



รายงานการวิจัย

การจัดการระดับความแรงของสัญญาณเพื่อการทำแฮนด์ออฟของวีโอไอพีใน
เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

Signal Strength Threshold Management for VoIP Handoff in WLANs

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการทำวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว



รายงานการวิจัย

การจัดการระดับความแรงของสัญญาณเพื่อการทำแฮนด์ออฟของวีโอไอพีใน
เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย
Signal Strength Threshold Management for VoIP Handoff in WLANs

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

รองศาสตราจารย์ ดร. พีระพงษ์ อุฑารสกุล

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มกราคม 2557

ก

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ได้ให้การสนับสนุนทุนวิจัยสำหรับโครงการวิจัยนี้
ขอขอบคุณ นายอำนาจ จงมอบกลาง นักศึกษาบัณฑิตในที่ปรึกษาของผู้วิจัยที่ช่วยเก็บผลการทดลอง และ
ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล สำหรับคำแนะนำในเชิงวิชาการที่เป็น
ประโยชน์

ผู้วิจัย

มกราคม 2557



บทคัดย่อ

บริการวีโอไอพี (VoIP) เป็นการสื่อสารด้วยเสียงผ่านเครือข่ายข้อมูลที่ไม่ใช่เครือข่ายโทรศัพท์บ้านปกติ โดยการส่งผ่านเสียงเช่นเดียวกันกับการใช้งานโทรศัพท์ทั่วไป ต่างกันที่ วีโอไอพีจะทำการแปลงข้อมูลเสียงเป็นแพคเกจลักษณะเช่นเดียวกับข้อมูลทั่วไปและส่งผสมไปพร้อมกันในโครงข่ายปกติ เนื่องจากคุณลักษณะของการสื่อสารด้วยเสียง ซึ่งมีลักษณะไวต่อค่าหน่วงเวลาและสามารถทนต่อความผิดพลาดหรือคุณภาพเสียงที่ลดลงได้บ้าง ในโครงข่ายอินเทอร์เน็ตข้อมูลทั้งหมดจะถูกพิจารณาว่าไม่มีความแตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นข้อมูลลักษณะใด ขึ้นกับการแย่งเข้าใช้สื่อที่เกิดขึ้น และปริมาณของผู้ใช้งานในขณะนั้น เป็นต้น ทำให้วีโอไอพี สามารถใช้งานได้ดีในระดับหนึ่ง แต่บางช่วงเวลา ผู้ใช้ก็จะพบกับการกระตุก หรือการขาดช่วงของเสียงได้จากเหตุผลข้างต้น นอกจากนี้การใช้งานข้ามพื้นที่ให้บริการหรือเรียกว่าการทำแฮนด์ออฟก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการเกิดค่าหน่วงเวลาขึ้นและมีผลต่อสมรรถนะโดยรวมของ วีโอไอพี จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ายังไม่มียานวิจัยใด ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการปรับระดับความแรงสัญญาณ (Signal Strength Threshold) ของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ต่อการทำแฮนด์ออฟ ซึ่งจากผลการวัดพบว่าการปรับระดับความแรงของสัญญาณที่อุปกรณ์ให้บริการเครือข่ายมีผลต่อค่าหน่วงเวลาในการทำแฮนด์ออฟ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการปรับค่าระดับความแรงสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เพื่อใช้เป็นแนวทางในการให้บริการ วีโอไอพี ที่เหมาะสม

Abstract

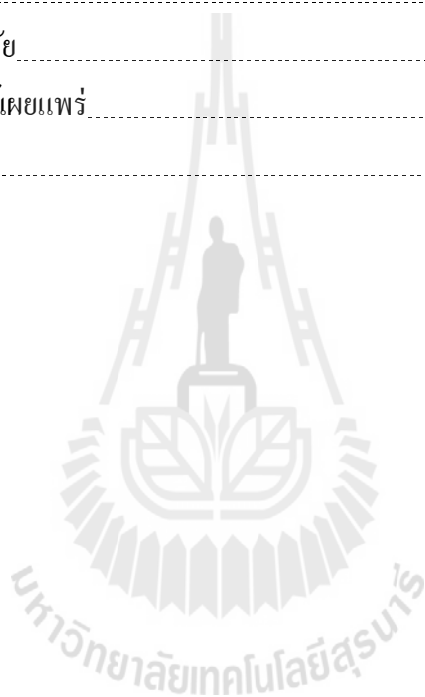
In standard IEEE 802.11 based systems, when the wireless client migrates away from the radio range of the currently associated Access Point (AP), network applications temporarily lose connectivity till the client is able to reassociate itself with a new AP. The delay that occurs during the break-off interval can vary from a few hundreds of microseconds to a few seconds. However, delay sensitive applications such as Voice over IP (VoIP) or streaming multimedia applications usually are unable to tolerate such long connectivity delays that fall beyond the range of 50-200ms. This results in dropped calls or frozen video frames. To improve the deficiency, this research proposes the preliminary study of managing the signal strength threshold to minimize handoff time by investigating the effect of changing the threshold at AP. Although different solutions are available in the literature, most of them proposed changes that were outside the purview of the current 802.11 standards. The proposed study requires no additional support from the network. The outcome of this research indicates the good insight of using the signal strength threshold to control the handoff time for VoIP application.

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 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย.....	3
1.3 แนวทางการดำเนินการวิจัย.....	3
1.4 ผลสำเร็จของโครงการ.....	3
1.5 การสำรวจปริทรรศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย.....	4
บทที่ 2 หลักการที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 เทคโนโลยีวีโอไอพี (VoIP).....	5
2.2.1 พื้นฐานการทำงานวีโอไอพี.....	6
2.2.2 วีโอไอพีทำงานได้อย่างไร.....	6
2.2.3 การแปลงสัญญาณเสียง.....	7
2.3 การให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	9
2.4 รูปแบบของการแฮนด์ออฟ.....	11
2.5 กระบวนการการแฮนด์ออฟ (Handoff Process).....	11
2.5.1 ขั้นตอน Scanning Phase.....	12
2.5.2 ขั้นตอน Authentication Phase.....	14
2.5.3 ขั้นตอน Association Phase.....	15
2.6 ความหน่วงเวลาของการแฮนด์ออฟ.....	17

2.6.1	ความหน่วง Probe Delay	17
2.6.2	ความหน่วง Authentication Delay และ Association Delay	17
2.7	งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำแฮนด์ออฟ.....	18
2.7.1	Background Scan [1]	18
2.7.2	Sync Scan [4].....	19
2.7.3	Neighbor Graph [25]	19
2.7.4	Make-Before-Break [26]	20
2.8	กล่าวท้ายบท.....	20
บทที่ 3	การบันทึกผลการทำแฮนด์ออฟในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย	21
3.1	กล่าวนำ	21
3.2	เครื่องมือ อุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเก็บบันทึกผลข้อมูล.....	21
3.3	ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องวีโอไอพี Server	21
3.4	กำหนดแบบพื้นที่สำหรับการเก็บบันทึกข้อมูล.....	28
3.5	การกำหนดเงื่อนไขสำหรับการบันทึกผล.....	29
3.5.1	การกำหนดการเคลื่อนที่.....	29
3.5.2	การกำหนดเงื่อนไขระดับความแรงของสัญญาณ	30
3.5.3	การกำหนดเงื่อนไขวันและเวลาที่บันทึกผล	30
3.6	ขั้นตอนคัดกรองข้อมูลการบันทึกผลจากการแฮนด์ออฟของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2.....	32
3.7	กล่าวท้ายบท.....	34
บทที่ 4	ผลการทดสอบและบทวิเคราะห์.....	35
4.1	กล่าวนำ	35
4.2	กรณีที่ 1 วิเคราะห์ผลการเก็บบันทึกข้อมูลอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2.....	35
4.3	กรณีที่ 2 การวิเคราะห์ผลการเก็บบันทึกข้อมูลพิจารณาตามวันจันทร์ วันพุธและวันศุกร์	36
4.4	กรณีที่ 3 การวิเคราะห์ผลการเก็บบันทึกข้อมูลพิจารณาตามช่วงเวลาที่กำหนด.....	38
4.5	กรณีที่ 4 การพิจารณาเปรียบเทียบการวิเคราะห์ทั้ง 3 กรณี โดยวิธีทางสถิติ	41
4.6	ผลการพิจารณาแยกกลุ่มข้อมูลได้ 2 กลุ่ม คือ Low และ High	42
4.7	การสร้างกราฟความสัมพันธ์ของค่าเวลาแฮนด์ออฟ.....	44
4.8	การประมาณเส้นกราฟในรูปสมการ.....	46
4.9	การกำหนดระดับความแรงสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ที่เหมาะสม	49

4.9.1	พิจารณาเลือกเงื่อนไขเดียว.....	51
4.9.2	พิจารณาเลือกเงื่อนไขมากกว่า 1 คือ.....	51
4.10	กล่าวท้ายบท.....	52
บทที่ 5	สรุปและข้อเสนอแนะ	53
5.1	สรุป.....	53
5.2	ปัญหาและข้อเสนอแนะ	53
5.3	การพัฒนาต่อไปในอนาคต.....	54
บรรณานุกรม	63
ภาคผนวก ก	การเผยแพร่ผลงานวิจัย	65
ภาคผนวก ข	บทความวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่	66
ประวัติผู้วิจัย	69



สารบัญญักรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างวีโอไอพี [27].....	6
รูปที่ 2.2 การเปรียบเทียบ OSI Model กับวีโอไอพี [27]	7
รูปที่ 2.3 การสนทนาผ่านคู่สายโทรศัพท์แบบปกติ [27].....	7
รูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อวีโอไอพี [27]	8
รูปที่ 2.5 ขั้นตอน PCM [27]	8
รูปที่ 2.6 Ad-Hoc Mode.....	9
รูปที่ 2.7 Infrastructure Mode	10
รูปที่ 2.8 รูปแบบการแฮนด์ออฟในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย [27]	11
รูปที่ 2.9 ขั้นตอนกระบวนการแฮนด์ออฟ [27].....	12
รูปที่ 2.10 ขั้นตอนกระบวนการ Active Scan [27].....	13
รูปที่ 2.11 ขั้นตอนการทำ Open System Authentication [27].....	14
รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการทำ Shared Key Authentication [27]	16
รูปที่ 2.13 ขั้นตอนการ Association [27]	16
รูปที่ 2.14 แพคเกจที่ได้จากการเก็บใน Log ไฟล์ของระบบ	18
รูปที่ 3.1 หน้าจอแรกของการติดตั้ง Trixbox	22
รูปที่ 3.2 การเลือก Keyboard Type = us.....	22
รูปที่ 3.3 การเลือก Time zone = Asia/Bangkok.....	23
รูปที่ 3.4 กำหนด Root Password สำหรับ Login เข้าสู่ระบบ	23
รูปที่ 3.5 การติดตั้งกลุ่มของโปรแกรมภายใน Trixbox.....	24
รูปที่ 3.6 หน้าจอ Login เข้าสู่ระบบเป็นหน้าจอสุดท้ายเมื่อติดตั้งสำเร็จ	24
รูปที่ 3.7 หน้าจอแรกสำหรับการสร้างเลขหมายโทรศัพท์	25
รูปที่ 3.8 สร้างหมายเลขโทรศัพท์บนเครื่อง Server	25
รูปที่ 3.9 ตระกูลของลินุกซ์และรุ่นที่ใช้	26
รูปที่ 3.10 การ์ดไวร์เลสแลนยี่ห้อ Atheros รุ่น AR9285	26
รูปที่ 3.11 การติดตั้ง Twinkle Softphone	27

รูปที่ 3.12	การสร้างเลขหมายโทรศัพท์ในโปรแกรม Twinkle Softphone	27
รูปที่ 3.13	การปรับค่าโปรแกรม Twinkle Softphone	28
รูปที่ 3.14	พื้นที่เก็บข้อมูลของอาคารวิจัย	28
รูปที่ 3.15	พื้นที่เก็บข้อมูลของอาคารเรียนรวม2	29
รูปที่ 3.16	การตรวจสอบไฟล์ debug ในไดเรกทอรี /var/log/	32
รูปที่ 3.17	การ Import log file ชื่อ debug เข้าสู่โปรแกรมคัดกรองข้อมูล.....	32
รูปที่ 3.18	การเลือกไฟล์ debug.....	33
รูปที่ 3.19	การ Import ไฟล์เข้าสู่ Work Sheet.....	33
รูปที่ 3.20	การแยกคอลัมน์ของไฟล์ Debug.....	34
รูปที่ 4.1	กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2 ซ้อนทับกันน้อยกว่า 10 %....	42
รูปที่ 4.2	กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2 ซ้อนทับกันมากกว่า 50 %....	42
รูปที่ 4.3	ค่าแอสนด์ออฟเปรียบเทียบกับค่า RSSI (dBm)	44
รูปที่ 4.4	ค่าหน่วงเวลาเปรียบเทียบกับค่า RSSI (dBm).....	45
รูปที่ 4.5	ค่าสูญเสียข้อมูลกับค่า RSSI (dBm)	46
รูปที่ 4.6	การหาค่า MSE ของการสร้างกราฟ Low_ช่วงที่1+2_Handoff Fast.....	47
รูปที่ 4.7	ตัวอย่างการหาค่า MSE โดยพิจารณาจากพหุนาม (Polynomial).....	47
รูปที่ 4.8	ค่าแอสนด์ออฟเปรียบเทียบกับ RSSI (dBm) ของวันที่เลือก และช่วงเวลา	49
รูปที่ 4.9	ค่าหน่วงเวลาเปรียบเทียบกับ RSSI (dBm) ของวันที่เลือก และช่วงเวลา.....	50
รูปที่ 4.10	ค่าสูญเสียข้อมูลเปรียบเทียบกับ RSSI (dBm) ของวันที่เลือก และช่วงเวลา	50

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1	ตารางบันทึกข้อมูลค่าเฉลี่ยเวลาแฮนด์ออฟแยกตามอาคาร	31
ตารางที่ 3.2	ตารางบันทึกข้อมูลค่าเฉลี่ยค่าหน่วยเวลาแยกตามอาคาร.....	31
ตารางที่ 3.3	ตารางบันทึกข้อมูลค่าเฉลี่ยการสูญเสียข้อมูลแยกตามอาคาร	31
ตารางที่ 4.1	ตารางบันทึกข้อมูลเวลาแฮนด์ออฟ ของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2.....	35
ตารางที่ 4.2	ตารางบันทึกข้อมูลค่าหน่วยเวลา ของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2	36
ตารางที่ 4.3	ตารางบันทึกข้อมูลค่าสูญเสียข้อมูล(%) ของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2.....	36
ตารางที่ 4.4	ตารางบันทึกข้อมูลค่าเวลาแฮนด์ออฟ ของวันจันทร์ วันพุธและวันศุกร์	37
ตารางที่ 4.5	ตารางบันทึกข้อมูลค่าหน่วยเวลาของวันจันทร์ วันพุธและวันศุกร์.....	37
ตารางที่ 4.6	ตารางบันทึกข้อมูลค่าสูญเสียข้อมูลของ วันจันทร์ วันพุธและวันศุกร์	38
ตารางที่ 4.7	ตารางบันทึกข้อมูลค่าแฮนด์ออฟ ช่วงเวลาที่ 1 ช่วงเวลาที่ 2 และช่วงเวลาที่ 3.....	39
ตารางที่ 4.8	ตารางบันทึกข้อมูลค่าหน่วยเวลาของช่วงเวลาที่1 ช่วงเวลาที่2 และช่วงเวลาที่3	40
ตารางที่ 4.9	ตารางบันทึกข้อมูลค่าสูญเสียข้อมูลของช่วงเวลาที่1 ช่วงเวลาที่2 และช่วงเวลาที่3	40
ตารางที่ 4.10	ค่าเฉลี่ยเวลาแฮนด์ออฟ	43
ตารางที่ 4.11	ค่าเฉลี่ยค่าหน่วยเวลา.....	43
ตารางที่ 4.12	ค่าเฉลี่ยค่าสูญเสียข้อมูล	43
ตารางที่ 4.13	ตารางสรุปค่า Mean Square Error (MSE).....	48

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญ ที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

วีโอไอพี (VoIP) หรือการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพีเป็นเทคโนโลยีการสื่อสารโดยการส่งผ่านเสียงพูด เช่นเดียวกันกับการใช้งานโทรศัพท์ทั่วไป แต่ต่างกันที่วีโอไอพีจะทำการแปลงข้อมูลเสียงเป็นไอพีแพ็คเกจ (IP Packet) ลักษณะเช่นเดียวกับข้อมูลทั่วไปและส่งผสมไปพร้อมกันในเครือข่ายปกติ สำหรับคุณลักษณะของการสื่อสารด้วยเสียงนั้นปกติจะต้องการค่าหน่วยเวลาที่น้อยและยอมให้เกิดความผิดพลาดในการส่งข้อมูลหรือคุณภาพเสียงที่ลดลงได้ แต่ข้อมูลทั่วไป เช่นการโอนถ่ายไฟล์ข้อมูล จะให้ความสำคัญของคุณภาพของข้อมูลมาเป็นอันดับแรก และผลกระทบจากการหน่วงเวลาของเครือข่ายจะมีผลน้อยมากต่อข้อมูลแบบนี้ ทำให้การพิจารณาคุณภาพของการให้บริการวีโอไอพีจึงต้องมีการพิจารณาเป็นพิเศษและแตกต่างจากการส่งข้อมูลทั่วไป แต่ในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตข้อมูลทั้งหมดจะถูกพิจารณาว่าไม่มีความแตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นข้อมูลลักษณะใด ขึ้นกับการแย่งเข้าใช้สื่อที่เกิดขึ้น และปริมาณของผู้ใช้งานในขณะนั้น ทำให้วีโอไอพีสามารถใช้งานได้ดีในระดับหนึ่ง แต่บางช่วงเวลา ผู้ใช้ก็จะพบกับการกระตุก หรือการขาดช่วงของเสียงได้จากปัจจัยข้างต้น ดังนั้นความสำคัญของการพัฒนาเทคนิคต่างๆ เพื่อให้บริการวีโอไอพีที่ดีขึ้นยังคงเป็นประเด็นวิจัยที่น่าสนใจมาก และเป็นเรื่องเร่งด่วนที่ควรให้การสนับสนุนการทำวิจัย เพราะการให้บริการวีโอไอพีกำลังเข้ามาเป็นบริการหลักทดแทนการใช้โทรศัพท์พื้นฐาน ดังนั้นหากประเทศไทยสามารถวิจัยและพัฒนาเทคนิคเพื่อปรับปรุงคุณภาพของบริการวีโอไอพีได้เร็วก็จะสนับสนุนและส่งเสริมการใช้เครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ ก็จะเป็นการสร้างความสำเร็จในเวทีสากลได้อันจะนำมาซึ่งการลงทุนและเติบโตทางเศรษฐกิจต่อไป

งานวิจัยที่ผ่านมาได้เสนอแนวทางต่างๆ เช่น การพัฒนาเรื่องของคุณภาพเสียงด้วยการใช้ Codec ประเภทต่างๆ รวมถึงการให้ความสนใจในเรื่องของการประกันคุณภาพของการสื่อสาร มีการจัดการด้าน QoS และการแยกประเภทการให้บริการของข้อมูลเพื่อจัดการกับข้อมูลที่ไวต่อการหน่วงเวลา การใช้งานวีโอไอพีในเครือข่ายท้องถิ่นจึงเริ่มเป็นที่ยอมรับเนื่องมากขึ้นจากคุณภาพเสียงที่ยอมรับได้ในราคาที่ถูกลงกว่าการใช้โทรศัพท์โดยทั่วไป อย่างไรก็ตามก็ยังมีข้อจำกัดด้านพื้นที่ และจุดให้บริการที่ต้องอยู่กับที่ตามตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อสวิตช์ของเครือข่าย เครือข่ายท้องถิ่นไร้สายจึงจะเป็นทางเลือกที่เพิ่มเติมความต้องการการสื่อสารด้วยเสียงผ่านโครงข่ายข้อมูลที่รองรับการเคลื่อนที่ แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

โดยเฉพาะเรื่องช่องสัญญาณและสัญญาณรบกวน การนำเทคโนโลยีวีไอไอพีมาใช้งานจึงต้องมีข้อคำนึงถึงหลายๆประการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผู้ใช้บริการวีไอไอพีกำลังคุยโทรศัพท์และเคลื่อนที่ข้ามจากจุดเข้าถึงเครือข่าย (Access Point) แห่งหนึ่ง ไปยังจุดเข้าถึงเครือข่ายอีกแห่งหนึ่ง การทำงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ต้องมีการส่งต่อการติดต่อสื่อสารวีไอไอพีนี้จากจุดเดิมไปยังจุดใหม่อย่างต่อเนื่อง ซึ่งเรียกระบวนการส่งต่อนี้ว่า แสนด์ออฟ (Handoff) ถ้าหากระยะเวลาในการส่งต่อนานเกินไป ระบบก็อาจจะยกเลิกการใช้บริการวีไอไอพีได้ หรือการสนทนาจะขาดช่วงนานเกินไปจนรู้สึกได้ และถ้าอยู่ในบริเวณที่มีจุดเข้าถึงเครือข่ายหลายๆ ก็จะยิ่งส่งผลต่อการใช้บริการวีไอไอพีมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยในโครงการนี้จึงสนใจประเด็นของปัญหาในการวิจัยที่จะลดระยะเวลาในการทำแสนด์ออฟของวีไอไอพีในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

จากการสำรวจงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเสนอเทคนิคต่างๆ ที่ช่วยให้ระยะเวลาในการทำแสนด์ออฟลดลงแต่ต้องมีการแก้ไขปรับปรุง Driver ของการ์ดเครือข่าย หรือแก้ไขโปรโตคอลของ MAC ซึ่งเป็นเรื่องที่ยุ้งยากในทางปฏิบัติ แต่จากการศึกษาเบื้องต้นของผู้วิจัยพบว่าการกำหนดระดับความแรงของสัญญาณมีผลต่อระยะเวลาการทำแสนด์ออฟ ซึ่งหากมีการจัดการที่เหมาะสมก็นำมาใช้ในการปรับปรุงการทำแสนด์ออฟของวีไอไอพีได้ ในงานวิจัยนี้จึงเสนอการจัดการระดับความแรงของสัญญาณเพื่อการทำแสนด์ออฟของวีไอไอพีในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ผลที่ได้ทำให้ผู้ใช้บริการสามารถใช้งานวีไอไอพีได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้นจึงเป็นการเพิ่มขีดความสามารถในการเข้าใช้เครือข่าย ทำให้งานวิจัยนี้สอดคล้องกับนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2555-2559) ยุทธศาสตร์การวิจัยที่ 2 การสร้างศักยภาพและความสามารถในการพัฒนาทางเศรษฐกิจ กลยุทธ์การวิจัยที่ 7 เพิ่มสมรรถนะและขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร แผนงานวิจัยที่ 5 การวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์อุปกรณ์โทรคมนาคมและเทคโนโลยีสารสนเทศ นอกจากนี้ผลสำเร็จของโครงการวิจัยยังทำให้ผู้ใช้งานเครือข่ายสามารถใช้ระบบวีไอไอพีที่มีคุณภาพมากขึ้น เป็นการยกระดับคุณภาพชีวิตของกลุ่มเป้าหมาย ด้วยการพัฒนาองค์ความรู้จากนักวิจัยในประเทศไทย ทำให้ตรงกับนโยบายเร่งด่วนที่จะเริ่มดำเนินการในปีแรก หัวข้อที่ 8. ยกระดับคุณภาพชีวิตของประชาชน โดยเพิ่มกำลังซื้อภายในประเทศ สร้างสมดุลและความเข้มแข็งอย่างมีคุณภาพให้แก่ระบบเศรษฐกิจมหภาค และตรงกับนโยบายระยะการบริหารราชการ 4 ปี ของรัฐบาล หัวข้อที่ 3. นโยบายวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี การวิจัย และนวัตกรรม เรื่องการเร่งพัฒนาให้ประเทศไทยเป็นสังคมที่อยู่บนพื้นฐานขององค์ความรู้

จากการสำรวจวรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่าเทคนิคที่เสนอในงานวิจัยนี้เป็นเรื่องใหม่ที่ยังไม่เคยมีงานวิจัยใดเสนอมาก่อน จึงถือเป็นแนวทางใหม่ในการพัฒนาบริการวีไอไอพีสำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ซึ่งจะเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญในอนาคต ทำให้นำไปสู่การสร้างฐานรากของอุตสาหกรรมด้านเทคโนโลยีสื่อสารอื่นๆ ของประเทศ จึงสอดคล้องกับกลุ่มเรื่องที่ควรวิจัยเร่งด่วนตามนโยบายและยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ (พ.ศ. 2555-2559) หัวข้อ 9. เทคโนโลยีใหม่และเทคโนโลยีที่สำคัญเพื่ออุตสาหกรรม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาวิธีการลดระยะเวลาการทำแฮนด์ออฟของวีโอไอพีในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย
2. เพื่อพัฒนาการจัดการระดับความแรงของสัญญาณสำหรับการให้บริการวีโอไอพี
3. เพื่อสร้างองค์ความรู้ใหม่ที่เป็นรากฐานการต่อยอดเทคโนโลยีพื้นฐานของประเทศ

