

การออกแบบรูปร่างโครงข่ายเข้าถึงสำหรับระบบสื่อสารสัญญาณเซลลูลาร์

นายเอกฉัตรชัย เอกสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2551

**ACCESS NETWORK TOPOLOGY DESIGN
FOR CELLULAR TRANSMISSION SYSTEMS**

Ekkaluk Eksook

**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 2008

การออกแบบรูปร่างโครงข่ายเข้าถึงสำหรับระบบสื่อสัญญาณเซลลูลาร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นักวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร.รังสรรค์ ทองทา)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.ชุตินา พรหมมาก)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร.พีระพงษ์ อุฑารสกุล)

กรรมการ

(ศ. ดร.ไพโรจน์ สัตยธรรม)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

(รศ. น.อ. ดร.วรพจน์ จำพิศ)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

เอกลักษณ์ เอกสุข : การออกแบบรูปร่างโครงข่ายเข้าถึงสำหรับระบบสื่อสารเคลื่อนที่เซลลูลาร์ (ACCESS NETWORK TOPOLOGY DESIGN FOR CELLULAR TRANSMISSION SYSTEMS) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตินา พรหมมาก, 72 หน้า

การติดต่อสื่อสารในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ ทั้งในรูปของสัญญาณเสียงหรือสัญญาณข้อมูลได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตของเราทุกคนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ การแข่งขันในเชิงธุรกิจเพื่อรองรับความต้องการของลูกค้าได้มีการพัฒนาและปรับปรุงอย่างไม่หยุดยั้ง การสร้างความมั่นใจในด้านคุณภาพของเครือข่ายให้กับผู้ใช้บริการจึงเป็นสิ่งจำเป็น คุณภาพของการให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์จึงควรเริ่มจากการพิจารณาเริ่มต้นจากการวางแผนออกแบบรูปร่างของโครงข่าย (network topologies)

งานวิจัยนี้มุ่งพิจารณาในส่วนของการออกแบบรูปร่างโครงข่ายของระบบสื่อสารเคลื่อนที่ (transmission system) ที่ทำการเชื่อมต่อโครงข่ายเข้าถึงในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ โดยมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบโครงข่าย ที่มีค่าความเชื่อถือได้ในการให้บริการ สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงการเติบโตของข้อมูลในปัจจุบันและอนาคต และสามารถสร้างขึ้นได้ภายใต้ข้อจำกัดหรือเงื่อนไขด้านต่าง ๆ ของการสร้างโครงข่าย งานวิจัยนี้ได้พิจารณาค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ จากหลักการของทฤษฎีกราฟ (graph theory) และ Operational Probability นอกจากนี้ยังได้พิจารณาความสามารถในการรองรับปริมาณการเติบโตของข้อมูล (traffic growth) โดยใช้ค่า Lifetime Index เป็นตัวบ่งชี้ และเปรียบเทียบความสามารถในการรองรับการเติบโตของข้อมูลในโครงข่ายลักษณะรูปร่างต่าง ๆ และงานวิจัยนี้ได้พิจารณาการออกแบบฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) เพื่อทำการออกแบบโครงข่ายที่มีความน่าเชื่อถือสูงสุด โดยทำการแปลงข้อจำกัดต่าง ๆ (constraints) ในการสร้างโครงข่ายเข้าถึงให้อยู่ในรูป สมการเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (0-1 Integer Linear Programming) และนำค่า Lifetime Index มาทำการเปรียบเทียบจุดเด่นหรือจุดด้อยในด้านความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลจากผลคำตอบที่ได้ และจากการนำสมการที่พัฒนาขึ้นไปใช้กับการออกแบบจากตัวอย่างโครงข่ายจริง พบว่าสามารถนำสมการดังกล่าวไปประกอบการออกแบบในการสร้างรูปร่างของโครงข่ายได้เป็นอย่างดี และส่งผลให้รูปร่างโครงข่ายที่ออกแบบมีค่าความเชื่อถือได้มากขึ้น ดังนั้นโครงข่ายที่ได้รับการออกแบบด้วยวิธีการนี้ได้ส่งผลทำให้คุณภาพของการให้บริการของโครงข่ายดีขึ้น

EKKALUK EKSOOK : ACCESS NETWORK TOPOLOGY DESIGN FOR
CELLULAR TRANSMISSION SYSTEMS. THESIS ADVISOR :

ASST. PROF. CHUTIMA PROMMAK, Ph.D., 72 PP.

ACCESS NETWORK DESIGN/ TRANSMISSION SYSTEMS

Voice and data traffic communication in cellular systems have inevitably affected everyone's life. The business competition to support customer's demands is intense. Hence, convincing customers to rely on the quality of cellular service providers is necessary. Creating a quality system commences with network topology design. The factors which network designers need to consider are: 1) the ability of the network to accommodate current traffic demand and support traffic growth in the future, 2) the reliability of the network, and 3) the effective topology design considering the network budget limitation.

This thesis proposes the access network topology design for cellular transmission systems. We aim at designing reliable network topology and adequately supporting traffic requirements both in the present and in the future. Moreover, the network can be practically designed and subjected to network design constraints. This thesis considers the reliability of the networks by the principle of Graph Theory together with Operational Probability, and the ability of the network to support traffic growth by Lifetime Index. We also formulate the objective functions and network design constraints that maximize network reliability and Lifetime Index using an Integer Programming approach. As the result, the objective function can be well applicable to the practical network topology design. The reliability of the network is

optimized. Therefore, the network topology from the formulation gives the optimum quality for the design.

School of Telecommunication Engineering

Academic Year 2008

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีเนื่องจากได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย จากบุคคลและกลุ่มบุคคลต่าง ๆ ได้แก่

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชุตินา พรหมมาก อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้โอกาสทางการศึกษา ให้คำแนะนำคำปรึกษา ช่วยแก้ปัญหา และให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด รวมทั้งช่วยตรวจทาน และแก้ไขวิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ วงศ์สรรค์ ผู้ช่วยอธิการบดี และผู้อำนวยการศูนย์นวัตกรรม และผลิตสื่อการศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้โอกาสในการศึกษา แนะนำในด้าน วิชาการแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รังสรรค์ ทองทา หัวหน้าสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้คำแนะนำอันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยมาโดยตลอด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิระพงษ์ อุฑารสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มณฑิพย์พา อุฑารสกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี หัตถกรรม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย ทองโสภณ และอาจารย์ ดร. ปิยาภรณ์ กระจงนอก อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี สุรนารีที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ และให้กำลังใจมาโดยตลอด

สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้กับคุณตาและทุกคน ในครอบครัวอันเป็นที่รัก โรงเรียนมารีย์วิทยา จังหวัดนครราชสีมา ที่ซึ่งทำให้ผู้วิจัยสามารถอ่านและ เขียนหนังสือได้ และที่จะขาดเสียมิได้ บริษัท แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด (มหาชน) ที่ได้ อนุญาตให้ใช้เวลาปฏิบัติงานบางส่วนในการศึกษาและดำเนินการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้เสร็จ สมบูรณ์

เอกลักษณ์ เอกสุข

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ค
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฅ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย	
ย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	
ย.....	2
1.3 สมมติของการวิจัย	
ย.....	3
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น	
น.....	3
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	
ย.....	3

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

ย.....	4
1.6.1 ระเบียบวิธีวิจัย.....	4
1.6.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	4
1.6.3 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	5

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ป.....	5
--------	---

1.8 ส่วนประกอบของ

วิทยานิพนธ์.....	5
------------------	---

2 ปรัชญ่วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าว

นำ.....	7
---------	---

2.2 ปรัชญาและงานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ง.....	7
--------	---

2.3 นวัตกรรมของงานวิจัย

ย.....	10
--------	----

2.4 สรุปงานวิจัย

ย.....	10
--------	----

3 การวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ (Reliability) ของโครงข่าย

3.1	กล่าวนำ.....	12
3.2	นิยามค่าความเชื่อถือได้.....	13
3.3	หลักการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่าย.....	14

ย.....

. 14

3.3.1	ทฤษฎีกราฟ.....	14
3.3.1.1	โครงสร้างของกราฟ.....	15
3.3.1.2	กราฟเชื่อมโยง.....	16
3.3.2	ทฤษฎีความน่าจะเป็นที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้.....	16
3.3.2.1	ความหมายของคำศัพท์.....	16
3.3.2.2	นิยามความน่าจะเป็น.....	17
3.3.2.3	ทฤษฎีเบื้องต้นในการหาค่าความน่าจะเป็น.....	17
3.3.2.4	คอมพลิเมนต์ของเหตุการณ์.....	19
3.3.2.5	ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข.....	19
3.3.2.6	เหตุการณ์ที่เป็นอิสระต่อกัน.....	20

3.4 การวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างต่าง

ๆ.....

21

3.4.1	การพิจารณาค่าความเชื่อถือได้ของรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม.....	22
3.4.2	การพิจารณาค่าความเชื่อถือได้ของรูปร่างวงแหวน.....	23
3.4.3	การพิจารณาค่าความเชื่อถือได้ของรูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบรวม.....	23
3.4.4	การพิจารณาค่าความเชื่อถือได้ของรูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วม.....	26
3.4.5	การพิจารณาค่าความเชื่อถือได้ของรูปร่างแบบผสมระหว่าง.....	

รูปร่างวงแหวนและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม.....	27
--	----

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4.6 การพิจารณาค่าความเชื่อได้ของรูปร่างแบบผสมระหว่าง รูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วมและรูปร่างต้นไม้ แบบทอดข้าม.....	28
3.4.7 การพิจารณาค่าความเชื่อได้ของรูปร่างแบบผสมระหว่าง รูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วมและรูปร่างต้นไม้ แบบทอดข้าม.....	29
3.5 การเปรียบเทียบค่าความเชื่อได้ของรูปร่างต่าง ๆ.....	31
3.6 สรุป	
ป.....	32
4 การวิเคราะห์ค่าความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลของโครงข่าย	
4.1 กล่าว	
นำ.....	34
4.2 นิยามค่าความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูล	
ด.....	35
4.3 หลักการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการรองรับปริมาณ	
ข้อมูล.....	36
4.4 ผลการคำนวณค่าความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูล	

ของโครงข่ายรูปร่างต่าง

๑.....	37
4.4.1 การพิจารณารูปร่างโครงข่ายแบบต้นไม้แบบทอดข้าม.....	38
4.4.2 การพิจารณารูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวน.....	40
4.4.3 การพิจารณารูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวนสามชั้น แบบเส้นขอบรวม.....	40
4.4.4 การพิจารณารูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวนหลายชั้น แบบโนคร่วม.....	41
4.4.5 การพิจารณารูปร่างโครงข่ายแบบผสม.....	42
4.4.5.1 การพิจารณารูปร่างแบบผสมระหว่าง รูปร่างวงแหวนและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม.....	42
4.4.5.2 การพิจารณารูปร่างแบบผสมระหว่างรูปร่าง วงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบรวมและรูปร่างต้นไม้ แบบทอดข้าม.....	43

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.5.3 การพิจารณารูปร่างแบบผสมระหว่างรูปร่าง วงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วมและรูปร่างต้นไม้ แบบทอดข้าม.....	44
4.5 การเปรียบเทียบค่าความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลของ รูปร่างต่าง	

๑.....	44
--------	----

4.6 สรุปการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลของ	
---	--

โครงข่ายรูปร่างต่าง

๑.....	45
5 เทคนิคการออกแบบรูปร่างโครงข่ายสำหรับระบบสื่อสารสัญญาณเซลลูลาร์	
5.1 กล่าว	
นำ.....	47
5.2 การนิยามปัญหา	
๑.....	48
5.2.1 หลักการของเทคนิคโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี.....	48
5.2.2 ปัจจัยและลักษณะของปัญหาในการออกแบบ.....	50
5.3 สมการคณิตศาสตร์เพื่อการออกแบบ	
๒.....	51
5.3.1 การสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไข แบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี.....	51
5.3.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบการโปรแกรมเชิงเส้น จำนวนเต็มไบนารี.....	52
5.3.3 เงื่อนไขในการออกแบบการโปรแกรมเชิงเส้น จำนวนเต็มไบนารี.....	52
5.4 การดำเนินการทดสอบหาคำตอบ	
๒.....	53
5.4.1 การหาคำตอบโดยการใช้เครื่องประมวลผล.....	58
5.4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของผลคำตอบ.....	59
5.5 สรุปการวิเคราะห์เทคนิคการออกแบบรูปร่างโครงข่าย	
๒.....	61
6 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ	

6.1 สรุปเนื้อหาของ

วิทยานิพนธ์.....	62
------------------	----

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ะ.....	63
--------	----

6.3 งานวิจัยในอนาคต

ต.....	64
--------	----

รายการอ้างอิง.....	65
--------------------	----

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก. รูปแบบคำสั่งโปรแกรม CPEX.....	66
--	----

ภาคผนวก ข. บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา.....	70
--	----

ประวัติผู้เขียน.....	72
----------------------	----

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	เปรียบเทียบค่าความเชื่อได้ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ	32
4.1	เปรียบเทียบค่า Lifetime Index ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ	45
5.1	ตารางแสดงปริมาณความจุของอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ	54
5.2	ตารางแสดงปริมาณความต้องการการรองรับข้อมูล ณ โหนดต่าง ๆ	55
5.3	ตารางแสดงโครงข่ายรูปร่างวงแหวนและต้นทุนในการสร้างวงแหวน.....	56
5.4	ตารางแสดงผลคำตอบจากตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไปนารี.....	58
5.5	ตารางแสดงผลคำตอบจากการเลือกชนิดของอุปกรณ์ของระบบสื่อสัญญาณ.....	59
5.6	ตารางแสดงค่าความเชื่อถือได้ของรูปร่างวงแหวนที่ได้จากผลคำตอบจาก ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไปนารี.....	60
5.7	แสดงค่าความเชื่อถือได้รวมของโครงข่ายที่เกิดจากต้นทุนต่าง ๆ	60

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1	ตัวอย่างกราฟ G	15
3.2	แสดงเหตุการณ์ A และเหตุการณ์ B ที่แยกจากกัน โดยเด็ดขาด.....	17
3.3	แสดงเหตุการณ์ A และเหตุการณ์ B ที่มีกรณีร่วมกัน.....	18
3.4	รูปร่างโครงข่ายแบบต้นไม้แบบทอดข้าม.....	22
3.5	รูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวน.....	23
3.6	รูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวนที่มีเส้นขอบร่วม.....	24
3.7	รูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวนวงแหวนสามชั้นแบบเส้นของร่วม.....	25
3.8	รูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวนหลายชั้นแบบ โนคร่วม.....	26
3.9	รูปร่างโครงข่ายแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม.....	27
3.10	รูปร่างโครงข่ายแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วม และรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม.....	28
3.11	รูปร่างโครงข่ายแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบ โนคร่วมและ รูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม.....	29
4.1	รูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม.....	38
4.2	แสดงปริมาณการสูญเสียความจุของช่องสัญญาณของโครงข่ายรูปร่างต้นไม้ แบบทอดข้าม.....	39
4.3	รูปร่างแบบวงแหวน.....	40
4.4	รูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วม.....	40
4.5	รูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบ โนคร่วม.....	41
4.6	รูปร่างแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม.....	42
4.7	รูปร่างแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วม และรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม.....	43
4.8	รูปร่างแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบ โนคร่วม และรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม.....	44
5.1	ตัวอย่างโครงข่ายเข้าถึงในระบบเซลลูลาร์และกราฟของโครงข่าย.....	54

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$G = (V, E)$	กราฟ G
$V(G)$	เซตของจุดยอดของกราฟ G
$E(G)$	เส้นขอบของกราฟ G
$ V(G) $	อันดับของ G
$ E(G) $	ขนาดของ G
$u - v$	แนวเดิน $u - v$
A	เหตุการณ์ใด ๆ
$P(A)$	ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ A
$n(A)$	จำนวนสมาชิกของ A
S	sample space
$n(S)$	จำนวนสมาชิกของ S
p	ค่าความน่าจะเป็นของเส้นขอบที่ทำงานได้ (operational probability)
$q = (1 - p)$	ค่าความน่าจะเป็นของเส้นขอบที่ไม่สามารถทำงานได้ (failure probability)
$R(G)$	ค่าความเชื่อถือได้ของกราฟ G
n	จำนวนโหนดของโครงข่าย
$L(G)$	Lifetime Index ของกราฟ G
c_{ij}	ความจุของชนิดอุปกรณ์ระหว่างโหนด $i - j$ (63 E1's)
tr_{ij}	ปริมาณความต้องการข้อมูล $i - j$ (E1)
E	จำนวนเส้นขอบทั้งหมดของกราฟ G
x_j	ตัวแปรตัดสินใจ (decision variable)
c_j	ผลตอบแทน (profit หรือ return) ที่ได้จากการตัดสินใจเลือกตัวแปรตัดสินใจ x_j
a_{ij}	จำนวนทรัพยากรชนิดที่ i ที่จะใช้ ที่เกิดจากการเลือกตัวแปรตัดสินใจ x_j
b_i	จำนวนทรัพยากรที่มีอยู่ (resource) ชนิดที่ i เพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจ
N	จำนวนโหนดของอุปกรณ์ STM-1 ที่ติดตั้งที่สถานีฐาน
R	จำนวนวงแหวนตัวเลือกที่เป็นไปได้ไปทั้งหมด
E	จำนวนชนิดของอุปกรณ์ STM-1
i	เซตของดัชนีแสดงหมายเลขโหนด, $i \in I = \{1, 2, \dots, N\}$

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

j	เซตของดัชนีแสดงหมายเลขรูปร่างวงแหวนตัวเลือก, $j \in J = \{1, 2, \dots, R\}$
k	เซตของดัชนีแสดงชนิดของอุปกรณ์ STM-1, $k \in K = \{1, 2, \dots, E\}$
T_i	ปริมาณการใช้ข้อมูล ณ โหนด i (หน่วย E1)
rc_j	ต้นทุนในการสร้างวงแหวนตัวเลือกที่ j
ec_k	ต้นทุนชนิดของอุปกรณ์ STM-1 ชนิด k
cap_k	ปริมาณความจุสูงสุดของอุปกรณ์ STM-1 ชนิด k
NC	งบประมาณในการสร้างโครงข่ายรวม
n_{ij}	ตัวแปรตัดสินใจ ในกรณีที่ $n_{ij} = 1$ หมายถึง โหนดที่ i ได้รับการบรรจุใน วงแหวนตัวเลือกที่ j และ $n_{ij} = 0$ หมายถึงไม่ได้รับการเลือก
r_j	ตัวแปรตัดสินใจ ในกรณีที่ $r_j = 1$ หมายถึงวงแหวนตัวเลือกที่ j ได้รับการเลือกในการสร้างในโครงข่ายที่ออกแบบ และ $r_j = 0$ หมายถึงไม่ได้รับการเลือก
t_{ik}	ตัวแปรตัดสินใจ ในกรณีที่ $t_{ik} = 1$ หมายถึงอุปกรณ์ STM-1 ชนิด k ได้รับการเลือกที่จะใช้รองรับปริมาณข้อมูลที่โหนด i และ $t_{ik} = 0$ หมายถึงไม่ได้รับการเลือก

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาการวิจัย

การเติบโตทางธุรกิจการให้บริการสื่อสารข้อมูลระบบการสื่อสารของโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูลาร์ ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตของเราทุกคนอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ และการเติบโตดังกล่าวยังมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งการให้บริการในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์มีทั้งที่อยู่ในรูปของสัญญาณเสียงหรือสัญญาณข้อมูล นอกจากนี้การแข่งขันในเชิงธุรกิจของผู้ให้บริการการสื่อสารในระบบเซลลูลาร์ยังได้มีการพัฒนาปรับปรุงอย่างไม่หยุดยั้ง ไม่ว่าจะเป็นนโยบายในการดำเนินธุรกิจเพื่อรองรับความต้องการของลูกค้าในหลายรูปแบบ และนโยบายในการพัฒนาเครือข่ายของผู้ให้บริการเพื่อสร้างความมั่นใจในด้านคุณภาพของเครือข่ายให้กับผู้ใช้บริการในเครือข่ายของตน ผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์จึงมีความจำเป็นที่จะต้องให้ความสำคัญในทุก ๆ ส่วนของระบบการสื่อสาร รวมถึงการตรวจสอบคุณภาพระบบอย่างต่อเนื่อง เพื่อผลักดันให้ระดับคุณภาพของการให้บริการในองค์รวมของระบบอยู่ในระดับที่สามารถสร้างความน่าเชื่อถือให้กับผู้ใช้บริการได้

ผู้ให้บริการทางด้านโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์จึงให้ความสำคัญในทุกภาคส่วน โดยเริ่มตั้งแต่การออกแบบสร้างโครงข่ายระบบโทรศัพท์ เนื่องจากการออกแบบและวางแผนที่ดีจะส่งผลให้การปฏิบัติการ และการจัดการระบบดำเนินไปอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการสร้างและการพัฒนาเครือข่ายที่ดีมีคุณภาพ จึงจำเป็นต้องพิจารณาตั้งแต่การวางแผนออกแบบรูปร่างของโครงข่าย (network topologies) ที่สร้างขึ้นเพื่อรองรับปริมาณข้อมูลทั้งสัญญาณเสียงและสัญญาณข้อมูลที่อยู่ในระบบเซลลูลาร์ทั้งหมด

ในการออกแบบโครงข่ายใด ๆ ปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของเครือข่ายซึ่งนักออกแบบโครงข่ายควรคำนึงถึงคือ

- 1) ความสามารถของโครงข่ายในการรองรับปริมาณข้อมูลที่เกิดขึ้น ทั้งที่เกิดขึ้นในปัจจุบันและในอนาคต (I.Godor, J. Harmatos and T. Cinkler, 2002)
 - 2) โครงข่ายที่ออกแบบนั้นควรมีค่าความเชื่อถือได้ (reliability) ในการให้บริการ และ
 - 3) การจัดสรรงบประมาณในการสร้างโครงข่ายที่มีจำกัด ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด
- งานวิจัยที่นำเสนอนี้มุ่งพิจารณาในส่วนของ การออกแบบรูปร่างโครงข่ายของระบบสื่อสารสัญญาณ (transmission system) ที่ทำการเชื่อมต่อโครงข่ายเข้าถึงในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์

โดยมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบโครงข่ายที่มีค่าความเชื่อถือได้ในการให้บริการ สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของข้อมูล และสามารถสร้างขึ้นได้โดยอยู่ภายใต้ข้อจำกัดหรือเงื่อนไขด้านต่าง ๆ ของการสร้างโครงข่าย

งานวิจัยนี้ได้เริ่มการพิจารณาจากค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ เนื่องจากว่ารูปร่างของโครงข่ายที่แตกต่างกันจะมีค่าความเชื่อถือได้ในการให้บริการที่แตกต่างกัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่าย จากหลักการของทฤษฎีกราฟ (graph theory) และ Operational Probability ในการเปรียบเทียบค่าความเชื่อถือได้ จากโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ (R. Jan, 1992) และในส่วนของความสามารถในการรองรับปริมาณการเติบโตของข้อมูล (traffic growth) ในโครงข่ายลักษณะต่าง ๆ งานวิจัยนี้ได้ใช้ Lifetime Index เป็นตัวบ่งชี้และเปรียบเทียบความสามารถในการรองรับการเติบโตของข้อมูลในโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ เพราะความสามารถของโครงข่ายในการรองรับข้อมูลถือเป็นปัจจัยหนึ่ง que แสดงให้เห็นถึงคุณภาพของเครือข่ายได้ และส่วนท้ายของงานวิจัยได้พิจารณาการออกแบบโครงข่ายโดยยึดหลักการของการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (0-1 Integer Programming) โดยพิจารณาถึงข้อจำกัดต่าง ๆ (constraints) ในการสร้างโครงข่าย และทำการแปลงข้อจำกัดนั้นให้อยู่ในรูปของสมการเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์

งานวิจัยที่น่าเสนอนี้จึงมุ่งศึกษ่วิธีการออกแบบรูปร่างของโครงข่ายเข้าถึง เพื่อเชื่อมต่อบริการสื่อสารสำหรับเครือข่ายเซลลูลาร์ โดยโครงข่ายที่ออกแบบมีค่าความเชื่อถือได้ในการให้บริการและมีความสามารถในการรองรับการเติบโตของข้อมูล และการออกแบบได้คำนึงถึงข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น งบประมาณในการลงทุน (budget) และ ปริมาณข้อมูลที่โครงข่ายรองรับ (traffic requirement) เป็นต้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาวิธีออกแบบรูปร่างโครงข่ายเข้าถึงในระบบเซลลูลาร์

