่วไปคือ

$$\begin{aligned} P_r &= \frac{A_{eff} P_t G_t}{4\pi r^2} \\ &= \frac{\lambda^2 G_r P_t G_t}{(4\pi)(4\pi r^2)} \end{aligned} \quad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 สายอากาศ (Antenna)

การติดต่อเชื่อมโยงระหว่างเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ของอุปกรณ์ต่างๆ จะมีสายอากาศเป็นส่วนรับ-ส่งข้อมูล ซึ่งสายอากาศนี้ทำหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลในรูปของกระแสไฟฟ้าให้ไปอยู่ในคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งคลื่นดังกล่าวนี้สามารถแพร่กระจายออกไปในอากาศได้ และสายอากาศนี้เอง ที่จะทำให้หน้ารับพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามาผ่านกระบวนการเหนี่ยวนำและการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อเปลี่ยนกลับให้มาอยู่ในรูปของข้อมูลที่เป็นกระแสไฟฟ้าอีก ที่ทำให้การติดต่อสื่อสารได้ข้อมูลถูกต้องตามต้องการ โดยกว้างๆ สายอากาศแบ่งออกเป็น 2 ชนิดใหญ่ๆ คือ

- **สายอากาศแบบรอบทิศ (Omni Antenna)**

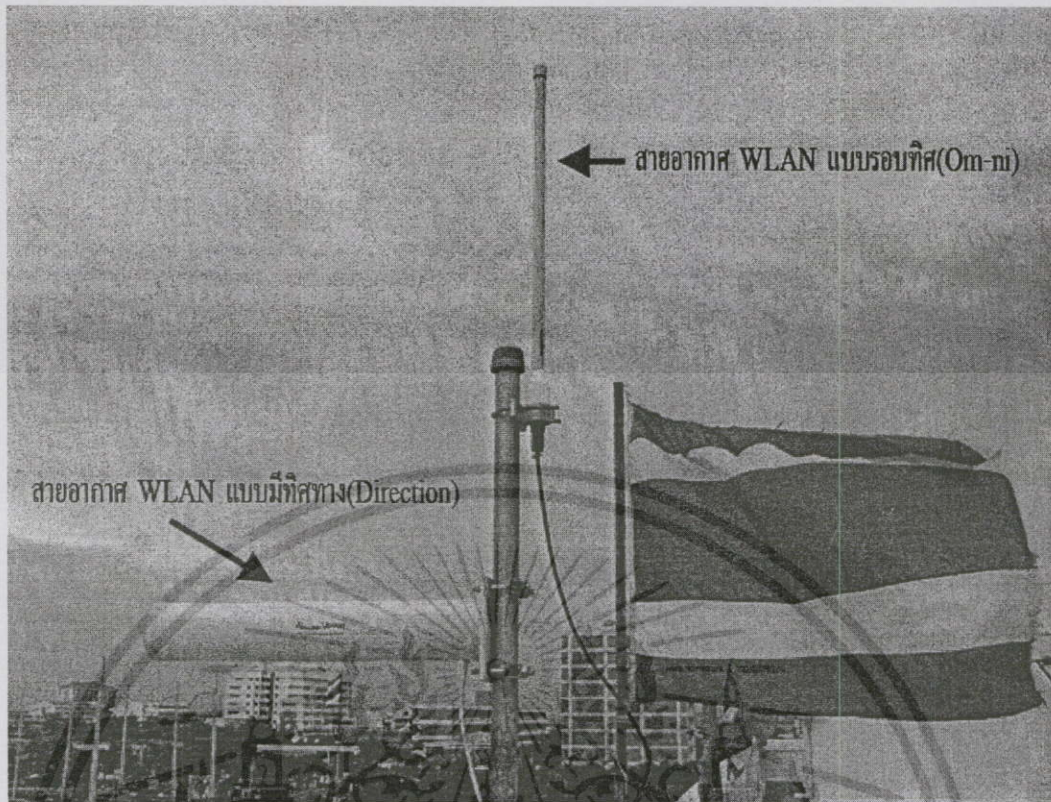
สายอากาศประเภทนี้ จะทำการแพร่กระจายคลื่นออกไปทุกทิศทางรอบๆ ตัวสายอากาศเอง ซึ่งส่วนมากจะมีรูปทรงกระบอก ใช้กับตัวเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) และแอ็คเซสพอยท์ (APs) ทั่วไป เพราะเหตุที่ต้องการรับ-ส่งสัญญาณโดยรอบจากทุกทิศทาง ซึ่งแอ็คเซสพอยท์ (APs) บางตัวอาจจะมีมาก ถึง 2-3 ดัน เป็นสายอากาศยุคใหม่ เรียกว่า “โมโม” (Multi-Input-Multi-Output: MIMO) ด้วยการใส่เสาอากาศหลายๆ ดัน เพื่อแบ่งหน้าที่ในการทำงาน ซึ่งเมื่อเสาอากาศใดเสาหนึ่งอยู่ในจุดอับ เสาอากาศอีกดันหนึ่งก็จะทำการรับส่งสัญญาณแทนทันที เพื่อให้การรับ-ส่งยังคงสามารถทำงานต่อไปได้

- **สายอากาศประเภทมีทิศทาง (Directional Antenna)**

ลักษณะของสายอากาศประเภทนี้ จะทำการแพร่กระจายคลื่นไปทิศทางใด ทิศทางหนึ่งในลักษณะแนวเส้นตรง ลดการรบกวนจากสัญญาณรอบๆ ตัว ได้ดี สายอากาศชนิดนี้ส่วนใหญ่จะติดตั้งไว้กับอุปกรณ์ประเภทไวร์เลสบริดจ์ (Wireless Bridge) เพื่อเชื่อมโยงกันระหว่างเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) หนึ่งเข้ากับอีกระบบเครือข่ายหนึ่ง ทำให้การเชื่อมโยงกับระบบเครือข่ายทำได้ไกลมากขึ้นกว่าเดิม และเนื่องจากสายอากาศประเภทนี้มีราคาค่อนข้างแพง

ตัวอย่าง

สายอากาศทั้ง 2 แบบดังกล่าว แสดงไว้ในรูปที่ 2.6 เป็นสายอากาศ WLAN ณ อาคารสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สจล. ในรูปถัดไป



รูปที่ 2.6 สายอากาศ WLAN ณ อาคารสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สจล.

2.4.3 การลดทอนสัญญาณของคลื่นตามระยะทาง (FSL: Free Space Loss)

เมื่อทำการส่งคลื่นสัญญาณวิทยุออกไป ก็ย่อมจะเกิดการลดทอน (Attenuation) ขึ้น เป็นเรื่องปรกติธรรมดา ซึ่งความแรงของสัญญาณวิทยุที่ได้รับ สามารถแสดงได้โดยค่ากำลัง (Power) แต่เนื่องด้วยค่าของกำลังงานที่รับได้มีอัตราการเปลี่ยนแปลงระหว่างกำลังด้านที่ส่ง P_t กับกำลังด้านที่รับ P_r ซึ่งอยู่ในช่วงที่กว้างมาก เพื่อความสะดวก นิยมที่นำอัตราส่วนล็อก (Logarithmic scale) มาใช้แทนอัตราส่วนของทั้งสองจำนวน ซึ่งจะสามารถแสดงให้อยู่ในรูปของเดซิเบล (dB) ได้ ซึ่งก็คือล็อกการิทึม (logarithm) ของอัตราส่วนคูณด้วยสิบหน่วยของเดซิเบลวัตต์ (dBW) หรือนิยมใช้ทั่วไปสั้นๆ ว่าดีบี (dB) ซึ่งก็คืออัตราส่วนของกำลังงานอ้างอิงที่ได้รับกับกำลังส่งขนาดหนึ่งวัตต์ (1 Watt)

$$P_r[\text{dBw}] = 10 \log \frac{P_r}{W} \quad (2.9a)$$

หรือ ในกรณีจะเทียบกับกำลังส่งขนาด 1 มิลลิวัตต์ (mW) เพื่อให้สอดคล้องกับกำลังส่งขนาดเล็กของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ก็จะมีหน่วยเป็นเดซิเบลเอ็ม (dBm) ตามสมการที่ (2.8b) คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ $P_r[\text{dBm}] = 10 \log \frac{P_r}{\text{mW}}$ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ (2.9b) การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง

แสดงการเปรียบเทียบกันระหว่างกำลังวัตต์ (Watt) กับหน่วยเดซิเบลเอ็ม (dBm)

1	<i>mW</i>	=	0	<i>dBm</i>
2	<i>mW</i>	=	3	<i>dBm</i>
100	<i>mW</i>	=	20	<i>dBm</i>
1	<i>W</i>	=	30	<i>dBm</i>

ในสมการที่ (2.8) ในหัวข้อก่อนหน้า อาศัยอัตราการขยายของสายอากาศ (Gain) ในการคำนวณหาการลดทอนของสัญญาณคลื่น (attenuation) ที่โดยทั่วไปมักไม่ค่อยนิยมนำไปคำนวณเนื่องจากความไม่สะดวกของตัวแปรบางตัว เช่น ค่าความยาวคลื่น (λ) ซึ่งยากที่จะแสดงให้เห็นภาพ ต้องใช้การเปลี่ยนรูป ให้ไปอยู่ในรูปแบบที่เราคุ้นเคย ซึ่งก็คือความถี่คลื่นวิทยุ (f) ที่มีหน่วยเป็นเฮิรตซ์ (Hertz : Hz) มากกว่า ดังนั้นเราจะนิยมใช้สมการลดทอนดังนี้

$$P_r = P_t + G_t + G_r - (32.44 + 20 \log d + 20 \log f) \quad (2.10)$$

โดยที่

P_r คือกำลังรับมีหน่วยเป็นเดซิบีเอ็ม (dBm)

P_t คือกำลังส่งมีหน่วยเป็นเดซิบีเอ็ม (dBm)

G_t คืออัตราการขยายของสายอากาศส่งมีหน่วยเป็นเดซิบีไอ (dBi)

G_r คืออัตราการขยายของสายอากาศรับมีหน่วยเป็นเดซิบีไอ (dBi)

d คือระยะห่างระหว่างฝั่งส่งและฝั่งรับ มีหน่วยเป็นกิโลเมตรเมตร (km)

f คือความถี่คลื่นวิทยุมีหน่วยเป็นเมกะเฮิรตซ์ (MHz)

ในบางครั้งเพื่อความสะดวก บ่อยครั้งเรามักจะได้ยินคำว่า “อัตราการลดทอนระหว่างทาง (Path loss)” ซึ่งจะไม่นับอยู่กับอัตราการขยายของสายอากาศ ดังนั้นภายใต้สมการ (2.10) นั้น จะประกอบไปด้วย 2 สมการย่อย (2.11) และ (2.12) คือ

$$P_r = P_t + G_t + G_r - L_{fs} \quad (2.11)$$

$$L_{fs} = 32.44 + 20 \log d + 20 \log f \quad (2.12)$$

โดยที่

L_{fs} คืออัตราการลดทอนระหว่างทาง มีหน่วยเป็นเดซิเบล dB

แต่ในมาตรฐาน IEEE 802.11 กำหนดกำลังส่งไม่เกิน 100 มิลลิวัตต์ (mW) หรือ 20 dBm

เท่านั้น เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อมนุษย์ โดยอัตราส่วนกำลังงานรับจึงนิยมใช้การอ้างอิงกำลังรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

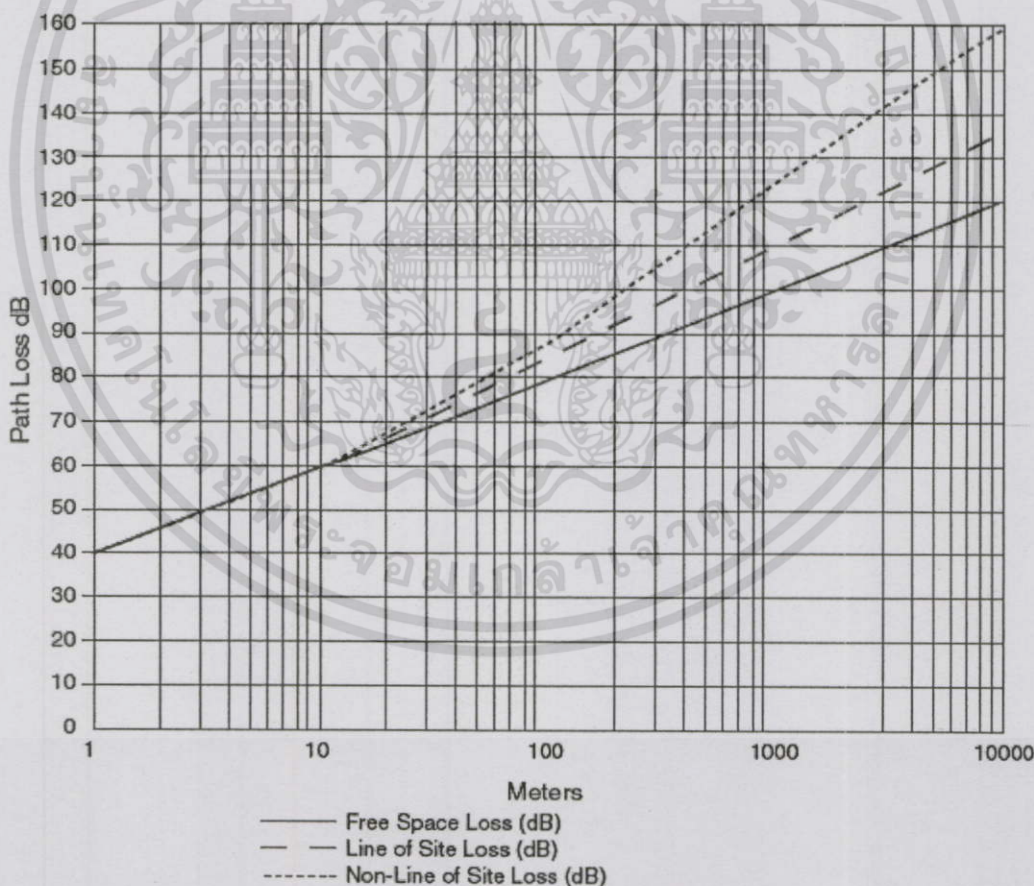
ตัวอย่าง

ถ้าต้องการใช้ความถี่ช่องสัญญาณที่ Ch-8 คือมีค่า 2.447 GHz โดยมีระยะทางระหว่างเครื่องรับถึงเครื่องส่งคือ 100 เมตร (m) ให้คำนวณหาอัตราการลดทอนระหว่างทาง ในสูญญากาศ (L_{fsl}) ของการเชื่อมโยงนี้

วิธีทำ

$$\begin{aligned} L_{fsl} &= 32.44 + 20 \log(2447) + 20 \log(0.1) \\ &= 32.44 + (20 * \log_{10}(2447)) + (20 * \log_{10}(0.1)) \\ &= 80.2127 \text{ dB} \end{aligned}$$

ในภาพกราฟแสดงที่ 2.7 แสดงอัตราการลดทอนระหว่างทางสำหรับ IEEE802.11 ความถี่กลาง 2.4 GHz เมื่อเปรียบเทียบกับระยะทาง (เมตร) ในโหมด FSL, LOS และ NLOS



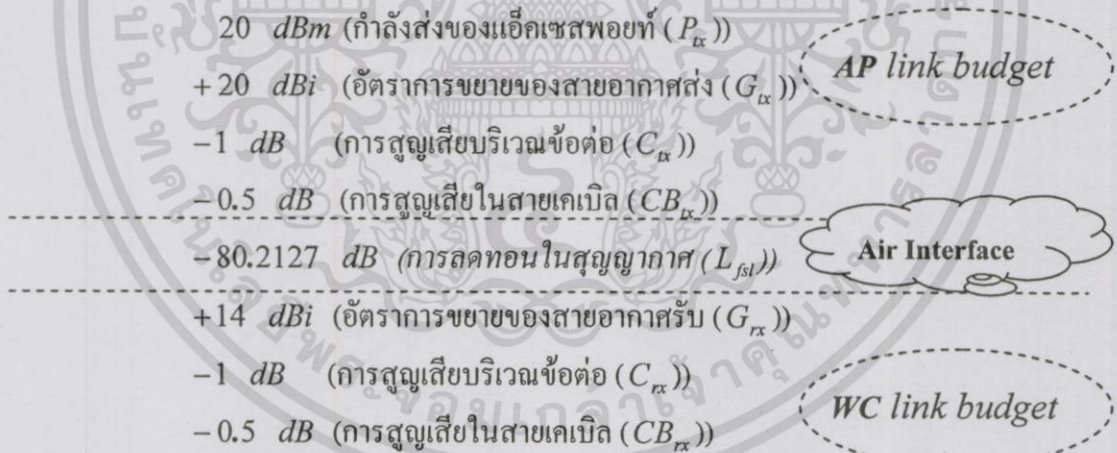
รูปที่ 2.7 อัตราการลดทอน FSL, LOS และ NLOS ของ IEEE802.11 ความถี่ 2.4 GHz [16]

การคำนวณอัตราการขยายกำลังส่งโดยรวม จากการส่งไปยังจุดการรับอีกจุดหนึ่ง ยังมี การสูญเสียในสายนำสัญญาณ (Cable loss) และในคอนเน็กเตอร์ (Connector loss) ดังนั้น เมื่อ ต้องการคิดถึงอัตราการขยายกำลังทั้งหมด (Power budgets) หรือในบางตำราใช้คำว่า "Link Budgets" ซึ่งก็คือความหมายเดียวกัน โดยเป็นการคิดอัตราการขยายรวม (Total Gain) ของระบบ ทั้งหมด ลบด้วยการสูญเสียในการเชื่อมโยง

เพื่อให้เข้าใจได้ง่าย จากตัวอย่างอัตราการสูญเสียระหว่างทาง ที่แล้ว

เมื่อกำหนดให้ กำลังส่งของแอ็กเซสพอยท์ (AP) เท่ากับ 100 มิลลิวัตต์ (mW) หรือ $P_{tx} = 20 \text{ dBm}$ โดยมีระยะห่างระหว่างแอ็กเซสพอยท์ (AP) ถึงเครื่องลูกข่าย 100 เมตร เลือกส่ง ความถี่ที่ช่องสัญญาณที่ Ch-8 คือ 2.477 GHz โดยมีอัตราการขยายของสายอากาศส่ง (G_{tx}) เท่ากับ 20 dBi มีคอนเน็กเตอร์ 1 จุด ที่มีการสูญเสียบริเวณข้อต่อ (C_{tx}) คือ 1 dB นอกจากนี้ยัง มีการสูญเสียในสายเคเบิล (CB_{tx}) อีกคือ 0.5 dB

โดยที่เครื่องลูกข่าย (WLAN's Client) มีอัตราการขยายของสายอากาศรับ (G_{rx}) เท่ากับ 14 dBi มีคอนเน็กเตอร์ 1 จุด ที่มีการสูญเสียบริเวณข้อต่อ (C_{rx}) คือ 1 dB และยังมี การสูญเสีย ในสายเคเบิล (CB_{rx}) อีก คือ 0.5 dB ดังนั้นอัตราการขยายโดยรวม รอบจากแอ็กเซสพอยท์ (APs) ไปยังเครื่องลูกข่าย (WLAN's Client) จะเป็นดังนี้คือ



ดังนั้น อัตราการขยายโดยรวม (Power Budgets) คือ

51 dB

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณากำลังรับสูงสุด (P_{rx}) จึงเป็นการนำเอาการขยายโดยรวมลบ ออกด้วย อัตราการสูญเสียในสูญญากาศ (L_{fsl}) หรือ $P_{rx} = \text{Power Budgets} - L_{fsl}$ จาก ตัวอย่าง กำลังรับสูงสุดจะเท่ากับ -39.2127 dBm ทั้งนี้ อัตราการสูญเสียในสูญญากาศ (L_{fsl}) นั้นยังไม่ใช่ข้อสรุปของการสูญเสียทั้งระบบ เพราะยังไม่ได้คำนึงถึงสภาพแวดล้อมที่ใช้งานอยู่ จริง (Link Fading) จึงต้องมีค่าชดเชยการสูญเสียที่ยอมรับให้มีได้ (Allowed Loss) และค่าการ

เอกสารนี้ กระจายของสัญญาณ Scattering Exponent ในสภาพแวดล้อมซึ่งจะได้อธิบายต่อไปในหัวข้อถัดไป คร่า
 ไม่ว่าการณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.4 การลดทอนของคลื่นที่ถูกดูดซับสัญญาณจากตัวกลาง (Attenuation)

การแพร่กระจายคลื่นสัญญาณในระบบการสื่อสาร ถ้าจะแบ่งตามพื้นที่ จะแบ่งออกเป็นการแพร่กระจายคลื่นภายในอาคาร (Indoor propagation) และแบบที่โล่งแจ้ง (Outdoor propagation) ซึ่งแต่ละแบบจะมีสภาพแวดล้อมต่อการลดทอนสัญญาณแตกต่างกันอยู่ ตามสภาพแวดล้อมที่เป็นจริง ซึ่งในการแพร่กระจายในที่โล่งแจ้งนั้นจะมี อาคาร ต้นไม้ และสิ่งปลูกสร้างต่างๆ เป็นตัวกีดขวางทางเดินของสัญญาณคลื่น ส่วนสิ่งกีดขวางการแพร่กระจายภายในอาคารนั้นก็คือ อุปกรณ์สำนักงาน และเฟอร์นิเจอร์ต่างๆ เป็นต้น ซึ่งวัสดุบางชนิดมีความสามารถหรือคุณสมบัติในการดูดซับสัญญาณคลื่น (Attenuation) ทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานขึ้น เช่น ต้นไม้ น้ำ ผนัง ประตู หน้าต่าง เพดานหรือพื้นของอาคาร เป็นต้น

ดังนั้นจึงเกิดสภาพของการดูดซับสัญญาณที่เป็นเหตุให้ค่าความหนาแน่นของกำลังงานไฟฟ้า (Power density flow) ลดลงอย่างเป็นสัดส่วนตามค่า (γ^{-d}) เมื่อ d ก็คือระยะทาง และแกมมา (γ) คือค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของสื่อกลางและความถี่ของสัญญาณคลื่น โดยมีหน่วยอัตราส่วนเป็นเดซิเบล (dB) อัตราการสูญเสียแบบนี้ จะแปรผันขึ้นอยู่กับโครงสร้างของวัสดุ และความหนาของวัสดุ ยิ่งวัสดุมีความหนามากก็จะมีอัตราสูญเสียที่สูงตามด้วย

การลดทอนกำลังงานย่อมมีผลโดยตรงต่อปริมาณงาน (Throughput) ของเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) ที่จะทำให้ได้ ดังนั้นในการออกแบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ขึ้นมา ระบบหนึ่งนั้น จุดตำแหน่งการติดตั้งแอ็กเซสพอยท์ (APs) ต่างๆ นั้น จึงต้องพิจารณาจุดติดตั้งด้วย โดยคำนึงเรื่องอัตราการสูญเสียสัญญาณของวัสดุสิ่งของต่างๆ ที่มีในสภาพแวดล้อมนั้นๆ ระบบที่ออกแบบมาดีแล้วนั้น จึงจะมีประสิทธิภาพสูง

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างของอัตราการดูดซับสัญญาณคลื่นของวัสดุ ต่างๆ [17]

พื้น/วัสดุกันฉาก	อัตราการดูดซับสัญญาณคลื่น (dB)
ฉากกันแบบผ้า(Cloth Partition)	1.4 dB
ผนังพลาสติกสองด้าน(Double Plasterboard Wall)	3.4 dB
ฟอยล์กันความร้อน(Foil Insulation)	3.9 dB
ผนังกระจกขอบโลหะ(Glass wall with metal frame)	6 dB
กำแพงอิฐ (Brick wall)	12.4 dB
กำแพงคอนกรีต(Concrete wall)	13 dB
แผ่นอลูมิเนียม(Aluminum Siding)	20.4 dB
โลหะทุกชนิด(All Metal)	26 dB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการประมาณการสูญเสียจากค่าอัตราการดูดซับสัญญาณคลื่นของวัสดุต่างๆที่มีอยู่ในอาคารต่างๆไป วัสดุดูดซับสัญญาณคลื่นที่เป็นพื้นจะนิยมเรียกว่า เอฟเอเอฟ (Floor Attenuation Factor:FAF) ส่วนวัสดุดูดซับสัญญาณที่นำไปสร้างเป็นผนังหรือกำแพงเรียกว่า ดับเบิลยูเอเอฟ (Wall Attenuation Factor:WAF) โดยจะสามารถจัดอยู่ในรูปแบบสมการได้ดังนี้ [10]

$$PL(d)[dB] = 10 \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right)^n + \sum_{p=1}^P WAF(p) + \sum_{q=1}^Q FAF(q) \quad (2.13)$$

โดยที่

PL คือกำลังงานสูญเสียรวม

d_0 คือระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและจุดอ้างอิง

d คือระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและเครื่องรับ

n คืออัตราการสูญเสียที่เพิ่มขึ้นกับระยะทาง

WAF คืออัตราการดูดซับสัญญาณคลื่นในผนัง โดยที่ p คือจำนวนผนัง

FAF คืออัตราการดูดซับสัญญาณคลื่นในพื้นที่ โดยที่ q คือจำนวนพื้น

2.4.5 การลดทอนที่เกิดจากการเดินทางของสัญญาณคลื่นหลายเส้นทาง (Multipath)

สาเหตุของการเกิดผลกระทบของ “การเดินทางของคลื่นหลายเส้นทาง (Multipath)” เป็นผลมาจากคุณสมบัติในการแพร่กระจายของพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าตามปรากฏการณ์ธรรมชาติ นอกจากสัญญาณคลื่นจะถูกวัสดุบางอย่างดูดซับสัญญาณ (Attenuation) ไปบางส่วนแล้ว สัญญาณคลื่นที่เหลือบางส่วน มีการเดินทางนอกแนว “เส้นตรงสายตา (LOS)” และยังคงมีสัญญาณคลื่นที่เหลือบางส่วนเกิดปรากฏการณ์หลายเส้นทางขึ้น คือการเกิด “การสะท้อน (Reflection)”, “การแตกกระจาย (Scattering)” และ “การหักเห (Diffraction)” ซึ่งเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ภายในอาคาร จะมีเฟอร์นิเจอร์ อุปกรณ์สำนักงาน โต๊ะ เก้าอี้ ตู้เอกสาร เสา ฉากกั้นหรือผนัง ที่ทำให้เกิดปรากฏการณ์นี้อยู่จำนวนมาก

คลื่นสะท้อน (Reflection Signal)

ความถี่กลางมาตรฐาน IEEE80.11b/g คือ 2.4 GHz จากความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ (f) กับความยาวของสัญญาณคลื่น ตามสมการ $\lambda = c/f$ เมื่อ c คือความเร็วของสัญญาณคลื่นในสุญญากาศ 3×10^8 m/s (เมตรต่อวินาที) ดังนั้นความยาวคลื่นโดยประมาณเท่ากับ 0.125 เมตร ซึ่งวัสดุที่มีขนาด 0.125 เมตร หรือมากกว่า สัญญาณคลื่นนี้จะไม่สามารถเข้าไปได้ ดังนั้นวัสดุเหล่านี้จะสะท้อนสัญญาณคลื่นออกมาตามมุมตก

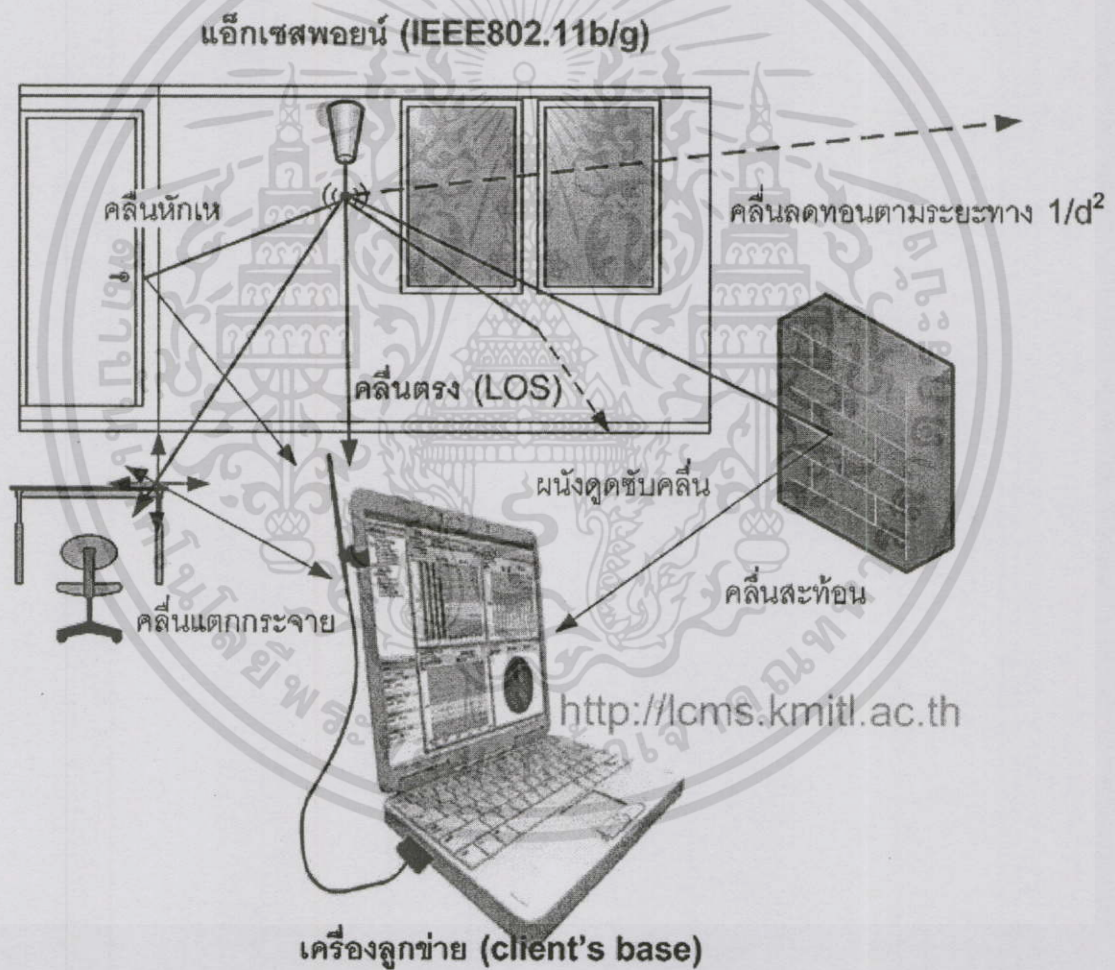
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นแตกกระจาย (Scattering Signal)

เกิดขึ้นได้เมื่อสัญญาณคลื่นที่มีความยาวคลื่น (λ) น้อยกว่าวัตถุกระทบ เมื่อเกิดการชนกับวัตถุขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่น (λ) คือ 0.125 เมตร ผลก็คือทำให้เกิดการแตกกระจายตัวออกหลายทิศทาง

คลื่นหักเห (Diffraction Signal)

เกิดขึ้นได้เมื่อสัญญาณคลื่นถูกกีดขวางด้วยพื้นผิวขอบวัตถุขรุขระไม่ราบเรียบ หรือตกรวมของวัสดุทำให้สัญญาณเดินทางอ้อมไปหรือเกิดการเลี้ยวเบนหักเหไป มา ให้ดูรูปที่ 2.8 ประกอบ



รูปที่ 2.8 การเกิดแนวทางเดินคลื่นหลายเส้นทาง (Multipath)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

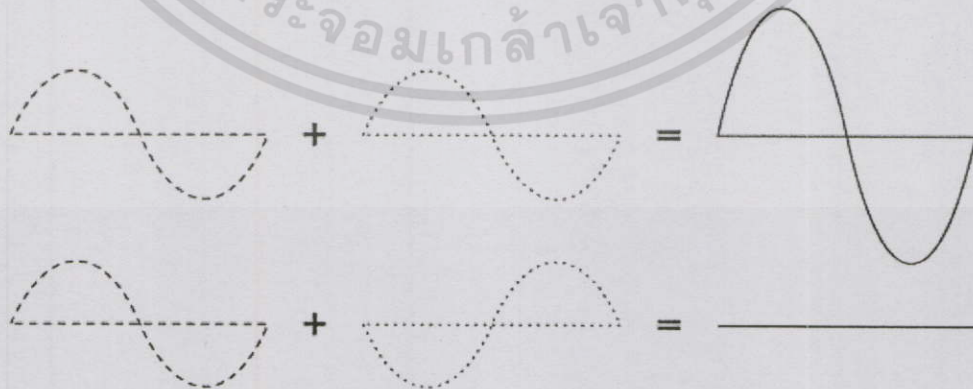
ซึ่งเหตุการณ์มัลติพาสทั้งหมดเหล่านี้ จะทำให้สัญญาณคลื่นเดินทางจากแอ็คเซสพอยท์ (APs) ไปยังเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) ด้วยระยะทางที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงใช้เวลาในการเดินทางต่างกันด้วย ผลก็คือมีจำนวนหลายสัญญาณคลื่น ที่ถูกหน่วงเวลา (Delayed wave) และ แอมพลิจูด (Amplitude) อ่อนกำลังลง ตามระยะทาง ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้การสื่อสาร ได้รับ สัญญาณข้อมูลข่าวสารที่เหมือนกันในเวลาที่แตกต่างกัน การเกิดปรากฏการณ์ธรรมชาติเหล่านี้ ย่อมมีทั้งข้อดีและข้อเสีย คือมีทั้งมีการเพิ่มขึ้นและลดลงของปริมาณงาน (Throughput) ที่ทำได้

ข้อดีของการเกิดมัลติพาส

การสะท้อนของสัญญาณคลื่นจากหลายทิศทางทำให้สามารถรับสัญญาณคลื่นได้ แม้ว่า จะอยู่ในมุมอับก็อาจจะได้รับสัญญาณเป็นสัญญาณคลื่นสะท้อน (Reflection) สัญญาณคลื่นแตก กระจาย (Scattering) หรือสัญญาณคลื่นหักเห (Diffraction) ได้ แม้ว่าจะไม่ชัดเจนเหมือนสัญญาณ คลื่นเดิม แต่ก็ยังอาจทำการสื่อสารได้ ในกรณีที่สัญญาณคลื่นที่ได้รับเกิดเฟสที่ตรงกัน (In phase) มากกว่าหนึ่งสัญญาณคลื่นด้วยแล้ว จะเกิดการรวมกำลังกันทางแอมพลิจูด (Amplitudes) เรียกว่าการเสริมแรงกัน (Constructive interference) คือ $1+1=2$

ข้อเสียของการเกิดมัลติพาส

ในกรณีที่เฟสของสัญญาณคลื่นจากเส้นทางต่างๆ เดินทางมาถึงเครื่องลูกข่าย แล้วเกิด ความแตกต่างของเฟส (Out of Phase) กัน เมื่อนำมารวมกันก็จะได้รูปสัญญาณที่ผิดเพี้ยนไป ซึ่งก็ อาจไม่สามารถแยกข้อมูลออกมาได้ ยิ่งในกรณีที่ความต่างเฟสเท่ากับ 180 องศา ด้วยแล้ว สัญญาณ คลื่นที่รวมกันจะเกิดการหักล้างกันเอง (Destructive interference) ซึ่งสัญญาณนี้จะถูกยกเลิกที่ เครื่องรับเพราะไม่สามารถถอดข้อมูลออกมาได้อย่างสิ้นเชิง หรือ $1+(-1)=0$



รูปที่ 2.9 ผลที่เกิดจากการสอดแทรกสัญญาณคลื่น (Constructive-Destructive Interference)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.6 การแก้ปัญหาหมัดติพาส (Multipath)

การแก้ปัญหาดังกล่าวมีอยู่สองวิธีการใหญ่ๆ คือการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุกับการแก้ปัญหาที่ต้นเหตุ ทั้งสองแบบมีวิธีการที่แตกต่างกัน แต่สามารถแก้ปัญหาได้ระดับหนึ่ง และเมื่อเลือกทำการทั้งสองแบบก็จะช่วยลดปัญหาอุปสรรคการสื่อสารลงได้มาก

หลักเฉียงอุปสรรคที่จะเกิดขึ้นในขอบเขตเฟรสเนล (Clear Fresnel Zone) [17]

จากผลการศึกษาของ “นายอากุสติน ยีน เฟรสเนล (Augustin-Jean Fresnel)” นักฟิสิกส์ชาวฝรั่งเศส (1788-1827) ที่พบว่ามิมีขอบเขตของสัญญาณคลื่นวิทยุ จากเครื่องส่งไปยังเครื่องรับอยู่นอกแนวสายตา (LOS) อยู่ด้วย ดังนั้นจึงทำให้เกิดผลของการเดินทางของคลื่นหลายเส้นทาง (Multipath) ถัดอุปสรรคสิ่งกีดขวางในขอบเขตนี้ลงได้ก็จะลดปัญหานี้ลงได้เช่นกัน ทฤษฎีนี้ได้รับการพิสูจน์จนยอมรับแล้ว เพื่อเป็นเกียรติแก่ผู้ค้นพบเรียกขอบเขตนี้ว่าขอบเขตของเฟรสเนล (Fresnel zone) โดยเมื่อนำมาใช้ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) จึงสามารถปรับไปใช้ได้ดังต่อไปนี้

$$F_n = 17.32 * \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{d_1 + d_2}} \quad (2.14)$$

โดยที่

F_n คือรัศมีเฟรสเนล (เมตร)

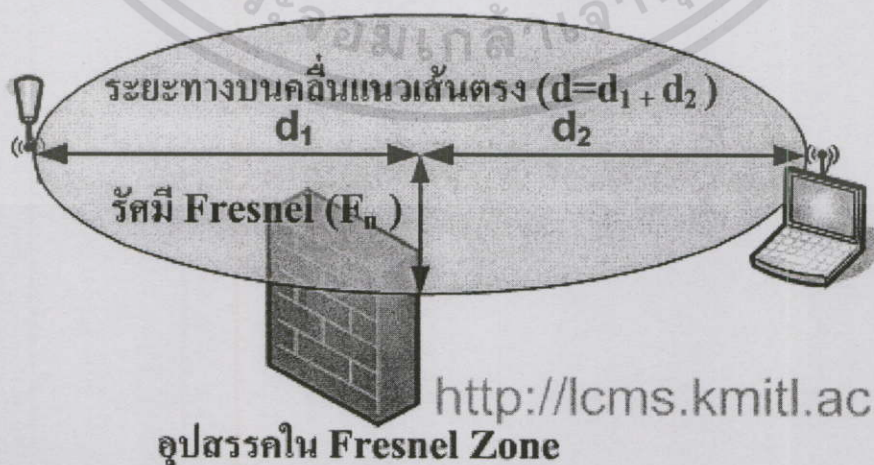
d_1 คือระยะห่างระหว่างเครื่องส่งและจุดกลาง (เมตร)

d_2 คือระยะห่างระหว่างเครื่องรับและจุดกลาง (เมตร)

n คือจำนวนขอบเขตที่คำนวณ

λ คือความยาวคลื่น ($\lambda = 1/f$)

เอ็กเซมพลอน์ (IEEE802.11b/g)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในห้องปฏิบัติการเท่านั้น และอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง

ให้คำนวณขนาดของเฟรตเนลโซน ที่จุดกึ่งกลางของระยะทางระหว่างแอ็คเซสพอยท์ (AP) และเครื่องลูกข่ายคือ 100 เมตร โดยใช้ช่องสัญญาณที่ Ch-6 ในการสื่อสาร ที่ความถี่ 2.437 GHz (802.11b channel 6): โดยนำไปใช้จริง 60% ($n = 0.6$) ของโซน จากสมการที่ 2.14 นั่นคือ

$$F_n = 17.31 * \sqrt{\frac{0.6 * (50 * 50)}{2437 * 100}}$$

$$= 1.3580 \text{ เมตร}$$

การใช้ภาครับแบบเรค (RAKE Receiver)

เป็นการแก้ปัญหาที่ปลายเหตุโดยใช้ภาครับแบบเรค (RAKE receiver) ซึ่งอยู่ในชิป (Chip) ของไวร์เลสการ์ด โดยถูกออกแบบมาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาจากการเกิดแนวทางเดินคลื่นหลายเส้นทาง (Multipath) โดยเฉพาะ โดยใช้หลักการเมื่อได้รับสัญญาณคลื่นวิทยุหลายคลื่นตามดัชนีตัวรับภายใน (finger Rake Receiver) อย่างมีระบบ ด้วยวิธีการคำนวณคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อน ซึ่งจะมีการพิจารณาช่วงเวลาที่ได้รับสัญญาณและแอมพลิจูดต่างๆ มาคำนวณให้ได้รูปแบบสัญญาณที่ถูกต้องมากที่สุด

นอกจากนี้ ยังสามารถแก้ปัญหาจากการรบกวน (Jamming) จากแหล่งกำเนิดสัญญาณคลื่นอื่นๆ ที่สามารถกำเนิดความถี่รบกวนที่ 2.4 GHz ได้ด้วย เช่น การรบกวนจาก เตาไมโครเวฟ หรือ มอเตอร์ไฟฟ้า เป็นต้น

2.4.7 ความแรงสัญญาณระหว่างภาครับและส่ง (Link Margin)

คือค่าความแตกต่างระหว่างความแรงกำลังส่งและกำลังรับของระบบ โดยเอาผลรวมของการลดทอนทั้งระบบ ได้แก่ การสูญเสียในระบบเชื่อมโยง (Power Budgets), การลดทอนในสูญญากาศ (L_{fst}), อัตราการจางหายในสภาพแวดล้อม ($L_{allowed loss}$), และค่าการกระจายของสัญญาณ (Scattering Exponent) โดยสมการประมาณค่าการลดทอนรวม (L_p) ของ IEEE802.11 ที่ความถี่ 2.4 GHz โดยใช้พารามิเตอร์ในตารางที่

$$L_p = 40 + 10 * n * \log(r) + L_{allowed loss} \quad (2.15)$$

โดยที่

L_p คือประมาณการสูญเสียโดยรวม (dB)

n คือค่าการกระจายของสัญญาณ (Scattering Exponent: n)

r คือระยะทางระหว่างจุดส่งและรับ (เมตร)

$L_{allowed loss}$ คือค่าอัตราการสูญเสียในสภาพแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สอดคล้องกับตัวอย่าง การคำนวณกำลังขยายโดยรวม (Power budgets) ที่ผ่านมาแล้ว การสูญเสียโดยรวม (L_p) เมื่อปฏิบัติการสื่อสารใน พื้นในอาคาร ที่มีพาร์ติชัน มีผนังกัน โดยมีค่า อัตราการสูญเสียในสภาพแวดล้อม $L_{allowed\ loss} : 0\ dB$ มีค่าการกระจายของสัญญาณ ($n = 3.5$) โดยมีระยะทางเท่าเดิมคือ ($r = 100$) เมตร ดังนั้น แทนค่าในสมการที่ (2.15) การสูญเสียโดยรวม ดังนี้คือ

$$L_p = 40 + 10 * 10 * \log(100) + 0$$

ดังนั้นการสูญเสียทั้งระบบนี้ = 110 dB

ดังนั้น ค่าความแรงของสัญญาณ ($RSSI_r$) ระหว่างจุกรับและส่ง เส้นทางหนึ่งๆ คือ

$$Link\ margin\ (dB) = Power\ Budgets - L_p \quad (2.16)$$

โดยที่อัตราการขยายโดยรวมของระบบ (Power Budgets) มีค่าเท่ากับ 51 dB ดังนั้นค่า ความแรงของสัญญาณ ($RSSI$) ที่จะรับได้คือ

$$Rx\ Signal\ Level = 51 - 110 = -59\ dB$$

โดยถ้าสมมติว่า เครื่องลูกข่าย (WLAN's Client) มีค่าความแรงสัญญาณต่ำสุดที่จะทำงาน ได้ ($Rx\ Sensitivity$) เท่ากับ $-89\ dB$ ค่าดังกล่าวนี้ผู้ผลิตไวร์เลสการ์ดจะแจ้งไว้ให้ทราบ จะ เห็นได้ว่ากำลังความแรงของมีสูงกว่า หรือเรียกขอบเขตสัญญาณในการปฏิบัติการ (System Operating Margin: SOM) โดยมีสมการดังกล่าวคือ

$$SOM = Rx\ Signal\ Level - Rx\ Sensitivity \quad (2.17)$$

โดยที่

SOM ขอบเขตสัญญาณในการปฏิบัติการ ณ จุด เชื่อมโยง หนึ่งๆ

$Rx\ Signal\ Level$ คือความแรงของสัญญาณที่ได้รับ

$Rx\ Sensitivity$ คือค่าความแรงสัญญาณต่ำสุดที่จะทำงานได้

สอดคล้องกับสมการ (2.7) เมื่อแทนค่าแล้วจะได้ ($-89 - (-51) = -38\ dB$) ดังนั้น ที่ ระยะทาง 100 เมตร ระบบการสื่อสารนี้ ยังคงทำงานเต็มประสิทธิภาพสูงอยู่ ซึ่งโดยปกติ สัญญาณ $RSSI$ ควรจะมีค่ามากกว่า 30% ของค่าความแรงสัญญาณต่ำสุดที่จะทำงานได้

ตารางที่ 2.3 แสดงค่าพารามิเตอร์สำหรับแทนค่าสมการลดทอน (Path Loss: L_p) [21]

ลักษณะการใช้งาน	ค่าอัตราการสูญเสีย ($L_{allowed\ loss}$)	ค่าการกระจายของ สัญญาณ (Scattering Exponent: n)	ตัวอย่าง
สถานะสูญญากาศ	0	2	อวกาศ
ใช้ภายนอก โล่งแจ้ง	0	2.5 ที่ 200 เมตร 3 ที่ 400 เมตร 3.5 > 500 เมตร	พื้นที่โล่งไม่มี ต้นไม้ ทะเล
ใช้ภายนอก มีต้นไม้	10-20	3-4	สวนสาธารณะ
ใช้ภายนอก มีอาคาร	0	4	บริเวณตึกแถว
ในอาคาร ไม่มีสิ่งกีดขวาง	0	2.5	ห้องโถง ห้องสัมมนา
ในอาคาร มีพาร์ติชัน มี ผนังกั้น	0	3.5	ออฟฟิศ
ในอาคาร มีผนัง พื้น	12-27 (พื้น)	4.5	คอนโดมิเนียม
	10-15 (ผนัง)	4.5	อพาร์ทเมนต์

2.5 สถาปัตยกรรมเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) IEEE802b/g

ชื่อสำหรับการให้เซตบริการ Service Set Identifier: SSID คือกลุ่มตัวอักษรที่มีขนาดความยาวไม่เกิน 32 อักขร ใช้เป็นชื่ออ้างอิง SSID ของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ที่อุปกรณ์ WLAN ทุกตัว ที่ต้องการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างกัน บนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการนั้นๆ จะต้องระบุ SSID ของตนเองเป็นชื่อเดียวกับชื่อ SSID ของพื้นที่ให้บริการ หากอุปกรณ์ WLAN ที่อยู่ในขอบเขตพื้นที่ให้บริการเดียวกันแต่ระบุ SSID แตกต่างกันได้แล้ว อุปกรณ์ก็จะไม่สามารถสื่อสารข้อมูลระหว่างกันได้

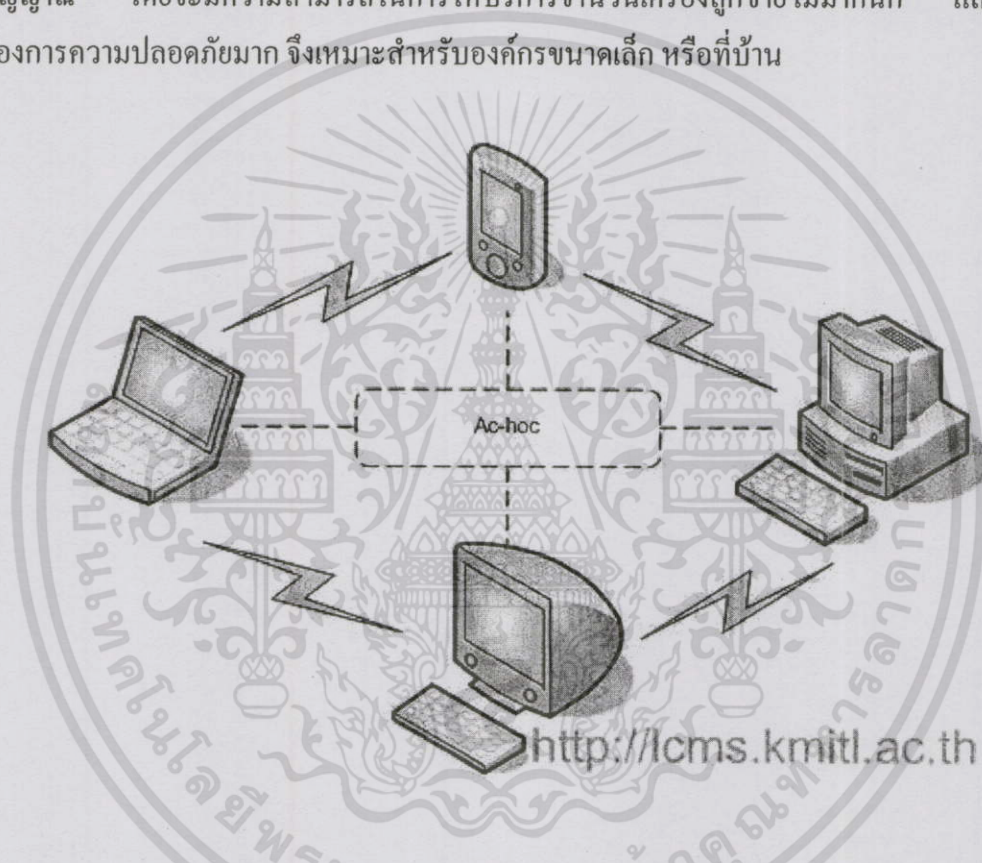
เครือข่ายบริการ คือเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ในรัศมีสามารถแพร่กระจายคลื่นถึงกันได้ จะแบ่งการติดต่อสื่อสารออกเป็น 3 รูปแบบ ดังนี้คือ

- เครือข่ายที่ไม่มีจุดศูนย์กลางควบคุม (Ad – Hoc Network)
- เครือข่ายมีจุดศูนย์กลางควบคุม (Infrastructure Network)
- เครือข่ายแบบก้าวหน้า (Advance Network)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.1 เครือข่ายที่ไม่มีจุดศูนย์กลางควบคุม (Ad – Hoc Network)

รูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) แบบ Ad-Hoc นั้น จะมีลักษณะการเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด (Peer-to-Peer) โดยจะไม่มีอุปกรณ์คอนโทรลเลอร์ทำหน้าที่เป็นตัวกลางควบคุมและไม่มี การแบ่งชั้นระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ หรือเรียกอีกอย่างว่าเครือข่ายแบบเท่าเทียมกัน เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) แบบนี้ บางครั้งการรับส่งข้อมูลของคอมพิวเตอร์อาจทำให้เกิดการชนกันของข้อมูล ในการทำงานจริง จึงไม่ค่อยมีความเสถียรภาพเท่าใดนัก แต่ก็มีประโยชน์ค่าใช้จ่าย เนื่องจากไม่ต้องติดตั้งแอ็กเซสพอยท์ (APs) มาเป็นตัวจัดการสัญญาณ โดยจะมีความสามารถในการให้บริการจำนวนเครื่องลูกข่ายไม่มากนัก และยังไม่ต้องการความปลอดภัยมาก จึงเหมาะสำหรับองค์กรขนาดเล็ก หรือที่บ้าน

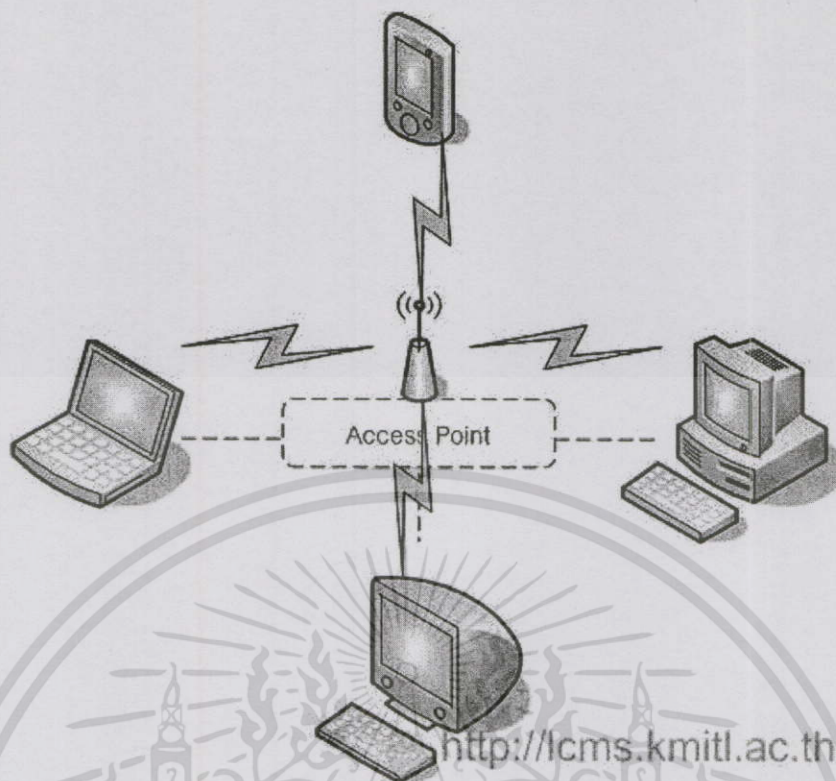


รูปที่ 2.11 เครือข่ายแบบไม่มีจุดศูนย์กลาง (Ad-hoc Network)

2.5.2 เครือข่ายมีจุดศูนย์กลางควบคุม (Infrastructure Network)

การเชื่อมต่อแบบ Infrastructure Network จะมีอุปกรณ์คอนโทรลเลอร์ ทำหน้าที่ควบคุมการกระจายสัญญาณของแอ็กเซสพอยท์ (APs) ซึ่งจะมีหน้าที่การทำงานคล้ายกับฮับ (Hub) ในการแบ่งช่องสัญญาณจัดสรรความถี่ให้เครื่องคอมพิวเตอร์ได้ใช้งาน ทำให้ไม่มีปัญหาเรื่องข้อมูลชนกัน และดูแลเรื่องความปลอดภัยโดยสามารถกำหนดนโยบายการรักษาความปลอดภัยเพื่อใช้กับทุกคนได้ ทำให้รักษาความปลอดภัยง่ายขึ้น เช่นการกำหนด MAC Address ที่จะสามารถเข้าถึง Network ได้ รวมถึงสามารถใช้งานได้ไกลขึ้นกว่าแบบจุดต่อจุด (Ad-Hoc) และสามารถรองรับ

