บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ในปัจจุบันโครงข่ายสื่อสารได้เข้ามามีบทบาทในชีวิตประจำวัน การทำงาน และการติดต่อสื่อสารระหว่างคนเราเป็นอย่างมาก การที่จะออกแบบขยายโครงข่ายให้สามารถรองรับ และให้บริการกับผู้ใช้บริการที่มีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างมากได้ โดยยังคงคุณภาพให้อยู่ในระดับที่ดีได้นั้น นอกจากจะต้องออกแบบระบบโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพของระบบในขณะทำงานตามปกติแล้ว การออกแบบและปรับปรุงระบบโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบโครงข่ายสื่อสาร ในขณะที่ระบบได้รับผลกระทบจากความเสียหายก็เป็นสิ่งสำคัญเช่นเดียวกัน ดังนั้น การหาค่าขีดความสามารถของระบบในขณะเกิดเหตุการณ์ความเสียหายที่เกิดจากอุบัติเหตุ หรือแม้กระทั่งการถูกโจมตีด้วยความตั้งใจ พร้อมทั้งหาข่ายเชื่อมโยงที่สำคัญต่อสมรรถนะของระบบโดยรวม เพื่อที่จะช่วยให้ผู้ออกแบบโครงข่ายสามารถตัดสินใจออกแบบ และปรับปรุงระบบโครงข่ายให้มีความเชื่อถือได้สูง จึงเป็นปัญหาที่น่าสนใจและมีความสำคัญในทางปฏิบัติอย่างมาก

โครงข่ายสื่อสารมีองค์ประกอบหลักสองส่วนคือโหนด (node) และข่ายเชื่อมโยง (link) ซึ่งมีการเชื่อมต่อกันเป็นโครงข่ายที่มีเส้นทางการส่งข้อมูลที่หลากหลาย เพื่อให้สามารถทนต่อความเสียหายที่เกิดขึ้นได้ แม้ว่าโหนดหรือข่ายเชื่อมโยงบางจุดจะไม่สามารถให้บริการได้ก็ตาม เราเรียกระบบโครงข่ายที่มีความไม่แน่นอน เนื่องจากองค์ประกอบอาจเกิดความเสียหายหรืออยู่ในระหว่างการซ่อมแซมว่า "โครงข่ายสุ่ม (stochastic networks)" [1] ในอดีตมีการประเมินความเชื่อถือได้ของโครงข่ายสุ่มใน 5 ลักษณะหลัก [2] คือ

1. ประเมินจากการเชื่อมต่อ (connectivity reliability)
2. ประเมินจากการใช้เวลาเดินทางหรือความล่าช้า (travel time or delay reliability)
3. ประเมินจากความสามารถในการรองรับปริมาณทราฟฟิก หรือความจุ (capacity reliability)
4. ประเมินจากพฤติกรรมของผู้ใช้งานระบบโครงข่าย (behavioral reliability)
5. ประเมินจากความเสี่ยงต่อความเสียหายของอุปกรณ์ระบบโครงข่าย (potential reliability)

การประเมินความเชื่อถือได้ประเภทแรก เป็นวิธีการประเมินความเชื่อถือได้จากการเชื่อมต่อ [3, 4] ซึ่งจะทำการสมมติให้ข่ายเชื่อมโยงในระบบโครงข่าย มีค่าความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในสถานะการทำงาน หรือสถานะไม่ทำงาน เป้าหมายของการวิเคราะห์ลักษณะนี้ก็คือ การคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่เส้นทางต่าง ๆ จะอยู่ในสภาพที่สามารถเชื่อมต่อโหนดต้นทางและปลายทาง และสามารถใช้ในการส่งข้อมูลได้

การประเมินความเชื่อถือได้ลักษณะที่สองได้แก่ การประเมินความเชื่อถือได้จากการใช้เวลาเดินทาง [5, 6] โดยพิจารณาถึงผลจากการที่มีปริมาณการใช้งานโครงข่ายของถนน จากผู้ใช้ยานพาหนะบนแต่ละพื้นที่ ซึ่งจะทำให้เกิดค่าความล่าช้าแต่ละเส้นบนโครงข่ายถนนไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับลักษณะของถนนและปริมาณยานพาหนะในแต่ละพื้นที่ โดยจะวิเคราะห์คำนวณลักษณะการแจกแจงของเวลาที่ใช้ในการเดินทาง รวมทั้งหาความแปรปรวนของเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านระบบโครงข่ายถนน นอกจากที่เราจะพิจารณาเวลาที่ใช้ในการเดินทางผ่านระบบโครงข่ายถนนได้แล้ว เราสามารถพิจารณาลักษณะการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้จากเวลาที่ใช้ในการเดินทางบนท้องถนน เป็นลักษณะของการใช้เวลาในการส่งข้อมูลในระบบโครงข่ายสื่อสารได้เช่นเดียวกัน โดยจะมองความล่าช้าที่เกิดขึ้นบนถนนเป็นเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลของข่ายเชื่อมโยงในระบบโครงข่ายสื่อสารแทน