1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่าย และค่า Lifetime Index ที่ใช้ในการเปรียบเทียบความสามารถของโครงข่ายในการให้บริการและการรองรับปริมาณข้อมูลในโครงข่าย

1.2.3 เพื่อศึกษาและทำการพัฒนาสมการทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (0-1 Integer Programming) ในการออกแบบโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ เพื่อให้สอดคล้องกับข้อจำกัดหรือเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น งบประมาณในการลงทุน (budget) และ ปริมาณข้อมูลที่โครงข่ายรองรับ (traffic requirement) เป็นต้น

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายแตกต่างกันตามลักษณะรูปร่างของโครงข่ายจำนวน โหนด และค่า Operational Probability ที่เกิดขึ้นในโครงข่ายนั้น ๆ

1.3.2 ความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลที่ส่งผ่านในระบบแตกต่างกันตามลักษณะ รูปร่างของโครงข่าย

1.3.3 โครงข่ายที่ดี ควรมีค่าความเชื่อถือได้สูงและสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลที่ เกิดขึ้นในโครงข่ายได้ดี

1.3.4 ปัจจัยที่ส่งผลต่อต้นทุนในการสร้างโครงข่าย คือระยะทางรวมที่ก่อให้เกิดรูปร่างของ โครงข่าย และปริมาณข้อมูลที่โหนดหนึ่ง ๆ ต้องรองรับ

1.3.5 หลักการ Integer Programming สามารถที่จะนำมาใช้ในการออกแบบโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ ที่ให้ต้นทุนแตกต่างกัน ตามลักษณะรูปร่างของโครงข่าย ซึ่งอยู่ภายใต้ข้อจำกัดเดียวกัน

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

1.4.1 ค่า Operational Probability แต่ละ edge มีค่าเท่ากันและ โหนดทุก โหนดมีค่า Operational Probability เท่ากับ 1

1.4.2 ทำการกำหนด งบประมาณในการลงทุน ปริมาณข้อมูลที่โครงข่ายรองรับ ตำแหน่ง ที่ตั้งของอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมสถานีฐาน (Base Station Controller หรือ BSC) และ สถานีฐาน (Base Transceiver Station หรือ BTS) มีค่าคงที่

1.4.3 โหนดทุกโหนดใช้ต้นทุนแตกต่างกันตามปริมาณและความเร็วในการส่งข้อมูล ดังนั้นการ ตัดสินใจ ที่ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในการลงทุน จึงสอดคล้องกับปริมาณข้อมูลที่โหนดต้องรองรับ

1.4.4 ค่า Lifetime Index คือค่าที่ใช้ในการวัดความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลใน โครงข่าย โดยคำนวณจากค่าเฉลี่ยเลขคณิต (mean) ของความแตกต่างระหว่างความจุของ edge และ ปริมาณข้อมูลที่รองรับในโครงข่าย

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 โครงข่ายที่ทำการวิเคราะห์ในงานวิจัยนี้คือโครงข่ายเข้าถึงในระบบเซลลูลาร์ (cellular access networks)

1.5.2 ทำการเปรียบเทียบค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปแบบต่าง ๆ โดยใช้กระบวนการ ทางทฤษฎีกราฟ (graph theory) และค่า Operational Probability ของแต่ละ edge ของโครงข่าย

1.5.3 ทำการเปรียบเทียบความสามารถของโครงข่ายรูปแบบต่าง ๆ ในการรองรับปริมาณ ข้อมูลที่เกิดขึ้นในโครงข่ายโดยใช้สมการ Lifetime Index

1.5.4 กำหนดข้อจำกัดต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อการตัดสินใจในการสร้างโครงข่าย ให้อยู่ในรูปสมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อช่วยในการออกแบบโครงข่ายที่เหมาะสม

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 ระเบียบวิธีวิจัย

1.6.1.1 สำนวณปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

1.6.1.2 ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้จากเทคนิค Operational Probability

1.6.1.3 ศึกษาวิธีการวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลในโครงข่าย จากค่า Lifetime Index

1.6.1.4 ทำการทดสอบผลโดยการป้อนค่าตัวเลขเพื่อเปรียบเทียบค่าความน่าเชื่อถือ และค่าความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูล

1.6.1.5 วิเคราะห์และสรุปผลถึงจุดเด่นและจุดด้อยของโครงข่ายรูปแบบต่าง ๆ

1.6.1.6 พัฒนาฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบ Integer Programming เพื่อใช้ในการออกแบบโครงข่ายเข้าถึงโดยพิจารณาค่า Reliability และค่า Lifetime Index

1.6.1.7 ศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการตัดสินใจในการสร้างรูปร่างโครงข่ายโดยทำการแปลงปัจจัยเหล่านั้นให้เป็นสมการเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์แบบ Integer Programming

1.6.1.8 ทดลองออกแบบโครงข่ายเข้าถึงและวิเคราะห์ผล

1.6.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1.6.2.1 การศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำนวนปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

1.6.2.2 ทำการพิสูจน์ สมการค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปแบบต่าง ๆ จากหลักการของ Operational Probability และเปรียบเทียบผลที่ได้

1.6.2.3 ทำการทดสอบค่า Lifetime Index ของโครงข่ายรูปแบบต่าง ๆ และเปรียบเทียบผล

1.6.2.4 รวบรวมข้อมูลเพื่อศึกษาการพัฒนาฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (0-1 Integer Programming) เพื่อใช้ออกแบบโครงข่ายเข้าถึง โดยพิจารณาค่าความเชื่อถือได้ (Reliability) และค่า Lifetime Index และทำการศึกษาปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการตัดสินใจ และทำการแปลงให้เป็นสมการเงื่อนไขทางคณิตศาสตร์แบบ 0-1 Integer Programming

1.6.2.5 ทำการทดลองและวิเคราะห์ผลที่ได้ จากการวิเคราะห์งานด้านการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (0-1 Integer Programming)

1.6.2.6 สรุปผลการทดลอง และรวบรวมข้อมูลเพื่อเขียนเป็นรายงาน

1.6.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลเกี่ยวกับการเปรียบเทียบค่า ระหว่างโครงข่ายรูปแบบต่าง ๆ ได้รับการวิเคราะห์ และสรุปผลในรูปของรูปภาพและข้อมูลตารางเปรียบเทียบตัวเลข และตรวจสอบผลคำตอบด้วยการ เปรียบเทียบข้อมูลเชิงตัวเลขจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์และการเขียนโปรแกรมตรวจทานคำตอบ ซึ่ง จำลองการการออกแบบตามแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้น

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.7.1 สามารถใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาการออกแบบรูปร่างโครงข่ายเข้าถึงในระบบเซลลูลาร์

1.7.2 สามารถนำหลักการ การวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ (Reliability) ของโครงข่ายเข้าถึง ไปประยุกต์ใช้ในการปรับปรุง และพัฒนาค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายเข้าถึงในระบบเซลลูลาร์ รวมถึง สามารถนำหลักการการวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูล (Lifetime Index) ไปใช้ในการออกแบบโครงข่ายเข้าถึงให้เหมาะสมกับปริมาณข้อมูลที่โครงข่ายรองรับทั้งในปัจจุบัน และอนาคต

1.7.3 จะได้สมการทางคณิตศาสตร์แบบ Integer Programming ที่ใช้ในการออกแบบรูปร่าง โครงข่ายเข้าถึงระบบเซลลูลาร์ ให้สอดคล้องกับข้อจำกัดและเงื่อนไขต่าง ๆ เช่น งบประมาณการลงทุน และ ปริมาณข้อมูลที่โครงข่ายรองรับ

1.8 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้แบ่งออกเป็น 6 บท ดังนี้คือ

บทที่ 1 กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัยและบอกถึง ข้อตกลงเบื้องต้นสำหรับการวิจัย

บทที่ 2 กล่าวถึงปริทัศน์วรรณกรรมที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

บทที่ 3 กล่าวถึงเทคนิคการวิเคราะห์การหาค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ

บทที่ 4 กล่าวถึงเทคนิคการวิเคราะห์การหาค่าความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลของ โครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ

บทที่ 5 เทคนิคการออกแบบรูปร่างโครงข่ายเพื่อเชื่อมต่อระบบสื่อสารของเครือข่าย เซลลูลาร์โดยใช้หลักการ Integer Programming

บทที่ 6 สรุปการวิจัย ข้อเสนอแนะ และงานวิจัยในอนาคต

บทที่ 2

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

โครงข่ายของระบบสื่อสารก่อนกำเนิดได้ต้องอาศัยองค์ประกอบหลายส่วน อันประกอบด้วยโหนดหรือจุดเชื่อมต่อ และตัวกลางที่ใช้ในการเชื่อมต่อ โหนดทุกโหนดให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ตลอดเวลา อันจะส่งผลให้การติดต่อสื่อสารที่เกิดขึ้นในระบบมีเสถียรภาพและความน่าเชื่อถือแก่ผู้รับบริการ แต่เนื่องจากระหว่างการให้บริการอาจมีเหตุการณ์หลายเหตุการณ์ที่ส่งผลให้ส่วนหนึ่งส่วนใดของโครงข่ายที่ให้บริการนั้นยุติการให้บริการ ไม่สามารถส่งข้อมูลข่าวสารถึงกันได้ ซึ่งเหตุการณ์ดังกล่าวอาจเกิดได้เพียงไม่กี่วินาทีหรืออาจเป็นเวลาหลายวัน ดังนั้นการออกแบบรูปร่างโครงข่ายจึงมีความจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อโครงข่าย ในกรณีที่ส่วนหนึ่งส่วนใดไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ ค่าเชิงตัวเลขที่ผู้ออกแบบรูปร่างโครงข่ายนำมาวิเคราะห์ถึงเสถียรภาพและคุณภาพของโครงข่ายนั้น เรียกว่า ค่าความเชื่อถือได้ (reliability) ของโครงข่าย

เนื่องจากการศึกษาและวิจัยงานทางการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายมีส่วนสำคัญในการสร้าง และวิเคราะห์ด้านการปรับปรุงคุณภาพของโครงข่าย ดังนั้นจึงมีงานวิจัยหลายด้านที่ให้ความสำคัญ และทำการศึกษาด้านการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ ในรูปแบบและเทคนิคที่แตกต่างกัน โดยมีจุดประสงค์เพื่อที่จะสามารถออกแบบและพัฒนารูปร่างของโครงข่ายให้มีเสถียรภาพในการทำงานที่ดี และสามารถสร้างขึ้นได้จากปัจจัยที่จำกัดในด้านลงทุน ของการสร้างโครงข่ายเพื่อรองรับระบบการสื่อสารในอนาคต

2.2 ปริทัศน์และงานวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาและวิจัยงานทางการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่าย และกระบวนการเทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (0-1 Integer Programming) เพื่อหาผลเฉลยของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ที่สอดคล้องกับข้อจำกัดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในการออกแบบโครงข่าย ได้มีการศึกษาและวิจัย

กันอย่างแพร่หลาย ทว่างานวิจัยต่าง ๆ ยังคงมีส่วนที่ส่งผลให้เกิดการพัฒนาเทคนิคและการวิเคราะห์ปัญหาการออกแบบโครงข่าย เพื่อให้ครอบคลุมปัญหามากยิ่งขึ้น ดังนี้

2.2.1 จากงานวิจัยของ Chamsripinyo C. and Wattanapongsakorn N. (2004) พบว่า

ปัญหาที่ได้ทำการพิจารณา : เครือข่ายเข้าถึงของการสื่อสารไร้สายสร้างได้อยู่ในหลายรูปแบบ รูปแบบใดที่ให้ค่าความน่าเชื่อถือสูงสุด และหากต้องการออกแบบเครือข่ายดังกล่าว จะต้องออกแบบอย่างไรเพื่อทำให้ต้นทุนต่ำที่สุด

ลักษณะงานวิจัย : ทำการศึกษาและวิจัยโครงสร้างโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ อันได้แก่ รูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม (spanning tree topology) รูปร่างวงแหวน (ring topology) และรูปร่างวงแหวนหลายชั้น (multiring topology) ที่ใช้ในเครือข่ายไร้สาย ซึ่งได้ทำการเปรียบเทียบค่าความน่าเชื่อถือของเครือข่ายรูปร่างดังกล่าว และเลือกใช้เครือข่ายที่มีค่าความน่าเชื่อถือสูงสุด หลังจากนั้น จึงทำการออกแบบเครือข่ายดังกล่าวโดยใช้งบประมาณในการลงทุนที่น้อยที่สุด

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ : ถึงแม้โครงข่ายที่ได้จากการวิเคราะห์จะมีค่าความเชื่อถือได้สูงที่สุดภายใต้งบประมาณน้อยที่สุดที่ทำได้ แต่ถ้าหากงบประมาณที่น้อยที่สุดยังสูงกว่างบประมาณที่กำหนดให้ โครงข่ายนี้ก็ไม่สามารถสร้างขึ้นจริงได้ และในการออกแบบดังกล่าวก็ไม่ได้พิจารณาเงื่อนไขทางภูมิประเทศในการเชื่อมโยงโครงข่ายด้วย

2.2.2 จากงานวิจัยของ Alain B., Sourour E. และ Leila G. D. (2002) พบว่า

ปัญหาที่ได้ทำการพิจารณา : การออกแบบโครงข่ายเข้าถึงของระบบสื่อสารไร้สายในระบบสื่อสารสัญญาณ SDH (Synchronous Digital Hierarchy) รูปแบบวงแหวน (ring topology)

ลักษณะงานวิจัย : งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและวิจัยโครงสร้างการออกแบบโครงข่ายเฉพาะรูปแบบวงแหวน ที่ใช้ในเครือข่ายไร้สายโดยใช้งบประมาณในการลงทุนที่น้อยที่สุด

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ : งานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการพิจารณาวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่าย แต่พิจารณาเฉพาะกระบวนการในการหางบประมาณที่น้อยที่สุดที่ใช้สร้างโครงข่ายและพิจารณาเฉพาะโครงข่ายรูปแบบวงแหวน

2.2.3 จากงานวิจัยของ Steven C. และ Samuel P. (2005) พบว่า

ปัญหาที่ได้ทำการพิจารณา : การออกแบบโครงข่ายของระบบสื่อสารไร้สายระบบเซลลูลาร์

ลักษณะงานวิจัย : ทำการศึกษาและวิจัยโครงสร้างของการออกแบบโครงข่ายในระบบเซลลูลาร์ โดยพิจารณาการสร้างที่ใช้โดยใช้งบประมาณในการลงทุนที่น้อยที่สุด

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ : งานวิจัยนี้ไม่ได้มีการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายที่ได้จากการวิเคราะห์ และพิจารณาเฉพาะการหางบประมาณที่น้อยที่สุดที่ใช้สร้างโครงข่าย

2.2.4 จากงานวิจัยของ Shin-yi Wu (2007) พบว่า

ปัญหาที่ได้ทำการพิจารณา : การออกแบบโครงข่ายเข้าถึงในระบบบรอดแบนด์ไร้สาย

ลักษณะงานวิจัย : ทำการศึกษาและวิจัยโครงสร้างการออกแบบโครงข่ายระบบบรอดแบนด์ไร้สาย โดยกำหนดข้อจำกัดต่าง ๆ ได้แก่ ข้อจำกัดด้านความต้องการใช้งานของผู้ใช้

(user demand) และ ความจุของระบบในด้านการสร้างเครือข่ายและหาผลเฉลยจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งจะให้ค่างบประมาณในการลงทุนที่น้อยที่สุด

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ : งานวิจัยนี้ไม่ได้มีการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายที่ได้จากการวิเคราะห์ แต่พิจารณาเฉพาะหางบประมาณที่น้อยที่สุดที่ใช้สร้างโครงข่าย และยังขาดการพิจารณาความสามารถในการรองรับข้อมูลที่จะเกิดขึ้นในโครงข่ายที่สร้างขึ้น

2.2.5 จากงานวิจัยของ Devaraj D. และ Veerakumar S. (2004) พบว่า

ปัญหาที่ได้ทำการพิจารณา : การออกแบบโครงข่ายของระบบสื่อสารข้อมูล (data communication network)

ลักษณะงานวิจัย : ทำการศึกษาและวิจัยโครงสร้างการออกแบบโครงข่ายรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม (spanning tree topology) โดยผลเฉลยจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากกระบวนการ Genetic Algorithm ซึ่งจะให้ค่างบประมาณในการลงทุนที่น้อยที่สุด

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ : งานวิจัยนี้ทำการวิเคราะห์เฉพาะโครงข่ายรูปร่างแบบต้นไม้และไม่ได้วิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปแบบอื่นเพื่อเปรียบเทียบ และพิจารณาหาเฉพาะงบประมาณที่น้อยที่สุดที่ใช้สร้างโครงข่ายรูปร่างแบบต้นไม้เท่านั้น

2.2.6 จากงานวิจัยของ Tian B., Mun C. C. และ Ramachandran R. (2005) พบว่า

ปัญหาที่ได้ทำการพิจารณา : การออกแบบโครงข่ายเข้าถึงของระบบสื่อสารไร้สาย (access network) โดยใช้เทคโนโลยี Wimax ในการเชื่อมโยงโครงข่าย

ลักษณะงานวิจัย : ทำการศึกษาและวิจัยโครงสร้างการออกแบบโครงข่ายเพื่อรองรับข้อมูลที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสารตอนปลายที่ยุคโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่สาม โดยใช้เทคโนโลยี Wimax เพื่อให้สอดคล้องกับลักษณะการใช้งานและปริมาณข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไปในระบบ และพิจารณาการลดงบประมาณการลงทุนด้วยการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เพื่อหาจำนวนเส้นทางที่น้อยที่สุดในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบเข้าด้วยกัน อีกทั้งพิจารณาการเพิ่มค่าความเชื่อถือได้ในระบบ โดยได้ทำการวิเคราะห์โครงสร้างของเครือข่ายในรูปแบบวงแหวนแทนโครงสร้างแบบต้นไม้

จุดที่สามารถพัฒนาต่อ : งานวิจัยนี้ไม่ได้วิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างอื่นเพื่อทำการเปรียบเทียบ และพิจารณาหาเฉพาะงบประมาณที่น้อยที่สุดที่ใช้สร้างโครงข่าย

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมข้างต้น พบว่า กลุ่มงานวิจัยทั้งหมดได้มุ่งเน้นการออกแบบรูปร่างโครงข่ายเพื่อให้งบประมาณการสร้างโครงข่ายน้อยที่สุดเป็นหลัก และถ้าพิจารณา

ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายร่วมด้วยแล้ว สามารถแบ่งประเภทการออกแบบรูปร่างโครงข่ายได้ 3 กลุ่มได้แก่ กลุ่มแรก (Charnsripinyo C. and Wattanapongsakorn N.,2004) ได้ทำการพิจารณาร่วมกับการออกแบบโครงข่าย โดยทำการเลือกใช้รูปร่างโครงข่ายที่มีค่าความเชื่อถือได้สูงสุด กลุ่มที่สอง ได้ศึกษาทำการพิจารณาออกแบบเฉพาะรูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวน (Alain B., Sourour E. และ Leila G. D.,2002) และกลุ่มที่สาม ไม่ได้ทำการพิจารณาถึงค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่าย กลุ่มที่สอง ได้ศึกษาทำการพิจารณาออกแบบเฉพาะรูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวน (Alain B., Sourour E. และ Leila G. D.,2002) และกลุ่มที่สาม ไม่ได้ทำการพิจารณาถึงค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่าย ที่ออกแบบ (Steven C. และ Samuel P., 2005), (Shin-yi Wu, 2007) และ (Devaraj D. และ Veerakumar S., 2004)

2.3 นวัตกรรมของงานวิจัย

งานวิจัยที่น่าเสนอนี้จึงมุ่งคิดค้นวิธีการออกแบบรูปร่างของโครงข่าย เพื่อเชื่อมต่อระบบสื่อสารสัญญาณสำหรับเครือข่ายเซลลูลาร์ โดยให้มีค่าความเชื่อถือได้ในกาให้บริการและมีความสามารถในการรองรับการเพิ่มขึ้นของข้อมูลในอนาคต และการออกแบบจะคำนึงถึงข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น งบประมาณในการลงทุน (budget) และ ปริมาณข้อมูลที่โครงข่ายรองรับ (traffic requirement) โดยงานวิจัยนี้ได้เริ่มต้นศึกษาถึงรูปแบบการวิเคราะห์ค่าความเชื่อได้ โดยอาศัยหลักการของทฤษฎีกราฟ และ ความน่าจะเป็นในการสร้างตัวแบบ (model) ทางคณิตศาสตร์ ในการวิเคราะห์หาค่าความเชื่อได้ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ นอกจากนี้ยังได้นำเสนอ ตัวแบบของการหาค่าความเชื่อได้โครงข่ายรูปร่างใหม่ ที่เรียกว่า โครงข่ายแบบผสม (hybrid) ซึ่งเป็นโครงข่ายที่มีใช้จริงในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูล โดยอาศัยการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยทางสถิติในการเปรียบเทียบความสามารถในการรองรับปริมาณของข้อมูลของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ โดยเรียกค่าดังกล่าว ว่า Lifetime Index ของโครงข่าย ส่วนท้ายของงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและทำการพัฒนาสมการแบบ Integer Programming เพื่อใช้ในการออกแบบสร้างโครงข่ายเข้าถึง ของระบบสื่อสารสัญญาณเซลลูลาร์ โดยมีวัตถุประสงค์ในการออกแบบ เพื่อต้องการออกแบบโครงข่ายเข้าถึง ที่มีค่าความเชื่อถือได้สูงสุด และโดยคำนึงถึงข้อจำกัดต่าง ๆ ในการออกแบบรูปร่างโครงข่าย และงานวิจัยนี้ได้ทำการเปลี่ยนแปลงการพิจารณางบประมาณในการลงทุน ซึ่งจากเดิมมักใช้เป็นเป็นวัตถุประสงค์หลักในการออกแบบเพื่อให้มีการใช้งบประมาณน้อยที่สุด แต่งานวิจัยนี้ได้ทำการเปลี่ยนแปลงวัตถุประสงค์เดิม โดยพิจารณางบประมาณในการลงทุนเป็นเพียงหนึ่งในข้อจำกัดของการออกแบบรูปร่างโครงข่าย

2.4 สรุปงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการออกแบบรูปร่างของโครงข่าย เพื่อเชื่อมต่อระบบสื่อสัญญาณ สำหรับเครือข่ายเซลลูลาร์ โดยเริ่มด้วยการวิเคราะห์หาค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ และทำการเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวิเคราะห์เชิงตัวเลขเพื่อหารูปร่างโครงข่ายที่ให้ค่าความเชื่อถือได้สูงสุด นอกจากนี้ ยังได้ทำการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลในโครงข่ายเพื่อเปรียบเทียบความสามารถของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ ที่มีต่อปริมาณการเปลี่ยนแปลงข้อมูลทั้งที่เกิดขึ้นในระบบทั้งในปัจจุบันและอนาคต ส่วนท้ายของงานวิจัย ได้นำเสนอวิธีการออกแบบรูปร่างโครงข่ายโดยการพัฒนาสมการแบบ Integer Programming เพื่อใช้ออกแบบรูปร่างโครงข่ายที่เหมาะสมที่สุด โดยยึดหลักในการออกแบบเพื่อส่งผลให้เกิดค่าความเชื่อถือได้สูงสุด ให้กับโครงข่ายเข้าถึงสำหรับระบบสื่อสัญญาณเซลลูลาร์

จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของการวิเคราะห์หาค่าความเชื่อถือได้ยังไม่ครอบคลุมรูปร่างโครงข่ายพื้นฐานที่มีอยู่หลายรูปแบบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของรูปร่างโครงข่ายแบบผสม ซึ่งยังไม่มียานวิจัยใดที่ทำการศึกษานอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังได้นำเสนอหลักการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการรองรับปริมาณการเปลี่ยนแปลงข้อมูลในโครงข่ายโดยวิธีการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนที่เรียกว่า Lifetime Index และให้ผลการวิเคราะห์เทียบเท่ากับวิธีการอื่น ๆ และในส่วนท้าย งานวิจัยนี้ได้เสนอ การพัฒนาสมการแบบ Integer Programming ในการออกแบบโดยการเปลี่ยนแปลง ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการออกแบบ ให้แตกต่างจากงานวิจัยอื่น ซึ่งมุ่งเน้นในเรื่องการหางบประมาณในการลงทุนที่น้อยที่สุด โดยได้ปรับปรุงฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในออกแบบรูปร่างโครงข่าย ด้วยการมุ่งเน้นในการหารูปร่างโครงข่ายที่ก่อให้เกิดเสถียรภาพสูงสุด ด้วยการกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการมุ่งหาค่าความเชื่อถือได้ที่สูงที่สุด ภายใต้งบเงินในการออกแบบที่กำหนด

บทที่ 3

การวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่าย

3.1 กล่าวนำ

เมื่อมีผู้ใช้บริการระบบสื่อสารเซลลูลาร์ สัญญาณที่กำเนิดจากผู้ใช้บริการจะถูกส่งเข้าเครือข่าย ซึ่งเครือข่ายนั้น ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ต่าง ๆ เพื่อให้ข้อมูลข่าวสารจากผู้ส่งสัญญาณ สามารถเดินทางไปสู่ผู้รับสัญญาณได้ถูกต้องและชัดเจน โดยมีระบบสื่อสารทำหน้าที่ในการเชื่อมต่ออุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ต่าง ๆ ในระบบสื่อสารเซลลูลาร์ ให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ตลอดเวลา เพื่อให้ผู้ใช้บริการสามารถติดต่อสื่อสารได้ถูกต้องตลอดเวลา ระบบสื่อสารดังกล่าวประกอบด้วยโหนดของระบบสื่อสาร (transmission node) และตัวกลางหรือเส้นทาง (edge) ที่ทำการเชื่อมต่อโหนดเหล่านั้นเข้าด้วยกันเป็นโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ และเนื่องจากโครงข่ายระบบสื่อสารนี้ ได้ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบเซลลูลาร์ซึ่งอยู่ห่างไกลกัน ดังนั้นตัวกลางที่ใช้ในการส่งผ่านสัญญาณจากอุปกรณ์ตัวหนึ่งไปยังอุปกรณ์ตัวหนึ่ง มีโอกาสที่ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ โดยอาจเกิดจากภัยธรรมชาติ อุบัติเหตุ หรือความรู้เท่าไม่ถึงการณ์ของผู้ที่อยู่บริเวณโดยรอบที่มีเส้นทางของระบบสื่อสารผ่าน ที่ทำให้ส่วนหนึ่งส่วนใดของโครงข่ายนั้นเกิดความเสียหาย และถ้าเหตุการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้นกับโครงข่ายรุนแรง จนไม่สามารถให้บริการตามปกติได้จะส่งผลให้ความน่าเชื่อถือในการให้บริการนั้นลดลง

จากเหตุการณ์ดังกล่าว ผู้ออกแบบรูปร่างโครงข่ายจึงควรคำนึงถึงเหตุการณ์ ในกรณีที่ทำให้ส่วนหนึ่งส่วนใดของโครงข่ายไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ ดังนั้นการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของโครงข่ายในกรณีที่เหตุการณ์ดังกล่าวเกิดขึ้น ซึ่งอยู่ในรูปของค่าความเชื่อถือได้ (reliability) ของโครงข่าย ที่สามารถทนต่อเหตุการณ์ที่ทำให้ส่วนหนึ่งส่วนใดของโครงข่ายไม่สามารถทำงานได้ แต่เครือข่ายยังคงให้บริการในการส่งผ่านข้อมูลได้ตามปกติ

งานวิจัยนี้ได้เริ่มศึกษาการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปแบบต่าง ๆ เนื่องจากวัตถุประสงค์ของงานวิจัยคือ การออกแบบรูปร่างโครงข่ายเข้าถึงสำหรับระบบสื่อสารเซลลูลาร์ที่ให้ค่าความเชื่อถือได้สูงที่สุด และอยู่ภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ ของการออกแบบ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่าย โดยอาศัยทฤษฎีกราฟและทฤษฎีความน่าจะเป็นในการวิเคราะห์ และสร้างตัวแบบที่แสดงถึงค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวโดยละเอียดถึงเทคนิคการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่าย เข้าถึงรูปร่างต่าง ๆ โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยดังนี้ หัวข้อ 3.2 กล่าวถึงส่วนสำคัญส่วนแรกของ วิทยานิพนธ์ที่ได้ทำการพิจารณาคือ คำนิยามของค่าความเชื่อถือได้ หัวข้อ 3.3 กล่าวถึงหลักการ การวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ โดยอาศัยทฤษฎีกราฟและทฤษฎีความน่าจะเป็นเป็นหลักในการวิเคราะห์ หัวข้อ 3.4 เป็นการแสดงการวิเคราะห์หาค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ ดังนี้ รูปร่าง ต้นไม้แบบทอดข้าม รูปร่างวงแหวน รูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบรวม รูปร่างวงแหวนหลายชั้น แบบโนดรวม และรูปร่างแบบผสม หัวข้อ 3.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเชื่อถือได้ในเชิงตัวเลข ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ และในหัวข้อสุดท้าย หัวข้อ 3.6 เป็นหัวข้อสรุปเนื้อหาที่ได้กล่าวในบทนี้

3.2 นิยามค่าความเชื่อถือได้

ในการออกแบบรูปร่างโครงข่ายต่อนั้น ผู้ออกแบบควรพิจารณาถึงปัจจัยสำคัญคือ โครงข่าย ที่ออกแบบนั้นควรได้รับการออกแบบให้มีคุณภาพที่สามารถให้บริการแก่ผู้ใช้บริการตลอดเวลา แต่ เนื่องจากการใช้งานจริงนั้น มีปัจจัยหลาย ๆ ด้านที่จะทำให้โครงข่ายที่ให้บริการนั้นเกิดเหตุการณ์หรือ ได้รับผลกระทบที่ทำให้ส่วนหนึ่งส่วนใดของโครงข่ายไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ ดังนั้นการ ออกแบบรูปร่างโครงข่ายจึงควรมีเป้าหมายในการออกแบบเพื่อว่า ในการให้บริการแต่ละปีโครงข่าย รูปร่างหนึ่ง ๆ นั้น มีความสามารถในการให้บริการเป็นระยะเวลาานเท่าใด โดยทำการวัดออกมา อย่างชัดเจนในหน่วยของ ชั่วโมง นาทีและวินาที

ตัวอย่างเช่นเหตุการณ์อุบัติเหตุทางถนนและทำให้เสาไฟฟ้าโค่นล้ม และส่งผลให้ระบบสื่อสารสัญญาณ โครงข่ายเส้นใยแก้วนำแสงที่ลากผ่านเสาไฟฟ้างดงกล่าวเสียหาย ไม่สามารถส่งสัญญาณได้ตามปกติ หรืออาจจะเกิดจากการเสื่อมคุณภาพของเส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้งานมาเป็นเวลานาน จนไม่สามารถส่ง สัญญาณได้อย่างมีคุณภาพ จะเห็นว่ามียปัจจัยในหลาย ๆ ด้านที่ส่งผลกระทบต่อระบบสื่อสารสัญญาณที่ ทำ ให้คุณภาพของโครงข่ายลดลง และในแต่ละปีผู้ที่เกี่ยวข้องในวงการดูแลรักษาโครงข่ายได้ทำการ เก็บรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ รวมถึงระยะเวลาที่เกิดปัญหากับส่วนหนึ่งส่วนใดของโครงข่ายจนไม่ สามารถให้บริการได้ เพื่อการนำไปปรับปรุงและพัฒนาาระบบให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น ซึ่งระยะเวลา ดังกล่าวมีทั้งเหตุการณ์ที่เกิดในระยะเวลาอันสั้นและระยะเวลานาน เหตุการณ์ความเสียหายในระยะ สั้นส่งผลให้คุณภาพการส่งผ่านข้อมูลลดลงอย่างชัดเจน ส่วนเหตุการณ์ในระยะเวลานานนั้นส่งผล เสียหายโดยตรงกับคุณภาพของโครงข่าย โดยโนดต่าง ๆ ในโครงข่ายไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ และส่งผลกระทบต่อคุณภาพของการให้บริการรวมทั้งระบบลดลงอย่างมาก ดังนั้นปัญหาการออกแบบ รูปร่างโครงข่ายจึงมีความจำเป็น และผู้ออกแบบควรออกแบบรูปร่างโครงข่ายที่สามารถทำการสร้างขึ้นมาจาก ระบบสื่อสารสัญญาณให้มีความสามารถในการดำเนินการให้บริการได้ตามปกติในกรณีที่เหตุการณ์ที่ ทำ ให้ส่วนหนึ่งส่วนใดในโครงข่ายไม่สามารถทำงานได้

งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่าย (network reliability) เพื่อมาใช้ในการวัดคุณภาพของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ ซึ่งนิยามจากความสามารถของโครงข่ายรูปร่างหนึ่ง ๆ ที่เมื่อส่วนหนึ่งส่วนใดของโครงข่ายนั้นไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ แต่ส่วนอื่น ๆ ของโครงข่ายยังคงทำให้ความสามารถในการส่งผ่านข้อมูลทำงานได้อย่างต่อเนื่องตามปกติ เพื่อส่งผลให้การติดต่อสื่อสารของผู้ใช้บริการเครือข่ายสามารถทำได้ตลอดเวลา โดยค่าความเชื่อถือได้ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทคนิคการวิเคราะห์โดยอาศัยหลักการของทฤษฎีกราฟในการสร้างตัวแบบ (model) ที่แสดงถึงรูปร่างของโครงข่ายเข้าถึง ของระบบสื่อสารสัญญาณเซลลูลาร์ ประกอบกับทฤษฎีความน่าจะเป็นเพื่อการหาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายเพื่อสามารถคำนวณในเชิงตัวเลขได้ โดยวิธีการคำนวณรูปแบบค่าความเชื่อถือได้ มีรายละเอียดดังนี้

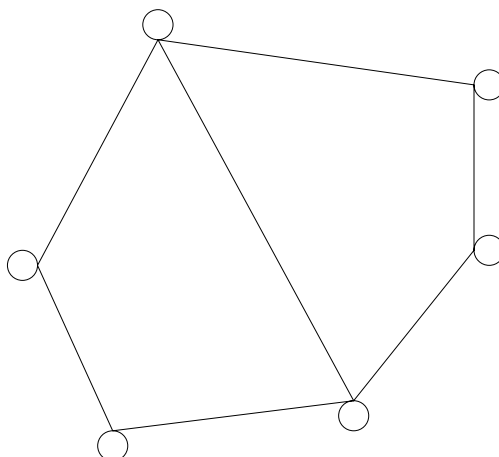
3.3 หลักการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่าย

3.3.1 ทฤษฎีกราฟ

แนวความคิดเรื่องกราฟเป็นเรื่องสำคัญเรื่องหนึ่งในสาขาวิชาคณิตศาสตร์ (discrete mathematics) และการประยุกต์ของกราฟได้นำไปใช้เป็นประโยชน์ในการแก้ปัญหาต่าง ๆ ที่สลับซับซ้อน เช่น การนับจำนวนวิธีจัดหมู่ การใช้ข่ายงานแก้ปัญหา รวมถึงการนำทฤษฎีกราฟที่นำมาใช้ในงานออกแบบรูปร่างโครงข่ายเข้าถึงในวิจัยนี้ ทฤษฎีกราฟที่กล่าวถึงในงานวิจัยนี้ไม่ใช่กราฟในระบบเรขาคณิตวิเคราะห์ แต่จะกล่าวถึงความสัมพันธ์ของจุดและเส้นที่เชื่อมโยงจุดต่าง ๆ

ในทฤษฎีกราฟได้นิยาม กราฟ (graph) G ประกอบด้วย เซต 2 เซต คือ เซตของจุดยอด (vertex set) ซึ่งเป็นเซตอันตะ (finite set) และไม่เป็นเซตว่าง และเซตของเส้นขอบ (edge set) คือ เซตที่ประกอบไปด้วยเซตย่อยที่มีสมาชิก 2 ตัว ของสมาชิกของเซตของจุดยอด นิยมใช้ V แทนเซตของจุดยอด และ E แทนเซตของเส้นขอบ $V(G)$ แทนเซตของจุดยอดของกราฟ G และ $E(G)$ แทนเส้นขอบของกราฟ G ใช้สัญลักษณ์ $G = (V, E)$ แทนกราฟ G ที่ประกอบด้วยจุดยอด V และเซตของเส้นของ E

ตัวอย่างของกราฟมีได้มากมาย เช่น กราฟแสดงแผนที่ของถนนของเมืองหนึ่งจะมีเซตของจุดยอดประกอบด้วยทางแยกต่าง ๆ และเซตของเส้นขอบได้แก่ ถนนที่เชื่อมทางแยกต่าง ๆ เหล่านั้น หรือแผนที่แสดงเส้นทางการบินของบริษัทการบินแห่งหนึ่ง โดยมีเซตของจุดยอดคือ สนามบินต่าง ๆ และเส้นขอบได้แก่ เส้นทางการบินที่ใช้เชื่อมระหว่างสนามบินเหล่านั้นเป็นต้น

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างกราฟ G

จากภาพที่ 3.1 ได้กำหนดให้ $G = (V, E)$ ซึ่งกำหนดโดย $V(G) = \{a, b, c, d, e, f\}$ และ $E(G) = \{\{a, b\}, \{b, c\}, \{c, d\}, \{d, e\}, \{e, f\}, \{f, a\}, \{a, d\}\}$ เนื่องจาก $\{a, b\}$ เป็นเส้นขอบของกราฟ G เพราะ $\{a, b\}$ เป็นเซตที่มีขนาด 2 และ a กับ b ต่างเป็นจุดยอดของกราฟ เพื่อความสะดวกบางครั้งเราอาจเขียนเส้นขอบดังกล่าวนี้ด้วย ab หรือ ba ก็ได้

จำนวนจุดยอดของกราฟ G เราเรียกว่า อันดับ (order) จำนวนเส้นขอบของกราฟ G เราเรียกว่าขนาด (size) อันดับของ G แทนด้วยสัญลักษณ์ $|V(G)|$ ขนาดของ G แทนด้วยสัญลักษณ์ $|E(G)|$ จากรูปที่ 3.1 จะได้ว่า $|V(G)| = 6$ และ $|E(G)| = 7$

3.3.1.1 โครงสร้างของกราฟ

มีปัญหาจำนวนมาก ที่มีรูปแบบเกี่ยวกับการเดินทางไปตามเส้นขอบของกราฟ เช่น ปัญหาเกี่ยวกับการส่งพัสดุไปรษณีย์ ปัญหาการขนส่งผู้โดยสารของสายการบิน และรวมถึงงานวิจัยนี้คือการหาค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายสำหรับระบบสื่อสารสัญญาณเซลลูลาร์ ปัญหาเหล่านี้สามารถใช้ตัวแบบกราฟเข้าแก้ปัญหาได้ ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงกล่าวถึงโครงสร้างของกราฟที่จะนำไปสู่การแก้ปัญหาดังกล่าว

แนวเดิน (walk) ในกราฟ G คือลำดับที่สลับกันของจุดยอดและเส้นขอบ โดยเริ่มต้นและสิ้นสุดที่จุดยอด นี่คือ ถ้า w คือแนวเดินจาก V_0 ถึง V_n เมื่อ $n \geq 0$ จะได้ $w: V_0, e_1, V_1, e_2, V_2, \dots, V_{n-1}, e_n, V_n$ เมื่อ $i = 0, 1, 2, \dots, n$ และ V_0 คือจุดเริ่มต้น และ V_n คือจุดสิ้นสุด ใช้สัญลักษณ์ $V_0 - V_n$ แทนแนวเดิน w

- เรียกแนวเดินที่ไม่มีเส้นขอบซ้ำกันว่ารอยเดิน (trail)
- เรียกแนวเดินที่ไม่มีจุดยอดซ้ำกันว่า วิถี (path)

- เรียกแนวเดินที่มีจุดยอดประกอบด้วยทุก ๆ จุดของกราฟ G ว่าแนวเดินแบบทอดข้าม (spanning walk) ของ G

3.3.1.2 กราฟเชื่อมโยง

ให้ u และ v เป็นจุดยอดของกราฟ G โดย u เชื่อมโยงกับ v ก็ต่อเมื่อกราฟ G ประกอบด้วยแนวเดิน $u-v$ เรียกกราฟ G ว่าเป็นกราฟเชื่อมโยง (connected graph) ถ้า u เชื่อมโยงกับ v ทุก ๆ คู่ของจุดยอด u, v ของกราฟ G

ถ้าหากมีจุดยอดเพียง 2 จุดของกราฟ G สมมติเป็น u และ v ที่ไม่ทำให้มีวิถี $u-v$ เกิดขึ้น จะเรียกกราฟ G ว่าเป็นกราฟขาดตอน (disconnected graph)

จะเห็นได้ว่า ทฤษฎีกราฟ สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยเกี่ยวกับการออกแบบรูปร่างโครงข่าย โดยให้นิยามค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายได้จากหลักการของกราฟเชื่อมโยง ซึ่งก็คือ หากรูปร่างโครงข่ายใด ๆ เป็นไปตามหลักการของกราฟเชื่อมโยงในทฤษฎีกราฟแล้ว เราสามารถสรุปได้ว่า ทุก ๆ โหนดของโครงข่ายนั้น ๆ จะสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ และสถานะที่ทุก ๆ โหนดในโครงข่ายสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ก็จะนำมาพิจารณาค่าของความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างนั้น ๆ ซึ่งนอกจากทฤษฎีกราฟแล้ว การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของ ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายยังต้องอาศัยทฤษฎีบทเรื่องความน่าจะเป็นมาประกอบการพิจารณา

3.3.2 ทฤษฎีความน่าจะเป็นที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้

3.3.2.1 ความหมายของคำศัพท์

การทดลองเชิงสุ่ม (random experiment or random trials) หมายถึง การทดลองที่ผู้ทดลอง ไม่อาจคาดคะเนผลการทดลอง ล่วงหน้าได้ว่าผลที่เกิดขึ้นจะเป็นอย่างไร ตัวอย่างเช่น การโยนเหรียญ 1 เหรียญขึ้นไปในอากาศ แล้วปล่อยให้ตกลงมาอย่างอิสระ เราไม่สามารถจะบอกล่วงหน้าได้ ว่าหน้าเหรียญนั้นจะหงายด้านหัวหรือด้านก้อย จึงกล่าวได้ว่าการโยนเหรียญนี้เป็นการทดลองสุ่ม

เซตของผลการทดลอง (sample space) หมายถึง เซตที่มีสมาชิก (elements) เป็นผลลัพธ์ ที่จะเป็นไปได้ทั้งหมดของการทดลองเชิงสุ่มใด ๆ มักจะเขียนแทนด้วยสัญลักษณ์ S และผลแต่ละอย่างที่เกิดขึ้นหรือสมาชิกแต่ละตัวของ sample space เรียกว่า sample point หรือ outcome

เหตุการณ์ (events) ในบางครั้งเราไม่ได้สนใจผลทั้งหมดที่อาจจะเกิดขึ้นจากการทดลองสุ่ม แต่เราสนใจผลบางส่วนที่อาจจะเกิดขึ้นจากการทดลองสุ่ม เราเรียกเซตของผลบางส่วนนี้ว่าเหตุการณ์ จึงกล่าวได้ว่า เหตุการณ์ คือ เซตย่อย (subset) ของเซตของผลการทดลอง (sample space)

3.3.2.2 นิยามความน่าจะเป็น

นิยามแบบที่ 1 ในการทดลองเชิงสุ่มใด ที่เราสามารถพิจารณาผลที่อาจจะเกิดขึ้นได้จากการทดลอง และผลแต่ละอย่างนั้นมีโอกาสเกิดขึ้นได้เท่า ๆ กัน (equally likely) แล้วค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์จะคำนวณหาได้ดังนี้

$$P(A) = \frac{n(A)}{n(S)} \quad (3-1)$$

เมื่อ

A หมายถึงเหตุการณ์ใด ๆ

$n(A)$ หมายถึงจำนวนสมาชิกของ A

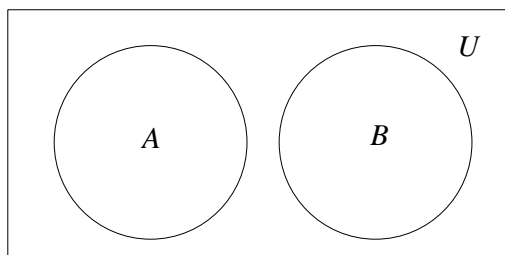
S หมายถึง sample space

$n(S)$ หมายถึงจำนวนสมาชิกของ S

$P(A)$ หมายถึงความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ A

3.3.2.3 ทฤษฎีเบื้องต้นในการหาค่าความน่าจะเป็น

- เหตุการณ์ที่แยกจากกันโดยเด็ดขาด (mutually exclusive events) ในการทดลองสุ่มใด ๆ เหตุการณ์ A และเหตุการณ์ B จะเรียกว่า เหตุการณ์ที่แยกจากกันโดยเด็ดขาด ก็ต่อเมื่อ $A \cap B = \emptyset$ นั่นหมายความว่า A กับ B นั้น ไม่มีกรณีร่วมกันเลย หรือกล่าวได้ว่า A กับ B เป็นเซตที่ไม่ร่วมกัน



รูปที่ 3.2 แสดงเหตุการณ์ A และเหตุการณ์ B ที่แยกจากกันโดยเด็ดขาด

ถ้าเหตุการณ์ A และเหตุการณ์ B เป็นเหตุการณ์ที่แยกจากกันโดยเด็ดขาดแล้ว จะได้ว่า

$$P(A \cup B) = \frac{n(A \cup B)}{n(S)} \quad (3-2)$$

แต่

$$n(A \cup B) = n(A) + n(B) \text{ เพราะ } A \cap B = 0$$

ดังนั้น

$$\begin{aligned} P(A \cup B) &= \frac{n(A) + n(B)}{n(S)} \\ &= \frac{n(A)}{n(S)} + \frac{n(B)}{n(S)} \end{aligned}$$

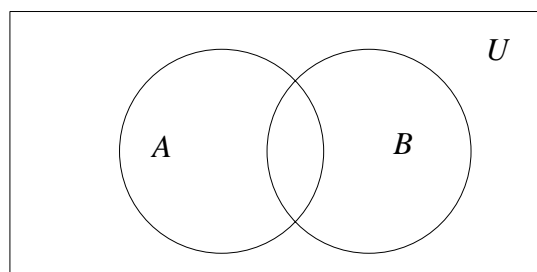
นั่นคือ

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) \quad (3-3)$$

ถ้า A_1, A_2, \dots, A_n เป็นเหตุการณ์ n เหตุการณ์ใด ๆ ที่เป็น mutually exclusive events แล้ว

$$P(A_1 \cup A_2 \cup A_3 \cup \dots \cup A_n) = P(A_1) + P(A_2) + P(A_3) + \dots + P(A_n) \quad (3-4)$$

- เหตุการณ์ที่ไม่แยกจากกันโดยเด็ดขาด (non-mutually exclusive events)
ในการทดลองสุ่มใด ๆ เหตุการณ์ A และเหตุการณ์ B จะเรียกว่า เหตุการณ์ที่ไม่แยกจากกันโดยเด็ดขาด ก็ต่อเมื่อ $A \cap B \neq \emptyset$ นั่นหมายความว่า A กับ B นั้น เป็นเซตที่มีกรณีร่วมกัน



