



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง โพรโทคอลจัดการการทำงานตัวรับรู้อย่างเหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับ
เครือข่ายตัวรับรูไร้สายแบบกลุ่ม

An Energy-Efficient Sensor Utilization Protocol for a Cluster-Based Wireless Sensor
Network

นามผู้วิจัย นางสาวนิรมล พันธุ์แสนทวีกุล

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีรสิทธิ์ เกษตรเกษม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์วัชร จงบุรี, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

โปรโตคอลจัดการการทำงานตัวรับรู้อย่างเหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับ
เครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายแบบกลุ่ม

An Energy-Efficient Sensor Utilization Protocol for a Cluster-Based Wireless Sensor Network

โดย

นางสาวนิรมล พันธุ์แสนทวิกุล

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2554

นิรมล พันธุ์แสนทวิกุล 2554: โพรโตคอลจัดการการทำงานตัวรับรู้ที่เหมาะสมเพื่อ
ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายแบบกลุ่ม ปริญญาวิศวกรรม
ศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีรสิทธิ์ เกษตรเกษม, Ph.D.
73 หน้า

ปัญหาสำคัญสำหรับเทคโนโลยีเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย (Wireless sensor networks) คือ
การทำให้ระบบมีประสิทธิภาพทางด้านการใช้พลังงานและมีอายุการใช้งานที่ยืนยาว โดยอาศัยการ
ออกแบบวิธีการส่งข้อมูล (Routing) และการจัดการบริหารการทำงานของตัวรับรู้ (Sensor) อย่าง
เหมาะสม โดยมีจุดมุ่งหมายให้ระบบมีการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานอย่างประหยัด และทำให้
ระบบมีอายุการใช้งานที่ยืนยาว

ผู้เขียนจึงได้พัฒนางานวิจัยชิ้นนี้ขึ้นเพื่อเป็นวิธีการทำออกแบบวิธีการบริหารจัดการการใช้
งานตัวรับรู้ภายในระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย ให้ระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายมีอายุการใช้งานที่
ยืนยาวและมีการใช้พลังงานที่ประหยัดและสม่ำเสมอ โดยการออกแบบขั้นตอนวิธีที่อาศัยหลักการ
สร้างเส้นทางสื่อสารแบบลำดับขั้นหรือครีเตอร์ ทำให้ระบบลดจำนวนข้อมูลที่ต้องทำการส่ง
โดยตัวรับรู้แต่ละตัว และงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการบริหารจัดการการใช้งานตัวรับรู้โดยให้ตัว
รับรู้ภายในเครือข่ายสลับเปลี่ยนกันทำงานในการตรวจสอบเหตุการณ์ การที่ตัวรับรู้ไม่ต้อง
ทำงานพร้อมกันทุกตัวสามารถประหยัดพลังงานและยืดอายุการใช้งานได้ โดยการเลือกตัวรับรู้
ภายในเครือข่ายให้ทำงานนั้นเป็นไปตามสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้คิดค้นขึ้น ซึ่งจะสามารถระบุ
จำนวนตัวรับรู้ภายในเครือข่ายที่จำเป็นต้องปฏิบัติงานตรวจสอบเหตุการณ์ในแต่ละรอบการทำงาน
โดยตัวรับรู้จำนวนดังกล่าวต้องสามารถการันตีพื้นที่การครอบคลุมการตรวจวัดของระบบได้ตามที่
ได้กำหนดไว้ได้

Niramol Phunseantaveekul 2011: An Energy-Efficient Sensor Utilization Protocol for a Cluster-Based Wireless Sensor Network. Master of Engineering (Electrical Engineering), Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering. Thesis Advisor: Assistant Professor Teerasit Kasetkasem, Ph.D. 73 pages.

As wireless sensor nodes are used in wide range of applications, the energy consumption becomes an important issue because, in some applications, wireless sensor network (WSN) is deployed in a harsh terrain or difficult to access area. In many situations, the system performance of a WSN is measured in terms of network or system lifetime, the maximum period that the system performs its assigned tasks successfully.

Network lifetime is the key issue to evaluate the performance of sensor networks. Several works base their definitions of network lifetime on a coverage variant. Model iterlic-coverage is an appealing solution demanding that each point in a field is sensed by at least sensors. To guarantee coverage several studies propose their probabilistic models for sensor deployment. Resulting in clustering algorithms and probabilistic models which guarantee coverage of sensors, the energy consumption are maintained uniformly and the connectivity can be guarantee in terms of coverage respectively. To prolong network lifetime sensors in each cluster need to be selected as active sensors to balance load within each cluster. In this thesis, we consider the sensors utilization algorithm which aims to prolong the network lifetime by balancing energy consumption among sensor nodes within the clusters. We propose a probabilistic equation to guarantee coverage within each cluster and an algorithm to select active sensor deployment algorithm which can be balance the load among sensors in clusters. These lead the network to be uniform energy consumption and good performance in terms of lifetime. The selection algorithm is based on the residual energy of sensor nodes, density, distribution and coverage characterization.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ธีรสิทธิ์ เกษตรเกษม และผู้ช่วยศาสตราจารย์ วชิระ จงบุรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำปรึกษาแนะนำในการทำงานวิจัย และตรวจแก้ไขข้อบกพร่องในวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีรวมถึงอาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอน และมอบความรู้แก่ข้าพเจ้าตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

ข้าพเจ้าขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมโทรคมนาคม(สพท.) สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และโทรคมนาคมแห่งชาติ (กสทช.) เป็นอย่างสูงสำหรับการสนับสนุนเงินทุนในศึกษาในระดับปริญญาโทของข้าพเจ้า(สัญญารับทุนเลขที่ สพท.ทศ.ท 003/2552) ข้าพเจ้าขอขอบคุณห้องปฏิบัติการวิจัย RSDFL (Remote Sensing and Data Fusion Laboratory) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและให้ความรู้เกี่ยวกับการทำงานวิจัย

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ตลอดจนรุ่นพี่และเพื่อนๆทุกคน ที่ให้การสนับสนุน และให้กำลังใจในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี หากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีข้อบกพร่องประการใด ข้าพเจ้ายินดีรับข้อเสนอแนะ และขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นิรมล พันธุ์แสนทวีกุล

พฤษภาคม 2554

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
การตรวจเอกสาร	3
อุปกรณ์และวิธีการ	39
อุปกรณ์	39
วิธีการ	39
ผลและวิจารณ์	54
ผล	54
วิจารณ์	66
สรุปและข้อเสนอแนะ	69
สรุป	69
ข้อเสนอแนะ	70
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	71
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	73

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด โดยที่รัศมีการสื่อสารคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80	56
2 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด โดยที่รัศมีการสื่อสารคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90	57
3 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Average Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด โดยที่รัศมีการสื่อสารคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80	58
4 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Average Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด โดยที่รัศมีการสื่อสารคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90	59
5 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร โดยที่รัศมีการตรวจวัดคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80	61
6 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร โดยที่รัศมีการตรวจวัดคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90	62
7 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Average Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร โดยที่รัศมีการตรวจวัดคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80	63
8 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Average Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร โดยที่รัศมีการตรวจวัดคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90	64
9 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย เมื่อใช้วิธีการ An Energy Aware Routing Protocol	66

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 การส่งข้อมูลแบบท่อม	17
2 การสร้างเส้นทางสปิน	18
3 การสร้างเส้นทางไดเรกต์ดิฟฟิวชั่น	
(ก) การกระจายข้อความแสดงความสนใจ	
(ข) การสร้างเกรเดียนท์	
(ค) การส่งข้อมูล	20
4 กริดเสมือนในการใช้งานของการสร้างเส้นทางแบบจีโอกราฟฟิคอะแอฟทีฟฟิลิตี้	26
5 แนวความคิดการสร้างเส้นทางสื่อสารแบบลำดับชั้นหรือคริสเตอ	28
6 การสร้างเส้นทางเพกาซิส	31
7 การสร้างเส้นทางเพกาซิสแบบลำดับชั้น	31
8 การสร้างเส้นทางทินและแอฟทิน	32
9 การสร้างเส้นทางสถาปัตยกรรมกริดเสมือน	34
10 การจำลองการวางตัวรับรู้อย่างลุ่มในพื้นที่ที่สนใจตรวจวัด	42
11 ขั้นตอนในการสร้างตารางเพื่อนบ้าน	43
12 การจัดกลุ่มคริสต์เตอร์โดยการสร้างเส้นทางEAP	45
13 การครอบคลุมพื้นที่ที่สนใจตรวจวัดกรณีพื้นที่การซ้อนทับที่ตัวรับรู้ตัวอื่นอยู่ บริเวณขอบของรัศมีการสื่อสาร	47
14 การครอบคลุมพื้นที่ซ้อนทับของรัศมีการตรวจวัด	48
15 การครอบคลุมพื้นที่ซ้อนทับของรัศมีการตรวจวัดกรณีพื้นที่การซ้อนทับที่ตัวรับรู้ตัวอื่นอยู่ที่ระยะห่างเฉลี่ยตั้งแต่0 ถึง บริเวณขอบของรัศมีการสื่อสาร (Average scenario)	49
16 การส่งข้อมูลภายในคริสต์เตอร์	53
17 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด โดยที่รัศมีการสื่อสารคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80	55

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
18 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครื่องข่าย สำหรับกรณี Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด โดยที่รัศมีการสื่อสารคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90	56
19 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครื่องข่าย สำหรับกรณีAverage Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด โดยที่รัศมีการสื่อสารคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80	58
20 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครื่องข่าย สำหรับกรณีAverage Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด โดยที่รัศมีการสื่อสารคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90	59
21 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครื่องข่าย สำหรับกรณี Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร โดยที่รัศมีการตรวจวัดคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80	60
22 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครื่องข่าย สำหรับกรณี Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร โดยที่รัศมีการตรวจวัดคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90	61
23 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครื่องข่าย สำหรับกรณีAverage Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร โดยที่รัศมีการตรวจวัดคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80	63
24 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครื่องข่าย สำหรับกรณีAverage Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร โดยที่รัศมีการตรวจวัดคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80	64

โพรโทคอลจัดการการทำงานตัวรับรู้ที่เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน **สำหรับเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายแบบลำดับชั้น**

An Energy-Efficient Sensor Utilization Protocol for a Cluster-Based Wireless **Sensor Network**

คำนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เครือข่ายตัวรับรู้นี้จะประกอบด้วยกลุ่มของตัวรับรู้ที่ทำหน้าที่หลักคือ การตรวจวัด เก็บข้อมูล รวมไปถึงการรับและส่งข้อมูล จุดประสงค์หลักของการใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายเซนเซอร์ไร้สายคือการตรวจวัดคุณสมบัติต่างๆของสภาพแวดล้อมที่สนใจ ซึ่งตัวรับรู้นั้นได้ถูกออกแบบให้มีขนาดเล็ก ส่งผลให้ขนาดของแหล่งเก็บพลังงานนั้นมีขนาดที่จำกัดตัวรับรู้จึงต้องใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดเพื่อให้อายุการใช้งานของระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายมีค่าสูงสุด ดังนั้นการใช้ต้นทุนพลังงานอย่างเหมาะสมของเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายจึงเป็นประเด็นหลักประเด็นหนึ่งที่จะต้องพัฒนาเพื่อให้สามารถใช้งานเทคโนโลยีตัวเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

งานวิจัยส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นไปในการสร้างโพรโทคอลในการสร้างการติดต่อสื่อสารของระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายโดยมีจุดประสงค์หลักคือการใช้พลังงานในการติดต่อสื่อสารอย่างประหยัด โดยได้นำเสนอการสร้างการติดต่อสื่อสารของระบบโดยใช้ขั้นตอนวิธีต่างๆ ที่ผู้วิจัยได้คิดค้นขึ้น

สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการพัฒนาวิธีการทำงานของอัลกอริทึมที่สามารถจัดเส้นทาง การสื่อสารสำหรับระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย โดยขั้นตอนวิธีจะมีลักษณะทำให้เกิดการหมุนเวียนสลับเปลี่ยนกันในการทำงานของตัวรับรู้ภายในเครือข่ายตัวรับรู้ไร้ ซึ่งจะมีหลักการพิจารณาจากลักษณะการครอบคลุมพื้นที่การตรวจวัดตัวรับรู้ ทำให้เกิดความเหมาะสมในการใช้พลังงานอย่างประหยัดและมุ่งเน้นในด้านการเพิ่มอายุการใช้งานของเครือข่าย

วัตถุประสงค์

การที่เทคโนโลยีตัวรับรู้ไร้สายได้ถูกพัฒนาขึ้นให้สะดวกและเหมาะสมกับการใช้งานในหลายแอปพลิเคชัน จึงทำให้ขนาดของตัวรับรู้ไร้สายนั้นมีขนาดเล็กและมีการติดตั้งกับแหล่งพลังงานที่ขนาดเล็กและมีพลังงานอยู่จำกัด ภายในระบบเครือข่ายนั้นจะประกอบด้วยตัวรับรู้ไร้สายจำนวนหนึ่งร่วมกันตรวจวัดเหตุการณ์และส่งข้อมูลระหว่างกันเพื่อนำข้อมูลไปรายงานกับสถานีฐาน จากการที่เทคโนโลยีตัวรับรู้ไร้สายถูกใช้งานในแอปพลิเคชันจำนวนมาก ซึ่งวัตถุประสงค์ในการใช้งานมีความหลากหลาย ทำให้การบำรุงรักษาตัวรับรู้ภายในระบบที่มีตัวรับรู้อยู่จำนวนมากไม่สามารถทำได้ ดังนั้นการออกแบบขั้นตอนวิธีให้ตัวรับรู้มีลักษณะการทำงานให้ใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดอย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้ระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายมีอายุการใช้งานยืนยาวจึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญในการออกแบบเครือข่ายเป็นอย่างมาก ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยชิ้นนี้คือ

1. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายในแง่ของอายุการใช้งานเครือข่าย โดยการสร้างขั้นตอนวิธีในการใช้งานตัวรับรู้ที่ทำให้การทำงานของตัวรับรู้ภายในระบบมีลักษณะการทำงานที่หมุนเวียนสับเปลี่ยนกันโดยทำการทดลองการจำลองการทำงานของขั้นตอนวิธีโดยการเขียนโปรแกรมขึ้น
2. ศึกษาวิธีการหาเส้นทางสื่อสารของระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายที่มีอยู่ก่อน
3. ศึกษาการใช้ค่านิยามอายุการใช้งานของระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายเพื่อนำมาใช้ในขั้นตอนวิธีที่ได้พัฒนาขึ้น

การตรวจเอกสาร

แม้ว่าจะมีแอปพลิเคชันจำนวนมากที่ใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย เครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายก็ยังมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ข้อจำกัดทางด้านการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัด ข้อจำกัดทางด้านแบนด์วิดท์ในการเชื่อมโยงระหว่างตัวรับรู้ด้วยกัน ดังนั้นจุดประสงค์หลักของการออกแบบระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายคือการใช้ระบบสามารถส่งข้อมูลได้ในขณะที่ระบบเครือข่ายมีอายุการใช้งานที่ยืนยาวมากขึ้นและการป้องกันความผิดพลาดของระบบโดยการใช้เทคนิคการจัดการพลังงานที่มีประสิทธิภาพ การออกแบบการสร้างเส้นทางสื่อสารของระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายนั้นถูกกำหนดด้วยข้อจำกัดทางปัจจัยหลายด้วย ข้อจำกัดทางด้านปัจจัยเหล่านี้จะต้องถูกแก้ไขเพื่อให้ระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายมีประสิทธิภาพในกาปฏิบัติงาน ต่อจากนี้จะเป็นการสรุปปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย

อายุการใช้งานเครือข่าย

เนื่องจากความก้าวหน้าในเทคโนโลยีเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย(Wireless sensor network) จึงมีการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้งานในแอปพลิเคชันที่มีความแตกต่างกันอย่างแพร่หลาย ยกตัวอย่างเช่น การตรวจวัดสภาพแวดล้อมในป่า ใช้ในแอปพลิเคชันด้านเกษตรกรรม แอปพลิเคชันด้านการคมนาคม ตลอดจนการใช้งานเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายเพื่อวัตถุประสงค์ทางการแพทย์ ด้วยเหตุนี้จึงมีการพัฒนาเทคโนโลยีเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการพัฒนาลักษณะทางกายภาพของตัวรับรู้ให้มีความทนทานและเหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของพื้นที่ที่สนใจตรวจสอบ ซึ่งมักจะไม่สามารถเข้าไปบำรุงรักษาตัวรับรู้ในพื้นที่นั้น นำไปสู่การพัฒนาให้ลักษณะทางกายภาพตัวรับรู้มีขนาดเล็กส่งผลให้ตัวรับรู้เองมีแหล่งพลังงานที่จำกัด ซึ่งการมีแหล่งจ่ายพลังงานที่จำกัดนี้ทำให้เครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายมีลักษณะแตกต่างจากเครือข่ายแอดฮอค(Ad-hoc) ซึ่งมักจะเชื่อมต่อกับแหล่งพลังงาน อย่างเช่นเครื่องคอมพิวเตอร์ตลอดเวลา

การทำให้ระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายมีอายุการใช้งานที่ยืนยาวจึงเป็นอีกปัญหาที่ได้รับ ความสนใจเป็นอย่างยิ่ง ในการออกแบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายเพราะอายุการใช้งานเครือข่าย ถือได้ว่าเป็นตัวแปรสำคัญในการประเมินประสิทธิภาพของเครือข่ายตัวรับรู้ในสภาพแวดล้อมที่มีแหล่งพลังงานจำกัดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพส่งผลถึงอายุการใช้งานเครือข่าย อายุการใช้งานเครือข่าย (Network lifetime) นั้นสามารถเรียกได้ว่าเป็นช่วงอายุของเครือข่ายที่เครือข่ายยัง

สามารถทำงานได้สำเร็จ ปฏิเสธไม่ได้ว่าอายุการใช้งานเครือข่าย (Network lifetime) ขึ้นอยู่กับอายุการใช้งานของตัวรับรู้แต่ละตัวที่อยู่ในเครือข่าย ซึ่งหมายความว่าอายุการใช้งานเครือข่ายขึ้นอยู่ที่ว่าเมื่อไรที่ตัวรับรู้จะไม่สามารถทำงานได้ ถ้าหากการคาดคะเนอายุการใช้งานเครือข่ายไม่เป็นไปอย่างแม่นยำ ก็เป็นไปได้ว่าอายุการใช้งานเครือข่ายนั้นเป็นตัวชี้วัดที่มีความเบี่ยงเบนในลักษณะที่ไม่สามารถควบคุมได้ โดยทั่วไปแล้วอายุการใช้งานเครือข่ายนั้นจะขึ้นอยู่กับการปัจจัยหลัก คือ ปริมาณพลังงานที่ตัวรับรู้ใช้ไปภายในช่วงเวลาหนึ่งและปริมาณพลังงานที่เหลืออยู่ให้ตัวรับรู้สามารถปฏิบัติงานได้ Akyildiz *et al.* (2002) กล่าวว่า กิจกรรมหลักที่ตัวรับรู้ใช้พลังงานในการทำงานปริมาณมากได้แก่ การรับรู้สภาพแวดล้อม การสื่อสาร และการประมวลผลข้อมูล

การให้คำนิยามอายุเครือข่าย Dietrich *et al.* (2009) ได้ศึกษาและจำแนกวิธีการให้คำนิยามอายุเครือข่ายจากงานวิจัยอื่นๆ ที่มีผู้วิจัยได้ให้คำนิยามโดยปัจจัยต่างๆ ไว้ดังนี้

1. อายุเครือข่ายขึ้นกับจำนวนของตัวรับรู้ที่ยังสามารถใช้งานได้ในระบบเครือข่าย

คำนิยามของอายุเครือข่ายที่พบบ่อยในงานวิจัยต่างๆ คือการให้คำนิยามแบบ *n-of-n lifetime* ในการให้คำนิยามในลักษณะนี้ อายุเครือข่าย T_n^n จะสิ้นสุดก็ต่อเมื่อตัวรับรู้โหนดแรกไม่สามารถใช้งานได้ สาเหตุที่คำนิยามนี้เป็นที่พบบ่อยในงานวิจัยต่างๆ เนื่องจากสามารถนำไปใช้ได้สะดวก ง่ายต่อการคำนวณและขั้นตอนวิธีไม่ต้องคำนึงถึงข้อเปลี่ยนแปลงของทอพอโลยี อย่างไรก็ตามอายุเครือข่ายที่คำนวณโดยตัวชี้วัดนี้ไม่เหมาะสมกับแอปพลิเคชันที่หลากหลายของเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายที่การตายของตัวรับรู้เพียง 1 ตัวไม่มีผลต่อการทำงานของระบบ การให้คำนิยามอายุการใช้งานเครือข่ายด้วยวิธีเช่นนี้จึงเหมาะสมกับเครือข่ายที่ทุกโหนดตัวรับรู้มีลำดับความสำคัญเท่ากันทั้งเครือข่ายเท่านั้น (Madan *et al.*, (2005)) และลักษณะการสื่อสารในเครือข่ายเป็นแบบซิงเกิลฮอป (Single hop)

คำนิยามอายุการใช้งานเครือข่ายที่ขึ้นกับจำนวนของตัวรับรู้ที่ยังสามารถใช้งานได้ในระบบเครือข่ายแตกต่างออกไปอีกประเภทหนึ่งคือ การนิยามว่าอายุเครือข่าย คือ เวลาที่สัดส่วนของจำนวนตัวรับรู้ที่ใช้งานได้มีจำนวนน้อยกว่าเกณฑ์ที่ได้ตั้งค่าไว้ หรือเวลาที่จำนวนตัวรับรู้จากตัวรับรู้ทั้งหมด n ตัวยังสามารถทำงานได้ T_n^k ถึงแม้ว่าการให้คำนิยามด้วยตัวชี้วัดนี้จะมีประสิทธิภาพกว่าตัวชี้วัดแบบ T_n^n แต่ก็ยังขาดความถูกต้องแม่นยำอยู่บ้าง ในกรณีที่ตัวรับรู้ส่วนใหญ่ที่ไม่สามารถใช้งานได้ นั่นคือตัวรับรู้ที่อยู่ใกล้สถานีฐาน ทำให้ตัวรับรู้อื่นก็จะไม่สามารถติดต่อสถานีฐานได้ เครือข่ายก็จะไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไปโดยที่ตัวชี้วัดนี้ไม่สามารถระบุได้ว่าเครือข่ายไม่สามารถใช้งานต่อไปได้แล้วในกรณีเช่นนี้

Hellman and Colagrosso (2006) ได้นิยามตัวชี้วัดซึ่งให้อายุเครือข่ายขึ้นกับจำนวนโหนดที่พร้อมใช้งานโดยการแบ่งกลุ่มของโหนดตัวรับรู้ออกเป็นกลุ่มตัวรับรู้ที่สำคัญ(Critical) และกลุ่มตัวรับรู้ที่ไม่สำคัญ(Non critical) จากนั้นจะอนุญาตให้ตัวรับรู้สามารถล้มเหลวได้จำนวน k ตัวในกลุ่มของตัวรับรู้ไม่สำคัญและ m ตัวในกลุ่มของตัวรับรู้ที่สำคัญ Hellman and Colagrosso ได้ให้คานิยามลักษณะนี้ว่าเป็น *m-in-k-of-n lifetime*

Heinzelman *et al.* (2005) ได้กล่าวว่าอายุการเครือข่ายคือเวลาที่เมื่อมีครัสเตอร์เฮดแรกไม่สามารถใช้งานได้ข้อดีของการให้คานิยามอายุการใช้งานเครือข่ายด้วยการพิจารณาจากจำนวนของตัวรับรู้ที่ยังสามารถใช้งานได้ในระบบเครือข่ายคือ มีขั้นตอนวิธีการที่ไม่ซับซ้อน ง่ายต่อการคำนวณเนื่องจากไม่ได้คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงการทำงานของตัวรับรู้ภายในเครือข่าย

ข้อบกพร่องของการสร้างคานิยามเครือข่ายโดยให้อายุการใช้งานเครือข่ายขึ้นกับจำนวนตัวรับรู้ที่ยังสามารถใช้งานได้ภายในเครือข่ายนี้ยังมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอ เนื่องจากตัวชี้วัดในการคำนวณอายุเครือข่ายไม่ได้คำนึงถึงความสามารถในการติดต่อสื่อสารของตัวรับรู้และความสามารถในการตรวจวัดเหตุการณ์ด้วย

2. อายุเครือข่ายขึ้นกับประสิทธิภาพการครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายของตัวรับรู้

อายุการใช้งานเครือข่ายตามประสิทธิภาพการครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายของตัวรับรู้ คือเวลาที่พื้นที่ที่สนใจถูกรอบคลุมด้วยตัวรับรู้ที่ทำงานได้ อย่างไรก็ตามขอบเขตการครอบคลุม (coverage) นั้นสามารถให้คำจำกัดความได้หลายชนิดด้วยกันขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของพื้นที่ที่สนใจและความซับซ้อนในการครอบคลุมพื้นที่ Cardei and Wu (2004) ได้แบ่งชนิดการของครอบคลุมออกเป็น 3 ประเภทได้แก่

2.1 การครอบคลุมเชิงพื้นที่หรือเชิงปริมาตร (Area or volume coverage) หมายถึง พื้นที่ที่สนใจทุกๆจุดในพื้นที่นี้ จะต้องถูกรอบคลุม โดยพื้นที่นี้อาจจะเป็นได้ทั้งสองมิติและสามมิติโดย

2.2 การครอบคลุมกลุ่มเป้าหมาย (Target coverage) หมายถึงจำนวนกลุ่มเป้าหมายภายในพื้นที่ที่ถูกครอบคลุมโดยตัวรับรู้

2.3 การครอบคลุมตามขอบเขต (Barrier coverage)

การให้คำจำกัดความดีกรีของการครอบคลุมมีอยู่สองวิธีการด้วยกันคือ α -coverage คือการบ่งบอกร้อยละ α ของพื้นที่ที่สนใจที่ครอบคลุมด้วยอย่างน้อยหนึ่งตัวรับรู้และ k -coverage คือการที่แต่ละจุดในพื้นที่ที่สนใจถูกครอบคลุมด้วยตัวรับรู้เป็นจำนวนอย่างน้อย k ตัว

ในงานวิจัยที่ผ่านมาจำนวนหนึ่งได้นิยามอายุเครือข่ายตามวิธีการครอบคลุมที่แตกต่างกันไป สำหรับนิยามประเภทนี้ที่ใช้มากที่สุดคือการนิยามอายุเครือข่ายโดยวิธี 1-coverage ซึ่งนิยามอายุเครือข่ายว่าหมายถึงเวลาที่พื้นที่ที่สนใจอยู่ในระยะการตรวจวัด (Sensing range) ของตัวรับรู้อย่างน้อยหนึ่งตัว หรือเรียกได้ว่าพื้นที่ที่ถูกครอบคลุมโดยอย่างน้อยหนึ่งตัวรับรู้ (Cardei et al. (2005))

ข้อดีของการให้คำนิยามอายุการใช้งานเครือข่ายโดยการพิจารณาจากการครอบคลุมคือการนิยามลักษณะนี้ทำให้เห็นภาพรวมของอายุเครือข่ายโดยคิดออกเป็นพื้นที่ ซึ่งการแบ่งแยกประเภทของการครอบคลุมนั้นสามารถนำไปใช้งานกับแอปพลิเคชันที่มีเป้าหมายแตกต่างกันได้เป็นอย่างดี

การครอบคลุมของตัวรับรู้นั้นมักถูกใช้เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการวัดคุณภาพการให้บริการ (Quality of Service) ของเครือข่ายแต่การให้คำนิยามโดยวิธีนี้อาจยังไม่เพียงพอต่อบางแอปพลิเคชันเนื่องจากไม่ได้การันตีว่าข้อมูลที่วัดจะสามารถส่งไปสู่สถานีสถานได้

3. อายุเครือข่ายขึ้นกับประสิทธิภาพการเชื่อมต่อ

Blough and Santi (2002) ได้นิยามว่าอายุเครือข่ายคือระยะเวลามากที่สุดที่ก่อนที่ทั้งร้อยละของตัวรับรู้ที่ใช้งานได้และขนาดของส่วนประกอบที่ใหญ่ที่สุดที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายจะลดลงสู่เกณฑ์ค่าหนึ่งที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งการให้คำนิยามในลักษณะนี้ไม่เพียงพอที่จะมานิยามกับระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย เนื่องจากเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายการเชื่อมต่อที่สำคัญที่สุดคือบริเวณการสื่อสารกับสถานีสถาน (Carbunar et al., (2006)) โดย Carbunar et al. (2006) ได้นิยามการเชื่อมต่อว่าเป็นร้อยละของจำนวนตัวรับรู้ที่มีเส้นทางเชื่อมต่อไปถึงยังสถานีสถาน

Baydere et al. (2005) ได้นิยามอายุเครือข่ายในเชิงของจำนวนกลุ่มข้อมูลทั้งหมดที่สามารถส่งผ่านไปยังตัวรับรู้ที่เป็นตัวรับได้ (Sink) ในขณะที่จำนวนดังกล่าวสามารถถือได้ว่าเป็นตัวบ่งบอกความคงอยู่ของเครือข่าย จำนวนข้อมูลนั้นขึ้นกับขั้นตอนวิธีการที่ใช้ในเครือข่ายเป็นอย่างมาก เพราะเมื่อมีการรวมกลุ่มของข้อมูล (Data aggregation) จำนวนของข้อมูลที่ส่งจะมีค่าลดลง แต่อย่างไรก็ตามแพ็คเกจข้อมูลที่ถูกรวมกลุ่มไว้จะมีดีกรีของข่าวสารในระดับเดียวกัน ดังนั้นการ

ประยุกต์ใช้ตัวชี้วัดนี้ในการเปรียบเทียบอายุการใช้งานของเครือข่ายที่แตกต่างกันจึงมีข้อจำกัดอยู่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีการทำการรวบรวมข้อมูลก่อนส่ง ให้นั้นตอนวิธีการนั้นๆ ข้อเสียอีกประการคือจำนวนของกลุ่มข้อมูลที่ส่งไปไม่ได้ให้ข้อมูลในเชิงเวลาว่าเครือข่ายจะสามารถใช้งานได้นานเท่าใด (Dressler *et al.*, (2007))

Olariu and Stojmenovic (2006) ได้สร้างตัวชี้วัดในการนิยามอายุเครือข่ายในเชิงของจำนวนรอบการส่งข้อมูลที่ถูกรวบรวมไว้สำเร็จ Giridhar and Kumar (2005) กล่าวว่ารอบการส่งข้อมูล (Trip) คือ การที่ตัวรับรู้ส่งข้อมูลโดยไม่มีตัวรับรู้ใดใช้พลังงานจนหมด มีลักษณะคล้ายคลึงกับการนิยามแบบ T_{th} แต่มีข้อแตกต่างกันคือ อายุเครือข่ายจะอยู่ในหน่วยของจำนวนรอบแทนระยะเวลาซึ่งก็มีข้อเสียชนิดเดียวกันกับการนิยามแบบ T_{th}

ข้อดีของการให้ค่านิยามอายุการใช้งานเครือข่ายด้วยการเชื่อมต่อคือ เป็นตัวชี้วัดที่บ่งบอกถึงอายุการใช้งานที่ตรงกับวัตถุประสงค์ของการใช้งานเทคโนโลยีเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายคือ บ่งบอกว่าระบบยังสามารถส่งข้อมูลกันภายในเครือข่ายได้สำเร็จหรือไม่

การใช้ค่าการเชื่อมต่อในการพิจารณาอายุการใช้งานเครือข่ายนั้น ยังไม่ถือเป็นวิธีที่สมบูรณ์ เพราะการประเมินการเชื่อมต่อของแต่ละเครือข่ายนั้นไม่สามารถนำไปเปรียบเทียบกับเครือข่ายอื่นได้ ตลอดจนการใช้การเชื่อมต่อเป็นค่านิยามนั้น ยังไม่สามารถระบุอายุการใช้งานเครือข่ายที่มีหน่วยเป็นเวลาอย่างแน่นอนได้

4. อายุเครือข่ายขึ้นกับคุณภาพของการให้บริการตามลักษณะการประยุกต์ใช้งาน

Kumar *et al.* (2005) กล่าวว่า อายุการใช้งานเครือข่ายคือช่วงเวลาที่เครือข่ายสามารถทำงานได้ตามที่แต่ละแอปพลิเคชันต้องการได้อย่างต่อเนื่อง แต่การใช้ค่านิยามลักษณะนี้มีลักษณะเป็นนามธรรมมากเกินไปสำหรับการนำมาศึกษาในระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย ถึงแม้ว่านิยามจะครอบคลุมมุมมองที่เป็นไปได้ทั้งหมด แต่ว่าคุณลักษณะของความต้องการของแต่ละแอปพลิเคชันก็ไม่ได้เฉพาะเจาะจง

5. อายุเครือข่ายตามค่านิยามของ Blough and Santi

โดย Blough and Santi (2002) ได้ให้ค่านิยามอายุเครือข่ายโดยพิจารณาจากสามปัจจัยคือการเชื่อมต่อ จำนวนตัวรับรู้ที่ยังสามารถใช้งานได้ และประสิทธิภาพการครอบคลุมพื้นที่ที่สนใจ