การประเมินความเชื่อถือได้ลักษณะที่สามได้แก่ การประเมินความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายจากค่าความจุ [7, 8] โดยการแก้ปัญหาเพื่อหาปริมาณการไหลของข้อมูลที่สูงที่สุดที่ระบบโครงข่ายสามารถที่จะส่งได้ ภายใต้เงื่อนไขของความเชื่อถือได้ของความจุและเวลาหน่วงของระบบโครงข่าย ซึ่งขึ้นอยู่กับค่าสถิติของเหตุการณ์การเกิดความเสียหาย ที่ถูกเก็บเป็นข้อมูลของข่ายเชื่อมโยง เพื่อที่จะคาดการณ์ลักษณะการกระจายตัวของความน่าจะเป็นในการลดลงของค่าความจุบนข่ายเชื่อมโยงนั้น ๆ

การวัดความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายอีกวิธีหนึ่งจากค่าความจุที่ถูกนำเสนอในอดีต ได้แก่การวัดความเชื่อถือได้จากความน่าจะเป็นที่ระบบจะรองรับปริมาณข้อมูลขนาด d จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ โดยการใช้เซตตัด (cut set) เพื่อช่วยในการหาค่าดังกล่าวซึ่งเรียกปัญหานี้ว่า d-MC [9] ในอดีตได้มีการวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวไว้แล้วอย่างมากใน [1, 9, 10, 11] ซึ่งวิธีการแก้ปัญหานั้นจะทำการหาชุดของข่ายเชื่อมโยงที่น่าจะเป็นสมาชิกของเซตตัดก่อน หลังจากนั้นจะใช้ระเบียบวิธีการทดสอบชุดของเซตตัดว่าเป็น d-MC หรือไม่ แต่อย่างไรก็ตาม ชุดของ d-MC ที่เป็นไปได้ส่วนใหญ่ที่นำมาทดสอบจะมีคุณสมบัติไม่ตรงตามที่ต้องการ [10] จึงเป็นการยากที่จะหาชุดของข่ายเชื่อมโยงที่มีความสำคัญกับระบบเพื่อปรับปรุงค่าความจุให้สูงขึ้น นอกจากนั้นสำหรับกรณีของงานวิจัยใน [1] มีข้อจำกัดในการวิเคราะห์โดยพิจารณากรณีการส่งข้อมูลที่มีการแยกประเภทเป็นหลายชนิดระหว่างคู่โหนดเดียวเท่านั้น แต่ไม่ได้คำนึงถึงสภาพการส่งข้อมูลจริงที่สามารถมีได้หลากหลายคู่โหนด ซึ่งไม่เหมาะสมกับสภาพการใช้งานการส่งข้อมูลบนระบบโครงข่ายโดยทั่วไป

การประเมินความเชื่อถือได้ลักษณะที่สี่ได้แก่ การประเมินความเชื่อถือได้จากพฤติกรรมของผู้ใช้งานระบบโครงข่าย [12] โดยการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้ลักษณะนี้ จะใช้หลักการจากความคิดที่ว่า คุณภาพการให้บริการของระบบโครงข่าย จะขึ้นอยู่กับลักษณะพฤติกรรมการขับรถของผู้ใช้ยานพาหนะบนท้องถนนโดยเฉลี่ย โดยพิจารณาถึงเจตคติของผู้ใช้ยานพาหนะที่รู้สึกต่อสภาพความเสี่ยงของท้องถนน ณ ขณะนั้น ปัญหาที่การวิเคราะห์ลักษณะนี้สนใจก็คือ การวิเคราะห์หาแบบจำลองที่เหมาะสมสำหรับการหาจุดสมดุลของการใช้งานระบบโครงข่ายจราจร เพื่อวิเคราะห์หาผลกระทบจากรูปแบบการใช้เส้นทางของผู้ใช้งานบนท้องถนนที่มีลักษณะการเดินทางที่แตกต่างกัน