รูปที่ 3.3 แสดงเหตุการณ์ A และเหตุการณ์ B ที่มีกรณีร่วมกัน

ถ้าเหตุการณ์ A และเหตุการณ์ B เป็นเหตุการณ์ที่มีกรณีร่วมกันแล้วจะได้ว่า

$$P(A \cup B) = \frac{n(A \cup B)}{n(S)}$$

$$n(A \cup B) = n(A) + n(B) - n(A \cap B)$$

ดังนั้น

$$P(A \cup B) = \frac{n(A) + n(B) - n(A \cap B)}{n(S)}$$

$$= \frac{n(A)}{n(S)} + \frac{n(B)}{n(S)} - \frac{n(A \cap B)}{n(S)}$$

นั่นคือ

$$P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B) \quad (3-5)$$

3.3.2.4 คอมพลิเมนต์ของเหตุการณ์

ในการทดลองเชิงสุ่มใด ๆ ถ้า A เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในการทดลองนั้น complementary ของ A เขียนแทนด้วย A' ซึ่งมีคุณสมบัติดังนี้

$$1) A \cup A' = S$$

$$2) A \cap A' = \phi$$

พิจารณา

$$P(A \cup A') = P(S)$$

$$P(A) + P(A') = 1$$

$$P(A') = 1 - P(A)$$

หรือ

$$P(A) = 1 - P(A') \quad (3-6)$$

3.3.2.5 ความน่าจะเป็นแบบมีเงื่อนไข

ในการหาความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ใด ที่ผ่านมาเป็นการหาความน่าจะเป็นก่อนที่จะทำการทดลอง โดยที่ยังไม่ทราบผลลัพธ์ใด ๆ ของการทดลองเลย แต่ในหัวข้อนี้จะเป็นการหาค่าความน่าจะเป็นเหตุการณ์หนึ่งเมื่อทราบว่าอีกเหตุการณ์หนึ่งได้เกิดขึ้นแล้ว

ความน่าจะเป็นเหตุการณ์ของเหตุการณ์ B เมื่อทราบว่าเหตุการณ์ A ได้เกิดขึ้นแล้วเรียกว่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ B ภายใต้เงื่อนไขว่าเหตุการณ์ A เกิดขึ้นแล้ว เขียนแทนด้วย $P(B|A)$ และสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$P(B|A) = \frac{P(A \cap B)}{P(A)} \text{ เมื่อ } P(A) \neq 0 \quad (3-7)$$

จะได้ว่า

$$P(A \cap B) = P(A) P(B|A)$$

และเนื่องจาก

$$A \cap B = B \cap A$$

เพราะฉะนั้น

$$\begin{aligned} P(A \cap B) &= P(B \cap A) \\ &= P(B) P(A|B) \end{aligned}$$

ในกรณีที่มีเหตุการณ์หลาย ๆ เหตุการณ์ เกิดขึ้นต่อเนื่องกันอย่างมีเงื่อนไข กำหนดให้เป็น $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ โดยที่ A_1 เกิดก่อน A_2 และ A_2 เกิดก่อน A_3 ต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ

$$\begin{aligned} P(A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap \dots \cap A_n) &= P(A_1)P(A_2|A_1)P(A_3|A_1 \cap A_2) \dots \\ &\quad P(A_n|A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap \dots \cap A_{n-1}) \end{aligned} \quad (3-8)$$

3.3.2.6 เหตุการณ์ที่เป็นอิสระต่อกัน

ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์แต่ละเหตุการณ์จะไม่ส่งผลต่อกัน หรือกล่าวได้ว่าการเกิดเหตุการณ์ A ไม่มีผลกระทบต่อเหตุการณ์ B แต่อย่างไร เราเรียกเหตุการณ์แบบนี้ว่าเหตุการณ์อิสระ จะได้ว่า

$$P(A \cap B) = P(A) P(B|A)$$

ถ้า A และ B เป็นเหตุการณ์ที่เป็นอิสระต่อกัน

$$P(B|A) = P(B)$$

ดังนั้น

$$P(A \cap B) = P(A) P(B) \quad (3-9)$$

ในกรณีที่มีเหตุการณ์หลาย ๆ เหตุการณ์ เกิดขึ้นต่อเนื่องกัน โดยที่แต่ละเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นอิสระต่อกัน กำหนดให้เป็น $A_1, A_2, A_3, \dots, A_n$ จะได้ว่า

$$P(A_1 \cap A_2 \cap A_3 \cap \dots \cap A_n) = P(A_1)P(A_2)P(A_3)\dots P(A_n) \quad (3-10)$$

งานวิจัยในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการพิจารณาค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่าย ได้นำนิยามทางทฤษฎีกราฟและความน่าจะเป็นที่ได้กล่าวมาข้างต้น มาทำการวิเคราะห์และศึกษาเพื่อหาตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาและเป็นกรอบในการเปรียบเทียบค่าที่เกิดขึ้น ดังจะอธิบายในหัวข้อต่อไป

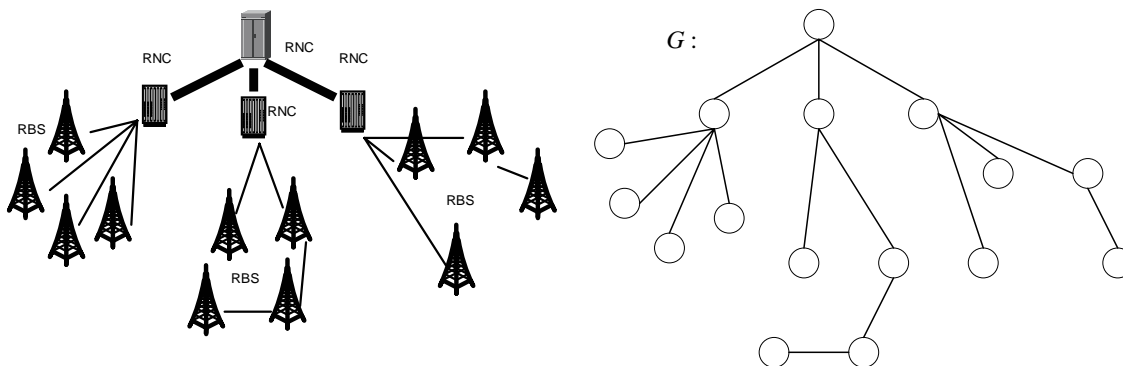
3.4 การวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ

จากหลักการของทฤษฎีกราฟและทฤษฎีความน่าจะเป็น งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบรูปร่างโครงข่ายเข้าถึงในระบบสื่อสารสัญญาณเซลลูลาร์กับรูปร่างของกราฟ เพื่อวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือ โดยได้นิยามค่าความเชื่อถือได้คือค่าความน่าจะเป็นของโครงข่ายรูปร่างหนึ่ง ๆ ที่โหนดทุกโหนดในโครงข่ายรูปร่างนั้นสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ซึ่งจะเกิดขึ้นได้เมื่อรูปร่างโครงข่ายเข้าถึงเป็นไปตามหลักการของกราฟที่เป็นกราฟเชื่อมโยง (connected graph) ซึ่งหมายถึงโหนดทุกโหนดในกราฟสามารถมีแวนเดิน (walk) เพื่อทำการเชื่อมโยงทุก ๆ โหนดในกราฟนั้นให้สามารถทำการติดต่อถึงกันได้

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบรูปร่างโครงข่ายจำนวน 7 รูปแบบ คือ รูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม (spanning tree topology) รูปร่างแบบวงแหวน (single ring topology) รูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนดร่วม (multiring with common-node topology) รูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วม (multiring with three-cycle topology) และ รูปร่างแบบผสม ซึ่งได้แบ่งออกแบบสามรูปแบบคือ รูปร่างแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม (hybrid single ring-and-tree topology) รูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม (hybrid multiring with three-cycle-and-tree topology) และรูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนดร่วมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม (hybrid multiring with common-node-and-tree topology) ซึ่งในหัวข้อต่อไปจะแสดงให้เห็นถึงกระบวนการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ โดยได้ทำการประยุกต์หลักทฤษฎีกราฟและความน่าจะเป็นเข้าด้วยกัน เพื่อหาตัวแบบค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายทั้ง 7 รูปแบบ ดังนี้ โดยกำหนดให้

- $G(V, E)$ คือกราฟที่แทนรูปร่างโครงข่ายเข้าถึงในระบบสื่อสารเคลื่อนที่
 V คือเซตของโหนดในระบบสื่อสารเคลื่อนที่
 E คือเซตของเส้นขอบในโครงข่าย
 $n = |V|$ คือจำนวนโหนดของโครงข่าย
 p คือค่าความน่าจะเป็นของเส้นขอบที่ทำงานได้และในที่นี้ ได้กำหนด เส้นขอบทุกเส้นเป็นอิสระจากกัน (independent) และมีค่าความน่าจะเป็นในการทำงานเท่ากัน
 $q = (1 - p)$ คือค่าความน่าจะเป็นของเส้นขอบที่ไม่สามารถทำงานได้
 $R(G)$ คือค่าความน่าจะเป็นที่โหนดทุกโหนดในกราฟ G นั้น ๆ สามารถทำการติดต่อสื่อสารกันได้ ซึ่งหมายถึง ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายนั่นเอง

3.4.1 การพิจารณาค่าความเชื่อถือได้ของรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม

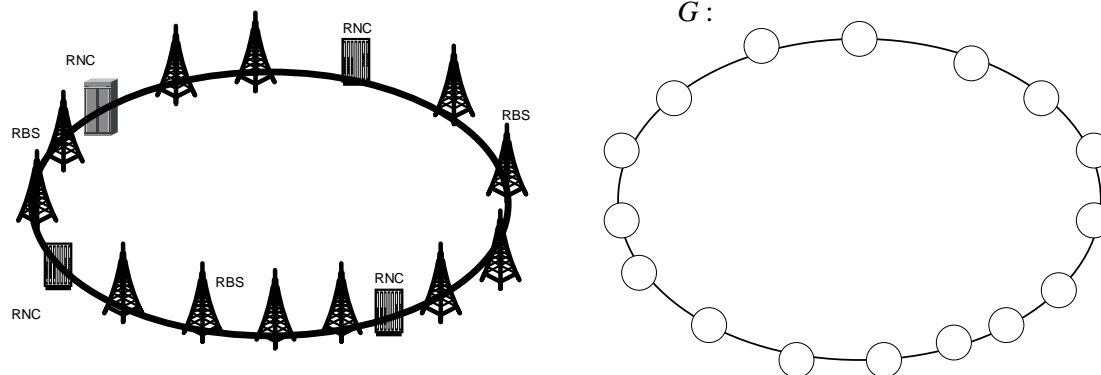


รูปที่ 3.4 รูปร่างโครงข่ายแบบต้นไม้แบบทอดข้าม

จากรูปที่ 3.4 จะเห็นว่า กราฟของรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้ามจะเป็นกราฟเชื่อมโยงได้ เมื่อเส้นขอบของรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้ามทำงานตลอดเวลา จึงจะทำให้โหนดทุกโหนดติดต่อสื่อสารกันได้ ดังนั้น เราจึงสรุปได้ว่า $R(G_{st}) = P\{\text{เส้นขอบจำนวน } n-1 \text{ เส้นทำงานตามปกติ}\}$ และเขียนได้ว่า

$$R(G_{st}) = p^{n-1} \quad (3-11)$$

3.4.2 การพิจารณาค่าความเชื่อได้ของรูปร่างวงแหวน



รูปที่ 3.5 รูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวน

จากรูปที่ 3.5 จะเห็นว่า กราฟของรูปร่างวงแหวนจะเป็นกราฟเชื่อมโยงได้ สองกรณีคือ 1) เส้นขอบทุกเส้นทำงาน และ 2) เส้นขอบเส้นใดเส้นหนึ่งอยู่ในสถานะที่ทำงานไม่ได้ ดังนั้น เราจึงสรุปได้ว่า

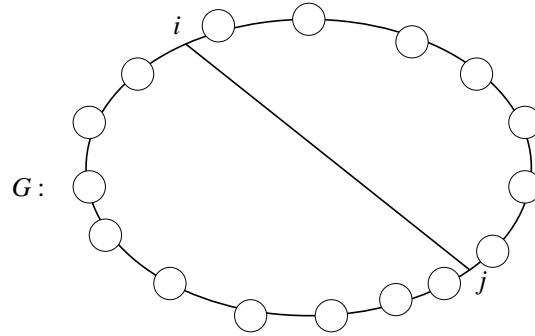
$$\begin{aligned}
 R(G_r) &= P\{\text{เส้นขอบจำนวน } n \text{ เส้นทำงานได้ตามปกติ}\} + P\{\text{เส้นขอบจำนวน } \\
 &n-1 \text{ เส้นทำงาน และ เส้นขอบ 1 เส้นทำงานไม่ได้ตามปกติ}\} \\
 &= p^n + {}^n C_1 p^{n-1} q \\
 &= p^n + \frac{n!}{1 \cdot (n-1)!} p^{n-1} q
 \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$R(G_r) = p^n + np^{n-1}q \quad (3-12)$$

3.4.3 การพิจารณาค่าความเชื่อได้ของรูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วม

ก่อนที่จะพิจารณาโครงข่ายรูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วม จะทำการกล่าวถึงหลักการเบื้องต้นของการพิจารณาค่าความเชื่อได้ของโครงข่ายรูปร่างวงแหวนแบบเส้นขอบร่วมดังนี้



รูปที่ 3.6 รูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวนที่มีเส้นขอบร่วม

จากการเพิ่มเส้นขอบ $i-j$ ในรูปร่างวงแหวนทำให้สามารถแบ่งรูปร่างโครงข่ายออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกมีจำนวนโหนด n_1 และส่วนที่สองมีจำนวนโหนด n_2 ซึ่ง $n_1 + n_2 = n$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 R(G_{r+}) &= pP\{\text{โหนดทุกโหนดสามารถติดต่อกันได้เมื่อเส้นขอบ } i-j \text{ ทำงานตามปกติ}\} + qP\{\text{โหนดทุกโหนดสามารถติดต่อกันได้เมื่อเส้นขอบ } i-j \text{ ไม่สามารถทำงานได้}\} \\
 &= pR(G_{r_{n_1}})R(G_{r_{n_2}}) + (1-p)R(G_{r_n}) \\
 &= p\{p^{n_1} + n_1p^{n_1-1}q\}\{p^{n_2} + n_2p^{n_2-1}q\} + q\{p^n + np^{n-1}q\} \\
 &= p\{p^n + n_2p^{n-1}q + n_1p^{n-1}q + n_1n_2p^{n-2}q^2\} + q\{p^n + np^{n-1}q\}
 \end{aligned}$$

ดังนั้น

$$= p^n + np^{n-1}q + n_1n_2p^{n-1}q^2 \quad (3-13)$$

ทำการเปลี่ยนให้อยู่เฉพาะตัวแปร n และ n_1 โดย $n_2 = n - n_1$ จะได้ว่า

$$R(G_{r+}) = p^n + np^{n-1}q + n_1(n - n_1)p^{n-1}q^2 \quad (3-14)$$

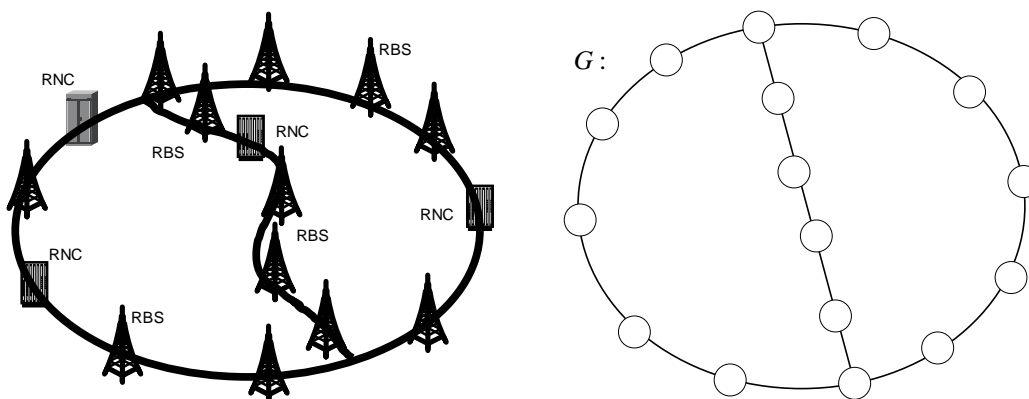
และเมื่อทำการหาค่าสูงสุดจากสมการ

$$R_{\max}(G_{r+}) = R'(G_{r+}) = 0$$

จะได้ว่า $n_1 = n_2 = \frac{n}{2}$

ดังนั้น ค่าความเชื่อถือได้สูงสุดจะเกิดขึ้นเมื่อเส้นขอบรวมได้แบ่งโนคออกเป็นสองส่วน โดยแต่ละส่วนมีจำนวนโนคเท่ากัน

จากข้อพิสูจน์นี้เราจึงได้นิยาม ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบรวมดังนี้



รูปที่ 3.7 รูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวนวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบรวม

กำหนดให้ k หมายถึง จำนวนโนคในเส้นขอบรวม
 c_1, c_2 หมายถึง โนคที่ไม่ได้อยู่ในเส้นขอบรวม
 $h = n + 1 - k = c_1 + c_2$

ดังนั้น

$$R(G_{mr-3c}) = R(G_{c_1})R(G_{c_2})p^k + R(G_h)(kp^k q) \quad (3-15)$$

จากการพิสูจน์ข้างต้นจะเห็นว่า ค่าความเชื่อถือได้สูงสุดจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อ จำนวนโนค i, j ควรมีค่าเท่ากัน ดังนั้นจะได้ว่า

$$R(G_{mr-3c}) \leq R(G_{\frac{h}{2}})R(G_{\frac{h}{2}})p^k + R(G_h)(kp^k q) \quad (3-16)$$

$$\begin{aligned}
&= p^k \left\{ p^{\frac{h}{2}} + \frac{h}{2} p^{\frac{h}{2}-1} q \right\}^2 + \{p^h + hp^{h-1}q\} \{kp^{k-1}q\} \\
&= p^k \left\{ p^h + hp^{h-1}q + \frac{h^2}{4} p^{h-2}q^2 \right\} + \{p^h + hp^{h-1}q\} \{kp^{k-1}q\} \\
&= p^h \{p^k + kp^{k-1}q\} + hp^{h-1}q \{p^k + kp^{k-1}q\} + \frac{h^2}{4} p^{h-2}q^2 p^k \\
&= \{p^{n+1} + kp^nq\} + \{(n+1-k)[p^nq + kp^{n-1}q^2]\} + \frac{(n+1-k)^2}{4} p^{n-1}q^2 \\
&= p^{n+1} + (n+1)p^nq + \{(n+1-k)k + \frac{(n+1-k)^2}{4}\} p^{n-1}q^2 \\
&= p^{n+1} + (n+1)p^nq + \left\{ \frac{(n+1)^2 + 2k(n+1) - 3k^2}{4} \right\} p^{n-1}q^2
\end{aligned}$$

และเมื่อทำการหาค่าสูงสุดจากสมการโดยหาอนุพันธ์ของตัวแปร k

$$R_{\max}(G_{mr-3c}) = R'(G_{mr-3c}) = 0$$

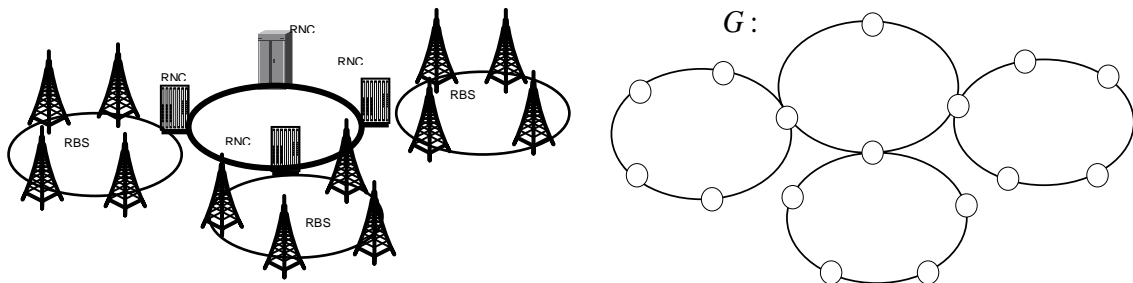
จะได้ว่า

$$k = \frac{n+1}{3}$$

ดังนั้น

$$R(G_{mr-3c}) = p^{n+1} + (n+1)p^nq + \frac{(n+1)^2}{3} p^{n-1}q^2 \quad (3-17)$$

3.4.4 การพิจารณาค่าความเชื่อได้ของรูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนดร่วม



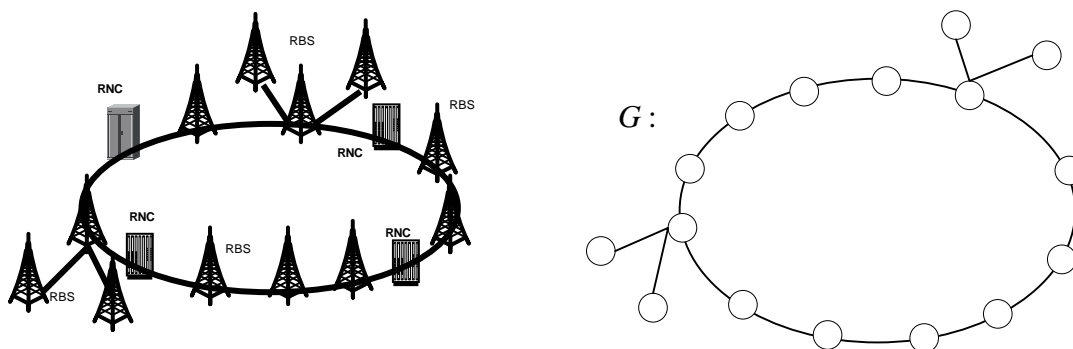
รูปที่ 3.8 รูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวนหลายชั้นแบบโนดร่วม

จากรูปที่ 3.8 โครงข่ายรูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วม เกิดจากการแบ่งโครงข่ายออกเป็นวงแหวนขนาดเล็กจำนวนหลายวง และกำหนดให้มีวงแหวนหลักจำนวนหนึ่งวงที่เป็นโครงข่ายที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์สำคัญ เช่น ตัวควบคุมสถานีฐาน (base station controller) และสามารถประยุกต์หลักการหาค่าความเชื่อถือได้ จากหลักการของรูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวนได้ด้วยดังนี้

กำหนดให้ m หมายถึงจำนวนวงแหวนย่อย
 n_1 หมายถึงจำนวนโนดในวงแหวนหลัก ในที่นี้หมายถึงวงแหวนที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน
 n_i หมายถึงจำนวนโนดของวงแหวนย่อยที่ i
 ดังนั้นจะได้ว่า

$$R(G_{mr-cn}) = \prod_{i=1}^m \{p^{n_i} + n_i p^{n_i-1} q\} \quad (3-18)$$

3.4.5 การพิจารณาค่าความเชื่อถือได้ของรูปร่างแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม



รูปที่ 3.9 รูปร่างโครงข่ายแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม

จากรูปที่ 3.9 แสดงให้เห็นถึงรูปร่างโครงข่ายแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนหลักและแบบต้นไม้แบบทอดข้ามที่ทำการเชื่อมโยงโนดต่าง ๆ เข้าสู่วงแหวนหลัก การพิจารณาค่าความเชื่อถือได้ จึงได้แบ่งออกเป็นสองกรณีคือ ในส่วนของวงแหวน และแบบต้นไม้แบบทอดข้าม ดังนี้

กำหนดให้ m หมายถึงจำนวนโนดที่อยู่ในวงแหวนหลัก
 เพราะฉะนั้น k หมายถึงจำนวนเส้นขอบของรูปต้นไม้แบบทอดข้ามในโครงข่าย

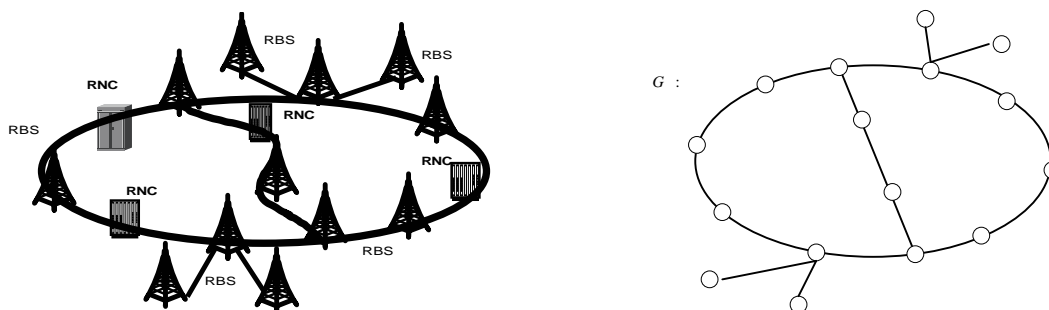
แบบผสม

$$R(G_{h-sr-t}) = R(G_{r_m})P\{\text{จำนวนเส้นขอบ } k \text{ เส้น ที่ทำงานตามปกติ}\}$$

