แบบแผนการกระจายข้อมูลและรอส่งข้อมูลโดยอาศัยความแตกต่างของเพื่อนบ้านในอดีต สำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง

นายวิทวัส พฤกษะศรี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository(CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

THE DIFFERENT NEIGHBOR-HISTORY SPRAY AND WAIT ROUTING SCHEME FOR DELAY TOLERANT NETWORKS

Mr.Vittawus Prueksasri

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering

Department of Computer Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แบบแผนการกระจายข้อมูลและรอส่งข้อมูลโดยอาศัยความแตกต่างของเพื่อนบ้านในอดีต สำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง
โดย	นายวิทวัส พฤกษะศรี
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

……. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกริก ภิรมย์โสภา)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย)

……กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมเอก อินทนากรวิวัฒน์)

……กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม)

วิทวัส พฤกษะศรี : แบบแผนการกระจายข้อมูลและรอส่งข้อมูลโดยอาศัยความแตกต่างของเพื่อนบ้านในอดีต สำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง (THE DIFFERENT NEIGHBOR-HISTORY SPRAY AND WAIT ROUTING SCHEME FOR DELAY TOLERANT NETWORKS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผศ.ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย, 46 หน้า.

เครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง (Delay Tolerant Networks: DTNs) เป็นเครือข่ายที่มีคุณลักษณะพิเศษ คือ จะเกิดการแยกตัวของเครือข่าย (Network partition) บ่อยครั้ง จึงทำให้ไม่สามารถหาเส้นทางการเชื่อมต่อจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางได้ ซึ่งงานวิจัยที่ผ่านมาที่ได้นำเสนอโพรโทคอลหาเส้นทางที่มุ่งเน้นเพิ่มปริมาณข้อมูลที่ส่งถึงโหนดปลายทาง แต่ไม่มีวิธีการใดที่ให้ความสำคัญกับปัญหาการเกิดค่าใช้จ่ายในการสื่อสารของโพรโทคอลที่มีมากเกินไป เพื่อแลกมาซึ่งปริมาณข้อมูลที่ส่งถึงโหนดปลายทางที่มากขึ้น

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบและพัฒนาแบบแบบแผนการกระจายข้อมูลและรอส่งข้อมูลโดยอาศัยความแตกต่างของเพื่อนบ้านในอดีต สำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง โดยโหนดผู้ส่งจะอาศัยข้อมูลรายการเพื่อนบ้านในอดีต(Neighbor history list) ของโหนดเพื่อนบ้านในการคำนวณหาจำนวนสำเนาข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับส่งให้โหนดเพื่อนบ้านที่เป็นโหนดผู้รับนั้น จากผลการทดลองพบว่า โพรโทคอลหาเส้นทางที่นำเสนอสามารถลดค่าใช้จ่ายในการสื่อสารลงจากโพรโทคอลเดิมลงได้ โดยไม่ได้ทำให้ปริมาณข้อมูลที่ถูกส่งถึงโหนดปลายทางลดลง สามารถลดภาระของเครือข่ายลงได้ และโพรโทคอลยังมีความคุ้มค่าในการส่งข้อมูลมากกว่าโพรโทคอลเดิม

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ..... ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2554 .....

5370492221 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING

KEYWORDS : DELAY TOLERANT NETWORK/ ROUTING PROTOCOL/ SPRAY AND WAIT ROUTING/ WIRELESS MOBILE NETWORK

VITTAWUS PRUEKSASRI : THE DIFFERENT NEIGHBOR-HISTORY SPRAY AND WAIT ROUTING SCHEME FOR DELAY TOLERANT NETWORKS. ADVISOR : ASST. PROF. KULTIDA ROJVIBOONCHAI, Ph.D., 46 pp.

Delay Tolerant Networks (DTNs) are networks that network partitioning frequently occurs due to lacking of continuous network connectivity. The network partitioning leads to the unavailability of fully connected paths from sources to destinations. To deal with this problem, previous research works have proposed routing protocols that focus on increasing the number of messages to reach the destination, but their protocols incur high transmission overhead.

This thesis proposes a spray and wait routing scheme for delay tolerant networks by using the different neighbor history from neighbor nodes. In this scheme, a sender node uses neighbor history lists of its neighbors to calculate the appropriate number of message copies for forwarding. From our simulation results, the proposed routing protocol can reduce overhead from previous protocols while maintaining the number of messages reaching the destinations. In addition, our protocol can reduce network load and has higher delivery utility from previous works.

Department:.....Computer Engineering..... Student's Signature .....

Field of Study:.....Computer Engineering..... Advisor's Signature.....

Academic Year:.....2011.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มิอาจสำเร็จสมบูรณ์ได้หากปราศจากความช่วยเหลือ ข้อคิดเห็น คำแนะนำ และข้อคิดในการทำงานวิจัยต่างๆ จากอาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาที่เปี่ยมด้วยความสามารถ ทุ่มเทให้การดูแลเอาใจใส่ และเป็นแรงผลักดันในการทำวิจัยแก่ผู้วิจัยเสมอมา ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

กราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ.ดร.เกริก ภิรมย์โสภา ผศ.ดร.เฉลิมเอก อินทนากรวิวัฒน์ และ รศ.ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม ที่สละเวลามาให้ข้อเสนอแนะ และให้มุมมองแง่คิดที่หลากหลายอันเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้ทำให้ผู้วิจัยได้รับความรู้ ประสบการณ์ที่ดี และได้ทำให้ผู้วิจัยได้รู้จักอาจารย์ เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่แสนดี ขอขอบคุณทุกๆคนที่คอยช่วยเหลือแบ่งปันความสุข และคอยให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา

ขอขอบคุณพี่ปิง พี่อ๊อฟ จากกลุ่มวิจัยยูบิเน็ต และขอบคุณทุกคนในกลุ่มวิจัยเครือข่ายแอดฮอก พี่อิด พี่ต่อ พี่ยุ้ย พี่นิน พี่ป๊อป ทีป น้องไทด์ และน้องอั้ม ที่คอยให้คำปรึกษาและให้แนวคิดแง่มุมที่เป็นประโยชน์แก่ผู้วิจัยตลอดมา

และสุดท้าย ขอขอบคุณทุกคนในครอบครัว คุณพ่อ คุณแม่ น้องชาย และคนรอบข้างผู้วิจัยทุกคนที่คอยให้กำลังใจ สนับสนุนทางการศึกษาแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด และคอยอยู่เคียงข้างกันตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 4

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย 4

1.5 คุณค่าทางวิชาการ 5

1.6 ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์ 6

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 7

2.1.1 การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก (Mobile Ad hoc Network : MANET) ... 7

2.1.2 การสื่อสารบนเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง (Delay Tolerant Network : DTN) 8

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 10

หน้า

บทที่ 3 แบบแผนการกระจายข้อมูลและรอส่งข้อมูลโดยอาศัยความแตกต่างของเพื่อนบ้านในอดีต สำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง 16
3.1 ข้อสมมติฐาน (Assumptions) 16
3.2 แนวคิดการทำงานของโพรโทคอล 16
3.3 หลักการทำงานของโพรโทคอล 17
3.4 ตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล 22
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล 25
4.1 ตัววัดสมรรถนะของระบบ (Performance Metrics) 25
4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง 26
4.2.1 โปรแกรมจำลอง ONE (Opportunistic Network Environment) 26
4.3 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง 27
4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างโพรโทคอลที่นำเสนอและโพรโทคอลที่เกี่ยวข้อง 30
4.5 ผลการทดลองค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทาง 30
4.6 ผลการทดลองค่าความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูล 32
4.7 ผลการทดลองค่าความหน่วงเฉลี่ย 33
4.8 ผลการทดลองค่าอัตราส่วนค่าใช้จ่ายในการสื่อสาร 34
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 36
5.1 สรุปผลการวิจัย 36
5.2 ข้อจำกัด 37
5.3 ข้อเสนอแนะ 37
รายการอ้างอิง 38

หน้า

ภาคผนวก..... 40

ภาคผนวก การเพิ่มความสามารถในการรองรับการขยายของเครือข่ายในโพรโทคอล DNH-SaW 41

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 46

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงความแตกต่างระหว่างเครือข่าย MANET กับเครือข่าย DTN 10

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบหลักการทำงานของโพรโทคอลหาเส้นทางสำหรับเครือข่าย
ที่มีความคงทนต่อความหน่วง 14

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดคุณสมบัติของโหนดแต่ละประเภท 29

ตารางที่ 4.2 ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกจุดหมายปลายทางของโหนดคนเดินเท้า 29

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลและการตั้งค่าอื่นๆ..... 29

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1.1 ลักษณะของเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง (Delay Tolerant Networks) 1

ภาพที่ 1.2 ลักษณะของเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก (Mobile Ad hoc Networks) 2

ภาพที่ 2.1 แสดงความแตกต่างระหว่างการสื่อสารแบบที่ต้องอาศัยโครงสร้างพื้นฐาน
และการสื่อสารแบบ MANET 7

ภาพที่ 2.2 แสดงตัวอย่างการนำการสื่อสารบนเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง
ไปประยุกต์ใช้กับเครือข่ายอื่นๆ 9

ภาพที่ 3.1 แสดงการหา *complete set* 18

ภาพที่ 3.2 ผังงานแสดงการทำงานของโพรโทคอล DNH-SaW 21

ภาพที่ 3.3 แสดงการทำงานของโพรโทคอล 23

ภาพที่ 3.4 แสดงการทำงานของโพรโทคอล 23

ภาพที่ 3.5 แสดงการทำงานของโพรโทคอล 24

ภาพที่ 3.6 แสดงการทำงานของโพรโทคอล 24

ภาพที่ 4.1 แสดงตัวอย่างส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) ของโปรแกรมจำลอง ONE 27

ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทาง 31

ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูล 32

ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความหน่วงเฉลี่ย 33

ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนค่าใช้จ่ายในการสื่อสาร 34

ภาพที่ 1 กราฟแสดงความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทางของ DNH-SaW
เมื่อปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตที่ระยะเวลาต่างๆ 42

หน้า

ภาพที่ 2 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายในการสื่อสารเฉพาะการแลกเปลี่ยนรายการเพื่อนบ้าน
ในอดีตของ DNH-SaW เมื่อปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้าน
ในอดีตที่ระยะเวลาต่างๆ 43

ภาพที่ 3 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนค่าใช้จ่ายในการสื่อสารของ DNH-SaW เมื่อปรับ
ช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตที่ระยะเวลาต่างๆ..... 44

ภาพที่ 4 กราฟแสดงค่าความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูลของ DNH-SaW เมื่อปรับ
ช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตที่ระยะเวลาต่างๆ..... 45

ภาพที่ 5 กราฟแสดงค่าความหน่วงเฉลี่ยของ DNH-SaW เมื่อปรับช่วงเวลาในการ
เปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตที่ระยะเวลาต่างๆ..... 45

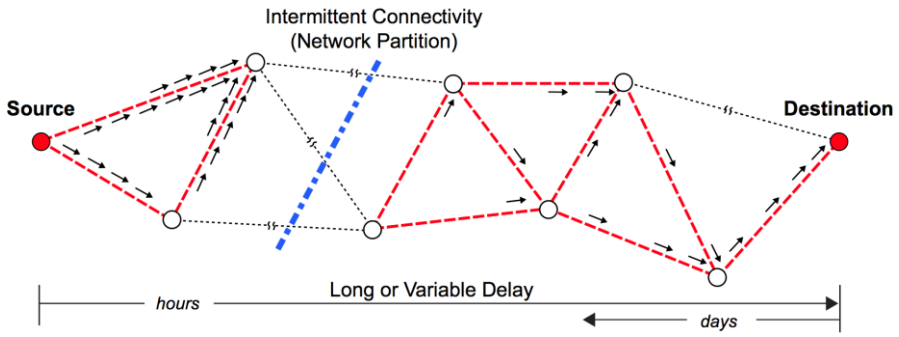
บทที่ 1

บทนำ

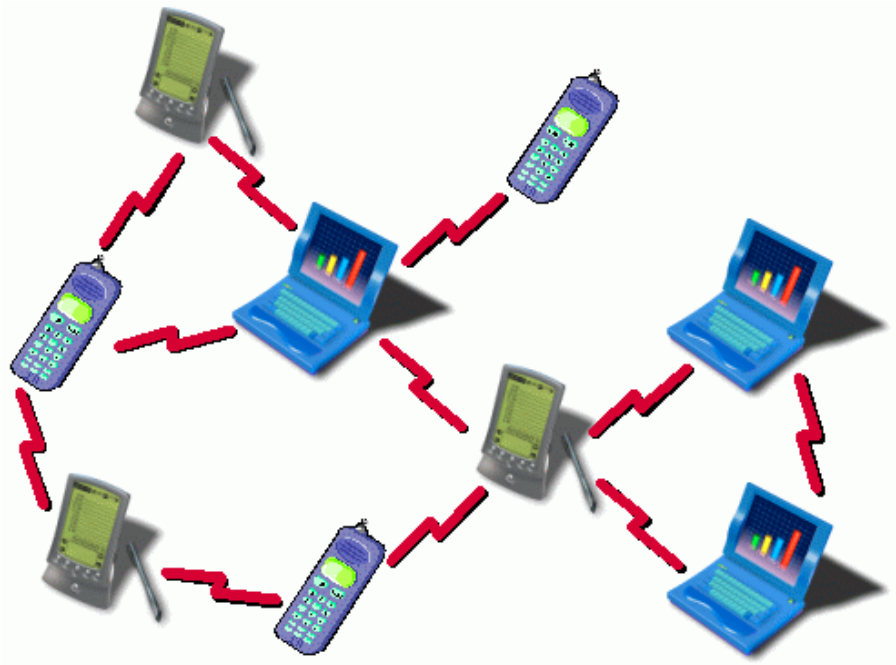
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การสื่อสารบนเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง (DTN: Delay Tolerant Network) [1] กำลังได้รับความนิยมและเป็นที่สนใจในการทำวิจัยในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมาเนื่องจากเป็นการสื่อสารที่สามารถทำงานได้จริงโดยไม่ต้องใช้โครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) ซึ่งแต่ละโหนดเคลื่อนที่ (mobile node) สามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยตรง และโหนดยังสามารถสื่อสารไปยังปลายทางได้แม้ไม่มีเส้นทางการเชื่อมต่อจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง (Fully connected path) อีกทั้งสามารถติดตั้งระบบได้อย่างรวดเร็วและมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบถูกกว่าการสื่อสารที่ต้องใช้โครงสร้างพื้นฐานในการทำงาน

เครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงเป็นเครือข่ายเคลื่อนที่แบบไร้สายชนิดหนึ่งที่พัฒนามาจากเครือข่ายไร้สายแบบอแดฮอก (Mobile Ad hoc Network) โดยเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ มีโหนดกระจายอยู่ในเครือข่ายกันอย่างเบาบาง (sparse) ซึ่งแต่ละโหนดมีระยะการสื่อสาร (Transmission range) ที่จำกัด จึงทำให้โหนดไม่ได้เชื่อมต่อกันตลอดเวลา (Intermittent Connectivity) ส่งผลให้เครือข่ายเกิดการแยกตัว (Network partition) บ่อยครั้ง และโหนดเคลื่อนที่กระจายอยู่กันเป็นกลุ่มๆ (cluster) เนื่องด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ จึงทำให้เครือข่ายมีเส้นทางการเชื่อมต่อที่ไม่เสถียร (unstable path) และเกิดเส้นทางขาด (path break) เมื่อโหนดค้นพบเส้นทางนั้น [2] จึงทำให้ไม่มีเส้นทางการเชื่อมต่อจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง



ภาพที่ 1.1 ลักษณะของเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง (Delay Tolerant Networks) [3]



ภาพที่ 1.2 ลักษณะของเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก (Mobile Ad hoc Networks) [4]

เนื่องด้วยคุณสมบัติของเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง ทำให้โพรโทคอลหาเส้นทาง (Routing protocol) ที่ใช้สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก เช่น DSR [5], AODV [6] ที่มีหลักการทำงานที่สำคัญ คือ ต้องทำการหาเส้นทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางให้ได้ก่อน แล้วจึงเริ่มส่งข้อมูล (Message) ไปยังโหนดปลายทาง แต่ในเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงนั้น แต่ละโหนดไม่ได้เชื่อมต่อกันตลอดเวลา จึงทำให้แทบจะไม่มีเส้นทางการเชื่อมต่อจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางเลย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้โพรโทคอลหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกทำงานได้ไม่ดีในเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการคิดค้นโพรโทคอลหาเส้นทางที่เหมาะสมกับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงขึ้นมา

ที่ผ่านมา ได้มีงานวิจัยที่นำเสนอโพรโทคอลหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงโดยเฉพาะ ซึ่งแก้ปัญหาการที่โหนดไม่ได้เชื่อมต่อกันตลอดเวลา โดยใช้เทคนิค store-carry-forward ได้แก่ Epidemic routing [7], MaxProp [8], PROPHET (Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity) [9], Spray and Wait [10] และ Quality of Node Spray and Wait [11]

การทำงานของ Epidemic routing จะอาศัยหลักการ flooding เพื่อส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทาง โดยโหนดจะทำการส่งข้อมูลให้กับโหนดเพื่อนบ้านที่เคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในระยะการ

สื่อสารไปเรื่อยๆจนกว่าข้อมูลนั้นจะหมดอายุไป ซึ่งจากการทดลองใน [7] พบว่าโพรโทคอลมุ่งเน้นปรับปรุงในด้านความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทาง (Delivery probability) และลดความหน่วง (latency) ที่เกิดขึ้นในเครือข่าย จนไม่ได้นึกถึงข้อเสียของกระบวนการ flooding คือ โพรโทคอลมีค่าใช้จ่ายในการสื่อสารสูงมาก อีกทั้งกระบวนการทำงานของโพรโทคอลยังทำให้โหนดในเครือข่ายเกิด buffer overflow อีกด้วย