การประเมินความเชื่อถือได้ในลักษณะสุดท้าย คือการประเมินความเชื่อถือได้จากความ

เสี่ยงต่อความเสียหายของถนนหรืออุปกรณ์ระบบโครงข่าย ซึ่งเป็นการวิเคราะห์คุณภาพของระบบโครงข่ายที่ต่างจากการวิเคราะห์โดยทั่วไป การวิเคราะห์ลักษณะนี้ จะตั้งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ที่ครอบคลุมทุกเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ของความเสียหาย ซึ่งพยายามวิเคราะห์หาจุดที่มีความเสี่ยงและอ่อนไหวต่อความเสียหาย โดยคำนึงถึงผลกระทบจากความเสียหายที่เกิดจากการจ้องทำลาย โดยในการวิจัย [13, 14, 15, 16] ได้ทำการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้โดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกม โดยการจำลองเกมการแข่งขันของ ผู้ใช้ยานพาหนะกับผู้จ้องทำลาย พร้อมทั้งเสนอวิธีการระบุถึงข่ายเชื่อมโยงที่มีความเสี่ยงต่อความเสียหาย และจำเป็นที่จะต้องทำการปรับปรุงคุณภาพ เพื่อช่วยในการออกแบบระบบ โดยที่ผู้ใช้งานระบบโครงข่ายมีการวิเคราะห์ทุกรูปแบบที่เป็นไปได้ของความเสียหาย ต่อสมรรถนะของระบบโครงข่ายบนท้องถนน จุดเด่นของการวิเคราะห์ลักษณะนี้ คือการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกม เพื่อนำมาวิเคราะห์หาสมรรถนะของระบบโครงข่าย โดยตั้งอยู่บนพื้นฐานของการวิเคราะห์ที่ครอบคลุมทุกสถานการณ์ความเสียหายที่เป็นไปได้ ดั้งนั้นถ้าหากเราสามารถวิเคราะห์ พร้อมทั้งออกแบบระบบโครงข่าย เพื่อทำการรับประกันคุณภาพของการให้บริการต่อลักษณะการเกิดความเสียหายอย่างเลวร้ายที่สุดได้ ระบบที่เราออกแบบ ก็จะสามารถรับประกันคุณภาพของการให้บริการต่อลักษณะความเสียหายในลักษณะอื่น ๆ โดยทั่วไปได้เช่นเดียวกัน การวิเคราะห์สมรรถนะของระบบโครงข่าย จากการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีเกม จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจในการนำมาช่วยวิเคราะห์ออกแบบระบบโครงข่ายสื่อสารอย่างมาก

การวิจัยของระบบการสื่อสารหลายปีที่ผ่านมานี้ ได้มีการนำทฤษฎีเกมเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์เกี่ยวกับระบบโครงข่ายสื่อสารจำนวนมากขึ้น ซึ่งทฤษฎีเกมนั้นเป็นทฤษฎีที่กล่าวถึงผลได้ผลเสียของการแข่งขัน โดยผู้เล่นอาจเป็นบุคคลหรือกลุ่มบุคคลตั้งแต่ 2 กลุ่มขึ้นไปมาแข่งขันกัน โดยมีผลได้ผลเสียเป็นเดิมพัน ผลลัพธ์ของการแข่งขันจะถูกควบคุมด้วยการตัดสินใจของทุกกลุ่มที่เข้าร่วม ในทุกรอบของการแข่งขัน ผู้แข่งขันจะตัดสินใจโดยคำนึงถึงลักษณะการเล่นของผู้แข่งขันเพื่อที่จะสามารถให้ผลประโยชน์กับตนเองได้มากที่สุด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากเกมนั้นจะสามารถนำมาใช้วิเคราะห์ เพื่อหาจุดสมดุลของเกมและหาค่าของเกมได้ ในอดีตได้มีการนำทฤษฎีเกมมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาทางระบบโครงข่ายสื่อสารในหลายลักษณะเช่น การจัดสรรช่องสัญญาณ การควบคุมความคับคั่งของโครงข่าย การควบคุมพลังงานในโครงข่ายสื่อสารไร้สาย การตั้งราคาการส่งข้อมูล การช่วงชิงใช้ช่องสัญญาณและการวัดความเชื่อถือได้ในระบบ [17]

สำหรับการใช้ทฤษฎีเกมในการวิเคราะห์หาความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่ายนั้น นอกจากการวิจัยใน [13, 14, 15, 16] ที่วิเคราะห์ความเชื่อถือได้ในระบบโครงข่ายของถนน จากการหาข่ายเชื่อมโยงที่มีผลกระทบกับความล่าช้าของระบบที่สูงที่สุดแล้ว ในการวิจัย [18] ได้ทำการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้กับระบบโครงข่ายไร้สาย โดยคำนึงเพิ่มเติมถึงความล่าช้าในการส่งข้อมูลซึ่งมีความผันแปรสูงเนื่องจากความไม่แน่นอนในการสื่อสารไร้สาย พร้อมทั้งหาความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการเลือกเส้นทางที่มีความยาวแตกต่างกัน กับค่าใช้จ่ายที่เกิดจากความไม่แน่นอนในโครงข่ายสื่อสารไร้สาย โดยการนำทฤษฎีเกมเข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ระบบ เพื่อปรับปรุงคุณภาพของระบบโครงข่ายอย่างมีประสิทธิภาพ

