



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

เครือข่ายเฉพาะกิจแบบดีทีเอ็นบนสมาร์ตโฟน

สำหรับการสื่อสารในสถานการณ์ภัยพิบัติ

DTN-Based Smartphone Ad Hoc Network
for Communication Services in Disaster Situations

ศศ.ดร.สุเมธ ประภาวัต

RCH
ศษ 43ค
2558

b. 12862691
i.

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 147865
ในเดือนปี 15 ก.ค. 2560

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจาก เงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชื่อโครงการ เครือข่ายเฉพาะกิจแบบดีทีเอ็นบนสมาร์ตโฟน สำหรับการสื่อสารในสถานการณ์ภัยพิบัติ
แหล่งเงิน เงินงบประมาณแผ่นดิน
ประจำปีงบประมาณ 2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 500,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 2 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2557 ถึง 30 กันยายน 2559
ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด
หัวหน้าโครงการ ผศ.ดร.สุเมธ ประภาวัต
หน่วยงานต้นสังกัด คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล.

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันระบบการสื่อสารมีอิทธิพลต่อชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมาก แต่เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ไม่คาดฝันขึ้น เช่น เหตุการณ์ภัยพิบัติที่ทำให้ระบบสาธารณูปโภคพื้นฐานไม่สามารถใช้งานได้ย่อมส่งผลเสียต่อการดำเนินชีวิตของเราอย่างยิ่ง งานวิจัยชิ้นนี้ได้พัฒนาต้นแบบเครือข่ายเฉพาะกิจแบบดีทีเอ็นบนสมาร์ตโฟนสำหรับการสื่อสารในสถานการณ์ภัยพิบัติ

ในส่วนแรกเป็นการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อการติดต่อสื่อสารเฉพาะกิจบนสมาร์ตโฟน โดยการประยุกต์เทคโนโลยี Wi-Fi Direct และเครือข่ายดีทีเอ็นเพื่อการรับส่งข้อความบนแอปพลิเคชันจากผู้ส่งไปหาผู้รับในรูปแบบ Store-and-Forward ซึ่งผลงานต้นแบบระดับห้องปฏิบัติการจากงานวิจัยนี้ได้รับการทดสอบการใช้งานจริง ด้วยการทดสอบการส่งและรับข้อความ จากผู้ส่ง ไปหาผู้รับซึ่งอยู่ห่างกัน 1.5 กิโลเมตร ท่ามกลางสมาร์ตโฟน 12 เครื่องที่มีการเคลื่อนที่อย่างอิสระในพื้นที่ทดสอบประมาณ 1 ตารางกิโลเมตร ผลการส่งและรับข้อมูลสำเร็จได้โดยไม่ต้องมีการเชื่อมต่อ Base Station หรือ Wi-Fi Access Point ดังรายงานและคลิปวิดีโอแสดงผลการทดสอบ

ในส่วนที่สองเป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้นการศึกษาและปรับปรุงประสิทธิภาพการส่งข้อความบนเครือข่ายดีทีเอ็น ลดการใช้พลังงานของสมาร์ตโฟนในการส่งข้อมูลซ้ำซ้อนที่ไม่จำเป็น เพื่อให้การนำแอปพลิเคชันไปใช้มีความเหมาะสมกับในสถานการณ์จริงที่สมาร์ตโฟนมีข้อจำกัดด้านพลังงานแบตเตอรี่ โดยผลงานที่ได้แสดงให้เห็นว่ามีการลดโอเวอร์เฮดในการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยไม่กระทบประสิทธิภาพด้านอื่น เช่น โอกาสส่งข้อมูลถึงปลายทาง คิเลย์ เป็นต้น นำไปสู่การสรุปและการนำเสนอปัญหาวิจัยในการนำผลงานนี้ไปสู่การใช้งานจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: DTN-Based Smartphone Ad Hoc Network for Communication Services
in Disaster Situations

Researcher: Asst.Prof.Dr. Sumet Prabhavat

Faculty: Information Technology

Department: King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ABSTRACT

Nowadays, communication systems have an important role in our daily life. If an unexpected event such as a disaster situation emerges and interrupts network and public utility, this can cause unavailability of infrastructure-based communication service.

We develop a prototype of Smartphone Ad Hoc Network which can be available even under disaster situation. We apply Wi-Fi Direct and DTN technologies to provide communication service and then conduct an experiment of sending a message via an approximately 1-km path passing through 12 smartphones in 1 sq.km network area. The experimental results demonstrate that with our proposed prototype a message can be delivered to a destination without requiring network infrastructure.

Moreover, we propose a new DTN routing model aiming to reduce message exchange overhead and power consumption. We conduct a simulation to evaluate performance of our work comparing to well-known existing works. The simulation results show that our proposed work can achieve the goal while not degrading other aspect of network performance. Finally, we present concluding remarks and open issues for practical implementation in real network.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง จากเงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

คณะผู้วิจัย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

III

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญภาพ.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย.....	2
1.4 แนวทางดำเนินการวิจัย.....	2
บทที่ 2 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 Wireless Technology.....	3
2.2 Wi-Fi Direct Service.....	7
2.3 Generic Advertisement Service (GAS).....	8
2.4 กลยุทธ์การส่งข้อความบนเครือข่ายดีทีเอ็น.....	9
บทที่ 3 การออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชัน.....	14
3.1 แนวคิด.....	14
3.2 การออกแบบโครงสร้างข้อมูล.....	15
3.3 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ.....	18
3.4 ส่วนติดต่อผู้ใช้.....	29
3.5 การทดสอบฟังก์ชันการทำงาน.....	34
บทที่ 4 การวิเคราะห์และพัฒนาระสิทธิภาพ.....	42
4.1 กลไกหาเส้นทางแบบเอปิดิมิกในเครือข่ายดีทีเอ็น.....	42
4.2 กลไก Epidemic Message with Message Advertisement.....	50
4.3 การประยุกต์เทคนิค Overhearing กับกลไกที่มีอยู่เดิม.....	52
4.4 กลไก Speed Epidemic Routing.....	56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและแนวทางต่อยอด.....	61
บรรณานุกรม.....	63
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	66
เครือข่ายติดต่อสื่อสารเฉพาะกิจบนสมาร์ตโฟน เผยแพร่ในงานประชุมทางวิชาการระดับประเทศ ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 7 (NCIT 2015)	
ภาคผนวก ข.....	72
รายงานผลการทดสอบระบบเครือข่ายเฉพาะกิจแบบดีทีเอ็นบนสมาร์ตโฟน	
ภาคผนวก ค.....	94
การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกลไกหาเส้นทางแบบเอปิดิมิกในเครือข่ายดีทีเอ็น เผยแพร่ในงานประชุมทางวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 7 (NCIT 2015)	
ภาคผนวก ง.....	101
An Epidemic Routing with Low Message Exchange Overhead for Delay Tolerant Networks เผยแพร่ในผลงานเผยแพร่ใน Book Series – Advances in Intelligent Systems and Computing: Progress in Systems Engineering (vol. 330) สำนักพิมพ์ Springer	
ภาคผนวก จ.....	110
An Efficient Message Flooding Scheme in Delay-Tolerant Networks เผยแพร่ใน IEEE International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE 2015)	
ภาคผนวก ฉ.....	116
An Efficient Spreading Epidemic Routing for Delay-Tolerant Network เผยแพร่ใน IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2016)	
ภาคผนวก ช.....	121
A New Explicit Congestion Notification Scheme for Satellite IP Networks เผยแพร่ใน Journal of Network and Computer Applications	
ประวัตินักวิจัย.....	134

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 ตัวแปรที่กำหนดในการทดสอบ.....	43



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายที่ถูกนำมาใช้ในอุปกรณ์เคลื่อนที่	3
2.2 เปรียบเทียบความแตกต่างของ Traditional Wi-Fi กับ Wi-Fi Direct	5
2.3 ลำดับการสร้างการติดต่อสื่อสารของเทคโนโลยี Wi-Fi Direct	7
2.4 แสดงตัวอย่างเซอร์วิสที่ถูกประกาศ (Service Advertisement)	8
2.5 แสดงลำดับการทำงานของโปรโตคอล Generic Advertisement Service	9
2.6 กลยุทธ์การส่งข้อความแบบ Direct Contact	10
2.7 กลยุทธ์การส่งข้อความแบบ Epidemic Routing	10
2.8 กลยุทธ์การส่งข้อความแบบ n-Epidemic	11
2.9 กลยุทธ์การส่งข้อความแบบ Binary Spray & Wait	12
2.10 กลยุทธ์การส่งข้อความแบบ Anti Entropy	13
3.1 ลำดับการทำงานภายในของการรับส่ง Message Advertisement	14
3.2 แสดงฟิลด์แต่ละฟิลด์ใน Message Advertisement	15
3.3 แสดงโครงสร้างของ Message Advertisement	16
3.4 ยูสเคสไดอะแกรมของแอปพลิเคชัน	18
3.5 คลาสไดอะแกรมของแอปพลิเคชัน	19
3.6 แยกที่วิธีไดอะแกรมการรับข้อความของแอปพลิเคชัน	20
3.7 แยกที่วิธีไดอะแกรมการส่งข้อความของแอปพลิเคชัน แบบ Epidemic	21
3.8 แยกที่วิธีไดอะแกรมการส่งข้อความ ของแอปพลิเคชัน แบบ Direct Contact	22
3.9 แยกที่วิธีไดอะแกรมการส่งข้อความ ของแอปพลิเคชัน แบบ n-Epidemic	23
3.10 แยกที่วิธีไดอะแกรมการส่งข้อความ ของแอปพลิเคชัน แบบ Gossip	24
3.11 ลำดับการทำงานการรับข้อความของตัวเอง	25
3.12 ลำดับการทำงานการรับข้อความที่ไม่ใช่ของตัวเอง	25
3.13 ลำดับการทำงานการส่งข้อความแบบ Epidemic	26
3.14 ลำดับการทำงานการส่งข้อความแบบ Direct Contact	26
3.15 ลำดับการทำงานการส่งข้อความแบบ n-Epidemic	27
3.16 ลำดับการทำงานการส่งข้อความแบบ Gossip โดยโหนดรอบข้างมีโหนดปลายทางอยู่	27
3.17 ลำดับการทำงานการส่งข้อความแบบ Gossip โดยโหนดรอบข้างไม่มีโหนดปลายทางอยู่	28
3.18 หน้าแรกของแอปพลิเคชัน	29

