ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

ปริญญา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การหาเส้นทางในเครือข่ายแลนไร้สายแบบขยายขอบเขต โดยอาศัยความแรงสัญญาณ

Signal Strength Aided Routing (SSAR) in Extending WLAN

นามผู้วิจัย นายฉกรรจ์ พราหมณ์แก้ว

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์ชัยพร ใจแก้ว, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เขมะฑัต วิภาตะวนิช, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การหาเส้นทางในเครือข่ายแลนไร้สายแบบขยายขอบเขต โดยอาศัยความแรงสัญญาณ

Signal Strength Aided Routing (SSAR) in Extending WLAN

โดย

นายฉกรรจ์ พราหมณ์แก้ว

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)
พ.ศ. 2551

ฉกรรจ์ พราหมณ์แก้ว 2551: การหาเส้นทางในเครือข่ายแลนไร้สายแบบขยายขอบเขต โดยอาศัยความแรงสัญญาณ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D. 60 หน้า

เครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้าง ประกอบด้วยแอคเซสพอยต์และโมบายโหนดที่สื่อสารกันแบบไร้สาย โดยขอบเขตของการเชื่อมต่อหรือพื้นที่การใช้งานจะขึ้นอยู่กับความแรงสัญญาณของแอคเซสพอยต์และโมบายโหนดที่สามารถสื่อสารกันได้ ดังนั้นเพื่อให้เครือข่ายไร้สายมีพื้นที่ครอบคลุมพื้นที่ใช้งานที่ต้องการ จำนวนแอคเซสพอยต์ที่ต้องติดตั้งก็มากตามไปด้วย นั่นหมายถึงค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น

ในการลดข้อจำกัดเรื่องพื้นที่การใช้งานที่จำกัดในเครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้างนั้น เราสามารถเพิ่มกำลังส่งของแอคเซสพอยต์ในเครือข่ายแลนไร้สายธรรมดาให้มากกว่าปกติเพื่อขยายพื้นที่ใช้งานให้มากขึ้น เรียกว่า เครือข่ายแลนไร้สายแบบขยายขอบเขต ซึ่งการเพิ่มกำลังส่งของแอคเซสพอยต์ให้สูงขึ้นเพื่อทำให้ส่งสัญญาณได้ไกลขึ้นนั้น ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงข้อจำกัดเรื่องพลังงานเนื่องจากสามารถเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟได้โดยตรง แต่การเพิ่มกำลังส่งของโมบายโหนดให้สูงขึ้นเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลกลับไปถึงแอคเซสพอยต์นั้น ทำให้โมบายโหนดที่มีพลังงานจำกัดเนื่องจากทำงานด้วยแบตเตอรี่นั้นสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น แต่ในเครือข่ายแลนไร้สายแบบแอดฮอก โมบายโหนดสามารถรับส่งข้อมูลกับโหนดปลายทางที่ห่างออกไปได้โดยอาศัยโมบายโหนดเพื่อนบ้านในการรับส่งต่อข้อมูลตามโพรโทคอลหาเส้นทาง ทำให้ไม่เกิดปัญหาเดียวกันกับเครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้าง ดังนั้นถ้าเราสามารถประยุกต์แนวคิดการใช้โมบายโหนดเพื่อนบ้านเพื่อรับส่งข้อมูลต่อไปยังแอคเซสพอยต์ได้ก็จะสามารถสร้างเครือข่ายแลนไร้สายแบบขยายขอบเขตได้โดยไม่ต้องเพิ่มกำลังส่งของโมบายโหนดเลย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอโพรโทคอลหาเส้นทาง โดยอาศัยหลักการของความแรงสัญญาณที่ได้รับจากแอคเซสพอยต์ที่เรียกว่า Signal Strength Aided Routing Protocol (SSAR) โดยโหนดที่อยู่ใกล้จะได้รับความแรงสัญญาณมากกว่าโหนดที่อยู่ไกล จากผลการทดลองพบว่าโพรโทคอลที่นำเสนอสามารถใช้ในเครือข่ายแลนไร้สายแบบขยายขอบเขตได้และพร้อมรองรับการเคลื่อนที่ของโมบายโหนด

_____ _____ ___/___/___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Chakan Pramkaew 2008: Signal Strength Aided Routing (SSAR) in Extending WLAN. Master of Engineering (Computer Engineering), Major Field: Computer Engineering, Department of Computer Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Anan Phonphoem, Ph.D. 60 pages.

In the infrastructure wireless LAN, the system composes of a wireless access point and mobile nodes. The coverage connection area depends on the signal strength which can be heard by both access points and communicating mobile nodes. Therefore, to cover the required communicating area, a number of access points have to be installed which means more installation cost for implementing the system.

To overcome the short coming, the transmission power of the access point can be boosted called an extended infrastructure wireless LAN. Because an access point is fixed and connected to the power source, there is no issue for the shortage of power. However, the communicating mobile node who receives the packet from the boosted access point might not be able to transmit the data back to the access point due to its limited power. In the Ad Hoc wireless LAN, mobile node can transmit data to nodes that located for by using its neighbor nodes to relay their data packets. Therefore, from the neighbor node concept, the far away mobile node can send back data packets to the access point in the extended infrastructure wireless LAN without increasing the transmission power of mobile nodes.

In the thesis, Signal Strength Aided Routing protocol (SSAR) has been proposed by using the signal strength received from the access point. The closer to the access point, the stronger the signal strength. The results of the experiments reveal that SSAR protocol works well and supports for the moveable mobile nodes

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณอาจารย์ รศ.ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม ที่ให้คำชี้แนะ ให้กำลังใจ และช่วยตรวจแก้ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.ชัยพร ใจแก้ว ที่ให้คำปรึกษาแนะนำในการทำงานวิจัย ขอบขอบพระคุณอาจารย์อภิรักษ์ จันทร์สร้าง ที่ให้คำปรึกษาและให้กำลังใจทุกครั้งที่เจอในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จ

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ สำหรับความรักความห่วงใย และสนับสนุนด้านกำลังทรัพย์รวมทั้งกำลังใจที่ไม่เคยขาดเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณทุกท่านที่ช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ โดยเฉพาะพี่ๆและเพื่อนๆ ใน Lab IWING ทั้งที่เอ่ยชื่อและไม่ได้เอ่ยชื่อ

ฉกรรจ์ พราหมณ์แก้ว

กันยายน 2551

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	23
อุปกรณ์	23
วิธีการ	23
ผลและวิจารณ์	42
ผล	42
วิจารณ์	42
สรุปและข้อเสนอแนะ	51
สรุป	51
ข้อเสนอแนะ	51
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	53
ภาคผนวก	56
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	60

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตารางหาความแรงสัญญาณของโมบายโหนด A หลังจากได้รับบีคอนจากแอคเซสพอยต์	37
2	ตารางหาเส้นทางของโหนด A หลังจากได้รับบีคอนจากแอคเซสพอยต์	38
3	ตารางหาความแรงสัญญาณของโหนด B หลังจากได้รับบีคอนจากแอคเซส	38
4	ตารางหาเส้นทางของโหนด A หลังจากได้รับบีคอนจากแอคเซสพอยต์	38
5	ตารางความแรงสัญญาณโมบายโหนด A เมื่อได้รับ Hello Packet จากโมบายโหนด B	39
6	ตารางหาเส้นทางของโหนด A หลังจากได้รับบีคอนจากแอคเซสพอยต์	39
7	ตารางความแรงสัญญาณของโมบายโหนด B	40
8	ตารางหาเส้นทางของโหนด B	40
9	ตารางความแรงสัญญาณของโมบายโหนด C	41
10	ตารางหาเส้นทางของโหนด C	41
11	ตารางความแรงสัญญาณของโมบายโหนด D	41
12	ตารางหาเส้นทางของโหนด D	41
13	การทดลองที่ 1.1 โหนดต้นทางมีตำแหน่งคงที่	43
14	การทดลองที่ 1.2 โหนดต้นทางมีการสุ่มตำแหน่ง	44
15	การทดลองที่ 2	46
16	การทดลองเพื่อที่จะดูความเหมาะสมของคาบเวลาที่ใช้ส่งบีคอนของแอคเซสพอยต์	48

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเชื่อมต่อในเครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้าง	4
2	การเชื่อมต่อในเครือข่ายแลนไร้สายแบบแอดฮอก	5
3	ประเภทของโพรโทคอลหาเส้นทางในเครือข่ายแลนไร้สาย	6
4	Scope of Fisheye	7
5	การลดขนาดแพ็กเก็ตโดยใช้ fisheye	8
6	โหนด S ต้องการสื่อสารกับโหนด D	11
7	โหนด S ส่ง route request ไปยังโหนดเพื่อนบ้าน	11
8	โหนด S ส่ง route request ไปยังโหนดเพื่อนบ้าน	12
9	โหนด D ส่งเส้นทางกลับ (reverse path) กลับไปยังโหนด S	12
10	โหนด D ส่ง RREP กลับไปยังโหนด S	13
11	โหนด S สามารถสื่อสารกับโหนด D	13
12	โหนด F ส่ง RERR หลังจาก เส้นทางเชื่อมต่อระหว่าง F-J ขาดลง	14
13	ตัวอย่างของการแบ่งคลัสเตอร์ทางกายภาพ, ที่ระดับ 0 มี 3 คลัสเตอร์ทางกายภาพ C-01,C-02 และ C-03	16
14	รูปแบบของบริเวณที่คาดว่าจะพบโมบายโหนดของโหนด D, (a) แสดงบริเวณที่คาดว่าจะพบโหนด D รูปวงกลม และ (b) แสดงบริเวณที่คาดว่าจะพบโหนด D รูปครึ่งวงกลม	19
15	Request Zone	20
16	LAR scheme 1	21
17	LAR scheme 2	22
18	ปัญหา asymmetrical link	24
19	การเลือกเส้นทางเพื่อส่งข้อมูลกลับไปยังแอคเซสพอยต์ของโมบายโหนด A	25
20	สถานะการทำงานของโมบายโหนด	26
21	การส่งบีคอนเป็นช่วงเวลา	27

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	ลักษณะการวัดค่าความแรงสัญญาณ	27
23	นิยามศัพท์ที่ใช้งาน	28
24	การตรวจสอบความแรงสัญญาณที่สามารถเชื่อมต่อแอคเซสพอยต์ได้ใน 1 ฮอป	29
25	อัลกอริทึมในการตรวจสอบการติดต่อแอคเซสพอยต์ใน 1 ฮอป	30
26	การหาเส้นทางในขณะก่อนเกิดการวนรอบ	30
27	การหาเส้นทางขณะเกิดการวนรอบ A-C	31
28	อัลกอริทึมป้องกันการเกิดการวนรอบในเส้นทาง	31
29	อัลกอริทึมสำหรับสร้าง next hop	32
30	ผังงานของโมบายโหนด (mobile node flowchart) ส่วนที่ 1	33
31	ผังงานของโมบายโหนดส่วนที่ 2	34
32	ผังงานของโมบายโหนดส่วนที่ 3	35
33	อัลกอริทึมในการใช้งานเส้นทาง	36
34	เครือข่ายแลนไร้สายแบบขยายขอบเขต	36
35	โมบายโหนดที่ได้ยินบีคอนเข้าสู่ Prepared State	37
36	โมบายโหนดในสถานะ Ready State	39

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

AODV	=	Ad Hoc On-Demand Distance Vector
AP	=	Access Point
FSR	=	Fisheye State Routing
HSR	=	Hierarchical State Routing
LAR	=	Location-Aided Routing
MANET	=	Mobile Ad hoc Network
NS	=	Network Simulator
SSAR	=	Signal Strength Aided Routing
WLAN	=	Wireless Local Area Network

การหาเส้นทางในเครือข่ายแลนไร้สายแบบขยายขอบเขต โดยอาศัยความแรงสัญญาณ

Signal Strength Aided Routing (SSAR) in Extending WLAN

คำนำ

ปัจจุบันเครือข่ายแลนไร้สายเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีความสามารถสูงสร้างความสะดวกสบายให้กับผู้ใช้งานเป็นอย่างมาก เช่น การติดตั้งที่ง่ายและเกือบสำเร็จรูปมาจากโรงงานการผลิต สามารถใช้งานได้ในขณะเคลื่อนที่ และความเร็วในการรับส่งข้อมูลเหมาะต่อความต้องการในการใช้งานทั่วไปและมีแนวโน้มจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

การเชื่อมต่อเครือข่ายแลนไร้สายสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบคือ แบบโครงสร้าง (Infrastructure) และแบบแอดฮอก (Ad-Hoc) ซึ่งการใช้งานเครือข่ายไร้สายแบบโครงสร้างนั้น การรับส่งข้อมูลระหว่างโมบายโหนดต้องใช้แอคเซสพอยต์เป็นตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูลระหว่างกัน ในขณะที่เครือข่ายแลนไร้สายแบบแอดฮอกนั้นจะใช้การส่งต่อระหว่างโมบายโหนดข้างเคียงไปยังโมบายโหนดปลายทางโดยอาศัยโพรโทคอลหาเส้นทาง (routing protocol) แทนการใช้แอคเซสพอยต์

ในเครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้าง ประกอบด้วยแอคเซสพอยต์และโมบายโหนดที่สื่อสารกันแบบไร้สาย ขอบเขตของการเชื่อมต่อหรือพื้นที่การใช้งานจะมากหรือน้อยนั้น ขึ้นอยู่กับความแรงสัญญาณของแอคเซสพอยต์และโมบายโหนดที่สามารถสื่อสารถึงกันได้ ทำให้การใช้งานเครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้างมีข้อจำกัดเรื่องพื้นที่การใช้งาน และการที่จะติดตั้งแอคเซสพอยต์เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ที่ต้องการอาจใช้จำนวนแอคเซสพอยต์ปริมาณมากซึ่งไม่คุ้มค่าใช้จ่ายที่ต้องลงทุน ในการเพิ่มพื้นที่การใช้งานสามารถทำได้โดยการเพิ่มกำลังส่งของแอคเซสพอยต์ให้มากกว่าปกติ เรียกว่า เครือข่ายแลนไร้สายแบบขยายขอบเขต การเพิ่มกำลังส่งของแอคเซสพอยต์นั้นทำให้สามารถส่งสัญญาณได้ไกลขึ้นโดยไม่ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดเรื่องพลังงานเนื่องจากจุดติดตั้งสามารถเชื่อมต่อแหล่งจ่ายไฟได้โดยตรงหรือรับกระแสไฟจาก Switch ที่รองรับการจ่ายไฟแบบ Power Over Ethernet แต่การเพิ่มกำลังส่งของโมบายโหนดให้สูงขึ้นเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลกลับไปถึงแอคเซสพอยต์นั้น ทำให้โมบายโหนดที่มีพลังงานจำกัดเนื่องจากทำงานด้วยแบตเตอรี่นั้นสิ้นเปลืองพลังงานมากขึ้น

ในเครือข่ายแลนไร้สายแบบแอดฮอก โมบายโหนดสามารถรับส่งข้อมูลกับโหนดปลายทางที่ห่างออกไปได้โดยอาศัยโมบายโหนดเพื่อนบ้านในการรับส่งต่อข้อมูลตามโพรโทคอลหาเส้นทาง ทำให้ไม่เกิดปัญหาเดียวกันกับเครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้าง ดังนั้นถ้าเราสามารถประยุกต์แนวคิดการใช้โมบายโหนดเพื่อนบ้านเพื่อรับส่งข้อมูลต่อไปยังแอคเซสพอยต์ได้ก็จะสามารถสร้างเครือข่ายแลนไร้สายแบบขยายขอบเขตได้โดยไม่ต้องเพิ่มกำลังส่งของโมบายโหนดเลย

การสื่อสารในลักษณะนี้เกิดขึ้นจากการไม่สมดุลของการส่งข้อมูลขาไปและขากลับ เนื่องจากการติดต่อส่งข้อมูลจากแอคเซสพอยต์ที่สามารถเพิ่มกำลังส่งจนถึงโมบายโหนดใน 1 ฮอป แต่การติดต่อส่งข้อมูลจากโมบายโหนดกลับนั้นไม่จำเป็นต้องทำในฮอปเดียวแต่สามารถทำได้ด้วยการส่งข้อมูลต่อกันไปเพื่อประหยัดพลังงานแต่ยังคงสื่อสารได้ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องมีการเพิ่มกำลังส่งของโมบายโหนด ซึ่งเรียกการสื่อสารข้อมูลลักษณะนี้ว่า การสื่อสารแบบไม่สมมาตร (asymmetrical link)

ในการส่งสัญญาณจากแอคเซสพอยต์ไปยังโมบายโหนดย่อมมีการสูญเสียพลังงานระหว่างทางขึ้นอยู่กับระยะทางและสิ่งกีดขวาง ค่าความแรงสัญญาณสามารถคำนวณได้ตามสมการของ ฟริอิส (Harald T. Friis) $PR = PTAR / 4¶r^2$ (อนันต์ ผลเพิ่ม, 2007) จากสมการจะเห็นว่าค่าของระยะทาง (r) แปรผกผันเป็นค่ากำลังสองของค่าความแรงสัญญาณปลายทาง นั่นหมายความว่ายิ่งโมบายโหนดอยู่ห่างแอคเซสพอยต์มากขึ้น ค่าความแรงสัญญาณก็จะลดลงเป็นค่ากำลังสองของระยะทาง โมบายโหนดที่อยู่ใกล้กับแอคเซสพอยต์ น่าจะได้รับความแรงสัญญาณมากกว่าโมบายโหนดที่อยู่ไกลจากแอคเซสพอยต์

ในงานวิจัยนี้เสนอโพรโทคอลหาเส้นทาง โดยใช้ค่าความแรงสัญญาณเป็นข้อมูลตัดสินใจในการหาเส้นทางจากโหนดใดๆกลับมายังแอคเซสพอยต์

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเสนอแนวคิดในการเพิ่มพื้นที่ในการใช้งานเครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้างโดยการเพิ่มกำลังส่งของแอคเซสพอยต์

2. เสนอโพรโทคอลที่ใช้ในการใช้หาเส้นทางโดยอาศัยความแรงสัญญาณจากแอคเซสพอยต์ เพื่อส่งข้อมูลกลับไปยังแอคเซสพอยต์โดยไม่ต้องเพิ่มกำลังส่งของโมบายโหนด

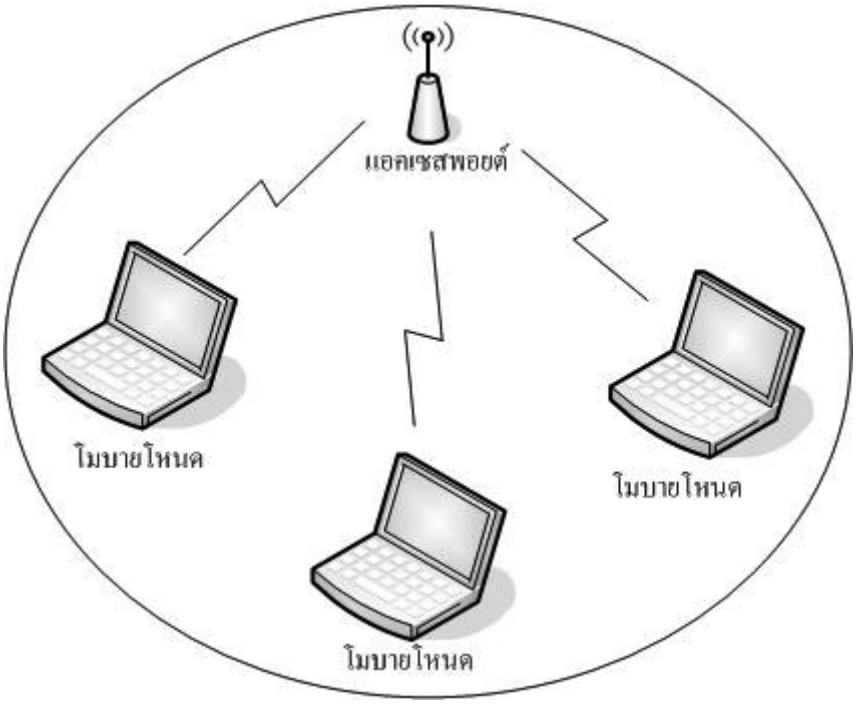
3. เสนอรูปแบบเฉพาะและการตั้งค่าที่เหมาะกับการใช้งานกับโพรโทคอลในเครือข่ายแลนไร้สายแบบแบบขยายขอบเขต

การตรวจเอกสาร

โพรโทคอลหาเส้นทางในระบบเครือข่ายไร้สายชนิดแอดฮอค

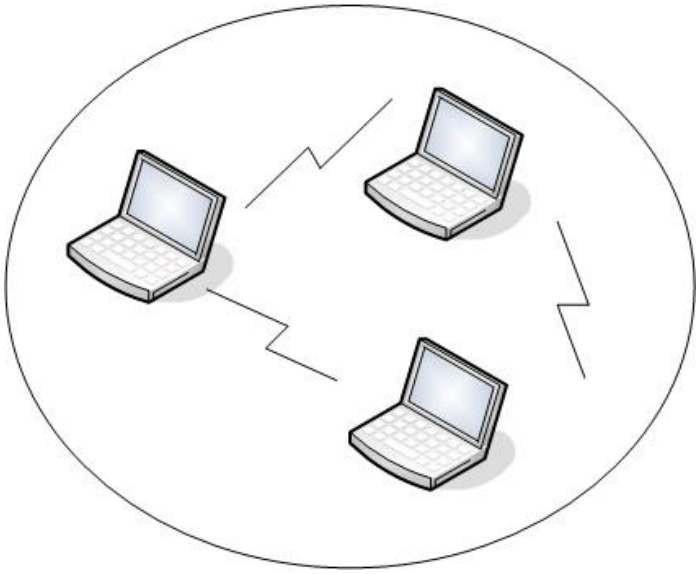
เครือข่ายแลนไร้สาย เป็นเครือข่ายที่ได้รับการออกแบบโดยใช้อากาศเป็นสื่อในการรับส่งสัญญาณ ทำให้สามารถรองรับการใช้งานได้หลากหลายมากกว่าเครือข่ายแบบที่ใช้สายสัญญาณเป็นสื่อ เช่น การติดตั้งและขยายเครือข่ายทำได้ง่าย และรองรับการใช้งานแบบเคลื่อนที่ ซึ่งหากแบ่งการเชื่อมต่อเครือข่ายโดยพิจารณาตามลักษณะทางตรรกะสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือการเชื่อมต่อแบบโครงสร้าง (Infrastructure) และการเชื่อมต่อแบบแอดฮอก (Ad-Hoc)