หลักการวิเคราะห์ความเชื่อถือได้จากแบบจำลองของเกมคือ การกำหนดให้มีผู้เล่นสอง

ฝ่าย ฝ่ายแรกคือ ผู้ส่งข้อมูลหรือผู้ใช้ยานพาหนะ ที่มีเป้าหมายคือการส่งข้อมูลหรือเดินทางโดยใช้เวลาให้น้อยที่สุดบนเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด โดยจะเลือกตัดสินใจที่จะส่งข้อมูลหรือเดินทางไปบนเส้นทางที่ดีที่สุดในขณะนั้น ในขณะที่ผู้เล่นอีกฝ่ายคือผู้จ้องทำลายระบบโครงข่าย ซึ่งมีเป้าหมายในการโจมตีระบบโครงข่ายเพื่อให้เกิดความล่าช้าหรือความเสียหายอย่างร้ายแรงที่สุดต่อผู้ส่งข้อมูลหรือผู้ใช้ยานพาหนะ โดยผู้ทำลายจะเลือกโจมตีข่ายเชื่อมโยงอย่างดีที่สุดเช่นเดียวกัน หลังจากนั้นผู้เล่นทั้งสองจะนำแผนการเล่นมาปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในการเล่นแต่ละรอบ โดยใช้กรรมวิธี MSA (method of successive average) [13, 14, 15, 16] และเล่นเช่นนี้ไปจนกระทั่งค่าที่สนใจมีการลู่เข้าสู่ค่าใดค่าหนึ่งเป็นที่น่าพอใจ เพื่อที่จะหาค่าความเสี่ยงต่อความเสียหายของข่ายเชื่อมโยง โดยดูจากค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ทำลายจะเลือกทำลายข่ายเชื่อมโยงนั้น ๆ โดยค่าใช้จ่ายที่ใช้ในเกมเป็นค่าของความล่าช้าของข้อมูลที่เกิดขึ้น อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์หาข่ายเชื่อมโยงที่มีผลต่อความเชื่อถือได้ของระบบโครงข่าย จากค่าความน่าจะเป็นในการเลือกทำลายข่ายเชื่อมโยงนั้น อาจจะให้คำตอบที่กำกวมและไม่สามารถชี้ชัดได้ว่า ข่ายเชื่อมโยงใดควรที่จะต้องทำการปรับปรุงก่อน จึงเป็นการยากที่จะระบุว่าข่ายเชื่อมโยงใดมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพการส่งข้อมูลของระบบเมื่อเกิดความเสียหายขึ้น

ข้อจำกัดของวิธีต่าง ๆ ในอดีตสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ลักษณะรูปแบบของความเสียหายที่เกิดขึ้นในงานวิจัยส่วนใหญ่ที่ได้กล่าวถึง จะพิจารณาความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหายหรือการไม่สามารถให้บริการได้โดยทั่วไป แต่ไม่ได้คิดคำนึงถึงผลของความเสียหายที่เกิดจากการจ้องทำลาย ซึ่งถ้าหากรูปแบบของการเสียหายนั้นเป็นการจ้องทำลายจริง ก็จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพของระบบสามารถลดลงได้มากกว่ากรณีของการเสียหายโดยทั่วไป ซึ่งจะทำให้การวัดค่าปริมาณข้อมูลสูงสุดที่สามารถส่งได้จริงในอดีตนั้น ไม่ครอบคลุมสำหรับการวิเคราะห์ระบบโครงข่าย ในกรณีที่ระบบโครงข่ายกำลังถูกจ้องทำลายได้

2. การที่จะหาประสิทธิภาพการส่งข้อมูลของระบบโครงข่ายสื่อสารโดยทั่วไปเพียงแค่คู่โหนดเดียว ไม่เหมาะสมกับการวิเคราะห์ระบบโครงข่ายที่มีการส่งข้อมูลที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งระบบโครงข่ายสื่อสารโดยทั่วไปสามารถมีได้หลายคู่โหนด สามารถมีตำแหน่งของจุดกำเนิดข้อมูลและจุดสิ้นสุดของข้อมูลได้หลากหลาย ไม่จำกัดอยู่เพียงตำแหน่งหรือชุดของตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งเท่านั้น

3. ในทางปฏิบัตินั้น การวิเคราะห์ปริมาณข้อมูลทั้งหมดที่ระบบโครงข่ายจะสามารถส่งได้จริง จะขึ้นอยู่กับการเลือกเส้นทางในการส่งด้วยว่าเส้นทางที่เลือกนั้นเป็นเส้นทางที่เหมาะสม และเป็นไปได้สำหรับการส่งหรือไม่ โดยเราเตอร์จะทำการเก็บข้อมูลของเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดไว้ในตารางการจัดเส้นทาง และทำการส่งข้อมูลไปตามเส้นทางที่เหมาะสม ดังนั้นการคำนวณหาประสิทธิภาพการส่งข้อมูลสูงสุดของระบบ ในขณะปฏิบัติงานจริงจึงควรจะต้องคำนึงถึงผลของการเลือกเส้นทางในการส่งข้อมูลที่เกิดขึ้นจริงบนระบบโครงข่ายด้วย