1.3 แนวทางการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาการทำแฮนด์ออฟของวีโอไอพีในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย
2. ออกแบบการทดสอบเพื่อเก็บผลการทดลอง ตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ โดยมีการปรับความเร็วของผู้ใช้งาน กำหนดช่วงเวลาในการทดสอบทุกวันที่เวลาเดียวกัน สถานที่เดียวกันทุกครั้ง
3. ดำเนินการปรับระดับความแรงของสัญญาณภายในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย และทดสอบที่ห้องปฏิบัติการเบื้องต้นเพื่อหาเตรียมตัวก่อนการเก็บข้อมูลจริง
4. เก็บผลการทดสอบตามปัจจัยต่างๆ ที่กำหนดไว้ ณ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
5. วิเคราะห์เพื่อหาความสัมพันธ์ของระดับความแรงของสัญญาณในการทำแฮนด์ออฟต่อสมรรถนะของเครือข่ายที่เปลี่ยนไป
6. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายการจัดการระดับความแรงของสัญญาณ โดยนำปัจจัยต่างๆ ที่วัดได้มาคิด
7. ทดสอบแบบจำลองเพื่อหาการจัดการระดับความแรงที่เหมาะสม
8. สรุปผลการวัดและจัดทำบทความวิจัยเพื่อเผยแพร่
9. เสนอบทความในงานประชุมวิชาการ
10. นำข้อเสนอแนะในงานประชุมวิชาการมาปรับปรุงงานวิจัย
11. สรุปผลสำเร็จของโครงการและทำรายงานโครงการ

1.4 ผลสำเร็จของโครงการ

การเผยแพร่ผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมายสำหรับโครงการนี้คือการตีพิมพ์บทความลงในงานประชุมวิชาการระดับนานาชาติ หรือตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ ทั้งนี้ นอกจากจะเป็นการเผยแพร่

ผลงานวิจัยแล้ว ยังเป็นการส่งเสริมและสนับสนุนการวิจัยและพัฒนาขั้นต่อไปของโครงการนี้โดยการแลกเปลี่ยนความเห็นและมุมมองใหม่ๆจากนักวิจัยระดับนานาชาติ อันจะนำไปสู่การพัฒนาาระบบที่สมบูรณ์แบบ และแนวทางในการจัดสิทธิบัตรเพื่อประโยชน์เชิงพาณิชย์ในที่สุด

1.5 การสำรวจปริทรรศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย

จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเรื่องการปรับปรุงคุณภาพการให้บริการวีโอไอพีผ่านเครือข่ายท้องถิ่นพบว่า การใช้เทคนิคการลดช่วงเวลาของการแฮนด์ออฟให้น้อยกว่า 10 มิลลิวินาทีสามารถทำได้โดยการแยกช่วงเวลาการค้นหา (Scanning) ออกจากการแฮนด์ออฟ และมีวิธีการดำเนินการโดยทำแก้ไขไครฟ์เวอร์ของการ์ดเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายซึ่งรายงานไว้ในงานวิจัยที่ [1]-[4] ส่วนงานวิจัยที่ [5]-[6] ได้ทำการวิเคราะห์เวลาหน่วยของการเชื่อมต่อที่มีผลกระทบต่อการให้บริการวีโอไอพี โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากการวัดสัญญาณของการ์ดเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายยี่ห้อต่างๆ เปรียบเทียบกันผลปรากฏว่าการใช้การ์ดบายยี่ห้อสามารถลดผลการทำแฮนด์ออฟได้ ในงานวิจัยที่ [7]-[9] ได้ปรับปรุงเทคนิคการกลไกเข้าใช้สื่อ (Medium Access Control) เป็นผลให้ลดค่าความล่าช้าของข้อมูล (Packet Delay) และการสูญหายของข้อมูล (Packet Delay) ในระหว่างเกิดการแฮนด์ออฟ โดยทำการปรับปรุงที่เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ นอกจากนั้นเป็นการเสนอวิธีการปรับปรุงแบบแผนการทำแฮนด์ออฟเพื่อพัฒนาสมรรถนะของระบบ [10]-[12]

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ยังไม่ม้งานวิจัยที่ใด ที่ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการปรับระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ ต่อการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่ให้บริการไปยังอีกพื้นที่ให้บริการซึ่งยังให้บริการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายได้อย่างต่อเนื่อง นอกจากนั้นงานวิจัยที่ผ่านมามุ่งเน้นการแก้ไขปรับปรุงฮาร์ดแวร์หรือโปรโตคอลซึ่งทำให้การนำไปใช้งานจริงเป็นเรื่องที่ยากมากขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการปรับค่าระดับความแรงสัญญาณ (Signal Threshold Level) ของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่โดยอาศัยอุปกรณ์เดิมและไม่เปลี่ยนแปลงโปรโตคอลใดๆ การทดสอบจะให้ผู้ใช้บริการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่ให้บริการที่ 1 ไปยังพื้นที่ให้บริการที่ 2 โดยกำหนดเงื่อนไขการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ เป็น 2 แบบ คือ แบบเคลื่อนที่อย่างช้าๆ และเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ซึ่งในขณะที่มีการเคลื่อนที่ให้ใช้โปรแกรม Softphone ที่ได้ลงทะเบียนเลขหมายการใช้งานบนเครื่องแม่ข่าย (VoIP Server) โทรไปยังเลขหมายเครื่องลูกข่ายอีกเครื่อง แล้วใช้โปรแกรมตรวจจับข้อมูลการโทร นำผลที่ได้มาสร้างกราฟด้วยโปรแกรม MATLAB แล้ววิเคราะห์หาฟังก์ชันการกระจายข้อมูลสะสม (Cumulative Distribution Function) ที่มีแนวโน้มผลกระทบต่อเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ (Cells) ในทิศทางต่างๆ พร้อมทั้งเก็บข้อมูลสมรรถนะอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องเช่น ค่าความล่าช้าของข้อมูล (Packet Delay) และการสูญหายของข้อมูล (Packet Delay) ในระหว่างเกิดการแฮนด์ออฟ เพื่อช่วยในการเลือกระดับความแรงของสัญญาณที่เหมาะสม

บทที่ 2 หลักการที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

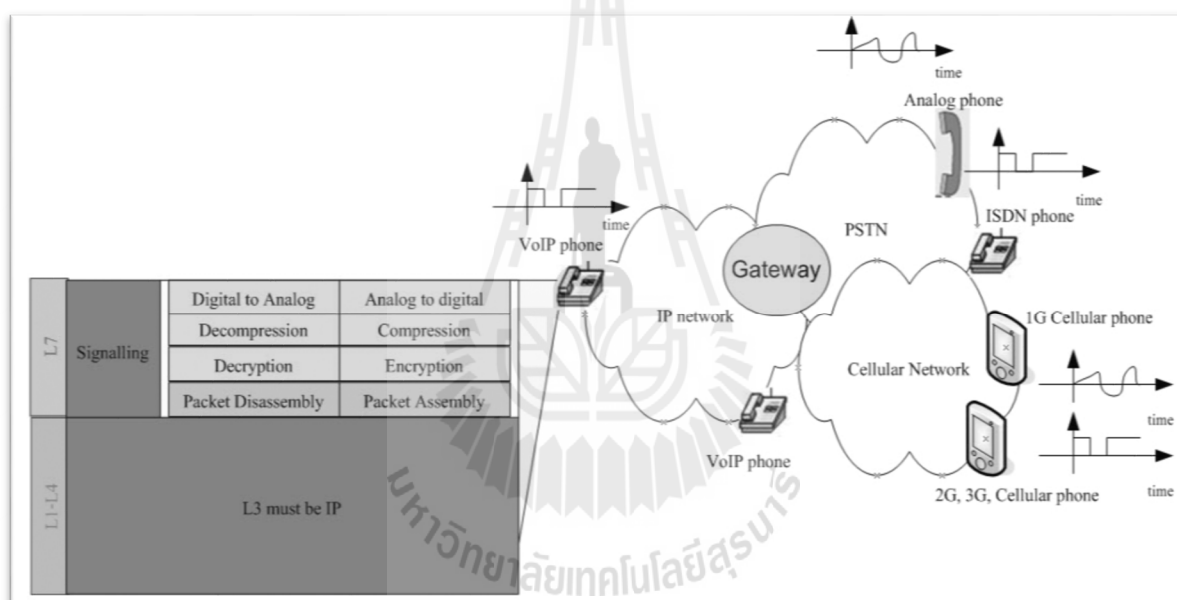
บทนี้จะกล่าวถึงหลักการทางพื้นฐานของระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN) คือการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไปให้เป็นระบบเครือข่ายโดยใช้คลื่นวิทยุเป็นสื่อในการส่งข้อมูลแทนที่จะใช้สายสัญญาณเป็นสื่อเหมือนระบบเครือข่ายแบบเดิม โดยการใช้คลื่นวิทยุเป็นสื่อนี้มีข้อดีหลายประการเช่น สะดวกในการติดตั้งเครื่องเพราะไม่ต้องเสียเวลาต่อสายเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายหรือปรับปรุงอุปกรณ์สำนักงานเนื่องจากสามารถเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ทันทีโดยไม่ต้องเสียเวลาในการร้อยถอนและติดตั้งสายสัญญาณใหม่ โดยนอกจากนี้ยังประหยัดค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไปในการซ่อมบำรุงและดูแลสายสัญญาณในระยะยาวอีกด้วยรวมถึงขั้นตอนในกระบวนการย้ายข้ามเซตแสดงให้เห็นถึงความล่าช้าที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนและงานวิจัยที่ทามาก่อนหน้านี้เพื่อที่จะลดปัญหาของการย้ายข้ามเซตที่เกิดขึ้น

2.2 เทคโนโลยีวีโอไอพี (VoIP)

วีโอไอพี (Voice over Internet Protocol: VoIP) เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารรับส่งสัญญาณเสียงผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยจะต้องอาศัยอุปกรณ์ (Hardware) หรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Software) ทำงานร่วมกัน ซึ่งการทำงานของ วีโอไอพี นั้นจะมีการแปลงสัญญาณเสียงจากต้นทางให้อยู่ในรูปแบบแพ็คเกจ (Packet) ขนาดเล็กๆ และส่งไปยังปลายทาง โดยอาศัยโปรโตคอลที่เรียกว่า Internet Protocol ในการส่งผ่านสัญญาณเสียงให้ผู้รับได้ฟัง สัญญาณเสียงที่ส่งมาได้วีโอไอพี เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยเสียงผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยจะแปลงสัญญาณเสียงจากผู้ส่งที่เป็นสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลผ่านอุปกรณ์เครือข่ายแล้วส่งต่อผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปยังผู้รับ จากนั้นจะทำการแปลงสัญญาณกลับจากสัญญาณดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกผ่านทางอุปกรณ์เครือข่าย

2.2.1 พื้นฐานการทำงานวีโอไอพี

การสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี นั้นจะเป็นขบวนการแปลงสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณดิจิทัลผ่านอุปกรณ์ทางเครือข่าย วีโอไอพีเริ่มต้นที่สัญญาณเสียงจากไมโครโฟนถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital) ข้อมูลดิจิทัลที่ได้จะถูกบีบอัด (Compress) เพื่อให้อัตราส่งข้อมูลต่ำลง ซึ่งจากนั้นข้อมูลที่ถูกบีบอัดแล้วที่เป็นดิจิทัลจะถูกเข้ารหัส (Encryption) และข้อมูลที่ได้จากการเข้ารหัสจะถูกสร้างเป็นแพ็คเกจ และถูกส่งเข้าไปในเครือข่าย ส่วนการรับข้อมูลเสียงจะมีขบวนการตรงกันข้ามกับการส่งคือข้อมูลที่ได้จากเครือข่ายนั้นจะถูกประกอบเป็นเฟรมข้อมูลดิจิทัลจากนั้นจะถูกทำการถอดรหัส (Decryption) และขยายข้อมูล (Decompression) เฟรมข้อมูลที่ได้จะส่งออกเป็นสัญญาณเสียงและออกทางลำโพง



รูปที่ 2.1 โครงสร้างวีโอไอพี [27]

2.2.2 วีโอไอพีทำงานได้อย่างไร

เทคโนโลยีวีโอไอพี ซึ่งในการส่งผ่านสัญญาณเสียง โดยสัญญาณเสียงนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น ส่วนย่อยๆ หรือที่เรียกว่าแพ็คเกจ (Packet) โดยสัญญาณเสียงที่ส่งไปมักส่งแบบ UDP (User Datagram Protocol) มากกว่า TCP (Transmission Control Protocol) เนื่องจากการส่งข้อมูลแบบ UDP นั้นจะมีการส่งข้อมูลได้เร็วกว่าจึงเหมาะที่จะนำมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลเสียงบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ การส่งข้อมูลเสียง

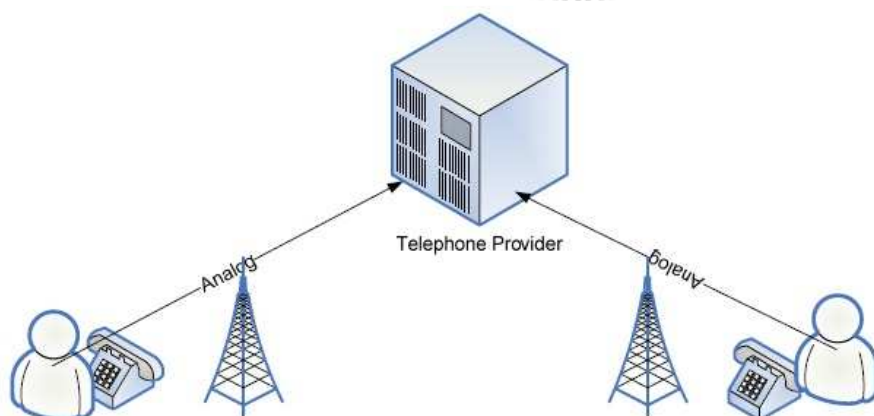
นั้นจะต้องอาศัยโปรโตคอลหลักที่ใช้ในการส่งสัญญาณระหว่างต้นทางและปลายทาง ซึ่งเป็นโปรโตคอล SIP (Session Initiation Protocol) จึงทำให้ต้นทางและปลายทางสามารถสื่อสารกันได้ โดยปกติ SIP Protocol จะมีการใช้พอร์ตสื่อสารแบบ UDP (User Datagram Protocol) ที่ 5060

Application	↔	Asterisk/Tribosx/X-Lite
Presentation	↔	Codec (G.729/G.711/GSM)
Session	↔	SIP / IAX / H.323
Transport	↔	UDP / RTP
Network	↔	IP
Datalink	↔	Ethernet / PPP / ATM
Physical	↔	RS-232 / V.35 / xDSL

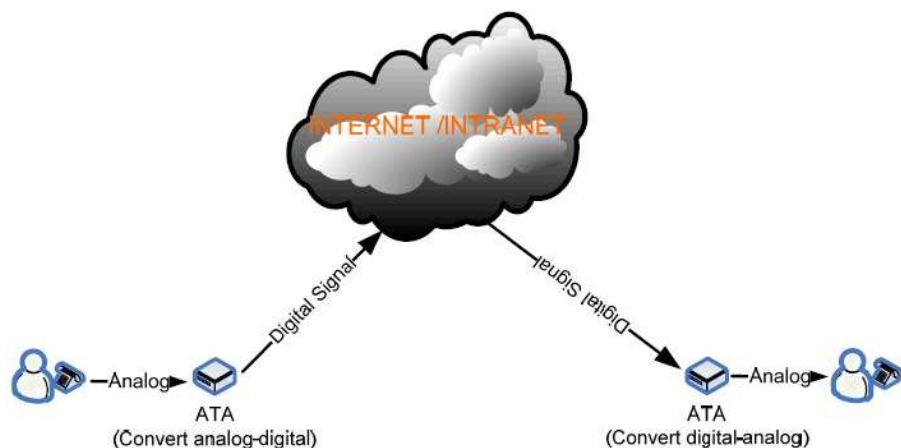
รูปที่ 2.2 การเปรียบเทียบ OSI Model กับวีโอไอพี [27]

2.2.3 การแปลงสัญญาณเสียง

การสนทนาผ่านทางโทรศัพท์ เสียงที่พูดออกไปนั้นจะถูกส่งจากต้นทางไปยังปลายทางโดยจะอยู่ในรูปสัญญาณอนาล็อก (Analog)

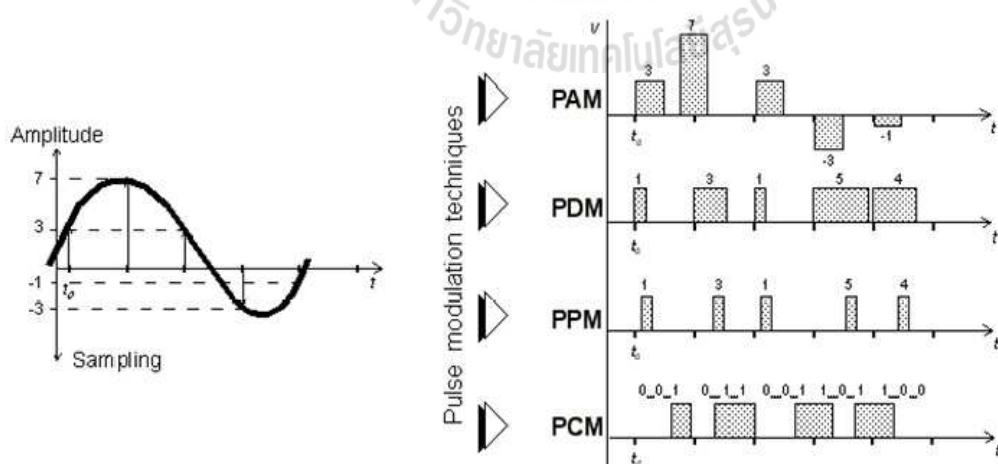


รูปที่ 2.3 การสนทนาผ่านคู่สายโทรศัพท์แบบปกติ [27]



รูปที่ 2.4 การเชื่อมต่อวีโอไอพี [27]

สำหรับการสื่อสารแบบดิจิทัลมีความจำเป็นต้องแปลงสัญญาณจากแหล่งที่มาของข้อมูลอนาล็อกเป็นสัญญาณที่เข้ากันได้กับการประมวลผลดิจิทัลที่จะได้รับการแปลงนี้เรียกว่าการจํารูปแบบสัญญาณ จากข้อมูลที่เกิดจากแหล่ง ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า PCM (Pulse Code Modulation) ระบบการส่งเสียงผ่านเครือข่ายจะนำสัญญาณเสียงที่ผ่านกระบวนการดิจิทัล (Digital Signal Processing) โดยหนึ่งช่องเสียงเมื่อแปลงเป็นข้อมูลจะมีขนาด 64 กิโลบิตต่อวินาที และการนำข้อมูลเสียงขนาด 64 กิโลบิตต่อวินาทีมาส่งผ่านเครือข่ายจะต้องนำมาบีบอัด



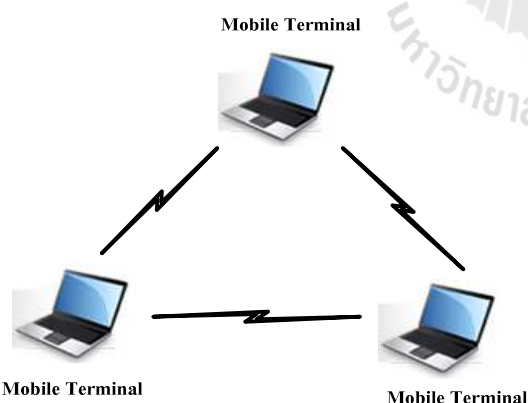
รูปที่ 2.5 ขั้นตอน PCM [27]

2.3 การให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้นระบบเครือข่ายไร้สายจะใช้คลื่นวิทยุเป็นสื่อในการส่งข้อมูล ตามปกติแล้วการใช้คลื่นวิทยุความถี่ใดๆ ก็ตามจะต้องขออนุญาตเสียก่อน ซึ่งก่อให้เกิดความยุ่งยากในการใช้งาน โดยเฉพาะในหน่วยงานที่ต้องทดลองทางวิทยาศาสตร์ การศึกษาวิจัย และทาง โรงงานอุตสาหกรรม จึงได้มีการกำหนดช่วงความถี่อิสระขึ้นซึ่งสามารถใช้งานได้โดยไม่ต้องจดทะเบียน ย่านความถี่นั้นเรียกว่า ISM Band (Industrial Scientific Medicine Band) นั่นคือช่วงความถี่ระหว่าง 2.483-2.5 GHz เซอร์วิสเซต (Service Set) คือกลุ่มของอุปกรณ์ระบบเครือข่ายไร้สายตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไปที่อยู่ในบริเวณพื้นที่การให้บริการ (Coverage Area) ที่ใช้ช่องสัญญาณ (Channel) สื่อสารข้อมูลช่องเดียวกันและอยู่ในรัศมีสามารถแพร่กระจายคลื่นถึงกันได้ เซอร์วิสเซต (Service Set) สามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบดังนี้

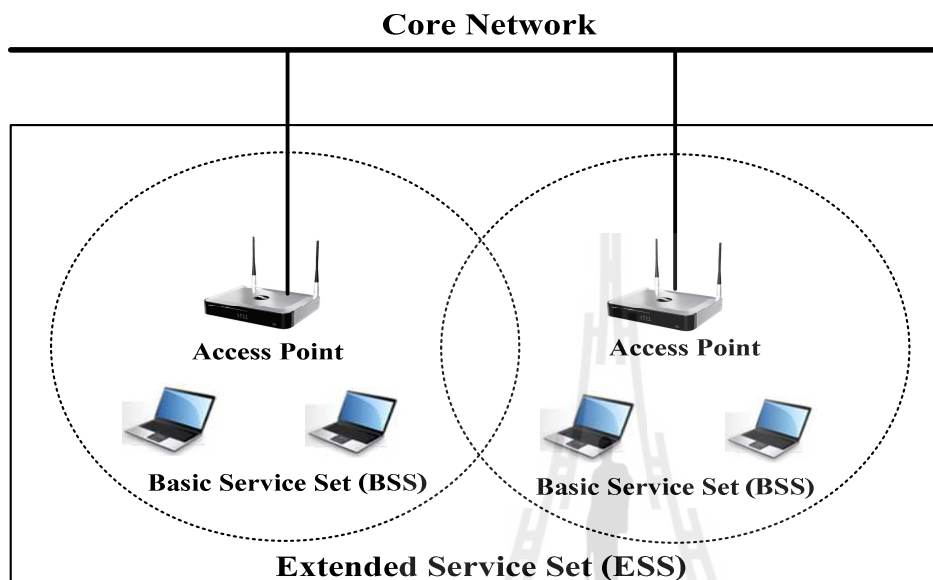
1. Basic Service Set (BSS) คือพื้นที่การให้บริการเครือข่ายไร้สายแบบพื้นฐานที่มีขอบเขตของพื้นที่ให้บริการ 1 พื้นที่ ที่ใช้ ช่องสัญญาณช่องหนึ่งเหมือนกันทั้งหมดสำหรับสื่อสารข้อมูลและอุปกรณ์สามารถแพร่กระจาย คลื่นถึงกันได้โดยสามารถแบ่งการเชื่อมโยงได้ 2 แบบคือ

1.1 Ad-Hoc เป็นการสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สายและอุปกรณ์ต่างๆตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไปโดยไม่มีศูนย์กลางการควบคุมอุปกรณ์ทุกเครื่องสามารถสื่อสารข้อมูลถึงกันเองได้โดยกระจายคลื่นออกไปทุกทิศทุกทางโดยไม่ทราบจุดหมายของปลายทางของตัวรับว่าอยู่ที่ใด ซึ่งตัวรับจะต้องอยู่ในพื้นที่การให้บริการที่คลื่นสามารถเดินทางมาถึง



รูปที่ 2.6 Ad-Hoc Mode

1.2 Infrastructure Mode เป็นการเชื่อมโยงที่มีข้อพิเศกว่าระบบแบบ Ad-Hoc ตรงที่มีจุดเข้าถึงเป็นศูนย์กลางการเชื่อมโยง และเป็นสะพานเชื่อมเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สายเข้าสู่เครือข่าย อีเทอร์เน็ต รวมถึงควบคุมการสื่อสารข้อมูลของอุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย

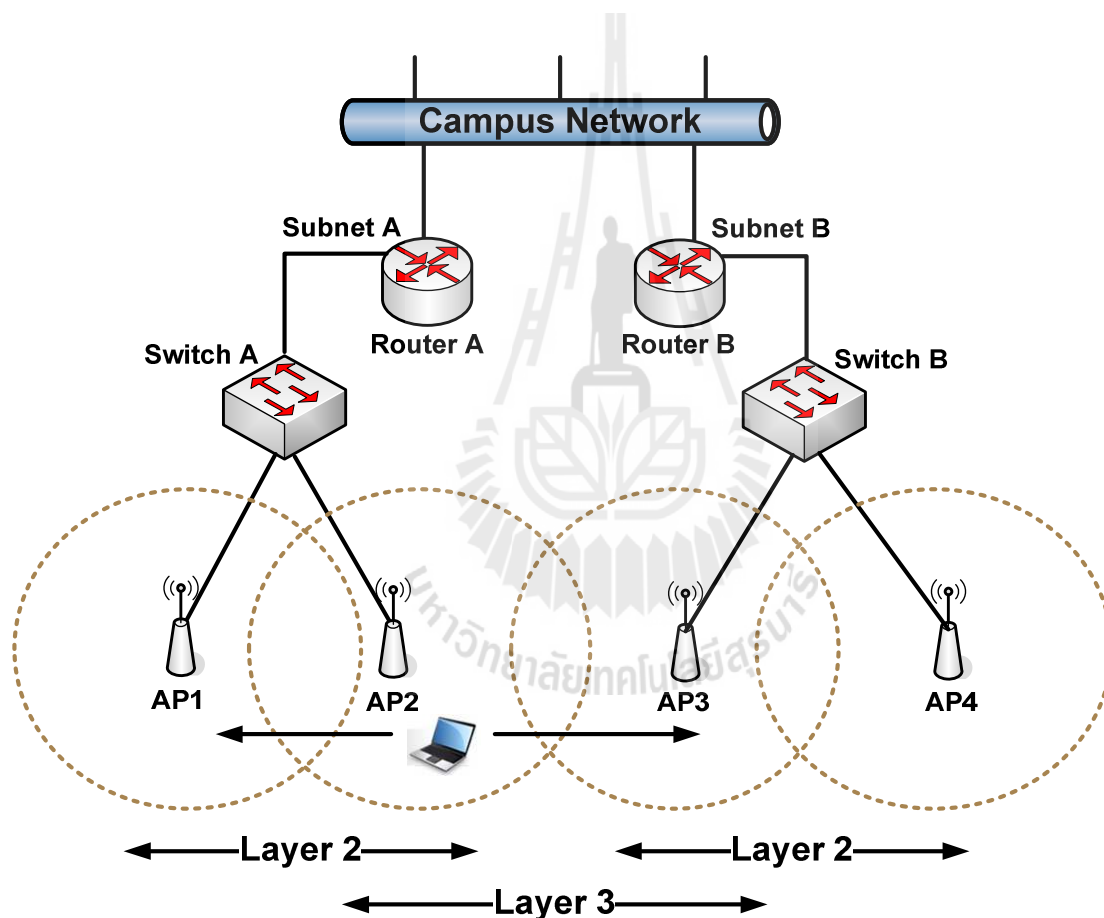


รูปที่ 2.7 Infrastructure Mode

2. Extended Service Set (ESS) ถูกออกแบบมาให้ผู้ใช้สามารถเชื่อมโยงเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สายของตนเองเพื่อสื่อสารข้อมูลจากจุดใดๆ ได้อย่างอิสระภายในหนึ่งขอบเขตพื้นที่ให้บริการแต่เมื่อออกนอกขอบเขตพื้นที่ให้บริการเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ที่ไม่สามารถเชื่อมโยงเข้าสู่เครือข่ายไร้สายได้ส่งผลให้การส่ง ข้อมูลหยุดชะงัก IEEE802.11 จึงมีโครงสร้างการเชื่อมต่อแบบ Extended Service Set (ESS) เพื่อขยายพื้นที่การให้บริการเครือข่ายไร้สายภายในประกอบด้วย BSS หลายๆระบบรวมกันอยู่โดยกำหนด Extended Service Set ID (ESSID) คือ การให้หมายเลขประจำตัวสำหรับทุกจุดเข้าถึงและเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ทั้งหมดที่อยู่ในระบบเครือข่ายไร้สายใช้เป็นชื่ออ้างอิง Service Set ของเครือข่ายไวร์เลสแลนเป็นของตนเองโดยแต่ละ BSS ถูกเชื่อมโยงกันผ่านเครือข่ายอีเทอร์เน็ตแลน โดยผู้ใช้งานสามารถเคลื่อนย้ายการทำงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งภายใน BSS และเมื่อระดับของสัญญาณไวร์เลสแลนลดลงถึงระดับที่ต้องการส่งถ่ายการเชื่อมต่อ กับจุดเข้าถึงจะต้องทำหน้าที่ส่งถ่ายการเชื่อมต่อจากจุดเข้าถึงตัวหนึ่งไปยังจุดเข้าถึงตัวที่สองโดยการสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สายที่เคลื่อนย้ายกับเครือข่ายก็ยังดำเนินต่อไป

2.4 รูปแบบของการแฮนด์ออฟ

รูปแบบในการส่งถ่ายการเชื่อมต่อในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด ดังรูปที่ 2.8 จากรูปแสดงให้เห็นการแฮนด์ออฟ ใน Layer 2 และ Layer 3 โดยจากรูปถ้าเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่แล้วถ้าการแฮนด์ออฟ อยู่ภายใน Subnet เดียวกันหมายถึงเมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ทำการส่งถ่ายการเชื่อมต่อแล้วสามารถใช้ IP Address เดิมได้จะเป็นการแฮนด์ออฟ ใน Layer 2 แต่ถ้าเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่แล้วการแฮนด์ออฟต่างจาก Subnet เดิมที่เชื่อมต่ออยู่หมายถึงเมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ทำการส่งถ่ายการเชื่อมต่อแล้วต้องขอ IP Address ใหม่จะเป็นการแฮนด์ออฟใน Layer 3



รูปที่ 2.8 รูปแบบการแฮนด์ออฟในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย [27]

2.5 กระบวนการการแฮนด์ออฟ (HANDOFF PROCESS)

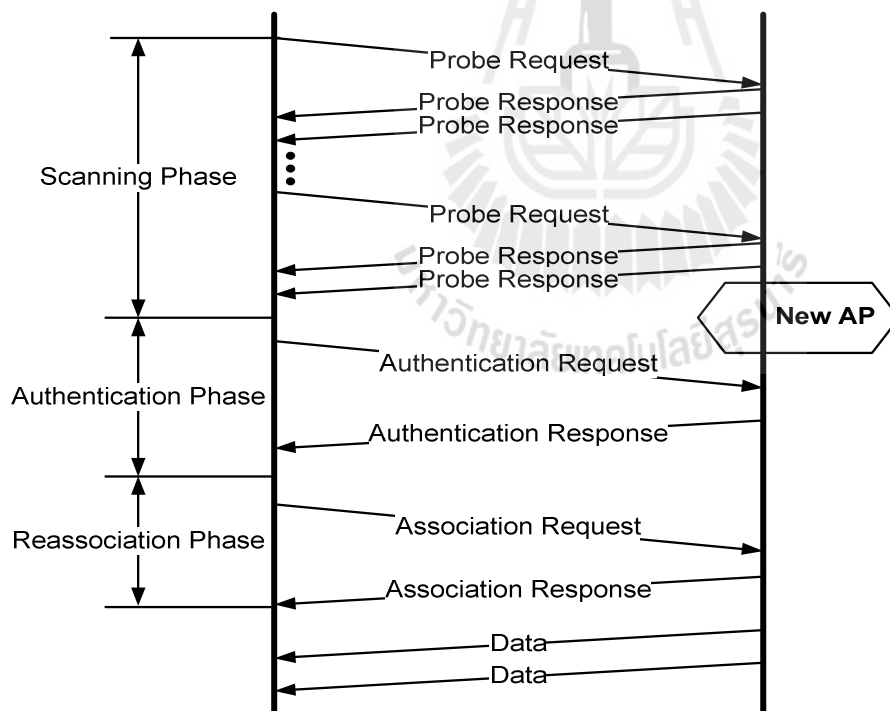
กระบวนการแฮนด์ออฟสามารถแบ่งได้เป็น 3 ขั้นตอนตามรูปที่ 2.8 คือ Scanning Phase, Authentication Phase และ Re-association Phase

2.5.1 ขั้นตอน Scanning Phase

เมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ต้องการที่จะทำการแฮนด์ออฟจะต้องใช้ข้อมูลเพื่อใช้ในการตัดสินใจเพื่อที่จะหาจุดเข้าถึงที่ดีที่สุดในการส่งถ่ายการเชื่อมต่อทำได้ 2 วิธีการดังนี้

1. Passive Scan เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่จะรอฟังเฟรมบีมคอน (Beacon) โดยเปลี่ยนไปทุกๆช่องสัญญาณเพื่อรับฟัง เฟรมบีมคอนที่จุดเข้าถึงบริเวณใกล้เคียงส่งมาตามรอบเวลาประมาณ 10 มิลลิวินาที ต่อรอบ เป็นวิธีการที่ประหยัดพลังงานเพราะไม่ต้องใช้พลังงานในการส่งข้อมูล แต่จุดเข้าถึงที่อยู่รอบตัวต้องสามารถกระจายสัญญาณบีมคอนได้ เฟรมบีมคอนนี้ประกอบด้วยข้อมูลข่าวสารจำนวนหนึ่ง ดังนี้

Service Set Identification (SSID) เป็นข้อมูลข่าวสารขนาด 2-32 ตัวอักษร ที่ใช้เป็นชื่อของจุดเข้าถึงที่จะให้บริการบนเครือข่าย ชื่อนี้จะทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่เป็นลูกข่ายไร้สายสามารถที่จะทราบว่าจะใช้จุดเข้าถึงตัวใดเพื่อเข้าถึงเครือข่ายโดยชื่อของจุดเข้าถึงนี้มาจากโรงงานผู้ผลิตและสามารถเปลี่ยนค่าได้ตามความต้องการของผู้ใช้

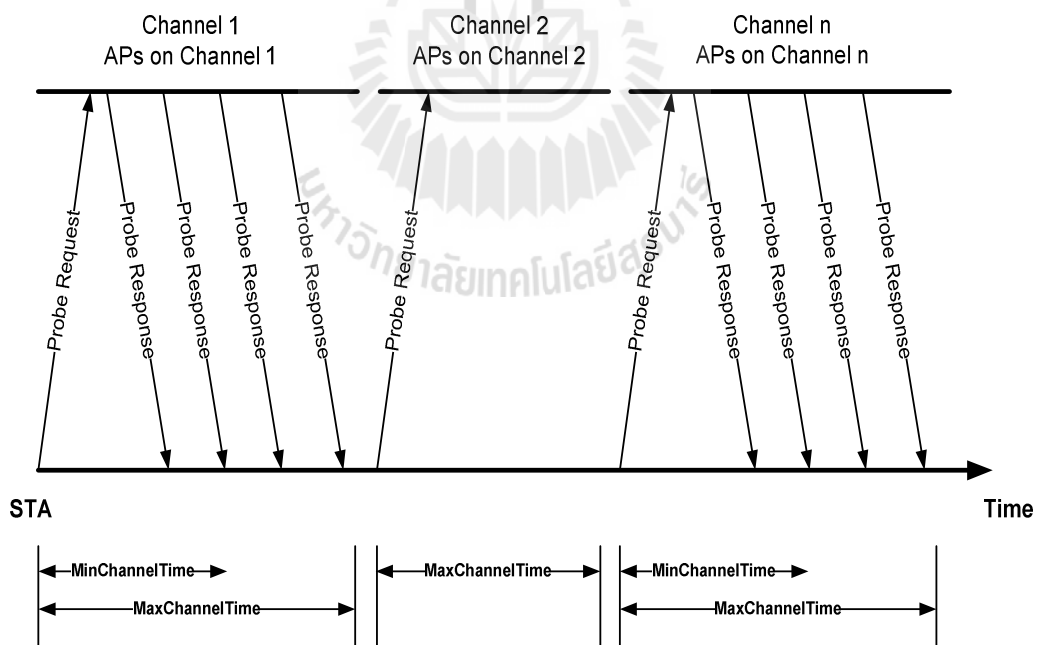


รูปที่ 2.9 ขั้นตอนกระบวนการแฮนด์ออฟ [27]

ค่า Frequency Hopping (FH) หรือ Direct Sequence (DS) ที่จัดตั้งไว้ ข่าวสารใน Beacon นี้ใช้กับเทคโนโลยีระบบเครือข่ายไร้สายที่ทำงานภายใต้ Spread Spectrum โดยเฉพาะสำหรับเครือข่ายไร้สายที่ใช้การผสมสัญญาณแบบ Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) ข้อมูลข่าวสารจะประกอบด้วยค่า Dwell Time ซึ่งก็คือช่วงเวลาของการเปลี่ยนความถี่ของช่องสัญญาณ รวมทั้งลำดับของ Hop (Hop Sequence) แต่สำหรับระบบ Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) ข้อมูลข่าวสารภายใน Beacon นี้ประกอบด้วยข่าวสารเกี่ยวกับช่องสัญญาณ

Traffic Indication Map (TIM) เป็นตัวบ่งชี้ว่าขณะนี้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกับ จุดเข้าถึง ขณะที่เครื่องคอมพิวเตอร์ในเครือข่ายอยู่ในสถานะหลับอยู่จะเปิดส่วนที่เป็นเครื่องรับไว้และคอยฟัง Beacon และตรวจสอบค่า TIM ว่าเครื่องนี้มีแพ็กเกตอยู่ในรายการของจุดเข้าถึง หรือไม่ถ้าไม่มีจะหลับต่อ อัตราความเร็วที่จุดเข้าถึงให้การสนับสนุน เช่น 54 หรือ 11 Mbps

2. Active Scan เมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่จะทำการค้นหาจุดเข้าถึงที่อยู่บริเวณใกล้เคียงเพื่อที่จะทำการแฮนด์ออฟจะทำการส่ง Probe Request เพื่อถามหาเครือข่ายที่เปิดใช้งานอยู่และรอรับ Probe Response เพื่อรับข้อมูลของเครือข่ายเช่นอัตราการส่งข้อมูลเพื่อเข้าขอใช้เครือข่ายจากจุดเข้าถึงตามรูปที่ 2.9 ดังนี้



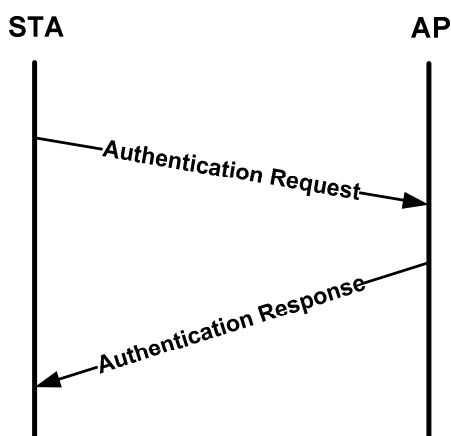
รูปที่ 2.10 ขั้นตอนกระบวนการ Active Scan [27]

โดยขั้นตอนการทำงานเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่จะส่ง Probe Request และรอ Probe Response จากจุดเข้าถึงที่อยู่บริเวณใกล้เคียงเป็นเวลา MinChannelTime ถ้าเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ที่ได้รับ Probe Response ก็จะไปเปลี่ยนเวลาในการรอเป็นเวลา MaxChannelTime เมื่อครบเวลาก็จะส่ง Probe Request ไปยังช่องสัญญาณถัดไปแต่ถ้ารอเวลา MinChannelTime แล้วไม่ได้รับ Probe Response ก็ จะส่ง Probe Request ไปยังช่องสัญญาณถัดไปทำให้ Active Scan ใช้พลังงาน และเวลามากกว่า Passive Scan เพราะต้องสแกนหาช่องสัญญาณจนครบทั้งหมด 11 ช่องตาม มาตรฐาน 802.11

2.5.2 ขั้นตอน Authentication Phase

สำหรับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่จะมีสิทธิ์ในการรับส่งสัญญาณข้อมูลในเครือข่ายได้ก็ต่อเมื่อได้รับการตรวจสอบแล้วได้รับอนุญาตซึ่งมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้กำหนดให้มีกลไกสำหรับการตรวจสอบผู้ใช้ (Authentication) ใน 2 ลักษณะคือ Open System Authentication และ Shared Key Authentication ซึ่งเป็นดังต่อไปนี้

1. Open System Authentication การตรวจสอบเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ ในลักษณะนี้เป็นทางเลือกแบบ Default ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ในการตรวจสอบแบบนี้จะไม่ตรวจสอบรหัสลับจากผู้ใช้ ซึ่งอาจกล่าว ได้ว่าเป็นการอนุญาตให้ผู้ใช้ใดๆ ก็ได้สามารถเข้ามารับส่งสัญญาณในเครือข่ายนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามในการตรวจสอบแบบนี้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็น จุดเข้าถึงไม่จำเป็นต้องอนุญาตให้เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เข้ามาใช้เครือข่ายได้เสมอไปกลไกการตรวจสอบแบบ Open System Authentication มีขั้นตอนการทำงานตามรูปที่ 2.10 ดังนี้



รูปที่ 2.11 ขั้นตอนการทำ Open System Authentication [27]

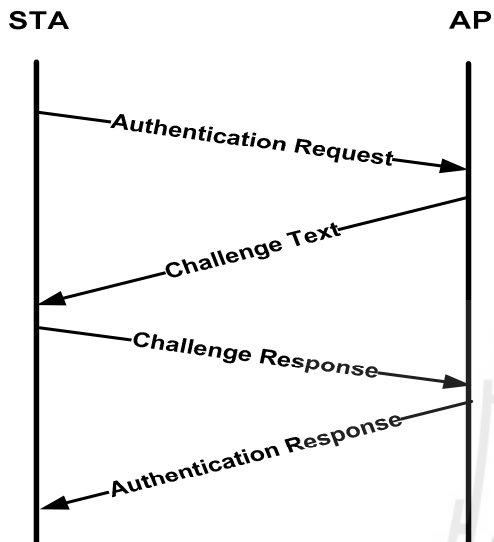
เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ที่ต้องการจะเข้ามาร่วมใช้เครือข่ายจะส่งข้อความซึ่งไม่ถูกเข้ารหัสเพื่อขอรับการตรวจสอบ (Authentication Request Frame) ไปยังอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นจุดเข้าถึง โดยในข้อความดังกล่าวจะมีการแสดงความจำนงเพื่อรับการตรวจสอบแบบ Open System อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นจุดเข้าถึงได้ตอบด้วยข้อความที่แสดงถึงการตอบรับหรือปฏิเสธ Request ดังกล่าว

2. Shared Key Authentication การตรวจสอบผู้ใช้แบบ Shared Key Authentication จะอนุญาตให้เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ของผู้ใช้ซึ่งมีรหัสลับ ของเครือข่ายนี้เท่านั้นที่สามารถเข้ามารับส่งสัญญาณกับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นจุดเข้าถึงได้โดยมีการใช้การถามตอบที่ใช้กันทั่วไปผนวกกับการเข้ารหัสด้วย Wired Equivalency Privacy (WEP) เป็นกลไกสำหรับการตรวจสอบ (ดังนั้นการตรวจสอบแบบนี้จะทำได้ก็ต่อเมื่อมีการ Enable การเข้ารหัสด้วย WEP) กลไกการตรวจสอบดังกล่าวมีขั้นตอนการทำงานตามรูปที่ 2.11 เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ของผู้ใช้ที่ต้องการจะเข้ามาร่วมใช้เครือข่ายจะส่งข้อความซึ่งไม่ถูกเข้ารหัสเพื่อขอรับการตรวจสอบ (Authentication Request Frame) ไปยังอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นจุดเข้าถึง โดยในข้อความดังกล่าวจะมีการแสดงความจำนงเพื่อรับการตรวจสอบแบบ Shared Key หากจุดเข้าถึงต้องการตอบรับ Request ดังกล่าว จะมีการส่งข้อความที่แสดงถึงการตอบรับและคำถาม (Challenge Text) มายังเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ ซึ่ง Challenge Text ดังกล่าวมีขนาด 128 ไบต์และถูกสุ่มขึ้นมาโดยอาศัย Pseudo Random Number Generator (PRNG) หากจุดเข้าถึงไม่ต้องการตอบรับ Request ดังกล่าว จะมีการส่งข้อความที่แสดงถึงการไม่ตอบรับ ซึ่งเป็นการสิ้นสุดของการตรวจสอบครั้งนี้ หากมีการตอบรับจากจุดเข้าถึง เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ของผู้ใช้ที่ขอรับการตรวจสอบจะทำการเข้ารหัสข้อความคำถามที่ถูกส่งมาโดยใช้รหัสลับของเครือข่ายแล้วส่งกลับไปยังจุดเข้าถึง จุดเข้าถึงจะทำการถอดรหัสข้อความที่ตอบกลับมาโดยใช้รหัสลับของเครือข่าย หลังจากถอดรหัสแล้วหากข้อความที่ตอบกลับมาตรงกับข้อความคำถาม (Challenge Text) ที่ส่งไป จุดเข้าถึงจะส่งข้อความที่แสดงถึงการอนุญาตให้เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ของผู้ใช้เข้าใช้เครือข่ายได้ แต่หากข้อความที่ตอบกลับมาไม่ตรงกับข้อความคำถาม จุดเข้าถึงจะโต้ตอบด้วยข้อความที่แสดงถึงการไม่อนุญาต

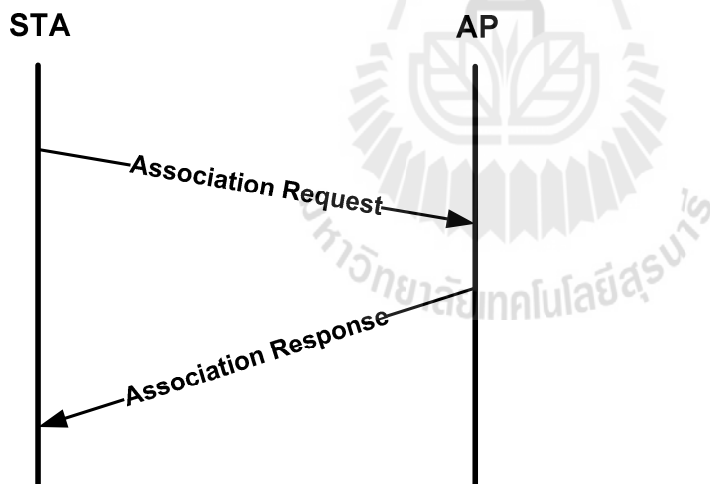
2.5.3 ขั้นตอน Association Phase

Association เป็นกระบวนการที่ส่งต่อจากจุดเข้าถึงเก่าไปยังจุดเข้าถึงใหม่ที่เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ทำการ Authenticates ด้วยตามรูปที่ 2.11 คือ โดยการส่ง Re-association Request ไปยังจุดเข้าถึงตัวใหม่ที่ผ่านการทำ Authenticates ในกระบวนการก่อนหน้านี้มาแล้วรอ Re-association Response จากจุดเข้าถึงตัวใหม่

เป็นอันว่าการเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงใหม่เรียบร้อยแล้วจากนั้นจะเป็นการย้ายข้อมูลจากจุดเข้าถึงปัจจุบันไปยังจุดเข้าถึงใหม่โดยโปรโตคอล IAPP (Inter Access Point Protocol)



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการทำ Shared Key Authentication [27]



รูปที่ 2.13 ขั้นตอนการ Association [27]

2.6 ความหน่วงเวลาของการแฮนด์ออฟ

ความหน่วงเวลาของการแฮนด์ออฟสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนตามกระบวนการตามรูปที่ 2.8 จากข้างต้น ดังนี้

2.6.1 ความหน่วง Probe Delay

เป็นความหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นในช่วงทำการค้นหา (Scanning) เพื่อที่จะหาจุดเข้าถึงที่ดีที่สุดในการเชื่อมต่อสามารถแบ่งได้ 2 แบบดังนี้

1. **Passive Scan Delay** ความหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นตอนที่ค้นหา ในการทำงานแบบ Passive Scan ซึ่งความหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับ Beacon Interval ว่ากำหนดการส่งเฟรมบีคอนต่อรอบมีค่าเป็นเท่าใด และมีจำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดที่ต้องส่งเท่าใดสามารถคำนวณโดยใช้วิธี Beacon Interval คูณจำนวนช่องสัญญาณ 100 มิลลิวินาที ตัวอย่างเช่น Beacon Interval ของทุกๆ จุดเข้าถึงมีค่าเท่ากับ 100 มิลลิวินาที และมีจำนวนช่องสัญญาณที่ใช้ทั้งหมดจำนวนเท่ากับ 11 ช่องสัญญาณถ้าไม่มีการสูญหายของเฟรมบีคอนจะใช้เวลาในการค้นหาคือ Beacon Interval 100 มิลลิวินาทีคูณ 11ช่องสัญญาณ เท่ากับ ความหน่วงเวลาของ Passive Scan ใช้เวลา 1.1 วินาที
2. **Active Scan Delay** เป็นความหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับค่า MinChannelTime, MaxChannelTime, จำนวนช่องสัญญาณ ตัวอย่างเช่น MinChannelTime เท่ากับ 5 มิลลิวินาที MaxChannelTime เท่ากับ 11 มิลลิวินาทีและมีจำนวนช่องสัญญาณที่ใช้ทั้งหมดเป็น 11 ช่อง จะคำนวณได้ว่าค่าความหน่วงเวลาของ Active Scan จะอยู่ระหว่างค่า MinChannelTime คูณจำนวนช่องสัญญาณ เท่ากับ 55 มิลลิวินาทีและ MaxChannelTime คูณจำนวนช่องสัญญาณ เท่ากับ 121 มิลลิวินาที