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.19 หน้าแสดงข้อความ.....	30
3.20 หน้าสร้างข้อความใหม่.....	31
3.21 หน้าแสดงข้อความทั้งหมดที่ตนมี.....	32
3.22 หน้าการตั้งค่าแอปพลิเคชัน.....	33
3.23 การตั้งชื่อผู้ใช้ในการทดสอบ.....	34
3.24 พิมพ์ข้อความ (Epidemic).....	34
3.25 ส่งข้อความ (Epidemic).....	35
3.26 พิมพ์ข้อความ (Direct Contact).....	35
3.27 ส่งข้อความเมื่อรอบข้างไม่มีโหนดปลายทาง (Direct Contact).....	36
3.28 ส่งข้อความเมื่อรอบข้างมีโหนดปลายทาง (Direct Contact).....	36
3.29 การตั้งค่า n (n-Epidemic).....	37
3.30 พิมพ์ข้อความ (n-Epidemic).....	37
3.31 การส่งข้อความ เมื่อจำนวนโหนดรอบข้างน้อยกว่าที่กำหนด (n-Epidemic).....	38
3.32 การส่งข้อความ เมื่อจำนวนโหนดรอบข้างเท่ากับที่กำหนด (n-Epidemic).....	38
3.33 การตั้งค่า p (Gossip).....	39
3.34 พิมพ์ข้อความ (Gossip).....	39
3.35 การส่งข้อความ Gossip เมื่อรอบข้างไม่มีโหนดปลายทาง.....	40
3.36 การส่งข้อความ Gossip เมื่อรอบข้างมีโหนดปลายทาง.....	40
4.1 แสดงภาพจำลองทอพอโลยีของเครือข่าย.....	42
4.2 แสดงการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดเท่ากับ 10 โหนด.....	44
4.3 แสดงการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดเท่ากับ 50 โหนด.....	44
4.4 แสดงการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดเท่ากับ 100 โหนด.....	45
4.5 แสดงอัตราความสำเร็จในการส่งข้อความของเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดเท่ากับ 10 โหนด.....	46
4.6 แสดงอัตราความสำเร็จในการส่งข้อความของเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดเท่ากับ 50 โหนด.....	46
4.7 แสดงอัตราความสำเร็จในการส่งข้อความของเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดเท่ากับ 100 โหนด.....	47
4.8 แสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดเท่ากับ 10 โหนด.....	48
4.9 แสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดเท่ากับ 50 โหนด.....	48
4.10 แสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดเท่ากับ 100 โหนด.....	49

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.11 แสดงจำนวนข้อความที่ถูกส่งใน 1 วินาที	50
4.12 แสดงเวลาเฉลี่ยที่ปลายทางได้รับข้อความ	51
4.13 แสดงอัตราส่วนเฉลี่ยของแพ็คเกจทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเครือข่าย ที่วินาทีที่ 100	53
4.14 แสดงพลังงานที่ใช้เฉลี่ยของ โหนด ที่วินาทีที่ 100	54
4.15 แสดงอัตราส่วนเฉลี่ยข้อความที่ถึงปลายทาง ที่วินาทีที่ 100	55
4.16 แสดงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความเฉลี่ย	56
4.17 แสดงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความเฉลี่ย	57
4.18 แสดงอัตราการส่งข้อความเฉลี่ยในหนึ่งวินาที	58
4.19 แสดงผลรวมเฉลี่ยการใช้พลังงาน	59
4.20 แสดงอัตราส่วนเฉลี่ยข้อความที่ถึงปลายทาง ที่วินาทีที่ 100	60



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เมื่อเกิดเหตุการณ์ภัยพิบัติ ระบบสื่อสารเป็นสิ่งจำเป็นต่อผู้ประสบเหตุที่อยู่ในพื้นที่เพื่อให้สามารถติดต่อสื่อสารกับผู้อื่นได้ เช่น การติดต่อกับญาติ การขอความช่วยเหลือ การรายงานสภาพความเสียหายที่เกิดขึ้น เป็นต้น นอกจากนี้ยังจำเป็นสำหรับการให้ความช่วยเหลือ ของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง เช่น ศูนย์เตือนภัย หน่วยกู้ภัย ฯลฯ ในการติดต่อสื่อสารกับผู้ประสบเหตุ เพื่อรับแจ้งเหตุหรือให้ข้อมูลการเอาตัวรอด จากการศึกษาค้นคว้า เหตุการณ์ภัยพิบัติมักจะก่อให้เกิดความเสียหายแก่สาธารณูปโภคพื้นฐานของระบบเครือข่ายสื่อสาร เช่น สถานีฐาน (Base Station) หรือเสากระจายสัญญาณ เป็นเหตุให้ระบบสื่อสารไม่สามารถใช้งานได้ สิ่งเหล่านี้ทำให้ผู้คนในบริเวณนั้นขาดการติดต่อระหว่างกัน และถูกตัดขาดจากโลกภายนอก

การมีระบบสื่อสารสำรองจึงเป็นสิ่งจำเป็น แนวทางที่เป็นไปได้และเหมาะสมก็คือ การสร้างเครือข่ายการติดต่อสื่อสารที่ไม่ต้องพึ่งพาสาธารณูปโภคพื้นฐาน ซึ่งเทคโนโลยีเครือข่ายแบบที่มีความทนต่อความหน่วง (Delay Tolerant Network: DTN) มีคุณสมบัติดังกล่าว เพราะสามารถสร้างเครือข่ายที่สมาชิกในเครือข่ายสามารถติดต่อสื่อสารกันเองได้ ประกอบกับในปัจจุบันสมาร์ทโฟน (Smartphone) เป็นอุปกรณ์สื่อสารที่ได้รับความนิยมและมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงมุ่งเน้นไปที่ การสร้างเครือข่ายเฉพาะกิจด้วยสมาร์ทโฟน และพัฒนากลยุทธ์การส่งข้อความบนเครือข่ายดีทีเอ็น (โพรโทคอลดีทีเอ็น) เพื่อสร้างการเชื่อมต่อระหว่างสมาร์ทโฟนเครื่องหนึ่งไปยังสมาร์ทโฟนอีกเครื่องหนึ่ง ให้สามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลข่าวสารเหตุการณ์ภัยพิบัติ หรือกระจายข่าวสารเหตุการณ์ภัยพิบัติไปยังเครื่องอื่น สร้างช่องทางการสื่อสารที่ไม่ต้องพึ่งพาสาธารณูปโภคพื้นฐานสำหรับผู้ประสบเหตุ หรือผู้ประสบภัย รวมทั้งผู้ให้ความช่วยเหลือในการรับแจ้งหรือกระจายข่าวออกไป ซึ่งทำให้การช่วยเหลือเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยลดความสูญเสียจากเหตุการณ์ภัยพิบัติลงได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาการพัฒนาเครือข่ายเฉพาะกิจสมาร์ทโฟน สำหรับรองรับการติดต่อสื่อสารในสถานการณ์ที่เครือข่ายสื่อสารที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานไม่สามารถทำงานให้บริการได้ตามปกติ เช่นในสถานการณ์ภัยพิบัติ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2.2 เพื่อสร้างงานวิจัยที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริง เป็นระบบสื่อสารสำรอง เพื่อให้ประชาชนเกิดความมั่นใจว่ายังคงสามารถแจ้งและรับข่าวสารได้ แม้จะเกิดเหตุการณ์ที่โครงสร้างพื้นฐานไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 ประยุกต์เทคโนโลยีเครือข่ายสื่อสารเฉพาะกิจที่ไม่ต้องพึ่งพาโครงสร้างพื้นฐานการสื่อสาร ในการสร้างเครือข่ายเฉพาะกิจสมาร์ตโฟน

1.3.2 ประยุกต์เทคโนโลยีการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์สมาร์ตโฟน ให้เกิดความเชื่อมโยงในลักษณะเครือข่ายเฉพาะกิจ ซึ่งไม่ใช่คุณสมบัติการทำงานตามปกติของอุปกรณ์สมาร์ตโฟนในปัจจุบัน

1.3.3 พัฒนาโพรโทคอลดีทีเอ็น และการส่งข้อมูลที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของเครือข่ายแบบดีทีเอ็น

1.3.4 พัฒนาด้านแบบเครือข่ายเฉพาะกิจสมาร์ตโฟน โดยประยุกต์ใช้โพรโทคอลดีทีเอ็นที่ถูกพัฒนาขึ้นในปัจจุบัน

1.3.5 ทดสอบ วิเคราะห์ และประเมินประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสาร

1.4 แนวทางดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาหลักการทำงานของโพรโทคอลดีทีเอ็น เพื่อสร้างเครือข่ายที่มีการเชื่อมโยงในลักษณะเครือข่ายเฉพาะกิจ หรือที่เรียกว่าเครือข่ายดีทีเอ็น สำหรับใช้ในการสื่อสารในเครือข่ายที่ไม่สามารถกำหนดเส้นทางการเชื่อมโยงระหว่างผู้ส่งกับผู้รับล่วงหน้าได้ โดยประยุกต์ใช้หลักการดังกล่าวกับการสร้างเครือข่ายสมาร์ตโฟนด้วยเทคโนโลยี Wi-Fi Direct ด้วยหลักการเบื้องต้นนี้จึงคาดว่าจะสามารถสร้างเครือข่ายเฉพาะกิจสมาร์ตโฟนเพื่อเป็นระบบสื่อสารสำรองสำหรับการแจ้งและรับข่าวสารในสถานการณ์ที่เครือข่ายสื่อสารที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานไม่สามารถทำงาน และให้บริการได้ตามปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

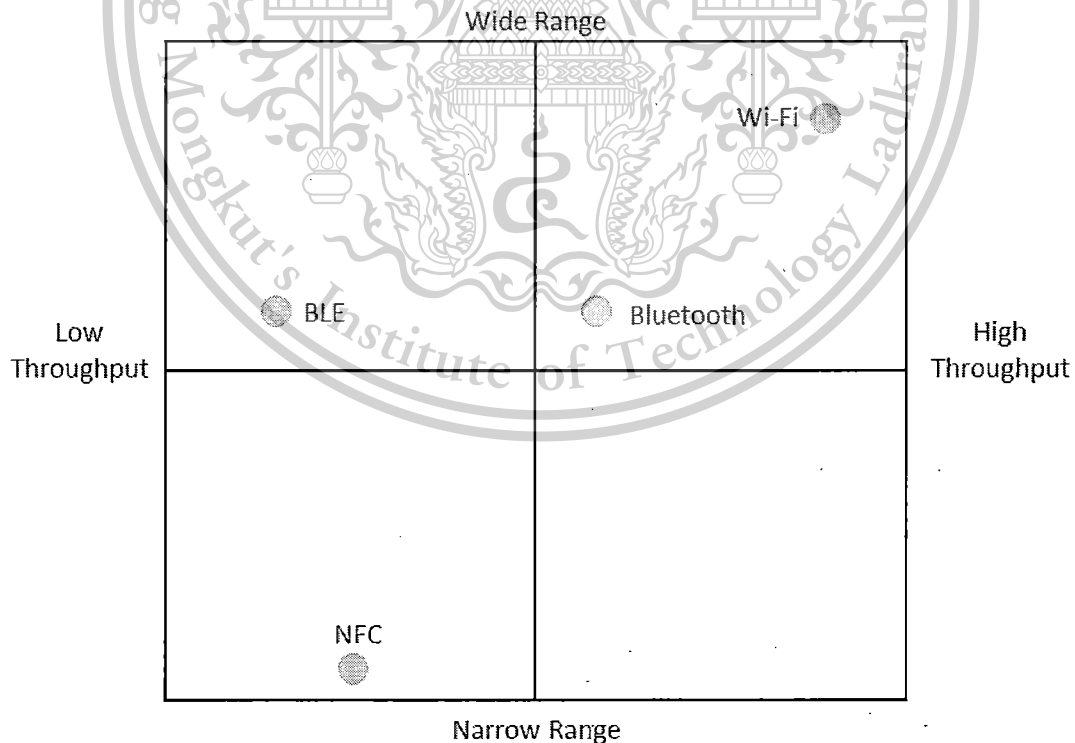
บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 Wireless Technology

เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย (Wireless Technology) ได้เข้ามามีบทบาท และเพิ่มทางเลือกในการทำงานให้กับผู้ใช้ในปัจจุบันเป็นอย่างมาก เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในเครือข่ายสามารถสื่อสารกันได้ โดยไม่ใช้สายสัญญาณเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ แต่ใช้คลื่นความถี่วิทยุในการติดต่อสื่อสารแทน

เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายในปัจจุบันถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันประกอบด้วย Near Field Communication (NFC), Bluetooth และ Wireless Fidelity (Wi-Fi) โดยแต่ละตัวจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไป มีรัศมีการรับส่งตั้งแต่ 2-3 เซนติเมตร จนถึง 100 เมตร มีระบบเข้ารหัสข้อมูลเพื่อรักษาความปลอดภัย (Security) ความเร็วของการส่งข้อมูล (Throughput) และค่าใช้จ่าย (Cost) ที่แตกต่างกัน ซึ่งเราสามารถเลือกใช้ให้เหมาะสมกับแอปพลิเคชันที่แตกต่างกันได้ [1]



ภาพที่ 2.1 เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายที่ถูกนำมาใช้ในอุปกรณ์เคลื่อนที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.1 Bluetooth

บลูทูธ (Bluetooth) คือ ระบบสื่อสารของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบสองทาง (Full-Duplex) เป็นเทคโนโลยีไร้สายแบบระยะสั้น (Short-Range) มีกำลังส่งต่ำ มีรัศมีการส่งสัญญาณต่ำกว่า 10 เมตร เหมาะกับการใช้ในการติดต่อสื่อสารสำหรับอุปกรณ์ไม่อยู่ห่างกันมาก อุปกรณ์มีขนาดเล็กเนื่องจากการใช้ในการส่งข้อมูลในจำนวนที่ไม่มาก เช่น ไฟล์ภาพ เสียง เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้พลังงานต่ำ และสามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลานานในอุปกรณ์ที่มีพลังงานอยู่อย่างจำกัด

บลูทูธ สามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ Bluetooth Classic กับ Bluetooth Low Energy (BLE) ซึ่งมีความแตกต่างกัน 3 ด้านด้วยกันคือ การใช้พลังงาน (Power Consumption) รัศมีการส่ง (Range) และความเร็วในการส่งข้อมูล (Throughput) โดย Bluetooth Classic ถูกออกแบบมาสำหรับการส่งข้อมูลแบบสตรีมมิ่ง (Streaming) อย่างต่อเนื่อง ในขณะที่ Bluetooth Low Energy ถูกพัฒนาต่อให้มีข้อเด่นในด้านการใช้พลังงานต่ำ เพื่อขยายระยะเวลาในการเชื่อมต่อของอุปกรณ์

2.1.2 Near Field Communication (NFC)

Near Field Communication (NFC) คือ เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายระยะสั้นที่มีรัศมีการส่งข้อมูลอยู่ที่ประมาณ 2-3 เซนติเมตร อุปกรณ์สามารถติดต่อสื่อสารกันได้เพียงแค่นำอุปกรณ์ทั้งสองเครื่องมาวางชิดกัน หรือแตะกันเท่านั้น ลักษณะการทำงานจะคล้ายกับบลูทูธมาก แต่จะไม่มีกรจับคู่ของอุปกรณ์ทั้งสองก่อนการใช้งาน และมีความเร็วในการส่งข้อมูลสูงสุดอยู่ที่ 424 Kbit/s

NFC แบ่งเป็น 2 โหมดด้วยกันคือ Active และ Passive โหมด Active จะพบมากในอุปกรณ์เคลื่อนที่ สามารถเขียนและอ่านข้อมูลได้ ใช้พลังงาน 15 มิลลิแอมป์ ในขณะที่โหมด Passive หรือที่รู้จักกันในชื่อ NFC Tags ไม่ใช้พลังงาน ใช้ได้แค่เก็บข้อมูล ตัวอย่างในการนำ NFC มาใช้งาน ได้แก่ การใช้โทรศัพท์มือถือเพื่อชำระสินค้าและบริการ ค่าเครื่องดื่ม และอาหาร การยืนยันตัวตน เป็นต้น

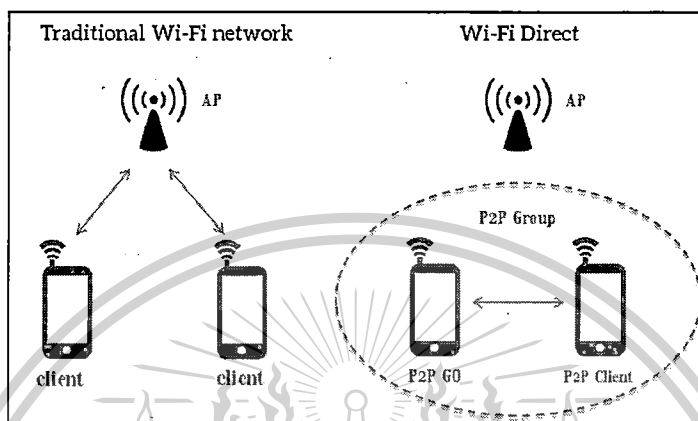
2.1.3 Wi-Fi & Wi-Fi direct

Wi-Fi เป็นเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย ซึ่งมี IEEE 802.11 เป็นมาตรฐานในการกำหนดรูปแบบการสื่อสาร เทคโนโลยี Wi-Fi พัฒนาขึ้นเพื่อทำให้อุปกรณ์สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โดยผ่านแอคเซสพอยท์ (Access Point - AP)

Wi-Fi Direct หรือรู้จักในอีกชื่อหนึ่งว่า Wi-Fi peer-to-peer (Wi-Fi P2P) เป็นเทคโนโลยีที่ทำให้อุปกรณ์สามารถเชื่อมต่อกันได้โดยตรง โดยไม่ต้องผ่านแอคเซสพอยท์ ซึ่งในการติดต่อสื่อสารของอุปกรณ์ อุปกรณ์จะสร้างกลุ่ม P2P (P2P Group) ขึ้น และมีการกำหนดบทบาทให้แก่อุปกรณ์แต่ละเครื่องที่อยู่ในกลุ่ม โดยมี 2 บทบาทด้วยกัน คือ P2P Group Owner (P2P GO) กำหนดให้กับอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปรียบเสมือนแอคเซสพอยท์ และ P2P Client กำหนดให้กับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือมีการสงวนสิทธิ์ในบางประการ ห้ามมิให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Wi-Fi Direct ใช้มาตรฐาน IEEE 802.11 เหมือนกับ Wi-Fi ทำให้สามารถใช้งานในรัศมีไม่เกิน 200 เมตร และมีความเร็วในการส่งข้อมูลอยู่ที่ 250 Mbit/s แต่มีข้อจำกัดคือ รองรับการเชื่อมต่อเพียง 1 ฮอป ซึ่งทำให้ไม่เหมาะสมต่อการนำมาใช้งานที่เส้นทางการติดต่อสื่อสารประกอบไปด้วยเส้นทางย่อยหลายฮอป [1][2]



ภาพที่ 2.2 เปรียบเทียบความแตกต่างของ Traditional Wi-Fi กับ Wi-Fi Direct

กระบวนการการสร้างการติดต่อสื่อสารของอุปกรณ์ที่ใช้ Wi-Fi Direct แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1. Device Discovery หรือ ส่วนของการค้นหาอุปกรณ์ แบ่งออกเป็น 2 เฟส ดังนี้

Scan Phase อุปกรณ์จะใช้ Wi-Fi แสกนผ่านทุกช่องสัญญาณเพื่อทำการค้นหาและเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ที่อยู่รอบ ๆ ตัว ในระหว่างเฟสนี้ อุปกรณ์จะไม่มี การตอบกลับคำร้องขอ ที่ถูกส่งจากอุปกรณ์อื่นๆ

Find Phase เฟสนี้เกิดขึ้นเมื่อ Scan Phase เสร็จสิ้น โดยจุดมุ่งหมายของเฟสนี้คือ เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ทั้งสองอยู่ในช่องสัญญาณเดียวกัน เพื่อแลกเปลี่ยนข้อมูลของอุปกรณ์และตัดสินใจว่าจะสร้างการเชื่อมต่อขึ้นหรือไม่ ในกระบวนการนี้ อุปกรณ์จะสลับสถานะไปมาระหว่าง สถานะค้นหา (Search State) และสถานะฟัง (Listen State)

สถานะค้นหา (Search State) เป็นสถานะที่อุปกรณ์จะส่งคำร้องขอ (Probe Request) ออกไปในทุกช่องสัญญาณ Social (Social Channel) และสถานะฟัง (Listen State) เป็นสถานะที่อุปกรณ์จะรอการร้องขอ (Probe Request) จากอุปกรณ์อื่น เครื่องบนช่องสัญญาณ Social ที่เลือก ซึ่งเมื่อได้รับการร้องขอแล้ว อุปกรณ์จะตอบสนองโดยการส่ง Probe Response กลับไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โอกาสที่อุปกรณ์ทั้งสองเครื่องจะพบกันนั้น ขึ้นอยู่กับจำนวนช่องสัญญาณและเวลาที่ใช้ในการสลับสถานะของทั้งสองเครื่องที่เกิดจากการสุ่ม ซึ่งช่องสัญญาณที่เหมาะสมที่สุดที่ได้รับการแนะนำ รู้จักในชื่อ Social Channel มีด้วยกัน 3 ช่อง ได้แก่ 1 6 และ 11 ในย่านความถี่ 2.4 GHz

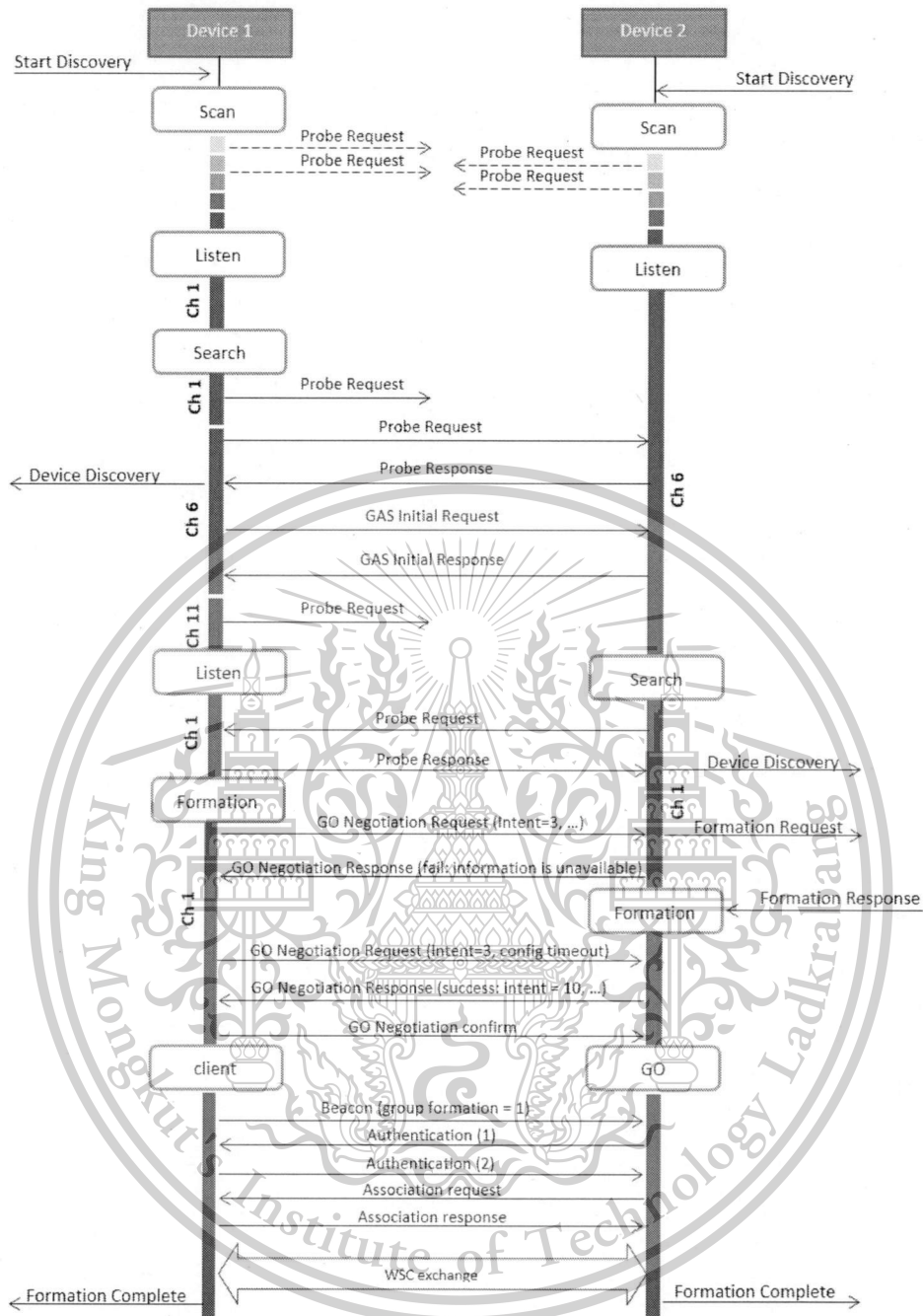
2. Group Formation หรือส่วนของการสร้างกลุ่ม P2P แบ่งออกเป็น 2 เฟส ดังนี้

