

แบบแผนการตัดสินใจทำการส่งต่อในแนวตั้งโดยใช้ข้อมูลของทิศทางการเคลื่อนที่ในเครือข่ายเคลื่อนที่ยุคที่ 4

ว่าที่ร้อยตรีอิสรภาพ จันทรญาติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2554

**VERTICAL HANDOVER DECISION SCHEME USING
INFORMATION OF MOVING DIRECTION
IN 4G MOBILE NETWORK**

Acting Sub. Lt. Issaraphap Jantarayat



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Telecommunication Engineering**

Suranaree University of Technology

Academic Year 2011

แบบแผนการตัดสินใจทำการส่งต่อในแนวตั้งโดยใช้ข้อมูลของทิศทาง
การเคลื่อนที่ในเครือข่ายเคลื่อนที่ยุคที่ 4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.วิภาวี หัตถกรรม)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.ปิยาภรณ์ กระจอกนอก)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ ขำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อิสรภาพ จันทรญาติ : แบบแผนการตัดสินใจทำการส่งต่อในแนวตั้งโดยใช้ข้อมูลของ
ทิศทางการเคลื่อนที่ในเครือข่ายเคลื่อนที่ยุคที่ 4 (VERTICAL HANDOVER DECISION
SCHEME USING INFORMATION OF MOVING DIRECTION IN 4G MOBILE
NETWORK) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล, 144 หน้า

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการสื่อสารไร้สายยุคที่ 4 (Fourth Generation : 4G) ให้ความสำคัญอย่างมากสำหรับการเข้าถึงเครือข่ายสื่อสารไร้สายแบบทั่วถึงหรือไร้ขอบเขต (Seamless) โดยอุปกรณ์สื่อสารหรือสถานีโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Station : MS) ไม่รู้สึกถึงการเปลี่ยนแปลงเมื่อข้ามไปใช้เครือข่ายสื่อสารที่ต่างกัน ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ เช่น การที่อุปกรณ์สื่อสารใช้ทรัพยากรจากเครือข่ายเซลลูลาร์แล้วเคลื่อนที่ข้ามไปใช้ทรัพยากรของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area : WLAN) ซึ่งตั้งอยู่ภายในเซลล์ของเครือข่ายเซลลูลาร์ อุปกรณ์สื่อสารจะปรับระบบวิทยุจากระบบเซลลูลาร์ไปเป็นระบบท้องถิ่นไร้สายโดยที่ยังคงติดต่อสื่อสารอย่างต่อเนื่อง ลักษณะการเคลื่อนที่แบบไร้รอยต่อ (Seamless Mobility) นี้เองนำไปสู่การพัฒนาวิธีการทำการส่งต่อในแนวตั้ง (Vertical Handover) งานวิจัยที่ได้สำรวจมาพบว่า ส่วนใหญ่เสนอวิธีการปรับปรุงคุณภาพการส่งต่อในแนวตั้งโดยเน้นไปที่การลดการประวิงเวลา (Delay) และลดการสูญหายของข้อมูล (Data Loss) สามารถช่วยให้การรับและส่งข้อมูลผิดพลาดน้อยลง การส่งต่อในแนวตั้งแต่ละครั้งส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการ (Quality of Service : QoS) เนื่องจากเกิดการประวิงเวลาระหว่างคู่สายและเกิดการสูญหายของข้อมูลซึ่งทำให้การรับและส่งข้อมูลผิดพลาด มีงานวิจัยที่ใช้วิธีการควบคุมสายเรียกเข้าเพื่อจำกัดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็น ได้แก่มีข้อเสียคือ อุปกรณ์สื่อสารอาจถูกปฏิเสธเมื่อมีการเรียกเข้าใช้บริการได้ (Call Blocking) ถ้าหากอุปกรณ์สื่อสารสามารถทราบข้อมูลของตนเองว่าจะเข้าไปในพื้นที่ของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายมากน้อยแค่ไหนน่าจะช่วยให้การตัดสินใจทำการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นเกิดขึ้นน้อยลงได้ จากการสำรวจงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่พบแนวทางในลักษณะนี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นโดยอาศัยข้อมูลจากทิศทางการเคลื่อนที่ประกอบในการตัดสินใจทำการส่งต่อในแนวตั้ง

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ปีการศึกษา 2554

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ISSARAPHAP JANTARAYAT : VERTICAL HANDOVER DECISION
SCHEME USING INFORMATION OF MOVING DIRECTION IN 4G
MOBILE NETWORK. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. PEERAPONG
UTHANSAKUL, Ph.D., 144 PP.

4G/VHO/WLAN

In the fourth generation (4G) of mobile networks, the special concern is focused on seamless communications. Mobile station can smoothly operate in any wireless access technologies when it moves from one technology to the others. For example, the mobile station utilizes resources from cellular network and then it is moving into Wireless Local Area Network (WLAN) which is located within the cell of cellular network. The mobile station has a choice to switch to WLAN by changing the radio frequency and protocol structure to maintain the continuous communications. This seamless concept forces the new development on handover, named as Vertical Handover (VHO). In literature, many methods regarding VHO have been presented to improve the network efficiency including time delay and data loss. The mechanism of VHO degrades Quality of Service (QoS) due to delay and data loss so it is better to reduce an unnecessary VHO. The attempt to reduce the unnecessary VHO was presented by using call control but the drawback is the increase of call blocking. In this thesis, the concept of reducing the unnecessary VHO is proposed by using the information of moving direction to decide the suitable VHO.

School of Telecommunication Engineering

Academic Year 2011

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งด้านวิชาการ และด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล หัวหน้าสาขาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำและคำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วย ตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ รองอธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้โอกาสในการศึกษา คำแนะนำในด้านวิชาการแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตินา พรหมมาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์พา อุฑารสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ กระจงนอก และอาจารย์ ดร.สมศักดิ์ วาณิชนันต์ชัย อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ประสิทธิ์ประสาทวิชา ความรู้และให้โอกาสในการศึกษา และขอขอบพระคุณทุนการศึกษา จากการให้ทุนการศึกษา แก่นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่คณาจารย์ได้รับทุนวิจัยจากแหล่งทุนภายนอก (OROG)

ขอขอบคุณพี่น้องบัณฑิตทุกท่านที่ให้คำปรึกษาด้านวิชาการและให้กำลังใจมาโดยตลอด

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมาจนทำให้ประสบผลสำเร็จในชีวิต

อิสรภาพ จันทรญาติ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	3
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	4
1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน.....	4
1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย.....	4
1.6.3 สถานที่ทำวิจัย	5
1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	5
1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	5
1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล	5
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	6
1.8 รายละเอียดวิทยานิพนธ์.....	6
2 การส่งต่อในแนวตั้งของเครือข่ายเคลื่อนที่ยุคที่ 4	7
2.1 กล่าวนำ	7
2.2 วิวัฒนาการของระบบสื่อสาร	7

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.1	วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	7
2.2.2	วิวัฒนาการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	15
2.3	การสื่อสารในยุค 4G.....	21
2.4	การส่งต่อในแนวตั้ง.....	24
2.4.1	พื้นฐานการทำการส่งต่อ (Handover).....	24
2.4.2	การส่งต่อในแนวตั้ง (Vertical Handover).....	28
2.4.3	ระบบการส่งต่อโดยโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นตัวช่วย.....	31
2.5	การส่งผ่านคลื่นสัญญาณ.....	34
2.5.1	การสูญเสียเชิงวิถี.....	34
2.5.2	ผลกระทบจากการลดทอนของสัญญาณเนื่องมาจากสิ่งกีดขวาง.....	34
2.5.3	ความถี่คออปเพลอร์.....	35
2.5.4	การจางหายของสัญญาณเนื่องจากสัญญาณหลายวิถี.....	36
2.6	บทสรุป.....	39
3	การตัดสินใจทำการส่งต่อในแนวตั้งโดยใช้ข้อมูลทิศทางเคลื่อนที่.....	40
3.1	กล่าวนำ.....	40
3.2	การตัดสินใจทำการส่งต่อสัญญาณในแนวตั้ง.....	40
3.2.1	โครงสร้างการทำการส่งต่อในแนวตั้ง.....	40
3.2.2	แบบแผนการตัดสินใจการทำการส่งต่อในแนวตั้ง.....	42
3.3	ผลการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์.....	47
3.4	บทสรุป.....	57
4	การทดสอบวัดสัญญาณจริง.....	58
4.1	กล่าวนำ.....	58
4.2	การนิยามปัญหา.....	58
4.3	ผลการทดสอบจริง.....	59
4.3.1	ขั้นตอนการทดสอบ.....	59
4.3.2	ผลการทดสอบ.....	62
4.4	บทสรุป.....	81

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	82
5.1	สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์	82
5.2	ปัญหาและข้อเสนอแนะ	83
5.3	แนวทางการพัฒนาในอนาคต	84
	รายการอ้างอิง	85
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. โปรแกรมการจำลองแบบที่ใช้ทดสอบ	88
	ภาคผนวก ข. ผลการประมาณทิศทาง	96
	ภาคผนวก ค. กราฟแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ และลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้ง	104
	ภาคผนวก ง. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	137
	ประวัติผู้เขียน	144



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ตารางแสดงคุณสมบัติเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย.....	20
2.2 ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์กรณีเซลล์ที่มีรัศมีเท่ากับ 16 km.....	25
3.1 แสดงผลการจำลองแบบการพิจารณาปัจจัย ที่ใช้ประกอบการตัดสินใจในการทำ VHO	56
4.1 แสดงค่าเบี่ยงเบนของทิศทางเคลื่อนที่ จากการวัดกำลังของสัญญาณของ BS โดยเฉลี่ย	62
4.2 แสดงผลที่ได้จากการเดินตามเส้นทางกับมุม 30 องศา ที่ Threshold -70 dBm.....	70
4.3 แสดงช่วงการประมาณการเกิด VHO ผิดพลาดที่ Threshold -50 dBm.....	70
4.4 แสดงช่วงการประมาณการเกิด VHO ผิดพลาดที่ Threshold -70 dBm.....	70
4.5 แสดงค่าเบี่ยงเบนของทิศทางเคลื่อนที่ จากการวัดกำลังของสัญญาณของ AP โดยเฉลี่ย.....	71
4.6 แสดงผลจากการประมาณจากทิศทางเคลื่อนที่.....	81
4.7 แสดงผลการประมาณโดยใช้ช่วงเวลาพิจารณาในการเกิด VHO ผิดพลาดเมื่อเทียบผลจากการวัดสัญญาณจริงกับแบบจำลอง	81
5.1 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	83
ข.1 Threshold -50 dB เส้นทางที่ 1 มุม 0 องศา.....	97
ข.2 Threshold -50 dB เส้นทางที่ 2 มุม 10 องศา.....	97
ข.3 Threshold -50 dB เส้นทางที่ 3 มุม 20 องศา.....	97
ข.4 Threshold -50 dB เส้นทางที่ 4 มุม 30 องศา.....	98
ข.5 Threshold -50 dB เส้นทางที่ 5 มุม 40 องศา.....	98
ข.6 Threshold -50 dB เส้นทางที่ 6 มุม 50 องศา.....	98
ข.7 Threshold -50 dB เส้นทางที่ 7 มุม 60 องศา.....	99

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข.8 Threshold -50 dB เส้นทางการที่ 8 มุม 70 องศา.....	99
ข.9 Threshold -50 dB เส้นทางการที่ 9 มุม 80 องศา.....	99
ข.10 Threshold -50 dB เส้นทางการที่ 10 มุม 90 องศา	100
ข.11 Threshold -70 dB เส้นทางการที่ 1 มุม 0 องศา.....	100
ข.12 Threshold -70 dB เส้นทางการที่ 2 มุม 10 องศา.....	100
ข.13 Threshold -70 dB เส้นทางการที่ 3 มุม 20 องศา.....	101
ข.14 Threshold -70 dB เส้นทางการที่ 4 มุม 30 องศา.....	101
ข.15 Threshold -70 dB เส้นทางการที่ 5 มุม 40 องศา.....	101
ข.16 Threshold -70 dB เส้นทางการที่ 6 มุม 50 องศา.....	102
ข.17 Threshold -70 dB เส้นทางการที่ 7 มุม 60 องศา.....	102
ข.18 Threshold -70 dB เส้นทางการที่ 8 มุม 70 องศา.....	102
ข.19 Threshold -70 dB เส้นทางการที่ 9 มุม 80 องศา.....	103
ข.20 Threshold -70 dB เส้นทางการที่ 10 มุม 90 องศา	103

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โทรศัพท์ระบบ NMT (Nordic Mobile Telephone) 9
2.2	โทรศัพท์ระบบ AMPS (Advance Mobile Phone System) 9
2.3	เครือข่ายไร้สายประเภทต่าง ๆ ตามมาตรฐาน 802.11 17
2.4	แสดงเทคนิคที่ใช้ในมาตรฐาน 802.11n เพื่อเพิ่มความเร็วในการทำงาน 20
2.5	การพัฒนาเทคโนโลยี 2G ไปสู่ 3G และต่อเนื่องยุค 4G 22
2.6	ประสิทธิภาพในด้าน ความสามารถในการเคลื่อนที่ (Mobility) และความเร็วการรับ - ส่งข้อมูลของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ในยุค 2G 3G และ 4G 22
2.7	แสดงการส่งต่อสัญญาณ 24
2.8	การส่งต่อในแนวตั้งระหว่างเครือข่ายที่ต่างกัน 29
2.9	GPRS - WLAN Handover โดยที่ GGSN คือ Gateway GPRS Support Node SGSN คือ Serving GPRS Support Node และ MSC คือ Mobile Switching Center 30
2.10	แสดงการบริการการส่งต่อแบบสื่ออิสระ (Media Independent Handover Services) 33
2.11	ส่วนประกอบของปรากฏการณ์คอปเพลอร์ 35
3.1	แสดงโครงสร้างของการทำการส่งต่อในแนวตั้ง 41
3.2	แสดงการรับสัญญาณจากจุดให้บริการของเครือข่าย 41
3.3	แสดงการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อมีการสูญเสียเชิงวิถี 44
3.4	แสดงการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อมีการสูญเสียเชิงวิถี ร่วมกับการเฟดดิ้ง 45
3.5	แสดงทิศทางที่โทรศัพท์เคลื่อนที่เข้าไปในพื้นที่การให้บริการ ของ Access Point 46
3.6	แสดงการเกิด VHO จากการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ 100 ครั้ง ก่อนการพิจารณาการเกิด VHO 48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7	แสดงการลดการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ เมื่อทำมุมกับ Access Point เกินกว่า 80 องศา ไม่จำเป็นต้องทำ VHO50
3.8	แสดงการลดการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ เมื่อมีส่วนส่วนของระยะทางอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 20% ไม่จำเป็นต้องทำ VHO52
3.9	แสดงการลดการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO54
4.1	แสดงวิธีวัดมุมที่ทำกับ Access Point59
4.2	แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นกำกับมุม60
4.3	แสดงผลการวัดสัญญาณจาก Base Station ตามแนวเส้นกำกับมุม60
4.4	แสดงผลการวัดสัญญาณจาก Access Point ตามแนวเส้นกำกับมุม61
4.5	แสดงการวัดสัญญาณที่ตำแหน่ง Threshold -50 dBm และ Threshold -70 dBm68
4.6	แสดงการประมาณทิศทางผิดพลาดในแต่ละทิศทางการเคลื่อนที่72
4.7	แสดงการเกิด VHO จากแบบจำลองก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO73
4.8	แสดงการลดการเกิด VHO จากแบบจำลองโดยการพิจารณา ให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO75
4.9	แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริง ก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO ที่การ Sampling 20 ครั้ง77
4.10	แสดงการลดการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงโดยการพิจารณา ให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่การ Sampling 20 ครั้ง79

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.1 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณา ลดการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 5 ครั้ง.....	105
ค.2 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณา ลดการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 10 ครั้ง.....	107
ค.3 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณา ลดการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 15 ครั้ง.....	109
ค.4 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณา ลดการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 20 ครั้ง.....	111
ค.5 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 5 ครั้ง.....	113
ค.6 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 10 ครั้ง.....	115
ค.7 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 15 ครั้ง.....	117
ค.8 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 20 ครั้ง.....	119
ค.9 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณา ลดการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 5 ครั้ง.....	121

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค.10 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณา ลดการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 10 ครั้ง.....	123
ค.11 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณา ลดการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 15 ครั้ง.....	125
ค.12 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณา ลดการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 20 ครั้ง.....	127
ค.13 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 5 ครั้ง.....	129
ค.14 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 10 ครั้ง.....	131
ค.15 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 15 ครั้ง.....	133
ค.16 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 20 ครั้ง.....	135

บทที่ 1

บทนำ

เนื้อหาในบทนี้เป็นกรอบอธิบายถึงประวัติความเป็นมาและเหตุจูงใจสำหรับงานวิจัยซึ่งประกอบด้วย ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาการวิจัยรวมทั้งการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมวัตถุประสงค์ของการวิจัย สมมติฐานของงานวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการสื่อสารไร้สายยุคที่ 4 (Fourth Generation : 4G) ให้ความสำคัญอย่างมากสำหรับการเข้าถึงเครือข่ายสื่อสารไร้สายแบบทั่วถึงหรือไร้ขอบเขต (Seamless) โดยอุปกรณ์สื่อสารหรือสถานีโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Station : MS) ไม่รู้สึกถึงการเปลี่ยนแปลงเมื่อข้ามไปใช้เครือข่ายสื่อสารที่ต่างกัน ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ เช่น การที่อุปกรณ์สื่อสารใช้ทรัพยากรจากเครือข่ายเซลลูลาร์แล้วเคลื่อนที่ข้ามไปใช้ทรัพยากรของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network : WLAN) ซึ่งตั้งอยู่ภายในเซลล์ของเครือข่ายเซลลูลาร์ อุปกรณ์สื่อสารจะปรับระบบวิทยุจากระบบเซลลูลาร์ไปเป็นระบบท้องถิ่นไร้สายโดยที่ยังคงติดต่อสื่อสารอย่างต่อเนื่อง ลักษณะการเคลื่อนที่แบบไร้รอยต่อ (Seamless Mobility) นี้เองนำไปสู่การพัฒนาวิธีการส่งต่อในแนวตั้ง (Vertical Handover)

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรม พบว่า ในการทำการส่งต่อในแนวตั้งได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย จากงานวิจัยของ (Benoubira, S., et al., 2009) ได้เพิ่มฟังก์ชันที่เรียกว่า Media Independent Handover (MIH) เข้าไประหว่างชั้นเดตาลิงก์เลเยอร์กับชั้นเน็ตเวิร์กเลเยอร์ใน IPV6 (Internet Protocol Version 6) เพื่อช่วยลดการเกิดการสูญเสียของข้อมูลและการประวิงเวลาในการทำการส่งต่อในแนวตั้ง งานวิจัยของ (Kun, G., et al., 2009) ได้เสนอขั้นตอนในการทำการส่งต่อในแนวตั้งโดยใช้พีซีลอคิกเข้ามาปรับปรุงประสิทธิภาพของการทำการส่งต่อแนวตั้งเมื่ออุปกรณ์สื่อสารมีการเคลื่อนที่เร็วมาก งานวิจัยของ (Bejaoui, T., and Nasser, N., 2008) ได้เสนอหลักในการจำกัดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นโดยใช้วิธีควบคุมตอบรับสายเรียกเข้าและใช้การโปรแกรมแบบเวลาจริง (Real Time Application) งานวิจัยของ (Lassoued, I., et al., 2008) เสนอแนวทางในการจัดการกับการเคลื่อนย้ายของอุปกรณ์สื่อสารเพื่อช่วยดำเนินการเกี่ยวกับพฤติกรรมของการทำการส่งต่อในแนวตั้ง งานวิจัยของ (Tawil, R., et al., 2008) เสนอการใช้

ฟังก์ชัน MIH ในการหาเครือข่ายที่มีคุณภาพดีกว่าเพื่อทำการส่งต่อในแนวตั้ง งานวิจัยของ (Ezzouhairi, A., et al., 2008) เป็นการใช้พีชคณิตในการตัดสินใจหาพลังงานที่เหมาะสมในการทำการส่งต่อในแนวตั้ง งานวิจัยของ (Lin, Y.W., and Huang, T.H., 2007) เสนอการใช้ Bi - CoA (Bi - Care of Address) ใน SIP (Session Initiation Protocol) พิจารณาการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งในเครือข่ายไร้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและลดการประวิงเวลา งานวิจัยของ (Vidales, P., et al., 2005) เสนอโปรแกรมใหม่ที่ใช้สนับสนุนการทำการส่งต่อในแนวตั้งแบบอัตโนมัติในระบบ 4G งานวิจัยของ (Park, H.S., et al., 2003) เสนอการส่งต่อในแนวตั้งของเครือข่ายเซลลูลาร์แบบซิติเอ็มเอกับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยพิจารณาจาก MA (Mobile Agent) และ SA (Subnet Agent) เพื่อช่วยลดการประวิงเวลาในการทำการส่งต่อในแนวตั้ง และงานวิจัยของ (Li, M., et al., 2003) เสนอวิธีการทำการส่งต่อในแนวตั้งโดยการใช้ SCTP (Stream Control Transmission Protocol) ในการปรับปรุงการประวิงเวลาและข้อมูลที่ได้รับให้ดีขึ้น จะเห็นได้ว่างานวิจัยที่ได้สำรวจมาดังกล่าวมีวิธีการปรับปรุงคุณภาพการส่งต่อในแนวตั้ง โดยเน้นไปที่การลดการประวิงเวลา (Delay) และลดการสูญหายของข้อมูล (Data Loss) มีข้อดีคือช่วยให้การรับและส่งข้อมูลผิดพลาดน้อยลง ข้อเสียคือยังมีการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นเกิดขึ้นส่วนในงานวิจัยของ (Bejaoui, T., and Nasser, N., 2008) ใช้วิธีการควบคุมสายเรียกเข้าเพื่อจำกัดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็น ข้อดีคือสามารถลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นแต่มีข้อเสียคืออุปกรณ์สื่อสารอาจถูกปฏิเสธเมื่อมีการเรียกเข้าใช้บริการได้ (Call Blocking) เนื่องจากถูกควบคุมสายเรียกเข้า ซึ่งการส่งต่อในแนวตั้งแต่ละครั้งส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการ (Quality of Service : QoS) เกิดการประวิงเวลาระหว่างคู่สายและเกิดการสูญหายของข้อมูล ทำให้การรับและส่งข้อมูลผิดพลาดได้ อย่างไรก็ตามถ้าอุปกรณ์สื่อสารสามารถทราบตำแหน่งของการเข้าใช้พื้นที่ของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายน่าจะช่วยประกอบการตัดสินใจทำการส่งต่อในแนวตั้งได้ดียิ่งขึ้น แต่เท่าที่สำรวจมายังไม่มียานวิจัยใดที่เสนอวิธีการลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นโดยดูจากทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารและไม่จำเป็นต้องควบคุมสายเรียกเข้า ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการลดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นจากการวัดจากความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength : RSS) ของทั้งเครือข่ายเซลลูลาร์และเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สายของอุปกรณ์สื่อสารเพื่อดูทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารว่าการที่อุปกรณ์สื่อสารเข้าไปยังเครือข่ายที่ต่างชนิดกันควรทำการส่งต่อในแนวตั้งหรือไม่ควรทำ โดยคาดหวังว่าการใช้ทิศทางเข้ามาประกอบการตัดสินใจนั้นสามารถช่วยลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นลงได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อเสนอแนวทางร่วมสำหรับการตัดสินใจที่จะทำการส่งต่อในแนวตั้งอย่างมีประสิทธิภาพโดยอาศัยการใช้ทิศทางเข้ามาประกอบการตัดสินใจ
- 1.2.2 เพื่อหาวิธีการประมาณทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารจากการใช้กำลังของสัญญาณ

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

- 1.3.1 ทิศทางการเคลื่อนที่มีผลต่อระยะเวลาที่อยู่ในเครือข่ายเมื่อเกิดการข้ามไปยังเครือข่ายที่ต่างชนิดกันจึงมีผลต่อการเกิดการส่งต่อในแนวตั้ง
- 1.3.2 การลดจำนวนการทำการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นทำให้ภาระของเครือข่ายลดลง

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1.4.1 เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายอยู่ในเครือข่ายระบบเซลลูลาร์
- 1.4.2 ความแรงของสัญญาณที่วัดได้ขึ้นอยู่กับระยะห่างระหว่างอุปกรณ์สื่อสารกับเครือข่ายระบบเซลลูลาร์หรือเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย รวมทั้งการสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) และการเฟดดิ้ง (Fading)
- 1.4.3 การทำการส่งต่อในแนวตั้งเกิดจากอุปกรณ์สื่อสารอยู่ในเครือข่ายระบบเซลลูลาร์เคลื่อนที่ข้ามไปใช้ทรัพยากรของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาหลักการงานและทฤษฎีของการส่งต่อในแนวตั้ง
- 1.5.2 ระบบที่พิจารณาคือการที่อุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่จากเครือข่ายเซลลูลาร์ข้ามไปยังเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย
- 1.5.3 ทำการจำลองเครือข่ายเพื่อวัดความแรงของสัญญาณจากเครือข่ายเซลลูลาร์และเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายซึ่งมีการสูญเสียเชิงวิถีและการเฟดดิ้ง
- 1.5.4 การเปรียบเทียบและการประเมินคุณภาพการทำการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นถูกจำลองแบบในคอมพิวเตอร์
- 1.5.5 การประมาณทิศทางเคลื่อนที่จะถูกดำเนินการในแบบจำลองและการวัดสัญญาณจริง
- 1.5.6 การประมาณทิศทางเคลื่อนที่พิจารณาในแนวเส้นตรง

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน

1. สํารวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
2. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและวางแผนการทำการส่งต่อในแนวตั้ง
3. หาสมการคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการคิดความแรงของสัญญาณของเครือข่ายระบบเซลลูลาร์และเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย
4. จำลองแบบเครือข่ายระบบเซลลูลาร์และเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้ในการวัดความแรงของสัญญาณของอุปกรณ์สื่อสาร โดยมีการสูญเสียเชิงวิถีและการเฟดดิ้ง
5. เปรียบเทียบการส่งต่อในแนวตั้งแบบปกติกับวิธีการที่จะตัดสินใจในการส่งต่อในแนวตั้งที่ใช้ทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารมาประกอบในการตัดสินใจเมื่ออุปกรณ์สื่อสารได้ข้ามเข้าไปยังเครือข่ายที่ต่างกันจากแบบจำลองที่ได้สร้างขึ้นในข้อ 4.
6. วิเคราะห์ว่าเมื่อมีการลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างไร
7. ทำการวัดความแรงของสัญญาณจากสถานการณ์จริงเมื่ออุปกรณ์สื่อสารมีการข้ามเครือข่ายจากเครือข่ายระบบเซลลูลาร์และเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายเพื่อวัดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้ง
8. ทำการวิเคราะห์และสรุปผลของระบบเมื่อลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นของแบบจำลองกับการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่วัดผลจากสถานการณ์จริง

1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย

เป็นงานวิจัยประยุกต์ ซึ่งดำเนินการตามกรอบงานดังต่อไปนี้

1. การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
2. จำลองเครือข่ายระบบเซลลูลาร์และเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายด้วยโปรแกรมทางวิศวกรรม (MATLAB)
3. ศึกษาและวิเคราะห์การเกิดการส่งต่อในแนวตั้งเมื่ออุปกรณ์สื่อสารข้ามไปเครือข่ายที่ต่างชนิดกันในแบบจำลอง

4. เปรียบเทียบการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งแบบปกติ แบบจำลองการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งและการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่วัดจากความแรงของสัญญาณจากสถานการณ์จริง
5. ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบและประเมินคุณภาพของระบบเมื่อลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นของแบบจำลองกับการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งจากสถานการณ์จริง

1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องวิจัยและปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย อาคารเครื่องมือ 4 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ตำบลสุรนารี อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000

1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล
2. โปรแกรม MATLAB
3. โปรแกรม WirelessMon
4. โปรแกรม Field Test
5. เครื่องวัดความแรงของสัญญาณจากเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย
6. เครื่องวัดความแรงของสัญญาณจากเครือข่ายระบบเซลลูลาร์

1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. เก็บรวบรวมข้อมูลที่ใช้ในการออกแบบจำลองการทำการส่งต่อในแนวตั้งจากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. เก็บรวบรวมผลการทดลองเมื่อมีการทำการส่งต่อในแนวตั้งแบบปกติและเมื่อลดการทำการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นจากแบบจำลอง
3. เก็บรวบรวมผลจากสถานการณ์จริงเมื่อมีการทำการส่งต่อในแนวตั้ง

1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลจากผลการทดลองที่วัดความแรงของสัญญาณจากเครือข่ายระบบเซลลูลาร์และเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย โดยเมื่อมีการเข้าไปใช้ทรัพยากรของเครือข่ายที่ต่างกันนั้นจะเกิดการทำการส่งต่อในแนวตั้ง เปรียบเทียบกับการตัดสินใจว่าควรทำการส่งต่อในแนวตั้งหรือไม่ควรทำจากทิศทางการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เมื่อข้ามผ่าน ไปใช้ทรัพยากรของอีกเครือข่าย ซึ่งจะมีการทำการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นเกิดขึ้นจึงส่งผลกระทบต่อการจัดสรรทรัพยากรของระบบเกิดการประวิงเวลาและเกิดการสูญหายของข้อมูลได้

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.7.1 เป็นแนวทางในการออกแบบการตัดสินใจทำการส่งต่อในแนวตั้งเพื่อช่วยลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็น
- 1.7.2 ได้วิธีการประมาณทิศทางจากการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสาร

1.8 รายละเอียดวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย 5 บท

บทที่ 1 เป็นบทนำ ประวัติความเป็นมาและเหตุจูงใจสำหรับงานวิจัยซึ่งประกอบด้วยความเป็นมา และความสำคัญของปัญหาการวิจัยรวมทั้งการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมวัตถุประสงค์ของการวิจัย สมมติฐานของงานวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับและรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงองค์ความรู้ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งประกอบด้วยวิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ วิวัฒนาการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย การสื่อสารในยุคที่ 4 การส่งต่อในแนวตั้ง การส่งผ่านคลื่นสัญญาณ ซึ่งเป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่สำคัญสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัย

บทที่ 3 กล่าวถึงแบบแผนการวิจัยในการลดตัดสินใจทำการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็น โดยดูจากทิศทางการเคลื่อนที่ของสถานีโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมถึงผลที่ได้จากการจำลองแบบ

บทที่ 4 กล่าวถึงผลที่ได้จากการทดสอบวัดสัญญาณจริงในการตรวจสอบทิศทางของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเคลื่อนที่จากระบบเซลลูลาร์เข้าไปยังระบบท้องถิ่นไร้สายและนำปัจจัยที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 มาพิจารณาประกอบการตัดสินใจเพื่อลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นและสุดท้ายจะเป็นการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบวัดสัญญาณจริงพร้อมทั้งสรุปผลที่ได้รับจากการศึกษาและออกแบบระบบต่อไป

บทที่ 5 กล่าวถึงการสรุปผลโดยอ้างอิงผลของการจำลองแบบและผลการวัดสัญญาณจริง นอกจากนี้ยังรวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้น ข้อเสนอแนะแนวทางในการแก้ไข และแนวทางในการพัฒนาในอนาคต

บทที่ 2

การส่งต่อในแนวตั้งของเครือข่ายเคลื่อนที่ยุคที่ 4

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้ผู้เขียนจะได้กล่าวถึงองค์ความรู้ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยซึ่งประกอบด้วยวิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ วิวัฒนาการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย การสื่อสารในยุคที่ 4 การส่งต่อในแนวตั้ง การส่งผ่านคลื่นสัญญาณ ซึ่งเป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่สำคัญสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัย

2.2 วิวัฒนาการของระบบสื่อสาร

2.2.1 วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

วิวัฒนาการโทรศัพท์เคลื่อนที่ในเชิงการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีในภาพกว้างนั้น อาจแบ่งได้เป็น 4 ยุค ได้แก่ ยุคโทรศัพท์ไร้สาย (Wireless Telephony) ยุคก่อนเซลลูลาร์ (Pre - cellular) ยุคเซลลูลาร์ (Cellular) และ ยุคสื่อสารเคลื่อนที่ (Mobile) โดยช่วงของยุคนวัตกรรมสื่อสารเคลื่อนที่ (Mobile) จะแบ่งออกเป็น แอนะล็อก (Analog) ดิจิตอล (Digital) สื่อประสม (Multimedia) และ บรอดแบนด์ (Broadband) ซึ่งนวัตกรรมเทคโนโลยีเป็นกุญแจแห่งความสำเร็จอันหนึ่งที่สำคัญ อย่างไรก็ตามนวัตกรรมเทคโนโลยีไม่ใช่ทุกสิ่ง ที่จะสามารถนำบริษัทที่เป็นผู้นำไปสู่ความสำเร็จได้ แต่จะต้องมีจุดสมดุลระหว่างนวัตกรรมเทคโนโลยีและนวัตกรรมการตลาดควบคู่กันไป ในทางวิศวกรรมนั้นระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่มีวิวัฒนาการตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันแบ่งได้หลายยุค (Generation) ขึ้นอยู่กับมุมมองของแต่ละกลุ่มวิชาการ โดยในแต่ละยุคจะมีเทคโนโลยีมาตรฐาน และการให้บริการในเชิงเทคนิคและ Application ที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) จุดกำเนิดยุคก่อนเซลลูลาร์ (Pre - cellular)

Marconi (1895) ได้ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุเป็นระยะทางไกลกว่า 1 ไมล์ ต่อมาในช่วงต้นทศวรรษที่ 1920 ได้เกิดนวัตกรรมไร้สาย Amplitude Modulation (AM) และ Frequency Modulation (FM) ทำให้การส่งสัญญาณคลื่นวิทยุได้ถูกนำมาพัฒนาเพื่อนำไปใช้ทางด้านการทหาร ต่อมาในปี 1945 องค์การกิจการโทรคมนาคมของประเทศสหรัฐอเมริกา (The US Federal Communications Commission : FCC) ได้เริ่มทำการกำหนดการจัดสรรคลื่นความถี่และหาวิธีการใช้ความถี่ จึงทำให้เกิดแนวความคิดของเซลลูลาร์ (Cellular) ขึ้น

และเกิดการปฏิวัติทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ทำให้สามารถบรรจุวงจรที่ซับซ้อนสูงไว้ในไมโครชิป (Microchip) ขนาดเล็กตัวเดียวได้เรียกว่า Integrated Circuits (ICs) ซึ่งเริ่มมาจากแนวคิดของ Moore, G.E. (1998) ต่อมา ICs ได้เป็นองค์ประกอบสำคัญในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิด หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 บริษัท AT&T เป็นผู้บุกเบิกการให้บริการการสื่อสารแบบไร้สาย ในสหรัฐอเมริกา ต่อมาในปี 1964 บริษัท AT&T ได้เริ่มธุรกิจแนวคิดการให้บริการอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว ในยุคนี้สหรัฐอเมริกาประสบความสำเร็จอย่างมากและก้าวหน้า มาเป็นผู้นำการคมนาคมแบบไร้สาย (ปี 1983) โดยที่ในปี 1983 เป็นปีที่ยุคก่อนเซลลูลาร์ (Pre - Cellular) เจริญรุ่งเรืองมากที่สุด ในช่วงนี้ยุโรปตะวันตกได้เริ่มเข้ามามีบทบาทมากขึ้นแต่ก็ยัง เป็นรองสหรัฐอเมริกาอยู่

2 ยุค 1G (First Generation) : แอนะลอกเซลลูลาร์ (Analog Cellular)

ช่วงต้นทศวรรษที่ 1980 เป็นยุคเริ่มต้นของ 1G (1st Generation) สามารถส่งผ่านข้อมูลด้วยระบบแอนะลอก (Analog) โดยระบบการสื่อสารด้วยเสียงนั้นใช้มาตรฐาน 2 ระบบ คือ ระบบ Nordic Mobile Telephone (NMT) ของประเทศในแถบ Nordic NMT และระบบ Advance Mobile Phone System (AMPS) ของสหรัฐอเมริกา ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 1G ถือว่าเป็นยุคเริ่มต้น (Initial Stage) โดยการพัฒนามุ่งเน้นเพื่อการสื่อสารทางเสียงเป็นหลัก ในยุคนี้เป็นยุคที่ใช้เทคโนโลยีระบบแอนะลอก คือใช้สัญญาณวิทยุในการส่งคลื่นเสียง โดยมีบริษัท AT&T เป็นผู้ให้บริการ ต่อมาได้มีการคิดค้นระบบ Cellular ขึ้น โดยสถาบันวิจัย Bell Labs ของ AT&T ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ 1G ใช้ระบบพื้นฐานการส่งสัญญาณแบบ FDMA (Frequency Division Multiple Access) ซึ่งมีหลักการจัดสรรช่องสัญญาณด้วยการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นช่องความถี่ย่อยจำนวนหลายช่อง และผู้ใช้บริการ โทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละรายจะได้รับสิทธิในการเข้าถึงช่องการติดต่อสื่อสารเฉพาะช่องที่ว่าง ถ้าผู้ใช้มีจำนวนมากระบบก็จะไม่สามารถรองรับการจองช่องสัญญาณได้ ดังนั้น FDMA จึงไม่ได้รับความนิยมในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ในเวลาต่อมา เนื่องจากมีผู้ใช้เพิ่มขึ้นในปริมาณมาก ในช่วงเวลา 1G นั้น เทคนิค FDMA ดังกล่าวได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคแรก ๆ เช่น

- NMT (Nordic Mobile Telephone) เป็นระบบที่มีการออกแบบและพัฒนาใช้ในกลุ่มประเทศสแกนดิเนเวีย ใช้งานในย่านความถี่ 450 MHz ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โทรศัพท์ระบบ NMT (Nordic Mobile Telephone)

- AMPS (Advance Mobile Phone System) ถูกพัฒนาขึ้นใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้งานในย่านความถี่ 800 MHz ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โทรศัพท์ระบบ AMPS (Advance Mobile Phone System)

- TACS (Total Access Communication System) เป็นระบบที่มีการออกแบบและพัฒนาใช้ในประเทศอังกฤษ ใช้งานในย่านความถี่ 900 MHz

จุดสูงสุดของยุค 1G อยู่ในช่วงปี 1991 โดยอเมริกาเหนือมียอดผู้ตั้งชื่อเครื่องมือสื่อสารมากกว่าครึ่งของยอดโดยรวม (53.9%) ส่วนยุโรปตะวันตกมีประมาณ 27.8% และเอเชียแปซิฟิกมี 16% ในช่วงเวลานี้สหรัฐอเมริกามีอำนาจทางการตลาดเหนือกว่าประเทศอื่นมากและยังขยายตลาดไปยังแคนาดา เม็กซิโก และ ชิลี ส่วนในเอเชียแปซิฟิก ประเทศญี่ปุ่นเริ่มเข้ามาเป็นผู้นำและมีบทบาทในธุรกิจสื่อสารของภูมิภาคนี้ แต่จากกฎระเบียบที่เข้มงวดของญี่ปุ่นทำให้ญี่ปุ่นยังไม่ได้รับอนุญาตให้แข่งขันในตลาดต่างประเทศมากนักและในช่วงปลายยุค 1G ประเทศออสเตรเลียเริ่มรุกตลาดอย่างรวดเร็ว ส่วนในยุโรปตะวันออกธุรกิจสื่อสารมีน้อยมากจนกระทั่งสิ้นสุดของสงครามเย็น

3) ยุค 2G (Second Generation) : ดิจิตอลเซลลูลาร์ (Digital Cellular)

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 หรือ 2G (2nd Generation) เป็นยุคช่วงเติบโตอย่างรวดเร็ว (โดยเฉพาะช่วงปลายยุค) โดยการพัฒนาอย่างคึกคักมุ่งเน้นเพื่อการสื่อสารทางเสียง ในขณะที่เดียวกันมีการพัฒนาระบบให้สามารถรองรับการสื่อสารข้อมูลความเร็วต่ำในระดับต่ำกว่า 64 Kbps โดยเป็นยุคที่ใช้เทคโนโลยีระบบดิจิตอลเซลลูลาร์ (Digital Cellular) เป็นการเข้ารหัสดิจิตอลส่งทางคลื่นไมโครเวฟ มีเทคโนโลยีการเข้าถึงช่องสัญญาณของผู้ใช้เป็นลักษณะเชิงผสมระหว่าง FDMA และ TDMA (Time Division Multiple Access) เพื่อเพิ่มช่องการสื่อสารให้มากขึ้นและสามารถรองรับผู้ใช้ที่มีปริมาณสูงขึ้นด้วยการแบ่งช่องความถี่ย่อยผสมกับการแบ่งร่องเวลา (Time Slot) เพื่อการสลับเวลาในการเข้าถึงช่องสัญญาณจึงทำให้สามารถเพิ่มจำนวนคู่สายมากขึ้น ในยุค 2G เป็นยุคที่เริ่มสามารถใช้งานทางด้านข้อมูล (Data) ได้นอกเหนือจากการใช้งานด้านเสียง (Voice) เพียงอย่างเดียว ซึ่งมีมาตรฐานที่สำคัญ ๆ เช่น

- PDC (Personal Digital Cellular) หรือ I - mode ของบริษัท NTT DoCoMo เป็นเทคโนโลยีที่พัฒนาโดยประเทศญี่ปุ่น ใช้ความถี่ 1,429 MHz ถึง 1,453 MHz

- GSM (Global System for Mobile Communications) พัฒนาขึ้นโดยกลุ่มประเทศในยุโรป ใช้งานในย่านความถี่ 900 MHz ระบบนี้ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทยด้วยเนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีคุณภาพเสียงที่ดีมากและมีการบริหารจัดการเข้าถึงช่องสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- PCN (Personal Communication Network) พัฒนาโดยกลุ่มประเทศในยุโรป ใช้งานในย่านความถี่ 1,800 MHz

- CDMA (Code Division Multiplex Access) หรือ IS - 95 ในประเทศญี่ปุ่นมีการพัฒนาเครือข่าย CDMA ในมาตรฐานเฉพาะตัวเอง ซึ่งต่างกับในประเทศสหรัฐอเมริกา และอีกหลายประเทศในทวีปเอเชีย มีวิวัฒนาการ การปรับเปลี่ยนและพัฒนาเครือข่าย CDMA เพื่อเข้าสู่มาตรฐาน CDMA2000 สำหรับในยุโรปจะมีการพัฒนาเครือข่ายในมาตรฐาน WCDMA สรุปคือ การพัฒนาเทคโนโลยี CDMA มีการพัฒนา 2 ค่ายหลัก ๆ คือ สหรัฐอเมริกาและยุโรป

- TDMA (Time Division Multiple Access) หรือ IS - 136 ได้แก่ D - AMPS ตั้งขึ้นโดยทวีปอเมริกา ในปี 1988 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาขีดความสามารถของระบบ AMPS ที่ใช้งานอยู่ให้เป็นระบบดิจิทัลแต่ยังสามารถใช้งานกับระบบแอนะล็อกเก่าที่ใช้อยู่ก่อนได้

ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงไปสู่ยุค 2G ในปี 1992 สหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่ครองตลาด 1G แต่ต่อมาเมื่อกลุ่มประชาคมยุโรปได้ผลิต GSM ขึ้นมาในต้นทศวรรษที่ 1990 ซึ่งเป็นระบบเครือข่ายดิจิทัลระบบแรกของเซลลูลาร์ โดยอุปกรณ์ GSM มีลักษณะเด่นคือ มีขนาดเล็กและเบาแต่มีความปลอดภัยสูง และยังมีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่ยาวนานขึ้นมากจึงได้กลายมาเป็นผู้นำในตลาดสื่อสารและได้ขยาย GSM ไปทั่วโลก ส่วนสหรัฐอเมริกาล้มเหลวในการเป็นผู้นำการพัฒนาเพราะมีการแตกตัวของธุรกิจอย่างซับซ้อน ในช่วงปี 2000 ยุโรปตะวันตกประสบความสำเร็จมากโดยครองตลาดถึง 36.8% เทียบกับเอเชียที่เติบโต 31.1% ขณะที่สหรัฐอเมริกาค้นตกต่ำลงเหลือเพียง 15% และต่อมาในปี 1997 เป็นปีจุดเปลี่ยนเมื่อประเทศทางอเมริกาเหนือได้สูญเสียความเป็นผู้นำให้กับประเทศทางยุโรปตะวันตก ช่วงเวลาการเติบโตของบริษัท Motorola ได้สิ้นสุดลงซึ่งในขณะนั้นบริษัท Ericsson และบริษัท Nokia เป็นผู้นำของอุตสาหกรรม โดยทั้งสองเป็นผู้ผลิตที่มีส่วนครองตลาดอุปกรณ์ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศมากที่สุด ซึ่งยุโรปตะวันตกและเอเชียแปซิฟิกได้ใช้ระบบ GSM มากถึง 57% ของตลาด

4) ยุค 2.5G (2.5 Generation) : ต้นยุคโมบายอินเทอร์เน็ต

(First Era of Mobile Internet)

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2.5G เป็นช่วงเวลารอยต่อระหว่างยุค 2G และ 3G มีจุดเด่นที่ระบบ 2G เริ่มสามารถต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ด้วยความเร็วที่พอยอมรับได้ จึงเพิ่มเติมขีดความสามารถในการให้บริการได้มากขึ้น ก่อนที่จะเข้าสู่ยุคที่ 3 ของเทคโนโลยี โทรศัพท์เคลื่อนที่ สิ่งที่ได้เห็นได้เด่นชัดคือ ข้อกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคของเครือข่าย โทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุค 2.5G ส่วนใหญ่เป็นการเตรียมความพร้อมให้กับเครือข่ายก่อนที่จะมีการก้าวเข้าสู่ (Transition) ยุคที่ 3 โดยสามารถกล่าวถึงรายละเอียดของเทคโนโลยีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

- เทคโนโลยี HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) เป็นเทคนิคการรับส่งข้อมูลอัตราเร็วสูงผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Nokia ทำการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เพิ่มเติมในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM บางส่วน ซึ่งได้รับการตอบรับจากผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ในประเทศต่าง ๆ ส่วนใหญ่สนับสนุนเทคโนโลยี HSCSD สำหรับการตัดสินใจเปิดให้บริการนั้นขึ้นอยู่กับกลยุทธ์ทางการตลาดของบริษัทผู้ให้บริการเป็นประการสำคัญ

- เทคโนโลยี GPRS (Generic Packet Radio Service) เนื่องจากเทคโนโลยี HSCSD ถือเป็นเพียงการต่อยอดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในเวลาชั่วคราว แต่สำหรับ GPRS เป็นการนำเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ต (Packet Switching Technology) มาผสมผสานกับการทำงานของระบบเครือข่าย GSM เดิม (Circuit Switching Technology) จากการใช้มาตรฐาน Internet Protocol (IP) มาพัฒนาให้ระบบ GSM สามารถส่งข้อมูลบนมาตรฐาน IP อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดถึง 171 Kbps และมีการพัฒนาปรับปรุงมาตรฐานการสื่อสารทางคลื่นวิทยุ (Radio Interface) ระหว่างสถานีฐานและเครื่องลูกข่าย จึงทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM สามารถต่อกับอินเทอร์เน็ตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- เทคโนโลยี EDGE (Enhance Data Rates for Global Evolution) เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการคิดค้น และพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับการสื่อสารข้อมูลด้วยอัตราเร็วที่สูงสุดถึง 384 Kbps ในการพัฒนาเครือข่าย GSM หรือ GPRS ให้รองรับเทคโนโลยี EDGE จำเป็นต้องลงทุนสูงมาก เนื่องจากต้องมีการเปลี่ยนอุปกรณ์รับส่งสัญญาณวิทยุของสถานีฐาน โดย EDGE สามารถให้บริการ VDO Streaming และ TV on Mobile ได้

- เทคโนโลยี CDMA2000 (Code Division Multiple Access 2000) มีผู้คนจำนวนมากเข้าใจผิดคิดว่าระบบ CDMA เป็นมาตรฐานที่เกิดในยุค 3G ซึ่งมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA หรือ IS - 95 นับเป็นมาตรฐานที่ได้รับการนำไปใช้งานในเชิงธุรกิจมากเป็นอันดับที่สองรองลงมาจากมาตรฐาน GSM เมื่อครั้งที่เริ่มมีการก้าวเข้าสู่ยุค 2.5G

5) ยุค 3G (Third Generation) : สื่อประสมเซลลูลาร์ (Multimedia Cellular)

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 3G (3rd Generation) เป็นยุคที่มีการขยายตัวสูงต่อจาก 2.5G มีวัตถุประสงค์หลักของการพัฒนานั้นมุ่งเน้นในการให้บริการสื่อประสม (Multimedia) โดยที่ยังคงคุณภาพการให้บริการทางเสียง โดยสามารถรับ - ส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดถึง 2 Mbps จึงทำให้ระบบ 3G สามารถให้บริการที่หลากหลายมากขึ้น เช่น การรับ - ส่ง ข้อมูล ที่มี ข น า ด ใ ห้ ผู้ การ ใช้บริการ Video/Call Conference ดาวน์โหลดเพลง บริการ TV Streaming ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับเทคโนโลยี 2G กับ 3G แล้วเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G มีช่องสัญญาณความถี่ รวมทั้งความจุ

ในการรับส่งข้อมูลที่มากกว่า และเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G มีการเชื่อมต่อกับโครงข่ายตลอดเวลา (Always On) ในปี 1999 สมาพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) ได้ประกาศให้ระบบ 3G เป็นมาตรฐานสากล โดยมี 3 เทคโนโลยีหลักดังนี้

- WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) กลุ่มมาตรฐาน IMT - 2000/UMTS (Universal Mobile Telecommunication Services) ทำการรับผิดชอบการพัฒนา มาตรฐาน WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) สำหรับมาตรฐาน WCDMA นอกจากจะเป็นเส้นทางในการพัฒนาสู่มาตรฐาน 3G ของผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM แล้ว ยังได้รับการยอมรับจากผู้ให้บริการรายใหญ่อย่างบริษัท NTT DoCoMo ผู้เปิดให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่ i-mode โดยใช้เทคโนโลยี PDC ให้เป็นมาตรฐาน 3G สำหรับใช้งานภายใต้เครื่องหมายการค้า “FOMA” โดยได้เปิดให้บริการในประเทศญี่ปุ่นในปี 2001 ซึ่งในปัจจุบัน WCDMA ได้กลายเป็นเครือข่าย 3G ที่ใหญ่ที่สุดในประเทศญี่ปุ่น

- CDMA2000 (Code Division Multiple Access 2000) เป็นมาตรฐานการพัฒนาเครือข่าย CDMA ในมาตรฐานของ Qualcomm สหรัฐอเมริกา โดยให้รองรับการสื่อสารในยุค 3G รับผิดชอบการพัฒนามาตรฐาน โดยองค์กร 3GPP2 มีเทคโนโลยีหลักคือ cdma2000 - 3xRTT ที่มีศักยภาพเทียบเท่ากับมาตรฐาน WCDMA ของค่ายยุโรปแต่ปัจจุบันยังไม่มีกำหนดความพร้อมสำหรับให้บริการเชิงพาณิชย์ที่ชัดเจน สำหรับในประเทศไทยบริษัท ฮัทซัน ซีเอที ไร้เลส มีเดีย จำกัด เปิดให้บริการเฉพาะเครือข่าย cdma2000 1xEV - DO ซึ่งยังมีขีดความสามารถเทียบเท่าเครือข่าย 2.5G เท่านั้น

- TD - CDMA (Time Division Synchronous Code Division Multiple Access) เป็นมาตรฐาน 3G ที่พัฒนาโดยประเทศจีน โดยเป็นความร่วมมือระหว่างบริษัท Siemens และทีมวิจัย China Wireless Telecommunication Standard Group ของรัฐบาลจีนและได้ประกาศให้ TD - SCDMA เป็นมาตรฐานเครือข่ายโทรศัพท์มือถือของประเทศในเดือนตุลาคมปี 2002 มาตรฐานดังกล่าวใช้ความถี่ช่วง 155 MHz เป็นช่องสัญญาณการสื่อสาร ซึ่งมาตรฐาน TD - SCDMA เป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายประเภท Stand alone ครอบคลุมพื้นที่กว้างและสามารถรองรับเทคโนโลยี GSM (Global System for Mobile Communications) และ WCDMA

