

การออกแบบตำแหน่งโหนดสำหรับเครือข่ายเมชไร้สายภายในตัวอาคาร

นางสาวสุกัญญา ชาอูรัมย์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2553

**DESIGN OF NODE LOCATIONS FOR INDOOR
WIRELESS MESH NETWORKS**

Sukunya Sauram

**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 2010

การออกแบบตำแหน่งโหนดสำหรับเครือข่ายเมฆไร้สายภายในตัวอาคาร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับเป็น ส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(อ. ดร.สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.ปิยาภรณ์ กระจกอคนอก)

กรรมการ

(อ. ดร.วุฒิ คำนกิตติกุล)

รักษาการแทนรองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ จำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

สุกัญญา ซาอูร์มย์ : การออกแบบตำแหน่งโหนดสำหรับเครือข่ายเมชไร้สาย

ภายในตัวอาคาร (DESIGN OF NODE LOCATIONS FOR INDOOR WIRELESS MESH NETWORKS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล, 96 หน้า.

เครือข่ายเมชไร้สาย (Wireless Mesh Networks : WMNs) คือ กลุ่มของโหนดไร้สายที่ติดต่อกันผ่านคลื่นวิทยุ ดังนั้นในความเป็นจริงแล้วจะมีข้อจำกัดเรื่องของระยะทางและสิ่งกีดขวางที่จะทำให้คลื่นวิทยุส่งไปไม่ถึงเป้าหมายที่ต้องการ โดยเฉพาะการส่งข้อมูลภายในอาคาร เนื่องจากส่วนใหญ่ไม่ว่าจะเป็นบ้านเรือนหรืออาคารสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ มักจะมีการฝังวัสดุที่เป็นเหล็กเอาไว้ภายใน ซึ่งมีผลกระทบต่อคลื่นวิทยุ ทำให้คลื่นวิทยุไม่สามารถส่งผ่านตัวกลางเหล่านี้ได้อย่างสะดวก ภาครับก็จะรับสัญญาณด้วยระดับกำลังสัญญาณที่ต่ำกว่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่ามิงงานวิจัยมากมายที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบเครือข่ายเมชไร้สายในด้านสมรรถนะต่าง ๆ เช่น การหาจุดสมดุลระหว่าง ปริมาณงาน (Throughput) การพิจารณาปริมาณงานในการส่งต่อหลาย ๆ ครั้ง แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีปริทัศน์วรรณกรรมใดนำเสนอผลกระทบจากสิ่งกีดขวางมาพิจารณา ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้สนใจศึกษาถึงผลกระทบของสิ่งกีดขวางเหล่านั้นต่อสมรรถนะของเครือข่ายโดยพิจารณาจาก ค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ที่มีผลต่อความสำเร็จในการส่งข้อมูล ซึ่งตัวแปรที่สนใจนี้ในทางทฤษฎีของระบบเครือข่ายเมชไร้สายนั้นจะถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งจะเท่ากันเสมอไม่ว่าโหนดจะติดตั้งอยู่ในบริเวณใดก็ตาม แต่ตามความเป็นจริงค่าความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลสำเร็จ น่าจะมีผลมาจากปัจจัยภายนอกหลาย ๆ อย่าง โดยในงานวิทยานิพนธ์นี้จะทำการวิเคราะห์และออกแบบตำแหน่งโหนดที่สามารถติดตั้งภายในอาคาร และมีปริมาณงานที่ดีที่สุดได้ ภายใต้ข้อจำกัดของกำลังงานส่งที่เท่า ๆ กันในแต่ละโหนดได้

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

ปีการศึกษา 2553

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

SUKUNYA SAURAM : DESIGN OF NODE LOCATIONS FOR INDOOR
WIRELESS MESH NETWORKS. THESIS ADVISOR : ASST. PROF.
PEERAPONG UTHANSAKUL, Ph.D., 96 PP.

Wireless Mesh Networks : WMNs is a group of wireless nodes connecting each other by radio wave transmission. Therefore, the signal quality depends on distance and obstruction, especially sending information inside the building. Most of houses or buildings have the metal or conductive materials as the main part of constructions. This causes the effect on wireless signals when they are sent through those constructions and also it cannot be avoided for indoor communications. In literatures, there are many researches working on WMNs but it is hardly seen that any work reports the effect of obstructions on WMN performance. In this thesis, the relation between the received signal strength and the probability of successful transmission has been measured in order to utilize this result as the obstruction effect and take it in the analysis of WMN performance. This thesis also presents the method to design of node locations for indoor WMNs by concerning the throughput performance.

School of Telecommunication Engineering Student's Signature _____

Academic Year 2010

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างยิ่ง ทั้งด้านวิชาการ และด้านดำเนินงานวิจัย จากบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

รองศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มนต์ทิพย์ภา อุฑารสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุติมา พรหมมาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.ประโยชน์ คำสวัสดิ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปิยาภรณ์ กระจงนอก และ อาจารย์ ดร.สมศักดิ์ วาณิชอนันต์ชัย อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่กรุณาให้คำปรึกษา ให้ความรู้ด้านวิชาการและให้กำลังใจมาโดยตลอด

ขอขอบคุณพี่น้องบัณฑิตศึกษาทุกคน ที่คอยให้คำปรึกษาช่วยเหลือด้านวิชาการ และให้กำลังใจมาโดยตลอด และขอขอบคุณ คุณนฤนาถ เขียวหวาน และ คุณมินา หลุมทอง ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในด้าน ผลการทดสอบของงานโปรเจ็คซึ่งมีความสำคัญในการจัดทำวิทยานิพนธ์

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับบิดา มารดา ซึ่งเป็นที่เคารพยิ่ง ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ผู้วิจัยตลอดมา จนทำให้การดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

สุกัญญา ชาอูรัมย์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญรูป.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	2
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	2
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	3
1.6.1 แนวทางการดำเนินงานวิจัย.....	3
1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย.....	3
1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	4
1.8 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์.....	4
2 ปรัชญาวรรณกรรมและหลักการที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 กล่าวนำ.....	5
2.2 ปรัชญาและงานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.3 นวัตกรรมของงานวิจัย.....	7
2.4 สรุปงานวิจัย.....	8

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3	ทฤษฎีแถวคอยสำหรับการวิเคราะห์การออกแบบตำแหน่งโหนดสำหรับ	
	เครือข่ายเมฆไร้สายภายในตัวอาคาร	9
3.1	กล่าวนำ	9
3.2	ระบบเครือข่ายเมฆไร้สาย	9
3.2.1	โครงสร้างของเครือข่ายเมฆไร้สาย	10
3.2.1.1	โครงสร้างแบบโครงสร้างพื้นฐานหรือเครือข่ายหลัก ของเครือข่ายเมฆไร้สาย	10
3.2.1.2	โครงสร้างของเครือข่ายผู้ใช้งานเครือข่ายเมฆไร้สาย	11
3.2.1.3	โครงสร้างเครือข่ายเมฆไร้สายแบบไฮบริด.....	11
3.2.2	มาตรฐาน IEEE802.11s	13
3.3	ทฤษฎีแถวคอย	13
3.3.1	องค์ประกอบพื้นฐานในระบบแถวคอย	14
3.3.2	ปัจจัยที่มีผลต่อระบบแถวคอย	14
3.3.2.1	กระบวนการเข้าใช้ระบบ	15
3.3.2.2	การกระจายของเวลาบริการ	15
3.3.2.3	จำนวนหน่วยบริการ	15
3.3.2.3	ขนาดของระบบ	15
3.3.3	รูปแบบการบริการ	15
3.3.4	สัญลักษณ์ที่ใช้ในแบบจำลองแถวคอย	16
3.4	ระบบการเข้าแถวคอย แบบ M/M/1/K.....	16
3.4.1	ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการในระบบ j คน	18
3.4.2	ค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้งานในระบบ	23
3.4.3	ค่าเฉลี่ยของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในระบบ	24
3.5	สรุป	26
4	การวิเคราะห์ปริมาณงานและศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ	การออกแบบ.....
4.1	กล่าวนำ	28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.2	สมการคณิตศาสตร์เพื่อการออกแบบ	29
4.2.1	การคำนวณหาปริมาณงานในระบบเนื่องจากผลกระทบ จากสิ่งแวดล้อมภายนอก	29
4.2.2	การเปรียบเทียบปริมาณงานที่ได้ระหว่างโปรแกรม ในงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิง	36
4.3	ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการออกแบบ	38
4.3.1	ความแรงของสัญญาณ	38
4.3.2	แบบจำลองการสูญเสียกำลังของสัญญาณ	41
4.3.3	การทดสอบผลกระทบของสิ่งกีดขวาง ต่อปริมาณงาน	42
4.4	การวิเคราะห์ปริมาณงานที่เท่าเทียมกันของแต่ละโหนด	45
4.4.1	การทดสอบเพื่อหาปริมาณงานที่เท่าเทียมกันของแต่ละโหนด	55
4.5	สรุป	57
5	การทดสอบและวิเคราะห์ผล	58
5.1	กล่าวนำ	58
5.2	การทดสอบปัจจัยด้านระยะทาง	58
5.2.1	ตัวอย่างการทดสอบด้านระยะทาง	60
5.3	การทดสอบปัจจัยด้านปรับอัตราการส่งข้อมูล	64
5.4	การดำเนินการทดสอบเพื่อหาวิธีการออกแบบการวางตำแหน่ง ของโหนดที่เหมาะสม	65
5.4.1	การทดสอบเพื่อหาวิธีการออกแบบการวางตำแหน่งของโหนด	65
5.5	การออกแบบและติดตั้งเครือข่ายเมชไร้สายให้มีประสิทธิภาพ	70
5.6	สรุป	70
6	สรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ	71
6.1	สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์	71
6.2	ปัญหาและข้อเสนอแนะ	74
6.3	งานวิจัยในอนาคต	74

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง	75
ภาคผนวก	77
ภาคผนวก ก. บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	77
ประวัติผู้เขียน	96

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
3.1	การเชื่อมต่อเครือข่ายเมฆไร้สาย..... 11
3.2	การเชื่อมต่อเครือข่ายผู้ใช้งานเครือข่ายเมฆไร้สาย 12
3.3	การเชื่อมต่อเครือข่ายเมฆแบบไฮบริด 13
3.4	แผนภาพการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบแถวคอยแบบ M/M/1/K..... 18
3.5	ความน่าจะเป็นสถานะอยู่ตัวสำหรับค่าของปริมาณทราฟฟิก ที่ป้อนเข้าสู่ระบบน้อยกว่า 1 22
3.6	ความน่าจะเป็นสถานะอยู่ตัวสำหรับค่าของปริมาณทราฟฟิก ที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากับ 1 22
3.7	ความน่าจะเป็นสถานะอยู่ตัวสำหรับค่าของปริมาณทราฟฟิก ที่ป้อนเข้าสู่ระบบมากกว่า 1..... 23
4.1	ตัวอย่างของสิ่งกีดขวางจากโหนดถึงตัวปล่อยสัญญาณ 30
4.2	แบบจำลอง M/M/1/K ของเครือข่ายเมฆไร้สาย..... 30
4.3	ตัวอย่างของการกำหนดตำแหน่งของโหนด 31
4.4	รูปแบบการจำลองระบบเครือข่ายเมฆไร้สาย 36
4.5	ค่าเฉลี่ยของปริมาณงานที่ได้จากโปรแกรมในงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิง 37
4.6	การทดสอบความแรงของสัญญาณ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ 40
4.7	ความสัมพันธ์ระหว่างความผิดพลาดของข้อมูลและความแรงของสัญญาณ 41
4.8	อาคารวิชาการชั้น 4 ที่ใช้ในการทดสอบ 43
4.9	รูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดในอาคารวิชาการชั้น 4 44
4.10	ค่าเฉลี่ยของปริมาณเปรียบเทียบงานที่ได้จากโปรแกรมในงานวิจัย และงานวิจัยอ้างอิง 45
4.11	ประสิทธิภาพของอัตราการส่งข้อมูลของ Q_r และประสิทธิภาพของ อัตราการส่งข้อมูลของ Q_s 46
4.12	ตัวอย่างการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดและเส้นทางในการส่งข้อมูล 55
4.13	ค่าเฉลี่ยของปริมาณงานที่เท่าเทียมกันและไม่เท่าเทียมกัน 55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.1 ตัวอย่างในการออกแบบวางตำแหน่งของโหนด.....	61
5.2 การกระจายสัญญาณของจุดเข้าถึงสัญญาณ d_1 d_2 และ d_3	63
5.3 การกระจายสัญญาณของจุดเข้าถึงสัญญาณ d_1 d_2 และ d_3	64
5.4 อาคารวิชาการชั้น 4 ที่ใช้ในการทดสอบ	66
5.5 รูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดและแสดงเส้นทาง ในการส่งข้อมูล.....	66
5.6 ปริมาณงานของรูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดแบบที่ 1	67
5.7 ปริมาณงานของรูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดแบบที่ 2	67
5.8 ปริมาณงานของรูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดแบบที่ 3	68
5.9 ปริมาณงานของรูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดแบบที่ 4	68
5.10 ค่าเฉลี่ยของปริมาณงานของรูปแบบการจำลองการวางตำแหน่ง ของโหนดแบบที่ 1 2 และ 3.....	79

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 การตั้งค่าตัวแปรการทดลองเปรียบเทียบปริมาณงานที่ได้ระหว่างโปรแกรม จากงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิง	36
4.2 ชนิดและค่าพารามิเตอร์ของ จุดเข้าถึงสัญญาณภายในบริเวณ อาคารวิชาการชั้นที่ 4.....	42
4.3 การตั้งค่าตัวแปรการทดลองเปรียบเทียบปริมาณงานที่ได้จากงานวิจัย และงานวิจัยอ้างอิง.....	44
4.4 ค่าการลดทอนเนื่องจากสิ่งกีดขวาง	44
4.5 การตั้งค่าตัวแปรการทดลองเปรียบเทียบปริมาณงานที่ได้จากงานวิจัย และงานวิจัยอ้างอิง.....	55
5.1 การตั้งค่าตัวแปรการทดลองหาปริมาณงานที่ของการเลือกวาง ตำแหน่งแบบที่ 1 2 3 และ 4	69

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เทคโนโลยีเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย (Wireless Local Area Networks : WLANs) เจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และได้ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันนี้เครือข่ายไร้สายเชื่อมต่อสื่อสารกันระหว่างผู้ใช้งานกับเครือข่ายด้วยอุปกรณ์ไร้สายที่มีขอบเขตในการให้บริการจำกัด การเชื่อมต่อสื่อสารกันระหว่างผู้ใช้งานกับเครือข่ายจะต้องผ่านจุดเข้าถึงสัญญาณ (Access Points) ซึ่งจุดเข้าถึงสัญญาณแต่ละจุดจะติดต่อสื่อสารกันโดยใช้สายเคเบิล เพราะเหตุนี้จึงทำให้เกิดความยากลำบากในการใช้งานในบางพื้นที่ที่จุดเข้าถึงสัญญาณส่งไปไม่ถึง ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดที่จะขยายขอบเขตของเครือข่ายและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานของเครือข่ายท้องถิ่นไร้สายโดยการใช้เทคโนโลยีเครือข่ายเมชไร้สาย

เครือข่ายเมชไร้สาย คือ เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายที่ทำให้ จุดเข้าถึงสัญญาณสามารถส่งผ่านข้อมูล หรือทราฟฟิกถึงกันได้โดยตรงแบบไร้สาย ไม่ต้องผ่านสายเคเบิล และระบบเครือข่ายเมชไร้สาย เป็นการเชื่อมต่อกันของเมชเราเตอร์ (Mesh Router) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า โหนด (Node) แบบไร้สาย และยังไม่จำกัดแค่จุดเข้าถึงสัญญาณเท่านั้นที่จะส่งมายังโหนดได้ อาจจะเป็นสถานีฐาน (Base Station) และสถานีอื่น ๆ ที่โหนดรองรับอยู่ และโหนดยังทำหน้าที่เป็นตัวปล่อยสัญญาณ (Gateway) ส่งสัญญาณไปยังเครือข่ายอื่น ๆ อีกด้วย ปัจจุบันจุดเข้าถึงสัญญาณยังไม่สามารถสื่อสารถึงกันแบบไร้สายได้ การสื่อสารจำเป็นต้องผ่านสายเคเบิลซึ่งโยงระหว่าง จุดเข้าถึงสัญญาณแต่ละตัวผ่านเครือข่ายหลักหรือแบ็กโบน (Backbone) และระยะทางที่เครือข่ายเมชไร้สาย สามารถที่จะทำการเชื่อมต่อได้ประมาณ 300 ฟุต จากจุดเชื่อมต่อ เครือข่ายเมชไร้สายซึ่งเป็นเครือข่ายที่มีการเชื่อมต่อกับสถานีทุกสถานี โดยอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อเข้าระบบเครือข่ายนี้จะทำงานเปรียบเสมือนโหนด หรือจุดเชื่อมต่อหนึ่งในระบบที่คอยส่งต่อข้อมูลไปยังจุดเชื่อมต่อถัดไป ดังนั้นหากเกิดกรณีที่สถานีแม่ข่ายเสีย ทำให้ไม่สามารถเชื่อมต่อกับสถานีแม่ข่ายนั้น ๆ ได้ จุดเชื่อมต่อก็สามารถย้ายไปเชื่อมต่อกับสถานีแม่ข่ายอื่น ๆ ที่อยู่ข้างเคียงในระบบเครือข่ายเดียวกันได้ ข้อแตกต่างระหว่างเครือข่ายเมชไร้สายกับเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย ที่สำคัญคือ เครือข่ายเมชไร้สายจะไม่มีอุปกรณ์จัดเส้นทาง (Routers) เพราะได้รวมเอาจุดเข้าถึงสัญญาณกับอุปกรณ์จัดเส้นทาง เข้าด้วยกัน เรียกว่า เมชเราเตอร์ และ ผู้ใช้งาน (User) ก็เปลี่ยนเป็น Mesh Client

เนื่องจากในระบบเครือข่ายเมฆไร้สาย เป็นกลุ่มของโหนดไร้สายที่ติดต่อกันผ่านคลื่นวิทยุ โดยไม่ต้องใช้สายใด ๆ ในการเชื่อมโยงระหว่างโหนด ดังนั้นในความเป็นจริงแล้วจะมีข้อจำกัดในเรื่องของระยะทางและสิ่งกีดขวางที่จะทำให้คลื่นวิทยุส่งไปไม่ถึง โดยเฉพาะการส่งข้อมูลภายในอาคาร เนื่องจากส่วนใหญ่ไม่ว่าจะเป็นบ้านหรืออาคารสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ มักจะมีการฝังวัสดุที่เป็นเหล็กเอาไว้ภายใน ซึ่งส่งผลกระทบต่อคลื่นวิทยุ ทำให้คลื่นวิทยุไม่สามารถส่งผ่านตัวกลางเหล่านี้ได้สะดวก ภาครับก็จะรับสัญญาณด้วยระดับกำลังสัญญาณที่ต่ำกว่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมที่ผ่านมาได้มีการศึกษาเกี่ยวกับระบบเครือข่ายเมฆไร้สาย ในด้านสมรรถนะต่าง ๆ เช่น การหาจุดสมดุลระหว่าง ปริมาณงาน (Throughput) Liu, T., and Liao., W, (2008) และส่วนใหญ่จะพิจารณาปริมาณงานในการส่งต่อหลาย ๆ ครั้ง แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีปริทัศน์วรรณกรรมใดนำเสนอผลกระทบจากสิ่งกีดขวางมาพิจารณา ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จึงได้สนใจศึกษาถึงผลกระทบของสิ่งกีดขวางเหล่านั้นต่อสมรรถนะของเครือข่ายโดยพิจารณาจากค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ที่มีผลต่อความสำเร็จในการส่งข้อมูล ซึ่งตัวแปรที่สนใจนี้คือ ค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จซึ่งในทางทฤษฎีของระบบเครือข่ายเมฆไร้สาย จะถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งจะเท่ากันเสมอไม่ว่าโหนดจะติดตั้งอยู่ในบริเวณใด แต่ในหลักความเป็นจริงค่าความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลสำเร็จ น่าจะมีผลมาจากปัจจัยภายนอกหลาย ๆ อย่าง โดยในงานวิทยานิพนธ์นี้จะทำการวิเคราะห์และออกแบบตำแหน่งโหนดที่สามารถติดตั้งภายในอาคาร และมีปริมาณงานที่ดีที่สุดได้ ภายใต้ข้อจำกัดของกำลังงานส่งที่เท่า ๆ กัน ในแต่ละโหนดได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของสิ่งกีดขวางต่อสมรรถนะในเครือข่ายเมฆไร้สาย
- 1.2.2 เพื่อนำเสนอวิธีการออกแบบการติดตั้งโหนดของเครือข่ายเมฆไร้สายภายในตัวอาคารโดยนำผลกระทบจากสิ่งกีดขวางมาพิจารณา

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

- 1.3.1 การติดตั้งโหนดที่ตำแหน่งต่าง ๆ กัน และมีสิ่งกีดขวางไม่เหมือนกัน จะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของเครือข่ายเมฆไร้สาย
- 1.3.2 ภายใต้บริเวณอาคารหนึ่ง ๆ ถ้าพิจารณาผลกระทบของสิ่งกีดขวางภายในตัวอาคารแล้วจะสามารถทำให้การออกแบบติดตั้งโหนดเหมาะสมกับพื้นที่บริเวณนั้นจริง

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ใช้โปรแกรมแมทแลบ (MATLAB) ในการจำลองผลด้วยวิธีการกำหนด พื้นที่ จำนวน โหนดที่จะใช้ในการออกแบบ

1.4.2 ออกแบบและจำลองรูปแบบการวางตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมโดยนำปัจจัยภายนอกมาพิจารณา

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 สิ่งกีดขวางพิจารณาเฉพาะภายใน 1 ชั้น ไม่คิดระหว่างชั้น

1.5.2 ออกแบบและจำลองรูปแบบการวางตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมและสอดคล้องตามค่าความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลสำเร็จที่เปลี่ยนแปลงไป

1.5.3 วิเคราะห์ผลโดยสังเกตค่าของความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลสำเร็จ ที่เปลี่ยนแปลงไป และค่าปริมาณงานที่ได้เพื่อให้ได้ตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมกับ พื้นที่ ที่ทำการจำลองขึ้นมา

1.5.4 ในการวิเคราะห์ปริมาณงานพิจารณาเครือข่ายเมชไร้สายแบบ M/M/1/K เท่านั้น

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน

1.6.1.1 สืบค้นปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

1.6.1.2 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบเครือข่ายเมชไร้สาย

1.6.1.3 ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎีแถวคอย

1.6.1.4 ใช้โปรแกรมแมทแลบ ในการจำลองผลด้วยวิธีการกำหนดพื้นที่เพื่อให้ได้ตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสม

1.6.1.5 ออกแบบและจำลองรูปแบบการวางตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสม

1.6.1.6 วิเคราะห์ผลโดยสังเกตค่าความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลสำเร็จที่เปลี่ยนแปลงไป และสังเกตตำแหน่งของโหนดที่ได้เพื่อให้เหมาะสมและถูกต้องกับวิธีการออกแบบ

1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย

เป็นงานวิจัยประยุกต์ ซึ่งดำเนินการตามกรอบงานดังต่อไปนี้

1.6.2.1 การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสืบค้นปริทัศน์วรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

1.6.2.2 ใช้โปรแกรมแมทแลบ ในการออกแบบและจำลองรูปแบบการวางตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสม

1.6.2.3 วิเคราะห์ผลโดยสังเกตค่าของความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลสำเร็จที่เปลี่ยนแปลงและเพื่อให้ได้ตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมกับวิธีการออกแบบ

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 ได้วิธีการออกแบบตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งโหนดของเครือข่ายเมชไร้สายภายในพื้นที่ที่กำหนด

1.7.2 สามารถนำวิธีในการออกแบบไปใช้งานกับเครือข่ายเมชไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.8 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งออกเป็น 6 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้นสำหรับการทำวิจัย วิธีดำเนินการวิจัยและ ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับสำหรับทำงานวิจัยนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 เป็นการศึกษาทฤษฎีแถวคอยสำหรับการวิเคราะห์การออกแบบตำแหน่งโหนดสำหรับเครือข่ายเมชไร้สายในตัวอาคาร

บทที่ 4 เป็นการวิเคราะห์ปริมาณงานและศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อารออกแบบสำหรับเครือข่ายเมชไร้สายในตัวอาคาร

บทที่ 5 เป็นการแสดงถึงวิธีการที่ใช้ในการทดสอบและวิเคราะห์การติดตั้งตำแหน่งของโหนดของเครือข่ายเมชไร้สาย

บทที่ 6 สรุปงานวิจัยที่ทำมาทั้งหมด และมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัยที่สามารถทำได้ในอนาคต

บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

เครือข่ายเมฆไร้สาย คือ กลุ่มของ โหนดไร้สายที่ติดต่อกันผ่านคลื่นวิทยุ ดังนั้น ในความเป็นจริงแล้วจะมีข้อจำกัดเรื่องของระยะทางและสิ่งกีดขวางที่จะทำให้คลื่นวิทยุส่งไปไม่ถึงเป้าหมาย โดยเฉพาะการส่งข้อมูลภายในอาคาร เนื่องจากส่วนใหญ่บ้านเรือนหรืออาคารสิ่งก่อสร้างต่าง ๆ มักจะมีการฝังวัสดุที่เป็นเหล็กเอาไว้ภายใน ซึ่งมีผลกระทบต่อคลื่นวิทยุ ทำให้คลื่นวิทยุไม่สามารถส่งผ่านตัวกลางเหล่านี้ได้สะดวก ภาครับก็จะรับสัญญาณด้วยระดับกำลังสัญญาณที่ต่ำกว่าที่คำนวณได้ทางทฤษฎี

ดังนั้น การออกแบบการวางตำแหน่งของ โหนดในเครือข่ายเมฆไร้สายเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพที่ดีนั้น จึงมีความจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ เหล่านี้ที่ส่งผลต่อการออกแบบ และผลกระทบที่งานวิจัยนี้นำมาพิจารณาในการออกแบบ คือ ผลกระทบที่เกิดจากสิ่งแวดล้อม เช่น ฝาผนัง หรือสิ่งกีดขวางต่าง ๆ อันจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อค่าความแรงของสัญญาณ และ ค่าปริมาณงานที่ได้รับจริง

2.2 ปรัทัศน์และงานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

เริ่มต้นได้มีการศึกษาและพิจารณาถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านสมรรถนะในด้านต่าง ๆ ของเครือข่ายเมฆไร้สายซึ่งสามารถนำเครือข่ายเมฆไร้สายมาพัฒนาต่อ โดยสามารถนำกระบวนการเทคนิคต่าง ๆ มาเป็นแนวคิดเพื่อหาสมการคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกับข้อจำกัดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการออกแบบเครือข่ายเมฆไร้สาย ได้มีการศึกษาและวิจัยกันอย่างแพร่หลาย และยังมีงานวิจัยอื่น ๆ ที่ส่งผลให้เกิดการพัฒนาเทคนิคและการวิเคราะห์ปัญหาการออกแบบเครือข่ายเมฆไร้สาย เพื่อให้ครอบคลุมปัญหามากยิ่งขึ้น โดยสามารถแสดงให้เห็นความเป็นมาตั้งแต่เริ่มวิเคราะห์สมรรถนะในด้านต่าง ๆ ของเครือข่ายเมฆไร้สาย จนถึงวิธีการที่จะนำมาซึ่งวิธีการคำนวณในการออกแบบของเครือข่ายเมฆไร้สาย และสามารถสรุปได้ดังนี้

งานวิจัยของ Gupta, P., and Kumar, P.R. (2000) ได้นำเสนอกระบวนการการเลือกเส้นทางในการส่งข้อมูลของแต่ละโหนด ซึ่งได้นำปัจจัยต่าง ๆ มาใช้ในการพิจารณา เช่น จำนวนของโหนด จำนวนฮอป และศึกษาถึงผลกระทบของการเคลื่อนย้ายตำแหน่งของโหนดโดยเสนอถึงวิธีการในการกำหนดเส้นทางซึ่งคำนึงถึงผลของปริมาณงานที่ได้เพื่อให้ได้ปริมาณงานที่สูงที่สุด และในงานวิจัยได้พิจารณาเครือข่ายแบบ Ad hoc ซึ่งในแต่ละโหนดมีการกระจายแบบสุ่ม และปลายทางของแต่ละโหนดจะมีการถูกเลือกโดยอิสระ งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอวิธีการต่าง ๆ เพื่อจะนำไปคำนวณหาปริมาณงานในเครือข่ายได้

งานวิจัยของ Muthaiah, N., et al. (2007) ได้นำเสนอกระบวนการในการพัฒนาอัตราเร็วในการส่งข้อมูลให้สูงที่สุดในเครือข่ายเมฆไร้สาย โดยใช้สายอากาศแบบทิศทาง ผลจากการพิจารณาดังกล่าวสามารถแสดงให้เห็นว่าปริมาณงานที่ได้มีค่าสูงที่สุด จากสถานการณ์ที่เป็นจริงนั้น ในการติดตั้งสายอากาศแบบรอบทิศทางจะทำให้ได้ปริมาณงานที่ต่ำ บทความนี้จึงเสนอการใช้สายอากาศแบบทิศทาง ซึ่งจะทำให้ได้ปริมาณงานที่สูงขึ้น

งานวิจัยของ Peng, M., et al. (2007) ได้นำเสนอถึงโครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายเมฆไร้สาย และวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพของโครงสร้างพื้นฐานในเครือข่ายเมฆไร้สายโดยใช้วิธีการในการตรวจสอบเส้นทางในการส่งข้อมูลในชั้น Cross-layer โดยอาศัยการส่งข้อมูลทางช่องสัญญาณและการส่งผ่าน โดยการควบคุมทางกายภาพในชั้น Cross-layer และกำหนดการเลือกเส้นทางใน Medium Access Control ในงานวิจัยนี้เป็นวิธีการควบคุมและนำเสนอถึงการปรับปรุงเครือข่ายโดยพิจารณาถึงปัญหาการรบกวนของสัญญาณ และผลของการจำลองแสดงให้เห็นถึงการเสนอวิธีการในการออกแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพเพื่อที่จะสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของปริมาณงานให้มีปริมาณงานที่ดีที่สุดได้

งานวิจัยของ Tang, J., and Xue, G. (2007) ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการควบคุมการกำหนดเส้นทางในการส่งข้อมูลของเครือข่ายไร้เมฆไร้สาย ในชั้น Cross-Layer และ Medium Access Control วัตถุประสงค์ที่สำคัญคือการจัดสรรกลไกของอัตราการส่งข้อมูลในหลาย ๆ ช่องทาง และการกำหนดช่วงเวลาของการส่งข้อมูล สำหรับชุดข้อมูลของการสื่อสารแบบจุดต่อจุดเพื่อให้ได้ช่วงเวลาของการส่งข้อมูลในระบบเครือข่ายเมฆไร้สายมีค่ามากที่สุดและได้มีการจัดสรรความเท่าเทียมกันของปริมาณงานซึ่งมีรูปแบบในการประยุกต์ความเท่าเทียมกันเพื่อให้ได้ปริมาณงานที่สูงที่สุดและเท่าเทียมกันในทุก ๆ จุด ในงานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอวิธีการเขียนโปรแกรมเชิงเส้น เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ และผลเชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนรูปแบบของการจัดสรรความเท่าเทียมกันของปริมาณงานจะทำให้ได้ปริมาณงานที่ดีที่สุด

งานวิจัยของ Gamal, A.E., et al. (2004) ได้นำเสนอถึงการพิจารณาหาจุดสมดุลที่สุดระหว่าง ปริมาณงาน (Throughput) กับค่าหน่วงเวลา (Delay) โดยมีการพิจารณาการเปลี่ยนแปลง

ของจำนวนฮอป พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของรัศมีการส่งสัญญาณพิจารณาการเคลื่อนที่ของโหนด และส่วนใหญ่แล้วจะพิจารณาปริมาณงานและกำหนดเวลาในการส่งต่อหลาย ๆ ครั้ง

งานวิจัยของ Wu, X., et al. (2006) ได้นำเสนอถึงการออกแบบระบบเครือข่ายเมฆไร้สาย ภายใต้ข้อจำกัดหลาย ๆ ประการ เช่น การศึกษาวิเคราะห์ลักษณะการเกิดคอคอดของปริมาณงาน และกำหนดเวลาของเครือข่ายเมฆไร้สาย และเสนอวิธีการออกแบบเพื่อให้ได้ปริมาณงานและกำหนดเวลาที่ดีที่สุด

งานวิจัยของ Liu, T., and Liao, W. (2008) ได้นำเสนอการจำลองหาตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมที่ขึ้นอยู่กับปริมาณงานและกำหนดเวลาต่อผู้ใช้ โดยพิจารณาระยะห่างระหว่างจำนวน ฮอป โดยทำการวิเคราะห์อัตราการมาถึงของแพ็กเก็ต และอัตราการไหลออกของแพ็กเก็ตบนพื้นฐานแบบจำลองนี้ ได้ทำการวิเคราะห์เพื่อศึกษาถึงการวางแผนหรือออกแบบยุทธวิธีของเครือข่ายว่ามีผลอย่างไรต่อปริมาณงาน กับกำหนดเวลาของแต่ละ โหนดและได้นำเสนอกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพที่ทำให้เกิดความเท่าเทียมกันของปริมาณงานในทุก ๆ โหนด

ในงานวิจัยที่กล่าวมาข้างต้นพบว่างานวิจัยเหล่านี้ได้นำเสนอการวิเคราะห์วิธีการในการออกแบบหาปริมาณงาน แต่ยังไม่มียานวิจัยใดที่คำนึงถึงผลกระทบจากปัจจัยภายนอก เช่น กำแพง หรือสิ่งกีดขวางอื่น ๆ ที่ทำให้ระดับของคุณภาพสัญญาณที่ได้รับได้มีค่าน้อยลงตามจำนวนของสิ่งกีดขวาง ซึ่งทำให้ในการวิเคราะห์ปริมาณงานไม่เป็นไปตามความเป็นจริง จากปัญหาดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอถึงการออกแบบการวางตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากปริมาณงานที่ได้ ในการหาปริมาณงานของงานวิจัยนี้ ได้นำผลกระทบจากปัจจัยภายนอกมาพิจารณา และในการวิเคราะห์หาปริมาณงานนั้น ได้มีการศึกษาถึงงานวิจัยของ Akyildiz, I. F., et al. (2005) ซึ่งมีการศึกษาถึงสมรรถนะในด้านต่าง ๆ ของเครือข่ายเมฆไร้สาย งานวิจัยของ Gross, D., and Harris, C. (1998) เป็น การ ศึกษา ถึง ทฤษฎี ของ ระบบ การ เข้า แล ว คอย (Queueing Theory) ซึ่งสามารถนำขบวนการและสมการไปวิเคราะห์ออกแบบเครือข่ายเมฆไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดในบทที่ 3