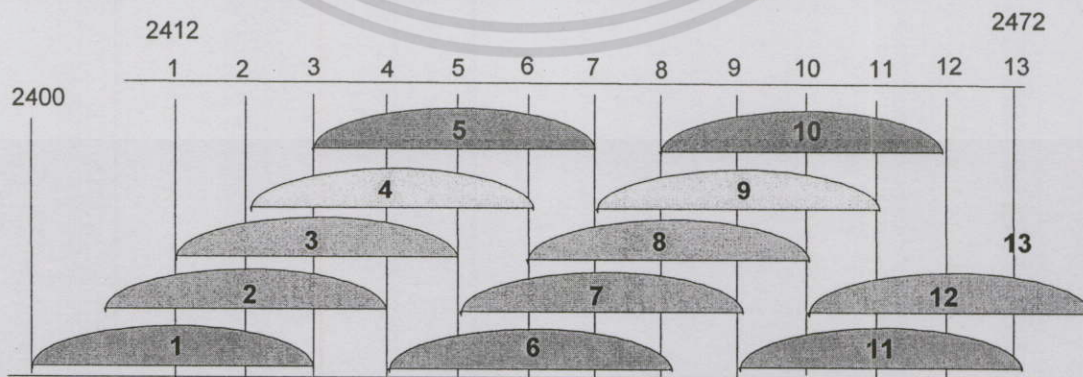
เอกสารเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ถึงมากถึง 10-50 เครื่อง ระบบนี้จึงมีเสถียรภาพมากขึ้นกว่าเดิม โยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 เครือข่ายแบบมีจุดศูนย์กลาง (Infrastructure Network)

2.5.3 เครือข่ายแบบก้าวหน้า (Advance Network)

คือการขยายเครือข่ายแบบมีจุดศูนย์กลาง (Infrastructure Network) เดิม จากที่มีอยู่เพียงเครือข่ายบริการเดียว (Base Service Set: BSS) ก็เพิ่มเป็นหลายเครือข่ายบริการ ตามแต่ขนาดของพื้นที่ให้บริการหรือจะเรียกอีกอย่างว่าหนึ่ง Extended Service Set Network: ESS โดยความก้าวหน้าของเครือข่ายแบบนี้ คือมีการจัดการโรมมิ่ง (Roaming) ซึ่งเป็นการรักษาการติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ของเซต BSS ที่อยู่ติดกันไว้ตลอดเวลา นั่นคือเมื่อผู้ใช้งานเคลื่อนย้ายการทำงานจากจุดหนึ่ง ไปยังอีกจุดหนึ่งภายในเครือข่ายบริการที่มีแนวขอบเขตสัญญาณบริการคาบเกี่ยวกันหรือต่อเนื่องกัน โดยที่การสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ที่เคลื่อนย้ายกับเครือข่ายก็ยังดำเนินอยู่ต่อไป



รูปที่ 2.13 แสดงช่องสัญญาณ IEEE802.11b/g 14 Channel [16] [17] ระโยชน์ด้านการค้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์โดยสถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี หากมีการนำข้อมูลไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากทางต้นสังกัด อาจก่อให้เกิดความเสียหายได้

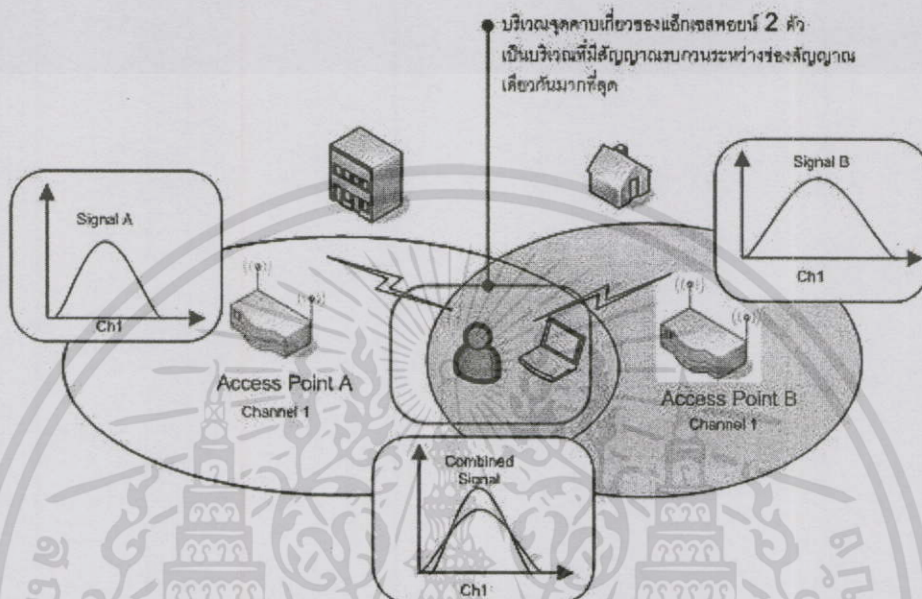
อนึ่งการที่จะทำการโรมมิ่งได้นั้น ต้องคำนึงถึงปัญหาการรบกวนกันเองในช่องสัญญาณเดียวกัน (Co-Channel Interference) หรือใกล้เคียงกันด้วย โดยแต่ละช่องสัญญาณมีความกว้าง 22 MHz และความถี่แกนกลางตามช่องสัญญาณต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.14 และตาราง 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงการจัดสรรช่องความถี่ระหว่างประเทศไทยและประเทศอื่นๆ

ความถี่กลาง (GHz)	ช่องสัญญาณ			
	ไทย	สหรัฐอเมริกา	สหภาพยุโรป	ญี่ปุ่น
2.412	1	1	1	1
2.417	2	2	2	2
2.422	3	3	3	3
2.427	4	4	4	4
2.432	5	5	5	5
2.437	6	6	6	6
2.442	7	7	7	7
2.447	8	8	8	8
2.452	9	9	9	9
2.457	10	10	10	10
2.462	11	11	11	11
2.467	12		12	12
2.472	13		13	13
2.484				14

โดยทั่วไปแล้วเครือข่ายไร้สาย (WLAN) ที่ดี จะไม่มีการติดตั้งแอ็กเซสพอยท์ (APs) อย่างน้อย 2 ตัว โดยใช้ช่องความถี่เดียวกันในบริเวณใกล้เคียงกัน ทั้งนี้เพื่อป้องกันปัญหาสัญญาณจากแอ็กเซสพอยท์ (AP) ตัวหนึ่งไปรบกวนการทำงานของแอ็กเซสพอยท์ (AP) อีกตัวหนึ่ง โดยเครื่องลูกข่ายที่อยู่ในบริเวณที่แอ็กเซสพอยท์ (APs) ตัวใดมีกำลังส่งแรงกว่าก็จะรับสัญญาณได้จากตัวนั้นและไม่สามารถรับสัญญาณจากตัวอื่นได้ ในบางตำแหน่งสัญญาณจากแอ็กเซสพอยท์ (APs) ทั้งสองก็มีความแรงใกล้เคียงกันมากจนไม่สามารถแยกรับข้อมูลใด ๆ ได้ เป็นอุปสรรคในการสื่อสารข้อมูล

เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาสัญญาณรบกวนที่จะเกิดขึ้นนี้ ก็ไม่ควรเลือกใช้ช่องความถี่เดียวกันสำหรับแอ็กเซสพอยท์ (AP) ที่อยู่บริเวณเดียวกัน แต่การเลือกใช้ช่องความถี่ที่ต่างกันนั้นยังไม่พอ เพราะในระบบ WLAN นั้น ช่องสัญญาณแต่ละช่องจะมีแบนด์วิธที่กว้างและมีการซ้อนทับกันอยู่ หากเลือกไม่เหมาะสมก็จะเกิดการซ้อนทับกันได้อีก ดังแสดงในรูปตัวอย่างที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การรบกวนกันในพื้นที่คาบเกี่ยวจากแอ็กเซสพอยท์ (APs) 2 ตัว ที่ใช้ช่องความถี่เดียวกัน

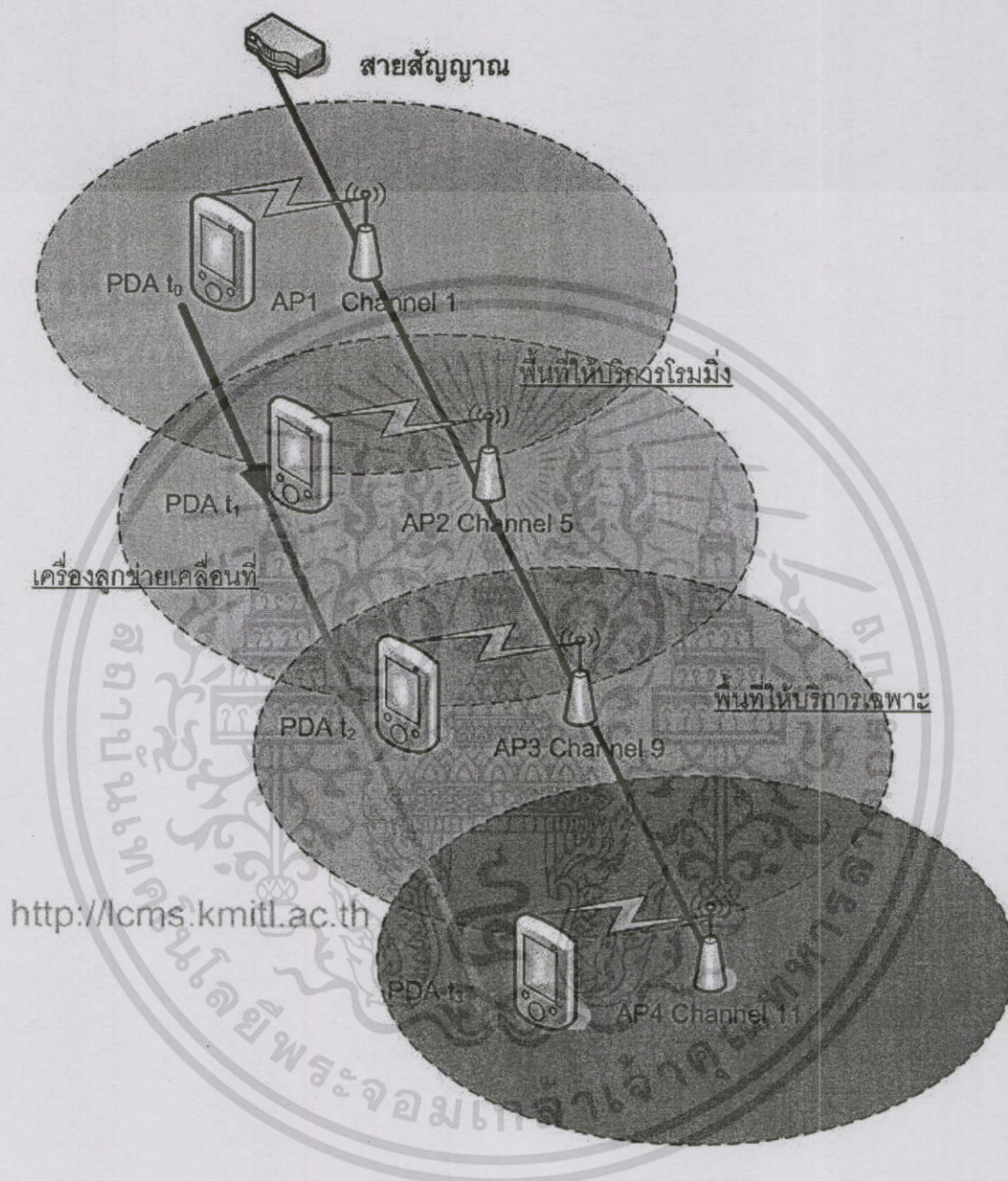
แอ็กเซสพอยท์ (AP) ตัวหนึ่งก็มีความสามารถรองรับผู้ใช้ได้จำนวนหนึ่ง การเพิ่มจำนวนแอ็กเซสพอยท์ (APs) จึงหมายถึงการเพิ่มความจุของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) แต่ก็มีปัญหาคือ ช่องสัญญาณที่ไม่ซ้อนทับกันในระบบ WLAN ตามมาตรฐาน 802.11b/g นั้นมีเพียง 3 ช่อง ดังนั้น การเพิ่มแอ็กเซสพอยท์ (APs) เพื่อเพิ่มความจุของเครือข่ายในบริเวณหนึ่ง ๆ จึงทำได้มากที่สุดเพียง 3 ตัว

ในการกำหนดช่องสัญญาณของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ปรกติจะกำหนดให้ช่องแรกเริ่มต้นที่ความถี่ 2412 MHz (เมกะเฮิรตซ์) และช่องถัดมาจะห่างกันช่องละ 5 MHz (เมกะเฮิรตซ์) ซึ่งถ้านับก็จะมีเท่ากับ 13 ช่อง แต่สามารถใช้งานได้เพียง 3 ช่องเท่านั้น จึงจะไม่มีการซ้อนทับกันระหว่างช่อง

การใช้ Non – Overlapping Channel จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการรบกวนกันของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (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 ในการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้เกิดปัญหาการรบกวนกันได้ ดังรูปที่ 2.15 แสดงเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ขนาดใหญ่ ที่มีเครือข่ายย่อย ๆ ประกอบกัน



รูปที่ 2.15 เครือข่ายขนาดใหญ่แบบหลายเครือข่าย (Advance Network)

2.6 การออกแบบและวางระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN)

ในการออกแบบเครือข่ายไร้สายทั่วไปให้ดีขึ้น มีหลักในการออกแบบดังนี้

- มาตรฐานที่ระบบไร้สาย ดังได้กล่าวมาตั้งแต่ต้นว่า แต่ละมาตรฐาน IEEE802.11x มีลักษณะความเข้ากันได้ของอุปกรณ์ที่นำมาใช้งานแตกต่างกันจึงต้องเลือกให้เหมาะสมกับการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **พื้นที่ให้บริการ (Coverage Area)** ครอบคลุมพื้นที่ใช้งานมากขึ้นขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของแต่ละองค์กร รวมทั้งช่องความถี่ที่ใช้งานซึ่งถ้าเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่เช่น หอประชุมนิทรรศการสถาบันฯ อาจจะต้องใช้การนำความถี่เดิมมาหมุนเวียนใช้ในการให้บริการ (Frequency Re-use) ดังแสดงในรูปที่ 2.15 นอกจากนี้ยังต้องคำนึงถึงทิศทาง การแพร่กระจายคลื่นด้วย เช่นถ้าพื้นที่เป็นแนวทแยง หรือลิงค์ระหว่างตึกสามารถที่จะใช้สายอากาศแบบบังคับทิศทาง (Directionality Antenna) มาใช้ ซึ่งจะดีกว่าการใช้สายอากาศแบบรอบทิศทาง (Omni Antenna) ที่เหมาะกับพื้นที่ที่มีจุดศูนย์กลาง

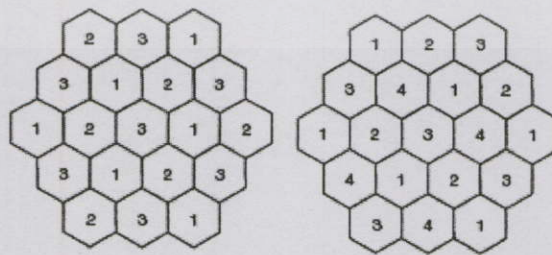
- **ความจุของเครือข่าย (Capacity)** การคำนวณประมาณการเครื่องลูกข่ายที่จะเข้ามาใช้งานให้เพียงพอกับความเร็วที่ยอมรับได้ แอ็กเซสพอยท์ (AP) ตัวหนึ่งนั้นมีหน้าที่ในการควบคุมการรับ - ส่งข้อมูลในระบบเครือข่าย WLAN ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ และมีหน้าที่เชื่อมต่อไปยังเครือข่ายหลัก หากจำนวนผู้ใช้มีปริมาณมากขึ้น หรือผู้ใช้แต่ละคนมีความต้องการรับ ส่งข้อมูลปริมาณมากขึ้น สามารถใช้สมการ (2.18) ในการหาความเหมาะสมของจำนวนแอ็กเซสพอยท์ (AP) ได้ดังนี้

$$AP = \frac{Bandwidth \times NumberofUser \times ActiveperUser}{\%Efficiency \times SpeedofAP} \quad (2.18)$$

เมื่อ

AP คือจำนวนของแอ็กเซสพอยท์ (APs)

- **ความปลอดภัยกับเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (Security)** ในการรับ-ส่งของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย จะแผ่คลื่นวิทยุออกไปทุกทิศทาง ดังนั้นอาจจะมีผู้ไม่ประสงค์ดี การดักจับสัญญาณวิทยุได้ แม้ว่าแต่ละแพ็กเก็ตข้อมูลจะถูกเข้ารหัสไว้แล้วก็ตาม ก็อาจมีการถอดรหัสออกได้เช่นกัน ดังนั้นความซับซ้อนของการเข้ารหัสจะทำให้การลักลอบใช้งานยากขึ้นซึ่งมีหลายวิธีการ



(ก) N=3

(ข) N=4

รูปที่ 2.16 แสดงจำนวน(N) ในการนำความถี่เดิมมาใช้งาน (Frequency Re-use) ขนด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 การคำนวณหาจำนวนแอ็คเซสพอยท์ (APs) เพื่อรองรับจำนวนผู้ใช้งาน

ตัวอย่าง ในห้องประชุมแห่งหนึ่งมีผู้ใช้งานจำนวน 100 คน แต่ละคนต้องการทั้งดาวน์โหลดและอัปโหลดข้อมูลด้วยความเร็ว 250 กิโลบิตต่อวินาทีพร้อม ๆ กัน ขณะนั้นจะมีผู้ใช้งานพร้อม ๆ กันประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมด และเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) นี้มีประสิทธิภาพเพียง 50 % ให้หาจำนวนแอ็คเซสพอยท์ (APs) เพื่อรองรับการใช้งานนี้

จากสมการที่ (2.18)

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

$$= 2.27 \quad \text{ตัว}$$

จากคำตอบข้างต้น คือ 2.27 ตัว ซึ่งในทางปฏิบัติก็คือ การติดตั้งแอ็คเซสพอยท์ (APs) 3 ตัว ที่ใช้ความถี่ไม่ซ้อนทับกัน 3 ความถี่ในบริเวณเดียวกันได้ จะไม่ทำให้เกิดการรบกวนกันเองได้ แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อผู้ใช้เพิ่มความต้องการทั้งดาวน์โหลดและอัปโหลดข้อมูลเป็น 750 กิโลบิตต่อวินาทีพร้อม ๆ กัน โดยตัวแปรอื่น ๆ ยังเหมือนเดิม จะต้องทำการเพิ่มแอ็คเซสพอยท์ อีกก็ตัวจึงจะรองรับผู้ใช้เหล่านั้นได้

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

$$= 6.8 \quad \text{ตัว}$$

จำนวนแอ็คเซสพอยท์ (APs) ก็คือ 7 (6.8) ตัว ซึ่งเป็นไปได้ยาก เพราะในทางปฏิบัติการใช้แอ็คเซสพอยท์ (APs) 7 ตัวก็ต้องใช้ความถี่ถึง 7 ความถี่ ในมาตรฐาน WLAN 802.11b มีชุดความถี่ที่ไม่ซ้อนทับกัน (Non - Overlapping Channel) ให้เลือกเพียง 3 ความถี่ นั้นหมายความว่า จะใช้ความถี่ซ้ำกันในบริเวณเดียวกัน จะทำให้เกิดปัญหาสัญญาณรบกวนกันระหว่างแอ็คเซสพอยท์ (APs) ที่อยู่ใกล้เคียงกันได้ เพราะว่าในห้องประชุมนี้จะกว้างไม่มาก คลื่นจากแอ็คเซสพอยท์ (AP) ตัวหนึ่งในบริเวณห้องประชุมสามารถเดินทางไปรบกวนอีกตัวหนึ่งที่ใช้ความถี่เดียวกันได้

วิธีการเพิ่มแอ็คเซสพอยท์ (AP) จึงไม่สามารถเพิ่มความจุได้ตามต้องการ เทคนิคที่ใช้เพิ่มความจุสำหรับห้องประชุมแห่งนี้ก็คือ การเปลี่ยนอุปกรณ์ไวร์เลสทั้งหมดเป็นมาตรฐาน 802.11g ที่ความเร็วเท่ากับ 54 เมกะบิตต่อวินาที แม้ว่าประสิทธิภาพของมาตรฐานนี้จะอยู่ที่ประมาณ 40% แต่ก็ช่วยแก้ไขปัญหานี้ได้โดยเมื่อคำนวณหาจำนวนแอ็คเซสพอยท์ (APs) เท่ากับ

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

$$= 1.73 \quad \text{ตัว}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

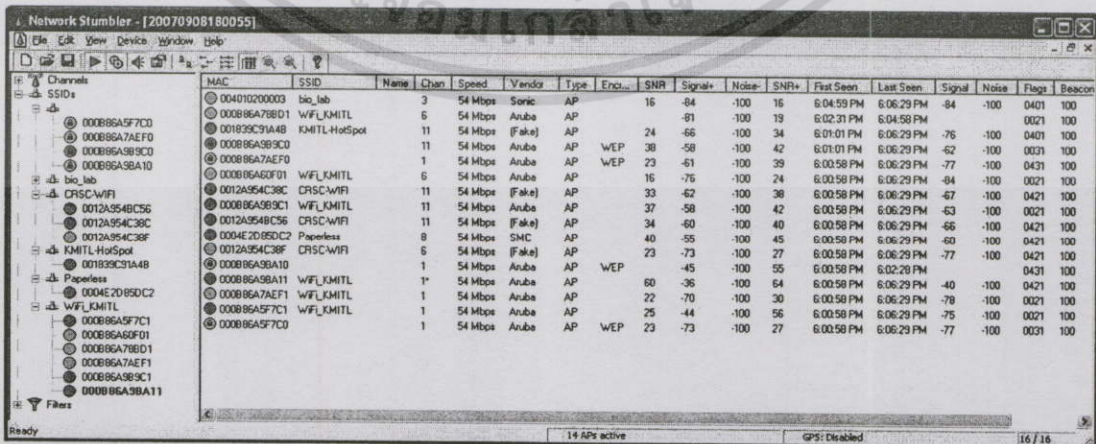
2.6.2 เครื่องมือวิเคราะห์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN)

เครื่องมือวิเคราะห์เครือข่ายโพรโทคอลนาไลเซอร์ (Protocol Analyzer) [27][28][29][30] หรือเรียกอีกอย่างว่า แพ็กเก็ตสไนฟเฟอร์ (Packet Sniffer) เป็นเครื่องมือวิเคราะห์การไหลเวียนของข้อมูลในระบบเครือข่าย เครื่องมือนี้สามารถใช้ตรวจจับเฟรมข้อมูลที่วิ่งอยู่บนเครือข่าย แสดงข้อมูลที่อยู่ในแต่ละเฟรมที่ตรวจจับได้นี้ หรือกรองข้อมูลเหล่านั้นได้ โดยสามารถแก้ไขข้อมูลที่อยู่ในแต่ละเฟรมแล้วค่อยส่งต่อไปได้ สามารถแสดงสถิติของอุปกรณ์เช่นอัตราการรับ-ส่งข้อมูล และรายงานผลการวิเคราะห์กราฟฟิคในรูปแบบที่อ่านง่าย เครื่องมือนี้จึงนิยมนำมาวิเคราะห์เกี่ยวกับความแรงสัญญาณคลื่นวิทยุ เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ ในส่วนที่เป็นฟรีซอฟต์แวร์ ที่มีการนิยมใช้แพร่หลาย ตัวอย่างเช่น

- คิสเมท Kismet (<http://www.kismetwireless.net>)
- เน็ตสตั้มเบลอร์ NetStumbler (<http://www.netumbler.com>)

คิสเมท (Kismet)

เป็นเครื่องมือที่ติดตั้งในระบบยูนิกซ์ (Unix OS) สามารถค้นหาสัญญาณของกับแอ็คเซสพอยท์ที่แพร่กระจายคลื่น (Broadcast) สามารถค้นหาเครือข่ายทั้งเครือข่ายกระจายสัญญาณ SSID และที่ไม่ได้กระจายสัญญาณ SSID ได้ด้วย นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมต่อกับเครือข่ายแบบเปิด (Open network) ที่ใช้ระบบรักษาความปลอดภัยไม่สูงมากได้ เช่นคีย์ WEP ซึ่งคือการกำหนดระดับการรักษาความปลอดภัยให้กับอุปกรณ์แอ็คเซสพอยท์แต่ละชุดโดยอ้างอิงกับ MAC Address ซึ่งเป็นหมายเลขเฉพาะการ์ดบนเครื่องลูกข่าย นอกจากนี้ยังมีวิธีการที่ปลอดภัยมากขึ้นคือ WPA (Wi-Fi Protected Access) สำหรับเครือข่ายที่ไม่ใหญ่ ส่วนถ้าเป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สายขนาดใหญ่เช่น เครือข่าย KMITL Wi-Fi จะใช้เซอร์เวอร์ RADIUS (Remote Authentication Dial-in user Service) สำหรับตรวจสอบและพิสูจน์สิทธิของผู้ใช้งาน

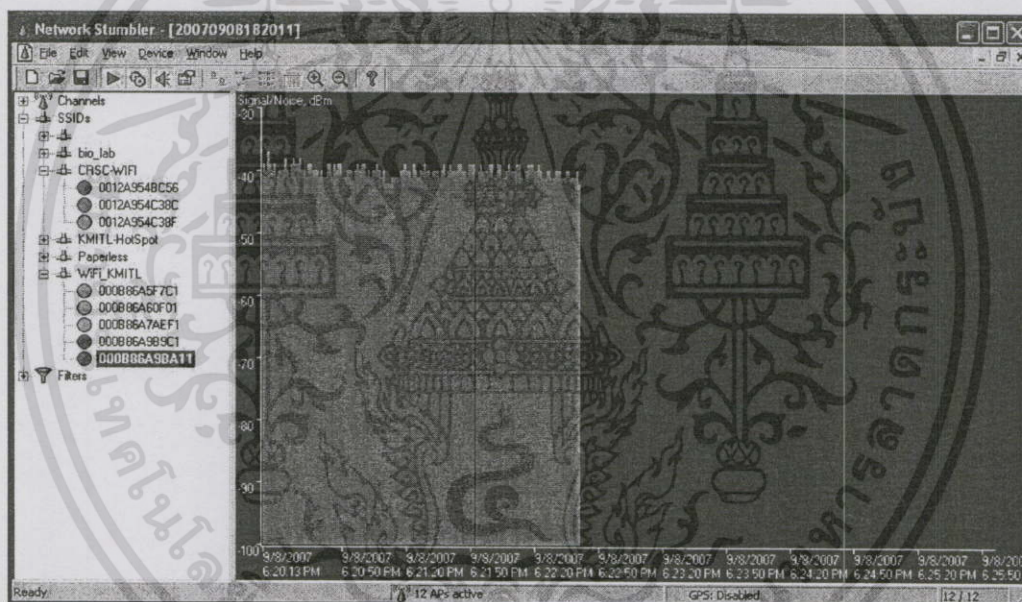


รูปที่ 2.17 การใช้โปรแกรมเน็ตสตั้มเบลอร์ ณ สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสวนเวสสาหรับการเขงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ยู่ได้เห็นใบเซิประเขงานด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เน็ตสตั้มเบลอร์ (NetStumber)

เป็นเครื่องมือที่ติดตั้งในระบบวินโดวส์ Windows® ช่วยในการค้นหาสัญญาณของแอ็คเซสพอยท์ที่แพร่กระจายคลื่น มีความสามารถในการคำนวณหาอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio: SNR) ได้ ในการทำงานจะกระจายสัญญาณคลื่นลูกข่าย (Client Probe) ออกไปสำรวจและรายงานทุกแอ็คเซสพอยท์ ที่ตอบกลับมาและจะพยายามดักจับ ESSID เมื่อสามารถเชื่อมต่อเข้ากับแอ็คเซสพอยท์ได้แล้ว เน็ตสตั้มเบลอร์สามารถค้นหาเครื่องลูกข่าย WLAN ที่อยู่ในระดับเครือข่ายชั้นเดียวกันได้ (BSS) ถึงแม้ว่าเน็ตสตั้มเบลอร์จะไม่มีฟีเจอร์ในการดักจับแพ็กเก็ต ในการดักจับแพ็กเก็ตนั้นสามารถทำได้โดยการใช้เน็ตเวิร์คไดร์ฟเวอร์ที่มีการทำงานแบบโพรมิสซิวยุสโหมด (Promiscuous Mode) ได้ ซึ่งในโหมดนี้ไวส์เลสการ์ดจะจับทุกๆ แพ็กเก็ตที่รับได้โดยไม่สนใจที่อยู่ปลายทาง



รูปที่ 2.18 กราฟที่แสดง อัตราส่วน S/N ณ สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์

อัตราส่วนความแรงของสัญญาณต่อการรบกวน หรือ (S/N) เป็นค่าที่จะบอกถึงคุณภาพของการรับความแรงสัญญาณ $RSSI$ หากว่าความแรงของสัญญาณ (Signal) มากกว่าสัญญาณรบกวน (Noise) แล้ว ข้อมูลที่ได้ก็จะมีคุณภาพดีสูง น่าเชื่อถือสูง แต่ถ้าสัญญาณรบกวนมีมากกว่าก็จะทำให้การแยกแยะข้อมูลที่ต้องการออกมาได้ยาก หน่วยที่ใช้วัดมีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB) ซึ่งมีสูตรสมการคือ

$$SNR = 10 \log \frac{\text{Signal}}{\text{Noise}} \quad (2.19)$$

ในการคำนวณหากมีการคิดค่าความแรงของสัญญาณในเดซิเบล (dB) สามารถนำค่านั้นมาลบกันได้โดยตรง ซึ่งตรงกับสูตรคณิตศาสตร์คือ

$$\text{เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ} SNR_{dB} = \text{Signal}_{dB} - \text{Noise}_{dB} \text{ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้วยการค้า} \quad (2.20)$$

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

เทคโนโลยีการทำนายตำแหน่งภายในอาคาร

ในการทำนายตำแหน่ง (Positioning System) ถ้าแบ่งโดยกว้างๆ แล้ว จะสามารถแบ่งออกได้ 2 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ การระบุตำแหน่งในที่โล่งแจ้ง (Outdoor Positioning System) และการทำนายตำแหน่งเฉพาะภายในอาคาร (Indoor Positioning System) ซึ่งในบทนี้ จะกล่าวถึงภาพรวมของเทคโนโลยีของการระบุตำแหน่งตามวิธีการต่างๆ ของทั้งสองกลุ่มดังกล่าว โดยจะกล่าวอ้างอิงเทคโนโลยีจีพีเอส (GPS) จากนั้น จะกล่าวไปยังเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งภายในอาคาร

3.1 ภาพรวมของเทคโนโลยีในการระบุตำแหน่ง

เทคโนโลยีการระบุตำแหน่งนั้น ตั้งอยู่บนหลักการพื้นฐานหลายรูปแบบ ในส่วนนี้จะสรุปโดยย่อของหลักการพื้นฐานต่าง ๆ ที่มีใช้กันในปัจจุบันและงานวิจัยการทำนายตำแหน่งในห้องวิจัยต่างๆ ได้แก่เทคโนโลยีที่ใช้ สัญญาณคลื่นวิทยุ (Radio Frequency: RF) สัญญาณคลื่นอัลตราโซนิค (Ultrasonic) คลื่นอินฟราเรด (Infrared: IR) เทคโนโลยีสนามแม่เหล็กไฟฟ้า และแสง (Optical) นอกนั้นอาจไม่เกี่ยวข้องโดยตรง แต่ก็มีความสัมพันธ์กับการระบุตำแหน่ง ที่น่าศึกษาซึ่งจะกล่าวละเอียดในหัวข้อต่อไป

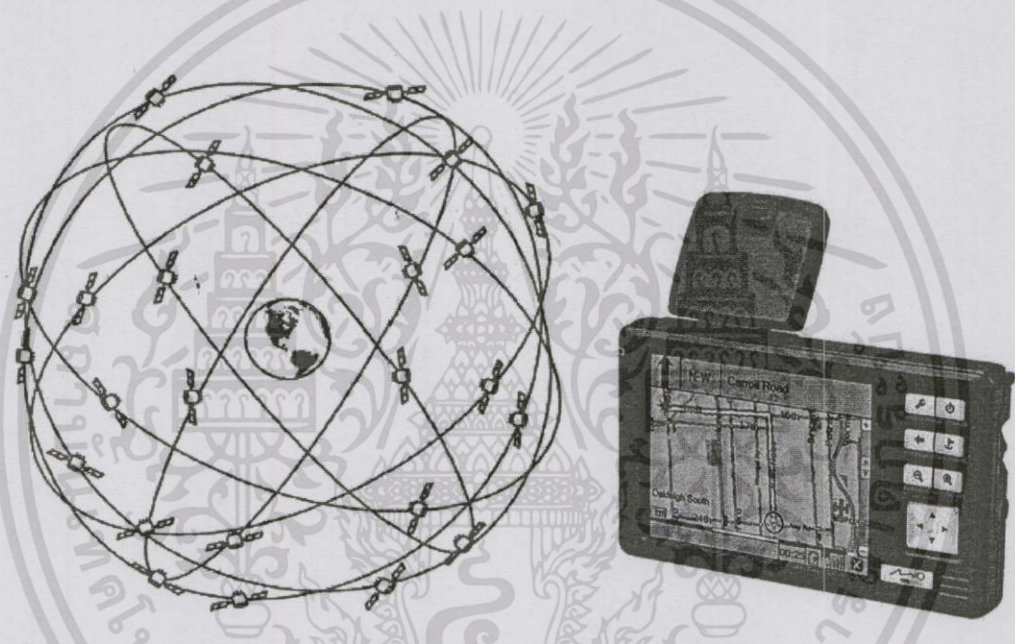
3.1.1 เทคโนโลยีคลื่นวิทยุ (Radio Frequency: RF base System)

ระบบนี้นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยใช้พื้นฐานการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ ซึ่งขึ้นอยู่กับช่วงความถี่ที่ใช้กับสภาพแวดล้อมต่างๆ ประกอบกับวิธีการคำนวณทางคณิตศาสตร์แบบต่างๆ โดยทั่วไปจะใช้ สมการคลาสสิกทางฟิสิกส์ $d = ct$ โดยที่ ความสัมพันธ์ของระยะทาง (d) มีหน่วยเป็นเมตร จะเท่ากับความเร็ว (c) คูณกับเวลา (t) เมื่อ c คือความเร็วของคลื่นวิทยุในสุญญากาศ มีค่าเท่ากับความเร็วแสงคือ 3×10^8 m/s (เมตรต่อวินาที) ซึ่งแสงจัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง ดังนั้นเมื่อทราบเวลาสัญญาณวิทยุที่ทำการส่ง-รับแล้ว สามารถใช้สมการดังกล่าวย้อนกลับหารระยะทางได้ ตัวอย่างที่ใช้วิธีการนี้เช่นระบบเรดาร์ (Radio Detection and Ranging: RADAR) และการระบุตำแหน่งด้วยดาวเทียมจีพีเอส (GPS)

ระบบจีพีเอส (GPS) คือระบบที่ทำหน้าที่บอกตำแหน่งบนพื้นผิวโลกโดยการอ้างอิง จากสัญญาณคลื่นวิทยุดาวเทียมจีพีเอส (GPS) โดยเฉพาะ กิดค้นพัฒนาขึ้นโดยกระทรวงกลาโหมของประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S. Department of Defense) โดยในระยะแรกของโครงการนี้ เน้นที่จะใช้งานเฉพาะด้านการทหารเท่านั้น แต่ในปัจจุบันพลเรือนสามารถนำมาใช้งานได้ ด้วยการบอกตำแหน่งในโหมคมาตรฐาน (Standard Positioning Service: SPS) การบอกตำแหน่งโหมคนี้ เปิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยไม่มีการเข้ารหัสใดๆ แต่ข้อมูลที่ได้ จะมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้างใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดาวเทียมจีพีเอส (GPS) ปัจจุบันมีทั้งหมด 29 ดวง โคจรอยู่ที่ระดับความสูง 20,162.61 กิโลเมตร โดยแบ่งระนาบการโคจร (Orbital plane) ออกเป็น 6 ระนาบ ทำมุม 60 องศา ระหว่างกัน โดยแต่ละระนาบจะมีดาวเทียมระนาบละ 4 ดวง แต่ละวงโคจรของดาวเทียมทำมุม 55 องศา กับแนวเส้นศูนย์สูตร ดาวเทียมแต่ละดวงใช้เวลาในการโคจรรอบโลก 1 รอบประมาณ 11 ชั่วโมง 58 นาที มีส่วนควบคุมประกอบด้วยสถานีฐานที่ทำหน้าที่ควบคุมและสังเกตการทำงานของดาวเทียมให้อยู่ในสภาพที่ถูกต้องอยู่เสมอ แต่เทคโนโลยีจีพีเอส (GPS) นี้ ยังมีข้อจำกัดในการใช้งาน จากปัญหาของขอบเขตการครอบคลุมสัญญาณและจุดอับของสัญญาณ เช่น ภายในอาคารต่างๆ จะมีกำแพงหรือหลังปิดกั้นสัญญาณดาวเทียมจีพีเอส (GPS) ทำให้สัญญาณคลื่นจีพีเอส (GPS) เข้าไม่ถึงเครื่องลูกข่าย (Non-light of sign: NLoS)



รูปที่ 3.1 การระบุตำแหน่งด้วยระบบจีพีเอส (GPS)

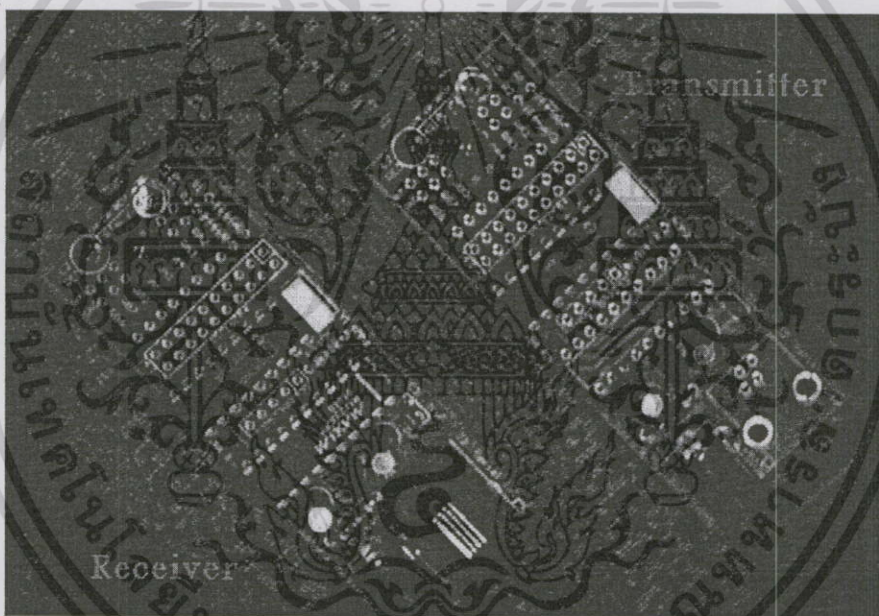
3.1.2 ระบบอินฟราเรด (Infrared System: IR base System)

วิธีการนี้ใช้แสงอินฟราเรด (IR) ใช้ย่านคลื่นความถี่ 1,000 GHz หรือ 1 THz ในสื่อสาร ซึ่งจะมีขอบเขตของสัญญาณประมาณ 5 เมตร คุณสมบัติเด่นของคลื่นอินฟราเรด คือสัญญาณคลื่นเดินทางเป็นแนวตรง ระบบมีราคาถูก และง่ายต่อการผลิตใช้งาน แม้ว่าคลื่นชนิดนี้จะมีการทำงานที่รวดเร็วมาก และในทางทฤษฎีสามารถทำแบนด์วิธได้กว้างถึง 20 MHz. แต่ในทางปฏิบัติจะทำได้ไม่ถึงขนาดนั้น เพราะอินฟราเรดเป็นคลื่นความถี่ที่สูงมาก ทำให้ความสามารถในการข้ามสิ่งกีดขวางที่มีขนาดใหญ่กว่าลดลง และสัญญาณคลื่นจะอ่อนกำลังลงตามรบกวนของแสงหรือเกิดการสอดแทรกจากอุปกรณ์กำเนิดแสงอินฟราเรดอื่นๆ แนนอนสำหรับการสื่อสารในระยะไกลแล้วระบบอินฟราเรด (IR) มีค่าใช้จ่ายที่แพงมากยิ่งขึ้น ดังนั้นจึงเหมาะสำหรับการสื่อสารภายในอาคารช่วงสั้นๆ เท่านั้น ตัวอย่างของระบบที่ใช้อินฟราเรด (IR) ในการทำนายตำแหน่งคือ ระบบแอ็คทีฟเบดจ์ (Active Badge System) [9]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ควรปฎิบัติอย่างระมัดระวังในการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบแอคทีฟเบดจ์ (Active Badge System) [9]

เป็นระบบแรกๆ ที่มีการใช้งานจริง วิจัยและพัฒนาโดยห้องวิจัยของโอลิเวตตี (Olivetti Research Laboratory) ซึ่งตอนนี้กลายเป็นส่วนหนึ่งของเอทีแอนด์ที (AT&T) ไปแล้ว การทำงานคร่าว ๆ ของระบบดังกล่าวมีดังนี้ คือการใช้การมอดคูเลทแสงอินฟราเรดด้วยพัลส์วิธ (Pulse-Width modulated) โดยใช้ในการสื่อสารทั้งการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างตัวเบดจ์ (The Badge) กับตัวอินฟราเรด ที่ติดตั้งไว้ตามจุดต่าง ๆ ภายในอาคาร โดยตัวเบดจ์ (The Badge) จะมีตัวรับอินฟราเรดแบบ 2 ทิศทาง (bi-direction infrared) คือทำหน้าที่ทั้งการรับและส่งในคราวเดียวกัน โดยจะมีเซอร์เวอร์คอมพิวเตอร์คอยจัดเก็บรวบรวมตำแหน่งของตัวเบดจ์ไว้ โดยเหตุที่แสงอินฟราเรดสะท้อนได้ดี กับผนังหรือพื้นวัสดุต่างๆ ในการออกแบบระบบจึงสามารถทำได้ง่าย แต่ก็ไม่สามารถทำระยะทางไกล ๆ ได้ นอกจากนี้ยังมีการรบกวนจากแหล่งกำเนิดแสงอินฟราเรดอื่นๆ เช่นจากแสงแคดหลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent) เป็นต้น



รูปที่ 3.2 ระบบอินฟราเรด (Infrared System: IR)

3.1.3 ระบบอัลตราโซนิก (Ultrasonic System)

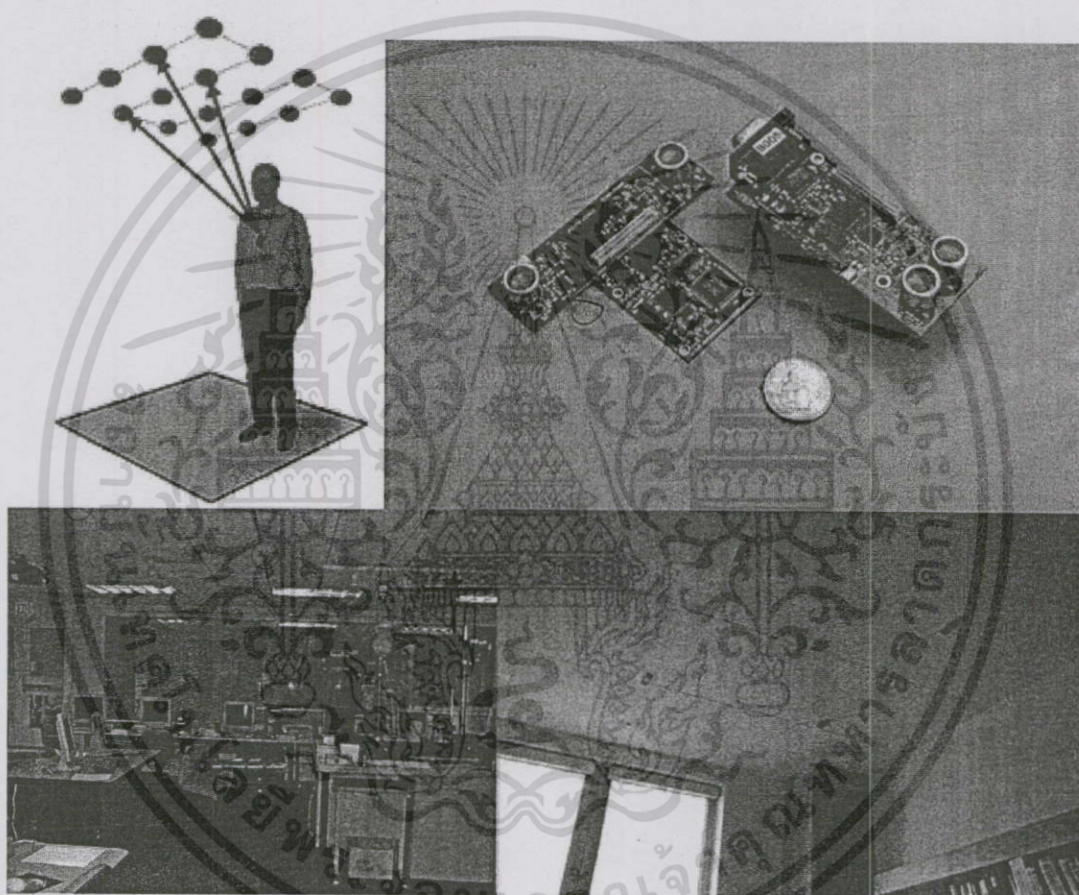
ระบบอัลตราโซนิกนี้มีการใช้งานมานานแล้ว คลื่นอัลตราซาวด์คือคลื่นเสียงที่มีความถี่สูงกว่าที่หูของมนุษย์จะได้ยิน ที่อยู่ในช่วงความถี่ 20 Hz ถึง 20 kHz แต่คลื่นเสียงอัลตราโซนิกนี้จะอยู่ในช่วงความถี่ตั้งแต่ 20 kHz. ถึง 200 kHz. ระยะทำการของคลื่นอัลตราซาวด์นี้คือ 3 ถึง 10 เมตร. โดยใช้ความเร็วการแพร่กระจายคลื่นประมาณ 330 m/s (เมตร/วินาที) ในการสร้างวงจรความถี่ต่ำนั้นทำได้ไม่ยาก ดังนั้นค่าใช้จ่ายในระบบนี้จึงถูกมาก และก็ง่ายต่อการควบคุมด้วย แต่คลื่นชนิดนี้ก็มีข้อด้อยตรงที่จะมีผลของการรบกวนเป็นอย่างมาก จากปัจจัยทั้งความชื้น อุณหภูมิ การไหลเวียนของอากาศและสัญญาณของตัวเอง ก็จะมีการสะท้อนกลับไปตามาเรียกว่าเอคโค

(Echo) อีกด้วย จากคุณสมบัตินี้ก็นำไปใช้อย่างกว้างขวางในงานโซนาร์ (Sonar) เป็นต้นด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบแอ็คทีฟแบท (Active bat system)

โดยเป็นพัฒนาการขั้นที่ 2 ของห้องวิจัยเอทีแอนด์ที AT&T และมหาวิทยาลัยเคมบริดจ์ (University of Cambridge) โดยพัฒนาต่อจากระบบแอ็คทีฟแบดจ์ (Active Badge System) หลักการคือใช้ 3-D อัลตราโซนิก โดยใช้เทคนิคการวัดเวลาที่ต่างกัน ในการมาถึงของสัญญาณ (*Time difference of Arrival: TDOA*) โดยวัดเวลาที่ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุและคลื่นอัลตราโซนิกที่กระจายสัญญาณที่มีการระบุตำแหน่งจากตัวแบท (The Bat) ออกมาด้วย จากการรายงานของเอทีแอนด์ที (AT&T) ระบบดังกล่าวนี้ มีความแม่นยำสูงแต่มีความซับซ้อนของระบบค่อนข้างมาก



รูปที่ 3.3 ตัวคลิกเกิด สถาบันเทคโนโลยีแห่งเมสซาชูเซตส์ (MIT)

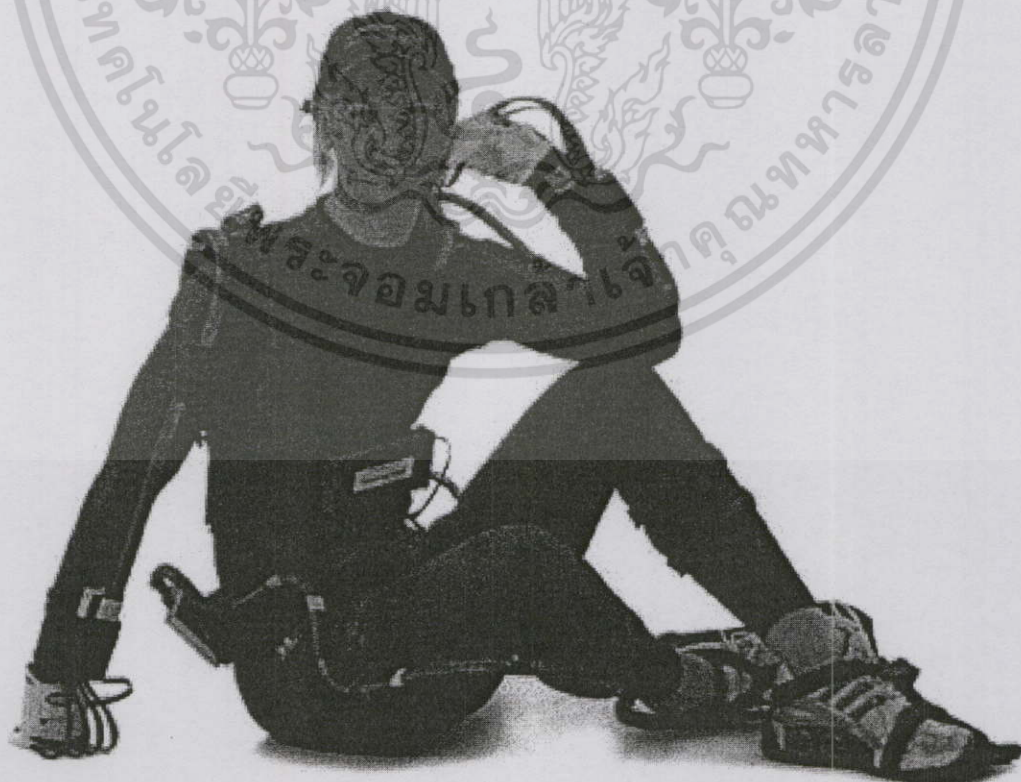
ระบบคลิกเกิด (Cricket System) [11][26]

เป็นระบบอัลตราโซนิกอีกแบบหนึ่ง พัฒนาให้ก้าวหน้ามากกว่าระบบแอ็คทีฟแบดจ์ (Active badge System) เดิม โดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเมสซาชูเซตส์ (MIT) โดยมีการใช้ทั้งคลื่นความถี่วิทยุ (RF base system) ที่สามารถส่งสัญญาณจากแหล่งกำเนิดที่มีความสอดคล้องพร้อมกัน (Synchronized RF) และการรับสัญญาณคลื่นอัลตราโซนิกจากกริดต่างๆ ควบคู่กันกับการวัดหาระยะห่าง โดยที่คลื่นจะมีวิธีการส่งสัญญาณแบบสุ่มเพื่อหลีกเลี่ยงการรบกวนกันเอง ทำให้

นำเชื่อถือสูงมากขึ้นกว่าเดิม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 ระบบสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (AD/DC Electromagnetic)

ระบบนี้มีการใช้งานที่ต้องการความแม่นยำสูงมาก (Precision-Tracking Systems) โดยใช้หลักการสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้า ใช้ได้ทั้งไฟฟ้ากระแสตรง (DC) และกระแสสลับ (AC) แต่ที่นิยม จะใช้กระแสตรงมากกว่าเพราะปลอดภัยและไม่ยุ่งยากมาก หลักการคือสร้างสายอากาศสำหรับการรับและการส่ง โดยจะมีขดลวดเหนี่ยวนำที่ตั้งฉากกันและกัน 3 แกน จากนั้นสร้างสัญญาณรูปพัลส์จากไฟฟ้ากระแสตรง (DC Pulse) ง่ายให้แก่อุปกรณ์ของขดลวด เหนี่ยวนำเพื่อให้แผ่สนามแม่เหล็กออกมา ซึ่งการทำนายตำแหน่งจะใช้ทั้งความเข้ม มีหน่วยเป็นเกาส์ (Gauss) และมุมของสนามแม่เหล็กแพร่กระจายออกมา โดยทำการวัดค่าออกมาแปรตามตำแหน่งต่างๆ กลิ่นนี้มีความเร็วสูงมาก โดยมีระยะการทำงานอยู่ที่ 1 ถึง 3 เมตร จึงนิยมใช้อุตสาหกรรมการสร้างภาพยนตร์จากคอมพิวเตอร์ โดยใช้ตรวจจับการเคลื่อนไหวของตัวนักแสดงที่สวมชุดเมกเนติ ที่จะกลายเป็นแผนที่กำลังรับ ที่สามารถเคลื่อนไปตามระบบด้วยกัน จากนั้นใช้ซอฟต์แวร์แปรไปเป็นการเคลื่อนไหวในทางคอมพิวเตอร์กราฟฟิก ทำให้ภาพที่สร้างจากวิธีการนี้ มีการเคลื่อนไหวสมจริงมาก เป็นต้น อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ต้องการสนามแม่เหล็กที่แน่นอนมาก อาจจะมีปัญหาการสอดแทรกจากโลหะที่เหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กได้ เช่น สนามแม่เหล็กโลกเอง และจอภาพแบบซีอาร์ที (Cathode Ray Tube: :CRT Monitor) ดังนั้นจึงต้องมีการปรับแต่งชดเชยให้ถูกต้องเที่ยงตรงที่สุด ระบบที่ดีเยี่ยมจึงมีราคาแพงมาก เช่น ระบบ STAR*TRAK tracker มีราคาแพงมาก สูงถึง 5 แสนปอนด์