อย่างไรก็ตามในงานวิจัย [13, 14, 15, 16] ซึ่งใช้ทฤษฎีเกมในการวิเคราะห์ระบบโครงข่ายจราจร บนพื้นฐานของความเสียหายจากการจ้องทำลาย ไม่ได้ถูกจำกัดด้วยข้อจำกัดที่ 1-3

ข้างต้น ระเบียบวิธีการวิเคราะห์ด้วยทฤษฎีเกมจึงมีความน่าสนใจในการนำมาวิเคราะห์ระบบโครงข่ายสื่อสารที่เกิดความเสียหายจากการจ้องทำลาย ข้อสังเกตอย่างหนึ่งระหว่างระบบโครงข่ายสื่อสารกับระบบโครงข่ายจราจรคือ ระบบโครงข่ายจราจรจะมีลักษณะเป็นโครงข่ายชั้นเดียวเสมอ ซึ่งแตกต่างกับระบบโครงข่ายสื่อสารที่สามารถมีลักษณะเป็นระบบโครงข่ายหลายชั้นได้ ในการวิเคราะห์ระบบโครงข่ายสื่อสารหลายชั้น จึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงผลกระทบอย่างอื่นที่เกิดขึ้นจากการเลือกเส้นทางที่ไม่เหมาะสมบนระบบโครงข่ายหลายชั้นด้วย ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ จะทำการพิจารณาผลกระทบจากความเสียหายที่ข้ามชั้นเพิ่มเติมสำหรับกรณีการวิเคราะห์ระบบโครงข่ายสื่อสารหลายชั้น พร้อมทั้งนำเสนอระเบียบวิธีการชี้วัด หาข่ายเชื่อมโยงที่มีความสำคัญและต้องทำการป้องกัน เพื่อทำให้ระบบโครงข่ายมีความเชื่อถือได้สูง

นอกจากการวิเคราะห์ระบบโครงข่ายจากค่าความล่าช้าแล้ว การวิเคราะห์ถึงความจุหรือปริมาณข้อมูลที่ระบบสามารถที่จะรองรับได้นั้น ก็นับว่ามีความสำคัญเช่นเดียวกัน โดยทั่วไปแล้วการหาความจุสูงที่สุดระหว่างคู่โหนดใด ๆ จะสามารถหาได้จากการหาผลรวมความจุของข่ายเชื่อมโยงที่เป็นสมาชิกของชุดของเซตตัด (cut-set) ที่มีขนาดความจุโดยรวมน้อยที่สุด (minimum cut) แต่ในกรณีของระบบโครงข่ายที่มีลักษณะการเสียหายของข่ายเชื่อมโยงอย่างเลวร้ายที่สุด และการเลือกเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดอย่างดีที่สุดนั้น การวิเคราะห์โดยการใช้วิธีการหาเซตตัด อาจจะไม่เพียงพอที่จะชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่แท้จริงของระบบ เมื่อเกิดสถานการณ์ดังกล่าวขึ้น ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้ จึงนำเสนอดัชนีตัวชี้บอกใหม่ (expected achievable capacity, EAC) ที่ใช้ชี้วัดถึงประสิทธิภาพการส่งข้อมูลที่สูงที่สุดของระบบโครงข่ายโดยเฉลี่ย เมื่อเกิดความเสียหายในรูปแบบที่เลวร้ายที่สุดต่อระบบโครงข่าย ในรายละเอียดนั้นการพิจารณาปัญหาการไหลสูงสุด (max-flow min-cut) [19] จะสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์ในกรณีที่ข่ายเชื่อมโยงมีโอกาสเสียหายได้แต่การวิเคราะห์ดังกล่าวจะเป็นกรณีพิเศษของการใช้ ทฤษฎีเกมในการวิเคราะห์ซึ่งจะนำเสนอเป็นประเด็นหลักของวิทยานิพนธ์โดยจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในส่วนต่อไป

