

ความจุระบบการใช้งานโทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ตบนโครงข่ายไร้สายแบบเมชประเภทกริด Capacity of VoIP system over Grid-typed Wireless Mesh Networks

สารโจนน์ ยิ่งศักดิ์มงคล* ธัญญ์ จารุวิทย์โกวิท

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์ กรุงเทพฯ

* E-mail: saroj_y@hotmail.com

บทคัดย่อ

โครงข่ายไร้สายแบบเมชเป็นเทคโนโลยีในโครงข่ายไร้สายสมัยใหม่ โดยส่วนใหญ่ผู้ให้บริการโครงข่ายไร้สายจะใช้เพียงเพื่อให้บริการข้อมูลแก่ผู้ใช้งาน (กรณีของการแบ่งปริมาณข้อมูลที่ใช้งานในโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่) เนื่องจากโครงข่ายไร้สายแบบเมชมีต้นทุนในการให้บริการต่ำกว่าโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยทั่วไปมาก การให้บริการทางด้านโทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ตเป็นงานที่มีความท้าทายที่จะนำไปปรับใช้ในโครงข่ายไร้สายแบบเมชเนื่องจากโครงข่ายไร้สายแบบปกติเมื่อจำนวนโหนดในโครงข่ายเพิ่มขึ้นจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพและทำให้คุณภาพของการให้บริการของโครงข่ายลดลง จากการค้นคว้าพบว่างานวิจัยที่ผ่านมา มีการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งไม่สอดคล้องกับการทำงานในสภาพแวดล้อมจริงในประเทศไทย ทำให้ผู้ให้บริการโครงข่ายไร้สายไม่สามารถทำนายถึงประสิทธิภาพการใช้งานโทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ตกับโครงข่ายไร้สายแบบเมชจึงอาจจะเป็นเหตุผลหลักที่ทำให้ยังมีการชะลอการใช้งานโครงข่ายไร้สายแบบเมช ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะจำลองและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการใช้งานโทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ตในโครงข่ายไร้สายแบบเมชประเภทกริดโดยใช้ตัวแปรต่าง ๆ ที่สอดคล้องกับการใช้งานจริงในประเทศไทย เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งาน โดยการจำลองการใช้งานแบบต่าง ๆ ในคอมพิวเตอร์โมเดล เพื่อหาปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ตที่มากที่สุดที่สามารถเข้ามาใช้บริการโดยมีคุณภาพของการให้บริการอยู่ในระดับที่ยอมรับได้โดยค่า E-Model ไม่ต่ำกว่า 3.50 เพื่อให้ผู้ให้บริการโครงข่ายไร้สายสามารถประเมินความคุ้มค่าของการลงทุนในโครงข่ายไร้สายแบบเมชก่อนการติดตั้งเพื่อใช้งานจริง

คำสำคัญ: โทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ต โครงข่ายไร้สายแบบเมช

บทนำ

โครงข่ายไร้สายแบบเมชหรือ Wireless Mesh Networks (WMNs) เป็นเทคโนโลยีในโครงข่ายไร้สายสมัยใหม่ มีความได้เปรียบมากกว่าโครงข่ายไร้สายแบบอื่น ๆ ได้แก่ WMNs สามารถปรับตั้งค่าด้วยตัวเองได้ (Self-configuration), ดูแลและตัดสินใจเองได้ (Self-Organizing), แก้ไขหรือรักษาตัวเองได้ (Self-healing), มีความแข็งแรง (robustness) และมีความน่าเชื่อถือ (Reliability) และมีค่าใช้จ่ายในการลงทุนต่ำ [1, 2] โดย WMNs นั้นมีการพัฒนาอย่างรวดเร็วและเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่มีหลักประกันมากที่สุดให้กับ Wireless Local Area Networks (WLANs) เพื่อให้สามารถขยายการครอบคลุมการใช้งาน wireless ในที่สาธารณะ WMNs ยังคงเป็นหัวข้อที่มีการให้ความสนใจมากในปัจจุบันนี้

ในปัจจุบันบริการโทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ต (VoIP) มีปริมาณการใช้งานมากขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้ทรพฟิคในโครงข่ายเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย และการให้บริการ VoIP เป็นงานที่มีความท้าทายที่จะนำไปปรับใช้ใน WMNs แบบปกติเมื่อ

จำนวนโหนด (เครื่องลูกข่าย VoIP) ในโครงข่ายเพิ่มมากขึ้นจะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของโครงข่ายลดลงได้ [3] เมื่อมีการส่งแพ็กเก็ตอาจจะทำให้คุณภาพของการให้บริการหรือ Quality of Service (QoS) ลดลง งานวิจัยที่ผ่านมา มีการกำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งไม่สอดคล้องกับการทำงานในสภาพแวดล้อมจริง เช่น ใช้กำลังส่งที่เป็นค่าเริ่มต้นในตัวโปรแกรมจำลองระบบไม่ตรงกับค่าความเป็นจริงเช่น 30 mW หรือ 50 mW. [3, 5] หรือทำการจำลองระบบที่เป็น VoIP โดยไม่มีข้อมูลชนิดอื่นด้วยซึ่งไม่สอดคล้องกับความเป็นจริงในปัจจุบัน [15], [17] และขนาดของบัฟเฟอร์ที่เป็นค่าเริ่มต้นในตัวโปรแกรมจำลองระบบคือ 14 แพ็กเก็ต หรือ 100 แพ็กเก็ต [3, 5, 15, 16, 17] ซึ่งไม่สอดคล้องกับขนาดของบัฟเฟอร์ในตัว Access Point (AP) ที่ใช้ในปัจจุบันและในทางปฏิบัติทำให้ผู้ให้บริการโครงข่ายไร้สายไม่สามารถทำนายถึงประสิทธิภาพการใช้งานโทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ตกับโครงข่ายไร้สายแบบเมชจึงอาจจะเป็นเหตุผลหลักที่ทำให้ยังมีการชะลอการลงทุนโครงข่ายไร้สายแบบเมช

ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในงานวิจัยนี้เพื่อเสนอการจำลองและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการใช้งาน VoIP ในโครงข่ายไร้สายแบบเมชประเภท Grid metric โดยใช้ตัวแปรต่าง ๆ ที่สอดคล้องกับการใช้งานจริงในประเทศไทยเพื่อศึกษาผลของ multi-hop ที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้งาน และมีการจำลอง background data traffic โดยใช้โปรแกรม OMNET++ จำลองการทำงานเพื่อหาปริมาณการใช้งาน VoIP ที่มากที่สุดที่สามารถเข้ามาใช้บริการโดยมี QoS อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ ทำให้ผู้ให้บริการโครงข่ายไร้สายสามารถประเมินความคุ้มค่าของการลงทุนของการใช้งาน VoIP ในโครงข่ายไร้สายแบบเมชประเภท Grid metric แบบ multi-hop โดยมีการจัดการวางระยะห่างของตัว AP ที่เหมาะสมในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันได้

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

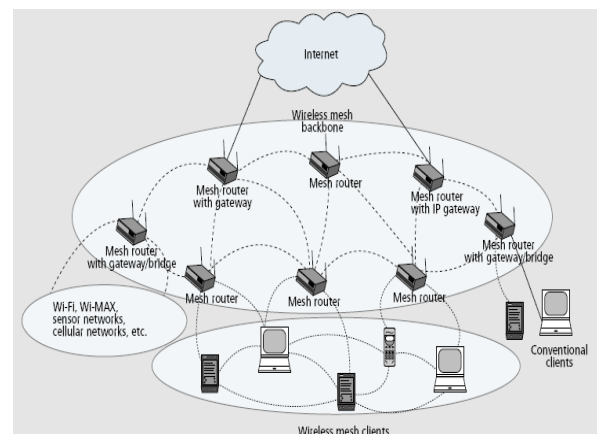
สถาปัตยกรรมโครงข่ายไร้สายแบบเมช WMNs จะประกอบด้วยสองประเภทตามโหนดคือ Mesh routers และ mesh clients [1, 2] ประเภทที่หนึ่งคือ Mesh routers หรือเรียกว่า Gateway เป็น Mesh router ที่มี bandwidth สูงและต่อกันสายแลนเพื่อเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตและมีความสามารถในการค้นหาเส้นทางใน gateway/bridge function ซึ่งมีอยู่ใน wireless router ปกติทั่วไปแต่ mesh router จะเพิ่มเติมในส่วนของ advanced routing function เพื่อสนับสนุนโครงข่ายแบบเมชผ่านการติดต่อสื่อสารหลายโหนดที่เชื่อมต่อครอบคลุมถึงกันให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยกำลังการรับส่งข้อมูลต่ำกว่ามาก wireless router แบบปกติ ประเภทที่สองคือ mesh client โหนดลูกข่ายของ Mesh router ซึ่งมีความสามารถของ mobile node ทำให้มีการสัญจรได้ดี มีข้อจำกัดคือต้องใช้แบตเตอรี่ซึ่งทำให้มีพลังงานให้ใช้งานอย่างจำกัดแต่ก็สามารถลดจำพวกฟังก์ชันการทำงานของสัญญาณวิทยุได้ สถาปัตยกรรมของโครงข่ายไร้สายแบบเมชสามารถแบ่งได้ 3 ประเภทคือ

- โครงสร้างพื้นฐานของโครงข่ายไร้สายแบบเมช ในสถาปัตยกรรมของโครงข่ายไร้สายแบบเมชประเภท Infrastructure/Backbone นี้ mesh routers มีรูปแบบฟังก์ชันการใช้งาน Gateway คือ mesh routers สามารถเชื่อมต่อไปยังอินเทอร์เน็ตได้ วิธีการนี้ยังเรียกว่า infrastructure meshing ทำหน้าที่จัดเตรียม backbone หรือแกนของการส่งข้อมูลโดยเป็นจุดร่วมในการส่งข้อมูลสำหรับโคลเอนต์และสามารถรวมให้ WMNs ใช้งานได้กับโครงข่ายที่แตกต่างกันออกไปได้

- เครื่องลูกข่ายในโครงข่ายไร้สายแบบเมช ในสถาปัตยกรรมของโครงข่ายไร้สายแบบเมชประเภทเครื่องลูกข่ายนี้ Client-meshing จะทำหน้าที่จัดเตรียมโครงข่ายแบบ