วิวัฒนาการของเทคโนโลยี 3G ที่มีการพัฒนาจากมาตรฐาน CDMA แบ่งเป็น 2 ค่ายหลักคือ (1) ค่ายบริษัท Qualcomm ของสหรัฐอเมริกาใช้เทคโนโลยี CDMA2000 และพัฒนาไปเป็น 1xEVDO RevA (เครือข่าย CAT - HUTCH ได้ติดตั้งแล้วในประเทศไทย) และ 1xEVDO RevB และในส่วนของมาตรฐาน (2) ค่ายยุโรปใช้เทคโนโลยี WCDMA (UMTS) มีการพัฒนาเป็น HSDPA และจะพัฒนาต่อออกไปจนถึง HSUPA (HSPA) ในช่วงปี 2007 - 2009

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้มาตรฐานเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G แบบ WCDMA มีแนวโน้มของการประสบความสำเร็จทางธุรกิจที่รวดเร็วกว่ามาตรฐาน 2G จนถึง 2.5G นั้น มีเหตุผลมาจากการปฏิวัติรูปแบบของเทคโนโลยีเครือข่ายเพื่อตอบสนองรูปแบบการสร้างความร่วมมือทางธุรกิจให้ผลิตภัณฑ์บริการ Non - Voice อย่างเต็มรูปแบบ วิวัฒนาการของเทคโนโลยี GSM GPRS EDGE ถูกพัฒนามาเป็น 3G/UMTS ไปจนถึง HSDPA ซึ่งผลักดันให้มีการรวมกันของเทคโนโลยี (Technology convergence) ซึ่งเป็นการรวมกันระหว่างระบบ Fixed/mobile และ Internet โดยมีการเพิ่มศักยภาพทั้งในด้านการพัฒนาอัตราการรับส่งข้อมูลให้สูงขึ้นและมีความสามารถในการเคลื่อนที่ (Mobility) มากขึ้น

UMTS Forum ได้กล่าวถึงจุดแข็งของเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G มาตรฐาน WCDMA ดังนี้

- เครือข่าย WCDMA มีขีดความสามารถในการรองรับข้อมูลแบบ Voice และ Non - Voice โดยผู้ใช้บริการจะรับรู้ได้ว่าคุณภาพเสียงจากการใช้งานเครือข่าย 3G ชัดเจนกว่าหรืออย่างน้อยเทียบเท่าการสนทนาผ่านเครือข่าย 2G ส่วนการรับส่งข้อมูลแบบ Non - Voice

จะรับรู้ถึงอัตราเร็วในการสื่อสารที่สูงกว่าการใช้งานผ่านเครือข่าย 2.5G มาก ซึ่งเป็นผลมาจากการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีเครือข่าย

- WCDMA เป็นมาตรฐานเปิด (Open Standard) ซึ่งได้รับการพัฒนาโดยกลุ่ม 3GPP ซึ่งเป็นกลุ่มเดียวกับผู้พัฒนามาตรฐาน GSM ทำให้ผู้ใช้บริการ 3G สามารถใช้งานข้ามเครือข่ายเทคโนโลยีเดิมได้ (Roaming) เช่นเดียวกับที่เป็นอยู่ในเครือข่ายยุค 2G โดยผู้ใช้บริการเพียงมีอุปกรณ์สื่อสารแบบ Dual Mode เท่านั้น ทำให้เป็นการปลดล็อกปัญหาการไม่เข้ากันของเทคโนโลยี อีกทั้งเป็นการเปิดให้ผู้ประกอบการเครือข่ายรายอื่นได้ร่วมเข้าใช้บริการในลักษณะของ Mobile Virtual Network Operator (MVNO) ซึ่งจะเป็นรายได้ที่สำคัญนอกเหนือจากการให้บริการ 3G กับผู้ใช้บริการที่จดทะเบียนภายในเครือข่ายอีกด้วย

- หากพิจารณาเฉพาะการให้บริการแบบ Voice เห็นได้ว่าการลงทุนสร้างเครือข่าย WCDMA มีต้นทุนที่ต่ำกว่าการสร้างเครือข่าย GSM ถึงกว่า 30% เนื่องจากมาตรฐาน WCDMA มีความยืดหยุ่นและคล่องตัว จึงทำให้ผู้ใช้บริการ (Operator) สามารถปรับเปลี่ยนทรัพยากรความถี่เพื่อรองรับ Voice และ Non - Voice ได้อย่างผสมผสาน ต่างจากการกำหนดทรัพยากรตายตัวในกรณีของเทคโนโลยี GSM

- WCDMA เป็นมาตรฐานสื่อสารเคลื่อนที่แบบแถบความถี่กว้าง (Wideband) ซึ่งประสิทธิภาพในการเพิ่มขีดความสามารถในการให้บริการด้วยความเร็วสูงสุดถึง 2 Mbps ในขณะที่มาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ไม่สามารถพัฒนาให้รองรับการสื่อสารข้อมูลได้มากกว่าเทคโนโลยี EDGE ซึ่งรองรับข้อมูลได้ด้วยอัตราเร็วสูงสุดเพียง 384 Kbps เนื่องจากเป็นระบบแบบแถบความถี่แคบ (Narrow Band) จึงยากแก่การบริหารทรัพยากรความถี่

- ระบบ WCDMA ออกแบบให้รองรับเทคโนโลยีในอนาคตและเป็นไปตามมาตรฐานสากล โดยเฉพาะมาตรฐาน IETF (Internet Engineering Task Force) ที่ทำให้ผู้ให้บริการ (Operator) สามารถเปิดโอกาสให้พันธมิตรทางธุรกิจซึ่งมีความเชี่ยวชาญในการพัฒนาโปรแกรมหรือบริการพิเศษต่าง ๆ บนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ไม่ต้องปรับตัวตามเทคโนโลยีใหม่ ๆ โดยใช้ทักษะความสามารถและความชำนาญที่มีอยู่บนเทคโนโลยีมาตรฐานจึงเป็นการกระตุ้นให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ในการสร้างบริการประเภท Non - Voice รูปแบบใหม่ได้ง่ายขึ้น

เทคโนโลยีของการสื่อสารได้ถูกพัฒนาเพื่อให้สามารถใช้งานร่วมกันระหว่างเครือข่ายชนิดที่ต่างกันได้ในหัวข้อที่ 2.3 กล่าวถึงการพัฒนาการสื่อสารในยุคที่ 4 ต่อไป

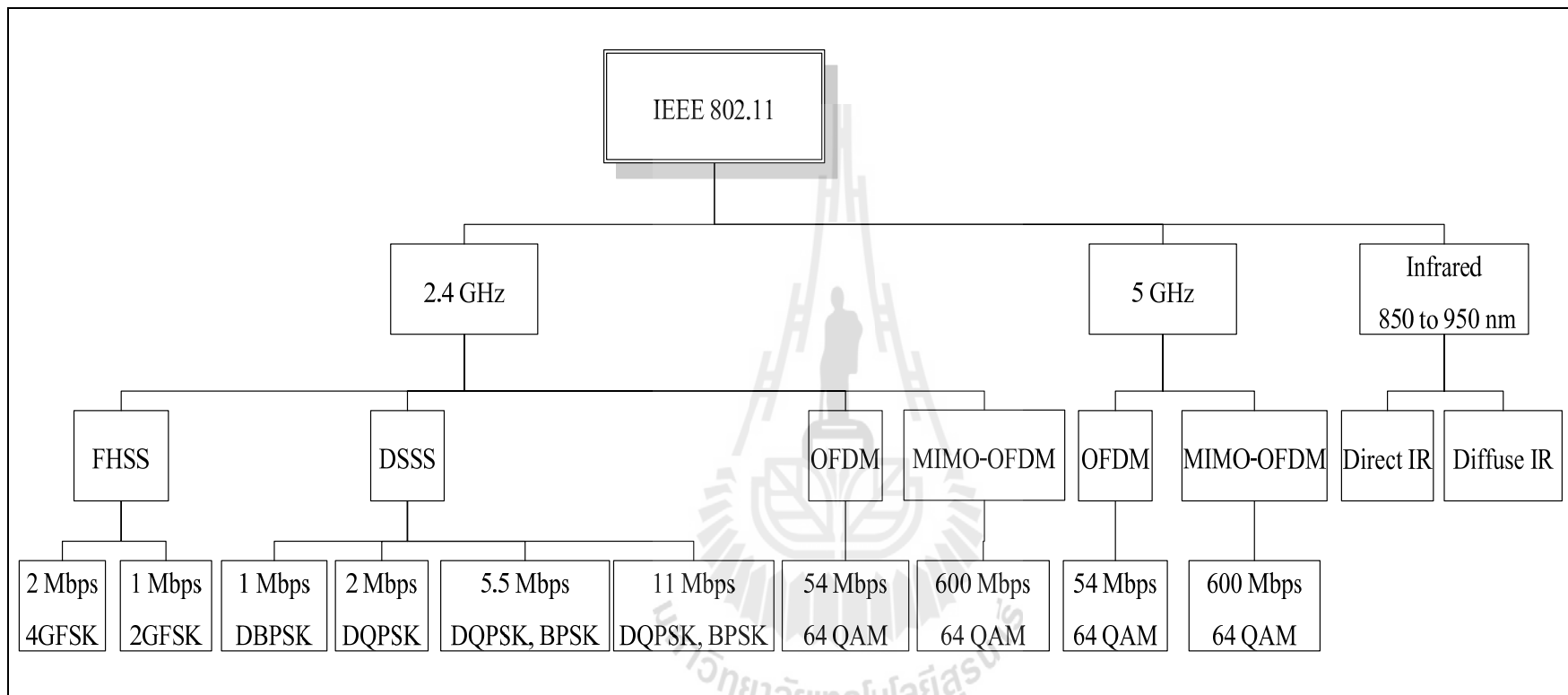
2.2.2 วิวัฒนาการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network : WLAN) ถูกพัฒนาขึ้นมาเป็นครั้งแรกในยุค 1980 โดยใช้ความถี่ย่าน 900 MHz ซึ่งใช้ความถี่ย่าน ISM Band (Industrial Sciences Medicine) นี้ และจากระบบไร้สายย่าน 900 MHz นี้ใช้ความถี่เดียวกับระบบโทรศัพท์แบบเซลลูลาร์ทำให้สะดวกและประหยัดในการพัฒนาระบบเครือข่าย แต่เครือข่ายไร้สายที่ใช้ความถี่นี้ไม่สามารถวางจำหน่ายได้ เนื่องจากบางประเทศได้สงวนย่านความถี่ 900 MHz ไปใช้กับระบบโทรศัพท์มือถือเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายย่านนี้จึงไม่เป็นที่นิยม

ยุคปี 1990 เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายย่าน 2.4 GHz ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพราะความถี่ย่านนี้เป็นความถี่สูงมาก จึงพัฒนาระบบเครื่องรับและส่งได้ยาก ทำให้ไม่ค่อยมีผู้นิยมใช้ ประเทศต่าง ๆ ก็ยังไม่ได้จัดสรรความถี่ 2.4 GHz นี้ไปใช้งาน ทำให้อุปกรณ์ไร้สายที่ใช้ความถี่นี้มีโอกาสเติบโตได้มากกว่าระบบอื่น แต่มีผู้ผลิตอุปกรณ์ไร้สายหลายรายต่างพัฒนามาตรฐานของตน ทำให้ใช้ร่วมกันไม่ได้จึงเกิดปัญหาขึ้นและในปี 1992 องค์กร IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) จึงเข้ามาทำหน้าที่กำหนดมาตรฐานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแล้วตั้งมาตรฐาน 802.11 เพื่อใช้ระบุมาตรฐานท้องถิ่นไร้สายรุ่นต่าง ๆ ออกมา ดังแสดงในรูปแบบที่ 2.3

มาตรฐานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ ตามคลื่นความถี่ที่ใช้กัน กลุ่มแรกคือ ย่านความถี่ 2.4 GHz กลุ่มที่สองคือ ย่านความถี่ 5 GHz ส่วนกลุ่มสุดท้ายใช้แสงอินฟราเรด (Infrared) เพื่อการติดต่อโดยแต่ละประเภทมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน เครือข่ายไร้สายย่านความถี่ 2.4 GHz ได้รับความนิยมเพราะมีต้นทุนในการผลิตอุปกรณ์ที่ต่ำกว่าและย่านความถี่ 2.4 GHz นี้สามารถเดินทางได้ไกลกว่าย่าน 5 GHz





รูปที่ 2.3 เครื่องข่ายไร้สายประเภทต่าง ๆ ตามมาตรฐาน 802.11

1) เครือข่ายไร้สายที่ใช้แสงอินฟราเรด

เครือข่ายไร้สายที่ใช้แสงอินฟราเรดนี้ถูกพัฒนาในยุคแรก ๆ แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้ เพราะมีความเร็วในการทำงานต่ำและอุปกรณ์ค่อนข้างแพง ปัจจุบันไม่มีวางจำหน่ายแล้ว แต่สาเหตุสำคัญที่ไม่มีมีการนำไปใช้งานในทางปฏิบัติคือ อุปกรณ์เครื่องรับและเครื่องส่งจะต้องอยู่ในแนวสายตา (Line of Sight : LoS) เพื่อให้สามารถรับและส่งสัญญาณได้ หากอยู่นอกระยะสายตาแล้วแทบจะรับสัญญาณไม่ได้เลย ทางด้านผู้พัฒนาได้พัฒนา Diffused IR โดยมีหลักการคือ ใช้แสงอินฟราเรดที่สะท้อนกระจายไปตามวัสดุต่าง ๆ เช่น ผนังห้อง ประตู ตู้ ซึ่งไม่จำเป็นต้องวางเครื่องรับและเครื่องส่งแสงอินฟราเรดไว้ในระดับสายตา แสงอินฟราเรดสามารถสะท้อนไปมาในห้องได้ แต่จำกัดการใช้งานไว้อยู่ในห้องเดียวกัน ส่วนระยะทางใช้ได้เพียง 25 - 35 ฟุตที่ความเร็ว 1 - 2 Mbps ปัจจุบันเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้แสงอินฟราเรดไม่ค่อยมีผู้ผลิตอุปกรณ์ออกมาใช้แล้ว ที่เหลือส่วนมากจะเป็นผู้ผลิตรายย่อยที่ไม่มีชื่อเสียงมากนัก ดังนั้น การใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้แสงอินฟราเรดจึงหมดยุคไป แต่ยังมีการใช้งานแสงอินฟราเรดในอุปกรณ์คอมพิวเตอร์อยู่ทั่วไป โดยจะเป็นการใช้งานจากพอร์ตอินฟราเรดที่ติดตั้งมาไว้แล้วในอุปกรณ์พีดีเอ หรือ โน้ตบุ๊ก เพื่อติดต่อสื่อสารระยะใกล้ ๆ เท่านั้น ซึ่งพอร์ตนี้มีความเร็วประมาณ 4 Mbps (FIR) และทำงานได้ระยะไกลสุดเพียง 2 เมตรเท่านั้น

2) เครือข่ายไร้สายที่ใช้บลูทูธ

บลูทูธ (Bluetooth) เป็นมาตรฐานที่สามารถใช้สร้างเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายส่วนตัวได้ แม้ว่าจะไม่อยู่ในมาตรฐาน 802.11 ที่ใช้ในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย แต่เพราะบลูทูธนั้นถูกพัฒนามาจากเป้าหมายที่ใช้ต่อระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เช่น พีดีเอ โทรศัพท์มือถือ โน้ตบุ๊กในระยะสั้น ๆ และมีความเร็วต่ำที่ประมาณ 3 Mbps (Bluetooth+EDR) และระยะการทำงานต่ำเพียง 10 เมตร จึงไม่นำมาใช้เป็นระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ปัจจุบันการใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นการเชื่อมต่อระหว่างหูฟังไร้สายที่เป็นบลูทูธกับโทรศัพท์มือถือ หรือใช้ต่ออินเทอร์เน็ตผ่านอุปกรณ์ไร้สายอื่น เช่น ระหว่างโน้ตบุ๊กกับโทรศัพท์มือถือ พีดีเอกับโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

3) เครือข่ายไร้สายตามมาตรฐาน 802.11

- **มาตรฐาน 802.11b (11 Mbps)**

เป็นมาตรฐานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ผู้ใช้มากที่สุดเป็นเพราะใช้ความถี่ย่าน 2.4 GHz ซึ่งเป็นความถี่เสรีที่ทุกประเทศเปิดใช้ได้อย่างอิสระ จากการที่ถูกประกาศให้เป็นมาตรฐานตั้งแต่ปี 1999 จึงมีผู้รู้จักมากกว่ามาตรฐานอื่น ๆ มีความเร็วในการทำงาน 4 ระดับคือ 11 5.5 2 และ 1 Mbps เครือข่ายที่ให้บริการอินเทอร์เน็ตไร้สายแบบ Hotspot ส่วนใหญ่จะใช้มาตรฐานนี้แต่เครือข่ายนี้มีปัญหาคือ มีความเร็วต่ำที่สุดในมาตรฐานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

- **มาตรฐาน 802.11g (54 Mbps)**

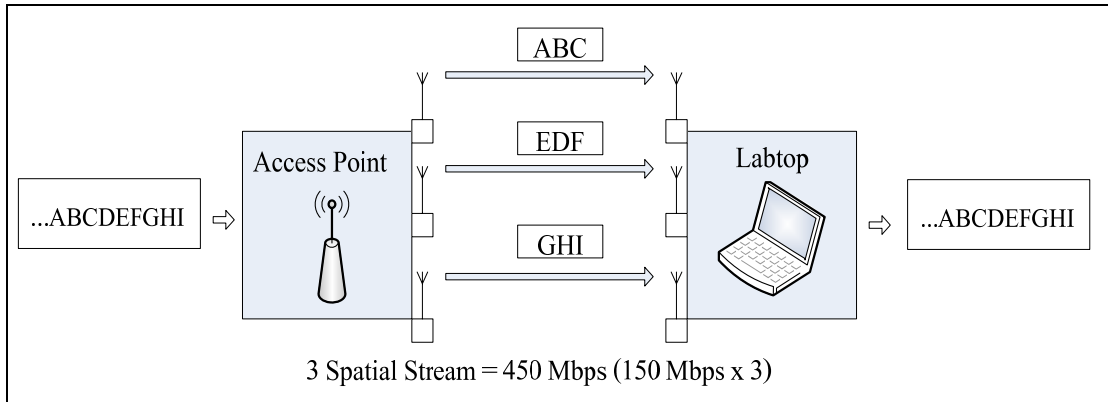
เป็นมาตรฐานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่เปิดตัวปี 2003 มีข้อดีคือมีความเร็วในการทำงานสูงถึง 54 Mbps และมีระยะการทำงานไกลสุดเท่ากับมาตรฐาน 802.11b และยังใช้ย่านความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นช่วงที่ใช้งานได้เสรี มีความสามารถทำงานร่วมกันกับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายตามมาตรฐาน 802.11b ได้

- **มาตรฐาน 802.11a (54 Mbps)**

เป็นมาตรฐานที่เปิดตัวพร้อมกับมาตรฐาน 802.11b ตั้งแต่ปี 1999 แต่ไม่ค่อยมีผู้นิยมใช้เนื่องจากใช้ความถี่ย่าน 5 GHz เป็นย่านที่ไม่ได้เปิดให้ใช้อย่างเสรีในทุก ๆ ประเทศ ส่วนในประเทศไทยย่านความถี่นี้เพิ่งเปิดให้ใช้ประมาณปี 2007 ข้อดีของมาตรฐานนี้ก็คือมีความเร็วในการทำงานสูงถึง 54 Mbps แต่ข้อเสียคือ ใช้งานได้ไกลสุดประมาณ 50 เมตรเท่านั้น และยังไม่สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ในมาตรฐาน 802.11b และ 802.11g ได้เนื่องจากใช้ความถี่ต่างกัน

- **มาตรฐาน 802.11n (300 - 600 Mbps)**

เป็นเครือข่ายไร้สายที่มีความเร็วสูงสุดถึง 600 Mbps โดยส่งผ่าน 4 Stream ซึ่งประกอบไปด้วยสายอากาศ 4 ชุด ทั้งภาครับและภาคส่งแต่ละ Stream จะมีความเร็วที่ 150 Mbps สามารถใช้งานได้ทั้งย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz หากใช้งานช่องสัญญาณขนาด 40 MHz จะส่งข้อมูลได้สูงกว่าการใช้ช่องสัญญาณขนาดมาตรฐาน คือ 20 MHz มาตรฐาน 802.11n เป็นมาตรฐานใหม่ตั้งแต่ปี 2009 โดยได้เปลี่ยนวิธีการส่งสัญญาณวิทยุจากการที่ใช้สายอากาศต้นเดียวในการรับและส่งเป็นการใช้หลายอากาศหลายต้นซึ่งเรียกเทคโนโลยีนี้ว่า MIMO (Multiple Input Multiple Output) เทคโนโลยีนี้จะช่วยทำให้รับและส่งสัญญาณด้วยความเร็วสูงมากขึ้น และปรับปรุงโปรโตคอล (Protocol) ในการรับและส่งข้อมูลให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น ในการทำงานตามมาตรฐาน 802.11n จะใช้ช่องสัญญาณขนาด 20 MHz และ 40 MHz ซึ่งเป็นการรวมช่องสัญญาณมาตรฐานจำนวน 2 ช่องเข้าด้วยกัน (Channel Bonding) จะทำให้ส่งข้อมูลได้ที่ความเร็วสูงกว่าเดิมเกือบ 2 เท่า แต่ยังไม่พอเพราะระบบไร้สาย 802.11n ใช้สายอากาศหลายต้นในการส่งและรับข้อมูลขนานออกไปในช่องสัญญาณความถี่เดียวกัน โดยอาศัยเทคนิค Spatial Multiplexing จึงไม่ทำให้สัญญาณจากชุดสายอากาศทั้งหมดรบกวนกัน ข้อมูลที่ได้จึงเปรียบเสมือนการส่งขนานกันไป เมื่อจำนวนชุดสายอากาศคู่รับส่งเพิ่มขึ้น (Spatial Stream) ก็จะทำให้สามารถส่งข้อมูลได้เร็วขึ้น โดยมาตรฐานนี้กำหนดไว้สูงสุด 4 Spatial Stream มีความเร็ว Stream ละ 150 Mbps ระบบไร้สายมาตรฐาน 802.11n จึงมีความเร็วสูงสุด 600 Mbps ดังแสดงในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงเทคนิคที่ใช้ในมาตรฐาน 802.11n เพื่อเพิ่มความเร็วในการทำงาน

ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงคุณสมบัติเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย

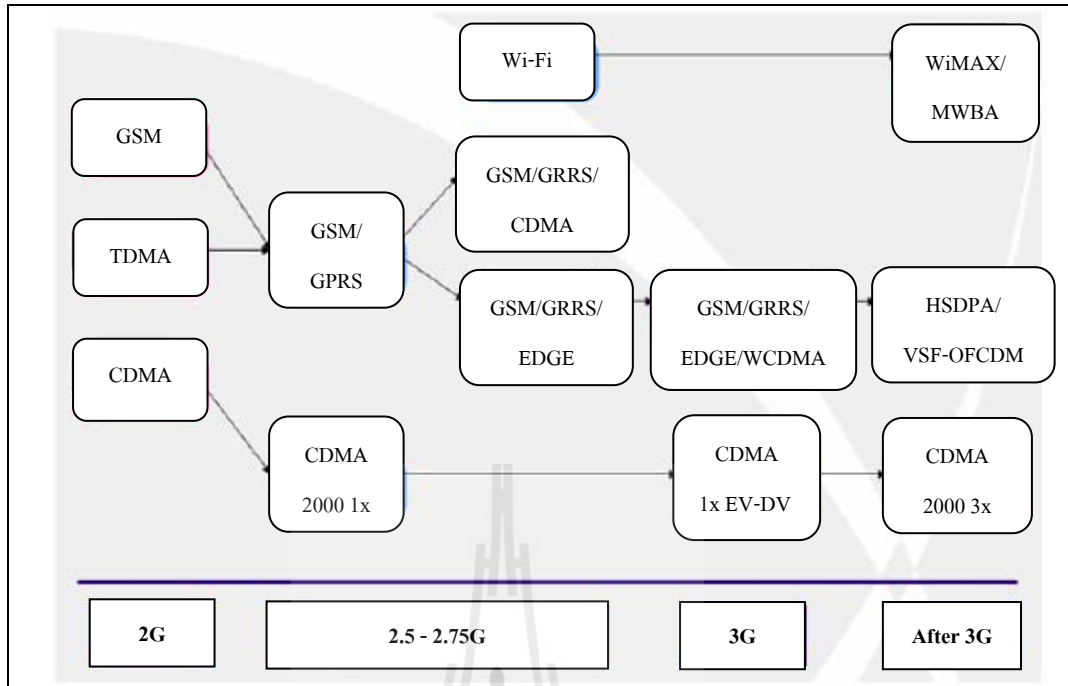
เทคโนโลยี		วิธีการโมดูเลต (Modulation)	อัตราเร็ว (Mbps)	ระยะทางสูงสุด (เมตร)	ความถี่ (GHz)
Wireless	IEEE802.11n	MIMO - OFDM	600	100	2.4/5
LAN	IEEE802.11a	OFDM	54	30	5
	IEEE802.11b	DSSS	11	100	2.4
	IEEE802.11g	OFDM	54	100	2.4
Bluetooth	IEEE802.15	FHSS	1	10	2.4
Infrared	FIR (Fast Infrared)	4PPM	4	2	-

2.3 การสื่อสารในยุค 4G

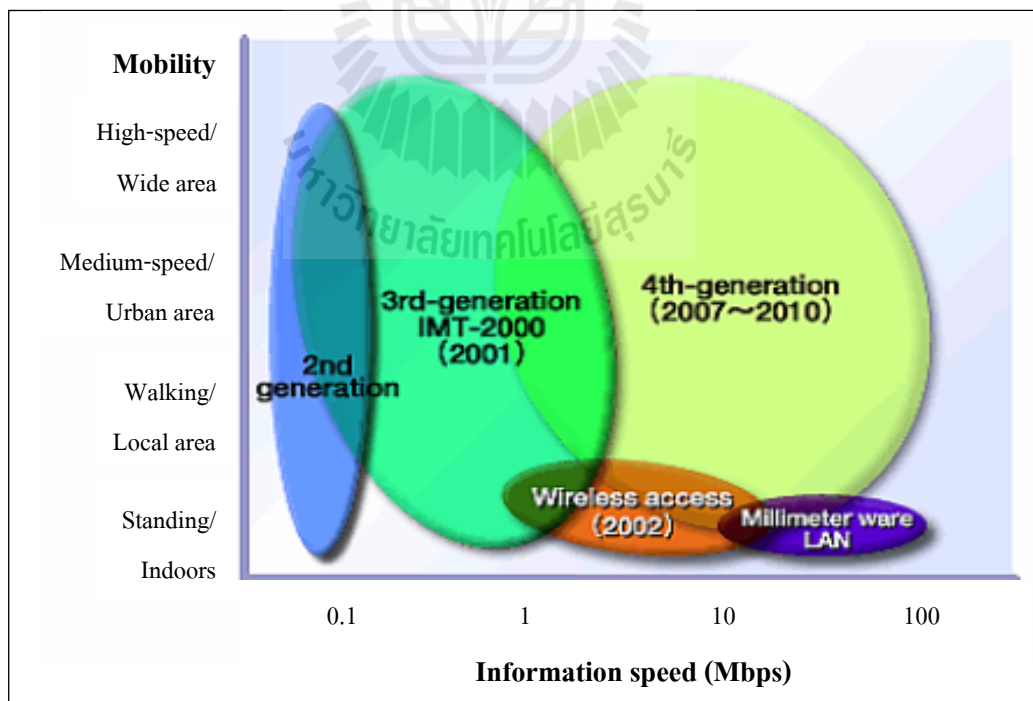
ยุคบรอดแบนด์ไร้สาย

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G (4th Generation) เป็นการพัฒนามุ่งเน้นการรองรับการสื่อสารสื่อประสม (Multimedia) ที่มีความเร็วการส่งข้อมูลที่สูงกว่า 2 Mbps เช่น การให้บริการข่าวสารข้อมูลเพื่อการศึกษา การซื้อขายสินค้าผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่และสามารถหักค่าใช้จ่ายผ่านบัญชีเงินในธนาคารได้ทันที (Mobile Commerce) วิดีโอแบบภาพเคลื่อนไหวที่เต็มรูปแบบ (Full Motion Video) หรือการประชุมทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Teleconferencing) รูปที่ 2.5 แสดงถึงการพัฒนาเทคโนโลยีเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จากยุค 2G ไปสู่ 3G และต่อเนื่องไปสู่ 4G โดยแต่ละยุคของเซลลูลาร์มีการเพิ่มขีดความสามารถในด้านความเร็วของการรับ - ส่งข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และได้ทำการเพิ่มความกว้างของช่องทางการรับ - ส่งข้อมูล (Bandwidth) ให้มากขึ้น ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา ผู้นำทางด้านอุตสาหกรรมโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ผลักดันให้เกิดเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายความเร็วสูง (High Speed Wireless Networks) ขึ้น

4G เป็นยุคของเครือข่ายไร้สายที่จะมาแทนที่เครือข่าย 3G ในอนาคต 4G เริ่มขึ้นจากห้องวิจัยและพัฒนาของสถาบัน การศึกษาที่ต้องการหลุดออกจากข้อจำกัดและปัญหาของ 3G ในช่วงครึ่งปีแรกของปี 2002 ระบบ 4G เป็นกรอบแนวคิดเพื่อนำไปสู่การพัฒนาเครือข่ายไร้สายความเร็วสูงของคนทั่วโลกที่จะเชื่อมต่อกับเครือข่าย Wireline Backbone ได้อย่างไร้พรมแดน 4G จึงเป็นความหวังและแนวคิดของกลุ่มนักวิจัยทั้ง Motorola Qualcomm Nokia Ericsson Sun HP NTT DoCoMo และผู้จำหน่ายระบบโครงข่ายต่าง ๆ ที่ต้องการจะตอบสนองความต้องการใช้ MMS มัลติมีเดีย และแอปพลิเคชันของวิดีโอ ถ้า 3G ไม่สามารถก้าวไปสู่จุดที่คาดหวังไว้ได้จริง โดยมีแรงจูงใจในการพัฒนา 4G คือ



รูปที่ 2.5 การพัฒนาเทคโนโลยี 2G ไปสู่ 3G และต่อเนื่องยุค 4G



รูปที่ 2.6 ประสิทธิภาพในด้านความสามารถในการเคลื่อนที่ (Mobility) และความเร็วการรับ - ส่งข้อมูลของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุค 2G 3G และ 4G

- การทำงานของ 3G อาจจะไม่เพียงพอที่จะสนองตอบความต้องการของ Application ระดับสูง อย่างเช่น สื่อประสม (Multimedia) วิดีโอแบบภาพเคลื่อนไหวที่เต็มรูปแบบ (Full-motion video) หรือการประชุมทางโทรศัพท์แบบไร้สาย (Wireless Teleconferencing) ทำให้เกิดความต้องการเทคโนโลยีเครือข่ายที่จะมาช่วยเพิ่มขีดความสามารถของ 3G

- แม้ว่าจะมีความพยายามที่จะทำให้ 3G เป็นโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถ Roaming ข้ามโครงข่ายทุกประเภทได้ แต่ด้วยมาตรฐานที่ซับซ้อนของ 3G ก็ยังคงมีปัญหาอยู่บ้างในการเชื่อมโยงและทำงานร่วมกันระหว่างเครือข่าย อย่างไรก็ตามเราต้องการใช้งานแบบเคลื่อนที่และพกพาไปได้ทั่วโลกและ Roaming ได้อย่างสมบูรณ์ จึงมีความคิดที่จะพัฒนาและแก้ปัญหาที่ยุค 4G

- 3G ทำงานบนแนวคิดของการให้บริการบริเวณพื้นที่หนึ่งแต่เราต้องการเครือข่ายแบบผสมผสานที่สามารถใช้งานเครือข่ายได้ทั้งแบบ Wireless LAN (Hot Spot) และเครือข่ายแบบ Cell หรือแบบสถานีฐาน (Base Station)

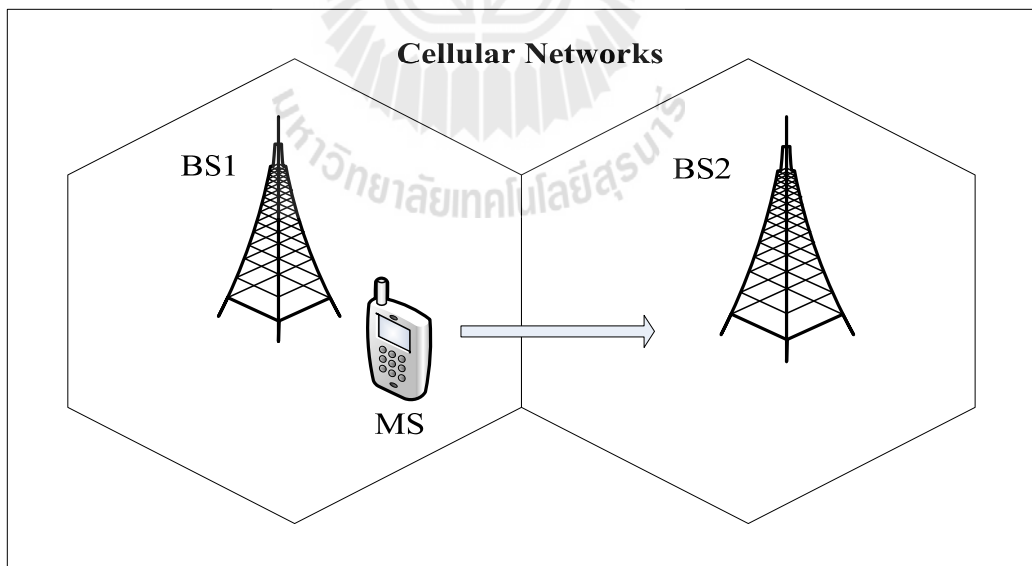
- เราต้องการ Bandwidth ที่กว้างขึ้น และต้องการให้เป็นเครือข่ายแบบ Digital ที่ทำให้ความสามารถในการส่ง voice และ data มีรูปแบบที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

- นักวิจัยต้องการให้รูปแบบการแปลงคลื่นมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งไม่สามารถทำได้ในโครงสร้างของ 3G ด้วยเป้าหมายที่ต้องการเชื่อมต่ออุปกรณ์สื่อสารต่าง ๆ ได้ในทุก ๆ แห่ง จึงทำให้มีการพัฒนา 4G ขึ้นเพื่อทำให้สังคมของการติดต่อสื่อสารได้ทั่วทุกหนแห่งเกิดขึ้นจริง ในปัจจุบัน บริษัท NTT DoCoMo ของประเทศญี่ปุ่นได้มีการศึกษาวิจัยโครงข่ายเพื่อการสื่อสารแบบ 4G ขึ้น โดยจุดหลักของการวิจัยนี้คือ ต้องการเพิ่มขีดความสามารถของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยการส่งผ่านข้อมูลด้วยความเร็วสูงถึง 100 Mbps ในขณะสื่อสารภายนอกอาคาร (Outdoor) และ 1 Gbps ในขณะสื่อสารภายในอาคาร (Indoor) และเทคโนโลยีนี้ก็ได้รับการรับรองในหลักการแล้ว และขณะนี้ NTT DoCoMo ก็ได้จัดการทดสอบและทดลองแล้ว โดยข้อเท็จจริงแล้วในการทดลอง NTT DoCoMo ประสบความสำเร็จในการส่งข้อมูลได้เร็วสุดถึง 2.5 Gbps ซึ่งนับว่าเป็นครั้งแรกของโลกด้วย ความก้าวหน้าในการพัฒนาของ NTT DoCoMo ก็คือการเชื่อมโยงบริการต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ตัวอย่างเช่น การสร้างเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โพรโตคอลเคลื่อนที่ (Mobile IP network) เพื่อการส่งข้อมูลระหว่างเครือข่ายเซลลูลาร์ (Cellular) กับเครือข่ายอื่น ๆ เช่น Wireless LANs เป็นต้น โดยจะเป็นการทำให้การให้บริการ Online มีต้นทุนที่ต่ำลง

2.4 การส่งต่อในแนวตั้ง

2.4.1 พื้นฐานการทำการส่งต่อ (Handover)

การส่งต่อสัญญาณจะเกิดขึ้นเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องหนึ่งซึ่งกำลังมีการใช้งานอยู่ภายในเซลล์หนึ่ง ได้เคลื่อนที่ออกจากขอบเขตการดูแลของเซลล์นั้น แล้วเริ่มเข้าไปอยู่ในบริเวณการดูแลของอีกเซลล์หนึ่ง ซึ่งโดยปกติแล้วสัญญาณที่ได้รับจากเซลล์ปัจจุบันจะมีความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength : RSS) ลดลงเรื่อย ๆ ตามระยะทางที่ห่างออกไป ดังแสดงในรูปที่ 2.7 ในขณะที่เคลื่อนที่เมื่อสถานีโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Station : MS) เคลื่อนที่จากสถานีฐาน (Base Station : BS) ที่หนึ่งเข้าไปใกล้สถานีฐานที่สองของเซลล์ข้างเคียงมากขึ้นก็จะทำให้สามารถรับสัญญาณจากเซลล์ข้างเคียงได้แรงขึ้น เพื่อที่จะให้การสนทนาของผู้ใช้ไม่ถูกขัดจังหวะ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะทำการโอนย้ายการควบคุมดูแลและติดต่อจากเซลล์เดิมไปให้กับเซลล์ใหม่ สังเกตว่าในการตัดสินใจว่าควรจะมีการทำการส่งต่อสัญญาณหรือไม่นั้นจึงมักขึ้นอยู่กับกำลังของสัญญาณเป็นปัจจัยหลัก โดยปกติแล้วการโอนย้ายควรจะเกิดขึ้นโดยผู้ใช้บริการมิได้ทราบหรือสังเกตเลยว่ามีทำการส่งต่อสัญญาณเกิดขึ้น คำว่าแฮนด์โอเวอร์ (Handover) เป็นคำที่ใช้กันในกลุ่มประเทศยุโรป ส่วนในประเทศอเมริกาจะได้คำว่าแฮนด์ออฟ (Handoff)



รูปที่ 2.7 แสดงการส่งต่อสัญญาณ

ในการทำการส่งต่อสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ (1) ดูจากกำลังของสัญญาณที่ได้รับ และ (2) ดูจากค่าอัตราส่วนระหว่าง Carrier - to - Interference Ratio (C/I) หรืออัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่ต้องการต่อสัญญาณรบกวนสำหรับวิธีแรกถ้ากำลังของสัญญาณที่ได้มีขนาดต่ำกว่าค่าคงที่ค่าหนึ่ง เช่น -100 dBm ก็เข้าข่ายที่จะต้องมีการทำการส่งต่อในวิธีที่สองการทำการส่งต่อจะเกิดขึ้นเมื่อค่า C/I มีขนาดต่ำกว่าค่า ๆ หนึ่ง เช่น 18 dB แต่ในบางกรณีอาจจะใช้ค่า C/I ที่ต่ำกว่านี้ก็ได้ถ้าหากมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มขนาดความจุของระบบขึ้น

1) ความถี่หรือโอกาสที่จะเกิดการทำการส่งต่อ

ปัจจัยหนึ่งที่สำคัญและคำนึงถึงของการส่งต่อก็คือการหาค่าความถี่หรือโอกาสที่จะมีความจำเป็นในการทำการส่งต่อ ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์ที่ใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่ของ MS ทิศทางการเคลื่อนที่ของ MS และระยะเวลาของการสนทนาแต่ละครั้ง วิธีการหนึ่งที่จะช่วยให้สามารถหาค่าความถี่ในการทำการส่งต่อคือ การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ ยกตัวอย่างเช่น MS เครื่องหนึ่งมีการโทรออกในบริเวณเซลล์ที่มีขนาดรัศมี 16 km โดยมีอัตราความเร็วในการเคลื่อนที่เลือกแบบสุ่มขึ้นมาจากค่าระหว่าง 8 - 96 km/hr และทิศทางการเคลื่อนที่จะสุ่มขึ้นจาก 0 - 360 องศา เพราะฉะนั้นโอกาสที่ MS จะเดินทางข้ามขอบของเซลล์จึงขึ้นอยู่กับระยะเวลาการใช้งานของ MS

ตารางที่ 2.2 ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์กรณีเซลล์ที่มีรัศมีเท่ากับ 16 km

ระยะเวลาการใช้โทรศัพท์แต่ละครั้ง (นาท)	โอกาสที่จะต้องมีการทำการส่งต่อ (%)
1.76	11.3
3	18
6	42.6
9	59.3

ตารางที่ 2.2 สรุปผลจากการทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เห็นว่า ถ้าการใช้ MS แต่ละครั้งมีระยะเวลานานเท่ากับ 1.76 นาที โอกาสที่ MS จะชนขอบของเซลล์มีเพียง 11.3% ซึ่งแปลว่าโอกาสที่จะต้องมีการทำการส่งต่อในกรณีนี้มีค่าเท่ากับ 11.3% ด้วยหากระยะเวลาการใช้ MS แต่ละครั้งยาวนานขึ้น เช่นเท่ากับ 9 นาที โอกาสที่จะเกิดการส่งต่อจะมีค่าสูงถึง 59.3% ส่วนผลกระทบของขนาดของเซลล์ก็เช่นเดียวกันคือ ยิ่งขนาดของเซลล์มีรัศมีลดลงเท่าใดโอกาสของการทำการส่งต่อก็มากขึ้นด้วย

2) กลยุทธ์การโอนสาย

ในการพิจารณาเพื่อตัดสินใจว่าจะมีการทำการส่งต่อหรือไม่นั้น โดยปกติแล้ว จะมีการกำหนดค่าของกำลังที่รับได้ต่ำสุด $P_{R(\min)}$ ที่ระบบยังสามารถทำงานได้ตามคุณภาพที่ต้องการไว้ค่าหนึ่ง โดยค่านี้นี้วัดได้จากเครื่องรับของสถานีฐาน (เช่นกำหนดให้เป็นค่าประมาณระหว่าง -90 dBm ถึง -100 dBm) ถ้าเมื่อใดสัญญาณที่วัดได้มีกำลังอยู่ในระดับที่สูงกว่า $P_{R(\min)}$ เพียงเล็กน้อยหรือ $\Delta = P_{R(\text{handover})} - P_{R(\min)}$ มีค่าเล็ก ก็จะเริ่มให้มีการทำการส่งต่อในการกำหนดค่า Δ ควรจะมีค่าเท่าใดเป็นเรื่องสำคัญ เพราะถ้าค่า Δ มีขนาดเล็กเกินไปอาจทำให้เวลาที่มียู่สำหรับกระบวนการทำการส่งต่อน้อยเกินไปทำให้สายหลุดได้ แต่ถ้าค่า Δ มีค่าใหญ่เกินไปก็จะทำให้เกิดการทำการส่งต่อขึ้นโดยไม่จำเป็น ซึ่งเป็นการเพิ่มภาระให้ Mobile Switching Center (MSC) มากขึ้น

การทำการส่งต่ออาจจะไม่ประสบความสำเร็จหากเครือข่ายอยู่ในสถานะที่มีปริมาณการใช้งานมาก ทำให้ส่วนของ MSC ต้องทำงานหนักกว่าปกติ ส่งผลให้กระบวนการทำการส่งต่อต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้น หรือหากการใช้งานของเซลล์ข้างเคียงมีปริมาณจนทำให้ไม่มีช่องสัญญาณที่ว่างสำหรับรองรับการส่งต่อเลย ส่วนของ MSC จำเป็นต้องรองจนกระทั่งมีการว่างสายและมีช่องสัญญาณว่างเกิดขึ้น ปัญหาเหล่านี้มีผลทำให้ระยะเวลาของการทำการส่งต่อนานขึ้นกว่าปกติ และหากระยะเวลานี้นานเกินไปก็จะทำให้การติดต่อของกลุ่มสายที่ต้องมีการทำการส่งต่อสิ้นสุดลงได้ก่อนเวลาอันควร

ปัญหาสำคัญอีกประการที่ต้องนำมาพิจารณาประกอบในการตัดสินใจว่าควรมีการทำการส่งต่อหรือไม่คือ การที่สัญญาณมีกำลังอ่อนลงอย่างฉับพลันซึ่งอาจเกิดจากการบดบังของสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ในบางช่วงขณะ ซึ่งเมื่อ M เคลื่อนที่ออกจากจุดอับสัญญาณแล้ว กำลังของสัญญาณที่รับได้จะมีคุณภาพดีดังเดิม ดังนั้นในสถานการณ์อย่างนี้เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการทำการส่งต่อโดยไม่จำเป็น สถานีฐานก็จะทำการตรวจการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณเป็นช่วงเวลาช่วงหนึ่งก่อนที่จะทำการส่งต่อ นอกจากนี้การวัดระดับของสัญญาณในลักษณะนี้ยังมีประโยชน์ในกรณีที่ MS มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงในทิศทางที่ออกห่างจาก BS ซึ่งเหตุการณ์ลักษณะนี้สามารถสังเกตได้จากการที่ระดับของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ในกรณีแบบนี้การทำการส่งต่อก็ต้องรีบทำอย่างเร่งด่วน

ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคแรกนั้น สถานีฐาน (BS) ของแต่ละเซลล์ มีหน้าที่รับผิดชอบในการวัดระดับสัญญาณของ MS ที่รับได้ที่ BS เพื่อใช้ในการบ่งบอกถึงตำแหน่งของ MS นั้น ๆ ทั้งนี้งานทั้งหมดนั้นอยู่ภายใต้การดูแลของ MSC อีกทอดหนึ่ง นอกจากนี้ BS ยังต้องใช้อุปกรณ์รับสัญญาณที่วางอยู่คอยตรวจวัดระดับสัญญาณของ MS ต่าง ๆ ที่อยู่ภายใต้การดูแลของเซลล์ข้างเคียง อุปกรณ์รับสัญญาณส่วนนี้มีชื่อเรียกว่า Location Receiver ซึ่งอยู่ภายใต้การควบคุมของ MSC โดยข้อมูลเหล่านี้สามารถนำมาช่วย MSC ใช้ในการตัดสินใจเรื่องของการส่งต่อของเซลล์ข้างเคียง

สำหรับระบบโทรศัพท์ในยุคที่สองซึ่งมีการนำเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามาใช้งาน การทำการส่งต่อจะได้รับการช่วยเหลือจาก M แต่ละเครื่องด้วย วิธีนี้เรียกว่า Mobile Assisted Handoff (MAHO) ในวิธีนี้ M แต่ละเครื่องจะวัดระดับสัญญาณที่รับได้จาก BS แต่ละแห่งที่อยู่รอบ ๆ และรายงานผลการวัดไปให้ BS ที่ MS ติดต่อยู่เป็นช่วง ๆ ตลอดเวลา ดังนั้นในกรณีเลือกว่าจะต้องมีการทำการส่งต่อหรือไม่ สังเกตได้จากว่ามีสัญญาณจาก B อื่นหรือไม่ที่ให้อำนาจสัญญาณที่ดีกว่า BS ที่กำลังติดต่อยู่ ถ้าพบว่าสัญญาณจาก BS อื่นมีกำลังดีกว่า และความแตกต่างของระดับสัญญาณมีขนาดเกินกว่าค่ากำหนดค่าหนึ่งหรือมีกำลังดีกว่าเป็นระยะเวลาเกินช่วงเวลากำหนดค่าหนึ่ง จะสั่งให้มีการทำการส่งต่อ

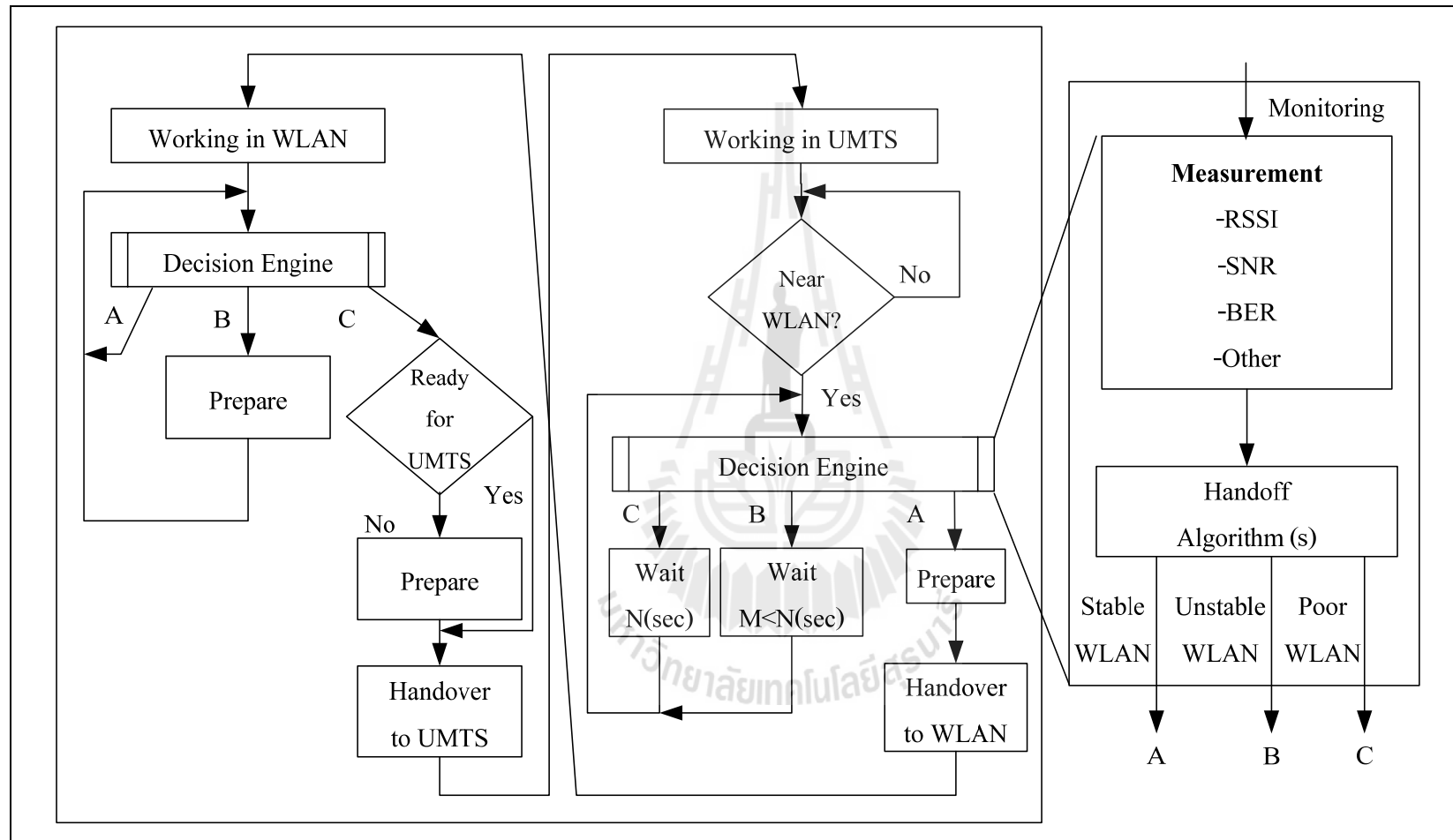
ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ดิจิทัลที่อาศัยเทคโนโลยี CDMA มีลักษณะการส่งต่อต่างไปจากวิธีที่ได้กล่าวมา และโดยทั่วไปจะเรียกการส่งต่อรูปแบบใหม่นี้ว่าการส่งต่อแบบซอฟต์ (Soft Handover) ซึ่งต่างจากการส่งต่อแบบดั้งเดิมที่เรียกว่า การส่งต่อแบบฮาร์ด (Hard Handover) จุดแตกต่างที่สำคัญอยู่ที่กระบวนการโอนสายจาก BS ไปยัง BS ข้างเคียง ซึ่งการส่งต่อแบบซอฟต์จะอาศัยวิธีการส่งต่อแบบที่เรียกว่า ต่อก่อนตัด (Make Before Break) ในขณะที่การส่งต่อแบบฮาร์ดจะเป็นลักษณะของการตัดก่อนต่อ (Break Before Make) กรรมวิธีการต่อก่อนตัด หมายถึง ระบบจะสร้างช่องสัญญาณเชื่อมต่อระหว่าง MS กับ BS ตัวใหม่ไว้ให้เรียบร้อยก่อนที่ตัดการเชื่อมต่อกับ B เดิม ฉะนั้นในช่วงเวลาดังกล่าว MS จะมีการติดต่อกับ BS พร้อมกันได้มากกว่าหนึ่งแห่ง และสามารถเลือกช่องสัญญาณการติดต่อที่คุณภาพดีกว่าได้การทำงานในลักษณะนี้ย่อมจะช่วยให้สัญญาณการติดต่อมีคุณภาพที่ดีขึ้นกว่ากรรมวิธีตัดก่อนต่อที่เป็นเช่นนี้เพราะในกรณีการตัดก่อนต่อหมายถึงในขณะที่ใดขณะหนึ่ง M จะติดต่อกับ BS ได้เพียงแห่งเดียวเท่านั้น

