

การจัดการระดับความแรงของสัญญาณสำหรับการแฮนด์ออฟของการสื่อสาร
เสียงผ่านเครือข่ายไอพี (VoIP) ในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย



นายอำนาจ จงมอบกลาง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2556

**SIGNAL STRENGTH THRESHOLD MANAGEMENT
FOR VOIP HANDOFF IN WLANS**

Amnart Jongmobklang



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

Suranaree University of Technology

Academic Year 2013

การจัดการระดับความแรงของสัญญาณสำหรับการเชื่อมต่อของการสื่อสารเสียงผ่าน
เครือข่ายไอพี (VoIP) ในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.วิภาวี หัตถกรรม)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล)

กรรมการ

(ศ. ดร.ชูกิจ ลิมปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

อำนาจ จงมอบกลาง : การจัดการระดับความแรงของสัญญาณสำหรับการแฮนด์ออฟของ
การสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี (VoIP) ในเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (SIGNAL
STRENGTH THRESHOLD MANAGEMENT FOR VOIP HANDOFF IN WLANS)
อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล, 67 หน้า.

การสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี (VoIP) เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารโดยการส่งผ่านเสียง
เช่นเดียวกันกับการใช้งานโทรศัพท์ทั่วไป ต่างกันที่ VoIP จะทำการแปลงข้อมูลเสียงเป็นแพ็คเกจ
ลักษณะเช่นเดียวกับข้อมูลทั่วไปและส่งผสมไปพร้อมกันในโครงข่ายปกติ เนื่องจากคุณลักษณะ
ของการสื่อสารด้วยเสียง ซึ่งมีลักษณะไวต่อค่าหน่วงเวลาและสามารถทนต่อความผิดพลาดหรือ
คุณภาพเสียงที่ลดลงได้บ้าง ในโครงข่ายอินเทอร์เน็ตข้อมูลทั้งหมดจะถูกพิจารณาว่าไม่มีความ
แตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นข้อมูลลักษณะใด ขึ้นกับการแย่งเข้าใช้สื่อที่เกิดขึ้น และปริมาณของผู้ใช้งาน
ในขณะนั้น เป็นต้น ทำให้ VoIP สามารถใช้งานได้ดีในระดับหนึ่ง แต่บางช่วงเวลา ผู้ใช้ก็จะพบกับ
การกระตุก หรือการขาดช่วงของเสียงได้จากเหตุผลข้างต้นนอกจากนี้การใช้งานข้ามพื้นที่ให้บริการ
หรือเรียกว่าการทำแฮนด์ออฟก็เป็นอีกสาเหตุหนึ่งของการเกิดค่าหน่วงเวลาขึ้นและมีผลต่อ
สมรรถนะโดยรวมของ VoIP

จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ายังไม่มียานวิจัยใด ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการ
ปรับระดับความแรงสัญญาณ (Signal Strength Threshold) ของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ต่อการทำ
แฮนด์ออฟ ซึ่งจากผลการวัดพบว่าการปรับระดับความแรงของสัญญาณที่อุปกรณ์ให้บริการ
เครือข่ายมีผลต่อค่าหน่วงเวลาในการทำแฮนด์ออฟ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาการปรับค่าระดับความ
แรงสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เพื่อใช้เป็นแนวทางในการให้บริการ VoIP ที่เหมาะสม

AMNART JONGMOBKLANG : SIGNAL STRENGTH THRESHOLD

MANAGEMENT FOR VOIP HANDOFF IN WLANS. THESIS ADVISOR :

ASST. PROF. PEERAPONG UTHANSAKUL, Ph.D., 67 PP.

SIGNAL STRENGTH THRESHOLD / VOIP HANDOFF WLANS

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 re-associate 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 paper 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.

Our study requires no additional support from the network. The outcome of this thesis indicates the good insight of using the signal strength threshold to control the handoff time for VoIP application.

School of Telecommunication Engineering

Academic Year 2013

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งทั้งด้านวิชาการและด้านดำเนินงานวิจัยจากอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิระพงษ์ อุฑารสกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสในการศึกษาให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหาและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์ อาจารย์เศรษฐวิทย์ ภูฉายา ที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษาเรื่องการวิจัย เรื่องการเดินทางไปเสนอผลงานวิจัยที่ต่างประเทศ และอื่นๆ ที่ทำให้ผู้วิจัยได้ความรู้ได้ประสบการณ์มากมาย

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ผู้วิจัยขอมอบให้กับภรรยาและลูกทั้ง 3 คน อีกทั้งบิดามารดา และญาติทุกๆ คนที่คอยให้กำลังใจ รวมถึงเพื่อนร่วมงานศูนย์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับงานวิจัยของข้าพเจ้าตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา

อำนาจ จงมอบกลาง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญรูป.....	ฅ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฐ
บทที่	

1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 สมมุติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ขอบเขตของงาน.....	2
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน.....	3
1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย.....	3
1.6.3 สถานที่ทำวิจัย.....	4
1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	4
1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	4
1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	4
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
1.8 รายละเอียดวิทยานิพนธ์.....	5

2 เทคโนโลยีและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี

2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี.....	6
--	---

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2	การให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....	10
2.3	รูปแบบของการแฮนด์ออฟ.....	12
2.4	กระบวนการของการแฮนด์ออฟ.....	13
2.5	ความหน่วงเวลาของการแฮนด์ออฟ.....	17
2.6	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
2.7	สรุปท้ายบท.....	21
3	การบันทึกผลการทำการแฮนด์ออฟ	
3.1	เครื่องมือ อุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเก็บบันทึกผล.....	22
3.2	กำหนดพื้นที่สำหรับการเก็บบันทึกข้อมูล.....	30
3.3	กำหนดเงื่อนไขสำหรับการเก็บบันทึกผลการแฮนด์ออฟ.....	31
3.4	ขั้นตอนการคัดกรองข้อมูลการบันทึกผลจากการแฮนด์ออฟทั้ง 3 กรณี.....	33
3.5	สรุปท้ายบท.....	36
4	วิเคราะห์ผลการบันทึกการทำการแฮนด์ออฟ	
4.1	กรณีที่ 1 วิเคราะห์ผลการเก็บบันทึกข้อมูลอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2.....	37
4.2	กรณีที่ 2 วิเคราะห์ผลการเก็บบันทึกข้อมูลตามวันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์.....	38
4.3	กรณีที่ 3 วิเคราะห์ผลการเก็บบันทึกข้อมูลตามช่วงเวลาที่กำหนด.....	40
4.4	การพิจารณาความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูลทั้ง 3 กรณีโดยวิธีทางสถิติ.....	42
4.4.1	การหาค่าเฉลี่ย.....	42
4.4.2	การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน.....	43
4.5	ผลการพิจารณาแยกกลุ่มข้อมูลได้ 2 กลุ่มข้อมูล คือ Low และ High.....	44
4.6	การสร้างกราฟแสดงผลของกลุ่มข้อมูล ชนิด Low และ High สัมพันธ์กับค่าเวลาแฮนด์ออฟ ค่าช่วงเวลาและค่าการสูญเสียข้อมูล.....	45
4.7	การประเมินประสิทธิภาพของการสร้างกราฟ.....	49
4.8	การกำหนดระดับความแรงสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ที่เหมาะสม.....	52
5	สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1	สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์.....	56

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	56
5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต.....	57
รายการอ้างอิง.....	58
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก. รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	61
ประวัติผู้เขียน.....	67



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	โครงสร้างการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี.....7
2.2	การเปรียบเทียบ OSI Model กับการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี.....8
2.3	การสนทนาผ่านคู่สายโทรศัพท์แบบปกติ.....8
2.4	การสื่อสารเสียงผ่านเครือข่าย ไอพี.....9
2.5	ขั้นตอน PCM.....9
2.6	Ad-Hoc Mode.....10
2.7	Infrastructure Mode.....11
2.8	รูปแบบการเชื่อมต่อในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย.....12
2.9	ขั้นตอนกระบวนการเชื่อมต่อ.....13
2.10	ขั้นตอนกระบวนการ Active Scan.....14
2.11	ขั้นตอนการทำ Open System Authentication.....15
2.12	ขั้นตอนการทำ Shared Key Authentication.....17
2.13	ขั้นตอนการ Association.....17
2.14	แพคเกจที่ได้จากการเก็บใน Log ไฟล์ของระบบ.....18
3.1	หน้าจอแรกของการติดตั้ง Trixbox.....23
3.2	การเลือก Keyboard Type = us.....23
3.3	การเลือก Time zone = Asia/Bangkok.....24
3.4	กำหนด Root Password สำหรับ Login เข้าสู่ระบบ.....24
3.5	การติดตั้งกลุ่มของโปรแกรมภายใน Trixbox.....25
3.6	หน้าจอ Login เข้าสู่ระบบเป็นหน้าจอสุดท้ายเมื่อติดตั้งสำเร็จ.....25
3.7	หน้าจอแรกสำหรับการสร้างเลขหมายโทรศัพท์.....26
3.8	สร้างหมายเลขโทรศัพท์บนเครื่อง Server.....26
3.9	ตระกูลของลินุกซ์และรุ่นที่ใช้.....27
3.10	การ์ดไวร์เลสแลนยี่ห้อ Atheros รุ่น AR9285.....27
3.11	การติดตั้ง Twinkle Softphone.....28

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.12	การสร้างเลขหมายโทรศัพท์ใน โปรแกรม Twinkle Softphone.....28
3.13	การปรับค่าโปรแกรม Twinkle Softphone.....29
3.14	แบบการเก็บข้อมูลของอาคารวิจัย.....30
3.15	แบบการเก็บข้อมูลของอาคารเรียนรวม2.....31
3.16	การตรวจสอบไฟล์ debug ในไคเรกทอรี /var/log/.....34
3.17	การ Import log file ชื่อ debug เข้าสู่โปรแกรมคัดกรองข้อมูล.....34
3.18	การเลือกไฟล์ debug.....34
3.19	การ Import ไฟล์เข้าสู่ Work Sheet.....35
3.20	การแยกคอลัมน์ของไฟล์ Debug.....35
4.1	กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2 ซ้อนทับกันน้อยกว่า 10 %.....44
4.2	กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2 ซ้อนทับกันมากกว่า 50 %.....45
4.3	กราฟค่าแชนด์ออฟเปรียบเทียบกับค่า RSSI (dBm).....46
4.4	กราฟค่าหน่วยเวลาเปรียบเทียบกับค่า RSSI (dBm).....47
4.5	กราฟค่าสูญเสียข้อมูลกับค่า RSSI (dBm).....48
4.6	กราฟการหาค่า MSE ของการสร้างกราฟ Low ช่วงที่1+2_Handoff Fast.....49
4.7	ตัวอย่างการหาค่า MSE โดยพิจารณาจากพหุนาม (Polynomial).....50
4.8	ค่าแชนด์ออฟเปรียบเทียบกับ RSSI (dBm) ของวันที่เลือก และช่วงเวลา.....52
4.9	ค่าหน่วยเวลาเปรียบเทียบกับ RSSI (dBm) ของวันที่เลือก และช่วงเวลา.....53
4.10	ค่าสูญเสียข้อมูลเปรียบเทียบกับ RSSI (dBm) ของวันที่เลือก และช่วงเวลา.....53

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1	ตารางบันทึกข้อมูลค่าเฉลี่ยเวลาแฮนด์ออฟแยกตามอาคาร.....32
3.2	ตารางบันทึกข้อมูลค่าเฉลี่ยค่าหน่วยเวลาแยกตามอาคาร.....33
3.3	ตารางบันทึกข้อมูลค่าเฉลี่ยการสูญเสียข้อมูลแยกตามอาคาร.....33
4.1	ตารางบันทึกข้อมูลเวลาแฮนด์ออฟ ของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2.....37
4.2	ตารางบันทึกข้อมูลค่าหน่วยเวลา ของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2.....38
4.3	ตารางบันทึกข้อมูลค่าสูญเสียข้อมูล (%) ของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2.....38
4.4	ตารางบันทึกข้อมูลค่าเวลาแฮนด์ออฟ ของวันจันทร์ วันพุธและวันศุกร์.....39
4.5	ตารางบันทึกข้อมูลค่าหน่วยเวลาของวันจันทร์ วันพุธและวันศุกร์.....39
4.6	ตารางบันทึกข้อมูลค่าสูญเสียข้อมูลของ วันจันทร์ วันพุธและวันศุกร์.....40
4.7	ตารางบันทึกข้อมูลค่าแฮนด์ออฟช่วงเวลาที่ 1 ช่วงเวลาที่ 2 และช่วงเวลาที่ 3.....41
4.8	ตารางบันทึกข้อมูลค่าหน่วยเวลาของช่วงเวลาที่ 1 ช่วงเวลาที่ 2 และช่วงเวลาที่ 3.....41
4.9	ตารางบันทึกข้อมูลค่าสูญเสียข้อมูลของช่วงเวลาที่ 1 ช่วงเวลาที่ 2 และช่วงเวลาที่ 3.....42
4.10	แสดงค่าเฉลี่ยเวลาแฮนด์ออฟ.....45
4.11	แสดงค่าเฉลี่ยค่าหน่วยเวลา.....45
4.12	แสดงค่าเฉลี่ยค่าสูญเสียข้อมูล.....45
4.13	ตารางสรุปค่า Mean Square Error (MSE).....51

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AP	Access Point
ST	Station
S.D.	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
MSE	Mean Square Error
SSID	Service Set Identifier
RSSI	Received signal strength indicator
WLAN	Wireless Local Area Network
BSS	Basic Service Set
ESS	Extended Service Set
VoIP	Voice over Internet Protocol
CDF	Cumulative Distribution Function
PDF	Poisson Distribution Function
UDP	User Datagram Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
SIP	Session Initiation Protocol
PCM	Pulse Code Modulation
DSP	Digital Signal Processing
ISM Band	Industrial Scientific Medicine Band

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

การสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี (VoIP) เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารโดยการส่งผ่านเสียง เช่นเดียวกันกับการใช้งานโทรศัพท์ทั่วไปต่างกันว่า VoIP จะทำการแปลงข้อมูลเสียงเป็นแพ็คเกจลักษณะเช่นเดียวกับข้อมูลทั่วไปและส่งผสมไปพร้อมกันในโครงข่ายปกติ เนื่องจากคุณลักษณะของการสื่อสารด้วยเสียงซึ่งมีลักษณะไวต่อค่าหน่วงเวลาและสามารถทนต่อความผิดพลาดหรือคุณภาพเสียงที่ลดลงได้บ้าง ในขณะที่ข้อมูลทั่วไป เช่น การโอนถ่ายไฟล์ข้อมูลกลับให้ความสำคัญของคุณภาพถูกต้องของข้อมูลและไม่มีผลกระทบมากนักจากการหน่วงเวลาของเครือข่ายในโครงข่ายอินเทอร์เน็ตข้อมูลทั้งหมดจะถูกพิจารณาว่าไม่มีความแตกต่างกันไม่ว่าจะเป็นข้อมูลลักษณะใด ขึ้นกับการแย่งเข้าใช้สื่อที่เกิดขึ้นและปริมาณของผู้ใช้งานในขณะนั้น เป็นต้น ทำให้ VoIP สามารถใช้งานได้ดีในระดับหนึ่งแต่บางช่วงเวลาที่ผู้ใช้ก็จะพบกับการกระตุกหรือการขาดช่วงของเสียงได้จากเหตุผลข้างต้น

การพัฒนาในเรื่องของคุณภาพของเสียงขึ้นมามีลำดับ รวมถึงการให้ความสนใจในเรื่องของการประกันคุณภาพของการสื่อสาร มีการจัดการด้าน QoS และการแยกประเภทการให้บริการของข้อมูลเพื่อจัดการกับข้อมูลที่ไวต่อการหน่วงเวลาเช่นเสียงมากขึ้น การใช้งานจึงเริ่มเป็นที่ยอมรับเนื่องจากคุณภาพที่รับได้ ในราคาที่ถูกลงกว่าการใช้โทรศัพท์โดยทั่วไป อย่างไรก็ตามก็ยังมีข้อจำกัดด้านพื้นที่ และจุดให้บริการที่ต้องอยู่กับที่ตามตำแหน่งของจุดเชื่อมต่อสวิตช์ของเครือข่าย เครือข่ายแลนไร้สายจะเป็นทางออกที่เต็มเต็มความต้องการการสื่อสารด้วยเสียงผ่านโครงข่ายข้อมูลที่รองรับการเคลื่อนที่ แต่เนื่องด้วยข้อจำกัดของเครือข่ายแลนไร้สายโดยเฉพาะเรื่องช่องสัญญาณและสัญญาณรบกวน การนำเทคโนโลยี VoIP มาใช้งานจึงต้องมีข้อคำนึง

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคุณภาพการให้บริการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ด้วยเทคนิคการลดช่วงเวลาของการแฮนด์ออฟให้น้อยกว่า 10 วินาที โดยทำการแยกช่วงเวลาการค้นหา (Scanning) ออกจากการแฮนด์ออฟ (Handoff) มีวิธีการดำเนินการโดยทำแก้ไขไดรฟ์เวอร์ของการ์ดไวเลสแลน[1,3,10] ส่วนงานวิจัยที่[2] ได้ทำการวิเคราะห์เวลาหน่วงของการเชื่อมต่อที่มีผลกระทบต่อการให้บริการ โดยพิจารณาเปรียบเทียบจากการวัดสัญญาณของการ์ด

ไพล์สแลนอี้อัฒ่ต่าง ๆ เปรียบเทียบกัน ในงานวิจัยที่[5] ได้ปรับปรุงเทคนิคการกลไกเข้าใช้สื่อ (Medium Access Control) เป็นผลให้ลดค่าความล่าช้าของข้อมูล (Packet Delay) และการสูญหายของข้อมูล (Packet Delay) ในระหว่างเกิดการแฮนด์ออฟ โดยการปรับปรุงที่เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่ายังไม่มืงานวิจัยใด ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของการปรับระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ ต่อการแฮนด์ออฟการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาผลกระทบของการปรับค่าระดับความแรงสัญญาณ (Signal Threshold Level) ของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ แล้วเคลื่อนที่ 2 แบบ คือ แบบเคลื่อนที่อย่างช้า ๆ และเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ซึ่งในขณะที่มีการเคลื่อนที่ที่ใช้โปรแกรม Softphone ที่ได้ลงทะเบียนเลขหมายโทรศัพท์บนเครื่องแม่ข่าย (VoIP Server) ทำการโทรไปยังเลขหมายของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่อีกเครื่อง ในระหว่างการสนทนาใช้โปรแกรมตรวจจับข้อมูล นำผลที่ได้มาสร้างกราฟด้วยโปรแกรม MATLAB แล้ววิเคราะห์ผลการกระจายข้อมูล (Cumulative Distribution Function) ที่มีแนวโน้มผลกระทบต่อการแฮนด์ออฟของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่สำหรับการใช้บริการเสียงผ่านเครือข่ายไอพี

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ถึงการกำหนดค่าระดับความแรงของสัญญาณ (Signal Threshold Level) ของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ สำหรับการให้บริการการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี (VoIP)

1.2.2 เพื่อศึกษาแนวทางปรับระดับความแรงสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ มีผลกระทบต่อเคลื่อนที่ (Mobility) ของการแฮนด์ออฟกับจุดเข้าถึง (Access Point)

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

การปรับระดับความแรงสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ (Signal Threshold Level) มีผลกระทบสำหรับการให้บริการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี (VoIP) ในการแฮนด์ออฟของจุดเข้าถึง

1.4 ขั้ตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ติดตั้งระบบเครื่องแม่ข่าย (VoIP Server) เพื่อรองรับการให้บริการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี (VoIP)

1.4.2 กำหนดระดับความแรงของสัญญาณที่ได้รับได้ (Signal Threshold Level) ของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่แล้วทำการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่ให้บริการของจุดเข้าถึง

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ศึกษาโครงสร้างและหลักการทำงานของการทำงานของการให้บริการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี (VoIP) ตามมาตรฐาน IEEE 802.11b/g

1.5.2 ติดตั้งระบบแม่ข่าย (VoIP Server) เพื่อรองรับการให้บริการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี (VoIP)

1.5.3 ศึกษาผลกระทบของการปรับระดับความแรงสัญญาณ (Signal Threshold Level) ของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ กรณีการแฮนด์ออฟ สำหรับการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี

1.5.4 สำหรับการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ จากพื้นที่ให้บริการของจุดเข้าถึง ตัวที่ 1 ไปยังพื้นที่ให้บริการของจุดเข้าถึงตัวที่ 2 เป็นการเคลื่อนที่ในแนวเส้นตรง

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน

- 1) สํารวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) ศึกษาหลักการทำงานของรวมถึงทฤษฎีการใช้งานสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี
- 3) กำหนดสถานที่ จำนวนวันใน 1 สัปดาห์ และระบุช่วงเวลาที่จะใช้ทำการเก็บข้อมูล
- 4) กำหนดเงื่อนไขของการเก็บข้อมูล เช่น การเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ การปรับระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ และจำนวนครั้งของการเก็บข้อมูลในแต่ละครั้ง
- 5) นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลหาค่าเวลาของการแฮนด์ออฟ คำนวณเวลาและค่าการสูญเสียข้อมูล

6) วิเคราะห์และสรุปผลจากการเก็บข้อมูลตามเงื่อนไขที่กำหนด

1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย

- 1) การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
- 2) เก็บข้อมูลจากการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี ตามเงื่อนไขที่กำหนด

3) นำข้อมูลที่ได้จากการใช้งานในระบบการใช้งานจริง มาสร้างกราฟด้วยโปรแกรม MATLAB

4) วิเคราะห์เปรียบเทียบผลการกระจายข้อมูล ตามเงื่อนไขที่กำหนด

1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย

ห้องปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย อาคารเครื่องมือ 4 ศูนย์คอมพิวเตอร์ อาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม 2 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ศูนย์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1) เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)
2) โปรแกรมเฉพาะทางวิศวกรรม เช่น โปรแกรมแมทแลบ (MATLAB)
3) โปรแกรมสำหรับการใช้งานสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี เช่น ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ โปรแกรมเสรี (Opensource) สำหรับทำเป็นระบบตู้สาขาโทรศัพท์อัตโนมัติ (IP-PBX) โปรแกรม (Softphone) ใช้โทรศัพท์ผ่านเครือข่ายไอพี

4) อุปกรณ์กระจายสัญญาณเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เช่น Switch , Access Point

5) เครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (Server Computer)

1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1) เก็บรวบรวมข้อมูลการแฮนด์ออฟของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ จากการสำรวจประสิทธิภาพและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2) เก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลการแฮนด์ออฟของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่จากระบบการใช้งานจริง ตามเงื่อนไขที่กำหนด

1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) สำรวจประสิทธิภาพและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์
2) ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับระบบการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี
3) ติดตั้งเซิร์ฟเวอร์ เพื่อรองรับการให้บริการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี
4) ใช้โปรแกรมตรวจจับข้อมูลเวลา (Sniffer) การสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี
5) นำข้อมูลเวลาที่ตรวจจับได้ มาสร้างกราฟการกระจายข้อมูล ด้วยโปรแกรม MATLAB

6) วิเคราะห์ผลเปรียบเทียบกราฟเวลาการกระจายข้อมูล (CDF และ PDF) ตามค่าระดับความแรงสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ ตามเงื่อนไขที่กำหนด

7) การปรับค่าระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ที่มีผลกระทบต่อการให้บริการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี ในกรณีมีการแฮงค์ออฟของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ได้ทราบถึงค่าระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ที่มีผลกระทบสำหรับการให้บริการของการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี

1.7.2 เพื่อทราบถึงแนวทางการปรับระดับความแรงสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ ซึ่งจะมีผลกระทบต่อการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพีขณะมีการแฮงค์ออฟ

1.8 รายละเอียดวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ประกอบด้วย 5 บท

บทที่ 1 เป็นบทนำ ประวัติความเป็นมาและเหตุจูงใจสำหรับงานวิจัยซึ่งประกอบด้วย ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย การสำรวจปริทัศน์วรรณกรรม วัตถุประสงค์ของการวิจัย สมมติฐานของงานวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตของงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และรายละเอียดของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงเทคโนโลยีการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี การให้บริการเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (WLANs) กระบวนการของการแฮงค์ออฟ ความหน่วงเวลาของการแฮงค์ออฟและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

บทที่ 3 เป็นขั้นตอนการบันทึกผลการทำการแฮงค์ออฟ โดยมีการกำหนดสถานที่จริงสำหรับการเก็บข้อมูล กำหนดวันและเวลาที่ใช้เก็บ รวมถึงการคัดกรองข้อมูลที่ได้เพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลต่อไป

บทที่ 4 การวิเคราะห์ผลการบันทึกผลการเวลาของการแฮงค์ออฟ ความหน่วงเวลาและการสูญเสียข้อมูลเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ เพื่อประเมินหาประสิทธิภาพของการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี

บทที่ 5 กล่าวถึงการสรุปผลของการวิจัย รวมถึงปัญหาที่เกิดขึ้น ข้อเสนอแนะแนวทางในการแก้ไข และแนวทางในการพัฒนาในอนาคต

บทที่ 2

เทคโนโลยีและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี

บทนี้จะกล่าวถึงหลักการทางานพื้นฐานของระบบเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN) คือการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไปให้เป็นระบบเครือข่ายโดยใช้คลื่นวิทยุเป็นสื่อในการส่งข้อมูลแทนที่จะใช้สายสัญญาณเป็นสื่อเหมือนระบบเครือข่ายแบบเดิม โดยการนำคลื่นวิทยุเป็นสื่อนี้มีข้อดีหลายประการเช่นสะดวกในการติดตั้งเครื่องเพราะไม่ต้องเสียเวลาต่อสายเพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายหรือปรับปรุงอุปกรณ์สำนักงานเนื่องจากสามารถเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ทันทีโดยไม่ต้องเสียเวลาในการร้อยและติดตั้งสายสัญญาณใหม่โดยนอกจากนี้ยังประหยัดค่าใช้จ่ายที่ต้องเสียไปในการซ่อมบำรุงและดูแลสายสัญญาณในระยะยาวอีกด้วยรวมถึงขั้นตอนในกระบวนการย้ายข้ามเซลล์แสดงให้เห็นถึงความล่าช้าที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนและงานวิจัยที่ทามาก่อนหน้านี้เพื่อที่จะลดปัญหาของการย้ายข้ามเซลล์ที่เกิดขึ้น

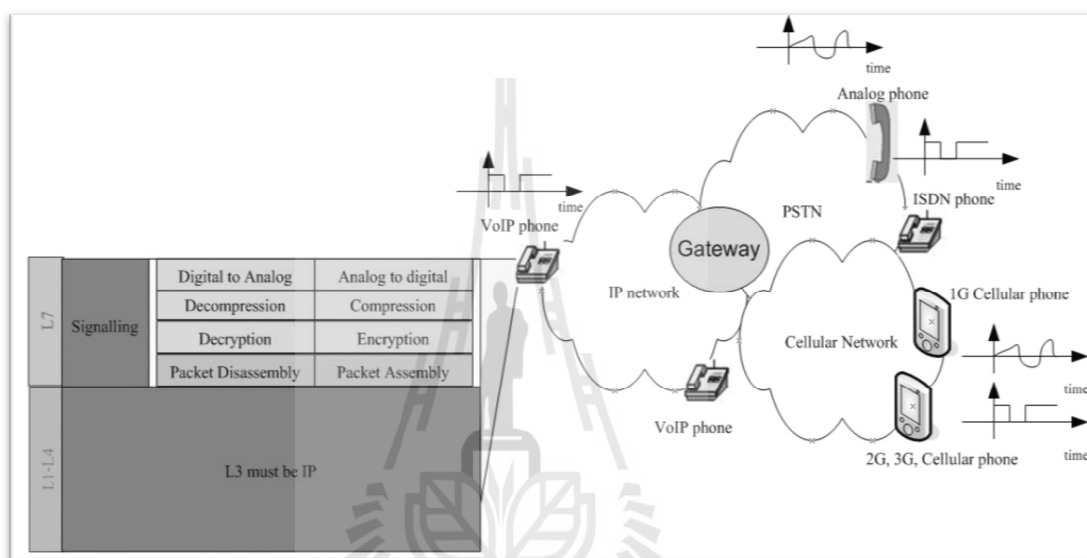
2.1 เทคโนโลยีการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี (VoIP)

VoIP หรือ Voice Over Internet Protocol นิยมเรียกสั้นๆ ว่า VoIP เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารรับส่งสัญญาณเสียงผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยจะต้องอาศัยอุปกรณ์ (Hardware) หรือโปรแกรมคอมพิวเตอร์ (Software) ทำงานร่วมกัน ซึ่งการทำงานของ VoIP นั้นจะมีการแปลงสัญญาณเสียงจากต้นทางให้อยู่ในรูปแพ็กเก็ต (Packet) ขนาดเล็กๆ และส่งไปยังปลายทาง โดยอาศัยโปรโตคอลที่เรียกว่า Internet Protocol ในการส่งผ่านสัญญาณเสียงให้ผู้รับได้ฟัง สัญญาณเสียงที่ส่งมาได้ VoIP เป็นเทคโนโลยีการสื่อสารด้วยเสียงผ่านระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยจะแปลงสัญญาณเสียงจากผู้ส่งที่เป็นสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัลผ่านอุปกรณ์เครือข่ายแล้วส่งต่อผ่านทางเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไปยังผู้รับ จากนั้นจะทำการแปลงสัญญาณกลับจากสัญญาณดิจิทัลให้เป็นสัญญาณอนาล็อกผ่านทางอุปกรณ์เครือข่าย

2.1.1 พื้นฐานการทำงานการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี

การสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี นั้นจะเป็นขบวนการแปลงสัญญาณเสียงเป็นสัญญาณดิจิทัลผ่านอุปกรณ์ทางเครือข่าย การสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพีเริ่มต้นที่สัญญาณเสียงจาก

ไมโครโฟนถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัล (Analog to Digital) ข้อมูลดิจิทัลที่ได้จะถูกบีบอัด (Compress) เพื่อให้อัตราส่งข้อมูลต่ำลง ซึ่งจากนั้นข้อมูลที่ถูกบีบอัดแล้วที่เป็นดิจิทัลจะถูกเข้ารหัส (Encryption) และข้อมูลที่ได้จากการเข้ารหัสจะถูกสร้างเป็นแพ็คเกจและถูกส่งเข้าไปในเครือข่าย ส่วนการรับข้อมูลเสียงจะมีขบวนการตรงกันข้ามกับการส่งคือข้อมูลที่ได้จากเครือข่ายนั้นจะถูกประกอบเป็นเฟรมข้อมูลดิจิทัลจากนั้นจะถูกทำการถอดรหัส (Decryption) และขยายข้อมูล (Decompression) เฟรมข้อมูลที่ได้จะส่งออกเป็นสัญญาณเสียงและออกทางลำโพง



รูปที่ 2.1 โครงสร้างการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี [27]

2.1.2 การสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพีทำงานได้อย่างไร

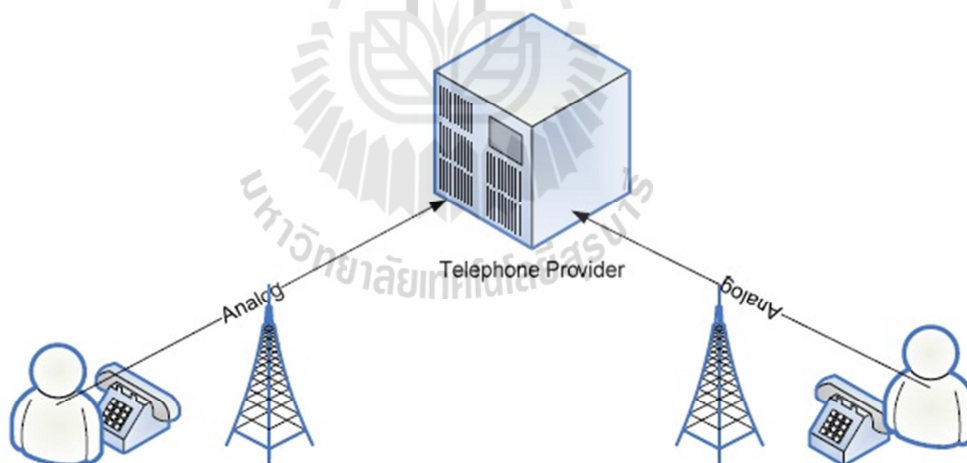
เทคโนโลยีการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี ซึ่งในการส่งผ่านสัญญาณเสียง โดยสัญญาณเสียงนั้นจะถูกแบ่งออกเป็นส่วนย่อยๆ หรือที่เรียกว่าแพ็คเกจ (Packet) โดยสัญญาณเสียงที่ส่งไปมักส่งแบบ UDP (User Datagram Protocol) มากกว่า TCP (Transmission Control Protocol) เนื่องจากการส่งข้อมูลแบบ UDP นั้นจะมีการส่งข้อมูลได้เร็วกว่าจึงเหมาะที่จะนำมาเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลเสียงบนเครือข่ายคอมพิวเตอร์ การส่งข้อมูลเสียงนั้นจะต้องอาศัยโปรโตคอลหลักที่ใช้ในการส่งสัญญาณระหว่างต้นทางและปลายทาง ซึ่งเป็นโปรโตคอล SIP (Session Initiation Protocol) จึงทำให้ต้นทางและปลายทางสามารถสื่อสารกันได้ โดยปกติ SIP Protocol จะมีการใช้พอร์ตสื่อสารแบบ UDP (User Datagram Protocol) ที่ 5060

Application	↔	Asterisk/Tribbox/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

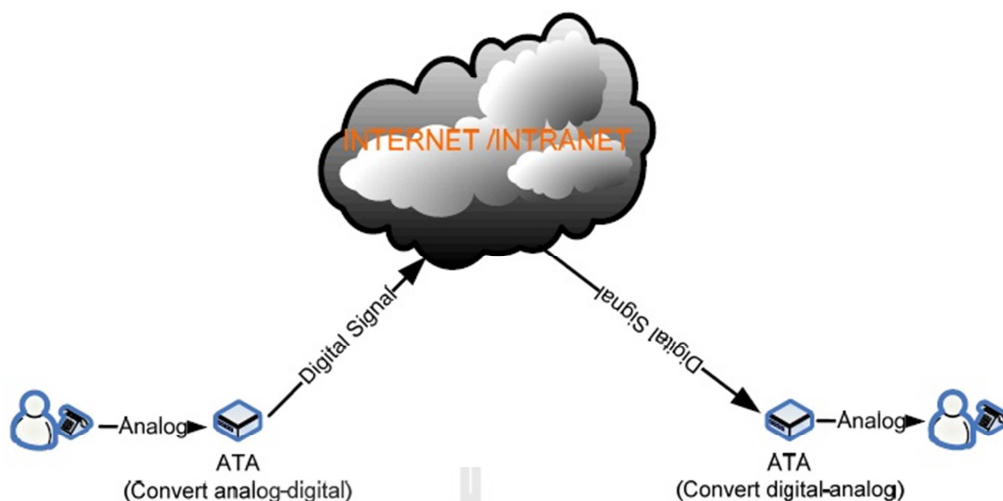
รูปที่ 2.2 การเปรียบเทียบ OSI Model กับการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี [27]

2.1.3 การแปลงสัญญาณเสียง

การสนทนาผ่านทางโทรศัพท์ เสียงที่พูดออกไปนั้นจะถูกส่งจากต้นทางไปยังปลายทางโดยจะอยู่ในรูปสัญญาณอนาล็อก (Analog)

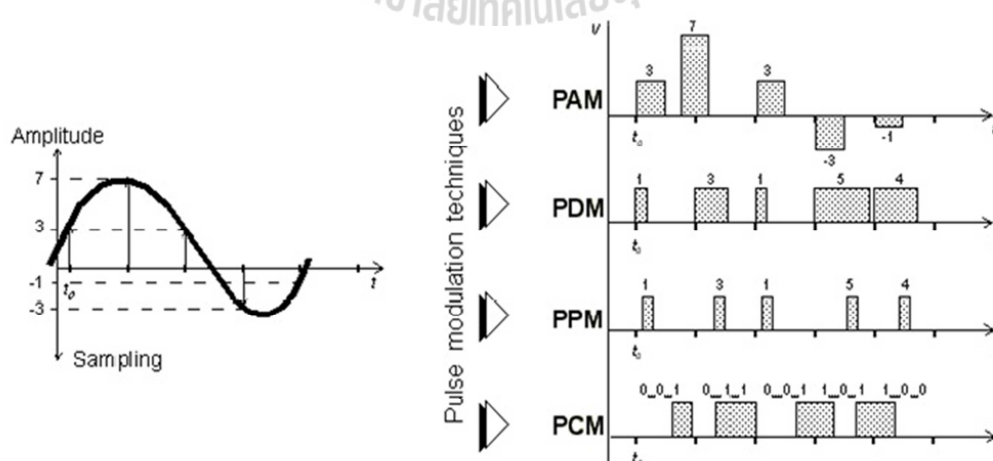


รูปที่ 2.3 การสนทนาผ่านคู่สายโทรศัพท์แบบปกติ [27]



รูปที่ 2.4 การสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี [27]

สำหรับการสื่อสารแบบดิจิทัลมีความจำเป็นต้องแปลงสัญญาณจากแหล่งที่มาของข้อมูล อนุาล็อกเป็นสัญญาณที่เข้ากันได้กับการประมวลผลดิจิทัลที่จะได้รับการแปลงนี้เรียกว่าการ จัดรูปแบบสัญญาณ จากข้อมูลที่เกิดจากแหล่ง ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า PCM (Pulse Code Modulation) ระบบการส่งเสียงผ่านเครือข่ายจะนำสัญญาณเสียงที่ผ่านกระบวนการดิจิทัล (Digital Signal Processing) โดยหนึ่งช่องเสียงเมื่อแปลงเป็นข้อมูลจะมีขนาด 64 กิโลบิตต่อวินาที และการ นำข้อมูลเสียงขนาด 64 กิโลบิตต่อวินาทีมาส่งผ่านเครือข่ายจะต้องนำมาบีบอัด



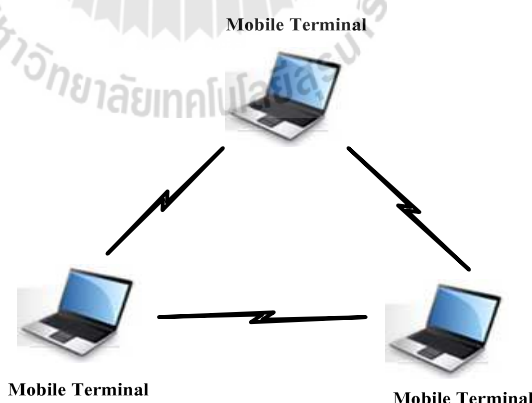
รูปที่ 2.5 ขั้นตอน PCM [27]

2.2 การให้บริการของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย

ดังที่ได้กล่าวไปข้างต้นระบบเครือข่ายไร้สายจะใช้คลื่นวิทยุเป็นสื่อในการส่งข้อมูล ตามปกติแล้ว การใช้คลื่นวิทยุความถี่ใดๆ ก็ตามจะต้องขออนุญาตเสียก่อน ซึ่งก่อให้เกิดความยุ่งยากในการใช้งาน โดยเฉพาะในหน่วยงานที่ต้องทดลองทางวิทยาศาสตร์ การศึกษาวิจัย และทางโรงงานอุตสาหกรรม จึงได้มีการกำหนดช่วงความถี่อิสระขึ้นซึ่งสามารถใช้งานได้โดยไม่จำเป็นต้องจดทะเบียน 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

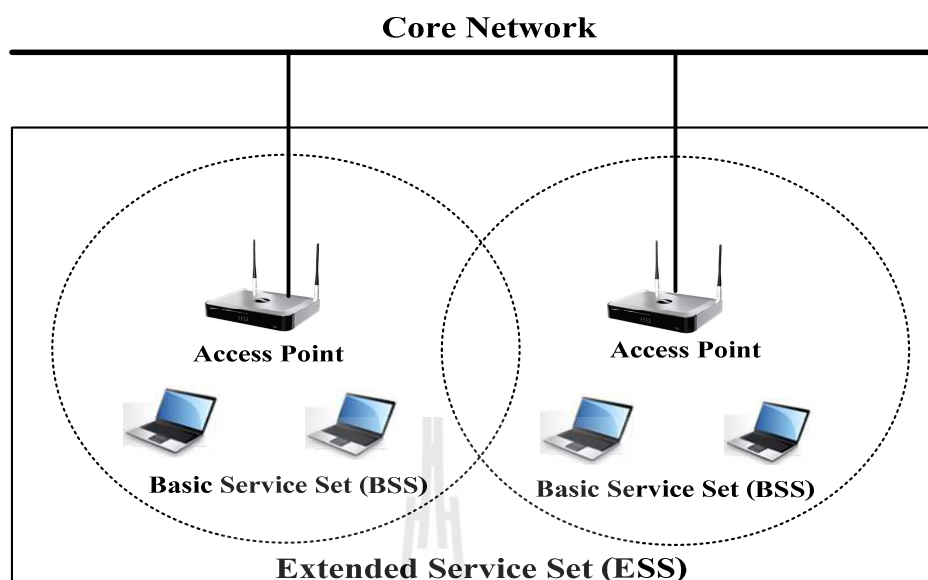
2.2.1 Basic Service Set (BSS) คือพื้นที่การให้บริการเครือข่ายไร้สายแบบพื้นฐานที่มีขอบเขตของพื้นที่ให้บริการ 1 พื้นที่ ที่ใช้ ช่องสัญญาณช่องหนึ่งเหมือนกันทั้งหมดสำหรับสื่อสารข้อมูลและอุปกรณ์สามารถแพร่กระจาย คลื่นถึงกันได้โดยสามารถแบ่งการเชื่อมโยงได้ 2 แบบคือ

2.2.1.1 Ad-Hoc เป็นการสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สายและอุปกรณ์ต่างๆตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไปโดยไม่มีศูนย์กลางการควบคุมอุปกรณ์ทุกเครื่องสามารถสื่อสารข้อมูลถึงกันเองได้โดยกระจายคลื่นออกไปทุกทิศทุกทางโดยไม่ทราบจุดหมายของปลายทางของตัวรับว่าอยู่ที่ใด ซึ่งตัวรับจะต้องอยู่ในพื้นที่การให้บริการที่คลื่นสามารถเดินทางมาถึง



รูปที่ 2.6 Ad-Hoc Mode

2.2.1.2 Infrastructure Mode เป็นการเชื่อมโยงที่มีข้อพิเศกว่าระบบแบบ Ad-Hoc ตรงที่มีจุดเข้าถึงเป็นศูนย์กลางการเชื่อมโยงและเป็นสะพานเชื่อมเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สายเข้าสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ต รวมถึงควบคุมการสื่อสารข้อมูลของอุปกรณ์เครือข่ายไร้สาย

