



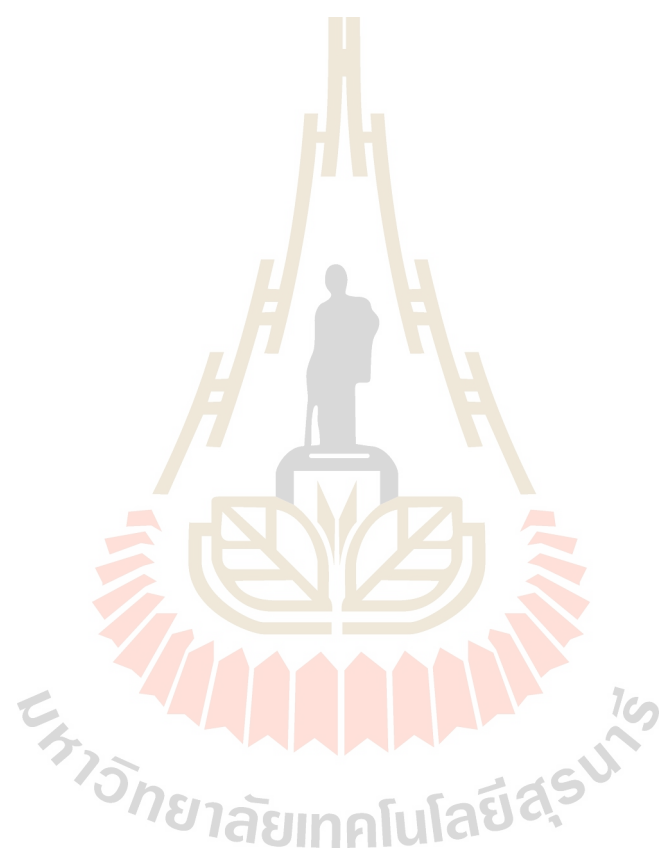
รายงานการวิจัย

การจัดการทรัพยากรในโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเคลื่อนที่
แบบไม่ทำงานร่วมกัน เพื่อการเฝ้าระวังด้านสุขภาพ
(Resource Allocation in Uncooperative Mobile Wireless Sensor
Networks for Healthcare Monitoring)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจาก
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว





รายงานการวิจัย

การจัดการทรัพยากรในโครงข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเคลื่อนที่
แบบไม่ทำงานร่วมกัน เพื่อการเฝ้าระวังด้านสุขภาพ
(Resource Allocation in Uncooperative Mobile Wireless Sensor
Networks for Healthcare Monitoring)

หัวหน้าโครงการ

ผศ.ดร. วิภาวี หัตถกรรม

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2554-2555

ผลงานวิจัยเป็นความรับผิดชอบของหัวหน้าโครงการวิจัยแต่เพียงผู้เดียว

มีนาคม 2560

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ปีงบประมาณ 2554 ทั้งนี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณนักศึกษาบัณฑิตศึกษา ที่ได้ทำงานวิจัยด้วยความวิริยะอุตสาหะ ภายใต้หัวข้อการวิจัยนี้ ได้แก่ นางสาวณัฐนิช นະพุทระ ที่ศึกษาการค้นหาเส้นทางแบบยูนิคาสในเครือข่ายชีวการแพทย์ ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง และการพิจารณาค่าทรีสท์และเรพิวเทชั่น นายชานนท์ ฤทธิทอง ที่ศึกษา การปรับปรุงความร่วมมือระหว่างเราเตอร์ ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเคลื่อนที่ ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง นางสาวศิวัญญา เขียนจุม ที่ศึกษาการปรับปรุงความน่าเชื่อถือในเครือข่ายเพื่อเฝ้าระวังสุขภาพด้วยวิธีการค้นหาเส้นทางแอนีคาส ด้วยวิธีการเรียนรู้แบบรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ที่ให้โอกาสและสนับสนุนในการทำวิจัยครั้งนี้ รวมทั้งผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในการทำวิจัยครั้งนี้ทุกท่าน ที่ได้กรุณาให้ความช่วยเหลือ สนับสนุนมาโดยตลอด ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าผลการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในการสร้างองค์ความรู้ ด้านการค้นหาเส้นทางส่งข้อมูลในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเพื่อชีวการแพทย์ต่อไป

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิภาวี หัตถกรรม

มีนาคม 2560

บทคัดย่อ

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์สามารถเพิ่มคุณภาพของการให้บริการด้านการดูแลสุขภาพให้กับประชาชนผ่านการพัฒนาของการใช้งานและบริการใหม่ ๆ การใช้งานที่มีศักยภาพรวมถึงการตรวจสอบผู้ป่วยซึ่งจะมีพารามิเตอร์สัญญาณชีพที่สำคัญ เช่น อุณหภูมิของร่างกาย ความดันโลหิต คลื่นไฟฟ้าหัวใจ อัตราการเต้นของหัวใจ และอัตราการหายใจ เป็นต้น ที่จะถูกส่งไปยังศูนย์การแพทย์ ผู้ป่วยจึงสามารถตรวจสอบได้จากระยะไกลโดยไม่จำเป็นต้องมีคนดูแลส่วนบุคคล ดังนั้น การส่งข้อมูลดังกล่าวไปยังศูนย์การแพทย์จึงต้องการความน่าเชื่อถือสูง

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือจึงนำเสนอวิธีสำหรับการหาเส้นทางในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์โดยใช้กลไกการหาเส้นทางแอนนิคาส (anycast) ที่อยู่บนพื้นฐานวิธีการหาเส้นทางด้วยวิธีการเรียนรู้แบบรีอินฟอร์สมেন্টเลิร์นนิง (reinforcement learning; RL) การศึกษาในงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกในบทที่ 3 นำเสนอ แอนนิคาส คิว เราท์ตั้ง (anycast Q-routing) และศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์และประสิทธิภาพของการค้นหาเส้นทางไปยังปลายทางเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเดิมที่มีอยู่แล้วคือ แอนนิคาส (anycast) มัลติคาส (multicast) และ บรอดคาส (broadcast) ที่อยู่บนพื้นฐานของโปรโตคอลเอโอดีวี (ad hoc on demand distance vector; AODV) ผลการทดลองในบทที่ 3 แสดงให้เห็นว่า พารามิเตอร์การสำรวจ (exploration parameter; ϵ) เท่ากับ 0.9 จะมีการดำเนินการที่ดีที่สุดสำหรับโครงสร้างของเครือข่ายแบบกริด ในขณะที่ตัวแปร อัตราการเรียนรู้ (learning rate; α) ปัจจัยส่วนลด (discount factor; γ) และ ค่าคงที่ผลตอบแทนถ่วงน้ำหนัก (weighted reward constants) จะไม่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพในการดำเนินการจากการเปรียบเทียบกับวิธีการหาเส้นทางเดิมที่มีอยู่ แอนนิคาส คิว เราท์ตั้ง มีปริมาณข้อมูลในการสื่อสาร (overhead) น้อยที่สุด และมีความล่าช้าในการค้นหาเส้นทาง (path search latency) น้อยที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการหาเส้นทางแอนนิคาส

ในส่วนที่ 2 ของการศึกษางานวิจัยในบทที่ 4 มุ่งเน้นไปที่การขยายอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอไปก่อนหน้านี้ ด้วยวิธีการซ่อมแซมเส้นทางเดิม แอนนิคาส คิว เราท์ตั้ง (local repair anycast Q-routing) เพื่อตอบสนองการซ่อมแซมเส้นทางเมื่อมีโหนดล้มเหลวในโครงสร้างเครือข่ายแบบกริด ผลการทดลองในบทที่ 4 ได้รับการยืนยันผลการวิจัยในบทที่ 3 แม้จะมีการซ่อมแซมเส้นทางหลังจากโหนดล้มเหลว วิธีการซ่อมแซมเส้นทางเดิม แอนนิคาส คิว เราท์ตั้ง (anycast local repair Q-routing) แสดงให้เห็นว่ามีปริมาณข้อมูลในการสื่อสารน้อยที่สุด และสามารถค้นหาเส้นทางได้เร็วกว่า แม้ความยาวเส้นทาง (path length) สูงกว่าเล็กน้อย เนื่องจากมีการสำรวจเส้นทางในช่วงเริ่มต้นของการค้นหาเส้นทาง นอกจากนี้ ผลการดำเนินงานของการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วยการหา

เส้นทางแอนนิคาส คิว เรทติ้ง เมื่อเปรียบเทียบกับ แอนนิคาส เอโอดีวี (anycast AODV) ในเครือข่ายเมื่อมีพื้นที่บดบังการค้นหาเส้นทาง ซึ่งในความเป็นจริงอาจเกิดจากสิ่งกีดขวางทางกายภาพ เช่นอาคารทะเลสาบหรือบึง วิธีการที่นำเสนอยังสามารถใช้ข้อมูลในการสื่อสารในปริมาณต่ำ รวมถึงความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่าวิธีการหาเส้นทางแอนนิคาส เอโอดีวี

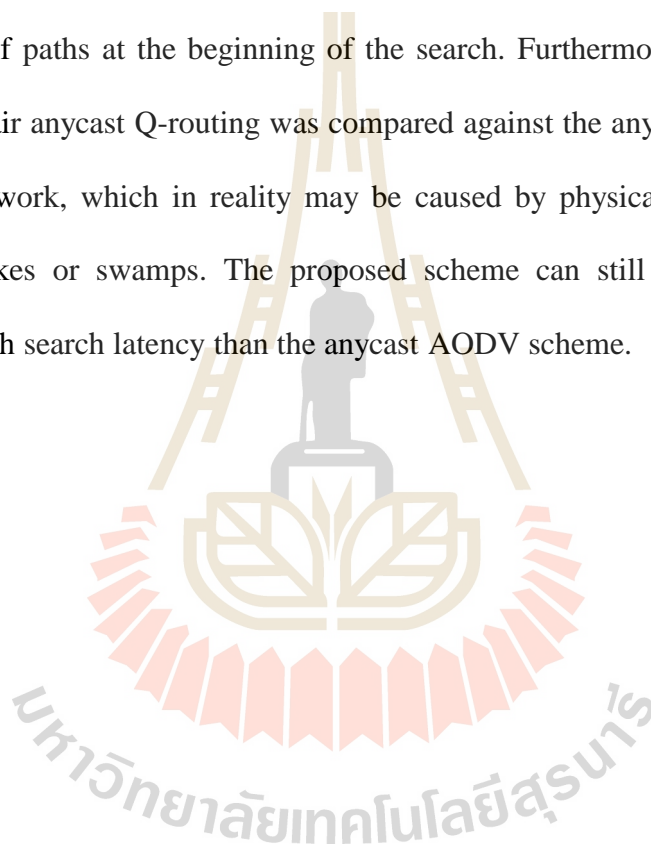


Abstract

Biomedical Wireless Sensor Networks can increase the quality of healthcare services provided to citizens, through the development of new applications and services. Potential applications include patient monitoring which vital sign parameters such as body temperature, blood pressure, electrocardiogram, heart rate, breathing rate, etc., can be sent to the medical center. Patients can thus be remotely monitored without the need of personal caretaker. Therefore, delivering such information to the medical center requires high reliability of data transmission.

The objective in this thesis is to propose a method for routing in biomedical wireless sensor networks using anycast routing mechanism based on reinforcement learning scheme. The study in this thesis is divided into 2 parts. The first part in Chapter 3, presents the proposed anycast Q-routing and studies the effect of design parameters as well as the performance of the path search to the destination node compared with existing anycast, multicast and broadcast schemes based on AODV protocols. Results in Chapter 3 showed that the exploration parameter (ϵ) of 0.9 performed best for the grid topology network setting, whereas no significant gain in performance was achieved for varying the learning rate (α), the discount factor (γ) and weighted reward constants. From the comparison with existing routing schemes, the anycast Q-routing generated the least amount of message overhead, with average path search latency comparable to the conventional anycast schemes.

The second part of the study which is in Chapter 4, focuses on extending the previously proposed algorithm to the local repair anycast Q-routing scheme to cater path restoration upon node failure in a normal grid topology. Results in Chapter 4 confirmed the findings in Chapter 3 that, even with path restoration after node failure, the anycast local repair Q-routing scheme exhibits the least amount of message overhead and faster search time at a cost of slightly high average path length due to the exploration of paths at the beginning of the search. Furthermore, the performance of the local repair anycast Q-routing was compared against the anycast AODV scheme in a voided network, which in reality may be caused by physical obstructions such as buildings, lakes or swamps. The proposed scheme can still attain lower message overhead, path search latency than the anycast AODV scheme.



สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญรูป.....	ฎ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	ฉ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	4
1.3 สมมติฐานของการวิจัย.....	4
1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น.....	5
1.5 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.6 วิธีดำเนินการวิจัย.....	5
1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน.....	5
1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย.....	5
1.6.3 สถานที่ทำการวิจัย.....	6
1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	6
1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	6
1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล.....	7
1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	7
1.8 ส่วนประกอบของรายงาน.....	7
2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 กล่าวนำ.....	9
2.2 กระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ.....	10
2.2.1 คุณสมบัติมาร์คอฟ.....	10
2.2.2 กระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ.....	11

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.3	นโยบาย	12
2.3	กระบวนการเรียนรู้แบบปรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง	12
2.3.1	ฟังก์ชันมูลค่า	13
2.3.2	ฟังก์ชันมูลค่าที่เหมาะสม	14
2.4	กระบวนการเรียนรู้คิว เลิร์นนิ่ง	15
2.4.1	การสำรวจ	16
2.5	สรุป	16
3	การหาเส้นทางแอนนิคาส คิว เลิร์นนิ่ง ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย	
	สำหรับการตรวจสอบสุขภาพ	17
3.1	บทนำ	17
3.2	การตรวจสอบสุขภาพสำหรับเครือข่ายไร้สาย	18
3.3	แอนนิคาสในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย	19
3.4	กระบวนการเรียนรู้แบบปรีอินฟอร์สเมนต์สำหรับการหาเส้นทางในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย	20
3.5	กลไกการหาเส้นทางแอนนิคาส คิว เราท์ติ้ง	21
3.5.1	แบบจำลองของระบบ	21
3.5.2	กระบวนการทำงานของ คิว เราท์ติ้ง	22
3.5.3	อัลกอริธึมแอนนิคาส คิว เราท์ติ้ง	22
3.6	ผลการจำลอง	25
3.6.1	ผลกระทบของพารามิเตอร์ที่ได้ออกแบบ	26
3.6.2	เปรียบเทียบกลไกการหาเส้นทางที่มีอยู่	26
3.6.3	หัวข้อในการคำนวณ	27

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.7 สรุป.....	30
4 การซ่อมแซมเส้นทางเดิมโดยใช้กลไกแอนนิคาส คิว เราท่ตั้ง.....	32
4.1 บทนำ.....	32
4.2 เครื่องข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์.....	33
4.3 กระบวนการเรียนรู้แบบปรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่งในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย.....	34
4.4 การซ่อมแซมเส้นทางในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย.....	34
4.5 พื้นที่บดบังการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย.....	35
4.6 กลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราท่ตั้ง.....	36
4.6.1 คิว เราท่ตั้ง.....	36
4.6.2 อัลกอริธึมการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราท่ตั้ง.....	36
4.7 ผลการจำลอง.....	40
4.7.1 การประเมินผลการทำงานก่อนมีโหนดล้มเหลว.....	41
4.7.2 การประเมินผลการทำงานหลังจากมีโหนดล้มเหลว.....	44
4.7.3 ประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางเมื่อมีพื้นที่บดบังการค้นหาเส้นทาง.....	49
4.8 สรุป.....	52
5 สรุปผลและแนวทางการพัฒนาในอนาคต.....	54
5.1 บทนำ.....	54
5.1.1 การหาเส้นทางแอนนิคาส คิว เราท่ตั้ง ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการตรวจสอบสุขภาพ.....	54
5.1.2 การซ่อมแซมเส้นทางเดิมโดยใช้กลไกการหาเส้นทาง แอนนิคาส คิว เราท่ตั้ง.....	55
5.2 แนวทางการพัฒนาในอนาคต.....	56
5.2.1 โหนดเคลื่อนที่.....	56
5.2.2 การซ่อมแซมเส้นทางเมื่อมีโหนดเคลื่อนที่อยู่ในเครือข่าย.....	56
5.2.3 การใช้พลังงาน.....	57

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 พารามิเตอร์การจำลองผล.....	25
4.1 พารามิเตอร์การจำลองผล.....	41
ก.1 รูปแบบของพื้นที่ที่บดบังการค้นหาเส้นทางสำหรับ 9 โหนด 12 โหนด และ 14 โหนด.....	67
ก.2 รูปแบบของพื้นที่ที่บดบังการค้นหาเส้นทางสำหรับ 16 โหนด 18 โหนด และ 20 โหนด.....	68



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	รูปแบบของกระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ..... 11
2.2	แผนภาพปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแทนกับสภาพแวดล้อมในกระบวนการเรียนรู้ แบบรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง..... 13
3.1	ค่าเฉลี่ยรางวัลผลตอบแทนของพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันในกลไกแอนนิคาส คิวเราต์ติ้ง..... 28
3.2	ค่าเฉลี่ยการใช้ปริมาณข้อมูลในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน..... 28
3.3	ค่าเฉลี่ยความล่าช้าการค้นหาเส้นทางในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน..... 29
3.4	ค่าเฉลี่ยความยาวเส้นทางสำหรับ 30 โหนดในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน..... 29
3.5	ค่าเฉลี่ยความยาวเส้นทางสำหรับ 50 โหนดในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน..... 30
4.1	แผนภาพของอัลกอริธึมการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราท์ติ้ง..... 39
4.2	การซ่อมแซมเส้นทางใน โครงสร้างเครือข่ายแบบกริด..... 39
4.3	ค่าเฉลี่ยการใช้ปริมาณข้อมูลในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน..... 43
4.4	ค่าเฉลี่ยความล่าช้าการค้นหาเส้นทางในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน..... 43
4.5	ค่าเฉลี่ยความยาวเส้นทางในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน..... 44
4.6	ค่าเฉลี่ยการใช้ปริมาณข้อมูลของการซ่อมแซมเส้นทางในกลไกการหาเส้นทาง ที่แตกต่างกัน..... 45
4.7	ค่าเฉลี่ยความล่าช้าการค้นหาเส้นทางของการซ่อมแซมเส้นทางในกลไกการหาเส้นทาง ที่แตกต่างกัน..... 46
4.8	ค่าเฉลี่ยความยาวเส้นทางของการซ่อมแซมเส้นทางในกลไกการหาเส้นทาง ที่แตกต่างกัน..... 46
4.9	อัตราความสำเร็จของการซ่อมแซมเส้นทางในกลไกการหาเส้นทาง ที่แตกต่างกัน..... 47
4.10	ค่าเฉลี่ยการใช้ปริมาณข้อมูลของเส้นทางเดิมและเส้นทางที่ถูกซ่อมแซม ในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน..... 47
4.11	ค่าเฉลี่ยความล่าช้าการค้นหาเส้นทางของเส้นทางเดิมและเส้นทางที่ถูกซ่อมแซม ในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน..... 48

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.12 ค่าเฉลี่ยความยาวเส้นทางของเส้นทางเดิมและเส้นทางที่ถูกซ่อมแซม ในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน.....	48
4.13 ค่าเฉลี่ยการใช้ปริมาณข้อมูลรอบ ๆ พื้นที่ที่ปิดบังการค้นหาเส้นทาง สำหรับกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน.....	51
4.14 ค่าเฉลี่ยความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางรอบ ๆ พื้นที่ที่ปิดบังการค้นหาเส้นทาง สำหรับกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน.....	51
4.15 ค่าเฉลี่ยความยาวเส้นทางเส้นทางรอบ ๆ พื้นที่ที่ปิดบังการค้นหาเส้นทาง สำหรับกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน.....	52
ก.1 ค่าเฉลี่ยขอบสำหรับพารามิเตอร์ (E) 2 ซิงค์ 6 ซิงค์ และ 10 ซิงค์.....	66
ก.2 ความถูกต้องของข้อมูล 95% ในแง่ของการใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางสำหรับ จำนวนครั้งที่รันของ 2 ซิงค์ (50 โหนด).....	69
ก.3 ความถูกต้องของข้อมูล 95% ในแง่ของการใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางสำหรับ จำนวนครั้งที่รันของ 6 ซิงค์ (50 โหนด).....	69
ก.4 ความถูกต้องของข้อมูล 95% ในแง่ของการใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางสำหรับ จำนวนครั้งที่รันของ 10 ซิงค์ (50 โหนด).....	70

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

BWSN	=	เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์
WSN	=	เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย
AODV	=	โปรโตคอลการหาเส้นทางเอโอดีวี
RREQ	=	แพ็กเก็ตควบคุมที่ใช้สำหรับการสอบถามเส้นทางไปยังปลายทาง
RREP	=	แพ็กเก็ตควบคุมที่ใช้สำหรับตอบเส้นทางที่ถูกร้องขอกลับไปยังโหนดที่ร้องขอ
ACK	=	แพ็กเก็ตการยืนยันว่าได้รับข้อความตอบกลับแล้ว
RL	=	กระบวนการเรียนรู้แบบรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิง
MDP	=	กระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ
t	=	ดัชนีเวลา
α	=	อัตราการเรียนรู้
s_t	=	สถานะของขั้นตอนเวลาที่เวลา t
S	=	เซตของสถานะ
s	=	สถานะปัจจุบัน
s'	=	สถานะถัดไป
A	=	เซตของการกระทำ
a	=	การกระทำ
$E[.]$	=	ค่าคาดหวัง
γ	=	ปัจจัยส่วนลด
$R(s, a, s')$	=	รางวัลผลตอบแทนที่คาดว่าจะได้รับจากสถานะปัจจุบัน S และการกระทำ a กับสถานะถัดไปใด ๆ S'
r	=	รางวัลผลตอบแทน
π	=	นโยบาย π
π^*	=	นโยบายที่เหมาะสม
$P[a]$	=	ความน่าจะเป็นของการกระทำ a ใด ๆ

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

- $Q_t^\pi(s, a)$ = ฟังก์ชันมูลค่าการกระทำของนโยบาย π ที่เกี่ยวข้องกับการกระทำ a ของคู่สถานะ-การกระทำ (s, a) ที่เวลา t
- R_t = ผลตอบแทนส่วนลดที่ได้รับกลับมาจากตัวแทนที่เวลา t
- $E^\pi[.]$ = ค่าคาดหวังภายใต้นโยบาย π
- $V^\pi(s)$ = ฟังก์ชันมูลค่าของสถานะ (s) ภายใต้นโยบาย π
- $V^*(s)$ = ฟังก์ชันมูลค่าของสถานะ (s) ภายใต้นโยบาย π^*
- $Q^*(s, a)$ = ฟังก์ชันมูลค่าการกระทำของนโยบายที่เหมาะสม π^* ที่เกี่ยวข้องกับการกระทำ (s, a)
- $Q(s, a)$ = คุณภาพของการกระทำหรือค่าคิวของคู่สถานะ-การกระทำ (s, a)
- $Q(s', a')$ = ความคาดหวังผลตอบแทนในอนาคตหรือค่าคิวในอนาคตที่สถานะ s' โดยการกระทำ a'
- $D_{s_i, s_{sink}}$ = ระยะทางระหว่างโหนด s_i และ โหนดปลายทาง
- $D_{s_j, s_{sink}}$ = ระยะทางระหว่างโหนด s_j และ โหนดปลายทาง

บทที่ 1

บทนำ

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงปัญหาของการหาเส้นทางในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์และมุ่งเน้นถึงความสำคัญของการปรับปรุงประสิทธิภาพการหาเส้นทางในเครือข่าย และกล่าวถึงเหตุจูงใจในการประยุกต์ใช้กระบวนการรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิง (Reinforcement Learning หรือ RL) เพื่อใช้แก้ปัญหาการหาเส้นทางซึ่งเป็นจุดสนใจหลักของงานงานวิจัยฉบับนี้

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์ (Biomedical Wireless Sensor Network หรือ BWSN) คือเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่ถูกออกแบบมาสำหรับการใช้งานทางการแพทย์หรือการให้บริการด้านสุขภาพ (Kumar *et al.*, 2011) เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์เป็นกระบวนการที่มีศักยภาพ ซึ่งสามารถเพิ่มคุณภาพของการให้บริการด้านการดูแลสุขภาพให้กับประชาชนผ่านการพัฒนาการใช้งานและการให้บริการใหม่ๆ การใช้งานโดยทั่วไปของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์ รวมถึงการตรวจสอบผู้ป่วย โดยมีพารามิเตอร์สัญญาณชีพ เช่น อุณหภูมิของร่างกาย ความดันโลหิต คลื่นไฟฟ้า และอัตราการเต้นหัวใจ เป็นต้น อีกทั้งยังรวมไปถึงการใช้งานทางด้านภัยพิบัติ กรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน และการช่วยชีวิตสำหรับคนพิการหรือผู้สูงอายุ (Varshney 2006; Jovanov *et al.*, 2009) อย่างไรก็ตาม ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์ยังมีข้อจำกัดในการใช้พลังงานของโหนดเซ็นเซอร์ซึ่งขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งานและการใช้ข้อมูลต่าง ๆ ในเครือข่าย อีกทั้งในการส่งต่อแพ็คเกจข้อมูลในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์ต้องการความน่าเชื่อถือสำหรับการส่งต่อข้อมูลไปยังปลายทางอีกด้วย (Varshney and Sneha, 2006; Baldus *et al.*, 2004)

นอกจากนี้ ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายยังมีข้อจำกัดอีกหลายอย่างเช่น ข้อจำกัดด้านหน่วยความจำ ข้อจำกัดการใช้แบนด์วิดท์ ข้อจำกัดอัตราการสื่อสารข้อมูล และข้อจำกัดด้านพลังงาน (Zhang *et al.*, 2008; Stankovic, 2006; Yick *et al.*, 2008) ซึ่งข้อจำกัดเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อความสามารถที่โหนดเซ็นเซอร์จะส่งแพ็คเกจข้อมูลไปยังศูนย์การแพทย์ (Shin *et al.*, 2007) ยกตัวอย่างเช่น ข้อจำกัดของการใช้พลังงาน เมื่อโหนดเซ็นเซอร์มีกระบวนการส่งแพ็คเกจข้อมูลหรือมีการปริมาณของข้อมูล (overhead) สำหรับการค้นหาเส้นทางในเครือข่าย อันส่งผลให้พลังงานแบตเตอรี่ของโหนดเซ็นเซอร์หมดลง จึงทำให้เส้นทางในการส่งแพ็คเกจข้อมูลถูกตัดการ

เชื่อมต่อ และส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง ดังนั้นความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลจากโหนดเซ็นเซอร์ไปยังปลายทางหรือศูนย์การแพทย์ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย จึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์ ซึ่งได้มีงานวิจัยที่ได้มุ่งเน้นในการปรับปรุงความน่าเชื่อถือสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ดังต่อไปนี้

งานวิจัยของ Varshney and Sneha (2006) ได้นำเสนอโปรโตคอลสำหรับการจัดการพลังงานภายใต้ความหนาแน่น ระดับพลังงาน และจำนวนของฮอป เพื่อที่จะสนับสนุนและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานสำหรับอุปกรณ์ต่าง ๆ กลไกนี้แสดงให้เห็นได้ว่า สามารถส่งข้อมูลที่เชื่อถือได้ในการใช้พลังงานที่เหมาะสม

งานวิจัยของ Manfredi (2012) ได้นำเสนออัลกอริทึมการหาเส้นทางที่ทำงานร่วมกันเพื่อรับประกันประสิทธิภาพข้อแลกเปลี่ยนระหว่างความน่าเชื่อถือและประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบการตรวจสอบไร้สาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานการณ์ที่มีความแออัดในเครือข่าย

งานวิจัยของ Varshney (2008) ได้นำเสนอกรอบการทำงาน (framework) สำหรับการตรวจสอบผู้ป่วย ซึ่งรวมถึงอุปกรณ์การตรวจสอบผู้ป่วยเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอค (ad hoc wireless networks) และผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพ กรอบการทำงานนี้จะใช้วิธีการหาเส้นทาง 4 รูปแบบ คือ มัลติคาส (multicast) ความน่าเชื่อถือมัลติคาส (reliable multicast) บรอดคาส (broadcast) และความน่าเชื่อถือบรอดคาส (reliable broadcast) เพื่อปรับปรุงความน่าเชื่อถือของการส่งข้อมูลในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอค

งานวิจัยของ Chen *et al.* (2012) ได้นำเสนอโปรโตคอลการส่งต่อแพ็กเก็ตที่เชื่อถือได้สำหรับการส่งข้อความฉุกเฉินและสัญญาณชีพ (vital signs) ในเครือข่ายมัลติฮอปซิกบี (multihop ZigBee network) ที่อยู่บนพื้นฐานของการหาเส้นทางแอนนิคาส (anycast) สำหรับการตรวจสอบผู้ป่วยไร้สาย โปรโตคอลนี้จะช่วยลดปริมาณข้อมูลและยังสามารถรักษาความน่าเชื่อถือได้

งานวิจัยของ Liang *et al.* (2008a); Liang *et al.* (2008b) ได้นำเสนอกลไกการหาเส้นทางรีอินฟอร์สเมนต์ (reinforcement learning) ซึ่งเป็นกลไกการหาเส้นทางที่สามารถปรับตัวเองได้ เพื่อที่จะตรวจสอบเส้นทางในลักษณะแบบฮอปต่อฮอปเพื่อให้บรรลุอัตราการส่งแพ็กเก็ตที่เหมาะสม โดยที่เส้นทางต้องตอบสนองต่อความต้องการของคุณภาพการให้บริการของข้อมูล (quality of service) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Liang *et al.* (2008b) นำเสนอกลไกรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่งในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการตรวจสอบผลกระทบของปริมาณข้อมูลในเครือข่ายและการเคลื่อนไหวของโหนดเซ็นเซอร์เพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่าย

จากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมดังกล่าวแสดงให้เห็นได้ว่า ความน่าเชื่อถือของการส่งข้อมูลเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์ ซึ่งวิธีการหาเส้นทางหรือวิธีการส่งต่อแพ็กเก็ตจากการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมได้สมมติให้โหนดเซ็นเซอร์มีความร่วมมือกัน เป็นที่น่าเชื่อถือ และทำงานได้อย่างถูกต้อง แต่อย่างไรก็ตามในสถานการณ์จริง โหนดเซ็นเซอร์อาจจะล้มเหลวได้ เนื่องจากโหนดอาจจะเกิดการสูญเสียแบตเตอรี่ หรือความผิดปกติอื่น ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นกับโหนดได้โดยไม่ทราบสาเหตุ ทำให้ข้อมูลไม่สามารถถูกส่งไปยังศูนย์การแพทย์หรือโหนดปลายทางในเครือข่ายได้ งานวิจัยของ Naputta and Usaha (2012) ได้นำเสนอกลไกรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง โดยบูรณาการเข้ากับกระบวนการของทรัสต์และเรีบพิวเทชั่น (trust and reputation) ซึ่งได้พิสูจน์แล้วว่ามิประโยชน์สำหรับการตรวจสอบโหนดที่ทำงานผิดปกติ รวมถึงโหนดที่เป็นอันตราย และงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการหาเส้นทางสำหรับการไม่ร่วมมือของโหนดเซ็นเซอร์ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเคลื่อนที่ (mobile wireless sensor networks) ที่อยู่บนพื้นฐานของรีอินฟอร์สเมนต์เลิร์นนิ่ง โดยใช้ทรัสต์และเรีบพิวเทชั่นสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์ เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงโหนดที่ผิดปกติ ผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่ากลไกของทรัสต์และเรีบพิวเทชั่นสามารถนำมาใช้ในการหลีกเลี่ยงโหนดที่อันตรายที่จะทำให้หยุดส่งแพ็กเก็ตในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเคลื่อนที่

เนื่องจากกลไกการหาเส้นทางในงานวิจัยของ Naputta and Usaha (2012) ใช้วิธีการหาเส้นทางแบบยูนิคาส (unicast) ซึ่งจะทำให้ความน่าเชื่อถือได้รับผลกระทบ เนื่องจากมีผู้รับปลายทางเพียงซิงค์เดียว (sink) ในเครือข่าย จากผลงานก่อนหน้านี้แสดงให้เห็นได้ว่า ในการส่งข้อมูลไปยังปลายทางต้องการความน่าเชื่อถือสูงเป็นอย่างมาก ซึ่งสามารถทำได้หากมีการเพิ่มผู้รับหรือเพิ่มซิงค์เป็นหลาย ๆ ซิงค์ (multiple sinks) ในเครือข่าย ซึ่งเมื่อเพิ่มผู้รับหรือเพิ่มซิงค์ในเครือข่ายแล้วจะมีข้อแลกเปลี่ยนในการใช้ปริมาณข้อมูลสำหรับการค้นหาเส้นทางในเครือข่าย (Chen *et al.*, 2012) ดังนั้นเพื่อที่จะลดการใช้ปริมาณข้อมูลในเครือข่ายและยังสามารถที่จะรักษาความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลไว้ได้ จึงมีงานวิจัยเสนอการหาเส้นทางแอนนिकास (Nancy *et al.*, 2010) สำหรับงานวิจัยนี้มีความสนใจเพื่อที่จะเพิ่มความน่าเชื่อถือในการหาเส้นทางโดยการขยายกรอบการทำงานในงานวิจัยของ Naputta and Usaha (2012) เพื่อที่จะรองรับการหาเส้นทางแอนนिकास โดยกลไกแอนนिकासเป็นวิธีการหาเส้นทางซึ่งข้อมูลจะถูกส่งจากโหนดต้นทางไปยังผู้รับที่ใกล้ที่สุดที่โหนดปลายทาง งานวิจัยของ Chen *et al.* (2012) ได้นำเสนอโปรโตคอลการส่งต่อแพ็กเก็ตกับข้อมูลสัญญาณชีพที่เชื่อถือได้ในเครือข่ายมัลติฮอปไร้สาย ที่อยู่บนพื้นฐานของการหาเส้นทางแอนนिकासสำหรับการตรวจสอบผู้ป่วยไร้สาย วิธีการหาเส้นทางที่นำเสนอใน Chen *et al.* (2012) สามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือในการ

ส่งแพ็กเก็ตโดยการส่งต่อแพ็กเก็ตไปในเส้นทางไปยังซิงค์ที่ใกล้ที่สุดซึ่งจะมีเส้นทางที่สั้นและมีความล่าช้าในการหาเส้นทางต่ำอีกด้วย อย่างไรก็ตามวิธีการหาเส้นทางนี้ยังไม่ได้พิจารณาความเป็นไปได้ของการเชื่อมต่อหรือความล้มเหลวของโหนดที่อาจส่งผลกระทบต่อการค้นหาเส้นทาง ดังนั้นสำหรับงานวิจัยนี้จึงต้องการเพิ่มความน่าเชื่อถือโดยการเพิ่มผู้รับหรือเพิ่มซิงค์และสามารถค้นหาเส้นทางไปยังซิงค์หรือผู้รับที่ใกล้ที่สุดได้ อย่างไรก็ตามเมื่อมีการเพิ่มซิงค์ในเครือข่ายในการค้นหาเส้นทาง โปรโตคอลที่เชื่อถือได้ในการค้นหาเส้นทาง เช่น กลไกบรอดคาสต์ และกลไกมัลติคาสต์ ยังต้องใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางไปยังปลายทางสูง ดังนั้น งานวิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะค้นหาเส้นทางไปยังปลายทางที่ใกล้ที่สุดด้วยปริมาณข้อมูลที่จำกัด เมื่อเพิ่มจำนวนซิงค์ในเครือข่าย

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เสนอวิธีการซ่อมแซมเส้นทางเดิมในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับชีวการแพทย์โดยใช้วิธีการหาเส้นทางแอนนิคาสต์ ที่อยู่บนพื้นฐานของกลไกรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่งที่เรียกว่า คิวเวาทิ่ง (local repair anycast Q-routing) ซึ่งมีจุดมุ่งหมายคือ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของการส่งข้อมูลไปยังปลายทาง ในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาปัจจัยที่แลกเปลี่ยนสำหรับความน่าเชื่อถือที่ ซึ่งได้แก่ ปริมาณข้อมูล (overhead) ความล่าช้าในการค้นหาเส้นทาง (search latency) และ อัตราความสำเร็จ (success ratio) ของการส่งข้อมูล

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาปัญหาการหาเส้นทางในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์
- 1.2.2 เพื่อประยุกต์ใช้อัลกอริทึมแอนนิคาสต์ คิวเวาทิ่งสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์ในการค้นหาเส้นทางไปยังหลายซิงค์หรือหลายผู้รับและศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทาง

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

- 1.3.1 กลไกรีอินฟอร์สเมนต์เลิร์นนิ่งสามารถตัดสินใจหาเส้นทางที่เหมาะสมในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์ได้
- 1.3.2 วิธีการหาเส้นทางแอนนิคาสต์ที่อยู่บนพื้นฐานของรีอินฟอร์สเมนต์เลิร์นนิ่งสามารถปรับปรุงความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลได้
- 1.3.3 ทุกซิงค์และโหนดเซ็นเซอร์ในเครือข่าย อยู่ในโครงสร้างแบบกริด (grid topology)

1.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

- 1.4.1 โปรแกรมแมทแลป (MATLAB) จะถูกใช้ในการจำลองสำหรับการหาเส้นทางในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาวิธีการหาเส้นทางแอนนิกาสในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์
- 1.5.2 ประเมินประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึมการซ่อมแซมเส้นทางเดิมที่อยู่บนพื้นฐานของ คิวเราท์ติ้ง (anycast local repair based on Q-routing) และประเมินผลในโครงสร้างเครือข่ายแบบกริดสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์ ซึ่งผลที่ได้จะนำมาเปรียบเทียบกับวิธีการหาเส้นทาง แอนนิกาส มัลติคาส และบรอดคาส ที่อยู่บนพื้นฐานของ โพรโตคอลเอโอดีวี (Ad hoc on demand distance vector หรือ AODV) (Chen *et al.*, 2012)
- 1.5.3 การจำลองจะถูกดำเนินการโดยโปรแกรมแมทแลป และผลการทดลองจะได้รับการวิเคราะห์เพื่อหากลยุทธ์ที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.6.1 แนวทางการดำเนินงาน
- 1) สํารวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
 - 2) ศึกษากลยุทธ์การหาเส้นทางที่ใช้สำหรับการค้นหาเส้นทางและส่งต่อแพ็กเก็ตในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย
 - 3) ศึกษาวิธีการค้นหาเส้นทางที่ใช้สำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์และศึกษาประสิทธิภาพการทำงาน
 - 4) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
 - 5) จัดเตรียมงานวิจัยสำหรับการตีพิมพ์
 - 6) เขียนรายงานการวิจัย
- 1.6.2 ระเบียบวิธีวิจัย
- วัตถุประสงค์ที่ 1 เพื่อศึกษาปัญหาการหาเส้นทางในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์

- 1) สํารวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสําหรับการคํานหาเส้นทางในเครื่องข่ายเซ่นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย
- 2) ตรวจสอบข้อดีและข้อเสียของวิธีการคํานหาเส้นทางที่ได้พิจารณาไว้สําหรับงานวิจัยฉบับนี้
- 3) ประยุกต์ใช้เครื่องมือการจําลองผล เช่น โปรแกรมแมทแลปเพื่อประเมินผลการทํางานวิธีการคํานหาเส้นทางในเครื่องข่ายเซ่นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทยภายใต้สถานการณ์ต่าง ๆ
- 4) พัฒนาอัลกอริธึมการหาเส้นทางซึ่งใช้การหาเส้นทางแอนนิกาสที่อยู่บนพื้นฐานของรีอินฟอร์สเมนต์เลิร์นนิ่งในเครื่องข่ายเซ่นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทยเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูล

วัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อประยุกต์ใช้อัลกอริธึมแอนนิกาส คิว เรทติ้งสําหรับเครื่องข่ายเซ่นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทยในการคํานหาเส้นทางไปยังหลายซิ่งค์หรือหลายผู้รับและศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการคํานหาเส้นทางเส้นทางในเครื่องข่าย

- 1) สํารวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสําหรับการช่อมแซมเส้นทางเดิมในเครื่องข่ายเซ่นเซอร์ไร้สาย
- 2) พัฒนากลไกการหาเส้นทางแอนนิกาสที่อยู่บนพื้นฐานของคิว เรทติ้ง
- 3) เปรียบเทียบผลการจําลองของกลไกการคํานหาเส้นทางที่ได้นําส่นอกกับกลไกการหาเส้นทางอื่น ๆ ที่ใช้ในเครื่องข่ายเซ่นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย ซึ่งจะมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพในการคํานหาเส้นทาง ได้แก่ ปริมาณข้อมูล ความล่าช้าในการคํานหาเส้นทาง และอัตราความสำเร็จ

1.6.3 สถานที่ทํางานวิจัย

ห้องวิจัยและปฏิบัติการสื่อสารไร้สาย อาคารเครื่องมือ 4 อาคารวิชาการของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา

1.6.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer)
- 2) โปรแกรมแมทแลป

1.6.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

- 1) ศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 2) เก็บรวบรวมผลการทดลองจากการจำลองด้วยโปรแกรมแมทแลป

1.6.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

รวบรวมข้อมูลผลการทดลองที่ได้เพื่อนำมาวิเคราะห์ เปรียบเทียบและสรุปผลการทดลองในรูปแบบของกราฟและตาราง

1.7 ประโยชน์ที่ได้รับ

- 1.7.1 ได้ปรับปรุงความน่าเชื่อถือในการค้นหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์
- 1.7.2 ได้กลยุทธ์การค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์ซึ่งจะสามารถดำเนินการซ่อมแซมเส้นทางเดิมที่มีการเชื่อมต่อของเส้นทางเดิมขาดหายเนื่องจากโหนดล้มเหลว

1.8 ส่วนประกอบของรายงาน

งานวิจัยฉบับนี้ประกอบด้วย 5 บท ดังต่อไปนี้

บทที่ 1 เป็นบทนำ กล่าวถึงความสำคัญและที่มาของปัญหา วัตถุประสงค์ของงานวิจัย สมมติฐานของการวิจัย ข้อตกลงเบื้องต้น ขอบเขตการวิจัย วิธีดำเนินการวิจัย และประโยชน์ที่ได้รับของงานวิจัยนี้

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานของงานวิจัยฉบับนี้ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทฤษฎีของกระบวนการการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ (Markov Decision Process หรือ MDPs) รีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง และทฤษฎีพื้นฐานของ คิวเลิร์นนิ่ง (Q-learning) ที่จะนำเสนอ ซึ่งเป็นพื้นฐานของกลไกแอนนิกาส คิวเรทติ้ง สำหรับงานวิจัยฉบับนี้

บทที่ 3 ศึกษากลไกการค้นหาเส้นทางแอนนิกาส โดยบูรณาการเข้าอัลกอริธึมคิว เรทติ้งและเปรียบเทียบประสิทธิภาพผลการดำเนินการของการค้นหาเส้นทางระหว่างกลไกแอนนิกาส คิวเรทติ้ง กับกลไกบรอดคาส กลไกมัลติคาส และกลไกแอนนิกาสที่อยู่บนพื้นฐานของโปรโตคอลเออดีวี ทางด้านปริมาณข้อมูลและความล่าช้าในการค้นหาเส้นทาง

บทที่ 4 พัฒนากลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิม แอนนิกาส คิวเรทติ้ง และศึกษาประสิทธิภาพการซ่อมแซมเส้นทาง ในกรณีเมื่อมีโหนดล้มเหลว และประเมินประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางใน

เครือข่ายมีพื้นที่บังคับการค้นหาเส้นทาง ซึ่งในความเป็นจริงอาจจะเกิดจากสิ่งกีดขวางทางกายภาพ เช่นอาคาร ทะเลสาบ หรือบึง ซึ่งเป็นอุปสรรคทางกายภาพ โดยมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพในการค้นหาเส้นทางคือ การใช้ปริมาณข้อมูล ความล่าช้าในการค้นหาเส้นทาง ค่าเฉลี่ยความยาวเส้นทาง และอัตราความสำเร็จ เราจะเปรียบเทียบผลการดำเนินงานของการซ่อมแซมเส้นทางระหว่างกลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนिकासคิว เราที่ตั้งกับกลไกบรอดคาส กลไกมัลติคาส และกลไกแอนนिकासที่อยู่บนพื้นฐานของโปรโตคอลเอไอคิวี

บทที่ 5 กล่าวถึงการสรุปผลของการวิจัย ปัญหาและแนวทางการพัฒนาในอนาคต



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอกลไกการหาเส้นทางในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์ (Biomedical Wireless Sensor Network หรือ BWSN) โดยใช้วิธีการหาเส้นทางแอนนิคาสที่อยู่บนพื้นฐานของกลไกรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง (Reinforcement Learning หรือ RL) เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์นั้น ได้รับการออกแบบมาสำหรับการใช้งานทางด้านการแพทย์หรือการให้บริการด้านสุขภาพ รวมถึงการตรวจสอบผู้ป่วย ด้วยการส่งข้อมูลสัญญาณชีพที่ไปยังศูนย์การแพทย์ เช่น อุณหภูมิของร่างกาย ความดันโลหิต คลื่นไฟฟ้าหัวใจ และอัตราการเต้นหัวใจ เป็นต้น นอกจากนี้แล้ว เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์ยังมีการใช้งานด้านภัยพิบัติและการตอบสนองฉุกเฉินสำหรับคนพิการหรือผู้สูงอายุ งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาการส่งข้อมูลสัญญาณชีพในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์ ความท้าทายสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์ คือการเพิ่มความน่าเชื่อถือของการส่งข้อมูลและเพื่อให้แน่ใจได้ว่าข้อมูลถูกส่งไปยังศูนย์การแพทย์แล้วอย่างแน่นอน ดังนั้นโปรโตคอลการหาเส้นทางจึงมีบทบาทสำคัญสำหรับการสื่อสารและมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่าย นอกจากนี้ อาจมีโหนดเซ็นเซอร์บางโหนดทำล้มเหลว เนื่องจากแบตเตอรี่ของโหนดหมดลง โหนดได้รับความเสียหาย หรืออาจเกิดความผิดปกติอื่น ๆ ขึ้นกับโหนดได้โดยไม่ทราบสาเหตุ ทำให้ข้อมูลไม่สามารถถูกส่งไปยังศูนย์การแพทย์หรือโหนดปลายทางในเครือข่ายได้ ในงานวิจัยของ Naputta and Usaha (2012) ได้นำเสนอการค้นหาเส้นทางแบบยูนิคาส ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือของการส่งต่อข้อมูล โดยในการหาเส้นทางแบบยูนิคาสจะมีผู้รับเพียงซิงค์เดียวในเครือข่าย อีกทั้งในการส่งข้อมูลในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์นั้น ต้องการความน่าเชื่อถือสูง ซึ่งสามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลนี้ได้เมื่อมีหลายผู้รับหรือหลายซิงค์ในเครือข่าย แต่ต้องแลกด้วยปริมาณข้อมูลที่เพิ่มขึ้นสำหรับการค้นหาเส้นทางไปยังผู้รับที่ใกล้ที่สุดในเครือข่ายหรือที่เรียกว่าแอนนิคาส (anycast) ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอกลไกการหาเส้นทางแอนนิคาสที่ลดปริมาณข้อมูลที่ถูกรวบรวมขึ้นในระหว่างการค้นหาเส้นทางไปยังหลาย ๆ ซิงค์ ทั้งนี้กลไกแอนนิคาสนั้น จะมีลักษณะตรงกันข้ามกับกลไกบรอดคาส และกลไกมัลติคาส ซึ่งมีการใช้ปริมาณข้อมูลเพิ่มมากขึ้นในการค้นหาเส้นทางไปยังหลาย ๆ ซิงค์ ดังนั้นเพื่อลดปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางและรักษาความน่าเชื่อถือของการส่งต่อข้อมูลไว้ได้ จึงนำเสนอกลไกแอนนิคาสที่อยู่บนพื้นฐานของกระบวนการรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง ซึ่งกลไกรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง

เป็นอัลกอริทึมที่โหนดแต่ละโหนดสามารถเรียนรู้ได้ด้วยตัวเองโดยผ่านจากประสบการณ์และรางวัลผลตอบแทนที่ได้รับจากสิ่งแวดล้อมเพื่อหาการกระทำ (action) ที่ดีที่สุดเพื่อให้บรรลุเป้าหมาย

กระบวนการเรียนรู้แบบรีอินฟอร์สเมนต์ (Sutton and Barto, 1998) เป็นการศึกษาพฤติกรรมของสัตว์ที่สามารถเรียนรู้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาเส้นทาง โดยจะได้รับรางวัลผลตอบแทนและหลีกเลี่ยงการลงโทษ กลไกการเรียนรู้จะมีกระบวนการตัดสินใจที่จะเรียนรู้เพื่อหาการตัดสินใจที่เหมาะสมผ่านจากการการเรียนรู้แบบลองผิด ลองถูก (trial and error) กับสภาพแวดล้อมแบบพลวัต (dynamic environment) ซึ่งแนวความคิดหลักของกลไกนี้คือ การเสริมสร้างพฤติกรรมที่ดีของการตัดสินใจและพฤติกรรมที่ไม่ดีผ่านจากรางวัลผลตอบแทนที่ได้รับจากสภาพแวดล้อม

คิว เลิร์นนิ่ง (Q-learning) (Watkins, 1989) เป็นเทคนิครีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง ที่มีฟังก์ชันมูลค่าการกระทำ (action value) ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่จะให้รางวัลผลตอบแทน (reward) สำหรับการกระทำ (action) ในสถานะนั้น (state) จุดแข็งของ คิว เลิร์นนิ่ง คือกลไกนี้สามารถที่จะเปรียบเทียบประโยชน์ของการกระทำที่มีอยู่ โดยไม่จำเป็นต้องใช้โมเดลรูปแบบของสภาพแวดล้อม

เนื้อหาในบทนี้ กล่าวถึงกระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ (Markov decision process หรือ MDP) กระบวนการรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง อัลกอริทึม โดยเน้นวิธีการ คิว เลิร์นนิ่ง (Q-learning) ซึ่งเป็นพื้นฐานของงานวิจัยนี้ และสรุปผล

2.2 กระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ

กระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ เป็นรูปแบบที่มีปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อม ซึ่งพื้นฐานของกระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ นำเสนอได้ดังต่อไปนี้

2.2.1 คุณสมบัติมาร์คอฟ

คุณสมบัติมาร์คอฟเป็นคุณสมบัติที่ไม่มีความจำของกระบวนการสุ่ม (stochastic) กล่าวคือ ถ้าความน่าจะเป็นของการเกิดสถานะในอนาคตของกระบวนการสุ่ม ขึ้นอยู่กับสถานะปัจจุบันเพียงอย่างเดียว และไม่ได้ขึ้นอยู่กับลำดับของเหตุการณ์ใดๆ ก่อนหน้าสถานะปัจจุบัน กระบวนการนี้มีคุณสมบัติซึ่งเรียกว่า คุณสมบัติมาร์คอฟ

กำหนดให้ตัวแปรสุ่มแทนสถานะปัจจุบันเป็น $S_t = s_t$ และความน่าจะเป็นของการเกิดสถานะถัดไปที่เวลา $t + 1$, $S_{t+1} = s_{t+1}$ ที่ขึ้นอยู่กับเหตุการณ์ในอดีต $S_t = s_t, \dots, S_0 = s_0$ เป็น $P(S_{t+1} = s_{t+1} | S_t = s_t, \dots, S_0 = s_0)$ ดังนั้น กระบวนการสุ่มที่มีคุณสมบัติมาร์คอฟ มีคุณสมบัติความน่าจะเป็นภายใต้เงื่อนไขที่ขึ้นอยู่กับสถานะปัจจุบัน ณ เวลา t ดังนี้

$$P(S_{t+1} = s_{t+1} | S_t = s_t, \dots, S_0 = s_0) = P(S_{t+1} = s_{t+1} | S_t = s_t). \quad (2.1)$$

2.2.2 กระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ

กำหนดให้สถานะใหม่ s' คือ โดยความน่าจะเป็นที่กระบวนการสุ่มจะอยู่ในสถานะ s' จะขึ้นอยู่กับสถานะปัจจุบัน s และการตัดสินใจของการกระทำ a ในสถานะปัจจุบัน จะได้ฟังก์ชันการเปลี่ยนแปลงสถานะความน่าจะเป็น คือ

$$P(s' | s, a) = P(S_{t+1} = s' | S_t = s, a_t = a). \quad (2.2)$$

หากการตัดสินใจเลือกการกระทำ a ในสถานะ s และเปลี่ยนสถานะเป็น s' เกิดผลตอบแทนหรือผลรางวัล r_{t+1} จะได้ค่าคาดหวังของรางวัลที่เกิดขึ้นดังนี้

$$R(s, a, s') = E[r_{t+1} | S_t = s, a_t = a, S_{t+1} = s'], \quad (2.3)$$

เมื่อ $E[.]$ ตัวโอเปอเรเตอร์ความคาดหวังและ r_{t+1} รางวัลที่ได้รับที่เวลา $t + 1$ จากสมการ (2.2) และ (2.3) คือส่วนที่สำคัญที่สุดของพลวัต (dynamics) ของกระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ ซึ่งทั้งสองฟังก์ชันสามารถนำไปหา นโยบายที่เหมาะสมสำหรับผู้มีเอเจนต์ต่อไป กระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟแสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปแบบของกระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ

กระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ ประกอบด้วย 4 ส่วน คือ (S, A, P, R) S คือ เซตของสถานะที่เป็นไปได้ทั้งหมดของกระบวนการสุ่ม A คือ เซตของการกระทำหรือการตัดสินใจที่เป็นไปได้ทั้งหมด P คือ รูปแบบหรือโมเดลของกระบวนการสุ่ม ซึ่งหมายถึงเซตของความน่าจะเป็นการกระทำ a ในสถานะ s ที่เวลา t ที่จะนำไปสู่สถานะของ s' ณ เวลา $t + 1$ และ R คือ เซต

ของผลรางวัลที่ได้รับหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงไปยังสถานะ s' จากสถานะ s ที่มีการตัดสินใจเลือกการกระทำ $a \in A$ และเปลี่ยนสถานะตามความน่าจะเป็น $P(s'|s, a) \in P$ ซึ่งเป็นความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนแปลงไปยังสถานะถัดไป $s' \in S$ หลังจากที่ได้รับผลตอบแทนที่ได้ดำเนินการเลือกการกระทำ $a \in A$ ที่สถานะปัจจุบัน $s \in S$

2.2.3 นโยบาย

นโยบาย π เป็นฟังก์ชันการตัดสินใจซึ่งมีโดเมนเป็นเซตของสถานะ และเรนจ์เป็นเซตของการกระทำ $\pi : S \rightarrow A$ โดยทั่วไปกระบวนการตัดสินใจ MDP มีนโยบาย 2 ประเภท ได้แก่

- 1) นโยบายคงที่ (stationary policy) คือการแมป (map) สถานการณ์การกระทำ เช่น การเลือกการกระทำเป็นฟังก์ชันของแต่ละสถานะ ดังนั้น การเลือกการกระทำจะขึ้นอยู่กับสถานะเพียงอย่างเดียว
- 2) นโยบายที่ไม่หยุดนิ่ง (non-stationary policy) คือการแมปสถานการณ์การกระทำแบบเป็นลำดับต่อเนื่อง โดยจะขึ้นอยู่กับเวลาของการทำการตัดสินใจด้วย

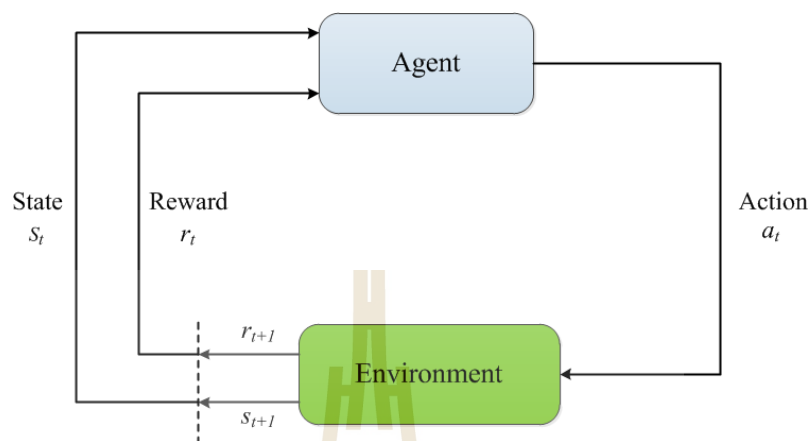
วัตถุประสงค์ของการแก้ปัญหาด้วยกระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ คือ เพื่อหานโยบาย π ซึ่ง $\pi : S \rightarrow P[A]$ ที่ทำให้ค่าคาดหวังผลรางวัลสูงสุด เมื่อ $P[A]$ คือความน่าจะเป็นในการตัดสินใจเลือกการกระทำ A ใด ๆ

2.3 กระบวนการเรียนรู้แบบรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง

เพื่อหานโยบายที่ดีที่สุดด้วยกระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ กระบวนการรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง (reinforcement learning) สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหานี้ได้ โดยที่กระบวนการรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง เป็นวิธีการคำนวณซึ่งจะเกี่ยวข้องกับวิธีการที่ตัวแทนการเรียนรู้ (agent) จะเรียนรู้การกระทำในสภาพแวดล้อมเพื่อหานโยบายที่ได้ผลรางวัลผลตอบแทนเฉลี่ยสะสมที่สูงที่สุดภายใต้สภาพแวดล้อมที่มีลักษณะเป็นกระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ นโยบายการตัดสินใจเลือกการกระทำที่ให้ผลรางวัลที่มากที่สุดนั้น ใช้ลักษณะหาผลเฉลยด้วยการเรียนรู้ผ่านการลองผิด ลองถูก (trial and error) ภายใต้เงื่อนไขเฉพาะที่เอื้อให้มีการคอนเวิร์จ (converge) ผู้ผลเฉลย (Sutton and Barto, 1998)

เอเจนต์ในการเรียนรู้แบบรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่งนั้น จะมีปฏิสัมพันธ์ (interaction) กับสภาพแวดล้อมในแต่ละเวลา t โดยเอเจนต์จะได้รับผลรางวัล $r_{t+1} \in R$ จากการเลือกการกระทำ $a_t \in A$ ที่สถานะ $s_t \in S$ เมื่อเอเจนต์ได้เลือกการกระทำแล้วก็จะเปลี่ยนลำดับสถานะไปยังสถานะใหม่ s_{t+1} เป้าหมายของเอเจนต์ในการเรียนรู้แบบรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่งนั้น คือ ตัวแทนซึ่งเป็น

ผู้เรียนรู้อาจเก็บสะสมรางวัลผลตอบแทนให้ได้มากที่สุดในระยะยาว รูปที่ 2.2 แสดงปฏิสัมพันธ์ระหว่างเอเจนต์กับสภาพแวดล้อมในกระบวนการเรียนรู้แบบรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง



รูปที่ 2.2 แผนภาพปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแทนกับสภาพแวดล้อมในกระบวนการเรียนรู้แบบรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง

2.3.1 ฟังก์ชันมูลค่า

กำหนดฟังก์ชันมูลค่า (value function) ด้วย $V^\pi(s)$ ภายใต้นโยบาย π โดย

$$\begin{aligned} V^\pi(s) &= E^\pi[R_t | s_t = s] \\ &= E^\pi[\sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} | s_t = s], \end{aligned} \quad (2.4)$$