Maxprop ใช้หลักการ flooding ในการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางเช่นกัน แต่มีการเพิ่มกระบวนการทำงานในส่วนของการจัดการบัฟเฟอร์ (Buffer Management) ภายในโหนดขึ้นมา ซึ่งจากการทดลองใน [8] พบว่า Maxprop เหมาะกับเครือข่ายการสื่อสารที่แต่ละโหนดมีขนาดบัฟเฟอร์ (Buffer) ขนาดใหญ่ เช่น รถยนต์ รถประจำทาง เป็นต้น และโพรโทคอลไม่ได้กล่าวถึงค่าใช้จ่ายในการสื่อสารที่เกิดขึ้นในเครือข่าย แต่เนื่องจาก Maxprop อาศัยกระบวน flooding ในการส่งข้อมูล จึงทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการสื่อสารสูงมากเช่นกัน

PROPHET เป็นโพรโทรคอลที่อาศัยหลักการ flooding ในการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทางเช่นกัน แต่มีการเพิ่มในส่วนการคำนวณความน่าจะเป็นที่โหนดจะส่งข้อมูลถึงแต่ละโหนดปลายทาง (Delivery Predictability) ขึ้นมาเพื่อช่วยในการตัดสินใจว่าโหนดจะส่งแต่ละข้อมูลให้โหนดเพื่อนบ้านนั้นๆหรือไม่ ซึ่งจากการทดลองใน [9] พบว่า PROPHET มีค่าใช้จ่ายในการสื่อสารสูงเนื่องจากอาศัยกระบวนการ flooding ในการทำงานนั่นเอง

Spray and Wait เป็นโพรโทคอลที่อาศัยหลักการ flooding เช่นกัน แต่มีกระบวนการควบคุมจำนวนครั้งในการส่งข้อมูลด้วยตัวแปร คือ จำนวนสำเนาเริ่มต้นของข้อมูลที่โหนดต้นทาง (Source node) โดยกระบวนการทำงานของโพรโคอลจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ Spray phase และ Wait phase ซึ่งกระบวนการทำงานของโพรโทคอล Spray and Wait ทำให้เกิดปัญหา Blind flooding ในขั้นตอน Spray phase และจากผลการทดลองใน [10] พบว่า Spray and Wait มีค่าใช้จ่ายในการสื่อสารของโพรโทคอล ลดลงจากโพรโทคอล Epidemic routing แต่ค่าใช้จ่ายในการสื่อสารที่เกิดขึ้นยังมีค่าสูงอยู่

Quality of Node Spray and Wait เป็นโพรโทคอลที่ถูกเสนอขึ้นเพื่อปรับปรุงโพรโทคอล Spray and Wait ให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น โดยการแก้ไขปัญหา Blind flooding ที่เกิดขึ้นในโพรโทคอล Spray and Wait ดั้งเดิม โดยในขั้นตอน Spray phase โหนดจะทำการส่งจำนวนสำเนาของข้อมูลให้กับโหนดเพื่อนบ้านตามค่าคุณภาพของโหนดเพื่อนบ้าน (Quality of node) นั้น ซึ่งจาก

การทดลองใน [11] แม้ว่าโพรโทคอล Quality of Node Spray and Wait สามารถลดค่าใช้จ่ายในการสื่อสารในโพรโทคอล Spray and Wait ดั้งเดิมลงได้ อย่างไรก็ตาม ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากโพรโทคอลดังกล่าวยังอยู่ในระดับสูง

เมื่อพิจารณาโพรโทคอลที่กล่าวมา พบว่าโพรโทคอลเหล่านี้มีจุดประสงค์มุ่งเน้นปรับปรุงในด้านความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทาง (Delivery probability) และลดความหน่วง (latency) ที่เกิดขึ้นในเครือข่าย อย่างไรก็ตามโพรโทคอลเหล่านี้ไม่ได้สนใจมุ่งเน้นในการลดค่าใช้จ่ายในการสื่อสาร (Overhead) ที่เกิดขึ้นในเครือข่ายจากการใช้โพรโทคอลเหล่านั้นลง

ดังนั้นการออกแบบและพัฒนาโพรโทคอลหาเส้นทางให้มีค่าใช้จ่ายในการสื่อสารต่ำ จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถลดโอกาสในการเกิดความคับคั่งของเครือข่าย (Network congestion) ให้น้อยลง อีกทั้งทำให้เหลือช่องสัญญาณในการสื่อสารมากขึ้น ทำให้สามารถรองรับการส่งข้อมูลในบริการด้านอื่นได้มากขึ้น และยังมีการใช้ทรัพยากร (resource consumption) ของเครือข่ายน้อยลง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอโพรโทคอล DNH-SaW (Different Neighbor-History Spray and Wait) ซึ่งเป็นโพรโทคอลหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง ที่สามารถลดค่าใช้จ่ายในการสื่อสารของโพรโทคอลดั้งเดิมลงได้ ทำให้โพรโทคอลใช้ทรัพยากรของเครือข่าย (Network Resource) ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. การปรับปรุงและพัฒนาโพรโทคอลทำบนโปรแกรมจำลอง ONE (Opportunistic Network Environment)

2. ในการทดลองได้เลือกใช้แผนที่ส่วนหนึ่งของเมืองเฮลซิงกิ (Helsinki) ขนาด 4500x3400 ตารางเมตร ในการทดลองเพื่อให้เสมือนเป็นการทดลองจริง

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาวิธีการส่งข้อมูลของโพรโทคอลที่มีอยู่ในปัจจุบันสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง

2. วิเคราะห์ข้อดี ข้อเสียของโพรโทคอลที่มีอยู่ในปัจจุบันสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง

3. ออกแบบแนวคิดเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการสื่อสารของโพรโทคอล Spray and Wait ที่มีอยู่ในปัจจุบัน

4. ออกแบบและพัฒนาโพรโทคอลหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงตามแนวคิดที่ได้ออกแบบไว้

5. ศึกษาการทำงาน และวิธีใช้งานของโปรแกรมจำลอง ONE

6. ทดสอบการทำงานของโพรโทคอลที่ออกแบบบนโปรแกรมจำลอง ONE และเก็บข้อมูลการทำงานของโพรโทคอล

7. วิเคราะห์ผลการทดลอง และปรับปรุงโพรโทคอลให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้น

8. สรุปผลและเรียบเรียงวิทยานิพนธ์

1.5 คุณค่าทางวิชาการ

1. การคำนวณจำนวนสำเนาของข้อมูลที่จะส่งให้โหนดผู้รับตามแนวคิดที่นำเสนอสามารถกระจายข้อมูลได้ครอบคลุมทั่วทุกโหนดในพื้นที่ โดยใช้ปริมาณการส่งข้อมูลที่น้อยกว่าโพรโทคอลเดิม

2. โพรโทคอลที่นำเสนอสามารถลดค่าใช้จ่ายในการสื่อสารของโพรโทคอลเดิมลงได้ ส่งผลให้โพรโทคอลใช้ทรัพยากรของเครือข่าย(Network Resource) ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มโอกาสในการทำงานอื่นๆ เนื่องจากโพรโทคอลสามารถลดภาระของเครือข่ายได้

3. สามารถนำโพรโทคอลที่นำเสนอไปใช้เป็นส่วนหนึ่งของโพรโทคอลอื่นที่ต้องการส่งข้อมูลโดยมีค่าใช้จ่ายในการสื่อสารต่ำ เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

1.6 ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

ส่วนหนึ่งของงานวิทยานิพนธ์ได้รับการตีพิมพ์เป็นบทความวิชาการในหัวเรื่อง ”DNH-SAW: THE DIFFERENT NEIGHBOR-HISTORY SPRAY AND WAIT ROUTING SCHEME FOR DELAY TOLERANT NETWORKS” โดย วิทวัส พฤกษะศรี, เฉลิมเอก อินทนากรวิวัฒน์ และ กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย ในบันทึกการประชุม “The 2011 International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS’11)” ซึ่งจัดขึ้น ณ Imperial Mae-ping Hotel อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ประเทศไทย ระหว่างวัน ที่ 7-9 ธันวาคม 2554

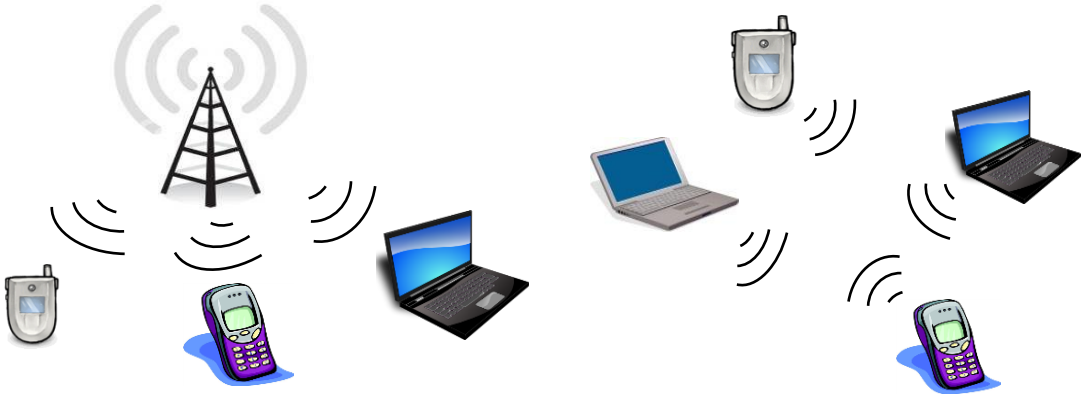
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การสื่อสารบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก (Mobile Ad hoc Network : MANET)

เครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกเป็นการสื่อสารไร้สายที่แต่ละโหนดสามารถติดต่อสื่อการกันได้โดยไม่ต้องอาศัยโครงสร้างพื้นฐานในการทำงาน อีกทั้งยังมีการทำงานแบบ multi-hop ซึ่งภายในเครือข่ายจะประกอบด้วยโหนดเคลื่อนที่ (Mobile node) ที่มีอินเทอร์เฟสเชื่อมต่อกันแบบไร้สาย และมีการรับส่งข้อมูลระหว่างกัน โดยแต่ละโหนดสามารถรับส่งข้อมูลกันได้โดยตรงหรือส่งข้อมูลผ่านโหนดอื่นๆไปยังโหนดปลายทางได้ ส่วนการสื่อสารที่ต้องอาศัยโครงสร้างพื้นฐานจะมีลักษณะ คือ เป็นการสื่อสารแบบ 1 hop โดยแต่ละโหนดจะเชื่อมต่อกับโครงสร้างพื้นฐาน เช่น เสาส่งสัญญาณโทรศัพท์, Access point เป็นต้น เพื่อใช้โครงสร้างพื้นฐานเป็นศูนย์กลางในการเชื่อมต่อกับโหนดอื่นๆ



(ก) การสื่อสารแบบที่ต้องอาศัยโครงสร้างพื้นฐาน (ข) การสื่อสารแบบ MANET

ภาพที่ 2.1 แสดงความแตกต่างระหว่างการสื่อสารแบบที่ต้องอาศัยโครงสร้างพื้นฐานและการสื่อสารแบบ MANET

ประโยชน์ของการทำงานบนเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก คือ สามารถทำงานได้ในบริเวณที่ไม่มีโครงสร้างพื้นฐานติดตั้งอยู่หรือไม่สามารถติดตั้งโครงสร้างพื้นฐานได้ ได้แก่ ในพื้นที่สงคราม, พื้นที่ชนบทที่อยู่ห่างไกล หรือพื้นที่ที่เกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ

2.1.2 การสื่อสารบนเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง (Delay Tolerant Network : DTN)

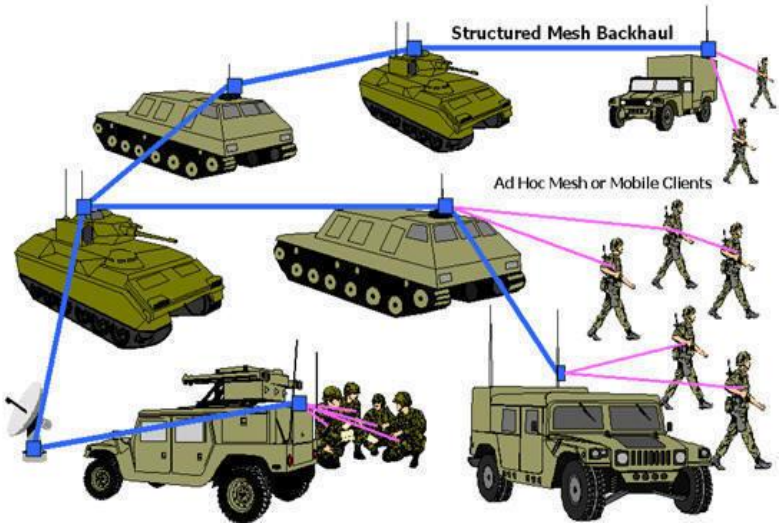
เครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงเป็นการสื่อสารไร้สายที่พัฒนามาจากเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอก (MANET) โดยในเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงจะมีโหนดกระจายตัวอยู่เบาบาง อีกทั้งแต่ละโหนดมีระยะการสื่อสาร (Transmission range) ที่จำกัด จึงทำให้โหนดไม่ได้เชื่อมต่อกันตลอดเวลา (Intermittent Connectivity) ส่งผลให้เครือข่ายเกิดการแยกตัว (Network partition) บ่อยครั้ง เนื่องด้วยคุณสมบัติเหล่านี้ จึงทำให้เครือข่ายมีเส้นทางการเชื่อมต่อที่ไม่เสถียร (unstable path) และเกิดเส้นทางขาด (path break) เมื่อโหนดค้นพบเส้นทางนั้น จึงทำให้ไม่มีเส้นทางการเชื่อมต่อจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง

ดังนั้น ในการสื่อสารบนเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง คุณสมบัติการเคลื่อนที่ของโหนดจึงมีความสำคัญมากในการหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายนี้ ซึ่งแต่ละโหนดจะส่งข้อมูลโดยใช้เทคนิค store-carry-forward กล่าวคือ เมื่อโหนดได้รับข้อมูลมา โหนดจะเก็บข้อมูลนั้นไว้ และพาข้อมูลไปโดยอาศัยการเคลื่อนที่ของตัวเอง ต่อมาเมื่อเจอโหนดเพื่อนบ้านก็จะส่งข้อมูลนั้นให้ ดังนั้น ในการออกแบบโปรโตคอลหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง การส่งข้อมูลโดยใช้การตัดสินใจแบบ hop-by-hop จึงมีประโยชน์มากกว่าการส่งข้อมูลโดยการหาเส้นทางการเชื่อมต่อจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางให้ได้ก่อนจึงเริ่มส่งข้อมูล

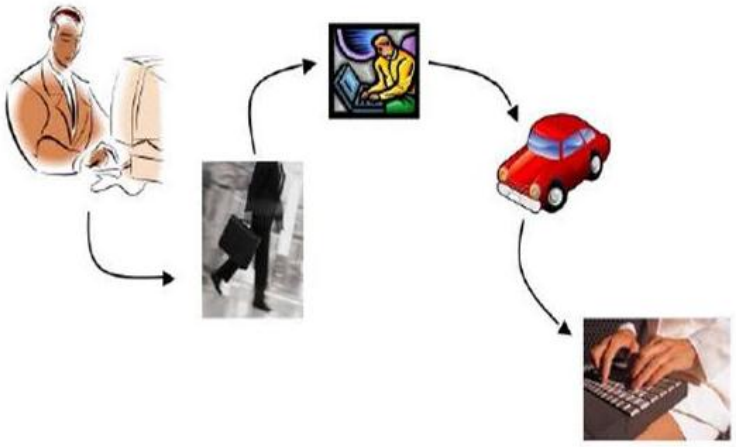
ประโยชน์ของการทำงานบนเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง คือ สามารถทำงานได้ในบริเวณที่ไม่มีโครงสร้างพื้นฐานติดตั้งอยู่หรือไม่สามารถติดตั้งโครงสร้างพื้นฐานได้ อีกทั้งยังสามารถทำงานได้แม้ว่าในบริเวณนั้นจะมีโหนดกระจายอยู่เบาบางมากจนไม่มีเส้นทางการเชื่อมต่อจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางเลย บริเวณดังกล่าว ได้แก่ ในป่า, ทะเลทราย, พื้นที่สงคราม หรือพื้นที่ที่เกิดภัยพิบัติทางธรรมชาติ อีกทั้งการติดตั้งเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงใช้เวลาน้อย ติดตั้งได้ง่าย และมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและดูแลรักษาเครือข่ายต่ำ

การสื่อสารบนเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเครือข่ายอื่นๆได้ ตัวอย่างแรกคือ เครือข่ายแอกฮอกทางการทหาร (Military ad hoc networks) ดังภาพที่ 2(ก) โดยเมื่อกำลังพลเคลื่อนที่เข้าไปในพื้นที่ของศัตรู แน่นอนว่าไม่สามารถใช้โครงสร้างพื้นฐานของศัตรูในการสื่อสารได้ อีกทั้งการเชื่อมต่อของแต่ละอุปกรณ์ (device) หรือยานพาหนะ (vehicle) ไม่ได้มีการเชื่อมต่อกันอยู่ตลอดเวลา เนื่องจากต้องอำพรางตัวจากศัตรู ทำให้การสื่อสารบนเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงเข้ามามีบทบาทในการสื่อสารภายในเครือข่าย และ