Group Owner Negotiation อุปกรณ์จะมีการกำหนดบทบาทว่าเครื่องใดจะเป็น Group Owner (GO) โดยการส่งเฟรมแลกเปลี่ยนกัน 3 เฟรมซึ่งได้แก่ GO Negotiation, GO Response และ GO Confirmation

WPS Provisioning เป็นเฟสในการยืนยันตัวตน ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยี Wi-Fi Direct จะใช้ Wi-Fi Protected Setup (WPS) เป็นโพรโทคอลรักษาความปลอดภัยในการสร้างการเชื่อมต่อ [1][2]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.3 ลำดับการสร้างการติดต่อสื่อสารของเทคโนโลยี Wi-Fi Direct

2.2 Wi-Fi Direct Service

Wi-Fi Direct Service เป็นมาตรฐานใหม่ที่ถูกกำหนดโดย Wi-Fi Alliance พัฒนาขึ้นโดยใช้เทคโนโลยี Wi-Fi Direct ทำให้อุปกรณ์สามารถประกาศเซอร์วิส (Service) ที่เครื่องของตนเอง ให้บริการ ในขณะที่ตัวกันก็สามารถค้นหารายการเซอร์วิสของอุปกรณ์อื่นที่พบได้ ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ ใ้บริการ ในขณะเดียวกันก็สามารถค้นหารายการเซอร์วิสของอุปกรณ์อื่นที่พบได้ ซึ่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่น ๆ

กระบวนการนี้จะเกิดขึ้นในเฟสการค้นหาอุปกรณ์ (Find Phase) ของ Wi-Fi Direct หลังจากอุปกรณ์ทั้งสองค้นพบกันเรียบร้อยแล้ว เพื่อที่จะทำให้อุปกรณ์ที่ค้นหาเซอร์วิสสามารถเก็บข้อมูลเกี่ยวกับเซอร์วิสที่ค้นพบได้ ซึ่งข้อมูลนี้อาจจะเป็นอะไรก็ได้ ยกตัวอย่างเช่น ชื่อรุ่นอุปกรณ์, IP Address, MAC Address เป็นต้น เพื่อใช้เป็นข้อมูลก่อนการตัดสินใจในการสร้าง P2P Group ขึ้น โดยการค้นหาข้อมูลเซอร์วิสของอุปกรณ์นั้นจะใช้ Generic Advertisement Service Protocol ซึ่งเป็น Link Layer Protocol ในการรับส่งข้อมูล[1][2]

1 Service

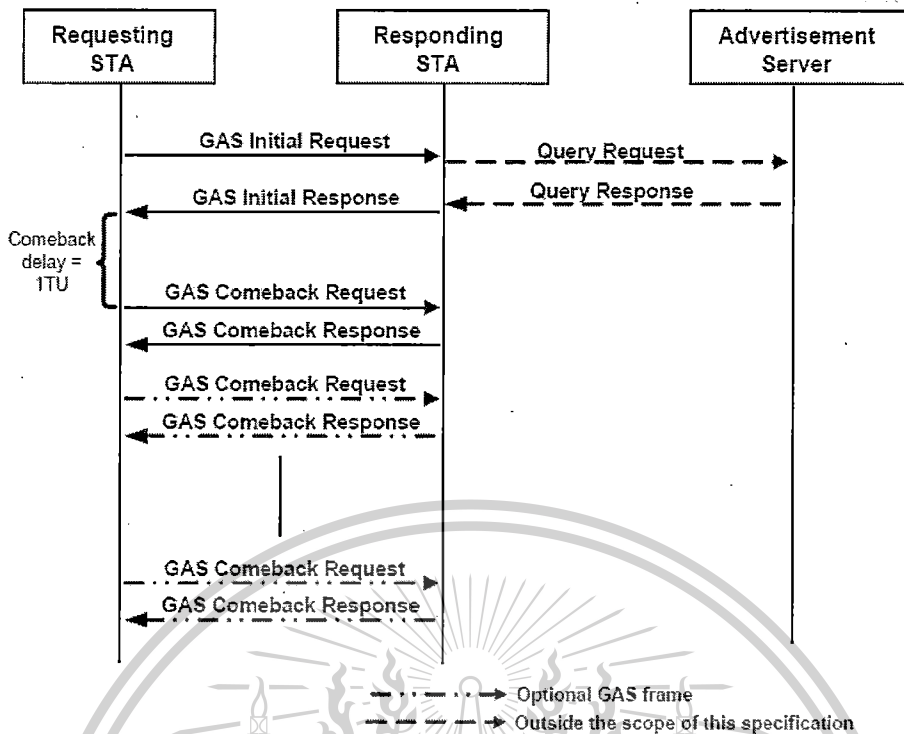
Print Service		
Model Name	IP	Mac Address
Canon Mp280	192.168.1.180	5e:6c:ee:ffc:11:12:13

ภาพที่ 2.4 แสดงตัวอย่างเซอร์วิสที่ถูกประกาศ (Service Advertisement)

2.3 Generic Advertisement Service (GAS)

GAS [3] เป็นกลไกที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลเซอร์วิสที่ถูกประกาศจากอุปกรณ์ เกิดขึ้นระหว่างอุปกรณ์ 2 ตัว โดยอุปกรณ์เครื่องหนึ่งจะส่งเฟรม GAS Initial Request เพื่อเป็นสัญญาณการร้องขอข้อมูลเซอร์วิสจากอุปกรณ์อีกเครื่อง โดยอุปกรณ์ที่ได้รับการร้องขอจะตอบสนองโดยการส่งข้อมูลของเซอร์วิสผ่านทางเฟรม GAS Initial Response ในกรณีที่ข้อมูลของเซอร์วิสมีขนาดใหญ่เกินกว่าเฟรมที่ใช้ในการส่งกลับ ข้อมูลจะถูกแบ่งให้มีขนาดเล็กลง พร้อมกับให้อุปกรณ์ที่ร้องขอส่งเฟรม GAS Comeback Request มาอีกครั้ง เพื่อร้องขอข้อมูลที่เหลือ โดยจำนวนเฟรม GAS Comeback Request จะขึ้นอยู่กับจำนวนของข้อมูลที่ถูกแบ่งเสร็จแล้ว ซึ่งจากการศึกษาใน [4] พบว่า GAS จะถูกนำไปใช้ในการส่งข้อมูลอื่น ๆ ในอนาคตอีกด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.5 แสดงลำดับการทำงานของโปรโตคอล Generic Advertisement Service [3]

2.4 กลยุทธ์การส่งข้อความบนเครือข่ายดีทีเอ็น

เครือข่ายดีทีเอ็น [5][6] เป็นเครือข่ายเฉพาะกิจประเภทหนึ่งที่มีอุปกรณ์ไร้สาย หรือ โหนด (Node) บนเครือข่ายซึ่งสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โดยไม่ต้องอาศัยโครงสร้างพื้นฐาน และถูกออกแบบสำหรับการสื่อสารของอุปกรณ์ไร้สายที่มีการเคลื่อนที่ตลอดเวลา ไม่มีแบบแผน มีพลังงานในตัวจำกัด ทำให้เส้นทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางไม่สามารถเกิดขึ้นได้หรือเกิดขึ้นได้ยาก กระบวนการทำงานหลักของดีทีเอ็นนั้น จะอาศัยการเก็บและส่งต่อข้อความ (Store-Carry-Forward) ไปยังโหนดต่าง ๆ บนเครือข่ายให้มากที่สุด เพื่อเพิ่มโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จ ในปัจจุบันมีการวิจัยพัฒนาโปรโตคอลดีทีเอ็นในแบบต่าง ๆ ที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการส่งข้อความบนเครือข่ายให้ดีขึ้น ซึ่งโครงการฉบับนี้ให้ความสนใจกับโปรโตคอลดีทีเอ็นต่าง ๆ ดังนี้ [5][7]

2.4.1 Direct Contact

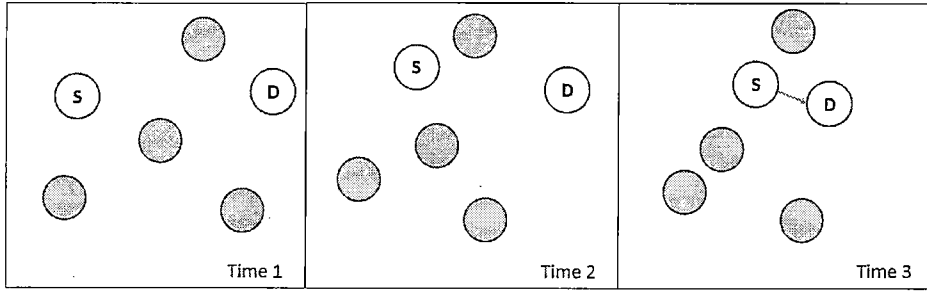
Direct Contact [7] เป็นโปรโตคอลดีทีเอ็นพื้นฐานที่สุด กล่าวคือโหนดต้นทางจะส่งข้อความก็ต่อเมื่อเจอกับโหนดปลายทางโดยตรง ทำให้ Direct Contact ไม่มีการคัดลอกข้อความเกิดขึ้น และใช้พลังงานในการส่งข้อความที่น้อย แต่ก็แลกกับเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความที่มาก และ

อาจจะส่งไม่สำเร็จ เนื่องจากโอกาสที่ต้นทางจะไม่เจอปลายทางก็มีเช่นกัน อธิบายการทำงานได้ ดัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ภาพที่ 2.6