โหนดต่อโหนด ระหว่างอุปกรณ์ของโคลเอนต์ในสถาปัตยกรรมของโครงข่ายไร้สายแบบเมชแบบนี้ โหนดของเครื่องลูกข่ายจะประกอบด้วยโครงข่ายปัจจุบันที่ประกอบด้วยโพรโทคอลการค้นหาเส้นทางและฟังก์ชันการตั้งค่าตลอดจนทำหน้าที่จัดเตรียมแอปพลิเคชันของผู้ใช้งานไปยังผู้ใช้งานทั่วไป ด้วยเหตุนี้ mesh router จึงไม่มีความจำเป็นตามรูปแบบของโครงข่าย

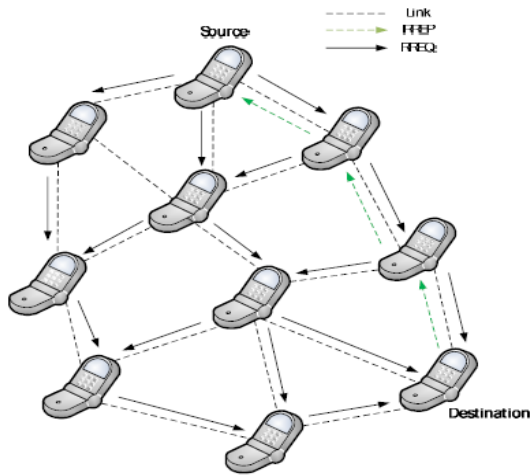
- โครงข่ายไร้สายแบบเมชประเภทผสม สถาปัตยกรรมของโครงข่ายไร้สายแบบเมชประเภทผสมคือการรวมกันของประเภท Infrastructure และ client meshing ดังแสดงในรูปที่ 1 [1] โดยโคลเอนต์ในโครงข่ายไร้สายแบบเมชสามารถเข้ามาใช้งานในโครงข่ายโดยผ่าน mesh router ซึ่งดีเท่ากับวิธีการ meshing กันโดยตรงกับโคลเอนต์ในโครงข่ายไร้สาย ขณะที่ระบบโครงสร้างพื้นฐานทำหน้าที่จัดเตรียมการเชื่อมต่อไปยังโครงข่ายอื่น ๆ โดยทางอินเทอร์เน็ต ไวไฟ ไวแมกซ์ ระบบโครงข่ายมือถือและโครงข่ายเซ็นเซอร์ โดยใช้ความสามารถในการค้นหาเส้นทางที่ดี รวดเร็วของโคลเอนต์ในการจัดเตรียมการเพิ่มความสามารถในการเชื่อมต่อและครอบคลุมในโครงข่ายไร้สายแบบเมช



รูปที่ 1 โครงข่ายแบบ Hybrid WMNs

Adhoc On-demand Distance Vector Routing (AODV) [6] เป็นโพรโทคอลการค้นหาเส้นทางในโครงข่ายไร้สายแบบ hop by hop ถูกพัฒนามาสำหรับ wireless adhoc networks โดย AODV ได้ปรับปรุงมาจาก DSDV โดยที่ AODV จะลดจำนวนครั้งในการที่จะค้นหาเส้นทางลงและ AODV มีการทำงานเป็นแบบรีแอกทีฟคือจะทำการค้นหาเส้นทางเมื่อมีโหนดต้องการที่จะส่งข้อมูลหรือมีการร้องขอใช้เส้นทางนั้นทำให้ไม่เปลือง Bandwidth ในช่วงสัญญาณปรับเปลี่ยนเส้นทางได้รวดเร็ว และใช้การประมวลผลและหน่วยความจำน้อยหรือต่ำ AODV นั้นมีประสิทธิภาพในสถานการณ์ที่มีการเคลื่อนที่สูง (High Mobility) และโครงข่ายที่มีการจราจรหนาแน่น (Network load) [7] ดังแสดงในรูปที่

2 [6] โดยที่ AODV มีอีกโพรโทคอลหนึ่งคือ Hello messages ใช้ในการบำรุงรักษาเส้นทางในระบบโครงข่ายไม่ให้ระบบเสียหาย



รูปที่ 2 การหาเส้นทางในโครงข่ายของ AODV

แบบจำลองของนาคากามิ (Nakagami model) [4] โดยที่แบบจำลองของนาคากามิเป็นแบบจำลองที่ได้มาจากการทดลองซึ่งเป็นที่นิยมใช้กันในปัจจุบันเพราะสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมทั้งในชนบทและในเขตเมือง อีกทั้งการกระจายตัวของพารามิเตอร์มีความยืดหยุ่นกว่าในการอธิบายการจางหาย (fading) ที่สภาพแวดล้อมที่ต่างกันได้ดีโดยแบ่งสภาพแวดล้อมที่ต่างกันได้ตามตารางที่ 1 [19]

ตารางที่ 1 แสดงค่าของ pathloss exponent (Alpha) ในสภาพแวดล้อมต่าง ๆ

Environment	Pathloss exponent (Alpha)
Free Space	2
Urban area, LOS	2.7-5
Urban area, no LOS	3-5
Indoor, LOS	1.6-1.8
Indoor, no LOS	4-6