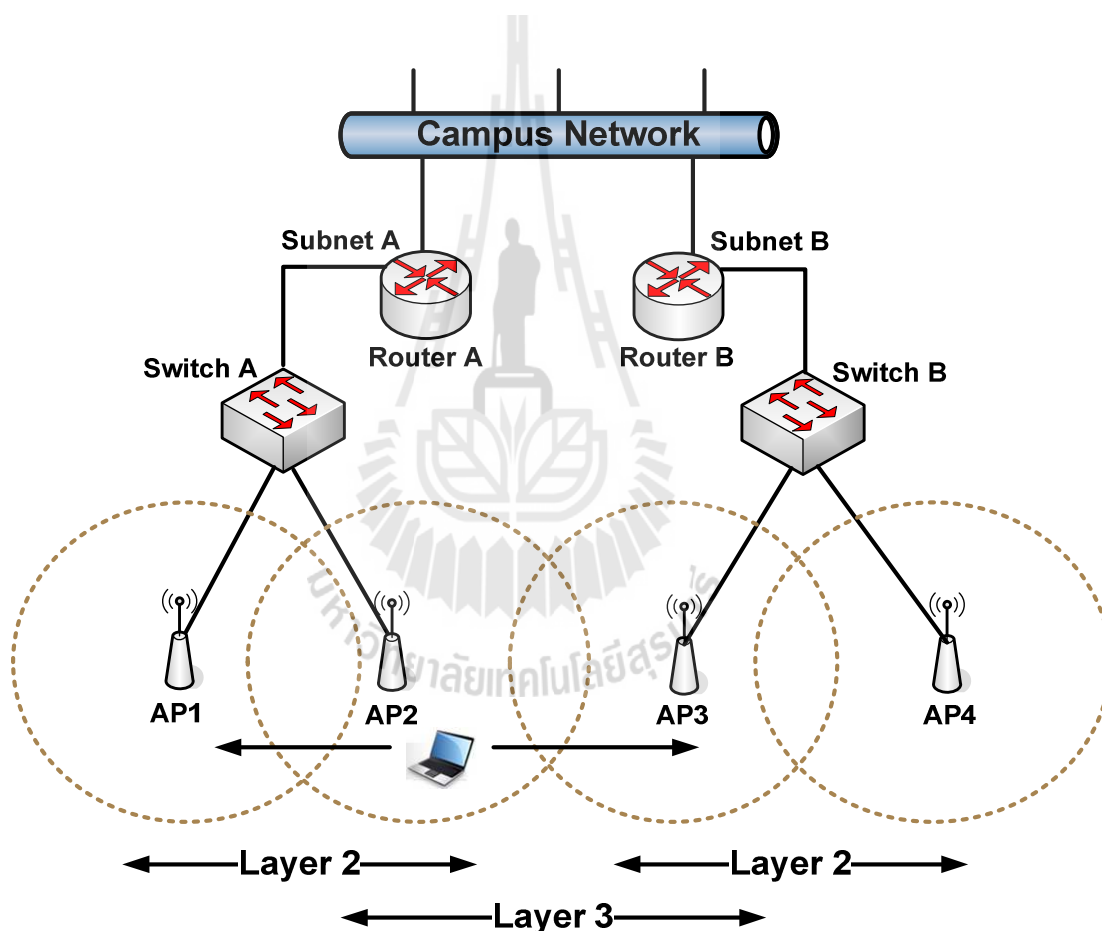


รูปที่ 2.7 Infrastructure Mode

2.2.2 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 ของเครือข่ายไร้สายแลนเป็นของตนเองโดยแต่ละ BSS ถูกเชื่อมโยงกันผ่านเครือข่ายอีเทอร์เน็ตแลน โดยผู้ใช้งานสามารถเคลื่อนย้ายการทำงานจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งภายใน BSS และเมื่อระดับของสัญญาณไร้สายแลนลดลงถึงระดับที่ต้องการส่งถ่ายการเชื่อมต่อ กับจุดเข้าถึงจะต้องทำหน้าที่ส่งถ่ายการเชื่อมต่อจากจุดเข้าถึงตัวหนึ่งไปยังจุดเข้าถึงตัวที่สองโดยการสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ไร้สายที่เคลื่อนย้ายกับเครือข่ายก็ยังดำเนินต่อไป

2.3 รูปแบบของการแฮนด์ออฟ

รูปแบบในการส่งถ่ายการเชื่อมต่อในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายสามารถแบ่งได้ 2 ชนิด ดังรูปที่ 2.8 จากรูปแสดงให้เห็นการแฮนด์ออฟใน Layer 2 และ Layer 3 โดยจากรูปถ้าเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่แล้วถ้าการแฮนด์ออฟ อยู่ภายใน Subnet เดียวกันหมายถึงเมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ทำการส่งถ่ายการเชื่อมต่อแล้วสามารถใช้ IP Address เดิมได้จะเป็นการแฮนด์ออฟ ใน Layer 2 แต่ถ้าเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่แล้วการแฮนด์ออฟต่างจาก Subnet เดิมที่เชื่อมต่ออยู่ หมายถึงเมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ทำการส่งถ่ายการเชื่อมต่อแล้วต้องขอ IP Address ใหม่จะเป็นการแฮนด์ออฟใน Layer 3



รูปที่ 2.8 รูปแบบการแฮนด์ออฟในระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย [27]

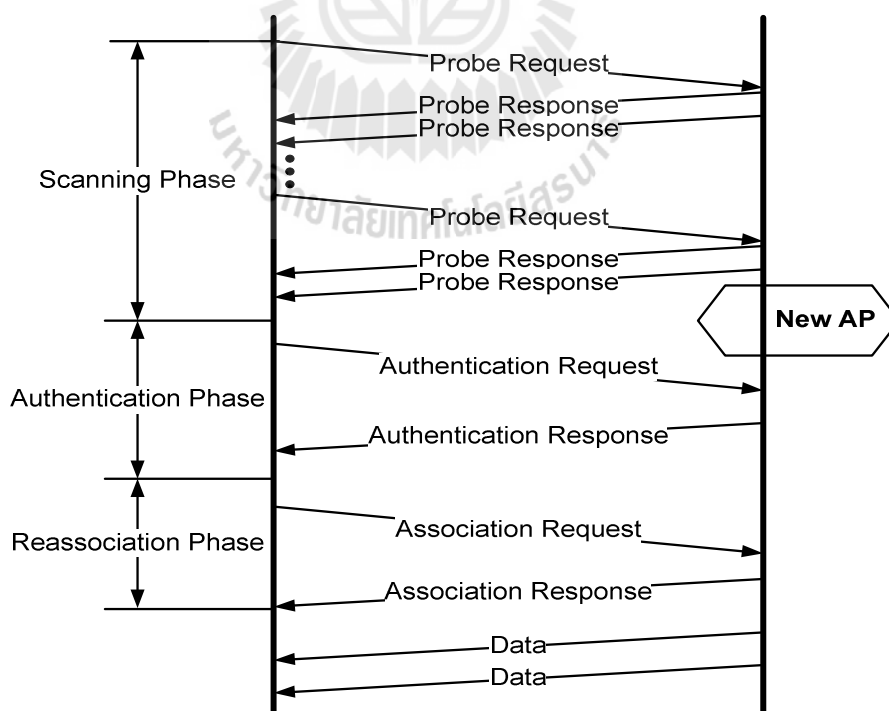
2.4 กระบวนการของการแฮนด์ออฟ (Handoff Process)

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

2.4.1 Scanning Phase เมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ต้องการที่จะทำการแฮนด์ออฟจะต้องใช้ข้อมูลเพื่อใช้ในการตัดสินใจ เพื่อที่จะหาจุดเข้าถึงที่ดีที่สุดในการส่งถ่ายการเชื่อมต่อทำได้ 2 วิธีการดังนี้

2.4.1.1 Passive Scan เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่จะรอฟังเฟรมบีคอน (Beacon) โดยเปลี่ยนไปทุกๆช่องสัญญาณเพื่อรับฟัง เฟรมบีคอนที่จุดเข้าถึงบริเวณใกล้เคียงส่งมาตามรอบเวลาประมาณ 10 มิลลิวินาที ต่อรอบ เป็นวิธีการที่ประหยัดพลังงานเพราะไม่ต้องใช้พลังงานในการส่งข้อมูล แต่จุดเข้าถึงที่อยู่รอบตัวต้องสามารถกระจายสัญญาณบีคอนได้ เฟรมบีคอนนี้ประกอบด้วยข้อมูลข่าวสารจำนวนหนึ่ง ดังนี้

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

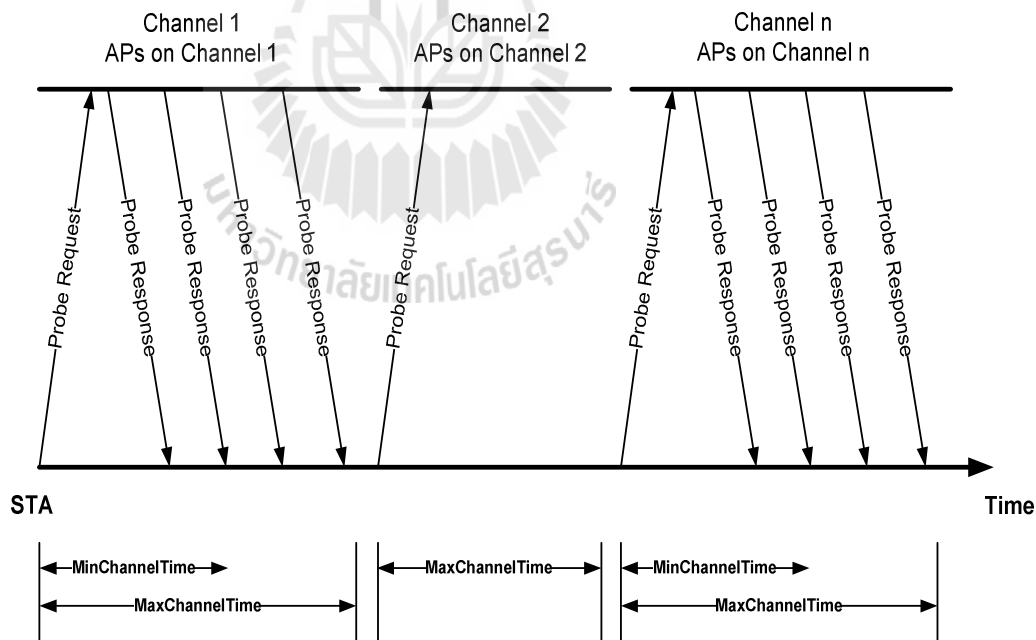


รูปที่ 2.9 ขั้นตอนกระบวนการแฮนด์ออฟ [27]

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 จุดเข้าถึงขณะที่เครื่องคอมพิวเตอร์ในเครือข่ายอยู่ในสถานะหลับอยู่จะเปิดส่วนที่เป็นเครื่องรับไว้และคอยฟัง Beacon และตรวจสอบค่า TIM ว่าเครื่องนี้มีแพ็กเกตอยู่ในรายการของจุดเข้าถึง หรือไม่ถ้าไม่มีจะหลับต่อ อัตราความเร็วที่จุดเข้าถึงให้การสนับสนุน เช่น 54 หรือ 11 Mbps

2.4.1.2 Active Scan เมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่จะทำการค้นหาจุดเข้าถึงที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียงเพื่อที่จะทำการแฮนด์ออฟจะทำการส่ง Probe Request เพื่อถามหาเครือข่ายที่เปิดใช้งานอยู่และรอรับ Probe Response เพื่อรับข้อมูลของเครือข่ายเช่นอัตราการส่งข้อมูลเพื่อเข้าขอใช้เครือข่ายจากจุดเข้าถึงตามรูปที่ 2.9 ดังนี้



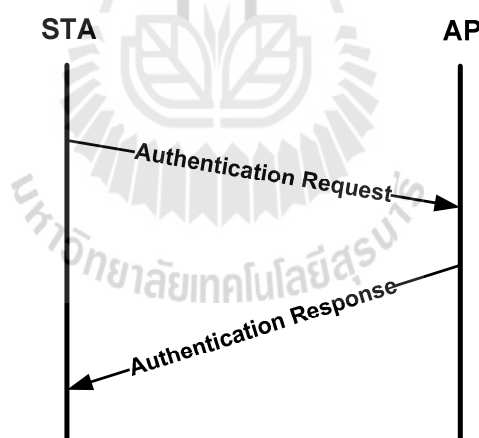
รูปที่ 2.10 ขั้นตอนกระบวนการ Active Scan [27]

โดยขั้นตอนการทำงานเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่จะส่ง Probe Request และรอ Probe Response จากจุดเข้าถึงที่อยู่บริเวณใกล้เคียงเป็นเวลา MinChannelTime ถ้าเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ที่ได้รับ Probe

Response ก็จะเปลี่ยนเวลาในการรอเป็นเวลา MaxChannelTime เมื่อครบเวลาที่จะส่ง Probe Request ไปยังช่องสัญญาณถัดไปแต่ถ้ารอเวลา MinChannelTime แล้วไม่ได้รับ Probe Response ก็ จะส่ง Probe Request ไปยังช่องสัญญาณถัดไปทำให้ Active Scan ใช้พลังงาน และเวลามากกว่า Passive Scan เพราะต้องสแกนหาช่องสัญญาณจนครบทั้งหมด 11 ช่องตาม มาตรฐาน 802.11

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

2.4.2.1 Open System Authentication การตรวจสอบเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ ในลักษณะนี้เป็นทางเลือกแบบ Default ที่กำหนดไว้ในมาตรฐาน IEEE 802.11 ในการตรวจสอบแบบนี้จะไม่ตรวจสอบรหัสลับจากผู้ใช้ ซึ่งอาจกล่าว ได้ว่าเป็นการอนุญาตให้ผู้ใช้ใดๆ ก็ได้สามารถเข้ามา รับส่งสัญญาณในเครือข่ายนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามในการตรวจสอบแบบนี้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นจุดเข้าถึงไม่จำเป็นต้องอนุญาตให้เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เข้ามาใช้เครือข่ายได้เสมอไปกลไกการตรวจสอบแบบ Open System Authentication มีขั้นตอนการทำงานตามรูปที่ 2.10 ดังนี้

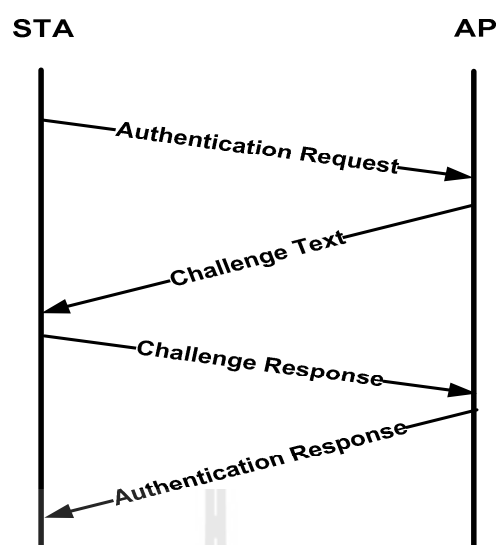


รูปที่ 2.11 ขั้นตอนการทำ Open System Authentication [27]

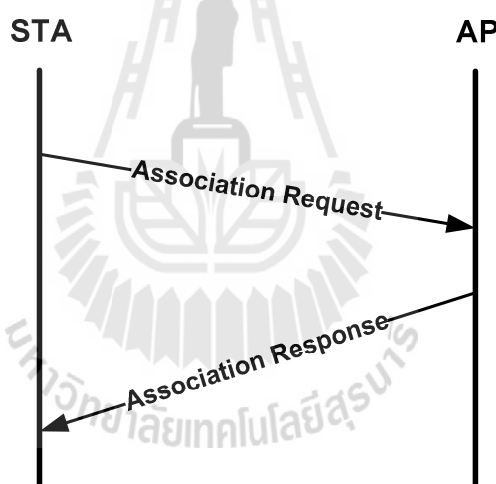
เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ที่ต้องการจะเข้าร่วมใช้เครือข่ายจะส่งข้อความซึ่งไม่ถูกเข้ารหัสเพื่อขอรับการตรวจสอบ (Authentication Request Frame) ไปยังอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นจุดเข้าถึง โดยใน 10 ข้อความดังกล่าวจะมีการแสดงความจำนงค์เพื่อรับการตรวจสอบแบบ Open System อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นจุดเข้าถึงได้ตอบด้วยข้อความที่แสดงถึงการตอบรับหรือปฏิเสธ Request ดังกล่าว

2.4.2.2 Shared Key Authentication การตรวจสอบผู้ใช้แบบ Shared Key Authentication จะอนุญาตให้เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ของผู้ใช้ซึ่งมีรหัสลับ ของเครือข่ายนี้เท่านั้นที่สามารถเข้ามารับส่งสัญญาณกับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นจุดเข้าถึงได้โดยมีการใช้การถามตอบที่ใช้กันทั่วไปผนวกกับการเข้ารหัสด้วย Wired Equivalency Privacy (WEP) เป็นกลไกสำหรับการตรวจสอบ (ดังนั้นการตรวจสอบแบบนี้จะทำให้ได้ก็ต่อเมื่อมีการ Enable การเข้ารหัสด้วย WEP) กลไกการตรวจสอบดังกล่าวมีขั้นตอนการทำงานตามรูปที่ 2.11 เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ของผู้ใช้ที่ต้องการจะเข้าร่วมใช้เครือข่ายจะส่งข้อความซึ่งไม่ถูกเข้ารหัสเพื่อขอรับการตรวจสอบ (Authentication Request Frame) ไปยังอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เป็นจุดเข้าถึง โดยในข้อความดังกล่าวจะมีการแสดงความจำนงค์รับการตรวจสอบแบบ 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 หลังจากถอดรหัสแล้วหากข้อความที่ตอบกลับตรงกับข้อความคำถาม (Challenge Text) ที่ส่งไป จุดเข้าถึงจะส่งข้อความที่แสดงถึงการอนุญาตให้เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ของผู้ใช้นี้เข้าใช้เครือข่ายได้ แต่หากข้อความที่ตอบกลับมาไม่ตรงกับข้อความคำถาม จุดเข้าถึงจะได้ตอบด้วยข้อความที่แสดงถึงการไม่อนุญาต

2.4.3 Association Phase Association เป็นกระบวนการที่ส่งต่อจากจุดเข้าถึงเก่าไปยังจุดเข้าถึงใหม่ที่เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ทำการ Authenticates ด้วยตามรูปที่ 2.11 คือโดยการส่ง Re-association Request ไปยังจุดเข้าถึงตัวใหม่ที่ผ่านมาการทำ Authenticates ในกระบวนการก่อนหน้านี้มาแล้วรอ Re-association Response จากจุดเข้าถึงตัวใหม่เป็นอันว่าการเชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงใหม่เรียบร้อยแล้วจะเป็นการย้ายข้อมูลจากจุดเข้าถึงปัจจุบันไปยังจุดเข้าถึงใหม่โดยโปรโตคอล IAPP (Inter Access Point Protocol)



รูปที่ 2.12 ขั้นตอนการทำ Shared Key Authentication [27]



รูปที่ 2.13 ขั้นตอนการ Association [27]

2.5 ความหน่วงเวลาของการแฮนด์ออฟ

ความหน่วงเวลาของการแฮนด์ออฟสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ขั้นตอนตามกระบวนการตามรูปที่ 2.8 จากข้างต้น ดังนี้

2.5.1 Probe Delay เป็นความหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นในช่วงทำการค้นหา (Scanning) เพื่อที่จะหาจุดเข้าถึงที่ดีที่สุดในการเชื่อมต่อสามารถแบ่งได้ 2 แบบดังนี้

2.5.1.1 Passive Scan Delay ความหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นตอนที่ค้นหา ในการทำงานแบบ Passive Scan ซึ่งความหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นนี้จะขึ้นอยู่กับ Beacon Interval ว่ากำหนดการส่งเฟรมบีคอนต่อรอบมีค่าเป็นเท่าใดและมีจำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดที่ต้องส่งเท่าใดสามารถคำนวณโดยใช้วิธี 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

2.5.1.2 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

2.5.2 Authentication Delay, Association Delay เป็นความหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นในช่วง Authentication, Association นั้นจะเกิดจากการส่งแพ็คเกจ Request และแพ็คเกจ Response สามารถหาได้จากค่า Log ไฟล์ของไดรเวอร์ของการ์ดไวร์เลส ซึ่งจะเก็บช่วงเวลาของการ Authentication Delay, Association Delay ดังตัวอย่างรูปที่ 2.14

1	Jan 7 10:48:02 nart kernel:	332.637 wan0: deauthenticating from 10:8c:cf:44:1d:e0 by local	choice (reason=3)		
2	Jan 7 10:48:02 nart kernel:	332.662255 wan0: direct probe to AP 00:3a:98:09:3a:70 (try 1)		332.680541	
3	Jan 7 10:48:02 nart kernel:	332.667469 wan0: direct probe responded		332.662255	
4	Jan 7 10:48:02 nart kernel:	332.667472 wan0: authenticate with AP 00:3a:98:09:3a:70 (try 1)			
5	Jan 7 10:48:02 nart kernel:	332.670222 wan0: authenticated		0.018286	ค่า HO Time ครั้งที่1
6	Jan 7 10:48:02 nart kernel:	332.670243 wan0: associate with AP 00:3a:98:09:3a:70 (try 1)			
7	Jan 7 10:48:02 nart kernel:	332.680538 wan0: 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 wan0: associated			
9	Jan 7 10:48:37 nart kernel:	368.460749 wan0: deauthenticating from 00:3a:98:09:3a:70 by local	choice (reason=3)		
10	Jan 7 10:48:37 nart kernel:	368.493357 wan0: direct probe to AP 1c:17:d3:ca:45:40 (try 1)		368.50625	
11	Jan 7 10:48:37 nart kernel:	368.496702 wan0: direct probe responded		368.493357	
12	Jan 7 10:48:37 nart kernel:	368.496711 wan0: authenticate with AP 1c:17:d3:ca:45:40 (try 1)			
13	Jan 7 10:48:37 nart kernel:	368.498638 wan0: authenticated		0.012893	ค่า HO Time ครั้งที่2
14	Jan 7 10:48:37 nart kernel:	368.498672 wan0: associate with AP 1c:17:d3:ca:45:40 (try 1)			
15	Jan 7 10:48:37 nart kernel:	368.506242 wan0: 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 wan0: associated			

รูปที่ 2.14 แพคเกจที่ได้จากการเก็บใน Log ไฟล์ของระบบ

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.1 Background Scan [1]

ทำงานโดยที่เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ส่งข้อความ Power Save Mode (PSM) ไปที่จุดเข้าถึงเพื่อเป็นการให้ทำการสำรองข้อมูลอยู่ในบัฟเฟอร์แล้วเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ทำการเปลี่ยนช่องสัญญาณเพื่อไปทำการตรวจสอบจุดเข้าถึงที่ใช้ช่องสัญญาณนั้นเพื่อหาข้อมูลเมื่อต้องการจะทำการแฮนด์ออฟ เมื่อได้ข้อมูลแล้วก็จะเปลี่ยนช่องสัญญาณกลับมาที่ช่องสัญญาณเดิมและทำการรับส่งข้อมูลกับจุดเข้าถึงเดิมทำแบบนี้ไปทีละช่องสัญญาณเพื่อเป็นการปรับปรุงข้อมูลให้พร้อมใช้งาน เมื่อถึงเวลาที่จะทำการแฮนด์ออฟก็นำข้อมูลนี้มาตัดสินใจว่าจะแฮนด์ออฟไปที่จุดเข้าถึงตัวไหนโดยที่ไม่ต้องค้นหา (Scanning) เพราะเป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานานที่สุด มีข้อเสียคือจะต้องเข้าไปปรับปรุงระบบการทำงานของไดรฟ์เวอร์ เพื่อที่จะทำให้สามารถใช้ PSM ได้อย่างไม่มีปัญหาในการกำหนดช่วงเวลาที่ต้องการบัฟเฟอร์ต้องสอดคล้องกับช่วงเวลาที่ย้ายช่องสัญญาณไปใช้ช่องสัญญาณอื่น

เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ทำให้ทราบขั้นตอนของการแฮนด์ออฟแต่ละขั้นตอนเป็นอย่างดี

