รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกลไกหาเส้นทางแบบเอปิดิมิก ในเครือข่ายดีทีเอ็น

A Study on Energy Efficiency of Epidemic Routing Algorithm in DTNs

ผศ.ดร. สุเมธ ประภาวัต

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกลไกหาเส้นทางแบบเอปิดิมิก ในเครือข่ายดีทีเอ็น

A Study on Energy Efficiency of Epidemic Routing Algorithm in DTNs

ผศ.ดร. สุเมธ ประภาวัต

RCH
ส843ก
2559

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 143098
วัน,เดือน,ปี 22 มิ.ย. 2559

b 12790795
i.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกลไกหาเส้นทางแบบเอปิดิมิก
ในเครือข่ายดีทีเอ็น
แหล่งเงิน เงินรายได้ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล.
ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 50,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ ตุลาคม 2558 ถึง กันยายน 2559
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด
หัวหน้าโครงการ ผศ.ดร.สุเมธ ประภาวัต
หน่วยงานต้นสังกัด คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล.

บทคัดย่อ

เครือข่ายดีทีเอ็น เป็นเครือข่ายเฉพาะกิจที่ถูกกล่าวถึงในงานวิจัยอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความสำเร็จในการส่งข้อความไปยังปลายทาง โหนดต้องคัดลอกและกระจายข้อความไปยังโหนดต่าง ๆ บนเครือข่ายให้มากที่สุด ซึ่งทำให้เกิดความคับคั่งของข้อความบนเครือข่าย และการสูญเสียพลังงานของโหนดจำนวนมากอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้ผู้วิจัยเสนอ EMMA ที่เป็นดีทีเอ็นโปรโตคอลที่ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน กล่าวคือมีความสามารถในการส่งข้อความไปยังโหนดปลายทางด้วยพลังงานต่ำ จากผลการจำลองเสนอให้เห็นว่า EMMA เป็นดีทีเอ็นโปรโตคอลที่สามารถลดการสูญเสียพลังงานของโหนด โดยยังคงไว้ซึ่งความสำเร็จในการส่งข้อความที่สูง จึงทำให้ EMMA เป็นดีทีเอ็นโปรโตคอลที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: A Study on Energy Efficiency of Epidemic Routing Algorithm in DTNs

Researcher: Asst.Prof.Dr. Sumet Prabhavat

Faculty: Information Technology

Department: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

DTN is Ad-hoc network that was widely discussed in many researches. To increase success in sending messages to the destination, nodes copy and spread messages to other nodes on the network as much as possible. However, it causes congestion of messages on the network, and nodes loss energy in their battery as inevitable. So, in this research, we proposed EMMA that was developed to increase energy efficiency. That is the ability to send messages to the destination node with low energy consumption. From the simulation results, EMMA is the DTN protocol that can reduce the energy loss of a node by maintaining the high success of forwarding messaging. Therefore, EMMA is one of energy efficient routing protocols in DTN.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2558 คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

คณะผู้วิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย i
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ii
กิตติกรรมประกาศ iii
สารบัญ iv
สารบัญตาราง vi
สารบัญภาพ vii
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ 2
1.3 ขอบเขตของโครงงาน 2
1.4 ขั้นตอนการพัฒนาโครงงาน 2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง 4
2.1 แนวคิดเบื้องต้นของเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง 4
2.2 ปัญหาของเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง 4
2.3 เอปิดิมิกเร้าติ้ง (Epidemic routing) 5
2.4 ดีทีเอ็นโปรโตคอลในกลุ่มเอปิดิมิกเร้าติ้ง 6
2.4.1 Gossip 7
2.4.2 n-Epidemic 8
2.4.3 Spray&Wait 8
2.4.4 Anti Entropy 9
2.4.5 EMMA 10
บทที่ 3 แบบจำลองเครือข่ายและการวัดผล 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 แบบจำลองเครือข่าย 12
3.2 อายุขัยของเครือข่าย (Network-life time) 13
3.3 ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน 14
บทที่ 4 การวิเคราะห์และประเมินผลการจำลอง 15
4.1 กราฟเฉลี่ยปริมาณการใช้พลังงานของโหนด 15
4.2 กราฟเฉลี่ยความสำเร็จในการส่งข้อความ 16
4.3 กราฟประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 17
4.4 กราฟเฉลี่ยจำนวนโหนดที่หมดพลังงาน 18
4.5 กราฟเฉลี่ยความสำเร็จในการส่งข้อความใน 100 วินาที 19
4.6 กราฟเฉลี่ยปริมาณการใช้พลังงานของโหนดใน 100 วินาที 20
บทที่ 5 สรุปการพัฒนา 21
บรรณานุกรม 22

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก ผลงานส่งเผยแพร่ในวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล.

ภาคผนวก ข ผลงานส่งเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ National Conference on Information Technology: NCIT 2015

ประวัตินักวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

3.1 สภาพแวดล้อมเครือข่าย 13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

2.1 Epidemic routing 6
2.2 Gossip 7
2.3 n-Epidemic 8
2.4 Binary Spray & Wait 9
2.5 Anti Entropy 10
2.6 EMMA 11
3.1 เครือข่ายจำลอง 12
4.1 กราฟเฉลี่ยปริมาณการใช้พลังงานของโหนด 15
4.2 กราฟเฉลี่ยความสำเร็จในการส่งข้อความ 16
4.3 กราฟประสิทธิภาพการใช้พลังงาน 17
4.4 กราฟเฉลี่ยจำนวนโหนดที่หมดพลังงาน 18
4.5 กราฟเฉลี่ยความสำเร็จในการส่งข้อความใน **100** วินาที 19
4.6 กราฟเฉลี่ยปริมาณการใช้พลังงานของโหนดใน **100** วินาที 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

เครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง (Delay-Tolerant Network : DTN) เป็นเครือข่ายรูปแบบหนึ่งใน เครือข่ายเฉพาะกิจ (Ad-hoc Network) ที่โหนดสามารถสื่อสารระหว่างกันได้ โดยไม่จำเป็นต้องได้รับการบริการจากระบบสาธารณูปโภคพื้นฐาน [1] ซึ่งเครือข่ายดีทีเอ็นถูกพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ปัญหาการขาดช่วงการสื่อสาร (intermittence connectivity) อันเนื่องมาจากสาเหตุหลายปัจจัย เช่น รูปแบบการเคลื่อนที่ของโหนด ระดับพลังงานของโหนด ปริมาณข้อความในหน่วงความจำ เป็นต้น โหนดอาศัยกระบวนการฝากและส่งต่อข้อความ (Store and Forward message) [2] เพื่อฝากและส่งต่อข้อความจากโหนดหนึ่งไปยังอีกโหนดหนึ่ง จากต้นทางไปยังปลายทางที่อยู่ไกลออกไป

เอปิดิมิกเร้าติ้ง (Epidemic routing) [3][4] เป็นดีทีเอ็นโปรโตคอลรูปแบบพื้นฐานเนื่องจากมีการทำงานที่ไม่ซับซ้อนกล่าวคือโหนดจะคัดลอกข้อความ และส่งข้อความไปยังโหนดที่อยู่ในระยะการสื่อสาร กระทำซ้ำจนกระทั่งข้อความถูกส่งไปยังโหนดปลายทาง ดังนั้นเอปิดิมิกเร้าติ้งจึงเป็นดีทีเอ็นโปรโตคอล ที่สามารถแพร่กระจายข้อความไปในเครือข่ายได้อย่างรวดเร็ว และมีโอกาสประสบความสำเร็จในการส่งข้อความสูง ด้วยเหตุนี้เอปิดิมิกเร้าติ้งจึงได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องและถูกพัฒนาเพื่อการแลกเปลี่ยนข้อความที่ซ้ำซ้อนและเกินความจำเป็นหลายรูปแบบ เช่น Anti Entropy, n-Epidemic [5], และ Spray&Wait [6] เป็นต้น

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาดีทีเอ็นโปรโตคอลในกลุ่มเอปิดีมิกเร้าติ้ง จะพบว่าดีทีเอ็นโปรโตคอลส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับการรักษาพลังงานของโหนด โดยการลดจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความระหว่างโหนด แต่อย่างไรก็ตามการจำกัดปริมาณการแลกเปลี่ยนข้อความที่มากเกินไปส่งผลให้เกิดความล่าช้าในการส่งข้อความไปยังโหนดปลายทาง ซึ่งเป็นจุดประสงค์สำคัญของการสื่อสารบนเครือข่าย ดังนั้นในงานวิจัยนี้ผู้เขียนให้ความสนใจกับการวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโหนดกล่าวคือ การวัดทรัพยากร (พลังงาน) ที่สูญเสียไปเปรียบเทียบกับปริมาณงาน (ความสำเร็จในการส่งข้อความ) ที่ได้รับ ซึ่งจะแสดงให้เห็นถึง ความคุ้มค่าในการใช้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดของโหนดเพื่อบรรลุจุดประสงค์ของการสื่อสารบนเครือข่ายอย่างแท้จริง

ในบทถัดไปจะกล่าวถึงลักษณะทางกายภาพของเครือข่ายดีทีเอ็น และอธิบายกลไกการทำงาน รวมไปถึงลักษณะเฉพาะตัวของดีทีเอ็นโปรโตคอลในกลุ่มเอปิดิมิกเร้าติ้ง ที่มีความน่าสนใจและได้รับการเผยแพร่ก่อนหน้า ต่อจากนั้นในบทที่สามเป็นการแนะนำแบบจำลองเครือข่ายที่ใช้ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจำลอง รวมไปถึงวิธีการวัดประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ทั้งนี้ผลที่ได้จากการจำลองถูกนำแสดงและวิเคราะห์ผลในบทที่สี่ บทสุดท้ายจะเป็นการสรุปผลการทดลอง

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของโหนด และอายุขัยเครือข่าย ของดีทีเอ็นโปรโตคอลในกลุ่มเอปิดิมิกเร้าติ้ง
2. เพื่อศึกษาและพัฒนาดีทีเอ็นโปรโตคอล ที่สามารถลดความซ้ำซ้อนของข้อความที่มีการแลกเปลี่ยน เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเอปิดิมิกเร้าติ้ง
3. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการทำงานดีเอ็นโปรโตคอลต่าง ๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน อายุขัยเครือข่าย และอัตราการแพร่กระจายข้อความในเครือข่าย

1.3 ขอบเขตของโครงงาน

1. ศึกษาปัญหาที่เกิดขึ้นในการแพร่กระจายข้อความ ของเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง เมื่อความหนาแน่นของโหนดเพิ่มมากขึ้น
2. เลือกปัญหาที่มีความสำคัญทั้งหมด เพื่อศึกษาและทำความเข้าใจถึงสาเหตุของปัญหา ซึ่งในกรณีนี้หมายถึงปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความ
3. ศึกษาแนวทางในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากง
4. านวิจัยต่าง ๆ
5. ทำการพัฒนาดีทีเอ็นโปรโตคอล เพื่อแก้ปัญหาการสื่อสารตามที่ระบุข้างต้น
6. สร้างระบบจำลองการสื่อสารบนเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของดีเอ็นโปรโตคอลที่สร้างขึ้น กับดีเอ็นโปรโตคอลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง

1.4 ขั้นตอนการพัฒนาโครงงาน

1. ศึกษาดีเอ็นโปรโตคอลต่างๆ ลำดับการพัฒนา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อทำความเข้าใจถึงสาเหตุการพัฒนา ข้อด้อยของงานวิจัยก่อนหน้า และแนวทางการแก้ไข
2. ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของดีเอ็นโปรโตคอลต่างๆ
3. พัฒนาดีเอ็นโปรโตคอล ตามปัจจัยที่ได้จากข้อก่อนหน้า
4. ทำการทดสอบดีเอ็นโปรโตคอลที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ซอฟแวร์จำลองเครือข่ายในสถานการณ์ที่โหนดมีการเคลื่อนที่อิสระ ในแต่ละความหนาแน่นของโหนด
5. วิเคาระห์และเปรียบเทียบค่าทางสถิติระหว่างแต่ละดีเอ็นโปรโตคอล รวบรวม และจัดทำรายงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. แบบจำลองการสื่อสารของโหนดเคลื่อนที่ ในสภาพแวดล้อมของเครือข่ายดีทีเอ็น
2. ผลวิเคาระห์ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ของดีทีเอ็นโปโตคอลในกลุ่มเอปิดมิกเร้าติ้ง
3. ดีทีเอ็นโปรโตคอลที่มีประสิทธิ์ภาพในการใช้พลังงานนเครือข่ายดีทีเอ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดเบื้องต้นของเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง

ในสภาพแวดล้อมของเครือข่ายเฉพาะกิจ ซึ่งการเคลื่อนที่ของโหนดไม่แน่นอน และสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา โอกาสที่ข้อความจากโหนดต้นทางถูกส่งไปยังโหนดปลายทางสำเร็จจึงเป็นไปได้ยาก เนื่องจากโหนดต้นทางไม่สามารถหาเส้นทางการส่งข้อความไปยังโหนดปลายทางได้ นอกจากนี้ในขณะส่งข้อความผ่านเส้นทางดังกล่าว เส้นทางอาจถูกตัดขาดกระทันหันและทำให้การสื่อสารล้มเหลว ในกรณีที่เกิดการตัดขาดของเส้นทางเป็นระยะเวลานานเกิดกว่าที่กำหนด เรียกปัญหาดังกว่าว่า การเชื่อมต่อที่ไม่สม่ำเสมอ (Intermittent connectivity) ซึ่งเมื่อพิจารณาในรายละเอียดจะพบว่า ปัญหาดังกล่าวทำให้เกิดอุปสรรคในการสื่อสารหลายประการ เช่น ความหน่วงมีค่าสูง ความไม่สมดุลของอัตราการส่งข้อความ อัตราความผิดพลาดสูง เป็นต้น [7]

เพื่อให้เครือข่ายดีทีเอ็นสามารถก้าวข้ามปัญหาการเชื่อมต่อที่ไม่สม่ำเสมอไปได้ หลักการฝากและส่งต่อข้อความ (Store and forward) จึงถูกนำมาใช้ร่วมกับการส่งข้อความ กล่าวคือเมื่อโหนดต้นทางต้องการส่งข้อความไปยังโหนดปลายทาง โหนดต้นทางจะไม่ค้นหาเส้นทางการส่งข้อความ แต่จะใช้การฝากและส่งข้อความไปยังโหนดที่อยู่ในระยะการสื่อสาร โดยโหนดดังกล่าวจะทำหน้าที่รับฝากข้อความ จนกระทั่งสามารถเชื่อมต่อและส่งข้อความต่อไปยังโหนดอื่น ๆ หรือโหนดปลายทางได้ จะเห็นว่าลักษณะการส่งข้อความของเครือข่ายดีทีเอ็น คล้ายกับการรอคอยโอกาสที่โหนดจะพบโหนดถัดไปเพื่อส่งข้อความ ดังนั้นอาจเรียกการส่งข้อความลักษณะดังกล่าวว่าการเชื่อมต่อเมื่อมีโอกาส (Opportunistic contacts) ได้เช่นกัน

2.2 ปัญหาของเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง

ถึงแม้ว่าเครือข่ายดีทีเอ็นสามารถทำให้การสื่อสาร ในสภาพแวดล้อมของเครือข่ายเฉพาะกิจที่มีการเชื่อมต่อที่ไม่สม่ำเสมอได้ แต่อย่างไรก็ตามการที่โหนดสามารถเคลื่อนที่ และแลกเปลี่ยนข้อความกับโหนดอื่น ๆ ได้อย่างอิสระ ทำให้จำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความจำนวนมาก ซึ่งจำเป็นต้องได้รับความสนใจอย่างยิ่ง เมื่อพัฒนาดีทีเอ็นโปรโตคอล เพราะส่งผลต่อประสิทธิภาพการสื่อสารบนเครือข่ายดีทีเอ็น และอาจรวมไปถึงความสำเร็จและความล้มเหลวของเครือข่ายในระยะยาว ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงกล่าวถึงข้อจำกัดที่น่าสนใจ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ [8][9]

1. **เวลาในการรอคอยโหนดถัดไป (Contact schedules)** เมื่อโหนดได้รับข้อความ โหนดจะเก็บข้อความไว้จนกระทั่งสามารถส่งข้อความไปยังโหนดถัดไป ซึ่งเวลาในการรอคอย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

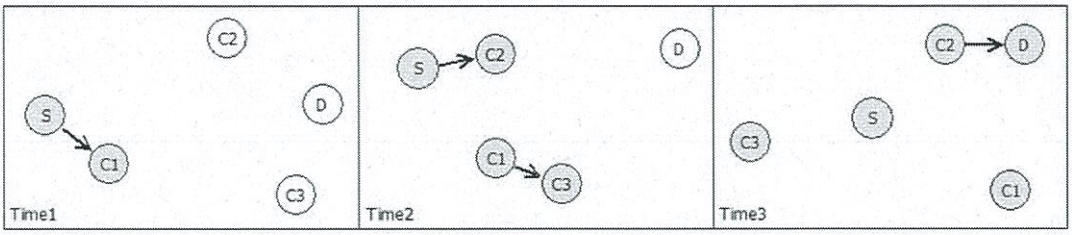
ดังกล่าวถูกเรียกว่า เวลาในการรอคอยโหนดถัดไป ทั้งนี้สำหรับดีทีเอ็นโปรโตคอล เวลาในการรอคอยโหนดถัดไป ถือเป็นข้อจำกัดที่มีความท้าทายอย่างมาก เนื่องจากไม่สามารถคาดการได้ว่า เมื่อใดโหนดที่รับฝากข้อความจะพบโหนดถัดไป หรือควรจะส่งข้อความไปให้โหนดใดเพื่อให้ความความถูกส่งต่ออย่างต่อเนื่อง จนถึงโหนดปลายทางเร็วที่สุด

2. **ขนาดพื้นที่ของหน่วยความจำ (Buffer space)** เพื่อจัดการกับปัญหาการเชื่อมต่อที่ไม่ต่อเนื่อง โหนดจำเป็นต้องจัดเก็บข้อความไว้ในหน่วยความจำ เพื่อรอการส่งต่อไปยังโหนดถัดไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง ดังนั้นดีทีเอ็นโปรโตคอลต้องจัดการให้โหนดมีพื้นที่เพียงพอสำหรับเก็บข้อความที่รอคอยการถูกส่งต่อไปยังโหนดถัดไป นอกจากนีดีทีเอ็นโปรโตคอลยังต้องระมัดระวังในการส่งต่อข้อความ เนื่องจากโหนดถัดไปอาจมีพื้นที่ว่างไม่เพียงพอและทำให้ข้อความที่ส่งไปถูกปฏิเสธได้เช่นกัน
3. **แหล่งพลังงาน (Energy)** โหนดในเครือข่ายดีทีเอ็นมีพลังงานจำกัด เนื่องจากโหนดดังกล่าวมีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา หรืออยู่ในบริเวณที่ไม่สามารถเติมพลังงานได้ แต่อย่างไรก็ตามโหนดต้องใช้พลังงานต่อเนื่องในการแลกเปลี่ยนข้อความ เก็บรักษาข้อความในหน่วยความจำและประมวลผล ดังนั้นการลดจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความจึงมีความสำคัญต่อเครือข่ายดีทีเอ็น เพื่อลดการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์และยืดอายุขัยเครือข่ายให้นานมากขึ้น

2.3 เอปิดิมิกเร้าติ้ง (Epidemic routing)

เอปิดิมิกเร้าติ้งคือดีทีเอ็นโปรโตคอล ที่ถูกพัฒนาสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อความบนสมมุติฐานที่ว่า การเคลื่อนที่ของโหนดในเครือข่ายเป็นแบบสุ่ม การคาดการณ์รูปแบบการเคลื่อนที่ที่ไม่ทำให้เกิดประโยชน์ในการส่งข้อความจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางเช่นโหนดที่ถูกคาดการณ์ว่าสามารถส่งข้อความไปให้โหนดปลายทางได้เร็วที่สุดเนื่องจาก ณ ช่วงเวลานั้นมีความเร็วและทิศทางไปยังโหนดปลายทาง แต่เมื่อเวลาผ่านไป โหนดดังกล่าวอาจจะเป็นโหนดที่แย่ที่สุด เพราะได้มีการเปลี่ยนทิศทางไปในทางตรงกันข้ามเป็นต้น เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว เอปิดิมิกเร้าติ้งจึงกำหนดให้เพิ่มกลไกการคัดลอกข้อความเข้าไปในกระบวนการฝากและส่งต่อข้อความกล่าวคือแทนที่โหนดส่งข้อความไปยังโหนดถัดไปเพียงอย่างเดียว โหนดจะคัดลอกข้อความเก็บไว้กับหน่วยความจำ และฝากไปกับโหนดทุกโหนดที่เข้ามาในระยะการสื่อสาร โดยหวังว่าจะมีโหนดใดโหนดหนึ่งสามารถส่งข้อความไปยังโหนดปลายทางได้ [3]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.1 Epidemic routing

ภาพที่ 2.1 แสดงตัวอย่างการแลกเปลี่ยนข้อความของเอปิดิมิกเร้าติ้ง โหนด S ต้องการส่งข้อความไปให้โหนด D แต่เนื่องจากไม่มีเส้นทางจากโหนด S เชื่อมไปยังโหนด D โดยตรง ดังนั้นที่ Time1 โหนด S จึงคัดลองและส่งต่อข้อความไปให้โหนด C1 ซึ่งเป็นโหนดที่อยู่ในระยะการสื่อสาร ณ ขณะนั้น ต่อจากนั้นที่ Time2 โหนดต่าง ๆ เคลื่อนที่ทำให้โหนด S และ C1 สามารถคัดลอกและส่งต่อข้อความไปให้โหนด C2 และ C3 ตามลำดับ และที่ Time3 โหนด C2 ที่ฝากข้อความก่อนหน้านี้ เข้าไปอยู่ในระยะการสื่อสารของโหนนด D จึงทำให้สามารถส่งข้อคามที่ผากมากจากโหนด S ไปให้โหนด D ได้สำเร็จ

2.4 ดีทีเอ็นโปรโตคอลในกลุ่มเอปิดิมิกเร้าติ้ง

เมื่อพิจารณาจำนวนการแลกเปลี่ยนที่เกิดขึ้นจากอิปิดิมิกเร้าติ้ง จะเห็นได้ว่าโหนดจำเป็นต้องมีหน่วยความจำและพลังงานที่สูงระดับหนึ่ง เพื่อรองรับการรับฝากข้อความจากโหนดรอบข้างจำนวนมาก หรือการส่งข้อความอย่างต่อเนื่องไปยังโหนดรอบข้าง ซึ่งต่างกับความเป็นจริงที่พบในเครือข่ายดีทีเอ็นส่วนใหญ่กล่าวคือ โหนดเป็นอุปกรณ์ไร้สายเคลื่อนที่ที่มีหน่วยความจำและพลังงานจำกัด และนี้คือเหตุผลหลักของการพัฒนาดีทีเอ็นโปรโตคอลในกลุ่มอิปิดิมิกเร้าติ้ง เพราะถ้าไม่มีการลดจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความ เครือข่ายจะเกิดความคับคั่ง อัตราการชนของข้อความเพิ่มสูงขึ้น ข้อความจะถูกปฏิเสธเนื่องจากหน่วยความจำของโหนดถัดไปเต็ม ทำให้โหนดมีการใช้พลังงานที่มีอยู่จำกัดอย่างไม่มีประสิทธิภาพ เกิดการดับของโหนดจำนวนมาก จนนำไปสู่ความล้มเหลวของเครือข่ายในท้ายที่สุด