ตัวอย่างที่สอง คือ เครือข่ายการสื่อสารทางโอกาส (Opportunistic Network) ดังตัวอย่างภาพที่ 2(ข) โดยผู้ส่งต้องการส่งข้อมูลให้กับผู้รับซึ่งอยู่ในอีกบริเวณหนึ่ง เริ่มแรก ผู้ส่งทำการส่งข้อมูลมายังอุปกรณ์สื่อสารของคนเดินเท้าที่กำลังเดินอยู่บนถนน ต่อมาคนเดินเท้าได้เดินผ่านสถานีรถไฟ และได้ส่งข้อมูลต่อให้กับอุปกรณ์สื่อสารของนักท่องเที่ยวบนรถไฟ ต่อมารถไฟเคลื่อนที่มายังอีกสถานีหนึ่ง อุปกรณ์สื่อสารของนักท่องเที่ยวทำการส่งข้อมูลต่อไปยังรถยนต์ที่เคลื่อนที่ผ่านสถานีรถไฟ ต่อมารถยนต์ได้เคลื่อนที่ผ่านมายังบริเวณที่ผู้รับปลายทางอยู่แล้วทำการส่งข้อมูลนี้ให้กับอุปกรณ์สื่อสารของผู้รับปลายทาง



(ก.) การสื่อสารในเครือข่ายแอดฮอกทางการทหาร



(ข.) การสื่อสารของเครือข่ายทางโอกาสในชีวิตประจำวัน

ภาพที่ 2.2 แสดงตัวอย่างการนำการสื่อสารบนเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงไปประยุกต์ใช้กับเครือข่ายอื่นๆ

เครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงมีคุณสมบัติแตกต่างจากเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงความแตกต่างระหว่างเครือข่าย MANET กับเครือข่าย DTN

คุณสมบัติ	MANET	DTN
ความหนาแน่นของโหนดภายในเครือข่าย	ปานกลางถึงสูง	เบาบางมาก
ความเร็วในการเคลื่อนที่ของโหนด	ปานกลาง	ปานกลางถึงสูง
คุณภาพของเส้นทางการเชื่อมต่อระหว่างโหนด	ค่อนข้างเสถียร	ไม่เสถียรและเกิดเส้นทางขาด (Path break) อยู่เสมอๆ
เส้นทางการเชื่อมต่อจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง	มีหลายเส้นทาง	ไม่มี
กระบวนการพื้นฐานของโพรโทคอลในการหาเส้นทาง	จะทำการหาเส้นทางการเชื่อมต่อจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางให้ได้ก่อนแล้วจึงเริ่มส่งข้อมูล	ต้องใช้คุณสมบัติการเคลื่อนที่ของโหนดเพื่อไปเจอกับโหนดเพื่อนบ้านอื่น แล้วจึงส่งข้อมูลให้เพื่อนบ้านนั้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่พัฒนาโพรโทคอลสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง แต่ละโพรโทคอลมีการทำงานที่แตกต่างกันดังนี้

1. Epidemic Routing [7] เป็นโพรโทคอลหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงที่ใช้หลักการ flooding เพื่อส่งข้อมูล (Message) ไปยังโหนดปลายทาง โดยเริ่มต้น เมื่อโหนดเคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในระยะการสื่อสารซึ่งกันและกัน จะมีการแลกเปลี่ยนเวกเตอร์ (Summary Vector) ที่บ่งบอกว่าตนเองมีข้อมูลอะไรอยู่บ้างกับโหนดเพื่อนบ้าน ต่อมาเมื่อโหนดรู้ว่าโหนดเพื่อนบ้านไม่มีข้อมูลไหนแล้ว แต่ละโหนดจะส่งข้อมูลเฉพาะที่เพื่อนบ้านไม่มีให้กับเพื่อนบ้าน ซึ่งเมื่อ

โหนดได้รับข้อมูลมาจะเก็บข้อมูลไว้และอาศัยการเคลื่อนที่ของตัวเองเพื่อไปแลกเปลี่ยนข้อมูลกับโหนดอื่นต่อไป ซึ่งกระบวนการจะกระทำซ้ำไปเรื่อยๆจนกว่าข้อมูลจะหมดอายุไป

กระบวนการของโพรโทคอลนี้ทำให้ได้รับอัตราการส่งข้อมูลไปถึงโหนดปลายทาง (Delivery Rate) สูง แต่เกิดข้อเสียคือ มีค่าใช้จ่ายในการสื่อสารสูงมาก ซึ่งถ้าในเครือข่ายมีปริมาณข้อมูลมาก จะส่งผลให้โหนดในเครือข่ายเกิด buffer overflow ขึ้น ส่งผลให้อัตราการส่งข้อมูลไปถึงโหนดปลายทางลดลงอย่างมาก อีกทั้งการใช้หลักการ flooding ของโพรโทคอลยังทำให้ปริมาณสำเนาของข้อมูลในเครือข่ายมีปริมาณมากด้วย

2. MaxProp [8] เป็นโพรโทคอลหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงที่อาศัยหลักการ flooding เช่นกัน แต่มีการเพิ่มการทำงานในส่วนการจัดการบัฟเฟอร์ (Buffer Management) ของโหนด โดยโพรโทคอลมีหลักการทำงาน คือ โหนดจะคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่จะเจอโหนดเพื่อนบ้านแต่ละโหนดและแลกเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นกับโหนดเพื่อนบ้านอื่นๆ ซึ่งค่าความน่าจะเป็นนี้ถูกใช้เพื่อคำนวณค่าใช้จ่ายของเส้นทาง (Path Cost) ไปยังโหนดปลายทางของแต่ละข้อมูล ซึ่งในโพรโทคอลนี้ได้แบ่งบัฟเฟอร์ (Buffer) ของโหนดออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกเก็บข้อมูลที่มีค่า hop-counts น้อยกว่าค่าที่กำหนด (Threshold) ซึ่งเมื่อมีการเชื่อมต่อกับโหนดอื่น ข้อมูลที่มีค่า hop-counts น้อยที่สุดในส่วนนี้จะถูกส่งออกไปก่อน บัฟเฟอร์ส่วนที่สองจะเก็บข้อมูลที่มีค่า hop-counts มากกว่าค่าที่กำหนด โดยเมื่อบัฟเฟอร์เต็ม ข้อมูลที่มีค่าใช้จ่ายของเส้นทางมากที่สุดจะถูกทิ้ง (Drop) ก่อน

จากผลการทดลองที่แสดงใน [8] พบว่าโพรโทคอลมีอัตราการส่งข้อมูลไปถึงโหนดปลายทาง (Delivery Rate) ต่ำเมื่อโหนดมีขนาดบัฟเฟอร์เล็ก และโพรโทคอลไม่ได้กล่าวถึงค่าใช้จ่ายของการสื่อสารในเครือข่าย

3. PROPHET [9] เป็นโพรโทคอลหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงที่มีหลักการคือ แต่ละโหนดจะคำนวณค่าความน่าจะเป็นที่จะส่งข้อมูลถึงแต่ละโหนดปลายทาง (Delivery Predictability) เมื่อโหนดเคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในระยะการสื่อสารของกันและกัน ข้อมูลจะถูกส่งไปยังโหนดที่มีค่าความน่าจะเป็นที่จะส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทางนั้นมากกว่า ซึ่งจากผลการทดลองใน [9] พบว่า PROPHET มีปริมาณการส่งข้อมูลจากโหนดหนึ่งไปยังอีกโหนดหนึ่งอยู่ในระดับสูง ซึ่งสะท้อนว่าโพรโทคอลมีค่าใช้จ่ายในการสื่อสารสูงนั่นเอง

4. Spray and Wait [10] เป็นโพรโทคอลหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงที่ใช้หลักการ flooding แต่มีการควบคุมจำนวนการ flooding ด้วยจำนวนสำเนาเริ่มต้นของข้อมูล โดยโพรโทคอลจะแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ Spray phase และ Wait phase เริ่มต้น Spray phase เมื่อข้อมูลถูกสร้างขึ้นที่โหนดต้นทาง (Source Node) โหนดต้นทางจะทำการสร้างสำเนาของข้อมูลเริ่มต้นจำนวน L สำเนา ต่อมาโหนดจะเคลื่อนที่ไปและส่งข้อมูลนี้ให้กับเพื่อนบ้านที่พบจำนวน L โหนด โหนดละ 1 สำเนา ซึ่งถ้า L โหนดนี้ไม่ใช่โหนดปลายทางของข้อมูล กระบวนการทำงานจะเข้าสู่ขั้นตอน Wait phase แต่ละโหนดจะเคลื่อนที่ไปและรอจนกว่าจะพบโหนดปลายทางและจะทำการส่งข้อมูลให้กับโหนดปลายทางโดยตรง

Binary Spray and Wait[10] ถูกเสนอในงานนี้ด้วยเพื่อปรับปรุงโพรโทคอล Spray and Wait เดิมในขั้นตอนการทำงานของ Spray phase โดยใน Spray phase เมื่อโหนด A (โหนดต้นทางหรือโหนดช่วยส่ง (Relay Node)) ซึ่งมีจำนวนสำเนาข้อมูล n>1 สำเนาเคลื่อนที่ไปเจอโหนดเพื่อนบ้าน โหนด A จะส่งจำนวนสำเนาข้อมูลให้กับโหนดเพื่อนบ้านจำนวน n/2 สำเนา ต่อมาโหนดเพื่อนบ้านได้รับสำเนาข้อมูลมา (n/2)>1 สำเนาจะนำข้อมูลไปส่งให้กับเพื่อนบ้านของตัวเองต่อไป ซึ่งกระบวนการจะทำงานซ้ำไปเรื่อยๆจนกว่าแต่ละโหนดจะเหลือจำนวนสำเนา 1 สำเนาและจะเปลี่ยนไปทำงานในขั้นตอน Wait phase ต่อไป

อย่างไรก็ตาม ในโพรโทคอล Spray and Wait และ Binary Spray and Wait เกิดปัญหา Blind flooding ขึ้น ซึ่งแต่ละโหนดจะส่งจำนวนสำเนาข้อมูลให้กับเพื่อนบ้านเป็นจำนวนเท่าๆกัน ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายในการสื่อสารสูง

5. Quality of Node Spray and Wait[11] เป็นอีกหนึ่งโพรโทคอลหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงที่ปรับปรุงโพรโทคอล Binary Spray and Wait ในขั้นตอนการทำงานของ Spray phase โดยใน Spray phase เมื่อโหนด A (โหนดต้นทางหรือโหนดช่วยส่ง) เคลื่อนที่ไปพบโหนดเพื่อนบ้าน โหนด A จะส่งจำนวนสำเนาข้อมูลให้กับโหนดเพื่อนบ้านตามค่าคุณภาพของโหนด (Quality of Node)เพื่อนบ้านนั้น โดยค่าคุณภาพของโหนดเพื่อนบ้านคำนวณจากจำนวนโหนดที่โหนดเพื่อนบ้านนั้นพบเจอในหนึ่งช่วงเวลา โดยโหนดที่พบเจอโหนดเพื่อนบ้านจำนวนมากกว่าในช่วงเวลาที่กำหนดจะมีค่าคุณภาพของโหนดมากกว่า ซึ่งเพื่อนบ้านจะนำสำเนาข้อมูลที่ได้รับไปส่งให้กับเพื่อนบ้านของตัวเองต่อไป ซึ่งกระบวนการทำงานจะซ้ำไปเรื่อยๆจนกว่าแต่ละโหนดเหลือจำนวนสำเนา 1 สำเนาและจะเปลี่ยนไปทำงานในขั้นตอน Wait phase ต่อไป

จากผลการทดลองใน [11] แม้ว่าโพรโทคอล Quality of Node Spray and Wait สามารถลดค่าใช้จ่ายในการสื่อสารลงได้ อย่างไรก็ตาม ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นในโพรโทคอลดังกล่าวยังอยู่ในระดับสูง และในบางกรณี เช่น เมื่อสองโหนดที่เจอกันนั้นเคยพบเจอโหนดเพื่อนบ้านจำนวนมากๆ ในหนึ่งช่วงเวลา แต่โหนดเพื่อนบ้านเหล่านั้นของสองโหนดเป็นโหนดที่เหมือนกัน ดังนั้นค่าคุณภาพของโหนดในโพรโทคอลนี้ไม่ได้ช่วยเพิ่มโอกาสให้สำเนาข้อมูลถูกส่งต่อไปยังโหนดใหม่ๆในเครือข่าย ซึ่งถ้าเพื่อนบ้านใหม่ๆไม่ได้รับสำเนาข้อมูล จะส่งผลให้ความน่าจะเป็นที่ข้อมูลจะถูกส่งถึงโหนดปลายทางไม่เพิ่มขึ้นเช่นกัน

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบหลักการทำงานของโพรโทคอลหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง

	Epidemic [7]	Maxprop [8]	PROPHET [9]	Binary SaW [10]	QoN SaW [11]	DNH-SaW
เทคนิคหลักในการส่งข้อมูล	Flooding	Flooding	Flooding	Flooding Controlled	Flooding Controlled	Flooding Controlled
การควบคุมจำนวนครั้งในการ flooding	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	มี	มี	มี
ค่าที่ใช้ในการควบคุมจำนวนครั้งในการ flooding	-	-	-	จำนวนสำเนาข้อมูลเริ่มต้นที่โหนดต้นทาง	จำนวนสำเนาข้อมูลเริ่มต้นที่โหนดต้นทาง	จำนวนสำเนาข้อมูลเริ่มต้นที่โหนดต้นทาง
การใช้ Control Message	มี	มี	มี	ไม่มี	มี	มี
Control Message ที่มีการแลกเปลี่ยนระหว่างโหนด	Summary Vector	Summary Vector , ค่าความน่าจะเป็นที่จะเจอโหนดเพื่อนบ้านแต่ละโหนด	Summary Vector, ค่าความน่าจะเป็นที่จะส่งข้อมูลถึงแต่ละโหนดปลายทาง (Delivery Predictability)	-	ค่าคุณภาพของโหนดตัวเอง (Quality of node value)	รายการโหนดเพื่อนบ้านในอดีต (Neighbor history list)

ตารางที่ 2.2 ตารางเปรียบเทียบหลักการทำงานของโพรโทคอลหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง (ต่อ)

	Epidemic [7]	Maxprop [8]	PROPHET [9]	Binary SaW [10]	QoN SaW [11]	DNH-SaW
ค่าที่ใช้ในการคำนวนจำนวนสำเนาข้อมูลที่จะส่งให้โหนดเพื่อนบ้าน	-	-	-	-	ค่าคุณภาพของโหนด (Quality of node value)	ค่าประสิทธิภาพของโหนด (Node performance value)
จำนวนสำเนาข้อมูลที่ส่งให้กับโหนดเพื่อนบ้านแต่ละโหนด	เท่ากัน	เท่ากัน	เท่ากัน	เท่ากัน	ไม่เท่ากัน	ไม่เท่ากัน

บทที่ 3

แบบแผนการกระจายข้อมูลและรอส่งข้อมูลโดยอาศัยความแตกต่างของเพื่อนบ้านในอดีต สำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง

เนื่องจากคุณสมบัติของเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงซึ่งไม่มีเส้นทางการสื่อสารจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง ทำให้แต่ละโหนดต้องใช้การเคลื่อนที่ของตัวเองเพื่อเพิ่มโอกาสในการเจอโหนดเพื่อนบ้านอื่นๆ และทำการส่งต่อข้อมูลเพื่อให้ข้อมูลถูกส่งต่อไปถึงโหนดปลายทางก่อนที่ข้อมูลนั้นจะหมดอายุลง ดังนั้นเทคนิคการกระจายข้อมูล (Flooding)ของโพรโทคอลจึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการจัดการกับสภาวะแวดล้อมของเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง แต่อย่างไรก็ตาม ถ้าการกระจายของข้อมูลมีมากเกินไปก็จะส่งผลให้เครือข่ายเกิดการคับคั่งได้เช่นกัน ดังนั้นจึงเป็นการดีถ้ามีกระบวนการจำกัดปริมาณการกระจายข้อมูลในเครือข่ายเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการสื่อสารลง

3.1 ข้อสมมติฐาน (Assumptions)

1. โพรโทคอลที่นำเสนอมุ่งเน้นพัฒนาบนชั้นเน็ตเวิร์ค

2. โหนดแต่ละโหนดมีหมายเลขประจำโหนดที่ไม่ซ้ำกัน และรองรับการเชื่อมต่อแบบไร้สาย

3. โหนดแต่ละคู่จะมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลกันเมื่อโหนดเคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในระยะการสื่อสารของกันและกันเท่านั้น

4. ในการทดลองไม่มีโหนดเห็นแก่ตัว (Selfish node) ในเครือข่าย

5. ในการทดลองไม่ได้พิจารณาปัจจัยด้านพลังงานของโหนดในเครือข่าย

3.2 แนวคิดการทำงานของโพรโทคอล

แนวคิดในการออกแบบโพรโทคอลหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงมีดังต่อไปนี้

1. ใช้หลักการทำงานแบบ Store-Carry-Forward เพื่อรองรับการทำงานในสภาพแวดล้อมเครือข่ายที่มีการเชื่อมต่อเป็นช่วงๆ โดยโหนดที่ได้รับข้อมูลมาจะทำการเก็บข้อมูลนั้นไว้ อาศัยการ

เคลื่อนที่ของโหนดเพื่อพาข้อมูลนั้นไป เมื่อเจอโหนดเพื่อนบ้านก็จะส่งข้อมูลให้ โดยแต่ละโหนดจะเก็บข้อมูลนั้นไว้ในบัฟเฟอร์จนกว่าข้อมูลนั้นจะหมดอายุ

2. การทำงานของโพรโทคอลอยู่บนหลักการที่ว่า ข้อมูลเสมือนถูกกระจายครอบคลุมทั่วทุกโหนด โดยใช้ปริมาณการส่งข้อมูลน้อยที่สุด ทั้งนี้ เพื่อเพิ่มความน่าจะเป็นที่ข้อมูลจะส่งถึงปลายทางให้มากขึ้น โดยมีค่าใช้จ่ายในการสื่อสารลดลง