2.3 นวัตกรรมของงานวิจัย

ปัญหาของระบบเครือข่ายไร้สายมีหลายประการด้วยกัน ดังนั้นอาจจะมีสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นในบริเวณที่ติดตั้งอุปกรณ์ไร้สายได้ หรือเกิดจากสัญญาณเสื่อมถอย ได้แก่ ฝาผนัง รวมทั้งอุปสรรคต่าง ๆ ที่ขวางทางเดินของคลื่นสัญญาณ รวมทั้งที่สะท้อนและดูดซึมของคลื่นสัญญาณวิทยุ และส่วนใหญ่จะเป็นปัญหาเกี่ยวกับความแรงของคลื่นสัญญาณ รวมทั้งปัญหาจากการรบกวนกันของสัญญาณ อาจเกิดจากสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้น ๆ เทคโนโลยีใหม่ ๆ สามารถชดเชยปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ งานวิจัยนี้ได้มีการนำเสนอแนวทางที่จะสามารถขยายเครือข่ายให้ครอบคลุมพื้นที่

ได้กว้างขึ้น โดยใช้ ระบบเครือข่ายเมฆไร้สาย และได้นำเสนอวิธีการออกแบบเครือข่ายเมฆไร้สาย โดยศึกษาจากการวางตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมที่สุด และในการออกแบบจะคำนึงถึง ข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น ได้ทำการวิเคราะห์อัตราความมาถึงของตัวปล่อยสัญญาณ และอัตราการไหลออก ของแพ็กเก็ต โดยมีการส่งต่อแบบคิว (Queues) ในงานวิจัยนี้ได้เริ่มต้นศึกษาถึงผลกระทบของ สิ่งกีดขวางเหล่านั้นต่อสมรรถนะของเครือข่ายโดยพิจารณาจาก ค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ที่มีผลต่อความสำเร็จในการส่งข้อมูล ซึ่งตัวแปรที่สนใจนี้ในทางทฤษฎีของระบบ เครือข่ายเมฆไร้สายนั้นจะถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งจะเท่ากันเสมอไม่ว่าโหนดจะติดตั้ง อยู่ในบริเวณใดก็ตาม แต่ตามความเป็นจริงค่าความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลสำเร็จ น่าจะมีผล มาจากปัจจัยภายนอกหลาย ๆ อย่าง วัตถุประสงค์ในงานวิจัยนี้เพื่อออกแบบวิเคราะห์และทดสอบ หากการวางตำแหน่งโหนดที่เหมาะสมภายในตัวอาคาร และเพื่อให้ได้ปริมาณงานที่ดีที่สุดได้

2.4 สรุปงานวิจัย

จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่าม้งานวิจัยมากมายที่ศึกษาเกี่ยวกับ ระบบเครือข่ายเมฆไร้สาย ในด้านสมรรถนะต่าง ๆ เช่น การหาจุดสมดุลที่สุดระหว่าง ปริมาณงาน การพิจารณาปริมาณงานในการส่งต่อหลาย ๆ ครั้ง เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มี ปริทัศน์วรรณกรรมใดนำเสนอถึงผลกระทบจากสิ่งกีดขวางมาพิจารณา ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้ จึงได้สนใจศึกษาถึงผลกระทบของสิ่งกีดขวางเหล่านั้นต่อสมรรถนะของเครือข่ายโดยพิจารณา จาก ค่าความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ที่มีผลต่อความสำเร็จในการส่งข้อมูล ซึ่งตัวแปร ที่สนใจนี้ในทางทฤษฎีของระบบเครือข่ายเมฆไร้สายนั้น จะถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งจะเท่ากันเสมอไม่ว่าโหนดจะติดตั้งอยู่ในบริเวณใดก็ตาม แต่ตามความเป็นจริงค่าความน่าจะเป็น ของการส่งข้อมูลสำเร็จ น่าจะมีผลมาจากปัจจัยภายนอกหลาย ๆ อย่าง โดยในงานวิทยานิพนธ์นี้ จะทำการวิเคราะห์และออกแบบตำแหน่งโหนดที่สามารถติดตั้งภายในอาคาร และมีปริมาณงาน ที่ดีที่สุดได้ ภายใต้ข้อจำกัดของกำลังงานส่งที่เท่า ๆ กันในแต่ละโหนดได้ และจากการศึกษา ปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า สมการทางคณิตศาสตร์ของการวิเคราะห์หาความน่าจะเป็น ของการส่งข้อมูลสำเร็จ และการหาปริมาณงานนั้นยังไม่ครอบคลุมถึงหลักความเป็นจริงในการ ออกแบบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการออกแบบโดยการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งได้นำตัวแปรต่าง ๆ ที่มีผลต่อออกแบบการวางตำแหน่งของโหนดมาวิเคราะห์ และได้สมการ ในการออกแบบเพื่อนำไปหาตำแหน่งของโหนดเพื่อให้ได้ตำแหน่งที่เหมาะสมและมีปริมาณงาน ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

บทที่ 3

ทฤษฎีแวลคอยสำหรับการวิเคราะห์การออกแบบตำแหน่งโหนดสำหรับ เครือข่ายเมชไร้สายในอาคาร

3.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันระบบไร้สายได้ขยายขอบเขตจากบ้านผู้สมัคร และในขณะนี้กำลังขยายสู่เมืองต่าง ๆ ที่กำลังติดตั้งเครือข่ายการบริการในระดับเทศบาล โดยมีแนวคิดที่จะนำเทคโนโลยีเครือข่ายเมชไร้สายมาใช้เพื่อขยายพื้นที่ในการเชื่อมต่อให้ทั่วถึงกันและให้มีพื้นที่ครอบคลุมได้กว้างขึ้น ในอดีตไม่สามารถให้บริการอินเทอร์เน็ตในระดับที่กว้างกว่าในอาคารหรือพื้นที่ที่จำกัดได้ ระบบเครือข่ายเมชไร้สายจะเข้ามาช่วยให้การสร้างเครือข่ายไร้ให้มีประสิทธิภาพมากกว่าเดิม โดยที่ระบบเครือข่ายเมชไร้สายนั้น จะเข้ามาแทนที่ในกรณีผู้ให้บริการต้องการเชื่อมต่อเครือข่ายไร้สายที่กระจายอยู่ทั่วเมืองเข้าด้วยกันแบบไร้ เครือข่ายเมชไร้สายเป็นเครือข่ายที่มีการเชื่อมต่อกันเองระหว่างโหนดภายในเครือข่าย และเป็นเครือข่ายสื่อสารที่สื่อสารด้วยคลื่นวิทยุประกอบด้วยโหนดไร้สายสองแบบ คือ โหนดซึ่งทำหน้าที่เป็นลูกข่ายเมช (Wireless Mesh Clients) และโหนดอื่น ๆ ซึ่งทำหน้าที่เป็นเมชเร้าเตอร์ ใช้สำหรับการคำนวณหาเส้นทางการส่งสัญญาณจากต้นทางไปสู่ปลายทางที่ต้องการ การส่งสัญญาณระหว่างโหนดภายในโครงข่ายไร้สายแบบเมชไร้สายอาจมีเส้นทางเดินทางของข้อมูลได้หลายเส้นทาง โดยแต่ละโหนดอาจใช้เทคโนโลยีไร้สายได้มากกว่าหนึ่งชนิด (เช่น เทคโนโลยี WiFi เทคโนโลยี WiMAX และ เทคโนโลยีดาวเทียม)

3.2 ระบบเครือข่ายเมชไร้สาย

ในปัจจุบัน ระบบเครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย หรือเทคโนโลยีไร้สาย เป็นที่แพร่หลายในองค์กรต่าง ๆ แต่ยังมีข้อจำกัดในการส่งสัญญาณระหว่างจุดเข้าถึงสัญญาณ แต่ละจุดจำเป็นต้องผ่านสายเคเบิลซึ่งเชื่อมโยงระหว่าง จุดเข้าถึงสัญญาณ แต่ละตัวผ่านเครือข่ายหลัก (Backbone) ดังนั้น เครือข่ายเมชไร้สายเป็นเทคโนโลยีไร้สายที่ทำให้ จุดเข้าถึงสัญญาณ สามารถส่งผ่านข้อมูลถึงกันได้โดยตรงแบบไร้สาย ไม่ต้องผ่านสายเคเบิล ที่มีระยะทางสามารถเชื่อมต่อกันได้ประมาณ 300 ฟุต ในแต่ละจุดเชื่อมต่อ ซึ่งเครือข่ายเมชไร้สายใช้งานได้ทั้งเครือข่ายไร้สายแบบภายในและภายนอกทั้งแบบที่ใช้ภายในอาคารขนาดเล็กหรือเครือข่ายขนาดใหญ่

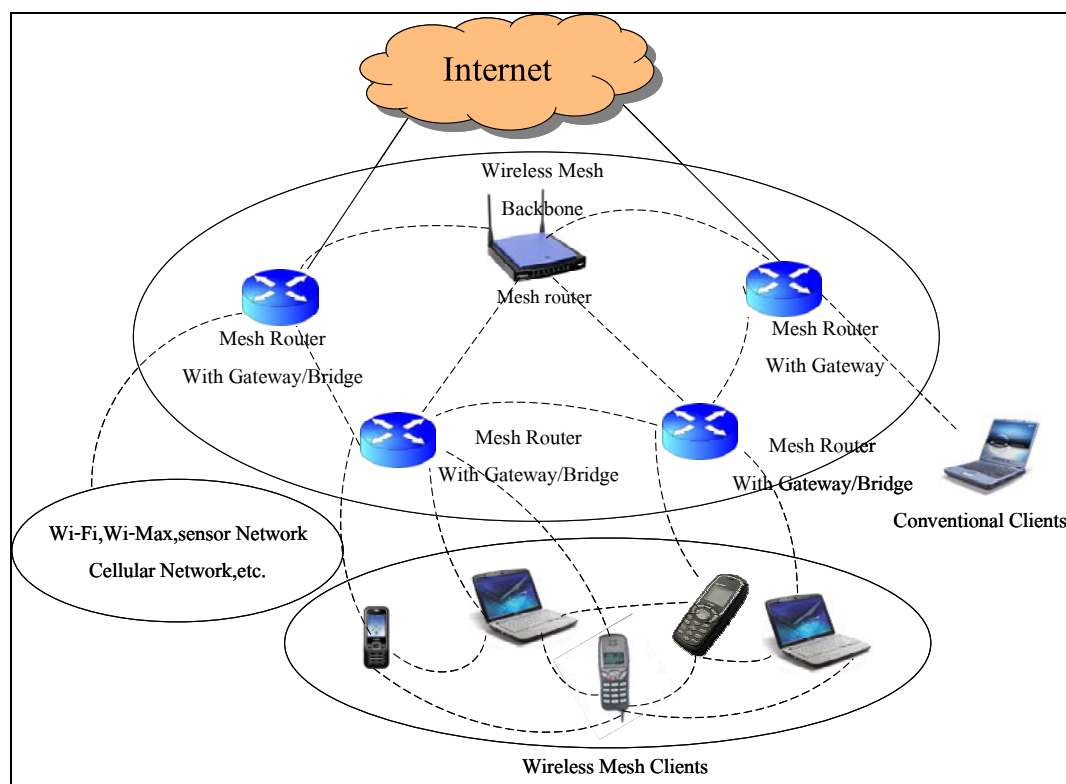
3.2.1 โครงสร้างของเครือข่ายเมชไร้สาย

จากการที่ได้ศึกษางานวิจัยของ Akyildiz, I.F., and Xudong, W. (2005) ได้มีการนำเสนอโครงสร้างของเครือข่ายเมชไร้สายโดยแบ่งได้ 3 ประเภทหลัก ๆ ดังนี้

3.2.1.1 โครงสร้างแบบโครงสร้างพื้นฐานหรือเครือข่ายหลัก

ของเครือข่ายเมชไร้สาย

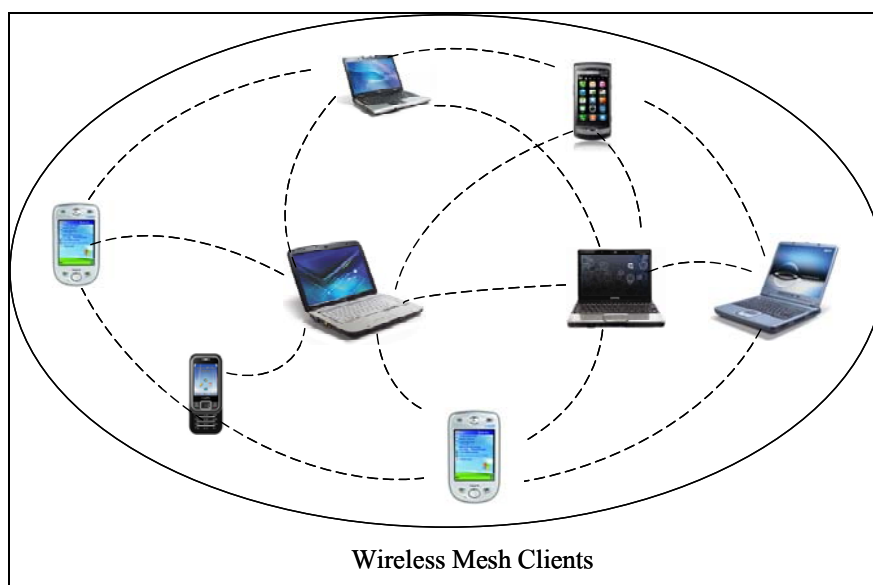
โดยมีรูปแบบโครงสร้างดังรูปที่ 3.1 เมื่อเส้นประแสดงการเชื่อมต่อแบบไร้สาย โครงสร้างแบบนี้จะประกอบไปด้วยโครงสร้างของเครือข่ายเมชของอุปกรณ์จัดเส้นทางเพื่อไว้ให้สำหรับลูกข่ายเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายและให้บริการอินเทอร์เน็ตได้ ส่วนใหญ่จะอยู่ภายใต้มาตรฐาน IEEE802.11 ซึ่งอุปกรณ์จัดเส้นทางที่อยู่ในเครือข่ายเมชนี้จะสามารถทำการเชื่อมต่อและรักษาเสถียรภาพของระบบได้ด้วยตัวมันเองและเครือข่ายของอุปกรณ์จัดเส้นทางนั้นสามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตด้วยวิธีที่เรียกว่า Infrastructure meshing คือจะมีเครือข่ายหลักให้ลูกข่ายแบบเก่าและเครือข่ายเมชไร้สายสามารถใช้งานร่วมกันได้กับเครือข่ายไร้สายที่มีอยู่โดยผ่านฟังก์ชันการทำงานของเกตเวย์หรือบริดจ์ (Gateway/Bridge) ในเครือข่ายเมชของอุปกรณ์จัดเส้นทางเอง ซึ่งลูกข่ายแบบเก่านั้นจะสามารถเชื่อมต่อสื่อสารกับเครือข่ายเมชของอุปกรณ์จัดเส้นทางด้วยระบบอินเทอร์เน็ต (Ethernet)



รูปที่ 3.1 การเชื่อมต่อเครือข่ายเมฆไร้สาย

3.2.1.2 โครงสร้างของเครือข่ายผู้ใช้งานเครือข่ายเมฆไร้สาย

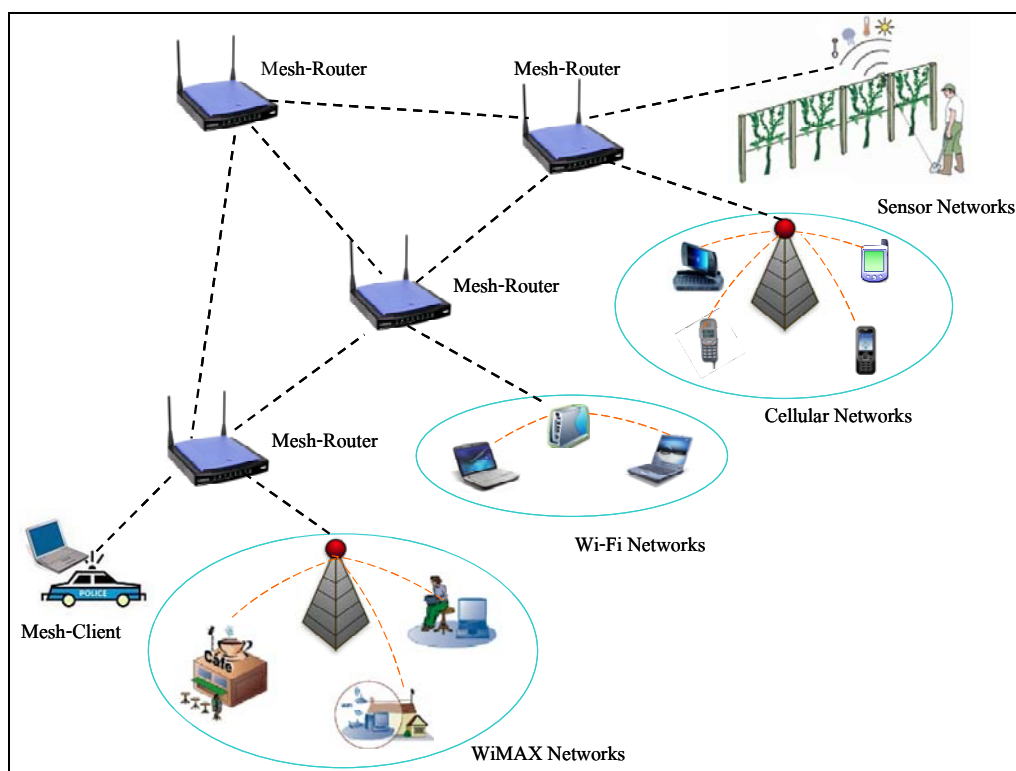
เครือข่ายเมฆของผู้ใช้งานนั้นจะใช้การเชื่อมต่อกันแบบกลุ่มส่วนตัวในการเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน ในโครงสร้างชนิดนี้ โหนดของผู้ใช้งานจะทำหน้าที่จัดเส้นทางและจัดการระบบที่ดีที่สุดให้กับกลุ่มผู้ใช้งาน ดังนั้นเครือข่ายเมฆของผู้ใช้งานจัดเส้นทางนั้นจึงไม่มีความจำเป็นสำหรับเครือข่ายแบบนี้ รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะพื้นฐานของเครือข่ายเมฆไร้สายของผู้ใช้งาน ซึ่งข้อมูลหรือข่าวสารที่จะส่งไปยังโหนดปลายทางนั้นก็จะมีการส่งผ่านจากโหนดหนึ่งไปยังอีกโหนดหนึ่งซึ่งจะทำการส่งกันไปเรื่อย ๆ จนถึงปลายทางที่เราต้องการ โดยปกติแล้วเครือข่ายเมฆของผู้ใช้งานนั้นจะใช้เพียงคลื่นวิทยุในการเชื่อมต่อกันระหว่างอุปกรณ์เท่านั้นนอกจากนี้ ความต้องการของผู้ใช้งานระบบมีเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับโครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายเมฆไร้สาย ดังนั้นในเครือข่ายเมฆของผู้ใช้งานนั้นจะต้องมีการเพิ่มฟังก์ชันการจัดเส้นทางและต้องสามารถจัดการระบบได้ด้วยตัวของอุปกรณ์ของผู้ใช้งานเอง



รูปที่ 3.2 การเชื่อมต่อเครือข่ายผู้ใช้งานเครือข่ายเมฆไร้สาย

3.2.1.3 โครงสร้างเครือข่ายเมฆไร้สายแบบไฮบริด

โครงสร้างแบบไฮบริดนี้จะเป็นการรวมกันของโครงสร้างพื้นฐานและโครงสร้างของเครือข่ายเมฆของผู้ใช้งานแสดงได้ดังรูปที่ 3.3 โดยที่เครือข่ายเมฆของผู้ใช้งานระบบสามารถติดต่อสื่อสารกับเครือข่ายได้โดยผ่านเครือข่ายเมฆของอุปกรณ์จัดเส้นทางในการเชื่อมต่อกันระหว่างเครือข่ายเมฆของผู้ใช้งานกับเครือข่ายเมฆของอุปกรณ์จัดเส้นทางนั้นเราจะใช้สัญญาณ Wi-Fi WiMAX สัญญาณ โทรศัพท์ (cellular) และเครือข่ายเซ็นเซอร์ (sensor networks) เป็นต้น ดังนั้นอุปกรณ์จัดเส้นทางเหล่านี้จะสามารถให้ประสิทธิภาพของการเชื่อมต่อเครือข่ายดีขึ้นและครอบคลุมพื้นที่การให้บริการของเครือข่ายเมฆไร้สายได้



รูปที่ 3.3 การเชื่อมต่อเครือข่ายเมชแบบไฮบริด

เครือข่ายเมชไร้สาย เป็น Ad-Hoc Network มีการจัดเรียงเครือข่ายเป็นแบบเมชซึ่งสามารถเชื่อมต่อ จุดเข้าถึงสัญญาณไปในบริเวณ ที่ไม่สะดวกในการใช้สายเคเบิลโดยที่เมชโหนดสามารถติดต่อกับ โหนดอื่น ๆ ที่อยู่ใกล้เคียงได้ซึ่งเมชโหนดจะทำหน้าที่เหมือนอุปกรณ์จัดเส้นทางส่งต่อแพ็กเก็ตไปยังโหนดอื่น ๆ ไปยังปลายทางซึ่งเครือข่ายเมชไร้สายสามารถจัดการกับโหนดของตัวเองโดยอัตโนมัติและสามารถสร้างเส้นทางในการเชื่อมต่อระหว่างเมชได้เองซึ่งถ้าเส้นทางเชื่อมต่อใดล้มเหลวก็จะทำการหาเส้นทางใหม่และหากเครือข่ายเมชไร้สายนั้นมีโหนดเคลื่อนที่ภายในจะทำให้สามารถเปลี่ยนตำแหน่งตลอดเวลาเพื่อทำการปรับปรุงเชื่อมต่อบนเครือข่ายซึ่งมีลักษณะสำคัญคือไม่จำเป็นต้องมีส่วนกลางคอยควบคุมแนวคิดการใช้เครือข่ายเมชไร้สายจึงเป็นแนวคิดที่น่าสนใจเพราะว่าในการติดตั้ง จุดเข้าถึงสัญญาณตามจุดต่าง ๆ นั้นจะต้องมีการเดินสายเชื่อมต่อไปยังจุดต่าง ๆ เหล่านี้ซึ่งทำให้การติดตั้งทำได้ลำบากอย่างที่กล่าวมา และทำให้การขยายเครือข่ายทำได้ลำบากและล่าช้า ดังนั้น การใช้เครือข่ายเมชไร้สายจะทำให้การขยายเครือข่ายทำได้สะดวก จึงทำให้การขยายเครือข่าย WiFi ในเมืองหรือพื้นที่ต่าง ๆ สะดวกรวดเร็วกว่า ซึ่งเป็นแนวโน้มของเมืองต่าง ๆ ที่ต้องการจะขยายเครือข่าย WiFi ให้ครอบคลุมมากขึ้น

อย่างไรก็ตามปัญหาก็คือเทคโนโลยีการเชื่อม WiFi แบบเครือข่ายเมชไร้สายนั้นเป็นแบบ Proprietary กล่าวคือ เป็นเทคโนโลยีเฉพาะของผู้ผลิตอุปกรณ์เท่านั้นเมื่อมีอุปกรณ์จากผู้ผลิตอื่นมาใช้งานด้วยไม่สามารถที่จะเชื่อมต่อกันแบบเมชได้ ดังนั้นทาง IEEE จึงได้พยายามพัฒนามาตรฐาน WiFi ที่มีการเชื่อมต่อแบบ เมชไร้สาย ระหว่างผู้ผลิตต่าง ๆ ได้โดยในปี 2004 ทาง IEEE ก็ได้จัดตั้ง Task Group S ขึ้น เพื่อพัฒนา 802.11s และเป็นมาตรฐานสำหรับรองรับเครือข่ายเมชไร้สาย

3.2.2 มาตรฐาน IEEE802.11s

IEEE 802.11s กำหนดคุณสมบัติมาตรฐานภายในวันที่ 30 กันยายน 2553 เป็นการเพิ่มขีดความสามารถให้เครือข่ายท้องถิ่นไร้สาย สามารถเชื่อมต่อถึงกันได้เองในลักษณะของเครือข่ายเมชไร้สายโดยอุปกรณ์จุดเข้าถึงสัญญาณ ที่เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11s จะสามารถใช้คลื่นวิทยุในการเชื่อมต่อรับส่งสัญญาณระหว่างกันได้ ทำให้สามารถสร้างเครือข่ายครอบคลุมพื้นที่ให้บริการกว้าง ๆ ได้โดยใช้อุปกรณ์จุดเข้าถึงสัญญาณหลาย ๆ จุดเชื่อมต่อกันโดยไม่ต้องเดินสายนำสัญญาณไปยังจุดเข้าถึงสัญญาณ และสำหรับเครือข่าย 802.11s ซึ่งเป็นเครือข่ายเมชไร้สาย ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

Mesh Portal (MPP) เป็นส่วนของเครือข่ายเมช WiFi ที่มีการเชื่อมต่อแบบมีสาย กล่าวคือ เป็นส่วนของเครือข่ายเมชที่มีการเชื่อมต่อที่ไม่ใช่ 802.11 เข้าสู่อินเทอร์เน็ตภายนอกและจะเป็นประตูเปิดสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ตโดยเป็นจุดที่มีการแปลง MSDU (Mac Service Data Unit) ของเครือข่าย WiFi เป็นรูปแบบมาตรฐานอื่น

Mesh Point (MP) จะทำหน้าที่หลักในการส่งต่อทราฟฟิกไปยังส่วนต่าง ๆ ของเครือข่ายโดยจะทำหน้าที่ทั้งควบคุมดูแล การจัดการเครือข่ายเมช WiFi ทั้งหมดซึ่ง MPP ก็คือ MP ที่มีการเชื่อมต่อแบบที่ไม่ใช่ 802.11

Mesh Access Point (MAP) จะเป็นจุดที่เชื่อมต่อกับผู้ใช้งานที่จะใช้อุปกรณ์ WiFi ทั่วไปในการเชื่อมต่อ เนื่องจากในเครือข่ายเมช WiFi นั้นจะมีเรื่องของปริมาณความจุ (Capacity) มากกว่าในเครือข่าย WiFi ทั่วไปเพราะนอกจากช่องสัญญาณที่ให้บริการแก่ผู้ใช้งานแล้วนั้น ยังต้องมีช่องสัญญาณที่ใช้ในการเชื่อมต่อกันเองของเครือข่ายเมชด้วยดังนั้นการเชื่อมต่อที่ใช้ระยะทางที่ดีที่สุด (ใช้ทรัพยากรน้อยที่สุด) และประหยัดเวลาที่สุดจึงเป็นสิ่งจำเป็น

3.3 ทฤษฎีแถวคอย

ในชีวิตประจำวันของบุคคลทั่ว ๆ ไปจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเข้าคิว หรือระบบแถวคอย เช่น การรอรถประจำทาง การฝากหรือถอนเงินกับธนาคาร การรอรับบริการสาธารณสุข จะสังเกตได้ว่าการเข้ามารับบริการดังกล่าวอย่างข้างต้นจะเป็นบุคคล อย่างไรก็ตามระบบแถวคอยไม่ได้จำกัด

เฉพาะบุคคลเท่านั้น แต่ยังรวมถึงวัสดุสิ่งของหรือสิ่งที่เราสนใจศึกษา เช่น รถยนต์ที่เข้ามาให้บริการ ตรวจซ่อมบำรุง เอกสารที่นำเสนอเพื่อรอการอนุมัติ เครื่องบินที่รอเวลาการออกเดินทาง ทั้งนี้ ระบบแถวคอยจะขึ้นอยู่กับลักษณะและการจัดการของแถวคอยนั้น ๆ ซึ่งแถวคอยจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ ผู้มารับบริการ (Arrival) หรือลูกค้า (Customer) ที่เข้ามาให้บริการยังหน่วยให้บริการ (Service Units) และยังไม่ได้รับบริการในทันที ดังนั้นผู้มารับบริการจึงต้องใช้เวลาในการรอเพื่อรับบริการในการ แก้ปัญหาของระบบแถวคอยได้มีการพัฒนาศาสตร์ทางด้านนี้ขึ้นมา เรียกว่าทฤษฎีแถวคอย

ทฤษฎีแถวคอยมีต้นกำเนิดมาจากผลงานของ Erlang, A.K. (1909) โดยทำการทดลอง เกี่ยวกับปัญหาการรอคอยการต่อโทรศัพท์ของโอเปอเรเตอร์ ในขณะที่โอเปอเรเตอร์ไม่ว่าง เนื่องจาก กำลังต่อโทรศัพท์ให้กับผู้อื่น เป็นปัญหาแรกที่เกิดขึ้นเกี่ยวกับการรอคอย ในกรณีที่มีโอเปอเรเตอร์ คนเดียวให้บริการต่อโทรศัพท์ และต่อมาในปี ค.ศ. 1917 ได้ขยายขอบข่ายการแก้ปัญหาไปในกรณี ที่มีโอเปอเรเตอร์ให้บริการต่อโทรศัพท์หลายคน การพัฒนาทางทฤษฎีและในการประยุกต์ในระยะ ต่อมามุ่งไปในการให้บริการต่อโทรศัพท์เป็นส่วนใหญ่จนกระทั่งในช่วงปลายสงครามโลกครั้งที่ 2 ที่มีการขยายผลงานเกี่ยวกับการแก้ปัญหาแถวคอยไปในด้านอื่น ๆ ทฤษฎีแถวคอยเป็นทฤษฎี ที่พัฒนาขึ้นด้วยรูปแบบการจำลองปัญหาทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้วิเคราะห์สภาวะของแถวคอย ได้อย่างมีประสิทธิภาพวิธีหนึ่งที่ไม่มีความซับซ้อนสูงนัก โดยการศึกษาลักษณะรูปแบบทางทฤษฎี ความเป็นไปได้ของหน่วยเข้ารับบริการและการให้บริการ แล้วหาผลลัพธ์เป็นค่าต่าง ๆ แสดงสภาวะ ของแถวคอย ผลลัพธ์ดังกล่าวจะช่วยในการตัดสินใจดำเนินการเกี่ยวกับการให้บริการที่ดีขึ้น

3.3.1 องค์ประกอบพื้นฐานในระบบแถวคอย

ประกอบด้วย 3 ส่วนคือ

1. ผู้ใช้บริการ (customer)
2. แถวคอย (queue)
3. หน่วยบริการ (server) ซึ่งอาจมี 1 หน่วยหรือมากกว่าก็ได้

ดังนั้นระบบแถวคอย หมายถึงแถวคอยและหน่วยบริการ ซึ่งจำนวนผู้ให้บริการ ในระบบแถวคอยที่เวลาใด ๆ จะหมายถึงจำนวนผู้ให้บริการในแถวคอยรวมกับจำนวนผู้ให้บริการ ที่กำลังให้บริการ ส่วนจำนวนผู้ให้บริการในแถวคอยที่เวลาใด ๆ จะหมายถึงจำนวนผู้ให้บริการที่อยู่ในแถวคอย

3.3.2 ปัจจัยที่มีผลต่อระบบแถวคอย

ปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลกระทบต่อระบบแถวคอย มีดังนี้

3.3.2.1 กระบวนการเข้าใช้ระบบ

ถ้าผู้ใช้บริการมารับบริการเป็นเวลาที่แน่นอน ก็จะสามารถจัดให้มีหน่วยบริการตามเวลานั้น ๆ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาแถวคอยได้ แต่เนื่องจากการมาของผู้ใช้บริการขึ้นอยู่กับปัจจัยภายนอกหลายอย่าง ทำให้ช่วงเวลาระหว่างการเข้าใช้งาน (Interarrival time) แตกต่างกันไป ซึ่งมีการแจกแจงเป็นแบบพัวซอง (Poisson) แบบเออร์แลงก์ (Erlang) แบบสม่ำเสมอ (Uniform) หรือรูปแบบอื่น ๆ กระบวนการเข้าใช้ระบบที่ใช้มากที่สุด คือแบบพัวซองที่เป็นลำดับของตัวแปรสุ่มที่ไม่ขึ้นต่อกันมีการกระจายเหมือนกัน (Independent and Identically Distributed : IID) และมีการกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential) ในการวิเคราะห์ของทฤษฎีแถวคอย จะสมมุติว่าเวลาระหว่างการเข้าใช้งานเป็นลำดับของตัวแปรสุ่มที่ไม่ขึ้นต่อกัน ที่มีการกระจายเหมือนกัน

3.3.2.2 การกระจายของเวลาบริการ

เวลาที่ผู้ใช้บริการเข้าใช้งานในระบบแถวคอย ช่วงเวลาดังกล่าวเรียกว่าเวลาบริการ (Service Time) ซึ่งจะมีการแจกแจงที่แตกต่างกัน เช่น การแจกแจงแบบสม่ำเสมอ (Uniform) แบบเออร์แลงก์ (Erlang) แบบเอ็กซ์โปเนนเชียล หรือแบบอื่น ๆ โดยทั่วไปเวลาบริการจะสมมุติให้เป็นตัวแปรสุ่มที่เป็น IID และมักใช้การกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล

3.3.2.3 จำนวนหน่วยบริการ

ในระบบแถวคอย อาจมีจำนวนหน่วยบริการ 1 หน่วย หรือมากกว่าก็ได้ ซึ่งทุกหน่วยถือเป็นส่วนประกอบของระบบแถวคอย หน่วยบริการในระบบแถวคอยเดียวกันจะเป็นหน่วยที่เหมือนกันถ้าหน่วยบริการไม่เหมือนกันจำเป็นต้องแยกออกเป็นแถวคอยอื่นและพิจารณาหน่วยบริการที่เหมือนกันเป็นแถวคอยเดียวกันรูปแบบของหน่วยบริการมากกว่า 1 หน่วยอาจจัดวางในลักษณะขนานกันหรืออนุกรมกันหรือทั้งสองอย่างผสมกันก็ได้

3.3.2.4 ขนาดของระบบ

ขนาดของระบบ จะเป็นจำนวนมากที่สุดของผู้ใช้บริการที่สามารถเข้ามาอยู่ในระบบ โดยขนาดของระบบจะรวมถึงผู้ใช้บริการที่กำลังใช้บริการอยู่และผู้ใช้บริการที่รอการเข้าใช้งานอยู่ โดยทั่วไประบบจะมีขนาดที่จำกัดแต่อย่างไรก็ตามถ้าระบบมีขนาดใหญ่ประมาณค่าหนึ่งเรามักจะสมมุติว่ามีขนาดเป็นอนันต์เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ

3.3.3 รูปแบบการบริการ

รูปแบบการบริการ คือ การเลือกลำดับของผู้ใช้บริการที่เข้ามาใช้บริการในระบบ ซึ่งอาจเป็นดังนี้

1. มาก่อนรับบริการก่อน (First Come First Served : FCFS)
2. มาทีหลังรับบริการก่อน (Last Come First Served : LCFS)

3. การให้บริการแบบทั่วไป (General Service Discipline : GD)
4. การให้บริการแบบสุ่ม (Random Selection for Service : RSS)

3.3.4 สัญลักษณ์ที่ใช้ในแบบจำลองแถวคอย

ในระบบแถวคอย เรามักจะใช้สัญลักษณ์ในรูปแบบ A/S/c/K/SD โดยแต่ละตัวอักษรแสดงถึงพารามิเตอร์ดังนี้

- A คือ กระบวนการเข้าใช้ระบบ (Arrival Process)
- S คือ การกระจายของเวลาบริการ (Service Time Distribution)
- c คือ จำนวนเครื่องบริการ (Number of Servers)
- K คือ ขนาดของระบบ (System Capacity)
- SD คือ รูปแบบการบริการ (Service Discipline)

