



รายงานการวิจัย

การทำแฮนด์ออฟแนวตั้งจากทิศทางการเคลื่อนที่ในเครือข่ายโทรศัพท์  
เคลื่อนที่ยุคที่สี่

Vertical handoff based on moving direction in 4G mobile networks

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พีระพงษ์ อูทาสกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



ศูนย์บรรณสารและสื่อการศึกษา  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2555

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

พฤษภาคม 2556

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยสำหรับโครงการวิจัยนี้  
ขอขอบคุณ ว่าที่ร้อยตรีอิสรภาพ จันทระญาติ นักศึกษาบัณฑิตในที่ปรึกษาของผู้วิจัยที่ช่วยเก็บผลการทดลอง  
และขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนต์ทิพย์ภา อูธารสกุล สำหรับคำแนะนำในเชิงวิชาการที่เป็น  
ประโยชน์

ผู้วิจัย

พฤษภาคม 2556



## บทคัดย่อ

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการสื่อสารไร้สายยุคที่ 4 (4G-Fourth Generation) ให้ความสำคัญอย่างมากสำหรับการเข้าถึงเครือข่ายสื่อสารไร้สายแบบทั่วถึงหรือไร้ขอบเขต (Seamless) โดยอุปกรณ์สื่อสารหรือสถานีโทรศัพท์เคลื่อนที่ (MS-Mobile Station) ไม่รู้สึกถึงการเปลี่ยนแปลงเมื่อข้ามไปใช้เครือข่ายสื่อสารอื่นๆ ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ เช่น การที่อุปกรณ์สื่อสารใช้ทรัพยากรจากเครือข่ายเซลลูลาร์แล้วเคลื่อนที่ข้ามไปใช้ทรัพยากรของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN-Wireless Local Area Network) ซึ่งตั้งอยู่ในเซลล์ของเครือข่ายเซลลูลาร์ อุปกรณ์สื่อสารจะปรับระบบวิทยุจากระบบเซลลูลาร์ไปเป็นระบบท้องถิ่นไร้สาย โดยที่ยังคงติดต่อสื่อสารอย่างต่อเนื่อง ลักษณะการเคลื่อนที่แบบไร้รอยต่อ (Seamless Mobility) นี้เองนำไปสู่การพัฒนาวิธีการทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง (Vertical Handover) งานวิจัยที่ได้สำรวจมาพบว่ามีส่วนใหญ่เสนอวิธีการปรับปรุงคุณภาพการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งโดยเน้นไปที่การลดการหน่วงของเวลา (Delay) และลดการสูญหายของข้อมูล (Data loss) สามารถช่วยให้การรับและส่งข้อมูลผิดพลาดน้อยลงและมีงานวิจัยที่ใช้วิธีการควบคุมสายเรียกเข้าเพื่อจำกัดการเกิดการทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งสามารถลดการเกิดการทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็นได้ แต่มีข้อเสียคืออุปกรณ์สื่อสารอาจถูกปฏิเสธเมื่อมีการเรียกเข้าใช้บริการได้ (call blocking) เนื่องจากถูกควบคุมสายเรียกเข้า การทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งแต่ละครั้งส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการ (QoS – Quality of Service) เกิดการหน่วงเวลาระหว่างคู่สายและเกิดการสูญหายของข้อมูลซึ่งทำให้การรับและส่งข้อมูลผิดพลาดได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีลดการเกิดการทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็น โดยอาศัยข้อมูลจากทิศทางเคลื่อนที่ประกอบในการตัดสินใจทำการทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง ผลที่ได้พบว่าแนวคิดที่เสนอขึ้นมาสามารถช่วยลดการทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็นได้ ทำให้ประสิทธิภาพระบบโดยรวมเพิ่มขึ้นด้วย

## Abstract

The fourth generation (4G) of mobile communication system concern the seamless access for any wireless networks. Especially, when the connection is transferred to the other network, the mobile station does not feel any difference during the moving interval. In particular, one feature in 4G is to allow the mobile devices perform a handoff across the different networks so called vertical handoff (VHO). For example, the mobile device receives a higher signal strength from WLAN (Wireless Local Area Network) than cellular network. Then the mobile device will make a vertical handoff from cellular network to WLAN. From literature, almost researchers proposed the improvement of vertical handoff by decreasing the delay and data loss. The rest proposed the call controller to eliminate the unnecessary vertical handoff. The weak point of call controller is to increase the call blocking and degrade QoS (Quality of Service). Therefore, this research project proposes the new concept to decrease the unnecessary vertical handoff by using the information of moving direction in making the decision of vertical handoff. The results show that the proposed concept can significantly eliminate the unnecessary vertical handoff and improve the overall system performance.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูปภาพ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการวิจัย.....	2
1.3 แนวทางการดำเนินการวิจัย.....	2
1.4 ผลสำเร็จของโครงการ.....	3
1.5 การสำรวจปริทรรศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย.....	3
บทที่ 2 การทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง.....	6
2.1 กล่าวนำ.....	6
2.2 วิวัฒนาการของระบบสื่อสาร.....	6
2.2.1 วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่.....	6
2.2.2 วิวัฒนาการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	14
2.3 การสื่อสารในยุค 4G.....	18
2.3.1 ยุคบรอดแบนด์ไร้สาย.....	18
2.4 การทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง.....	21
2.4.1 พื้นฐานการทำแฮนด์ออฟ.....	21
2.4.2 การทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง (Vertical Handoff).....	24
2.5 การส่งผ่านคลื่นสัญญาณ.....	27
2.5.1 การสูญเสียเชิงวิถี.....	27
2.5.2 ผลกระทบจากขาโค่วิ่ง.....	28

2.5.3	การจางหายแบบเรย์เล่.....	28
2.5.4	ความถี่คอปเปอร์.....	28
2.5.5	การจางหายของสัญญาณเนื่องจากสัญญาณหลายวิถี.....	29
2.6	กล่าวท้ายบท .....	32
บทที่ 3	การตัดสินใจทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง โดยใช้ข้อมูลทิศทางเคลื่อนที่.....	33
3.1	กล่าวนำ.....	33
3.2	การตัดสินใจทำการส่งต่อสัญญาณในแนวตั้ง .....	33
3.2.1	โครงสร้างการทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง.....	33
3.2.2	แบบแผนการตัดสินใจการทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง.....	34
3.3	ผลการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์.....	39
3.4	กล่าวท้ายบท .....	45
บทที่ 4	ผลการทดสอบและบทวิเคราะห์.....	46
4.1	กล่าวนำ.....	46
4.2	การนิยามปัญหา.....	46
4.3	ผลการทดสอบจริง.....	47
4.3.1	ขั้นตอนการทดสอบ.....	47
4.3.2	ผลการทดสอบ.....	49
4.4	กล่าวท้ายบท .....	60
บทที่ 5	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	61
5.1	สรุป.....	61
5.2	ข้อเสนอแนะ .....	62
บรรณานุกรม.....		63
ภาคผนวก ก การเผยแพร่ผลงานวิจัย.....		65
ภาคผนวก ข บทความวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่.....		66
ประวัติผู้วิจัย.....		69

## สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1	โทรศัพท์ระบบ NMT (Nordic Mobile Telephone).....	8
รูปที่ 2.2	โทรศัพท์ระบบ AMPS (Advance Mobile Phone System).....	8
รูปที่ 2.3	IMT-2000 Global Collaboration .....	11
รูปที่ 2.4	เครือข่ายไร้สายประเภทต่าง ๆ ตามมาตรฐาน 802.11.....	15
รูปที่ 2.5	เทคนิคที่ใช้ในมาตรฐาน 802.11n เพื่อเพิ่มความเร็วในการทำงาน.....	17
รูปที่ 2.6	การพัฒนาเทคโนโลยี 2G ไปสู่ 3G และต่อเนื่องยุค 4G.....	19
รูปที่ 2.7	ประสิทธิภาพในด้าน ความสามารถในการเคลื่อนที่ (Mobility) และ ความเร็วการรับ-ส่งข้อมูลของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุค 2G, 3G และ 4G .....	19
รูปที่ 2.8	การทำแฮนด์ออฟ.....	21
รูปที่ 2.9	การทำแฮนด์ออฟแนวตั้งระหว่างเครือข่ายที่ต่างกัน .....	25
รูปที่ 2.10	GPRS-WLAN Handoff โดยที่ GGSN คือ Gateway GPRS Support Node .....	26
รูปที่ 2.11	ส่วนประกอบของปรากฏการณ์คอปเปอร์.....	29
รูปที่ 3.1	โครงสร้างของการทำเวอร์ตคอลลแฮนด์ออฟ.....	34
รูปที่ 3.2	การรับสัญญาณจากจุดให้บริการของเครือข่าย.....	34
รูปที่ 3.3	ตัวอย่างค่าความแตกต่างของกำลังสัญญาณในทิศทางเคลื่อนที่จาก 0 ถึง 90 องศา.....	36
รูปที่ 3.4	ตัวอย่างค่าความแตกต่างของกำลังสัญญาณในทิศทางเคลื่อนที่จาก 0 ถึง 90 องศาเมื่อมีสัญญาณรบกวน.....	37
รูปที่ 3.5	ทิศทางที่โทรศัพท์เคลื่อนที่เข้าไปในพื้นที่การให้บริการของ access point .....	38
รูปที่ 3.6	การเกิด VHO จากการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ 100 ครั้งก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO .....	40
รูปที่ 3.7	การลดการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ทำมุมกับ access point เกินกว่า 80° ไม่จำเป็นต้องทำ VHO.....	41
รูปที่ 3.8	การลดการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีอัตราการใช้สัญญาณอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 20% ไม่จำเป็นต้องทำ VHO.....	42
รูปที่ 3.9	การลดการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO.....	43

รูปที่ 4.1	วิธีวัดมุมที่ทำกับ access point.....	47
รูปที่ 4.2	ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นกำกับมุม .....	48
รูปที่ 4.3	ตัวอย่างหน้าจอโปรแกรมที่ใช้วัดกำลังของสัญญาณ .....	48
รูปที่ 4.4	ค่าความผิดพลาดของการประมาณทิศทางการเคลื่อนที่ (ก) ระดับ -50 dB (ก) ระดับ -70 dB.....	54
รูปที่ 4.5	การเกิด VHO จากแบบจำลองก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO ที่ไม่จำเป็น.....	56
รูปที่ 4.6	การลดการเกิด VHO ที่ไม่จำเป็นจากแบบจำลอง โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มี ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO.....	57
รูปที่ 4.7	การเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาลดการเกิด VHO ที่ไม่จำเป็น ที่การ sampling 5 ครั้ง.....	58
รูปที่ 4.8	การลดการเกิด VHO ที่ไม่จำเป็นจากการวัดสัญญาณจริง โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มี ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่การ sampling 5 ครั้ง.....	59





สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย .....	18
ตารางที่ 2.2 ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์กรณีเซลล์ที่มีรัศมีเท่ากับ 16 km .....	22
ตารางที่ 3.1 ผลการลดจำนวน VHO ที่ไม่จำเป็นเมื่อพิจารณาปัจจัยต่างๆ ร่วมด้วย .....	44
ตารางที่ 4.1 ผลที่ได้จากการเดินตามเส้นกำกับมุม 10 องศา ที่ Threshold -50 dB .....	53
ตารางที่ 4.2 ช่วงการประมาณการเกิด VHO ผิดพลาดที่ Threshold -50 dB .....	53
ตารางที่ 4.3 ช่วงการประมาณการเกิด VHO ผิดพลาดที่ Threshold -70 dB .....	53
ตารางที่ 4.4 การประมาณทิศทางผิดพลาดเฉลี่ย .....	54
ตารางที่ 4.5 ผลจากการประมาณจากทิศทางการเคลื่อนที่ .....	60
ตารางที่ 4.6 ผลการประมาณโดยใช้ช่วงเวลาพิจารณาในการเกิด VHO ผิดพลาดเมื่อเทียบผลจากแบบจำลอง .....	60



## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ในปัจจุบันการพัฒนาเทคโนโลยีระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ก้าวพ้นจากยุคที่สามเข้าสู่ยุคที่สี่ (4G) เรียบร้อยแล้ว โดยระบบ 4G มีแนวคิดที่สำคัญในการเชื่อมโยงการติดต่อจากเครือข่ายไร้สายที่แตกต่างกัน (Heterogenous Wireless Networks) ให้สามารถทำงานร่วมกันได้ เสมือนเป็นเครือข่ายเดียวกัน ตัวอย่างเครือข่ายไร้สายเหล่านี้ได้แก่ WLAN (Wireless Local Network), WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access), 3G หรือ UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) และ LTE (Long Term Evolution) ระบบเหล่านี้ได้ถูกกำหนดคุณลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน ทั้งในเรื่องของพื้นที่การครอบคลุม แถบความถี่ใช้งาน วิธีการรักษาความปลอดภัย และค่าบริการ เป็นต้น [1] ตัวอย่างเช่น WLAN สามารถให้บริการเชื่อมต่อข้อมูลความเร็วสูงในขณะที่ 3G หรือ UMTS ให้บริการความเร็วที่น้อยกว่า แต่พื้นที่การครอบคลุมกว้างกว่ามาก ดังนั้นแนวคิดของระบบ 4G จะทำให้สำเร็จได้นั้นต้องอาศัยปัจจัยสำคัญสองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นเรื่องของการจัด โปรโตคอลข้ามชั้น (Cross Layer Protocol) โดยมี IP เป็นแกนหลัก และส่วนที่สองคือการทำแฮนด์ออฟระหว่างเครือข่ายที่แตกต่างกัน ซึ่งถูกเรียกว่าการทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง ที่อนุญาตให้อุปกรณ์เคลื่อนที่ (Mobile Terminal) เลือกใช้เครือข่ายที่ให้ระดับของคุณภาพของการบริการ หรืออัตราการส่งข้อมูลที่ดีที่สุดในบริเวณนั้น สำหรับงานวิจัยนี้สนใจการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งเพราะเป็นการเชื่อมต่อแรกของความสำเร็จในระบบ 4G ปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งคือการเลือกเครือข่ายเพื่อเข้าใช้งาน สำหรับเทคนิคในปัจจุบันอาศัยข้อมูลจากความแรงของสัญญาณเพียงอย่างเดียว ทำให้เกิดการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็นบ่อยๆ ซึ่งเป็นปัญหาต่อระบบเครือข่ายเพราะจะมีการจองช่องสัญญาณที่ใช้งานไม่เต็มประสิทธิภาพอยู่เรื่อยๆ ในงานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางปรับปรุงการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งด้วยการใช้ทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่เข้าช่วยในการตัดสินใจ เพื่อช่วยลดการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็น ทำให้เครือข่ายมีประสิทธิภาพมากขึ้น นอกจากนี้ในการตัดสินใจทำแฮนด์ออฟแนวตั้งที่พัฒนาในงานวิจัยนี้จะคำนึงถึงระดับคุณภาพของการบริการที่ต้องการแตกต่างกันไปในแต่ละอุปกรณ์เคลื่อนที่ด้วย จึงเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการเข้าใช้เครือข่าย ทำให้งานวิจัยนี้สอดคล้องกับนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ (พ.ศ. 2555-2559) ยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 2 การสร้างศักยภาพและความสามารถในการพัฒนาทางเศรษฐกิจ กลยุทธ์การวิจัยที่

7 เพิ่มสมรรถนะและขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร แผนงานวิจัยที่ 1 การวิจัยเกี่ยวกับการเพิ่มสมรรถนะและพัฒนาศักยภาพขีดความสามารถทางเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร นอกจากนี้ยังตรงตามนโยบายเร่งด่วนที่จะเริ่มดำเนินการในปีแรก เรื่อง 1.1 การสร้างความเชื่อมั่นและกระตุ้นเศรษฐกิจในภาพรวมเพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นแก่ภาคประชาชนและเอกชนในการลงทุนและการบริโภค หัวข้อย่อย 1.1.4 เร่งสร้างความเชื่อมั่นของประเทศไทยในสายตาของชาวโลก และตรงตามนโยบายระยะการบริหารราชการ 3 ปี ของรัฐบาล เรื่อง 2.3 นโยบายเศรษฐกิจ ในหัวข้อ 2.3.5 นโยบายเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร

จากการสำรวจวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่าเทคนิคที่เสนอในงานวิจัยนี้เป็นเรื่องใหม่ที่ยังไม่เคยมีงานวิจัยใดเสนอมาก่อน จึงถือเป็นแนวทางใหม่ในการพัฒนาระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่สี่ ซึ่งจะเป็เทคโนโลยีที่สำคัญในอนาคต ทำให้นำไปสู่การสร้างฐานรากของอุตสาหกรรมด้านเทคโนโลยีสื่อสารอื่นๆ ของประเทศ จึงสอดคล้องกับกลุ่มเรื่องที่ควรวิจัยเร่งด่วนตามนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ (พ.ศ. 2555-2559) หัวข้อ 9. เทคโนโลยีใหม่และเทคโนโลยีที่สำคัญเพื่ออุตสาหกรรม

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาวิธีการทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง โดยอาศัยทิศทางการเคลื่อนที่เข้าร่วมตัดสินใจ
2. เพื่อสร้างองค์ความรู้ของการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งสำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่สี่
3. เพื่อสร้างเทคโนโลยีใหม่ที่มีศักยภาพในการแข่งขันกับต่างประเทศได้

## 1.3 แนวทางการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่สี่
2. ศึกษาการประมาณทิศทางของอุปกรณ์เคลื่อนที่
3. พัฒนาการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งจากทิศทางการเคลื่อนที่
4. จำลองแบบการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่สี่ในคอมพิวเตอร์ ด้วยโปรแกรม MATLAB
5. ทดสอบสมรรถนะการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งในคอมพิวเตอร์
6. ทดสอบสมรรถนะการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งที่ใช้ทิศทางการเคลื่อนที่ในคอมพิวเตอร์
7. ออกแบบและสร้างชุดวัดสัญญาณทดสอบ
8. วัดสัญญาณจริง และเปรียบเทียบกับผลจากการจำลองแบบ

9. เสนอบทความในงานประชุมวิชาการ
10. นำข้อเสนอแนะในงานประชุมวิชาการมาปรับปรุงงานวิจัย
11. สรุปผลสำเร็จของโครงการและทำรายงานโครงการ

#### 1.4 ผลสำเร็จของโครงการ

การเผยแพร่ผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมายสำหรับ โครงการนี้คือการตีพิมพ์บทความลงในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ หรือตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ ทั้งนี้ นอกจากจะเป็นการเผยแพร่ผลงานวิจัยแล้ว ยังเป็นการส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาขั้นต่อไปของโครงการนี้ โดยการแลกเปลี่ยนความเห็นและมุมมองใหม่ๆ จากนักวิจัยระดับนานาชาติ อันจะนำไปสู่การพัฒนา ระบบที่สมบูรณ์แบบ และแนวทางในการจัดสิทธิบัตรเพื่อประโยชน์เชิงพาณิชย์ในที่สุด

#### 1.5 การสำรวจปริทรรศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย

ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการสื่อสารไร้สายยุคที่ 4 (4G-Fourth Generation) มีความสำคัญอย่างมากสำหรับการเข้าถึงเครือข่ายสื่อสารไร้สายแบบทั่วถึงหรือไร้ขอบเขต (Seamless) โดยอุปกรณ์สื่อสารหรือสถานีโทรศัพท์เคลื่อนที่ (MS-Mobile Station) ไม่รู้สึกถึงการเปลี่ยนแปลงเมื่อข้ามไปใช้เครือข่ายสื่อสารอื่นๆ ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ เช่น การที่อุปกรณ์สื่อสารใช้ทรัพยากรจากเครือข่ายเซลลูลาร์แล้วเคลื่อนที่ข้ามไปใช้ทรัพยากรของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN-Wireless Local Area) ซึ่งตั้งอยู่ภายในเซลล์ของเครือข่ายเซลลูลาร์ อุปกรณ์สื่อสารจะปรับระบบวิทยุจากระบบเซลลูลาร์ไปเป็นระบบท้องถิ่นไร้สายโดยที่ยังคงติดต่อสื่อสารอย่างต่อเนื่อง ลักษณะการเคลื่อนที่แบบไร้รอยต่อ (Seamless Mobility) นี้เองนำไปสู่การพัฒนาวิธีการทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง (Vertical Handoff)

จากการสำรวจปริทรรศน์วรรณกรรมพบว่า การทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก จากงานวิจัยของ (Benoubira S , Frikha M , Tabbane S , Ayadi K , 2009) ได้เพิ่มฟังก์ชันที่เรียกว่า Media Independent Handoff (MIH) เข้าไประหว่างชั้นเดตาลิงค์เลเยอร์กับชั้นเน็ตเวิร์กเลเยอร์ใน IPV6 (Internet Protocol Version 6) เพื่อช่วยลดการเกิดการสูญเสียของข้อมูลและการหน่วงเวลาในการทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง งานวิจัยของ (Ge Kun, Ji Hong and Li Xi, 2009) ได้เสนอขั้นตอนในการทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง โดยใช้พีซีแอลจิกเข้ามาปรับปรุงประสิทธิภาพของการทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งเมื่ออุปกรณ์สื่อสารมีการเคลื่อนที่เร็วมาก งานวิจัยของ (Bejaoui T, Nasser N, 2008) ได้เสนอหลักในการจำกัด

การเกิดการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็น โดยใช้วิธีควบคุมตอบรับสายเรียกเข้าและใช้การ โปรแกรมแบบ เวลาจริง (real-time application) งานวิจัยของ (Lassoued I, Bonnin J-M, Belghith A, 2008) เสนอแนวทาง ในการจัดการกับการเคลื่อนย้ายของอุปกรณ์สื่อสารเพื่อช่วยดำเนินการเกี่ยวกับพฤติกรรมของการทำการทำ แฮนด์ออฟแนวตั้ง งานวิจัยของ (Tawil R, Pujolle G, Demerjian J , 2008) เสนอการใช้ฟังก์ชัน MIH ในการ หาเครือข่ายที่มีคุณภาพดีกว่าเพื่อทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง งานวิจัยของ (Ezzouhairi A, Quintero A, Pierre S, 2008) เป็นการใชัพรีซิชันในการตัดสินใจหาพลังงานที่เหมาะสมในการทำการทำแฮนด์ออฟ แนวตั้ง งานวิจัยของ (Yen-Wen Lin, Ta-He Huang, 2007) เสนอการใช้ Bi-CoA (Bi-Care of Address) ใน SIP (Session Initiation Protocol) พิจารณาการเกิดการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งในเครือข่ายไร้เพื่อเพิ่ม ประสิทธิภาพและลดการหน่วงเวลา งานวิจัยของ (Vidales P, Baliosian J , Serrat J, Mapp G, Stajano F, Hopper A, 2005) เสนอโปรแกรมใหม่ที่ใช้สนับสนุนการทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งแบบอัตโนมัติในระบบ 4G งานวิจัยของ (Hyo Soon Park, Sung Hoon Yoon, Tae Hyoun Kim, Jung Shin Park, Mi Sun Do and Jai Yong Lee , 2003) เสนอการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งของเครือข่ายเซลลูลาร์แบบซิติเอ็มเอกับเครือข่ายท้องถิ่นไร้ สายโดยพิจารณาจาก MA (Mobile Agent) และ SA (Subnet Agent) เพื่อช่วยลดการหน่วงเวลาในการทำการ ทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง และงานวิจัยของ (Li Ma, Fei Yu, Leung V, Randhawa T, 2003) เสนอวิธีการทำการ ทำแฮนด์ออฟแนวตั้งโดยการใช้ SCTP (Stream Control Transmission Protocol) ในการปรับปรุงการหน่วง เวลาและข้อมูลที่ได้รับให้ดีขึ้น

จะเห็นได้ว่างานวิจัยที่ได้สำรวจมาดังกล่าวมีวิธีการปรับปรุงคุณภาพการทำการแฮนด์ออฟแนวตั้งโดย เน้นไปที่การลดการหน่วงของเวลา (Delay) และลดการสูญหายของข้อมูล (Data loss) มีข้อดีคือช่วยให้การ รับและส่งข้อมูลผิดพลาดน้อยลง ข้อเสียคือยังมีการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็นเกิดขึ้น ส่วนใน งานวิจัยของ (Bejaoui T, Nasser N, 2008) ใช้วิธีการควบคุมสายเรียกเข้าเพื่อจำกัดการเกิดการทำการแฮนด์ออฟ แนวตั้ง ข้อดีคือสามารถลดการเกิดการทำการแฮนด์ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็นแต่มีข้อเสียคืออุปกรณ์สื่อสารอาจ ถูกปฏิเสธเมื่อมีการเรียกเข้าใช้บริการได้ (call blocking) เนื่องจากถูกควบคุมสายเรียกเข้า ซึ่งการทำแฮนด์ ออฟแนวตั้งแต่ละครั้งส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการ (QoS – Quality of Service) เกิดการหน่วงเวลา ระหว่างคู่สายและเกิดการสูญหายของข้อมูล ทำให้การรับและส่งข้อมูลผิดพลาดได้ เห็นได้ว่ยังไม่มื งานวิจัยใดที่เสนอวิธีการลดการเกิดการทำการแฮนด์ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็นโดยดูจากทิศทาง การเคลื่อนที่ของ อุปกรณ์สื่อสารและไม่จำเป็นต้องควบคุมสายเรียกเข้า ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการลดการทำการแฮนด์ ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็นจากการวัดจากความแรงของสัญญาณ (RSS-Received Signal Strength) ของทั้ง เครือข่ายเซลลูลาร์และเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายของอุปกรณ์สื่อสารเพื่อดูทิศทาง การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ สื่อสารว่าการที่อุปกรณ์สื่อสารข้าม ไปยังเครือข่ายที่ต่างชนิดกันควรทำการทำการแฮนด์ออฟแนวตั้งหรือไม่ควร

ทำ โดยคาดหวังว่าการใช้ทิศทางเข้ามาประกอบการตัดสินใจนั้นสามารถช่วยลดการเกิดการทำแฮนด์ออฟ  
แนวตั้งที่ไม่จำเป็นลงได้



## บทที่ 2 การทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง

### 2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้ผู้วิจัยจะได้กล่าวถึงองค์ความรู้ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการงานวิจัยซึ่งประกอบด้วยวิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ วิวัฒนาการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย การส่งผ่านคลื่นสัญญาณ พื้นฐานการทำแฮนด์ออฟ และเวอร์ติคอลลแฮนด์ออฟ ซึ่งเทคโนโลยีและเทคนิคเหล่านี้จะเป็นองค์ความรู้พื้นฐานที่สำคัญสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัย

### 2.2 วิวัฒนาการของระบบสื่อสาร

#### 2.2.1 วิวัฒนาการของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

วิวัฒนาการ โทรศัพท์เคลื่อนที่ในเชิงการเปลี่ยนแปลงเทคโนโลยีในภาพกว้างนั้นอาจแบ่งได้เป็น 4 ยุค ได้แก่ ยุค Wireless telegraphy (ยุคโทรศัพท์ไร้สาย), ยุคก่อนเซลลูลาร์ (Pre-cellular), ยุคเซลลูลาร์ (Cellular) และยุคสื่อสารเคลื่อนที่ (Mobile) โคขช่วงของยุคนวัตกรรม สื่อสารเคลื่อนที่ (Mobile) จะแบ่งออกเป็น อนาล็อก(Analog), ดิจิตัล (Digital), สื่อประสม (Multimedia) และ บรอดแบนด์ (Broadband) ซึ่งอันที่จริงแล้วนั้น นวัตกรรมเทคโนโลยีเป็นกุญแจแห่งความสำเร็จอันหนึ่งที่สำคัญ แต่อย่างไรก็ตามนวัตกรรมเทคโนโลยีไม่ใช่ทุกสิ่ง ที่จะสามารถนำบริษัทที่เป็นผู้นำไปสู่ความสำเร็จได้ แต่จะต้องมีจุดสมดุลย์ระหว่างนวัตกรรมเทคโนโลยี และนวัตกรรมการตลาดควบคู่กันไป ในแง่วิศวกรรมแล้ว ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่มีวิวัฒนาการตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน แบ่งได้หลายยุค(Generation) ขึ้นอยู่กับมุมมองของแต่ละกลุ่มวิชาการ โดยในแต่ละยุคจะมีเทคโนโลยีมาตรฐานและการให้บริการในเชิงเทคนิคและ Application ที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 1) จุดกำเนิดยุคก่อนเซลลูลาร์ (Pre-cellular)

ในปี 1895 นักวิทยาศาสตร์นามว่า Marconi ได้ส่งสัญญาณคลื่นวิทยุเป็นระยะทางไกลกว่า 1 ไมล์ ต่อมาในช่วงต้นทศวรรษที่ 1920 ได้เกิดนวัตกรรมไร้สาย Amplitude Modulation (AM) และ Frequency Modulation (FM) ตามมา จนกระทั่งการส่งสัญญาณคลื่นวิทยุได้ถูกนำมาพัฒนาเพื่อนำไปใช้ทางด้าน

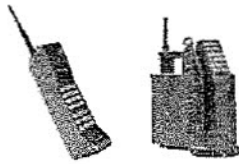
การทหาร ต่อมาในปี 1945 องค์กรกิจการโทรคมนาคมของประเทศสหรัฐอเมริกา (The US Federal Communications Commission :FCC) ได้เริ่มทำการกำหนดการจัดสรรคลื่นความถี่และหาวิธีการใช้ความถี่ จึงทำให้เกิดแนวความคิดของเซลลูลาร์ (Cellular) ขึ้น โดยในเวลาเดียวกันนั้นเองก็เกิดการปฏิวัติทางด้าน อิเล็กทรอนิกส์ ทำให้สามารถบรรจุวงจรที่ซับซ้อนสูงไว้ในไมโครชิป (Microchip) เล็กๆตัวเดียวได้ โดยเรา เรียกว่า Integrated circuits (ICs) ซึ่งเริ่มมาจากแนวคิดของ Dr.Gordon Moore โดยต่อมา ICs ก็ได้กลายมา เป็นองค์ประกอบสำคัญในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิด หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 บริษัท AT&T เป็นผู้บุกเบิกการให้บริการการสื่อสารแบบไร้สายในสหรัฐอเมริกา ต่อมาในปี 1964 บริษัท AT&T ได้เริ่มธุรกิจ ในแนวคิดการให้บริการอย่างมีประสิทธิภาพและรวดเร็ว โดยในยุคนี้ สหรัฐอเมริกาประสบความสำเร็จอย่าง สิ้นหนามและก้าวหน้ามาเป็นผู้นำการคมนาคมแบบไร้สาย (ปี 1983) โดยที่ในปี 1983 เป็นปีที่ “ยุคก่อน เซลลูลาร์ (Pre-cellular)” เจริญรุ่งเรืองมากที่สุด ในช่วงนี้ยุโรปตะวันตกก็ได้เริ่มเข้ามามีบทบาทมากขึ้นแต่ก็ ยังเป็นรองสหรัฐอเมริกาอยู่

## 2) ยุค 1G (First Generation) : อนาล็อกเซลลูลาร์ (Analog cellular)

ในช่วงต้นทศวรรษที่ 1980 เป็นยุคเริ่มต้นของ 1G (1st Generation) โดยสามารถส่งผ่านข้อมูลด้วย ระบบอนาล็อก (Analog) โดยระบบการสื่อสารด้วยเสียงนั้นใช้มาตรฐาน 2 ระบบ คือ ระบบ NMT ของ ประเทศในแถบ Nordic NMT และระบบ AMPS ของสหรัฐอเมริกา ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 1G ถือว่า เป็นยุคเริ่มต้น หรือ Initial Stage โดยการพัฒนามุ่งเน้นเพื่อการสื่อสารทางเสียงเป็นหลัก โดยในยุคนี้เป็นยุค ที่ใช้เทคโนโลยีระบบอนาล็อก (Analog) คือใช้สัญญาณวิทยุในการส่งคลื่นเสียง โดยมีบริษัท AT&T เป็นผู้ ให้บริการ และแพร่หลายให้บริการแก่ประชาชนทั่วไปเมื่อได้มีการคิดค้นระบบ Cellular ขึ้น โดยสถาบันวิจัย Bell Labs ของ AT&T (ในช่วงแรก Bell Labs เป็นองค์กรวิจัยภายใต้การบริหารงานของบริษัท AT&T แต่ ต่อมาภายหลังได้แยกตัวออกเป็นอิสระเพื่อการสร้างนวัตกรรมแบบเปิดมากขึ้น) โดยระบบ โทรศัพท์เคลื่อนที่ 1G ใช้ระบบพื้นฐานการส่งสัญญาณแบบ FDMA (Frequency Division Multiple Access) ซึ่งมีหลักการจัดสรรช่องสัญญาณด้วยการแบ่งช่องสัญญาณออกเป็นช่องความถี่ย่อยจำนวนหลายๆช่อง และ ผู้ใช้บริการ โทรศัพท์เคลื่อนที่แต่ละรายจะได้รับสิทธิในการเข้าถึงช่องการติดต่อสื่อสารเฉพาะช่องที่ว่าง อย่างไม่รู้ค่าถ้าผู้ใช้มีจำนวนมาก ระบบก็จะไม่สามารถรองรับการจองช่องสัญญาณได้ ดังนั้น FDMA จึง ไม่ได้รับความนิยมในระบบสื่อสารเคลื่อนที่ในเวลาต่อมาเนื่องจากมีผู้ใช้เพิ่มขึ้นในปริมาณมหาศาล ในช่วง เวลา 1G นั้น เทคนิค FDMA ดังกล่าวได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อใช้กับมาตรฐาน โทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุคแรกๆ เช่น

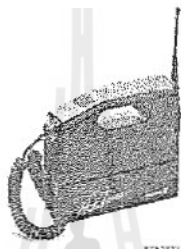
- NMT (Nordic Mobile Telephone) เป็นระบบที่มีการออกแบบและพัฒนาใช้ในกลุ่มประเทศ สแกนดิเนเวีย ใช้งานในย่านความถี่ 450 MHz





รูปที่ 2.1 โทรศัพท์ระบบ NMT (Nordic Mobile Telephone)

• AMPS (Advance Mobile Phone System) ถูกพัฒนาขึ้นใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา ใช้งานในย่านความถี่ 800 MHz



รูปที่ 2.2 โทรศัพท์ระบบ AMPS (Advance Mobile Phone System)

• TACS (Total Access Communication System) เป็นระบบที่มีการออกแบบและพัฒนาใช้ใน  
ประเทศอังกฤษ ใช้งานในย่านความถี่ 900 MHz

จุดสูงสุดของยุค 1G อยู่ในช่วงปี 1991 โดยอเมริกาเหนือมียอดขายผู้สั่งซื้อเครื่องมือสื่อสารมากกว่าครึ่ง  
ของยอดขายโดยรวม (53.9%) ส่วนยุโรปตะวันตกมีประมาณ 27.8% และเอเชียแปซิฟิกมี 16% ในช่วงเวลานี้  
สหรัฐอเมริกาทำอำนาจทางการตลาดเหนือกว่าประเทศอื่นมากและยังขยายตลาดไปยังแคนาดา, เปอโตริโก  
และซิติ ส่วนในเอเชียแปซิฟิก ประเทศญี่ปุ่นเริ่มเข้ามาเป็นผู้นำและมีบทบาทในธุรกิจสื่อสารของภูมิภาคนี้  
แต่จากกฎระเบียบที่เข้มงวดของญี่ปุ่นทำให้ญี่ปุ่นยังไม่ได้ริบอนุญาตให้แข่งขันในตลาดต่างประเทศมากนัก  
และในช่วงปลายยุค 1G ประเทศออสเตรเลียเริ่มรุกตลาดอย่างรวดเร็ว ส่วนในยุโรปตะวันออกธุรกิจสื่อสารมี  
น้อยมากจนกระทั่งสิ้นยุคของสงครามเย็น

3) ยุค 2G (Second Generation) : ดิจิตัลเซลลูลาร์ (Digital cellular)

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 หรือ 2G (2nd Generation) ถือว่าเป็นยุคช่วงเติบโตอย่างรวดเร็ว  
(โดยเฉพาะช่วงปลายยุค) โดยการพัฒนาอย่างมุ่งมั่นเพื่อการสื่อสารทางเสียง แต่ในขณะเดียวกันก็มีการ  
พัฒนาระบบให้สามารถรองรับการสื่อสารข้อมูลความเร็วต่ำในระดับต่ำกว่า 64 Kbps โดยเป็นยุคที่ใช้  
เทคโนโลยีระบบดิจิตอลเซลลูลาร์ (Digital Cellular) เป็นการเข้ารหัสดิจิตอลส่งทางคลื่นไมโครเวฟ โดยมี  
เทคโนโลยีการเข้าถึงช่องสัญญาณของผู้ใช้เป็นลักษณะเชิงผสมระหว่าง FDMA และ TDMA (Time Division

Multiple Access) เพื่อเพิ่มช่องการสื่อสารให้มากขึ้นเพื่อสามารถรองรับผู้ใช้ที่มีปริมาณสูงขึ้นได้ ด้วยการแบ่งช่องความถี่ย่อยผสมกับการแบ่ง Slot เวลาเพื่อการสลับเวลาในการเข้าถึงช่องสัญญาณจึงทำให้สามารถเพิ่มจำนวนคู่สายมากขึ้น ในยุค 2G นี้เป็นยุคที่เริ่มสามารถใช้งานทางค่านข้อมูล (Data) ได้ นอกเหนือจากการใช้งานด้านเสียง (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 รวมทั้งประเทศไทยด้วย เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีคุณภาพเสียงที่ดีมากและมีการบริหารการเข้าถึงช่องสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพ

- PCN (Personal Communication Network) พัฒนาโดยกลุ่มประเทศในยุโรป ใช้งานในย่านความถี่ 1800 MHz

- CDMA (Code Division Multiplex Access) หรือมีชื่อทางเทคนิคว่า IS-95 โดยในประเทศญี่ปุ่นมีการพัฒนาเครือข่าย CDMA ในมาตรฐานเฉพาะตัวเอง ซึ่งต่างกับในประเทศสหรัฐอเมริกาและอีกหลายประเทศในทวีปเอเชีย ซึ่งมีวิวัฒนาการการปรับเปลี่ยนและพัฒนาเครือข่าย CDMA เพื่อเข้าสู่มาตรฐาน CDMA2000 สำหรับในยุโรปนั้นจะมีการพัฒนาเครือข่ายในมาตรฐาน WCDMA โดยสรุปคือ การพัฒนาเทคโนโลยี CDMA มีการพัฒนา 2 สายหลักๆคือ สหรัฐอเมริกาและยุโรป นั่นเอง

- TDMA (Time Division Multiple Access) หรือ IS-136 ได้แก่ D-AMPS ตั้งขึ้นโดยทวีปอเมริกา ในปี 1988 โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาขีดความสามารถของระบบ AMPS ที่ใช้งานอยู่ให้เป็นระบบดิจิทัล (Digital) แต่ยังสามารถใช้งานกับระบบอนาล็อก (Analog) เก่าที่ใช้มาก่อนได้

ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงไปสู่ยุค 2G ในปี 1992 สหรัฐอเมริกาเป็นประเทศที่ร่ำรวยมากที่สุดจากการครอบงำตลาด 1G แต่ต่อมาเมื่อกลุ่มประชาคมยุโรปได้ผลิต GSM ขึ้นมาในต้นทศวรรษที่ 1990 ซึ่งเป็นระบบเครือข่ายดิจิทัล (Digital) ระบบแรกของเซลล์ลูลาร์ โดยอุปกรณ์ GSM มีลักษณะเด่นคือ มีขนาดเล็กและเบาแต่มีความปลอดภัยสูง และยังมีอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ที่ยาวนานขึ้นมาก จึงได้กลายมาเป็นผู้นำในตลาดสื่อสารและได้ขยาย GSM ไปทั่วโลก ส่วนสหรัฐอเมริกาสลับบทบาทในการเป็นผู้นำการพัฒนาเพราะมีการแตกตัวของธุรกิจอย่างซับซ้อน ในช่วงปี 2000 ยุโรปตะวันตกประสบความสำเร็จมากโดยครองตลาดถึง 36.8% เทียบกับเอเชียที่เติบโต 31.1% ขณะที่สหรัฐอเมริกากลบตกลงเหลือเพียง 15% และต่อมาในปี 1997 ถือได้ว่าเป็นปีจุดเปลี่ยน เมื่อประเทศทางอเมริกาเหนือได้สูญเสียความเป็นผู้นำให้กับประเทศทางยุโรปตะวันตก ช่วงเวลาการเติบโตของโมโตโรลา ได้สิ้นสุดลง โดยในขณะนั้น Ericsson และ Nokia เป็น

ผู้นำของอุตสาหกรรม โดยทั้งสองเป็นผู้ผลิตที่มีส่วนครองตลาดอุปกรณ์ทั้งภายในประเทศและต่างประเทศมากที่สุด ซึ่งยุโรปตะวันตกและเอเชียแปซิฟิกได้ใช้ระบบ GSM มากถึง 57% ของตลาด

#### 4) ยุค 2.5G (2.5 Generation) : ต้นยุค โมบายอินเทอร์เน็ต (First Era of Mobile Internet)

คำว่า “ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 2.5G” นั้น มีนักวิชาการหลายท่านถือว่าเป็นการเรียกกันเองในหมู่ผู้คนในอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นช่วงเวลารอคอยต่อระหว่างยุค 2G และ 3G โดยมีจุดเด่นตรงที่ระบบ 2G เริ่มสามารถต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ด้วยความเร็วที่พอยอมรับได้จึงเพิ่มเติมขีดความสามารถในการให้บริการได้มากขึ้น ก่อนที่จะเข้าสู่ยุคที่ 3 ของเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ สิ่งที่เห็นได้ชัดเจนคือข้อกำหนดมาตรฐานทางเทคนิคของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุค 2.5G ส่วนใหญ่เป็นการเตรียมความพร้อมให้กับเครือข่ายก่อนที่จะมีการก้าวเข้าสู่ (Transition) ยุคที่ 3 นั้นเอง โดยสามารถกล่าวถึงรายละเอียดของเทคโนโลยีต่างๆที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

- เทคโนโลยี HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) เป็นเทคนิคการรับส่งข้อมูลอัตราเร็วสูงผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นโดยบริษัท Nokia โดยการลงทุนติดตั้งอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เพิ่มเติมในเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM บางส่วน ซึ่งก็ได้รับการตอบรับจากผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ในประเทศต่างๆ ส่วนใหญ่ล้วนสนับสนุนเทคโนโลยี HSCSD สำหรับการตัดสินใจเปิดให้บริการนั้นจะขึ้นอยู่กับกลยุทธ์ทางการตลาดของบริษัทผู้ให้บริการเป็นประการสำคัญ

- เทคโนโลยี GPRS (Generic Packet Radio Service) เนื่องจากเทคโนโลยี HSCSD นั้นถือเป็นเพียงการต่อยอดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในเวลาชั่วคราว แต่สำหรับ GPRS นั้นมีหัวใจหลักคือการนำเทคโนโลยีการสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ต (Packet switching technology) มาผสมผสานกับการทำงานของระบบเครือข่าย GSM เดิม (Circuit switching technology) โดยการนำเอามาตรฐาน Internet Protocol (IP) มาพัฒนาให้ระบบ GSM สามารถส่งข้อมูลบนมาตรฐาน IP อย่างมีประสิทธิภาพ โดยสามารถส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดถึง 171 kbps และมีการพัฒนาปรับปรุงมาตรฐานการสื่อสารทางคลื่นวิทยุ (Radio Interface) ระหว่างสถานีฐานและเครื่องลูกข่าย จึงทำให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM สามารถต่อกับอินเทอร์เน็ตได้อย่างมีประสิทธิภาพ

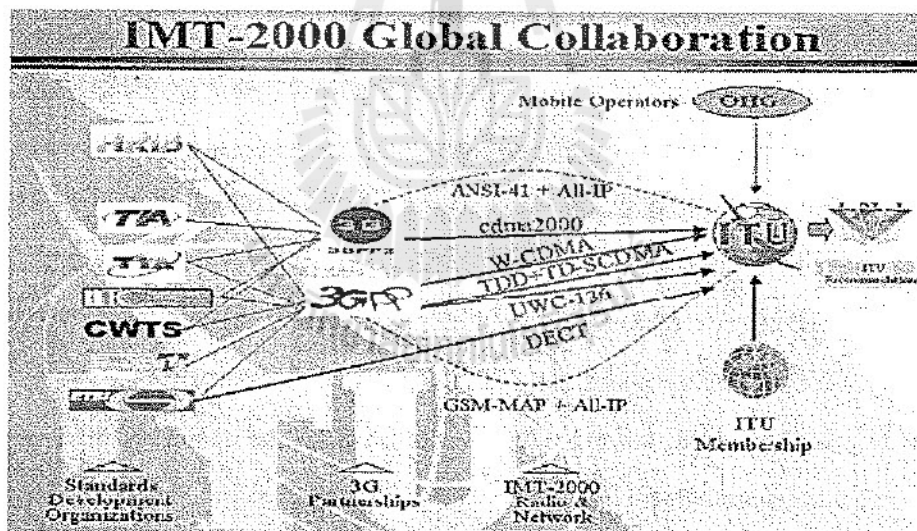
- เทคโนโลยี EDGE (Enhance Data Rates for Global Evolution) เป็นเทคโนโลยีที่ได้รับการคิดค้นและพัฒนาขึ้นเพื่อรองรับการสื่อสารข้อมูลด้วยอัตราเร็วที่สูงสุดถึง 384 kbps อย่างไรก็ตามในการพัฒนาเครือข่าย GSM หรือ GPRS ให้รองรับเทคโนโลยี EDGE จำเป็นต้องลงทุนสูงมาก เนื่องจากต้องมีการเปลี่ยนอุปกรณ์รับส่งสัญญาณวิทยุของสถานีฐาน โดย EDGE สามารถให้บริการ VDO Streaming และ TV on Mobile ได้

- เทคโนโลยี CDMA2000 (Code Division Multiple Access 2000) มีผู้คนจำนวนมากเข้าใจผิดคิดว่าระบบ CDMA เป็นมาตรฐานที่เกิดในยุค 3G ซึ่งอันที่จริงมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ CDMA หรือ IS-

95. ถือเป็นมาตรฐานที่ได้รับการนำไปใช้งานในเชิงธุรกิจมากเป็นอันดับที่สองรองลงมาจากมาตรฐาน GSM เมื่อครั้งที่เริ่มมีการก้าวเข้าสู่ยุค 2.5G แล้ว

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

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 3G (3rd Generation) เป็นยุคที่มีการขยายตัวสูงต่อจาก 2.5G โดยวัตถุประสงค์หลักของการพัฒนานั้นมุ่งเน้นในการให้บริการสื่อประสม (Multimedia) โดยที่ยังคงคุณภาพการให้บริการทางเสียง โดยมีขีดความสามารถที่โดดเด่นคือ สามารถรับ-ส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดถึง 2 Mbps จึงทำให้ระบบ 3G สามารถให้บริการที่หลากหลายมากขึ้น เช่น การรับ-ส่งข้อมูลที่มีขนาดใหญ่, การใช้บริการ Video/Call Conference, Download เพลง, บริการ TV Streaming ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับเทคโนโลยี 2G กับ 3G แล้วเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G มีข้อสังเกตความถี่ รวมทั้งความจุในการรับส่งข้อมูลที่มากกว่า และคุณสมบัติสำคัญอีกประการหนึ่งของเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G คือ การเชื่อมต่อกับโครงข่ายตลอดเวลา (Always On) โดย ITU ได้กำหนดมาตรฐานสากล 3G ไว้ใน IMT-2000 ซึ่งประกอบด้วยมาตรฐานการทำงาน 5 แบบ ได้แก่ W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access), CDMA2000 (Code Division Multiple Access 2000), TD-CDMA/TD-SCDMA, UWC-136 และ DECT



รูปที่ 2.3 IMT-2000 Global Collaboration

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 3G (3rd Generation) เป็นยุคที่มีการขยายตัวสูงต่อจาก 2.5G โดยวัตถุประสงค์หลักของการพัฒนานั้นมุ่งเน้นในการให้บริการสื่อประสม (Multimedia) โดยที่ยังคงคุณภาพการให้บริการทางเสียง โดยมีขีดความสามารถที่โดดเด่นคือ สามารถรับ-ส่งข้อมูลด้วยความเร็วสูงสุดถึง 2 Mbps จึงทำให้ระบบ 3G สามารถให้บริการที่หลากหลายมากขึ้น เช่น การรับ-ส่งข้อมูลที่มีขนาดใหญ่, การ

ให้บริการ Video/Call Conference, Download เพลง, บริการ TV Streaming ซึ่งถ้าเปรียบเทียบกับเทคโนโลยี 2G กับ 3G แล้วเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G มีช่องสัญญาณความถี่ รวมทั้งความจุในการรับส่งข้อมูลที่มากกว่า และคุณสมบัติสำคัญอีกประการหนึ่งของเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G คือ การเชื่อมต่อกับโครงข่ายตลอดเวลา (Always On) โดย ITU ได้กำหนดมาตรฐานสากล 3G ไว้ใน IMT-2000 ซึ่งประกอบด้วยมาตรฐานการทำงาน 5 แบบ ได้แก่ W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access), CDMA2000 (Code Division Multiple Access 2000), TD-CDMA/TD-SCDMA, UWC-136 และ DECT

ในปี 1999 สมาพันธ์โทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU) ได้ประกาศให้ระบบ 3G เป็นมาตรฐานสากล โดยมี 3 เทคโนโลยีหลักดังนี้

- WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) กลุ่มมาตรฐาน IMT-2000/UMTS (Universal Mobile Telecommunication Services) ทำการรับผิดชอบการพัฒนามาตรฐาน WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access) สำหรับมาตรฐาน WCDMAนอกจากจะเป็นเส้นทางในการพัฒนาสู่มาตรฐาน 3G ของผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM แล้ว ยังได้รับการยอมรับจากผู้ให้บริการรายใหญ่อย่างบริษัท NTT DoCoMo ผู้เปิดให้บริการ โทรศัพท์เคลื่อนที่ 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 รับผิดชอบการพัฒนามาตรฐานโดยองค์กร 3GPP2 มีเทคโนโลยีหลักคือ cdma2000-3xRTT ที่มีศักยภาพเทียบเท่ากับมาตรฐาน WCDMA ของค่ายยุโรป แต่ปัจจุบันยังไม่มีกำหนดความพร้อมสำหรับให้บริการเชิงพาณิชย์ที่ชัดเจน สำหรับในประเทศไทย บริษัท ฮัทซันตัน ซินอที ไวร์เลส มัลติมีเดีย 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 WirelessTelecommunication Standard Group ของรัฐบาลจีน และได้ประกาศให้ TD-SCDMA เป็นมาตรฐานเครือข่ายโทรศัพท์มือถือของประเทศในเดือนตุลาคมปี 2002 มาตรฐานดังกล่าวใช้ความถี่ช่วง 155 MHz เป็นช่องสัญญาณการสื่อสาร ซึ่งมาตรฐาน TD-SCDMA เป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายประเภท Stand alone ครอบคลุมพื้นที่กว้างใหญ่ และที่สำคัญคือสามารถรองรับเทคโนโลยี GSM (Global System for Mobile Communications) และ WCDMA ได้

วิวัฒนาการของเทคโนโลยี 3G ที่มีการพัฒนาจากมาตรฐาน CDMA โดยแบ่งเป็น 2 ค่ายหลักคือ

(1) ค่ายบริษัท Qualcomm ของสหรัฐอเมริกา ด้วยเทคโนโลยี CDMA2000 และพัฒนาไปเป็น 1xEVDO

RevA (เครือข่าย CAT-HUTCH ได้ติดตั้งแล้วในประเทศไทย) และ 1xEVDO RevB และในส่วนของมาตรฐาน (2) ค่ายยุโรป ด้วยเทคโนโลยี WCDMA (UMTS) ก็มีการพัฒนาเป็น HSDPA และจะพัฒนาต่อ ยอดไปจนถึง HSUPA (HSPA) ในช่วงปี 2007 -- 2009

ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้มาตรฐานเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G แบบ WCDMA มีแนวโน้มของการประสบความสำเร็จทางธุรกิจที่รวดเร็วกว่ามาตรฐาน 2G จนถึง 2.5G นั้น มีเหตุผลมาจากการปฏิวัติรูปแบบของเทคโนโลยีเครือข่ายเพื่อตอบสนองรูปแบบการสร้างความร่วมมือทางธุรกิจให้ผลิตภัณฑ์บริการ Non-Voice อย่างเต็มรูปแบบ จากรูปแสดงให้เห็นถึงวิวัฒนาการของเทคโนโลยี GSM, GPRS, EDGE ที่พัฒนาเป็น 3G/UMTS ไปจนถึง HSDPA ซึ่งผลักดันให้มีการหลอมรวมกันของเทคโนโลยี (Technology convergence) ซึ่งเป็นการรวมกันระหว่างระบบ Fixed/mobile และ Internet โดยมีการเพิ่มศักยภาพทั้งในด้านการพัฒนาอัตราการรับส่งข้อมูลให้สูงขึ้น และมีความสามารถในการเคลื่อนที่ (Mobility) มากขึ้น

ทั้งนี้ UMTS Forum ได้กล่าวถึงจุดแข็งของเทคโนโลยีโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G มาตรฐาน WCDMA ซึ่งจะนำความสำเร็จในการดำเนินธุรกิจให้กับผู้ประกอบการดังนี้

- เครือข่าย WCDMA มีขีดความสามารถในการรองรับข้อมูลแบบ Voice และ Non-Voice โดยในแง่ของผู้ใช้บริการจะรับรู้ได้ว่าคุณภาพเสียงจากการใช้งานเครือข่าย 3G ชัดเจนกว่า หรืออย่างน้อยเทียบเท่าการสนทนาผ่านเครือข่าย 2G ส่วนการรับส่งข้อมูลแบบ Non-Voice จะรับรู้ถึงอัตราเร็วในการสื่อสารที่สูงกว่าการใช้งานผ่านเครือข่าย 2.5G มาก อันเป็นผลมาจากการปรับเปลี่ยนเทคโนโลยีเครือข่าย