ของตัวรับรู้ ข้อบกพร่องของการนิยามเช่นนี้คือการที่สนใจการครอบคลุมเป็นพื้นที่ โดยไม่ได้ระบุพื้นที่เป้าหมาย ทำให้เครือข่ายต้องสนใจพื้นที่ว่างมากมายระหว่างเป้าหมายแทนที่จะละทิ้งพื้นที่ว่างนั้นไป การพิจารณาเฉพาะจำนวนตัวรับรู้ที่ยังสามารถใช้งานได้โดยไม่ได้อิงพิจารณาถึงความสำคัญของตัวรับรู้ที่อยู่รอบสถานีฐาน หากตัวรับรู้รอบสถานีฐานไม่สามารถใช้งานได้ทั้งหมดซึ่งจะถือว่าเครือข่ายไม่สามารถใช้งานได้แล้ว แต่จำนวนตัวรับรู้ที่ยังใช้งานได้มีเพียงพอตามค่าที่ได้ตั้งไว้ระบบก็จะคิดเสมือนอายุการใช้งานเครือข่ายยังไม่หมดแต่ทั้งที่จริงแล้วเครือข่ายไม่สามารถใช้งานได้แล้ว

6. อายุเครือข่ายขึ้นกับประสิทธิภาพการครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายของตัวรับรู้และประสิทธิภาพการเชื่อมต่อ

เนื่องจากข้อจำกัดต่างๆของการใช้ค่านิยามอายุการใช้งานเครือข่ายตามที่ได้กล่าวมา จึงมีผู้ให้ค่านิยามอายุเครือข่ายโดยการรวมเอาตัวชี้วัดต่างๆมาพิจารณาเข้าด้วยกัน อายุเครือข่ายคือเวลาที่ทั้งการครอบคลุมและการเชื่อมต่อลดลงไปสู่เกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้ค่าหนึ่ง ในกรณีนี้ การครอบคลุมใช้นิยามของ α -coverage และการเชื่อมต่อใช้นิยามในเชิงอัตราส่วนการส่งกลุ่มข้อมูลไปยังโหนดตัวรับ (Sink node)

Mo *et al.* (2005) กล่าวว่าอายุการใช้งานเครือข่ายคือ ค่าเฉลี่ยของช่วงเวลาระหว่างที่ความน่าจะเป็นในการเชื่อมต่อและการครอบคลุมชนิด k -coverage ถูกการันตีว่าจะต้องมีค่าน้อย ϵ และงานวิจัยนี้ มีจุดน่าสนใจตรงที่ระยะของการตรวจสอบของแต่ละตัวรับรู้จะมีค่าแตกต่างกันได้ซึ่งเหมาะกับการทำไปประยุกต์ใช้งานจริง

7. อายุเครือข่ายตามความทนทานต่อการผิดพลาดของเครือข่าย

จากการจำแนกวิธีการข้างต้น Dietrich *et al.* (2009) ได้เสนอว่า แต่ละวิธีการดังกล่าวยังคงมีข้อบกพร่องอยู่ในด้านความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้กับระบบในสถานะแวดล้อมจริง จึงได้นำเสนอการให้ค่านิยามของอายุการใช้งานเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายใหม่ โดยอาศัยหลักการข้างต้นควบคู่ไปกับวิธีการที่ได้พัฒนาขึ้น คือ การให้ค่านิยามอายุการใช้งานเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายโดยพิจารณาจากความสามารถในการทนทานต่อความผิดพลาดของเครือข่าย การใช้หลักการรวมเวลา (Time integration) และพิจารณาจากประสิทธิภาพในการครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายของตัวรับรู้และประสิทธิภาพในการเชื่อมตอมารวมเป็นตัวแทนเดียวในเรียกว่า “Connected Coverage” โดยผลของงานวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าการใช้ตัวแปร Connected Coverage ได้ให้ผลแตกต่างจากการให้ค่านิยาม

อายุการใช้งานเครือข่ายของหลักการนิยามที่ไม่ได้ใช้ตัวแปร Connected Coverage มาพิจารณา และการให้คำนิยามของงานวิจัยนี้ สนับสนุนหลักการการเสื่อมที่ละน้อย (Graceful degradation) ของระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย งานวิจัยของ Dietrich *et al.* (2009) ได้แสดงให้เห็นว่า การนิยามอายุเครือข่ายจากวิธีดังกล่าวสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างเหมาะสมโดยอาศัยการสำรวจจากคำนิยามเดิมของงานวิจัยก่อนหน้านี้และจากการทดลองการใช้เครือข่ายตัวรับรู้ในสถานะต่าง

หลักการสำคัญในการทำให้ระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายมีอายุการใช้งานที่ยืนยาวนั้น ระบบจำเป็นต้องมีการบริหารจัดการที่ดี ไม่ว่าจะเป็นเรื่องของวิธีการบริหารจัดการตัวรับรู้ที่ดี วิธีการในการส่งข้อมูล ตลอดจนการวิธีการในการหาเส้นทางในการส่งข้อมูล ซึ่งทำให้การศึกษา ค้นคว้าเกี่ยวกับการออกแบบวิธีการสร้างเส้นทางสื่อสาร และปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายนั้น เป็นสิ่งจำเป็นในการออกแบบวิธีการบริหารจัดการระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย

เปรียบเทียบอายุการให้คำนิยามอายุการใช้เครือข่าย

- การนิยามอายุการใช้งานเครือข่ายโดยการพิจารณาจากจำนวนตัวรับรู้ที่ยังคงใช้งานได้ภายในระบบ จัดเป็นวิธีที่ง่ายต่อการนำไปใช้งานและไม่มีความซับซ้อน แต่ยังมีข้อบกพร่องคือ ยังเป็นตัวชี้วัดที่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ เนื่องจากไม่ได้คำนึงถึงความสามารถในการติดต่อกันของตัวรับรู้ภายในระบบ
- การนิยามอายุการใช้งานเครือข่ายโดยการพิจารณาจากการครอบคลุมพื้นที่ เป็นวิธีการที่ทำให้มองเห็นภาพการครอบคลุมออกเป็นสัดส่วนของพื้นที่เป้าหมาย แต่ก็ยังขาดการการันตีว่าข้อมูลจะถูกส่งไปยังสถานีฐานได้สำเร็จเช่นเดียวกับการนิยามจากการพิจารณาจำนวนตัวรับรู้ที่ยังคงใช้งานได้
- การให้คำนิยามอายุการใช้งานเครือข่ายโดยการพิจารณาจากคุณภาพการเชื่อมต่อ นั้น ถือเป็นวิธีการพิจารณาที่ค่อนข้างตอบสนองลักษณะการทำงานของเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายได้ดีแต่มีข้อบกพร่องในด้านการนำไปเปรียบเทียบกับเครือข่ายลักษณะอื่นๆ ถ้าหากพิจารณาการใช้งานเครือข่ายเฉพาะการเชื่อมต่อโดยวัดจากการส่งกลุ่มข้อมูลได้สำเร็จระหว่างตัวรับรู้ภายในระบบเท่านั้น ไม่ได้คำนึงถึงการส่งข้อมูลไปยังสถานีฐาน

- การให้คำนิยามอายุการใช้งานเครือข่ายตามความต้องการการให้บริการของแอปพลิเคชัน วิธีการนี้ถึงแม้จะเป็นวิธีการที่มีความยืดหยุ่น แต่ก็ยังบกพร่องเรื่องการนิยามโดยขาดคุณลักษณะของการใช้งานเครือข่ายไร้สายและยังไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกับระบบอื่นได้

- อายุการใช้งานเครือข่ายโดยการพิจารณาการครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายและการเชื่อมต่อถือเป็นการให้คำนิยามที่มีความเหมาะสมในการประเมินประสิทธิภาพของระบบ ในเชิงของอายุการใช้งานเครือข่าย เพราะเป็นการพิจารณาจากคุณสมบัติการทำงานหลักของเทคโนโลยีเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย นั่นคือการเข้าถึงเป้าหมายการตรวจวัด ว่าระบบสามารถตรวจสอบเหตุการณ์ที่สนใจภายในพื้นที่นั้น ได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงใด และระบบยังสามารถส่งข้อมูลที่ตรวจวัดและรวบรวมไว้ไปถึงสถานีฐานได้หรือไม่

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะใช้คำนิยามอายุการใช้งานเครือข่ายโดยพิจารณาจากทั้งการครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายและการเชื่อมต่อ โดยตัวรับรู้ยังสามารถร่วมกันส่งข้อมูลไปยังสถานีฐานได้ โดยการครอบคลุมเป้าหมายนั้น จะพิจารณาในเชิงการครอบคลุมร้อยละของพื้นที่ที่สนใจตรวจสอบ โดยใช้หลักทฤษฎีการครอบคลุม α -coverage คือการบ่งบอกเปอร์เซ็นต์ α ของพื้นที่ที่สนใจที่ครอบคลุม และ k -coverage คือการที่แต่ละจุดในพื้นที่ที่สนใจถูกครอบคลุมด้วยตัวรับรู้เป็นจำนวนอย่างน้อย k ตัว งานวิจัยนี้จะทำการแก้ปัญหาการระบุจำนวนตัวรับรู้ที่ต้องครอบคลุมพื้นที่ตัวให้ได้ดีทฤษฎีการครอบคลุมพื้นที่ α ที่ต้องการได้และระบบจะต้องมีอายุการใช้งานที่ยืนยาว

ปัจจัยที่ส่งผลต่อการออกแบบระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย

ประสิทธิภาพการทำงานของระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายขึ้นกับลักษณะการทำงานของระบบเครือข่าย โดยมีลักษณะการทำงานที่เป็นปัจจัยซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบเครือข่ายมีดังนี้ (Al-Karaki *et al.*, 2004)

1. การจัดวางตัวรับรู้(Node deployment)

การจัดวางตัวรับรู้ในระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายถือเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของโครงสร้างเส้นทางสื่อสารของระบบ การจัดวางตัวรับรู้สามารถเป็นได้ทั้งแบบจำลองเชิงกำหนด (Deterministic) และแบบสุ่ม (Random) ในการจัดวางตัวรับรู้แบบจำลองเชิงกำหนดนั้น ตัวรับรู้จะถูกวางด้วยมือและข้อมูลจะส่งผ่านเส้นทางที่ได้ถูกกำหนดไว้ตั้งแต่แรก แต่อย่างไรก็ตามในการจัดวางตัวรับรู้แบบสุ่มนั้น ตัวรับรู้ที่ถูกวางอย่างกระจายในแบบสุ่มจะสร้างโครงข่ายขึ้นมา

ยกตัวอย่างเช่นในแบบของเครือข่ายแอดฮอค (Ad-hoc) ขั้นตอนวิธีการประเภทการจัดกลุ่มคริสต์เตอร์ จะถูกนำมาใช้เพื่อให้การเชื่อมต่อและการทำงานของระบบมีลักษณะการจัดการพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพเมื่อผลการกระจายของตัวรับรู้ไม่เป็นแบบเอกรูป (Non-uniform) การสื่อสารระหว่างคริสต์เตอร์โดยใหญ่แล้วจะเป็นการส่งข้อมูลระยะสั้นเนื่องจากข้อจำกัดทางด้านพลังงานและแบนด์วิดท์ ดังนั้นการสื่อสารจะเป็นแบบมัลติฮอป (Multiple hop)

2. การใช้พลังงานของระบบ (Energy consumption)

การใช้พลังงานโดยที่ระบบยังทำงานได้อย่างถูกต้องแม่นยำ คือ การที่ตัวรับรู้ใช้พลังงานจากแหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดในการประมวลผลและส่งข้อมูลต่างๆ ในแบบไร้สายได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าการใช้พลังงานอย่างประหยัดในการสื่อสารและการประมวลผลนั้นถือเป็นสิ่งสำคัญในเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย อายุการใช้งานของตัวรับรู้ไร้สายแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการใช้พลังงานจากแหล่งพลังงาน ในเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายแบบมัลติฮอป ตัวรับรู้แต่ละตัวจะทำหน้าที่เป็นทั้งตัวส่งข้อมูลและตัวหาเส้นทางในการส่งข้อมูล การที่ตัวรับรู้บางตัวทำงานผิดพลาด อันเป็นผลเนื่องจากการจ่ายพลังงานขัดข้องอาจทำให้มีการเปลี่ยนแปลงทอพอโลยีและต้องทำการสร้างเส้นทางการส่งข้อมูลของระบบเครือข่ายใหม่

3. โมเดลการรายงานข้อมูล (Data reporting model)

การตรวจวัดสภาพแวดล้อมและการรายงานข้อมูลในระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายนั้น ขึ้นกับชนิดของแอปพลิเคชันการใช้งานและความรวดเร็วที่จำเป็นต้องรายงาน การรายงานข้อมูลนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น การรายงานเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเวลา การรายงานเมื่อถูกกระตุ้นโดยเหตุการณ์ และการรายงานเมื่อมีการร้องขอข้อมูล การรายงานเมื่อถูกกระตุ้นด้วยเวลานั้นเหมาะกับแอปพลิเคชันประเภทที่ต้องตรวจสอบข้อมูลเป็นช่วงเวลาอย่างต่อเนื่อง ตัวรับรู้จะทำการตรวจวัดและส่งข้อมูลที่ตรวจวัดเป็นช่วงเวลาอย่างต่อเนื่อง สำหรับการรายงานเมื่อถูกกระตุ้นโดยเหตุการณ์ และการรายงานเมื่อมีการร้องขอข้อมูลนั้น ตัวรับรู้จะตอบสนองทันทีในการตรวจวัดและส่งข้อมูลไปให้สถานีฐานเมื่อมีเหตุการณ์ที่สนใจหรือการร้องขอข้อมูลเกิดขึ้น ซึ่งการรายงานทั้งสองชนิดนี้เหมาะกับแอปพลิเคชันประเภทต้องการข้อมูลทันทีทันใด การรายงานข้อมูลนั้นส่งผลโดยตรงกับการสร้างเส้นทางสื่อสารของระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายเกี่ยวกับใช้พลังงานในการรายงานและความเสถียรของเส้นทางสื่อสาร

4. ความแตกต่างของชนิดของตัวรับรู้และเส้นทางเชื่อมโยง(Node heterogeneity)

ในหลายกรณีตัวรับรู้จะถูกตั้งสมมติฐานว่าเป็นตัวรับรู้ชนิดเดียวกัน มีหน่วยความจำในการประมวลผลข้อมูลเท่ากัน มีความจุช่องสัญญาณในการสื่อสาร ตลอดจนมีพลังงานจากแหล่งพลังงานที่เท่ากัน อย่างไรก็ตามการที่ตัวรับรู้สามารถมีความแตกต่างกันทั้งในเชิงหน้าที่และความจุ ทั้งนี้ขึ้นกับแอปพลิเคชันที่ต้องนำมาใช้การที่ระบบเครือข่ายมีความแตกต่างของตัวรับรู้ทำให้เกิดการสร้างวิธีการสร้างเส้นทางส่งข้อมูลรองรับแอปพลิเคชันที่มีตัวรับรู้แตกต่างกันหลายชนิด ยกตัวอย่างเช่น แอปพลิเคชันประเภทที่ต้องการความแตกต่างของตัวรับรู้ในการรวบรวมข้อมูลของสิ่งแวดล้อมที่ตัวรับรู้แต่ละชนิดตรวจวัด เช่น อุณหภูมิ ความดัน ความชื้นของสิ่งแวดล้อม การตรวจจับเสียง การจับภาพหรือวิดีโอของวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ ตัวรับรู้ที่เหล่านี้สามารถทำงานร่วมกันอย่างอิสระหรือทำงานในฟังก์ชันการทำงานที่แตกต่างกันได้ แม้กระทั่งการอ่านข้อมูลและการรายงานข้อมูลก็สามารถทำได้โดยตัวรับรู้ที่มีอัตราต่างกันแต่จะเกิดข้อจำกัดทางด้านคุณภาพของข้อมูลที่ส่งจะลดลงไป ยกตัวอย่างเช่น การสร้างเส้นทางส่งข้อมูลประเภทลำดับชั้นมีการออกแบบตัวรับรู้ที่ทำหน้าที่เป็นคริสเตอร์เฮดให้แตกต่างจากตัวรับรู้อื่นในระบบ ตัวรับรู้คริสเตอร์เฮดถูกเลือกจากตัวรับรู้ที่จัดวางอยู่ในระบบเครือข่าย คริสเตอร์เฮดนั้นเป็นตัวรับรู้ที่มีกำลังมากกว่าตัวรับรู้อื่นในเชิงของพลังงาน แบตเตอรี่ และหน่วยความจำ ดังนั้นการส่งข้อมูลไปยังสถานีฐานจะถูกจัดการโดยคริสเตอร์เฮด

5. ความทนทานต่อการเกิดความล้มเหลว(Fault Tolerance)

ตัวรับรู้บางตัวอาจจะไม่สามารถปฏิบัติงานได้เนื่องจากมีพลังงานไม่เพียงพอ ถูกทำลายทางกายภาพหรือถูกรบกวนจากสิ่งแวดล้อม ความล้มเหลวของตัวรับรู้จะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อโดยรวมของระบบเครือข่ายตัวรับรู้ ถ้าหากตัวรับรู้จำนวนมากเกิดการล้มเหลวจำเป็นต้องสร้างเส้นทางสื่อสารขึ้นมาใหม่และทำการส่งข้อมูลผ่านเส้นทางนั้นไปยังสถานีฐานให้เสร็จการสร้างเส้นทางส่งข้อมูลขึ้นมาใหม่อาจต้องการการปรับพลังงานในการส่งและอัตราการส่งข้อมูลของการเชื่อมโยงที่มีอยู่ใหม่ทันที เพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานของระบบ หรือทำการส่งกลุ่มข้อมูลใหม่โดยผ่านทางพื้นที่ของเครือข่ายในบริเวณที่ตัวรับรู้มีพลังงานเหลืออยู่มาก ดังนั้นลักษณะการทำงานของวิธีการสร้างเส้นทาง ที่มีหลายระดับขั้นนั้นจำเป็นต่อระบบเพื่อให้ระบบเครือข่ายมีความทนทานต่อการเกิดความล้มเหลว

6. การขยายระบบ (Scalability)

จำนวนของตัวรับรู้ที่ถูกรวบรวมในพื้นที่ที่ต้องการตรวจวัดอาจจะมีจำนวนมาก วิธีการสร้างเส้นทางการส่งข้อมูลต้องสามารถทำงานรองรับจำนวนตัวรับรู้ที่มีจำนวนมากได้ นอกจากนี้การสร้างเส้นทางการส่งข้อมูลยังต้องสามารถปรับขนาดได้ยืดหยุ่นเพียงพอที่จะตอบสนองเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในสภาพแวดล้อม

7. ความเป็นพลวัตของระบบ (Network Dynamics)

สถาปัตยกรรมเครือข่ายส่วนใหญ่จะตั้งสมมติฐานว่าตัวรับรู้มีลักษณะหยุดนิ่งไม่มีการเคลื่อนที่ แต่อย่างไรก็ตามบางแอปพลิเคชันจำเป็นต้องให้ทั้งสถานีฐานและตัวรับรู้มีการเคลื่อนที่ ข้อมูลทั้งที่ได้รับและส่งมาจากตัวรับรู้ที่มีการเคลื่อนที่ จัดเป็นความท้าทายในการสร้างเสถียรภาพให้กับ การเชื่อมต่อเส้นทางการส่งข้อมูลและเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องพิจารณาออกเหนือไปจากการใช้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดการใช้แบนด์วิดท์และปัจจัยอื่นๆ นอกจากนี้เหตุการณ์เป้าหมายที่ต้องการตรวจวัดอาจเป็นได้ทั้งแบบหยุดนิ่งและเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับชนิดของการใช้งานแอปพลิเคชัน กรณีแอปพลิเคชันเป้าหมายที่ต้องการตรวจวัดเคลื่อนที่ เช่น แอปพลิเคชันการติดตามตำแหน่ง เป็นต้น ส่วนของการตรวจวัดเหตุการณ์เป้าหมายที่ไม่เคลื่อนที่ทำให้เครือข่ายสามารถอยู่ในสถานะรีแอทีฟ เหตุการณ์ที่ไม่หยุดนิ่งในการใช้งานส่วนใหญ่ต้องการการรายงานผลการตรวจวัดเป็นระยะ ซึ่งปัจจัยการเป็นพลวัตของระบบต้องถูกนำมาพิจารณาเนื่องจากส่งผลโดยตรงกับการสร้างความหนาแน่นของการจราจรในระบบ

8. การเชื่อมต่อ (Connectivity)

เครือข่ายที่มีความหนาแน่นของตัวรับรู้สูงนั้นสามารถลดแนวโน้มในการเกิดปัญหาที่ตัวรับรู้ไม่สามารถติดต่อกับตัวอื่นได้ ดังนั้นตัวรับรู้ในเครือข่ายจะถูกคาดหวังให้เชื่อมต่อได้กับตัวรับรู้ตัวอื่นได้หลายตัว แต่การมีความหนาแน่นสูงไม่สามารถป้องกันเครือข่ายจากการเกิดการเปลี่ยนแปลงทอพอโลยีหรือการหลุดหายของเครือข่ายเนื่องจากตัวรับรู้ล้มเหลวได้ กล่าวคือ การเชื่อมต่อนั้นขึ้นกับการกระจายตัวของตัวรับรู้ภายในเครือข่าย

9. การครอบคลุม (Coverage)

ในเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายนั้น ตัวรับรู้แต่ละตัวจะได้รับมุมมองจากสภาพแวดล้อม มุมมองของตัวรับรู้ในสภาพแวดล้อมนั้นถูกจำกัดด้วยทั้งระยะการตรวจสอบและความถูกต้องแม่นยำ ตัวรับรู้สามารถของคลุมพื้นที่ทางกายภาพได้อย่างจำกัด ดังนั้นการครอบคลุมพื้นที่ของตัวรับรู้จึงจัดเป็นหัวข้อสำคัญอีกประการในการออกแบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย

10. การรวมกลุ่มข้อมูล (Data Aggregation)

เนื่องจากตัวรับรู้อาจจะสร้างข้อมูลที่ซ้ำซ้อนกันขึ้น กลุ่มข้อมูลที่เหมือนกันจากตัวรับรู้ที่ต่างกันสามารถนำมารวมกลุ่มข้อมูลได้ การกระทำเช่นนี้ทำให้จำนวนข้อมูลที่ต้องส่งลดลง การรวมกลุ่มข้อมูล คือการรวมข้อมูลจากแหล่งกำเนิดที่แตกต่างกัน เทคนิคต่างๆที่ใช้ในการรวมกลุ่มข้อมูลนั้นมีจุดมุ่งหมายคือให้ระบบมีประสิทธิภาพ การประมวลผลสัญญาณได้ถูกนำมาใช้เพื่อรวมกลุ่มข้อมูล เช่น การฟิวชั่น (Fusion) ตัวรับรู้สามารถสร้างสัญญาณเอาต์พุตที่แม่นยำได้โดยใช้เทคนิคการสร้างลำคลื่น (Beam forming) ในการรวมสัญญาณอินพุตและลดทอนสัญญาณรบกวนลงได้

11. คุณภาพการให้บริการ (Quality of Service)

ในบางแอปพลิเคชันการส่งข้อมูลจำเป็นต้องทำให้เสร็จภายในช่วงเวลาหนึ่ง นับตั้งแต่ตัวรับรู้เริ่มทำการตรวจวัดสภาพแวดล้อม มิเช่นนั้นข้อมูลที่ส่งมาจะถือว่าเป็นข้อมูลที่ไม่มีความหมาย ดังนั้นขอบเขตในการหน่วงเวลา (Latency) ของการส่งข้อมูลจึงเป็นเงื่อนไขสำคัญอีกประการของแอปพลิเคชันที่มีข้อจำกัดทางเวลา แต่อย่างไรก็ตามในแอปพลิเคชันจำนวนมากการใช้พลังงานอย่างประหยัดซึ่งมีผลโดยตรงกับอายุการใช้งานเครือข่ายได้ถูกนำมาพิจารณามากกว่าคุณภาพของการส่งข้อมูลเนื่องจากในเครือข่ายอาจมีการลดพลังงานในการส่งข้อมูลของตัวรับรู้ ส่งผลให้คุณภาพการให้บริการอาจลดลงไป แต่เครือข่ายยังสามารถทำงานอยู่ได้ และอายุการใช้งานยืนยาวขึ้น ดังนั้นการสร้างเส้นทางสื่อสารที่มีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพจึงจำเป็นต้องคำนึงถึง

การสร้างเส้นทางสื่อสารสำหรับเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย

การสร้างเส้นทางสื่อสารสำหรับเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายสามารถแบ่งออกได้เป็น การสร้างเส้นทางแบบแฟลทเบส (Flat based routing) การสร้างเส้นทางแบบลำดับชั้น (Hierarchical based routing) การสร้างเส้นทางแบบอาศัยตำแหน่ง (Location based routing) ซึ่งชนิดของการสร้างเส้นทางแต่ละชนิดนั้นขึ้นกับโครงสร้างของระบบเครือข่าย ในการสร้างเส้นทางแบบแฟลทเบสตัวรับรู้ทุกตัวจะถูกกำหนดให้มีบทบาทหน้าที่การทำงานเท่าเทียมกัน แต่ในการสร้างเส้นทางแบบลำดับชั้น ตัวรับรู้ภายในเครือข่ายจะมีหน้าที่แตกต่างกัน สำหรับการสร้างเส้นทางแบบอาศัยตำแหน่ง การสร้างเส้นทางส่งข้อมูลจะใช้ตำแหน่งของตัวรับรู้มาพิจารณา การสร้างเส้นทางสื่อสารจะถูกจัดว่ามีลักษณะปรับเปลี่ยนได้ตามตัวแปรของระบบสามารถควบคุมเพื่อที่จะปรับให้เข้ากับเงื่อนไขปัจจุบันของเครือข่ายและระดับพลังงานได้ นอกจากนี้การสร้างเส้นทางสื่อสารยังสามารถแบ่งย่อยได้เป็นเทคนิคต่าง ได้แก่ แบบหลายเส้นทาง (Multipath based) แบบการร้องขอ (Query-based) แบบการโต้ตอบ (Negotiation-based) แบบคุณภาพการให้บริการ (QoS-based) แบบเชื่อมโยงกัน (Coherent-based) การเลือกใช้เทคนิคเหล่านี้ขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงานของสารสร้างเส้นทางสื่อสาร นอกจากนี้สร้างเส้นทางสื่อสารสามารถแบ่งประเภทได้อีกลักษณะคือ แบ่งออกเป็นชนิด โปรแอกทีฟ (Proactive) รีแอกทีฟ (Reactive) และไฮบริด (Hybrid) ขึ้นกับวิธีการสร้างเส้นทางไปสู่จุดหมาย การสร้างเส้นทางประเภทโปรแอกทีฟจะทำการคำนวณเส้นทางทั้งหมดก่อนที่เส้นทางนั้นจะถูกใช้ ส่วนการสร้างเส้นทางประเภทรีแอกทีฟ เส้นทางจะถูกคำนวณก็ต่อเมื่อมีความต้องการส่งข้อมูล สำหรับการสร้างเส้นทางประเภทไฮบริดนั้นลักษณะการสร้างเส้นทางจะมีทั้งในลักษณะของโปรแอกทีฟและรีแอกทีฟ เมื่อตัวรับรู้มีความเป็นลักษณะไม่เคลื่อนไหว (Static) ควรจะมีการสร้างตารางเส้นทางส่งข้อมูลไว้ ไม่ควรจะใช้การสร้างเส้นทางแบบรีแอกทีฟ พลังงานที่ส่วนใหญ่จะถูกใช้ไปกับการหาเส้นทางและการเริ่มต้นการสร้างเส้นทางแบบรีแอกทีฟ อีกประเภทของการสร้างเส้นทางสื่อสารคือ การสร้างเส้นทางแบบมีการร่วมมือกัน (Cooperative routing) ในวิธีการนี้ตัวรับรู้จะส่งข้อมูลไปยังโหนดที่เป็นศูนย์กลางโดยโหนดนี้จะทำหน้าที่ในการรวมกลุ่มข้อมูลและประมวลผลข้อมูล ด้วยการกระทำเช่นนี้จะเป็นการลดต้นทุนการส่งข้อมูลในเชิงของพลังงานได้

1. การสร้างเส้นทางสื่อสารแบบไม่มีลำดับชั้น (Flat Routing)

สำหรับการสร้างเส้นทางสื่อสารชนิดแรกคือ การสร้างเส้นทางสื่อสารมัลติฮอปแบบไม่มีลำดับชั้น (Multihop flat routing) ในเครือข่ายแบบไม่มีลำดับชั้น (Flat network) ตัวรับรู้แต่ละตัวจะทำหน้าที่เหมือนกันและจะร่วมมือกันในการทำงานตรวจวัด เนื่องจากการที่เครือข่ายมี

จำนวนตัวรับรู้มากจึงไม่เหมาะสมที่จะทำการระบุตัวรับรู้ที่จะทำงาน การพิจารณาที่น่าไปสู่การสร้างเส้นทางแบบเซนทริก (Data centric routing) ซึ่งสถานีฐานจะร้องขอข้อมูลจากพื้นที่ที่ถูกกำหนดไว้แน่นอนและรอคอยข้อมูลจากตัวรับรู้ที่อยู่ในพื้นที่ที่ถูกเลือกไว้ การตั้งชื่อให้กับข้อมูลนั้นถือเป็นสิ่งจำเป็น เพราะจะมีการร้องขอข้อมูลในการสื่อสารงานวิจัยที่สร้างขึ้นตอนวิธีการสำหรับการสร้างเส้นทางแบบเซนทริก ได้แก่ สปิน (SPIN) และ ไดเรกต์ดิฟฟิวชัน (Directed diffusion) เป็นต้น การสร้างเส้นทางส่งข้อมูลทั้งสองชนิดนี้สามารถลดการใช้พลังงานได้โดยการเจรจาข้อมูลกันและสามารถกำจัดความซ้ำซ้อนของข้อมูล จึงเป็นเหตุให้วิจัยอื่นๆนำหลักการของการสร้างเส้นทางทั้งสองชนิดนี้มาใช้

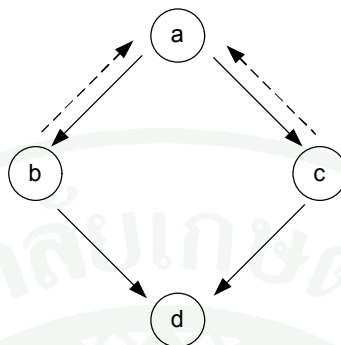
1.1 การส่งข้อมูลแบบท่วม (Flooding) และแบบกระซิบ (Gossiping)

การส่งข้อมูลแบบท่วม (Flooding) และแบบกระซิบ (Gossiping) จัดเป็นวิธีต้นแบบในการส่งข้อมูลผ่านข้อมูลในระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ต้องกาขึ้นตอนวิธีการสร้างเส้นทางส่งข้อมูลและขึ้นตอนวิธีการบำรุงรักษาทอพอโลยีใดใด (Akkaya and Younis, 2005)

ในการส่งข้อมูลแบบท่วม (Flooding) ตัวรับรู้แต่ละตัวที่ได้รับกลุ่มข้อมูล จะทำการเผยแพร่ข้อมูลให้กับเพื่อนบ้านทั้งหมด โดยตัวรับรู้จะทำกระบวนการนี้อย่างต่อเนื่องจนกระทั่งกลุ่มข้อมูลถูกส่งไปถึงจุดหมายหรือจนกระทั่งจำนวนฮอป (Hop) มีค่าเท่ากับจำนวนฮอปสูงสุดที่กำหนดไว้ ในทางกลับกันการส่งข้อมูลแบบกระซิบเป็นวิธีการส่งข้อมูลที่ถือได้ว่าเป็นการปรับปรุงคุณภาพการส่งข้อมูลแบบท่วม โดยโหนดที่ได้รับข้อมูลจะส่งข้อมูลต่อไปให้กับโหนดเพื่อนบ้านที่เลือกโดยสุ่มและจะทำเช่นนี้ ไปไปจนกระทั่งกลุ่มข้อมูลถูกส่งไปถึงจุดหมาย

ถึงแม้ว่าการส่งข้อมูลแบบท่วมจะง่ายต่อการทำไปใช้งาน แต่การส่งข้อมูลประเภทนี้ก็ยังมีความเสีย จากภาพที่ 1 ตัวรับรู้ a ต้องการส่งข้อมูลให้ตัวรับรู้ d โดยจะส่งข้อมูลผ่านตัวรับรู้ b และ c ซึ่งทำให้เกิดการรับข้อมูลซ้ำซ้อนที่ตัวรับรู้เนื่องจากข้อมูลที่ส่งผ่านมาจากตัวรับรู้ b และ c เป็นข้อมูลเดียวกัน ในขณะที่ตัวรับรู้ b และ c จะส่งข้อมูลให้ตัวรับรู้ a ด้วย ทำให้ตัวรับรู้ a ได้รับข้อมูลที่ตนเองส่งออกไป เป็นการสิ้นเปลืองพลังงานจำนวนมากโดยไม่ได้นำมาซึ่งข้อจำกัดทางด้านแหล่งพลังงานของตัวรับรู้ไร้สาย การส่งข้อมูลแบบกระซิบ (Gossiping) สามารถหลีกเลี่ยงปัญหานี้ได้ โดยการให้ระบบสุ่มเลือกตัวรับรู้ที่จะต้องเป็นตัวส่งผ่านข้อมูลต่อไปแทนการแพร่กระจายข้อมูล