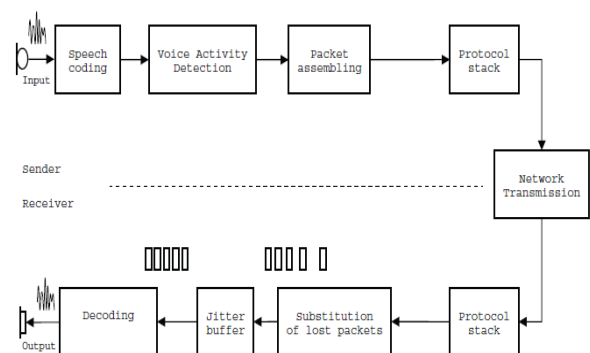
Voice over IP (VoIP) หรือการใช้งานโทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ตเป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้การสื่อสารด้วยเสียงสามารถทำได้ผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งเทคโนโลยีนี้จะทำให้ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการใช้โทรศัพท์ติดต่อสื่อสารโดยปลายทาง ต้องมีการเชื่อมต่อเข้าอินเทอร์เน็ต และใช้บริการ VoIP ในโครงข่ายเดียวกัน ปัจจุบันที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของ VoIP สามตัวคือ Delay, loss, jitter [3], [6] เริ่มที่ตัวแรกคือ

-Delay [3, 6] เป็นเวลาที่ใช้ในกระบวนการของเสียงตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการจนกระทั่งสิ้นสุดกระบวนการของระบบ

โดยที่ ITU G.114 จำกัดความว่า end to end delay โดยแนะนำว่าค่าต้องไม่เกินกว่า 150 ms. [8] end to end-delay คือผลรวมของ delay จำนวนตั้งแต่ผู้ส่ง เวลาในการส่งผ่านโครงข่ายจะมีความล่าช้าทางเวลาที่เกิดจากการเดินทางของแพ็คเก็ต (transmission delay) จนถึงผู้รับ คือเมื่อแพ็คเก็ตอยู่ในโครงข่ายจะมี delay จากความล่าช้าทางเวลาที่เกิดจากคิวในตัวเราเตอร์ (queuing delay), ความล่าช้าทางเวลาที่เกิดจากการส่งแพ็คเก็ต (Serialization delay) โดยจะรวม jitter buffer เข้าไปด้วย

-Loss [3, 6] เกิดจากเมื่อแพ็คเก็ตถูกส่งไปในโครงข่ายแพ็คเก็ตเหล่านั้นสามารถหายหรือเสียหายได้ โดยปกติสาเหตุของการสูญหายคือเกิดการชนกัน (collision) ของแพ็คเก็ตในโครงข่ายและการส่งแพ็คเก็ตที่ผิดพลาด หรือแพ็คเก็ตถูกคัดทิ้งเมื่อระบบมีการจราจรหนาแน่น หรือมีสัญญาณรบกวน (noise) ในท้องส่งสัญญาณ โดยที่ ITU G.113 กำหนดให้ G.729 with voice activity detection มีอัตราการสูญหายของแพ็คเก็ตได้ไม่เกิน (packet loss ratio) 2 เปอร์เซ็นต์ จะมีค่า impairment factor หรือ I_e ให้ E-model เป็น 19 ซึ่งทำให้ค่า MOS Score ต่ำกว่า 3.5 [9, 10]

-Jitter [3, 6] คือความแปรปรวนของความล่าช้าทางเวลาเกิดจากแพ็คเก็ตที่มาต่อเนื่องกันโดยที่ความยาวของคิวในระบบมีจำกัดและมีการจราจรหนาแน่นในโครงข่าย jitter คือความแตกต่างของเวลาการมาถึงสำเร็จของแพ็คเก็ตครั้งที่สองที่มากกว่าการมาถึงของแพ็คเก็ตครั้งที่หนึ่ง โดยทุก ๆ แพ็คเก็ตที่ส่งมานั้นจะถูกนำมาเก็บที่ jitter buffer ก่อนที่จะปล่อยไปยังตัวถอดรหัสหรือ (Decoder) ตามรูปที่ 3 [3] โดยที่ jitter buffer นั้นใช้ในการกักเก็บแพ็คเก็ตที่เข้ามาทำให้สามารถคงที่เวลาของ jitter ได้ ในขณะที่สามารถปรับเปลี่ยน jitter buffer ตาม delay ที่เปลี่ยนไปตามเงื่อนไขของโครงข่ายได้ และ jitter buffer ขนาดใหญ่สามารถใช้ทดแทน jitter ขนาดใหญ่ แต่จะทำให้ delay มากขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 3 การทำงานในระบบ VoIP

E-Model [3, 10, 11, 12] ใช้ในการวัดคุณภาพของ end-to-end speech quality หรือ VoIP session โดยใช้คะแนนของ Mean opinion score (MOS) ดังแสดงในตารางที่ 2 [10, 11, 12] ที่ถูกคำนวณมาจาก R-factor ดังแสดงในตารางที่ 3 [10, 11, 12] ซึ่งใช้วัดช่วงคุณภาพของเสียงมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0 – 100

ตารางที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง R-Factor, Quality ratings และ MOS