เมื่อ $R_t = r_{t+1} + \gamma r_{t+2} + \gamma^2 r_{t+3} + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1}$ คือ ผลรวมรางวัลที่คาดว่าจะได้รับจากผู้เรียน โดยที่ γ คือปัจจัยส่วนลด (discount factor) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงของ $0 \leq \gamma \leq 1$ และ $E^\pi[\cdot]$ คือ โอเปอเรเตอร์ค่าคาดหวังภายใต้นโยบาย π

กำหนดฟังก์ชันมูลค่าการกระทำ (action value function หรือ Q function) ด้วย $Q_t^\pi(s, a)$ ภายใต้นโยบาย π โดยที่ฟังก์ชันนั้น เป็นฟังก์ชันผลรวมรางวัลเฉลี่ยของกลุ่มสถานะกับการกระทำ (s, a) ใด ๆ ทั้งนี้ ผลรวมรางวัลเฉลี่ยที่เอเจนต์ได้รับจากการเลือกการกระทำ a ในสถานะ s ณ เวลา t ตามนโยบาย π นิยามไว้ดังต่อไปนี้

$$Q_t^\pi(s, a) = E^\pi[R_t | s_t = s, a_t = a]$$

$$= E^\pi [\sum_{k=0}^{\infty} \gamma^k r_{t+k+1} | s_t = s, a_t = a]. \quad (2.5)$$

2.3.2 ฟังก์ชันมูลค่าที่เหมาะสม

การหา นโยบายที่เหมาะสมที่สุดในกระบวนการเรียนรู้แบบรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง หมายถึง การหา นโยบายเพื่อที่จะให้ได้มาซึ่งผลรางวัลผลตอบแทนเฉลี่ยที่มากที่สุดในระยะยาว กำหนดให้ฟังก์ชันมูลค่าที่เหมาะสม นิยามโดย

$$V^*(s) = \max_{\pi} V^\pi(s). \quad (2.6)$$

กำหนดคิวฟังก์ชันภายใต้้นโยบายที่เหมาะสมคือ $Q^*(s)$ ซึ่งนิยามโดย

$$Q^*(s) = \max_{\pi} Q^\pi(s, a). \quad (2.7)$$

ในการแก้ไขปัญหาเพื่อหา นโยบายที่เหมาะสมที่สุดนั้น หากเป็นปัญหาที่มีขนาดของเซตของสถานะและการกระทำไม่ใหญ่จนเกินความสามารถในการคำนวณของคอมพิวเตอร์ มักใช้วิธีแวลูอิเทอเรชัน (value iteration) (Puterman 1994) เพื่อที่จะค้นหา นโยบายผลเฉลยตามนิยามสมการของ

$$V^*(s) = \max_a \{R_t + \gamma \sum_{s'} P(s'|s, a) V^\pi(s')\}. \quad (2.8)$$

สมการ (2.9) คือรูปแบบของสมการของเบลแมน (Bellman's equation) สำหรับรูปแบบสมการของเบลแมนสำหรับคิวฟังก์ชัน $Q^*(s, a)$ คือ

$$Q^*(s, a) = R_t + \gamma \sum_{s'} P(s'|s, a) \max_{a'} Q^*(s', a'). \quad (2.9)$$

อย่างไรก็ดี หากปัญหามีขนาดใหญ่ กล่าวคือ จำนวนสถานะและจำนวนการกระทำมีจำนวนมาก การหา นโยบายที่เหมาะสมที่สุด หรือใกล้เคียงค่าที่เหมาะสมที่สุด (near-optimal) ด้วยวิธีการดั้งเดิม (แวลู อิเทอเรชัน) จึงไม่เหมาะสมเนื่องจากปริมาณการคำนวณที่สูง การใช้วิธีการเรียนรู้แบบรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่งจึงเหมาะสมในการหา นโยบายผลเฉลย เพราะวิธีการนี้เอเจนต์เรียนรู้ นโยบายเองโดยไม่จำเป็นต้องอาศัย

โมเดลของสภาพแวดล้อม หรือ $P(s'|s, a) \in P$ ภายใต้เงื่อนไขการลองผิดลองถูกที่เหมาะสม (Sutton and Barto, 1998)

2.4 กระบวนการเรียนรู้คิว เลิร์นนิ่ง

กระบวนการเรียนรู้คิว เลิร์นนิ่ง คือ เทคนิคของรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง เทคนิคหนึ่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาที่แก้ด้วยกระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ โดยเอเจนต์เรียนรู้จากการประมาณฟังก์ชันมูลค่าการกระทำ ที่ได้รับผลรางวัลเฉลี่ยจากการกระทำในสถานะหนึ่งๆ (Sutton and Barto, 1998)

ข้อดีของกระบวนการคิว เลิร์นนิ่ง ได้แก่ เอเจนต์สามารถที่จะหาผลรางวัลเฉลี่ยโดยไม่ต้องอาศัยโมเดลรูปแบบของสภาพแวดล้อม $P(s'|s, a) \in P$ ดังสมการที่ (2.8) และ (2.9) กระบวนการคิว เลิร์นนิ่งนั้น คือวิธีการเรียนรู้ภายในกระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟที่ด้วยเอเจนต์เดี่ยวเท่านั้น (single agent) โดยอัลกอริทึมไม่จำเป็นต้องมีรูปแบบของสภาพแวดล้อมและเอเจนต์ยังสามารถเรียนรู้แบบออนไลน์ในการประมาณฟังก์ชันมูลค่าการกระทำที่เหมาะสมที่สุดอีกด้วย (Q-value)

สมมติว่าให้สภาพแวดล้อม นิยามด้วยเซตของสถานะ S และเอเจนต์สามารถเลือกการกระทำใด ๆ $a \in A$ ได้ และปฏิสัมพันธ์ระหว่างตัวแทนและสภาพแวดล้อมจะประกอบไปด้วย

- ตัวแทนของสถานะ (state) $s_t \in S$
- ที่ขึ้นอยู่กับ s_t ตัวแทนการดำเนินการการกระทำ $a_t \in A$
- ผลจากปฏิสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมที่สถานะใหม่ $s_{t+1} = s' \in S$
- ตัวแทนจะได้รับผลรางวัล r_{t+1} ที่บ่งชี้ถึง มูลค่ารางวัลผลตอบแทนของการเปลี่ยนแปลงในสถานะจากการกระทำนั้น

เอเจนต์นั้น จะเรียนรู้เพื่อหานโยบาย $\pi : S \rightarrow A$ สำหรับเลือกการกระทำ $a_t = \pi(s_t)$ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับสถานะปัจจุบัน s_t และ $Q^\pi(s, a)$ คือค่าคิว (Q-value) ที่คู่สถานะและการกระทำ (s, a) สำหรับนโยบายที่เหมาะสมที่สุด $\pi^*(s)$ คือ นโยบายที่เอเจนต์ได้รับจากผลรางวัลเฉลี่ยในระยะยาว กระบวนการคิว เลิร์นนิ่ง จะทำการปรับค่าประมาณ $Q^*(s, a) = Q^\pi(s, a)$ ในวน (iterative update) โดยใช้ข้อมูลชุดปัจจุบันที่เอเจนต์มีอยู่ (s_t, a_t, s', a', r_t) เมื่อ s_t และ s' คือสถานะที่เวลา

t และ $t + 1$ ตามลำดับ และ r_t คือรางวัลผลตอบแทนที่ได้รับจากการกระทำ a_t กระบวนการควิเลิร์นนิ่งจะปรับค่าควิที่เวลา $t + 1$ จากสมการ

$$Q_{t+1}(s_t, a_t) = (1 - \alpha)Q_t(s_t, a_t) + \alpha [r_t + \gamma \max_{a'} Q_t(s', a')] \quad (2.10)$$

เมื่อ γ คือปัจจัยส่วนลด (discounted factor) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง $0 \leq \gamma \leq 1$ และ α คืออัตราการเรียนรู้ (learning rate) อยู่ในช่วง $0 \leq \alpha \leq 1$ และ $Q_t(s', a')$ คือฟังก์ชันมูลค่าการกระทำสำหรับสถานะถัดไป s' และการกระทำถัดไป a' ณ เวลา t

2.4.1 การสำรวจ

เงื่อนไขสำคัญสำหรับการหานโยบายผลเฉลยของกระบวนการเรียนรู้ควิเลิร์นนิ่ง คือการรักษาสมดุลระหว่างการสำรวจการกระทำใหม่ (exploration) และการใช้การกระทำเดิมที่เหมาะสมที่สุด (exploitation) การคอนเวิร์จสู่ นโยบายผลเฉลยของควิเลิร์นนิ่งอาศัยการเลือกการกระทำเดิมที่ดีที่สุด a^* หรือ การกระทำกิริดี (greedy action) ซึ่งนิยามโดย

$$a^* = \arg \max_{a \in A} Q(s, a). \quad (2.11)$$

ด้วยความน่าจะเป็น ϵ และการสำรวจการกระทำใหม่อื่นๆ ด้วยความน่าจะเป็น $1 - \epsilon$

การสำรวจการกระทำในลักษณะนี้ เรียกว่า $\epsilon - greedy$ โดยนัยสำคัญของเงื่อนไขการสำรวจในลักษณะนี้ ช่วยทำให้เอเจนต์สามารถค้นพบการกระทำอื่นๆ ได้ที่อาจส่งผลที่ดีกว่าการกระทำเดิมได้ และถ้าค่าควิที่ของคู่สถานะ (s, a) ถูกสำรวจไม่มีที่สิ้นสุดและถ้าอัตราการเรียนรู้ลดลงไปสู่ศูนย์ในทางที่เหมาะสมเมื่อ $t \rightarrow \infty$ จะส่งผลทำให้ $Q_t(s, a)$ เข้าสู่ $Q^*(s, a)$ ด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับหนึ่ง (Sutton and Barto, 1998) ซึ่งนโยบายที่ดีที่สุดถูกกำหนดไว้โดย

$$\pi^*(s) = \arg \max_{a \in A(s)} Q^*(s, a) \quad (2.12)$$

2.5 สรุป

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการควิเลิร์นนิ่ง ซึ่งมีกลไกแบบรีอินฟอร์สมেন্ট ควิเลิร์นนิ่งเพื่อหา นโยบายที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการตัดสินใจแบบมาร์คอฟ ในบทถัดไปจะเสนอกฎการหาเส้นทางแบบแอนนิคาส ซึ่งอาศัยพื้นฐานของการเรียนรู้ควิเลิร์นนิ่ง เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพผลการดำเนินงานกับอัลกอริทึมที่มีอยู่สำหรับการหาเส้นทางไปยังหลาย ๆ ซิงค์หรือหลาย ๆ ผู้รับในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์

บทที่ 3

การหาเส้นทางแอนนิคาส กิว เลิร์นนิ่ง ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย สำหรับการตรวจสอบสุขภาพ

3.1 บทนำ

เทคโนโลยีเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Wireless Sensor Network หรือ WSN) ได้รับการพัฒนาเพื่อใช้งานในระบบการตรวจสอบผู้ป่วยไร้สาย (Jovanov *et al.*, 2002; Cypher *et al.*, 2006; Varshney and Sneha, 2006; Varshney, 2008) โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการใช้งานภายในอาคาร เช่น ที่บ้านหรือในโรงพยาบาล เป็นต้น โดยทั่วไป ข้อดีของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย คือ ค่าใช้จ่ายต่ำ ใช้พลังงานน้อย เครือข่ายภายในอาคารยังสามารถที่จะขยายการเชื่อมต่อกับผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพผ่านทางอินเทอร์เน็ตเป็นเครือข่ายไร้สายได้ โดยในเครือข่ายเมชไร้สาย (wireless mesh networks) ภายในอาคารมักจะใช้ซิกบี (ZigBee) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีการส่งข้อมูลผ่านทางวิทยุสื่อสารระยะสั้น

สำหรับการส่งข้อมูลยังสถานีฐานที่อยู่นอกพื้นที่ครอบคลุมของโหนดเซ็นเซอร์ จำเป็นต้องอาศัยการส่งผ่านโหนดเซ็นเซอร์อื่นๆ ซึ่งอาจมีการเชื่อมต่อกันเป็นเมช เครือข่ายเมชเหล่านี้ ต้องอาศัยโปรโตคอลการหาเส้นทาง เช่น ซิกบีเอโอดีวี (Ad Hoc on Demand Routing Protocol หรือ AODV) เพื่อที่จะส่งข้อมูลไปยังโหนดซิงค์ (sink) ดังนั้น ระบบจำเป็นต้องมีความน่าเชื่อถือและความรวดเร็วในการส่งข้อมูลไปยังปลายทางหรือโหนดซิงค์ในเครือข่าย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับข้อมูลที่มีความสำคัญสูง เช่น ในกรณีที่เกิดเหตุฉุกเฉินหรือผู้ป่วยหกล้ม เป็นต้น ดังนั้นในระบบการตรวจสอบผู้ป่วยไร้สายซิกบีจึงใช้วิธีการหาเส้นทางแบบบรอดคาส และวิธีการหาเส้นทางแบบมัลติคาสในการส่งข้อมูลไปยังหลาย ๆ ซิงค์เพื่อที่จะเพิ่มความน่าเชื่อถือ แต่วิธีการดังกล่าวจะมีการใช้ปริมาณข้อมูลสูงสำหรับการค้นหาเส้นทางและมีความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางสูงเช่นกัน นอกจากนี้ เมื่อจำนวนของซิงค์เพิ่มมากขึ้น ปริมาณข้อมูลและความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางก็เพิ่มขึ้นเช่นกัน ในทางกลับกัน การหาเส้นทางแบบยูนิคาสจะใช้ปริมาณข้อมูลสำหรับการค้นหาเส้นทางน้อย แต่เนื่องจากวิธีการหาเส้นทางยูนิคาสจะมีผู้รับปลายทางเพียงแค่ซิงค์เดียวในเครือข่ายซึ่งจะทำให้ความน่าเชื่อถือสำหรับการส่งต่อข้อมูลลดลง

นอกจากบรอดคาสต์และมัลติคาสต์แล้ว แอนนิคาสต์เป็นสับเซตของมัลติคาสต์ซึ่งเป็นการส่งข้อความจากโหนดต้นทางไปยังโหนดซิงค์ที่ใกล้ที่สุด แอนนิคาสต์ถูกนำมาใช้ในการให้บริการหรือติดตั้งเซิร์ฟเวอร์เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือ ในงานวิจัยของ Chen *et al.* (2012) ได้นำเสนอการหาเส้นทางโดยใช้แอนนิคาสต์เพื่อลดความล่าช้าและลดปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการค้นหาเส้นทางสำหรับระบบการตรวจสอบของซิกบี ในงานวิจัยของ Gao *et al.* (2011) ได้นำเสนอโครงสร้างต้นไม้แอนนิคาสต์ที่ขึ้นอยู่กับตัวชี้วัดการหาเส้นทางในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เพื่อปรับสมดุลของโหลดและยืดอายุการใช้งานเครือข่าย

อย่างไรก็ตาม วิธีการหาเส้นทางแอนนิคาสต์ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น ใช้สำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่อยู่บนพื้นฐานของโปรโตคอลการหาเส้นทางเอโอดีวี ซึ่งวิธีนี้จะใช้ปริมาณข้อความในการสื่อสารเป็นจำนวนมาก เนื่องจากโหนดต้นทางต้องกระจายข้อความ RREQ (Route Request Packet) ไปยังโหนดเพื่อนบ้านจนกว่าจะพบปลายทาง ในงานวิจัยของ Naputta and Usaha (2012) นำเสนอเทคนิคการหาเส้นทางสำหรับการตรวจสอบผู้ป่วยไร้สายซึ่งเป็นกลไกที่สามารถปรับตัวเองให้เข้ากับสภาพแวดล้อมได้และสามารถหาเส้นทางในลักษณะแบบสอดต่อสอดได้ โดยเป็นการค้นหาเส้นทางในระหว่างโหนดเซ็นเซอร์และโหนดซิงค์ ซึ่งจะใช้วิธีการหาเส้นทางในการสื่อสารแบบยูนิคาสต์

เนื้อหาในบทนี้จะขยายกรอบการทำงาน (framework) ในงานวิจัยของ Naputta and Usaha (2012) เพื่อรองรับการหาเส้นทางแอนนิคาสต์ไปยังหลาย ๆ ซิงค์สำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เนื่องจากการตรวจสอบด้านการดูแลสุขภาพแบบไร้สายต้องการความน่าเชื่อถือสูงและความรวดเร็วในการส่งข้อมูล ดังนั้นผลการจำลองในงานวิจัยนี้จะเปรียบเทียบตัวชี้วัดคือ ปริมาณข้อมูลในการสื่อสาร (overhead) ความล่าช้าในการค้นหาเส้นทาง (path search latency) และความยืดหยุ่นในการค้นหาเส้นทาง โดยทำการเปรียบเทียบผลกับวิธีการหาเส้นทางแอนนิคาสต์ (anycast) การหาเส้นทางมัลติคาสต์ (multicast) และ การหาเส้นทางบรอดคาสต์ (broadcast) ที่ใช้โปรโตคอลเอโอดีวี สำหรับการตรวจสอบสุขภาพในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการค้นหาเส้นทางไปยังหลาย ๆ ซิงค์ (Chen *et al.*, 2012)

3.2 การตรวจสอบสุขภาพสำหรับเครือข่ายไร้สาย

ในระบบการตรวจสอบสุขภาพไร้สายจะมีการเก็บรวบรวมสัญญาณชีพจากผู้ป่วย เช่น อุณหภูมิของร่างกาย ความดันเลือด ระดับน้ำตาล และจะส่งข้อมูลการตรวจสอบจากระยะไกลไปยังผู้เชี่ยวชาญด้านการดูแลสุขภาพ (Jovanov *et al.*, 2002) ในการใช้งานทางการแพทย์นั้น ระบบการตรวจสอบผู้ป่วยต้องการความน่าเชื่อถือในการส่งต่อข้อมูลไปยังปลายทางและต้องการ

ประสิทธิภาพของการทำงานสูง โดยข้อมูลจะถูกส่งไปในลักษณะแบบฮอปเดียว (single hop) (Cypher *et al.*, 2006) หรือขยายการส่งเป็นทอด ๆ แบบหลาย ๆ ฮอป (multi-hop) (Varshney and Sneha, 2006; Varshney, 2008; Chen *et al.* 2012; Naputta and Usaha, 2012). ในงานวิจัยของ Varshney and Sneha (2006) ได้นำเสนอโปรโตคอลสำหรับการจัดการพลังงานเพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลในระดับพลังงานที่เหมาะสม ซึ่งจะมีรูปแบบของระดับพลังงานที่แตกต่างกันไป ตามลักษณะความหนาแน่นของผู้ใช้ ระดับพลังงาน และจำนวนฮอป กรอบการทำงานเครือข่ายแอดฮอคสำหรับการตรวจสอบผู้ป่วยไร้สายได้รับการเสนอในงานวิจัยของ Varshney, (2008) ใช้วิธีการหาเส้นทางมัลติคาสและวิธีการหาเส้นทางบรอดคาส เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลพร้อมกับผลตอบแทนในเครือข่าย เพื่อกระตุ้นให้เกิดความร่วมมือระหว่างอุปกรณ์การหาเส้นทางด้วยวิธีการหาเส้นทางบรอดคาส มัลติคาส และยูนิคาส เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือของการส่งข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับข้อความฉุกเฉิน เช่น การเฝ้าระวังเหตุการณ์ผู้ป่วยหกล้ม หรือผู้ป่วยฉุกเฉิน อย่างไรก็ตามวิธีการหาเส้นทางดังกล่าวก็ยังใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางเป็นจำนวนมาก ในงานวิจัยของ Chen *et al.* (2012) ได้นำเสนอการหาเส้นทางแอนนิคาสโดยใช้การค้นหาเส้นทางไปยังหลาย ๆ ชิงค์เพื่อที่จะหลีกเลี่ยงปริมาณความหนาแน่นของข้อมูลในเครือข่ายที่สูงและความล่าช้าในการค้นหาเส้นทาง

3.3 แอนนิคาสในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

ในเครือข่ายแบบมีสายและเครือข่ายแอดฮอคเคลื่อนที่ได้นำแอนนิคาสมาใช้ เพื่อเลือกเซิร์ฟเวอร์ที่ใกล้ที่สุดในบริการระบุตำแหน่ง ปรับปรุงความน่าเชื่อถือและนโยบายการค้นหาเส้นทาง (Chen *et al.*, 2012) ยกตัวอย่างเช่น ในเครือข่าย TCP/IP แอนนิคาสถูกใช้ในการสอบถามหาเซิร์ฟเวอร์ชื่อโดเมน (Domain Name Server หรือ DNS) โดยค้นหาเซิร์ฟเวอร์ที่ใกล้ที่สุด แอนนิคาสถูกใช้งานร่วมกับโปรโตคอลการค้นหาเส้นทางเอโอดีวีในเครือข่ายแอดฮอค (Wang, Zheng, and Jia, 2003) และสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย (Chen *et al.*, 2012) ซึ่งเหมาะสำหรับโหนดเคลื่อนที่เมื่อแพ็กเก็ตข้อมูลต้องถูกส่งไปยังปลายทางหรือชิงค์ที่ใกล้ที่สุด ในงานวิจัยของ Gao *et al.*, (2011) ได้นำเสนอโครงสร้างต้นไม้แอนนิคาส (anycast tree structure) เพื่อค้นหาเส้นทางที่มีคอสต์ (cost) ต่ำที่สุด การค้นหาเส้นทางที่ขึ้นอยู่กับโปรโตคอลเอโอดีวีมีจุดมุ่งหมาย คือ โครงสร้างต้นไม้แบบแอนนิคาสต้องสอดคล้องกับโหนดของเครือข่ายและสามารถเพิ่มอายุของเครือข่ายได้ รวมถึงลดการใช้พลังงาน ลดความล่าช้า และจำนวนฮอปในการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ตัวอย่างของโปรโตคอลการค้นหาเส้นทางที่อาศัยหลักการหาเส้นทางแบบแอนนิคาส ได้แก่ โปรโตคอลการจัดกลุ่มตามลำดับชั้นที่ปรับตัวด้วยพลังงานต่ำ (Low-energy adaptive clustering

hierarchy หรือ LEACH) (Heinzelman, Chandrakasan, and Balakrishnan, 2000) และ โพรโตคอล การหาเส้นทางแอนนิคาสตามลำดับชั้น (hierarchy-based anycast routing หรือ HAR) (Thepvilojanapong, Tobe, and Sezaki, 2005) งานเหล่านี้ มุ่งเน้นที่การส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังโหนด ปลายทางที่ใกล้ที่สุด ในทางตรงกันข้าม ในงานวิจัยของ (He *et al.*, 2012) และ (Bian *et al.*, 2004) ได้นำเสนอวิธีการหาเส้นทางแอนนิคาสในการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังโหนดใดโหนดหนึ่งในพื้นที่ ที่กำหนดไว้

3.4 กระบวนการเรียนรู้แบบรีอินฟอร์สเมนต์สำหรับการหาเส้นทางในเครือข่ายเซ็นเซอร์ ไร้สาย

ในงานวิจัยหลายงานใช้โพรโตคอลการหาเส้นทางเอโอคิว ในการส่งต่อข้อมูลแบบหลายฮอป (multiple-hop) โพรโตคอลนี้ได้รับการออกแบบเพื่อหาเส้นทางสำหรับการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูล อย่างไม่ดี วิธีการดังกล่าวไม่สามารถรับมือกับสถานการณ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ เช่น เมื่อเกิดความ ล้มเหลวของโหนด และการเปลี่ยนแปลงของโหนดในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ในทางตรงกันข้าม วิธีการหาเส้นทางที่อยู่บนพื้นฐานของรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง (Reinforcement Learning หรือ RL) สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมของเครือข่ายได้และมีการใช้ปริมาณข้อมูลในการ สื่อสารต่ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง วิธีการที่เรียกว่า คิว เราทัดตั้ง (Q-routing) ซึ่งอยู่บนพื้นฐานของรีอิน ฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง ซึ่งเรียกว่า คิว เลิร์นนิ่ง (Q-learning) เป็นอัลกอริธึมการหาเส้นทางที่สามารถ ปรับตัวเองได้ในระบบเครือข่ายแบบไร้สายและเครือข่ายไร้สาย (Deville, Borgne, and Nowe) สำหรับกระบวนการ คิว เราทัดตั้งนั้น แต่ละโหนดจะมีการเรียนรู้เพื่อที่จะสามารถระบุฮอปที่ดีที่สุด ไปยังปลายทางในเครือข่ายได้

ในงานวิจัยของ Bhorkarn *et al.*, (2012) ได้นำเสนอวิธีการหาเส้นทางยูนิคาสที่เรียกว่า AdaptOP สำหรับเครือข่ายแอดฮอกที่อยู่บนพื้นฐานของคิว เราทัดตั้ง สำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้ สายที่ใช้คิว เราทัดตั้ง ถูกนำมาใช้ในการหาเส้นทางแบบยูนิคาส (Deville, Borgne, and Nowe) เป็น ต้น สำหรับการค้นหาเส้นทางโดยใช้วิธีโครงสร้างต้นไม้แบบมัลติคาส (Forster and Murphy, 2007) นำเสนอวิธีการที่โหนดต้นทางจะทำการค้นหาเส้นทางไปยังหลาย ๆ ชิงค์ที่เคลื่อนที่ โดยวิธีที่ได้ นำเสนอไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ วิธีนี้ช่วยลดการใช้ปริมาณข้อมูลโดยแบ่งปันข้อมูล ร่วมกันกับโหนดเพื่อนบ้านผ่านการบรอดคาสต์หรือการกระจายเพื่อให้สามารถระบุเส้นทางที่ดีที่สุด ได้ ในงานวิจัยของ Naputta and Usaha (2012) ได้นำเสนอการหาเส้นทางคิว เราทัดตั้งในการหา เส้นทางแบบยูนิคาส โดยบูรณาการเข้ากับการใช้ทรัสต์และเรีบบิวเทชัน (trust and reputation) เพื่อให้สามารถระบุโหนดที่ประสงค์ร้ายได้ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย นอกจากนี้ ยังมีวิธีการหา

เส้นทางแบบยูนิคาส และวิธีการหาเส้นทางแบบมัลติคาส รวมถึงวิธีการหาเส้นทางแบบมดสำหรับการหาเส้นทางแบบแอนนิกาสในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เช่น ในงานวิจัยของ Nagarajan (2010) ได้นำเสนอวิธีการหาเส้นทางแบบมดเพื่อหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการส่งข้อมูลและข้อมูลฟิวชั่น

3.5 กลไกการหาเส้นทางแอนนิกาส คิว เราท์ติ้ง

3.5.1 แบบจำลองของระบบ

พิจารณารูปแบบจำลองเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ซึ่งกำหนดให้เป็นกราฟที่มีเส้นเชื่อมเรียกว่า undirected graph โดยนิยามกราฟด้วย $G = (V, E)$ เมื่อ V คือ เซตของโหนดเซ็นเซอร์และโหนดซิงค์ และ E คือ เซตของ edge ที่เชื่อมโยงระหว่างคู่ของโหนดในสองทิศทาง โดยที่ทั้งสองโหนดนั้นเชื่อมต่อกันโดยเส้นเชื่อมโยงและส่งแพ็กเก็ตข้อมูลโดยใช้พลังงานการส่งข้อมูลน้อยกว่าพลังงานการส่งที่สูงสุด ดังนั้น กราฟแสดงเส้นเชื่อมระหว่างคู่โหนดใด ๆ ในเซตโหนด V สามารถส่งข้อมูลถึงกันได้ทั้งสองทิศ

เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ประกอบด้วยจำนวนของโหนดเซ็นเซอร์และจำนวนของซิงค์หลาย ๆ ซิงค์ (multiple sinks) โหนดเซ็นเซอร์เหล่านี้ ทำหน้าที่เก็บรวบรวมข้อมูลและส่งข้อมูลไปยังโหนดซิงค์ในเครือข่าย สมมติฐานสำหรับโหนดเซ็นเซอร์มีดังต่อไปนี้

- โหนดเซ็นเซอร์จะมีพลังงานไม่จำกัดและทุก ๆ โหนด เซ็นเซอร์กำหนดให้มีลักษณะระดับพลังงานเริ่มต้นและความสามารถในการส่งต่อข้อมูล เหมือนกันทุกประการ (homogeneous)
- ทุก ๆ โหนดสามารถ รับรู้สถานที่ตั้งของตัวเอง โดยการประมาณระยะทางจากโหนดซิงค์ที่ขึ้นอยู่กับข้อมูลที่ได้รับจากโหนดเพื่อนบ้าน
- โหนดเซ็นเซอร์และโหนดซิงค์ทุก ๆ โหนดจะมีตัวระบุเฉพาะ (identifier) รวมถึงโหนดซิงค์จะมีการระบุโดยกลุ่มแอนนิกาสโดยการแลกเปลี่ยนหมายเลขไอดี (ID)

3.5.2 กระบวนการทำงานของ คิว เราที้ดิ่ง

คิว เราที้ดิ่ง (Q-routing) จะเป็นวิธีหาเส้นทางที่มีหลักการทำงานตามกระบวนการของ คิว เลิร์นนิ่ง (Q-learning) ซึ่งเป็นวิธีที่อยู่บนพื้นฐานของกระบวนการแบบรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง กระบวนการรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่งนั้น เป็นเทคนิคการเรียนรู้ ซึ่งมีจุดมุ่งหมายเพื่อค้นหาโยบายการเลือกการกระทำ (action) ที่แต่ละสถานะ (state) ที่เหมาะสมสำหรับสภาพแวดล้อมแบบพลวัต กลไกการเรียนรู้ตัดสินใจเลือกการกระทำดังกล่าวเกิดขึ้นที่เอเจนต์ (agent) ซึ่งเรียนรู้จากการลองผิดลองถูก (trial and error) กับ สภาพแวดล้อมในเครือข่าย โดยแต่ละการกระทำที่เลือกในสภาพแวดล้อมแต่ละสถานะนั้น เอเจนต์จะได้รับผลรางวัล (reward) โดยเป้าหมายสูงสุดสำหรับเอเจนต์ คือ เพื่อที่จะเรียนรู้หานโยบายที่ให้ผลเฉลี่ยรางวัลที่ดีที่สุดในระยะยาว ซึ่งเอเจนต์ต้องเรียนรู้ผ่านจากการเลือกการกระทำที่เหมาะสมที่สุด (exploit) และการสำรวจการกระทำอื่นๆ (explore) ในสภาพแวดล้อมด้วย กล่าวคือ เอเจนต์จะต้องใช้ประโยชน์จากการเรียนรู้จากประสบการณ์ที่ได้รับ และยังคงสำรวจการกระทำอื่น ๆ อีกด้วย เพื่อให้สามารถค้นหานโยบายที่ดีกว่าเดิมได้