ในทางปฏิบัตินั้นเราอาจจะมองผู้เล่นที่เป็นผู้ทำลายในลักษณะของแฮกเกอร์ หรือผู้ไม่ประสงค์ดีกับระบบโครงข่าย ซึ่งมีความสามารถในการที่จะทำลายระบบโครงข่ายโดยการทำลายโหนด หรือการทำลายข่ายเชื่อมโยงที่เป็นไปได้ ซึ่งไม่จำกัดอยู่เพียงแค่มุมมองของการทำลายโดยผ่านระบบโครงข่ายเองด้วยวิธีการทำ DoS (denial of service) เท่านั้น แต่อาจจะอยู่ในมุมมองของการทหารซึ่งความเสียหายอาจจะเกิดจากการโจมตีทางอาวุธ ซึ่งจะส่งผลให้โครงข่ายไม่สามารถส่งข้อมูลได้เต็มที่ การวิเคราะห์ในวิทยานิพนธ์นี้จะพิจารณาทั้งกรณีของโหนดหรือข่ายเชื่อมโยงเกิดความเสียหาย โดยแบบจำลองจะนำเสนอในรูปแบบของความเสียหายบนข่ายเชื่อมโยงเป็นหลัก และนำเสนอการประยุกต์วิธีการวิเคราะห์เป็นกรณีที่โหนดเกิดความเสียหาย โดยไม่ต้องปรับเปลี่ยนแบบจำลองในลักษณะเดียวกับกรรมวิธีที่เสนอใน [20]

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อวิเคราะห์หาค่าขีดความสามารถในการส่งข้อมูลสูงสุดของระบบโครงข่ายที่ได้ถูกออกแบบขึ้น โดยคำนึงถึงโอกาสของความเสียหายในรูปแบบต่าง ๆ และนำเสนอแบบจำลองการส่งข้อมูลบนระบบโครงข่ายที่มีโหนดต้นทางและปลายทางหลายคู่ที่มีความเสี่ยงจากความเสียหาย

ของเส้นทางการส่งข้อมูลโดยการประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมแบบไม่ร่วมมือ พร้อมทั้งวิเคราะห์หาข่ายเชื่อมโยงที่มีผลกระทบมากที่สุดต่อประสิทธิภาพการส่งข้อมูลโดยรวมของระบบ

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. จำลองปัญหาของการส่งข้อมูลในรูปแบบของความต้องการข้อมูล ที่มีแค่ 1 คู่โหนด ในโครงข่ายหลายชั้น โดยในที่นี้จะพิจารณาเพียง 2 ชั้นเท่านั้นได้แก่ โครงข่ายชั้นกายภาพและโครงข่ายชั้นตรรกะ
2. พิจารณาการส่งข้อมูลโดยทั่วไปซึ่งมีมากกว่า 1 คู่โหนด และมีการแบ่งช่องความจุระหว่างคู่โหนดอย่างดีที่สุดเมื่อคู่โหนดมีความจำเป็นที่จะต้องใช้ช่องสัญญาณพร้อมกันบนข่ายเชื่อมโยงเดียวกัน
3. พิจารณาถึงกรณีของการแปลงลักษณะของความเสียหายที่เกิดขึ้นจากความเสียหายของโหนดเป็นปัญหาในลักษณะ ของความเสียหายที่เกิดจากข่ายเชื่อมโยง พร้อมทั้งทำการเปรียบเทียบความเหมือนหรือความแตกต่างที่เกิดขึ้น เมื่อพิจารณาปัญหาทั้งสองกรณี

1.4 การชี้วัดผลการทดสอบ

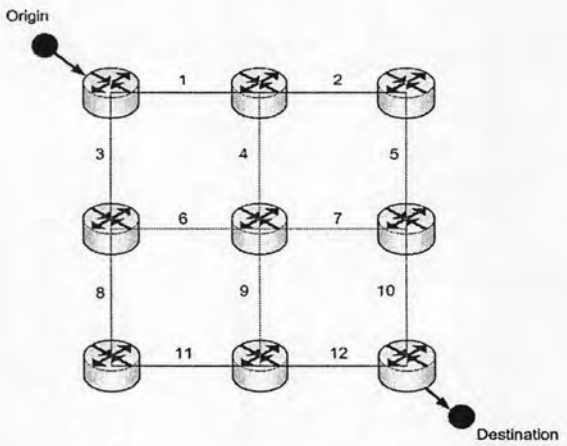
การวัดความสามารถในการส่งข้อมูลของระบบโครงข่าย ที่มีความต้องการการส่งข้อมูลมากกว่า 1 คู่โหนดโดยจะดำเนินการดังนี้