โดยทั่วไป ในเครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้าง ประกอบด้วยแอคเซสพอยต์และโมบายโหนดที่อยู่ในขอบเขตการสื่อสารเดียวกัน โดยจะไม่อนุญาตให้ทำการสื่อสารระหว่างโมบายโหนดโดยตรง แต่จะสามารถทำการสื่อสารผ่านตัวกลางซึ่งทำหน้าที่จัดการการเชื่อมต่อ โดยอุปกรณ์ที่นิยมใช้เป็นตัวกลางคือแอคเซสพอยต์ ดังแสดงในภาพที่1



ภาพที่ 1 การเชื่อมต่อในเครือข่ายแลนไร้สายแบบโครงสร้าง

การเชื่อมต่อแบบแอดฮอก ไม่จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์ตัวกลางในการจัดการเชื่อมต่อ หรือมีโครงข่ายครอบคลุม (Backbone) ใดๆ แต่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์สื่อสารไร้สายหรือโมบายโหนดเพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถทำการสื่อสารกันได้โดยตรงระหว่างโมบายโหนด โดยทั่วไปการเชื่อมต่อแบบนี้มักจะถูกใช้งานในการรวมตัวแบบชั่วคราว ดังแสดงในภาพที่ 2

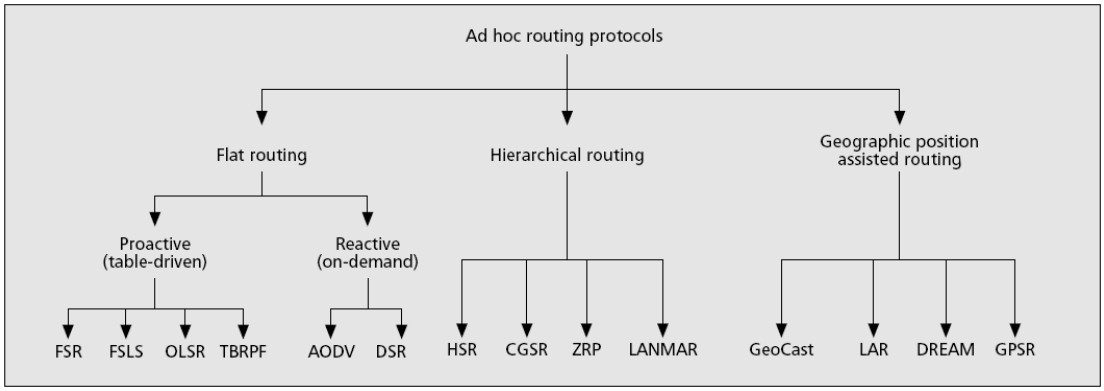


ภาพที่ 2 การเชื่อมต่อในเครือข่ายแลนไร้สายแบบแอดฮอก

ดังนั้นโมบายโหนดแต่ละตัวที่เชื่อมต่อแบบแอดฮอกไม่เพียงแต่จะทำหน้าที่ในการรับส่งข้อมูลของตนเองเท่านั้น แต่ยังจะต้องทำหน้าที่ในการหาเส้นทาง (Router) และเป็นตัวกลางในการส่งผ่านข้อมูล (Relay Node) ให้กับโมบายโหนดที่ต้องการรับส่งข้อมูลกับโมบายโหนดปลายทางที่อยู่นอกรัศมีการรับส่งของตน ส่วนสำคัญที่ทำให้การเชื่อมต่อแบบแอดฮออก ไม่จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์ตัวกลางนั่นคือ โพรโทคอลหาเส้นทาง

โพรโทคอลหาเส้นทาง

โพรโทคอลหาเส้นทางในเครือข่ายแลนไร้สายแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ได้แก่ Flat routing, Hierarchical routing และ Geographic position assisted routing (X. Hong *et al.*, 2002) ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ประเภทของโพรโทคอลหาเส้นทางในเครือข่ายแลนไร้สาย
ที่มา: X. Hong (2002)

1. Flat routing

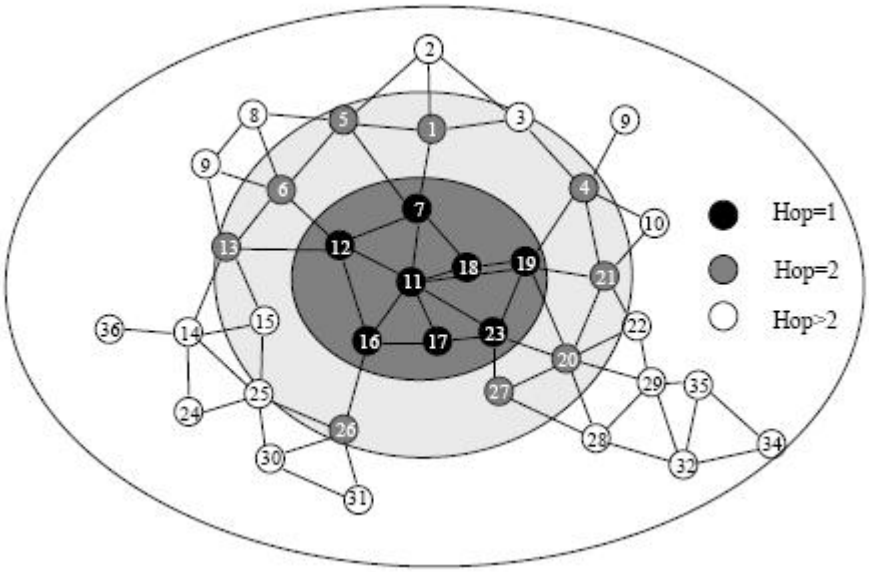
Flat routing คือ การหาเส้นทางแบบไม่มีลำดับชั้นของโหนด กล่าวคือ ไม่มีโหนดที่ทำหน้าที่เฉพาะในการหาเส้นทาง ทุกโหนดสามารถทำหน้าที่หาเส้นทางได้ขึ้นอยู่กับโพรโทคอลที่ใช้ ซึ่งโพรโทคอลในกลุ่มนี้สามารถแบ่งย่อยตามลักษณะการทำงานออกได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มโพรโทคอลหาเส้นทางชนิดโปรแอ็กทีฟ (Proactive) และรีแอ็กทีฟ (reactive)

1.1 โปรแอ็กทีฟ

การทำงานของโพรโทคอลในกลุ่มนี้จะทำการหาเส้นทางโดยการส่งแพ็กเก็ตควบคุมการค้นหาเส้นทางเป็นรายคาบ และนำเส้นทางมาเก็บไว้ในตารางหาเส้นทางเพื่อเตรียมพร้อมใช้งานเมื่อต้องการส่งข้อมูลไปยังโหนดในเครือข่าย เมื่อโหนดต้องการส่งข้อมูลก็จะใช้เส้นทางที่หาไว้แล้วในตารางหาเส้นทาง แล้วทำการส่งไปยังโหนดปลายทางได้ทันที โพรโทคอลที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่ FSR (A. Iwata *et al.*, 1999; G. Pei *et al.*, 2000), FSLS (C. Santivanez *et al.*, 2001), OLSR (T. Clausen, 2001) และ TBRPF (B. Bellur and R. G. Ogier, 1999; R. G. Ogier *et al.*, 2002)

โพรโทคอล FSR

Fisheye State Routing (FSR) เป็นโพรโทคอลประเภทโปรแอคทีฟ ได้รับการพัฒนามาจาก GSR (โดยทั้ง GSR และ FSR ต่างมีพื้นฐานมาจาก link state protocol) ใน GSR การอัปเดตจะใช้แพ็กเก็ตที่มีขนาดใหญ่ทำให้สิ้นเปลืองแบนด์วิธมาก



ภาพที่ 4 Scope of Fisheye
ที่มา: A. Iwata (1999)

ภาพที่ 4 แสดงการทำงานของ fisheye ในเครือข่ายไร้สาย วงกลมสีเทาที่มีเฉดสีต่างกันคือ fisheye scope ที่ขึ้นกับโหนดศูนย์กลาง (โหนด 11) โดย scope คือ เซ็ตของโหนดที่สามารถเข้าถึงได้ภายในจำนวนฮอปที่กำหนด ในกรณีนี้ทั้ง 3 scope แสดงด้วย 1 ฮอป , 2 ฮอป และ 3 ฮอป ซึ่งแทนด้วย โหนดสีดำ สีเทา และ สีขาว ตามลำดับ

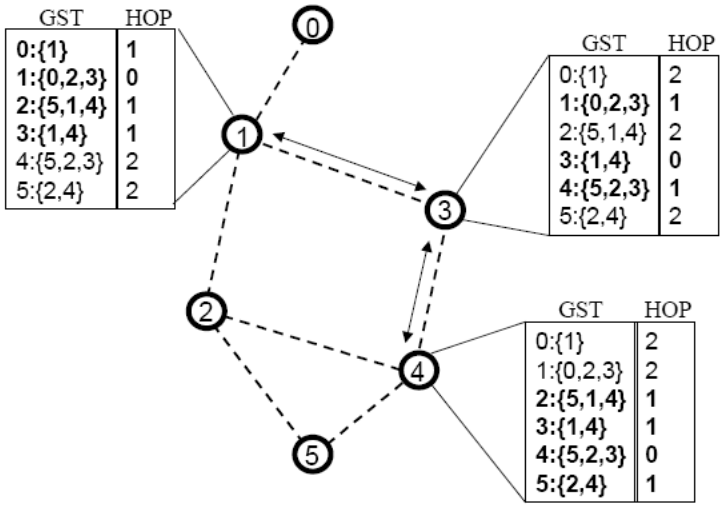
ใน FSR ทุกๆแพ็กเก็ตที่ใช้สำหรับปรับปรุงข้อมูลจะไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับโมบายโหนดทั้งหมดในเครือข่าย แต่จะมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลเฉพาะกับโหนดข้างเคียงและบ่อยกว่าโหนดที่อยู่ไกลออกไป ทำให้สามารถลดขนาดแพ็กเก็ตที่ใช้สำหรับปรับปรุงข้อมูลได้มาก โดยโหนดศูนย์กลาง

จะเป็นโหนดที่ได้รับข้อมูลปรับปรุงที่ใหม่ที่สุดของทุกโหนดที่อยู่ภายในวงกลมด้านใน ซึ่งความถูกต้องแม่นยำของข้อมูลจะลดลงตามระยะห่างของโหนดที่เพิ่มขึ้น

ถึงแม้ว่าโหนดจะไม่มีข้อมูลที่ถูกต้องแม่นยำของโหนดที่อยู่ไกลออกไป แต่แพ็กเก็ตที่ถูกส่งก็สามารถไปตามเส้นทางได้อย่างถูกต้องเนื่องจาก ข้อมูลในการหาเส้นทางจะถูกต้องแม่นยำมากขึ้นเมื่อแพ็กเก็ตเข้าใกล้โหนดปลายทางมากขึ้นเรื่อยๆ ด้วยวิธีนี้ทำให้ FSR รองรับการใช้งานกับเครือข่ายขนาดใหญ่ได้โดยสามารถควบคุมโอเวอร์เฮด (overhead) ได้

การทำงานของโพรโทคอล FSR แพ็กเก็ตของ link state จะมีการแลกเปลี่ยนกันเป็นรายคาบ โดยตารางรูปแบบการเชื่อมต่อ (topology) จะถูกส่งไปเฉพาะโหนดเพื่อนบ้านเท่านั้น (แทนที่จะทำการ flooding ในเครือข่ายทั้งหมด) และใช้หมายเลขลำดับ (Sequence number) เพื่อป้องกันการเกิด Loop ขณะที่ทำการหาเส้นทาง

เทคนิค fisheye scope อนุญาตให้แลกเปลี่ยนข้อมูลกันกันด้วยคาบเวลาที่ต่างกัน (different exchang period) สำหรับโหนดที่อยู่ต่าง fisheye scope กัน ซึ่งทำให้สามารถลดขนาดของแพ็กเก็ตที่แลกเปลี่ยนข้อมูลลงได้



ภาพที่ 5 การลดขนาดแพ็กเก็ตโดยใช้ fisheye
ที่มา: A. Iwata (1999)

ในภาพที่ 5 ตัวหนาที่อยู่ในตาราง คือ การเชื่อมต่อที่มีการอัปเดตที่ความถี่สูงสุด ที่เหลือจะมีการอัปเดตด้วยความถี่น้อยกว่า ทำให้สามารถลดแพ็กเก็ตที่มีขนาดใหญ่ลงได้

ข้อดีของ FSR

1. FSR เหมาะสำหรับเครือข่ายไร้สายขนาดใหญ่และมีการเคลื่อนที่สูงๆ โดยไม่จำเป็นต้องมีข้อความควบคุมเส้นทางขาด (link failure) เพราะจะทราบได้จากการที่โหนดที่ทำให้เส้นทางขาดนั้นไม่อัปเดตข้อมูล ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนั้นจะอยู่ในตารางหาเส้นทางอยู่แล้ว
2. FSR ใช้หลักการที่ง่ายและมีความทนทานต่อการเคลื่อนที่ของโหนด ซึ่งจะทำการอัปเดตข้อมูลบางส่วนกับโหนดเพื่อนบ้านเท่านั้น ทำให้ลดปริมาณแพ็กเก็ตขนาดใหญ่ที่ใช้สำหรับการปรับปรุงข้อมูลได้
3. FSR รองรับ QoS โดยสามารถเพิ่มข้อมูลการใช้งานแบนด์วิธและช่องสัญญาณในแพ็กเก็ตที่ใช้ในการปรับปรุงข้อมูลได้

ข้อเสียของ FSR

1. ตารางหาเส้นทางมีการเก็บข้อมูลที่ซับซ้อนทำให้มีโอเวอร์เฮดในการประมวลผล
2. FSR ไม่รองรับเรื่องความปลอดภัยเหมือนโพรโทคอลอื่นๆ

1.2 รีแอ็กทีฟ

การทำงานของโพรโทคอลจะทำการหาเส้นทางก็ต่อเมื่อมีโหนดที่ต้องการส่งข้อมูล โดยโหนดที่ต้องการส่งข้อมูลจะทำการค้นหาเส้นทาง ซึ่งไม่มีการเตรียมเส้นทางไว้ก่อนในตารางหาเส้นทาง จึงทำให้มีการใช้แพ็กเก็ตควบคุมได้มีประสิทธิภาพกว่าชนิดโปรแอคทีฟ เพราะแพ็กเก็ตควบคุมจะถูกใช้เป็นรายครั้งที่ต้องการส่งข้อมูล ไม่ได้เป็นรายคาบเหมือนกับชนิดโปรแอ็กทีฟ โพรโทคอลที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่ AODV (C. E. Perkins and E. M. Royer, 1999) และ DSR (D. B. Johnson and D. A. Maltz, 1996)

โพรโทคอลหาเส้นทาง AODV

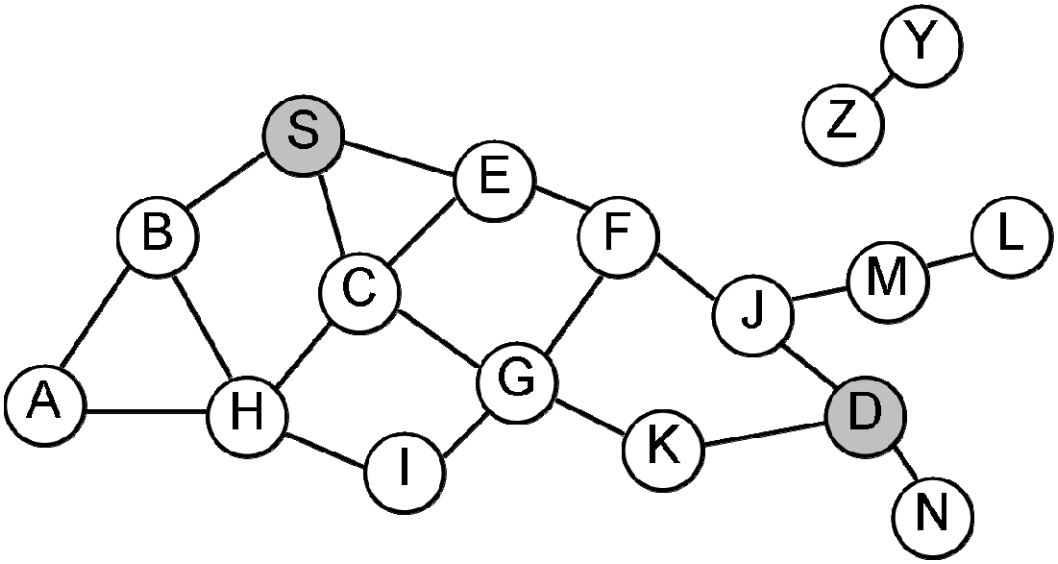
AODV (Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing Protocol) เป็นโพรโทคอลชนิดรีแอคทีฟซึ่งมีพื้นฐานมาจากโพรโทคอล DSDV โดยได้รับการเผยแพร่ในปี 1997 AODV ถูกออกแบบให้รองรับโหนดในเครือข่ายได้ตั้งแต่ 10 โหนดไปจนถึง 1,000 โหนด คุณลักษณะอย่างหนึ่งของ AODV จะใช้หมายเลขลำดับปลายทาง (destination sequence number) ในแต่ละค่าของตารางหาเส้นทาง โดยหมายเลขลำดับ (sequence number) ซึ่งถูกสร้างจากโหนดปลายทางและประกอบอยู่ใน route request หรือ route reply โดยหมายเลขลำดับมีความสำคัญมากเนื่องจากทำให้ไม่เกิดลูปได้ (loop free) โดยหมายเลขลำดับจะถูกใช้จากโหนดเพื่อใช้เป็นข้อมูลในการตัดสินใจหาเส้นทาง ถ้าโหนดมีตัวเลือกระหว่าง 2 เส้นทางในการไปถึงโหนดปลายทาง โหนดนั้นจะทำการเลือกเส้นทางที่มีหมายเลขลำดับสูงที่สุด

ในโพรโทคอล AODV เมื่อโหนดทราบเส้นทางไปยังโหนดปลายทางแล้ว โหนดจะทำการส่ง route reply กลับไปยังโหนดต้นทาง (source node) ซึ่งประกอบไปด้วย

- หมายเลขไอพีของโหนดปลายทาง (Destination IP Address)
- ขนาดของพรีฟิกซ์ (Prefix Size)
- หมายเลขลำดับปลายทาง (Destination Sequence Number)
- ไอพีของโหนดถัดไป (Next Hop IP Address)
- เวลาที่เส้นทางจะหมดอายุหรือเวลาที่จะทำการลบเส้นทาง (Lifetime)
- จำนวนฮอปที่ต้องใช้ในการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทาง (Hop Count)
- อินเตอร์เฟส (Network Interface)
- สถานะสำหรับการหาเส้นทาง เช่น valid, invalid

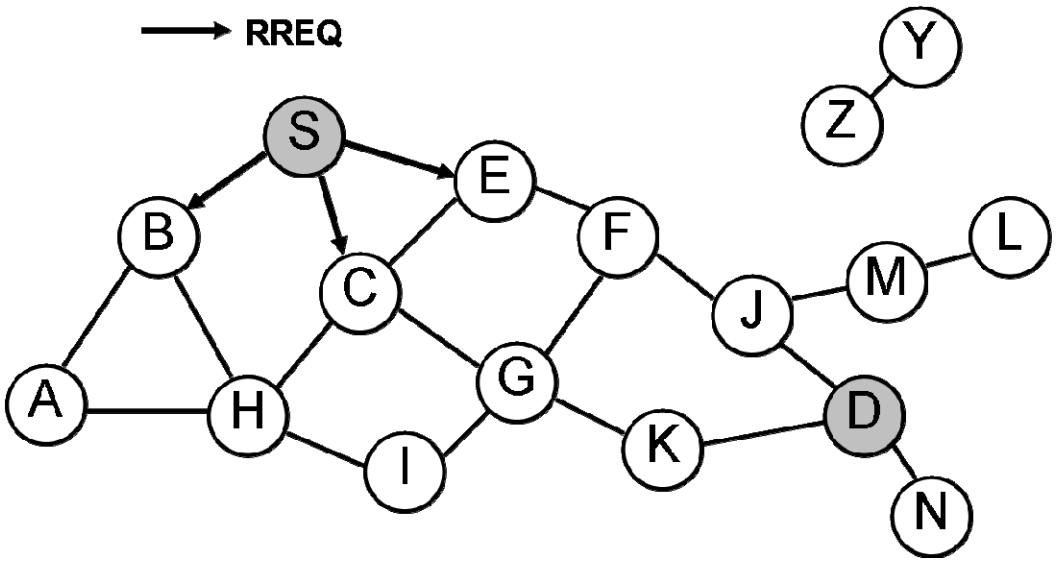
Route Requests (RREQs) , Route Replies (RREPs) และ Route Errors (RERRs) คือชนิดต่างๆของข้อความที่กำหนดขึ้น ในภาพที่ 6 ถึง ภาพที่ 12 แสดงตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล

ตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล AODV เริ่มจากโหนด S ต้องการสื่อสารกับโหนด D ซึ่งมีรูปแบบการเชื่อมต่อดังภาพที่ 6