ดังนั้น

$$R(G_{h-sr-t}) = (p^m + mp^{m-1}q)p^k \quad (3-19)$$

3.4.6 การพิจารณาค่าความเชื่อได้ของรูปร่างแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม



รูปที่ 3.10 รูปร่างโครงข่ายแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม

การพิจารณารูปร่างโครงข่ายนี้ได้นำพิจารณาค่าความเชื่อได้ของรูปร่างวงแหวนสามชั้นในหัวข้อ 3.4.3 ร่วมกับการพิจารณาค่าความเชื่อได้ของรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม และทำการพิจารณาตามหลักการของหัวข้อ 3.4.5 ดังนั้นจึงทำการพิจารณาค่าความเชื่อได้ของโครงข่ายแบบผสมระหว่างรูปร่างรูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม ดังนี้

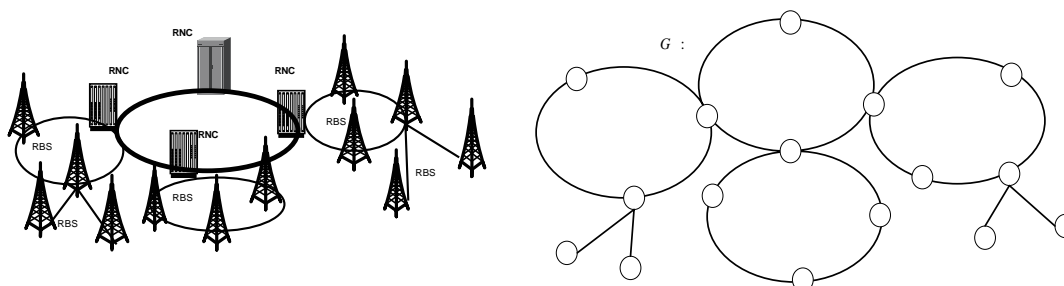
กำหนดให้ m หมายถึงจำนวนโนดที่อยู่ในวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วม และจำนวนโนดในเส้นขอบรวมมีค่าเป็น $\left\lfloor \frac{m+1}{3} \right\rfloor$

k หมายถึงจำนวนเส้นขอบของรูปต้นไม้แบบทอดข้ามในโครงข่ายแบบผสม ดังนั้น

ดังนั้น $R(G_{h-mr-3c-t}) = R(G_{mr-3c})P\{\text{จำนวนเส้นขอบ } k \text{ เส้น ที่ทำงานตามปกติ}\}$

$$= \{p^{m+1} + (m+1)p^m q + \frac{(m+1)^2}{3} p^{m-1} q^2\} p^k \quad (3-20)$$

3.4.7 การพิจารณาค่าความเชื่อได้ของรูปร่างแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบ โนคร่วมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม



รูปที่ 3.11 รูปร่างโครงข่ายแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบ โนคร่วม และรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม

การพิจารณารูปร่างโครงข่ายนี้ได้นำพิจารณาค่าความเชื่อได้ของรูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบ โนคร่วม 3.4.4 ร่วมกับการพิจารณาค่าความเชื่อได้ของรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม และทำการพิจารณาตามหลักการของหัวข้อ 3.4.5 ดังนั้นจึงทำการพิจารณาค่าความเชื่อได้ของโครงข่ายแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบ โนคร่วมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม ดังนี้

กำหนดให้ m หมายถึงจำนวนวงแหวนย่อย
 n_1 หมายถึงจำนวนโนดในวงแหวนหลัก ในที่นี้หมายถึงวงแหวนที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน

n_i หมายถึงจำนวนโนดของวงแหวนย่อยที่ i

k หมายถึงจำนวนเส้นขอบของโครงข่ายรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม

$$R(G_{h-mrcn-t}) = R(G_{mr-cn})P\{\text{จำนวนเส้นขอบ } k \text{ เส้น ที่ทำงานตามปกติ}\}$$

ดังนั้น

$$R(G_{h-mrcn-t}) = \left\{ \prod_{i=1}^m (p^{n_i} + n_i p^{n_i-1} q) \right\} p^k \quad (3-21)$$

จากที่กล่าวมาทั้งหมด สามารถสรุปค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ ได้ดังนี้

1) รูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม (spanning tree topology)

$$R(G_{st}) = p^{n-1} \quad (3-22)$$

2) รูปร่างแบบวงแหวน (single ring topology)

$$R(G_r) = p^n + np^{n-1}q \quad (3-23)$$

3) รูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วม (multiring with three-cycle topology)

$$R(G_{mr-3c}) = p^{n+1} + (n+1)p^n q + \frac{(n+1)^2}{3} p^{n-1} q^2 \quad (3-24)$$

4) รูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนดร่วม (multiring with common-node topology)

$$R(G_{mr-cn}) = \prod_{i=1}^m \{p^{n_i} + n_i p^{n_i-1} q\} \quad (3-25)$$

5) รูปร่างแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม (hybrid single ring-and-tree topology)

$$R(G_{h-sr-t}) = (p^m + mp^{m-1}q)p^k \quad (3-26)$$

6) รูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม (hybrid multi-ring with three-cycle-and-tree topology)

$$R(G_{h-mr3c-t}) = \{p^{m+1} + (m+1)p^m q + \frac{(m+1)^2}{3} p^{m-1} q^2\} p^k \quad (3-27)$$

7) รูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม (hybrid multiring with common-node-and-tree topology)

$$R(G_{h-mrcn-t}) = \left\{ \prod_{i=1}^m (p^{n_i} + n_i p^{n_i-1} q) \right\} p^k \quad (3-28)$$

3.5 การเปรียบเทียบค่าความเชื่อถือได้ของรูปร่างต่าง ๆ

หัวข้อนี้จะแสดงการเปรียบเทียบค่าความเชื่อถือได้ในเชิงตัวเลขของโครงข่ายทั้งหมดจำนวน 7 รูปแบบ โดยกำหนดให้โครงข่ายแต่ละโครงข่ายมีจำนวน 16 โหนด ($n = 16$) และค่าความน่าจะเป็นในการทำงานของเส้นขอบแต่ละเส้นมีค่า 0.9 ($p = 0.9, q = 1 - p = 0.1$) ส่วนโครงข่ายรูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วมได้กำหนดให้ วงแหวนย่อยประกอบด้วยโหนดจำนวน 11 โหนด และส่วนเส้นขอบร่วมที่ทำการแบ่งวงแหวนหลักออกเป็นสองส่วนประกอบด้วยโหนดจำนวน 6 โหนด ส่วนโครงข่ายรูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วมได้กำหนดให้วงแหวนหลักมีจำนวนโหนดทั้งสิ้นจำนวน 4 โหนด แลได้แบ่งวงแหวนย่อยออกเป็นสามวง ซึ่งแต่ละวงมีโหนดจำนวน 4 โหนด ($m = 4, n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = 4$) ในส่วนรูปร่างโครงข่ายรูปร่างแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้ามและรูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม ได้กำหนดให้ วงแหวนหลักประกอบไปด้วยโหนดจำนวน 12 โหนด และส่วนรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้ามจำนวน 4 โหนด ($m = 12, k = 4$) ในส่วนท้ายโครงข่ายรูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม ได้กำหนดให้วงแหวนแบ่งออกเป็นวงแหวนย่อย 4 วง โดยวงแหวนหลักประกอบไปด้วยโหนดจำนวน 4 โหนด และวงแหวนย่อยประกอบไปด้วยโหนดจำนวน 3,3,2 ตามลำดับ ($m = 4, n_1 = 4, n_2 = 3, n_3 = 3, n_4 = 2, k = 4$) และส่วนรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้ามจำนวน 4 โหนดและผลการเปรียบเทียบค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ

รูปร่างโครงข่าย	ค่าความเชื่อถือได้
รูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม	0.205891
รูปร่างแบบวงแหวน	0.514728
รูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบรวม	0.547899
รูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วม	0.806647
รูปร่างผสมวงแหวนและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม	0.432371
รูปร่างผสมวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบรวมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม	0.446326
รูปร่างผสมวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม	0.585646

จากตารางที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่าโครงข่ายรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้ามมีค่าความเชื่อถือได้น้อยที่สุด และโครงข่ายรูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วมมีค่าความเชื่อถือได้สูงที่สุด โครงข่ายรูปร่างรูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบรวมมีค่าความเชื่อถือได้มากกว่ารูปร่างแบบวงแหวนแต่ก็น้อยกว่ารูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วม และค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างแบบผสมสูงกว่ารูปร่างต้นไม้แบบต้นไม้ และใกล้เคียงกับรูปร่างแบบวงแหวนและรูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบรวม จากข้อมูลดังกล่าว สามารถสรุปได้ว่า ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างแบบผสมมีค่าสูงและสามารถช่วยในการขยายข้อจำกัดในการสร้างโครงข่าย ซึ่งบางกรณีอาจมีข้อจำกัดในการสร้างโครงข่ายที่ไม่สามารถสร้างรูปร่างพื้นฐานที่มีค่าความเชื่อถือได้สูงกว่าได้ แต่ยังคงให้ค่าความเชื่อถือได้ที่ใกล้เคียงกัน

3.6 สรุป

ในบทนี้ ได้นำเสนอวิธีการในการวิเคราะห์หาค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายเข้าถึงสำหรับระบบสื่อสารสัญญาณเซลลูลาร์รูปร่างต่าง ๆ จำนวน 7 รูปร่าง ได้แก่ รูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม (spanning tree topology) รูปร่างแบบวงแหวน (single ring topology) รูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วม (multiring with common-node topology) รูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบรวม (multiring with three-cycle topology) และ รูปร่างแบบผสม ซึ่งได้แบ่งออกเป็นสามรูปแบบคือ รูปร่างแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม (hybrid single ring-and-tree topology) รูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบรวม และรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม (hybrid multiring with three-cycle-and-tree topology) และรูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม

(hybrid multiring with common-node-and-tree topology) ซึ่งสามารถนำไปช่วยในการวิเคราะห์และพัฒนารูปร่างโครงข่ายเพื่อให้มีคุณภาพในการให้บริการที่เหมาะสมแก่ความต้องการของผู้ใช้งาน นอกจากนี้ ในส่วนนี้ยังได้นำเสนอแนวการวิเคราะห์รูปร่างใหม่ ที่เรียกว่ารูปร่างแบบผสม โดยได้ทำการสร้างตัวแบบเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนา เนื่องจากการใช้งานในการสื่อสารจริง โครงข่ายรูปร่างดังกล่าวได้นำมาใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากข้อจำกัดในการสร้างโครงข่ายบางอย่าง ที่ไม่สามารถทำการสร้างโครงข่ายที่มีความเชื่อถือได้ที่สูงกว่า ดังนั้น โครงข่ายแบบผสมจึงเป็นทางเลือกใหม่ ทางหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบรูปร่างโครงข่ายเข้าถึงได้

บทที่ 4

การวิเคราะห์ค่าความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลของโครงข่าย

4.1 กล่าวนำ

การออกแบบโครงข่ายในระบบสื่อสาร มีปัจจัยสำคัญที่ต้องนำมาพิจารณาดังนี้ 1) โครงข่ายควรมีค่าความเชื่อได้ที่เหมาะสมในการให้บริการ 2) โครงข่ายมีความสามารถเพียงพอในการรองรับปริมาณข้อมูล ณ ปัจจุบัน และ 3) ควรมีการคาดการณ์การรองรับปริมาณข้อมูลของโครงข่าย ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต หรืออาจในกรณีที่ปริมาณข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากปริมาณข้อมูลที่โครงข่ายจำเป็นต้องรองรับนั้น มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา แต่ช่วงเวลาในแต่ละวันก็แตกต่างกัน หรือ แต่ละวันในแต่ละปี ปริมาณการใช้งานข้อมูลก็ไม่เท่ากัน ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับโครงข่ายที่ออกแบบนั้น นอกจากจะพิจารณาค่าความเชื่อได้แล้ว ยังควรทำการวิเคราะห์และวางแผนเกี่ยวกับความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลอีกด้วย โครงข่ายความจุ (capacity) ที่เหมาะสมในการรองรับปริมาณข้อมูลทั้งที่เกิดขึ้นในปัจจุบัน หรือในอนาคตอันใกล้ สาเหตุที่ต้องพิจารณาถึงอนาคต ก็เนื่องจาก ความต้องการการใช้งานโครงข่ายในปัจจุบันเพิ่มสูงขึ้นเพราะการขยายตัวของประชากรหรือภาคธุรกิจ นอกจากนี้การใช้งานอินเทอร์เน็ตได้เข้ามามีบทบาทในการดำเนินชีวิตมากขึ้น ด้วยเทคโนโลยีทางระบบเซลล์ลูลาร์ที่มีความสามารถในการผนวกการบริการทางด้านข้อมูล เช่นการส่งข้อมูลมัลติมีเดีย หรือ การเชื่อมต่อระบบอินเทอร์เน็ตผ่านโครงข่ายเข้าถึง ทำให้สะดวกและเป็นที่ยอมรับมากขึ้น ดังนั้นการคาดการณ์ปริมาณข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงจึงทำได้ยาก และส่งผลให้ความสามารถในการคาดการณ์ปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้นอย่างแม่นยำนั้นในอนาคตทำได้ไม่สะดวก ดังนั้นจึงเป็นไปได้ที่ปริมาณข้อมูลในโครงข่ายเพิ่มขึ้นอย่างกะทันหันและจำเป็นต้องทำการเพิ่มปริมาณความจุให้กับโครงข่ายเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นอย่างฉับพลัน ดังนั้นโครงข่ายที่ออกแบบควรมีการพิจารณาถึงค่าความสามารถของโครงข่ายในการรองรับปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เพื่อว่าในช่วงเวลาโครงข่ายได้รับการเพิ่มความจุให้กับระบบ จะยังคงสามารถรองรับปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้นในขณะนั้น และสามารถส่งผลถึงการวางแผนการวางรูปร่างโครงข่ายในระยะยาวได้

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวโดยละเอียดถึงเทคนิคการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการรองรับข้อมูลของโครงข่ายเข้าถึงรูปร่างต่าง ๆ โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยดังนี้ หัวข้อ 4.2 กล่าวถึงการนิยามค่า

ความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลหรือ Lifetime Index ที่ได้นิยามในวิทยานิพนธ์นี้ หัวข้อ 4.3 กล่าวถึงหลักการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูล หัวข้อ 4.4 เป็นการแสดงการคำนวณค่า Lifetime Index ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ ดังนี้ รูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม รูปร่างวงแหวน รูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วม รูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วม และรูปร่างแบบผสม หัวข้อ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่า Lifetime Index ในเชิงตัวเลขของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ และในหัวข้อสุดท้าย หัวข้อ 4.6 เป็นหัวข้อสรุปเนื้อหาที่ได้กล่าวในบทนี้

4.2 นิยามค่าความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูล

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการพิจารณาค่าความสามารถในการรองรับข้อมูลของโครงข่ายเข้าถึงสำหรับระบบสื่อสารเซลลูลาร์ด้วยค่า Lifetime Index ซึ่งค่าดังกล่าวจะนำมาใช้เพื่อทำการหาค่าและเปรียบเทียบความสามารถของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ ต่อการรองรับปริมาณข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงในโครงข่ายเหล่านั้น โดย Lifetime Index ของโครงข่ายที่มีค่ามีสูง หมายถึง ในกรณีที่ปริมาณข้อมูลเพิ่มสูงขึ้น ทรัพยากรหรือความจุของโครงข่ายจะลดลง จึงส่งผลให้ระยะเวลาที่สามารถรองรับปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้นในโครงข่ายนั้นยาวนานกว่ารูปร่างอื่น ๆ และส่งผลให้ต้องทำการขยายความจุของระบบเพื่อสนองต่อปริมาณการใช้งานที่เพิ่มขึ้นช้ากว่าโครงข่ายอื่น ดังนั้นโครงข่ายที่มีค่า Lifetime Index สูงจะส่งผลให้ความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้นนั้นสูงขึ้น ดังนั้นในการออกแบบรูปร่างโครงข่ายใด ๆ นั้น การออกแบบที่ดีควรเป็นการออกแบบที่สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณข้อมูลได้ดี และค่า Lifetime Index ควรมีค่าสูง เนื่องจากการออกแบบที่ดีควรรักษาความสามารถในการรองรับต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ยาวนาน และมีระยะเวลาที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแปลงระบบและอุปกรณ์เพื่อเพิ่มปริมาณความจุให้กับระบบสื่อสารเซลลูลาร์เพื่อให้สามารถรองรับปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้นได้ทันต่อความต้องการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการพิจารณาการเปลี่ยนแปลงข้อมูลภายในโครงข่ายแบบเชิงเส้น โดยใช้กำหนดเมทริกซ์ปริมาณการใช้งานข้อมูล (traffic matrix) ที่แสดงถึงปริมาณของข้อมูลที่ต้องการการใช้งานระหว่างโหนดใด ๆ ภายในโครงข่าย และวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้พิจารณานำเทคโนโลยี SDH (synchronous digital hierarchy) เข้ามาใช้ในการสร้างโครงข่ายเข้าถึงสำหรับระบบสื่อสารเซลลูลาร์ โดยจะใช้อุปกรณ์ในการสร้างโครงข่ายแบบไม่ระบุทิศทาง (unidirectional topology) ซึ่งหมายถึงโครงข่ายจะทำการส่งข้อมูลออกไปทุกทิศทางและเลือกรับข้อมูลในส่วนที่ระยะทางที่สั้นที่สุด และได้กำหนดให้ทั้งโครงข่ายใช้ความจุขนาด STM-1 (155Mbps หรือ 63 E1's) ซึ่งเป็นปริมาณความจุที่ใช้งานจริงในโครงข่ายระบบสื่อสารเซลลูลาร์ ความจุที่ใช้ในการติดต่อระหว่างโหนดภายในโครงข่ายได้ใช้หน่วยมาตรฐาน E1 ซึ่งมีขนาดความเร็วในการส่งสัญญาณ 2Mbps และเป็นหน่วยมาตรฐานของปริมาณข้อมูลที่

เปลี่ยนแปลงภายในโครงข่าย และการเพิ่มขึ้นของปริมาณข้อมูลระหว่างโนดจะเพิ่มขึ้นเป็นเชิงเส้น ต่อปริมาณการเพิ่มจำนวน E1 ในโครงข่าย โนดทั้งหมดในโครงข่ายจำเป็นต้องสร้างเส้นทางภายในโครงข่ายเพื่อทำการติดต่อกับโนดหลัก ด้วยขนาดความเร็ว 2Mbps และเนื่องจากกระบวนการสร้างเส้นทางเพื่อทำการเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างโนดตามลักษณะของปริมาณการใช้งาน จึงทำให้รูปร่างของโครงข่ายจะทำให้บางเส้นทางเกิดการทับซ้อน และก่อให้เกิดความจุของระบบสูญเสียไป เนื่องจากทรัพยากรความจุของโครงข่ายมีจำกัด ดังนั้นถ้าปริมาณการใช้งานข้อมูลเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ก็จะส่งผลให้ความจุของระบบสื่อสัญญาณเหล่านั้นสูญเสียไปอย่างรวดเร็วเช่นกัน โดยความสูญเสียความจุของช่องสัญญาณจะแปรเปลี่ยนแตกต่างกันไปตามลักษณะรูปร่างของโครงข่าย ดังนั้นการออกแบบที่สมควรพิจารณาถึงความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงข้อมูลของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ ประกอบกับความสามารถทางด้านอื่น ๆ ให้กับโครงข่าย

4.3 หลักการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูล

สมการ Lifetime Index ในวิทยานิพนธ์ที่ได้ทำการศึกษาและสร้างขึ้นเพื่อมาตรวจสอบค่าความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลนั้น ได้นำหลักการการหาค่าเฉลี่ยเลขคณิตของปริมาณความจุของข้อมูลที่ต้องทำการเชื่อมต่อ (crossconnection) ระหว่างโนดในโครงข่าย ดังนี้

$$L(G) = \frac{\sum_{i,j} (c_{ij} - tr_{ij})}{E} \quad (4-1)$$

เมื่อ

$L(G)$	คือ Lifetime Index ของกราฟ G
c_{ij}	คือความจุของชนิดอุปกรณ์ระหว่างโนด $i - j$ (63 E1's)
tr_{ij}	คือปริมาณความต้องการข้อมูล $i - j$ (E1)
E	คือจำนวนเส้นขอบ ทั้งหมดของกราฟ G
i, j	คือดัชนีแสดงปริมาณข้อมูลระหว่างโนด i และ โนด j

ในการคำนวณเพื่อหาค่า Lifetime Index ได้กำหนดให้โนดที่ 1 ของโครงข่ายเป็นโนดหลักที่มีอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานติดตั้งอยู่ ดังนั้น และโนดอื่น ๆ คือโนดที่ทำหน้าที่ติดต่อระหว่างสถานีฐานที่ตั้งอยู่ ณ โนดนั้น ๆ เข้าสู่โนดหลักซึ่งโครงข่ายจะต้องอาศัยกระบวนการสร้างเส้นทาง (crossconnection) ภายในโครงข่ายขนาด 1 E1 หรือความเร็ว 2Mbps เพื่อใช้ในการเชื่อมต่อระหว่างโนดหลักที่อุปกรณ์ควบคุมสถานีฐานติดตั้งอยู่กับสถานีฐานอื่น ๆ

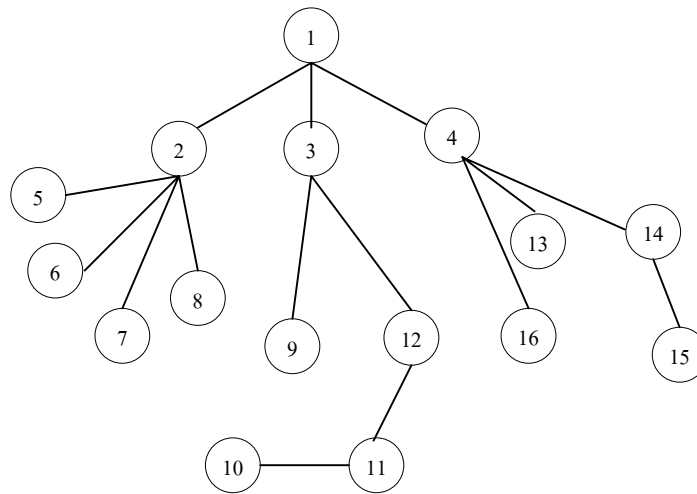
4.4 ผลการคำนวณค่าความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลของโครงข่าย

ในการหาค่าเชิงตัวเลขของค่า Lifetime Index ได้ทำการกำหนดปริมาณการใช้งานทรัพยากรของโครงข่ายในรูปของ E1 ที่แต่ละโหนดจะต้องใช้งาน โดยมีโหนดหลักหนึ่งโหนด (ในที่นี้กำหนดให้เป็นโหนดที่ 1) และโหนดย่อยทั้งหมด จะต้องทำการสร้างเส้นทางที่มีขนาด 2Mbps ผ่านโหนดต่าง ๆ ภายในโครงข่ายเพื่อทำการติดต่อกับโหนดหลักที่มีอุปกรณ์สำคัญติดตั้งอยู่ ในที่นี้ได้กำหนดให้อุปกรณ์นั้นคือตัวควบคุมสถานีฐาน และโหนดย่อยคือตัวแทนของ สถานีฐาน ซึ่งรูปร่างของโครงข่ายจะทำให้เกิดการซ้อนทับของเส้นทางบางส่วนจึงทำให้การสูญเสียทรัพยากรของระบบ ซึ่งในที่นี้คือความจุของช่องสัญญาณในระบบสื่อสารแตกต่างกัน โดยปริมาณการสร้างเส้นทางจะสูญเสียทรัพยากรตามปริมาณความต้องการข้อมูลเบื้องต้นของ เมทริกซ์ปริมาณความต้องการข้อมูล tr_{ij}

$$tr_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

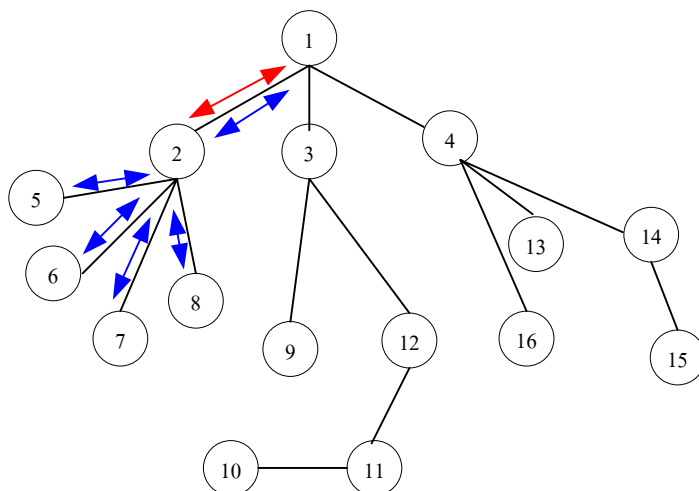
ในการสร้างเส้นทางโดยใช้เทคโนโลยี SDH จำเป็นต้องทำการกำหนดเส้นทางเบื้องต้นให้กับโหนดต่าง ๆ และจากเมตริกซ์ความต้องการข้อมูลดังกล่าว จะเห็นได้ว่า ทุก ๆ โหนดในโครงข่ายจำเป็นต้องมีเส้นทางที่ทำการเชื่อมต่อมายัง โหนดที่ 1 ซึ่งเป็นโหนดสำคัญภายในโครงข่าย เพราะมีอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบติดตั้งอยู่ และในที่นี้ได้กำหนดให้เป็นตัวควบคุมสถานีฐาน ดังนั้นการคำนวณในหัวข้อนี้ จะทำการแสดงความสามารถของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ ต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณข้อมูลในระบบ ดังนี้