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

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

- WCDMA เป็นมาตรฐานสื่อสารเคลื่อนที่แบบแถบความถี่กว้าง (Wideband) อันนำมาซึ่งประสิทธิภาพในการเพิ่มขีดความสามารถในการให้บริการด้วยความเร็วสูงสุดถึง 2 Mbps ในขณะที่มาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ GSM ไม่สามารถพัฒนาให้รองรับการสื่อสารข้อมูลได้มากกว่าเทคโนโลยี



EDGE ซึ่งรองรับข้อมูลได้ด้วยอัตราเร็วสูงสุดเพียง 384 kbps เนื่องจากเป็นระบบแบบแถบความถี่แคบ (Narrow Band) จึงยากแก่การบริหารทรัพยากรความถี่

- ระบบ WCDMA ได้ถูกออกแบบให้รองรับเทคโนโลยีในอนาคตและเป็นไปตามมาตรฐานสากล โดยเฉพาะมาตรฐาน IETF (Internet Engineering Task Force) ที่ทำให้ผู้ให้บริการ (Operator) สามารถเปิดโอกาสให้พันธมิตรทางธุรกิจซึ่งมีความเชี่ยวชาญในการพัฒนาโปรแกรมหรือบริการพิเศษต่างๆบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ไม่ต้องปรับตัวตามเทคโนโลยีใหม่ตลอดเวลาจนเป็นอุปสรรคต่อการคิดนวัตกรรมบริการใหม่ๆ โดยใช้ทักษะความสามารถและความชำนาญที่มีอยู่บนเทคโนโลยีมาตรฐาน จึงเป็นการกระตุ้นให้เกิดความคิดสร้างสรรค์ในการสร้างบริการประเภท Non-Voice รูปแบบใหม่ๆ ได้อย่างง่ายดาย

- ในอนาคตมาตรฐานโทรศัพท์เคลื่อนที่ 3G มีทิศทางพัฒนาที่ชัดเจนในการรวมตัวกับมาตรฐานสื่อสารไร้สายชนิดอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นมาตรฐาน Wireless LAN (IEEE802.11b/g) หรือ WiMAX (IEEE802.16d/e/e+) ทำให้ผู้ใช้บริการเครือข่ายไร้สายสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้งานในเครือข่ายใดๆ ก็ได้ตามความเหมาะสมทางภูมิประเทศ โดยยังคงได้รับการดูแลโดยผู้ให้บริการเครือข่าย 3G

เทคโนโลยีของการสื่อสารไม่ได้หยุดเพียงเท่านี้ซึ่งในหัวข้อที่ 2.3 จะกล่าวถึงการพัฒนาการสื่อสารในยุคที่ 4 ต่อไป

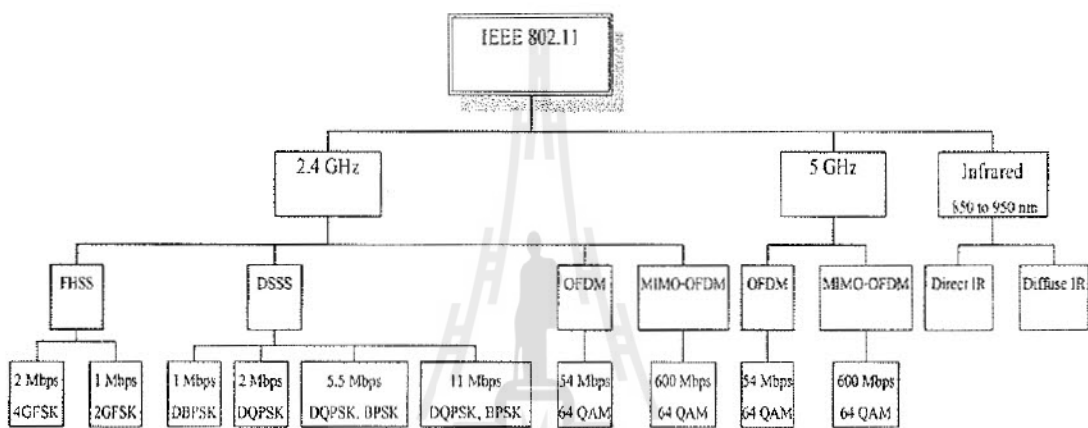
## 2.2.2 วิวัฒนาการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

เครือข่ายท้องถิ่นไร้ (Wireless Local Area Network -WLAN) สายถูกพัฒนาขึ้นมาเป็นครั้งแรกในยุค 1980 โดยใช้ความถี่ย่าน 900 MHz ซึ่งใช้ความถี่ย่าน ISM Band นี้ และด้วยความที่ระบบไร้สายย่าน 900 MHz นี้ใช้ความถี่เดียวกับระบบโทรศัพท์แบบเซลลูลาร์ ทำให้สะดวกและประหยัดในการพัฒนาระบบเครือข่าย แต่ก็เป็นที่น่าเสียดายเพราะเครือข่ายไร้สายที่ใช้ความถี่นี้ไม่สามารถวางจำหน่ายได้เนื่องจากบางประเทศได้สงวนย่านความถี่ 900 MHz ไปใช้กับระบบโทรศัพท์มือถือ เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายย่านนี้จึงไม่เป็นที่นิยม

ในช่วงยุคปี 1990 เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายย่าน 2.4 GHz ได้ถูกพัฒนาขึ้น ก็เพราะความถี่ย่านนี้เป็นความถี่สูงมาก จึงพัฒนาระบบเครื่องรับและส่งได้ยาก ทำให้ไม่ค่อยมีผู้นิยมใช้ ประเทศต่าง ๆ ก็ยังไม่ได้จัดสรรความถี่ 2.4 GHz นี้ไปใช้งาน ทำให้อุปกรณ์ไร้สายที่ใช้ความถี่นี้มีโอกาสเติบโตได้มากกว่าระบบอื่น แต่มีผู้ผลิตอุปกรณ์ไร้สายหลายรายต่างพัฒนามาตรฐานของตน ทำให้ใช้ร่วมกันไม่ได้จึงเกิดปัญหาขึ้นมา และในปี 1992 องค์กรที่มีชื่อว่า IEEE ( Institute of Electrical and Electronics Engineers) จึงเข้ามาทำหน้าที่

กำหนดมาตรฐานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายแล้วตั้งมาตรฐาน 802.11 เพื่อใช้ระบุมาตรฐานท้องถิ่นไร้สายรุ่นต่าง ๆ ออกมา

มาตรฐานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายนั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ๆ ตามคลื่นความถี่ที่ใช้กัน กลุ่มแรกคือ ย่านความถี่ 2.4 GHz กลุ่มที่สองคือ ย่านความถี่ 5 GHz ส่วนกลุ่มสุดท้ายใช้แสงอินฟราเรด (infrared) เพื่อการติดต่อ โดยแต่ละประเภทก็มีข้อดีและข้อเสียต่างกัน เครือข่ายไร้สายย่านความถี่ 2.4 GHz ได้รับความนิยมเพราะมีต้นทุนในการผลิตอุปกรณ์ที่ต่ำกว่า และย่านความถี่ 2.4 GHz นี้สามารถเดินทางได้ไกลกว่าย่าน 5 GHz



รูปที่ 2.4 เครือข่ายไร้สายประเภทต่าง ๆ ตามมาตรฐาน 802.11

### 1) เครือข่ายไร้สายที่ใช้แสงอินฟราเรด

เครือข่ายไร้สายที่ใช้แสงอินฟราเรดนี้ถูกพัฒนาในยุคแรก ๆ เหมือนกัน แต่ไม่เป็นที่นิยมใช้ เพราะมีความเร็วในการทำงานต่ำ และอุปกรณ์ค่อนข้างแพง ปัจจุบันไม่มีวางจำหน่ายแล้ว แต่สาเหตุสำคัญที่ไม่มีการนำไปใช้งานในทางปฏิบัติคือ อุปกรณ์เครื่องรับและเครื่องส่งจะต้องอยู่ในแนวสายตา (Line of Sight - LoS) เพื่อให้สามารถรับและส่งสัญญาณได้ หากอยู่นอกระยะสายตาแล้วก็จะแทบจะรับสัญญาณไม่ได้เลย ทางด้านผู้พัฒนาที่ไม่ได้หยุดแค่นั้น เขาก็ได้พัฒนา Diffused IR โดยมีหลักการคือ ใช้แสงอินฟราเรดที่สะท้อนกระจายไปตามวัตถุต่าง ๆ เช่น ผนังห้อง ประตู ตู้ ก็ไม่จำเป็นต้องวางเครื่องรับและเครื่องส่งแสงอินฟราเรดไว้ในระดับสายตาอีกต่อไป แสงอินฟราเรดสามารถสะท้อนไปมาในห้องได้ แต่ก็จำกัดการใช้งานไว้ในห้องเดียวเท่านั้น ส่วนระยะทางใช้ได้เพียง 25-35 ฟุตที่ความเร็ว 1-2 Mbps ปัจจุบันเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้แสงอินฟราเรดไม่ค่อยมีผู้ผลิตอุปกรณ์ออกมาใช้แล้ว ที่เหลือส่วนมากก็จะเป็นผู้ผลิตรายย่อยที่ไม่มีชื่อเสียงมากนัก ดังนั้น การใช้งานเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายที่ใช้แสงอินฟราเรดจึงหมดยุคไป แต่ก็ยังมีการใช้งานแสงอินฟราเรดในอุปกรณ์คอมพิวเตอร์อยู่ทั่วไป โดยจะเป็นการใช้งานจากพอร์ตอนฟราเรดที่ติดตั้งมาไว้



แล้วในอุปกรณ์พีดีเอ หรือ โน้ตบุ๊ก เพื่อติดต่อสื่อสารระยะใกล้ ๆ เท่านั้น ซึ่งพอร์ตนี้อาจมีความเร็วประมาณ 4 Mbps (FIR) และทำงานได้ระยะไกลสุดเพียง 2 เมตรเท่านั้น

## 2) เครื่องข่ายไร้สายที่ใช้บลูทูธ

บลูทูธ (Bluetooth) เป็นมาตรฐานที่สามารถใช้สร้างเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สายส่วนตัวได้ แม้ว่าจะไม่อยู่ในมาตรฐาน 802.11 ที่ใช้ในระบบเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สาย แต่เพราะบลูทูธนั้นถูกพัฒนามาจากเป้าหมายที่ใช้ต่อระหว่างอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เช่น พีดีเอ โทรศัพท์มือถือ โน้ตบุ๊กในระยะสั้น ๆ และมีความเร็วต่ำที่ประมาณ 3 Mbps (Bluetooth+EDR) และระยะการทำงานต่ำเพียง 10 เมตร จึงไม่นำมาใช้เป็นระบบเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สาย ปัจจุบันการใช้งานส่วนใหญ่จะเป็นการเชื่อมต่อระหว่างหูฟัง ไร้สายที่เป็นบลูทูธกับโทรศัพท์มือถือ หรือจะใช้ต่ออินเทอร์เน็ตผ่านอุปกรณ์ไร้สายอื่น เช่น ระหว่างโน้ตบุ๊กกับโทรศัพท์มือถือ พีดีเอกับโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

## 3) เครื่องข่ายไร้สายตามมาตรฐาน 802.11

### • มาตรฐาน 802.11b (11 Mbps)

เป็นมาตรฐานเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สายที่ผู้ใช้มากที่สุด เป็นเพราะใช้ความถี่ย่าน 2.4 GHz ซึ่งเป็นความถี่เสรีที่ทุกประเทศเปิดใช้ได้อย่างอิสระ และการที่ถูกประกาศเป็นมาตรฐานตั้งแต่ปี 1999 จึงมีผู้รู้จักมากกว่ามาตรฐานอื่น ๆ มีความเร็วในการทำงาน 4 ระดับคือ 11, 5.5, 2 และ 1 Mbps เครื่องข่ายที่ให้บริการอินเทอร์เน็ตไร้สายแบบ Hotspot ส่วนใหญ่จะใช้มาตรฐานนี้ แต่เครื่องข่ายนี้มีปัญหาคือ มีความเร็วต่ำที่สุดในมาตรฐานเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สาย

### • มาตรฐาน 802.11g (54 Mbps)

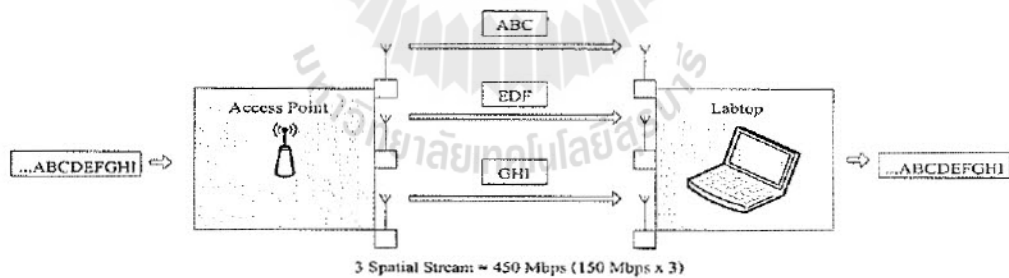
เป็นมาตรฐานเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สายที่เปิดตัวปี 2003 มีข้อดีเหนือกว่าตัวอื่น ๆ คือ มีความเร็วในการทำงานสูงถึง 54 Mbps และมีระยะการทำงานไกลสุดเท่ากับมาตรฐาน 802.11b และยังใช้ย่านความถี่ 2.4 GHz ซึ่งเป็นช่วงที่ใช้งานได้เสรี มีความสามารถทำงานร่วมกันกับเครือข่ายท้องถิ่น ไร้สายตามมาตรฐาน 802.11b ได้โดยไม่มีปัญหา

### • มาตรฐาน 802.11a (54 Mbps)

เป็นมาตรฐานที่เปิดตัวมาพร้อมกับมาตรฐาน 802.11b ตั้งแต่ปี 1999 แต่ไม่ค่อยมีผู้นิยมใช้เนื่องจากใช้ความถี่ย่าน 5 GHz เป็นย่านที่ไม่ได้เปิดให้ใช้อย่างเสรีในทุก ๆ ประเทศ ส่วนในประเทศไทยย่านความถี่นี้เพิ่งเปิดให้ใช้ประมาณปี 2007 ข้อดีของมาตรฐานนี้ก็คือ มีความเร็วในการทำงานสูงถึง 54 Mbps แต่ข้อเสียคือ ใช้งานได้ไกลสุดประมาณ 50 เมตรเท่านั้น นอกจากนี้ยังไม่สามารถทำงานร่วมกับอุปกรณ์ในมาตรฐาน 802.11b และ 802.11g ได้เนื่องจากใช้ความถี่ต่างกัน

- มาตรฐาน 802.11n (300-600 Mbps)

เป็นเครือข่ายไร้สายที่มีความเร็วสูงสุดถึง 600 Mbps โดยส่งผ่าน 4 Stream ซึ่งประกอบไปด้วยสายอากาศ 4 ชุด ทั้งภาครับและภาคส่ง แต่ละ Stream จะมีความเร็วที่ 150 Mbps สามารถใช้งานได้ที่ย่านความถี่ 2.4 GHz และ 5 GHz หากใช้งานช่องสัญญาณขนาด 40 MHz จะส่งข้อมูลได้สูงกว่าการใช้ช่องสัญญาณขนาดมาตรฐาน คือ 20 MHz มาตรฐาน 802.11n เป็นมาตรฐานใหม่ตั้งแต่ปี 2009 โดยได้เปลี่ยนวิธีการส่งสัญญาณวิทยุจากการที่ใช้สายอากาศคันเดียวในการรับและส่ง เป็นการใช้หลายอากาศหลายคันซึ่งเรียกเทคโนโลยีนี้ว่า MIMO (Multiple Input Multiple Output) เทคโนโลยีนี้จะช่วยทำให้รับและส่งสัญญาณด้วยความเร็วสูงมากขึ้นและปรับปรุงโปรโตคอล(Protocol)ในการรับและส่งข้อมูลให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ในการทำงานตามมาตรฐาน 802.11n จะใช้ช่องสัญญาณขนาด 20 MHz และ 40 MHz ซึ่งเป็นกรรวมช่องสัญญาณมาตรฐานจำนวน 2 ช่องเข้าด้วยกัน (Channel Bonding) จะทำให้ส่งข้อมูลได้ที่มีความเร็วสูงกว่าเดิมเกือบ 2 เท่า แต่ยังไม่พอเพราะระบบไร้สาย 802.11n ใช้สายอากาศหลายคันในการส่งและรับข้อมูลขนานออกไปในช่องสัญญาณความถี่เดียวกัน โดยอาศัยเทคนิค Spatial Multiplexing จึงไม่ทำให้สัญญาณจากชุดสายอากาศทั้งหมดรบกวนกัน ข้อมูลที่ได้จึงเปรียบเสมือนการส่งขนานกันไป เมื่อจำนวนชุดสายอากาศรับส่งเพิ่มขึ้น (Spatial Stream) ก็จะทำให้สามารถส่งข้อมูลได้เร็วขึ้น โดยมาตรฐานนี้กำหนดไว้สูงสุด 4 Spatial Stream มีความเร็ว Stream ละ 150 Mbps ระบบไร้สายมาตรฐาน 802.11n จึงมีความเร็วสูงสุด 600 Mbps



รูปที่ 2.5 เทคนิคที่ใช้ในมาตรฐาน 802.11n เพื่อเพิ่มความเร็วในการทำงาน

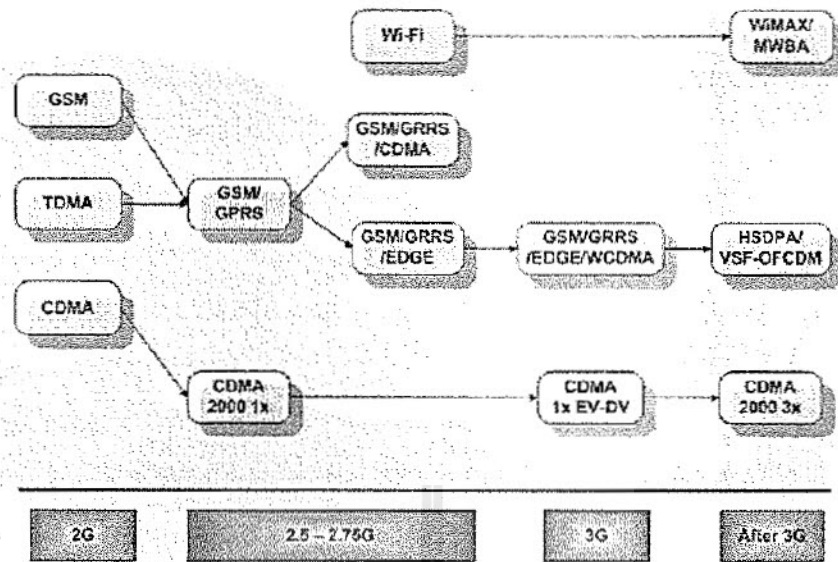
ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย

เทคโนโลยี		วิธีการ โมดูเลต (Modulation)	อัตราเร็ว (Mbps)	ระยะทางสูงสุด (เมตร)	ความถี่ (GHz)
Wireless LAN	IEEE802.11n	MIMO-OFDM	600	100	2.4/5
	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	-

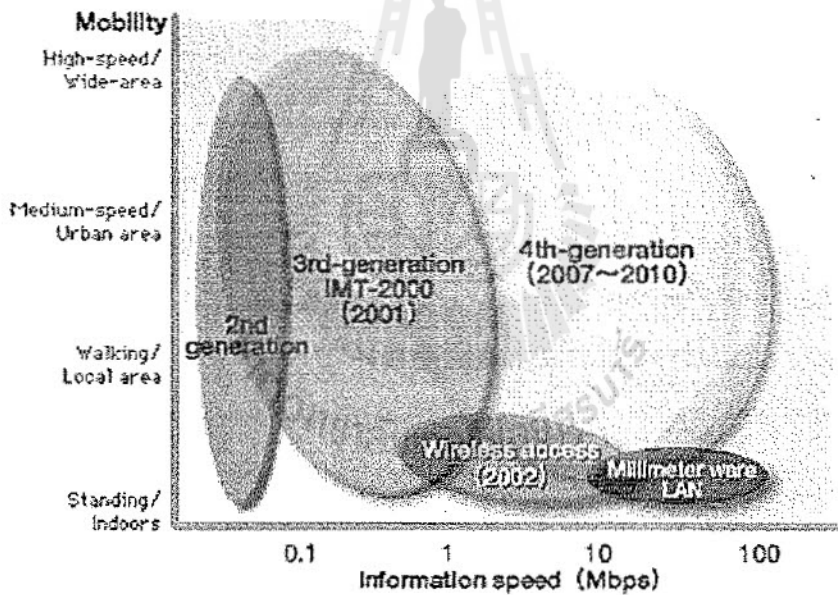
## 2.3 การสื่อสารในยุค 4G

### 2.3.1 ยุคบรอดแบนด์ไร้สาย

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุค 4G (4th Generation) เป็นการพัฒนามุ่งเน้นที่จะรองรับการสื่อสารสื่อประสม (Multimedia) ที่มีความเร็วการส่งข้อมูลที่สูงกว่า 2 Mbps เช่น การให้บริการข่าวสารข้อมูลเพื่อการศึกษา การซื้อขายสินค้าผ่าน โทรศัพท์เคลื่อนที่และสามารถหักค่าใช้จ่ายผ่านบัญชีเงินในธนาคารได้ทันที (Mobile Commerce) วิดีโอแบบภาพเคลื่อนไหวที่เต็มรูปแบบ (Full-motion Video) หรือการประชุมทางโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile teleconferencing) รูปแสดงให้เห็นถึงการพัฒนาเทคโนโลยีเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จากยุค 2G ไปสู่ 3G และต่อเนื่องไปสู่ 4G โดยทางเทคนิคแล้ว แต่ละยุคของเซลล์ลูลาร์ก็มีการเพิ่มขีดความสามารถในด้านความเร็วของการรับ-ส่งข้อมูล โดยได้ทำการเพิ่มความกว้างของช่องทางการรับ-ส่งข้อมูล (Bandwidth) ให้มากขึ้นนั่นเอง โดยในช่วง 10 กว่าปีที่ผ่านมา ผู้นำทางด้านอุตสาหกรรมโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ผลักดันให้เกิดเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายความเร็วสูง (High-speed wireless networks) ขึ้น และไม่เพียงแต่ธุรกิจโทรศัพท์เคลื่อนที่เท่านั้นที่พยายามผลักดันให้เกิดเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายความเร็วสูง บริษัท Microsoft และ Intel ก็ยังเป็นผู้ผลิตที่เข้ามามีบทบาททางด้านนวัตกรรมบรอดแบนด์ไร้สาย (Wireless broadband) ด้วย



รูปที่ 2.6 การพัฒนาเทคโนโลยี 2G ไปสู่ 3G และต่อเนื่องยุค 4G



รูปที่ 2.7 ประสิทธิภาพในด้าน ความสามารถในการเคลื่อนที่ (Mobility) และ ความเร็วการรับ-ส่งข้อมูลของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในยุค 2G, 3G และ 4G

4G เป็นยุคถัดไปของเครือข่ายไร้สายที่จะมาแทนที่เครือข่าย 3G ในอนาคต 4G เริ่มขึ้นจากห้องวิจัยและพัฒนาของสถาบัน การศึกษาที่ต้องการหลุดออกจากข้อจำกัดและปัญหาของ 3G ในช่วงครึ่งปีแรกของปี 2002 ระบบ 4G เป็นกรอบแนวคิดเพื่อนำไปสู่การพัฒนาเครือข่ายไร้สายความเร็วสูงของคนทั่วโลกที่จะเชื่อมต่อกับ เครือข่าย Wireline backbone ได้อย่างไรพรมแดน 4G จึงเป็นความหวังและแนวคิดของกลุ่ม

นักวิจัย ไม่ว่าจะเป็น Motorola, Qualcomm, Nokia, Ericsson, Sun, HP, NTT DoCoMo และผู้จำหน่ายระบบ โครงข่ายต่างๆ ที่ต้องการจะตอบสนองความต้องการใช้ MMS, มัลติมีเดีย และแอปพลิเคชันของวิดีโอ ถ้า 3G ไม่สามารถก้าวไปสู่จุดที่คาดหวังไว้ได้จริง โดยมีแรงจูงใจในการพัฒนา 4G คือ

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

- แม้ว่ามีความพยายามที่จะทำให้ 3G เป็นโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สามารถ Roaming ข้ามโครงข่ายทุกประเภทได้ แต่ด้วยมาตรฐานที่ซับซ้อนของ 3G ก็ยังคงมีปัญหาอยู่บ้างในการเชื่อมโยงและทำงานร่วมกันระหว่างเครือข่าย อย่างไรก็ตามเราต้องการใช้งานแบบเคลื่อนที่และพกพาไปได้ทั่วโลกและ Roaming ได้ อย่างสมบูรณ์ จึงมีความคิดที่จะพัฒนาและแก้ปัญหาที่ยุค 4G

- 3G ทำงานบนแนวคิดของการให้บริการบริเวณพื้นที่หนึ่ง แต่เราต้องการเครือข่ายแบบผสมผสานที่สามารถใช้งานเครือข่ายได้ทั้งแบบ Wireless LAN (hot spot) และเครือข่ายแบบ Cell หรือแบบสถานีฐาน (base station)

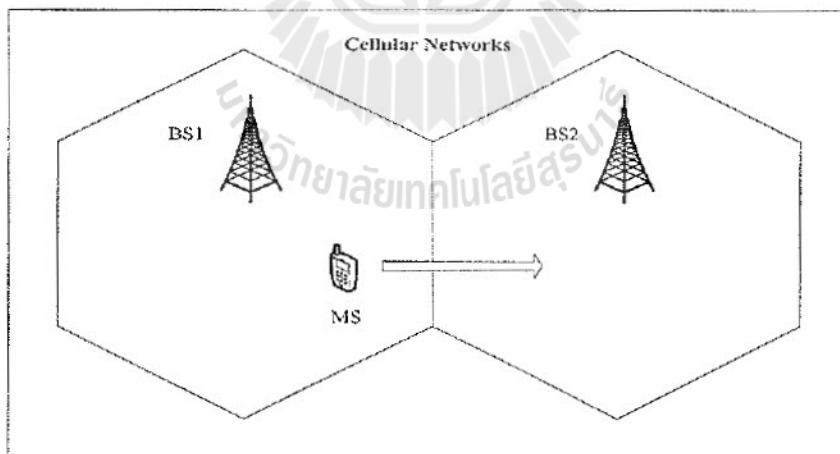
- เราต้องการ Bandwidth ที่กว้างขึ้น และต้องการให้เป็นเครือข่ายแบบ Digital ที่ทำให้ความสามารถในการส่ง voice และ data มีรูปแบบที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