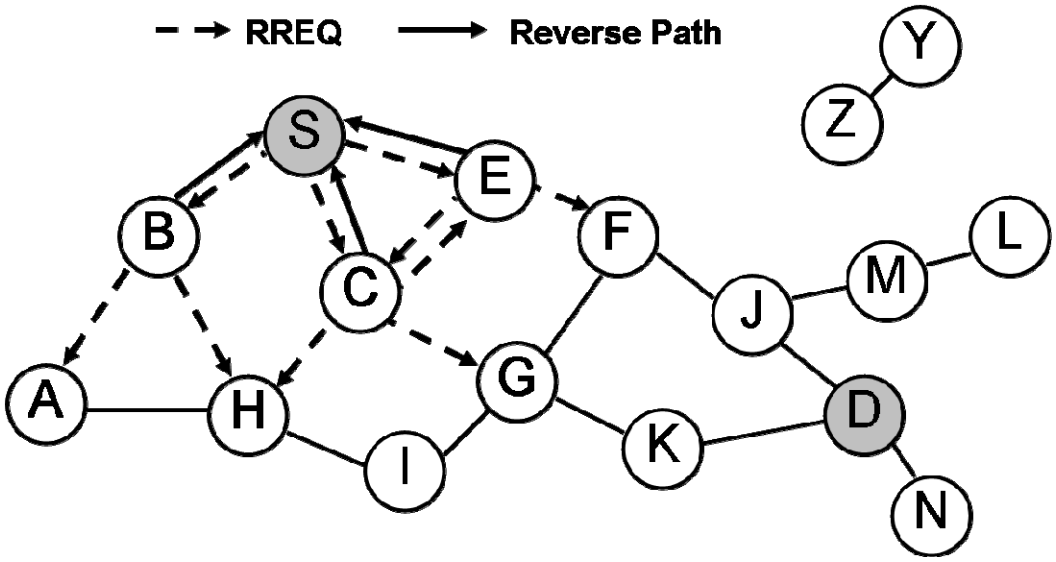
ภาพที่ 6 โหนด S ต้องการสื่อสารกับโหนด D

โหนดจะทำการบรอดคาสต์ RREQ เพื่อต้องการหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง โดย



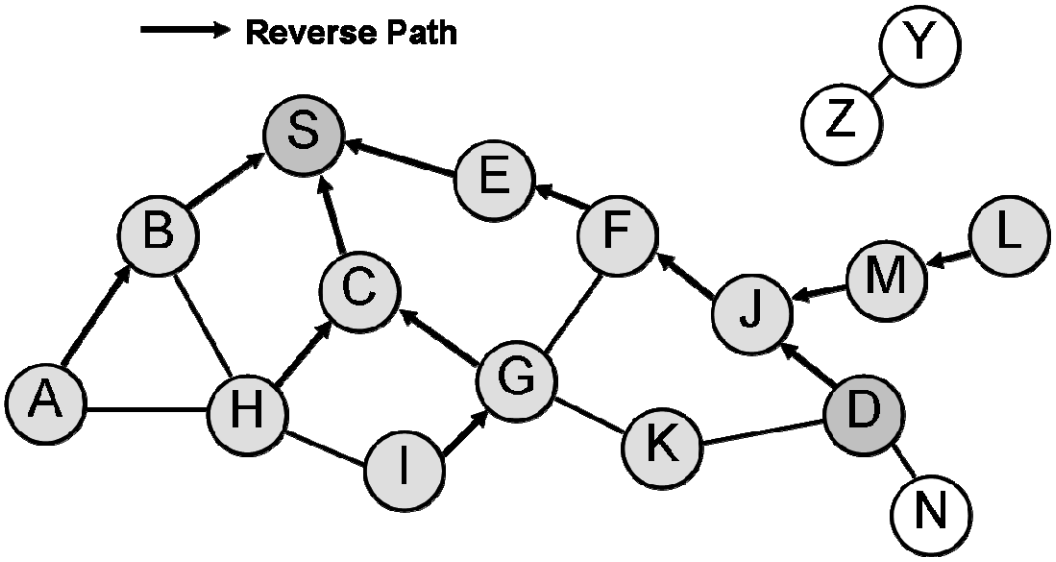
ภาพที่ 7 โหนด S ส่ง route request ไปยังโหนดเพื่อนบ้าน

แต่ละโหนดที่ได้รับ route request จะส่งเส้นทางกลับไปยังโหนด S ดังภาพที่ 8



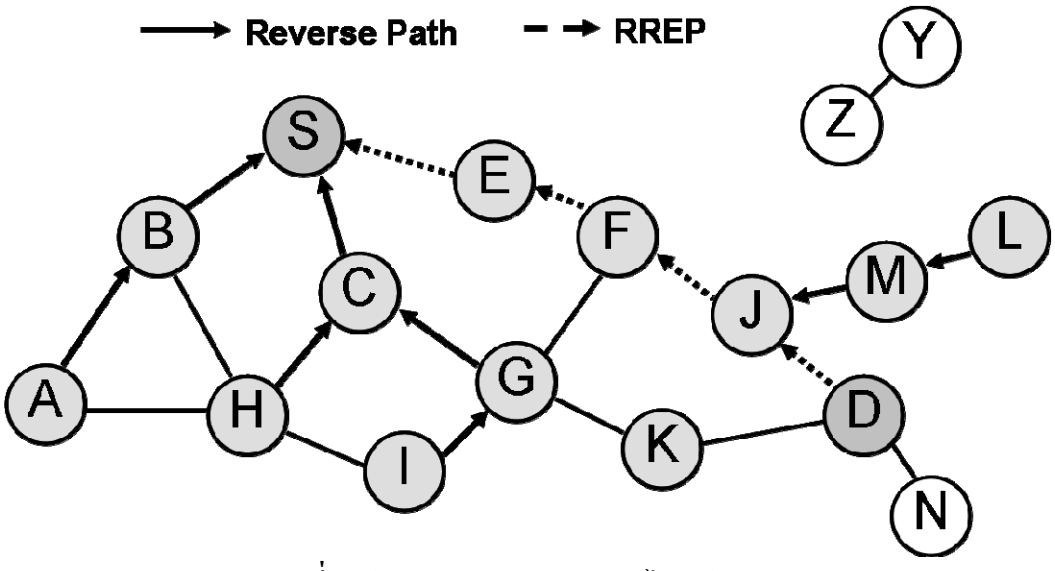
ภาพที่ 8 โหนด S ส่ง route request ไปยังโหนดเพื่อนบ้าน

เส้นทางที่แน่นอนจะเกิดขึ้นเมื่อ RREQ ไปถึงโหนดที่สามารถเข้าถึงโหนดปลายทางได้



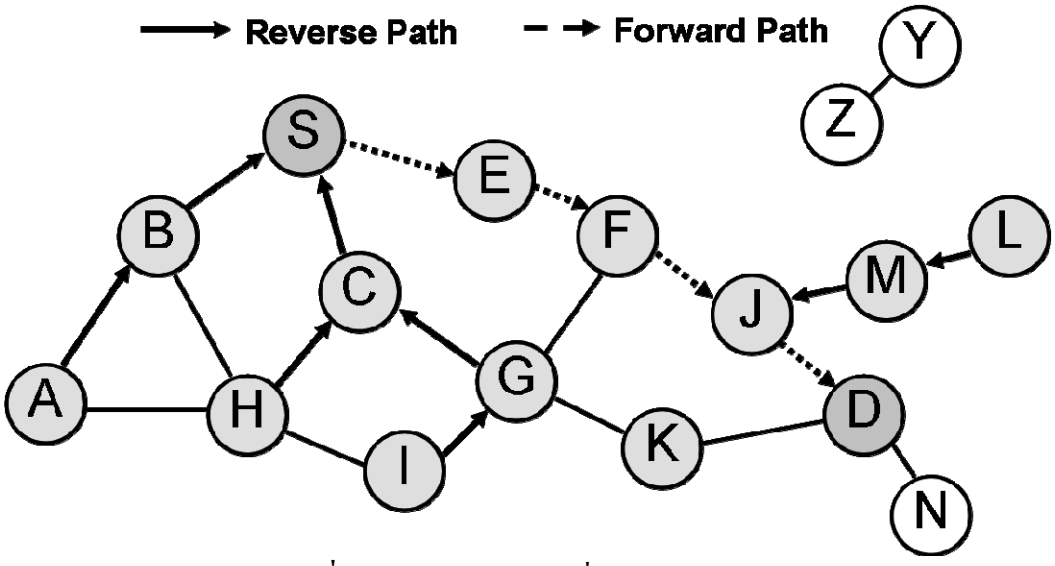
ภาพที่ 9 โหนด D ส่งเส้นทางกลับ (reverse path) กลับไปยังโหนด S

เส้นทางถูกสร้างโดยการส่ง RREP แบบ unicast กลับไปยังโหนด S และบรรจุเส้นทางลง

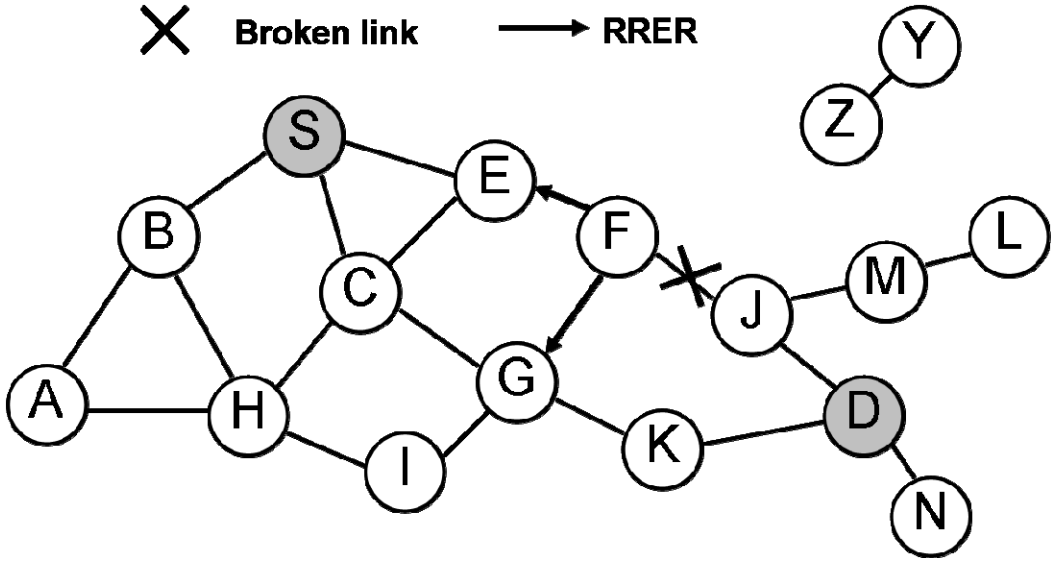


ภาพที่ 10 โหนด D ส่ง RREP กลับไปยังโหนด S

โหนด S สามารถทำการสื่อสารกับโหนด D ได้ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 โหนด S สามารถสื่อสารกับโหนด D



ภาพที่ 12 โหนด F ส่ง RERR หลังจาก เส้นทางเชื่อมต่อระหว่าง F-J ขาดลง

เมื่อตรวจพบเส้นทางเชื่อมต่อที่กำลังใช้งานขาดลง (link break) โหนดที่ตรวจพบจะทำการส่ง RERR ไปยังโหนดต่างๆ ดังภาพที่ 12 ถ้าโหนดใดมีเส้นทางเชื่อมต่อนี้ในตารางหาเส้นทางก็จะทำการลบเส้นทางเชื่อมต่อนี้ออกจากตารางหาเส้นทาง และโหนด S จะทำการส่ง route request ไปยังโหนดเพื่อนบ้านอีกครั้ง หรือโหนดที่อยู่บนเส้นทางไปสู่โหนดปลายทาง สามารถลองค้นหาเส้นทางไปยังโหนด D ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า Local Route Repair

ข้อดีและข้อเสียของ AODV

ด้วยการใช้หมายเลขลำดับปลายทาง (destination sequence number) ทำให้การหาเส้นทางไม่ติดลูป (loop free routing) และหลีกเลี่ยงปัญหาการนับไม่สิ้นสุด (Count to infinity) ที่มักจะเกิดในโพรโทคอลชนิด Distance vector ด้วย และการที่สามารถหาเส้นทางต่อเมื่อมีความต้องการส่งข้อมูลทำให้มีการใช้จำนวนโอเวอร์เฮดคอนโทรลน้อย แต่การที่ไม่มีการหาเส้นทางล่วงหน้าแบบโพรโทคอลชนิดโปรแอคทีฟทำให้มีค่าหน่วงเวลาเนื่องมาจากขั้นตอนการหาเส้นทาง และในเครือข่ายที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเชื่อมต่อบ่อยๆ จะมีการใช้โอเวอร์เฮดและมีค่าหน่วงเวลาสูง

2. Hierarchical routing

Hierarchical routing คือ การหาเส้นทางแบบมีลำดับชั้น (level) ของโหนด โดยมีการแบ่งโหนดออกเป็นกลุ่มเรียกว่าคลัสเตอร์ ในแต่ละกลุ่มจะมีคลัสเตอร์ที่เป็นหัวหน้าเรียกว่าcluster head มีหน้าที่ในการจัดการสมาชิกในกลุ่ม ซึ่งเป็นโหนดที่มีหน้าที่เฉพาะในการหาเส้นทาง

โพรโทคอลที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่ HSR (G. Pei *et al.*, 1999), CGSR (C. -C. Chiang and M. Gerla, 1997), ZRP (Z. J. Haas and M. R. Pearlman, 2001) และ LANMAR (G. Pei *et al.* 2000; M. Gerla *et al.*, 2000) และ SSAR ที่ถูกออกแบบในงานวิจัยนี้จัดอยู่ในกลุ่มนี้ด้วย

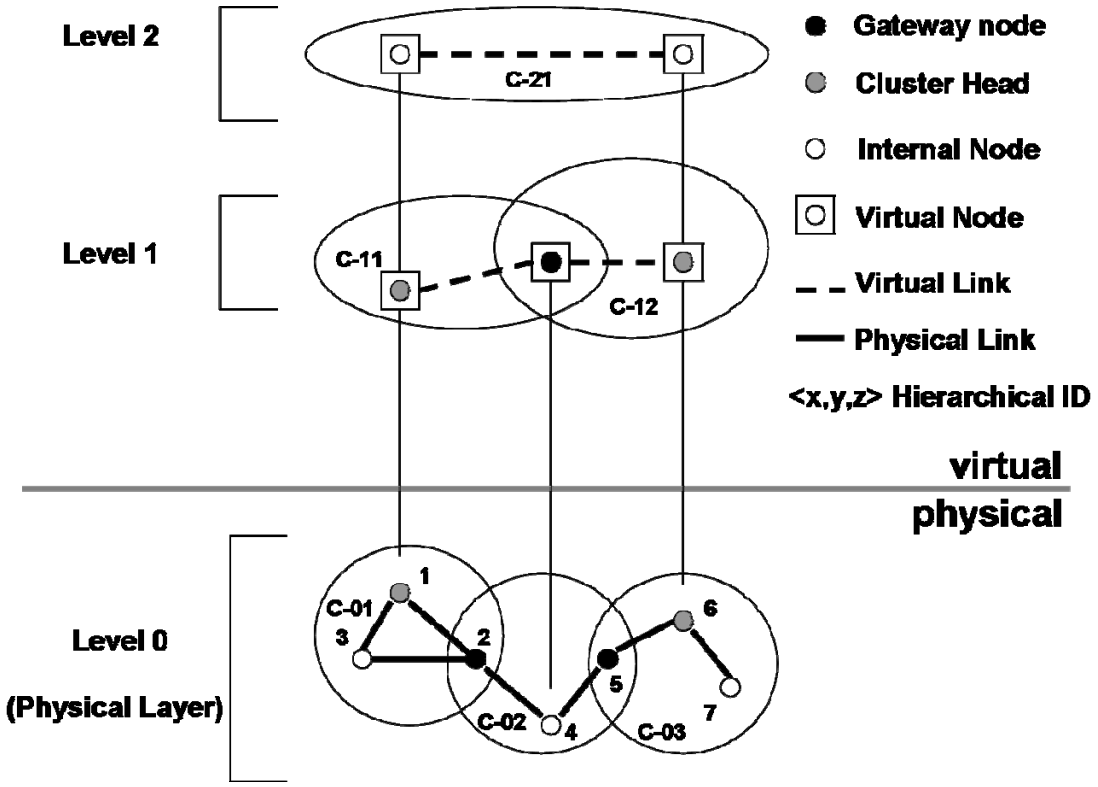
โพรโทคอล HSR

ลักษณะเฉพาะของ HSR จะมีการแบ่งโมบายโหนดในเครือข่ายไร้สายออกเป็นคลัสเตอร์หลายลำดับชั้น

Multilevel clustering

ลักษณะของโมบายโหนดในเครือข่ายไร้สายถูกแบ่งตามลักษณะกายภาพออกเป็นหลายๆคลัสเตอร์ โดยมีคลัสเตอร์เฮดซึ่งถูกเลือกมาด้วยอัลกอริทึ่ม คลัสเตอร์เบส (clusterbased algorithm)

การเพิ่มขึ้นของคลัสเตอร์เฮดที่ระดับต่ำกว่า (low level) จะไปเป็นสมาชิกของระดับที่สูงขึ้น โดยสมาชิกใหม่ของคลัสเตอร์แบบเสมือนนี้จะจัดการตัวเองให้เข้ากับคลัสเตอร์ ซึ่งเท่ากับเป็นการสร้างโทโปโลจีแบบ hierarchical ขึ้นนั่นเอง



ภาพที่ 13 ตัวอย่างของการแบ่งคลัสเตอร์ทางกายภาพ, ที่ระดับ 0 มี 3 คลัสเตอร์ทางกายภาพ C-01,C-02 และ C-03

ในคลัสเตอร์จะมีโหนดต่างกันอยู่ 3 ชนิด คือ โหนดคลัสเตอร์เฮด (โหนดหมายเลข 1, 4 และ 6), โหนดเกตเวย์ (โหนดหมายเลข 2, 5) และโหนดภายใน (โหนดหมายเลข 3, 7) โดยที่ระดับ 0 จะแบ่งด้วยการใช้ฟิสิคอลแอดเดรสดังนั้นจะแตกต่างกันทุกโหนด ในขณะที่ระดับ 1 และ 2 คลัสเตอร์จะถูกสร้างขึ้นจากการเลือก โดยใช้การวนซ้ำของคลัสเตอร์เฮด ดังนั้นในระดับที่สูงขึ้นไปจะมีเฉพาะคลัสเตอร์เสมือนและลิงค์เสมือนที่เชื่อมต่อระหว่างโหนด

โหนดในคลัสเตอร์ทางกายภาพจะบรอดคาสต์ข้อมูลเกี่ยวกับเส้นทางเชื่อมต่อของตนเองกับโหนดอื่นๆ ซึ่งแต่ละคลัสเตอร์เฮดจะทำการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดเกี่ยวกับคลัสเตอร์ของตนส่งให้กับคลัสเตอร์เฮดเพื่อนบ้านผ่านทางโหนดเกตเวย์ สิ่งที่ได้รับจากคลัสเตอร์เฮดเพื่อนบ้านจะเป็นข้อมูลของคลัสเตอร์ระดับถัดไป

คลัสเตอร์เฮดจะเป็นสมาชิกของคลัสเตอร์เสมือนในระดับที่สูงกว่าถัดไปและจะแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางเชื่อมต่อของตนเองที่ได้ โดยทำการรวบรวมมาจากข้อมูลในระดับที่ต่ำ

กว่ากับคลัสเตอร์เสมือนอื่นๆ ซึ่งโหนดที่อยู่ในระดับคลัสเตอร์เสมือนจะกระจายข้อมูลที่ได้รับมาจากระดับที่ต่ำกว่าดังนั้นในระดับที่ต่ำกว่าจะทราบรูปแบบการเชื่อมต่อโดยแต่ละโหนดจะมีแอดเดรส (hierarchical address) เรียกว่า HID (Hierarchical ID) โดย hierarchical address ถูกกำหนดโดยใช้คลัสเตอร์เฮด ID จากรูทโหนดระดับบนสุดลงไปยังโหนดระดับกายภาพ (physical level) โดย HID จะพิจารณาจากหมายเลข MAC address

เกตเวย์สามารถเข้าถึงได้จากระดับสูงสุดได้มากกว่า 1 เส้นทาง ซึ่งสามารถมีได้มากกว่า 1 HID และ hierarchical address นั้นเพียงพอสำหรับการส่งจากโหนดใดก็ได้ในเครือข่ายไปยังเฉพาะโหนดใดๆ โดยที่แต่ละโหนดจะทำการอัปเดต HID ของตนเมื่อได้รับข้อมูลอัปเดตจากโหนดระดับที่สูงกว่า

จากภาพที่ 13 เป็นตัวอย่างของ HID จะพบว่าในโหนดที่ 3 มี <1,1,3> เป็น hierarchical address โหนดที่ 2 โหนดเกตเวย์ มี <1,4,2> หรือ <1,1,2> หรือ <6,4,2>… ในการหาเส้นทางโดยใช้ HSR เช่น การส่งแพ็กเก็ตจากโหนด 3 <1,1,3> ไปยังโหนด 7 <6,6,7> แพ็กเก็ตจะถูกส่งไปยังโหนดที่รับผิดชอบใน hierarchy นั้นคือโหนด 1 โดยที่โหนด 1 จะส่งต่อไปยังโหนดระดับที่สูงสุดของโหนดปลายทางนั่นคือโหนด 6 โดยเส้นทางที่แพ็กเก็ตใช้คือ โหนด 1 และโหนด 6 ในระดับ 2 (ระดับสูงสุด) มีเส้นทางการเชื่อมต่อเสมือนตรงกับโหนด 1, โหนด 4 และ โหนด 6 ในระดับ 1 โดยเส้นทางการเชื่อมต่อเสมือน <1,4> และ <4,6> ในระดับ 1 ตรงกับเส้นทาง <1,2,4> และ <4,5,6> ในระดับ 0

ข้อดีของ HSR

1. สามารถปรับตัวตามการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเชื่อมต่อในเครือข่ายได้ดี
2. ลดขนาดตารางหาเส้นทางได้เกือบทุกโหนดยกเว้นโหนดคลัสเตอร์เฮด
3. สามารถเลือกใช้อุปกรณ์ที่มีความสามารถสูงๆมาเป็นโหนดคลัสเตอร์เฮดได้
4. คลัสเตอร์เฮดสามารถติดตามดูแลทราฟิกในคลัสเตอร์ได้
5. คลัสเตอร์เฮดสามารถสร้าง QoS ให้กับแอปพลิเคชันแบบเวลาจริงได้