2.6.2 Sync Scan [4]

เป็นการทำแฮนด์ออฟอย่างรวดเร็ว โดยลดความหน่วงเวลาดำวยวิธีให้เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่พยายามรับฟังสัญญาณบีกอน (Beacon) ที่จุดเข้าถึงส่งออกมาเช่นจุดเข้าถึงทำงานที่ช่องสัญญาณที่ 1 ส่งบีกอนที่เวลา t มิลลิวินาที และให้จุดเข้าถึงทำงานที่ช่องสัญญาณที่ 2 ส่งสัญญาณบีกอนที่เวลา $t+d$ มิลลิวินาที ดังนั้นถ้าเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่เชื่อมต่อกับจุดเข้าถึงที่ใช้ช่องสัญญาณที่ c จะสามารถฟังสัญญาณบีกอน ที่จุดเข้าถึงที่ทำงานที่ช่องสัญญาณที่ $c+1$ จะต้องใช้เวลาในการสลับช่องสัญญาณเป็นเวลา d มิลลิวินาที เพื่อที่จะรับฟังสัญญาณบีกอน ดังนั้นการกำหนดเวลาในการส่งสัญญาณบีกอนของจุดเข้าถึงนั้น จึงมีความสำคัญมากเพื่อที่จะทำให้เป็นไปตามที่คำนวณไว้เพื่อให้สามารถค้นขึ้นมาฟังสัญญาณบีกอนของช่องสัญญาณที่ต้องการได้ มีข้อเสียคือเป็นเรื่องยากที่จะทำให้การชิงโครโนสทางเวลาของการรับส่งสัญญาณบีกอน ระหว่างจุดเข้าถึงกับเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ซึ่งอาจจะทำให้เกิด Media Contention Delay, Propagation Delay

เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ทำให้ทราบเทคนิคการลดเวลาของการแฮนด์ออฟในแต่ละครั้ง ซึ่งในงานวิจัยที่สนใจทำก็หาวิธีการที่จะทำให้ค่าเวลาของการแฮนด์ออฟที่เหมาะสมที่สุด

2.6.3 Neighbor Graph [25]

ใช้การเก็บข้อมูลจากการ Association แต่ละครั้งโดยมีเครื่องแม่ข่ายรับข้อมูลนำไปสร้างเป็น NG-info โดยการ Association จะบอกข้อมูลว่าจากจุดเข้าถึงที่เชื่อมต่ออยู่นั้นจะสามารถเชื่อมต่อไปยังจุดเข้าถึงตัวใดได้บ้างและเมื่อเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ที่ต้องการที่จะทำการแฮนด์ออฟ

จะทำการร้องขอ NG-info จากเครื่องแม่ข่ายและนำข้อมูลที่อยู่ใน NG-info ซึ่งจะมีข้อมูลของช่องสัญญาณและจุดเข้าถึงที่อยู่ใกล้ตัวของจุดเข้าถึงที่เชื่อมต่ออยู่ ทำให้สามารถแฮนด์ออฟ โดยที่ไม่ต้องทำการ Scanning ทำให้ลดความหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นในช่วงนี้ได้ มีข้อเสียคือเรื่องที่ต้องมีค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องแม่ข่าย (NG Server) เพื่อทำการสร้าง Neighbor Graph และต้องดัดแปลงเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่ให้กับ NG-info จากเครื่องแม่ข่ายเพื่อเป็นข้อมูลที่ใช้ในการแฮนด์ออฟ

เกี่ยวข้องกับงานวิจัยทำให้รู้การเก็บบันทึกข้อมูลโดยใช้เครื่องแม่ข่ายในการเก็บบันทึกข้อมูลแต่ละช่วงว่าเก็บบันทึกอะไรบ้าง โดยจะได้มีแนวทางในการเก็บบันทึกข้อมูลที่เป็นสำหรับการแฮนด์ออฟในแต่ละครั้ง

2.6.4 Make-Before-Break [26]

ใช้การ์ดไวร์เลส 2 ตัวโดยใช้เป็นตัวหนึ่งเป็นการควบคุมและอีกตัวหนึ่งเป็นการรับข้อมูล โดยการ์ดควบคุมจะทำหน้าที่ตรวจสอบข้อมูลจุดเข้าถึงรอบตัวเช่น Channel , SNR , SSID เพื่อใช้ในการแฮนด์ออฟและการ์ดข้อมูลจะทำหน้าที่วัดคุณภาพของสัญญาณที่ใช้งานอยู่เมื่อน้อยลงจนต้องทำการแฮนด์ออฟก็จะให้การ์ดควบคุมเลือกจุดเข้าถึงที่ดีที่สุดที่จะเชื่อมต่อและทำการเปลี่ยนช่องสัญญาณ Authenticate , Associate กับจุดเข้าถึงที่ดีที่สุดและกำหนดค่าไอพีแอดเดรสและเปลี่ยนตารางการจัดการเส้นทาง เมื่อเรียบร้อยแล้วก็ให้การ์ดข้อมูลทำ Disassociate กับตัวที่เชื่อมต่ออยู่แล้วสลับการ์ดควบคุมและการ์ดข้อมูลเพื่อที่จะใช้งาน มีข้อเสียคือจะต้องมีการ์ดไวร์เลส 2 ตัวเพื่อใช้เป็นการควบคุมและการ์ดข้อมูลถึงจะสามารถทำงานได้

เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยเข้าใจหลักการทำงานของการ์ดไวร์เลสซึ่งในงานวิจัยได้นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลของไดรเวอร์ของการ์ดไวร์เลสเป็นไฟล์ Log ทำให้ทราบถึงขั้นตอนการบันทึกข้อมูลของไฟล์ระบบ

2.7 สรุปท้ายบท

ในบทนี้ได้กล่าวถึงเทคโนโลยีและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี และได้กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้ผู้ทำวิจัยมีความเข้าใจมากยิ่งขึ้น เมื่อรู้ทั้งเทคโนโลยีและทฤษฎีแล้วก็สามารถนำมาเปรียบเทียบกับความรู้กับงานวิจัยที่สนใจ ทำให้เห็นแนวทางการวิจัยมากขึ้น



บทที่ 3

การบันทึกผลการทำการแฮนด์ออฟ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการบันทึกผลการทำการแฮนด์ออฟ ซึ่งประกอบด้วยเครื่องมือ อุปกรณ์ที่ใช้การติดตั้งซอฟต์แวร์ รวมถึงอาครที่ใช้สำหรับการเก็บบันทึกผลข้อมูล การออกแบบ สถานการณ์การเก็บข้อมูลต่างๆ ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 เครื่องมือ อุปกรณ์และซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการเก็บบันทึกผลข้อมูล

3.1.1 เครื่องแม่ข่ายคอมพิวเตอร์ เพื่อใช้เป็น VoIP Server บนระบบปฏิบัติการ CentOS ซึ่งคุณสมบัติของเครื่องคอมพิวเตอร์มีดังนี้

3.1.1.1 ยี่ห้อ IBM ตระกูล x386

3.1.1.2 CPU : Intel Xeon 2.52GHz

3.1.1.3 หน่วยความจำหลัก (RAM) :

3.1.1.4 ฮาร์ดดิสก์ (HDD) : 720 GB

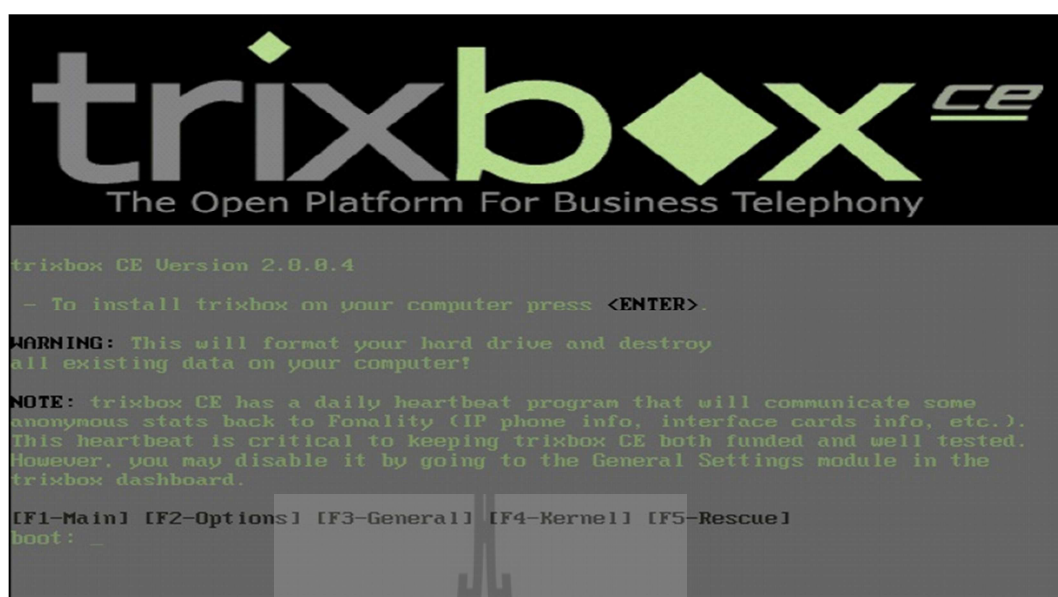
3.1.1.5 LAN Card : 100/1000 Mbps

3.1.2 ซอฟต์แวร์สำหรับติดตั้งเป็น VoIP Server ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

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

3.1.3 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่อง VoIP Server มีรายละเอียดดังนี้

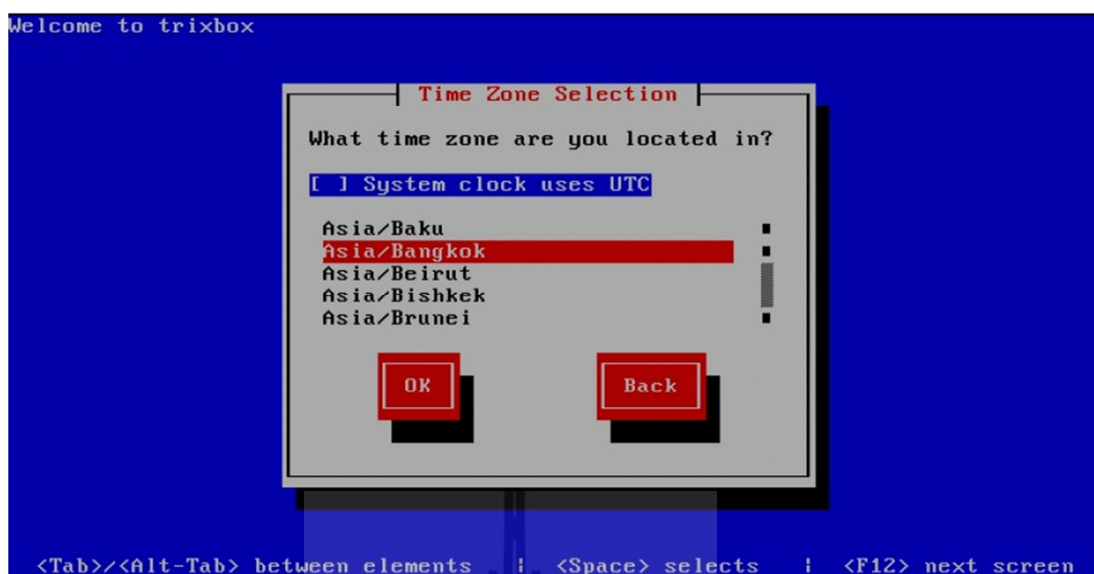
3.1.3.1 การติดตั้งโปรแกรม Trixbox โดยเริ่มต้นด้วยการบูทเครื่องคอมพิวเตอร์ จากแผ่น Trixbox ก็จะเหมือนกับการติดตั้งระบบปฏิบัติการลินุกซ์ทั่วไป ซึ่งรายละเอียดการติดตั้ง ดังนี้



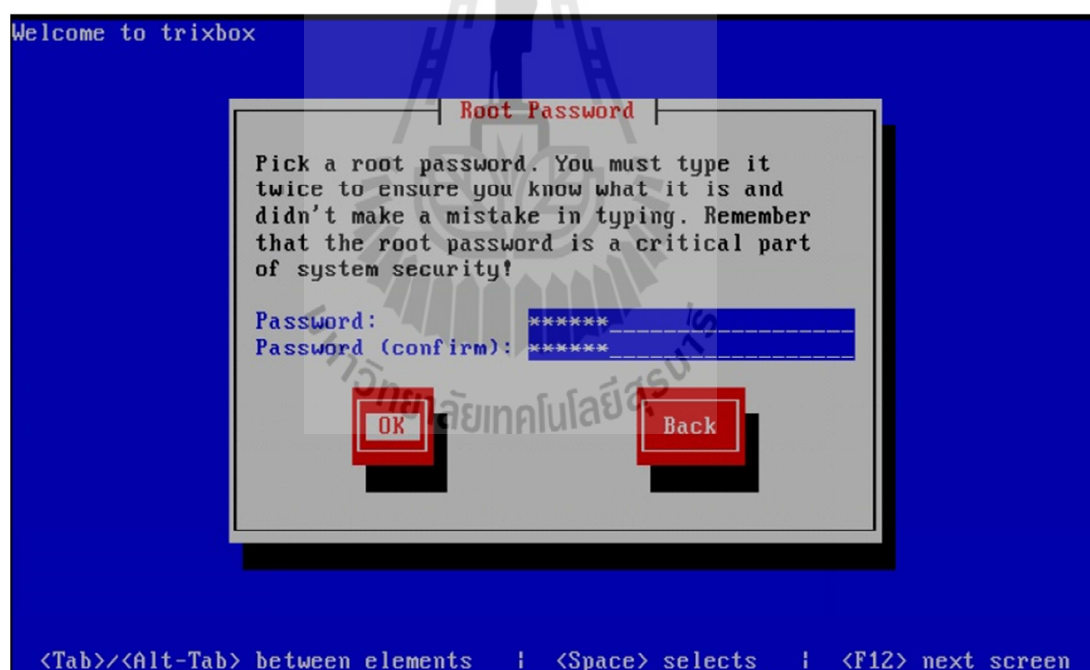
รูปที่ 3.1 หน้าจอแรกของการติดตั้ง Trixbox



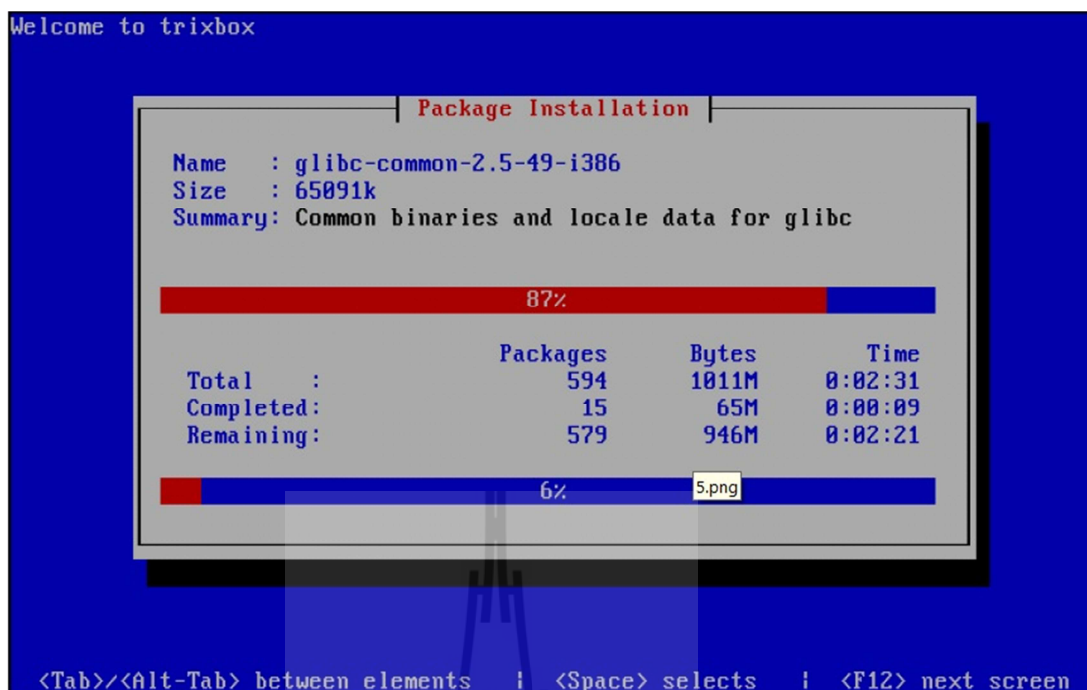
รูปที่ 3.2 การเลือก Keyboard Type = us



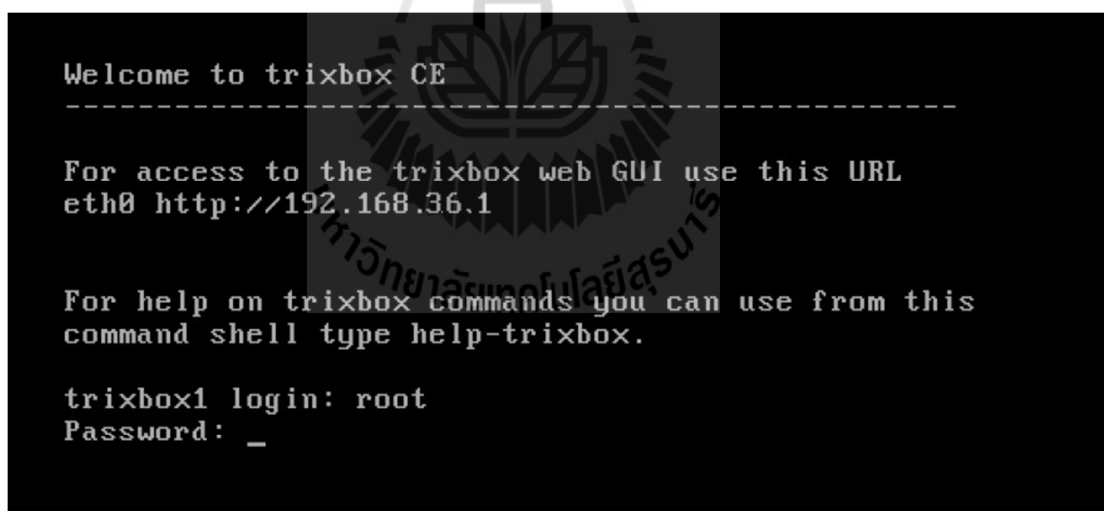
รูปที่ 3.3 การเลือก Time zone = Asia/Bangkok



รูปที่ 3.4 กำหนด Root Password สำหรับ Login เข้าสู่ระบบ

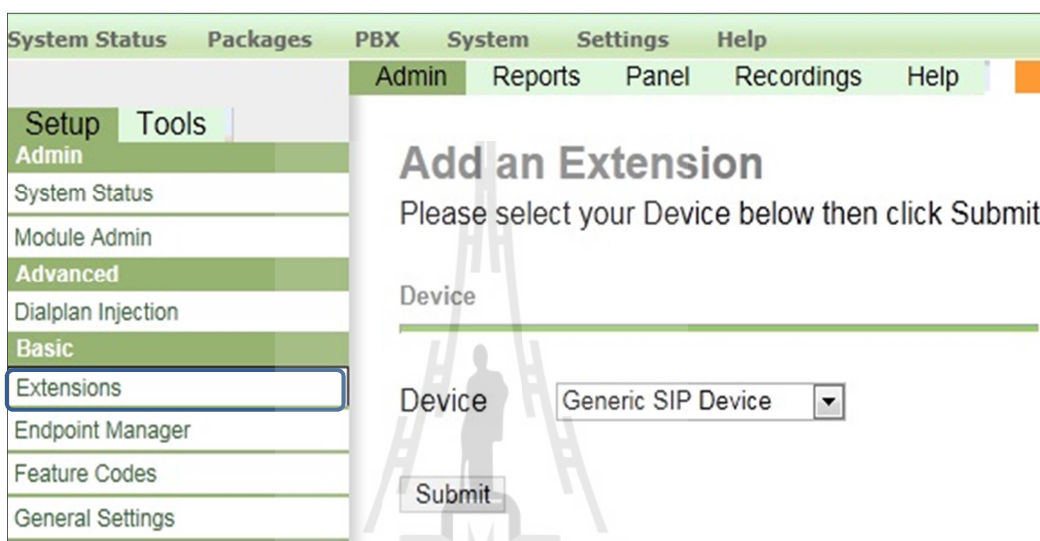


รูปที่ 3.5 การติดตั้งกลุ่มของโปรแกรมภายใน Trixbox



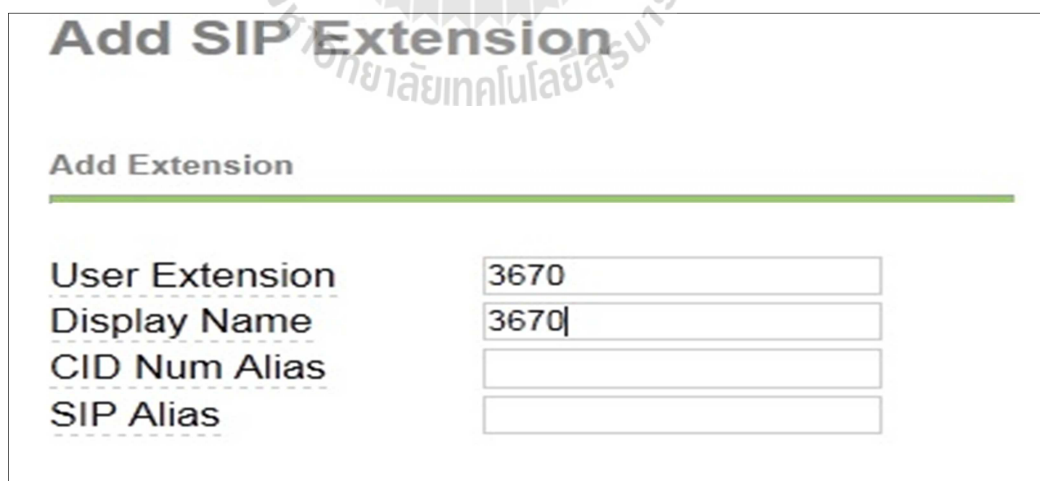
รูปที่ 3.6 หน้าจอ Login เข้าสู่ระบบเป็นหน้าจอสุดท้ายเมื่อติดตั้งสำเร็จ

3.1.4 การกำหนดค่าหมายเลขโทรศัพท์ (VoIP Account) โดยใช้เบราเซออร์ ระบุไอพีแอดเดรสของเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย (VoIP Server) ซึ่งมีค่าเป็น 192.168.36.1 แล้วทำการ Login เข้าสู่ระบบ เมื่อเข้าสู่ระบบแล้ว เข้ามาในเมนู Extensions แล้วสร้างหมายเลขโทรศัพท์และใส่รหัสผ่านตามรูปที่ 3.7 และ รูปที่ 3.8 เมื่อสร้างเสร็จก็กดปุ่ม Save เพื่อบันทึกผลเป็นอันเสร็จสำหรับการสร้างหมายเลขโทรศัพท์บนเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย



The screenshot shows the Asterisk PBX web interface. The top navigation bar includes 'System Status', 'Packages', 'PBX', 'System', 'Settings', and 'Help'. Below this, there's a sub-navigation bar with 'Admin', 'Reports', 'Panel', 'Recordings', and 'Help'. The left sidebar has a tree structure with 'Setup' and 'Tools' at the top, followed by 'Admin' (which is expanded to show 'System Status', 'Module Admin', 'Advanced', and 'Basic'). Under 'Basic', 'Extensions' is selected and highlighted. The main content area is titled 'Add an Extension' and contains the instruction 'Please select your Device below then click Submit'. There is a 'Device' label followed by a dropdown menu currently showing 'Generic SIP Device' and a 'Submit' button.