1. ทดสอบวัดประสิทธิภาพในการส่งข้อมูล ในกรณีที่ความเสียหายเกิดขึ้นในระบบอย่างสุ่มแบบเอกรูป (uniform random) กับกรณีที่ความเสียหายเกิดอย่างร้ายแรงที่สุด (worst-case random failure) เพื่อเปรียบเทียบและหาความสามารถในการส่งข้อมูลสูงสุดของระบบ ในกรณีของการหาค่าการส่งข้อมูลสูงสุดของระบบด้วยทฤษฎี max-flow min-cut ซึ่งเป็นขอบเขตบน กับกรณีของการหาค่าความสามารถในการส่งข้อมูลสูงสุดของระบบ โดยการใช้ทฤษฎีเกมซึ่งเป็นขอบเขตล่างของการส่งข้อมูลจริง โดยเปรียบเทียบกรณีรูปแบบของความเสียหายต่าง ๆ กัน ดังนี้
   - กรณีความเสียหายจากกลยุทธ์แบบบริสุทธิ์ (pure chance strategy of failure)
   - กรณีความเสียหายแบบสุ่มอย่างเอกรูป (uniform random failure)
   - กรณีความเสียหายแบบสุ่มที่ร้ายแรงที่สุด (worst-case random failure)
2. การวิเคราะห์และระบุถึงข่ายเชื่อมโยงหรือโหนด ที่มีความสำคัญต่อความจุที่จะได้รับทั้งหมดโดยรวม ซึ่งถ้าหากถูกทำลายไปแล้ว จะทำให้ความจุโดยรวมทั้งหมดลดลงอย่างมากโดยเปรียบเทียบกรณีรูปแบบของความเสียหายต่าง ๆ กัน ดังนี้
   - กรณีความเสียหายจากกลยุทธ์แบบบริสุทธิ์ (pure chance strategy of failure)

- กรณีความเสียหายแบบสุ่มอย่างเอกรูป (uniform random failure)
- กรณีความเสียหายแบบสุ่มที่ร้ายแรงที่สุด (worst-case random failure)

3. การวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการคำนวณ เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมดจะขึ้นกับจำนวนของเส้นทางการส่งข้อมูล ดังนั้นในส่วนนี้จะทำการวัดเวลาในการคำนวณโดยการเทียบกับจำนวนของคู่โหนด และจำนวนของเส้นทางการส่งข้อมูลของแต่ละคู่โหนดทั้งหมด โดยการทดลองทั้งหมดจะทำการทดลองบนระบบโครงข่ายทดสอบ ซึ่งโดยเบื้องต้นจะเลือกใช้โครงข่ายที่มีลักษณะการเชื่อมต่อเป็นระบบโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบอย่างง่าย หลังจากนั้นจะทดลองกับระบบโครงข่ายที่มีการใช้งานในทางปฏิบัติจริงเช่นระบบโครงข่ายแกน Abilene โดยตัวอย่างของระบบโครงข่ายที่ใช้ทดสอบจะมีทั้งหมด 4 รูปแบบดังนี้

   - ระบบโครงข่ายกริด 9 โหนด
   - ระบบโครงข่ายอย่างง่าย 4 โหนด
   - ระบบโครงข่ายแกน Abilene
   - ระบบโครงข่ายแกน APAN

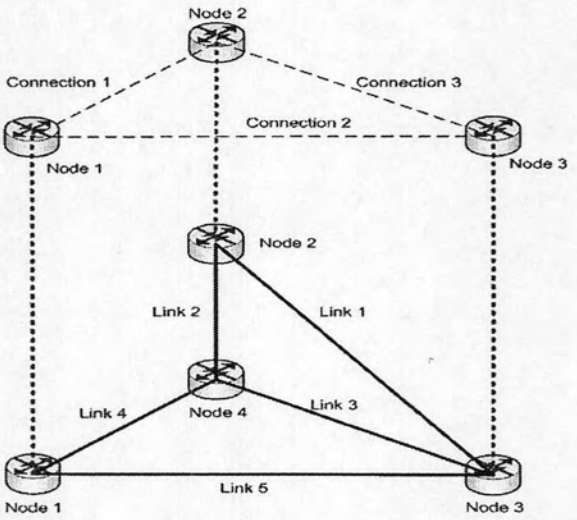


รูปที่ 1.1 ระบบโครงข่ายกริด 9 โหนด

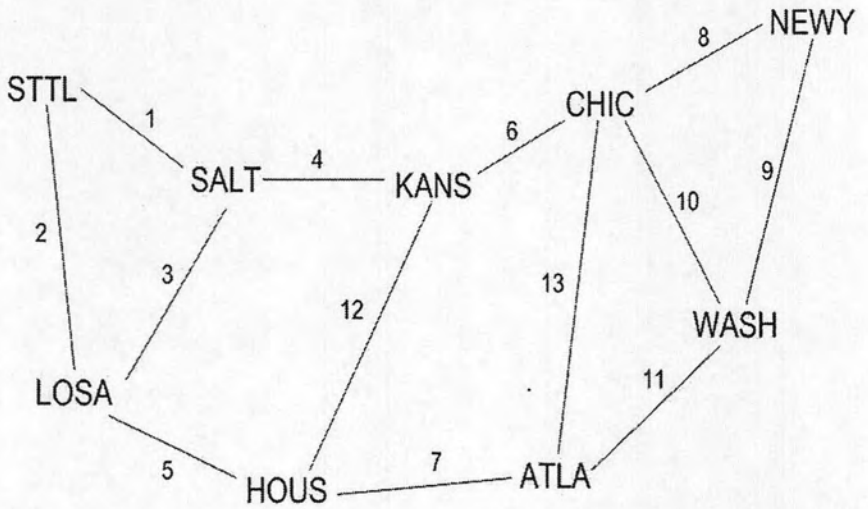
โดยระบบโครงข่ายที่จะใช้ทดสอบดังเสนอข้างต้นมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1.1, 1.2, 1.3 และ 1.4 ตามลำดับ