กระบวนการคิว เลิร์นนิ่ง อาศัยการประเมินมูลค่าของคู่สถานะกับการกระทำนั้น (state-action) ซึ่งจะเรียกว่า ค่าคิว (Q-value) ซึ่งนิยามด้วย $Q(s, a)$ โดยค่าคิว เป็นค่าที่บ่งบอกถึงผลประโยชน์ของการกระทำที่ถูกเลือกโดยเอเจนต์ ซึ่งเอเจนต์ จะต้องเลือกการกระทำ ไปยังสถานะที่ให้ผลรางวัลที่ดีที่สุด ค่าผลรางวัลผลตอบแทนนี้จะถูกใช้ในการปรับปรุง ค่าคิว ในเวลาต่อไป ภายใต้เงื่อนไขในการสำรวจที่เหมาะสม เอเจนต์สามารถเรียนรู้หานโยบายการเลือกการกระทำที่เหมาะสมที่แต่ละสถานะ โดยขึ้นอยู่กับ ค่าคิว ทั้งนี้ มีงานวิจัยที่นำกระบวนการทำงานของคิว เราที้ดิ่ง มาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาการหาเส้นทางในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายภายใต้สถานะแบบพลวัต (Naputta and Usaba, 2012; Deville, Borgne, and Schender, 2004; Bhorkar *et al.*, 2012; Forster and Murphy, 2007)

3.5.3 อัลกอริธึมแอนนิคาส คิว เราที้ดิ่ง

ในบทที่ 3 นี้ กำหนดให้ โหนดเซ็นเซอร์เป็นเอเจนต์ที่เป็นอิสระต่อกัน โดยในแต่ละโหนดเซ็นเซอร์จะมีความสามารถในการตรวจจับและการตัดสินใจค้นหาเส้นทาง โดยพิจารณาในกรณีที่โหนดเซ็นเซอร์เป็นโหนดแบบคงที่ เช่น เมื่อมีการติดตั้งในสถานที่ที่กำหนดไว้โหนดจะสามารถรับข้อมูลแบบไร้สายจากโหนดอื่น ๆ ในบริเวณที่ใกล้เคียงได้ ดังเช่น เซ็นเซอร์วัดสัญญาณชีพสำหรับผู้ป่วย โดยที่รายละเอียดสำหรับอัลกอริธึมแอนนิคาส คิว เราที้ดิ่ง (anycast Q-routing algorithm) มีจุดมุ่งหมายเพื่อที่จะค้นหาเส้นทางที่ดีที่สุดไปยังซิงค์ที่ใกล้ที่สุดในกลุ่มของหลาย ๆ ซิงค์ที่มีอยู่ ดังต่อไปนี้

- สถานะเอเจนต์: ในแต่ละโหนดเซ็นเซอร์ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายจัดอยู่ในสถานะในชุดเซตของ $V = \{s_1, \dots, s_N\}$ เมื่อ N คือจำนวนของโหนดเซ็นเซอร์ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย
- การกระทำ: การกระทำนั้นพิจารณาจากเซตของการกระทำที่เป็นไปได้ทั้งหมดในการหาเส้นทางแก่เอเจนต์ โดยเลือกโหนดเพื่อนบ้านเป็นโหนดถัดไป (การกระทำ) ที่จะเข้าใกล้โหนดซิงค์มากที่สุด ทั้งนี้ การกระทำสามารถเลือกได้จากเซตการกระทำที่เป็นไปได้ทั้งหมด $A = \{a(s_j|s_i)\}$ เมื่อ $a(s_j|s_i)$ หมายถึงแพ็คเกจที่ถูกส่งต่อจากโหนด s_i ไปยังโหนด s_j โดยที่โหนด s_i และ โหนด s_j จะอยู่ในช่วงของการสื่อสารซึ่งกันและกัน
- มูลค่าคิว: ค่าคิว $Q(s, a)$ บ่งบอกถึงผลประโยชน์ของการกระทำ ที่ถูกเลือกที่สถานะ นั้น ซึ่งเป้าหมายของเอเจนต์ คือเพื่อเรียนรู้นโยบายการตัดสินใจจากผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจริงจากการตัดสินใจของเอเจนต์ ในบริบทของคิว เราที่ตั้งนี้ มูลค่าคิว บ่งชี้ถึงความคืบหน้าของการเลือกโหนดถัดไปที่จะเข้าใกล้ซิงค์มากที่สุด โดย ค่าคิว ในช่วงเริ่มต้นจะถูกสุ่มค่าขึ้นมาหรือเป็นค่าคงที่ และจำเป็นต้องมีการสำรวจเพื่อประเมินการกระทำอื่นๆ เพื่อที่ค้นหาเส้นทางที่ดีที่สุดไปยังโหนดซิงค์ได้ ในบทที่ 3 นี้ ค่าคิวในแต่ละโหนดจะมีค่าเริ่มต้นเท่ากับศูนย์
- ฟังก์ชันผลรางวัลผลตอบแทน: ฟังก์ชันผลรางวัลผลตอบแทนคือ ค่าสเกลาร์จากที่ได้รับเป็นผลจากการตัดสินใจของเอเจนต์ ซึ่งหมายถึงโหนดถัดไปที่ถูกเลือก เช่น โหนด s_j โดยโหนด s_j จะแจ้งโหนดต้นทาง (เอเจนต์ หรือ โหนด s_i) ระยะทางของความคืบหน้าจาก s_j ไปยังโหนดซิงค์ที่ใกล้ที่สุด ด้วยฟังก์ชันรางวัลผลตอบแทน

$$r(s_j) = \max_{\forall s_{sink} \in D} \left(\frac{D_{s_i, s_{sink}} - D_{s_j, s_{sink}}}{D_{s_i, s_{sink}}} \right), \quad (3.1)$$

เมื่อ D คือ เซตของซิงค์ที่มีอยู่ทั้งหมดในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยที่ $D_{s_i, s_{sink}}$ และ $D_{s_j, s_{sink}}$ คือ ระยะทางระหว่างโหนด s_i และ โหนด s_j ไปยังโหนดซิงค์ตามลำดับ

- การเลือกการกระทำ: การเลือกการกระทำขึ้นอยู่กับนโยบายกิริติ (greedy policy) โดยจะขึ้นอยู่กับค่าคิวที่ดีที่สุด ในการเรียนรู้ผ่านจากประสบการณ์ (exploitation) และการเลือกจากการสุ่มโหนดเพื่อนบ้านอื่นๆเพื่อสำรวจเส้นทาง (exploration) ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่จะค้นหาเส้นทางที่ดีที่สุด
- การปรับค่าคิว: เมื่อได้รับผลรางวัลผลตอบแทนกลับมาสำหรับการเลือกการกระทำของโหนดเอเจนต์ (โหนด s_i) โหนดเอเจนต์จะประเมินผลประโยชน์ของการกระทำ ด้วยการปรับค่าคิว ดังสมการต่อไปนี้

$$Q_{new}(s_i, a) = (1 - \alpha)Q_{old}(s_i, a) + \alpha [r(s_j) + \gamma \max_{a' \in A} (Q_{old}(s', a'))], \quad (3.2)$$

เมื่อ $Q_{old}(s_i, a)$ หมายถึง ผลประโยชน์ของการกระทำ a ที่โหนด s_i และ $\alpha \in [0,1]$ คือ อัตราการเรียนรู้ $\gamma \in [0,1]$ คือ ปัจจัยส่วนลด $Q_{old}(s', a')$ คือ ผลประโยชน์ของโหนด s' ที่ได้ดำเนินการที่การกระทำ a'

ทั้งนี้ อัตราการเรียนรู้มีความหมายดังนี้ เมื่อ $\alpha = 1$ จะได้ว่า การเรียนรู้จะเกิดขึ้นเร็วที่สุด กล่าวคือ ค่าคิวเดิมจะถูกลืมรวดเร็วที่สุด หรือพูดอีกนัยหนึ่งได้ว่า ค่าคิวเดิม จะไม่มีผลกระทบต่อการเรียนรู้แต่อาจจะส่งผลต่อการค้นหาการกระทำ ส่วนค่า $\gamma = 1$ หมายถึง การให้น้ำหนักในการเลือกโหนดถัดไปมากกว่าโหนดอื่น ๆ

กระบวนการนี้จะทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่าแพ็คเกจจะถูกส่งไปถึงโหนดซิงค์ที่ใกล้ที่สุดในเครือข่าย ซึ่งจะเป็นผลให้เอเจนต์ คือ โหนดสามารถค้นหาการกระทำ (การเลือกโหนดถัดไป) ที่ดีที่สุดผ่านจากประสบการณ์และผลรางวัลผลตอบแทนเอเจนต์ที่ได้รับ และในหัวข้อถัดไปเป็นการประเมินผลของนโยบายของการเลือกการกระทำ ฟังก์ชันผลรางวัลผลตอบแทน อัตราการเรียนรู้ และปัจจัยส่วนลด โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางของอัลกอริทึมแอนนิคาสคิว เราที่ตั้ง

3.6 ผลการจำลอง

เนื้อหาในหัวข้อนี้ จะประเมินผลอัลกอริธึมแอนนิคาส คิว เรทติ้ง เพื่อ 1) ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ที่ได้ออกแบบ และ 2) เปรียบเทียบขีดความสามารถของจำนวนผู้รับข้อมูลกับกลไกแอนนิคาส กลไกมัลติคาส และกลไกบรอดคาสที่อยู่บนพื้นฐานของโปรโตคอลเอไอดีวีที่ใช้ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการใช้งานการตรวจสอบผู้ป่วยไร้สาย (Chen *et al.*, 2012)

พารามิเตอร์สำหรับการจำลองแสดงในตาราง 3.1 โดยโครงสร้างเครือข่ายแบบกริดถูกสร้างขึ้นมาอย่างสุ่ม เพื่อให้แน่ใจว่าโหนดเชื่อมต่อกันในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย การจำลองจะถูกทำซ้ำๆ ภายใต้การสุ่มโครงสร้างเครือข่ายแบบกริดจนกว่าความแม่นยำของข้อมูลอยู่ในช่วง $\pm 5\%$

ตาราง 3.1 พารามิเตอร์การจำลองผล

พารามิเตอร์	ส่วน A	ส่วน B
จำนวนของโหนดในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย	30	30, 50
จำนวนของผู้รับข้อมูล (ซิงค์)	6	2, 6, 10
ความน่าจะเป็นของการเลือกการกระทำด้วยนโยบายกรีดี, ϵ	0.3, 0.6, 0.9	0.6
อัตราการเรียนรู้, α	0.1, 0.5, 0.9	0.5
ปัจจัยส่วนลด, γ	0.1, 0.5, 0.9	0.5
ค่าคงที่ของน้ำหนักที่คูณกับฟังก์ชันรางวัลผลตอบแทนใน (1), C	0.5, 1, 2	1
กลไกการค้นหาเส้นทาง	แอนนิคาส คิว เรทติ้ง	บรอดคาส เอไอดีวี, มัลติคาส เอไอดีวี, แอนนิคาส เอไอดีวี, แอนนิคาส คิว เรทติ้ง
ตัวชี้วัดที่เปรียบเทียบ	ค่าเฉลี่ยรางวัลผลตอบแทน	ปริมาณข้อมูล, เวลาในการค้นหา, เส้นทาง, ค่าเฉลี่ยของฮอป
จำนวนครั้งที่รัน, T	2000	
โครงสร้างเครือข่าย	สุ่ม โครงสร้างเครือข่ายแบบกริดเพื่อรับประกันการเชื่อมต่อของโหนด	

3.6.1 ผลกระทบของพารามิเตอร์ที่ได้ออกแบบ

ในการทดลองนี้จะศึกษาบทบาทของพารามิเตอร์ที่ได้ออกแบบในอัลกอริทึมแอนนิกาสคิว เราที่ตั้ง โดยศึกษาผลกระทบของอัตราการเรียนรู้ ความน่าจะเป็นของการเลือกการกระทำด้วยนโยบายกรีดี ปัจจัยส่วนลดและฟังก์ชันผลรางวัลผลตอบแทน (3.1) ซึ่งจะถ่วงด้วยน้ำหนักค่าคงที่ที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3.1 การทดลองวัดตัวชี้วัดเชิงประสิทธิภาพ ด้วยผลรางวัลผลตอบแทนเฉลี่ย (average reward) ที่กำหนดโดย $AvgR = \sum_{t=1}^T R_t / T$, เมื่อ $R_t = \sum_{s_j \in P} r_t(s_j)$ คือ ผลรางวัลผลตอบแทนสะสมที่ขึ้นตอนเวลา t ที่ทุกโหนด ในการค้นพบเส้นทาง P จากโหนดต้นทางไปยังโหนดซิงค์ที่ใกล้ที่สุดในเซตของ D , $r_t(s_j)$ คือรางวัลผลตอบแทนที่ได้รับจากการเลือกโหนด s_j ในเส้นทาง P ที่ดัชนีเวลา t และ T คือดัชนีเวลาสิ้นสุดของ discrete time simulation

จากรูปที่ 3.1 เมื่ออัตราการเรียนรู้ (α) และปัจจัยส่วนลด (γ) แตกต่างกันพบว่าไม่มีผลนัยสำคัญต่อค่าเฉลี่ยผลรางวัลผลตอบแทน อย่างไรก็ตาม พารามิเตอร์การสำรวจ (ϵ) ส่งผลกระทบต่อทางเลือกของการเลือกโหนดถัดไปมากที่สุด โดยค่าที่ดีที่สุดคือ $\epsilon = 0.9$ ซึ่งเป็นค่าที่ให้ค่าเฉลี่ยผลรางวัลผลตอบแทนสูงที่สุด แสดงให้เห็นได้ว่าการเลือกการกระทำด้วยนโยบายกรีดี (การตัดสินใจเลือกโหนด ที่ขึ้นอยู่กับค่าคิวที่ดีที่สุด) เป็นที่นิยมสำหรับการตั้งค่าในเครือข่าย และค่าคงที่ถ่วงน้ำหนักจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่าเฉลี่ยผลรางวัลผลตอบแทน แต่ค่าคงที่ถ่วงน้ำหนักจะไม่ส่งผลกระทบต่อทางเลือกการกระทำไปยังโหนดถัดไปเพราะเอเจนต์ใช้ถ่วงน้ำหนักฟังก์ชันผลรางวัลผลตอบแทนด้วยค่าเดียวกัน

3.6.2 เปรียบเทียบกลไกการค้นหาเส้นทางที่มีอยู่

การทดลองในส่วนนี้ จะประเมินผลการดำเนินงานของวิธีการที่ได้นำเสนอ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางและขีดความสามารถกับกลไกบรอดคาสต์ กลไกมัลติคาสต์ และกลไกแอนนิกาสคิวที่อยู่บนพื้นฐานของโปรโตคอลเอไอดีวี จากรูปที่ 3.2 แสดงให้เห็นถึงการใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายขนาด 30 และ 50 โหนด ซึ่งแต่ละเครือข่ายจะมีจำนวนผู้รับข้อมูล 2, 6 และ 10 ซิงค์ในแต่ละวิธีการ ปริมาณข้อมูลที่สะสมจากจำนวนของข้อความ RREQ และ RREP และ ACK จะถูกสร้างขึ้นในระหว่างการค้นหาเส้นทาง ซึ่งข้อความ RREQ จะถูกส่งผ่านโหนดสื่อกลางในระหว่างการค้นหาเส้นทางสำหรับในแต่ละวิธีการ ในขณะที่ข้อความ RREP จะตอบกลับจากโหนดซิงค์ไปยังโหนดต้นทาง ย้อนกลับไปตามเส้นทางที่ถูกค้นพบ เมื่อเปรียบเทียบการใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางของกลไกแอนนิกาสคิว เราที่ตั้ง มีการใช้ปริมาณข้อมูลแตกต่างกับกลไกแอนนิกาสคิว เอไอดีวี เพียงเล็กน้อยเมื่อจำนวนของผู้รับข้อมูลคือ 2

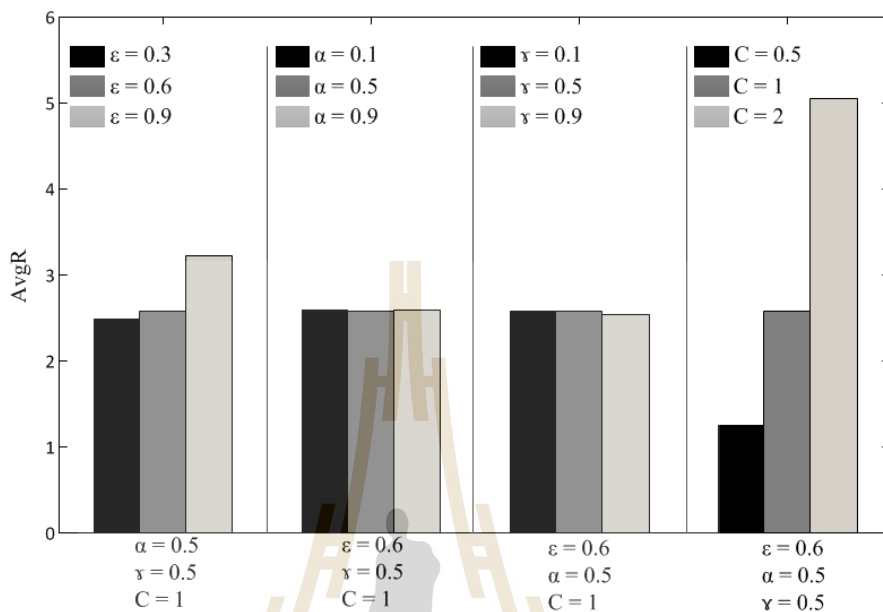
และ 6 แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกลไกมัลติคาสและกลไกบรอดคาสจะมีการใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางมากกว่าที่จำนวนผู้รับข้อมูล 2, 6 และ 10 ตามสัดส่วนของผู้รับข้อมูล ในรูปที่ 3.3 แสดงค่าเฉลี่ยความล่าช้าในการค้นหาเส้นทาง ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการค้นหาเส้นทาง มีหน่วยเป็นมิลลิวินาที จากผลการทดลองพบว่า สอดคล้องกับรูปที่ 3.2 เมื่อจำนวนโหนดเซ็นเซอร์และจำนวนผู้รับข้อมูลเพิ่มขึ้นในเครือข่าย การค้นหาเส้นทางจึงต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นเพื่อค้นหาเส้นทางไปยังโหนดซิงค์ที่ใกล้ที่สุด เมื่อเปรียบเทียบวิธีการค้นหาเส้นทางที่ได้นำเสนอกับกลไกแอนนิคาส เอโอดีวี พบว่ากลไกของเราสามารถค้นหาเส้นทางเร็วกว่าเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม ความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางของกลไกมัลติคาสและกลไกบรอดคาสจะสูงกว่ากลไกแอนนิคาส คิว เราท์ติ้ง ทั้งนี้เนื่องจากกลไกทั้งสองต้องรอรับข้อความ RREP จากกลุ่มผู้รับข้อมูลทั้งหมด จากรูปที่ 3.4 และ 3.5 แสดงความยาวของเส้นทาง ซึ่งวัดด้วยค่าเฉลี่ยของจำนวนฮอปในแต่ละกลไกการค้นหาเส้นทาง จากรูปที่ 3.4 และ 3.5 สังเกตได้ว่าสำหรับกลไกมัลติคาส เอโอดีวีและกลไกแอนนิคาส เอโอดีวี ความยาวของเส้นทางแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเนื่องจากว่ามีจำนวนของผู้รับข้อมูลเพียงแค่กลุ่มหนึ่ง อย่างไรก็ตาม ค่าเฉลี่ยของจำนวนฮอปในกลไกการค้นหาเส้นทางมัลติคาส เอโอดีวีจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนของผู้รับข้อมูลที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ทั้งนี้ เนื่องจากทั้งสองกลไกมีความหลากหลายของเส้นทางที่ค้นพบไปยังหลายผู้รับในเครือข่ายเพิ่มมากขึ้น ค่าเฉลี่ยของจำนวนฮอประหว่างกลไกแอนนิคาส คิว เราท์ติ้ง และ กลไกแอนนิคาส เอโอดีวี จะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเนื่องจากกลไกจะค้นพบเส้นทางไปยังซิงค์ที่ใกล้ที่สุดเสมอ

3.6.3 ความซับซ้อนของการคำนวณ

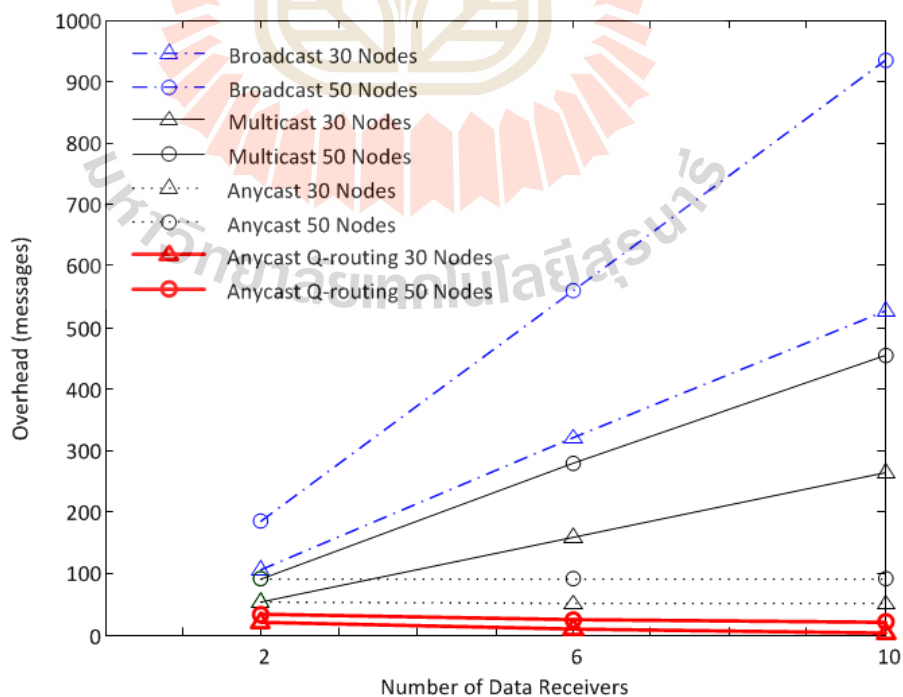
ในหัวข้อนี้ เป็นการวิเคราะห์ความซับซ้อนของการคำนวณ และปริมาณการใช้ข้อมูลของกลไกแอนนิคาส คิว เราท์ติ้ง ที่จำเป็นต่อการดำเนินการปรับค่าคิวในสมการที่ (3.2)

การคำนวณที่ซับซ้อนที่จำเป็นต่อโหนดมีค่าเป็น $O(\max|N(s_i)|)$ เมื่อ $\max|N(s_i)|$ คือขนาดที่สูงที่สุดของเซตของโหนดเพื่อนบ้าน $N(s_i)$ สำหรับโหนด s_i สำหรับความต้องการของหน่วยความจำนั้น ในแต่ละโหนดต้องจัดเก็บตารางการจัดเก็บค่าคิว (Q table) เพื่อใช้ในการตัดสินใจค้นหาเส้นทาง ซึ่งปริมาณหน่วยความจำมีค่าเป็น $O(\max|N(s_i)|)$ ในแง่ของปริมาณการสำรวจการใช้ข้อมูล ปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการสำรวจ คือ จำนวนของข้อความ RREQ ที่เบี่ยงเบนจากเส้นทางที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม ค่าคิวที่ทำการปรับนี้ จะส่งผลให้ปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการค้นหาเส้นทางลดลง เนื่องจากโหนดได้เรียนรู้เส้นทางที่เหมาะสมที่สุดมากขึ้นตามลำดับ การเพิ่มอัตราการเรียนรู้สู่เส้นทางที่เหมาะสมที่สุด และลดปริมาณการสำรวจการใช้ข้อมูล อาจทำได้ดังนี้ คือ 1) ใช้ลำดับของอัตราการเรียนรู้ (α) พารามิเตอร์การสำรวจ (ϵ) ที่ลดลงตามฟังก์ชันของเวลา 2) ค่าคิว

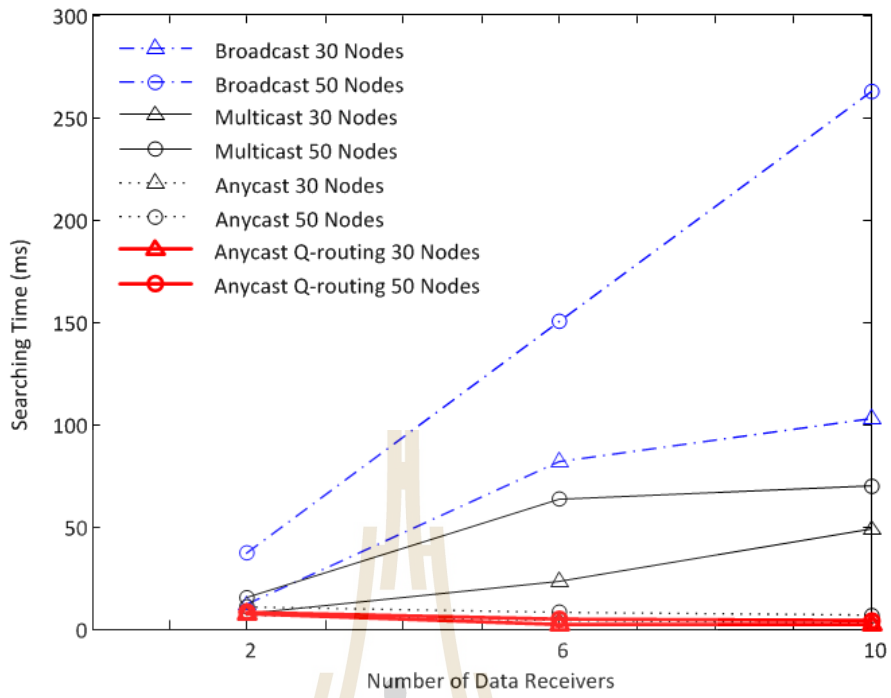
เริ่มต้นอาจประเมินตามระยะห่างระหว่างโหนดนั้น ๆ ไปยังโหนดซิงค์ จากตารางการหาเส้นทางของโหนดใด ๆ



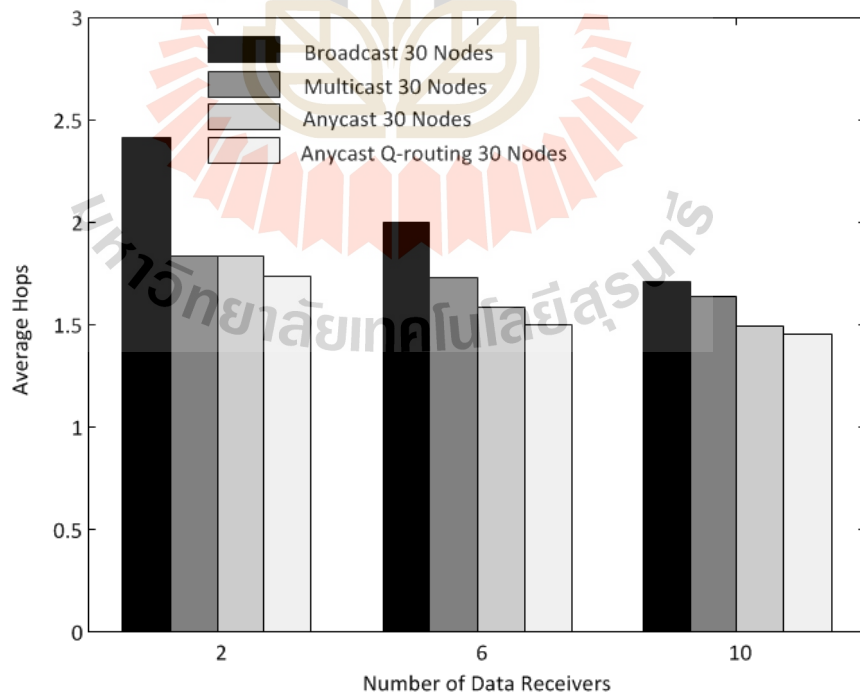
รูปที่ 3.1 ค่าเฉลี่ยรางวัลผลตอบแทนของพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันในกลไกแอนนิคาส คิว เราที่ตั้ง