การกระจายของกระบวนการเข้าใช้ระบบ และเวลาบริการเรามักจะแสดงด้วยสัญลักษณ์ดังต่อไปนี้

- M คือ เอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential)
- Ek คือ เออร์แลงก์ (Erlang with parameter k)
- D คือ ดีเทอร์มินิสติก (Deterministic)
- G คือ แบบทั่วไป (General)

แบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแบบจำลองที่ใช้หลักการของ Markovian property หรือ Memoryless property โดยแยกได้เป็น 5 แบบจำลองดังนี้

M/M/1/∞

M/M/1/K

M/M/c/∞

M/M/c/K

M/M/c/c

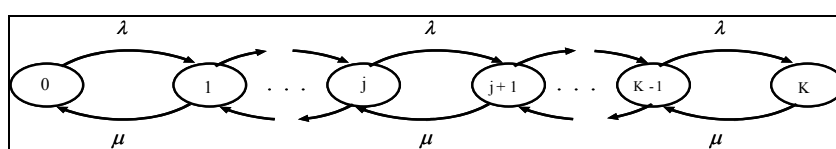
ในงานวิจัยนี้ได้มีการเข้าใช้บริการของแต่ละโหนดโดยใช้แบบจำลองของระบบการเข้าแถวคอยแบบ M/M/1/K

3.4 ระบบการเข้าแถวคอยแบบ M/M/1/K

ระบบคิวแบบ M/M/1/K (Gross and Harris, 1998) มีอัตราการเข้าใช้บริการเป็นแบบปัวซอง อัตราการให้บริการเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลมีผู้ให้บริการ 1 เซิร์ฟเวอร์มีรูปแบบ

การบริการเป็นแบบมาก่อนได้สิทธิ์ในการรับบริการก่อน (First Come First Serve : FCFS) ยกเว้นเพียงแต่ระบบนี้มีจำนวนของคิวสำหรับให้ผู้ใช้บริการรอในระบบเป็นจำนวนจำกัด ซึ่งแตกต่างจากระบบคิวแบบ M/M/1 ที่มีจำนวนคิวแบบไม่จำกัด

ระบบคิวแบบ M/M/1/K จะจำกัดขนาดของผู้ใช้บริการที่อยู่ในระบบได้มากที่สุดเท่ากับ K คน ดังนั้น ผู้ใช้บริการที่เข้ามารับบริการในขณะที่ระบบเต็มจะถูกบดทิ้งออกไปทันทีจำนวนผู้ใช้บริการที่อยู่ในระบบที่เวลา t หน่วยหรือ $N(t)$ สามารถจำลองได้ด้วยมาคอฟเชนแบบเวลาต่อเนื่อง (continuous-time Markov chain) โดยสมมุติว่าที่เวลาหนึ่งจำนวนผู้ใช้บริการในระบบมีทั้งหมด j คนหรือ $N(t) = j$ เมื่อเวลาผ่านไป t หน่วยเวลาจะพบว่ามีเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้ 2 ลักษณะคือ มีผู้ใช้บริการใหม่เข้าสู่ระบบด้วยอัตราการเข้าสู่ระบบเท่ากับ λ ทำให้ผู้ใช้บริการรวมในระบบมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นและเมื่อผู้ใช้บริการสิ้นสุดการรับบริการและออกจากระบบด้วยอัตราเท่ากับ μ ทำให้จำนวนผู้ใช้บริการลดลง เนื่องจากลักษณะการเข้าสู่ระบบของผู้ใช้บริการมีการกระจายเป็นแบบเอ็กซ์โพเนนเชียลซึ่งตัวแปรสุ่มประเภทนี้มีคุณสมบัติเฉพาะคือไม่มีความจำ (memory less) ดังนั้นสถานะของระบบที่จะเกิดขึ้นในอนาคตไม่ได้ขึ้นกับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในอดีต แต่จะขึ้นกับสถานะของระบบที่เวลาปัจจุบันเท่านั้น ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวเป็นคุณสมบัติเฉพาะของมาร์คอฟเชน โดยสามารถแสดงภาพการเปลี่ยนแปลงสถานะได้ดังรูปที่ 3.4 เมื่อระบบมีจำนวนสถานะจำกัด $\{0,1,2,\dots,K\}$



รูปที่ 3.4 แผนภาพการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบแถวคอยแบบ M/M/1/K

จากแผนภาพ สถานะ 0 คือสถานะที่ไม่มีผู้ใช้บริการในระบบ ($N(t) = 0$) ซึ่งเซิร์ฟเวอร์จะไม่ถูกใช้งานเมื่อเวลาผ่านไป t หน่วยเวลา มีผู้เข้ามาใช้บริการในระบบ 1 คนด้วยอัตราเท่ากับ λ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงจากสถานะ 0 เป็นสถานะ 1 ซึ่งเป็นสถานะที่มีผู้ใช้งานในระบบอยู่หนึ่งคน ($N(t) = 1$) เมื่อผู้ใช้บริการเข้าสู่ระบบเพิ่มขึ้นสถานะปัจจุบันก็จะเปลี่ยนแปลงไปยังสถานะถัดไปในทางกลับกันเมื่อผู้ใช้บริการสิ้นสุดการรับบริการและออกจากระบบ สถานะปัจจุบันจะถูกเปลี่ยนกลับไปอยู่ในสถานะก่อนหน้า 1 สถานะ ระบบมีการเปลี่ยนแปลงจนกระทั่งเมื่อระบบอยู่ในสถานะ

K ซึ่งเป็นสถานะที่มีผู้ใช้งานในระบบ K คนถ้ามีผู้ใช้บริการรายใหม่เข้ามาในระบบก็จะถูกบล็อกทันที

3.4.1 ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการในระบบ j คน

จากแผนภาพการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบแถวคอยแบบ M/M/1/K นำมาใช้ในการหาสมการสมดุลโดยรวม (global balance equation) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} \lambda p_0 &= \mu p_1 \\ (\lambda + \mu) p_j &= \lambda p_{j-1} + \mu p_{j+1} \quad j = 1, 2, \dots, K-1 \\ \mu p_K &= \lambda p_{K-1} \end{aligned} \quad (3.1)$$

จากสมการ (3.1) สามารถเขียนใหม่ได้

$$\lambda p_j - \mu p_{j+1} = \lambda p_{j-1} - \mu p_j \quad (3.2)$$

จากสมการที่ (3.2) ถ้า $j = 1$ จะทำให้

$$\lambda p_{j-1} = \mu p_j \quad (3.3)$$

หรือ $\lambda p_0 - \mu p_1 = 0$ ดังนั้น สมการที่ (3.3) จะกลายเป็น

$$\lambda p_{j-1} = \mu p_j \quad (3.4)$$

จะได้ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการในระบบ j คนมีค่าเท่ากับ $p_j = \rho p_{j-1}$ เมื่อ $j=1,2,\dots,K$ หรือ

$$p_j = \rho^j p_0 \quad (3.5)$$

เมื่อ ρ คือ ปริมาณทราฟฟิกที่ป้อนเข้าสู่ระบบ และ $\rho = \lambda / \mu$ ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการในระบบทั้งหมด j คน หรือ $P[N = j]$ สำหรับระบบที่จำกัดขนาดผู้ใช้บริการได้มากที่สุด K คน หาได้จากสมการ (3.5) ซึ่งสามารถหาค่า p_0 โดยอาศัยพื้นฐานของความน่าจะเป็นที่ว่า ผลรวมของความน่าจะเป็นของทุกสถานะต้องมีค่าเป็นหนึ่ง ดังนั้น

$$\begin{aligned}
1 &= \sum_{j=0}^K p_j = \rho^j p_0 \\
&= (1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^K) p_0 \\
&= \left(\frac{1 - \rho^{K+1}}{1 - \rho} \right) p_0
\end{aligned} \tag{3.6}$$

จาก $\sum_{j=0}^K p_j = 1$ ดังนั้น จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
\left(\frac{1 - \rho^{K+1}}{1 - \rho} \right) p_0 &= 1 \\
p_0 &= \frac{1 - \rho}{1 - \rho^{K+1}}
\end{aligned} \tag{3.7}$$

ดังนั้น จากสมการที่ (3.5) จะได้ว่าความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการในระบบทั้งหมด j คน

$$P[N = j] = \rho^j p_0 \tag{3.8}$$

$$= \frac{(1 - \rho)\rho^j}{1 - \rho^{K+1}} \quad j = 0, 1, 2, \dots, K \tag{3.9}$$

สำหรับกรณีปริมาณทรัพยากรที่ป้อนเข้าสู่ระบบน้อยกว่า 1 ($\rho < 1$) สำหรับกรณีที่ปริมาณทรัพยากรที่ป้อนเข้าสู่ระบบ เท่ากับ 1 ($\rho = 1$) ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการในระบบทั้งหมด j คน หาได้จากสมการที่ (3.6) เช่นเดียวกัน

$$\begin{aligned}
1 &= \sum_{j=0}^K p_j = \rho^j p_0 \\
&= (1 + 1 + 1^2 + \dots + 1^K) p_0 \\
&= (K + 1) p_0
\end{aligned}$$

จาก $\sum_{j=0}^K p_j = 1$ ดังนั้น จะได้ว่า

$$\begin{aligned} (K+1)p_0 &= 1 \\ p_0 &= \frac{1}{(K+1)} \end{aligned} \quad (3.10)$$

ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการในระบบทั้งหมด j คน เมื่อ $\rho = 1$

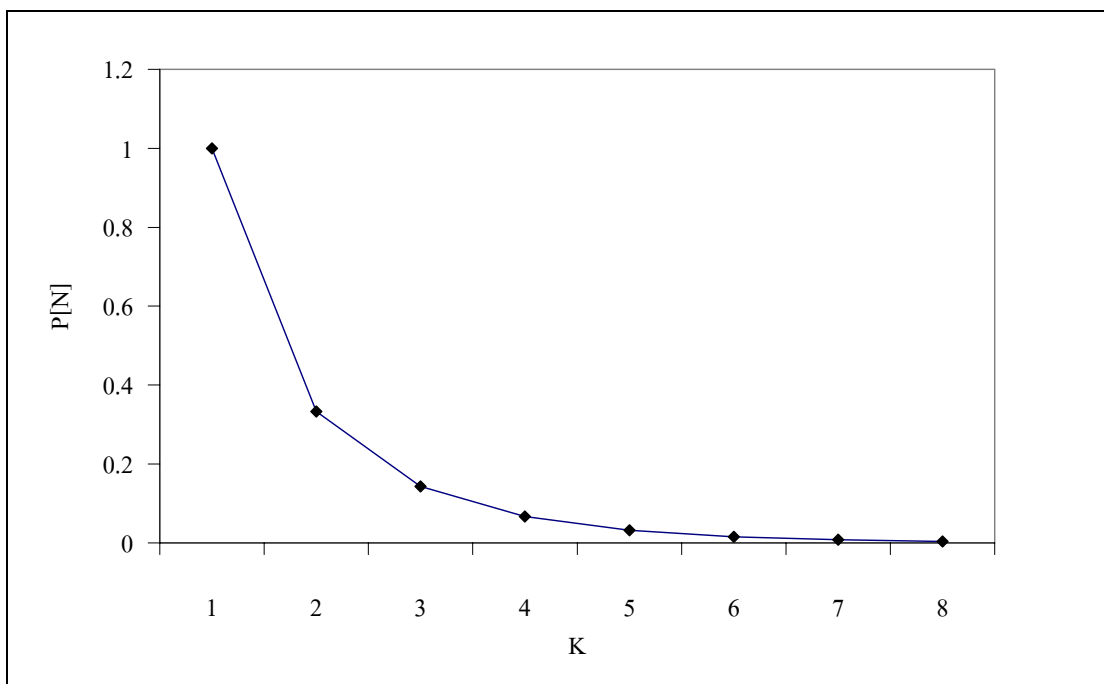
$$\begin{aligned} P[N = j] &= \rho^j p_0 \\ &= \frac{\rho^j}{K+1} \\ &= \frac{1}{K+1} \end{aligned} \quad (3.11)$$

ดังนั้น ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการในระบบทั้งหมด j คน สำหรับระบบคิวแบบ M/M/1/K

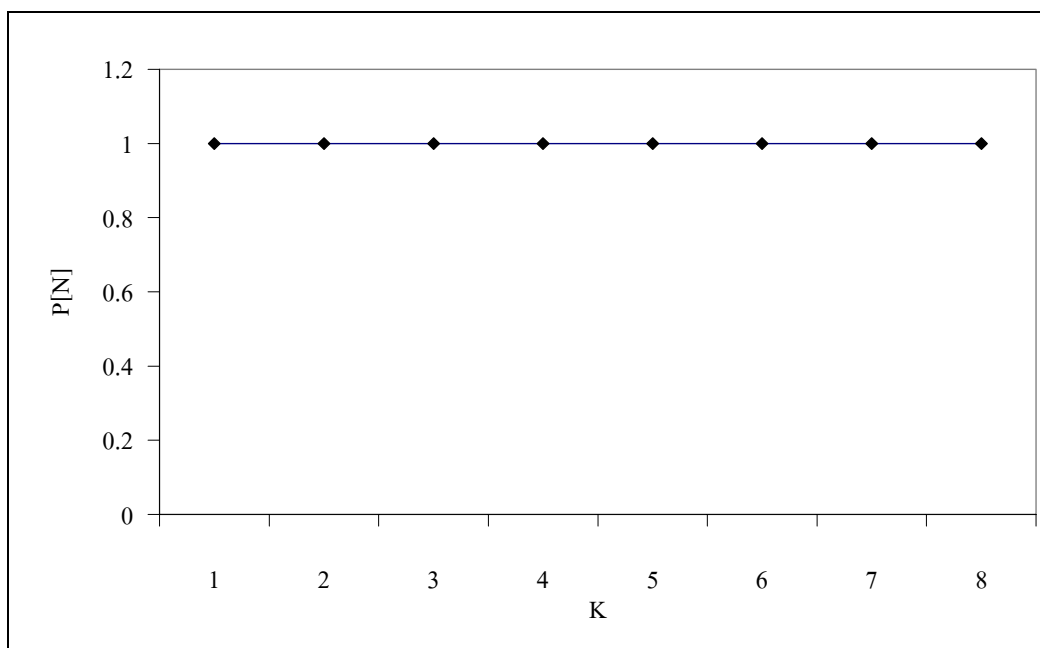
$$P[N = j] = \begin{cases} \frac{(1-\rho)\rho^j}{1-\rho^{K+1}} & ; \rho \neq 1 \\ \frac{1}{K+1} & ; \rho = 1 \end{cases} \quad (3.12)$$

ความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการในระบบทั้งหมด j คน จะเห็นได้ว่าที่ $\rho = 1$ จะทำให้ระบบมีความน่าจะเป็นที่เท่า ๆ กันหมดไม่ว่า state ใด ๆ ดังรูปที่ 3.6 โดยมีค่าเป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งจากสมการที่ (3.12) จะสังเกตเห็นว่าที่ $\rho < 1$ ถ้า K มีค่าเข้าใกล้ ∞ ดังรูปที่ 3.5 จะได้สมการเช่นเดียวกับแถวคอยแบบ M/M/1 นั่นคือ

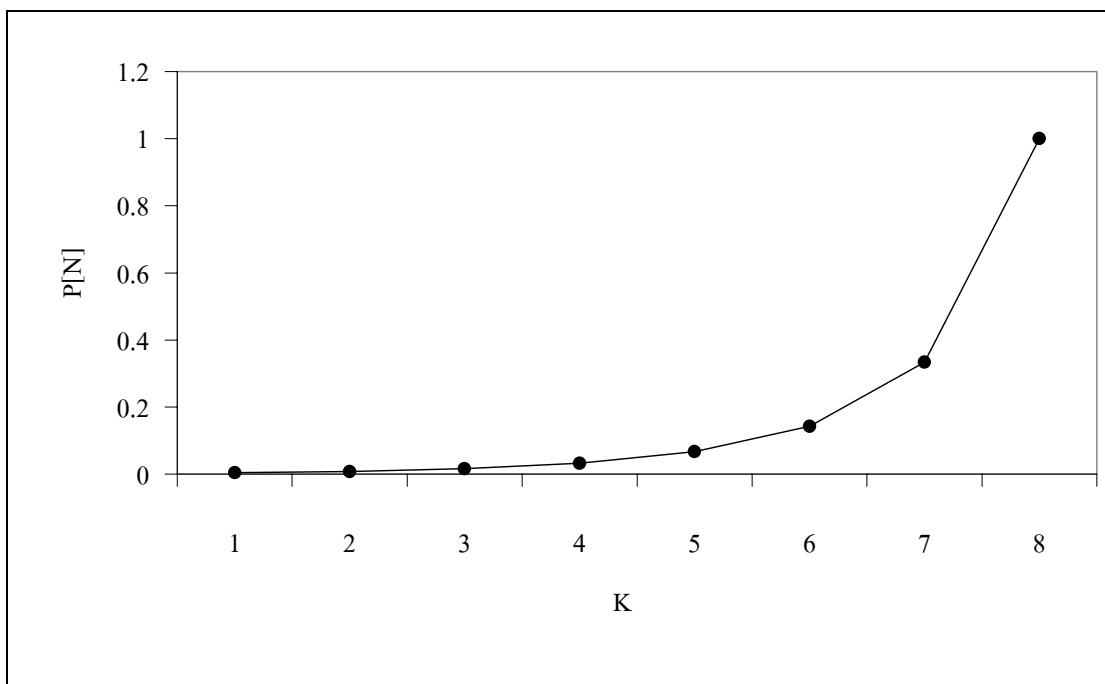
$$P[N = K] = (1-\rho)\rho^K \quad (3.13)$$



รูปที่ 3.5 ความน่าจะเป็นสถานะอยู่ตัวสำหรับค่าของปริมาณทราฟฟิก
ที่ป้อนเข้าสู่ระบบกรณีที่ปริมาณทราฟฟิกในระบบน้อยกว่า 1



รูปที่ 3.6 ความน่าจะเป็นสถานะอยู่ตัวสำหรับค่าของปริมาณทราฟฟิกที่ป้อนเข้าสู่ระบบเท่ากับ 1



รูปที่ 3.7 ความน่าจะเป็นสถานะอยู่ตัวสำหรับค่าของปริมาณทราฟฟิก
ที่ป้อนเข้าสู่ระบบกรณีมากกว่า 1

3.4.2 ค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้งานในระบบ

ค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้งานในระบบ ($E[N]$) จะแบ่งการคำนวณเป็น 2 กรณี
กรณีที่ 1 $\rho = 1$

$$\begin{aligned}
 E[N] &= \sum_{j=0}^K jP[N=j] \\
 &= \sum_{j=0}^K j \left(\frac{1}{K+1} \right) \\
 &= \frac{1}{K+1} \sum_{j=0}^K j \\
 &= \frac{1}{K+1} (0+1+2+\dots+K) \\
 &= \frac{1}{K+1} \left[\frac{(K+0)(K+1)}{2} \right] \\
 &= \frac{K}{2}
 \end{aligned} \tag{3.14}$$

กรณีที่ 2 $\rho \neq 1$

จากสมการ (2.4) จะทำให้

$$E[N] = \sum_{j=0}^K jP[N = j]$$

$$E[N] = \sum_{j=0}^K j\rho p_{j-1}$$

จากสมการ (3.5) ทำให้ได้ว่า $p_{j-1} = \rho^{j-1} p_0$ ดังนั้น

$$\begin{aligned} E[N] &= \sum_{j=0}^K j\rho\rho^{j-1}p_0 \\ &= p_0\rho \sum_{j=0}^K jp^{j-1} \\ &= p_0\rho \sum_{j=0}^K \frac{d}{d\rho}(\rho^j) \\ &= p_0\rho \frac{d}{d\rho} \left(\sum_{j=0}^K \rho^j \right) \\ &= p_0\rho \frac{d}{d\rho} \left(\frac{1-\rho^{K+1}}{1-\rho} \right) \\ &= p_0\rho \frac{1-(K+1)\rho^K + K\rho^{K+1}}{(1-\rho)^2} \end{aligned}$$

จากสมการ (3.10) จะได้ว่า

$$\begin{aligned} E[N] &= \rho \left(\frac{1-\rho}{1-\rho^{K+1}} \right) \left(\frac{1-(K+1)\rho^K + K\rho^{K+1}}{(1-\rho)^2} \right) \\ &= \frac{\rho [1-(K+1)\rho^K + K\rho^{K+1}]}{(1-\rho)(1-\rho^{K+1})} \end{aligned} \quad (3.15)$$

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของจำนวนผู้ใช้งานในระบบ

$$E[N] = \begin{cases} \frac{\rho [1-(K+1)\rho^K + K\rho^{K+1}]}{(1-\rho)(1-\rho^{K+1})} & , \rho \neq 1 \\ \frac{K}{2} & , \rho = 1 \end{cases} \quad (3.16)$$

3.4.3 ค่าเฉลี่ยของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในระบบ

จากทฤษฎีของ Little's Formula กล่าวว่าเมื่อระบบเข้าสู่สถานะอยู่ตัวจำนวนเฉลี่ยของผู้ใช้บริการที่อยู่ในระบบ $E[N]$ มีค่าเท่ากับผลคูณของอัตราการเข้าสู่ระบบของผู้ใช้บริการ โดยเฉลี่ยกับค่าเฉลี่ยของเวลาทั้งหมดที่ผู้ใช้บริการใช้ในระบบ

$$E[N] = \lambda E[T] \quad (3.17)$$

เมื่อ $E[T]$ คือ ค่าเฉลี่ยของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในระบบ
 $E[N]$ คือ จำนวนผู้ใช้บริการ โดยเฉลี่ยของระบบ
 λ คือ อัตราการเข้าใช้บริการในระบบ

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ผู้ใช้บริการแต่ละคนอยู่ในระบบมีค่าเท่ากับ

$$E[T] = \frac{E[n]}{\lambda_a} \quad (3.18)$$

เมื่อ λ_a คือ อัตราการเข้าใช้บริการจริง

ในระบบคิวแบบ M/M/1/K เมื่อมีผู้เข้ามาใช้บริการในระบบ ระบบสามารถให้บริการกับผู้เข้ามาใช้บริการได้ส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งระบบจะทำการบล็อกผู้ใช้บริการออกจากระบบเมื่อระบบเต็มดังนั้นอัตราการเข้าใช้บริการในระบบจึงเกิดจากผลรวมของอัตราการเข้าใช้บริการจริง (λ_a) และอัตราการบล็อกผู้ใช้บริการ (λ_b) $\lambda = \lambda_a + \lambda_b$ ดังนั้นอัตราการเข้าใช้บริการจริง สามารถหาได้จาก

$$\lambda_a = \lambda - \lambda_b \quad (3.19)$$

เนื่องจากสัดส่วนของเวลาที่ระบบจะบล็อกผู้ใช้บริการที่เข้ามาใหม่มีค่าเท่ากับ $P[N(t) = K] = p_K$ ดังนั้น ระบบจะบล็อกผู้ใช้บริการด้วยอัตราเท่ากับ $\lambda_b = \lambda p_K$ จากสมการ (3.19) จะได้

$$\begin{aligned}\lambda_a &= \lambda - \lambda p_K \\ &= \lambda(1 - p_K)\end{aligned}\tag{3.20}$$

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของเวลาทั้งหมดที่ใช้ในระบบจริง

$$E[T] = \frac{E[n]}{\lambda(1 - p_K)}\tag{3.21}$$

ในระบบที่มีการบล็อกผู้ใช้บริการ ปริมาณทราฟฟิกที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (traffic intensity หรือ offered load) มักมีค่าไม่เท่ากับปริมาณทราฟฟิกที่ระบบรองรับจริง (carried load) ค่าของทราฟฟิกที่ป้อนเข้าสู่ระบบมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}\text{offered load} &= \lambda \times E[\tau] \\ &= \lambda \times \frac{1}{\mu} \\ &= \frac{\lambda}{\mu}\end{aligned}\tag{3.22}$$

และปริมาณทราฟฟิกที่ระบบรองรับจริงมีค่าเท่ากับ

$$\begin{aligned}\text{carried load} &= \lambda_a \times E[\tau] \\ &= \lambda_a \times \frac{1}{\mu} \\ &= \frac{\lambda_a}{\mu}\end{aligned}\tag{3.23}$$

3.5 สรุป

เป็นที่ยอมรับกันว่า เครือข่ายไร้สายช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินธุรกิจให้กับองค์กรต่าง ๆ มากมาย แต่ปัญหาของระบบเครือข่ายไร้สายมีมากมายหลายประการเช่นกัน ตัวอย่าง เช่น ในจุดที่สัญญาณเข้าไม่ถึง อาจเกิดจากปัญหาเกี่ยวกับความแรงของคลื่นสัญญาณไม่สามารถครอบคลุมพื้นที่ได้ทั่วถึง รวมทั้งปัญหาจากการกวนกันของแหล่งต่าง ๆ ทั้งที่มาจาก สิ่งแวดล้อม

บริเวณนั้น ๆ อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีใหม่ ๆ สามารถชดเชยปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นได้ ดังนั้นจึงมีแนวความคิดที่จะนำเครือข่ายเมชไร้สายมาใช้แทนทดแทนเครือข่ายมีสาย ในปัจจุบันเครือข่ายเมชไร้สายของอุปกรณ์จัดเส้นทางช่วยให้เราสามารถเชื่อมต่อ จุดเข้าถึงสัญญาณ เข้าหากันโดยไม่ต้องใช้สาย เพราะโดยทั่วไปการทำงานของตัว จุดเข้าถึงสัญญาณ จะต้องมีสายเพื่อเชื่อมต่อเข้าไปยังระบบเครือข่าย แต่ในบางกรณีการเดินสายก็อาจจะไม่มีความสะดวก เช่นตามโรงงานต่าง ๆ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการออกแบบการวางตำแหน่งโหนดภายในตัวอาคารของเครือข่ายเมชไร้สาย เพื่อสามารถให้ได้ตำแหน่งที่ดีและมีปริมาณงานที่ดีที่สุด ซึ่งในการออกแบบนั้นได้คำนึงถึงผลกระทบของปัจจัยภายนอกและปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้เพื่อให้เครือข่ายเมชไร้สายมีสมรรถนะและมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด โดยได้นำแบบจำลองของระบบการเข้าแถวคอยแบบ M/M/1/K มาใช้ในการออกแบบ ดังนั้นในบทต่อไปจึงเป็นการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกระทบต่อ การออกแบบ

บทที่ 4

การวิเคราะห์ปริมาณงานและศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการออกแบบ

4.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันเราสามารถนำระบบ เครือข่ายเมฆไร้สาย มาใช้งานเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ทั่วถึง และเชื่อมโยงกันตลอดเวลา ทั้งภายในและภายนอกอาคาร เครือข่ายอินเทอร์เน็ตของโรงเรียน สำนักงาน อพาร์ทเมนต์ คอนโดมิเนียม หมู่บ้านจัดสรร หรือแม้กระทั่งเครือข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สาย ของชุมชนในเขตเมือง แต่ในระหว่างเมฆโหนดยังคงมีปัญหาที่เกิดขึ้นกับการทำงานของ จุดเข้าถึงสัญญาณ ซึ่งมีหลายประการ ดังต่อไปนี้ ประการแรก คือ กำลังส่งและชนิดของสายอากาศที่ใช้ โดยกำลังส่งที่ไม่เพียงพอจะส่งผลให้ไม่สามารถแผ่ขยายคลื่นวิทยุครอบคลุมพื้นที่ได้ตามที่ต้องการ และอาจส่งผลให้เกิดปัญหาที่เรียกว่า Hidden Node ได้ซึ่งการเกิด Hidden Node อาจทำให้เกิดปัญหาการชนกันของสัญญาณข้อมูลตามมา ประการที่สองคือสัญญาณคลื่นวิทยุถูกปิดกั้น ปัญหาสัญญาณคลื่นวิทยุถูกปิดกั้นมีความเป็นไปได้สูงสำหรับพื้นที่ที่เต็มไปด้วยกำแพงอิฐปูน ซึ่งกำแพงจะปิดกั้นคลื่นวิทยุได้เป็นอย่างดีปัญหาการถูกปิดกั้นจะเกิดขึ้นทันที หากใช้งานในที่ที่ล้อมรอบด้วยกำแพงอิฐปูนจะส่งผลให้คลื่นวิทยุอ่อนลง ทำให้รับสัญญาณได้น้อยลงและประการสุดท้าย คือ การสะท้อนและการดูดซับของคลื่นวิทยุของวัสดุในพื้นที่ทำงาน ปัญหาการกระจายตัวของคลื่นวิทยุไปตามเส้นทางต่าง ๆ หลายเส้นทาง คลื่นวิทยุที่ถูกส่งออกมาจากสายอากาศของจุดเข้าถึงสัญญาณเมื่อเดินทางไปยังเครื่องของผู้รับอาจพบกับอุปสรรคหลายประการ เช่น คลื่นวิทยุอาจแตกตัวออกเป็นหลายทิศทางเนื่องจากการสะท้อนของคลื่นวิทยุกระทบกับวัตถุที่บดบังทำให้กำลังแรงถูกลดทอนลงไปนอกจากนี้วัสดุบางอย่างในที่ทำงานอาจดูดซับคลื่นวิทยุไปบางส่วนทำให้เกิดอาการสูญหายของคลื่นสัญญาณ (Fading) ส่งผลให้ผู้รับไม่สามารถรับสัญญาณได้เต็มที่

จากเหตุการณ์ดังกล่าวแนวทางแก้ไขปัญหานั้น ผู้ออกแบบรูปร่างเครือข่ายจึงควรคำนึงถึงเหตุการณ์ และปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ในการออกแบบ ในการศึกษาถึงประสิทธิภาพของการออกแบบที่ดีที่สุดนั้นจำเป็นต้องคำนึงถึงปัญหาเหล่านี้ และนำมาพิจารณาในการออกแบบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีแนวคิดที่จะออกแบบหาการวางตำแหน่งของเครือข่ายเมฆไร้สายโดยได้นำปัจจัยภายนอกมาพิจารณาซึ่งยังไม่มียานวิจัยใดได้นำปัจจัยนี้มาพิจารณา

งานวิจัยนี้ได้เริ่มศึกษาการวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จของแต่ละโหนดโดยในการออกแบบได้คำนึงถึงหลักความเป็นจริงที่ว่าในการวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จนั้นในทางทฤษฎีแล้วค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จจะมีค่าเท่ากัน

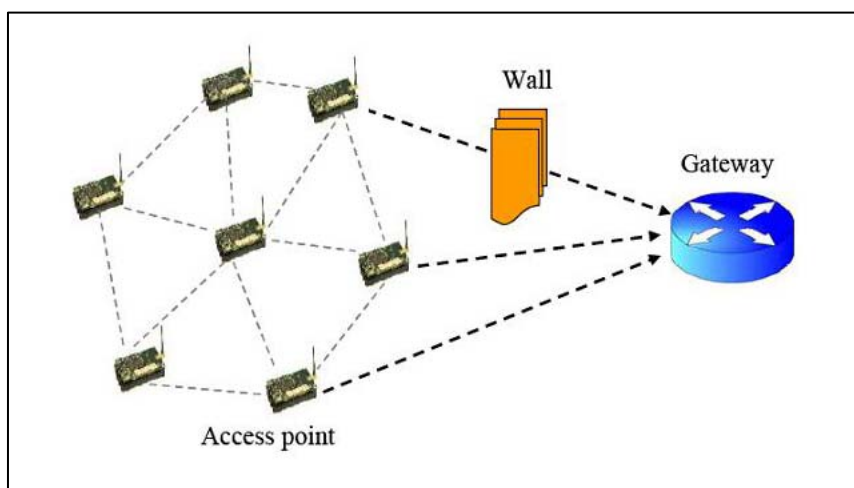
ในทุก ๆ โหนดแต่ตามความเป็นจริงค่าความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลสำเร็จน่าจะมีผลมาจากปัจจัยภายนอก ดังนั้นเพื่อให้ได้มาซึ่งปริมาณงานที่ดีที่สุด จึงมีการศึกษาสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อทำการเปรียบเทียบหาผลของปริมาณงานที่ได้ โดยอาศัยทฤษฎีคิวแบบ M/M/1/K ในการวิเคราะห์ และเพื่อนำมาซึ่งวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือออกแบบการวางตำแหน่งของโหนดภายในตัวอาคารของเครือข่ายเมฆไร้สายเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงสุดจากปริมาณงานที่ดีที่สุดซึ่งในการออกแบบนั้นจะอยู่ภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ ที่เป็นไปได้

4.2 สมการคณิตศาสตร์เพื่อการออกแบบ

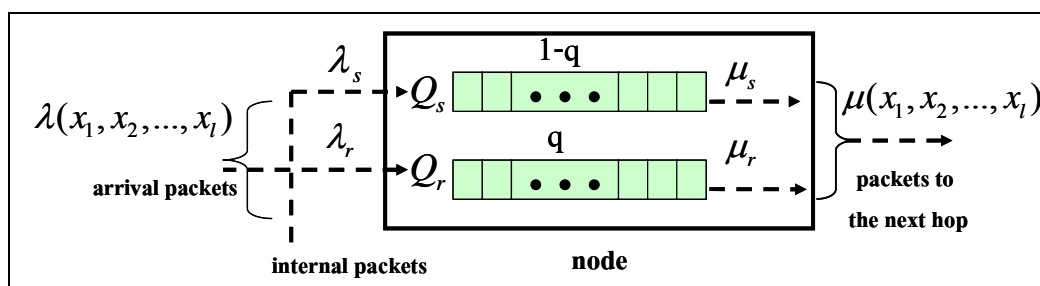
4.2.1 การคำนวณหาปริมาณงานในระบบ

ในการวิเคราะห์คุณภาพของเครือข่ายเมฆไร้สายนั้นสามารถพิจารณาได้จากปริมาณงานที่แต่ละโหนดได้รับ ซึ่งปัญหาที่เกิดขึ้นในการวัดปริมาณงานจากระบบนั้นในความเป็นจริงไม่สามารถควบคุมสิ่งแวดล้อมทั้งหมดได้ เช่น ชนิดของวัสดุที่เป็นอาคารและผนังห้อง ซึ่งมีผลต่อปริมาณงานที่วัดได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.1 อย่างไรก็ตามเพื่อให้การออกแบบมีประสิทธิภาพมากที่สุดและควรคำนึงถึงหลักความเป็นจริง ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาปริมาณงาน ซึ่งได้พัฒนาจากเทคนิคการคำนวณหาปริมาณงานจากงานวิจัยของ Liu, T., and Liao, W. (2008) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปริมาณงานของระบบจากค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จที่มีค่าเท่ากันในทุก ๆ ตำแหน่งของโหนดและไม่ได้พิจารณาปัจจัยภายนอกหรือสิ่งแวดล้อม