3. โพรโทคอลที่นำเสนอนั้นได้พัฒนาจากโพรโทคอล Spray and Wait เดิมโดยมีการทำงานของโพรโทคอลแตกต่างกันในส่วนของการทำงานขั้นตอน Spray phase โดยโหนดผู้ส่งจะส่งจำนวนสำเนาข้อมูลให้โหนดเพื่อนบ้านที่เป็นผู้รับแต่ละโหนดตามค่าประสิทธิภาพของโหนดผู้รับนั้นๆ แทนที่โหนดผู้ส่งจะส่งจำนวนสำเนาข้อมูลให้โหนดเพื่อนบ้านทุกโหนดเท่ากันดังเช่นในโพรโทคอล Spray and Wait ดั้งเดิม

3.3 หลักการทำงานของโพรโทคอล

โหนดจะเก็บข้อมูลสำคัญ 2 ส่วน คือ รายการโหนดเพื่อนบ้านที่โหนดนั้นเคยเจอในอดีต (Neighbor-History List) และข้อมูลที่จะถูกส่งต่อ (Message)

- รายการโหนดเพื่อนบ้านที่โหนดนั้นเคยเจอในอดีต ประกอบด้วยหมายเลขประจำตัวของโหนดเพื่อนบ้านทุกโหนดที่โหนดนั้นเคยเจอในอดีต

- ข้อมูลที่จะถูกส่งต่อ คือ ข้อมูลทั้งหมดที่โหนดนั้นเก็บอยู่ในบัฟเฟอร์ ประกอบด้วยข้อมูลที่ได้รับมาและข้อมูลที่โหนดนั้นเป็นผู้สร้างขึ้น โดยรายละเอียดของแต่ละข้อมูลประกอบด้วย หมายเลขเฉพาะของข้อมูล โหนดที่สร้างข้อมูล โหนดปลายทางของข้อมูล เวลาที่ข้อมูลถูกสร้างขึ้น อายุของข้อมูลที่เหลือ และส่วนของข้อมูล

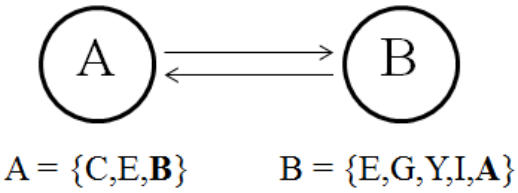
การทำงานของโพรโทคอล แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนการคำนวณค่าประสิทธิภาพของโหนดผู้รับ และส่วนวิธีการในการส่งข้อมูล

1. การคำนวณค่าประสิทธิภาพของโหนดผู้รับ

การทำงานในส่วนนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาโหนดผู้รับที่มีประสิทธิภาพดีกว่าซึ่งควรได้รับจำนวนสำเนาข้อมูลมากกว่าโหนดผู้รับอื่น ซึ่งเมื่อโหนดผู้รับที่มีประสิทธิภาพดีได้รับจำนวนสำเนาข้อมูลมากก็สามารถนำสำเนาข้อมูลที่มีไปส่งให้โหนดอื่นที่ยังไม่ได้รับข้อมูลต่อไป

จากปัญหา Set Cover Problem ซึ่งถูกอธิบายไว้ใน[10] เป็นแรงบรรดาลใจให้เกิดแนวคิดการส่งข้อมูลให้ครอบคลุมทั่วทุกโหนด โดยใช้ปริมาณการส่งข้อมูลน้อยที่สุด ซึ่งในการที่จะรู้ว่าข้อมูลนี้ครอบคลุมโหนดไหนในเครือข่ายบ้างแล้ว สิ่งแรกที่ต้องทำการหาคือ complete set ของสองโหนดที่เจอกัน ซึ่ง complete set หาได้จากการ Union กันของ Neighbor-History List ของทั้งสองโหนดที่เจอกัน ซึ่ง complete set ทำให้รู้ว่า สองโหนดนี้สามารถส่งข้อมูลได้ครอบคลุมโหนดได้กี่โหนดในเครือข่ายแล้ว

ภาพที่ 3 แสดงตัวอย่างกระบวนการในการหา complete set สมมติว่า ในอดีตโหนด A (โหนดต้นทางหรือโหนดช่วยส่ง)เคยเจอโหนด C และ E มาก่อน ดังนั้น Neighbor-History List ของโหนด A คือ {C, E} ส่วนโหนด B เคยเจอโหนด E, G, I และ Y มาก่อน ดังนั้น Neighbor-History List ของโหนด B คือ {E, G, I, Y} ต่อมาโหนด A เคลื่อนที่มาเจอกับโหนด B ทั้งสองโหนดจะทำการเปลี่ยนแปลง Neighbor-History List ของตัวเองโดยโหนด A จะเพิ่มโหนด B เข้าไปใน List ของตัวเอง ส่วนโหนด B จะเพิ่มโหนด A เข้าไปใน List ของตัวเองเช่นกัน ต่อมาโหนด A และโหนด B จะมีการแลกเปลี่ยน Neighbor-History List ดังนั้นโหนด A และโหนด B จะได้ *complete set* คือ {A, B, C , E, G, I, Y }



ภาพที่ 3.1 แสดงการหา *complete set*

จาก Repeating behavioral pattern ของโหนดผู้ใช้จริงที่ได้กล่าวไว้ใน [7] ได้สนับสนุนแนวคิดที่ว่า เมื่อโหนดเคยเจอโหนดเพื่อนบ้านใดๆในอดีตมาก่อน ในอนาคตโหนดจะกลับไปเจอกับโหนดเพื่อนบ้านนั้นอีกครั้ง ดังนั้น เมื่อโหนด A ส่งข้อมูลให้โหนด B จึงถือว่าข้อมูลนี้เสมือนว่าได้ครอบคลุมโหนดสมาชิกทั้งหมดใน *complete set* แล้ว

ในกระบวนการส่งสำเนาข้อมูล โหนดผู้ส่งจะส่งจำนวนสำเนาข้อมูลให้โหนดผู้รับตามค่าประสิทธิภาพของโหนดผู้รับ ซึ่งค่าประสิทธิภาพของโหนดผู้รับสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1

$$P = \frac{V}{S} \tag{1}$$

โดย *P* คือ ค่าประสิทธิภาพของโหนดผู้รับ

V คือ จำนวนโหนดเพื่อนบ้านในอดีตของโหนดผู้รับที่ผู้ส่งไม่เคยเจอมาก่อน

S คือ จำนวนโหนดสมาชิกทั้งหมดของ *complete set*

ในขณะเดียวกัน โหนดผู้รับจะรับจำนวนสำเนาข้อมูลตามค่าประสิทธิภาพของโหนดผู้ส่ง ซึ่งค่าประสิทธิภาพของโหนดผู้ส่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$P' = \frac{V'}{S} \tag{2}$$

โดย *P'* คือ ค่าประสิทธิภาพของโหนดผู้ส่ง

V' คือ จำนวนโหนดเพื่อนบ้านในอดีตของโหนดผู้ส่งที่ผู้รับไม่เคยเจอมาก่อน

S คือ จำนวนโหนดสมาชิกทั้งหมดของ *complete set*

2. วิธีการในการส่งข้อมูล

การส่งข้อมูลของโพรโทคอลจะแบ่งออกเป็น Spray phase และ Wait phase

Spray phase

เมื่อข้อมูล(Message) ถูกสร้างขึ้นที่โหนดต้นทาง โหนดต้นทางจะสร้างสำเนาเริ่มต้นของข้อมูลแต่ละข้อมูลขึ้นมาจำนวน L สำเนา ต่อมาเมื่อโหนดผู้ส่ง(โหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อ) เคลื่อนที่ไปเจอกับโหนดเพื่อนบ้านแต่ละโหนดจะทำการเปลี่ยนแปลง Neighbor-History List ของตัวเอง และมีการแลกเปลี่ยน List นี้กัน ต่อมาโหนดผู้ส่งจะคำนวณจำนวนสำเนาของข้อมูลที่จะส่งให้กับโหนดผู้รับดังสมการที่ 3

$$N_2 = \lceil Px\ N_1 \rceil \tag{3}$$

โดย N_2 คือ จำนวนสำเนาของข้อมูลที่ส่งให้กับโหนดผู้รับ

P คือ ค่าประสิทธิภาพของโหนดผู้รับ

N_1 คือ จำนวนสำเนาของข้อมูลที่โหนดผู้ส่งมีก่อนทำการส่ง

ซึ่งโหนดผู้รับจะคำนวณจำนวนสำเนาของข้อมูลที่จะรับจากโหนดผู้ส่งดังสมการที่ 4

$$N_2' = \lceil P' x\ N_1 \rceil \quad (4)$$

โดย N_2' คือ จำนวนสำเนาของข้อมูลที่โหนดผู้รับจะรับ

P' คือ ค่าประสิทธิภาพของโหนดผู้ส่ง

N_1 คือ จำนวนสำเนาของข้อมูลที่โหนดผู้ส่งมีก่อนทำการส่ง

โดยหลังจากการส่งแล้ว โหนดผู้ส่งจะเก็บจำนวนสำเนาของข้อมูลที่เหลือตามสมการที่ 5

$$N_1'' = N_1 - N_2 \quad (5)$$

โดย N_1'' คือ จำนวนสำเนาของข้อมูลที่โหนดผู้ส่งเก็บไว้

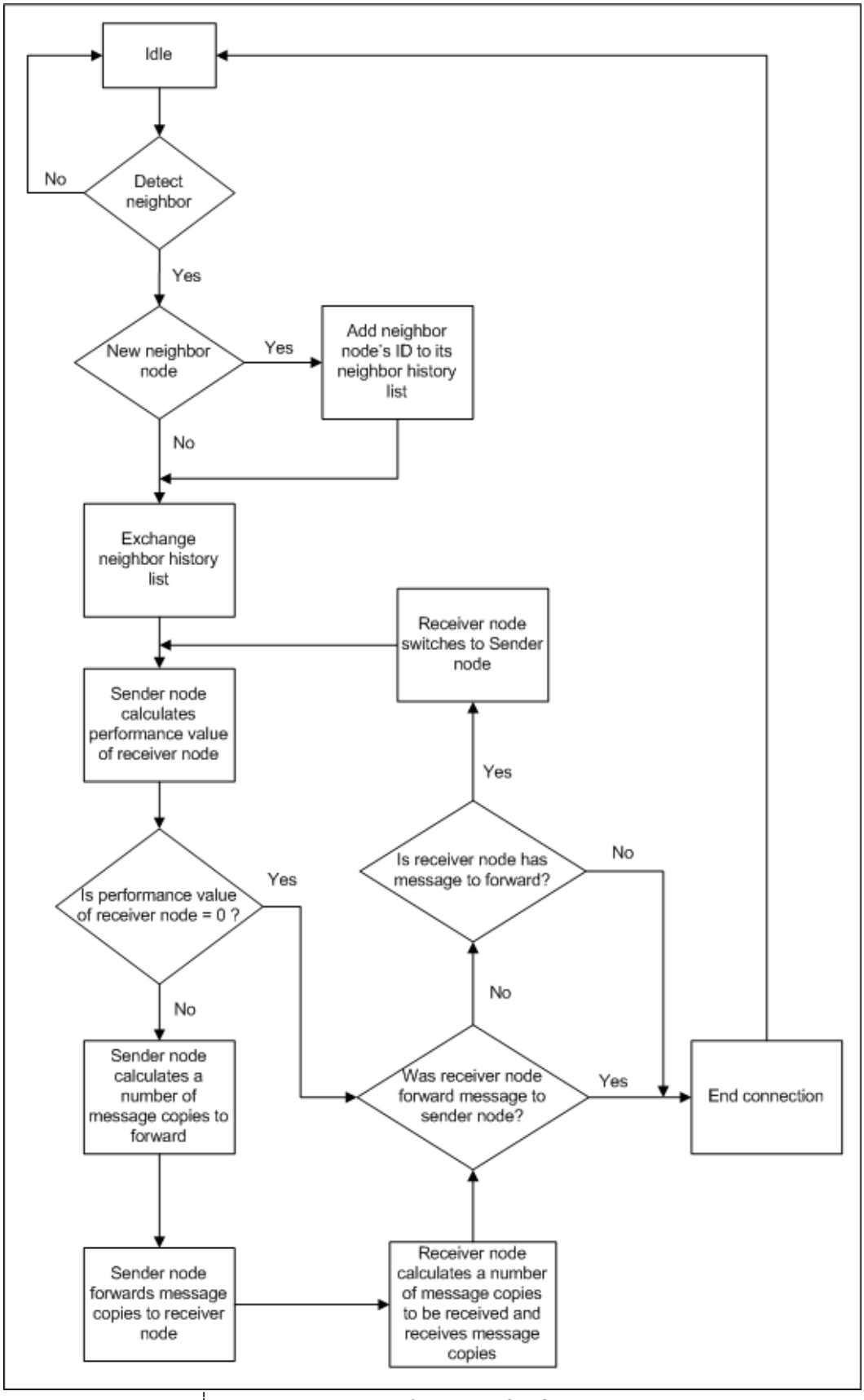
N_1 คือ จำนวนสำเนาของข้อมูลที่โหนดผู้ส่งมีก่อนทำการส่ง

N_2 คือ จำนวนสำเนาของข้อมูลที่ส่งให้กับโหนดผู้รับ

ต่อมาโหนดผู้ส่ง (โหนดต้นทางหรือโหนดส่งต่อ) และโหนดผู้รับข้อมูลที่มีจำนวนสำเนาของข้อมูลมากกว่า 1 สำเนาจะทำการส่งข้อมูลตามกระบวนการข้างต้นซ้ำไปเรื่อยๆจนกว่าแต่ละโหนดจะเหลือจำนวนสำเนาของข้อมูลเพียง 1 สำเนา จากนั้นกระบวนการส่งข้อมูลจะเข้าสู่ขั้นตอน Wait phase ต่อไป

Wait phase

เมื่อโหนดส่งข้อมูลให้โหนดเพื่อนบ้านจนเหลือจำนวนสำเนาข้อมูลเพียง 1 สำเนา กระบวนการส่งข้อมูลจะเข้าสู่ Wait phase โดยโหนดจะรอจนกว่าจะได้เจอกับโหนดปลายทางของข้อมูลนั้นและทำการส่งข้อมูลให้กับโหนดปลายทางโดยตรง



ภาพที่ 3.2 ผังงานแสดงการทำงานของโพรโทคอล DNH-SaW

3.4 ตัวอย่างการทำงานของโพรโทคอล

จากภาพที่ 3.3-3.6 แสดงตัวอย่างการทำงานของโปรโตคอล สมมติว่า ณ เวลา t นาที ข้อมูลถูกสร้างขึ้นที่โหนด S ซึ่งโหนด S ต้องการส่งข้อมูลนี้ไปยังโหนดปลายทางคือ โหนด D โดย ณ เวลา t นาที โหนด S, H และ E มี Neighbor-History List ดังนี้

S = {C, E, J}

H = {A, G, I, K, L}

E = {S, A, C, I}

เริ่มแรก กระบวนการ Spray phase โหนด S จะสร้างสำเนาของข้อมูลจำนวน 6 สำเนา ดังภาพที่ 3.3 และต่อมาโหนด S จะเก็บสำเนาทั้งหมดนี้ไว้ และเคลื่อนที่ไป ต่อมาโหนด S เจอกับโหนด H ดังภาพที่ 3.4 โหนด S และโหนด H จะเปลี่ยนแปลง Neighbor-History List และแลกเปลี่ยน Neighbor-History List กัน ดังนั้นจะได้ complete set คือ {A, C, E, G, H, I, J, K, L, S} ต่อมาโหนด S จะรู้ว่าโหนด H เคยเจอโหนดที่ตัวเองไม่เคยเจอมาก่อนคือโหนด A, G, I, K, L และจะส่งสำเนาข้อมูลให้กับโหนด H จำนวน

$$N_2 = \left\lceil \frac{5}{10} \times 6 \right\rceil = 3 \text{ สำเนา}$$

ต่อมาโหนด S จะเก็บสำเนาที่เหลือจำนวน 3 สำเนาไว้และเคลื่อนที่ต่อไป ต่อมาโหนด H จะทำการคำนวณจำนวนสำเนาข้อมูลที่จะรับจากโหนด S ซึ่งเท่ากับ

$$N_2 = \left\lceil \frac{3}{10} \times 6 \right\rceil = 2 \text{ สำเนา}$$

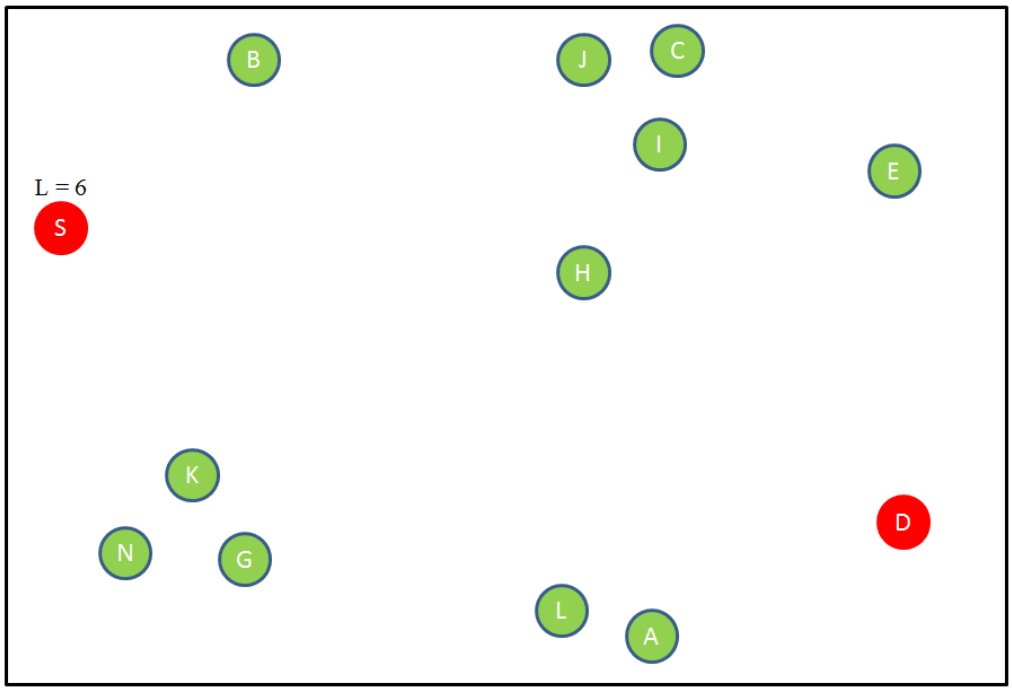
ซึ่งเมื่อโหนด H รับสำเนาข้อมูลมา 2 สำเนาก็จะเคลื่อนที่ไป และเจอโหนด E ดังภาพที่ 3.5 โหนด H และโหนด E จะเปลี่ยนแปลง Neighbor-History List และแลกเปลี่ยน Neighbor-History List กัน ดังนั้นกรณีนี้จะได้ complete set คือ {A, C, E, G, H, I, K, L, S} ต่อมาโหนด H จะส่งสำเนาข้อมูลให้กับโหนด E จำนวน