รูปที่ 3.7 หน้าจอแรกสำหรับการสร้างเลขหมายโทรศัพท์

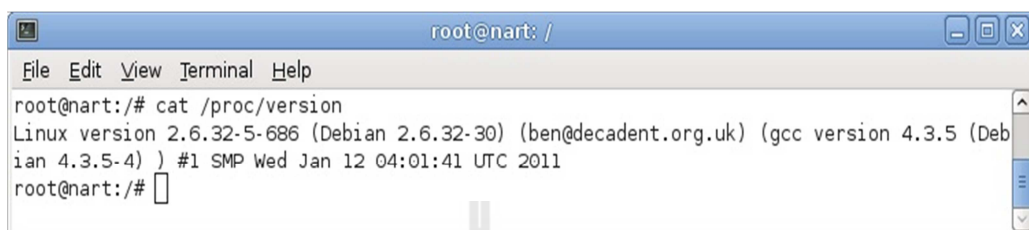


The screenshot shows the 'Add SIP Extension' form. The title 'Add SIP Extension' is at the top. Below it is a section header 'Add Extension'. The form contains four input fields: 'User Extension' with the value '3670', 'Display Name' with the value '3670', 'CID Num Alias' (empty), and 'SIP Alias' (empty).

รูปที่ 3.8 สร้างหมายเลขโทรศัพท์บนเครื่อง Server

3.1.5 การติดตั้งเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่

3.1.5.1 ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ Notebook ยี่ห้อ Lenovo รุ่น G360 ติดตั้งระบบปฏิบัติการลินุกซ์ตระกูล Debian รุ่น 6.0 เมื่อติดตั้งลินุกซ์เสร็จแล้วสามารถตรวจสอบรุ่นของลินุกซ์ได้โดยใช้คำสั่ง `cat /proc/version` ก็จะแสดงตามรูปที่



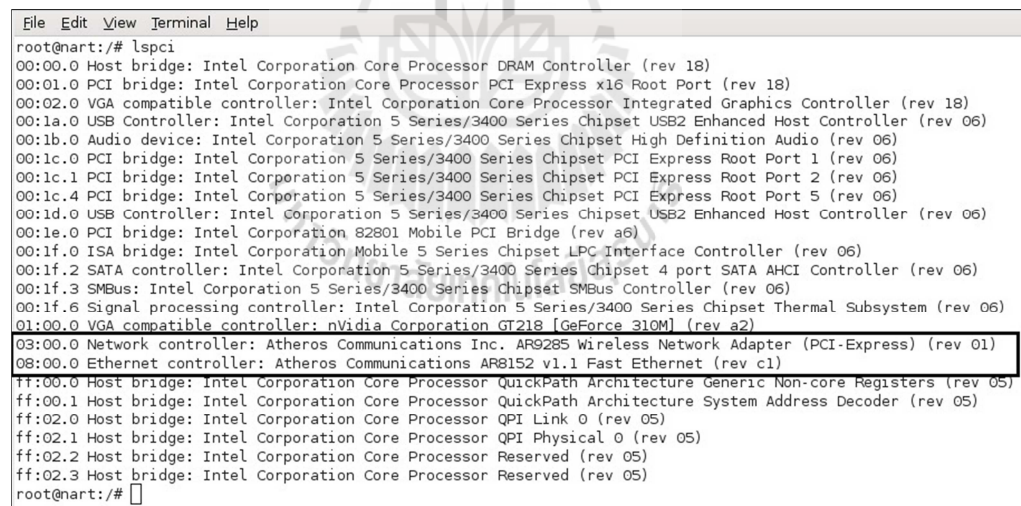
```

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

3.1.5.2 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:/#

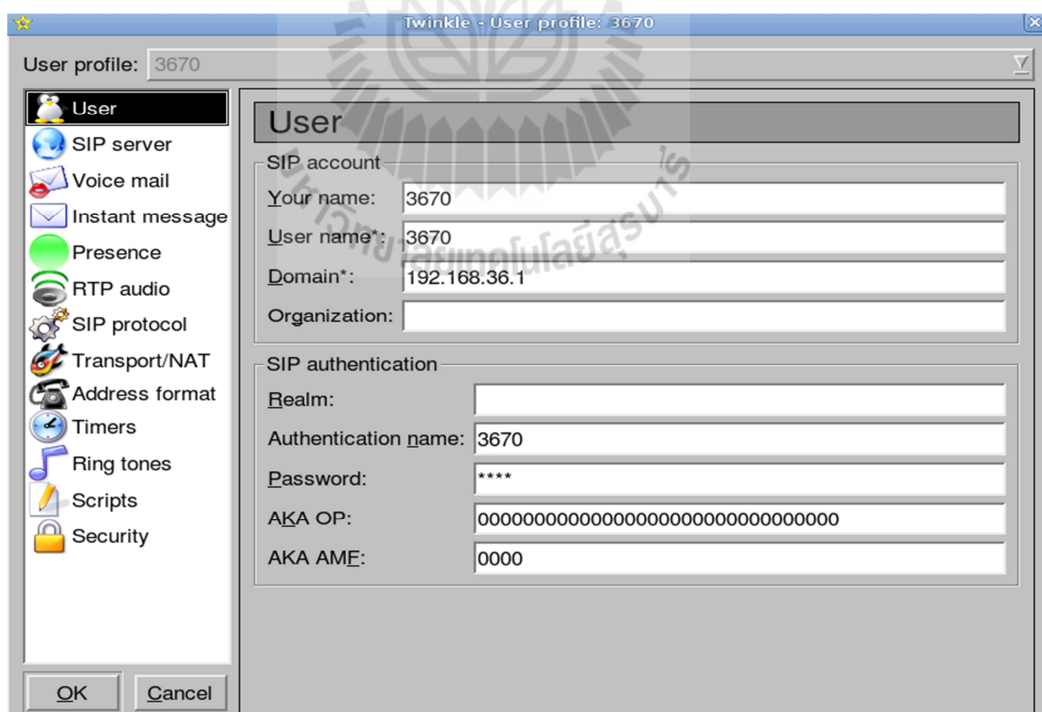
```

รูปที่ 3.10 การ์ดไวร์เลสแลนยี่ห้อ Atheros รุ่น AR9285

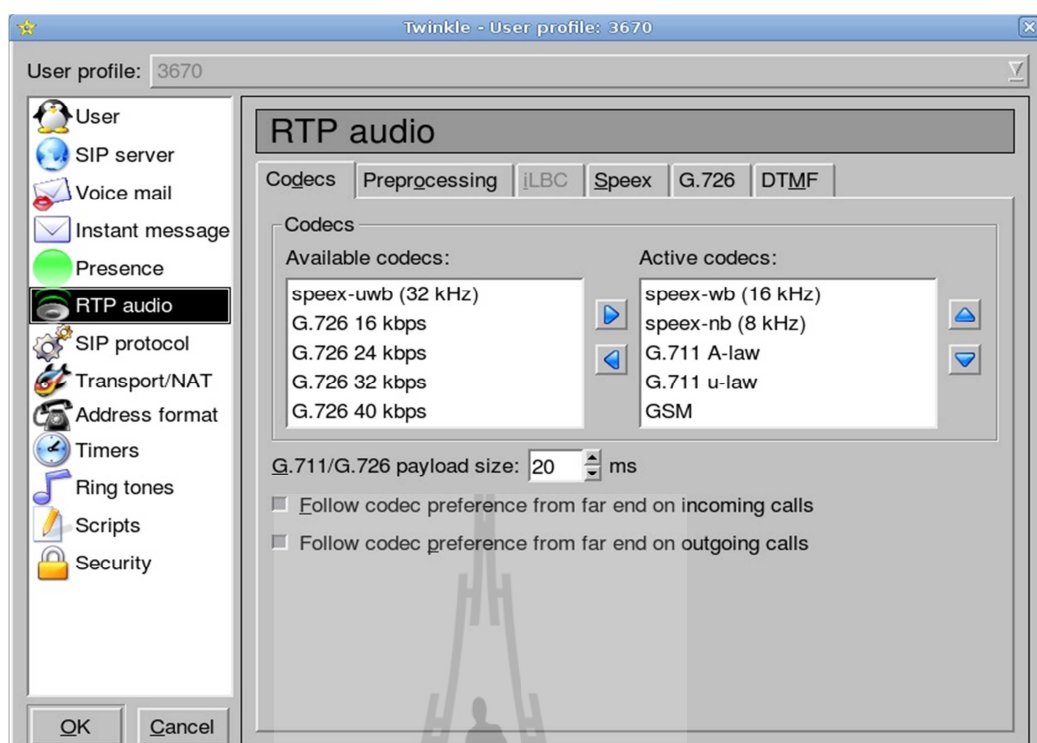
3.1.6 ติดตั้ง Softphone ยี่ห้อ Twinkle รุ่น 1.4.2 สำหรับระบบปฏิบัติการดีเบียน (Debian) พร้อมขั้นตอนการปรับแต่งค่าต่างๆ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

```
File Edit View Terminal Help
root@nart:~# apt-get install twinkle
Reading package lists... Done
Building dependency tree
Reading state information... Done
The following NEW packages will be installed:
  twinkle
0 upgraded, 1 newly installed, 0 to remove and 241 not upgraded.
Need to get 1,731 kB of archives.
After this operation, 4,772 kB of additional disk space will be used.
Get:1 http://ftp.debian.org/debian/ squeeze/main twinkle i386 1:1.4.2-2+b2 [1,731 kB]
Fetched 1,731 kB in 9s (183 kB/s)
Selecting previously deselected package twinkle.
(Reading database ... 73993 files and directories currently installed.)
Unpacking twinkle (from .../twinkle_1%3a1.4.2-2+b2_i386.deb) ...
Processing triggers for gnome-menus ...
Processing triggers for desktop-file-utils ...
Processing triggers for menu ...
Processing triggers for man-db ...
Setting up twinkle (1:1.4.2-2+b2) ...
Processing triggers for menu ...
root@nart:~#
```

รูปที่ 3.11 การติดตั้ง Twinkle Softphone



รูปที่ 3.12 การสร้างเลขหมายโทรศัพท์ในโปรแกรม Twinkle Softphone



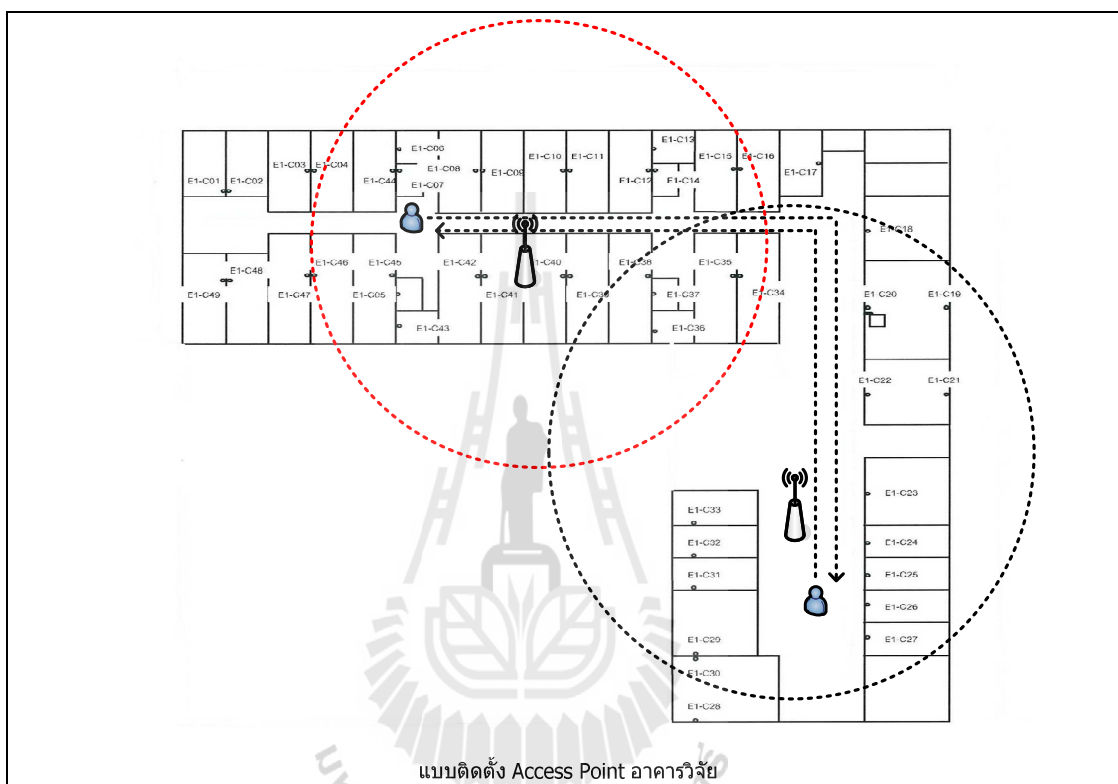
รูปที่ 3.13 การปรับค่าโปรแกรม Twinkle Softphone



3.2 กำหนดพื้นที่สำหรับการเก็บบันทึกข้อมูลของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม 2

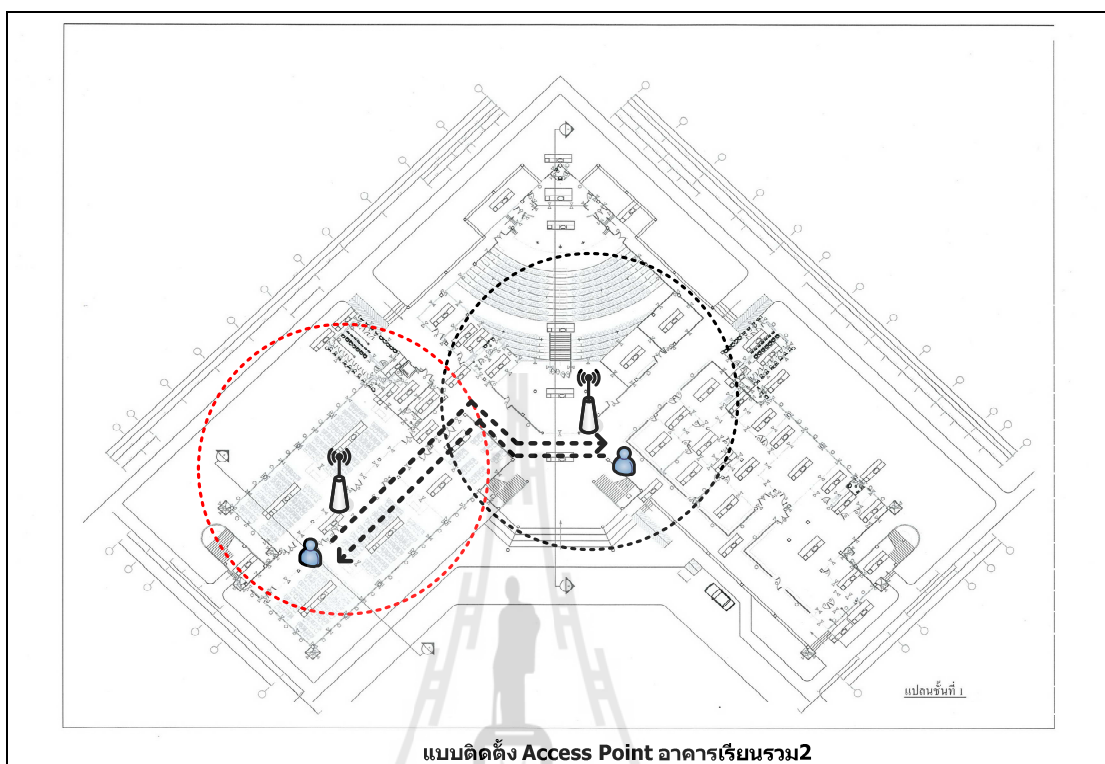
ในการวิจัยครั้งนี้ได้ทำการกำหนดสถานที่สำหรับเก็บบันทึกผลการวิจัย 2 อาคาร คือ อาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม 2 ซึ่งมีรูปแบบและรายละเอียดตามรูปที่ 3.14 และ 3.15

3.2.1 พื้นที่ให้บริการอาคารวิจัย



รูปที่ 3.14 แบบการเก็บข้อมูลของอาคารวิจัย

3.2.2 พื้นที่ให้บริการอาคารเรียนรวม2



รูปที่ 3.15 แบบการเก็บข้อมูลของอาคารเรียนรวม2

3.3 กำหนดเงื่อนไขสำหรับการเก็บบันทึกผลการเสด็จออกฟองอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2

3.3.1 การกำหนดการเคลื่อนที่ ได้พิจารณาถึงธรรมชาติของการเคลื่อนที่ของคนขณะใช้เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่สำหรับการสนทนา ซึ่งพิจารณาการเคลื่อนที่ 2 แบบ คือ

3.3.1.1 การเคลื่อนที่ช้า น้อยกว่า 1 เมตรต่อวินาที

3.3.1.2 การเคลื่อนที่เร็ว ประมาณ 2 เมตรต่อวินาที

3.3.2 การกำหนดระดับความแรงของสัญญาณ (Signal Level) เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ได้ทราบถึงโครงสร้างระบบการให้บริการเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายของมหาวิทยาลัยซึ่งมีอุปกรณ์ควบคุมการปล่อยระดับความแรงสัญญาณ ได้กำหนดระดับความแรงของสัญญาณของจุดเข้าถึงที่ระดับ -75 dBm ดังนั้น จึงได้กำหนดช่วงระดับความแรงของสัญญาณเป็น 4 ระดับ ซึ่งน้อยกว่าและมากกว่าระดับที่จุดเข้าถึงสามารถให้บริการได้

3.3.2.1 ระดับความแรงของสัญญาณ -65dBm

3.3.2.2 ระดับความแรงของสัญญาณ -70dBm

3.3.2.3 ระดับความแรงของสัญญาณ -75dBm

3.3.2.4 ระดับความแรงของสัญญาณ -80dBm

3.3.3 วันใน 1 สัปดาห์ ได้เลือกวันมา 3 วันใน 1 สัปดาห์ ซึ่งมีปัจจัยต่อการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี

3.3.3.1 วันจันทร์

3.3.3.2 วันพุธ

3.3.3.3 วันศุกร์

3.3.4 ช่วงของเวลา ได้กำหนดเป็น 3 ช่วงเวลา เพื่อแยกช่วงปริมาณการใช้งานในแต่ละวันมีปริมาณการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งเมื่อดูปริมาณกราฟฟิกของมหาวิทยาลัยที่ให้บริการอยู่

3.3.4.1 ช่วงเวลาที่ 1: 08.00น. ถึง 10.00น.

3.3.4.2 ช่วงเวลาที่ 1: 10.00น. ถึง 14.00น.

3.3.4.3 ช่วงเวลาที่ 1: 14.00น. ถึง 17.00น.