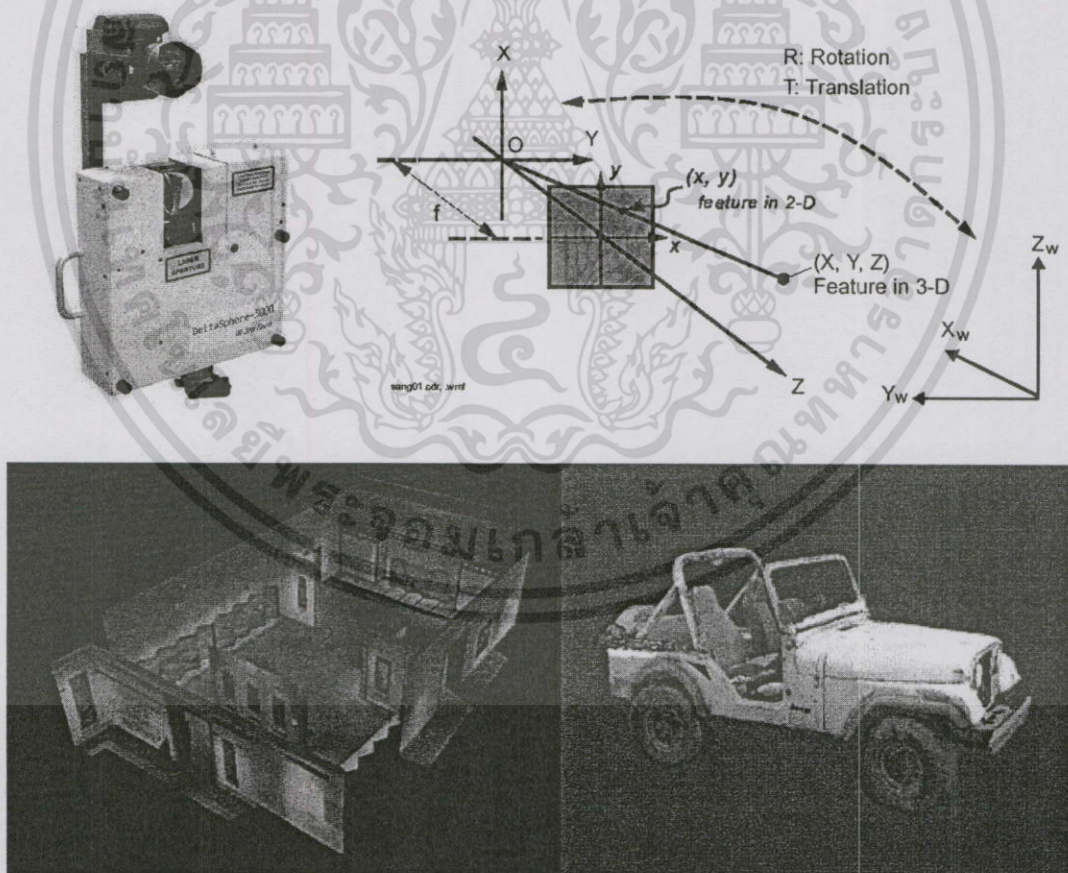


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.5 ระบบวิธีการทางแสง (Optical System)

การระบุตำแหน่งทางแสงมีการใช้งานอย่างกว้างขวางมานานแล้ว มีทั้งตรวจจับจากแสงจากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติหรือเกิดจากอุปกรณ์กำเนิดแสงประดิษฐ์ขึ้น อุปกรณ์ตรวจจับจึงมีมากมาย ตั้งแต่การใช้กล้องวิดีโอธรรมดา ไดโอดเปล่งแสง (LED) ไปจนถึง เลเซอร์ไดโอด (Laser Diode) วิธีการนี้ ต้องการเส้นแนวแสงในแนวสายตา (Line of Sight: LOS) นั่นคือต้องไม่มีอุปสรรคมาบดบังในแนวแสงระหว่างแหล่งกำเนิดถึงเป้าหมาย

วิธีการนี้ถูกพัฒนาก้าวหน้าไปอย่างมาก เพราะความก้าวหน้าในเทคโนโลยีเลเซอร์ ที่ถูกนำมาใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง โดยแสงเลเซอร์เดินทางเป็นลำแสงเส้นตรงต่างจากแสงชนิดอื่นๆ แต่ความปลอดภัยก็เป็นสิ่งที่ต้องให้ความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากแสงเลเซอร์มีอันตรายมาก ส่วนระบบวิดีโอแม้ว่าตัวกล้องในปัจจุบันจะมีราคาลดลงมากแล้วก็ตาม แต่ก็ยังแพงอยู่เมื่อนำไปใช้ในระบบขนาดใหญ่ ที่มีระยะจับภาพอยู่ไกลๆ เพราะต้องใช้เลนส์คุณภาพสูงจึงจะได้ภาพที่คมชัด อย่างไรก็ตามในอนาคตมีโอกาสที่ราคาจะลดลงมาเรื่อยๆ เพราะมีแนวโน้มที่จะได้รับความนิยมสูงขึ้น



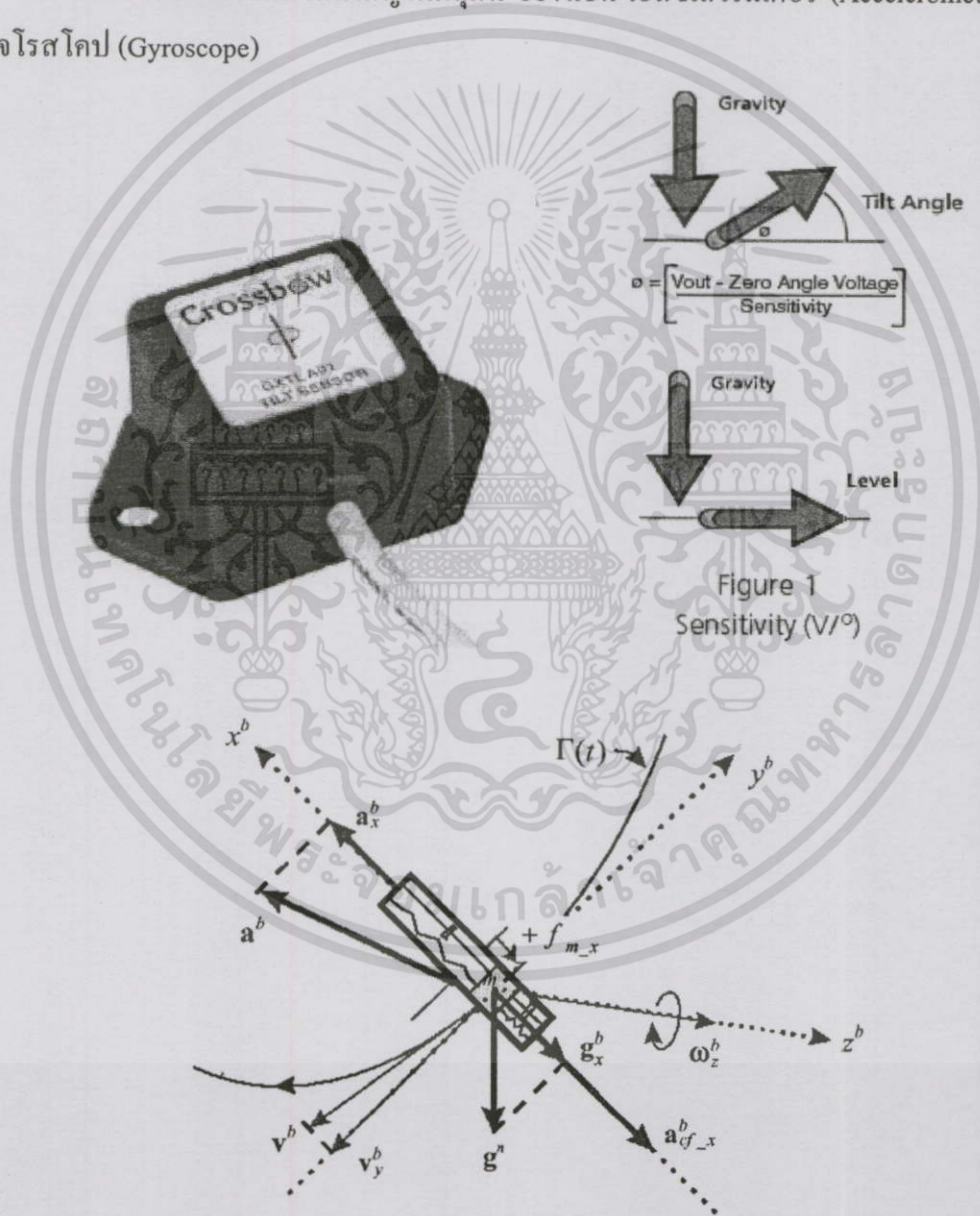
รูปที่ 3.5 การประยุกต์การระบุตำแหน่งทางแสง ของระบบสแกนภาพ 3-D แสงเลเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.6 ระบบวิธีการอื่นๆ (Gravity & Inertial)

ในหัวข้อนี้อาจจะไม่ใช่วิธีการระบุตำแหน่งโดยตรง แต่ก็มีส่วนเกี่ยวข้องที่น่าสนใจศึกษาอย่างยิ่ง ซึ่งใช้แรงเฉื่อย (Inertial) วิธีการดังกล่าวนี้มีหลักวิชาการพื้นฐานมาจากกฎฟิสิกส์แรงกระทำของนิวตัน (Newton's law) โดยนิยามว่า “เมื่อเกิดแรงผลักจะมีแรงกระทำที่มิต้านขนาดเท่าแรงผลักเสมอ” โดยแรงที่สำคัญของโลกก็คือแรงที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity) โดย ถ้าเทียบกับอัตราการเร่งของวัตถุ จะสามารถบอกเส้นแนวเอียงวัตถุใดๆได้ โดยเซ็นเซอร์นี้จะติดตั้งให้ตั้งฉากกันเพื่อวัดแรงโน้มถ่วงกับแรงเฉื่อย

เครื่องมือวัดตำแหน่งที่สำคัญในกลุ่มนี้ อย่างเช่น เอสซีเลโรมิเตอร์ (Accelerometer) และ ไจโรสโคป (Gyroscope)



รูปที่ 3.6 เอสซีเลโรมิเตอร์ (Accelerometer) และหลักการทำงาน

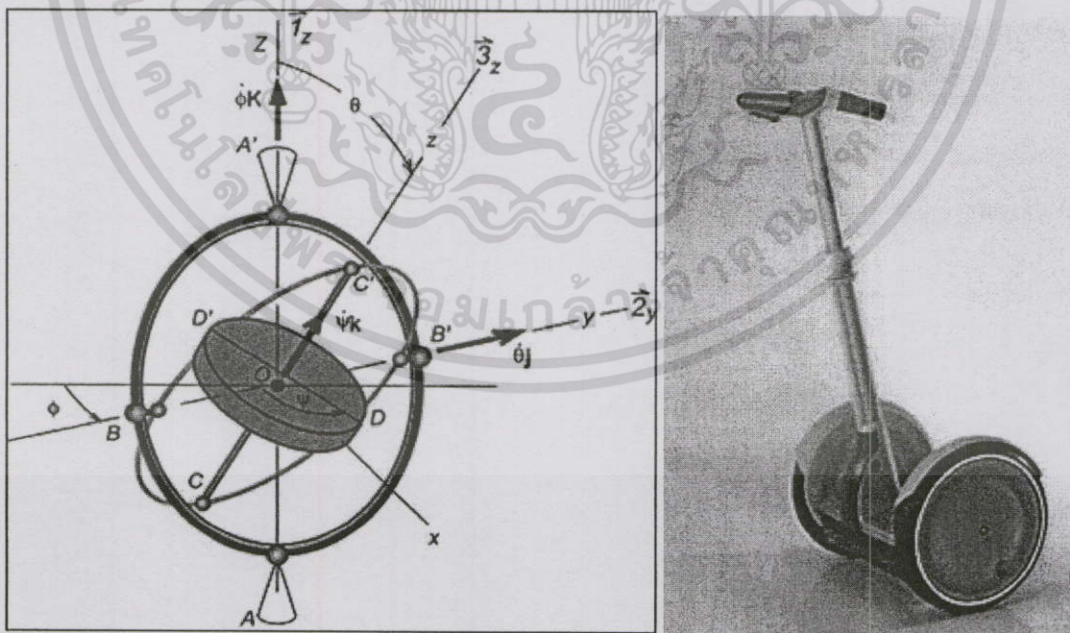
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอสซีเลโรมิเตอร์ (Accelerometer)

คือเซ็นเซอร์ที่ใช้วัดความเอียง (Tilt Sensor) โดยใช้กลไกจากแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity) โดยที่ค่างองศาของมุมจะแปรตามแรงดังกล่าว และเมื่อต่อเข้ากับขดลวดทำให้แปลงค่าออกมาเป็นโวลต์ ($Volt/\circ$) สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในระบบหุ่นยนต์ (Robot), รถชุดหรือดักดิน หรืออุปกรณ์ใดๆ ก็ได้ที่ต้องการวัดแนวระนาบของชิ้นงาน

ไจโรสโคป (Gyroscope)

คือเซ็นเซอร์ที่รับรู้การพลิกกลับตัว (Orientation sensor) ของวัตถุได้ โดยมีหลักการจากแรงโน้มถ่วงโลก (Gravity) เช่นเดียวกัน แต่มีความพิเศษคือมีอัตราความเร็ว (Velocity) มาเกี่ยวข้องกับด้วย อธิบายโดยง่าย เช่นเมื่อโคจรรอบโลกจะมีแรงดึงจากโลกกระทำกับแรงที่พยายามเหวี่ยงตัวออกจากวงโคจรถ้าความมากพอก็จะหลุดจากวงโคจรไปได้ ในการคำนวณอินทิเกรตผลที่ได้จะเป็นอัตราส่วนไจโร ซึ่งจะเป็นสัดส่วนกับมุมความเร็วของแต่ละแกน การเปลี่ยนตำแหน่ง ก็ใช้การอินทิเกรตสองครั้งเปรียบเทียบกัน นิยมใช้กันมากในยานพาหนะเช่นในการนำร่องของอุตสาหกรรมการบิน การเดินเรือ เป็นต้น หรืออะไรก็ตามที่ต้องการทราบระดับความเอียง และมีความเร็วเคลื่อนที่ ปัจจุบัน จึงถูกนำไปประยุกต์ใช้กับพาหนะสองล้อยุคใหม่ (SegWey) เป็นต้น



รูปที่ 3.7 การประยุกต์ใช้ การวัดความเอียงกับพาหนะสองล้อ “SegWay”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 หลักการเทคนิคทำนายตำแหน่ง [3][4]

ในการทำนายตำแหน่งไม่ว่าจะเป็นระบบทำนายตำแหน่งในที่โล่งแจ้งหรือระบบภายในอาคารก็ตาม จะใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ มาทำนาย ซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 เทคนิคคือ

- การทำนายตำแหน่งโดยหลักการเรขาคณิต (Geometric Approach)
- การทำนายตำแหน่งโดยไม่ใช้หลักการเรขาคณิต (Non-Geometric Approach)

3.2.1 การทำนายตำแหน่งโดยหลักการเรขาคณิต (Geometric Approach)

ภายใต้หลักการนี้มีระบบที่ใช้กันอย่างกว้างขวางทั่วไป เช่นระบบจีพีเอส (GPS) เป็นต้น โดยมีพื้นฐานมาจาก สมการคลาสสิกทางฟิสิกส์ $d = ct$ โดยที่ความสัมพันธ์ของระยะทาง (d) มีหน่วยเป็นเมตร จะเท่ากับความเร็ว (c) คูณกับเวลา (t) เมื่อ c คือความเร็วของคลื่นวิทยุในสุญญากาศมีค่าเท่ากับความเร็วแสง 3×10^8 เมตรต่อวินาที ซึ่งแสงจัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง จึงสามารถใช้ค่าความเร็วนี้ ในการคำนวณได้ ดังนั้นเมื่อทราบเวลาสัญญาณวิทยุที่ส่ง-รับแล้ว สามารถใช้สมการดังกล่าวย้อนกลับคำนวณหาระยะทางได้

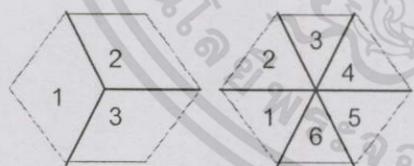
ประกอบกับเมื่อพิจารณาตามหลักการทางเรขาคณิตให้คิดแล้ว โดยอาศัยพารามิเตอร์ต่างๆ ได้แก่ มุม ระยะห่าง และ เวลาที่ล่าช้าของสัญญาณ (Time delay) เป็นต้น ก็จะสามารถนำมาอธิบายหรือทำนายตำแหน่งที่วัตถุหรือสิ่งที่สนใจภายใต้พื้นฐานของการกระจายคลื่นสัญญาณวิทยุได้ เทคนิควิธีการที่อยู่ในกลุ่มนี้ [15]

- วิธี. เซล Service Set Identity (SSID)
- วิธี. Angle of Arrival (AOA)
- วิธี. Time of Arrival (TOA)
- วิธี. Time Difference of Arrival (TDOA)

3.2.2 วิธี เซล Service Set Identity (SSID)

วิธีนี้เป็นวิธีพื้นฐานและง่ายที่สุดที่จะระบุตำแหน่งได้ เพื่อให้สอดคล้องกับงานวิจัยจึงขอยกตัวอย่างในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ที่จะทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) ได้ เพราะโดยระบบปรกติ เครื่องลูกข่าย (WLAN's client) และแอ็คเซสพอยท์ (APs) จะทำการติดต่อกันอยู่ตลอดเวลาอยู่แล้ว โดยที่แอ็คเซสพอยท์ (APs) จะทำการกระจาย SSID ออกไปในบริเวณที่สัญญาณครอบคลุมอยู่เป็นช่วงๆ เพื่อแจ้งให้เครื่องลูกข่าย (WLAN's client) ที่ต้องการจะติดต่อทราบว่าเป็นช่องทางสื่อสารกัน ดังอธิบายในบทที่ 2 ที่ผ่านมา ดังนั้นการที่ทราบ ว่า เครื่องลูกข่าย (WLAN's client) ทำการติดต่อกับ SSID ใดอยู่ และ SSID นั้น เป็นของแอ็คเซสพอยท์ (APs) ตัวใด ติดตั้งอยู่ที่ใด ก็จะทราบว่าเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) นั้น อยู่ในพื้นที่การบริการ BSS ของแอ็คเซสพอยท์ (APs) นั้นอยู่ ซึ่งในทางทฤษฎีแล้วเซลบริการจะมีรูปทรงพื้นฐานเป็นวงกลม เมื่อทราบระยะรัศมีทำการของแอ็คเซสพอยท์ (APs) ก็จะทราบว่าตำแหน่งเครื่องลูกข่าย

หนึ่งความแม่นยำในการทำนายตำแหน่งจึงขึ้นอยู่กับขนาดเซลล์บริการ ในบทที่ 2 ได้ให้รายละเอียดของรูปแบบสายอากาศที่มีใช้ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ไปบ้างแล้ว สายอากาศแบบมีการบังคับทิศทาง (Directional antenna) ลักษณะสายอากาศชนิดนี้ จะมีมุมเพื่อการใช้งาน ถ้าใช้แบบ 120° จะแบ่งเซลล์ออกเป็น 3 ส่วน แต่ละส่วนจะใช้สายอากาศแบบมีทิศทางที่มีความกว้างของคลื่น 120° แต่ถ้าใช้มุม 60° ก็จะมีการแบ่งเซลล์ออกเป็น 6 ส่วน ซึ่งจะทำให้การทำนายตำแหน่งแม่นยำขึ้น

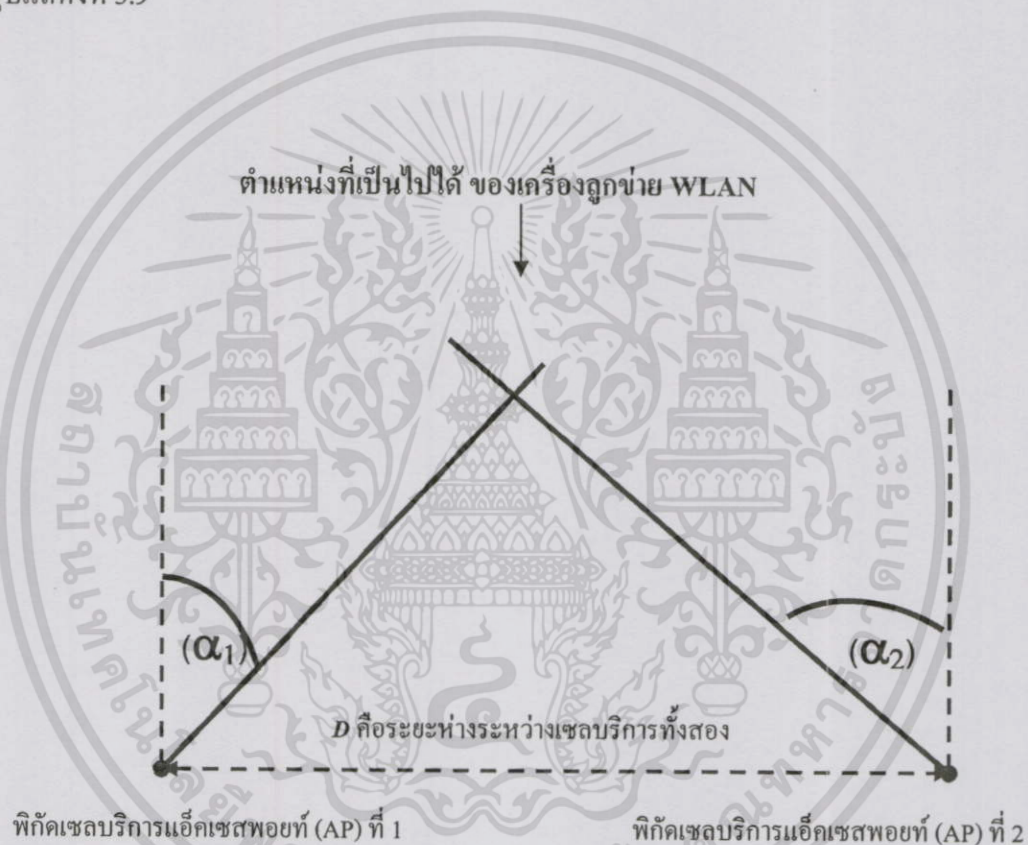
<p>วิธี. Cell SSID</p> <p>ความแม่นยำในการระบุตำแหน่งเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) ขึ้นอยู่กับขนาดพื้นที่ให้บริการของแอ็คเซสพอยท์ (APs)</p>	
<p>วิธี. Cell SSID + Sector</p> <p>ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง ดีขึ้นโดยขึ้นอยู่กับองศาและขนาดเซกเตอร์ของสายอากาศแบบมีทิศทาง ขนาด 120 องศา 3 เซกเตอร์ หรือ 60 องศา 6 เซกเตอร์</p> 	
<p>วิธี. Cell SSID + Sector + Bit rate</p> <p>ความแม่นยำในการระบุตำแหน่ง จะเพิ่มมากขึ้นอีก เมื่อนำเวลาของรอบการส่งบิตเบริสต์ ของเครื่องลูกข่าย WLAN มาคำนวณด้วย ดังอธิบายไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อ 2.4 ความสำคัญการทำนายตำแหน่ง (WLAN's client) กับความแรงกำลังรับ</p>	

รูปที่ 3.8 ตำแหน่งที่เป็นไปได้ของเครื่องลูกข่าย WLAN ในแบบเซลล์เดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 วิธี Angle of Arrival (AOA)

ในกรณีที่ใช้เซลบริการในการทำนายตำแหน่งที่มากกว่า 1 เซล ก็จะช่วยให้การทำนายตำแหน่งทำได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น เมื่อพิจารณาใช้เซลบริการเท่ากับ 2 เซล ในการทำนายตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) สามารถทำได้เพียงพิจารณาจากมุมอัลฟา (α) ของการรับสัญญาณคลื่นวิทยุของเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) จากสายอากาศแบบบังคับทิศทาง (Directional antenna) จากแอ็คเซสพอยท์ (APs) ทั้งคู่ โดยตำแหน่งที่ได้นั้นเป็นจุดตัดของเส้นที่ลากทำมุมตามที่วัดได้ของแอ็คเซสพอยท์ (AP) แห่งหนึ่งกับเส้นที่ลากทำมุมของอีกตัวหนึ่ง



รูปที่ 3.9 การทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่าย WLAN โดยใช้พารามิเตอร์ AOA

3.2.4 วิธี Time of Arrival (TOA)

ในกรณีใช้เซลบริการในการทำนายตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) มากกว่า 2 เซลบริการ สมมติให้ใช้ 3 เซลบริการ การพิจารณาตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) สามารถทำได้ด้วยพารามิเตอร์ *Time of Arrival (TOA)* คือวิธีการพิจารณาเวลาที่ได้รับสัญญาณของแต่ละเซลบริการมาหาระยะทาง โดยที่เวลาที่ทำการวัดสามารถอธิบายได้ดังนี้

$$T_m = T_1 + T_2 + T_3 \quad (3.1)$$

เมื่อ T_m คือเวลาเดินทางหนึ่งรอบของ Packet

T_1 คือเวลาเดินทางในช่วงขาไป

T_2 คือเวลาในการโปรเซสของเครื่องลูกข่าย

T_3 คือเวลาเดินทางในช่วงขากลับ

ดังนั้น ถ้าต้องการทราบเวลาเดินทางขาเดียว นั่นคือ

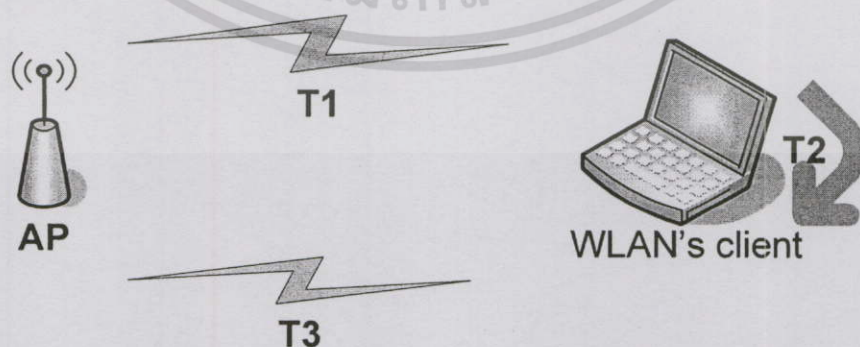
$$T_p = \left(\frac{T_m - T_2}{2} \right) \quad (3.2)$$

เมื่อ T_p คือเวลาในช่วงขาเดียว

ดังนั้น ระยะทาง (d) คือ

$$d = T_p c \quad (3.3)$$

โดยที่ c คือความเร็วของคลื่นวิทยุในสุญญากาศมีค่าเท่ากับความเร็วแสง 3×10^8 m/s (เมตรต่อวินาที)



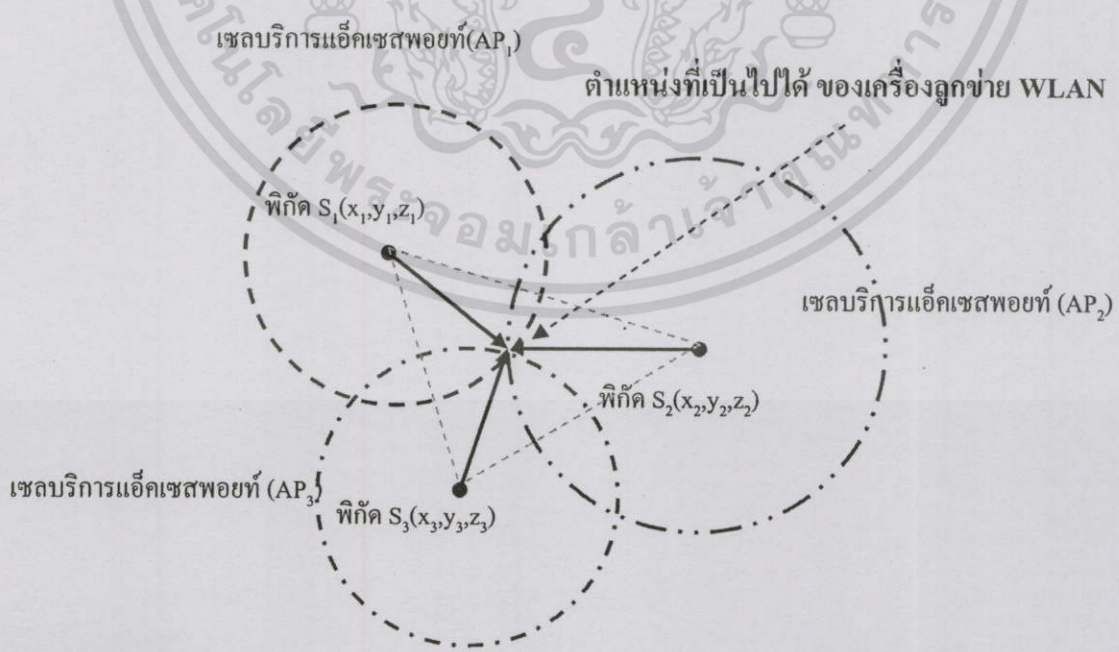
รูปที่ 3.10 การวัดเวลาในการเดินทางของ Packet ใน WLAN เป็นกรณี Half-Duplex

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) โดยใช้เรขาคณิตศาสตร์วงกลม จะอยู่ตรงตำแหน่งการตัดกันของวงกลม ซึ่งมีรัศมีเท่ากับระยะทางที่เครื่องลูกข่าย (WLAN's client) อยู่ห่างจากแอ็คเซสพอยท์ (APs) เราจึงสามารถหาระยะทางได้โดยการคำนวณเวลาที่สัญญาณจากเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) นั้นเดินทางมาถึงแอ็คเซสพอยท์ (APs) ด้วยวิธีการนี้จำเป็นต้องใช้วงกลมอย่างน้อย 3 วงมาตัดกัน โดยการใช้สายอากาศธรรมดาแบบรอบทิศ (Omni Antenna)

เทคนิควิธีการพารามิเตอร์ TOA ดังกล่าวนี้อาจทำได้ ก็ต่อเมื่อเป็นระบบที่มีการส่งสัญญาณสอดคล้อกัน (Synchronous System) ตัวอย่างเช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซีดีเอ็มเอ (Code Division Multiple Access: CDMA:) ที่แต่ละเซลล์บริการจะส่งสัญญาณออกมาเพื่อสร้างรหัสให้สอดคล้อกัน หรือตัวอย่างที่ชัดเจนขึ้นมาอีกคือ ระบบจีพีเอส (GPS) ก็ใช้วิธีการพารามิเตอร์ TOA ด้วย ซึ่งความจริงแล้วระบบดาวเทียมจีพีเอส (GPS) ไม่ได้เป็นระบบที่ส่งสัญญาณแบบสอดคล้อกัน แต่เนื่องจากฐานนาฬิกา (Clock signal) ใช้การแตกตัวของอะตอมทำให้การคำนวณเวลามีความถูกต้องแม่นยำสูงที่มาก จึงอนุมานให้เป็นระบบที่สอดคล้อกันได้ โดยที่ระบบเซลล์ให้บริการแต่ละมีพิกัดคือ $S(x,y,z)$ โดยที่ R คือระยะห่างระหว่างดาวเทียม ถึงเครื่องจีพีเอส (GPS) j จำนวนสัญญาณอย่างน้อย 3 สัญญาณ สำหรับพิกัดระบบ 2 มิติ(3 D) และ 4 สัญญาณขึ้นไป สำหรับระบบพิกัด 3 มิติ (3 D) โดยใช้สมการจีพีเอส (GPS) คือ

$$R_j = \sqrt{(x_j - x_u)^2 + (y_j - y_u)^2 + (z_j - z_u)^2} + ct_p \tag{3.4}$$



รูปที่ 3.11 การทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) โดยใช้พารามิเตอร์ TOA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารได้ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.5 วิธี Time Difference of Arrival (TDOA)

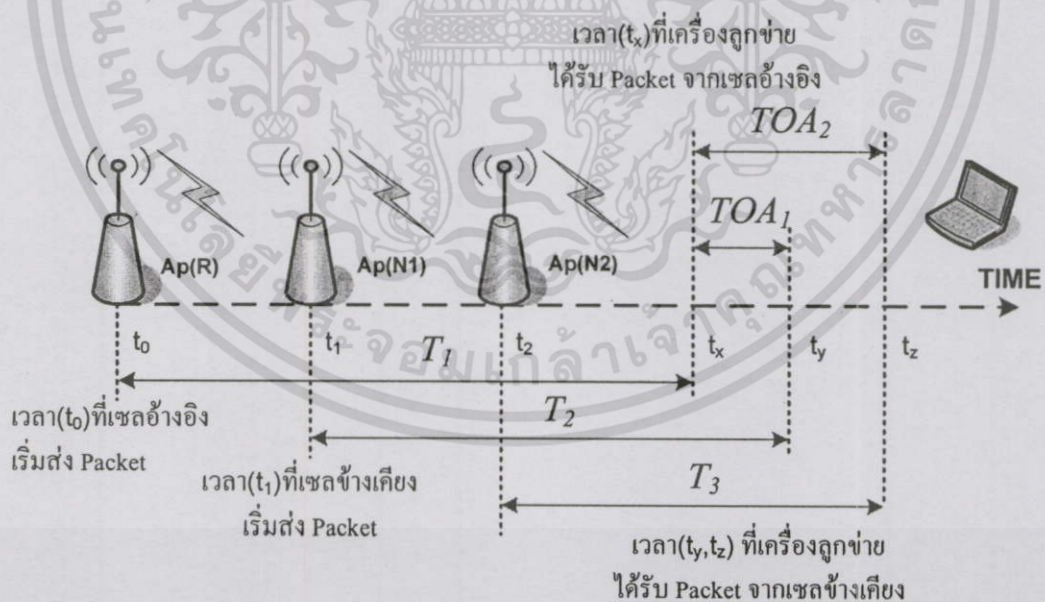
วิธีการ TDOA จะพิจารณาในกรณีที่ทำการทำนายตำแหน่งในระบบที่สัญญาณเวลาไม่สอดคล้องกัน (Asynchronous System) เซลบริการต่างรับ-ส่งข้อมูลอย่างอิสระโดยที่สัญญาณไม่ขึ้นต่อกัน ตัวอย่างเช่นในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จีเอสเอ็ม (Global System for Mobile communications: GSM) หรือในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ก็จัดอยู่ในระบบนี้ด้วย เมื่อจะทำนายตำแหน่งจึงต้องยุ่งยากมากขึ้นเพราะต้องทำการหาค่าเวลาที่แตกต่างกันของแต่ละเซลบริการมาประกอบการคำนวณด้วย โดยที่ให้เซลบริการ S_1 เป็นเซลบริการอ้างอิง โดยที่มีเซลบริการข้างเคียงคือ S_2 และ S_3 ดังนั้นจะมีเวลาเซลคือ T_1, T_2 และ T_3 ตามลำดับ ดังนั้นเวลาที่แตกต่างกัน ที่เครื่องลูกข่าย (WLAN's client) ได้รับสัญญาณจากเซลบริการอ้างอิง (T_1) และเซลบริการข้างเคียง (T_2, T_3) ดังนั้นเพื่อใช้บอกถึงระยะห่างระหว่างคู่แอ็คเซสพอยท์ (APs) เพื่อให้ได้ค่าตำแหน่งจำเป็นต้องมีคู่เปรียบเทียบอย่างน้อย 2 คู่ หรือจากแอ็คเซสพอยท์ (APs) อย่างน้อย 3 สถานี

$$TOA_1 = t_x - t_y \quad (3.4)$$

$$TOA_2 = t_x - t_z \quad (3.5)$$

โดยที่ TOA_1 และ TOA_2 คือเวลาที่แตกต่างของสถานีอ้างอิง ดังนั้น

$$TDOA \in \{TOA_1, TOA_2, \dots, TOA_N\} \quad (3.6)$$



รูปที่ 3.12 การทำนายตำแหน่งโดยใช้พารามิเตอร์ TDOA

จากนั้นสามารถใช้สมการเหมือนในวิธีการ TOA มาคำนวณหาตำแหน่งได้ ส่วนในระบบการทำนายตำแหน่งโดยไม่ใช้หลักการทางเรขาคณิต (Non-Geometric Approach) ที่สอดคล้องเอกสารกับวิทยานิพนธ์ นี้ จะได้อธิบายอย่างละเอียดในบทถัดไปนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทำนายตำแหน่งในเครือข่าย WLAN

ในบทที่ 3 ที่ผ่านมา ได้นำเสนอถึงภาพรวมรูปแบบเทคโนโลยีการระบุตำแหน่งและวิธีการเชิงเรขาคณิตต่าง ๆ ที่สามารถนำไปปรับใช้ในการทำนายหรือการพยากรณ์ (Prediction) ตำแหน่งเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) ไปแล้ว เพื่อให้กรอบของวิทยานิพนธ์นี้ครบลง ในบทที่ 4 นี้จึงจะลงเ้าในประเด็นหัวข้อทำการศึกษาวิจัย การทำนายตำแหน่งภายในอาคาร (Indoor Positioning System) ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของการแพร่กระจายคลื่นสัญญาณวิทยุ (RF base system) โดยใช้ข้อมูลความแรงสัญญาณวิทยุ (RSSI) ที่มีค่าตามระดับต่างๆ โดยจะสอดคล้องกับพิกัดในพื้นที่ทดสอบ ซึ่งวิธีการแบ่งกลุ่มข้อมูลนี้ มีการอธิบายอยู่หลายกลุ่ม ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของระบบ เช่น ในกลุ่มของเครือข่ายประสาทเทียม (Neural Network), ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) และเจเนติก (Genetic) [19] เป็นต้น

มนุษย์เราต้องตัดสินใจ ในเรื่องต่างๆ มากมายทุกวัน ไม่ว่าจะเป็นการกระทำที่รู้ตัวหรือไม่ก็ตาม ในอดีตการตัดสินใจสั่งการ ถือเป็นศิลปะเฉพาะบุคคลที่ได้จากการสั่งสมประสบการณ์ คุณภาพการตัดสินใจสั่งการ จึงขึ้นอยู่กับประสบการณ์และข้อมูลประกอบการตัดสินใจของแต่ละบุคคล ในสถานการณ์นั้นๆ ข้อมูลที่ถูกต้องเพียงพอและเป็นปัจจุบัน จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในกระบวนการตัดสินใจ วิทยาการคอมพิวเตอร์เจริญรุดหน้าอย่างมาก มนุษย์จึงพยายามนำเอาการเรียนรู้เหล่านี้ มาใช้ในเครื่องจักรกลเพื่อการตัดสินใจในงานบางอย่าง (Machine Learning) สรุปได้ว่า การตัดสินใจมีความหมายคือ “การเลือกซึ่งเอาเกณฑ์ใดเกณฑ์หนึ่งเป็นเครื่องมือตัดสินใจ จากทางเลือกหลายๆทางเลือก เพื่อไปสู่ทางเลือกที่ดีที่สุด” รูปแบบของการตัดสินใจอาจกำหนดประเภทได้เป็น 3 ประเภท คือ

- 1) ประเภทการตัดสินใจภายใต้สถานการณ์ที่แน่นอน (Condition of Certainty) การตัดสินใจที่มีข้อมูลประกอบอย่างเพียงพอ
- 2) ประเภทการตัดสินใจภายใต้สถานการณ์ที่เสี่ยง (Condition of Risk) คือเป็นการตัดสินใจที่จะต้องกระทำโดยทราบความน่าจะเป็น ในการคาดเดาเหตุการณ์
- 3) ประเภทการตัดสินใจภายใต้สถานการณ์ที่ไม่แน่นอน (Condition of Uncertainty) การตัดสินใจ ที่ไม่ทราบถึงโอกาสที่จะเกิดของทางเลือกเลย กรณีนี้ จึงมักจะอาศัยประสบการณ์ คลุยพินิจ เนื่องด้วยการตัดสินใจประเภทนี้ยากต่อการประมวลผลออกมาเป็นตัวเลข

ดังนั้น ทฤษฎีการตัดสินใจ (Decision Theory) ไม่ได้สร้างทางเลือกใหม่ แต่จะแสดงถึง

ทางเลือกต่าง ๆ ในการแก้ปัญหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในปัจจุบันความสามารถในการวิเคราะห์ข้อมูล ถือเป็นสิ่งที่มีประโยชน์และมีความสำคัญ ทฤษฎีการเรียนรู้ของเครื่องจักรกล (Machine Learning) นั้นก็มีพื้นฐานมาจาก แบบเสมือนการ จำลองการทำงานของสมองมนุษย์ เพราะเมื่อเราต้องลองแก้ปัญหาใหม่ๆ แล้ว โดยทั่วไป เรามักจะ มองที่ทางแก้ปัญหาอย่างง่าย ซึ่งเคยใช้แก้ปัญหาอย่างได้ผลมาก่อน โดยทำการวิเคราะห์ข้อมูลที่เร าไม่ทราบรายละเอียด ในแง่ของจำนวนกลุ่ม หรือ ลักษณะเฉพาะของกลุ่มแน่ชัด โดยเทคนิคการ แบ่งกลุ่มข้อมูลจะอาศัยความเหมือน หรือความต่างกันภายในข้อมูล เป็นเกณฑ์ในการแบ่งกลุ่ม ซึ่ง ได้แก่ การจัดแยกแยะ (Classification) การจัดแบ่งกลุ่มข้อมูล (Clustering) และการจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) เป็นต้น ทั้งหมดอยู่ในกลุ่มของทฤษฎีการตัดสินใจ (Decision Theory)

ในการทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) นั้น กรณีที่ไม่ใช้ความรู้เกี่ยวกับ เรขาคณิต เช่น วงกลม รัศมี มุม รูปสามเหลี่ยม ความเร็วหรือ ระยะทาง เป็นต้น โดยทั่วไปจะใช้ ระบบที่อิงเทคนิคการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ (Radio Propagation) โดยใช้ค่าความแรงของสัญญาณ คลื่นวิทยุ (RSSI) ในบริเวณพื้นที่ครอบคลุม เป็นฐานอ้างอิง จากนั้นใช้วิธีการต่างๆ ในการ คำนวณ โดยที่ความแรงของสัญญาณได้กล่าวไว้โดยรายละเอียดไว้ใน บทที่ 2 เครื่องข่าย คอมพิวเตอร์ไร้สาย (Wireless LAN) หัวข้อ 2.4 ความแรงกำลังรับ (Signal Strength)

วิธีการทำนายตำแหน่งที่ไม่ใช้เรขาคณิตนั้น ถ้าจะแบ่งเป็นกลุ่มย่อยอีก ก็อาจจะแบ่งออก ได้อีกเป็นสองกลุ่มคือ

- การตัดสินใจทางคณิตศาสตร์ (Deterministic model) [10]
- ความน่าจะเป็นทางคณิตศาสตร์ (Probabilistic model) [12][13][14]

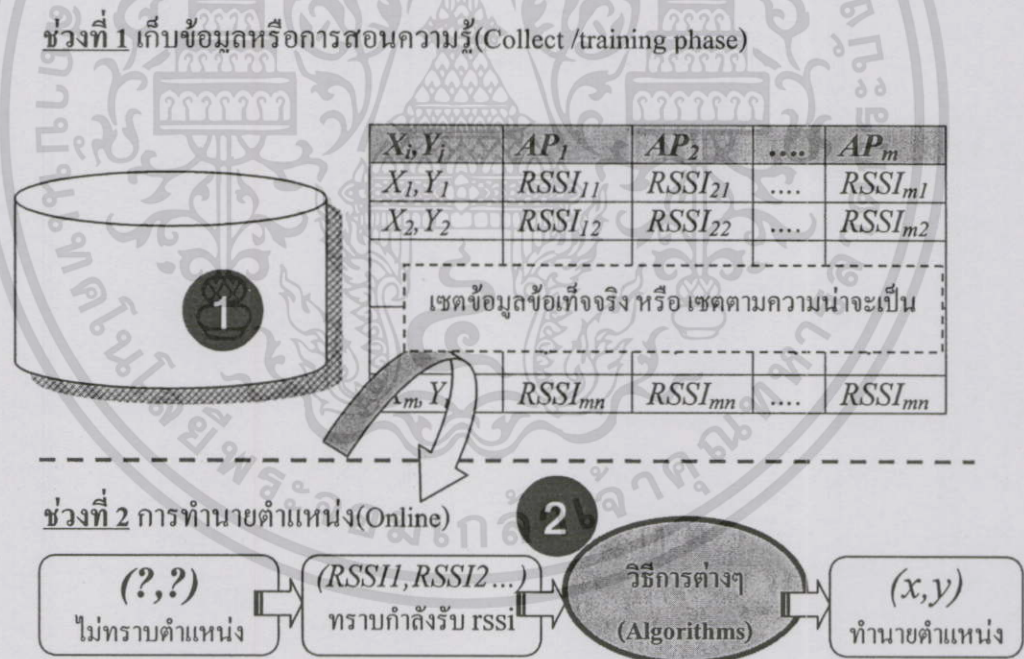
ในวิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอวิธีการทำนายตำแหน่งเครื่องข่ายในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว โดยอ้างถึงเชิงเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการทำนาย ตำแหน่งกับวิธีการต้นแบบ “RADAR System Project[1]” ที่ทำการวิจัยและพัฒนาโดยทีมงาน WLAN ของบริษัทไมโครซอฟต์ รีเสิร์ช (Microsoft Research) โดยใช้แนวความคิดพื้นฐานจาก ทฤษฎีความน่าจะเป็นเชิงการตัดสินใจทางคณิตศาสตร์ (Deterministic model) ซึ่งใช้เทคนิค พื้นฐาน k -NN ในเมตริกซิกเนลสเปซ (Nearest Neighbor(s) in Signal Space: NNSS) โดยจะอาศัย การคำนวณของฟังก์ชันระยะห่างยูคลิเดียน (Euclidean function distance) ในเมตริกซิกเนลสเปซ (NNSS) หรือเรียกจะอีกอย่างว่า แผนที่กำลังรับสัญญาณวิทยุ (Radio map or Finger Print radio map)

และอีกกลุ่มคือวิธีการเชิงความน่าจะเป็นทางคณิตศาสตร์ (Probability model) [20] ที่ใช้ ฟังก์ชันการแจกแจงของความน่าจะเป็น (Probability distribution Function: $p.d.f$) โดยที่ค่า ดังกล่าวจะสอดคล้องกับค่าความแรงของสัญญาณวิทยุ (RSSI) ซึ่งก็ได้จะนำเสนอหลักการต่อไป

4.1 การตัดสินใจทางคณิตศาสตร์ (Deterministic model)

ระบบทำการนายด้วยการตัดสินใจหรือเชิงดีเทอร์มินิสติกนี้ จัดอยู่ประเภทการตัดสินใจ จากตัวอย่างที่มีโดยตรง ภายใต้สถานการณ์ที่แน่นอน ซึ่งจะเป็นการนำเอาข้อมูลเท็จจริงในอดีต มาเป็นแนวทางในการคาดการณ์ โดยจะเก็บรวบรวมข้อมูลตามข้อเท็จจริงที่ปรากฏสร้างเป็น โมเดลทางคณิตศาสตร์สถิติ (Statistical Approach) การคาดการณ์แบบนี้จะกระทำได้ โดยจะต้องยอมรับเงื่อนไขเบื้องต้นก่อนคือ “ต้องมีข้อมูลในอดีตและข้อมูลนั้นต้องวัดออกมาเป็นตัวเลขได้ และสันนิษฐานว่า รูปแบบข้อมูลในอดีตจะเกิดขึ้นอีกในอนาคต” ในที่นี้สิ่งต่างๆ ที่เราสนใจ ซึ่งก็คือตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) ณ ตำแหน่งพิกัด (x,y) ต่างๆ และข้อมูลค่าความแรงของสัญญาณคลื่นวิทยุ (RSSI) ของแอ็กเซสพอยท์ (APs) ตัวอย่างคือ $T_o = \{(x_i, y_i), rssi_i\}$ เมื่อ $i = 1,2,3,\dots,m$ โดยที่ m คือจำนวนข้อมูลของเมทริกซ์สังเกตการณ์ (Matrix Observation) โดยจะเริ่มอธิบายจากวิธีการพื้นฐาน ไปตามลำดับ

- วิธีการหาค่าเฉลี่ยค่าความความแรงของสัญญาณ (Signal Strength mean value algorithm)
- วิธีการจัดคลาส k -NN (k - Nearest Neighbors algorithm)



รูปที่ 4.1 แสดงขั้นตอนการทำนายตำแหน่งแบบไม่ใช้เรขาคณิต

ช่วงการเตรียมข้อมูล RSSI

1. เก็บข้อมูลหรือการสอนความรู้ (Collect /training phase) เป็นขั้นตอนในการสร้างแผนที่สัญญาณ RSSI ที่วัดจากแอ็กเซสพอยท์ (APs) ต่างๆ ตามจุดกำหนด (x, y)
2. ช่วงการทำนายตำแหน่ง (Online) วัดความแรงสัญญาณ RSSI ที่วัดจากแอ็กเซสพอยท์

(APs) ในตำแหน่งที่สนใจ แล้วใช้วิธีการต่างๆ จึงทำการทำนายตำแหน่ง (x, y) ที่ไม่ทราบ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 วิธีการเฉลี่ยค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength mean value algorithm)

วิธีการนี้จะพื้นฐานไปสู่วิธีการอื่นๆ ที่มีความซับซ้อนมากขึ้น โดยใช้การวัดค่าความแรงของสัญญาณวิทยุ (RSSI) ที่อาจจะใช้ระดับสัญญาณ (Signal) เพียงอย่างเดียว หรือใช้ระดับสัญญาณต่อการรบกวน (Signal/Noise: S/N) ก็ได้ แล้วแต่จะเลือกพิจารณา ในที่นี้พิจารณาเพียงระดับสัญญาณ (Signal) โดยมีหน่วยวัดเป็นเดซิเบล (dBm) ณ จุดพิกัดตำแหน่ง (x, y) ต่าง ๆ ทำการวัดซ้ำๆ รวบรวมจนมีปริมาณข้อมูลทีมากเพียงพอจะนำมาทำการวิเคราะห์ข้อมูลได้ โดยนิยมนำข้อมูลดังกล่าวมาสร้างเป็นกราฟเพื่อให้ง่ายในการวิเคราะห์ของข้อมูลว่ามีลักษณะเป็นเช่นไร มีแนวโน้ม หรือมีความผันแปรไม่แน่นอนหรือไม่

ทั้งนี้โดยการใช้ความรู้ทางคณิตศาสตร์สถิติ (Statistical Technique) หาคความสัมพันธ์ของข้อมูลเพื่อทำการตัดสินใจ เพื่อที่จะสรุปข้อมูลออกมาเป็นค่าที่ควรจะเป็น เนื่องจากค่าที่ควรจะเป็นคือค่าที่ข้อมูลมีแนวโน้มอยู่จุดศูนย์กลาง (Measure of central tendency) ซึ่งค่านี้เองจะเป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมดที่ใกล้เคียงกับความจริงมากที่สุด โดยการวัดค่านี้สามารถวัดได้ด้วย ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean), ค่ามัธยฐาน (Median) และค่าฐานนิยม (Mode)

ค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Arithmetic mean) หมายถึงค่าที่ได้จากการกำจัด (Average out) ผลของตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ที่อยู่ในข้อมูล ถ้าข้อมูลความแรงของสัญญาณ (RSSI) ก็คือสิ่งตัวอย่าง จะเรียกว่าค่าเฉลี่ยของข้อมูลทั้งหมดในสิ่งตัวอย่างว่า ค่าเฉลี่ยของสิ่งตัวอย่าง (Sample Mean: \bar{X}) ซึ่งคำนวณได้จากการนำเอาค่าความแรงของสัญญาณ (RSSI) ทั้งหมดที่รวบรวมได้มารวมกันเข้าแล้วหารด้วยจำนวนของค่าเหล่านั้น โดยมีสมการคือ

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (4.1)$$

โดยที่

\bar{X} คือค่าเฉลี่ยความแรงสัญญาณคลื่นวิทยุ (RSSI)

X คือข้อมูลความแรงสัญญาณคลื่นวิทยุ ที่ i เมื่อ $i = 1, 2, 3 \dots n$

n คือจำนวนทั้งหมดของความแรงสัญญาณคลื่นวิทยุ

มัธยฐาน (Median) เป็นตัวชี้วัดค่าแนวโน้มเข้าสู่จุดศูนย์กลางอีกวิธีหนึ่ง ใช้พิจารณาในกรณีข้อมูลที่สิ่งตัวอย่าง มีค่าแตกต่างกันมากๆ ไม่ว่าจะมข้อมูลบางตัวน้อยหรือมากจนเกินไปจากกลุ่ม ทำให้ได้ค่าใกล้เคียงกับความจริง สมการมัธยฐานแบบแจกแจงความถี่ คือ

$$\bar{X} = L + \frac{I \left(\frac{N}{2} - \sum f_i \right)}{f_m} \quad (4.2)$$

โดยที่

L คือขอบล่างของอันตรภาคชั้นที่มีมัธยฐานอยู่

I คือความกว้างของอันตรภาคชั้น

$\sum f_i$ คือความถี่สะสมทุกอันตรภาคชั้นที่น้อยกว่าชั้นที่มีมัธยฐานอยู่

f_m คือความถี่ของอันตรภาคชั้นที่มีมัธยฐานอยู่

N คือจำนวนตัวอย่างทั้งหมด

ฐานนิยม (Mode) เป็นตัวชี้วัดค่าแนวโน้มเข้าสู่จุดศูนย์กลางอีกวิธีหนึ่ง โดยพิจารณาได้จากค่าที่มีความถี่มากที่สุด ค่าฐานนิยม (Mode) จึงมีความไวต่อข้อมูลมาก แตกต่างจากค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Mean) และค่ามัธยฐาน (Median) ที่เปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ในงานวิศวกรรมจึงไม่ค่อยใช้ฐานนิยมมากนัก แต่ใช้ได้ดีในการวัดเชิงคุณภาพ เช่น บั๊ตเตอรี่ของแอ็คเซสพอยท์ (APs) ที่ใช้ได้ดี เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม นอกจากค่าแนวโน้มเข้าสู่จุดศูนย์กลาง ที่ใช้วิเคราะห์ข้อมูลแล้ว ภายใต้การเบี่ยงเบน (Deviation) ตามธรรมชาติ ยังมีค่าการกระจาย (Dispersion) ของข้อมูล ที่จะช่วยในการอธิบายลักษณะคุณภาพของข้อมูลได้คือ พิสัย (Range: R) ความแปรปรวน (Variance) และสัมประสิทธิ์ของของความผันแปร (Coefficient of Variation: CV) โดยที่พิสัย สนใจข้อมูลเพียง 2 ตัวที่มีค่ามากที่สุดและต่ำที่สุด คือ $R = X_{max} - X_{min}$ เท่านั้น