- นักวิจัยต้องการให้รูปแบบการแปลงคลื่นมีประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งไม่สามารถทำได้ในโครงสร้างของ 3G ด้วยเป้าหมายที่ต้องการเชื่อมต่ออุปกรณ์สื่อสารต่างๆ ได้ในทุกๆ แห่ง จึงทำให้มีการพัฒนา 4G ขึ้น เพื่อทำให้สังคมของการติดต่อสื่อสารได้ทั่วทุกหนแห่งเกิดขึ้นจริง ในปัจจุบัน บริษัท NTT DoCoMo ของประเทศญี่ปุ่นได้มีการศึกษาวิจัยโครงข่ายเพื่อการสื่อสารแบบ 4G ขึ้น โดยจุดหลักของการวิจัยนี้ คือ ต้องการเพิ่มขีดความสามารถของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วยการส่งผ่านข้อมูลด้วยความเร็วสูงถึง 100 Mbps ในขณะที่สื่อสารภายนอกอาคาร (Outdoor) และ 1 Gbps ในขณะที่สื่อสารภายในอาคาร (Indoor) และเทคโนโลยีนี้ก็ได้รับการรับรองในหลักการแล้ว และขณะนี้ NTT DoCoMo ก็ได้จัดการทดสอบและทดลองแล้ว โดยข้อเท็จจริงแล้วในการทดลอง NTT DoCoMo ประสบความสำเร็จในการส่งข้อมูลได้เร็วสุดถึง 2.5 Gbps ซึ่งนับว่าเป็นครั้งแรกของโลกด้วย ความก้าวหน้าในการพัฒนาของ NTT DoCoMo ก็คือการเชื่อมโยงบริการต่างๆ เข้าด้วยกัน ตัวอย่างเช่น การสร้างเครือข่ายอินเทอร์เน็ตโปรโตคอลเคลื่อนที่ (Mobile IP network) เพื่อการส่งข้อมูลระหว่างเครือข่ายเซลลูลาร์ (Cellular) กับเครือข่ายอื่นๆ เช่น Wireless LANs เป็นต้น โดยจะเป็นการทำให้การให้บริการ Online มีต้นทุนที่ต่ำลง

## 2.4 การทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง

### 2.4.1 พื้นฐานการทำแฮนด์ออฟ

การทำแฮนด์ออฟหรือการส่งต่อสัญญาณจะเกิดขึ้นเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่เครื่องหนึ่งซึ่งกำลังมีการใช้งานอยู่ภายในเซลล์หนึ่ง ได้เคลื่อนที่ออกจากขอบเขตการดูแลของเซลล์นั้น แล้วเริ่มเข้าไปอยู่ในบริเวณการดูแลของอีกเซลล์หนึ่ง ซึ่งโดยปกติแล้วสัญญาณที่ได้รับจากเซลล์ปัจจุบันจะมีความแรงของสัญญาณ (Received Signal Strength -RSS) ลดลงเรื่อยๆ ตามระยะทางที่ห่างออกไปดังรูปที่ 2.8 ในขณะที่เดียวกันเมื่อสถานีโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Station -MS) เคลื่อนที่จากสถานีฐาน (Base Station -BS) ที่หนึ่งเข้าไปใกล้สถานีฐานที่สองของเซลล์ข้างเคียงมากขึ้นก็จะทำให้สามารถรับสัญญาณจากเซลล์ข้างเคียงได้แรงขึ้นเพื่อที่จะให้การสนทนาของผู้ใช้ไม่ถูกขัดจังหวะ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็จะทำการโอนย้ายการควบคุมดูแลและติดต่อจากเซลล์เดิมไปให้กับเซลล์ใหม่ สังเกตว่าในการตัดสินใจว่าควรจะมีการทำการส่งต่อสัญญาณหรือไม่นั้นจึงมักขึ้นอยู่กับกำลังของสัญญาณเป็นปัจจัยหลัก โดยปกตินั้นการโอนย้ายควรจะเกิดขึ้นโดยผู้ใช้บริการมิได้ทราบหรือสังเกตเลยว่าการทำการส่งต่อสัญญาณเกิดขึ้น ทั้งที่คำว่าแฮนด์โอเวอร์ (Handover) เป็นคำที่ใช้กันในกลุ่มประเทศยุโรป ส่วนในประเทศอเมริกาจะได้คำว่าแฮนด์ออฟ (Handoff)



รูปที่ 2.8 การทำแฮนด์ออฟ

ในการทำแฮนด์ออฟสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี คือ 1. ดูจากกำลังของสัญญาณที่ได้รับ และ 2. ดูจากค่าอัตราส่วนระหว่าง carrier-to-interference ratio ( C/I ) หรือ อัตราส่วนระหว่างสัญญาณที่ต้องการต่อ

สัญญาณรบกวนสำหรับวิธีแรกถ้ากำลังของสัญญาณที่ได้มีขนาดต่ำกว่าค่าคงที่ค่าหนึ่ง เช่น  $-100$  dBm ก็เข้าข่ายที่จะต้องมีการทำแฮนด์ออฟ ในวิธีที่สองการทำแฮนด์ออฟจะเกิดขึ้นเมื่อค่า C/I มีขนาดต่ำกว่าค่า ๆ หนึ่ง เช่น 18 dB แต่ในบางกรณีอาจจะใช้ค่า C/I ที่ต่ำกว่านี้ก็ได้ถ้าหากมีความจำเป็นที่จะต้องเพิ่มขนาดความจุของระบบขึ้น

### 1) ความถี่หรือโอกาสที่จะเกิดการทำแฮนด์ออฟ

สิ่งหนึ่งที่ต้องรู้และคำนึงถึงในการจัดการการทำแฮนด์ออฟก็คือการหาค่าความถี่หรือโอกาสที่จะมีความจำเป็นในการทำแฮนด์ออฟ ซึ่งค่านี้จะขึ้นอยู่กับขนาดของเซลล์ที่ใช้ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของ MS ทิศทางการเคลื่อนที่ของ MS และระยะเวลาของการสนทนาแต่ละครั้ง วิธีการหนึ่งที่จะช่วยให้เราสามารถหาค่าความถี่ในการทำแฮนด์ออฟก็คือ การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ ยกตัวอย่างเช่น สมมติว่า MS เครื่องหนึ่งมีการโทรออกในบริเวณเซลล์ที่มีรัศมี 16 km โคนขยอัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ที่จะเลือกสุ่มขึ้นมาจากระหว่าง 8-96 km/hr และทิศทางเคลื่อนที่จะสุ่มขึ้นจาก 0-360 องศา เพราะฉะนั้นโอกาสที่ MS จะเดินทางข้ามขอบของเซลล์จึงขึ้นอยู่กับระยะเวลาการใช้งานของ MS

ตารางที่ 2.2 ผลการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์กรณีเซลล์ที่มีรัศมีเท่ากับ 16 km

ระยะเวลาการใช้โทรศัพท์แต่ละครั้ง (นาที)	โอกาสที่จะต้องมีการทำแฮนด์ออฟ (%)
1.76	11.3
3	18
6	42.6
9	59.3

ตารางที่ 2.2 สรุปผลจากการทดสอบด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จะเห็นว่าถ้าการใช้ MS แต่ละครั้งมีระยะเวลาสั้นเท่ากับ 1.76 นาที โอกาสที่ MS จะชนขอบของเซลล์มีเพียง 11.3 % ซึ่งแปลว่าโอกาสที่จะต้องมีการทำการแฮนด์ออฟในกรณีนี้มีค่าเท่ากับ 11.3 % ด้วยหากระยะเวลาการใช้ MS แต่ละครั้งยาวนานขึ้น เช่นเท่ากับ 9 นาที โอกาสที่จะเกิดการทำแฮนด์ออฟจะมีค่าสูงถึง 59.3 % ส่วนผลกระทบของขนาดของเซลล์ก็เช่นเดียวกันคือ ยิ่งขนาดของเซลล์มีรัศมีลดลงเท่าใด โอกาสของการทำแฮนด์ก็มากขึ้นด้วย

### 2) กลยุทธ์การโอนสาย

ในการพิจารณาเพื่อตัดสินใจว่าควรจะมีการทำแฮนด์ออฟหรือไม่นั้น โดยปกติแล้วจะมีการกำหนดค่าของกำลังที่รับได้ต่ำสุด  $P_{R(\min)}$  ที่ระบบยังสามารถทำงานได้ตามคุณภาพที่ต้องการไว้ค่าหนึ่ง โดยค่านี้วัดได้จากเครื่องรับของสถานีฐาน (เช่นกำหนดให้เป็นค่าประมาณระหว่าง  $-90$  dBm ถึง  $-100$  dBm) ถ้าเมื่อใด

สัญญาณที่วัดได้มีกำลังอยู่ในระดับที่สูงกว่า  $P_{R(\min)}$  เพียงเล็กน้อย หรือ  $\Delta = P_{R(\text{handover})} - P_{R(\min)}$  มีค่าเล็ก ก็จะทำให้มีการทำแฮนด์ออฟ ในการกำหนดค่า  $\Delta$  ควรจะมีค่าเท่าใดเป็นเรื่องสำคัญ เพราะถ้าค่า  $\Delta$  มีขนาดเล็กเกินไปอาจทำให้เวลาที่มียู่สำหรับกระบวนการทำแฮนด์ออฟน้อยเกินไปทำให้สายหลุดได้ แต่ถ้าค่า  $\Delta$  มีค่าใหญ่เกินไปก็จะทำให้เกิดการทำแฮนด์ออฟขึ้นโดยไม่จำเป็น ซึ่งเป็นการเพิ่มภาระให้ Mobile Switching Center (MSC) มากขึ้น

การทำแฮนด์ออฟอาจจะไม่ประสบความสำเร็จก็ได้ ถ้าหากเครือข่ายอยู่ในสภาวะที่มีปริมาณการใช้งานมาก ทำให้ส่วนของ MSC ต้องทำงานหนักกว่าปกติ ส่งผลให้กระบวนการทำแฮนด์ออฟต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้น หรือถ้าหากการใช้งานของเซลล์ข้างเคียงมีปริมาณจนทำให้ไม่มีช่องช่องสัญญาณที่ว่างสำหรับรองรับการแฮนด์ออฟเลย ส่วนของ MSC ก็จำเป็นต้องรอจนกระทั่งมีการวางสายและมีช่องสัญญาณว่างเกิดขึ้น ปัญหาเหล่านี้มีผลทำให้ระยะเวลาของการทำแฮนด์ออฟนานขึ้นกว่าปกติ และหากระยะเวลานี้นานเกินไปก็จะทำให้การติดต่อของคู่สายที่ต้องมีการทำแฮนด์ออฟสิ้นสุดลงได้ก่อนเวลาอันควร

ปัญหาสำคัญอีกอย่างที่ต้องนำมาพิจารณาประกอบในการตัดสินใจว่าควรมีการทำแฮนด์ออฟหรือไม่ก็คือ การที่สัญญาณมีกำลังอ่อนลงอย่างฉับพลันซึ่งอาจเกิดจากการบดบังของสิ่งกีดขวางต่าง ๆ ในบางชั่วขณะ ซึ่งเมื่อ MS เคลื่อนที่ออกจากจุดดับสัญญาณแล้วกำลังของสัญญาณที่รับได้ก็จะมีคุณภาพดีดังเดิม ดังนั้นในสถานการณ์อย่างนี้เพื่อหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดการทำแฮนด์ออฟโดยไม่จำเป็น สถานีฐานก็จะทำการตรวจการเปลี่ยนแปลงระดับของสัญญาณเป็นช่วงเวลาช่วงหนึ่งก่อนที่จะทำการแฮนด์ออฟ นอกจากนี้การวัดระดับของสัญญาณในลักษณะนี้ก็ยังมีประโยชน์ในกรณีที่ MS มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงในทิศทางที่ออกห่างจาก BS ซึ่งเหตุการณ์อย่างนี้สามารถสังเกตได้จากการที่ระดับของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ในกรณีแบบนี้การทำแฮนด์ออฟก็ต้องรีบทำอย่างเร่งด่วน

ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคแรกนั้น สถานีฐาน (BS) ของแต่ละเซลล์มีหน้าที่รับผิดชอบในการวัดระดับสัญญาณของ MS ที่รับได้ที่ BS เพื่อใช้ในการบ่งบอกถึงตำแหน่งของ MS นั้น ๆ ทั้งนี้งานทั้งหมดนั้นอยู่ภายใต้การดูแลของ MSC อีกทอดหนึ่ง นอกจากนี้ BS ยังต้องใช้อุปกรณ์รับสัญญาณที่วางอยู่คอยตรวจวัดระดับสัญญาณของ MS ต่าง ๆ ที่อยู่ภายใต้การดูแลของเซลล์ข้างเคียง อุปกรณ์รับสัญญาณส่วนนี้มีชื่อเรียกว่า location receiver ว่างก็อยู่ภายใต้การควบคุมของ MSC โดยข้อมูลเหล่านี้จะนำมาช่วย MSC ใช้ในการตัดสินใจเรื่องของการแฮนด์ออฟของเซลล์ข้างเคียง

สำหรับระบบโทรศัพท์ในยุคที่สองซึ่งมีการนำเทคโนโลยีดิจิทัลเข้ามาใช้งาน การทำแฮนด์ออฟจะได้รับการช่วยเหลือจาก MS แต่ละเครื่องด้วย วิธีนี้เรียกว่า Mobile Assisted Handoff (MAHO) ในวิธีนี้ MS แต่ละเครื่องจะวัดระดับสัญญาณที่รับได้จาก BS แต่ละแห่งที่อยู่รอบ ๆ และรายงานผลการวัดไปให้ BS ที่ MS ติดต่อกันอยู่เป็นช่วง ๆ ตลอดเวลา ดังนั้นในกรณีเลือกว่าจะต้องมีการทำแฮนด์ออฟหรือไม่ ก็ดูได้จากว่ามี



สัญญาณจาก BS อื่นหรือไม่ที่ให้อำนาจสัญญาณที่ดีกว่า BS ที่กำลังติดต่ออยู่ ถ้าพบว่าสัญญาณจาก BS อื่นมีกำลังดีกว่าและความแตกต่างของระดับสัญญาณมีขนาดเกินกว่าค่ากำหนดค่าหนึ่งหรือมีกำลังดีกว่าเป็นระยะเวลาเกินช่วงเวลากำหนดค่าหนึ่ง ก็จะสั่งให้มีการทำแฮนด์ออฟ

อย่างไรก็ตาม ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ดิจิทัลที่อาศัยเทคโนโลยี CDMA มีลักษณะการแฮนด์ออฟต่างไปจากวิธีที่ได้กล่าวมา และโดยทั่วไปจะเรียกรูปแบบการแฮนด์ออฟรูปแบบใหม่นี้ว่าการแฮนด์ออฟแบบซอฟต์ (soft handoff) ซึ่งต่างจากการแฮนด์ออฟแบบดั้งเดิมที่มักจะเรียกว่า การแฮนด์ออฟแบบฮาร์ด (hard handoff) จุดแตกต่างที่สำคัญอยู่ที่กระบวนการโอนสายจาก BS ไปยัง BS ข้างเคียง กล่าวคือการแฮนด์ออฟแบบซอฟต์จะอาศัยวิธีการส่งต่อแบบที่เรียกว่า ต่อก่อนตัด (make before break) ในขณะที่การแฮนด์ออฟแบบฮาร์ดจะเป็นลักษณะของการตัดก่อนต่อ (break before make) กรรมวิธีการต่อก่อนตัด หมายถึง ระบบจะสร้างช่องสัญญาณเชื่อมต่อระหว่าง MS กับ BS ตัวใหม่ให้เรียบร้อยก่อนที่ตัดการเชื่อมต่อกับ BS เดิม ฉะนั้นในช่วงเวลาดังกล่าว MS ที่จะมีการติดต่อกับ BS พร้อมกันได้มากกว่าหนึ่งแห่ง และสามารถเลือกช่องสัญญาณการติดต่อที่คุณภาพดีกว่าได้ การทำงานในลักษณะนี้ย่อมจะช่วยให้สัญญาณการติดต่อมีคุณภาพที่ดีขึ้นกว่ากรรมวิธีตัดก่อนต่อ ที่เป็นเช่นนี้เพราะในกรณีการตัดก่อนต่อหมายถึงในขณะที่ใดขณะหนึ่ง MS จะติดต่อกับ BS ได้เพียงแห่งเดียวเท่านั้น

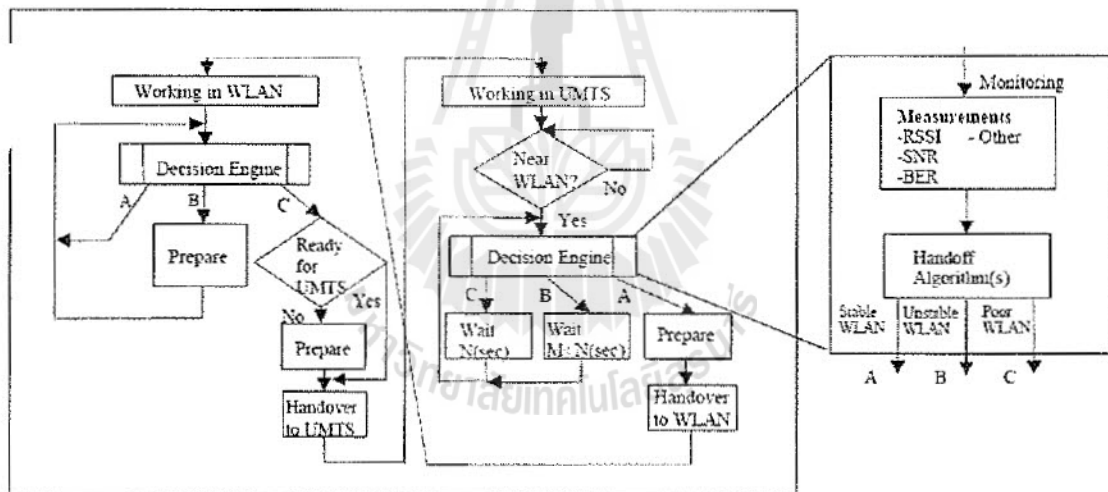
ในบางระบบจะให้ความสำคัญของการแฮนด์ออฟมากกว่าการโทรศัพท์ใหม่ตามปกติ นั่นคือถ้าระบบต้องเลือกระหว่างว่ามีการขอให้บริการแฮนด์ออฟจากเซลล์ข้างเคียงกับการที่มีผู้ใช้พยายามจะโทรออก ระบบจะเลือกที่จะให้มีการแฮนด์ออฟก่อนและก็จะตอบปฏิเสธการโทรออก และยังถ้าต้องการให้แน่ใจว่า จะมีช่องสัญญาณว่างสำหรับการทำแฮนด์ออฟเสมอ อาจจะมีการจัดช่องสัญญาณจำนวนหนึ่งไว้สำหรับรองรับการแฮนด์ออฟ โดยเฉพาะหากแต่การทำในลักษณะนี้ก็จะทำให้ความจุในเซลล์นั้น ๆ ลดลงไปด้วย

ส่วนระบบที่ให้ความสำคัญของการแฮนด์ออฟเท่า ๆ กันกับการขอโทรออก (call) ก็คือระบบที่โอกาสของการถูกบล็อก (block call) ในระหว่างการทำแฮนด์ออฟกับการโทรออกตามปกติมีค่าพอ ๆ กัน สำหรับระบบแบบนี้หากพิจารณาถึงความรู้สึกของผู้ใช้แล้ว อาจจะไม่ดีเท่าใดนัก เพราะถ้าการสนทนาถูกขัดจังหวะระหว่างกลาง ผู้ใช้จะเกิดความรำคาญมาก แนะนำว่าราคาราคาญกว่าการโทรไม่ติด

#### 2.4.2 การทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง (Vertical Handoff)

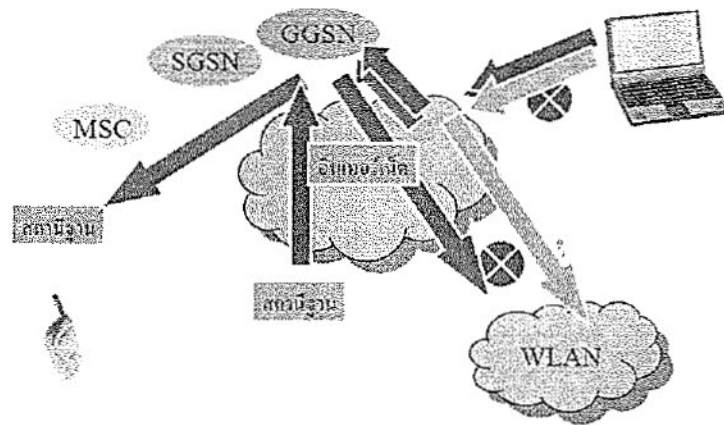
การทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง (Vertical Handoff -VHO) เป็นการแฮนด์ออฟระหว่างเทคโนโลยีที่ต่างกัน เช่น เครื่องข่ายเซลล์ลูลาร์ทำแฮนด์ออฟกับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) ส่วนการส่งต่อใน

แนวนอน (Horizontal Handoff) คือ การทำแฮนด์ออฟระหว่างเทคโนโลยีเดียวกัน การเปลี่ยนแปลงอย่างมากในยุคสื่อสารไร้สาย 4G เมื่อเปรียบเทียบกับยุคปัจจุบันคือ เป็นการมุ่งไปสู่การเข้าถึงโครงข่ายสื่อสารไร้สายแบบทั่วถึงหรือไร้ขอบเขตโดยอุปกรณ์สื่อสารเองแทบจะไม่ต้องรู้ถึงการเปลี่ยนแปลงเมื่อข้ามไปใช้โครงข่ายสื่อสารอื่น ๆ ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ ลักษณะการเคลื่อนที่แบบไร้รอยต่อดังกล่าวเรียกกันว่า Seamless Mobility ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาวิธีการที่อุปกรณ์ข้ามไปใช้ทรัพยากรในเครือข่ายอื่นในขณะที่มีการเคลื่อนที่หรือ Vertical Handoff นั่นเอง ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมาได้มีการกำเนิดสถาปัตยกรรมและเทคโนโลยีสำหรับเครือข่าย 2G 3G และ B3G (Beyond 3G) ขึ้นมาก่อนข้างจะหลากหลาย เช่น ระบบดาวเทียมแบบใหม่ ๆ Wi-Fi หรือ Bluetooth เป็นต้น แต่ละเทคโนโลยีก็มุ่งไปที่ตลาดหรือกลุ่มลูกค้าที่แตกต่างกัน นั่นคือขึ้นอยู่กับความต้องการใช้งานของผู้ใช้ ข้อดีของการมีความหลากหลายชนิดของเครือข่ายสื่อสาร คือ มีหลายทางเลือกในการเพิ่มแบนด์วิดท์ หลายทางเลือกในการเข้าใช้อินเทอร์เน็ต หรือการเพิ่มพื้นที่ให้บริการสำหรับผู้ใช้งาน สิ่งเหล่านี้นำไปสู่การคิดค้นพัฒนาวิธีการในการใช้งานแต่ละเครือข่ายสื่อสารบนพื้นฐานโพรโทคอล (Protocol) เดียวกัน ซึ่งจะช่วยให้ง่ายในการจัดการการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน



รูปที่ 2.9 การทำแฮนด์ออฟแนวดิ่งระหว่างเครือข่ายที่ต่างกัน

หมายเหตุ จากงานวิจัยเรื่อง Vertical Handoff and Mobility System Architecture and Transition Analysis ของ MIKA YLIANTTILÄ



รูปที่ 2.10 GPRS-WLAN Handoff โดยที่ GGSN คือ Gateway GPRS Support Node ส่วน 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 (QoS: Quality of Service) รวมถึงเทคโนโลยีสายอากาศ นอกจากนี้การเข้าถึงโครงข่ายสื่อสารไร้สายยังเป็นแบบทั่วถึง นั่นคือสามารถใช้งานได้ทุกที่ ทุกเวลา ทุกเครือข่าย ยกตัวอย่าง ผู้ใช้ที่อยู่ในระบบแลนไร้สาย (WLAN: Wireless Local Area Network) สามารถส่งไฟล์ข้อมูลจำนวนมากผ่าน WLAN แต่เลือกที่จะส่งเสียงผ่านระบบ GPRS (General Packet Radio Service) ดังแสดงในรูปที่ 2.10 รวมถึงการที่ผู้ใช้สามารถเคลื่อนที่แบบ Seamless ได้ การส่งผ่านข้อมูลผ่านจากเครือข่ายหนึ่งไปอีกเครือข่ายหนึ่งมีความน่าเชื่อถือและใช้เวลาน้อย ถือเป็นประเด็นหนึ่งที่มีการคำนึงถึงสำหรับ Handoff ในเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย 4G ด้วยเช่นกัน สำหรับทางด้านเทคนิคแล้วมีพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการทำ Vertical Handoff ดังนี้

- ความแรงของสัญญาณที่อุปกรณ์สื่อสารไร้สายสามารถรับได้จากสถานีฐาน
- ชนิดของการบริการ โดยบริการที่แตกต่างกันต้องการอัตราข้อมูล หรือความน่าเชื่อถือในการส่งผ่านข้อมูลต่างกัน
  - 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) อัตราบิตผิดพลาด (bit Bit Error Rate -BER)

รวมถึงระดับของแบตเตอรี่ที่เหลืออยู่ นั่นคือหากโครงข่ายไหนที่มีการใช้พลังงานน้อยก็เหมาะที่จะเลือกเข้าไปใช้ (เช่นเครือข่าย Bluetooth) แทนระบบที่ต้องใช้พลังงานมาก

• เงื่อนไขของอุปกรณ์ไร้สายที่เคลื่อนที่ได้ เช่น รูปแบบการเคลื่อนที่ เส้นทางการเคลื่อนที่ที่วิ่งผ่าน มาข่าวสารเกี่ยวกับตำแหน่งของผู้ใช้ เป็นต้น

ดังนั้นวิสัยทัศน์หนึ่งของเทคโนโลยีสื่อสารไร้สาย 4G คือการที่มีโครงข่ายอัจฉริยะที่สามารถปรับตัวเองได้เพื่อรองรับ Vertical Handoff นั้นเอง

## 2.5 การส่งผ่านคลื่นสัญญาณ

ปัญหาส่วนใหญ่ที่พบในการส่งสัญญาณ คือ การจางหายของสัญญาณ (Fading) ซึ่งจะแบ่งเป็น

### 2.5.1 การสูญเสียเชิงวิถี

การสูญเสียเชิงวิถี (Path Loss) เป็นการลดทอนสัญญาณที่กำลังส่งของสัญญาณจะลดลงอย่างคงที่ตามระยะทางในการส่งสัญญาณดังสมการการสูญเสียในอวกาศว่าง

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

โดยที่

$P_R$  คือ กำลังของสัญญาณที่รับได้

$P_T$  คือ กำลังของสัญญาณที่ส่งออก

$G_R$  คือ อัตราขยายของสายอากาศรับ

$G_T$  คือ อัตราขยายของสายอากาศส่ง

$\lambda$  คือ ค่าความยาวคลื่น ซึ่ง  $\lambda = c / f$  โดยที่  $c$  คือความเร็วแสง ( $3 \times 10^8 \text{ m/s}$ )

และ  $f$  คือ ความถี่ของสัญญาณ ( $\text{Hz}$ )

$d$  คือ ระยะระหว่างภาครับและภาคส่ง (m)