ในบางระบบจะให้ความสำคัญของการส่งต่อมากกว่าการโทรศัพท์ใหม่ตามปกติ ซึ่งถ้าระบบต้องเลือกระหว่างการขอให้บริการส่งต่อจากเซลล์ข้างเคียงกับการที่มีผู้ใช้พยายามจะโทรออก ระบบจะเลือกที่จะให้มีการส่งต่อก่อนและจะตอบปฏิเสธการโทรออก และถ้าต้องการให้แน่ใจว่าจะมีช่องสัญญาณว่างสำหรับการทำการส่งต่อเสมอ อาจจะมีการจัดช่องสัญญาณจำนวนหนึ่งไว้สำหรับรองรับการทำการส่งต่อ โดยเฉพาะหากแต่การทำในลักษณะนี้ก็จะทำให้ความจุในเซลล์นั้น ๆ ลดลงไปด้วย

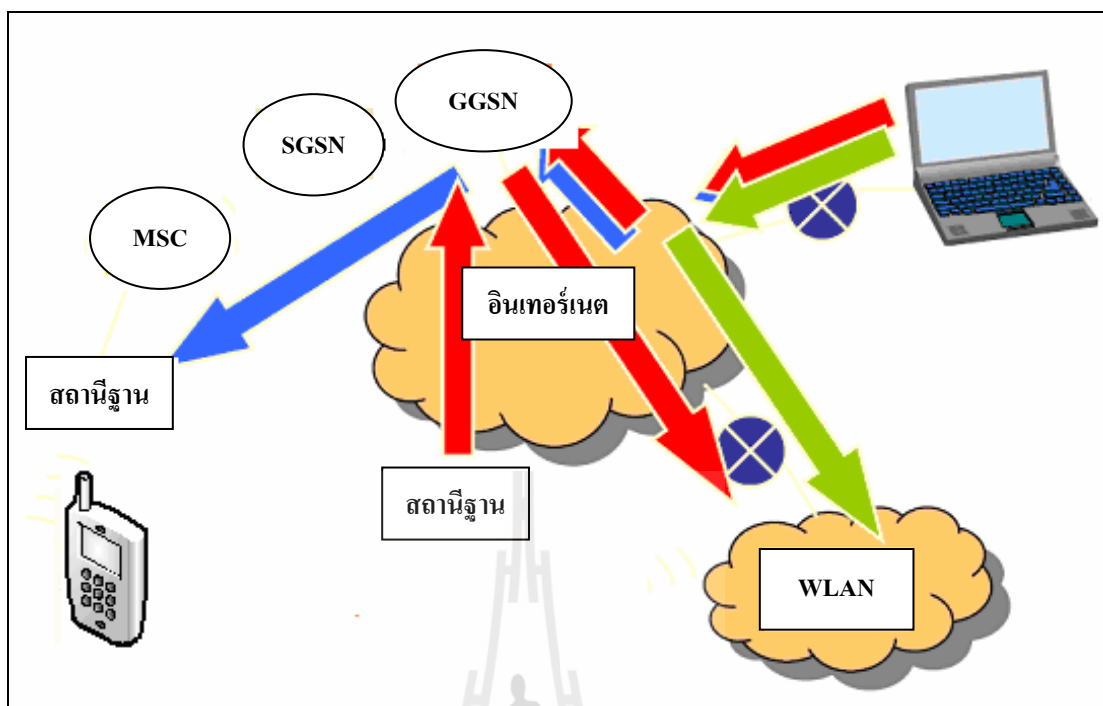
ระบบที่ให้ความสำคัญของการส่งต่อเท่ากันกับการขอโทรออก (Call) คือ ระบบที่โอกาสของการถูกบล็อก (Blocked Call) ในระหว่างการทำส่งต่อกับการโทรออกตามปกติมีค่าใกล้เคียงกัน สำหรับระบบแบบนี้หากพิจารณาความรู้สึกรู้สึกของผู้ใช้แล้วอาจจะไม่ดีนัก เพราะถ้าการสนทนาถูกขัดจังหวะระหว่างกลาง ผู้ใช้จะเกิดความรำคาญและน่ารำคาญกว่าการโทรไม่ติด

2.4.2 การส่งต่อในแนวตั้ง (Vertical Handover)

การส่งต่อในแนวตั้ง (Vertical Handover : VHO) เป็นการส่งต่อระหว่างเทคโนโลยีที่ต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.8 เช่น เครื่องข่ายเซลล์ลูลาร์ทำการส่งต่อกับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ส่วนการส่งต่อในแนวนอน (Horizontal Handover) คือ การส่งต่อระหว่างเทคโนโลยีเดียวกันการเปลี่ยนแปลงอย่างมากในยุคสื่อสารไร้สาย 4G เมื่อเปรียบเทียบกับยุคปัจจุบันคือ เป็นการมุ่งไปสู่การเข้าถึงโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบทั่วถึงหรือไร้ขอบเขตโดยอุปกรณ์สื่อสารเองแทบจะไม่ต้องรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงเมื่อข้ามไปใช้โครงข่ายสื่อสารอื่น ๆ ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ ลักษณะการเคลื่อนที่แบบไร้รอยต่อดังกล่าวเรียกกันว่า Seamless Mobility ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาวิธีการที่อุปกรณ์ข้ามไปใช้ทรัพยากรในเครือข่ายอื่นในขณะที่มีการเคลื่อนที่หรือ Vertical Handover ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้มีการกำเนิดสถาปัตยกรรมและเทคโนโลยีสำหรับเครือข่าย 2G 3G และ B3G (Beyond 3G) ขึ้นมาค่อนข้างจะหลากหลาย เช่น ระบบดาวเทียมแบบใหม่ ๆ i-Fi หรือ Bluetooth เป็นต้น แต่ละเทคโนโลยีมุ่งไปที่ตลาดหรือกลุ่มลูกค้าที่แตกต่างกันซึ่งขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งานของผู้ใช้ ข้อดีของการมีความหลากหลายชนิดของเครือข่ายสื่อสาร คือ มีหลายทางเลือกในการเพิ่มแบนด์วิดท์ หลายทางเลือกในการเข้าใช้อินเทอร์เน็ตหรือการเพิ่มพื้นที่ให้บริการสำหรับผู้ใช้งาน สิ่งเหล่านี้นำไปสู่การคิดค้นพัฒนาวิธีการในการใช้งานแต่ละเครือข่ายสื่อสารบนพื้นฐานโปรโตคอล (Protocol) เดียวกัน ซึ่งทำให้ง่ายในการจัดการการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน



รูปที่ 2.8 การส่งต่อในแนวตั้งระหว่างเครือข่ายที่ต่างกัน (Mika, Y., 2005)



รูปที่ 2.9 GPRS - WLAN Handover โดยที่ GGSN คือ Gateway GPRS Support Node
SGSN คือ Serving GPRS Support Node และ
MSC คือ Mobile Switching Center

เทคโนโลยีไร้สาย 4G มีสิ่งที่เหนือกว่า 3G คือการใช้ PCDMA (Packet Based Code Division Multiple Access) โดยมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพ คือ ประสิทธิภาพสเปกตรัม การจัดสรรแบนด์วิดท์แบบปรับตัวได้ การรักษาความปลอดภัย คุณภาพของการให้บริการ (Quality of Service : QoS) รวมถึงเทคโนโลยีสายอากาศ นอกจากนี้การเข้าถึงโครงข่ายสื่อสารไร้สายยังเป็นแบบทั่วถึง ซึ่งสามารถใช้งานได้ทุกที่ ทุกเวลา ทุกเครือข่าย ยกตัวอย่าง ผู้ใช้ที่อยู่ในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Network : WLAN) สามารถส่งไฟล์ข้อมูลจำนวนมากผ่าน WLAN แต่เลือกที่จะส่งเสียงผ่านระบบ GPRS (General Packet Radio Service) ดังแสดงในรูปที่ 2.9 รวมถึงการที่ผู้ใช้สามารถเคลื่อนที่แบบ Seamless ได้ การส่งผ่านข้อมูลผ่านจากเครือข่ายหนึ่งไปอีกเครือข่ายหนึ่งมีความน่าเชื่อถือและใช้เวลาน้อย ถือว่าเป็นประเด็นหนึ่งที่มีการคำนึงถึงสำหรับการส่งต่อในเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย 4G ด้วยเช่นกัน สำหรับทางด้านเทคนิคแล้วมีพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการทำการส่งต่อในแนวตั้งดังนี้

- ความแรงของสัญญาณที่อุปกรณ์สื่อสารไร้สายสามารถรับได้จากสถานีฐาน
 - ชนิดของการบริการ โดยการบริการที่แตกต่างกันต้องการอัตราข้อมูลหรือความน่าเชื่อถือในการส่งผ่านข้อมูลต่างกัน
 - ค่าใช้จ่ายในการใช้บริการของแต่ละเครือข่าย
 - เงื่อนไขของเครือข่ายที่รองรับได้ เช่น ปริมาณทราฟฟิก (Traffic) แบนด์วิดท์ (bandwidth) ที่รองรับได้ ความคับคั่ง การสูญเสียแพ็คเกจข้อมูล (Packet Loss) การประวิงเวลา (delay) ของเครือข่าย
 - สมรรถนะระบบซึ่งเป็นตัวประกันคุณภาพของการทำงาน โดยตัววัดสมรรถนะ คือ คุณลักษณะของช่องสัญญาณ การสูญเสียเชิงระยะทางในการส่งผ่านข้อมูล การแทรกสอดอัตราส่วนกำลังของสัญญาณต่อกำลังสัญญาณรบกวน (Signal to Noise Ratio : SNR) อัตราผิดพลาด (Bit Error Rate : BER) รวมถึงระดับของแบตเตอรี่ที่เหลืออยู่ ซึ่งหากเครือข่ายไหนที่มีการใช้พลังงานน้อยก็เหมาะที่จะเลือกเข้าไปใช้ (เช่น เครือข่าย Bluetooth) แทนระบบที่ต้องใช้พลังงานมาก
 - เงื่อนไขของอุปกรณ์ไร้สายที่เคลื่อนที่ได้ เช่น รูปแบบการเคลื่อนที่ เส้นทาง การเคลื่อนที่ที่วิ่งผ่านมา ข่าวสารเกี่ยวกับตำแหน่งของผู้ใช้ เป็นต้น
- ดังนั้นเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย 4G คือการที่มีเครือข่ายอัจฉริยะที่สามารถปรับตัวเองได้เพื่อรองรับ Vertical Handover

2.4.3 ระบบการส่งต่อโดยโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นตัวช่วย

การส่งต่อโดยโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นตัวช่วย หรือ ที่เรียกว่า Mobile Assisted Handover (MAHO) เป็นกระบวนการที่อนุญาตให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นตัวช่วยหา BS หรือ AP ที่ดีโดยการตรวจระดับสัญญาณที่โทรศัพท์เคลื่อนที่รับได้จากเครือข่ายที่ติดต่อยู่และจากเครือข่ายอื่น ๆ แล้วรายงานผลไปให้เครือข่ายหลักที่ใช้ทรัพยากรอยู่เพื่อใช้ในการตัดสินใจทำการส่งต่อ โดยมีฟังก์ชันเอกลักษณะหลัก (Core Entity of Function) คือ ฟังก์ชันการส่งต่อแบบสื่ออิสระ หรือ Media Independent Handover Function (MIHF) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ซึ่งในทางทฤษฎีให้บริการจากชั้นที่สูงกว่า (Higher Layer) ผ่านตัวเชื่อมต่อประเภทเดียวกัน การติดต่อสื่อสารกับชั้นที่ต่ำกว่า (Lower Layer) ของการจัดการการเคลื่อนที่ของโปรโตคอลต้องกระทำโดยเทคโนโลยีที่เชื่อมต่อกันโดยเฉพาะ (Technology Specific Interface) โดย MIHF และความสัมพันธ์ระหว่างโปรโตคอลเอกลักษณะของ Higher และ Lower Layer

MIHF ขึ้นอยู่กับ 3 กรณี คือ

1) Media Independent Event Service (MIES)

เป็นการเตรียมการบริการไปยังชั้นที่สูงกว่าโดยรายงานเหตุการณ์ที่สอดคล้องกันเพื่อเปลี่ยนไดนามิกใน Link Characteristic Link Status และ Link Quality เหตุการณ์ทั้งสามใช้ได้ทุกพื้นที่ท้องถิ่น (Local) หรือพื้นที่ห่างไกล (Remote)

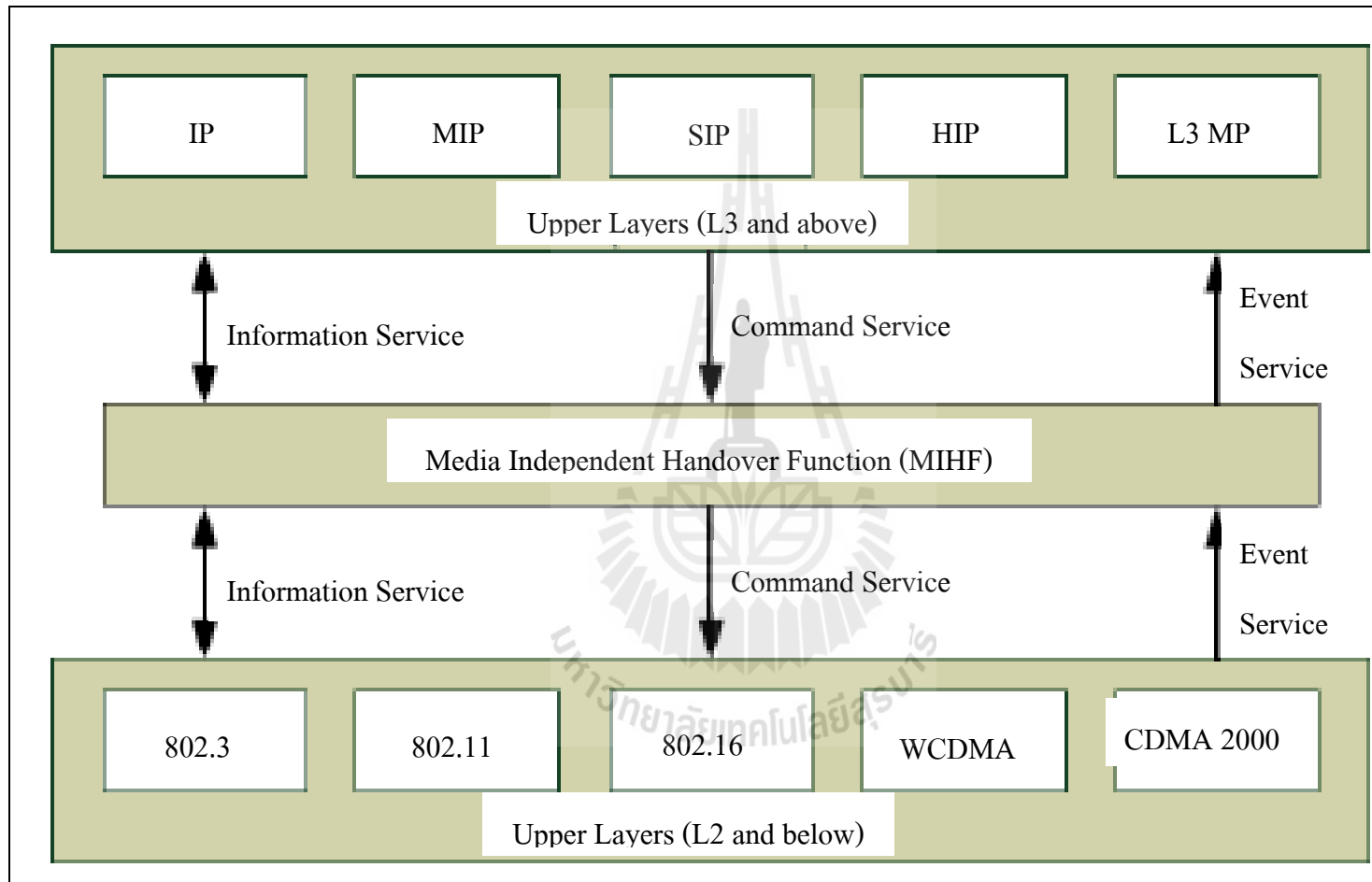
2) Media Independent Command Service (MICS)

เป็นคำสั่งที่ทำให้ชั้นที่สูงกว่าสามารถที่จะจัดการและควบคุมฟังก์ชันของชั้นที่ต่ำกว่า (Physical Data Link Logical Link Layer) เกี่ยวข้องกับการส่งต่อและการเคลื่อนที่

3) Media Independent Information Service (MIIS)

เป็นการจัดเตรียมข้อมูลเกี่ยวกับลักษณะและการบริการของเครือข่ายที่ใช้บริการและเครือข่ายข้างเคียงขณะที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการเคลื่อนย้าย ซึ่งข้อมูลที่ได้ก็นำมาพิจารณาการส่งต่อให้เหมาะสมและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ





รูปที่ 2.10 แสดงการบริการการส่งต่อแบบสื่ออิสระ (Media Independent Handover Services)

2.5 การส่งผ่านคลื่นสัญญาณ

ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบในการส่งสัญญาณ คือ การจางหายของสัญญาณ (Fading) ซึ่งจะแบ่งเป็น

2.5.1 การสูญเสียเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) เป็นการลดทอนสัญญาณที่กำลังส่งของสัญญาณ จะลดลงอย่างคงที่ตามระยะทางในการส่งสัญญาณดังสมการการสูญเสียในอวกาศว่าง

$$P_R = \frac{P_T G_T G_R \lambda^2}{(4\pi d)^2} \quad (2.1)$$

โดยที่	P_R	คือ กำลังของสัญญาณที่รับได้
	P_T	คือ กำลังของสัญญาณที่ส่งออก
	G_R	คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ
	G_T	คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง
	d	คือ ระยะระหว่างภาครับและภาคส่ง (m)
	λ	คือ ค่าความยาวคลื่น ซึ่ง $\lambda = c/f$ โดยค่า c คือ ความเร็วแสง (3×10^8 m/s) และ f คือ ความถี่ของสัญญาณ (Hz)

2.5.2 ผลกระทบจากการลดทอนของสัญญาณเนื่องมาจากสิ่งกีดขวาง

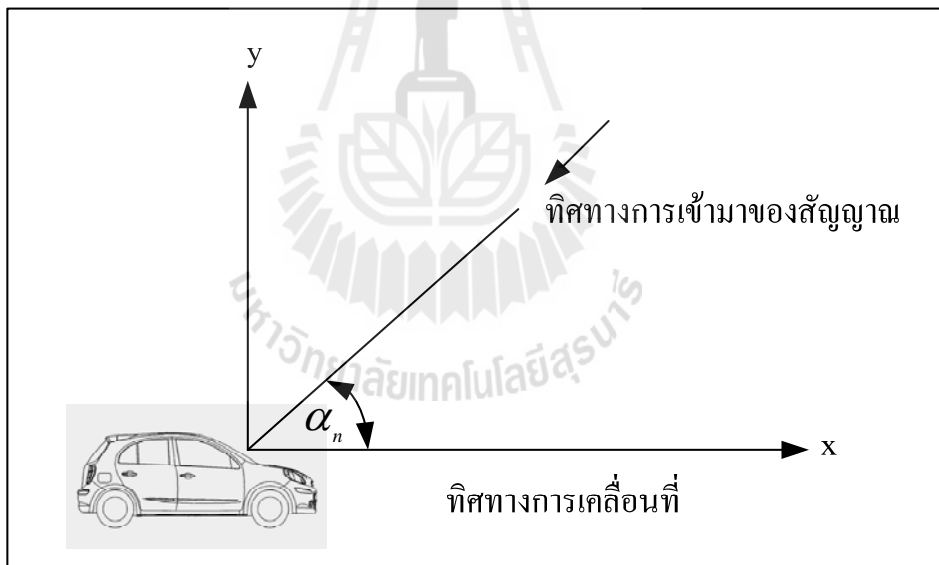
การลดทอนของสัญญาณเนื่องมาจากสิ่งกีดขวาง (Shadowing หรือ Log - Normal Fading) เช่น ตึก ต้นไม้ เป็นต้น เพราะในสภาพความเป็นจริงนั้นสัญญาณจะมีการกระเพื่อมขึ้นและลงอยู่ตลอด จึงคำนวณได้จากการจำลองแบบด้วยการใช้ตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบ Log - Normal Distribution โดยมีฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (Probability Density Function) ดังนี้

$$p(x) = \frac{1}{x\sigma_0\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(X - X_m)^2}{2\sigma_0^2}\right] \quad (2.2)$$

- โดยที่ X คือ ค่าเท่ากับ $10\log(x)$ มีหน่วยเป็น dBm
- X_m คือ ค่าเฉลี่ยของสัญญาณ หน่วยเป็น dBm
- x คือ ค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้และมีหน่วยเป็น mW
- σ_0 คือ ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) มีหน่วยเป็น dB
ค่าของ σ_0 มีขนาดอยู่ระหว่าง 6 - 10 dB ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่สัญญาณส่งผ่าน

2.5.3 ความถี่ดอปเพลอร์

ปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อ การสื่อสารไร้สายคือ ความถี่ดอปเพลอร์ เมื่อผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ดังแสดงในรูปที่ 2.11 ส่งผลให้สัญญาณที่มาถึงนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไป มุมของสัญญาณขาเข้า (α_n) ถูกกำหนดให้เป็นมุมระหว่างสัญญาณในวิถีที่ n และทิศทางการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน ค่าความถี่ดอปเพลอร์สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.3



รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของปรากฏการณ์ดอปเพลอร์

$$f_n = f_d \cos \alpha_n \quad (2.3)$$

เมื่อ f_d คือ ค่าความถี่คอปเพลอร์สูงสุด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วของผู้ใช้งาน v
 f_c คือ ค่าความถี่กลางที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลของระบบ

$$f_d = \frac{v}{c} f_c \quad (2.4)$$

เมื่อ f_c คือ ค่าความถี่ของสัญญาณพาห้
 c คือ ค่าความเร็วของแสง 3×10^8 เมตรต่อวินาที

เนื่องด้วยผลของการเกิดความถี่คอปเพลอร์นี้เองทำให้ประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารผ่านช่องสัญญาณไร้สายระหว่างภาคส่งและภาครับมีคุณภาพที่ด้อยลงไปด้วยความถี่คอปเพลอร์นี้จะส่งผลให้สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณที่ถูกส่งกระจายออกไปในระหว่างที่ส่งข้อมูลเมื่อพิจารณาในเชิงเวลาที่จะพบว่าปรากฏการณ์คอปเพลอร์นี้จะทำให้ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ (Channel Impulse Response) มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

2.5.4 การจางหายของสัญญาณเนื่องจากสัญญาณหลายวิถี

ในการส่งสัญญาณแบบไร้สายนั้นสัญญาณที่เดินทางจากภาคส่งไปยังภาครับที่ภาครับไม่สามารถรับสัญญาณได้ทั้งหมด เนื่องจากว่าระหว่างภาคส่งและภาครับนั้นมีสิ่งกีดขวางมีสิ่งที่เป็นอุปสรรคต่อการรับส่งสัญญาณระหว่างภาคส่งภาครับอยู่มากมาย อาทิเช่น กำแพง ตึก ยานพาหนะ มนุษย์ ต้นไม้ ฯลฯ สัญญาณที่เดินทางมาจากภาคส่งเป็นเส้นเดียวเมื่อกระทบกับสิ่งกีดขวางก็จะแตกออกเป็นหลาย ๆ เส้น เราจึงเรียกสัญญาณนี้ว่า สัญญาณหลายวิถี หรือ Multipath เมื่อเราทำการรับสัญญาณที่ภาครับจึงพบว่าสัญญาณที่รับได้ที่ภาครับนั้นมีทั้งดีและไม่ดี เหตุผลคือ สัญญาณที่รับได้ที่ภาครับนั้นหากมีเป็นผลรวมจากสัญญาณที่เกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันก็จะทำให้คุณภาพสัญญาณที่ได้นั้นมีคุณภาพดี แต่หากเป็นการแทรกสอดแบบหักล้างกันนั้นก็ส่งผลให้ที่ภาครับมีคุณภาพสัญญาณไม่ดี จึงสามารถกล่าวได้ว่า การส่งสัญญาณจากภาคส่งมายังภาครับเมื่อสัญญาณกระทบสิ่งกีดขวางจึงก่อให้เกิดสัญญาณหลายวิถี เมื่อสัญญาณหลายวิถีวิ่งไปรวมกันยังภาครับในกรณีที่เกิดการแทรกสอดของสัญญาณหลายวิถีแบบหักล้างกันก็จะทำให้สัญญาณที่ได้คุณภาพไม่ดีจึงเป็นที่มาของการจางหายของสัญญาณเนื่องจากสัญญาณหลายวิถี

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดการจางหายของสัญญาณเนื่องจากสัญญาณหลายวิถี

1. การแผ่แบบประวิงเวลา (Delay Spread)

ผลจากการเกิดสัญญาณหลายวิถีทำให้สัญญาณที่รับได้ที่ปลายทางประกอบไปด้วยสัญญาณที่สะท้อนมาจากหลายเส้นทาง ซึ่งมาถึงปลายทางที่ภาครับในเวลาที่แตกต่างกัน ดังนั้นสัญญาณที่รวมกันได้ที่ปลายทางจึงเกิดการประวิงเวลาขึ้นมา ผลจากการเกิดการแผ่แบบประวิงเวลานั้นจะทำให้เกิดการรบกวนระหว่างสัญลักษณ์ และการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและสภาพช่องสัญญาณ

2. การแผ่แบบดอปเพลอร์ (Doppler Spread)

การเคลื่อนที่ของผู้ใช้งานออกจากสถานีฐาน ส่งผลให้สัญญาณที่เดินทางมาถึงภาครับในแต่ละเส้นทางนั้นเกิดการเลื่อนความถี่ เรียกว่า การเลื่อนความถี่แบบดอปเพลอร์ ผลจากการแผ่แบบดอปเพลอร์นี้จะทำให้ช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณตามเวลานั้นจะมีอัตราเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับความเร็วของการเกิดการจางหายและการความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งานด้วย

ในการพิจารณาในการแยกประเภทของการจางหายนั้นสามารถพิจารณาได้จากลักษณะของสัญญาณที่ส่งเปรียบเทียบกับคุณลักษณะของช่องสัญญาณ โดยตัวแปรที่ใช้พิจารณาประเภทของการจางหายนั้น ได้แก่ ช่วงเวลาสัญลักษณ์ (Symbol Period) อัตราการส่งสัญญาณ (Transmission Rate) ความกว้างแถบความถี่ (Bandwidth)

การแผ่แบบประวิงเวลา (Delay Spread) ส่งผลต่อการจางหายของสัญญาณได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ การจางหายของสัญญาณแบบราบ (Flat Fading) และการจางหายของสัญญาณแบบเลือกความถี่ (Frequency Selective Fading)

การแผ่ของดอปเพลอร์ (Doppler Spread) ส่งผลให้เกิดการจางหายของสัญญาณ 2 รูปแบบ ได้แก่ การจางหายของสัญญาณแบบช้า (Slow Fading) และการจางหายแบบรวดเร็ว (Fast Fading)

จะเห็นได้ว่าการพิจารณาประเภทของการจางหายของสัญญาณนั้นสามารถแยกประเภทได้ตามการเลือกปัจจัยที่มีผลกระทบต่อช่องสัญญาณ ไร้สาย ซึ่งไม่ว่าจะเลือกพิจารณาปัจจัยก็สามารถพิจารณาได้เช่นกัน เนื่องจากการแผ่แบบประวิงเวลา และการแผ่แบบดอปเพลอร์นั้นเป็นอิสระต่อกัน เนื้อหาในส่วนถัดไปเป็นการอธิบายถึงการจางหายของสัญญาณในรูปแบบต่าง ๆ

1. กรณีที่พิจารณาการแผ่แบบประวิงเวลา (Delay Spread)

เมื่อเราพิจารณาการแผ่แบบประวิงเวลา เนื่องจากสัญญาณหลายวิถีจะทำให้สามารถแยกประเภทของการจางหายของสัญญาณได้ 2 รูปแบบ

ก) การจางหายของสัญญาณแบบราบ (Flat Fading)

คุณลักษณะของการจางหายของสัญญาณแบบราบ จะมีลักษณะเชิงสเปกตรัมเหมือนเดิม แต่ค่ากำลังของสัญญาณจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เนื่องจากผลกระทบของสัญญาณหลายวิถี เมื่อค่ากำลังของช่องสัญญาณเปลี่ยนนั้นคือการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของช่องสัญญาณหรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นช่องสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูด การแจกแจงของแอมพลิจูดที่มักจะพบทั่วไปจะเป็นการกระจายตัวแบบเรย์ลี (Rayleigh Distribution)

ข) การจางหายของสัญญาณแบบเลือกความถี่ (Frequency Selective Fading)

การจางหายของสัญญาณแบบเลือกความถี่นี้ สเปกตรัมของสัญญาณจะได้รับผลกระทบจากช่องสัญญาณไม่เท่ากันทั้งหมด โดยสเปกตรัมที่อยู่นอกแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณจะได้รับผลกระทบที่แตกต่างกันออกไป ช่วงความถี่ของช่องสัญญาณที่ได้รับผลกระทบเนื่องจากช่องสัญญาณที่มีขนาดเท่ากันเรียกว่า แบนด์วิดท์ร่วมนัย (Coherence Bandwidth) ซึ่งผลกระทบที่เกิดขึ้นนั้นจะทำให้เกิดการแทรกสอดระหว่างสัญญาณ เนื่องจากผลตอบสนองของช่องสัญญาณจะเกิดการแผ่ออกทางเวลา ซึ่งมีความยาวกว่าช่วงเวลาของสัญญาณ ทำให้สัญญาณที่ได้รับถูกลดขนาดและมีการประวิงเวลาจึงเกิดการแทรกสอดระหว่างสัญญาณขึ้นมา

2. กรณีที่พิจารณาการแผ่ของดอปเพลอร์ (Doppler Spread)

การจางหายของสัญญาณเนื่องจากสัญญาณหลายวิถีเมื่อพิจารณาการแผ่ของดอปเพลอร์จะเป็นการพิจารณาเมื่อผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่สามารถแยกออกได้เป็น 2 ประเภท

ก) การจางหายของสัญญาณแบบรวดเร็ว (Fast Fading)

การเคลื่อนที่ของผู้ใช้งานส่งผลให้ช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาโดยพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายได้แก่ Doppler Spread และ Coherence Time เมื่อช่องสัญญาณได้รับผลกระทบจากการจางหายแบบรวดเร็วนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ภายในช่วงเวลาที่ตั้งสัญญาณ เวลาร่วมนัยของช่องสัญญาณจะมีค่าน้อยกว่าช่วงเวลาของสัญญาณและคุณลักษณะของการจางหายของสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงไปมาหลาย ๆ ครั้งในขณะที่กำลังส่งสัญญาณออกไป เมื่อช่องสัญญาณได้รับผลกระทบจากการจางหายของสัญญาณแบบรวดเร็วผลคือแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณก็จะผิดเพี้ยนไปเช่นกัน

ข) การจางหายของสัญญาณแบบช้า (Slow Fading)

การจางหายของสัญญาณแบบช้าเกิดขึ้นเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองของช่องสัญญาณมีค่าน้อยกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณหรือเวลาร่วมกัน (Coherence Time) มากกว่าช่วงเวลาของสัญลักษณ์ (Symbol Time) ซึ่งการจางหายของสัญญาณแบบช้าจะทำให้ช่องสัญญาณได้รับผลกระทบในช่วงเวลาที่ยาวนานติดต่อกัน

2.6 บทสรุป

เนื้อหาในบทนี้อธิบายถึงองค์ความรู้ของวิวัฒนาการของโทรศัพท์เคลื่อนที่ เครื่องข่ายท้องถิ่นไร้สาย การสื่อสารในยุคที่ 4 พื้นฐานการเกิดการส่งต่อและการส่งต่อในแนวตั้งที่ใช้ในการสื่อสารยุคที่ 4 ซึ่งสามารถทำให้การสื่อสารเป็นแบบไร้ขอบเขต โดยเลือกใช้การจัดสรรทรัพยากรจากเครือข่ายที่ต่างกันได้ จากนั้นกล่าวถึงการจางหายของสัญญาณซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการวัดสัญญาณ



บทที่ 3

การตัดสินใจทำการส่งต่อในแนวตั้งโดยใช้ข้อมูลทิศทางเคลื่อนที่

3.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงแบบแผนการวิจัยในการลดการตัดสินใจทำการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็น โดยดูจากทิศทางเคลื่อนที่ของสถานีโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือที่เรียกโดยทั่วไปว่าโทรศัพท์มือถือรวมถึงผลที่ได้จากการจำลองแบบ

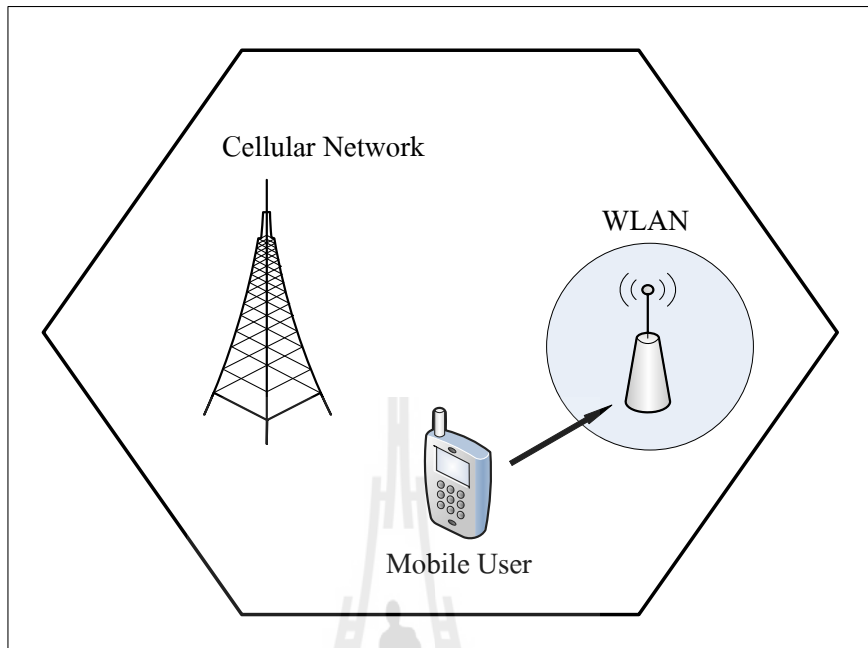
ในการสื่อสารยุคที่ 4 เทคโนโลยีในด้านการสื่อสารมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการเข้าถึงเครือข่ายสื่อสารไร้สายแบบทั่วถึงหรือไร้ขอบเขต (Seamless) โดยอุปกรณ์สื่อสารหรือสถานีโทรศัพท์เคลื่อนที่ ไม่รู้สึกถึงการเปลี่ยนแปลงเมื่อข้ามไปใช้เครือข่ายสื่อสารอื่น ๆ ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ เช่น การที่อุปกรณ์สื่อสารใช้ทรัพยากรจากเครือข่ายเซลลูลาร์แล้วเคลื่อนที่ข้ามไปใช้ทรัพยากรของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area : WLAN) ซึ่งตั้งอยู่ภายในเซลล์ของเครือข่ายเซลลูลาร์ อุปกรณ์สื่อสารจะปรับระบบวิทยุจากระบบเซลลูลาร์ไปเป็นระบบท้องถิ่นไร้สายโดยที่ยังคงติดต่อสื่อสารอย่างต่อเนื่อง ลักษณะการเคลื่อนที่แบบไร้รอยต่อ (Seamless Mobility) นี้จะนำไปสู่การพัฒนาวิธีทำการส่งต่อในแนวตั้ง

3.2 การตัดสินใจทำการส่งต่อสัญญาณในแนวตั้ง

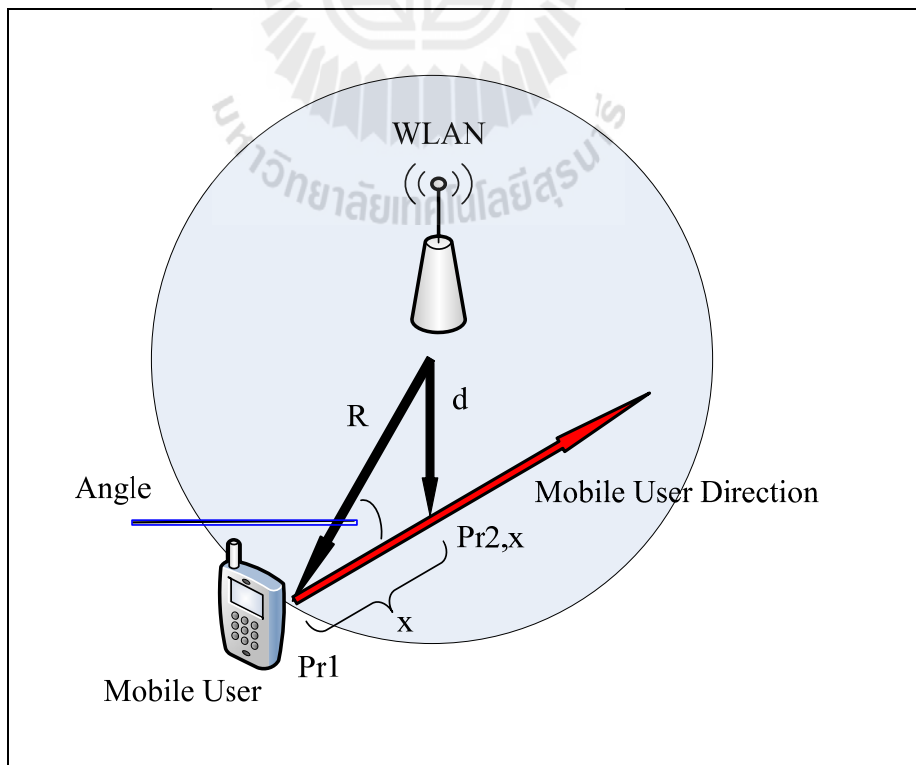
การทำการส่งต่อสัญญาณในแนวตั้งหรือ Vertical Handover นั้นเกิดขึ้นในการสื่อสารไร้สายยุคที่ 4 ผู้วิจัยได้เสนอแนวคิดในการลดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นจากการวัดจากความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength : RSS) ของอุปกรณ์สื่อสารเพื่อดูทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารว่าการที่อุปกรณ์สื่อสารข้ามไปยังเครือข่ายที่ต่างชนิดกันควรทำการส่งต่อในแนวตั้งหรือไม่ควรทำ โดยลำดับแนวคิดเป็นดังนี้

3.2.1 โครงสร้างการทำการส่งต่อในแนวตั้ง

วางแผนแผนให้เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายอยู่ภายในเครือข่ายระบบเซลลูลาร์เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการเคลื่อนที่จากการใช้ทรัพยากรของระบบเซลลูลาร์เริ่มเข้าไปยังพื้นที่เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจะเริ่มทำการพิจารณาว่าควรทำการส่งต่อในแนวตั้งหรือไม่ ดังแสดงที่รูป 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของการทำการส่งต่อในแนวตั้ง



รูปที่ 3.2 แสดงการรับสัญญาณจากจุดให้บริการของเครือข่าย

3.2.2 แบบแผนการตัดสินใจการทำการส่งต่อในแนวตั้ง

แบบแผนในการตัดสินใจว่าควรหรือไม่ควรทำการส่งต่อในแนวตั้งใช้วิธีการประมาณทิศทางเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยวัดผลต่างของกำลังของสัญญาณที่วัดได้ในแต่ละครั้ง แล้วใช้ปัจจัยที่จะกล่าวต่อไปในการประมาณค่าที่ตัดสินใจ

1) มุมที่โทรศัพท์เคลื่อนที่เท่ากับ Access Point

รูปที่ 3.2 แสดงการคำนวณทิศทางโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่มี การเคลื่อนที่เริ่มเข้าสู่เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (เริ่มที่ขอบเซลล์) โทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการวัดสัญญาณจาก Access Point ทุก ๆ การ Sampling เพื่อดูว่าทิศทางของโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปทางไหน หากกฎของโคไซน์ (Law of Cosine) ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{x^2 + R^2 - d^2}{2xR} \right) \quad (3.1)$$

โดยที่	θ	คือ มุมที่โทรศัพท์เคลื่อนที่เท่ากับ Access Point
	x	คือ ระยะระหว่างการ Sampling ครั้งที่ 1 และครั้งถัด ๆ ไป
	R	คือ ระยะห่างระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ Access Point เมื่อเริ่มอยู่ที่ขอบเซลล์ของ WLAN (รัศมีควบคุมของ Access Point) เป็นตำแหน่งที่ทำการ Sampling ครั้งแรก
	d	คือ ระยะห่างระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ Access Point เมื่อ Sampling ครั้งถัดไป และจากแบบแผนการสูญเสียของ Vijayan, R., and Holtzman, J.M. (1992) ดังแสดงในสมการที่ 3.1

$$P_r = K_1 - K_2 \log(d) \quad (3.2)$$

โดยที่	P_r	คือ ความแรงของสัญญาณที่รับได้
	K_1	คือ ค่าคงที่การสูญเสีย
	K_2	คือ ความชันของการสูญเสียต่อระยะทาง ; $K_2=20$ ตามสมการที่ (2.1)
	d	คือ ระยะห่างระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ Access Point

ผลต่างของความแรงของสัญญาณในการ Sampling แต่ละครั้ง เป็นดังสมการ
ที่ 3.3 และ 3.4

$$P_{r_2,x}(d) - P_{r_1}(R) = -K_2 \log\left(\frac{\sqrt{R^2 + x^2 - 2xR\cos\theta}}{R}\right)$$

$$P_{r_2,x}(d) - P_{r_1}(R) = -\left(\frac{1}{2}\right) K_2 \log\left(\frac{R^2 + x^2 - 2xR\cos\theta}{R^2}\right)$$

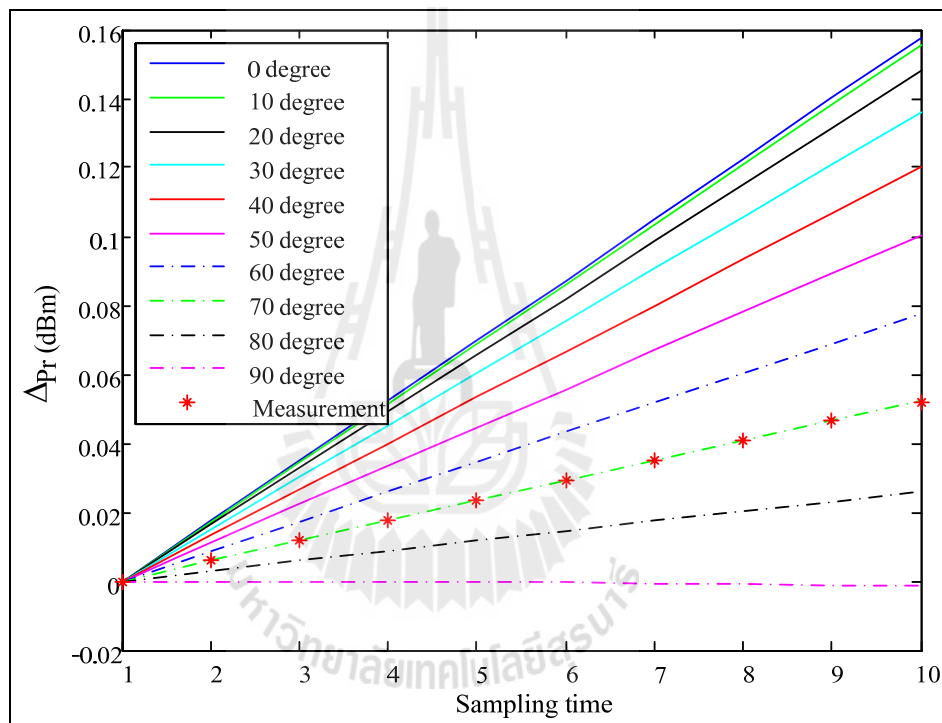
$$P_{r_2,x}(d) - P_{r_1}(R) = -\left(\frac{1}{2}\right) K_2 \log\left[1 + \left(\frac{x}{R}\right)^2 - 2\left(\frac{x}{R}\right)\cos\theta\right] \quad (3.3)$$

ดังนั้น $P_{r_2,nx}(d) - P_{r_1}(R) = -\left(\frac{1}{2}\right) K_2 \log\left[1 + n^2\left(\frac{x}{R}\right)^2 - 2n\left(\frac{x}{R}\right)\cos\theta\right]$

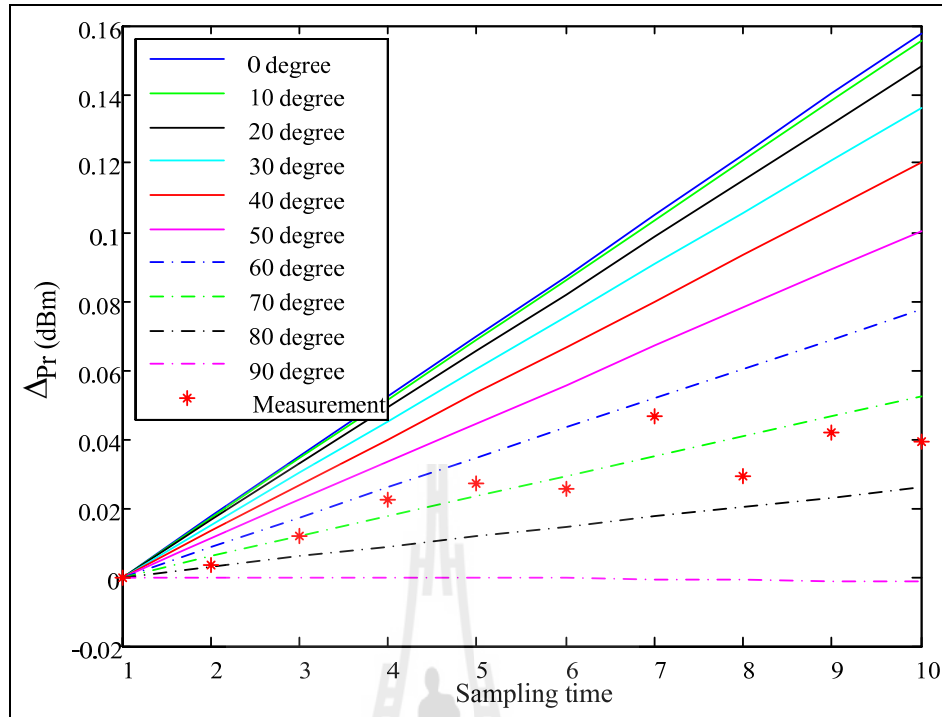
$$\Delta P_r = -\left(\frac{1}{2}\right) K_2 \log\left[1 + n^2\left(\frac{x}{R}\right)^2 - 2n\left(\frac{x}{R}\right)\cos\theta\right] \quad (3.4)$$

- โดยที่ $P_{r_1}(R)$ คือ วัดความแรงของสัญญาณเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่เริ่มเคลื่อนที่ไปยังขอบของ Access Point มีระยะระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ Access Point เป็น R
- $P_{r_2,x}(d)$ คือ เป็นจุดที่วัดความแรงของสัญญาณในการ Sampling แต่ละครั้งเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่ของ Access Point มีระยะระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ Access Point เป็นระยะ $d = \sqrt{R^2 + x^2 - 2xR\cos\theta}$
- n คือ เป็นจำนวนครั้งในการ Sampling ขณะที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่ของ Access Point ($n = 1 \ 2 \ 3 \ \dots$)

จากสมการข้างต้นได้นำไปจำลองแบบในคอมพิวเตอร์โดยให้ตำแหน่งที่โทรศัพท์เคลื่อนที่เริ่มมีการโทรออกและทิศทางการเคลื่อนที่ ณ จุดเริ่มต้นเกิดแบบสุ่ม ใช้เป็น Uniformly Distribution จากนั้นความเร็วในการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่และช่วงเวลาที่ใช้ (เวลาถือสาย) เกิดแบบสุ่ม โดยใช้เป็น Poisson distribution ที่อัตราเร็วคนเดินที่ 5 km/hr และช่วงเวลาที่ 120 วินาที โดยพิจารณาทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง โปรแกรมการจำลองแบบแสดงในภาคผนวก ก และจากโปรแกรมการจำลองแบบแสดงตัวอย่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.4

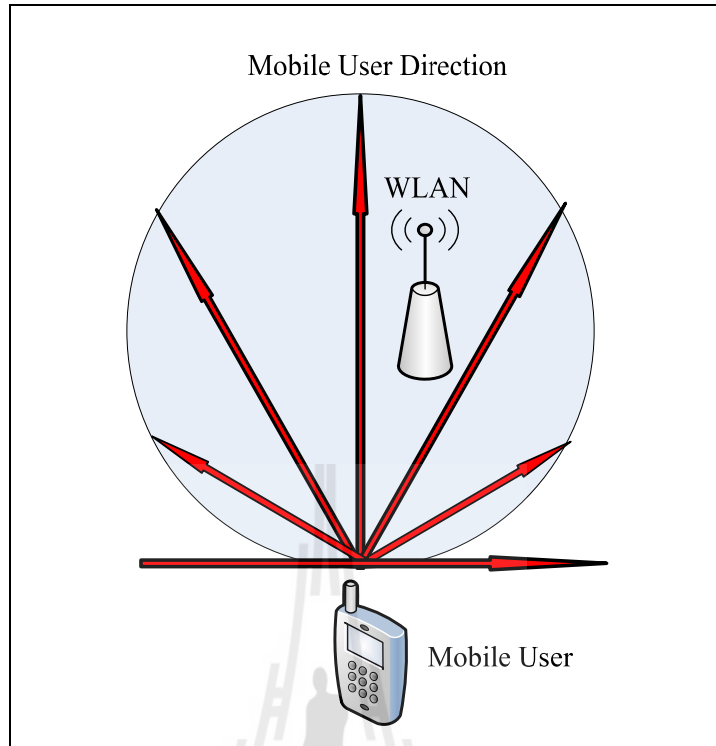


รูปที่ 3.3 แสดงการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อมีการสูญเสียเชิงวิถี



รูปที่ 3.4 แสดงการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อมีการสูญเสียเชิงวิถีร่วมกับการเฟดดิ้ง

จากรูปที่ 3.3 และ 3.4 แสดงการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีทิศทางเคลื่อนที่จากระบบเซลล์สู่ระบบท้องถิ่นไร้สาย โดยมีเส้นกำกับคือเส้นสีและเส้นปะแสดงตำแหน่งของมุมตั้งแต่ 0 10 20 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศาตามลำดับ ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 3.4 ฟังก์ชันมือ ส่วนเส้นรูปดาว (Star) เป็นการเกิดการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่จากการจำลองในโปรแกรมซึ่งเกิดแบบสุ่มซึ่งได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้แล้ว นำมาคำนวณในสมการที่ 3.4 ฟังก์ชันมือซึ่งเป็นการเปรียบเทียบว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยัง WLAN มีทิศทางไปทางไหนจากการคำนวณได้มุมที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำกับ Access Point ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ได้ผลคือ ถ้ากราฟเส้นรูปดาวนำไปคำนวณแบบ Mean Square Error (MSE) กับทุก ๆ เส้นที่กำกับมุม จะพบว่าถ้าได้ค่า MSE มีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเส้นใดแสดงว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำมุมเท่ากับมุมของเส้นกำกับเส้นนั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.3 และ 3.4 เป็นแบบไม่มีการเฟดดิ้ง (เป็นแบบสูญเสียเชิงวิถี) และมีการเพิ่มเฟดดิ้ง เข้าไปในการคำนวณ ตามลำดับ ซึ่งจากตัวอย่างเราจะมองว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำมุมโดยประมาณ 70 องศา กับ Access Point



รูปที่ 3.5 แสดงทิศทางที่โทรศัพท์เคลื่อนที่เข้าไปในพื้นที่การให้บริการของ Access Point