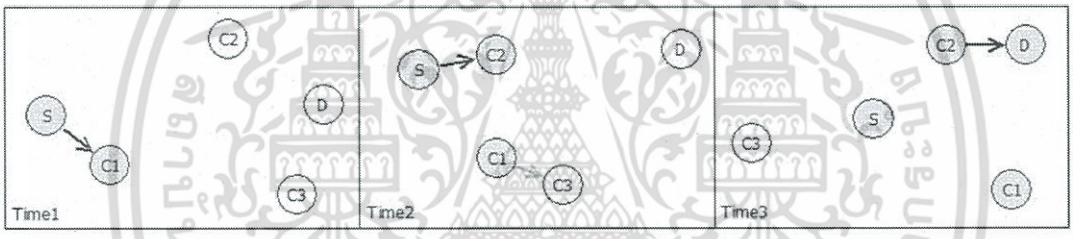
ในหัวข้อนี้เป็นการยกตัวอย่างดีทีเอ็นโปรโตคอลในกลุ่มอิปิดิมิกเร้าติ้ง ที่แต่ละตัวมีเทคนิคหรือวิธีการในการลดจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความที่แตกต่างกัน [10][11][12] เช่น ประยุกต์หลักการความน่าจะเป็น นำประโยชน์ของการสื่อสารมาใช้ การลดจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความซ้ำซ้อน เป็นต้น จะเห็นได้ว่าการลดจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความ ไม่เพียงแต่ทำให้โหนดสูญเสียพลังงานที่มีอยู่จำกัดน้อยลง แต่ยังลดจำนวนข้อความที่ถูกเก็บอยู่ในหน่วยความจำด้วย แต่อย่างไรก็ตามดังที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหนด ดังนั้นดีทีเอ็นโปรโตคอลที่ถูกนำเสนอต่อจากนี้ จึงเป็นดีทีเอ็นโปรโตคอลที่น่าสนใจในการลดจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความ เพื่อลดการใช้พลังงานของโหนด

2.4.1 Gossip

Gossip เป็นการนำหลักการความน่าจะเป็นมาใช้ในการแพร่กระจายข้อความของอิปิดิมิกเร้าติ้ง โดยลดจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความจากการลดปริมาณโหนดที่ทำหน้าที่แพร่กระจายข้อความ กล่าวคือโหนดต้นทางไม่จำเป็นต้องแพร่ข้อความไปให้ทุกโหนดในเครือข่าย แต่ใช้หลักการแพร่กระจายไปให้เพียงส่วนหนึ่ง หลังจากนั้นโหนดเหล่านั้นก็จะแพร่กระจายไปยังโหนดอื่น ๆ เพียงจำนวนหนึ่ง จนกระทั่งมีโหนดมีข้อความกระจายอยู่ทั่วทั้งเครือข่าย ซึ่งเมื่อถึงจุดดังกล่าวโอกาสที่โหนดปลายทางจะได้รับข้อความก็ไม่น้อยไปกว่าเอปิดิมิกเร้าติ้ง จะเห็นว่าหลักการดังกล่าวคล้ายกับการแพร่กระจายข่าวลือ ซึ่งเริ่มต้นจากคนที่รู้ข่าวจำนวนหนึ่ง แล้วแพร่ข่าวไปเรื่อย ๆ จนมีคนที่รู้ข่าวอยู่ทั่วบริเวณ [13]



ภาพที่ 2.2 Gossip

ภาพที่ 2.2 อธิบายตัวอย่างการแพร่กระจายข้อความของ Gossip เริ่มที่ Time1 โหนด S ส่งข้อความที่ต้องการฝากไปให้โหนด D ไปให้โหนด C1 เนื่องจากค่าสุ่มที่ได้อยู่ในเกณฑ์บวก ต่อจากนั้นที่ Time2 โหนด S และโหนด C1 พบโหนด C2 และโหนด C3 ตามลำดับ แต่ข้อความถูกคัดลอกและส่งต่อไปให้โหนด C2 เท่านั้น เนื่องจากค่าความหน้าจะเป็นในการส่งข้อความของ C1 เป็นลบ ดังนั้นโหนด C1 จึงไม่ส่งข้อความไปให้โหนด C3 และที่ Time3 โหนด C2 พบโหนด D จึงส่งข้อความที่ได้รับฝากมาจากโหนด S ไปให้ จะเห็นได้ว่าการทำงานของ Gossip คล้ายกับการแพร่กระจายข่าวลือ กล่าวคือทุกโหนดไม่จำเป็นต้องได้รับข้อความ เพียงแค่มีโหนดที่ได้รับข้อความจำนวนหนึ่ง ข้อความจากโหนดต้นทางก็สามารถส่งต่อไปถึงโหนดปลายทางได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 n-Epidemic

โหนดในเครือข่ายดีทีเอ็นส่วนใหญ่เป็นอุปกรณ์ไร้สายเคลื่อนที่ ซึ่งมีการส่งข้อความในลักษณะบรอดแคส (Broadcast) กล่าวคือ เมื่อโหนดส่งข้อความออกไป โหนดที่อยู่ในระยะการสื่อสารจะได้รับข้อความดังกล่าวทั้งหมด ในการส่งข้อความเพียงครั้งเดียว n-Epidemic เห็นประโยชน์จากการส่งข้อความลักษณะดังกล่าว ว่าสามารถนำมาใช้ลดจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความได้ โดยสร้างเงื่อนไขที่ว่า โหนดจะส่งข้อความทุกครั้งเมื่อเจอโหนดรอบข้างตัวใดตัวหนึ่ง แต่จะรอจนกระทั่งมีปริมาณโหนดรอบข้างครบหรือมากกว่าจำนวนที่กำหนดไว้จึงส่งข้อความ [5]

ภาพที่ 2.3 n-Epidemic

ภาพที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการส่งข้อความจากโหนด S ไปยังโหนด D โดยกำหนดให้การส่งข้อความเกิดขึ้นเมื่อมีจำนวนโหนดรอบข้างมากกว่ากับ 3 ดังนั้นที่ Time1 โหนด S จึงไม่ส่งข้อความ เนื่องจากมีโหนดรอบข้างเพียงตัวเดียว คือโหนด C1 แต่อย่างไรก็ตามที่ Time2 โหนดในเครือข่ายมีการเคลื่อนที่ ทำให้โหนด S มีโหนดรอบข้างครบ 3 ตัว จึงทำการส่งข้อความ (บรอดแคส) ออกไปหนึ่งครั้ง และที่ Time3 โหนด C2 เคลื่อนที่เข้าไปใกล้โหนด D จึงทำให้สามารถส่งข้อความไปให้โหนด D ได้สำเร็จ

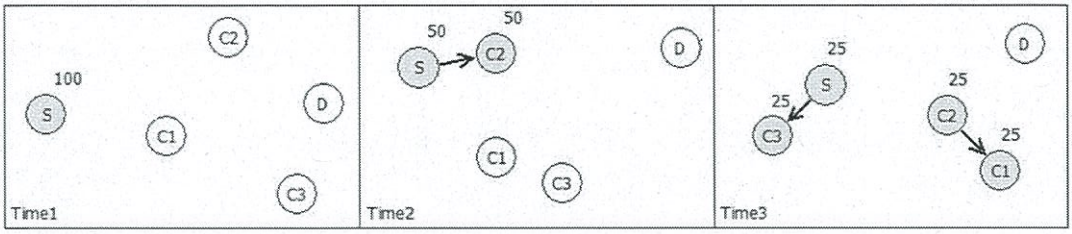
2.4.3 Spray&Wait

Spray&Wait ถูกพัฒนาเพื่อลดจำนวนครั้งการแลกเปลี่ยนข้อความ โดยกำหนดจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความ ซึ่งเป็นตัวกำหนดจำนวนโหนดที่รับฝากข้อความในเครือข่ายนั้นเอง [6] การทำงานแบ่งออกเป็น 2 เฟส คือ

1. Spray Phase เป็นเฟสที่โหนดต้นทางส่งข้อความจำนวน n ข้อความ ไปยังโหนดรอบข้างที่แตกต่างกัน โดยโหนดต้นทางแบ่งจำนวนการคัดลอกข้อความให้เพียงครั้งเดียว ทำให้โหนดรอบข้างไม่มีสิทธิ์ในการคัดลอกข้อความและส่งต่อข้อความได้ ทั้งนี้โหนดต้นทางจะส่งต่อข้อความเรื่อย ๆ จนกว่า จำนวนครั้งในการส่งข้อความมีค่าเท่ากับ 1 จากนั้นจะเข้าสู่เฟสที่สอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Wait Phase เป็นเฟสที่โหนดต้นทางและโหนดที่ได้รับข้อความจะรอจนกว่าเจอโหนดปลายทาง เพื่อส่งข้อความให้โหนดปลายทางโดยตรง



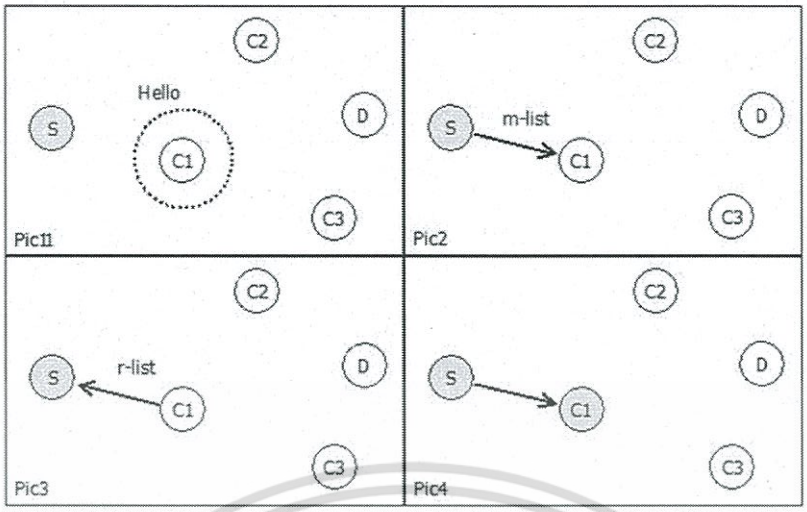
ภาพที่ 2.4 Binary Spray & Wait

โดยสามารถอธิบาย Binary Spray & Wait ได้ตามภาพที่ 2.4 ที่ Time1 โหนด S สร้างข้อความเพื่อส่งไปยังโหนด D โดยกำหนดจำนวนครั้งการคัดลอกข้อความเท่ากับ 100 ต่อจากนั้นโหนดต่างมีการเคลื่อนที่จนกระทั้ง Time2 โหนด S พบโหนด C2 จึงส่งข้อความพร้อมกับแบ่งจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความออกเป็น 2 ส่วนให้กับ C2 ด้วย ซึ่งทำให้ตอนนี้โหนด S และโหนด C2 มีจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความเป็น 50 ครั้ง และที่ Time3 โหนด S และโหนด C2 สามารถส่งข้อความให้โหนด C3 และโหนด C1 ได้จึงแบ่งจำนวนการคัดลอกที่เหลืออยู่ออกเป็นครึ่งหนึ่ง ดังนั้นโหนด S, C1, C2, และ C3 จึงมีข้อความที่สามารถคัดลองและส่งต่อได้อีก โหนดละ 25 ครั้ง ทุกโหนดจะทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะมีจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความเท่ากับ 1 จึงจะเข้าสู่สถานะ Wait

2.4.4 Anti Entropy

โดยทั่วไปในอิปิดิมิกเร้าติ้ง เมื่อโหนดใด ๆ เจอโหนดถัดไป โหนดจะคัดลอกและส่งข้อความทั้งหมดไปให้โหนดดังกล่าว เนื่องจาก เนื่องด้วยไม่ทราบว่าโหนดที่ติดต่อด้วยต้องการข้อความอะไรบ้าง ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อความซ้ำซ้อนจำนวนมาก ดังนั้นจึงมีการพัฒนา Anti Entropy ซึ่งอนุญาติให้โหนดแลกเปลี่ยนรายชื่อข้อความที่ตนมี ในรูปของ m-list ก่อนการส่งข้อความเฉพาะข้อความที่ถูกร้องขอ ซึ่งถูกระบุอยู่ใน r-list [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



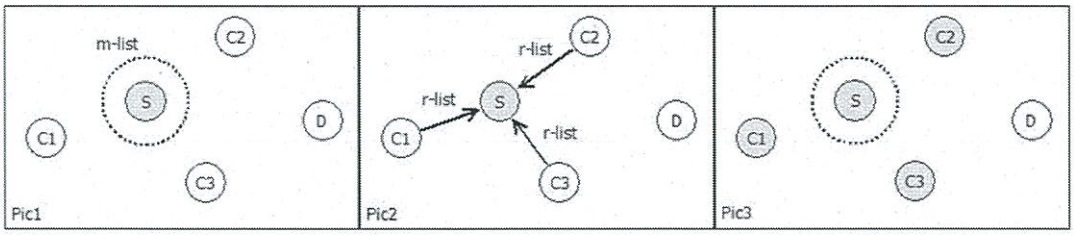
ภาพที่ 2.5 Anti Entropy

ภาพที่ 2.5 แสดงตัวอย่างการแลกเปลี่ยนข้อความแบบ Anti Entropy ระหว่างโหนด S กับโหนด C1 ที่ Pic1 โหนด C1 ประกาศ Hello ไปยังโหนดรอบข้าง ซึ่งในที่นี้ได้แก่โหนด S หลังจากนั้นที่ Pic2 โหนด S ส่ง m-list ที่ระบุชื่อข้อความที่โหนด S ถืออยู่กลับไปให้โหนด C1 ที่ Pic3 โหนด C1 จึงนำรายชื่อข้อความที่ได้จาก m-list ไปเปรียบเทียบกับข้อความในอยู่ในหน่วยความจำและส่ง r-list กลับไปยังโหนด S เพื่อร้องขอข้อความดังกล่าว และที่ Pic4 โหนด S จึงส่งเฉพาะข้อความที่ได้ถูกร้องขอแทนการส่งข้อความทั้งหมดกลับไปให้โหนด C1

2.4.5 EMMA

EMMA คือดีทีเอ็นโปรโตคอลที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น เพื่อลดจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความให้ได้มากกว่าดีทีเอ็นโปรโตคอลก่อนหน้านี้ โดยยังคงไว้ซึ่งประสิทธิภาพในการแพร่กระจายข้อความ เพื่อส่งต่อข้อความจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง แนวคิดของ EMMA คือการลดการส่งข้อความซ้ำซ้อนและไม่จำเป็น โดยใช้วิธีบรอดแคสซึ่งเป็นลักษณะการส่งข้อความโดยธรรมชาติของอุปกรณ์ไร้สายมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.6 EMMA

ภาพที่ 2.5 อธิบายการแลกเปลี่ยนข้อความระหว่างโหนด S กับโหนดรอบข้างโดยใช้ EMMA กำหนดให้ Pic1 เป็นเวลาเริ่มต้นช่วงเวลาของโหนด S ดังนั้นโหนด S จึงประกาศ m-list ไปยังโหนดรอบข้าง ต่อมาที่ Pic2 เมื่อโหนดรอบข้างได้รับ m-list จึงทำการเปรียบเทียบกับข้อความในหน่วยความจำของตนเอง จากนั้นจึงส่ง r-list เพื่อร้องขอข้อความของโหนดใด ๆ กลับมาที่โหนด 2 ทั้งนี้โหนด S จะทำการรวบรวม r-list จากโหนดรอบข้าง จนกระทั่งสิ้นสุดช่วงเวลาที่กำหนดเพื่อส่งข้อความที่ถูกร้องขอทั้งหมดออกไปภายในครั้งเดียวด้วยการบรอดแคส ดังเช่นในรูปช่องสุดท้าย (Pic3)

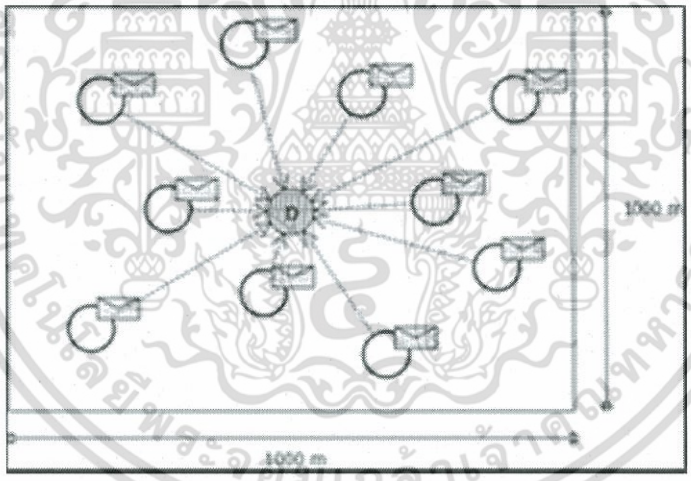
จะเห็นได้ว่า EMMA ลดจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความโดยตัดการส่งข้อความที่ไม่จำเป็น เช่น การรวมการประกาศ Hello ไปกับการประกาศ m-list, การรวบรวมข้อความที่ถูกร้องขอจาก r-list ของแต่ละโหนด เพื่อส่งกลับไปด้วยการบรอดแคสเพียงครั้งเดียว เป็นต้น ซึ่งจะเห็นภาพชัดเจนมากขึ้นจากผลการจำลองในบทที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
แบบจำลองเครือข่ายและการวัดผล

ในบทนี้ผู้วิจัยได้อธิบายแบบจำลองเครือข่ายที่สร้างขึ้น เพื่อจำลองการสื่อสารระหว่างโหนดที่ใช้ดีทีเอ็นโปโตคอลที่มีรากฐานการพัฒนามาจากอิปิดิมิกเร้าติ้ง ซึ่งได้แก่ Gossip, n-Epidemic, Binary Spray&Wait, Anti Entropy, และ EMMA เพื่อเก็บข้อมูลและนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสื่อสารในด้านต่าง ๆ เช่น ปริมาณการใช้พลังงานของโหนด อัตราความสำเร็จในการส่งข้อความ และอายุขัยของเครือข่าย นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้นำเสนอกระบวนการวัดพลังงานที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อความของโหนด ซึ่งจะนำไปสู่การวัดอายุขัยของเครื่อข่าย และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ที่เป็นหนึ่งในจุดประสงค์หลักของงานวิจัย

3.1 แบบจำลองเครือข่าย



ภาพที่ 3.1 เครือข่ายจำลอง

แบบจำลองเครือข่ายถูกพัฒนาขึ้นผ่านโปรแกรมจำลอง OMNET++ โดยมีสภาพแวดล้อมของเครือข่ายดังภาพที่ 3.1 กล่าวคือเพื่อสร้างแบบจำลองในสถานการณ์ที่มีความคับคั่งของการสื่อสาร โหนดปลายทางจึงถูกกำหนดให้มีตำแหน่งคงที่อยู่ตรงกลางของเครื่องข่าย โดยมีโหนดอื่น ๆ กระจายตัวอยู่รอบทิศทาง ทั้งระยะใกล้และไกลโหนดปลายทาง ต่อจากนั้นที่เวลาเริ่มต้นการจำลอง กำหนดให้ทุกโหนดสร้างข้อความโหนดละหนึ่งข้อความ เพื่อฝากและส่งต่อไปยังโหนดอื่น ๆ เพื่อส่งไปยังโหนดปลายทาง และการทดลองจะสิ้นสุดหลังจากเริ่มต้นการทำลองครบ 1,000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วินาที ทั้งนี้ได้มีการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของโหนด หรือความหนาแน่นของการสื่อสาร โดยการคงที่ขนาดพื้นที่การจำลอง แต่เพิ่มจำนวนโหนดในเครือข่าย ดังนั้นเมื่อจำนวนโหนดเพิ่มขึ้นไม่ใช่เพียงแค่โหนดที่ช่วงส่งต่อข้อความเพิ่มขึ้น แต่จะหมายถึงความคับคั่งของการสื่อสารที่เพิ่มขึ้นด้วย

ตารางที่ 3.1 สภาพแวดล้อมเครือข่าย

ขอบเขตเครือข่าย	1,000 เมตร x 1,000 เมตร
จำนวนโหนด	10 - 100
รัศมีการสื่อสาร	100 เมตร
รูปแบบการเคลื่อนที่	สุ่มทิศทาง
ความเร็วของโหนด	0-20 เมตร/วินาที
ขนาดข้อความ	1 กิโลบิต

ตารางที่ 3.1 คือรายละเอียดที่สำคัญของสภาพแวดล้อมเครือข่าย ที่ใช้ในการจำลอง ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้ เครือข่ายมีขนาดกว้าง 1,000 เมตร และยาว 1,000 เมตร เริ่มต้นทดลองโดยมีจำนวนโหนดเท่ากับ 10, 20, 30 และเพิ่มขึ้นทีละ 10 โหนดจนกระทั่งครบ 100 โหนด โหนดในเครือข่ายมีรัศมีการสื่อสาร 100 เมตร มีการเคลื่อนที่แบบสุ่มทิศทางเพื่อไม่ให้เกิดความได้เปรียบเสียเปรียบของโหนด มีความเร็วของโหนดอยู่ในช่วง 0-20 เมตรต่อวินาที กำหนดให้โหนดปลายทางอยู่ตรงกลาง และตำแหน่งเริ่มต้นของโหนดรอบข้างมีการสุ่มแบบยูนิฟอร์ม (Uniform distribution) ทำให้มีโหนดใกล้และไกลโหนดปลายทางพอ ๆ กัน และกำหนดให้ทุกโหนดมีการสร้างข้อความ ขนาดข้อความเท่ากันคือ 1 กิโลบิต มีปลายทางเป็นโหนดปลายทาง ที่เวลาเริ่มต้นของการจำลองพร้อมกัน โดยกำหนดให้ในการจำลองครั้งนี้ Binary Spray&Wait มีจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความเท่ากับ 10 และ n-Epidemic มีจำนวนโหนดที่กำหนดเท่ากับ 3 (n=3)

3.2 อายุขัยของเครือข่าย (Network-life time)

อายุขัยของเครือข่ายคือ เวลาตั้งแต่ริเริ่มการมีตัวตนของเครือข่าย จนกระทั่งโหนดใด ๆ หรือกลุ่มของโหนดในเครือข่ายหมดพลังงาน ในงานวิจัยด้านเครือข่ายดีทีเอ็น เวลาดังกล่าวถูกใช้เป็นเครื่องชี้วัดประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานของโหนด กล่าวคือดีทีเอ็นโปรโตคอลที่สามารถลดจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความได้มาก ย่อมประหยัดการใช้พลังงานที่มีอยู่อย่างจำกัดของโหนดได้มากกว่า ซึ่งจะเห็นผลอย่างเป็นรูปธรรมด้วยการวัดอายุขัยของเครือข่าย ทั้งนี้เพื่อให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถวัดอายุขัยของเครือข่ายจากระบบจำลองได้สะดวก ขึงมีการจำกัดพลังงานที่เหลืออยู่ของแต่ละโหนดให้อยู่ในระดับต่ำเท่ากันทุกโหนด

3.3 ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานหมายถึง การใช้พลังงาน 1 หน่วย สามารถเพิ่มโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จเท่าใด ซึ่งจากความหมายข้างต้นทำให้ กลยุทธ์ที่มีค่าประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงหมายถึง กลยุทธ์นั้นใช้พลังงานที่เสียไปอย่างคุ้มค่า ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$Eff(t)=(DR(t))/(Battery(t)) \quad (1)$$

กำหนดให้ Eff(t) คือ ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานที่เวลา t