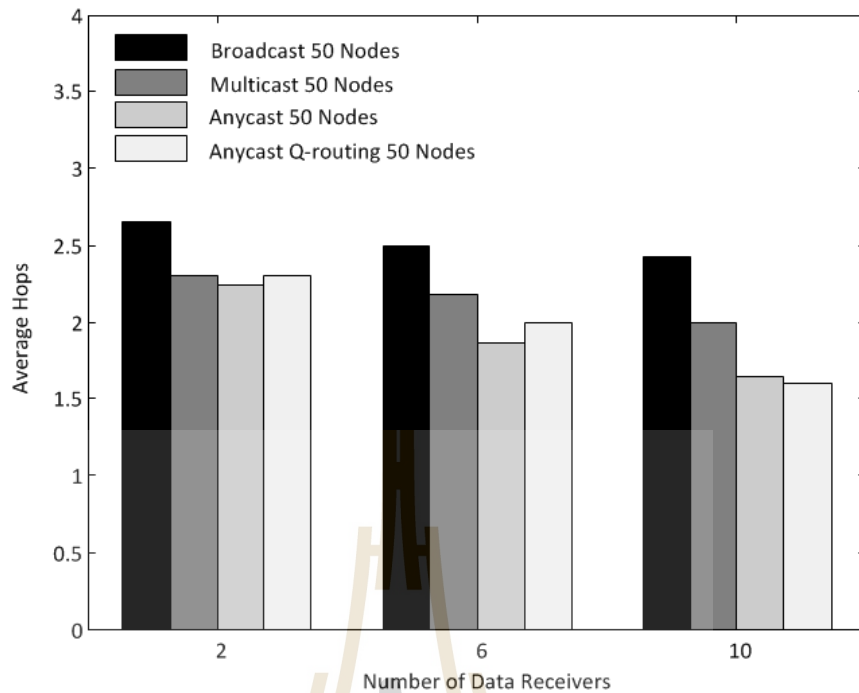
รูปที่ 3.2 ค่าเฉลี่ยการใช้ปริมาณข้อมูลในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.3 ค่าเฉลี่ยความล่าช้าการค้นหาลำดับเส้นทางในกลไกการค้นหาเส้นทางที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.4 ค่าเฉลี่ยความยาวเส้นทางสำหรับ 30 โหนดในกลไกการค้นหาเส้นทางที่แตกต่างกัน



รูปที่ 3.5 ค่าเฉลี่ยความยาวเส้นทางสำหรับ 50 โหนดในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน

3.7 สรุป

เนื้อหาในบทนี้นำเสนอวิธีการหาเส้นทางที่อยู่บนพื้นฐานของรีอินฟอร์สเมทน์ เลิร์นนิง ซึ่งเรียกว่ากลไกแอนนिकास คิว เราท์ติ้ง โดยวิธีการหาเส้นทางนี้เป็นการขยายการผลมาจากกลไกการหาเส้นทางแบบยูนิคาส และกลไกการหาเส้นทางมัลติคาส เพื่อรองรับการหาเส้นทางแอนนिकास คิว เราท์ติ้งในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย วัตถุประสงค์ของกลไกแอนนिकास คิว เราท์ติ้ง คือ เพื่อเพิ่มความน่าเชื่อถือในการส่งต่อข้อมูล แต่ด้วยปริมาณข้อมูล และความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางที่จำกัด

เมื่อเปรียบเทียบกับกลไกการหาเส้นทางบรอดคาส กลไกการหาเส้นทางมัลติคาส และกลไกการหาเส้นทางแอนนिकासที่อยู่บนพื้นฐานของโปรโตคอลเอโอดีวีที่ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบผู้ป่วยสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย กลไกที่นำเสนอ ใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางต่ำกว่าและใช้เวลาในการค้นหาเส้นทางได้รวดเร็วกว่า เพื่อค้นหาเส้นทางที่ดีที่สุดไปยังโหนดซิงค์ที่ใกล้ที่สุดในเครือข่าย โดยข้อดีเหล่านี้ แลกมาด้วยปริมาณข้อมูล ความซับซ้อนของการคำนวณ ปริมาณหน่วยความจำที่ใช้เพื่อจัดเก็บข้อมูลและการเรียนรู้ในเครือข่าย ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กลไกแอนนिकास คิว เราท์ติ้ง ใช้ปริมาณข้อมูลน้อยกว่ากลไกบรอดคาส เอโอดีวี 79% ถึง 99%

และ 82% ถึง 97% เมื่อเทียบกับกลไกบรอดคาส เอโอดีวีในเครือข่ายที่มีโหนดเซ็นเซอร์ 30 และ 50 ตามลำดับ กลไกแอนนिकास คิว เราท์ตั้งนั้นใช้ปริมาณข้อมูลน้อยกว่ากลไกมัลติคาส เอโอดีวี 57% ถึง 98% และ 65% ถึง 95% เมื่อเทียบกับกลไกมัลติคาส เอโอดีวีในเครือข่ายที่มีโหนดเซ็นเซอร์ 30 และ 50 ตามลำดับ และกลไกแอนนिकास คิว เราท์ตั้ง ใช้ปริมาณข้อมูลน้อยกว่ากลไกแอนนिकास เอโอดีวี 57% ถึง 90% และ 65% ถึง 75% เมื่อเทียบกับกลไกแอนนिकास เอโอดีวีในเครือข่ายที่มีโหนดเซ็นเซอร์ 30 และ 50 ตามลำดับ



บทที่ 4

การซ่อมแซมเส้นทางเดิมโดยใช้กลไกแอนนิคาส คิว เรทติ้ง

4.1 บทนำ

ในระบบการตรวจสอบผู้ป่วยทางการแพทย์จะมีการเก็บข้อมูลสัญญาณชีพ เช่น อุณหภูมิของร่างกาย ความดันโลหิต คลื่นไฟฟ้า และอัตราการเต้นหัวใจ เป็นต้น ซึ่งต้องอาศัยความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลไปยังผู้เชี่ยวชาญทางการแพทย์ สำหรับการใช้งานในการเฝ้าระวัง หรือตรวจสอบลูกเห็บ รวมถึงการตรวจสอบผู้ป่วยหนัก และข้อความแจ้งเตือนลูกเห็บ มีงานวิจัยที่เพิ่มความน่าเชื่อถือในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางการแพทย์ โดยการใช้โปรโตคอลการหาเส้นทางเอโอดีวี (Ad Hoc on Demand Routing Protocol หรือ AODV) เพื่อค้นหาเส้นทาง broadcast และ การค้นหาเส้นทางมัลติคาส (multicast) (Momen *et al.*, 2010; Balaganesh and Velmathi, 2012) วิธีการหาเส้นทางเหล่านี้ จะมีกระบวนการทำงานซึ่งโหนดต้นทางเริ่มต้นค้นหาเส้นทาง เพื่อส่งต่อข้อมูลไปยังโหนดปลายทางหรือสถานีฐาน โดยการกระจายข้อความ RREQ (Route Request Packet) ไปยังโหนดเพื่อนบ้าน แต่อย่างไรก็ตาม วิธีการค้นหาเส้นทางดังกล่าวมีการใช้จำนวนของปริมาณข้อมูล (overhead) เป็นจำนวนมาก เพื่อเกิดข้อมูลอาจถูกส่งต่อไปยังโหนดอื่น ๆ มากเกินความจำเป็นในการค้นหาเส้นทาง นอกจากนี้ วิธีการดังกล่าวยังใช้เวลานานในการค้นหาเส้นทางเพื่อส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางหรือสถานีฐาน (Tong *et al.*, 2010; Gurav and Nene, 2013)

ดังนั้น เพื่อลดการใช้ปริมาณข้อมูลและเวลาในการค้นหาเส้นทาง กลไกการหาเส้นทางที่เรียกว่า แอนนิคาส (anycast) จึงถูกนำมาใช้ ซึ่งการหาเส้นทางด้วยวิธีนี้ อาศัยกระบวนการทำงานที่ข้อความจากโหนดต้นทางจะถูกส่งไปยังซิงค์ที่ใกล้ที่สุด (Wang *et al.*, 2003; Yahiaoui *et al.*, 2014; Sakthi and Sukanesh, 2014) ดังนั้น วิธีการหาเส้นทางแอนนิคาสจึงมีการใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่าวิธี broadcast และ วิธีมัลติคาส อย่างไรก็ตาม วิธีการหาเส้นทางแอนนิคาสในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายที่อยู่บนพื้นฐานของโปรโตคอลเอโอดีวี ยังคงมีการสร้างปริมาณข้อมูลอย่างมีนัยสำคัญ และมีความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางอยู่ (Mingyuan *et al.*, 2006)

ในงานวิจัยของ Khianjoom and Usaha (2014) ได้นำเสนอวิธีการหาเส้นทางแอนนิคาสที่อยู่บนพื้นฐานของกระบวนการรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่ง เพื่อลดจำนวนของปริมาณข้อมูลที่ใช้สำหรับการค้นหาเส้นทาง กระบวนการรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่งเป็นกลไกที่สามารถปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมในเครือข่ายได้ โดยพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการหาเส้นทางในโครงสร้างเครือข่ายแบบกริด คือ ปริมาณข้อมูลและความล่าช้าในการค้นหาเส้นทาง แต่อย่างไรก็ตาม งานวิจัยดังกล่าว ยัง

ไม่ได้พิจารณาถึงความยืดหยุ่นในการค้นหาเส้นทางในกรณีขาดการเชื่อมต่อหรือโหนดล้มเหลวแต่อย่างใด

ดังนั้นเนื้อหาในบทที่ 4 เราจึงจะขยายกรอบการทำงาน (framework) โดยนำเสนอกลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วยแอนนิคาส คิว เราที้ดิ่ง (local repair anycast Q-routing) เพื่อซ่อมแซมเส้นทางเมื่อมีโหนดล้มเหลวเกิดขึ้นในโครงสร้างเครือข่ายแบบกริดรวมถึง ในกรณีที่เซ็นเซอร์อยู่ในพื้นที่บดบังการค้นหาเส้นทาง (void areas) ในโครงสร้างเครือข่ายแบบกริดด้วยเช่นกัน ซึ่งพื้นที่บดบังการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายอาจจะเกิดจากโครงสร้างทางกายภาพที่กีดขวางการค้นหาเส้นทางในเครือข่าย เช่น ตึกสูง ทะเลสาบหรือบึง โดยพื้นที่บดบังการค้นหาเส้นทางดังกล่าวนี้ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการค้นหาเส้นทางของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายลดลง (Chiang *et al.*, 2013; Zhao *et al.*, 2007)

เนื้อหาในบทที่ 4 นี้จะดำเนินการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการหาเส้นทางไปยังหลาย ๆ ซิงค์ (multiple sinks) หรือหลาย ๆ ปลายทาง ซึ่งแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนเพื่อตอบสนองกับวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้ 1) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการค้นหาเส้นทางก่อนที่โหนดใดโหนดหนึ่งล้มเหลว 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการซ่อมแซมเส้นทางในกรณีที่มีโหนดล้มเหลว 3) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการหาเส้นทางในเครือข่ายเมื่ออยู่ในพื้นที่บดบังการค้นหาเส้นทาง ทั้งนี้มีการวัดประสิทธิภาพในการค้นหาเส้นทางของอัลกอริธึมการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราที้ดิ่ง ซึ่งเป็นกลไกที่นำเสนอ และเปรียบเทียบกับกลไกการหาเส้นทางแอนนิคาส กลไกการหาเส้นทางมัลติคาส และกลไกการหาเส้นทางบรอดคาส ที่อยู่บนพื้นฐานของโปรโตคอลเอโอดีวี โดยมีตัวชี้วัดประสิทธิภาพของการทำงาน คือ ปริมาณข้อมูล (overhead) เวลาในการค้นหาเส้นทาง (searching time) ค่าเฉลี่ยฮอป (average hops) และ อัตราความสำเร็จ (success ratio)

4.2 เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์

ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์มีการใช้งานระบบการตรวจสอบที่เกี่ยวข้องกับการวัดสัญญาณชีพผู้ป่วย ซึ่งข้อมูลถูกส่งแบบไร้สายไปยังผู้เชี่ยวชาญด้านการแพทย์โดยใช้การสื่อสารแบบฮอปเดียว (single-hop) หรือ หลายฮอป (multi-hop) (Varshney, 2006; Varshney, 2008; Chen *et al.*, 2012) ในงานวิจัยของ Varshney (2006) ได้นำเสนอระบบสำหรับการตรวจสอบผู้ป่วยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ข้อมูลด้านสุขภาพ เช่น ข้อมูลสัญญาณชีพซึ่งในช่วงที่เกิดความหนาแน่นของข้อมูลในเครือข่าย ข้อมูลสัญญาณชีพของผู้ป่วยจะต้องถูกส่งไปยังผู้เชี่ยวชาญทางการแพทย์ในเวลาที่รวดเร็ว งานวิจัยของ Varshney (2008) ได้นำเสนอกรอบการทำงานสำหรับการตรวจสอบผู้ป่วย ซึ่งรวมถึงอุปกรณ์การส่งข้อมูลผู้ป่วยในเครือข่ายไร้สายแอดฮอกและอุปกรณ์รับข้อมูลสำหรับ

ผู้เชี่ยวชาญทางการแพทย์ กรอบการทำงานนี้ใช้วิธีการหาเส้นทาง 4 รูปแบบ คือ มัลติคาส มัลติคาสที่มีความน่าเชื่อถือ บรอดคาส บรอดคาสที่มีความน่าเชื่อถือ เพื่อปรับปรุงความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลสำหรับเครือข่ายไร้สายแอดฮอก ในงานวิจัยของ Chen *et al.* (2012) ได้นำเสนอโปรโตคอลการส่งแพ็กเก็ตที่เชื่อถือได้เพื่อส่งข้อความฉุกเฉินและสัญญาณชีพในเครือข่ายมัลติฮอปซิกบี (multi-hop Zigbee) ที่อยู่บนพื้นฐานของกลไกการหาเส้นทางแอนนิคาส สำหรับการตรวจสอบผู้ป่วยไร้สาย โปรโตคอลการค้นหาเส้นทางนี้ ได้ช่วยลดความหนาแน่นของการใช้ข้อมูลในเครือข่ายในขณะที่ยังสามารถรักษาความน่าเชื่อถือในการส่งข้อมูลไว้ได้

4.3 กระบวนการเรียนรู้แบบรีอินฟอร์สมেন্ট เลิร์นนิ่งในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

การสื่อสารในการส่งข้อมูลแบบมัลติฮอปในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย เป็นกระบวนการที่ต้องใช้เทคนิคในการค้นหาเส้นทางเพื่อส่งต่อข้อมูล มีการนำโปรโตคอลการหาเส้นทางเอโอดีวีมาใช้สำหรับการหาเส้นทางในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย แต่เนื่องจากขั้นตอนการหาเส้นทางของโปรโตคอลเอโอดีวีนั้น ต้องกระจายข้อมูลไปทั่วทั้งเครือข่าย จึงส่งผลให้ใช้ปริมาณข้อมูลในการหาเส้นทางเป็นจำนวนมาก รวมถึงยังใช้เวลาในการค้นหาเส้นทางเป็นระยะเวลานาน เป็นผลให้ความน่าเชื่อถือของการส่งต่อข้อมูลนั้นลดลง งานวิจัยของ Lo and Akyildiz (2010) ได้นำเสนออัลกอริธึมการหาเส้นทางคิว เลิร์นนิ่ง โดยใช้การหาเส้นทางบรอดคาส เพื่อช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย งานวิจัยของ Oddi *et al.* (2014) ได้นำเสนออัลกอริธึมการหาเส้นทางคิวเรทติ้ง โดยใช้โครงสร้างเครือข่ายแบบกริดเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพอายุการใช้งานและการใช้พลังงานสำหรับเครือข่าย อย่างไรก็ตาม ผลการทดลองนี้ใช้ปริมาณข้อมูลในการหาเส้นทางที่ระดับที่ค่อนข้างสูง งานวิจัยของ Farahnakian *et al.* (2011) ได้นำเสนอรูปแบบการเรียนรู้อัตโนมัติที่อยู่บนพื้นฐานของวิธีการหาเส้นทางรีอินฟอร์สมেন্ট เลิร์นนิ่ง ซึ่ง โปรโตคอลนี้สามารถปรับปรุงอายุการใช้งานของเครือข่าย โดยปรับสมดุลการใช้พลังงาน ข้อดีของโปรโตคอลนี้คือ สามารถควบคุมการใช้ปริมาณข้อมูลและสามารถเพิ่มอายุการใช้งานของเครือข่าย แต่ยังคงกระทบต่อโหลด และความน่าเชื่อถือของเครือข่าย ตลอดจนอัตราความสำเร็จในการส่งข้อมูลอีกด้วย

4.4 การซ่อมแซมเส้นทางในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

เมื่อเส้นทางในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ถูกตัดการเชื่อมต่อเพราะ โหนดเซ็นเซอร์ล้มเหลว เนื่องจากการสูญเสียของแบตเตอรี่ หรือความผิดปกติของฮาร์ดแวร์ กลไกสำหรับการซ่อมแซมเส้นทางมีกระบวนการทำงานดังต่อไปนี้ เมื่อมีโหนดใดโหนดหนึ่งทำงานล้มเหลวในเครือข่าย โหนดที่อยู่ก่อนหน้า (upstream node) ของโหนดล้มเหลว จะดำเนินการกระจายข้อความ RREQ อีก

ครั้งไปเพื่อค้นหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง หากซ่อมแซมเส้นทางสำเร็จ โหนดที่เริ่มต้นการซ่อมแซมเส้นทางจะได้รับข้อความ RREP ภายในระยะเวลาที่กำหนด มิฉะนั้นแล้วโหนดที่เริ่มต้นซ่อมแซมเส้นทางก็จะส่งข้อความ RERR แจ้งกลับไปยังโหนดต้นทางเพื่อที่จะดำเนินการค้นหาเส้นทางใหม่ทั้งหมดอีกครั้งหนึ่ง

งานวิจัยที่ศึกษาโปรโตคอลการหาเส้นทางที่มีกลไกการซ่อมแซมเส้นทางมีดังต่อไปนี้ งานวิจัยของ Chuang et al. (2012) ได้นำเสนอกลไกการซ่อมแซมเส้นทางสำหรับเครือข่ายแอดฮอคเคลื่อนที่ โดยใช้การหาเส้นทางในการส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์ โดยวิธีการนี้ สามารถซ่อมแซมเส้นทางได้อย่างรวดเร็ว และสามารถลดการใช้แบนด์วิดท์ในระหว่างการค้นหาเส้นทางอีกด้วย ในงานวิจัยของ Azzuhri et al. (2010) ได้นำเสนอการจัดการกับความล้มเหลวของการเชื่อมต่อ และซ่อมแซมเส้นทางที่ถูกตัดการเชื่อมโยง โดยการใช้กลไกการซ่อมแซมเส้นทางด้วยตัวแปรท้องถิ่น งานวิจัยของ Chang et al. (2005) ได้นำเสนอโปรโตคอลการซ่อมแซมเส้นทางมัลติฮอป ด้วยการหาเส้นทางแบบยูนิคาสต์ เพื่อกู้คืนการเชื่อมต่อโดยการลดจำนวนของข้อความที่ใช้และลดความล่าช้าในการซ่อมแซมเส้นทาง

4.5 พื้นที่บดบังการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

พื้นที่บดบังการค้นหาเส้นทาง สามารถก่อให้เกิดความล้มเหลวในการค้นหาเส้นทางในสภาพแวดล้อมจริง สำหรับการเฝ้าระวังสัญญาณชีพผู้ป่วยในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางการแพทย์ พื้นที่บดบังนั้นรวมถึงอุปสรรคทางกายภาพด้วย ดังเช่น ดึกสูง ทะเลสาบหรือบึงที่จะกีดขวางหรือบดบังเส้นทาง ในงานวิจัยของ Hwang et al. (2012) ได้นำเสนอโปรโตคอลการหาเส้นทางเมื่อมีพื้นที่บดบังการค้นหาเส้นทาง โดยใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย งานวิจัยดังกล่าวขอบเขตของพื้นที่บดบัง (hole) เป็นรูปร่างตัวยูและหลุมสี่เหลี่ยม ที่ตั้งอยู่ในจุดศูนย์กลางของเครือข่าย ผลการทดลองแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพ ด้วยการวัดความยาวเส้นทางและการใช้พลังงาน แต่อย่างไรก็ตาม กลไกนี้ยังใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางอย่างมีนัยสำคัญอยู่ งานวิจัยของ Zhang and Dong (2015) ได้นำเสนอการหาเส้นทางประสิทธิภาพเมื่อมีพื้นที่บดบัง โดยอยู่บนพื้นฐานของการร่วมมือในการสร้างแผนที่เสมือน โดยอาศัยวงกลมเสมือน กลไกนี้สามารถลดปริมาณแพ็คเกจข้อมูลและความยาวเส้นทางสำหรับการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายได้ ในงานวิจัยของ You et al. (2009) ได้นำเสนออัลกอริธึมการหาเส้นทางทางภูมิศาสตร์ โดยการตระหนักถึงผลกระทบในการค้นหาเส้นทาง เพื่อหลีกเลี่ยงหลุมและหาเส้นทางที่เหมาะสม

ที่สุด ในการปรับสมดุลของโหลดในเครือข่าย ผลการทดลองพบว่า กลไกดังกล่าวได้ผลอัตราความสำเร็จในการค้นหาเส้นทางในระดับสูงและมีความยาวเส้นทางที่สั้น

4.6 กลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราท์ตั้ง

4.6.1 คิว เราท์ตั้ง

คิว เราท์ตั้ง ที่อยู่บนพื้นฐานของ คิว เลิร์นนิ่ง (Boyan and Littman, 1994) ซึ่งเป็นโปรโตคอลการหาเส้นทางในการสื่อสารของเครือข่ายที่สามารถปรับตัวเองได้เพื่อค้นหาเส้นทางระหว่างโหนดเซ็นเซอร์ไปยังโหนดซิงค์ โดย คิว เราท์ตั้ง จะใช้ ค่า คิว (Q-values) ในการปรับค่าอย่างต่อเนื่อง เพื่อค้นหาการตัดสินใจที่ดีที่สุดในแต่ละโหนดเซ็นเซอร์ ค่า คิว ที่ได้ นั้น ถูกปรับค่าจากการเรียนรู้ผ่านจากประสบการณ์จากการตอบสนอง (interaction) กับสภาพแวดล้อมของเครือข่ายโดยตรง ในงานวิจัยของ Ouzeki and Jevtic, (2010) ได้นำเสนอการใช้ คิว เราท์ตั้ง เพื่อแก้ไขปัญหาการหาเส้นทางสำหรับเอเจนต์เคลื่อนที่ ในการสื่อสารของเครือข่ายที่สามารถกำหนดและปรับตัวกับโครงสร้างเครือข่ายที่ไม่แน่นอนได้ ในงานวิจัยของ Maalej *et al.* (2013) นำเสนอการหาเส้นทาง คิว เราท์ตั้ง กับเทคนิคการเรียนรู้เพื่อตรวจสอบไฟไหม้ป่าในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย ในงานวิจัยของ Oddi *et al.* (2012) นำเสนออัลกอริธึมการหาเส้นทางที่อยู่บนพื้นฐานของ คิว เราท์ตั้ง เพื่อแก้ไขปัญหาของความล้มเหลวในการเชื่อมต่อในเครือข่ายแอดฮอกเคลื่อนที่ และในงานวิจัยของ Wang and Wang (2006) ใช้โปรโตคอลการหาเส้นทาง คิว เราท์ตั้ง เพื่อลด cost ในการหาเส้นทางและเพิ่มประสิทธิภาพของเส้นทางและยืดอายุการใช้งานของเครือข่าย อย่างไรก็ตาม ยังมีปัจจัยอื่นที่ส่งผลกระทบต่อการค้นหาทางที่ยังไม่ได้ถูกพิจารณา เช่น 1) ปัญหาของอายุตารางที่ใช้ในการจัดเก็บเส้นทางในเครือข่าย 2) การฟื้นฟูหรือซ่อมแซมเส้นทางเมื่อมีโหนดล้มเหลวหรือเกิดความเสียหายในเครือข่าย 3) การหาเส้นทางในกรณีเมื่อมีพื้นที่ปิดกั้นการค้นหาเส้นทาง ดังนั้นเพื่อที่จะแก้ไขปัญหาเหล่านี้ งานวิจัยในบทนี้ จึงนำเสนอกลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราท์ตั้ง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.6.2 อัลกอริธึมการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราท์ตั้ง

เนื้อหาในส่วนนี้ นำเสนอกลไกซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราท์ตั้ง ดังต่อไปนี้

- สถานะ: สถานะของโหนดเซ็นเซอร์ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายอยู่ในเซตของ $V = \{s_i\}$ เมื่อ $i = 1, 2, \dots, N$ และ N คือจำนวนของโหนดเซ็นเซอร์ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย

- การกระทำ: $A = \{a(s_j|s_i)\}$ เมื่อ $a(s_j|s_i)$ หมายถึงการส่งข้อความจากโหนด s_i ไปยังโหนด s_j ซึ่งโหนด s_i และ โหนด s_j จะอยู่ภายในรัศมีการสื่อสารซึ่งกันและกัน
- ฟังก์ชันมูลค่า: ฟังก์ชันมูลค่า $Q(s, a)$ บ่งบอกถึงผลประโยชน์ของการเลือก การกระทำ ที่โหนดเซ็นเซอร์หลังจากที่มีการปรับปรุง ค่า คิว ภายใต้เงื่อนไขที่เหมาะสม เพื่อให้ได้นโยบายการกระทำที่ดีที่สุด และ ค่า คิว ที่สูงที่สุด ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงการกระทำที่ดีที่สุด (ในการเลือกชอบถัดไป) สำหรับโหนดเซ็นเซอร์
- ฟังก์ชันรางวัลผลตอบแทน: กำหนดให้ $r(s_j)$ แทนรางวัลสำหรับการเลือกการกระทำ $a(s_j|s_i)$ ที่โหนดเซ็นเซอร์ s_i โดยฟังก์ชันรางวัลผลตอบแทนจะได้รับจาก

$$r(s_j) = \max_{\forall s_{sink} \in D} \left(\frac{D_{s_i, s_{sink}} - D_{s_j, s_{sink}}}{D_{s_i, s_{sink}}} \right), \quad (4.1)$$

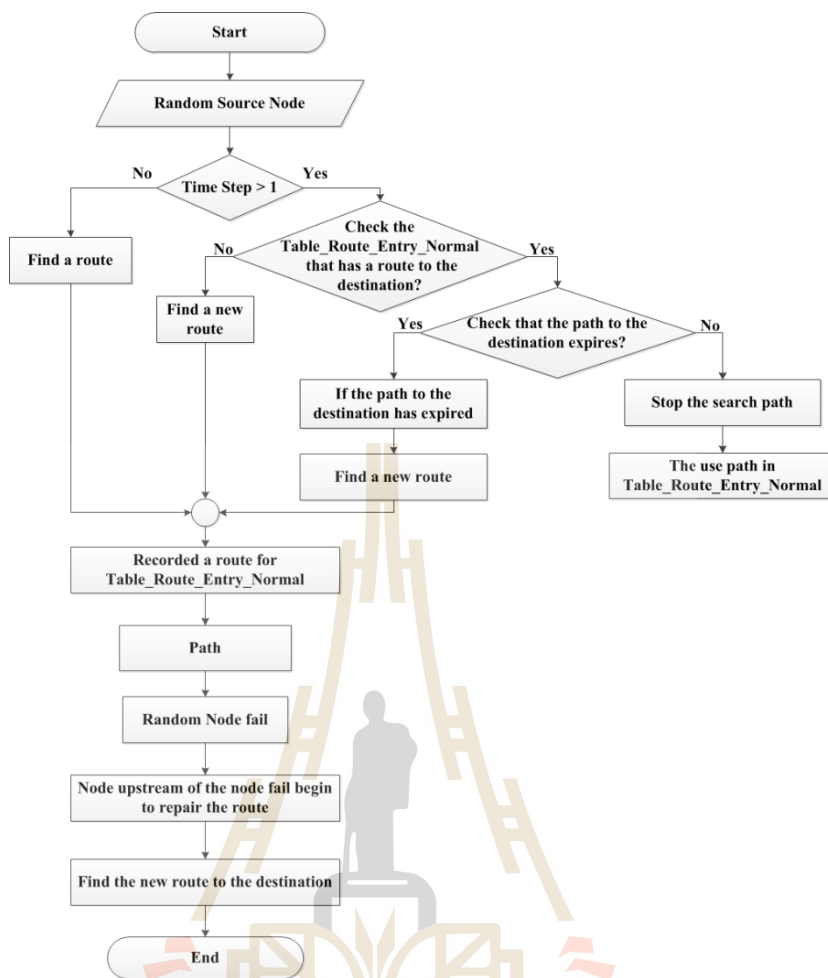
เมื่อ D คือ เซตของซิงค์ที่มีอยู่ทั้งหมดในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย โดยที่ $D_{s_i, s_{sink}}$ คือระยะทางระหว่างโหนด s_i และ โหนดซิงค์ $D_{s_j, s_{sink}}$ คือ ระยะทางระหว่างโหนด s_j และโหนดซิงค์ และ $D_{s_i, s_{sink}} - D_{s_j, s_{sink}}$ คือ ระยะทางเข้าใกล้ยังโหนดซิงค์ และ $\left(\frac{D_{s_i, s_{sink}} - D_{s_j, s_{sink}}}{D_{s_i, s_{sink}}} \right)$ บ่งบอกถึงสัดส่วนของระยะทางระหว่างโหนด s_j ไปยังโหนดซิงค์ ดังนั้น $r(s_j)$ คือ สัดส่วนของระยะทางที่คืบหน้าหรือเข้าใกล้ยังโหนดซิงค์ ซึ่งค่าที่สูงกว่าจะบ่งบอกว่ามีระยะทางที่คืบหน้าที่จะเข้าใกล้โหนดซิงค์มากกว่า

- ฟังก์ชันการปรับปรุงค่าคิว: เมื่อโหนดเซ็นเซอร์ s_i ได้รับรางวัลผลตอบแทนจากการเลือกการกระทำ a แล้วโหนด s_i จะทำการปรับปรุงฟังก์ชันผลรางวัลผลตอบแทนสำหรับการกระทำที่ได้รับ เพื่อประเมินผลประโยชน์ของการกระทำนั้นๆ สมมติว่าโหนดเซ็นเซอร์ s_i เลือกการกระทำ a สำหรับการส่งต่อแพ็คเกจข้อมูลจากโหนด s_i ไปยังโหนด s_j แล้ว ฟังก์ชันผลรางวัลผลตอบแทนที่โหนด s_i จะทำการปรับปรุงได้จาก