เนื่องจากค่าเบี่ยงเบน (Deviation) คือ $\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$ ซึ่งให้ความสำคัญกับข้อมูลทุกๆตัวที่กระจายรอบค่า \bar{x} แต่ผลต่างกลับมีค่าเป็นศูนย์เสมอ ดังนั้นจึงมีการแก้ปัญหาด้วยการยกกำลังสอง (Squaring) แต่ก็ยังตีความได้ยาก เพราะมีค่ามากกว่าความเป็นจริง เพื่อให้สามารถหาค่าเบี่ยงเบนที่แท้จริงได้จึงต้องมีการถอดรากที่สองของความแปรปรวนออกและเรียกใหม่ว่าค่า “ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation: σ)” ดังสมการความแปรปรวนคือ

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (4.3)$$

โดยที่

σ คือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

X คือจุดกึ่งกลางของแต่ละชั้น

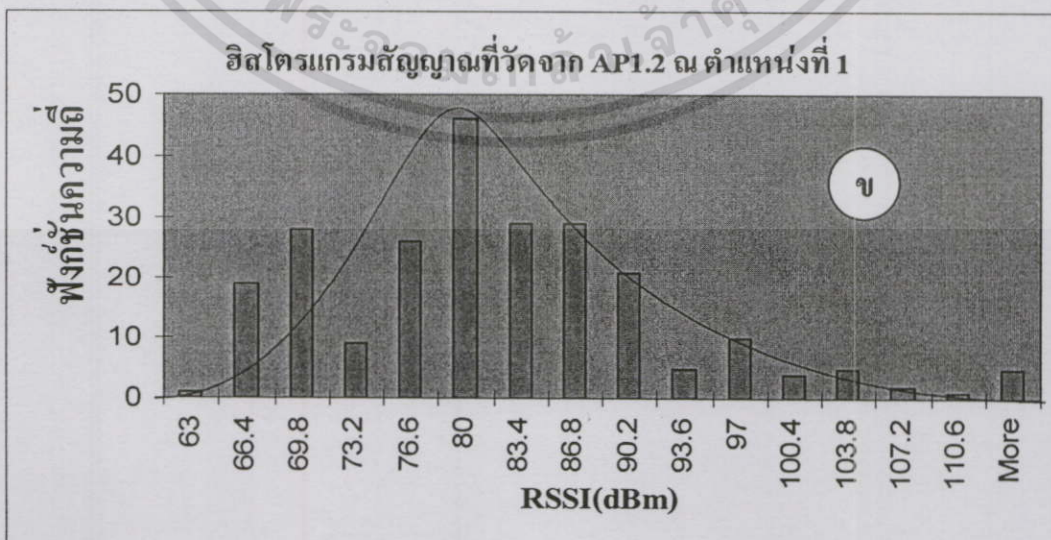
\bar{X} คือค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนสัมประสิทธิ์ของความผันแปร (CV) ใช้ในการเปรียบเทียบความเบี่ยงเบนของข้อมูล 2 ชุดขึ้นไป $CV = \frac{\sigma}{x}$ ถ้ามีค่าที่เข้าสู่จุดศูนย์กลางที่แตกต่างกันมาก ก็อาจจะตีความหมายได้ว่า เกิดข้อผิดพลาดขึ้นเพื่อความเข้าใจลักษณะของข้อมูลให้ดีขึ้น โดยการสร้างกราฟฮิสโตแกรม (Histogram) เป็นวิธีการหนึ่งที่จะสามารถอธิบายลักษณะของข้อมูลที่ทำกรวิเคราะห์ โดยอธิบายเป็นฟังก์ชันความหนาแน่น (Density function) คือถ้ามีลักษณะกราฟรูประฆังคว่ำ (Bell shape) ซึ่งแสดงการกระจายแบบปกติ (Normal Distribution) หรือเรียกอีกอย่างว่าการกระจายแบบเกาส์เซียน (Gaussian Distribution) ดังนั้นค่าเฉลี่ย (Mean) จึงจะเป็นตัวแทนของข้อมูลทั้งหมดได้



รูปที่ 4.2 (ก) แสดงการรวบรวมข้อมูลความแรงของสัญญาณ (RSSI) 240 ตัวอย่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนรูปที่ 4.2 (ข) แสดงการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยฮิสโตแกรมกราฟใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1.1 เมตริกซ์หรือฟังก์ชันระยะห่าง (Distance function)

ในการจัดคลาสแบบ “Nearest Neighbor” ที่มีตัวอย่างของข้อมูล เป็นค่าพิกัด (X, Y, Z) จะนิยมใช้ฟังก์ชันระยะห่างของพิกัดในการแบ่งแยกข้อมูล ที่นิยามระยะห่างระหว่างเวกเตอร์สมาชิก $i \in \{1, 2, 3, \dots\}$ ในเซตเมตริกซ์สเปซ (signal matrix space) โดยที่ ถ้าระยะห่างระหว่างเวกเตอร์ x และ y คือ $d(x, y) = 0$ จะเท่ากับศูนย์ได้ก็ต่อเมื่อ x กับ y เสมือนว่าอยู่ที่ตำแหน่งเดียวกันด้วย ($x = y$) ซึ่งฟังก์ชันระยะห่างมีอยู่มากมายหลายแบบ ตัวอย่างฟังก์ชันระยะห่างระหว่างเวกเตอร์ เช่น ระยะห่างแบบแมนฮัตตัน (Manhattan Distance) และ ยูคลิดีเนียน (Euclidean distance) เป็นต้น

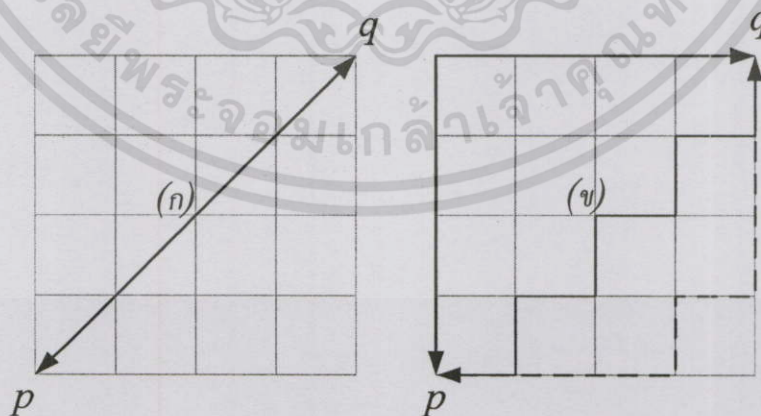
ระยะห่างแบบแมนฮัตตัน (Manhattan Distance)

คือระยะห่างระหว่างจุดสองจุดแบบผลรวมความแตกต่างสัมบูรณ์ โดยมีชื่อเรียกอีกอย่างว่า ซิตีบล็อกเมตริกซ์ (City-block metric) ตามต้นแบบแปลนของเมืองแมนฮัตตัน ที่แบ่งช่วงต่างๆ ออกเป็นบล็อกๆ นิยมนำไปใช้ในเทคนิคการแบ่งกลุ่มข้อมูล (Clustering group) ตัวอย่างในเมตริกซ์สเปซสำหรับในระบบ 2 มิติ (x, y) ระยะห่างแมนฮัตตันระหว่างเวกเตอร์ที่ $P_1 = \{x_1, y_1\}$ กับ $P_2 = \{x_2, y_2\}$ ตัวอย่างนี้คือ $|x_1 - x_2| + |y_1 - y_2|$ แต่สำหรับสูตรในเมตริกซ์ n สเปซ (n -space: \mathcal{R}^n) คือ

$$d(p, q) = \sum_{i=1}^n |x_{pi} - x_{qi}| \quad (4.4)$$

โดยที่

p และ q คือเวกเตอร์ใน \mathcal{R}^n ได้แก่ $p = (p_1, \dots, p_n)$ และ $q = (q_1, \dots, q_n)$ ส่วนแสดงในรูปที่ 4.3 เปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างระหว่าง ฟังก์ชันระยะห่างเวกเตอร์ แมนฮัตตัน และ ยูคลิดีเนียน



รูปที่ 4.3 แสดงฟังก์ชันระยะห่าง (Distance function)

(ก) แบบยูคลิดีเนียน (Euclidean Distance)

(ข) แบบแมนฮัตตัน (Manhattan Distance)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระยะห่างแบบยูคลิดเดียน (Euclidean Distance)

ในเมตริกซ์ซิกเนตเอ็นสเปซ (n -Space) โดยนิยามคือระยะห่างระหว่างเวกเตอร์สมาชิก $i \in \{1, 2, 3, \dots\}$ ที่ตำแหน่งอ้างอิง (หรือจุดศูนย์กลางข้อมูล) กับตำแหน่งใดๆ $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$ แบบปรกติ (Ordinary) ซึ่งวิธีการทำนายตำแหน่งโดยเฉลี่ยค่าความความแรงของสัญญาณ จะใช้สมการนี้ในการทำนายตำแหน่ง โดยที่สมการของระยะห่างในมิติต่างๆ แบบยูคลิดเดียนมีดังนี้ สำหรับในระบบ 1 มิติ (x) ระยะห่างระหว่างเวกเตอร์ $P = \{p_x\}$ กับ $Q = \{q_x\}$ สมการคือ

$$d(p, q) = \sqrt{(p_x - q_x)^2} = |p_x - q_x| \quad (4.5a)$$

สำหรับในระบบ 2 มิติ (x, y) ระยะห่างระหว่างเวกเตอร์ $P = \{p_x, p_y\}$ กับ $Q = \{q_x, q_y\}$

จะได้สมการคือ

$$d(p, q) = \sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2} = |p_x - q_x| + |p_y - q_y| \quad (4.5b)$$

สำหรับในระบบ 3 มิติ (x, y, z) ระยะห่างระหว่างเวกเตอร์ $P = \{p_x, p_y, p_z\}$ กับ $Q = \{q_x, q_y, q_z\}$ สมการคือ

$$\begin{aligned} d(p, q) &= \sqrt{(p_x - q_x)^2 + (p_y - q_y)^2 + (p_z - q_z)^2} \\ &= |p_x - q_x| + |p_y - q_y| + |p_z - q_z| \end{aligned} \quad (4.5c)$$

สำหรับในระบบ n มิติ ($1, 2, 3, 4, n$) ระยะห่างระหว่างเวกเตอร์ $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ กับ $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$

โดยสรุปสมการยูคลิดเดียนคือ

$$d(p, q) = \sqrt{(p_1 - q_1)^2 + (p_2 - q_2)^2 + \dots + (p_n - q_n)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - q_i)^2} \quad (4.5d)$$

ในกรณีที่มีข้อมูลเป็นอย่างอื่น เช่น มีรูปร่างแบบ ในการแยกแยะก็จะใช้รูปร่างเปรียบเทียบ กับตัวอย่างข้อมูลอ้างอิง (Template Pattern) โดยอาจใช้ผลการโหวต (Majority Voting) ที่มากที่สุด ในขอบการแบ่งแยกข้อมูลก็ได้

ขั้นตอนของวิธีการเฉลี่ยค่าความแรงของสัญญาณ

สรุปโดยรวมจะแบ่งขั้นตอนในการทำนายตำแหน่งตามวิธีการเฉลี่ยค่าความแรงความแรงของสัญญาณ เป็นสองขั้นตอนได้แก่ขั้นตอนการสร้างฐานข้อมูลและในการทำนาย

1. ขั้นตอนการสร้างฐานข้อมูล (Collect data phase) โดยทำการวัดค่าและค่าเฉลี่ยความแรงความแรงของสัญญาณคลื่นวิทยุ ($RSSI$) จากแอ็กเซสพอยท์ (APs) ตามพิกัดต่างๆ จนครบทุกตำแหน่ง (n) ตามสเกลที่กำหนดเป็นฐานข้อมูลตัวอย่างอ้างอิง

$$RSSI = \begin{bmatrix} rssi_1 \\ rssi_2 \\ \dots \\ rssi_n \end{bmatrix} [Ap] \quad (4.6)$$

โดยที่

$RSSI$ คือเมทริกซ์สังเกตการณ์ (Matrix Observation) บนความแรงสัญญาณคลื่นวิทยุ ที่รับจากแอ็กเซสพอยท์ (APs)

2. ช่วงการทำนาย (Online phase) ทำการวัดความแรงความแรงของสัญญาณ ใหม่ ($RSSI^{\wedge}$) อีกครั้ง ที่จุดสนใจ

$$RSSI^{\wedge} = [rssi^{\wedge}] [Ap] \quad (4.7)$$

โดยที่

$RSSI^{\wedge}$ คือเมทริกซ์สังเกตการณ์ (Matrix Observation) บนความแรงสัญญาณคลื่นวิทยุใหม่ ที่รับจากแอ็กเซสพอยท์ (APs)

ซึ่งค่าความแรงของสัญญาณคลื่นวิทยุใหม่ ($RSSI^{\wedge}$) นี้ จะกลายเป็นศูนย์กลางของข้อมูล จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงในแผนที่ของสัญญาณคลื่นวิทยุ ($RSSI$ Pattern map) โดยอาศัยฟังก์ชันระยะห่างยูคลิดีเนียน (Euclidean function distance) ระยะห่างนี้จะมีแนวโน้มเข้าใกล้ศูนย์กลางได้เท่ากับศูนย์กลางนั้นแสดงว่ามีความแม่นยำตรงตามตำแหน่งทันที

$$E_o = \begin{bmatrix} \sqrt{(rssi_1 - rssi^{\wedge})^2} \\ \sqrt{(rssi_2 - rssi^{\wedge})^2} \\ \dots \\ \sqrt{(rssi_n - rssi^{\wedge})^2} \end{bmatrix} [e_i] \quad (4.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 เมื่อ E_o คือเมทริกซ์ค่ายูคลิดีเนียนในแต่ละตำแหน่ง จากทั้งหมด n ตำแหน่ง
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขั้นตอนสุดท้ายของการคาดการณ์ตำแหน่ง โดยคือการค้นหาข้อมูลยูคลิดีเนียนที่ต่ำที่สุดจากการเรียงลำดับข้อมูล (Sort data) มากสุดไปหาน้อยสุด

$$E_o = \{(x_i, y_i), \min E_i\} \quad (4.9)$$

เมื่อ E_o คือเมทริกซ์ค่ายูคลิดีเนียนในแต่ละตำแหน่ง จากทั้งหมด n ตำแหน่ง

โดยเลือกค่ายูคลิดีเนียนที่มีค่าน้อยที่สุด แล้วอ่านตำแหน่งพิกัดอ้างอิงที่ได้จากฐานข้อมูลเป็นตำแหน่งที่คาดการณ์ (Estimate location) ที่ได้ตามวิธีการนี้



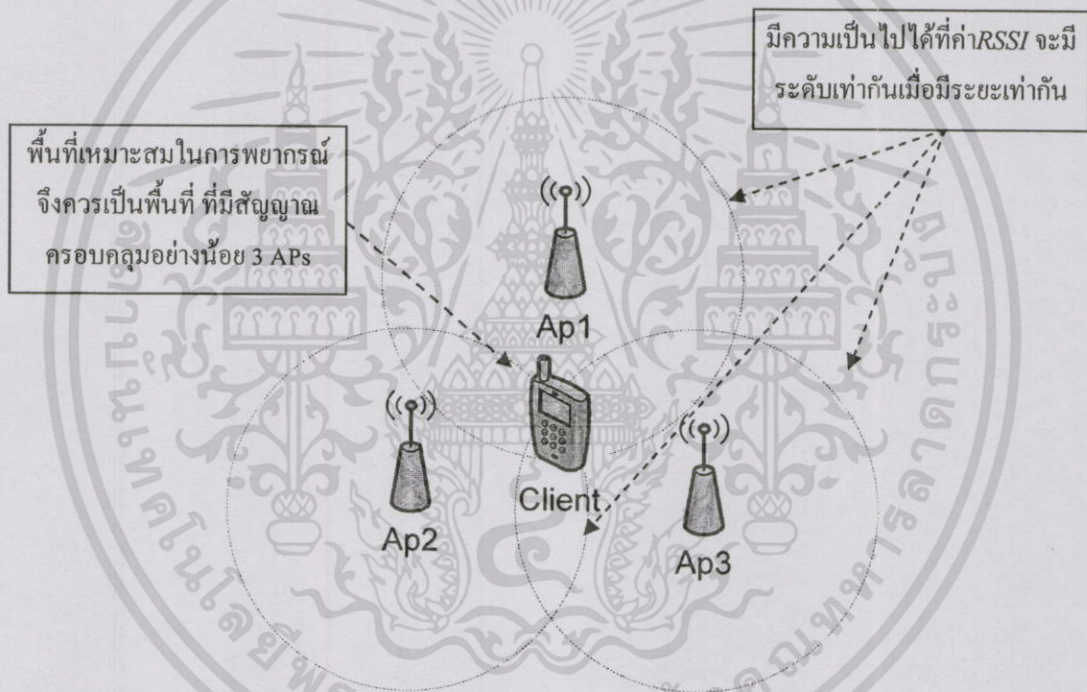
รูปที่ 4.4 แสดงการทำนายด้วยฟังก์ชันระยะห่างแบบยูคลิดีเนียน (Euclidean Distance)

4.1.2 วิธีการ RADAR (k -NN) [1]

เทคนิคของ “วิธีการ RADAR (k -NN)” นี้จะเป็นการแก้ปัญหาความซ้ำซ้อนของข้อมูลสัญญาณคลื่นวิทยุ $RSSI$ โดยยังคงใช้หลักการเดิมของ “วิธีการเฉลี่ยค่าความแรงของสัญญาณ” เป็นพื้นฐานในการจัดแบ่งกลุ่ม เพราะในความเป็นจริง การกระเพื่อมของสัญญาณคลื่นวิทยุ หรือเรียกว่าการขยายตัวและหดตัวของช่องสัญญาณในเซลบริการ (Cell Services) ในระบบการสื่อสาร ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้โดยปกติ ขึ้นอยู่กับจำนวนการเข้าใช้งานเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) ในระบบ เช่น แม้ว่าจะใช้งานอยู่ที่เดิม ณ เวลาหนึ่ง เมื่อมีจำนวนผู้ใช้งานอยู่จำนวนมาก ก็ย่อมต้องการใช้ช่องสัญญาณสื่อสารมาก เทียบกับอีกเวลาหนึ่งมีคนใช้น้อย ความแรงสัญญาณคลื่นวิทยุ ($RSSI$) ที่ได้รับก็อาจจะมีค่าน้อยมากต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น กรณีนำมาปรับใช้ในการคาดการณ์กับตำแหน่งเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) นั้น การใช้แอ็กเซสพอยท์ (APs) เพียงตัวเดียวหรือหนึ่งคลาส (1-NN) นั้น ยังคงเป็นการยากที่จะคาดการณ์ตำแหน่งได้อย่างถูกต้องแม่นยำ คือยังมีโอกาสที่ ที่จะทำนายผิดพลาดได้ถึง 1 ใน 4 หรือ ประมาณ 25 % ที่เดียวเพราะความแรงสัญญาณคลื่นวิทยุ (RSSI) ที่จะปรากฏขึ้นนี้ อาจจะมีการซ้ากันในรัศมีที่เท่ากัน ปรากฏตามเส้นรอบวงของแต่ละแอ็กเซสพอยท์ (APs) ที่ส่วนมากนิยมใช้แบบสายอากาศรอบทิศทาง (Omni Direction Antenna) ดังนั้นการที่จะทำการคาดการณ์ได้อย่างถูกต้องเป็นที่ยอมรับได้ จะต้องใช้มากกว่า 1 ตัว ขึ้นไป นิยมใช้การตรึง 3 โหนดด้วยกัน แต่ละแอ็กเซสพอยท์ (APs) จึงคล้ายกับระบบจีพีเอส (GPS) แต่หลักการจะแตกต่างกันอย่างสิ้นเชิง จากรูปที่ 4.5 ประกอบ



รูปที่ 4.5 แสดงเทคนิค k -Nearest Neighbors (3-NN) ในทางอุดมคติ

4.1.2.1 ขั้นตอนของวิธีการ RADAR (k -NN)

วิธีการนี้มีพื้นฐานมาจาก “วิธีการเฉลี่ยค่าความแรงความแรงของสัญญาณ” ดังกล่าว ที่ ผ่านมาขั้นตอนของวิธีการจึงเหมือนกัน ต่างเพียงมิติที่เพิ่มขึ้นหรือแอ็กเซสพอยท์ (APs) จำนวน (m) ตัว ที่จะเพิ่มขึ้นมา

1. ขั้นตอนการสร้างฐานข้อมูล (Collect data phase) โดยทำการวัดค่าและเฉลี่ยค่าความแรงความแรงของสัญญาณคลื่นวิทยุ (RSSI) จากแอ็กเซสพอยท์ (APs) ตามพิกัดต่างๆ (n)

เอกสารนี้เป็นเอกสารหนึ่งของศูนย์วิจัยเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืนของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$RSSI = \begin{bmatrix} rssi_1 \\ rssi_2 \\ \dots \\ rssi_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Ap_1 \\ Ap_2 \\ \dots \\ Ap_m \end{bmatrix} \quad (4.10)$$

โดยที่

$RSSI$ คือเมทริกซ์สังเกตการณ์ (Matrix Observation) บนสัญญาณคลื่นวิทยุจากแอ็กเซสพอยท์ (AP) จำนวน m ตัว

2. ช่วงการทำนาย (Online phase) ทำการวัดความแรงความแรงของสัญญาณ ใหม่ ($RSSI^{\wedge}$) อีกครั้ง ที่จุดสนใจ

$$RSSI^{\wedge} = [rssi^{\wedge}] \begin{bmatrix} Ap_1 \\ Ap_2 \\ \dots \\ Ap_m \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

โดยที่

$RSSI^{\wedge}$ คือเมทริกซ์สังเกตการณ์ (Matrix Observation) บนสัญญาณคลื่นวิทยุใหม่ จากแอ็กเซสพอยท์ (AP) จำนวน m ตัว

ซึ่งค่าความแรงของสัญญาณ ($RSSI^{\wedge}$) ใหม่ นี้ จะกลายเป็นศูนย์กลางของข้อมูล จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลอ้างอิงในแผนที่ของสัญญาณ ($RSSI$ Pattern) โดยอาศัยฟังก์ชันระยะห่างยูคลิเดียน (Euclidean distance function) ระยะห่างนี้จะมีแนวโน้มเข้าใกล้ศูนย์ ถ้าได้เท่ากับศูนย์นั้นแสดงว่ามีความแม่นยำตรงตามตำแหน่งทันที

$$E_o = \begin{bmatrix} \sqrt{(rssi_{1Ap1} - rssi^{\wedge}_{Ap1})^2 + (rssi_{1Ap2} - rssi^{\wedge}_{Ap2})^2 + \dots + (rssi_{1Apm} - rssi^{\wedge}_{Apm})^2} \\ \sqrt{(rssi_{2Ap1} - rssi^{\wedge}_{Ap1})^2 + (rssi_{2Ap2} - rssi^{\wedge}_{Ap2})^2 + \dots + (rssi_{2Apm} - rssi^{\wedge}_{Apm})^2} \\ \sqrt{(rssi_{3Ap1} - rssi^{\wedge}_{Ap1})^2 + (rssi_{3Ap2} - rssi^{\wedge}_{Ap2})^2 + \dots + (rssi_{3Apm} - rssi^{\wedge}_{Apm})^2} \\ \dots \\ \sqrt{(rssi_{nAp1} - rssi^{\wedge}_{Ap1})^2 + (rssi_{nAp2} - rssi^{\wedge}_{Ap2})^2 + \dots + (rssi_{nApm} - rssi^{\wedge}_{Apm})^2} \end{bmatrix} [e_i] \quad (4.12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ โดยบริษัท เทคโนโลยีการสื่อสารไร้สาย จำกัด การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ขั้นตอนสุดท้ายของการคาดการณ์ก็คือการค้นหาข้อมูลยูคลิดีเนียนที่ต่ำที่สุด โดยการเรียงลำดับข้อมูล (Sort data)

$$E_o = \{(x_i, y_i), \min E_i\} \quad (4.13)$$

เมื่อ E_o คือเมทริกซ์ค่ายูคลิดีเนียนในแต่ละตำแหน่ง จากทั้งหมด n ตำแหน่ง

โดยเลือกค่ายูคลิดีเนียนที่มีค่าน้อยที่สุด แล้วอ่านตำแหน่งพิกัดอ้างอิงที่ได้จากฐานข้อมูล เป็นตำแหน่งที่คาดการณ์ (Estimate location) ที่ได้ตามวิธีการนี้

สรุปโดยรวม

สิ่งแรกที่จะต้องทำในการนำเอาเทคนิคของวิธีการ RADAR (k -NN) ไปใช้งาน ก็คือการหาวิธีการวัดระยะห่างของคุณลักษณะ (attribute) สมาชิกของแต่ละกลุ่มข้อมูล ในแต่ละเวกเตอร์ และจากนั้นคำนวณค่าออกมา ซึ่งวิธีนี้จะเหมาะสำหรับข้อมูลแบบตัวเลขเท่านั้น ในกรณีที่ข้อมูลชุดหนึ่งๆ มีหลายคุณลักษณะ (attribute) ให้พิจารณาที่จะต้องหาวิธีในการรวมค่าระยะห่างของคุณลักษณะ (attribute) ทุกค่าที่วัดมาเป็นตัวเลขให้ได้ วิธีการนี้จึงไม่เหมาะสำหรับข้อมูลที่มีคุณลักษณะ (attribute) จำนวนมาก สอดคล้องกันกับจำนวนมิติที่ได้แก่ 1 -NN, 2 -NN, 3 -NN, ..., k -NN นั้น ตามความจริงจะใช้กับระบบที่เป็นขนาดเล็กเนื่องจากเวลาการค้นหาค่าต่ำสุดของวิธีการจะทำได้ช้ามาก นอกจากนี้ วิธีการดังกล่าวยังมีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้ จากความสมมูลของตัวเลข เช่น

ที่ตำแหน่งที่ (x_1, y_1)

วัดสัญญาณคลื่นวิทยุ RSSI ของแอ็คเซสพอยท์ (APs)

ตัวที่ 1 และ 2 ได้ $rss_{i_{Ap1}} = -10 \text{ dBm}$, $rss_{i_{Ap2}} = -100 \text{ dBm}$ ตามลำดับ

ที่ตำแหน่งที่ (x_{100}, y_{100})

วัดสัญญาณคลื่นวิทยุ RSSI ของแอ็คเซสพอยท์ (APs)

ตัวที่ 1 และ 2 ได้ $rss_{i_{Ap1}} = -100 \text{ dBm}$, $rss_{i_{Ap2}} = -10 \text{ dBm}$ ตามลำดับ

ช่วงการทำนาย

สมมติที่ไม่ทราบตำแหน่ง

สามารถวัดสัญญาณคลื่นวิทยุ RSSI ของแอ็คเซสพอยท์ (APs)

ตัวที่ 1 และ 2 ได้ $rss_{i_{Ap1}} = -5 \text{ dBm}$, $rss_{i_{Ap2}} = -5 \text{ dBm}$ ตามลำดับ

ถ้าสมมติอีกว่าค่ายูคลิดีเนียนที่คำนวณได้ต่ำที่สุดคือ 10 แล้ว จะเห็นได้ว่าค่ายูคลิดีเนียนที่ได้

เอกสารนี้ของสองตำแหน่งนี้จะเท่ากัน แล้วจะเลือกตำแหน่งไหนจึงจะถูกต้อง? ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ (Geometry Clustering) [2]

วิธีการนี้ดูจะเหมาะสมมากกว่า “วิธีการ RADAR (k -NN)” เมื่อนำไปใช้งานกับระบบที่มีข้อมูลเป็นตำแหน่งของพื้นที่ (x,y,z) เพราะคำนึงถึงความเป็นจริงทางกายภาพพื้นที่ด้วย ซึ่งวิธีการนี้จะไม่ได้พิจารณาความแรงสัญญาณคลื่นวิทยุ RSSI เพียงอย่างเดียว เพราะอาจจะเกิดรูปแบบผลลัพธ์ของค่ายูคลิดี้น ที่สมมูลกันในหลายตำแหน่งเหมือน “วิธีการ RADAR (k -NN)” ที่ผ่านมา

เพื่อใช้แก้ปัญหาดังกล่าวนี้ “วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์” จึงจะไม่รวมระยะห่างของยูคลิดี้นในแต่ละคลาสเข้าไว้ด้วยกัน แต่ละคลาสก็จะมีค่ายูคลิดี้น ที่ต่ำที่สุดของตัวเอง เทียบผ่านกับตำแหน่งในระบบ 2 มิติ (x,y) จากฐานข้อมูลแล้ว ก็จะได้ตำแหน่งประมาณการของแต่ละคลาส จากนั้นจึงใช้พิกัด (x,y) คำนวณ หาคู่คี่กึ่งกลางระหว่างคลาส วิธีการนี้จึงมีหลักการคล้ายกับการหาค่าเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างคลาสต่างๆ ซึ่งในการหาคู่คี่กึ่งกลางจะการใช้การประมาณค่าในช่วง (Interpolation)[24] ก็ได้

4.1.3.1 ขั้นตอนของวิธีการ

ในช่วงการรวบรวมข้อมูลความแรงของสัญญาณ (RSSI) จากแต่ละแอ็กเซสพอยท์ (APs) จะเหมือนกับ “วิธีการเฉลี่ยค่าความแรงของสัญญาณ และวิธีการ RADAR (k -NN)” โดยกำหนด จำนวนคลาสตามตัวแปรของแอ็กเซสพอยท์ (APs) ตัวอย่างเช่น เมื่อเลือกใช้แอ็กเซสพอยท์ (APs) จำนวน 4 ตัวแปร (AP_1, AP_2, AP_3 และ AP_4) ที่จะสามารถสร้างรูปร่างสี่เหลี่ยม (ครึ่ง 4 จุด) ซึ่งจะครอบคลุมพื้นที่มากกว่า ลดความผิดพลาดได้มากกว่าการครึ่งที่ 2 และ 3 จุด

1. ขั้นตอนการสร้างฐานข้อมูล (Collect data phase) โดยทำการวัดค่าและเฉลี่ยค่าความแรงของสัญญาณคลื่นวิทยุ (RSSI) จากแอ็กเซสพอยท์ (APs) ตามพิกัดต่างๆ จนครบจำนวน (n) ตำแหน่งตามสเกลที่กำหนดเป็นฐานข้อมูลตัวอย่างอ้างอิง

$$RSSI = \begin{bmatrix} rssi_1 \\ rssi_2 \\ \dots \\ rssi_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Ap_1 \\ Ap_2 \\ \dots \\ Ap_m \end{bmatrix} \quad (4.14)$$

โดยที่

$RSSI$ คือเมทริกซ์สังเกตการณ์ (Matrix Observation) บนสัญญาณคลื่นวิทยุจากแอ็กเซสพอยท์ (AP) จำนวน m ตัว

2. ช่วงการทำงาน (Online phase) ทำการวัดความแรงความแรงของสัญญาณ ใหม่ ($RSSI^{\wedge}$) อีกครั้ง ที่จุดสนใจ

$$RSSI^{\wedge} = [rssi^{\wedge}] \begin{bmatrix} Ap_1 \\ Ap_2 \\ \dots \\ Ap_m \end{bmatrix} \quad (4.15)$$

โดยที่

$RSSI^{\wedge}$ คือเมทริกซ์สังเกตการณ์ (Matrix Observation) บนสัญญาณ คลื่นวิทยุใหม่ จากแอ็คเซสพอยท์ (APs) จำนวน m ตัว

3. ขั้นตอนนี้คือคำนวณค่ายูคลิดีเนียนที่จะแยกออกเป็นเฉพาะของแต่ละคลาส

คลาสที่ 1 :

$$E_{Ap1} = \left\{ \sqrt{(rssi_{1Ap1} - rssi_{Ap1}^{\wedge})^2}, \sqrt{(rssi_{2Ap1} - rssi_{Ap1}^{\wedge})^2}, \dots, \sqrt{(rssi_{nAp1} - rssi_{Ap1}^{\wedge})^2} \right\}$$

คลาสที่ 2 :

$$E_{Ap2} = \left\{ \sqrt{(rssi_{1Ap2} - rssi_{Ap2}^{\wedge})^2}, \sqrt{(rssi_{2Ap2} - rssi_{Ap2}^{\wedge})^2}, \dots, \sqrt{(rssi_{nAp2} - rssi_{Ap2}^{\wedge})^2} \right\}$$

.....
 คลาสที่ m :

$$E_{Apm} = \left\{ \sqrt{(rssi_{1Apm} - rssi_{Apm}^{\wedge})^2}, \sqrt{(rssi_{2Apm} - rssi_{Apm}^{\wedge})^2}, \dots, \sqrt{(rssi_{nApm} - rssi_{Apm}^{\wedge})^2} \right\}$$

(4.16)

4. ขั้นตอนนี้คือการเรียงลำดับข้อมูล (Sort data) เพื่อเลือกค่าที่ยูคลิดีเนียน $E_i = \min E_j$ ที่มีค่าน้อยที่สุด ของแต่ละคลาส

$$E_{AP1} = \{(x_i, y_i), \min E_i\}$$

$$E_{AP2} = \{(x_i, y_i), \min E_i\}$$

(4.17)

.....

$$E_{APm} = \{(x_i, y_i), \min E_i\}$$

เมื่อ E_{AP} คือเมทริกซ์ค่ายูคลิดีเนียนในแต่ละตำแหน่ง จากทั้งหมด n ตำแหน่ง

โดยเลือกค่ายูคลิดีเนียนที่มีค่าน้อยที่สุด แล้วอ่านตำแหน่งพิกัด (x_i, y_i) อ้างอิงที่ได้จาก

ฐานข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. ในการคาดการณ์ตำแหน่งผู้ใช้สามารถหาได้จากตำแหน่ง ที่ให้ค่าระยะห่างยูคลิดีเนียนต่ำที่สุด ของแต่ละคลาสเช่นในสมการ (4.18) ที่ซึ่งกำหนดให้

$$K = \text{จำนวนกลุ่มที่เป็นไปได้ที่ใช้ทำการทำนายตำแหน่ง} \\ (x_i, y_i), i = 1, 2, 3, \dots, K$$

การทำนายตำแหน่ง (\hat{x}, \hat{y}) โดยคำนวณหาจุดกึ่งกลางของทุกๆ พิกัดกริดที่จะเป็นไปได้ ในแต่ละกลุ่มตำแหน่ง ดังสมการคือ

$$(\hat{x}, \hat{y}) = \left(\frac{1}{K} \sum_{i=1}^k x_i, \frac{1}{K} \sum_{i=1}^k y_i \right) \quad (4.18)$$

การคำนวณหาจุดกึ่งกลางระหว่างพิกัดเพื่อที่จะนำมาทำนายตำแหน่งนั้น หาได้โดยการกำหนดค่าระยะห่างยูคลิดีเนียนที่ได้ ตัวอย่าง สมมติให้เป็นค่าดังต่อไปนี้ $x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4$ โดยที่พิกัด x_1, y_1 เป็นตำแหน่งที่มีค่าระยะห่างยูคลิดีเนียนต่ำสุด และ เรียงค่า $x_2, y_2, x_3, y_3, x_4, y_4$ ตามลำดับ จากนั้นให้คำนวณโดยใช้หลักการการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) [24]

4.1.3.2 ฟังก์ชันการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) [24]

โดยฟังก์ชันการประมาณค่าในช่วงดังกล่าวนี้ จะสามารถหาจุดกึ่งกลางของข้อมูลได้โดยการประมาณการค่าในช่วง อธิบายได้ดังสมการที่ (4.19) โดยมีจุดกึ่งกลางของ f_1 กับ f_2 ดังนั้นการประมาณค่าในช่วงคือ

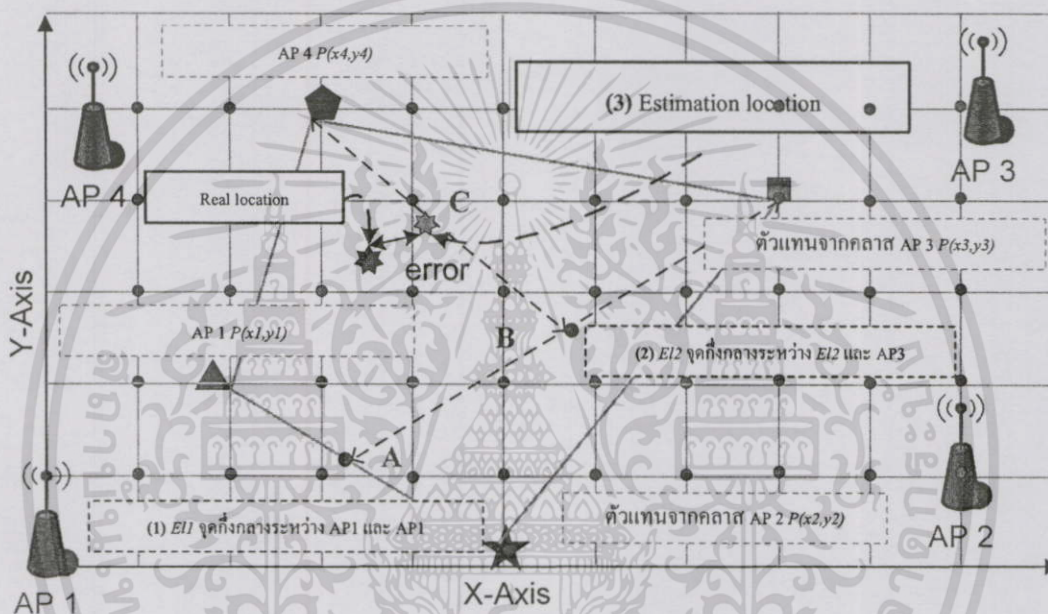
$$f_1 + \frac{(f_2 - f_1)}{2} \text{ เมื่อ } f_1 < f_2 \quad (4.19)$$

อนึ่งในการประมาณค่าในทางวิศวกรรมนี้ นอกจากจะหาค่าในช่วงได้แล้ว ยังสามารถที่จะหาการประมาณค่านอกช่วง (Extrapolation) ได้อีกด้วย ซึ่งหลักการดังกล่าวจะเป็นพื้นฐานในคณิตศาสตร์ขั้นสูง ไฟต์ไนท์อิลเมนต์ (Finite Element) ต่อไป

จากข้อมูลที่ได้จากสมการ (4.19) ดังกล่าวข้างต้น ในปฏิบัติการหาจุดกึ่งกลาง ระหว่างคู่พิทักของแต่ละคลาส โดยสมมติตัวอย่างให้คือ

- 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 คือตำแหน่งที่ทำการคาดการณ์ รูปที่ 4.6 ประกอบ

Cluster-Based Geometric approach (4-GC)



รูปที่ 4.6 แสดงวิธีการ Cluster-Based Geometric Approach [2][3]

4.1.4 วิธีการแอดเอลออาร์ (Log Likelihood Ratio: LLR) [5][6]

สำหรับ “วิธีการแอดเอลออาร์(LLR)” ที่นำเสนอ จะสามารถแก้ปัญหาการที่ผลลัพธ์มีการสมมูลในหลายตำแหน่งได้ เพราะยังคงใช้ข้อดีของ “วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์” ไว้อยู่ คือยังคงแยกการคำนวณด้วยฟังก์ชันยูคลิเดียนของแต่ละคลาส ซึ่งค่ายูคลิเดียนที่มีค่าต่ำที่สุด ยังคงเป็นตัวแทนของแต่ละคลาส เพื่อการคำนวณทางกายภาพ แต่จะมีความยุ่งยากน้อยกว่า

ในการได้มาของเมตริกซ์สังเกตการณ์ [RSSI] จากข้อมูลตัวอย่างอ้างอิง ในช่วงการรวบรวมข้อมูลความแรงของสัญญาณคลื่นวิทยุ RSSI รวมทั้งเมตริกซ์สังเกตการณ์ [RSSI^] ของความแรงสัญญาณ RSSI^ ใหม่ ช่วงการออนไลน์ (Predict Phase) จากแต่ละแอ็คเซสพอยท์ (APs) จะเหมือนกันกับ “วิธีการเฉลี่ยค่าความแรงความแรงของสัญญาณ และวิธีการ RADAR (k-NN)” และก็เช่นเดียวกันกับการได้มาตำแหน่งพิทักของแต่ละคลาส (x_i, y_i) ที่พิทักจะสอดคล้องกับค่ายูคลิเดียนที่ต่ำที่สุดของแต่ละคลาสจะมีหลักการเหมือนกับ “วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์(Geometry Clustering)” จึงจะไม่กล่าวให้ซ้ำซ้อนอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.1 ฟังก์ชันค่าขีดเริ่ม (Threshold Function)

โดยแนวคิดของ “วิธีการแอลแอลอาร์ (LLR)” มีหลักการมาจาก จัดแบ่งคลาสด้วยฟังก์ชันค่าขีดเริ่ม “*Threshold Function*” ดังสมการ(4.20) ที่ลักษณะของผลลัพธ์ (Output) ที่ต้องการมีเพียงคำตอบว่า “ใช่” หรือ “ไม่ใช่” เท่านั้น โดยทั่วไปในฟังก์ชันการตัดสินใจจะมีอยู่ 2 แบบคือ

$$f(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } x \geq T \\ 0 & \text{if } x < T \end{cases} \quad (4.20)$$

เมื่อ T คือระดับค่าขีดเริ่ม (*Threshold Level*)

แบบ Hard Decision

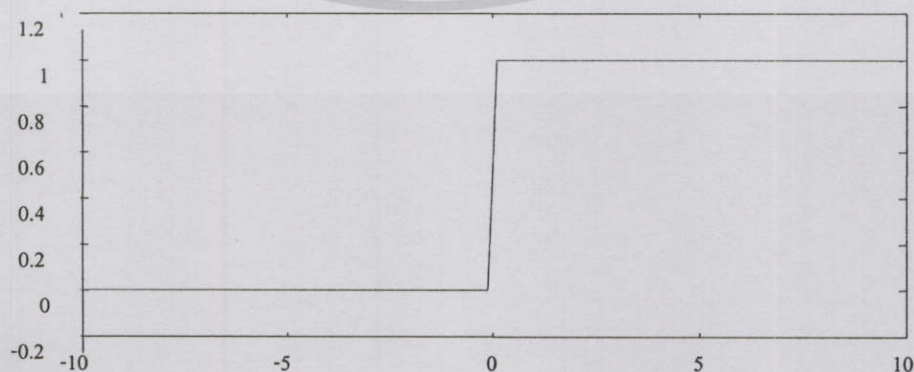
กระบวนการตัดสินใจนี้ จะพิจารณาระดับความเป็นสมาชิกในเมทริกซ์ซิกเนลสเปซ เพียงสองระดับเท่านั้น คือ 0 กับ 1 เท่านั้น ถ้าเป็น 0 นั่นคือไม่ได้เป็นสมาชิกส่วนถ้าเป็น 1 นั่นคือสมาชิกในเมทริกซ์ซิกเนลสเปซ

แบบ Soft Decision

กระบวนการตัดสินใจ จะพิจารณาระดับความเป็นสมาชิกในเมทริกซ์ซิกเนลสเปซ มีหลายระดับ แล้วแต่ความซับซ้อนหรือความละเอียดของข้อมูล ซึ่งระดับนี้อาจจะมีค่าได้ตั้งแต่ 0.0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1 เป็นต้น ค่าระดับความเป็นสมาชิกที่ละเอียดนี้เป็นพื้นฐานคิดแยกในทฤษฎีฟัซซี (Fuzzy Theory) พบในคณิตศาสตร์ขั้นสูงขึ้นไป

ตัวอย่าง

กำหนดให้ ระดับค่าขีดเริ่ม (*Threshold function*) มีค่าอยู่ที่ 0 หรือ ($T=0$) โดยมีอินพุตอยู่ระหว่าง -0.2 ถึง 1.2 ซึ่งเป้าหมายสนใจเพียง ระดับอินพุตที่มีค่ามากกว่า 0 ถือว่ายอมรับได้ทั้งหมด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่4.7 แสดงการตัดสินใจด้วยฟังก์ชันค่าขีดเริ่ม (Threshold Function) โดยชนด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.2 ขั้นตอนของวิธีการ

ขั้นตอนจะสืบเนื่องต่อจาก “วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์” เมื่อสามารถหาตำแหน่งพิกัดของแต่ละคลัสเตอร์ได้แล้ว โดยจะตั้งสมมติฐานขึ้นมาใหม่ ที่ใช้ระยะห่างของแต่ละพิกัดเป็นเกณฑ์ เป็นการกำหนดความน่าจะเป็นเป็นช่วงสถานะ (State: S) หนึ่งๆ ดังนั้นจากตัวแทนกลุ่มคลัสเตอร์ n กลุ่ม ก็จะได้ความน่าจะเป็นคือ $S_i, S_{i+1}, S_{i+2}, S_{i+3}, \dots, S_{i+n}$ นั้นเอง ตัวอย่างเช่น ให้ $n = 4$ เมื่ออยู่เมื่อนำมาเรียงลำดับอนุกรมกัน รูปที่ 4.8 ประกอบ ตัวอย่างจำนวนคลัสต์ 4 APs



รูปที่ 4.8 แสดงการลำดับการเปรียบเทียบ LLR ใน 4 ค่า

หลักการคือความน่าจะเป็นของสเตตที่น้อยที่สุดจะถูกคัดออก ซึ่งก็คือพิกัดตำแหน่งที่มีระยะห่างจากกลุ่มมากที่สุด โดยจะถูกลบทิ้งออกไปจากระบบการตัดสินใจเป็นอันดับแรก สำหรับพิกัดตำแหน่งที่ไม่ได้ถูกเลือกนั้นจะถูกเรียกว่า “Forgetting” ดังนั้นสำหรับที่เส้นทางที่เหมาะสมคือเส้นทางที่มีความน่าจะเป็นมากกว่าจะถูกคัดเลือกไว้ เรียกว่า “Survivor: *” ซึ่งจะถูเก็บไว้ทำการคำนวณเปรียบกับสถานะ (state) ต่อ ๆ ไป กระบวนการนี้จึงมีใช้ฟังก์ชันที่มีการปรับระดับค่าขีดเริ่ม “Threshold level” ของระยะห่างแต่ละเส้นทางต่อไปเรื่อยๆ เนื่องจากการคิดระดับข้อมูลเพียงสองระดับ จึงได้เลือกให้กับความน่าจะเป็นจริงและเพื่อให้ง่ายในทางการเขียนโปรแกรมดังกล่าวด้วย เรียกวิธีการอีกอย่างว่า อัตราส่วนลือภบนความน่าจะเป็นจริง (Log Likelihood Ratio: LLR)

$$\Lambda = \ln \left(\frac{P[m = S_i | E_{S_i}]}{P[m = S_{i+1} | E_{S_{i+1}}]} \right) \quad (4.21)$$

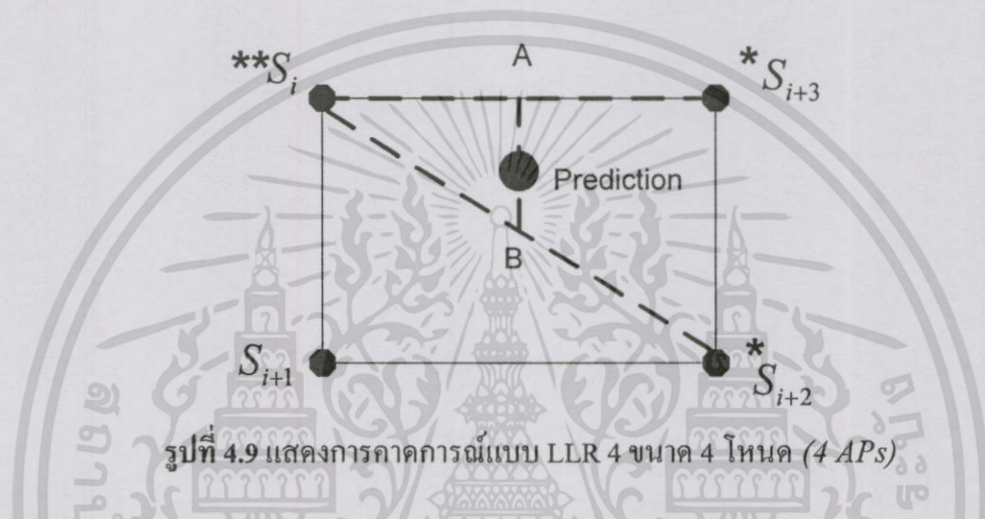
โดยจะมีสมการของการตัดสินใจคือ

$$decision = \begin{cases} S_i, & \text{if } \Lambda > 0 \\ S_{i+1}, & \text{if } \Lambda < 0 \end{cases} \quad (4.22)$$

เมื่อนำสมการ(4.22)ไปปรับใช้เพื่อการคาดการณ์ตำแหน่งเครื่องลูกข่าย (WLAN's Client)

นั้น ก็จะเปลี่ยนทุกตำแหน่งของคำตอบเบื้องต้น ให้อยู่ในสถานะของการตัดสินใจ หลังจากที่ได้เอกสารนี้แล้ว ก็จะเปลี่ยนทุกตำแหน่งของคำตอบเบื้องต้น ให้อยู่ในสถานะของการตัดสินใจ หลังจากที่ได้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการกำหนดจุดที่จะตัดสินใจ ด้วยสัญลักษณ์ “*” วางตามจุดที่ตัดสินใจ ตำแหน่งที่ควรตัดสินใจสูงสุดจะเป็น “1” ซึ่งในที่นี้แทนด้วยเส้นประตามรูปแสดง S_i คือจุดสูงสุดที่ทำการเลือก ส่วนที่ S_{i+2} , S_{i+3} เป็นส่วนที่รองลงมา ดังนั้น S_i จะเป็นตำแหน่งหลักระหว่างตำแหน่งรอง S_{i+2} และ S_{i+3} โดยใช้สมการการประมาณค่าในช่วง มาช่วยคำนวณหาระหว่างจุดกึ่งกลางทั้งสองเส้นทางตามรูป กำหนดจุดให้เป็น “A” และ “B” จากนั้นให้ทำการลากเส้นเชื่อมต่อระหว่างกัน จากจุด “A” และ “B” จุดที่คาดการณ์ตำแหน่งเครื่องลูกข่าย (WLAN's Client) ก็คือจุดกึ่งกลางระหว่าง “A” และ “B”



รูปที่ 4.9 แสดงการคาดการณ์แบบ LLR 4 ขนาด 4 โหนด (4 APs)

ข้อสังเกต

ในการปฏิบัติจริง ตำแหน่งพิกัด (x_i, y_i) ได้ของแต่ละคลาส ถ้าชี้ไปตรงกันมากที่สุด จะถูกเลือกเป็นตำแหน่งคาดการณ์สุดท้าย เนื่องจากมีระยะห่างเท่ากับศูนย์ ซึ่งเป็นระยะห่างที่น้อยที่สุดแล้วของการคำนวณด้วยวิธีการนี้ กรณีนี้จะมีความคล้ายคลึงกับทำการโหวตสูงสุด (Majority Vote) ซึ่งในส่วนนี้เองทำให้การคำนวณทำได้รวดเร็ว

นอกจากนี้ ในกรณีที่แต่ละคลาสอาจจะมีกรณีการชี้ตำแหน่งตรงกันหลายพิกัด (x_i, y_i) สามารถที่จะใช้สมการฟังก์ชันการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) มาช่วยในการแก้ปัญหาได้ ซึ่งการเกิดของกรณีนี้มีโอกาสเกิดขึ้นน้อยมาก จึงมีอัตราการใช้ฟังก์ชันนี้ น้อยกว่าวิธีการ “วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์” อยู่มาก จึงทำให้มีความสะดวกง่ายกว่ามาก

ตัวอย่าง

การประยุกต์ใช้งานแอลแอลอาร์ (LLR) ที่พบในงานอื่น ๆ เช่นการใช้ในทฤษฎีข่าวสารนั้น (Information Theory) นั้นถ้า “LLR” ของบิตข้อมูลใดๆ ที่เป็นบวก ก็บอกเป็นนัยได้ว่ามีความน่าจะเป็น “1” และ ถ้าข้อมูลอยู่ในด้านลบก็สามารถประมาณการณได้เป็น “0” นั่นคือ ถ้าค่าสถานะของตัวเศษมากกว่าส่วน จะได้ค่าเป็นมากกว่า “1” ให้เลือกสถานะนี้ ส่วนถ้าค่าสถานะ

เอกสารนี้ ส่วนน้อยกว่า “1” ให้แสดงว่าสถานะนี้น่าตัดสินใจเลือกมากกว่าญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 วิธีการเชิงความน่าจะเป็น (Probability Model) [7][8][14]

การตัดสินใจเชิงดีเทอร์มินิสติกที่ผ่านมาแล้วนั้น จะมีค่าตัวแปรการสังเกต (Observation value: O) ที่ใช้ในการตัดสินใจ โดยจะแปรตามจำนวนสมาชิกในซิกเนลเมทริกซ์สเปซ ผลลัพธ์ที่ได้จากค่าตัวแปรการสังเกต (O) สามารถที่จะทำนายอนาคตได้ โดยการใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็น ดังนั้นวิธีการความน่าจะเป็นเชิงสถิติจึงใช้วิธีการสร้างฐานข้อมูลเช่นเดียวกับวิธีการเชิงดีเทอร์มินิสติก แต่ในการเก็บบันทึกข้อมูลจะย้อนกลับค่าความแรงสัญญาณคลื่นวิทยุ (RSSI) ให้ไปอยู่ในรูปแบบข้อมูลฟังก์ชันการแจกแจงความน่าจะเป็น (*p.d.f*)

ความน่าจะเป็นใดๆ มีความหมายคือ “ค่าตัวเลขค่าหนึ่งๆ ที่จะแสดงถึงโอกาสในการเกิดเหตุการณ์ที่สนใจ” โดยปรกติทั่วไปแล้ว จะมีค่าอยู่ระหว่าง “0” ถึง “1” ($0 \leq P(E) \leq 1$) โดยที่ ถ้าเท่ากับศูนย์ “ $P(E) = 0$ ” แสดงว่าเหตุการณ์นั้นไม่มีโอกาสเกิดขึ้นเลย ถ้าเท่ากับหนึ่ง “ $P(E) = 1$ ” แสดงว่าเหตุการณ์นั้นจะต้องเกิดขึ้นเป็นที่แน่นอน โดยมีสมการความน่าจะเป็นทั่วไปของการเกิดเหตุการณ์แบบสุ่มคือ

$$P(E) = \frac{n}{N} \quad (4.20)$$

เมื่อ

$P(E)$ คือความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่เราสนใจ

n คือจำนวนเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่ง

N คือจำนวนเหตุการณ์ทั้งหมด

ดังนั้น เมื่อนำสมการความน่าจะเป็นดังกล่าวไปปรับใช้ ในการคาดการณ์ตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย (WLAN's Client) ณ ตำแหน่งต่างๆ แล้ว จะมีเหตุการณ์สำคัญใหญ่ๆ เกิดขึ้น 2 เหตุการณ์ คือเหตุการณ์ที่สัญญาณ $P(RSSI)$ จะเกิดเป็นค่าระดับดีบีเอ็ม (dBm) ต่างๆ และเหตุการณ์ที่ตำแหน่งพิกัด $P(X,Y)$ ต่างๆ โดยเหตุการณ์ย่อยๆ $P(rssi)$ และ $P(x,y)$ เหล่านี้เป็นอิสระต่อกัน คือเหตุการณ์ต่าง ๆ สามารถเกิดขึ้นได้เพียงเหตุการณ์เดียว

$$\text{ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ ณ ตำแหน่งใดๆ} = \frac{\text{จำนวนของ RSSI นั้นๆ}}{\text{จำนวนของ RSSI ทั้งหมด}} \quad (4.21)$$