ข้อเสียของ HSR

1. มีโอเวอร์เฮดสูงเนื่องมาจากการแลกเปลี่ยนของแพ็กเก็ตหาเส้นทาง
2. ต้องมีกระบวนการเลือกคลัสเตอร์เฮด hierarchy หลายระดับ
3. มีจำนวนฮอปเฉลี่ยในการส่งแพ็กเก็ตสูง

4. โพรโทคอลมีความซับซ้อนสูง

5. มีแพ็กเก็ตจำนวนมากถูกดร็อปเพราะเส้นทางที่หาได้ไม่มีจริง

6. โหนดที่อยู่ในระดับสูงสุดต้องทำการบำรุงรักษาตารางหาเส้นทางของทุกโหนดในคลัสเตอร์ในแต่ละระดับ

ข้อสังเกต HSR ไม่เหมาะในการนำมาใช้ในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกทั่วไปได้แต่เหมาะกับเครือข่ายที่มีโหนดสูงมากๆ

3. Geographic positioning assisted routing

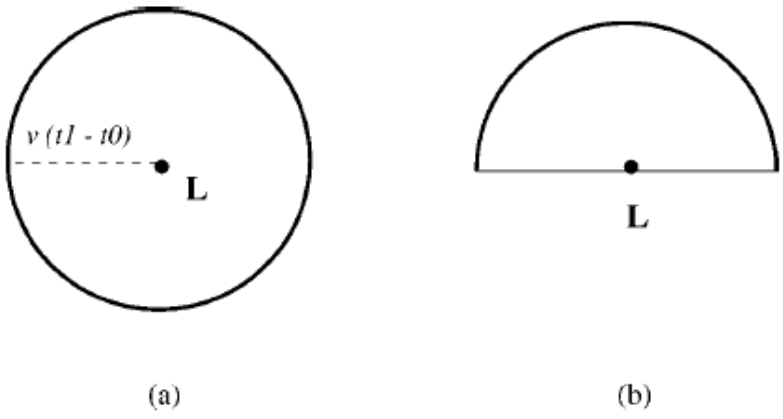
Geographic positioning assisted routing คือ การหาเส้นทางในเครือข่ายไร้สายที่นำเอาพิกัดจริงของโหนดมาช่วยในการหาเส้นทาง ซึ่งสามารถช่วยในการลดโอเวอร์เฮดที่ไม่จำเป็นลงไปได้มาก โพรโทคอลที่จัดอยู่ในประเภทนี้ได้แก่ GeoCast (J. C. Navas and T. Imielinski, 1997) , LAR (Y.-B. Ko and N. H. Vaidya, 1998), DREAM (S. Basagni *et al.*, 1998) และ GPSR (B. Karp and H. T. Kung, 2000)

3.1 โพรโทคอล LAR (Location-Aided Routing Protocol)

LAR ใช้ข้อมูลพิกัดในการลดโอเวอร์เฮดที่ใช้หาเส้นทางในเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก โดยปกติ โพรโทคอล LAR ใช้ GPS (Global Positioning System) ในการรับข้อมูลพิกัดของตนเอง ในการลดความซับซ้อนของโพรโทคอล ทุกโหนดจะถูกสมมติให้ทราบพิกัดตำแหน่งที่แท้จริงของตนเอง ความแตกต่างระหว่างพิกัดตำแหน่งที่แท้จริงและการคำนวณตำแหน่งของ GPS จะไม่ถูกพิจารณาและสมมติให้โหนดมีการเคลื่อนที่ใน 2 มิติเท่านั้น

3.1.1 Expected Zone เมื่อโหนด S (โหนดต้นทาง) ต้องการหาเส้นทางไปยังโหนด D (โหนดปลายทาง) โหนด S ทราบว่าโหนด D อยู่ที่พิกัดตำแหน่ง L ดังภาพที่ 14 ดังนั้น expected zone ของโหนด D ในมุมมองของโหนด S คือ บริเวณที่โหนด S สามารถคาดหวังได้ว่าจะเจอโหนด D โดยโหนด S จะพิจารณาความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนด D เพื่อหา expected zone

ในกรณีที่โหนด S ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับพิกัดตำแหน่งของโหนด D บริเวณทั้งหมดของ



ภาพที่ 14 รูปแบบของบริเวณที่คาดว่าจะพบโมบายโหนดของโหนด D, (a) แสดงบริเวณที่คาดว่าจะพบโหนด D รูปวงกลม และ (b) แสดงบริเวณที่คาดว่าจะพบ โหนด D รูปครึ่งวงกลม

ที่มา: Y.-B. Ko (2000)

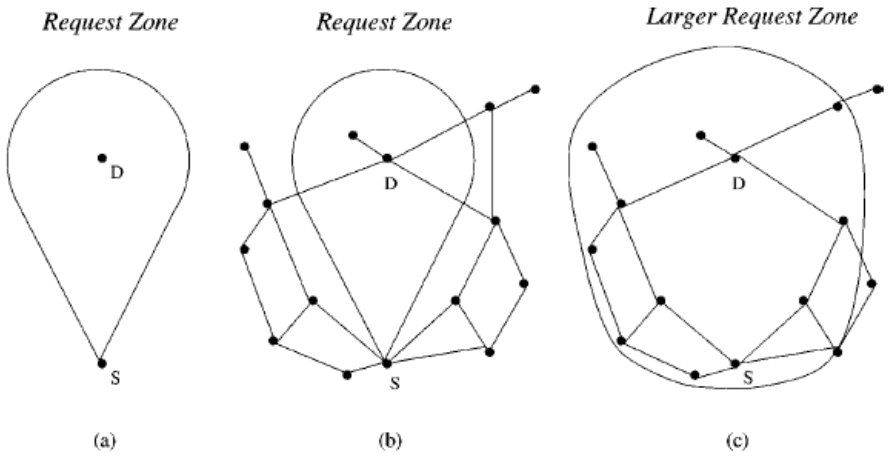
จากภาพที่ 14 ภาพ(a) บริเวณที่คาดว่าจะพบโมบายโหนดของโหนด Dเป็นรูปวงกลม เนื่องจากโหนด S ไม่ทราบว่าโหนดจะเคลื่อนที่ไปทิศทางใด และภาพ (b) บริเวณที่คาดว่าจะพบโมบายโหนด D เป็นรูปครึ่งวงกลม เนื่องจากเมื่อโหนด S ทราบว่าโหนด D กำลังเคลื่อนที่ไปทางเหนือ ดังนั้น บริเวณที่คาดว่าจะพบโมบายโหนดสามารถจึงถูกจำกัดลงเหลือแค่รูปครึ่งวงกลม

3.1.2 Request Zone เมื่อโหนด S ต้องการหาเส้นทางไปยังโหนด D โหนด S จะทำ

1. โหนด S ไม่อยู่ใน expected zone ของโหนด D ดังนั้น expected zone นี้ต้องขยายไป

เป็น request zone ที่คล้ายกับในภาพที่ 15 (a)

2. แต่ expected zone ในภาพที่ 15 (a) อาจเกิดกรณี ในภาพที่ 15 (b) ได้คือ ทุกโหนดระหว่างโหนด S และ โหนด D จะอยู่ข้างนอก request zone ดังนั้นจึงไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะ

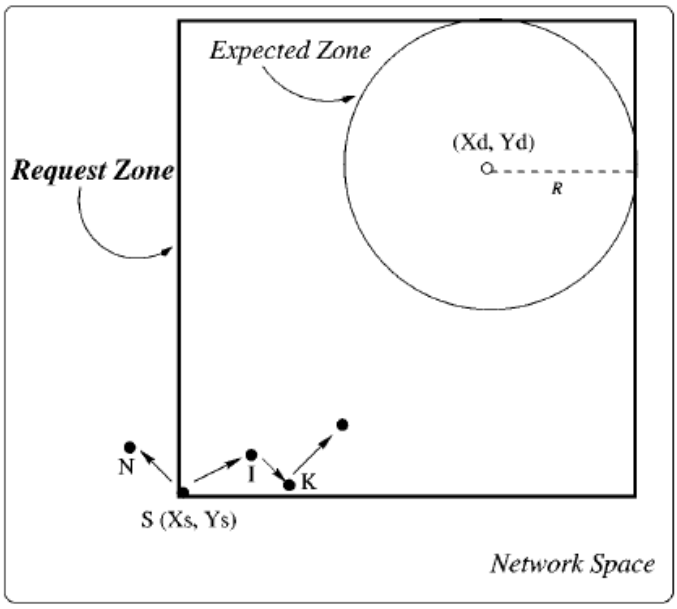


ภาพที่ 15 Request Zone
ที่มา: Y.-B. Ko (2000)

3.1.3 การเป็นสมาชิกของ Request Zone อัลกอริทึมของ LAR คืออัลกอริทึมของการระบุขอบเขตในการ flood แพ็กเก็ตหาเส้นทางที่ส่งมาจากโหนดที่ต้องการหาเส้นทาง โดยโหนดที่ไม่ได้อยู่ใน request zone จะไม่ส่งต่อ route request ไปยังโหนดเพื่อนบ้าน โดยการที่จะสามารถระบุได้ว่าโหนดนั้นเป็นสมาชิกของ request zone มี 2 วิธีดังนี้

1) LAR Scheme 1 วิธีแรกให้ request zone อยู่ในสี่เหลี่ยมผืนผ้าดังภาพที่ 16 โหนด S อยู่ที่มุมของสี่เหลี่ยมผืนผ้าของ request zone ซึ่ง expected zone จะอยู่ในพิกัดตรงกันข้ามกับโหนด S ซึ่งสามารถใช้ 2 ตำแหน่งนี้เพื่อสร้างสี่เหลี่ยมผืนผ้าและทราบพิกัดของทั้ง 4 มุม โดยโหนดที่มีพิกัดตำแหน่งอยู่นอกสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะไม่สนใจ route request ที่ได้รับ ดังนั้นทำให้

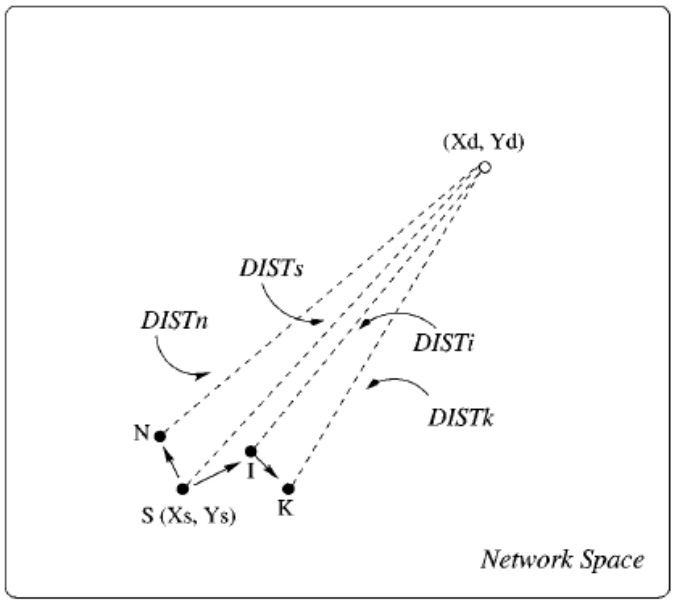
สามารถลดการ flooding ในเครือข่ายลงได้ ซึ่ง route request ที่ถูกส่งจากโหนด S มาถึงโหนด D จะถูกตอบกลับด้วยข้อความ route reply โดยโหนด D จะแนบตำแหน่งพิกัดและเวลาปัจจุบันไปกับ route ryply ด้วย เมื่อโหนด S ได้รับข้อความนี้จะบันทึกตำแหน่งพิกัดของโหนด D เพื่อใช้ในสร้าง request zone ในอนาคต



ภาพที่ 16 LAR scheme 1
ที่มา: Y.-B. Ko (2000)

2) LAR Scheme 2 โหนด S ต้องการหาเส้นทางไปยังโหนด D และทราบพิกัดตำแหน่งของโหนด D (X*d*,Y*d*) ดังภาพที่ 17 ที่พิกัดนี้โหนด S คำนวณระยะห่างจากโหนด D (DIST*d*) ทั้งตำแหน่งพิกัดและระยะห่างนี้จะถูกรวมอยู่ใน route request ขณะที่โหนดได้รับ route request จากโหนด S จะทำการคำนวณระยะห่างระหว่างโหนดของตนกับโหนด D ถ้าระยะทางที่ได้มีค่ามากกว่า DIST*d* ของโหนด S โหนดนั้นก็จะไม่สนใจ route request นั้น แต่ถ้าระยะทางที่ได้มีค่าน้อยกว่า DIST*d* ของโหนด S ก็จะทำการส่ง route request ให้กับโหนดเพื่อนบ้านโดยรวมระยะห่างระหว่างโหนดของตนกับโหนด D และตำแหน่งพิกัดของตนเองไปด้วย ดังนั้น route request จะถึงโหนด D และ route reply จะถูกส่งกลับไปยังโหนด S

ถึงแม้ว่า LAR(scheme2) จะสามารถลดจำนวนรีเลย์โหนดลงได้ แต่กรณีที่โมบายโหนดมีความหนาแน่นมาก จำนวนรีเลย์โหนดก็มากตามไปด้วย ทำให้มีจำนวนมีการสื่อสารมากซึ่งมีผลทำให้แบนด์วิทน้อยลง



ภาพที่ 17 LAR scheme 2
ที่มา: Y.-B. Ko (2000)

ข้อดีและข้อเสียของโพรโทคอล LAR

เนื่องจากการใช้ตำแหน่งพิกัดของโมบายโหนดให้เป็นประโยชน์ในการจำกัดขอบเขตการหาเส้นทางจึงสามารถใช้อัลกอริทึมที่ง่ายแบบการ flooding ทั่วไปได้ อีกทั้งยังสามารถลดจำนวนแพ็กเก็ตของการ flooding ได้ แต่จากการที่ไม่มีการคำนึงถึงความแตกต่างของพิกัดจริงและพิกัดที่ได้รับจาก GPS ทำให้ตำแหน่งที่นำมาคำนวนขอบเขตและการหาเส้นทางผิดพลาด และถูกจำกัดด้วยพิกัดใน 2 มิติ อีกทั้งในกรณีทีในเครือข่ายมีความหนาแน่นของโหนดมาก จำนวนแพ็กเก็ตในการ flooding ก็มากตามไปด้วย

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์

เครื่องคอมพิวเตอร์ 1 เครื่อง ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Linux Fedora Core 3 สำหรับใช้งานโปรแกรม Network Simulation ในการทดลอง ซึ่งคอมพิวเตอร์ที่ใช้มีคุณสมบัติดังนี้

1.1 CPU Intel Pentium M Processor 1.86GHz

1.2 RAM 768MB

1.3 Hard disk ความจุ 20 GB

2. ซอฟต์แวร์

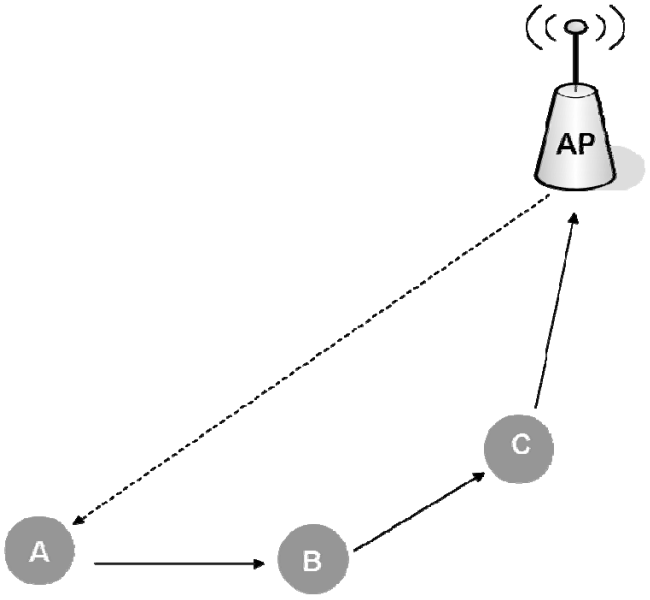
2.1 ระบบปฏิบัติการ Linux Fedora Core 3

2.2 โปรแกรมจำลองการทำงานระบบเครือข่าย Network Simulation (NS2) version2.29

2.3 gcc version 3.4.2 เป็นคอมไฟลเลอร์ภาษาซีสำหรับใช้เขียนโปรแกรมในการทดลองจำลองที่ใช้ร่วมกับ NS2

วิธีการ

ในบทนี้จะอธิบายถึงการออกแบบและการทำงานของโพรโทคอลที่นำเสนอ เพื่อแก้ปัญหาการหาเส้นทางในการส่งข้อมูลกลับไปยังแอคเซสพอยต์ที่เป็นส่วนย่อยของปัญหาการส่งด้วยจำนวนโหนดขาไปไม่เท่าขากลับ (asymmetrical link problem) ดังภาพที่ 18 ขาไป AP สามารถส่งข้อมูลไปยังโมบายโหนด A ได้โดยตรง ส่วนการส่งข้อมูลขากลับต้องใช้ 3 ฮอป (A->B->C) ซึ่งโพรโทคอลที่ออกแบบในงานวิจัยนี้มุ่งแก้ปัญหาการส่งข้อมูลกลับมายังแอคเซสพอยต์ที่ต้องใช้หลายฮอป



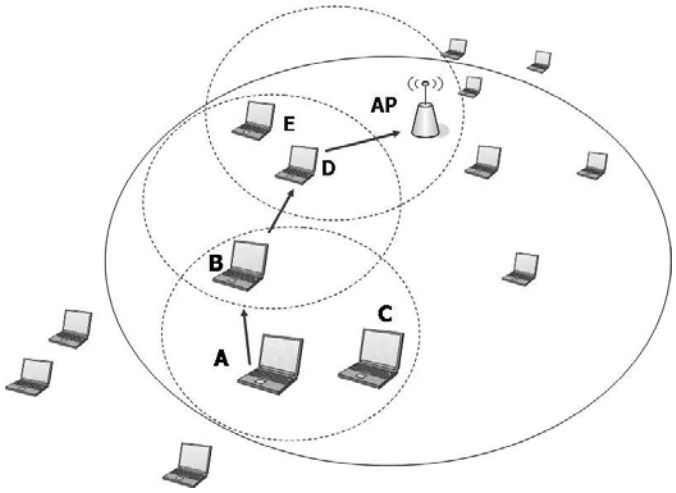
ภาพที่ 18 ปัญหา asymmetrical link

1. หลักการทำงานพื้นฐาน

การทำงานของโพรโทคอลเริ่มจาก ทุกๆคาบเวลาแอคเซสพอยต์จะทำการส่งบีคอนออกมาเพื่อให้โมบายโหนดวัดความแรงสัญญาณที่ได้รับจากแอคเซสพอยต์และเตรียมพร้อมในการเก็บข้อมูลความแรงสัญญาณที่ได้รับจากเพื่อนบ้านเพื่อสร้าง next hop ในตารางหาเส้นทาง (การทำงานในเครือข่ายแลนไร้สายปกติแอคเซสพอยต์ต้องมีการส่งบีคอนทุกๆคาบเวลา โดยงานวิจัยนี้เราอาศัยบีคอนในการอ่านความแรงสัญญาณจากแอคเซสพอยต์) เมื่อโมบายโหนดได้รับบีคอนจากแอคเซสพอยต์จะวัดความแรงสัญญาณของแอคเซสพอยต์ จากนั้นทำการบรอดคาสต์ข้อความเพื่อให้โมบายโหนดเพื่อนบ้านทราบความแรงสัญญาณของแอคเซสพอยต์ที่ตนได้รับเพื่อใช้ในการพิจารณาเลือกโมบายโหนดที่ใช้ในการส่งต่อข้อมูล (next hop) ในขณะเดียวกันโมบายโหนดเพื่อนบ้านที่ได้ยินข้อความบรอดคาสต์นั้น ก็ทำการเลือกเก็บความแรงสัญญาณที่มีค่ามากที่สุดสำหรับเป็น next hop และหลังจากบรอดคาสต์ข้อความจนครบทุกโมบายโหนดแล้วจึงพร้อมสำหรับการหาเส้นทางเพื่อส่งข้อมูลกลับไปยังแอคเซสพอยต์

การหาเส้นทางทำได้โดย แต่ละโมบายโหนดเลือกโมบายโหนดเพื่อนบ้านที่ได้รับความแรงของสัญญาณจากแอคเซสพอยต์มากที่สุด เป็นโมบายโหนดที่จะส่งข้อมูลต่อ (next hop)

จากภาพที่ 19 แสดงถึงการเลือกเส้นทางเพื่อส่งข้อมูลไปยังแอคเซสพอยต์ของโมบายโหนด A เส้นทางที่เกิดขึ้น แสดงด้วยลูกศร เส้นทางนี้หาได้โดยโมบายโหนด A เลือก next hop ที่ได้รับความแรงสัญญาณจาก APมากที่สุด นั่นคือโมบายโหนด B ซึ่งในทำนองเดียวกัน โมบายโหนด B เลือกโมบายโหนด D และโมบายโหนด D ส่งตรงไปถึง AP