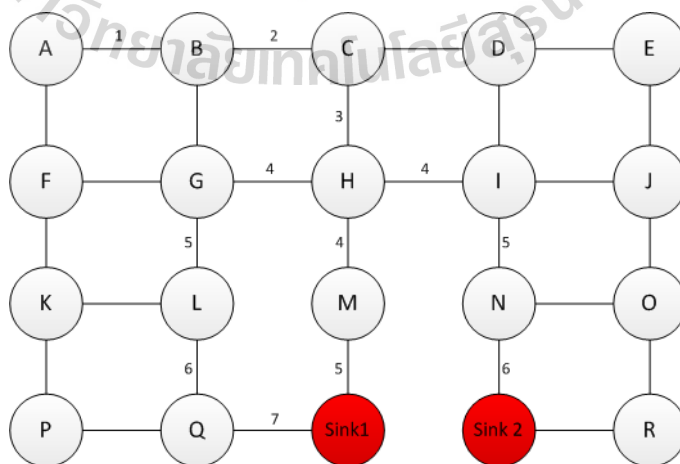
$$Q_{new}(s_i, a) = (1 - \alpha)Q_{old}(s_i, a) + \alpha \left[r(s_j) + \gamma \max_{\forall a' \in A} (Q_{old}(s', a')) \right], \quad (4.2)$$

เมื่อ $Q_{new}(s_i, a)$ หมายถึงผลประโยชน์ของการกระทำ a ที่โหนด s_i และ α คือ อัตราการเรียนรู้ซึ่งจะอยู่ในช่วง $\in [0,1]$ และ γ คือปัจจัยส่วนลดซึ่งจะอยู่ในช่วง $\in [0,1]$ และ $Q_{old}(s', a')$ คือผลประโยชน์ของสอบถัดไปที่โหนด s' ที่ดำเนินการที่ การกระทำ a' ของตัวเอง ค่าของ α ที่เข้าใกล้ 1 หมายถึงการเพิ่มความเร็วในการ เรียนรู้โดยจะให้ลิ้มค่า คิว เดิม ในขณะที่ถ้าให้น้ำหนักของ γ เพิ่มมากขึ้นนั้นหมายถึง จะให้ผลประโยชน์สำหรับโหนดถัดไปมากกว่า

- กลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิม: รูปที่ 4.1 แสดงกรณีเมื่อมีโหนดล้มเหลวในเส้นทาง โหนดก่อนหน้าของโหนดล้มเหลวจะเริ่มค้นซ่อมแซมเส้นทาง ยกตัวอย่าง เช่น ใน รูปที่ 4.2 แสดงการค้นหาเส้นทางสำหรับโหนดเซ็นเซอร์ A ไปยังโหนดซิงค์ ซึ่งจะ ได้เส้นทางคือ A-B-C-H-M-Sink1 สมมติให้โหนด M ทำงานล้มเหลว ดังนั้น เส้นทางเดิมก็จะถูกตัดการเชื่อมต่อ โหนดก่อนหน้าโหนด M ซึ่งก็คือ โหนด H จะ ดำเนินการซ่อมแซมเส้นทางที่ถูกตัดการเชื่อมต่อ โดยใช้กลไกการซ่อมแซมเส้นทาง เดิมด้วย แอนนิคาส คิว เรทติ้ง ซึ่งเซตของการกระทำที่เป็นไปได้ สำหรับโหนด H คือ $A = \{a(s_j|H)\} = \{G, I\}$ สำหรับการตัดสินใจ โหนด H จะเลือกการกระทำ จากฟังก์ชัน $a = \operatorname{argmax} (Q(H, G), Q(H, I))$ ภายใต้เงื่อนไขการปรับค่าจาก ฟังก์ชันมูลค่าใน (4.2) เพื่อค้นหาค่าที่ใกล้เคียงค่าที่ดีที่สุด ผลของการกระทำ (การ เลือกโหนดถัดไป) ซึ่ง โหนด H จะเลือกโหนด I ซึ่งเป็นโหนดที่จะนำไปสู่โหนดซิงค์ ที่ใกล้ที่สุด ในขั้นตอนการเลือกการกระทำนี้จะถูกทำซ้ำ ๆ ไปจนกว่าจะค้นพบ โหนดซิงค์ที่ใกล้ที่สุดในเครือข่าย สำหรับตัวอย่างนี้ เส้นทางการซ่อมแซมที่ คือ A-B-C-H-I-N-Sink2



รูปที่ 4.1 แผนภาพของอัลกอริธึมการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราท์ติ้ง



รูปที่ 4.2 การซ่อมแซมเส้นทางในโครงสร้างเครือข่ายแบบกริด

4.7 ผลการจำลอง

เนื้อหาในส่วนนี้ เป็นการประเมินสมรรถนะของอัลกอริทึมการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วยแอนนิกาส คิว เรทติ้ง เมื่อเปรียบเทียบกับกลไกแอนนิกาส กลไกมัลติคาส และกลไกบรอดคาสที่อยู่บนพื้นฐานของโปรโตคอลเอไอดีวี โดยวัตถุประสงค์ของการจำลองนี้คือ 1) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการค้นหาเส้นทางก่อนที่จะมีโหนดล้มเหลว 2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของการซ่อมแซมเส้นทางในกรณีที่มีโหนดล้มเหลว 3) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการหาเส้นทางในเครือข่ายเมื่อมีพื้นที่ที่บดบังการค้นหาเส้นทาง เพื่อตอบสนองในแต่ละวัตถุประสงค์ตามลำดับ จึงได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ส่วนตามวัตถุประสงค์ดังกล่าว คือ ส่วน A ส่วน B และส่วน C ตามลำดับ ตารางที่ 4.1 แสดงพารามิเตอร์การจำลองผลสำหรับในแต่ละส่วน นอกจากนี้ ผลการทดลองแต่ละค่า ได้มาจากการสุ่มโครงสร้างเครือข่าย รันและวัดผล ซ้ำ ๆ จนได้ระดับความแม่นยำของผลอยู่ในช่วง $\pm 5\%$

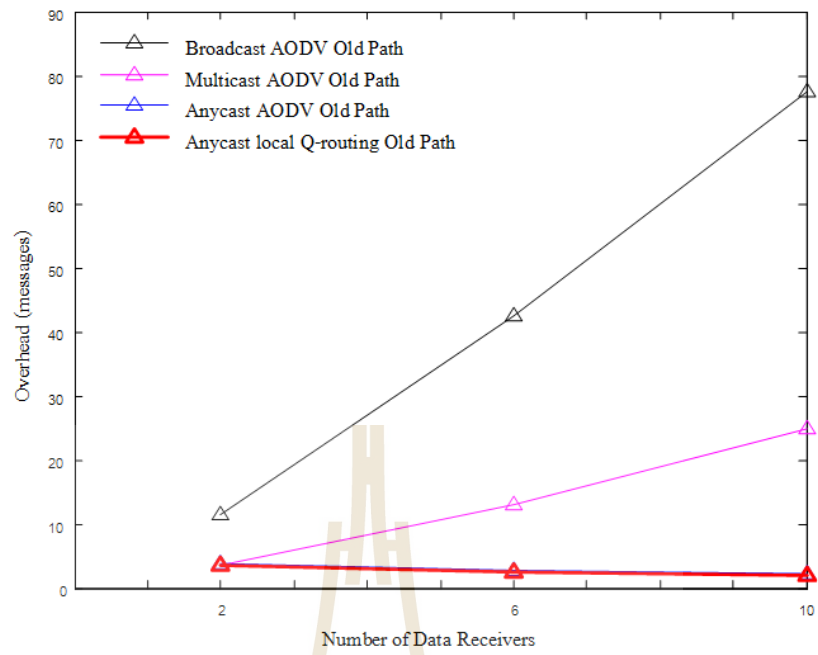
ตาราง 4.1 พารามิเตอร์การจำลองผล

พารามิเตอร์	ส่วน A (ก่อนมี โหนดล้มเหลว)	ส่วน B (หลังจากมี โหนดล้มเหลว)	ส่วน C (เมื่อมีพื้นที่บดบัง การค้นหาเส้นทาง)
จำนวนของโหนดใน เครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สาย	50		
จำนวนของผู้รับข้อมูล (ซิงค์)	2, 6, 10		2
ระยะเวลาที่รอข้อความ RREP (TW)	0.010 วินาที		
ϵ , ความน่าจะเป็นในการ เลือกการกระทำด้วยนโยบาย กรีดี ใน (4.2)	0.8		
α , อัตราการเรียนรู้ใน (4.2)	0.5		
γ , ปัจจัยส่วนลดใน (4.2)	0.5		
จำนวนของโหนดที่เสียหาย	-	-	9, 12, 14, 16, 18, 20
กลไกการค้นหาเส้นทาง	บรอดคาสต์ เอโอดีวี, มัลติคาสต์ เอโอดีวี, แอนนิคาสต์ เอโอดีวี, การซ่อมแซมเดิมแอนนิคาสต์ คิว เราที้ตั้ง		แอนนิคาสต์ เอโอดีวี การซ่อมแซมเดิม แอนนิคาสต์ คิว เราที้ตั้ง
ตัวชี้วัดที่เปรียบเทียบ	ปริมาณข้อมูล, เวลาในการค้นหา เส้นทาง, ค่าเฉลี่ยของฮอป	ปริมาณข้อมูล, เวลาในการค้นหา เส้นทาง, ค่าเฉลี่ยของฮอป, อัตราความสำเร็จ	ปริมาณข้อมูล, เวลาในการค้นหา เส้นทาง, ค่าเฉลี่ยของฮอป
โครงสร้างของเครือข่าย	สุ่ม โครงสร้างเครือข่ายแบบกริด		
T, จำนวนครั้งที่รัน	50000		

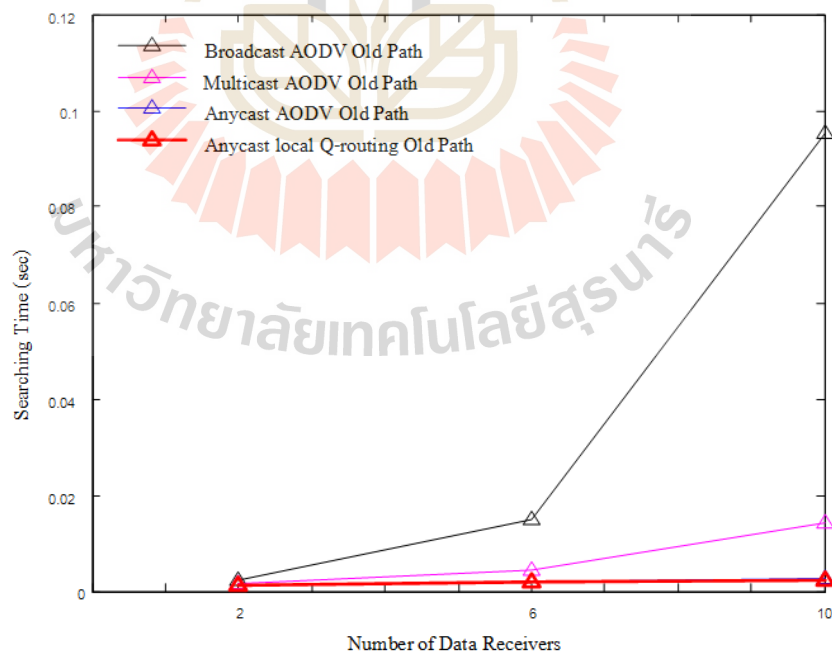
4.7.1 การประเมินผลการทำงานก่อนมีโหนดล้มเหลว

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้ เพื่อประเมินประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริธึมการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาสต์ คิว เราที้ตั้ง เมื่อเปรียบเทียบกับกลไกแอนนิคาสต์ กลไกมัลติคาสต์ และกลไกบรอดคาสต์ที่อยู่บนพื้นฐานของโปรโตคอลเอโอดีวี ก่อนที่จะมีโหนดล้มเหลวเกิดขึ้น ปริมาณข้อมูลที่ทำให้การวัด คือ จำนวนของข้อความ RREQ และ RREP รวมถึง ข้อความ ACK ที่ถูกสร้างขึ้นในระหว่างขั้นตอนการค้นหาเส้นทาง เมื่อเริ่มต้นค้นหาเส้นทาง โหนดต้นทางจะต้อง

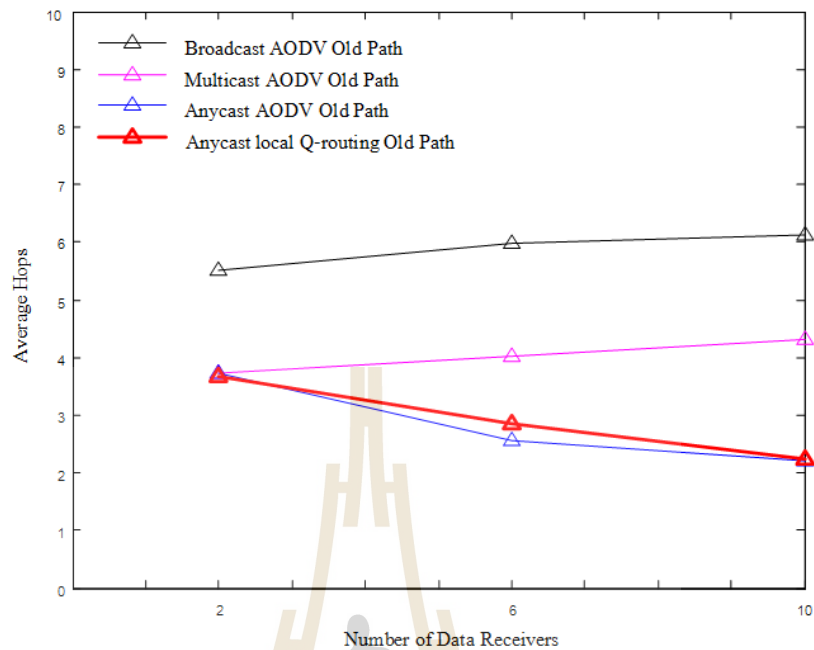
ตรวจสอบว่ามีเส้นทางในตารางจัดเก็บเส้นทาง (table route entry) หรือไม่ ถ้ามีเส้นทางในตารางจัดเก็บเส้นทาง การค้นหาเส้นทางก็จะสิ้นสุดลงเนื่องจากมีเส้นทางไปยังโหนดปลายทางแล้ว มิฉะนั้น โหนดต้นทางจะส่งข้อความ RREQ ผ่าน โหนดกลาง (intermediate node) เพื่อกระจายข้อความไปจนกว่าจะค้นพบเส้นทางไปยังซิงค์ที่ใกล้ที่สุด เมื่อโหนดซิงค์ถูกค้นพบ โหนดซิงค์จะส่งข้อความ RREP กลับไปยังโหนดต้นทางตามเส้นทางที่ได้ถูกค้นพบ กลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราท์ติ้งจะสร้างปริมาณข้อมูลที่ใช้สำหรับการค้นหาเส้นทางน้อยที่สุด ซึ่งจะแตกต่างจากกลไกแอนนิคาส เอโอดีวี ที่มีการใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางมากกว่าเมื่อจำนวนของผู้รับข้อมูลเท่ากับ 10 จากรูปที่ 4.3 ผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่า ปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการค้นหาเส้นทางของกลไกมัลติคาส และกลไกบรอดคาสจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนของผู้รับข้อมูล จากรูปที่ 4.4 แสดงถึงค่าเฉลี่ยความล่าช้าในการค้นหาเส้นทาง เวลาของการค้นพบเส้นทางเป็นวินาที ซึ่งจะสอดคล้องกับรูปที่ 4.3 ที่แสดงให้เห็นได้ว่ากลไกบรอดคาส เอโอดีวี จะใช้เวลาในการค้นหาเส้นทางนานที่สุดเนื่องจากว่า โหนดต้นทางจะต้องได้รับข้อความ RREP จากจำนวนของผู้รับข้อมูลทั้งหมดในเครือข่าย ดังนั้น กลไกการบรอดคาส เอโอดีวี จึงใช้เวลานานที่สุดในการค้นหาเส้นทาง ในทำนองเดียวกัน สำหรับกลไกมัลติคาสซึ่งโหนดต้นทางจะต้องได้รับข้อความ RREP จากจำนวนกลุ่มผู้รับข้อมูลมัลติคาส ดังนั้น ความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางที่เกิดขึ้นจึงน้อยกว่ากลไกบรอดคาส เอโอดีวี อย่างไรก็ตาม ความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางระหว่างกลไกที่นำเสนอ คือ การซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราท์ติ้ง และกลไกแอนนิคาส เอโอดีวี เมื่อได้เปรียบเทียบกันแล้ว ทั้งสองกลไกใช้เวลาในการค้นหาเส้นทางใกล้เคียงกัน จากรูปที่ 4.5 แสดงจำนวนขอบเฉลี่ยในการค้นหาเส้นทางในแต่ละกลไก ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่ากลไกที่นำเสนอจะมีจำนวนขอบเฉลี่ยสูงกว่าเล็กน้อยเมื่อเทียบกับกลไกแอนนิคาส เอโอดีวี ทั้งนี้ เนื่องจากในช่วงเริ่มต้นของการเรียนรู้การค้นหาเส้นทางของกลไกที่นำเสนอนั้น เส้นทางที่ถูกเลือกอาจจะไม่ใช่เส้นทางที่สั้นที่สุดไปยังโหนดซิงค์ เนื่องจาก 1) ค่า คิว ในช่วงเริ่มต้นของการเรียนรู้การค้นหาเส้นทางอาจยังไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุดและ 2) พารามิเตอร์ ϵ ซึ่งหมายถึงความน่าจะเป็นของนโยบายการเลือก การกระทำ ซึ่งจะถูกลืมเลือกเส้นทางการเรียนรู้ตาม ค่า คิว



รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยการใช้ปริมาณข้อมูลในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยความล่าช้าการค้นหาเส้นทางในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน



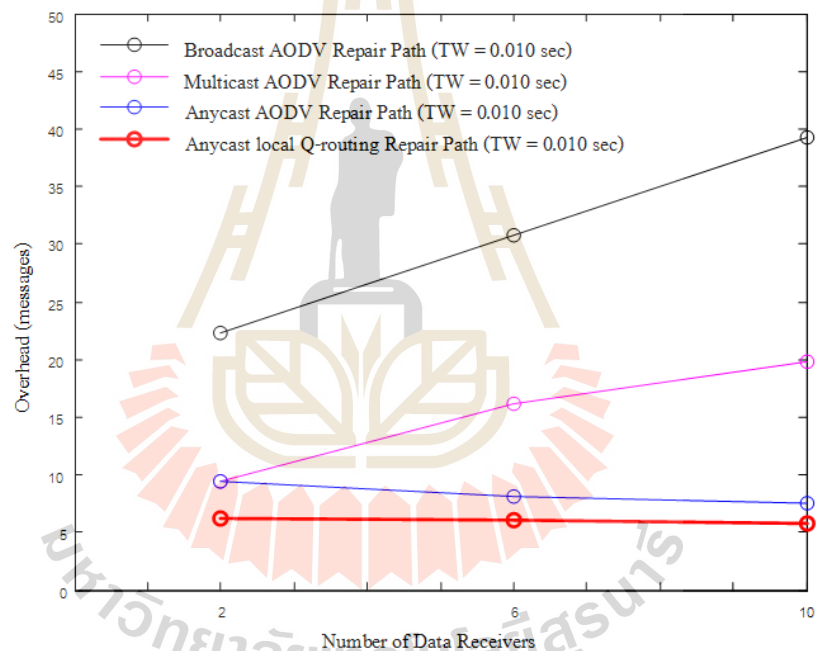
รูปที่ 4.5 ค่าเฉลี่ยความยาวเส้นทางในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน

4.7.2 การประเมินผลการทำงานหลังจากมีโหนดล้มเหลว

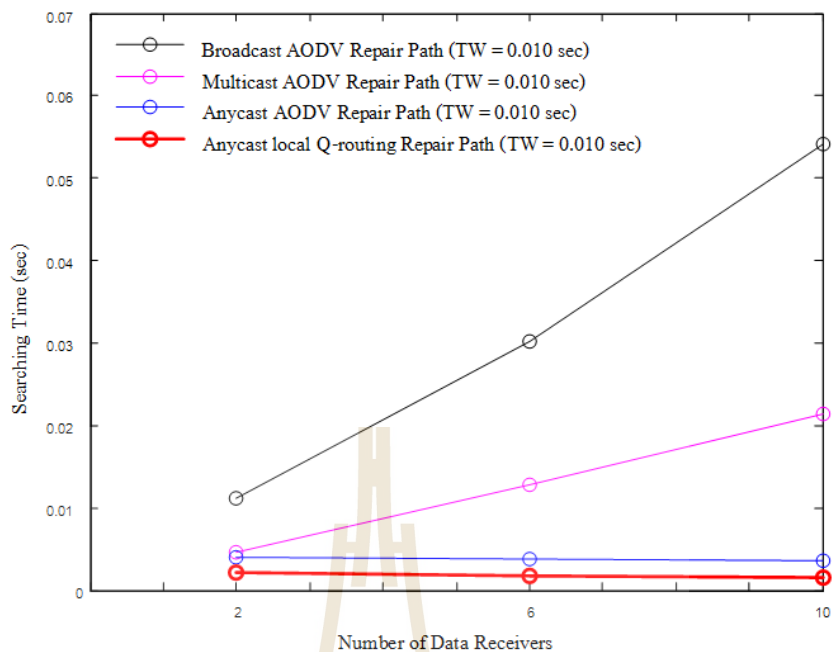
การทดลองนี้จัดทำโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการซ่อมแซมเส้นทางเมื่อมีโหนดล้มเหลว จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นการใช้ปริมาณข้อมูลสำหรับ 50 โหนด ที่มีจำนวนผู้รับข้อมูล 2, 6 และ 10 อัลกอริทึมการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เรทติ้งจะใช้ปริมาณข้อมูลในการซ่อมแซมเส้นทางน้อยกว่ากลไกแอนนิคาส เอไอดีวี นอกจากนี้ กลไกมัลติคาสและกลไกบรอดคาส มีการใช้ปริมาณข้อมูลในการซ่อมแซมเส้นทางเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของจำนวนผู้รับกลไก จากรูปที่ 4.7 แสดงค่าเฉลี่ยความล่าช้าในการซ่อมแซมเส้นทาง ซึ่งเป็นเวลาเฉลี่ยในการซ่อมแซมเส้นทาง หรือกล่าวได้คือเวลาตั้งแต่เมื่อมีโหนดล้มเหลวเกิดขึ้นแล้วดำเนินการซ่อมแซมเส้นทางเพื่อหาเส้นทางใหม่ไปยังปลายทางที่ใกล้ที่สุด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากลไกที่เราได้นำเสนอนั้นจะมีความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกอื่น ๆ ทั้งหมดสำหรับจำนวนของผู้รับข้อมูลทั้งหมด เนื่องจากว่ากลไกบรอดคาสและกลไกมัลติคาสต้องซ่อมแซมเส้นทางหลายเส้นทาง จึงทำให้มีความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางสูงกว่า ในขณะที่กลไกแอนนิคาสเส้นทางที่ถูกซ่อมแซมจะเป็นเส้นทางไปยังซิงค์ที่ใกล้ที่สุดเสมอ

จากรูปที่ 4.8 แสดงให้เห็นถึงจำนวนฮอปเฉลี่ยในแต่ละกลไกการซ่อมแซมเส้นทาง ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่ากลไกบรอดคาสมีค่าเฉลี่ยฮอปสูงที่สุด เนื่องจากโหนดที่ล้มเหลว

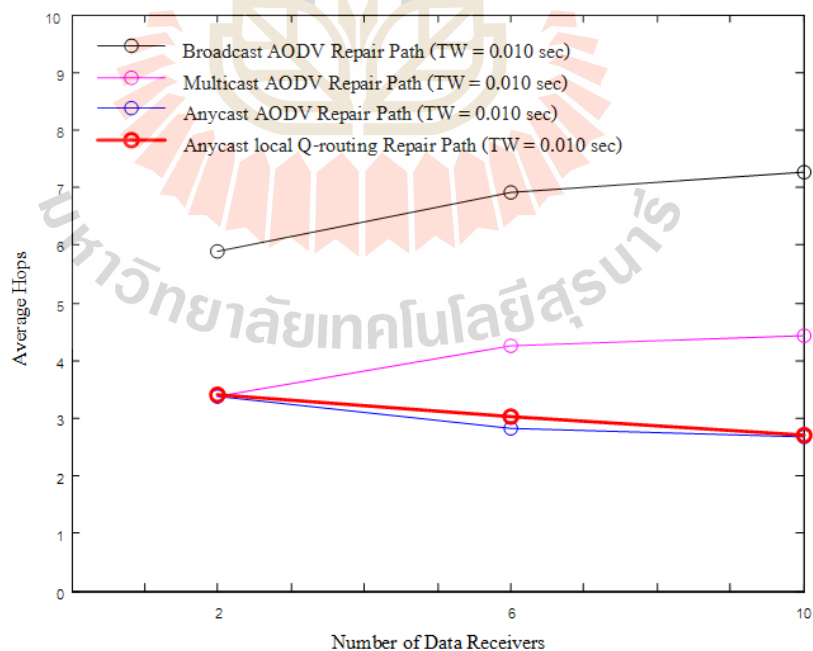
อาจถูกใช้ในหลาย ๆ เส้นทางไปยังโหนดซิงค์ ซึ่งจากจำนวนหลาย ๆ เส้นทางที่ถูกซ่อมแซมจึงส่งผลให้กลไกบรอดคาสต์มีจำนวนฮอปเฉลี่ยสูงกว่ากลไกอื่น ๆ ในทำนองเดียวกัน กลไกมัลติคาสต์ก็แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มที่มีลักษณะคล้าย ๆ กันด้วยเหตุผลเดียวกัน ส่วนกลไกที่ได้นำเสนอนั้น มีความยาวเส้นทางสูงกว่ากลไกแอนนิคาส เอโอดีวี เนื่องจากว่าในช่วงเริ่มต้นของการค้นหาเส้นทางนั้นจะมีการสุ่มเลือกการกระทำ และค่า คิว ของการเรียนรู้ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ส่วนอัตราความสำเร็จของการซ่อมแซมเส้นทางในรูปที่ 4.9 เส้นทางที่ถูกซ่อมแซมสำเร็จ ก็ต่อเมื่อโหนดที่เริ่มต้นซ่อมแซมเส้นทางได้รับข้อความ RREP ภายในระยะเวลาที่กำหนด (TW) ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากลไกที่เรานำเสนอมีอัตราความสำเร็จในการค้นหาเส้นทางดีกว่ากลไกอื่น ๆ ทั้งหมด



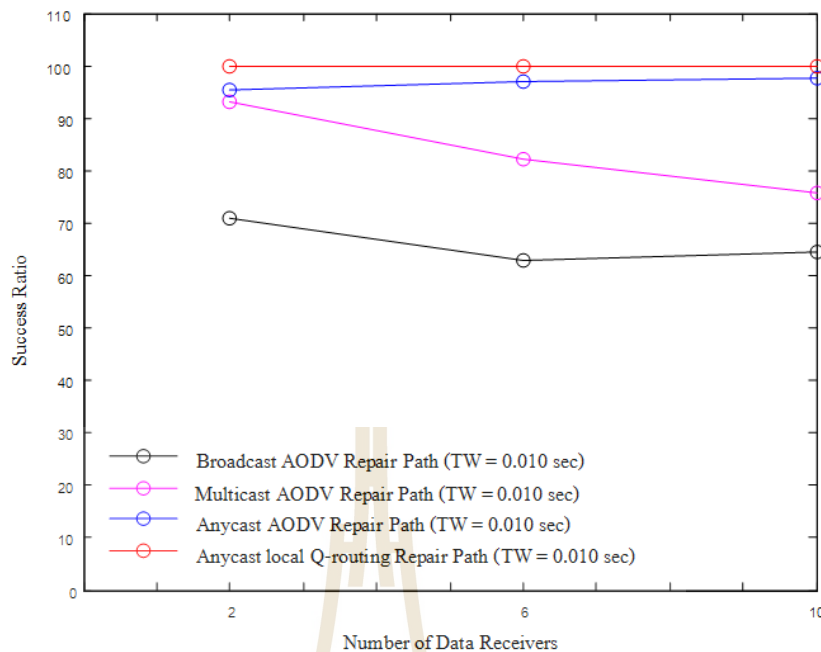
รูปที่ 4.6 ค่าเฉลี่ยการใช้ปริมาณข้อมูลของการซ่อมแซมเส้นทางในกลไกการค้นหาเส้นทางที่แตกต่างกัน



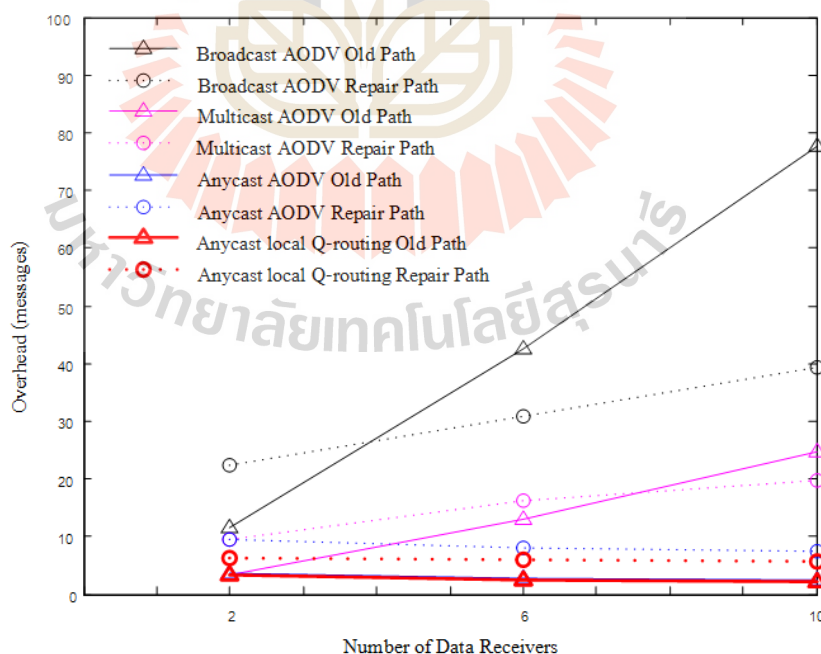
รูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยความล่าช้าการค้นหาเส้นทางของการซ่อมแซมเส้นทางในกลไกการค้นหาเส้นทางที่แตกต่างกัน