4.4.1 การพิจารณารูปร่างโครงข่ายแบบต้นไม้แบบทอดข้าม



รูปที่ 4.1 รูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม

จะเห็นว่าในกรณีของรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม แต่ละโหนดในโครงข่ายได้ต้องได้รับการสร้างเส้นทางจากแต่ละโหนดเข้าสู่โหนดที่ 1 ดังนี้ ในขั้นแรก โหนดที่ 2,3 และ 4 จะสูญเสียทรัพยากรที่ละ 1 E1 และในขั้นที่สอง พิจารณา โหนดที่ 5,6,7 และ 8 เข้าสู่โหนดที่ 2 จะสูญเสียทรัพยากรที่ละ 1 E1 ทว่า เส้นทางดังกล่าวจำเป็นจะต้องใช้ทรัพยากรของโหนดที่ 2 เพื่อที่จะรองรับปริมาณการใช้งานข้อมูลของโหนดที่ 5,6,7 และ 8 เพื่อทำการส่งปริมาณข้อมูลให้เข้าสู่โหนดที่ 1 ดังนั้น ทรัพยากรของโหนดที่ 2 จึงต้องสูญเสียเพิ่มขึ้นอีก 4 E1 ดังแสดงในรูปที่ 4.2 และการพิจารณาโหนดอื่น ๆ ในขั้นต่อไป ก็ดำเนินการลักษณะเช่นเดียวกัน

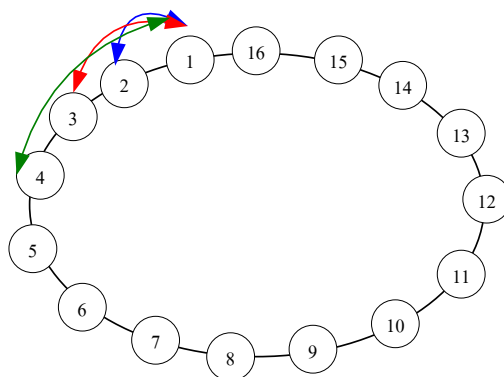


รูปที่ 4.2 แสดงปริมาณการสูญเสียความจุของช่องสัญญาณของโครงข่ายรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม

ดังนั้นจะได้ว่า

$$\begin{aligned}
 L(G_{st}) &= \frac{\sum_{\forall i,j} (c_{ij} - tr_{ij})}{E} \\
 &= \frac{(63-1) + (63-1) + (63-1) + (63-1) + (63-1) + (63-1) +}{15} \\
 &= \frac{(63-1) + (63-1) + (63-1) + (63-2) + (63-2) + (63-3)}{15} \\
 &= \frac{(63-5) + (63-5) + (63-5)}{15} \\
 &= 59.93
 \end{aligned}$$

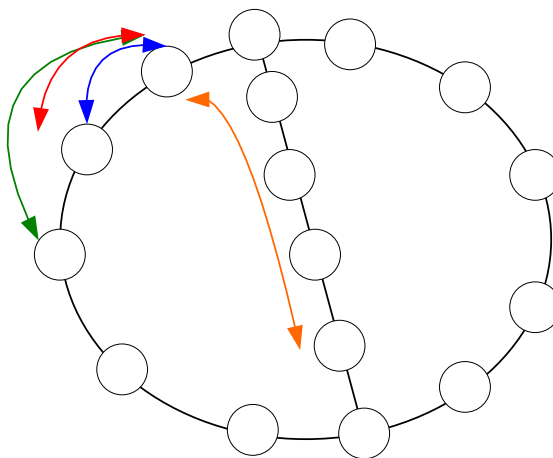
4.4.2 การพิจารณารูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวน



รูปที่ 4.3 รูปร่างแบบวงแหวน

$$\begin{aligned}
 L(G_r) &= \frac{\sum_{i,j} (c_{ij} - tr_{ij})}{E} \\
 &= 55.06
 \end{aligned}$$

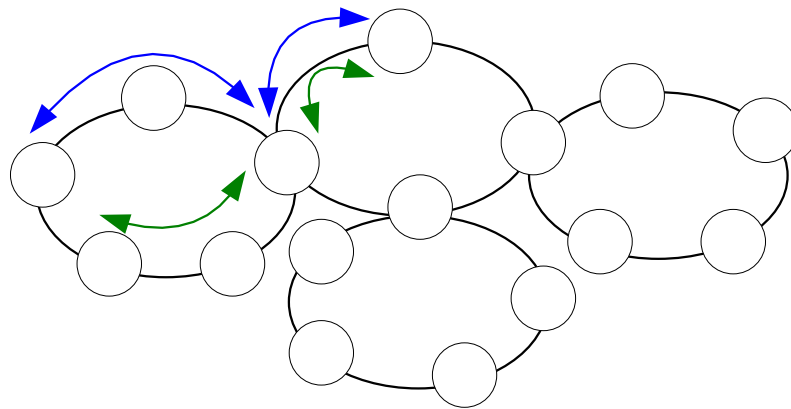
4.4.3 การพิจารณารูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วม



รูปที่ 4.4 รูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบร่วม

$$\begin{aligned}
 L(G_{mr-3c}) &= \frac{\sum_{\forall i,j} (c_{ij} - tr_{ij})}{E} \\
 &= 49.59
 \end{aligned}$$

4.4.4 การพิจารณารูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วม



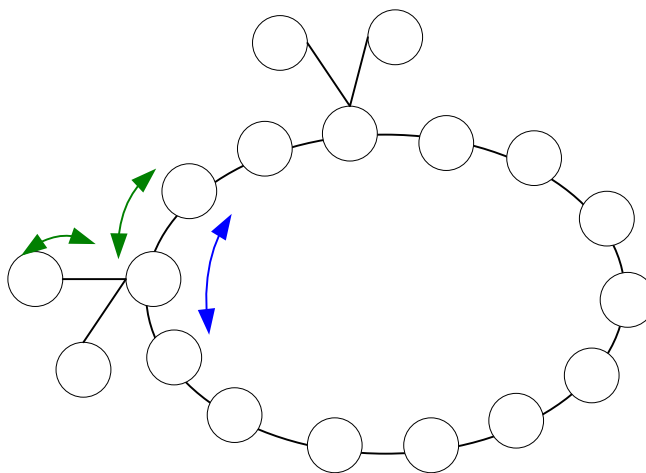
รูปที่ 4.5 รูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วม

$$\begin{aligned}
 L(G_{mr-cn}) &= \frac{\sum_{\forall i,j} (c_{ij} - tr_{ij})}{E} \\
 &= 45.63
 \end{aligned}$$

4.4.5 การพิจารณารูปร่างโครงข่ายแบบผสม

4.4.5.1 การพิจารณารูปร่างแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนและรูปร่างต้นไม้แบบ

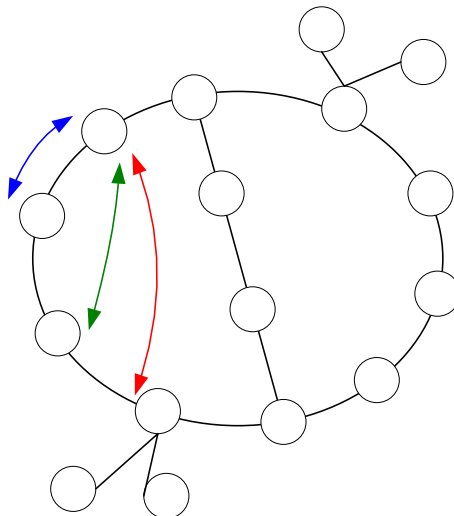
ทอดข้าม



รูปที่ 4.6 รูปร่างแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม

$$\begin{aligned}
 L(G_{h-sr-t}) &= \frac{\sum_{\forall i,j} (c_{ij} - tr_{ij})}{E} \\
 &= 53.31
 \end{aligned}$$

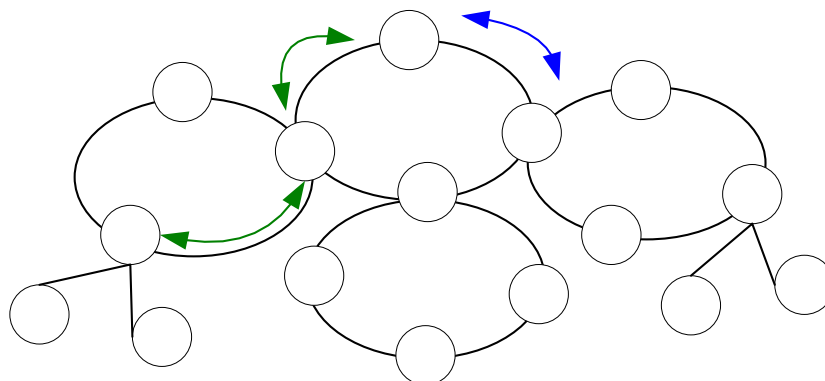
4.4.5.2 การพิจารณารูปร่างแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบ
รวมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม



รูปที่ 4.7 รูปร่างแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบรวม
และรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม

$$\begin{aligned}
 L(G_{h-mr3c-t}) &= \frac{\sum_{\forall i,j} (c_{ij} - tr_{ij})}{E} \\
 &= 50.29
 \end{aligned}$$

4.4.5.3 การพิจารณารูปร่างแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วม และรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม



รูปที่ 4.8 รูปร่างแบบผสมระหว่างรูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบ โนคร่วม และรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม

$$\begin{aligned}
 L(G_{h-mrcn-t}) &= \frac{\sum_{\forall i,j} (c_{ij} - tr_{ij})}{E} \\
 &= 45.63
 \end{aligned}$$

4.5 การเปรียบเทียบค่าความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลของรูปร่างต่าง ๆ

หัวข้อนี้จะแสดงการเปรียบเทียบค่า Lifetime Index ในเชิงตัวเลขของโครงข่ายทั้งหมดจำนวน 7 รูปแบบ โดยกำหนดให้โครงข่ายแต่ละโครงข่ายมีจำนวน 16 โหนด แต่ละโครงข่ายมีจำนวนเส้นขอบที่เป็นตัวแทนของเส้นทางตัวกลางในการรับส่งข้อมูลของระบบสื่อสารสัญญาณ โดยมีจำนวนเส้นขอบที่แตกต่างกันตามลักษณะของรูปร่างโครงข่าย โครงข่ายทุกโครงข่ายได้ทำการอ้างอิงปริมาณในการรับและส่งข้อมูลจากเมตริกซ์ข้อมูล (traffic matrix) เดียวกัน ค่า Lifetime Index ของโครงข่ายแต่ละรูปแบบแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่า Lifetime Index ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ

รูปร่างโครงข่าย	Lifetime Index
รูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม	58.86
รูปร่างแบบวงแหวน	51.06
รูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบรวม	49.59
รูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วม	45.63
รูปร่างผสมวงแหวนและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม	53.31
รูปร่างผสมวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบรวมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม	50.29
รูปร่างผสมวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม	45.63

จากตารางที่ 4.1 แสดงให้เห็นว่าโครงข่ายรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้ามมีค่า Lifetime Index สูงที่สุด และโครงข่ายรูปร่างวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วมมีค่า Lifetime Index น้อยที่สุด และมีค่าเท่ากับรูปร่างผสมวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม โครงข่ายรูปร่างรูปร่างวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบรวมมี Lifetime Index น้อยกว่ารูปร่างแบบวงแหวน รูปร่างผสมวงแหวนและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม และรูปร่างผสมวงแหวนสามชั้นแบบเส้นขอบรวมและรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม ซึ่งมีค่า Lifetime Index ใกล้เคียงกัน จากข้อมูลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า ค่า Lifetime Index ของโครงข่ายรูปร่างแบบผสมและแบบวงแหวนมีค่าใกล้เคียงกัน และจะเห็นได้ว่า โครงข่ายรูปร่างแบบผสม นอกจากเป็นทางเลือกใหม่ในการออกแบบในกรณีที่มีข้อจำกัดบางประการในการสร้างโครงข่ายแล้ว ยังยังคงให้ค่าความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงข้อมูลใกล้เคียงกับโครงข่ายรูปร่างอื่น ๆ

4.6 สรุปการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูล

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการพิจารณาค่าความสามารถในการรองรับข้อมูลของโครงข่ายเข้าถึงสำหรับระบบสื่อสารสัญญาณเซลลูลาร์ด้วยค่า Lifetime Index โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความสามารถของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ ต่อการรองรับปริมาณข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงในโครงข่ายเหล่านั้น โดยค่า Lifetime Index ในกรณีที่ปริมาณข้อมูลเพิ่มสูงขึ้น ความจุข้อมูลของโครงข่ายจะลดลงและส่งผลกระทบต่อความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลลดลงไปด้วย ดังนั้นจึงให้ผู้ออกแบบโครงข่ายต้องปรับปริมาณความจุของโครงข่ายให้สอดคล้องกับปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้น ค่า Lifetime Index ที่ได้ทำการพิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ แสดงให้เห็นถึงความสามารถที่แตกต่างกัน ของการรองรับปริมาณข้อมูลของโครงข่าย

เข้าถึงรูปร่างต่าง ๆ โดยยี่ครูปรางของโครงข่ายลักษณะเดียวกับการพิจารณาค่าความเชื่อถือได้ ในบทที่ 3 จะเห็นได้ว่า หากค่า Lifetime Index ของโครงข่ายใดมีค่าสูง จะส่งผลให้ระยะเวลาที่สามารถรองรับปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้นในโครงข่ายนั้นยาวนานกว่ารูปร่างอื่น ๆ ดังนั้นการออกแบบรูปร่างโครงข่ายที่ดี ควรเป็นการออกแบบที่สามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณข้อมูลได้ดี และค่า Lifetime Index ควรมีค่าสูง เนื่องจากการออกแบบที่ดีควรรักษาความสามารถในการรองรับต่อการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ยาวนาน และมีระยะเวลาที่เหมาะสมในการเปลี่ยนแปลงระบบและอุปกรณ์เพื่อเพิ่มปริมาณความจุให้กับระบบสื่อสารสัญญาณเซลลูลาร์เพื่อให้สามารถรองรับปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้นและทันต่อความต้องการ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยให้ช่วยชะลอการใช้งบประมาณในการลงทุนในอนาคตอันใกล้ได้

บทที่ 5

เทคนิคการออกแบบรูปร่างโครงข่ายสำหรับระบบสื่อสัญญาณเซลลูลาร์โดยใช้ หลักการการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี

5.1 กล่าวนำ

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) ได้รับการพิสูจน์ให้เป็นที่ยอมรับโดยทั่วไปว่ามีประโยชน์และสามารถประยุกต์ใช้กับปัญหาต่าง ๆ ได้ดี และกว้างขวางที่สุดตัวแบบหนึ่ง ก็คือ การโปรแกรมเชิงเส้น (linear programming model) ลักษณะปัญหาที่ใช้สามารถทำให้อยู่ในรูปแบบที่โปรแกรมเชิงเส้น และใช้หลักการวิเคราะห์หามาช้านาน และยิ่งในปัจจุบันเราจะเห็นได้ว่าความจำเป็นในภาคธุรกิจที่ขยายตัวและมีความซับซ้อนมากขึ้น รวมถึงงานวิจัยทางด้านวิทยาศาสตร์ที่ต้องการการตัดสินใจที่ถูกต้องแม่นยำ และรวดเร็ว ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการใช้การตัดสินใจที่ถูกต้อง โดยมีตัวแบบทางคณิตศาสตร์ช่วยเป็นกรอบในการพิจารณา เพราะถ้าหาตัดสินใจพลาดแม้เพียงเล็กน้อย ก็สามารถส่งผลให้เกิดความสูญเสียอย่างมหาศาล และเนื่องจากประสิทธิภาพในตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบโปรแกรมเชิงเส้น ถือว่าเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพในการช่วยแก้ไขปัญหาในหลาย ๆ ด้าน ประกอบกับการพัฒนาเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์มีการพัฒนาอย่างไม่หยุดยั้งทั้งทางด้านความเร็วในการประมวลผล และราคาที่ต่ำลง จึงส่งผลให้การพัฒนาในการคิดค้นและพัฒนาเครื่องมือที่ช่วยในการแก้ไขปัญหาของตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นมีมากมาย และสามารถใช้งานได้เป็นอย่างดี รวมถึงสามารถช่วยขยายขอบเขตของปัญหาที่ซับซ้อนมากขึ้น

รูปแบบทั่วไปของโปรแกรมเชิงเส้น เป็นรูปแบบซึ่งสามารถจะปรับใช้ได้กับปัญหาต่าง ๆ ได้อย่างกว้างขวาง โดยมีจุดประสงค์ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด ทั้งนี้เพราะฟังก์ชันเป้าหมายวัตถุประสงค์สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาต่าง ๆ เช่น ปัญหาการออกแบบสะพานเพื่อคำนวณหาหน้าหนักที่น้อยที่สุด ในขณะที่ให้ความแข็งแรงสูงสุด หรืออาจจะเป็นการวางแผนงานการบินที่ต้องการใช้เวลาในการเดินทางน้อยที่สุดเพื่อต้องการประหยัดเชื้อเพลิงให้มากที่สุด โดยที่ข้อจำกัดอาจจะอยู่ในรูปของข้อจำกัดของทรัพยากรที่มีอยู่หรือเท่าที่อาจหาได้ ฯลฯ ในวิทยานิพนธ์นี้ ก็ได้นำตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (0-1 integer programming model) เพื่อใช้ในการออกแบบรูปร่างโครงข่ายที่ให้ค่าความเชื่อถือได้สูงที่สุด ในขณะที่ยังคงอยู่ในเงื่อนไขของการออกแบบ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวโดยละเอียดถึงเทคนิคการวิเคราะห์การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยดังนี้ หัวข้อ 5.2 กล่าวถึงกรณีปัญหาของการสร้างตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มในการออกแบบโครงข่ายเข้าถึงที่ได้นิยามในวิทยานิพนธ์นี้ หัวข้อ 5.3 กล่าวถึงสมการที่ใช้ในการออกแบบ รวมถึงปัจจัยต่าง ๆ และตัวอย่างที่นำมาพิจารณา หัวข้อ 5.4 เป็นการแสดงผลการประมวผลเพื่อหาคำตอบของตัวแบบที่ได้สร้างขึ้น หัวข้อ 5.5 เป็นหัวข้อสรุปเนื้อหาที่ได้กล่าวในบทนี้

5.2 การนิยามปัญหา

5.2.1 หลักการของเทคนิคโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี

การสร้างตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นเพื่อให้เข้ากับปัญหาที่ทำการศึกษา มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุด (optimal solution) ของปัญหา ซึ่งคำตอบที่ดีที่สุดจะอยู่ในรูปของการหาค่าสูงสุด(maximization) หรือค่าต่ำสุด (minimization) โดยกำหนดฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (objective function) ในการค้นหาค่าสูงสุดหรือต่ำสุดที่ต้องการ โดยกำหนดให้อยู่ภายใต้ข้อจำกัดต่าง ๆ (linear constraints) ของปัญหาที่ได้ทำการพิจารณา

รูปแบบมาตรฐานของการโปรแกรมเชิงเส้นมีอยู่ด้วยกันสองลักษณะทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าปัญหาการโปรแกรมเชิงเส้นที่พิจารณานั้น เป็นปัญหาลักษณะที่ต้องการหาค่าสูงสุด หรือ ต้องการหาค่าต่ำสุด โดยเขียนได้ดังนี้

หาค่าสูงสุด หรือ ค่าต่ำสุดของ

$$\text{Maximize / Minimize } z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

ภายใต้ข้อจำกัดดังนี้ (Subject to)

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

...

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

$$x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0$$

โดยที่กำหนดให้

x_j หมายถึงตัวแปรตัดสินใจ (decision variable) หรือจำนวนหน่วยของกิจกรรม j ที่ตัดสินใจทำ

c_j หมายถึงผลตอบแทน (profit หรือ return) ที่ได้จากการตัดสินใจเลือกหรือต้นทุน (cost) ของตัวแปรตัดสินใจ x_j

a_{ij} หมายถึงจำนวนทรัพยากรชนิดที่ i ส่วนหนึ่งที่ถูกใช้ไปจากจำนวนทรัพยากรชนิด i ทั้งหมดที่มีอยู่ อันเนื่องจากการเลือกตัวแปรตัดสินใจ x_j (resource consumption rate)

b_i หมายถึงจำนวนทรัพยากรที่มีอยู่ (resource) ชนิดที่ i เพื่อใช้ในการประกอบการตัดสินใจ

วัตถุประสงค์ในตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นคือ ความต้องการที่จะหาค่าของตัวแปรตัดสินใจ x_j ต่าง ๆ ซึ่งจะส่งผลให้ค่าของฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุด โดยที่ตัวแปรตัดสินใจเหล่านี้จะต้องสอดคล้องกับข้อจำกัด ในการใช้ทรัพยากรจำนวน m ข้อจำกัด ซึ่งหมายถึงการใช้ทรัพยากรไม่เกินปริมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด และมีความมากกว่าศูนย์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้ทำการพิจารณาการโปรแกรมเชิงเส้น ที่มีวัตถุประสงค์ในการหาค่าสูงสุดของค่าความเชื่อถือได้ ให้กับโครงข่ายเข้าถึงสำหรับระบบสื่อสารสัญญาณเซลลูลาร์ โดยทำการระบุค่าของตัวแปรตัดสินใจที่ใช้อยู่ในรูปของจำนวนเต็มสองค่าคือ 0 และ 1 ซึ่งค่า 0 หมายถึงการไม่เลือกใช้ตัวแปรตัดสินใจในตัวนั้นการแก้ปัญหา และ 1 คือการเลือกใช้ตัวแปรตัดสินใจในการแก้ปัญหา ดังนั้น การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงใช้การพิจารณาหลักการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (0-1 integer programming model) และจากหลักการข้างต้นตัวแปรที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหการออกแบบในวิทยานิพนธ์นี้สามารถเขียนได้ดังนี้

$$\text{Maximize } z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Subject to

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

...