ภาพที่ 19 การเลือกเส้นทางเพื่อส่งข้อมูลกลับไปยังแอคเซสพอยต์ของโมบายโหนด A

1.1 สถานะของโมบายโหนด

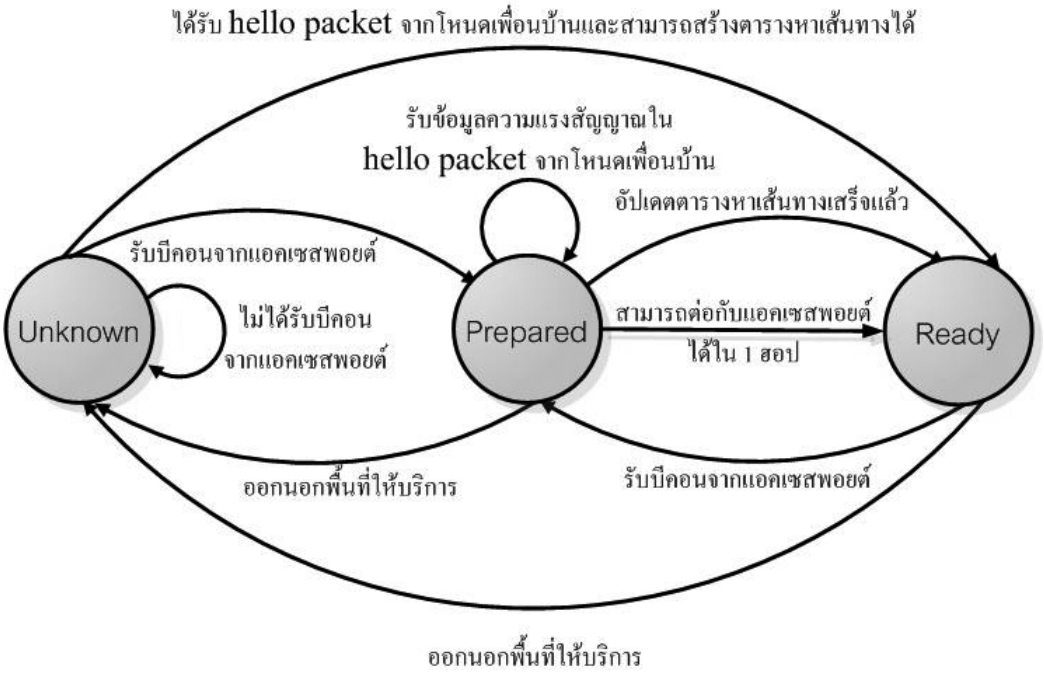
ในการทำงานของโพรโทคอล SSAR สถานะของโมบายโหนดมีทั้งหมด 3 สถานะ สามารถแสดงดังภาพที่ 20

สถานะของโมบายโหนด

Unkown State เป็นสถานะของโมบายโหนดที่ยังไม่พร้อมในการสื่อสารกับแอคเซสพอยต์ เนื่องจากอยู่นอกขอบเขตการสื่อสาร หรืออยู่ในขอบเขตการสื่อสารแต่ยังไม่ได้รับบีคอนจากแอคเซสพอยต์เนื่องจากเพิ่งมีการเปิดเครื่อง

Prepared State เป็นสถานะของโมบายโหนดที่กำลังรับบีคอนจาก AP หรือ รับ-ส่งข้อความบอกโมบายโหนดเพื่อนบ้าน เพื่อสร้าง next hop ในตารางหาเส้นทาง

Ready State เป็นสถานะของโมบายโหนดที่พร้อมในการสื่อสารกับแอคเซสพอยต์ เนื่องมาจากการได้รับข้อความบรอดคาสต์จากโมบายโหนดเพื่อนบ้าน ทำให้มี next hop ในตารางหาเส้นทางแล้ว

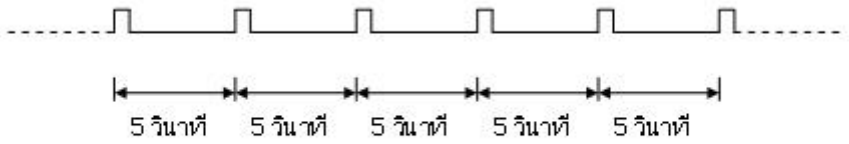


ภาพที่ 20 สถานะการทำงานของโมบายโหนด

จากภาพที่ 20 แสดงถึงสถานะของโมบายโหนดในเครือข่ายแลนไร้สายแบบขยายขอบเขตตามอัลกอริทึมการทำงานของ โพรโทคอล SSAR เริ่มจากโมบายโหนดอยู่ใน Unknown state และเมื่อโมบายโหนดได้รับบีคอนจากแอคเซสพอยต์จะเปลี่ยนสถานะมาอยู่ใน Prepared state เพื่อเตรียมพร้อมในการสร้าง next hop ต่อไป เมื่อโมบายโหนดได้รับบีคอนจะทำการวัดค่าความแรงสัญญาณ จากนั้นจะทำการบรอดคาสต์ข้อความ ไปยังโมบายโหนดเพื่อนบ้านด้วย hello packet ซึ่งเป็นแพ็กเก็ตขนาดเล็ก ประกอบด้วยข้อมูลความแรงสัญญาณจากแอคเซสพอยต์ที่ตนเองวัดได้ โมบายโหนดใดๆที่ได้รับ hello packet จะทำการสร้าง next hop และเปลี่ยนสถานะตัวเองมาอยู่ใน Ready State ซึ่งพร้อมในการหาเส้นทาง

1.2 บีคอน

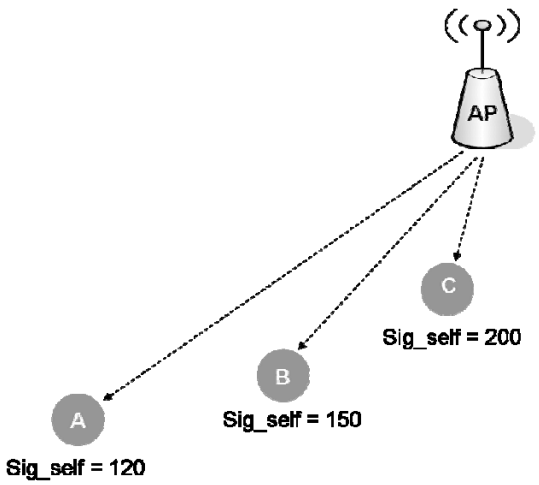
การที่จะทำให้ทุกโมบายโหนดทราบถึงเวลาที่จะต้องเตรียมพร้อมในการเก็บข้อมูลความแรงสัญญาณที่ได้รับจากเพื่อนบ้านเพื่อสร้าง next hop ในตารางหาเส้นทาง นั้น ในงานวิจัยได้อาศัยบีคอนเพื่อกำหนดช่วงเวลาดังกล่าว ซึ่งในการทำงานของเครือข่ายแลนไร้สายปกติแอคเซสพอยต์จะส่งบีคอนทุกๆช่วงเวลา ดังภาพที่ 21



ภาพที่ 21 การส่งบีคอนเป็นช่วงเวลา

1.3 การวัดความแรงสัญญาณ

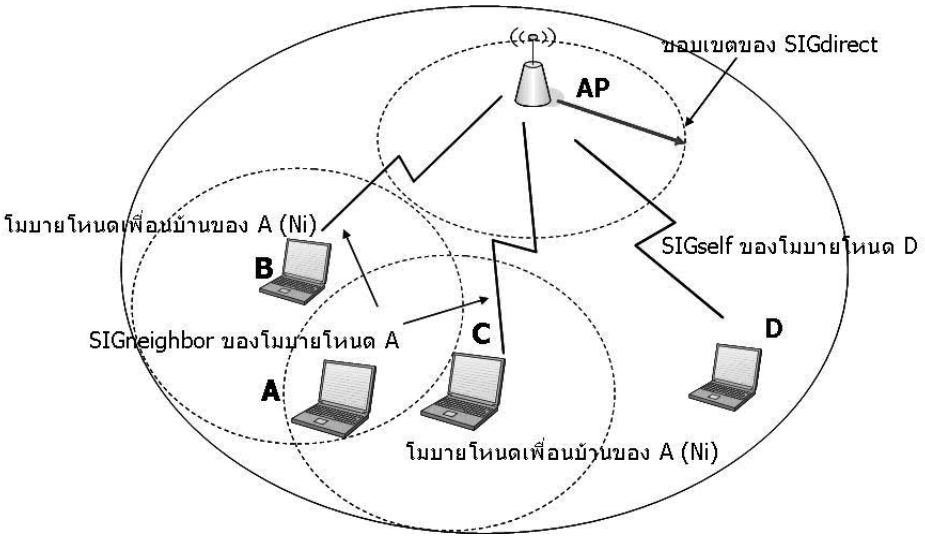
การวัดความแรงสัญญาณเป็นส่วนหนึ่งของขั้นตอนการทำงานของโพรโทคอล ในขณะที่โมบายโหนดใดๆได้รับบีคอนจากแอคเซสพอยต์ จะทำการวัดความแรงสัญญาณและบันทึกค่าเป็น SIGself เพื่อเตรียมแนบกับ hello packet สำหรับแจ้งต่อโมบายเพื่อนบ้าน โดยภาพที่ 22 จะแสดงลักษณะการวัดค่าความแรงสัญญาณของโมบายโหนดต่างๆ



ภาพที่ 22 ลักษณะการวัดค่าความแรงสัญญาณ

2. รายละเอียดการทำงานของโพรโทคอล

ก่อนจะถึงรายละเอียดขั้นตอนการทำงานของโพรโทคอล จำเป็นต้องมีการบัญญัติศัพท์ที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้ในการอธิบายโพรโทคอลที่ออกแบบไว้ โดยภาพที่ 23 จะแสดงถึงคำนิยามต่างๆ



ภาพที่ 23 นิยามศัพท์ที่ใช้งาน

นิยามศัพท์ที่ใช้งาน

SIGself คือ ความแรงสัญญาณที่โมบายโหนดวัดได้จากบีคอนที่ได้รับจากแอคเซสพอยต์

SIGneighbor คือ ความแรงสัญญาณที่อยู่ใน hello packet ซึ่งเกิดจากโมบายโหนดเพื่อนบ้านได้แจ้งความแรงสัญญาณ SIGself

SIGmax คือ ค่าความแรงสัญญาณจากแอคเซสพอยต์ของโมบายโหนดเพื่อนบ้านที่มีค่ามากที่สุดที่โมบายโหนดนั้นๆเก็บไว้เพื่อเปรียบเทียบกับความแรงสัญญาณใหม่ๆที่เข้ามา

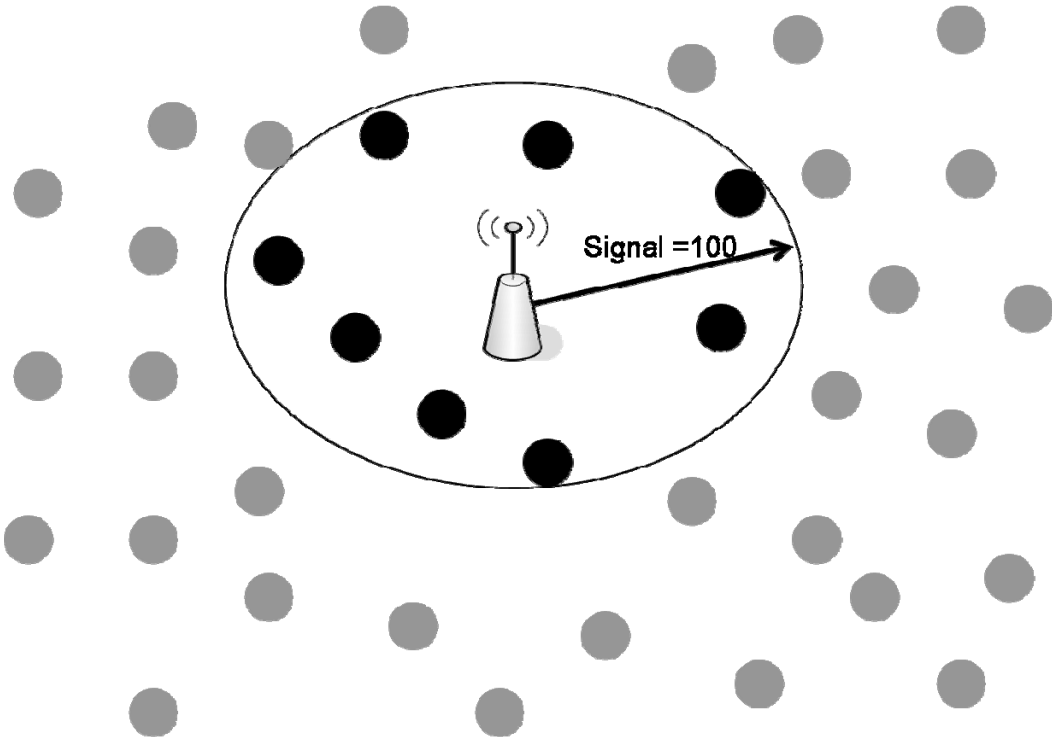
SIGdirect คือ ความแรงสัญญาณจากแอคเซสพอยต์ ณ ตำแหน่งที่มีค่าหนึ่ง (Threshold) ซึ่งถือว่าเป็นตำแหน่งที่โมบายโหนดอยู่ใกล้แอคเซสพอยต์จนสามารถส่งถึงได้โดยตรงในฮอปเดียว

Ns คือ โมบายโหนดต้นทางที่ต้องการส่งข้อมูลไปยังแอคเซสพอยต์

Ni คือ โมบายโหนดเพื่อนบ้านใดๆ

ขั้นตอนการทำงานของแบ่งออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

ส่วนที่ 1 ตรวจสอบการติดต่อแอคเซสพอยต์ใน 1 ฮอป



ภาพที่ 24 การตรวจสอบความแรงสัญญาณที่สามารถเชื่อมต่อแอคเซสพอยต์ได้ใน 1 ฮอป

ในเครือข่ายแลนไร้สายแบบขยายขอบเขตนั้นประกอบด้วยโมบายโหนดและแอคเซสพอยต์ แต่จะมีโมบายโหนดที่อยู่ใกล้แอคเซสพอยต์เท่านั้นที่สามารถเชื่อมต่อกับแอคเซสพอยต์ได้โดยตรงดังภาพที่ 24 ซึ่งได้แก่โมบายโหนดสีดำ ส่วนโมบายโหนดสีเทานั้นไม่สามารถเชื่อมต่อได้โดยตรง ดังนั้นเพื่อป้องกันการใช้โมบายโหนดในเส้นทางมากเกินความจำเป็น กล่าวคือเมื่อโมบายโหนดสามารถเชื่อมต่อกับแอคเซสพอยต์ได้โดยตรงก็ไม่จำเป็นต้องทำการหาเส้นทาง

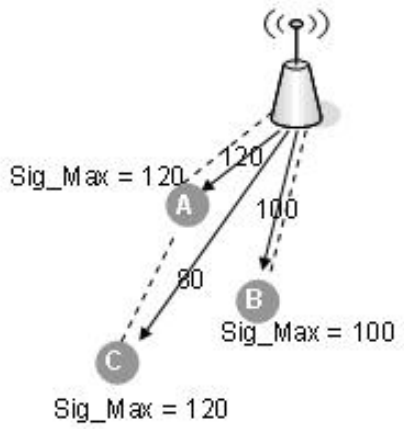
หลังจากได้รับบีคอนจากแอคเซสพอยต์ โมบายโหนดจะทำการวัดค่าความแรงสัญญาณ และก่อนที่จะทำการบันทึกค่าความแรงสัญญาณที่ตนเองได้รับจะทำการเปรียบเทียบค่าความแรงสัญญาณที่ตนวัดได้ (SIGself) กับ ค่าความแรงสัญญาณ SIGdirect ซึ่งเป็นค่าที่ถูกกำหนดขึ้นเพื่อกำหนดขอบเขตการเชื่อมต่อกับแอคเซสพอยต์ภายใน 1 ฮอป ถ้า SIGself มีค่ามากกว่า SIGdirect จะทำการเซตแอคเซสพอยต์เป็น next hop ในตารางหาเส้นทางของโมบายโหนดนั้น หลังจากนั้นก็นำ SIGself ไปใส่ไว้ใน hello packet แล้วทำการ broadcast ไปยังโมบายโหนดเพื่อนบ้าน แต่ถ้ามีค่าน้อยกว่าจะไม่ทำอะไรเนื่องจากอยู่ห่างจากแอคเซสพอยต์มากกว่า 1 ฮอป จึงยังไม่สามารถเซต next hop ได้ ดังอัลกอริทึมในภาพที่ 25 และสามารถแสดงด้วยผังงานของโมบายโหนด ดังภาพที่ 30

 # ส่วนที่ 1 ตรวจสอบโมบายสามารถส่งข้อมูลไปยังแอคเซสพอยต์ใน 1 ฮอปหรือไม่

if (ได้รับบีคอนจากแอคเซสพอยต์){
    if (log(SIG_{self}) > log(SIG_{direct}))
        next hop = แอคเซสพอยต์ ;
    else
        do nothing; *(เนื่องจากแอคเซสพอยต์อยู่ไกลกว่า 1 ฮอป)*
    broadcast hello packet ที่มี SIG_{self} รวมอยู่ด้วย;
}

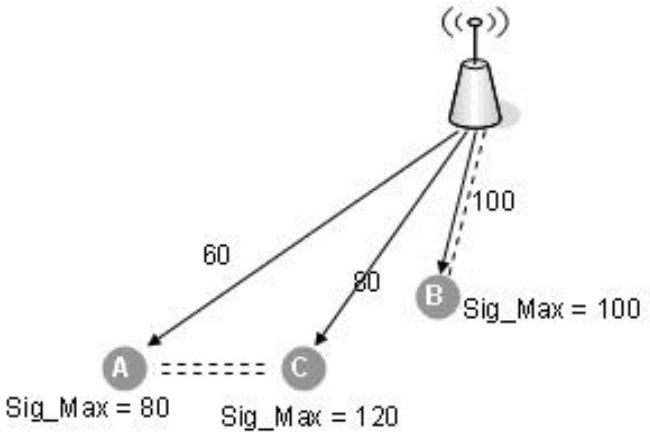
ภาพที่ 25 อัลกอริทึมในการตรวจสอบการติดต่อแอคเซสพอยต์ใน 1 ฮอป

ส่วนที่ 2 การป้องกันการเกิดลูปในเส้นทาง



ภาพที่ 26 การหาเส้นทางในขณะก่อนเกิดการวนรอบ

ในกรณีที่โมบายโหนด (Ns) ที่มี next hop ในตารางหาเส้นทางเป็นโมบายโหนดเพื่อนบ้าน(Ni) และเป็นเจ้าของคุณสมบัติ SIGneighbor ที่มีค่าเป็น SIGmax ในกรณีนี้ ถ้า Ni มีการเคลื่อนที่ออกไปจากตำแหน่งเดิม ดังภาพที่ 26 (Ns = C, Ni = A) เป็นช่วงเวลาก่อนการเกิดวนรอบ (loop)



ภาพที่ 27 การหาเส้นทางขณะเกิดการวนรอบ A-C

ในคาบถัดมาของบีคอนมีการ update ค่าความแรงสัญญาณต่างๆ และพบว่า Ni มีการเคลื่อนที่ไปอยู่ในตำแหน่งที่ค่า SIGself น้อยกว่าค่า SIGself ของ Ns แต่ next hop ยังชี้ไปที่เดิม เพราะไม่มีโมบายโหนดใดมีค่าสูงกว่า SIGmax เดิม ทำให้การหาเส้นทางผิดพลาด และอาจเกิดการวนรอบ ได้ ถ้า Ni มี Ns เป็น next hop เนื่องจาก SIGself ของ Ns มีคุณสมบัติเป็น SIGmax ของ Ni ดังภาพที่ 27

#ส่วนที่ 2 เป็นส่วนที่ป้องกันการเกิดวนรอบในเส้นทาง

if (hello packet เป็นของโมบายโหนดที่เป็นเจ้าของ SIG_{max}){
    if (log($SIG_{neighbor}$) < log(SIG_{self})){
        SIG_{max} = SIG_{self};
        next hop= โมบายโฮสต์ตนเอง
    }else
        do nothing;
        (เนื่องจากโมบายโหนดที่เป็นเจ้าของ SIG_{max} ได้รับสัญญาณจากแอคเซสพอยต์แรงกว่าตนเอง)
}

ภาพที่ 28 อัลกอริทึมป้องกันการเกิดการวนรอบในเส้นทาง

ดังนั้นการป้องกันการวนรอบทำได้โดยการตรวจสอบค่าความแรงสัญญาณของเจ้าของ SIGmax ปัจจุบัน และค่าความแรงสัญญาณที่อัปเดตใหม่ดังอัลกอริทึมในภาพที่ 28 และผังงานของโมบายโหนดดังภาพที่ 31

ส่วนที่ 3 การสร้าง next hop

ในส่วนที่ 3 สำหรับโมบายโหนดที่ได้รับ hello packet ที่มาพร้อมกับความแรงสัญญาณ (SIGneighbor) จะทำการเปรียบเทียบค่า SIGneighbor กับ SIGself ถ้า SIGneighbor มีค่ามากกว่า นั่นคือขณะนั้นโมบายโหนดเจ้าของ hello packet อยู่ใกล้แอคเซสพอยต์มากกว่าตนเอง จากนั้นทำการเปรียบเทียบค่า SIGneighbor กับ SIGmax ถ้า SIGneighbor มีค่ามากกว่า แสดงว่าขณะนั้นโมบายโหนดเจ้าของ hello packet อยู่ใกล้แอคเซสพอยต์มากที่สุดในโมบายโหนดเพื่อนบ้านทั้งหมด ดังนั้นจึงทำการเซ็ตโมบายโหนดจ้าของ hello packet นั้น เป็น next hop ในตารางหาเส้นทางของตนเอง และเซ็ตค่า SIGmax ให้เท่ากับค่า SIGneighbor เพื่อทำการเปรียบเทียบในครั้งต่อไปดังอัลกอริทึมในภาพที่ 29 และผังงานในภาพที่ 32 และเนื่องจากในเครือข่ายแลนไร้สายนั้นความแรงสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ดังนั้นในอัลกอริทึมการหาเส้นทางในภาพที่ 25, 28 และ 29 ในส่วนต่างๆทั้ง 3 ส่วนนั้นที่มีการเปรียบเทียบค่าความแรงสัญญาณนั้นจะทำในรูปของล็อกสเกลเพื่อทำให้ค่าความแรงสัญญาณไม่แกว่งจนทำให้การตัดสินใจเลือก next hop ผิดพลาด