โดย ณ ที่นี้ การหาค่าความน่าจะเป็นของความแรงสัญญาณ (RSSI) จะไม่คิดเชิงความถี่เหมือนทั่วไป แต่จะคิดในเชิงปริมาณ โดยจะปริมาณของความแรงสัญญาณ (RSSI) ณ จุดหนึ่งๆ จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 dBm (ที่สัญญาณแรงที่สุด) และกำลังรับต่ำที่สุดคือ -100 dBm ซึ่งในความเป็นจริง เครื่องลูกข่าย (WLAN's Client) สามารถรับสัญญาณได้ต่ำกว่านี้อีก อย่างไรก็ตามจะไม่สามารถสื่อสารได้ดีและจะทำให้การคิดค่าความน่าจะเป็นทำได้สะดวกง่ายต่อการคำนวณขึ้นมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารต้นฉบับที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.1 วิธีการแบบเบย์ (Bayesian Estimated) [22][23]

ในการคาดการณ์ตำแหน่งเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) การใช้เหตุการณ์จากตัวแปรสัญญาณ (RSSI) จากแอ็คเซสพอยท์ (AP) เพียงตัวแปรเดียวนั้น ยังไม่อาจที่จะสร้างระบบการคาดการณ์ตำแหน่งให้มีความความถูกต้องน่าเชื่อถือได้ เช่นเดียวกับวิธีการเชิงคณิตศาสตร์มินิสติค ในที่นี้จึงต้องพิจารณาถึงการรวมความน่าจะเป็น (Join Probability) [22][23] จากเหตุการณ์การเกิดสัญญาณคลื่นวิทยุ (RSSI) ต่างๆ เข้าไว้ด้วยกัน

ทั้งนี้ในการรวมความน่าจะเป็นขึ้นอยู่กับ การมีส่วนร่วมในผลลัพธ์ของเหตุการณ์ด้วยกันหรือไม่? กรณีมีผลลัพธ์ร่วมกัน (Collectively Exclusive) จะกล่าวได้ว่า “เหตุการณ์สองเหตุการณ์ใด การเกิดขึ้นของเหตุการณ์หนึ่ง มีผลต่อการเกิดขึ้นของเหตุการณ์อื่นๆ ด้วย จะเรียกว่าเหตุการณ์ขึ้นต่อกัน (Dependent Events)” ผลรวมของความน่าจะเป็นรวม แสดงได้ดังสมการ (4.22) คือ

$$P(A) = \sum_{i=1}^n p(a)_i = 1 \quad (4.22)$$

โดยที่ ความน่าจะเป็น P_i คือ $0 \leq p \leq 1$ เมื่อ $i = (1, 2, 3, \dots, n)$ เหตุการณ์ทั้งหมด

แต่ถ้าสองเหตุการณ์ ขึ้นไปใดๆ จะเรียกว่าไม่ขึ้นต่อกันได้ ก็ต่อเมื่อ “ถ้าการเกิดของเหตุการณ์หนึ่ง ไม่มีผลกระทบต่อการเกิดของอีกเหตุการณ์หนึ่ง” ดังนั้นความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่เป็น ไม่ขึ้นต่อกันคือ

$$P(A) = \prod_{i=1}^n p(a)_i = 1 \quad (4.23)$$

โดยที่ ความน่าจะเป็น P_i คือ $0 \leq p \leq 1$ เมื่อ $i = (1, 2, 3, \dots, n)$ เหตุการณ์ทั้งหมด

กล่าวโดยสรุป

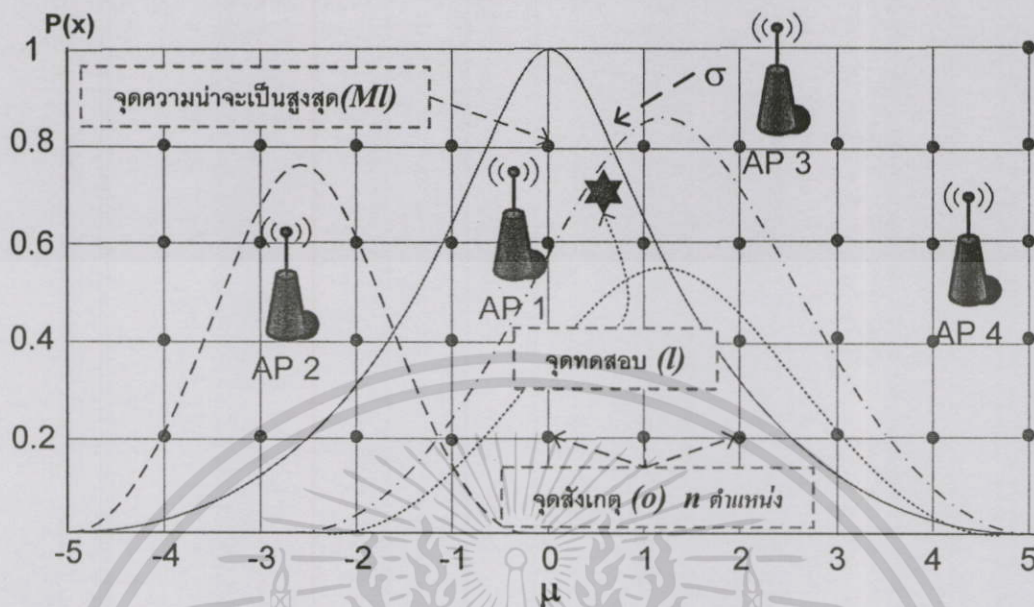
เมื่อมีเหตุการณ์เกิดร่วมกัน (Collectively Exclusive) ถ้าขึ้นต่อกัน จะเป็นการนำค่าความน่าจะเป็นทั้งหมดมาบวกรวมกัน แต่ถ้าเกิดเหตุการณ์ไม่ขึ้นต่อกัน โดยจะใช้ผลการคูณร่วมกัน

ในกรณีการนำไปปรับใช้กับการคาดการณ์ตำแหน่งเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) นั้น จะเกิดเหตุการณ์ขึ้น 2 เหตุการณ์คือ ความน่าจะเป็นของตำแหน่ง $P(x,y)$ หรือเพื่อให้กระชับขึ้น จะใช้ $P(L_i)$ เป็นลาเบลแทนและเหตุการณ์ (Event) ค่าความน่าจะเป็นของสัญญาณ $P(RSSI)$ หรือ $P(E_i)$ จากแอ็คเซสพอยท์ (APs) ต่างๆ นั้น และถือได้ว่าแต่ละเหตุการณ์นี้จะมีผลลัพธ์ร่วมกัน แม้ว่าส่งสัญญาณบนความถี่ของตัวเองตาม เพราะระบบ WLAN ที่ติดตั้งวางความถี่ของเซลบริการในเครือข่ายไม่ให้เกิดการรบกวนกัน ดังได้อธิบายไว้แล้วใน บทที่ 2 เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย

หัวข้อ 2.5 สถาปัตยกรรมเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย WLAN IEEE802b/g

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การแจกแจงแบบปกติ(Normal or Gaussian distribution)



รูปที่ 4.10 แสดงการแจกแจงความน่าจะเป็น ณ จุดสังเกตหนึ่ง ของ AP1, AP2, AP3 และ AP4

ตัวแปรสุ่มแบบปกติ หรือ Normal Random Variables เป็นตัวแปรสุ่มที่สำคัญเนื่องจากการจำลองแบบระบบในธรรมชาติหลายครั้งที่สามารถทำได้ด้วยตัวแปรสุ่มชนิดนี้ ตัวแปรสุ่ม X เป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ถ้า X มี $p.d.f.$ คือฟังก์ชัน f_x กล่าวคือ

$$f_X(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}, \text{ for } -\infty < x < \infty \quad (4.24)$$

โดย μ และ σ^2 เป็นพารามิเตอร์ของการแจกแจง

การคาดหวังของ X ได้แก่ μ และความแปรปรวนของ X ได้แก่ σ^2 (หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของ X เท่ากับ σ) ซึ่งได้จาก

$$E[X] = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot f_X(x) dx \quad (4.25a)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu) \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (4.25b)$$

$$= \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \mu e^{-\frac{\mu^2}{2}} d\mu + \mu \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\mu^2}{2}} d\mu \right) \quad (4.25c)$$

$$\begin{aligned} \text{โดยให้ } \mu &= \frac{x - \mu}{\sigma} \\ &= \frac{\sigma}{\sqrt{2\pi}} \left(-e^{-\frac{\mu^2}{2}} \Big|_{-\infty}^{\infty} \right) + \mu \end{aligned} \quad (4.25d)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พจน์ในวงเล็บของเทอมที่สองของสมการที่ (4.25c) เป็นการหาความน่าจะเป็นทั้งหมดของการแจกแจงแบบปกติ ที่มีการคาดหวังเป็น 0 และความแปรปรวน 1 จึงมีค่าเท่ากับ 1 และเทอมแรกของสมการที่ (4.25d) มีค่าเป็น 0

$$\text{Var}[X] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - E[X])^2 \cdot f_X(x) dx \quad (4.26a)$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} (x - \mu)^2 \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (4.26b)$$

$$= \frac{\sigma^2}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} \mu^2 e^{-\frac{\mu^2}{2}} d\mu \quad (4.26c)$$

โดยให้ $\mu = \frac{x - \mu}{\sigma}$

$$= -\frac{\sigma^2}{\sqrt{2\pi}} \mu e^{-\frac{\mu^2}{2}} \Big|_{-\infty}^{\infty} + \sigma^2 \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\mu^2}{2}} d\mu \right) \quad (4.26d)$$

$$= \sigma^2$$

เนื่องจากเทอมแรกของสมการที่ (4.26d) มีค่าเป็น 0 ในขณะที่พจน์ในวงเล็บของเทอมที่สองเป็นการหาความน่าจะเป็นทั้งหมดของการแจกแจงแบบปกติ ที่มีการคาดหวังเป็น 0 และความแปรปรวน 1 จึงมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นเมื่อ X เป็นตัวแปรสุ่มแบบปกติ ที่มีพารามิเตอร์เป็น μ และ σ^2 เรามักใช้สัญลักษณ์ $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ แสดงถึงการแจกแจงของ X โดยตัวเลขในวงเล็บแสดงถึงการคาดหวัง และความแปรปรวน ของ X ตามลำดับ

คุณสมบัติของฟังก์ชันแจกแจงแบบปกติ

- สมมาตรรอบค่าคาดหวัง
- ฟังก์ชันมีค่าตั้งแต่ $-\infty$ ถึง ∞ หรือ ช่วงที่เป็นไปได้มีตั้งแต่ $-\infty$ ถึง ∞
- ตำแหน่งของการแจกแจงจะขึ้นอยู่กับค่าคาดหวัง μ ดังรูป 4.9
- ความอ้วน ผอมของการแจกแจงขึ้นอยู่กับความแปรปรวน σ^2 (หรือค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ) ดังรูป 4.10

ความน่าจะเป็นของตัวแปรแบบปกติ ในช่วงใดช่วงหนึ่งตามนิยามสามารถทำได้โดยการหาพื้นที่ใต้กราฟในช่วงดังกล่าวซึ่งการคำนวณจำเป็นต้องอินทิเกรต (integrate) ฟังก์ชันเอ็กโปเนนเชียล (exponential) ของ X กำลังสอง

$$P(a < X \leq b) = \int_a^b \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} dx \quad (4.27)$$

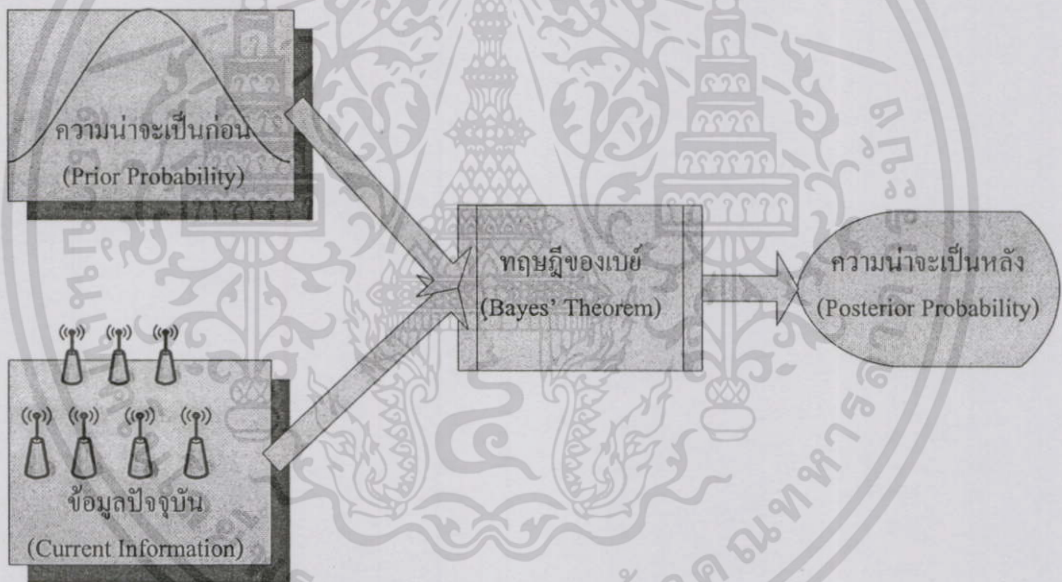
ซึ่งการ อินทิเกรต (integrate) ไม่สามารถหาหูปิดได้ ทำให้ไม่สะดวกในการคำนวณในทางปฏิบัติเราจึงนิยามตัวแปรสุ่มแบบมาตรฐานปกติ (standard normal) เพื่อช่วยในการหา

ความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มแบบปกติ (normal) อื่น ๆ นั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2 ทฤษฎีบทของเบย์ (Bayes' Theorem) [19][33]

ทฤษฎีบทความน่าจะเป็น มีอยู่หลากหลายทฤษฎีบท ความน่าจะเป็นแบบเบย์ก็เป็นหนึ่งในนั้นและวิธีการนี้ก็มีประสิทธิภาพไม่แพ้วิธีการแบบอื่นๆ พื้นฐานปรับปรุงมาจากความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข (Condition Probability) นั่นคือ เมื่อกำหนดให้ D (Data set) และ h (hypothesis) เป็นสมมติฐานเหตุการณ์ใดๆ ของความน่าจะเป็นของ D เมื่อรู้ h สามารถเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ $P(D|h)$

ในกรณีของเราคือ $P(X, Y | RSSI)$ หรือ $P(L_i | E_i)$ นั่นก็คือ คำถามว่าทำอย่างไรจึงจะทราบตำแหน่งเครื่องลูกข่าย (WLAN's Client) ได้ เมื่อทราบความแรงของสัญญาณ (RSSI) จากแอ็คเซสพอยท์ (APs) ต่างๆ แล้ว โดยทฤษฎีบทเบย์จะสามารถคำนวณหาคำตอบนี้ได้ โดยใช้หลักการจะมีการเรียนรู้ความน่าจะเป็นก่อนหน้า (Prior Probability) ประกอบเข้ากับข้อมูลปัจจุบัน เมื่อปรับแล้วก็จะได้ผลลัพธ์ ซึ่งเป็นความน่าจะเป็นที่สร้างขึ้นมาครั้งหลัง (Posterior Probability) เพื่อให้เข้าใจง่ายสามารถสรุปเป็นแผนภาพดังนี้



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ทฤษฎีของเบย์

โดยทฤษฎีบทของเบย์ (Bayes' Theorem) มีสมการหลักในการคำนวณ กล่าวคือ

$$P(h | D) = \frac{P(D | h)P(h)}{P(D)} \tag{4.28}$$

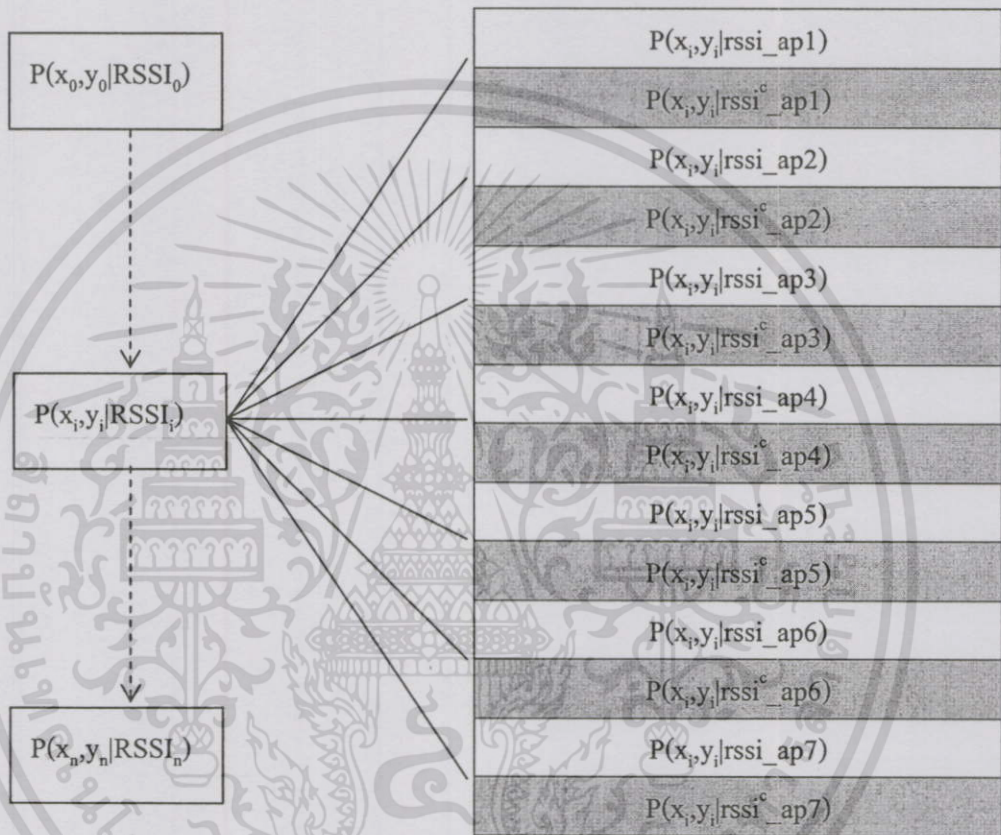
โดยที่

- $P(h)$ คือความน่าจะเป็นของสมมติฐาน
- $P(D)$ คือเซตความน่าจะเป็นกลุ่มของข้อมูลที่พิจารณา
- $P(D|h)$ คือความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขก่อน (Prior Probability)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวน $P(h|D)$ คือความน่าจะเป็นภายหลัง (Posterior Probability) ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 ขั้นตอนของวิธีการ

ในกรณีการคาดการณ์ตำแหน่งเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) มีความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขของหลายตัวแปรสุ่มหรือแต่ละตัวแปรเป็นอิสระ (Conditionally Independent) ซึ่งก็คือจำนวนแอ็กเซสพอยท์ (APs) ดังนั้น เมื่อพิจารณาผลลัพธ์ร่วมกันด้วยการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วมกัน (Joint Probability) แล้ว จะได้ความน่าจะเป็นที่พิกัด $P(X_i, Y_j)$ ซึ่งถูกแบ่งย่อยเป็น คือ $P(x_i, y_j | AP1_{rssi}), \dots, P(x_i, y_j | AP7_{rssi})$ ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การแบ่งความน่าจะเป็นของส่วนย่อย (Partition) ของ $P(X, Y | RSSI)$

จากรูปแสดงที่ 4.12 แสดงความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ของพิกัดเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) เมื่อมีการกำหนดเหตุการณ์ความแรงสัญญาณ $RSSI$ ที่เกิดจากการนำเหตุการณ์ความน่าจะเป็น $rssi$ ย่อย ๆ มารวมกัน สมมติให้มีเหตุการณ์ $P(x, y)$ หรือ สมมติฐาน (h_i) ย่อย 33 เหตุการณ์ จะได้ว่า

$$P(D) = \sum_{i=1}^{33} (P(h_i) \cdot P(D | h_i)) \tag{4.29}$$

$$P(h_1 | D) = \frac{P(h_1 \cap D)}{P(D)}, \quad P(D) \neq 0 \tag{4.30}$$

แทน $P(D)$ จาก(4.29) ลงใน (4.30)
$$P(h_1 | D) = \frac{P(h_1) \cdot P(D | h_1)}{\sum_{i=1}^{33} (P(h_i) \cdot P(D | h_i))} \tag{4.31}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นหากเปลี่ยนเหตุการณ์ที่สนใจจากสมมติฐาน ที่ 1 เป็นเหตุการณ์ที่ k และเปลี่ยนจาก 7 เหตุการณ์เป็น N สมการแบบทั่วไปจึงเขียนได้ว่า

$$P(h_k | D) = \frac{P(h_k) \cdot P(D | h_k)}{\sum_{i=1}^n (P(h_i) \cdot P(D | h_i))}, i = 1, 2, \dots, k \quad (4.32)$$

เมื่อนำไปปรับใช้กับการคาดการณ์ตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย (WLAN'S Client) ถ้าเรามีตำแหน่ง (X, Y) ที่ต้องตัดสินใจหลายๆ พิกัด และอยากทราบว่าแต่ละพิกัดมีโอกาส เกิดขึ้นหรือมีความถูกต้องเท่าไร ก็คือเราต้องการหา $P(h | D) \cong P(x, y | RSSI)$ โดยที่ $h \cong x, y$ เป็นตัวแทนตำแหน่งตัดสินใจพิกัดหนึ่งๆ ที่เรากำลังพิจารณา เมื่อเรารับตัวอย่างสอนแล้วนำมาปรับค่าความน่าจะเป็นก่อน จึงจะได้เป็นความน่าจะเป็นภายหลัง ส่วน $P(D | h) \cong P(RSSI | x, y)$ เป็นความน่าจะเป็นที่ค่าความแรงของสัญญาณ RSSI จะเป็นจริงเมื่อรู้ว่า $h \cong x, y$ เป็นจริง ความน่าจะเป็นค่านี้สามารถวัดได้โดยนำตัวอย่างสอนมาตรวจสอบกับตำแหน่ง $h \cong x, y$ ว่าในจำนวนตัวอย่างสอนทั้งหมดนั้น มีตัวอย่างที่ตรงหรือสอดคล้องกับตำแหน่งที่พิกัด ส่วน $P(D) \cong P(RSSI)$ เป็นความน่าจะเป็นที่เซตตัวอย่างสอนจะเป็นจริง ซึ่งในการหา $h \cong x, y$ ที่ดีที่สุดนั้น การใช้ทฤษฎีของเบย์สามารถใช้คำนวณความน่าจะเป็นของสมมติฐานแต่ละตัว เมื่อรู้ว่าเซตตัวอย่างสอนเป็นจริง ซึ่งจะช่วยให้เราเลือกสมมติฐานที่ดีที่สุดได้ เราเรียกสมมติฐานที่ดีที่สุดว่า สมมติฐานภายหลังมากที่สุด – เอ็มเอพี (*Maximum A Posterior hypothesis – MAP*) ซึ่งนิยามให้เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} h_{MAP} &= \arg_{h \in H} \max P(h | D) \\ &= \arg_{h \in H} \max \frac{P(D | h)P(h)}{P(D)} \end{aligned} \quad (4.33)$$

โดยที่ H เป็นปริภูมิของสมมติฐานทั้งหมด $\arg \max f(x)$ เป็นฟังก์ชันที่คืนค่า x ที่ทำให้ $f(x)$ สูงสุด สมการที่ (4.33) ได้จากการใช้ทฤษฎีของเบย์ กล่าวคือ h ที่ดีที่สุดตามเอ็มเอพีคือ h ที่ทำให้ค่า $P(D | h)P(h)$ มีค่าสูงสุด

เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่องจักรหลายวิธีไม่ได้หาค่า h_{MAP} แต่มักหา h_{ML} ดังในสมการที่ (4.34) ด้านล่างนี้ ซึ่งหมายถึงสมมติฐานที่ตรงหรือสอดคล้องกับข้อมูลการสอนที่เป็นมากที่สุด หรือมีส่วนส่วนความเป็นจริงมากที่สุด จะเป็นสมมติฐานที่ดีที่สุด (*Maximum Likelihood: ML*)

$$h_{ML} = \arg_{h \in H} \max P(D | h) \quad (4.34)$$

การคำนวณ h_{map} และ h_{ML} ทำได้โดยใช้ ตารางความน่าจะเป็นมีเงื่อนไขซีพีที

(Conditional Probability Table: CPT)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการไปปรับใช้การคาดการณ์ตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) สมมติให้ Ap คือจำนวนแอ็กเซสพอยท์ (APs) คือถ้าทราบค่าความแรงสัญญาณคลื่น $RSSI$ ก็จะคาดการณ์ตำแหน่งเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) ได้ ซึ่งจะอธิบายดังสมการ (4.35)

$$P((X, Y)_x | RSSI_x) = \frac{P(X, Y)_x \cdot P(RSSI_x | (X, Y)_x)}{\sum_{i=1}^n \left(P(X, Y)_i \cdot \prod_{j=1}^{Ap} P(rssi_{ap} | (X, Y)_i) \right)} \quad (4.35)$$

โดยที่

$RSSI_x$ คือ สัญญาณความแรง $RSSI$ ปัจจุบันที่จะใช้ในการพยากรณ์ในตำแหน่งที่ไม่ทราบ

Ap คือจำนวนแอ็กเซสพอยท์ (APs)

$(X, Y)_x$ คือลาเบลตำแหน่งพิกัดที่คาดการณ์

$P(X, Y)_x$ คือโอกาสความน่าจะเป็นที่ตำแหน่งคาดการณ์

$P(RSSI_x | (X, Y)_x)$ คือเหตุการณ์ปัจจุบันของ ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขก่อน ของ เหตุการณ์ค่าความแรงสัญญาณ $RSSI$ เมื่อกำหนดตำแหน่ง $(X, Y)_x$

n คือจำนวนตำแหน่งๆ ที่ปรับวัดค่าไว้แล้ว

ส่วนในเทอมที่สองของส่วนการหาร $\prod_{j=1}^{Ap} P(rssi_{ap} | (X, Y)_i)$ คือ

ผลรวมความน่าจะเป็นของความน่าจะเป็นของแอ็กเซสพอยท์ (APs) เมื่อเป็นตัวแปรแบบสุ่มหลายตัวแปร กล่าวคือ $P(rssi_{ap1}, rssi_{ap1}, \dots, rssi_{apn} | (X, Y)_i)$

กล่าวโดยสรุป

ทฤษฎีบทของเบย์ (Bayes' theorem) เป็นการหาความน่าจะเป็นภายหลัง จากความน่าจะเป็นของส่วนย่อย (Partition) ในที่นี้ใช้ฟังก์ชันความน่าจะเป็นจริงสูงสุด (ML) ในการพิจารณา จากตารางความน่าจะเป็นมีเงื่อนไขซีพีที (CPT)

ในการคำนวณวิธีการนี้ จึงมีความซับซ้อนสูงมาก เพราะต้องคำนวณค่าความน่าจะเป็นของทุกตำแหน่งไว้ทดสอบเป็นตารางซีพีที ในการทดสอบสมมติฐานก็ต้องนำค่าความน่าจะเป็นของสัญญาณคลื่น $P(RSSI)$ ลงไปทดสอบทุกสมมติฐาน จึงจะสามารถเปรียบเทียบได้ว่าสมมติฐานของความแรงสัญญาณ $RSSI$ ณ ตำแหน่งใด ที่น่าจะเป็นจริงมากที่สุด

4.3 การวัดความถูกต้องในการคาดการณ์

การวัดความถูกต้อง ในการทำนายตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย (WLAN's client) เป็นการประเมินถึงประสิทธิภาพโดยตรง ซึ่งในการปฏิบัติการทดลองนี้ จะแตกต่างกับการใช้งานจริง เนื่องจาก ต้องรู้ตำแหน่งพิกัดที่แท้จริงในการทดสอบ (X, Y) ซึ่งกำหนดไว้แล้ว และตำแหน่งที่คาดการณ์ได้ (X^{\wedge}, Y^{\wedge}) จากนั้นจึงจะทำได้โดยการคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน (ε) ที่มีหน่วยวัดเป็นเมตร

ค่าที่ใช้วัดความคลาดเคลื่อน สามารถบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของแต่ละวิธีการ ซึ่งมีหลายพารามิเตอร์ ตัวอย่างเช่น

- ค่าเฉลี่ยกำลังสอง MSE (Mean Square Error)

ค่า MSE จะไวต่อความคลาดเคลื่อนที่มีขนาดใหญ่เพราะได้จากการนำค่าความคลาดเคลื่อนมายกกำลังสอง

$$MSE = \left(\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \right) / n \quad (4.36)$$

โดยที่

ε คือตำแหน่งจริง-ตำแหน่งคาดการณ์ เท่ากับ $\{x - x^{\wedge} + |y - y^{\wedge}|\}$

n คือจำนวนข้อมูล

- ค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยกำลังสอง $RMSE$ (Root Mean Square Error)

$$RMSE = \sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 \right)} \quad (4.37)$$

ในบทนี้ อธิบายหลักการของวิธีการต่างๆโดยละเอียดแล้ว สำหรับการปฏิบัติการทดลอง การวิเคราะห์ และการประเมินค่าตามวิธีการ จะได้เสนอใน บทที่ 5 ถัดไป

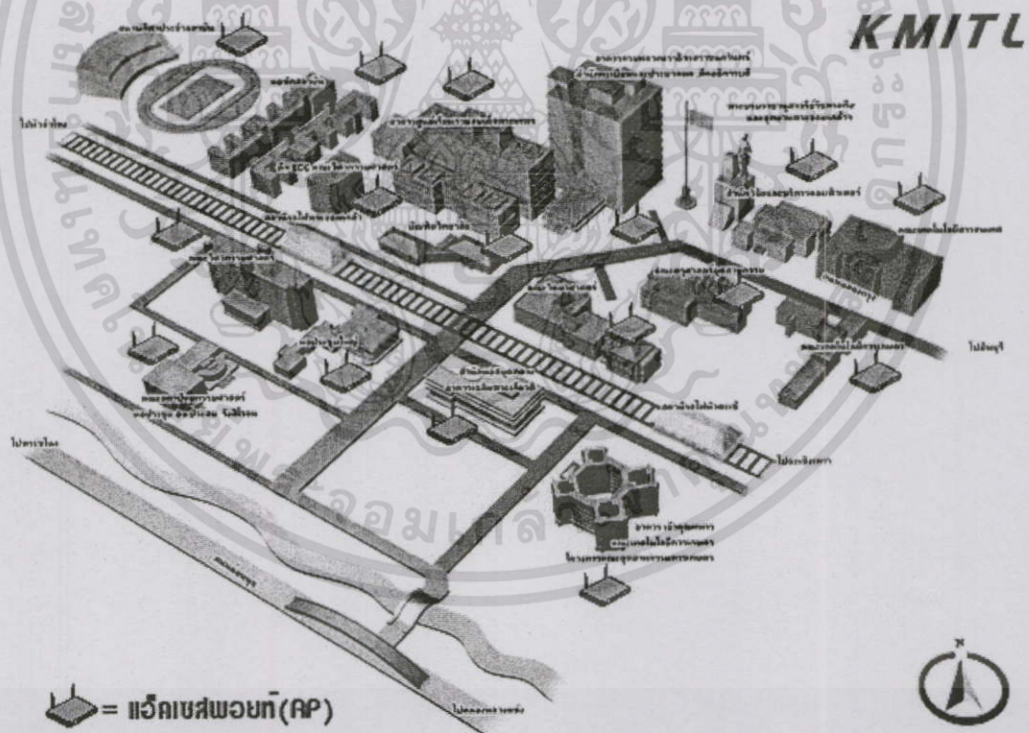
บทที่ 5

การประเมินค่าวิธีการและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนออกแบบการทดลอง การประเมินและการวิเคราะห์ผล ซึ่งในการปฏิบัติการจะใช้เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (KMITL-WiFi) ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ในการทดสอบวิธีการ ทั้งนี้ได้เลือกโหนด (Node) ภายในสำนักวิจัยบริการคอมพิวเตอร์ เป็นส่วนนำร่องในการศึกษาวิจัย

5.1 การแบบออกแบบการทดลอง

การทดลองตามวิธีการที่นำเสนอ ทฤษฎีในบทที่ 4 จะกระทำภายในอาคาร บนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ที่มีการกระจายของสัญญาณคลื่นวิทยุ (RSSI) ครอบคลุมบริเวณทดสอบ จึงจะสามารถปฏิบัติการให้บรรลุวัตถุประสงค์ได้



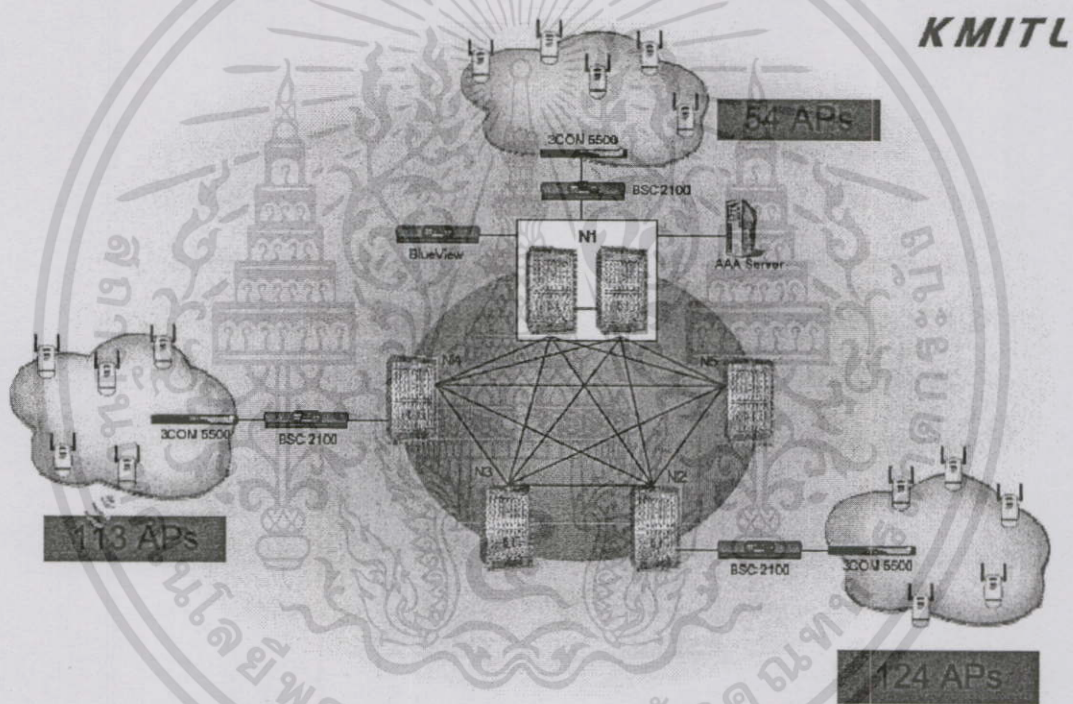
รูปที่ 5.1 ภาพรวม KMITL-WiFi ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.1 เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย KMITL-WiFi

สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ ได้เริ่มทดลองติดตั้งระบบคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ตั้งแต่ 5 ปี ที่ผ่านมา นำร่องโดยเป็นเครือข่ายขนาดเล็กๆ มาตรฐาน IEEE 802.11b และก็สามารถใช้งานได้ดีระดับหนึ่ง จวบจนปัจจุบัน มีการวางเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ทั่วทั้ง สถาบันฯ

สืบเนื่องจากเทคโนโลยี WLAN ได้พัฒนาก้าวหน้ากว่าแต่เดิมมาก ประกอบกับราคาอุปกรณ์ต่างๆ เริ่มมีราคาถูกลง และขนาดเล็กของชิปเล็กลง เช่น ชิปเซนทริโน (Centrino) ของบริษัทอินเทล (Intel) เป็นที่นิยมในการนำไปประกอบเป็นไวร์เลสการ์ดใส่ไว้ (Built in) ในคอมพิวเตอร์ เพราะมีขนาดเล็กลง จึงกินไฟน้อยมีประสิทธิภาพสูง สามารถติดตั้งไว้ในช่องทางการสื่อสารแบบ PCI ใส่ไว้เครื่องคอมพิวเตอร์แบบพกพา (Notebook) ได้ ทั้งที่มีเนื้อที่จำกัดได้

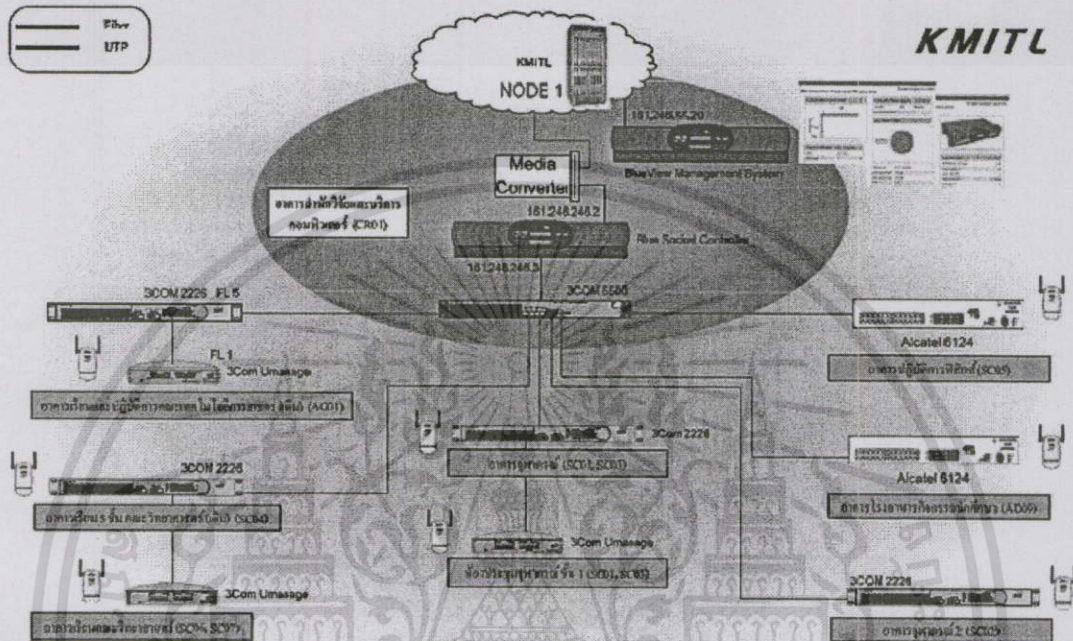


รูปที่ 5.2 แสดงการเชื่อมต่อ โหนดเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (KMITL-WiFi)

เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) โดยภาพรวม ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) ออกแบบให้มีความเข้ากันได้กับระบบสายส่งแบบไฟเบอร์ออปติก (Fiber Optic: T1) เดิม ซึ่งก็ยังคงเป็นเครือข่ายคอมพิวเตอร์หลักของสถาบันฯ อยู่ โดยที่เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) จะติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมแพ็คเกจ Blue Socket, Blue view กระจายไว้ตาม โหนด (Node) ต่างๆ ของเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบสายเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในแต่ละโหนด (Node) จะทำการควบคุมดูแลการทำงานของแอ็กเซสพอยท์ (APs) ในพื้นที่ขอบเขตรับผิดชอบของตนเอง และทำการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย WLAN เข้ากับเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบบสายหลัก ของสถาบันฯ



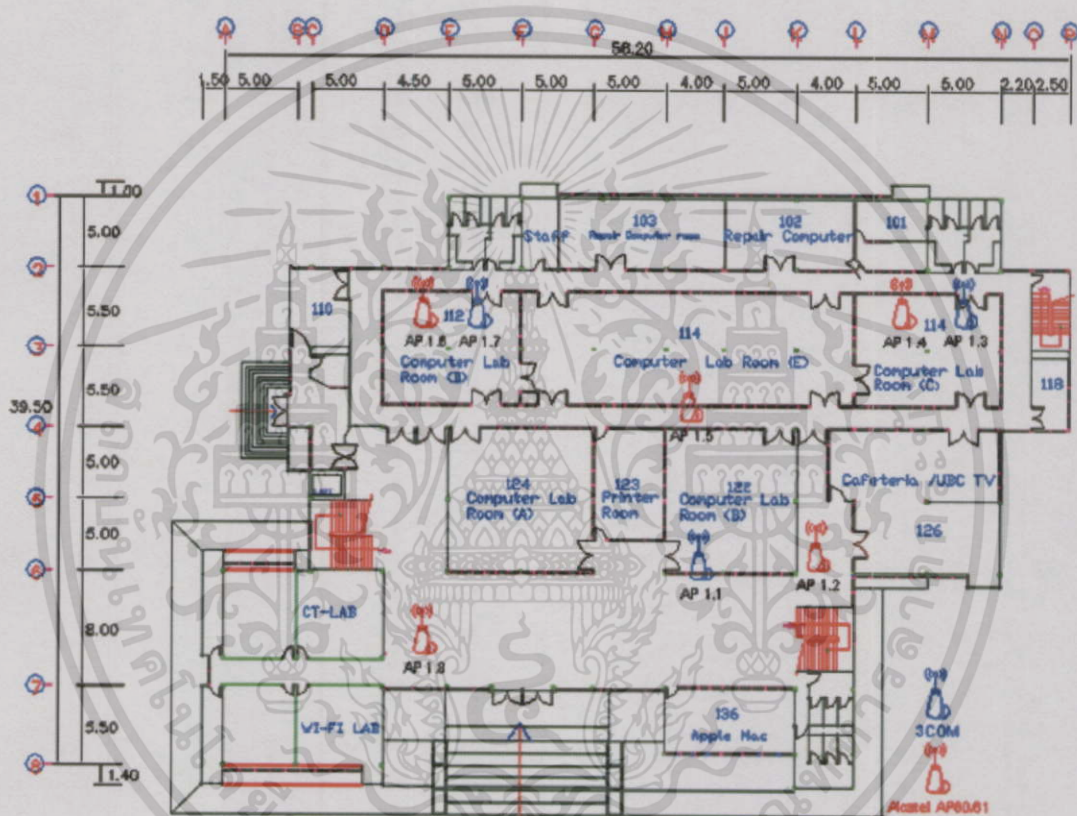
รูปที่ 5.3 แสดง โหนดที่ 1 ในส่วนการควบคุมแอ็กเซสพอยท์ (APs) ของสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สจล.

5.1.2 เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ในพื้นที่ทดสอบวิธีการ

ในส่วนของการทดลองเรื่องการทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่าย (WLAN's Client) บนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ภายในอาคารครั้งนี้ เลือกที่จะใช้ส่วนการควบคุมของโหนด (Node) ที่ 1 ที่มีพื้นที่รับผิดชอบควบคุมระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ของอาคารต่างๆ ได้แก่อาคารสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ อาคารเรียนและปฏิบัติการของเทคโนโลยีการเกษตร ตึกอาคารเรียนของคณะวิทยาศาสตร์ ตึกจุฬารักษ์ 1-2 อาคารปฏิบัติการฟิสิกส์ และตึกกิจกรรมนักศึกษา สจล. โดยเลือกกลุ่มของแอ็กเซสพอยท์ (APs) ภายในชั้นต่างๆ ของสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ เป็นพื้นที่ทดสอบ เนื่องจากมีความเหมาะสมหลายประการ เช่น มีแอ็กเซสพอยท์ (APs) ติดตั้งอยู่จำนวนมากสามารถครอบคลุมพื้นที่บริเวณทุกชั้น และมีจำนวนชั้นที่ไม่มากไม่น้อยเกินไปคือมีทั้งหมด 4 ชั้น และชั้นที่ 1 กับชั้นที่ 2 มีห้องโถงที่ปล่อยโล่งถึงกัน ทำให้การกระจายคลื่นสัญญาณวิทยุของแอ็กเซสพอยท์ (APs) ครอบคลุมพื้นที่ใช้งานเป็นบริเวณกว้าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

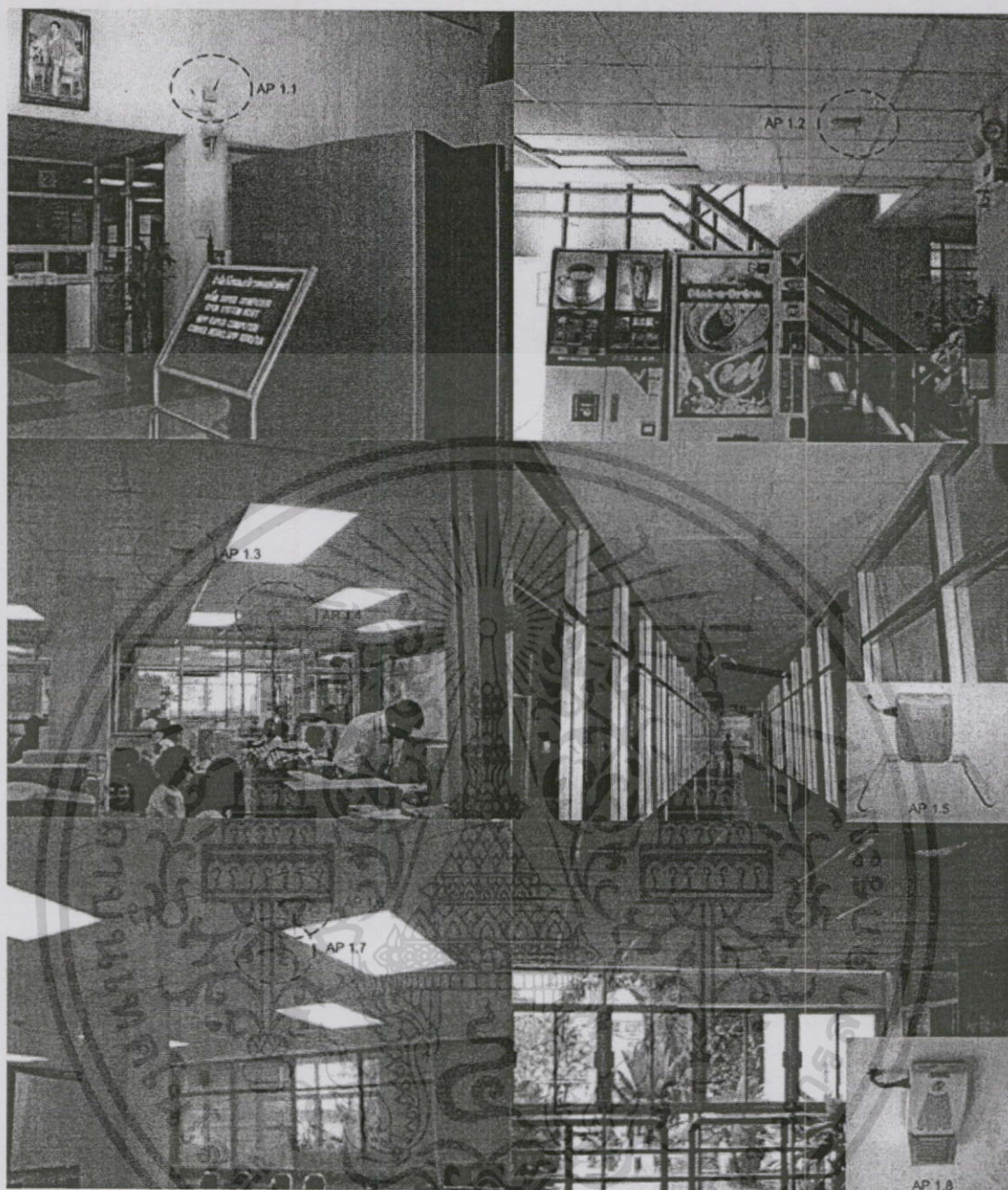
อาคารสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ เป็นอาคาร 4 ชั้น และเป็นหน่วยงานหนึ่งในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.) มีหน้าที่สนับสนุนและให้บริการทางด้านคอมพิวเตอร์แก่สถาบันฯ แต่ละชั้นใช้ประโยชน์แตกต่างกัน ในชั้นที่ 4 เป็นหน่วยงานสำนักงานผู้อำนวยการ รวบรวมงานเกี่ยวกับงานธุรการต่างๆ แอ็กเซสพอยท์ (APs) ในชั้นนี้จึงมีติดตั้งไว้เพียงสองตัว ส่วนชั้นที่ 3 เป็นชั้นที่ปฏิบัติงานของฝ่ายเครือข่าย (Network Division office) และงานธุรการของฝ่ายควบคุมเครื่อง (Control Division office) ในชั้นนี้จะทำการติดตั้งแอ็กเซสพอยท์ (APs) ไว้ใช้งานแก่พนักงานเพียงสามตัว



รูปที่ 5.4 ตำแหน่งแอ็กเซสพอยท์ (APs) อาคารสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สจล. ในชั้นที่ 1.

ส่วนชั้นที่ 1 และชั้นที่ 2 เป็นส่วนที่มีผู้มาติดต่องานการศึกษา และใช้งานบริการเครื่องคอมพิวเตอร์จำนวนมาก ทางสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ จึงได้ทำการติดตั้งแอ็กเซสพอยท์ (APs) ไว้ให้บริการจำนวนมาก ในชั้นที่ 1 มีถึง 8 ตัว ครอบคลุมพื้นที่ชั้น 1 ทั้งหมด โดยแอ็กเซสพอยท์ (APs) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือในช่วงแรกมีการติดตั้งเพียง 4 ตัว เป็นแอ็กเซสพอยท์ (APs) ของ 3COM รุ่น “Office Connect Wireless 108Mbps 11g PoE” และในช่วงที่ 2 ที่ได้งบประมาณได้ติดตั้งเพิ่มอีก 4 ตัวคือแอ็กเซสพอยท์ (APs) อัลคาเทล (Alcatel) รุ่น “AP60” และรุ่น “AP61” สองรุ่นนี้ภายในวงจรเหมือนกันต่างกันที่สายอากาศ “AP60” จะมีเสาอากาศ 2 ดัน ส่วน “AP61” จะมีเพียงคันเดียว และไม่สามารถถอดเปลี่ยนสายอากาศแบบอื่นมาใช้แทนได้

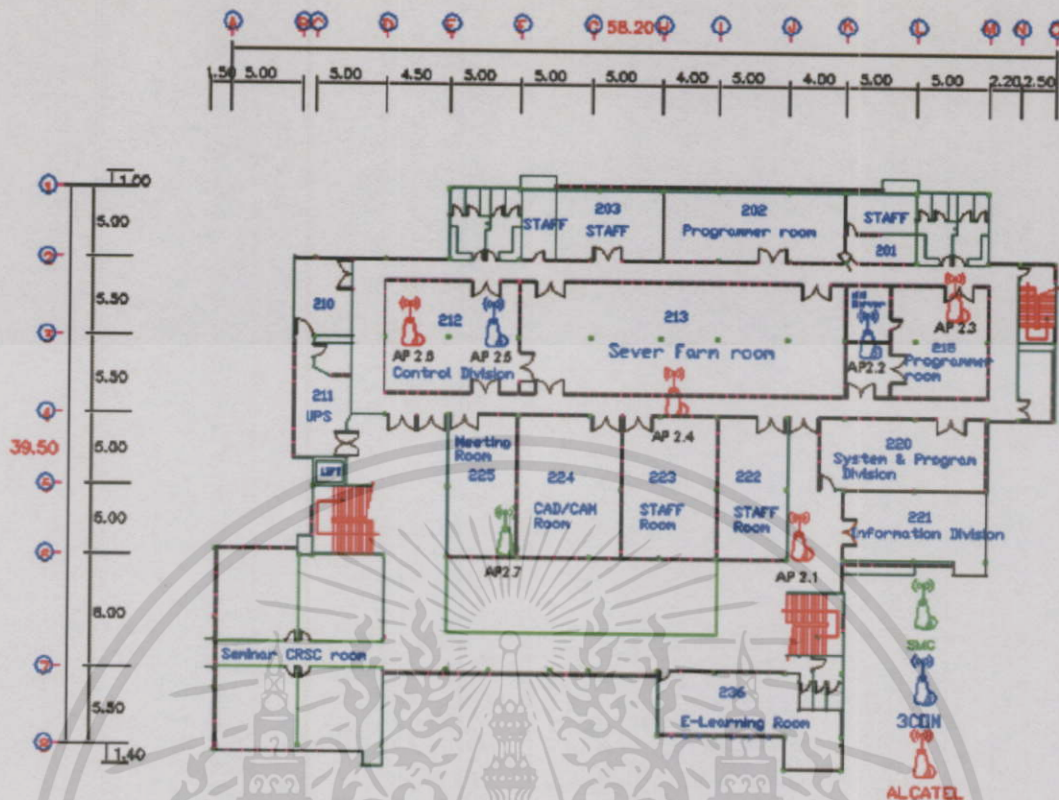
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.5 ตำแหน่งจริงของแอ็คเซสพอยท์ (APs) ในชั้นที่ 1 ณ สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์

ชั้นที่ 1 จะประกอบไปห้องคอมพิวเตอร์(Computer Lab Room) ต่างๆ ได้แก่ห้อง “123(Room A), 122(Room B), 114(Room 4), 113(Room E), 112(Room D), 123(Printer Service Room)” และห้องบริการเครื่องคอมพิวเตอร์กราฟฟิกความละเอียดสูง (Apple Mac) 136, ห้องทำงานของพนักงาน 101, 102, 103 ห้อง CT -LAB, ห้อง Wi-Fi LAB และห้องสนทนาการ (Cafeteria/UBC TV Room) นอกนั้นเป็นแนวทางเดิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



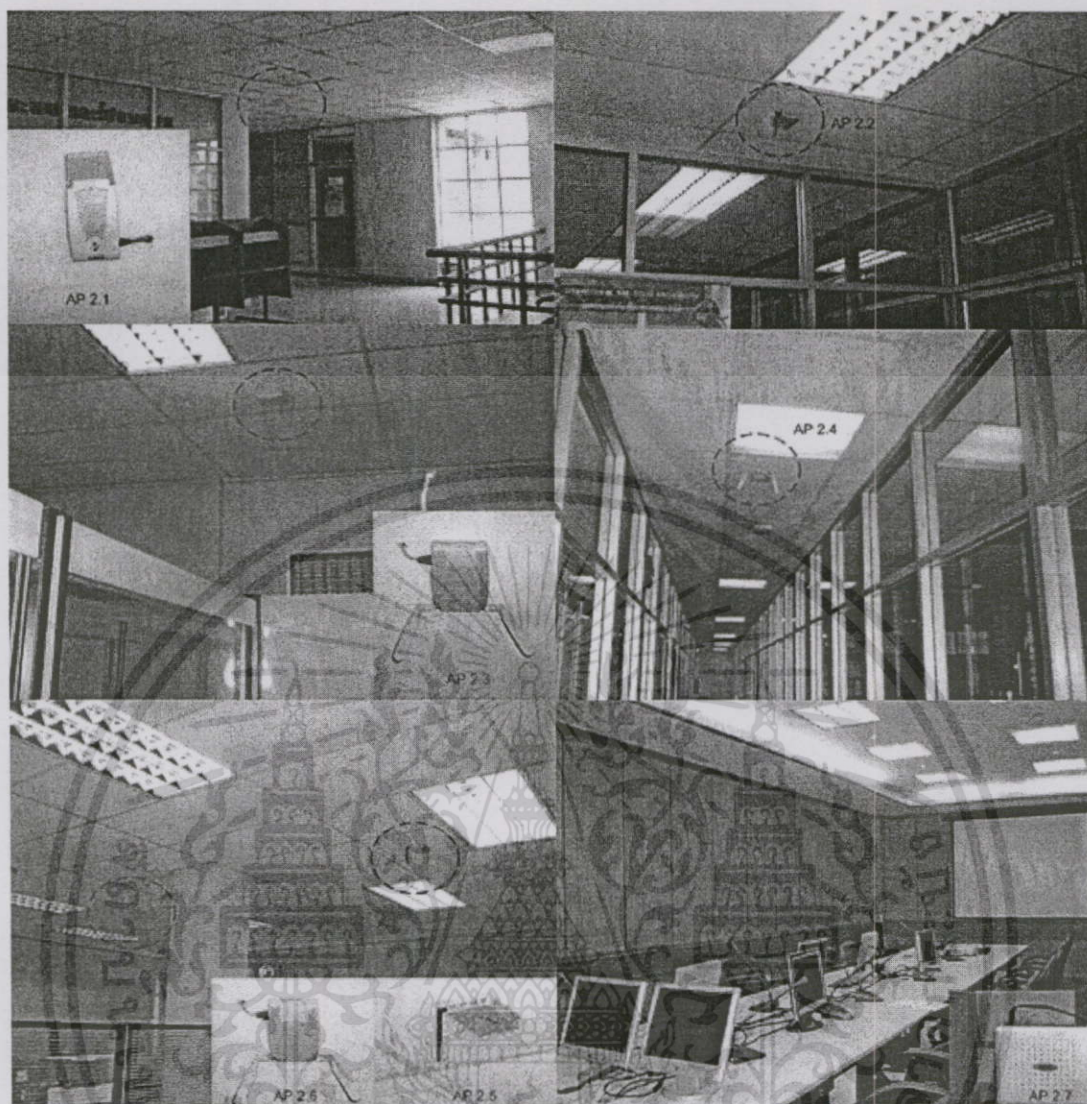
รูปที่ 5.6 ตำแหน่งแอ็กเซสพอยท์ (APs) อาคารสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ สจล. ในชั้นที่ 2.