ไปทั้งระบบ แต่อย่างไรก็ตามการส่งข้อมูลแบบกระซิบจะต้องสุ่มเลือกตัวรับรู้ในการส่งข้อมูลซึ่งอาจทำให้เกิดการหน่วงเวลาในการส่งข้อมูล

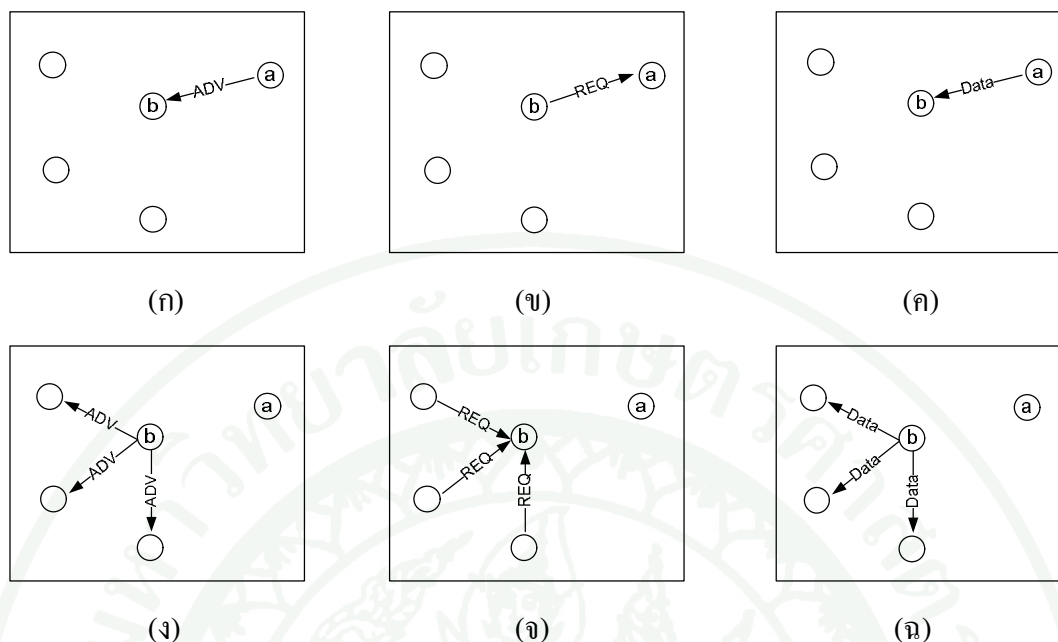


ภาพที่ 1 การส่งข้อมูลแบบท่อม

1.2 การสร้างเส้นทางสปิน (Sensor Protocols for Information via Negotiation (SPIN))

Akkaya and Younis (2005) การสร้างเส้นทางการส่งข้อมูลชนิดนี้จะกระจายข้อมูลทั้งหมดแต่ละตัวรับรู้ให้ทุกโหนดภายในเครือข่าย โดยมีสมมติฐานว่าทุกโหนดในเครือข่ายมีความเป็นไปได้ที่จะเป็นสถานีฐาน ซึ่งการกระทำเช่นนี้ทำให้ผู้ใช้งานสามารถร้องขอข้อมูลจากตัวรับรู้ตัวใดก็ได้ และสามารถรับข้อมูลนั้นได้ทันทีการสร้างเส้นทางนี้มีหลักความคิดว่าโหนดที่อยู่ใกล้กันจะมีข้อมูลที่เหมือนกัน ดังนั้นจึงมีความต้องการเฉพาะข้อมูลที่ตัวรับรู้อื่นไม่ได้ครอบครองไว้ การสร้างเส้นทางในตระกูลสปินนั้นในวิธีการส่งข้อมูลที่มีการเจรจาขอข้อมูลและแหล่งข้อมูลที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ ตัวรับรู้ที่ใช้การสร้างเส้นทางสปินจะกำหนดชื่อให้กับข้อมูลที่จัดเก็บเรียกว่า เมตาดาต้า (Meta-data) ซึ่งเป็นการใส่รายละเอียดให้กับข้อมูล และจะมีการเจรจากับเมตาดาต้าก่อนการส่งข้อมูล ทั้งนี้เพื่อไม่เป็นการสร้างความซ้ำซ้อนของการส่งข้อมูลในระบบ นอกจากนี้การสร้างเส้นทางสปินสามารถเข้าถึงระดับพลังงานที่มีอยู่ของตัวรับรู้และสามารถปรับเปลี่ยนการทำงานของเส้นทางให้เหมาะสมกับปริมาณพลังงานที่เหลืออยู่ได้

สำหรับการขั้นตอนการทำงานของการสร้างเส้นทางแบบสปิน (SPIN) สามารถอธิบายโดยภาพที่ 2 ในภาพ 2(ก) ตัวรับรู้ b ได้รับข้อความ ADV ซึ่งคือเมตาดาต้า (Meta-data) จากตัวรับรู้ a ในภาพ 2(ข) ตัวรับรู้ b พิจารณาเมตาดาต้าแล้วพบว่าต้องการข้อมูล ก็จะส่งข้อความ REQ ซึ่งเป็นข้อความร้องขอข้อมูลไปยังตัวรับรู้ a ในภาพ 3(ค) เมื่อตัวรับรู้ a ได้รับข้อความ REQ ก็จะส่งข้อมูล (Data) ให้กับตัวรับรู้ b จากนั้นตัวรับรู้ b ก็ทำการกระจายข้อความ ADV ต่อไปจนกระทั่งการส่งข้อมูลเสร็จสมบูรณ์ดังภาพที่ 2(ง)-(ด)

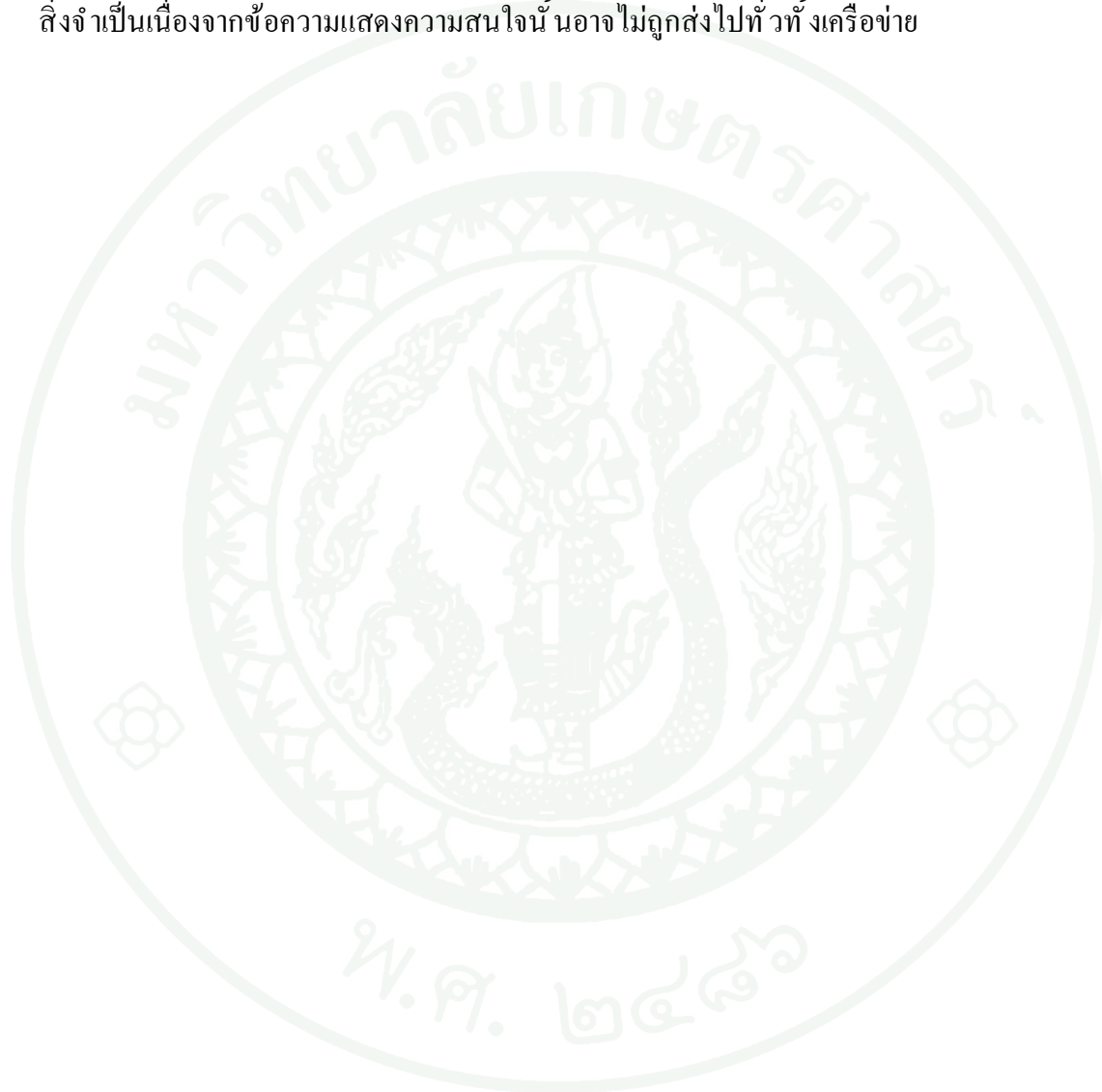


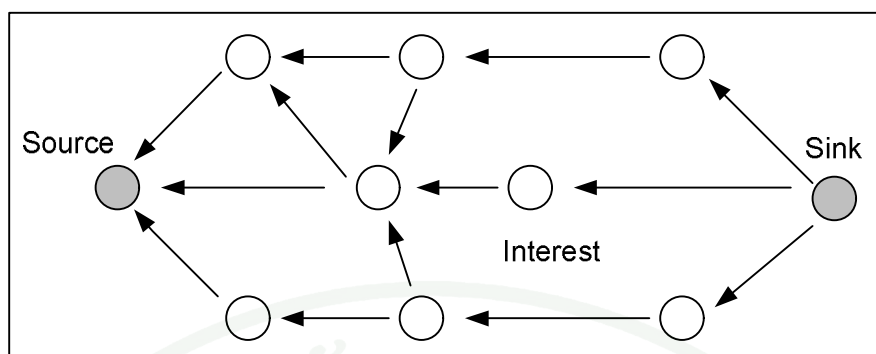
ภาพที่ 2 การสร้างเส้นทางสปิน

1.3 การสร้างเส้นทางไดเรกต์ดิฟฟิวชัน(Directed Diffusion)

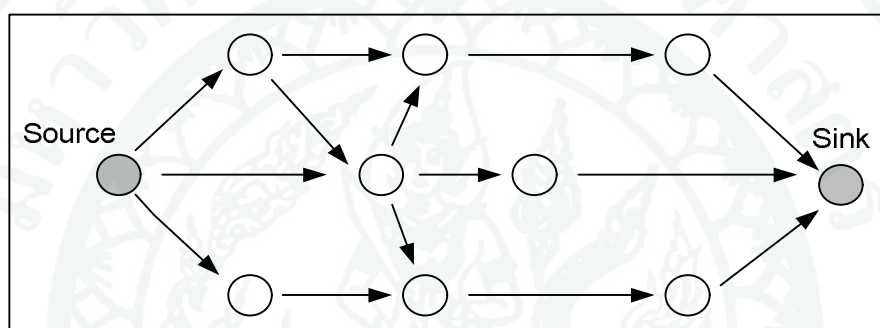
Akkaya and Younis (2005) ไดเรกต์ดิฟฟิวชันจัดเป็นการสร้างเส้นทางแบบเซนทริก มีหลักการทำงานคือข้อมูลทั้งหมดที่ถูกสร้างขึ้นโดยตัวรับรู้จะถูกตั้งชื่อโดยการค่าสร้างคู่ลักษณะขึ้น (Attribute-value pairs) หลักการสำคัญคือ การรวมข้อมูลที่มาจากแหล่งกำเนิดที่ต่างกันระหว่างทางของการส่งข้อมูล โดยการกำจัดความซ้ำซ้อนของข้อมูลที่ถูกส่งและลดจำนวนข้อมูลที่ถูกส่งลง ดังนั้นจึงสามารถทำให้ลดการใช้พลังงานของเครือข่ายและเพิ่มอายุการใช้งานเครือข่ายให้ยืนยาวได้ ตัวรับรู้จะตรวจวัดเหตุการณ์และสร้างเกรเดียนท์ข้อมูลตามลำดับเพื่อนบ้าน สถานีฐานจะร้องขอข้อมูลโดยการกระจายข้อความแสดงความสนใจออกไป โดยข้อความนี้จะอธิบายงานที่จะต้องทำภายในเครือข่าย ข้อความนี้จะถูกกระจายในเครือข่ายแบบฮอปบายฮอป(Hop by hop) และกระจายโดยแต่ละตัวรับรู้ไปยังเพื่อนบ้าน หลังจากที่ข้อความแสดงความสนใจถูกกระจายไปทั่วเครือข่าย ระบบจะทำการสร้างเกรเดียนท์ ซึ่งเป็นการดึงข้อมูลให้ตรงตามการร้องขอข้อมูล กล่าวคือสถานีฐานจะทำการเผยแพร่ข้อความแสดงความสนใจ จากนั้นตัวรับรู้โหนดอื่นๆจะส่งต่อข้อความนี้ไปเรื่อยๆ ตัวรับรู้โหนดที่ได้รับข้อความนี้ จะสร้างเกรเดียนท์ไปทางตัวรับรู้ที่ได้รับข้อความนี้ กระบวนการนี้จะถูกทำอย่างต่อเนื่องจนกระทั่งการสร้างเกรเดียนท์ถูกสร้างตั้งแต่ตัวรับรู้ที่เป็นแหล่งกำเนิดไปถึงยังสถานีฐาน เกรเดียนท์ทำหน้าที่ระบุคุณลักษณะของข้อมูลและทิศทางการส่ง

ข้อมูล การทำงานของระบบเป็นไปดังภาพที่ 3 ภาพที่ 3(ก) คือการส่งข้อความแสดงความสนใจ ภาพที่ 3(ข) คือการสร้างเกรเดียนท์ ภาพที่ 3(ค) คือการส่งข้อมูลจากแหล่งข้อมูลไปยังสถานีสถาน เมื่อมีการสร้างเส้นทางขึ้นมาหลายเส้นทาง จะมีเพียงเส้นทางที่ดีที่สุดเพียงเส้นทางเดียวเท่านั้นที่จะถูกใช้ดังภาพที่ 3(ค) ในระหว่างการส่งข้อมูลตัวรับรู้จะทำการรวมกลุ่มข้อมูลเพื่อลดต้นทุนในการสื่อสาร สถานีสถานจะทำการส่งข้อความแสดงความสนใจอย่างต่อเนื่อง การกระทำเช่นนี้จัดเป็น สิ่งจำเป็นเนื่องจากข้อความแสดงความสนใจนั้นอาจไม่ถูกส่งไปทั่วทั้งเครือข่าย

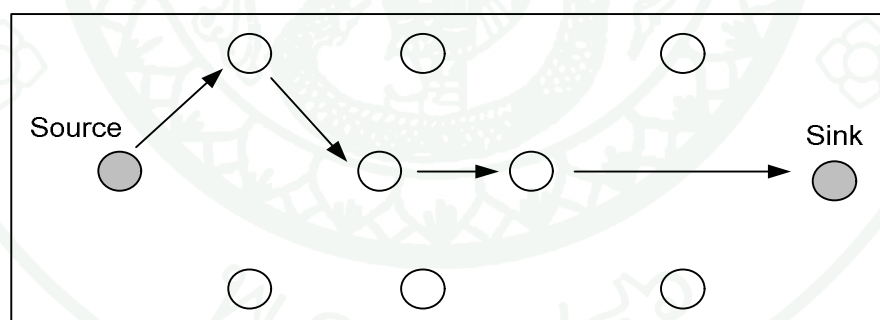




(ก) การกระจายข้อความแสดงความสนใจ



(ข) การสร้างเกรเดียนท์



(ค) การส่งข้อมูล

ภาพที่ 3 การสร้างเส้นทางไดเรกต์ดิวชัน

1.4 การสร้างเส้นทางรุมเมอร์ (Rumor routing)

Al-Karaki *et al.* (2004) การสร้างเส้นทางแบบรุมเมอร์ได้พัฒนามาจากการกำหนดเส้นทางแบบไดเรกต์ดิวชัน(Directed Diffusion) ซึ่งการสร้างเส้นทางแบบรุมเมอร์นั้นเหมาะกับ

แอปพลิเคชันที่การหาเส้นทางโดยอาศัยภูมิศาสตร์นั้นไม่สามารถทำได้ (Geographic routing) โดยทั่วไปการหาเส้นทางแบบไดเรกต์ดิฟฟิวชันจะใช้การฟลัดดิ้ง (Flooding) ในการกระจายข้อความร้องขอข้อมูลไปทั่วเครือข่ายเมื่อไม่มีกฎเกณฑ์ทางภูมิศาสตร์ในการกระจายงานออกไป แต่อย่างไรก็ตามในบางกรณีที่จำนวนข้อมูลที่ตัวรับรู้ร้องขอมีน้อยมากและการฟลัดดิ้งไม่มีความจำเป็นอีกต่อไป วิธีการเลือกที่แตกต่างคือ ทำการฟลัดดิ้งก็ต่อเมื่อจำนวนของเหตุการณ์นั้นมีค่าน้อย และจำนวนของการร้องขอข้อมูลมีมาก ความคิดที่สำคัญคือการกำหนดเส้นทางการร้องขอข้อมูลไปยังโหนดที่ทำการตรวจวัดเหตุการณ์ที่สนใจมีประโยชน์มากกว่าการฟลัดดิ้งการร้องขอไปทั่วเครือข่ายเพื่อเรียกข้อมูลเกี่ยวกับเหตุการณ์ที่กำลังเกิดขึ้นในการฟลัดดิ้งขั้นตอนวิธีการกำหนดเส้นทางแบบรูเมอร์จะมีกลุ่มข้อมูลที่มีอายุการใช้งานยาวอยู่เรียกว่า เอเจนต์ (Agent) เมื่อใดก็ตามที่ตัวรับรู้ตรวจวัดเหตุการณ์ได้ตัวรับรู้จะทำการเพิ่มเหตุการณ์นั้นลงไปในตารางบันทึกเหตุการณ์ (Events table) และสร้างกลุ่มข้อมูลเอเจนต์ขึ้น กลุ่มข้อมูลเอเจนต์จะถูกส่งเข้าไปในเครือข่าย จากนั้นจะทำหน้าที่เผยแพร่ข้อมูลเกี่ยวกับเหตุการณ์ของตัวรับรู้ไปยังตัวรับรู้ที่ห่างไกล เมื่อตัวรับรู้ทำการร้องขอข้อมูลเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นตัวรับรู้ที่ทราบการกำหนดเส้นทางจะตอบรับการร้องขอโดยการดูตารางบันทึกเหตุการณ์ ดังนั้นจะมีความจำเป็นที่ต้องมีการการฟลัดดิ้งไปทั่วเครือข่าย การกระทำเช่นนี้สามารถลดต้นทุนการสื่อสารลงได้ กล่าวคือการกำหนดเส้นทางแบบรูเมอร์จะคงเส้นทางการส่งข้อมูลจากตัวรับรู้แหล่งกำเนิดข้อมูลไปยังตัวรับรู้ที่ร้องขอข้อมูลเพียงเส้นทางเดียวเท่านั้น ต่างจากการกำหนดเส้นทางแบบไดเรกต์ดิฟฟิวชันที่ข้อมูลจะถูกส่งไปในหลายเส้นทางที่อัตราเร็วต่ำ ผลการจำลองสภาพการทำงานเครือข่ายแสดงให้เห็นว่าการกำหนดเส้นทางแบบรูเมอร์สามารถลดการใช้พลังงานได้มากกว่ากรณีการฟลัดดิ้งและยังสามารถจัดการกับสถานะการณ์ที่โหนดเกิดการล้มเหลวได้ อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของการกำหนดเส้นทางแบบรูเมอร์จะดีกว่า ก็ต่อเมื่อจำนวนของเหตุการณ์มีน้อย สำหรับกรณีที่จำนวนเหตุการณ์มีมากนั้น ต้นทุนในการรักษากลุ่มข้อมูลเอเจนต์และตารางบันทึกเหตุการณ์นั้นไม่คุ้มค่าถ้าหากจำนวนเหตุการณ์ที่สถานีฐานสนใจมีน้อย

1.5 การสร้างเส้นทางมินิมั่มคอสฟอวาร์ดดิ้ง (Minimum Cost Forwarding Algorithm (MCFA))

Al-Karaki *et al.* (2004) อัลกอริทึมของมินิมั่มคอสฟอวาร์ดดิ้ง (Minimum Cost Forwarding Algorithm) ใช้ประโยชน์จากข้อเท็จจริงที่ว่าทิศทางของการกำหนดเส้นทางไปยังสถานีฐานซึ่งตั้งอยู่ประจำที่นั้นจะสามารถทราบได้เสมอ ดังนั้นตัวรับรู้ไม่จำเป็นต้องมีเลขประจำตัวหรือตารางการกำหนดเส้นทางอีกต่อไป ในทางกลับกันตัวรับรู้จะเก็บค่าต้นทุนการส่งข้อมูลไปยังสถานี

ฐานที่ประเมินไว้ ข้อความแต่ละข้อความที่ส่งโดยตัวรับรู้จะถูกกระจายให้กับเพื่อนบ้าน เมื่อตัวรับรู้ได้รับข้อความจะทำการตรวจสอบ ถ้าหากเส้นทางการส่งข้อมูลของตัวรับรู้เวลานั้นเป็นเส้นทางการส่งระหว่างตัวรับรู้กับสถานีฐานที่มีค่าต้นทุนน้อยที่สุด ตัวรับรู้ก็จะประกาศข้อความนี้อีกครั้งให้เพื่อนบ้าน กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นซ้ำ จนกระทั่งการประกาศไปถึงสถานีฐาน ในอัลกอริทึมมินิมัคอสฟอวาคดิ่งตัวรับรู้ทุกจะต้องรู้เส้นทางการติดต่อกับสถานีฐานที่ใช้ต้นทุนที่น้อยที่สุดของตนเอง ซึ่งสามารถทราบได้ดังนี้ สถานีฐานจะกระจายข้อความที่กำหนดค่าต้นทุนการส่งเท่ากับศูนย์ ในขณะที่ตัวรับรู้อื่นทุกตัวจะตั้งค่าต้นทุนที่น้อยที่สุดของตนเองเท่ากับอนันต์เมื่อตัวรับรู้แต่ละตัวได้รับข้อความที่ออกอากาศที่สถานีฐาน ตัวรับรู้ทุกตัวจะทำการตรวจสอบเพื่อดูว่าค่าการประมาณต้นทุนในข้อความรวมกับค่าการเชื่อมโยงที่ได้รับมีค่าน้อยกว่าประมาณต้นทุนปัจจุบันหรือไม่ ถ้าเป็นเช่นนั้นก็จะอัปเดตค่าการประมาณต้นทุนทั้งในค่าประมาณต้นทุนปัจจุบันและในข้อความที่กระจายมาใหม่ อย่างไรก็ตามกระบวนการข้างต้นอาจทำให้บางโหนดมีข้อมูลอัปเดตมากกว่าหนึ่ง และโหนดที่อยู่ห่างจากสถานีฐานมากกว่าจะได้รับการอัปเดตบ่อยกว่าโหนดที่อยู่ใกล้สถานีฐาน เพื่อหลีกเลี่ยงสถานะการณ์เหล่านี้ อัลกอริทึมมินิมัคอสฟอวาคดิ่งทำการสร้างวิธีการแบบคอฟฟ (Backoff) ที่ขั้นตอนการติดตั้ง อัลกอริทึมแบบคอฟฟจะบังคับให้ตัวรับรู้ไม่ส่งข้อความอัปเดตจนกระทั่งถึงช่วงเวลาหนึ่ง

1.6 การสร้างเส้นทางเกรเดียนท์เบส (Gradient-Based Routing)

Al-Karaki *et al.* (2004) ความคิดหลักของการกำหนดเส้นทางแบบเกรเดียนท์เบส (Gradient based routing) คือ การจดจำจำนวนครั้งของการฮอปในการส่งข้อมูลข้อมูลที่สนใจไปทั่วเครือข่าย ทำให้ตัวรับรู้แต่ละตัวต้องคำนวณค่าตัวแปรที่เรียกว่า ความสูงของตัวรับรู้ (The height of the node) ค่าตัวแปรนี้คือจำนวนฮอปที่น้อยที่สุดในการส่งข้อมูลไปยังสถานีฐาน ผลต่างระหว่างค่าความสูงของตัวรับรู้กับค่าความสูงของตัวรับรู้เพื่อนบ้านคือเกรเดียนท์ของเส้นทางการเชื่อมต่อนั้น กลุ่มข้อมูลจะถูกส่งผ่านเส้นทางที่มีเกรเดียนท์มากที่สุด การกำหนดเส้นทางแบบเกรเดียนท์เบสใช้เทคนิคมากมายมาประกอบกัน ไม่ว่าจะเป็นการรวมกลุ่มข้อมูล การกระจายความหนาแน่นของการจราจร เพื่อให้ความหนาแน่นของการจราจรในเครือข่ายมีความเป็นเอกรูป ตัวรับรู้ที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับรู้รวมข้อมูลจะทำการรวมข้อมูล อัลกอริทึมการกำหนดเส้นทางแบบเกรเดียนท์เบสมีการใช้เทคนิคแพร่กระจายข้อมูลถึงสามชนิดด้วยกัน ได้แก่ วิธีการการ फैนสุ่ม (Stochastic scheme) วิธีการพิจารณาจากพลังงาน (Energy based scheme) และวิธีการกระแสข้อมูล (Stream based scheme) จุดประสงค์หลักของการใช้เทคนิคเหล่านี้เพื่อเป็นการสร้างสมดุลการกระจายความหนาแน่นของการจราจรในเครือข่ายซึ่งสามารถทำให้อายุการใช้งานเครือข่ายยืนยาวได้

1.7 การสร้างเส้นทางคูการ์ (COUGAR)

Al-Karaki *et al.* (2004) การกำหนดเส้นทางแบบคูการ์ (COUGAR) จัดเป็นอีกประเภทของการกำหนดเส้นทางแบบดาต้าเซนทริก การสร้างเส้นทางคูการ์จะมองว่าเครือข่ายเป็นฐานข้อมูลแบบกระจายขนาดใหญ่ (Distributed database) แนวคิดหลักคือ การใช้การประกาศการร้องขอเพื่อนำกระบวนการร้องขอจากชั้นเครือข่าย (Network layer) การกำหนดเส้นทางแบบคูการ์ใช้ประโยชน์จากการรวมกลุ่มข้อมูลเพื่อประหยัดพลังงาน การกำหนดเส้นทางแบบคูการ์ตัวรับรู้จะเลือกตัวรับรู้ผู้นำ เพื่อใช้ในการรวมกลุ่มและส่งข้อมูลไปยังสถานียาน สถานียานทำหน้าที่ในการสร้างแผนการร้องขอ ซึ่งแผนการร้องขอนี้ จะมีการเจาะจงข้อมูลที่จำเป็นเกี่ยวกับการส่งผ่านข้อมูลและส่งไปยังตัวรับรู้อื่นสำหรับแผนการร้องขอข้อมูลนั้น ได้อธิบายวิธีการเลือกตัวรับรู้ผู้นำในการร้องขอข้อมูลการกำหนดเส้นทางแบบคูการ์ทำให้เลเยอร์เครือข่ายเป็นอิสระจากการร้องขอข้อมูล อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ยังมีข้อเสีย ประการแรกคือการเพิ่มเลเยอร์ในการร้องขอข้อมูล (Query layer) ในตัวรับรู้แต่ละตัวเป็นการเพิ่มปริมาณงานให้กับระบบ (Overhead) ในเชิงของการใช้พลังงานและหน่วยความจำ ประการที่สองคือระบบต้องการการประสานเวลาระหว่างตัวรับรู้ด้วยกันในการส่งข้อมูลไปให้โหนดผู้นำ สุดท้ายตัวรับรู้ผู้นำจะต้องพยายามหลีกเลี่ยงการเกิดฮอตสปอต (Hot spots) เนื่องจากทำงานมากไป

1.8 การสร้างเส้นทางเอนเนอจีอะแวร์ (Energy Aware Routing)

Al-Karaki *et al.* (2004) การกำหนดเส้นทางแบบเอนเนอจีอะแวร์ (Energy Aware Routing) จัดเป็นการสร้างเส้นทางประเภทรีแอกทีฟ จุดประสงค์หลักของวิธีการนี้คือการทำให้อายุการใช้งานเครือข่ายยืนยาว ถึงแม้ว่าจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับการจัดเส้นทางแบบไดเรกต์ดิฟฟิวชัน แต่มีข้อแตกต่างกันในการอัลกอริทึมของเอนเนอจีอะแวร์จะรักษากลุ่มของเส้นทางจำนวนมากไม่ได้ใช้เพียงแค่เส้นทางเพียงเส้นทางเดียวดังเช่นในการจัดเส้นทางแบบไดเรกต์ดิฟฟิวชัน เส้นทางเหล่านี้ จะถูกเลือกโดยอาศัยหลักการความน่าจะเป็น ค่าของความน่าจะเป็นขึ้นอยู่กับความสามารถในการใช้พลังงานอย่างประหยัดของแต่ละเส้นทาง การเลือกเส้นทางที่มีการปรับเปลี่ยนไปตามเวลานั้น จะทำให้การใช้พลังงานของแต่ละตัวรับรู้จะถูกใช้ในอัตราเร็วที่ลดลง การกระทำเช่นนี้ จะสามารถเพิ่มอายุการใช้งานเครือข่ายอีกต่อไปได้ เมื่อมีการกระจายสภาพการใช้พลังงาน ทำให้ตัวรับรู้ในระบบมีการใช้พลังงานอย่างเท่าเทียมกัน ความคงอยู่ของเครือข่ายเป็นตัวแปรสำคัญที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพของการสร้างเส้นทางนี้ สมมติฐานของการสร้างเส้นทางนี้คือแต่ละตัวสามารถเข้าถึงได้ผ่านแอดเดรส (Address) ซึ่งในแอดเดรสนี้จะประกอบด้วยตำแหน่งที่อยู่และชนิดของตัวรับรู้ การสร้างเส้นทางเริ่มต้นสร้างการเชื่อมต่อ โดยอาศัยการฟลัดดิ้งซึ่งใช้ในการค้นหา

เส้นทางและต้นทุนการส่งข้อมูลทั้งหมดระหว่างตัวรับรู้ที่เป็นแหล่งกำเนิดข้อมูลกับจุดหมายในการส่งข้อมูล จากนั้นจะทำการสร้างตารางเส้นทางสำหรับการส่งข้อมูล เส้นทางที่มีต้นทุนการส่งข้อมูลสูงจะไม่ถูกใช้ ตารางการส่งต่อข้อมูลจะถูกสร้างขึ้นโดยการเลือกโหนดข้างเคียงซึ่งตารางการส่งต่อข้อมูลนี้ใช้ในการส่งข้อมูลไปยังจุดหมาย ความน่าจะเป็นในการเลือกเส้นทางจากรายการส่งต่อข้อมูลจะแปรผกผันกับต้นทุนของตัวรับรู้ อัลกอริทึมที่สามารถลดการใช้พลังงานของระบบได้เป็นอย่างดี แต่อย่างไรก็ตามอัลกอริทึมนี้ต้องการข้อมูลตำแหน่งที่อยู่และการสร้างแอตทริบิวต์ให้กับตัวรับรู้ซึ่งเป็นการสร้างความซับซ้อนในการเริ่มต้นระบบจัดหาเส้นทางเมื่อเปรียบเทียบกับแบบใดเรกต์ดิฟฟิวชัน

1.9 การสร้างเส้นทางแรนดอมวอล์ค (Routing Protocols with Random Walks)

Al-Karaki *et al.* (2004) จุดประสงค์หลักของการสร้างเส้นทางกำหนดเส้นทางแบบแรนดอมวอล์ค (Routing Protocols with Random Walks) คือ การสร้างสมดุลการใช้พลังงานตัวรับรู้โดยใช้หาเส้นทางแบบหลายเส้นทาง (Multi path routing) เทคนิคนี้จะพิจารณาเฉพาะเครือข่ายที่มีขนาดใหญ่และทุกตัวรับรู้ในเครือข่ายไม่เคลื่อนที่ วิธีการทำงานนี้ตั้งสมมติฐานว่าตัวรับรู้จะสามารถอยู่ในสถานะปฏิบัติงานหรือไม่ปฏิบัติงาน โดยการปิดการทำงานของตนเอง ณ เวลาที่ทำการสุมขึ้นมา นอกจากนี้ตัวรับรู้แต่ละตัวยังมีเลขประจำตัวเป็นของตนเองแต่จะไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่งที่อยู่ตัวรับรู้จะถูกจัดให้อยู่ตามตำแหน่งจุดของกริดสี่เหลี่ยม ในการค้นหาเส้นทางการสื่อสารจากโหนดที่เป็นแหล่งกำเนิดไปยังจุดหมายนั้นจะสามารถหาตำแหน่งที่อยู่ได้หรือระยะพิกัดได้โดยการคำนวณระยะทางระหว่างโหนด โหนดปัจจุบันจะทำการเลือกโหนดเพื่อนบ้านที่จะใช้เป็นโหนดถัดไปในการส่งข้อมูลที่อยู่ใกล้กับจุดหมายในการส่งข้อมูลมากที่สุดหรือตามความน่าจะเป็นที่ถูกคำนวณไว้ เทคนิคการสร้างสมดุลของโหลดถูกนำมาใช้ในการคำนวณค่าความน่าจะเป็นอย่างถูกต้องแม่นยำ ขึ้นตอนวิธีนี้ไม่ซับซ้อนเนื่องจากตัวรับรู้จะเก็บข้อมูลจำนวนน้อย นอกจากนี้เส้นทางที่ถูกเลือกสามารถเลือกให้แตกต่างกันได้แม้ว่าการส่งข้อมูลระหว่างแหล่งกำเนิดและจุดหมายเป็นคู่เดียวกัน

