บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

โครงข่ายไร้สายแบบเมชเป็นโครงข่ายที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากทั้งในด้านการวิจัยและพัฒนา เนื่องจากมีข้อดีหลายประการทั้งการติดตั้งที่รวดเร็วประหยัดต้นทุนและมีความน่าเชื่อถือสูงเพราะเป็นการเชื่อมต่อกันแบบเมช แต่การสื่อสารผ่านตัวกลางไร้สายทำให้มีโอกาสถูกดักฟังข้อมูลและถูกส่งสัญญาณรบกวนการสื่อสารระหว่างโนดได้ง่าย โดยในอดีตได้มีงานวิจัยที่เสนอวิธีการจัดเส้นทางแบบเฟ้นสุ่มด้วยสายอากาศรอบทิศทาง ซึ่งถึงแม้ว่าการส่งข้อมูลไร้สายด้วยสายอากาศรอบทิศทางนั้นจะมีข้อดีในแง่ของพื้นที่ในการครอบคลุมที่กว้างแต่กลับเป็นการเพิ่มพื้นที่ให้ผู้โจมตีสามารถมาดักฟังหรือส่งสัญญาณรบกวนข้อมูลได้ร้ายแรงขึ้นอีกด้วย

ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้เสนอระเบียบวิธีการจัดเส้นทางแบบเฟ้นสุ่มโดยใช้สายอากาศระบุทิศทาง โดยประยุกต์ทฤษฎีเกมมาใช้เลือกการจัดเส้นทางแบบเฟ้นสุ่มเพื่อป้องกันการดักฟังข้อมูลและส่งสัญญาณรบกวนในโครงข่ายไร้สายแบบเมชในกรณีที่ร้ายแรงที่สุด ในระเบียบที่นำเสนอนั้นได้แสดงให้เห็นว่าการนำสายอากาศระบุทิศทางเข้ามาใช้ในโครงข่ายทำให้ค่า ESS มีค่าสูงขึ้น เนื่องจากเป็นการลดพื้นที่ใช้การโจมตีของผู้เล่นฝ่ายโจมตีไม่ให้สามารถโจมตีตำแหน่งที่มีหลายคู่โนดพร้อมกันได้ และแสดงระเบียบวิธีการคำนวนกรณีการส่งสัญญาณรบกวนโดยแยกได้เป็นการส่งข้อมูลฝั่งขาขึ้นและขาลง ซึ่งงานวิจัยในอดีตไม่ได้แยกคิดเป็นกรณีดังกล่าวทำให้ระเบียบที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ชิ้นนี้มีความเหมาะสมมากยิ่งขึ้น ผลการทดสอบพบว่า ในโครงข่ายแบบตารางการเปลี่ยนแปลงค่าบีมวิดท์ของกรณีการดักฟังข้อมูลจะมีผลต่อการส่งข้อมูลฝั่งขาลงเท่านั้นและค่า ESS ในการส่งข้อมูลฝั่งขาลงจะมากกว่าค่า ESS ในการส่งข้อมูลฝั่งขาขึ้นเสมอ และการเพิ่มการเชื่อมต่อในแนวเส้นทะแยงมุมของโครงข่ายแบบตารางจะไม่มีผลต่อค่า ESS และรูปแบบแผนการเล่นของผู้เล่นฝ่ายป้องกัน