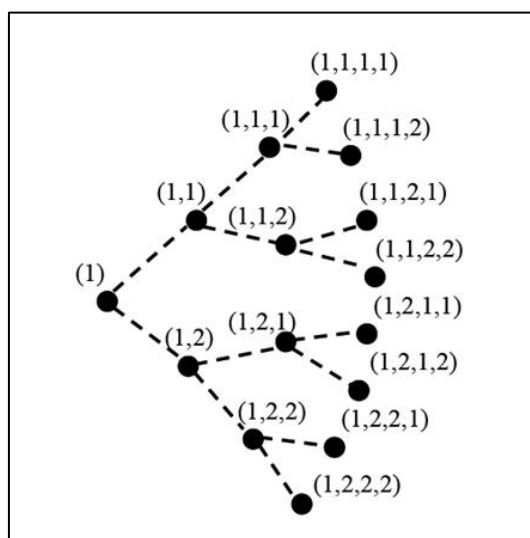
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เริ่มจากการวิเคราะห์ถึงพฤติกรรมของระบบการเข้าแถวคอยแบบ M/M/1/K (Gross and Harris, 1998) เป็นระบบแถวคอยที่มีเซิร์ฟเวอร์เพียงตัวเดียว และการเข้ามาใช้บริการระบบของผู้ใช้มีคุณลักษณะของกระบวนการปัวส์ซองเพราะฉะนั้นช่วงเวลาระหว่างการเข้าสู่ระบบของผู้ใช้สองคนติดกันแต่ละช่วงจะเป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่เป็นอิสระต่อกัน และช่วงเวลาที่ใช้แต่ละคนรับบริการอยู่ในระบบ (Service times) เป็นตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบเอกซ์โพเนนเชียลที่เป็นอิสระต่อกัน จำกัดขนาดของระบบเท่ากับ K ก็จะยอมให้มีจำนวนผู้ใช้บริการอยู่ในระบบได้มากที่สุดเท่ากับ K และมีรูปแบบการบริการ คือ การเลือกลำดับของผู้ใช้บริการที่เข้ามาใช้บริการในระบบ เป็นแบบมาก่อนรับบริการก่อน (First Come First Served : FCFS) รายละเอียดซึ่งได้อธิบายในบทที่ 3 และแบบจำลองของ M/M/1/K แสดงได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.1 ตัวอย่างของสิ่งกีดขวางจากโหนดถึงตัวปล่อยสัญญาณ



รูปที่ 4.2 แบบจำลอง M/M/1/K ของเครือข่ายเมฆไร้สาย



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างของการกำหนดตำแหน่งของโหนด

จากรูปที่ 4.2 เป็นรูปแบบการจำลอง M/M/1/K ที่ใช้ในเครือข่ายเมฆไร้สายในแต่ละโหนดนั้นมีระบบการเข้าคิวอยู่ 2 แบบคือคิวสำหรับข้อมูลของตัวเองสร้างขึ้น (Q_s) และคิวที่ส่งข้อมูลมาจากฮอปก่อนหน้า (Q_r) ในระบบการเข้าคิวจะมีกฎในการส่งต่อข้อมูลออกไปในแต่ละ (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop โหนดและสามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

- 1) ในกรณี Q_r ว่าง ที่ Q_s จะสร้างแพ็กเก็ตขึ้นมาเองแล้วส่งต่อออกไปยังโหนดถัดไป
- 2) ในกรณี Q_r ไม่ว่าง Q_r จะส่งแพ็กเก็ตออกไปด้วยความน่าจะเป็น $q(x_1, x_2, \dots, x_l)$ และ Q_s จะส่งแพ็กเก็ตออกไปด้วยความน่าจะเป็น $1 - q(x_1, x_2, \dots, x_l)$

ในการหาปริมาณงานของระบบนั้น ในงานวิจัยนี้ได้เริ่มศึกษาจากอัตราการส่งข้อมูล (Mean Service Rate: μ) ที่ (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop โหนด และสามารถหาได้จากการประยุกต์สมการของ Liu, T., and Liao, W. (2008)

$$\mu(x_1, x_2, \dots, x_l) \approx \frac{1}{t_c} \ln \left(\frac{1}{1 - p(x_1, x_2, \dots, x_l)} \right) \quad (4.1)$$

- เมื่อ $\mu(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ อัตราการส่งข้อมูล
 $p(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ ความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จในแต่ละโหนด
 t_c คือ เวลาเฉลี่ยของการส่งข้อมูลหนึ่งแพ็กเก็ตในอากาศ

สำหรับ Q_r ที่ (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop โหนดจะมีอัตราการบริการของข้อมูลเท่ากับอัตราการส่งข้อมูล และจะได้ว่าอัตราการบริการของข้อมูลสำหรับ Q_r มีค่าเท่ากับ

$$\mu_r(x_1, x_2, \dots, x_l) = \mu(x_1, x_2, \dots, x_l) \cdot q(x_1, x_2, \dots, x_l) \quad (4.2)$$

เมื่อ $\mu_r(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ อัตราการบริการของข้อมูลสำหรับ Q_r
 $q(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ ความน่าจะเป็นที่ข้อมูลใน Q_r จะถูกส่งต่อออกไป

สำหรับ Q_s ที่ (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop โหนดจะมีอัตราการบริการของข้อมูลสำหรับ Q_s มีค่าเท่ากับ

$$\mu_s(x_1, x_2, \dots, x_l) = \mu(x_1, x_2, \dots, x_l) \cdot (1 - q(x_1, x_2, \dots, x_l)) \quad (4.3)$$

เมื่อ $\mu_s(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ อัตราการบริการของข้อมูลสำหรับ Q_s
 $1 - q(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ ความน่าจะเป็นที่ข้อมูลใน Q_s จะถูกส่งต่อออกไป

จากกฎในการส่งต่อของข้อมูลที่ได้อธิบายข้างต้นในกรณี Q_r ไม่ว่างจะมีโอกาสในการส่งผ่านข้อมูลมายัง Q_r และมีอัตราการส่งข้อมูลออกไปสำหรับ Q_r ที่ (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop โหนดไปยังฮอปถัดไปดังสมการ

$$\sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_l) = \mu_r(x_1, x_2, \dots, x_l) \cdot [1 - P_{0r}(x_1, x_2, \dots, x_l)] \quad (4.4)$$

เมื่อ $\sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ อัตราการส่งข้อมูลออกไปสำหรับ Q_r
 $P_{0r}(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ ความน่าจะเป็นของ Q_r ที่เริ่มว่างที่ (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop โหนด

เมื่อ Q_r ว่างโอกาสในการส่งผ่านข้อมูลจะถูกส่งมาที่ Q_s และที่ Q_s จะมีอัตราการส่งข้อมูลออกไปที่ (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop โหนดมีค่าดังสมการต่อไปนี้

$$\sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_l) = \mu_s(x_1, x_2, \dots, x_l) \cdot [1 - P_{0s}(x_1, x_2, \dots, x_l)] \quad (4.5)$$

เมื่อ $\sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ อัตราการส่งข้อมูลออกไปสำหรับ Q_s
 $P_{0_s}(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ ความน่าจะเป็นของ Q_s ที่เริ่มว่างที่ (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop โหนด

ในการวิเคราะห์อัตราการเข้าสู่ระบบของข้อมูล (Packet-arrival rates: λ) สำหรับ Q_r และ Q_s สามารถหาได้ดังสมการที่ 4.6 และสมการที่ 4.7 ตามลำดับ

$$\begin{aligned}\lambda_r(x_1, x_2, \dots, x_l) &= \sum_{x_{l+1}=1}^{N(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})} \sigma(x_1, x_2, \dots, x_{l+1}) \\ &= \sum_{x_{l+1}=1}^{N(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})} \sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_{l+1}) + \sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})\end{aligned}\quad (4.6)$$

$$\lambda_s(x_1, x_2, \dots, x_l) = \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_l) \cdot \mu(x_1, x_2, \dots, x_l) \cdot (1 - q(x_1, x_2, \dots, x_l)) \quad (4.7)$$

เมื่อ $N(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})$ คือ จำนวนโหนดทั้งหมดในชั้นที่ $(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})$
 $\lambda_r(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ อัตราการเข้าสู่ระบบของข้อมูลของ Q_r ที่ (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop โหนด
 $\lambda_s(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ อัตราการเข้าสู่ระบบของข้อมูลของ Q_s ที่ (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop โหนด และสามารถหาอัตราการส่งข้อมูลออกไปรวมได้ดังสมการ

$$\sigma(x_1, x_2, \dots, x_l) = \sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_l) + \sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_l) \quad (4.8)$$

เมื่อ $\sigma(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ อัตราการส่งข้อมูลออกไป
 $\sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ อัตราการส่งข้อมูลออกไปสำหรับ Q_s
 $\sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ อัตราการส่งข้อมูลออกไปสำหรับ Q_r

การวิเคราะห์หาค่าของปริมาณงานของโหนดที่มีการบริการอยู่จะถูกกำหนดด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่ออกจาก Q_s เมื่อไม่เกิดการบล็อกดังนั้นจะได้สมการของปริมาณงาน ดังสมการที่ 4.9

$$T(x_1, x_2, \dots, x_l) = \begin{cases} \sigma_s(x_1) & , l=1 \\ \sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_l) \cdot [1 - P_{br}(x_1)] \\ \cdot [1 - P_{br}(x_1, x_2)] \dots [1 - P_{br}(x_1, x_2, \dots, x_{l-1})] & , l=2, \dots, H \end{cases} \quad (4.9)$$

เมื่อ $T(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ ปริมาณงานที่ (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop โหนด
 $P_{br}(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการบล็อกสำหรับ Q_r ที่
 (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop โหนด

เมื่ออัตราการเข้าและออกของข้อมูลเป็นอิสระต่อกันและเป็นไปตามลักษณะของกระบวนการปัวส์ซง ดังนั้นการแจกแจงของเวลาที่ผู้ใช้แต่ละคนรับบริการอยู่ในระบบ (Service time) และข้อมูลที่ถูกลงส่งต่อออกไป (Relay packet) สำหรับ Q_r ทั้งสองเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential) ที่เป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจำลอง Q_r เป็นแบบ M/M/1/K ซึ่งมีขนาดของคิวในระบบ เท่ากับ K สามารถพิจารณาหาค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดการบล็อกสำหรับ Q_r ที่ (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop โหนดสามารถหาได้จากการประยุกต์ M/M/1/K ดังสมการ

$$P_{br}(x_1, x_2, \dots, x_l) = \begin{cases} \frac{[1 - \rho_r(x_1, x_2, \dots, x_l)] \rho_r(x_1, x_2, \dots, x_l)^K}{1 - \rho_r(x_1, x_2, \dots, x_l)^{K+1}} & ; \rho_r(x_1, x_2, \dots, x_l) \leq 1 \\ \frac{1}{K+1} & ; \rho_r(x_1, x_2, \dots, x_l) = 1 \end{cases} \quad (4.10)$$

เมื่อ $\rho_r(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ ปริมาณทราฟฟิกที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Traffic Intensity) สำหรับ Q_r ที่ (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop โหนด โดยมีสมการดังนี้

$$\rho_r(x_1, x_2, \dots, x_l) = \frac{\lambda_r(x_1, x_2, \dots, x_l)}{\mu_r(x_1, x_2, \dots, x_l)} \quad (4.11)$$

แทนค่าจากสมการที่ 4.4 และ 4.5 ลงในสมการที่ 4.6 และแทนค่าจากสมการที่ 4.2 ลงในสมการที่ 4.11 ดังนั้นจะได้สมการของปริมาณทราฟฟิกที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Traffic Intensity) สำหรับ Q_r คือ

$$\rho_r(x_1, x_2, \dots, x_l) = \frac{\sum \left[\begin{array}{l} \left[\begin{array}{l} \mu(x_1, x_2, \dots, x_{l+1}) \cdot q \\ \cdot (1 - P_{0r}(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})) \end{array} \right] \\ + \left[\begin{array}{l} \mu(x_1, x_2, \dots, x_{l+1}) \cdot (1 - q) \\ \cdot (1 - P_{0s}(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})) \end{array} \right] \end{array} \right]}{\mu(x_1, x_2, \dots, x_l) \cdot q} \quad (4.12)$$

เมื่อ $P_{0r}(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ ความน่าจะเป็นของ Q_r ที่เริ่มว่างที่ (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop สามารถหาได้จาก การประยุกต์ M/M/1/K ดังสมการ

$$P_{0r}(x_1, x_2, \dots, x_l) = \begin{cases} \frac{1 - \rho_r(x_1, x_2, \dots, x_l)}{1 - \rho_r(x_1, x_2, \dots, x_l)^{K+1}} & ; \rho_r(x_1, x_2, \dots, x_l) \leq 1 \\ \frac{1}{K+1} & ; \rho_r(x_1, x_2, \dots, x_l) = 1 \end{cases} \quad (4.13)$$

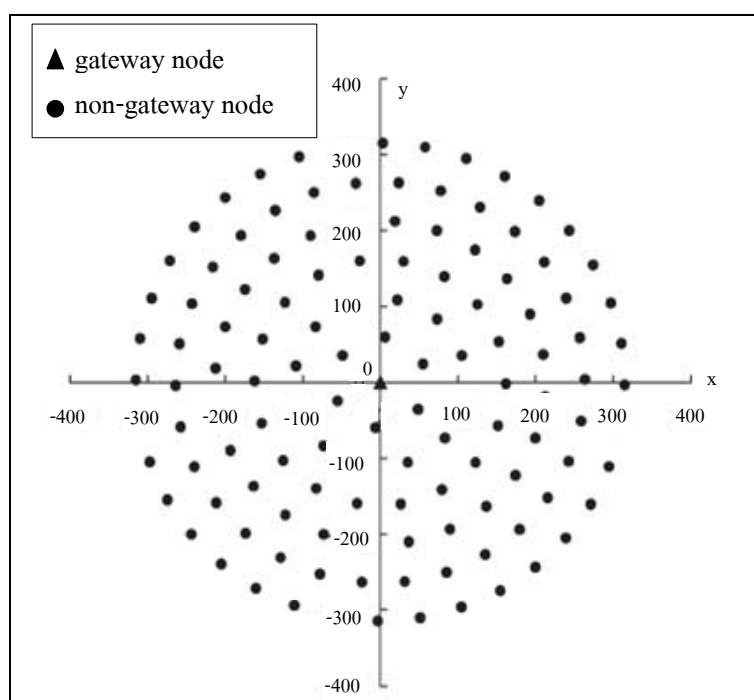
เมื่อ $P_{0s}(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ ความน่าจะเป็นของ Q_s ว่างที่ (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop สามารถหาได้ดังสมการ

$$P_{0s}(x_1, x_2, \dots, x_l) = \begin{cases} \frac{1 - \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_l)}{1 - \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_l)^{K+1}} & ; \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_l) \leq 1 \\ \frac{1}{K+1} & ; \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_l) = 1 \end{cases} \quad (4.14)$$

กำหนดให้ $\rho_s(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ ปริมาณทราฟฟิกที่ป้อนเข้าสู่ระบบ (Traffic Intensity) สำหรับ Q_s ซึ่งเป็นปริมาณทราฟฟิกที่เกิดจากการใช้งานของผู้ใช้งานในหนึ่งโหนดในงานวิจัยนี้กำหนดให้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่ง

4.2.2 การเปรียบเทียบปริมาณงานที่ได้ระหว่างโปรแกรมในงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิง การกำหนดค่าในการทดสอบ

ในงานวิจัยอ้างอิงได้มีการวิเคราะห์โครงสร้างโดยมีตัวปล่อยสัญญาณ 1 จุดและมีจำนวนโหนด 126 โหนดซึ่งแสดงดังรูปที่ 4.4 โดยใช้สมการของงานวิจัยของ Liu, T., and Liao, W. (2008) ในการคำนวณในโปรแกรมแมทแลบและในงานวิจัยนี้จะใช้สมการที่ 4.9 ที่ได้ทำการวิเคราะห์ขึ้นมาเพื่อคำนวณในโปรแกรมแมทแลบและใช้ตัวแปรต่าง ๆ ดังตารางที่ 4.1



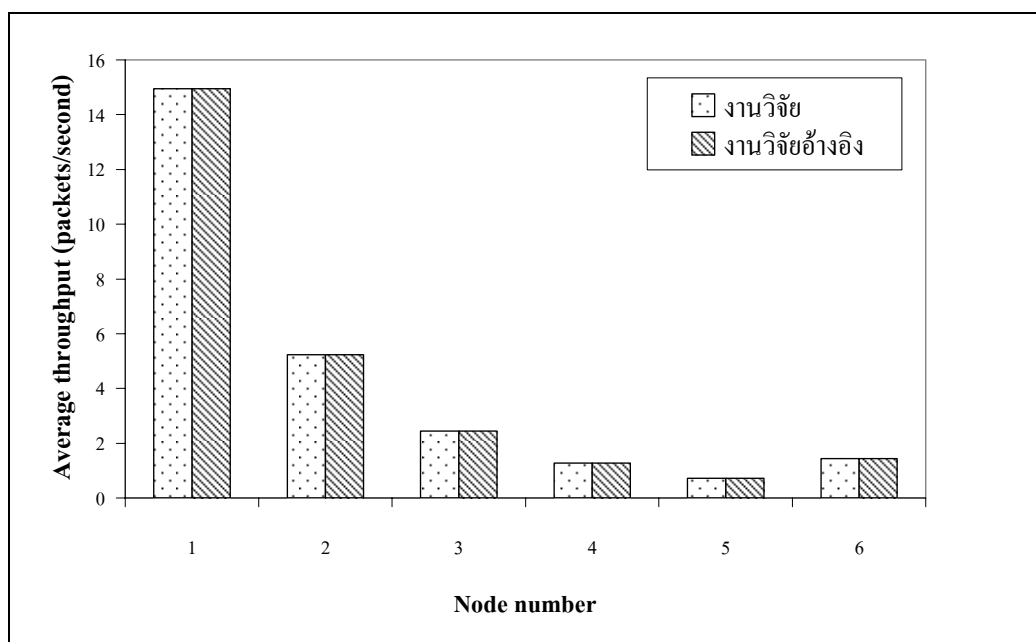
รูปที่ 4.4 รูปแบบการจำลองระบบเครือข่ายเมชไร้สาย (Liu, T., and Liao, W.(2008))

ตารางที่ 4.1 การตั้งค่าตัวแปรการทดลองเปรียบเทียบปริมาณงานที่ได้ระหว่างโปรแกรมในงานวิจัย
และงานวิจัยอ้างอิง

ตัวแปร	ค่าที่กำหนด
ขนาดของข้อมูล	1500 Byte
ปริมาณความจุ	75 Mb/s
จำนวนโหนด	126
ความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ	0.7

ขั้นตอนการทดลอง

1. จำลองระบบเครือข่ายเมฆไร้สายดังรูปที่ 4.4
2. ทดสอบปริมาณงานในการคำนวณงานวิจัยอ้างอิงจะใช้โปรแกรมเมทแลบและใช้สมการในงานวิจัยอ้างอิงส่วนงานวิจัยนี้จะใช้สมการที่ 4.9 โดยมีการใช้ค่าตัวแปรที่เหมือนกันดังในตารางที่ 4.1 เพื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณงานที่ได้ระหว่างโปรแกรมในงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิง
3. แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบผลของปริมาณงานที่ได้ระหว่างโปรแกรมในงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยของปริมาณงานที่ได้จากโปรแกรมในงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิง

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ก่อนที่จะดำเนินการวิจัยนั้นเราได้มีการเปรียบเทียบผลการทดสอบปริมาณงานที่ได้ระหว่างโปรแกรมในงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิงโดยใช้สมการที่วิเคราะห์จากแนวคิดในการออกแบบหาปริมาณงานตามสมการที่ 4.9 จะพบว่าปริมาณงานที่ได้จากงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิงมีค่าเท่ากัน ดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่าสมการที่ 4.9 สามารถนำมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณงานและเพื่อใช้ในการออกแบบหาตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมของเครือข่ายเมฆไร้สายได้

4.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการออกแบบ

4.3.1 ความแรงของสัญญาณ

ในการรับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ผ่านระบบเครือข่ายเมฆไร้สายนั้น มีปัจจัยในการที่ทำให้ข้อมูลเกิดความสูญเสียระหว่างเส้นทางการรับส่งข้อมูลซึ่งสิ่งที่น่าสนใจเกี่ยวกับปัจจัยเหล่านี้ คือความแรงของสัญญาณ โดยความแรงของสัญญาณที่มีค่าความแรงของสัญญาณมากน้อยจะเป็นตัวที่ทำให้ค่าความสูญเสียของข้อมูลนั้นแตกต่างกันออกไป โดยปกติแล้วเครือข่ายเมฆไร้สายจะมีระยะในการส่งสัญญาณประมาณ 300 ฟุต ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าถ้ามีกำแพงหรือสิ่งกีดขวางหลายชั้นระยะในการส่งสัญญาณก็จะสั้นลง ทำให้เกิดความสูญเสียของข้อมูลเพิ่มขึ้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาหาตัวแปรหรือความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จที่แสดงถึงผลของความสัมพันธ์ระหว่างความแรงของสัญญาณ และความสูญเสียของข้อมูล (loss) ที่เกิดขึ้นโดยการวิเคราะห์ค่าแล้วนำมาสร้างเป็นสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพลดค่าความผิดพลาดของข้อมูล และพัฒนาระบบเครือข่ายเมฆไร้สายในอนาคต

ในหลักความเป็นจริงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสำเร็จของข้อมูลจะแปรผันตรงกับค่าความแรงของสัญญาณ ถ้าค่าความแรงของสัญญาณมาก ค่าความสำเร็จของการส่งข้อมูลจะมีค่าความสำเร็จมาก (ค่าประมาณความสูญเสียในการส่งข้อมูลน้อย) ถ้าความแรงของสัญญาณน้อย ค่าความสำเร็จของการส่งข้อมูลจะมีค่าความสำเร็จน้อย (ค่าประมาณความสูญเสียในการส่งข้อมูลมาก) และสมการเอกซ์โพเนนเชียลเป็นสมการที่มีแนวโน้มที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้เข้ากับค่าความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลได้สำเร็จเพื่อนำมาหาค่าปริมาณงานในระบบเครือข่ายเมฆไร้สาย

จากรูปที่ 4.6 วัดค่าความแรงของสัญญาณโดยใช้โปรแกรม Wireshark โดยวัดที่อาคารวิชาการ ชั้นที่ 4 ประกอบด้วย จุดเข้าถึงสัญญาณ จำนวน 4 ตัว ซึ่งได้มีการทดสอบเป็นเวลา 3 วัน ในแต่ละวันทดสอบจุดเข้าถึงสัญญาณ แต่ละตัว ตัวละ 20 จุดทดสอบ จุดทดสอบละ 3 ครั้ง รวมทั้งสิ้น 720 ครั้งที่ทำกรทดสอบ และจากรูปที่ 4.7 สามารถนำมาคำนวณหาความแรงของสัญญาณที่ได้รับ รูปแบบสมการจะใช้ค่า Mean Square Error (MSE) ในการวิเคราะห์ ค่า MSE บ่งบอกถึงค่าความถูกต้องและแม่นยำ ถ้าค่า MSE มากค่าความผิดพลาดมากแสดงถึงว่ามีความถูกต้องและแม่นยำน้อย แต่ถ้าค่า MSE น้อยค่าความผิดพลาดน้อยแสดงถึงว่ามีความถูกต้องและแม่นยำมากดังสมการ

$$MSE = \frac{\sum_{t=1}^n e_t^2}{n} = \frac{\sum_{t=1}^n (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{n}$$

เมื่อ e_t คือ ผลต่างระหว่างค่าจริงและค่าพยากรณ์
 n คือ จำนวนครั้งทั้งหมดที่ทำการทดสอบ

จากการทดสอบและการคำนวณหาค่า MSE นั้นแสดงให้เห็นว่าการคำนวณโดยใช้รูปแบบของสมการเอกซ์โพเนนเชียลจะทำให้ค่าน้อยที่สุด โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสูญเสียของข้อมูล (Packet Loss, %) และความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) ดังสมการ

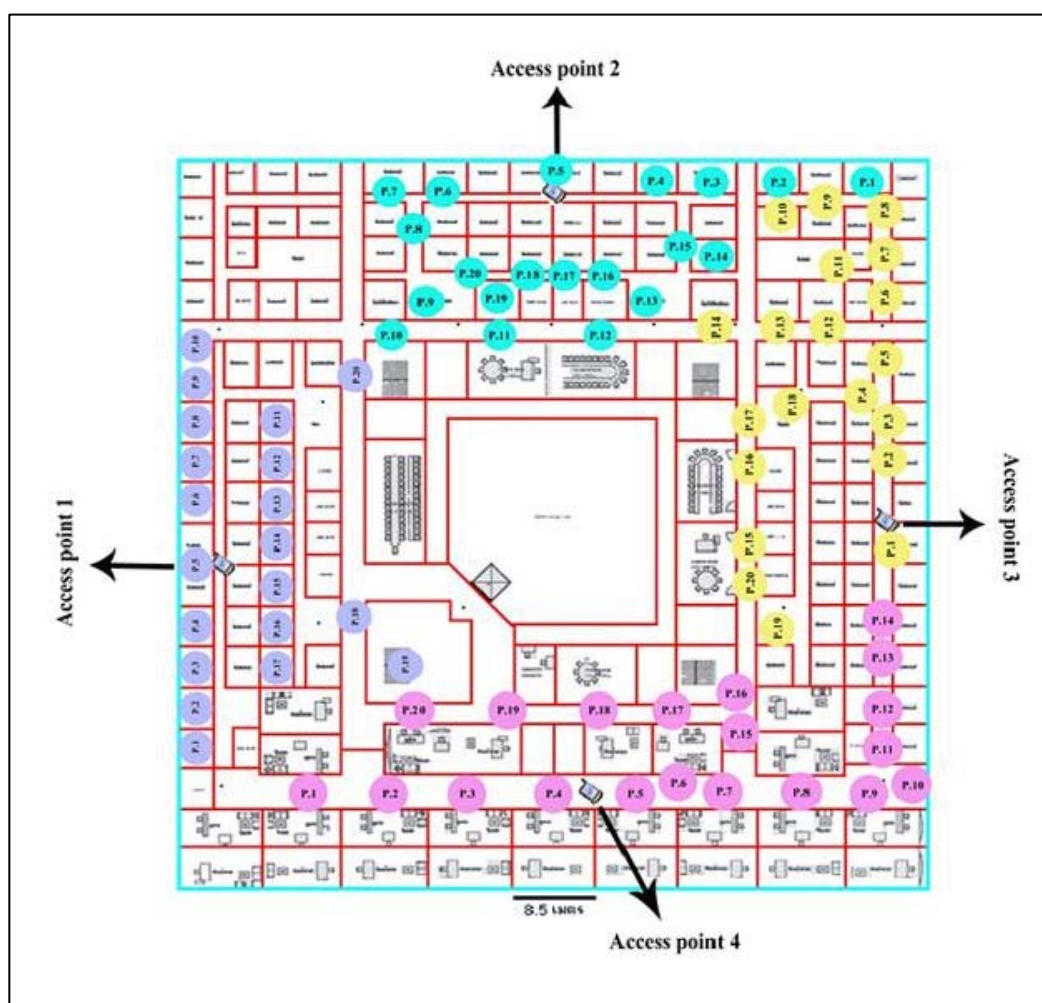
$$A(x_1, x_2, \dots, x_l) = 0.1840 * \exp((-0.0358)(P_r(x_1, x_2, \dots, x_l))) \quad (4.15)$$

โดยที่ $A(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ ค่าประมาณความสูญเสียของข้อมูล (Packet Loss, %)

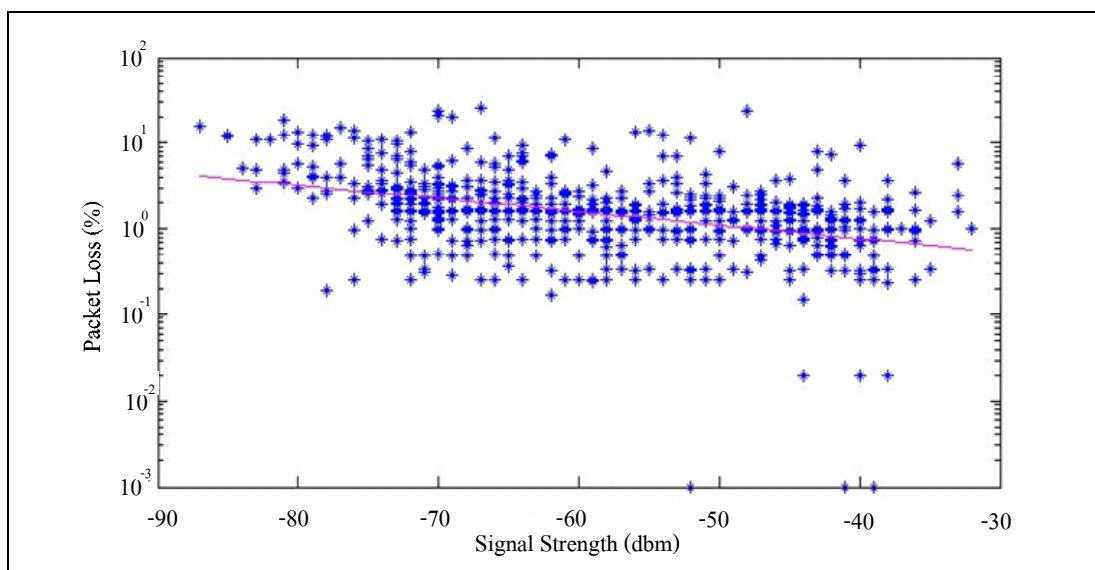
$P_r(x_1, x_2, \dots, x_l)$ คือ ค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ

และสามารถหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จได้ดังสมการที่ 4.15 โดยพิจารณาสิ่งกีดขวางได้จากค่า $P_r(x_1, x_2, \dots, x_l)$ ซึ่งจะอธิบายรายละเอียดต่อไปในหัวข้อที่ 4.3.2

$$p(x_1, x_2, \dots, x_l) = 1 - A(x_1, x_2, \dots, x_l) \quad (4.16)$$



รูปที่ 4.6 การทดสอบความแรงของสัญญาณ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ (อ้างอิงจากการหาค่าความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลได้สำเร็จจากค่าความแรงของสัญญาณ 2552)



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณความสูญเสียของข้อมูล (Packet Loss, %) และความแรงของสัญญาณ (Signal Strength) (อ้างอิงจาก การหาค่าความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลใดสำเร็จจากค่าความแรงของสัญญาณ 2552)

4.3.2 แบบจำลองการสูญเสียกำลังของสัญญาณ

เป็นสมการที่ใช้ในการวิเคราะห์และคำนวณค่าของความสูญเสียอันเนื่องจากระยะทางและการลดทอนของสิ่งกีดขวางแต่ละชนิดซึ่งมีค่าการลดทอนไม่เท่ากัน และสามารถคำนวณหา $P_r(x_1, x_2, \dots, x_l)$ ค่าความแรงของสัญญาณที่รับได้ของจุดเข้าถึงสัญญาณในแต่ละโหนดได้ ดังสมการ Goldsmith, A. (2005)

$$P_r(x_1, x_2, \dots, x_l) = P_t + 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d_0} \right) + G_t + G_r - Loss - 20 \log \left(\frac{d(x_1, x_2, \dots, x_l)}{d_0} \right) \quad (4.17)$$

เมื่อ	P_t	คือ กำลังส่งของตัวจุดเข้าถึงสัญญาณ
	d_0	คือ ระยะทาง 1 เมตร
	Loss	คือ เป็นผลรวมของค่าความสูญเสียจากจำนวนสิ่งกีดขวางที่นับจากตัวจุดเข้าถึงสัญญาณไปยังจุดที่ทำการวัด

Gt	คือ อัตราขยายของสายอากาศภาคส่งที่ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวจุดเข้าถึงสัญญาณ
Gr	คือ อัตราขยายของสายอากาศภาครับของตัวรับที่ขึ้นอยู่กับชนิดของ WLAN Card
λ	คือ ค่าความยาวคลื่นซึ่งสามารถคิดได้จากค่าความถี่ (f) ที่มาจากการเลือกมาตรฐานของ IEEE ของตัว จุดเข้าถึงสัญญาณแต่ละชนิด
$P_r(x_1, x_2, \dots, x_l)$	คือ กำลังที่รับได้จากตัวจุดเข้าถึงสัญญาณ ณ ตำแหน่งใด ๆ
$d(x_1, x_2, \dots, x_l)$	คือ ระยะทางระหว่างตัวจุดเข้าถึงสัญญาณ ไปยังผู้ใช้งาน

ตารางที่ 4.2 ชนิดและค่าพารามิเตอร์ของ จุดเข้าถึงสัญญาณภายในบริเวณอาคารวิชาการชั้นที่ 4

มาตรฐาน	IEEE 802.11g 2.4-2.5 GHz, Channel 1 (2.412GHz)
กำลังส่ง	18 dBm
อัตราขยายของสายอากาศภาคส่ง	2.2 dB (Koop, M.H. 2007)
อัตราขยายของสายอากาศภาครับ (เครื่องที่ใช้วัดสัญญาณ)	2.2 dB

4.3.3 การทดสอบผลกระทบของสิ่งกีดขวาง ต่อปริมาณงาน

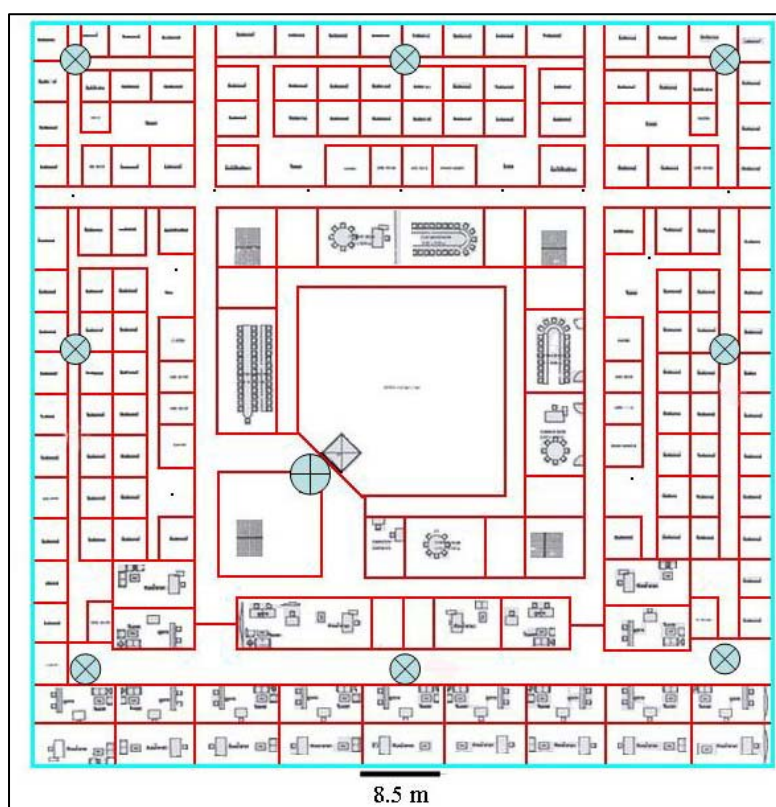
ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้อาคารวิชาการชั้น 4 ดังรูปที่ 4.8 ในการทดสอบ โดยเป็นการเปรียบเทียบหาปริมาณงานจากงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิงซึ่งในพื้นที่ที่มีจุดเข้าถึงสัญญาณทั้งหมด 4 ตัวและได้ทำการออกแบบการวางตำแหน่งของโหนดซึ่งมีพิกัดของระยะทางในแนวแกน x และ y ดังแสดงในรูปที่ 4.9