DR(t) คือ โอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จที่เวลา t

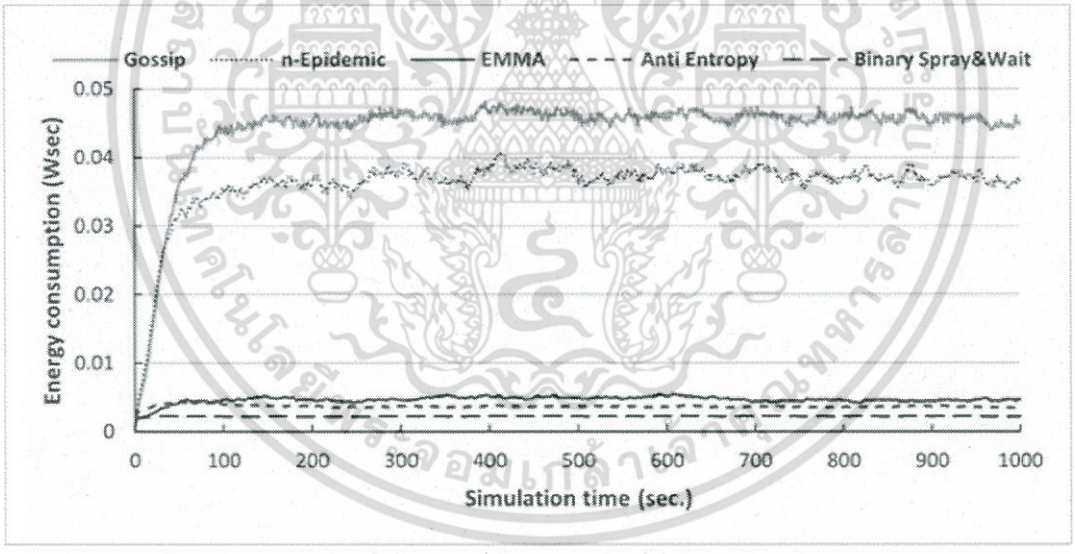
Battery(t) คือ พลังงานสะสมที่ใช้จนถึงเวลา t

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การวิเคราะห์และประเมินผลการจำลอง

ในบทนี้จะเป็นการทำผลการจำลอง มาแสดงผลเปรียบเทียบในรูปแบบกล่าว เพื่อวิเคราะห์ถึงประสิทธิภาพการทำงานของดีทีเอ็นโปรโตคอลในด้านต่างๆ โดยเริ่มจากการแสดงความเปลี่ยนแปลงของเครือข่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งได้แก่ปริมาณการใช้พลังงาน ความสำเร็จในการส่งข้อความ และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ต่อด้วยกราฟจำนวนโหนดที่หมดพลังงานต่อเวลา เพื่ออธิบายถึงอายุขัยของเครือข่ายเมื่อใช้ดีทีเอ็นโปรโตคอลที่แตกต่างกัน และในลำดับสุดท้ายเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสื่อสารเมื่อความต้องการในการสื่อสารเพิ่มมากขึ้น ซึ่งในที่นี้หมายถึงความหนาแน่นของโหนดในเครือข่ายเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้กำหนดให้เครือข่ายมีจำนวนโหนดเท่ากับ 50 โหนด สำหรับการวัดประสิทธิภาพเครือข่ายในแต่ละช่วงเวลา

4.1 กราฟเฉลี่ยปริมาณการใช้พลังงานของโหนด



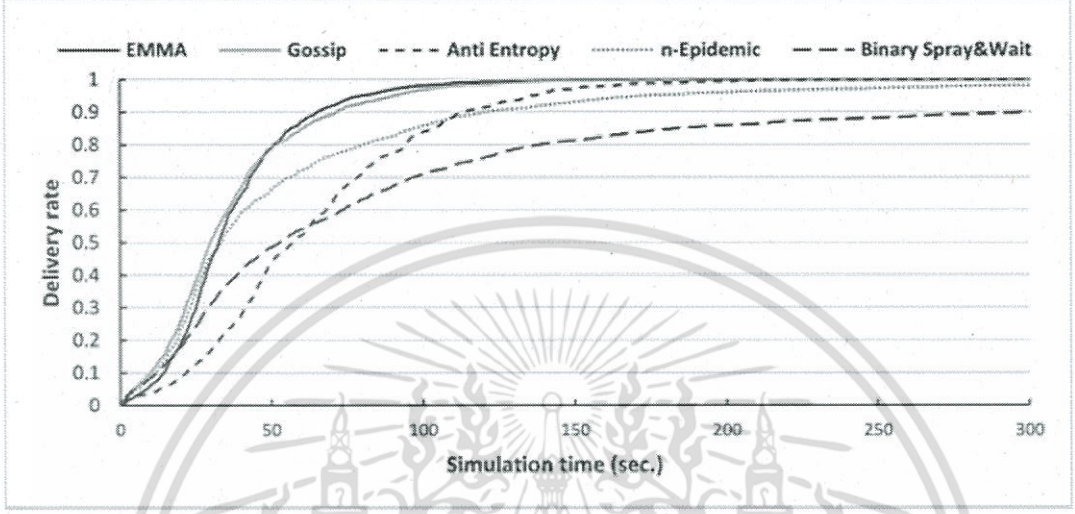
ภาพที่ 4.1 กราฟเฉลี่ยปริมาณการใช้พลังงานของโหนด

ภาพที่ 4.1 แสดงพลังงานที่โหนดสูญเสียไปในแต่ละช่วงเวลา จากกราฟจะเห็นว่าดีทีเอ็นโปรโตคอลที่มีปริมาณการใช้พลังงานสูงสุดคือ Gossip, n-Epidemic, EMMA, Anti Entropy, และ Binary Spray&Wait แสดงให้เห็นว่า EMMA สามารถลดปริมาณการสูญเสียพลังงาน ด้วยการลดการแลกเปลี่ยนข้อความซ้ำซ้อนสำเร็จ โดย EMMA อยู่ในกลุ่มดีทีเอ็นที่มีการสูญเสียพลังงานใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับต่ำ เมื่อเทียบกับ Gossip และ n-Epidemic จากกราฟ Binary Spray&Wait เป็นดีทีเอ็น โปรโตคอลนี้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด

4.2 กราฟเฉลี่ยความสำเร็จในการส่งข้อความ

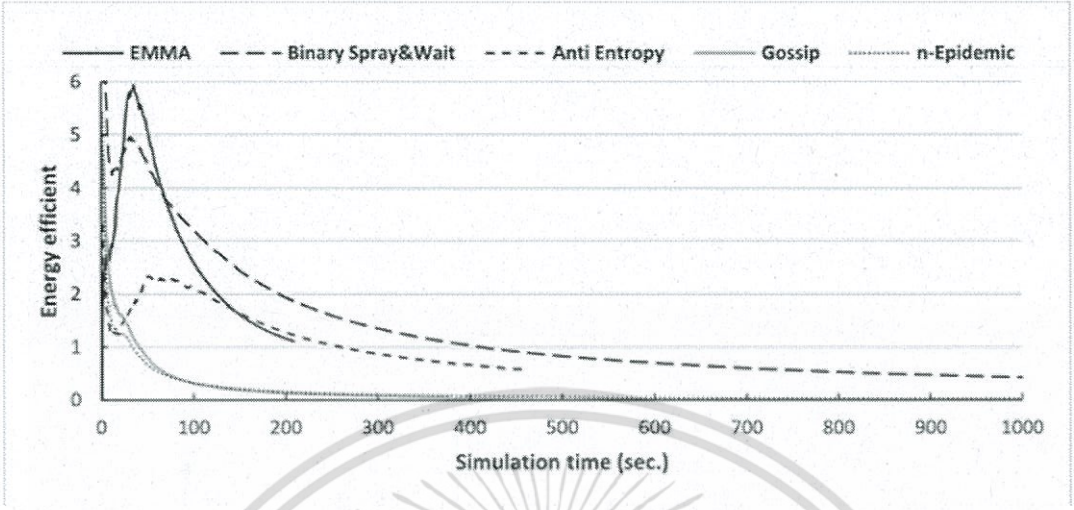


ภาพที่ 4.2 กราฟเฉลี่ยความสำเร็จในการส่งข้อความ

ภาพที่ 4.2 แสดงกราฟอัตราส่วนของข้อความที่ถูกส่งไปถึงปลายทางสำเร็จ ต่อข้อความทั้งหมด ในแต่ละช่วงเวลา จากกราฟสามารถเรียงลำดับดีทีโปรโตคอลที่มีอัตราส่วนความสำเร็จสูงสุดไปหาต่ำสุดได้ดังนี้ EMMA, Gossip, Anti Entropy, n-Epidemic, และ Binary Spray&Wait ซึ่งจะเห็นได้ว่า EMMA และ Gossip มีอัตราส่วนความสำเร็จที่สูงและใกล้เคียงกัน แต่อย่างไรก็ตาม จากภาพที่ 4.1 Gossip มีปริมาณการใช้พลังงานสูงมากเมื่อเทียบกับ EMMA นอกจากนี้อัตราส่วนความสำเร็จของ n-Epidemic มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อจำนวนโหนดเพิ่มมากขึ้น สาเหตุมาจากเมื่อความหนาแน่นของโหนดเพิ่มมากขึ้น โอกาสที่โหนดใดๆจะมีจำนวนโหนดรอบข้างครบตามที่กำหนดจึงเพิ่มสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 กราฟประสิทธิภาพการใช้พลังงาน



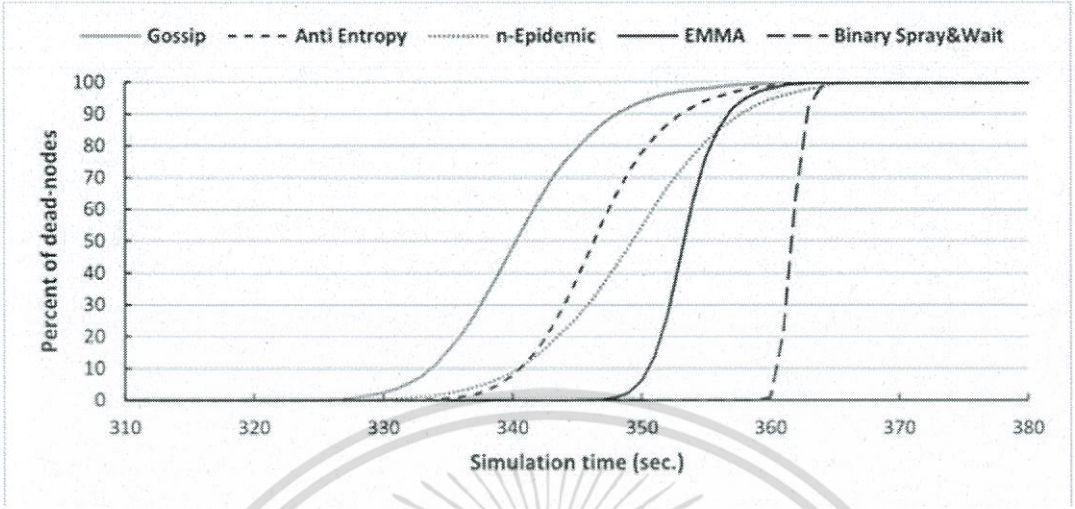
ภาพที่ 4.3 กราฟประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

ภาพที่ 4.3 แสดงกราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพการใช้พลังงาน ในแต่ละดีทีเอ็นโปรโตคอล ระดับของเส้นกราฟบอกถึงความสำเร็จที่ในการส่งข้อความต่อปริมาณพลังงานที่สูญเสียไป ดังนั้นดีทีเอ็นโปรโตคอลที่มีเส้นกราฟสูงย่อมมีประสิทธิภาพมากกว่าดีทีเอ็นโปรโตคอลที่มีระดับต่ำกว่า จากกราฟเส้นแต่ละเส้นจะจบเมื่อดีทีเอ็นโปรโตคอลของเส้นนั้นๆมีอัตราส่วนความสำเร็จในการส่งข้อความเท่ากับหนึ่ง ซึ่งหมายถึงโหนดปลายทางทั้งหมดได้รับของข้อความของตนเองแล้ว EMMA เป็นดีทีเอ็นโปรโตคอลเดียวที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานไปจนถึงจุดสูงสุด และสามารถส่งข้อความไปถึงปลายทางได้เร็วที่สุด Binary Spray&Wait, Anti Entropy, Gossip และ n-Epidemic มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานรองลงมาจาก EMMA ตามลำดับ จากกราฟ Binary Spray&Wait เป็นดีทีเอ็นโปรโตคอลที่มีปริมาณการใช้พลังงานต่ำสุด แต่อย่างไรก็ตามเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความสำเร็จในการส่งข้อความ Binary Spray&Wait มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานรองลงมาจาก EMMA แต่ไม่สามาถส่งข้อความไปยังโหนดปลายทางได้ทั้งหมดภายใน 1,000 วินาที ซึ่งมากเป็นสองเท่าของ Gossip

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

143098

4.4 กราฟเฉลี่ยจำนวนโหนดที่หมดพลังงาน

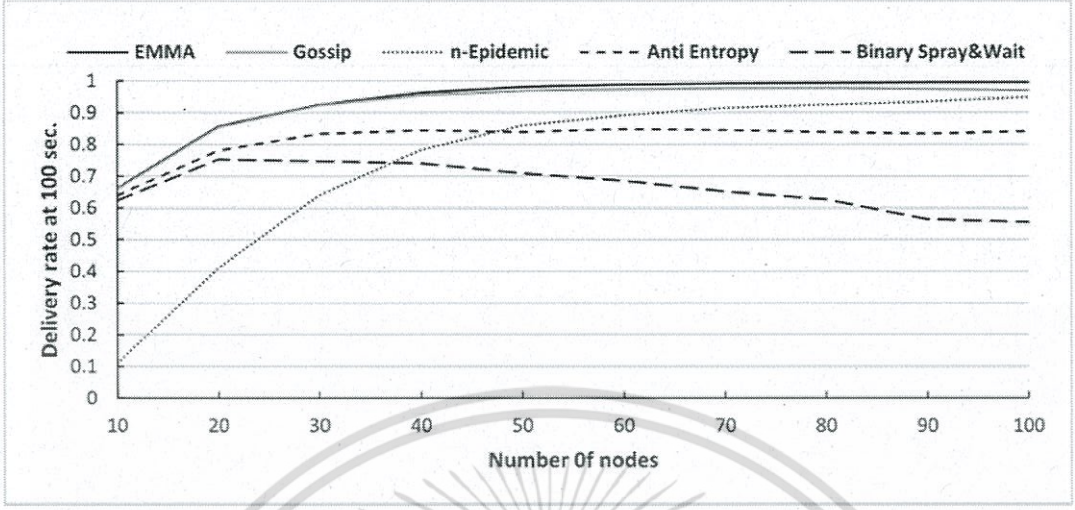


ภาพที่ 4.4 กราฟเฉลี่ยจำนวนโหนดที่หมดพลังงาน

ภาพที่ 4.4 เป็นกราฟแสดงจำนวนโหนดที่หมดพลังงานในแต่ละช่วงเวลา ซึ่งสามารถบอกอายุขัยของเครือข่ายได้จาก จุดเวลาที่โหนดทั้งหมดในเครือข่ายหมดพลังงาน นอกจากนี้การแสดงผลด้วยกราฟจำนวนโหนดที่หมดพลังงาน จะทำให้เห็นถึงแนวโน้มการหมดอายุขัยของเครือข่ายที่เกิดขึ้นในแต่ละดีทีเอ็นโปรโตคอล จากกราฟสามารถเรียงลำดับดีทีเอ็นโปรโตคอลจากอายุขัยเครือข่ายน้อยไปมากได้แก่ Gossip (356.7 sec.), Anti Entropy (360.0 sec.), EMMA (361.2 sec.), n-Epidemic (364.0 sec.), และ Binary Spray&Wait (364.5 sec.)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 กราฟเฉลี่ยความสำเร็จในการส่งข้อความใน 100 วินาที

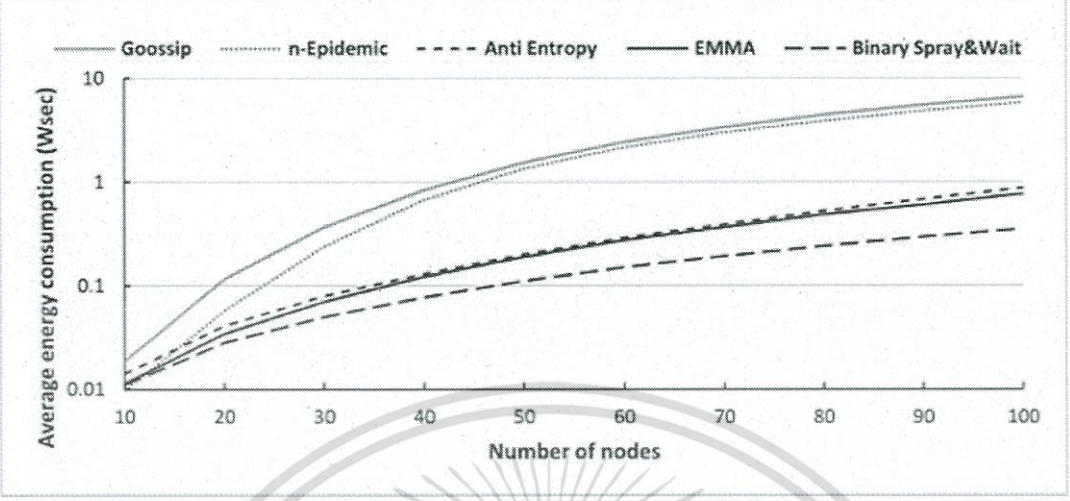


ภาพที่ 4.5 กราฟเฉลี่ยความสำเร็จในการส่งข้อความใน 100 วินาที

ภาพที่ 4.5 แสดงกราฟความสำเร็จในการส่งข้อความที่วินาทีที่ 100 ในแต่ละจำนวนโหนดในเครือข่าย เพื่ออธิบายถึงความสำเร็จของการส่งข้อความ เมื่อความหนาแน่นของเครือข่ายเพิ่มขึ้นหรือลดลง สามารถเรียงลำดับดีทีเอ็นโปรโตคอลจากความสำเร็จในการส่งข้อความจากมากไปน้อย ได้แก่ EMMA, Gossip, n-Epidemic, Anti Entropy, Binary Spreay&Wait จากกราฟ EMMA มีความเร็วเทียบเท่า Gossip และมีแนวโน้มมากกว่าเมื่อจำนวนโหนดเพิ่มมากขึ้น n-Epidemic เป็นอีกหนึ่งดีทีเอ็นโปรโตคอลที่เมื่อจำนวนโหนดเพิ่มขึ้น ความสำเร็จในการส่งข้อความก็เพิ่มขึ้นตาม ซึ่งแตกต่างจาก Binary Spray&Wait ที่เมื่อจำนวนโหนดเพิ่มมากขึ้น ความสำเร็จในการส่งข้อความจะลดลง สาเหตุเนื่องมาจากการจำกัดจำนวนการคัดลอกข้อความ ทำให้จำนวนโหนดที่มีข้อความไม่สมดุลกับจำนวนโหนดทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 กราฟเฉลี่ยปริมาณการใช้พลังงานของโหนดใน 100 วินาที



ภาพที่ 4.6 กราฟเฉลี่ยปริมาณการใช้พลังงานของโหนดใน 100 วินาที

ภาพที่ 4.6 คือกราฟปริมาณพลังงานที่เครือข่ายสูญเสียไปที่วินาทีที่ 100 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากพลังงานสะสมของทุกโหนดในเครือข่าย จากกราฟ Gossip และ n-Epidemic มีระดับการใช้พลังงานสูงเมื่อเทียบกับ EMMA ที่ใช้พลังงานใกล้เคียง Anti Entropy และ Binary Spray&Wait มีระดับการใช้พลังงานต่ำที่สุด ดังที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ ระดับการใช้พลังงานไม่สามารถบอกได้ว่าดีทีเอ็นโปรโตคอลใดๆ มีประสิทธิภาพ ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระดับการพลังงานกับระดับความสำเร็จ จะพบว่า Binary Spray&Wait ถึงแม้จะมีระดับใช้พลังงานต่ำที่สุด แต่ก็มีความสำเร็จในการส่งข้อความต่ำที่สุดเช่นกัน ในขณะเดียวกัน EMMA มีระดับการใช้พลังงานสูงขึ้นมาหนึ่งระดับ แต่กลับมีความสำเร็จในการส่งข้อความสูงที่สุด ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่า EMMA มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานมากกว่า Binary Spray&Wait

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปการพัฒนา

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้รวบรวมดีทีเอ็นโปโตคอลในกลุ่มเอปิดิมิก มาวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการส่งข้อความบนสภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยเปรียบเทียบทั้งหมด 2 ด้านด้วยกัน คือ การใช้พลังงานในการส่งข้อความ และโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จ นอกจากนี้ได้เสนอวิธีการวัดอายุขัยของเครือข่าย และประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโหนด เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าของพลังงานที่เสียไป ต่อความสำเร็จในการส่งข้อความ

จากการทดลองสรุปได้ว่า EMMA ซึ่งเป็นดีทีเอ็นโปรโตคอลที่พัฒนาขึ้น มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงสุด Binary Spray&Wait มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานรองลงมา เพราะมีปริมาณการใช้พลังงานน้อย แต่ไม่สามารถส่งข้อความให้สำเร็จได้ เนื่องจากมีจำนวนข้อความที่ส่งน้อย ในขณะที่ Anti Entropy ที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเป็นอันดับสาม เพราะมีความสำเร็จในการส่งข้อความมาก เมื่อเทียบกับดีทีเอ็นโปรโตคอลที่เหลือ ในระดับต่อมาเป็น Gossip ถึงแม้จะมีการใช้พลังงานที่มาก แต่ก็มีความสำเร็จในการส่งข้อความดีว่า n-Epidemic ที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานต่ำสุด เนื่องจากสามารถแพร่กระจายข้อความได้ช้า เพราะต้องรอให้มีโหนดรอบข้างครบตามจำนวนที่กำหนดจึงจะสามารถส่งข้อความได้

อย่างไรก็ตามในสถานการณ์จริง โหนดบนเครือข่ายต้องการส่งข้อความหากันอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าการลดปริมาณข้อความบนเครือข่าย เพื่อไม่ให้เกิดการคับคั่งของปริมาณข้อความจะมีความสำคัญมาก แต่การลดปริมาณดังกล่าวนั้นส่งผลทางอ้อมต่อโอกาสสำเร็จในการส่งข้อความ ดังนั้นสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ ทำอย่างไรให้เราสามารถลดปริมาณข้อความ เพื่อช่วยให้โหนดมีอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้น และยังสามารถรักษาโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จไว้ได้อีกด้วย ซึ่งหมายถึงการใช้พลังงานของโหนดที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] Cerf, V., Burleigh, S., Hooke, A., Torgerson, L., Durst, R., Scott, K., ... & Weiss, H. (2007). Delay-tolerant networking architecture (No. RFC 4838).

[2] Khabbaz, M. J., Assi, C. M., & Fawaz, W. F. (2012). Disruption-tolerant networking: A comprehensive survey on recent developments and persisting challenges. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 14(2), 607-640.

[3] Demers, A., Greene, D., Hauser, C., Irish, W., Larson, J., Shenker, S., ... & Terry, D. (1987, December). Epidemic algorithms for replicated database maintenance. In Proceedings of the sixth annual ACM Symposium on Principles of distributed computing (pp. 1-12). ACM.

[4] Vahdat, A., & Becker, D. (2000). Epidemic routing for partially connected ad hoc networks (p. 18). Technical Report CS-200006, Duke University.

[5] Lu, X., & Hui, P. (2010, July). An energy-efficient n-epidemic routing protocol for delay tolerant networks. In Networking, Architecture and Storage (NAS), 2010 IEEE Fifth International Conference on (pp. 341-347). IEEE.

[6] Spyropoulos, T., Psounis, K., & Raghavendra, C. S. (2005, August). Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. In Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking (pp. 252-259). ACM.

[7] Burleigh, S., Hooke, A., Torgerson, L., Fall, K., Cerf, V., Durst, B., ... & Weiss, H. (2003). Delay-tolerant networking: an approach to interplanetary internet. Communications Magazine, IEEE, 41(6), 128-136.

[8] Fall, K. (2003, August). A delay-tolerant network architecture for challenged internets. In Proceedings of the 2003 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications (pp. 27-34). ACM.

[9] Z. Zhang, "Routing in intermittently connected mobile ad hoc networks and delay tolerant networks: overview and challenges," Communications Surveys & Tutorials, IEEE, vol. 8, no. 1, pp. 24–37, 2006.