ส่วนในกรณีการดักฟังของการส่งข้อมูลฝั่งขาขึ้นผู้เล่นฝ่ายโจมตีจะเลือกดักฟังข้อมูลในพื้นที่รอบ ๆ เกตเวย์เท่านั้น ทำให้ไม่ว่าจะย้ายตำแหน่งเกตเวย์ไปจุดใดผู้เล่นฝ่ายโจมตีก็จะยังคงโจมตีบริเวณรอบเกตเวย์ทั้งสองตัวเช่นเดิม ผลทำให้ค่า ESS กรณีการส่งข้อมูงฝั่งขาขึ้นมีค่าเป็นครึ่งหนึ่งของจำนวนเซสชั่นทั้งหมดเสมอ ถ้าหากว่าต้องการจะเพิ่มค่า ESS ของการส่งข้อมูงฝั่งขาขึ้นจะต้องเพิ่มที่จำนวนเกตเวย์แทน นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบการที่ผู้เล่นแต่ละฝ่ายเลือกแผนการเล่นวิธีอื่น ๆ นอกจากทฤษฎีเกม ทำให้ทราบว่าโครงข่ายแบบหนึ่ง ๆ ทฤษฎีเกมได้ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับผู้เล่นแต่ละฝ่ายมากน้อยแค่ไหนเมื่อเทียบกับการเลือกแผนวิธีอื่น ๆ รวมไปถึงการจำลองสถานการณ์โครงข่ายแบบตารางที่มีจุดเชื่อมต่อบางจุดเกิดเสียหายจะมีผลกระทบต่อค่า ESS โดยจุดเชื่อมต่อที่อยู่ติดกับเกตเวย์จะมีระดับความสำคัญสูงกว่าจุดเชื่อมต่อที่อยู่ถัดออกไป โดยจุดเชื่อมต่อที่ไม่ได้อยู่ติดกับเกตเวย์นั้นไม่ว่าจะห่างจากเกตเวย์มากน้อยแค่ไหนก็จะมีระดับความสำคัญเท่ากัน

สุดท้าย ได้ ทดสอบ กับ โครงข่าย แบบ สุ่ม ทำ ให้ ทราบ ว่า การ เปลี่ยนแปลง รูปแบบ ของ

โครงข่ายมีผลต่อค่า ESS และในกรณีของการดักฟังข้อมูลการส่งข้อมูลฝั่งขาลงจะมีค่าเฉลี่ย ESS สูงกว่าการส่งข้อมูลฝั่งขาขึ้นเสมอ ในทางกลับกันกรณีของการส่งสัญญาณรบกวนการส่งข้อมูลฝั่งขาขึ้นจะมีค่าเฉลี่ย ESS มากกว่าขาลงแทน เนื่องจากในกรณีการส่งข้อมูลฝั่งขาลงผู้โจมตีสามารถส่งสัญญาณรบกวนบริเวณรอบเกตเวย์ซึ่งครอบคลุมจุดเชื่อมต่อที่หันบีมมาเพื่อรับสัญญาณจากเกตเวย์ได้ทุกจุดเชื่อมต่อ ซึ่งการวิเคราะห์ทั้งหมดนี้จะเป็นประโยชน์ในการออกแบบโครงข่ายไร้สายแบบเมชที่มีสายอากาศระบุทิศทางที่มีความทนทางต่อการโจมตีที่สูงต่อไปได้ในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้งานวิจัยมีคุณค่ามากขึ้นระเบียบวิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์สามารถนำมาวิจัยต่อเพิ่มเติมหลายด้านได้ดังนี้

ด้านการจำลองโครงข่ายให้มีประสิทธิภาพและเหมือนในทางปฏิบัติมากยิ่งขึ้นโดยการคิดโอกาสที่การส่งข้อมูลจะเกิดการผิดพลาด ซึ่งคำนวนออกมาเป็นค่าความน่าจะเป็นหรืออีกวิธีคือโอกาสในการที่ข้อมูลจะถูกดักฟังหรือถูกสัญญาณรบกวนนั้นจะไม่ได้ถูกโจมตีได้เสมอไปแต่ขึ้นกับความน่าจะเป็นที่จะสามารถดักฟังหรือส่งสัญญาณรบกวนสำเร็จด้วย หรือในกรณีการส่งสัญญาณรบกวนอาจมีการคำนวนค่าอัตราส่วนสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนเพื่อคำนวนรัศมีที่สัญญาณรบกวนจะมีผลต่อโนดในโครงข่าย และในวิทยานิพนธ์นี้ได้ใช้วิธีหาผลเฉลยแบบ MSA ซึ่งสามารถแก้ปัญหาเชิงสถิติและเชิงพลวัตได้แต่อาจจะต้องใช้เวลานานในการประมวลผลจึงอาจจะหาวิธีการคำนวนหาผลเฉลยแบบอื่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและความเร็วในการประมวลผลของการคำนวน