ขั้นตอนในการทดลอง

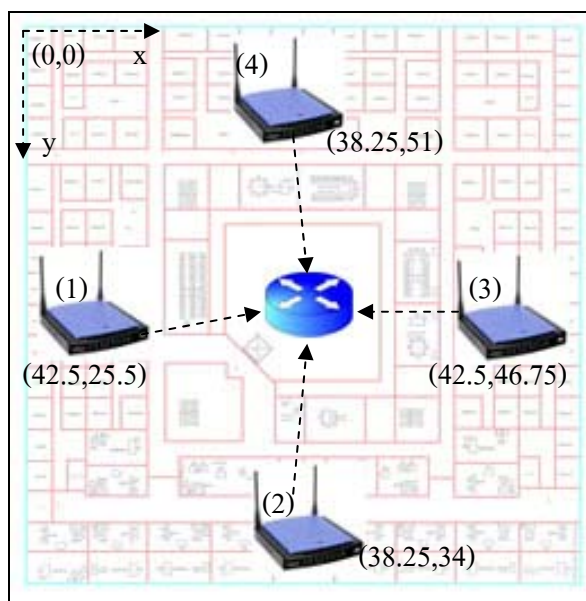
1. จำลองออกแบบการวางตำแหน่งของโหนดตามพื้นที่ที่กำหนด
2. เลือกเส้นทางในการส่งข้อมูลดังรูปที่ 4.9
3. คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จโดยใช้สมการที่ 4.18 และคำนึงถึงสิ่งกีดขวาง เนื่องจากสถานที่ทำการทดสอบ โปรแกรมนี้มีสิ่งกีดขวางเป็น Office wall จึงใช้ค่าการลดทอนเท่ากับ 6 dB (John, C., and Stein, 2007) ซึ่งแสดงในตารางที่ 4.4
4. กำหนดค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 4.3

5. นำค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จที่คำนวณได้จากข้อ 3 ไปคำนวณโดยใช้โปรแกรมแมทแลปเพื่อนำไปหาปริมาณงานที่สูงที่สุด และในการคำนวณจะใช้ค่าพารามิเตอร์ของการลดทอนในวัสดุแต่ละชนิดจากตารางที่ 4.4

6. นำผลการทดลองที่ได้จากข้อ 5 มาหาค่าเฉลี่ยของปริมาณงานเปรียบเทียบจากโปรแกรมงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.8 อาคารวิชาการชั้น 4 ที่ใช้ในการทดสอบ



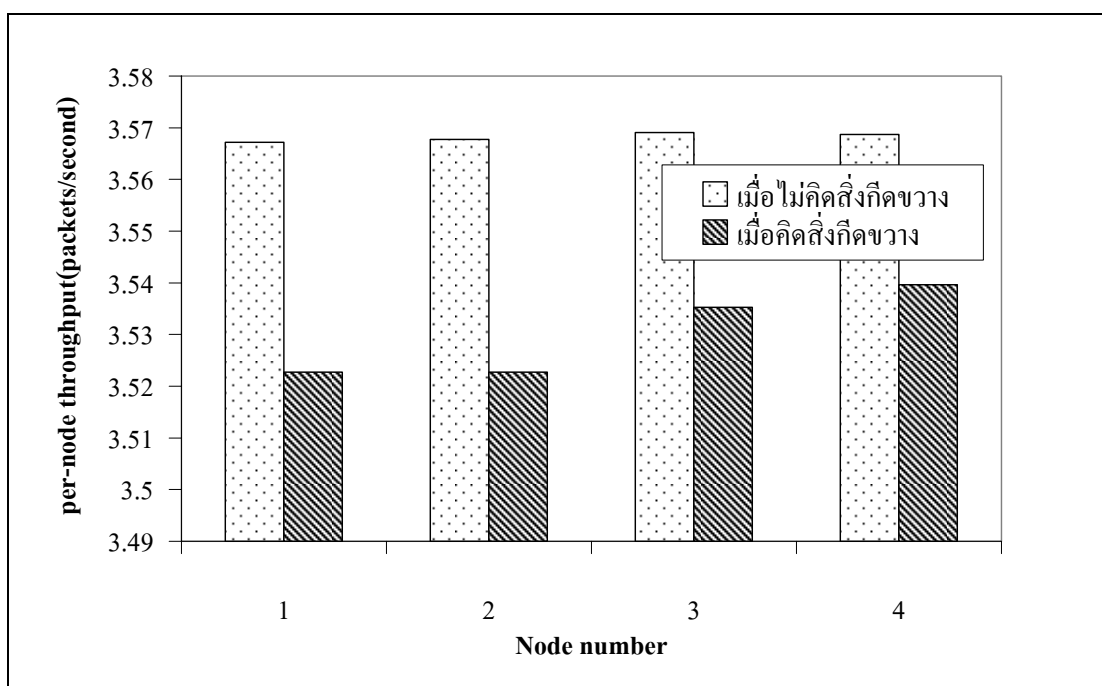
รูปที่ 4.9 รูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดในอาคารวิชาการชั้น 4

ตารางที่ 4.3 การตั้งค่าตัวแปรการทดลองเปรียบเทียบปริมาณงานที่ได้จากงานวิจัย
และงานวิจัย อ้างอิง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
กำลังที่ใช้ในการส่ง	18 dBm
ความน่าจะเป็นที่แพ็กเก็ตใน Q_r จะถูกส่งต่อออกไป	0.7
ขนาดของคิวในระบบ	64

ตารางที่ 4.4 ค่าการลดทอนเนื่องจากสิ่งกีดขวาง

ชนิดของสิ่งกีดขวาง	ค่าการลดทอนวัดในหน่วย dB
Concrete block wall	12
Metal wall / door	12
Brick wall	5
Office wall	6
Wood wall	4
Glass wall	6



รูปที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยของปริมาณงานเปรียบเทียบจากโปรแกรมงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิง

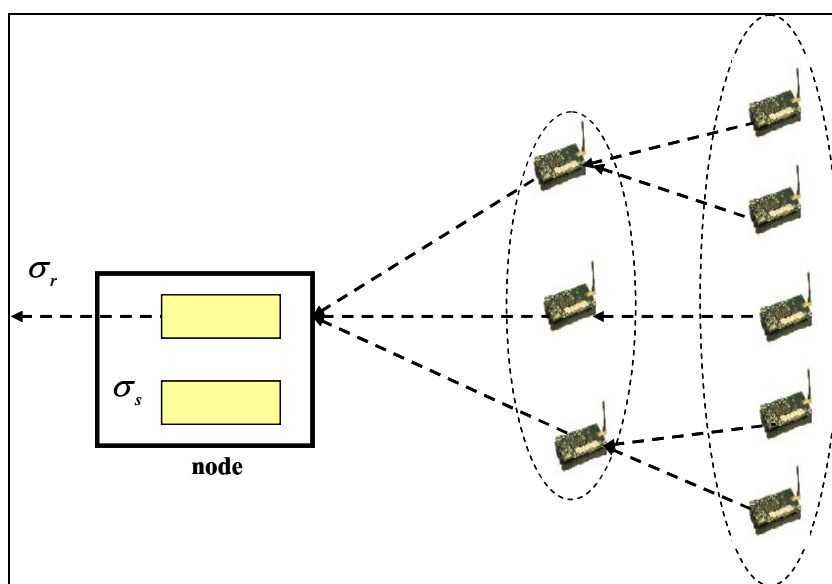
ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองที่ได้จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าผลของงานวิจัยอ้างอิงเมื่อไม่ได้นำสิ่งกีดขวางมาพิจารณาผลที่ได้คือ ปริมาณงานที่ได้ในทุก ๆ ตำแหน่งของโหนดนั้นมีค่าเท่ากันทุก ๆ จุด ส่วนผลการทดลองของงานวิจัย เมื่อพิจารณาในพื้นที่จริงซึ่งคำนึงถึงสิ่งกีดขวางแล้วนั้น ผลที่ได้คือ ปริมาณงานที่ได้ขึ้นอยู่กับสิ่งกีดขวางถ้ามีสิ่งกีดขวางมากปริมาณงานที่ได้ก็จะมีความน้อย ถ้ามีสิ่งกีดขวางน้อยปริมาณงานที่ได้ก็จะมีค่ามาก จากผลการทดลองดังกล่าวดังนั้นเราสามารถสรุปได้ว่าปัจจัยภายนอกมีผลกระทบต่อปริมาณงานที่ได้

4.4 การวิเคราะห์ปริมาณงานที่เท่าเทียมกันของแต่ละโหนด

ในหัวข้อที่ 4.2 แสดงถึงสมการคณิตศาสตร์เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบหาตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมในเครือข่ายเมชไร้สาย และหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นถึงการนำสมการคณิตศาสตร์มาทดสอบเพื่อหาคำตอบและวิเคราะห์ผลที่ได้โดยคำนึงถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจริง เนื่องจากปริมาณงานที่ได้จากเครือข่ายเมชไร้สายนั้นจะลดลงตามระยะห่างจากโหนดถึงตัวปล่อยสัญญาณ คือ โหนดที่อยู่ใกล้ตัวปล่อยสัญญาณปริมาณงานที่ได้จะมีค่ามากกว่าโหนดที่อยู่ไกลจากตัวปล่อยสัญญาณตามลำดับ ดังนั้นเพื่อประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในการหาปริมาณงานในแต่ละโหนดนั้นในวิทยานิพนธ์

ฉบับนี้ได้เริ่มต้นพิจารณาจากการหาค่าของ ความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จในแต่ละโหนดซึ่งพิจารณาผลกระทบจากสิ่งกีดขวาง ซึ่งก่อให้เกิดความไม่เท่าเทียมกันของปริมาณงานในแต่ละโหนด ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้มีการวิเคราะห์ หาสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อนำมาสู่การคำนวณถึงความเท่าเทียมกันของปริมาณงานในทุก ๆ ตำแหน่งของโหนด โดยเริ่มพิจารณาว่าในแต่ละโหนดประกอบไปด้วย σ_r และ σ_s ตัวอย่างดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพของอัตราการส่งข้อมูลของ Q_r และประสิทธิภาพของอัตราการส่งข้อมูล ของ Q_s

ในแต่ละตำแหน่งของโหนด เพื่อให้ได้ปริมาณงานที่มีความเท่าเทียมกันนั้นสามารถพิจารณาได้จากปริมาณงานของ σ_r ที่เข้ามาจาก จำนวนอินพุตจากจำนวนโหนดทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับปริมาณงานของ σ_s ของโหนดนั้น ๆ จากรูปที่ 4.4 สามารถนำมาวิเคราะห์ได้ดังสมการ

$$\frac{\sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_{l-1})}{\sum_{i=1}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i)} = \sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_{l-1}) \quad (4.18)$$

เมื่อ $N(x_1, x_2, \dots, x_i)$ คือ จำนวนโหนดทั้งหมดในชั้นที่ (x_1, x_2, \dots, x_i)

เมื่อในทุก ๆ ตำแหน่งของ โหนดมีปริมาณงานที่เท่าเทียมกัน ดังนั้นจะพิจารณาวิเคราะห์หาปริมาณงานได้ดังสมการ

$$\sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_{l-1}) = \sum_{i=l}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) \cdot \sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_{l-1}) \quad (4.19)$$

แทนค่า $\sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_{l-1})$ และ $\sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_{l-1})$ ลงในสมการที่ 4.19 จะได้

$$\begin{aligned} \mu_r(x_1, x_2, \dots, x_{l-1}) \cdot [1 - P_{0r}(x_1, x_2, \dots, x_{l-1})] &= \sum_{i=l}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) \\ \mu_s(x_1, x_2, \dots, x_{l-1}) \cdot [1 - P_{0s}(x_1, x_2, \dots, x_{l-1})] & \end{aligned} \quad (4.20)$$

เมื่อแทนค่า $P_{0r}(x_1, x_2, \dots, x_l)$ และ $P_{0s}(x_1, x_2, \dots, x_l)$ ลงในสมการที่ 4.20 และสมมติให้ K มีค่ามาก ๆ ทำให้ $P_{0r}(x_1, x_2, \dots, x_l) \approx 1 - \rho_r(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})$ และ $P_{0s}(x_1, x_2, \dots, x_{l-1}) \approx 1 - \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_{l-1})$ ดังนั้นสามารถจัดรูปสมการได้ดังนี้

$$\rho_r(x_1, x_2, \dots, x_{l-1}) = \frac{\sum_{i=l}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_{l-1})}{q} \quad (4.21)$$

เริ่มต้นพิจารณาที่ตำแหน่ง $H-1$

กรณีที่ $l = H-1$ จากสมการที่ 4.21 สามารถเขียนได้ว่า

$$\begin{aligned} \rho_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) &= \frac{\sum_{i=H}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_{H-1})}{q} \\ &= \frac{N(x_1, x_2, \dots, x_H) \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_{H-1})}{q} \end{aligned} \quad (4.22)$$

จากสมการ 4.11 จะเขียนได้ว่า

$$\rho_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) = \frac{\lambda_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-1})}{\mu_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-1})} \quad (4.23)$$

สามารถหา $\lambda_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-1})$ ได้จากสมการ

$$\lambda_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) = \sum_{x_i=1}^{N(x_1, x_2, \dots, x_H)} \sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_i) \quad (4.24)$$

ถ้า $\sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_i)$ ในทุก ๆ ตำแหน่งของโหนด มีค่าเท่ากัน และแทนค่าจากสมการที่ 4.24 ลงในสมการที่ 4.23 จะได้

$$\rho_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) = \frac{N(x_1, x_2, \dots, x_H) \mu(x_1, x_2, \dots, x_H) \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_H)}{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \cdot q} \quad (4.25)$$

แทนค่าจากสมการที่ 4.25 ลงในสมการที่ 4.22 จะได้

$$\begin{aligned} & \frac{N(x_1, x_2, \dots, x_H) \mu(x_1, x_2, \dots, x_H) \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_H)}{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \cdot q} \\ &= \frac{N(x_1, x_2, \dots, x_H) \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_{H-1})}{q} \end{aligned} \quad (4.26)$$

สามารถแก้สมการได้ดังนี้

$$\frac{\mu(x_1, x_2, \dots, x_H)}{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-1})} = 1 \quad (4.27)$$

กรณีที $l = H - 2$ จากสมการที่ 4.21 จะได้ว่า

$$\rho_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) = \frac{\sum_{i=H-1}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})}{q} \quad (4.28)$$

จากสมการ 4.11 จะเขียนได้ว่า

$$\rho_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) = \frac{\lambda_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})}{\mu_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})} \quad (4.29)$$

สามารถหา $\lambda_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})$ ได้จากสมการ

$$\lambda_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) = \sum_{x_i=1}^{N(x_1, x_2, \dots, x_{H-1})} (\sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_i) + \sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_i)) \quad (4.30)$$

สามารถหา $\sum_{x_i=1}^{N(x_1, x_2, \dots, x_{H-1})} \sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_i)$ ได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} & \sum_{x_i=1}^{N(x_1, x_2, \dots, x_{H-1})} \sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_i) \\ &= N(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \cdot \mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \cdot q \cdot \rho_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \end{aligned} \quad (4.31)$$

แทนค่า $\rho_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-1})$ จากสมการที่ 4.25 ลงในสมการที่ 4.31 จะเขียนได้ดังสมการ

$$\begin{aligned}
\sum_{i=H-1}^H \sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_i) &= N(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \cdot \mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \cdot q \cdot \\
&\left(\frac{N(x_1, x_2, \dots, x_H) \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_H)}{q} \right) \\
&= N(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \cdot \mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \\
&\cdot N(x_1, x_2, \dots, x_H) \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_H)
\end{aligned} \tag{4.32}$$

แทนค่า $\sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_{H-1})$ และสมการที่ 4.32 ลงในสมการที่ 4.29 จะได้สมการ

$$\begin{aligned}
&N(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \cdot \mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \\
&\cdot N(x_1, x_2, \dots, x_H) \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_H) \\
&+ N(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \cdot \mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \\
\rho_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) &= \frac{(1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_{H-1})}{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \cdot q}
\end{aligned} \tag{4.33}$$

และแทนค่า $\rho_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})$ ลงในสมการที่ 4.28 จะได้สมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
&N(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \cdot \mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \cdot N(x_1, x_2, \dots, x_H) \\
&\cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_H) + N(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \\
&\cdot \mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \\
&\frac{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \cdot q}{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \cdot q} \\
&= \frac{\sum_{i=H-1}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})}{q}
\end{aligned} \tag{4.34}$$

สามารถแก้สมการได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
&N(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \cdot \mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \cdot N(x_1, x_2, \dots, x_H) \\
&+ N(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \cdot \mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \\
&\frac{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})}{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})} = \sum_{i=H-1}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i)
\end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้สมการ

$$\frac{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-1})}{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})} = \frac{\sum_{i=H-1}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i)}{[N(x_1, x_2, \dots, x_{H-1}) \cdot N(x_1, x_2, \dots, x_H)] + N(x_1, x_2, \dots, x_{H-1})} \quad (4.35)$$

กรณีนี้ที่ $l = H - 3$ จากสมการที่ 4.21 จะได้ว่า

$$\rho_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-3}) = \frac{\sum_{i=H-2}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_{H-3})}{q} \quad (4.36)$$

จากสมการ 4.11 จะเขียนได้ว่า

$$\rho_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-3}) = \frac{\lambda_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-3})}{\mu_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-3})} \quad (4.37)$$

สามารถหา $\lambda_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-3})$ ได้จากสมการ

$$\lambda_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-3}) = \sum_{x_i=1}^{N(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})} (\sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_i) + \sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_i)) \quad (4.38)$$

สามารถหา $\sum_{x_i=1}^{N(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})} \sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_i)$ ได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} & \sum_{x_i=1}^{N(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})} \sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_i) \\ &= N(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \cdot \mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \cdot q \cdot \rho_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \end{aligned} \quad (4.39)$$

เมื่อแทนค่า $\rho_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})$ จากสมการที่ 4.33 ลงในสมการที่ 4.39 จะได้สมการ

$$\begin{aligned}
& \sum_{x_i=1}^{N(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})} \sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_i) = N(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \cdot \mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \cdot q \cdot \\
& \left(\frac{\sum_{i=H-1}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})}{q} \right) \\
& = N(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \cdot \mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \\
& \cdot \sum_{i=H-1}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})
\end{aligned} \tag{4.40}$$

แทนค่า $\sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})$ และสมการที่ 4.40 ลงในสมการที่ 4.37 จะเขียนสมการได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
& \rho_r(x_1, x_2, \dots, x_{H-3}) \\
& N(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \cdot \mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \\
& \cdot \sum_{i=H-1}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \\
& = \frac{+N(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \cdot \mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})}{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-3}) \cdot q}
\end{aligned} \tag{4.41}$$

แทนค่าจากสมการที่ 4.41 ลงในสมการที่ 4.36 จะเขียนได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\begin{aligned}
& N(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \cdot \mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \cdot \sum_{i=H-1}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) \\
& \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \\
& + \frac{N(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \cdot \mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})}{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-3}) \cdot q} \\
& = \frac{\sum_{i=H-2}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) \cdot (1-q) \cdot \rho_s(x_1, x_2, \dots, x_{H-3})}{q}
\end{aligned} \tag{4.42}$$

สามารถแก้สมการได้ดังนี้

$$\frac{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \left(\begin{array}{l} N(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \\ \cdot \sum_{i=H-1}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) + N(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \end{array} \right)}{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-3})} \quad (4.43)$$

$$= \sum_{i=H-2}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i)$$

ดังนั้นจะได้สมการ

$$\frac{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-2})}{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{H-3})} = \frac{\sum_{i=H-2}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i)}{\left(N(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \cdot \sum_{i=H-1}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) + N(x_1, x_2, \dots, x_{H-2}) \right)} \quad (4.44)$$

ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า กรณี $l \leq H - 1$

$$\frac{\mu(x_1, x_2, \dots, x_l)}{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{l-1})} = \frac{\sum_{i=l}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i)}{\left(N(x_1, x_2, \dots, x_l) \cdot \sum_{i=l+1}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) + N(x_1, x_2, \dots, x_l) \right)} \quad (4.45)$$

เมื่อแทนค่าสมการที่ 4.1 ลงในสมการที่ 4.45 สามารถจัดรูปสมการ ได้ดังต่อไปนี้

$$\frac{\ln(1-p(x_1, x_2, \dots, x_l))}{\ln(1-p(x_1, x_2, \dots, x_{l-1}))} = \frac{\sum_{i=l}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i)}{\left(N(x_1, x_2, \dots, x_l) \cdot \sum_{i=l+1}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) + N(x_1, x_2, \dots, x_l) \right)} \quad (4.46)$$

และจากสมการที่ 4.1 เมื่อเรากำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลได้สำเร็จมีค่าน้อยมาก ๆ ดังนั้นทำให้ $\ln(1-p(x_1, x_2, \dots, x_l)) \approx -p(x_1, x_2, \dots, x_l)$ และเมื่อแทนค่าจากสมการที่ 4.46 ลงในสมการที่ 4.1 จะได้ความสัมพันธ์ของอัตราการส่งข้อมูลแปรผันตรงกับค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จดังสมการ

$$\frac{\mu(x_1, x_2, \dots, x_l)}{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{l-1})} = \frac{p(x_1, x_2, \dots, x_l)}{p(x_1, x_2, \dots, x_{l-1})} \quad (4.47)$$

ดังนั้นสามารถคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จที่ทำให้ปริมาณงานในแต่ละโหนดมีความเท่าเทียมกัน หาได้จากสมการ

$$\frac{p(x_1, x_2, \dots, x_l)}{p(x_1, x_2, \dots, x_{l-1})} = \frac{\sum_{i=l}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i)}{\left(N(x_1, x_2, \dots, x_l) \cdot \sum_{i=l+1}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) + N(x_1, x_2, \dots, x_l) \right)} \quad (4.48)$$

เมื่อได้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จตามสมการที่ 4.48 แล้วสามารถหาสมการความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จที่ทำให้ปริมาณงานเท่าเทียมกันและนำสิ่งกีดขวางมาพิจารณาหาได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{p(x_1, x_2, \dots, x_l)}{p(x_1, x_2, \dots, x_{l-1})} = \left(\frac{\sum_{i=l}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i)}{\left(N(x_1, x_2, \dots, x_l) \cdot \sum_{i=l+1}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) \right)} \right) \left(\frac{1 - A(x_1, x_2, \dots, x_l)}{1 - A(x_1, x_2, \dots, x_{l-1})} \right) \quad (4.49)$$

4.4.1 การทดสอบเพื่อหาปริมาณงานที่เท่าเทียมกันของแต่ละโหนด

เราสามารถนำสมการที่ 4.49 ไปคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณงานที่เท่าเทียมกันของแต่ละโหนดได้ โดยมีการทดสอบและวิธีการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

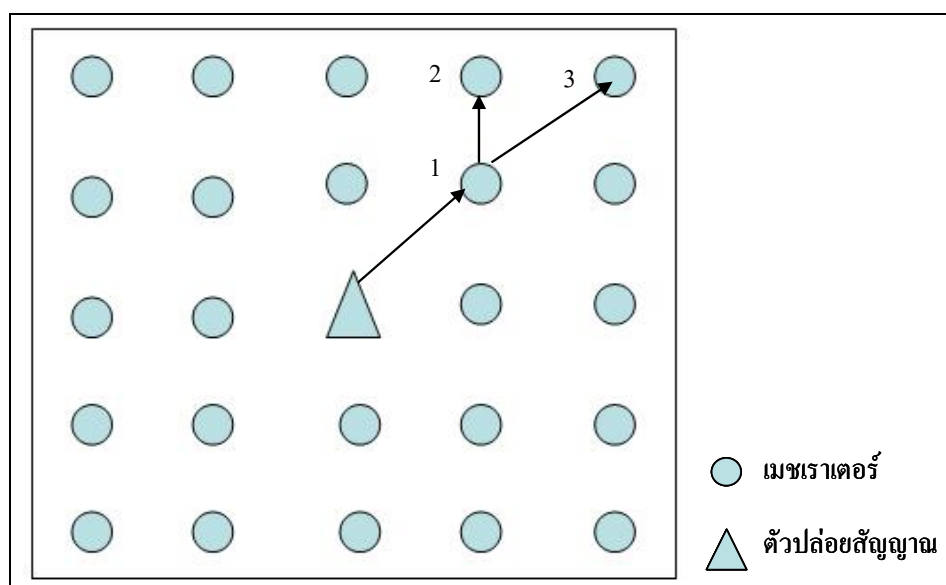
ขั้นตอนในการทดลอง

1. กำหนดพื้นที่และเลือกเส้นทางในการส่งข้อมูลดังแสดงในรูปที่ 4.11
2. ใช้สมการที่ 4.49 ในการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ
3. นำค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จที่ได้ไปคำนวณบน โปรแกรมเมทแลบเพื่อคำนวณหาปริมาณงานที่ได้โดยใช้สมการที่ 4.9 และแทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ดังในตารางที่ 4.5
4. นำผลการทดลองที่ได้จากข้อ 3 มาแสดงผลค่าเฉลี่ยของปริมาณงานที่เท่าเทียมกันและไม่เท่าเทียมกันดังรูปที่ 4.12

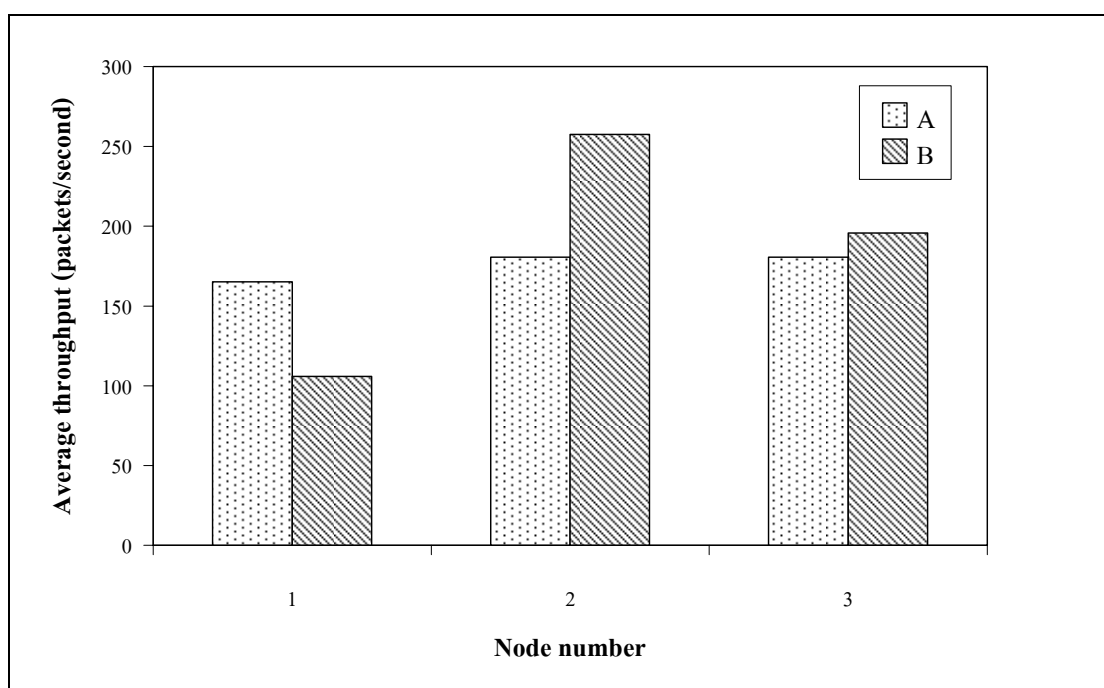
ตารางที่ 4.5 การตั้งค่าตัวแปรการทดลองเปรียบเทียบปริมาณงานที่ได้จากงานวิจัย

และงานวิจัยอ้างอิง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
กำลังที่ใช้ในการส่งข้อมูล	18 dBm
ความน่าจะเป็นที่แพ็กเกต ใน Q_r จะถูกส่งต่อออกไป	0.7
ขนาดของคิวในระบบ	64



รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดและเส้นทางในการส่งข้อมูล



รูปที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยของปริมาณงานที่เท่าเทียมกันและไม่เท่าเทียมกัน

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลอง กราฟ A แสดงให้เห็นผลของปริมาณงานที่คำนวณได้จากความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ โดยคำนวณจากความเท่าเทียมกันของปริมาณงาน ตามสมการที่ 4.49 ซึ่งแสดงให้เห็นชัดเจนว่าปริมาณงานที่ได้นั้นมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนกราฟ B นั้น เป็นการคำนวณหาปริมาณงานจากสมการที่ 4.9 ซึ่งคำนวณโดยใช้ความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ โดยไม่คำนึงถึงความเท่าเทียมกัน แต่ใช้สมการในการหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จจากสมการที่ 4.16 ดังนั้น ในการออกแบบการหาตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมนั้นควรคำนึงถึงหลักการของความเท่าเทียมกันของปริมาณงานที่ได้

4.5 สรุปการวิเคราะห์ปริมาณงานและศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการออกแบบ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอถึงวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณงานและศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการออกแบบในการวิเคราะห์ปริมาณงานนั้นเริ่มต้นซึ่งได้เสนอสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการหาปริมาณงาน ดังสมการที่ 4.9 และทดสอบผลของปริมาณงานที่ได้จากงานวิจัยอ้างอิงกับงานวิจัยผลที่ได้ดังรูปที่ 4.5 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณงานที่ได้จากโปรแกรมในงานวิจัยและงานวิจัยอ้างอิงมีค่าเท่ากันและสามารถสรุปได้ว่าสมการที่ 4.9 สามารถนำมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณงานและเพื่อใช้ในการออกแบบหาตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมของเครือข่ายเมฆไร้สายได้ จากนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เปรียบเทียบผลของปริมาณงานที่ได้กับงานวิจัยอ้างอิงซึ่งจากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่าในงานวิจัยอ้างอิงนั้นปริมาณงานมีค่าเท่ากันในทุก ๆ จุด แต่ในความเป็นจริงแล้วถ้านำผลกระทบจากสิ่งกีดขวางมาพิจารณานั้นในทางการออกแบบจริงปริมาณงานที่ได้ในแต่ละโหนดนั้นจะไม่เท่ากันและวิทยานิพนธ์นี้ได้พบจุดที่น่าสนใจประการหนึ่งของการออกแบบคือ ในทุก ๆ โหนดปริมาณงานควรมีค่าความเท่าเทียมกัน โดยได้มีการวิเคราะห์หาตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับผลของปริมาณงาน โดยตัวแปรนั้นคือค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ ซึ่งได้มีการวิเคราะห์ดังสมการที่ 4.49 และสามารถนำไปหาปริมาณงานได้โดยใช้โปรแกรมแมทแลบในการทดสอบโดยใช้การเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จดังสมการที่ 4.16 และได้ผลการทดสอบดังรูปที่ 4.12 ทำให้ค่าเฉลี่ยของปริมาณงานมีค่าความเท่าเทียมกันจากการใช้สมการค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จที่ 4.49 และมีปริมาณงานค่าความไม่เท่าเทียมกันจากการใช้สมการค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จที่ 4.16 ดังนั้นในการออกแบบการหาตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมนั้นควรคำนึงถึงหลักการของความเท่าเทียมกันของปริมาณงานที่ได้จากนั้นจะนำเสนอวิธีในการวิเคราะห์ถึงการออกแบบในการวางตำแหน่งของโหนด ซึ่งจะได้กล่าวรายละเอียดต่อไปในบทที่ 5

บทที่ 5

การทดสอบและวิเคราะห์ผล

5.1 กล่าวนำ

จากกระบวนการทางสมการที่อยู่ในบทที่ 4 จะพบว่าปัจจัยในการออกแบบเป็นไปตามสมการหลัก ซึ่งสามารถจะปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จได้จากปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งมีผลกระทบ 2 ด้าน คือ ตัวแปรซึ่งปรับจากระยะทาง ตัวแปรที่ปรับทางด้านอัตรา การส่งข้อมูล

จากผลการทดสอบการหาปริมาณงานที่เท่าเทียมกันนั้นทำให้สามารถวิเคราะห์หาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จได้แต่ในการออกแบบจริง ๆ นั้นทำได้ยาก ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้คำนึงถึงแนวทางในการนำไปปฏิบัติจริง ซึ่งได้คำนึงถึงปัจจัยเหล่านี้และนำมาใช้ในการทดสอบ

5.2 การทดสอบปัจจัยด้านระยะทาง

จากรูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความสูญเสียของข้อมูล และความแรงของสัญญาณ สามารถนำมาสู่ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จกับความแรงของสัญญาณได้ดังสมการที่ 4.16 แสดงให้เห็นว่าค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จแปรผันตรงกับความแรงของสัญญาณดังนั้นจะได้

$$\frac{p(x_1, x_2, \dots, x_l)}{p(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})} = \frac{1 - A(x_1, x_2, \dots, x_l)}{1 - A(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})} \quad (5.1)$$

นำความสัมพันธ์ระหว่างความแรงของสัญญาณและการสูญเสียกำลังสัญญาณในสมการที่ 4.14 แทนลงในสมการที่ 5.1 จะได้สมการดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} & \frac{p(x_1, x_2, \dots, x_l)}{p(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})} \\ &= \frac{1 - [0.184 * \exp((-0.358)P_r(x_1, x_2, \dots, x_l))]}{1 - [0.184 * \exp((-0.358)P_r(x_1, x_2, \dots, x_{l+1}))]} \end{aligned} \quad (5.2)$$

สามารถแก้สมการเพื่อจะนำไปสู่การคำนวณหาค่าของ $P_r(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})$ ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} & \exp((-0.0358)P_r(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})) \\ &= \frac{1}{0.184} - \left[\frac{p(x_1, x_2, \dots, x_l)}{(0.184)p(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})} \right. \\ & \quad \left. \frac{1}{(1 - 0.184 * \exp((-0.0358)P_r(x_1, x_2, \dots, x_l)))} \right] \end{aligned} \quad (5.3)$$

$$\begin{aligned} & P_r(x_1, x_2, \dots, x_{l+1}) \\ &= -\frac{1}{0.0358} \ln \left[\frac{p(x_1, x_2, \dots, x_l) - p(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})}{((1 - 0.184 * \exp((-0.0358)P_r(x_1, x_2, \dots, x_l))))} \right. \\ & \quad \left. \frac{1}{0.184 p(x_1, x_2, \dots, x_l)} \right] \end{aligned} \quad (5.4)$$

จากนั้นจะแก้สมการเพื่อหาค่า $d(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})$ โดยแทนค่า $P_r(x_1, x_2, \dots, x_l) = P_t + 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d_0} \right)$

$$+G_t + G_r - Loss - 20 \log \left(\frac{d(x_1, x_2, \dots, x_l)}{d_0} \right) \text{ และ } P_r(x_1, x_2, \dots, x_{l+1}) = P_t + 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d_0} \right)$$

$$+G_t + G_r - Loss - 20 \log \left(\frac{d(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})}{d_0} \right) \text{ กำหนดให้}$$

$$L_0 = 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d_0} \right) + G_t + G_r - Loss$$

สามารถแก้สมการเพื่อนำไปสู่การคำนวณหาระยะทางได้ดังนี้

$$-20 \log d(x_1, x_2 \dots x_{l+1}) = -L_0 - P_l + \left(\frac{1}{0.0358} \ln \left[\frac{p(x_1, x_2, \dots, x_l) - p(x_1, x_2 \dots x_{l+1})}{((1 - 0.184 * \exp((-0.0358)P_r(x_1, x_2 \dots x_l))))} \right] \right) \quad (5.5)$$