2) สัดส่วนของระยะทางที่โทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่ของ WLAN จากการรู้ทิศทางของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเคลื่อนที่อยู่ภายใน WLAN ด้วยการรู้มุมที่ทำกับ Access Point แล้วยังสามารถประมาณสัดส่วนของระยะทางที่โทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการเคลื่อนที่ที่อยู่ในพื้นที่ของ WLAN คิดเป็นร้อยละ (%) จากรูปที่ 3.5 พบว่าทิศทางเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (ตามแนวลูกศร) สามารถนำมาคำนวณค่าประมาณสัดส่วนของระยะทาง เทียบกับแบบเต็มระยะทางการเคลื่อนที่ใน WLAN เช่นการที่โทรศัพท์เคลื่อนที่เข้าไปในแนวตรงกันกับตำแหน่ง Access Point จะถือว่ามีสัดส่วนของระยะทางอยู่ใน WLAN 100% และถ้าเคลื่อนที่แค่สัมผัสกับขอบของรัศมีครอบคลุมของ Access Point จะถือว่ามีสัดส่วนของระยะทางอยู่ใน WLAN 0% ดังแสดงในสมการที่ 3.5

$$\text{Distance Ratio} = \frac{\text{Distance in WLAN}}{2R} \times 100\% \quad (3.5)$$

โดยที่	Distance in WLAN	คือ การพิจารณาคิดเต็มระยะทางของทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่เข้าไปใน WLAN (m)
	R	คือ รัศมีครอบคลุมของ Access Point ใน WLAN (m)

3) ช่วงเวลาที่โทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่ของ WLAN

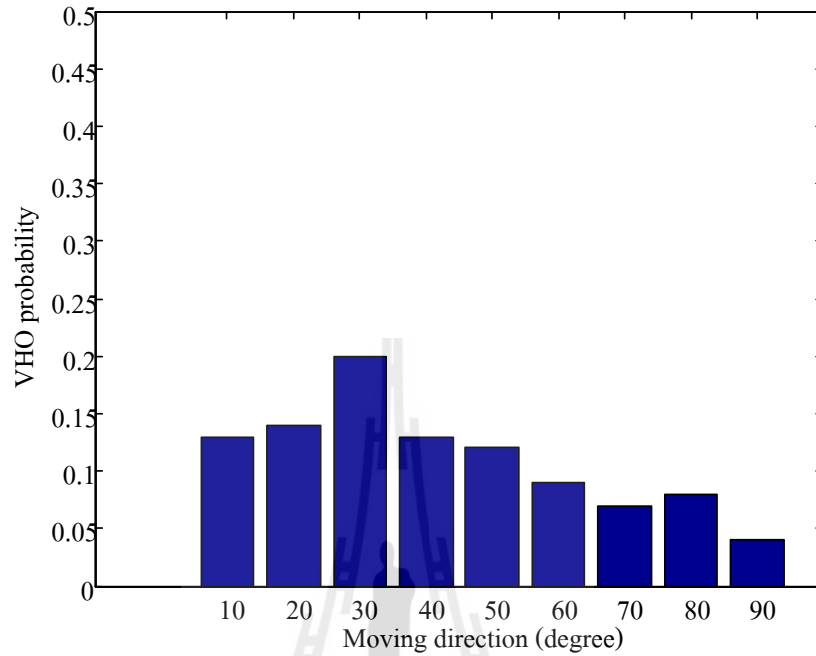
จากการทิศทางของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเคลื่อนที่อยู่ภายใน WLAN ด้วยการรู้มุมที่ทำกับ Access Point ยังสามารถทำให้ประมาณช่วงเวลาที่โทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่ของ WLAN ดังแสดงในรูปที่ 3.5 เช่นกัน พบว่าทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (ตามเส้นลูกศร) สามารถนำมาคำนวณค่าประมาณช่วงเวลาที่โทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่ของ WLAN คิดเป็นแบบเต็มระยะทางการเคลื่อนที่ใน WLAN ซึ่งช่วงเวลานั้นขึ้นอยู่กับความเร็วการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยดังแสดงในสมการที่ 3.6

$$\text{Time} = \frac{\text{Distance in WLAN}}{v} \quad (3.6)$$

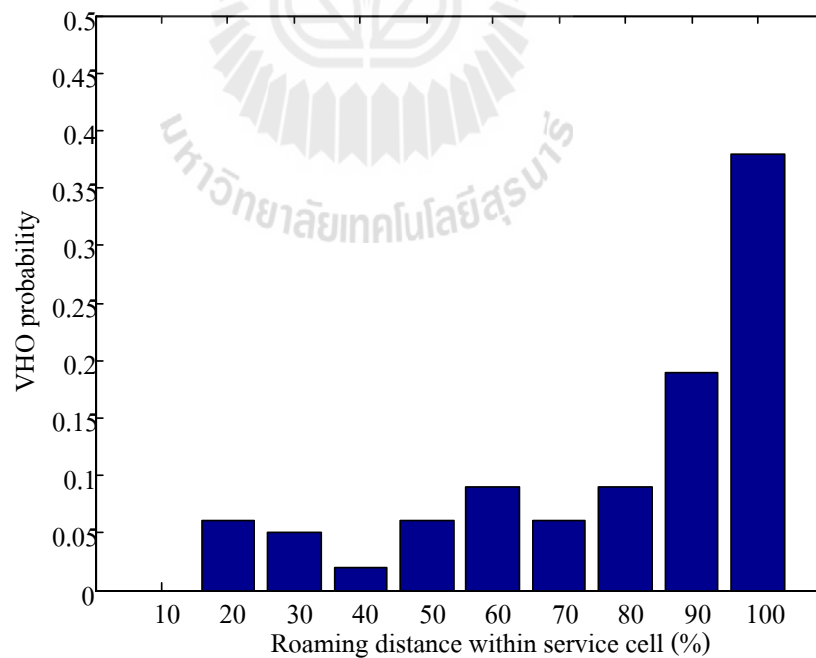
โดยที่	Distance in WLAN	คือ การพิจารณาคิดเต็มระยะทางของทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่เข้าไปใน WLAN (m)
	v	คือ ความเร็วการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (m/s)

3.3 ผลการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์

การจำลองแบบของระบบสื่อสารในการหาทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ใช้วิธีที่ได้กล่าวในหัวข้อ 3.2 โดยมีจำนวนการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ 100 ครั้ง ทำการเคลื่อนที่จากระบบเซลล์ลูลาร์ไปยังระบบท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) เพื่อใช้ในการพิจารณาการเกิด VHO และพิจารณาปัจจัยที่ใช้ประกอบการตัดสินใจในการทำ VHO โดยการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ที่มุ่มเกินกว่า 80 องศา สัดส่วนของระยะทางที่อยู่ใน WLAN ไม่เกิน 20% และช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ได้ตัวอย่างการจำลองแบบดังนี้ซึ่งผลการจำลองแบบเป็นดังแสดงในรูปที่ 3.6 - 3.9

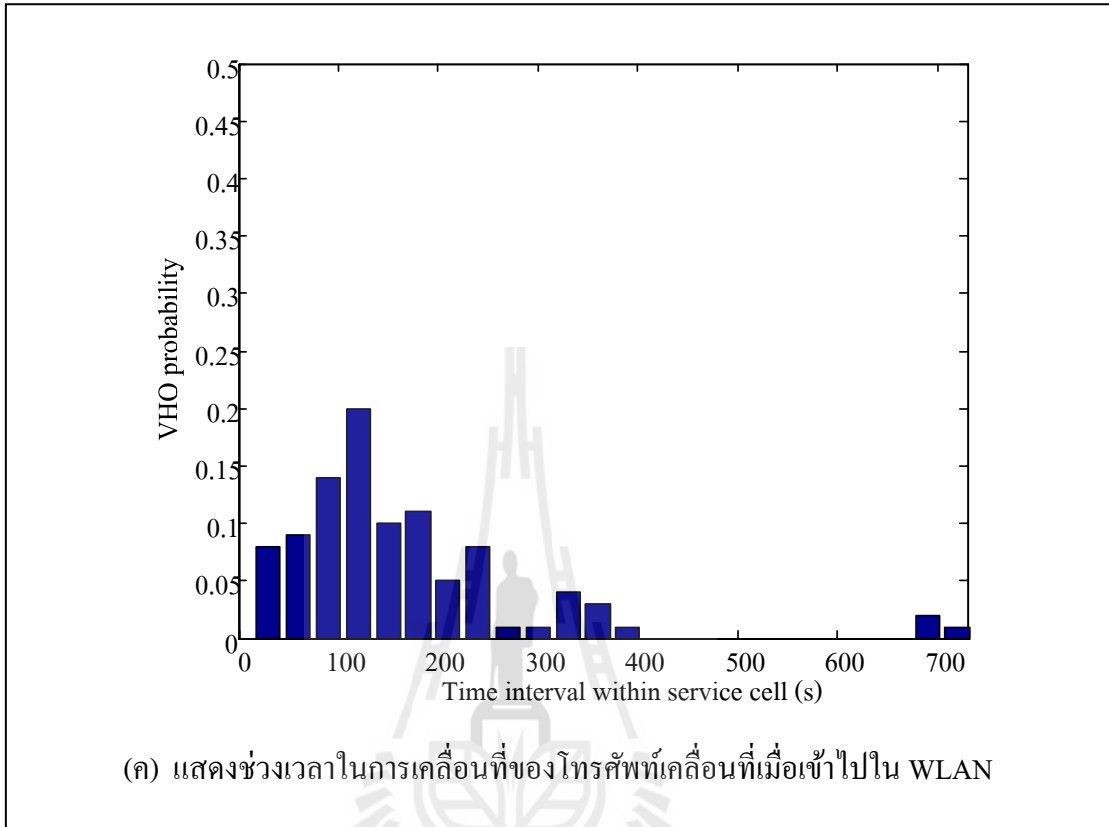


(ก) แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point

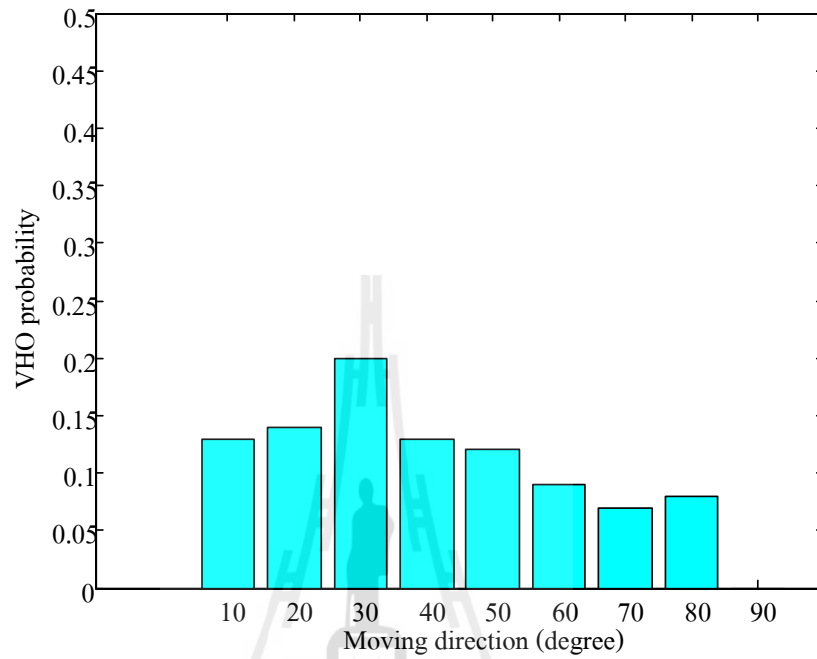


(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

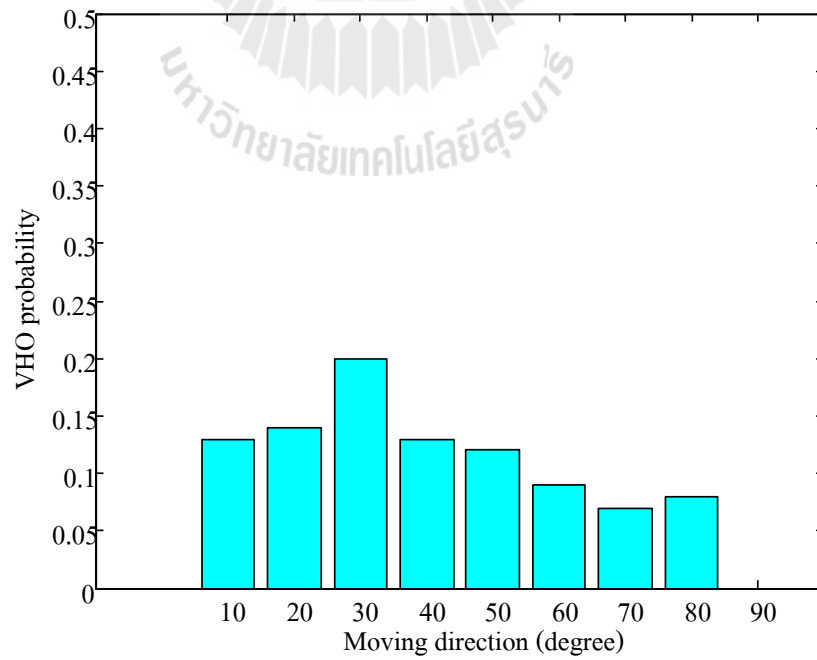
รูปที่ 3.6 แสดงการเกิด VHO จากการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ 100 ครั้ง
ก่อนการพิจารณาการเกิด VHO



รูปที่ 3.6 แสดงการเกิด VHO จากการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ 100 ครั้ง
ก่อนการพิจารณาการเกิด VHO (ต่อ)

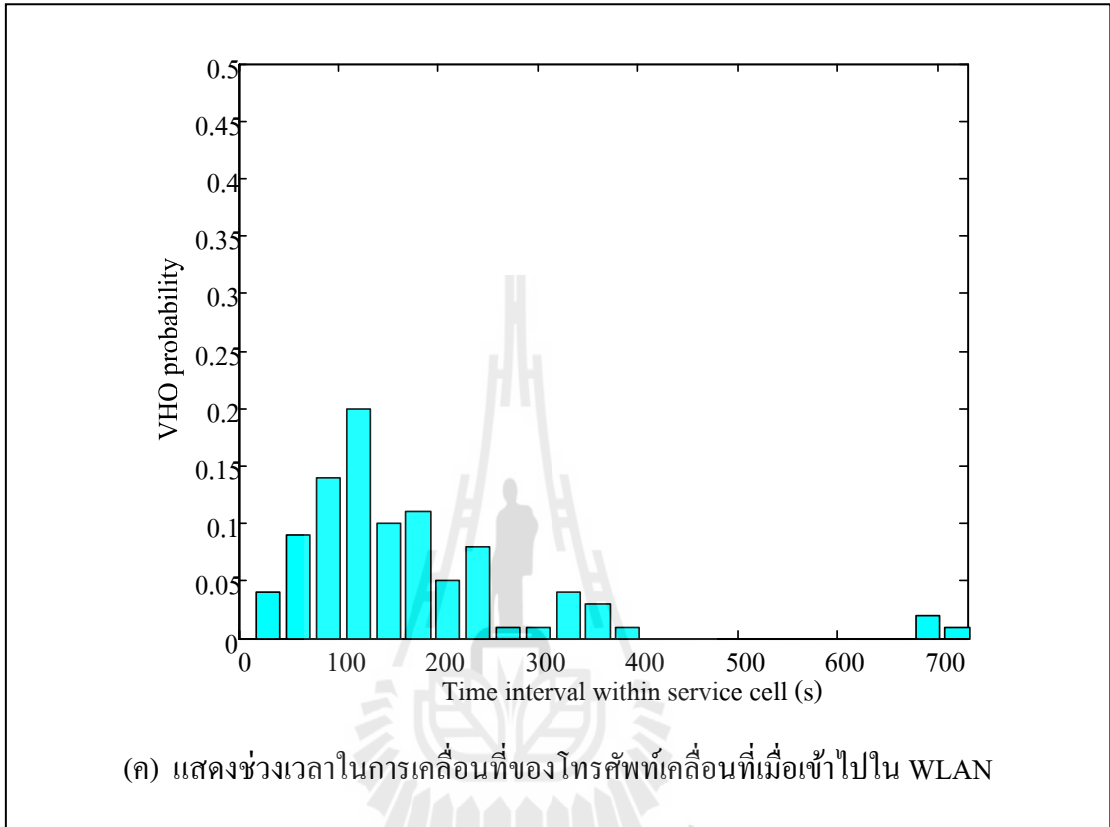


(ก) แสดงทิศทางเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point



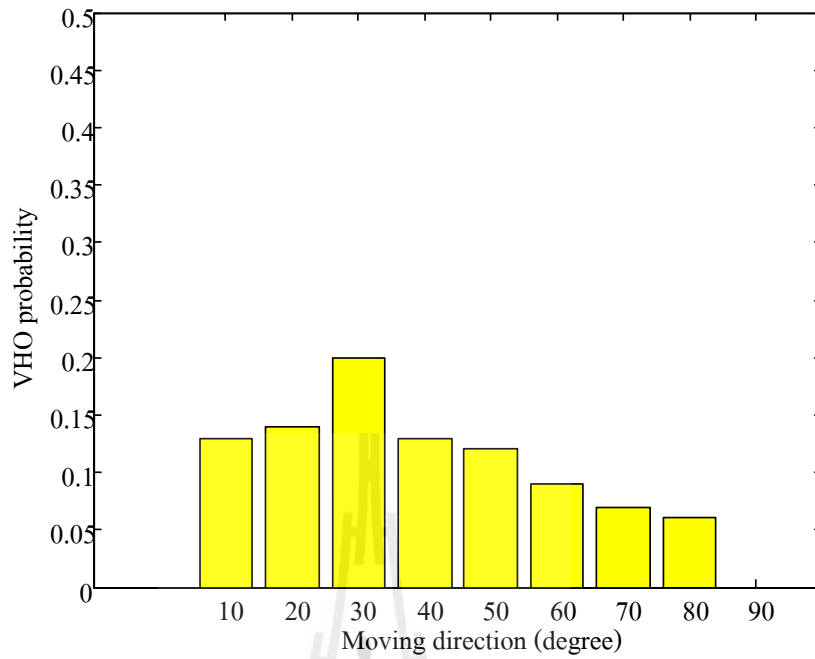
(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

รูปที่ 3.7 แสดงการลดการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ทำมุม
กับ Access Point เกินกว่า 80 องศา ไม่จำเป็นต้องทำ VHO

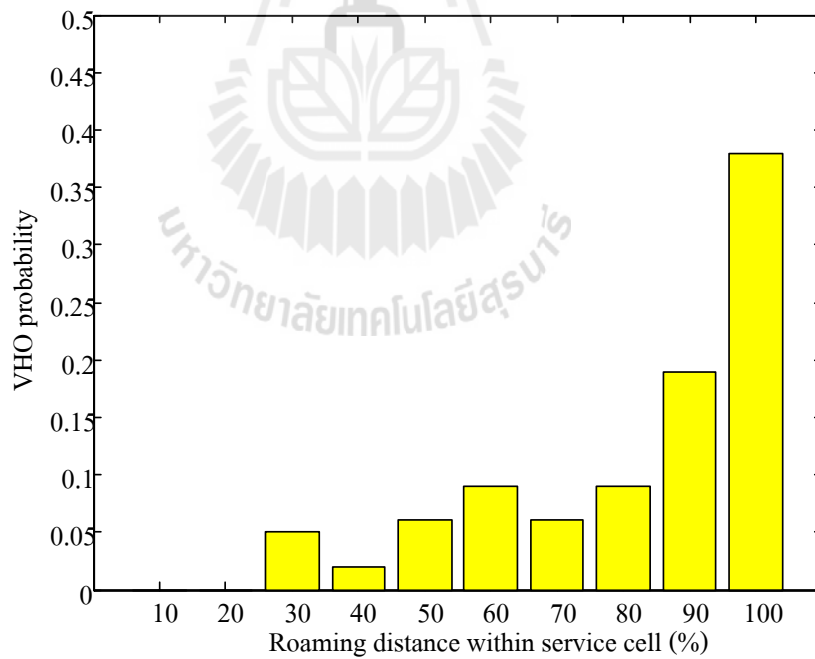


รูปที่ 3.7 แสดงการลดการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ทำมุม
กับ Access Point เกินกว่า 80 องศา ไม่จำเป็นต้องทำ VHO (ต่อ)



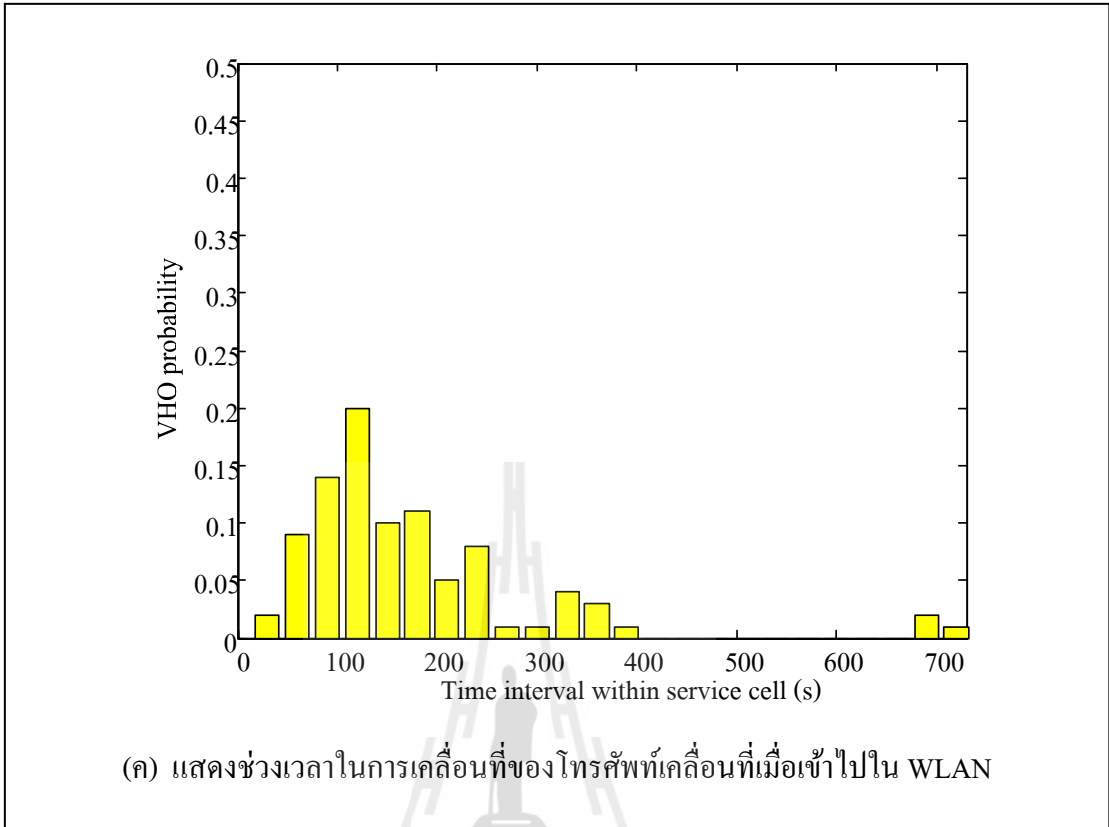


(ก) แสดงทิศทางเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point

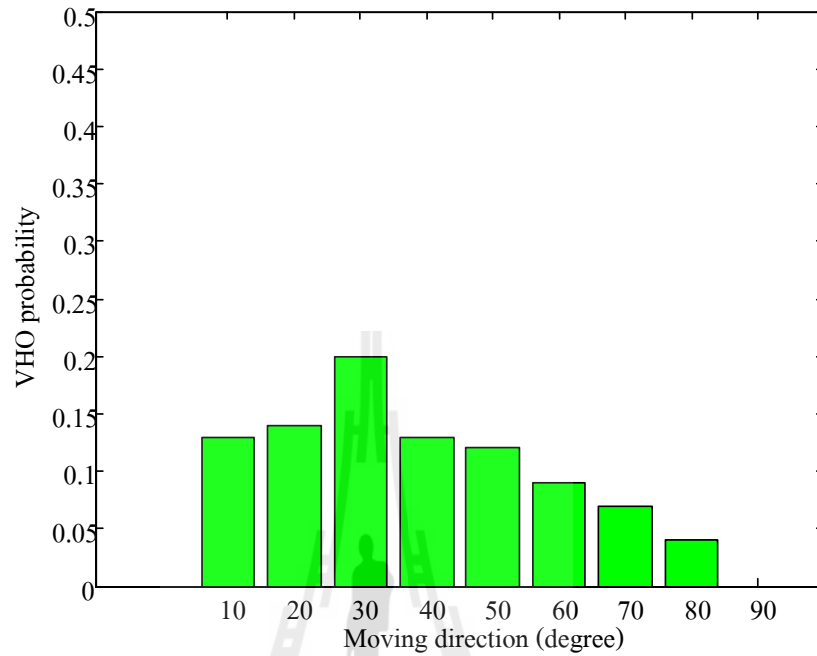


(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

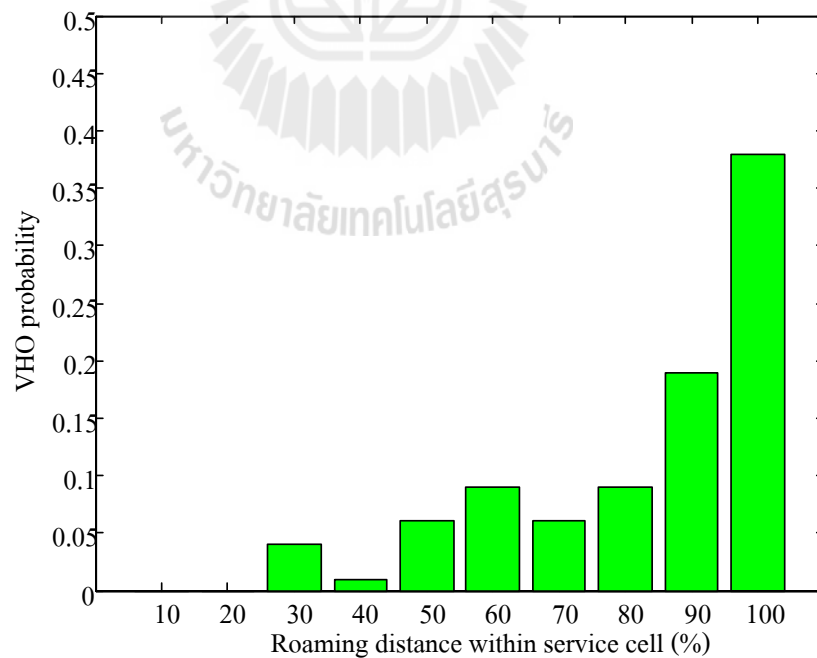
รูปที่ 3.8 แสดงการลดการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อมีสัดส่วนของระยะทางอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 20% ไม่จำเป็นต้องทำ VHO



รูปที่ 3.8 แสดงการลดการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อมีสัดส่วนของระยะทางอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 20% ไม่จำเป็นต้องทำ VHO (ต่อ)

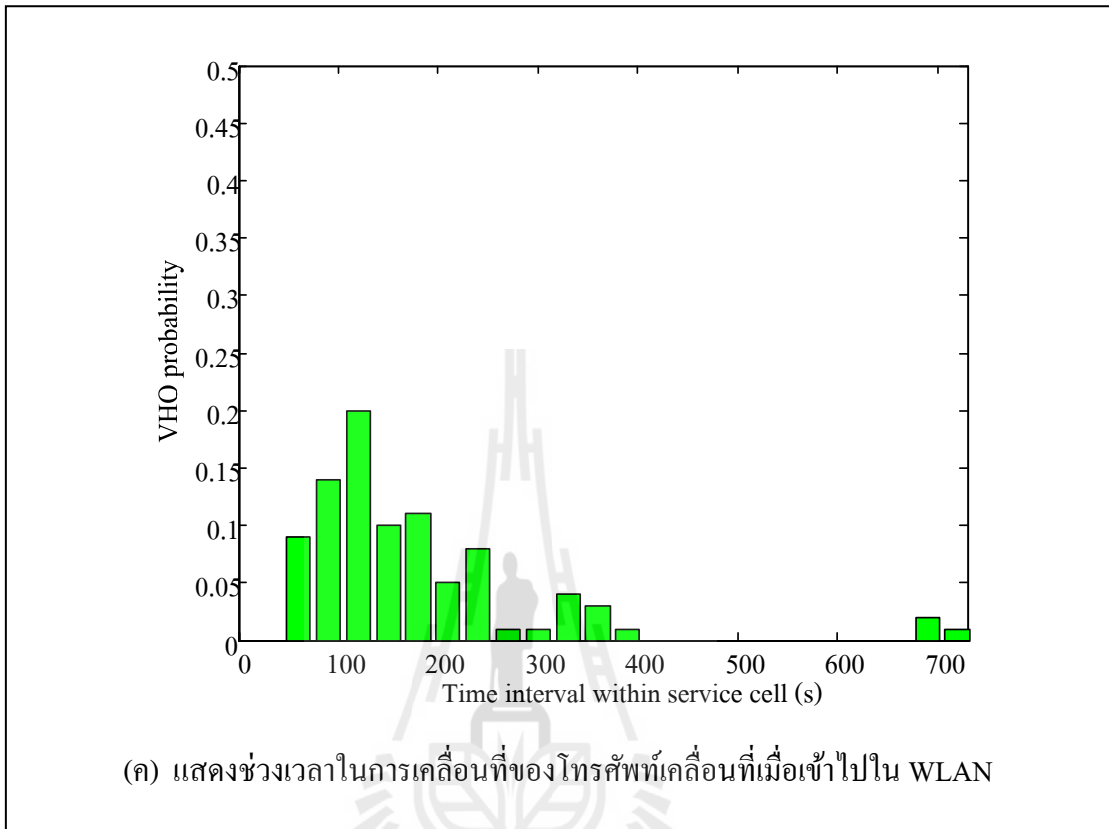


(ก) แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของ โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point



(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของ โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

รูปที่ 3.9 แสดงการลดการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลา
อยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO



รูปที่ 3.9 แสดงการลดการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลา
อยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO (ต่อ)

จากรูปที่ 3.6 เป็นผลจากการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์ในการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่จำนวน 100 ครั้ง แต่ครั้งจะใช้ข้อมูลทิศทางเคลื่อนที่ในการพิจารณา โดยยังไม่มีผลการเกิด VHO ซึ่งแบ่งเป็น รูป 3.6 (ก) แสดงจำนวนโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point รูป 3.6 (ข) แสดงจำนวนโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อมีอัตราการเคลื่อนที่เข้าไปใน WLAN และรูป 3.6 (ค) แสดงจำนวนโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาในการเคลื่อนที่เข้าไปใน WLAN

รูปที่ 3.7 แสดงผลการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point มากกว่า 80 องศา ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ซึ่งส่งผลต่อจำนวนการเกิด VHO ในรูปที่ 3.7 (ก) 3.7 (ข) และ 3.7 (ค) ลดลงตามลำดับ

รูปที่ 3.8 แสดงผลการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีสัดส่วนของระยะทางอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 20% ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ซึ่งส่งผลต่อจำนวนการเกิด VHO ในรูปที่ 3.8 (ก) 3.8 (ข) และ 3.8 (ค) ลดลงตามลำดับ

รูปที่ 3.9 แสดงผลการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาทีไม่จำเป็นต้องทำ VHO ซึ่งส่งผลต่อจำนวนการเกิด VHO ในรูปที่ 3.9(ก) 3.9 (ข) และ 3.9 (ค) ลดลงตามลำดับเช่นกัน

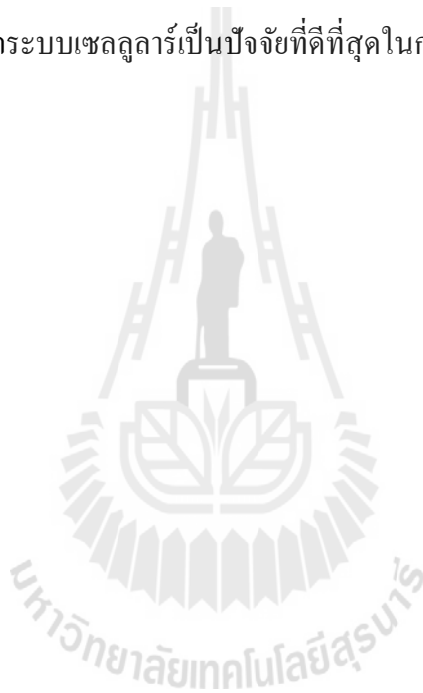
และจากการพิจารณาปัจจัยที่ใช้ประกอบการตัดสินใจในการทำ VHO โดยการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ที่มุมมากกว่า 80 องศา สัดส่วนของระยะทางที่อยู่ใน WLAN ไม่เกิน 20% และช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO นั้น ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าถ้าพิจารณา Threshold ที่ให้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ส่งผลต่อการลดการเกิด VHO มากที่สุดที่ 8% ดังนั้นตัวแปรที่ดีที่สุดในการนำมาประกอบ การตัดสินใจทำ VHO คือช่วงเวลาที่ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการเคลื่อนที่ อยู่ใน WLAN

ตารางที่ 3.1 แสดงผลการจำลองแบบการพิจารณาปัจจัยที่ใช้ประกอบการตัดสินใจในการทำ VHO

ปัจจัยที่ช่วยพิจารณา	จำนวนการทำ VHO (%)	ลดการเกิด VHO (%)
ปกติ	100	-
มุม	96	4
สัดส่วนของระยะทาง	94	6
ช่วงเวลา	92	8

3.4 บทสรุป

เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงแนวคิดในการดำเนินการวิจัยในการลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นและแสดงการจำลองแบบโดยใช้ข้อมูลทิศทาง การเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ประกอบการตัดสินใจซึ่งจะทำให้สามารถรู้ มุม สัดส่วนของระยะทาง และช่วงเวลาทีโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่จากระบบเซลลูลาร์เข้าไปในพื้นที่ของ WLAN ซึ่งเป็นข้อมูลที่สามารถนำมาวิเคราะห์หาทิศทาง การเคลื่อนที่ซึ่งพบว่าปัจจัยช่วงเวลาทีโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่จากระบบเซลลูลาร์เป็นปัจจัยที่ดีที่สุดในการพิจารณาลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็น



บทที่ 4

การทดสอบวัดสัญญาณจริง

4.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้เป็นกรกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดสอบวัดสัญญาณจริงในการตรวจสอบทิศทางของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเคลื่อนที่จากระบบเซลลูลาร์เข้าไปยังระบบท้องถิ่นไร้สาย และนำปัจจัยที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 มาพิจารณาประกอบการตัดสินใจเพื่อลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็น และสุดท้ายจะเป็นการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบวัดสัญญาณจริง พร้อมทั้งสรุปผลที่ได้รับจากการศึกษาและออกแบบระบบต่อไป

4.2 การนิยามปัญหา

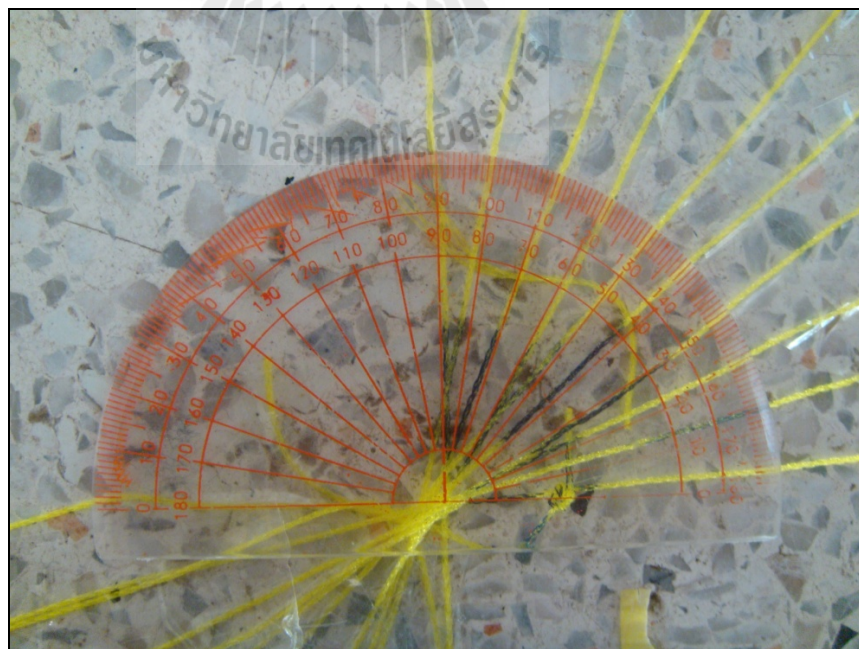
ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการสื่อสารไร้สายยุคที่ 4 (Fourth Generation : 4G) มีความสำคัญอย่างมากสำหรับการเข้าถึงเครือข่ายสื่อสารไร้สายแบบทั่วถึงหรือไร้ขอบเขต (Seamless) โดยอุปกรณ์สื่อสารหรือสถานีโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Station : MS) ไม่รู้สึกถึงการเปลี่ยนแปลงเมื่อข้ามไปใช้เครือข่ายสื่อสารอื่น ๆ ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ เช่น การที่อุปกรณ์สื่อสารใช้ทรัพยากรจากเครือข่ายเซลลูลาร์แล้วเคลื่อนที่ข้ามไปใช้ทรัพยากรของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area : WLAN) ซึ่งตั้งอยู่ภายในเซลล์ของเครือข่ายเซลลูลาร์ อุปกรณ์สื่อสารจะปรับระบบวิทยุจากระบบเซลลูลาร์ไปเป็นระบบท้องถิ่นไร้สายโดยที่ยังคงติดต่อสื่อสารอย่างต่อเนื่อง ลักษณะการเคลื่อนที่แบบไร้รอยต่อ (Seamless Mobility) นี้เองนำไปสู่การพัฒนาวิธีการทำการส่งต่อในแนวตั้ง (Vertical Handover) งานวิจัยที่ได้สำรวจว่ามีวิธีการปรับปรุงคุณภาพการทำการส่งต่อในแนวตั้งโดยเน้นไปที่การลดการประวิงเวลา (Delay) และลดการสูญหายของข้อมูล (Data Loss) มีข้อดีคือช่วยให้การรับและส่งข้อมูลผิดพลาดน้อยลง ข้อเสียคือยังมีการทำการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นเกิดขึ้น ซึ่งการส่งต่อในแนวตั้งแต่ละครั้งส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการ (Quality of Service : QoS) เกิดการประวิงเวลาระหว่างคู่สายและเกิดการสูญหายของข้อมูล ทำให้การรับและส่งข้อมูลผิดพลาดได้ ถ้าหากอุปกรณ์สื่อสารสามารถทราบข้อมูลของตนเองว่าจะเข้าไปในพื้นที่ของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายมากน้อยแค่ไหนก็น่าจะช่วยให้การตัดสินใจทำการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นเกิดขึ้นน้อยลงได้ จากการสำรวจงานวิจัยที่ผ่านมายังไม่พบแนวทางในลักษณะนี้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการลดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นจากการวัดจากความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength : RSS) ของอุปกรณ์สื่อสาร

เพื่อคู่มือทางการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสาร ว่าการที่อุปกรณ์สื่อสารเข้าไปยังเครือข่ายที่ต่างชนิดกันควรทำการส่งต่อในแนวตั้งหรือไม่ควรทำ โดยคาดหวังว่าการใช้ทิศทางเข้ามาประกอบการตัดสินใจนั้นสามารถช่วยลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นลงได้

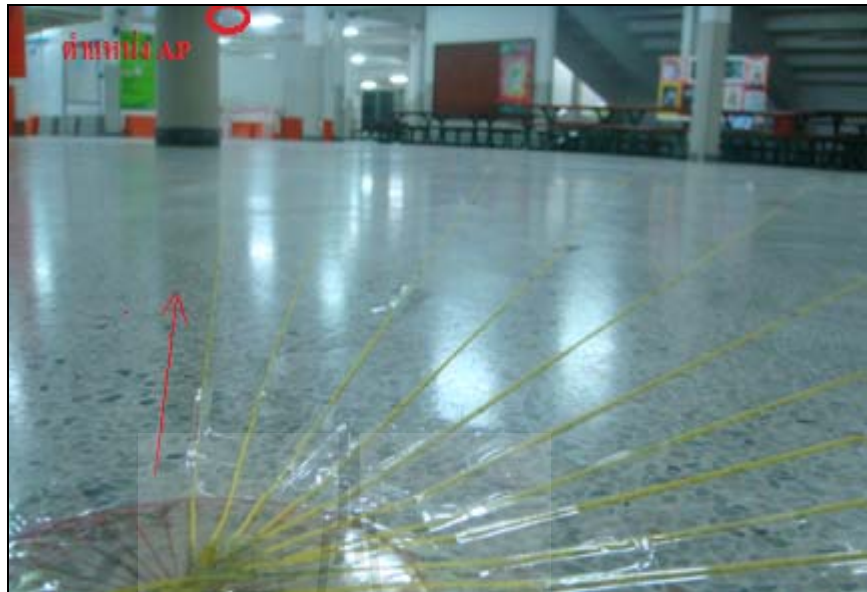
4.3 ผลการทดสอบจริง

4.3.1 ขั้นตอนการทดสอบ

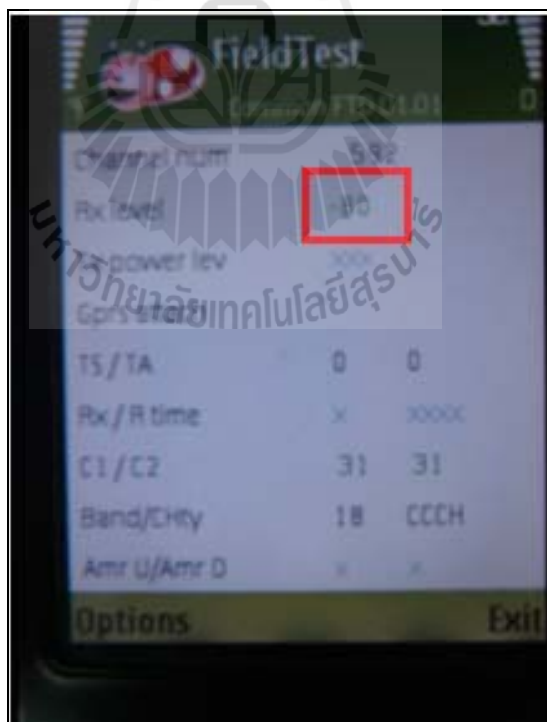
- เป็นการจับวางชุดทดสอบการวัดสัญญาณที่จุด Threshold ของความแรงของสัญญาณของ Access Point ที่ -50 dBm และ -70 dBm โดยการวัดมุมที่ทำกับ Access Point เป็นมุม 0 10 20 30 40 50 60 70 80 และ 90 องศา
 - ทำแนวเส้นให้เรียบแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.1
 - ทำการวัดสัญญาณโดยการเดินตามเส้นที่ได้เตรียมไว้ ดังแสดงในรูปที่ 4.2
- ในทุก ๆ มุมที่กำหนด โดยใช้โปรแกรมวัดความแรงของสัญญาณดังแสดงในรูปที่ 4.3 เป็นการวัดความแรงของสัญญาณของสถานีฐาน (Base Station : BS) จากโปรแกรม Field Test ในโทรศัพท์มือถือและจากรูปที่ 4.4 เป็นการวัดความแรงของสัญญาณของ Access Point (AP) จากโปรแกรม Wirelessmon ในกรอบสี่เหลี่ยมสีแดงในรูปจะแสดงความแรงของสัญญาณที่วัดได้ เพื่อนำมายืนยันความถูกต้องของแนวคิด



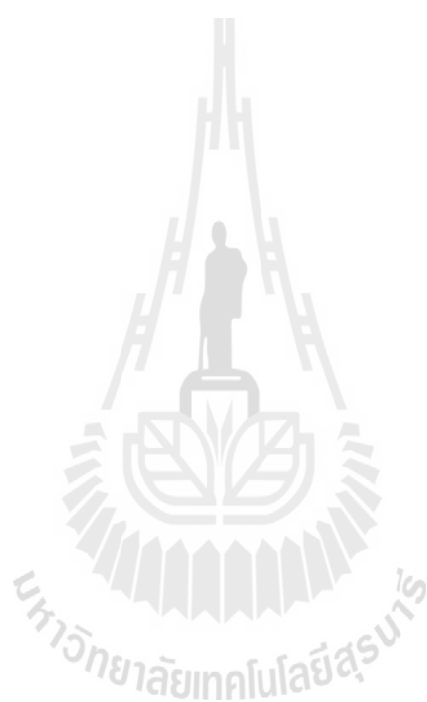
รูปที่ 4.1 แสดงวิธีวัดมุมที่ทำกับ Access Point

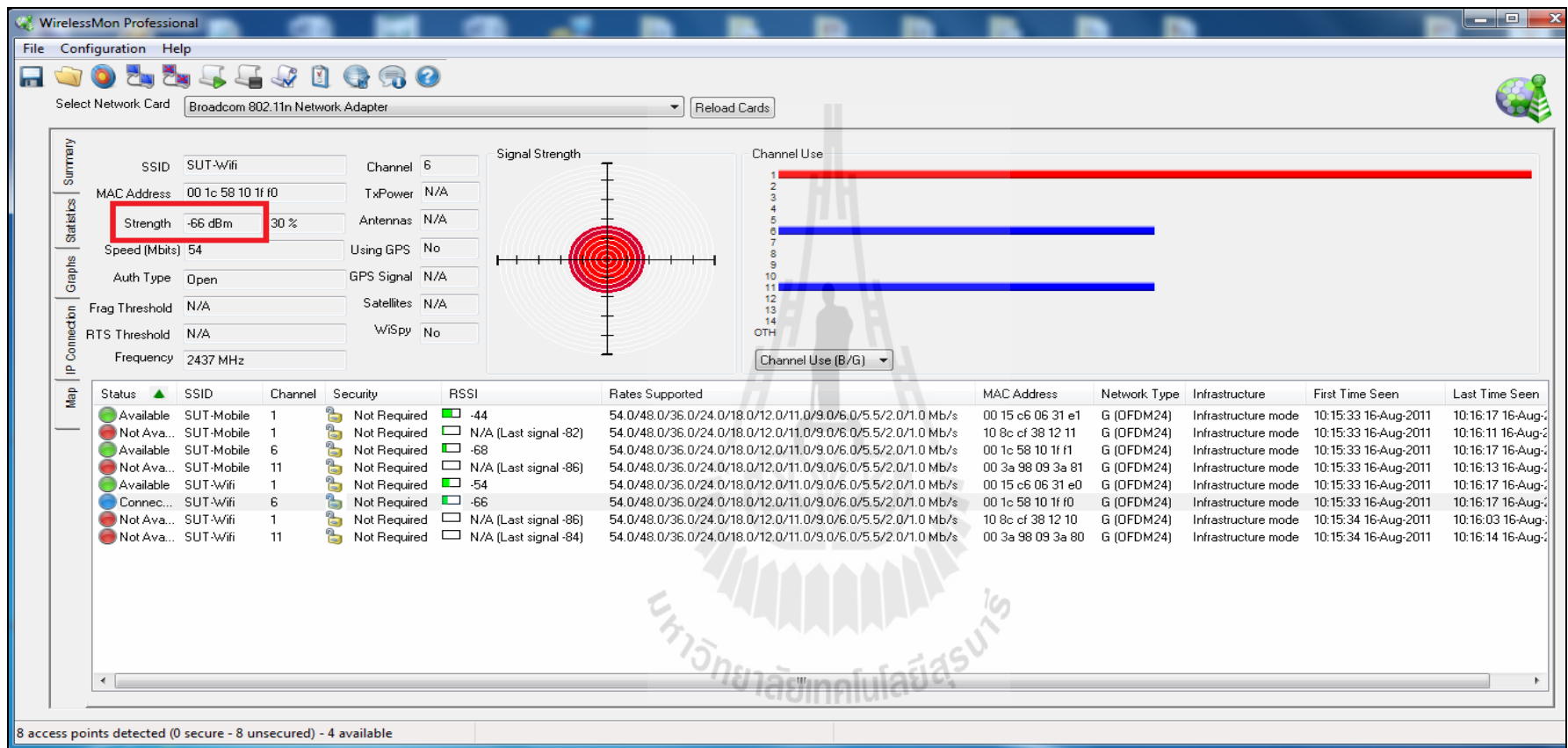


รูปที่ 4.2 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นกำกับมุม



รูปที่ 4.3 แสดงผลการวัดสัญญาณจาก Base Station ตามแนวเส้นกำกับมุม





รูปที่ 4.4 แสดงผลการวัดสัญญาณจาก Access Point ตามแนวเส้นกำกับมุม

4.3.2 ผลการทดสอบ

ดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้นว่า ในการทดสอบ ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้การทดสอบ วัดสัญญาณจริงบริเวณภายในอาคารเรียนรวมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีจากการทดสอบ โดยผู้วิจัยเดินตามแนวที่ได้ทำไว้ โดยวัดความแรงของสัญญาณ (RSS) ที่การ Sampling 5 10 15 และ 20 ครั้ง และทำการวัดที่ Threshold ของความแรงของสัญญาณของ Access Point ที่ -50 dBm และ -70 dBm ผลที่ได้ดังนี้

1) วัดความแรงของสัญญาณจาก Base Station ของระบบเซลลูลาร์

วัดความแรงของสัญญาณจากการเดินตามแนวเส้นกำกับมุมที่ได้เตรียมไว้ ผลที่ได้นั้นไม่สามารถหาทิศทางเคลื่อนที่ที่ถูกต้องจากแนวคิดได้ เนื่องจากค่าที่วัดได้ใกล้เคียงกันมากในแต่ละเส้นทาง ซึ่งเนื่องจาก BS นั้นมีรัศมีครอบคลุมพื้นที่กว้างมาก ๆ มุมที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำกับ BS นั้นเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ๆ เพราะฉะนั้นในการเดินช่วงสั้น ๆ ในแต่ละเส้นทางประมาณทิศทางเคลื่อนที่ไม่ได้ เนื่องจากเกิดความผิดพลาดขึ้นทุกเส้นทางซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.1 เป็นผลจากการวัดสัญญาณจาก BS เปรียบเทียบกับตารางที่ 4.5 เป็นผลจากการวัดสัญญาณจาก AP เห็นได้ว่ามุมที่ได้การวัดสัญญาณจาก BS นั้นมีค่าเบี่ยงเบนมากกว่ามุมที่ได้การวัดสัญญาณจาก AP ซึ่งดูจากการ Sampling ที่ 5 10 15 และ 20 ครั้งของการวัดสัญญาณจาก AP มีค่าเบี่ยงเบนของมุมน้อยกว่าการวัดสัญญาณจาก BS ในทุกการ Sampling ดังนั้นจึงใช้ผลการวัดสัญญาณจาก AP ในการประมาณทิศทางเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าเบี่ยงเบนของทิศทางเคลื่อนที่จากการวัดกำลังของสัญญาณของ BS โดยเฉลี่ย

Sampling (ครั้ง)	Deviation (องศา)
5	52
10	56
15	32
20	25

2) วัดความแรงของสัญญาณจาก Access Point ของระบบท้องถิ่นไร้สาย

วัดความแรงของสัญญาณจากการเดินตามแนวเส้นกำกับมุมที่ได้เตรียมไว้
ได้ผลการวัดมุมดังแสดงไว้ที่ภาคผนวก ข. ซึ่งได้ยกตัวอย่างการเดินที่เส้นกำกับมุม 30 องศา
ที่ Threshold -70 dBm ดังนี้

ครั้งที่ 1

Sampling ครั้งที่ 1	ได้กำลังของสัญญาณ [-70 -71 -71 -70 -70] dBm
Sampling ครั้งที่ 2	ได้กำลังของสัญญาณ [-69 -69 -69 -69 -69] dBm
Sampling ครั้งที่ 3	ได้กำลังของสัญญาณ [-69 -69 -71 -71 -72] dBm
Sampling ครั้งที่ 4	ได้กำลังของสัญญาณ [-69 -69 -68 -68 -69] dBm
Sampling ครั้งที่ 5	ได้กำลังของสัญญาณ [-70 -70 -70 -70 -69] dBm
Sampling ครั้งที่ 6	ได้กำลังของสัญญาณ [-68 -67 -68 -68 -68] dBm
Sampling ครั้งที่ 7	ได้กำลังของสัญญาณ [-70 -70 -71 -70 -70] dBm
Sampling ครั้งที่ 8	ได้กำลังของสัญญาณ [-68 -68 -67 -67 -67] dBm
Sampling ครั้งที่ 9	ได้กำลังของสัญญาณ [-62 -62 -63 -63 -63] dBm
Sampling ครั้งที่ 10	ได้กำลังของสัญญาณ [-67 -65 -68 -69 -68] dBm
Sampling ครั้งที่ 11	ได้กำลังของสัญญาณ [-70 -73 -73 -70 -67] dBm
Sampling ครั้งที่ 12	ได้กำลังของสัญญาณ [-66 -66 -66 -64 -65] dBm
Sampling ครั้งที่ 13	ได้กำลังของสัญญาณ [-65 -69 -69 -68 -64] dBm
Sampling ครั้งที่ 14	ได้กำลังของสัญญาณ [-68 -68 -68 -67 -67] dBm
Sampling ครั้งที่ 15	ได้กำลังของสัญญาณ [-64 -67 -65 -65 -65] dBm
Sampling ครั้งที่ 16	ได้กำลังของสัญญาณ [-62 -64 -62 -62 -62] dBm
Sampling ครั้งที่ 17	ได้กำลังของสัญญาณ [-59 -56 -59 -59 -60] dBm
Sampling ครั้งที่ 18	ได้กำลังของสัญญาณ [-66 -64 -65 -66 -66] dBm
Sampling ครั้งที่ 19	ได้กำลังของสัญญาณ [-63 -63 -63 -63 -62] dBm
Sampling ครั้งที่ 20	ได้กำลังของสัญญาณ [-61 -61 -59 -61 -59] dBm