จากการพิจารณาการกำหนดเงื่อนไขเพื่อใช้สำหรับการบันทึกผลการวิจัยสามารถแยกตารางการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการหาค่าเฉลี่ยเวลาแฮนด์ออฟ การหาค่าเฉลี่ยกำหนดช่วงเวลาและการหาค่าสูญเสียข้อมูล 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 ตารางบันทึกข้อมูลค่าเฉลี่ยค่าน้ำเวลาแยกตามอาคาร

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

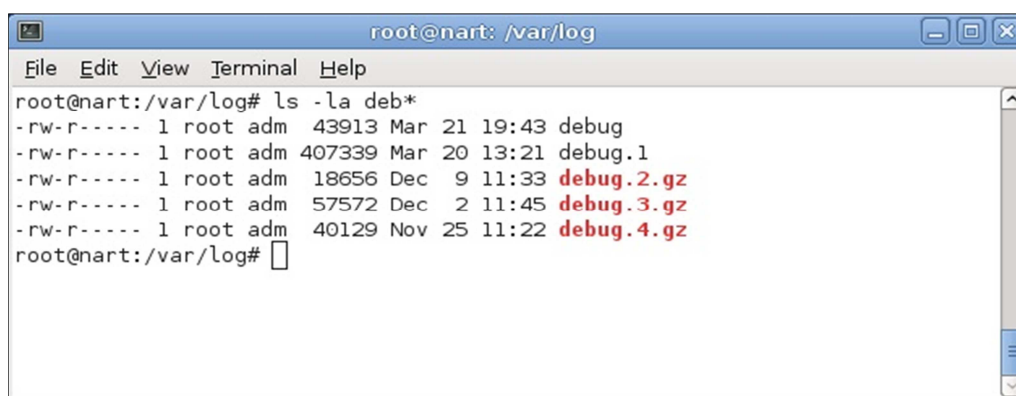
ตารางที่ 3.3 ตารางบันทึกข้อมูลค่าเฉลี่ยการสูญเสียข้อมูลแยกตามอาคาร

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				

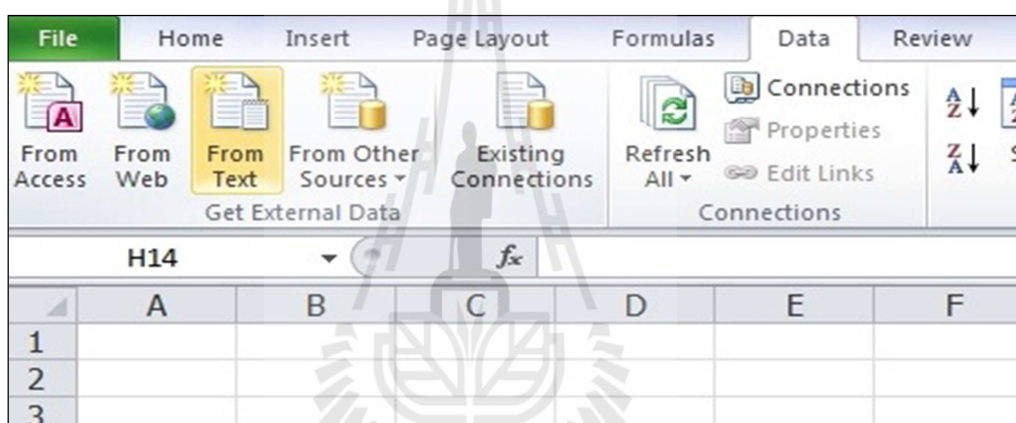
3.4 ขั้นตอนการคัดกรองข้อมูลการบันทึกผลจากการแฮนด์ออฟของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2

3.4.1 ขั้นตอนการคัดกรองข้อมูล (Packet Filtering) โดยใช้โปรแกรม WireShark ซึ่งจะคัดกรองข้อมูล 2 ข้อมูล คือ ความล่าช้าของข้อมูลและการสูญเสียข้อมูล

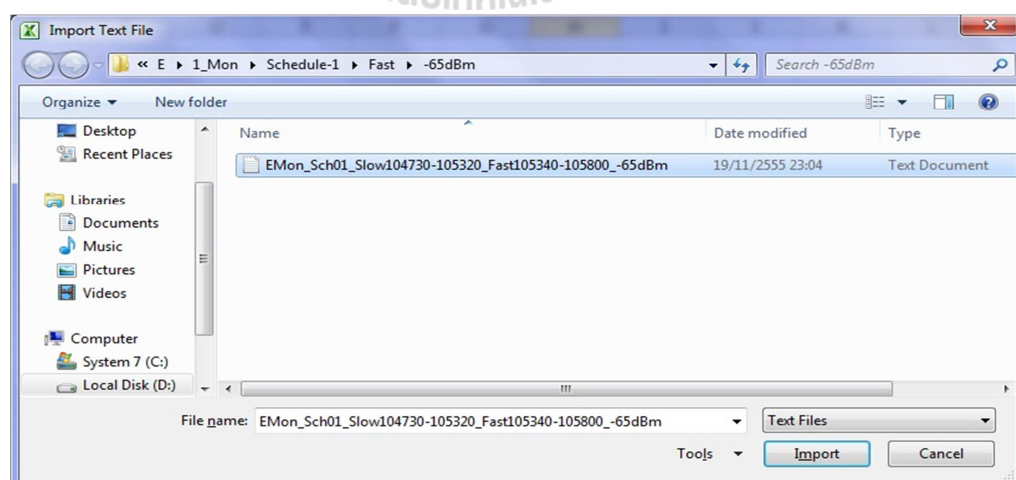
3.4.2 ขั้นตอนการหาค่าเวลาแฮนด์ออฟ โดยพิจารณาจากค่า Log ของไดรเวอร์การ์ดไวเลสแลน ซึ่งมีไฟล์ชื่อ debug



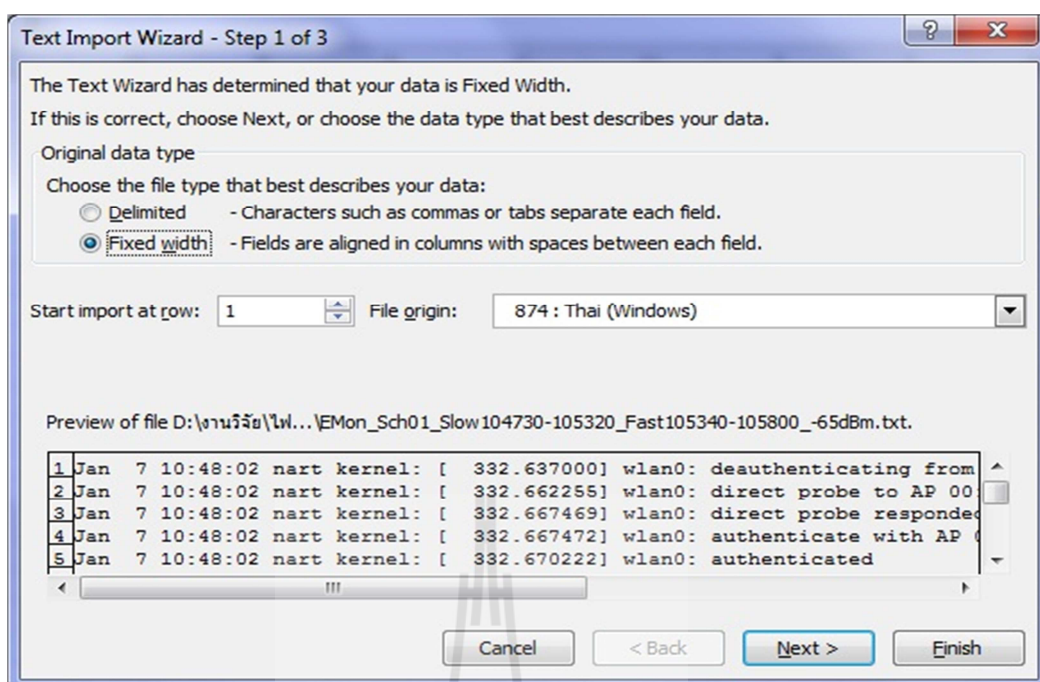
รูปที่ 3.16 การตรวจสอบไฟล์ debug ในไดเรกทอรี /var/log/



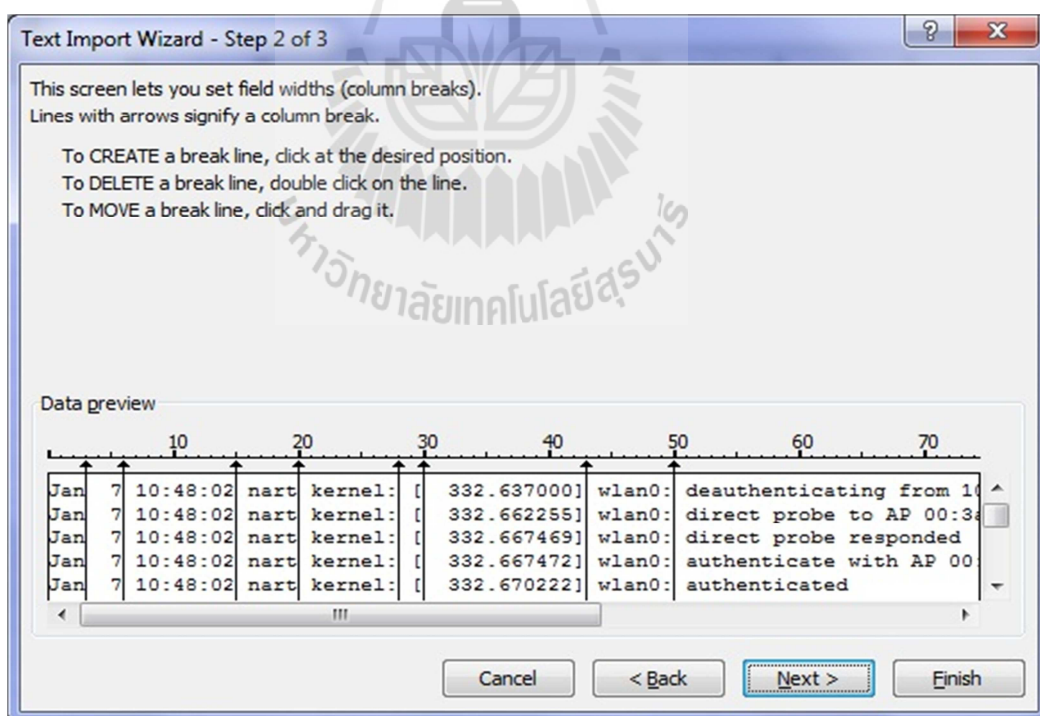
รูปที่ 3.17 การ Import log file ชื่อ debug เข้าสู่โปรแกรมคัดกรองข้อมูล



รูปที่ 3.18 การเลือกไฟล์ debug



รูปที่ 3.19 การ Import ไฟล์เข้าสู่ Work Sheet



รูปที่ 3.20 การแยกคอลัมน์ของไฟล์ Debug

3.5 สรุปท้ายบท

ในบทนี้ได้กล่าวถึงการเก็บบันทึกข้อมูล การกำหนดพื้นที่ที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูลการกำหนดเงื่อนไขต่างๆ และการคัดกรองข้อมูลเพื่อนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบข้อมูลทั้งหมด จากการเก็บบันทึกข้อมูลทั้ง 2 อาคาร ข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลดิบ ซึ่งมีกลุ่มข้อมูล 2 ส่วน คือ ส่วนที่ใช้สำหรับการหาเวลาแฮนด์ออฟ และส่วนที่เป็นการหาคำนวณเวลากับค่าการสูญเสียข้อมูล



บทที่ 4

วิเคราะห์ผลการบันทึกการทำการแฮนด์ออฟ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลตามสถานการณ์ต่างๆ ของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2 โดยดูผลกระทบของ 3 ปัจจัยหลัก คือ การหาค่าเวลาแฮนด์ออฟ การหาค่าหน่วยเวลา และการหาค่าการสูญเสียข้อมูล และสามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 กรณีที่ 1 วิเคราะห์ผลการเก็บบันทึกข้อมูลอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2

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 จะเป็นตารางกำหนดช่วงเวลา (Delay Time) มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที (ms) และตารางที่ 4.3 ค่าตารางของการสูญเสียข้อมูลในระหว่างการสนทนา โดยทุกค่าเป็นค่าเฉลี่ยทำการบันทึกค่าจำนวน 10 ค่า แล้วหาค่าเฉลี่ยออกมา

ตารางที่ 4.1 ตารางบันทึกข้อมูลเวลาแฮนด์ออฟ ของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2

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
	อาคารเรียนรวม2 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

4.2 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 ทุกช่วงเวลา	Slow	0.014880	0.014699	0.017979	0.015409
			Fast	0.013890	0.014857	0.014110	0.014111
		อาคารเรียนรวม2 ทุกช่วงเวลา	Slow	0.016551	0.016843	0.015901	0.016388
			Fast	0.015843	0.015802	0.015524	0.015698
	วันพุธ	อาคารวิจัย ทุกช่วงเวลา	Slow	0.029169	0.024451	0.028344	0.028055
			Fast	0.024502	0.015920	0.019029	0.016263
		อาคารเรียนรวม2 ทุกช่วงเวลา	Slow	0.019006	0.018518	0.031107	0.023106
			Fast	0.018276	0.017552	0.018775	0.016099
	วันศุกร์	อาคารวิจัย ทุกช่วงเวลา	Slow	0.016625	0.023695	0.017637	0.015588
			Fast	0.016316	0.023051	0.015977	0.014806
		อาคารเรียนรวม2 ทุกช่วงเวลา	Slow	0.016745	0.023765	0.016841	0.030813
			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 ทุกช่วงเวลา	Slow	0.012234	0.014699	0.017979	0.015409
			Fast	0.012364	0.012069	0.013988	0.012463
		อาคารเรียนรวม2 ทุกช่วงเวลา	Slow	0.010405	0.010647	0.011091	0.010176
			Fast	0.011236	0.012387	0.014442	0.013541
	วันพุธ	อาคารวิจัย ทุกช่วงเวลา	Slow	0.012688	0.013545	0.012736	0.011773
			Fast	0.013124	0.012261	0.013410	0.012463
		อาคารเรียนรวม2 ทุกช่วงเวลา	Slow	0.010941	0.011478	0.010736	0.011033
			Fast	0.011119	0.011998	0.010962	0.012487
	วันศุกร์	อาคารวิจัย ทุกช่วงเวลา	Slow	0.011233	0.010853	0.011272	0.010904
			Fast	0.011948	0.013305	0.011588	0.011553
		อาคารเรียนรวม2 ทุกช่วงเวลา	Slow	0.010442	0.011333	0.010469	0.010961
			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 ทุกช่วงเวลา	Slow	2.26	2.37	2.82	3.68
			Fast	3.34	3.04	3.01	4.08
		อาคารเรียนรวม2 ทุกช่วงเวลา	Slow	1.77	2.71	2.32	1.65
			Fast	2.99	2.60	1.91	2.06
	วันพุธ	อาคารวิจัย ทุกช่วงเวลา	Slow	2.44	2.63	2.53	2.07
			Fast	2.58	2.15	2.08	3.09
		อาคารเรียนรวม2 ทุกช่วงเวลา	Slow	2.30	2.37	2.42	2.45
			Fast	2.42	2.65	2.70	2.57
	วันศุกร์	อาคารวิจัย ทุกช่วงเวลา	Slow	1.95	2.31	2.85	2.82
			Fast	2.38	2.49	3.28	1.86
		อาคารเรียนรวม2 ทุกช่วงเวลา	Slow	1.69	2.33	1.49	1.67
			Fast	1.82	2.35	1.84	2.11

4.3 กรณีที่ 3 การวิเคราะห์ผลการเก็บบันทึกข้อมูลพิจารณาตามช่วงเวลาที่กำหนด

ในกรณีที่ 3 ทำการเก็บข้อมูลโดยพิจารณาเป็น 3 ช่วงเวลาใน 1 วัน คือ ช่วงที่ 1 เวลา 08.00น ถึง 10.00น. , 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) ปรับค่าระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เป็น 4 ระดับ คือ -65dBm , -70dBm , -75dBm และ -80dBm การวัดค่าของแต่ละช่วงซึ่งจะได้ตามตารางที่ 4.7 , 4.8 และ 4.9 โดยทุกค่าเป็นค่าเฉลี่ยทำการบันทึกค่าจำนวน 10 ค่า แล้วหาค่าเฉลี่ยออกมา

ตารางที่ 4.7 ตารางบันทึกข้อมูลค่าแชนด์ออฟ ช่วงเวลาที่ 1 ช่วงเวลาที่ 2 และช่วงเวลาที่ 3

เงื่อนไข	ช่วงเวลา	อาคาร+วัน	Speed	ค่าเฉลี่ยเวลาแชนด์ออฟ (s)			
				-65dBm	-70dBm	-75dBm	-80dBm
3. ช่วงเวลา	ช่วงเวลาที่1 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
		อาคารเรียนรวม2 (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	0.017101	0.024060	0.023339	0.037334
			Fast	0.016054	0.022314	0.015421	0.026365
	ช่วงเวลาที่2 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
		อาคารเรียนรวม2 (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	0.016873	0.017459	0.024227	0.016590
			Fast	0.016810	0.016405	0.018814	0.016235
	ช่วงเวลาที่3 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
		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	ช่วงเวลาที่1 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
	ช่วงเวลาที่2 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
	ช่วงเวลาที่3 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 ตารางบันทึกข้อมูลค่าสูญเสียข้อมูลของช่วงเวลาที1 ช่วงเวลาที2 และช่วงเวลาที3

เงื่อนไข	ช่วงเวลา	อาคาร+วัน	Speed	ค่าเฉลี่ยค่าสูญเสียข้อมูล (%)			
				-65dBm	-70dBm	-75dBm	-80dBm
3. ช่วงเวลา	ช่วงเวลาที1 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
	ช่วงเวลาที2 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
	ช่วงเวลาที3 14:00-17:00	อาคารวิจัย (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	1.94	2.20	2.57	3.63
			Fast	2.17	2.59	2.84	2.90
		อาคารเรียนรวม2 (จันทร์,พุธ,ศุกร์)	Slow	1.85	2.40	2.03	1.79
			Fast	1.99	1.79	2.44	2.14

4.4 การพิจารณาความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูลทั้ง 3 กรณี โดยวิธีทางสถิติ

เนื่องจากการวิเคราะห์ข้อมูลทั้ง 3 กรณี พบว่ามีข้อมูลที่ได้มีการกระจายของข้อมูลเป็นจำนวนมากซึ่งไม่สามารถแยกกลุ่มข้อมูลได้ ดังนั้นจึงได้หาความสัมพันธ์ของกลุ่มข้อมูลทั้งหมดโดยใช้หลักสถิติเกี่ยวกับการหาค่าเฉลี่ย (Average) และการหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.4.1 การหาค่าเฉลี่ย (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

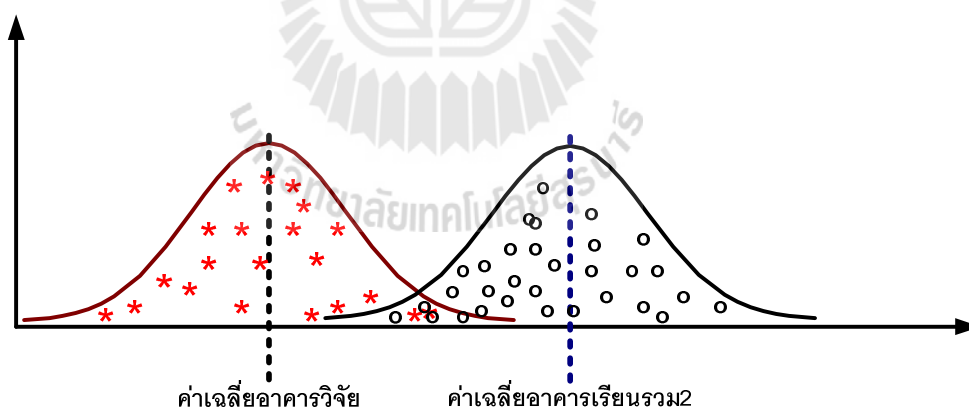
4.4.2 การหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงการกระจายของข้อมูลเพื่อพิจารณาว่าข้อมูลแต่ละตัวจะแตกต่างไปจากค่ากลางมากน้อยเพียงใด โดยมีสูตรดังนี้

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

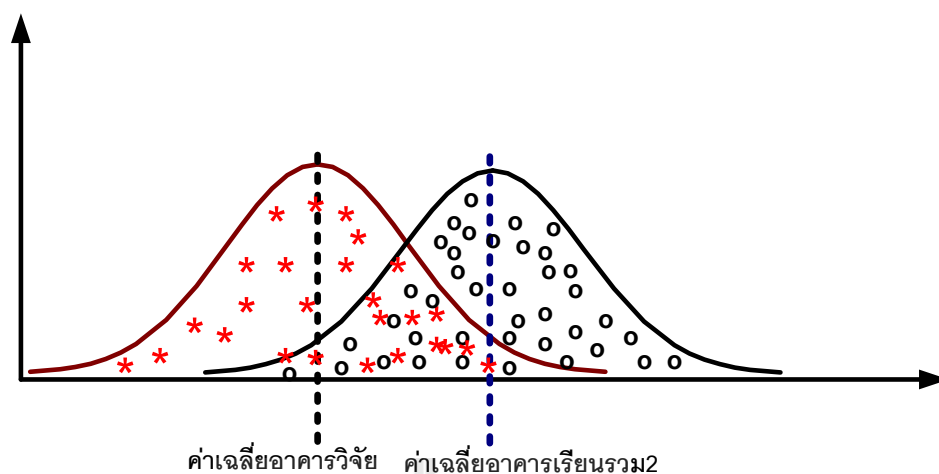
โดยที่

$S.D.$	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 กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม 2
ซ้อนทับกันน้อยกว่า 10 %



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ของข้อมูลของอาคารวิจัยและอาคารเรียนรวม2
ซ้อนทับกันมากกว่า 50 %

4.5 ผลการพิจารณาแยกกลุ่มข้อมูลได้ 2 กลุ่ม คือ Low และ High

จากผลการพิจารณาตามรูปที่ 4.1 นำความสัมพันธ์ของกรณีที่ 1 ตารางที่ 4.1 , 4.2 และ 4.3 พบว่ากลุ่มของข้อมูลมีความสัมพันธ์กัน จึงถือว่าเป็นกลุ่มของข้อมูลชุดเดียวกัน และได้นำความสัมพันธ์ของตารางที่ 4.3 , 4.4 และ 4.5 พบว่าเป็นกลุ่มของข้อมูลมีความสัมพันธ์กันเหมือนกรณีที่ 1 เมื่อนำความสัมพันธ์ของกรณีที่ 3 ข้อมูลตารางที่ 4.6 , 4.7 และ 4.8 สามารถแยกกลุ่มข้อมูลได้เป็น 2 กลุ่มข้อมูล คือ รวมข้อมูลช่วงที่ 1 และ ช่วงที่ 2 เข้าด้วยกัน เพราะเป็นกลุ่มข้อมูลชุดเดียวกัน และ อีกกลุ่มข้อมูลคือ ช่วงที่ 3 เพราะข้อมูลมีความสัมพันธ์กับช่วงที่ 1 และ 2 น้อยมาก และยังคงพิจารณา 3 ปัจจัยหลัก ที่มีผลกระทบต่อการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี คือ ค่าเวลาแฮนด์ออฟ ค่าหน่วงเวลา และค่าการสูญเสียข้อมูล ซึ่งสรุปออกมาได้ตามตารางที่ 4.10 , 4.11 และ 4.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.10 แสดงค่าเฉลี่ยเวลาแฮนด์ออฟ