[10] Jones, E. P., & Ward, P. A. (2006). Routing strategies for delay-tolerant networks. Submitted to ACM Computer Communication Review (CCR).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] Jones, E. P., Li, L., Schmidtke, J. K., & Ward, P. A. (2007). Practical routing in delay-tolerant networks. Mobile Computing, IEEE Transactions on, 6(8), 943-959.

[12] Cao, Y., & Sun, Z. (2013). Routing in delay/disruption tolerant networks: A taxonomy, survey and challenges. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 15(2), 654-677.

[13] Haas, Z. J., Halpern, J. Y., & Li, L. (2006). Gossip-based ad hoc routing. IEEE/ACM Transactions on Networking (ToN), 14(3), 479-491.

[14] T. Choksatid and S. Prabhavat, "An epidemic routing with low message exchange overhead for delay tolerant networks," in Progress in Systems Engineering. Springer, 2015, pp. 429–436.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ผลงานส่งเผยแพร่ในวารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล.

(อยู่ระหว่างรอผลการพิจารณาบทความ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดีทีเอ็น : เครือข่ายที่มีความยืดหยุ่นสูง

ธีรพงษ์ โชคสถิตย์[1] และ สุเมธ ประภาวัต[2]

[1,2]คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

Emails: [1]TeeraponC@outlook.com, [2]sumet@it.kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

เครือข่ายดีทีเอ็น คือเครือข่ายที่ถูกกล่าวถึงบ่อยครั้งในงานวิจัยทางด้านเครือข่ายเฉพาะกิจ (Ad-Hoc network) ด้วยคุณสมบัติที่สามารถสร้างการเชื่อมต่อกันระหว่างโหนดต่อโหนดโดยตรง ทำให้กลุ่มของโหนดใด ๆ สามารถสร้างระบบการสื่อสาร รวมไปถึงเครือข่ายสื่อสารของตนเอง ได้ทุกที่ทุกเวลา โดยไม่จำเป็นต้องมีตัวการกลางคอยดูแลระบบสื่อสาร จากคุณสมบัติข้างต้น ทำให้ได้รับความสนใจจากนักวิจัยอย่างมาก จะเห็นได้ว่าหลายปีที่ผ่านมานี้มีงานวิจัย การพัฒนาใหม่เกิดขึ้นมากมายในหลายๆเรื่อง เช่น สถาปัตยกรรมเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง เทคนิคการสื่อสารบนเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง การประยุกต์ใช้เครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงในชีวิตประจำวัน เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามการศึกษางานวิจัยเหล่านั้น เพื่อให้เข้าใจถึงภาพรวมเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงสามารถเป็นไปได้ยาก เพราะงานวิจัยเกี่ยวกับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงได้กระจายเป็นวงกว้างตามแต่ความสนใจของผู้วิจัย แต่อย่างไรก็ตามการเข้าใจถึงต้นตอที่มาของเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง ลำดับการพัฒนา และเทคนิคที่นำมาใช้ในการสื่อสาร เป็นเรื่องสำคัญสำหรับผู้เริ่มวิจัยใหม่ ดังนั้นผู้เขียนจึงได้ศึกษารวบรวมข้อมูลงานวิจัยเกี่ยวกับเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง เรียบเรียงและจัดหมวดหมู่งานวิจัยต่างๆ เพื่อให้ง่ายต่อการศึกษาและนำความรู้ที่ได้ไปพัฒนาต่อยอดงานวิจัยทางด้านเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงต่อไป

คำสำคัญ – เครือข่ายดีทีเอ็น; เครือข่ายที่คงทนต่อความหน่วง; เครือข่ายที่มีการขาดช่วงของการสื่อสาร; การหาเส้นทาง

1. บทนำ

เครือข่ายดีทีเอ็น (Delay-Tolerant Networking : DTN) ถูกนำเสนอในฐานะของรูปแบบการสื่อสารแบบใหม่ ผู้ใช้/อุปกรณ์สื่อสาร ซึ่งถูกเรียกโดยรวมว่าโหนด (Node) มีอิสรในการสื่อสารมากกว่าเช่น ไม่จำเป็นต้องมีระบบสาธารณูปโภคพื้นฐาน โหนดสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เป็นต้น เปรียบเสมือนการขยายขอบเขตการสื่อสารของอินเทอร์เน็ตไปยังเครือข่ายที่มีการขาดช่วงของการสื่อสาร (Intermittently Connected Network : ICN) เครือข่ายไอซีเอ็นคือเครือข่ายสื่อสารเฉพาะกลุ่มที่ไม่สามารถทำการสื่อสารด้วยอินเทอร์เน็ตเทคโนโลยี โหนดในเครือข่ายไอซีเอ็นมักมีข้อจำกัดที่ทำให้เกิดการขาดช่วงของการสื่อสารเป็นเวลา ซึ่งแต่ละเครือข่ายไอซีเอ็นจะมีสภาพแวดล้อมที่ทำให้เกิดข้อจำกัดแตกต่างกันออกไป ทำให้แต่ละเครือข่ายไอซีเอ็นจึงมีวิธีการสื่อสารที่เฉพาะตัว ทำให้ไม่สามารถสื่อสารระหว่างเครือข่ายไอซีเอ็นด้วยกันหรือกับอินเทอร์เน็ตได้ ทั้งนี้ประโยชน์ที่ได้รับจากการเชื่อมเครือข่ายไอซีเอ็นเข้าด้วยกัน หรือการเชื่อมเครือข่ายไอซีเอ็นเข้ากับอินเทอร์เน็ตคือ ได้เครือข่ายสื่อสารขนาดใหญ่ ที่ไม่ใช่เฉพาะโหนดในอินเตอร์เน็ตเท่านั้นที่สามารถทำการสื่อสารได้ ทำให้เกิดการสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ไม่สามารถทำได้บนอินเตอร์เน็ตเช่น ข้อมูลจากเครือข่ายในพื้นที่ตัดขาดจากการสื่อสารไปยังศูนย์ช่วยเหลือ ข้อมูลสถานะการณ์ปัจจุบันในสนามรบกลับไปยังศูนย์บัญชาการ ข้อมูลแจ้งเตือนการอยพยของสัตว์ป่าที่เตือนไปยังศูนย์วิจัยในเวลาอันสั้น เป็นต้น

คำถามที่เกิดขึ้นตามมาคือ ทำไมอินเตอร์เน็ตไม่สามารถสื่อสารกับเครือข่ายไอซีเอ็นได้โดยตรง เครือข่ายดีทีเอ็นมีบทบาทสำคัญอย่างไร เครือข่ายดีทีเอ็นมีลักษณะอย่างไร และอื่นๆ วารสารฉบับนี้มีจุดประสงค์เพื่อตอบคำถามเหล่านั้น ผู้เขียนมีความตั้งใจที่เสนอความรู้ที่ได้จากการศึกษาพัฒนาโปรโตคอลในการสื่อสารระหว่างโหนดบนเครือข่ายดีทีเอ็น (DTN Protocol) ทั้งนี้การทำความเข้าใจถึงต้นเหตุของการพัฒนาเครือข่ายดีทีเอ็น จะทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เราเข้าใจถึงเหตุและผลของการนำเทคนิคต่างๆมาใช้ในเครือข่ายดีทีเอ็น ซึ่งนำไปสู่การพัฒนาดีทีเอ็นโปโตคอลที่ถูกต้อง นอกจากนี้การทำความเข้าใจถึงสถาปัตยกรรมเครือข่ายดีทีเอ็น จะทำให้เราเข้าใจถึงลักษณะพื้นฐานของโหนด สภาพแวดล้อมของเครือข่าย และเทคนิคพื้นฐานที่นำมาใช้ในการสื่อสาร ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้เข้าใจถึงปัญหาที่เกิดขึ้นบนเครือข่ายดีทีเอ็น และยังเป็นพื้นฐานความรู้ที่สำคัญต่อการพัฒนาดีทีเอ็นโปโตคอลอีกด้วย ในปัจจุบันมีการพัฒนาและเผยแพร่ดีทีเอ็นโปโตคอลจำนวนมาก ซึ่งในบทความนี้พยายามจัดแบ่งดีทีเอ็นโปโตคอลออกเป็นหมวดหมู่ โดยพิจารณาจากเทคนิคพื้นฐานที่โปรโตคอลเหล่านั้นใช้ ทั้งนี้ในบทความได้มีการกล่าวถึงดีทีเอ็นโปโตคอลที่มีความน่าสนใจเช่น Vector-Based, Anti Entropy และ EM-MA เป็นต้น

โดยบทที่สองจะกล่าวถึงความเชื่อมโยงระหว่างอินเทอร์เน็ตและเครือข่ายไอซีเอ็น ต่อจากนั้นในบทที่สามเป็นการแนะนำสถาปัตยกรรมของเครือข่ายดีทีเอ็นเบื้องต้น บทที่สี่กล่าวถึงดีทีเอ็นโปรโตคอลที่เป็นที่รู้จักในปัจจุบัน และในบทสุดท้ายเป็นบทสรุปของวารสารฉบับนี้

2. ความเชื่อมโยงระหว่างอินเทอร์เน็ตและเครือข่ายไอซีเอ็น

การสร้างเครือข่ายสื่อสารขนาดใหญ่ ที่สามารถเชื่อมผู้ใช้และโหนดต่างๆ บนพื้นโลกเข้าด้วยกัน คือความสำเร็จของอินเทอร์เน็ต ด้วยการอาศัยเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต ปกรณ์สื่อสารต่างๆ ระยะใกล้หรือไกล มีสายหรือไร้สาย สามารถสร้างเส้นทางการสื่อสารระหว่างกันภายในกลุ่ม หรือเชื่อมต่อระหว่างกลุ่ม ในลักษณะของโครงข่ายสื่อสารขนาดใหญ่ได้ เส้นทางการสื่อสารดังกล่าว ทำให้มั่นใจได้ว่า เมื่อโหนดใดๆต้องการการสื่อสาร เครือข่ายอินเทอร์เน็ตจะมีเส้นทางการเชื่อมต่อ อย่างน้อยหนึ่งเส้นทางที่สามารถเชื่อมต่อไปยังโหนดปลายทางได้ ดังนั้นเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจึงเป็นเครือข่ายที่มีความเสถียร เนื่องจากมีความหน่วงในการส่งข้อมูลน้อย มีอัตราความผิดพลาดของข้อมูลที่ส่งต่ำ และมีความสมดุลของอัตราการส่งข้อมูล ไม่สามารถปฏิเสธได้ การที่เราสามารถรับรู้ถึงข่าวสาร เหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นในอีกซีกโลกหนึ่ง ได้อย่างทันท่วงทีนั้น มิใช่ความสำเร็จของเครือข่ายอินเทอร์เน็ต แต่อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันเทคโนโลยีการสื่อสารพัฒนาไปอย่างมาก เช่น โหนดไร้สายมีระยะการสื่อสารที่ไกลขึ้น มีขนาดเล็กและใช้พลังงานน้อยลง เป็นต้น ทำให้เราสามารถสร้างเครือข่ายบนสถาพแวดล้อมพิเศษ ที่โหนดการสื่อสารมีข้อจำกัดในการใช้งาน เช่น การสื่อสารระหว่างดาวเคราะห์ การสื่อสารในสนามรบ การสื่อสารในสถาณการณ์ภัยพิบัติ การสื่อสารในสถานรบ การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์เคลื่อนที่ เป็นต้น [1]

ยกตัวอย่างเครือข่ายไอซีเอ็น

1. Interplanetary Internet (IPN) คือระบบการสื่อสารที่ให้บริการเหมือนอินเทอร์เน็ต แต่ถูกใช้สำหรับการสื่อสารระหว่างดาวเคราะห์หรือดาวเทียมที่อยู่บนอวกาศ [2]
2. ZebraNet คือระบบติดตามการอพยพของสัตว์ป่าในบริเวณป่าเปิดกว้างขนาดใหญ่ [3]
3. DakNet คือการขยายขอบเขตการสื่อสารไปยังพื้นที่ที่ไม่มีระบบสาธารณูปโภคพื้นฐาน ให้สามารถเข้าถึงอินเทอร์เน็ตได้ [4]

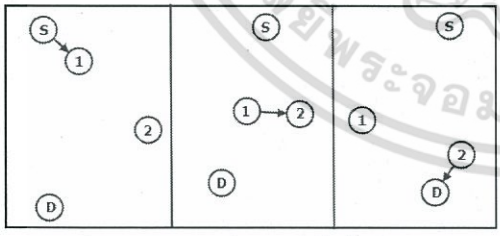
จะเห็นได้ว่าภายใต้ข้อจำกัดข้างต้น โหนดมีการเปลี่ยนแปลงเส้นทางการเชื่อมต่อกับโหนดต่างๆ ตลอดเวลา ไม่สามารถคงรักษาเส้นทางการสื่อสารใดๆได้ตลอดไป การเกิดการแบ่งกลุ่มของโหนดในเครือข่าย ทำให้โหนดเหล่านั้นไม่สามารถสื่อสารข้ามกลุ่มของตนได้ เราเรียกปัญหาดังกล่าวว่า การขาดช่วงของการสื่อสาร และเรียกเครือข่ายลักษณะดังกล่าวว่า เครือข่ายที่มีการขาดช่วงของการสื่อสาร ดังนั้นเครือข่ายที่มีการขาดช่วงของการสื่อสาร จึงกลายเป็นความล้มเหลวในการใช้เทคโนโลยีอินเทอร์เน็ต เพราะอาจทำให้เครือข่ายไม่มีเส้นทางการสื่อสารที่เชื่อมจากต้นทางไปยังปลายทาง ซึ่งขัดกับการสื่อสารบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ที่เครือข่ายจำเป็นต้องมีเส้นทางการเชื่อมต่ออย่างน้อยหนึ่งเส้นทาง ที่เชื่อมจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง

ทั้งนี้การขาดช่วงของการสื่อสารอาจเกิดได้จากการเคลื่อนที่ของโหนดเช่น โหนดมีแผนการเคลื่อนที่ออกจากกันเป็นเวลานาน สภาพแวดล้อมไม่พึงประสงค์ต่อการสื่อสารของโหนด โหนดเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องแบบไม่มีแบบแผน เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามการขาดช่วงของการสื่อสาร อาจเกิดได้จากสาเหตุอื่นเช่น การดับของโหนดเนื่องจากพลังงานหมด ความคับคั่งของข้อมูลบนเครือข่าย หน่วยความจำของโหนดเต็ม เป็นต้น ดังนั้นเครือข่ายที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

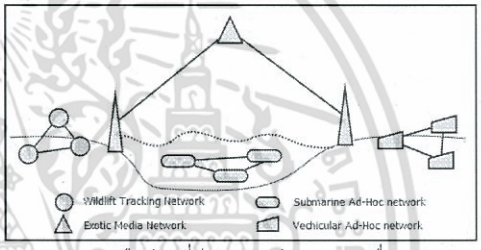
การขาดช่วงของการสื่อสาร จึงเป็นเครือข่ายที่มีสภาพแวดล้อมเฉพาะตัว ซึ่งการสื่อสารระหว่างโหนดภายในเครือข่าย กระทำผ่านวิธีการสื่อสารเฉพาะ ที่มีกระบวนการทำงานและความต้องการที่แตกต่างกันในแต่ละเครือข่าย

โดยวิธีการสื่อสารของแต่ละเครือข่ายที่มีการขาดช่วงของการสื่อสาร ประกอบไปด้วยการทำงานสองส่วนหลัก ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกระบวนการทำงานและความต้องการพื้นฐานได้เป็นอย่างดี การทำงานอย่างแรกคือ กระบวนการฝากและส่งต่อข้อความ (Store and Forward Message Switching) เมื่อโหนดไม่สามารถหาเส้นทางเชื่อมต่อที่จะส่งข้อความไปยังโหนดถัดไปได้ เนื่องจากไม่มีโหนดที่สามารถทำหน้าที่รับช่วงต่อได้ในเวลานั้น หรือการขาดช่วงของเส้นทางการสื่อสารกับโหนดถัดไปเป็นเวลานาน โหนดดังกล่าวจะทำหน้าที่เก็บรักษาข้อความไว้จนกว่า เส้นทางเชื่อมต่อไปยังโหนดถัดไปจะสามารถใช้ส่งข้อความได้ ในเครือข่ายที่มีการขาดช่วงของการสื่อสาร การเปลี่ยนแปลงเส้นทางการเชื่อมต่อระหว่างโหนดใดๆเกิดขึ้นตลอดเวลา ทำให้โหนดหนึ่งๆไม่สามารถวางแผนการส่งข้อความไปให้โหนดปลายทางได้อย่างแน่นอน จึงมีการใช้เทคนิคที่สองเข้ามาช่วยในการเพิ่มอัตรากระประสบความสำเร็จในการส่งข้อความ เรียกเทคนิคดังกล่าวว่าฟลัดดิ้ง (Flooding) ซึ่งทำงานโดยคัดลอกข้อความ แล้วกระจายไปให้โหนดอื่นๆ เพื่อเพิ่มโอกาสที่โหนดปลายทางจะได้รับข้อความจากการเชื่อมต่อกับโหนดที่มีข้อความ



รูป 1. กระบวนการฝากและส่งต่อข้อความ

ภาพรวมการส่งข้อความจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง บนเครือข่ายที่มีการขาดช่วงของการสื่อสาร สามารถอธิบายได้จากรูปที่1 จากรูปสมมุติว่าไม่มีเส้นทางการส่งข้อความจาก S ไป D Sจะใช้เทคนิคการฟลัดดิ้งไปให้โหนดต่างๆเพื่อเพิ่มโอกาสสำเร็จในการส่งข้อความ A เมื่อได้รับข้อความก็จะเก็บรักษาข้อความและรอคอยการเชื่อมต่อกับโหนดถัดไปตาม กระบวนการฝากและส่งต่อข้อความ จากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปโหนดต่างๆมีการเคลื่อนที่ SและAก็จะใช้เทคนิคการฟลัดดิ้งไปให้โหนดรอบข้าง เช่น A ส่งให้ B จนในที่สุด B สามารถสร้างเส้นทางกับD และส่งข้อความจาก S ไปให้ D ได้ในที่สุด ทั้งนี้การสื่อสารที่เกิดขึ้นอยู่บนสมมุติฐานที่ว่า โหนดต่างๆมีโอกาสที่จะต้องเก็บรักษาข้อความหลายข้อความเป็นระยะเวลาประมาณหนึ่ง ดังนั้นโหนดจำเป็นต้องมีหน่วยความจำและพลังงานประมาณหนึ่ง เพื่อรองรับกับความต้องการใช้ทรัพยากรดังกล่าว มิฉะนั้นจะเกิดปัญหาหน่วยความจำเต็ม และการลดระดับพลังงานของโหนดอย่างรวดเร็ว ซึ่งนำไปสู่ความล้มเหลวของการสื่อสารในที่สุด



รูป 2. เครือข่ายที่มีการขาดช่วงของการสื่อสาร

จากรูปที่ 2 แสดงตัวอย่างเครือข่ายที่มีการขาดช่วงของการสื่อสารรูปแบบต่างๆ ที่เราสามารถพบได้ในชีวิตประจำวัน เริ่มจากทางด้านขวามือของภาพคือเครือข่ายสังเกตการณ์สัตว์ป่า ด้านบนของภาพคือเครือข่ายการสื่อสารระหว่างพื้นโลกและระหว่างดาวเคราะห์ ด้านล่างของภาพคือเครือข่ายการสื่อสารระหว่างเรือดำน้ำในมหาสมุทร และด้านซ้ายของภาพคือเครือข่ายการสื่อสารระหว่างยานพาหนะบนท้องถนน แต่อย่างไรก็ตามจากรูปที่สองจะเห็นได้ว่า การสื่อสารที่เกิดขึ้น เกิดขึ้นเฉพาะภายในเครือข่ายเท่านั้น โหนดไม่สามารถสื่อสารข้ามเครือข่ายได้ เพราะมีแบบแผนการสื่อสารคนละรูปแบบกัน เช่น หน่วยงานวิจัยที่อยู่ทางขวาของรูปต้องการข้อมูลการอพยพของสัตว์ป่าทางด้านซ้ายของรูป วิธีการที่ง่ายที่สุดคือส่งผ่าน เครือข่ายสื่อสารระหว่างดาวเทียม และเครือยานพาหนะ ตามลำดับ

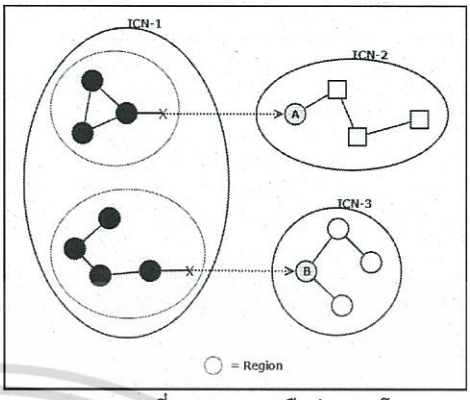
ด้วยเหตุนี้เพื่อให้เกิดการเชื่อมเครือข่ายที่มีการขาดช่วงของการสื่อสารต่างๆ เข้าด้วยกันเพื่อสร้างเป็นเครือข่ายขนาดใหญ่เหมือนอินเทอร์เน็ต หน่วยงาน Internet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Engineering Task Force (IETF) จึงได้พัฒนาเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง ซึ่งถูกนำเสนอในปี 2007 [5] เครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงคือ สถาปัตยกรรมระบบ ที่ถูกสร้างขึ้นมาหุ่มระบบไอซีเอ็นโปรโตคอลใดๆ เพื่อให้เครือข่ายไอซีเอ็นที่มีคุณลักษณะ ข้อจำกัด และโปรโตคอลที่แตกต่างกัน สามารถทำการสื่อสารร่วมกันได้ โดยสถาปัตยกรรมของเครือข่ายดีทีเอ็นจะถูกกล่าวถึงโดยละเอียดในหัวข้อถัดไป

3. สถาปัตยกรรมของเครือข่ายดีทีเอ็น

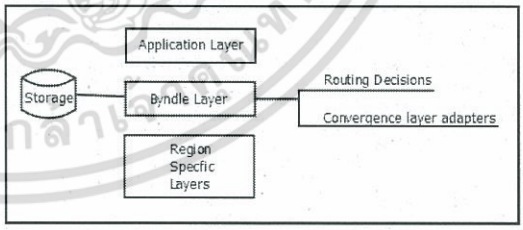
เครือข่ายดีทีเอ็น ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อเชื่อมต่อเครือข่ายเครือข่ายไอซีเอ็นเข้าด้วยกัน และทำงานเป็นเสมือนเปลือกนอกให้กับเครือข่ายอินเตอร์เน็ต โดยนำกระบวนการฝากและส่งต่อข้อความ มาประยุกต์ใช้ในการสื่อสาร ทำให้นอกจากเครือข่ายดีทีเอ็นจะสามารถเชื่อมเครือข่ายไอซีเอ็นให้เป็นเครือข่ายขนาดใหญ่แล้ว ยังสามารถติดต่อร่วมกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้อีกด้วย สถาปัตยกรรมของเครือข่ายดีทีเอ็นได้แบ่งเครือข่ายเครือข่ายไอซีเอ็นต่างๆ รวมทั้งเครือข่ายอินเตอร์เน็ตว่าขอบเขตเครือข่าย (Region) โดยแต่ละขอบเขตเครือข่ายมีการแยกตัวจากกันอย่างชัดเจน เนื่องมาจากเป็นเครือข่ายเครือข่ายไอซีเอ็นคนละชนิดกัน ทำให้มีสภาพแวดล้อมเครือข่ายหรือแบบแผนการส่งข้อมูลที่แตกต่างกัน หรืออาจเกิดจากการขาดช่วงของการสื่อสารภายในเครือข่ายเครือข่ายไอซีเอ็นใดๆ ทำให้เกิดการแบ่งตัวของขอบเขตเครือข่ายขึ้น แต่ทั้งนี้สถาปัตยกรรมของเครือข่ายดีทีเอ็นไม่ได้จำกัดการเคลื่อนที่ของโหนดในแต่ละขอบเขตเครือข่าย โหนดต่างๆสามารถเคลื่อนที่ไปมาระหว่างขอบเขตเครือข่าย ได้อย่างอิสระ ซึ่งสามารถอธิบายได้จากรูปที่3