ครั้งที่ 2

Sampling ครั้งที่ 1	ได้กำลังของสัญญาณ	[-71 -68 -69 -69 -69] dBm
Sampling ครั้งที่ 2	ได้กำลังของสัญญาณ	[-69 -69 -68 -69 -69] dBm
Sampling ครั้งที่ 3	ได้กำลังของสัญญาณ	[-72 -72 -72 -72 -72] dBm
Sampling ครั้งที่ 4	ได้กำลังของสัญญาณ	[-69 -69 -69 -68 -68] dBm
Sampling ครั้งที่ 5	ได้กำลังของสัญญาณ	[-70 -68 -70 -70 -70] dBm
Sampling ครั้งที่ 6	ได้กำลังของสัญญาณ	[-68 -68 -68 -68 -67] dBm
Sampling ครั้งที่ 7	ได้กำลังของสัญญาณ	[-70 -70 -70 -70 -70] dBm
Sampling ครั้งที่ 8	ได้กำลังของสัญญาณ	[-66 -66 -64 -64 -66] dBm
Sampling ครั้งที่ 9	ได้กำลังของสัญญาณ	[-63 -64 -65 -66 -64] dBm
Sampling ครั้งที่ 10	ได้กำลังของสัญญาณ	[-68 -69 -67 -68 -68] dBm
Sampling ครั้งที่ 11	ได้กำลังของสัญญาณ	[-69 -69 -69 -69 -70] dBm
Sampling ครั้งที่ 12	ได้กำลังของสัญญาณ	[-66 -65 -64 -64 -67] dBm
Sampling ครั้งที่ 13	ได้กำลังของสัญญาณ	[-68 -68 -64 -65 -68] dBm
Sampling ครั้งที่ 14	ได้กำลังของสัญญาณ	[-67 -67 -67 -66 -67] dBm
Sampling ครั้งที่ 15	ได้กำลังของสัญญาณ	[-63 -65 -65 -65 -63] dBm
Sampling ครั้งที่ 16	ได้กำลังของสัญญาณ	[-62 -62 -62 -59 -59] dBm
Sampling ครั้งที่ 17	ได้กำลังของสัญญาณ	[-60 -60 -59 -59 -59] dBm
Sampling ครั้งที่ 18	ได้กำลังของสัญญาณ	[-65 -65 -67 -65 -65] dBm
Sampling ครั้งที่ 19	ได้กำลังของสัญญาณ	[-61 -65 -65 -65 -64] dBm
Sampling ครั้งที่ 20	ได้กำลังของสัญญาณ	[-59 -61 -59 -58 -58] dBm

ครั้งที่ 3

Sampling ครั้งที่ 1	ได้กำลังของสัญญาณ	[-72 -69 -69 -69 -72] dBm
Sampling ครั้งที่ 2	ได้กำลังของสัญญาณ	[-70 -70 -68 -70 -70] dBm
Sampling ครั้งที่ 3	ได้กำลังของสัญญาณ	[-71 -71 -69 -71 -71] dBm
Sampling ครั้งที่ 4	ได้กำลังของสัญญาณ	[-69 -69 -69 -69 -69] dBm
Sampling ครั้งที่ 5	ได้กำลังของสัญญาณ	[-68 -69 -69 -69 -69] dBm
Sampling ครั้งที่ 6	ได้กำลังของสัญญาณ	[-69 -69 -69 -69 -69] dBm
Sampling ครั้งที่ 7	ได้กำลังของสัญญาณ	[-68 -68 -66 -66 -63] dBm
Sampling ครั้งที่ 8	ได้กำลังของสัญญาณ	[-66 -69 -66 -66 -67] dBm
Sampling ครั้งที่ 9	ได้กำลังของสัญญาณ	[-64 -64 -69 -69 -64] dBm
Sampling ครั้งที่ 10	ได้กำลังของสัญญาณ	[-67 -67 -68 -68 -68] dBm
Sampling ครั้งที่ 11	ได้กำลังของสัญญาณ	[-69 -68 -69 -69 -66] dBm
Sampling ครั้งที่ 12	ได้กำลังของสัญญาณ	[-66 -66 -70 -70 -66] dBm
Sampling ครั้งที่ 13	ได้กำลังของสัญญาณ	[-68 -68 -64 -68 -68] dBm
Sampling ครั้งที่ 14	ได้กำลังของสัญญาณ	[-65 -67 -68 -67 -67] dBm
Sampling ครั้งที่ 15	ได้กำลังของสัญญาณ	[-65 -65 -65 -67 -64] dBm
Sampling ครั้งที่ 16	ได้กำลังของสัญญาณ	[-62 -61 -59 -62 -62] dBm
Sampling ครั้งที่ 17	ได้กำลังของสัญญาณ	[-61 -58 -58 -56 -58] dBm
Sampling ครั้งที่ 18	ได้กำลังของสัญญาณ	[-65 -66 -64 -66 -64] dBm
Sampling ครั้งที่ 19	ได้กำลังของสัญญาณ	[-65 -65 -65 -61 -65] dBm
Sampling ครั้งที่ 20	ได้กำลังของสัญญาณ	[-62 -61 -61 -62 -59] dBm

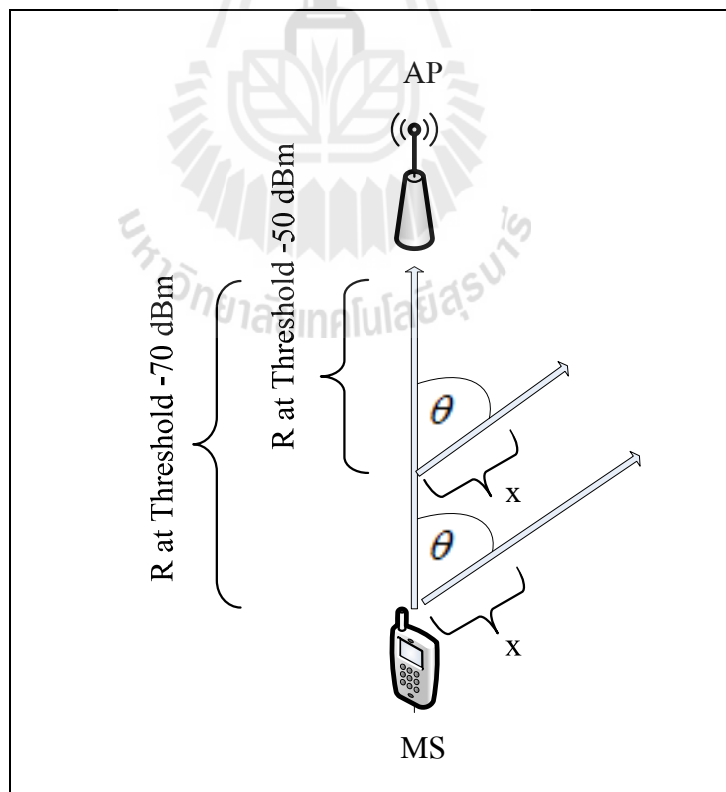
ครั้งที่ 4

Sampling ครั้งที่ 1	ได้กำลังของสัญญาณ	[-71 -71 -68 -71 -69] dBm
Sampling ครั้งที่ 2	ได้กำลังของสัญญาณ	[-70 -70 -70 -69 -69] dBm
Sampling ครั้งที่ 3	ได้กำลังของสัญญาณ	[-71 -71 -71 -71 -72] dBm
Sampling ครั้งที่ 4	ได้กำลังของสัญญาณ	[-68 -69 -69 -68 -68] dBm
Sampling ครั้งที่ 5	ได้กำลังของสัญญาณ	[-69 -70 -69 -69 -69] dBm
Sampling ครั้งที่ 6	ได้กำลังของสัญญาณ	[-69 -69 -67 -67 -67] dBm
Sampling ครั้งที่ 7	ได้กำลังของสัญญาณ	[-67 -67 -68 -68 -68] dBm
Sampling ครั้งที่ 8	ได้กำลังของสัญญาณ	[-67 -67 -67 -66 -66] dBm
Sampling ครั้งที่ 9	ได้กำลังของสัญญาณ	[-63 -63 -63 -62 -63] dBm
Sampling ครั้งที่ 10	ได้กำลังของสัญญาณ	[-69 -69 -67 -68 -68] dBm
Sampling ครั้งที่ 11	ได้กำลังของสัญญาณ	[-68 -68 -67 -67 -67] dBm
Sampling ครั้งที่ 12	ได้กำลังของสัญญาณ	[-69 -67 -64 -68 -67] dBm
Sampling ครั้งที่ 13	ได้กำลังของสัญญาณ	[-65 -65 -65 -65 -65] dBm
Sampling ครั้งที่ 14	ได้กำลังของสัญญาณ	[-68 -68 -68 -67 -67] dBm
Sampling ครั้งที่ 15	ได้กำลังของสัญญาณ	[-65 -67 -65 -65 -62] dBm
Sampling ครั้งที่ 16	ได้กำลังของสัญญาณ	[-63 -63 -63 -62 -62] dBm
Sampling ครั้งที่ 17	ได้กำลังของสัญญาณ	[-56 -59 -59 -59 -59] dBm
Sampling ครั้งที่ 18	ได้กำลังของสัญญาณ	[-65 -65 -64 -65 -65] dBm
Sampling ครั้งที่ 19	ได้กำลังของสัญญาณ	[-63 -63 -64 -62 -64] dBm
Sampling ครั้งที่ 20	ได้กำลังของสัญญาณ	[-62 -59 -61 -59 -59] dBm

ครั้งที่ 5

Sampling ครั้งที่ 1	ได้กำลังของสัญญาณ [-73 -69 -68 -68 -69] dBm
Sampling ครั้งที่ 2	ได้กำลังของสัญญาณ [-71 -68 -71 -71 -70] dBm
Sampling ครั้งที่ 3	ได้กำลังของสัญญาณ [-71 -71 -70 -71 -71] dBm
Sampling ครั้งที่ 4	ได้กำลังของสัญญาณ [-69 -69 -68 -68 -69] dBm
Sampling ครั้งที่ 5	ได้กำลังของสัญญาณ [-71 -71 -71 -71 -71] dBm
Sampling ครั้งที่ 6	ได้กำลังของสัญญาณ [-69 -68 -69 -69 -68] dBm
Sampling ครั้งที่ 7	ได้กำลังของสัญญาณ [-66 -66 -66 -66 -66] dBm
Sampling ครั้งที่ 8	ได้กำลังของสัญญาณ [-66 -66 -63 -65 -65] dBm
Sampling ครั้งที่ 9	ได้กำลังของสัญญาณ [-63 -63 -64 -64 -64] dBm
Sampling ครั้งที่ 10	ได้กำลังของสัญญาณ [-69 -67 -69 -69 -69] dBm
Sampling ครั้งที่ 11	ได้กำลังของสัญญาณ [-70 -70 -70 -71 -71] dBm
Sampling ครั้งที่ 12	ได้กำลังของสัญญาณ [-67 -63 -64 -68 -64] dBm
Sampling ครั้งที่ 13	ได้กำลังของสัญญาณ [-68 -67 -67 -67 -65] dBm
Sampling ครั้งที่ 14	ได้กำลังของสัญญาณ [-68 -67 -67 -68 -67] dBm
Sampling ครั้งที่ 15	ได้กำลังของสัญญาณ [-65 -64 -68 -65 -65] dBm
Sampling ครั้งที่ 16	ได้กำลังของสัญญาณ [-62 -64 -62 -62 -63] dBm
Sampling ครั้งที่ 17	ได้กำลังของสัญญาณ [-59 -59 -59 -59 -59] dBm
Sampling ครั้งที่ 18	ได้กำลังของสัญญาณ [-66 -66 -66 -64 -64] dBm
Sampling ครั้งที่ 19	ได้กำลังของสัญญาณ [-63 -64 -64 -64 -64] dBm
Sampling ครั้งที่ 20	ได้กำลังของสัญญาณ [-61 -59 -61 -60 -61] dBm

ในการวัดกำลังของสัญญาณในแต่ละการ Sampling ใช้ค่าเฉลี่ยของกำลังของสัญญาณที่วัดได้ของแต่ละครั้งไปประมาณหาทิศทางการเคลื่อนที่ดังที่เสนอการจำลองแบบในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.2.2 หากหา Mean Square Error (MSE) ได้ดังแสดงในตารางที่ 4.2 พบว่ามุมที่ได้จากการวัดสัญญาณจริงนั้นมีค่าที่เท่ากับหรือใกล้เคียงกับแนวเส้นกำกับมุม ซึ่งค่าที่คลาดเคลื่อนถ้ายังอยู่ในช่วงมุมที่กำหนดไว้ (ช่วงที่ต้องทำ VHO คือ 0 - 80 องศา) ก็ถือว่าการทำนายทิศทางการเคลื่อนที่นั้นต้องทำ VHO และถ้าได้มุมที่ช่วงเกิน 80 องศา นั้นไม่ต้องการทำ VHO ถือว่าการทำนายเกิดความผิดพลาดขึ้น ซึ่งผลการวัดสัญญาณในทุกเส้นทางดังแสดงในตารางที่ 4.3 และ 4.4 แสดงการวัดสัญญาณจำนวน 100 ครั้ง โดยเดินตามเส้นกำกับมุมเส้นทางละ 10 ครั้งที่ Threshold -50 dBm และ Threshold -70 dBm ตามลำดับ พบว่าจำนวนการ Sampling ยิ่งมากขึ้น ช่วงการประมาณที่ 0 - 80 องศา และช่วงการประมาณที่เกิน 80 องศา มีแนวโน้มการประมาณการเกิด VHO ผิดพลาดน้อยลงโดยที่ช่วงการประมาณที่เกิน 80 องศาแทบจะไม่มีผิดพลาดเกิดขึ้นเลยและที่ Threshold -70 dBm มีการประมาณการเกิด VHO ผิดพลาดน้อยกว่าที่ Threshold -50 dBm โดยสามารถวิเคราะห์ได้ดังนี้



รูปที่ 4.5 แสดงการวัดสัญญาณที่ตำแหน่ง Threshold -50 dBm และ Threshold -70 dBm

จากรูปที่ 4.5 แสดงการวัดสัญญาณที่ตำแหน่ง Threshold -50 dBm และ Threshold -70 dBm เนื่องจากค่า R ณ ตำแหน่งเริ่มการวัดสัญญาณจาก Threshold -70 dBm มีค่าใกล้เคียงกันกับ R จากแบบจำลองจึงทำให้ทิศทางที่วัดได้นั้นมีความผิดพลาดน้อยกว่าตำแหน่งเริ่มการวัดสัญญาณจาก Threshold -50 dBm ดังแสดงในสมการที่ 4.3

$$\Delta P_r = -\frac{1}{2} K_2 \log \left[1 + n^2 \left(\frac{x}{R} \right)^2 - 2n \left(\frac{x}{R} \right) \cos \theta \right] \quad (4.1)$$

$$10^{\frac{2\Delta P_r}{K_2}} = 1 + n^2 \left(\frac{x}{R} \right)^2 - 2n \left(\frac{x}{R} \right) \cos \theta$$

$$\theta = \cos^{-1} \left[\frac{10^{\frac{2\Delta P_r}{K_2}} - 1 - n^2 \left(\frac{x}{R} \right)^2}{-2n \left(\frac{x}{R} \right)} \right] \quad (4.2)$$

$$\text{ดังนั้น } \Delta \theta = \cos^{-1} \left[\frac{10^{\frac{2\Delta P_r}{K_2}} - 1 - n^2 \left(\frac{x}{R} \right)^2}{-2n \left(\frac{x}{R} \right)} \right] - \left[\frac{10^{\frac{2\Delta P_r}{K_2}} - 1 - n^2 \left(\frac{x}{R_{dBm}} \right)^2}{-2n \left(\frac{x}{R_{dBm}} \right)} \right] \quad (4.3)$$

- โดยที่ ΔP_r คือ ผลต่างของความแรงของสัญญาณที่วัดได้
 K_2 คือ ความชันของการสูญเสียต่อระยะทาง ; $K_2=20$ ตามสมการที่ (2.1)
 θ คือ มุมที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำกับ Access Point
 n คือ จำนวนครั้งในการ Sampling ขณะที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการเคลื่อนที่
 อยู่ในพื้นที่ของ Access Point ($n = 1 \ 2 \ 3 \ \dots$)
 x คือ ระยะระหว่างการ Sampling ครั้งที่ 1 และครั้งถัด ๆ ไป
 R คือ ระยะห่างระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ Access Point เมื่อเริ่มอยู่ที่ขอบเซลล์
 ของ WLAN (รัศมีควบคุมของ Access Point) ในแบบจำลองเป็นตำแหน่ง
 ที่ทำการ Sampling ครั้งแรก

R_{dBm} คือ ระยะห่างระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ Access Point ณ ตำแหน่ง
 ที่เริ่มทำการ Sampling ครั้งแรกของ Threshold -50 dBm
 และ Threshold -70 dBm

$\Delta\theta$ คือ มุมผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการวัดสัญญาณจริงกับแบบจำลอง

ตารางที่ 4.2 แสดงผลที่ได้จากการเดินตามเส้นทางกับมุม 30 องศา ที่ Threshold -70 dBm

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	10	60	40	50	50
10	30	40	30	30	30
15	30	30	40	30	30
20	30	30	30	30	30

ตารางที่ 4.3 แสดงช่วงการประมาณการเกิด VHO ผิดพลาดที่ Threshold -50 dBm

Sampling (ครั้ง)	ความผิดพลาด (%)			
	5	10	15	20
ช่วงการประมาณ				
ช่วงมุมที่สมควรทำ VHO (ทิศทางการเคลื่อนที่ไม่เกิน 80 องศา)	16	15	9	3
ช่วงมุมที่ไม่ควรทำ VHO (ทิศทางการเคลื่อนเกิน 80 องศา)	0	0	0	2

ตารางที่ 4.4 แสดงช่วงการประมาณการเกิด VHO ผิดพลาดที่ Threshold -70 dBm

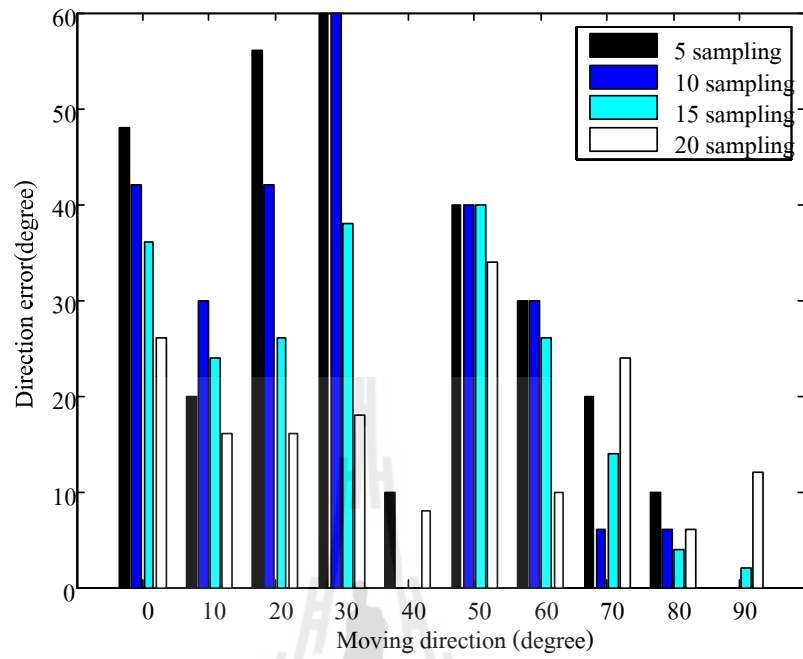
Sampling (ครั้ง)	ความผิดพลาด (%)			
	5	10	15	20
ช่วงการประมาณ				
ช่วงมุมที่สมควรทำ VHO (ทิศทางการเคลื่อนที่ไม่เกิน 80 องศา)	10	4	0	0
ช่วงมุมที่ไม่ควรทำ VHO (ทิศทางการเคลื่อนเกิน 80 องศา)	0	0	0	0

เมื่อทำการวัดสัญญาณจากทุก ๆ เส้นทางในแต่ละ Threshold แล้วนำไปประมาณค่าเพื่อหาทิศทางการเคลื่อนที่ในการพิจารณาการเกิด VHO จากวิธี MSE โดยใช้การ Sampling ที่ 5 10 15 และ 20 ครั้ง ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 แสดงผลการประมาณผิดพลาดโดยเฉลี่ยในแต่ละมุมที่เดินตามเส้นกำกับมุม และได้ผลดังสรุปไว้ในตารางที่ 4.5 พบว่าการประมาณทิศทางการเคลื่อนที่ (มุมในการทำกับ Access Point) มีความผิดพลาดน้อยลงเมื่อมีการ Sampling มากครั้งและที่ Threshold -70 dBm มีความผิดพลาดเกิดขึ้นน้อยกว่าที่ Threshold -50 dBm

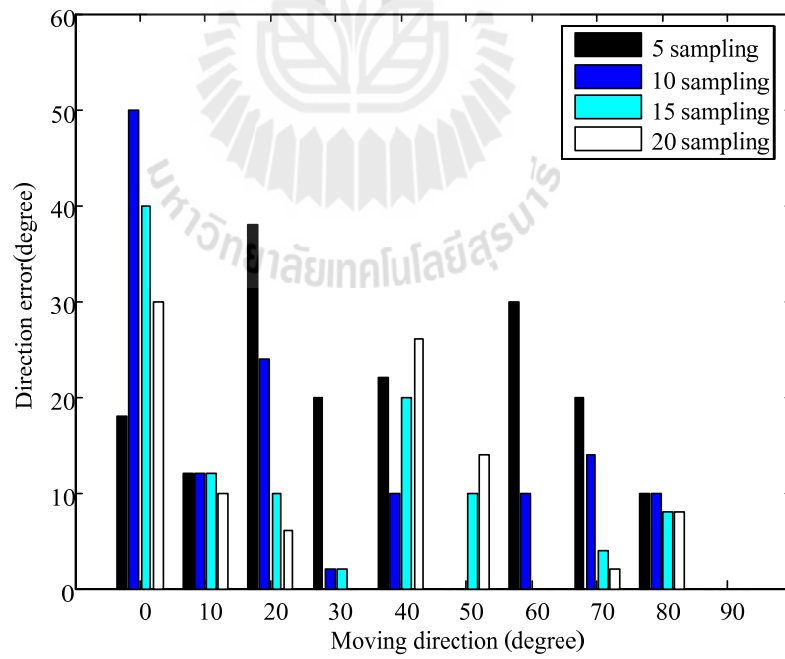
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าเบี่ยงเบนของทิศทางการเคลื่อนที่จากการวัดกำลังของสัญญาณของ AP โดยเฉลี่ย

Threshold \ Sampling (ครั้ง)	Deviation (องศา)			
	5	10	15	20
-50 dBm	29.4	25.6	21	17
-70 dBm	17	13.2	10.6	9.6





(ก) การประมาณทิศทางผิดพลาดที่ Threshold -50 dBm

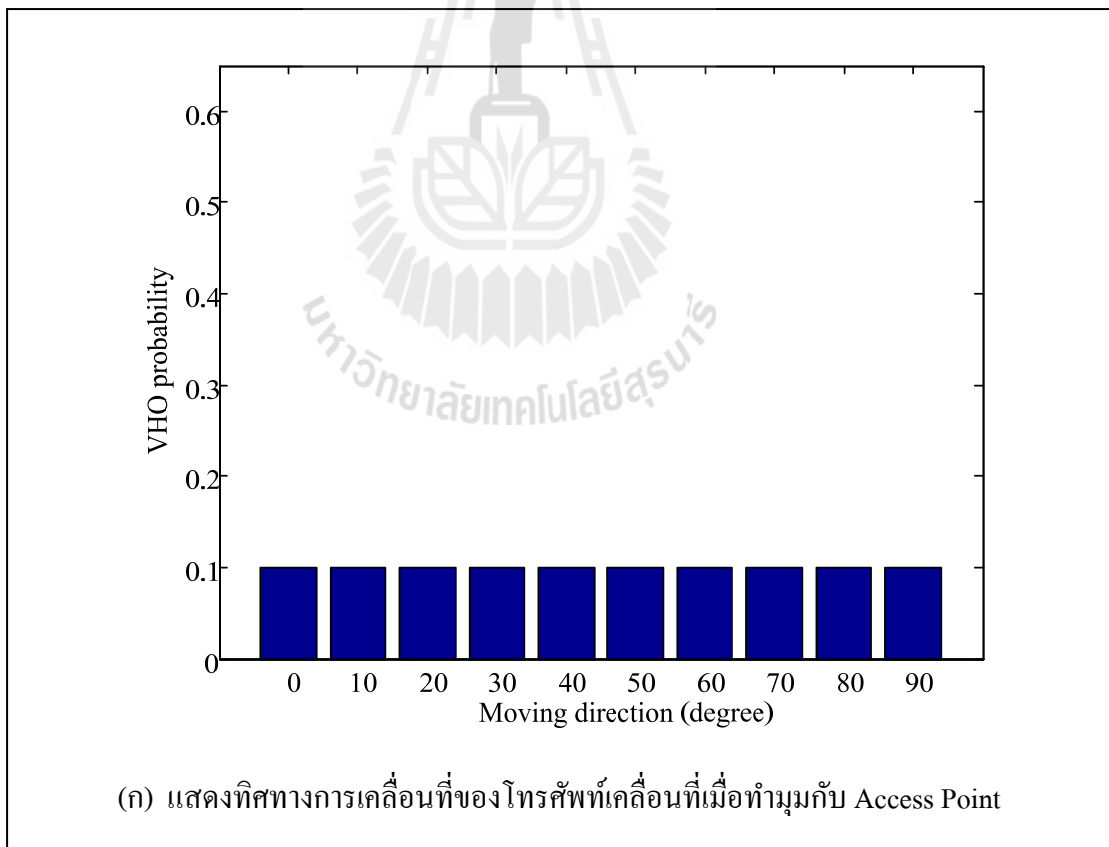


(ข) การประมาณทิศทางผิดพลาดที่ Threshold -70 dBm

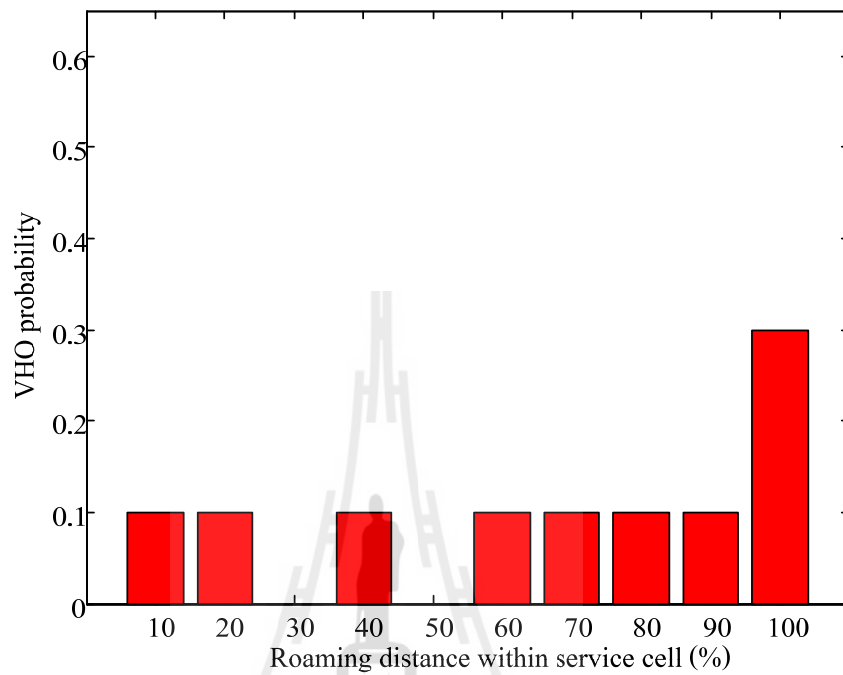
รูปที่ 4.6 แสดงการประมาณทิศทางผิดพลาดในแต่ละทิศทางการเคลื่อนที่

จากการวัดสัญญาณจากทุก ๆ เส้นทางในแต่ละ Threshold แล้วนำไปประมาณค่าเพื่อหาทิศทางการเคลื่อนที่ในการพิจารณาการเกิด VHO และพิจารณาปัจจัยที่ใช้ประกอบการตัดสินใจในการทำ VHO โดยการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ที่ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ซึ่งเป็นปัจจัยที่ได้แสดงไว้ที่บทที่ 3 แล้วว่าดีที่สุดในที่นี้ ซึ่งผลทั้งหมดแสดงไว้ที่ภาคผนวก ก. ทั้ง Threshold -50 dBm และ -70 dBm ของ Access Point และได้ยกตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 4.7 - 4.10

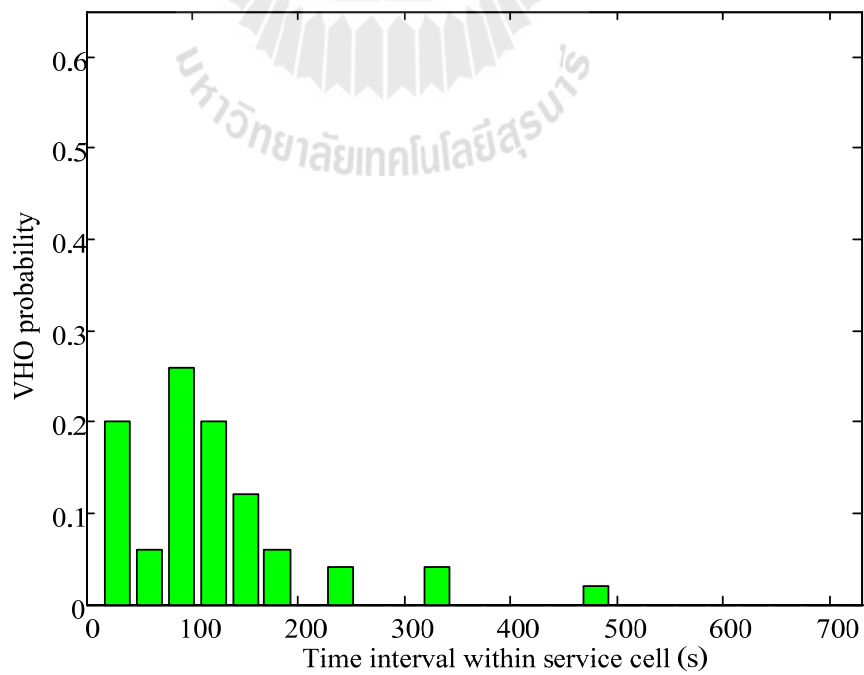
จากรูปที่ 4.7 แสดงการเกิด VHO จากแบบจำลองก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO โดยให้เดินในทุกเส้นทางที่กำกับมุนนั้นเท่ากันเพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดสัญญาณจริงและผลที่ได้จากการลดการเกิด VHO ได้แสดงดังรูปที่ 4.8 พบว่าช่วงเวลาที่เคลื่อนที่อยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาทีไม่จำเป็นต้องทำ VHO ลดการเกิด VHO ลงได้ 20%



รูปที่ 4.7 แสดงการเกิด VHO จากแบบจำลองก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO

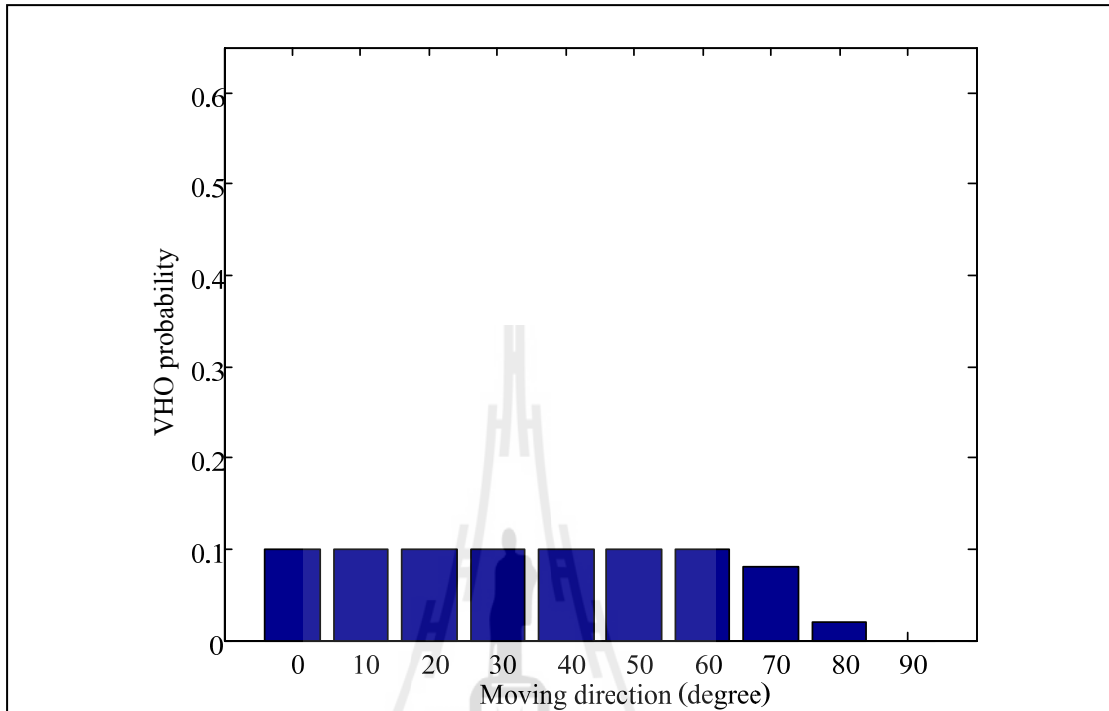


(ข) แสดงอัตราการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

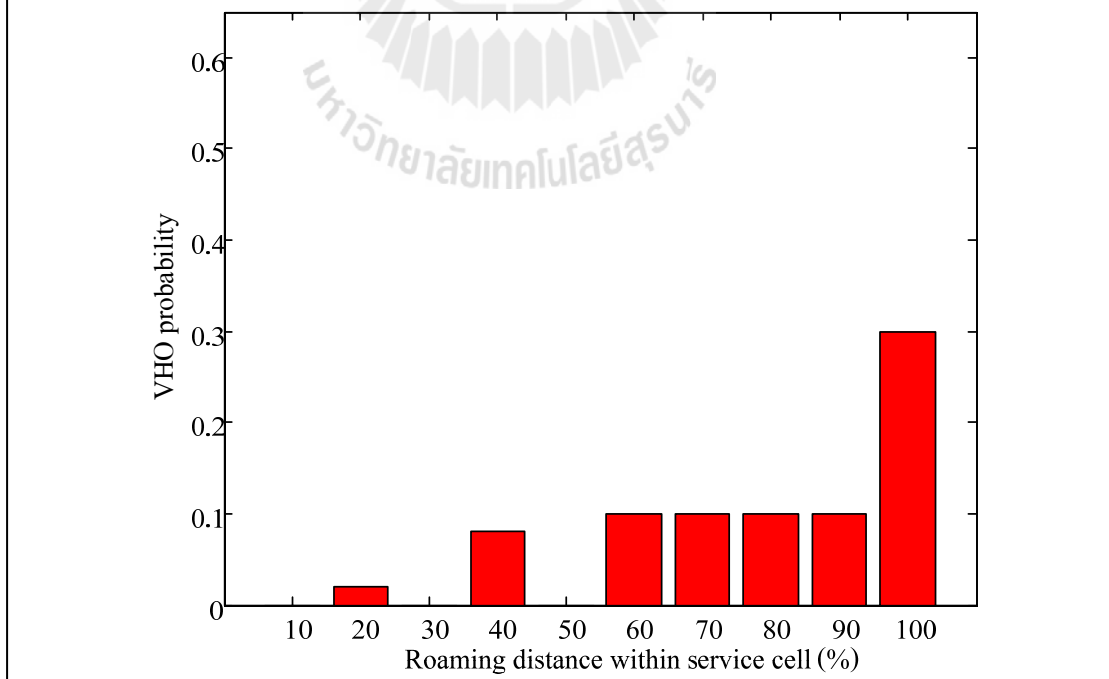


(ค) แสดงช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

รูปที่ 4.7 แสดงการเกิด VHO จากแบบจำลองก่อนการพิจารณาการเกิด VHO (ต่อ)

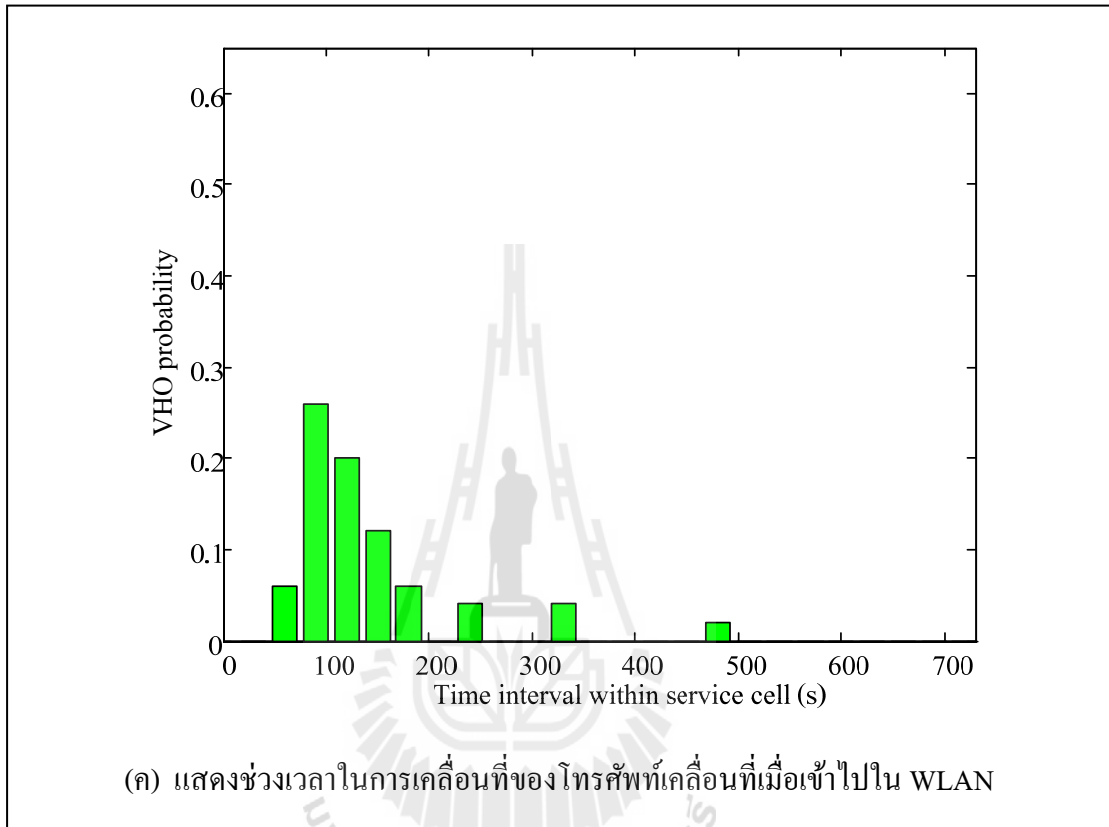


(ก) แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point



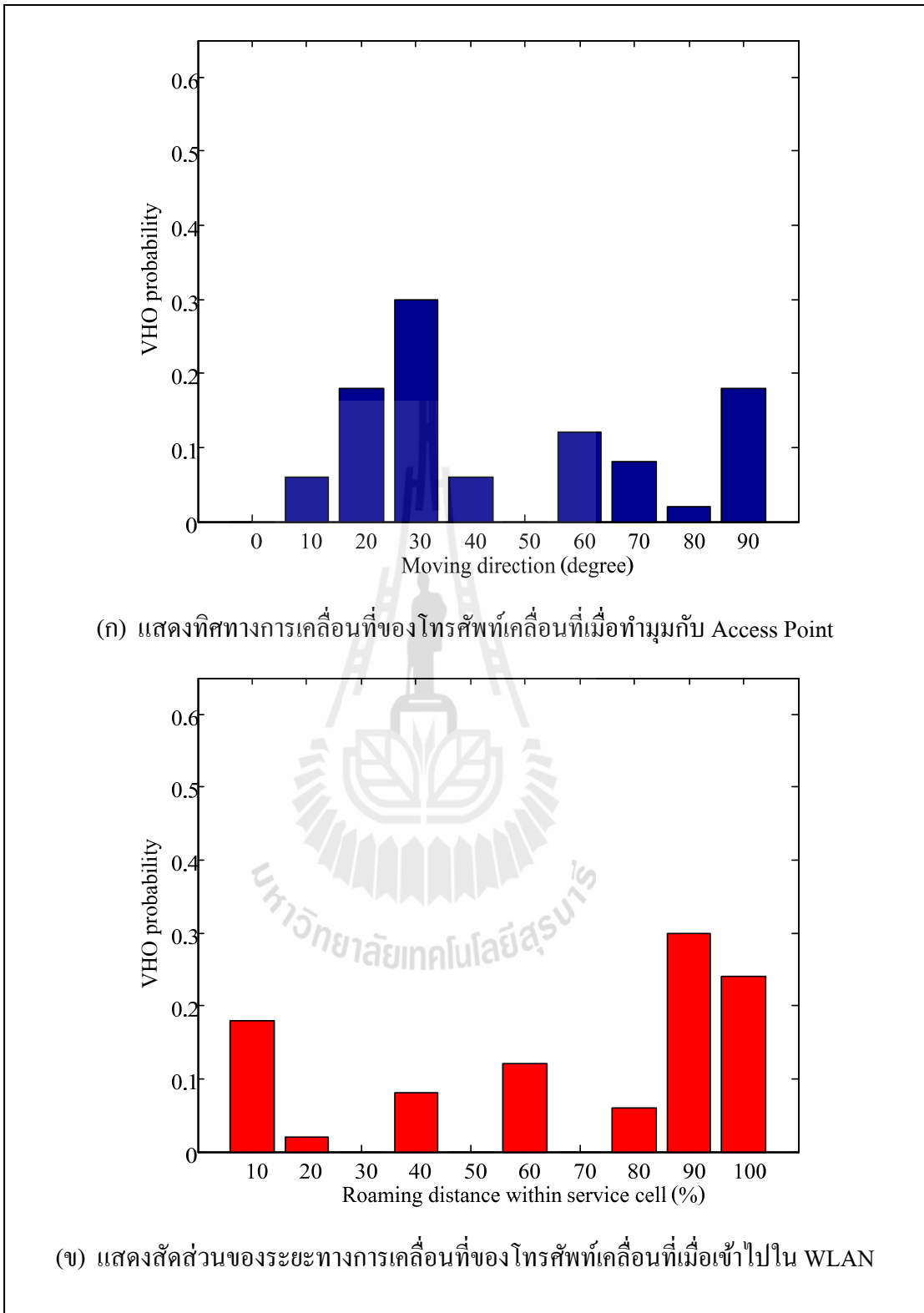
(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

รูปที่ 4.8 แสดงการลดการเกิด VHO จากแบบจำลอง โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่
เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO

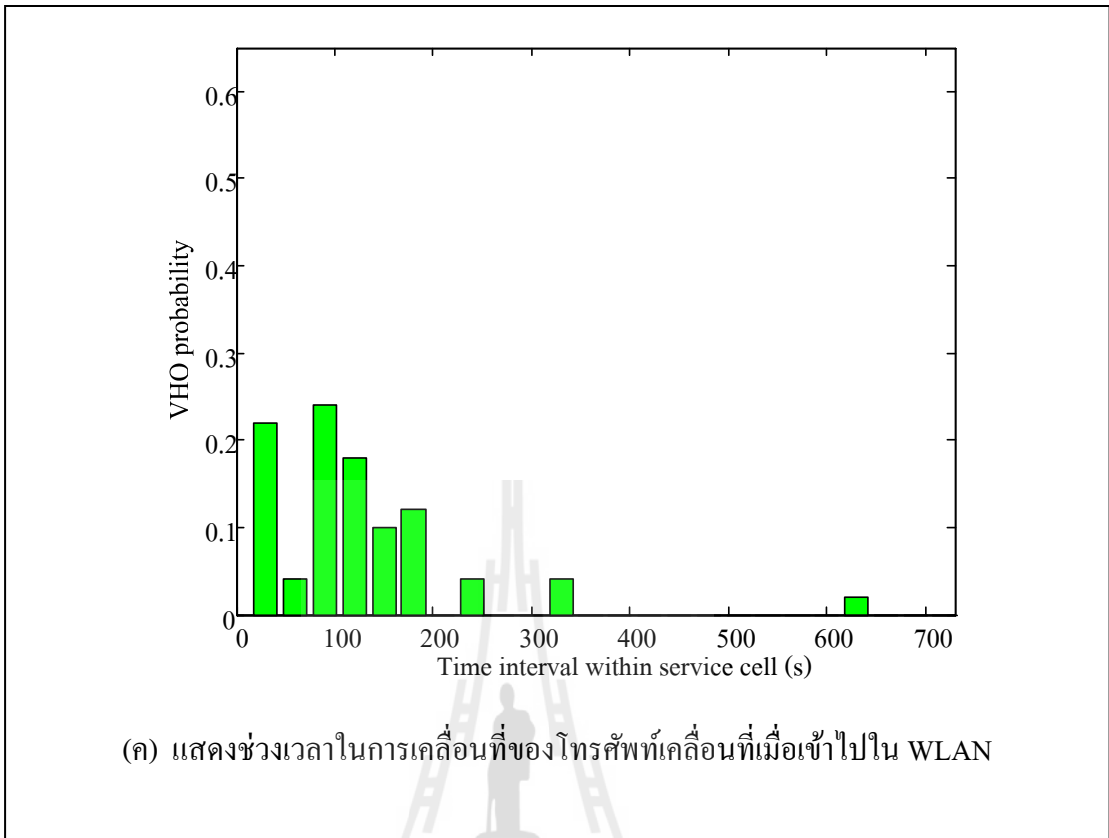


รูปที่ 4.8 แสดงการลดการเกิด VHO จากแบบจำลอง โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่
เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO (ต่อ)

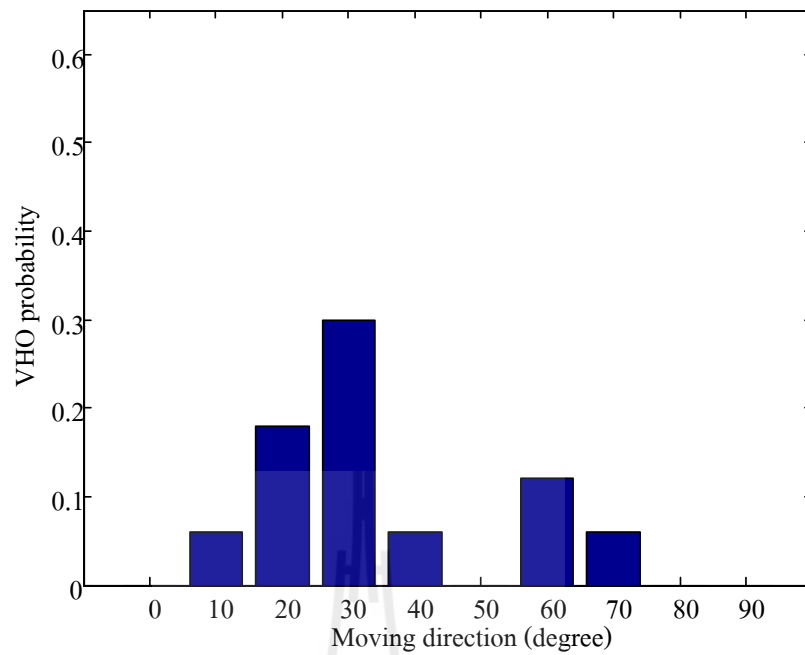




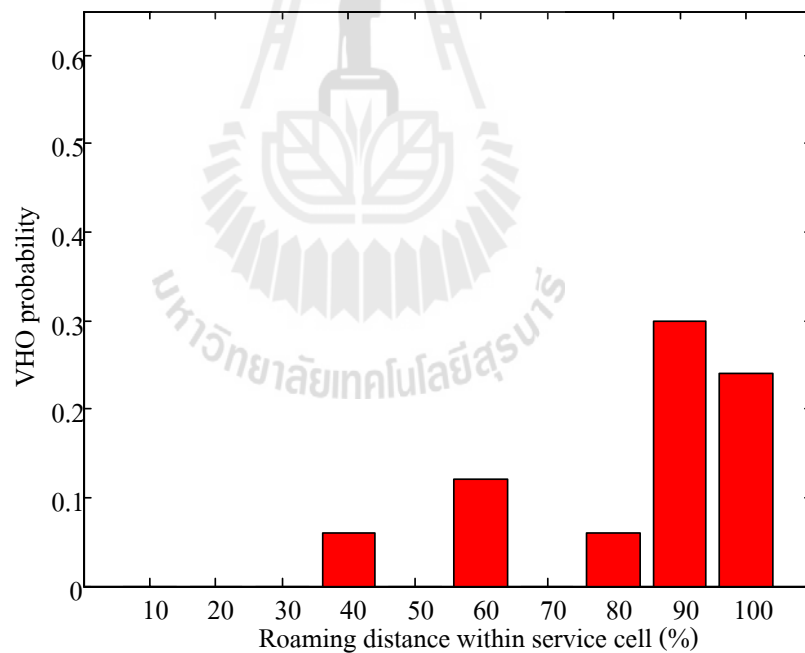
รูปที่ 4.9 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO ที่การ Sampling 20 ครั้ง



รูปที่ 4.9 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO ที่การ Sampling 20 ครั้ง (ต่อ)

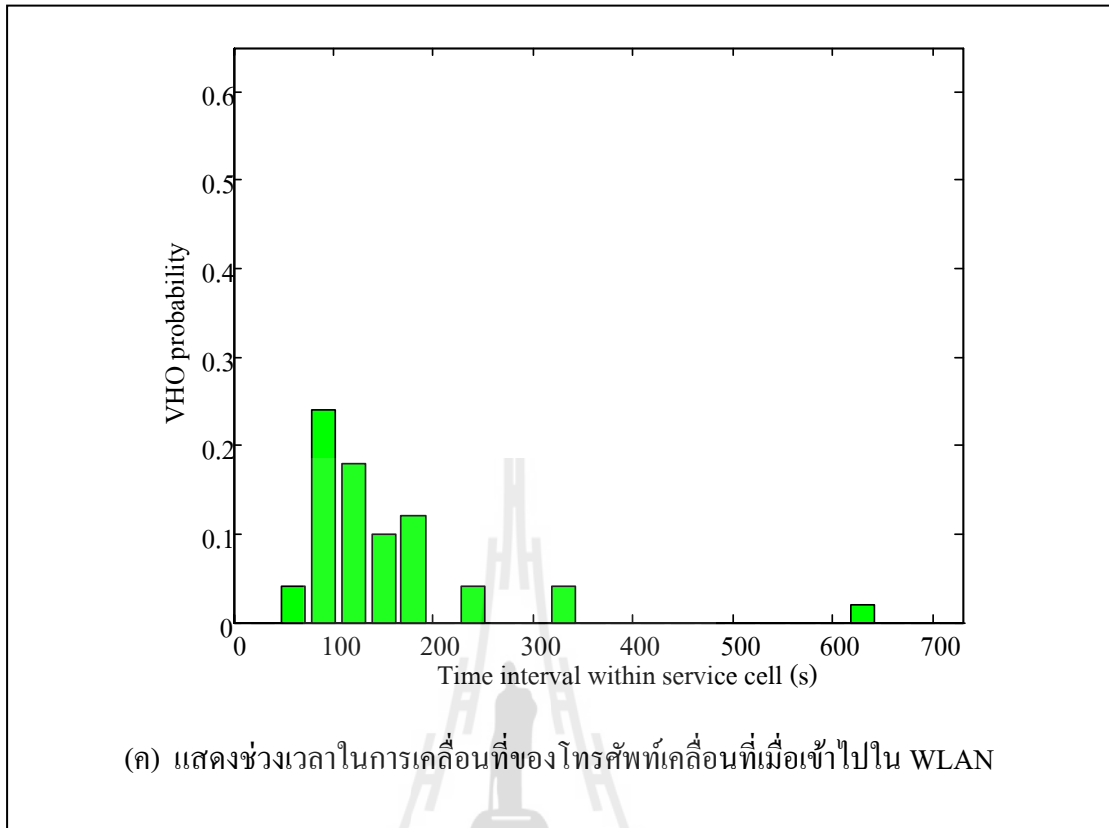


(ก) แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point



(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

รูปที่ 4.10 แสดงการลดการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริง โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่การ Sampling 20 ครั้ง