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

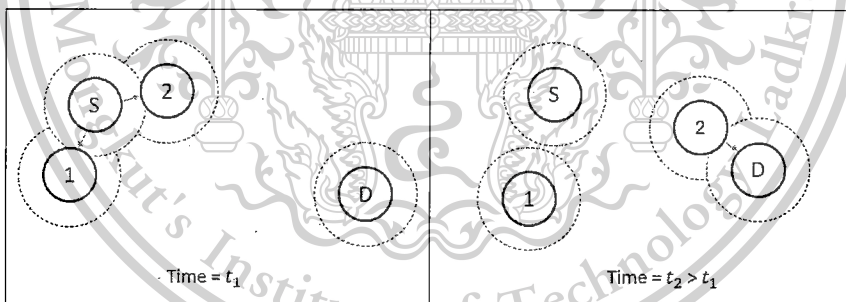


ภาพที่ 2.6 การส่งข้อความแบบ Direct Contact

จากภาพที่ 2.6 แสดงให้เห็นว่า ที่เวลา Time1 โหนด S ต้องการจะส่งข้อความให้โหนด D ที่อยู่ไกลออกไป แต่ไม่สามารถส่งได้ เพราะไม่พบโหนด D เมื่อเวลาผ่านไป Time2 โหนดมีการเคลื่อนที่ แต่โหนด S ยังไม่พบโหนด D จึงเก็บข้อความไว้ จนกระทั่งเวลา Time3 โหนด S พบโหนด D จึงส่งข้อความให้โหนด D โดยตรง

2.4.2 Epidemic Routing

Epidemic Routing [7][8] เป็นรูปแบบการส่งข้อความบนเครือข่ายดีที่เอ็นที่มีความซับซ้อนน้อยที่สุด โดย Epidemic Routing อนุญาตให้โหนดคู่หนึ่งเชื่อมต่อกันเพื่อแลกเปลี่ยนข้อความให้เหมือนกัน (Synchronize) โหนดจะแลกเปลี่ยนข้อความกับโหนดที่พบไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งข้อความแพร่กระจายไปถึงโหนดปลายทาง อธิบายได้ดังภาพที่ 2.7



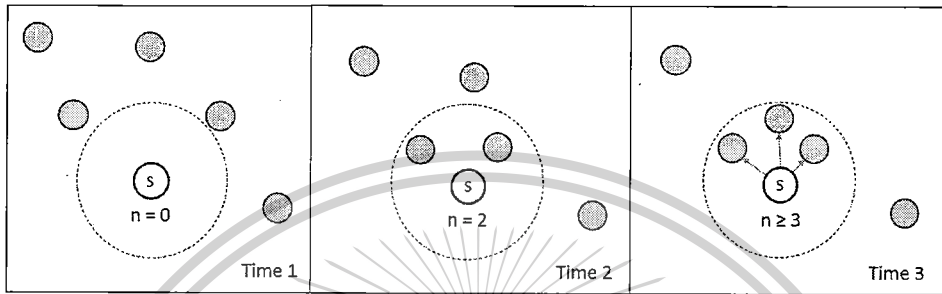
ภาพที่ 2.7 การส่งข้อความแบบ Epidemic Routing

จากภาพที่ 2.7 แสดงให้เห็นว่า ที่เวลา t_1 โหนด S หรือโหนดต้นทางไม่สามารถส่งข้อความไปยังโหนด D ได้ โหนด S จึงส่งข้อความต่อไปยังโหนด 1 และ 2 และเมื่อเวลา $t_2 > t_1$ มีการเคลื่อนที่ของโหนด ทำให้โหนด 2 พบโหนด D และส่งข้อความไปโหนด D ซึ่งเป็นโหนดปลายทางสำเร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 n-Epidemic

จากการส่งข้อความแบบ Epidemic routing [9] ที่โหนดจำเป็นจะต้องแลกเปลี่ยนข้อความทั้งหมดที่ตนมีกับโหนดที่พบ ทำให้โหนดใช้พลังงานในการส่งข้อความจำนวนมาก ต่อมาจึงมีการพัฒนาการส่งข้อความแบบ n-Epidemic ที่เสนอแนวคิดให้โหนดสามารถส่งต่อข้อความได้ก็ต่อเมื่อมีจำนวนโหนดรอบข้างที่กำหนดมากกว่า หรือเท่ากับ n โหนด อธิบายได้ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 การส่งข้อความแบบ n-Epidemic

จากภาพที่ 2.8 กำหนดให้ค่า n เท่ากับ 3 ที่เวลา Time1 โหนด S ต้องการส่งข้อความ แต่ยังไม่มีการส่งข้อความใดๆ เนื่องจากไม่มีโหนดเพื่อนบ้าน ($n=0$) โหนด S จึงเก็บข้อความไว้ ต่อมาที่เวลา Time2 พบว่ามีโหนดเพื่อนบ้านเท่ากับ 2 ($n=2$) แต่ยังไม่ถึง 3 จึงเก็บข้อความไว้ต่อ จนกระทั่งที่เวลา Time3 โหนด S มีโหนดเพื่อนบ้านมากกว่าเท่ากับ 3 ($n=3$) โหนด S จึงกระจายข้อความไปยังโหนดเพื่อนบ้านทั้ง 3 ตัว

2.4.4 Gossip

แนวคิดการส่งข้อความแบบ Gossip [10] ถูกออกแบบเพื่อลดความคับคั่งของข้อความบนเครือข่ายที่มีการส่งข้อความจำนวนมาก โดยเสนอให้โหนดส่งต่อข้อความด้วยความน่าจะเป็น p โดยที่ p มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1

จำนวนครั้งในการส่งข้อความจะขึ้นอยู่กับค่า p ถ้าค่า p น้อย จำนวนครั้งในการส่งข้อความก็น้อย ถ้าค่า p มาก จำนวนครั้งในการส่งข้อความก็มาก เช่น ถ้ากำหนดค่า p เท่ากับ 0.8 ทำการทดสอบทั้งหมด 100 ครั้ง โหนดจะส่งข้อความทั้งหมด 80 ครั้งโดยประมาณ เป็นต้น

2.4.5 Spray & Wait

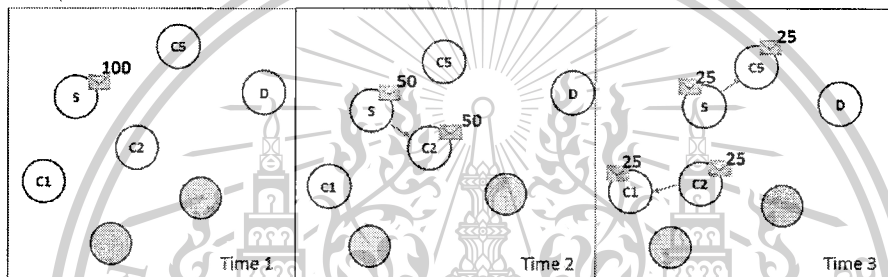
Spray & Wait [11] [12] ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดจำนวนครั้งการแลกเปลี่ยนข้อความของเครือข่าย โดยมีการกำหนดจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความ หรือแพร่กระจายข้อความที่จำกัด แบ่งออกเป็น 2 เฟส คือ

Spray Phase เป็นเฟสที่โหนดต้นทางส่งข้อความจำนวน n ข้อความไปยังโหนดรอบข้างที่แตกต่างกัน โดยโหนดต้นทางจะแบ่งสิทธิ์ในการส่งข้อความให้เพียงครั้งละ 1 ข้อความ ทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนเวียนสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหนดรอบข้างไม่มีสิทธิ์ในการคัดลอกข้อความและส่งต่อข้อความได้ ซึ่งโหนดต้นทางจะส่งต่อข้อความเรื่อยๆจนกว่า จำนวนครั้งในการส่งข้อความมีค่าเท่ากับ 1 จากนั้นจะเข้าสู่เฟสที่สองคือ Wait phase

Wait Phase เป็นเฟสที่โหนดต้นทางและโหนดตัวกลางที่ได้รับข้อความจะรอจนกว่าเจอโหนดปลายทาง และส่งข้อความให้โหนดปลายทางโดยตรง

จากการส่งข้อความแบบข้างต้นจะเห็นว่า โหนดที่ทำหน้าที่ในการส่งข้อความมีเพียงโหนดต้นทางโหนดเดียว ซึ่งทำให้โหนดต้นทางมีภาระในการทำงานหนัก และนอกจากนั้นยังทำให้ความเร็วในการแพร่กระจายข้อความน้อย จึงมีการพัฒนา Binary Spray & Wait ขึ้น เพื่อให้โหนดเพื่อนบ้านมีส่วนช่วยในการทำงาน โดยอธิบายขั้นตอนการทำงานตามภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 การส่งข้อความแบบ Binary Spray & Wait

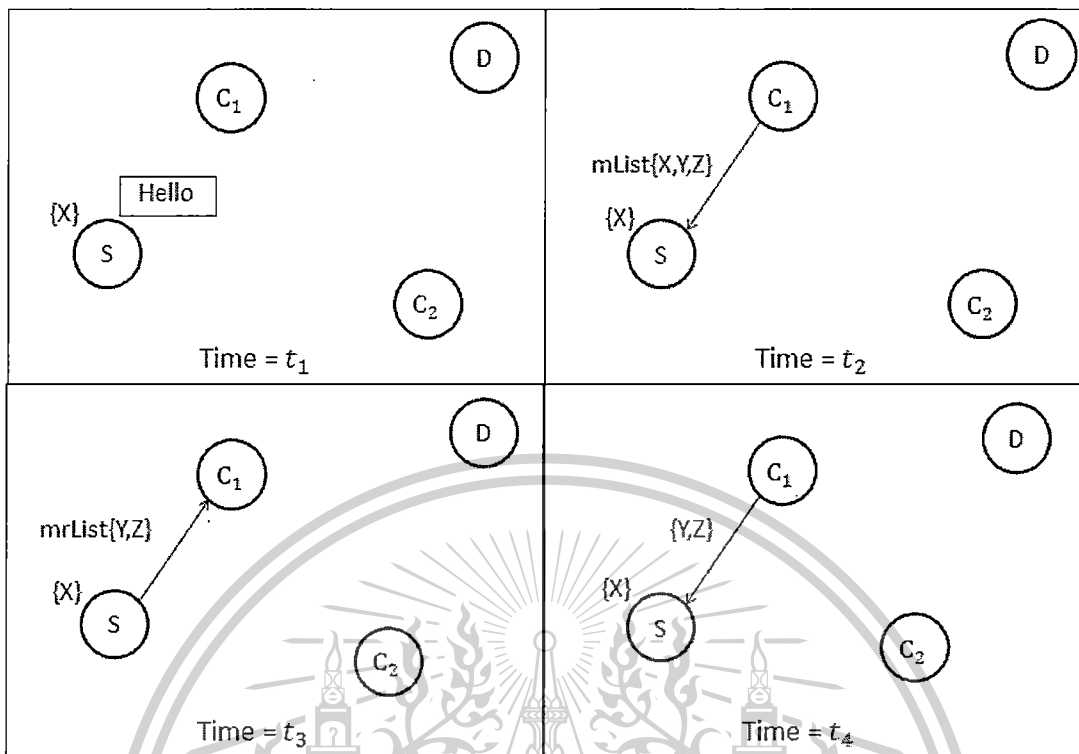
จากภาพที่ 2.9 ที่เวลา Time1 โหนด S ต้องการส่งข้อความไปหาโหนด D ซึ่งเป็นโหนดปลายทางที่อยู่ไกลออกไป โดยสมมติให้โหนด S มีจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความเท่ากับ 100 เมื่อเวลาผ่านไป Time2 โหนด S พบโหนด C2 จึงส่งข้อความพร้อมกับแบ่งจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความออกเป็น 2 ส่วนให้กับ C2 ด้วย ซึ่งทำให้ตอนนี้โหนด S และโหนด C2 มีจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความเป็น 50 ครั้ง และต่อมาเมื่อเวลา Time3 โหนด S พบโหนด C5 และโหนด C2 พบโหนด C1 จำนวนครั้งการคัดลอกข้อความที่แต่ละโหนดมีก็ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนอีกครั้ง หรือเท่ากับ 25 ครั้ง โหนดจะทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าโหนดนั้น ๆ จะมีจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความเท่ากับ 1 จากนั้นจะเข้าสู่สถานะ Wait