รูป 3. การเปลี่ยนขอบเขตเครือข่ายของโหนด

จากรูปประกอบไปด้วย 4 ขอบเขตเครือข่าย ที่แยกตัวออกจากกันอย่างชัดเจน แต่อาจกล่าวได้ว่าในเครือข่ายไอซีเอ็น-1มีการแบ่งตัวออกเป็น 2 ขอบเขตเครือข่าย ที่ใช้แบบแผนการสื่อสารเดียวกัน โดยโหนดAและBได้เคลื่อนที่ย้ายขอบเขตเครือข่ายไปสู่ ICN-2 และ ICN-3 ตามลำดับ และทำการสร้างเส้นทางการเชื่อมต่อกับโหนดที่อยู่ในขอบเขตเครือข่ายนั้นๆ เพื่อเริ่มกระบวนการแลกเปลี่ยนข้อมูล และเพื่อให้การสื่อสารระหว่างโหนดที่มาจากคนละขอบเขตเครือข่ายเกิดขึ้นได้ สถาปัตยกรรมของเครือข่ายดีทีเอ็น จึงสร้างแบบแผนการส่งข้อความรูปแบบใหม่ขึ้นมาให้ทำงานรวมกับแบบแผนการส่งข้อมูลเดิมเรียกว่า Bundle protocol ซึ่งถูกกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป

3.1. บันเดิลโปรโตคอล



รูป 4. สถาปัตยกรรมของเครือข่ายดีทีเอ็น

รูปที่4 คือบันเดิลโปรโตคอล ทำงานในลักษณะของ Transmission protocol โดยนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับกระบวนการฝากและส่งต่อข้อความ ถูกวางไว้ระหว่าง Application layer กับ Lower-layer protocols โดย TCP/IP คือตัวอย่างของ Lower-layer protocols ในกรณีที่ขอบเขตเครือข่ายนั้นเป็นอินเทอร์เน็ต โดยเมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้รับข้อความมาจาก Application layer ที่ชั้น Bundle layer ข้อความ (user data) จะถูกแปลงไปเป็นบันเดิล โดยการเพิ่มข้อมูลส่วนหัวข้อความเข้าไปเรียกว่า Bundle header ซึ่งเป็นข้อมูลที่ใช้สื่อสารระหว่าง Bundle layer ในแต่ละโหนด ต่อจากนั้นบันเดิลจะถูกส่งต่อไปให้ Lower-layer protocols ตามลำดับ [6]

ดังที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ว่าสถาปัตยกรรมของเครือข่ายดีทีเอ็น ได้นำเทคนิคกระบวนการฝากและส่งต่อข้อความมาใช้ในการสื่อสาร ดังนั้นBundle Layer จึงทำงานเชื่อมกับหน่วยความจำที่ใช้สำหรับเก็บข้อความที่รอคอยการส่งต่อไปให้โหนดถัดไป ซึ่งจะถูกกำหนดจาก Routing Decision (บทที่ 4 จะเป็นการยกตัวอย่างดีทีเอ็นโปรโตคอล) แสดงให้เห็นว่าในกรณีที่การสร้างเส้นทางเพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างโหนดโดยใช้ Lower-layer protocols โหนดสามารถส่งข้อความแลกเปลี่ยนกันได้โดยตรง เนื่องจากโหนดเหล่านั้นใช้แบบแผนการส่งข้อความเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตามในกรณีที่โหนดมีการเปลี่ยนกลุ่มขอบเขตเครือข่าย โหนดจำเป็นต้องพึ่งพา Convergence layer adapters ซึ่งภายในประกอบไปด้วยฟังก์ชั่นที่จำเป็นสำหรับแต่ละแบบแผนการส่งข้อความ ทำหน้าที่แปลงข้อมูลบนข้อความให้เหมาะสมสำหรับแบบแผนการส่งข้อความที่ใช้บนโหนดถัดไป ดังนั้นเราจึงสามารถแบ่งประเภทการทำงานของดีทีเอ็นโหนดได้เป็น2แบบคือ โหนดต้นทาง/ปลายทาง(มีการรับ/ส่งบันเดิลกับ Application layer) และโหนดส่งต่อที่รับบันเดิลมาจากโหนดอื่นๆ แล้วส่งออกไปโดยไม่ผ่าน Application layer ดังนั้นจะเห็นได้ว่าโหนดส่งต่อยังสามารถแบ่งการทำงานได้เป็นส่งประเภทตามความเหมือนหรือความแตกต่างของ Lower-layer protocols ของโหนดถัดไป เรียกว่า Routing-Equivalent และ Gateway-Equivalent Forwarding ตามลำดับ

3.2. Endpoint IDs

สำหรับอินเทอร์เน็ตหมายเลขไอพี (IP Address) คือสิ่งที่ใช้จะแนกตัวตนของแต่ละโหนดในเครือข่าย โดยมีข้อแม้ว่าโหนดทั้งหมดในเครือข่ายต้องใช้อินเทอร์เน็ตโปโตคอลเดียวกัน ยกตัวอย่างเช่น TCP/IP เป็นต้น แต่ในเมื่อเครือข่ายดีทีเอ็นอนุญาตให้เครือข่ายไอซีเอ็นสามารถใช้ Lower-layer protocols ที่แตกต่างกันได้ ทำให้หมายเลขไอพีไม่สามารถนำมาใช้แยกตัวตนของแต่ละโหนดได้อีกต่อไป

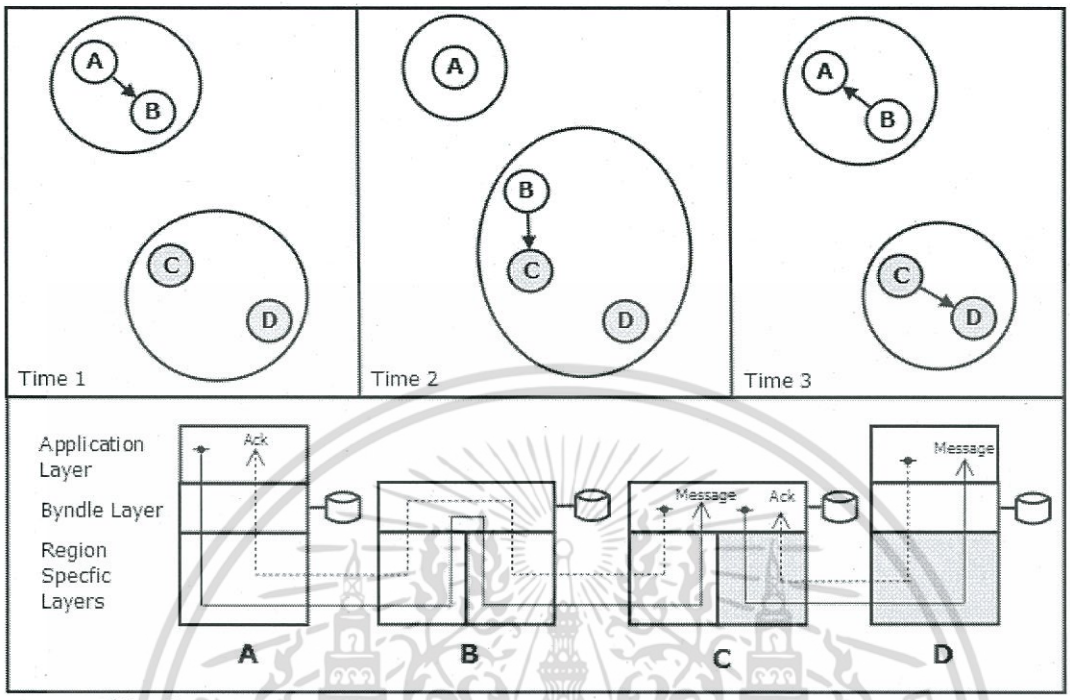
ดังนั้นในสถาปัตยกรรมของเครือข่ายดีทีเอ็น จึงได้สร้างรูปแบบการจำแนกตัวตนของโหนดรูปแบบใหม่ขึ้นมาสำหรับใช้งานกับบันเดิลโปรโตคอลเรียกว่า Endpoint IDs ซึ่งเป็น ID ที่เฉพาะเจาะจงสำหรับโหนดใดโหนดหนึ่งเท่านั้น โดยถูกพัฒนามาจาก 3-tuple ใช้การจำแนกจากชื่อของ ขอบเขตเครือข่าย, โหนด และแอพพลิเคชั่น ซึ่งสามารถระบุได้ละเอียดถึงแอพพลิเคชั่นในโหนดใดๆ โดยถูกใช้ครั้งแรกสำหรับ เครือข่ายการสื่อสารระหว่างดาวเคราะห์ (IPN) แต่ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับการส่งข้อความแบบหลายตัว (Multi-cast) ดังนั้น Endpoint IDs จึงถูกนำไปใช้โดยปรับเปลี่ยนจากการมองเป็นคีย์สำหรับโหนดใดโหนดหนึ่ง เป็นรูปแบบเซตของ Endpoint IDs เรียกว่า Bundle endpoint ซึ่งแบ่งได้เป็น 3ประเภทคือ Singleton Endpoint, Multicast Endpoint และ Null Endpoint[7]

3.3. Custody Transfer

การขาดการเชื่อมต่อในเครือข่ายดีทีเอ็น ทำให้โหนดปลายทางไม่สามารถส่งข้อความยืนยันกลับไปให้โหนดต้นทางได้ แสดงให้เห็นว่าเครือข่ายดีทีเอ็นสามารถสร้างรูปแบบการสื่อสารแบบ end-to-end ได้เหมือนอินเทอร์เน็ต แต่อย่างไรก็ตามในบ้างการสื่อสาร การยืนยันว่าโหนดปลายทางนั้นได้รับข้อความก็เป็นสิ่งจำเป็น เช่น ข้อมูลมีความสำคัญ ข้อมูลที่ต้องการความถูกต้องสูง เป็นต้น ดังนั้นเครือข่ายดีทีเอ็น จึงสร้างยืนยันการได้รับข้อความของโหนดปลายทางแบบ node-to-node ขึ้นมาเรียกว่า Custody Transfers [8]

โดยเมื่อโหนดต้นทางส่งข้อความไปให้โหนดที่มารับช่วงต่อ โหนดต้นทางจะส่งการร้องขอ Custody ไปยังโหนดนั้นๆ เมื่อโหนดนั้นๆรับคำร้องขอ ก็จะมีสถานะเป็น Custodian ของข้อความนั้นๆ ซึ่งมีหน้าที่เก็บข้อความไว้ในฐานข้อมูลสำหรับการส่งข้อความซ้ำ ในกรณีที่ไม่ได้รับข้อความ Acknowledge จากโหนด Custodian ลำดับถัดไปภายในเวลาที่กำหนด (ไม่จำเป็นว่าโหนดลำดับถัดไปต้องเป็นโหนด Custodian) ทั้งนี้เมื่อโหนดต้นทางได้รับการตอบรับการร้องขอ Custody ข้อความ หรือโหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5 ตัวอย่างการส่งข้อความบนเครือข่ายดีทีเอ็น

Custodian ได้รับข้อความ Acknowledge จึงสามารถลบข้อความที่เก็บไว้บนหน่วยความจำได้

จะเห็นได้ว่า Custody Transfers เป็นการยืนยันการได้รับข้อความของโหนดปลายทาง ด้วยการส่งข้อความซ้ำในลักษณการสื่อสารแบบ node-to-node ซึ่งในหัวข้อถัดไปจะเป็นการยกตัวอย่างการส่งข้อความจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง โดยมีตัวอย่างของ Custody Transfers ร่วมอยู่ด้วย อย่างไรก็ตาม Custody Transfers อาจจะเพิ่มภาระให้กับเครือข่าย ในกรณีที่เกิดการขาดช่วงการสื่อสารระหว่างโหนด Custodian คู่หนึ่ง กล่าวคือ โหนด Custodian ไม่ได้รับข้อความ Acknowledge จากโหนด Custodian ลำดับถัดไป ทำให้โหนดดังกล่าวเริ่มกระบวนการส่งข้อความซ้ำอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นการใช้ Custody Transfers จึงเป็นรูปแบบการสื่อสารทางเลือก คือโหนดอาจจะมีหรือไม่มีการยืนยันการส่งข้อความ ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมของเครือข่ายว่ามีความพร้อมมากน้อยเพียงใด

3.4. ตัวอย่างการสื่อสารบนเครือข่ายดีทีเอ็น

ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงตัวอย่างการส่งข้อมูลบนเครือข่ายดีทีเอ็น ซึ่งแสดงการทำงานของบันเดิลโปรโตคอล, กระบวนการฝากและส่งต่อข้อความ, Convergence layer adapters และCustody Transfer [9]

โดยจากรูปที่ 5 ประกอบไปด้วยเครือข่ายไอซีเอ็น 2 เครือข่าย ที่ใช้ Lower-layer protocols แตกต่างกัน เครือข่ายไอซีเอ็นแรกมีโหนด A และ B เครือข่ายไอซีเอ็นที่สองมีโหนด C และ D กำหนดให้โหนด A ต้องการส่งข้อความไปหาโหนด C โดยมีโหนด C ทำหน้าที่เป็น Custodian การสื่อสารที่เกิดขึ้นสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา ซึ่งมีรายละเดียดดังต่อไปนี้

เริ่มต้นที่ Time1 โหนด A สร้างเส้นทางเชื่อมต่อและส่งข้อความไปให้โหนด B เนื่องจากโหนด B ไม่ใช่โหนด Custodian จึงไม่มีการส่งข้อความ Acknowledge จากโหนด B ดังนั้นโหนด A จำเป็นต้องเก็บข้อความไว้ในหน่วยความจำ จนกว่าจะได้รับข้อความ Acknowledge จากโหนด Custodian นอกจากนี้ตามกระบวนการฝาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และส่งต่อข้อความ และในช่วง Time1โหนด B ไม่มีโหนดอื่นที่มาส่งต่อข้อความได้ ทำให้โหนด B ต้องเก็บข้อความไว้ในหน่วยความจำเช่นกัน เพื่อรอคอยโอกาสส่งต่อข้อความให้โหนดอื่นๆในอนาคต

ในช่วง Time2 โหนด B มีการเคลื่อนที่ย้ายขอบเขตเครือข่าย หลังจากนั้นโหนด B ได้สร้างเส้นทางเชื่อมต่อกับโหนด C และคัดลอกข้อความส่งให้กับโหนด C เมื่อข้อความมาถึง Bundle layer ของโหนด C ข้อความจะถูกเก็บลงโหนดความจำเพื่อรอส่งต่อเช่นเดียวกับโหนด B โหนด C ซึ่งทำหน้าที่เป็น Custodian จึงส่งข้อความ Acknowledge กลับไปให้โหนด A ผ่านทางโหนด B และเช่นเดียวกันข้อความ Acknowledge ที่โหนด B ได้รับ ทำให้โหนด B สามารถลบข้อความออกจากหน่วยความจำได้ แต่ยังคงต้องทำหน้าที่ส่งต่อข้อความ Acknowledge กลับไปให้โหนด A

สุดท้ายช่วง Time3 โหนด B และโหนด D มีการเคลื่อนที่ โดยเริ่มที่โหนด D ที่มีการเคลื่อนที่เข้ามาหาโหนด C ทำให้โหนด C สามารถสร้างเส้นทางการเชื่อมต่อไปยังโหนด D ได้ แต่อย่างไรก็ตามจากรูปจะเห็นได้ว่าโหนด D มี Lower-layer protocols ที่แตกต่างออกไป ทำให้โหนด C ต้องแปลง Lower-layer protocols ขาออกให้ตรงกับโหนด D ซึ่งสามารถทำได้โดย Convergence layer adapters หลังจากนั้นเมื่อโหนด D ได้รับข้อความ โหนด D จะส่งข้อความ Acknowledge กลับไปให้โหนด C ทำให้โหนด C ลบข้อความออกจากหน่วยความจำได้ ส่วนโหนด B ถ้าโหนด B สามารถเชื่อมต่อและส่งข้อความ Acknowledge กลับไปให้โหนด A ได้ก่อนที่เวลาการส่งข้อความซ้ำ จะทำให้โหนด A ไม่ต้องส่งข้อความซ้ำ และสามารถลบข้อความออกจากหน่วยความจำได้เช่นกัน

4. ดีทีเอ็นเร้าติ้ง (DTN Routing)

การส่งข้อความบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ที่เป็นการส่งข้อความแบบ end-to-end คือมีเส้นทางการส่งต่อข้อความที่ชัดเจนแน่นอน ซึ่งแตกต่างจากดีทีเอ็นเร้าติ้งคือการส่งข้อความแบบ node-to-node ที่มีการวิเคราะห์ตัวแปรในเครือข่ายที่เกียวข้อง เพื่อช่วยเหลือโหนดในการเลือกโหนดลำดับถัดไปให้เหมาะสมที่สุด ณ เวลาใดๆ ตามที่แบบแผนการส่งข้อความกำหนดไว้ โดยในเครือข่ายดีทีเอ็นลักษณะการเชื่อมต่อกับโหนดรอบข้างเกิดขึ้นได้สองแบบ รูปแบบที่หนึ่งคือการวางแผนการส่งข้อความเนื่องจากโหนดต้นทางคาดการณ์การเคลื่อนที่ของโหนดรอบข้าง ทำให้โหนดต้นทางสามารถวางแผนการส่งได้ แต่อย่างไรก็ตามการสื่อสารรูปแบบนี้มักพบบนเครือข่ายจำพวกหนึ่งเท่านั้น เนื่องจากโหนดต้องมีการเคลื่อนที่ที่แน่นอน โหนดทั้งหมดในเครือข่ายต้องมีระบบนับเวลาที่ตรงกัน ยกตัวอย่างเช่น เครือข่ายสื่อสารระหว่างดาวเคราะห์ เป็นต้น และรูปแบบที่สองคือการส่งข้อความเมื่อมีโอกาส เนื่องจากโหนดต่างๆเคลื่อนที่อย่างอิสระ โหนดต้นทางไม่รู้ข้อมูลการเคลื่อนที่ของโหนดรอบข้างล่วงหน้า แต่เป็นการเชื่อมต่อโดยเหตุบังเอิญ เมื่อโหนดรอบข้างเหล่านั้นเข้ามาอยู่ในรัศมีการสื่อสารของโหนดต้นทางเท่านั้น จะเห็นได้ว่าเครือข่ายดีทีเอ็นที่โหนดมีการเคลื่อนที่อย่างอิสระ สามารถพบเห็นได้ง่ายและมีความยืดหุ่นกว่า เพราะโหนดต่างๆสามารถร่วมกลุ่มกันเพื่อสร้างเป็นเครือข่าย แตกต่างกับโหนดที่มีการวางแผนการเคลื่อนที่ซึ่งส่วนใหญ่เป็นการสื่อสารเฉพาะภายในกลุ่มของตัวเองเท่านั้น ดังนั้นในเอกสารฉบับนี้จึงให้ความสำคัญไปที่การส่งข้อความเมื่อมีโอกาส มากกว่าการส่งข้อมูลตามทที่วางแผนไว้ [10]

จากที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ในรูปที่ 2 แสดงให้เห็นพื้นฐานแบบแผนการส่งข้อมูลบนเครือข่ายดีทีเอ็น กล่าวคือ อาศัยฟลัดดิ้ง เพื่อคัดลอกข้อความและแพร่กระจายไปยังโหนดรอบข้าง ต่อจากนั้นโหนดที่ได้รับข้อความจะอาศัยกระบวนการฝากและส่งต่อข้อความ จนกระทั่งพบโหนดรอบข้างเพื่อเริ่มฟลัดดิ้งอีกครั้งหนึ่ง สิ่งที่เกิดขึ้นหลังจากคู่โหนดใดๆแลกเปลี่ยนข้อความคือ โหนดเหล่านั้นต้องแพร่กระจายข้อความไปยังโหนดอื่นๆ โดยหวังว่าจำนวนโหนดรอบข้างที่เพิ่มขึ้น จะเพิ่มโอกาสที่โหนดปลายทางจะเชื่อมต่อกับโหนดเหล่านั้น แต่ทว่าการที่โหนดต้องส่งข้อความเพื่อทำการแลกเปลี่ยนอย่างต่อเนื่อง ย่อมทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อความในระดับหนึ่ง ซึ่งจะมีจำนวนมากขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อความหนาแน่นของโหนดในเครือข่าย (ความต้องการการสื่อสาร)เพิ่มมากขึ้น โหนดซึ่งมีพลังงานอยู่จำกัดจึงหมดพลังงานเร็วขึ้น ทำให้เครือข่ายมีโอกาสสูญเสียจำนวนโหนดช่วยส่งต่อข้อความ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาช่องทางการสื่อสาร การที่เครือข่ายต้องรองรับการแลกเปลี่ยนข้อความจำนวนมาก ปัญหาความคับคั่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

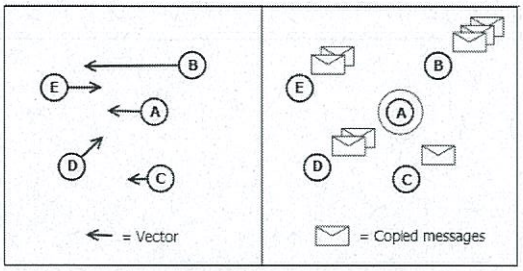
และการชนกันของข้อมูลย่อมเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นในหัวข้อถัดไปเป็นการยกตัวอย่างการพัฒนาแบบแผนการส่งข้อความที่น่าสนใจบนเครือข่ายดีทีเอ็น ซึ่งมีจุดประสงค์ในการลดปริมาณการแลกเปลี่ยนข้อมูล โดยคงไว้ซึ่งประสิทธิภาพในการส่งข้อความ และการทำงานเบื้องต้นของแต่ละแบบแผนการส่งข้อความ [11] [12]

4.1. Knowledge

Knowledge คือกลุ่มของดีทีเอ็นเร้าติ้ง ซึ่งเป็นการที่ใช้การรวบรวมข้อมูลสำคัญบางอย่างจากเครือข่าย เพื่อใช้พิจารณาเส้นทาง/วิธีการในการส่งข้อความไปยังโหนดปลายทาง เพื่อลดปริมาณการแลกเปลี่ยนข้อมูล จากการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ไม่จำเป็น โดยข้อมูลที่ได้ส่วนมากเกิดจากการรวบรวมข้อมูลสภาวะแวดล้อมของเครือข่าย ข้อมูลสถานะของตัวโหนดเองเช่น ปริมาณข้อมูลที่ส่งออกไป ปริมาณพลังงานที่เหลืออยู่ สถานะของข้อความที่อยู่ในหน่วยความจำ เป็นต้น หรือข้อมูลจากโหนดรอบข้าง ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาประมวลผลรวมกันตามที่แบบแผนการส่งข้อความได้กำหนดไว้ เพื่อวางแผนการส่งข้อมูลและเลือกเส้นทางที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

4.1.1. Vector-Based forwarding

Vector-Based Forwarding เป็นตัวอย่างที่ดีในการอธิบายแบบแผนการส่งข้อความด้วย Knowledge โดยโหนดต่างๆจะจดจำตำแหน่งและความเร็วในการเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนไปในแต่ละช่วงเวลา เพื่อนำมาคำนวณหาเวกเตอร์ของแต่ละโหนด เมื่อโหนดสองโหนดใดๆเคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในระยะการสื่อสาร ก็จะทำการแลกเปลี่ยนเวกเตอร์ดังกล่าว ทำให้โหนดรู้ทิศทางและความเร็วของโหนดคู่ตรงข้าม ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะถูกใช้ในการพิจารณาจำนวนสิทธิ์ในการฟลัดดิ้งที่โหนดคู่ตรงข้ามจะได้รับ [13] ยกตัวอย่างตามรูปที่6 โหนดAเป็นโหนดต้นทางต้องการส่งข้อความไปหาโหนดปลายทางที่อยู่ไกลออกไป โดยมีโหนดรอบข้างคือ B, C, D และ E ซึ่งเมื่อมีการแลกเปลี่ยนเวกเตอร์จากแต่ละโหนด (ช่องซ้ายมือ) จะทำให้โหนด A