2.6.2 ความหน่วง Authentication Delay และ Association Delay

เป็นความหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นในช่วง Authentication, Association นั้นจะเกิดจากการส่งแพคเกจ Request และแพคเกจ Response สามารถหาได้จากค่า Log ไฟล์ของไดรเวอร์ของการ์ดไวร์เลส ซึ่งจะเก็บช่วงเวลาของการ Authentication Delay, Association Delay ดังตัวอย่างรูปที่ 2.14

1	Jan 7 10:48:02 nart kernel:	332.637 wlan0: deauthenticating from 10:8c:cf:44:1d:e0 by local	choice (reason=3)		
2	Jan 7 10:48:02 nart kernel:	332.662255 wlan0: direct probe to AP 00:3a:98:09:3a:70 (try 1)			332.680541
3	Jan 7 10:48:02 nart kernel:	332.667469 wlan0: direct probe responded			332.662255
4	Jan 7 10:48:02 nart kernel:	332.667472 wlan0: authenticate with AP 00:3a:98:09:3a:70 (try 1)			
5	Jan 7 10:48:02 nart kernel:	332.670222 wlan0: authenticated			0.018286 ค่า HO Time ครั้งที่1
6	Jan 7 10:48:02 nart kernel:	332.670243 wlan0: associate with AP 00:3a:98:09:3a:70 (try 1)			
7	Jan 7 10:48:02 nart kernel:	332.680538 wlan0: RX AssocResp from 00:3a:98:09:3a:70 (capab=0x421 status =0 aid=12)			
8	Jan 7 10:48:02 nart kernel:	332.680541 wlan0: associated			
9	Jan 7 10:48:37 nart kernel:	368.460749 wlan0: deauthenticating from 00:3a:98:09:3a:70 by local	choice (reason=3)		
10	Jan 7 10:48:37 nart kernel:	368.493357 wlan0: direct probe to AP 1c:17:d3:ca:45:40 (try 1)			368.50625
11	Jan 7 10:48:37 nart kernel:	368.496702 wlan0: direct probe responded			368.493357
12	Jan 7 10:48:37 nart kernel:	368.496711 wlan0: authenticate with AP 1c:17:d3:ca:45:40 (try 1)			
13	Jan 7 10:48:37 nart kernel:	368.498638 wlan0: authenticated			0.012893 ค่า HO Time ครั้งที่2
14	Jan 7 10:48:37 nart kernel:	368.498672 wlan0: associate with AP 1c:17:d3:ca:45:40 (try 1)			
15	Jan 7 10:48:37 nart kernel:	368.506242 wlan0: RX AssocResp from 1c:17:d3:ca:45:40 (capab=0x421 status =0 aid=19)			
16	Jan 7 10:48:37 nart kernel:	368.50625 wlan0: associated			

รูปที่ 2.14 แพคเกจที่ได้จากการเก็บใน Log ไฟล์ของระบบ

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทำแฮนด์ออฟ

2.7.1 Background Scan [1]

ทำงานโดยที่เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ส่งข้อความ Power Save Mode (PSM) ไปที่จุดเข้าถึงเพื่อเป็นการให้ทำการสำรองข้อมูลอยู่ในบัฟเฟอร์แล้วเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ทำการเปลี่ยนช่องสัญญาณเพื่อไปทำการตรวจสอบจุดเข้าถึงที่ใช้ช่องสัญญาณนั้นเพื่อหาข้อมูลเมื่อต้องการจะทำการแฮนด์ออฟ เมื่อได้ข้อมูลแล้วก็จะเปลี่ยนช่องสัญญาณกลับมาที่ช่องสัญญาณเดิมและทำการรับส่งข้อมูลกับจุดเข้าถึงเดิมทำแบบนี้ไปที่ละช่องสัญญาณเพื่อเป็นการปรับปรุงข้อมูลให้พร้อมใช้งาน เมื่อถึงเวลาที่จะทำการแฮนด์ออฟก็นำข้อมูลนี้มาตัดสินใจว่าจะแฮนด์ออฟไปที่จุดเข้าถึงตัวไหนโดยที่ไม่ต้องค้นหา (Scanning) เพราะเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานานที่สุด มีข้อเสียคือจะต้องเข้าไปปรับปรุงระบบการทำงานของไคร์ฟเวอร์ เพื่อที่จะทำให้สามารถใช้ PSM ได้อย่างไม่มีปัญหาในการกำหนดช่วงเวลาที่ต้องการบัฟเฟอร์ต้องสอดคล้องกับช่วงเวลาที่ย้ายช่องสัญญาณไปใช้ช่องสัญญาณอื่น

เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ทำให้ทราบขั้นตอนของการแฮนด์ออฟแต่ละขั้นตอนเป็นอย่างดี

2.7.2 Sync Scan [4]

เป็นการทำแฮนด์ออฟอย่างรวดเร็ว โดยลดความหน่วงเวลาด้วยวิธีให้เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่พยายามรับฟังสัญญาณบีกอน (Beacon) ที่จุดเข้าถึงส่งออกมาเช่นจุดเข้าถึงทำงานที่ช่องสัญญาณที่ 1 ส่งบีกอน ที่เวลา t มิลลิวินาที และให้จุดเข้าถึงทำงานที่ช่องสัญญาณที่ 2 ส่งสัญญาณ บีกอน ที่เวลา $t+d$ มิลลิวินาที ดังนั้น ถ้าเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ เคลื่อนที่เชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงที่ใช้ช่องสัญญาณที่ c จะสามารถฟังสัญญาณบีกอน ที่จุดเข้าถึงที่ทำงานที่ช่องสัญญาณที่ $c+1$ จะต้องใช้เวลาในการสลับช่องสัญญาณเป็นเวลา d มิลลิวินาที เพื่อที่จะรับฟังสัญญาณบีกอน ดังนั้นการกำหนดเวลาในการส่งสัญญาณบีกอน ของจุดเข้าถึงนั้นจึงมีความสำคัญมากเพื่อที่จะทำให้เป็นไปตามที่คำนวณไว้เพื่อให้สามารถตื้นขึ้นมาฟังสัญญาณบีกอน ของช่องสัญญาณที่ต้องการได้ มีข้อเสียคือเป็นเรื่องยากที่จะทำการชิงโครโนซ์ทางเวลาของการรับส่งสัญญาณบีกอน ระหว่างจุดเข้าถึงกับเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ซึ่งอาจจะทำให้เกิด Media Contention Delay, Propagation Delay

เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ทำให้ทราบเทคนิคการลดเวลาของการแฮนด์ออฟในแต่ละครั้ง ซึ่งในงานวิจัยที่สนใจ ทำที่หาวิธีการที่จะทำให้ค่าเวลาของการแฮนด์ออฟที่เหมาะสมที่สุด

2.7.3 Neighbor Graph [25]

ใช้การเก็บข้อมูลจากการ Association แต่ละครั้ง โดยมีเครื่องแม่ข่ายรับข้อมูลนำไปสร้างเป็น NG-info โดยการ Association จะบอกข้อมูลว่าจากจุดเข้าถึงที่เชื่อมต่อนั้นจะสามารถเชื่อมต่อไปยังจุดเข้าถึงตัวใดได้บ้างและเมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ที่ต้องการที่จะทำการแฮนด์ออฟ จะทำการร้องขอ NG-info จากเครื่องแม่ข่ายและนำข้อมูลที่อยู่ใน NG-info ซึ่งจะมีข้อมูลของช่องสัญญาณและจุดเข้าถึงที่อยู่ใกล้ตัวของจุดเข้าถึงที่เชื่อมต่ออยู่ ทำให้สามารถแฮนด์ออฟ โดยที่ไม่ต้องทำการ Scanning ทำให้ลดความหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นในช่วงนี้ได้ มีข้อเสียคือเรื่องที่ต้องมีค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องแม่ข่าย (NG Server) เพื่อทำการสร้าง Neighbor Graph และต้องคัดแปลงเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ที่ได้รับ NG-info จากเครื่องแม่ข่ายเพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการแฮนด์ออฟ

เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ทำให้รู้การเก็บบันทึกข้อมูล โดยใช้เครื่องแม่ข่ายในการเก็บบันทึกข้อมูลแต่ละช่วงว่าเก็บบันทึกอะไรบ้าง โดยจะได้มีแนวทางในการเก็บบันทึกข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการแฮนด์ออฟในแต่ละครั้ง

2.7.4 Make-Before-Break [26]

ใช้การ์ดไวร์เลส 2 ตัวโดยใช้เป็นตัวหนึ่งเป็นการ์ดควบคุมและอีกตัวหนึ่งเป็นการ์ดข้อมูลโดยการ์ดควบคุมจะทำหน้าที่ตรวจสอบข้อมูลจุดเข้าถึงรอบตัวเช่น Channel, SNR, SSID เพื่อใช้ในการแฮนด์ออฟ และ การ์ดข้อมูลจะทำหน้าที่วัดคุณภาพของสัญญาณที่ใช้งานอยู่เมื่อน้อยลงจนต้องทำการแฮนด์ออฟก็จะให้การ์ดควบคุมเลือกจุดเข้าถึงที่ดีที่สุดที่จะเชื่อมต่อและทำการเปลี่ยนช่องสัญญาณ, Authenticate, Associate กับจุดเข้าถึงที่ดีที่สุดและกำหนดค่าไอพีแอดเดรสและเปลี่ยนตารางการจัดการเส้นทาง เมื่อเรียบร้อยแล้วก็ให้ การ์ดข้อมูลทำ Disassociate กับตัวที่เชื่อมต่ออยู่แล้วสลับการ์ดควบคุมและการ์ดข้อมูล เพื่อที่จะใช้งาน มีข้อเสียคือจะต้องมีการ์ดไวร์เลส 2 ตัวเพื่อใช้เป็นการ์ดควบคุม และ การ์ดข้อมูล ถึงจะสามารถทำงานได้

เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยเข้าใจหลักการทำงานของการ์ดไวร์เลสซึ่งในงานวิจัยได้นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลของไดร์เวอร์ของการ์ดไวร์เลส เป็นไฟล์ Log ทำให้ทราบถึงขั้นตอนการบันทึกข้อมูลของไฟล์ระบบ

2.8 กล่าวท้ายบท

ในบทนี้ได้กล่าวถึงเทคโนโลยีและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวีไอไอพีและได้กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้ผู้ทำวิจัยมีความเข้าใจมากยิ่งขึ้น เมื่อรู้ทั้งเทคโนโลยีและทฤษฎีแล้วก็สามารถนำมาเปรียบเทียบกับความรู้กับงานวิจัยที่สนใจ ทำให้เห็นแนวทางการวิจัยมากขึ้น

บทที่ 3 การบันทึกผลการทำแฮนด์ออฟในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

3.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการบันทึกผลการทำการแฮนด์ออฟ ซึ่งประกอบด้วยเครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้ การติดตั้งซอฟต์แวร์ รวมถึงอาคารที่ใช้สำหรับการเก็บบันทึกผลข้อมูล การออกแบบสถานการณ์การเก็บข้อมูลต่างๆ ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเก็บบันทึกผลข้อมูล

1. เครื่องแม่ข่ายคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้เป็น วิโอไอพี Server บนระบบปฏิบัติการ CentOS ซึ่งคุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเตอร์มีดังนี้

1. ยี่ห้อ IBM ตระกูล x386
2. CPU : Intel Xeon 2.52GHz
3. หน่วยความจำหลัก (RAM) :
4. ฮาร์ดดิสก์ (HDD) : 720 GB
5. LAN Card : 100/1000 Mbps

1. ซอฟต์แวร์สำหรับติดตั้งเป็น วิโอไอพี Server ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ใช้ซอฟต์แวร์เสรี (Open source) ยี่ห้อ Trixbox รุ่น 2.6 CE ซึ่งภายในจะมีระบบปฏิบัติการ (OS) เป็นลินุกซ์ ตระกูล CentOS รุ่น 5.3 และจะมีซอฟต์แวร์สำหรับระบบ วิโอไอพี Server ชื่อ Asterisk รุ่น Asterisk 1.4.22-4

3.3 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องวิโอไอพี SERVER

มีรายละเอียดดังนี้

1. การติดตั้งโปรแกรม Trixbox โดยเริ่มต้นด้วยการบูทเครื่องคอมพิวเตอร์จากแผ่น Trixbox ก็จะเหมือนกับการติดตั้งระบบปฏิบัติการลินุกซ์ทั่วไป ซึ่งรายละเอียดการติดตั้งดังนี้



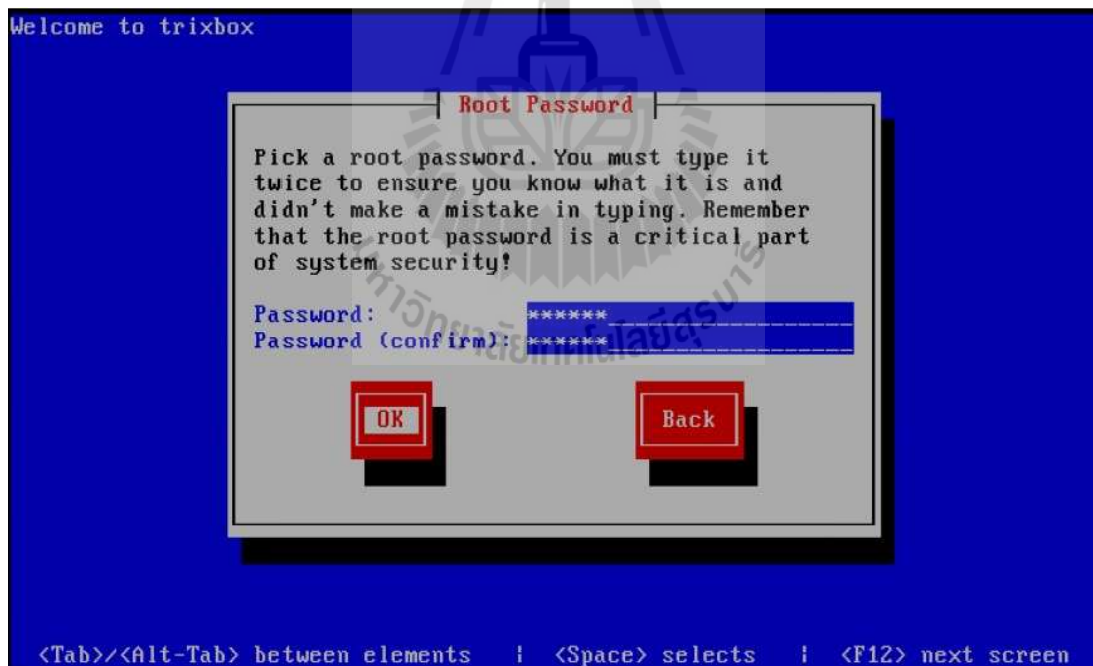
รูปที่ 3.1 หน้าจอแรกของการติดตั้ง Trixbox



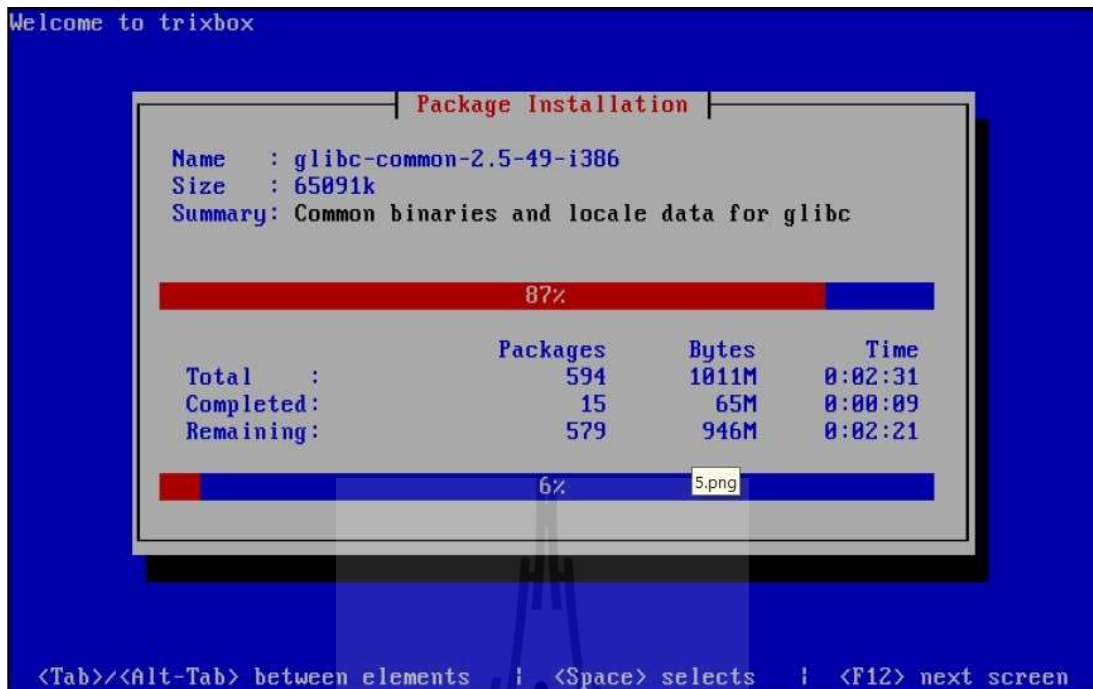
รูปที่ 3.2 การเลือก Keyboard Type = us



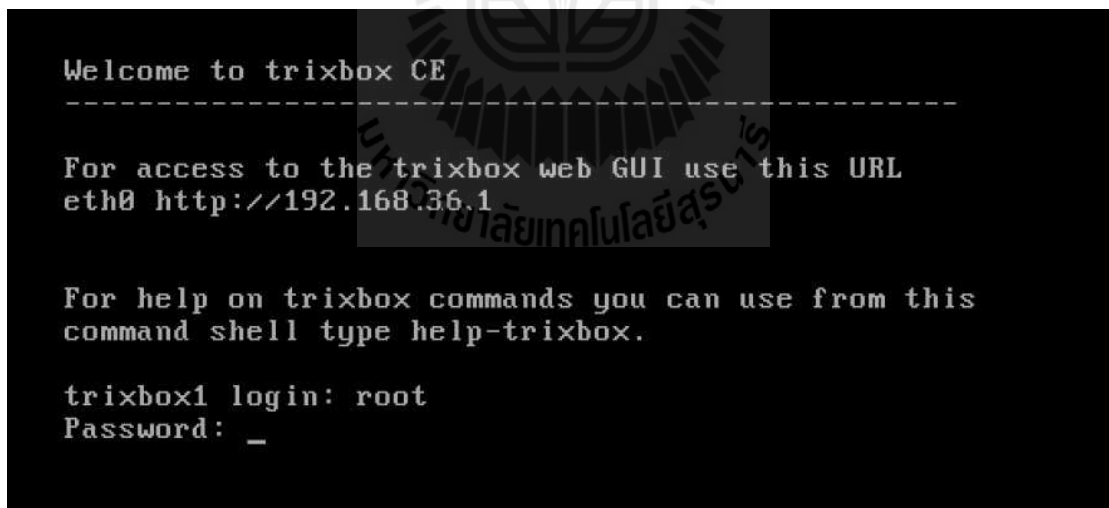
รูปที่ 3.3 การเลือก Time zone = Asia/Bangkok



รูปที่ 3.4 กำหนด Root Password สำหรับ Login เข้าสู่ระบบ



รูปที่ 3.5 การติดตั้งกลุ่มของโปรแกรมภายใน Trixbox



รูปที่ 3.6 หน้าจอ Login เข้าสู่ระบบเป็นหน้าจอสุดท้ายเมื่อติดตั้งสำเร็จ

2. การกำหนดค่าหมายเลขโทรศัพท์วีโอไอพี (VoIP Account) โดยใช้เบราเซอร์ ระบุไอพีแอดเดรสของเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (VoIP Server) ซึ่งมีค่าเป็น 192.168.36.1 แล้วทำการ Login เข้าสู่ระบบ เมื่อเข้าสู่ระบบแล้ว เข้ามาในเมนู Extensions แล้วสร้างหมายเลขโทรศัพท์ และใส่รหัสผ่านตามรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8 เมื่อสร้างเสร็จก็กดปุ่ม Save เพื่อบันทึกผลเป็นอันเสร็จสำหรับการสร้างหมายเลขโทรศัพท์บนเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย



รูปที่ 3.7 หน้าจอแรกสำหรับการสร้างเลขหมายโทรศัพท์

Add SIP Extension

Add Extension

User Extension	<input type="text" value="3670"/>
Display Name	<input type="text" value="3670"/>
CID Num Alias	<input type="text"/>
SIP Alias	<input type="text"/>

รูปที่ 3.8 สร้างหมายเลขโทรศัพท์บนเครื่อง Server

3. การติดตั้งเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่

1. ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook ยี่ห้อ Lenovo รุ่น G360 ติดตั้งระบบปฏิบัติการ ลินุกซ์ ตระกูล Debian รุ่น 6.0 เมื่อติดตั้งลินุกซ์เสร็จแล้วสามารถตรวจสอบรุ่นของลินุกซ์ได้โดยใช้คำสั่ง `cat /proc/version` ก็จะแสดงตามรูปที่



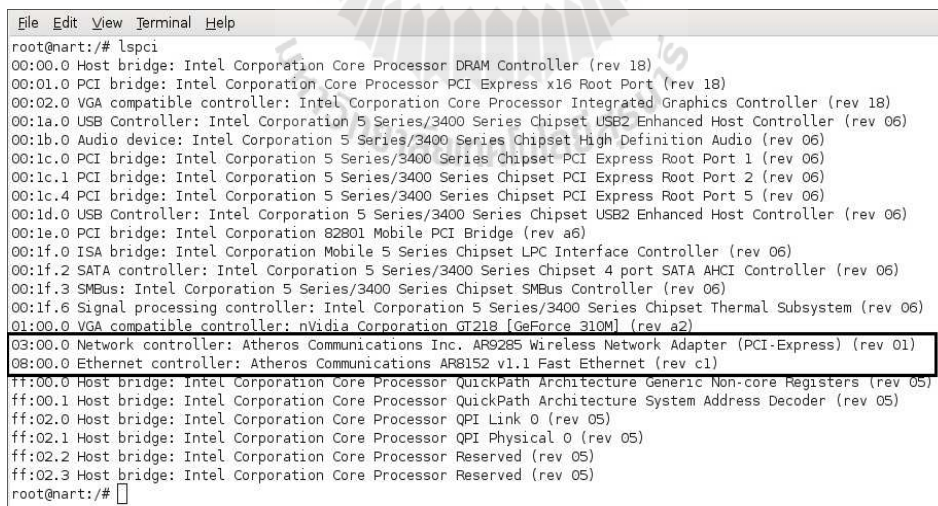
```

root@nart: /
File Edit View Terminal Help
root@nart:/# cat /proc/version
Linux version 2.6.32-5-686 (Debian 2.6.32-30) (ben@decadent.org.uk) (gcc version 4.3.5 (Debian 4.3.5-4)) #1 SMP Wed Jan 12 04:01:41 UTC 2011
root@nart:/#

```

รูปที่ 3.9 ตระกูลของลินุกซ์และรุ่นที่ใช้

2. เมื่อติดตั้งลินุกซ์เสร็จสามารถตรวจสอบการ์ดไวร์เลสแลน โดยใช้คำสั่ง `lspci` ซึ่งจะปรากฏยี่ห้อ Atheros รุ่น AR9285 ดังรูปที่ 3.10