2.4.6 Anti Entropy

โดยปกติแล้ว ใน Epidemic Routing โหนดจะส่งข้อความทั้งหมด เนื่องจากไม่ทราบว่าโหนดที่ติดต่อดำเนินการข้อความอะไรบ้าง ทำให้เกิดการคับคั่งของปริมาณข้อความ ต่อมาจึงได้มีการพัฒนา Anti Entropy [13] ซึ่งเป็นโพรโทคอลที่เ็นที่อนุญาตให้โหนดส่งข้อความเฉพาะที่โหนดที่ติดต่อดำเนินการเท่านั้น โดยโหนดจะแลกเปลี่ยนรายชื่อข้อความที่ตนมี ก่อนการส่งข้อความจริง ทำให้สามารถร้องขอเฉพาะข้อความที่ตนต้องการได้ และส่งผลให้จำนวนข้อความที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าส่งในแต่ละครั้งลดลงอย่างมาก

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 2.10 การส่งข้อความแบบ Anti Entropy

ในภาพที่ 2.10 แสดงให้เห็นถึงการทำงานของ Anti Entropy เริ่มจากเมื่อเวลา t_1 โหนด S ส่งข้อความ Hello ไปให้โหนด C₁ เพื่อเป็นการประกาศตัวตน จากนั้นเวลา t_2 โหนด C₁ จะส่งรายชื่อข้อความที่ตนมี ($mList\{X,Y,Z\}$) ไปให้โหนด S เมื่อเวลา t_3 โหนด S ได้รับ โหนด S จะส่งรายชื่อข้อความที่ตนเองต้องการ ($mrList\{Y,Z\}$) กลับไปให้โหนด C₁ จากนั้นเวลา t_4 โหนด C₁ จึงจะส่งข้อความ ($\{Y,Z\}$) กลับไปให้โหนด S

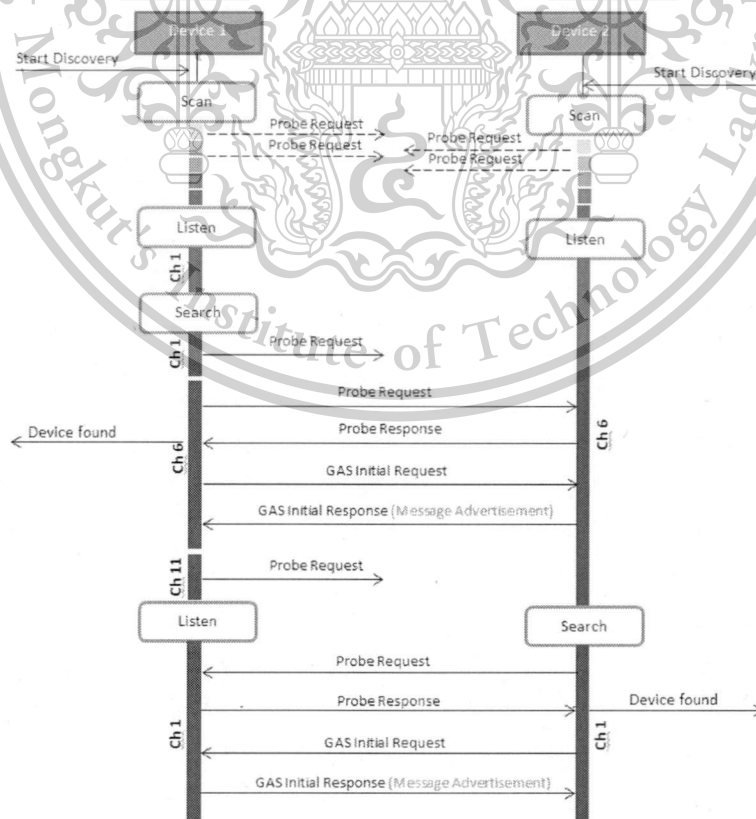
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การออกแบบและพัฒนาแอปพลิเคชัน

3.1 แนวคิด

การพัฒนาแอปพลิเคชันให้สามารถส่งข้อความบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์แบบไม่พึ่งพาตัวกลางได้นั้นจะต้องอาศัยการติดต่อสื่อสารแบบ Peer-to-Peer โดยระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์มี API ให้ใช้สำหรับการพัฒนา แต่ผู้ใช้งานจะต้องคอยกดตอบรับทุกครั้งที่มีการส่งข้อความทางผู้พัฒนาจึงต้องอาศัยช่องทางอื่นในการส่งข้อความ โดยการใช้ Wi-Fi Direct Service ซึ่งใช้โพรโทคอล Generic Advertisement Service ในการส่งข้อความ ทำให้สามารถส่งข้อความหาอุปกรณ์ที่อยู่โดยรอบได้ โดยไม่ต้องสร้างการเชื่อมต่อ จึงมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันให้สามารถส่งข้อความแบบไม่พึ่งพาตัวกลางได้ โดยผู้ส่งสามารถประกาศข้อความออกไปในรูปแบบของเซิร์ฟวิส อุปกรณ์อื่น ๆ รอบข้างก็จะคอยมองหาเซิร์ฟวิสที่ถูกประกาศออกมาโดยเมื่อเครื่องรอบข้างได้รับข้อความก็จะทำการส่งข้อความต่อไปตามที่โพรโทคอลที่ดีเอ็นกำหนด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ภาพที่ 3.1 ลำดับการทำงานภายในของการรับส่ง Message Advertisement
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาพที่ 3.1 แสดงลำดับการทำงานภายในของการรับส่ง Message Advertisement เริ่มจากอุปกรณ์จะใช้ Wi-Fi แสแกนผ่านทุกช่องสัญญาณเพื่อทำการค้นหาอุปกรณ์ที่อยู่รอบ ๆ ตัว จากนั้นอุปกรณ์จะสลับสถานะไปมาระหว่างสถานะฟัง และสถานะค้นหา เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ทั้งสองอยู่ช่องสัญญาณเดียวกัน เมื่ออยู่ในช่องสัญญาณเดียวกันแล้ว อุปกรณ์จะทำการส่ง GAS Initial Request เพื่อร้องขอ Message Advertisement เมื่ออุปกรณ์อีกเครื่องได้รับก็จะส่ง Message Advertisement ของตนกลับมาที่เฟรม GAS Initial Response

3.2 การออกแบบโครงสร้างข้อมูล

3.2.1 ชุดข้อมูลที่ใช้ส่งข้อความ

เนื่องจาก Wi-Fi Direct Service มีข้อจำกัดในการส่งข้อความที่มีอยู่ร่วมกันได้ไม่เกิน 1024 ตัวอักษรต่อหนึ่งเครื่องในเวลาเดียวกัน และฟิลด์แต่ละฟิลด์ใน Wi-Fi Direct Service จะมีขนาดตัวความยาวอักษรได้ไม่เกิน 255 ตัวอักษร ทำให้ต้องออกแบบโครงสร้างของชุดข้อมูลที่ใช้ในการส่งข้อความ ซึ่งใน Message Advertisement จะประกอบไปด้วยฟิลด์ทั้งหมด 5 ฟิลด์ดังนี้

1. Destination Address คือ ชื่อผู้รับ
2. Source Address คือ ชื่อผู้ส่ง
3. Message ID คือ หมายเลขไอดีของข้อความ (สำหรับตรวจสอบข้อความซ้ำ)
4. Message คือ ตัวข้อความที่ผู้ใช้ต้องการส่ง
5. DF_flag คือ คอนโทรลแฟล็ก (DF ย่อมาจาก Don't Forward) มีเฉพาะการส่งข้อความแบบ Gossip ใช้เพื่อกำหนดว่าข้อความนี้จะต้องส่งต่อหรือไม่ ซึ่งอาจมีค่าเป็น 0 หรือ 1 แล้วแต่กรณีดังนี้
 - 0 หมายถึง โหนดใดๆ ที่ได้รับข้อความนี้ให้ทิ้งไป ไม่ส่งต่อ
 - 1 หมายถึง โหนดใดๆ ที่ได้รับข้อความนี้ให้ส่งต่อ

1 Message Advertisement

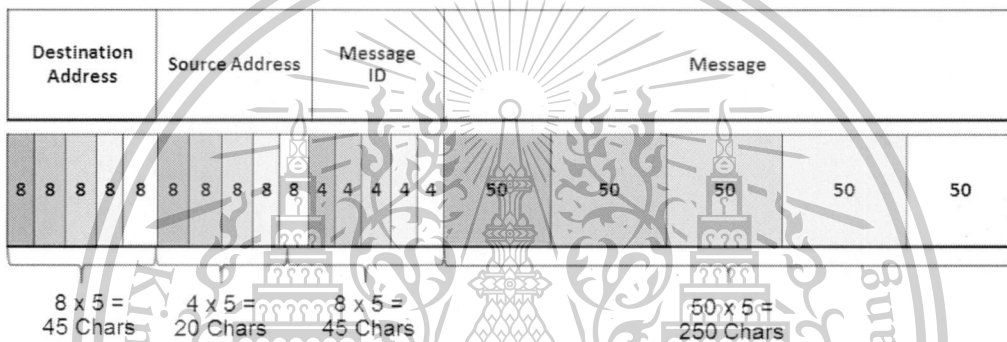
Destination Address	Source Address	Message ID	Message	DF_flag
≤ 255 Chars	≤ 255 Chars	≤ 255 Chars	≤ 255 Chars	≤ 255 Chars

ภาพที่ 3.2 แสดงฟิลด์แต่ละฟิลด์ใน Message Advertisement

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอปพลิเคชันนี้ใช้ Username เป็นตัวบ่งบอกถึงผู้ส่ง และผู้รับ ซึ่งผู้ใช้สามารถตั้งชื่อได้เองไม่เกิน 8 ตัวอักษร หมายเลขข้อความมีขนาดความยาวสูงสุด 4 ตัวอักษร ส่วนข้อความหนึ่งข้อความสามารถได้สูงสุด 50 ตัวอักษร ซึ่งเป็นความยาวที่เหมาะสมที่สามารถบันทึกทุกตัวอักษรในภาษาอังกฤษ และเป็นประโยคที่มีความหมาย ยกตัวอย่างเช่น “ The quick brown fox jumps over the lazy dog.” ซึ่งจะทำให้ Message Advertisement สามารถเก็บข้อความได้ทั้งหมดต่อ 1 แพ็คเก็ตดังนี้

$$\begin{aligned} \text{จำนวนข้อความใน Message Advertisement} &= \frac{\text{ขนาดของฟิลด์}}{\text{ขนาดของข้อความ}} \\ &= \frac{255 \text{ Characters}}{50 \text{ Characters}} = 5 \text{ ข้อความ} \end{aligned}$$