2. การสร้างเส้นทางแบบพิจารณาจากตำแหน่ง (Location based routing protocols)

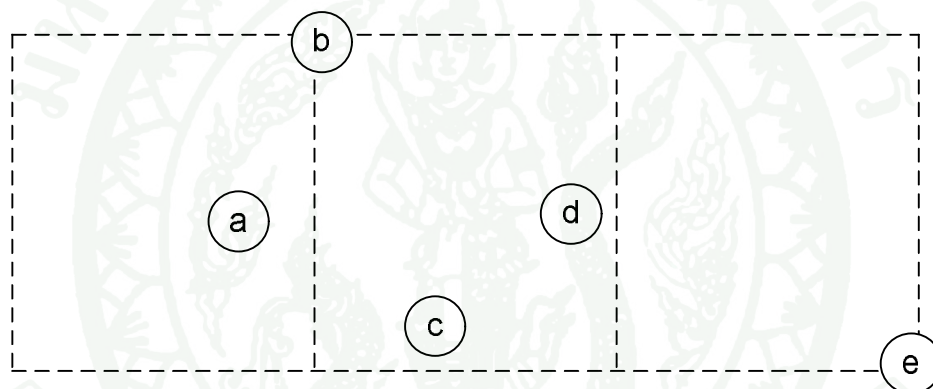
Al-Karaki *et al.* (2004) การสร้างเส้นทางประเภทนี้ตัวรับรู้จะถูกกำหนดที่อยู่ให้ในลักษณะของตำแหน่งที่อยู่ให้ ระยะทางระหว่างตัวรับรู้เพื่อนบ้านสามารถหาได้จากกำลังของสัญญาณที่สื่อสารระหว่างกัน พิกัดของตัวรับรู้โหนดเพื่อนบ้านสามารถทราบได้จากการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน ตำแหน่งของตัวรับรู้จะสามารถหาได้โดยตรงจากการสื่อสารกับดาวเทียม

หรือการใช้เทคโนโลยีจีพีเอส (Global Positioning System) ถ้าหากตัวรับรู้มีอุปกรณ์การเชื่อมต่อจีพีเอส ในบางวิธีการสร้างเส้นทางแบบพิจารณาจากตำแหน่งจะกำหนดให้ตัวรับรู้อยู่ในสถานะไม่ทำงานเมื่อไม่มีกิจกรรมใดใดเกิดขึ้นเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน หากมีจำนวนโหนดที่อยู่ในสถานะไม่ปฏิบัติงานมากก็จะสามารถลดการใช้พลังงานของเครือข่ายได้มาก ความท้าทายของการออกแบบระบบคือการออกแบบตารางการปฏิบัติงานหรือไม่ปฏิบัติงานของตัวรับรู้

2.1 การสร้างเส้นทางแบบจีโอกราฟฟิคอะแดปทีฟฟิเดลิที (Geographic Adaptive Fidelity (GAF))

Al-Karaki *et al.* (2004) การสร้างเส้นทางกำหนดเส้นทางสื่อสารแบบจีโอกราฟฟิคอะแดปทีฟฟิเดลิที (Geographic Adaptive Fidelity (GAF)) จะเป็นการสร้างเส้นทางที่พิจารณาคำแหน่งของตัวรับรู้โดยใช้ความสำคัญกับการใช้พลังงาน การสร้างเส้นทางชนิดนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อนำเครือข่ายแอดฮอคแต่ก็สามารถนำมาใช้งานกับเทคโนโลยีตัวรับรู้ไร้สายได้ ขั้นแรกเครือข่ายจะถูกแบ่งออกเป็นโซนที่ตายตัวตามกริดเสมือน (Virtual grid) ในแต่ละโซนตัวรับรู้แต่ละตัวจะทำงานร่วมกันโดยมีหน้าที่ที่แตกต่างกันออกไป ยกตัวอย่างเช่นการที่ตัวรับรู้จะเลือกตัวรับรู้ขึ้นมาหนึ่งตัวในอยู่ในสถานะตื่นพร้อมปฏิบัติงานภายในคาบเวลาหนึ่ง เมื่อคาบเวลานั้นจบลงตัวรับรู้ก็จะเข้าสู่สภาวะหลับและไม่ปฏิบัติงาน ตัวรับรู้โหนดนี้รับผิดชอบในการตรวจวัดสภาพแวดล้อมและรายงานข้อมูลไปยังสถานีฐาน โดยจะเป็นตัวแทนของโซนนั้น ดังนั้นการสร้างเส้นทางกำหนดเส้นทางสื่อสารแบบจีโอกราฟฟิคอะแดปทีฟฟิเดลิทีจึงสามารถอนุรักษ์พลังงานได้โดยการปิดตัวรับรู้ที่ไม่มีความจำเป็นต่อระบบเครือข่ายโดยไม่ส่งผลกระทบต่อการส่งข้อมูล ตัวรับรู้แต่ละตัวจะใช้ระบบจีพีเอสในการระบุตำแหน่งของตนเองและปรับเข้ากับตำแหน่งในกริดเสมือนตัวรับรู้ที่เชื่อมโยงกับจุดเดียวกันภายในกริดเสมือนจะถูกพิจารณาว่ามีค่าต้นทุนในการสื่อสารเท่ากันด้วยเหตุนี้ทำให้ตัวรับรู้ที่อยู่ในโซนกริดเสมือนเดียวกันสามารถเข้าสู่สถานะไม่ปฏิบัติงานได้ เมื่อมีตัวรับรู้ตัวอื่นในโซนดูแลการทำงานอยู่แล้ว การกระทำเช่นนี้ทำเพื่อลดการใช้พลังงานลง ดังนั้นการสร้างเส้นทางกำหนดเส้นทางสื่อสารแบบจีโอกราฟฟิคอะแดปทีฟฟิเดลิทีมีจุดประสงค์หลักคือการเพิ่มอายุการใช้งานเครือข่ายให้ยืนยาวขึ้นเมื่อจำนวนของตัวรับรู้มีจำนวนมากขึ้น ในการรับมือกับการเคลื่อนที่ของตัวรับรู้ ตัวรับรู้แต่ละตัวจะต้องประมาณเวลาของออกจากกริดของตนเอง และส่งข้อมูลนี้ไปยังเพื่อนบ้าน จากนั้นเพื่อนบ้านจะปรับเวลาในการเข้าสู่สถานะไม่ปฏิบัติงานของตนเองตามข้อมูลที่ได้รับมาเพื่อรักษาให้กระบวนการส่งข้อมูลยังคงอยู่ ก่อนที่จะถึงเวลาเข้าสู่สถานะไม่ปฏิบัติงานของตัวรับรู้ จากนั้นตัวรับรู้เพื่อนบ้านจะตื่นขึ้นและเข้าสู่สภาวะปฏิบัติงาน การใช้งานของการสร้างเส้นทางนี้สามารถทำไปใช้งานกับเครือข่ายที่ตัวรับรู้มีการเคลื่อนไหวและตัวรับรู้ไม่เคลื่อนไหว การสร้างเส้นทางชนิดนี้มีการใช้งานครัสเตอร์เฮดในการ

รวมกลุ่มข้อมูลและส่งไปยังสถานีฐาน การเป็นคริสเตอร์จะสลับสับเปลี่ยนกันภายในโซน การสร้างเส้นทางการกำหนดเส้นทางการสื่อสารแบบจีโอกราฟฟิคอะแดปทีฟฟิลลิที่ ทำให้เครือข่ายสามารถเชื่อมต่อกันได้ โดยการให้ตัวรับรู้ตัวแทนของโซนต้องอยู่ในสถานะทำงานตลอดเวลา ถึงแม้ว่าการสร้างเส้นทางชนิดนี้จะจัดอยู่ในประเภทการสร้างเส้นทางที่อาศัยตำแหน่งตัวรับรู้ในการสร้างเส้นทางแต่ก็สามารถพิจารณาได้ว่าการการสร้างเส้นทางการสร้างเส้นทางแบบลำดับชั้นได้จากภาพที่ 4 แสดงการจำลองการสร้างเส้นทางแบบจีโอกราฟฟิคอะแดปทีฟฟิลลิที่ (Geographic Adaptive Fidelity (GAF)) บนกริดเสมือนตัวรับรู้โหนด a สามารถส่งต่อข้อมูลให้ตัวรับรู้ b c และ d ซึ่งตัวรับรู้ b c และ d นั้นก็สามารถส่งต่อข้อมูลให้ตัวรับรู้ e ได้ ดังนั้นถึงถือว่าได้ตัวรับรู้ b c และ d สมมูลกัน มีเพียงตัวรับรู้ตัวเดียวที่มีความจำเป็นต้องทำงานในการส่งต่อข้อมูล ตัวรับรู้ที่เหลือสองตัวไม่จำเป็นต้องการส่งข้อมูลไปยังตัวรับรู้ ซึ่งเป็นการประหยัดพลังงาน



ภาพที่ 4 กริดเสมือนในการใช้งานของการสร้างเส้นทางการสื่อสารแบบจีโอกราฟฟิคอะแดปทีฟฟิลลิที่

2.2 การสร้างเส้นทางเกียร์ (Geographic and Energy Aware Routing (GEAR))

Al-Karaki *et al.* (2004) การสร้างเส้นทางเกียร์ (GEAR) เป็นการใช้ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ในการกระจายการร้องขอข้อมูลในพื้นที่ที่เหมาะสม เนื่องจากการร้องขอข้อมูลมักรวมคุณลักษณะทางภูมิศาสตร์เข้าไว้ด้วยกัน การสร้างเส้นทางชนิดนี้ใช้หลักการกัมพูฐภาวะการใช้พลังงานและข้อมูลทางภูมิศาสตร์ในการวิเคราะห์เส้นทางส่งต่อข้อมูลไปยังพื้นที่ที่เป็นจุดหมาย แนวความคิดหลักคือการจำกัดจำนวนข้อมูลที่สนใจโดยการส่งไปในพื้นที่ที่สนใจเท่านั้น ไม่มีการส่งข้อความแสดงความสนใจไปทั้งเครือข่ายดังเช่นในการสร้างเส้นทางแบบไดเรกต์ดิฟฟิวชันการกระทำเช่นนี้ทำให้การสร้างเส้นทางเกียร์สามารถลดการใช้พลังงานลงได้มากกว่าแบบไดเรกต์ดิฟฟิวชัน ตัวรับรู้แต่ละตัวในการสร้างเส้นทางเกียร์จะต้องประเมินค่าต้นทุนการส่งข้อมูลของ

ตนเองและของเพื่อนบ้านในการส่งข้อมูลไปยังจุดหมาย ต้นทุนที่ประเมินประกอบไปด้วยค่าพลังงานที่เหลืออยู่ของตัวรับรู้และระยะทางจากตัวรับรู้ไปยังจุดหมายของการส่งข้อมูล ช่องว่าง (hole) ในเครือข่ายเกิดจากการที่ตัวรับรู้ไม่มีเพื่อนบ้านที่อยู่ใกล้พื้นที่เป้าหมาย เพื่อที่จะส่งข้อมูลมากกว่าโหนดนั้นเอง เมื่อใดที่มีการเกิดช่องว่างขึ้นระบบจะทำการปรับการหาเส้นทางใหม่ ขั้นตอนวิธีชนิดนี้ประกอบไปด้วยสองขั้นตอนด้วยกัน

ขั้นตอนที่หนึ่งคือการส่งกลุ่มข้อมูลไปยังพื้นที่เป้าหมาย นอกเหนือไปจากการรับกลุ่มข้อมูลตัวรับรู้ยังทำหน้าที่ตรวจสอบเพื่อนบ้านอยู่เสมอ เพื่อดูว่าตนเองยังมีเพื่อนบ้านที่ใกล้กับพื้นที่เป้าหมายมากกว่าตนเองอยู่อย่างน้อยหนึ่งตัว ถ้าหากตัวรับรู้เพื่อนบ้านที่ใกล้กว่ามีมากกว่าหนึ่ง การสร้างเส้นทางจะให้ตัวรับรู้เลือกเพื่อนบ้านที่อยู่ใกล้กับพื้นที่เป้าหมายมากกว่าเป็นตัวรับรู้ที่จะให้ส่งข้อมูลตัวต่อไป ถ้าหากเพื่อนบ้านทั้งหมดอยู่ไกลกว่าตัวรับรู้ปัจจุบัน เหตุการณ์หมายถึงการเกิดช่องว่าง ในกรณีเช่นนี้ตัวรับรู้จะเลือกตัวรับรู้ขึ้นมาหนึ่งตัวแล้วส่งกลุ่มข้อมูลไปให้การเลือกจะใช้เกณฑ์ของต้นทุนการส่งข้อมูลที่ได้เรียนรู้

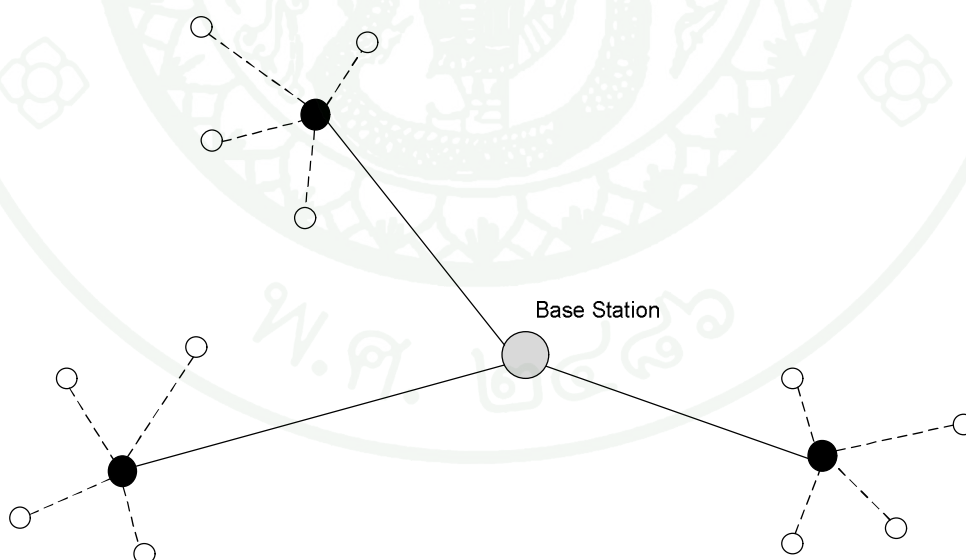
ขั้นตอนที่สองคือการส่งข้อมูลภายในโซนพื้นที่ เมื่อกลุ่มข้อมูลถูกส่งมาอยู่ในโซนเป้าหมายแล้ว การส่งข้อมูลจะเป็นไปตามวิธีตามขั้นตอนแรกของขั้นตอนวิธีนี้ หรือใช้วิธีพลัดคั้งไปทั่วเครือข่าย การพลัดคั้งนี้มีประสิทธิภาพดีเมื่อความหนาแน่นของตัวรับรู้ในพื้นที่มีไม่มาก ในเครือข่ายที่มีความหนาแน่นตัวรับรู้สูง วิธีในขั้นตอนแรกจะถูกนำมาใช้ซ้ำ ซึ่งการกระทำเช่นนี้ จะประหยัดพลังงานมากกว่าแบบพลัดคั้ง

2.3 การสร้างเส้นทางสเปน (SPAN)

Al-Karaki *et al.* (2004) การสร้างเส้นทางสเปน (SPAN) จัดเป็นวิธีการหาเส้นทางสื่อสารที่อาศัยตำแหน่งตัวรับรู้วิธีหนึ่ง โดยการสร้างเส้นทางนี้จะเลือกตัวรับรู้เพื่อทำหน้าที่เป็นโคออดิเนเตอร์ (Coordinator) จากนั้นตัวรับรู้โคออดิเนเตอร์ จะทำหน้าที่สร้างแกนหลักของเครือข่าย (Backbone) ที่ใช้ในการส่งผ่านข้อมูล ตัวรับรู้จะถือได้ว่าเป็นตัวรับรู้โคออดิเนเตอร์ได้ก็ต่อเมื่อเพื่อนบ้านสองตัวของโหนดที่ไม่ใช่ตัวรับรู้โคออดิเนเตอร์ ไม่สามารถติดต่อกันได้ผ่านทางตัวรับรู้โคออดิเนเตอร์ได้ การสร้างเส้นทางชนิดนี้ ไม่ได้ให้ประสิทธิภาพที่ดีในแง่ของการใช้พลังงาน เนื่องจากจะต้องมีความซับซ้อนมากที่จะต้องเก็บข้อมูลของเพื่อนบ้านที่ใกล้กันหลายจำนวนฮอป (Hop)

3. การสร้างเส้นทางสื่อสารแบบลำดับชั้นหรือครัสเตอร์ (Hierarchical or cluster-based routing)

Al-Karaki *et al.* (2004) การสร้างเส้นทางสื่อสารแบบลำดับชั้นเป็นที่รู้จักกันดีในการสื่อสารแบบมีสาย มีข้อดีคือ ทำให้การสื่อสารมีประสิทธิภาพดี ดังนั้นการสร้างเส้นทางสื่อสารแบบลำดับชั้นจึงถูกนำมาใช้ประโยชน์ในเทคโนโลยีเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย ในสถาปัตยกรรมเครือข่ายแบบลำดับชั้นนี้ ตัวรับรู้ที่มีพลังงานมากกว่าจะถูกใช้ในการประมวลผลและส่งข้อมูล ในขณะที่ตัวรับรู้ที่มีพลังงานน้อยจะถูกใช้ในงานตรวจวัดสภาพแวดล้อมเป้าหมายต่างๆ การสร้างกลุ่มครัสเตอร์และการกำหนดงานให้ครัสเตอร์เสดทำให้ระบบมีประสิทธิภาพดีได้ในเชิงของ ความยืดหยุ่น อายุการใช้งาน และการใช้พลังงาน การสร้างเส้นทางสื่อสารแบบลำดับชั้นเป็นทางเลือกที่ดีในการทำให้การใช้พลังงานในครัสเตอร์ลดน้อยลง การรวมกลุ่มข้อมูลและหลอมรวมข้อมูลถูกนำมาใช้เพื่อลดจำนวนของข้อความที่จะต้องส่งไปยังสถานีฐาน การสร้างเส้นทางสื่อสารแบบลำดับชั้นประกอบไปด้วยขั้นตอนในการจัดเส้นทางจำนวนสองขั้น **ขั้นตอน** การเลือกครัสเตอร์เสดและการจัดเส้นทางสื่อสาร อย่างไรก็ตามเทคนิคส่วนใหญ่ในการสร้างเส้นทางประเภทนี้ไม่ได้ขึ้นอยู่กับการจัดหาเส้นทาง แต่ขึ้นอยู่กับกระบวนการตัดสินใจว่าจะให้ตัวรับรู้ตัวใดส่งข้อมูลหรือประมวลผลข้อมูลเมื่อไร



ภาพที่ 5 แนวคิดการสร้างเส้นทางสื่อสารแบบลำดับชั้นหรือครัสเตอร์

3.1 การสร้างเส้นทางลิช (LEACH protocol)

Al-Karaki *et al.* (2004) การส่งข้อมูลแบบลิช (LEACH protocol) จัดเป็นการสร้างเส้นทางแบบครีสเตอร์ การสร้างเส้นทางแบบลิชจะสุ่มเลือกตัวรับรู้จำนวนหนึ่งเป็นครีสเตอร์เฮด ครีสเตอร์เฮดจะทำหน้าที่บีบอัดข้อมูลที่เข้ามาจากตัวรับรู้ที่อยู่ภายในครีสเตอร์เดียวกัน และส่งข้อมูลที่รวมกลุ่มไว้เหล่านั้นไปยังสถานีฐานเพื่อเป็นการลดจำนวนข้อมูลที่จะถูกส่งไปยังสถานีฐาน อย่างไรก็ตามการเก็บข้อมูลจะทำอย่างต่อเนื่องเป็นคาบเวลา ดังนั้นการสร้างเส้นทางชนิดนี้จึงเหมาะสมกับแอปพลิเคชันที่ต้องการความสม่ำเสมอในการตรวจวัดของเครือข่ายตัวรับรู้ ซึ่งผู้ใช้ไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลทั้งหมดในทันทีทันใด ดังนั้นการส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่องด้วยคาบเวลานั้นถือว่าไม่จำเป็นและยังเป็นการใช้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดโดยปราศจากเหตุอันสมควร หลังจากผ่านช่วงเวลาหนึ่งที่ได้ถูกกำหนดไว้ การทำหน้าที่เป็นครีสเตอร์เฮดจะถูกสลับเปลี่ยนหมุนเวียนกันเป็นรอบ ซึ่งทำให้เกิดความเป็นเอกรูปของการใช้พลังงานกระจายไปทั่วเครือข่าย

ขั้นตอนการทำงานของการสร้างเส้นทางลิชนั้นแบ่งออกเป็นสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกเริ่มต้นด้วยการติดตั้งเครือข่ายและขั้นตอนที่เครือข่ายเข้าสู่สภาวะการทำงานคงที่ สำหรับขั้นตอนเริ่มต้นติดตั้งเครือข่ายจะมีการจัดกลุ่มครีสเตอร์และเลือกครีสเตอร์เฮด ส่วนขั้นตอนที่เครือข่ายเข้าสู่สภาวะการทำงานคงที่จะมีการส่งข้อมูลไปยังสถานีฐาน ช่วงเวลาที่เครือข่ายอยู่ในสภาวะการทำงานคงที่จะใช้เวลายาวกว่าขั้นเริ่มต้นติดตั้งเครือข่าย ขณะที่อยู่ในช่วงเริ่มต้นติดตั้งเครือข่ายจะมีตัวแปร P จากนั้นตัวรับรู้จะสุ่มเลือกค่าระหว่าง 0 ถึง 1 หากค่าที่ได้มีค่าน้อยกว่า $T(n)$ ตัวรับรู้โหนดนั้นจะเป็นครีสเตอร์เฮดสำหรับรอบนั้น ค่า $T(n)$ นั้นสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) โดยที่ P เป็นร้อยละของจำนวนครีสเตอร์เฮดในเครือข่าย

$$T(n) = \frac{P}{1 - P \times \left(r \bmod \frac{1}{P} \right)}, n \in G \quad (1)$$

P เป็นร้อยละของจำนวนครีสเตอร์เฮดในเครือข่าย

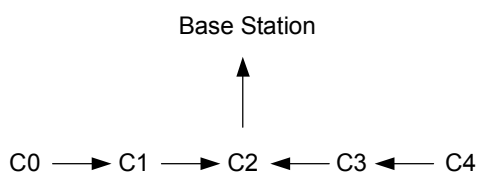
r เป็นจำนวนรอบ ณ เวลาปัจจุบัน

ถึงแม้ว่าการสร้างเส้นทางลิชจะสามารถเพิ่มอายุการใช้งานของระบบได้ แต่ในการสร้างเส้นทางนี้ก็ยังมีความข้อบกพร่องอยู่คือ การสร้างเส้นทางลิชมีสมมติฐานว่าทุกโหนดสามารถส่งข้อมูลไปยังสถานีฐานได้โดยมีพลังงานเพียงพอ ดังนั้นจึงไม่เหมาะสมกับแอปพลิเคชันที่จะใช้งานในพื้นที่ขนาดใหญ่ และยังมีสมมติฐานอีกประการว่าทุกโหนดจะส่งข้อมูลเสมอ และโหนดที่อยู่ใกล้

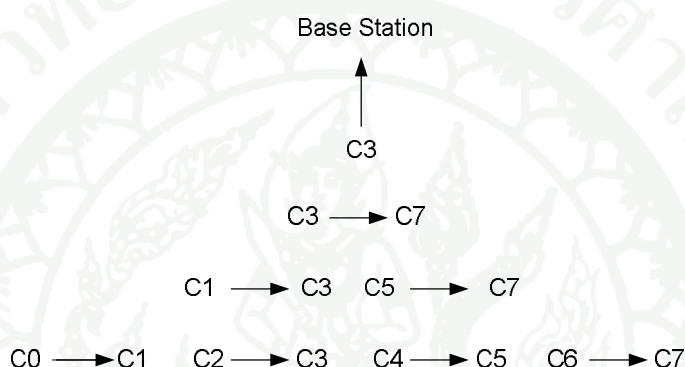
กันมีข้อมูลที่เกี่ยวข้องกัน และจำนวนของคริสเตอร์เฮดที่ถูกกำหนดไว้ตั้งแต่แรกไม่สามารถแสดงให้เห็นว่าจะกระจายไปทั่วทั้งเครือข่ายได้ เพราะฉะนั้นจึงมีความเป็นไปได้ว่าคริสเตอร์เฮดที่ถูกเลือกอาจไปรวมตัวกันอยู่ ณ พื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งในเครือข่าย ทำให้ตัวรับรู้บางโหนดไม่สามารถติดต่อกับตัวอื่นได้ นอกจากนี้แนวความคิดที่ให้คริสเตอร์มีการเปลี่ยนแปลงได้ทำให้เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่าย (Overhead) ให้กับระบบซึ่งต้องสิ้นเปลืองพลังงานไปกับส่วนนี้ สุดท้ายการสร้างเส้นทางนี้ตั้งสมมติฐานว่าตัวรับรู้ทุกตัวมีพลังงานเริ่มต้นที่เท่ากันในแต่ละรอบ แต่การเป็นคริสเตอร์เฮดนั้นจะใช้พลังงานมากกว่าตัวรับรู้ตัวอื่น

3.2 การสร้างเส้นทางเพกาซิส (Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS))

Al-Karaki *et al.* (2004) จุดมุ่งหมายหลักของการสร้างเส้นทางเพกาซิส (PEGASIS) คือ การเพิ่มอายุการใช้งานเครือข่าย ตัวรับรู้จะต้องสื่อสารกับเพื่อนบ้านที่อยู่ใกล้ที่สุดและทำการสลับกันติดต่อกับสถานีฐาน การกระทำเช่นนี้เป็นการลดความต้องการใช้พลังงานในการส่งข้อมูลไปเป็นรอบ ทำให้การใช้พลังงานเกิดความเป็นเอกรูปขึ้นทุกตัวรับรู้ ดังนั้นการสร้างเส้นทางเพกาซิส มีจุดประสงค์หลักสองประการคือ การเพิ่มอายุการใช้งานของตัวรับรู้แต่ละตัวโดยอาศัยวิธีการร่วมมือกันทำงาน และลดการใช้แบนด์วิดท์ลงโดยการอนุญาตให้โหนดที่อยู่ใกล้กันผลัดเปลี่ยนการทำงาน ข้อแตกต่างจากการสร้างเส้นทางลิซคือ การสร้างเส้นทางเพกาซิสนั้นหลีกเลี่ยงการสร้างคริสเตอร์และใช้เฉพาะตัวรับรู้ในเชน (Chain) ส่งข้อมูลไปยังสถานีฐานแทนการใช้ตัวรับรู้ที่ต้องส่งข้อมูลให้สถานีฐานจำนวนมาก ดังภาพที่ 6 การสร้างเส้นทางไฮราซิคอลเพกาซิส (Hierarchical-PEGASIS) เป็นการสร้างเส้นทางที่พัฒนามาจากการสร้างเส้นทางเพกาซิส (PEGASIS) โดยมีจุดมุ่งหมายที่จะลดความหน่วงเวลาในการส่งกลุ่มข้อมูลไปยังสถานีฐาน โดยอาศัยการรวมกลุ่มข้อมูลที่ตัวรับรู้ขึ้นดังภาพที่ 6 ดังนั้นจึงมีการใช้เทคนิคของการส่งข้อมูลที่ต้องหลีกเลี่ยงชนกันของข้อมูลและการเข้ารหัสข้อมูลมาใช้ วิธีเหล่านี้เป็นการประกันว่าข้อมูลที่ส่งไปพร้อมกันอย่างคู่ขนานและค่าการหน่วงเวลาในการส่งจะลดลง



ภาพที่ 6 การสร้างเส้นทางเพกาซิส (Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems (PEGASIS))

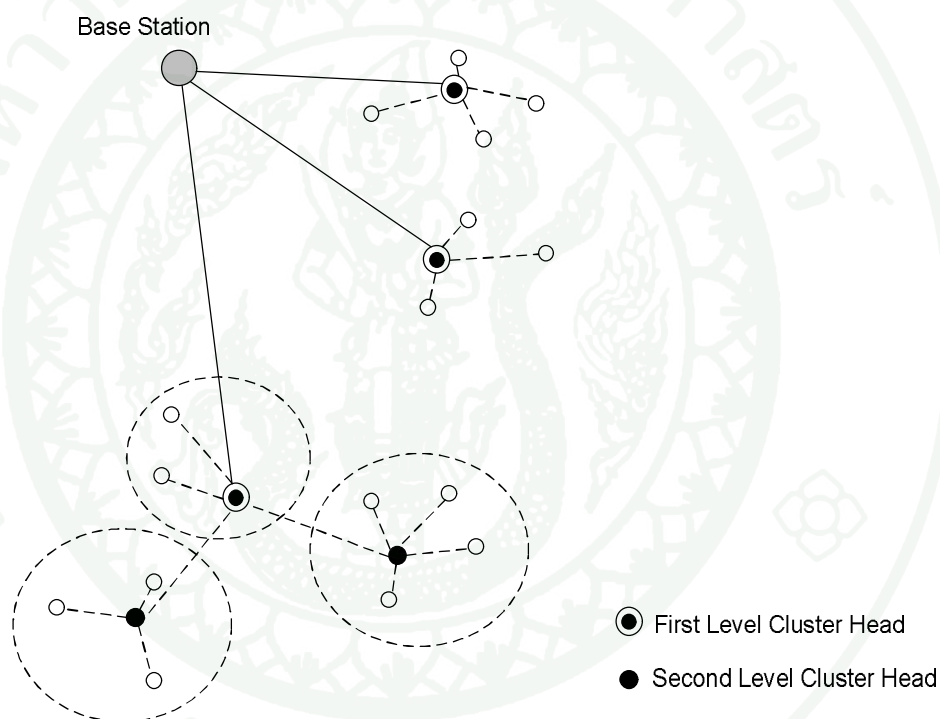


ภาพที่ 7 การสร้างเส้นทางเพกาซิสแบบลำดับชั้น (Hierarchical Power Efficient Gathering in Sensor Information Systems (Hierarchical-PEGASIS))

3.3 การสร้างเส้นทางทีนและแอพทีน (Threshold-sensitive Energy Efficient Protocols (TEEN and APTEEN))

Al-Karaki *et al.* (2004) ทั้งการสร้างเส้นทางทีน(TEEN) และ การสร้างเส้นทางแอพทีน(APTEEN) ถูกนำเสนอเพื่อให้ใช้งานกับแอปพลิเคชันที่เวลาสำคัญ (Time critical) ในการสร้างเส้นทางทีนตัวรับรู้จะตรวจวัดสภาพแวดล้อมอย่างต่อเนื่องแต่สำหรับการส่งข้อมูลนั้นจะทำได้ด้วยความถี่น้อยกว่า คริสเตอร์เฮดจะส่งค่าขีดแบ่งฮาร์ด (Hard threshold) ให้กับสมาชิกในเครือข่าย ซึ่งค่าขีดแบ่งนี้ประกอบด้วยคุณลักษณะการตรวจวัดและค่าขีดแบ่งซอฟต์ (Soft threshold) ซึ่งค่าขีดแบ่งฮาร์ดนี้เป็นค่าที่เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้น ตัวรับรู้จะเปิดตัวส่งและส่งข้อมูล ดังนั้นค่าขีดแบ่งฮาร์ดมีขึ้นเพื่อพยายามจะลดจำนวนการส่งข้อมูลโดยจะส่งเฉพาะข้อมูลการตรวจวัดที่สนใจเท่านั้น ในส่วนของขีดแบ่งซอฟต์นั้นจะลดการส่งข้อมูลที่พหุของข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัดนั้น มีค่าเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้น หากค่าขีดแบ่งซอฟต์มีค่าน้อย ข้อมูลใน

เครือข่ายก็จะมีความต้องการแม่นยำมากแต่ก็จะมีความต้องการใช้พลังงานมากขึ้นตาม ดังนั้นผู้ใช้งานจะต้องเป็นผู้ควบคุมการแลกเปลี่ยนข้อดีข้อเสียสองประการระหว่างประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีขึ้น หรือความต้องการแม่นยำในการส่งข้อมูลมากขึ้น การสร้างเส้นทางแอฟทีน(APTEEN) จัดเป็นไฮบริดการสร้างเส้นทางที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าจัดแบ่งอยู่เป็น จุดเด่นของการสร้างเส้นทางแอฟทีนคือการผสมผสานการทำงานของโพรโตคอลทั้งแบบโพรแอกทีฟ (Proactive) และรีแอกทีฟ (Reactive) ซึ่งทำให้การใช้งานมีความยืดหยุ่นมากขึ้นในการให้ผู้ใช้งานกำหนดระยะเวลาการเปลี่ยนค่าจัดแบ่ง ทั้งนี้เพื่อให้สามารถควบคุมระดับการใช้พลังงานได้ ข้อเสียหลักของวิธีการนี้คือการเพิ่มความซับซ้อนให้กับระบบ