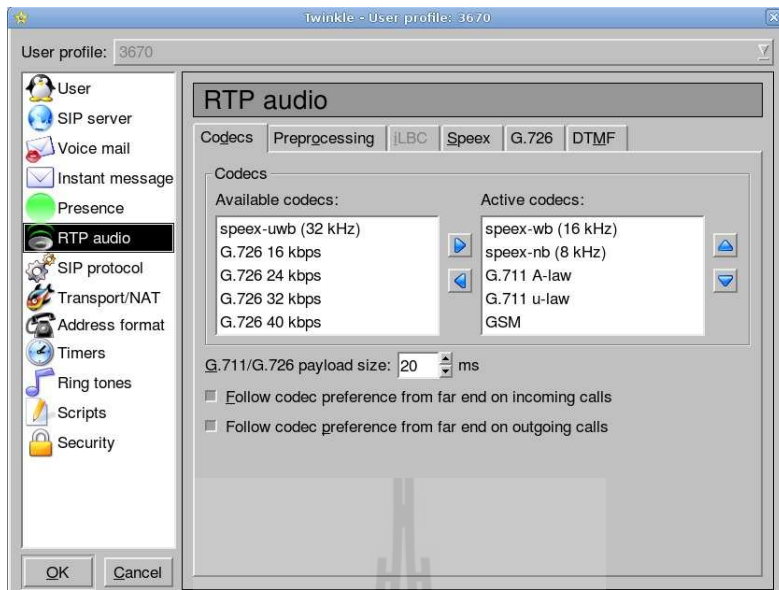


```

File Edit View Terminal Help
root@nart:/# lspci
00:00.0 Host bridge: Intel Corporation Core Processor DRAM Controller (rev 18)
00:01.0 PCI bridge: Intel Corporation Core Processor PCI Express x16 Root Port (rev 18)
00:02.0 VGA compatible controller: Intel Corporation Core Processor Integrated Graphics Controller (rev 18)
00:1a.0 USB Controller: Intel Corporation 5 Series/3400 Series Chipset USB2 Enhanced Host Controller (rev 06)
00:1b.0 Audio device: Intel Corporation 5 Series/3400 Series Chipset High Definition Audio (rev 06)
00:1c.0 PCI bridge: Intel Corporation 5 Series/3400 Series Chipset PCI Express Root Port 1 (rev 06)
00:1c.1 PCI bridge: Intel Corporation 5 Series/3400 Series Chipset PCI Express Root Port 2 (rev 06)
00:1c.4 PCI bridge: Intel Corporation 5 Series/3400 Series Chipset PCI Express Root Port 5 (rev 06)
00:1d.0 USB Controller: Intel Corporation 5 Series/3400 Series Chipset USB2 Enhanced Host Controller (rev 06)
00:1e.0 PCI bridge: Intel Corporation 82801 Mobile PCI Bridge (rev a6)
00:1f.0 ISA bridge: Intel Corporation Mobile 5 Series Chipset LPC Interface Controller (rev 06)
00:1f.2 SATA controller: Intel Corporation 5 Series/3400 Series Chipset 4 port SATA AHCI Controller (rev 06)
00:1f.3 SMBus: Intel Corporation 5 Series/3400 Series Chipset SMBus Controller (rev 06)
00:1f.6 Signal processing controller: Intel Corporation 5 Series/3400 Series Chipset Thermal Subsystem (rev 06)
01:00.0 VGA compatible controller: nVidia Corporation GT218 [GeForce 310M] (rev a2)
03:00.0 Network controller: Atheros Communications Inc. AR9285 Wireless Network Adapter (PCI-Express) (rev 01)
08:00.0 Ethernet controller: Atheros Communications AR8152 v1.1 Fast Ethernet (rev c1)
ff:00.0 Host bridge: Intel Corporation Core Processor QuickPath Architecture Generic Non-core Registers (rev 05)
ff:00.1 Host bridge: Intel Corporation Core Processor QuickPath Architecture System Address Decoder (rev 05)
ff:02.0 Host bridge: Intel Corporation Core Processor QPI Link 0 (rev 05)
ff:02.1 Host bridge: Intel Corporation Core Processor QPI Physical 0 (rev 05)
ff:02.2 Host bridge: Intel Corporation Core Processor Reserved (rev 05)
ff:02.3 Host bridge: Intel Corporation Core Processor Reserved (rev 05)
root@nart:/#

```

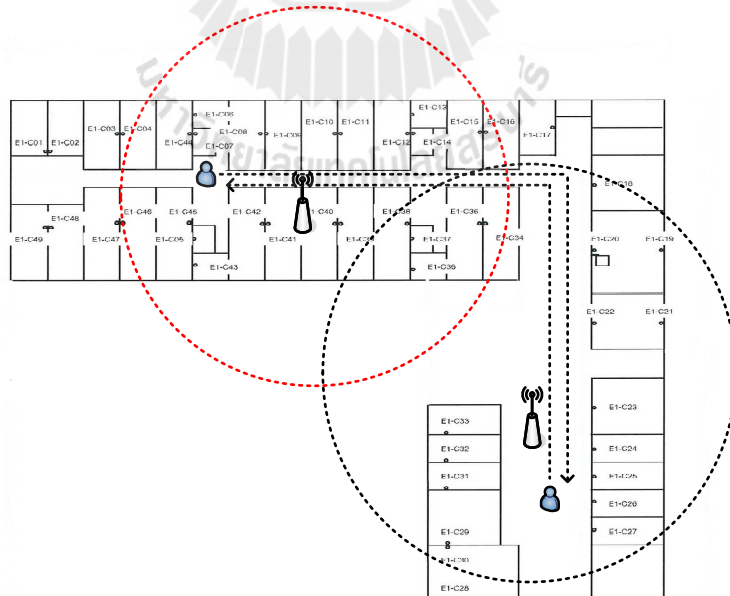
รูปที่ 3.10 การ์ดไวร์เลสแลนยี่ห้อ Atheros รุ่น AR9285



รูปที่ 3.13 การปรับค่าโปรแกรม Twinkle Softphone

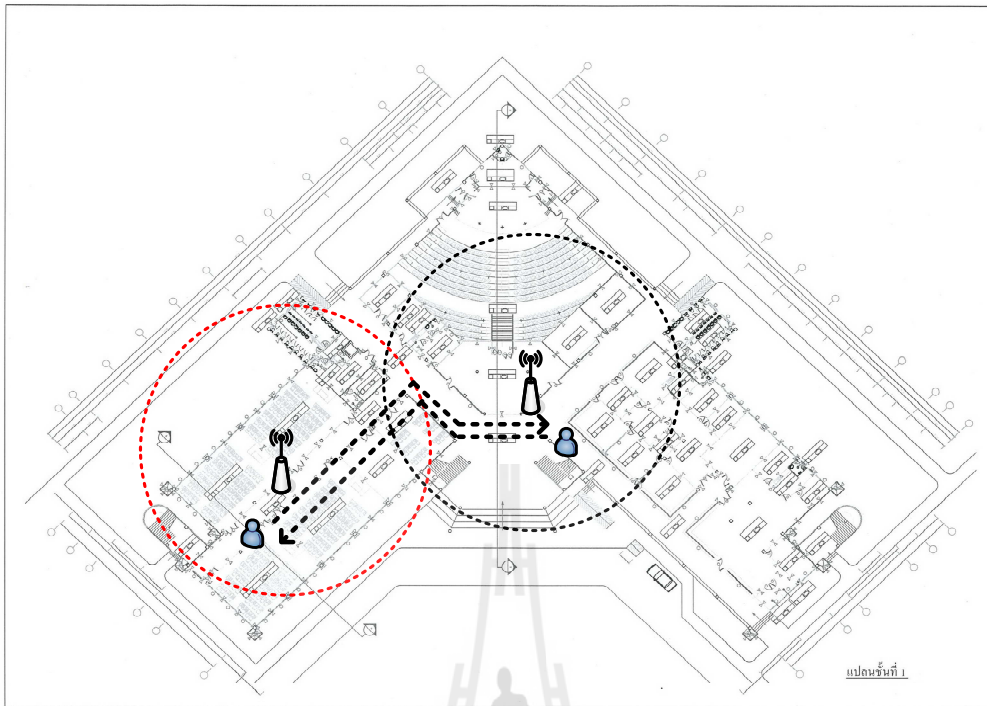
3.4 กำหนดแบบพื้นที่สำหรับการเก็บบันทึกข้อมูล

ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการกำหนดสถานที่สำหรับเก็บบันทึกผลการวิจัย 2 อาคาร คือ อาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม 2 ซึ่งมีรูปแบบและรายละเอียดตามรูปที่ 3.14 และ 3.15



แบบติดตั้ง Access Point อาคารวิจัย

รูปที่ 3.14 พื้นที่เก็บข้อมูลของอาคารวิจัย



แบบติดตั้ง Access Point อาคารเรียนรวม 2

รูปที่ 3.15 พื้นที่เก็บข้อมูลของอาคารเรียนรวม 2

3.5 การกำหนดเงื่อนไขสำหรับการบันทึกผล

ในการเก็บผลของการแฮนด์ออฟในอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม 2 ได้กำหนดเงื่อนไขไว้ดังนี้

3.5.1 การกำหนดการเคลื่อนที่

ได้พิจารณาถึงธรรมชาติของการเคลื่อนที่ของคนขณะใช้เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่สำหรับการสนทนา ซึ่งพิจารณาการเคลื่อนที่ 2 แบบ คือ

1. การเคลื่อนที่ช้า น้อยกว่า 1 เมตรต่อวินาที
2. การเคลื่อนที่เร็ว ประมาณ 2 เมตรต่อวินาที

3.5.2 การกำหนดเงื่อนไขระดับความแรงของสัญญาณ

สำหรับการระดับความแรงของสัญญาณ (Signal Level) เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ ได้ทราบถึงโครงสร้างระบบการให้บริการเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายของมหาวิทยาลัยซึ่งมีอุปกรณ์ควบคุมการปล่อยระดับความแรงสัญญาณ ได้กำหนดระดับความแรงของสัญญาณของจุดเข้าถึงที่ระดับ -75 dBm ดังนั้น จึงได้กำหนดช่วงระดับความแรงของสัญญาณเป็น 4 ระดับ ซึ่งน้อยกว่าและมากกว่าระดับที่จุดเข้าถึงสามารถให้บริการได้

3. ระดับความแรงของสัญญาณ -65dBm
4. ระดับความแรงของสัญญาณ -70dBm
5. ระดับความแรงของสัญญาณ -75dBm
6. ระดับความแรงของสัญญาณ -80dBm

3.5.3 การกำหนดเงื่อนไขวันและเวลาที่บันทึกผล

เพื่อให้ผลการทดสอบครอบคลุมความเป็นไปได้ของเหตุการณ์มากที่สุด จึงได้แบ่งการทดสอบออกเป็นตามวันและเวลาเพื่อให้มีกลุ่มข้อมูลครอบคลุมในทุกกรณี ดังนี้

วันใน 1 สัปดาห์ ได้เลือกวันมา 3 วันใน 1 สัปดาห์ ซึ่งมีปัจจัยต่อวีไอไอพี

1. วันจันทร์
2. วันพุธ
3. วันศุกร์

ช่วงของเวลา ได้กำหนดเป็น 3 ช่วงเวลา เพื่อแยกช่วงปริมาณการใช้งานในแต่ละวันมีปริมาณการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งเมื่อดูปริมาณกราฟฟิคของมหาวิทยาลัยที่ให้บริการอยู่

1. ช่วงเวลาที่ 1: 08.00น. ถึง 10.00น.
2. ช่วงเวลาที่ 1: 10.00น. ถึง 14.00น.
3. ช่วงเวลาที่ 1: 14.00น. ถึง 17.00น.

จากการพิจารณาการกำหนดเงื่อนไขเพื่อใช้สำหรับการบันทึกผลการวิจัยสามารถแยกตารางการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าเฉลี่ยเวลาแฮนด์ออฟ การหาค่าเฉลี่ยค่าหน่วยเวลาและการหาค่าสูญเสียข้อมูล ตามตารางที่ 3.1 , 3.2 และ 3.3 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกข้อมูลค่าเฉลี่ยเวลาแฮนด์ออฟแยกตามอาคาร

เงื่อนไข	รายละเอียดเงื่อนไข	Speed	ค่าเฉลี่ยเวลาแฮนด์ออฟ (s)			
			-65dBm	-70dBm	-75dBm	-80dBm
1. อาคาร	อาคารวิจัย ทุกช่วงเวลา ทุกวัน	Slow				
		Fast				
	อาคารเรียนรวม2 ทุกช่วงเวลา ทุกวัน	Slow				
		Fast				
	อาคารวิจัยและเรียนรวม2 ทุกช่วงเวลา ทุกวัน	Slow				
		Fast				

ตารางที่ 3.2 ตารางบันทึกข้อมูลค่าเฉลี่ยกำหนดช่วงเวลาแยกตามอาคาร

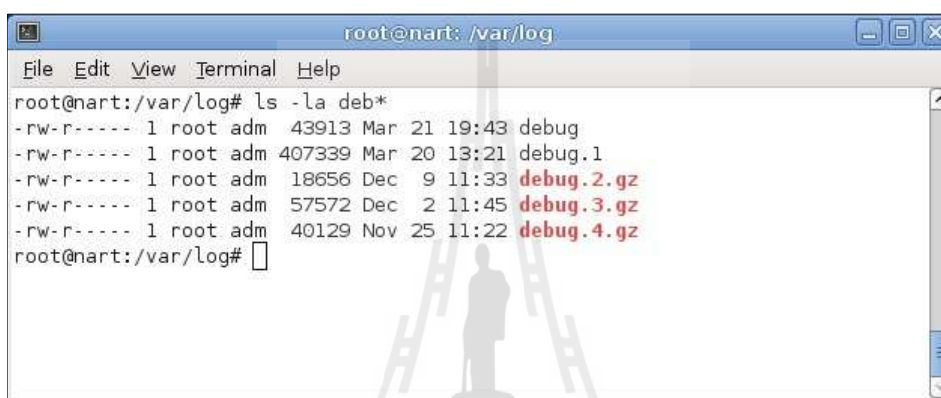
เงื่อนไข	รายละเอียดเงื่อนไข	Speed	ค่าเฉลี่ยกำหนดช่วงเวลา (s)			
			-65dBm	-70dBm	-75dBm	-80dBm
1. อาคาร	อาคารวิจัย ทุกช่วงเวลา ทุกวัน	Slow				
		Fast				
	อาคารเรียนรวม2 ทุกช่วงเวลา ทุกวัน	Slow				
		Fast				
	อาคารวิจัยและเรียนรวม2 ทุกช่วงเวลา ทุกวัน	Slow				
		Fast				

ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกข้อมูลค่าเฉลี่ยการสูญเสียข้อมูลแยกตามอาคาร

เงื่อนไข	รายละเอียดเงื่อนไข	Speed	ค่าเฉลี่ยการสูญเสียข้อมูล(%)			
			-65dBm	-70dBm	-75dBm	-80dBm
1. อาคาร	อาคารวิจัย ทุกช่วงเวลา ทุกวัน	Slow				
		Fast				
	อาคารเรียนรวม2 ทุกช่วงเวลา ทุกวัน	Slow				
		Fast				
	อาคารวิจัยและเรียนรวม2 ทุกช่วงเวลา ทุกวัน	Slow				
		Fast				

3.6 ขั้นตอนการคัดกรองข้อมูลการบันทึกผลจากการแฮนด์ออฟของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม 2

ขั้นตอนการคัดกรองข้อมูล (Packet Filtering) โดยใช้โปรแกรม WireShark ซึ่งจะคัดกรองข้อมูล 2 ข้อมูล คือ ความล่าช้าของข้อมูลและการสูญเสียข้อมูล ขั้นตอนการหาค่าเวลาแฮนด์ออฟ โดยพิจารณาจากค่า Log ของไดเรกทอรีการ์ดไวด์สแลน ซึ่งมีไฟล์ชื่อ debug

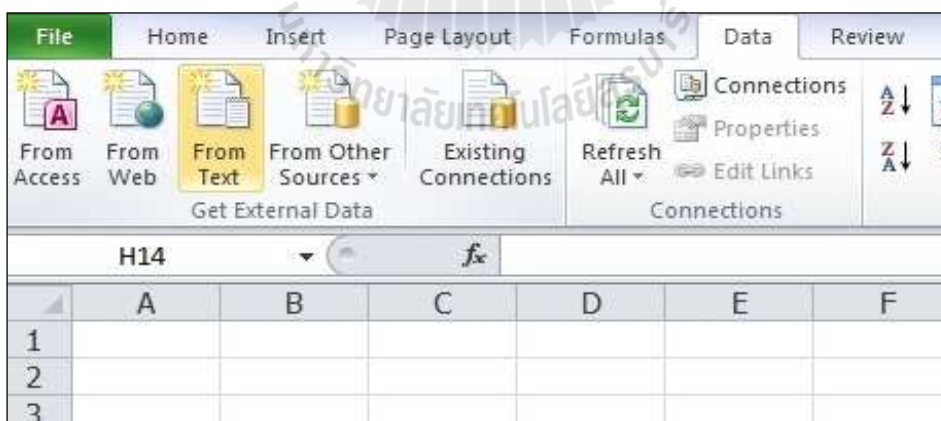


```

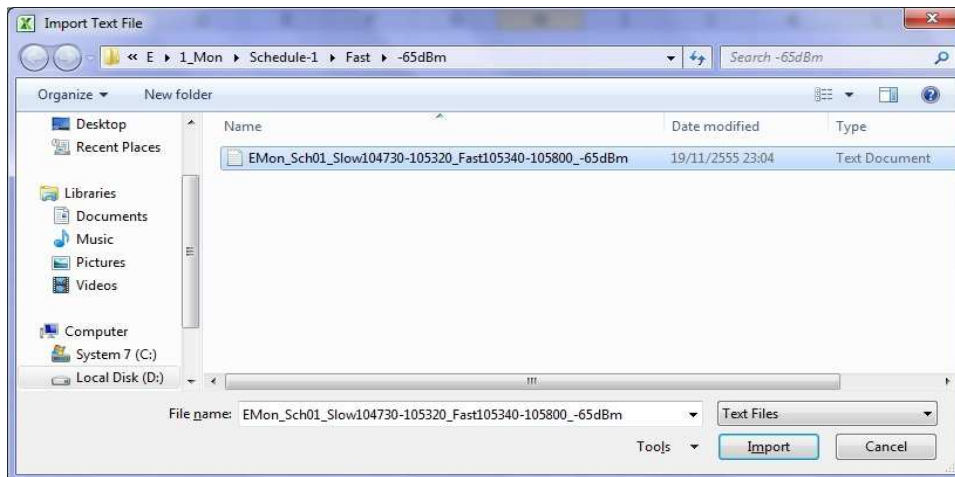
root@nart: /var/log
File Edit View Terminal Help
root@nart:/var/log# ls -la deb*
-rw-r----- 1 root adm 43913 Mar 21 19:43 debug
-rw-r----- 1 root adm 407339 Mar 20 13:21 debug.1
-rw-r----- 1 root adm 18656 Dec 9 11:33 debug.2.gz
-rw-r----- 1 root adm 57572 Dec 2 11:45 debug.3.gz
-rw-r----- 1 root adm 40129 Nov 25 11:22 debug.4.gz
root@nart:/var/log#

```

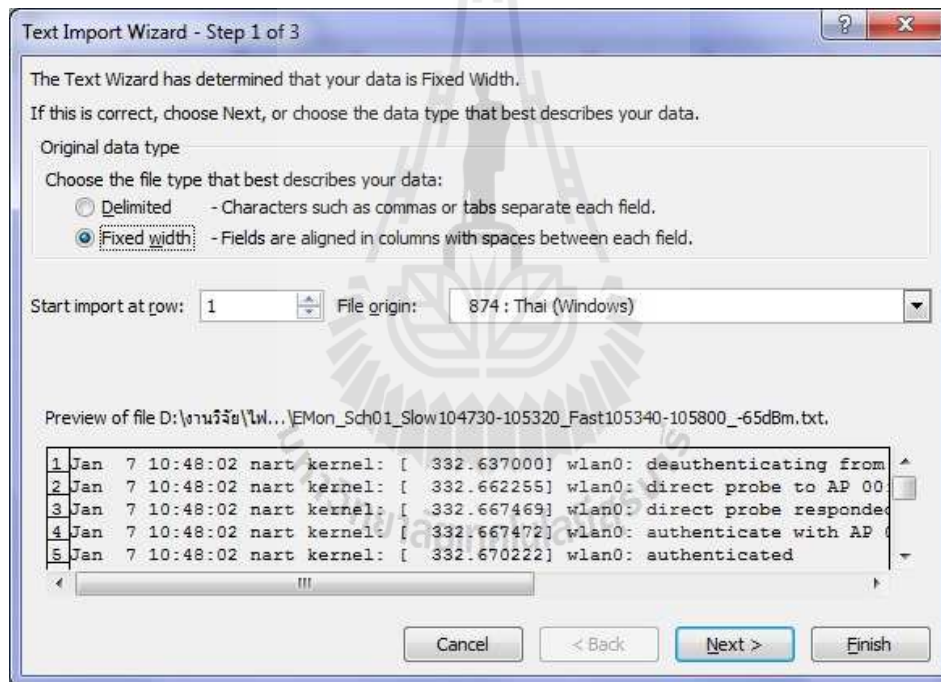
รูปที่ 3.16 การตรวจสอบไฟล์ debug ในไดเรกทอรี /var/log/



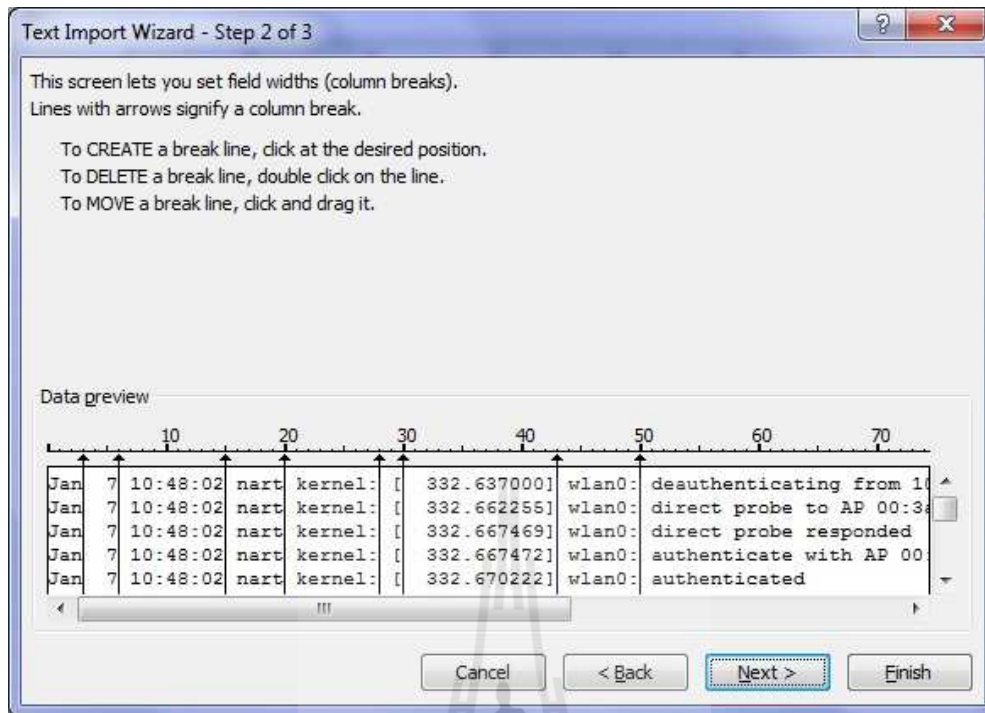
รูปที่ 3.17 การ Import log file ชื่อ debug เข้าสู่โปรแกรมคัดกรองข้อมูล



รูปที่ 3.18 การเลือกไฟล์ debug



รูปที่ 3.19 การ Import ไฟล์เข้าสู่ Work Sheet



รูปที่ 3.20 การแยกคอลัมน์ของไฟล์ Debug

3.7 กล่าวท้ายบท

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการเก็บบันทึกข้อมูล การกำหนดพื้นที่ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลการกำหนดเงื่อนไขต่างๆ และการคัดกรองข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลทั้งหมด จากการเก็บบันทึกข้อมูลทั้ง 2 อาคาร ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลดิบ ซึ่งมีกลุ่มข้อมูล 2 ส่วน คือ ส่วนที่ใช้สำหรับการหาค่าเวลาแฮนด์ออฟ และส่วนที่เป็นการหาค่าหน่วงเวลากับค่าการสูญเสียข้อมูล

บทที่ 4 ผลการทดสอบและบทวิเคราะห์

4.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลตามสถานการณ์ต่างๆ ของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม 2 โดยดูผลกระทบของ 3 ปัจจัยหลัก คือ การหาค่าเวลาแฮนด์ออฟ การหาค่าหน่วงเวลา และการหาค่าการสูญเสียข้อมูล และสามารถสรุปได้ดังนี้

4.2 กรณีที่ 1 วิเคราะห์ผลการเก็บบันทึกข้อมูลอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม 2

เป็นการเก็บบันทึกข้อมูลของอาคาร 2 อาคาร คือ อาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม 2 ซึ่งเป็นการเก็บบันทึกข้อมูลทุกช่วงเวลา และทุกวัน โดยกำหนดความเร็ว(Speed) ของการเคลื่อนที่ 2 แบบ คือ แบบช้า (Slow) และแบบเร็ว (Fast) ปรับค่าระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ เป็น 4 ระดับ คือ -65dBm , -70dBm , -75dBm และ -80dBm การวัดค่าของแต่ละช่วงซึ่งจะได้ตามตารางที่ 4.1 แล้วหาค่าเวลาแฮนด์ออฟมีหน่วยเป็นมิลลิวินาที (ms) ตามตารางที่ 4.2 จะเป็นตารางค่าหน่วงเวลา (Delay Time) มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที (ms) และตารางที่ 4.3 ค่าตารางของการสูญเสียข้อมูลในระหว่างการสนทนา โดยทุกค่าเป็นค่าเฉลี่ยทำการบันทึกค่าจำนวน 10 ค่า แล้วหาค่าเฉลี่ยออกมา