R-Factor	Quality of voice rating	MOS
$90 < R \leq 100$	Best	4.34-4.50
$80 < R \leq 90$	High	4.03-4.34
$70 < R \leq 80$	Medium	3.60-4.03
$60 < R \leq 70$	Low	3.10-3.60
$50 < R \leq 60$	Poor	2.58-3.10

ตารางที่ 3 การแปลงค่าจาก R-factor เป็น MOS

R-Factor	MOS
$R < 0$	1
$R > 100$	4.5
$0 < R < 100$	$1 + 0.035R + 7 \cdot 10^{-6}R(R-60)(100-R)$

- การหาค่า Transmission Rating factor หรือ R-factor จาก ITU-T Rec G.107 [10] สามารถลดค่าให้เหลือแต่พารามิเตอร์หลักคือ delay และ loss จะได้สมการดังนี้ [11], [12], [14]

$$R = 94.2 - I_d - I_e \quad (1)$$

โดยที่ I_d คือตัวแทนของ end to end delay หรือ one-way delay สามารถหาค่าได้จาก

$$I_d = 0.024d - 0.11(d-177.3)H(d-177.3) \quad (2)$$

- เมื่อ d กำหนดให้เป็น end to end delay = 25 (voice codec delay) + 60 (delay จาก jitter buffer) + delay จาก network (หาค่าได้จากค่าเฉลี่ยของ end to end delay หรือค่าเฉลี่ย Round trip delay / 2) มีหน่วยเป็น milliseconds และ H(x) เป็น heavyside step function โดยถ้ามีค่าเท่ากับ 0 เมื่อ $X < 0$ และนอกจากนั้นเท่ากับ 1 [11, 14]

โดยที่ I_e คือตัวแทนของ loss rate จากค่า codec ของ G.729 สามารถหาค่าได้จาก

$$I_e = 11 + 40 \ln(1+10e) \quad (3)$$

เมื่อ e กำหนดให้เป็น loss rate คำนวณได้จาก packet loss rate = [(total packet lost / total packet send) * 100] [3], [13], [14]

OMNET++ [18] เป็นตัวซิมูเลชันที่ใช้ในการจำลองระบบโครงข่ายซึ่งตัว OMNET++ นั้นปัจจุบันเวอร์ชัน 4.1 เป็น stable version และเป็นโอเพนซอส ที่มีคอมไพล์พื้นฐาน, GUI, โมดูลในการซิมูเลชันให้ใช้งาน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่ 1 Simulating Wireless Mesh Networks [15] งานวิจัยนี้จะการจำลองระบบในการใช้งานด้าน VoIP ใน WMNs ใน NS-2 โดยการเพิ่มจำนวนสายที่ใช้งาน VoIP ใน WMNs และจำนวน hop ที่เพิ่มขึ้นโดยไม่มี background traffic และใช้ QoS ในการวัดจำนวนสายที่ใช้งาน VoIP ใน WMNs ในแต่ละ hop โดยเน้นประเด็นเรื่อง delay ที่จะทำให้ QoS ของ VoIP ที่มีค่า R-Factor ต่ำกว่า 70

งานวิจัยที่ 2 A Cross-layer Routing Scheme for Scalable Triple Play Service in Wireless Mesh Networks [16] งานวิจัยนี้จะการจำลองระบบในการใช้งาน VoIP ใน WMNs ใน NS-2 โดยการเพิ่มจำนวนสายที่ใช้งาน VoIP ประเภท FTP และ video โดยอัตราส่วนที่กำหนดใน WMNs และจำนวน hop ที่ไม่เกิน 2 hop และใช้ QoS ในการวัดจำนวนสายที่ใช้งาน VoIP ใน WMNs โดยเน้นประเด็นเรื่อง jitter ที่จะทำให้ QoS ของ VoIP ที่มีค่า R-Factor ต่ำกว่า 70

งานวิจัยที่ 3 VoIP on wireless meshes: Models, Algorithms and Evaluation networks [17] งานวิจัยนี้จะการจำลองระบบในการใช้งาน VoIP ใน WMNs ใน NS-2 โดยการเพิ่มจำนวนสายที่ใช้งาน VoIP ใน WMNs และจำนวน hop ที่เพิ่มขึ้นโดยไม่มี background traffic และใช้ QoS ในการวัดจำนวนสายที่ใช้งาน VoIP ใน WMNs ในแต่ละ hop โดยเน้นประเด็นเรื่อง loss rate ที่จะทำให้ QoS ของ VoIP ที่มีค่า R-Factor ต่ำกว่า 70

โดยสรุปยังไม่มีงานวิจัยที่กล่าวมาที่ศึกษาการใช้งาน VoIP ใน WMNs ประเภท Grid metric โดยใช้ตัวแปรต่าง ๆ ที่สอดคล้องกับการใช้งานในประเทศไทยและจำลองการใช้งานระบบในโปรแกรม OMNET++

ระเบียบวิธีการศึกษาวิจัย

ผู้วิจัยทำการจำลองการใช้งานโทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ตในโครงข่ายไร้สายแบบเมชที่เป็น Grid metric แบบ 6×6 แบ่งเป็นการส่งแบบ VoIP ประเภทเดียว และการส่ง VoIP