### 2.5.2 ผลกระทบจากชาโดว์อิง

ชาโดว์อิง (Shadowing) มีอีกชื่อหนึ่งว่า Lognormal Fading คือการลดทอนของสัญญาณเนื่องมาจากสิ่งกีดขวาง เช่น ตึก, ต้นไม้ เป็นต้น เพราะในสภาพความเป็นจริงนั้นสัญญาณจะมีการกระเพื่อมขึ้นและลงอยู่ตลอด จึงคำนวณได้จากการจำลองแบบด้วยการใช้ตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบ log-normal distribution โดยมีฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (probability density function) ดังนี้

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

โดย

$X$  มีค่าเท่ากับ  $10\log(x)$  มีหน่วยเป็น dBm

$X_m$  เป็นค่าเฉลี่ยของสัญญาณ หน่วยเป็น dBm

$x$  ค่ากำลังของสัญญาณที่รับได้และมีหน่วยเป็น mW

$\sigma_0$  ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (standard deviation) มีหน่วยเป็น dB

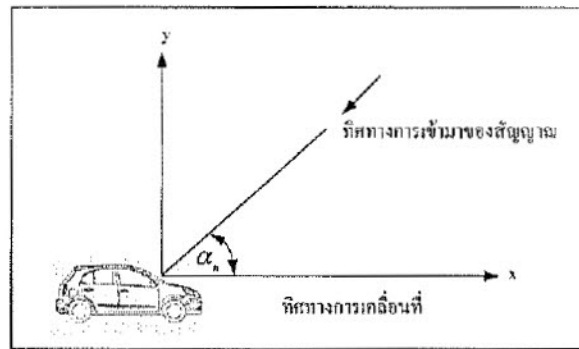
ค่าของ  $\sigma_0$  มีขนาดอยู่ระหว่าง 6-10 dB ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่สัญญาณส่งผ่าน

### 2.5.3 การจางหายแบบเรย์เล

เรย์เล (Rayleigh) คือการลดลงหรือเพิ่มขึ้นของระดับสัญญาณอย่างทันทีทันใด เนื่องมาจากการแทรกสอดระหว่างคลื่นตรงและคลื่นสะท้อนที่มาถึงโทรศัพท์เคลื่อนที่ ลักษณะสัญญาณที่เกิดจากการจางหายแบบเรย์เลจะขึ้นอยู่กับระยะทาง เวลา และความถี่ของสัญญาณ

### 2.5.4 ความถี่คอปเปอร์

จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมพบว่า ปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อการสื่อสารไร้สายคือ ความถี่คอปเปอร์ เมื่อผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงรูปที่ 2.11 ส่งผลให้สัญญาณที่มาถึงนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไป มุมของสัญญาณขาเข้า ( $\alpha_n$ ) ถูกกำหนดให้เป็นมุมระหว่างสัญญาณในวิถีที่  $n$  และทิศทางในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน ค่าความถี่คอปเปอร์สามารถแสดงได้ดังสมการที่ 2.3



รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของปรากฏการณ์ดอปเปลอร์

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

เมื่อ  $f_d$  คือ ค่าความถี่ดอปเปลอร์สูงสุด ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความเร็วของผู้ใช้งาน  $v$  และค่า  $f_c$  คือค่าความถี่กลางที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลของระบบ

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

เมื่อ  $f_c$  คือ ค่าความถี่ของสัญญาณพาห้  
 $c$  คือ ค่าความเร็วของแสง  $3 \times 10^8$  เมตรต่อวินาที

เนื่องด้วยผลของการเกิดความถี่ดอปเปลอร์นี้เองทำให้ประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารผ่านช่องสัญญาณไร้สายระหว่างภาคส่งและภาครับมีคุณภาพที่ค่อยลงไปด้วยความถี่ดอปเปลอร์นี้จะส่งผลให้สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณที่ถูกส่งกระจายออกไปในระหว่างที่ส่งข้อมูลเมื่อพิจารณาในเชิงเวลาที่จะพบว่าปรากฏการณ์ดอปเปลอร์นี้จะทำให้ผลตอบสนองอิมพัลส์ของช่องสัญญาณ (Channel Impulse Response) มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา

### 2.5.5 การจางหายของสัญญาณเนื่องจากสัญญาณหลายวิถี

ในการส่งสัญญาณแบบไร้สายนั้นสัญญาณที่เดินทางจากภาคส่งไปยังภาครับที่ภาครับไม่สามารถรับสัญญาณได้ทั้งหมด เนื่องจากว่าระหว่างภาคส่งและภาครับนั้นมีสิ่งกีดขวาง มีสิ่งที่เป็นอุปสรรคต่อการรับส่ง

สัญญาณระหว่างภาคส่งภาครับอยู่มากมาย อาทิเช่น กำแพง ตึกยานพาหนะ มนุษย์ ต้นไม้ ฯลฯ สัญญาณที่เดินทางมาจากภาคส่งเป็นเส้นเดียวเมื่อกระทบกับสิ่งกีดขวางก็จะแตกออกเป็นหลาย ๆ เส้น เราจึงเรียกสัญญาณนี้ว่า สัญญาณหลายวิถีหรือ Multipath เมื่อเราทำการรับสัญญาณที่ภาครับจึงพบว่าสัญญาณที่รับได้ที่ภาครับนั้นมีทั้งดีและไม่ดี เหตุผลคือสัญญาณที่รับได้ที่ภาครับนั้นหากมีเป็นผลรวมจากสัญญาณที่เกิดการแทรกสอดแบบเสริมกันก็จะทำให้คุณภาพสัญญาณที่ได้นั้นมีคุณภาพดี แต่หากเป็นการแทรกสอดแบบหักล้างกันนั้นก็จะส่งผลให้ที่ภาครับมีคุณภาพสัญญาณ ไม่ดี จึงสามารถกล่าวได้ว่า การส่งสัญญาณจากภาคส่งมายังภาครับเมื่อสัญญาณกระทบสิ่งกีดขวางจึงก่อให้เกิดสัญญาณหลายวิถี เมื่อสัญญาณหลายวิถีวิ่งไปรวมกันยังภาครับ ในกรณีที่เกิดการแทรกสอดของสัญญาณหลายวิถีแบบหักล้างกันก็จะทำให้สัญญาณที่ได้คุณภาพไม่ดีซึ่งเป็นที่มาของ การจางหายของสัญญาณเนื่องจากสัญญาณหลายวิถี

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดการจางหายของสัญญาณเนื่องจากสัญญาณหลายวิถี

- การแผ่แบบหน่วงเวลา (Delay spread)

ผลจากการเกิดสัญญาณหลายวิถีทำให้สัญญาณที่รับได้ที่ปลายทางประกอบไปด้วยสัญญาณที่สะท้อนมาจากหลายเส้นทาง ซึ่งมาถึงปลายทางที่ภาครับในเวลาที่แตกต่างกัน ดังนั้นสัญญาณที่รวมกันได้ที่ปลายทางจึงเกิดการหน่วงเวลาขึ้นมา ผลจากการเกิดการแผ่แบบหน่วงเวลานั้นจะทำให้เกิดการรบกวนระหว่างสัญลักษณ์ และการแทรกสอดระหว่างสัญลักษณ์ซึ่งจะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมและสภาพช่องสัญญาณ

- การแผ่แบบดอปเปลอร์ (Doppler spread)

การเคลื่อนที่ของผู้ใช้งานออกจากสถานีฐาน ส่งผลให้สัญญาณที่เดินทางมาถึงภาครับในแต่ละเส้นทางนั้นเกิดการเลื่อนความถี่ เรียกการเลื่อนความถี่แบบนี้ว่า การเลื่อนความถี่แบบดอปเปลอร์ ผลจากการแผ่แบบดอปเปลอร์นี้จะทำให้ช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาซึ่งการเปลี่ยนแปลงของช่องสัญญาณตามเวลานั้นจะมีอัตราเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับความเร็วของการเกิดการจางหายและการความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งานด้วย

ในการพิจารณาในการแยกประเภทของการจางหายนั้นสามารถพิจารณาได้จากลักษณะของสัญญาณที่ส่งเปรียบเทียบกับคุณลักษณะของช่องสัญญาณ โดยตัวแปรที่ใช้พิจารณาประเภทของการจางหายนั้น ได้แก่ ช่วงเวลาสัญลักษณ์ (Symbol period) อัตราการส่งสัญญาณ (Transmission rate) ความกว้างแถบความถี่ (Bandwidth) การแผ่แบบหน่วงเวลา (delay spread) ส่งผลต่อการจางหายของสัญญาณ ได้ 2 รูปแบบ ได้แก่ การจางหายของสัญญาณแบบราบ (flat fading) และการจางหายของสัญญาณแบบเลือกความถี่ (frequency selective fading) การแผ่ของดอปเปลอร์ (doppler spread) ส่งผลให้เกิดการจางหายของสัญญาณ 2 รูปแบบ ได้แก่ การจางหายของสัญญาณแบบช้า (slow fading) และการจางหายแบบรวดเร็ว (fast fading)

จะเห็นได้ว่าการพิจารณาประเภทของการจางหายของสัญญาณนั้นสามารถแยกประเภทได้ตามการเลือกปัจจัยที่มีผลกระทบต่อช่องสัญญาณไร้สาย ซึ่งไม่ว่าจะเลือกพิจารณาปัจจัยก็สามารถพิจารณาได้เช่นกัน เนื่องจากการแผ่แบบหน่วงเวลา และการแผ่แบบคอปเปอร์นั้นเป็นอิสระต่อกัน เนื้อหาในส่วนถัดไปจะเป็นการอธิบายถึงการจางหายของสัญญาณในรูปแบบต่าง ๆ

กรณีที่พิจารณาการแผ่แบบหน่วงเวลา (delay spread)

เมื่อเราพิจารณาการแผ่แบบหน่วงเวลา เนื่องจากสัญญาณหลายวิถีจะทำให้สามารถแยกประเภทของการจางหายของสัญญาณได้ 2 รูปแบบ

- การจางหายของสัญญาณแบบราบ (Flat Fading)

คุณลักษณะของการจางหายของสัญญาณแบบราบ จะมีลักษณะเชิงสเปกตรัมเหมือนเดิม แต่ค่ากำลังของสัญญาณจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เนื่องจากผลกระทบของสัญญาณหลายวิถี เมื่อค่ากำลังของช่องสัญญาณเปลี่ยนนั้นคือการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดของช่องสัญญาณหรืออาจกล่าวได้ว่า เป็นช่องสัญญาณที่มีการเปลี่ยนแปลงทางแอมพลิจูด การแจกแจงของแอมพลิจูดที่มักจะพบทั่วไปจะเป็นการกระจายตัวแบบเรย์ลี (Rayleigh Distribution)

- การจางหายของสัญญาณแบบเลือกความถี่ (Frequency selective fading)

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

กรณีที่พิจารณาการแผ่ของดอปเปลอร์ (Doppler spread)

การจางหายของสัญญาณเนื่องจากสัญญาณหลายวิถีเมื่อพิจารณาการแผ่ของดอปเปลอร์จะเป็นการพิจารณาเมื่อผู้ใช้งานมีการเคลื่อนที่สามารถแยกออกได้เป็น 2 ประเภท

- การจางหายของสัญญาณแบบรวดเร็ว (Fast fading)

การเคลื่อนที่ของผู้ใช้งานส่งผลให้ช่องสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาโดยพารามิเตอร์ที่ใช้อธิบายได้แก่ Doppler spread และ Coherence time เมื่อช่องสัญญาณได้รับผลกระทบจากการจางหายแบบรวดเร็วนี้ จะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว ภายในช่วงเวลาที่ยังส่งสัญญาณ เวลาร่วมนัยของช่องสัญญาณจะมีค่าน้อยกว่าช่วงเวลาของสัญญาณและคุณลักษณะของการจางหายของสัญญาณจะเปลี่ยนแปลงไปมาหลาย ๆ ครั้ง



ในขณะที่กำลังส่งสัญลักษณ์ออกไป เมื่อช่องสัญญาณได้รับผลกระทบจากการจางหายของสัญญาณแบบรวดเร็วผลคือแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณก็จะผิดเพี้ยนไปเช่นกัน

- การจางหายของสัญญาณแบบช้า (Slow fading)

การจางหายของสัญญาณแบบช้าเกิดขึ้นเมื่ออัตราการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนองของช่องสัญญาณมีค่าน้อยกว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณหรือ เวลาร่วมกัน (Coherence time) มากกว่าช่วงเวลาของสัญลักษณ์ (Symbol time) ซึ่งการจางหายของสัญญาณแบบช้าจะทำให้ช่องสัญญาณได้รับผลกระทบในช่วงเวลาที่ยาวนานติดต่อกัน

## 2.6 กล่าวท้ายบท

เนื้อหาในบทนี้อธิบายถึงองค์ความรู้ของวิวัฒนาการของโทรศัพท์เคลื่อนที่ เครือข่ายท้องถิ่น ไร้สาย การสื่อสารในยุคที่ 4 พื้นฐานการเกิดแชนด์ออฟและเวอร์ติคอลลแชนด์ออฟที่ใช้ในการสื่อสารยุคที่ 4 ซึ่งสามารถทำให้การสื่อสารเป็นแบบไร้ขอบเขต โดยเลือกใช้การจัดสรรทรัพยากรจากเครือข่ายที่ต่างกันได้จากนั้นกล่าวถึงการจางหายของสัญญาณซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งในการวัดสัญญาณ



## บทที่ 3 การตัดสินใจทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งโดยใช้ข้อมูลทิศทางเคลื่อนที่

### 3.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงแบบแผนการวิจัยในการลดตัดสินใจทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็น โดยดูจากทิศทางเคลื่อนที่ของสถานีโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือที่เรียกโดยทั่ว ๆ ไปว่า โทรศัพท์มือถือรวมถึงผลที่ได้จากการจำลองแบบ ในการสื่อสารยุคที่ 4 เทคโนโลยีในด้านการสื่อสารมีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็วและมีความสำคัญอย่างมากสำหรับการเข้าถึงเครือข่ายสื่อสารไร้สายแบบทั่วถึงหรือไร้ขอบเขต (Seamless) โดยอุปกรณ์สื่อสารหรือสถานีโทรศัพท์เคลื่อนที่ ไม่รู้สึกถึงการเปลี่ยนแปลงเมื่อข้ามไปใช้เครือข่ายสื่อสารอื่น ๆ ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ เช่น การที่อุปกรณ์สื่อสารใช้ทรัพยากรจากเครือข่ายเซลลูลาร์แล้วเคลื่อนที่ข้ามไปใช้ทรัพยากรของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN-Wireless Local Area) ซึ่งตั้งอยู่ภายในเซลล์ของเครือข่ายเซลลูลาร์ อุปกรณ์สื่อสารจะปรับระบบวิทยุจากระบบเซลลูลาร์ไปเป็นระบบท้องถิ่นไร้สายโดยที่ยังคงติดต่อสื่อสารอย่างต่อเนื่อง ลักษณะการเคลื่อนที่แบบไร้รอยต่อ (Seamless Mobility) นี้เองนำไปสู่การพัฒนาวิธีทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง

### 3.2 การตัดสินใจทำการส่งต่อสัญญาณในแนวตั้ง

การทำแฮนด์ออฟในแนวตั้งนั้นเกิดขึ้นในการสื่อสารไร้สายยุคที่ 4 ผู้วิจัยได้เสนอแนวคิดในการลดการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็นจากการวัดจากความแรงของสัญญาณ (RSS-Received Signal Strength) ของอุปกรณ์สื่อสารเพื่อดูทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารว่าการที่อุปกรณ์สื่อสารข้ามไปยังเครือข่ายที่ต่างชนิดกันควรทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งหรือไม่ควรทำ โดยลำดับแนวคิดเป็นดังนี้

#### 3.2.1 โครงสร้างการทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง

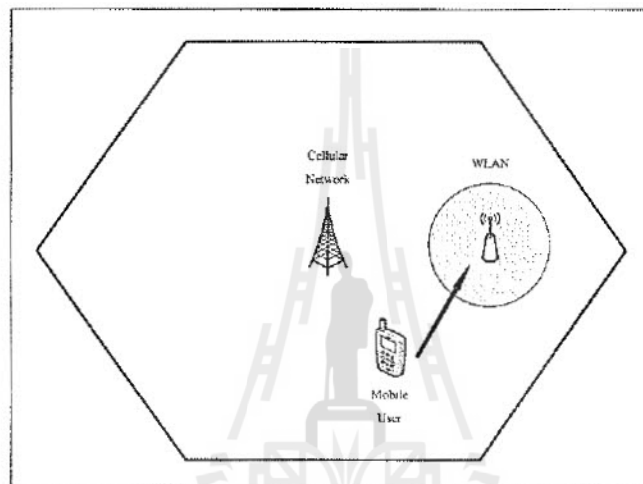
วางแบบแผนให้เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายอยู่ภายในเครือข่ายระบบเซลลูลาร์ เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการเคลื่อนที่จากที่ใช้ทรัพยากรของระบบเซลลูลาร์เริ่มเข้าไปยังพื้นที่เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจะเริ่มทำการพิจารณาว่าควรทำแฮนด์ออฟหรือไม่ ดังแสดงที่รูป 3.1

### 3.2.2 แบบแผนการตัดสินใจการทำงานทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง

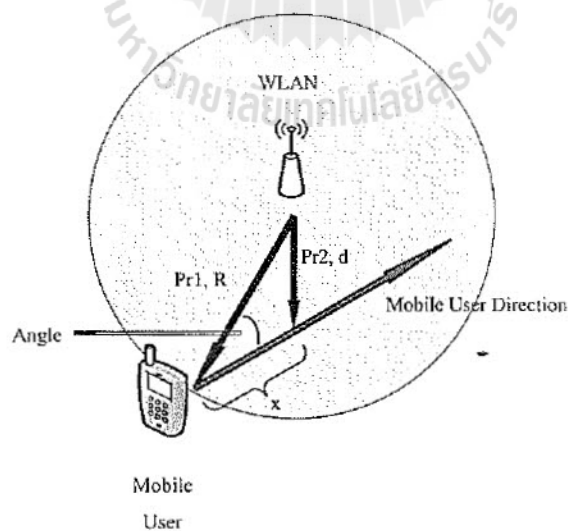
แบบแผนในการตัดสินใจว่าควรหรือไม่ควรทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งใช้ปัจจัยดังนี้ในการประมาณค่าที่ตัดสินใจ

- 1) มุมที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำกับ access point

รูปที่ 3.2 แสดงการคำนวณทิศทางของโทรศัพท์เคลื่อนที่ เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการเคลื่อนที่เริ่มเข้าสู่เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (เริ่มที่ขอบเซลล์) โทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการวัดสัญญาณ



รูปที่ 3.1 โครงสร้างของการทำแฮนด์ออฟ



รูปที่ 3.2 การรับสัญญาณจากจุดให้บริการของเครือข่าย

จาก access point ทุก ๆ การ sampling เพื่อดูว่าทิศทางของโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปทางไหน หาจกกฎของโคไซน์ (Law of cosine) ได้

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

โดย

$\theta$  คือ มุมที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำกับ access point

$x$  คือ ระยะระหว่างการ sampling ครั้งที่ 1 และครั้งถัด ๆ ไป

$R$  คือ ระยะห่างระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ access point เมื่อเริ่มอยู่ที่ขอบเขตของ WLAN (รัศมีควบคุมของ access point) เป็นการ sampling ครั้งแรก

$d$  คือ ระยะห่างระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ access point เมื่อ sampling ครั้งถัดไป

และจากแบบแผนการสูญเสียของ Vijayan,R.; Holtzman,J.M.(1992)

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

โดย

$P_r$  คือ ความแรงของสัญญาณที่รับได้

$K_1, K_2$  คือ ค่าคงที่การสูญเสียที่  $K_2 = 20$

$d$  คือ ระยะห่างระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ access point

ผลต่างของความแรงของสัญญาณในการ sampling แต่ละครั้ง เป็นดังนี้

$$\begin{aligned} P_r(x) - P_r(R) &= -K_2 \log \left( \frac{\sqrt{R^2 + x^2 - 2xR \cos \theta}}{R} \right) \\ &= -K_2 \log \left( \frac{R^2 + x^2 - 2xR \cos \theta}{R^2} \right) \\ &= -K_2 \log \left[ 1 + \left( \frac{x}{R} \right)^2 - 2 \left( \frac{x}{R} \right) \cos \theta \right] \end{aligned} \quad (3.3)$$

ดังนั้น

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

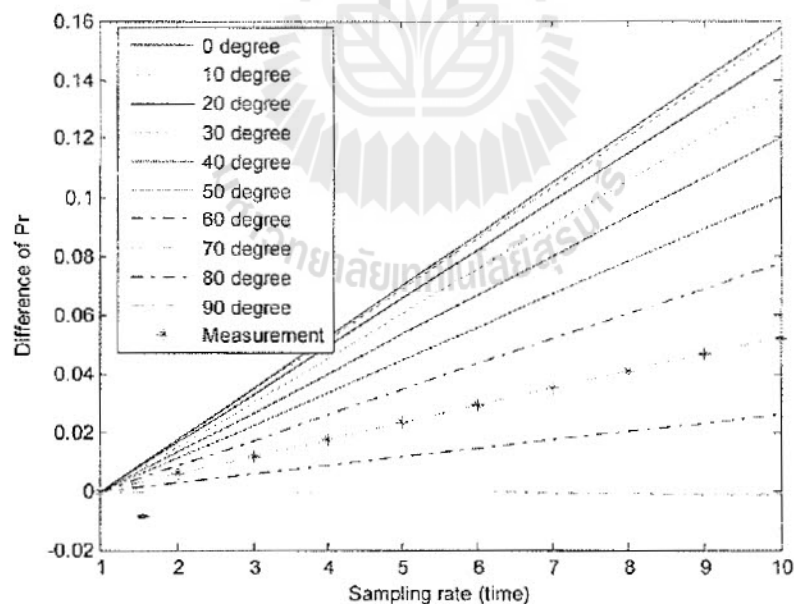
โดยที่

$P_r(R)$  วัดความแรงของสัญญาณเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่เริ่มเคลื่อนที่ไปยังขอบของ access point มีระยะระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ access point เป็น R

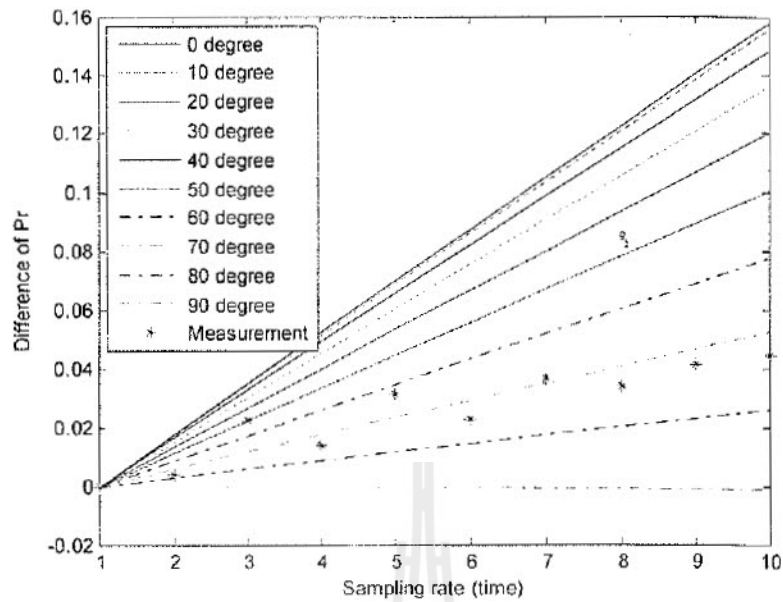
$P_r(x)$  เป็นจุดที่วัดความแรงของสัญญาณในการ sampling แต่ละครั้งเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่ของ access point มีระยะระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับ access point เป็นระยะ  $d = \sqrt{(R^2 + x^2 - 2xR\cos\theta)}$

$n$  เป็นจำนวนครั้งในการ sampling ขณะที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่ของ access point ( $n=1, 2, 3, \dots$ )

จากสมการข้างต้นได้นำไปจำลองแบบในคอมพิวเตอร์ โดยให้ตำแหน่งที่โทรศัพท์เคลื่อนที่เริ่มมีการโทรออก และทิศทางเคลื่อนที่ ณ จุดเริ่มต้นเกิดแบบสุ่มใช้เป็น uniformly distribution จากนั้นความเร็วในการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่และช่วงเวลาที่ใช้เกิดแบบสุ่มโดยใช้เป็น Poisson distribution ที่อัตราเร็วเคลื่อนที่ 5 km/hr และช่วงเวลาที่ 120 วินาที โดยพิจารณาทิศทางเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง และจากโปรแกรมการจำลองแบบแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3.3 และ 3.4

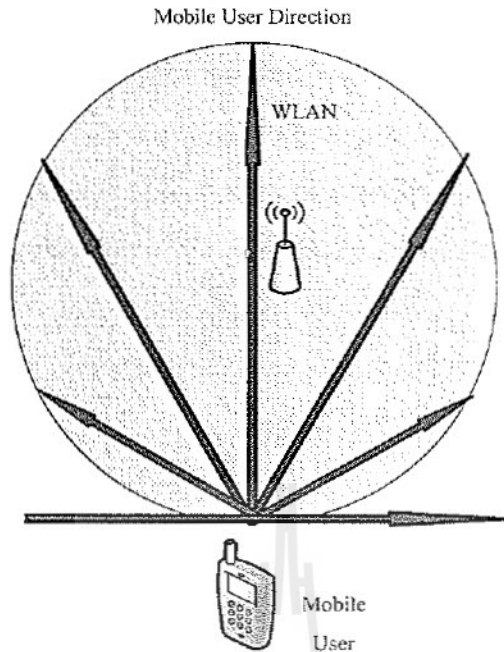


รูปที่ 3.3 ตัวอย่างค่าความแตกต่างของกำลังสัญญาณในทิศทางเคลื่อนที่จาก 0 ถึง 90 องศา



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างค่าความแตกต่างของกำลังสัญญาณในทิศทางเคลื่อนที่จาก 0 ถึง 90 องศาเมื่อมีสัญญาณรบกวน

จากรูปที่ 3.3 และ 3.4 แสดงการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่มีทิศทางเคลื่อนที่จากระบบเซลลูลาร์ไปยังระบบท้องถิ่นไร้สาย โดยมีเส้นกำกับคือเส้นสี่และเส้นปะแสดงตำแหน่งของมุมตั้งแต่  $0^{\circ}, 10^{\circ}, 20^{\circ}, 30^{\circ}, 40^{\circ}, 50^{\circ}, 60^{\circ}, 70^{\circ}, 80^{\circ}, 90^{\circ}$  ตามลำดับ ซึ่งคำนวณจากสมการที่ 3.4 ผังขวามือ ส่วนเส้นรูปดาว (star) เป็นการเกิดการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่จากการจำลองในโปรแกรมซึ่งเกิดแบบสุ่มซึ่งได้อธิบายไว้ก่อนหน้านี้แล้วนำมาคำนวณใน สมการที่ 3.4 ผังซ้ายมือซึ่งเป็นการเปรียบเทียบว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่ไปยัง WLAN มีทิศทางไปทางไหนจากการคำนวณ ได้มุมที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการกับ access point ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ผลคือ ถ้ากราฟเส้นรูปดาวนำไปคำนวณแบบ Mean Square Error (MSE) กับทุกๆ เส้นที่กำกับมุม จะพบว่าถ้าได้ค่า MSE มีค่าน้อยที่สุดที่เส้นใดแสดงว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการเท่ากับมุมของเส้นกำกับเส้นนั้น ดังแสดงที่รูป 3.3 และ 3.4 เป็นแบบไม่มีการ Fading (เป็นแบบสูญเสียเชิงวิถี) และมีการใส่ Fading เข้าไปในการคำนวณ ตามลำดับ ซึ่งจากตัวอย่างเราจะมองว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการโดยประมาณ  $70^{\circ}$  กับ access point