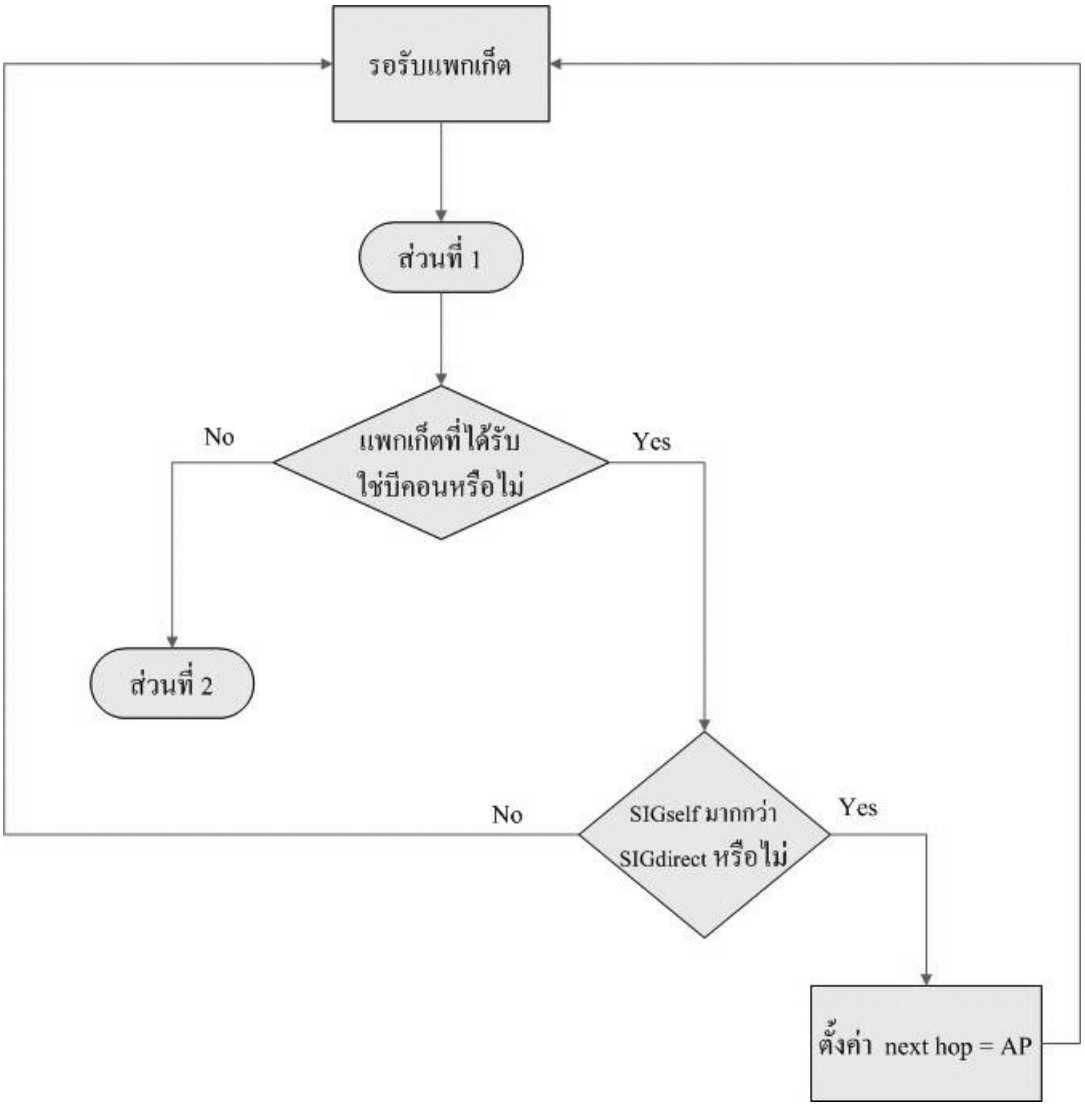
 # ส่วนที่ 3 เป็นส่วนที่ใช้สำหรับสร้าง next hop

else{
    if (log($SIG_{neighbor}$) > log(SIG_{self})){
        if(log($SIG_{neighbor}$)> log(SIG_{max})){
            next hop= โมบายโหนดเจ้าของ hello
                packet;
            SIG_{max} = $SIG_{neighbor}$;
        }else
            do nothing;
            (เนื่องจากมี next hop ที่ SIG_{max} มีค่าสูงสุดอยู่แล้ว)
    }else
        do nothing;
        (เนื่องจากตนเองได้รับสัญญาณจากแอคเซสพอยต์แรงกว่าโมบายโหนดเพื่อนบ้าน)
}

ภาพที่ 29 อัลกอริทึมสำหรับสร้าง next hop

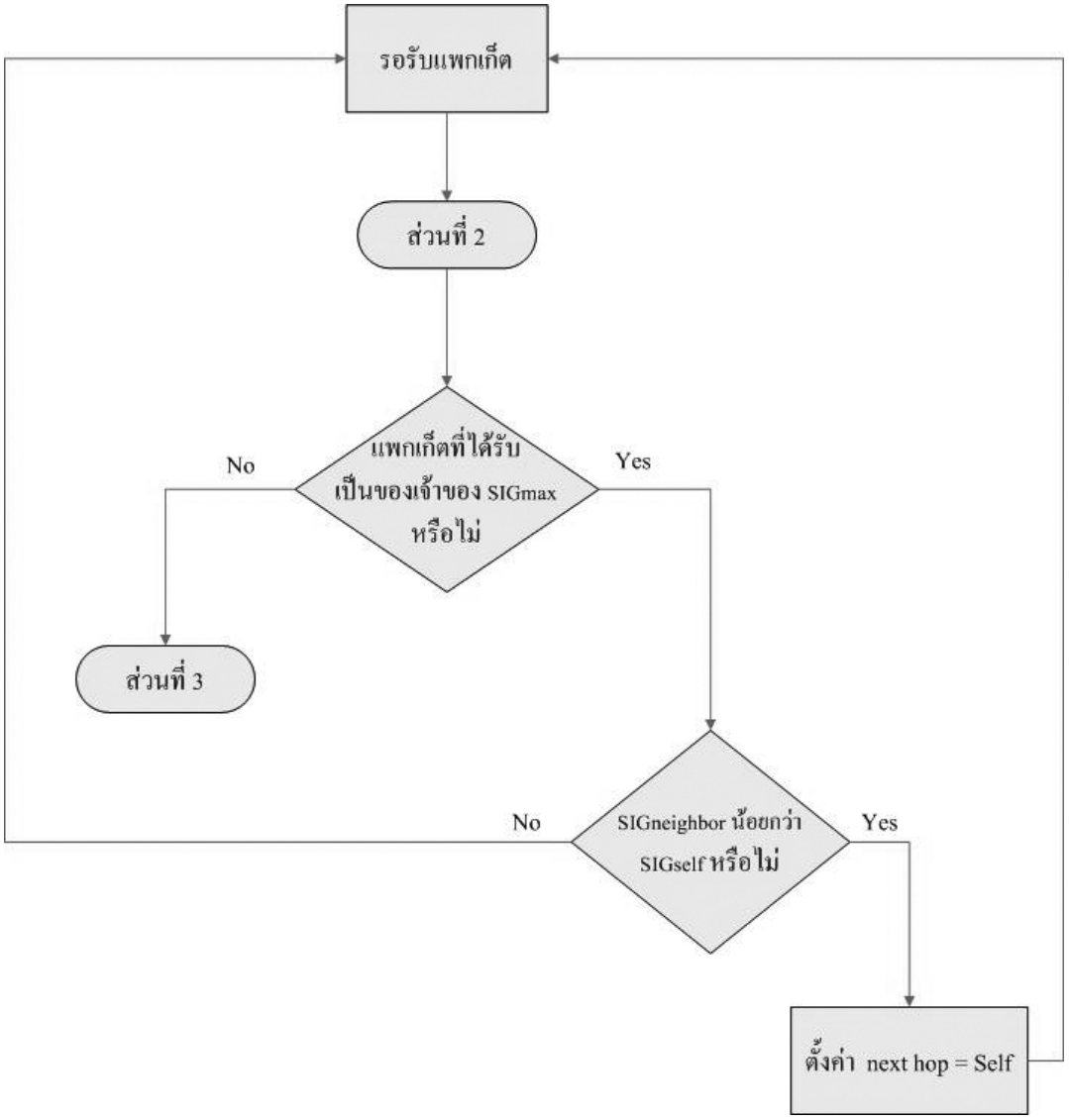
3. ผังงานของโมบายโหนดที่ใช้โพรโทคอล SSAR

3.1 ผังงานของโมบายโหนด (mobile node flowchart) ส่วนที่ 1



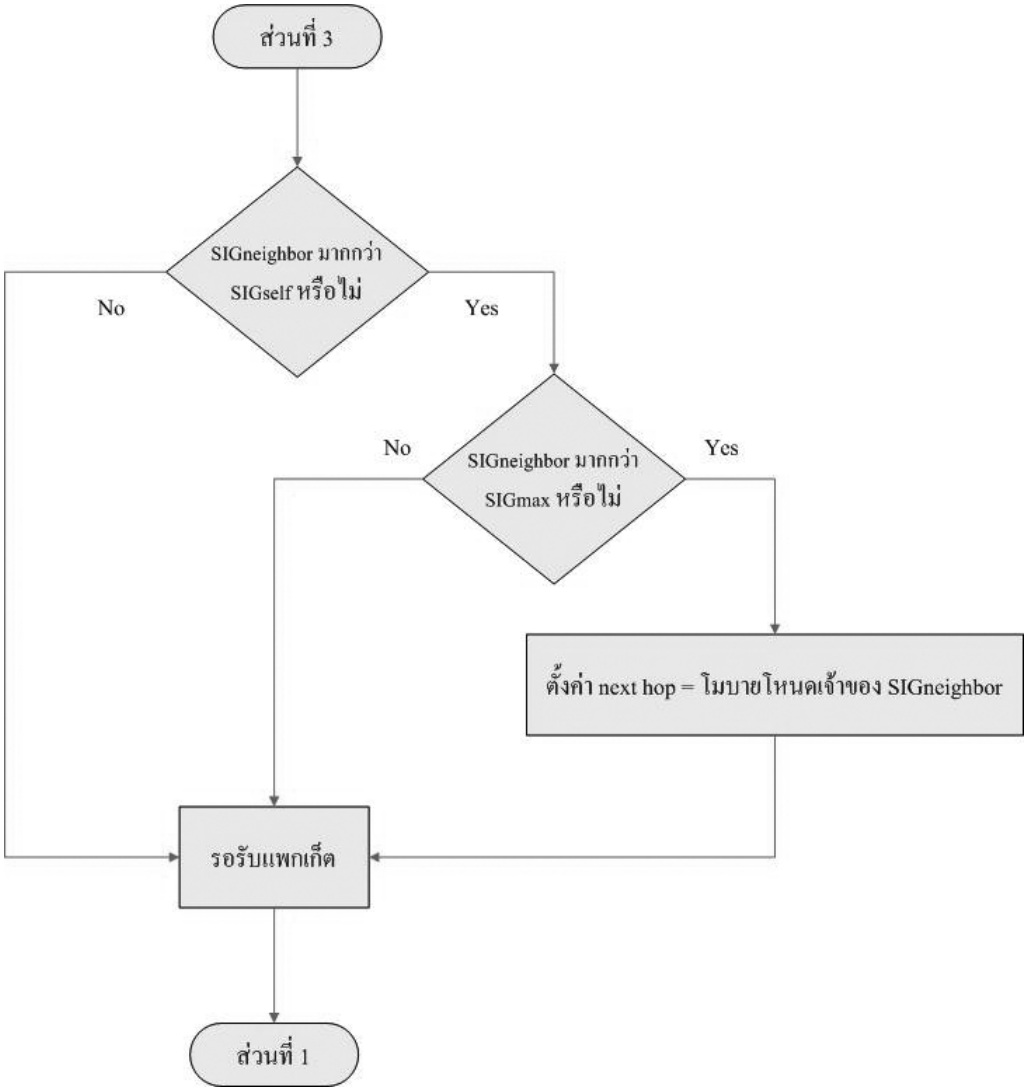
ภาพที่ 30 ผังงานของโมบายโหนด (mobile node flowchart) ส่วนที่ 1

3.2 ผังงานของโมบายโหนดส่วนที่ 2



ภาพที่ 31 ผังงานของโมบายโหนดส่วนที่ 2

3.3 ผังงานของโมบายโหนดส่วนที่ 3



ภาพที่ 32 ผังงานของโมบายโหนดส่วนที่ 3

4. การใช้งานเส้นทาง

เมื่อโมบายโหนดต้องการส่งข้อมูลไปยังแอคเซสพอยต์ ก็จะทำการเลือกโมบายโหนดที่จะทำการส่งผ่านข้อมูล (relay node) โดยเลือกจาก next hop ที่สร้างไว้ในตารางหาเส้นทางตามอัลกอริทึมที่แสดงในภาพที่ 33

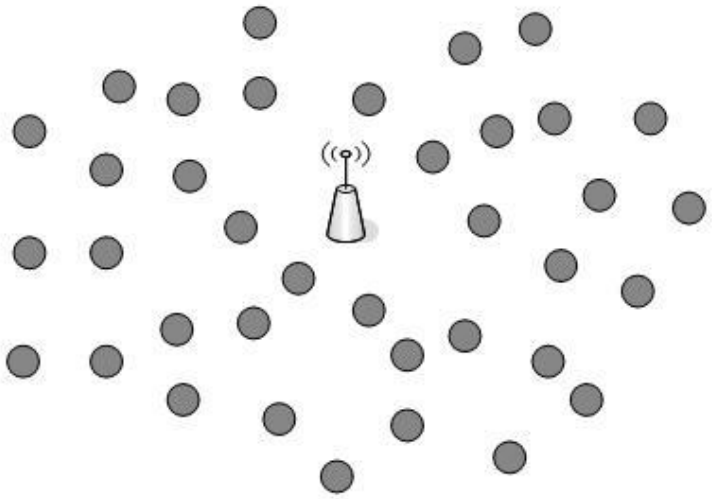
#อัลกอริทึมส่วนการใช้งานเส้นทาง

```
if (โมบายโหนดใดๆต้องการส่งขอมูลไปยังแอคเซสพอยต์) {
    ทำการส่งข้อมูลไปยัง next hop ที่สร้างไว้ในตารางหาเส้นทางเพื่อให้ส่งต่อไปยังแอคเซสพอยต์
}
```

ภาพที่ 33 อัลกอริทึมในการใช้งานเส้นทาง

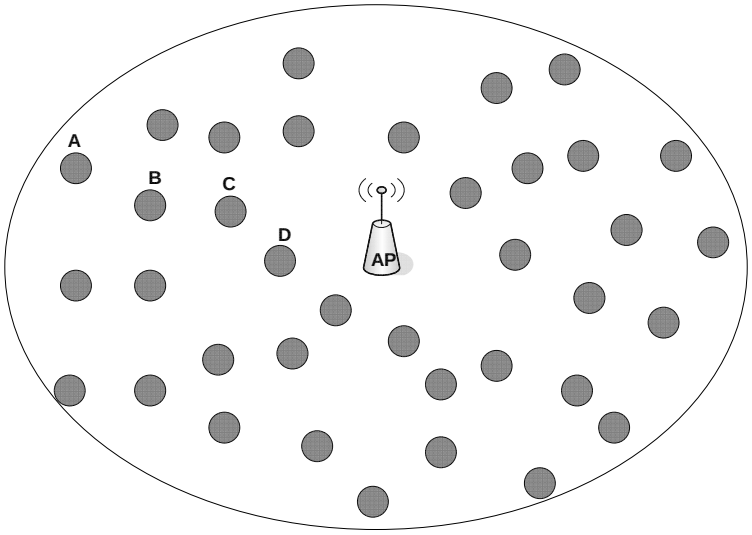
ตัวอย่างการใช้โพรโทคอล SSAR

เพื่อให้มีความเข้าใจในการทำงานของโพรโทคอล SSAR อย่างชัดเจน จึงขอยกตัวอย่างการใช้งานโพรโทคอลเพื่อใช้อธิบายการทำงานที่เกิดขึ้นในโมบายโหนด แอคเซสพอยต์ และโมบายโหนดที่เป็นรีเลย์โหนด โดยกำหนดให้มีโมบายโหนดทั้งสิ้น 37 โหนด และแอคเซสพอยต์ 1 เครื่อง ดังภาพที่ 34



ภาพที่ 34 เครือข่ายแลนไร้สายแบบขยายขอบเขต

เริ่มต้นการทำงานโมบายโหนดทุกเครื่องจะอยู่ใน Unknown State ในตารางหาเส้นทางยังไม่มีค่าฮอปถัดไป จนกว่าแอคเซสพอยต์จะส่งบีคอนออกมาเพื่อให้สัญญาณในการเริ่มต้นในกระบวนการหาเส้นทางและเปลี่ยนจาก Unknown State เข้าสู่สถานะ Prepared State ดังภาพที่ 35



ภาพที่ 35 โมบายโหนดที่ได้ยินบีคอนเข้าสู่ Prepared State

ขณะที่โมบายโหนดกำลังรับบีคอนจากแอคเซสพอยต์ จะทำการวัดค่าความแรงสัญญาณของแอคเซสพอยต์ที่ตนเองได้รับ ซึ่งแต่ละโมบายโหนดจะมีการบันทึกค่าเป็น 2 ตาราง ได้แก่ ตารางความแรงสัญญาณและตารางหาเส้นทาง จากภาพที่ 35 โมบายโหนด A วัดค่าความแรงสัญญาณที่อ่านจากแอคเซสพอยต์ได้ 10 หน่วย และทำการบันทึกลงในตารางความแรงสัญญาณดังตารางที่ 1 และตารางหาเส้นทางดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ตารางหาความแรงสัญญาณของโมบายโหนด A หลังจากได้รับบีคอนจากแอคเซสพอยต์

โมบายโหนด	ความแรงสัญญาณ (หน่วย)
A	10

ตารางที่ 2 ตารางหาเส้นทางของโหนด A หลังจากได้รับบีคอนจากแอคเซสพอยต์

โหนดปลายทาง	ฮอปถัดไป
AP	A

ในขณะเดียวกันโมบายโหนด B ก็ทำการบันทึกลงตารางความแรงสัญญาณดังตารางที่3 และตารางหาเส้นทาง ดังตารางที่ 4 เช่นกัน

ตารางที่ 3 ตารางหาความแรงสัญญาณของโหนด B หลังจากได้รับบีคอนจากแอคเซสพอยต์

โมบายโหนด	ความแรงสัญญาณ (หน่วย)
B	15

ตารางที่ 4 ตารางหาเส้นทางของโหนด A หลังจากได้รับบีคอนจากแอคเซสพอยต์

โหนดปลายทาง	ฮอปถัดไป
AP	B

หลังจากแต่ละโมบายโหนดได้รับบีคอนและบันทึกข้อมูลความแรงสัญญาณลงในทั้งสองตารางหาแล้ว จะทำการบรอดคาสต์ Hello Packet และแนบความแรงสัญญาณ ที่วัดได้จากแอคเซสพอยต์ เพื่อบอกให้โมบายโหนดข้างเคียงทราบว่าตนเองอยู่ในตำแหน่งที่วัดค่าความแรงสัญญาณของแอคเซสพอยต์ได้เท่าไร เช่น โมบายโหนด A ทำการบรอดคาสต์ Hello Pacaket และแนบค่าความแรงสัญญาณจากแอคเซสพอยต์เท่ากับ 10 ทำให้โมบายโหนด B ได้ยินและทำการคำนวณว่าความแรงสัญญาณที่ได้รับมีค่ามากที่สุดในตารางความรงสัญญาณหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะทำการบันทึกฮอปถัดไปนี้ลงในตารางหาเส้นทาง แต่ในกรณีนี้ ค่าความแรงสัญญาณที่ได้รับมีค่าน้อยกว่าค่ามากที่สุดในตารางหาความแรงสัญญาณจึงยังไม่มีการบันทึก ดังนั้นตารางหาเส้นทางของโมบายโหนด B ก็ยังมีค่าเท่ากับในตารางที่ 4 หลังจากนั้นโมบายโหนด B ก็ทำการบรอดคาสต์ Hello Packet และแนบความแรงสัญญาณซึ่งมีค่าเท่ากับ 15 ทำให้โมบายโหนด A ได้ยินและทำการคำนวณว่าความแรงสัญญาณที่ได้รับมีค่ามากที่สุดในตารางความแรงสัญญาณหรือไม่ และทำการบันทึกฮอปถัดไปลงในตารางความแรงสัญญาณดังตารางที่ 5 และตารางหาเส้นทางดังตารางที่ 6

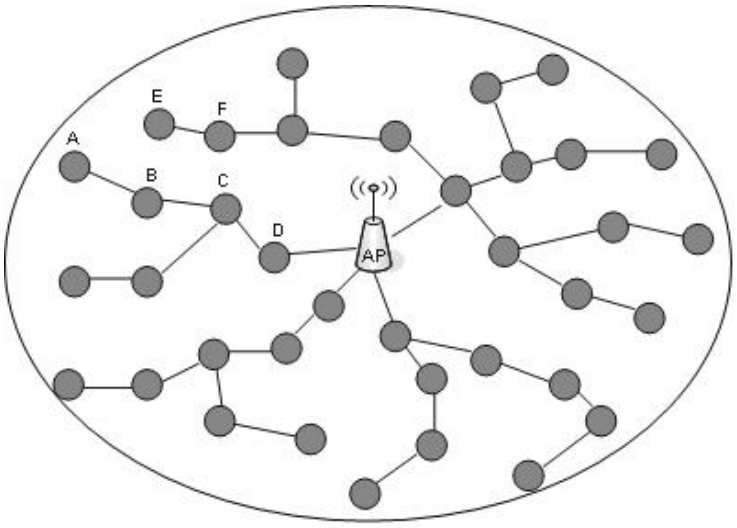
ตารางที่ 5 ตารางความแรงสัญญาณโมบายโหนด A เมื่อได้รับ Hello Packet จากโมบายโหนด B