รูปที่ 4.10 แสดงการลดการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริง โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่การ Sampling 20 ครั้ง (ต่อ)

จากรูปที่ 4.9 เป็นตัวอย่างจากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO ในทุกเส้นทางที่กำกับมุมและรูปที่ 4.10 เป็นตัวอย่างผลที่ได้จากการวัดสัญญาณจริงจากการลดการเกิด VHO โดยพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ใช้เวลาที่เคลื่อนที่อยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาทีไม่จำเป็นต้องทำ VHO ซึ่งผลที่ได้จากการวัดสัญญาณจริงนั้นได้แสดงทุก ๆ เส้นทางบนเส้นกำกับมุมที่ Threshold -50 และ -70 dBm นั้นได้แสดงไว้แล้วในภาคผนวก ค. ซึ่งสรุปผลการลดการเกิด VHO ดังตารางที่ 4.6 และ 4.7 พบว่าเมื่อจำนวนการ Sampling มากขึ้นนอกจากจะทำให้การประมาณทิศทางผิดพลาดน้อยลงแล้วยังส่งผลถึงการพิจารณาการลดการเกิด VHO ด้วย ซึ่งทำให้พิจารณาได้แม่นยำขึ้น ซึ่งหากการ Sampling น้อยครั้งไปอาจพิจารณาให้ลดการเกิด VHO มากครั้งเกินไป

ตารางที่ 4.6 แสดงผลจากการประมาณจากทิศทางเคลื่อนที่

พิจารณาจากช่วงเวลา	Sampling (ครั้ง)				การทำ VHO (%)				ลดการทำ VHO (%)							
	5	10	15	20	5	10	15	20	5	10	15	20				
จากแบบจำลอง	100				20											
Threshold -50 dBm									60	52	36	24				
Threshold -70 dBm									40	28	22	22				

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการประมาณโดยใช้ช่วงเวลาพิจารณาในการเกิด VHO ผิดพลาด
เมื่อเทียบผลจากการวัดสัญญาณจริงกับแบบจำลอง

พิจารณาจากช่วงเวลา	Sampling (ครั้ง)				ความผิดพลาด (%)			
	5	10	15	20	5	10	15	20
Threshold -50 dBm	40	32	16	4				
Threshold -70 dBm	20	8	2	2				

4.4 บทสรุป

เนื้อหาในบทนี้หลังจากที่ได้อ่านแล้วจะได้รู้จากผลที่ได้วัดจากสัญญาณจริงว่า base station ของระบบเซลลูลาร์ มีรัศมีครอบคลุมพื้นที่กว้างมาก ๆ มุมที่โทรศัพท์เคลื่อนที่กำกับ BS นั้นน้อยมาก ๆ เพราะฉะนั้นในการเดินช่วงสั้น ๆ จึงไม่มีผลต่อการเปลี่ยนระดับสัญญาณจึงไม่สามารถประมาณทิศทางเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้จึงใช้ผลการวัดสัญญาณระบบท้องถิ่นไร้สายซึ่งเพียงพอต่อการพิจารณาการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เนื่องจากการที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการเคลื่อนย้ายจากระบบเซลลูลาร์ไปยังระบบท้องถิ่นไร้สายก็จะทำการส่งต่อในแนวตั้งอยู่แล้วนอกจากนี้การ Sampling และ Threshold ที่เริ่มวัดสัญญาณจากจุดให้บริการของเครือข่าย (Access Point) มีผลต่อการประมาณทิศทางเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งนำไปใช้ในการพิจารณาการลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็น พบว่าจำนวนการ Sampling มากและ Threshold ที่เริ่มวัดสัญญาณน้อยส่งผลให้ประมาณทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารผิดพลาดน้อยลงและลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นได้แม่นยำขึ้น ซึ่ง Threshold ที่เริ่มวัดสัญญาณจากจุดให้บริการของเครือข่ายมีค่าน้อยนั้นเหมาะสมเพราะในความเป็นจริงระบบจะเริ่มพิจารณาการส่งต่อในแนวตั้งเมื่อเริ่มอยู่ที่ขอบของพื้นที่การดูแลของระบบ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแบบแผนการตัดสินใจทำการส่งต่อในแนวตั้งโดยใช้ข้อมูลของทิศทางการเคลื่อนที่ในเครือข่ายเคลื่อนที่ยุคที่ 4 โดยการหาวิธีการประมาณทิศทางการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารจากการใช้กำลังของสัญญาณ โดยในขั้นต้นได้ทำการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมเกี่ยวกับการส่งต่อในแนวตั้ง และนำประเด็นสำคัญของแต่ละเรื่องสรุปใจความที่เกี่ยวข้องกัน พบว่าการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งมีความสำคัญในการสื่อสารยุคที่ 4 ซึ่งการที่อุปกรณ์สื่อสารใช้ทรัพยากรจากเครือข่ายหนึ่งแล้วเคลื่อนที่ข้ามไปใช้ทรัพยากรของอีกเครือข่ายซึ่งต่างเทคโนโลยีกัน อุปกรณ์สื่อสารจะปรับระบบวิทยุจากระบบเซลลูลาร์ไปเป็นระบบท้องถิ่นไร้สายโดยที่ยังคงติดต่อสื่อสารอย่างต่อเนื่องซึ่งผู้ใช้อุปกรณ์สื่อสารไม่รู้สึกรับรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงเมื่อข้ามไปใช้เครือข่ายสื่อสารอื่น ๆ ลักษณะการเคลื่อนที่แบบไร้รอยต่อ (Seamless Mobility) นี้เองนำไปสู่การพัฒนาวิธีการทำการส่งต่อในแนวตั้ง (Vertical Handover) ซึ่งการส่งต่อในแนวตั้งแต่ละครั้งส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการ (Quality of Service : QoS) เกิดการประวิงเวลาระหว่างคู่สายและเกิดการสูญหายของข้อมูล ทำให้การรับและส่งข้อมูลผิดพลาดได้ งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการลดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นจากการวัดความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength : RSS) ของทั้งเครือข่ายเซลลูลาร์และเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายของอุปกรณ์สื่อสารเพื่อดูทิศทางการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารว่าการที่อุปกรณ์สื่อสารข้ามไปยังเครือข่ายที่ต่างชนิดกันควรทำการส่งต่อในแนวตั้งหรือไม่ควรทำ จากการวิจัยพบว่าการเฟดดิ้ง เป็นอุปสรรคที่สำคัญต่อการสื่อสารเนื่องจากวัดสัญญาณมีสิ่งกีดขวางมากมาย เมื่อสัญญาณเดินทางไปกระทบกับสิ่งกีดขวางเหล่านั้นก็จะเกิดการสะท้อนส่งผลต่อการวัดความแรงของสัญญาณซึ่งจะมีแอมพลิจูดเปลี่ยนไปเมื่อมีการเฟดดิ้ง การประมาณทิศทางการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารเกิดจากมุมของอุปกรณ์สื่อสารที่ทำมุมกับจุดให้บริการในพื้นที่ของเครือข่ายซึ่งความแม่นยำขึ้นกับจำนวนการ Sampling ในแต่ละเส้นทางซึ่งมุมที่ได้เกิดจากการนำค่าความแรงของสัญญาณจากการ Sampling แต่ละครั้งแทนในวิธีที่ได้เสนอไว้แล้วใช้วิธี Mean Square Error เพื่อหาค่ามุมที่ได้จะทำให้รู้ทิศทางการเคลื่อนที่ได้จากนั้นนำไปพิจารณาการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งเมื่ออุปกรณ์สื่อสารข้ามไปใช้ทรัพยากรของอีกเครือข่ายซึ่งต่างเทคโนโลยีกัน โดยให้อุปกรณ์สื่อสารที่ทำมุมกับจุดให้บริการของเครือข่าย

เกินกว่า 80 องศา อุปกรณ์สื่อสารที่มีสัดส่วนของระยะทางที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการของเครือข่ายไม่เกิน 20% และอุปกรณ์สื่อสารที่มีช่วงเวลาอยู่ในพื้นที่ให้บริการของเครือข่ายไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำการเกิดการส่งต่อในแนวตั้ง

จากผลการทดลองในแบบจำลองพบว่าการที่อุปกรณ์สื่อสารที่มีช่วงเวลาอยู่ในพื้นที่ให้บริการของเครือข่ายไม่เกิน 30 วินาทีไม่จำเป็นต้องทำการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งเป็นปัจจัยที่ลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นที่สุด จึงนำปัจจัยทางเวลานี้ไปใช้พิจารณาลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นจากผลการวัดสัญญาณจริงพบว่าการ Sampling และ Threshold ที่เริ่มวัดสัญญาณจากจุดให้บริการของเครือข่ายมีผลต่อการประมาณทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสาร ซึ่งนำไปใช้ในการพิจารณาการลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นพบว่าจำนวนการ Sampling มากและ Threshold ที่เริ่มวัดสัญญาณน้อย ส่งผลให้ประมาณทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารผิดพลาดน้อยลง และลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นได้แม่นยำขึ้นซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการใช้ทิศทางเคลื่อนที่เข้ามาประกอบการตัดสินใจนั้นสามารถช่วยลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นลงได้ และได้หลักในการประมาณทิศทางเคลื่อนที่จากการวัดความแรงของสัญญาณ

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ตารางที่ 5.1 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ปัญหา	ข้อเสนอแนะ
1. ปัญหาจากการเฟดดิ้งทำให้สัญญาณที่วัดได้เกิดการแกว่งมาก	ทำการวัดสัญญาณที่จุดเดิมหลาย ๆ ค่า แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยของสัญญาณที่วัดได้
2. การวัดสัญญาณจากระบบเซลลูลาร์มีการเปลี่ยนแปลงระดับสัญญาณน้อยมาก ๆ จึงไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้	ใช้ข้อมูลที่เก็บได้เฉพาะของระบบท้องถิ่นไว้สำยนำมาวิเคราะห์ ซึ่งเพียงพอต่อการประมาณค่าทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสาร

5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการออกแบบการตัดสินใจทำการส่งต่อในแนวตั้ง เพื่อช่วยลดการเกิดการส่งต่อในแนวตั้งที่ไม่จำเป็น สามารถช่วยลดการประวิงเวลา ลดการสูญหายของข้อมูลและทำให้คุณภาพการให้บริการดีขึ้นและได้วิธีการประมาณทิศทางจากการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารในแนวเส้นตรง ในอนาคตจะต้องสามารถทดสอบระบบในพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ที่ไม่ใช่แนวเส้นตรงได้

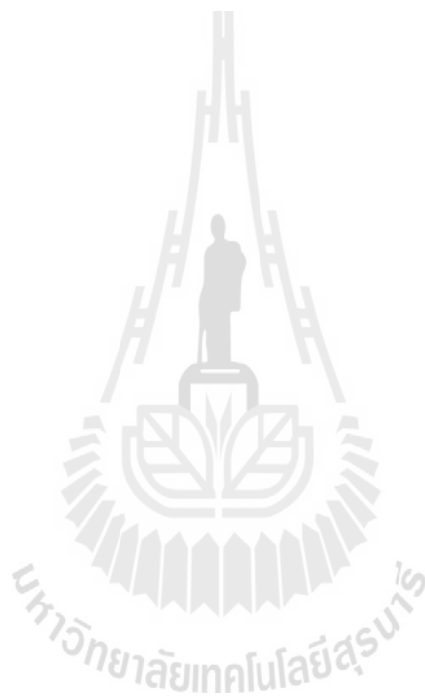


รายการอ้างอิง

- เศรษฐพงศ์ มะลิสุวรรณ (2552). **วิวัฒนาการโทรศัพท์เคลื่อนที่จากอดีตสู่อนาคตที่ทหารควรรู้**. บทความของนายทหารฝ่ายเสนาธิการประจำรองผู้บัญชาการทหารสูงสุด (๑) กองทัพอากาศ
คณะกรรมการกำหนดและจัดสรรคลื่นความถี่ใหม่และคณะกรรมการประสานงานการ
บริหารคลื่นความถี่เพื่อความมั่นคงของรัฐ ในคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ
อำนาจ มีมงคล. (2553). **ออกแบบและติดตั้งระบบ Wireless LAN 2nd Edition**. นนทบุรี : บจก.ไอดี
ซีพีริเมียร์
- ลัญฉกร วุฒิสัทธาภิบาล. (2546). **หลักการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่**. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์หนังสือ
แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เศรษฐวิทย์ ภูญาษา. (2552). **การเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลของการสื่อสารระยะใกล้สำหรับระบบขนส่ง
อัจฉริยะโดยใช้เทคนิคไมโม**. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- บงการ หอมนาน. (2547). **Vertical Handoff สำหรับโครงข่ายมัลติมีเดียไร้สาย 4G**. คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
- Benoubira, S., Frikha, M., Tabbane, S., Ayadi, K. (2009). **Vertical handover based on IEEE802.
21 and Mobile IPv6 in UMTS/WLAN networks**. Communications and Networking,
2009. ComNet 2009. First International Conference on Digital Object Identifier : 10.1109/
COMNET .2009.5373564, pp. 1 - 6.
- Kun, G., Hong, J., Xi, L. (2009). **A Speed Sensitive Vertical Handoff Algorithm Based on
Fuzzy Control**. Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2009.
WiCom '09. 5th International Conference on Digital Object Identifier : 10.1109/
WICOM .2009.5303867 , pp. 1 - 4
- Bejaoui, T., and Nasser, N. (2008). **Handover and class - based Call Admission Control policy
for 4G - heterogeneous mobile networks**. Computer Systems and Applications, 2008.
AICCSA 2008. IEEE/ACS International Conference on Digital Object Identifier :
10.1109/AICCSA. 2008.4493560, pp. 373 - 380.

- Lassoued, I., Bonnin, J.M., Belghith, A. (2008). **Towards an Architecture for Mobility Management and Resource Control**. Wireless Communications and Networking Conference, 2008. WCNC 2008. IEEE Digital Object Identifier : 10.1109/ WCNC. 2008. 498, pp. 2846 - 2851.
- Tawil, R., Pujolle, G., Demerjian, J. (2008). **Distributed Handoff Decision Scheme using MIH Function for the Fourth Generation**. Wireless Networks Information and Communication Technologies : From Theory to Applications, 2008. ICTTA 2008. 3rd International Conference on Digital Object Identifier: 10.1109/ICTTA. 2008. 4530170, pp.1 - 6.
- Ezzouhairi, A., Quintero, A., Pierre, S. (2008) **A fuzzy decision making strategy for vertical handoffs**. Electrical and Computer Engineering, 2008. CCECE 2008. Canadian Conference, pp.000583 - 000588.
- Lin, Yen-Wen., and Huang, T.H. (2007). **SIP-Based Handoff in 4G Mobile Networks**, pp. 2806 - 2811
- Vidales, P., Baliosian, J., Serrat, J., Mapp, G., Stajano, F., Hopper, A. (2005). **Autonomic system for mobility support in 4G networks**. Selected Areas in Communications, IEEE Journal on Volume : 23, Issue : 12 Digital Object Identifier : 10.1109/ JSAC. 2005.857198, pp.2288 - 2304.
- Park, H.S., Yoon, S.H., Kim, T.H., Park, J.S., Do, M.S., and Lee, J.Y. (2003). **Vertical Handoff Procedure and Algorithm between IEEE802.11 WLAN and CDMA Cellular Network**. Lecture Notes in Computer Science, ,Volume 2524/2003, 103-112, DOI: 10.1007/3-540-36555-9_11, pp. 1-4
- Ma, L., Yu, F., Leung, V., and Randhawa, T. (2003). **A new Method To Support UMTS/WLAN Vertical Handover Using SCTP**. pp. 1788 - 1792, Vol.3
- Mika, Y. (2005). **Vertical Handoff and Mobility System Architecture and Transition Analysis**. Faculty of Technology, Department of Electrical and Information Engineering, Infotech Oulu, University of Oulu.

Vijayan, R., Holtzman, J.M. (1992) **A Model for Analyzing Handoff Algorithm.** Global Telecommunications Conference, Conference Record, GLOBECOM '92. Communication for Global Users, IEEE Digital Object Digital Object Identifier : 10.1109/GLOCOM.1992.276621, Vol. 3, pp. 1405 - 1409.





ภาคผนวก ก

โปรแกรมการจำลองแบบที่ใช้ทดสอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

```

clear all;clc;%clf;
Pt_WLAN=0.001;%10 milliWatt
c=3*(10^8);%m/s
f_WLAN=2400*(10^6);%MHz
lamda_WLAN=c/f_WLAN;
Gt=1;
Gr=1;
X_AP=250; %%%%%%%%% AP point %%%%%%%%%
Y_AP=-130; %%%%%%%%% %%%%%%%%%
r=50; %radius of WLAN
R=r;%sqrt(((x_new2-(X_AP))^2)+((y_new2-(Y_AP))^2));
X=1*1e-1;%sqrt(((x_new3-x_new2)^2)+((y_new3-y_new2)^2));
lambda1=120; % Time (second)
lambda2=5; % Velocity (km/hr)
user=1;
User_Move_In_AP=0;
STEP=10;
for n=1:user
    x(n)=(400)*rand; %random 100 to 400 scope area
    y(n)=-(300)*rand; %random 0 to -300
    if (x(n)<(100))
        while(x(n)<(100))
            x(n)=(400)*rand; %new random 100 to 400 scope area
        end
    end
    check=checkCricle_AP_In_C_Building(x(n),y(n),r);
    while(check==1)
        y(n)=-(300)*rand; %new random
    end
end

```

```

        check=checkCricle_AP_In_C_Building(x(n),y(n),r);
    end

    t(n)=poissrnd(lambda1); %average t second
    v(n)=poissrnd(lambda2); %average v km/hr
    s(n)=(v(n)*(10^3)*t(n))/(60*60);
    Ang(n)= 360*rand; % random angle
    if Ang(n)==180
        Ang(n)= 360*rand;
    end
    X1=s(n)*cos(Ang(n)*(pi/180));
    Y1=s(n)*sin(Ang(n)*(pi/180));
    x_new1(n)=x(n)+X1;
    y_new1(n)=y(n)+Y1;
    previous_out2=0;
    X_AP_new_point_real=0;
    Y_AP_new_point_real=0;
    number=0;
    for m=1:0.1:s(n)
        X2=m*cos(Ang(n)*(pi/180));
        Y2=m*sin(Ang(n)*(pi/180));
        x_new2=x(n)+X2;
        y_new2=y(n)+Y2;
        out2=checkCricle_AP_In_C_Building(x_new2,y_new2,r) ; % check in WLAN
        if (out2==1)&&(previous_out2==0)
            User_Move_In_AP=User_Move_In_AP+1;
            MAX=x_new2;
            MAX2=y_new2;
        end
    end
    for angle=1:10:91

```



```

        cc=sqrt(((x_new2-(X_AP))^2)+((y_new2-(Y_AP))^2));
%distance_between_WLAN_and_Intersection
        bb=sqrt(((x_new1(n)-(X_AP))^2)+((y_new1(n)-(Y_AP))^2));
%distance_between_WLAN_and_mobile_MOVE
        aa=sqrt(((x_new1(n)-x_new2)^2)+((y_new1(n)-y_new2)^2));
        Theta=acos((aa^2+cc^2-bb^2)/(2*aa*cc))*(180/pi)
%ANGLE_between_WLAN_and_mobile มุมเดิม
        if (Theta>90)
            Theta=180-Theta;
        end
    end
end
end
end

plot(num,Ans(1,1:STEP),'b')
hold on
plot(num,Ans(11,1:STEP),'g')
hold on
plot(num,Ans(21,1:STEP),'k')
hold on
plot(num,Ans(31,1:STEP),'c')
hold on
plot(num,Ans(41,1:STEP),'r')
hold on
plot(num,Ans(51,1:STEP),'m')
hold on
plot(num,Ans(61,1:STEP),'y')
hold on
plot(num,Ans(71,1:STEP),'-b')

```

```

        hold on
        plot(num,Ans(81,1:STEP),'-g')
        hold on
        plot(num,Ans(91,1:STEP),'-k')
        hold on
        plot(num,Pr,'*r')
        hold on
        xlabel('Sampling rate (time)');
        ylabel('Difference of Pr');
        h = legend('0 degree','10 degree','20 degree','30 degree','40 degree','50 degree'...
            , '60 degree','70 degree','80 degree','90 degree','Measurement',11);
        set(h,'Interpreter','none')
for n=1:STEP
%%%%%% MSE=sqrt(abs(Real-Regular)^2)
    First_degree_0(n)=(abs(Pr(n)-Ans(1,n))^2);
    First_degree_10(n)=(abs(Pr(n)-Ans(11,n))^2);
    First_degree_20(n)=(abs(Pr(n)-Ans(21,n))^2);
    First_degree_30(n)=(abs(Pr(n)-Ans(31,n))^2);
    First_degree_40(n)=(abs(Pr(n)-Ans(41,n))^2);
    First_degree_50(n)=(abs(Pr(n)-Ans(51,n))^2);
    First_degree_60(n)=(abs(Pr(n)-Ans(61,n))^2);
    First_degree_70(n)=(abs(Pr(n)-Ans(71,n))^2);
    First_degree_80(n)=(abs(Pr(n)-Ans(81,n))^2);
    First_degree_90(n)=(abs(Pr(n)-Ans(91,n))^2);
End
%%%%%% MEAN_MSE=MSE/STEP
A0=sqrt(sum(First_degree_0))/STEP;
A10=sqrt(sum(First_degree_10))/STEP;

```



```

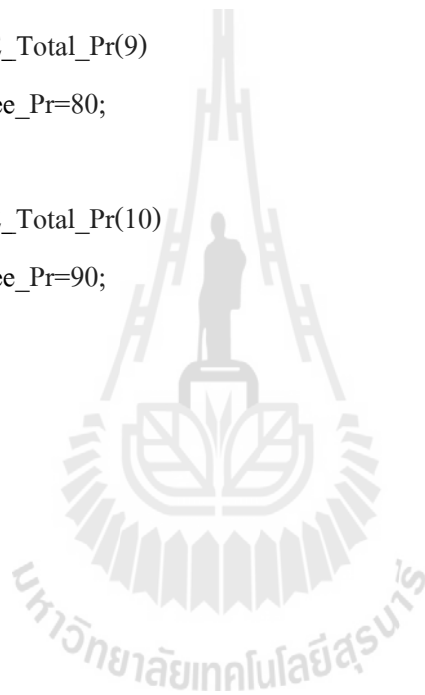
A20=sqrt(sum(First_degree_20))/STEP;
A30=sqrt(sum(First_degree_30))/STEP;
A40=sqrt(sum(First_degree_40))/STEP;
A50=sqrt(sum(First_degree_50))/STEP;
A60=sqrt(sum(First_degree_60))/STEP;
A70=sqrt(sum(First_degree_70))/STEP;
A80=sqrt(sum(First_degree_80))/STEP;
A90=sqrt(sum(First_degree_90))/STEP;

MSE_Total_Pr=[A0 A10 A20 A30 A40 A50 A60 A70 A80 A90]

Min_MSE_Pr=min(MSE_Total_Pr);
If Min_MSE_Pr==MSE_Total_Pr(1)
    Measurement_Degree_Pr=0;
end
if Min_MSE_Pr==MSE_Total_Pr(2)
    Measurement_Degree_Pr=10;
end
if Min_MSE_Pr==MSE_Total_Pr(3)
    Measurement_Degree_Pr=20;
end
if Min_MSE_Pr==MSE_Total_Pr(4)
    Measurement_Degree_Pr=30;
end
if Min_MSE_Pr==MSE_Total_Pr(5)
    Measurement_Degree_Pr=40;
end
if Min_MSE_Pr==MSE_Total_Pr(6)

```

```
Mesurement_Degree_Pr=50;
end
if Min_MSE_Pr==MSE_Total_Pr(7)
    Mesurement_Degree_Pr=60;
end
if Min_MSE_Pr==MSE_Total_Pr(8)
    Mesurement_Degree_Pr=70;
end
if Min_MSE_Pr==MSE_Total_Pr(9)
    Mesurement_Degree_Pr=80;
end
if Min_MSE_Pr==MSE_Total_Pr(10)
    Mesurement_Degree_Pr=90;
end
Min_MSE_Pr
Mesurement_Degree_Pr
```





ภาคผนวก ข

ผลการประเมินทิศทาง

ตารางที่ ข.1 Threshold -50 dB เส้นทางที่ 1 มุม 0 องศา

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	0	80	50	60	50
0	40	60	40	40	30
15	30	40	40	40	30
20	20	30	30	30	20

ตารางที่ ข.2 Threshold -50 dB เส้นทางที่ 2 มุม 10 องศา

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	0	0	40	50	0
10	50	30	50	40	30
15	40	30	40	30	30
20	30	30	30	20	20

ตารางที่ ข.3 Threshold -50 dB เส้นทางที่ 3 มุม 20 องศา

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	90	80	70	60	80
10	70	70	70	60	40
15	50	50	50	40	40
20	40	40	40	30	30

ตารางที่ ข.4 Threshold -50 dB เส้นทางที่ 4 มุม 30 องศา

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	90	90	90	90	90
10	90	90	90	90	90
15	70	70	60	70	70
20	50	50	40	50	50

ตารางที่ ข.5 Threshold -50 dB เส้นทางที่ 5 มุม 40 องศา

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	50	60	40	50	30
10	40	40	40	40	40
15	40	40	40	40	40
20	30	30	30	30	30

ตารางที่ ข.6 Threshold -50 dB เส้นทางที่ 6 มุม 50 องศา

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	90	90	90	90	90
10	90	90	90	90	90
15	90	90	90	90	90
20	90	80	80	80	90

ตารางที่ ข.7 Threshold -50 dB เส้นทางที่ 7 มุม 60 องศา

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	90	90	90	90	90
10	90	90	90	90	90
15	90	90	90	70	90
20	70	80	60	70	70

ตารางที่ ข.8 Threshold -50 dB เส้นทางที่ 8 มุม 70 องศา

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	50	40	40	50	70
10	60	70	60	60	70
15	50	60	50	60	60
20	50	40	40	50	50

ตารางที่ ข.9 Threshold -50 dB เส้นทางที่ 9 มุม 80 องศา

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	90	90	90	90	90
10	90	90	80	70	80
15	90	70	80	80	80
20	80	70	90	70	80

ตารางที่ ข.10 Threshold -50 dB เส้นทางการที่ 10 มุม 90 องศา

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	90	90	90	90	90
10	90	90	90	90	90
15	80	90	90	90	90
20	60	70	90	90	80

ตารางที่ ข.11 Threshold -70 dB เส้นทางการที่ 1 มุม 0 องศา

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	20	30	20	20	0
10	50	50	50	50	50
15	40	40	40	40	40
20	30	30	30	30	30

ตารางที่ ข.12 Threshold -70 dB เส้นทางการที่ 2 มุม 10 องศา

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	0	30	0	20	0
10	20	30	20	20	20
15	10	30	20	20	20
20	20	20	20	20	20

ตารางที่ ข.13 Threshold -70 dB เส้นทางที่ 3 มุม 20 องศา

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	70	40	60	50	70
10	40	50	50	40	40
15	30	30	30	30	30
20	30	30	30	20	20

ตารางที่ ข.14 Threshold -70 dB เส้นทางที่ 4 มุม 30 องศา

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	10	60	40	50	50
10	30	40	30	30	30
15	30	30	40	30	30
20	30	30	30	30	30

ตารางที่ ข.15 Threshold -70 dB เส้นทางที่ 5 มุม 40 องศา

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	0	50	30	20	10
10	30	30	30	30	30
15	20	20	20	20	20
20	20	10	20	10	10

ตารางที่ ข.16 Threshold -70 dB เส้นทางที่ 6 มุม 50 องศา

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	50	50	50	50	50
10	50	50	50	50	50
15	40	40	40	40	40
20	30	40	40	30	40

ตารางที่ ข.17 Threshold -70 dB เส้นทางที่ 7 มุม 60 องศา

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	90	90	90	90	90
10	70	60	80	60	80
15	60	60	60	60	60
20	60	60	60	60	60

ตารางที่ ข.18 Threshold -70 dB เส้นทางที่ 8 มุม 70 องศา

เส้นทางเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	90	90	90	90	90
10	80	90	90	70	90
15	60	70	70	70	80
20	70	70	70	60	70

ตารางที่ ข.19 Threshold -70 dB เส้นทางการที่ 9 มุม 80 องศา

เส้นทางการเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	90	90	90	90	90
10	90	90	90	90	90
15	80	90	90	90	90
20	80	90	90	90	90

ตารางที่ ข.20 Threshold -70 dB เส้นทางการที่ 10 มุม 90 องศา

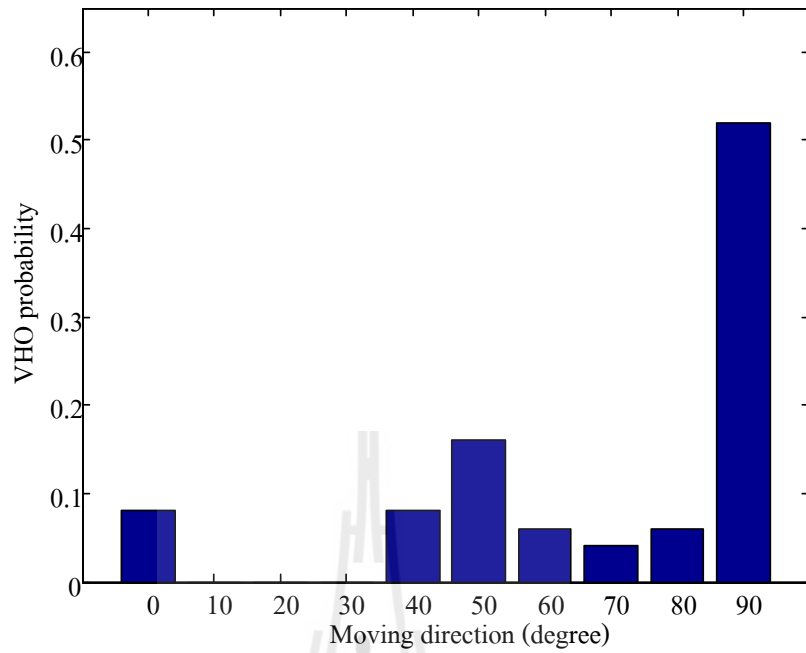
เส้นทางการเดิน Sampling (ครั้ง)	ครั้งที่ 1 (องศา)	ครั้งที่ 2 (องศา)	ครั้งที่ 3 (องศา)	ครั้งที่ 4 (องศา)	ครั้งที่ 5 (องศา)
5	90	90	90	90	90
10	90	90	90	90	90
15	90	90	90	90	90
20	90	90	90	90	90



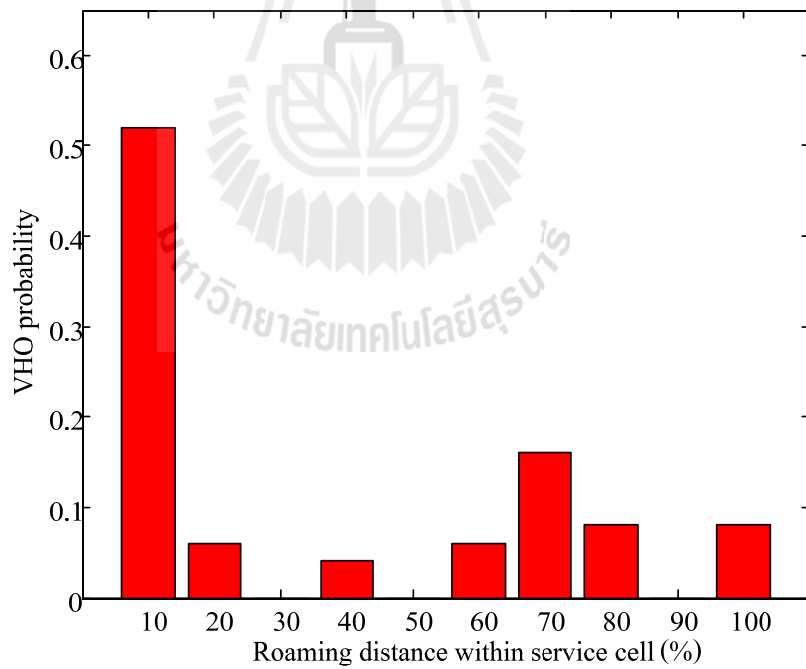


ภาคผนวก ค

กราฟแสดงทิศทางการเคลื่อนที่และลดการเกิดการสั่นต่อในแนวตั้ง

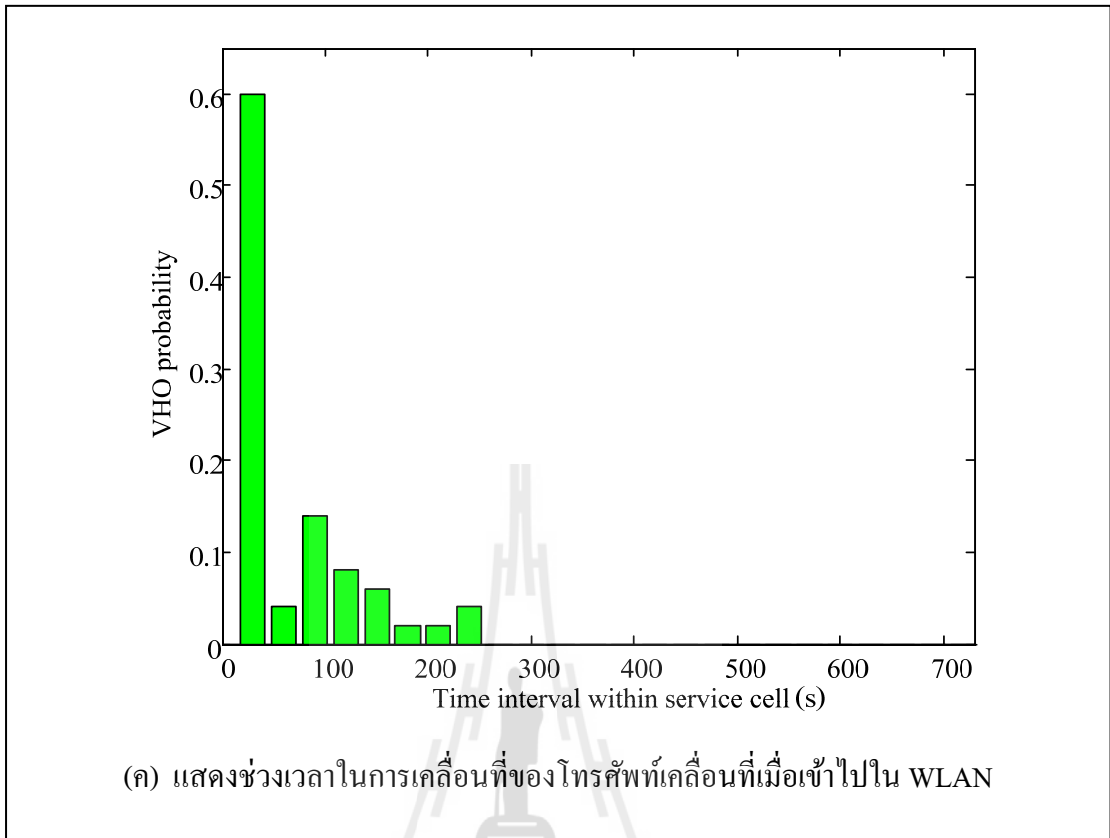


(ก) แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point

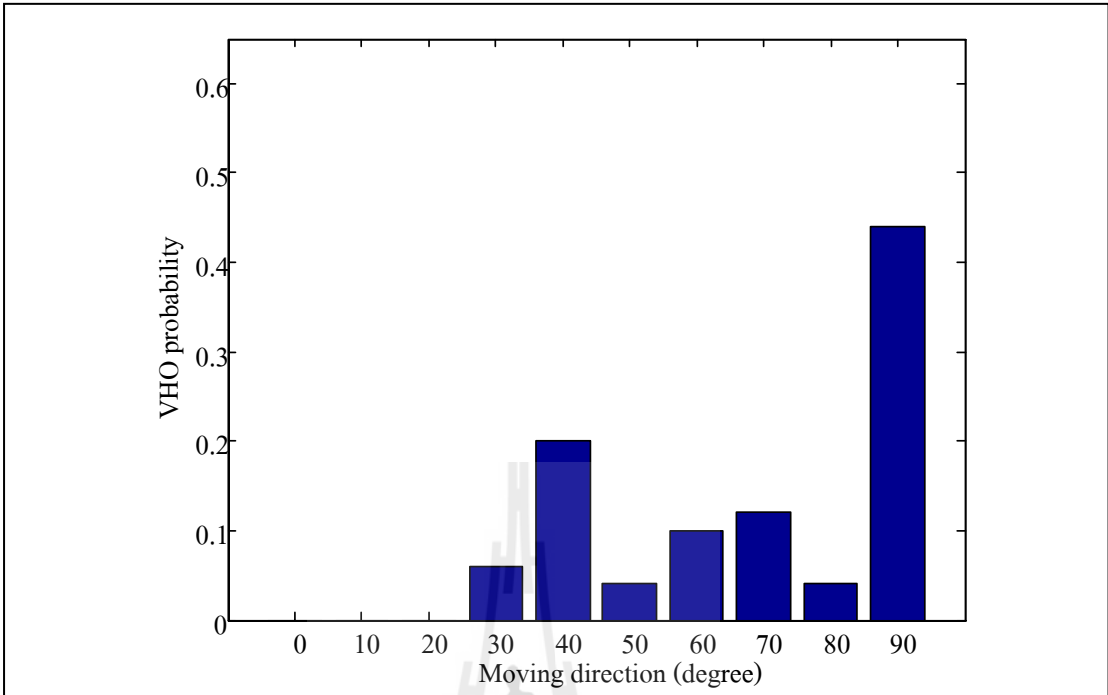


(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

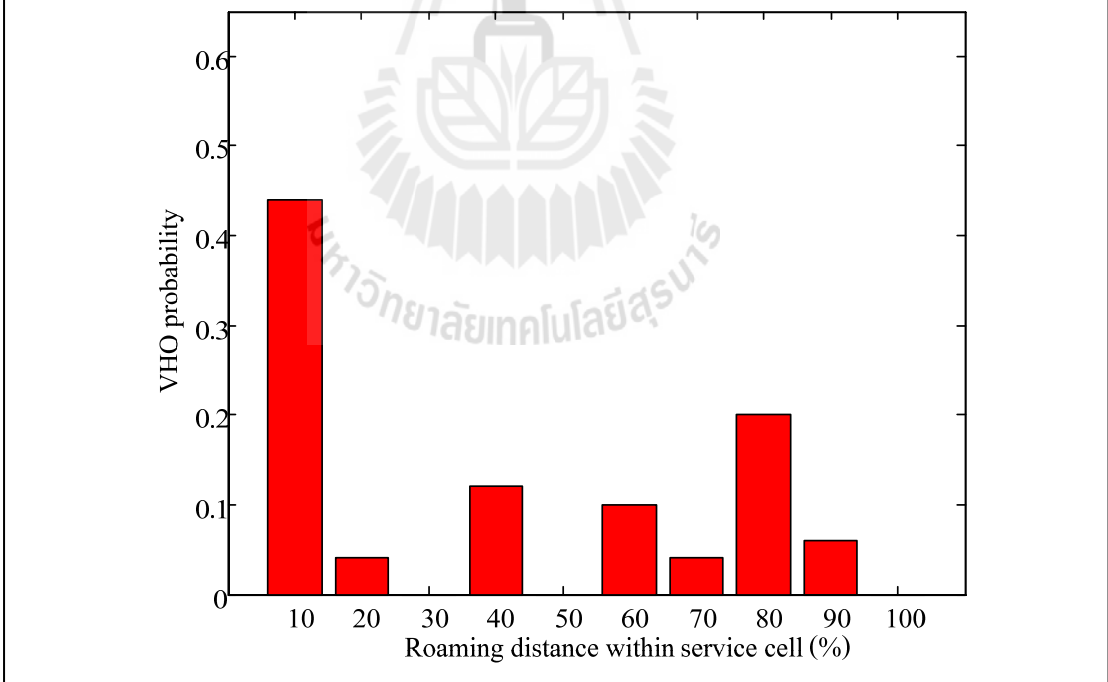
รูปที่ ค.1 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 5 ครั้ง



รูปที่ ก.1 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 5 ครั้ง (ต่อ)

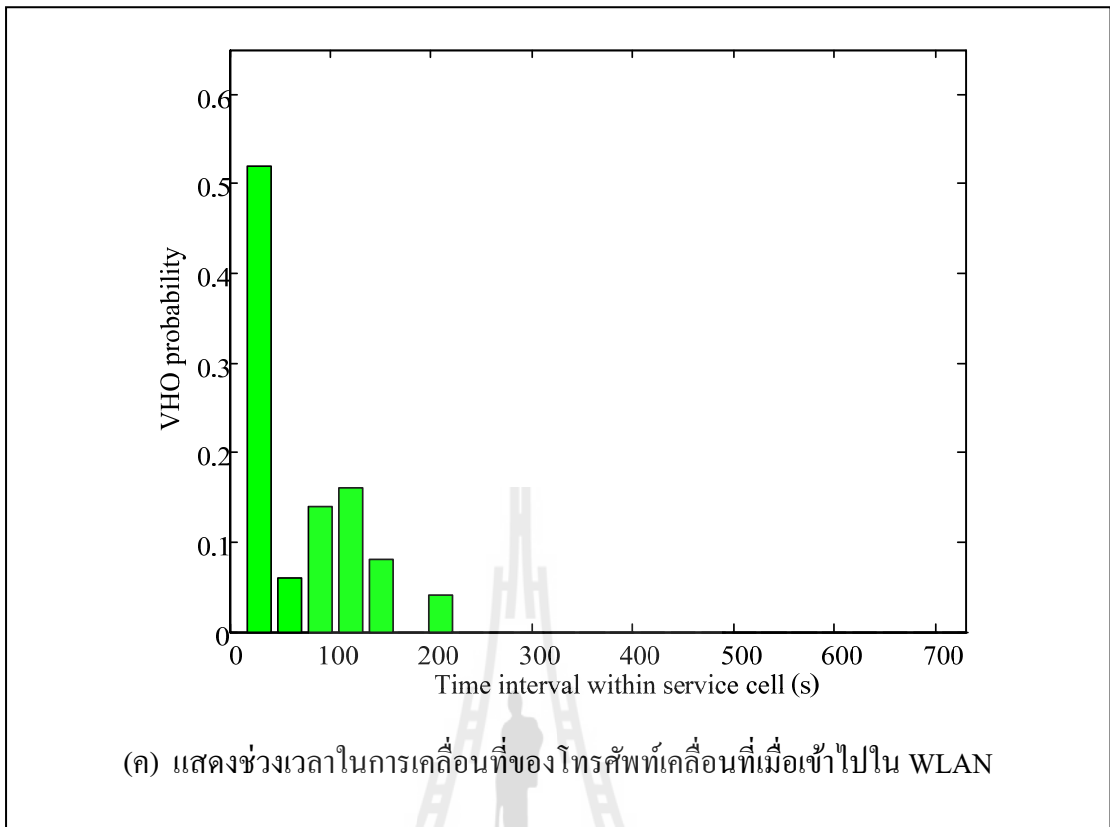


(ก) แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point

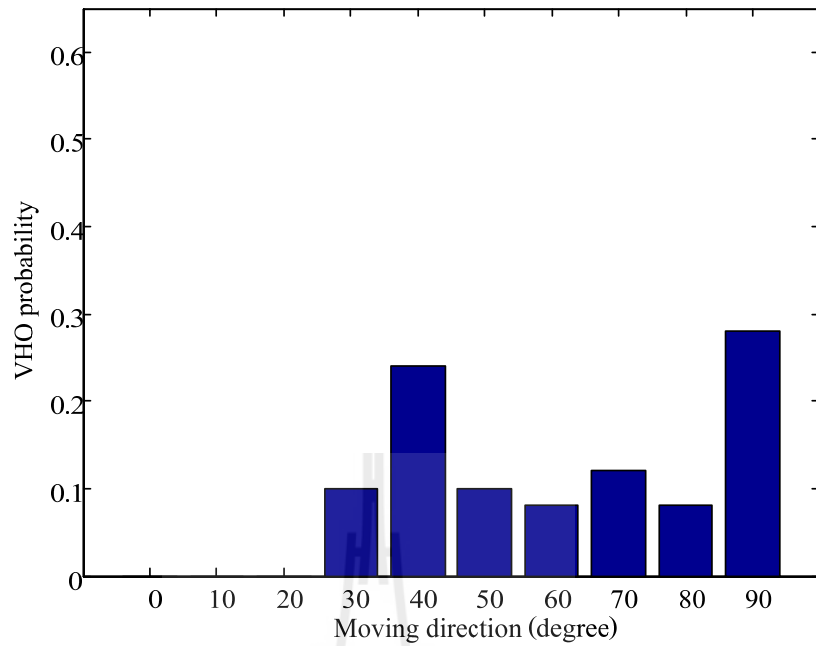


(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

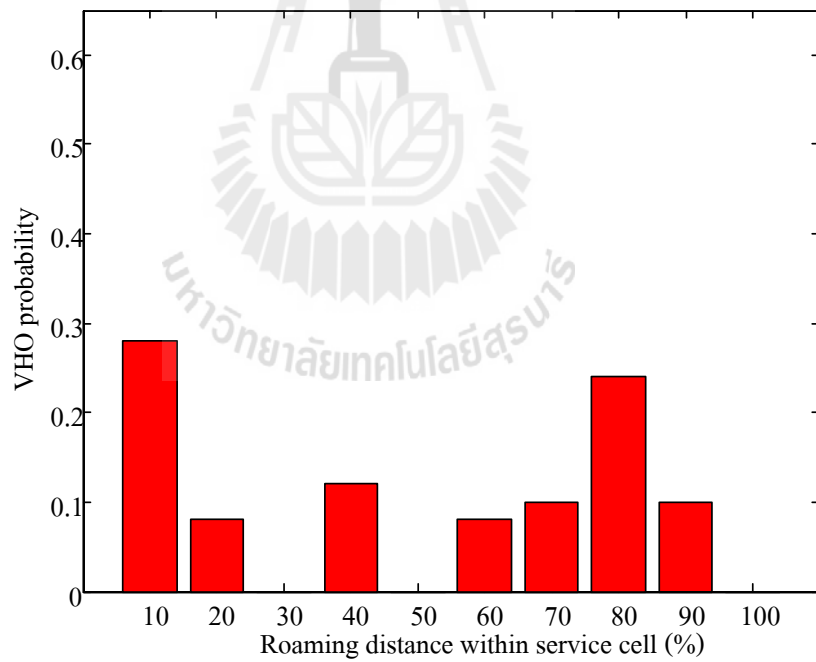
รูปที่ ๓.2 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 10 ครั้ง



รูปที่ ค.2 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 10 ครั้ง (ต่อ)

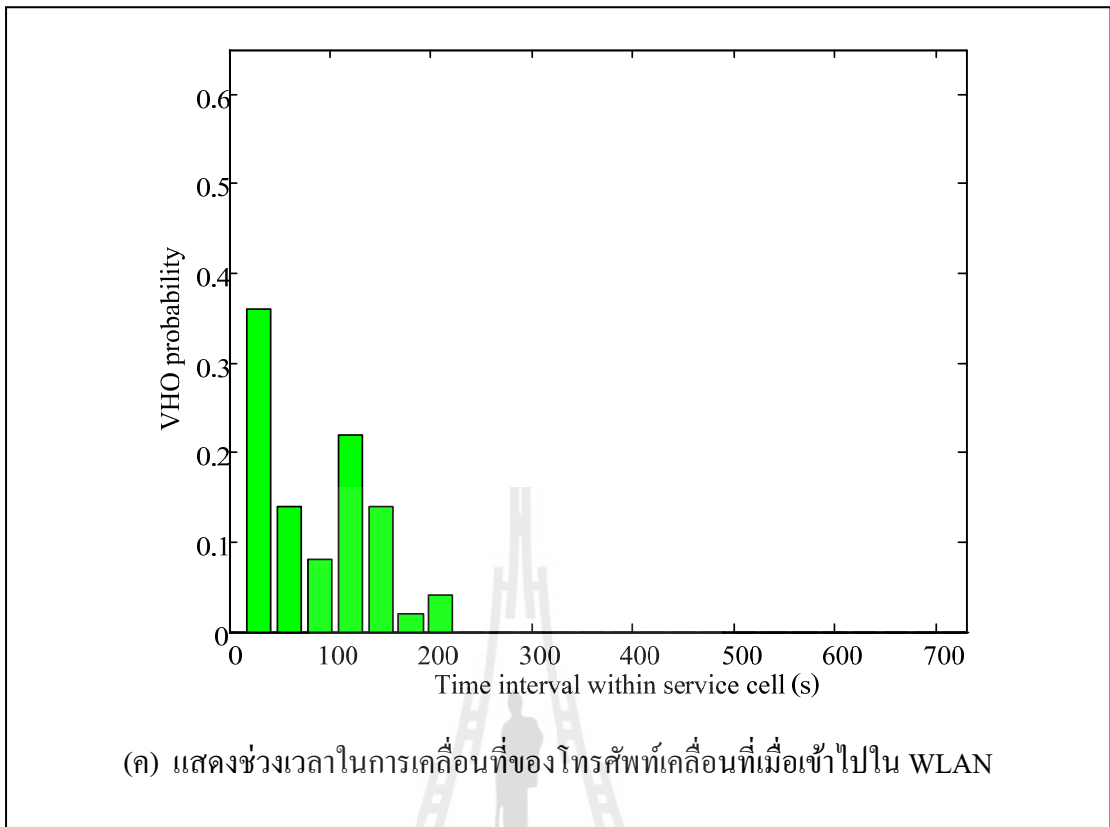


(ก) แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point

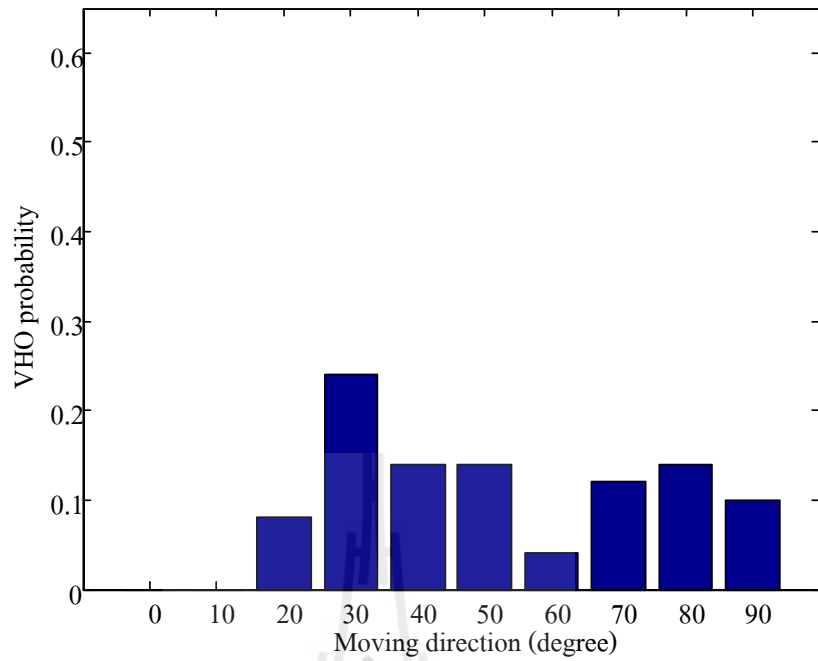


(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

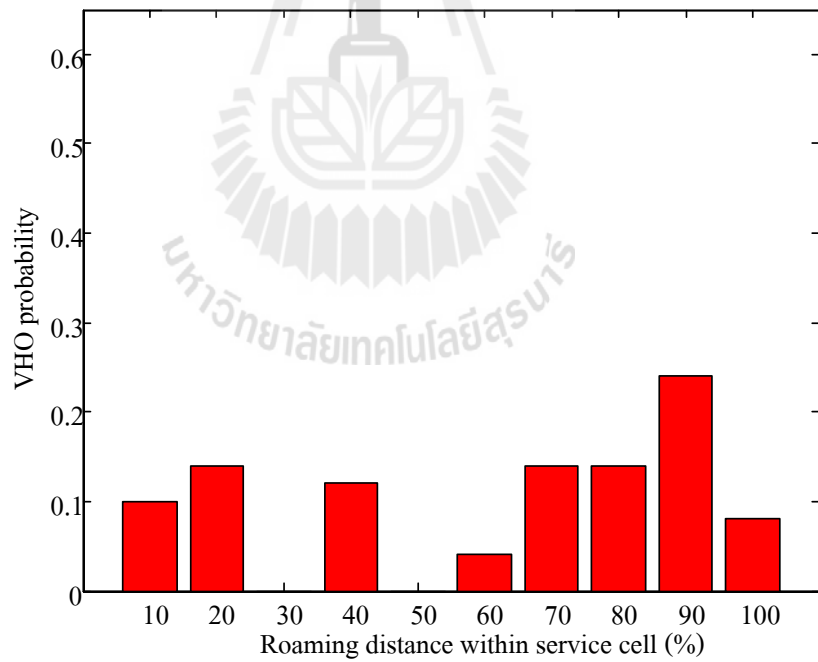
รูปที่ ค.3 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 15 ครั้ง