รูปที่ 3.5 ทิศทางที่โทรศัพท์เคลื่อนที่เข้าไปในพื้นที่การให้บริการของ access point

2) อัตราการที่โทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่ของ WLAN

จากการรู้ทิศทางของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเคลื่อนที่อยู่ภายใน WLAN ด้วยการรู้มุมที่ทำกับ access point แล้วยังสามารถประมาณอัตราการที่โทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่ของ WLAN คิดเป็นร้อยละ(%) จากรูปที่ 3.5พบว่าทิศทางเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (ตามแนวลูกศร) สามารถนำมาคำนวณค่าประมาณอัตราร้อยละ คิดเป็นแบบเต็มระยะทางการเคลื่อนที่ใน WLAN เช่นการที่โทรศัพท์เคลื่อนที่เข้าไปในแนวตรงกันกับตำแหน่ง access point จะถือว่ามียัตราอยู่ใน WLAN 100% และถ้าเคลื่อนที่แค่สัมผัสกับขอบของรัศมีครอบคลุมของ access point จะถือว่ามียัตราอยู่ใน WLAN 0 % ดังสมการต่อไปนี้

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

โดย

*distance in WLAN* คิดเต็มระยะทางของทิศทางเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่เข้าไปใน WLAN (m)

*R* คือ รัศมีครอบคลุมของ access point ใน WLAN (m)

### 3) ช่วงเวลาที่โทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่ของ WLAN

จากการทิศทางของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเคลื่อนที่อยู่ภายใน WLAN ด้วยการรู้มุมที่ทำกับ access point ยังสามารถทำให้ประมาณช่วงเวลาที่โทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่ของ WLAN ดังแสดงในรูปที่ 3.5 เช่นกัน พบว่าทิศทางเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (เส้นลูกศรสีแดง) สามารถนำมาคำนวณค่าประมาณช่วงเวลาที่โทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่ของ WLAN คิดเป็นแบบเต็มระยะทางการเคลื่อนที่ใน WLAN ซึ่งช่วงเวลานั้นขึ้นอยู่กับความเร็วการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วย

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

โดย

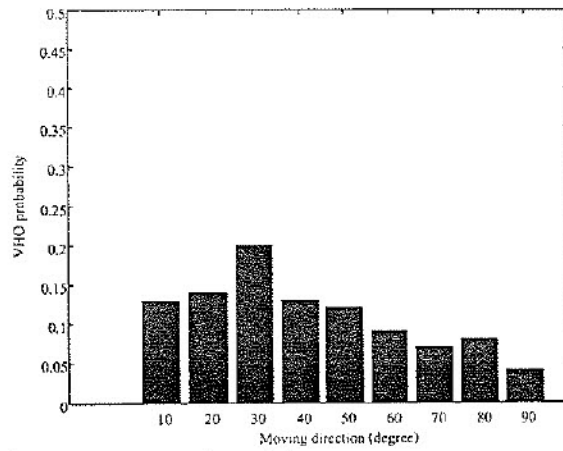
Distance in WLAN คิดเต็มระยะทางของทิศทางเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่เข้าไปใน WLAN (m)

v คือ ความเร็วการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (m/s)

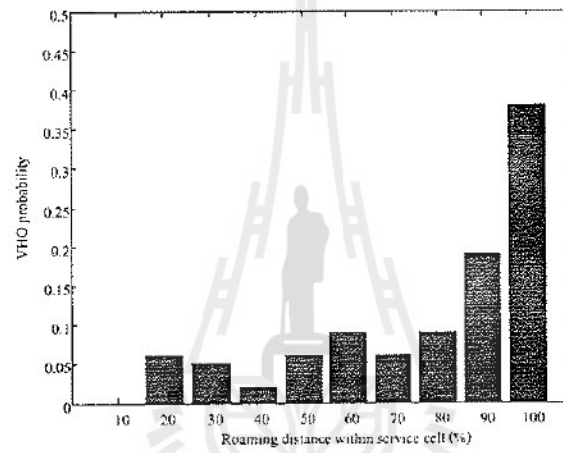
### 3.3 ผลการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์

การจำลองแบบของระบบสื่อสารในการหาทิศทางเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ใช้วิธีที่ได้กล่าวในหัวข้อ 3.2 โดยมีจำนวนการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ 100 ครั้ง ทำการเคลื่อนที่จากระบบเซลล์สู่ลาร์ไปยังระบบท้องถิ่นไร้สาย (WLAN) เพื่อใช้ในการพิจารณาการเกิด VHO และพิจารณาปัจจัยที่ใช้ประกอบการตัดสินใจในการทำ VHO โดยการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ที่มุมเกินกว่า 80° อัตราการอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 20% และช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ได้ ตัวอย่างการจำลองแบบดังนี้ซึ่งผลการจำลองแบบเป็นดังนี้

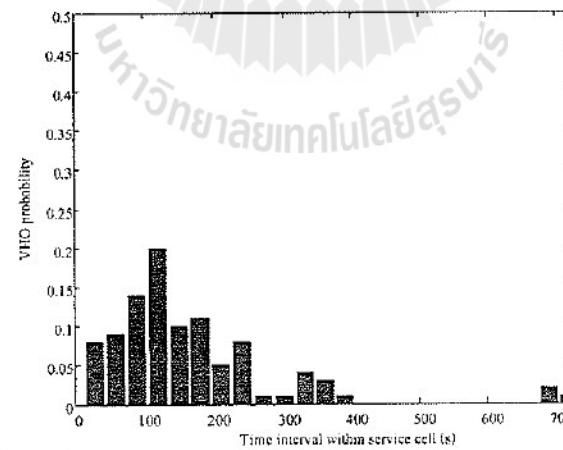




(ก) แสดงทิศทางเคลื่อนที่ของโทรศัพท์ที่เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ access point

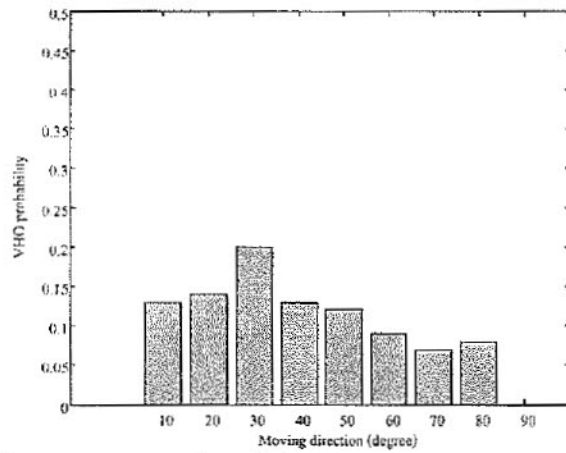


(ข) แสดงอัตราเคลื่อนที่ของโทรศัพท์ที่เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

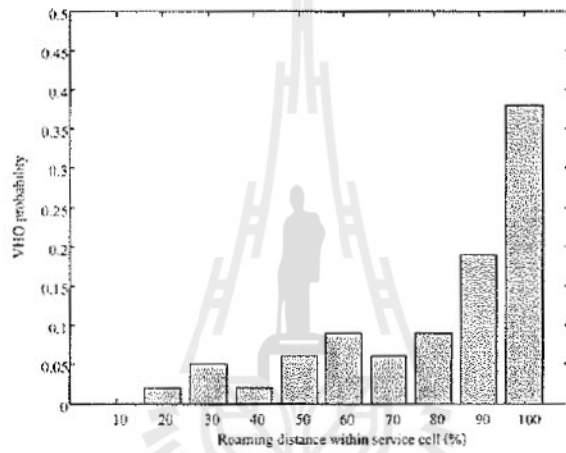


(ค) แสดงช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์ที่เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

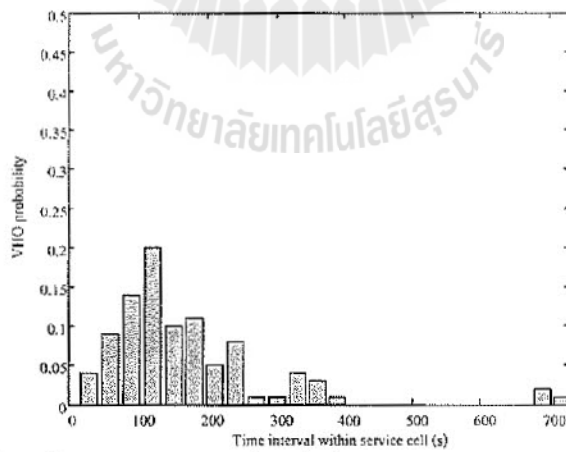
รูปที่ 3.6 การเกิด VHO จากการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ 100 ครั้งก่อนการพิจารณาการเกิด VHO



(ก) แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์ที่เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ access point

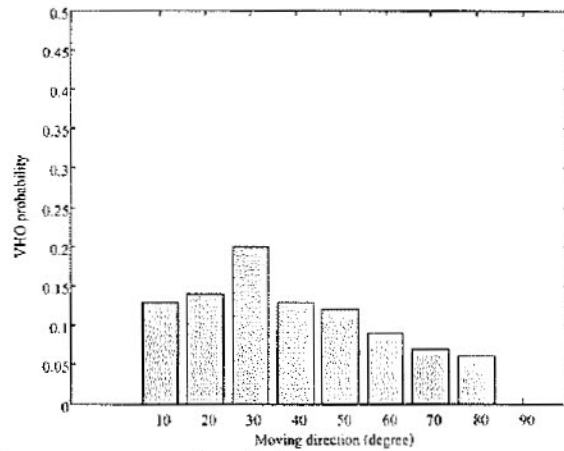


(ข) แสดงอัตราการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์ที่เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

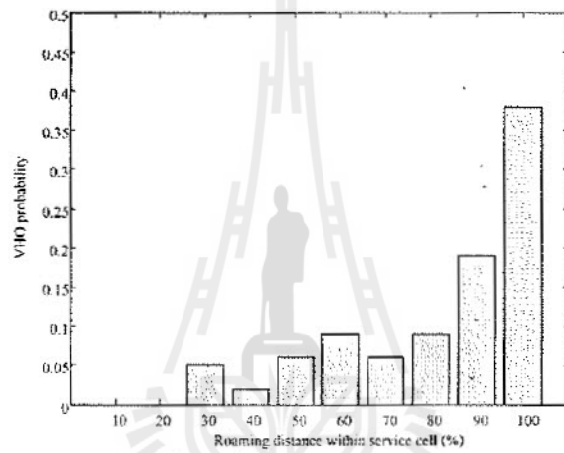


(ค) แสดงช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์ที่เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

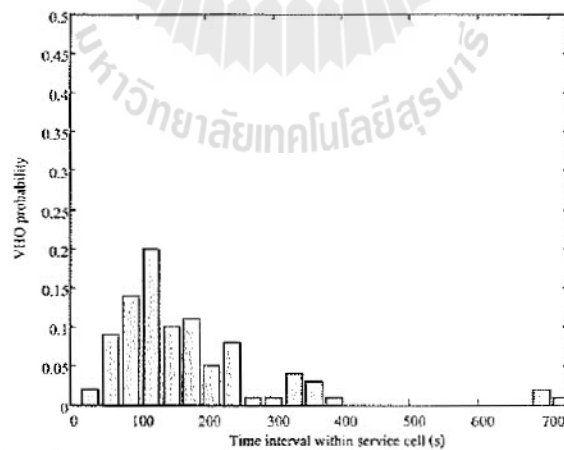
รูปที่ 3.7 การลดการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์ที่เคลื่อนที่ที่ทำมุมกับ access point เกินกว่า  $80^\circ$  ไม่จำเป็นต้องทำ VHO



(ก) แสดงทิศทาง การเคลื่อนที่ของ โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ access point

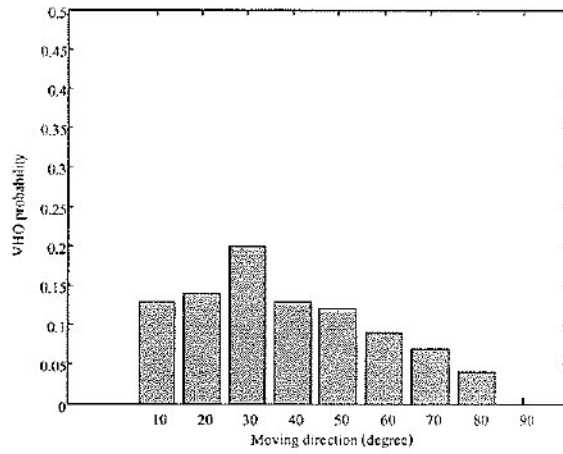


(ข) แสดงอัตรา การเคลื่อนที่ของ โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อ เข้าไปใน WLAN

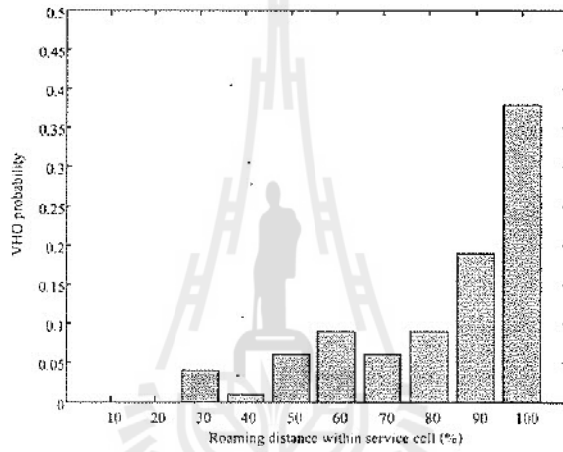


(ค) แสดงช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ของ โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

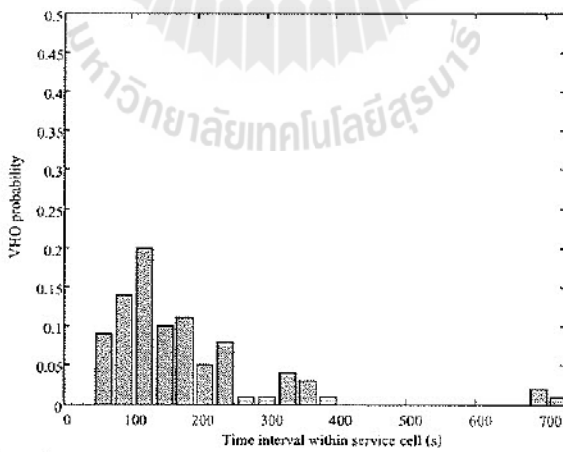
รูปที่ 3.8 การลดการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีอัตราการใช้ WLAN ไม่เกิน 20% ไม่จำเป็นต้องทำ VHO



(ก) แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของ โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ access point



(ข) แสดงอัตราการเคลื่อนที่ของ โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อ เข้าไปใน WLAN



(ค) แสดงช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ของ โทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

รูปที่ 3.9 การลดการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO

จากรูปที่ 3.6 เป็นผลจากการจำลองแบบในคอมพิวเตอร์ในการใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่จำนวน 100 ครั้ง แต่ครั้งจะใช้ข้อมูลทิศทางเคลื่อนที่ในการพิจารณา โดยยังไม่มีผลการเกิด VHO ซึ่งแบ่งเป็น รูป 3.6 (ก) แสดงจำนวนโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ access point รูป 3.6 (ข) แสดงจำนวนโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อมีอัตราการเคลื่อนที่เข้าไปใน WLAN และ รูป 3.6 (ค) แสดงจำนวนโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อใช้ช่วงเวลาในการเคลื่อนที่เข้าไปใน WLAN

รูปที่ 3.7 แสดงผลการลดการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ทำมุมกับ access point มากกว่า  $80^{\circ}$  ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ซึ่งส่งผลต่อจำนวนการเกิด VHO ในรูปที่ 3.7 (ก) 3.7 (ข) และ 3.7 (ค) ลดลงตามลำดับ รูปที่ 3.8 แสดงผลการลดการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีอัตราการอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 20% ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ซึ่งส่งผลต่อจำนวนการเกิด VHO ในรูปที่ 3.8 (ก) 3.8 (ข) และ 3.8 (ค) ลดลงตามลำดับ รูปที่ 3.9 แสดงผลการลดการเกิด VHO โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ซึ่งส่งผลต่อจำนวนการเกิด VHO ในรูปที่ 3.9 (ก) 3.9 (ข) และ 3.9 (ค) ลดลงตามลำดับเช่นกัน และจากการพิจารณาปัจจัยที่ใช้ประกอบการตัดสินใจในการทำ VHO โดยการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ที่มุมมากกว่า  $80^{\circ}$  อัตราการอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 20% และช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO นั้นได้ผลดังตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าถ้าพิจารณา Threshold ที่ให้ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ส่งผลต่อการลดการเกิด VHO มากที่สุดที่ 8 % ดังตัวแปรที่ดีที่สุดในการนำมาประกอบการตัดสินใจทำ VHO คือ ช่วงเวลาที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการเคลื่อนที่ที่อยู่ใน WLAN

ตารางที่ 3.1 ผลการลดจำนวน VHO ที่ไม่จำเป็นเมื่อพิจารณาปัจจัยต่างๆ ร่วมด้วย

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

### 3.4 กล่าวท้ายบท

เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงแนวคิดในการดำเนินการวิจัยในการลดการเกิดการทำแฮกค์ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็นและแสดงการจำลองแบบ โดยใช้ข้อมูลทิศทาง การเคลื่อนที่ของ โทรศัพท์เคลื่อนที่ประกอบการตัดสินใจซึ่งจะทำให้สามารถรู้ มุม อัตราร้อยละ และช่วงเวลา ที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่จากระบบเซลลูลาร์เข้าไปในพื้นที่ของ WLAN ซึ่งเป็นข้อมูลที่สามารถนำมาวิเคราะห์หาทิศทาง การเคลื่อนที่ซึ่งพบว่า ปัจจัยช่วงเวลา ที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่จากระบบเซลลูลาร์เป็นปัจจัยที่ดีที่สุดในการพิจารณาลดการเกิดการทำแฮกค์ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็น



## บทที่ 4 ผลการทดสอบและบทวิเคราะห์

### 4.1 กล่าวนำ

เนื้อหาในบทนี้จะเป็นการกล่าวถึงผลที่ได้จากการทดสอบวัดสัญญาณจริงในการตรวจสอบทิศทางของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเคลื่อนที่จากระบบเซลลูลาร์เข้าไปยังระบบท้องถิ่นไร้สายและนำปัจจัยที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 มาพิจารณาประกอบการตัดสินใจเพื่อลดการเกิดการทำแฮนด์ออฟในแนวตั้งที่ไม่จำเป็น และสุดท้ายจะเป็นการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบวัดสัญญาณจริงพร้อมทั้งสรุปผลที่ได้รับจากการศึกษาและออกแบบระบบต่อไป

### 4.2 การนิยามปัญหา

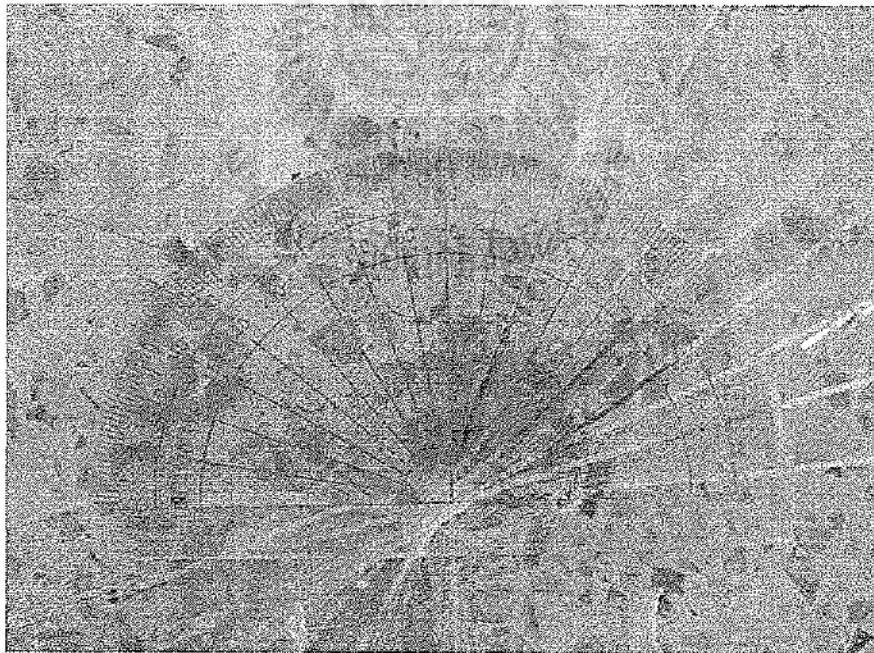
ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในการสื่อสารไร้สายยุคที่ 4 (4G-Fourth Generation) มีความสำคัญอย่างมากสำหรับการเข้าถึงเครือข่ายสื่อสารไร้สายแบบทั่วถึงหรือไร้ขอบเขต (Seamless) โดยอุปกรณ์สื่อสารหรือสถานีโทรศัพท์เคลื่อนที่ (MS-Mobile Station) ไม่รู้สึถึงการเปลี่ยนแปลงเมื่อเข้าไปใช้เครือข่ายสื่อสารอื่นๆ ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ เช่น การที่อุปกรณ์สื่อสารใช้ทรัพยากรจากเครือข่ายเซลลูลาร์แล้วเคลื่อนที่เข้าไปใช้ทรัพยากรของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLAN-Wireless Local Area) ซึ่งตั้งอยู่ภายในเซลล์ของเครือข่ายเซลลูลาร์ อุปกรณ์สื่อสารจะปรับระบบวิทยุจากระบบเซลลูลาร์ไปเป็นระบบท้องถิ่นไร้สายโดยที่ยังคงติดต่อสื่อสารอย่างต่อเนื่อง ลักษณะการเคลื่อนที่แบบไร้รอยต่อ (Seamless Mobility) นี้เองนำไปสู่การพัฒนาวิธีการทำแฮนด์ออฟในแนวตั้ง (Vertical Handoff) งานวิจัยที่ได้สำรวจมามีวิธีการปรับปรุงคุณภาพการทำแฮนด์ออฟในแนวตั้งโดยเน้นไปที่การลดการหน่วงของเวลา (Delay) และลดการสูญหายของข้อมูล (Data loss) มีข้อดีคือช่วยให้การรับและส่งข้อมูลผิดพลาดน้อยลง ข้อเสียคือยังมีการทำแฮนด์ออฟในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นเกิดขึ้น ซึ่งการทำแฮนด์ออฟในแนวตั้งแต่ละครั้งส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการ (QoS - Quality of Service) เกิดการหน่วงเวลาระหว่างคู่สายและเกิดการสูญหายของข้อมูล ทำให้การรับและส่งข้อมูลผิดพลาดได้ ยังไม่มีงานวิจัยใดที่เสนอวิธีการลดการเกิดแฮนด์ออฟในแนวตั้งที่ไม่จำเป็น โดยดูจากทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสาร ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการลดการทำแฮนด์ออฟในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นจากการวัดจากความแรงของสัญญาณ (RSS-Received Signal Strength) ของทั้งเครือข่ายเซลลูลาร์และเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายของอุปกรณ์สื่อสารเพื่อดูทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารว่าการที่อุปกรณ์

สื่อสารข้ามไปยังเครือข่ายที่ต่างชนิดกันควรทำการแฮนด์ออฟในแนวตั้งหรือไม่ควรทำ โดยคาดหวังว่าการใช้ทิศทางเข้ามาประกอบการตัดสินใจนั้นสามารถช่วยลดการทำแฮนด์ออฟในแนวตั้งที่ไม่จำเป็นลงได้

### 4.3 ผลการทดสอบจริง

#### 4.3.1 ขั้นตอนการทดสอบ

- เป็นการจัดวางชุดทดสอบการวัดสัญญาณที่จุด Threshold ของความแรงของสัญญาณของ access point -50 dB และ -70 dB โดยการวัดมุมที่ทำกับ access point เป็นมุม  $0^{\circ}, 10^{\circ}, 20^{\circ}, 30^{\circ}, 40^{\circ}, 50^{\circ}, 60^{\circ}, 70^{\circ}, 80^{\circ}, 90^{\circ}$
- ทำแนวเส้นให้เรียบแล้ว ดังแสดงในรูปที่ 4.1
- ทำการวัดสัญญาณ โดยการเดินตามเส้นที่ได้เตรียมไว้ ดังรูปที่ 4.2 ในทุก ๆ มุมที่กำหนด โดยใช้โปรแกรมวัดความแรงของสัญญาณดังรูปที่ 4.3 เป็นการวัดความแรงของสัญญาณของ access point จากโปรแกรม wirelessmon ในกรอบสี่เหลี่ยมสีแดงในรูปจะแสดงความแรงของสัญญาณที่วัดได้ เพื่อนำมายืนยันความถูกต้องของแนวคิด

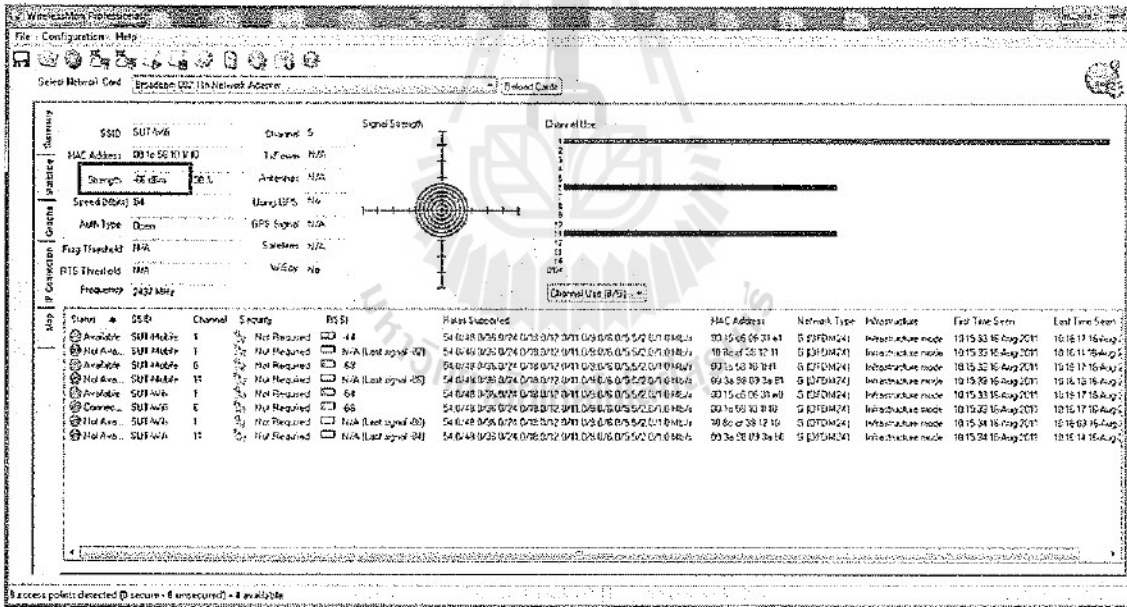


รูปที่ 4.1 วิธีวัดมุมที่ทำกับ access point





รูปที่ 4.2 ทิศทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นกำกับมุม



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างหน้าจอโปรแกรมที่ใช้วัดกำลังของสัญญาณ