โดยทั้งชั้น 1 และชั้น 2 จะมีพื้นด้านหน้าเปิดโล่งถึงกัน ความพิเศษนี้ทำให้สัญญาณคลื่นวิทยุจากแอ็กเซสพอยท์ (APs) บางตัวในแต่ละชั้นสามารถแพร่ไปถึงบริเวณชั้นอื่นๆ ได้ โดยเหตุนี้ทั้งสองชั้นจึงเหมาะสมที่จะใช้เป็นที่ทดลองทำนายตำแหน่งตามวิธีการจุดเด่นของแอ็กเซสพอยท์ (APs) ที่นำมาใช้ในการทดลองเป็นแบบจำลอง PoE (Power over Ethernet) นั่นคือสามารถใช้ไฟจากระบบ LAN (Local Area Network) ได้ โดยไม่ต้องทำการเดินสายไฟใหม่ทำให้การติดตั้ง ทำให้ง่ายต่อการติดตั้งใช้งาน

ตารางที่ 5.1 แสดงแอ็กเซสพอยท์ (APs) ที่ใช้ในการทดลอง

3COM	Alcatel	Alcatel
		
“Office Connect Wireless 108Mbps 11g PoE”	AP60	AP61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 ตำแหน่งจริงของแอ็กเซสพอยท์ (APs) ในชั้นที่ 2 ณ สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์

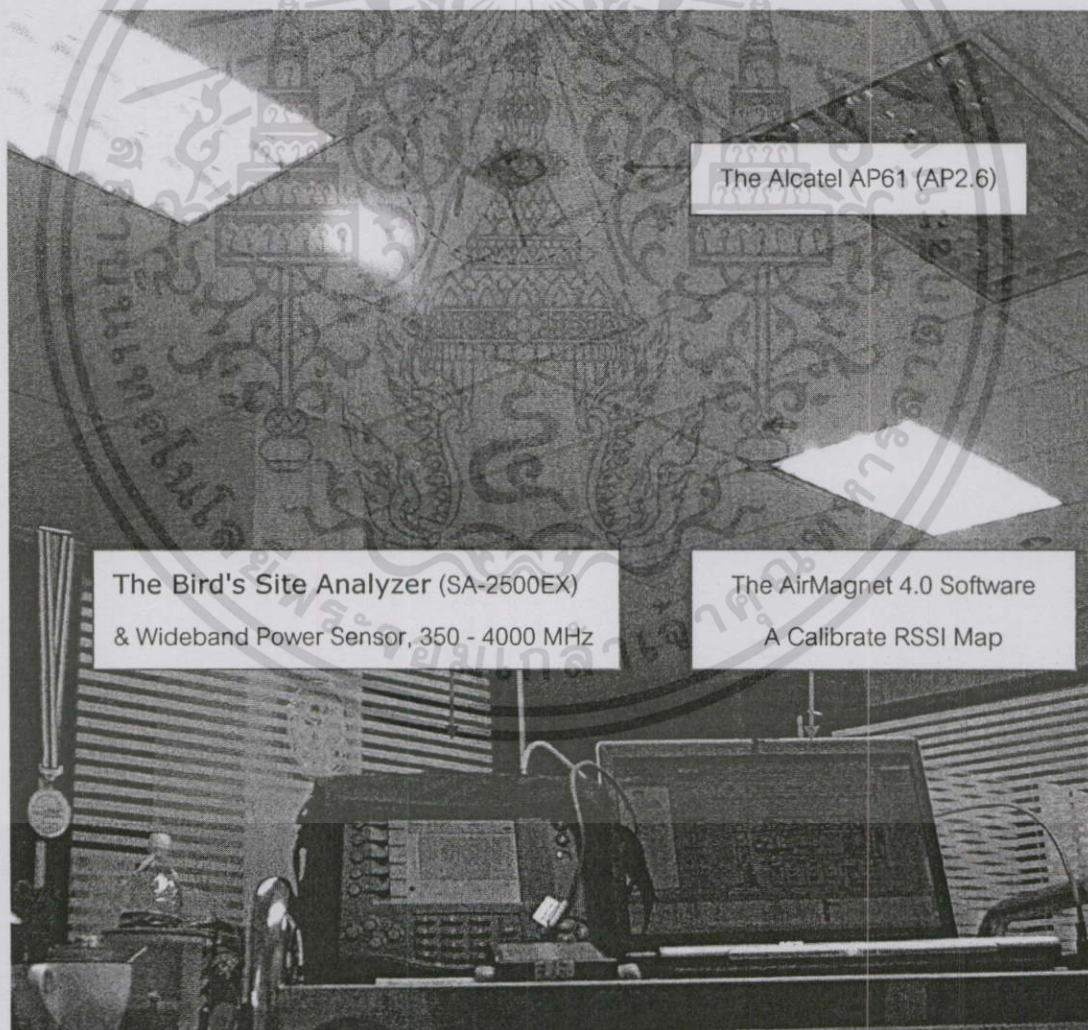
ส่วนในชั้นที่ 2 จะประกอบไปด้วยห้องต่างๆ ดังนี้ ห้องสัมมนาหน่วยงาน (Seminar Room), ห้องประชุมผู้บริหาร(Meeting Room)225, ห้องวิจัยด้าน CAD/CAM 224, ห้องอีเลิร์นนิ่ง (e-Learning)236, ห้องฝ่ายสารสนเทศและประกันคุณภาพ (Information & Quality Control) 221, ห้องธุรการฝ่ายระบบและโปรแกรม (System & Program Division Room), ห้องเจ้าหน้าที่เขียนโปรแกรม “(Programmer Room) 222, 223, 215, 201, 202, 203” ห้องระบบไฟฟ้าสำรอง (UPS Room), ห้องคอมพิวเตอร์หลัก (Server Farm Room) 213ของสถาบันฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ขั้นตอนการรวบรวมและสร้างฐานข้อมูล (Calibrate Phase)

การรวบรวมข้อมูล (Collection of Data) คือการรวบรวมข้อเท็จจริง ซึ่งอาจจะเป็นได้ทั้งค่าตัวเลขและที่ไม่ใช่ตัวเลขก็ได้ที่สนใจศึกษา ตัวเลขอาจจะได้มาจากการนับ (Count Data) หรือจะทำการวัดทดสอบด้วยเครื่องมือวัดต่างๆ (Measurement Data) จะรวบรวมเป็นชุดข้อมูลก็ได้ ทั้งนี้การรวบรวมข้อมูลที่มีประสิทธิภาพมากพอครบถ้วน จะช่วยให้การวิเคราะห์ข้อมูล (Analysis of data) ทำได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

ในที่นี้สิ่งที่เราสนใจคือค่ากำลังรับของสัญญาณคลื่นวิทยุ (RSSI) ที่แพร่กระจายทั่วไปในบริเวณศึกษา ตามพิกัดตำแหน่งต่างๆ และสัญญาณนั้นเป็นของแอ็กเซสพอยท์ (APs) ใด สามารถดูได้จาก SSID ของแอ็กเซสพอยท์ (APs) ที่กระจายออกมา ในการวัดสัญญาณใช้ทั้งเครื่องวิเคราะห์สเปกตรัม “The Bird's Site Analyzer (SA-2500EX) & Wideband Power Sensor, 350 - 4000 MHz” และอุปกรณ์ไวร์เลสการ์ดมาตรฐาน “Cisco Aironet 350 Series” ที่ห้องวิจัยมาตรฐานทั่วไป



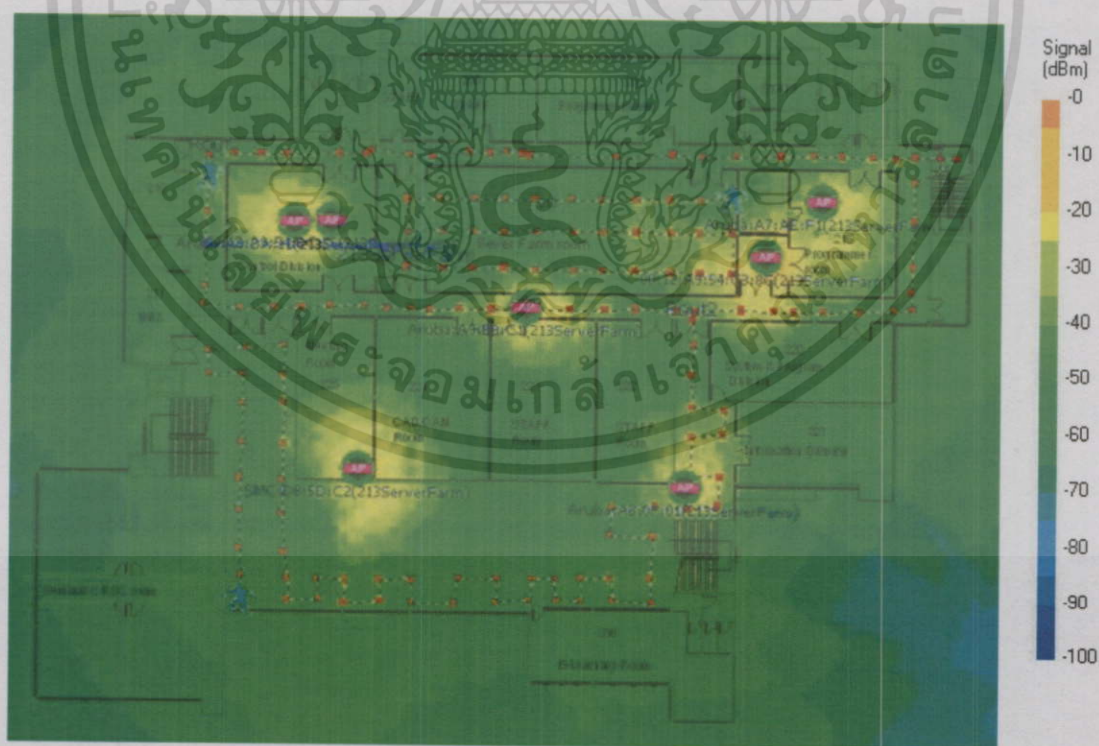
รูปที่ 5.8 เครื่องมือและซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณ (RSSI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.1 การสร้างกริดเมทริกซ์ข้อมูล

ในการออกแบบการวัดสัญญาณนั้น เนื่องจากการวัดภายในอาคาร ซึ่งต้องอาศัยแผนผังอาคารชั้น 1 และ ชั้น 2 ของสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์(CRSC) ซึ่งมีพื้นที่ใช้สอยสอดคล้องกันคือ ขนาดกว้าง 39.50 เมตร และยาว 58.20 เมตร (2298.9 ตารางเมตร) จากนั้นก็กำหนดเส้นโครงกริดขนาด 2 x 2 เมตร ซึ่งเป็นขนาดที่เหมาะสม ไม่ใหญ่ไม่เล็ก ถ้าสร้างแนวกริดขนาดเล็กกว่านี้จะแยกสัญญาณได้ไม่ชัดเจน และถ้ามากไปกว่านี้จะทำให้การทำนายไม่ใกล้เคียงกับความเป็นจริง

จากนั้นทำการกำหนดพิกัดลงบนกริด (X, Y) ตามลำดับ ถัดไปก็คือทำการเก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณ (RSSI) ตามตำแหน่งกริดโดยใช้โปรแกรม“Place Lab” และ“Air Magnet 4.0” ซึ่งเป็นโปรแกรมที่รู้จักและยอมรับเป็นมาตรฐานกันอย่างแพร่หลาย และเหมาะสำหรับนำไปใช้ในการทำสำรวจสัญญาณ ทำการเก็บข้อมูลความแรงของสัญญาณซึ่งมีหน่วยเป็น $-dBm$ ตัวอย่างละ 0.15 วินาที ทุกๆ 1 นาที (240 ตัวอย่าง) ทุกตำแหน่งบนกริด เนื่องจากการสังเกต ที่แต่ละตำแหน่งจะเกิดการแกว่งตัวของสัญญาณ (RSSI) และซึ่งการพล็อตได้กราฟฮิสโตแกรมที่มีการกระจายอยู่ในลักษณะที่เป็นเกาส์เซียน จะได้ตัวแทนของแต่ละจุดที่เป็นจริงมากที่สุด โดยนำค่าความแรงของสัญญาณที่เก็บรวบรวมในแต่ละตำแหน่งมาเฉลี่ย และ เก็บบันทึกเข้าไปในฐานข้อมูลไว้ใช้งานต่อไป



รูปที่ 5.9 การสำรวจค่าความแรงสัญญาณ RSSI ในชั้นที่ 2 สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การปฏิบัติการวัดค่าความแรงสัญญาณวิทยุ *RSSI* ในพื้นที่ทดสอบ ที่มีแอ็กเซพอยท์ (APs) ทั้งหมด 7 ตัวโดยใช้มาตรฐาน IEEE802.11g ซึ่งมีรายละเอียดคุณสมบัติดังต่อไปนี้

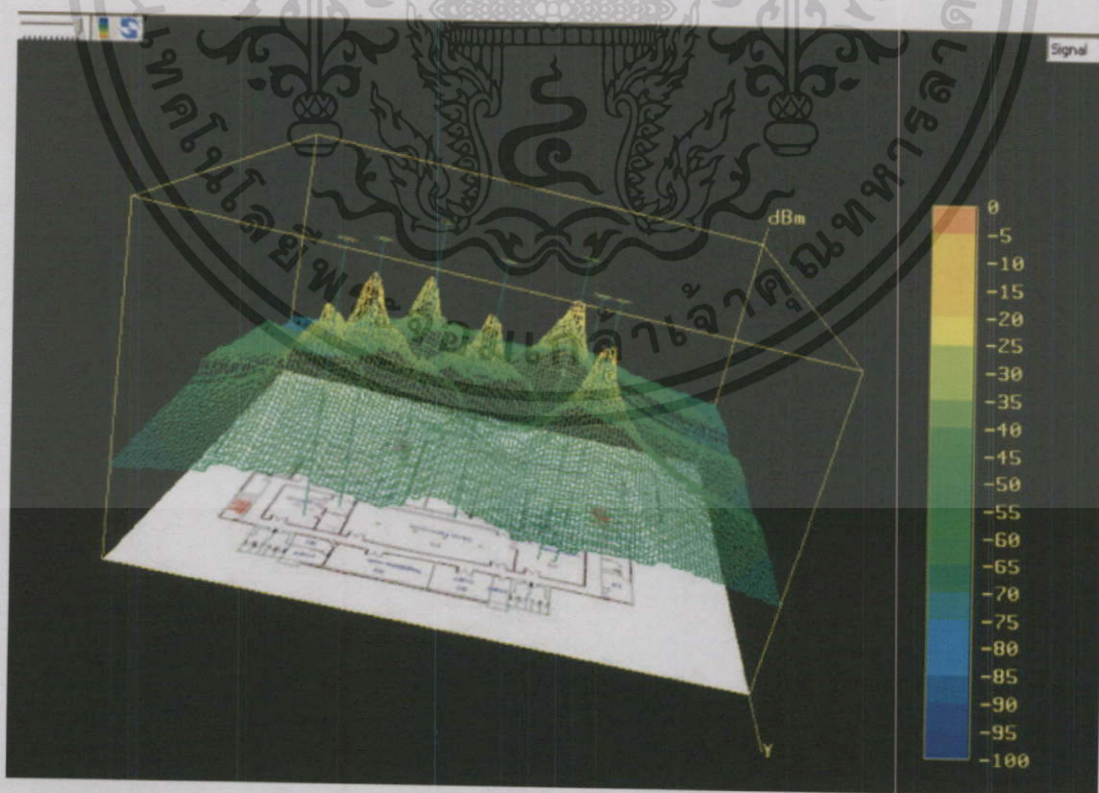
Access Points

AP Name	Media Type	Mac Address	Channel	SSID	Power.mw	Max Signal
Non ACL, Neighborings, Rogues						
Aruba:A6:0F:01(213S 802.11g		00:0B:86:A6:0F:01	6	WiFi_KMITL	100	-35
Aruba:A9:BA:11(213S802.11g		00:0B:86:A9:BA:11	6	WiFi_KMITL	100	-39
SMC:D8:5D:C2(213S 802.11g		00:04:E2:D8:5D:C2	8	Paperless	100	-39
00:12:A9:54:BC:56(21802.11g		00:12:A9:54:BC:56	11	CRSC-WIFI	100	-61
00:12:A9:54:C3:8C(21802.11g		00:12:A9:54:C3:8C	11	CRSC-WIFI	100	-29
Aruba:A7:AE:F1(213S802.11g		00:0B:86:A7:AE:F1	11	WiFi_KMITL	100	-40
Aruba:A9:B9:C1(213S802.11g		00:0B:86:A9:B9:C1	11	WiFi_KMITL	100	-37

of AP 7

Total AP: 7

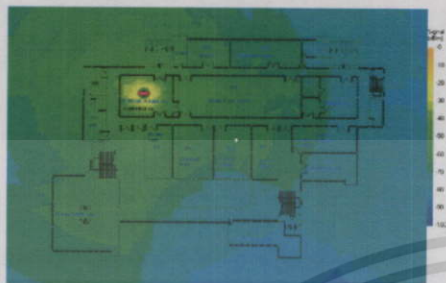
ในรูปแสดงที่ 5.10 แสดงการแพร่กระจาย (Signal distribution) ของค่าความแรงสัญญาณคลื่น *RSSI* ในแบบภาพสามมิติ โดยโทนสีร้อนจะแทนระดับค่าความแรงสัญญาณคลื่น *RSSI* ที่มีระดับค่าดีบีเอ็ม (dBm) สูง ส่วนในโทนสีเย็นจะแทนค่าระดับต่ำ ในรูปภาพที่ 5.10 จะเป็นการแพร่กระจายสัญญาณคลื่นในช่วงการวัดปรับแต่ง (Calibrate Phase)



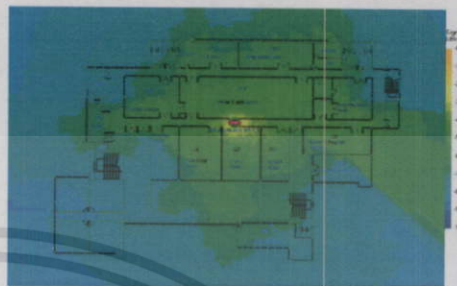
รูปที่ 5.10 แสดงภาพ 3 มิติ ของการแพร่กระจายสัญญาณ *RSSI* ทั้งหมด ครอบคลุมพื้นที่การวัด
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนในรูปแสดงที่ 5.11 แสดงการแพร่กระจาย (Signal distribution) ของค่าความแรงสัญญาณคลื่น *RSSI* ในแบบภาพสองมิติ ช่วงการวัดปรับแต่ง (Calibrate Phase) เพียงแค่แยกให้แสดงเป็นการกระจายของแต่ละแอ็กเซสพอยท์ (APs) ตาม MAC Address

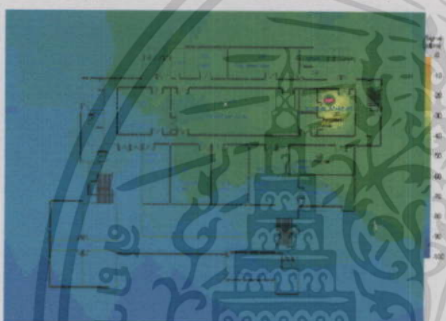
AP2.6 (Alcatel 00:0B:86:A9:BA:11)



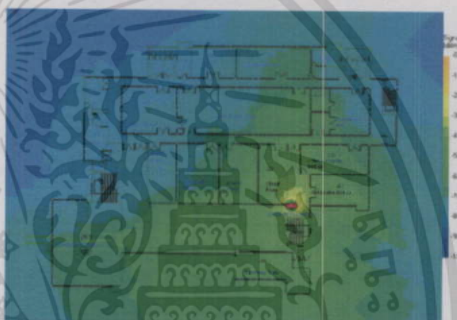
AP2.4 (Alcatel 00:0B:86:A9:B9:C1)



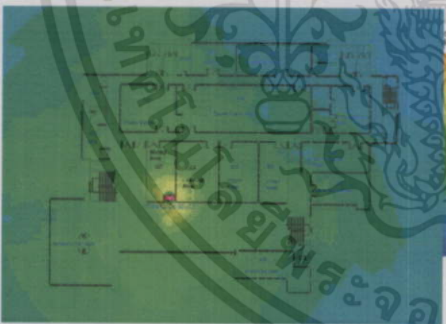
AP2.3 (Alcatel 00:0B:86:A7:AE:F1)



AP2.1 (Alcatel :00:0B:86:A6:0F:01)



AP2.7 (SMC-D8-5D-C2)



AP2.2 (3COM 00-12-A9-54-C3-8C)



AP2.5 (3COM-00-12-A9-54-BC-56)



เอกสารนี้เป็นรูปที่ 5.11 แสดงภาพ 2 มิติ ของการแพร่กระจายสัญญาณ *RSSI* ของแต่ละแอ็กเซสพอยท์ (AP) ในการคำนวณค่าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 แสดงค่าสัญญาณต่างๆ (dBm) ทุกๆ ตำแหน่งและทุก APs ในช่วง Calibrate phase

X, Y	AP2.1			AP2.2			AP2.3			AP2.4			AP2.5			AP2.6			AP2.7		
	Signal	Noise	S/N	Signal	Noise	S/N	Signal	Noise	S/N	Signal	Noise	S/N	Signal	Noise	S/N	Signal	Noise	S/N	Signal	Noise	S/N
1,1	-76	-99	23	-51	-100	49	-65	-100	35	-69	-100	31	-51	-100	49	-50	-100	50	-53	-100	47
1,2	-74	-99	25	-51	-100	49	-65	-100	35	-69	-100	31	-51	-100	49	-53	-100	47	-53	-100	47
1,3	-71	-99	28	-52	-100	48	-63	-100	37	-71	-100	29	-52	-100	48	-56	-100	44	-57	-100	43
1,4	-72	-99	27	-52	-100	48	-64	-99	35	-73	-100	27	-45	-99	54	-58	-99	41	-58	-99	41
1,5	-72	-99	27	-52	-99	46	-65	-99	34	-75	-99	24	-44	-99	55	-59	-99	40	-58	-99	41
1,6	-70	-100	30	-48	-100	52	-63	-100	37	-77	-100	23	-46	-99	53	-62	-100	38	-62	-100	38
1,7	-64	-99	35	-44	-99	55	-58	-99	41	-79	-99	20	-50	-99	49	-65	-99	34	-67	-100	33
1,8	-63	-100	37	-39	-100	61	-55	-100	45	-81	-100	19	-48	-100	52	-66	-100	34	-68	-100	32
1,9	-62	-99	37	-39	-99	60	-55	-99	44	-82	-99	17	-50	-99	49	-65	-99	34	-68	-99	31
1,10	-59	-100	41	-34	-100	66	-52	-100	48	-84	-100	16	-53	-100	48	-66	-100	34	-68	-100	32
1,11	-59	-100	41	-30	-100	70	-50	-100	50	-85	-100	15	-55	-100	45	-65	-100	35	-69	-100	31
2,1	-78	-99	21	-55	-100	45	-68	-100	32	-67	-100	33	-54	-100	46	-50	-100	50	-56	-100	44
2,2	-77	-100	23	-55	-100	45	-67	-99	32	-71	-100	29	-53	-100	47	-52	-100	48	-58	-100	42
2,3	-77	-100	23	-53	-100	47	-66	-100	34	-73	-100	27	-54	-100	46	-55	-100	45	-59	-100	41
2,4	-76	-100	24	-55	-99	44	-66	-99	33	-73	-99	26	-52	-99	47	-56	-100	44	-59	-99	40
2,5	-74	-99	25	-52	-99	47	-65	-99	34	-75	-99	24	-52	-99	47	-58	-99	41	-60	-99	39
2,6	-73	-99	26	-46	-100	54	-61	-100	39	-76	-99	23	-52	-100	48	-62	-100	38	-65	-100	35
2,7	-64	-99	35	-43	-100	57	-55	-100	45	-78	-100	22	-56	-100	44	-62	-99	37	-71	-100	29
2,8	-62	-100	38	-38	-100	62	-54	-100	46	-80	-100	20	-54	-100	46	-63	-99	36	-69	-100	31
2,9	-61	-100	39	-39	-100	61	-55	-99	44	-82	-99	17	-53	-100	47	-66	-100	34	-68	-100	32
2,10	-57	-100	43	-38	-100	62	-52	-100	48	-84	-99	15	-53	-100	47	-65	-100	31	-69	-100	31
2,11	-58	-99	31	-37	-99	62	-50	-99	49	-85	-100	15	-56	-99	43	-68	-99	31	-70	-99	29
3,1	-79	-99	20	-54	-99	45	-67	-99	32	-71	-99	28	-56	-99	43	-48	-99	51	-56	-99	43
3,2	-79	-99	20	-56	-99	43	-66	-99	33	-75	-99	24	-56	-99	43	-50	-99	49	-59	-99	40
3,3	-78	-100	22	-53	-100	47	-65	-100	35	-74	-100	26	-55	-100	45	-51	-100	49	-61	-100	39
3,4	-78	-100	22	-53	-100	47	-62	-99	37	-74	-100	26	-52	-100	48	-56	-100	44	-61	-100	39
3,5	-76	-99	23	-52	-99	47	-61	-99	38	-75	-100	25	-53	-99	46	-59	-99	40	-63	-99	36
3,6	-74	-99	25	-49	-99	50	-59	-99	40	-76	-99	23	-51	-99	48	-59	-99	40	-64	-99	25
3,7	-70	-99	21	-47	-99	52	-58	-100	42	-78	-99	21	-52	-99	47	-61	-99	38	-66	-99	33
3,8	-80	-99	19	-43	-100	57	-56	-99	43	-80	-99	19	-54	-100	46	-62	-100	38	-68	-99	31
3,9	-65	-99	34	-41	-99	58	-54	-99	45	-82	-100	18	-50	-99	49	-62	-99	37	-66	-99	33
3,10	-63	-100	37	-44	-100	56	-52	-100	48	-84	-100	16	-47	-100	53	-61	-100	39	-68	-100	32
3,11	-62	-100	38	-43	-100	57	-49	-100	51	-85	-100	15	-50	-100	50	-65	-100	30	-70	-100	30

5.3 การทำนายตำแหน่ง (Prediction Phase)

ในการทำนายตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย (WLAN's Client) โดยทั่วไปจะแบ่งตามจุดประสงค์และการใช้งานออกได้เป็น 2 รูปแบบ

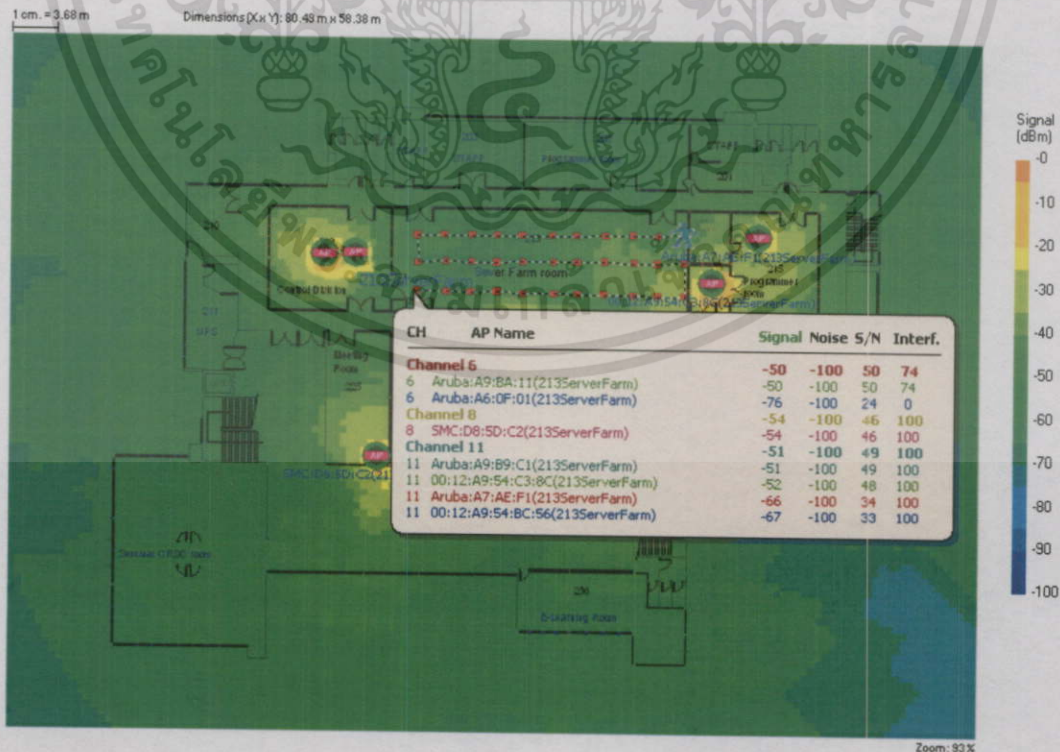
- แบบพาสซีฟ โหมด (Passive Mode)
- แบบแอ็คทีฟ โหมด (Active Mode)

ซึ่งอธิบายรูปแบบลักษณะได้ดังนี้ แบบแอ็คทีฟ โหมด มีจุดประสงค์ที่ทำการติดตามเครื่องลูกข่าย (Tracking System) โดยที่ผู้ใช้งานหรือเครื่องลูกข่ายมีการเคลื่อนที่ ในแต่ละทิศทางต่างๆ และที่ระดับความเร็ว หลายระดับ เช่นในระบบหุ่นยนต์ (Robot System) เป็นต้น

ส่วนในขอบเขตวิทยานิพนธ์ นี้ ต้องการทำการทดลองในแบบพาสซีฟ โหมด ตามวิธีการที่นำเสนอแล้วในบทที่ 4 ซึ่งก็จะสามารถระบุตำแหน่งได้เหมือนกันแต่ไม่เรียลไทม์ทันที ซึ่งอาจจะต้องรอเวลาสักกระยะจึงจะทำการประมวลผลได้

5.3.1 กระบวนการวัดทดสอบ

ขั้นตอนการทดลอง กระทำในห้อง กระทำในห้อง 213 (Server Farm) บนชั้น 2 ในอาคารสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ โดยกำหนดคริดเมตริกซ์ ($m \times n$) ขนาด 3×11 ตำแหน่ง โดยแต่ละจุดมีระยะห่างกัน 2 เมตร โดยใช้อุปกรณ์เหมือนกับช่วง "Calibrate Phase" ในการทำแผนที่เพียงต่างเวลาในการดำเนินการเท่านั้น จากนั้นทำการบันทึกค่าต่างเก็บไว้ ดำเนินการต่อไป



รูปที่ 5.12 ค่า RSSI ที่วัดได้ห้องทดสอบ Server Farm 213 จำนวน 33 ตำแหน่ง [7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.3 (ก) แสดงค่าสัญญาณต่างๆ (dBm) ที่พิกัด 1,2 1,5 1,9 2,2 2,5 2,9 3,2 3,5 และ 3,9 ทุก APs ในช่วง Prediction phase

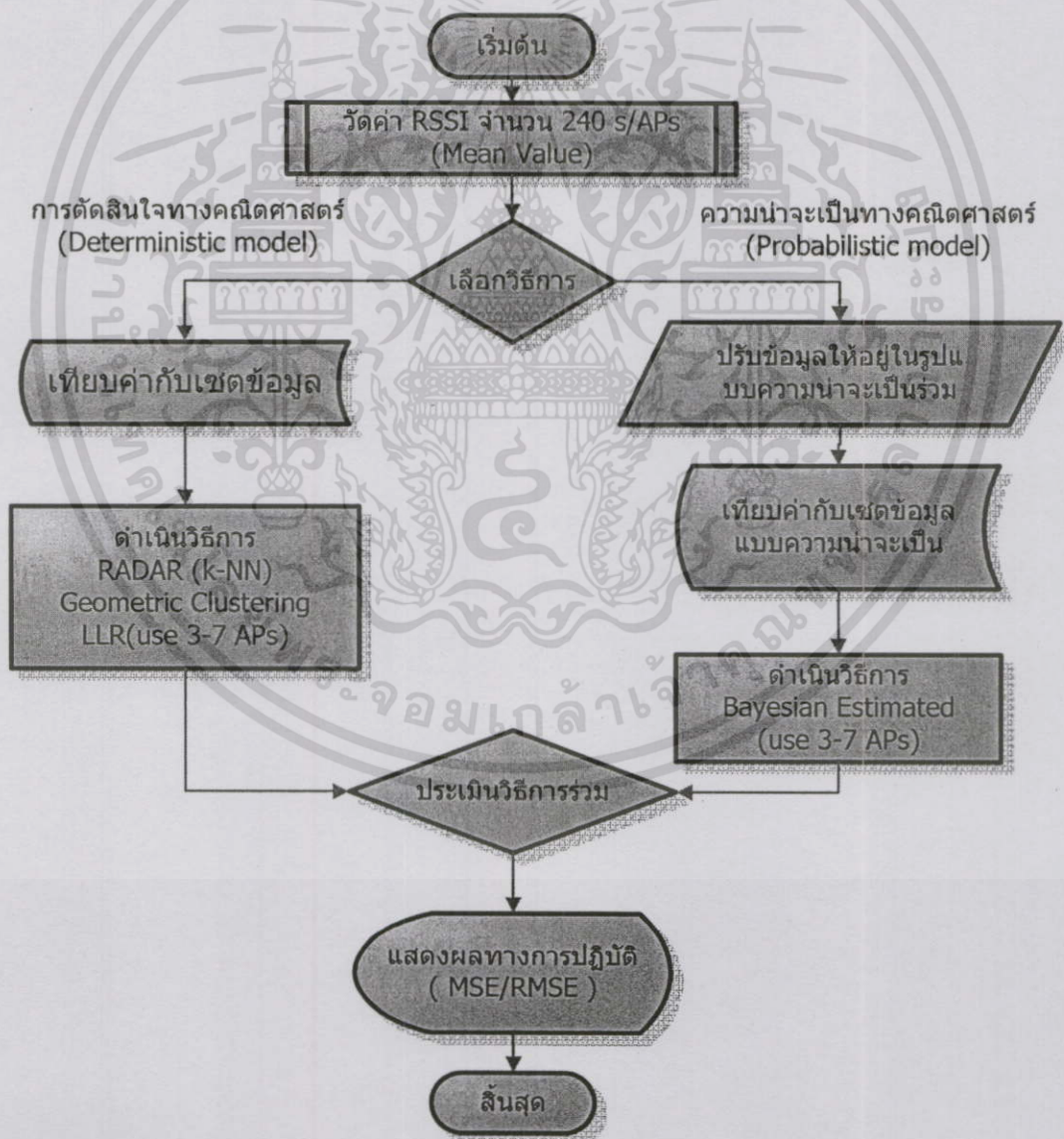
X, Y	AP2.1			AP2.2			AP2.3			AP2.4			AP2.5			AP2.6			AP2.7		
	Signal	Noise	S/N	Signal	Noise	S/N	Signal	Noise	S/N	Signal	Noise	S/N	Signal	Noise	S/N	Signal	Noise	S/N	Signal	Noise	S/N
1,2	-76	-99	23	-51	-100	49	-64	-100	36	-68	-100	32	-48	-100	52	-50	-100	50	-56	-100	44
1,5	-71	-99	28	-52	-99	47	-65	-99	34	-74	-99	25	-45	-99	54	-59	-99	40	-58	-100	42
1,9	-62	-99	37	-39	-99	60	-56	-99	43	-82	-99	17	-50	-99	49	-65	-99	34	-69	-99	30
2,2	-77	-100	23	-54	-100	46	-65	-99	34	-70	-100	30	-54	-100	46	-50	-100	50	-59	-100	41
2,5	-75	-99	24	-52	-99	47	-64	-99	35	-73	-99	26	-53	-99	46	-56	-99	43	-62	-99	37
2,9	-61	-100	39	-40	-100	60	-55	-99	44	-82	-99	17	-54	-100	46	-66	-100	34	-69	-100	31
3,2	-78	-99	21	-54	-99	45	-64	-99	35	-74	-99	25	-58	-99	41	-48	-99	51	-62	-99	37
3,5	-78	-99	21	-53	-99	46	-60	-99	39	-76	-100	25	-54	-99	45	-59	-99	40	-64	-99	35
3,9	-64	-99	35	-41	-99	58	-53	-99	46	-81	-100	19	-51	-99	48	-61	-99	38	-66	-99	33

ตารางที่ 5.3 (ข) แสดงค่าความน่าจะเป็นของ RSSI ที่พิกัด 1,2 1,5 1,9 2,2 2,5 2,9 3,2 3,5 และ 3,9 ทุก APs ในช่วง Prediction phase

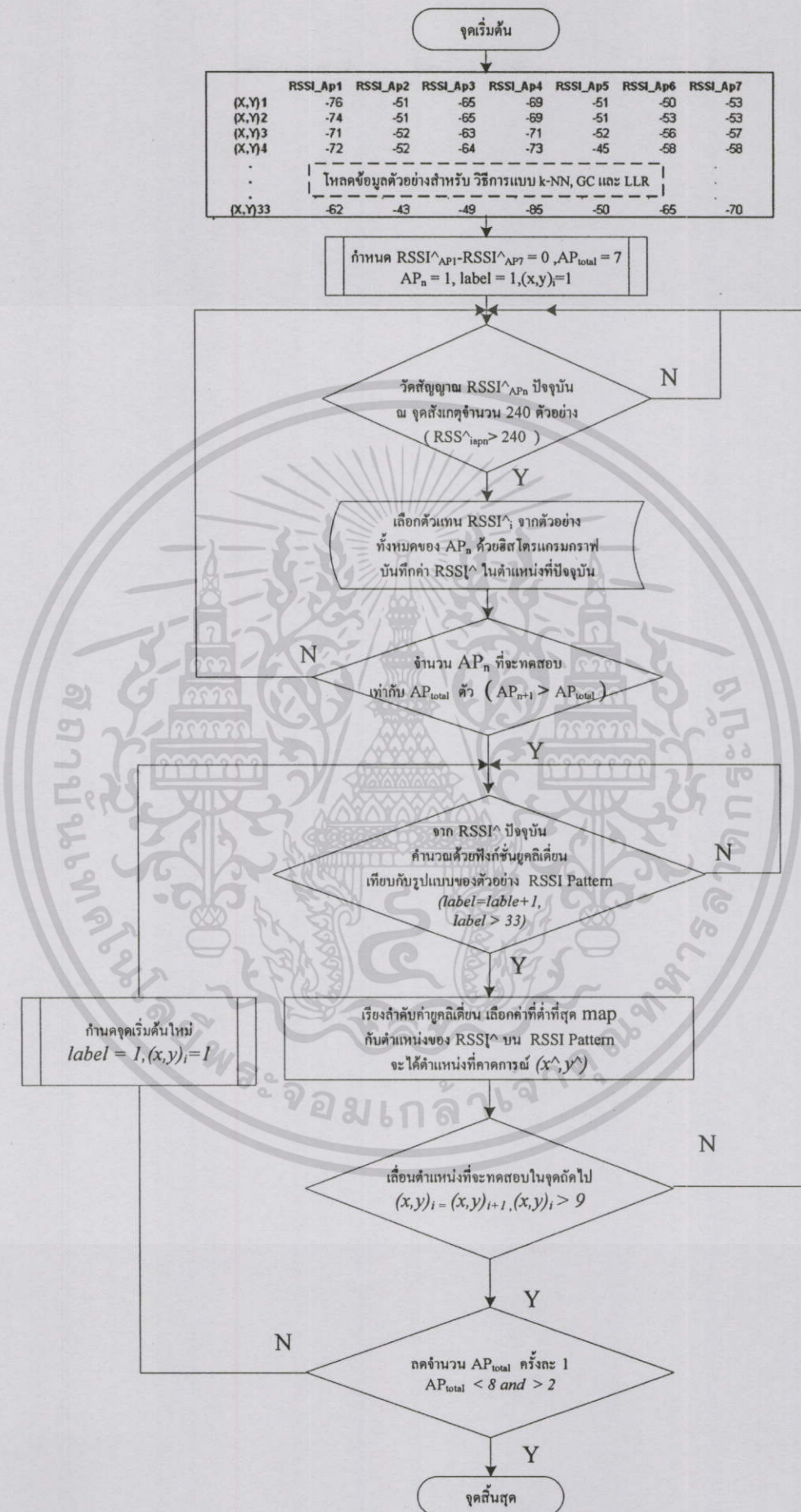
X, Y	AP2.1			AP2.2			AP2.3			AP2.4			AP2.5			AP2.6			AP2.7		
	RSSI ₁	$P_1(e_1 I_1)$	RSSI ₂	$P_2(e_2 I_2)$	RSSI ₃	$P_3(e_3 I_3)$	RSSI ₄	$P_4(e_4 I_4)$	RSSI ₅	$P_5(e_5 I_5)$	RSSI ₆	$P_6(e_6 I_6)$	RSSI ₇	$P_7(e_7 I_7)$	RSSI ₈	$P_8(e_8 I_8)$	RSSI ₉	$P_9(e_9 I_9)$			
1,2	-76	0.76	-51	0.51	-64	0.64	-68	0.68	-48	0.48	-50	0.5	-56	0.56							
1,5	-71	0.71	-52	0.52	-65	0.65	-74	0.74	-45	0.45	-59	0.59	-58	0.58							
1,9	-62	0.62	-39	0.39	-56	0.56	-82	0.82	-50	0.5	-65	0.65	-69	0.69							
2,2	-77	0.77	-54	0.54	-65	0.65	-70	0.7	-54	0.54	-50	0.5	-59	0.59							
2,5	-75	0.75	-52	0.52	-64	0.64	-73	0.73	-53	0.53	-56	0.56	-62	0.62							
2,9	-61	0.61	-40	0.4	-55	0.55	-82	0.82	-54	0.54	-66	0.66	-69	0.69							
3,2	-78	0.78	-54	0.54	-64	0.64	-74	0.74	-58	0.58	-48	0.48	-62	0.62							
3,5	-78	0.78	-53	0.53	-60	0.6	-75	0.75	-54	0.54	-59	0.59	-64	0.64							
3,9	-64	0.64	-41	0.41	-53	0.53	-81	0.81	-51	0.51	-61	0.61	-66	0.66							

5.3.2 กระบวนการในการทดลองตามวิธีการ

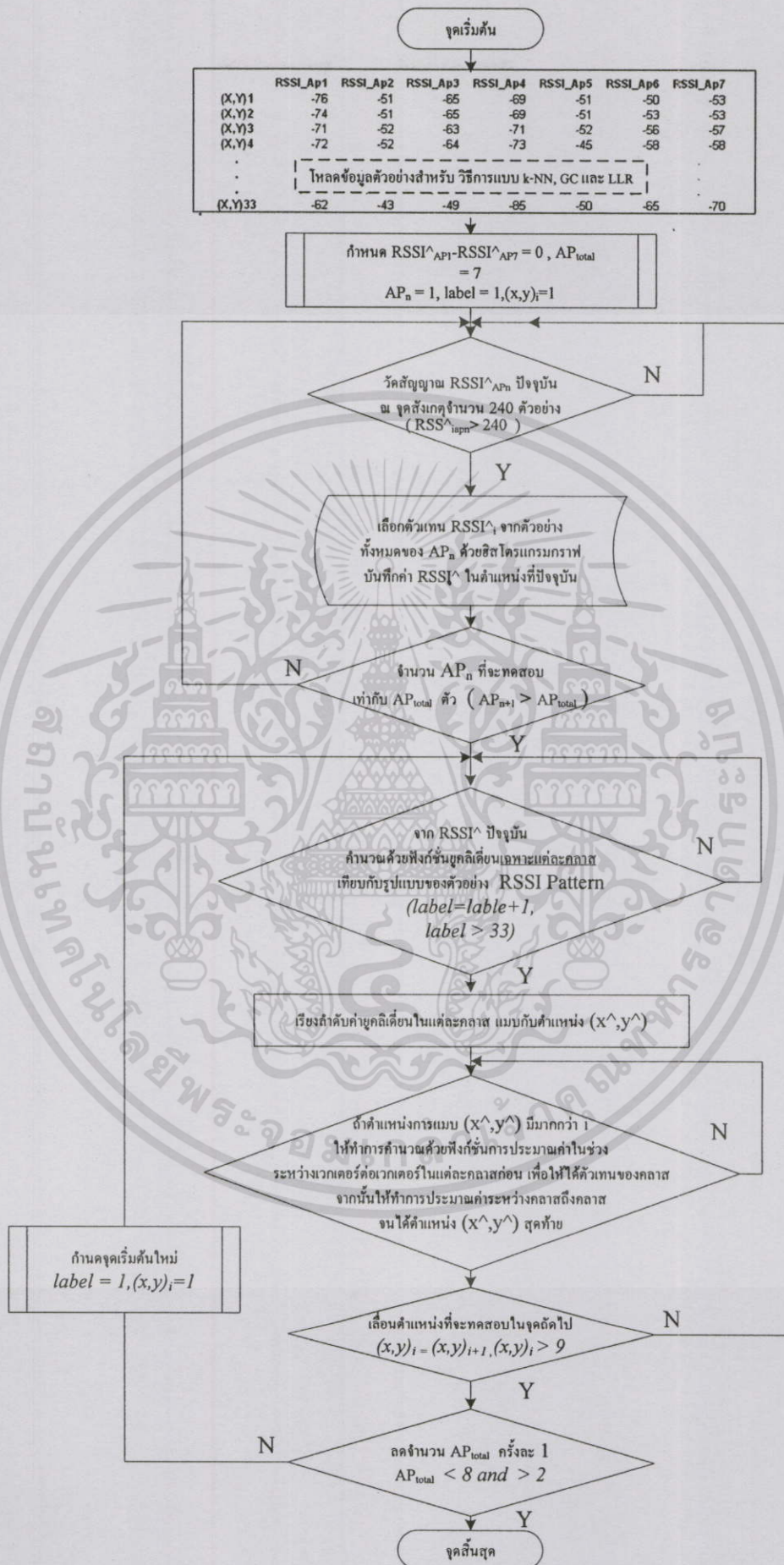
เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้ ที่ต้องการศึกษาเชิงเปรียบเทียบวิธีการ กลุ่มทางการตัดสินใจทางคณิตศาสตร์ (Deterministic model) ที่มีวิธีการอ้างอิง RADAR(k -NN) และวิธีการจัดกลุ่มทางเรขาคณิต (Geometric clustering) กับวิธีการใหม่ที่น่าขึ้นมาสื่อนใหม่ คือ Log Likelihood ratio: LLR และกลุ่มวิธีการความน่าจะเป็น (Probabilistic model) ซึ่งจะปฏิบัติการตามความน่าจะเป็นตามทฤษฎีของเบย์ (Baye' s Theorem) ที่จะให้ผลได้น่าสนใจเพียงใดโดยมีการปรับเปลี่ยนค่าจำนวนแอ็คเซสพอยท์ (APs) ตั้งแต่ 3 , 4, 5, 6 และ 7 ตัว เพื่อหาจำนวนที่ดีที่สุดที่จะใช้ในการทำนายตำแหน่งได้เหมาะสม ตามที่เครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย KMITL-WiFi มีการใช้งานอยู่จริง และปฏิบัติการในสภาพแวดล้อมเดียวกัน จากนั้นจึงนำผลที่ได้มาวิเคราะห์โดยมีตัวชี้วัดความคลาดเคลื่อนคือ MSE และ $RMSE$ เปรียบเทียบค่าของแต่ละวิธีการ



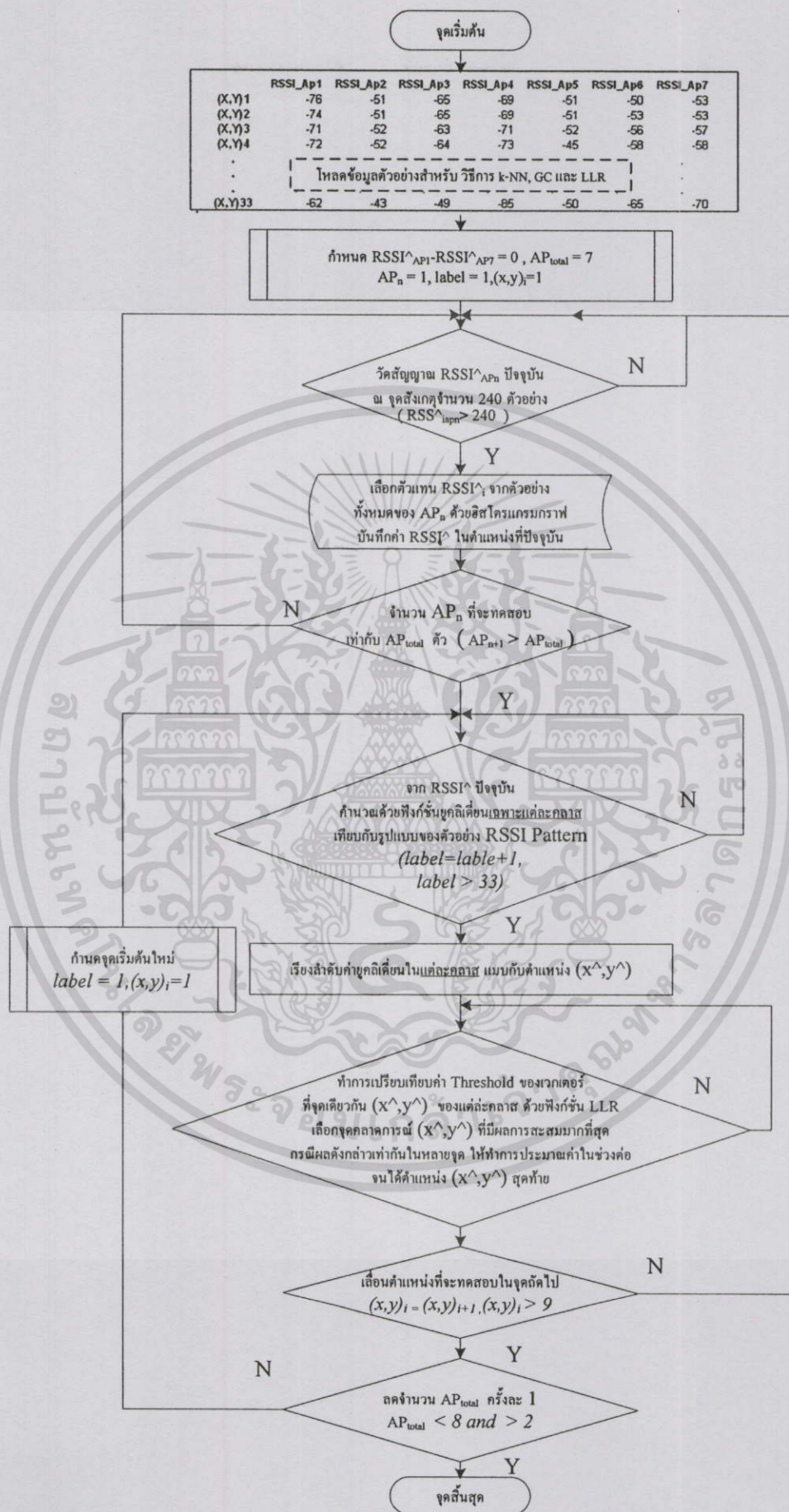
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 5.13 แสดงกระบวนการในการทดลองให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่รูปที่ 5.14 แสดงกระบวนการในการทดลองตามวิธีการ RADAR (k-NN) โยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