ฮอปถัดไป	ความแรงสัญญาณ (หน่วย)
B	15
A	10

ตารางที่ 6 ตารางหาเส้นทางของโหนด A หลังจากได้รับบีคอนจากแอคเซสพอยต์

โหนดปลายทาง	ฮอปถัดไป
AP	B

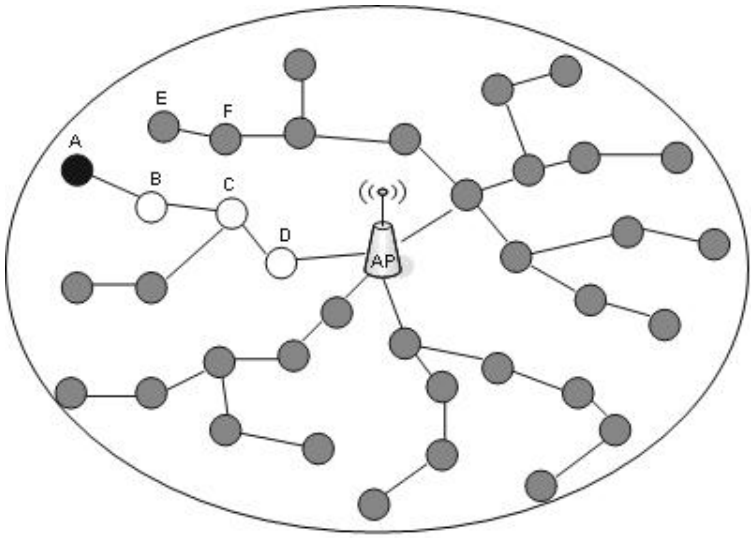
เมื่อทุกโมบายโหนดทำการรับและส่ง Hello Packet และสร้างตารางหาเส้นทางเรียบร้อยแล้ว สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 36 และเปลี่ยนเข้าสู่สถานะ Ready State และพร้อมในการส่งข้อมูลกลับไปยังแอคเซสพอยต์



ภาพที่ 36 โมบายโหนดในสถานะ Ready State

หลังจากทุกโมบายโหนดอยู่ในสถานะ Ready State แล้วโมบายโหนดใดต้องการส่งข้อมูลไปยังแอคเซสพอยต์ ก็สามารถส่งข้อมูลไปยัง ฮอปถัดไปในตารางหาเส้นทางของตนเองได้ทันที

เช่น โมบายโหนด A ต้องการส่งข้อมูลไปยังแอคเซสพอยต์ดังภาพที่37 และมีตารางหาความแรงสัญญาณและตารางหาเส้นทางของโมบายโหนดที่เป็นรีเลย์โหนดดังนี้



ภาพที่ 37 โมบายโหนดในสถานะ Ready State

ตารางที่ 7 ตารางความแรงสัญญาณของโมบายโหนด B

ฮอปถัดไป	ความแรงสัญญาณ (หน่วย)
C	20
B	15

ตารางที่ 8 ตารางหาเส้นทางของโหนด B

โหนดปลายทาง	ฮอปถัดไป
AP	C

ตารางที่ 9 ตารางความแรงสัญญาณของโมบายโหนด C

ฮอปถัดไป	ความแรงสัญญาณ (หน่วย)
D	25
C	20

ตารางที่ 10 ตารางหาเส้นทางของโหนด C

โหนดปลายทาง	ฮอปถัดไป
AP	D

ตารางที่ 11 ตารางความแรงสัญญาณของโมบายโหนด D

ฮอปถัดไป	ความแรงสัญญาณ (หน่วย)
AP	25
D	25

ตารางที่ 12 ตารางหาเส้นทางของโหนด D

โหนดปลายทาง	ฮอปถัดไป
AP	AP

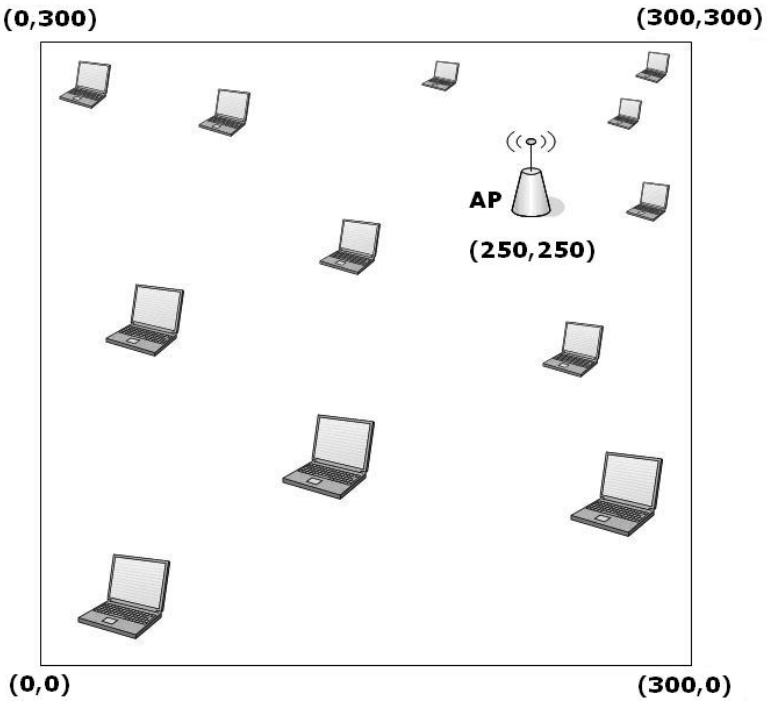
โมบายโหนด A จะใช้ตารางหาเส้นทางได้แส้นทางดังนี้ A -> B -> C -> D -> AP

ผลและวิจารณ์

การวัดประสิทธิภาพของโพรโทคอล

ในหัวข้อนี้ได้ทำการศึกษาการทำงานของระบบที่ออกแบบไว้ โดยใช้ NS2 (S. Bajaj *et al.*, 1999) เป็นเครื่องมือในการทดลองและวัดผล การออกแบบการทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการสังเกตประสิทธิภาพของโพรโทคอลที่เกิดจาก 3 ตัวแปร คือ ความหนาแน่นของโมบายโหนด ความเร็วในการเคลื่อนที่ของโมบายโหนด และคาบของการส่งบีคอนของแอคเซสพอยต์ โดยแยกเป็น 3 การทดลองโดยมีการกำหนดสภาวะต่างๆดังนี้

ทุกโมบายโหนดจะจะถูกสุ่มตำแหน่งอยู่ภายในพื้นที่สี่เหลี่ยม 300x300 ตารางเมตร แอคเซสพอยต์อยู่ที่พิกัด (250,250) ดังตัวอย่างในภาพที่ 38 โดยกำหนดให้มีการสื่อสาร 1 คู่ คือระหว่างโมบายโหนดต้นทางกับแอคเซสพอยต์ (250,250) ลักษณะการส่งข้อมูลเป็นแบบ CBR = 8 kbps, packet size = 512 bytes เวลาที่ใช้ในการทดลอง 120 วินาที



ภาพที่ 38 ตัวอย่างการวางโมบายโหนดและแอคเซสพอยต์ที่ใช้ในการทดลอง

ในการวัดประสิทธิภาพของโพรโทคอลจะใช้การวัดค่า success ratio โดยกำหนดให้ success ratio คือ ประสิทธิภาพที่ได้จากการทดลองเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ คำนวณจากอัตราส่วนระหว่างจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูล CBR ที่แอคเซสพอยต์ได้รับ (received_packet) ต่อจำนวนแพ็กเก็ตข้อมูล CBR ที่โมบายโหนดส่งทั้งหมด (sent_packet) ตามสมการ (1)

$$success_ratio = \frac{received_packet}{sent_packet} x100 \quad \text{.....(1)}$$

การทดลองที่ 1 เพื่อศึกษาผลของความหนาแน่นของโมบายโหนดต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอล

การทดลองนี้ทำการศึกษาระบบโดยกำหนดให้จำนวนโมบายโหนดมีค่าเพิ่มขึ้นคือ 20, 40, 60, 80, 100, 140, 180 และ 220 โหนด และทุกโหนดไม่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งโดยปกติแอคเซสพอยต์หนึ่งตัวสามารถรองรับการเชื่อมต่อ (associate) กับโมบายโหนดประมาณ 30 – 50 เครื่อง ขึ้นกับลักษณะการส่งข้อมูล การทดลองนี้ แม้ว่าจำนวนโมบายโหนดในระบบจะเพิ่มขึ้นมากกว่าปกติ แต่จำนวนโมบายโหนดที่ต้องเชื่อมต่อกับแอคเซสพอยต์มีเพียงกลุ่มเล็กๆที่อยู่ใกล้กับแอคเซสพอยต์เท่านั้น โมบายโหนดอื่นซึ่งเป็นส่วนใหญ่จะไม่ได้เชื่อมต่อโดยตรงกับแอคเซสพอยต์ ในการทดลองนี้ออกแบบให้มี 2 การทดลองย่อย คือ

การทดลองที่ 1.1 โมบายโหนดต้นทางที่ต้องการส่งข้อมูลถูกกำหนดตำแหน่งให้คงที่ตลอดเวลาที่พิกัด (50,50) ดังตารางที่ 13 โดยทำการทดลองซ้ำทั้งสิ้น 8 ครั้งต่อกรณี

ตารางที่ 13 การทดลองที่ 1.1 โหนดต้นทางมีตำแหน่งคงที่

พารามิเตอร์	การตั้งค่า
จำนวนโหนด	20, 40, 60, 80, 100, 140, 180 และ 220 โหนด
ความเร็วในการเคลื่อนที่	0 เมตรต่อวินาที
จำนวนคู่ในการสนทนา	1 คู่
พิกัดของโมบายโหนดต้นทาง	(50,50)
พื้นที่	300 x 300 ตารางเมตร

การทดลองที่ 1.2 โมบายโหนดต้นทางที่ต้องการส่งข้อมูลถูกสุ่มตำแหน่งซึ่งทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 8 ครั้งโดยแต่ละครั้งจะทำการสุ่มตำแหน่งโหนดต้นทางใหม่ ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 การทดลองที่ 1.2 โหนดต้นทางมีการสุ่มตำแหน่ง

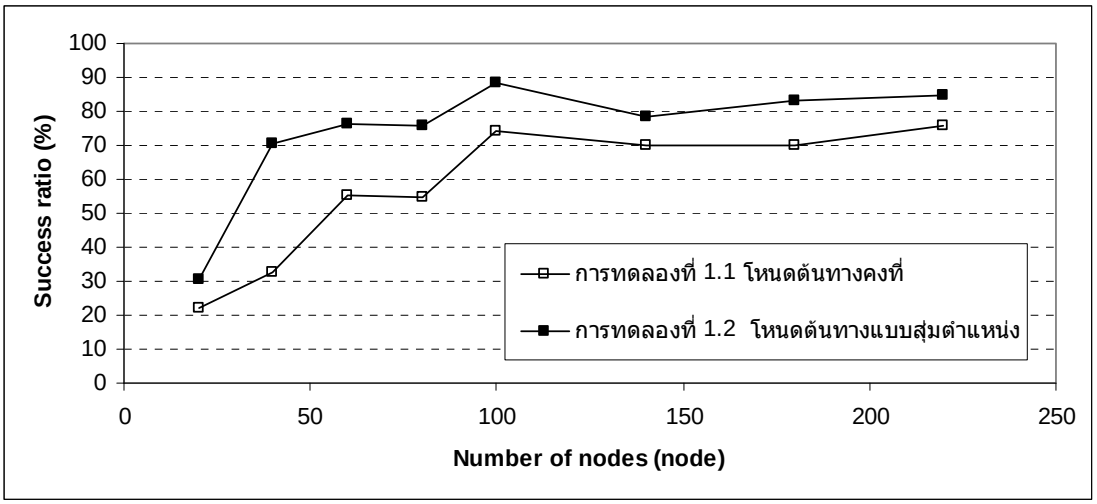
พารามิเตอร์	การตั้งค่า
จำนวนโหนด	20, 40, 60, 80, 100, 140, 180 และ 220 โหนด
ความเร็วในการเคลื่อนที่	0 เมตรต่อวินาที
จำนวนคู่ในการสนทนา	1 คู่
พิกัดของโมบายโหนดต้นทาง	สุ่มพิกัด
พื้นที่	300 x 300 ตารางเมตร

ผลการทลองที่ 1

จากผลการทดลองที่ได้แสดงในภาพที่ 39 จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของโมบายโหนดมีผลต่อการส่งสำเร็จโดยสามารถพิจารณาได้เป็น 2 ช่วงคือ ช่วงแรกเป็นช่วงที่โหนดมีจำนวนน้อยถึงปานกลาง น้อยกว่า 100 โหนด และช่วงที่สองตั้งแต่ 100 โหนดขึ้นไป เป็นช่วงที่โหนดมีจำนวนปานกลางถึงมาก โดยทั้งสองช่วงจะแสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะของการทำงานที่แตกต่างกันของโพรโทคอล กล่าวคือ

ช่วงแรก ประสิทธิภาพของโพรโทคอลจะแปรผันตามจำนวนโมบายโหนดที่เพิ่มขึ้น จาก 20 ไปจนถึง 70 % ในการทดลองที่ 1.1 และ จาก 30 ไปจนถึง 90% ในการทดลองที่ 1.2 เนื่องจากในช่วงที่มีจำนวนโมบายโหนดน้อย โอกาสที่จะหาเส้นทางสำเร็จมีน้อยและโอกาสสำเร็จจะเพิ่มขึ้นตามโมบายโหนดเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพของโพรโทคอลเพิ่มขึ้นตามจำนวนโมบายโหนด

ช่วงที่สอง ผลของจำนวนโมบายโหนดทำให้ประสิทธิภาพของโพรโทคอลคงที่อยู่ที่ประมาณ 70% ในการทดลองที่ 1.1 และ ประมาณ 80% ในการทดลองที่ 1.2 โดยไม่ขึ้นกับจำนวนโมบายโหนดที่เพิ่มขึ้น (แม้ว่าจำนวนโหนดเพิ่มขึ้นก็ไม่ทำให้มีเส้นทางที่สั้นลง) เนื่องจากเป็นช่วงต่อเนื่องจากช่วงแรกและมีจำนวนโมบายโหนดมากเพียงพอต่อการหาเส้นทางในเครือข่าย ช่วงนี้ถือว่าเป็นช่วงที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานโพรโทคอล SSAR

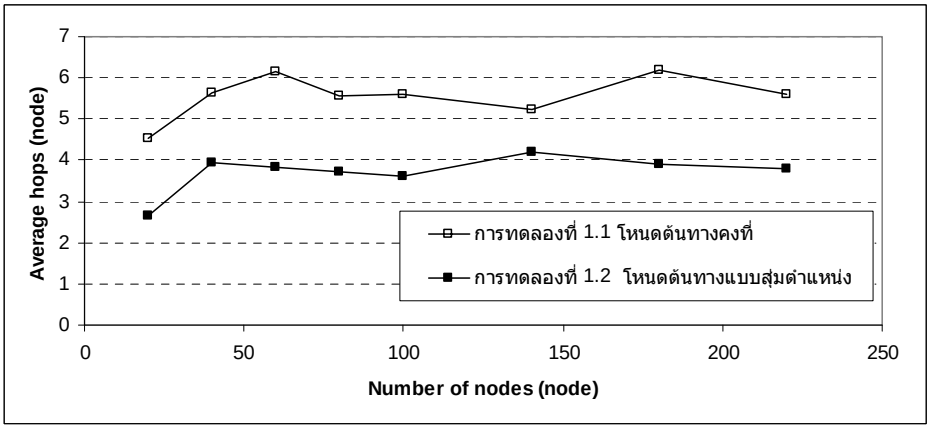


ภาพที่ 39 ผลการทดลองที่ 1 ความหนาแน่นของโมบายโหนดต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอล

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลจากการทดลองที่ 1 พบว่าช่วงที่จำนวนโมบายโหนดในระบบมีค่าน้อยๆ โพรโทคอล SSAR จะมีประสิทธิภาพไม่มากนักเนื่องจากมีกรณีที่มีจำนวนโมบายโหนดไม่เพียงพอในการหาเส้นทางมาก ดังนั้นในช่วงนี้ประสิทธิภาพจึงแปรผันตรงกับจำนวนโมบายโหนด ในช่วงถัดมาคือช่วงที่มีจำนวนโมบายโหนดเหมาะสมสำหรับการใช้งานโพรโทคอล SSAR เนื่องจากเกิดกรณีที่มีจำนวนโมบายโหนดเพียงพอต่อการหาเส้นทางมาก ช่วงสุดท้ายคือช่วงที่จำนวนโมบายโหนดมีมากจนเกินไป ถึงแม้ว่าจะมีจำนวนวนโมบายโหนดเพียงพอต่อการหาเส้นทางก็ตาม แต่ก็ทำให้มีจำนวนการชนกันของแพ็กเก็ตหาเส้นทางมสูงมากจนกระทั่งทำให้ประสิทธิภาพตกลง และในการเปรียบเทียบระหว่างการทดลองที่ 1.1 และ 1.2 จะเห็นว่าประสิทธิภาพของโพรโทคอลในการทดลองที่ 1.2 จะสูงกว่าในการทดลองที่ 1.1 เนื่องจากในการทดลองที่ 1.1 มีการกำหนดพิกัดให้โมบายโหนดต้นทางคงที่ที่พิกัด (50,50) ซึ่งถือว่าเป็นตำแหน่งที่มีโอกาสในการหาเส้นทางได้น้อยกว่าตำแหน่งอื่นหรือตำแหน่งแบบสุ่มเช่นในการทดลองที่ 1.2 เนื่องจากเป็นตำแหน่งที่อยู่ห่างจากแอคเซสพอยต์และอยู่ใกล้กับมุมพิกัด (0,0) จึงทำให้มีประสิทธิภาพต่ำกว่าในการทดลองที่ 1.2 ตลอดทั้งการทดลองดังภาพที่ 39

จากภาพที่ 40 จะเห็นว่าแม้จำนวนโมบายโหนดในระบบจะเพิ่มขึ้นแต่จำนวนฮอปเฉลี่ยที่ใช้ส่งต่อข้อมูลจากโหนดต้นทางไปยังแอคเซสพอยต์ค่อนข้างคงที่ และเป็นไปตามที่คาดไว้จากเงื่อนไขของโพรโทคอลที่เลือกโมบายโหนดเพื่อนบ้านที่ได้รับความแรงสัญญาณมากที่สุดจากแอคเซสพอยต์จึงไม่มีมีการส่งข้อมูลต่อไปยังโมบายโหนดที่ไม่เกี่ยวข้อง ทำให้จำนวนฮอปเฉลี่ย

ค่อนข้างคงที่ ประมาณ 5-6 ฮอป ในการทดลองที่ 1.1 และ ประมาณ 4 ฮอป ในการทดลองที่ 1.2 และจำนวนฮอปเฉลี่ยในการทดลองที่ 1.1 จะมีค่ามากกว่าในการทดลองที่ 1.2 ตลอดการทดลอง เนื่องจากในการทดลองที่ 1.2 จะมีโอกาสที่โมบายโหนดจะถูกสุ่มแล้วอยู่ใกล้กับแอคเซสพอยต์ได้มากกว่าในการทดลองที่ 1.1



ภาพที่ 40 จำนวนฮอปเฉลี่ยจากการทดลองที่ 1

การทดลองที่ 2 ผลของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโมบายโหนดต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอล

ในการทดลองนี้ กำหนดให้โมบายโหนดมีการเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง ไม่มีการหยุด ณ ตำแหน่งใด ๆ แต่ละโมบายโหนดมีความเร็วเปลี่ยนไป โดยเริ่มจาก 3, 6, 9, 12, 15 และ 27 เมตรต่อวินาที โดยมีค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 การทดลองที่ 2

พารามิเตอร์	การตั้งค่า
จำนวนโหนด	5, 10, 15 และ 40 โหนด
ความเร็วในการเคลื่อนที่	3, 6, 9, 12, 15 และ 27 เมตรต่อวินาที
ลักษณะการเคลื่อนที่	Random way points
ช่วงเวลาในการการหยุดเคลื่อนที่	ไม่มี
จำนวนคู่ในการสนทนา	1 คู่
พื้นที่	300 x 300 ตารางเมตร

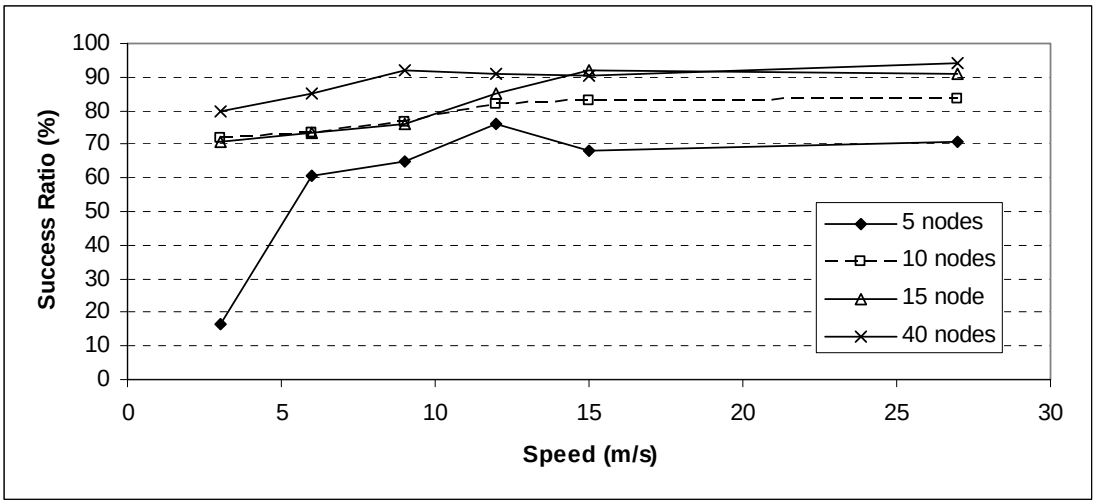
ผลการทดลองที่ 2

จากผลการทดลองที่ได้แสดงในภาพที่ 41 จะเห็นว่า ความเร็วในการเคลื่อนที่ของโมบายโหนดนั้นมีผลต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอล ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงแรก น้อยกว่า 15 เมตรต่อวินาที เป็นช่วงที่โหนดมีความเร็วน้อยถึงปานกลาง และช่วงที่สอง (15- 27 เมตรต่อวินาที) เป็นช่วงที่โหนดมีความเร็วปานกลางถึงมาก โดยทั้งสองช่วงจะแสดงให้เห็นถึงคุณลักษณะของการทำงานที่แตกต่างกันของโพรโทคอล กล่าวคือ