### 4.3.2 ผลการทดสอบ

สิ่งที่ได้กล่าวมาในข้างต้นว่า ในการทดสอบ ทางผู้วิจัยได้เลือกใช้การทดสอบวัดสัญญาณจริงบริเวณภายในอาคารเรียนรวมมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีจากการทดสอบโดยผู้วิจัยเดินตามแนวที่ได้ทำไว้ โดยวัดความแรงของสัญญาณ (RSS) ที่การ sampling 5, 10, 15 และ 20 ครั้ง และทำการวัดที่ Threshold ของความแรงของสัญญาณของ access point ที่ -50 dB และ -70 dB เริ่มจาก 1. วัดความแรงของสัญญาณจาก Base Station ของระบบเซลลูลาร์ 2. วัดความแรงของสัญญาณจาก Access Point ของระบบท้องถิ่นไร้สาย

วัดความแรงของสัญญาณจากการเดินตามแนวเส้นกำกับมุมที่ได้เตรียมไว้ ซึ่งได้ยกตัวอย่างการเดินที่เส้นกำกับมุม 10 องศา ที่ Threshold -50 dB ดังนี้

ครั้งที่ 1

Sampling ครั้งที่ 1	ได้กำลังของสัญญาณ [-55 -59 -61 -58 -60] dB
Sampling ครั้งที่ 2	ได้กำลังของสัญญาณ [-55 -55 -56 -56 -59] dB
Sampling ครั้งที่ 3	ได้กำลังของสัญญาณ [-56 -57 -55 -56 -57] dB
Sampling ครั้งที่ 4	ได้กำลังของสัญญาณ [-50 -53 -54 -53 -52] dB
Sampling ครั้งที่ 5	ได้กำลังของสัญญาณ [-55 -53 -53 -57 -57] dB
Sampling ครั้งที่ 6	ได้กำลังของสัญญาณ [-60 -59 -59 -59 -57] dB
Sampling ครั้งที่ 7	ได้กำลังของสัญญาณ [-58 -58 -59 -56 -57] dB
Sampling ครั้งที่ 8	ได้กำลังของสัญญาณ [-56 -56 -55 -57 -56] dB
Sampling ครั้งที่ 9	ได้กำลังของสัญญาณ [-53 -54 -53 -54 -52] dB
Sampling ครั้งที่ 10	ได้กำลังของสัญญาณ [-55 -47 -53 -53 -57] dB
Sampling ครั้งที่ 11	ได้กำลังของสัญญาณ [-52 -51 -49 -50 -49] dB
Sampling ครั้งที่ 12	ได้กำลังของสัญญาณ [-47 -53 -55 -51 -55] dB
Sampling ครั้งที่ 13	ได้กำลังของสัญญาณ [-53 -55 -56 -51 -54] dB
Sampling ครั้งที่ 14	ได้กำลังของสัญญาณ [-50 -50 -49 -49 -51] dB
Sampling ครั้งที่ 15	ได้กำลังของสัญญาณ [-53 -51 -46 -46 -50] dB
Sampling ครั้งที่ 16	ได้กำลังของสัญญาณ [-44 -44 -44 -45 -44] dB
Sampling ครั้งที่ 17	ได้กำลังของสัญญาณ [-42 -42 -42 -41 -42] dB
Sampling ครั้งที่ 18	ได้กำลังของสัญญาณ [-45 -49 -49 -52 -49] dB
Sampling ครั้งที่ 19	ได้กำลังของสัญญาณ [-49 -48 -48 -48 -46] dB
Sampling ครั้งที่ 20	ได้กำลังของสัญญาณ [-47 -49 -50 -48 -49] dB

## ครั้งที่ 2

Sampling ครั้งที่ 1	ได้กำลังของสัญญาณ	[-53 -53 -53 -54 -50] dB
Sampling ครั้งที่ 2	ได้กำลังของสัญญาณ	[-51 -52 -52 -50 -53] dB
Sampling ครั้งที่ 3	ได้กำลังของสัญญาณ	[-52 -52 -52 -53 -53] dB
Sampling ครั้งที่ 4	ได้กำลังของสัญญาณ	[-52 -52 -58 -56 -58] dB
Sampling ครั้งที่ 5	ได้กำลังของสัญญาณ	[-51 -54 -57 -55 -57] dB
Sampling ครั้งที่ 6	ได้กำลังของสัญญาณ	[-59 -61 -59 -60 -62] dB
Sampling ครั้งที่ 7	ได้กำลังของสัญญาณ	[-53 -51 -51 -51 -49] dB
Sampling ครั้งที่ 8	ได้กำลังของสัญญาณ	[-54 -54 -53 -53 -50] dB
Sampling ครั้งที่ 9	ได้กำลังของสัญญาณ	[-55 -52 -59 -50 -53] dB
Sampling ครั้งที่ 10	ได้กำลังของสัญญาณ	[-50 -54 -54 -54 -53] dB
Sampling ครั้งที่ 11	ได้กำลังของสัญญาณ	[-53 -54 -54 -54 -54] dB
Sampling ครั้งที่ 12	ได้กำลังของสัญญาณ	[-56 -58 -59 -58 -57] dB
Sampling ครั้งที่ 13	ได้กำลังของสัญญาณ	[-54 -50 -54 -53 -53] dB
Sampling ครั้งที่ 14	ได้กำลังของสัญญาณ	[-53 -49 -52 -48 -50] dB
Sampling ครั้งที่ 15	ได้กำลังของสัญญาณ	[-48 -48 -48 -49 -46] dB
Sampling ครั้งที่ 16	ได้กำลังของสัญญาณ	[-43 -46 -43 -47 -44] dB
Sampling ครั้งที่ 17	ได้กำลังของสัญญาณ	[-43 -48 -45 -43 -43] dB
Sampling ครั้งที่ 18	ได้กำลังของสัญญาณ	[-49 -43 -54 -48 -48] dB
Sampling ครั้งที่ 19	ได้กำลังของสัญญาณ	[-43 -50 -43 -48 -49] dB
Sampling ครั้งที่ 20	ได้กำลังของสัญญาณ	[-51 -49 -46 -49 -45] dB)

## ครั้งที่ 3

Sampling ครั้งที่ 1	ได้กำลังของสัญญาณ	[-51 -49 -52 -51 -50] dB
Sampling ครั้งที่ 2	ได้กำลังของสัญญาณ	[-52 -54 -54 -56 -56] dB
Sampling ครั้งที่ 3	ได้กำลังของสัญญาณ	[-50 -54 -54 -56 -54] dB
Sampling ครั้งที่ 4	ได้กำลังของสัญญาณ	[-59 -56 -57 -60 -59] dB
Sampling ครั้งที่ 5	ได้กำลังของสัญญาณ	[-57 -59 -54 -60 -55] dB
Sampling ครั้งที่ 6	ได้กำลังของสัญญาณ	[-57 -56 -53 -53 -51] dB
Sampling ครั้งที่ 7	ได้กำลังของสัญญาณ	[-56 -51 -57 -48 -56] dB
Sampling ครั้งที่ 8	ได้กำลังของสัญญาณ	[-57 -51 -51 -53 -54] dB

Sampling ครั้งที่ 9	ได้กำลังของสัญญาณ	[-51 -53 -53 -53 -53] dB
Sampling ครั้งที่ 10	ได้กำลังของสัญญาณ	[-51 -52 -53 -50 -51] dB
Sampling ครั้งที่ 11	ได้กำลังของสัญญาณ	[-53 -54 -53 -54 -54] dB
Sampling ครั้งที่ 12	ได้กำลังของสัญญาณ	[-50 -57 -55 -53 -57] dB
Sampling ครั้งที่ 13	ได้กำลังของสัญญาณ	[-46 -52 -56 -54 -55] dB
Sampling ครั้งที่ 14	ได้กำลังของสัญญาณ	[-47 -44 -55 -45 -45] dB
Sampling ครั้งที่ 15	ได้กำลังของสัญญาณ	[-50 -45 -45 -54 -53] dB
Sampling ครั้งที่ 16	ได้กำลังของสัญญาณ	[-46 -54 -43 -44 -53] dB
Sampling ครั้งที่ 17	ได้กำลังของสัญญาณ	[-44 -48 -43 -45 -45] dB
Sampling ครั้งที่ 18	ได้กำลังของสัญญาณ	[-42 -42 -41 -40 -41] dB
Sampling ครั้งที่ 19	ได้กำลังของสัญญาณ	[-44 -48 -39 -49 -44] dB
Sampling ครั้งที่ 20	ได้กำลังของสัญญาณ	[-39 -45 -42 -46 -44] dB

ครั้งที่ 4

Sampling ครั้งที่ 1	ได้กำลังของสัญญาณ	[-54 -54 -63 -55 -55] dB
Sampling ครั้งที่ 2	ได้กำลังของสัญญาณ	[-51 -51 -52 -53 -53] dB
Sampling ครั้งที่ 3	ได้กำลังของสัญญาณ	[-55 -54 -54 -56 -53] dB
Sampling ครั้งที่ 4	ได้กำลังของสัญญาณ	[-51 -54 -54 -52 -57] dB
Sampling ครั้งที่ 5	ได้กำลังของสัญญาณ	[-53 -57 -56 -57 -58] dB
Sampling ครั้งที่ 6	ได้กำลังของสัญญาณ	[-63 -62 -59 -56 -62] dB
Sampling ครั้งที่ 7	ได้กำลังของสัญญาณ	[-53 -48 -49 -48 -48] dB
Sampling ครั้งที่ 8	ได้กำลังของสัญญาณ	[-47 -47 -50 -46 -47] dB
Sampling ครั้งที่ 9	ได้กำลังของสัญญาณ	[-53 -51 -50 -47 -52] dB
Sampling ครั้งที่ 10	ได้กำลังของสัญญาณ	[-54 -53 -50 -52 -52] dB
Sampling ครั้งที่ 11	ได้กำลังของสัญญาณ	[-56 -55 -54 -58 -57] dB
Sampling ครั้งที่ 12	ได้กำลังของสัญญาณ	[-50 -56 -51 -52 -49] dB
Sampling ครั้งที่ 13	ได้กำลังของสัญญาณ	[-53 -53 -45 -54 -44] dB
Sampling ครั้งที่ 14	ได้กำลังของสัญญาณ	[-49 -50 -49 -46 -49] dB
Sampling ครั้งที่ 15	ได้กำลังของสัญญาณ	[-48 -49 -49 -46 -47] dB
Sampling ครั้งที่ 16	ได้กำลังของสัญญาณ	[-44 -44 -51 -48 -47] dB
Sampling ครั้งที่ 17	ได้กำลังของสัญญาณ	[-52 -54 -53 -54 -54] dB

Sampling ครั้งที่ 18	ได้กำลังของสัญญาณ	[-50 -46 -47 -46 -46] dB
Sampling ครั้งที่ 19	ได้กำลังของสัญญาณ	[-42 -44 -43 -43 -44] dB
Sampling ครั้งที่ 20	ได้กำลังของสัญญาณ	[-46 -51 -50 -49 -43] dB
ครั้งที่ 5		
Sampling ครั้งที่ 1	ได้กำลังของสัญญาณ	[-51 -52 -51 -52 -51] dB
Sampling ครั้งที่ 2	ได้กำลังของสัญญาณ	[-54 -51 -50 -52 -51] dB
Sampling ครั้งที่ 3	ได้กำลังของสัญญาณ	[-53 -56 -61 -51 -61] dB
Sampling ครั้งที่ 4	ได้กำลังของสัญญาณ	[-57 -58 -56 -63 -60] dB
Sampling ครั้งที่ 5	ได้กำลังของสัญญาณ	[-55 -57 -50 -48 -55] dB
Sampling ครั้งที่ 6	ได้กำลังของสัญญาณ	[-47 -47 -55 -54 -50] dB
Sampling ครั้งที่ 7	ได้กำลังของสัญญาณ	[-49 -49 -56 -55 -51] dB
Sampling ครั้งที่ 8	ได้กำลังของสัญญาณ	[-56 -47 -56 -60 -53] dB
Sampling ครั้งที่ 9	ได้กำลังของสัญญาณ	[-48 -52 -49 -51 -53] dB
Sampling ครั้งที่ 10	ได้กำลังของสัญญาณ	[-51 -55 -54 -53 -54] dB
Sampling ครั้งที่ 11	ได้กำลังของสัญญาณ	[-50 -55 -56 -57 -55] dB
Sampling ครั้งที่ 12	ได้กำลังของสัญญาณ	[-56 -45 -44 -46 -46] dB
Sampling ครั้งที่ 13	ได้กำลังของสัญญาณ	[-46 -55 -42 -50 -44] dB
Sampling ครั้งที่ 14	ได้กำลังของสัญญาณ	[-49 -44 -44 -44 -51] dB
Sampling ครั้งที่ 15	ได้กำลังของสัญญาณ	[-46 -52 -47 -47 -54] dB
Sampling ครั้งที่ 16	ได้กำลังของสัญญาณ	[-45 -42 -43 -44 -44] dB
Sampling ครั้งที่ 17	ได้กำลังของสัญญาณ	[-48 -44 -47 -45 -47] dB
Sampling ครั้งที่ 18	ได้กำลังของสัญญาณ	[-49 -47 -50 -47 -47] dB
Sampling ครั้งที่ 19	ได้กำลังของสัญญาณ	[-45 -43 -47 -44 -45] dB
Sampling ครั้งที่ 20	ได้กำลังของสัญญาณ	[-45 -46 -43 -45 -44] dB

ในการวัดกำลังของสัญญาณในแต่ละการ sampling ใช้ค่าเฉลี่ยของกำลังของสัญญาณที่วัดได้ของแต่ละครั้งไปประมาณหาทิศทางการเคลื่อนที่ดังที่เสนอการจำลองแบบในบทที่ 3 หากหา Mean Square Error (MSE) ได้ดังตาราง 4.1 พบว่ามุมที่ได้จากการวัดสัญญาณจริงนั้นมีการคลาดเคลื่อนได้แต่ถ้ายังอยู่ในช่วงเวลาที่ได้กำหนดไว้ (ช่วงที่ต้องทำ VHO คือ 0 – 80 องศา) ก็ถือว่าการทำนายทิศทางการเคลื่อนที่นั้นต้องทำ VHO และถ้าได้มุมในช่วง 90 องศาขึ้นไม่ต้องทำ VHO ถือว่าการทำนายเกิดความผิดพลาดขึ้น ซึ่งได้

แสดงดังตารางที่ 4.2 และ 4.3 พบว่าจำนวนการ sampling ยิ่งมากขึ้น ช่วงการประมาณที่ 0- 80 องศาและช่วงการประมาณที่ 90 องศา มีแนวโน้มการประมาณการเกิด VHO ผิดพลาดน้อยลง โดยที่ช่วงการประมาณที่ 90 องศาแทบจะไม่มี ความผิดพลาดเกิดขึ้นเลยและที่ Threshold -70 dB มี การประมาณการเกิด VHO ผิดพลาดน้อยกว่าที่ Threshold -50 dB

ตารางที่ 4.1 ผลที่ได้จากการเดินตามเส้นทางกับมุม 10 องศา ที่ Threshold -50 dB

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 4.2 ช่วงการประมาณการเกิด VHO ผิดพลาดที่ Threshold -50 dB

Sampling (ครั้ง) ช่วงมุม (องศา)	ความผิดพลาด (%)			
	5	10	15	20
0-80	16	15	9	3
90	0	0	0	2

ตารางที่ 4.3 ช่วงการประมาณการเกิด VHO ผิดพลาดที่ Threshold -70 dB

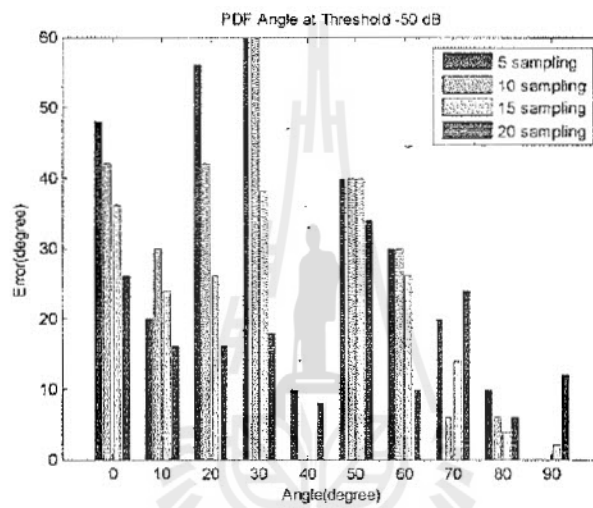
Sampling (ครั้ง) ช่วงมุม (องศา)	ความผิดพลาด (%)			
	5	10	15	20
0-80	10	4	0	0
90	0	0	0	0

เมื่อทำการวัดสัญญาณจากทุก ๆ เส้นทางในแต่ละ Threshold แล้วนำไปประมาณค่าเพื่อหาทิศทาง การเคลื่อนที่ในการพิจารณาการเกิด VHO จากวิธี MSE โดยใช้การ sampling ที่ 5, 10, 15, 20 ครั้งตามลำดับ ได้แสดงผลดังรูปที่ 4.3 แสดงผลการทำนายผิดพลาดโดยเฉลี่ยในแต่ละมุมที่เดินตามเส้นทางกับมุม และได้ผลดังสรุปไว้ในตารางที่ 4.3 และ 4.4 พบว่าการประมาณทิศทาง การเคลื่อนที่ (มุมในการทำกับ

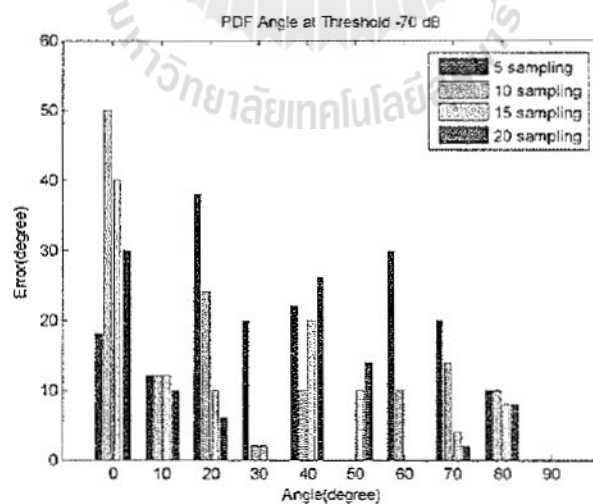
access point) มีความผิดพลาดน้อยลงเมื่อมีการ sampling มากครั้งและที่ Threshold -70 มีความผิดพลาดเกิดขึ้นน้อยกว่าที่ Threshold -50

ตารางที่ 4.4 การประมาณทิศทางผิดพลาดเฉลี่ย

Sampling (ครั้ง) \ Threshold	ความผิดพลาดเฉลี่ย (%)			
	5	10	15	20
-50 dB	29.4	25.6	21	17
-70 dB	17	13.2	10.6	9.6



(ก)



(ข)

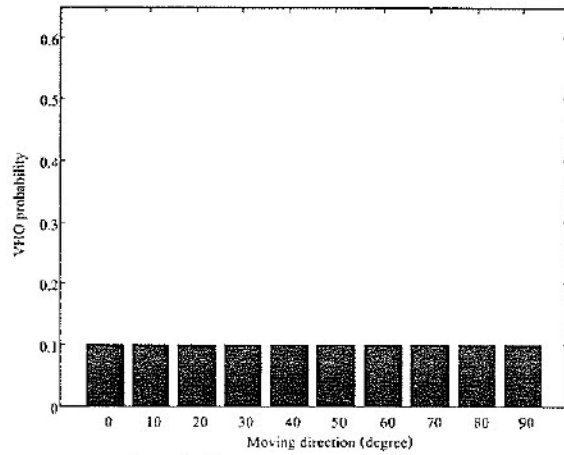
รูปที่ 4.4 ค่าความผิดพลาดของการประมาณทิศทางการเคลื่อนที่ (ก) ระดับ -50 dB (ข) ระดับ -70 dB

จากการวัดสัญญาณจากทุก ๆ เส้นทางในแต่ละ Threshold แล้ว นำไปประมาณค่าเพื่อหาทิศทางการเคลื่อนที่ในการพิจารณาการเกิด VHO และพิจารณาปัจจัยที่ใช้ประกอบการตัดสินใจในการทำ VHO โดยการกำหนดจุดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ที่ช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ซึ่งเป็นปัจจัยที่ได้แสดงไว้ที่บทที่ 3 แล้วว่าดีที่สุด ทั้ง Threshold -50 dB และ -70 dB ของ access point

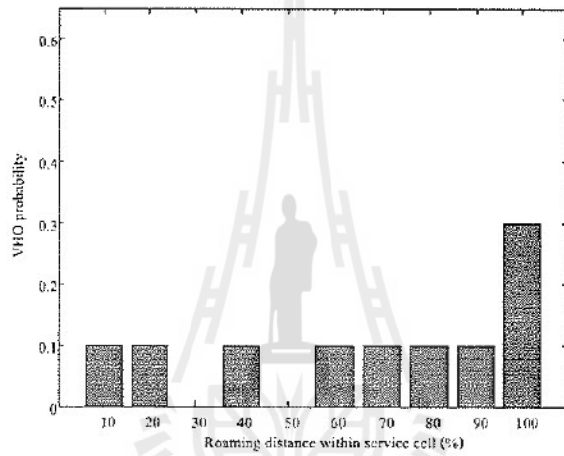
จากรูปที่ 4.5 แสดงการเกิด VHO จากแบบจำลองก่อนการพิจารณาการเกิด VHO ที่ไม่จำเป็น โดยให้เห็นในทุกเส้นทางที่กำกับมุมนั้นเท่ากันเพื่อใช้เปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวัดสัญญาณจริง และผลที่ได้จากการลดการเกิด VHO ที่ไม่จำเป็น ได้แสดงดังรูปที่ 4.6 พบว่าช่วงเวลาที่เกิดขึ้นที่อยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาทีไม่จำเป็นต้องทำ VHO ลดการเกิด VHO ลงได้ 20 %

จากรูปที่ 4.7 เป็นตัวอย่างจากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาการเกิด VHO ที่ไม่จำเป็น ในทุกเส้นทางที่กำกับมุมและรูปที่ 4.8 เป็นตัวอย่างผลที่ได้จากการวัดสัญญาณจริงเมื่อการลดการเกิด VHO ที่ไม่จำเป็น ช่วงเวลาที่เคลื่อนที่อยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาทีไม่จำเป็นต้องทำ VHO ซึ่งผลที่ได้จากการวัดสัญญาณจริงนั้น ได้ดำเนินการทุก ๆ เส้นทางของทุกมุมที่ Threshold -50 และ -70 dB ซึ่งสรุปผลการลดการเกิด VHO ดังตารางที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 พบว่าเมื่อจำนวนการ sampling มากขึ้นนอกจากจะทำให้การประมาณทิศทางผิดพลาดน้อยลงแล้วยังส่งผลถึงการพิจารณาการลดการเกิด VHO ด้วย ซึ่งทำให้พิจารณาได้แม่นยำขึ้น ซึ่งหากการ sampling น้อยครั้งไปอาจพิจารณาให้ลดการเกิด VHO มากครั้งเกินไป

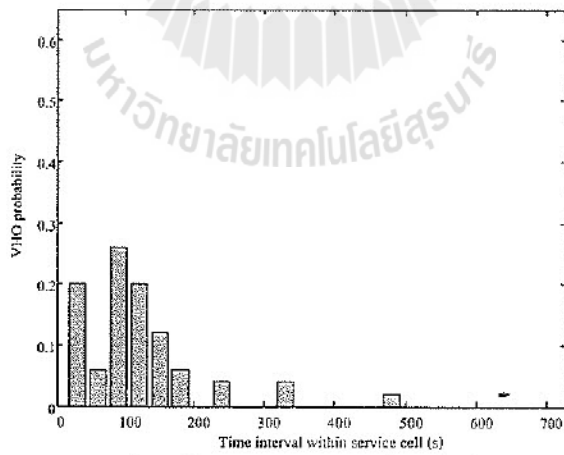




(ก) ทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ access point

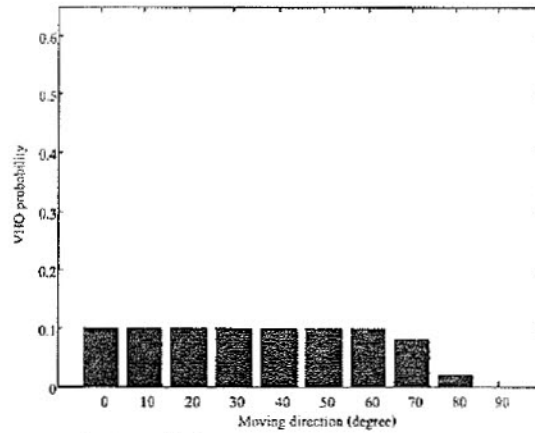


(ข) อัตราการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

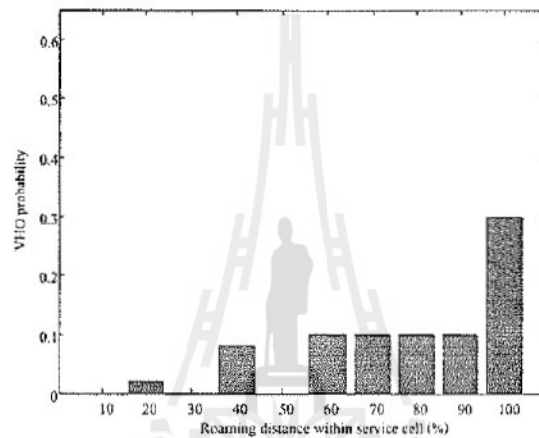


(ค) ช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

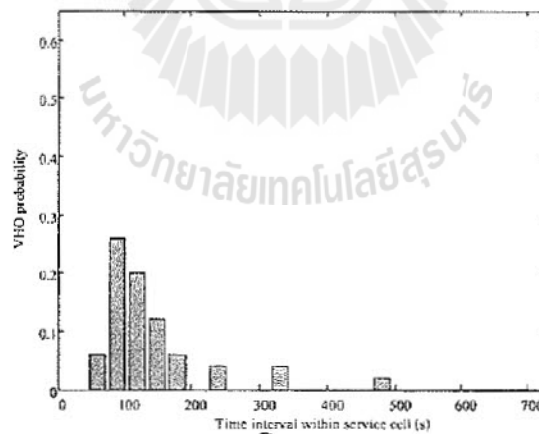
รูปที่ 4.5 การเกิด VHO จากแบบจำลองก่อนการพิจารณาการเกิด VHO ที่ไม่จำเป็น