$$N_2 = \left\lceil \frac{1}{9} \times 3 \right\rceil = 1 \text{ สำเนา}$$

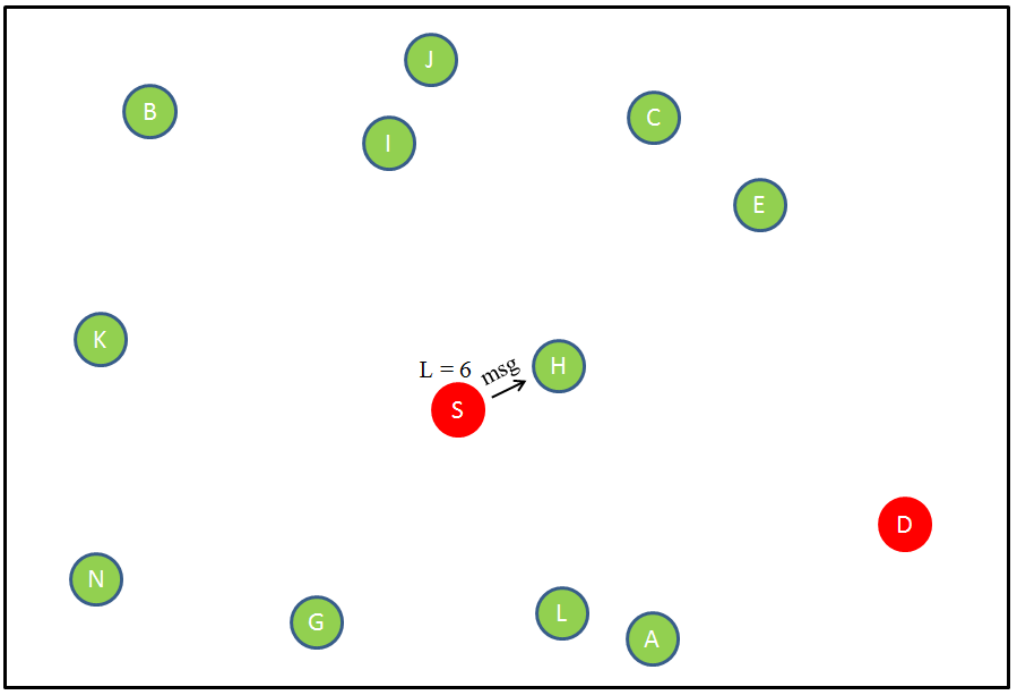
ต่อมาโหนด E จะทำการคำนวณจำนวนสำเนาข้อมูลที่จะรับจากโหนด H ซึ่งเท่ากับ

$$N_2 = \left\lceil \frac{3}{9} \times 3 \right\rceil = 1 \text{ สำเนา}$$

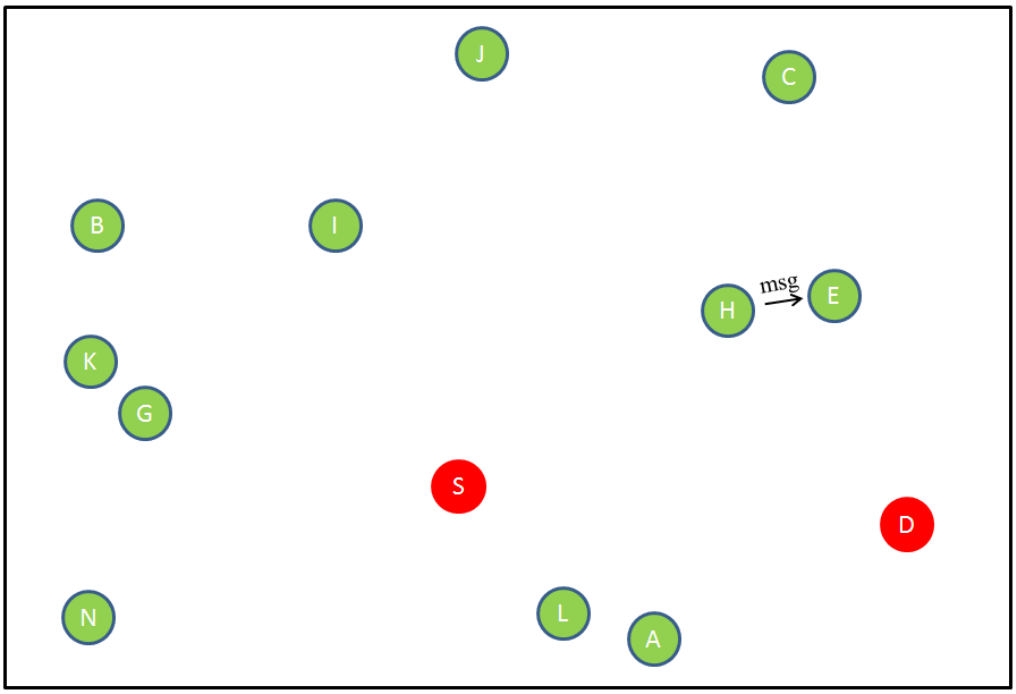
ซึ่งเมื่อโหนด E รับสำเนาข้อมูลมา 1 สำเนา การทำงานจะเข้าสู่ Wait phase โดยโหนด E จะเก็บสำเนาข้อมูลนี้ไว้ เคลื่อนที่ไปและรอจนกว่าจะเจอกับโหนด D ซึ่งเป็นโหนดปลายทางของข้อมูลนี้ ต่อมาโหนด E ได้เจอกับโหนด D ก็จะส่งข้อมูลให้กับโหนด D โดยตรง ดังภาพที่ 3.6



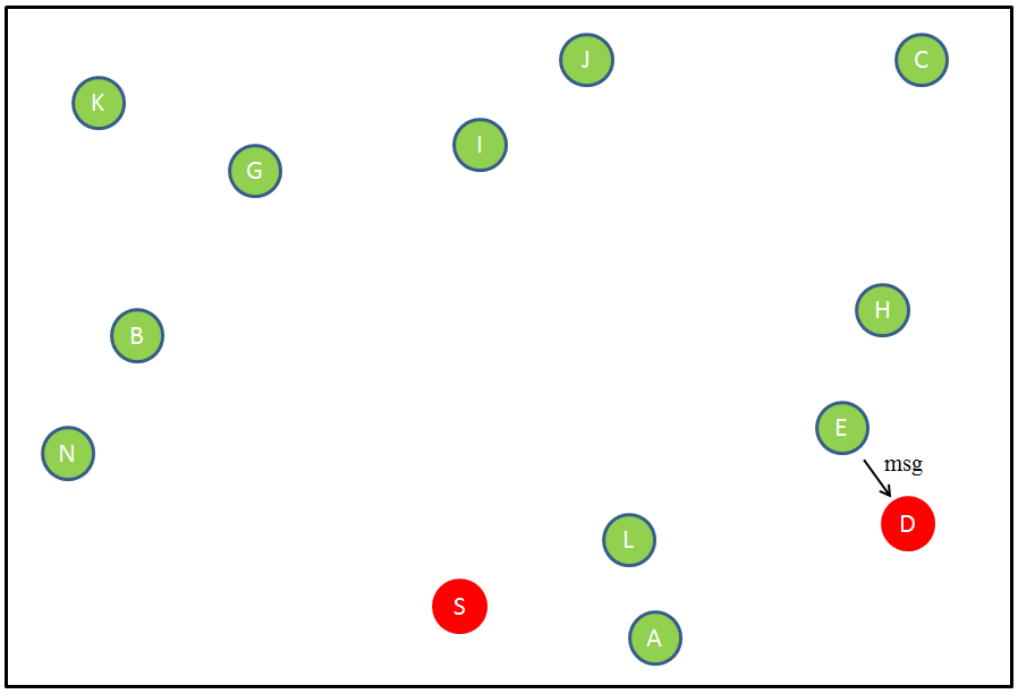
ภาพที่ 3.3 แสดงการทำงานของโพรโทคอล



ภาพที่ 3.4 แสดงการทำงานของโพรโทคอล



ภาพที่ 3.5 แสดงการทำงานของโพรโทคอล



ภาพที่ 3.6 แสดงการทำงานของโพรโทคอล

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโพรโทคอลหาเส้นทาง DNH-SaW ที่นำเสนอเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพของโพรโทคอลหาเส้นทางในงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง โดยการทดลองเริ่มจากการกำหนดตัววัดสมรรถนะของระบบ (Performance Metrics) ในแต่ละด้าน คือ ความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทาง, ความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูล, ความหน่วงเฉลี่ยและอัตราส่วนค่าใช้จ่ายในการสื่อสาร ต่อมาจะทำการเลือกเครื่องมือ โปรแกรมจำลองที่ใช้ และสภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งการทดลองเหล่านี้จะแสดงให้เห็นความแตกต่างด้านสมรรถนะ และประสิทธิภาพระหว่างโพรโคอลหาเส้นทาง DNH-SaW กับโพรโทคอลอื่นๆ

4.1 ตัววัดสมรรถนะของระบบ (Performance Metrics)

จะทำการวัดและประเมินผลโดยใช้เกณต่างๆดังต่อไปนี้

1. ความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทาง (Delivery Probability) โพรโทคอลที่มี ประสิทธิภาพดีจะสามารถส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทางได้ในปริมาณมาก ซึ่งความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทางคำนวณจากปริมาณข้อมูลที่ส่งถึงโหนดปลายทางหารด้วยปริมาณข้อมูลที่สร้างขึ้นทั้งหมด

2. ความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูล (Delivery Utility) แนวคิดของโพรโทคอลที่นำเสนอคือ โพรโทคอลสามารถส่งข้อมูลไปถึงโหนดปลายทางโดยมีปริมาณการส่งข้อมูลทั้งหมดน้อยที่สุด ซึ่งค่าความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูลคำนวณจากปริมาณข้อมูลที่ส่งถึงโหนดปลายทางหารด้วยปริมาณการส่งข้อมูลทั้งหมดระหว่างโหนดหนึ่งไปยังอีกโหนดหนึ่ง ซึ่งค่าความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูลเป็นค่าที่แสดงว่าโพรโทคอลนั้นใช้ทรัพยากรเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพมากเพียงใด

3. ความหน่วงเฉลี่ย (Average Latency) เป็นการคำนวณระยะเวลาเฉลี่ยที่แต่ละข้อมูลถูกส่งถึงโหนดปลายทาง โดยคิดระยะเวลาตั้งแต่ข้อมูลถูกสร้างจนกระทั่งถูกส่งไปถึงโหนดปลายทาง โดยความหน่วงเฉลี่ยคำนวณจากผลรวมของระยะเวลาที่แต่ละข้อมูลใช้จนถูกส่งถึงโหนดปลายทางหารด้วยจำนวนข้อมูลที่ส่งถึงโหนดปลายทางทั้งหมด

4. อัตราส่วนค่าใช้จ่ายในการสื่อสาร (Overhead Ratio) วัตถุประสงค์หลักของโพรโทคอลที่นำเสนอคือ การลดค่าใช้จ่ายในการสื่อสารของโพรโทคอลให้น้อยที่สุด โดยอัตราส่วนค่าใช้จ่ายในการสื่อสารคำนวณจากปริมาณการส่งข้อมูลและข้อมูลควบคุม (control message) ทั้งหมดระหว่างโหนดหนึ่งไปยังอีกโหนดหนึ่งลบด้วยปริมาณข้อมูลที่ส่งถึงโหนดปลายทางและทั้งหมดหารด้วยปริมาณข้อมูลที่ส่งถึงโหนดปลายทาง

4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

เนื่องจากโพรโทคอลหาเส้นทางที่นำเสนอได้ถูกออกแบบมาเพื่อให้ทำงานในสภาวะแวดล้อมเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง ซึ่งเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงมีลักษณะเครือข่ายเป็นแบบเครือข่ายทางโอกาส (Opportunistic Network) ดังนั้นในการวัดสมรรถนะของโพรโทคอลจึงเลือกใช้โปรแกรมจำลอง ONE เวอร์ชั่น 1.4.1 ซึ่งมีความเหมาะสมสำหรับการทดลองในสภาวะแวดล้อมแบบเครือข่ายทางโอกาส

4.2.1 โปรแกรมจำลอง ONE (Opportunistic Network Environment) [13], [14]

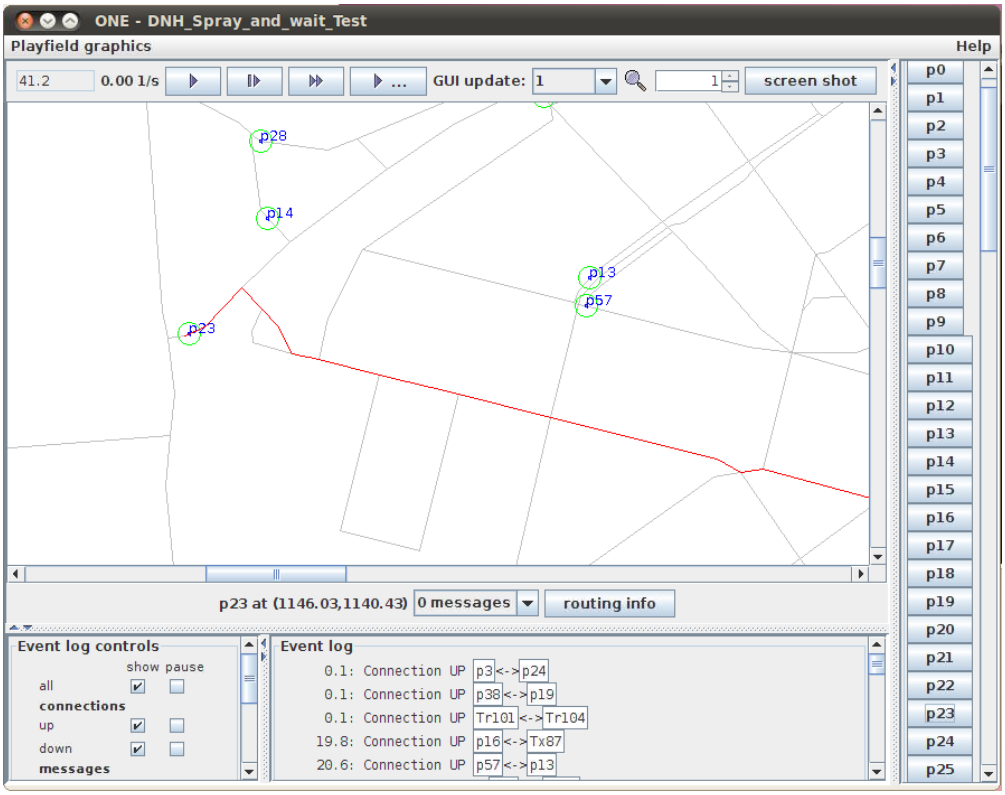
โปรแกรมจำลอง ONE เป็นโปรแกรมจำลองที่ได้รับความนิยมมากในงานวิจัยด้านเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง เนื่องจากโปรแกรมถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการวัดประสิทธิภาพโพรโทคอลหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงโดยเฉพาะ และทดลองในสภาพแวดล้อมแบบเครือข่ายทางโอกาส (Opportunistic Network)

โปรแกรมจำลอง ONE มีฟังก์ชันการทำงานหลัก คือ การจำลองการเคลื่อนที่ของโหนด, การจัดการการเชื่อมต่อกันระหว่างโหนด, การหาเส้นทาง และ การจัดการข้อมูล โดยโปรแกรมจำลอง ONE มีคุณสมบัติพิเศษดังนี้

1. เป็นโปรแกรมที่สามารถจำลองพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของโหนดต่างๆได้ภายในตัวโปรแกรม ได้แก่ การเคลื่อนที่ของรถยนต์บนถนน การเคลื่อนที่ของรถรางตามเส้นทางรถรางภายในแผนที่เมือง และการเคลื่อนที่ของคนเดินเท้าภายในเมืองนั้น โดยมีแผนที่เมืองของจริงให้เลือกใช้ในการทดลอง เช่น แผนที่ส่วนหนึ่งของเมืองเฮลซิงกิ (Helsinki) ประเทศฟินแลนด์ เป็นต้น

2. ตัวโปรแกรมมีส่วนเชื่อมต่อ (Interface) สำหรับการนำเข้า (Import) แบบแผนการเคลื่อนที่ของโหนด (Mobility traces) จากไฟล์ภายนอก และส่งออก (Export) แบบแผนการเคลื่อนที่ของโหนดภายในโปรแกรมไปยังโปรแกรมอื่นได้