1.5 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

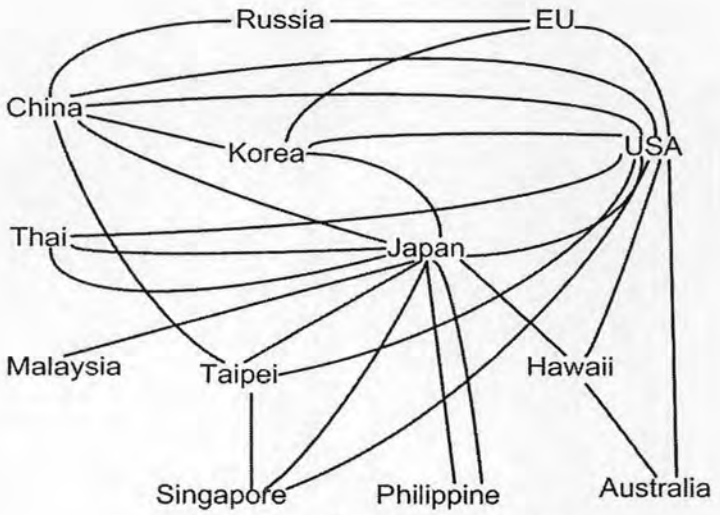
วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเสนอแบบจำลองเพื่อวัดความสามารถในการส่งข้อมูลสูงสุดของระบบโครงข่ายแบบหลายชั้น ที่มีเส้นทางการใช้งานหลากหลายและมีหลายคู่โหนดที่ต้องการส่งข้อมูล เมื่อระบบอยู่ภายใต้เงื่อนไขของความไม่แน่นอนของข่ายเชื่อมโยงและโหนดซึ่งมี



รูปที่ 1.2 ระบบโครงข่ายอย่างง่าย 4 โหนด



รูปที่ 1.3 ระบบโครงข่ายแกน Abilene



รูปที่ 1.4 ระบบโครงข่ายแกน APAN

โอกาสที่จะเสียหายได้ โดยที่แบบจำลองนี้จะประยุกต์ใช้ทฤษฎีเกมที่มีผู้เล่นสองคนแบบไม่ร่วมมือ มีผลรวมเป็นศูนย์ ตัวชี้วัดที่ได้จะสามารถนำไปใช้ช่วยวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบโครงข่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งระบบโครงข่ายทางการทหาร ให้มีความสามารถที่จะยืดหยุ่นและคงทนต่อความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการจ้องทำลายได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวิจัยนี้สามารถที่จะนำไปใช้ได้จริงโดยสามารถใช้ได้กับเทคโนโลยีที่ใช้การส่งข้อมูลแบบที่เลือกเส้นทางการส่งข้อมูล บนพื้นฐานของการตัดสินใจเลือกบนกลุ่มของเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด (path based routing) เช่นเทคโนโลยี mpls เป็นต้น โดยมีขอบเขตการวิจัยของโครงข่ายที่เป็นระบบโครงข่ายแบบสองชั้นเท่านั้น

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การออกแบบโครงข่ายที่มีประสิทธิภาพนั้น จะต้องคำนึงถึงความเชื่อถือได้ของระบบ และความสามารถในการให้บริการของระบบเมื่อเกิดความเสียหายขึ้น เพื่อที่จะให้บริการได้โดยที่โครงข่ายนั้นมีความคงทนสูงที่สุด อย่างไรก็ตามการลงทุนในการสร้างระบบโครงข่ายที่ดีนั้นจะต้องคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการลงทุน เพื่อที่จะให้คุ้มค่าที่สุดด้วย โดยการหาว่าโครงข่ายที่สร้างขึ้นมานั้นมีส่วนไหนบ้างที่ควรจะทำการปรับปรุงก่อนหรือหลัง ซึ่งนับว่าเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการออกแบบ การหาค่าสมรรถนะของระบบโดยรวมเมื่อมีความเสียหายเกิดขึ้นก็จะช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถที่จะตัดสินใจลงทุนซ่อมแซม และเพิ่มคุณภาพของระบบโดยรวมให้มีประสิทธิภาพได้ดียิ่งขึ้นซึ่งผลงานวิจัยนี้จะสามารถนำไปทำให้เกิดประโยชน์ดังกล่าวได้