ช่วงแรก (0-15 เมตรต่อวินาที) ประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามความเร็วที่เพิ่มขึ้นของโมบายโหนด โดยจะเห็นชัดเจนที่ 5 โหนด มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นถึง 50% ส่วนที่ 10, 15 และ 40 โหนด ประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้น ประมาณ 10-20% เนื่องจาก ที่ 10, 15 และ 40 โหนดจะมีโอกาสในการหาเส้นทางที่สามารถเชื่อมต่อถึงแอคเซสพอยต์ได้มากกว่าในขณะไม่มีการเคลื่อนที่ตามการทดลองที่ 1 ทำให้เมื่อมีการเคลื่อนที่มีผลทำให้ประสิทธิภาพของโพรโทคอลดีขึ้นแต่ไม่มากนัก ในทางตรงกันข้ามที่ 5 โหนด ในภาวะปกติที่ไม่มีการเคลื่อนที่และจากข้อสรุปในการทดลองที่ 1 ประสิทธิภาพของโพรโทคอลจะมีค่าต่ำเนื่องจากมีโอกาสในการหาเส้นทางที่สามารถเชื่อมต่อกับแอคเซสพอยต์ได้น้อย ทำให้เมื่อมีการเคลื่อนที่มีผลทำให้ประสิทธิภาพของโพรโทคอลดีขึ้นมาก

ช่วงที่สอง (15- 27 เมตรต่อวินาที) ช่วงนี้ประสิทธิภาพจะค่อนข้างคงที่ในทุกโมบายโหนดไม่ขึ้นกับความเร็วที่เพิ่มขึ้น ช่วงนี้ถือว่าเป็นช่วงที่เหมาะสำหรับการใช้งานโพรโทคอล เนื่องจากความเร็วในช่วงแรกสามารถทำให้โอกาสในการหาเส้นทางที่สามารถเชื่อมต่อกับแอคเซสพอยต์มีมากขึ้นจนเพียงพอแล้ว ทำให้การเพิ่มความเร็วที่มากไปกว่าช่วงแรกไม่มีผลให้ประสิทธิภาพของโพรโทคอลสูงขึ้น แต่ก็ไม่ทำให้ประสิทธิภาพของโพรโทคอลลดลง

จากผลการทดลองที่ 2 การที่โมบายโหนดมีการเคลื่อนที่ ทำให้ประสิทธิภาพในการหาเส้นทางดีขึ้น โดยเฉพาะในกรณีที่จำนวนโมบายโหนดในระบบมีค่าน้อยๆจะส่งผลชัดเจน เพราะการเคลื่อนที่ทำให้โมบายโหนดมีการเปลี่ยนตำแหน่ง จึงทำให้มีโอกาสเกิดกรณีที่มีโมบายโหนดเพียงพอต่อการหาเส้นทางที่สามารถเชื่อมต่อกับแอคเซสพอยต์ได้มากขึ้น ดังนั้นโพรโทคอล SSAR เหมาะสำหรับการใช้งานในเครือข่ายที่โมบายโหนดมีการเคลื่อนที่ โดยเฉพาะในกรณีที่จำนวนโมบายโหนดในระบบมีค่าน้อยๆจะส่งผลชัดเจน



ภาพที่ 41 ผลการทดลองที่ 2 ผลของความเร็วในการเคลื่อนที่ของโมบายโหนดต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอล

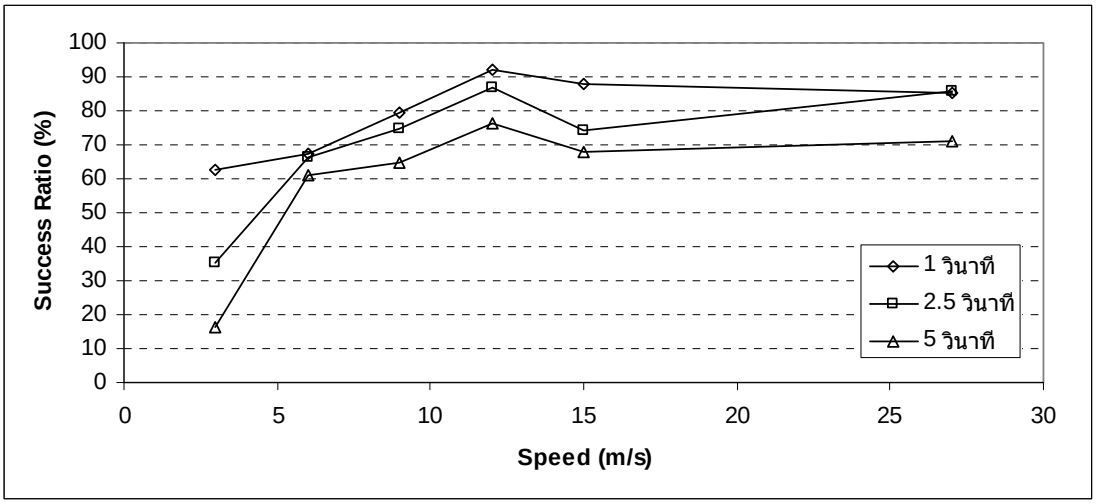
การทดลองที่ 3 ความเหมาะสมของคาบเวลาที่ใช้ส่งบีคอนของแอคเซสพอยต์

วัตถุประสงค์การทดลองเพื่อที่จะดูความเหมาะสมของคาบเวลาที่ใช้ส่งบีคอนของแอคเซสพอยต์ที่ใช้กำกับจังหวะในการหาเส้นทาง กับประสิทธิภาพของโพรโทคอล ซึ่งทำการออกแบบการทดลองให้คาบของการส่งบีคอนจากแอคเซสพอยต์ คือ T= 1, 2.5 และ 5 วินาที โดยที่ ทุกโมบายโหนดมีการเคลื่อนที่ยกเว้นโมบายโหนดต้นทางและแอคเซสพอยต์ โดยจำนวนโมบายโหนดที่ใช้ทำการทดลองคือ 5 โหนด โดยมีค่าพารามิเตอร์ดังตารางที่ 16

ตารางที่ 16 การทดลองเพื่อที่จะดูความเหมาะสมของคาบเวลาที่ใช้ส่งบีคอนของแอคเซสพอยต์

พารามิเตอร์	การตั้งค่า
จำนวนโหนด	5 โหนด
ความเร็วในการเคลื่อนที่	3, 6, 9, 12, 15 และ 27 เมตรต่อวินาที
ลักษณะการเคลื่อน	Random way points
จำนวนคู่ในการสนทนา	1 คู่
ช่วงเวลาในการการหยุดเคลื่อนที่	ไม่มี
คาบของบีคอน	1, 2.5 และ 5 วินาที
พื้นที่	300 x 300 ตารางเมตร

ผลการทดลองที่ 3



ภาพที่ 42 ผลการทดลองที่ 3 ความเหมาะสมของคาบเวลาที่ใช้ส่งบีคอนของแอคเซสพอยต์

จากผลการทดลองที่ 3 ได้แสดงในภาพที่ 42 จะเห็นว่าผลของการเคลื่อนที่และความเร็วต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอลยังคงเป็นไปตามการทดลองที่ 2 ทั้งสองช่วงความเร็ว คือ ช่วงแรก 0-15 m/s ประสิทธิภาพมีค่าเพิ่มขึ้นแปรผันตามความเร็วที่เพิ่มขึ้นของโมบายโหนด เนื่องจากการเคลื่อนที่ทำให้โมบายโหนดมีการเปลี่ยนตำแหน่ง จึงทำให้มีโอกาสเกิดกรณีที่มีโมบายโหนดเพียงพอต่อการหาเส้นทางที่สามารถเชื่อมต่อกับแอคเซสพอยต์ได้มากขึ้น และช่วงที่สอง 15-27 m/s เนื่องจากความเร็วในช่วงแรกสามารถทำให้โอกาสในการหาเส้นทางที่สามารถเชื่อมต่อกับแอคเซสพอยต์มีมากขึ้นจนเพียงพอแล้ว จึงทำให้การเพิ่มความเร็วที่มากไปกว่าช่วงแรกไม่มีผลให้ประสิทธิภาพของโพรโทคอลสูงขึ้น แต่ก็ไม่ทำให้ประสิทธิภาพของโพรโทคอลลดลง อย่างไรก็ตามในการทดลองนี้ได้มีการใช้คาบเวลาในการส่งบีคอนที่ต่างกัน คือ 1, 2.5 และ 5 วินาที ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของโพรโทคอลอย่างชัดเจน กล่าวคือ ตลอดการทดลองการใช้คาบเวลาสำหรับส่งบีคอนที่น้อยกว่าจะทำให้โพรโทคอลมีประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้คาบเวลาในการส่งบีคอนที่น้อย เนื่องจากการใช้คาบเวลาที่น้อยทำให้โมบายโหนดสามารถอัปเดตค่าในตารางหาเส้นทางได้บ่อยขึ้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพของโพรโทคอลดีขึ้นแม้ในช่วงที่มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่มากก็ตาม

จากผลการทดลองที่ 3 พบว่าในระบบที่มีจำนวนโมบายโหนดน้อยๆและมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่มากนั้น การปรับค่าคาบเวลาในการส่งบีคอนให้มีค่าน้อยลง มีผลทำให้ประสิทธิภาพใน

การหาเส้นทางดีขึ้นเนื่องจากทำให้โมบายโหนดสามารถปรับปรุงตารางการหาเส้นทาง (routing table) ได้บ่อยขึ้น แต่การลดค่าคาบของการส่งบีคอนจะทำให้จำนวนแพ็กเก็ตหาเส้นทางในระบบมีค่ามากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นในการจะเพิ่มประสิทธิภาพของการหาเส้นทางควรทำในกรณีที่มีจำนวนโมบายโหนดมีค่าไม่มากนัก

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้ได้เสนออัลกอริทึมในการหาเส้นทางของโมบายโหนดที่เรียกว่า SSAR เพื่อสื่อสารแอคเซสพอยต์ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของปัญหา asymmetrical link โดยอาศัยความแรงสัญญาณของแอคเซสพอยต์ในระบบแลนไร้สายแบบขยายขอบเขต ซึ่งเป็นโพรโทคอลที่ง่ายเพราะใช้เพียงแค่ความแรงสัญญาณ มีสภาวะการทำงานไม่ซับซ้อน และรองรับการเคลื่อนที่ของโมบายโหนดด้วยจำนวนฮอปคงที่ไม่เพิ่มตามจำนวนโมบายโหนดที่เพิ่มขึ้นตามที่ได้คาดการณ์ไว้ตั้งแต่ตอนเริ่มออกแบบโพรโทคอล

การใช้งานโพรโทคอลอย่างมีประสิทธิภาพต้องคำนึงสภาพแวดล้อมของเครือข่ายได้แก่ ความหนาแน่นหรือจำนวนโมบายโหนดในเครือข่าย ความเร็วในการเคลื่อนที่ของโมบายโหนด และคาบเวลาในการส่งบีคอนของแอคเซสพอยต์ กล่าวคือในเครือข่ายที่มีจำนวนโมบายโหนดปานกลางถึงมาก (ไม่เกิน 100 โหนด) จะมีประสิทธิภาพสูง 70-80% สำหรับเครือข่ายที่มีจำนวนโมบายโหนดน้อย (น้อยกว่า 40 โหนด) การเคลื่อนที่จะช่วยให้ประสิทธิภาพดีขึ้น 10-50% และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการหาเส้นทางขึ้นอีกโดยการลดค่าคาบของการส่งบีคอน จากการทดลอง การปรับลดคาบของบีคอนลง 5 เท่า ทำให้ประสิทธิภาพของโพรโทคอลดีขึ้นประมาณ 20% แต่ทั้งนี้การลดคาบของบีคอนเหมาะกับเครือข่ายที่มีจำนวนโมบายโหนดน้อย เพราะการลดคาบการส่งของบีคอนจะทำให้จำนวนแพ็กเก็ตหาเส้นทางในระบบสูงขึ้น โดยจำนวนฮอปเฉลี่ยที่ใช้ในการส่งข้อมูลกลับไปยังแอคเซสพอยต์มีคงที่ ซึ่งเป็นไปตามที่คาดไว้จากจากเงื่อนไขของโพรโทคอลที่ออกแบบให้เลือกโมบายโหนดเพื่อนบ้านที่ได้รับความแรงสัญญาณมากที่สุดจากแอคเซสพอยต์จึงไม่มีมีการส่งข้อมูลต่อไปยังโมบายโหนดที่ไม่เกี่ยวข้อง

ข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยที่นำเสนอมีแนวทางสำหรับการพัฒนางานวิจัยในอนาคตดังนี้ การปรับเปลี่ยนคาบเวลาในการส่งบีคอนตามความเร็วของโหนดแบบอัตโนมัติ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาวะของเครือข่าย ทำให้เกิดการใช้งานโพรโทคอลในเครือข่ายอย่างมีมีประสิทธิภาพ เช่น สามารถลด

จำนวนบีคอนในเครือข่าย ด้วยการเพิ่มคาบของการส่งบีคอนในเครือข่ายที่โมบายโหนดมีการเคลื่อนที่น้อย ซึ่งไม่จำเป็นต้องปรับปรุงตารางการหาเส้นทางบ่อย และข้อที่สามารถปรับปรุงให้งานวิจัยดีขึ้นคือ การเพิ่มเงื่อนไขในการเลือกเส้นทางเพิ่มขึ้นจากความแรงสัญญาณเพียงอย่างเดียว เช่น ในกรณีที่ไม่มีเส้นทางที่เชื่อมต่อไปยังแอคเซสพอยต์ของโมบายโหนดที่ได้รับความแรงสัญญาณมากที่สุดจากแอคเซสพอยต์สามารถเพิ่มเงื่อนไขให้ย้อนกลับมาเพื่อหาเส้นทางใหม่ได้ จะช่วยให้ลดจำนวนเส้นทางที่ไม่สามารถส่งต่อไปยังแอคเซสพอยต์ได้

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

อนันต์ ผลเพิ่ม. 2007. **แลนไร้สาย.** ซีเอ็ดยูเคชั่น, กรุงเทพฯ.

A. Iwata, C.-C. Chiang, G. Pei, M. Gerla and T. Chen. 1999. Scalable Routing Strategies for Ad-hoc Wireless Networks. **IEEE JSAC** 1999: 1369–79.

B. Bellur and R. G. Ogier. 1999. A Reliable, Efficient Topology Broadcast Protocol for Dynamic Networks. **Proc. IEEE INFOCOM '99**

B. Karp and H. T. Kung. 2000. GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks. **Proc. 6th Annual Int'l. Conf. Mobile Computing and Networking (MobiCom 2000)** : 243-54.

C. -C. Chiang and M. Gerla. 1997. Routing and Multicast in Multihop, Mobile Wireless Networks. **Proc. IEEE ICUPC '97**

C. E. Perkins and E. M. Royer. 1999. Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing. **Proc. IEEE WMCSA '99** : 90-100.

C. Santivanez, R. Ramanathan, and I. Stavrakakis. 2001. Making Link-State Routing Scale for Ad Hoc Networks. **ACM Int'l. Symp. Mobile Ad Hoc Net. Comp.**

D. B. Johnson and D. A. Maltz. 1996. Dynamic Source Routing in Ad Hoc Wireless Networks. **Mobile Computing**

G. Pei, M. Gerla, and T.-W. Chen. 2000. Fisheye State Routing: A Routing Scheme for Ad Hoc Wireless Networks. **Proc. ICC 2000**

G. Pei, M. Gerla and X. Hong. 2000. LANMAR: Landmark Routing for Large Scale Wireless Ad Hoc Networks with Group Mobility. **Proc. IEEE/ACM Mobi-HOC 2000** : 11-18.

G. Pei, M. Gerla, X. Hong and C.-C. Chiang. 1999. A Wireless Hierarchical Routing Protocol with Group Mobility. **Proc. IEEE WCNC '99**

J. C. Navas and T. Imielinski. 1997. Geographic Addressing and Routing. **Proc. 3rd ACM/IEEE Intn'l. Conf. Mobile Comp. Net.**

M. Gerla, X. Hong, and G. Pei. 2000. Landmark Routing for Large Ad Hoc Wireless Networks. **Proc. IEEE GLOBECOM 2000**

R. G. Ogier, F. L. Templin, B. Bellur and M. G. Lewis. 2002. Topology Broadcast based on Reverse-Path Forwarding (TBRPF). **draft-ietf-manet-tbrpf-05.txt, INTERNET-DRAFT, MANET Working Group**

S. Basagni, I. Chlamtac, V. R. Syrotiuk and B. A. Woodward. 1998. A Distance Routing Effect Algorithm for Mobility (DREAM). **ACM/IEEE Int'l. Conf. Mobile Comp. Net.** : 76-84.

S. Bajaj, L. Breslau, D. Estrin, K. Fall, S. Floyd, P. Haldar, M. Handley, A. Helmy, J. Heidemann, P. Huang, S. Kumar, S. McCanne, R. Rejaie, P. Sharma, K. Varadhan, Y. Xu, H. Yu and Daniel Zappala. 1999. Improving Simulation for Network Research. **Technical Report 99-702**

T. Clausen, P. Jacquet, A. Laouiti, P. Minet, P. Muhlethaler, A. Qayyum and L.Viennot. 2001. Optimized Link State Routing Protocol. **draft-ietf-manet-olsr-05.txt, Internet Draft, IETF MANET Working Group**

X. Hong, K. Xu, and M. Gerla. 2002. Scalable Routing Protocols for Mobile Ad Hoc Networks. **IEEE Network** 2002

Y.-B. Ko and N. H. Vaidya. 2000. Location-aided routing (LAR) in mobile ad hoc networks. **Wireless Networks, Volume 6 Issue 4.** : 307-321.

Z. J. Haas and M. R. Pearlman. 2001. The Performance of Query Control Schemes for the Zone Routing Protocol. **ACM/IEEE Trans. Net.**

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

การติดตั้งโปรแกรมจำลองเครือข่าย Network Simulator 2 (NS2)

การติดตั้งโปรแกรมจำลองเครือข่าย Network Simulator 2 (NS2)

Network Simulator คือ โปรแกรมที่ใช้สำหรับจำลองเหตุการณ์ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ช่วยในการทำงานวิจัยทางด้านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ได้เป็นอย่างดี โดยสามารถทดแทนการใช้เครือข่ายคอมพิวเตอร์จริงในการทดลองได้ ซึ่งบางครั้งอาจต้องใช้คอมพิวเตอร์เป็นจำนวนมากทำให้มีค่าใช้จ่ายในการวิจัยสูง โดยโปรแกรมนี้สามารถใช้งานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการ Window และ Unix ในการติดตั้งโปรแกรมสามารถทำได้ 2 วิธี คือ ติดตั้งที่ละ Component หรือติดตั้งแบบ all at one ซึ่งในตัวอย่างที่จะกล่าวถึงนี้จะทำการติดตั้งแบบ all at one โดยเวอร์ชันที่ใช้ติดตั้งคือ NS-allinone-2.31

1. ดาวน์โหลดโปรแกรม Network Simulator

1.1 สามารถดาวน์โหลด NS-allinone Version 2.31 ได้ที่ http://sourceforge.net/project/showfiles.php?group_id=149743&package_id=169689&release_id=492770

2.การติดตั้ง

2.1 สร้างไดเร็กทอรีที่ต้องการเพื่อใช้เก็บ nsallinone-2.31 โดยในตัวอย่างนี้จะเก็บไว้ที่ /home/user/NS และนำไฟล์ ns-allinone-2.31.tar ที่ดาวน์โหลดมาไว้ในไดเร็กทอรีที่สร้างไว้

2.2 พิมพ์คำสั่ง tar -xvzf ns-allinone- 2.31.tar.gz เพื่อทำการแตกไฟล์ ns-allinone-2.31.tar

2.3 เข้าไปที่ไดเร็กทอรีที่เก็บไฟล์ ns-allinone-2.31 และพิมพ์คำสั่ง ./install เพื่อทำการติดตั้ง ซึ่งในการคอมไพล์ NS2 นั้นใช้เวลามากน้อยแตกต่างกันขึ้นอยู่กับความสามารถของคอมพิวเตอร์ที่ทำการติดตั้ง

เพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างสะดวก หลังจากทำการติดตั้ง NS2 เสร็จแล้ว ควรทำการตั้งค่า PATH โดยเพิ่มคำสั่งลงใน /etc/bash.bashrc ซึ่งใช้คำสั่ง vi bash.bashrc เพื่อจะทำการตั้งค่า PATH หลังจากข้ามาใน bash.bashrc แล้วให้ทำการตั้งค่า PATH ดังนี้

PATH=$PATH:$HOME/bin

PATH=$PATH:/home/user/NS/ns-allinone-2.31/bin

PATH=$PATH:/home/user/NS/ns-allinone-2.31/tcl8.4.14/unix

PATH=$PATH:/home/user/NS/ns-allinone-2.31/tk8.4.14/unix

LD_LIBRARY_PATH=/home/user/NS/ns-allinone-2.31/otcl-1.13

LD_LIBRARY_PATH=$LD_LIBRARY:/home/user/NS/ns-allinone-2.31/lib,

TCL_LIBRARY==/home/user/NS/ns-allinone-2.31/tcl8.4.14/library

export PATH LD_LIBRARY_PATH TCL_LIBRARY

การตรวจสอบการตั้งค่า PATH สามารถทำได้ด้วยการพิมพ์ ns<TAB> ถ้ามีคำสั่ง ns ปรากฏขึ้นแสดงว่าการตั้งค่า PATH ถูกต้อง

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายฉกรรจ์ พราหมณ์แก้ว
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 15 มีนาคม 2526
สถานที่เกิด	ราชบุรี
ประวัติการศึกษา	ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปี พ.ศ. 2548
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	