ภาพที่ 8 การสร้างเส้นทางทีนและแอฟทีน (Threshold-sensitive Energy Efficient Protocols (TEEN and APTEEN))

3.4 การสร้างเส้นทางเซลล์ฟอนแกนไนเซชัน(Self Organizing Protocol (SOP))

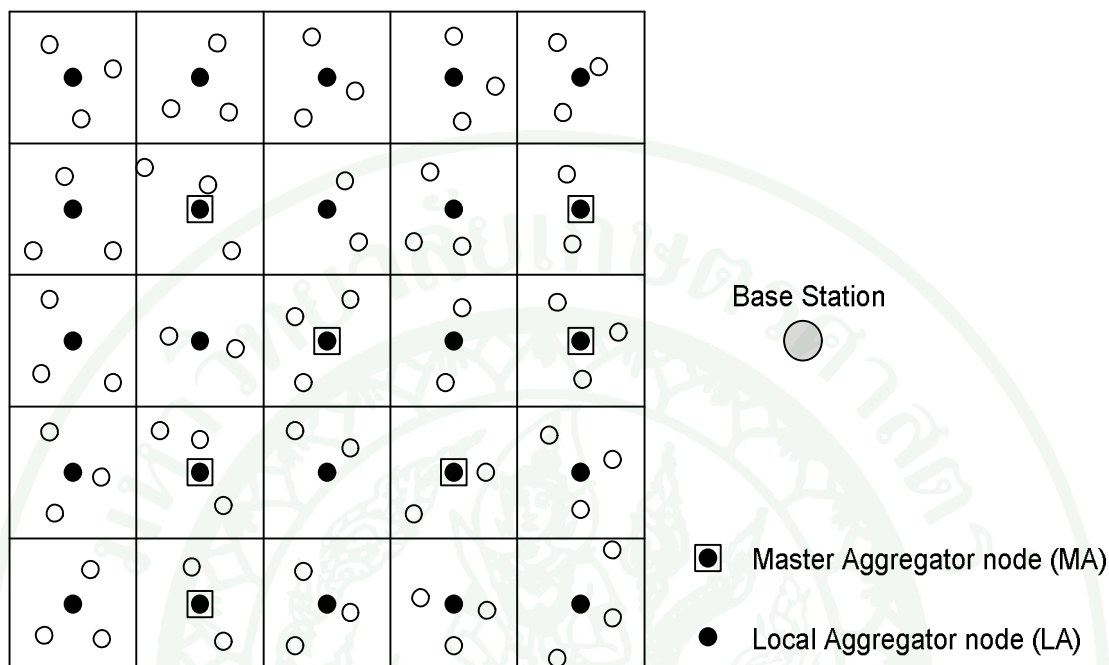
Al-Karaki *et al.* (2004) การสร้างเส้นทางประเภทเซลล์ฟอนแกนไนเซชัน(Self-Organizing Protocol) เป็นขั้นตอนวิธีที่ได้นำเสนอไว้ใช้สำหรับการสร้างสถาปัตยกรรมโครงสร้างที่ต้องใช้งานตัวรับรู้หลากหลายชนิดในเครือข่าย(Heterogeneous sensor) นอกจากนี้ตัวรับรู้เหล่านี้ยังสามารถทำงานได้ทั้งเป็นลักษณะเคลื่อนที่หรืออยู่กับที่ ตัวรับรู้บางตัวทำหน้าที่เป็นทั้งตัวตรวจวัด

สภาพแวดล้อมและส่งผ่านข้อมูลไปยังกลุ่มตัวรับรู้อื่น เวกเช่นการทำงานของตัวรับรู้อื่น (Router) ตัวรับรู้อื่นที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับรู้อื่นจะไม่มีภาระเคลื่อนที่และทำหน้าที่เป็นแกนหลัก (Backbone) ของการสื่อสาร ข้อมูลที่ได้รับไว้จะถูกส่งต่อไปยังตัวรับรู้อื่นไปยังตัวรับรู้อื่นที่ทำหน้าที่เป็นสถานีฐาน โหนดที่ทำหน้าที่ตรวจสอบจำเป็นต้องสามารถติดต่อกับตัวรับรู้อื่นที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับรู้อื่นได้เพื่อที่จะสามารถการเข้าร่วมการทำงานของเครือข่ายได้ตัวรับรู้อื่นที่ทำหน้าที่ตรวจสอบจะถูกประมวลผลข้อมูลที่อยู่โดยตัวรับรู้อื่นมีตัวรับรู้อื่นที่ติดต่อกับสถานีปลายทางจัดเป็นแบบลำดับชั้นเมื่อมีความต้องการสร้างการจัดกลุ่มของตัวรับรู้อื่นและรวมเป็นกลุ่มเข้าด้วยกันวิธีเร็นคอมมาคอฟลูป (Local Markov Loops (LML)) ถูกนำมาใช้ในการรองรับความทนทานต่อการเกิดความล้มเหลวของระบบและใช้ในวิธีการกระจายข้อมูล วิธีดังกล่าวมีความคล้ายคลึงกับแนวคิดการสร้างกริดเสมือน (Virtual grid) ที่ใช้ในการสร้างเส้นทางอื่น ในขั้นตอนวิธีนี้ตัวรับรู้อื่นจะถูกกำหนดข้อมูลที่อยู่ ซึ่งเหมาะกับแอปพลิเคชันที่ต้องการส่งข้อมูลไปให้โหนดตัวรับรู้อื่นที่เฉพาะเจาะจงตัวรับรู้อื่น ขั้นตอนวิธีนี้ยังใช้ทรัพยากรการรักษารางเส้นทางการส่งข้อมูลที่ต่ำ และยังสร้างความสะดวกในระบบได้อีกด้วย มีการศึกษาว่าการใช้พลังงานในการกระจายข้อมูลมีค่าน้อยกว่าพลังงานที่ใช้ในการสร้างเส้นทางสปิน (SPIN) อย่างไรก็ตามการสร้างเส้นทางนี้ก็เพิ่มค่าใช้จ่าย (Overhead) จำนวนมากใช้กับระบบ

3.5 การสร้างเส้นทางการกำหนดเส้นทางสถาปัตยกรรมกริดเสมือน (Virtual Grid Architecture routing (VGA))

Al-Karaki *et al.* (2004) การกำหนดเส้นทางสถาปัตยกรรมกริดเสมือนใช้ประโยชน์ของการรวมกลุ่มข้อมูลและการประมวลผลข้อมูลแบบอินเน็ตเวิร์ก (In-network processing) เพื่อเพิ่มอายุการใช้งานเครือข่ายให้ยืนยาวเนื่องจากในแอปพลิเคชันจำนวนมากตัวรับรู้อื่นจะไม่มีภาระเคลื่อนที่ ดังนั้นจึงเป็นการเหมาะสมที่จะสร้างทอพอโลยีที่กำหนดตายตัว การสร้างครีเตอร์ที่มีรูปร่างลักษณะตายตัว เท่าเทียม สมมาตร และไม่มีการซ้อนทับนั้น ใช้ขั้นตอนวิธีที่ไม่มีการใช้งานจีพีเอส (GPS) ครีเตอร์แบบสี่เหลี่ยมนี้จะให้เป็นกริดเสมือนในทอพอโลยี ภายในแต่ละโหนดโหนดตัวรับรู้อื่นหนึ่งโหนดจะถูกเลือกเป็นครีเตอร์เฮด การรวมกลุ่มข้อมูลจะมีการทำที่สองระดับด้วยกันคือในระดับเฉพาะที่ (Local) และระดับครอบคลุม (Global) กลุ่มของครีเตอร์เฮดจะถูกเรียกว่า โลคัลแอคกรีเตอร์ (Local Aggregators (LAs)) จะทำหน้าที่รวมกลุ่มข้อมูลในระดับเฉพาะที่ ในขณะที่กลุ่มย่อยของโลคัลแอคกรีเตอร์ จะทำหน้าที่รวมกลุ่มข้อมูลในระดับครอบคลุม แต่อย่างไรก็ตามจะมีการกำหนดจุดที่ทำกรรวมข้อมูลที่เหมาะสมที่สุดว่า มาสเตอร์แอคกรีเตอร์ (Master Aggregators (MAs)) ในภาพที่ 9 เป็นการแสดงถึงการแบ่งโซนในการ

กำหนดเส้นทางสถาปัตยกรรมกริดเสมือน ตำแหน่งของสถานีฐานไม่จำเป็นต้องถูกที่มุมของกริด สามารถอยู่ที่ใดก็ได้ในเครือข่าย



ภาพที่ 9 การสร้างเส้นทางสำหรับการกำหนดเส้นทางสถาปัตยกรรมกริดเสมือน (Virtual Grid Architecture routing (VGA))

3.6 การสร้างเส้นทางการจัดเส้นทางไฮลาซิคอลพาวเวอร์อะแวร์ (Hierarchical Power-aware Routing (HPAR))

Al-Karaki *et al.* (2004) การสร้างเส้นทางการจัดเส้นทางไฮลาซิคอลพาวเวอร์อะแวร์ (Hierarchical Power-aware Routing (HPAR)) การสร้างเส้นทางนี้แบ่งตัวรับรู้ในเครือข่ายออกเป็นสองกลุ่ม แต่ละกลุ่มของตัวรับรู้ที่มีความใกล้ชิดกันในเชิงภูมิศาสตร์จะถูกจัดไว้ในโซนเดียวกัน แต่ละโซนจะถูกกำหนดให้มีเอกลักษณ์ของตนเอง ในการสร้างเส้นทางสื่อสารแต่ละโซนจะได้รับอนุญาตให้ทำการตัดสินใจว่าจะส่งข้อมูลข้ามโซนเมื่อไรซึ่งขึ้นอยู่กับพลังงานที่มีอยู่ ข้อความจะถูกส่งไปยังเส้นทางที่มีพลังงานที่มีอยู่มากที่สุดซึ่งต้องมากกว่าค่าพลังงานคงอยู่ขั้นต่ำที่กำหนดไว้ เรียกว่า *Max-min path* แนวคิดคือ ตัวรับรู้ที่มีพลังงานที่เหลือสูงอาจจะมีต้นทุนสูงเมื่อเทียบกับการใช้เส้นทางที่มีพลังงานน้อย ขึ้นตอนวิธีที่ใช้ในการประมาณพลังงานเรียกว่า *Max-min zPmin algorithm* ประเด็นหลักของขั้นตอนวิธีนี้ขึ้นกับการแลกเปลี่ยนข้อดีข้อเสียระหว่างทำให้การใช้พลังงานทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยที่สุดหรือทำให้พลังงานที่น้อยที่สุดของระบบเครือข่ายมีค่าเพิ่มขึ้น

ขั้นตอนวิธีจะทำการค้นหาเส้นทางที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด (P_{min}) จากนั้นจะหาเส้นทางที่สามารถทำให้พลังงานที่เหลืออยู่น้อยที่สุดของระบบสามารถเพิ่มขึ้นได้

เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของการสร้างเส้นทางสื่อสารวิธีต่างๆ

- การส่งข้อมูลแบบฟลัดดิงมีข้อดีคือ ระบบมีความเรียบง่ายไม่ซับซ้อน ให้องค์กรวิธีการในการบำรุงรักษาการเปลี่ยนแปลงที่อาจเกิดขึ้นจากตัวรับรู้ภายในระบบทำงานล้มเหลว แต่การส่งข้อมูลโดยการฟลัดดิงไปทั่วทั้งระบบนั้น เป็นการสิ้นเปลืองพลังงานโดยใช้เหตุ การที่ตัวรับรู้ได้รับข้อมูลเดิมจากแหล่งที่ต่างกันก่อให้เกิดความซ้ำซ้อนในการส่งข้อมูล
- วิธีการส่งข้อมูลแบบกระซิบ เป็นวิธีหนึ่งที่มุ่งเน้นจะแก้ปัญหาความซ้ำซ้อนของการส่งข้อมูลแบบฟลัดดิงโดยการสุ่มเลือกตัวรับรู้ขึ้นมาเพียงหนึ่งตัวในการส่งต่อข้อมูล ข้อบกพร่องของระบบคือ ขาดวิธีการการเลือกตัวรับรู้ที่ดีในการส่งต่อข้อมูลไปยังสถานีฐาน อาจทำให้เกิดการวนลูป ข้อมูลวนอยู่ในลูปเป็นเวลานาน ส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการส่งข้อมูลไปถึงสถานีฐาน
- การสร้างเส้นทางแบบสปินมีข้อดีคือ สามารถปรับเปลี่ยนลักษณะการทำงานของระบบโดยการเข้าถึงระดับพลังงานของตัวรับรู้แต่ละตัว การร้องขอข้อมูลเฉพาะที่สนใจทำให้ลดการซ้ำซ้อนในการส่งข้อมูลแต่การใช้เมตาดาต้าในการกระจายลักษณะของข้อมูลไปในระบบนั้น ถือเป็นการเพิ่มงานให้กับระบบ และต้องการการใช้พลังงานในการกระจายข้อความนี้และพลังงานในการร้องขอข้อมูลเมื่อสนใจ การลดความซ้ำซ้อนของระบบโดยวิธีนี้ ทำให้เกิดความต้องการการใช้พลังงานมากขึ้น และยังทำให้ระบบมีการหน่วงเวลาเพิ่มขึ้นอีกด้วย
- การสร้างเส้นทางแบบไดเรกต์ดิฟฟิชั่นนั้น มีการตั้งชื่อโดยการสร้างคุณลักษณะขึ้น ทำให้ตัวรับรู้ไม่ต้องส่งข้อความร้องขอข้อมูล แต่สามารถรับข้อมูลนั้นได้โดยดูจากคุณลักษณะที่ได้ตั้งขึ้น แต่ตัวรับรู้ที่เป็นจุดหมายปลายทางขอการส่งข้อมูล ต้องประกาศข้อความแสดงความสนใจให้กับระบบก่อน จึงจะสามารถทำตามขั้นตอนนั้นได้ซึ่งไม่ได้มีข้อดีเหนือกว่าการสร้างเส้นทางแบบสปินมากนัก การสร้างเกรเดียนท์นั้นเป็นการเพิ่มเวลา หากระบบมีการเปลี่ยนแปลง ก็จะต้องทำการสร้างเส้นทางเกรเดียนท์ใหม่
- การสร้างเส้นทางแบบรูเมอร์นั้นเป็นการลดข้อบกพร่องของวิธีข้างต้นที่ได้กล่าวมา คือ แก้ไขวิธีการกระจายข้อมูลแสดงความสนใจ ที่ต้องกระจายไปในเครือข่าย แก้ไขโดยการสร้างตารางเก็บข้อมูลของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ซึ่งวิธีนี้ จะสามารถลดต้นทุนการใช้พลังงานของระบบได้

แต่ประสิทธิภาพของวิธีการนี้จะดีกว่าวิธีข้างต้นก็ต่อเมื่อจำนวนของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระบบมีไม่มาก เพราะถ้าหากมีจำนวนเหตุการณ์เกิดขึ้นภายในระบบมากจะต้องเสียพลังงานในการรักษา กลุ่มข้อมูลเอเจนต์และตารางบันทึกเหตุการณ์

- การสร้างเส้นทางแบบมินิแมกซ์คอสฟอวาคดังมีข้อดีคือ สามารถลดความซ้ำซ้อนของระบบในการสร้างตารางบันทึกบันทึกค่าต้นทุนในการส่งข้อมูลไปยังสถานีฐาน แต่จะเหมาะกับระบบที่สถานีฐานและตัวรับรู้ไม่มีการเคลื่อนที่ ถ้าหากนำไปใช้กับระบบที่ตัวรับรู้มีการเคลื่อนที่ ค่าต้นทุนที่คำนวณไว้จะไม่สามารถนำมาใช้ได้ และทุกตัวรับรู้ภายในระบบจะต้องรู้ค่าต้นทุนต่ำสุดในการส่งข้อมูลของตนเองและเพื่อนบ้าน

- การสร้างเส้นทางแบบการใช้การรวมกลุ่มข้อมูล โดยเลือกตัวรับรู้ผู้นำขึ้น มีข้อเสียคือ มีการประกาศข้อความร้องขอข้อมูล ซึ่งเป็นการเพิ่มขึ้นคอนให้กับระบบ นอกจากนี้ ระบบยังต้องการการประสานเวลาระหว่างตัวรับรู้ในการส่งข้อมูลไปให้โหนดผู้นำ ทำให้โหนดผู้นำเสี่ยงกับการใช้งานมากเกินไป

- การสร้างเส้นทางแบบเอ็นเอจี้เอวเอร์มีจุดประสงค์หลักคือ ปรับปรุงข้อเสียของการส่งข้อมูลแบบไดเรกต์ดิฟฟิวชัน โดยการสร้างกลุ่มเส้นทางจำนวนมาก โดยเส้นทางในการส่งข้อมูลจะถูกเลือกโดยค่าความน่าจะเป็น ความน่าจะเป็นนี้จะพิจารณาจากพลังงานของตัวรับรู้การเลือกเส้นทางจะปรับเปลี่ยนไปตามเวลาซึ่งสามารถสร้างความเป็นเอกรูปในการใช้พลังงานและเพิ่มอายุการใช้งานได้ แต่ยังมีข้อเสียคือต้องการข้อมูลตำแหน่งที่อยู่ละการสร้างแอคเครส ซึ่งสิ่งเหล่านี้คือ การเพิ่มความซับซ้อนให้กับระบบ

- การสร้างเส้นทางแบบแรนดอมวอล์คมีจุดเด่นคือ การใช้วิธีการสลับการทำงานกันของตัวรับรู้ ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากจากการกระจายพลังงาน แต่ในการสลับการทำงานนั้นยังขาดขั้นตอนวิธีการจัดการการครอบคลุมพื้นที่ใช้งาน

- การสร้างเส้นทางแบบพิจารณาตำแหน่งนั้นมีข้อจำกัดคือ ต้องการข้อมูลตำแหน่งจากตัวรับรู้ในเริ่มต้นระบบและการบำรุงรักษาระบบ การสร้างเส้นทางแบบจีโอกราฟฟิคอะแดปทิฟฟิไลที จะทำการสร้างกริดเสมือนและแบ่งโซนพื้นที่ของกริดเสมือน ต่อจากนั้นจึงให้การสลับกันทำงานของตัวรับรู้ ถึงแม้ว่าวิธีการชนิดนี้จะสามารถลดคปรมาณการใช้พลังงานได้อย่างมาก แต่การสร้างกริดเสมือนนั้นต้องการข้อมูลตำแหน่งของตัวรับรู้และทำให้ระบบซับซ้อนมากด้วยเช่นกัน

- การสร้างเส้นทางลิชี่นั้นจัดเป็นการการสร้างเส้นทางชนิดลำดับชั้นหรือคริสเตอร์ ซึ่งมีตัวรับรู้ที่ถูกเลือกเป็นคริสเตอร์เฮดในการรวบรวมข้อมูลจากตัวรับรู้เพื่อนบ้าน และสื่อสารกับตัวรับรู้อื่นเพื่อส่งข้อมูลไปยังสถานีฐาน การรวบรวมข้อมูลนั้นสามารถลดจำนวนข้อมูลที่ต้องถูกส่งในระบบได้มาก เป็นการลดการใช้พลังงาน แต่การสร้างเส้นทางลิชี่นั้นจะเลือกคริสเตอร์เฮดโดยการสุ่มไม่ได้คำนึงถึงปริมาณพลังงานที่เหลืออยู่ของตัวรับรู้ นอกจากนี้ การหมุนเวียนตัวรับรู้เป็นการเพิ่มการทำงานให้กับระบบ ระบบต้องสิ้นเปลืองพลังงานไปกับขั้นตอนนี้

- การสร้างเส้นทางทีนและแอฟทีนมีข้อดีคือมีความยืดหยุ่นสูง ความยืดหยุ่นนี้ได้มาจากการกำหนดค่าขีดแบ่งภายในระบบ แต่การที่มีค่าขีดแบ่งภายในระบบนี้อาจทำให้ต้องมีการแลกเปลี่ยนกัน ระหว่างการมีข้อมูลที่ต้องส่งละเอียดแม่นยำกับปริมาณพลังงานที่ต้องการใช้

- การสร้างเส้นทางส่งข้อมูลแบบเพกชีสนั้น ใช้หลักการการสลับกันทำงานของตัวรับรู้ภายในระบบ การกระทำเช่นนี้เป็นที่ทราบว่าจะสามารถลดจำนวนตัวรับรู้ที่ต้องทำงาน และสามารถลดการใช้พลังงานลงได้ แต่การรวบรวมข้อมูลแล้วส่งต่อไปยังสถานีฐานนั้น จะทำให้ลักษณะเป็นเช่น ทำให้เสียเวลาในการส่งมากกว่าการรวบรวมข้อมูลไว้ที่คริสเตอร์เฮดภายในคริสเตอร์ และการสลับกันทำงานของตัวรับรู้ในระบบนี้ ยังขาดวิธีการจัดการที่ดี การสลับการทำงานนั้นอาจทำให้ตัวรับรู้ไม่สามารถตรวจวัดพื้นที่เป้าหมายที่สนใจได้

จากการศึกษาลักษณะการสร้างเส้นทางสื่อสารข้อมูล จะเห็นได้ว่าการสร้างเส้นทางสื่อสารข้อมูลแบบลำดับชั้นหรือคริสเตอร์ เป็นวิธีที่สามารถลดจำนวนข้อมูลที่ต้องถูกส่งภายในระบบ โดยอาศัยการรวมกลุ่มข้อมูลเสมือนการเพิ่มเกตเวย์ให้กับระบบ ทำให้ระบบที่ใช้วิธีการส่งข้อมูลแบบลำดับชั้นหรือคริสเตอร์นั้นไม่ต้องทำการส่งข้อมูลมากเกินไปเมื่อเพิ่มจำนวนตัวรับรู้ภายในระบบเครือข่าย การส่งข้อมูลที่ไม่ได้ใช้วิธีการส่งข้อมูลแบบลำดับชั้นหรือคริสเตอร์ จะมีข้อมูลจำนวนมากที่ถูกส่งอยู่ภายในระบบส่งผลให้การความล่าช้าในการส่งข้อมูลและยังทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจวัดเหตุการณ์ที่สนใจต่าง ๆ นั้นลดลง ข้อดีที่สำคัญของวิธีการส่งข้อมูลแบบลำดับชั้นหรือคริสเตอร์ คือการลดการใช้พลังงานของตัวรับรู้ โดยใช้คริสเตอร์เฮดเป็นโหนดที่ทำหน้าที่ลำเลียงข้อมูลแทนการใช้ตัวรับรู้ทุกตัวส่งข้อมูล ทำให้สามารถลดจำนวนข้อมูลที่ต้องส่งภายในระบบได้ ด้วยเหตุนี้งานวิจัยที่ได้จัดทำขึ้นนี้จึงได้ใช้หลักการของการสร้างเส้นทางสื่อสารข้อมูลแบบลำดับชั้นหรือคริสเตอร์ ในการออกแบบวิธีการบริหารจัดการตัวรับรู้ภายในระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายให้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและมีอายุการใช้งานเครือข่ายที่ยืนยาว

จากวิธีการสร้างเส้นทางแบบครัสเตอร์ที่ได้กล่าวมาข้างต้น บางวิธีการจะสร้างให้ตัวรับรู้ภายในระบบสลับกันทำงาน(Liu *et al.*, (2006)) แต่วิธีการดังกล่าวยังขาดวิธีการจัดการตัวรับรู้ที่ดี กล่าวคือ การสลับการทำงานเป็นไปแบบสุ่มไม่ได้คำนึงถึงการครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายที่ต้องการตรวจวัด งานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีการบริหารจัดการตัวรับรู้สำหรับเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายที่มีลักษณะการสร้างเส้นทางแบบลำดับชั้นครัสเตอร์ขึ้น โดยจะสร้างวิธีการระบุจำนวนตัวรับรู้ภายในครัสเตอร์ที่จำเป็นต้องทำงานในระบบขณะที่ยังสามารถรันดีพื้นที่การครอบคลุมขึ้นโดยใช้หลักการของวิธีการครอบคลุม α -coverage คือการบ่งบอกร้อยละ α ของพื้นที่ที่สนใจที่ครอบคลุม และ k -coverage และสร้างการสับเปลี่ยนการทำงานของตัวรับรู้ในการตรวจวัดและส่งข้อมูลที่ตัววัดไปยังสถานีฐาน โดยจุดมุ่งหมายให้วิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มีอายุการใช้งานเครือข่ายที่ยืนยาว

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ
2. โปรแกรม MATLAB version 7.7

วิธีการ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการยืดอายุการใช้งานเครือข่ายภายใต้การการันตีร้อยละการครอบคลุมพื้นที่ ร้อยละการครอบคลุมพื้นที่นั้นเป็นตัวแปรที่การันตีว่าตำแหน่งที่เราสนใจภายในพื้นที่การตรวจวัดจะอยู่ภายใต้การตรวจวัดได้อย่างเป็นปกติ เพื่อความสะดวกในการจัดการระบบพลังงาน โพรโตคอลการสร้างเส้นทางการสื่อสารแบบลำดับขั้น โดยเฉพาะขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มคริสเตอร์ จึงถูกเลือกนำมาใช้ อัลกอริทึมการจัดกลุ่มคริสเตอร์สามารถกระจายการใช้พลังงานของตัวรับรู้ไร้สายในระบบ ในขณะที่ตัวรับรู้ไร้สายสามารถทำการรวมกลุ่มข้อมูลเพื่อลดจำนวนข้อความที่ต้องส่งไปยังสถานีฐาน ดังนั้นขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มคริสเตอร์สามารถลดโหนดในการสื่อสารได้เป็นอย่างดี คริสเตอร์เฮดภายในคริสเตอร์จะทำหน้าที่รวมกลุ่มและลดจำนวนข้อมูลเพื่อลดการใช้พลังงาน งานวิจัย “An Energy Aware Routing Protocol (EAP)” ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มคริสเตอร์โดยเลือกตัวรับรู้ที่จะทำหน้าที่เป็นคริสเตอร์เฮดจากอัตราส่วนพลังงานที่เหลือของตัวรับรู้ นั้นกับพลังงานเฉลี่ยที่เหลืออยู่ของตัวรับรู้ทั้งหมดภายในคริสเตอร์ ซึ่งวิธีเลือกคริสเตอร์เฮดลักษณะนี้ทำให้ตัวรับรู้ที่เป็นคริสเตอร์เฮดมีการเปลี่ยนแปลงไปเรื่อยๆ ทำให้สามารถรักษาสมดุลการใช้พลังงานระหว่างตัวรับรู้ได้เป็นอย่างดี ด้วยเหตุนี้ การลดความต้องการการใช้พลังงานของตัวรับรู้แต่ละตัวลงส่งผลให้อายุการใช้งานเครือข่ายมีค่ายืนยาวขึ้น

อายุการใช้งานเครือข่ายจัดเป็นคุณลักษณะสำคัญที่ใช้ในการประเมินประสิทธิภาพของเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย งานวิจัยจำนวนหนึ่งได้ให้คำนิยามอายุการใช้งานเครือข่ายไว้ว่าเป็นช่วงเวลา ที่กลุ่มตัวรับรู้สามารถทำงานครอบคลุมพื้นที่การตรวจวัดที่สนใจได้อย่างเป็นปกติได้ บางงานวิจัยให้คำนิยามอายุการใช้งานเครือข่ายจากการครอบคลุมพื้นที่การทำงานจึงมีการสร้างโมเดล “k-coverage” ขึ้นเพื่อเป็นตัวชี้วัดการครอบคลุมเพื่อใช้ในการวัดอายุการใช้งานเครือข่าย โดยโมเดล k-coverage” ถูกนิยามว่าแต่ละจุดซึ่งอยู่ภายในพื้นที่ที่สนใจถูกครอบคลุมโดยการทำงานของตัวรับรู้

จำนวน k ตัว จึงมีงานวิจัยที่นำเสนอโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่อการรันติการครอบคลุมพื้นที่ของตัวรับรู้ขึ้นลักษณะการทำงานของขั้นตอนวิธี “EAP” และโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการการันติการครอบคลุมพื้นที่การทำงานของกลุ่มตัวรับรู้ส่งผลให้การบริโภคพลังงานของระบบเครือข่ายเป็นไปอย่างสม่ำเสมอและการเชื่อมต่อกันระหว่างตัวรับรู้ในเครือข่ายสามารถการันติว่าประสบผลสำเร็จได้การทำงานให้อายุการใช้งานเครือข่ายของตัวรับรู้ไร้สายยืนยาวขึ้น แต่ละกลุ่มคริสเตอร์ภายในเครือข่ายจะต้องเลือกตัวรับรู้มาจำนวนหนึ่งขึ้นมากับปฏิบัติงานในช่วงเวลาหนึ่งในขณะที่ตัวรับรู้ที่เหลืออยู่ไม่ได้อยู่ในสถานะปฏิบัติงาน การกระทำเช่นนี้ทำให้การทำงานของกลุ่มตัวรับรู้ภายในคริสเตอร์เป็นไปอย่างสมดุลส่งผลให้ระบบเครือข่ายมีการใช้พลังงานอย่างสมดุล เพราะฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ให้ความสำคัญกับการสร้างขั้นตอนวิธีที่ใช้จัดการและบริหารการทำงานของกลุ่มตัวรับรู้ภายในระบบให้มีลักษณะการบริโภคพลังงานจากแหล่งพลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดอย่างประหยัดและสมดุลซึ่งจะส่งผลให้อายุการใช้งานของเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายนั้นยืนยาว งานวิจัยก่อนหน้านี้ได้นำเสนอวิธีการในการจัดกลุ่มคริสเตอร์และวิธีการการันติการครอบคลุมการทำงานเพื่อให้ได้ประสิทธิภาพของเครือข่ายตรงตามที่ตั้งไว้โดยใช้การประเมินประสิทธิภาพเครือข่ายตามเกณฑ์ของอายุการใช้งานเครือข่ายและต้นทุนการใช้พลังงาน ในส่วนของงานวิจัยที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นคือการพัฒนาต่อยอดจากการออกแบบเส้นทางสื่อสารแบบลำดับชั้นหรือคริสเตอร์ โดยงานวิจัยนี้จะไม่พิจารณาการระบุตัวรับรู้ที่ต้องปฏิบัติในช่วงเวลาหนึ่งภายในคริสเตอร์อย่างเฉพาะเจาะจงอย่างในงานวิจัยเออี (EAP) สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอโมเดลความน่าจะเป็นทางคณิตศาสตร์สำหรับใช้ในการการันติการครอบคลุมพื้นที่การทำงานของตัวรับรู้ภายในแต่ละคริสเตอร์และได้นำเสนอขั้นตอนวิธีในการจัดการการเลือกตัวรับรู้ที่จะปฏิบัติงาน โดยขั้นตอนวิธีนี้มีจุดประสงค์คือสามารถทำให้ตัวรับรู้ภายในคริสเตอร์รับหน้าที่การปฏิบัติงานอย่างสมดุล การกระทำเช่นนี้ส่งผลให้ระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายมีการบริโภคพลังงานอย่างสมดุลและมีอายุการใช้งานเครือข่ายที่ยืนยาว

1. การกำหนดขอบเขตของปัญหา

งานวิจัยนี้สนใจการแก้ปัญหาโดยที่มีตัวรับรู้ไร้สายจำนวนหนึ่งอยู่จัดวางแบบสุ่มในพื้นที่ที่สนใจเรียกว่า “พื้นที่ A ” โดยตั้งสมมติฐานว่าไม่ทราบตำแหน่งของตัวรับรู้แต่ละตัว ในขั้นแรกตัวรับรู้แต่ละตัวสามารถทราบจำนวนสมาชิกเพื่อนบ้านได้โดยการรับสัญญาณวิทยุที่ส่งมาจากตัวรับรู้ตัวอื่น โดย r_c ถูกกำหนดให้เป็นรัศมีการสื่อสาร และ r_r ถูกกำหนดให้เป็นรัศมีการตรวจวัดของตัวรับรู้แต่ละตัว ตัวรับรู้แต่ละตัวนั้นถูกกำหนดให้มีรัศมีการสื่อสารเท่ากันทั้งหมดและมีรัศมีการตรวจวัดเท่ากันทั้งหมด สำหรับงานวิจัยนี้ โพรโตคอลประเภทการจัดกลุ่มคริสเตอร์ถูกนำมาใช้เพื่อให้ตัวรับรู้ทั้งหมดมีการกระจายพลังงานอย่างสมดุล โดยจุดประสงค์ของงานวิจัยนี้คือการสร้าง

วิธีการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพระหว่างที่ตัวรับรู้ทำการตรวจวัดสภาพแวดล้อมที่สนใจ กล่าวคืองานวิจัยนี้มุ่งเน้นในการลดจำนวนของตัวรับรู้ที่ต้องปฏิบัติงาน ณ ช่วงเวลาหนึ่งในขณะที่วิธีการสามารถรันธีรียะการครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการไว้ได้ โดยธีรียะการครอบคลุมพื้นที่คือ “ $P(cov)$ ”