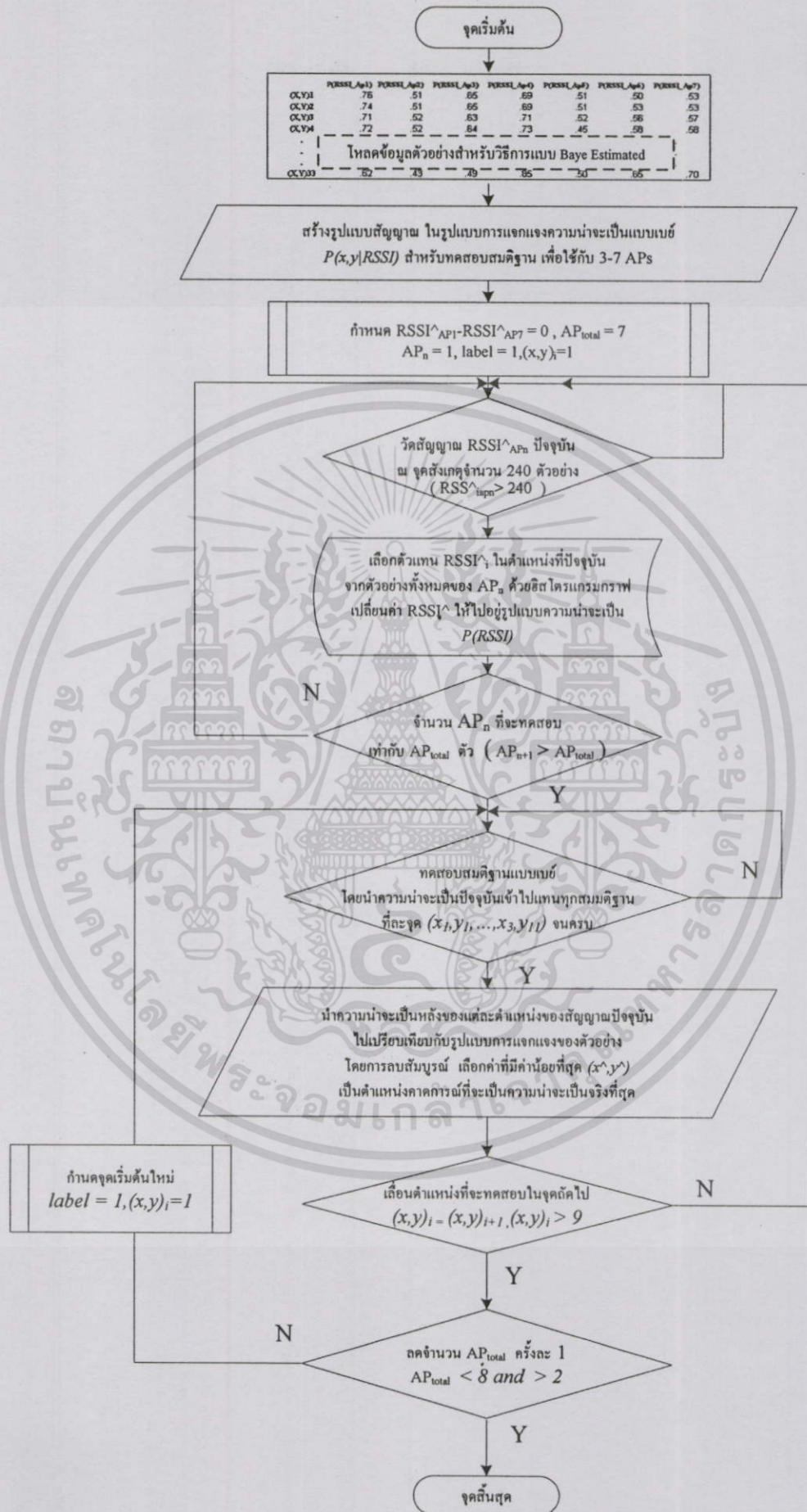


เอกสารรูปที่ 5.15 แสดงกระบวนการในการทดลองตามวิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ (Geometry Clustering) ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.16 แสดงกระบวนการในการทดลองตามวิธีการ แอลแอลอาร์ (LLR)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ 5.17 แสดงกระบวนการในการทดลองตามวิธีการแบบเบย์ (Bayesian Estimated) ในการคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่จุดสังเกตต่างๆ ไม่่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 ผลการทดลอง

จากตารางที่ 5.3 (ก) ที่แสดงค่าความแรงสัญญาณคลื่น $RSSI (dBm)$ ที่ตำแหน่งพิกัด 1,2 1,5 1,9 2,2 2,5 2,9 3,2 3,5 และ 3,9 ของทุกแอ็กเซสพอยท์ (APs) ในช่วงการทำนาย (Prediction phase) จะถูกนำไปใช้ทดสอบ ตามวิธีการ RADAR(k -NN), เรขาคณิตคลัสเตอร์(Geometry Clustering) และแอลแอลอาร์ (LLR) ซึ่งจะมีผลทดลองดังต่อไปนี้

5.4.1 วิธีการ RADAR (k -NN)

โดยวิธีการอ้างอิง “RADAR (k -NN)” นี้ มีค่าพารามิเตอร์ k ก็คือจำนวนแอ็กเซสพอยท์ (APs) ตัวอย่างผลการทดสอบของ “วิธีการRADAR (k -NN)” ในตารางที่ 5.4 จะแสดงผลการทดสอบส่วนหนึ่ง โดยการทดสอบที่พิกัด 3, 9 ผลการคำนวณตามสมการยูคลิดี언 จะได้ค่าที่ 2.236068 ซึ่งปรากฏค่าต่ำที่สุด ดังนั้นตำแหน่งคาดการณ์คือ 3, 9 ซึ่งสอดคล้องกัน ต่อจากนั้น ทำการทำนายตำแหน่งที่เหลืออีก 8 จุด

ตารางที่ 5.4 ตัวอย่างการทำนายตำแหน่งด้วยวิธีการ RADAR (7 APs) ที่ตำแหน่ง 3, 9

X,Y	AP2.1	AP2.2	AP2.3	AP2.4	AP2.5	AP2.6	AP2.7	$\sum_{i=1}^7 (S_{i,ap} - \hat{S}_{ap})^2$	$\sqrt{\sum_{i=1}^7 (S_{i,ap} - \hat{S}_{ap})^2}$
$\hat{3,9}$	$(S_{p,1} - S_i)^2$	$(S_{p,2} - S_i)^2$	$(S_{p,3} - S_i)^2$	$(S_{p,4} - S_i)^2$	$(S_{p,5} - S_i)^2$	$(S_{p,6} - S_i)^2$	$(S_{p,7} - S_i)^2$	$\sum_{i=1}^7 (S_{i,ap} - \hat{S}_{ap})^2$	$\sqrt{\sum_{i=1}^7 (S_{i,ap} - \hat{S}_{ap})^2}$
1,1	144	100	144	144	0	121	169	822	28.670542
1,2	100	100	144	144	0	64	169	721	26.851443
1,3	49	121	100	100	1	25	81	477	21.84033
1,4	64	121	121	64	36	9	64	479	21.886069
1,5	64	121	144	36	49	4	64	482	21.954498
1,6	36	49	100	16	25	1	16	243	15.588457
1,7	0	9	25	4	1	16	1	56	7.4833148
1,8	1	4	4	0	9	25	4	47	6.8556546
1,9	4	4	4	1	1	16	4	34	5.8309519
1,10	25	49	1	9	4	25	4	117	10.816654
1,11	25	121	9	16	16	16	9	212	14.56022
2,1	196	196	225	196	9	121	100	1043	32.295511
2,2	169	196	196	100	4	81	64	810	28.460499
2,3	169	144	169	64	9	36	49	640	25.298221
2,4	144	196	169	64	1	25	49	648	25.455844
2,5	100	121	144	36	1	9	36	447	21.142375
2,6	81	25	64	25	1	1	1	198	14.071247
2,7	0	4	4	9	25	1	25	68	8.2462113
2,8	4	9	1	1	9	4	9	37	6.0827625
2,9	9	4	4	1	4	25	4	51	7.1414284
2,10	49	9	1	9	4	16	9	97	9.8488578
2,11	36	16	9	16	25	49	16	167	12.922848
3,1	225	169	196	100	25	169	100	984	31.368774
3,2	225	225	169	36	25	121	49	850	29.154759
3,3	196	144	144	49	16	100	25	674	25.96151
3,4	196	144	81	49	1	25	25	521	22.825424
3,5	144	121	64	36	4	4	9	382	19.54482
3,6	100	64	36	25	0	4	4	233	15.264338
3,7	36	36	25	9	1	0	0	107	10.34408
3,8	256	4	9	1	9	1	4	284	16.8523
3,9	1	0	1	1	1	1	0	5	2.236068
3,10	1	9	1	9	16	0	4	40	6.3245553
3,11	4	4	16	16	1	16	16	73	8.5440037

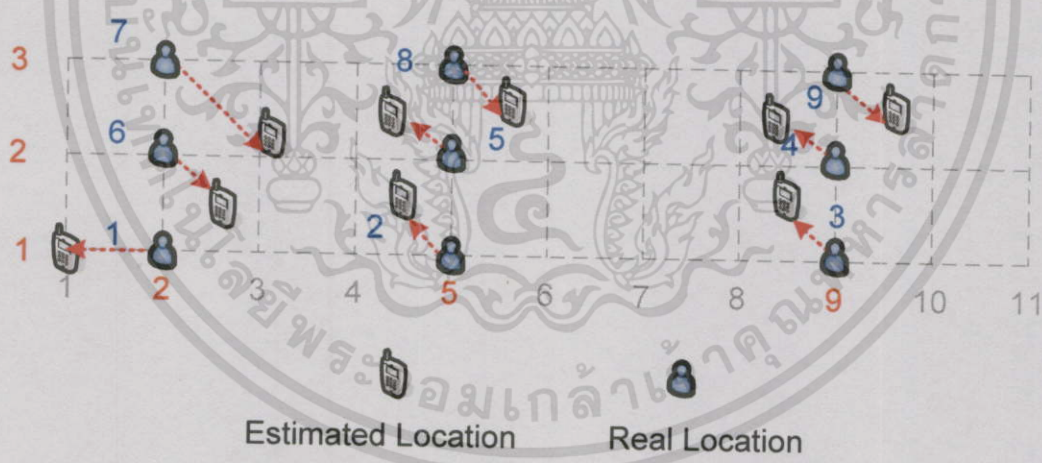
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่
 ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
 Estimated **3.9=>3.9** MIN **2.236068**

เพื่อไม่ให้เนื้อหาที่มีข้อมูลจำนวนมากเกินไป ไม่น่าอ่าน จึงขอนำผลที่ได้จากการทดลองตาม “วิธีการRADAR (k -NN)” สรุปผลลงในตารางที่ 5.5 ได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.5 แสดงสรุปพิกัดคาดการณ์ของวิธีการ RADAR (k -NN) ตั้งแต่ 3 7 APs

จุดทดสอบ		3 APs		4 APs		5 APs		6 APs		7 APs	
X	Y	X [^]	Y [^]	X [^]	Y [^]	X [^]	Y [^]	X'	Y'	X'	Y'
1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	5	1	5	1	5	1	5	1	5	1	5
1	9	1	9	1	9	1	9	1	9	1	9
2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2	2
2	5	1	3	3	4	3	4	3	4	2	5
2	9	2	9	2	9	2	9	2	9	2	9
3	2	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3
3	5	3	5	3	5	3	5	3	5	3	5
3	9	3	9	3	9	3	9	3	9	3	9

จากตารางที่ 5.5 ผลลัพธ์ของ “วิธีการ RADAR (k -NN)” นี้ เพื่อให้เข้าใจง่าย สำหรับตำแหน่งจริงคือ $(x, y) \in \{(1,2), (1,5), (1,9), (2,2), (2,5), (2,9), (3,2), (3,5), (3,9)\}$ และตัวอย่างตำแหน่งคาดการณ์ได้ $(x^{\wedge}, y^{\wedge}) \in \{(1,1), (1,5), (1,9), (2,2), (2,5), (2,9), (3,3), (3,5), (3,9)\}$ ซึ่งได้ยกตัวอย่างการทำนายตำแหน่งในคอลัมน์ที่ 7 APs แสดงในรูปที่ 5.16 ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.18 แสดงภาพการทำนาย วิธีการ RADAR (7-NN) ด้วยจุดทดสอบทั้ง 9 ตำแหน่ง จาก RSSI เมทริกซ์สังเกตการณ์ 33 ตำแหน่ง โดยใช้สัญญาณแอ็คเซสพอยท์ (APs) ทั้งหมด 7 ตัว

ข้อสังเกต

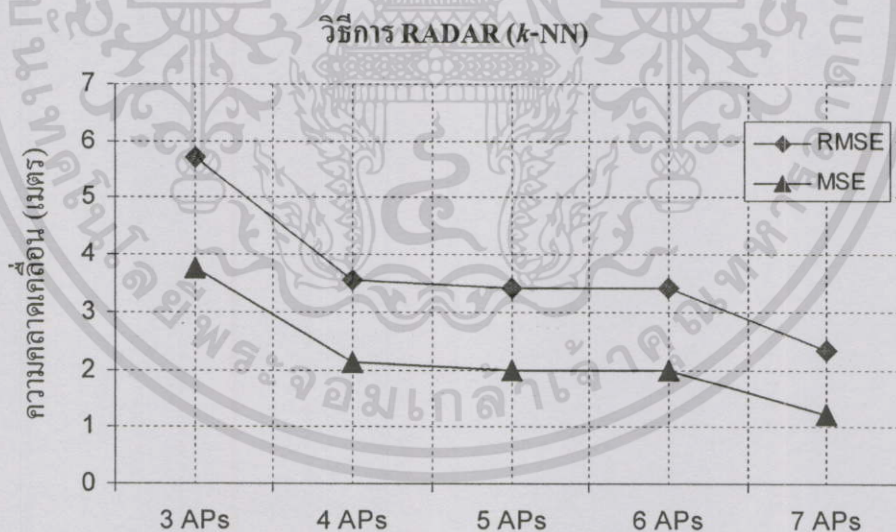
จากรูปที่ 5.18 ในตำแหน่งจริงผลลัพธ์ของวิธีการ RADAR (k -NN) จะมีความแม่นยำสูง ตำแหน่งคาดการณ์มีแนวโน้มเข้าสู่ตำแหน่งจริง แต่ในความเป็นจริงผลลัพธ์ของฟังก์ชันยูคลิดีียนไม่ได้เท่ากับศูนย์ ผู้เขียนจึงบวกค่าคงที่อีกหนึ่งเมตร ซึ่งเป็นขอบเขตกั้นแบ่งระหว่างตำแหน่ง ที่มีระยะห่างจากกัน 2 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 แสดงสรุปค่าวัดความคลาดเคลื่อน (ϵ) ของวิธีการ RADAR (k -NN)

X,Y	3 APs	4 APs	5 APs	6 APs	7 APs
1,2	2	2	2	2	2
1,5	1	1	1	1	1
1,9	1	1	1	1	1
2,2	8	2	1	1	1
2,5	18	8	8	8	1
2,9	1	1	1	1	1
3,2	1	2	2	2	2
3,5	1	1	1	1	1
3,9	1	1	1	1	1
SUM	34	19	18	18	11
MSE	3.778	2.111	2.000	2.000	1.222
RMSE	1.944	1.453	1.414	1.414	1.106

โดยที่ค่าวัดความคลาดเคลื่อน (ϵ) คือค่า MSE และ RMSE จะสามารถบอกได้ถึงประสิทธิภาพของวิธีการได้ จากตารางที่ 5.6 เมื่อนำไปวาดรูปกราฟ จะได้ดังรูปแสดงที่ 5.19 โดยที่ค่าความคลาดเคลื่อนจะลดลงเมื่อเพิ่มแอ็กเซสพอยท์ (APs) ขึ้นในระบบ



รูปที่ 5.19 กราฟแสดงผลลัพธ์การดำเนินงาน ของวิธีการRADAR (k -NN)

5.4.2 วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ (Geometry Clustering)

หลักการของ “วิธีการ Geometric Clustering (GC)” นี้ จะยังไม่รวมค่ายูคลิดีเยน ดังนั้นในแต่ละคลาส ก็จะมีค่ายูคลิดีเยน เช่น $\sqrt{(rssi_3 - rssi_3^{\wedge})^2}$ หรือ $|rssi_3 - rssi_3^{\wedge}|$ ที่น้อยที่สุด และอาจจะปรากฏค่านี้ขึ้นในหลายตำแหน่ง ดังตัวอย่างในตารางที่ (5.7) ที่จุดทดสอบที่ 1,2 นั้น ก็ให้ทำการประมาณค่าในช่วงในแต่ละเวกเตอร์(คอลัมน์)และแต่ละคลาส(แถว)จนได้ตำแหน่งสุดท้าย

ตารางที่ 5.7 ตัวอย่างการทำนายตำแหน่งด้วยวิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ (7 APs) ที่ตำแหน่ง 1,2

X,Y	AP2.1	AP2.2	AP2.3	AP2.4	AP2.5	AP2.6	AP2.7
	$rssi_1 - rssi_1^{\wedge}$	$rssi_2 - rssi_2^{\wedge}$	$rssi_3 - rssi_3^{\wedge}$	$rssi_4 - rssi_4^{\wedge}$	$rssi_5 - rssi_5^{\wedge}$	$rssi_6 - rssi_6^{\wedge}$	$rssi_7 - rssi_7^{\wedge}$
1,1	0	0	1	1	3	0	3
1,2	2	0	1	1	3	3	3
1,3	5	1	1	3	4	6	1
1,4	4	1	0	5	3	8	2
1,5	4	1	1	7	4	9	2
1,6	6	3	1	9	2	12	6
1,7	12	7	6	11	2	15	11
1,8	13	12	9	13	0	16	12
1,9	14	12	9	14	2	15	12
1,10	17	17	12	16	5	16	12
1,11	17	21	14	17	7	15	13
2,1	2	4	4	1	6	0	0
2,2	1	4	3	3	5	2	2
2,3	1	2	2	5	6	5	3
2,4	0	4	2	5	4	6	3
2,5	2	1	1	7	4	8	4
2,6	3	5	3	8	4	12	9
2,7	12	8	9	10	8	12	15
2,8	14	13	10	12	6	13	13
2,9	15	12	9	14	5	16	12
2,10	19	13	12	16	5	15	13
2,11	18	14	14	17	8	18	14
3,1	3	3	3	3	8	2	0
3,2	3	5	2	7	8	0	3
3,3	2	2	1	6	7	1	5
3,4	2	2	2	6	4	6	5
3,5	0	1	3	7	5	9	7
3,6	2	2	5	8	3	9	8
3,7	6	4	6	10	4	11	10
3,8	4	8	8	12	6	12	12
3,9	11	10	10	14	2	12	10
3,10	13	7	12	16	1	11	12
3,11	14	8	15	17	2	15	14
MIN	0	0	0	1	0	0	0

Time	$x_1^{\wedge}, y_1^{\wedge}$	$x_2^{\wedge}, y_2^{\wedge}$	$x_3^{\wedge}, y_3^{\wedge}$	$x_4^{\wedge}, y_4^{\wedge}$	$x_5^{\wedge}, y_5^{\wedge}$	$x_6^{\wedge}, y_6^{\wedge}$	$x_7^{\wedge}, y_7^{\wedge}$
t1	1,1	1,1	1,4	1,1	1,8	1,1	2,1
t2	2,4	1,2		1,2		2,1	3,1
t3	3,5			2,1		3,2	
t4							
t5	1.5, 2.5	1, 1.5	1,4	1,1.5	1,8	1.5,1	2.5, 1
t6	3,5			2,1		3,2	
t7							
t8	2.25, 3.75	1, 1.5	1,4	1.5, 1.25	1,8	2.35, 1.5	2.5, 1
t9	1.625, 2.625		1.25, 2.625		1.675, 4.75		2.5,1
t10	1.4375, 2.625			2.0875, 2.875			
t11	1.7625, 2.75						

เอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับวิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ จากตารางที่ 5.7 ที่เป็นตัวอย่างในการทำนายตำแหน่ง ด้วยวิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ (7 APs) ที่ตำแหน่ง 1,2 จะได้ว่าต้องทำการคำนวณด้วยฟังก์ชันการประมาณค่าในช่วง (Interpolation function) ทั้งเวกเตอร์ต่อเวกเตอร์และคลาสต่อคลาส จึงจะได้ ตำแหน่งคาดการณ์ ขั้นตอนจึงนับว่าซับซ้อนมาก ผลลัพธ์ทั้งหมดของวิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ จะแสดงสรุปในตารางที่ 5.8 ถัดไป

ตารางที่ 5.8 แสดงสรุปพิกัดคาดการณ์ของวิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ ตั้งแต่ 3 7 APs

จุดทดสอบ		3 APs		4 APs		5 APs		6 APs		7 APs	
X	Y	X [^]	Y [^]	X [^]	Y [^]	X [^]	Y [^]	X [']	Y [']	X [']	Y [']
1	2	1.68	3.75	1.71	3.75	1.84	2.78	1.78	2.47	1.76	2.75
1	5	1.91	4.47	1.65	3.91	1.81	3.47	1.84	4.27	1.72	3.70
1	9	2.00	9.13	2.00	9.13	2.41	8.69	1.81	9.19	1.91	9.22
2	2	2.09	2.69	2.16	3.00	1.83	2.80	2.19	2.36	2.22	2.55
2	5	1.63	4.63	1.44	5.25	1.44	5.25	1.52	5.28	1.55	4.88
2	9	1.69	7.81	1.81	7.81	1.81	8.31	1.83	8.34	1.89	8.34
3	2	2.38	2.81	1.88	4.56	1.88	4.38	2.13	4.00	2.13	3.63
3	5	2.56	5.44	2.69	5.56	2.66	5.47	2.66	5.19	2.66	4.22
3	9	2.59	7.56	2.59	7.44	2.47	7.97	2.55	7.91	2.17	7.59

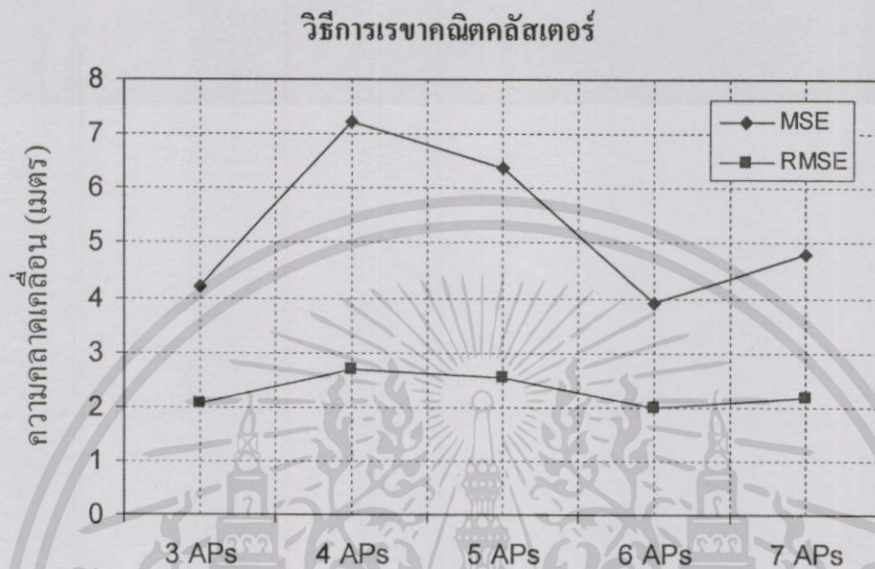
จากตารางที่ 5.8 จะสังเกตเห็นว่าการประมาณค่าในช่วง ทำให้พิกัดคาดการณ์ไม่เดินไป ตามค่ายูคลิดีเซียน ข้อดีคือไม่ต้องบวกค่าคงที่ 1 เมตร เนื่องจากเป็นการคำนวณทางกายภาพแล้ว จากตารางที่ 5.8 เมื่อนำตำแหน่งคาดการณ์มาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน (ϵ) ที่มีหน่วยเป็น เมตร ดังแสดงในตารางที่ 5.9 ถัดไป

ตารางที่ 5.9 แสดงสรุปค่าความคลาดเคลื่อน (ϵ) ของวิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์

X,Y	3 APs	4 APs	5 APs	6 APs	7 APs
1,2	11.761	12.128	5.241	3.094	4.575
1,5	4.133	6.081	10.986	4.981	8.125
1,9	2.531	2.531	5.908	2.000	2.531
2,2	1.221	2.674	1.872	0.598	1.172
2,5	1.125	1.320	1.320	1.172	0.668
2,9	4.500	3.781	1.531	1.372	1.172
3,2	4.133	27.195	24.500	16.531	12.500
3,5	1.531	1.531	1.320	0.564	2.531
3,9	6.799	7.752	4.883	4.786	9.985
SUM	37.734	64.994	57.562	35.098	43.261
MSE	4.193	7.222	6.396	3.900	4.807
RMSE	2.048	2.687	2.529	1.975	2.192

เอกสารนี้เป็นเอกสารทบทวนเนื้อหาสำหรับการเรียนการสอนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์นี้ ให้ผลการทำนายที่มีความแม่นยำได้ปานกลาง หลักการ เหมือนกับการหาค่าเฉลี่ยของระยะห่างระหว่างแต่ละพิกัดทำนาย เป็นการคำนวณทางกายภาพ จึง มีการคำนวณ ที่นับว่ามีความยุ่งยากซับซ้อนพอสมควรเช่นกัน เพื่อให้ดูผลง่ายขึ้นจึงนำผลลัพธ์ ของตารางที่ 5.9 มาพล็อตเป็นกราฟดูได้ง่าย ดังรูปที่ 5.20



รูปที่ 5.20 กราฟแสดงค่าความคลาดเคลื่อน (E) ของวิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์

5.4.3 วิธีการแอลแอลอาร์ LLR (Log-Likelihood Ratio)

สำหรับ “วิธีการแอลแอลอาร์ (LLR)” ที่นำเสนอขึ้นใหม่นี้ ศึกษาพัฒนามาสืบเนื่องจาก “วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์” โดยที่แต่ละแอ็กเซสพอยท์ (APs) จะมีค่ายูคลิดีเนียนที่น้อยที่สุดของตัวเอง เช่น $\sqrt{(rssi_2 - rssi_3)^2}$ หรือ $|rssi_2 - rssi_3|$ และอาจจะปรากฏค่านี้ขึ้นในหลายตำแหน่ง เช่นเดียวกับ “วิธีเรขาคณิตคลัสเตอร์” แต่ในแนวความคิดจะแตกต่างออกไป โดยใช้สมการแอลแอลอาร์ (LLR) ดังอธิบายไว้แล้วในบทที่ 4 ที่จะกำหนดหาตัวแทนของแต่ละแอ็กเซสพอยท์ (APs) โดยใช้ฟังก์ชัน “Threshold Function” ที่จะปรับระดับค่าเทรชโฮลที่ได้จากระยะห่างของพิกัดตัวแทนยูคลิดีเนียนของแต่ละคลาส ในกรณีที่ผลการบ่งชี้ของแต่ละคลาสตรงเกิดกัน จะให้ผลลัพธ์คล้ายกับผลโหวต

ขอยกเว้นในกรณีที่ผลโหวตในสองพิกัดตำแหน่งหรือมากกว่า ซึ่งระยะห่างที่น้อยที่สุดจะเป็นศูนย์ หรือเหลือช่วงสถานะ (State) อยู่สองพิกัดตำแหน่งหรือมากกว่า ให้ใช้การประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ในการแก้ปัญหา จะได้คำตอบของการคาดการณ์พิกัดของเครื่องลูกข่ายได้ และวิธีดังกล่าวยังจุดเด่นที่ มีความซับซ้อนน้อยกว่า “วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์” เพราะมีอัตราการใช้งานฟังก์ชันการประมาณค่าในช่วงน้อยกว่า ทั้งยังให้ผลลัพธ์ที่แม่นยำมากกว่า ดังแสดงผลสรุปในตารางที่ 5.10 ถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.10 ตัวอย่างการทำนายตำแหน่งด้วยวิธีการแอลแอลอาร์ (7 APs) ที่ตำแหน่ง 2,2

X,Y	AP2.1	AP2.2	AP2.3	AP2.4	AP2.5	AP2.6	AP2.7	F
	$ rssi_1 - rssi_1^* $	$ rssi_2 - rssi_2^* $	$ rssi_3 - rssi_3^* $	$ rssi_4 - rssi_4^* $	$ rssi_5 - rssi_5^* $	$ rssi_6 - rssi_6^* $	$ rssi_7 - rssi_7^* $	
1,1	1	3	0	1	3	0	6	3
1,2	3	3	0	1	3	3	6	2
1,3	6	2	2	1	2	6	2	1
1,4	5	2	1	3	9	8	1	
1,5	5	2	0	5	10	9	1	
1,6	7	6	2	7	8	12	3	
1,7	13	10	7	9	4	15	8	
1,8	14	15	10	11	6	16	9	
1,9	15	15	10	12	4	15	9	
1,10	18	20	13	14	1	16	9	
1,11	18	24	15	15	1	15	10	
2,1	1	1	3	3	0	0	3	2
2,2	0	1	2	1	1	2	1	2
2,3	0	1	1	3	0	5	0	3
2,4	1	1	1	3	2	6	0	1
2,5	3	2	0	5	2	8	1	1
2,6	4	8	4	6	2	12	6	
2,7	13	11	10	8	2	12	12	
2,8	15	16	11	10	0	13	10	1
2,9	16	15	10	12	1	16	9	
2,10	20	16	13	14	1	15	10	
2,11	19	17	15	15	2	18	11	
3,1	2	0	2	1	2	2	3	2
3,2	2	2	1	5	2	0	0	2
3,3	1	1	0	4	1	1	2	1
3,4	1	1	3	4	2	6	2	
3,5	1	2	4	5	1	9	4	
3,6	3	5	6	6	3	9	5	
3,7	7	7	7	8	2	11	7	
3,8	3	11	9	10	0	12	9	1
3,9	12	13	11	12	4	12	7	
3,10	14	10	13	14	7	11	9	
3,11	15	11	16	15	4	15	11	
MIN	0	0	0	1	0	0	0	MAX 3

ประมาณค่าในช่วง (Interpolation)

X	Y
1	1
2	3
1.5	2

พิจารณาตารางที่ 5.10 จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของสมการแอลแอลอาร์(LLR) มีปรากฏอยู่ที่ตำแหน่ง (x,y) 1,1 และ 2,3 กรณีดังกล่าวนี้ ให้ทำการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ซึ่ง x เทียบ x จะได้เป็น $x^* = 1 + (2-1)/2 = 1.5$ ส่วน y ก็เทียบกับ y ก็จะได้ว่า $y^* = 1 + (3-1)/2 = 2$

ดังนั้นพิกัดที่คาดการณ์สุดท้าย (x^*, y^*) คือ 1.5, 2 ดังนั้น “วิธีการแอลแอลอาร์ (LLR)” นี้ จึงมีความซับซ้อนน้อยกว่า “วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์” อยู่มาก โดยผลลัพธ์ทั้งหมดของวิธีการนี้ จะได้นำแสดงในตารางที่ 5.11 ต่อไป

ตารางที่ 5.11 แสดงสรุปพิกัดคาดการณ์ของวิธีการแอลแอลอาร์ (LLR) ตั้งแต่ 3-7 APs

จุดทดสอบ		3 APs		4 APs		5 APs		6 APs		7 APs	
X	Y	X [^]	Y [^]	X [^]	Y [^]	X [^]	Y [^]	X [']	Y [']	X [']	Y [']
1	2	1.63	2.88	2	1	2	1	1.50	1	1	1
1	5	1	5	1	4	1	5	1	5	1	5
1	9	2	9.50	1.50	9.50	1	9	1	9	1	9
2	2	1.50	1	2	1.75	1	1	1	1	1.50	2
2	5	2	5.63	1.88	5.13	1.50	4	1	4	2.25	4.50
2	9	1.50	8.50	1.50	8.25	2	9	2	9	2	9
3	2	3	1	3	1	3	1	3	1	3	1
3	5	3	5.50	3	6	3	5.50	3	5.50	3	5.50
3	9	3	10	3	9	3	9	3	9	3	9

จากตารางที่ 5.11 เมื่อนำตำแหน่งคาดการณ์มาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน (E) เพื่อดูค่าดัชนี MSE และ RMSE มีหน่วยเป็นเมตร โดยที่ค่าความคลาดเคลื่อนนี้ จะสามารถบอกได้ถึงประสิทธิภาพโดยตรงของวิธีการได้ ดังแสดงในตารางที่ 5.12 ถัดไป

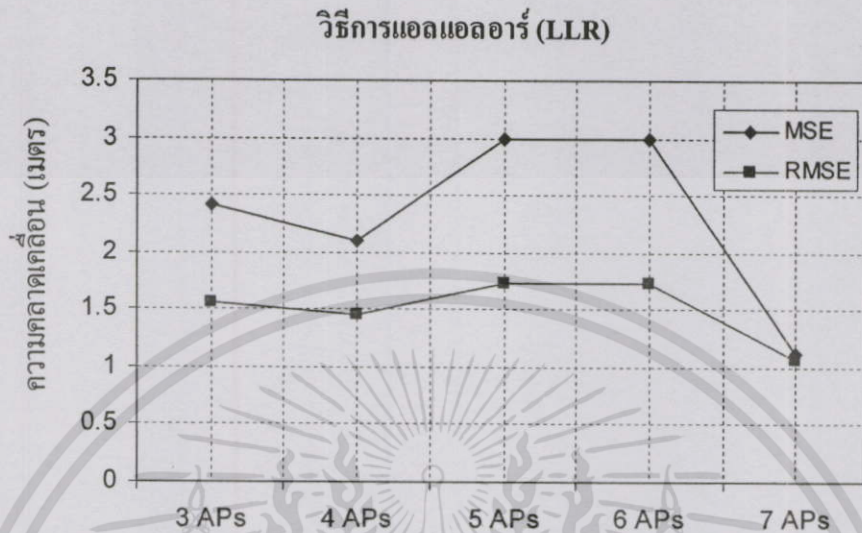
ตารางที่ 5.12 แสดงสรุปค่าวัดความคลาดเคลื่อน (E) ของวิธีการแอลแอลอาร์ (LLR)

X,Y	3 APs	4 APs	5 APs	6 APs	7 APs
1,2	4.5	8	8	4.5	2
1,5	1	0.5	1	1	1
1,9	4.5	2	1	1	1
2,2	4.5	0.125	8	8	0.5
2,5	0.782	0.125	4.5	8	1.125
2,9	2	3.125	1	1	1
3,2	2	2	2	2	2
3,5	0.5	2	0.5	0.5	0.5
3,9	2	1	1	1	1
SUM	21.781	18.875	27.000	27.000	10.125
MSE	2.420	2.097	3.000	3.000	1.125
RMSE	1.556	1.448	1.732	1.732	1.061

ซึ่งผลการทดลองตามตารางที่ 5.12 ของ “วิธีการแอลแอลอาร์ (LLR)” ที่แสดงค่าความคลาดเคลื่อน (E) ตั้งแต่ 3-7 ตัว จะให้ผลลัพธ์ที่เทียบเท่ากับ “วิธีการRADAR(k-NN)” สังเกตว่า จะต้องเพิ่มค่าคงที่ขนาด 1 เมตร ให้กับผลลัพธ์ในบางตำแหน่ง ที่มีการทำนายตรงกันระหว่างตำแหน่งจริงกับตำแหน่งคาดการณ์ ด้วยเหตุผลทำนองเดียวกันกับ “วิธีการRADAR (k-NN)”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 5.12 สังเกตว่าค่า RMSE จะเทียบเท่ากับ “วิธีการRADAR (k -NN)” เพื่อให้เข้าใจง่ายขึ้น จึงนำไปวาดรูป จะได้กราฟ ดังรูปแสดงที่ 5.21



รูปที่ 5.21 กราฟแสดงผลลัพธ์การทำนาย ของวิธีการแอลแอลอาร์ (LLR)

5.4.4 วิธีการแบบเบย์ (Bayesian Estimated)

วัตถุประสงค์อีกอย่างหนึ่งของวิทยานิพนธ์นี้ คือต้องการทดสอบการทำนายตำแหน่งในเชิงความน่าจะเป็น ว่ามีประสิทธิภาพดีเพียงใด เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน เพราะวิธีการในกลุ่มนี้ ในขั้นก้าวนำจะไม่ต้องเก็บข้อมูลตัวอย่างเป็น *RSSI Pattern* ไว้คอยเปรียบเทียบได้ นั่นคือสามารถในการทำนายตำแหน่งขณะวัดสัญญาณไปด้วยได้ขณะเดียวกัน โดยเก็บสะสมข้อมูลไปเรื่อยๆ ยังมีข้อมูลมากขึ้น ก็จะทำนายตำแหน่งได้แม่นยำขึ้น

แต่การปฏิบัติการทดลองตามทฤษฎีบทของเบย์ (Baye's Theorem) นี้ ยังคงอยู่ในเชิงสถิติ เพื่อให้อยู่ในสภาพแวดล้อมเดียวกัน กับวิธีการอื่น โดยจะใช้ค่าสัญญาณคลื่น *RSSI* ชุดเดียวกันกับที่ใช้ในกลุ่มของวิธีการ กลุ่มทางการตัดสินใจทางคณิตศาสตร์ (Deterministic model) คือข้อมูลใน “ตารางที่ 5.2 แสดงค่าสัญญาณต่างๆ (*dBm*)” ทุกๆ ตำแหน่งและทุก APs ในช่วง Calibrate phase” ที่นำปรับให้มาอยู่ในรูปของความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข ด้วยการเกิดเหตุการณ์แบบสุ่ม (Random Process) จะได้ข้อมูลใหม่เป็น “ตารางที่ 5.13 แสดงค่า $P_i(L_i|E_i)$ ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขก่อน (Prior Probability) ช่วงการเรียนรู้แบบเบย์ (7 APs)”

ทฤษฎีบทของเบย์ (Baye's theorem) ซึ่งเป็นการหาความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขหลัง (Posterior Probability) จากความน่าจะเป็นของส่วนย่อย (Partition) ในที่นี้จะใช้ฟังก์ชันความน่าจะเป็นจริงสูงสุด (ML) ในการพิจารณา ซึ่งการจะได้ดังต้องสร้างตารางความน่าจะเป็นแบบมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขซีพีที (Conditional Probability Table:CPT) ซึ่งก็คือผลลัพธ์จากคำนวณด้วยทฤษฎีเบย์ ทั้ง 33 ตำแหน่งแล้ว ของตารางที่ 5.14 ซึ่งก็คือคอลัมน์ $P(L_i|E_i)$ มาเป็นบรรทัดฐาน

ในการปฏิบัติการทำนายตำแหน่ง จะใช้ค่าสัญญาณคลื่น $RSSI$ ทดสอบชุดเดียวกันกับที่ใช้ในกลุ่มของวิธีการ กลุ่มทางการตัดสินใจทางคณิตศาสตร์ (Deterministic model) คือข้อมูลใน “ตารางที่ 5.3 (ข) ที่แสดงค่าความน่าจะเป็นของสัญญาณ $RSSI$ ที่พิกัด 1,2 1,5 1,9 2,2 2,5 2,9 3,2 3,5 และ 3,9 ทุกแอ็คเซสพอยท์ (APs) ในช่วง Prediction phase”

ในการทดสอบสมมติฐาน ซึ่งจะต้องทดสอบแต่ละชุดสัญญาณคลื่น $RSSI$ ลงแทนค่าในทุกพิกัด 33 ตำแหน่ง เพื่อทำการคำนวณค่า $P(L_i|E_i)$ ในแบบเบย์ จากสัญญาณทดสอบจำนวน 9 ชุด ที่มีจำนวนแอ็คเซสพอยท์จำนวน 3 – 7 APs

จากนั้นจึงนำค่า $P(L_i|E_i)$ ไปเปรียบเทียบกับตารางค่าซีพีที (CPT) ทุกตำแหน่ง โดยตำแหน่งที่จะทำให้ตารางนี้แกว่งหรือเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ตำแหน่งนั้น ก็คือตำแหน่งที่เป็นจริงมากที่สุด (Maximum Likelihood:ML) ซึ่งก็คือสมมติฐานที่ดีที่สุด

ในการคำนวณวิธีการนี้ จึงมีความซับซ้อนสูงมาก เพราะในการทดสอบสมมติฐานต้องนำค่าความน่าจะเป็นของค่าความแรงสัญญาณ $RSSI$ ใหม่ ลงไปทดสอบในทุกสมมติฐานของบรรทัดฐาน จึงจะสามารถหาตำแหน่งสมมติฐานที่น่าจะเป็นจริงมากที่สุดได้ ผลการทดลองปฏิบัติการจะนำเสนอถัดไป

ตารางที่ 5.13 แสดงค่า $P_i(L_i | E_i)$ ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขก่อน (Prior Probability) ช่วงการเรียนรู้แบบเบย์ (7 APs)

X, Y	AP2.1		AP2.2		AP2.3		AP2.4		AP2.5		AP2.6		AP2.7		$P_i(L_i)$	$P_i(L_i) \cdot P_i(E_i L_i)$	$P_i(L_i E_i)$
	RSSI _i	$P_i(e_i L_i)$	RSSI _i	$P_i(e_i L_i)$	RSSI _i	$P_i(e_i L_i)$	RSSI _i	$P_i(e_i L_i)$	RSSI _i	$P_i(e_i L_i)$	RSSI _i	$P_i(e_i L_i)$	RSSI _i	$P_i(e_i L_i)$			
1,1	-76	0.76	-51	0.51	-65	0.65	-69	0.69	-51	0.51	-50	0.5	-53	0.53	0.03030303	0.000711948	0.025089131
1,2	-74	0.74	-51	0.51	-65	0.65	-69	0.69	-51	0.51	-53	0.53	-53	0.53	0.03030303	0.000734805	0.025894624
1,3	-71	0.71	-52	0.52	-63	0.63	-71	0.71	-52	0.52	-56	0.56	-57	0.57	0.03030303	0.00083064	0.02927185
1,4	-72	0.72	-52	0.52	-64	0.64	-73	0.73	-45	0.45	-58	0.58	-58	0.58	0.03030303	0.000802404	0.028276817
1,5	-72	0.72	-52	0.52	-65	0.65	-75	0.75	-44	0.44	-59	0.59	-58	0.58	0.03030303	0.000832778	0.029347188
1,6	-70	0.7	-48	0.48	-63	0.63	-77	0.77	-46	0.46	-62	0.62	-62	0.62	0.03030303	0.000873369	0.030777626
1,7	-64	0.64	-44	0.44	-58	0.58	-79	0.79	-50	0.5	-65	0.65	-67	0.67	0.03030303	0.000851397	0.030003316
1,8	-63	0.63	-39	0.39	-55	0.55	-81	0.81	-48	0.48	-66	0.66	-68	0.68	0.03030303	0.000714551	0.025180845
1,9	-62	0.62	-39	0.39	-55	0.55	-82	0.82	-50	0.5	-65	0.65	-68	0.68	0.03030303	0.000730317	0.025736439
1,10	-59	0.59	-34	0.34	-52	0.52	-84	0.84	-53	0.53	-66	0.66	-68	0.68	0.03030303	0.00063158	0.022256949
1,11	-59	0.59	-30	0.3	-50	0.5	-85	0.85	-55	0.55	-65	0.65	-69	0.69	0.03030303	0.000562307	0.019815758
2,1	-78	0.78	-55	0.55	-68	0.68	-67	0.67	-54	0.54	-50	0.5	-56	0.56	0.03030303	0.000895527	0.031558485
2,2	-77	0.77	-55	0.55	-67	0.67	-71	0.71	-53	0.53	-52	0.52	-58	0.58	0.03030303	0.000975843	0.034388808
2,3	-77	0.77	-53	0.53	-66	0.66	-73	0.73	-54	0.54	-55	0.55	-59	0.59	0.03030303	0.001044066	0.036793
2,4	-76	0.76	-55	0.55	-66	0.66	-73	0.73	-52	0.52	-56	0.56	-59	0.59	0.03030303	0.00104851	0.036949606
2,5	-74	0.74	-52	0.52	-65	0.65	-75	0.75	-52	0.52	-58	0.58	-60	0.6	0.03030303	0.001028675	0.036250635
2,6	-73	0.73	-46	0.46	-61	0.61	-76	0.76	-52	0.52	-62	0.62	-65	0.65	0.03030303	0.000988595	0.034838212
2,7	-64	0.64	-43	0.43	-55	0.55	-78	0.78	-56	0.56	-62	0.62	-71	0.71	0.03030303	0.000881921	0.031079007
2,8	-62	0.62	-38	0.38	-54	0.54	-80	0.8	-54	0.54	-63	0.63	-69	0.69	0.03030303	0.000723983	0.02551325
2,9	-61	0.61	-39	0.39	-55	0.55	-82	0.82	-53	0.53	-66	0.66	-68	0.68	0.03030303	0.000773367	0.027253548
2,10	-57	0.57	-38	0.38	-52	0.52	-84	0.84	-53	0.53	-65	0.65	-69	0.69	0.03030303	0.000681499	0.024016115
2,11	-58	0.58	-37	0.37	-50	0.5	-85	0.85	-56	0.56	-68	0.68	-70	0.7	0.03030303	0.000736715	0.02596193
3,1	-79	0.79	-54	0.54	-67	0.67	-71	0.71	-56	0.56	-48	0.48	-56	0.56	0.03030303	0.000925672	0.032620803
3,2	-79	0.79	-56	0.56	-66	0.66	-75	0.75	-56	0.56	-50	0.5	-59	0.59	0.03030303	0.001096267	0.03863258
3,3	-78	0.78	-53	0.53	-65	0.65	-74	0.74	-55	0.55	-51	0.51	-61	0.61	0.03030303	0.001031013	0.036333029
3,4	-78	0.78	-53	0.53	-62	0.62	-74	0.74	-52	0.52	-56	0.56	-61	0.61	0.03030303	0.001020942	0.035978118
3,5	-76	0.76	-52	0.52	-61	0.61	-75	0.75	-53	0.53	-59	0.59	-63	0.63	0.03030303	0.001079351	0.038036436
3,6	-74	0.74	-49	0.49	-59	0.59	-76	0.76	-51	0.51	-59	0.59	-64	0.64	0.03030303	0.000948815	0.033436354
3,7	-70	0.7	-47	0.47	-58	0.58	-78	0.78	-52	0.52	-61	0.61	-66	0.66	0.03030303	0.000944238	0.033275069
3,8	-80	0.8	-43	0.43	-56	0.56	-80	0.8	-54	0.54	-62	0.62	-68	0.68	0.03030303	0.001063205	0.037467453
3,9	-65	0.65	-41	0.41	-54	0.54	-82	0.82	-50	0.5	-62	0.62	-66	0.66	0.03030303	0.000731638	0.025783021
3,10	-63	0.63	-44	0.44	-52	0.52	-84	0.84	-47	0.47	-61	0.61	-68	0.68	0.03030303	0.000715317	0.02520785
3,11	-62	0.62	-43	0.43	-49	0.49	-85	0.85	-50	0.5	-65	0.65	-70	0.7	0.03030303	0.000765495	0.026976146

$$\sum_{i=1}^{33} (P_i(L_i) \cdot P_i(E_i | L_i)) = \mathbf{0.028376754} \quad \mathbf{1}$$

ตารางที่ 5.14 แสดงค่า $P_i(L_i | E_i)$ ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไขหลัง (Posterior Probability) ช่วงสมมติฐานที่ 1,3 ของจุดทดสอบ 1,2 (7 APs)

X,Y	AP2.1		AP2.2		AP2.3		AP2.4		AP2.5		AP2.6		AP2.7		$P_i(L_i)$	$P_i(L_i) \cdot P_i(E_i L_i)$	$P(L_i E_i)$
	RSSI _i	$P_i(e_i L_i)$	RSSI ₂	$P_i(e_2 L_i)$	RSSI ₃	$P_i(e_3 L_i)$	RSSI ₄	$P_i(e_4 L_i)$	RSSI ₅	$P_i(e_5 L_i)$	RSSI ₆	$P_i(e_6 L_i)$	RSSI ₇	$P_i(e_7 L_i)$			
1,1	-76	0.76	-51	0.51	-65	0.65	-69	0.69	-51	0.51	-50	0.5	-53	0.53	0.03030303	0.000711948	0.025216774
1,2	-74	0.74	-51	0.51	-65	0.65	-69	0.69	-51	0.51	-53	0.53	-53	0.53	0.03030303	0.000734805	0.026026365
1,3	-76	0.76	-51	0.51	-64	0.64	-68	0.68	-48	0.48	-50	0.5	-56	0.56	0.03030303	0.000687002	0.024333197
1,4	-72	0.72	-52	0.52	-64	0.64	-73	0.73	-45	0.45	-58	0.58	-58	0.58	0.03030303	0.000802404	0.028420678
1,5	-72	0.72	-52	0.52	-65	0.65	-75	0.75	-44	0.44	-59	0.59	-58	0.58	0.03030303	0.000832778	0.029496494
1,6	-70	0.7	-48	0.48	-63	0.63	-77	0.77	-46	0.46	-62	0.62	-62	0.62	0.03030303	0.000873369	0.030934209
1,7	-64	0.64	-44	0.44	-58	0.58	-79	0.79	-50	0.5	-65	0.65	-67	0.67	0.03030303	0.000851397	0.03015596
1,8	-63	0.63	-39	0.39	-55	0.55	-81	0.81	-48	0.48	-66	0.66	-68	0.68	0.03030303	0.000714551	0.025308955
1,9	-62	0.62	-39	0.39	-55	0.55	-82	0.82	-50	0.5	-65	0.65	-68	0.68	0.03030303	0.000730317	0.025867376
1,10	-59	0.59	-34	0.34	-52	0.52	-84	0.84	-53	0.53	-66	0.66	-68	0.68	0.03030303	0.00063158	0.022370183
1,11	-59	0.59	-30	0.3	-50	0.5	-85	0.85	-55	0.55	-65	0.65	-69	0.69	0.03030303	0.000562307	0.019916572
2,1	-78	0.78	-55	0.55	-68	0.68	-67	0.67	-54	0.54	-50	0.5	-56	0.56	0.03030303	0.000895527	0.031719041
2,2	-77	0.77	-55	0.55	-67	0.67	-71	0.71	-53	0.53	-52	0.52	-58	0.58	0.03030303	0.000975843	0.034563764
2,3	-77	0.77	-53	0.53	-66	0.66	-73	0.73	-54	0.54	-55	0.55	-59	0.59	0.03030303	0.001044066	0.036980187
2,4	-76	0.76	-55	0.55	-66	0.66	-73	0.73	-52	0.52	-56	0.56	-59	0.59	0.03030303	0.00104851	0.03713759
2,5	-74	0.74	-52	0.52	-65	0.65	-75	0.75	-52	0.52	-58	0.58	-60	0.6	0.03030303	0.001028675	0.036435063
2,6	-73	0.73	-46	0.46	-61	0.61	-76	0.76	-52	0.52	-62	0.62	-65	0.65	0.03030303	0.000988595	0.035015454
2,7	-64	0.64	-43	0.43	-55	0.55	-78	0.78	-56	0.56	-62	0.62	-71	0.71	0.03030303	0.000881921	0.031237124
2,8	-62	0.62	-38	0.38	-54	0.54	-80	0.8	-54	0.54	-63	0.63	-69	0.69	0.03030303	0.000723983	0.025643051
2,9	-61	0.61	-39	0.39	-55	0.55	-82	0.82	-53	0.53	-66	0.66	-68	0.68	0.03030303	0.000773367	0.027392203
2,10	-57	0.57	-38	0.38	-52	0.52	-84	0.84	-53	0.53	-65	0.65	-69	0.69	0.03030303	0.000681499	0.024138299
2,11	-58	0.58	-37	0.37	-50	0.5	-85	0.85	-56	0.56	-68	0.68	-70	0.7	0.03030303	0.000736715	0.026094014
3,1	-79	0.79	-54	0.54	-67	0.67	-71	0.71	-56	0.56	-48	0.48	-56	0.56	0.03030303	0.000925672	0.032786764
3,2	-79	0.79	-56	0.56	-66	0.66	-75	0.75	-56	0.56	-50	0.5	-59	0.59	0.03030303	0.001096267	0.038829126
3,3	-78	0.78	-53	0.53	-65	0.65	-74	0.74	-55	0.55	-51	0.51	-61	0.61	0.03030303	0.001031013	0.036517876
3,4	-78	0.78	-53	0.53	-62	0.62	-74	0.74	-52	0.52	-56	0.56	-61	0.61	0.03030303	0.001020942	0.036161159
3,5	-76	0.76	-52	0.52	-61	0.61	-75	0.75	-53	0.53	-59	0.59	-63	0.63	0.03030303	0.001079351	0.038229949
3,6	-74	0.74	-49	0.49	-59	0.59	-76	0.76	-51	0.51	-59	0.59	-64	0.64	0.03030303	0.000948815	0.033606464
3,7	-70	0.7	-47	0.47	-58	0.58	-78	0.78	-52	0.52	-61	0.61	-66	0.66	0.03030303	0.000944238	0.033444358
3,8	-80	0.8	-43	0.43	-56	0.56	-80	0.8	-54	0.54	-62	0.62	-68	0.68	0.03030303	0.001063205	0.037658071
3,9	-65	0.65	-41	0.41	-54	0.54	-82	0.82	-50	0.5	-62	0.62	-66	0.66	0.03030303	0.000731638	0.025914194
3,10	-63	0.63	-44	0.44	-52	0.52	-84	0.84	-47	0.47	-61	0.61	-68	0.68	0.03030303	0.000715317	0.025336097
3,11	-62	0.62	-43	0.43	-49	0.49	-85	0.85	-50	0.5	-65	0.65	-70	0.7	0.03030303	0.000765495	0.027113389

$$\sum_{i=1}^{33} (P_i(L_i) \cdot P_i(E_i | L_i)) = 0.028233115 \quad 1$$

จากตารางที่ 5.13 แสดงให้เห็นถึงวิธีการเรียนรู้แบบเบย์ ซึ่งสมมติฐานจะอาศัยการเรียนรู้ก่อน แสดงไว้ในคอลัมน์ $P(L_i | E_j)$ ซึ่งในแต่ละตำแหน่ง (x,y) จะมีค่าความน่าจะเป็นประจำอยู่ เช่นในตำแหน่งพิกัด 1,3 และ 2,10 จะมีค่าเท่ากับ 0.02927185 และ 0.024016115 ตามลำดับ