เมื่อกำหนดให้

$$B = \left(\frac{1}{0.0358} \ln \left[\frac{p(x_1, x_2, \dots, x_l) - p(x_1, x_2 \dots x_{l+1})}{((1 - 0.184 * \exp((-0.0358)P_r(x_1, x_2 \dots x_l))))} \right] \right)$$

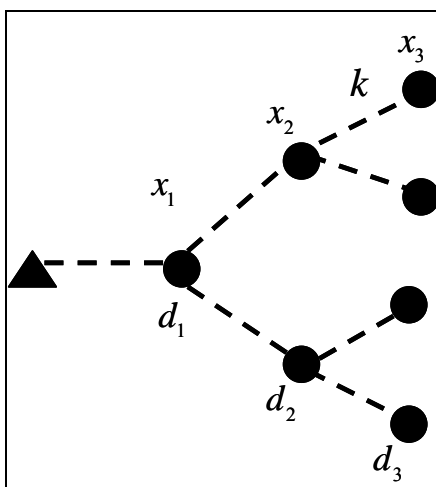
$$B = 27.93 \left[\begin{array}{c} 1.69 - \ln \frac{p(x_1, x_2 \dots x_{l+1})}{0.184 p(x_1, x_2, \dots, x_l)} \\ -0.358(P_l + L_0 - 20 \log \left(\frac{d(x_1, x_2 \dots x_l)}{d_0} \right)) \\ \ln \frac{p(x_1, x_2 \dots x_{l+1})}{p(x_1, x_2, \dots, x_l)} \end{array} \right] \quad (5.6)$$

แทนสมการที่ 5.6 ลงในสมการที่ 5.5 จะสามารถคำนวณหา $d(x_1, x_2 \dots x_{l+1})$ ได้ดังสมการ

$$d(x_1, x_2 \dots x_{l+1}) = 10^{\left(\frac{-L_0 - P_l + B}{-20} \right)} \quad (5.7)$$

5.2.1 ตัวอย่างการทดสอบด้านระยะทาง

สามารถคำนวณหา d_1 , d_2 และ d_3 ซึ่งคำนวณได้จากสมการ ที่ 5.5 และใช้หลักการความเท่าเทียมกัน เพื่อจัดวางหาตำแหน่งเส้นทางในการส่งข้อมูลและนำมาคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูล สามารถคำนวณหาระยะทางได้ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5.1 ตัวอย่างในการออกแบบวางตำแหน่งของโหนด

ขั้นตอนในการทดสอบ

1. ออกแบบการวางตำแหน่งดังรูปที่ 5.1

2. คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ โดยวิเคราะห์จากสมการที่ 4.51 พิจารณาในชั้นที่ไกลสุด คือชั้นที่ H ในที่นี้คือชั้นที่ x_3 สามารถหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จได้จากสมการ

$$\frac{p(x_1, x_2, \dots, x_H)}{p(x_1, x_2, \dots, x_{H-1})} = 1$$

กำหนดให้ ความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ ที่ $x_3 = k$ ซึ่งมีค่าเท่ากับ p_{x_3} และค่าความน่าจะเป็นรวมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 1 ดังนั้นเราสามารถคำนวณหาตัวแปรต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

$$\frac{p_{x_3}}{p_{x_2}} = 1$$

$$p_{x_2} = \frac{k}{1} = k$$

แก้สมการเพื่อหาค่า p_{x_1} ได้จากสมการที่ 4.49 ดังนี้

$$\frac{p_{x_1}}{p_{x_2}} = \frac{6}{(1 \times 6) + 1}$$

$$p_{x_1} = 0.86k$$

เมื่อได้ค่า p ของทุกโหนดแล้ว สามารถที่จะหาค่า k ได้ จากสมการดังต่อไปนี้

$$\sum p(x_1, x_2, \dots, x_i) = 1$$

$$k + 2k + 4(0.86)k = 1$$

$$k = 0.155$$

ซึ่งเมื่อได้ค่า $p_{x_3} = k = 0.155$ แล้ว นำค่า k ไปแทนในสมการข้างต้นเพื่อ หาค่า p_{x_1} p_{x_2} และ p_{x_3} ได้ดังนี้

$$p_{x_1} = 0.133$$

$$p_{x_2} = 0.155$$

$$p_{x_3} = 0.155$$

3. คำนวณหาระยะทาง จากสมการที่ 5.5

ตัวอย่างการคำนวณที่ระยะทาง d_1 เท่ากับ 1 เมตร และสามารถคำนวณหา d_2 และ d_3 ได้จากสมการที่ 5.7 และทำการแก้สมการได้ดังต่อไปนี้

$$d_2 = 10^{\left[\frac{-35.65 - 18 - 22.67}{-20} \right]}$$

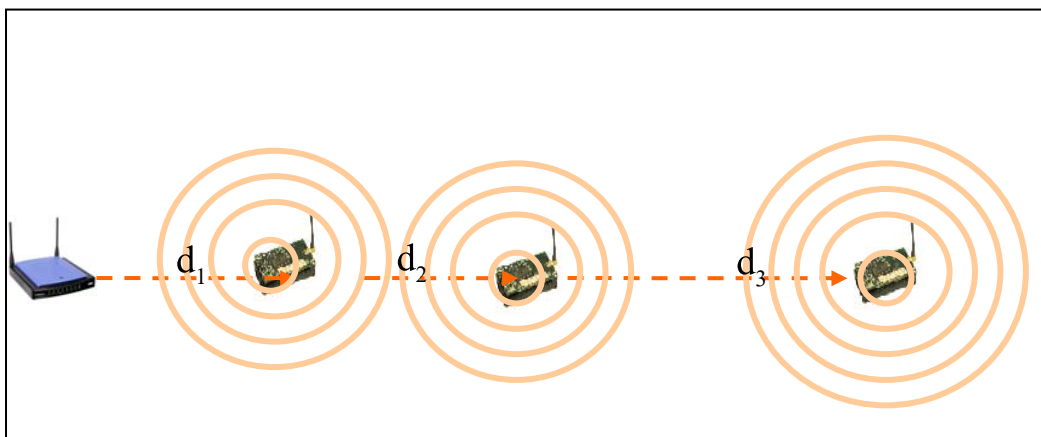
$$d_2 = 34.3$$

ทำการแก้สมการเพื่อหา ระยะทาง d_3 ได้ดังต่อไปนี้

$$d_3 = 10^{\left[\frac{-35.65 - 18 - 0.08}{-20} \right]}$$

$$d_3 = 477$$

จากผลการทดสอบพบว่า เมื่อกำหนดให้ d_1 เท่ากับ 1 เมตร ดังนั้นค่า $d_2 = 34.3$ เมตร และ $d_3 = 477$ เมตร จะสังเกตได้ว่าระยะทางที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 การกระจายสัญญาณของจุดเข้าถึงสัญญาณ d_1 d_2 และ d_3

ตัวอย่างการคำนวณที่ระยะทาง d_1 เท่ากับ 100 เมตรและกำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จมีค่าน้อยมาก ๆ

$$p_{x_1} = 0.133 \times 10^{-3}$$

$$p_{x_2} = 0.155 \times 10^{-3}$$

$$p_{x_3} = 0.155 \times 10^{-3}$$

สามารถคำนวณหา d_2 และ d_3 ได้จากสมการที่ 5.7 และทำการแก้สมการได้ดังต่อไปนี้

$$d_2 = 10^{\left[\frac{-35.65 - 18 - 148.95}{-20} \right]}$$

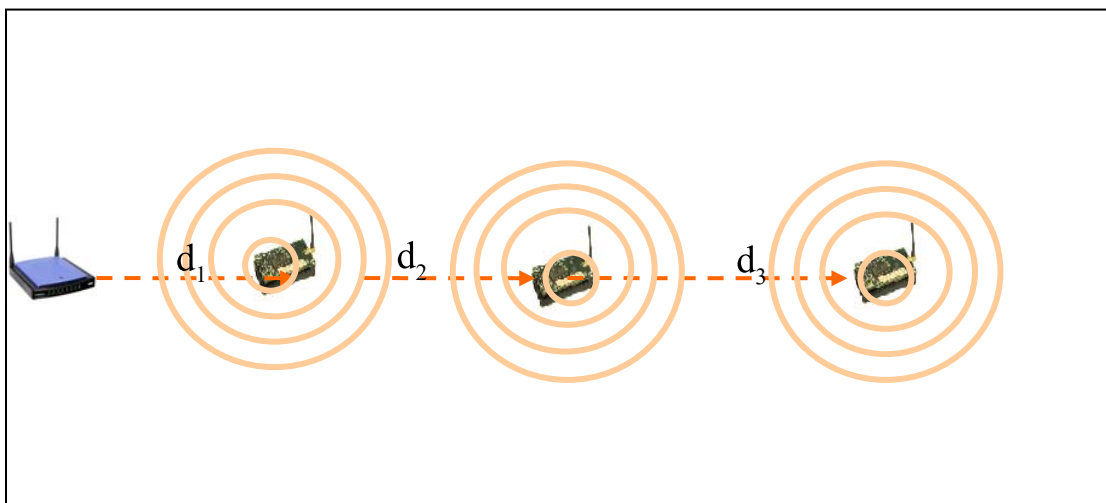
$$d_2 = 1.34 \times 10^{10}$$

ทำการแก้สมการเพื่อหา ระยะทาง d_3 ได้ดังต่อไปนี้

$$d_3 = 10^{\left[\frac{-35.65 - 18 - 279}{-20} \right]}$$

$$d_3 = 4.26 \times 10^{16}$$

จากผลการทดสอบพบว่าเมื่อกำหนดให้ d_1 เท่ากับ 100 เมตร ดังนั้นค่า $d_2 = 1.34 \times 10^{10}$ เมตร และ $d_3 = 4.26 \times 10^{16}$ เมตร จะสังเกตได้ว่าระยะทางที่ได้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าถ้าออกแบบโดยใช้ ระยะทางในการกำหนดการวางตำแหน่งของโหนดนั้น อาจจะก่อให้เกิดปัญหาพื้นที่ที่สัญญาณครอบคลุมไม่ถึงเนื่องจากระยะทางที่ได้นั้นมีค่าห่างกัน ทำให้การติดตั้ง จุดเข้าถึงสัญญาณ โกลกันเกินไป ดังรูปที่ 5.3 ดังนั้นจึงไม่ควรนำปัจจัยทางด้านระยะทางมาพิจารณาในการจัดวางตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมได้



รูปที่ 5.3 การกระจายสัญญาณของจุดเข้าถึงสัญญาณ d_1 , d_2 และ d_3

5.3 การทดสอบปัจจัยด้านอัตราการส่งข้อมูล

จากการวิเคราะห์ผลทางด้านระยะทางที่ได้นั้นไม่สามารถนำวิธีการนี้มาใช้ในการออกแบบได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เลือกใช้วิธีการปรับอัตราการส่งข้อมูล ด้วยการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จโดยการปรับอัตราการส่งข้อมูลตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ 5.6 และสามารถปรับได้ที่ตัวอุปกรณ์ โดยอัตราการส่งข้อมูลจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จสมการที่ 4.49 รายละเอียดอธิบายไว้ในบทที่ 4

$$\mu(x_1, x_2, \dots, x_l) \propto p(x_1, x_2, \dots, x_l) \quad (5.6)$$

และเมื่อคิดรวมผลกระทบจากสิ่งกีดขวางแล้ว จะได้สมการของค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จซึ่งมีความสัมพันธ์กับอัตราการส่งข้อมูล ดังสมการที่ 5.7

$$\frac{p(x_1, x_2, \dots, x_l)}{p(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})} = \left[\frac{\mu(x_1, x_2, \dots, x_l)}{\mu(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})} \right] \left[\frac{1 - A(x_1, x_2, \dots, x_l)}{1 - A(x_1, x_2, \dots, x_{l+1})} \right] \quad (5.7)$$

ถึงแม้ว่าจะสามารถวิเคราะห์หาปริมาณที่เท่าเทียมกันได้แล้วนั้น ซึ่งคำนวณจากค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จและได้อธิบายในบทที่ 4 จากการทดสอบวางตำแหน่งของโหนดและใช้

วิธีการเลือกวางตำแหน่งของโหนดที่แตกต่างกันออกไปผลของปริมาณงานรวมที่ได้นั้นก็แตกต่างกันออกไป ดังนั้นในการออกแบบจริงนั้น ควรคำนึงถึงการเลือกวางตำแหน่งของโหนดที่เป็นไปได้ในการส่งข้อมูล ในงานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์ถึงผลของปริมาณงานรวมที่ได้โดยเริ่มต้น กำหนดพื้นที่ จัดเลือกวางตำแหน่งของโหนดที่เป็นไปได้ ตัวอย่างการเลือกวางตำแหน่งที่เป็นไปได้ของโหนดดังรูปที่ 5.4 จากนั้นจะคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ โดยใช้สมการที่ 4.49 และเพื่อนำไปวิเคราะห์ทดสอบเลือกหาปริมาณงานที่ได้สูงที่สุดโดยใช้สมการที่ 4.9

5.4 การดำเนินการทดสอบเพื่อหาวิธีการออกแบบการวางตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสม

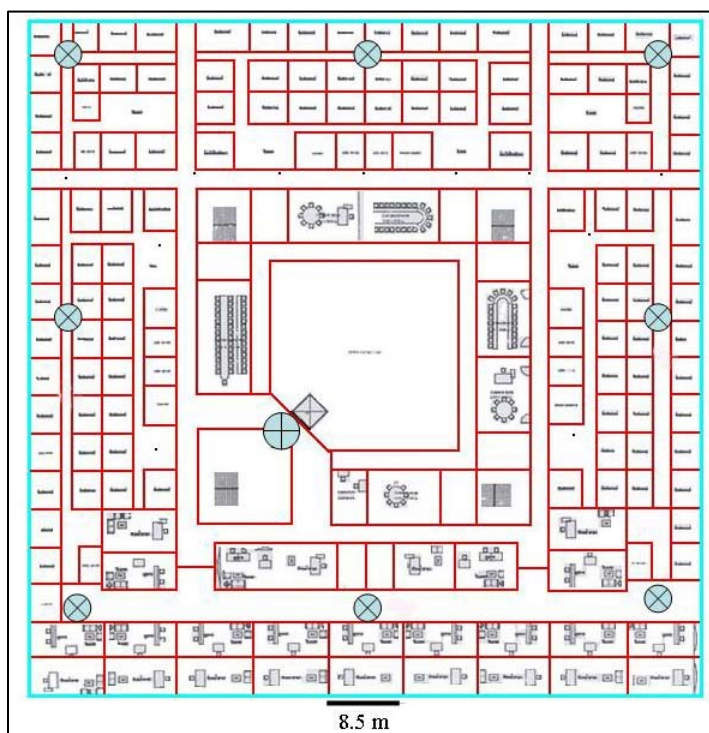
จากการทดสอบด้านระยะทางผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าในทางปฏิบัติแล้วไม่สามารถนำแนวความคิดการออกแบบในด้านระยะทางมาใช้ในการออกแบบจริงได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีแนวความคิดในเรื่องการควบคุมในส่วนของอัตราการส่งข้อมูลซึ่งควบคุมได้จากอุปกรณ์โดยตรง

5.4.1 การทดสอบเพื่อหาวิธีการออกแบบการวางตำแหน่งของโหนด

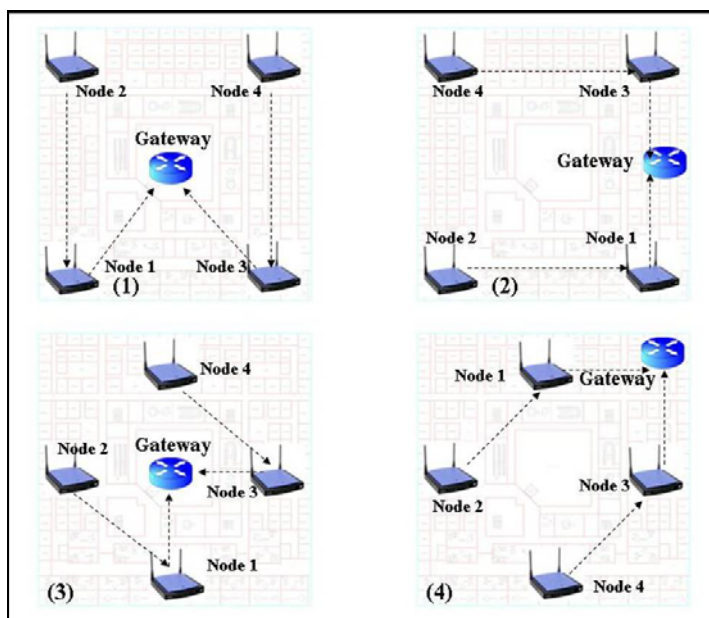
ในงานวิจัยนี้ได้มีแนวคิดที่จะออกแบบหาการวางตำแหน่งของโหนด โดยนำผลกระทบจากปัจจัยภายนอกมาพิจารณาและหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จได้นำไปคำนวณหาการเท่าเทียมกันของปริมาณงาน

ขั้นตอนในการออกแบบ

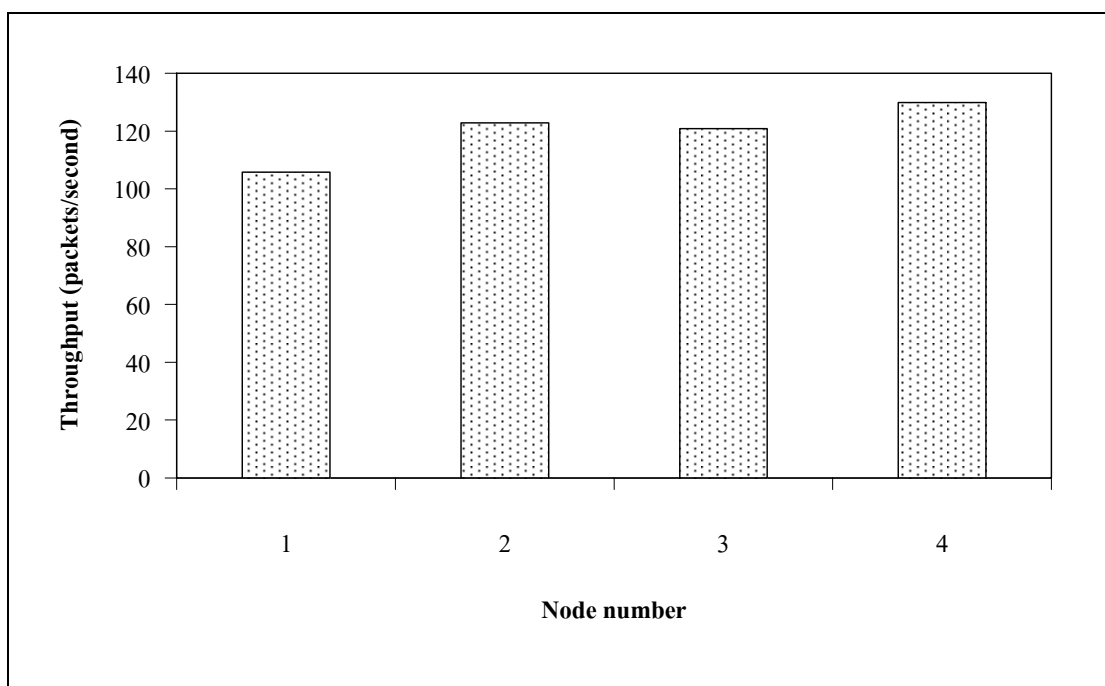
1. กำหนดพื้นที่ในการออกแบบ ยกตัวอย่างการทดสอบในอาคารวิชาการ ชั้น 4 ดังรูปที่ 5.3 ซึ่งสามารถติดอุปกรณ์เมชเรเตอร์ได้ทั้งหมด 9 จุด โดยมีรัศมีการส่งที่เท่า ๆ กัน
2. ติดตั้งวางตำแหน่งของโหนดที่เป็นไปได้ตามความเหมาะสมโดยวางให้ระยะทางเท่า ๆ กัน ซึ่งมีความเป็นไปได้อยู่ 4 แบบด้วยกัน ดังรูปที่ 5.4
3. ใช้สมการที่ 4.49 ในการหาความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ เพื่อนำไปคำนวณหาปริมาณงานที่ได้ต่อไป



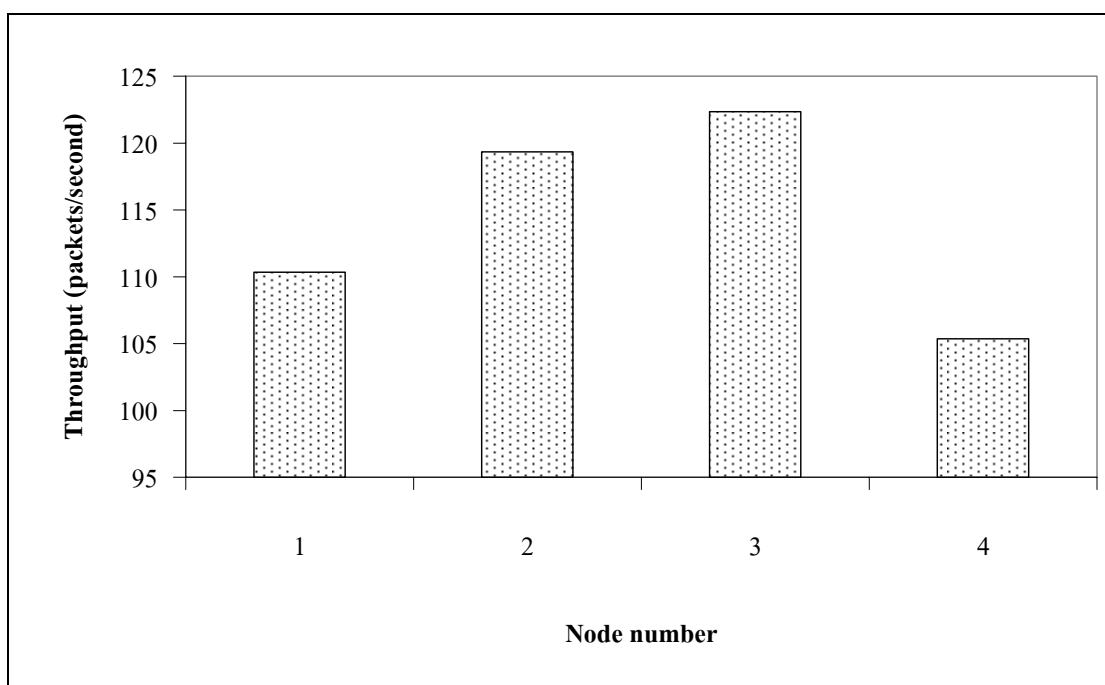
รูปที่ 5.4 อาคารวิชาการชั้น 4 ที่ใช้ในการทดสอบ



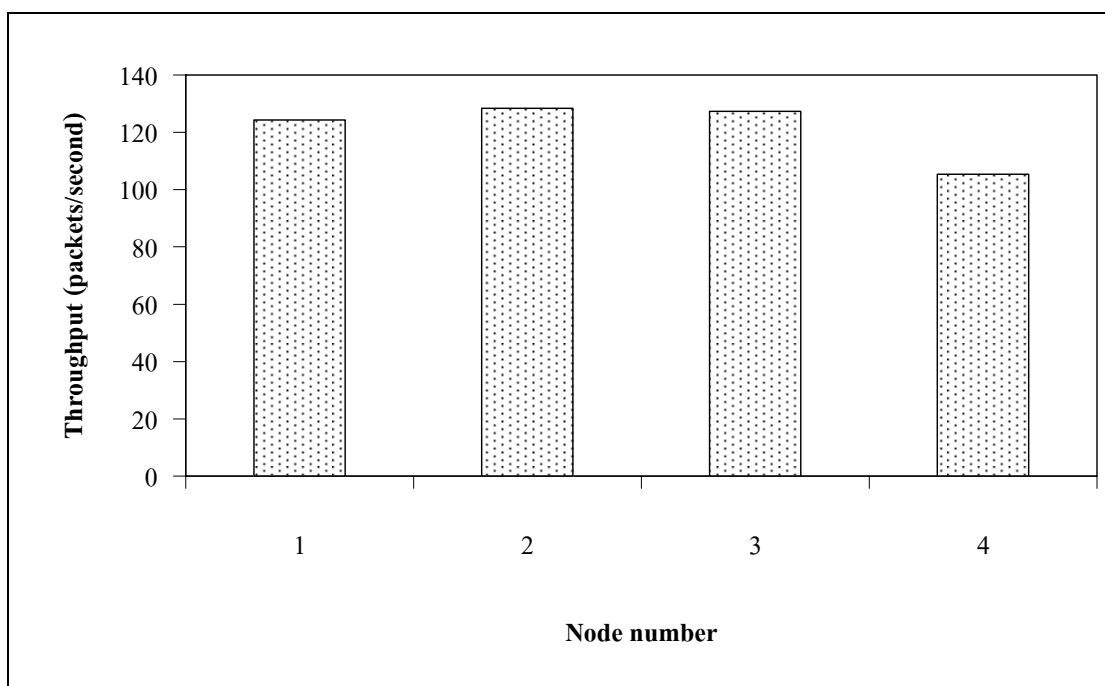
รูปที่ 5.5 รูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดและแสดงเส้นทางในการส่งข้อมูล



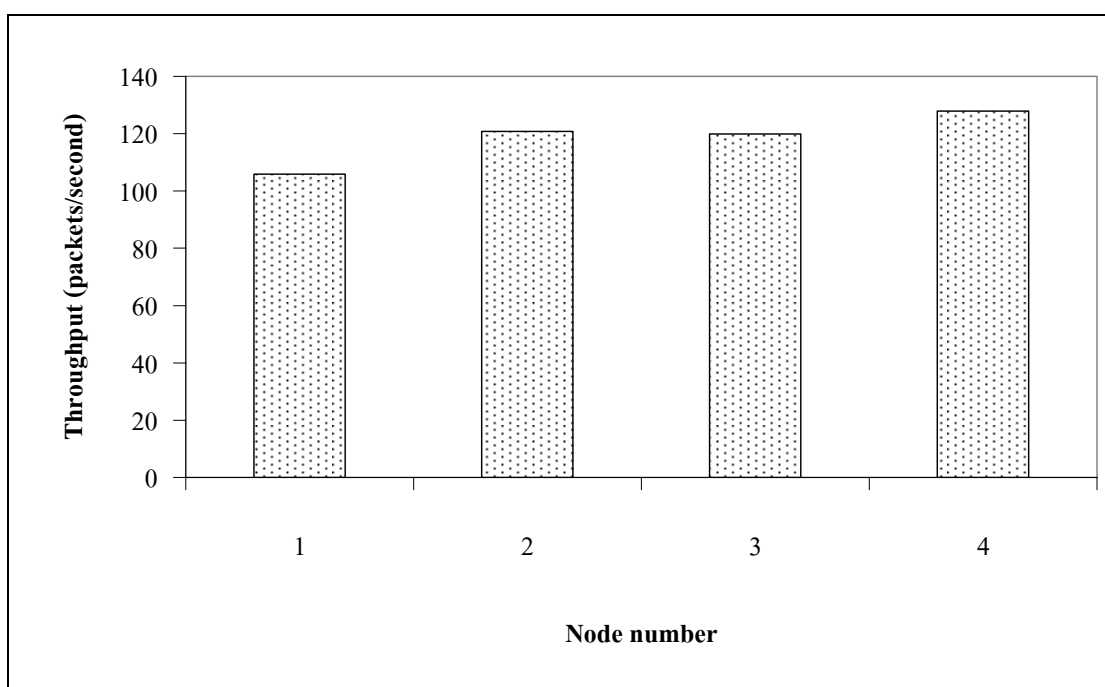
รูปที่ 5.6 ปริมาณงานของรูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดแบบที่ 1



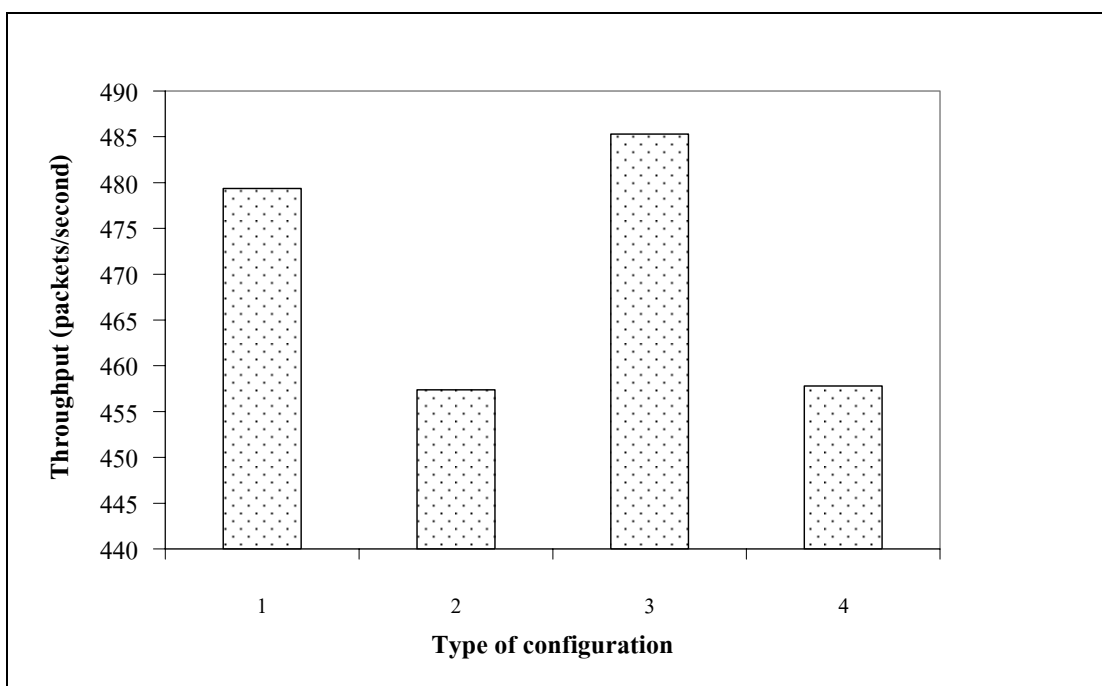
รูปที่ 5.7 ปริมาณงานของรูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดแบบที่ 2



รูปที่ 5.8 ปริมาณงานของรูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดแบบที่ 3



รูปที่ 5.9 ปริมาณงานของรูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดแบบที่ 4



รูปที่ 5.10 ปริมาณงานรวมของรูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดแบบที่ 1 2 3 และ 4

ตารางที่ 5.1 การตั้งค่าตัวแปรการทดลองหาปริมาณงานที่ของการเลือกวางตำแหน่งแบบที่ 1 2 3 และ 4

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ค่าที่ใช้ในการทดลอง
กำลังที่ใช้ในการส่ง	18 dBm
ความน่าจะเป็นที่ข้อมูล ใน Q_r จะถูกส่งต่อออกไป	0.7
ขนาดของคิวในระบบ	64

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากรูปที่ 5.5 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เมื่อพิจารณาปริมาณงานรวมที่ได้จากรูปแบบการจำลองการวางตำแหน่งของโหนดแบบ ที่ 1 2 3 และ 4 จะพบว่าปริมาณงานในการจำลองแบบที่ 3 มีค่าสูงที่สุด ดังนั้นในการเลือกวางตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมที่สุด สามารถพิจารณาได้จากปริมาณงานที่ได้ที่มีค่าสูงที่สุดซึ่งในการทดลองนี้ เราจะเลือกการวางตำแหน่งของโหนดในแบบที่ 3

5.5 การออกแบบและติดตั้งเครือข่ายไร้สายให้มีประสิทธิภาพ

เทคนิคในการเพิ่มประสิทธิภาพให้กับระบบเครือข่ายไร้สายเพื่อให้การออกแบบและติดตั้งระบบให้มีคุณภาพ หรือ ประสิทธิภาพการให้บริการดีที่สุด

1. จุดที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งจุดเข้าถึงสัญญาณ คือ จุดศูนย์กลางของพื้นที่ที่ต้องการให้บริการระบบเครือข่ายไร้สาย
 2. จุดใดที่เป็นจุดอับสัญญาณควรติดตั้งจุดเข้าถึงสัญญาณเพิ่มเพื่อให้มีพื้นที่ให้บริการครอบคลุมมากขึ้น
 3. การปรับทิศทางสายอากาศของ จุดเข้าถึงสัญญาณ ควรจะปรับให้เป็นแนวตั้งฉากกับพื้น
- ผู้ใช้งานระบบเครือข่ายไร้สายสามารถเคลื่อนย้ายไปทำงานยังจุดใด ๆ ได้ซึ่งอยู่ในรัศมีการให้บริการของจุดเข้าถึงสัญญาณทุกตัว โดยที่การติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์กับระบบจะไม่ขาดช่วง และจุดเข้าถึงสัญญาณยังสามารถเป็นการสำรองข้อมูลหากเกิดกรณีที่มีจุดเข้าถึงสัญญาณ ตัวใดเกิดการเสียหาย ระบบยังสามารถให้บริการได้อย่างต่อเนื่อง

5.6 สรุป

ปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบ ในงานวิจัยได้คำนึงถึงค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมที่สุดที่จะทำให้ปริมาณงานที่ได้ของทุกโหนดมีค่าเท่าเทียมกันแต่ในทางปฏิบัตินั้นเราสามารถออกแบบหาค่าความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลสำเร็จโดยมีพารามิเตอร์ที่ควรคำนึงมากที่สุดคือ ปัจจัยในด้านระยะทาง และปัจจัยทางด้านอัตราการส่งข้อมูลที่สามารถปรับได้ที่ตัวอุปกรณ์เมชเราเตอร์ ซึ่งในเรื่องปัจจัยด้านระยะทางนั้น ได้มีทดสอบในหัวข้อที่ 5.2.1 แล้วนั้นจากผลการทดสอบที่ได้จะพบว่าระยะทางมีผลลงซึ่งอาจจะก่อให้เกิดปัญหาการรบกวนกันของสัญญาณ ดังนั้นไม่ควรนำปัจจัยในด้านระยะทางมาพิจารณา จากนั้นจึงได้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสำเร็จในการส่งข้อมูลกับอัตราการส่งข้อมูลซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 5.7 ดังนั้น ควรเลือกปัจจัยในด้านอัตราการส่งข้อมูล โดยการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จจากการปรับอัตราการส่งข้อมูลที่ตัวอุปกรณ์เมชเราเตอร์ และในการวิเคราะห์ตามแนวทางหลักการความเท่าเทียมกันนั้น ถึงแม้ว่าจะได้สมการที่สามารถนำไปคำนวณหาปริมาณที่เท่าเทียมกันได้จากการทดสอบออกแบบจำลองเลือกวางตำแหน่งของโหนดที่เป็นไปได้ที่แตกต่างกันผลที่ได้ของปริมาณงานนั้นก็แตกต่างกัน ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการออกแบบจริงนั้น จำเป็นต้องมีการคำนึงถึงการเลือกวางตำแหน่งของโหนดที่เป็นไปได้และคำนวณหาปริมาณงานรวมที่ได้ ซึ่งในการออกแบบใดที่มีปริมาณงานสูงที่สุด เราควรที่จะเลือกการออกแบบการวางตำแหน่งโหนดที่เหมาะสมด้วยวิธีการนั้น