ภาพที่ 3.3 แสดง โครงสร้างของ Message Advertisement

จากรูป 3.3 สรุปได้ว่า ขนาดพื้นที่ในการประกาศ Message Advertisement ที่บรรจุข้อความที่มีขนาดสูงสุด 50 ตัวอักษร จะเท่ากับ 360 ตัวอักษร

ข้อความที่อยู่ภายใน Message Advertisement จะมีระยะเวลา 90 วินาทีในการประกาศข้อความ หลังจากนั้นแอปพลิเคชันจะลบ Message Advertisement ที่แล้วทิ้งข้อความตามลำดับเวลาจากข้อความใหม่สุดไปยังเก่าสุดเข้ามาใน Message Advertisement ที่สร้างขึ้นใหม่ เพื่อให้ข้อความที่เข้ามาใหม่ได้ถูกบันทึกลง Message Advertisement ด้วย

นอกจากนี้ในแอปพลิเคชันนี้ยังมีชุดข้อมูลที่ใช้ในการประกาศตัวคนมีชื่อว่า “Hello Advertisement” ถูกใช้เพื่อบอกให้โหนดรอบข้างรู้ว่า มีโหนดที่ใช้แอปพลิเคชันนี้อยู่ใกล้ ๆ โดยจะประกาศชื่อผู้ใช้งานอยู่ตลอดเวลาที่ใช้แอปพลิเคชัน

3.2.2 ฐานข้อมูลที่ใช้ในการเก็บข้อความ

ฐานข้อมูลที่ใช้ในการเก็บข้อความของแอปพลิเคชันผู้เขียนเรียกว่า “Message List”

ประกอบไปด้วยฟิลด์ทั้งหมด 6 ฟิลด์ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

1. Destination Address คือ ชื่อผู้รับ

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

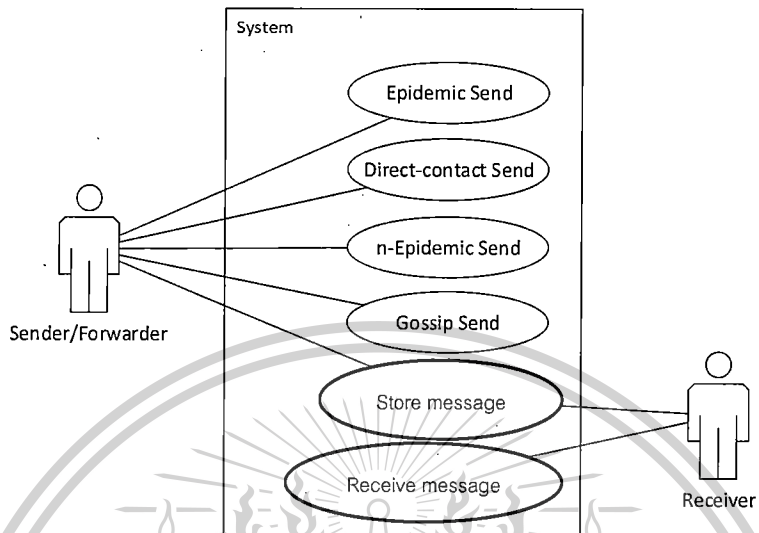
2. Source Address คือ ชื่อผู้ส่ง
3. Message ID คือ หมายเลขไอดีของข้อความ (สำหรับตรวจสอบข้อความซ้ำ)
4. Message คือ ตัวข้อความที่ผู้ใช้ต้องการส่ง
5. Type สำหรับบ่งบอกชนิดของการส่งข้อความ แบ่งออกเป็น 4 ชนิด คือ
 - Epidemic
 - Direct Contact
 - n-Epidemic
 - Gossip
6. Status สำหรับบอกสถานะของข้อความ ซึ่งอาจมีค่าเป็น 0, 1, 2 แล้วแต่กรณีดังนี้
 - 0 หมายถึง เป็นข้อความที่ถูกสร้างจาก โหนดนี้ (Message Originagtor)
 - 1 หมายถึง เป็นข้อความที่ถูกส่งต่อมา เพื่อให้ช่วยส่งต่อไป
 - 2 หมายถึง เป็นข้อความที่ถูกส่งมาให้ โหนดนี้เป็นผู้รับ (Destination)
7. Timestamp วันและเวลาที่ส่งหรือรับข้อความ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

3.3.1 ยูสเคสไดอะแกรม



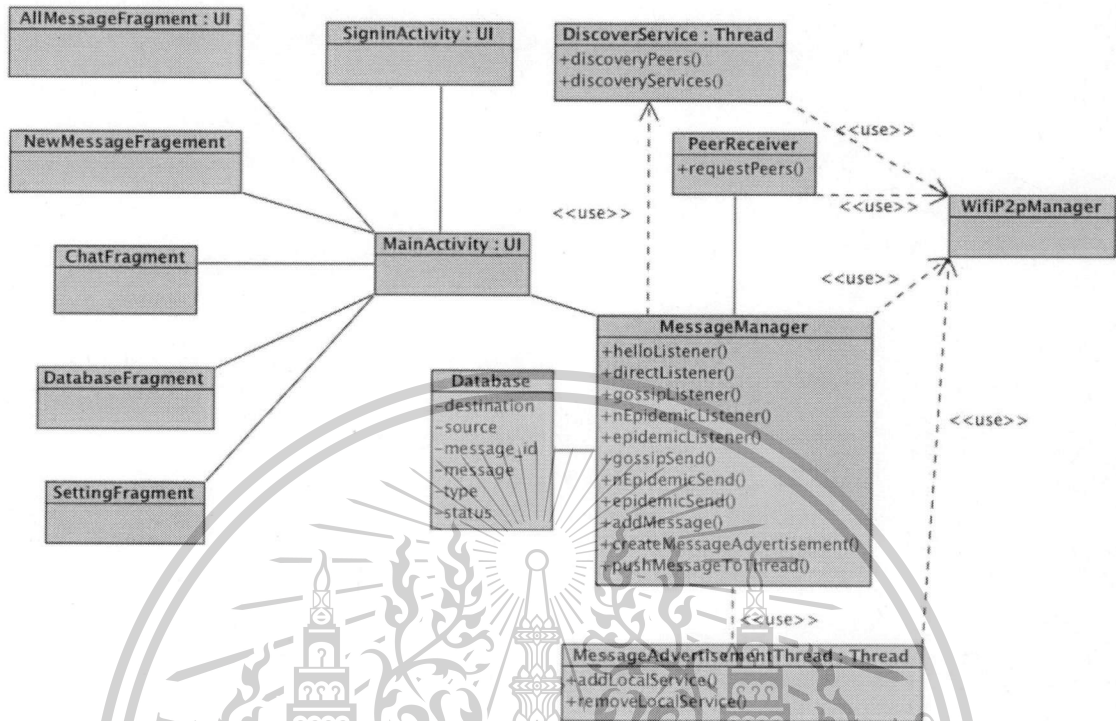
ภาพที่ 3.4 ยูสเคสไดอะแกรมของแอปพลิเคชัน

3.3.1.1 แอ็กเตอร์ของระบบ

- 1) Sender คือ ผู้ส่งข้อความ ทำหน้าที่ส่งข้อความไปหา Receiver
- 2) Forwarder คือ ผู้ส่งต่อข้อความ ทำหน้าที่รับข้อความจาก Sender หรือ Forwarder อื่น และทำการส่งข้อความต่อไปยัง Receiver หรือ Forwarder
- 3) Receiver คือ ผู้รับข้อความ ทำหน้าที่แสดงข้อความที่ได้รับจาก Sender

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 คลาสไดอะแกรม



ภาพที่ 3.5 คลาสไดอะแกรมของแอปพลิเคชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 แยกที่วีดีโออะแกรม

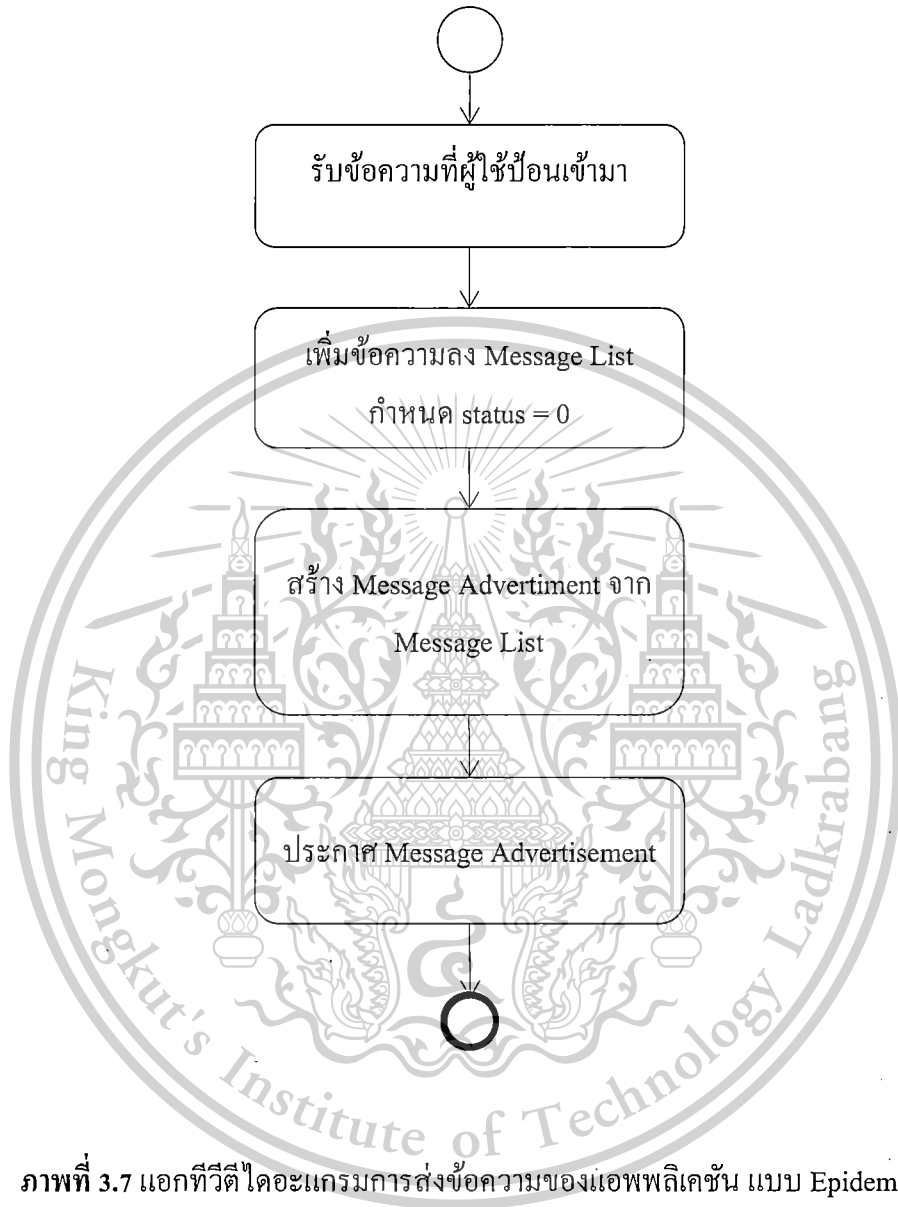
3.3.3.1 ลำดับการทำงานการรับข้อความของแอปพลิเคชัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ 3.6 แยกที่วีดีโออะแกรมการรับข้อความของแอปพลิเคชันไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.2 ลำดับการทำงานการส่งข้อความของแอปพลิเคชัน โดยวิธีการส่ง