ร่วมกับ Background data traffic ประเภท FTP (File Transfer Protocol) 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ของขนาดช่องสัญญาณ และมีสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยมีการเพิ่มจำนวนปริมาณการใช้งานโทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ต ทั้งในกรณีที่เป็นแบบ single-hop และแบบ multi-hop จนกระทั่งค่าของ MOS ต่ำกว่า 3.50 โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ของระบบดังตารางที่ 4 และใช้โปรแกรม OMNET++ ในการจำลองระบบ และค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์คือ delay, packet loss, R-factor, E-model แล้วจึงนำมาผลการทดลองมาวิเคราะห์ผลที่ได้ในบทต่อไป

ตารางที่ 4 ค่าพารามิเตอร์ของระบบ

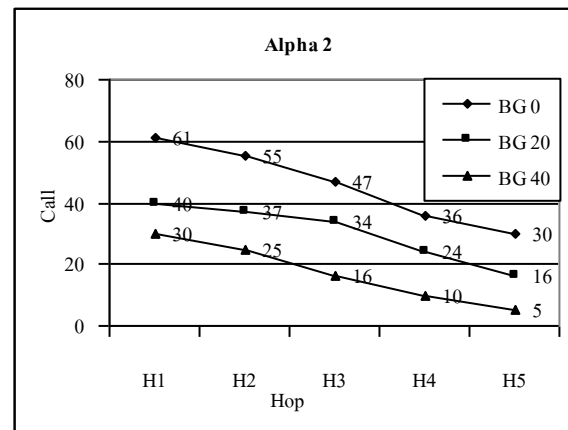
เวอร์ชันของ OMNET++	4.1
เวลาในการจำลองระบบ	60 วินาที
พื้นที่ในการจำลองระบบ (แบบไม่มีการเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่าย)	600*600 เมตร
โพรโทคอลค้นหาเส้นทาง	AODV
กำลังส่ง	100 มิลลิวัตต์
ระยะห่างระหว่าง AP	100 เมตร
มาตรฐาน IEEE 802.11b	11 Mbps.
ความถี่คลื่นวิทยุ	2.4 GHz.
ขนาดความจุของบัฟเฟอร์	5333 แพ็คเก็ต
Propagation model	Nakagami fading
รูปแบบการส่งข้อมูล	UDP 20 Bytes และ TCP 1500 Bytes

โดยในการวิจัยนี้ใช้ Voice encoder คือ G.729 ที่ซึ่งมีอัตราการส่ง 50 แพ็คเก็ตต่อ 1 วินาที และแต่ละแพ็คเก็ตมีขนาด 20 Bytes โดยใช้ UDP traffic ที่เป็นแบบ Constant bit rate (CBR) ที่มีแต่จังหวะที่ on ตลอดเวลา จะได้ throughput เท่ากับ 8 kbps โดยที่ค่า R-Factor ที่ยอมรับได้ต้องไม่ต่ำกว่า 70 หรือค่า E-model ที่ยอมรับได้ต้องไม่ต่ำกว่า 3.50 [9] โดยในการวิจัยนี้ใช้ค่า pathloss exponent (Alpha) [19] เป็นตัวที่กำหนดสภาพแวดล้อมคือกำหนดแบบ outdoor free space หรือ rural area ใช้ค่า Alpha = 2, แบบ urban area ใช้ค่า Alpha = 2.8, แบบ sub-urban area ใช้ค่า Alpha = 2.4 เพราะในปัจจุบันมีพื้นที่ที่เป็นเขตกึ่งชุมชน

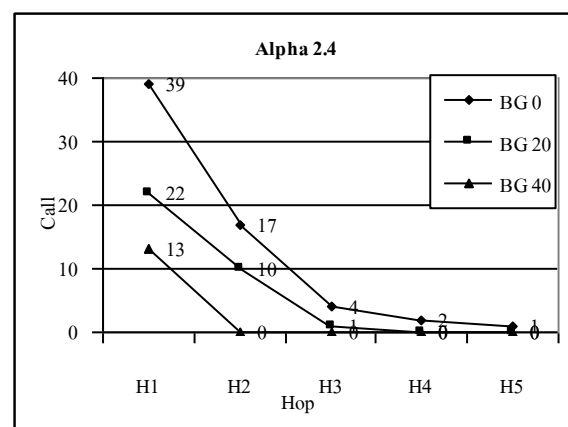
ผลการศึกษาวิจัยและการอภิปรายผล

ผลการศึกษาวิจัยที่ได้จากการนำค่าพารามิเตอร์ของระบบจากระเบียบวิธีวิจัยมาทำการจำลองระบบนั้น ซึ่งก่อนทำงานวิจัยที่เสนอนั้นผู้วิจัยได้ simulation เปรียบเทียบกับการวิจัย [5] เพื่อยืนยันความถูกต้องของโปรแกรม ในงานวิจัย