ในงานวิจัยนี้ได้ค้นขั้นตอนวิธี“EAP” มาใช้เป็นขั้นตอนวิธีการสร้างกลุ่มคริสเตอร์ตามที่ได้กล่าวข้างต้น หลังจากทำการจัดกลุ่มคริสเตอร์และเลือกคริสเตอร์เฮดแล้ว ตัวรับรู้ที่เหลือภายในคริสเตอร์แต่ละคริสเตอร์จะทำการตัดสินใจเลือกที่จะปฏิบัติงานแล้วในช่วงเวลานั้นเข้าสู่กระบวนการตรวจวัดสภาพแวดล้อมหรือไม่ หลักเกณฑ์การตัดสินใจนั้นขึ้นอยู่กับจำนวนของตัวรับรู้ที่จำเป็นต้องปฏิบัติงานในแต่ละคริสเตอร์เพื่อครอบคลุมพื้นที่การตรวจวัดให้ได้ตามธีรียะการครอบคลุมพื้นที่ที่ถูกกำหนดไว้ “ $P(cov)$ ” ตัวรับรู้จะตัดสินใจอยู่ในสถานะปฏิบัติงานก็ต่อเมื่อจำนวนของตัวรับรู้ที่อยู่ในสถานะปฏิบัติงาน ณ ช่วงเวลานั้นมีจำนวนน้อยกว่าจำนวนตัวรับรู้ที่จำเป็นต้องปฏิบัติงานในการครอบคลุมพื้นที่นั้น โดยจำนวนตัวรับรู้ที่ต้องให้อยู่ในสถานะปฏิบัติงานเพื่อครอบคลุมพื้นที่สามารถคำนวณได้จากธีรียะการครอบคลุมพื้นที่ “ $P(cov)$ ” ผลจากการที่จำนวนของตัวรับรู้ที่ต้องปฏิบัติงานมีจำนวนลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับสถานะการณ์ที่ตัวรับรู้ภายในคริสเตอร์แต่ละตัวต้องอยู่ในสถานะปฏิบัติงานตลอดเวลา ทำให้การบริโภคพลังงานของเครือข่ายมีค่าลดลง

2. ข้อกำหนดเงื่อนไขของระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย

ในงานวิจัยนี้จะทำการจำลองการทำงานของระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย โดยใช้โปรแกรม MATLAB version 7.7 ในการสร้างระบบขึ้นเพื่อการจำลองการทำงานโดยมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

2.1 การติดตั้งตัวรับรู้จะสุ่มเป็นไปในแบบสุ่ม(Random distribution) โดยที่ตั้งสมมติฐานว่าไม่ทราบตำแหน่งของตัวรับรู้ภายในระบบและตัวรับรู้ทุกตัวภายในระบบไม่มีการเคลื่อนที่

2.2 ตัวรับรู้แต่ละตัวมีความสามารถในการตรวจวัดภายในรัศมีการตรวจวัด(r_s) ในระยะที่จำกัด และมีความสามารถในการส่งข้อมูลรัศมีการสื่อสาร(r_c) ในระยะทางที่จำกัด

2.3 ในการทดลองการจำลองการทำงานของระบบ ระบบจะพิจารณาพลังงานในการตรวจวัด(Sensing energy) และพลังงานในการสื่อสารการรับส่งข้อมูลเท่านั้น ไม่พิจารณาพลังงาน

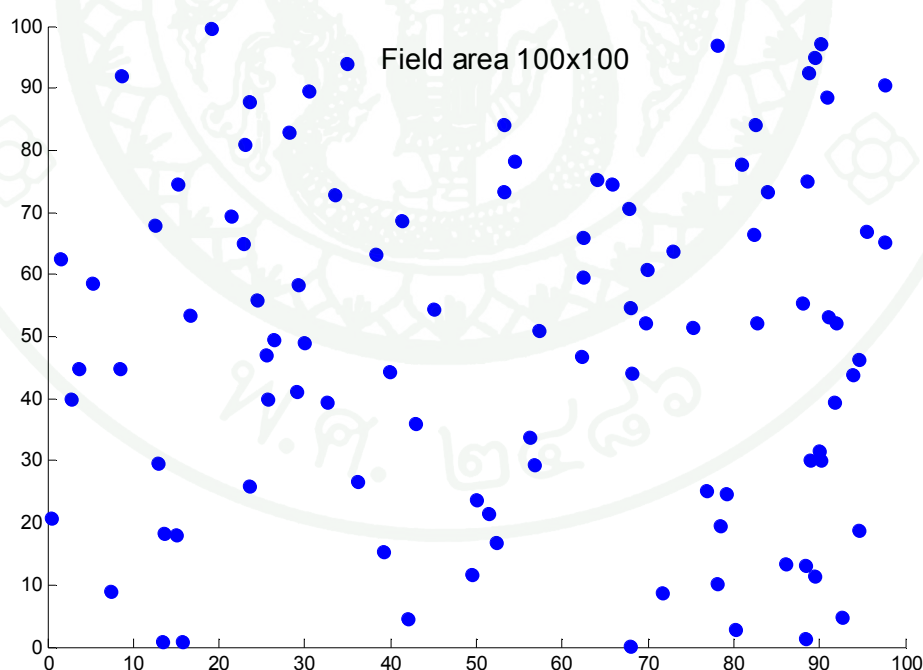
ในการประมวลผลของระบบ MATLAB version 7.7 และโมเดลการใช้พลังงานให้เป็นไปตามแบบจำลองของ Heinzelman *et al.* (2000)

2.4 สถานีฐาน (Base station) ในการทดลองถูกกำหนดให้อยู่กับที่และตั้งอยู่ตรงกลางพื้นที่ทดลองขนาด 100×100

3. การเริ่มต้นติดตั้งการจำลองระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย

3.1 การติดตั้งตัวรับรู้

ในการติดตั้งตัวรับรู้ภายในระบบจะทำการสุ่มวางตัวรับรู้ภายในพื้นที่ที่สนใจตรงจั่ว โดยการใช้การจำลองในโปรแกรม MATLAB version 7.7 โดยทำการกำหนดจำนวนของตัวรับรู้ดังภาพที่ 10 โดยการทดลองจะทำการทดลองที่จำนวนตัวรับรู้ภายในพื้นที่ 100×100 ตารางเมตร จำนวนตัวรับรู้มีความแตกต่างกันที่ 200 300 400 500 และ 600 ตัวรับรู้



ภาพที่ 10 การจำลองการวางตัวรับรู้อย่างสุ่มในพื้นที่ที่สนใจตรงจั่วโดยใช้โปรแกรม MATLAB

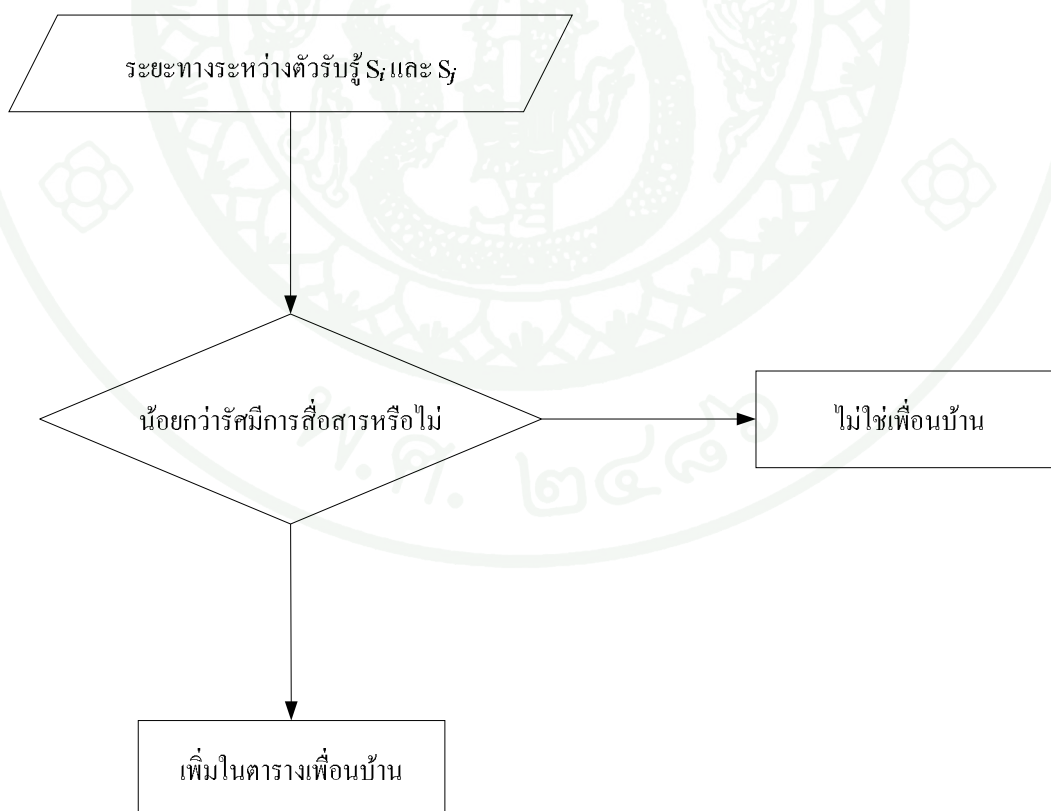
3.2 การค้นหาโหนดเพื่อนบ้านของตัวรับรู้

หลังจากการสุ่มวางตัวรับรู้ภายในพื้นที่ที่สนใจตรวจวัดแล้ว ตัวรับรู้แต่ละตัวจะสร้างตารางเพื่อนบ้านของตนเองไว้ ในความเป็นจริงเพื่อนบ้านหาจาก ตัวรับรู้ที่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ หรือมีระยะห่างน้อยกว่ารัศมีการสื่อสาร แต่ในแบบจำลองเราสามารถหาระยะห่างได้โดยตรงคือ ทำการคำนวณระยะทางระหว่างโหนดตัวรับรู้แต่ละโหนดตามสมการที่ 2

$$d_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (2)$$

โดยที่ $d_{i,j}$ คือระยะทางระหว่างตัวรับรู้ S_i และ S_j ตัวรับรู้ S_i และ S_j จะเป็นเพื่อนบ้านกันก็ต่อเมื่อระยะทางระหว่างตัวรับรู้มีค่าน้อยกว่ารัศมีการสื่อสาร (r_c) ก็จะถือว่าตัวรับรู้นี้เป็นเพื่อนบ้านกันตามสมการที่ 3 จากนั้นจะทำการสร้างตารางเพื่อนบ้านภายในระบบตามขั้นตอนดังภาพที่ 11

$$S_i \in S_j \Leftrightarrow d_{i,j} \leq r_c \quad (3)$$



ภาพที่ 11 ขั้นตอนในการสร้างตารางเพื่อนบ้าน

4. การกำหนดปริมาณการใช้พลังงานของตัวรับรู้ภายในระบบ

โดยงานวิจัยนี้ได้กำหนดค่าพลังงานเริ่มต้นให้กับตัวรับรู้มีค่าระหว่าง 22 ถึง 0.25 และจากงานวิจัยของ Heinzelman *et al.* (2000) กำหนดให้การใช้พลังงานในการส่งข้อมูลของตัวรับรู้สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 4

$$E_{Tx} = k \times (E_{elec} + \varepsilon_{amp} \times d^n) \quad (4)$$

และพลังงานในการรับข้อมูลของตัวรับรู้สามารถคำนวณหาได้ดังสมการที่ 5

$$E_{Rx} = E_{elec} \times k \quad (5)$$

โดยที่

k	เป็นความยาวของข้อมูล
E_{elec}	เป็นพลังงานที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
ε_{amp}	เป็นกำลังขยายของสัญญาณส่ง
d	เป็นระยะทางระหว่างตัวรับรู้ที่รับส่งข้อมูลกัน
n	เป็น Path loss exponent มีค่าระหว่าง 2 ถึง 4

จาก Heinzelman *et al.* (2000) ได้มีการกำหนดค่าในสมการที่ 4 และ 5 ให้ k มีค่าเท่ากับ 1,000 บิต, E_{elec} ค่าเท่ากับ 50 นาโนจูลต่อบิต, ε_{amp} มีค่าเท่ากับ 100 พิโคจูลต่อบิตต่อตารางเมตร และ n มีค่าเท่ากับ 2

5. ขั้นตอนวิธีการจัดการตัวรับรู้เพื่อการครอบคลุมการทำงานของพื้นที่

5.1 การจัดกลุ่มครัสเตอร์และการเลือกครัสเตอร์เซดในการสร้างเส้นทางอีเอพี (EAP Protocol)

หลังจากที่ระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายได้สร้างตารางเพื่อนบ้านแล้ว ก็จะเข้าสู่ขั้นตอนการจัดกลุ่มครัสเตอร์ตามวิธีการสร้างเส้นทาง EAP เนื่องจากตัวรับรู้ที่ทำหน้าเป็นครัสเตอร์

เสดนั้นจะมีการบริโภคพลังงานมากกว่าตัวรับรู้อื่นๆที่เป็นสมาชิกในคริสเตอร์นั้น เนื่องจากคริสเตอร์เสดต้องทำหน้าที่ในการรับข้อมูลการตรวจวัดจากสมาชิกตัวรับรู้ภายในคริสเตอร์เดียวกันและส่งต่อข้อมูลจำนวนหนึ่งไปยังคริสเตอร์เสดของคริสเตอร์อื่น ดังนั้นการเป็นคริสเตอร์เสดของแต่ละตัวรับรู้ควรจะสลับสับเปลี่ยนหมุนเวียนกันในแต่ละรอบของกรเลือกคริสเตอร์เสด ในการทำงาน ของขั้นตอนวิธีการเลือกคริสเตอร์เสด “EAP” นั้นตัวรับรู้แต่ละตัวจะเก็บข้อมูลของเพื่อนบ้านไว้เพื่อใช้ในการเลือกคริสเตอร์เสด ขั้นตอนวิธีการเลือกคริสเตอร์เสดจะพิจารณาจากปัจจัยสองชนิดคือ พลังงานที่เหลือของตัวรับรู้ และพลังงานเฉลี่ยที่เหลืออยู่ของตัวรับรู้ทั้งหมดภายในคริสเตอร์ หากพิจารณาการใช้งานพลังงานแล้ว ขั้นตอนวิธี “EAP” สามารถรองรับปัญหาจากการใช้งานตัวรับรู้ที่ต่างชนิดกันได้ดีกว่าขั้นตอนวิธีการเลือกคริสเตอร์เสดอื่นที่จะพิจารณาเฉพาะพลังงานที่เหลืออยู่ในแต่ละตัวรับรู้เท่านั้น กรพิจารณาเลือกคริสเตอร์เสดของอัลกอริทึม “EAP” นั้นพิจารณาจากสมการทางคณิตศาสตร์ต่อไปนี้

$$E_a = \frac{\sum_{j=1}^m V_j E_{residual}}{m} \quad (6)$$

กำหนดให้ E_a คือ พลังงานที่เหลืออยู่เฉลี่ยของตัวรับรู้ทั้งหมดภายในคริสเตอร์ V_i คือ ตัวรับรู้เพื่อนบ้านภายในระยะคริสเตอร์ และ m คือ จำนวนตัวรับรู้ทั้งหมดภายในคริสเตอร์หลังจากคำนวณค่าพลังงานที่เหลืออยู่เฉลี่ยของตัวรับรู้ทั้งหมดภายในคริสเตอร์แล้ว ขั้นตอนวิธี “EAP” ก็จะทำการคำนวณค่าหน่วยเวลา (t) สำหรับการเลือกคริสเตอร์เสด

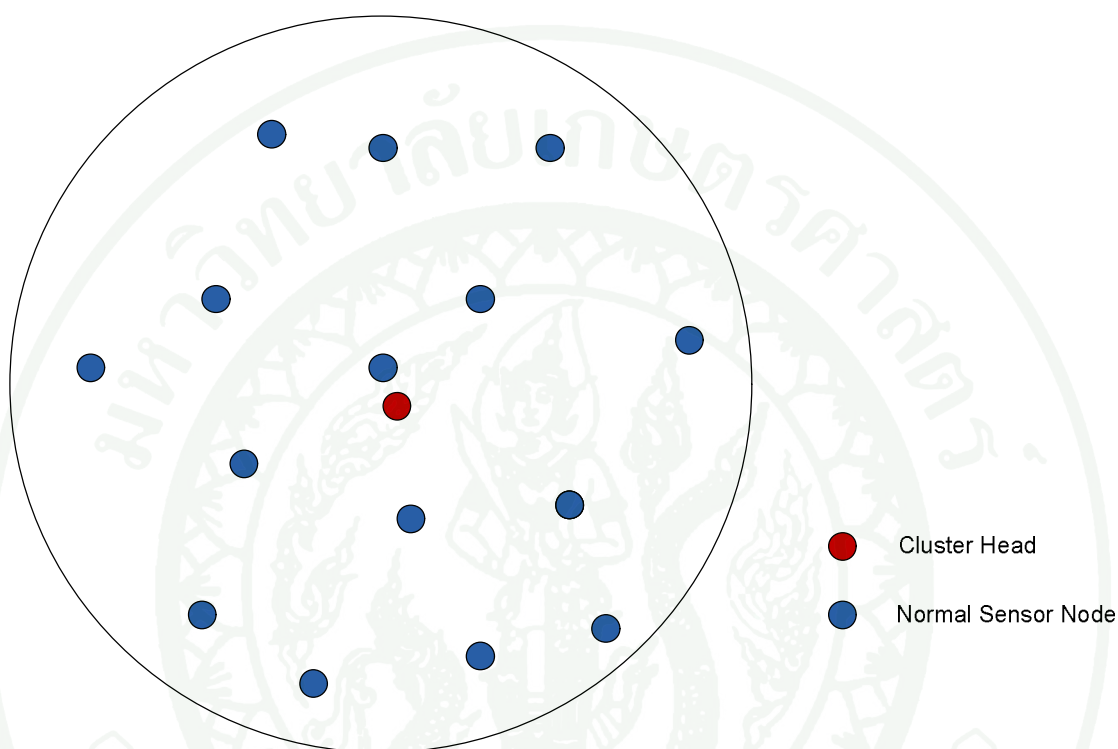
$$t = KT \frac{E_a}{E_{residual}} \quad (7)$$

โดยที่

- t เป็นค่าหน่วยเวลา
- K เป็นเลขจำตัวจริงที่มีการกระจายแบบยูนิฟอร์มมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 และ
- T เป็นช่วงเวลาที่ใช้ในการเลือกคริสเตอร์เสด

ตัวรับรู้ทุกตัวจะส่งข้อความประกาศว่าต้องการเป็นคริสเตอร์เสดภายในระยะเวลาเท่ากับค่าหน่วยเวลา (t) ที่คำนวณได้จากสมการที่ 7 โดยจะเห็นได้ว่าช่วงเวลาที่ตัวรับรู้ประกาศความต้องการเป็นคริสเตอร์เสดนั้นจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของพลังงานที่เหลือของตัวรับรู้กับ

พลังงานเฉลี่ยที่เหลืออยู่ของตัวรับรู้ทั้งหมดภายในครีสเตอร์ ($E_d/E_{residual}$) ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าการกระช่นนี้ส่งผลให้อายุการใช้งานของตัวรับรู้ที่มีพลังงานที่เหลืออยู่ยืนยาวขึ้นได้หลังจากที่ระบบคำนวณค่านว่งเวลา (t) ระบบจะเลือกครีสเตอร์เฮดจากตัวรับรู้ที่มีค่านว่งเวลาน้อยที่สุดภายในกลุ่มเพื่อนบ้าน



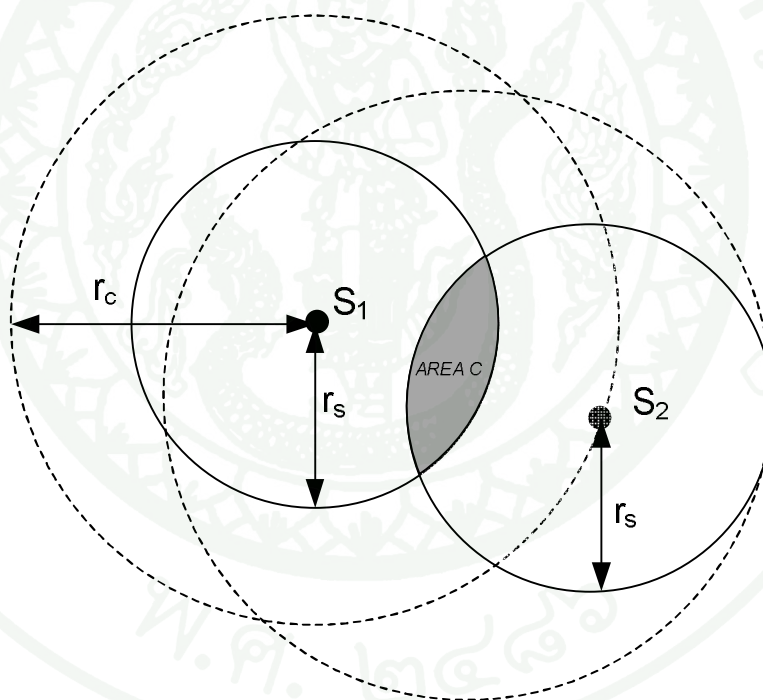
ภาพที่ 12 การจัดกลุ่มครีสเตอร์โดยการสร้างเส้นทาง EAP

6. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อเลือกจำนวนตัวรับรู้ที่ต้องปฏิบัติงานเพื่การันตีการครอบคลุมพื้นที่การทำงานของตัวรับรู้

ภายหลังจากที่ระบบจัดกลุ่มครีสเตอร์และเลือกครีสเตอร์เฮดเรียบร้อยแล้วระบบจะคำนวณหาจำนวนตัวรับรู้ที่จะต้องปฏิบัติหน้าที่ตรวจวัดเหตุการณ์ภายในแต่ละครีสเตอร์ เพื่การันตีการครอบคลุมพื้นที่การทำงานของระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย โดยจะทำให้ตัวรับรู้สามารถสลับกันทำงานได้ในแต่ละรอบ โดยที่ตัวรับรู้ไม่จำเป็นต้องปฏิบัติหน้าที่ตรวจวัดและส่งข้อมูลไปให้ครีสเตอร์เฮดในทุกๆรอบ

6.1 กรณีพื้นที่การซ้อนทับที่ตัวรับรู้ตัวอื่นอยู่บริเวณขอบของรัศมีการสื่อสาร (Worst case scenario)

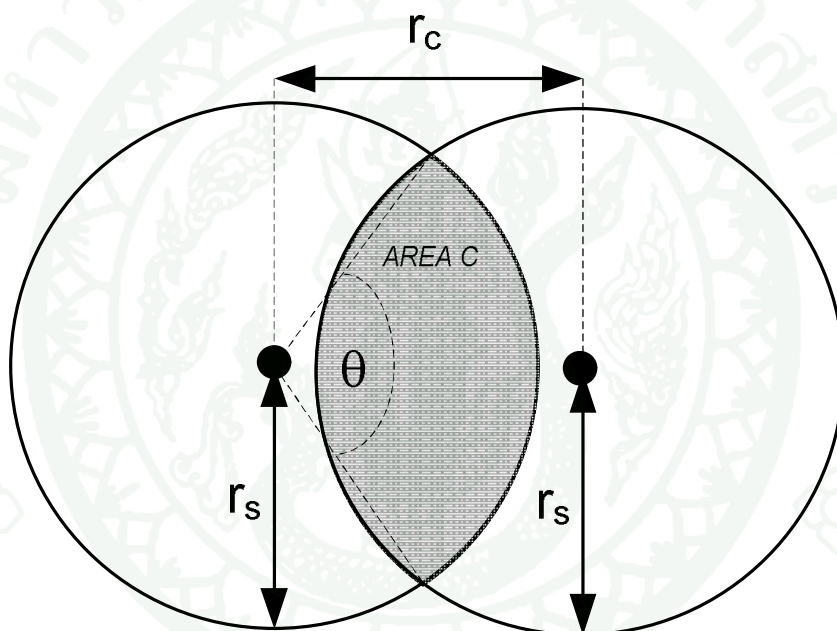
แนวความคิดที่จะสามารถการันตีการตรวจวัดของตัวรับรู้ให้ได้ตามการครอบคลุมที่ถูกกำหนดไว้นั้น จำเป็นจะต้องใช้การบริหารจัดการตัวรับรู้ที่ดี โดยแต่ละตำแหน่งในพื้นที่ที่สนใจตรวจวัดจะต้องถูกครอบคลุมโดยการทำงานของตัวรับรู้ด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ $P(cov)$ งานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการในการระบุจำนวนที่เหมาะสมของตัวรับรู้ที่จำเป็นต้องอยู่ในสถานะปฏิบัติงาน (N) เพื่อที่จะสามารถการันตีย่อยละการครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการได้ ($P(cov)$) ขั้นตอนวิธีที่งานวิจัยนี้นำเสนอจะพิจารณาพื้นที่ซ้อนทับของรัศมีการตรวจวัดของตัวรับรู้ (r_s) ในการการันตีการครอบคลุมพื้นที่ตรวจวัดดังภาพที่ 12 ดังนั้นสมการในการการันตีการครอบคลุมพื้นที่นั้นสามารถหาได้จากฟังก์ชันของพื้นที่ซ้อนทับของรัศมีการตรวจวัด (r_s) ของตัวรับรู้แต่ละตัว



ภาพที่ 13 การครอบคลุมพื้นที่ที่สนใจตรวจวัดกรณีพื้นที่การซ้อนทับที่ตัวรับรู้ตัวอื่นอยู่บริเวณขอบของรัศมีการสื่อสาร

พิจารณาภาพที่ 13 ประกอบด้วยตัวรับรู้ S_1 และ S_2 จากนั้นตัวรับรู้ตัวรับรู้ S_1 และ S_2 จะทำการตัดสินใจว่าจะเข้าสู่สถานะปฏิบัติงานหรือไม่ ถ้าตัวรับรู้พบว่ามีเพื่อนบ้านหลายตัว ได้ตื่นขึ้นมาทำหน้าที่ตรวจวัดแล้ว โอกาสที่พื้นที่ที่ตัวรับรู้สามารถตรวจจับได้ จะถูกครอบคลุมด้วยตัวรับรู้ตัวอื่น ก็มีความเป็นไปได้สูงด้วย (ภาพที่ 13) ตำแหน่งของตัวรับรู้ S_1 ทำให้เกิดกรณีที่แย่ที่สุดของ

การซ้อนทับของรัศมีการตรวจวัด กล่าวคือจะทำให้ตัวรับรู้ S_2 อยู่ ณ ตำแหน่งขอบของรัศมีการสื่อสารของตัวรับรู้ S_1 ด้วยความสัมพันธ์ $r_s = 0.5r_c$ จากนั้นตัวรับรู้จะตัดสินใจเข้าสู่สถานะปฏิบัติงานก็ต่อเมื่อไม่มีพื้นที่ซ้อนทับของรัศมีการตรวจวัดระหว่างตัวรับรู้เพื่อนบ้านหรือไม่มีการซ้อนทับของพื้นที่ครอบคลุม ด้วยเหตุนี้ตัวรับรู้ที่มีตำแหน่งอยู่บนขอบของรัศมีการสื่อสารจะถูกลำนาถพิจารณาเพื่อทำการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์ในการการันตีการครอบคลุมพื้นที่ จากภาพที่ 13 พื้นที่ $AREA C$ หมายถึง พื้นที่ที่ตัวรับรู้สองตัวมีรัศมีการตรวจวัดซ้อนทับกัน สิ่งนี้นำไปสู่แนวความคิดที่ว่า ตัวรับรู้ตัวหนึ่งจะมีตัวรับรู้อื่นปฏิบัติงานในพื้นที่ที่ตัวรับรู้ นั้นรับผิดชอบตรวจวัด ด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ $P(\text{cov} \in AreaC)$ ดังสมการที่ 10



ภาพที่ 14 การครอบคลุมพื้นที่ซ้อนทับของรัศมีการตรวจวัด

$$P(\text{cov}) = 1 - (P(\text{cov} \notin AreaC))^N \quad (8)$$

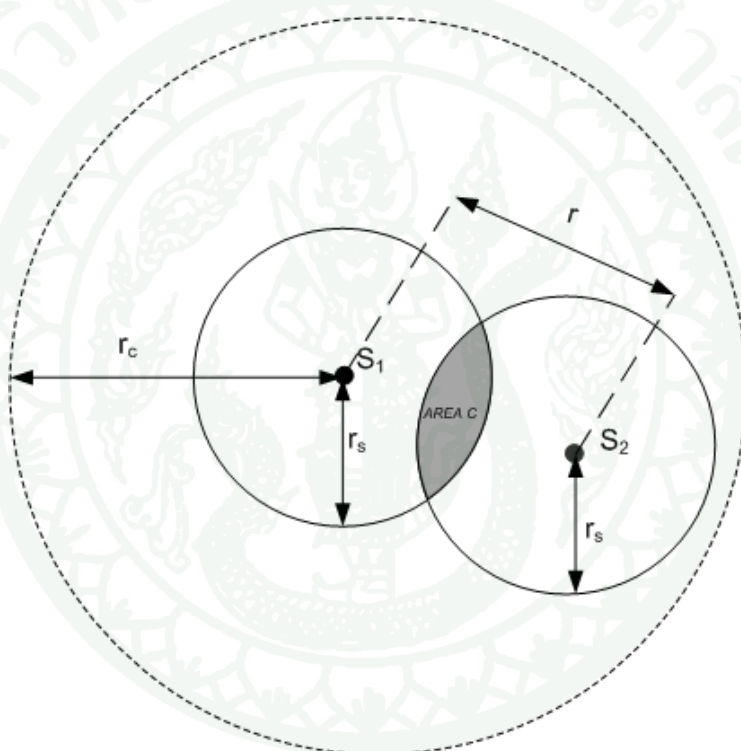
$$N = \frac{\log(1 - P(\text{cov}))}{\log(1 - P(\text{cov} \in AreaC))} \quad (9)$$

จากภาพที่ 14 ความน่าจะเป็นที่จะเกิดกรณีเลวร้ายที่สุดในการครอบคลุมพื้นที่ $Area C$ ($P(\text{cov} \in Area C)$) สามารถเขียนได้ดังนี้

$$P(\text{cov} \in \text{AreaC}) = \frac{(r_s^2(\theta - \sin \theta))}{\pi r_s^2} \quad (10)$$

$$\theta = 2 \cos^{-1} \frac{r_c}{2r_s} \quad (11)$$

6.2 กรณีพื้นที่การซ้อนทับที่ตัวรับรู้ตัวอื่นอยู่ที่ระยะห่างเฉลี่ยตั้งแต่ ถึง บริเวณขอบของรัศมีการสื่อสาร (Average cenario)



ภาพที่ 15 การครอบคลุมพื้นที่ซ้อนทับของรัศมีการตรวจวัดกรณีพื้นที่การซ้อนทับที่ตัวรับรู้ตัวอื่นอยู่ที่ระยะห่างเฉลี่ยตั้งแต่ ถึง บริเวณขอบของรัศมีการสื่อสาร (Average scenario)

สำหรับในกรณีที่พิจารณาจำนวนตัวรับรู้ที่ต้องทำหน้าที่ปฏิบัติงาน จากความน่าจะเป็นที่ไม่ได้พิจารณาตัวรับรู้ที่อยู่ ณ ตำแหน่งขอบของรัศมีการสื่อสารกรณีจะพิจารณาจากตัวรับรู้ที่อยู่ ณ ตำแหน่งต่างๆ (r) ออกมาเป็นค่าเฉลี่ย กำหนดให้ r คือ ระยะทางระหว่างตัวรับรู้สองตัวที่มีรัศมีการตรวจวัดซ้อนทับกันดังภาพที่ 15

กำหนดให้

$$\beta = \frac{\theta}{2} \quad (12)$$

และ

$$\beta = \cos^{-1}\left(\frac{r}{2r_s}\right) \quad (13)$$

ดังนั้นฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นที่ระยะทางระหว่างตัวรับรู้สองตัวที่มีรัศมีการตรวจวัดซ้อนทับกันมีค่าดังสมการที่ 2

$$f_R(r) = \frac{2r}{r_c^2}; r \in [0, r_c] \quad (14)$$

จากสมการที่ 14 ทำให้สามารถหาฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของมุม β ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{aligned} f_\beta(\beta) &= f_R(r) \left| \frac{dr}{d\beta} \right| \\ &= \frac{2r}{r_c^2} |-2r_s \sin \beta| \end{aligned} \quad (15)$$

ดังนั้นฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของมุม β มีค่าดังสมการที่ 16 โดยที่ β มีค่าดังสมการที่ 13

$$f_\beta(\beta) = \frac{4r_s^2 \sin(2\beta)}{r_c^2}; \beta \in [\beta_0, \frac{\pi}{2}] \quad (16)$$

จากแบบจำลองในภาพที่ 14 ได้ว่า

$$P(\text{cov} \in \text{AreaC}) = \frac{2\beta - \sin(2\beta)}{\pi} \quad (17)$$

ดังนั้น ค่าเฉลี่ยของ $P(\text{cov} \in \text{AreaC})$ มีค่าดังสมการที่ 18

$$E[P(\text{cov} \in \text{AreaC})] = \int_{\beta_0}^{\frac{\pi}{2}} P(\text{cov} \in \text{AreaC}) f_{\beta}(\beta) d\beta \quad (18)$$

$$= \int_{\beta_0}^{\frac{\pi}{2}} \left(\frac{2\beta - \sin(2\beta)}{\pi} \right) \cdot \left(\frac{4r_s^2 \sin(2\beta)}{r_c^2} \right) d\beta$$

$$= - \frac{4r_s^2 \left(\frac{\beta}{2} - \frac{\sin(2\beta)}{2} - \frac{\sin(4\beta)}{8} + \beta \cos(2\beta) \right)}{\pi r_c^2} \Bigg|_{\beta_0}^{\frac{\pi}{2}}$$

$$= \frac{r_s^2}{r_c^2} + \frac{4r_s^2 \left(\frac{\beta_0}{2} - \frac{\sin(2\beta_0)}{2} - \frac{\sin(4\beta_0)}{8} + \beta_0 \cos(2\beta_0) \right)}{\pi r_c^2}$$