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

เมื่อตัวแปรในการตัดสินใจ

$$x_1, x_2, \dots, x_n \in \{0,1\}$$

จะได้ว่า ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้คือ การออกแบบรูปร่างโครงข่ายเพื่อให้ค่าความเชื่อถือได้สูงสุด ดังนั้นจึงได้กำหนดให้ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์คือ

$$\text{Maximize } z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

และตัวแปรตัดสินใจในสมการดังกล่าวคือ การกำหนดให้ $x_1, x_2, \dots, x_n \in \{0,1\}$ ซึ่งเป็นตัวที่กำหนดให้ค่าของตัวแปรตัดสินใจเป็นได้สองค่า คือ 0 และ 1 ดังนั้น ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำมาใช้ในการแก้ปัญหาการออกแบบในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ใช้ ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่เชื่อว่าการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี (0-1 integer programming model) เนื่องจากตัวแปรตัดสินใจมีจำนวนเต็มเพียงสองจำนวนคือ 0 และ 1 ที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งในหัวข้อต่อไปได้แสดงรายละเอียดของปัจจัยและลักษณะของปัญหาที่นำมาใช้ในการออกแบบของวิทยานิพนธ์นี้

5.2.2 ปัจจัยและลักษณะของปัญหาในการออกแบบ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ในการออกแบบเพื่อให้ค่าความเชื่อถือได้สูงสุดให้กับโครงข่ายเข้าถึง สำหรับระบบสื่อสารสัญญาณเซลลูลาร์ โดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบ การโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี ซึ่งจากการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปแบบต่าง ๆ ในบทที่ 3 แสดงให้เห็นว่า รูปแบบโครงข่ายแบบวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วมจะให้ค่าความเชื่อถือได้สูงสุด เมื่อเปรียบเทียบทั้ง 7 รูปแบบที่ได้ทำการวิเคราะห์ ซึ่งรูปแบบดังกล่าวได้มีการใช้งานออกแบบจริงสำหรับโครงข่ายเข้าถึงในระบบเซลลูลาร์ในปัจจุบัน ดังนั้นหลักการออกแบบรูปร่างโครงข่ายเข้าถึงในบทนี้จึงถือหลักในการสร้างรูปร่างโครงข่ายเข้าถึงแบบวงแหวนหลายชั้นแบบโนคร่วม โดยทำการคำนวณจำนวนวงแหวนที่มากที่สุดเพื่อส่งผลให้เกิดค่าความเชื่อถือได้สูงสุดให้กับการออกแบบในครั้งนี้

การออกแบบที่ได้ทำการพิจารณาในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ยึดถือการออกแบบรูปร่างโครงข่ายเข้าถึง สำหรับระบบสื่อสารสัญญาณเซลลูลาร์ โดยใช้อุปกรณ์เส้นใยแก้วนำแสง (optical fiber cable) ในการออกแบบและให้บริการ โดยได้ทำการวิเคราะห์การสร้างรูปร่างโครงข่ายเข้าถึงด้วยการค้นหาจำนวนวงแหวนย่อยที่มากที่สุด เพื่อให้ค่าความเชื่อถือได้สูงสุดในการให้บริการ โดยอ้างอิงจากผลการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ ในบทที่ 3 ซึ่งได้นำความสามารถในการสร้างโครงข่ายรูปร่างวงแหวนย่อย ที่เกิดจากข้อจำกัดของอุปกรณ์มัลติเพลกซ์เส้นใยแก้วนำแสงที่ใช้ในงานจริงในปัจจุบันเพื่อการสร้างลักษณะรูปร่างของโครงข่ายเข้าถึง

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เริ่มการพิจารณาจากการสร้างวงแหวนย่อย จากโครงข่ายเข้าถึงใด ๆ ที่มีการกำหนดเส้นทางของเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงแบบ multi-core จากนั้นการออกแบบนี้จะทำการพิจารณาต้นทุนของการสร้างโครงข่ายจากอัตราค่าใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงที่เกิดขึ้นตามระยะทางของวงแหวนแต่ละวง การสร้างวงแหวนย่อยจาก เส้นใยแก้วนำแสงแบบ multi-core ทำได้โดยนำเส้นใยแก้วขนาดเล็กจำนวนมากที่บรรจุภายในสายเคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงแบบ multi-core ต่อเข้ากับอุปกรณ์มัลติเพลกซ์ในระบบ SDH ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ได้กำหนดการสร้างรูปร่างโครงข่ายด้วยอุปกรณ์ชนิด STM-1 โดยมีความเร็วในการส่งข้อมูลในระบบที่อัตรา 155 Mbps และได้ทำการกำหนด

ปัจจัยในการออกแบบรูปร่างโครงข่ายออกแบบหลาย ๆ ส่วนที่สอดคล้องกับอุปกรณ์เส้นใยแก้วนำแสงที่นำมาสร้างรูปร่างโครงข่ายในวิทยานิพนธ์ ดังนี้

- 1) ต้นทุนในการสร้างรูปร่างวงแหวนเกิดขึ้นจากระยะทางรวมของสายเคเบิลในการสร้างวงแหวนและอัตราค่าใช้งานสายเคเบิล
- 2) วงแหวนที่เกิดขึ้นเป็นอิสระต่อกัน (independent)
- 3) ค่าความน่าจะเป็นของการทำงาน (operational probability) ของเส้นขอบที่เกิดขึ้นในการเชื่อมต่อต่าง ๆ มีค่า 0.9 ($p = 0.9$)
- 4) เสียข้อย่อยใน สายเคเบิลแบบ multi-core มีปริมาณเพียงพอในการรองรับปริมาณวงแหวนย่อยที่สอดคล้องกับข้อจำกัดในการออกแบบ
- 5) อุปกรณ์มัลติเพล็กซ์สัญญาณสามารถรองรับจำนวนวงแหวนย่อยที่เกิดขึ้นได้อย่างเพียงพอต่อความต้องการ
- 6) โหนดในโครงข่ายสามารถทำงานได้ตลอดเวลา (perfectly reliable node)

5.3 สมการคณิตศาสตร์เพื่อการออกแบบ

ในหัวข้อนี้จะทำการนำเสนอ ขั้นตอนการวิเคราะห์เพื่อสร้างสมการแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี โดยเริ่มจากการกำหนดปัจจัยต่าง ๆ ทางกายภาพจริงที่นำมาวิเคราะห์ อันได้แก่ ชนิดของอุปกรณ์ที่นำมาสร้างโครงข่าย ตัวอย่างโครงข่ายจริงที่ใช้ในระบบเชลลูลาร์ รวมถึงที่ได้ทำการอ้างอิงต้นทุนของอุปกรณ์ อันได้แก่ อุปกรณ์ของระบบสื่อสัญญาณ SDH และ เคเบิลเส้นใยแก้วนำแสงแบบ multi-core ที่สามารถทำการสร้างวงแหวนย่อยได้ ดังนี้

5.3.1 การสร้างฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี

ในกระบวนการการแก้ไขปัญหาการออกแบบด้วยการใช้โปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบไบนารี ที่ใช้ในการแก้ไขปัญหของการออกแบบโครงข่ายเข้าถึง โดยทำการพิจารณาหาจำนวนวงแหวนที่เหมาะสมที่สุด โดยเลือกจากจำนวนวงแหวนที่เป็นไปได้ทั้งหมด เนื่องจากจะให้ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายที่สูงที่สุด และนอกจากนี้ สมการดังกล่าวยังได้ทำการเลือกใช้อุปกรณ์ระบบสื่อสัญญาณอย่างเหมาะสมกับปริมาณความต้องการการใช้ข้อมูลของแต่ละ โหนด โดยผลที่ได้จากการออกแบบจะอยู่ในข้อจำกัดของการออกแบบโครงข่ายที่กำหนดไว้

กำหนดให้

- | | |
|-----|--|
| N | หมายถึงจำนวนโหนดของอุปกรณ์ STM-1 ที่ติดตั้งที่สถานีฐาน |
| R | หมายถึงจำนวนวงแหวนตัวเลือกที่เป็นไปได้ไปทั้งหมด |
| E | หมายถึงจำนวนชนิดของอุปกรณ์ STM-1 |

- i หมายถึงเซตของดัชนีแสดงหมายเลขโหนด, $i \in I = \{1,2,\dots,N\}$
 j หมายถึงเซตของดัชนีแสดงหมายเลขรูปร่างวงแหวนตัวเลือก, $j \in J = \{1,2,\dots,R\}$
 k หมายถึงเซตของดัชนีแสดงชนิดของอุปกรณ์ STM-1, $k \in K = \{1,2,\dots,E\}$
 T_i หมายถึงปริมาณการใช้ข้อมูล ณ โหนด i (หน่วย E1)
 rc_j หมายถึงต้นทุนในการสร้างวงแหวนตัวเลือกที่ j
 ec_k หมายถึงต้นทุนชนิดของอุปกรณ์ STM-1 ชนิด k
 cap_k หมายถึงปริมาณความจุสูงสุดของอุปกรณ์ STM-1 ชนิด k
 NC หมายถึงงบประมาณในการสร้างโครงข่ายรวม
 n_{ij} คือตัวแปรตัดสินใจ ในกรณีที่ $n_{ij} = 1$ หมายถึงโหนดที่ i ได้รับการบรรจุในวงแหวนตัวเลือกที่ j และ $n_{ij} = 0$ หมายถึงไม่ได้รับการเลือก
 r_j คือตัวแปรตัดสินใจ ในกรณีที่ $r_j = 1$ หมายถึงวงแหวนตัวเลือกที่ j ได้รับการเลือกในการสร้างในโครงข่ายที่ออกแบบ และ $r_j = 0$ หมายถึงไม่ได้รับการเลือก
 t_{ik} คือตัวแปรตัดสินใจ ในกรณีที่ $t_{ik} = 1$ หมายถึงอุปกรณ์ STM-1 ชนิด k ได้รับการเลือกที่จะใช้รองรับปริมาณข้อมูลที่โหนด i และ $t_{ik} = 0$ หมายถึงไม่ได้รับการเลือกและสามารถสร้างตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี ดังนี้

5.3.2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์แบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี

$$\text{maximize } \sum_{j \in J} r_j \quad (5-1)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์นี้ หมายถึงการหาจำนวนโครงข่ายรูปร่างวงแหวนมากที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

5.3.3 เงื่อนไขในการออกแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี

$$\sum_{j \in J} n_{ij} r_j \geq 1, \forall i \in I \quad (5-2)$$

$$\sum_{j \in J} rc_j r_j + \sum_{i \in I} \sum_{k \in K} ec_k t_{ik} \leq NC \quad (5-3)$$

$$\sum_{k \in K} cap_k t_{ik} \geq T_i, \forall i \in I \quad (5-4)$$

$$\sum_{k \in K} t_{ik} = 1, \forall i \in I \quad (5-5)$$

$$n_{ij}, r_j, t_{ik} \in \{0,1\} \quad (5-6)$$

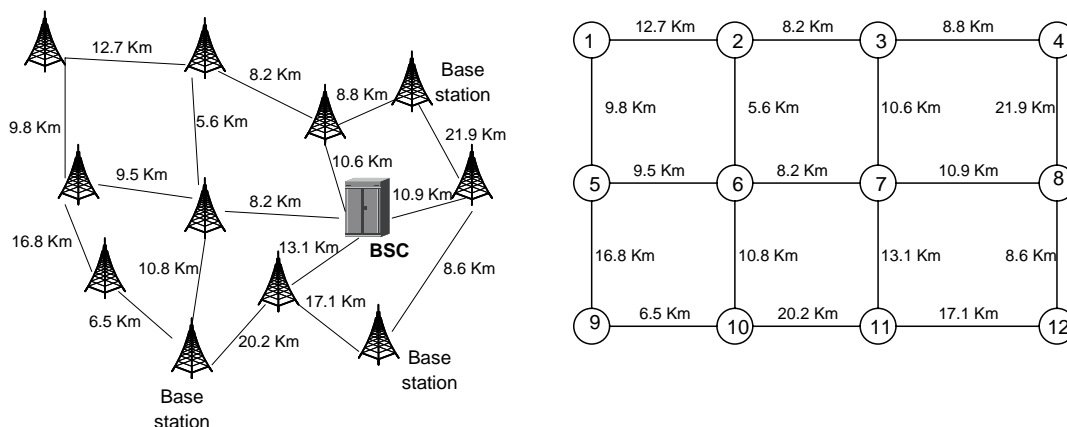
สมการเงื่อนไขสำหรับการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารีข้างต้นสามารถอธิบายได้ดังนี้ เซตของสมการที่ (5-2) แสดงการยืนยันว่าโนดทุกโนดที่ออกแบบได้รับการบรรจุเข้าในรูปร่างโครงข่ายโดยครบถ้วนทุกโนด เซตของสมการที่ (5-3) แสดงการยืนยันว่าต้นทุนของการสร้างโครงข่ายวงแหวนทั้งหมดที่เกิดขึ้นรวมทั้งต้นทุนของชนิดอุปกรณ์ที่ใช้ในการออกแบบอยู่ในงบประมาณที่มีอย่างจำกัด เซตของสมการที่ (5-4) แสดงการยืนยันว่าชนิดของอุปกรณ์ STM-1 ที่เลือกใช้ในแต่ละโนดจะมีปริมาณความจุเพียงพอต่อความต้องการการใช้งานของแต่ละโนด เซตของสมการที่ (5-5) กำหนดให้การเลือกชนิดของอุปกรณ์ STM-1 ที่เลือกใช้ในแต่ละโนดนั้น ทำได้เพียง 1 ชนิดเท่านั้น และ เซตของสมการที่ (5-6) แสดงการกำหนดชนิดของตัวแปรตัดสินใจ เป็นแบบจำนวนเต็มแบบไบนารี

5.4 การดำเนินการทดสอบหาคำตอบ

หัวข้อที่ 5.3 แสดงให้เห็นถึงตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สามารถใช้ในการแก้ปัญหาการออกแบบรูปร่างโครงข่ายเข้าถึง และในหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นถึงการนำตัวแบบดังกล่าว มาทดสอบเพื่อหาคำตอบและวิเคราะห์ผลที่ได้จากปัญหาจริงที่เกิดขึ้น ดังนี้ โครงข่ายเข้าถึงในระบบเซลลูลาร์ที่มีสถานีฐานจำนวน 11 โหนด และอุปกรณ์ควบคุมสถานีฐาน 1 โหนด เชื่อมต่อกันด้วยเคเบิลใยแก้วนำแสงแบบ multi-core ดังแสดงในภาพที่ 5.1

ปัญหาในการออกแบบครั้งนี้คือ การพิจารณาการใช้จำนวนวงแหวนย่อยเพื่อทำการสร้างและเชื่อมต่ออุปกรณ์ในโครงข่ายเข้าถึงให้สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ ทั้งนี้เพื่อให้ค่าความเชื่อถือได้สูงสุดในการให้บริการ โดยได้กำหนดให้เส้นขอบแต่ละเส้นที่ทำการเชื่อมต่อมีค่าความน่าจะเป็นในการทำงานที่ 0.9 ($p = 0.9$) ดังนั้นโอกาสที่เส้นขอบแต่ละเส้นที่จะอยู่ในสถานะที่ไม่สามารถใช้งานได้คือ 0.1 ($q = 1 - p = 1 - 0.9$) และนอกจากนี้ ยังได้กำหนดให้โนดทุกโนดทำงานได้ตลอดเวลา (perfectly reliable node) อัตราการลงทุนของเส้นใยแก้วนำแสงกำหนดได้จากอัตราการใช้งานจริงที่

25 หน่วย / เส้นใยแก้วนำแสง 2 เส้น / กิโลเมตร ดังนั้นงบประมาณในการลงทุนในการสร้างโครงข่าย จึงขึ้นอยู่กับสองปัจจัยคือ อัตราค่าใช้งานเส้นใยแก้วนำแสงและราคาอุปกรณ์มัลติเพลกซ์สัญญาณ STM-1



รูปที่ 5.1 ตัวอย่างโครงข่ายเข้าถึงในระบบเซลลูลาร์และกราฟของโครงข่าย

ในการแก้ปัญหานี้ได้กำหนดชนิดของอุปกรณ์มัลติเพลกซ์สัญญาณ STM-1 ไว้ 3 ชนิด ซึ่งกำหนดให้ความสามารถในการรองรับข้อมูลแตกต่างกัน โดยมีปริมาณความจุสัญญาณและต้นทุนแตกต่างกัน ซึ่งได้อ้างอิงจากต้นทุนอุปกรณ์จริงที่ใช้งานในโครงข่ายปัจจุบัน ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงปริมาณความจุของอุปกรณ์ชนิดต่าง ๆ

ชนิดของอุปกรณ์ (k)	ปริมาณจำนวน E1 (cap_k)	ราคาของอุปกรณ์(หน่วย) (ec_k)	ต้นทุนการติดตั้งอุปกรณ์ (หน่วย)
STM-1 ชนิดที่1	63	500	1500
STM-1 ชนิดที่2	21	250	600
STM-1 ชนิดที่3	7	150	300

และได้ทำการกำหนดปริมาณความต้องการใช้งานข้อมูลในแต่ละโนดซึ่งได้อ้างอิงจากโครงข่ายจริง ในตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงปริมาณความต้องการการรองรับข้อมูล ณ โหนดต่าง ๆ (T_i , หน่วย E1)

โหนดที่ (i)	ปริมาณการใช้ข้อมูลแต่ละโหนด
1	1
2	3
3	2
4	2
5	3
6	1
7	30
8	4
9	3
10	2
11	7
12	2

การพิจารณาได้เริ่มจาก การสร้างวงแหวนย่อยทั้งหมดที่เป็นไปได้ (Hanan L., Moshe B. และ Richard T., 1998) โดยการกำหนดข้อจำกัดเริ่มต้นในการสร้างกลุ่มของรูปร่างวงแหวนที่เป็นไปได้ทั้งหมดจากแนวเส้นทางของสายเคเบิล และแต่ละวงดังนี้

- 1) ความยาวสูงสุดของเส้นขอบที่ทำการเชื่อมแต่ละโหนดมีความยาวไม่เกิน 50 กิโลเมตร
- 2) วงแหวนแต่ละวง จะมีจำนวนโหนดไม่เกิน 16 โหนด
- 3) ความยาวสูงสุดของวงแหวนไม่เกิน 150 กิโลเมตร

จากนั้นจึงทำการสร้างวงแหวนที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยทำการเลือกเส้นขอบแต่ละเส้น และหาเส้นทางที่เป็นได้ทั้งหมดด้วยขั้นตอนวิธี k-shortest path algorithm ที่ทำให้โหนดที่อยู่ระหว่างเส้นขอบแต่ละเส้นเชื่อมโยงเข้าหากันเป็นวงแหวน โดยต้นทุนในการสร้างวงแหวนแต่ละวงขึ้นแตกต่างกันตามความยาวของสายเคเบิล และกระบวนการสร้างวงแหวนสามารถสรุปเป็นขั้นตอนวิธีได้ดังนี้

ขั้นตอน 0: $k=1$ กำหนดให้ต้นทุนของเส้นขอบที่ยาวเกินกว่า 50 กิโลเมตร มีค่าเป็น อนันต์

ขั้นตอน 1: ใช้ขั้นตอนวิธี k-shortest path algorithm ในการหาเส้นทางที่เป็นได้ทั้งหมดในการเชื่อมต่อ โหนดที่จุดปลายของเส้นขอบแต่ละเส้นโดยไม่ซ้ำกัน

ขั้นตอน 2: แต่ละเส้นทางที่เกิดขึ้น ต้องมีจำนวนโนดไม่เกินจำนวน 16 โหนด และระยะทางเคเบิลรวมทั้งหมดมีค่าไม่เกิน 150 กิโลเมตร ถ้าเส้นทางใดเป็นไปตามข้อกำหนดดังกล่าวถือว่าจัดอยู่ในเซตของวงแหวนตัวเลือก

ขั้นตอน 3: ถ้าความยาวของวงแหวนวงสุดท้ายมีค่าน้อยกว่า 150 กิโลเมตร ย่อยกลับไปพิจารณาที่ขั้นตอน 1

จากรูปที่ 5.1 สามารถสร้างได้จำนวนทั้งสิ้น 39 วงแหวนรวมถึงต้นทุนที่ต้องใช้ในการสร้างวงแหวนแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงโครงข่ายรูปร่างวงแหวนและต้นทุนในการสร้างวงแหวน

วงแหวนตัวเลือก (r_j)	หมายเลขโนด	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ต้นทุนในการสร้างวง แหวนตัวเลือก (rc_j)
1	1-2-6-5-1	37.6	940.00
2	1-2-3-7-6-5-1	59	1475.00
3	1-2-6-10-9-5-1	62.2	1555.00
4	1-2-3-4-8-7-6-5-1	90	2250.00
5	1-2-3-7-6-10-9-5-1	83.6	2090.00
6	1-2-3-7-11-10-6-5-1	94.9	2372.50
7	1-2-3-7-11-10-9-5-1	97.9	2447.50
8	1-2-6-7-11-10-9-5-1	92.9	2322.50
9	1-2-3-4-8-7-6-10-9-5-1	114.6	2865.00
10	1-2-3-4-8-7-11-10-6-5-1	125.9	3147.50
11	1-2-3-4-8-7-11-10-9-5-1	128.9	3222.50
12	1-2-3-4-8-12-11-7-6-5-1	117.9	2947.50
13	1-2-3-4-8-12-11-10-6-5-1	127.6	3190.00
14	1-2-3-4-8-12-11-10-9-5-1	130.6	3265.00
15	1-2-3-7-8-12-11-10-6-5-1	118.4	2960.00
16	1-2-3-7-8-12-11-10-9-5-1	121.4	3035.00
17	1-2-6-7-8-12-11-10-9-5-1	116.4	2910.00
18	1-2-3-4-8-12-11-7-6-10-9-5-1	142.5	3562.50
19	2-3-7-6-2	32.6	815.00

ตารางที่ 5.3(ต่อ) ตารางแสดงโครงข่ายรูปร่างวงแหวนและต้นทุนในการสร้าง

วงแหวนตัวเล็ก (r_j)	หมายเลขโนด	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ต้นทุนในการสร้างวง แหวนตัวเล็ก (rc_j)
20	2-3-4-8-7-6-2	63.6	1590.00
21	2-3-7-11-10-6-2	68.5	1712.50
22	2-3-4-8-7-11-10-6-2	99.5	2487.50
23	2-3-4-8-12-11-7-6-2	91.5	2287.50
24	2-3-4-8-12-11-10-6-2	101.2	2530.00
25	2-3-7-8-12-11-10-6-2	92	2300.00
26	2-3-7-11-10-9-5-6-2	90.5	2262.50
27	2-3-4-8-7-11-10-9-5-6-2	121.5	3037.50
28	2-3-4-8-12-11-10-9-5-6-2	123.2	3080.00
29	2-3-7-8-12-11-10-9-5-6-2	114	2850.00
30	3-7-8-4-3	52.2	1305.00
31	3-7-11-12-8-4-3	80.1	2002.50
32	3-7-6-10-11-12-8-4-3	106.2	2655.00
33	3-7-6-5-9-10-11-12-8-4-3	128.2	3205.00
34	5-9-10-6-5	43.6	1090.00
35	5-9-10-11-7-6-5	74.3	1857.50
36	5-9-10-11-12-8-7-6-5	97.8	2445.00
37	6-10-11-7-6	52.3	1307.50
38	6-10-11-12-8-7-6	75.8	1895.00
39	7-11-12-8-7	49.7	1242.50

งานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ILOG OPL development studio โดยมี CPLEX 5.2 optimization solver เป็นเครื่องมือในการหาคำตอบ และใช้คอมพิวเตอร์รุ่น Intel Centrino Core2 Duo Processor 1.83GHz ขนาด 1GB RAM ในการประมวลผลเพื่อหาคำตอบ นอกจากนี้ยังได้ทำการเขียนโปรแกรมเพื่อทำการทวนผลคำตอบที่ได้และนำผลที่ได้ทั้งสองแบบมาทำการเปรียบเทียบเพื่อตรวจสอบความถูกต้อง ในการทดลองเริ่มทำการค้นหามูลค่าการลงทุนที่น้อยที่สุด เพื่อกำหนดมูลค่าการลงทุนที่น้อยที่สุดในการสร้างโครงข่าย และได้ทำการทดสอบในการเพิ่มมูลค่าการลงทุนจาก

11000, 21000, 31000, 41000 และ 51000 (NC) หน่วย ตามลำดับ เพื่อตรวจสอบผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น

5.4.1 การหาคำตอบโดยใช้เครื่องประมวลผล

โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่นิยมใช้ในการหาคำตอบสำหรับตัวแบบทางคณิตศาสตร์ โปรแกรมเชิงเส้นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย และได้รับการยอมรับโดยทั่วไปคือ สำเร็จรูป ILOG OPL development studio โดยมี CPLEX 5.2 optimization solver เป็นเครื่องมือในการหาคำตอบ ซึ่งกระทำได้โดยการเปลี่ยนตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้ทำการพิจารณา ให้เป็นคำสั่งทางคอมพิวเตอร์ที่จะนำไปประมวลผลเพื่อค้นหาคำตอบได้ตามรูปแบบของ CPLEX 5.2 optimization solver จากตัวอย่างโครงข่าย ดังรูปที่ 5.1 ประกอบกับฟังก์ชันวัตถุประสงค์และเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ในหัวข้อที่ 5.3.2 และ 5.3.3 รูปแบบของคำสั่งเพื่อการดำเนินการทางคอมพิวเตอร์แสดงไว้ในภาคผนวก ก