บทที่ 6

สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของสิ่งกีดขวางต่อสมรรถนะในเครือข่ายเมฆไร้สายเพื่อนำเสนอวิธีการออกแบบการติดตั้งโหนดของเครือข่ายเมฆไร้สายภายในตัวอาคาร โดยนำผลกระทบจากสิ่งกีดขวางมาพิจารณา ในขั้นแรกได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณงาน โดยได้นำเสนอ สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้คำนวณในการหาตัวแปรเพื่อใช้ในการออกแบบการวางตำแหน่งที่เหมาะสมของโหนด พร้อมทั้งศึกษาหาปัจจัยและข้อจำกัดต่าง ๆ ในการออกแบบ เช่น ผลกระทบของสิ่งกีดขวาง และหาแนวทางแก้ไขปัญหาไปพร้อมกัน

เพื่อบรรลุตามวัตถุประสงค์ การดำเนินงานวิจัยเริ่มจากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า เทคนิคและวิธีการที่ใช้ในการหาปริมาณงานนั้นยังไม่ครอบคลุมถึงปัญหาเมื่อนำไปปฏิบัติจริง ซึ่งก็คือ จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมที่ผ่านมาพบว่าม้งานวิจัยมากมายที่ศึกษาเกี่ยวกับระบบเครือข่ายเมฆไร้สาย ในด้านสมรรถนะต่าง ๆ เช่น การหาจุดสมมูลที่สุดระหว่าง ปริมาณงาน การพิจารณาปริมาณงาน ในการส่งต่อหลาย ๆ ครั้ง แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีปริทัศน์วรรณกรรมใดนำเสนอผลกระทบจากสิ่งกีดขวางมาพิจารณา ดังนั้นวิทยานิพนธ์นี้จึงได้สนใจศึกษาถึงผลกระทบของสิ่งกีดขวางเหล่านั้นต่อสมรรถนะของเครือข่ายโดยพิจารณาจากค่าความแรงของสัญญาณ ที่มีผลต่อความสำเร็จในการส่งข้อมูล ซึ่งตัวแปรที่สนใจนี้ในทางทฤษฎีของระบบเครือข่ายเมฆไร้สายนั้นจะถูกกำหนดให้เป็นค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งจะเท่ากันเสมอไม่ว่าโหนดจะติดตั้งอยู่ในบริเวณใดก็ตาม แต่ตามความเป็นจริงค่าความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลสำเร็จมีผลมาจากปัจจัยภายนอกหลาย ๆ ประการ โดยในงานวิทยานิพนธ์นี้จะทำการวิเคราะห์และออกแบบตำแหน่งโหนดที่สามารถติดตั้งภายในอาคาร และมีปริมาณงานที่ดีที่สุดได้ ภายใต้ข้อจำกัดของกำลังงานส่งที่เท่า ๆ กันในแต่ละโหนดได้ และได้มีการพัฒนาสมการของค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ เพื่อนำไปสู่ การวิเคราะห์ถึงความเท่าเทียมกันของปริมาณงานในทุก ๆ โหนด ซึ่งเป็นเพียงปัจจัยอย่างหนึ่งที่จะนำไปวิเคราะห์ในการออกแบบเครือข่ายเมฆไร้สาย ซึ่งสามารถนำไปประกอบกับการพิจารณาในการออกแบบเครือข่ายที่สามารถออกแบบได้จริงในทางปฏิบัติได้

สมการและตัวแปรที่สำคัญและนำมาใช้วิเคราะห์ในการออกแบบหาการวางตำแหน่งที่เหมาะสมของโหนดที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ได้แก่

1) เริ่มต้นคือสมการเพื่อหา อัตราการส่งข้อมูล ซึ่งจะนำไปสู่การวิเคราะห์เพื่อหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ

$$\mu(x_1, x_2, \dots, x_l) \approx \frac{1}{t_c} \ln \left(\frac{1}{1 - p(x_1, x_2, \dots, x_l)} \right)$$

2) สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จโดยพิจารณาสิ่งกีดขวาง

$$P_r(x_1, x_2, \dots, x_l) = P_t + 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d_0} \right) + G_t + G_r - Loss - 20 \log \left(\frac{d(x_1, x_2, \dots, x_l)}{d_0} \right)$$

$$A(x_1, x_2, \dots, x_l) = 0.1840 * \exp((-0.0358)(P_r(x_1, x_2, \dots, x_l)))$$

$$p(x_1, x_2, \dots, x_l) = 1 - A(x_1, x_2, \dots, x_l)$$

3) สมการที่ใช้ในการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จโดยใช้หลักการความเท่าเทียมกันของปริมาณงาน

$$\frac{p(x_1, x_2, \dots, x_l)}{p(x_1, x_2, \dots, x_{l-1})} = \left(\frac{\sum_{i=l}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i)}{\left(N(x_1, x_2, \dots, x_l) \cdot \sum_{i=l+1}^H N(x_1, x_2, \dots, x_i) + N(x_1, x_2, \dots, x_l) \right)} \right) \left(\frac{1 - A(x_1, x_2, \dots, x_l)}{1 - A(x_1, x_2, \dots, x_{l-1})} \right)$$

4) สมการที่ใช้ในการคำนวณหาปริมาณงาน

$$T(x_1, x_2, \dots, x_l) = \begin{cases} \sigma_s(1) & , l = 1 \\ \sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_l) \cdot [1 - P_{br}(x_1)] \\ \cdot [1 - P_{br}(x_1, x_2)] \dots [1 - P_{br}(x_1, x_2, \dots, x_l)] & , l = 2, \dots, H \end{cases}$$

5) ปัจจัยที่นำมาพิจารณาในการออกแบบเพื่อให้ได้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จที่เหมาะสม และทำให้ปริมาณงานในทุก ๆ โหนดมีความเท่าเทียมกัน มี 2 ปัจจัยคือ

- ปัจจัยทางด้านระยะทาง ซึ่งมีสมการที่ใช้ในการคำนวณหาระยะทางเพื่อติดตั้งตำแหน่งของโหนดกรณีปริมาณงานเท่าเทียมกันทุกโหนด

$$d(x_1, x_2, \dots, x_{l+1}) = 10^{\left(\frac{L_0 + Loss - P_t + B}{-20} \right)}$$

$$B = 27.93 \begin{bmatrix} 1.69 - \ln \frac{p(x_1, x_2 \dots x_{l+1})}{0.184 p(x_1, x_2, \dots, x_l)} \\ -0.358(P_i - L_0 - Loss - 20 \log \left(\frac{d(x_1, x_2 \dots x_l)}{d_0} \right)) \\ \ln \frac{p(x_1, x_2 \dots x_{l+1})}{p(x_1, x_2, \dots, x_l)} \end{bmatrix}$$

• ปัจจัยทางด้านอัตราการส่งข้อมูลซึ่งสามารถจะปรับค่าได้จากตัวอุปกรณ์เมฆเราเตอร์และมีสมการที่สัมพันธ์กับค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จดังต่อไปนี้

$$\frac{p(x_1, x_2, \dots, x_l)}{p(x_1, x_2 \dots x_{l+1})} = \left[\frac{\mu(x_1, x_2, \dots, x_l)}{\mu(x_1, x_2 \dots x_{l+1})} \right] \left[\frac{1 - A(x_1, x_2, \dots, x_l)}{1 - A(x_1, x_2 \dots x_{l+1})} \right]$$

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้คือ การพัฒนาสมการในการวิเคราะห์หาปริมาณงาน เพื่อนำสมการและตัวแปรที่ได้นั้น ไปคำนวณหาปัจจัยที่มีผลต่อการออกแบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการปรับอัตราการส่งข้อมูลด้วยการปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จโดยการปรับอัตราการส่งข้อมูลตามความสัมพันธ์ดังสมการที่ 5.2 และสามารถปรับได้ที่ตัวอุปกรณ์เมฆเราเตอร์

วิธีในการออกแบบการหาตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมที่สุด สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. เริ่มต้นด้วยการกำหนดพื้นที่ในการออกแบบ
2. เลือกวางตำแหน่งของโหนดที่เป็นไปได้ของพื้นที่นั้น ๆ
3. วางตำแหน่งของโหนดในระยะทางและมีรัศมีการส่งที่เท่า ๆ กัน
4. คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จโดยใช้สมการที่ใช้วิเคราะห์หา

ความเท่าเทียมกันของปริมาณงาน

5. คำนวณหาปริมาณงานที่ได้โดยดูผลของปริมาณงานที่สูงที่สุดของแต่ละรูปแบบที่ใช้ในการจำลองการวางตำแหน่งของโหนด

ทั้งนี้ในงานวิจัยนี้ยังได้พัฒนาสมการต่าง ๆ ขึ้นมา โดยสร้างวัตถุประสงค์ของการออกแบบคือเพื่อให้ได้ปริมาณงานที่สูงที่สุดของรูปแบบที่จำลองขึ้นมา ประกอบกับการกำหนดเงื่อนไขและข้อจำกัดต่าง ๆ ในการออกแบบให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับการศึกษาหาสมการที่เหมาะสมเพื่อใช้ในการนำไปวิเคราะห์ในการออกแบบและผลที่ได้คือสามารถนำสมการดังกล่าวไปประกอบการในการออกแบบหาตำแหน่งที่เหมาะสมสำหรับการติดตั้งโหนดของเครือข่ายเมฆไร้สายภายในพื้นที่ที่กำหนดและสามารถนำวิธีในการออกแบบไปใช้งานกับเครือข่ายเมฆไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยคำนึงถึงปัจจัยและผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อนำไปติดตั้งและใช้งานจริง

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการวิเคราะห์หาปริมาณงานรวมที่สูงที่สุดที่ได้จากการออกแบบการติดตั้งตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมนั้น ได้อาศัยหลักการของความน่าจะเป็นในการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ และรูปร่างของพื้นที่ที่ใช้ในการออกแบบที่ได้ทำการพิจารณานั้นเป็นรูปร่างที่ไม่ซับซ้อนนัก แต่ความต้องการใช้งานเครือข่ายเมฆไร้สายมีปริมาณเพิ่มขึ้นในปัจจุบัน ดังนั้นการออกแบบการวางตำแหน่งของโหนด อาจมีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น ประกอบกับเทคโนโลยีของระบบสื่อสาร (Transmission technology) ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น หากต้องการหาวิธีที่ใช้ในการออกแบบเครือข่ายเมฆไร้สายที่ซับซ้อนมากขึ้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องอาศัยหลักการซึ่งอาจจะมีตัวแปรหรือฟังก์ชันอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อหาสมการหรือตัวแปรที่เหมาะสมที่มีความซับซ้อนและอาศัยโปรแกรมที่เกี่ยวข้องมาใช้คำนวณในการออกแบบเพื่อคำนวณหาค่าปริมาณงานที่ได้ให้มีค่าสูงที่สุด

และในอนาคตจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของเครือข่าย ดังนั้น การกำหนดเงื่อนไขของสมการที่จะนำไปสู่การหาปริมาณงานนั้น จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมกับลักษณะปัญหา รวมถึงการพัฒนาเงื่อนไขและข้อจำกัดที่ซับซ้อน รัดกุมมากขึ้น เพื่อส่งผลให้สมการดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาในการใช้งานในเครือข่ายเมฆไร้สายได้จริง

6.3 งานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิคในการวิเคราะห์หาสมการเพื่อใช้ในการออกแบบการวางตำแหน่งของโหนดที่เหมาะสมในเครือข่ายเมฆไร้สายเพื่อให้ได้ปริมาณงานสูงที่สุดและเมื่อเครือข่ายเกิดการเปลี่ยนแปลงและซับซ้อนมากขึ้นในอนาคต สมการในการหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จและสมการในการหาปริมาณงานที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 4 ก็จะเป็นพื้นฐานอย่างหนึ่ง อันจะส่งผลให้สามารถทำการวิเคราะห์และพัฒนาการหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลสำเร็จ เพื่อที่จะนำไปสู่การหาปริมาณงานที่อาจจะซับซ้อนมากขึ้นในอนาคตได้ และสามารถพัฒนาในรูปของกระบวนการทางโปรแกรมเพื่อนำไปใช้ประโยชน์ในอนาคตต่อไป

รายการอ้างอิง

- นฤนาถ เขียวหวาน และ มีนา หลุ่มทอง (2552) การหาค่าความน่าจะเป็นของการส่งข้อมูลได้สำเร็จ จากค่าความแรงของสัญญาณ โครงการงานวิศวกรรมโทรคมนาคม สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- Akyildiz, I.F., and Xudong, W. (2005). **Wireless mesh networks: A survey**, Comput. Netw., vol. 47, no. 4, pp. 445–487.
- Akyildiz, I F., and Xudong, W. (2008). **Cross-Layer Design in Wireless Mesh Networks** , IEEE Trans. VEHICULAR TECHNOLOGY, VOL. 57, NO. 2.pp.1061-1075.
- Gamal, A. E., Mammen, J., Prabhakar, B., and Shah, D. (2004). **Throughput-delay trade-off in wireless networks**, in Proc. IEEE INFOCOM, pp.464–475.
- Gambiroza, V., Sadeghi, B., and Knightly, E. W. (2004). **End-to-end performance and fairness in multihop wireless backhaul networks**, in Proc. ACM MOBICOM, pp. 287–301.
- Goldsmith, A. (2005). **Wireless communication**, Prentice Hall.
- Gross, D., and Harris, C. (1998). **Fundamentals of Queueing Theory**, 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley, pp.74–80.
- Grossglauser, M., and Tse, D. (2001). **Mobility increases the capacity of ad-hoc wireless networks**, in Proc. IEEE INFOCOM, pp. 1360–1369.
- Flood, J.E. (1998). **Telecommunications Switching, Traffic and Networks**, Chapter 4: Telecommunications Traffic, New York: Prentice-Hall.
- IEEE Computer Society. IEEE P802.11s/D2.0 –Draft **STANDARD fo Local and Metropolitan Area Networks – Specific Requirements – Amendment** to Part 11: Mesh Networking, (2008).
- IEEE, **Draft amendment: ESS mesh networking**, IEEE P802.11s Draft 1.00, (2006).
- IEEE Computer Society and IEEE Microwave Theory and **Techniques Society. 802.11 IEEE Standard for Local and metropolitan area networks**, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. IEEE Std.802.11, (1999).

- Jun, J., and Sichitiu, M.L. (2003). **Fairness and QoS in multihop wireless networks**, in Proc. IEEE VTC, pp. 2936–2940.
- John, C., and Stein, A. (2007) **Indoor Radio WLAN Performance Part II: Range Performance in a Dense Office Environment**, Harris Semiconductor, 2401 Palm Bay, Florida 32905, pp.4.
- Koop, M.H. (2007). **Certificate of Radio Equipment in Japan**, Telefication , Netherlands, pp.1-2.
- Lazowska, E. D., John Z. G., Scott, G., Kenneth, C., and Sevcik, C., (1984). **Quantitative System Performance: Computer System Analysis Using Queueing Network Models**. Prentice-Hall, Inc.
- Lee, J.-F., Liao, W., and Chen, M.C. (2008). **An incentive-based fairness mechanism for multi-hop wireless backhaul networks with selfish nodes**, IEEE Trans. Wireless Commun., vol.7,no.2.
- Liu, T., and Liao,W. (2008). **“Location-Dependent Throughput and Delay in Wireless Mesh Networks, IEEE Transactions on vehicular technology”**,vol.57,no .2.
- Peng, M., Wang, Y., and Wang, W. (2007). **Cross-layer design for tree-type routing and level-based centralised scheduling in IEEE 802.16 based wireless mesh networks**, IET Commun., pp. 999–1006.
- Skanda , N., Iyer, A., Karnik, A., and Rosenberg, C. (2007). **Design of High Throughput Scheduled Mesh Networks: A Case for Directional Antennas**, IEEE GLOBECOM. Communications Society., pp. 5080 – 5085.
- Tang, J., Xue, G., and Zhang, W. (2007). **Cross-Layer Design for End-to-End Throughput and Fairness Enhancement in Multi-Channel Wireless Mesh Networks**, IEEE Trans. Wireless Commun., vol.6,no.10.
- Wu, X., Liu, J., and Chen, G. (2006). **Analysis of Bottleneck Delay and Throughput in Wireless Mesh Networks**, IEEE Trans. Wireless Commun.

ภาคผนวก ก

บทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

Saurum S., Uthansakul, P., and Uthansakul, M. (2010) **Design of Node Locations for Indoor Wireless Mesh Networks**, to be published in ECTI-EEC Trans.

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับชาติ

Sauram, S. Uthansakul, P., and Uthansakul, M. (2010) **Design of node locations for indoor wireless mesh networks**, Suranaree Journal of Science and Technology, Vol. 17, No. 3, pp. 211-223, 2010.

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

Saurum S., Uthansakul, P., and Uthansakul, M. (2009) **Design of Gateway Locations in an Indoor WMN**, ECTI-CON 2009, Thailand, pp. 1004-1007

Design of Gateway Locations in an Indoor WMN

Abstract-In literatures, the performance of Wireless Mesh Network (WMN) has been investigated through end to end delay and throughput by assuming the same quality on each hop. However, this assumption is hardly true in practice due to the physical obstructions in wireless link. In this paper, the design of gateway locations in an indoor scenario has been presented by taking a physical environment into account. The simulation results show that throughput and delay are significantly influenced by changing the location of gateway. This paper does not only provide a frame work for studying WMN performance but also gives an insight into the design strategy for WMN gateway.

I. INTRODUCTION

Recently, the wireless networks have evolved into many applications providing better services. In this light, a new technology that can provide more flexibility on network installation and user accessibility is continuously researched. Wireless Mesh Networks (WMN) is one of the most interesting technologies having been emerged lately because its connections are totally wireless. Hence it is easy for WMN to extend the service range and flexible to be implemented in practice. In WMN, nodes are comprised of mesh routers and mesh clients. Each node operates not only as a host but also as a router forwarding packets on behalf of other nodes that may not be within direct wireless transmission range of their destinations. A WMN is dynamically self-organized and self-configured with the nodes in the network automatically establishing and maintaining mesh connectivity among themselves. This feature brings many advantages to WMN such as low up-front cost, easy network maintenance, robustness, and reliable coverage.

In [2]-[4], the simulation results show that throughput and end-to-end delay in WMN are significantly changed by increasing hop-count distance from the gateway. In [5], the throughput analysis in a fixed wireless network is presented. It indicates the direct relation of throughput and number of nodes. In [6], the average throughput per node is shown to be dramatically increased by exploiting node mobility as a type of multiuser diversity. In [7], an analytical model is developed to obtain the optimal throughput-delay tradeoff by varying the number of hops, the transmission range and the degree of node mobility in ad hoc network. In [8], the model of statistical location-dependent throughput and delay performances in WMN is proposed. From all literatures, it can be noticed that the performances of WMN are relied on number of nodes and hops as well as their locations. However, those results are simulated by assuming the same link quality on each hop. This

assumption cannot be true in practice because there is a different physical obstruction between one node to another. For example in an indoor environment, there are many obstructions between node to node such as wall, partition, human, window, etc. These objects are necessary to be concerned when analyze the performance of WMN.

In this paper, the performances of WMN in an indoor environment are investigated by taking the physical obstructions into account. Consequently, with this analysis, the proper location of gateway can be optimally designed. In addition, the simulations indicate that the gateway is not able to be located randomly otherwise the performance will be lower than theory design.

II. ANALYSIS OF WMN

A. WMN Configuration

The infrastructure/backbone WMN is illustrated in Figure 1. As seen in Figure, the network is consisted of mesh routers and mesh clients, where mesh routers have minimal mobility and form the backbone of WMN. They provide network access for both mesh and conventional clients. The integration of WMNs with other networks such as the Internet, cellular, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, sensor networks, etc., can be accomplished through the gateway and bridging functions in the mesh routers. Mesh clients can be either stationary or mobile, and can form a client mesh network among themselves and with mesh routers.



Figure 1. Infrastructure/backbone WMN.

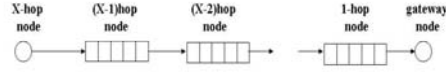


Figure 2. M/M/1/K models in WMN.

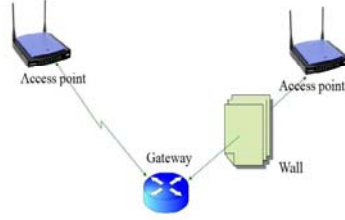


Figure 3. Example of physical obstructions between node to gateway.

B. Queuing theorem for WMN

In this paper, the model of WMN is analyzed by using M/M/1/K queuing theorem [10]. The throughput is defined as the number of packets which can be transmitted from source to gateway. For end to end delay, it can be defined as the time between when the first bit of this packet sent by its source and when the packet is entirely received by the gateway. The basic block diagram of M/M/1/K is shown in Figure 2.

Form the derivation of incoming packet presented in [8]. The arrival rate of packet can be expressed as

$$\mu(x) \approx \frac{1}{t_c} \ln \left(\frac{1}{1-p(x)} \right) \quad (1)$$

where x is the hop number, t_c is the time slot of one packet, $p(x)$ is the probability of successful channel access.

Figure 3 shows the example of physical obstruction between node to gateway. It is clearly seen that both links will not provide the same performance because the signal quality on each link is different. If we analyze both links using proposed theory in literatures, both will provide the same throughput and delay. This is a big misleading to design any gateway or node locations in practice. So far in literatures, this issue has never been considered.

In this paper, the parameter $p(x)$ is determined by the physical characteristic of node location. The measurements in [9] provide the information of probability of successful transmission as a function of Signal to Noise Ratio (SNR). Therefore, this paper adopts the relation of $p(x)$ and SNR presented in [9] for taking the physical environments into account. After concerning $p(x)$, the throughput $T(x)$ is calculated by

$$T(x) = \begin{cases} \mu(1) - \mu(1)q(1)[1 - P_0(1)] & x=1 \\ (\mu(x) - \mu(x)q(x)[1 - P_0(x)]) \prod_{i=1}^{x-1} [1 - P_b(i)] & x=2, \dots, H \end{cases} \quad (2)$$



Figure 4. Layout of C-Building used for designing WMN gateway.

where H is the total number of hops, $P_b(x)$ denotes the blocking probability of M/M/1/K model, $P_d(x)$ denotes the probability of having empty queue in M/M/1/K model, $q(x)$ is the forwarding probability of packet.

For end to end delay, the expression is given by

$$D(x) = \begin{cases} t_c, & x=1 \\ x t_c + \sum_{i=1}^{x-1} W_r(i), & x=2, 3, \dots, H \end{cases} \quad (3)$$

where

$$W_r(x) = \frac{1}{\mu(x)q(x)} + \frac{L_r(x)}{N_r(x)\mu(x+1)[1 - P_b(x)]}$$

Note that t_c is the time slot for one packet, $L_r(x)$ is the steady state queue size of M/M/1/K model, $N_r(x)$ is the number of nodes in x hop.

C. Indoor path loss model

To realize the parameter $p(x)$, it is necessary to know SNR. Hence, the task to get SNR can be achieved by calculating from received signal strength. The indoor path loss model has been used in this work and the expression of received signal strength P_r is expressed by

$$P_r = P_t - 10 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right) + G_t + G_r - Loss - 20 \log \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (4)$$

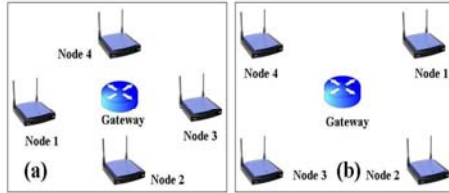


Figure 5. Configurations of WMN with 1 hop 4 nodes.

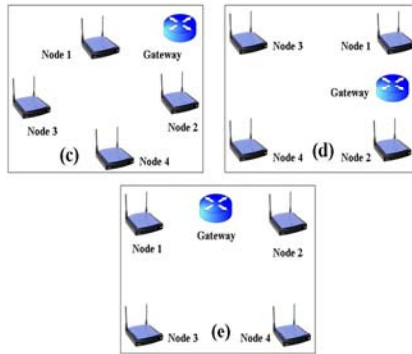


Figure 6. Configurations of WMN with 2 hops 2 nodes.

where P_t is the transmit signal power, G_t is the antenna gain at transmitter, G_r is the antenna gain at receiver, d is the distance between transmitter and receiver, d_0 is set to 1 m and $Loss$ is the power attenuation due to obstructions. The authors did some measurements to realize the attenuation factors. In this work, the attenuation is determined by 6 dB per one wall because this value is fit to our experiments. Also from our measurements, the power spectrum of noise floor in experimental area is around -70 dBm. Therefore, SNR can be calculated by $SNR = P_r + 70$. For antenna gains, G_t and G_r is set to 2.2 dBi when the operating frequency is 2.45GHz.

III. GATEWAY DESIGN

The site of experimental area for designing WMN gateway is C-Building which its layout is shown in Figure 4. This building is a rectangular shape with dimension of 76.5x80 m^2 . The number of nodes is decided to four mesh routers. This is because the existing infrastructure WLAN has only four access point. Hence, only four nodes in WMN are also enough for keeping the same coverage area. The next task is to design where the gateway should be located. In this work, two groups of gateway design are considered. The first group is based on only one hop and the second group is based on two hops.

For the first group, the configurations of WMN are shown in Figure 5. There are two possible configurations as named here by case (a) and (b). In the second group, there are three

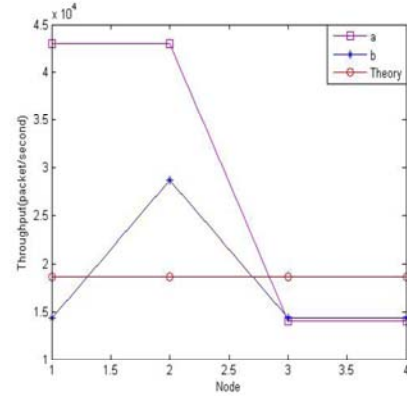


Figure 7. Throughput per node for configuration of WMN with 1 hop 4 nodes illustrated in Figure 5.

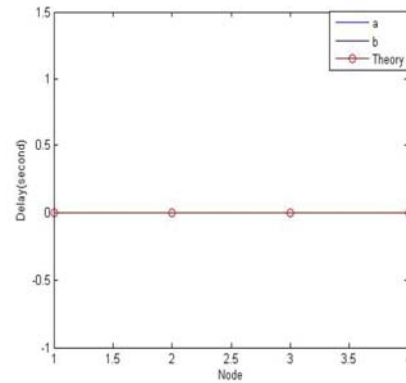


Figure 8. End to end delay per node for configuration of WMN with 1 hop 4 nodes illustrated in Figure 5.

possible configurations as named here by case (c), (d) and (e). For two hops, the first and second hops have 2 nodes which is configured as shown in Figure 6.

It can be noted that the throughputs of case (a) and (b) are the same if neglecting the relation of SNR and $p(x)$. Also for case (c), (d) and (e), the same throughputs and delays are expected if following the theory in literatures.

IV. SIMULATION RESULTS

The TDMA-based system is applied in simulations in which each time slot is allocated to an x -hop node with probability $p(x)$. Thus, only one node is allowed to transmit within one time slot. All nodes operate on the same frequency channel. The data rate is 75 Mb/s with packet size of 1500 bits. The time slot is set to the amount of airtime needed for transmitting one packet, i.e., $1500 \text{ B}/75 \text{ Mb/s} = 0.16 \text{ ms}$. The buffer size of $M/M/1/K$ is fixed at 64 packets or $K = 64$.

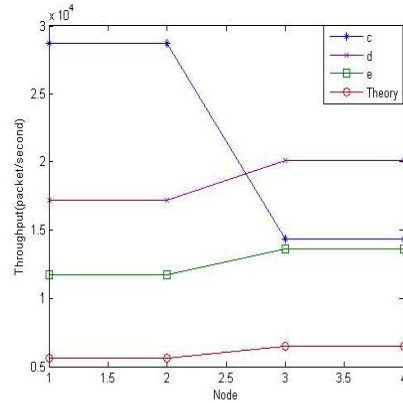


Figure 9. Throughput per node for configuration of WMN with 2 hops 2 nodes illustrated in Figure 6.

Table I. Average throughput and average end to end delay per node for WMN configured in Figure 5 and Figure 6.

Configuration	Average throughput (packet/second)	Average delay (second)
a	2.85×10^4	0.16×10^{-3}
b	1.79×10^4	0.16×10^{-3}
c	2.15×10^4	0.24×10^{-3}
d	1.87×10^4	1.03×10^{-3}
e	1.26×10^4	1.43×10^{-3}

Figure 7 and 8 show the throughputs and delays of case (a) and (b), respectively. The results are compared with theory neglecting physical obstructions. The throughputs of case (a) and (b) are totally different from theory. This indicates the significant impact of physical obstructions on WMN performance. For delay, there is a constant delay for one hop design because every node is next to the gateway.

Figure 9 and 10 show the throughputs and delays of case (c) (d) and (e), respectively. It is interesting to notice that the throughput and delay of each node are different when changing the location of gateway. The average throughputs and delays of five cases are summarized in Table I. It can be noticed that the best WMN throughput can be achieved by the configuration of WMN in case (a) and the best WMN delay is obtained by case (c). These results are helpful for WMN researchers to design the gateway location based on indoor environments.

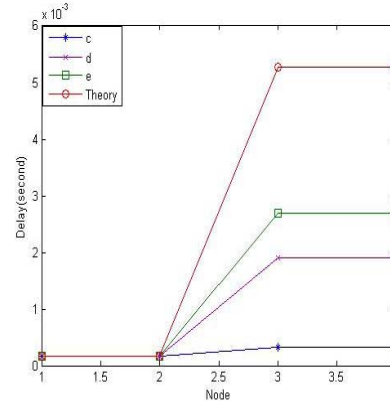


Figure 10. End to end delay per node for configuration of WMN with 2 hops 2 nodes illustrated in Figure 6.

V. CONCLUSION

In this paper, the design of gateway location in an indoor environment for WMN is presented. By applying the physical obstructions, the throughputs and delays of various configurations of WMN gateway locations are investigated. The results indicate that physical environments have a huge impact on WMN performance.

REFERENCES

- [1] I. F. Akyildiz, X. Wang, and W. Wang, "Wireless mesh networks: A survey," *Comput. Netw.*, vol. 47, no. 4, pp. 445–487, Mar. 2005.
- [2] V. Gambero, B. Sadeghi, and E. W. Knightly, "End-to-end performance and fairness in multihop wireless backhaul networks," in *Proc. ACM MOBIKOM*, Sep. 2004, pp. 287–301.
- [3] J. Jun and M. L. Sichitiu, "Fairness and QoS in multihop wireless networks," in *Proc. IEEE VTC*, Oct. 2003, pp. 2936–2940.
- [4] J.-F. Lee, W. Liao, and M.-C. Chen, "An incentive-based fairness mechanism for multi-hop wireless backhaul networks with selfish nodes," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 7, no. 2, Feb. 2008.
- [5] P. Gupta and P. R. Kumar, "The capacity of wireless networks," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 46, no. 2, pp. 388–404, Mar. 2000.
- [6] M. Grossglauser and D. Tse, "Mobility increases the capacity of ad-hoc wireless networks," in *Proc. IEEE INFOCOM*, Apr. 2001, pp. 1360–1369.
- [7] A. E. Gamal, J. Mammen, B. Prabhakar, and D. Shah, "Throughput-delay trade-off in wireless networks," in *Proc. IEEE INFOCOM*, Mar. 2004, pp. 464–475.
- [8] Tehuang Liu and Wanjun Liao, "Location-Dependent Throughput and Delay in Wireless Mesh Networks," *IEEE Transactions on vehicular technology*, vol. 57, no. 2, March 2008.
- [9] Ernesto J. Rivera-Lara, Rogelio Herrerías-Hernández, Jesús A. Pérez-Díaz and Carlos F. García-Hernández, "Analysis of the relationship between QoS and SNR for an 802.11g WLAN"
- [10] D. Gross and C. Harris, *Fundamentals of Queueing Theory*, 3rd ed. Hoboken, NJ: Wiley, 1998, pp. 74–80

DESIGN OF NODE LOCATIONS FOR INDOOR WIRELESS MESH NETWORKS

Sukunya Sauram*, Peerapong Uthansakul and Monthippa Uthansakul

Received: May 21, 2010; Revised: Sept 12, 2010; Accepted: Sept 13, 2010

Abstract

In the literature, the performance of a Wireless Mesh Network (WMN) has been analyzed by assuming the same quality on each hop. However, this assumption is hardly true in practice due to the physical obstructions in the wireless link, especially for an indoor environment. Therefore, this study revisits the analysis of a WMN performance by taking the effect of physical obstructions into account instead of assuming an equally deterministic property for each hop. These obstructions cause the degradation of signal strength which relatively decrease the success rate of transmission between each hop. This study examines these physical concerns through measured results in an indoor environment and then a design of node locations is discussed.

Keywords : Delay, throughput, wireless mesh networks

Introduction

A Wireless Mesh Network (WMN) is a network technology without wires which will be happening in the near future. It has the same basic structure as a Wireless Local Area Network (WLAN). The difference between a WMN and a WLAN is in the meaning given to parts of the equipment. The important thing is that a WMN has no router while a WLAN does. This is because a WMN includes an access point together with a router which is called a mesh router. Users in a WLAN have also been renamed as mesh clients in a WMN. Because of the combination of access point and router, it makes a WMN a better tight system than a WLAN. In addition, each access

point in a WLAN is connected by cable lines which limit the coverage range of operation. In this light, new technology that can provide more flexibility in network installation and user accessibility is continuously being researched. A WMN is one of the most interesting technologies to have emerged lately because its connections are totally wireless. Hence it is easy for a WMN to extend the service range and be flexible in implementation. In a WMN, nodes are comprised of mesh routers and mesh clients. Each node operates not only as a host but also as a router forwarding packets on behalf of other nodes that may not be within direct

¹ *School of Telecommunication Engineering, Suranaree University of Technology, Nakhon Ratchasima, Thailand. Tel. 044-224392, Fax 044-224603, E-mail: su_sauram@hotmail.com*

* *Corresponding author*

wireless transmission range of their destinations. A WMN is dynamically self-organized and self-configured with the nodes in the network automatically establishing and maintaining mesh connectivity among themselves. This feature brings many advantages to a WMN such as low up-front cost, easy network maintenance, robustness, and reliable coverage (Akyildiz *et al.*, 2005). A WMN is a group of wireless nodes, connecting to each other by radio waves, so in fact there are some parameters such as distance and obstruction which can degrade radio waves from sending a signal to the target point, especially when sending information inside a building. Most houses or buildings have metals as a part of their construction which definitely corrupts system performances. Hence, due to indoor obstructions, the received signal in practice has to be obtained at a lower level than expected in theory. For distance concerns, the radio wave is attenuated as a function of distance no matter which propagation models are applied. Moreover, another impact on distance is dealing with the number of transit hops used for sending packets from source node to sink node. If the number of transit hops between origin and the destination nodes increases, the performances such as throughput and delay will be changed. In Gambiroza *et al.* (2004); Jun and Sichitiu (2003); Lee *et al.* (2008) have simulation results that show that throughput and end to end delay in a WMN are significantly changed by increasing hop-count distance from the gateway. In Gupta and Kumar (2000) presented the throughput analysis in a fixed wireless network; it indicates the direct relation of throughput and the number of nodes. In Gamal *et al.* (2004) have an analytical model developed to obtain the optimal throughput-delay trade-off by varying the number of hops, the transmission range, and the degree of node mobility in an ad hoc network. In Liu and Liao (2008) show the model of statistical location-dependent throughput and delay performances in a proposed WMN. The network considered is a static ad hoc network, in which nodes are randomly distributed and the destination for each node is independently

chosen. In Grossglauser and Tse (2001) show that the per-node throughput is shown to be dramatically increased by exploiting node mobility as a type of multiuser diversity. In Gamal *et al.* (2004) an analytical model is developed to obtain the optimal throughput-delay tradeoff by varying the number of hops, the transmission range, and the degree of node mobility in ad hoc networks.