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 แสดงค่าเฉลี่ยค่าน่วงเวลา

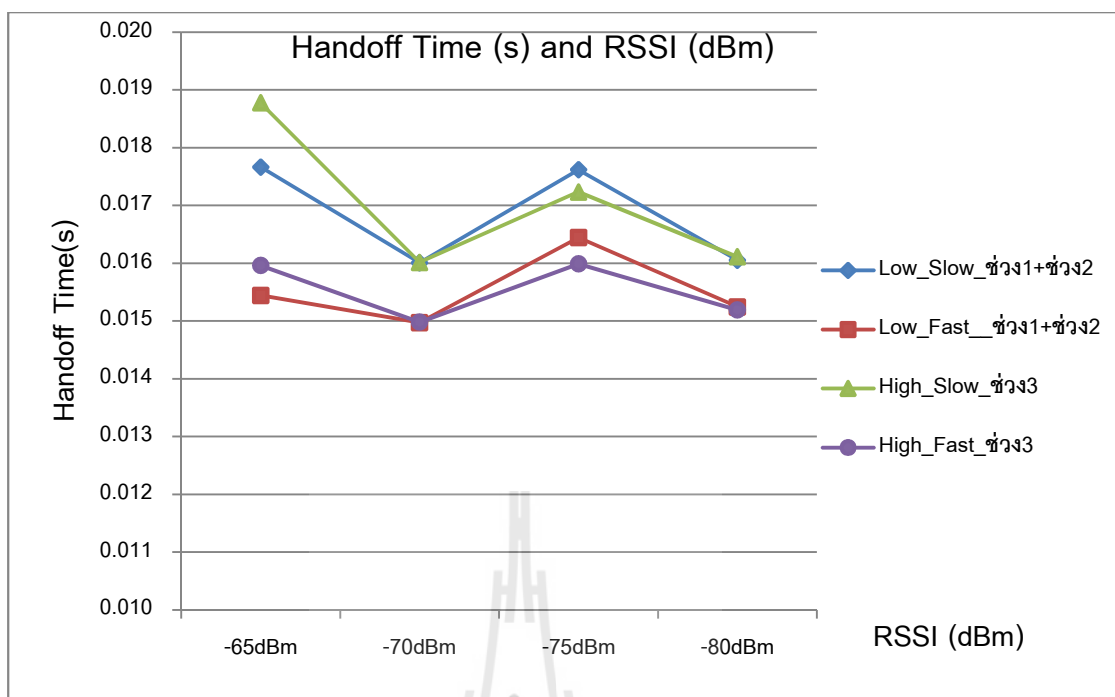
Speed	ค่าเฉลี่ยค่าน่วงเวลา (s)			
	-65dBm	-70dBm	-75dBm	-80dBm
Low_Slow_ช่วง1+ช่วง2	0.011431	0.011514	0.011089	0.011295
Low_Fast_ช่วง1+ช่วง2	0.011837	0.012093	0.012244	0.011974
High_Slow_ช่วง3	0.011721	0.011758	0.011330	0.011154
High_Fast_ช่วง3	0.011729	0.011944	0.012309	0.011911

ตารางที่ 4.12 แสดงค่าเฉลี่ยค่าสูญเสียข้อมูล

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

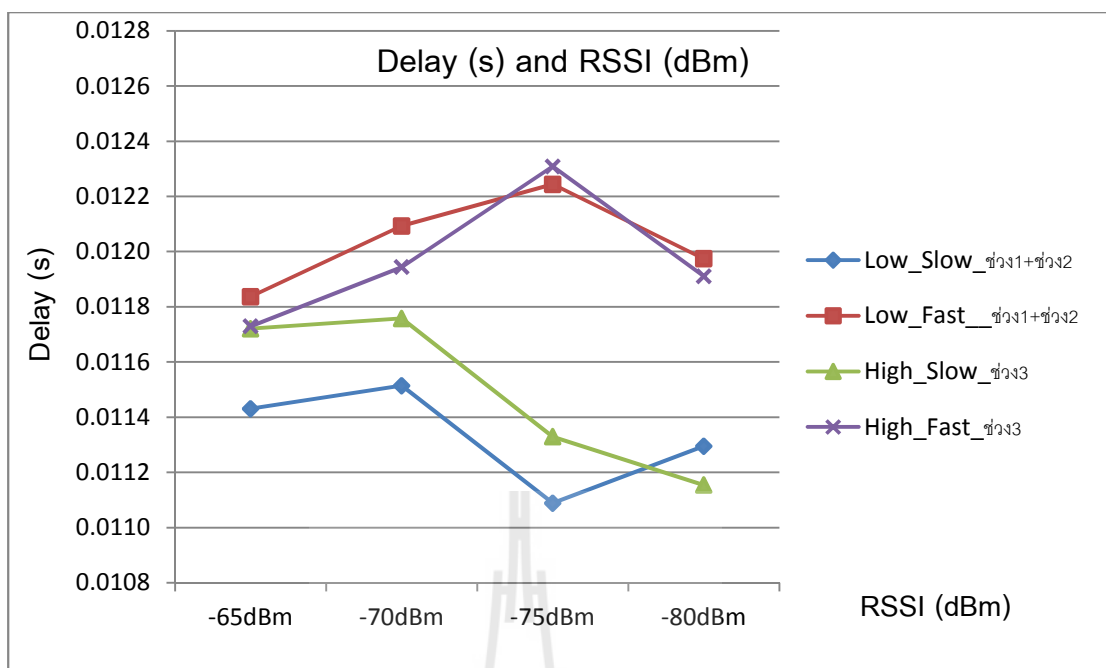
4.6 การสร้างกราฟแสดงผลของกลุ่มข้อมูลชนิด Low และ High สัมพันธ์กับค่าเวลาแฮนด์ออฟ ค่าน่วงเวลาและค่าการสูญเสียข้อมูล

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



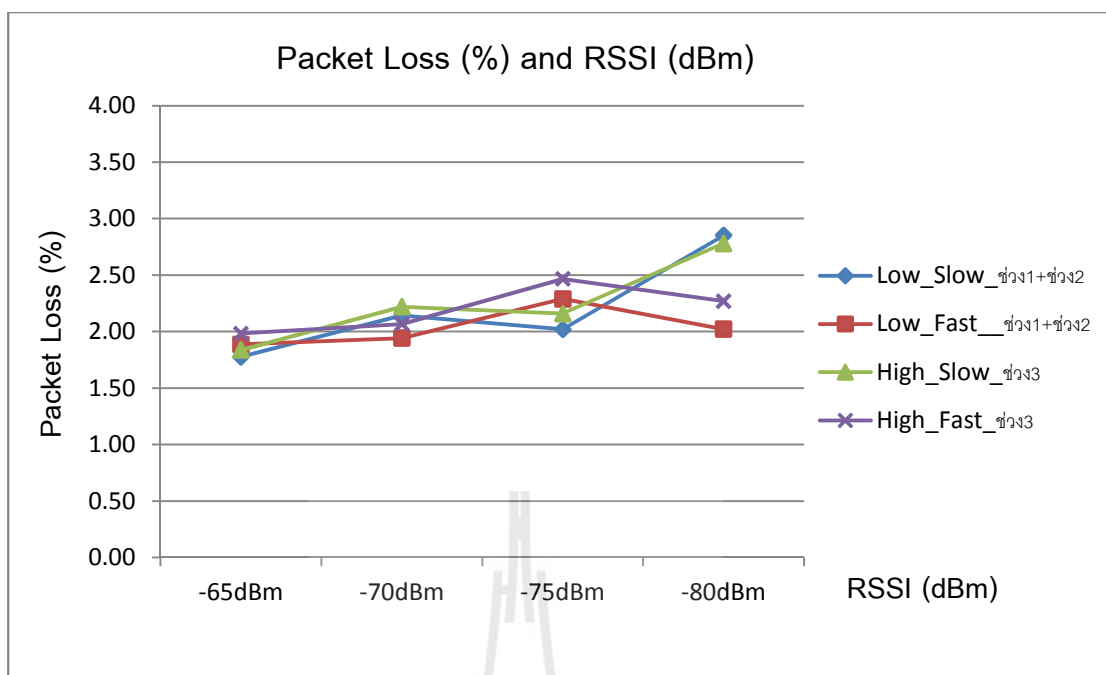
รูปที่ 4.3 กราฟค่าแฮนด์ออฟเปรียบเทียบกับค่า RSSI (dBm)

จากรูปที่ 4.3 เวลาของการแฮนด์ออฟที่ระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ ที่ระดับ -65 dBm พิจารณาที่ปริมาณกราฟฟิคต่ำและมีการเคลื่อนที่ช้ากับเร็วจะพบว่าช่วงของการใช้ปริมาณกราฟฟิคต่ำและมีการเคลื่อนที่ช้าจะใช้เวลาในการแฮนด์ออฟมากกว่าช่วงการใช้ปริมาณกราฟฟิคต่ำแต่มีการเคลื่อนที่เร็ว ในช่วงของปริมาณกราฟฟิคสูงและมีการเคลื่อนที่ช้าและเร็ว พบว่าการเคลื่อนที่ช้าจะใช้เวลาในการแฮนด์ออฟมากกว่าการเคลื่อนที่เร็ว เมื่อพิจารณากราฟระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ที่ระดับ -70 dBm เวลาของการแฮนด์ออฟลดลงทุกการเคลื่อนที่และทุกปริมาณกราฟฟิคซึ่งมีผลจากการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่ไม่เป็นแนวตรง เพราะในช่วงระดับสัญญาณดังกล่าวการเคลื่อนที่ที่มีการเลี้ยวบริเวณมุมห้องของอาคาร ดังนั้นหากพิจารณาแนวโน้มของกราฟทุกระดับความแรงของสัญญาณ พบว่ามีแนวโน้มค่าเวลาของการแฮนด์ออฟลดลงเมื่อระดับความแรงของสัญญาณลดลง



รูปที่ 4.4 กราฟค่าหน่วยเวลาเปรียบเทียบกับค่า RSSI (dBm)

จากรูปที่ 4.4 เป็นกราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าหน่วยเวลากับค่า RSSI ของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบในกรณีปริมาณทราฟฟิกต่ำและมีการเคลื่อนที่ช้ากับเร็ว พบว่าการเคลื่อนที่เร็วจะมีค่าหน่วยเวลาที่มากกว่าการเคลื่อนที่ช้าในทุกระดับความแรงของสัญญาณ แต่เมื่อพิจารณากรณีที่ปริมาณทราฟฟิกสูงพบว่าการเคลื่อนที่เร็วจะมีค่าหน่วยเวลาที่สูงกว่าการเคลื่อนที่อย่างช้าในทุกระดับความแรงของสัญญาณ โดยสรุปแล้วปริมาณทราฟฟิกสูงและการเคลื่อนที่เร็วจะมีผลกระทบต่อค่าหน่วยเวลาที่สูงขึ้น

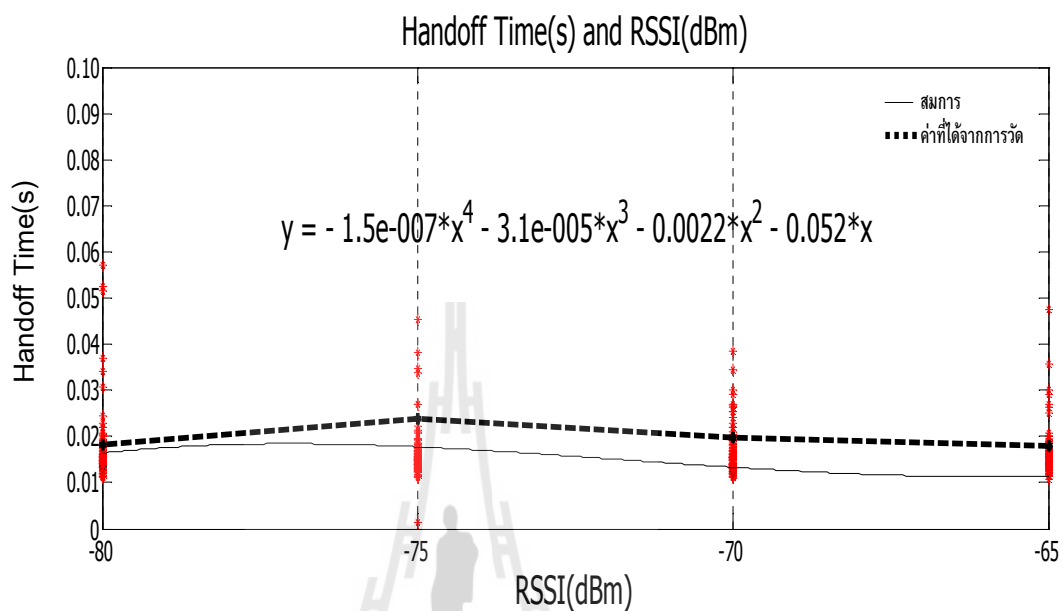


รูปที่ 4.5 กราฟค่าสูญเสียข้อมูลกับค่า RSSI (dBm)

จากรูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าการสูญเสียข้อมูลกับค่า RSSI ของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ จากกราฟค่าการสูญเสียของข้อมูลทั้ง 4 กรณีไม่ต่างกันมากนักเมื่อพิจารณาที่ระดับความแรงของสัญญาณเดียวกัน แนวโน้มของการสูญเสียข้อมูลมีทิศทางที่เพิ่มมากขึ้นตามระดับความแรงของสัญญาณที่ลดลง แต่หากพิจารณาที่ระดับความแรงของสัญญาณที่ระดับ -80 dBm พบว่าในช่วงปริมาณทราฟฟิกต่ำและปริมาณทราฟฟิกสูงแต่มีการเคลื่อนที่ช้าค่าการสูญเสียข้อมูลจะสูงขึ้นแตกต่างจากปริมาณทราฟฟิกต่ำและสูง แต่มีการเคลื่อนที่เร็ว พบว่าการสูญเสียข้อมูลจะลดลงตามลำดับ

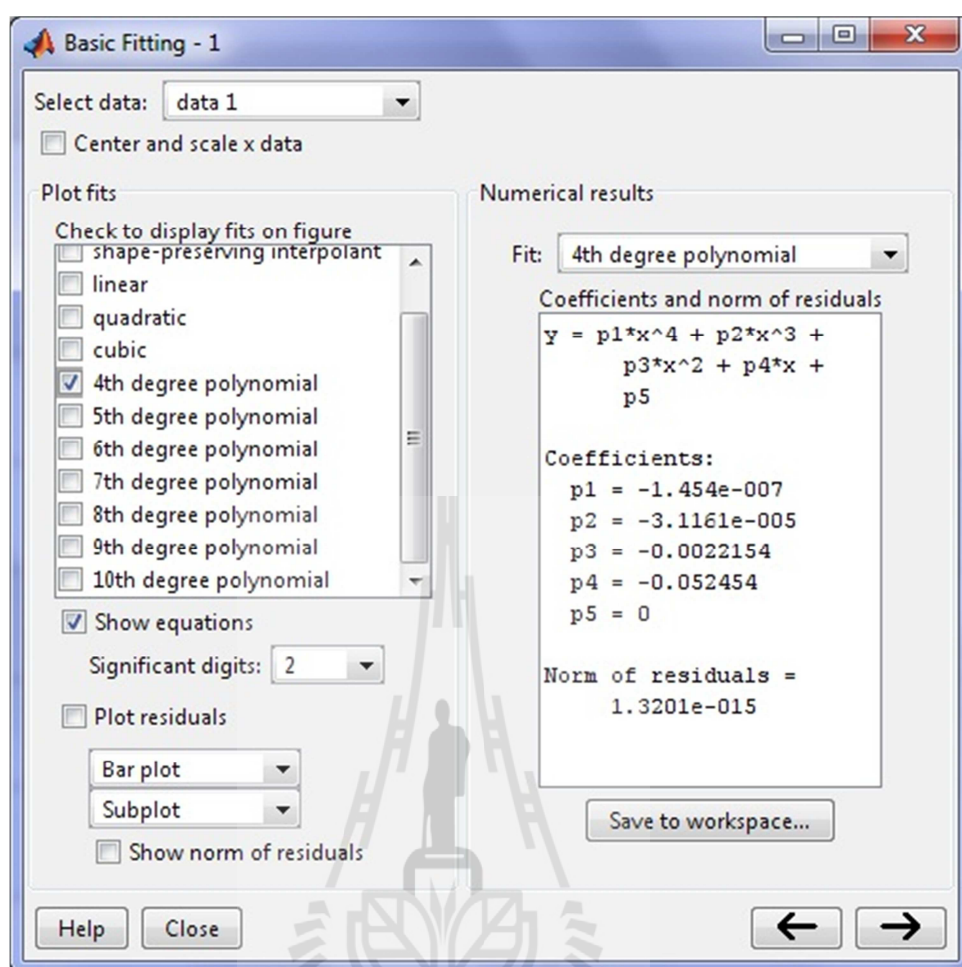
4.7 การประเมินประสิทธิภาพของการสร้างกราฟ

โดยวิธีหาค่า MSE (Mean Square Error) ซึ่งหากได้ค่าน้อยที่สุดจะมีประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 4.6 กราฟการหาค่า MSE ของการสร้างกราฟ Low_ช่วงที่1+2_Handoff Fast





รูปที่ 4.7 ตัวอย่างการหาค่า MSE โดยพิจารณาจากพหุนาม (Polynomial)

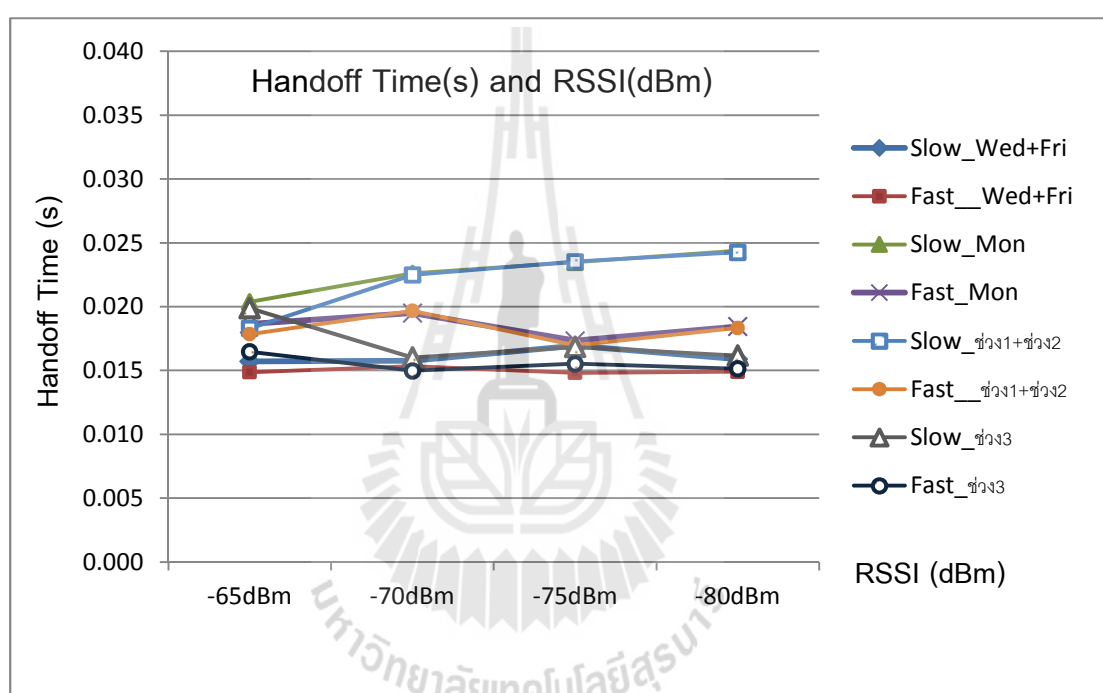
ตารางที่ 4.13 ตารางสรุปค่า Mean Square Error (MSE)

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	ค่านับเวลา ช่วงที่ 1+2_Slow	$7e - 008x^4 - 1.5e - 005x^3 - 0.0011x^2 + 0.026x$	1.9816e-33
4	ค่านับเวลา 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	ค่านับเวลา ช่วงที่ 3_Slow	$-3e - 008x^4 - 6.4e - 006x^3 - 0.00046x^2 - 0.011x$	2.6849e-31
10	ค่านับเวลา 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

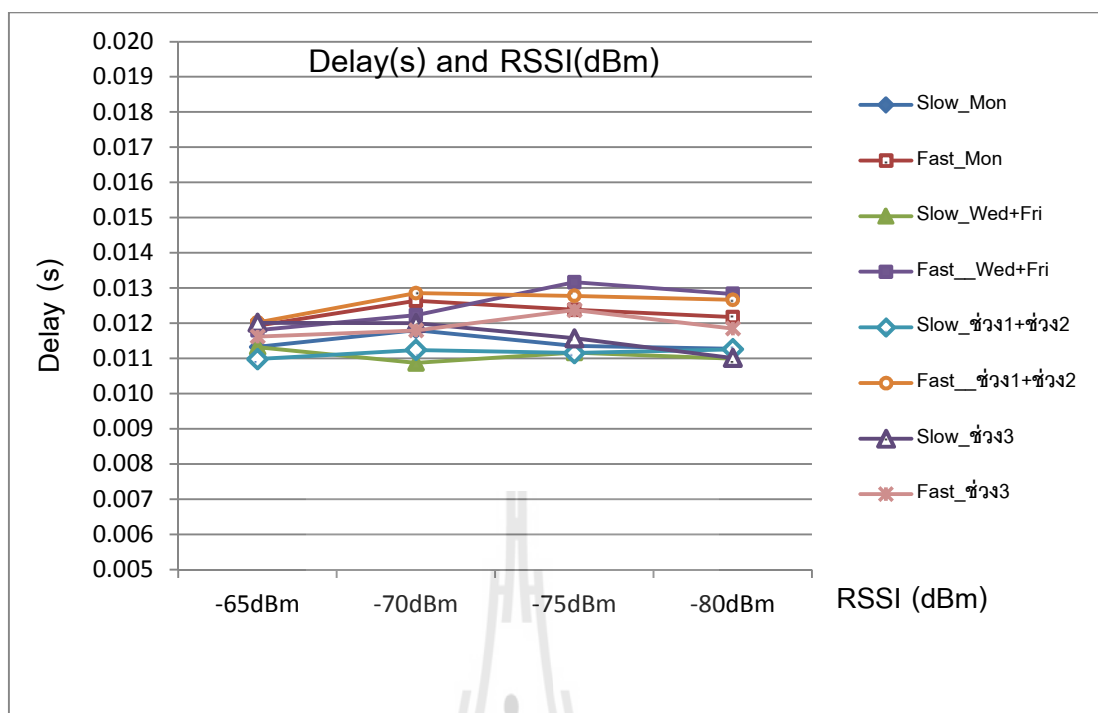
จากตาราง 4.13 สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของค่าเวลาแฮนด์ออฟและค่านับเวลาของช่วงที่ 1+2 สำหรับการเคลื่อนที่ช้าจะมีค่า MSE น้อยกว่าการเคลื่อนที่เร็ว แต่จะมีค่าการสูญเสียที่สูงกว่า สำหรับในช่วงเวลาที่ 3 ค่าประสิทธิภาพจะคล้ายกับในช่วงที่ 1+2 หากพิจารณาเปรียบเทียบประสิทธิภาพของช่วงเวลาที่ 1+2 กับช่วงเวลาที่ 3 ทั้งเรื่องค่าเวลาแฮนด์ออฟ ค่านับเวลา และค่าสูญเสียข้อมูล ในช่วงเวลาที่ 1+2 จะมีค่าน้อยกว่าในทุกกรณี ซึ่งจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า

4.8 การกำหนดระดับความแรงสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ที่เหมาะสม