โดยที่

$$\beta_0 = \cos^{-1} \left(\frac{r_c}{2r_s} \right) \quad (19)$$

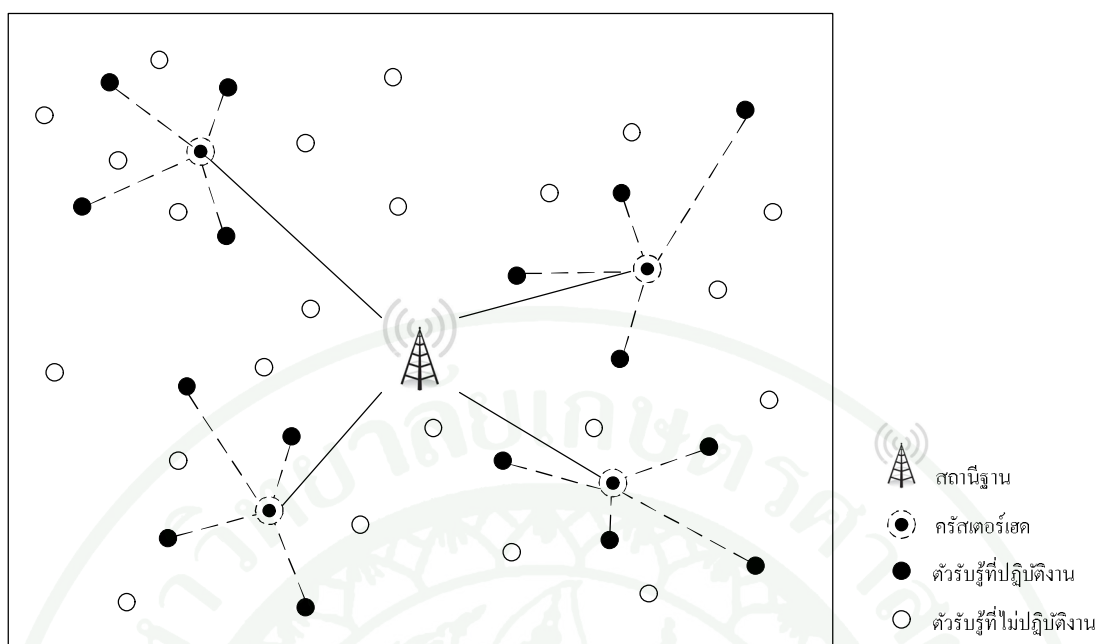
จากนั้นเราสามารถหาจำนวนตัวรับรู้ที่จำเป็นต่อกรณีปฏิบัติหน้าที่ตรวจวัดเหตุการณ์สำหรับกรณีพื้นที่การซ้อนทับที่ตัวรับรู้ตัวอื่นอยู่ที่ระยะห่างเฉลี่ยตั้งแต่ ถึง บริเวณขอบของรัศมีการสื่อสาร (Average cenario) ได้ดังสมการที่ 20

$$N = \frac{\log(1 - P(\text{cov}))}{\log(1 - E[P(\text{cov} \in \text{AreaC})])} \quad (20)$$

เนื่องจากเกณฑ์การเลือกคริสต์เตอร์เซดจะขึ้นกับปัจจัยสองปัจจัยคือพลังงานที่เหลือของตัวรับรู้และพลังงานเฉลี่ยที่เหลืออยู่ของตัวรับรู้ทั้งหมดภายในคริสต์เตอร์จำนวนของตัวรับรู้ที่จำเป็นต้องปฏิบัติงานภายในคริสต์เตอร์นั้นหาได้จากสมการโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้ถูกคิดค้นไว้ในงานวิจัยนี้ดังสมการที่ 7 ตัวรับรู้จำนวนอย่างน้อย N ตัวรับรู้ภายในคริสต์เตอร์จำเป็นต้องอยู่ในสถานะปฏิบัติงานเพื่อให้สามารถรันตร้อยละการครอบคลุมพื้นที่ที่ถูกกำหนดไว้ได้ ตัวรับรู้จะตัดสินใจเข้าสู่สถานะปฏิบัติงานก็ต่อเมื่อจำนวนของตัวรับรู้ที่ปฏิบัติงานอยู่น้อยกว่า N จากการที่จำนวนของตัวรับรู้ที่อยู่ในสถานะปฏิบัติงานมีจำนวนลดลง ส่งผลให้การบริโภคพลังงานของเครือข่ายมีค่าลดลง เนื่องจากความต้องการให้เครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีในเทอมของการบริโภคพลังงานและมีอายุการใช้งานเครือข่ายที่ยืนยาว โมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้มีสองปัจจัยหลักที่ใช้ในการระบุจำนวนของตัวรับรู้ภายในที่จำเป็นต้องเข้าสู่สถานะปฏิบัติงานได้แก่ รัศมีการครอบคลุมและรัศมีการตรวจวัดของตัวรับรู้

7. การส่งข้อมูล

หลังจากที่ระบบได้จัดกลุ่มคริสต์เตอร์และคำนวณจำนวนตัวรับรู้ที่จำเป็นต้องอยู่ในสถานะปฏิบัติงานภายในแต่ละคริสต์เตอร์โดยสมบูรณ์แล้ว ตัวรับรู้ภายในคริสต์เตอร์ที่ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นคริสต์เตอร์เซดเป็นจำนวนเท่ากับที่คำนวณได้จากสมการที่ 9 และ 20 ตัวรับรู้เหล่านั้นจะทำการตรวจวัดสภาพเหตุการณ์ที่สนใจในการทำงานแต่ละครั้งตัวรับรู้ที่จำเป็นต้องปฏิบัติงานการตรวจวัดนั้นจะถูกเลือกขึ้นโดยสุ่ม เมื่อตัวรับรู้เหล่านั้นทำการตรวจวัดเหตุการณ์ที่สนใจแล้วส่งข้อมูลให้ตัวรับรู้ที่เป็นคริสต์เตอร์เซดต่อไปแล้วคริสต์เตอร์เซดจะส่งข้อมูลต่อไปยังสถานีฐานต่อไปดังภาพที่



ภาพที่ 16 การส่งข้อมูลภายในครีโสเตอร์

8. การวัดประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายตัวรับไร้สาย

การวัดประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายในการทดลองนี้จะทำการประเมินประสิทธิภาพเครือข่ายจากอายุการใช้งานของตัวรับ โดยอายุการใช้งานเครือข่าย (Network lifetime) จะวัดจากจำนวนรอบที่ตัวรับสามารถทำงานตรวจวัดและส่งข้อมูลได้สำเร็จ จนกระทั่งตัวรับตายในครีโสเตอร์มีจำนวนน้อยกว่าจำนวนตัวรับที่ต้องปฏิบัติงานเพื่อการันตีการครอบคลุมพื้นที่การทำงานของตัวรับ (N) ดังสมการที่ 7 และ 20 โดยการครอบคลุมพื้นที่จะทำการทดลองที่ร้อยละ 80 และร้อยละ 90

ผลและวิจารณ์

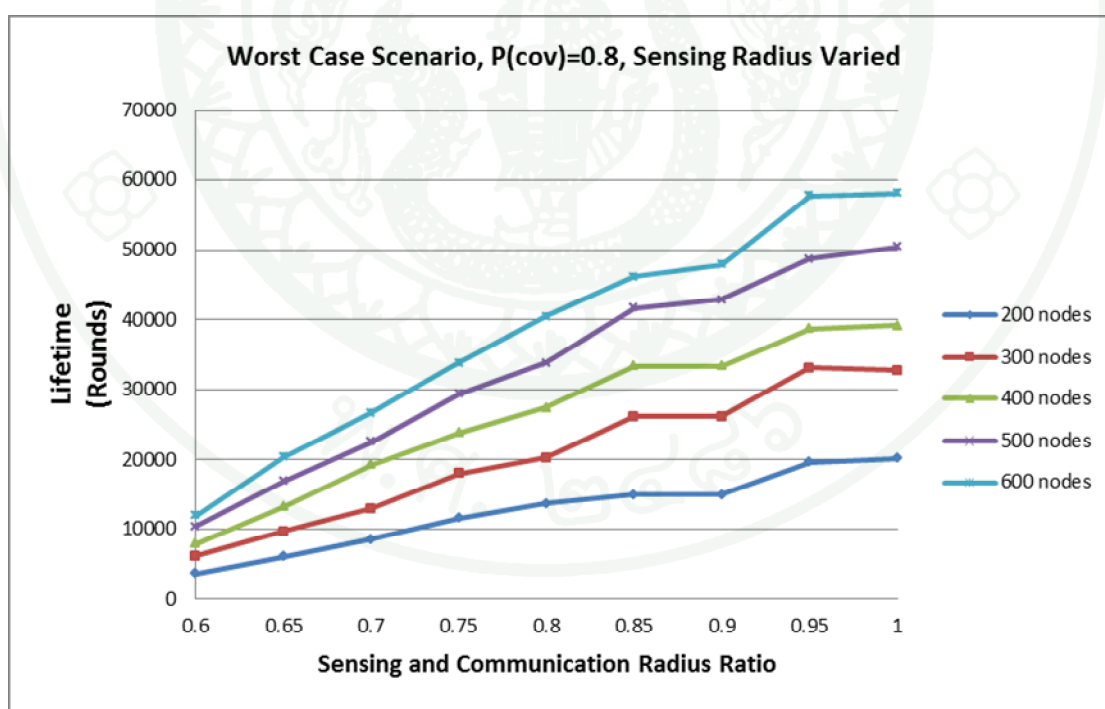
ผล

ในการจำลองวิธีการจัดการระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายเพื่อการครอบคลุมพื้นที่ตรวจวัด นั้นประสิทธิภาพของระบบจะทำการวัดจากอายุการใช้งานของระบบ โดยจะทำการวัดเป็นจำนวนรอบที่ระบบทำการตรวจวัดและส่งข้อมูลได้สำเร็จจนถึงตัวรับรู้ตัวสุดท้ายของระบบไม่สามารถตรวจวัดและส่งข้อมูลได้ โดยจะทำการเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่ายและทำการเปรียบเทียบให้เห็นความแตกต่างของอายุการใช้งานเครือข่าย ในสถานการณ์ที่ความหนาแน่นตัวรับรู้มีความแตกต่างกัน สถานการณ์ที่มีร้อยละการครอบคลุมพื้นที่แตกต่างกัน ตลอดจนสถานการณ์ตัวรับรู้มีรัศมีการสื่อสาร (r_c) แตกต่างกัน

สำหรับการทดลองการเลือกตัวรับรู้ในการส่งข้อมูลจะเป็นแบบสุ่ม อายุการใช้งานของระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายที่ทำการจำลองนั้น ได้มาจากค่าเฉลี่ยของการทดลองจำนวน 100 ครั้ง โดยที่แต่ละครั้งในการจำลองนั้นจะสุ่มวางตัวรับรู้แตกต่างกันการกระทำเช่นนี้เป็นการสร้างความเป็นเอกรูปของทอพอโลยี การติดตั้งตัวรับรู้นั้นทำในพื้นที่ 100×100 ตารางเมตร โดยจำลองลงในโปรแกรม MATLAB version 7.7 กำหนดให้รัศมีการตรวจวัดของตัวรับรู้ (r_s) และรัศมีการสื่อสารของตัวรับรู้ (r_c) ของตัวรับรู้แต่ละตัวมีค่าเท่ากัน กำหนดให้ร้อยละการครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการมีค่าเท่ากับร้อยละ 80 และร้อยละ 90 จำนวนตัวรับรู้ที่ทำการทดลองติดตั้งลงในพื้นที่สนใจตรวจวัดขนาด 100×100 ตารางเมตร มีจำนวนแตกต่างกัน คือ 200, 300, 400, 500 และ 600 ตัวรับรู้อย่างสุ่มในการทดลองการเพิ่มจำนวนของตัวรับรู้ในแต่ละการทดลองในขณะที่พื้นที่การทดลองมีค่าคงที่ หมายถึงการเพิ่มความหนาแน่นของตัวรับรู้ภายในพื้นที่การทดลอง จะเห็นได้ว่าอายุการใช้งานเครือข่ายเพิ่มมากขึ้นในขณะที่ความหนาแน่นของตัวรับรู้ภายในพื้นที่การทดลองเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

โดยการทดลองจะทำการทดลองแสดงให้เห็นถึงปัจจัยที่ทำให้ค่าอายุการใช้งานเครือข่ายเปลี่ยนแปลง ซึ่งปัจจัยหลัก คือ พื้นที่การซ้อนทับของรัศมีการตรวจวัด ขนาดของคริสต์เตอร์และจำนวนของคริสต์เตอร์ภายในระบบ ซึ่งสิ่งที่เป็นตัวบ่งชี้ปัจจัยเหล่านี้คือ รัศมีการตรวจวัดและรัศมีการสื่อสาร

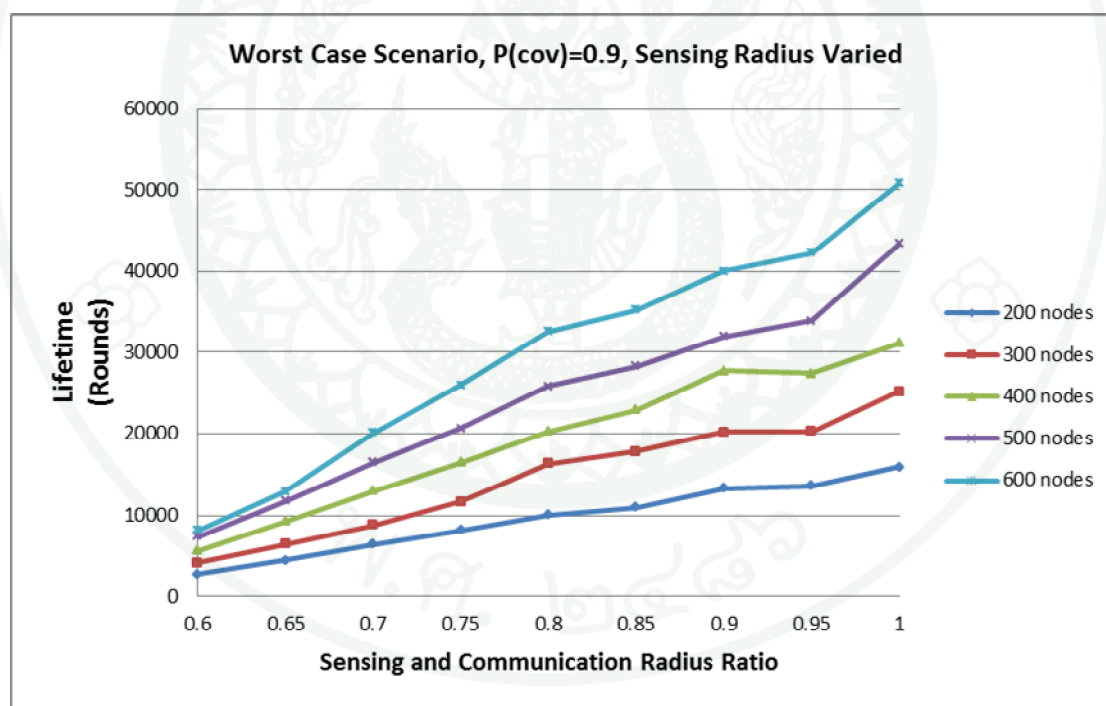
จากภาพที่ 17 และ 18 เป็นการทดลองวัดประสิทธิภาพเครือข่ายจากอายุการใช้งานเครือข่ายกรณี Worst Case Scenario โดยกำหนดให้รัศมีการสื่อสารมีค่าเท่ากัน ที่ 20 เมตร และทำการเปรียบเทียบค่ารัศมีการตรวจวัดที่ระยะแตกต่างกันไป โดยพิจารณาจากอัตราส่วนรัศมีการตรวจวัดและรัศมีการสื่อสาร 0.6 ถึง 1 เมื่อกำหนดค่าร้อยละการครอบคลุมพื้นที่ที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 80 ดังภาพที่ 17 และ ร้อยละ 90 ดังภาพที่ 18 จำนวนตัวรับรู้ที่ทำการทดลองติดตั้งลงในพื้นที่ที่สนใจตรวจวัดขนาด 100×100 ตารางเมตร มีจำนวนแตกต่างกัน คือ 200, 300, 400, 500 และ 600 ตัวรับรู้ จะเห็นได้ว่าอายุการใช้งานเครือข่ายมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อความหนาแน่นของตัวรับรู้ภายในเครือข่ายมีค่าเพิ่มมากขึ้นดังแสดงในภาพที่ 17 และ 18 และเมื่อความต้องการของร้อยละในการครอบคลุมพื้นที่ลดลงส่งผลให้มีจำนวนตัวรับรู้ที่จำเป็นเพื่อปฏิบัติหน้าที่ตรวจสอบเหตุการณ์มีค่าลดลง ดังสมการที่ 9 ส่งผลให้อายุการใช้งานเครือข่ายมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อร้อยละของความต้องการในการครอบคลุมพื้นที่ลดลง ภาพที่ 17 และ 18 เป็นผลการทดลองแสดงการเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่ายเมื่ออัตราส่วนรัศมีการตรวจและรัศมีการสื่อสารแตกต่างกัน เมื่อกำหนดให้รัศมีการสื่อสารคงที่ จะเห็นได้ว่ารัศมีการตรวจวัดเพิ่มขึ้นส่งผลให้พื้นที่การซ้อนทับเพิ่มขึ้น ทำให้อายุการใช้งานเครือข่ายมีค่าเพิ่มขึ้น โดยจะเพิ่มในอัตราเร็วมากขึ้นมาเมื่อตัวรับรู้มีความหนาแน่นมากขึ้น



ภาพที่ 17 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด โดยที่รัศมีการสื่อสารคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80

ตารางที่ 1 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด โดยที่รัศมีการสื่อสารคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80

Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80									
อัตราส่วน r_s / r_c	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
จำนวนตัวรับรู้ (ตัว)	อายุการใช้งานเครือข่าย (รอบ)								
200	3673	6002	8494	1153	13643	14951	14951	19634	20134
300	6128	9625	12909	17965	20235	26096	26096	33107	32751
400	7827	13207	19253	23824	27401	33357	33357	38712	39154
500	10307	16831	22534	29349	33838	41585	42798	48658	50413
600	11923	20357	26625	33836	40449	46129	47812	57776	58145
N	20	12	9	7	6	5	5	4	4

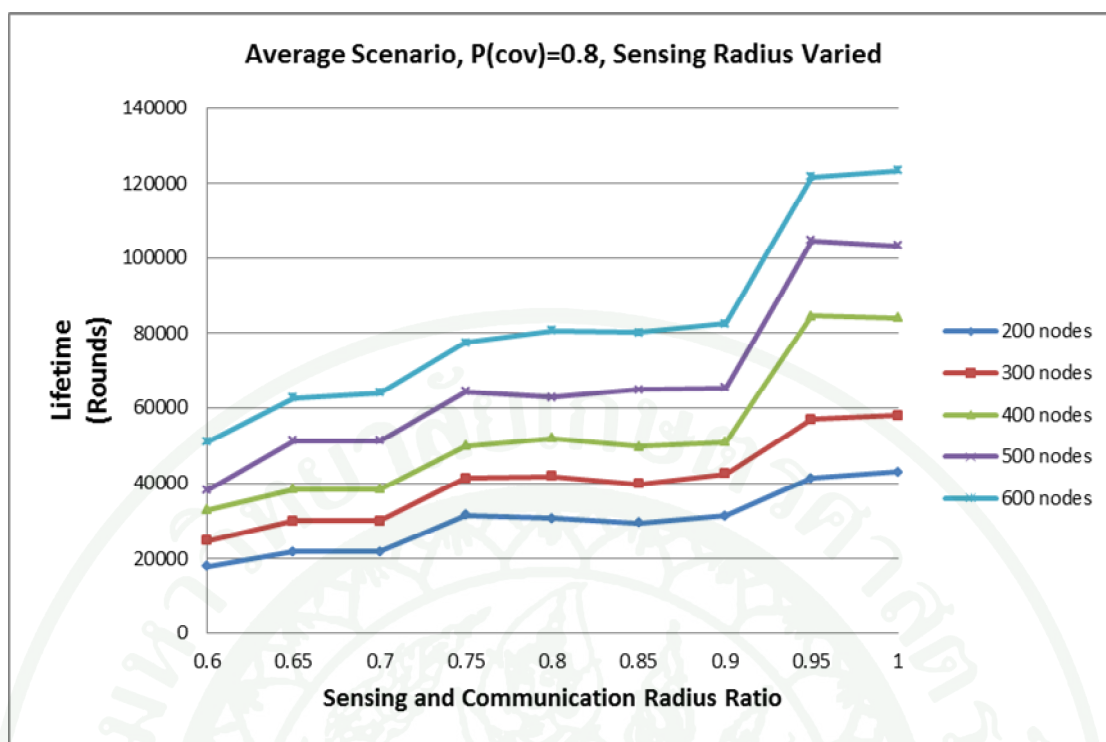


ภาพที่ 18 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด โดยที่รัศมีการสื่อสารคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90

ตารางที่ 2 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครื่องข่าย สำหรับกรณี Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด โดยที่รัศมีการสื่อสารคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90

Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90									
อัตราส่วน r_s / r_c	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
จำนวนตัวรับรู้ (ตัว)	อายุการใช้งานเครื่องข่าย (รอบ)								
200	2762	4465	6461	8189	10078	10983	13360	13643	15941
300	4107	6452	8796	11677	16352	17800	20196	20235	25206
400	5603	9236	13011	16455	20271	22950	27693	27401	31135
500	7345	11778	16479	20658	25873	28254	31923	33838	43377
600	8128	12919	20109	25996	32517	35210	40013	42274	50767
N	28	17	12	10	8	7	6	6	5

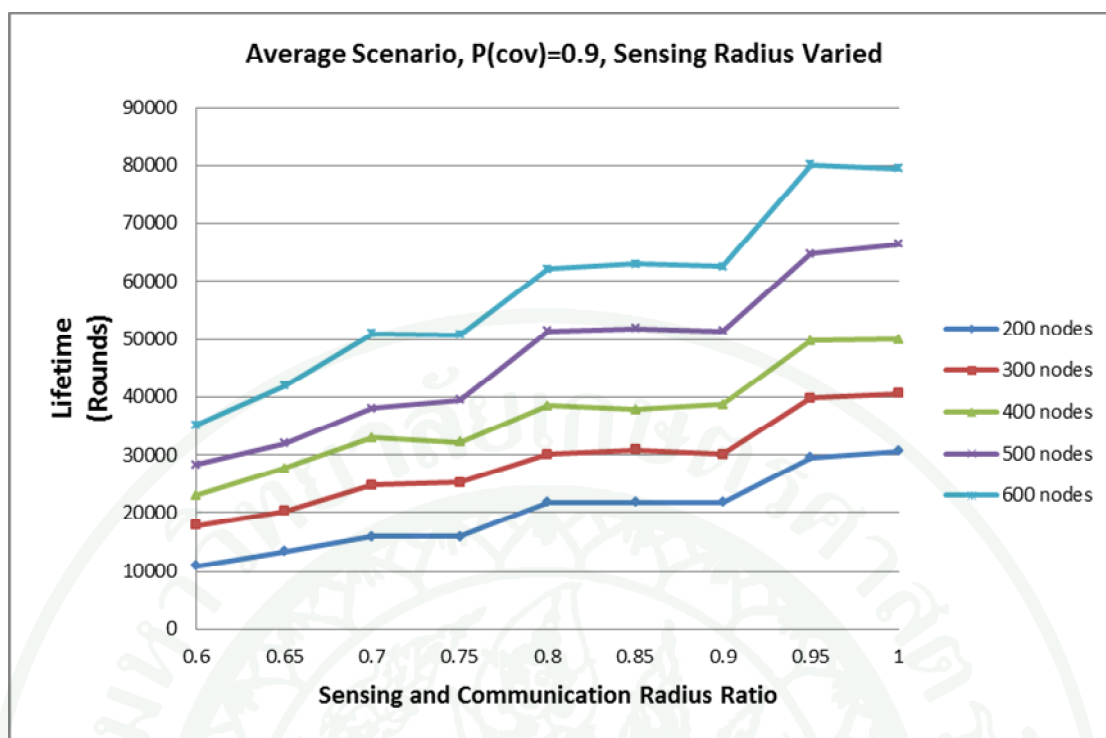
จากภาพที่ 19 และ 20 เป็นการทดลองวัดประสิทธิภาพเครื่องข่ายจากอายุการใช้งานเครื่องข่ายกรณี Average Scenario โดยกำหนดให้รัศมีการสื่อสารมีค่าเท่ากัน ที่ 20 เมตร และทำการเปรียบเทียบค่ารัศมีการตรวจวัดที่ระยะแตกต่างกันไป โดยพิจารณาจากอัตราส่วนรัศมีการตรวจวัดและรัศมีการสื่อสาร 0.6 ถึง 1 เมื่อกำหนดค่าร้อยละการครอบคลุมพื้นที่ที่แตกต่างกัน คือ ร้อยละ 80 ดังภาพที่ 19 และ ร้อยละ 90 ดังภาพที่ 20 จำนวนตัวรับรู้ที่ทำการทดลองติดตั้งลงในพื้นที่ที่สนใจตรวจวัดขนาด 100×100 ตารางเมตร มีจำนวนแตกต่างกัน คือ 200, 300, 400, 500 และ 600 ตัวรับรู้ อย่างสุ่ม จะเห็นได้ว่าอายุการใช้งานเครื่องข่ายมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อความหนาแน่นของตัวรับรู้ภายในเครื่องข่ายมีค่าเพิ่มมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 19 และ 20 และเมื่อความต้องการของร้อยละในการครอบคลุมพื้นที่ลดลงส่งผลให้มีจำนวนตัวรับรู้ที่จำเป็นต้องปฏิบัติหน้าที่ตรวจสอบเหตุการณ์มีค่าลดลง ดังสมการที่ 9 ส่งผลให้อายุการใช้งานเครื่องข่ายมีค่าเพิ่มมากขึ้นเมื่อร้อยละของความต้องการในการครอบคลุมพื้นที่ลดลง ดังภาพที่ 19 และ 20 เป็นผลการทดลองแสดงการเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครื่องข่ายเมื่ออัตราส่วนรัศมีการตรวจและรัศมีการสื่อสารแตกต่างกัน เมื่อกำหนดให้รัศมีการสื่อสารคงที่ จะเห็นได้ว่ารัศมีการตรวจวัดเพิ่มขึ้นส่งผลให้พื้นที่การซ้อนทับเพิ่มขึ้น ทำให้อายุการใช้งานเครื่องข่ายมีค่าเพิ่มขึ้น โดยจะเพิ่มในอัตราเร็วมากขึ้นมาเมื่อตัวรับรู้มีความหนาแน่นมากขึ้น



ภาพที่ 19 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Average Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด โดยที่รัศมีการสื่อสารคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80

ตารางที่ 3 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Average Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด โดยที่รัศมีการสื่อสารคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80

Average Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80									
อัตราส่วน r_s / r_c	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
จำนวนตัวรับรู้ (ตัว)	อายุการใช้งานเครือข่าย(รอบ)								
200	17933	21832	21832	31529	30647	29514	31485	41254	43054
300	24734	30073	30073	41260	41743	39743	42421	57038	57942
400	32891	38449	38449	49980	51980	49784	50980	84649	84051
500	38012	51359	51359	64372	62751	64772	65314	104647	103244
600	50994	62582	63942	77512	80719	80145	82549	121712	123451
N	5	4	4	3	3	3	3	2	2

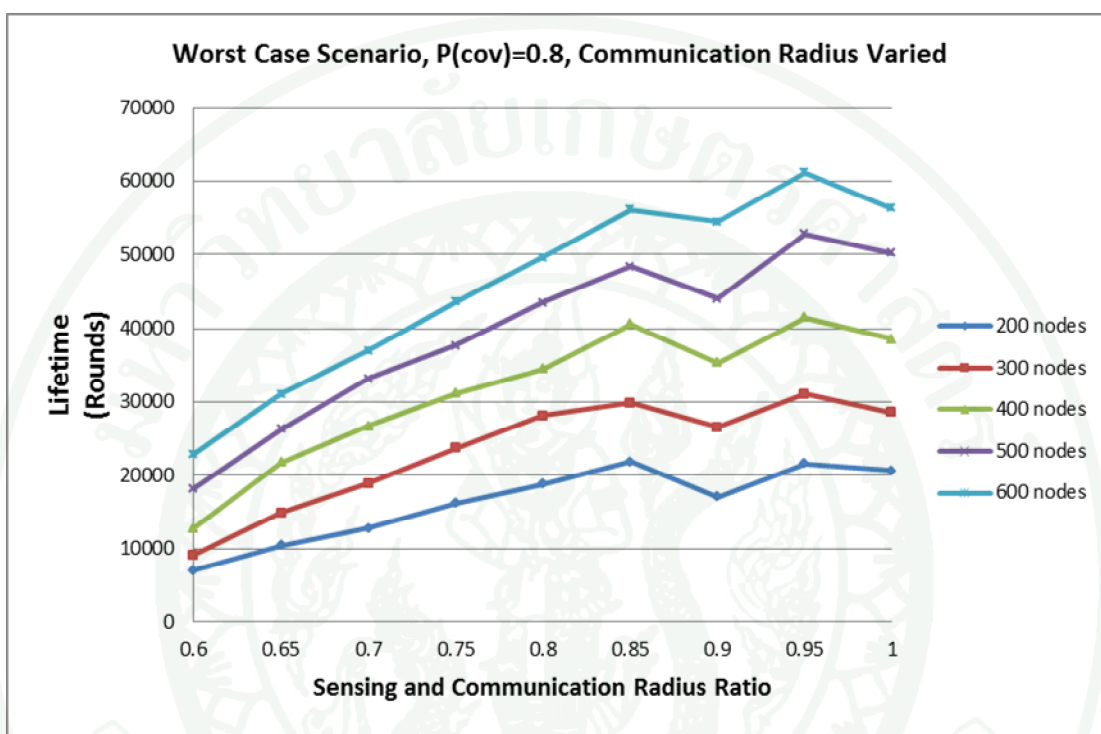


ภาพที่ 20 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Average Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด โดยที่รัศมีการสื่อสารคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90

ตารางที่ 4 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Average Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด โดยที่รัศมีการสื่อสารคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90

Average Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการตรวจวัด การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90									
อัตราส่วน r_s / r_c	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
จำนวนตัวรับรู้ (ตัว)	อายุการใช้งานเครือข่าย (รอบ)								
200	10983	13360	15933	15941	21832	21832	21832	29514	30647
300	17800	20196	24734	25206	30073	30873	30073	39743	40580
400	22950	27693	32891	32185	38449	37789	38649	49784	49980
500	28254	31923	38012	39451	51359	51859	51359	64772	66372
600	35210	41913	50994	50763	62082	62942	62582	80145	79419
N	7	6	5	5	4	4	4	3	3

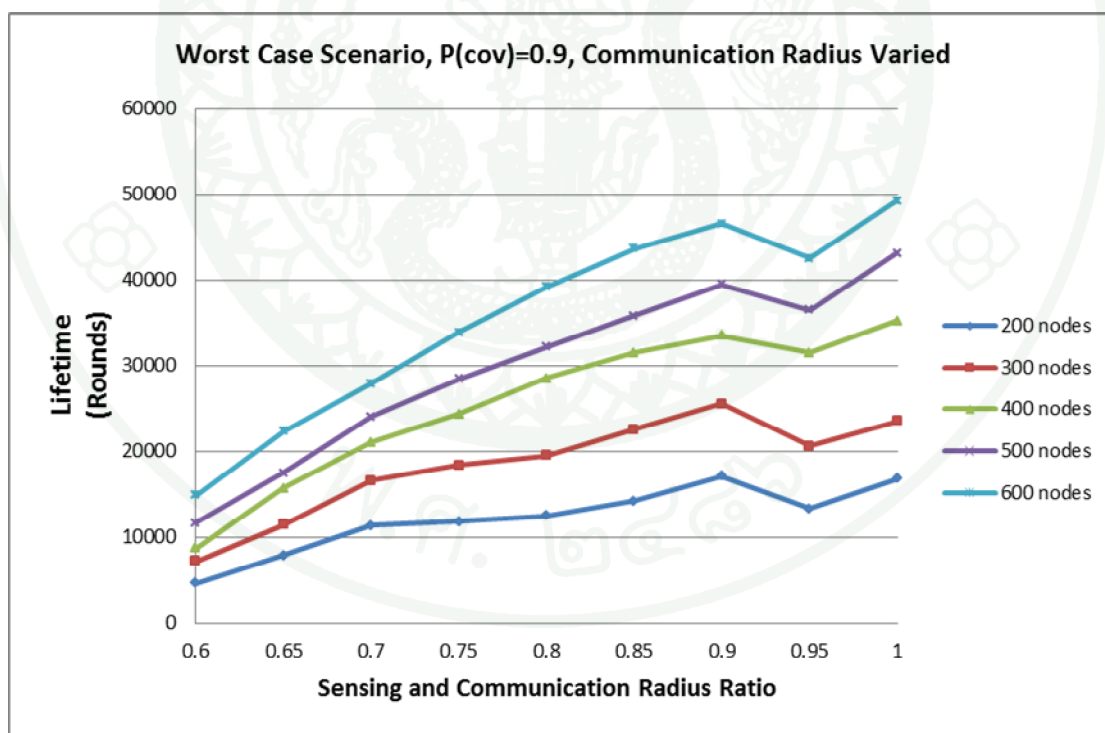
พิจารณาอายุการใช้งานเครือข่ายจากกรณี Average Scenario นั้นจะมีค่ามากกว่าการพิจารณาอายุการใช้งานเครือข่ายจากกรณี Worst Case Scenario ทั้งนี้เนื่องมาจากพื้นที่การซ้อนทับของกรณี Worst Case Scenario มีค่าน้อยกว่า โดยสามารถพิจารณาจากจำนวนตัวรับรู้ที่ต้องการปฏิบัติงานเพื่อการันตีร้อยละการครอบคลุมพื้นที่ดังตารางที่ 1 ถึง 4