(ก) ทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ access point

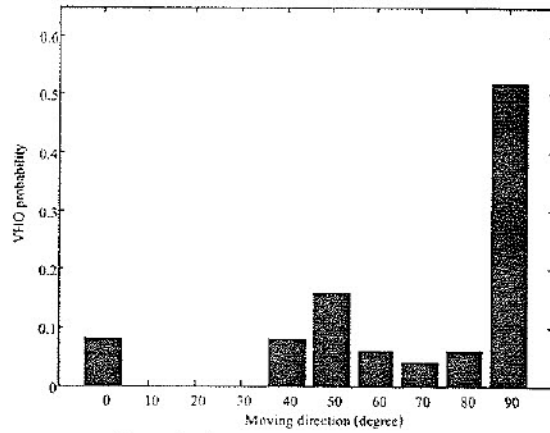


(ข) อัตราการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อ เข้าไปใน WLAN

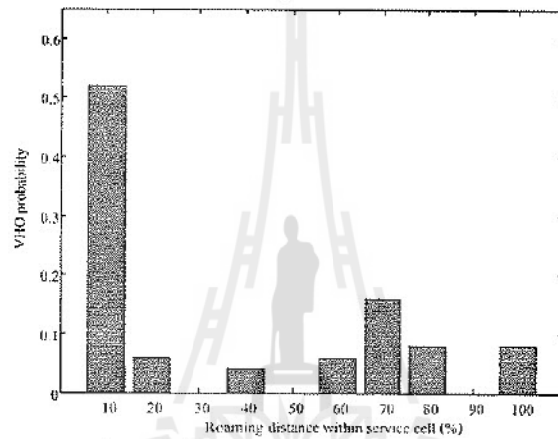


(ค) ช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

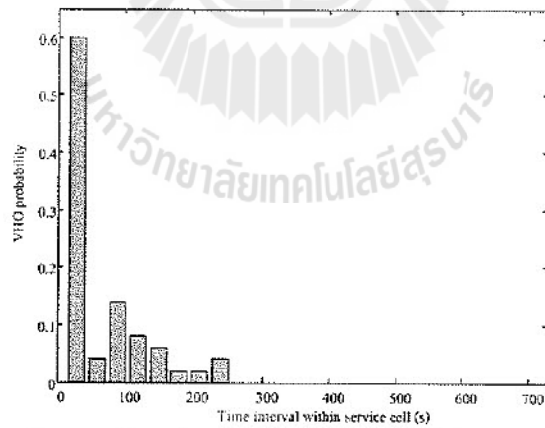
รูปที่ 4.6 การลดการเกิด VHO ที่ไม่จำเป็นจากแบบจำลอง โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO



(ก) ทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ access point

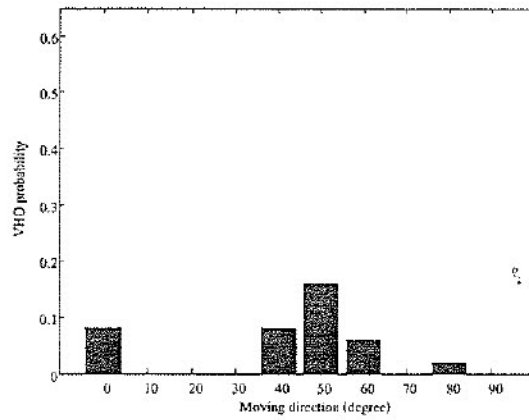


(ข) อัตราการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

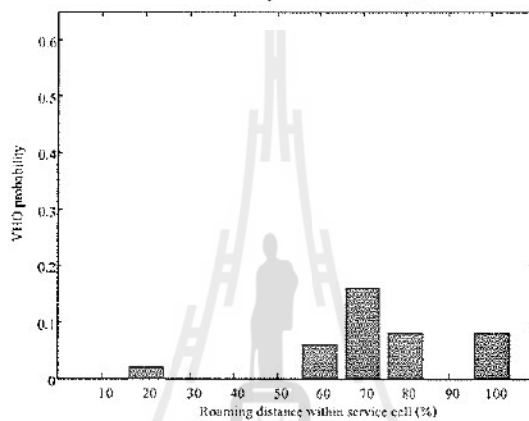


(ค) ช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

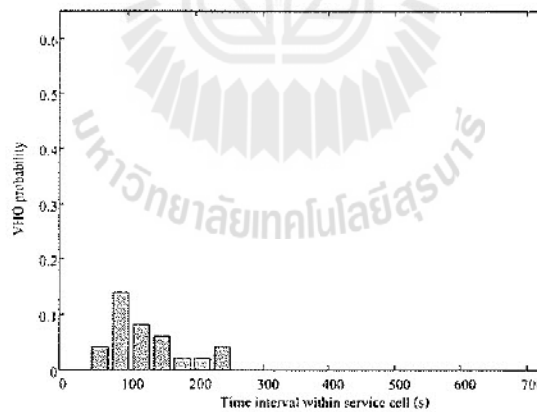
รูปที่ 4.7 การเกิด VHO จากการวัดสัญญาณจริงก่อนการพิจารณาการเกิด VHO ที่ไม่จำเป็น ที่การ sampling 5 ครั้ง



(ก) ทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อทำมุมกับ access point



(ข) อัตราการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN



(ค) ช่วงเวลาในการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เมื่อเข้าไปใน WLAN

รูปที่ 4.8 การลดการเกิด VHO ที่ไม่จำเป็นจากการวัดสัญญาณจริง โดยการพิจารณาให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีช่วงเวลาอยู่ใน WLAN ไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำ VHO ที่การ sampling 5 ครั้ง

ตารางที่ 4.5 ผลจากการประมาณจากทิศทางการเคลื่อนที่

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

ตารางที่ 4.6 ผลการประมาณ โดยใช้ช่วงเวลาพิจารณาในการเกิด VHO ผิดพลาดเมื่อเทียบผลจากแบบจำลอง

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

#### 4.4 กล่าวท้ายบท

เนื้อหาในบทนี้หลังจากที่ได้อ่านแล้วจะ ได้รู้จากผลที่ได้วัดจากสัญญาณจริงว่าการ sampling และ Threshold ที่เริ่มวัดสัญญาณจากจุดให้บริการของเครือข่าย (access point) มีผลต่อการประมาณทิศทางการเคลื่อนที่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งนำไปใช้ในการพิจารณาการลดการทำแฮนด์ออฟเฟรนด์ที่ไม่น่าจำเป็น พบว่าจำนวนการ sampling มากและ Threshold ที่เริ่มวัดสัญญาณน้อยส่งผลให้ประมาณทิศทางการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารผิดพลาดน้อยลง และลดการเกิดการทำแฮนด์ออฟเฟรนด์ที่ไม่น่าจำเป็นได้แม่นยำขึ้น

## บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแบบแผนการตัดสินใจทำการทำแฮนด์ออฟฟแนวตั้ง โดยใช้ข้อมูลของทิศทางเคลื่อนที่ในเครือข่ายเคลื่อนที่ยุคที่ 4 โดยการหาวิธีการประมาณทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารจากการใช้กำลังของสัญญาณ โดยในขั้นต้นได้ทำการศึกษาปรีทัศน์วรรณกรรมเกี่ยวกับการทำแฮนด์ออฟฟแนวตั้ง และนำประเด็นสำคัญของแต่ละเรื่องสรุปใจความที่เกี่ยวข้องกัน พบว่าการเกิดการทำแฮนด์ออฟฟแนวตั้งมีความสำคัญในการสื่อสารยุคที่ 4 ซึ่งการที่อุปกรณ์สื่อสารใช้ทรัพยากรจากเครือข่ายหนึ่งแล้วเคลื่อนที่ข้ามไปใช้ทรัพยากรของอีกเครือข่ายซึ่งต่างเทคโนโลยีกัน อุปกรณ์สื่อสารจะปรับระบบวิทยุจากระบบเซลลูลาร์ไปเป็นระบบท้องถิ่นไร้สายโดยที่ยังคงติดต่อสื่อสารอย่างต่อเนื่องซึ่งผู้ใช้อุปกรณ์สื่อสารไม่รู้สึกรถึงการเปลี่ยนแปลงเมื่อข้ามไปใช้เครือข่ายสื่อสารอื่น ๆ ลักษณะการเคลื่อนที่แบบไร้รอยต่อ (Seamless Mobility) นี้เองนำไปสู่การพัฒนาวิธีการทำการทำแฮนด์ออฟฟแนวตั้ง (Vertical Handoff) ซึ่งการทำแฮนด์ออฟฟแนวตั้งแต่ละครั้งส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการ (QoS – Quality of Service) เกิดการหน่วงเวลาระหว่างคู่สายและเกิดการสูญหายของข้อมูล ทำให้การรับและส่งข้อมูลผิดพลาดได้ งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการลดการทำแฮนด์ออฟฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็นจากการวัดจากความแรงของสัญญาณ (RSS-Received Signal Strength) ของทั้งเครือข่ายเซลลูลาร์และเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายของอุปกรณ์สื่อสารเพื่อดูทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารว่าการที่อุปกรณ์สื่อสารข้ามไปยังเครือข่ายที่ต่างชนิดกันควรทำการทำแฮนด์ออฟฟแนวตั้งหรือไม่ควรทำ จากการวิจัยพบว่า การ Fading เป็นอุปสรรคที่สำคัญต่อการสื่อสารเนื่องจากวัดสัญญาณมีสิ่งกีดขวางมากมาย เมื่อสัญญาณเดินทางไปกระทบกับสิ่งกีดขวางเหล่านั้นก็จะเกิดการสะท้อนส่งผลต่อความแรงของสัญญาณซึ่งจะมีแอมพลิจูดเปลี่ยนไปเมื่อมีการ Fading การประมาณทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารเกิดจากมุมของอุปกรณ์สื่อสารที่ทำมุมกับจุดให้บริการ ในพื้นที่ของเครือข่ายซึ่งความแม่นยำขึ้นกับจำนวนการ sampling ในแต่ละเส้นทาง ซึ่งมุมที่ได้เกิดจากการนำค่าความแรงของสัญญาณจากการ sampling แต่ละครั้งแทนในวิธีที่ได้เสนอไว้แล้วใช้วิธี Mean Square Error เพื่อหาค่ามุมที่ได้จะทำให้รู้ทิศทางเคลื่อนที่ได้ จากนั้นนำไปพิจารณาการเกิดการทำแฮนด์ออฟฟแนวตั้งเมื่ออุปกรณ์สื่อสารข้ามไปใช้ทรัพยากรของอีกเครือข่ายซึ่งต่างเทคโนโลยีกัน โดยให้อุปกรณ์สื่อสารที่ทำมุมกับจุดให้บริการของเครือข่ายเกินกว่า อุปกรณ์สื่อสารที่มีอัตราการอยู่ในพื้นที่ให้บริการของเครือข่ายไม่เกิน 20% และอุปกรณ์สื่อสารที่

มีช่วงเวลาอยู่ในพื้นที่ให้บริการของเครือข่ายไม่เกิน 30 วินาที ไม่จำเป็นต้องทำการเกิดการทำแฮนด์ออฟแนวตั้ง

จากผลการทดลองในแบบจำลองพบว่ากรณีที่อุปกรณ์สื่อสารที่มีช่วงเวลาอยู่ในพื้นที่ให้บริการของเครือข่ายไม่เกิน 30 วินาทีไม่จำเป็นต้องทำการเกิดการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งเป็นปัจจัยที่ลดการเกิดการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็นที่สุด จึงนำปัจจัยทางช่วงเวลานี้ไปใช้พิจารณาลดการเกิดการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็นจากผลการวัดสัญญาณจริงพบว่าการ sampling และ threshold ที่เริ่มวัดสัญญาณจากจุดให้บริการของเครือข่ายมีผลต่อการประมาณทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสาร ซึ่งนำไปใช้ในการพิจารณาการลดการเกิดการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็น พบว่าจำนวนการ sampling มากและ Threshold ที่เริ่มวัดสัญญาณน้อย ส่งผลให้ประมาณทิศทางเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารผิดพลาดน้อยลง และลดการเกิดการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็นได้แม่นยำขึ้น

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับงานวิจัยนี้เป็นแนวทางในการออกแบบการตัดสินใจทำการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งเพื่อช่วยลดการเกิดการทำแฮนด์ออฟแนวตั้งที่ไม่จำเป็น สามารถช่วยลดการหน่วงเวลา ลดการสูญหายของข้อมูลและทำให้คุณภาพการให้บริการดีขึ้นและได้วิธีการประมาณทิศทางจากการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารในแนวเส้นตรง ในอนาคตจะต้องสามารถทดสอบระบบในพฤติกรรมเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ที่ไม่ใช่แนวเส้นตรงได้

## บรรณานุกรม

- เศรษฐพงศ์ มะลิสุวรรณ. (2552). วิวัฒนาการโทรศัพท์เคลื่อนที่จากอดีตสู่อนาคตที่ทหารควรรู้. บทความของ นายทหารฝ่ายเสนาธิการประจำองผู้บัญชาการทหารสูงสุด (๑) กองทัพอากาศคณะกรรมการกำหนด และจัดสรรคลื่นความถี่ใหม่ และ คณะกรรมการประสานงานการบริหารคลื่นความถี่เพื่อความมั่นคง ของรัฐ ในคณะกรรมการกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ
- อำนาจ มีมงคล. (2553). ออกแบบและติดตั้งระบบ Wireless LAN Edition. นนทบุรี: ไอทีซี พรีเมียร์
- สัญญากร วุฒิสัทธาพิทักษ์. (2546). หลักการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่. กรุงเทพฯ ฯ: ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.
- เศรษฐวิทย์ ภูญา. (2552). การเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลของการสื่อสารระยะไกลสำหรับระบบขนส่งอัจฉริยะ โดยใช้เทคนิคโมโม. รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารี.
- บงการ หอมนาน. Vertical Handoff สำหรับโครงข่ายมัลติมีเดียไร้สาย 4G. คณะวิศวกรรมศาสตร์ 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 , Page(s): 1 - 6
- Ge Kun, Ji Hong; Li Xi (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 , Page(s): 1 - 4
- Bejaoui T , 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 , Page(s): 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 , Page(s): 2846 - 2851



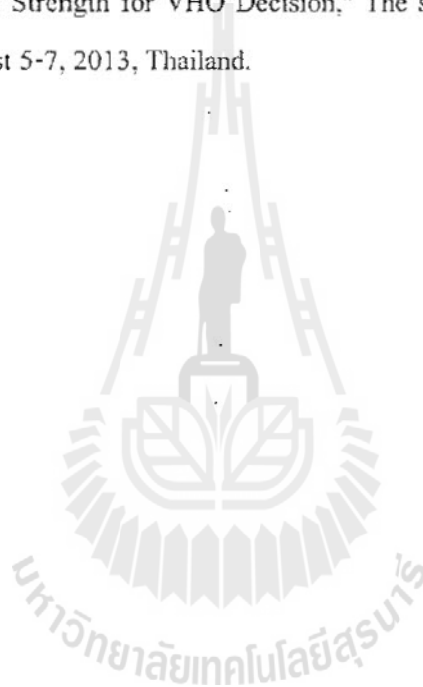
- Tawil R, Pujolle G, Demerjian J (2008) “ Distributed Handoff Decision Scheme using MIH Function for the Fourth Generation” *Wireless Networks Information and Communication Technologies: From Theory to Applications*, 2008. ICTTA 2008. 3rd International Conference on Digital Object Identifier: 10.1109/ICTTA.2008.4530170, Page(s): 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, Page(s): 000583 - 000588
- Yen-Wen Lin, Ta-He Huang (2007) “ SIP-Based Handoff in 4G Mobile Networks ” , Page(s): 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 , Page(s): 2288 - 2304
- Hyo Soon Park, Sung Hoon Yoon, Tae Hyoun Kim, Jung Shin Park, Mi Sun Do and Jai Yong Lee , (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 Page(s): 1-4
- Li Ma, Fei Yu, Leung V, Randhawa T (2003) “A new Method To Support UMTS/WLAN Vertical Handover Using SCTP” Page(s): 1788 - 1792 Vol.3

## ภาคผนวก ก

## การเผยแพร่ผลงานวิจัย

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการนานาชาติ

Issaraphap Jantarayat, Peerapong Uthasakul and Monthippa Uthansakul, " Estimation of Moving Direction Using Received Signal Strength for VHO Decision," The second Asia Pacific Conference on Antennas and Propagation, August 5-7, 2013, Thailand.



ภาคผนวก ข

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์



# Estimation of Moving Direction Using Received Signal Strength for VHO Decision

Issaraphap Jantarayut, Peerapong Uthasakul and Monthippa Uthansakul

School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand 30000  
e-mail: D5440092@g.sut.ac.th, uthasakul@sut.ac.th and mip@sut.ac.th

**Abstract**— Next generation wireless networks environment consists of heterogeneous wireless technologies, that numerous importance focus on mobility and Vertical HandOver (VHO) management to allow multiple interfaces mobile stations (MSs) to roam seamlessly between these access technologies. Each VHO process causes many problem issues such as Quality of Service (QoS), delay and data loss. However, the unnecessary VHO can be reduced if the moving direction of user is known in advance. In this paper, we propose a new method to estimate the moving direction by using the information of received signal strength. The results show that the unnecessary VHO can be reduced up to 60% when the proposed method is applied.

## I. INTRODUCTION

In the fourth generation wireless networks, mobile stations (MSs) will operate in heterogeneous environment integrating different wireless access technologies such as WLAN (Wireless Local Network), WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) and UMTS (Universal Mobile Telecommunication System). Handover is the procedure by which user chooses and transfers all connections from one Point of Attachment (PoA) to another. There are two types of handovers: Horizontal HandOvers (HHO) and Vertical HandOvers (VHO) [1]. HHO is made between different PoAs within the same technology, while VHO is made between PoAs with different technologies. In [1], the authors proposed technique based on IEEE 802.21 Media Independent Handover (MIH) and Mobile IPv6 to optimize VHO management. In [2], the proposition of a fuzzy handover decision strategy (FHDS) was proposed to support handover triggering and network selection. The work in [3] presented an approach for mobility management that allows the operator to influence the behavior of MS handover decisions. However, the unnecessary VHO still remains in the system. This unnecessary VHO is occurred when user moves from one network to the other and then move back to the previous network within a short time. In this case, it is not necessary to perform VHO because user can hold the previous network when moving across the other.

From literatures, the study on VHO has been paid attention to develop the mechanism of VHO process in order to lower time delay and data loss which affect to reduce miss data between sending and receiving data but still cannot remove the unnecessary VHO. In fact, the unnecessary VHO can be avoided only if the network knows the moving direction of user and predict whether it is worth to perform VHO. In this light, this paper proposes the method to estimate the moving

direction by using the information of Received Signal Strength (RSS) in order to make the appropriate decision on VHO operation.

## II. ESTIMATION OF MOVING DIRECTION

Fig. 1 shows the concept of estimating a moving direction for VHO. When MS user moves to edge of WLAN coverage, the user start measuring RSS from both networks: cellular and WLAN. Then, the measured ongoing RSS while user direction points into WLAN coverage is recorded step by step. The angle between user and access point can be given by

$$\theta = \cos^{-1} \left( \frac{R_1^2 + R_2^2 - d^2}{2R_1R_2} \right) \quad (1)$$

From the simple propagation model [4], the RSS ( $R_i$ ) is expressed as

$$R_i = K_1 - K_2 \log(d) \quad (2)$$

The difference of RSS between each sampling point can be written by

$$\begin{aligned} R_{1,2}(d) - R_{1,2}(d) &= -\frac{K_2}{2} \log \left( \frac{\sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2 \cos \theta}}{d} \right) \\ &= -\frac{K_2}{2} \log \left( \frac{\sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2 \cos \theta}}{R^2} \right) \\ &= -\frac{K_2}{2} \log \left( 1 + \left( \frac{R_1}{R_2} \right)^2 - 2 \left( \frac{R_1}{R_2} \right) \cos \theta \right) \quad (3) \end{aligned}$$

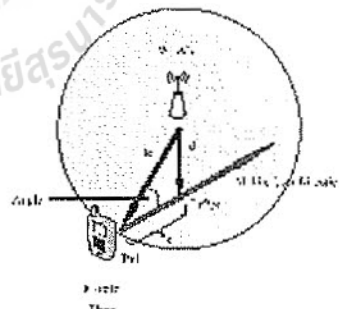


Figure 1. The concept of estimating a moving direction for VHO.

Then

$$P_{r,x}(d) - P_{r_1}(R) = -\frac{n}{2} \log[1 + n^2 (\frac{r}{R})^2 - 2n (\frac{r}{R}) \cos \theta] \quad (4)$$

The parameters  $K_1$  and  $K_2$  are constant with  $K_2=20$  being a typical value for the urban mobile environment.  $\theta$  is calculated from cosine rule.  $P_{r_1}(R)$  is measured from user as  $R$  distance.  $R$  is a radius of WLAN coverage.  $P_{r,x}(d)$  is measured from user at  $d$  distance.  $d = \sqrt{R^2 + x^2 - 2xR \cos \theta}$ , and  $n$  is the number of sampling rate.

III. EXPERIMENTAL RESULTS

The configuration of experimental scenarios is shown in Fig. 2. The measured RSS is recorded by wireless monitor program. The step of 5, 10, 15, and 20 sampling rate is undertaken and each MS user moves in one straight direction at 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 and 90 degree. The radius of WLAN coverage is set at the threshold RSS of -50 and -70 dBm (this threshold is the VHO decision level to switch between cellular or WLAN).

Fig. 3 shows the estimation error on each estimated interval of moving direction at threshold -50 and -70 dBm. It shows that the 20 sampling rate at -70 dBm provides the best performance. However, it costs the delay for processing and the risk of packet loss due to low RSS. The results in Table 1 also confirm that the proposed method can reduce the unnecessary VHO up to 60%.

CONCLUSIONS

In this paper, the new approach to estimate the moving direction using RSS for VHO has been presented. The measured results indicate the effectiveness of estimating direction. Also the unnecessary VHO can be reduced using the information of moving direction.

ACKNOWLEDGMENT

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

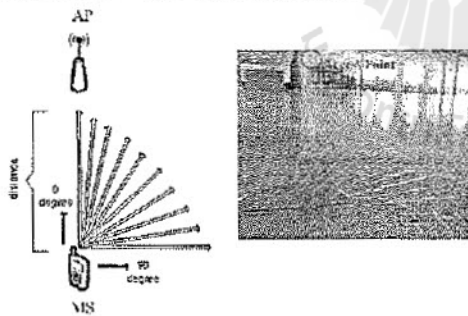
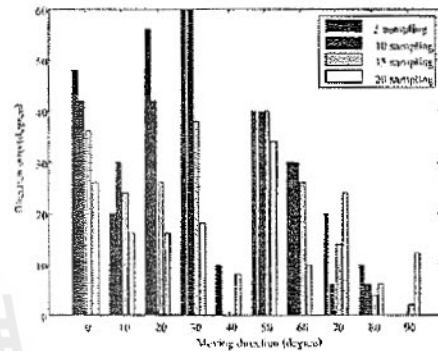


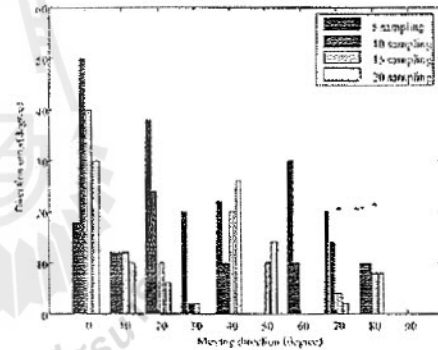
Figure 2. The configuration of experimental scenarios.

REFERENCES

- [1] Bensubira S, Frikha M, Tabbone S, Ayadi K, "Vertical handover based on IEEE802.21 and Mobile IPv6 in UMTS/WLAN networks." Communications and Networking, 2009, Page(s): 1-6
- [2] Ezouhain A, Quintero A, Pierre S, "A fuzzy decision making strategy for vertical handoffs," Electrical and Computer Engineering, 2008, Canadian Conference Publication Year: 2008, Page(s): 000583 - 000588
- [3] Lassoued L, Bonnin J-M, Belghith A, "Towards an Architecture for Mobility Management and Resource Control," WCNC 2008, Page(s): 2846 - 2851
- [4] Vijayar.R.; Holtzman J.M.; "A Model for Analyzing Handoff Algorithm" Global Telecommunications Conference, 1992., Page(s): 1405 - 1409.



(a) at Threshold -50 dBm



(b) at Threshold -70 dBm

Figure 3 Show effect of error on each estimate interval of moving direction

Table 1. Percentage of reduced unnecessary VHO.

Decision from time interval	Sampling(time)			
	5	10	15	20
Threshold -50 dBm	22	22	28	40
Threshold -70 dBm	24	36	52	60

## ประวัติผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิระพงษ์ อุฑารสกุล สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต และ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2539 และ 2541 จากนั้นเข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรระบบโทรคมนาคมที่องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย จนกระทั่ง พ.ศ. 2543 จึงได้ย้ายมาเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และได้ศึกษาต่อระดับปริญญาเอกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 ณ University of Queensland, Australia เมื่อ พ.ศ. 2549 จึงได้กลับเข้ามาปฏิบัติหน้าที่อาจารย์ตามเดิม ผู้วิจัยมีเชี่ยวชาญในด้านระบบ MIMO, Information Theory, Signal Processing, Radio Wave Modelling, Mobile Communication, Advance Wireless Communication ปัจจุบันมีบทความวิจัยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการ 26 บทความและในการประชุมวิชาการ 90 บทความ หนังสือวิชาการในประเทศ 1 เล่มและต่างประเทศ 1 เล่ม มีลิขสิทธิ์ 1 รายการและสิทธิบัตร 1 รายการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิระพงษ์ อุฑารสกุล ได้รับรางวัล Young Scientist Travel Grant Award จากงานประชุมวิชาการนานาชาติ International Symposium on Antenna Propagation ปี พ.ศ. 2547 ณ ประเทศญี่ปุ่น และได้รับรางวัล Best Student Presentation Award จากงานประชุมวิชาการนานาชาติ Australian Symposium on Antenna ปี พ.ศ. 2548 ณ ประเทศออสเตรเลีย ในปี พ.ศ. 2553 ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. พิระพงษ์ อุฑารสกุล ได้รับรางวัลพนักงานดีเด่น ด้านการวิจัย สำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และในปี พ.ศ. 2556 บทความที่เป็นผู้ประพันธ์หลักเรื่อง Low-profile beamforming MIMO systems for wireless communications ได้รับรางวัลประกาศนียบัตร ผู้นำเสนอผลงานวิจัยดีมากแบบโปสเตอร์ ในงานการประชุมสุดยอดมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ครั้งที่ 2 (The Second Thailand National Research Universities Summit : NRU SUMMIT II) วันที่ 7-8 พฤษภาคม 2556 ณ ศูนย์การประชุมแห่งชาติสิริกิติ์ กรุงเทพฯ