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกข้อมูลเวลาแฮนด์ออฟ ของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม 2

เงื่อนไข	รายละเอียด	Speed	ค่าเฉลี่ยเวลาแฮนด์ออฟ (s)			
			-65dBm	-70dBm	-75dBm	-80dBm
1. อาคาร	อาคารวิจัย ทุกช่วงเวลา ทุกวัน	Slow	0.020225	0.020948	0.021320	0.019684
		Fast	0.018236	0.017970	0.016372	0.015060
	อาคารเรียนรวม 2 ทุกช่วงเวลา ทุกวัน	Slow	0.017434	0.019709	0.021283	0.023436
		Fast	0.016549	0.018288	0.016614	0.019483

ตารางที่ 4.2 ตารางบันทึกข้อมูลค่าหน่วยเวลา ของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2

เงื่อนไข	รายละเอียด	Speed	ค่าเฉลี่ยค่าหน่วยเวลา (s)			
			-65dBm	-70dBm	-75dBm	-80dBm
1. อาคาร	อาคารวิจัย ทุกช่วงเวลา ทุกวัน	Slow	0.012052	0.011112	0.011693	0.011786
		Fast	0.012479	0.012545	0.012995	0.011964
	อาคารเรียนรวม2 ทุกช่วงเวลา ทุกวัน	Slow	0.015668	0.019709	0.020363	0.022379
		Fast	0.016549	0.018148	0.016004	0.018634

ตารางที่ 4.3 ตารางบันทึกข้อผิดพลาดข้อมูล(%) ของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2

เงื่อนไข	รายละเอียด	Speed	ค่าเฉลี่ยการสูญเสียข้อมูล(%)			
			-65dBm	-70dBm	-75dBm	-80dBm
1. อาคาร	อาคารวิจัย ทุกช่วงเวลา ทุกวัน	Slow	2.22	2.39	2.73	2.86
		Fast	2.79	2.56	2.79	3.01
	อาคารเรียนรวม2 ทุกช่วงเวลา ทุกวัน	Slow	1.87	2.47	2.35	1.92
		Fast	2.41	2.53	2.15	2.25

4.3 กรณีที่ 2 การวิเคราะห์ผลการเก็บบันทึกข้อมูลพิจารณาตามวันจันทร์ วันพุธและวันศุกร์

ในกรณีที่ 2 ทำการเก็บข้อมูลโดยพิจารณา 3 วันใน 1 สัปดาห์ คือ วันจันทร์ วันพุธและวันศุกร์ โดยกำหนดความเร็ว(Speed) ของการเคลื่อนที่ 2 แบบ คือ แบบช้า (Slow) และแบบเร็ว (Fast) ปรับค่าระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ เป็น 4 ระดับ คือ -65dBm , -70dBm , -75dBm และ -80dBm การวัดค่าของแต่ละช่วงซึ่งจะได้ตามตารางที่ 4.4 , 4.5 และ 4.6 โดยทุกค่าเป็นค่าเฉลี่ยทำการบันทึกค่าจำนวน 10 ค่า แล้วหาค่าเฉลี่ยออกมา

ตารางที่ 4.4 ตารางบันทึกข้อมูลค่าเวลาแฮนด์ออฟ ของวันจันทร์ วันพุธและวันศุกร์

เงื่อนไข	วัน	รายละเอียด	Speed	ค่าเฉลี่ยเวลาแฮนด์ออฟ (s)			
				-65dBm	-70dBm	-75dBm	-80dBm
2. วัน	วันจันทร์	อาคารวิจัย	Slow	0.014880	0.014699	0.017979	0.015409
		ทุกช่วงเวลา	Fast	0.013890	0.014857	0.014110	0.014111
		อาคารเรียนรวม	Slow	0.016551	0.016843	0.015901	0.016388
		2 ทุกช่วงเวลา	Fast	0.015843	0.015802	0.015524	0.015698
	วันพุธ	อาคารวิจัย	Slow	0.029169	0.024451	0.028344	0.028055
		ทุกช่วงเวลา	Fast	0.024502	0.015920	0.019029	0.016263
		อาคารเรียนรวม	Slow	0.019006	0.018518	0.031107	0.023106
		2 ทุกช่วงเวลา	Fast	0.018276	0.017552	0.018775	0.016099
	วันศุกร์	อาคารวิจัย	Slow	0.016625	0.023695	0.017637	0.015588
		ทุกช่วงเวลา	Fast	0.016316	0.023051	0.015977	0.014806
		อาคารเรียนรวม	Slow	0.016745	0.023765	0.016841	0.030813
		2 ทุกช่วงเวลา	Fast	0.015526	0.015317	0.015544	0.026651

ตารางที่ 4.5 ตารางบันทึกข้อมูลค่าหน่วยเวลาของวันจันทร์ วันพุธและวันศุกร์

เงื่อนไข	วัน	รายละเอียด	Speed	ค่าหน่วยเวลา (s)			
				-65dBm	-70dBm	-75dBm	-80dBm
2. วัน	วันจันทร์	อาคารวิจัย	Slow	0.012234	0.014699	0.017979	0.015409
		ทุกช่วงเวลา	Fast	0.012364	0.012069	0.013988	0.012463
		อาคารเรียนรวม	Slow	0.010405	0.010647	0.011091	0.010176
		2ทุกช่วงเวลา	Fast	0.011236	0.012387	0.014442	0.013541
	วันพุธ	อาคารวิจัย	Slow	0.012688	0.013545	0.012736	0.011773
		ทุกช่วงเวลา	Fast	0.013124	0.012261	0.013410	0.012463
		อาคารเรียนรวม	Slow	0.010941	0.011478	0.010736	0.011033
		2ทุกช่วงเวลา	Fast	0.011119	0.011998	0.010962	0.012487

	วันศุกร์	อาคารวิจัย	Slow	0.011233	0.010853	0.011272	0.010904
		ทุกช่วงเวลา	Fast	0.011948	0.013305	0.011588	0.011553
		อาคารเรียนรวม	Slow	0.010442	0.011333	0.010469	0.010961
		2ทุกช่วงเวลา	Fast	0.011530	0.012985	0.013570	0.012772

ตารางที่ 4.6 ตารางบันทึกข้อมูลค่าสูญเสียข้อมูลของ วันจันทร์ วันพุธและวันศุกร์

เงื่อนไข	วัน	รายละเอียด	Speed	ค่าสูญเสียข้อมูล (%)			
				-65dBm	-70dBm	-75dBm	-80dBm
2. วัน	วันจันทร์	อาคารวิจัย	Slow	2.26	2.37	2.82	3.68
		ทุกช่วงเวลา	Fast	3.34	3.04	3.01	4.08
		อาคารเรียนรวม	Slow	1.77	2.71	2.32	1.65
		2ทุกช่วงเวลา	Fast	2.99	2.60	1.91	2.06
	วันพุธ	อาคารวิจัย	Slow	2.44	2.63	2.53	2.07
		ทุกช่วงเวลา	Fast	2.58	2.15	2.08	3.09
		อาคารเรียนรวม	Slow	2.30	2.37	2.42	2.45
		2ทุกช่วงเวลา	Fast	2.42	2.65	2.70	2.57
	วันศุกร์	อาคารวิจัย	Slow	1.95	2.31	2.85	2.82
		ทุกช่วงเวลา	Fast	2.38	2.49	3.28	1.86
		อาคารเรียนรวม	Slow	1.69	2.33	1.49	1.67
		2ทุกช่วงเวลา	Fast	1.82	2.35	1.84	2.11

4.4 กรณีที่ 3 การวิเคราะห์ผลการเก็บบันทึกข้อมูลพิจารณาตามช่วงเวลาที่กำหนด

ในกรณีที่ 3 ทำการเก็บข้อมูลโดยพิจารณาเป็น 3 ช่วงเวลาใน 1 วัน คือ ช่วงที่ 1 เวลา 08.00น ถึง 10.00 น. , ช่วงที่ 2 เวลา 10.00น ถึง 14.00น. และ ช่วงที่ 3 เวลา 14.00น. ถึง 17.00น. และเลือกมา 3 วันคือ วันจันทร์ วันพุธและวันศุกร์ โดยกำหนดความเร็ว(Speed) ของการเคลื่อนที่ 2 แบบ คือ แบบช้า (Slow) และแบบเร็ว (Fast) ปรับค่าระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ เป็น 4 ระดับ คือ -65dBm , -

70dBm , -75dBm และ -80dBm การวัดค่าของแต่ละช่วงซึ่งจะได้ตามตารางที่ 4.7 , 4.8 และ 4.9 โดยทุกค่าเป็นค่าเฉลี่ยทำการบันทึกค่าจำนวน 10 ค่า แล้วหาค่าเฉลี่ยออกมา

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกข้อมูลค่าแฮนด์ออฟ ช่วงเวลาที่ 1 ช่วงเวลาที่ 2 และช่วงเวลาที่ 3

เงื่อนไข	ช่วงเวลา	อาคาร+วัน	Speed	ค่าเฉลี่ยเวลาแฮนด์ออฟ (s)			
				-65dBm	-70dBm	-75dBm	-80dBm
3. ช่วงเวลา 1	ช่วงเวลาที่ 1 08:00- 10:00	อาคารวิจัย (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	0.022539	0.017909	0.029668	0.019613
			Fast	0.021990	0.017823	0.019292	0.014539
	08:00- 10:00	อาคารเรียนรวม2 (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	0.017101	0.024060	0.023339	0.037334
			Fast	0.016054	0.022314	0.015421	0.026365
	ช่วงเวลาที่ 2 10:00- 14:00	อาคารวิจัย (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	0.016698	0.030507	0.016883	0.023488
			Fast	0.016543	0.022181	0.014362	0.016207
	10:00- 14:00	อาคารเรียนรวม2 (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	0.016873	0.017459	0.024227	0.016590
			Fast	0.016810	0.016405	0.018814	0.016235
	ช่วงเวลาที่ 3 14:00- 17:00	อาคารวิจัย (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	0.021437	0.014429	0.017409	0.014858
			Fast	0.016175	0.013823	0.015462	0.014433
	14:00- 17:00	อาคารเรียนรวม2 (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	0.018328	0.017607	0.016284	0.016383
			Fast	0.016782	0.016146	0.015609	0.015849

ตารางที่ 4.8 ตารางบันทึกข้อมูลค่าหน่วยเวลาของช่วงเวลาที่1 ช่วงเวลาที่2 และช่วงเวลาที่3

เงื่อนไข	ช่วงเวลา	อาคาร+วัน	Speed	ค่าเฉลี่ยค่าหน่วยเวลา (s)			
				-65dBm	-70dBm	-75dBm	-80dBm
3. ช่วงเวลา	ช่วงเวลาที่ 1 08:00- 10:00	อาคารวิจัย (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	0.011207	0.011649	0.010884	0.010750
			Fast	0.010984	0.011492	0.014105	0.011728
		อาคารเรียนรวม2 (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	0.010453	0.010826	0.011029	0.010958
			Fast	0.011299	0.011448	0.012841	0.014512
	ช่วงเวลาที่ 2 10:00- 14:00	อาคารวิจัย (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	0.011714	0.011074	0.011981	0.011944
			Fast	0.014596	0.014284	0.012106	0.012055
		อาคารเรียนรวม2 (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	0.010546	0.011400	0.010725	0.011372
			Fast	0.011198	0.014189	0.012055	0.012359
	ช่วงเวลาที่ 3 14:00- 17:00	อาคารวิจัย (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	0.013234	0.012773	0.012698	0.011781
			Fast	0.011856	0.011858	0.012775	0.012111
		อาคารเรียนรวม2 (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	0.010788	0.011232	0.010444	0.010245
			Fast	0.011388	0.011732	0.011972	0.011586

ตารางที่ 4.9 ตารางบันทึกข้อมูลค่าสูญเสียข้อมูลของช่วงเวลาที่1 ช่วงเวลาที่2 และช่วงเวลาที่3

เงื่อนไข	ช่วงเวลา	อาคาร+วัน	Speed	ค่าเฉลี่ยค่าสูญเสียข้อมูล (%)			
				65dBm	-70dBm	-75dBm	-80dBm
3. ช่วงเวลา	ช่วงเวลาที่ 1 08:00- 10:00	อาคารวิจัย (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	2.03	2.52	3.21	2.67
			Fast	3.50	2.70	3.53	3.56
		อาคารเรียนรวม2 (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	1.85	2.51	1.99	1.84
			Fast	2.77	3.12	2.00	2.23
	ช่วงเวลาที่ 2 10:00- 14:00	อาคารวิจัย (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	2.67	2.45	2.43	2.27
			Fast	2.71	2.39	2.00	2.58
		อาคารเรียนรวม2 (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	2.05	2.50	2.21	2.14
			Fast	2.58	2.69	2.00	2.37

	ช่วงเวลาที่ 3	อาคารวิจัย (จันทร์, พุธ, ศุกร์)	Slow	1.94	2.20	2.57	3.63
			Fast	2.17	2.59	2.84	2.90
	14:00- 17:00	อาคารเรียนรวม 2 (จันทร์, พุธ, ศุกร์)	Slow	1.85	2.40	2.03	1.79
			Fast	1.99	1.79	2.44	2.14

4.5 กรณีที่ 4 การพิจารณาเปรียบเทียบการวิเคราะห์ทั้ง 3 กรณี โดยวิธีทางสถิติ

เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 3 กรณี พบว่ามีข้อมูลที่ได้มีการกระจายของข้อมูลเป็นจำนวนมากซึ่งไม่สามารถแยกกลุ่มข้อมูลได้ ดังนั้นจึงได้หาความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูลทั้งหมด โดยใช้หลักสถิติเกี่ยวกับการหาค่าเฉลี่ย (Average) และการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Derivation) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. ค่าเฉลี่ย (Average) หมายถึง ค่าที่ได้จากการนำข้อมูลทั้งหมดมารวมกันหารด้วยจำนวนข้อมูลทั้งหมด ใช้สัญลักษณ์ \bar{X} มีสูตรดังนี้

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} \quad (4.1)$$

เมื่อ

\bar{X}	คือ ค่าเฉลี่ย
$\sum X$	คือ ผลรวมของข้อมูลทั้งหมด
N	คือ จำนวนข้อมูลทั้งหมด

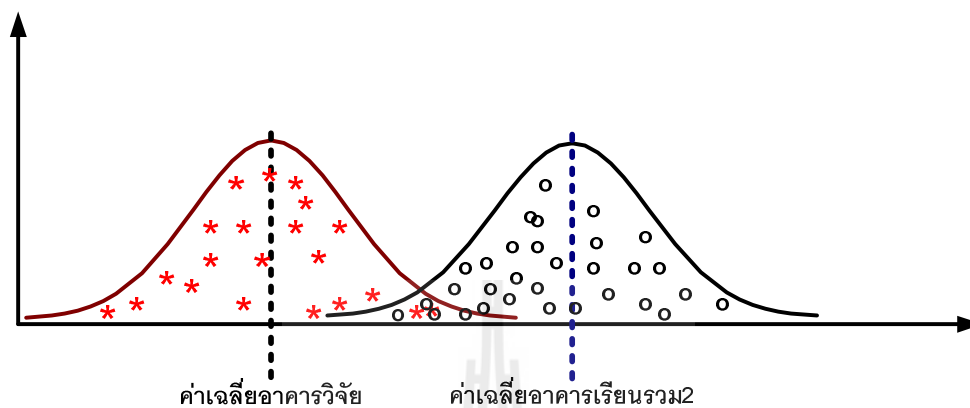
2 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายของข้อมูลเพื่อพิจารณาว่าข้อมูลแต่ละตัวจะแตกต่างกันไปจากค่ากลางมากน้อยเพียงใด โดยมีสูตรดังนี้

$$S.D. = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (X_j - \mu)^2}{N}} \quad (4.2)$$

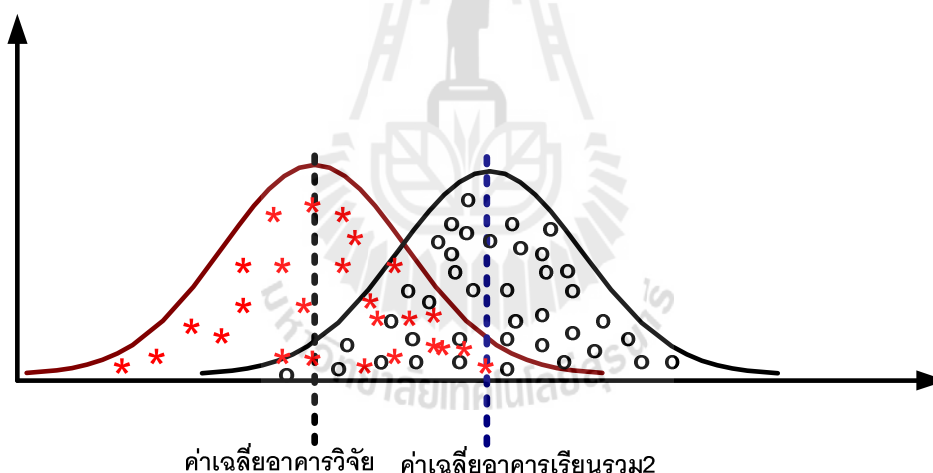
โดยที่

$S.D.$	คือ การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
X_j	คือ ข้อมูลหรือจุดกึ่งกลางของข้อมูล
μ	คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูล
N	คือ จำนวนของข้อมูลทั้งหมด

จากสมการที่ (4.1) การหาค่าเฉลี่ยของข้อมูล และสมการที่ (4.2) การหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งสามารถพิจารณาความสัมพันธ์ของข้อมูลและสร้างกราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้จากอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม 2 ดังกราฟรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2 ซ้อนทับกันน้อยกว่า 10 %



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2 ซ้อนทับกันมากกว่า 50 %

4.6 ผลการพิจารณาแยกกลุ่มข้อมูลได้ 2 กลุ่ม คือ Low และ High

จากผลการพิจารณาตามรูปที่ 4.1 นำความสัมพันธ์ของกรณีที่ 1 ตารางที่ 4.1 , 4.2 และ 4.3 พบว่ากลุ่มของข้อมูลมีความสัมพันธ์กันจึงถือว่าเป็นกลุ่มของข้อมูลชุดเดียวกัน และได้นำความสัมพันธ์ของตารางที่ 4.3 , 4.4 และ 4.5 พบว่าเป็นกลุ่มของข้อมูลมีความสัมพันธ์กันเหมือนกรณีที่ 1 เมื่อนำความสัมพันธ์ของกรณีที่ 3 ข้อมูลตารางที่ 4.6 , 4.7 และ 4.8 สามารถแยกกลุ่มข้อมูลได้เป็น 2 กลุ่มข้อมูล คือ รวมข้อมูล

ช่วงที่ 1 และ ช่วงที่ 2 เข้าด้วยกัน เพราะเป็นกลุ่มข้อมูลชุดเดียวกัน และ อีกกลุ่มข้อมูลคือ ช่วงที่ 3 เพราะข้อมูลมีความสัมพันธ์กับช่วงที่ 1 และ 2 น้อยมาก และยังคงพิจารณา 3 ปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อไวโอไอพี คือ ค่าเวลาแฮนด์ออฟ ค่าหน่วยเวลา และค่าการสูญเสียข้อมูล ซึ่งสรุปออกมาได้ตามตารางที่ 4.10 , 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยเวลาแฮนด์ออฟ

Speed	ค่าเฉลี่ยเวลาแฮนด์ออฟ (s)			
	-65dBm	-70dBm	-75dBm	-80dBm
Low_Slow_ช่วง1+ช่วง2	0.017665	0.016007	0.017616	0.016052
Low_Fast_ช่วง1+ช่วง2	0.015443	0.014972	0.016441	0.015241
High_Slow_ช่วง3	0.018774	0.016013	0.017231	0.016110
High_Fast_ช่วง3	0.015961	0.014978	0.015988	0.015191

ตารางที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยค่าหน่วยเวลา

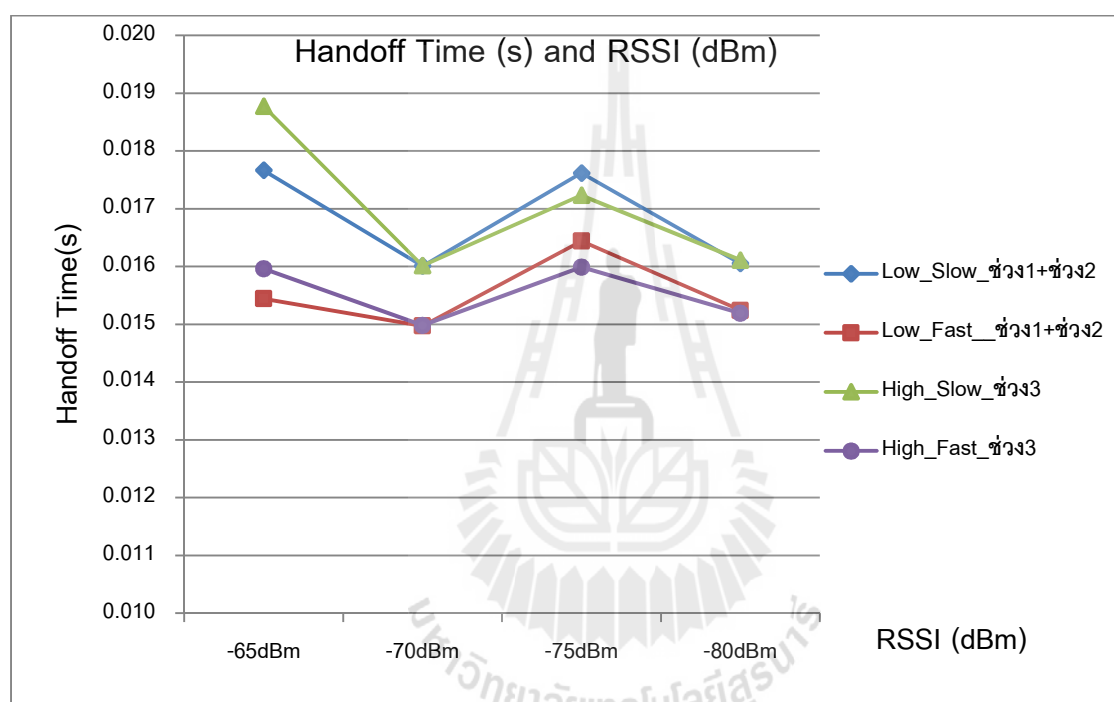
Speed	ค่าเฉลี่ยค่าหน่วยเวลา (s)			
	-65dBm	-70dBm	-75dBm	-80dBm
Low_Slow_ช่วง1+ช่วง2	0.011431	0.011514	0.011089	0.011295
Low_Fast_ช่วง1+ช่วง2	0.011837	0.012093	0.012244	0.011974
High_Slow_ช่วง3	0.011721	0.011758	0.011330	0.011154
High_Fast_ช่วง3	0.011729	0.011944	0.012309	0.011911

ตารางที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยค่าสูญเสียข้อมูล

Speed	ค่าเฉลี่ยค่าสูญเสียข้อมูล(%)			
	-65dBm	-70dBm	-75dBm	-80dBm
Low_Slow_ช่วง1+ช่วง2	1.78	2.14	2.02	2.85
Low_Fast_ช่วง1+ช่วง2	1.89	1.94	2.29	2.02
High_Slow_ช่วง3	1.84	2.22	2.16	2.78
High_Fast_ช่วง3	1.98	2.07	2.47	2.27

4.7 การสร้างกราฟความสัมพันธ์ของค่าเวลาแฮนด์ออฟ

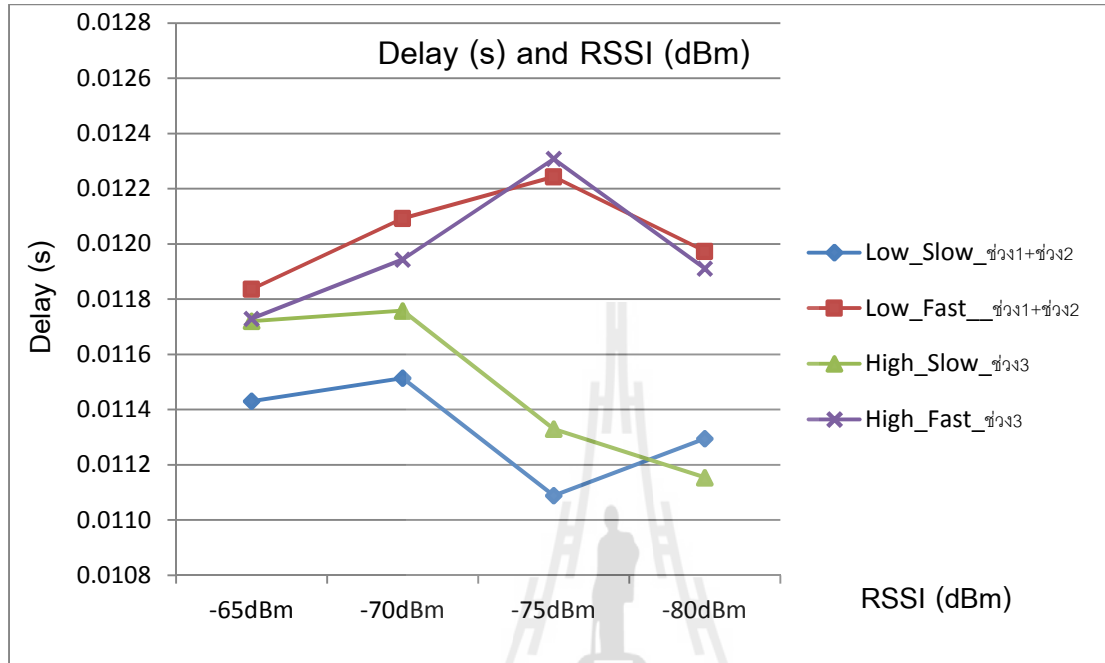
จากการแยกกลุ่มข้อมูลในตารางที่ 4.10 , 4.11 และ 4.12 นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ค่าเวลาแฮนด์ออฟกับค่า Received Signal Strength Indicator (RSSI) ดังรูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ค่าหน่วยเวลายกกับค่า RSSI ดังรูปที่ 4.3 และกราฟความสัมพันธ์การสูญเสียข้อมูลกับค่า RSSI ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.3 ค่าแฮนด์ออฟเปรียบเทียบกับค่า RSSI (dBm)