ภาพที่ 21 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร โดยที่รัศมีการตรวจวัดคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80

ตารางที่ 5 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร โดยที่รัศมีการตรวจวัดคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80

Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80									
อัตราส่วน r_s / r_c	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
จำนวนตัวรับรู้(ตัว)	อายุการใช้งานเครือข่าย(รอบ)								
200	7002	10405	12766	16197	18820	21836	17055	21580	20652
300	9140	14856	18884	23671	28156	29873	26517	31106	28536
400	12812	21741	26705	31218	34533	40569	35354	41424	38577
500	18223	26330	33212	37738	43477	48365	43973	52832	50188
600	22933	31065	36979	43546	49542	56136	54491	61196	56285
N	20	12	9	7	6	5	5	4	4

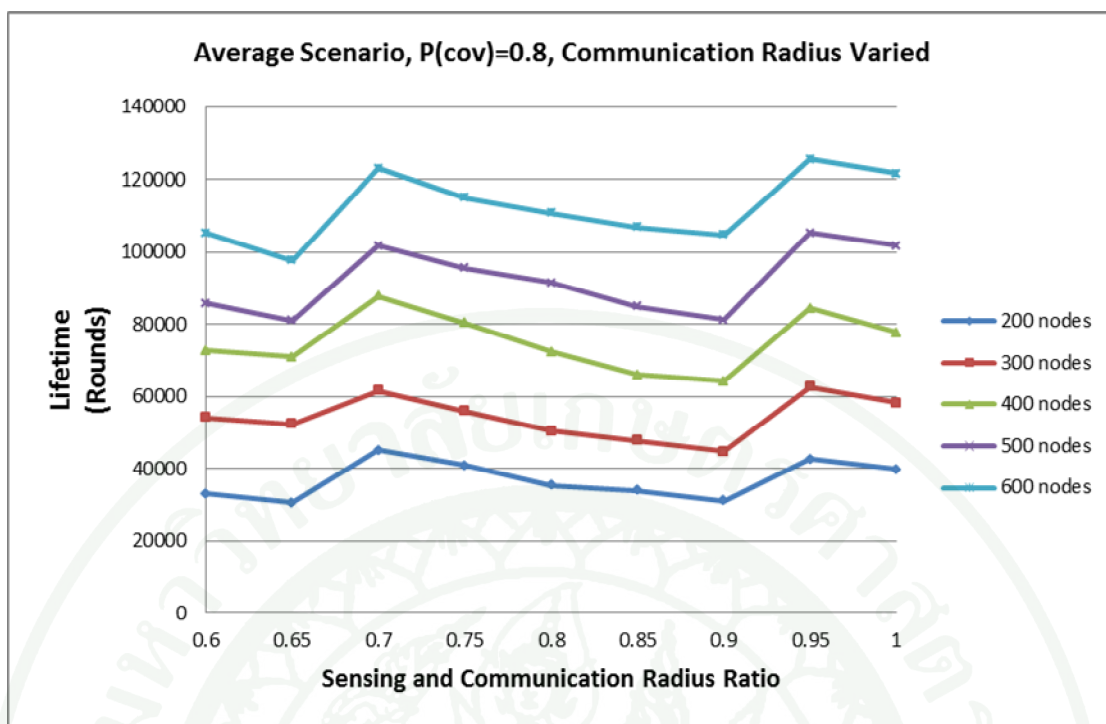


ภาพที่ 22 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร โดยที่รัศมีการตรวจวัดคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90

ตารางที่ 6 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครื่องข่าย สำหรับกรณี Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร โดยที่รัศมีการตรวจวัดคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90

Worst Case Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90									
อัตราส่วน r_s / r_c	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
จำนวนตัวรับรู้ (ตัว)	อายุการใช้งานเครื่องข่าย (รอบ)								
200	4665	7913	11316	11751	12468	14121	17058	13274	16796
300	7239	11350	16547	18316	19482	22491	25492	20541	23439
400	8693	15654	21003	24327	28486	31496	33513	31443	35166
500	11634	17438	23974	28387	32143	35792	39480	36497	43139
600	14842	22272	27865	33816	39177	43627	46568	42536	49215
N	28	17	12	10	8	7	6	6	5

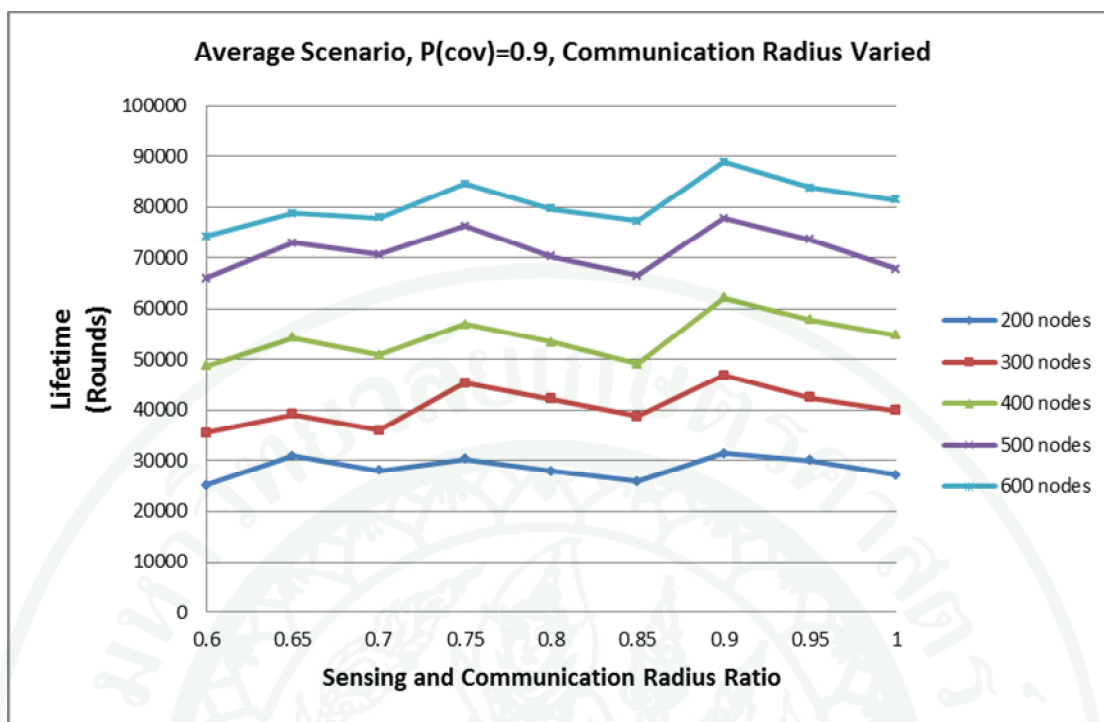
ภาพที่ 21 และ 22 คือการทดลองวัดอายุการใช้งานเครื่องข่ายโดยกำหนดให้รัศมีการตรวจวัดมีค่าคงที่ และทำการเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนรัศมีการตรวจและรัศมีการสื่อสาร 0.6-1 ภาพที่ 21 และ 22 ทำการทดลองที่รัศมีการตรวจวัด 20 เมตรคงที่ และเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร ซึ่งจากภาพที่ 21-22 จะเห็นได้ว่า ที่จำนวนตัวรับรู้มากหรือที่ระบบมีความหนาแน่นของตัวรับรู้มาก อายุการใช้งานเครื่องข่ายจะมีค่าเพิ่มขึ้นมาก เมื่อรัศมีการสื่อสารเพิ่มขึ้น การที่รัศมีการสื่อสารเพิ่มขึ้นนั้นหมายถึง ขนาดของคริสต์เตอร์ภายในระบบมีขนาดเพิ่มขึ้นและจำนวนคริสต์เตอร์ภายในระบบลดลง จนเข้าสู่จำนวนค่อนข้างคงที่เมื่อรัศมีการสื่อสารเพิ่มขึ้นมาก โดยพิจารณาจากตารางที่ 6 และ 6 เมื่อรัศมีการสื่อสารเพิ่มขึ้น สำหรับกรณี Worst Case Scenario นั้น เมื่อรัศมีการสื่อสารเพิ่มขึ้น จากการคำนวณจำนวนตัวรับรู้ที่ต้องปฏิบัติหน้าที่เพื่อการันตีพื้นที่ที่ครอบคลุมภายในคริสต์เตอร์ดังกล่าว ส่งผลให้จำนวนตัวรับรู้ที่ต้องปฏิบัติงานภายในคริสต์เตอร์มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ดังตารางที่ 6 และ 6 ส่งผลให้อายุการใช้งานเครื่องข่ายลดลง



ภาพที่ 23 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Average Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร โดยที่รัศมีการตรวจวัดคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80

ตารางที่ 7 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Average Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร โดยที่รัศมีการตรวจวัดคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 80

Average Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90									
อัตราส่วน r_s / r_c	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
จำนวนตัวรับรู้ (ตัว)	อายุการใช้งานเครือข่าย(รอบ)								
200	33090	30595	45105	40764	35368	34028	31110	42609	39864
300	54107	52403	61592	55898	50379	47784	44811	62542	58194
400	72748	70874	87671	80251	72376	65926	64175	84354	77719
500	85755	81023	101695	95597	91415	84825	81271	105292	101678
600	105304	97657	122954	114970	110674	106773	104798	125497	121529
N	4	4	3	3	3	3	3	2	2



ภาพที่ 24 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Average Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร โดยที่รัศมีการตรวจวัดคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90

ตารางที่ 8 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย สำหรับกรณี Average Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร โดยที่รัศมีการตรวจวัดคงที่ การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90

Average Scenario เมื่อเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร การครอบคลุมพื้นที่ร้อยละ 90									
อัตราส่วน r_s / r_c	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
จำนวนตัวรับรู้(ตัว)	อายุการใช้งานเครือข่าย(รอบ)								
200	25063	30949	28024	30280	27905	25834	31427	29990	27090
300	35525	39113	35971	45289	42210	38827	46831	42447	39883
400	48735	54321	50936	56941	53467	49117	62138	57809	54772
500	66085	72921	70612	76222	70289	66567	77757	73531	67845
600	74194	78720	77833	84529	79580	77156	88855	83755	81371
N	6	5	5	4	4	4	3	3	3

ภาพที่ 23 และ 24 คือการทดลองวัดอายุการใช้งานเครือข่ายโดยกำหนดให้รัศมีการตรวจวัดมีค่าคงที่ และทำการเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนรัศมีการตรวจและรัศมีการสื่อสาร 0.6-1 ภาพที่ 23 และ 24 ทำการทดลองที่รัศมีการตรวจวัด 20 เมตรคงที่ และเปลี่ยนแปลงค่ารัศมีการสื่อสาร ซึ่งจากภาพที่ 23 และ 24 จะเห็นได้ว่า ที่จำนวนตัวรับรู้มากหรือที่ระบบมีความหนาแน่นของตัวรับรู้มาก อายุการใช้งานเครือข่ายจะมีค่าเพิ่มขึ้นมาก เมื่อรัศมีการสื่อสารเพิ่มขึ้น การที่รัศมีการสื่อสารเพิ่มขึ้นนั้นหมายถึง ขนาดของคริสเตอร์ภายในระบบมีขนาดเพิ่มขึ้นและจำนวนคริสเตอร์ภายในระบบลดลง จนเข้าสู่จำนวนค่อนข้างคงที่เมื่อรัศมีการสื่อสารลดลง โดยพิจารณาจากตารางที่ 7 และ 8 เมื่อรัศมีการสื่อสารเพิ่มขึ้นสำหรับกรณี Average Scenario นั้น เมื่อรัศมีการเพิ่มขึ้น จากการคำนวณจำนวนตัวรับรู้ที่ต้องปฏิบัติหน้าที่เพื่อการันตีพื้นที่ที่ครอบคลุมภายในคริสเตอร์ดังสมการที่ 20 ส่งผลให้จำนวนตัวรับรู้ที่ต้องปฏิบัติงานภายในคริสเตอร์มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ดังตารางที่ 7 และ 8 ส่งผลให้อายุการใช้งานเครือข่ายลดลง

ตารางที่ 7 ถึง 8 แสดงผลการวัดอายุการใช้งานเครือข่ายโดยกำหนดให้รัศมีการตรวจวัดมีค่าคงที่ และทำการเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนรัศมีการตรวจและรัศมีการสื่อสาร กรณี Average Scenario จำนวนของตัวรับรู้ที่ต้องปฏิบัติงานภายในคริสเตอร์มีค่าลดลงแตกต่างกันน้อยเมื่อรัศมีการสื่อสารเพิ่มขึ้นตามการคำนวณจากสมการที่ 18 ส่งผลให้จำนวนตัวรับรู้ที่ต้องทำงานทั้งหมดในระบบมีค่าค่อนข้างคงที่ ดังนั้นปัจจัยทางด้านขนาดของคริสเตอร์จึงส่งผลกระทบมากกว่าจำนวนตัวรับรู้ที่ต้องการปฏิบัติงานเพื่อการครอบคลุมพื้นที่ โดยส่งผลให้อายุการใช้งานเครือข่ายมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากเมื่อรัศมีการสื่อสารเปลี่ยนแปลง โดยสามารถพิจารณาได้ดังตารางที่ 3 นอกจากนี้จำนวนตัวรับรู้ที่มากขึ้นหรือความหนาแน่นมากตัวรับรู้ภายในพื้นที่มากขึ้นจะทำให้อายุการใช้งานเครือข่ายเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

จากผลการทดลองการใช้ขั้นตอนวิธีการจัดการการทำงานตัวรับรู้ที่เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายแบบกลุ่มเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการ An Energy Aware Routing Protocol โดยไม่มีขั้นตอนวิธีการจัดการการทำงานตัวรับรู้ที่เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายแบบกลุ่มนั้น พบว่าการใช้วิธีการจัดการการทำงานตัวรับรู้ที่เหมาะสมเพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานสำหรับเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายแบบกลุ่มที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ สามารถทำให้อายุการใช้งานเครือข่ายยืนยาวได้มากกว่าจากการที่ตัวรับรู้ในระบบหมุนเวียนสลับเปลี่ยนกันทำงานในแต่ละรอบการตรวจวัด ดังตารางที่

ตารางที่ 9 ผลการทดลองเปรียบเทียบอายุการใช้งานเครือข่าย เมื่อใช้วิธีการ An Energy Aware Routing Protocol

An Energy Aware Routing Protocol									
อัตราส่วน r_s / r_c	0.6	0.65	0.7	0.75	0.8	0.85	0.9	0.95	1
จำนวนตัวรับรู้ (ตัว)	อายุการใช้งานเครือข่าย (รอบ)								
200	1414	1821.6	1982.6	2099	2197	2419	2525	2567	2812
300	1610	2019	2004	2155	2367	2449	2601	2665	2862
400	1704	2072	2042	2260	2376	2477	2665	2701	2923
500	1766	2082	2097	2379	2435	2480	2821	2836	3027
600	1804	2113	2140	2606	2562	2564	2823	3105	3118

วิจารณ์

การให้คำนิยามอายุการใช้งานเครือข่ายจัดเป็นประเด็นสำคัญที่จำเป็นต้องศึกษาเพื่อที่จะสร้างขั้นตอนวิธีสำหรับเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายที่มุ่งเน้นให้อายุการใช้งานเครือข่ายยืนยาว โดยการพิจารณาอายุการใช้งานเครือข่ายจากการพิจารณาการครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายและการเชื่อมต่อ ถือเป็นการให้คำนิยามที่มีความเหมาะสมในการประเมินประสิทธิภาพของระบบ ในเชิงของอายุการใช้งานเครือข่าย เพราะเป็นการพิจารณาจากคุณสมบัติการทำงานหลักของเทคโนโลยีเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย นั่นคือการเข้าถึงเป้าหมายการตรวจวัด ว่าระบบสามารถตรวจสอบเหตุการณ์ที่สนใจภายในพื้นที่นั้นได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงใด และระบบยังสามารถส่งข้อมูลที่ตรวจวัดและรวบรวมไว้ไปถึงสถานีฐานได้หรือไม่ โดยงานวิจัยนี้

สำหรับการส่งข้อมูลกันภายในระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายนั้น การใช้พลังงานอย่างประหยัดภายในระบบถือเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องพิจารณาจากหลักการศึกษาลักษณะการสร้างเส้นทาง การสื่อสารข้อมูล จะเห็นได้ว่าการสร้างเส้นทางสื่อสารข้อมูลแบบลำดับขั้นหรือครัสเตอร์ เป็นวิธีที่สามารถลดจำนวนข้อมูลที่ต้องถูกส่งภายในระบบ โดยอาศัยการรวมกลุ่มข้อมูลเสมือนการเพิ่มเกตเวย์ให้กับระบบ ทำให้ระบบที่ใช้วิธีการส่งข้อมูลแบบลำดับขั้นหรือครัสเตอร์นั้นไม่ต้องทำการส่งข้อมูลมากเกินไปเมื่อเพิ่มจำนวนตัวรับรู้ภายในระบบเครือข่าย การส่งข้อมูลที่ไม่ได้ใช้วิธีการส่งข้อมูลแบบลำดับขั้นหรือครัสเตอร์ จะมีข้อมูลจำนวนมากที่ถูกส่งอยู่ภายในระบบส่งผลให้ความล่าช้าในการส่งข้อมูล และยังทำให้ประสิทธิภาพในการตรวจวัดเหตุการณ์ที่สนใจต่าง ๆ นั้นลดลง ข้อดีที่สำคัญของวิธีการส่งข้อมูลแบบลำดับขั้นหรือครัสเตอร์ คือการลดการใช้พลังงานของ

ตัวรับรู้ โดยใช้คริสเตอร์เฮดเป็นตัวรับรู้ที่ทำหน้าที่ลำเลียงข้อมูลแทนการใช้ตัวรับรู้ทุกตัวส่งข้อมูล ทำให้สามารถลดจำนวนข้อมูลที่ต้องส่งภายในระบบได้ ด้วยเหตุนี้ งานวิจัยที่ได้จัดทำขึ้นนี้จึงใช้หลักการของการสร้างเส้นทางการสื่อสารข้อมูลแบบลำดับชั้นหรือคริสเตอร์ ในการออกแบบวิธีการบริหารจัดการตัวรับรู้ภายในระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายให้มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานและมีอายุการใช้งานเครือข่ายที่ยืนยาว

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกที่จะใช้ค่านิยามอายุการใช้งานเครือข่ายโดยพิจารณาจากทั้งการครอบคลุมพื้นที่เป้าหมายและการเชื่อมต่อ โดยทำการทดลองบนโพรโตคอลการส่งข้อมูลแบบลำดับชั้นหรือคริสเตอร์ โดยเลือกงานวิจัย (An Energy-Aware Routing Protocol in Wireless Sensor Networks (Liu *et al.*, (2008)) เป็นวิธีการสร้างคริสเตอร์ของระบบ ขั้นตอนวิธีการเลือกคริสเตอร์เฮดจะพิจารณาจากปัจจัยสองชนิดคือ พลังงานที่เหลือของตัวรับรู้นั้นและพลังงานเฉลี่ยที่เหลืออยู่ของตัวรับรู้ทั้งหมดภายในคริสเตอร์หากพิจารณาการใช้งานพลังงานแล้ว ขั้นตอนวิธี An Energy-Aware Routing Protocol in Wireless Sensor Networks (Liu *et al.*, (2008)) สามารถรองรับปัญหาจากการใช้งานตัวรับรู้ที่ต่างชนิดกันได้ดีกว่าขั้นตอนวิธีการเลือกคริสเตอร์เฮดอื่นซึ่งพิจารณาเฉพาะพลังงานที่เหลืออยู่ในแต่ละตัวรับรู้เท่านั้น โดยตัวรับรู้อย่างสามารถร่วมกันส่งข้อมูลไปยังสถานีฐานได้ และใช้การนิยามเครือข่ายโดยการครอบคลุมเป้าหมายนี้ และพิจารณาในเชิงการครอบคลุมร้อยละของพื้นที่ที่สนใจตรวจสอบ โดยใช้หลักการวิธีการครอบคลุม α -coverage คือการบ่งบอกเปอร์เซ็นต์ α ของพื้นที่ที่สนใจที่ครอบคลุม และ k -coverage คือการที่แต่ละจุดในพื้นที่ที่สนใจถูกครอบคลุมด้วยตัวรับรู้เป็นจำนวนอย่างน้อย k ตัว งานวิจัยนี้จะทำการแก้ปัญหาการระบุจำนวนตัวรับรู้ที่ต้องครอบคลุมพื้นที่ N ตัว ให้ได้วิธีการครอบคลุมพื้นที่ α โดยจะพิจารณาวิธีการครอบคลุมพื้นที่นี้ที่ ร้อยละ 80 และร้อยละ 90

วิธีการบริหารจัดการตัวรับรู้เพื่อยืดอายุการใช้งานเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายที่ได้นำเสนอขึ้นสามารถทำงานได้ตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ สามารถยืดอายุการใช้งานเครือข่ายได้เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการสร้างเส้นทางการสื่อสาร โดยไม่มีวิธีการบริหารจัดการตัวรับรู้เพื่อยืดอายุการใช้งานเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สาย การคำนวณจำนวนตัวรับรู้ที่ต้องการให้ปฏิบัติงานตรวจวัดภายในแต่ละคริสเตอร์นั้น เมื่อพิจารณาจากกรณี Average Scenario ที่พิจารณาความน่าจะเป็นจากพื้นที่ซ้อนทับของรัศมีการตรวจวัดจากตัวรับรู้สองตัวที่มีตัวรับรู้อีกตัวหนึ่งไม่ได้อยู่ที่ขอบแต่อยู่ภายในของรัศมีการสื่อสารหรือระยะคริสเตอร์ จะให้ผลการทดลองอายุการใช้งานเครือข่ายที่มีค่ายืนยาวมากกว่าการพิจารณาจากกรณี Worst Case Scenario ที่พิจารณาความน่าจะเป็นจากพื้นที่ซ้อนทับของรัศมีการตรวจวัดจากตัวรับรู้สองตัวที่มีตัวรับรู้อีกตัวอยู่ที่ยอดของรัศมีการสื่อสารเมื่อพิจารณาถึงผลของวิธีการ

ครอบคลุมพื้นที่ต่ออายุการใช้งานเครือข่าย ผลปรากฏว่าเมื่อความต้องการการครอบคลุมพื้นที่น้อยกว่าอายุการใช้งานเครือข่ายจะเพิ่มขึ้น

จากการทดลองทั้งในกรณี Worst Case Scenario และ กรณี Average Scenario แสดงให้เห็นว่าเมื่อระบบมีจำนวนตัวรับรู้มากหรือระบบมีความหนาแน่นของตัวรับรู้ภายในพื้นที่สูง อายุการใช้งานเครือข่ายจะมีค่ายืนยาวมากขึ้น การทดลองหาอายุการใช้งานเครือข่ายที่ทำการพิจารณาผลกระทบของขนาดรัศมีการตรวจวัดที่มีค่าแตกต่าง โดยพิจารณาที่ขนาดรัศมีการสื่อสารที่คงที่ หมายถึง ขนาดของครีสเตอร์มีค่าคงที่และจำนวนของครีสเตอร์ค่อนข้างคงที่ได้ข้อสรุปว่าเมื่อรัศมีการตรวจวัดมีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้จำนวนตัวรับรู้ที่ต้องทำงานภายในครีสเตอร์มีค่าลดลงดังสมการที่ 9 และ 20 ส่งผลให้อายุการใช้งานเครือข่ายมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อรัศมีการตรวจวัดมีค่าเพิ่มมากขึ้น และจะเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงขึ้นเมื่อความหนาแน่นตัวรับรู้ภายในพื้นที่เพิ่มมากขึ้น

การทดลองหาอายุการใช้งานเครือข่ายที่ทำการพิจารณาผลกระทบของขนาดรัศมีการตรวจวัดที่มีค่าแตกต่าง โดยพิจารณาที่ขนาดรัศมีการตรวจวัดที่มีค่าคงที่และเปรียบเทียบอายุเครือข่ายที่จากการเปรียบเทียบรัศมีการสื่อสารที่แตกต่างกัน หมายถึง ขนาดของครีสเตอร์จะมีค่าแตกต่างกันและจำนวนของครีสเตอร์ภายในระบบมีค่าแตกต่างกันโดยเมื่อรัศมีการสื่อสารเพิ่มขึ้น หมายถึงขนาดของครีสเตอร์เพิ่มขึ้นส่งผลให้จำนวนครีสเตอร์ภายในระบบมีค่าลดลง สำหรับในกรณี Worst Case Scenario นั้น เมื่อขนาดของรัศมีการสื่อสารมีค่ามากหรือขนาดของครีสเตอร์มากขึ้นและจำนวนครีสเตอร์ลดลงนั้นเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานเครือข่ายมากกว่าจำนวนตัวรับรู้ที่ต้องปฏิบัติงานภายในครีสเตอร์เพื่อการรันตีพื้นที่ครอบคลุมที่คำนวณได้จากสมการที่ 9 ส่งผลให้อายุการใช้งานเครือข่ายมีค่าลดลงมากเมื่อขนาดของรัศมีการสื่อสารเพิ่มขึ้นในขณะที่รัศมีการตรวจวัดคงที่ แต่เมื่อพิจารณากรณี Average Scenario จำนวนของตัวรับรู้ที่ต้องปฏิบัติงานภายในครีสเตอร์มีค่าลดลงแตกต่างกันน้อยเมื่อรัศมีการสื่อสารเพิ่มขึ้นตามการคำนวณจากสมการที่ 20 ส่งผลให้จำนวนตัวรับรู้ที่ต้องทำงานทั้งหมดในระบบมีค่าค่อนข้างคงที่ดังนั้นปัจจัยทางด้านขนาดของครีสเตอร์จึงส่งผลกระทบต่ออายุการใช้งานเครือข่าย ควบคู่ไปกับปัจจัยด้านจำนวนตัวรับรู้ที่ต้องการปฏิบัติงานเพื่อการครอบคลุมพื้นที่ โดยส่งผลให้อายุการใช้งานเครือข่ายมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากเมื่อรัศมีการสื่อสารเปลี่ยนแปลง โดยสามารถพิจารณาได้ดังตารางที่ 7 และ 8 นอกจากนี้จำนวนตัวรับรู้ที่มากขึ้นหรือความหนาแน่นมากตัวรับรู้ภายในพื้นที่มากขึ้นจะทำให้อายุการใช้งานเครือข่ายเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

วิธีการบริหารจัดการทำงานของตัวรับรู้เพื่อการันตีพื้นที่การครอบคลุมการทำงานสำหรับการใช้งานเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายที่ได้นำเสนอ สามารถเพิ่มอายุการใช้งานของเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายได้ วิธีการที่นำเสนอจะสามารถทำงานได้มีประสิทธิภาพดีเมื่อเครือข่ายมีจำนวนตัวรับรู้ภายในระบบและมีลักษณะการกระจายตัวที่หนาแน่น

การพัฒนาวิธีการบริหารจัดการตัวรับรู้โดยอาศัยหลักการของวิธีสร้างเส้นทางแบบลำดับขั้นหรือกลุ่มคริสเตอร์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานให้กับระบบได้เป็นอย่างดี เนื่องจากการแบ่งตัวรับรู้ออกเป็นกลุ่มคริสเตอร์ย่อยนั้น ทำให้ระยะทางในการส่งข้อมูลลดลง และปริมาณข้อมูลที่ถูกส่งในระบบนั้นลดลงตาม

การใช้วิธีการสร้างเส้นทางแบบลำดับขั้นหรือกลุ่มคริสเตอร์ควบคู่ไปกับวิธีการบริหารจัดการการทำงานของตัวรับรู้เพื่อการันตีพื้นที่การครอบคลุม โดยให้ตัวรับรู้มีการสับเปลี่ยนหมุนเวียนกันทำงานในแต่ละรอบของการตรวจวัดเหตุการณ์นั้น ก่อให้เกิดการใช้งานระบบเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายมีประสิทธิภาพทั้งในเชิงการใช้พลังงานและส่งผลให้ระบบมีอายุการใช้งานที่ยืนยาว

การพิจารณาอายุการใช้งานของเครือข่ายนั้น จะพิจารณาจากความสามารถในการครอบคลุมพื้นที่ตรวจวัดและความสามารถในการเชื่อมต่อ โดยให้ตัวรับรู้ยังสามารถส่งข้อมูลไปถึงสถานีฐานได้

ปัจจัยของรัศมีการสื่อสารและรัศมีการตรวจวัดเป็นปัจจัยที่ส่งผลโดยตรงกับอายุการใช้งานเครือข่าย โดยปัจจัยทางของรัศมีการสื่อสารจะเป็นตัวกำหนดจำนวนกลุ่มคริสเตอร์และขนาดของกลุ่มคริสเตอร์ภายในระบบของตัวรับรู้ภายในระบบ

ข้อเสนอแนะ

จากข้อมูลที่ได้ศึกษาระหว่างการดำเนินงานวิจัย และจากผลของการดำเนินงาน ทางผู้วิจัย
ขอเสนอแนะแนวทางอันคาดว่าจะประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

1. แนวทางของงานวิจัยนี้ในส่วนของวิธีการบริหารจัดการการทำงานของตัวรับรู้เพื่อกา
รค้นพื้นที่การครอบคลุมการทำงานสำหรับเครือข่ายตัวรับรู้ไร้สายนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับ
การสร้างเครือข่ายตัวรับรู้แบบไร้สายในงานอื่นๆได้
2. สำหรับแผนงานในอนาคตงานวิจัยนี้ควรจะมีการเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีการที่
จัดสร้างขึ้นกับ โมเดลการใช้พลังงานในบับที่หลากหลายเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและสร้าง
กันทำงานของอัลกอริทึมในสถานะแวดล้อมจริง

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

อดิศักดิ์ วิชชุปัญญาพาณิชย์ 2550. การหาเส้นทางที่คำนึงถึงพลังงานโดยใช้ค่าเชื่อมต่อในระบบ
เครือข่ายเซนเซอร์ไร้สาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

A. Giridhar and P. Kumar. 2005. Maximizing the functional lifetime of sensor networks. **The Proceedings of the 4th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks.**

Blough and Santi. 2002. Investigating upper bounds on network lifetime extension for cell-based energy conservation techniques in stationary ad hoc networks. pp. 183–192. *In Proceedings of the 8th ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom).*

C. Liu, K. Wu, Y. Xiao and B. Sun. 2006. Random Coverage with Guaranteed Connectivity; Joint Scheduling for Wireless Sensor Networks. **IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems** 17:562-575.

F. Dressler, I. Dietrich, R. German and B. Kruger. 2007. Efficient operation in sensor and actor networks inspired by cellular signaling cascades. **The Proceedings of the 1st ACM International Conference on Autonomic Computing and Communication Systems (Autonomics).**

H. Ammari. 2009. Stochastic k-Coverage in Wireless Sensor Networks, **Lecture Notes In Computer Science** 5682: 125-134.

I. Akyildiz, W. Su and Sankarasubramaniam. 2002. Wireless sensor networks: A survey. **Elsevier Computer Network** Vol.38, pp. 393–422.

I. Dietrich and F. Dressler. 2009. On the Lifetime of Wireless Sensor Networks. **ACM Transactions on Sensor Networks** Vol.5, No.1, Article 5.

- K. Akkaya and M. Younis. 2005. A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks. **Ad Hoc Networks** 3:325-349.
- K. Hellman and M. Colagrosso. 2006. Investigating a wireless sensor network optimal lifetime solution for linear topologies. **Journal of Interconnection Networks** 7(2006): 91-100.
- M. Cardei and J. Wu. 2004. Coverage in wireless sensor networks. **Handbook of Sensor Networks**, M. Ilyas, Ed. CRC Press, West Palm Beach, Florida.
- M. Liu, J. Cao, G. Chen and X. Wang. 2009. An Energy-Aware Routing Protocol in Wireless Sensor Networks. **Molecular Diversity Preservation International**. Basel, Switzerland.
- N. Jamal, Al-Karaki and Ahmed E. Kamal. 2004. Routing Techniques in Wireless Sensor Networks **Wireless Communications**. IEEE Vol.11, No.6
- R. Madan, S. Cui, S. Lall and A. Goldsmith. 2005. Cross-layer design for lifetime maximization in interference-limited wireless sensor networks. **The Proceedings of the 24th IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM)**. Vol.3, pp. 1964–1975.
- S. Baydere, Y. Safkan, and O. Durmaz. 2005. Lifetime analysis of reliable wireless sensor networks. **The Institute of Electronics, Information and Communication Engineer (IEICE) Transaction Comm**. E88-B, pp. 2465–2472.
- S. Kumar, T. Lai and A. Arora. 2007. Barrier coverage with wireless sensors. **ACM/Springer Wireless Network** 13(6): 817–834.
- W. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan. 2000. Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks. **The Proceeding of the Hawaii International Conference System Sciences**. Hawaii.

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวนิรมล พันธุ์แสนทวีกุล
วัน เดือน ปี ที่เกิด	4 ธันวาคม พ.ศ. 2529
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	NTC Scholarship ระดับปริญญาโท ปีการศึกษา 2552