รูป 6. Vector-Based forwarding

รู้ลักษณะการเคลื่อนที่ ณ ช่วงเวลาดังกล่าวของโหนดรอบข้าง ต่อจากนั้นโหนด A ทำการแพร่กระจายข้อความไปให้โหนดรอบข้าง (ช่องขวามือ) โดยจะกำหนดสิทธิ์ในการคัดลอกข้อความไว้ให้แต่ละโหนดไม่เท่ากัน ดังนี้

โหนด B ซึ่งเคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับโหนด A แต่เคลื่อนที่เร็วกว่า ดังนั้นมีความเป็นไปได้ที่จะพบโหนดปลายทางเร็วกว่าโหนด A มีโอกาสที่จะเจอโหนดปลายทางและโหนดอื่นๆได้เร็วกว่าโหนด A ดังนั้นโหนดB จึงได้รับสิทธิ์ในการคัดลอกข้อความมากกว่าโหนดรอบข้างอื่น

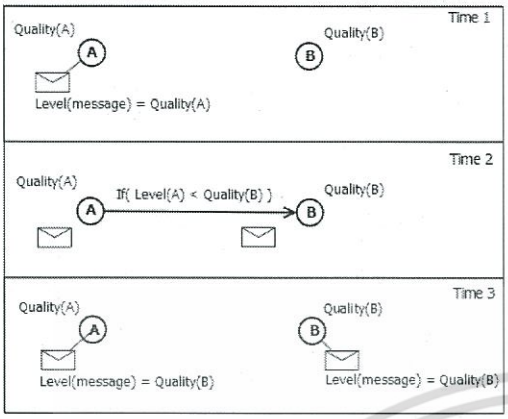
โหนด C ที่เคลื่อนที่ไปในทิศทางเดียวกับโหนด A แต่มีความเร็วในการเคลื่อนที่น้อยกว่า ทำให้ได้รับสิทธิ์ในการคัดลอกข้อความน้อยกว่าโหนดรอบข้างอื่น

โหนด E และ D มีทิศทางและความเร็วในการเคลื่อนที่แตกต่างจากโหนด A ดังนั้นจึงได้สิทธิ์ในการคัดลอกข้อความระดับหนึ่ง เนื่องจากมีความเป็นไปได้ที่โหนดปลายทางจะอยู่คนละทิศทางกับทิศทางที่โหนดAเคลื่อนที่ไป

5.1.1. Delegation forwarding

Delegation forwarding เป็นอีกตัวอย่างหนึ่งของการนำข้อมูลในเครือข่ายมาใช้ลดปริมาณการแลกเปลี่ยนข้อมูล โดยแนวคิดของ Delegation forwarding อธิบายได้จากรูปที่ 7 เริ่มต้นทุกโหนดจะคำนวณค่า Quality ของตนเองขึ้นมาในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนด โดยค่าดังกล่าวแสดงถึงความพร้อมในการทำหน้าที่เป็นตัวแพร่กระจายข้อความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 7. Delegation forwarding

ซึ่งคำนวณได้จากค่าสถานะต่างๆของโหนดเช่น พลังงานที่เหลืออยู่ ขนาดของหน่วยความจำที่ใช้ เป็นต้น ส่วนค่า Level คือค่าที่กำหนดให้กับข้อความ ซึ่งใช้เป็นเงื่อนไขในการแพร่กระจายข้อความ และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆตามจำนวนครั้งการแพร่กระจายข้อความ จากตัวอย่างที่ช่วง Time1 เมื่อโหนด A สร้างข้อความ ค่า Level ของข้อความดังกล่าวจะเท่ากับค่าQualityของโหนดAที่ช่วงเวลานั้น ที่ช่วง Time2 การแพร่กระจายข้อความจะเกิดขึ้นเมื่อค่า Level ของข้อความดังกล่าวน้อยกว่าค่า Quality ของโหนดตรงข้าม ซึ่งในที่นี้ก็คือโหนดB หลังจากนั้นที่ช่วง Time3 ค่าLevelของข้อความดังกล่าวจะถูกปรับเพิ่มขึ้นให้เท่ากับค่า Quality ของโหนด B ซึ่งจะทำให้การแพร่กระจายข้อความครั้งต่อไปเป็นได้ยากขึ้น เพราะต้องเป็นโหนดที่มีค่า Quality สูงกว่า ซึ่งก็หมายถึงการมีความพร้อมในการทำหน้าที่เป็นตัวแทนในการแพร่กระจายข้อความมากกว่านั้นเอง และนี้คือวิธีการลดปริมาณการแลกเปลี่ยนข้อความของ Delegation forwarding [14]

4.2. Replication

Replication คือวิธีการส่งข้อความที่แตกต่างจาก Knowledge โดยสิ้นเชิง กล่าวคือจะไม่มีการประมวลผลจากการรวบรวมข้อมูลของโหนด ซึ่งต้องใช้ทรัพยากรบางส่วนของโหนด โหนดต้องมีเทคโนโลยีเพิ่มเติมสำหรับเก็บข้อมูล เช่น ความเร็ว ตำแหน่ง เป็นต้น และรูปแบบการเชื่อมต่อของโหนดต้องสามารถพยากรณ์ได้ในระดับหนึ่ง แต่ Replication เกิดขึ้นจากแนวคิดที่ว่า การสื่อสารบนเครือข่ายดีทีเอ็นควรเป็นรูปแบบอย่างง่าย โหนดทุกชนิดสามารถสื่อสารกันได้โดยไม่จำเป็นต้องมีเทคโนโลยีพิเศษ การสื่อสารสามารถเกิดขึ้นได้แม้ในกรณีที่โหนดมีการเคลื่อนที่แบบสุ่มโดยสมบูรณ์ ดังนั้น Replication จึงเป็นการส่งข้อความในรูปแบบอย่างง่าย คือการคัดลอกข้อความและแพร่กระจายไปยังโหนดต่างๆในเครือข่าย เพื่อเพิ่มโอกาสในการไปถึงยังโหนดปลายทางของข้อความ และลดระยะเวลาในการสื่อสาร แต่อย่างไรก็ตามการแพร่กระจายข้อความลักษณะนี้ ย่อมทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลจำนวนมาก ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาดังที่กล่าวไปก่อนหน้านี้ ดังนั้นดีทีเอ็นเร้าติ้งในกลุ่มนี้เสนอแนวทางในการลดจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความ จากการลดการแลกเปลี่ยนข้อความที่ไม่จำเป็น ด้วยเทคนิคต่างๆที่นำมาใช้

4.2.1. Spray and Wait forwarding

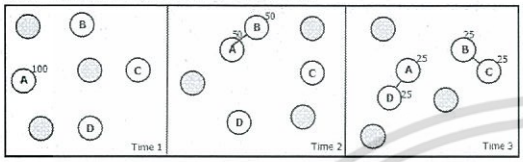
ปัญหาอย่างหนึ่งของการส่งข้อความแบบ Replication คือการคัดลอกข้อความไปยังโหนดรอบข้างเรื่อยๆอย่างไม่มีที่สิ้นสุด ซึ่งเป็นที่มาของเทคนิค Spray and Wait forwarding ที่อนุญาตให้ข้อความใดๆก็ตามสามารถถูกคัดลอกได้แค่จำนวนที่กำหนดไว้ ดังนั้นข้อความแต่ละข้อความก็จะมีจำนวนครั้งการถูกคัดลอกที่จำกัด ทำให้จำนวนครั้งที่ถูกแพร่กระจายก็จำกัดไปด้วย ส่งผลให้ปริมาณการแลกเปลี่ยนข้อความที่เกิดขึ้นจากข้อความใดๆมีปริมาณที่จำกัด [15]

โดยรูปแบบแรกที่ถูกพัฒนาขึ้นมา โหนดต้นทางจะไม่ให้สิทธิ์การคัดกรองข้อความกับโหนดรอบข้าง เป็นเพียงการแพร่กระจายข้อความที่ไม่อนุญาติแพร่กระจายต่อไปให้เท่านั้น โดยข้อความดังกล่าวจะถูกเก็บในหน่วยความจำจนกว่าจะพบโหนดปลายทาง ซึ่งเป็นไปตามกระบวนการฝากและส่งต่อข้อความ เราเรียกสถานะดังกล่าวว่า wait และสถานะของโหนดที่ทำหน้าที่แพร่กระจายข้อความว่า spray ซึ่งได้แก่โหนดต้นทางนั้นเอง หลังจากนั้นโหนดต้นทางจะหักลบจำนวนครั้งการคัดลอกข้อความตามจำนวนโหนดที่ได้แพร่กระจายข้อความให้ เหตุการณ์ลักษณะนี้จะเกิดขึ้นเรื่อยๆ จนกว่าจำนวนครั้งการคัดลอกข้อความที่โหนดต้นทางจะเป็น1 ซึ่งจะทำให้ข้อความดังกล่าวมีสถานะเหมือนข้อความบนโหนดอื่นๆที่ได้รับข้อความ คือถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำจนกว่าจะพบโหนดปลายทาง

จากวิธีการแพร่กระจายข้อความข้างต้น จะเห็นได้ว่าโหนดที่ทำหน้าที่เป็นตัวแพร่กระจายข้อความมีเพียงโหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เดียวเท่านั้นคือโหนดต้นทาง ซึ่งปัญหาที่ตามมาได้แก่การสร้างภาระการทำงานหนักให้แก่โหนดต้นทางเพียงโหนดเดียว นอกจากนี้ยังไม่เป็นผลดีต่อการแพร่กระจายข้อความ เพราะข้อความมีความเร็วในการแพร่กระจายข้อความน้อย ดังนั้นจึงเกิดการพัฒนา Binary Spray and Wait forwarding ขึ้นมาเพื่อให้โหนดรอบข้างมีส่วนช่วยในการแพร่กระจายข้อความเพิ่มขึ้น

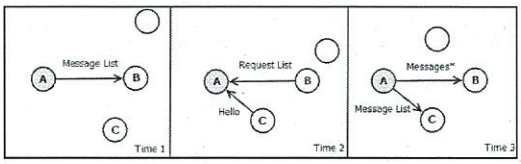


รูป 8. Spray and Wait forwarding

ทั้งนี้สามารถอธิบายตัวอย่างของ Binary Spray and Wait forwarding ได้ดังรูปที่8 เมื่อโหนด A ต้องการส่งข้อความไปหาโหนดปลายทางที่อยู่ไกลออกไป สมมุติให้โหนด A (spray) มีจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความเท่ากับ 100 ในช่วง Time2 เมื่อโหนด A พบโหนด B นอกจากจะทำการแพร่กระจายข้อความไปให้โหนด B แล้ว โหนด A ยังแบ่งจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความออกเป็นสองส่วน ดังนั้นโหนด A และ B จะเหลือจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความเท่ากับ 50 และในช่วง Time3 เมื่อโหนด A (spray) และ B (spray) เชื่อมต่อกับโหนด D และ C ตามลำดับ จำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความที่แต่ละโหนดมีก็จะถูกแบ่งเป็นสองส่วนอีกครั้งคือ 25 เหตุการณ์ดังกล่าวจะเกิดขึ้นไปเรื่อยจนจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความในโหนดใดๆมีค่าเท่ากับหนึ่ง และเข้าสู่ wait

4.2.2. Anti-Entropy

ปกติใน Epidemic โหนดจำเป็นต้องส่งข้อความทั้งหมด เพราะไม่ทราบว่าโหนดที่กำลังติดต่อด้วยต้องการข้อความอะไรบ้าง ซึ่งทำให้ความคับคั่งของปริมาณข้อมูลบนเส้นทางการสื่อสารเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ จึงมีการพัฒนา Anti-Entropy โดยเสนอแนวคิดให้โหนดมีการแลกเปลี่ยนรายชื่อของข้อความ เพื่อตรวจสอบสถานะก่อนการส่งข้อความจริง และสามารถร้องขอเฉพาะข้อความที่ตนเองต้องการได้ ปริมาณข้อความที่โหนดต้องส่งในแต่ละครั้งจึงลดลงอย่างมาก [16]



รูป 9. Anti-Entropy

ในรูปที่ 9 แสดงให้เห็นการทำงานของ Anti-Entropy ตอนแรก A ส่งข้อความ Hello ไปให้ B เพื่อให้รู้ถึงการมีอยู่ของตน ต่อมา B ส่งรายชื่อข้อความกลับไปให้ A ว่าต้องการข้อความไหนบ้าง หลังจากนั้น A ส่งรายชื่อข้อความที่ตัวเองต้องการไปให้ B และ B จึงส่งข้อความไปให้ A ซึ่งกระบวนการนี้จะเกิดขึ้นซ้ำ ๆ เมื่อ A เจอโหนดเพื่อนบ้านตัวอื่น

จะเห็นได้ว่า Anti-Entropy คือEpidemic ที่มีการประยุกต์ใช้การเก็บรวบรวมข้อมูลข้อความที่ยังไม่มีในโหนดตรงข้าม เพื่อลดปริมาณการแลกเปลี่ยนข้อความ เราเรียกการส่งข้อความลักษณะนี้ว่า Epidemic Variants ซึ่งในหัวข้อถัดไปจะเป็นการยกตัวอย่างวิธีการส่งข้อความเพิ่มเติมที่นำเทคนิ้มาใช้ โดยพยายามเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐานต่างๆของโหนด เพื่อทำให้เกิดผลลัพธ์ในการลดการแลกเปลี่ยนข้อความได้เป็นวงกว้าง

4.2.2.1. Immunity

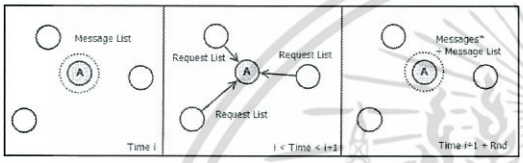
สาเหตุหนึ่งที่ดีทีเอ็นเร้าติ้งมีจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความที่มากคือ การไม่มีระบบจัดการกับข้อความที่ถึงปลายทางแล้ว กล่าวคือโหนดอื่นๆไม่ได้รับรู้ว่าข้อความที่อยู่ในหน่วยความจำข้อความใดยังไม่ถึงปลายทางและถึงปลายทางแล้ว ดังนั้นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นคือโหนดแพร่กระจายข้อความที่ถึงปลายทางแล้ว ทั้งๆที่ไม่มีความจำเป็นอีกต่อไป จะเห็นได้ว่าการที่เราสามารถลดการส่งข้อความดังกล่าวได้ จะทำให้เกิดผลดีกับเครือข่ายอย่างมาก เหล่านี้คือเหตุผลของการพัฒนา Immunity

Immunity ถูกพัฒนาโดยใช้ Anti-Entropy เป็นต้นแบบ เมื่อการส่ง MessageList ทำให้โหนดตรงข้ามรู้ข้อความที่โหนดตรงข้ามมี ดังนั้นการที่ Immunity เพิ่มการส่ง InnunityList ที่มีรายชื่อข้อความที่ถึงปลายทางแล้ว ทำให้โหนดตรงข้ามามารถลบข้อความเหล่านั้นออกจากหน่วยความจำ และสามารถเก็บรายชื่อข้อความเหล่านั้น ไว้ใน ImmunityList ของตน เพื่อใช้ประกาศบอกโหนดอื่นๆได้อีกด้วย [17]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2.2. EM-MA

Message with Message List Advertisement (EM-MA) ถูกสร้างขึ้นมาเพื่อลดการส่งข้อความที่ไม่จำเป็น 3 อย่างได้แก่ หนึ่งการส่ง Messagelist แทนการส่งข้อความ Hello ที่ต้องส่งทุกช่วงเวลาอย่างต่อเนื่อง สอง การรอคอยเพื่อรวบรวบรายชื่อข้อความที่ถูกร้องขอจากโหนดรอบข้าง เพื่อลดการส่งข้อความที่มีการร้องขอซ้ำซ้อน นอกเหนือจากการลดการส่งข้อความที่ไม่ได้มีการร้องขอ สามการชนกันของข้อความ ซึ่งเป็นสาเหตุให้การการส่งข้อความซ้ำ ด้วยการกำหนดระยะเวลาการส่งข้อความของโหนดต่าง ให้มีช่วงเวลาที่เหลื่อมล้ำซึ่งกันและกัน



รูป 10. EM-MA

รูปแบบการทำงานของ EM-MA สามารถอธิบายได้จากรูปที่10 ถ้ากำหนดให้โหนดประกาศ MessageLis tทุก1 วินาที และเพื่อเป็นการป้องกันการชนกันของข้อความทุกโหนดจึงมีการสุ่มเวลาเล็กๆเพิ่มเติม ทำให้ช่วงเวลาถัดไปในการประกาศ MessageLsit คือ ผลรวมของช่วงเวลาที่กำหนดกับค่าสุ่ม ซึ่งจะทำเวลาประกาศ MessageList ของแต่ละโหนดแยกออกจากกันอย่างอิสระ ที่ช่วง Time i กำหนดให้เป็นช่วงเวลาประกาศ MessageList ของโหนด A จากนั้นระว่างช่วง Time i ถึง i+1โหนดจะรอคอย RequestList จากโหนดรอบข้าง จากนั้นในช่วง Time i+1+ค่าสุ่ม (Rnd) โหนดAจะส่งข้อความที่มีการร้องขอทั้งหมดออกไป นอกจากนั้นก็เริ่มประกาศ MessageList ครั้งถัดไปด้วย [18]

8. บทสรุป

ตั้งแต่ต้นจนจบการพัฒนาเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงยังคงเป็นแค่ก้าวแรกเท่านั้น เนื่องจากในปัจจุบันการเชื่อมต่อเครือข่ายไอซีเอ็นกับอินเทอร์เน็ตสามารถทำได้แค่เพียงบางส่วน กล่าวคือดีทีเอ็นโปรโตคอลหนึ่งๆยังมีข้อจำกัด เพราะถูกออกแบบมาสำหรับการสื่อสารระหว่างเครือข่ายไอซีเอ็นใดๆ ที่มีสภาพแวดล้อมหรือข้อจำกัดคล้ายคลึงกันเท่านั้น แต่อย่างไรก็ตามการพัฒนานี้ทำให้เกิดประโยชน์ในวงกว้าง เพราะก่อนหน้านี้การสื่อสารกับโหนดภายนอกนั้นเป็นเรื่องยาก แต่มีความจำเป็นอย่างมาก เช่น การสื่อสารในบริเวณที่เกิดภัยพิบัติ (เครือข่ายไอซีเอ็น) ไปยังเครือข่ายภายนอกเพื่อร้องขอความช่วยเหลือ เป็นต้น ซึ่งวารสารฉบับนี้แสดงให้เห็นว่าการสร้างเครือข่ายขนาดใหญ่ด้วยการเชื่อมอินเทอร์เน็ตกับเครือข่ายไอซีเอ็นทั้งหมด ยังคงเป็นแค่ความคิดที่อยู่ในกระดาษ การที่จะนำดีทีเอ็นโปรโตคอลมาใช้ในสถานการณ์จริง เราต้องพัฒนาดีทีเอ็นโปรโตคอลให้มีความยืดหยุ่นต่อสภาพแวดล้อมเครือข่ายที่เปลี่ยนไปมากกว่านี้ เพราะการรวบรวมข้อมูลเพื่อพิจรณาการส่งข้อความอาจไร้ค่า ในเครือข่ายที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาอย่างคาดการณ์ไม่ได้ แต่การส่งข้อความด้วยคัดลอกข้อความไปให้โหนดรอบข้าง เพื่อเพิ่มโอกาสที่ข้อความจะถูกส่งไปถึงปลายทาง โดยไม่สนใจสภาพแวดล้อมเครือข่าย อาจทำให้เกิดการส่งข้อความที่มากเกินความจำเป็น

กิตติกรรมประกาศ

ผลงานนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปีงบประมาณ 2558 (รหัสโครงการ 2558-01-06-006)

เอกสารอ้างอิง

[1] Fall, Kevin. "A delay-tolerant network architecture for challenged internets." Proceedings of the 2003 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications. ACM, 2003.

[2] Akyildiz, Ian F., et al. "InterPlaNetary Internet: state-of-the-art and research challenges." Computer Networks 43.2 (2003): 75-112.

[3] Juang, Philo, et al. "Energy-efficient computing for wildlife tracking: Design tradeoffs

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and early experiences with ZebraNet." ACM Sigplan Notices. Vol. 37. No. 10. ACM, 2002.

[4] Pentland, Alex, Richard Fletcher, and Amir Hasson. "Daknet: Rethinking connectivity in developing nations." Computer 37.1 (2004): 78-83.

[5] Cerf, Vinton, et al. "Delay-tolerant networking architecture." RFC4838, April (2007).

[6] Fall, Kevin, and Stephen Farrell. "DTN: an architectural retrospective." Selected Areas in Communications, IEEE Journal on 26.5 (2008): 828-836.

[7] Warthman, F. (2003). Delay-Tolerant Networks (DTNs)–A Tutorial. [Online]Available URL:http://www.ipnsig.org/reports/DTN_Tutorial11.pdf

[8] Khabbaz, Maurice J., Chadi M. Assi, and Wissam F. Fawaz. "Disruption-tolerant networking: A comprehensive survey on recent developments and persisting challenges." Communications Surveys & Tutorials, IEEE 14.2 (2012):607-640.

[9] Caini, Carlo, et al. "Delay-and disruption-tolerant networking (DTN): an alternative solution for future satellite networking applications." Proceedings of the IEEE 99.11 (2011):1980-1997.

[10] Jones, Evan PC, and Paul AS Ward. "Routing strategies for delay-tolerant networks." Submitted to ACM Computer Communication Review(CCR)(2006).

[11] Kapadia, Shyam, Bhaskar Krishnamachari, and Lin Zhang. "Data delivery in delay tolerant networks: A survey." Mobile Ad-hoc Networks: Protocol Design (2011): 565-578.

[12] Zhang, Zhensheng. "Routing in intermittently connected mobile ad hoc networks and delay tolerant networks: overview and challenges." Communications Surveys & Tutorials, IEEE 8.1 (2006):24-37.

[13] Xie, Peng, Jun-Hong Cui, and Li Lao. "VBF: vector-based forwarding protocol for underwater sensor networks." NETWORKING 2006. Networking Technologies, Services, and Protocols; Performance of Computer and Communication Networks; Mobile and Wireless Communications Systems. Springer Berlin Heidelberg, 2006. 1216-1221.

[14] Erramilli, Vijay, et al. "Delegation forwarding." Proceedings of the 9th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing.ACM,2008.

[15] Spyropoulos, Thrasyvoulos, Konstantinos Psounis, and Cauligi S. Raghavendra. "Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks." Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking. ACM, 2005.

[16] Vahdat, Amin, and David Becker. Epidemic routing for partially connected ad hoc networks. Technical Report CS-200006, Duke University, 2000.

[17] Mundur, Padma, Matthew Seligman, and Ginnah Lee. "Epidemic routing with immunity in delay tolerant networks." Military Communications Conference, 2008. MILCOM 2008.IEEE.IEEE,2008.