รูปที่ ๓.3 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 15 ครั้ง (ต่อ)

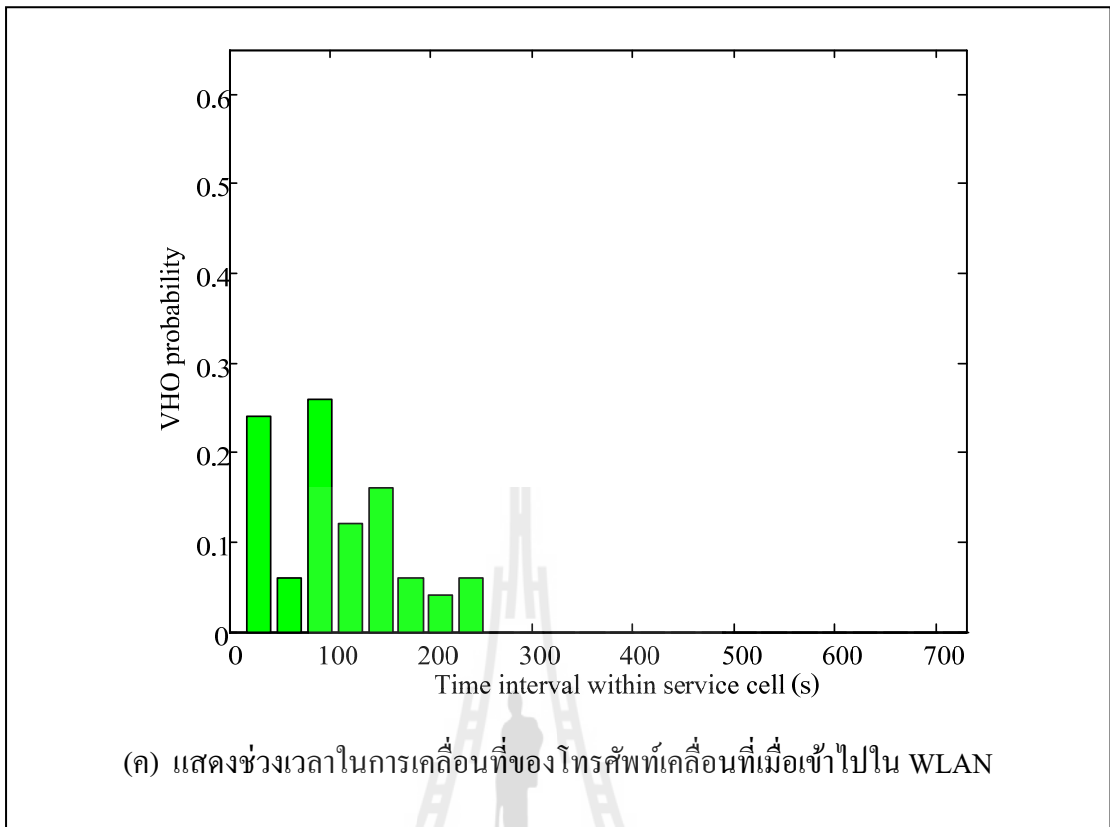


(ก) แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point

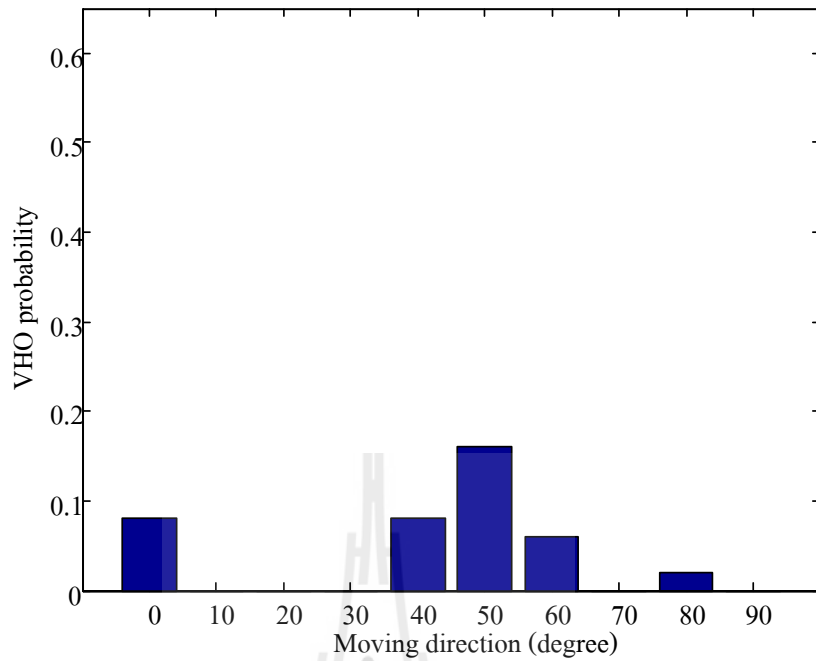


(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

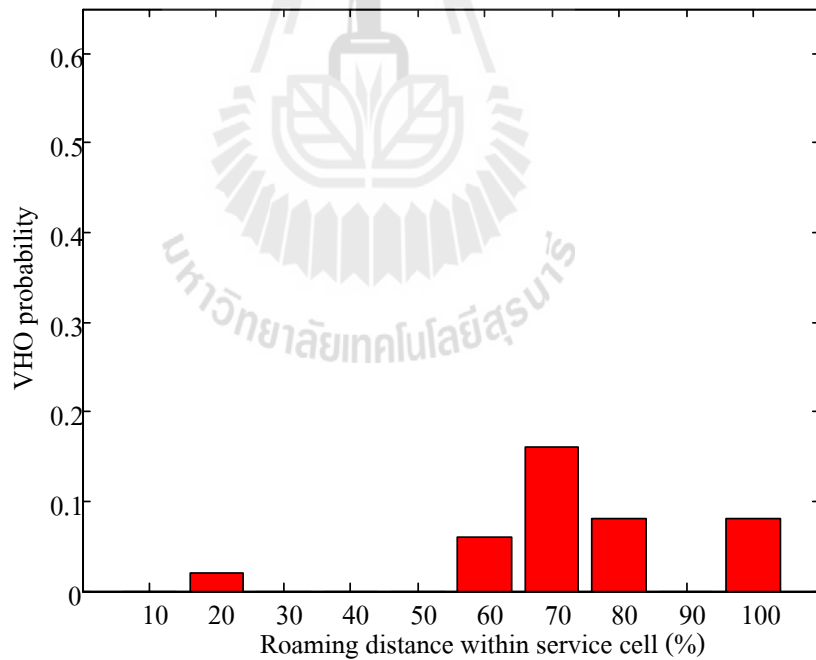
รูปที่ ๓.๔ แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 20 ครั้ง



รูปที่ ค.4 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 20 ครั้ง (ต่อ)

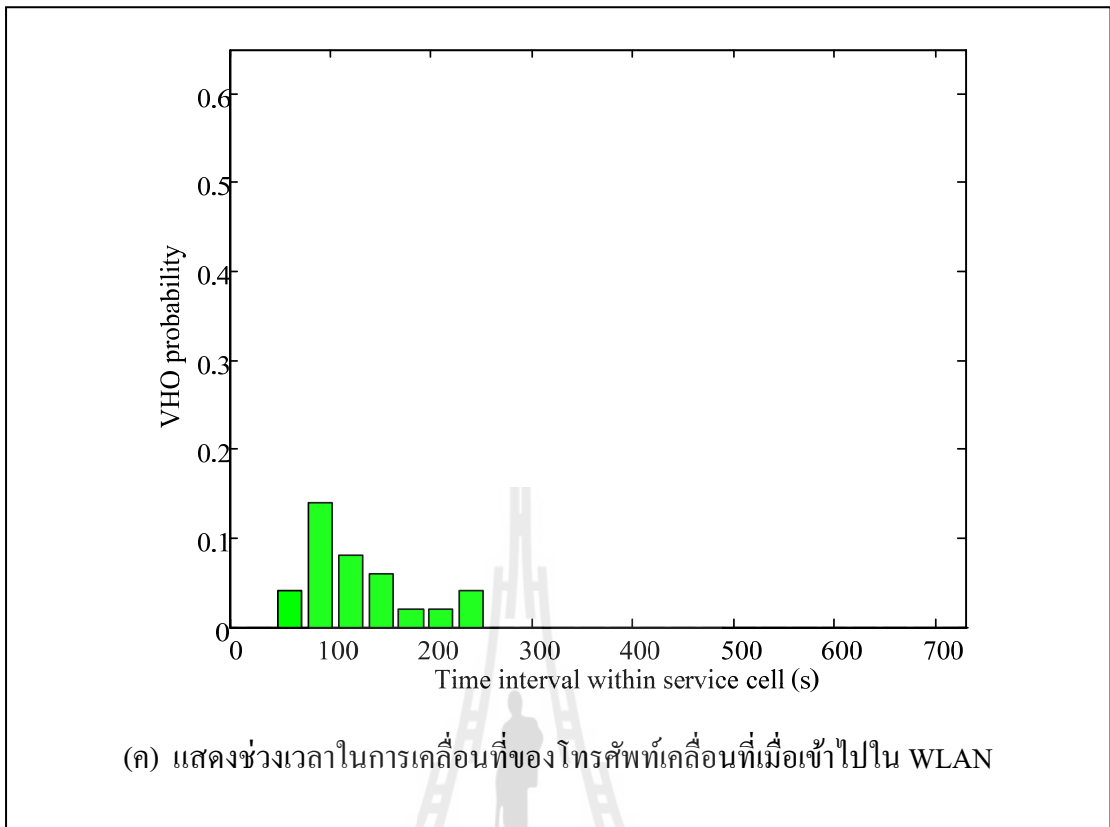


(ก) แสดงทิศทางเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point



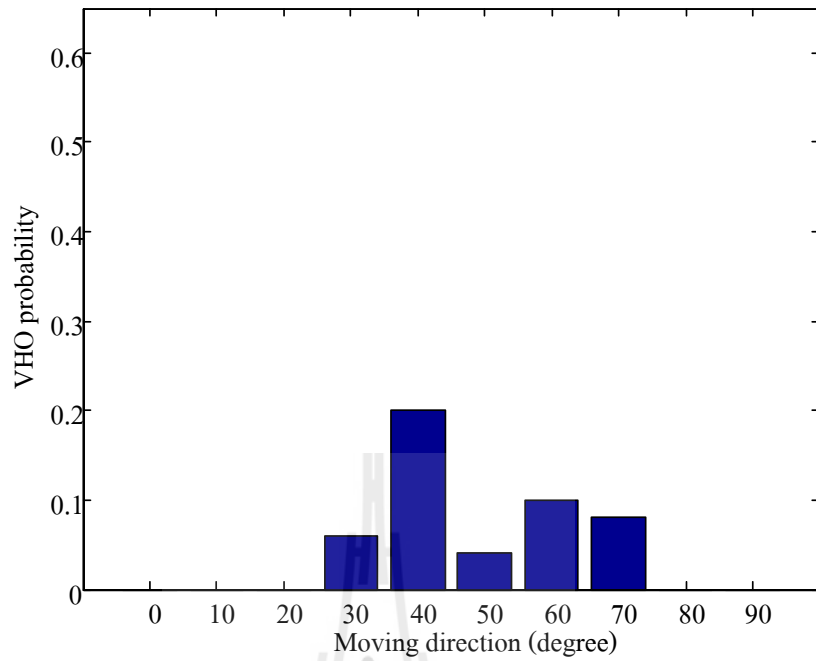
(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

รูปที่ ค.5 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 5 ครั้ง

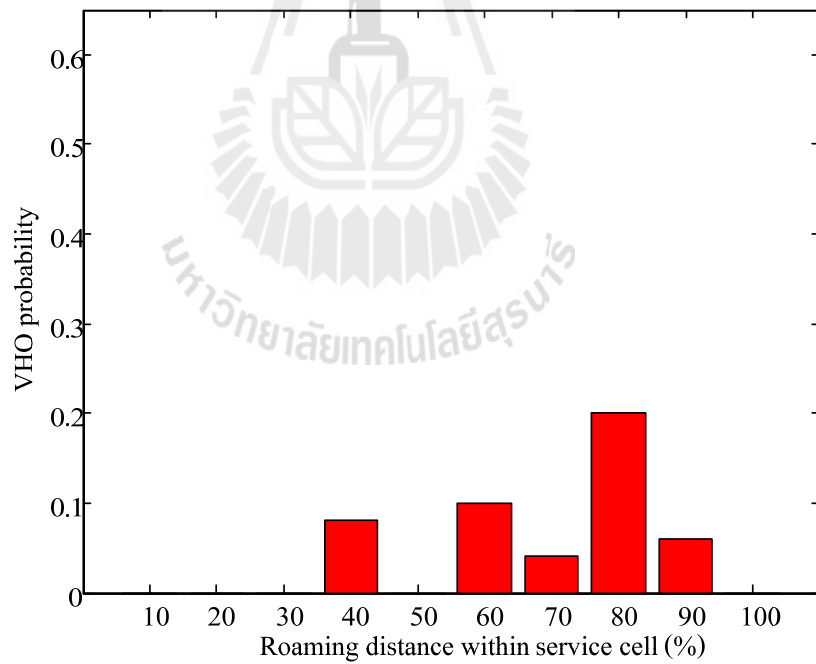


รูปที่ ค.5 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN
 ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ
 Threshold -50 dBm การ Sampling 5 ครั้ง (ต่อ)



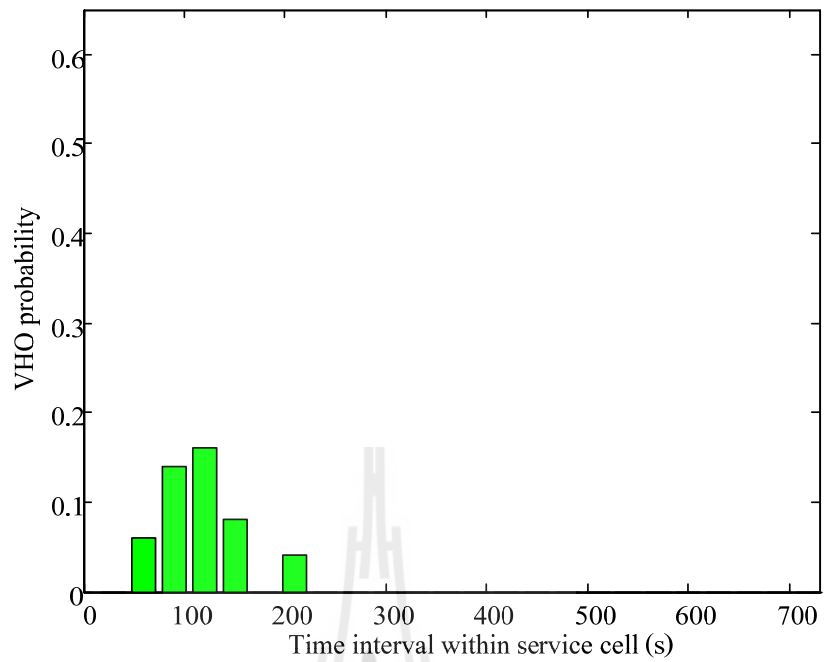


(ก) แสดงทิศทางเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point



(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

รูปที่ ค.6 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 10 ครั้ง



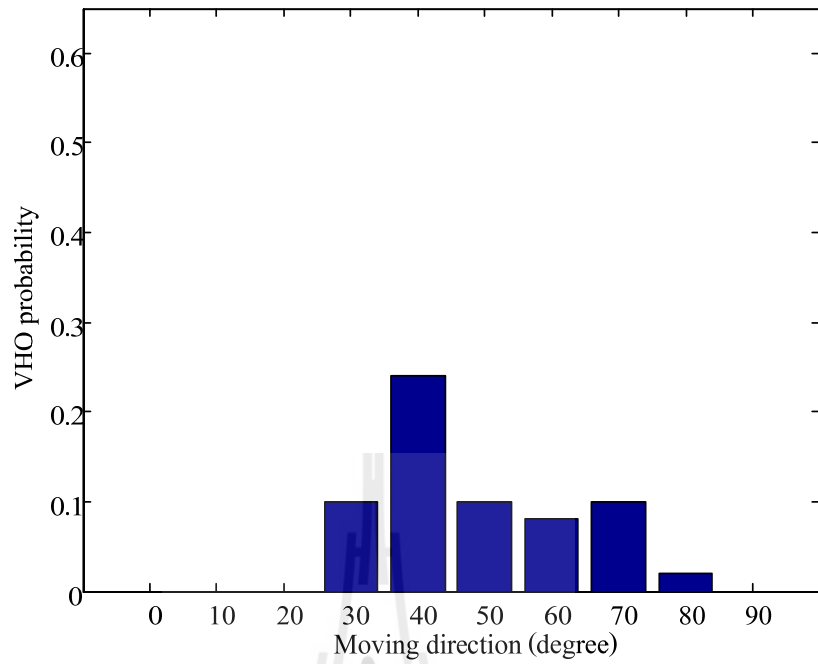
(ค) แสดงช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

รูปที่ ค.6 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN

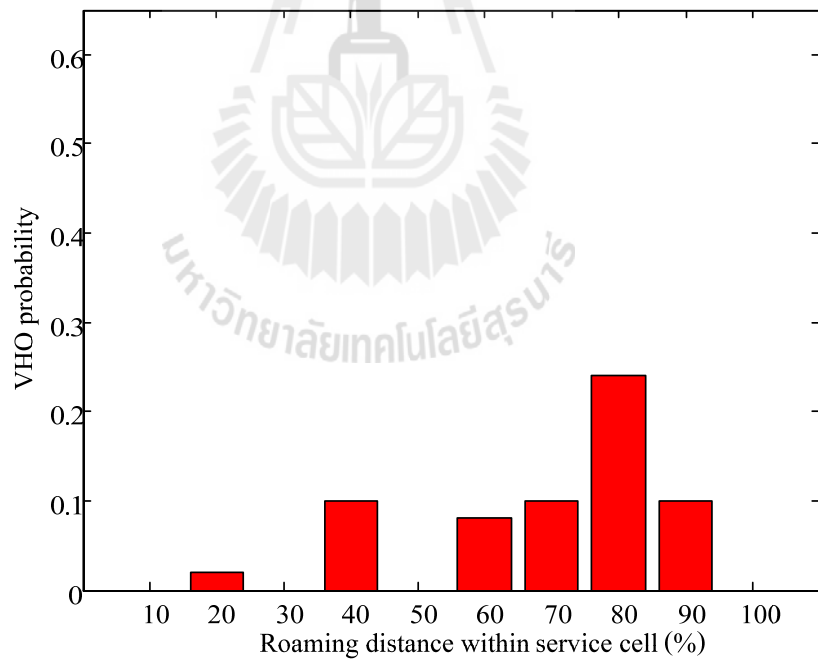
ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ

Threshold -50 dBm การ Sampling 10 ครั้ง (ต่อ)



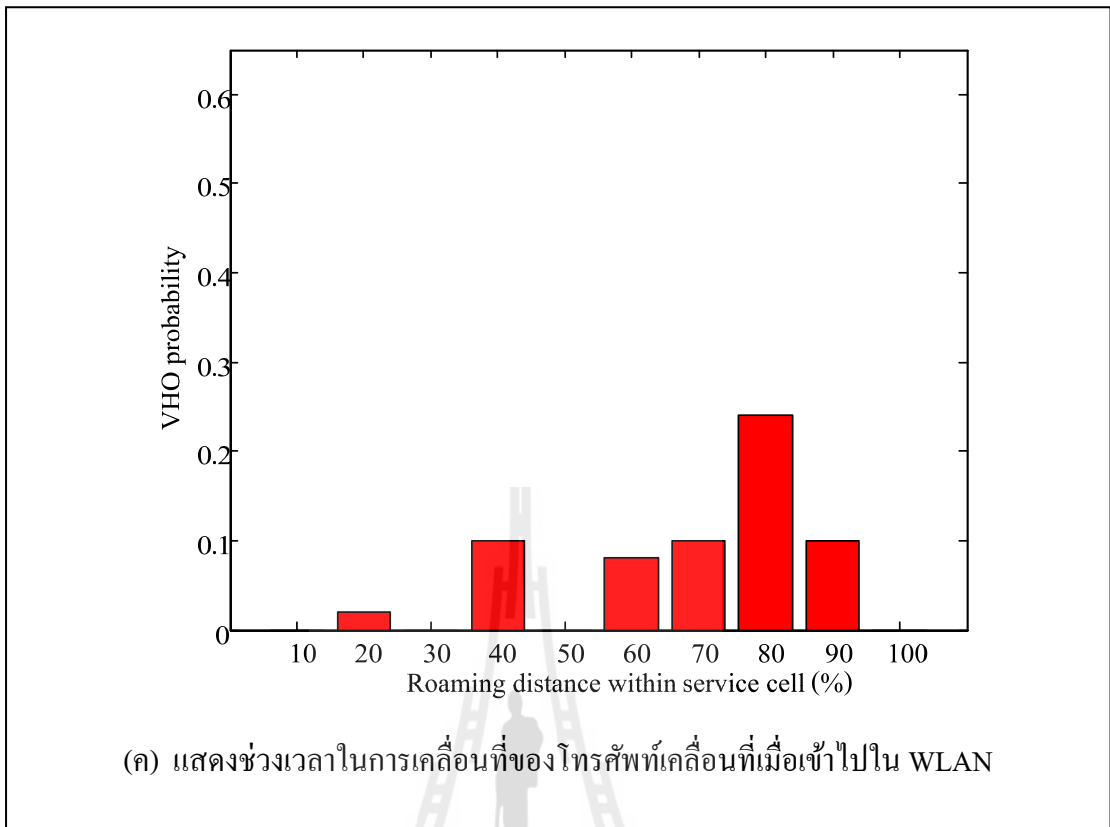


(ก) แสดงทิศทางเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point



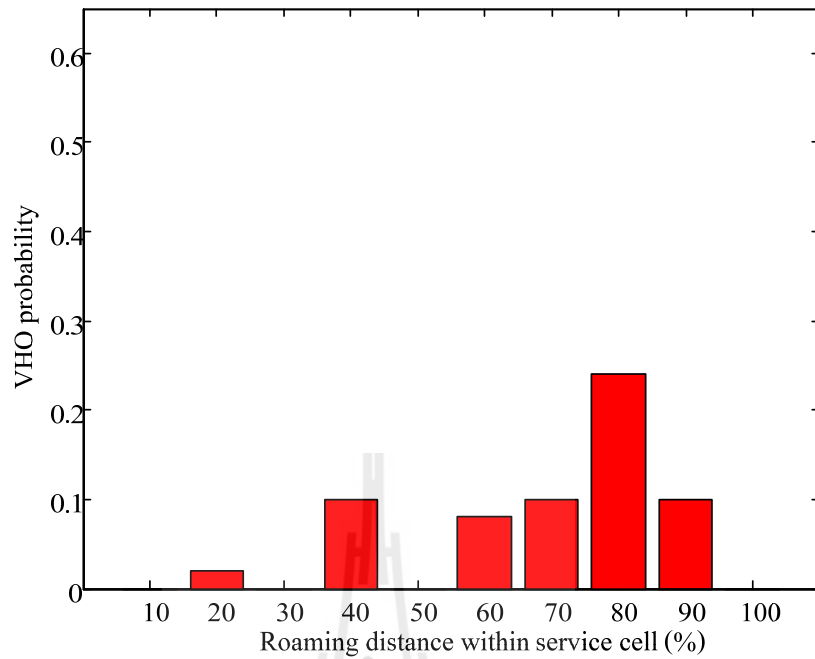
(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

รูปที่ ค.7 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 15 ครั้ง

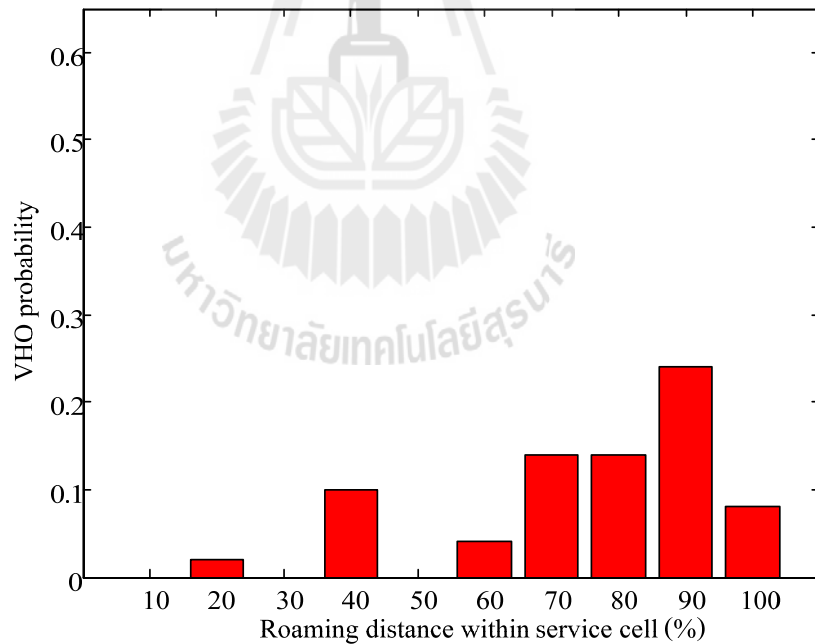


รูปที่ ค.7 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN
 ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ
 Threshold -50 dBm การ Sampling 15 ครั้ง (ต่อ)



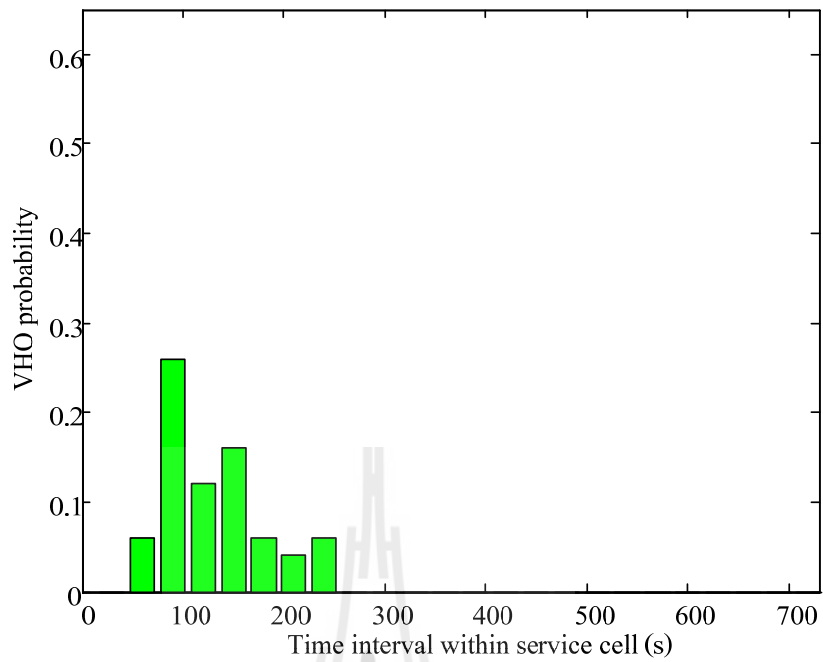


(ก) แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point



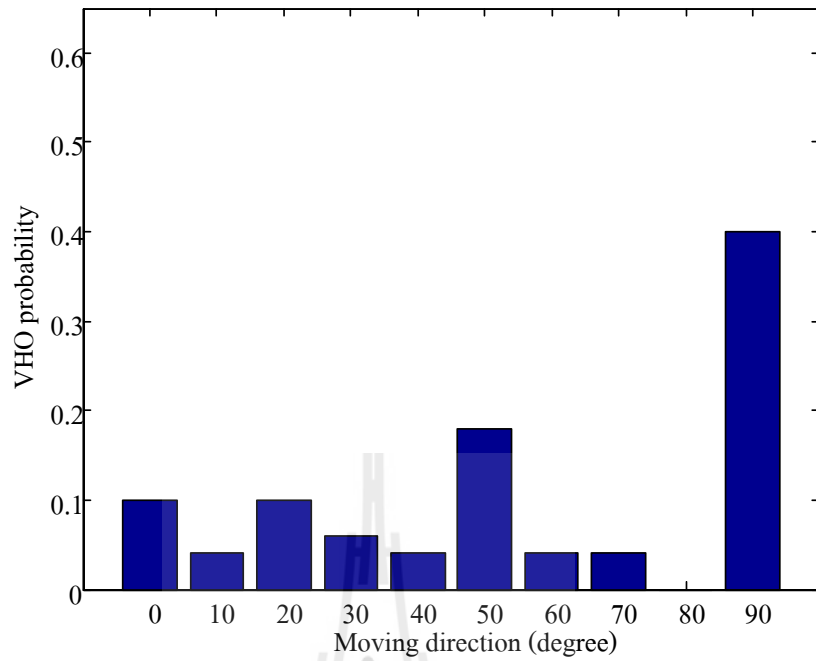
(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

รูปที่ ค.8 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -50 dBm การ Sampling 20 ครั้ง

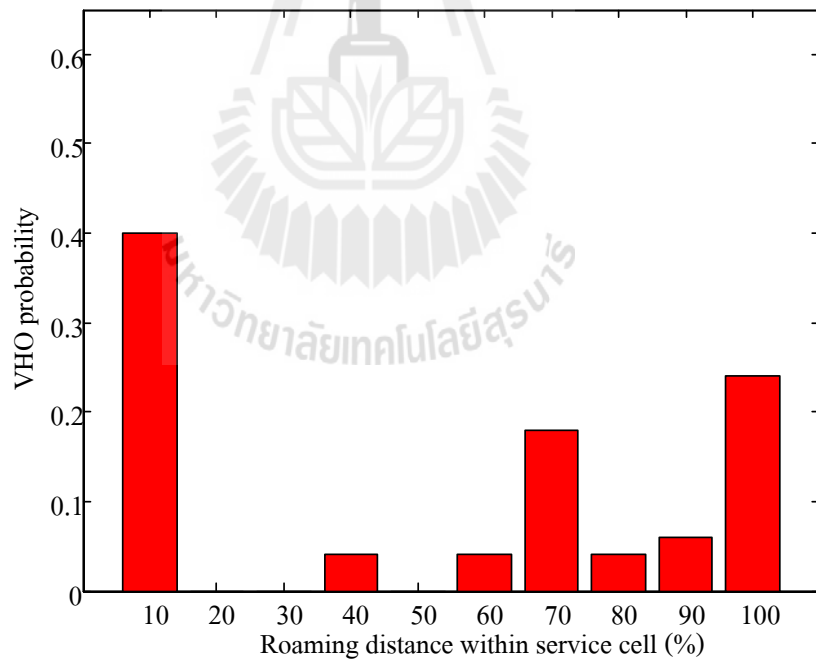


(ค) แสดงช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

รูปที่ ค.8 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN
 ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ
 Threshold -50 dBm การ Sampling 20 ครั้ง (ต่อ)

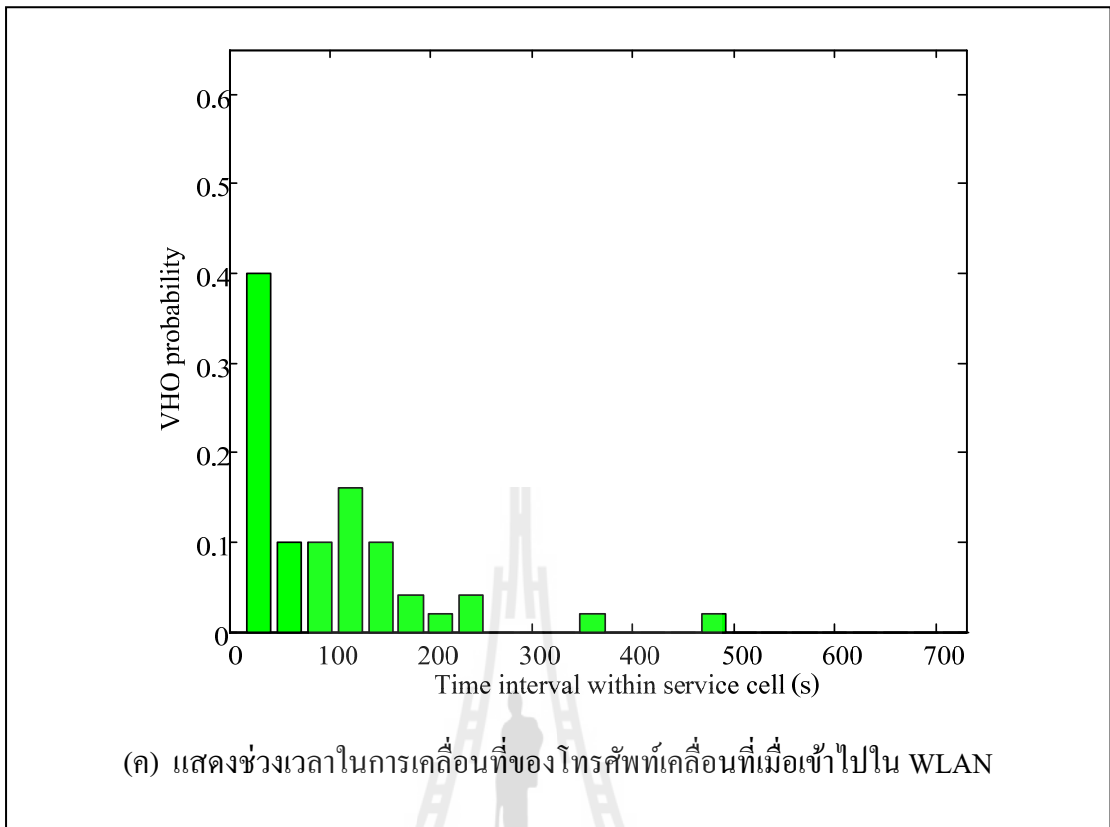


(ก) แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point

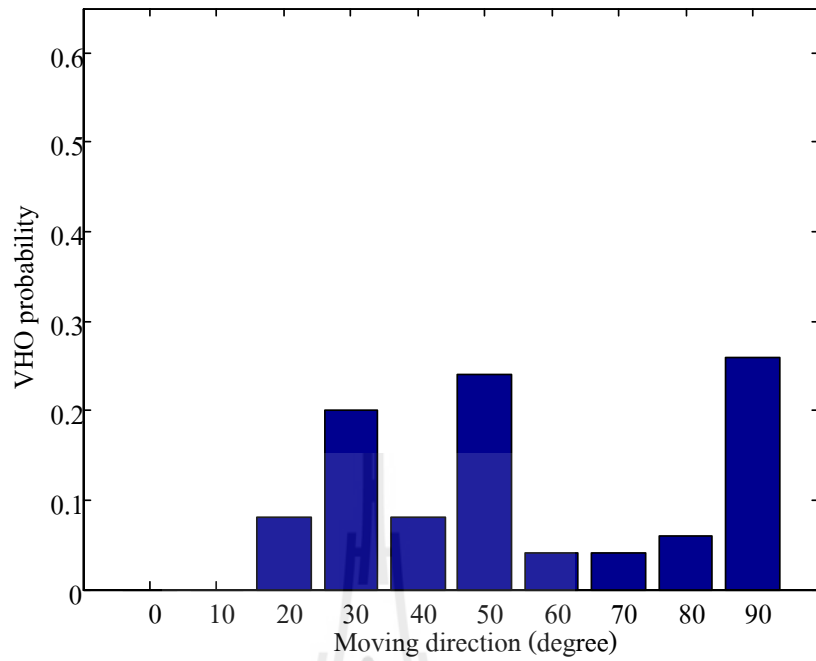


(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

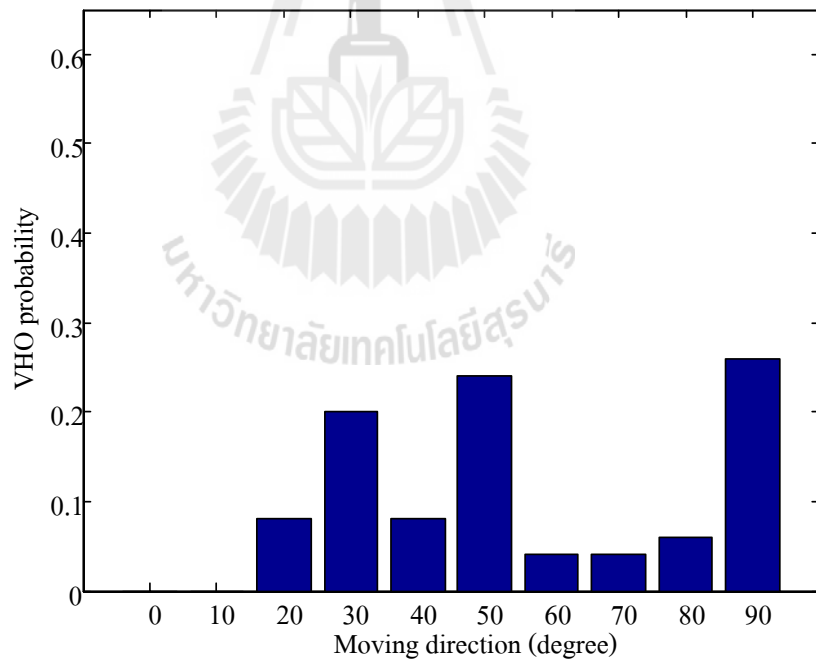
รูปที่ ๙.๙ แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 5 ครั้ง



รูปที่ ๙.๙ แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 5 ครั้ง (ต่อ)

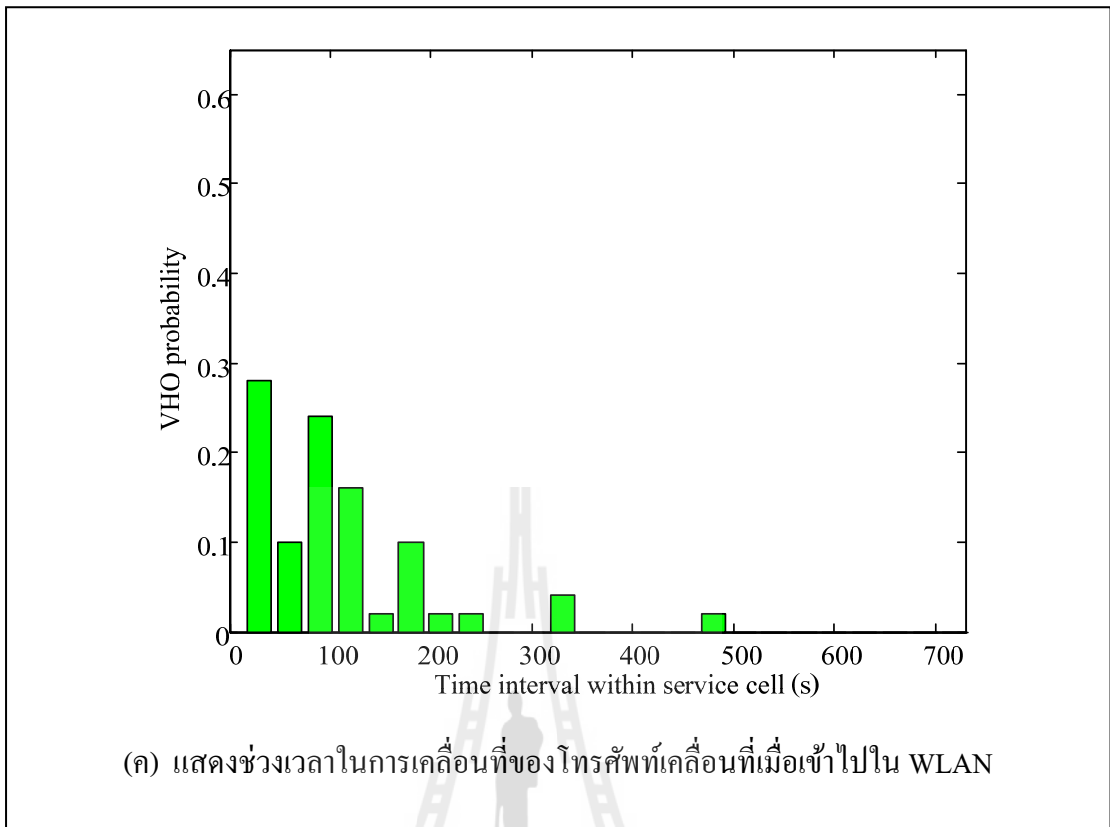


(ก) แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point

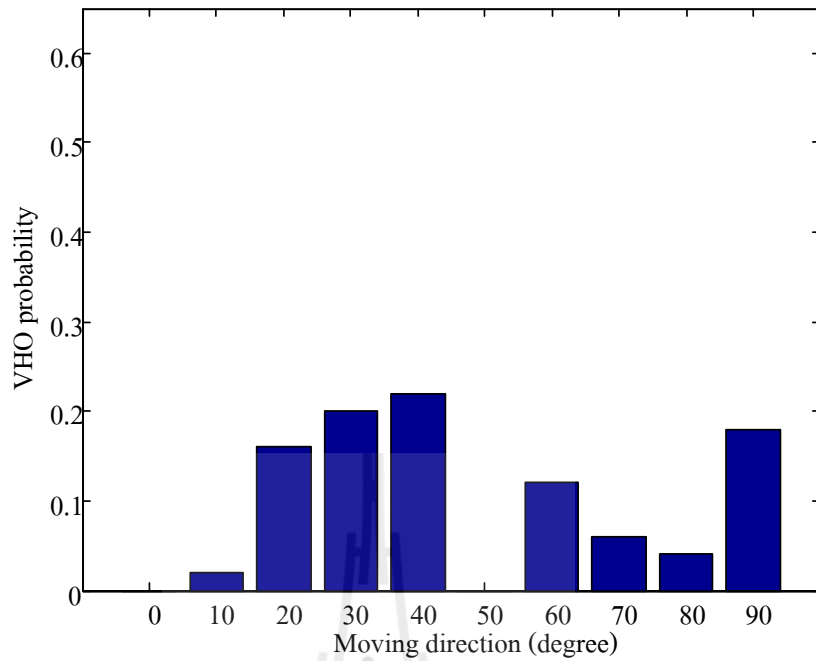


(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

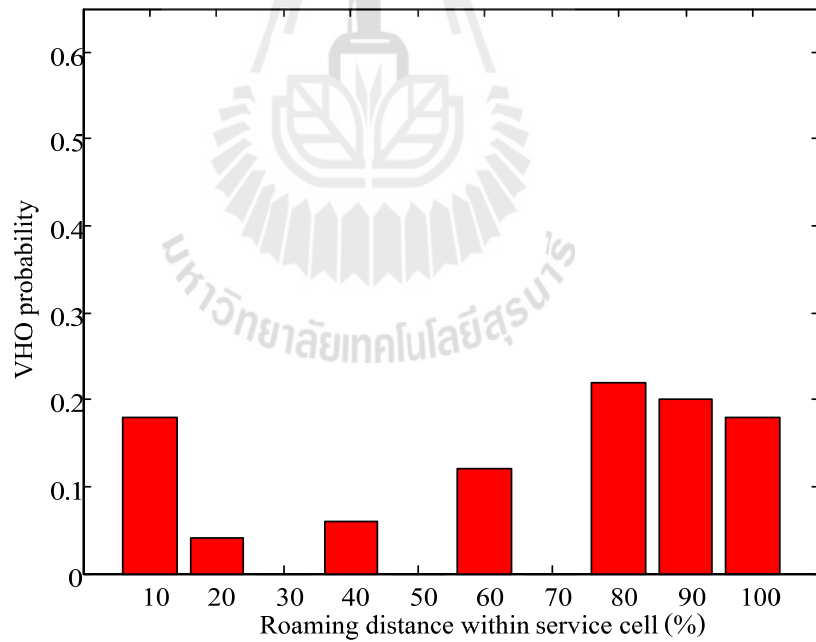
รูปที่ ค.10 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 10 ครั้ง



รูปที่ ค.10 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 10 ครั้ง (ต่อ)

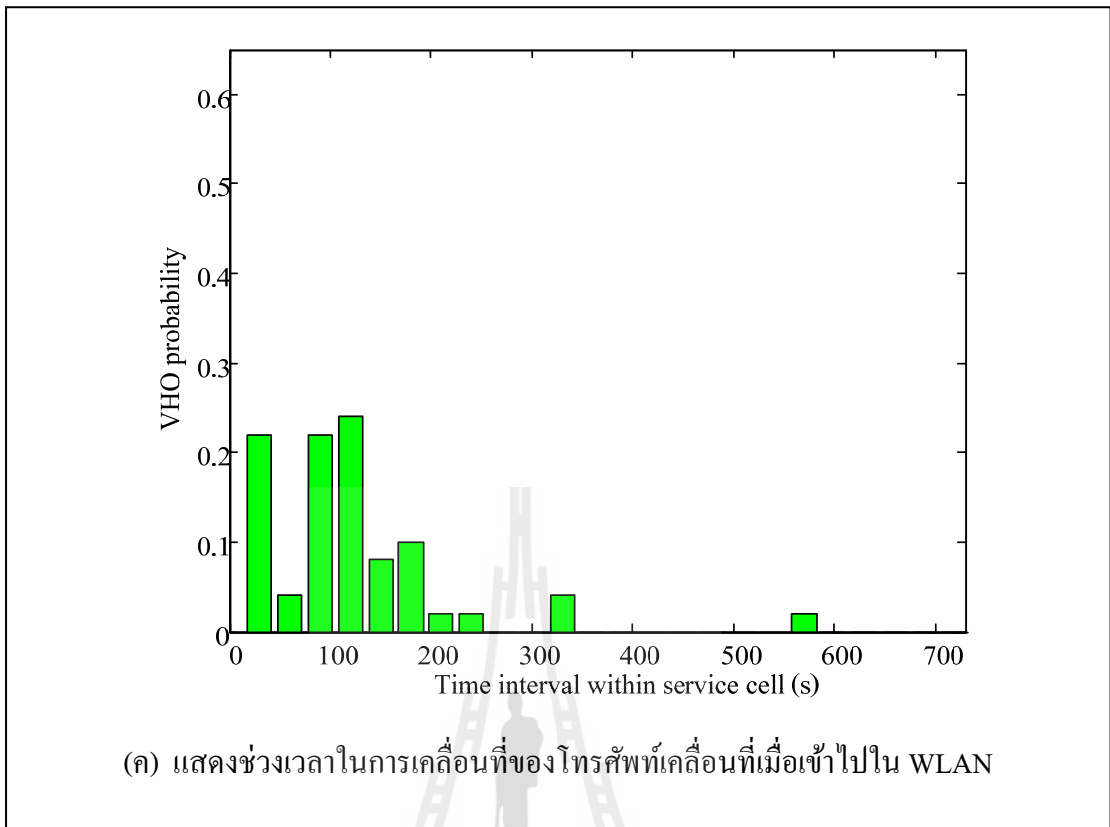


(ก) แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point

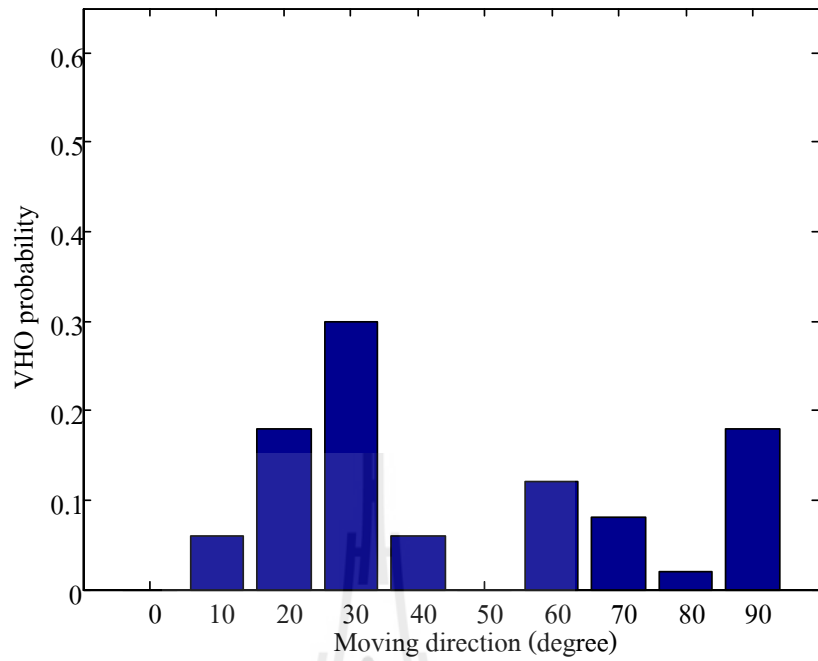


(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

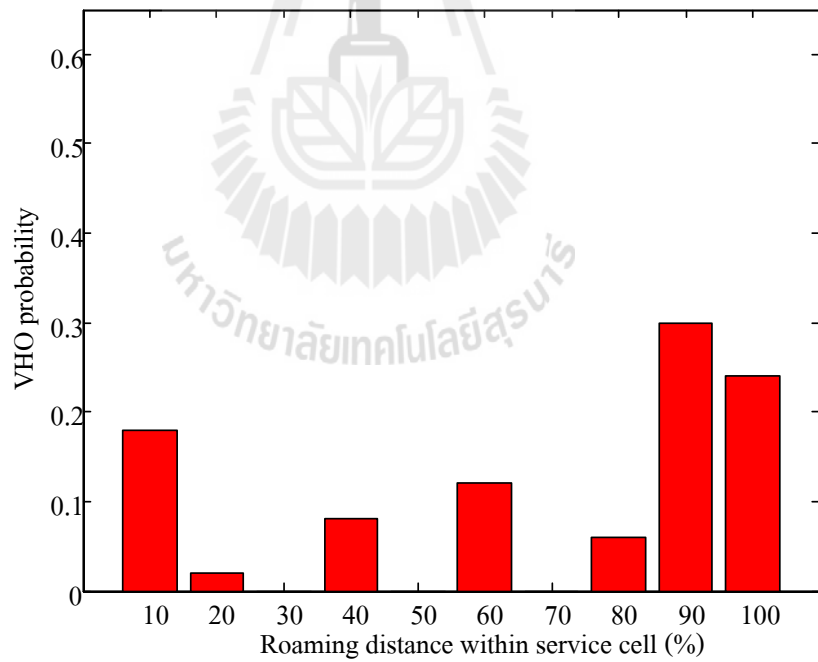
รูปที่ ค.11 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 15 ครั้ง



รูปที่ ค.11 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 15 ครั้ง (ต่อ)