From all the literature, it can be noted that the performances of a WMN rely on the number of nodes and hops as well as their locations. However, those results are simulated by assuming the same link quality on each hop without considering the effect of an obstruction. This assumption cannot be true in practice because there are different physical obstructions from one node to another. For example in an indoor environment, there are many obstructions between nodes such as walls, partitions, humans, windows, etc. These objects must be a concern when analyzing the performance of a WMN. Here we study the effect of an obstruction on the performance of a WMN by considering the relation between signal strength and the success rate of information transfer. In theory, a WMN ideally determines the successful channel-access probability with a constant value equally for each node. This constant value is always the same no matter where the node has been installed. In this study, the indoor obstructions due to node locations are considered and the successful channel-access probability resulting from indoor obstructions is measured. By using measured results, this study is able to analyze system performances and also design the optimal node locations for an indoor WMN. The throughput and delay are key parameters to evaluate the best design.

WMN Analysis

WMN Configuration

The WMN architecture is the combination of infrastructure and client meshing as shown in Figure 1. Mesh clients can access the network through mesh routers as well as directly meshing

with other mesh clients. While the infrastructure provides connectivity to other networks such as the Internet, Wi-Fi, WiMAX, cellular, IEEE 802.11, IEEE 802.15, IEEE 802.16, and sensor networks, the routing capabilities of clients provide the improved connectivity and coverage inside the WMN. The infrastructure/backbone of a WMN is illustrated in Figure 1. As seen in this figure, the network consists of mesh routers and mesh clients, where mesh routers have minimal mobility and form the backbone of the WMN. They provide network access for both mesh and conventional clients.

The integration of a WMN with other networks can be accomplished through the gateway and bridging functions in the mesh routers. Mesh clients can be either stationary or mobile, and can form a client mesh network among themselves and with mesh routers.

Queuing Theorem for WMN

In this study, the model of a WMN is analyzed by using the M/M/1/K queuing theorem (Gross and Harris, 1998). The throughput

is defined as the number of packets which can be transmitted from source to gateway. For end to end delay, it can be defined as the time between when the first bit of this packet is sent by its source and when the packet is entirely received by the gateway. The basic block diagram of M/M/1/K is shown in Figure 2.

Each node is associated with 2 queues which are Q_r for the relayed packets and Q_s for the locally generated packets. If Q_s is empty, it hops 1 packet from Q_s (which is assumed backlogged) to send. If Q_r is not empty, it sends a packet from Q_r with a probability of $q(x_1, x_2, \dots, x_i)$ or a packet from Q_s with a probability of $1 - q(x_1, x_2, \dots, x_i)$. We study the behavior of Q_r and Q_s and analyze the throughput and delay performances of each node.

Figure 3 presents the numeric method to name each node location. Unlike works presented in the literature, each node is required to have a specific numeric name because each node might experience a different channel property depending on indoor obstructions. $N(x_1, x_2, \dots,$

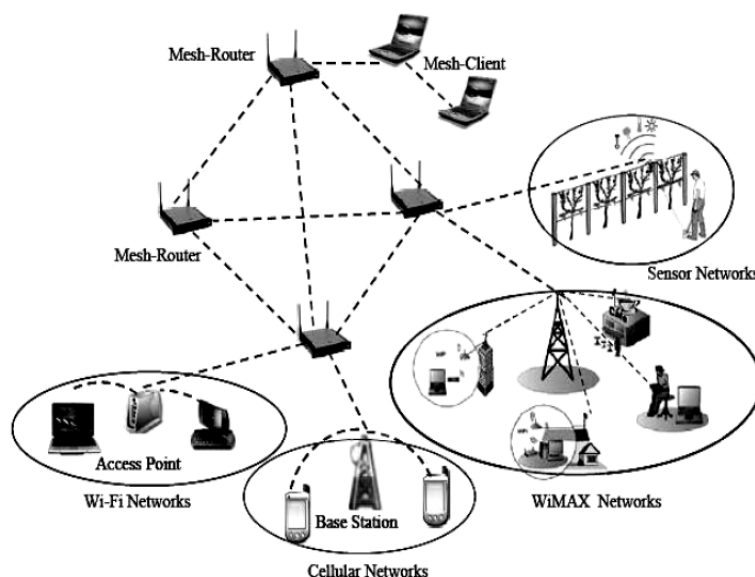


Figure 1. Infrastructure/backbone WMN.

x_i) denotes the number of nodes in (x_1, x_2, \dots, x_i) -hop. We let H denote the maximum possible hop-count distance from the gateway in the network.

From the derivation of an incoming packet presented by Liu and Liao (2008) the arrival rate of a packet can be expressed as

$$\mu(x_1, x_2, \dots, x_i) \approx \frac{1}{t_c} \ln \left(\frac{1}{1 - p(x_1, x_2, \dots, x_i)} \right) \quad (1)$$

where (x_1, x_2, \dots, x_i) is the hop number, t_c is the time slot of 1 packet, and $p(x_1, x_2, \dots, x_i)$ is the probability of successful channel access. For Q_r and Q_s at the (x_1, x_2, \dots, x_i) -hop node, the service rate of packets for either queue is equal to the product of $\mu(x_1, x_2, \dots, x_i)$ and

the probability that the queue is selected to send. $\mu_r(x_1, x_2, \dots, x_i)$ is the service rate of packets for Q_r ; the expression is given by

$$\mu_r(x_1, x_2, \dots, x_i) = \mu(x_1, x_2, \dots, x_i) \cdot q(x) \quad (2)$$

when Q_r is not empty the transmission opportunity will have a chance to come to Q_r . $Q_r(x_1, x_2, \dots, x_i)$ is the effective departure rate of relayed packets that are forwarded to the next hop node and can be expressed as

$$\sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_i) = \mu_r(x_1, x_2, \dots, x_i) \cdot [1 - P_0(x_1, x_2, \dots, x_i)] \quad (3)$$

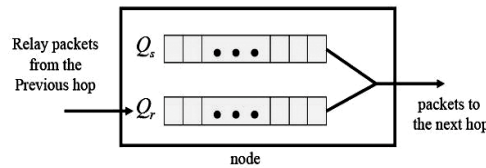


Figure 2. M/N/1K models in WMN

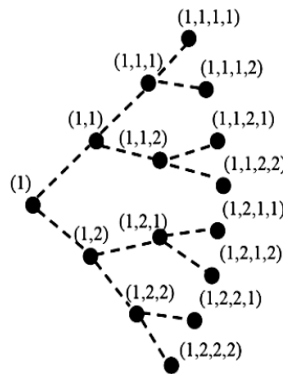


Figure 3. Example of numeric method naming node location

where $P_0(x_1, x_2, \dots, x_l)$ is the probability of having an empty queue in the M/M/1/K model. When Q_r is empty, the transmission opportunity is always granted to Q_s . Thus, $\mu_s(x_1, x_2, \dots, x_l)$ is the service rate of packets for Q_s at the (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop node, and is calculated by

$$\begin{aligned} \mu_s(x_1, x_2, \dots, x_l) &= \mu(x_1, x_2, \dots, x_l) - \sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_l) \\ &= \mu(x_1, x_2, \dots, x_l) - \mu(x_1, x_2, \dots, x_l) \cdot \\ & q(x) \cdot [1 - P_0(x_1, x_2, \dots, x_l)] \end{aligned} \quad (4)$$

Q_s for each node is assumed to be backlogged, so the output distribution of Q_s is identical to the service-time distribution of Q_s . $\sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_l)$ is the effective output rate of Q_s at the (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop node, so we have

$$\sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_l) = \mu_s(x_1, x_2, \dots, x_l) \quad (5)$$

$\sigma(x_1, x_2, \dots, x_l)$ is the aggregate effective output rate for the (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop node. From (3) and (4), it can be expressed as

$$\begin{aligned} \sigma(x_1, x_2, \dots, x_l) &= \sigma_s(x_1, x_2, \dots, x_l) + \sigma_r(x_1, x_2, \dots, x_l) \\ &= \mu(x_1, x_2, \dots, x_l) \end{aligned} \quad (6)$$

$\lambda_r(x_1, x_2, \dots, x_l)$ is the packet-arrival for Q_r at the (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop. Note that Q_s is assumed to be always backlogged. Where H is the total number of hops, it is calculated by

$$\lambda_r(x_1, x_2, \dots, x_l) = \begin{cases} \sum_{x_{i+1}=1}^{N(x_1, x_2, \dots, x_l)} \mu(x_1, x_2, \dots, x_l, x_{i+1}) \\ 0, & l = H \end{cases} \quad (7)$$

where $P_0(x_1, x_2, \dots, x_l)$ is the probability of Q_r being empty at the (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop node.

With the service and arrival rates of packets for Q_r at the (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop node, we can obtain $P_0(x_1, x_2, \dots, x_l)$ by applying the M/M/1/K formulas (Gross and Harris, 1998), then

$$P_0(x_1, x_2, \dots, x_l) = \begin{cases} \frac{1 - \rho(x_1, x_2, \dots, x_l)}{1 - \rho(x_1, x_2, \dots, x_l)^{K+1}} & ; \rho(x_1, x_2, \dots, x_l) \neq 1 \\ \frac{1}{K+1} & ; \rho(x_1, x_2, \dots, x_l) = 1 \end{cases} \quad (8)$$

where K is the buffer size of Q_r . $\rho(x_1, x_2, \dots, x_l)$ is the traffic intensity for Q_r at the (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop node, and is calculated by

$$\rho(x_1, x_2, \dots, x_l) = \begin{cases} \sum_{x_{i+1}=1}^{N(x_1, x_2, \dots, x_l)} \mu(x_1, x_2, \dots, x_l, x_{i+1}) & l = 1, 2, \dots, H-1 \\ 0, & l = H \end{cases} \quad (9)$$

Analysis of Throughput and Delay

Figure 4 shows the example of a physical obstruction between a node and a gateway. It is clearly seen that both links will not provide the same performance because the signal quality on each link is different. If we analyze both links using the proposed theory in the literature, both will provide the same throughput and delay. This is very misleading for the design of any gateway or node locations in practice. So far in the literature, this issue has never been considered. In this study, the parameter $p(x_1, x_2, \dots, x_l)$ is determined by the physical characteristic of the node location's signal strength. We now derive the end to end throughput by finding the blocking probability at each hop. $T(x_1, x_2, \dots, x_l)$ is the throughput of the (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop node. $P_b(x_1, x_2, \dots, x_l)$ is the blocking probability for Q_r at the (x_1, x_2, \dots, x_l) -hop node. From the M/M/1/K formulas, we have

$$P_b(x_1, x_2, \dots, x_i) = \begin{cases} \frac{[1 - \rho(x_1, x_2, \dots, x_i)] \rho^K}{1 - \rho(x_1, x_2, \dots, x_i)^{K+1}} & ; \rho(x_1, x_2, \dots, x_i) \neq 1 \\ \frac{1}{K+1} & ; \rho(x_1, x_2, \dots, x_i) = 1 \end{cases} \quad (10)$$

where $\rho(x_1, x_2, \dots, x_i)$ is given by (9). $1 - P_b(x_1, x_2, \dots, x_i)$ is the nonblocking probability for Q_i at the (x_1, x_2, \dots, x_i) -hop node. For a path, the end to end nonblocking probability is equal to the product of the nonblocking probabilities at all intermediate nodes. The throughput $T(x_1, x_2, \dots, x_i)$ is calculated by

$$T(x_1, x_2, \dots, x_i) = \begin{cases} \sigma_i(l), & l=1 \\ \sigma_i(x_1, x_2, \dots, x_i) \cdot \prod_{l=1}^{i-1} [1 - P_b(l)], & l=2, \dots, H \end{cases} \quad (11)$$

where H is the total number of hops, $P_b(x_1, x_2, \dots, x_i)$ is the blocking probability of the M/M/1/K model, and $q(x_1, x_2, \dots, x_i)$ is the forwarding probability of the packet. We derive the end to end delay. $L_r(x_1, x_2, \dots, x_i)$ is the steady-state queue size of Q_i for the

(x_1, x_2, \dots, x_i) -hop node. According to the M/M/1/K formulas, we have

$$L_r(x_1, x_2, \dots, x_i) = \begin{cases} \frac{\rho(x_1, x_2, \dots, x_i)}{1 - \rho(x_1, x_2, \dots, x_i)} \frac{\rho(x_1, x_2, \dots, x_i)[K\rho(x_1, x_2, \dots, x_i)]^K + 1}{1 - \rho(x_1, x_2, \dots, x_i)^{K+1}} & ; \rho(x_1, x_2, \dots, x_i) \neq 1 \\ \frac{K(K-1)}{2(K+1)} & ; \rho(x_1, x_2, \dots, x_i) = 1 \end{cases} \quad (12)$$

where $W_r(x_1, x_2, \dots, x_i)$ is the waiting time for packets in Q_i at the (x_1, x_2, \dots, x_i) -hop node. According to Little's formula (Gross and Harris, 1998), we have

$$W_r(x_1, x_2, \dots, x_i) = \frac{1}{\mu(x_1, x_2, \dots, x_i)q(x)} + \frac{L_r(x_1, x_2, \dots, x_i)}{N(x_1, x_2, \dots, x_i)\mu(x+1)[1 - P_b(x_1, x_2, \dots, x_i)]} \quad (13)$$

For end to end delay, the expression is given by

$$D(x_1, x_2, \dots, x_i) = \begin{cases} t_c, & l=1 \\ (x_1, x_2, \dots, x_i)t_c + \sum_{l=1}^{i-1} W_r(l), & l=2, 3, \dots, H \end{cases} \quad (13)$$

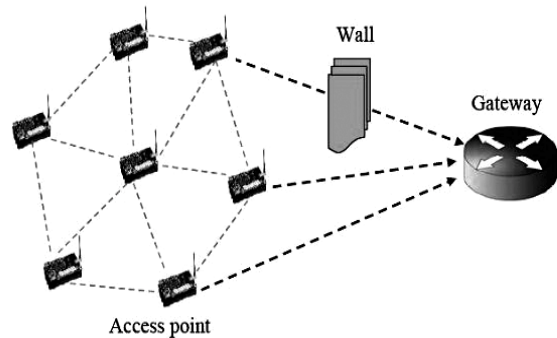


Figure 4. Example of physical obstructions between nodes to gateway

Note that t_i is the time slot for 1 packet, $L_i(x_1, x_2, \dots, x_i)$ is the steady state queue size of the M/M/1/K model, and $N(x_1, x_2, \dots, x_i)$ is the number of nodes in (x_1, x_2, \dots, x_i) -hop.

Effect of Indoor Obstructions on the Successful Channel-Access Probability

WMNs currently are standardized by the IEEE Standard 802.11s (IEEE, 1999; IEEE, 2003; IEEE, 2005; IEEE, 2008). It is comfortable to establish wireless networks with mobile wireless nodes, and infrastructure devices are used for routing. This provides higher flexibility and network coverage and decreases administration and infrastructure overheads. The IEEE Standard 802.11s can be support the IEEE Standard 802.11a/b/g/n. Most of these WMNs use the basic IEEE 802.11 (IEEE, 1999; IEEE, 2006). Therefore, in this work we used a WLAN network based on the IEEE 802.11a standard for measuring

the effect of indoor obstructions. The key factor considered in measurements is the signal strength which affects the successful channel-access probability. The value of the successful channel-access probability can be captured at each node location. Figure 5 shows a layout of C-Building used for performing a signal strength measurement. The signal strength is monitored by using the freeware program named Wireless Mon. Successful channel-access probability can be indirectly measured by calculating a packet loss. If all packets can be transmitted to the destination, the successful channel-access probability is equal to 1. This study uses the freeware program named Wireshark to capture the loss of packet transmission.

In measurement scenarios, all 4 access points are tested on 3 days; in each access point there are 20 measuring spots and each spot will be repeated 3 times. Hence, the

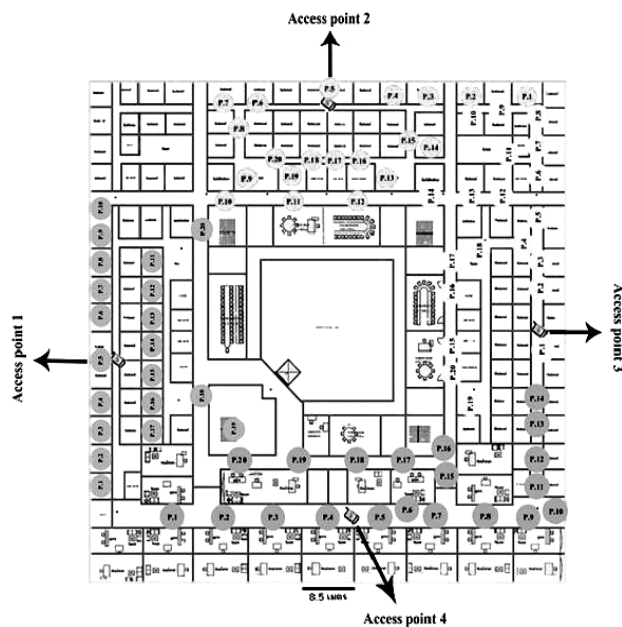


Figure 5. Map of measurement area

total number of measurements is 720. The measurement results are shown in Figure 6. It can be observed that the success of packet transmission depends on the level of the signal strength. If a high level of signal strength is received, then the chance for successful transmission is also high. The level of signal strength is influenced by both distance and obstructions. Therefore this measurement provides the direct relationship between node location and the successful channel-access probability which will be used to analyze throughput and delay in the WMN system. The successful channel-access probability $p(x_1, x_2, \dots, x_i)$ is obtained by applying the relationship between packet loss and signal strength shown in Figure 6 along with the indoor path loss model. The level of received signal strength $P_r(x_1, x_2, \dots, x_i)$ is expressed by

$$P_r(x_1, x_2, \dots, x_i) = P_t - 10 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right) + G_t + G_r - Loss - 20 \log \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad (15)$$

and the probability of successful channel access $p(x_1, x_2, \dots, x_i)$ can be expressed as

$$A(x_1, x_2, \dots, x_i) = 0.1840 * \exp((-0.0358)(P_r(x_1, x_2, \dots, x_i)))$$

$$p(x_1, x_2, \dots, x_i) = 1 - A(x_1, x_2, \dots, x_i) \quad (16)$$

where P_t is the transmit signal power, P_t is set to 10 dBm, G_t is the antenna gain at the transmitter, G_r is the antenna gain at the receiver, d_0 is the distance between the transmitter and receiver, d_0 is set to 1 m, and Loss is the power attenuation due to obstructions. The authors did some measurements to realize the attenuation factors. In this work, the attenuation is determined by 6 dB per 1 wall because this value fits our experiments. For antenna gains, G_t and G_r are set to 2.2 dBi when the operating frequency is 2.45GHz.

Design of Node Locations

The site of the experimental area for designing the WMN node is C-Building the layout of which is shown in Figure 7. This building is a rectangular shape with dimensions of 76.5 x 80 mm². For the number of nodes it was decided to have only 4 mesh routers. This is because the existing infrastructure of the WLAN has only 4 access points. Hence, only

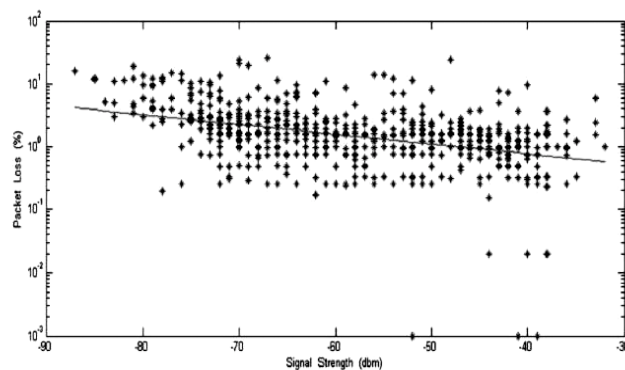


Figure 6. Relationship between packet loss and signal strength

4 nodes in the WMN are also enough for the same coverage area. The next task is to design where the nodes should be located. As seen in Figure 7, the mark points are the possible locations for either mesh routers or the gateway. In practice, it is not possible to determine the node locations for any spot of the building due to the constraint of power lines, available spaces, and construction materials. Hence, in this study, the method of designing node locations is to find the best set of node configurations from all possible installation

locations. In this work, 2 groups of design are considered. The first group is based on only 1-hop nodes and the second group is based on 2-hop nodes.

For the first group, the configurations of the WMN are shown in Figure 8. There are 2 possible configurations named here as cases (a) and (b). Both cases have the gateway location at the center of the building. For the second group, there are 8 possible configurations named here as cases (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i), and (j) which are configured as shown in

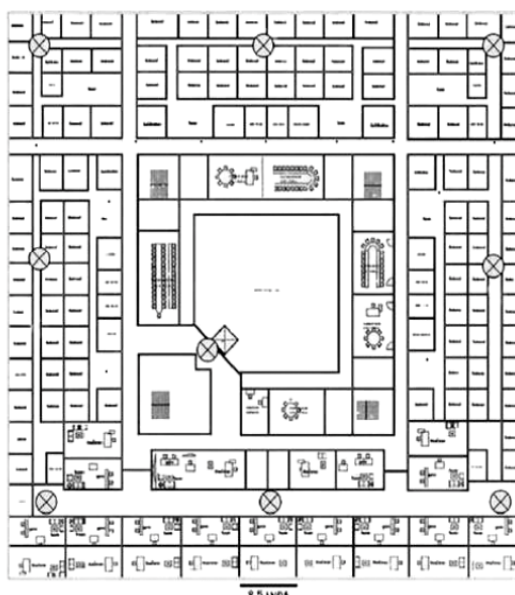


Figure 7. Layout of C-Building used for designing WMN node

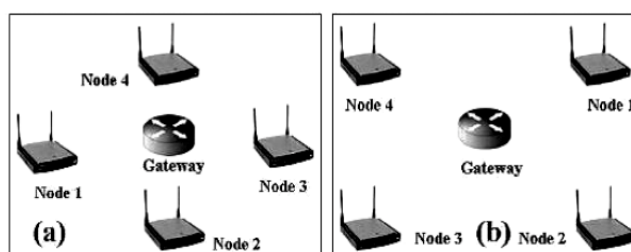


Figure 8. Configurations of WMN with 1 hop 4 nodes

Figure 9. These possible configurations are considered as possible spots as shown in Figure 7 and mesh routers can serve all the areas.

It can be noted that the throughputs and delays of cases (a) and (b) are the same if we analyze performance according to the work presented in the literature. This is because

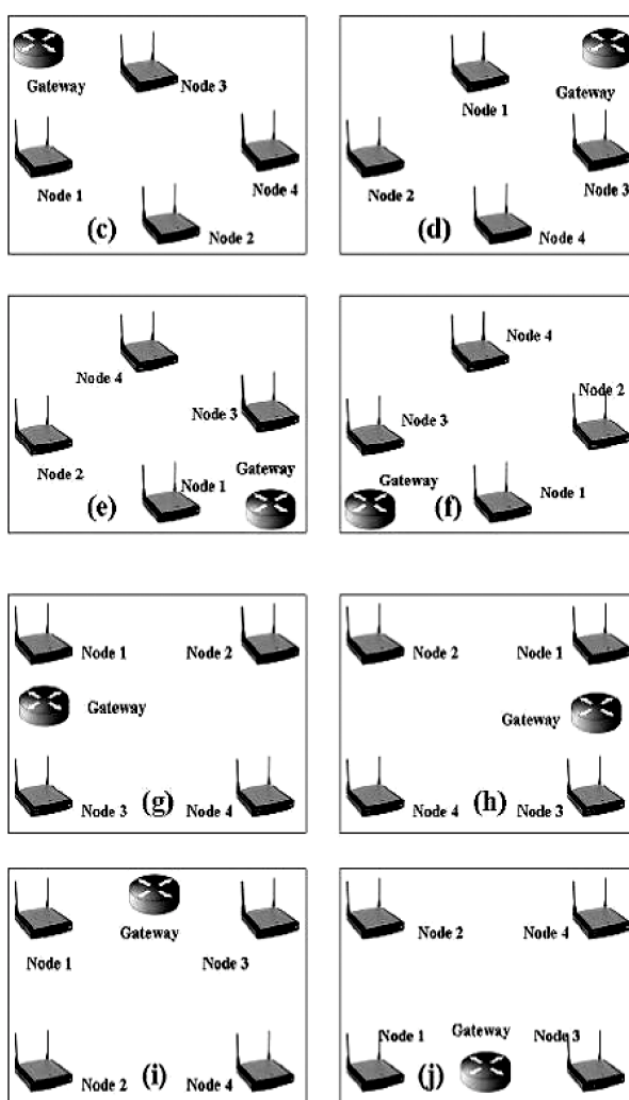


Figure 9. Configurations of WMN with 2 hops 2 nodes

they neglect the effect of indoor obstructions. Then the signal strength and $p(x_1, x_2, \dots, x_i)$ is assumed to be equal for each node. Also for cases (c) to (j), every configuration will theoretically provide the same throughputs and delays. In fact the performances of all cases should be different and they depend on their surroundings. The next task is to illustrate this issue and find out which case offers the best system performances.

Simulation Results

The TDMA-based system is applied in simulations in which each time slot is allocated to an (x_1, x_2, \dots, x_i) -hop node with probability $p(x_1, x_2, \dots, x_i)$. Thus, only 1 node is allowed to transmit within 1 time slot. All nodes operate on the same frequency channel. The data rate is 75 Mb/s with a packet size of 1500 bits. The time slot is set to the amount of airtime needed for transmitting 1 packet, i.e., $1500 \text{ B} / 75 \text{ Mb/s} = 0.16 \text{ ms}$. The forwarding probability $q(x_1, x_2, \dots, x_i)$ is a setting of 0.6. The buffer size of $M/M/1/K$ is fixed at 64 packets or $K = 64$.

Figures 10 and 11 show the average throughputs and delays of cases (a) and (b), respectively. We analyze the results by observing the variation of the successful channel-access

probability $p(x_1, x_2, \dots, x_i)$ due to its physical obstruction, as illustrated in Figure 7.

The results are compared with the theoretical assumption when neglecting physical obstructions. It can be observed that the average throughputs and delays of cases (a) and (b) are totally different. This indicates the significant impact of physical obstructions on the WMN performances.

Figures 12 and 13 show the average throughputs and delays of cases (c), (d), (e), (f), (g), (h), (i), and (j), respectively. It is interesting to note that the throughputs and delays of each node are different when changing the location of the node and when considering a variation of the successful channel-access probability. The average throughputs and delays of the 10 cases are summarized in Table 1.

The first group is based on only 1 hop and it can be noted that the best WMN throughput can be achieved by the configuration of the WMN in case (a) and the best WMN delay is also obtained by case (a). For the second group based on 2 hops, it can be noted that the best WMN throughput can be achieved by the configuration of the WMN in case (f) and the best WMN delay is also obtained by case (f).

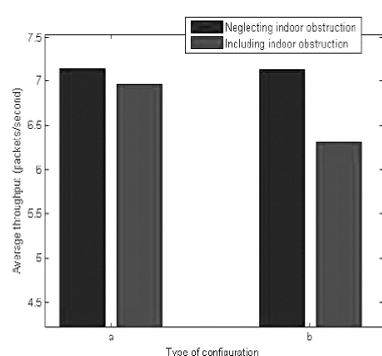


Figure 10. Average throughput per node for configuration of WMN with 1 hop 4 nodes illustrated in Figure 8.

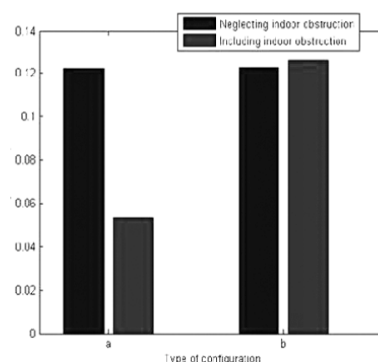


Figure 11. End-to-end delay per node for configuration of WMN with 1 hop 4 nodes illustrated in Figure 8.

These results are helpful for WMN researchers in designing the optimal locations of mesh routers and gateways by including the successful channel-access probability based on physical environments such as signal strength and distance.

Conclusions

In this study, the design of node locations for an indoor WMN is presented by including the effect of physical obstructions on performance of the WMN. From the theory of a WMN, the

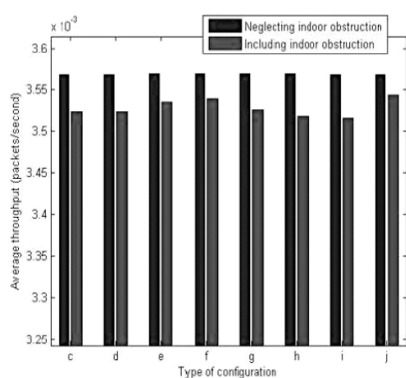


Figure 12. Average throughput per node for configuration of WMN with 2 hop 2 nodes illustrated in Figure 9.

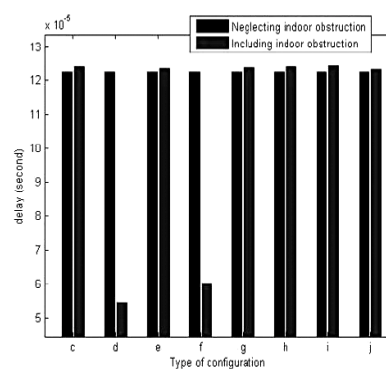


Figure 13. End-to-end delay per node for configuration of WMN with 1 hop 4 nodes illustrated in Figure 9.

Table 1. Average throughput and average end-to-end delay per node for WMN configured in Figure 8 and Figure 9.

Configuration	Average throughput (packet/second)	Average delay (second)
a	6.9640×10^{-3}	0.0536
b	6.0378×10^{-3}	0.1262
c	3.5227×10^{-3}	0.1240
d	3.5227×10^{-3}	0.0544
e	3.5323×10^{-3}	0.1235
f	3.5396×10^{-3}	0.0602
g	3.5252×10^{-3}	0.1239
h	3.5176×10^{-3}	0.1241
i	3.5154×10^{-3}	0.1242
j	3.5434×10^{-3}	0.1233

successful channel-access probability is invariable and equivalent. Every node location in the WMN system will have the same value of successful channel-access probability. In fact the value of successful channel-access probability is not constant when operating in a real environment. This study analyzes the WMN performances by taking the measured successful channel-access probability into account. Then the optimal node locations can be successfully designed. The results indicate that physical environments have a huge impact on the WMN performance.

Acknowledgment

This work is supported by a Research Grant from Suranaree University of Technology, Thailand.

References

- Akyildiz, I.F., Wang, X., and Wang, W. (2005). Wireless mesh networks: A survey. *Comput. Netw.*, 47(4):445-487.
- Bansal, N. and Liu, Z. (2003). Capacity, delay and mobility in wireless ad-hoc networks. in *Proc. IEEE INFOCOM.*, p. 1553-1563.
- Gamal, A.E., Mammen, J., Prabhakar, B., and Shah, D. (2004). Throughput-delay trade-off in wireless networks. *Proc. IEEE INFOCOM*, p. 464-475.
- Gambiroza, V., Sadeghi, B., and Knightly, E.W. (2004). End-to-end performance and fairness in multihop wireless backhaul networks. *Proc. MOBICOM 2004*, p. 287-301.
- Gross, D. and Harris, C. (1998). *Fundamentals of Queueing Theory*. 3rd ed. Wiley, Hoboken, NJ, USA, p. 74-80.
- Grossglauser, M. and Tse, D. (2001). Mobility increases the capacity of ad-hoc wireless networks. *Proc. IEEE INFOCOM*, p. 1360-1369.
- Gupta, P. and Kumar, P.R. (2000). The capacity of wireless networks. *IEEE Inform. Theory*, 46(2):388-404.
- IEEE. (1999). IEEE Standards. Interpretation for IEEE Standard 802.11. IEEE Standard for Local and metropolitan area networks. Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, NY, USA.
- IEEE. (1999). IEEE Standards. Wireless LAN medium access control and physical layer specification, ANSI/IEEE Standard 802.11. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, NY, USA.
- IEEE. (2003). IEEE Standards. IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks-Virtual Bridged Local Area Networks. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, NY, USA.
- IEEE. (2005). IEEE Standards. Task Group s. MAC Enhancement Proposal. Protocol Proposal IEEE 802.11-05/0575r3. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, NY, USA.
- IEEE. (2006). IEEE Standards. Draft amendment: ESS mesh networking. IEEE P802.11s Draft 1.00. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, NY, USA.
- IEEE. (2008). IEEE Standards. IEEE P802.11s/D2.0 - Draft STANDARD for Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements-Amendment to Part 11: Mesh Networking.
- Jun, J. and Sichitiu, M.L. (2003). Fairness and QoS in multihop wireless networks. *Proc. IEEE VTC.*, p. 2936-2940. Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc., New York, NY, USA.
- Lee, J.-F., Liao, W., and Chen, M.-C. (2008). An incentive-based fairness mechanism for multi-hop wireless backhaul networks with selfish nodes, *IEEE T. Wirel. Commun.*, 7(2).
- Liu, B., Liu, Z., and Towsley, D. (2003). On the capacity of hybrid wireless networks. *Proc. IEEE INFOCOM*, p. 1543-1552.
- Liu, T. and Liao, W. (2008). Location-dependent throughput and delay in wireless mesh networks. *IEEE T. Veh. Technol.*, 57(2). virtual bridged lan.

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสุกัญญา ซาอูรัมย์ เกิดเมื่อวันที่ 21 พฤศจิกายน 2524 ที่จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมปลายจากโรงเรียนห้วยแถลงพิทยาคม จังหวัดนครราชสีมา และสำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโทรคมนาคม) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อ พ.ศ. 2548 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

โดยขณะที่ศึกษาในระดับปริญญาโทได้เป็นผู้ช่วยสอนปฏิบัติการ 1 รายวิชา คือ 427333 ปฏิบัติการวิศวกรรมโทรคมนาคม 1 และปฏิบัติการ 2 รายวิชา คือ 427333 ปฏิบัติการวิศวกรรมโทรคมนาคม 2 ได้มีการนำเสนอบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติจำนวน 2 ฉบับ และบทความวิชาการที่ได้รับการตอบรับให้ตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ 3 ฉบับ ตามลำดับ ดังนี้

- 1) Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Conference 2009 (ECTI-CON 2009) ในหัวข้อ“**Design of Gateway Locations in an Indoor WMN,**”, 2009,Thailand
- 2) Suranaree Journal of Science and Technology ในหัวข้อ“**Design of Node Locations for Indoor Wireless Mesh Networks,**”, 2010. Thailand.
- 3) Accepted to be published in Electrical Engineering/Electronics, Computer, Communications and Information Technology Association Transactions on Engineering, Electronics, and Communications (ECTI-EEC) ในหัวข้อ“**Design of Node Locations for Indoor Wireless Mesh Networks,**”, 2010, Thailand.