[18] Choksatid, Teerapong, and Sumet Prabhavat. "An Epidemic Routing with Low Message Exchange Overhead for Delay Tolerant Networks."ICSEng.201

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ผลงานส่งเผยแพร่ในงานประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ

National Conference on Information Technology: NCIT 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกลไกหาเส้นทางแบบเอปิดิมิกในเครือข่ายดีทีเอ็น

วรวัชร ณรงคะชวนะ กฤชนิพันธ์ เดิมธรณินทร์ ธีรพงษ์ โชคสถิตย์ อรุณกมล ธรรมโกฏิ์ และ สุเมธ ประภาวัต

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ

Emails: Worrawat@gmail.com, remaintion@icloud.com, TeerapongC@outlook.com, arunkamon106@gmail.com, sumet@it.kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

เครือข่ายดีทีเอ็น เป็นเครือข่ายเฉพาะกิจที่ถูกกล่าวถึงในงานวิจัยอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความสำเร็จในการส่งข้อความไปยังปลายทาง โหนดต้องคัดลอกและกระจายข้อความไปยังโหนดต่าง ๆบนเครือข่ายให้มากที่สุด ซึ่งทำให้เกิดความคับคั่งบนเครือข่ายและสูญเสียพลังงานของโหนดจำนวนมากอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนากลยุทธ์การส่งข้อความเพื่อลดปัญหาดังกล่าว แต่เนื่องจากแต่ละกลยุทธ์ถูกทดสอบบนสภาพแวดล้อมและวัดประสิทธิภาพด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ทำให้การเปรียบเทียบความสามารถเป็นไปได้ยาก ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้ผู้เขียนเสนอวิธีการวัดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโหนดและรวบรวมกลยุทธ์การส่งข้อความที่น่าสนใจ นำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพบนสภาพแวดล้อมเครือข่ายเดียวกัน เพื่อเป็นข้อมูลให้แก่นักวิจัยท่านอื่นในการพัฒนาต่อยอดงานวิจัยทางด้านเครือข่ายเฉพาะกิจต่อไป

คำสำคัญ— เครือข่ายดีทีเอ็น; ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน; เอปิดิมิก

1. บทนำ

เครือข่ายเฉพาะกิจ (Ad Hoc Network) คือเครือข่ายการสื่อสารไร้สาย ที่โหนดในเครือข่ายสามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยตรง โดยไม่ต้องพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐาน ทำให้มีประโยชน์อย่างมากในเหตุการณ์ภัยพิบัติที่ซึ่งโครงสร้างพื้นฐานไม่สามารถทำงานได้ ปัจจุบันเครือข่ายเฉพาะกิจแบ่งออกเป็น เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ (Mobile Ad Hoc Network) และเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง (Delay-Tolerant Network : DTN)

ในงานวิจัยฉบับนี้ผู้เขียนได้ให้ความสนใจกับเครือข่ายดีทีเอ็น [1] ที่ถูกออกแบบสำหรับการสื่อสารของอุปกรณ์ไร้สาย ที่มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่งตลอดเวลา และมีพลังงานในตัวจำกัด ทำให้เส้นทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง (End-to-End Connection) ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ หรือเกิดขึ้นได้ยาก กลไกการส่งข้อความบนเครือข่ายดีทีเอ็น อาศัยการเก็บและส่งต่อข้อความไปยังโหนดต่างๆ บนเครือข่ายให้มากที่สุด เพื่อเพิ่มความสำเร็จในการส่งข้อความให้ถึงปลายทาง ส่งผลให้เครือข่ายมีความคับคั่งของปริมาณข้อความ และสูญเสียพลังงานของโหนดจำนวนมากอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในปัจจุบันได้มีการวิจัยพัฒนากลยุทธ์ในการส่งข้อความบนเครือข่ายดีทีเอ็น[2]เพื่อช่วยลดปัญหาข้างต้น ในงานวิจัยฉบับนี้ เราให้ความสนใจกลยุทธ์การส่งข้อความแบบเอปิดิมิก เนื่องจากเป็นกลยุทธ์ที่ไม่จำเป็นต้องใช้โหนดที่มีเทคโนโลยีพิเศษเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อประมวลผลก่อนการส่งข้อความ ตัวอย่างกลยุทธ์ฯแบบเอปิดิมิกนี้ ได้แก่ Epidemic routing, Spray and Wait, n-Epidemic และ Anti Entropy เป็นต้น อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละกลยุทธ์ฯนั้น เป็นไปได้ยาก เพราะกลยุทธ์ฯเหล่านั้นถูกทดสอบบนสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน นอกจากนี้การพิจารณาเพียงแค่ปริมาณการแลกเปลี่ยนข้อความ ไม่สามารถบอกถึงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโหนดได้โดยตรง เพราะการลดลงของปริมาณการแลกเปลี่ยนข้อความ ส่งผลทางอ้อมต่อโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จ ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้ได้รวบรวมกลยุทธ์ฯแบบเอปิดิมิก ซึ่งในที่นี้ได้แก่ Epidemic routing, Spray and Wait, n-Epidemic และ Anti Entropy มาวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการส่งข้อความ บนสภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยเปรียบเทียบทั้งหมด 2 ด้านด้วยกัน คือ การใช้พลังงานในการส่งข้อความ โอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จ นอกจากนี้ได้เสนอวิธีการวัดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโหนด เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าของพลังงานที่เสียไปต่อความสำเร็จในการส่งข้อความ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

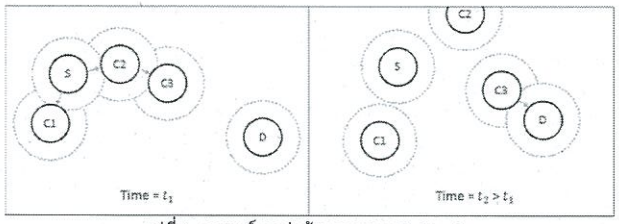
กลไกการส่งข้อความแบบเอปิดิมิก (Epidemic) [3][4] เป็นกลไกการส่งข้อความของเครือข่ายดีทีเอ็นที่ถูกเสนอขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ.1987 เอปิดิมิกมีความหมายว่า แพร่กระจาย ซึ่งมาจากพฤติกรรมการแพร่กระจายการติดเชื้อโรคของมนุษย์ เนื่องจากลักษณะการส่งข้อความแบบเอปิดิมิก โหนดจะคัดลอกข้อความและส่งต่อไปยังโหนดรอบข้างไปเรื่อยๆ ซึ่งในปัจจุบันมีกลยุทธ์ที่น่าสนใจหลายตัวด้วยกัน แต่ในงานวิจัยนี้สนใจกลยุทธ์ทั้งหมด 4 ตัวคือ

2.1 Epidemic Routing

กลยุทธ์การส่งข้อความแบบ Epidemic routing [4] เป็นกลยุทธ์ที่อนุญาตให้โหนดคู่หนึ่งเชื่อมต่อกันเพื่อแลกเปลี่ยนข้อความให้เหมือนกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Synchronize) แลกเปลี่ยนกันเรื่อยๆจนถึงโหนดปลายทาง อธิบายได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1. กลยุทธ์การส่งข้อความแบบ Epidemic

จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ที่เวลา t1 โหนด S หรือโหนดต้นทางไม่สามารถส่งข้อความไปยังโหนด D ได้ โหนด S จึงส่งข้อความต่อไปยังโหนด C1 และ C2 ขณะเดียวกันที่โหนด C3 อยู่ในรัศมีการส่งของโหนด C2 จึงได้รับข้อความด้วย และเมื่อเวลา t2>t1 มีการเคลื่อนที่ของโหนด ทำให้โหนด C3 พบโหนด D และส่งต่อข้อความที่ไปโหนด D ซึ่งเป็นโหนดปลายทางสำเร็จ

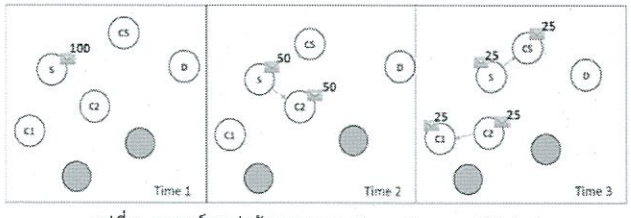
2.2 Spray and Wait

กลยุทธ์การส่งข้อความแบบ Spray and Wait [5] [6]พัฒนาขึ้นเพื่อลดจำนวนครั้งการแลกเปลี่ยนข้อความของเครือข่าย โดยมีการกำหนดจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความ หรือแพร่กระจายข้อความที่จำกัด แบ่งออกเป็น 2 เฟส คือ

Spray Phase เป็นเฟสที่โหนดต้นทางส่งข้อความจำนวน n ข้อความ ไปยังโหนดรอบข้างที่แตกต่างกัน โดยโหนดต้นทางแบ่งสิทธิ์ในการส่งข้อความให้เพียงครั้งเดียว ทำให้โหนดรอบข้างไม่มีสิทธิ์ในการคัดลอกข้อความและส่งต่อข้อความได้ ซึ่งโหนดต้นทางจะส่งต่อข้อความเรื่อยๆจนกว่า จำนวนครั้งในการส่งข้อความมีค่าเท่ากับ 1 จากนั้นจะเข้าสู่เฟสที่สอง

Wait Phase เป็นเฟสที่โหนดต้นทางและโหนดตัวกลางที่ได้รับข้อความจะรอจนกว่าเจอโหนดปลายทางและส่งข้อความให้โหนดปลายทางโดยตรง

จากการส่งข้อความแบบข้างต้นจะเห็นว่า โหนดที่ทำหน้าที่ในการส่งข้อความมีเพียงโหนดต้นทางโหนดเดียว ซึ่งทำให้โหนดต้นทางมีภาระในการทำงานหนัก และนอกจากนั้นยังทำให้ความเร็วในการแพร่กระจายข้อความน้อย จึงมีการพัฒนา Binary Spray and Wait forwarding ขึ้น เพื่อให้โหนดเพื่อนบ้านมีส่วนช่วยในการทำงาน โดยอธิบายขั้นตอนการทำงานตามรูปที่ 2

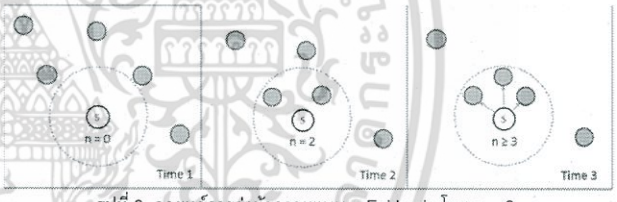


รูปที่ 2. กลยุทธ์การส่งข้อความแบบ Binary Spray and Wait

จากรูปที่ 2 ที่เวลา Time 1 โหนด S ต้องการส่งข้อความไปหาโหนด D ซึ่งเป็นโหนดปลายทางที่อยู่ไกลออกไป โดยสมมติให้โหนด S มีจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความเท่ากับ 100 เมื่อเวลาผ่านไป Time 2 โหนด S พบโหนด C2 จึงส่งข้อความพร้อมกับแบ่งจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความออกเป็น 2 ส่วนให้กับ C2 ด้วย ซึ่งทำให้ตอนนี้โหนด S และโหนด C2 มีจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความเป็น 50 ครั้ง และต่อมาเมื่อเวลา Time 3 โหนด S พบโหนด C5 และ โหนด C2 พบโหนด C1 จำนวนครั้งการคัดลอกข้อความที่แต่ละโหนดมีก็ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนอีกครั้ง หรือเท่ากับ 25 ครั้ง โหนดจะทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าโหนดนั้นๆจะมีจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความเท่ากับ 1 จากนั้นจะเข้าสู่สถานะ Wait

2.3 n-Epidemic

จากการส่งแบบ Epidemic routing ในเครือข่ายดีทีเอ็น ซึ่งเอาประโยชน์จากการ บรอดแคส (Broadcast) ของอุปกรณ์ไร้สายมาใช้ โดยโหนดจะส่งข้อความทุกครั้งที่เจอกับโหนดอื่น ซึ่งการส่งทุกครั้งนี้ทำให้โหนดเสียพลังงานมาก และทำให้การส่งข้อความไม่สำเร็จ เพราะโหนดที่ส่งต่อข้อความพลังงานหมดก่อน n-Epidemic[7] จึงเสนอแนวคิดให้โหนดต้นทางสามารถส่งข้อความได้ ก็ต่อเมื่อมีจำนวนโหนดรอบข้างเท่ากับ n โหนด อธิบายขั้นตอนการทำงานได้ตามรูปที่ 3



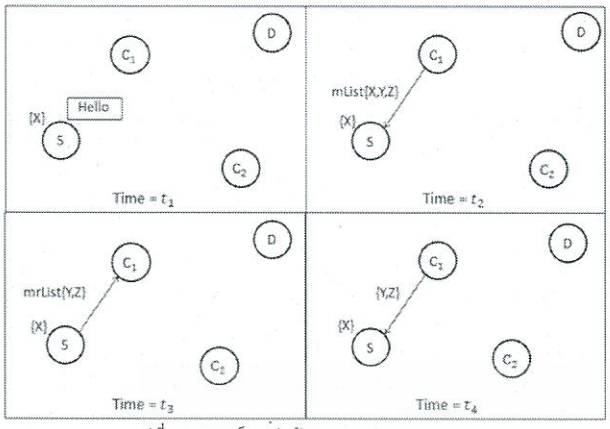
รูปที่ 3. กลยุทธ์การส่งข้อความแบบ n-Epidemic โดย n = 3

จากรูปที่ 3 กำหนดให้ค่า n เท่ากับ 3 ที่เวลา Time 1 โหนด S ต้องการส่งข้อความ แต่ยังไม่มีการส่งข้อความใดๆเนื่องจากไม่มีโหนดเพื่อนบ้าน (n=0) โหนด S จึงเก็บข้อความไว้ ต่อมาที่เวลา Time 2 พบว่ามีโหนดเพื่อนบ้านเท่ากับ 2 (n=2) แต่ยังไม่ถึง 3 จึงเก็บข้อความไว้ต่อ จนกระทั่งที่เวลา Time 3 โหนด S มีโหนดเพื่อนบ้านมากกว่าเท่ากับ 3 (n≥3) โหนด S จึงส่งข้อความ

2.4 Anti Entropy

ปกติใน Epidemic routing โหนดจะส่งข้อความทั้งหมด เนื่องจากไม่ทราบว่าโหนดที่ติดต่อด้วยต้องการข้อความอะไรบ้าง ทำให้เกิดการคับคั่งของปริมาณข้อความ ต่อมาจึงได้มีการพัฒนากลยุทธ์การส่งข้อความแบบ Anti Entropy[8] ซึ่งเป็นกลยุทธ์ที่อนุญาตให้โหนดส่งข้อความเฉพาะที่โหนดที่ติดต่อด้วยต้องการเท่านั้น โดยโหนดจะแลกเปลี่ยนรายชื่อข้อความที่ตนมี ก่อนการส่งข้อความจริง ทำให้สามารถร้องขอเฉพาะข้อความที่ตนต้องการได้ และส่งผลให้จำนวนข้อความที่ส่งในแต่ละครั้งลดลงอย่างมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

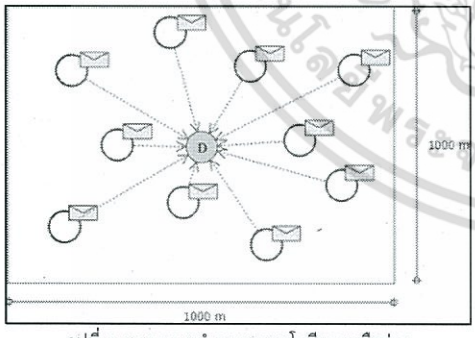


รูปที่ 4. กลยุทธ์การส่งข้อความแบบ Anti Entropy

ในรูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงการทำงานของ Anti Entropy เริ่มจากเมื่อเวลา t_1 โหนด S ส่งข้อความ Hello ไปให้โหนด B เพื่อเป็นการบอกถึงการมีอยู่ของตน จากนั้นเวลา t_2 โหนด C_1 จะส่งรายชื่อข้อความที่ตนมี (mList{X,Y,Z}) ไปให้โหนด S เมื่อเวลา t_3 โหนด S ได้รับ โหนด S จะส่งรายชื่อข้อความที่ตนเองต้องการ (mrList{Y,Z}) กลับไปให้โหนด C_1 จากนั้นเวลา t_4 โหนด C_1 จึงจะส่งข้อความ ({Y,Z}) กลับไปให้โหนด S

3. ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ในการทดลองนั้นผู้เขียนได้จำลองการทำงานของกลไกการส่งข้อความผ่านโปรแกรมจำลอง OMNET++ โดยเปรียบเทียบกลไกทั้งหมด 4 ตัว ด้วยกันคือ Epidemic routing, Anti Entropy, n-Epidemic และ Binary Spray and Wait โดยมีสภาพแวดล้อมของเหตุการณ์จำลองและตัวแปรต่างๆที่กำหนดในการทดลอง ดังรูปที่ 5 และ ตารางที่ 1



รูปที่ 5. แสดงภาพจำลองทอพอโลยีของเครือข่าย

ตารางที่ 1. ตัวแปรต่างๆที่กำหนดในการทดลอง

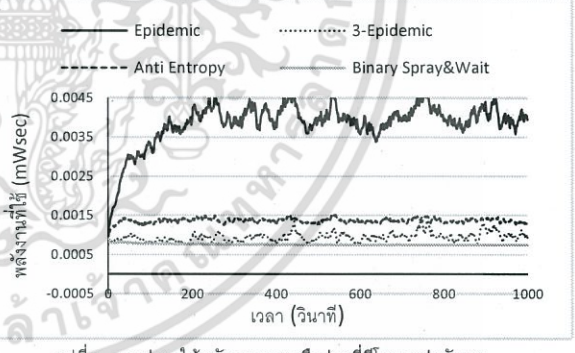
ขอบเขตเครือข่าย	1000 เมตร x 1000 เมตร
จำนวนโหนด	10,50,100
รัศมีการสื่อสาร	100 เมตร
รูปแบบการเคลื่อนที่	สุ่มทิศทาง
ความเร็วของโหนด	0-20 เมตร/วินาที
ขนาดข้อความ	1 กิโลบิต

กำหนดให้เครือข่ายมีขนาด 1,000 เมตร x 1,000 เมตร เริ่มต้นทดลองโดยมีจำนวนโหนดเท่ากับ 10, 50 และ 100 โหนด ตามลำดับ โหนดในเครือข่ายมีรัศมีการสื่อสาร 100 เมตร มีการเคลื่อนที่แบบสุ่มทิศทางเพื่อไม่ให้เกิดความได้เปรียบเสียเปรียบของโหนด มีความเร็วของโหนดอยู่ในช่วง 0-20 เมตรต่อวินาที กำหนดให้โหนดปลายทาง (โหนด D) อยู่ตรงกลาง และตำแหน่งเริ่มต้นของโหนดรอบข้างมีการสุ่มแบบยูนิฟอร์ม (Uniform distribution) ทำให้มีโหนดใกล้ D และไกล D พอๆกัน และกำหนดให้มีการสร้างข้อความพร้อมกันตอนเริ่มต้น มีขนาดข้อความเท่ากันคือ 1 กิโลบิต และมีโหนดปลายทาง (โหนด D) เหมือนกัน ทำให้เกิดสภาวะคับคั่งของข้อความซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโหนด ในกลไกการส่งข้อความแบบต่างๆในสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุด โดย Binary Spray and Wait ในการทดลองนี้กำหนดให้มีจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความเท่ากับ 10 และ n-Epidemic มีจำนวนโหนดที่กำหนดเท่ากับ 3 (n=3)

4. ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองการเปรียบเทียบกลไกการส่งข้อความแบบเอปิดิมิก โดยเปรียบเทียบทั้งหมด 3 ด้านด้วยกัน คือ การใช้พลังงานในการส่งข้อความ โอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จ และประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

4.1. กราฟแสดงการใช้พลังงาน กับเวลา

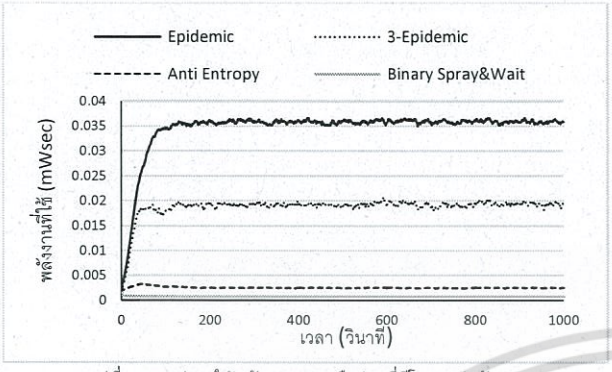


รูปที่ 6. กราฟการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 10

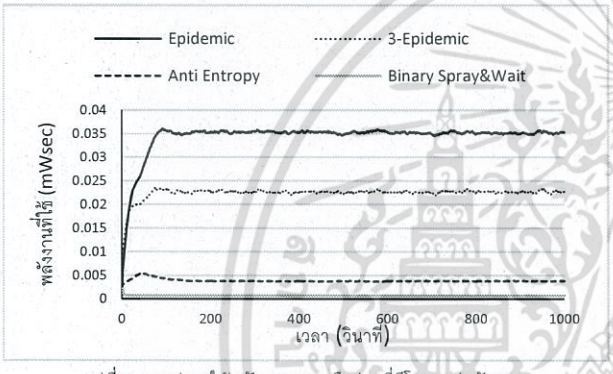
รูปที่ 6 แสดงกราฟการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 10 จะเห็นว่า Epidemic routing มีระดับการใช้พลังงานสูงสุด เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไป จำนวนข้อความที่โหนดหนึ่งได้รับมีจำนวนเพิ่มขึ้น ทำให้มีการแลกเปลี่ยนข้อความมากขึ้น จึงใช้พลังงานมากขึ้น ในขณะที่ Anti Entropy มีระดับการใช้พลังงานที่ลดลงมา เนื่องจากโหนดส่งเฉพาะข้อความที่ถูกร้องขอเท่านั้น ทำให้จำนวนข้อความที่ส่งมีน้อย และมีระดับต่ำลงมาอีกคือ 3-Epidemic เพราะโอกาสที่จำนวนโหนดรอบข้างเท่ากับ 3 มีโอกาสน้อย ส่งผลให้มีจำนวนครั้งในการส่งข้อความของโหนดน้อยไปด้วย และสุดท้าย Binary Spray and Wait มีระดับการใช้พลังงานที่ต่ำสุด เนื่องจากโหนดต้นทางแบ่งสิทธิ์ในการคัดลอกและส่งต่อข้อความออกเป็นสองส่วนให้กับโหนดรอบข้างเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำให้จำนวนครั้งในการส่งข้อความของแต่ละโหนดมีจำนวนที่ต่ำ พลังงานที่ใช้จึงต่ำสุดเมื่อเทียบกับกลยุทธ์การส่งข้อความอื่นๆ



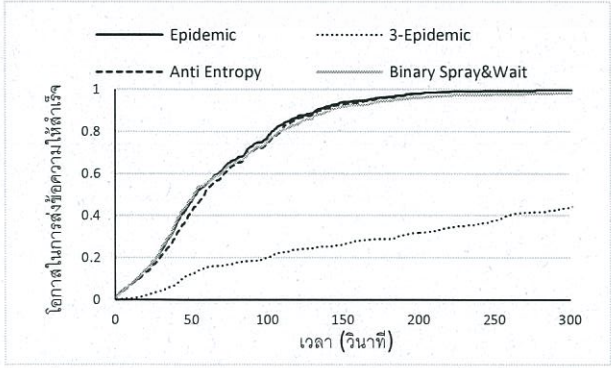
รูปที่ 7. กราฟการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 50