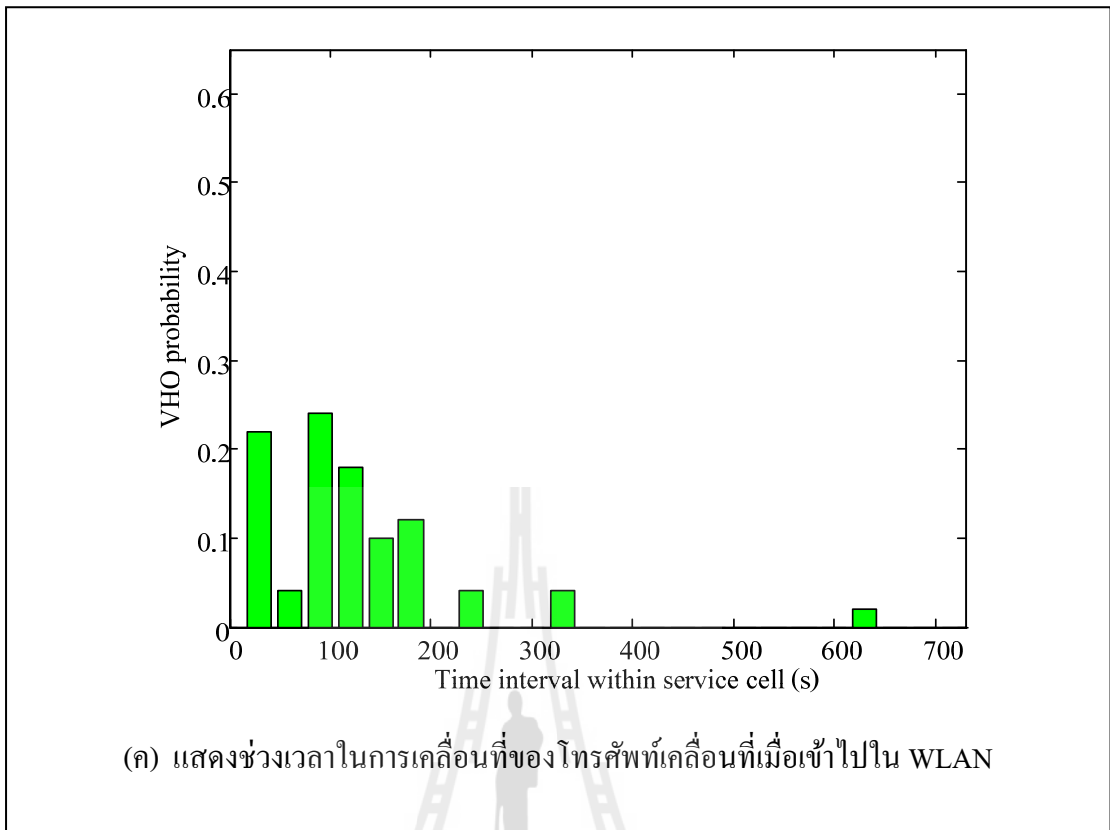


(ก) แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point

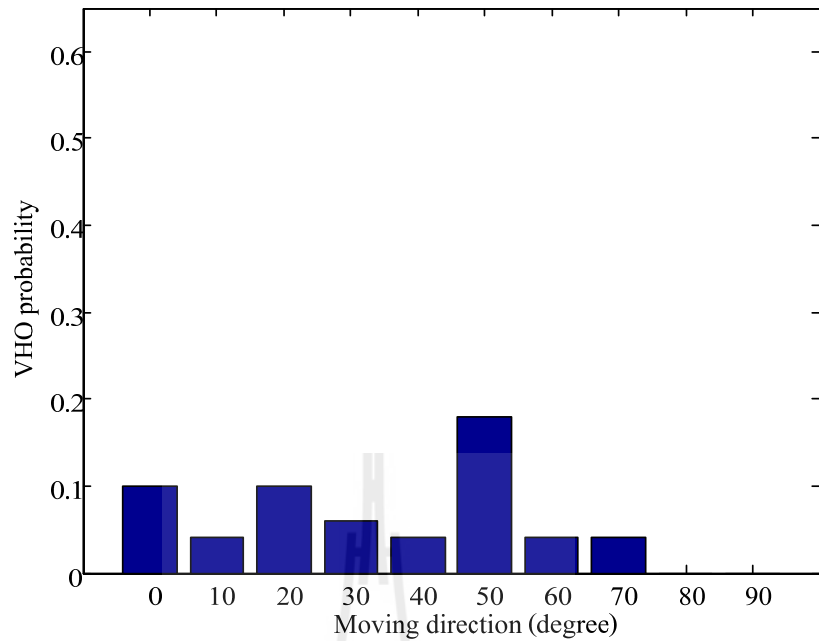


(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

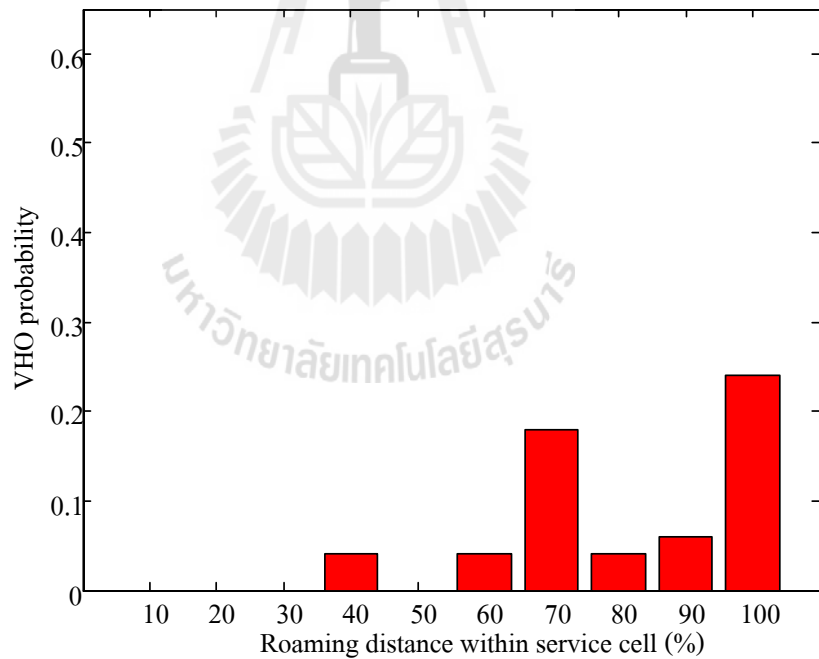
รูปที่ ค.12 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 20 ครั้ง



รูปที่ ค.12 แสดงการเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาการเกิด VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 20 ครั้ง (ต่อ)

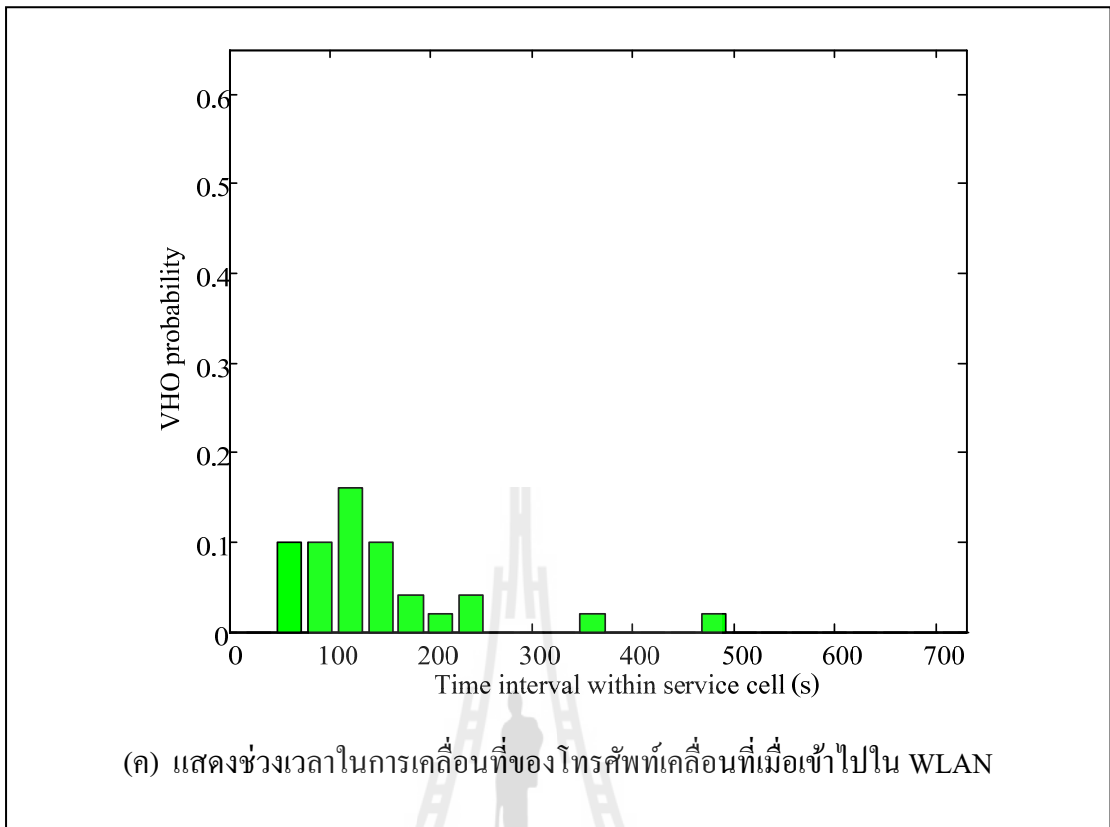


(ก) แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point

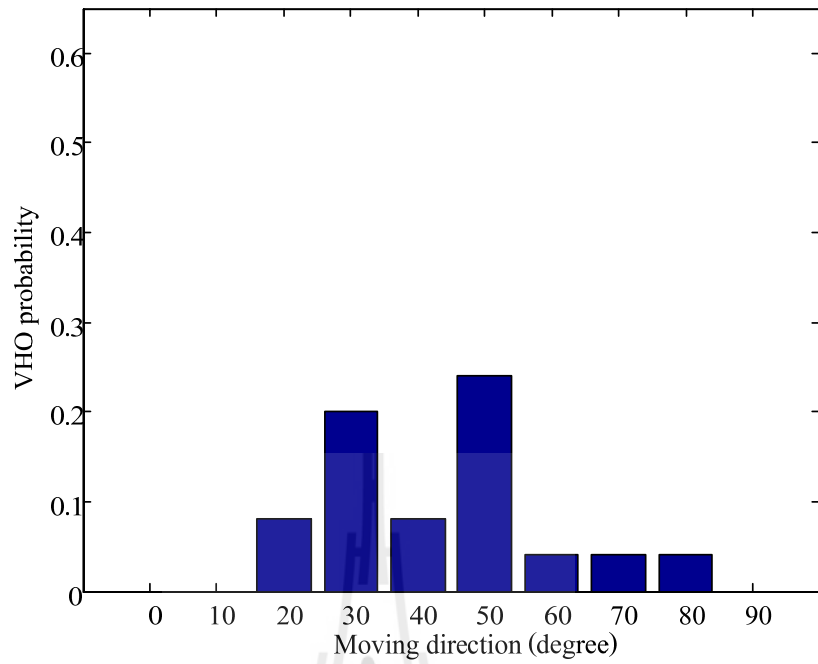


(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

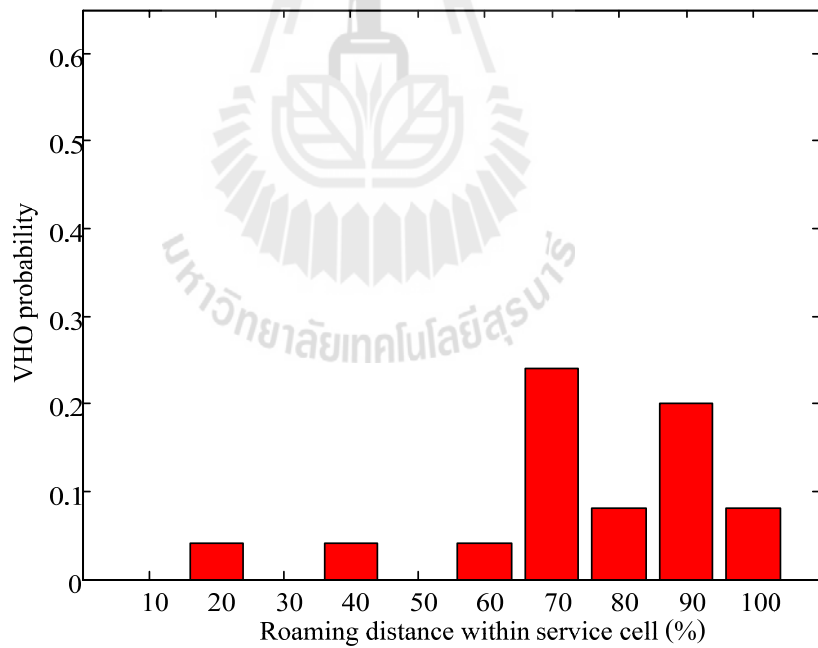
รูปที่ ค.13 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 5 ครั้ง



รูปที่ ค.13 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN
 ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ
 Threshold -70 dBm การ Sampling 5 ครั้ง (ต่อ)

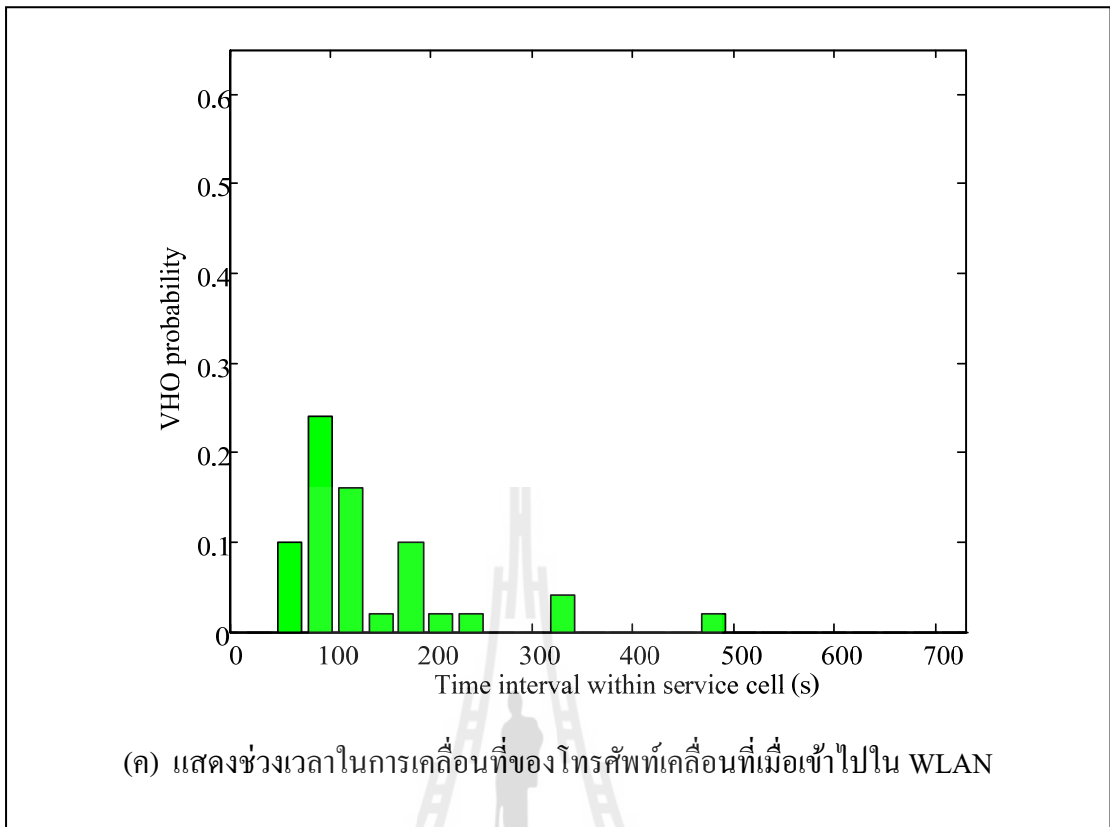


(ก) แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point



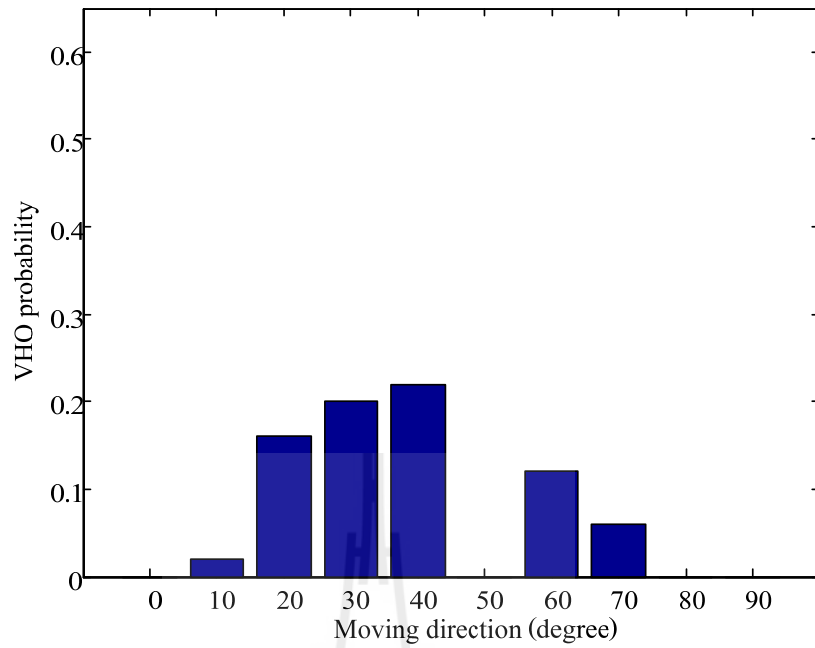
(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

รูปที่ ค.14 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 10 ครั้ง

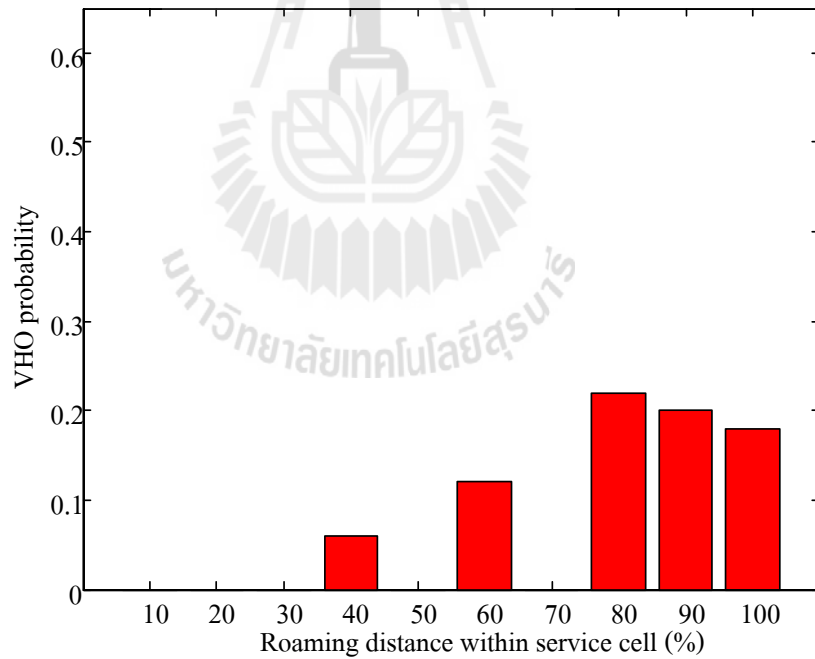


รูปที่ ค.14 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN
 ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ
 Threshold -70 dBm การ Sampling 10 ครั้ง (ต่อ)



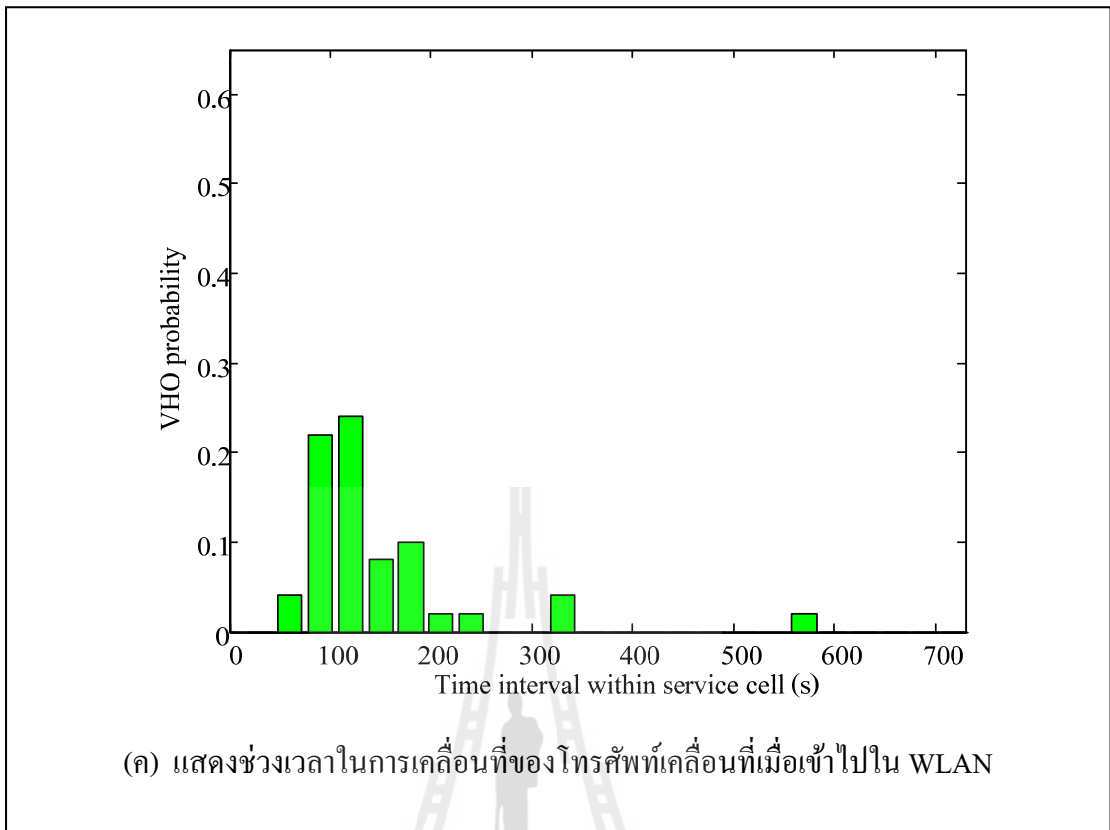


(ก) แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point



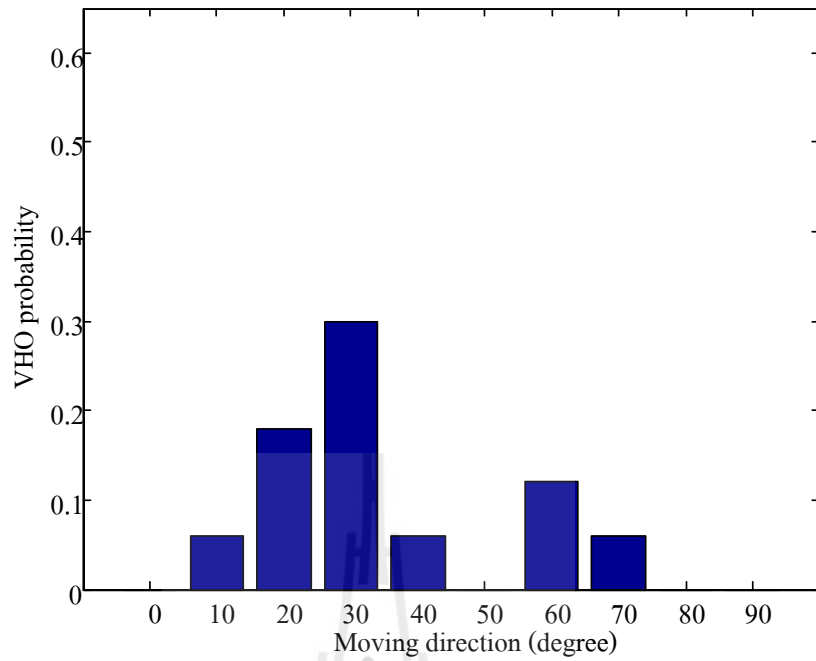
(ค) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

รูปที่ ค.15 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 15 ครั้ง

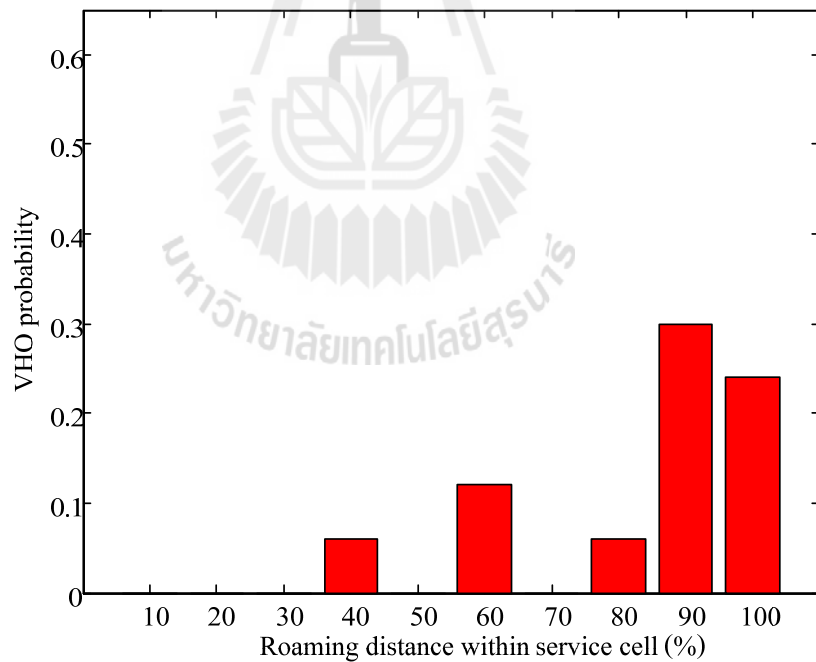


รูปที่ ค.15 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN
 ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ
 Threshold -70 dBm การ Sampling 15 ครั้ง (ต่อ)



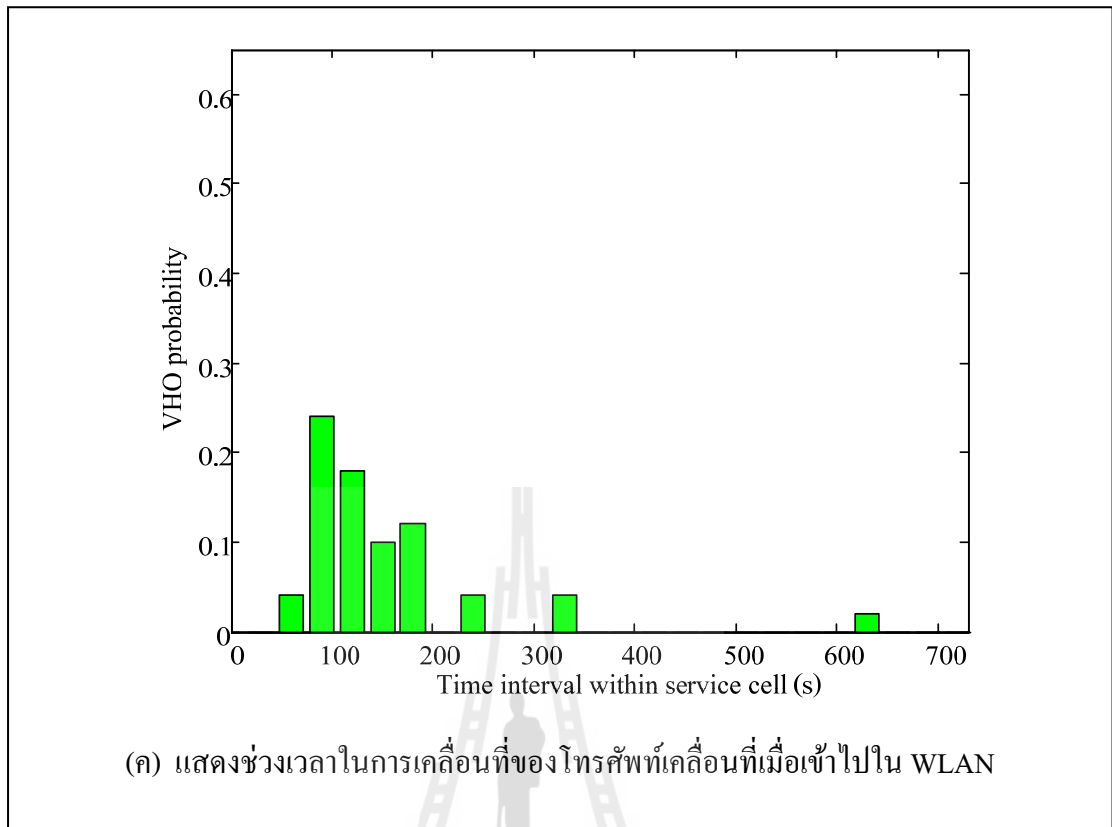


(ก) แสดงทิศทางเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ Access Point



(ข) แสดงสัดส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

รูปที่ ค.16 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ Threshold -70 dBm การ Sampling 20 ครั้ง



รูปที่ ค.16 แสดงการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN
 ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่จุดเริ่มวัดสัญญาณ
 Threshold -70 dBm การ Sampling 20 ครั้ง (ต่อ)



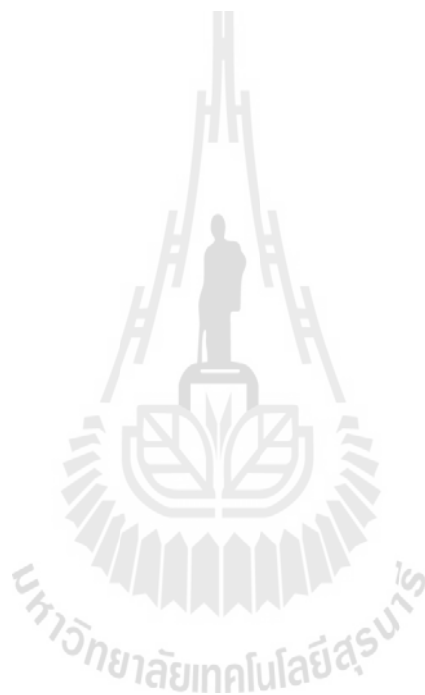


ภาคผนวก ง

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

Jantarayat, I., Uthansakul, P., and Uthansakul, M. (2010). **Tradeoffs between Handover Performance and Coverage Range of Relay Stations in Multihop Cellular Networks**. *Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), 2010 International Conference on Digital*
Object Identifier : 10.1109/WCSP.2010.5633541. pp. 1 - 5, 21 - 23 Oct. 2010, China.





Tradeoffs between Handover Performance and Coverage Range of Relay Stations in Multihop Cellular Networks

Issaraphap Jantarayat
School of Telecommunication Engineering Suranaree
University of Technology
NakhonRatchasima, Thailand
e-mail : j.issaraphap@gmail.com

Monthippa Uthansakul
School of Telecommunication Engineering Suranaree
University of Technology
NakhonRatchasima, Thailand
e-mail : mtp@sut.ac.th

Peerapong Uthansakul
School of Telecommunication Engineering Suranaree
University of Technology
NakhonRatchasima, Thailand
e-mail : uthansakul@sut.ac.th

Abstract— Relay station is a recent approach for multihop cellular networks to increase a signal quality as well as support a high speed data transmission. The coverage range of relay station is determined by its transmit power and level of handover between relay station and its base station. This coverage range directly influences to handover performance. If number of handover increases, the expense of signaling overheads and capacity deficiency will be increased. In this paper, the investigation into number of handover related to coverage range of relay station is presented. In addition, various handover scenarios in cellular networks are also examined. The results indicate that the tradeoff between number of handover scenarios and coverage range depends on type of handover scenarios.

Keywords: Handover ; MCN ; RSS ; Relay Station

I. INTRODUCTION

Recently, relay networks have been widely considered as supplementary technology in next-generation wireless systems such as fourth generation (4G), Third Generation Partnership Project Long-Term Evolution (3GPP LTE), and IEEE 802.16m to increase the cell radius or combat the shadowing effect, which is mainly caused by large obstacles between transceivers [1–5]. The application of multihop concept to cellular networks, however, raises many technical issues, such as the best positions for the base station (BS) and relay stations (RSs); the number of RSs; spectrum allocation and multiplexing between the BS and RSs; scheduling; and handover [1, 2]. Especially, the introduction of RS in cellular networks creates additional handover scenarios and increases the number of handovers. In conventional cellular systems, handover occurs only when a mobile station (MS) moves to different cells or different sectors of the same cell,

whereas additional handovers occur in a multihop cellular network (MCN) between the BS and the RSs or between two different BSs. These additional MCN handovers can cause a serious ping-pong problems and increase signaling overhead.

Unfortunately, only a few research articles have studied handover issues in relay networks [6–8]. In [6], the authors propose a relay-assisted handover with geo-locating information in a hybrid ad hoc cellular system. MS is assumed to be able to establish direct connections with nearby MSs to form a temporary wireless relay network, and the MS-to-MS interface is based on a WLAN protocol like the integrated cellular and ad hoc relaying (i-CAR) system proposed in [2]. The relay-assisted handover in [6] uses relaying technology to avoid unnecessary handovers and call drop caused by abrupt channel degradation. The works presented in [7] categorizes and evaluates the performance of different types of handovers in multihop radio-access networks (MRANs). In [7], the multihop handover schemes are categorized into forced handover and route optimization-based handover, according to the handover initiation method. In addition, the signaling mechanisms for these handover scenarios are proposed, and handover delay and signaling overhead are also investigated. In [8], the authors propose a relay-assisted vertical handover scheme for hybrid cellular and wireless local area network (WLAN) systems. In this scheme, an active MS, which has an active connection, uses non-active MSs as relay stations in handover regions when a handover request is rejected or delayed for an unacceptable period of time.

Lately, the handover schemes in MCNs have been defined in the baseline document for the draft standard of IEEE 802.16j [9]. Media Access Control (MAC) layer handover procedures in IEEE 802.16j are almost the same as

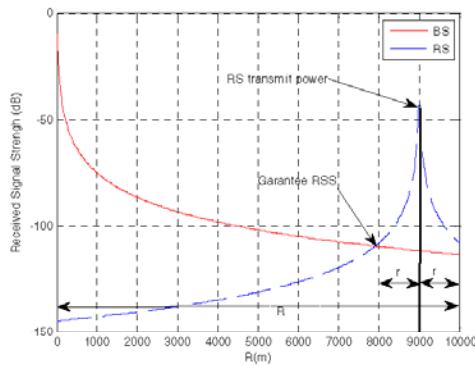


Figure 1. Average received signal strength of BS and RS versus the distance from BS.

handover procedures in IEEE 802.16e, except that an RS relays handover associated messages between an MS and a BS. However, scanning procedures in IEEE 802.16j are more complicated than those in IEEE 802.16e. IEEE 802.16j defines two different types of RS such as transparent-mode RS and non-transparent-mode RS, which support the one-hop relay and the two-hop relay, respectively. Only a non-transparent RS broadcasts its own preamble, time-aligned with its serving BS preamble. Therefore, a non-transparent mode RS is included in a neighbor list for handover scanning and broadcasts a different neighbor advertisement message that is suitable for its service area [9]. The work in [10] proposes handover in multihop cellular networks of each scenarios which RSs are located inside a cell in MCN and RSs are located on the boundary between two adjacent cell.

From all above literatures, the study on handover has been paid attention to develop the mechanism of handover process in order to lower the number of handover and make the fast connection during handover process. In fact, the coverage range of RS is determined by RS transmit power and level of handover between RS and BS. This coverage range directly influences to handover performance. However, there has never been any investigation into a physical design of relay station such as coverage range, transmit power, etc.

These factors are directly impact to the performance of handover. In this paper, the preliminary investigations between a physical design, in term of coverage range, and handover performance, in term of number of handover, are presented. The results indicate a tradeoff between guarantee received signal strength and number of handover when RS coverage range is changed.

The remainder of paper is organized as follows. Section II presents the handover algorithm based on Received Signal Strength (RSS). The basic approach of hard handover is adopted in this paper. In Section III, the details of handover scenarios and parameters used for simulations are described. Section IV provides the simulation results and finally the conclusion of this paper is given in Section V.

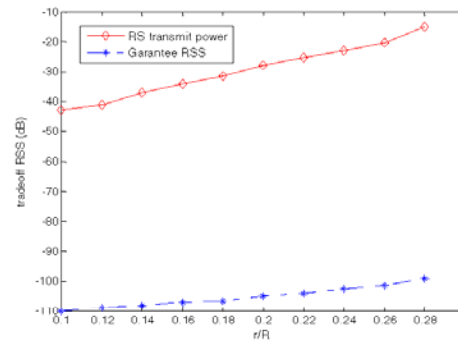


Figure 2. RS transmit power and guarantee RSS versus RS coverage range ratio (r/R).

II. HANDOVER ALGORITHMS BASED ON RECEIVED SIGNAL STRENGTH (RSS)

Traditional mobile assisted handover algorithms [11] use level of signal strength obtained by calculating over time duration of the received squared envelope, $\langle |\bar{r}_i(t)|^2 \rangle$ from BS to RS. A MS is reconnected to an alternate BS or RS whenever the signal strength estimate of the target BS exceeds that of the serving BS by at least H dB. For example, a handover is performed between BS and RS when

$$\begin{aligned} Y_1(n) &> Y_0(n) + H \text{ if serving BS} \\ Y_0(n) &> Y_1(n) + H \text{ if serving RS} \end{aligned} \quad (1)$$

where H denotes the hysteresis (in dB), and $Y_0(n)$ and $Y_1(n)$ are the estimated mean signal strengths (in dBm) given by

$$Y_0(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=n-N+1}^n |\bar{r}_0(k)|_{(dB)}^2 \quad (2)$$

$$Y_1(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=n-N+1}^n |\bar{r}_1(k)|_{(dB)}^2 \quad (3)$$

where $\langle |\bar{r}_i(kT_s)|_{(dB)}^2 \rangle$ is the k th sample of the squared envelope (in dBm), T_s is the sampling period, and N is the window length.

Many other variations of signal strength based handover algorithms have been suggested in the literature. In one variation, handovers are also triggered when the measured signal strength of the serving BS drops below a threshold.

$$\begin{aligned} Y_1(n) &> Y_0(n) + H \text{ and } Y_0(n) > \Omega_L \text{ if serving BS} \\ Y_1(n) &> Y_0(n) \text{ and } Y_0(n) < \Omega_L \text{ if serving BS} \\ Y_0(n) &> Y_1(n) + H \text{ and } Y_1(n) > \Omega_L \text{ if serving RS} \\ Y_0(n) &> Y_1(n) \text{ and } Y_1(n) < \Omega_L \text{ if serving RS} \end{aligned} \quad (4)$$

This scheme encourages a handover whenever the received signal strength from the serving BS drop below the threshold Ω_L thereby reducing the probability of dropped call.

Another variation discourages handovers when the received signal strength from the serving BS exceeds another threshold Ω_H . For example, a handoff is performed between BS and RS when

$$\begin{aligned} Y_1(n) &> Y_0(n) + H \text{ and } \Omega_L < Y_0(n) < \Omega_H \text{ if serving BS} \\ Y_1(n) &> Y_0(n) \text{ and } Y_0(n) < \Omega_L \text{ if serving BS} \\ Y_0(n) &> Y_1(n) + H \text{ and } \Omega_L < Y_1(n) < \Omega_H \text{ if serving RS} \\ Y_0(n) &> Y_1(n) \text{ and } Y_1(n) < \Omega_L \text{ if serving RS} \end{aligned} \quad (5)$$

This scheme avoids unnecessary handovers, thereby reducing the network load and network delay. In this paper, the hysteresis H is set to the guarantee RSS + 3dB and the threshold bounds, Ω_H and Ω_L , are set to the guarantee RSS ± 5 dB. The guarantee RSS is varied according to the RS coverage range. For example, Figure 1 shows average received signal strength of BS and RS versus the distance from BS. It is obvious that RSS of BS and RS have one certain point in which the crossing level of handover is occurred. Moreover, if handover is successful, this cross point will be the lowest level of signal strength obtained by MCNs. As a result, this point is able to be named as guarantee RSS for MS. Note that the results in Figure 1 present only average values and do not graphically display the fading signal.

Also seen in Figure 1, the distance r is the radius of RS coverage area. We define the ratio between radius of RS and BS as RS coverage range ratio (r/R) in order to investigate the effect of RS coverage range on handover performance.

Figure 2 present the RS transmit power and guarantee RSS versus RS coverage range ratio. It can be seen that both curves increase when the ratio is increased. However, it is interesting to observe that both increase slopes are different. For example, when the ratio is changed from 0.1 to 0.28, RS has to boost transmit power 28 dB but the guarantee RSS just increase only 11 dB. It means that the transmit power of RS does not linearly add the level of guarantee RSS. It also implies that to increase RS coverage range does not provide the efficient energy consumptions.

III. HANDOVER MODELS IN MCN

A. Handover Scenarios

To illustrate various types of configurations, the handover scenarios are classified into three sets explained as follows.

- Scenario 1 (Intercell BS to BS Handover)

In this scenario, MS performs handover between two different BSs in the same way as traditionally inter-BS cell. For example, in Figure 3, MS1 is moving from BS1 to BS2 which is outside the serving cell. This occurrence is so called as intercell BS to BS handover.

- Scenario 2 (Intracell BS to RS Handover)

Scenario 2 describes the situation that MS moves from serving BS to RS within the same cell. For example, in Figure 3, MS2 is moving from BS1 to RS3. This is called as intracell BS to RS handover.

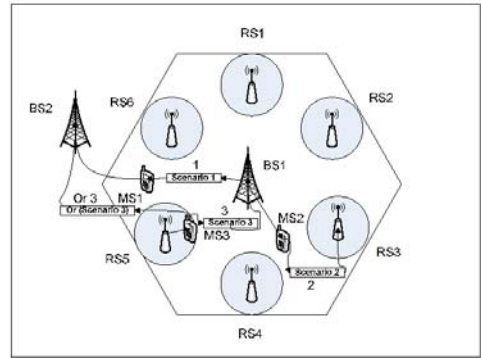


Figure 3. MCN configuration with 6 relay stations

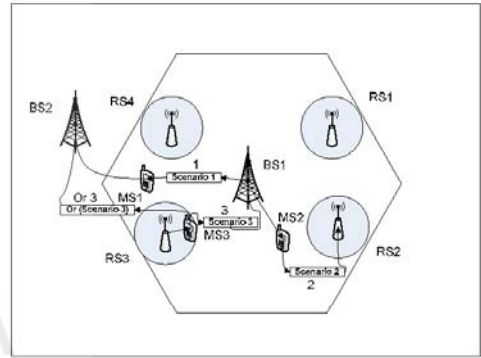


Figure 4. MCN configuration with 4 relay stations

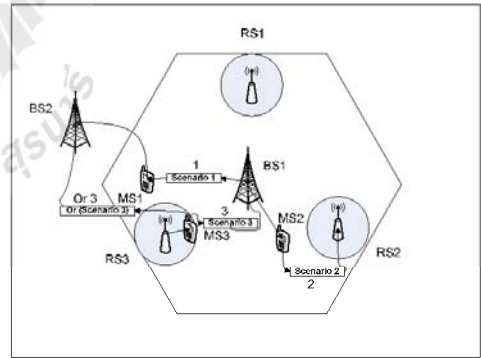


Figure 5. MCN configuration with 3 relay stations

- Scenario 3 (Intracell RS to BS Handover or Intercell RS to BS Handover)

In scenario 3, MS performs handover between RS and either serving BS or neighbor BS so called as intracell or intercell RS to BS handovers, respectively. For example, in Figure 3, MS3 is moving from RS5 to BS1 (intracell) and MS3 is moving from RS5 to BS2 (intercell).

B. MCN configurations

The design principle and performance of handovers depend on a number of RS as well as deployment structure in MCNs. In this paper, there are three MCN configurations to be considered including 6, 4 and 3 relay stations which are shown in Figure 3, Figure 4 and Figure 5, respectively. The purpose of three configurations is to understand whether number of handover is a function of number of relay stations. The outcome is very interesting to design tradeoffs between the area size improving signal quality and the cost of handover.

IV. SIMULATION RESULTS

In simulations, the traffic of MS is generated by randomizing the location inside cell with uniformly distribution. After that, both velocity and call duration are randomly generated by assuming Poisson distribution. Total 1,000 MS have been simulated and the results shown in this section is the averaging value. This paper considers a fixed cellular system where cell of BS are dimensionally fixed and each MS is moving in one direction at a call.

In addition, it is assumed that the handover decision is made by hard handoff algorithms described in Section II. The lognormal path loss with exponent factor 3.84 including Gaussian shadowing is used. BS coverage area is considered as hexagonal-shaped cell while RS coverage area is a circle. The results in Figure 6, 7 and 8 assume a constant value for average velocity, 100 km/hr, and call duration time, 1 minute. Figure 6, shows the number of handover (%) versus the RS coverage range ratio (r/R) for handover scenario 1 (intercell BS to BS). It is interesting that the number of handover is not changed by any ratio or MCN configuration. It implies that the number of handover in scenario 1 is not a function of number of relay stations. Hence, the handover operation between BS to BS is still the same no matter how many RS and how large of RS coverage range are employed.

Figure 7 and 8 show the number of handover (%) versus the RS coverage range ratio (r/R) for handover scenario 2 (intracell BS to RS) and handover scenario 3 (intercell/intracell RS to BS), respectively. The results confirm that number of handover increase as a function of number of relay station. Also the increase of number of handover is a function of RS coverage range ratio.

In Figure 9, the coverage range ratio is fixed at 0.2 and MCN configuration with 6 relay stations is determined. The velocity is also fixed at 100 km/hr but the call duration time is changed from 1 minute to 20 minutes. It can be observed that -

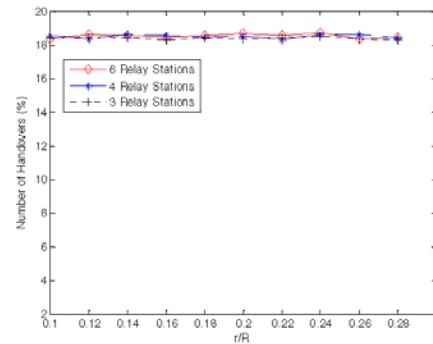


Figure 6. Number of handover (%) vs. the RS coverage range ratio (r/R) for handover scenario 1 (intercell BS to BS).

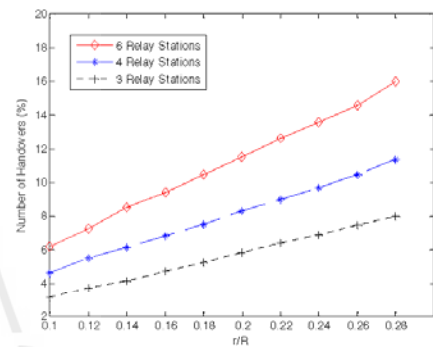


Figure 7. Number of handover (%) vs. the RS coverage range ratio (r/R) for handover scenario 2 (intracell BS to RS).

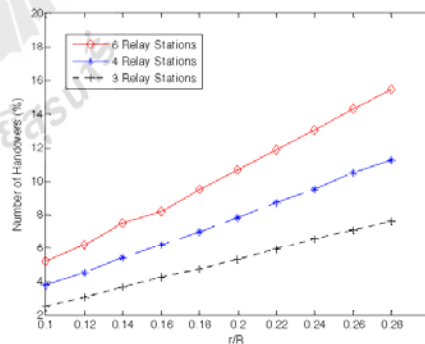


Figure 8. Number of handover (%) vs. the RS coverage range ratio (r/R) for handover scenario 1 (intercell/intracell RS to BS).

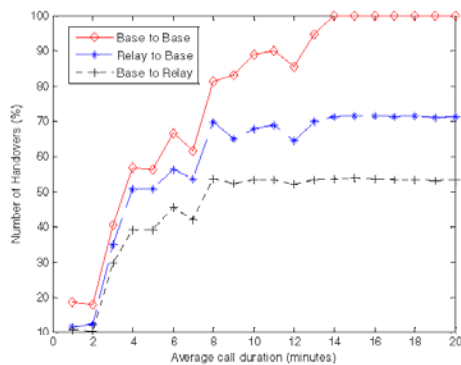


Figure 9. Number of handover (%) vs. average call duration (minutes)

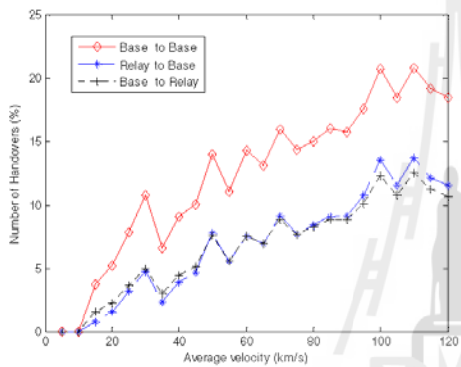


Figure 10. Number of handover (%) vs. average velocity(km/s)

the number of handover increases rapidly until it reaches a certain level. In addition, Figure 10 fixes call duration time at 1 minute and changes the velocity from 5 km/hr (human walking speed) to 120 km/hr (car speed). The number of handover increases continuously as a function of velocity.

In summary, if the coverage range of RS increases, the number of handover increases except the scenario of BS to BS. Also, the RS transmit power is required more but in turn the better signal quality will be guaranteed when increasing the RS coverage range.

V. CONCLUSION

This paper investigates the number of handover related to coverage range of relay station. In addition, various handover scenarios in cellular networks are also examined. The results indicate the effect of RS coverage range depends on type of handover scenarios. Also the results help MCN designer to

plan for handover operations when increasing number of relay stations or their coverage area.

ACKNOWLEDGMENT

The authors acknowledge the financial support from Suranaree University of Technology, Thailand.

REFERENCES

- [1] H. Hu *et al.*, "Range Extension without Capacity Penalty in Cellular Networks with Digital Fixed Relays," *Proc. IEEE GLOBECOM '04*, vol. 5, Nov. 2004, pp. 3053–57.
- [2] H. Wu *et al.*, "Integrated Cellular and Ad Hoc Relaying Systems: iCAR," *IEEE JSAC*, vol. 19, no. 10, Oct. 2001, pp. 2105–15.
- [3] R. Paibst *et al.*, "Relay-Based Deployment Concepts for Wireless and Mobile Broadband Radio," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 42, no. 9, Sept. 2004, pp. 80–89.
- [4] WiMAX Forum NWG, "WiMAX End-to-End Network System Architecture — Stage 2: Architecture Tenets, Reference Model, and Reference Points," Dec. 2005.
- [5] 3GPP TR 23.882 v. 1.4.2, "3GPP System Architecture Evolution: Report on Technical Options and Conclusions (Release 7)," Oct. 2006.
- [6] J. H. Yap *et al.*, "Position Assisted Relaying and Handover in Hybrid Ad Hoc WCDMA Cellular System," *Proc. IEEE PIMRC '02*, vol. 5, Sept. 2002, pp. 2194–98.
- [7] M. Ghassemian, V. Friderikos, and H. Aghvami, "Hybrid Handover in Multihop Radio Access Networks," *Proc. IEEE VTC-Spring*, vol. 4, May 2005, pp. 2207–11.
- [8] P. Khadivi *et al.*, "Handoff in Hybrid Wireless Networks Based on Self Organization," *Proc. IEEE ICC '06*, vol. 5, June 2006, pp. 1996–2001.
- [9] IEEE 802.16j Baseline Document for Draft Standard, "Part 16: Air Interface for Fixed and Mobile Broadband Wireless Access Systems — Multihop Relay Specification," Apr. 2007.
- [10] Sunghyun Cho; Jang, E.W.; Cioffi, J.M.; "Handover in multihop cellular networks" *Communications Magazine*, IEEE Volume 47, Issue 7, July 2009 Page(s):64 – 73 Digital Object Identifier 10.1109/MCOM.2009.5183474
- [11] Gordon L. Stüber, "Principles of MOBILE COMMUNICATION Second Edition", Georgia Institute of Technology Atlanta, Georgia USA
- [12] M. D. Austin and G. L. Stüber, "Direction biased handoff algorithms for urban microcells," in *IEEE Veh. Technol. Conf.*, Stockholm, Sweden, pp. 101–105, June 1994

ประวัติผู้เขียน

นายอิสรภาพ จันทรญาติ เกิดเมื่อวันที่ 8 มิถุนายน พ.ศ. 2529 ที่จังหวัดสระบุรี เริ่มการศึกษาระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนอนุบาลสระบุรี ระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนสระบุรีวิทยาคม และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2551 จากนั้นได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ณ สถาบันการศึกษาเดิม โดยได้รับทุนการศึกษาจากการให้ทุนการศึกษาแก่นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษาที่คณาจารย์ได้รับทุนวิจัยจากแหล่งทุนภายนอก (OROG) ระหว่างศึกษาระดับปริญญาโทมีบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในงานการประชุมวิชาการ ปี พ.ศ. 2553 ในชื่อเรื่อง **Tradeoffs between Handover Performance and Coverage Range of Relay Stations in Multihop Cellular Networks** โดยมีรายละเอียดปรากฏดังปรากฏในภาคผนวก ง.

เนื่องจากเห็นความสำคัญของการฝึกฝนวิชาทหารเพื่อเสริมสร้างความแข็งแกร่งให้แก่ร่างกาย อีกทั้งทำให้มีสมาธิ จึงตัดสินใจเข้าศึกษาเป็นนักศึกษาวิชาทหาร (นศท.) จนครบ 5 ปี จึงได้รับยศ “ว่าที่ร้อยตรี”