ด้านการจำลองด้วยทฤษฎีเกมอาจพัฒนาได้หลายอย่าง เช่น การวิเคราะห์หาจุดอานม้า คือ จุดที่ไม่ทำให้แผนการของผู้เล่นทั้งสองเลื่อนไปเลื่อนมาได้ การจำลองวิธีโดยใช้เกมแบบอื่น ๆ ที่ไม่ใช่เกมที่มีผู้เล่นสองคนรวมกันเป็นศูนย์ เช่น บางงานวิจัย [24] ได้จำลองเกมแบบมีการร่วมมือกันและขัดแย้งกันโดยมีผู้ดักฟังมาคอยดักฟังข้อมูลในโครงข่ายแต่ขณะเดียวกันก็มีผู้ที่ส่งสัญญาณรบกวนแต่มาส่งสัญญาณรบกวนผู้ดักฟังซึ่งเป็นการร่วมมือระหว่างฝ่ายป้องกันและผู้ส่งสัญญาณรบกวนโครงข่าย นอกจากนี้ในกรณีที่มีผู้โจมตีมากกว่าหนึ่งคน เช่น 2 คนจะสามารถแยกเป็นกรณีผู้โจมตีแต่ละคนร่วมมือกันเพื่อโจมตีผู้เล่นฝ่ายป้องกันหรือแบบต่างคนต่างโจมตีซึ่งการคำนวณควรจะคำนวนในกรณีที่ผู้โจมตีร่วมมือกันเพื่อคิดกรณีที่ถูกโจมตีร้ายแรงที่สุดโดยทำให้สามารถการันตีค่าความคาดหวังของเซสชั่นที่ปลอดภัยได้

ด้านรูปแบบของโครงข่ายในวิทยานิพนธ์นี้ไม่ได้เสนอรูปแบบหรือค่าบีมวิดท์ที่ทำให้ค่า ESS สูงที่สุด แต่ได้วิเคราะห์ถึงผลกระทบในด้านต่าง ๆ ที่มีผลต่อความปลอดภัยของโครงข่าย ซึ่งการพัฒนาอาจทำได้โดยหารูปแบบที่ดีที่สุดของการวางโนดจำนวนหนึ่ง ๆ หรือคำนวนเป็นอัลกอริทึมหาค่าบีมวิดท์ที่ทำให้ค่าความปลอดภัยต่อโครงข่ายสูงที่สุดแต่อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติการที่จะทำให้บีมวิดท์มีความแคบมาก ๆ นั้นเป็นไปได้ยาก ซึ่งยิ่งโนดเกิดมีการเคลื่อนที่จะทำให้สายอากาศระบุทิศทางที่มีค่าบีมวิดท์แคบ ๆ ยิงบีมไปยังเป้าหมายได้ยากขึ้นด้วย จึงควรมีการกำหนดค่าบีมวิดท์ที่ต่ำที่สุดโดยที่อุปกรณ์สามารถรองรับได้ ซึ่งอาจจะยอมให้เซกเตอร์ที่เกิดจากโนดต้นทางส่งไปยังโนดปลายทางที่มีหลายโนดอยู่ในเซกเตอร์เดียวกันได้ การทำลักษณะนี้อาจทำให้ค่า ESS ตกลงไปแต่ก็สามารถทำให้แบบจำลองมีความใกล้เคียงในทางปฏิบัติมากยิ่งขึ้น

สุดท้ายอาจใช้วิธีการป้องกันการโจมตีประเภทอื่น ๆ มาใช้ร่วมกับการจัดเส้นทางแบบเฟ้นสุ่ม เช่น ในกรณีการดักฟังอาจจะใช้การแบ่งข้อมูลออกเป็นชุด ๆ และส่งกระจายตามทิศทางต่าง ๆ ออกไปทำให้การจัดเส้นทางแบบเฟ้นสุ่มมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น เป็นต้น