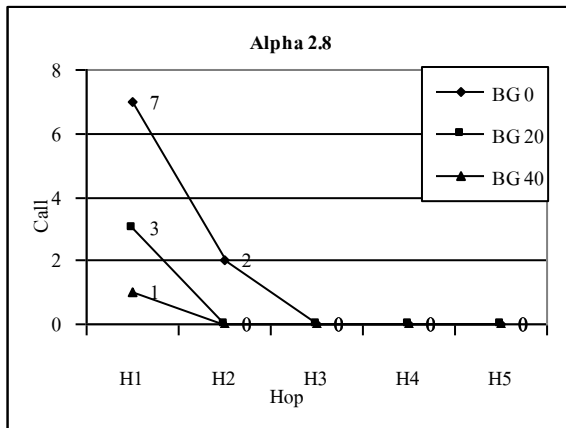
นี้ผลลัพธ์จากการจำลองระบบมาจากการหาค่าเฉลี่ยของตัวแปรแต่ละตัวจากการ simulation 30 ครั้ง โดยแต่ละครั้งมีการเปลี่ยนค่า Random seed ของระบบ โดยค่า Error bar มี significant ที่น้อยมากที่จะทำให้จำนวนสายที่มากที่สุดในการใช้งาน VoIP เปลี่ยนแปลงได้ในแต่ละ hop และแต่ละสภาพแวดล้อม รูปที่ 4 - 6 นั้นปรากฏว่าเมื่อจำนวน hop เพิ่มขึ้นจำนวนสายที่มากที่สุดในการรองรับการใช้งาน VoIP ประเภทเดียวและ VoIP + Background data traffic (BG) ที่เป็น FTP 20 และ 40 เปอร์เซ็นต์ของขนาดช่องสัญญาณ จะลดลงในแต่ละกรณีเป็นแบบเชิงเส้น (linear) และแต่ละสภาพแวดล้อม (alpha) จาก 2 เป็น 2.4 และ 2.8 นั้น จำนวนสายที่มากที่สุดในการรองรับการใช้งาน VoIP จะลดลงไปที่ละประมาณครึ่งหนึ่งของสภาพแวดล้อมก่อนหน้า



รูปที่ 4 จำนวนสายที่มากที่สุดของ VoIP ในแต่ละ hop ของสภาพแวดล้อม Alpha = 2 จนค่าของ E-model ต่ำกว่า 3.5



รูปที่ 5 จำนวนสายที่มากที่สุดของ VoIP ในแต่ละ hop ของสภาพแวดล้อม Alpha = 2.4 จนค่าของ E-model ต่ำกว่า 3.5



รูปที่ 6 จำนวนสายที่มากที่สุดของ VoIP ในแต่ละ hop ของสภาพแวดล้อม Alpha = 2.8 จนค่าของ E-model ต่ำกว่า 3.5

ตารางที่ 5 แสดงค่าปัจจัยหลักที่มีผลทำให้ค่า E-Model ต่ำกว่า 3.5 ในแต่ละ hop

BG	Alpha = 2				
	Hop 1	Hop 2	Hop 3	Hop 4	Hop 5
0	loss	loss	delay	delay	delay
20	loss	loss	delay	delay	delay
40	loss	loss	delay	delay	delay
BG	Alpha = 2.4				
	Hop 1	Hop 2	Hop 3	Hop 4	Hop 5
0	loss	loss	delay	delay	delay
20	loss	loss	delay	-	-
40	loss	-	-	-	-
BG	Alpha = 2.8				
	Hop 1	Hop 2	Hop 3	Hop 4	Hop 5
0	loss	loss	-	-	-
20	loss	-	-	-	-
40	loss	-	-	-	-

* "-" หมายถึง ค่า MOS score ต่ำกว่า 3.5 จึงไม่นำมาพิจารณา

การอภิปรายผลการทดลองที่ได้จากการจำลองระบบสามารถแยกได้เป็น 3 กรณีที่สภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันและตามจำนวน hop โดยหลักเกณฑ์การพิจารณาคือค่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นหาค่าได้จากจำนวนสายของ VoIP ที่ยังคงสามารถใช้งานได้จุดสุดท้ายก่อนที่ทำให้ค่า E-Model ต่ำกว่า 3.5 และจำนวนสายของ VoIP ที่ไม่สามารถใช้งานจุดแรกที่ทำให้ค่า E-Model ต่ำกว่า 3.5 โดยคำนวณทั้งค่าของ loss rate และ end to end delay จากนั้นนำค่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นของทั้งสองปัจจัยมาเปรียบเทียบกันว่าปัจจัยใดมีค่าเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นมากกว่ากัน ปัจจัยนั้นจะเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ค่า E-Model ต่ำกว่า 3.5 ซึ่งทำให้คุณภาพของ VoIP ต่ำกว่ามาตรฐาน ดังแสดงในตารางที่ 5

งานวิจัยนี้พบว่าปัจจัยที่เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ค่า E-Model ต่ำกว่า 3.5 คือกรณี 1 และ 2 hop จะมี loss rate เป็นปัจจัยหลัก ในกรณีที่ เป็น 3, 4, 5 hop จะมี end to end delay เป็นปัจจัยหลัก