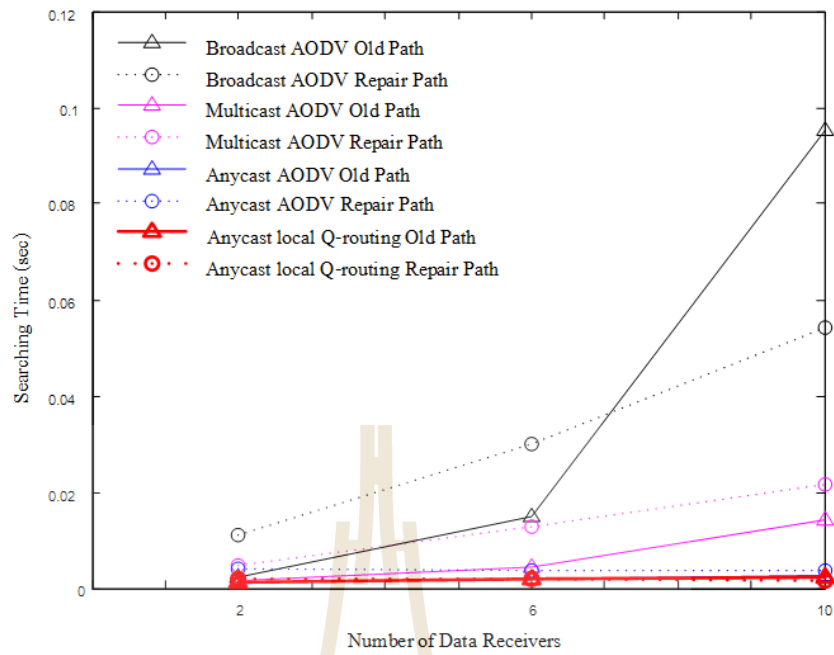
รูปที่ 4.8 ค่าเฉลี่ยความยาวเส้นทางของการซ่อมแซมเส้นทางในกลไกการค้นหาเส้นทางที่แตกต่างกัน



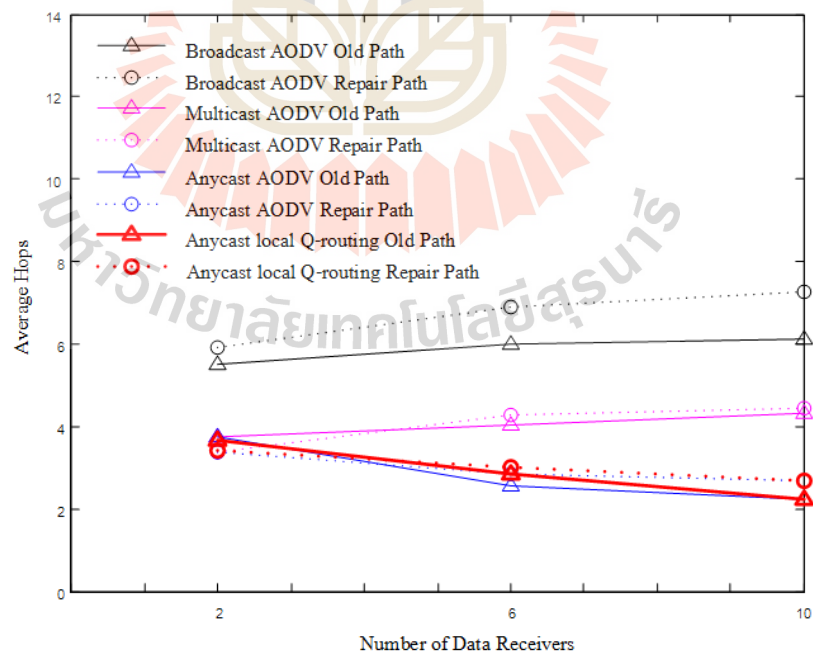
รูปที่ 4.9 อัตราความสำเร็จของการซ่อมแซมเส้นทางในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.10 ค่าเฉลี่ยการใช้ปริมาณข้อมูลของเส้นทางเดิมและเส้นทางที่ถูกซ่อมแซมในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.11 ค่าเฉลี่ยความต่ำซ้ำการค้นหาเส้นทางของเส้นทางเดิมและเส้นทางที่ถูกซ่อมแซม
ในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.12 ค่าเฉลี่ยความยาวเส้นทางของเส้นทางเดิมและเส้นทางที่ถูกซ่อมแซม
ในกลไกการหาเส้นทางที่แตกต่างกัน

4.7.3 ประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางเมื่อมีพื้นที่บดบังการค้นหาเส้นทาง

การทดลองนี้จัดทำด้วยวัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการหาเส้นทางของ กลไกการหาเส้นทางเอ โอดีวี สำหรับ โครงสร้างเครือข่ายแบบกริดเมื่อมีพื้นที่บดบังการค้นหาเส้นทางที่เกิดจากโครงสร้างทางกายภาพที่กีดขวางการค้นหาเส้นทางภายในเครือข่าย เช่น ตึกสูง ทะเลสาบ หรือบึง ซึ่งพื้นที่ที่บดบังการค้นหาเส้นทางนี้ ส่งผลให้ประสิทธิภาพสำหรับการค้นพบเส้นทางลดลง โดยการทดลองนี้ ได้ทำการปรับขยายขนาดของพื้นที่บดบังการค้นหาเส้นทางจากขนาด 9 โหนดไปจนถึง 20 โหนด เพื่อให้การค้นหาเส้นทางมีความท้าทายมากขึ้น จึงกำหนดจำนวนของซิงค์หรือจำนวนของผู้รับข้อมูลจำกัดไว้ที่ 2 ซิงค์

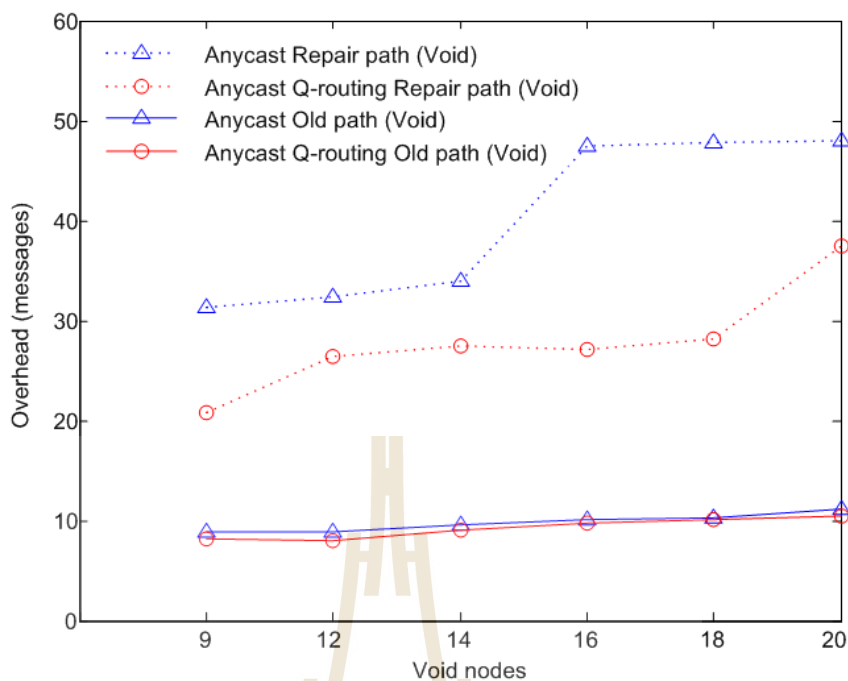
จากรูปที่ 4.13 แสดงจำนวนของการใช้ปริมาณข้อมูลสำหรับกลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เรทติ้งและกลไกแอนนิคาส เอ โอดีวี เมื่อขนาดของพื้นที่ที่บดบังการค้นหาเส้นทางเท่ากับ 9 โหนด จะสังเกตได้ว่าทั้งสองกลไกมีการใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางไม่แตกต่างกันมากนัก แต่เมื่อขนาดของพื้นที่ที่บดบังการค้นหาเส้นทางเพิ่มขึ้น จะเห็นได้ว่ากลไกที่นำเสนอ ใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกแอนนิคาส เอ โอดีวี นอกจากนี้ การใช้ปริมาณข้อมูลในการซ่อมแซมเส้นทางจะสูงกว่าก่อนที่จะมีโหนดล้มเหลวเกิดขึ้น เนื่องจากการค้นพบเส้นทางก่อนที่จะมีโหนดล้มเหลวนั้น จะต้องตรวจสอบตารางจัดเก็บเส้นทางว่ามีเส้นทางไปยังซิงค์ในตารางจัดเก็บเส้นทางหรือไม่ ถ้ามีเส้นทางไปยังซิงค์แล้วเส้นทางนั้นจึงถูกใช้ ซึ่งส่งผลให้กระบวนการการค้นหาเส้นทางให้เสร็จเร็วยิ่งขึ้น ในทางกลับกัน เมื่อมีโหนดล้มเหลวเกิดขึ้นในเครือข่าย โหนดก่อนหน้าโหนดล้มเหลวจะต้องทำการกระจายข้อความไปทั่วทั้งเครือข่ายเพื่อที่จะค้นหาเส้นทางใหม่ ซึ่งจะทำให้มีการใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางเพิ่มมากขึ้น

จากรูปที่ 4.14 แสดงค่าเฉลี่ยความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางสำหรับการค้นหาเส้นทางเมื่อมีพื้นที่ที่บดบังการค้นหาเส้นทาง ผลการทดลองสำหรับการค้นหาเส้นทางก่อนที่จะมีโหนดล้มเหลวและหลังมีโหนดล้มเหลวแสดงให้เห็นได้ว่า กลไกที่ได้นำเสนอสามารถค้นหาเส้นทางได้รวดเร็วกว่ากลไกแอนนิคาส เอ โอดีวี นอกจากนี้แล้วทั้งสองกลไกยังใช้เวลาในการค้นหาเส้นทางหลังจากที่มีโหนดล้มเหลวสูงกว่าก่อนที่จะมีโหนดล้มเหลวเกิดขึ้นในเครือข่าย เนื่องจากว่าหลังจากที่มีโหนดล้มเหลวในการค้นหาเส้นทางนั้นจะต้องใช้เวลาในการกระจายข้อความ RREQ ไปในเครือข่ายเพื่อที่จะค้นหาเส้นทางใหม่ไปยังโหนดซิงค์ที่ใกล้ที่สุด ในขณะที่ก่อนที่จะมีโหนดล้มเหลวในเครือข่าย การค้นหาเส้นทางจะต้องตรวจสอบตารางจัดเก็บเส้นทางก่อน ซึ่งจะส่งผลให้ใช้เวลาในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่าการค้นหาเส้นทางหลังจากที่มีโหนดล้มเหลว

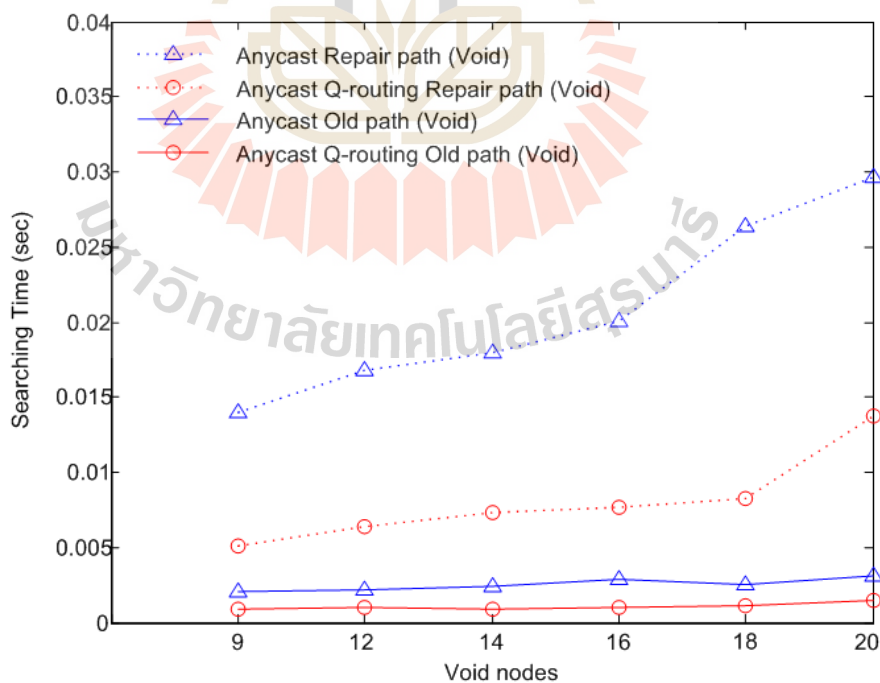
จากรูปที่ 4.15 แสดงจำนวนฮอปเฉลี่ยของกลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วยแอนนิคาส คิว เรทติ้งกับกลไกแอนนิคาส เอ โอดีวี ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อพื้นที่บดบังการค้นหา

เส้นทางมีขนาดใหญ่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เส้นทางที่ถูกค้นพบก็มีความยาวเพิ่มขึ้นเช่นกัน โดยจะเห็นได้อย่างชัดเจนเมื่อมีโหนดล้มเหลวเกิดขึ้น ความยาวของเส้นทางที่ถูกซ่อมแซมจะเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งนี้ เนื่องจากเส้นทางที่ถูกค้นพบนั้น เป็นเส้นทางที่ต้องอ้อม โดยรอบพื้นที่ที่บดบังการค้นหาลำดับเส้นทาง ซึ่งทำให้ต้องสำรวจโหนดในเครือข่ายเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อนำขนาดของพื้นที่บดบังการค้นหาลำดับเส้นทางใหญ่เพิ่มขึ้นเส้นทางที่ถูกค้นพบก็จะมีค่าความยาวเพิ่มขึ้นเช่นกัน จากผลการทดลองพบว่า กลไกที่ได้นำเสนอมีความยาวเส้นทางสั้นกว่าเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกลไกแอนนิคาส เอโอดีวี

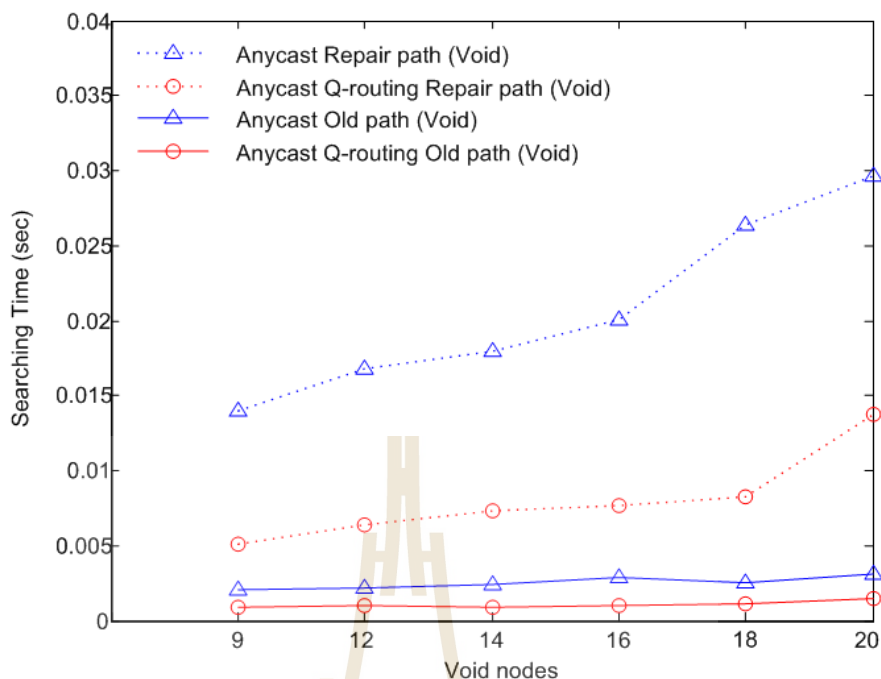
จุดอ่อนที่เห็นได้ชัดของโปรโตคอลเอโอดีวี คือมีความล่าช้าสำหรับกระบวนการค้นหาเส้นทางสูงมาก ซึ่งความล่าช้าของกระบวนการค้นหาเส้นทางจะบ่งบอกถึงจำนวนโหนดระหว่างทางที่จะมีส่วนร่วมให้การค้นหาเส้นทาง ซึ่งส่งผลให้ใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้โปรโตคอล เอโอดีวี สำหรับการเรียนรู้เส้นทางนั้นจะถูกจำกัดที่โหนดต้นทางเพียงอย่างเดียว จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้โปรโตคอล เอโอดีวี ต้องพึ่งพาการค้นหาเส้นทางโดยการกระจายข้อความไปทั่วทั้งเครือข่าย ซึ่งจะทำให้ใช้ปริมาณข้อมูลสูงในการค้นหาเส้นทาง จึงส่งผลให้เกิดปัญหาการกระจายข้อความมากเกินไปจนทำให้เสียพื้นที่หน่วยความจำและสูญเสียแบตเตอรี่สำหรับการประมวลผลได้ เนื่องจากไม่สามารถควบคุมการกระจายข้อความในเครือข่ายได้ จึงเป็นเหตุผลว่าทำไมกลไกแอนนิคาส เอโอดีวี จึงสร้างปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางมากกว่ากลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราที่ดึง ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราที่ดึง สามารถปรับตัวสำหรับการค้นหาเส้นทางเมื่อมีพื้นที่บดบังการค้นหาลำดับเส้นทางได้มากกว่ากลไกแอนนิคาส เอโอดีวี



รูปที่ 4.13 ค่าเฉลี่ยการใช้ปริมาณข้อมูลรอบ ๆ พื้นที่ที่ทับดบังการค้นหาเส้นทาง สำหรับกลไกการค้นหาเส้นทางที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.14 ค่าเฉลี่ยความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางรอบ ๆ พื้นที่ที่ทับดบังการค้นหาเส้นทาง สำหรับกลไกการค้นหาเส้นทางที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.15 ค่าเฉลี่ยความยาวเส้นทางเส้นทางรอบ ๆ พื้นที่ที่บดบังการค้นหาเส้นทาง สำหรับกลไกการค้นหาเส้นทางที่แตกต่างกัน

4.8 สรุป

ในบทนี้ ได้นำเสนอกลไกการซ่อมแซมเส้นทางเพื่อที่จะซ่อมแซมเส้นทางที่ถูกตัดการเชื่อมต่อ ซึ่งเรียกว่า กลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วยแอนนิคาส คิว เราท์ติ้ง เพื่อเพิ่มพูนนำเชื่อถือในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์ อัลกอริทึมนี้ขยายการทำงานมาจากกลไกแอนนิคาส คิว เราท์ติ้งจากบทที่ 3 โดยขยายกรอบการพิจารณาถึง โหนดที่ทำงานล้มเหลวในเครือข่าย โหนดระหว่างทางหรือโหนดก่อนหน้าโหนดล้มเหลวจะต้องรันอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอเพื่อค้นหาเส้นทางใหม่ไปยังซิงค์ที่ไกลที่สุด ผลการจำลองที่ได้ศึกษาจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ในส่วนแรกจะดำเนินการประเมินประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางก่อนที่จะมีโหนดล้มเหลวเพื่อประเมินผลการทำงานและเปรียบเทียบอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอกับกลไกแอนนิคาส กลไกมัลติคาส กลไกบรอดคาส ที่อยู่บนพื้นฐานของโปรโตคอล เอโอดีวี โดยพิจารณาในเครือข่ายที่มีจำนวน 50 โหนด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กลไกบรอดคาส และกลไกมัลติคาส ใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางสูงและมีความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางมากกว่ากลไกแอนนิคาส นอกจากนี้ กลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วยแอนนิคาส คิว เราท์ติ้ง ใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกบรอดคาส 70% ถึง 97% เมื่อเปรียบเทียบกับกลไกบรอดคาส เอโอดีวี สำหรับ 2 ซิงค์และ 10 ซิงค์ ตามลำดับ กลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราท์ติ้งจะมีการใช้ปริมาณข้อมูล

ในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกมัลติคาส 2% ถึง 92% เมื่อเปรียบเทียบกับกลไกมัลติคาส เอโอดีวี สำหรับ 2 ซิงค์และ 10 ซิงค์ ตามลำดับ กลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เรทติ้ง ใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกแอนนิคาส เอโอดีวี 8% ถึง 12% สำหรับ 2 ซิงค์และ 10 ซิงค์ ตามลำดับ ความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางและการใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางของกลไกแอนนิคาส เอโอดีวี และกลไกที่ได้นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับแล้วกลไกที่ได้นำเสนอจะมีจำนวนขอบเฉลี่ยของเส้นทางสูงขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากว่าในช่วงเริ่มต้นของการค้นหาเส้นทางจะมีกระบวนการเรียนรู้และการสำรวจเส้นทางเพื่อที่จะหาเส้นทางที่ดีที่สุด ในส่วนที่สอง จะดำเนินการประเมินประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางหลังจากที่มีโหนดล้มเหลวเพื่อประเมินผลการซ่อมแซมเส้นทาง เมื่อเส้นทางถูกตัดการเชื่อมต่อ โหนดระหว่างทางหรือโหนดที่อยู่ก่อนหน้าโหนดล้มเหลวจะดำเนินการเริ่มต้นค้นหาเส้นทาง คล้าย ๆ กับกรณีก่อนที่จะเกิดโหนดล้มเหลว ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากลไกแอนนิคาสมีการใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางและมีความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกอื่น ๆ และความยาวเส้นทางจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับกลไกที่ได้นำเสนอ กลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เรทติ้ง ใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกบรอดคาส เอโอดีวี 72% ถึง 85% สำหรับ 2 ซิงค์และ 10 ซิงค์ ตามลำดับ กลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เรทติ้ง ใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกมัลติคาส 35% ถึง 50% เมื่อเปรียบเทียบกับกลไกมัลติคาส เอโอดีวี สำหรับ 2 ซิงค์และ 10 ซิงค์ ตามลำดับ กลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เรทติ้ง ใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกแอนนิคาส เอโอดีวี 23% ถึง 35% สำหรับ 2 ซิงค์และ 10 ซิงค์ ตามลำดับ วัตถุประสงค์ของการทดลองที่สาม คือ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางของกลไกแอนนิคาสใน โครงสร้างเครือข่ายแบบกริดเมื่อมีพื้นที่ที่บังคับการค้นหาเส้นทาง ซึ่งหมายถึงสิ่งที่กีดขวางการค้นหาเส้นทางหรือสิ่งกีดขวางทางกายภาพต่าง ๆ ผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่า เมื่อขนาดพื้นที่ที่บังคับการค้นหาเส้นทางใหญ่ขึ้น กลไกแอนนิคาส เอโอดีวีและกลไกที่ได้นำเสนอนั้น มีการใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางเพิ่มขึ้นและความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางก็เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน สำหรับการทดลองในส่วนที่สามนี้ กลไกที่ได้นำเสนอใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางลดลงและมีความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกแอนนิคาส เอโอดีวี โดยใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกแอนนิคาส เอโอดีวี 22% ถึง 34% เมื่อมีพื้นที่บังคับการค้นหาเส้นทางด้วยจำนวนโหนด 20 และ 9 โหนด ตามลำดับ

บทที่ 5

สรุปผลและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

5.1 บทนำ

งานวิจัยนี้ ได้นำเสนอวิธีการหาเส้นทางที่เรียกว่า กลไกการหาเส้นทางแอนนิกาส ที่อยู่บนพื้นฐานของกระบวนการรีอินฟอร์สเมนต์ เลิร์นนิ่งสำหรับเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านชีวการแพทย์ การทดลองที่ได้ดำเนินการในงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน สำหรับการทดลองส่วนแรกในบทที่ 3 ได้ศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ที่ได้ออกแบบ และเปรียบเทียบความสามารถในการค้นหาเส้นทางกับจำนวนของผู้รับข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบกับกลไกการหาเส้นทางแอนนิกาส กลไกมัลติคาส และ กลไกบรอดคาสที่อยู่บนพื้นฐานของโพรโตคอล เอโอดีวี ด้านค่าเฉลี่ยผลรางวัลผลตอบแทน ค่าเฉลี่ยปริมาณข้อมูลที่ใช้ในการค้นหาเส้นทาง ค่าเฉลี่ยความล่าช้าในการค้นหาเส้นทาง และการทดลองส่วนที่ 2 ในบทที่ 4 ได้ดำเนินการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางไปยังหลาย ๆ ซิงค์ และศึกษาประสิทธิภาพการซ่อมแซมเส้นทางในกรณีเมื่อมีโหนดล้มเหลว รวมถึงประสิทธิภาพในการค้นหาเส้นทางเมื่อมีพื้นที่บดบังการค้นหาเส้นทาง ผลงานวิจัยในงานวิจัยฉบับนี้สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 บทที่ 3: การหาเส้นทางแอนนิกาส คิว เราทิ่ง ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายสำหรับการตรวจสอบสุขภาพ

วัตถุประสงค์ของบทนี้ เพื่อแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมแอนนิกาส คิว เราทิ่งสามารถเพิ่มความน่าเชื่อถือของการส่งข้อมูล แม้จะใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางที่จำกัด และความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับกลไกแอนนิกาส กลไกมัลติคาส และกลไกบรอดคาส ที่อยู่บนพื้นฐานของโพรโตคอล เอโอดีวี

ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีการที่ได้นำเสนอคือ กลไกแอนนิกาส คิว เราทิ่ง เพื่อศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ที่ได้ออกแบบนั้นแสดงให้เห็นว่า พารามิเตอร์การสำรวจ (ϵ) จะส่งผลกระทบต่อทางเลือกของการเลือกโหนดถัดไป ซึ่งพารามิเตอร์การสำรวจที่ดีที่สุดเท่ากับ 0.9 แต่อัตราการเรียนรู้ (α) และปัจจัยส่วนลด (γ) ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยผลรางวัลผลตอบแทน นอกจากนี้ เมื่อได้ถ่วงน้ำหนักค่าเฉลี่ยรางวัลผลตอบแทน ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าไม่มีผลกระทบต่อทางเลือกโหนดถัดไปของตัวแทนเอเจนต์ ผลการทดลองที่ได้ศึกษาประสิทธิภาพการหาเส้นทางไปยังหลาย ๆ ผู้รับในเครือข่าย แสดงให้เห็นว่าในเครือข่ายที่มีจำนวนโหนด 30 และ 50 โหนด ที่มี 2, 6 และ 10 ซิงค์ กลไกที่ได้นำเสนอมีการใช้ปริมาณข้อมูลในการหาเส้นทางน้อยกว่า

กลไกบรอดคาส เอโอดีวี 79% ถึง 99% และ 82% ถึง 97% ในเครือข่ายที่มีจำนวนโหนด 30 และ 50 โหนด ตามลำดับ กลไกแอนนิคาส คิว เราท์ติ้งใช้ปริมาณข้อมูลในการหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกมัลติคาส เอโอดีวี 57% ถึง 98% และ 65% ถึง 95% ในเครือข่ายที่มีจำนวนโหนด 30 และ 50 โหนด ตามลำดับ กลไกแอนนิคาส คิว เราท์ติ้งแสดงให้เห็นว่ามีการใช้ปริมาณข้อมูลในการหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกแอนนิคาส เอโอดีวี 57% ถึง 90% และ 65% ถึง 75% ในเครือข่ายที่มีจำนวนโหนด 30 และ 50 โหนด ตามลำดับ สำหรับความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางของกลไกมัลติคาส และกลไกบรอดคาสที่อยู่บนพื้นฐานของโปรโตคอลเอโอดีวี จะมีความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางสูงมาก เนื่องจากเส้นทางที่ถูกค้นพบมีหลายเส้นทางที่ใช้ส่งข้อมูลไปยังหลาย ๆ ซิงค์ กลไกบรอดคาส และกลไกมัลติคาสจะมีความยาวเส้นทางมากกว่ากลไกแอนนิคาส เนื่องจากว่ามีความหลากหลายของเส้นทางสูงกว่ากลไกแอนนิคาส นอกจากนี้แล้ว กลไกแอนนิคาส คิวเราท์ติ้ง และกลไกแอนนิคาส เอโอดีวีเมื่อเปรียบเทียบกันแล้วแสดงให้เห็นว่ามีความยาวเส้นทางใกล้เคียงกัน เนื่องจากว่าซิงค์ที่ใกล้ที่สุดเครือข่ายจะถูกเลือกเสมอ

5.1.2 บทที่ 4: การซ่อมแซมเส้นทางเดิมโดยใช้กลไกการค้นหาเส้นทาง แอนนิคาส คิว เราท์ติ้ง

วัตถุประสงค์ของบทนี้คือ เพื่อแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมการซ่อมแซมเส้นทางเดิมโดยใช้กลไกการค้นหาเส้นทางแอนนิคาส คิว เราท์ติ้ง สามารถหาเส้นทางไปยังหลาย ๆ ซิงค์ได้ และสามารถซ่อมแซมเส้นทางเนื่องจากโหนดล้มเหลวได้

ความสำคัญสำหรับงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นการนำเสนอวิธีการที่จะเพิ่มความน่าเชื่อถือของการส่งข้อมูลและเพื่อให้แน่ใจได้ว่า ข้อมูลถูกส่ง ไปยังซิงค์หรือศูนย์การแพทย์ เพื่อที่จะตอบสนองต่อสถานการณ์จริงมากขึ้น ในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายทางด้านการแพทย์ จึงได้กำหนดอายุของตารางที่ใช้จัดเก็บเส้นทางในเครือข่ายและกำหนดระยะเวลาที่ข้อความ RREP จะตอบกลับโหนดที่เริ่มต้นซ่อมแซมเส้นทางหรือ TW รวมถึงศึกษาประสิทธิภาพการซ่อมแซมเส้นทางในกรณีเมื่อมีโหนดล้มเหลวในเครือข่าย และศึกษาประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางเมื่อมีพื้นที่บดบังการค้นหาเส้นทางในเครือข่าย การทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังต่อไปนี้ ในส่วนแรก ได้ดำเนินการประเมินประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางก่อนที่จะมีโหนดล้มเหลวเมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอ กับกลไกแอนนิคาส กลไกมัลติคาส กลไกบรอดคาส ที่อยู่บนพื้นฐานของโปรโตคอล เอโอดีวี สำหรับเครือข่ายที่มีจำนวน 50 โหนด ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กลไกบรอดคาส และกลไกมัลติคาสใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางสูงและมีความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางมากกว่ากลไกแอนนิคาส กลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราท์ติ้งนั้นใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกบรอดคาส เอโอดีวี 70% ถึง 97% สำหรับ 2 ซิงค์และ 10 ซิงค์

ตามลำดับ กลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราที่ตั้งใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกมัลติคาส เอโอดีวี 2% ถึง 92% สำหรับ 2 ซิงค์ และ 10 ซิงค์ ตามลำดับ กลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราที่ตั้งใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกแอนนิคาส เอโอดีวี 8% ถึง 12% สำหรับ 2 ซิงค์และ 10 ซิงค์ ตามลำดับ ในส่วนที่สอง ได้ดำเนินการประเมินประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางภายหลังจากที่มีโหนดล้มเหลวเพื่อประเมินผลการซ่อมแซมเส้นทาง ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า กลไกแอนนิคาสมีการใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางและมีความล่าช้าในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกอื่น ๆ อีกทั้งความยาวเส้นทางจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยสำหรับกลไกที่เราได้นำเสนอ กลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราที่ตั้งแสดงให้เห็นได้ว่าจะใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไก บรอดคาส เอโอดีวี 72% ถึง 85% สำหรับ 2 ซิงค์และ 10 ซิงค์ ตามลำดับ กลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราที่ตั้งใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกมัลติคาส เอโอดีวี 35% ถึง 50% สำหรับ 2 ซิงค์และ 10 ซิงค์ ตามลำดับ กลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราที่ตั้งใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกแอนนิคาส เอโอดีวี 23% ถึง 35% สำหรับ 2 ซิงค์และ 10 ซิงค์ ตามลำดับ ในส่วนที่สามของการทดลองนี้ จะดำเนินการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางของกลไกแอนนิคาสใน โครงสร้างเครือข่ายแบบกริดเมื่อมีพื้นที่ที่บดบังการค้นหาเส้นทาง ซึ่งแทนสิ่งที่กีดขวางการค้นหาเส้นทางหรือสิ่งกีดขวางทางภาพต่าง ๆ ผลการทดลองแสดงให้เห็นได้ว่า กลไกการซ่อมแซมเส้นทางเดิมด้วย แอนนิคาส คิว เราที่ตั้งมีการใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางน้อยกว่ากลไกแอนนิคาส เอโอดีวี 22% ถึง 34% เมื่อมีพื้นที่บดบังการค้นหาเส้นทางด้วยจำนวน โหนด 20 และ 9 โหนด ตามลำดับ

5.2 แนวทางการพัฒนาในอนาคต

5.2.1 โหนดเคลื่อนที่

แนวทางการพัฒนาที่เป็นไปได้คือ การหาเส้นทางไปยังหลาย ๆ ซิงค์ เมื่อโหนดสามารถเคลื่อนที่ได้ตลอดทั่วทั้งเครือข่าย ซึ่งสามารถศึกษาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่าง ๆ เช่น อัตราการเรียนรู้ (α) ปัจจัยส่วนลด (γ) และ พารามิเตอร์การสำรวจ (ϵ) เพื่อประเมินประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางของกลไกแอนนิคาส คิว เราที่ตั้ง

5.2.2 การซ่อมแซมเส้นทางเมื่อมีโหนดเคลื่อนที่อยู่ในเครือข่าย

สำหรับการใช้งานจริงของเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายซึ่งอาจจะมีบางโหนดที่เสียหายหรือเกิดความล้มเหลวได้ ปัญหาดังกล่าวนี้ จะส่งผลกระทบต่อโดยตรงในการค้นหาเส้นทาง ดังนั้นจึงต้องมี

กระบวนการซ่อมแซมเส้นทางเพื่อที่จะส่งมอบข้อมูลไปยังปลายทางที่ไกลที่สุดในเครือข่าย และประเมินประสิทธิภาพการซ่อมแซมเส้นทางในแง่ของ การใช้ปริมาณข้อมูล ความล่าช้าในการค้นหาเส้นทาง และอัตราความสำเร็จ โดยใช้กลไกแอนนิกาส คิวเราท์ติ้ง สำหรับการตรวจสอบ

5.2.3 การใช้พลังงาน

การใช้พลังงานในเครือข่ายเซ็นเซอร์ไร้สายเป็นปัจจัยสำคัญในการทำงานด้านต่าง ๆ ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญที่จะเป็นแนวทางการพัฒนาในอนาคต ดังนั้นเราจึงควรที่จะศึกษาวิธีการจัดการเกี่ยวกับการใช้พลังงานสำหรับกลไกแอนนิกาส คิวเราท์ติ้ง



รายการอ้างอิง

- Azzuhri, S. R., Portmann, M., and Tan, W. L. (2010). Evaluation of Parameterised Route Repair in AODV. **IEEE International Conference on Signal Processing and Communication Systems**, pp: 1-7.
- Baldus, H., Klabunde, K., and Musch, G. (2004). Reliable Set-Up of Medical Body-Sensor Networks. **Wireless Sensor Networks Lecture Notes in Computer Science**, vol. 2920, pp: 353-363.
- Balaganesh, R., and Velmathi, G. (2012). Design and Development of a Health Monitoring Systems Based on Mobile Node. **IEEE International Conference on Radar, Communication and Computing**, pp: 14-17.
- Bhorkar, A. A., Naghshvar, M., Javidi, T., and Rao, B. D. (2012). Adaptive Opportunistic Routing for Wireless Ad Hoc Networks. **IEEE ACM Transactions on Networking**, vol. 20, no. 1, pp: 243-256.
- Bian, F., Govindan, R., Li, X., and Schenker, S. (2004). Using Hierarchical Location Names for Scalable Routing and Rendezvous in Wireless Sensor Networks. **Proceedings International Conference on Embedded Networked Sensor Systems**, pp: 305-306.
- Boyan, J. A., and Littman, M. L. (1994). Packet Routing in Dynamically Changing Networks: A Reinforcement Learning Approach. **Advances in Neural Information Processing Systems**, pp: 671-678.

- Chang, B. J., Lin, Y. M., and Liang, S. C. (2005). On the Reliability and Utilization Enhancement for Local Repair in On Demand Ad Hoc Networks. **IEEE Global Telecommunications Conference**, vol. 5, pp: 2445-2449.
- Chuang, P. J., Yen, P. H., and Chu, T. Y. (2012). Efficient Route Discovery and Repair in Mobile Ad-hoc Networks. **IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications**, pp: 391-398.
- Chen, S. K., Kao, T., Chan, C. T., Huang, C. N., Chiang, C. Y., Lai, C. Y., Tung, T. H., and Wang, P. C. (2012). A Reliable Transmission Protocol for ZigBee-based Wireless Patient Monitoring. **IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine**, vol. 16, no. 1, pp: 6-16.
- Chiang, C. T., Lin, C. J., Fu, T. Y., and Pai, L. F. (2013). Greedy Geographical Void Routing for Wireless Sensor Networks. **World Academy of Science, Engineering and Technology International Scholarly and Scientific Research and Innovation**, vol. 7, no. 6, pp: 1269-1277.
- Cypher, D., Chevrollier, N., Montavont, N., and Golmie, N. (2006). Prevailing Over Wires in Healthcare Environments: Benefits and Challenges. **IEEE Communications Magazine**, vol. 4, no. 4, pp: 56-63.
- Deville, M., Borgne, Y. L., and Schender, S. (2004). Reinforcement Learning for Energy Efficient Routing in Wireless Sensor Networks. **Computational Modeling Lab, Vrije Universiteit Brussel**
- Farahnakian, F., Ebrahimi, M., and Daneshtalab, M. (2011). Q-learning based Congestion-aware Routing Algorithm for On-Chip Network. **IEEE International Conference on Networked Embedded Systems for Enterprise Applications**, pp: 1-7.
- Forster, A., and Murphy, A. (2007). FROMS: Feedback Routing for Optimizing Multiple Sinks in WSN with Reinforcement Learning. **IEEE International on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information**, pp: 371-376.
- Gao, D., Qian, H., Wang, Z., and Chen, J. (2011). Study and Design an Anycast Routing Protocol for Wireless Sensor Networks. **Journal of Networks**, vol. 6, no. 12, pp: 1726-1733.

- Gurav, A. A., and Nene, M. J. (2013). Multiple Optimal Path Identification using Ant Colony Optimization in Wireless Sensor Network. **International Journal of Wireless & Mobile Networks**, vol. 5, no. 5, pp: 119-128.
- Heinzelman, W. R., Chandrakasan, A., and Balakrishnan, H. (2000). HAR: Hierarchy-Based Anycast Routing Protocol for Wireless Sensor Networks. **International Conference on System Sciences**, pp: 4-7.
- He, T., Stankovic, A., Lu, C., and Abdelzaher, T. F. (2012). Study and Design an Anycast Routing Protocol for Wireless Sensor Networks. **IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems**, vol. 16, no. 10, pp: 995-1006.
- Hwang, S. F., Lin, H. H., and Dow, C. R. (2012). An Energy-Efficient Routing Protocol in Wireless Sensor Networks with Holes. **IEEE International Conference on Ubiquitous and Future Networks**, pp: 17-22.
- Jovanov, E., O'Donnell, A., Morgan, A., Priddy, B., and Hormigo, R. (2002). Prolonged Telemetric Monitoring of Heart Rate Variability using Wireless Intelligent Sensors and a Mobile Gateway. **IEEE Proceedings of the Second Joint EMBS/BMES Conference**, vol. 3, pp: 1875-1876.
- Jovanov, E., Poon, C., Yang, G. Z., and Zhang, Y. T. (2009). Guest Editorial Body Sensor Networks: From Theory to Emerging Applications. **IEEE Transactions Information Technology in Biomedicine**, vol. 13, no. 6, pp: 859-863.
- Khianjoom, S., and Usaha, W. (2014). Anycast Q-routing in Wireless Sensor Networks for Healthcare Monitoring. **IEEE International Conference on Electrical Engineering Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology**, pp. 1-6.
- Kim, J., Lin, X., Shroff, N. B., and Sinha P. (2010). Minimizing Delay and Maximizing Lifetime for Wireless Sensor Networks with Anycast. **IEEE ACM Transactions on Networking**, vol. 18, no. 2, pp: 515-528.
- Kumar, P., Lee, S. G., and Lee, H. J. (2011). A User Authentication for Healthcare Application using Wireless Medical Sensor Networks. **IEEE High Performance Computing and Communications**, pp: 647-652.

- Liang, X., Balasingham, I., and Byun, S. S. (2008a). A Multi-agent Reinforcement Learning based Routing Protocol for Wireless Sensor Networks. **IEEE International Symposium Wireless Communication Systems**, pp: 552-557.
- Liang, X., Balasingham, I., and Byun, S. S. (2008b). A Reinforcement Learning Based Routing Protocol with QoS Support for Biomedical Sensor Networks. **IEEE International Symposium Applied Sciences on Biomedical and Communication Technologies**, pp: 1-5.
- Lo, B. F., and Akyildiz, I. F. (2010). Reinforcement Learning-based Cooperative Sensing in Cognitive Radio Ad Hoc Networks. **IEEE International Conference on Personal Indoor and Mobile Radio Communications**, pp: 2244-2249.
- Manfredi, S. (2012). Reliable and Energy-Efficient Cooperative Routing Algorithm for Wireless Monitoring Systems. **IET Wireless Sensor Systems**, vol. 2, no. 2 pp: 128-135.
- Maalej, M., Cherif, S., and Besbes, H. (2013). QoS and Energy Aware Cooperative Routing Protocol for Wildfire Monitoring Wireless Sensor Networks. **The ScientificWorld Journal**, vol. 2013.
- Mingyuan, W., Ting, Y., and Haichao, Z. (2006). A Data-Centre Fast Rerouting Based on Anycast Routing in Wireless Self-Organized Sensor Networks. **IEEE International Conference Proceedings on Mechatronics and Automation**, pp. 1942-1946.
- Momen, A. M. A., Hamza, H. S., and Saroit, I. A. (2010). New Attacks and Efficient Countermeasures for Multicast AODV. **IEEE High-Capacity Optical Networks and Enabling Technologies**, pp: 51-57.
- Naputta, Y., and Usaha, W. (2012). RL-based Routing in Biomedical Mobile Wireless Sensor Networks using Trust and Reputation. **IEEE International Symposium Wireless Communication Systems**, pp: 521-525.
- Nagarajan, V. (2010). Study and Design an Anycast Routing Protocol for Wireless Sensor Networks. **International Journal of Engineering, Science and Technology**, vol. 2, no. 5, pp: 878-885.

- Nancy, E. R., Alexandre, G., and Michel, M. (2010). Routing Protocol for Anycast Communications in a Wireless Sensor Network. **International Federation for Information Processing**, pp: 291-302.
- Oddi, G., Macone, D., Pietrabissa, A., and Liberati, F. (2012). A Proactive Link-Failure Resilient Routing Protocol for MANETs based on Reinforcement Learning. **IEEE International Mediterranean Conference on Control and Automation**, pp: 1259 – 1264.
- Oddi, G., Pietrabissa, A., and Liberati, F. (2014). Energy balancing in multi-hop Wireless Sensor Networks: an approach based on reinforcement learning. **IEEE International Conference on Adaptive Hardware and Systems**, pp: 262-269.
- Ouzecki, D., and Jevtic, D. (2010). Reinforcement Learning as Adaptive Network Routing of Mobile Agents. **IEEE Proceedings International Convention on MIPRO**, pp: 479-484.
- Rachkidy, N. E., Guitton, A., and Misson, M. (2010). Routing Protocol for Anycast Communications in a Wireless Sensor Network. **International Federation for Information Processing**, pp: 291-302.
- Royer, E. M., and Perkins, C. E. (2002). Transmission Range Effects on AODV Multicast Communication. **Mobile Networks and Applications**, vol. 7, no. 6, pp. 455-470.
- Sakthi, P. A., and Sukanesh, R. (2014). A Reliable and Fast Routing Data Transmission Protocol for Wi-Fi Based Real-Time Patient Monitoring System. **IEEE International Conference on Electronics and Communication Systems**, pp: 1-5.
- Shin, K. Y., Song, J., Kim J., Yu, M., and Mah, P. S. (2007). REAR: Reliable Energy Aware Routing Protocol for Wireless Sensor Networks. **IEEE International Conference on Advanced Communication Technology**, vol. 1, pp: 523-530.
- Stankovic, A. J. (2006). Wireless Sensor Networks. **Department of Computer Science University of Virginia**.
- Sutton, R., Barto, A. (1998). **Reinforcement Learning: An Introduction (Adaptive Computation and Machine Learning)**: The MIT Press.
- Thepvilojanapong, N., Tobe, Y., and Sezaki, K. (2005). Study and Design an Anycast Routing Protocol for Wireless Sensor Networks. **Proceedings of the Symposium on Applications and the Internet**, pp: 204-212.

- Tong, T., Thang, W., Peng, L. M., Xie, R., Yang, W. H., and Kim, Y. C. (2010). A Node-Grade based AODV Routing Protocol for Wireless Sensor Network. **IEEE International Conference on Networks Security Wireless Communications and Trusted Computing**, vol. 2, pp: 180-183.
- Varshney, U. (2006). Managing Wireless Health Monitoring for Patients with Disabilities. **IEEE Journal and Magazines**, vol. 8, no. 6, pp: 12-16.
- Varshney, U., and Sneha, S. (2006). Patient Monitoring Using Ad Hoc Wireless Networks: Reliability and Power Management. **IEEE Communication Magazines**, vol. 44, no. 4, pp: 49-55.
- Varshney, U. (2006). Enhancing wireless patient monitoring by integrating stored and live patient information. **IEEE International Symposium on Computer-Based Medical Systems**, pp. 501-506.
- Varshney, U. (2008). Improving Wireless Health Monitoring Using Incentive-Based Router Cooperation. **IET Wireless Sensor Systems**, vol. 41, no. 5, pp: 56-62.
- Watkins, C. (1989). **Learning from Delayed Rewards**. University of Cambridge, England.
- Wang, J., Zheng, Y., and Jia, W. (2003). An AODV-Based Anycast Protocol in Mobile Ad Hoc Network. **IEEE Proceedings on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication Proceedings**, vol. 1, pp: 221-225.
- Wang, P., and Wang, T. (2006). A Proactive Link-Failure Resilient Routing Protocol for MANETs based on Reinforcement Learning. **IEEE International Conference on Computer and Information Technology**, pp. 1259-1264.
- Yahiaoui, S., Omar, M., Bouabdallah, A., and Challal, Y. (2014). Multi-Actuators based Anycast Routing Protocol for Wireless Sensor and Actuator Networks. **IEEE International Conference on Advanced Networking Distributed Systems and Applications**, pp. 31-34.
- Yick, J., Mukherjee B., and Ghosal, D. (2008). Wireless Sensor Network Survey. **Journal of Computer Networks**, vol. 52, no. 12, pp: 2292-2330.
- You, J., Lieckfeldt, D., Reichenbach, F., and Timmermann, D. (2009). Context-aware Geographic Routing for Sensor Networks with Routing Holes. **IEEE International Conference on Wireless Communications and Networking**, pp: 1-6.

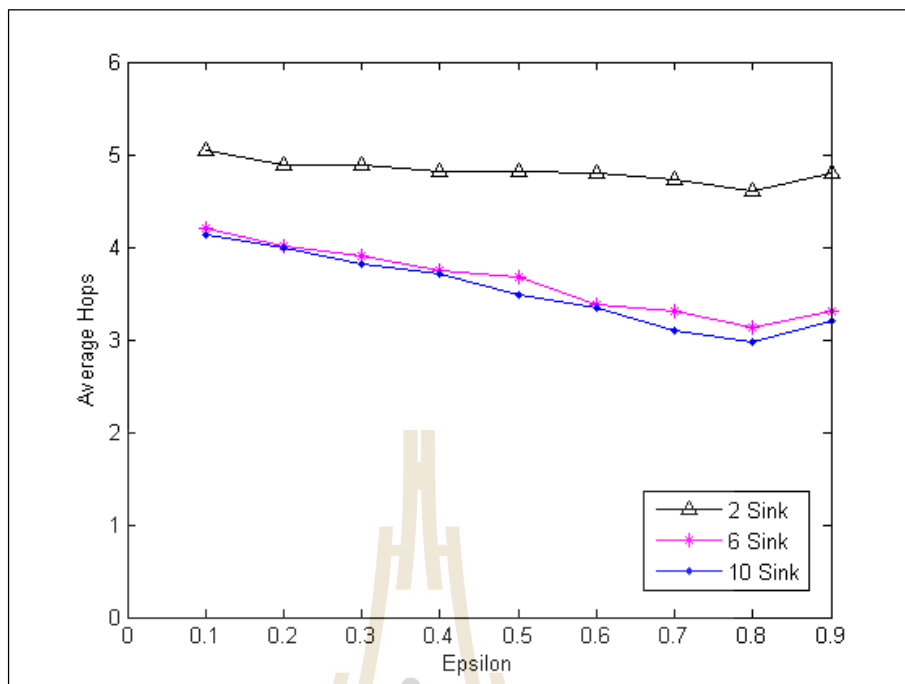
- Zhao, L., Kan, B., Xu, Y., Li, X. (2007). FT-SPEED: A Fault-Tolerant, Real-Time Routing Protocol for Wireless Sensor Networks. **IEEE International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Shanghai**, pp: 2531-2534.
- Zhang, K., Li, Y., Xliao, W., and Suh, H. (2008). The Application of a Wireless Sensor Network Design Based on ZigBee in Petrochemical Industry Field. **IEEE Intelligent Networks and Intelligent Systems**, pp: 284-287.
- Zhang, D. and Dong, E. (2015). A Virtual Coordinate Based Bypassing Void Routing for Wireless Sensor Networks. **IEEE Sensors Journal**, vol. 15, no. 7, pp: 3853-3862.



ภาคผนวก ก

รูปภาพสำหรับพารามิเตอร์และรูปแบบของพื้นที่ที่ทับคั้งการค้นหาเส้นทาง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



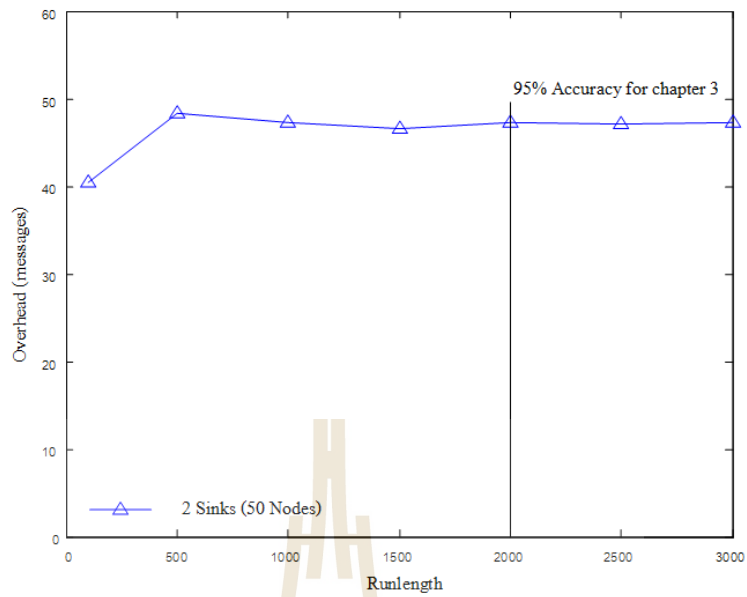
รูปที่ ก.1 ค่าเฉลี่ยฮอปสำหรับพารามิเตอร์ (ϵ) 2 ซิงค์ 6 ซิงค์ และ 10 ซิงค์

ตาราง ก.1 รูปแบบของพื้นที่ที่ทับซ้อนการค้นหาเส้นทางสำหรับ 9 โหนด 12 โหนด และ 14 โหนด

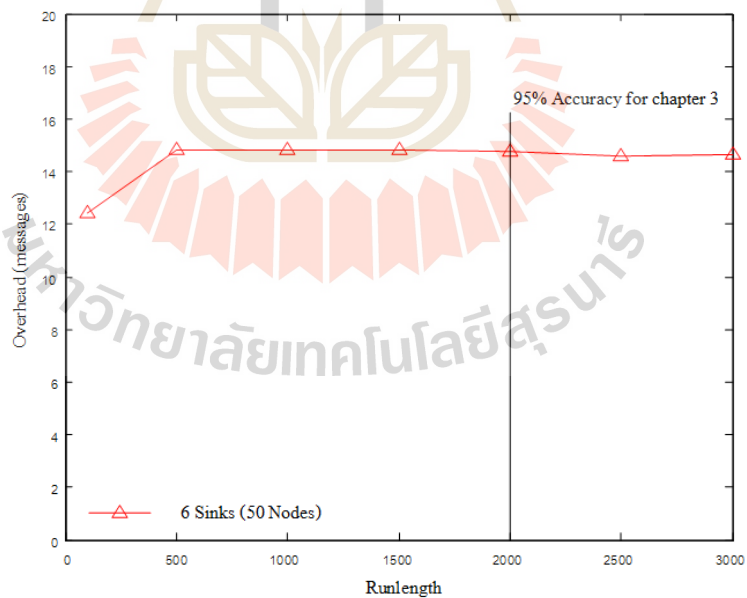
จำนวนโหนดที่ทับซ้อน การค้นหาเส้นทาง	โครงสร้างเครือข่ายสำหรับ 2 ซิงค์						
9	21	24	23	46	9	7	38
	13	39	45	51	25	48	16
	5	27	50	10	42	47	33
	20	49	2	28	40	3	44
	52	11	32	26	30	8	19
	15	29	36	37	43	18	41
	4	22	35	31	1	17	6
			12	34	14		
2	21	24	23	46	9	7	38
	13	39	45	51	25	48	16
	5	27	50	10	42	47	33
	20	49	2	28	40	3	44
	52	11	32	26	30	8	19
	15	29	36	37	43	18	41
	4	22	35	31	1	17	6
			12	34	14		
14	21	24	23	46	9	7	38
	13	39	45	51	25	48	16
	5	27	50	10	42	47	33
	20	49	2	28	40	3	44
	52	11	32	26	30	8	19
	15	29	36	37	43	18	41
	4	22	35	31	1	17	6
			12	34	14		

ตาราง ก.2 รูปแบบของพื้นที่ที่ทับซ้อนการค้นหาเส้นทางสำหรับ 16 โหนด 18 โหนด และ 20 โหนด

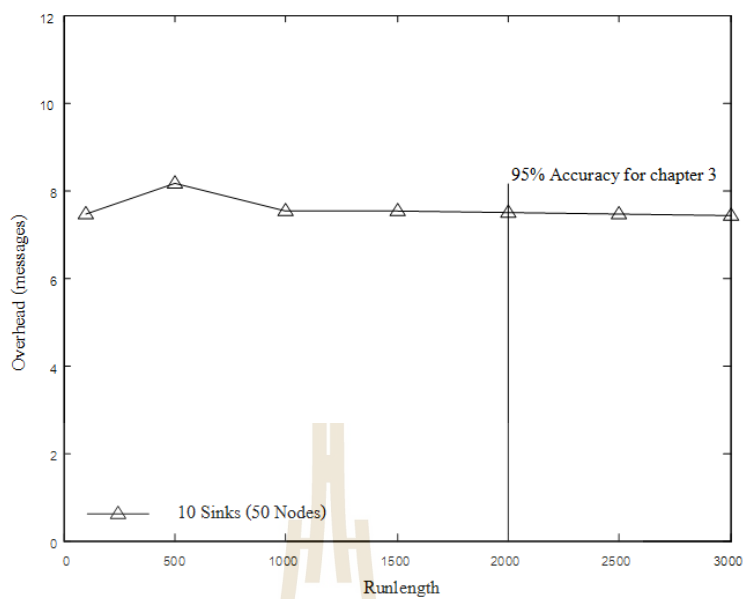
จำนวนโหนดที่ทับซ้อน การค้นหาเส้นทาง	โครงสร้างเครือข่ายสำหรับ 2 ซิงค์						
16	21	24	23	46	9	7	38
	13	39	45	51	25	48	16
	5	27	50	10	42	47	33
	20	49	2	28	40	3	44
	52	11	32	26	30	8	19
	15	29	36	37	43	18	41
	4	22	35	31	1	17	6
			12	34	14		
18	21	24	23	46	9	7	38
	13	39	45	51	25	48	16
	5	27	50	10	42	47	33
	20	49	2	28	40	3	44
	52	11	32	26	30	8	19
	15	29	36	37	43	18	41
	4	22	35	31	1	17	6
			12	34	14		
20	21	24	23	46	9	7	38
	13	39	45	51	25	48	16
	5	27	50	10	42	47	33
	20	49	2	28	40	3	44
	52	11	32	26	30	8	19
	15	29	36	37	43	18	41
	4	22	35	31	1	17	6
			12	34	14		



รูปที่ ก.2 ความถูกต้องของข้อมูล 95% ในแง่ของการใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางสำหรับจำนวนครั้งที่รันของ 2 ซิงค์ (50 โหนด)



รูปที่ ก.3 ความถูกต้องของข้อมูล 95% ในแง่ของการใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางสำหรับจำนวนครั้งที่รันของ 6 ซิงค์ (50 โหนด)



รูปที่ ก.4 ความถูกต้องของข้อมูล 95% ในแง่ของการใช้ปริมาณข้อมูลในการค้นหาเส้นทางสำหรับจำนวนครั้งที่รันของ 10 ซิงค์ (50 โหนด)



รายชื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในระหว่างศึกษา

Khianjoom, S., and Usaha, W. (2014). **Anycast Q-routing in Wireless Sensor Networks for Healthcare Monitoring.** IEEE International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), Nakhon Ratchasima, May 2014.

Naputta, Y., and Usaha, W. (2012). **RL-based Routing in Biomedical Mobile Wireless Sensor Networks using Trust and Reputation.** Wireless Communication Systems (ISWCS), 2012 International Symposium on, Paris, August 2012.

Rittong, C., Usaha, W., **Improving Router Cooperation in Mobile Wireless Sensor Networks using Reinforcement Learning,** IFIP 9th International Conference on Embedded and Ubiquitous Computing (EUC '11), Melbourne Australia, October 2011.

ประวัติผู้วิจัย

วิภาวี หัตถกรรม จบการศึกษาระดับปริญญาตรี ด้วย B.Eng (Hons) ด้านวิศวกรรมไฟฟ้า (สื่อสาร) จากสถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ระดับปริญญาโท M.Sc. และ ปริญญาเอก Ph.D. ด้าน Communication and Signal Processing จาก Department of Electrical and Electronic Engineering, Imperial College London ประเทศอังกฤษ ปัจจุบัน ดำรงตำแหน่งเป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำสาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี 111 ถนนมหาวิทยาลัย อำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา 30000 โทร. (044)224392 โทรสาร (044) 224603