3. ตัวโปรแกรมสามารถแสดงผลการจำลองออกมาผ่านทางส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (Graphical User Interface: GUI) ได้ ดังตัวอย่างภาพที่ 4.1 โปรแกรมสามารถแสดงการจำลองในรูปแบบเวลาจริง (Real-time) โดยส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้จะแสดงตำแหน่งของโหนดในแผนที่, เส้นทางการเคลื่อนที่ของโหนดในปัจจุบัน, การเชื่อมต่อกันระหว่างโหนด และจำนวนข้อมูลที่โหนดนั้นเก็บอยู่ เป็นต้น นอกจากนี้เรายังสามารถทำการขยายภาพการจำลองและปรับความเร็วในการจำลองได้อีกด้วย



ภาพที่ 4.1 แสดงตัวอย่างส่วนต่อประสานกราฟิกกับผู้ใช้ (GUI) ของโปรแกรมจำลอง ONE

4.3 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของโพรโทคอล ได้เลือกใช้โปรแกรมจำลอง ONE เวอร์ชั่น 1.4.1และเลือกใช้ส่วนหนึ่งของแผนที่จริงในเมืองเฮลซิงกิ(Helsinki) ประเทศฟินแลนด์มาทำการทดลอง ซึ่งมีขนาดแผนที่กว้าง 3.4 กิโลเมตร ยาว 4.5 กิโลเมตร โดยภายในสภาพแวดล้อมใน

การทดลองประกอบด้วยโหนด 3 ประเภท คือ โหนดคนเดินเท้า (Pedestrian) โหนดรถยนต์ (Car) และโหนดรถราง (Tram) เคลื่อนที่กระจายอยู่ทั่วทั้งแผนที่ ซึ่งจำนวนโหนดทั้งหมดภายในเครือข่าย คือ 106 โหนด แบ่งเป็นโหนดคนเดินเท้า 70 โหนด, โหนดรถยนต์ 30 โหนด และโหนดรถราง 6 โหนด ซึ่งแต่ละกลุ่มโหนดจะมีพฤติกรรมการเคลื่อนที่และความเร็วในการเคลื่อนที่แตกต่างกัน อีกทั้งยังมีขอบเขตบริเวณในการเคลื่อนที่ไม่เท่ากัน คือ โหนดคนเดินเท้าสามารถเคลื่อนที่ไปได้ทุกที่ภายในแผนที่ ส่วนโหนดรถยนต์จะเคลื่อนที่บนส่วนที่เป็นถนนเท่านั้น และรถรางจะเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางรถรางภายในเมือง โดยรายละเอียดความแตกต่างคุณสมบัติของโหนดแต่ละประเภทแสดงดังตารางที่ 4.1

กล่าวถึงแบบจำลองการเคลื่อนที่ ในการทดลองได้เลือกใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ 2 แบบ คือ Shortest Path Map-Based และ Routed Map-Based โดยแบบจำลองการเคลื่อนที่ Shortest Path Map-Based คือแบบจำลองการเคลื่อนที่ที่แต่ละโหนดจะทำการเลือกจุดตำแหน่งปลายทางบนแผนที่แบบสุ่ม และโหนดจะเคลื่อนที่ไปยังจุดปลายทางนั้นโดยเลือกใช้เส้นทางที่มีระยะทางสั้นที่สุดในแผนที่ ส่วนแบบจำลองการเคลื่อนที่ Routed Map-Based คือแบบจำลองการเคลื่อนที่ที่เส้นทางการเคลื่อนที่ทั้งหมดได้ถูกกำหนดบนแผนที่ไว้ก่อนแล้วและโหนดจะเคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่ได้ถูกกำหนดไว้แล้วไปยังจุดปลายทาง

นอกจากนี้สำหรับการเคลื่อนที่ของโหนดคนเดินเท้า แต่ละโหนดสามารถเลือกจุดหมายปลายทางในการเคลื่อนที่ไปตามค่าความน่าจะเป็นของจุดที่น่าสนใจ (Point Of Interest : POI) ภายในแผนที่ดังตารางที่ 4.2 ซึ่งจุดที่น่าสนใจภายในแผนที่จะประกอบด้วย สวนสาธารณะ (Park) ร้านค้า (Shop) จุดนัดพบ (Meeting spot) จุดใจกลางเมือง (Central point) และจุดอื่นๆ (elsewhere) ในแผนที่

ในการทดลอง รายละเอียดเกี่ยวข้อมูลและการตั้งค่าอื่นๆที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 4.3 โดยโหนดต้นทางและโหนดปลายทางของข้อมูลจะถูกสุ่มจากโหนดประเภทคนเดินเท้าเท่านั้น และระยะเวลาในการทดลองทั้งหมด คือ 10 ชั่วโมง เมื่อเวลาในการทดลองสิ้นสุดลงจะทำการเก็บผลการทดลอง เพื่อทำให้ทราบประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอล

ตารางที่ 4.1 รายละเอียดคุณสมบัติของโหนดแต่ละประเภท

พารามิเตอร์	ประเภทโหนด		
	คนเดินเท้า	รถยนต์	รถราง
จำนวนโหนด	70	30	6
แบบจำลองการเคลื่อนที่	Shortest Path Map-Based	Shortest Path Map-Based	Routed Map-Based
ความเร็วโหนด (เมตรต่อวินาที)	0.5-1.5	5.6-16.7	10-22
ระยะเวลารอ (วินาที)	10-30	10-30	50-100
ระยะการสื่อสาร (เมตร)	10	10	50
ขนาดบัฟเฟอร์ (เมกกะไบต์)	10	10	50

ตารางที่ 4.2 ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกจุดหมายปลายทางของโหนดคนเดินเท้า

	Point Of Interest				
	Park	Shop	Meeting spot	Central point	elsewhere
Probability	0.1	0.1	0.3	0.2	0.3

ตารางที่ 4.3 รายละเอียดเกี่ยวกับข้อมูลและการตั้งค่าอื่นๆ

พารามิเตอร์	
จำนวนสำเนาเริ่มต้นของแต่ละข้อมูล (Initial No. of message copies)	6 สำเนา
ช่วงเวลาที่ข้อมูลใหม่ถูกสร้างขึ้น (Message generation interval)	ทุกๆ 30-40 วินาที
ขนาดของข้อมูล (Size of message)	100-200 กิโลไบต์
อายุของข้อมูล (Time To Live)	4 ชั่วโมง
ระยะเวลาทดลองทั้งหมด (Simulation time)	10 ชั่วโมง
จำนวนครั้งในการทดลอง	5 ครั้ง และผลการทดลองใช้ค่าเฉลี่ย

4.4 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างโพรโทคอลที่นำเสนอและโพรโทคอลที่เกี่ยวข้อง

ในการทดลองจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพโพรโทคอล DNH-SaW ที่ได้นำเสนอไว้ในงานวิจัยนี้กับโพรโทคอลอื่นๆ 3 โพรโทคอล คือ

1. Epidemic routing protocol

2. Binary Spray and Wait protocol

3. Quality of Node Spray and Wait protocol (QoN Spray and Wait)

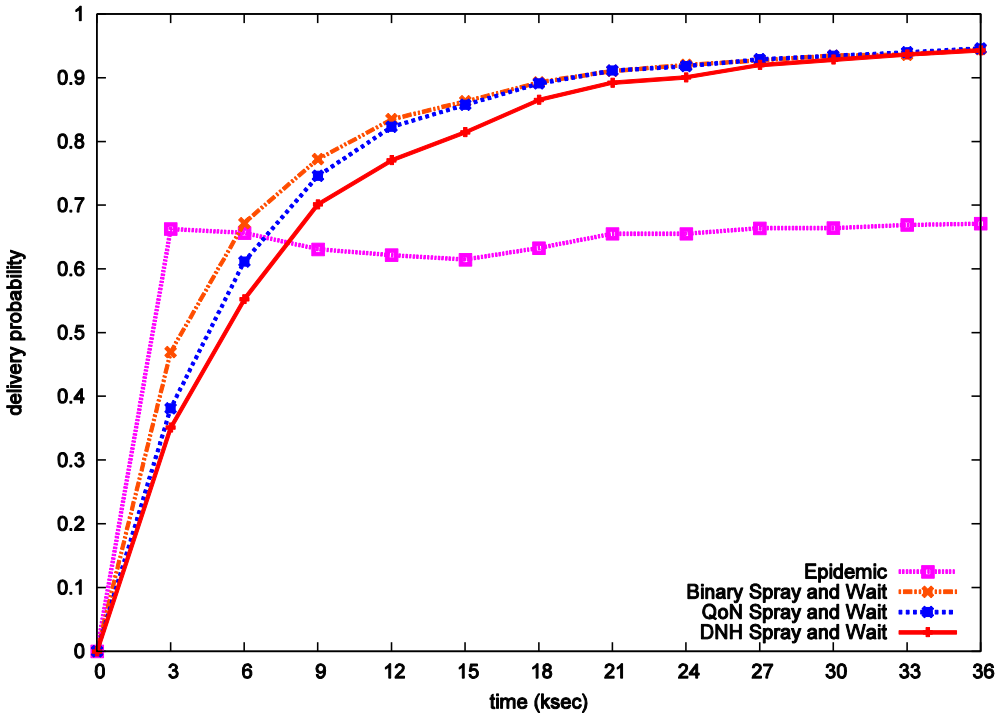
ซึ่งทุกโพรโทคอลจะทำการทดลองโดยใช้สภาพแวดล้อมในการทดลองเดียวกันดังหัวข้อที่ 4.3 และเมื่อเวลาในการทดลองสิ้นสุดลงจะทำการเก็บผลการทดลอง แล้วนำผลการทดลองสมรรถนะแต่ละด้านของแต่ละโพรโทคอลมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานกัน

4.5 ผลการทดลองค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทาง

เมื่อพิจารณาผลการทดลองค่าความน่าเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทาง จากภาพที่ 4.2 พบว่า DNH Spray and Wait มีค่าความน่าเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทางเท่าๆกับ Binary Spray and Wait และ QoN Spray and Wait โดยเมื่อเริ่มทำการทดลอง พบว่าในช่วงแรกของการทดลอง DNH Spray and Wait มีค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทางน้อยกว่าโพรโทคอลอื่นๆ ซึ่งสาเหตุมาจากในช่วงแรกของการทดลองนั้น ข้อมูล (message) ยังถูกส่งไปไม่ครอบคลุมโหนดอื่นๆทั่วทั้งเครือข่าย อีกทั้งในโพรโทคอล DNH Spray and Wait โหนดส่งต่อ (relay node) ยังมีปริมาณการส่งข้อมูลระหว่างโหนดน้อยกว่าโพรโทคอลอื่นๆมาก เนื่องจากจะส่งข้อมูลให้เฉพาะโหนดที่มีประสิทธิภาพหรือโหนดผู้รับที่เคยเจอโหนดใหม่ๆที่โหนดผู้ส่งไม่เคยเจอเท่านั้น เพื่อกระจายข้อมูลให้ครอบคลุมโหนดอื่นๆในเครือข่ายมากขึ้น และโหนดส่งต่ออาจรอที่จะส่งข้อมูลให้กับโหนดเพื่อนบ้านในอดีตอีกครั้ง แต่เมื่อเวลาผ่านไปโหนดผู้ส่งสามารถส่งข้อมูลกระจายครอบคลุมทั่วทุกโหนดในเครือข่ายได้มากขึ้น ทำให้ค่าความน่าเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทางของ DNH Spray and Wait เพิ่มขึ้น ซึ่งหลังจากการทดลองผ่านไป 27,000 วินาที พบว่าค่าความน่าเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทางของ DNH Spray and Wait มีค่าเพิ่มขึ้นจนเทียบเท่ากับ Binary Spray and Wait และ QoN Spray and Wait และหลังจากนั้น DNH

Spray and Wait มีค่าความน่าเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทางมากกว่า Binary Spray and Wait และ QoN Spray and Wait เล็กน้อย

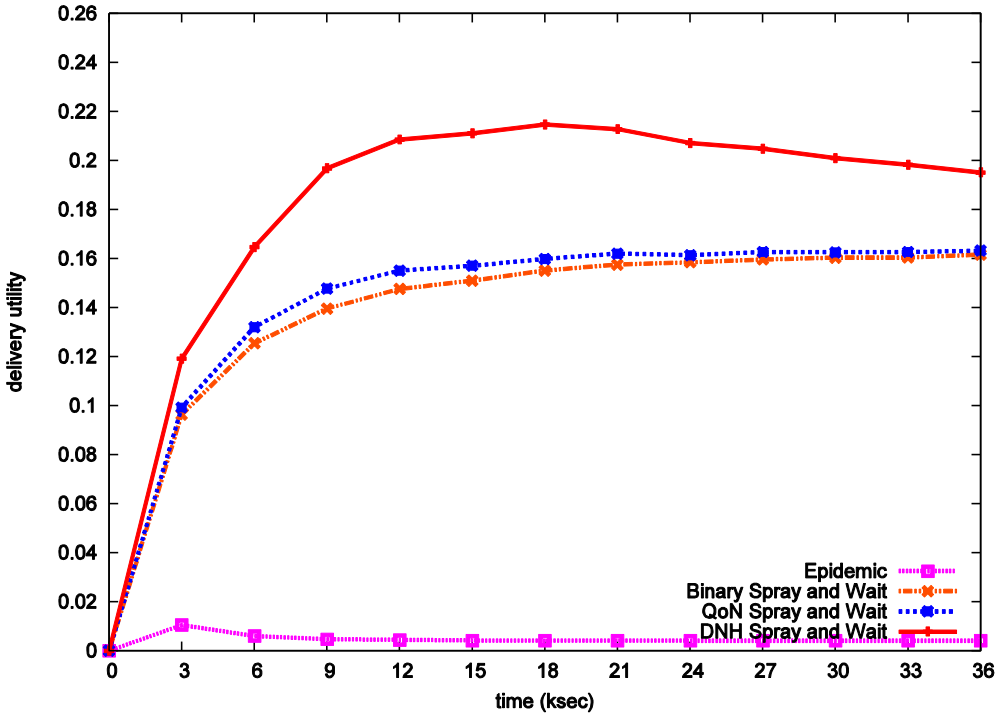
ส่วนผลการทดลองของโพรโทคอล Epidemic routing เมื่อเริ่มทำการทดลอง พบว่าในช่วงแรกของการทดลอง Epidemic routing มีค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทางเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วมาก และมีค่ามากกว่าทุกโพรโทคอล เนื่องจากกระบวนการ flooding ที่โหนดจะส่งข้อมูลให้กับเพื่อนบ้านทุกๆโหนดที่เจอ และโหนดส่งต่อ (relay node) มีปริมาณการส่งข้อมูลให้กับโหนดเพื่อนบ้านจำนวนมาก ทำให้โหนดที่ได้รับข้อมูลมีจำนวนมากและเพิ่มโอกาสในการเจอโหนดปลายทางให้มากขึ้นอย่างรวดเร็ว แต่หลังจาก 3,000 วินาทีเป็นต้นไป ด้วยปริมาณการส่งสำเนาข้อมูลที่มาก ทำให้แต่ละโหนดต้องเก็บสำเนาข้อมูลในบัฟเฟอร์มากขึ้น ส่งผลให้เกิด buffer overflow ขึ้น ทำให้ข้อมูลบางส่วนถูกทิ้ง (Drop) และทำให้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทางลดลง และพบว่าหลังจาก 8,000 วินาทีเป็นต้นไป ค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทางของ Epidemic routing ลดลงจนต่ำกว่าทุกโพรโทคอล



ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทาง

4.6 ผลการทดลองค่าความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูล

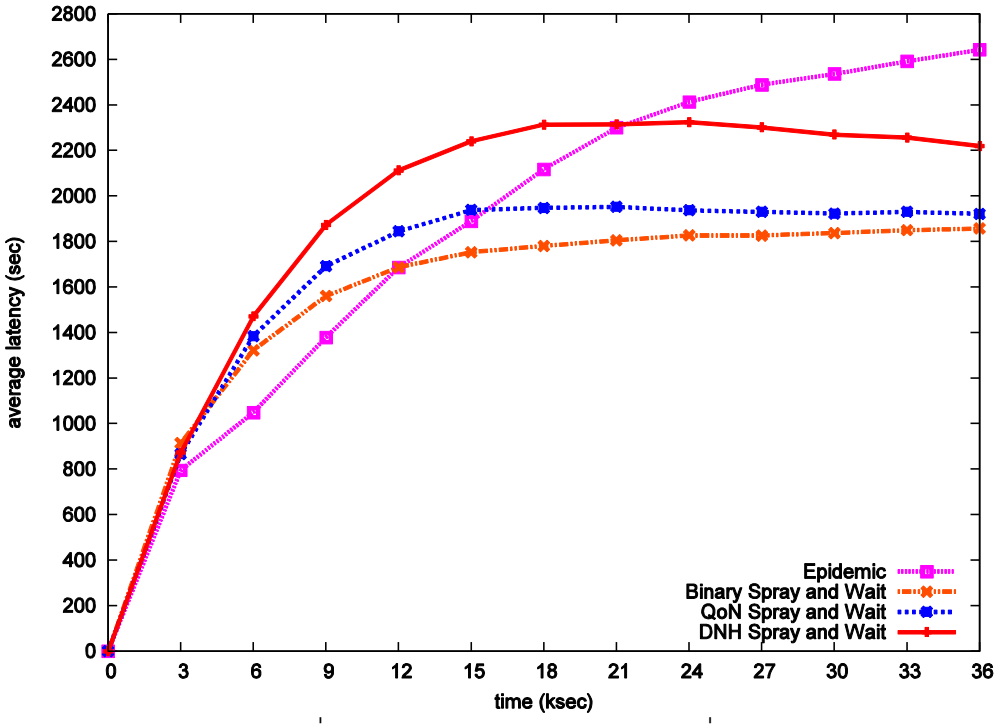
จากกราฟภาพที่ 4.3 แสดงผลการทดลองด้านความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูลของแต่ละโพรโทคอล จากการทดลอง พบว่า DNH Spray and Wait มีค่าความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูลสูงกว่าโพรโทคอลอื่นๆมาก โดย DNH Spray and Wait มีค่าความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูลสูงกว่า Binary Spray and Wait และ QoN Spray and Wait ประมาณ 22 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากโพรโทคอล DNH Spray and Wait มีปริมาณการส่งข้อมูลระหว่างโหนดน้อยกว่าโพรโทคอลอื่น แต่ข้อมูลที่ถูกส่งออกไปนั้นถูกส่งออกไปยังโหนดส่งต่อที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ข้อมูลถูกส่งไปถึงโหนดปลายทางโดยใช้ปริมาณการส่งข้อมูลที่น้อยกว่า Binary Spray and Wait และ QoN Spray and Wait มีค่าความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูลเท่าๆกัน ขณะที่โพรโทคอล Epidemic routing มีค่าความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูลต่ำมาก เนื่องจากกระบวนการ flooding มีปริมาณการส่งข้อมูลระหว่างโหนดสูงมาก อีกทั้งหลังจากทดลองไป 3,000 วินาที บัฟเฟอร์ของโหนดเกิด buffer overflow ขึ้น ทำให้ข้อมูลที่ส่งไปถูกทิ้ง (drop) ก่อนถึงโหนดปลายทาง ส่งผลให้ค่าความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูลของโพรโทคอลลดลง



ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงค่าความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูล

4.7 ผลการทดลองค่าความหน่วงเฉลี่ย

เมื่อพิจารณาค่าความหน่วงเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในการส่งข้อมูลไปยังโหนดปลายทาง จากกราฟภาพที่ 4.4 พบว่า DNH Spray and Wait มีค่าความหน่วงเฉลี่ยมากกว่า Binary Spray and Wait และ QoN Spray and Wait โดยมีค่ามากกว่า Binary Spray and Wait ประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์ และมากกว่า QoN Spray and Wait ประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากโพรโทคอล DNH Spray and Wait มีปริมาณการส่งข้อมูลระหว่างโหนดที่น้อยกว่าโพรโทคอลอื่น และโหนดส่งต่อต้องอาศัยการเคลื่อนที่ของตัวเองเพื่อไปเจอกับโหนดผู้รับที่มีประสิทธิภาพเพื่อส่งต่อข้อมูลให้ ทำให้อาจต้องใช้เวลามากขึ้นในการส่งข้อมูลไปถึงโหนดปลายทาง แต่อย่างไรก็ตาม การที่ข้อมูลใช้เวลาในการเดินทางไปยังโหนดปลายทางเพิ่มขึ้นก็ไม่ได้ส่งผลกระทบให้จำนวนข้อมูลที่ถูกส่งถึงโหนดปลายทางลดลงน้อยกว่าโพรโทคอล Binary Spray and Wait และ QoN Spray and Wait



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่าความหน่วงเฉลี่ย

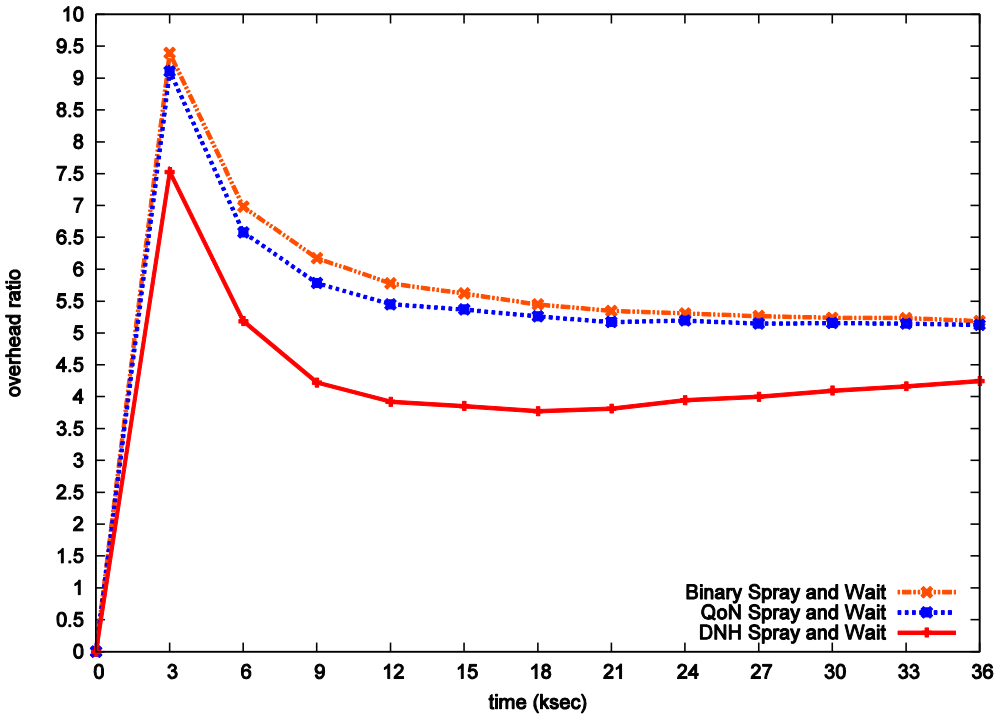
ส่วนผลการทดลองค่าความหน่วงเฉลี่ยของโพรโทคอล Epidemic routing เมื่อเริ่มการทดลอง พบว่าช่วงแรกของการทดลอง Epidemic routing มีค่าความหน่วงเฉลี่ยต่ำกว่าโพรโทคอลอื่นๆ ซึ่งบ่งบอกว่าข้อมูลใช้เวลาเฉลี่ยน้อยกว่าในการไปถึงยังโหนดปลายทาง เนื่องจากในกระบวนการ flooding ซึ่งมีปริมาณการส่งข้อมูลที่สูงมาก จึงทำให้ข้อมูลกระจายไปยังโหนดอื่นๆ อย่างรวดเร็วส่งผลให้ข้อมูลถูกส่งถึงปลายทางได้อย่างรวดเร็วในช่วงแรก แต่ต่อมาเมื่อมีปริมาณ

การส่งสำเนาข้อมูลภายในเครือข่ายมากขึ้น ปริมาณการส่งสำเนาข้อมูลที่มากไปยังโหนดเพื่อนบ้าน ทำให้โหนดเกิด buffer overflow ขึ้น ส่งผลให้ข้อมูลถูกทิ้ง (drop) และข้อมูลถูกส่งไปถึงโหนดปลายทางช้าลง ซึ่งแต่ละข้อมูลใช้เวลามากขึ้น ส่งผลให้ค่าความหน่วงเฉลี่ยของ Epidemic routing เพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆจนกระทั่งหลังจากทดลองไป 21,000 วินาที ค่าความหน่วงเฉลี่ยของ Epidemic routing กลับมามีค่ามากกว่าค่าความหน่วงเฉลี่ยของ DNH Spray and Wait

4.8 ผลการทดลองค่าอัตราส่วนค่าใช้จ่ายในการสื่อสาร

จากกราฟภาพที่ 4.5 แสดงค่าอัตราส่วนค่าใช้จ่ายในการสื่อสารของแต่ละโพรโทคอล จากการทดลอง พบว่า DNH Spray and Wait มีค่าอัตราส่วนค่าใช้จ่ายในการสื่อสารต่ำกว่าโพรโทคอลอื่นๆมาก โดยมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า Binary Spray and Wait และ QoN Spray and Wait ประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งสาเหตุมาจากโพรโทคอล DNH Spray and Wait ใช้ปริมาณการส่งข้อมูลระหว่างโหนดส่งต่อน้อยกว่าโพรโทคอลอื่นๆมาก ขณะที่โพรโทคอลสามารถส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทางได้จำนวนเท่าๆกับโพรโทคอล Binary Spray and Wait และ QoN Spray and Wait



ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนค่าใช้จ่ายในการสื่อสาร

หมายเหตุ ผลการทดลองค่าอัตราส่วนค่าใช้จ่ายในการสื่อสารของโพรโทคอล Epidemic routing ไม่ได้แสดงในกราฟภาพที่ 4.5 เนื่องจากค่าอัตราส่วนค่าใช้จ่ายในการสื่อสารของโพรโทคอลมีค่าสูงถึงประมาณ 244 ซึ่งอยู่นอกเหนือขอบเขตของกราฟ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอแบบแผนการกระจายข้อมูลและรอส่งข้อมูลโดยอาศัยความแตกต่างของเพื่อนบ้านในอดีต สำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง โดยเสนอโพรโทคอลที่มีชื่อว่า Different Neighbor-History Spray and Wait หรือ DNH-SaW ซึ่งเป็นโพรโทคอลหาเส้นทางในเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง

ในงานวิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อศึกษาการทำงานของโพรโทคอลหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง และวิเคราะห์ถึงผลดีและผลเสียของโพรโทคอลหาเส้นทางสำหรับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงที่มีอยู่เดิม ซึ่งพบว่า โพรโทคอลหาเส้นทางที่มีอยู่เดิมสามารถส่งข้อมูลไปถึงโหนดปลายทางได้ปริมาณมาก แต่ต้องใช้ปริมาณการส่งข้อมูลระหว่างโหนดที่สูง ซึ่งบ่งบอกว่าโพรโทคอลยังมีค่าใช้จ่ายในการสื่อสารอยู่ในระดับที่สูง เนื่องจากในโพรโทคอลดั้งเดิมโหนดจะทำการส่งจำนวนสำเนาข้อมูลให้กับโหนดเพื่อนบ้านเท่าๆกัน และตัดสินใจส่งข้อมูลให้ทุกครั้งที่เจอโหนดเพื่อนบ้านโดยไม่คำนึงประสิทธิภาพของโหนดเพื่อนบ้านที่เป็นโหนดผู้รับนั้น งานวิจัยนี้จึงได้เสนอแบบแผนการกระจายข้อมูลที่โหนดผู้ส่งจะคำนึงถึงประสิทธิภาพของโหนดผู้รับก่อนทำการส่งข้อมูล โดยโหนดผู้ส่งจะทำการคำนวณค่าประสิทธิภาพของโหนดผู้รับก่อน แล้วจึงนำค่าประสิทธิภาพมาคำนวณหาจำนวนสำเนาข้อมูลที่เหมาะสมกับการส่งให้โหนดผู้รับนั้น ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า DNH-SaW สามารถลดค่าใช้จ่ายในการสื่อสารลงจากโพรโทคอลเดิมได้สูงสุดถึง 20 เปอร์เซ็นต์ โดยไม่ได้ส่งผลให้จำนวนข้อมูลถูกส่งถึงปลายทางลดน้อยลง และตัวโพรโทคอลมีค่าความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูลมากกว่าโพรโทคอลอื่นๆถึง 22 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งที่กล่าวมานี้บ่งชี้ว่าโพรโทคอลที่นำเสนอใช้ทรัพยากรเครือข่ายได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดภาระของเครือข่ายลงได้ ทำให้มีแบนด์วิดท์เหลือสำหรับบริการด้านอื่นๆต่อไป อีกทั้งโพรโทคอลยังมีประสิทธิภาพในการตัดสินใจส่งหรือไม่ส่งข้อมูลให้โหนดเพื่อนบ้านที่ดีกว่าโพรโทคอลเดิม ทำให้เกิดความคุ้มค่าในการส่งข้อมูลมากขึ้น

5.2 ข้อจำกัด

แม้ว่างานวิจัยที่นำเสนอจะสามารถลดค่าใช้จ่ายในการสื่อสารลงจากโพรโทคอลเดิมลงได้ และมีความคุ้มค่าในการส่งข้อมูลก็ตาม แต่โพรโทคอลยังมีข้อจำกัดในการรองรับการขยาย (scalability) ของเครือข่าย ซึ่งสามารถเกิดขึ้นได้หากมีการนำไปใช้งานจริงๆที่ในเครือข่ายอาจมีปริมาณโหนดที่มากกว่านี้ ในพื้นที่ที่กว้างใหญ่กว่านี้มากๆ ซึ่งจะส่งผลให้ขนาดของรายการเพื่อนบ้านในอดีต (Neighbor history list) ของแต่ละโหนดมีขนาดใหญ่ขึ้นตามไปด้วย ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายในการสื่อสารที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนรายการเพื่อนบ้านในอดีตระหว่างโหนดเพิ่มมากขึ้น และผลการทดลองของโพรโทคอลเกิดจากการทดลองโดยใช้โปรแกรมจำลองซึ่งไม่อาจทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจากการนำมาใช้บนอุปกรณ์จริงได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

โพรโทคอล DNH-SaW จะสามารถรองรับการขยายของเครือข่ายได้มากขึ้น หากมีการจัดการกับขนาดของรายการเพื่อนบ้านในอดีตที่จะมีขนาดมากขึ้นหากในเครือข่ายมีจำนวนโหนดมากขึ้น เช่น มีการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตเป็นระยะๆโดยทำการลบเอาโหนดเพื่อนบ้านในอดีตที่ไม่ได้เจอกันนานมากๆออกจากรายการเพื่อนบ้านในอดีตออกไป เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการแลกเปลี่ยนรายการเพื่อนบ้านในอดีตให้ลดลง อีกทั้งยังเพิ่มความสดใหม่ให้กับรายการเพื่อนบ้านในอดีตอีกด้วย

รายการอ้างอิง

[1] Fall, K. A Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internets, Proc. ACM 2003 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications (SIGCOMM '03), pp. 27-34. 2003.

[2] ElwynDavies. Delay tolerant networking research group [Online]. 2009. Available from: http://www.dtnrg.org [2011, May 23]

[3] Warthman, F. Delay-Tolerant Networks (DTNs) A Tutorial [Online]. 2003. Available from: http://www.ipnsig.org/reports/DTN_Tutorial11.pdf [2011, May 23]

[4] Stephen, K. Mobile Ad Hoc Networks [Online]. Available from: http://www.ece.iupui.edu/~dskim/manet [2011, May 23]

[5] Johnson, D. B., Maltz, D. A., and Broch, J. DSR: The Dynamic Source Routing Protocol for Multi-Hop Wireless Ad-hoc Networks. Addison-Wesley Longman pub, 2001.

[6] Perkins, C. E., and Royer, E. M. Ad hoc On-Demand Distance Vector Routing, Proceedings of the 2nd IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pp.90-100. 1999.

[7] Vahdat, A., and Becker, D. Epidemic routing for partially connected ad hoc networks Duke University, 2000.

[8] Burgess, J., Gallagher, B., Jensen, D., and Levine, B. N. MaxProp: Routing for Vehicle-Based Disruption-Tolerant Networks, Proceedings of IEEE INFOCOM, 2006.

[9] Lindgren, A., Doria, A., and Schelen, O. Probabilistic routing in intermittently connected networks, Proceedings of SAPIR Workshop, pp.239-254. 2004.

[10] Spyropoulos, T., Psounis, K., and Raghavendra, C. S. Spray and Wait: An Efficient Routing Scheme for Intermittently Connected Mobile Networks, Proceedings of the ACM SIGCOMM Workshop on Delay-tolerant Networking, pp.183-189. 2005.

[11] Wang, G., Wang, B., and Gao, Y. Dynamic spray and wait routing algorithm with quality of node in delay tolerant network, WRI International Conference on Communications and Mobile Computing(CMC), pp.452-456. 2010.

[12] Jenjaturong, S., and Intanagonwiwat, C. A Set Cover-Based Density Control Algorithm for Sensing Coverage Problems in Wireless Sensor Networks, 3rd International Conference on Cognitive Radio Oriented Wireless Networks and Communications(CrownCom), 2008.

[13] TKK/COMNET. Project page of the ONE simulator [Online]. 2008. Available from: http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone [2011, March 23]

[14] Keranen, A., Ott, J., and Karkkainen, T. The ONE Simulator for DTN Protocol Evaluation, Proceedings of the 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques, 2009.