ผลคำตอบที่ได้จากการประมวลผล จากการนำตัวแบบดังกล่าว ประกอบกับลักษณะรูปร่างของโครงข่ายจริงที่นำมาวิเคราะห์ แสดงไว้ในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงผลคำตอบจากตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี

คำตอบที่	ต้นทุนเครือข่าย	จำนวนวงแหวน	หมายเลขวงแหวน
1	11000	7	1,2,19,30,34, 37,39
2	21000	13	1,2,3,19,20, 21,30,31,34,35, 37,38,39
3	31000	17	1,2,3,4,5, 19,20,21,23,26, 30,31,34,35,37, 38,39
4	41000	21	1,2,3,4,5, 6,8,19,20,21, 23,25,26,30,31, 34,35,36,37,38, 39

ตารางที่ 5.4 (ต่อ) ตารางแสดงผลคำตอบจากตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี

คำตอบที่	ต้นทุนเครือข่าย	จำนวนวงแหวน	หมายเลขวงแหวน
5	51000	25	1,2,3,4,5, 6,7,8,19,20, 21,22,23,24,25, 26,30,31,32,34, 35,36,37,38,39

และนอกจากนี้สมการที่ได้รับการออกแบบ ยังสามารถทำการหาชนิดของอุปกรณ์ที่เหมาะสมในการรองรับปริมาณข้อมูลที่เกิดขึ้นได้อย่างเหมาะสม โดยแสดงไว้ในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 ตารางแสดงผลคำตอบจากการเลือกชนิดของอุปกรณ์ของระบบสื่อสารสัญญาณ

โนดที่	ชนิดของอุปกรณ์	โนดที่	ชนิดของอุปกรณ์
1	STM-1 ชนิดที่3	7	STM-1 ชนิดที่1
2	STM-1 ชนิดที่3	8	STM-1 ชนิดที่3
3	STM-1 ชนิดที่3	9	STM-1 ชนิดที่3
4	STM-1 ชนิดที่3	10	STM-1 ชนิดที่3
5	STM-1 ชนิดที่3	11	STM-1 ชนิดที่3
6	STM-1 ชนิดที่3	12	STM-1 ชนิดที่3

5.4.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของผลคำตอบ

จากจำนวนวงแหวนทั้งหมด 39 วงแหวนดังแสดงในตารางที่ 5.2 สามารถทำการแบ่งกลุ่มของวงแหวนออกเป็น 5 กลุ่ม โดยแบ่งตามจำนวนโนด (n) ที่แตกต่างกันคือ 4, 6, 8, 10, และ 12 โหนด เพื่อทำการหาค่าความเชื่อถือได้รวมของโครงข่ายที่ได้จากผลคำตอบ จึงได้ทำการกำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นในการทำงานของเส้นขอบแต่ละเส้นมีค่า 0.9 ($p = 0.9, q = 1 - p = 0.1$) โดยคำนวณจากตัวแบบของค่าความน่าเชื่อถือได้ของรูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวน ดังนี้

$$R(G_r) = p^n + np^{n-1}q \quad (5-7)$$

และค่าความเชื่อถือได้ของวงแหวนย่อยแต่ละวง และได้แสดงในตารางที่ 5.5 ซึ่งจะสังเกตได้ว่า วงแหวนย่อยที่มีค่าความเชื่อถือได้สูงสุดที่วงแหวนย่อยที่มีขนาด 4, 6, 8, 10, และ 12 โหนด ตามลำดับ และจากค่าความเชื่อถือได้ของแต่ละกลุ่ม ก็จะส่งผลต่อค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างวงแหวนหลายชั้นที่ได้จากผลคำตอบของตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี

ตารางที่ 5.6 ตารางแสดงค่าความเชื่อถือได้ของรูปร่างวงแหวนที่ได้จากผลคำตอบจากตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี

จำนวน โหนด	ค่าความเชื่อถือได้
4	0.947700
6	0.885735
8	0.813105
10	0.736099
12	0.659002

ค่าความเชื่อถือได้ในตารางที่ 5.6 สามารถนำมาคำนวณค่าความเชื่อถือได้โดยรวมของรูปร่างโครงข่ายเข้าถึงแบบวงแหวนหลายวงที่เกิดขึ้นจากผลคำตอบในตารางที่ 5.4 จากสมการ

$$R_{total}(G) = 1 - \left(\prod_{\forall m} (1 - R_m(G_r)) \right) \quad (5-8)$$

เมื่อกำหนดให้ m คือจำนวนวงแหวนย่อยที่ได้จากผลคำตอบจากตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไบนารี และค่าความเชื่อถือได้รวมของผลคำตอบแสดงในตารางที่ 5.7 เพื่อให้เกิดความสะดวกในการพิจารณาคำตอบจึงได้ทำการกำหนดดัชนีค่าความเชื่อถือได้จากผลคำตอบที่ได้จากสมการ (5-8) ดังนี้

$$R_{total}(G) \approx \sum_{i=1}^r \frac{9}{10^i}, r \in I^+ \quad (5-9)$$

ตารางที่ 5.7 แสดงค่าความเชื่อถือได้รวมของโครงข่ายที่เกิดจากต้นทุนต่าง ๆ

คำตอบที่	ต้นทุนเครือข่าย	จำนวนวงแหวน	ดัชนีค่าความเชื่อถือได้ (r)	ค่า SES/yr
1	11000	7	8	7.374455723
2	21000	13	14	1.646179199
3	31000	17	17	0.002002637
4	41000	21	20	0.000244383
5	51000	25	23	0.000000350

จากมาตรฐาน ITU-T G.801, G.821, และ G.826 ได้กำหนดมาตรฐานของคุณภาพของโครงข่ายเข้าถึงในการให้บริการในกรณีที่เกิดสภาวะการที่ทำให้ส่วนหนึ่งส่วนใดของโครงข่ายไม่สามารถทำงานได้ ควรมีค่าความเชื่อถือได้ที่ 99.99% หมายถึง ในระยะเวลา 1 ปีโครงข่ายเข้าถึงใด ๆ ควรมีสถานะที่ไม่สามารถให้บริการไม่เกิน 3600 วินาที (3600 SES/yr) ซึ่งจะเห็นได้ว่า ผลคำตอบที่ได้จากตัวแบบที่ใช้ในการออกแบบรูปร่างโครงข่ายเข้าถึงในงานวิทยานิพนธ์นี้ สามารถให้ค่าความเชื่อถือได้อยู่ในระดับที่เหมาะสมตามมาตรฐานที่กำหนด

5.5 สรุปการวิเคราะห์เทคนิคการออกแบบรูปร่างโครงข่าย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอการออกแบบรูปร่างโครงข่ายเข้าถึง สำหรับระบบสื่อสารสัญญาณเซลลูลาร์ โดยใช้อุปกรณ์เส้นใยแก้วนำแสง (optical fiber cable) ในการออกแบบและให้บริการ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการสร้างรูปร่างโครงข่ายเข้าถึงที่ให้ค่าความเชื่อถือได้ในการให้บริการสูงสุด โดยอยู่ภายในขอบเขตของข้อจำกัดของการออกแบบ ทั้งในด้านการรองรับปริมาณข้อมูลที่เกิดขึ้น ณ โหนดต่าง ๆ และต้นทุนในการสร้างโครงข่าย จะเห็นได้ว่า ตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มที่ได้ นำเสนอนี้สามารถให้ผลคำตอบที่เป็นไปตามจุดประสงค์ โดยตัวแบบมีวัตถุประสงค์ในการค้นหาจำนวนวงแหวนย่อยที่มากที่สุด เนื่องจากผลการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ได้แสดงให้เห็นว่า ค่าความเชื่อถือได้สูงสุด เกิดจากรูปร่างโครงข่ายแบบวงแหวนหลายชั้น และวิทยานิพนธ์นี้ได้พบจุดที่น่าสนใจประการหนึ่งของการออกแบบคือ ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายจะมีค่าสูงขึ้น ถ้าจำนวนวงแหวนที่ออกแบบในการสร้างโครงข่ายมีจำนวนมากขึ้น ทั้งนี้จำนวนวงแหวนที่เกิดขึ้นในการสร้างโครงข่ายนั้น ต้องอยู่ภายใต้ข้อจำกัดที่ได้กำหนดไว้ และตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มไปนารีที่ได้นำเสนอ ยังสามารถนำมาใช้ในการวิเคราะห์ได้ โดยยังให้ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายที่ออกแบบอยู่ในระดับมาตรฐาน

บทที่ 6

สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปเนื้อหาของวิทยานิพนธ์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเทคนิคออกแบบรูปร่าง โครงข่ายเข้าถึง สำหรับระบบสื่อสารสัญญาณเซลลูลาร์ ในขั้นแรกได้ทำการศึกษการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างต่าง ๆ และได้ทำการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ของ โครงข่ายเข้าถึงในระบบเซลลูลาร์จำนวน 7 รูปแบบ ได้แก่ รูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม แบบวงแหวน แบบวงแหวนสามวง แบบวงแหวนหลายชั้น และที่ได้นำเสนอเพิ่มเติมคือ รูปร่างแบบผสมที่เกิดจากรูปร่างต้นไม้แบบทอดข้าม และแบบวงแหวนต่าง ๆ เพื่อทำการศึกษาค่าความเชื่อถือได้ให้ครอบคลุมรูปร่างของโครงข่ายเข้าถึง ที่มีใช้งานจริงในปัจจุบัน และได้ทำการศึกษการวิเคราะห์ค่าความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลของโครงข่าย เพื่อทำการเปรียบเทียบความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นภายในโครงข่าย และส่วนท้ายของงานวิจัยได้ทำการออกแบบรูปร่างโครงข่ายเพื่อสร้างความเชื่อถือได้สูงสุด โดยได้นำเสนอเทคนิค Integer Programming ในการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการออกแบบ ที่พิจารณาค่าความเชื่อถือได้เป็นหลักในการออกแบบ พร้อมทั้งปัจจัยและข้อจำกัดต่าง ๆ ในการออกแบบ เช่น ปริมาณความต้องการใช้ข้อมูลที่เกิดขึ้นในโครงข่าย และงบประมาณในการสร้างโครงข่ายไปพร้อมกัน

เพื่อบรรลุตามวัตถุประสงค์ การดำเนินวิจัยเริ่มจากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า เทคนิคการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของรูปร่างโครงข่ายเข้าถึง ยังไม่ครอบคลุมถึงบางรูปแบบ ซึ่งก็คือรูปแบบผสมที่มีการใช้งานจริงอย่างแพร่หลาย และกระบวนการหาประสิทธิภาพของโครงข่ายในการรองรับปริมาณข้อมูลยังยุ่งยากและซับซ้อน พร้อมทั้งการออกแบบรูปร่างโครงข่าย มุ่งเน้นเฉพาะการหางบประมาณที่น้อยที่สุดในการสร้างโครงข่ายเป็นหลัก และยังขาดการคำนึงถึงคุณภาพของโครงข่ายโดยรวม และนอกจากนี้จะเห็นได้ว่า ในงานวิจัยฉบับนี้ได้นำเสนอตัวแบบการหาค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายรูปร่างแบบผสม การหาประสิทธิภาพในการรองรับปริมาณข้อมูลในรูปของค่า Lifetime Index ของโครงข่าย และได้ทำการพัฒนาสมการแบบ Integer Programming โดยเน้นการหาค่าความเชื่อถือได้สูงสุดของโครงข่ายในการออกแบบ และได้กำหนดให้งบประมาณในการลงทุนนั้นเป็นเพียงปัจจัยข้อจำกัดอย่างหนึ่งในการออกแบบระบบซึ่งสามารถนำไปประกอบกับการพิจารณาในการสร้างโครงข่ายที่เกิดขึ้นจริงได้

และนอกจากนี้ ยังได้นำเสนอ สมการ Lifetime Index เพื่อการวิเคราะห์และเปรียบเทียบความสามารถในการรองรับปริมาณข้อมูลของโครงข่ายและได้ทำการพัฒนาสมการแบบ Integer Programming โดยเน้นออกแบบเพื่อการสร้างความเชื่อถือได้สูงสุดให้กับรูปร่างโครงข่ายเข้าถึง

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้คือ การพัฒนาสมการในการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายเข้าถึง สำหรับระบบสื่อสารสัญญาณเซลลูลาร์ให้ครอบคลุมและแพร่หลายในหลายๆ รูปแบบ เพื่อการปรับปรุงและพัฒนาาระบบที่มีอยู่ในปัจจุบัน และยังสามารถนำสมการดังกล่าวไปใช้เป็นตัวแบบเพื่อการออกแบบโครงข่ายที่มุ่งเน้นการออกแบบรูปร่างโครงข่ายที่ต้องการค่าความเชื่อถือได้ที่สูงขึ้นในอนาคต นอกจากนี้การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโครงข่ายด้วยค่า Lifetime Index ซึ่งเป็นการคำนวณที่ไม่ยุ่งยาก ซับซ้อน แต่สามารถนำมาเปรียบเทียบความสามารถในการรองรับการเปลี่ยนแปลงของข้อมูลได้และให้ผลตรงกันกับกระบวนการอื่นที่ยุ่งยากและซับซ้อนมากกว่า และส่วนท้ายของงานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาสมการแบบ Integer Programming โดยสร้างวัตถุประสงค์ของการออกแบบที่หาค่าความเชื่อถือได้สูงสุดให้กับโครงข่ายที่ออกแบบ ประกอบกับการกำหนดเงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆ ในการออกแบบให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับการแก้ไขปัญหามathematical programming ผลที่ได้คือสามารถนำสมการดังกล่าวไปประกอบการออกแบบในโครงข่ายจริงได้เป็นอย่างดี และยังสะท้อนถึงผลที่เกิดขึ้นจากการทำงานจริงที่ว่า ต้นทุนในการสร้างโครงข่าย เป็นเพียงข้อจำกัดหลักอย่างหนึ่ง ในการสร้างโครงข่าย

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการวิเคราะห์ค่าความเชื่อถือได้จากงานวิจัยนี้ได้อาศัยหลักการของทฤษฎีกราฟ และความน่าจะเป็นในการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์และรูปร่างของโครงข่ายที่ได้ทำการพิจารณาเป็นรูปร่างที่ไม่ซับซ้อนนัก ทว่า ความต้องการใช้งานโครงข่ายมีปริมาณเพิ่มขึ้นอย่างมหาศาลในปัจจุบัน ดังนั้นการออกแบบโครงข่ายเพื่อตอบสนองความต้องการที่เกิดขึ้น จึงส่งผลให้รูปร่างโครงข่ายมีความสลับซับซ้อนมากขึ้น ประกอบกับเทคโนโลยีของระบบสื่อสารสัญญาณ (transmission technology) ได้รับความพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ดังนั้น หากต้องการพิจารณาค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายที่ซับซ้อนมากขึ้น จึงมีความจำเป็นที่ต้องอาศัยหลักการอื่นในการวิเคราะห์เพื่อหาตัวแบบของค่าความเชื่อถือได้ที่เหมาะสม และกระบวนการหาตัวแบบดังกล่าวจึงมีความซับซ้อนและอาศัยอัลกอริทึมทางคอมพิวเตอร์ออกแบบในการคำนวณค่าความเชื่อถือได้ให้กับโครงข่ายดังกล่าว

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดหน่วยของข้อมูลที่โครงข่ายรองรับเป็น E1 จากนั้นจึงทำการออกแบบและคำนวณค่า Lifetime Index และนำผลมาเปรียบเทียบ ทว่าในอนาคตข้อมูลที่ใช้งานในโครงข่ายจะมีลักษณะแตกต่างไปจากเดิม เนื่องจากระบบการส่งข้อมูลเริ่มเข้าสู่ยุค IP network แบบเต็มระบบ

ดังนั้นการส่งผ่านข้อมูลในโครงข่ายจะอยู่ในรูปของแพคเกจข้อมูล แทนแบบ E1 การวิเคราะห์การเติบโตของการใช้งานข้อมูลในโครงข่ายจึงต้องเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

และในอนาคตโครงข่ายเข้าถึงจะมีการเปลี่ยนแปลงเข้าสู่ยุค IP Network ดังนั้นการพัฒนาสมการแบบ Integer Programming จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงให้เหมาะสมกับลักษณะการเปลี่ยนแปลงของโครงข่าย และเหมาะสมกับลักษณะของข้อมูลที่ต้องรองรับ ดังนั้น การกำหนดเงื่อนไขของสมการแบบ Integer Programming จึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของปัญหา รวมถึงการพัฒนาเงื่อนไขและข้อจำกัดที่ซับซ้อน รัดกุม มากขึ้น เพื่อส่งผลให้สมการดังกล่าวสามารถนำไปพัฒนาในการใช้งานในระบบงานจริงได้เป็นอย่างดี

6.3 งานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอเทคนิคการวิเคราะห์หาค่าความเชื่อถือได้ให้กับโครงข่ายเข้าถึงสำหรับระบบสื่อสารสัญญาณเซลลูลาร์ และเมื่อโครงข่ายเกิดการเปลี่ยนแปลง และซับซ้อนมากขึ้นในอนาคต สมการดังกล่าวก็เป็นพื้นฐานอย่างหนึ่ง อันจะส่งผลให้สามารถทำการวิเคราะห์และพัฒนาการหาค่าความเชื่อถือได้ของโครงข่ายที่ซับซ้อนมากขึ้นในอนาคต และยังสามารถพัฒนาให้อยู่ในรูปของกระบวนการทางโปรแกรมและอัลกอริทึม เพื่ออำนวยความสะดวกและรวดเร็ว

ในส่วนของงานวิเคราะห์ความสามารถในการรองรับข้อมูลที่อยู่ในรูปของแพคเกจนั้น เนื่องจากลักษณะข้อมูลในโครงข่ายเปลี่ยนแปลงไป จึงมีความจำเป็นที่ต้องอาศัยหลักการวิเคราะห์อื่นที่เหมาะสมในการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องต่อลักษณะข้อมูลนั้น ๆ

และเนื่องจากลักษณะการออกแบบโครงข่ายเปลี่ยนแปลง ประกอบกับการพัฒนาทางเทคโนโลยีของระบบสื่อสารสัญญาณดำเนินไปอย่างต่อเนื่อง การสร้างตัวแบบการแก้ไขปัญหาการออกแบบในรูปของ Integer Programming จึงต้องจัดการกับจำนวนตัวแปรที่มีปริมาณมากขึ้น กระบวนการในการหาคำตอบจึงต้องอาศัยเวลาที่ยาวนานมากขึ้นกว่าเดิม และถ้าโครงข่ายมีความซับซ้อน รวมถึงมีองค์ประกอบมากขึ้นในการกำหนดเงื่อนไขในการออกแบบ จะส่งผลให้ระยะเวลาที่ใช้ในการหาแก้ปัญหายาวนานขึ้น ดังนั้นเพื่อให้บรรลุการออกแบบโครงข่ายที่เปลี่ยนแปลงไป ภายในระยะเวลาที่ยอมรับได้ จึงมีความจำเป็นที่ควรทำการศึกษาและพัฒนาเทคนิคที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมได้โดยอยู่ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม

รายการอ้างอิง

- Szlovecsak, I., Harmatos J. and Cinkler T., "Planning reliable UMTS terrestrial access networks", *IEEE Communication Magazine*, Jan 2002, pp. 66- 72
- Rong Hong Jan, "Design of reliable networks", Communications, 1992. ICC 92, Conference record, SUPERCOMM/ICC '92, Discovering a New World of Communications. IEEE International Conference on 14-18 June 1992 pp. 191 - 196 vol.1
- Charnsripinyo C. and Wattanapongsakorn N. (2004), "A model for reliable wireless access network topology design," TENCON 2004. 2004 IEEE Region 10 Conference, Volume B, 21-24 Nov. 2004 pp. 561 - 564 Vol. 2
- Billionnet A., Elloumi S. and Djerbi L., " Designing radio-mobile access networks based on synchronous digital hierarchy rings ", *Computer & Operation Research* 32, 2002, pp. 379-394
- Chamberland S. and Pierre S., "On the design problem of cellular wireless networks," *CM MobiCom* 2003, Volume 11 , Issue 4 (July 2005), pp. 489-496
- Shin-yi Wu, "Optimal infrastructure design and expansion of broadband wireless access networks," *European Journal of Operational Research*, Volume 178, Issue 1, 1 April 2007, pp. 322-329
- Devaraj D. and Veerakumar S., "Data communication network design using genetic algorithm," *Intelligent Systems*, 2004. Proceedings. 2004 2nd International IEEE Conference Volume 2, 22-24 June 2004, pp. 612 - 616
- T. Bu, M. C. Chan and R. Ramgee, "Designing wireless radio access networks for third generation cellular networks", *International IEEE Conference* , June 2005, pp. 68-78
- Hanan L., Moshe B. R. and Wong R., "Topological network design for SONET ring architecture," *IEEE transaction on System, Man and Cybernatics*, Volume 28, No 6, November 1998, pp 780-790

ภาคผนวก ก

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

โปรแกรมเพื่อประมวลผลในการหาคำตอบใน CPLEX

```

int nbRings=...;
range Rings=1..nbRings;
int nbNodes=...;
range Nodes=1..nbNodes;
int nbTypes=...;
range Types=1..nbTypes;
int EqCap[Types]=...;
int EqCost[Types]=...;
float RingCost[Rings]=...;
int TrafficDemand[Nodes]=...;
int n[Nodes][Rings]=...;
int TotalCost=25000;

// decision variable
dvar int r[Rings] in 0..1;
dvar int t[Nodes][Types] in 0..1;

maximize
    sum (j in Rings) r[j];

// constraints
subject to
{
    forall (i in Nodes)
    ct1:
        sum (j in Rings) n[i][j]*r[j] >= 1;
    forall (i in Nodes)
    ct2:

```

```
    sum (j in Rings) RingCost[j]*r[j] + sum (k in Types) EqCost[k]*t[i][k] <= TotalCost;
forall (i in Nodes)
ct3:
    sum (k in Types) t[i][k] == 1;
forall (i in Nodes)
ct4:
    sum (k in Types) EqCap[k]*t[i][k] >= TrafficDemand[i];
}
```

ภาคผนวก ข

บทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

บทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในขณะศึกษา

- C. Prommak and E. Eksook (2007) “**Network Reliability Analysis for 3G Cellular Topology Design**” ICEE-2007 Prince Songkla University, Thailand.
- C. Prommak and E. Eksook (2008) **Reliability Optimization for 3G Cellular Access Network** CSCN-2008 WASET, Heidelberg, Germany.
- E. Eksook and C. Prommak (2008) “**Optical Access Network Design for Reliability Optimization in 3G Cellular Networks**” COIN-2008 Tokyo, Japan.

ประวัติผู้เขียน

นายเอกลักษณ์ เอกสุข เกิดเมื่อวันที่ 10 เมษายน พ.ศ. 2521 ที่ จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จ การศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 1-6 จากโรงเรียนมารีย์วิทยา จังหวัดนครราชสีมา ระดับมัธยมศึกษา ชั้นปีที่ 1-4 จาก โรงเรียนบุญวัฒนา แผนกวิทยาศาสตร์-คณิตศาสตร์ ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพ ชั้นสูง (4 ปี) สาขาวิชาช่างเทคนิคคอมพิวเตอร์ จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ (ปัจจุบันคือ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน) จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อใน ระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ (ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม) ที่สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ภายหลังจากสำเร็จการศึกษาได้เข้าทำงานในตำแหน่งวิศวกรที่ บริษัท แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด (มหาชน) ที่ศูนย์ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัด นครราชสีมา มีหน้าที่รับผิดชอบการวางแผนระบบสื่อสารในระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เซลลูลาร์จนกระทั่งปัจจุบัน ขณะปฏิบัติงานที่บริษัท ได้มีความสนใจที่จะศึกษาต่อในระดับปริญญา วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต จึงได้สมัครเข้าศึกษาในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชา วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยมีความเชี่ยวชาญด้านการออกแบบโครงข่าย ระบบสื่อสารระบบเซลลูลาร์