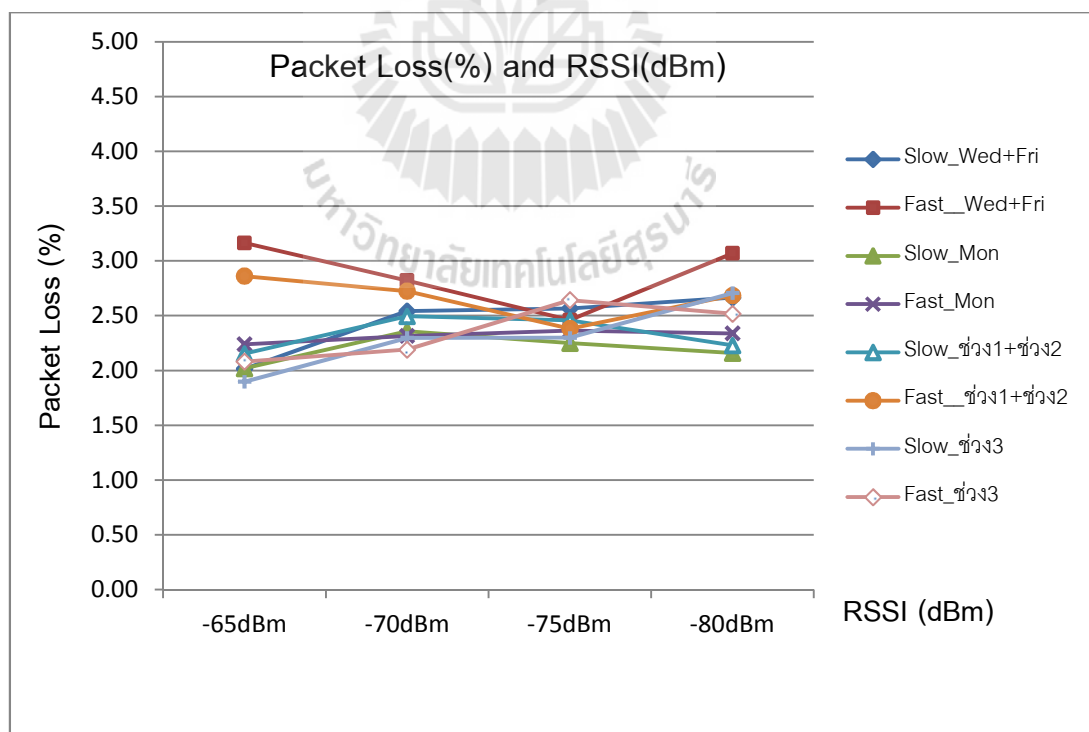
จากการปรับระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ และได้กำหนดปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี ซึ่งค่าที่ได้พิจารณามี 3 ปัจจัยหลัก คือ ค่าเวลาแฮนด์ออฟ ค่าหน่วงเวลา และค่าการสูญเสียข้อมูล ซึ่งเมื่อได้ค่าทั้งหมดแล้วได้นำมาสร้างกราฟเปรียบเทียบค่าเวลาแฮนด์ออฟ ค่าหน่วงเวลาและค่าการสูญเสียข้อมูล 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 ค่าหน่วยเวลาเปรียบเทียบกับ RSSI (dBm) ของวันที่เลือก และช่วงเวลา



รูปที่ 4.10 ค่าสูญเสียข้อมูลเปรียบเทียบกับ RSSI (dBm) ของวันที่เลือก และช่วงเวลา

จากรูปที่ 4.8 , 4.9 และ 4.10 พิจารณาเส้นกราฟที่ปรากฏ พบว่าเส้นกราฟของค่าเวลาแฮนด์ออฟ ค่าหน่วยเวลาและค่าการสูญเสียข้อมูลของทุกระดับความแรงของสัญญาณ มีทิศทางที่ไม่สอดคล้องกันในแต่ละระดับความแรงของสัญญาณ ดังนั้นจึงแยกพิจารณาใหม่ดังนี้

4.8.1 พิจารณาเลือกเงื่อนไขเดียว

- เลือกค่าเวลาแฮนด์ออฟน้อยที่สุด ซึ่งจะไ้ระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายที่ระดับ -65 dBm
- เลือกค่าหน่วยเวลาที่น้อยที่สุด ซึ่งจะไ้ระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายที่ระดับ -70 dBm
- เลือกค่าสูญเสียข้อมูลน้อยที่สุด ซึ่งจะไ้ระดับความแรงของสัญญาณของเครื่องลูกข่ายที่ระดับ -65 dBm

สรุปได้ว่าหากเราเลือกที่ระดับความแรงของสัญญาณที่ระดับใด ระดับหนึ่งแล้ว อาจส่งผลกระทบต่ออื่น เช่น เลือกระดับความแรงของสัญญาณที่ระดับ -65 dBm จะมีค่าเวลาแฮนด์ออฟต่ำ ค่าหน่วยเวลาน้อย แต่จะมีค่าการสูญเสียข้อมูลที่สูง เป็นต้น

4.8.2 พิจารณาเลือกเงื่อนไขมากกว่า 1

ในการพิจารณาเลือกเงื่อนไขมากกว่า 1 เงื่อนไข เพื่อหาค่าที่เหมาะสมโดยใช้สมการเชิงเส้น

Minimize Handoff Time

Subject to

Delay < Target 1

Packet Loss < Target 2

Minimize เวลาแฮนด์ออฟช่วงที่ 1+2_Slow

Minimize เวลาแฮนด์ออฟช่วงที่ 1+2_Slow

เงื่อนไข

ค่าหน่วยเวลาช่วงที่ 1+2_Slow <= 11ms

ค่าสูญเสียข้อมูลช่วงที่ 1+2_Slow <= 2.4%

แทนสมการได้เป็น

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

เงื่อนไข

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

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

จากรูปที่ 4.8 , 4.9 และ 4.10 การหาค่าเวลาของการแฮนด์ออฟต่ำสุด (Minimize) ของช่วงเวลาที่ 1+2_Slow โดยการใช้การแก้สมการด้วยโปรแกรม MATLAB ซึ่งกำหนดค่าเงื่อนไข 2 อย่างคือ

- กำหนดเวลาน้อยกว่าหรือเท่ากับ 11ms
- ค่าการสูญเสียข้อมูลน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2.4%

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

บทที่ 5

สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

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 เปอร์เซนต์ ถือว่าข้อมูลที่ได้เป็นข้อมูลกลุ่มเดียวกันหรือชุดเดียวกัน

ดังนั้นจึงได้พิจารณาในปัจจัยที่ 3 โดยนำหลักสถิติดังกล่าวมาทำการวิเคราะห์ข้อมูล และสร้างกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ของข้อมูลพบว่า ข้อมูลที่ได้ซ้อนทับกันน้อยกว่า 10 เปอร์เซนต์ของข้อมูลทั้งหมด จึงถือว่าข้อมูลไม่มีความสัมพันธ์กัน ทำให้สามารถแยกกลุ่มข้อมูลได้เป็น 2 กลุ่มคือกลุ่มที่ใช้ปริมาณทราฟฟิกน้อย (Low) และกลุ่มที่ใช้ปริมาณทราฟฟิกสูง (High) โดยพิจารณาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการให้บริการสื่อสารเสียงผ่านเครือข่ายไอพี ทั้งหมด 3 ค่า คือ ค่าเวลาแฮนด์ออฟ ค่าหน่วงเวลาและค่าการสูญเสียข้อมูล

5.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการตรวจจับข้อมูลของอาคารวิจัยช่วงเวลาที่เครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่เข้าใช้งานเครือข่ายเป็นจำนวนมากเมื่อมีการเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ให้บริการของอุปกรณ์กระจายสัญญาณและเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่เคลื่อนที่พยายามทำการแฮนด์ออฟเพื่อไปจับสัญญาณอีกตัว ไม่สามารถเชื่อมต่อได้ เพราะฉะนั้นในการออกแบบเพื่อให้บริการควรออกแบบตำแหน่งของอุปกรณ์กระจายสัญญาณให้ครอบคลุมตลอดพื้นที่ เพื่อป้องกันการให้บริการที่ดี สำหรับการตรวจจับข้อมูลการแฮนด์ออฟของเครื่องลูกข่ายเคลื่อนที่ ซอฟต์แวร์ที่ใช้เป็นซอฟต์แวร์เสรี ซึ่งมีข้อจำกัดในการข้อมูลเกี่ยวกับการแฮนด์ออฟจึงจำเป็นต้องตรวจสอบโดยดูข้อมูลที่เป็น Log ของระบบ ทำให้เสียเวลาในการปรับข้อมูลอยู่ในรูปของข้อมูลที่สามารถวิเคราะห์ได้

5.3 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

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



รายการอ้างอิง

- 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
- 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.
- S. Pack and Y. Choi, "Fast inter-ap handoff using predictive authentication scheme in a public wireless LAN. In **Proceedings of IEEE Networks Conference (confunction of IEEE ICN and IEEE ICWLHN)**, Atlanta, GA, Aug. 2002.
- 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.
- 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, Mobileand Multimedia Networks (WoWMoM 2006)**, Buffalo, NY, 26-29 June, 2006.
- 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.
- V. Mhatre and K. Papagiannaki, "Using Smart Triggers for Improved User Performance in 802.11 Wireless Networks, **Mobisys '06**, June 19-22, 2006.
- 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
- 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
- Yogesh Ashok Powar and Varsha Apte, "Improving the IEEE 802.11 MAC Layer Handoff Latency to Support Multimedia Traffic" , **WCNC 2009**

- Cheolhee Lee, Sunghoon Seo and Jooseok Song, “ An Indoor Tracking-based Handoff Mechanism for VoIP Applications in IEEE 802.11 WLANs”, **ICIAFS08**.
- Li-Hsing Yen, Hung-Hsin Chang, Shiao-Li Tsao, Chia-Chi Hung and Chien-Chao Tseng, “ Experimental Study of Mismatching ESS-Subnet Handoffs on IP over IEEE 802.11 WLANs
- Maria Eugenia Berezin, Fanck Rousseau and Andrzej Duda. “Mutichannel Virtual Access Points for Seamless Handoffs in IEEE 802.11 Wireless Networks”,
- K. Kuladinithi, A. Udugama, A. Timm-Giel and C.Gorg , “802.11 Handover Optimization to Improve Communications of Mobile Workers”,**ICIAfS10**.
- Guillaume-Jean Herbiet and Sriram Lakshmanan , “ Client perceived performance in a campus Network with a wireless LAN controller”, **CS7260, Internetworking Architecture and Protocols**
- Ping-Jung Huang and Yu-Chee Tseng , “ A Fast Handoff Mechanism for IEEE 802.11 and IAPP Networks”,
- Sourav Pal , Sumantra Kundu, Kalyan Basu and Sajal K. Das , “ Emancipating the IEEE 802.11 Network from Handoff Delay”,
- M. Vipin and S.Srikanth , “ Analysis of Open Source Drivers for IEEE 802.11 WLANs”, **ICWCSC 2010**.
- 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
- 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.
- 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.
- 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.

John Fitzpatrick, Sean Murphy, Mohammed Atiquzzaman and John Murphy , “ Evaluation of VoIP in a Mobile Environment using an end-to-end Handoff Mechanism”,

อำนาจ มีมงคล และอรรณพ ชันธิกุล ออกแบบและติดตั้งเครือข่าย Wireless LAN พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ อินโฟเพรส, 2553.

Blondia C., et al. "Performance Evaluation of Layer 3 Low Latency Handoff Mechanisms." **Mobile Networks and Applications**. Vol. 9. (December 2004) : 633-645

สถาพร อ้อยตาล การศึกษาการค้นหาแอคเซสพอยต์และเพิ่มประสิทธิภาพในการย้ายข้ามเซลล์ (Handoff) ด้วยโปรแกรมประยุกต์ ในเครือข่ายไวด์ IEEE 802.11,มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร , 2554.

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.

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.

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.

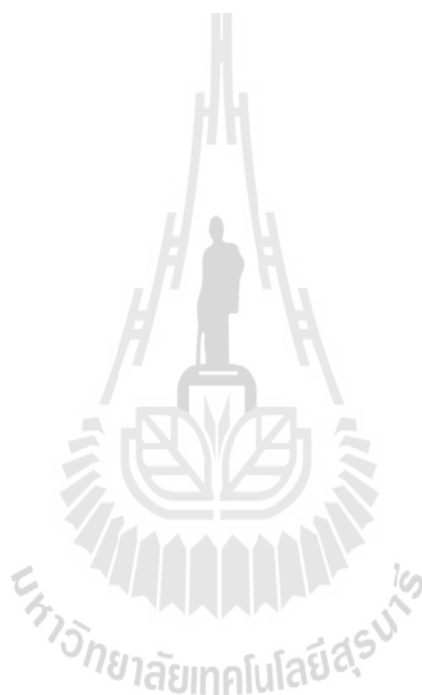
ภาคผนวก ก

รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่



บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

- A. Jongmobklang, P. Uthansakul and M. Uthansakul, “**The Study of Signal Strength Threshold for VoIP Handoff Process in 802.11g/n Networks**”, Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation, Singapore, August 27-29, 2012.
- A. Jongmobklang, P. Uthansakul and M. Uthansakul, “**The Optimal Signal Strength Threshold for VoIP Handoffs in 802.11n Networks**”, Asia-Pacific Conference on Antennas and Propagation, Thailand, August 5-7, 2013.



The Study of Signal Strength Threshold for VoIP Handoff Process in 802.11g/n Networks

Amnart Jongmobklang, Peerapong Uthansakul, Monthippa Uthansakul

School of Telecommunication Engineering

Suranaree University of Technology

A. Muang Nakornratchsim

Email: amnartj@sut.ac.th, uthansakul@sut.ac.th, mtp@sut.ac.th

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 re-associate 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 50-200 ms. This results in dropped calls or frozen video frames. To improve the deficiency, this paper 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. Our study requires no additional support from the network. The outcome of this paper indicates the good insight of using the signal strength threshold to control the handoff time for VoIP application.

Keywords: VoIP, Handoff, Signal Strength, WLANs

I. INTRODUCTION

IEEE 802.11 (commonly referred to Wi-Fi) compliant wireless Access Points (APs) typically has radio ranges of less than 100 meters. When a Mobile Node (MN) starts moving 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, IEEE is working on a new draft called IEEE 802.11r that intends to facilitate fast quality when the user is within 20 ft of the access point. Since during roaming, in-flight packets are lost, the proposal has the potential of reducing or even eliminating lost data by (i) advocating multi-vendor compatibility of wireless hardware devices and (ii) by defining improved inter-AP communication messages. The standard is yet to be ratified and above all does not tackle the problem of how the MN should quickly choose an AP when the signal connectivity with the associated AP drops below usability levels. It is however worth mentioning that the Inter-Access Point Protocol (IAPP) [1] or IEEE 802.11f

is already standardized and aims at transferring 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.

In this paper, the proposed solution to reduce a handoff process focuses on 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. This study can lead to minimize the handoff time by managing the optimal signal strength threshold for all APs in the network.

The rest of the paper is organized as follows. In Section II, the handoff process in IEEE 802.11 is described. This is followed by Section III where all experiments are detailed. In Section IV the results and discussion have been addressed. Finally, the conclusions and directions for future work are given in Section V.

II. RESULTS

The first experiment is to study the impact of moving user to the delay of packet within handoff process. Two speeds of mobility are assigned by 0.3 m/s and 1.5 m/s, named as Slow and Fast respectively. Fig. 7 shows the cumulative distribution function (cdf) of packet delay [17]. The results are compared with the delay time when user does not move, named as Fix. It is clearly seen that the mobility of user affect the delay distribution. The higher speed of user is, the bigger variance of delay is happened. This study confirms the handoff process can be obviously investigated by delay time. This handoff time is measured since authentication process to re-association process. The next task is to investigate the delay of handoff process by changing the threshold level of APs.

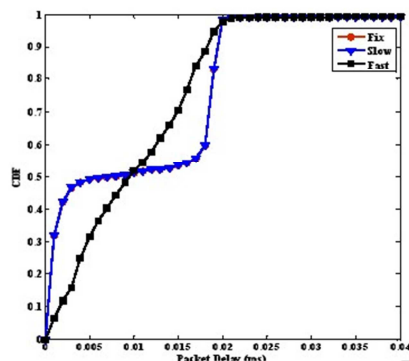


Fig 7. CDF of packet delay for Fix, Slow and Fast mobilities.

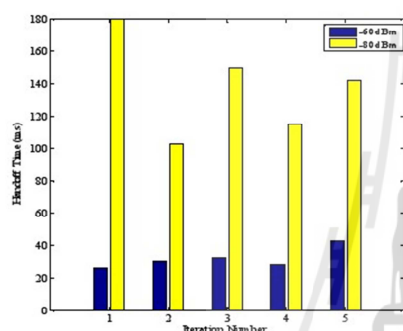


Fig 8. Handoff time for the threshold level at -68dBm and -80dBm.

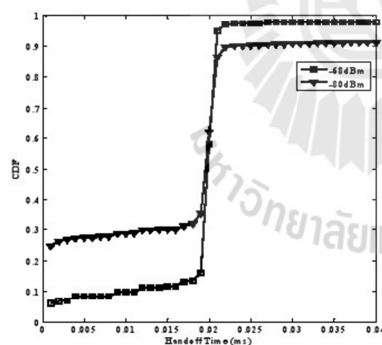


Fig 9. CDF of handoff time for the threshold level at -68dBm and -80dBm.

In the preliminary study, two signal strength levels are set at -68 dBm and -80 dBm. Five iterations have been measured. Each iteration number is an average result of 10 times collecting data. Fig 8 shows the handoff time and Fig 9 shows the distribution of handoff time for the threshold level at -68dBm and -80dBm. It is interesting that the different threshold provides the different handoff time. It means that the threshold play the main role on delay of handoff process. However, the optimal threshold has to be studied further in the next work because many parameters are involved such as mobility, user traffic, type of devices, etc.

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 ICWLHN, 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] IEEE Computer Society LAN MAN standards Committee, "IEEE Standard for Information Technology: Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," 1999.
- [5] IEEE 802.11 WG (2003) Draft Supplement to STANDARD for Telecommunications and Information Exchange Between Systems LAN/MAN Specific Requirements Part 11: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications: Specification for Radio Resource Measurement, IEEE 802.11k/D1.0 New York USA: The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
- [6] H. Velayos and G. Karlsson, "Techniques to reduce the IEEE 802.11b handoff time," In Proceedings of IEEE ICC, volume 7, pages 3844-3848, June 2005.
- [7] Yong Liao, and Lixin Fao, "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] I. Ramani, and S. Savage, "Synscen: Practical Fast Handoff for 802.11 Infrastructure Networks," in Proceedings of the IEEE Infocom Conference 2005, Miami, FL, USA, March 2005.
- [9] P. S. Choi, J. T. Kwon, and C. Y. "Fast-Handoff Support in IEEE 802.11 Wireless Networks," IEEE Communication Surveys - The Electronic Magazine of Original Peer-Reviewed Survey Articles, 9(1), mar 2007.
- [10] <http://www.cisco.com>
- [11] <http://www.ath0s.org>
- [12] <http://www.medwif.org>
- [13] <http://www.asterisk.org>
- [14] <http://www.wireshark.org>
- [15] <http://www.twinklephone.com>
- [16] <http://www.zoiper.com>
- [17] 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.
- [18] S. V. Srikanth, Serat Chandra Babu, Dileep K. Panjale 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.

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 Nakornratchasima
 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 disconnection 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.

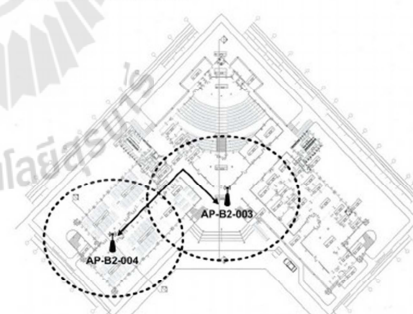


Fig 1. The experimental scenarios with the building layout.

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 ICWLHN, 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 Jongmolklang, Monthipha 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.

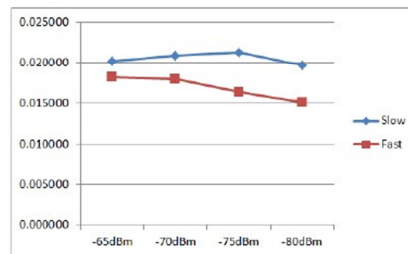


Fig 2. The average handoff time (ms) for slow and fast users.

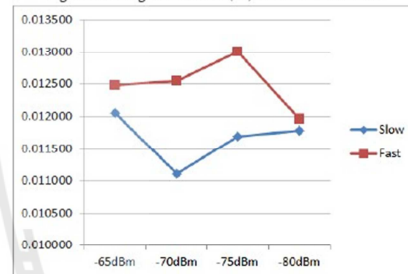


Fig 3. The average delay (ms) for slow and fast users.

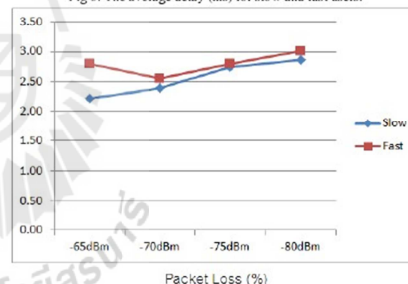


Fig 4. The average packet loss (%) for slow and fast users.

ประวัติผู้เขียน

นายอำนาจ จงมอกลาง เกิดเมื่อวันที่ 14 กรกฎาคม 2515 ที่จังหวัดนครราชสีมา เริ่มการศึกษา
ระดับประถมศึกษาที่โรงเรียนบ้านถนนถั่ว ระดับมัธยมศึกษาที่โรงเรียนโนนสูงศรีธานี ระดับ
ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง(ปวส.) สาขาวิชาเทคนิคคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี หลักสูตรอุตสาหกรรม
ศาสตรบัณฑิต (อศ.บ.) สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์-โทรคมนาคม จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร เมื่อ พ.ศ. 2541 ระหว่างการศึกษาระดับปริญญาตรี
ได้เข้าทำงานกับบริษัท กนกสิน เอ็กซ์พอร์ต อิมพอร์ต จำกัด ในตำแหน่ง Customer Engineer
และต่อมาในปี 2543 ได้เข้าทำงานที่ศูนย์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในตำแหน่ง
เจ้าหน้าที่วิเคราะห์ระบบคอมพิวเตอร์ จากนั้นในปี พ.ศ. 2552 ได้เข้ารับการศึกษาคือต่อในระดับ
ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยได้รับการ
สนับสนุนทุนวิจัยจากแหล่งทุนภายนอก (OROG)