ดังนั้นในการทดสอบสมมติฐาน เมื่อทราบค่าสัญญาณคลื่น $RSSI^A$ ใหม่ ที่ตำแหน่งทดสอบ 1,2 เมื่อเข้าสู่ตรรกะของเบย์ ก็จะได้ความน่าจะเป็นมาชุดหนึ่ง $P(L_x | E_x)$ ในแต่ละตำแหน่ง (x,y) เช่นกัน จากนั้นจึงนำค่าแต่ละตำแหน่ง (x,y) มาหาค่าความแตกต่างสัมบูรณ์ $|P(L_i | E_j) - P(L_x | E_x)|$ เนื่องจากต้องการค่าความน่าจะเป็น ทั้งที่น้อยกว่า หรือมากกว่าก็ได้ ที่มีสัดส่วนของความน่าจะเป็น (Partition) ได้ใกล้เคียงกับบรรทัดฐานมากที่สุด ดังแสดงตัวอย่างในการทดสอบสมมติฐาน ของตารางที่ 5.15 ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.15 สรุปสมมติฐานที่น่าจะเป็นจริง เมื่อทดสอบ ที่ตำแหน่ง 1,2 และ 1,5 (7APs)

X,Y	$P(L_i E_j)$	1,2		1,5	
		$P(L_x E_x)$	$ P(L_i E_j) - P(L_x E_x) $	$P(L_x E_x)$	$ P(L_i E_j) - P(L_x E_x) $
1,1	0.025089131	0.024231329	0.000857802	0.029083041	0.00399391
1,2	0.025894624	0.02425088	0.001643744	0.02910639	0.003211766
1,3	0.02927185	0.024333197	0.004938653	0.029204696	6.7154E-05
1,4	0.028276817	0.024308886	0.003967931	0.029175663	0.000898846
1,5	0.029347188	0.02433504	0.005012148	0.029206896	0.000140292
1,6	0.030777626	0.02437008	0.006407546	0.029248741	0.001528885
1,7	0.030003316	0.0243511	0.005652216	0.029226075	0.000777241
1,8	0.025180845	0.024233553	0.000947292	0.029085698	0.003904853
1,9	0.025736439	0.024247038	0.001489401	0.029101802	0.003365363
1,10	0.022256949	0.024162835	0.001905886	0.029001241	0.006744292
1,11	0.019815758	0.024104107	0.004288349	0.028931101	0.009115343
2,1	0.031558485	0.024389251	0.007169234	0.029271634	0.002286851
2,2	0.034388808	0.02445899	0.009929818	0.029354914	0.005033894
2,3	0.036793	0.024518543	0.012274457	0.029426028	0.007366972
2,4	0.036949606	0.024522433	0.012427173	0.029430673	0.007518933
2,5	0.036250635	0.024505083	0.011745552	0.029409955	0.00684068
2,6	0.034838212	0.0244701	0.010368112	0.029368181	0.005470031
2,7	0.031079007	0.024377476	0.006701531	0.029257572	0.001821435
2,8	0.02551325	0.024241619	0.001271631	0.02909533	0.00358208
2,9	0.027253548	0.024283936	0.002969612	0.029051995	0.001798447
2,10	0.024016115	0.024205333	0.000189218	0.029051995	0.00503588
2,11	0.02596193	0.024252515	0.001709415	0.029108343	0.003146413
3,1	0.032620803	0.024415379	0.008205424	0.029302836	0.003317967
3,2	0.03863258	0.024564307	0.014068273	0.029480675	0.009151905
3,3	0.036333029	0.024507127	0.011825902	0.029412396	0.006920633
3,4	0.035978118	0.024498326	0.011479792	0.029401886	0.006576232
3,5	0.038036436	0.024549458	0.013486978	0.029462944	0.008573492
3,6	0.033436354	0.024435477	0.009000877	0.029326836	0.004109518
3,7	0.033275069	0.0244315	0.008843569	0.029322086	0.003952983
3,8	0.037467453	0.024535302	0.012932151	0.02944604	0.008021413
3,9	0.025783021	0.024248169	0.001534852	0.029103153	0.003320132
3,10	0.02520785	0.024234209	0.000973641	0.02908648	0.00387863
3,11	0.026976146	0.024277181	0.002698965	0.029137799	0.002161653
	ML		0.000189218		6.7154E-05
	MAX		0.014068273		
	MIN		0.006150187		

มีข้อสังเกตว่า สมมติฐานความน่าจะเป็นสูงสุดนั้น (h_{map}) ไม่จำเป็นจะต้องเท่ากับความน่าจะเป็นจริงมากที่สุด (h_{ml}) ผลการทดลองทั้งแสดงในตารางที่ 5.16 ถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.16 แสดงสรุปพิกัดคาดการณ์ของวิธีการแบบเบย์ ตั้งแต่ 3 7 APs

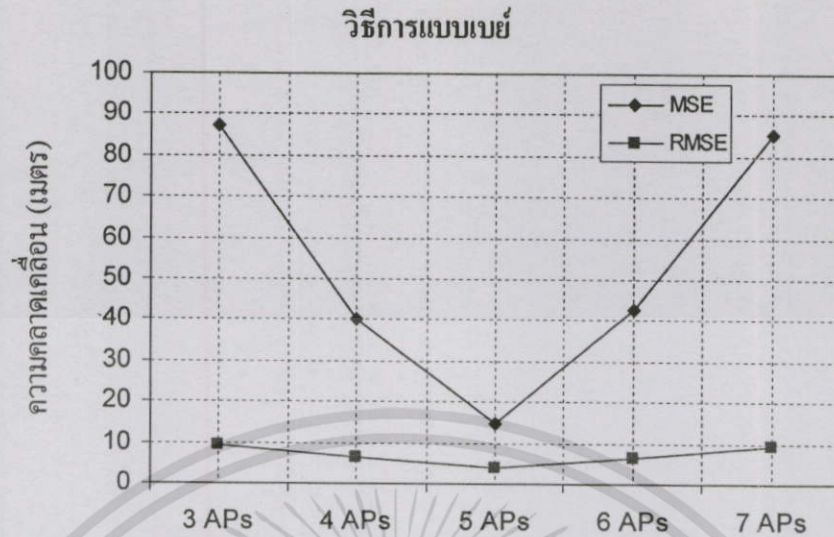
จุดทดสอบ		3 APs		4 APs		5 APs		6 APs		7 APs	
X	Y	X [^]	Y [^]	X [^]	Y [^]	X [^]	Y [^]	X [']	Y [']	X [']	Y [']
1	2	3	10	1	1	1	1	1	1	2	10
1	5	1	8	3	1	1	3	2	8	1	3
1	9	1	10	1	7	2	10	3	11	3	11
2	2	1	2	2	1	3	1	1	9	3	1
2	5	2	11	2	5	1	6	2	6	3	4
2	9	2	3	2	7	2	11	3	7	1	3
3	2	1	10	3	9	3	4	1	6	2	3
3	5	2	7	1	9	3	9	3	5	3	2
3	9	1	1	3	2	2	5	1	4	1	8

จากตารางที่ 5.16 เมื่อนำตำแหน่งคาดการณ์มาคำนวณหาค่าความคลาดเคลื่อน (ϵ) เพื่อดูค่าดัชนี MSE และ RMSE มีหน่วยเป็นเมตร โดยที่ค่าความคลาดเคลื่อนนี้ จะสามารถบอกได้ถึงประสิทธิภาพโดยตรงของวิธีการได้ ดังแสดงในตารางที่ 5.17 ถัดไป

ตารางที่ 5.17 ตารางสรุปค่าความคลาดเคลื่อนของวิธีการแบบเบย์

X,Y	3 APs	4 APs	5 APs	6 APs	7 APs
1,2	200	2	2	2	4
1,5	18	72	8	32	64
1,9	2	8	8	32	64
2,2	2	2	8	128	256
2,5	72	0	8	2	4
2,9	72	8	8	18	36
3,2	200	98	8	72	144
3,5	18	72	32	0	0
3,9	200	98	50	98	196
SUM	784	360	132	384	768
MSE	87.11	40.00	14.67	42.67	85.33
RMSE	9.33	6.32	3.83	6.53	9.24

ในการทำนายตำแหน่งด้วย “วิธีการแบบเบย์ (Bayesian Estimated)” นี้ให้ความแม่นยำได้ไม่ดี และการคำนวณนับว่ามีความยุ่งยากซับซ้อนมาก เพื่อให้ดูง่ายขึ้นจึงนำผลลัพธ์ของตารางที่ 5.17 มาพล็อตเป็นกราฟได้ดังรูปแสดงที่ 5.22 ดังนี้



รูปที่ 5.22 กราฟแสดงผลลัพธ์การทำนาย ของวิธีการแบบเบย์ (Bayesian Estimated)

จากกราฟแสดงที่ 5.22 ผลลัพธ์วิธีการทำนายตำแหน่งแบบเบย์ (Bayesian Estimated) ในเชิงสถิตินี้ ซึ่งเป็นวิธีการเชิงความน่าจะเป็น มีความคลาดเคลื่อน (E) สูงกว่ากลุ่มวิธีการแบบเชิงดีเทอร์มินิสติก ได้แก่ วิธีการ RADAR(k -NN), วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ (Geometry clustering), วิธีการแอลแอลอาร์ (LLR) อยู่มาก ผลสรุปของแต่ละวิธีการจะได้นำสรุปเป็นข้อเสนอแนะในบทถัดไป

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

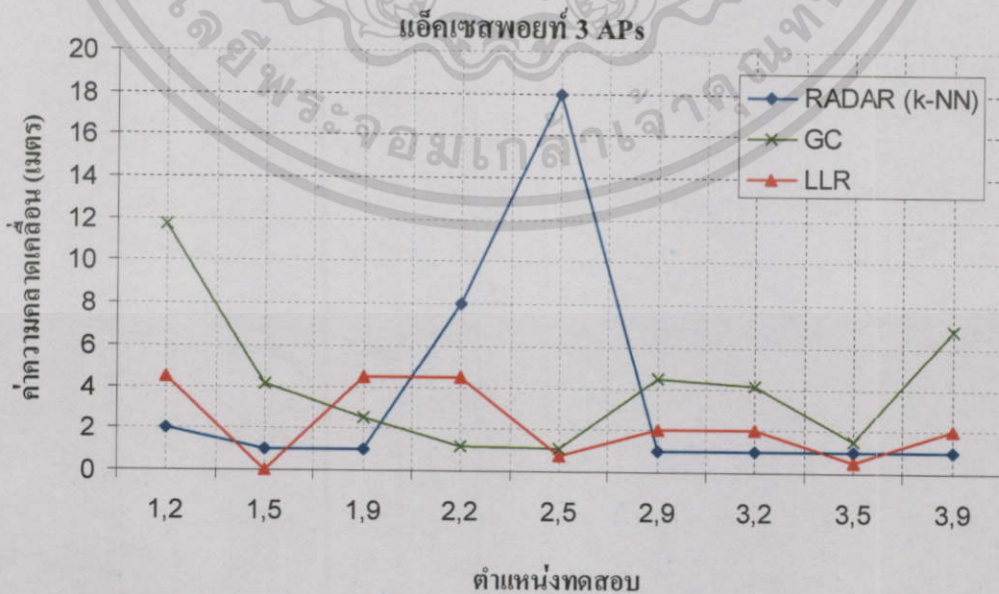
ในบทนี้ จะนำเสนอการสรุปผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการต่างๆ ได้ดังนี้

6.1 ความคลาดเคลื่อน (ϵ) ของวิธีการต่าง ๆ

ตารางที่ 6.1 แสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน (ϵ) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 3 APs

X,Y	RADAR (k-NN)	GC	BAYE	LLR
1,2	2	11.761	200	4.5
1,5	1	4.133	18	0
1,9	1	2.531	2	4.5
2,2	8	1.221	2	4.5
2,5	18	1.125	72	0.78125
2,9	1	4.500	72	2
3,2	1	4.133	200	2
3,5	1	1.531	18	0.5
3,9	1	6.799	200	2
SUM	34	37.734	784.00	20.781
MSE	3.778	4.193	87.11	2.309
RMSE	1.944	2.048	9.33	1.520

เพื่อให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จากผลการทดลองในตารางที่ 6.1 เมื่อนำไปพล็อตจะได้รูปกราฟดังรูปที่ 6.1 ซึ่งเป็นผลลัพธ์ เมื่อใช้แอ็กเซสพอยท์ (APs) จำนวน 3 APs แต่เนื่องจากวิธีการแบบเบย์มีความคลาดเคลื่อนออกไปนอกกลุ่มมาก จึงขอให้พิจารณาผลเชิงตัวเลขในตารางที่ 6.1



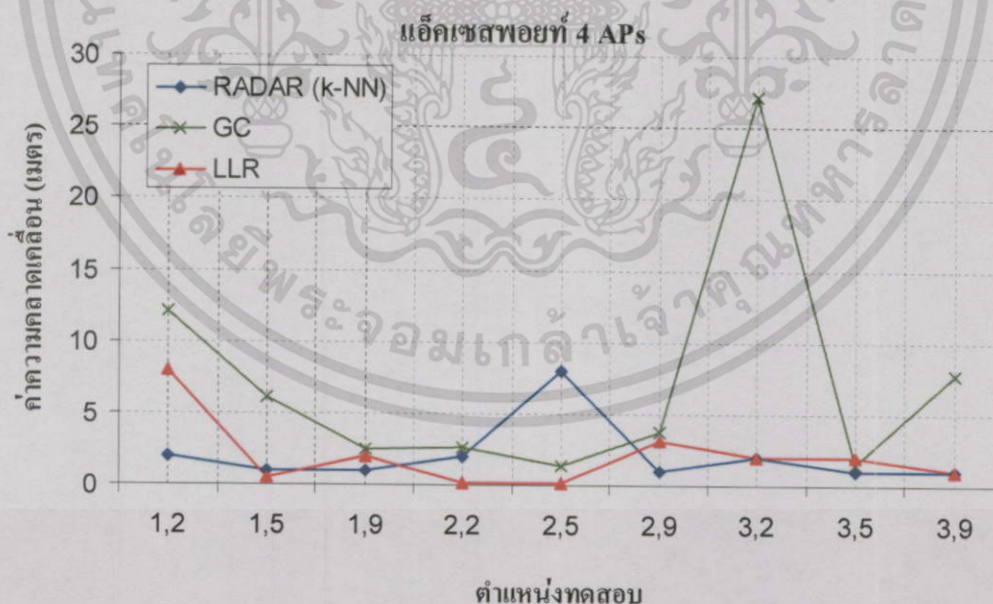
รูปที่ 6.1 กราฟแสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน (ϵ) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 3 APs

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ที่วางขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออยู่ใต้เงื่อนไขเว็บไซต์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.2 แสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน (ϵ) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 4 APs

X,Y	RADAR (k-NN)	GC	BAYE	LLR
1,2	2	12.128	2	8
1,5	1	6.081	72	0.5
1,9	1	2.531	8	2
2,2	2	2.674	2	0.125
2,5	8	1.320	0	0.125
2,9	1	3.781	8	3.125
3,2	2	27.195	98	2
3,5	1	1.531	72	2
3,9	1	7.752	98	1
SUM	19	64.994	360.00	18.875
MSE	2.111	7.222	40.00	2.097
RMSE	1.453	2.687	6.32	1.448

เพื่อให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จากผลการทดลองในตารางที่ 6.2 เมื่อนำไปวาดจะได้อุปกราฟแสดงดังรูปที่ 6.2 ซึ่งเป็นผลลัพธ์เมื่อใช้แอ็กเซสพอยท์ (APs) จำนวน 4 APs แต่เนื่องจากวิธีการแบบเบย์มีความคลาดเคลื่อน (ϵ) ออกไปนอกกลุ่มมาก จึงแสดงกราฟเฉพาะในกลุ่มวิธีการเชิงดีเทอร์มินิสติก ได้แก่ วิธีการ RADAR(k-NN), วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ (Geometry clustering), วิธีการแอลแอลอาร์(LLR) ที่มีเสถียรความแม่นยำใกล้เคียงกัน ส่วนวิธีการแบบเบย์(Bayesian Estimated) ให้พิจารณาเชิงตัวเลขได้จากตารางที่ 6.2



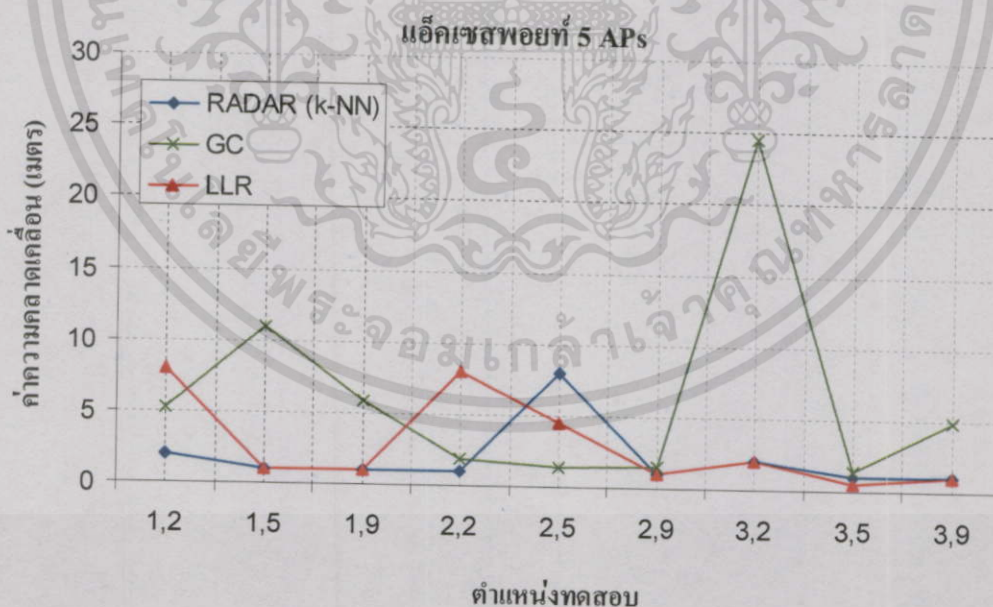
รูปที่ 6.2 กราฟแสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน(ϵ) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 4 APs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.3 แสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน (ε) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 5 APs

X,Y	RADAR (k-NN)	GC	BAYE	LLR
1,2	2	5.241	2	8
1,5	1	10.986	8	1
1,9	1	5.908	8	1
2,2	1	1.872	8	8
2,5	8	1.320	8	4.5
2,9	1	1.531	8	1
3,2	2	24.500	8	2
3,5	1	1.320	32	0.5
3,9	1	4.883	50	1
SUM	18	57.562	132.00	27.000
MSE	2.000	6.396	14.67	3.000
RMSE	1.414	2.529	3.83	1.732

เพื่อให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จากผลการทดลองในตารางที่ 6.3 เมื่อนำไปวาดจะได้รูปกราฟแสดงดังรูปที่ 6.3 ซึ่งเป็นผลลัพธ์เมื่อใช้แอ็คเซสพอยท์ (APs) จำนวน 5 APs แต่เนื่องจากวิธีการแบบเบย์มีความคลาดเคลื่อน (ε) ออกไปนอกกลุ่มมาก จึงแสดงกราฟเฉพาะในกลุ่มวิธีการเชิงดีเทอร์มินิสติก ได้แก่ วิธีการ RADAR(k-NN), วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ (Geometry clustering), วิธีการแอลแอลอาร์(LLR) ที่มีสเกลความแม่นยำใกล้เคียงกัน ส่วนวิธีการแบบเบย์(Bayesian Estimated) ให้พิจารณาเชิงตัวเลขได้จากตารางที่ 6.3

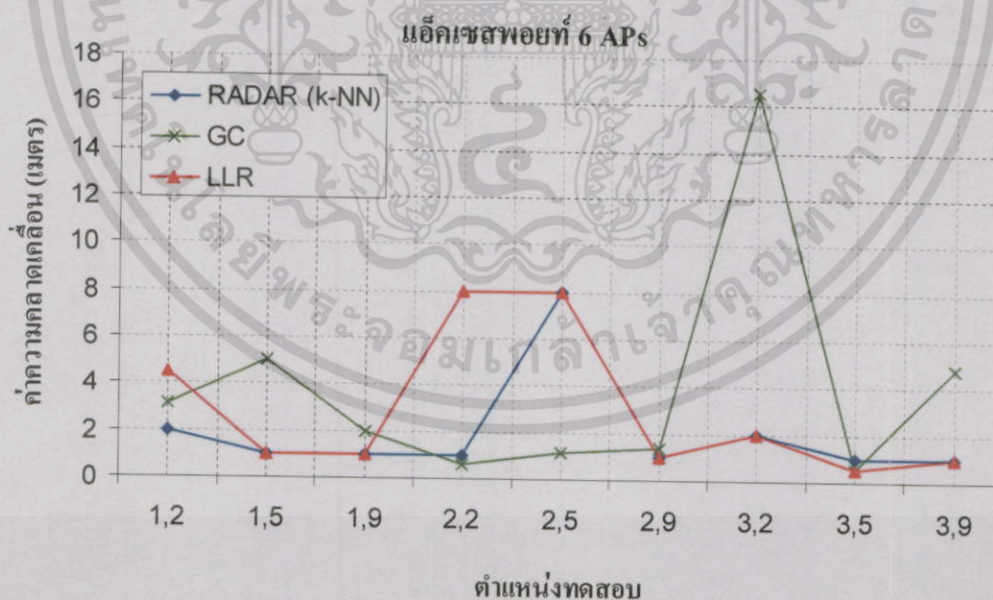


รูปที่ 6.3 กราฟแสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน(ε) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 5 APs

ตารางที่ 6.4 แสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน (ϵ) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 6 APs

X,Y	RADAR (k-NN)	GC	BAYE	LLR
1,2	2	3.094	2	4.5
1,5	1	4.981	32	1
1,9	1	2.000	32	1
2,2	1	0.598	128	8
2,5	8	1.172	2	8
2,9	1	1.372	18	1
3,2	2	16.531	72	2
3,5	1	0.564	0	0.5
3,9	1	4.786	98	1
SUM	18	35.098	384.00	27
MSE	2	3.900	42.67	3
RMSE	1.414	1.975	6.53	1.732

เพื่อให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จากผลการทดลองในตารางที่ 6.4 เมื่อนำไปวาดจะได้รูปกราฟแสดงดังรูปที่ 6.4 ซึ่งเป็นผลลัพธ์เมื่อใช้แอ็คเซสพอยท์ (APs) จำนวน 6 APs แต่เนื่องจากวิธีการแบบเบย์มีความคลาดเคลื่อน (ϵ) ออกไปนอกกลุ่มมาก จึงแสดงกราฟเฉพาะในกลุ่มวิธีการเชิงดีเทอร์มินิสติก ได้แก่ วิธีการ RADAR(k-NN), วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ (Geometry clustering), วิธีการแอลแอลอาร์(LLR) ที่มีเสถียรภาพแน่นอนใกล้เคียงกัน ส่วนวิธีการแบบเบย์(Bayesian Estimated) ให้พิจารณาเชิงตัวเลขได้จากตารางที่ 6.4

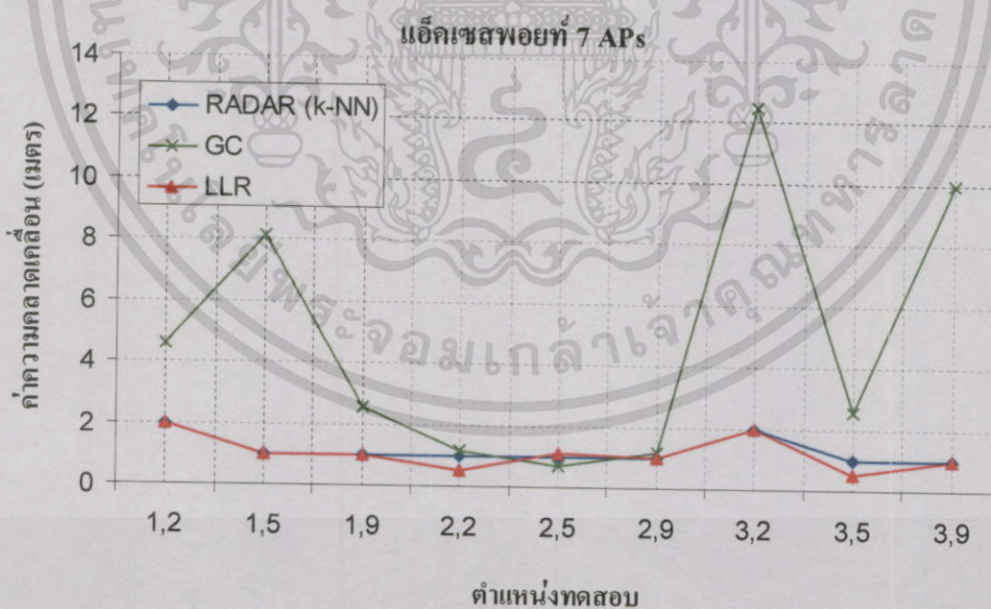


รูปที่ 6.4 กราฟแสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน(ϵ) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 6 APs

ตารางที่ 6.5 แสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน (ϵ) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 7 APs

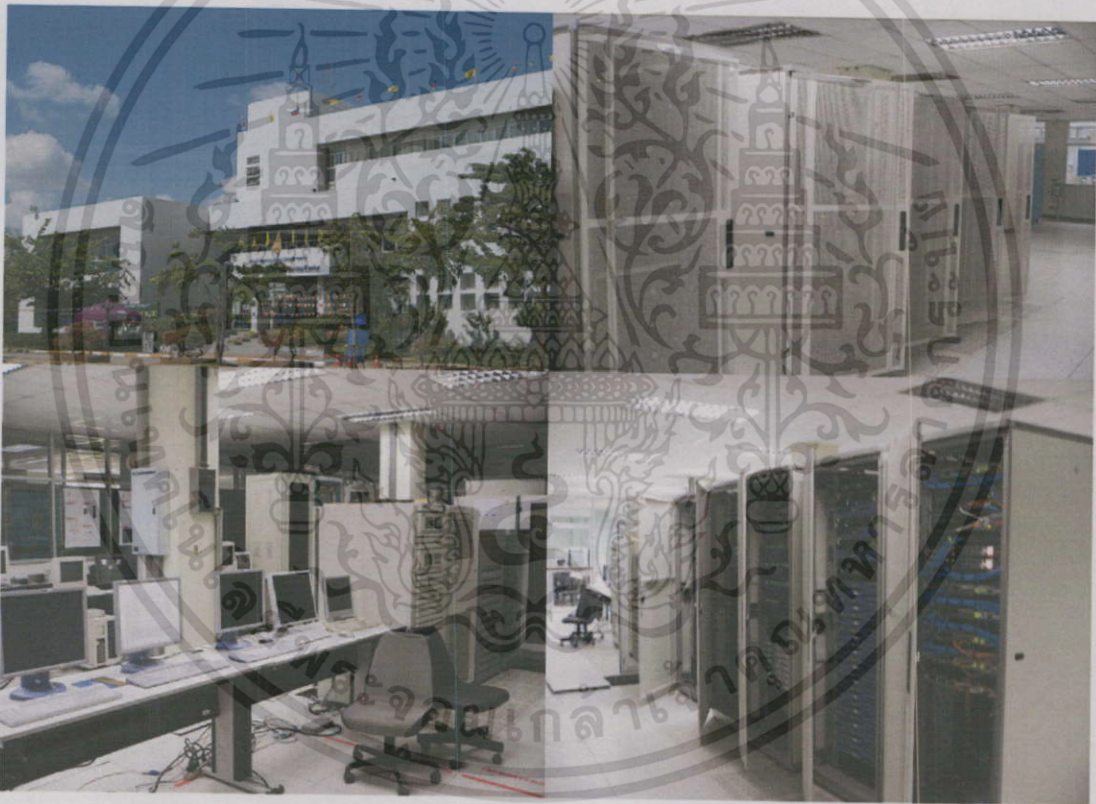
X,Y	RADAR (k-NN)	GC	BAYE	LLR
1,2	2	4.575	9.150625	2
1,5	1	8.125	16.25097656	1
1,9	1	2.531	5.0625	1
2,2	1	1.172	2.344726562	0.5
2,5	1	0.668	1.336914062	1.125
2,9	1	1.172	2.344726562	1
3,2	2	12.500	25	2
3,5	1	2.531	5.0625	0.5
3,9	1	9.985	19.96972656	1
SUM	11	43.261	86.52	10.125
MSE	1.222	4.807	9.61	1.125
RMSE	1.106	2.192	3.10	1.061

เพื่อให้ชัดเจนยิ่งขึ้น จากผลการทดลองในตารางที่ 6.5 เมื่อนำไปวาดจะได้รูปกราฟแสดงดังรูปที่ 6.5 ซึ่งเป็นผลลัพธ์เมื่อใช้แอ็กเซสพอยท์ (APs) จำนวน 7 APs แต่เนื่องจากวิธีการแบบเบย์มีความคลาดเคลื่อน (ϵ) ออกไปนอกกลุ่มมาก จึงแสดงกราฟเฉพาะในกลุ่มวิธีการเชิงดีเทอร์มินิสติก ได้แก่ วิธีการ RADAR(k-NN), วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ (Geometry clustering), วิธีการแอลแอลอาร์(LLR) ที่มีสเกลความแม่นยำใกล้เคียงกัน ส่วนวิธีการแบบเบย์ (Bayesian Estimated) ให้พิจารณาเชิงตัวเลขได้จากตารางที่ 6.5



รูปที่ 6.5 กราฟแสดงค่าวัดความคลาดเคลื่อน(ϵ) ของวิธีการต่างๆ เมื่อใช้ 7 APs

จากตารางที่ 6.1 ถึง 6.5 แสดงให้เห็นว่า “วิธีการแอลแอลอาร์ (LLR)” ที่นำเสนอ มีความแม่นยำเทียบเท่ากับ “วิธีการ RADAR(k-NN)” ส่วน “วิธีการแบบเบย์ (Bayesian Estimated)” จะให้ผลลัพธ์ความคลาดเคลื่อน (ϵ) มากที่สุด เนื่องจากว่าบรรทัดฐาน(Criteria) ที่นำมาใช้นั้นสูงมากกว่าวิธีการในกลุ่มเชิงดีเทอร์มินิสติก เนื่องจากการเกิดเหตุการณ์แบบสุ่ม ดังนั้นจึงต้องใช้ค่าความแรงสัญญาณคลื่น RSSI ตั้งแต่ 0 ถึง -100 dBm ในการเปลี่ยนรูปให้อยู่ในความน่าจะเป็น ส่วนในบางตำแหน่งที่ทดสอบ (x, y) เช่นในตรงกลางของห้อง Server Farm อาจจะมีค่าความคลาดเคลื่อนมาก (ϵ) สาเหตุเนื่องมาจากเป็นตำแหน่งที่มีเซอร์เวอร์ขนาดใหญ่คับบังสัญญาณ ดังรูปแสดงที่ 6.6 เพราะเป็นการทดสอบในพื้นที่จริง ไม่ได้จัดสภาพแวดล้อมให้อึดต่อการทำงาน ซึ่งเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้ ที่ต้องการจะค้นหาวิธีการทำนายตำแหน่งที่จะสามารถปฏิบัติการได้จริง ในสภาพแวดล้อมของพื้นที่จริง จึงไม่ได้กราฟตามอุดมคติ



รูปที่ 6.6 พื้นที่ทดสอบห้อง Server Farm 213 อาคารสำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

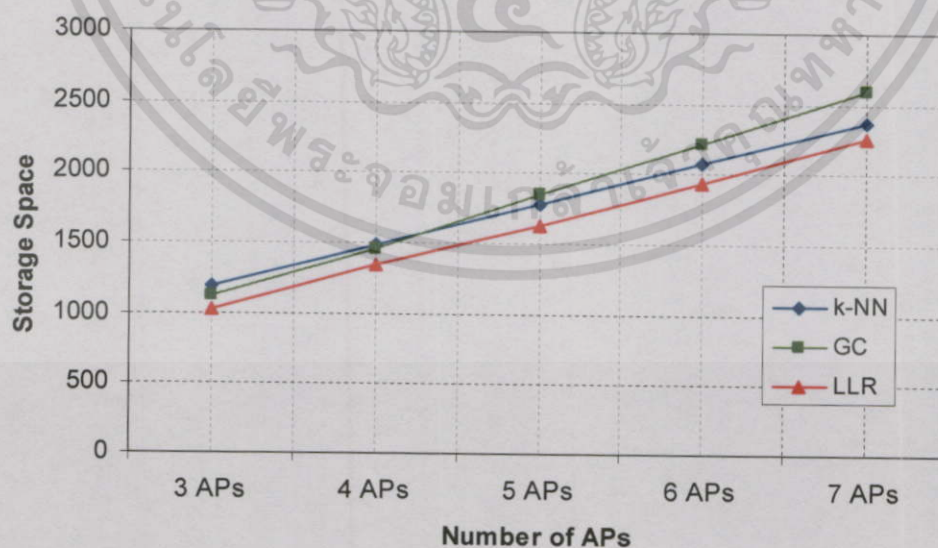
6.2 การใช้พื้นที่จัดเก็บตัวแปรการสังเกต (Storage Space Observation)

นอกจากการเปรียบเทียบด้วยค่าความคลาดเคลื่อนโดยตรงด้วยค่า MSE และ RMSE แล้ว การใช้จำนวนพื้นที่ในการจัดเก็บตัวแปรการสังเกต (Storage Space Observation) ในเมทริกซ์สังเกตการณ์ (Matrix Observation) บนสัญญาณ RSSI ที่แต่ละวิธีการใช้งานไปในการทดลองครั้งนี้ ก็จะสามารถพิจารณาถึงประสิทธิภาพของวิธีการต่างๆ ประกอบกับค่าความคลาดเคลื่อน (ϵ) ได้ด้วย ซึ่งในตารางที่ 6.6 ได้สรุปไว้ดังนี้

ตารางที่ 6.6 สรุปการใช้จำนวนพื้นที่ จัดเก็บตัวแปรการสังเกต (Storage Space Observation)

Number of AP	RADAR(k -NN)	GC	LLR	Baye
3 APs	1188	1125	1019	89712
4 APs	1485	1464	1346	109314
5 APs	1782	1848	1626	128916
6 APs	2079	2212	1935	148518
7 APs	2376	2592	2254	168120

จากตารางที่ 6.6 เมื่อนำมาสรุปแสดงเป็นกราฟ รูปที่ 6.7 จะเห็นได้ว่าเส้นสีแดงที่แทน “วิธีการแอลแอลอาร์ (LLR)” ที่นำเสนอ จะใช้พื้นที่ในดาต้าเบสน้อยกว่าวิธีการอื่นๆ ดังนั้นในการค้นหาข้อมูล ก็จะทำได้รวดเร็วกว่าเช่นเดียวกัน ส่วน “วิธีการแบบเบย์ (Bayesian Estimated)” ซึ่งเป็นวิธีการในเชิงความน่าจะเป็น จะใช้มากกว่าวิธีการอื่นๆ ค่อนข้างจะมาก เมื่อนำพล็อตด้วยกัน สเตลจะอยู่ห่างกันกับกลุ่มวิธีการเชิงคณิตศาสตร์อยู่มาก จึงขอให้อ่านเชิงตัวเลขประกอบได้ในตารางที่ 6.6



รูปที่ 6.7 กราฟแสดงการใช้จำนวนพื้นที่ จัดเก็บตัวแปรสังเกตการณ์

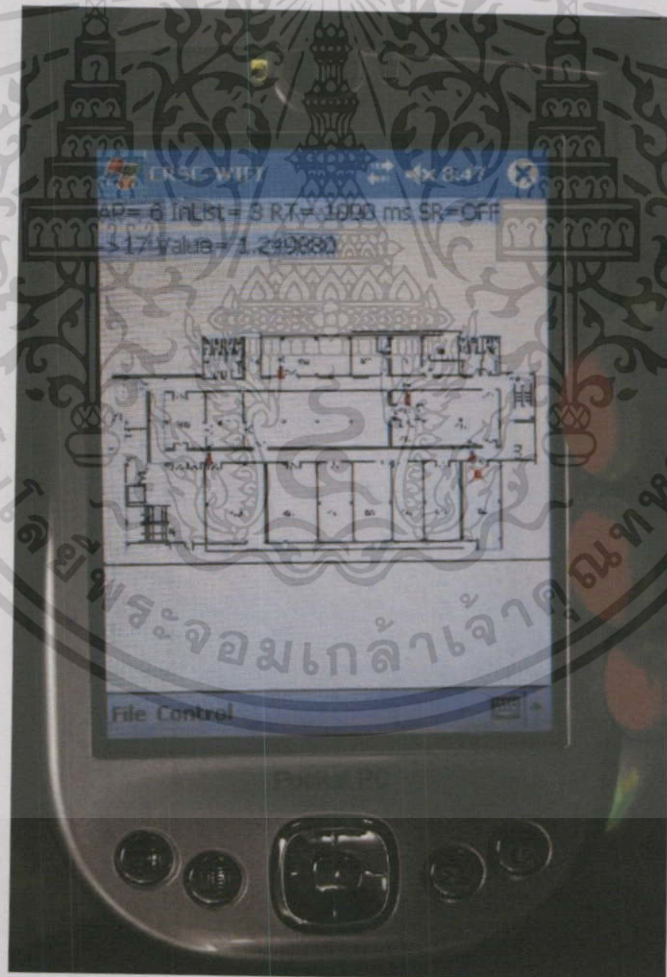
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.3 สรุปภาพรวม ข้อดี ข้อเสีย และเทคนิคของวิธีการต่างๆ

สำหรับวิธีการแอลแอลอาร์ (LLR) ที่นำเสนอ หลักการและผลการทดลองไปแล้วนั้น จัดเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพดี สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการทำนายตำแหน่งของเครื่องลูกข่าย (WLAN's Client) ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ไร้สาย (WLAN) ได้ดี

ส่วนการประยุกต์ใช้งานในการทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่าย (WLAN's Client) ตัวอย่างได้ทำโดยใช้เครื่อง PocketPC โปรแกรมด้วยภาษา Visual C++. ภายใต้การทำงาน Microsoft® Windows® Driver Development Kit (DDK) อ่านค่าความแรงของสัญญาณ RSSI มาทำการประมวลผลตามวิธีการที่นำเสนอ

สำหรับเฟสการติดตามเครื่องลูกข่าย หรือ "Tracking System" กำลังอยู่ระหว่างการจัดหางบประมาณฮาร์ดแวร์ ที่สามารถเคลื่อนที่ได้ ด้วยความเร็วระดับต่าง ๆ ส่วนสรุปภาพรวม ข้อดี ข้อเสีย และเทคนิคของวิธีการต่างๆ จะได้นำเสนอไว้ในตารางที่ 6.7 สุดท้ายถัดไป



รูปที่ 6.8 แสดงตัวอย่าง PDA ที่ประยุกต์ใช้งานของการทำนายตำแหน่งเครื่องลูกข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6.7 สรุปภาพรวม ข้อดี ข้อเสียและเทคนิค ของวิธีการต่างๆ

วิธีการ	RADAR(k -NN)	Geometry Clustering (GC)	Bayesian Estimated	Log-Likelihood (LLR)
เทคนิค Pattern Matching	<ul style="list-style-type: none"> ใช้ฟังก์ชันร่วม Euclidean Distance เทคนิคคือการเรียงข้อมูล เพื่อค้นหาค่ายูคลิดีเนียนที่ต่ำที่สุด อนึ่งวิธีการ RADAR(k-NN) นี้กรณินำไปใช้ในเป็นแบบ Template matching ต้องเลือกใช้ Majority Vote แทน 	<ul style="list-style-type: none"> ใช้ฟังก์ชัน Euclidean Distance แยกแต่ละคลาสกับการประมาณค่าในช่วง (Interpolation) ทางกายภาพ (x, y) ตามพิกัดตำแหน่งของพื้นที่ 	<ul style="list-style-type: none"> สมมติข้อมูลตัวอย่าง ให้ไปอยู่ในรูปแบบของการแจกแจงความน่าจะเป็นร่วม (Join Probability) ในแบบของเบย์ (Baye's Theorem) โดยใช้ฟังก์ชัน Maximum Likelihood:ML ในการคัดแยกข้อมูล เพื่อเลือกพิกัดที่จะคาดการณ์ 	<ul style="list-style-type: none"> มีการใช้ฟังก์ชัน Euclidean Distance ที่แยกแต่ละคลาสกับการใช้ความสัมพันธ์ค่าระยะห่างของพิกัด (x, y) เป็นค่าขีดเริ่ม (Threshold level) ของแต่ละคลาส โดยใช้ฟังก์ชัน LLR (Log-Likelihood Ratio) ที่จะทำการเปรียบเทียบค่าในการตัดสินใจเลือกพิกัด (x, y)
ข้อดี	<ul style="list-style-type: none"> มีหลักการที่เข้าใจง่าย เพราะทำการคาดการณ์จากตัวอย่างโดยตรง ทำให้ง่ายต่อการนำไปใช้งาน เหมาะกับข้อมูลที่มีไม่มาก 	<ul style="list-style-type: none"> มีการกระจายค่ายูคลิดีเนียนของแต่ละคลาส ทำให้การตัดสินใจ ไปอิงกับข้อมูลพื้นที่ (x, y) มากขึ้น (Soft neighborhoods) แก้ปัญหาความสมมูลของตัวเลขได้ 	<ul style="list-style-type: none"> ใช้กับข้อมูลที่มีคุณลักษณะ (attributes) ได้หลากหลายกว่า แม้ว่าจะคุณลักษณะที่ไม่เป็นตัวเลข ก็สามารถทำการสมมติให้มาอยู่รูปแบบของค่าความน่าจะเป็นได้ 	<ul style="list-style-type: none"> มีการแยกค่ายูคลิดีเนียนของแต่ละคลาสออก เหมือนกับวิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ (Geometry Clustering) ทำให้การตัดสินใจอิงกับพื้นที่เป็นจริง

ตารางที่ 6.7 (ต่อ)

วิธีการ	RADAR(k -NN)	Geometry Clustering (GC)	Bayesian Estimated	Log-Likelihood (LLR)
<p>ข้อดี (ต่อ)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■ ใช้กับข้อมูลตัวอย่างที่เกิดซ้ำๆ จึงจะให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้อง แม่นยำ 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ไม่พบปัญหาการคาดการณ์พิกัด (x, y) กรณีที่มีค่ายูคลิเดียน เกิดตรงกัน เนื่องจากความสมมูลของตัวเลข ที่พบในวิธีการ RADAR(k-NN) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ กรณีมีข้อมูลใหม่ๆ เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ ในการคาดการณ์ จะทำได้ถูกต้องมากยิ่งขึ้น เนื่องจาก มีค่าความน่าจะเป็นที่สอดคล้องกับความจริงมากขึ้น ■ โดยหลักการสามารถใช้กับข้อมูลที่มีจำนวนมากได้ 	<ul style="list-style-type: none"> ■ การใช้เทคนิคการตัดสินใจด้วยฟังก์ชันแอลแอลอาร์ (LLR) ที่มีการเปรียบเทียบค่าขีดเริ่ม (Threshold level) เชนแปรผันได้ วิธีการนี้จึงมีการปรับตัวมากกว่า จึงใช้งานได้กว้างกว่ามากกว่าวิธีการอื่นๆ ■ การใช้ที่จัดเก็บตัวแปรสังเกตการณ์ (Storage Space Observation) ในเมทริกซ์สังเกตการณ์ (Matrix Observation) จะใช้จำนวนน้อยที่สุด ดังกราฟรูปที่ 6.7 แสดงไว้

ตารางที่ 6.7 (ต่อ)

วิธีการ	RADAR(k -NN)	Geometry Clustering (GC)	Bayesian Estimated	Log-Likelihood (LLR)
ข้อเสีย	<ul style="list-style-type: none"> ■ ไม่เหมาะ สำหรับกรณีที่มีตัวอย่างใหม่ๆ เกิดขึ้นอยู่บ่อยๆ เพราะข้อมูลใหม่ที่เพิ่มขึ้น มีโอกาสที่ข้อมูลใหม่จะออกไปจากข้อมูลตัวอย่าง เรียกปัญหานี้ว่า ข้อมูลตัวอย่างจำกัดเกินไป (Over Fitting) ■ กรณี ใช้ข้อมูลที่มีหลายคุณลักษณะ (Attributes) เช่นค่าของน้ำหนัก หรือ ส่วนสูง โดยที่ค่าของคุณลักษณะแตกต่างกันมากค่าหนึ่งอาจจะมีการขึ้นนำ การทำนายให้ไม่ถูกต้องได้ 	<ul style="list-style-type: none"> ■ ไม่เหมาะ สำหรับกรณีที่มีตัวอย่างใหม่ๆ เกิดขึ้นอยู่บ่อยๆ ซึ่งมีผลลัพธ์ที่ไม่ดี เช่นเดียวกับกับ วิธีการ RADAR (k-NN) มีโอกาสที่ข้อมูลใหม่จะออกไปจากข้อมูลตัวอย่าง เรียกปัญหานี้ว่า ข้อมูลตัวอย่างจำกัดเกินไป (Over Fitting) ■ ใช้กับข้อมูลที่มีคุณลักษณะ (Attributes) เป็นตัวเลข 	<ul style="list-style-type: none"> ■ มีขั้นตอนที่ยุ่งยาก ในการนำค่าคุณลักษณะไปปรับให้อยู่ในรูปแบบของค่าความน่าจะเป็น เนื่องจากไม่ได้คาดการณ์จากข้อมูลตัวอย่างโดยตรง เหมือน . วิธีการ RADAR(k-NN), วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ (Geometry Clustering) และวิธีการแอลแอลอาร์ (LLR) 	<ul style="list-style-type: none"> ■ มีปัญหา ที่ข้อมูลตัวอย่างจำกัดเกินไป (Over Fitting) เช่นเดียวกับ วิธีการ RADAR (k-NN) และ วิธีการเรขาคณิตคลัสเตอร์ (Geometry Clustering) ที่มีการคาดการณ์จากข้อมูลตัวอย่างโดยตรง โอกาสที่ข้อมูลใหม่จะออกไปจากข้อมูลตัวอย่าง ■ ใช้กับข้อมูลที่มีคุณลักษณะ (Attributes) เป็นตัวเลข

บรรณานุกรม

- [1] P.Bahl and V.N. Padmanabhan, **“RADAR: An In-Building RF-Based User Location and tracking System,”** In IEEE Infocom 2000, volume 2 , pp. 775-784, March 2000
- [2] P. Sungkhachan and P. Supnithi, **“A Cluster-Based Geometric approach to WLAN location Determination systems,”** “Proceedings of the IASTED International Conference on Networks and Communication Systems”, Chiang Mai, Thailand, March 2006
- [3] M.A Youssef, A. Agrawala and A. Udaya Shankar, **“WLAN Location Determination via Clustering and Probability Distributions,”** IEEE International Conference Pervasive Computing and Communications (PerCom) 2003, pp.143-150, 23-26, Fort Wort, Texas, USA, March 2003
- [4] K. Kaemarungsi and P. Krishnamurthy, **“Modeling of Indoor Positioning Systems Based on Location Fingerprinting,”** IEEE INFOCOM 2004 Int. symp. The 23rd Conference of the IEEE Communications Society, Hong Kong, March 2004.
- [5] S. Chantanetra, M. Sangworasil and P. Phasukkit, **“WLAN Location Determination Systems by Using LLR and Geometry Cluster Algorithms,”** The 21th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers & Communications (ITC-CSCC 2006), Proc. Vol.1 pp.441-444, Chiang Mai, Thailand, July 2006
- [6] S. Chantanetra, M. Sangworasil, and P. Phasukkit, **“WLAN Location Determination Systems,”** Proc. APCCAS2006 IEEE Int. Symp. Asia Pacific Conference on Circuits and Systems, pp. 1323-1326, Singapore, December 2006.
- [7] S. Chantanetra, K. Yawichai and M. Sangworasil, **“Bayesian Estimated in WLAN Location,”** Proc. JICT2007 Conf. Int. Joint International Conference on Information Communication Technology, pp. 260-264, Donchan Palace Hotel, Vientiane, Lao PDR, December 2007
- [8] D. Madigan, E. Einahrawy, R.P Martin, W.H Ju, P. Krishnan, and A.S krishnakumar, **“Bayesian Indoor Positioning System,”** IEEE infocom 2005, vol.2, pp. 1217-1227, Miami, FL, March 2005
- [9] R. Want, A. Hopper, V. Falcao and J. Gibbons, **“The Active Badge Location System,”** ACM Transactions on Information Systems, Vol. 40, No. 1, pp. 91-102, January 1992.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] A. Harter, A. Hopper, P. Steggles, A. Ward and P. Webster, **"The Anatomy of a Context-Aware Application,"** Proc. the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (Mobicom '99), Seattle, WA, USA, August 1999.
- [11] N. Priyantha, A. Chakraborty, and H. Balakrishnan, **"The Cricket Location-Support System,"** Proc. 6th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (ACM MOBICOM), Boston, MA, August 2000.
- [12] J. Wolf, W. Burgard, and H. Burkhardt, **"Robust vision-based localization for mobile robots using an image retrieval system based on invariant features,"** Proceedings of the 2002 IEEE International Conference on Robotics & Automation, Washington DC USA, May 2002
- [13] P. Castro, P. Chiu, T. Kremenek, and R. Muntz, **"A Probabilistic Location Service for Wireless Network Environments,"** Ubiquitous Computing, September 2001
- [14] T. Roos, P. Myllymaki, H. Tirri, P. Misikangas, and J. Sievanen, **"A probabilistic approach to wlan user location estimation,"** International Journal of Wireless Information Networks, vol. 9, no. 3, pp. 155-164, July 2002.
- [15] S. Chantanetra and S. Noppanakeepong, **"Mobile Positioning Location Using E-OTD Method For GSM Network,"** Proceedings Student Conference on Research and Development (SCORED), University Putra, Putrajaya, Malaysia, April 2003
- [16] R. Olexa, **"Implementing 802.11, 802.16, and 802.20 Wireless Networks,"** Elsevier Gainesville, GA, USA
- [17] A. Goldsmith, **"WIRELESS COMMUNICATIONS,"** Cambridge University Press., Cambridge, London, England, 2005
- [18] R. Flickenger, **"Wireless Networking in the Developing World,"** First edition, Limehouse Book Sprint, January, 2006
- [19] E. Alpaydin, **"Introduction to Machine Learning,"** The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England, 2005
- [20] จตุชัย แวงจันทร์ และอนุชิต วุฒิพรพงษ์, **"เจาะระบบ Network ฉบับสมบูรณ์,"** อินโฟเพรส, กรุงเทพฯ, 2546
- [21] อานาจ มิมงคล และ อรรณพ ชันธิกุล, **"ออกแบบและติดตั้งเครือข่าย Wireless LAN" อินโฟเพรส, กรุงเทพฯ, 2005**
- [22] สายชล สีนสมบูรณ์ทอง, **"ความน่าจะเป็นสำหรับวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์,"**

โครงการตำรา คณะวิทยาศาสตร์ สจล. กรุงเทพฯ, 2546.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ประโยชน์ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [23] ศันสนีย์ สุภาภา, "ความน่าจะเป็นและสถิติประยุกต์สำหรับวิศวกร (Applied probability and statistics for engineers)," ฟิสิกส์เซ็นเตอร์, กรุงเทพฯ, 2539
- [24] ปราโมท เชระ, "ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม," จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย(สพจ.), กรุงเทพฯ, 2546

Internet knowledge base

- [25] RADAR Microsoft Research,
URL: <http://research.microsoft.com>
- [26] MIT Cricket System:
URL: <http://cricket.csail.mit.edu>
- [27] Kisnet Software,
URL: <http://www.kismetwireless.net>
- [28] NetStumbler Software,
URL: <http://www.netstumbler.org>
- [29] Ekahau Inc,
URL: <http://www.ekahau.com>
- [30] Placelab Software,
URL: <http://www.placelab.com>
- [31] AirMagnet Software,
URL: <http://www.airmagnet.com>
- [32] k -NN Tutorial,
URL:
 - http://cs.hbg.psu.edu/~ding/publications/PAKDD02_KNN.pdf
 - <http://www.cs.tufts.edu/~emower/KNN.html>
- [33] Baye's theorem,
URL:
 - http://www.wikipedia.org/wiki/Naive_Bayesian_classification
 - http://www.dmg.org/pmmmspecs_v2/NaiveBayes.html
 - <http://www.cs.iastate.edu/~patterbj/cs572/algs/naive.html>
- [34] แนะนำ MIT OpenCourse,
URL: <http://mit-ocw-thai.eng.chula.ac.th/OcwWeb/index.htm>
- [35] แนะนำ KMITL OpenCourse,
URL: <http://lcms.kmitl.ac.th>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

- [1] S. Chantanetra, K. Yawichai, and M. Sangworasil, “**Bayesian Estimated in WLAN Location,**” Proc. JICT2007 Conf. Int. Joint International Conference on Information Communication Technology, Donchan Palace Hotel, Vientiane, Lao PDR, pp. 260-264, 19-22 December 2007.
- [2] S. Chantanetra, M. Sangworasil, and P. Phasukkit, “**WLAN Location Determination Systems,**” Proc. APCCAS2006 IEEE Int. Symp. Asia Pacific Conference on Circuits and Systems, Singapore, pp. 1323-1326, 4-7 December 2006.
- [3] S. Chantanetra, M. Sangworasil and P. Phasukkit “**WLAN Location Determination Systems by Using LLR and Geometry Cluster Algorithms,**” The 21th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers & Communications(ITC-CSCC 2006), 10-13 July, Chiang Mai, Thailand, 2006

ประวัติผู้เขียน

นายสุนทร จันทะเนตร บ้านเกิด อยู่ในจังหวัดอุบลราชธานี วัยเยาว์จบวชิรศึกษาได้มัธยมศึกษาชั้นเอก ปี พ.ศ. 2535 สอบเทียบ ม.6 จากนั้นเอ็นทรานซ์ผ่านเข้าศึกษาในมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สาขา นิติศาสตร์ หลังสัมภาษณ์ก็ได้ขอสละสิทธิ์ เนื่องจากความไม่พร้อมทางทุน จึงกลับไปศึกษาต่อที่ วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี แต่ก็ได้รับปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต จากมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมชิ ราช ในปี 2539 ก่อนหน้านั้นได้เข้าศึกษาวิศวกรรมไฟฟ้า ณ มหาวิทยาลัยขอนแก่น แต่เนื่องจาก ต้องการทำงาน ให้กับ บริษัท GE (ประเทศไทย) ไปด้วย จึงย้ายมาศึกษาในคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง สองปีต่อมาสำเร็จการศึกษาปริญญาตรี อดุสากรรมศาสตรบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์ จากภาควิชาเทคนิคอดุสากรรม ใน ปีการศึกษา 2542 ก่อนหน้านั้น ได้ลาออกจาก บริษัท GE (ประเทศไทย) เพื่อเข้าทำงานใน ตำแหน่งเจ้าหน้าที่ระบบงานคอมพิวเตอร์ สำนักวิจัยและบริการคอมพิวเตอร์ ต่อมาเพื่อเพิ่มพูน ความรู้จึงเข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2549