ภาคผนวก

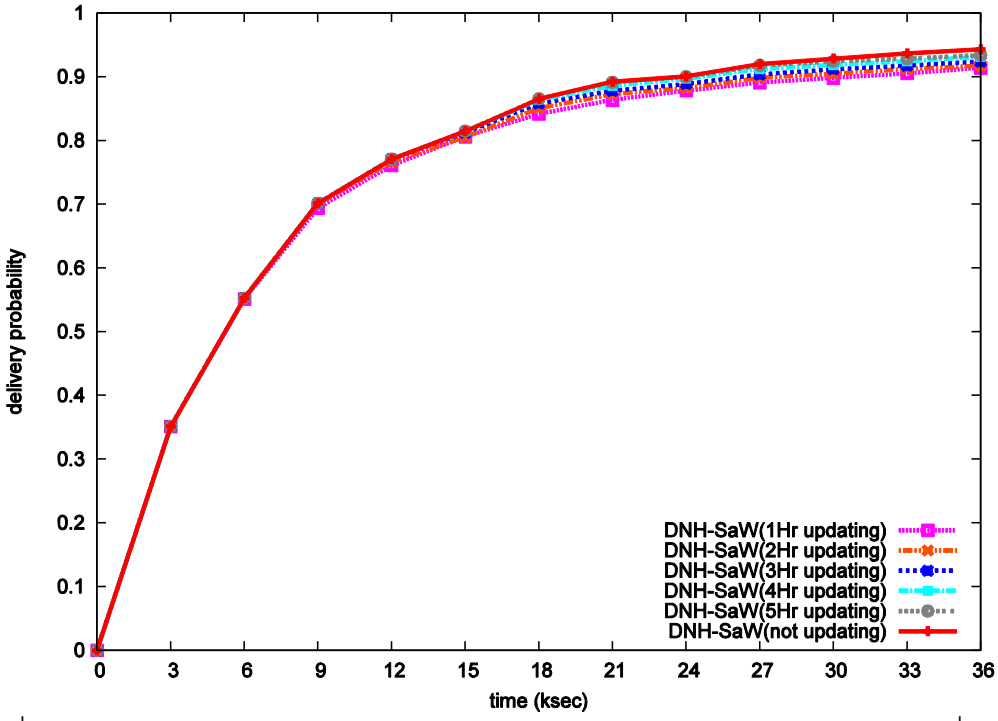
ภาคผนวก

การเพิ่มความสามารถในการรองรับการขยายของเครือข่ายในโพรโทคอล DNH-SaW

ในการเพิ่มความสามารถในการรองรับการขยายของเครือข่ายในโพรโทคอล DNH-SaW นี้ จะทำการทดลองโดยเพิ่มกระบวนการในส่วนการเปลี่ยนแปลง (update) รายการเพื่อนบ้านในอดีตของแต่ละโหนดเป็นระยะๆ กล่าวคือ แต่ละโหนดจะทำการลบหมายเลขประจำโหนดเพื่อนบ้านนั้นออกไปจากรายการเพื่อนบ้านในอดีต (Neighbor history list) หากโหนดเพื่อนบ้านนั้นไม่ถูกพบอีกครั้งภายในระยะเวลาที่กำหนด ดังตัวอย่างเช่น โหนด A เคยเจอโหนด B ในอดีต ในรายการเพื่อนบ้านในอดีตของโหนด A ก็จะบันทึกโหนด B อยู่ แต่หากในอนาคต โหนด A ไม่เจอกับโหนด B อีกครั้งภายในเวลา 1 ชั่วโมง โหนด A จะทำการลบโหนด B ออกจากรายการเพื่อนบ้านในอดีตของตัวเองไป ซึ่งกระบวนการนี้จะทำให้โหนดเพื่อนบ้านที่ไม่ได้เจอกันนานๆ (stale record) ถูกลบทิ้งไปจากรายการเพื่อนบ้านในอดีต ทำให้แต่ละโหนดมีขนาดรายการเพื่อนบ้านในอดีตเล็กลง ส่งผลให้เกิดค่าใช้จ่ายในการสื่อสารในส่วนการแลกเปลี่ยนรายการเพื่อนบ้านในอดีตโดยรวมลดลง

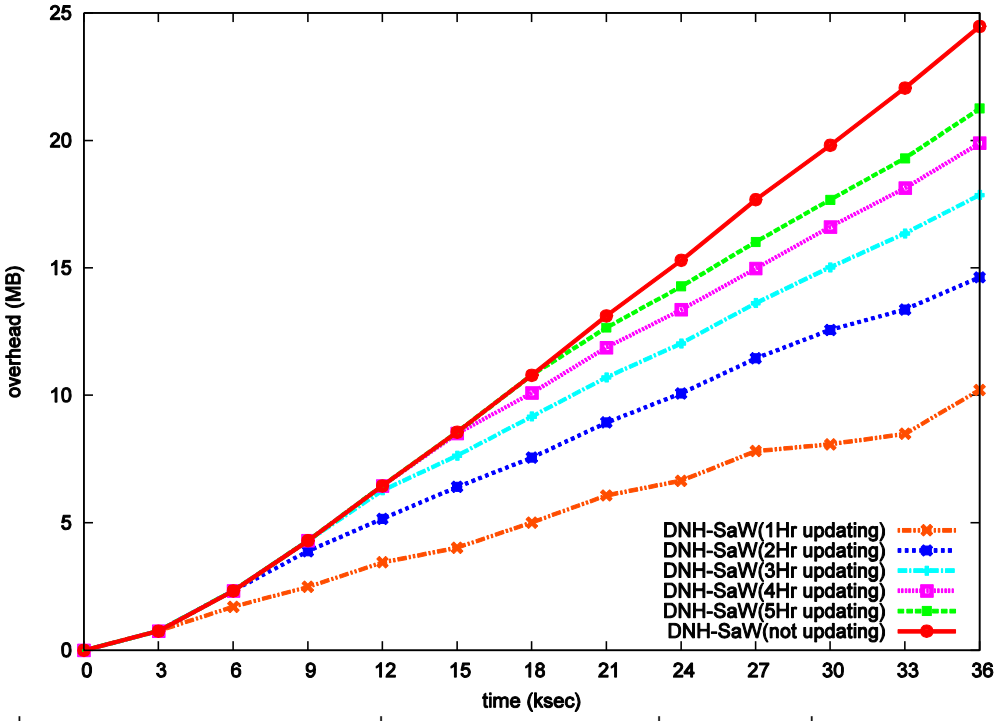
ในการทดลองนี้จะทำการปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลง (update) รายการเพื่อนบ้านในอดีตหากโหนดเพื่อนบ้านนั้นไม่ถูกพบอีกครั้งในระยะเวลา 1, 2, 3, 4 และ 5 ชั่วโมง โดยใช้สภาพแวดล้อมในการทดลองดังที่กล่าวในบทที่ 4 เช่นเดิม เมื่อเวลาในการทดลองสิ้นสุดลงจะทำการเก็บผลการทดลอง เพื่อทำให้ทราบประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอล

จากผลการทดลอง ภาพที่ 1 แสดงค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทางเมื่อปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตที่ระยะเวลาต่างๆ พบว่า การปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีต ทำให้โพรโทคอล DNH-SaW มีค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทางที่ระยะเวลาต่างๆใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงว่า การเพิ่มกระบวนการปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตที่ระยะเวลาต่างๆ ส่งผลต่อประสิทธิภาพด้านค่าความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทางไม่มากนัก



ภาพที่ 1 กราฟแสดงความน่าจะเป็นในการส่งข้อมูลถึงโหนดปลายทางของ DNH-SaW เมื่อปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตที่ระยะเวลาต่างๆ

จากภาพที่ 2 แสดงค่าใช้จ่ายในการสื่อสารเฉพาะส่วนการแลกเปลี่ยนรายการเพื่อนบ้านในอดีต จากกราฟพบว่า เมื่อปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตที่ระยะเวลาน้อยลง ทำให้ค่าใช้จ่ายในการสื่อสารในส่วนการแลกเปลี่ยนรายการเพื่อนบ้านในอดีตลดลง โดยเมื่อปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตเป็น 1 ชั่วโมง สามารถลดค่าใช้จ่ายในการสื่อสารลงจากเมื่อไม่มีการปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตได้ถึง 58 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสาเหตุมาจากช่วงระยะเวลาในการปรับมีค่าน้อยลง ทำให้โหนดเพื่อนบ้านบางโหนดที่ถูกพบอีกครั้งไม่ทันในระยะเวลาที่กำหนดถูกลบทิ้งออกจากรายการเพื่อนบ้านในอดีตของแต่ละโหนด ส่งผลให้ขนาดรายการเพื่อนบ้านในอดีตของแต่ละโหนดมีขนาดเฉลี่ยลดลง ทำให้ค่าใช้จ่ายในการแลกเปลี่ยนรายการเพื่อนบ้านในอดีตลดลงไปด้วย ซึ่งจากผลการทดลองในส่วนนี้ได้แสดงให้เห็นว่า กระบวนการปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตที่เพิ่มเข้ามา สามารถลดค่าใช้จ่ายในการสื่อสารที่เกิดจากการแลกเปลี่ยนรายการเพื่อนบ้านในอดีตลงได้ ส่งผลให้โพรโทคอล DNH-SaW มีความสามารถในการรองรับการขยายของเครือข่ายได้มากขึ้น

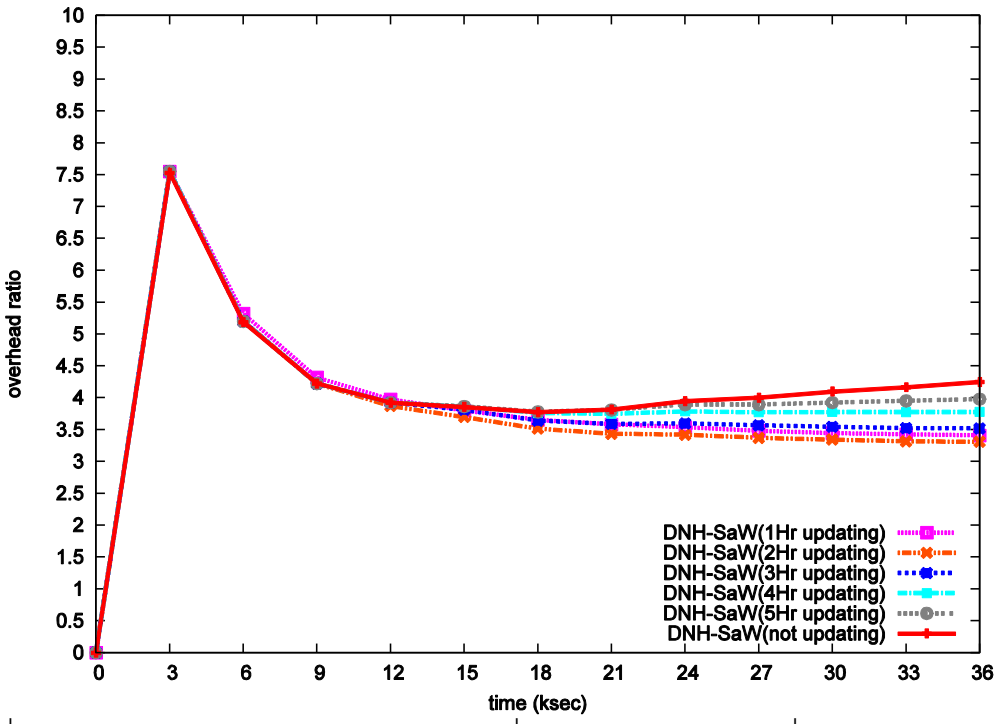


ภาพที่ 2 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายในการสื่อสารเฉพาะการแลกเปลี่ยนรายการเพื่อนบ้านในอดีตของ DNH-SaW เมื่อปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตที่ระยะเวลาต่างๆ

ภาพที่ 3 แสดงค่าอัตราส่วนค่าใช้จ่ายในการสื่อสารของ DNH-SaW เมื่อปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตที่ระยะเวลาต่างๆ จากกราฟพบว่า เมื่อปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตที่ระยะเวลาน้อยลงจะส่งผลให้ DNH-SaW มีค่าใช้จ่ายในการสื่อสารลดลง เนื่องจากเมื่อปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตให้มีค่าน้อยลง ทำให้ค่าใช้จ่ายในส่วนการแลกเปลี่ยนรายการเพื่อนบ้านในอดีตลดลง ซึ่งส่งผลทำให้ DNH-SaW มีค่าอัตราส่วนค่าใช้จ่ายในการสื่อสารลดลงไปด้วย

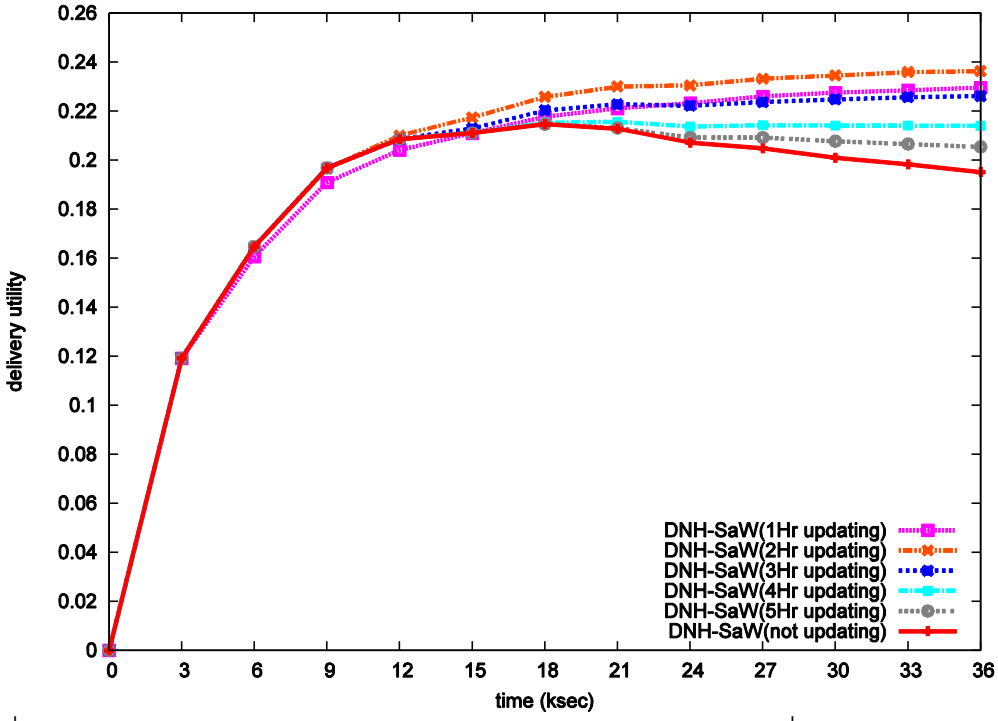
ต่อมาได้ทำการวัดค่าความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูลเมื่อปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตที่ระยะเวลาต่างๆ จากภาพที่ 4 พบว่า เมื่อปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตให้มีระยะเวลาน้อยลง ทำให้ค่าความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูลของโพรโทคอล DNH-SaW เพิ่มขึ้น ซึ่งสาเหตุเกิดจากเมื่อปรับช่วงเวลาให้น้อยลง ทำให้โหนดเพื่อนบ้านในอดีตบางโหนดที่ไม่ได้เจอนานๆ (stale record) ถูกลบออกจากรายการเพื่อนบ้านในอดีตของแต่ละโหนด ส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของแต่ละโหนดผู้รับลดลง ทำให้โหนดผู้ส่งที่มีประสิทธิภาพมากกว่าผู้รับไม่ส่งข้อมูลให้กับผู้รับและโหนดผู้ส่งจะอาศัยการเคลื่อนที่ของตัวเองเพื่อไปส่งข้อมูลให้กับโหนดส่งต่อที่มีประสิทธิภาพอื่นๆหรือโหนดปลายทางเอง ทำให้โพรโท

คอลมีปริมาณการส่งข้อมูลระหว่างโหนดส่งต่อลดลง จึงส่งผลทำให้ DNH-SaW มีค่าความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูลเพิ่มขึ้น

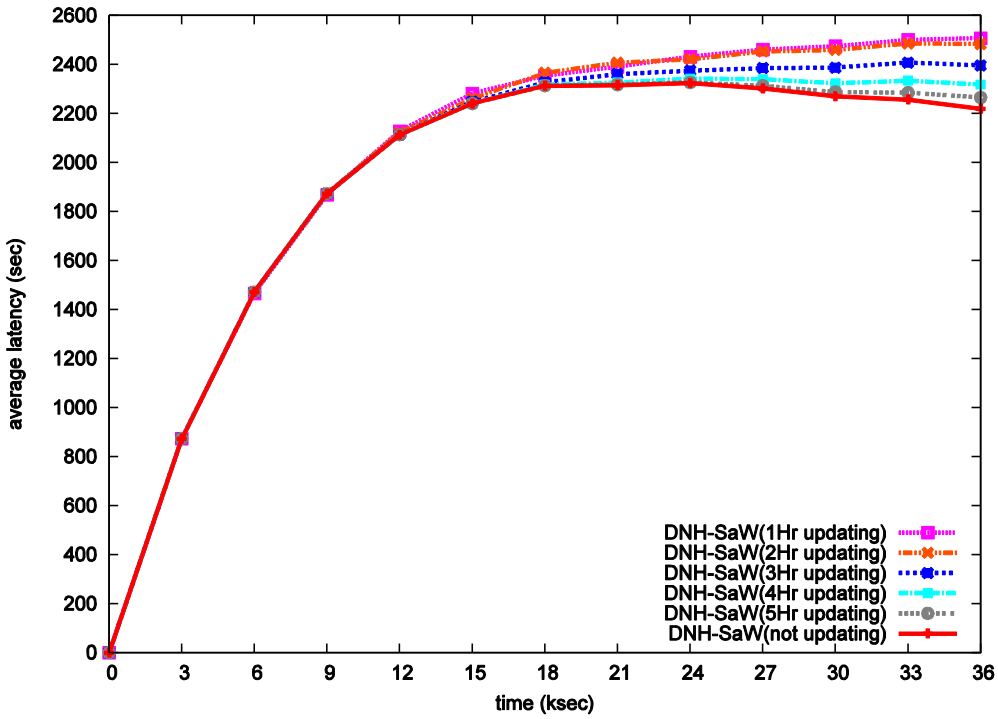


ภาพที่ 3 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนค่าใช้จ่ายในการสื่อสารของ DNH-SaW เมื่อปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตที่ระยะเวลาต่างๆ

ภาพที่ 5 แสดงค่าความหน่วงเฉลี่ยของ DNH-SaW เมื่อปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตที่ระยะเวลาต่างๆ จากกราฟพบว่า เมื่อปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตให้มีระยะเวลาน้อยลง จะส่งผลให้ DNH-SaW มีค่าความหน่วงเฉลี่ยเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตให้มีระยะเวลาน้อยลง ทำให้ค่าประสิทธิภาพเฉลี่ยของแต่ละโหนดผู้รับลดลง ส่งผลให้โพรโทคอลมีปริมาณการส่งข้อมูลระหว่างโหนดส่งต่อลดลง ซึ่งโหนดผู้ส่งที่มีประสิทธิภาพสูงจะอาศัยการเคลื่อนที่ของตัวเองเพื่อไปส่งข้อมูลให้กับโหนดส่งต่ออื่นๆหรือโหนดปลายทางเอง ทำให้ข้อมูลใช้เวลาเฉลี่ยมากขึ้นในการเดินทางไปถึงโหนดปลายทาง



ภาพที่ 4 กราฟแสดงค่าความมีประโยชน์ในการส่งข้อมูลของ DNH-SaW เมื่อปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตที่ระยะเวลาต่างๆ



ภาพที่ 5 กราฟแสดงค่าความหน่วงเฉลี่ยของ DNH-SaW เมื่อปรับช่วงเวลาในการเปลี่ยนแปลงรายการเพื่อนบ้านในอดีตที่ระยะเวลาต่างๆ

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายวิทวัส พฤกษะศรี เกิดเมื่อวันที่ 2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2530 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาจากโรงเรียนอนุบาลพิบูลเวศม์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553