จากผลการทดสอบข้างต้น สามารถสรุปได้ว่าโครงข่าย WMNs เหมาะสมที่จะใช้งาน VoIP ในสภาพแวดล้อมที่มีลักษณะเป็นที่โล่ง ซึ่งจะสามารถรองรับปริมาณการใช้งาน VoIP พร้อมกันจำนวนค่อนข้างสูง โดยเมื่อมีความหนาแน่นของสิ่งกีดขวางมากยิ่งขึ้น ประสิทธิภาพการใช้งาน VoIP ที่ระบบสามารถรองรับได้จะมีค่าต่ำลงแบบมีนัยสำคัญ นั่นคือสำหรับโครงข่าย WMNs ที่มีการติดตั้งในเขตชุมชนนั้น อาจจะไม่เหมาะที่จะมีการใช้งาน VoIP

สรุปผลการศึกษาวิจัย

งานวิจัยนี้จำลองการใช้งาน VoIP ใน WMNs โดยมีการเพิ่มจำนวนปริมาณการใช้งาน VoIP ทั้งแบบที่มีและไม่มี Background traffic ในสภาพแวดล้อมแบบ rural, sub-urban และ urban area โดย VoIP ที่ระบบรองรับได้จะพิจารณาในกรณีที่มีค่า E-Model ไม่ต่ำกว่า 3.50 เพื่อเป็นข้อมูลให้กับผู้ให้บริการโครงข่ายไร้สายแบบเมซประเภทกริดแบบ multi-hop พิจารณาในการออกแบบระบบก่อนที่จะใช้งานจริง โดยในปัจจุบันยังไม่มีการใช้งานจริงในสภาพแวดล้อมประเทศไทย ผลการจำลองในงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้คาดการณ์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ WMNs เมื่อมีการใช้งานจริงในอนาคต จากการจำลองระบบพบว่าในกรณีของ rural area นั้นสามารถใช้งาน VoIP ได้ 5 hop ทั้งในกรณีที่ไม่มีและไม่มี Background traffic ในกรณีของ sub-urban area สามารถใช้งาน VoIP และ Background traffic 20% ได้เพียง 2-3 hop เมื่อเพิ่ม Background traffic เป็น 40% จะสามารถใช้งาน VoIP ได้เพียง 1 hop และท้ายสุดสำหรับ urban area สามารถใช้งาน VoIP ได้ไม่เกิน 2 hop ในกรณีที่ไม่มี Background traffic และใช้งานได้ 1 hop ในกรณีที่ มี Background traffic

เอกสารอ้างอิง

- [1] I.F. Akyildiz and X. Wang, "A Survey on Wireless Mesh Networks", IEEE Communications Magazine Volume 43 Number 9, September 2005.
- [2] E. Hossain and K.K. Leung, "Wireless Mesh Networks: Architectures and Protocols", Springer, 2007.

- [3] P. Dely, "Adaptive Aggregation of Voice over IP in Wireless Mesh Networks", University of Karlstad, June 2007.
- [4] N. Youssef, T. Munakata, and M. Takeda, "Fade statistics in Nakagami fading environments", IEEE 4th International Symposium on 1996, vol3 pp 1244 – 1247, 1996.
- [5] R. Gantenbein, "VIRTUALMESH: AN EMULATION FRAMEWORK FOR WIRELESS MESH NETWORKS IN OMNET++", Master thesis, University of Bern, June 2010.
- [6] A. Ubaid and A. Ksentini, "Deployment of VoIP in the IEEE 802.11s Wireless Mesh Networks", Master thesis, University of Rennes, June 2008.
- [7] A. Zakrzewska, L. Koszalka and I. Pozniak-Koszalka, "Performance Study of Routing Protocols for Wireless Mesh Networks", 19th International Conference on Systems Engineering pp.331-336, 2008.
- [8] ITU G.114, "One-way transmission time International Telecommunication Union: Transmission Systems and Media" Digital Systems and Networks, 2003.
- [9] ITU-T Recommendation G.113, "Transmission impairments due to speech processing", 2001.
- [10] ITU-T Recommendation G.107, "The E-Model a computational model for use in transmission planning", March 2003.
- [11] R. Cole and J.H. Rosenbluth, "Voice over IP performance monitoring", ACM Computer Communication Review vol. 31, April 2001.
- [12] M. Gidlund and J. Ekling, "VoIP and IPTV distribution over wireless mesh networks in indoor environment", IEEE Transactions Vol. 54 pp 1665 – 1671, November 2008.
- [13] D. Singh et al., "Measurement of wireless Network Performance", IEEE National conference on advanced communication technologies and applications, May 2009.
- [14] S. Ganguly et al., "Performance Optimizations for Deploying VoIP Services in Mesh Networks", IEEE Journal on selected areas in communications Vol.24 NO.11, November 2006.
- [15] P. Rabiej, W. Sendor & L. Prytek, "Simulating Wireless Mesh Networks", University of Science and Technology AGH Distributed Network Environments, May 2009.
- [16] V.Borges, M. Curado, and E. Monteiro, "A Cross-layer Routing Scheme for Scalable Triple Play Service in Wireless Mesh Networks", 2010.
- [17] A. Kashyap, "VoIP on wireless meshes: Models, Algorithms and Evaluation networks", INFOCOM 2007 26th IEEE International Conference on Computer Communications, May 2007.
- [18] OMNET++, "User Manual version 4.1", from <http://www.omnetpp.org>.
- [19] E.M. van Eenennaam, "A Survey of Propagation Models used in Vehicular Ad hoc Network (VANET) Research", University of Twente, June 2008.