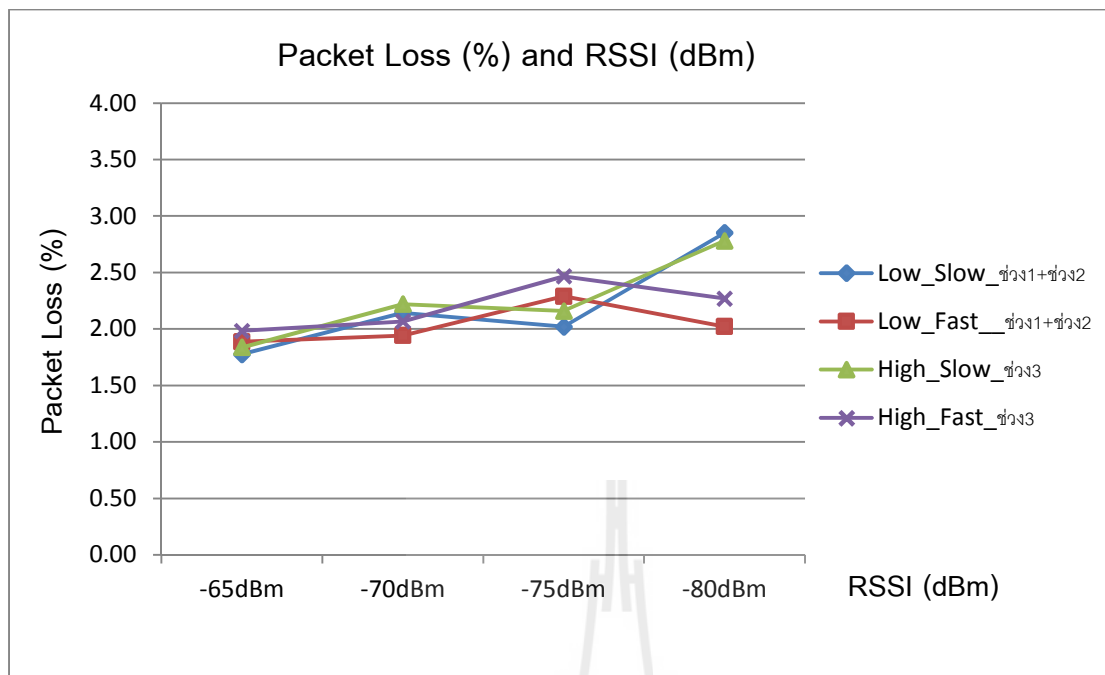
จากรูปที่ 4.3 เวลาของการแฮนด์ออฟที่ระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ ที่ระดับ -65 dBm พิจารณาที่ปริมาณกราฟฟีกต่ำและมีการเคลื่อนที่ช้ากับเร็วจะพบว่าช่วงของการใช้ปริมาณกราฟฟีกต่ำและมีการเคลื่อนที่ช้าจะใช้เวลาในการแฮนด์ออฟมากกว่าช่วงการใช้ปริมาณกราฟฟีกต่ำแต่มีการเคลื่อนที่เร็ว ในช่วงของปริมาณกราฟฟีกสูงและมีการเคลื่อนที่ช้าและเร็วพบว่าการเคลื่อนที่ช้าจะใช้เวลาในการแฮนด์ออฟมากกว่าการเคลื่อนที่เร็ว เมื่อพิจารณากราฟระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ที่ระดับ -70 dBm เวลาของการแฮนด์ออฟลดลง ทุกการเคลื่อนที่และทุกปริมาณกราฟฟีกซึ่งมีผลจากการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่ไม่เป็นแนวตรง เพราะในช่วงระดับสัญญาณดังกล่าวการเคลื่อนที่ที่มีการเลี้ยวบริเวณมุมห้องของอาคาร ดังนั้นหากพิจารณาแนวโน้มของกราฟทุกระดับ

ความแรงของสัญญาณ พบว่ามีแนวโน้มค่าเวลาของการแฮนด์ออฟลดลงเมื่อระดับความแรงของสัญญาณลดลง



รูปที่ 4.4 ค่าหน่วยเวลาเปรียบเทียบกับค่า RSSI (dBm)

จากรูปที่ 4.4 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าหน่วยเวลากับค่า RSSI ของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบในกรณีปริมาณกราฟฟิกต่ำและมีการเคลื่อนที่ช้ากับเร็วพบว่าการเคลื่อนที่เร็วจะมีค่าหน่วยเวลาที่มากกว่าการเคลื่อนที่ช้าในทุกระดับความแรงของสัญญาณ แต่เมื่อพิจารณากรณีที่ปริมาณกราฟฟิกสูงพบว่าการเคลื่อนที่เร็วจะมีค่าหน่วยเวลาที่สูงกว่าการเคลื่อนที่อย่างช้าในทุกระดับความแรงของสัญญาณ โดยสรุปแล้วปริมาณกราฟฟิกสูงและการเคลื่อนที่เร็วจะมีผลกระทบต่อค่าหน่วยเวลาที่สูงขึ้น

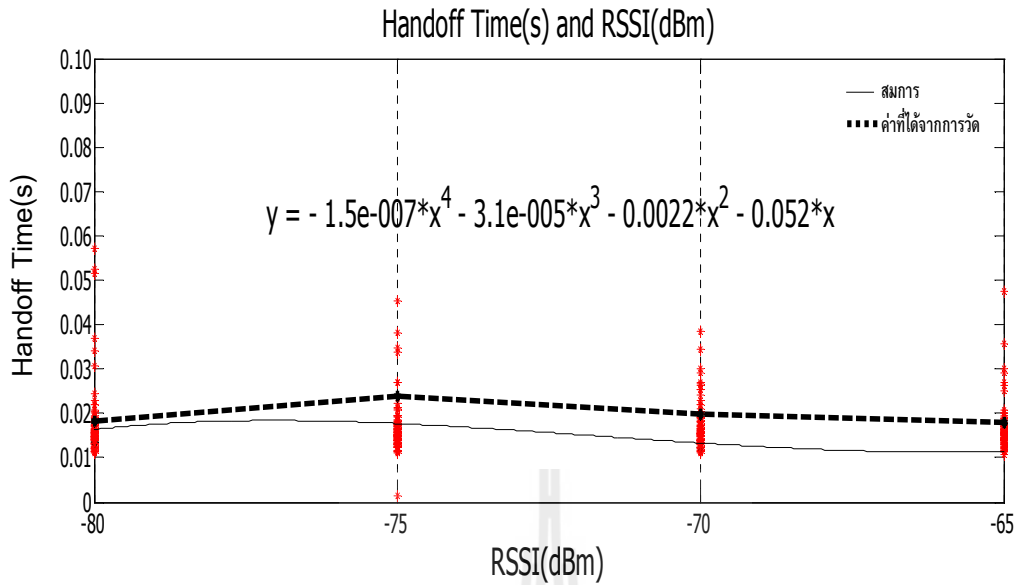


รูปที่ 4.5 ค่าสูญเสียข้อมูลกับค่า RSSI (dBm)

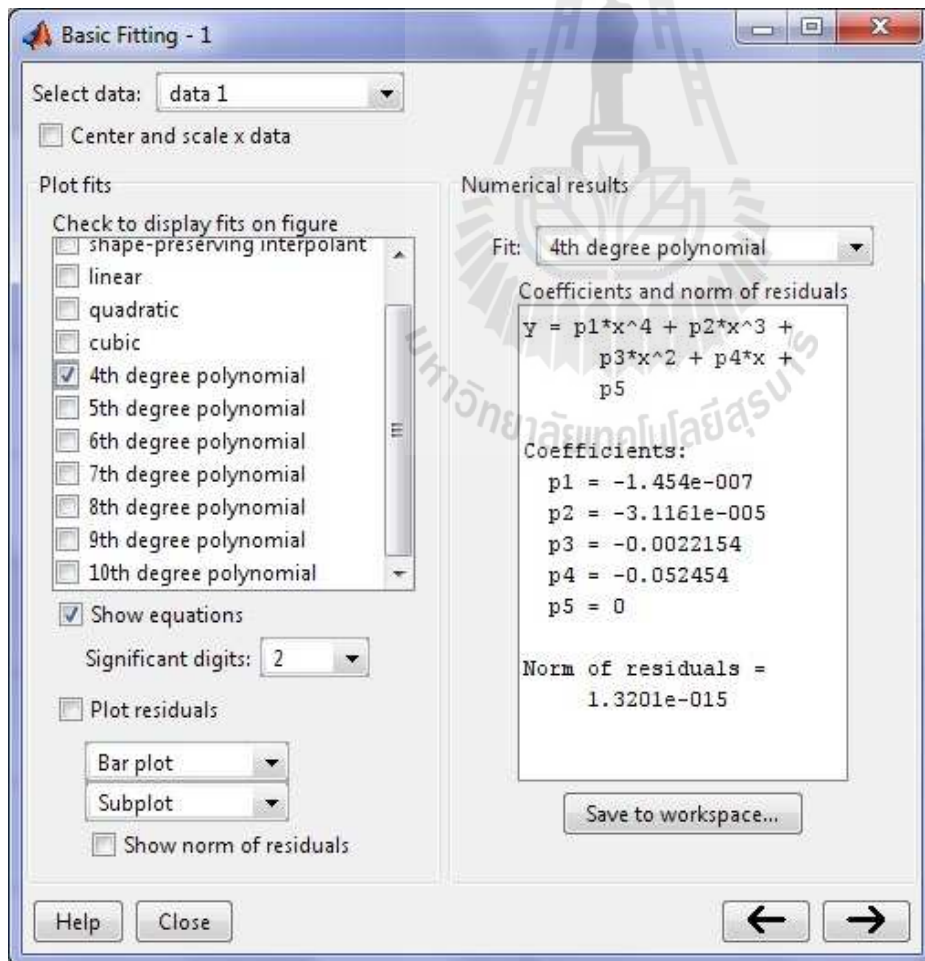
จากรูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียข้อมูลกับค่า RSSI ของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ จากกราฟค่าการสูญเสียของข้อมูลทั้ง 4 กรณี ไม่ต่างกันมากนักเมื่อพิจารณาที่ระดับความแรงของสัญญาณเดียวกัน แนวโน้มของการสูญเสียข้อมูลมีทิศทางที่เพิ่มมากขึ้นตามระดับความแรงของสัญญาณที่ลดลง แต่หากพิจารณาที่ระดับความแรงของสัญญาณที่ระดับ -80 dBm พบว่าในช่วงปริมาณทราฟฟิกต่ำและปริมาณทราฟฟิกสูงแต่มีการเคลื่อนที่ช้าค่าการสูญเสียข้อมูลจะสูงขึ้น แตกต่างจากปริมาณทราฟฟิกต่ำและสูง แต่มีการเคลื่อนที่เร็ว พบว่าการสูญเสียข้อมูลจะลดลงตามลำดับ

4.8 การประมาณเส้นกราฟในรูปสมการ

การประมาณเส้นกราฟที่ได้จากการวัดให้เป็นรูปแบบของสมการคณิตศาสตร์โดยวิธีหาค่า MSE (Mean Square Error) ซึ่งหากได้ค่าน้อยที่สุดจะมีประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 4.6 การหาค่า MSE ของการสร้างกราฟ Low_ ช่วงที่1+2_Handoff Fast



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างการหาค่า MSE โดยพิจารณาจากพหุนาม (Polynomial)

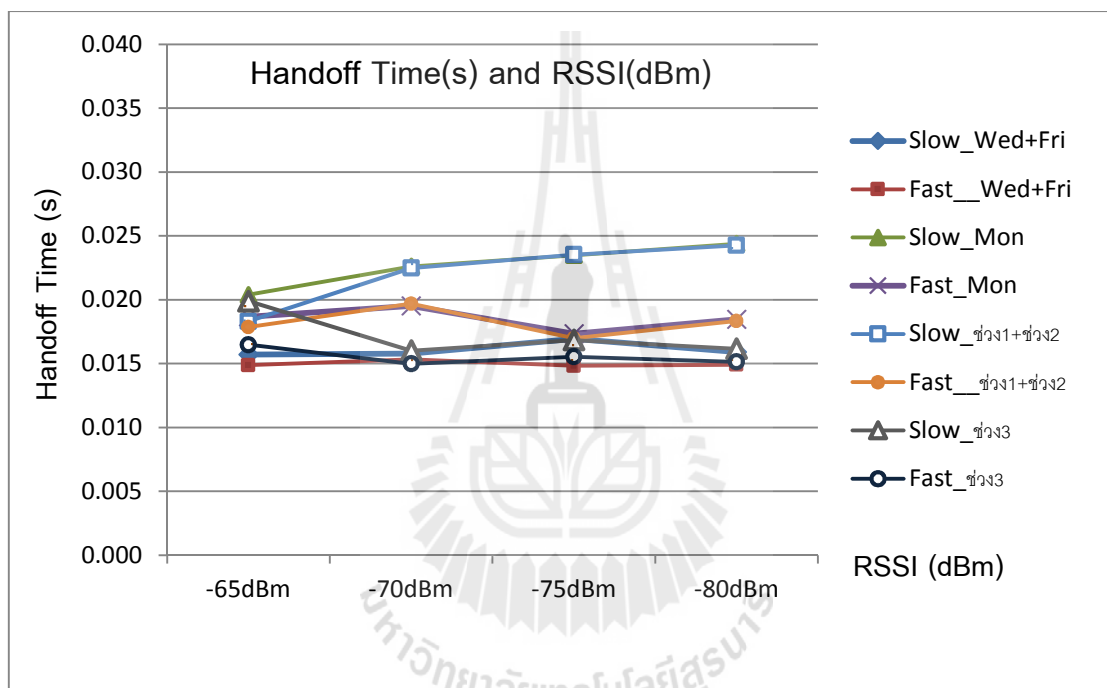
ตารางที่ 4.13 ตารางสรุปค่า Mean Square Error (MSE)

ที่	เงื่อนไข	สมการ	MSE น้อยที่สุด
1	เวลาแฮนด์ออฟ ช่วงที่ 1+2_Slow	$-2.2e - 007x^4 - 4.9e - 005x^3 - 0.0036x^2 - 0.088x$	1.8564e-31
2	เวลาแฮนด์ออฟ ช่วงที่ 1+2_Fast	$-1.5e - 007x^4 - 3.1e - 005x^3 - 0.0022x^2 - 0.052x$	1.3614e-30
3	ค่าน่วงเวลา ช่วงที่ 1+2_Slow	$7e - 008x^4 - 1.5e - 005x^3 - 0.0011x^2 + 0.026x$	1.9816e-33
4	ค่าน่วงเวลา ช่วงที่ 1+2_Fast	$-3.5e - 007x^4 - 7.6e - 005x^3 - 0.0054x^2 + 0.013x$	1.5715e-32
5	ค่าสูญเสียข้อมูล ช่วงที่ 1+2_Slow	$-0.00047x^4 - 0.1x^3 - 7.1x^2 - 1.7e + 002x$	3.5330e-27
6	ค่าสูญเสียข้อมูล ช่วงที่ 1+2_Fast	$-0.00024x^4 - 0.053x^3 - 4x^2 - 99x$	1.6710e-27
7	เวลาแฮนด์ออฟ ช่วงที่ 3_Slow	$9.3e - 008x^4 + 2.1e - 005x^3 + 0.0016x^2 + 0.04x$	4.9349e-30
8	เวลาแฮนด์ออฟ ช่วงที่ 3_Fast	$1e - 007x^4 + 2.3e - 005x^3 - 0.0017x^2 + 0.041x$	6.9601e-30
9	ค่าน่วงเวลา ช่วงที่ 3_Slow	$-3e - 008x^4 - 6.4e - 006x^3 - 0.00046x^2 - 0.011x$	2.6849e-31
10	ค่าน่วงเวลา ช่วงที่ 3_Fast	$-6.5e - 007x^4 - 0.00014x^3 - 0.01x^2 + 0.025x$	1.4949e-32
11	ค่าสูญเสียข้อมูล ช่วงที่ 3_Slow	$-1.8e - 005x^4 - 0.0042x^3 - 0.32x^2 - 8.1x$	3.3937e-26
12	ค่าสูญเสียข้อมูล ช่วงที่ 3_Fast	$0.00025x^4 + 0.055x^3 + 4x^2 + 97x$	1.983e-26

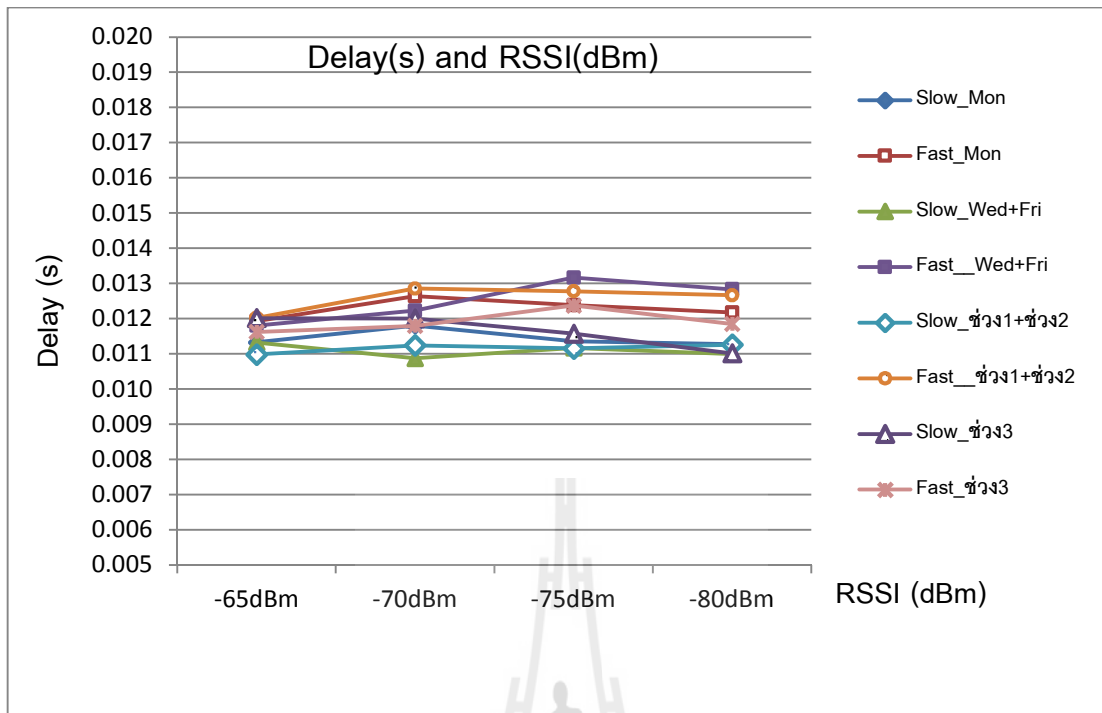
จากตาราง 4.13 สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของค่าเวลาแฮนด์ออฟและค่าน่วงเวลาของช่วงที่1+2 สำหรับการเคลื่อนที่ช้าจะมีค่า MSE น้อยกว่าการเคลื่อนที่เร็ว แต่จะมีค่าการสูญเสียที่สูงกว่า สำหรับในช่วงเวลาที่3 ค่าประสิทธิภาพจะคล้ายกับในช่วงที่ 1+2 หากพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของช่วงเวลาที่ 1+2 กับช่วงเวลาที่ 3 ทั้งเรื่องค่าเวลาแฮนด์ออฟ ค่าน่วงเวลา และค่าสูญเสียข้อมูล ในช่วงเวลาที่ 1+2 จะมีค่าน้อยกว่าในทุกกรณี ซึ่งจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

4.9 การกำหนดระดับความแรงสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ที่เหมาะสม

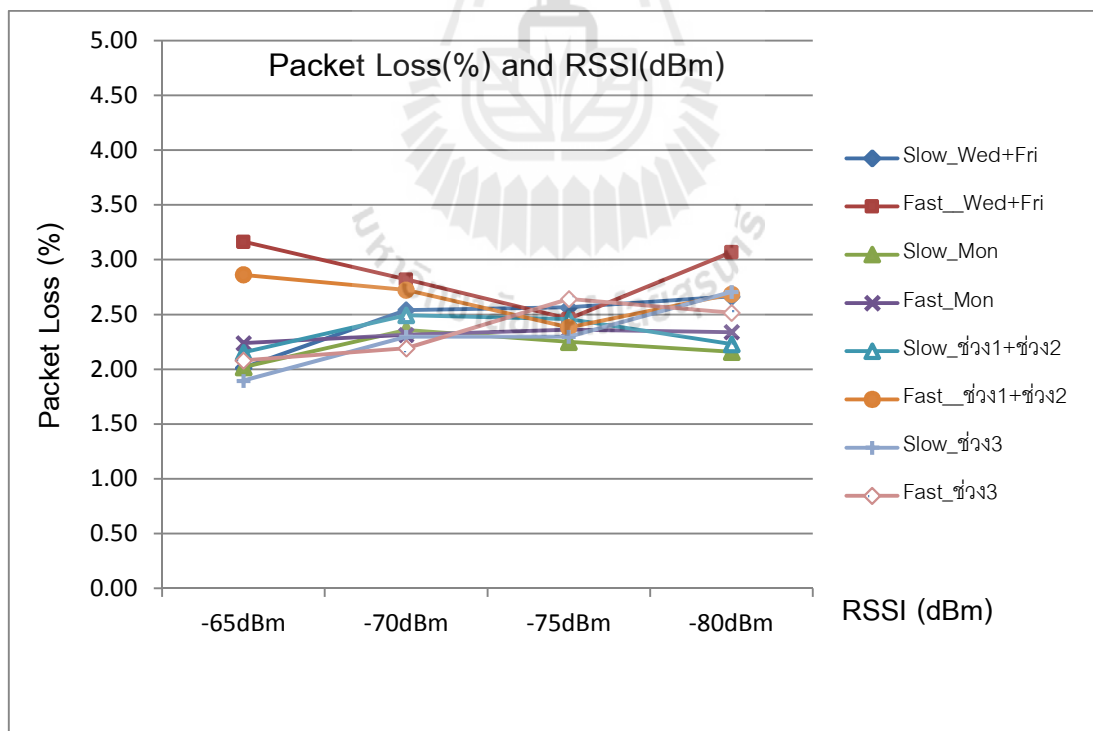
จากการปรับระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ และได้กำหนดปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อวีไอไอพี ซึ่งค่าที่ได้พิจารณา มี 3 ปัจจัยหลัก คือ ค่าเวลาแฮนด์ออฟ ค่าหน่วงเวลา และค่าการสูญเสียข้อมูล ซึ่งเมื่อได้ค่าทั้งหมดแล้วได้นำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบค่าเวลาแฮนด์ออฟ ค่าหน่วงเวลาและค่าการสูญเสียข้อมูล ทั้ง 3 ค่า กับ ค่าระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ทั้ง 4 ระดับ คือ -65 dBm , -70 dBm , -75 dBm และ -80 dBm ตามรูปที่ 4.8 , 4.9 และรูปที่ 4.10 ตามลำดับ



รูปที่ 4.8 ค่าแฮนด์ออฟเปรียบเทียบกับ RSSI (dBm) ของวันที่เลือก และช่วงเวลา



รูปที่ 4.9 ค่าหน่วงเวลาเปรียบเทียบกับ RSSI (dBm) ของวันที่เลือก และช่วงเวลา



รูปที่ 4.10 ค่าสูญเสียข้อมูลเปรียบเทียบกับ RSSI (dBm) ของวันที่เลือก และช่วงเวลา

จากรูปที่ 4.8 , 4.9 และ 4.10 พิจารณาเส้นกราฟที่ปรากฏ พบว่าเส้นกราฟของค่าเวลาแฮนด์ออฟ ค่า
 หน่วงเวลาและค่าการสูญเสียข้อมูลของทุกระดับความแรงของสัญญาณ มีทิศทางที่ไม่สอดคล้องกันในแต่ละ
 ระดับความแรงของสัญญาณ ดังนั้นจึงแยกพิจารณาใหม่ดังนี้