รูปที่ 8. กราฟการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 100

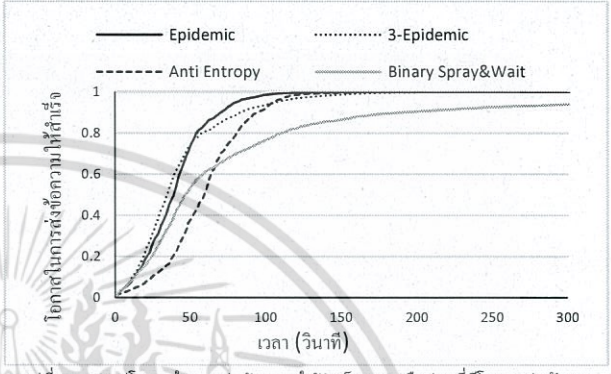
รูปที่ 7 และ รูปที่ 8 แสดงกราฟการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีโหนดเป็น 50 และ 100 โหนดตามลำดับ จะสังเกตได้ว่า กลยุทธ์ที่มีการใช้พลังงานสะสมสูงสุดยังคงเป็น Epidemic routing และกลยุทธ์ที่มีการใช้พลังงานน้อยสุดคือ Binary Spray and Wait แต่มีการเปลี่ยนแปลงจากรูปที่ 6 คือ ระดับการใช้พลังงานของ 3-Epidemic มีการใช้พลังงานสูงกว่า Anti Entropy เพราะโหนดมีโอกาสในการส่งข้อความมากขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากจำนวนโหนดบนเครือข่ายมีมากขึ้น

4.2. กราฟแสดงโอกาสการส่งข้อความสำเร็จกับเวลา



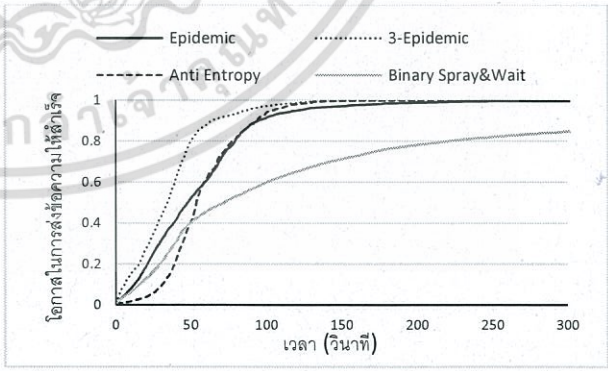
รูปที่ 9. กราฟโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 10

รูปที่ 9 กราฟแสดงโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 10 จะเห็นว่ากลยุทธ์การส่งข้อความแบบ Epidemic routing, Anti Entropy และ Binary Spray and Wait มีโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จสูง ในขณะที่ 3-Epidemic มีโอกาสต่ำสุด เมื่อเวลาผ่านไป 300 วินาที ก็ยังส่งข้อความไม่สำเร็จ เนื่องจากจำนวนโหนดในเครือข่ายที่มีค่อนข้างน้อย ทำให้โอกาสที่จะพบจำนวนโหนดเพื่อนบ้านตามที่กำหนดน้อยไปด้วย



รูปที่ 10. กราฟโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 50

รูปที่ 10 กราฟแสดงโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 50 จะเห็นว่า Epidemic routing มีโอกาสในการส่งข้อความสำเร็จสูงสุด รองลงมาเป็น Anti Entropy และจากรูปนี้จะสังเกตได้ว่า 3-Epidemic มีโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จเพิ่มขึ้นโดยส่งสำเร็จในเวลาประมาณ 140 วินาที เนื่องจากจำนวนโหนดในเครือข่ายเพิ่มขึ้น โอกาสที่โหนดรอบข้างมีจำนวนตามที่กำหนดย่อมสูงขึ้นด้วย ในขณะที่ Binary Spray and Wait กลับมีโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จต่ำลง ผลมาจากจำนวนครั้งในการส่งข้อความมีน้อยเมื่อเทียบกับจำนวนโหนดในเครือข่ายที่มีเพิ่มขึ้น



รูปที่ 11. กราฟโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 100

รูปที่ 11 กราฟแสดงโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 100 โหนด จะเห็นว่า 3-Epidemic มีโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จมากขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากจำนวนโหนดในเครือข่ายที่เพิ่มขึ้นย่อมส่งผลให้โอกาสในการส่งข้อความมีมากขึ้นด้วย ต่อมาเป็น Anti Entropy ที่ใช้เวลาในการส่งข้อความไม่ต่างจากเดิม แต่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทางกลับกันการเพิ่มจำนวนโหนดบนเครือข่าย กลับส่งผลต่อ Epidemic routing เพราะโหนดจำเป็นจะต้องแลกเปลี่ยนข้อความทั้งหมดที่ตนมีกับโหนดอื่นๆ การเพิ่มจำนวนโหนดบนเครือข่าย ส่งผลให้เกิดการชนกันของข้อความ โอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จจึงลดลง เช่นเดียวกับ Binary Spray and wait ที่จำนวนครั้งในการส่งข้อความของโหนดมีจำนวนน้อยเมื่อเทียบกับจำนวนโหนดบนเครือข่าย ทำให้โอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จต่ำลงด้วย

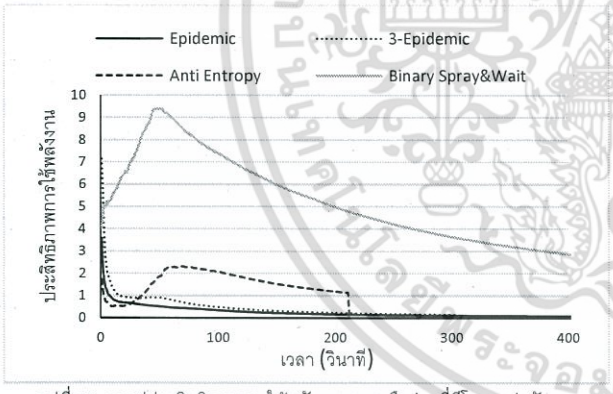
4.3. กราฟประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน กับเวลา

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

$$Eff(t) = \frac{DR(t)}{Battery(t)} \qquad (1)$$

กำหนดให้ *Eff(t)* คือ ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานที่เวลา *t*
DR(t) คือ โอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จที่เวลา *t*
Battery(t) คือ พลังงานสะสมที่ใช้จนถึงเวลา *t*

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานหมายถึง การใช้พลังงาน 1 หน่วย สามารถเพิ่มโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จเท่าใด ซึ่งจากความหมายข้างต้นทำให้ กลยุทธ์ที่มีค่าประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงหมายถึง กลยุทธ์นั้นใช้พลังงานที่เสียไปอย่างคุ้มค่า

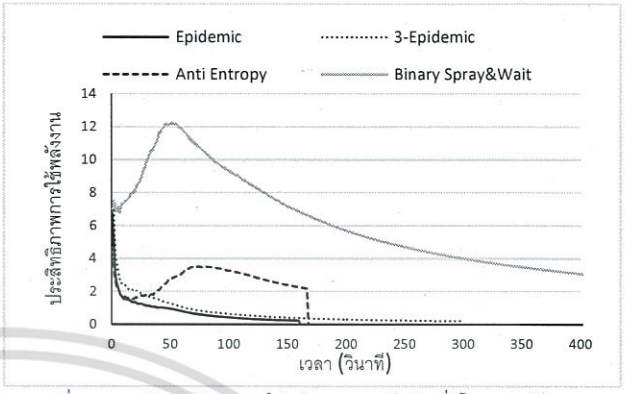


รูปที่ 12. กราฟประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 10

รูปที่ 12 แสดงกราฟประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 10 ซึ่งสามารถมองได้ 2 มุมมองด้วยกันคือ ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน และเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความให้สำเร็จ

เมื่อมองในมุมประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน จะเห็นว่า Binary Spray and Wait จะมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงสุด รองลงมาเป็น Anti Entropy, Epidemic routing และ 3-Epidemic ตามลำดับ

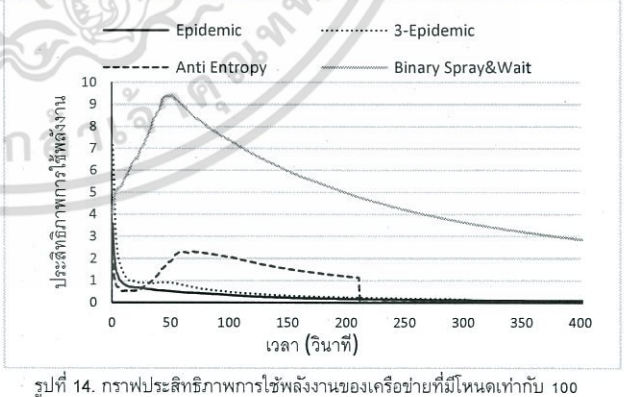
แต่เมื่อมองในมุมของเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความ จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 400 วินาที Binary Spray and Wait กลับส่งข้อความยังไม่สำเร็จ ในขณะที่ Anti Entropy และ Epidemic routing ถึงแม้มีประสิทธิภาพที่รองลงมา แต่กลับส่งข้อความให้ถึงปลายทางได้แล้ว ในเวลาประมาณ 350 วินาที และสุดท้าย 3-Epidemic เมื่อเวลาผ่านไป 400 วินาทีก็ยังไม่สามารถส่งข้อความให้สำเร็จได้



รูปที่ 13. กราฟประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 50

รูปที่ 13 กราฟประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 50 จะเห็นว่าเมื่อโหนดบนเครือข่ายเพิ่มขึ้นเป็น 50 โหนด Binary Spray and Wait ยังเป็นกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงสุด รองลงมาเป็น Anti Entropy, 3-Epidemic และ Epidemic Routing จะสังเกตได้ว่า ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของ Epidemic Routing จะต่ำสุด เนื่องจากจำนวนโหนดที่เพิ่มขึ้น โอกาสในการส่งให้สำเร็จจึงต่ำลง ในขณะที่พลังงานที่ใช้มีมากขึ้น

ส่วนเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความให้สำเร็จ จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไป 400 วินาที Binary Spray and Wait ก็ยังไม่สามารถส่งข้อความให้สำเร็จเช่นเดิม ในขณะที่ Anti Entropy กลับส่งข้อความให้สำเร็จเร็วขึ้น และต่อมาเป็น 3-Epidemic ที่สามารถส่งข้อความให้สำเร็จได้แล้วจากจำนวนโหนดบนเครือข่ายที่เพิ่มขึ้น สุดท้ายเป็น Epidemic routing ที่ใช้เวลาในการส่งข้อความให้สำเร็จเร็วขึ้นเช่นกัน



รูปที่ 14. กราฟประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 100

รูปที่ 14 กราฟประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 100 โหนด Binary Spray and Wait ยังเป็นกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงสุด รองลงมาเป็น Anti Entropy, 3-Epidemic และ Epidemic routing ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Binary Spray and Wait ยังไม่สามารถส่งข้อความให้สำเร็จเช่นเดิม ในขณะที่ Anti Entropy สามารถส่งสำเร็จ แต่ใช้เวลานานขึ้น ส่วน 3-Epidemic ใช้เวลาส่งนานขึ้นจากเดิมไม่มาก และสุดท้าย Epidemic routing เมื่อเวลาผ่านไป 400 วินาที โหนดกลับยังไม่สามารถส่งข้อความให้ถึงปลายทางได้ ซึ่งแตกต่างจากรูปที่ 12 และ 13 ที่สามารถส่งข้อความให้สำเร็จได้แล้ว เพราะเมื่อโหนดบนเครือข่ายมีจำนวนที่สูงในระดับหนึ่ง โหนดมีการส่งข้อความแลกเปลี่ยนกันจำนวนมาก เวลาที่ใช้ในการส่งข้อความให้สำเร็จจึงมากขึ้นกว่าเดิม

5. บทสรุป

ในวิจัยฉบับนี้ได้รวบรวมกลยุทธ์ฯแบบเอปิดิมิก มาวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการส่งข้อความ บนสภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยเปรียบเทียบทั้งหมด 2 ด้านด้วยกัน คือ การใช้พลังงานในการส่งข้อความ โอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จ นอกจากนี้ได้เสนอวิธีการวัดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโหนด เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าของพลังงานที่เสียไป ต่อความสำเร็จในการส่งข้อความ

จากการทดลองสรุปได้ว่า Binary Spray and Wait มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงสุด แต่ไม่สามารถส่งข้อความให้สำเร็จได้ เนื่องจากมีจำนวนข้อความที่ส่งน้อย ในขณะที่ Anti Entropy ที่มีประสิทธิภาพที่รองลงมา สามารถส่งข้อความได้สำเร็จเร็วที่สุด ในระดับต่อมาเป็น 3-Epidemic ที่มีโอกาสส่งสำเร็จมากขึ้น เมื่อจำนวนโหนดบนเครือข่ายเพิ่มขึ้น และสุดท้ายกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานต่ำสุดคือ Epidemic routing เนื่องจากมีการใช้พลังงานที่มาก เมื่อเทียบกับกลยุทธ์การส่งข้อความอื่นๆ

อย่างไรก็ตามในสถานการณ์จริง ที่โหนดบนเครือข่ายต้องการส่งข้อความหากันอย่างต่อเนื่อง แม้ว่าการลดปริมาณข้อความบนเครือข่าย เพื่อไม่ให้เกิดการคับคั่งของปริมาณข้อความจะมีความสำคัญมาก แต่การลดปริมาณดังกล่าวนั้นส่งผลทางอ้อมต่อโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จ ดังนั้นสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ จะทำอย่างไรให้เราสามารถลดปริมาณข้อความ เพื่อช่วยให้โหนดมีอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้น และยังสามารถรักษาโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จไว้ได้อีกด้วย ซึ่งหมายถึง การใช้พลังงานของโหนดที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้เกิดความคุ้มค่าสูงสุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ 2558 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผ่านการพิจารณาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เอกสารอ้างอิง

[1] Burleigh, Scott, et al. "Delay-tolerant networking: an approach to interplanetary internet." *Communications Magazine, IEEE* 41.6 (2003): 128-136.

[2] Jones, Evan PC, and Paul AS Ward. "Routing strategies for delay-tolerant networks." *Submitted to ACM Computer Communication Review (CCR)* (2006).

[3] Jain, Sushant, Kevin Fall, and Rabin Patra. Routing in a delay tolerant network. Vol. 34. No. 4. ACM, 2004.

[4] Demers, Alan, et al. "Epidemic algorithms for replicated database maintenance." *Proceedings of the sixth annual ACM Symposium on Principles of distributed computing.* ACM, 1987.

[5] Diana, Rémi, and Emmanuel Lochin. "Modelling the delay distribution of binary spray and wait routing protocol." *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), 2012 IEEE International Symposium on* a. IEEE, 2012.

[6] Spyropoulos, Tharasyvoulos, Konstantinos Psounis, and Cauligi S. Raghavendra. "Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks." Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking. ACM, 2005.

[7] De Rango, Floriano, and Salvatore Amelio. "Performance evaluation of scalable and energy efficient dynamic n-epidemic routing in delay torlerant networks." *Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS), 2013 International Symposium on.* IEEE, 2013.

[8] Vahdat, Amin, and David Becker. Epidemic routing for partially connected ad hoc networks. Technical Report CS-200006, Duke University, 2000.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล สุเมธ ประภาวัต

ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
Ph.D.	Information Sciences	Tohoku University, Japan	2554
วศ.ม.	วิศวกรรมไฟฟ้า	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, กรุงเทพฯ	2546
วศ.บ.	วิศวกรรมไฟฟ้า	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, จ.เชียงใหม่	2537

สาขาวิจัยที่มีความชำนาญพิเศษ (แตกต่างจากวุฒิการศึกษา)

1) Mobile Computing and Sensor Networks
2) Mobile Ad-hoc Network
3) Internet Traffic Engineering and Congestion Control
4) Internet and Network Appliances

รางวัลด้านวิชาการ/ด้านวิจัย/งานสร้างสรรค์ (ด้านศิลปะ หรืออื่นๆ) ที่ได้รับ

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	สถาบันที่ให้
2552	บทความดีเด่น (Best Paper Award) สำหรับงานวิจัย "On the Performance Analysis of Traffic Splitting on Load Imbalancing and Packet Reordering of Bursty Traffic"	IEEE IC-NIDC Conference ประเทศจีน

ทุนการศึกษาและทุนวิจัยที่เคยได้รับ

ปี พ.ศ.	ทุนการศึกษาและทุนวิจัย	สถาบันที่ให้
2550	ทุนการศึกษาระดับปริญญาเอกมหาวิทยาลัยโทโฮคุ ประเทศญี่ปุ่น (Monbukagakusho: MEXT)	รัฐบาลญี่ปุ่น
2550	ทุนวิจัย GCOE Program สำหรับโครงการวิจัย "Traffic Engineering for Next Generation Network"	มหาวิทยาลัยโทโฮคุ ประเทศญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2551	ทุนวิจัย GCOE Program สำหรับโครงการวิจัย "Delay-Minimized Load Distribution for Multi-path Networks"	มหาวิทยาลัยโทโฮคุ ประเทศญี่ปุ่น
2552	ทุนวิจัย GCOE Program สำหรับโครงการวิจัย "Towards Secure Quality of Services"	มหาวิทยาลัยโทโฮคุ ประเทศญี่ปุ่น
2553	ทุนผู้ช่วยสอนและผู้ช่วยนักวิจัย	มหาวิทยาลัยโทโฮคุ ประเทศญี่ปุ่น
2555	ทุน Visiting Researcher ที่ Tsuruoka NCT	Tsuruoka NCT, ประเทศญี่ปุ่น
2556	ทุนวิจัย "โครงการจัดตั้งห้องปฏิบัติการวิจัยและพัฒนา Mobile Computing and Sensor Networks"	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2556	ทุนวิจัย "โครงการวิจัยด้านเทคโนโลยีสารสนเทศร่วมกับหน่วยงานนอกคณะ"	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2556	ทุน Visiting Researcher ที่ Tsuruoka NCT	National Institute of Information and Communications Technology (NICT), ประเทศญี่ปุ่น
2558	ทุนวิจัย "เครือข่ายเฉพาะกิจแบบดีทีเอ็นบนสมาร์ทโฟนสำหรับการสื่อสารในสถานการณ์ภัยพิบัติ"	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยผ่านการพิจารณาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

<u>ผลงานเผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ</u>

1) **S. Prabhavat**, H. Nishiyama, N. Ansari, and N. Kato, "On Load Distribution over Multipath Networks," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 14, no. 3, pp. 662–680, Jul. 2012.

2) **S. Prabhavat**, H. Nishiyama, N. Ansari, and N. Kato, "Effective Delay-Controlled Load Distribution over Multipath Networks," *IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems*, vol. 22, no. 10, pp. 1730–1741, Oct. 2011.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเสนอผลงานวิชาการ

<u>ผลงานเผยแพร่ในรายงานการประชุมระดับนานาชาติ</u>

1) T. Choksatid and **S. Prabhavat**, "An Epidemic Routing with Low Message Exchange Overhead for Delay Tolerant Networks," in *Progress in Systems Engineering*, Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1089, H. Selvaraj, Ed. Springer International Publishing, 2015, pp. 429–436.
2) T. Thongthavorn, **S. Prabhavat**, and W. Narongkhachavana, "A Study on Overhead Reduction for GPS-Assisted Mobile Ad-Hoc Networks," in *Proc. IEEE Region 10 Annual International Conference (TENCON 2014)*, Bangkok, Thailand, Oct. 2014. (*Accepted*)
3) **S. Prabhavat**, R. Varakulsiripunth, and S. Utsumi, "Load Distribution using Modified RED for Multipath TCP Communication," in *Proc. IEEE International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE 2013)*, Yogyakarta, Indonesia, Oct. 2013.
4) M. Inoue, P. Tangdumrongrat, **S. Prabhavat**, S. Utsumi, S. Zabir, and N. Shiratori, "Mark-Reverse Explicit Congestion Notification for Satellite IP Networks," in *Proc. International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS 2012)*, Bangkok, Thailand, Nov. 2012.
5) **S. Prabhavat**, N. Kato, and R. Varakulsiripunth, "Load Distribution Mechanism for Multipath TCP Communication," in *Proc. International Symposium on Technology for Sustainability (ISTS 2011)*, Bangkok, Thailand, Jan. 2012.
6) **S. Prabhavat**, H. Nishiyama, N. Ansari, and N. Kato, "On the Performance Analysis of Traffic Splitting on Load Imbalancing and Packet Reordering of Bursty Traffic," in *Proc. IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content (IC-NIDC 2009)*, Beijing, China, Nov. 2009. (The Best Paper Award)
7) **S. Prabhavat**, H. Nishiyama, Y. Nemoto, N. Ansari, and N. Kato, "Load Distribution with Queuing Delay Bound over Multipath Networks: Rate control using Stochastic Delay Prediction," in *Proc. the 26th International Communications Satellite Systems Conference (ICSSC 2008)*, San Diego, CA, Jun. 2008.
8) **S. Prabhavat**, R. Varakulsiripunth, "Performance Improvement on RED Based Gateway in TCP Communication Network", In *Proc. International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2004)*, Thailand, Aug. 25-27, 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานเผยแพร่ในรายงานการประชุมระดับชาติ

1) ศุภโชค พงษ์ขวัญ, วรวัชร ณรงคะชวนะ, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "การปรับปรุงการแบ่งโหลดเพื่อกระจายข้อมูลหลายทางบนเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่," งานประชุมวิชาการระดับประเทศด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Computing and Information Technology: NCCIT) ครั้งที่ 10, ภูเก็ต, ประเทศไทย, พ.ค. 2557.
2) **สุเมธ ประภาวัต**, สารัช ศรีสวัสดิ์พงษ์, ทะนง ชูวณิชชานนท์, และ วรวัชร ณรงคะชวนะ, "กลไกค้นหาเกตเวย์ที่มีโอเวอร์เฮดจากการแลกเปลี่ยนข้อความต่ำสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ," งานประชุมวิชาการระดับประเทศด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Computing and Information Technology: NCCIT) ครั้งที่ 10, ภูเก็ต, ประเทศไทย, พ.ค. 2557.
3) ธนานพ ทองถาวร, วรวัชร ณรงคะชวนะ, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "การศึกษาความเป็นไปได้ในการลดโอเวอร์เฮดบนระบบเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ โดยการสร้างเงื่อนไขในการจำกัดการกระจายข้อมูลในขั้นตอนการค้นหาเส้นทาง," รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 6, นครราชสีมา,ประเทศไทย, ก.พ. 2557.
4) ธีรพงษ์ โชคสถิตย์, เบญจพร ปาวะรีย์, วรวัชร ณรงคะชวนะ, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "การปรับปรุงกลไกการแพร่กระจายข้อความเพื่อลดการแลกเปลี่ยนข้อมูลบนเครือข่ายดีทีเอ็น," รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 6, นครราชสีมา, ประเทศไทย, ก.พ. 2557.
5) **สุเมธ ประภาวัต**, ทะนง ชูวณิชชานนท์, สารัช ศรีสวัสดิ์พงษ์ และ วรวัชร ณรงคะชวนะ, "การปรับปรุงกลไกค้นหาเกตเวย์เพื่อลดโอเวอร์เฮดจากการแลกเปลี่ยนข้อมูลในเครือข่ายเฉพาะกิจ," รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 6, นครราชสีมา, ประเทศไทย, ก.พ. 2557.
6) **สุเมธ ประภาวัต**, ธนานพ ทองถาวร, และ ณัชชา วัฒนอรุณกิจ, "การประยุกต์ใช้สมาร์ทโฟนในการแจ้งเหตุฉุกเฉิน และตำแหน่งที่อยู่ เพื่อขอรับบริการรถนาส่ง และบริการทางการแพทย์", *รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 5*, กุมภาพันธ์ 2556.
7) **สุเมธ ประภาวัต**, นิติ ชัยกะเสวี, และ ภรภัทร นนทะบรรหาญ, "การประยุกต์ใช้สมาร์ทโฟนเพื่อการพิสูจน์ตัวตนด้วยข้อมูลพิกัดจีพีเอส", *รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 5*, กุมภาพันธ์ 2556.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานเผยแพร่อื่นๆ

1) M. Inoue, P. Tangdumrongrat, **S. Prabhavat**, S. Utsumi, S. M. S. Zabir, N. Shiratori, "Mark-Reverse Explicit Congestion Notification: Concept, Analysis and Evaluation," IEICE Technical Report, vol. 112, no. 208, NS2012-79, pp. 153-158, Sep. 2012.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

143038

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้