4.9.1 พิจารณาเลือกเงื่อนไขเดียว

- เลือกค่าเวลาแฮนด์ออฟน้อยที่สุด ซึ่งจะ ได้ระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายที่
 ระดับ -65 dBm
- เลือกค่าหน่วงเวลาน้อยที่สุด ซึ่งจะ ได้ระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายที่ระดับ -
 70 dBm
- เลือกค่าสูญเสียข้อมูลน้อยที่สุด ซึ่งจะ ได้ระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่าย
 ที่ระดับ -65 dBm

สรุปได้ว่าหากเราเลือกที่ระดับความแรงของสัญญาณที่ระดับใด ระดับหนึ่งแล้ว อาจส่งผลกระทบต่อ
 อื่น เช่น เลือกระดับความแรงของสัญญาณที่ระดับ -65 dBm จะมีค่าเวลาแฮนด์ออฟต่ำ ค่าหน่วงเวลาน้อย
 แต่จะมีค่าการสูญเสียข้อมูลที่สูง เป็นต้น

4.9.2 พิจารณาเลือกเงื่อนไขมากกว่า 1 คือ

ในการพิจารณาเลือกเงื่อนไขมากกว่า 1 เงื่อนไข เพื่อหาค่าที่เหมาะสม โดยใช้สมการเชิงเส้น

Minimize Handoff Time	
Subject to	
Delay	< Target 1
Packet Loss	< Target 2

Minimize เวลาแฮนด์ออฟช่วงที่ 1+2_Slow

Minimize เวลาแฮนด์ออฟช่วงที่ 1+2_Slow
 เงื่อนไข
 กำหนดเวลาช่วงที่ 1+2_Slow $\leq 11\text{ms}$
 ค่าสูญเสียข้อมูลช่วงที่ 1+2_Slow $\leq 2.4\%$

แทนสมการได้เป็น

$$\text{Minimize } Y = [(-2.2e - 007)x^4 - (4.9e - 005)x^3 - (0.0036)x^2 - (0.088)x]$$

เงื่อนไข

$$[(7e - 008)x^4 - (1.5e - 005)x^3 - (0.0011)x^2 + (0.026)x] \leq 11\text{ms}$$

$$[(-0.00047)x^4 - (0.1)x^3 - (7.1)x^2 - (1.7e + 002)x] \leq 2.4\%$$

จากรูปที่ 4.8 , 4.9 และ 4.10 การหาค่าเวลาของการแฮนด์ออฟต่ำสุด(Minimize) ของช่วงเวลาที่ 1+2_Slow โดยใช้การแก้สมการด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งกำหนดค่าเงื่อนไข 2 อย่าง คือ

- กำหนดเวลาน้อยกว่าหรือเท่ากับ 11ms
- ค่าการสูญเสียข้อมูลน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.4%

ค่าระดับความแรงของสัญญาณ (RSSI) ของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่อยู่ในช่วงที่อุปกรณ์รับได้ตั้งแต่ระดับความแรงของสัญญาณ -65dBm ถึง -80dBm และค่าที่เหมาะสมคือค่าที่ระดับความแรงของสัญญาณที่ดีที่สุดคือ -65dBm และเงื่อนไขอื่นๆ ได้แก่ การหาค่า Minimize Delay หรือ Minimize Packet Loss เป็นต้น

4.10 กล่าวท้ายบท

เนื้อหาในบทนี้ได้วิเคราะห์ผลที่ได้จากการวัดจริง ซึ่งนำไปสู่การหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับความแรงของสัญญาณที่ตั้งไว้กับค่าความหน่วงของการทำแฮนด์ออฟในขณะที่ให้บริการวีโอไอพี ทำให้สามารถกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสม และสามารถหาระดับความแรงของสัญญาณที่เหมาะสมเพื่อใช้ในบริการแบบวีโอไอพีได้

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อหาค่าของระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ที่เหมาะสมต่อการให้บริการเสียงผ่านเครือข่ายไอพี โดยพิจารณาปัจจัยการจัดเก็บข้อมูล เป็น 3 ปัจจัย คือ กลุ่มของอาคาร วันใน 1 สัปดาห์และช่วงเวลาที่กำหนด และพิจารณาการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ 2 แบบ คือ การเคลื่อนที่ช้า และการเคลื่อนที่เร็วๆ ซึ่งผลที่ได้ พบว่าปัจจัยที่ 1 และ 2 มีผลกระทบน้อยมากเกี่ยวกับค่าเวลาแฮนด์ออฟ ค่าหน่วงเวลาและค่าสูญเสียข้อมูล โดยใช้หลักทางสถิติมาพิจารณาร่วมคือค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟพบว่ากราฟที่ได้มีข้อมูลซ้อนทับกันมากกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ ถือว่าข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลกลุ่มเดียวกันหรือชุดเดียวกัน

ดังนั้นจึงได้พิจารณาในปัจจัยที่ 3 โดยนำหลักสถิติดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ข้อมูล และสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลพบว่า ข้อมูลที่ได้ซ้อนทับกันน้อยกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของข้อมูลทั้งหมด จึงถือว่าข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กัน ทำให้สามารถแยกกลุ่มข้อมูลได้เป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มที่ใช้ปริมาณกราฟฟิคน้อย (Low) และกลุ่มที่ใช้ปริมาณกราฟฟิกสูง (High) โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการให้บริการวีโอไอพี ทั้งหมด 3 ค่า คือ ค่าเวลาแฮนด์ออฟ ค่าหน่วงเวลา และค่าการสูญเสียข้อมูล

ความสัมพันธ์ดังกล่าวที่หาได้สามารถประมาณในรูปสมการคณิตศาสตร์ ทำให้ใช้เป็นแนวทางในการจัดการระดับความแรงของสัญญาณเพื่อการทำแฮนด์ออฟของวีโอไอพีในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการตรวจจับข้อมูลของอาคารวิจัยช่วงเวลาที่เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่เข้าใช้งานเครือข่ายเป็นจำนวนมากเมื่อมีการเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ให้บริการของอุปกรณ์กระจายสัญญาณ และเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่พยายามทำการแฮนด์ออฟเพื่อไปจับสัญญาณอีกตัว ไม่สามารถเชื่อมต่อได้ เพราะฉะนั้นในการออกแบบเพื่อให้บริการควรรออกแบบตำแหน่งของอุปกรณ์กระจายสัญญาณให้ครอบคลุมตลอดพื้นที่เพื่อประกันการให้บริการที่ดี

สำหรับการตรวจจับข้อมูลการแฮนด์ออฟของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ ซอฟต์แวร์ที่ใช้เป็นซอฟต์แวร์เสรี ซึ่งมีข้อจำกัดในการมองเห็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการแฮนด์ออฟ จึงจำเป็นต้องตรวจสอบโดยดูข้อมูลที่เป็น Log ของข้อมูลทำให้เสียเวลาในการปรับข้อมูลอยู่ในรูปของข้อมูลที่สามารถวิเคราะห์ได้ หากมีซอฟต์แวร์ที่มีลิขสิทธิ์ก็จะสามารถจัดเก็บข้อมูลที่ต้องการได้แต่ราคาซอฟต์แวร์ก็มีราคาแพงมาก

5.3 การพัฒนาต่อในอนาคต

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่เพียง 4 ระดับความแรงของสัญญาณ คือ -65dBm -70dBm -75dBm และ -80dBm ซึ่งเป็นระดับความแรงของสัญญาณที่ยังมีช่วงที่กว้างอยู่หากอยากได้ข้อมูลที่ละเอียดกว่านี้ควรกำหนดระดับความแรงของสัญญาณให้แคบกว่านี้ และการกำหนดอาคารที่ใช้สำหรับการวิจัยมีเพียง 2 อาคารคืออาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม 2 เท่านั้น หากจำเป็นต้องได้ข้อมูลที่ครอบคลุมอาคารมากกว่านี้ เช่น กลุ่มอาคารหอพักนักศึกษา หรือ อาคารวิชาการ 1 และ 2 เป็นต้น ส่วนช่วงเวลาและวันควรกำหนดให้มากกว่านี้ เช่น วันจันทร์ วันอังคาร วันพุธ วันพฤหัสบดีและวันศุกร์ เป็นต้น ส่วนช่วงเวลาก็กำหนดให้เป็นช่วงละ 1 ชั่วโมงหรือ 2 ชั่วโมงเพื่อการวัดข้อมูลจะได้ข้อมูลที่ละเอียดมากกว่านี้

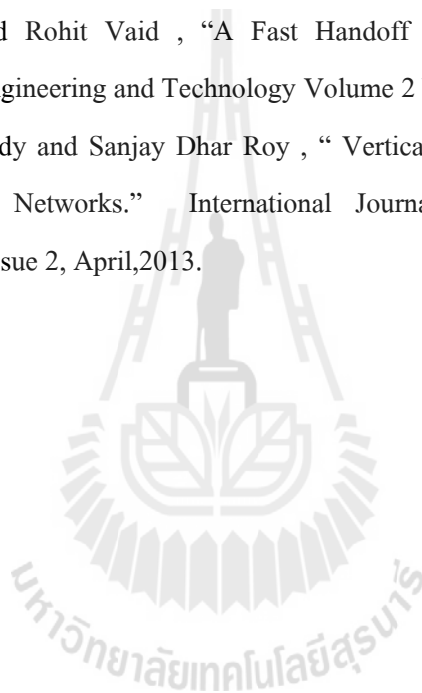


บรรณานุกรม

- [1] G. Singh, A. Pal Singh Atwal and B.S. Sohis, "Mobility Management Technique for Real Time Traffic in 802.11 Networks", Journal of Computer Science 3(6) : 390-398,2007
- [2] S. Pack and Y. Choi, "Fast inter-ap handoff using predictive authentication scheme in a public wireless LAN. In Proceedings of IEEE Networks Conference (conjunction of IEEE ICN and IEEE ICWLHN), Atlanta, GA, Aug. 2002.
- [3] Yogesh Ashok Powar and Varsha Apte, "Improving the IEEE 802.11 MAC Layer Handoff Latency to Support Multimedia Traffic", WCNC 2009
- [4] M. Vipin and S.Srikanth, "Analysis of Open Source Drivers for IEEE 802.11 WLANs", ICWCSC 2010.
- [5] A. Mishra, M. Shin, and W. Arbaugh, "An Empirical Analysis of the IEEE 802.11 MAC Layer Handoff Process," ACM Computer Communications Review, vol. 33, no. 2, Apr. 2003.
- [6] I. Ramani, and S. Savage, "Syncscan: Practical Fast Handoff for 802.11 Infrastructure Networks," in Proceedings of the IEEE Infocom Conference 2005, Miami, FL, USA, March 2005.
- [7] Yong Liao, and Lixin Gao, "Practical Schemes for Smooth MAC Layer Handoff in IEEE 802.11 Wireless Networks," in proceeding of IEEE Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM 2006), Buffalo, NY, 26-29 June, 2006.
- [8] H. Velayos and G. Karlsson, "Techniques to Reduce IEEE 802.11b MAC Layer Handover Time," Kungl Tekniska Hogskolen, Stockholm, Sweden, Tech. Rep. TRITA- IMIT-LCN R 03:02, ISSN 1651-7717, ISRN KTH/IMIT/LCN/R- 03/02.SE, April 2003
- [9] Sangho Shin, Anshuman Singh Rawat and Henning Schulzrinne, "Reducing MAC Layer Handoff Latency in IEEE 802.11 Wireless LANs", MobiWac'04, October 1, 2004, Philadelphia, Pennsylvania, USA.6
- [10] V. Brik, A. Mishra and S. Banerjee, "Eliminating handoff latencies in 802.11 WLANs using Multiple Radios: Applications, Experience, and Evaluation", ACM IMC, Oct. 2005
- [11] M. Shin, A. Mishra, W. A. Arbaugh, "Improving the Latency of 802.11 Hand-offs using Neighbor Graphs," in Proceedings of the ACM MobiSys Conference, Boston, MA, USA, June 2004.

- [12] Cheng-Shong Wu, Ming-Ta Yang and Kao-shing Hwang, "Fast-handoff Schemes for Inter-subnet Handoff in IEEE 802.11 WLANs for SIP/RTP Applications", IECMC'07, August 12-16, 2007, Honolulu, Hawaii, USA.
- [13] Maria Eugenia Berezin, Fanck Rousseau and Andrzej Duda. "Mutichannel Virtual Access Points for Seamless Handoffs in IEEE 802.11 Wireless Networks",
- [14] K. Kuladinithi, A. Udugama, A. Timm-Giel and C.Gorg , "802.11 Handover Optimization to Improve Communications of Mobile Workers", ICIAfS10.
- [15] Guillaume-Jean Herbiet and Sriram Lakshmanan , " Client perceived performance in a campus Network with a wireless LAN controller", CS7260, Internetworking Architecture and Protocols
- [16] Ping-Jung Huang and Yu-Chee Tseng , " A Fast Handoff Mechanism for IEEE 802.11 and IAPP Networks",
- [17] Sourav Pal , Sumantra Kundu, Kalyan Basu and Sajal K. Das , " Emancipating the IEEE 802.11 Network from Handoff Delay",
- [18] M. Vipin and S.Srikanth , " Analysis of Open Source Drivers for IEEE 802.11 WLANs", ICWCSC 2010.
- [19] S.V.Srikanth, Sarat Chandra Babu, Dileep K Panjala and I Trilok , " Seamless Multimedia Communication over Heterogeneous Networks : A Linux Daemon Approach", Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE) , Vol.2 No.3 Jun-Jul 2011
- [20] Jidong Wang and Lichun Bao , " Mobile Context Handoff in Distributed IEEE 802.11 Systems", Justin C. Zito, "Analysis of VoIP Telephone Service" , April 23, 2009.
- [21] Cheng-Shong Wu, Ming-Ta Yang and Kao-shing Hwang, "Fast-handoff Schemes for Inter-subnet Handoff in IEEE 802.11 WLANs for SIP/RTP Applications", IECMC'07, August 12-16, 2007, Honolulu, Hawaii, USA.
- [22] Sangho Shin, Anshuman Singh Rawat and Henning Schulzrinne , "Reducing MAC Layer Handoff Latency in IEEE 802.11 Wireless LANs", MobiWac'04, October 1, 2004, Philadelphia, Pennsylvania, USA.
- [23] John Fitzpatrick, Sean Murphy, Mohammed Atiquzzaman and John Murphy , " Evaluation of VoIP in a Mobile Environment using an end-to-end Handoff Mechanism",
- [24] อำนาจ มีมมงคล และอรรณพ ชันธิกุล ออกแบบและติดตั้งเครือข่าย Wireless LAN พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ อินโฟเพรส, 2553.

- [25] Blondia C., et al. "Performance Evaluation of Layer 3 Low Latency Handoff Mechanisms." *Mobile Networks and Applications*. Vol. 9. (December 2004) : 633-645
- [26] สถาพร อ้อยตาล การศึกษาการค้นหาคอนเนกชันและเพิ่มประสิทธิภาพในการย้ายข้ามเซลล์ (Handoff) ด้วยโปรแกรมประยุกต์ ในเครือข่ายไวเลส IEEE 802.11,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร , 2554.
- [27] Omayma A. El-Mohsen, Hala Atef M. Saleh and Salwa Elramly , "SIP-Based Handoff Scheme in Next Generation Wireless Networks." *Sixth International Conference Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies*, 2012.
- [28] Sushama Rani Dutta and Rohit Vaid , "A Fast Handoff Mechanism for Wireless LAN." *International Journal of Engineering and Technology* Volume 2 No.2, February ,2012.
- [29] S.Reddy Vamshidhar Reddy and Sanjay Dhar Roy , " Vertical Handoff Decision Algorithms in Integrated Heterogenous Networks." *International Journal of Energy, Information and Communications* Vol. 4, issue 2, April,2013.



ภาคผนวก ก

การเผยแพร่ผลงานวิจัย

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในงานประชุมวิชาการนานาชาติ

Jongmobklang A., Uthansakul M. and Uthansakul P., “The Optimal Signal Strength Threshold for VoIP Handoffs in 802.11n Networks,” IEEE Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP2013), August 5-7, 2013, Thailand.



ภาคผนวก ข

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์



The Optimal Signal Strength Threshold for VoIP Handoffs in 802.11n Networks

Amnart Jongmobklang, Peerapong Uthansakul, Monthippa Uthansakul
 School of Telecommunication Engineering
 Suranaree University of Technology
 Muang Nakornratchsima
 Email: amnartj@sut.ac.th, uthansakul@sut.ac.th, mtp@sut.ac.th

Abstract— In IEEE 802.11n networks, the service mitigation from associated Access Point (AP) to the other, so called handoff, has been considered as one important index to judge the merit of networks. For VoIP service, the delay due to handoff that occurs during the break-off interval is very sensitive to the service performance. The usual VoIP service is unable to tolerate such long connectivity delays that fall beyond the range of 50-200 ms. This causes the dropped calls or frozen video frames. Therefore, this paper presents the optimal signal strength threshold to provide the minimum handoff time and keep the best performances for other parameters. This optimal value is based on the real measurements and requires no additional modification in the network. The presented work is very useful because it can directly implement to any networks. The outcome of this paper indicates the practical use of the signal strength threshold to control the handoff time for VoIP application.

Keywords: VoIP, Handoff, Signal Strength, WLANs

I. INTRODUCTION

In practice, the handoff process starts when user moves outside the radio range of the associated AP. It needs to quickly identify and re-associate itself with a vicinity AP so as to minimize the disconnectivity interval or handoff delay while providing the illusion of seamless connectivity to the user. Since application layer performance is what ultimately matters, any delay that shoots above 50 ms usually results in frozen frames for streaming video and dropped voice over IP (VoIP) calls for delay values higher than 150 ms. However, at the time of writing, the standard IEEE 802.11n has been popularly installed to facilitate fast transmission rate. However, during handoff process, the transferred packets might be lost or delayed. In this case, many services can be degraded.

In order to improve this deficiency, many techniques have been proposed in literature. The work in [1] proposed the Inter-Access Point Protocol (IAPP) to transfer the security sessions between different APs during a handoff process. The IAPP serves to complement our proposed solution by reducing the network authentication time. In view of the current and legacy IEEE standards, any new handoff latency [2],[3] reduction solution must satisfy the following four important aspects: (i) it must be able to operate with the existing IEEE 802.11 standard, (ii) require minimal (preferably zero) support from the network infrastructure, and (iii) be a client-end software solution so as not to touch the already deployed APs.

Therefore, the authors focus on the solution to reduce a handoff process by managing the signal strength threshold of AP. This threshold plays main role on handoff decision whether the client will move from existing AP to new AP or not. If this threshold is too high, the client has to spend a long time for finishing handoff process. On the other hand, if the threshold is too low, the client can easily switch to a new AP but the client will consume the worse link quality than the existing AP. As a result, the effect of signal strength threshold on handoff performance has to be studied. In the previous work [4], the authors provided the effect of signal strength threshold on the network performance. In this paper, the further study has been performed by offering the optimal threshold to minimize the handoff time for all APs in the network. Also the moving effect of fast or slow users has been presented. The results indicate that the optimal signal strength threshold can be determined to satisfy the performances of handoff time, delay and packet loss.

The rest of the paper is organized as follows. In Section II, the experimental scenarios are detailed and followed by the measurement results. Finally, the conclusions and directions for future work are given in Section III.

II. EXPERIMENTAL SCENARIOS AND RESULTS

The experiments have been performed inside the office building in which there are normal users using 802.11n networks. The network traffics flow the same whether the measurement is carried out or not. The authors focus on the handoff process which is occurred between two access points as shown in Fig. 1.

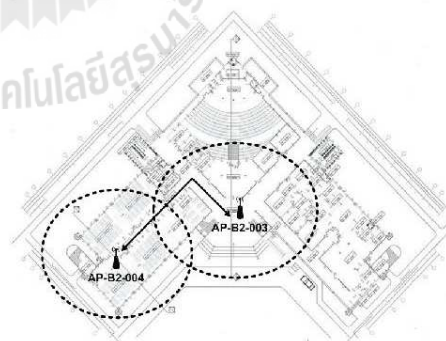


Fig 1. The experimental scenarios with the building layout.

Four threshold values, -65dBm to -80dBm, have been set to investigate the optimal values. In each threshold, 100 measured data has been collected and evaluated in off-line mode. The data is captured by using the commercial program named as Wireshark. The connection of VoIP service is established by two notebooks. The key factors to judge the merit of threshold are the handoff time, delay and packet loss. The impact of moving users within handoff process is also studied. Two speeds of mobility are assigned by 0.3 m/s and 1.5 m/s, named as slow and fast respectively [5],[6].

In Fig. 2, the results of handoff time are calculated by averaging all measured data. This handoff time is measured since authentication process to re-association process. It can be noticed that the handoff time is merely influenced by slow users but for fast users it decreases when the threshold is lower. In Fig. 3, the average delay is presented. The results do not indicate any significant issues. In turn, the results of average packet loss shown in Fig. 4 indicate the opposite trend of handoff time. The packet loss is rarely influenced by fast users but for slow users it increases when the threshold is lower. From all results, it can be concluded that the optimal threshold for slow users is the highest signal strength, -65dBm, and it is the lowest level, -80dBm, for fast users.

However, this threshold has to be verified further in the future work because many parameters are also involved such as traffic intensity, type of buildings, type of devices, etc.

III. CONCLUSIONS

This paper has presented the guideline of finding the optimal signal strength threshold to provide the minimum handoff delay. This optimal value is based on the real measurements and requires no additional modification from the network which can be directly implemented on any networks. The outcome of this paper indicates the practical use of the signal strength threshold to control the handoff time for VoIP application.

REFERENCES

- [1] S. Pack and Y. Choi, "Fast inter-ap handoff using predictive authentication scheme in a public wireless LAN," In Proceedings of IEEE ICN and IEEE ICWI(HN), Atlanta, GA, Aug. 2002.
- [2] A. Mishra, M. Shin, and W. Arbaugh, "An Empirical Analysis of the IEEE 802.11 MAC Layer Handoff Process," ACM Computer Communications Review, vol. 33, no.2, Apr. 2003.
- [3] M. Shin, A. Mishra, W. A. Arbaugh, "Improving the Latency of 802.11 Hand-offs using Neighbor Graphs," in Proceedings of the ACM MobiSys Conference, Boston, MA, USA, June 2004.
- [4] Amnart Jongmohklang, Monthippa Uthansakul and Peerapong Uthansakul, "The Study of Signal Strength Threshold for VoIP Handoff Process in 802.11g/n Networks," IEEE Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation (APCAP2012), August 27-29, 2012, Singapore.
- [5] G. Singh, A. P. Atwal, B. Singh, and S. Sohis, "Mobility Management Technique for Real Time Traffic in 802.11 Networks," Journal of Computer Science, 9(3):390-398,2007.
- [6] S.V.Srikanth, Sarat Chandra Babu, Dileep K Panjala and I Trilok, "Seamless Multimedia Communication over Heterogeneous Networks: A Linux Daemon Approach," Indian Journal of Computer Science and Engineering (IJCSE), Vol.2 No.3 Jun-Jul 2011.

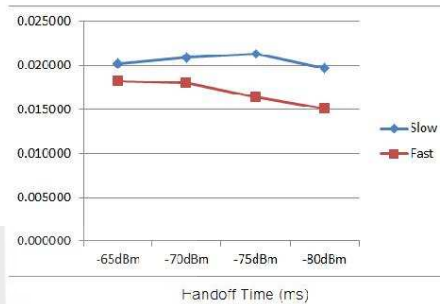


Fig 2. The average handoff time (ms) for slow and fast users.

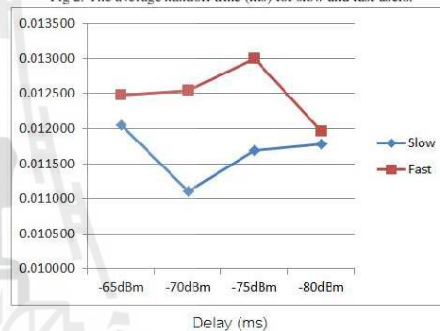


Fig 3. The average delay (ms) for slow and fast users.



Fig 4. The average packet loss (%) for slow and fast users.

ประวัติผู้วิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร. พิระพงษ์ อุฑารสกุล สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต และ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตจากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2539 และ 2541 จากนั้นเข้าทำงานใน ตำแหน่งวิศวกรระบบโทรคมนาคมที่องค์การโทรศัพท์แห่งประเทศไทย จนกระทั่ง พ.ศ. 2543 จึงได้ย้ายมา เป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี และได้ลาศึกษาต่อระดับปริญญาเอกตั้งแต่ปี 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 28 บทความและในการประชุม วิชาการ 101 บทความ หนังสือวิชาการในประเทศ 1 เล่มและต่างประเทศ 1 เล่ม มีลิขสิทธิ์ 1 รายการและ สิทธิบัตร 1 รายการ

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