ข้อความแบบ Epidemic

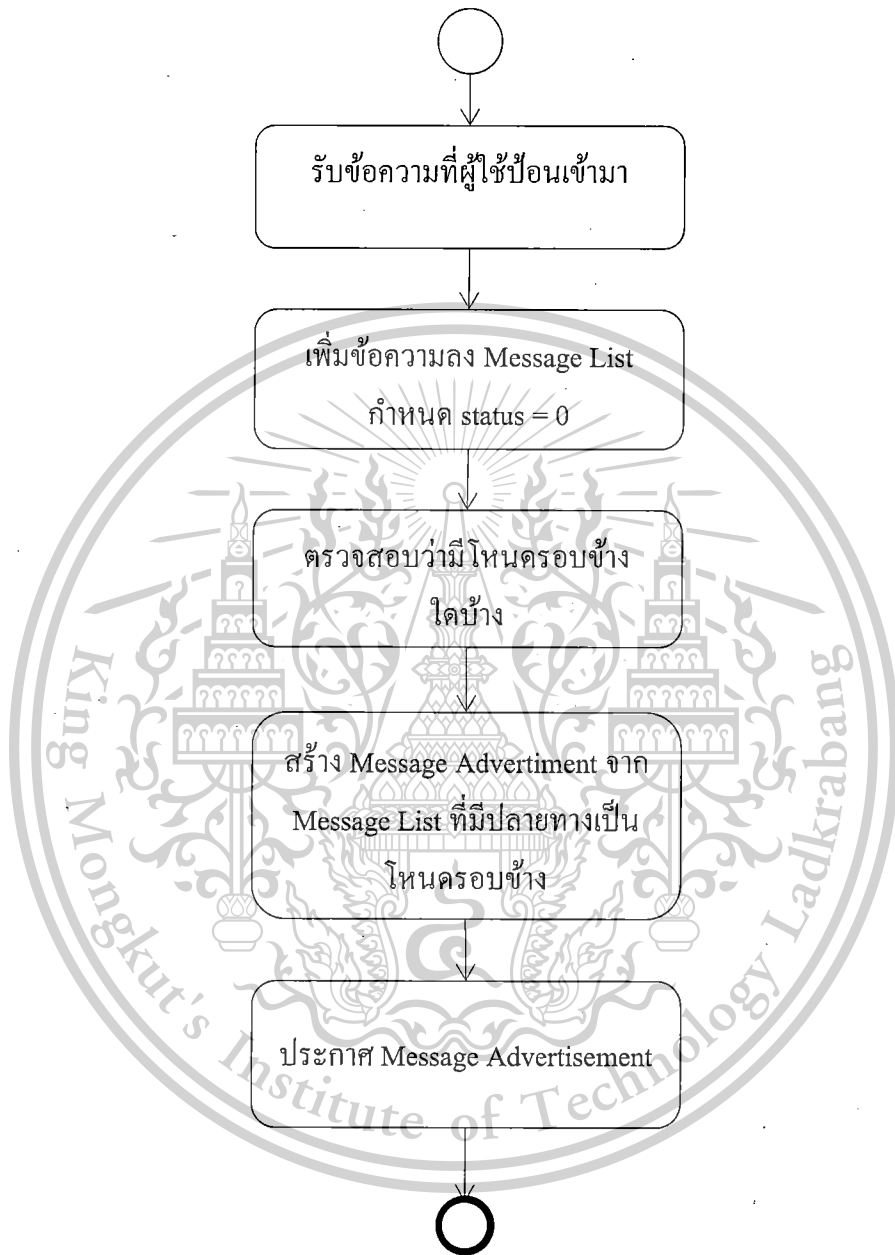


ภาพที่ 3.7 แยกที่วิธีที่ไดอะแกรมการส่งข้อความของแอปพลิเคชัน แบบ Epidemic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.3 ลำดับการทำงานการส่งข้อความของแอปพลิเคชัน โดยวิธีการส่ง

ข้อความแบบ Direct Contact



ภาพที่ 3.8 แยกที่วีดีโอเกมการส่งข้อความ ของแอปพลิเคชัน แบบ Direct Contact

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.4 ลำดับการทำงานการส่งข้อความของแอปพลิเคชัน โดยวิธีการส่ง

ข้อความแบบ n-Epidemic



ภาพที่ 3.9 แยกที่วิธีไดอะแกรมการส่งข้อความ ของแอปพลิเคชัน แบบ n-Epidemic

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3.5 ลำดับการทำงานการส่งข้อความของแอปพลิเคชัน โดยวิธีการส่ง

ข้อความแบบ Gossip



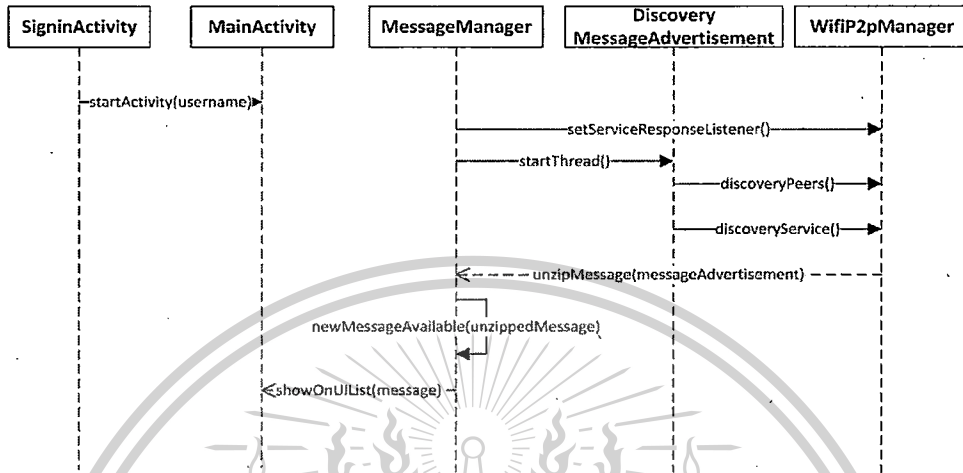
ภาพที่ 3.10 แยกทิวทัศน์ไดอะแกรมการส่งข้อความ ของแอปพลิเคชัน แบบ Gossip

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 ซีเควนซ์ไต่อะแกรม

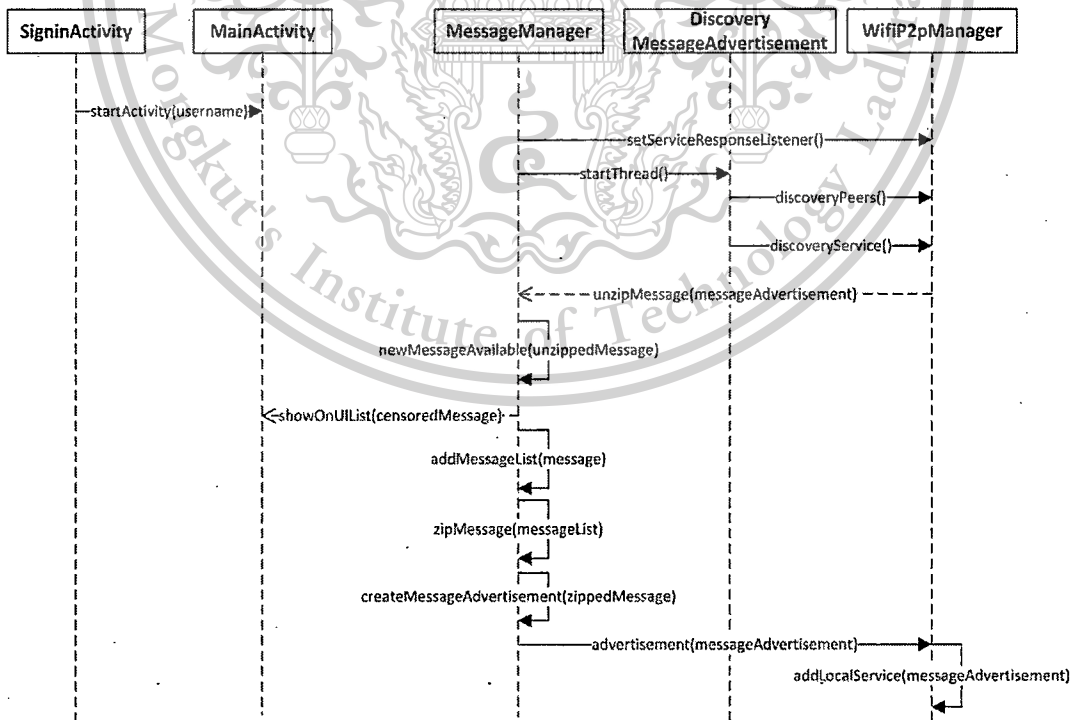
ลำดับการทำงานอย่างละเอียดของแอปพลิเคชัน ประกอบด้วย

3.3.4.1 ลำดับการทำงานรับข้อความที่ตนเองเป็นปลายทาง



ภาพที่ 3.11 ลำดับการทำงานการรับข้อความของตัวเอง

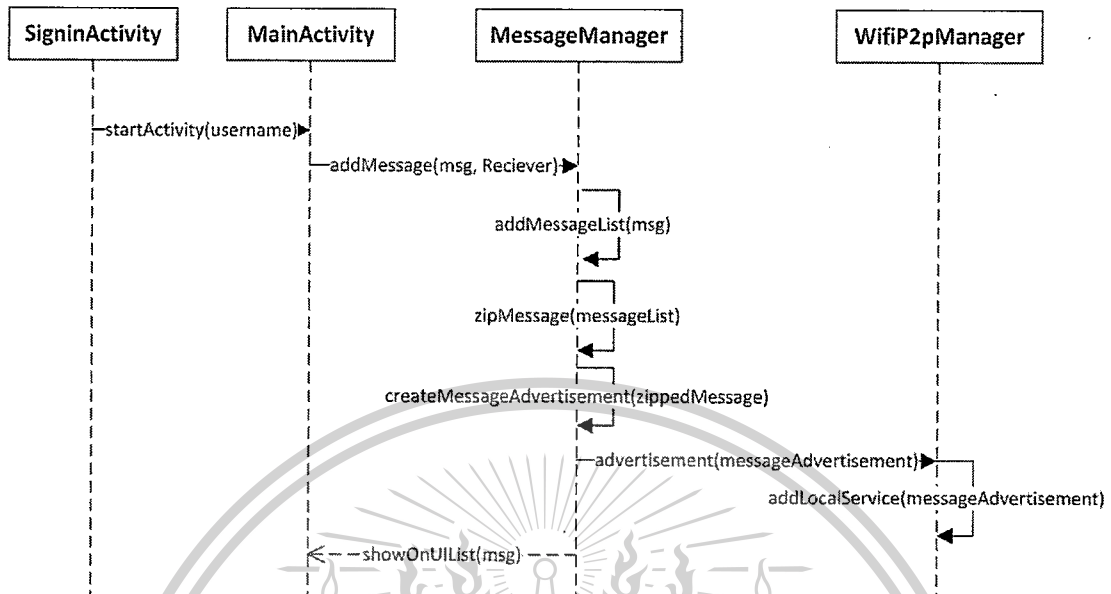
3.3.4.2 ลำดับการทำงานการรับข้อความที่ตนเองไม่ใช่ปลายทาง



ภาพที่ 3.12 ลำดับการทำงานการรับข้อความที่ไม่ใช่ของตัวเอง

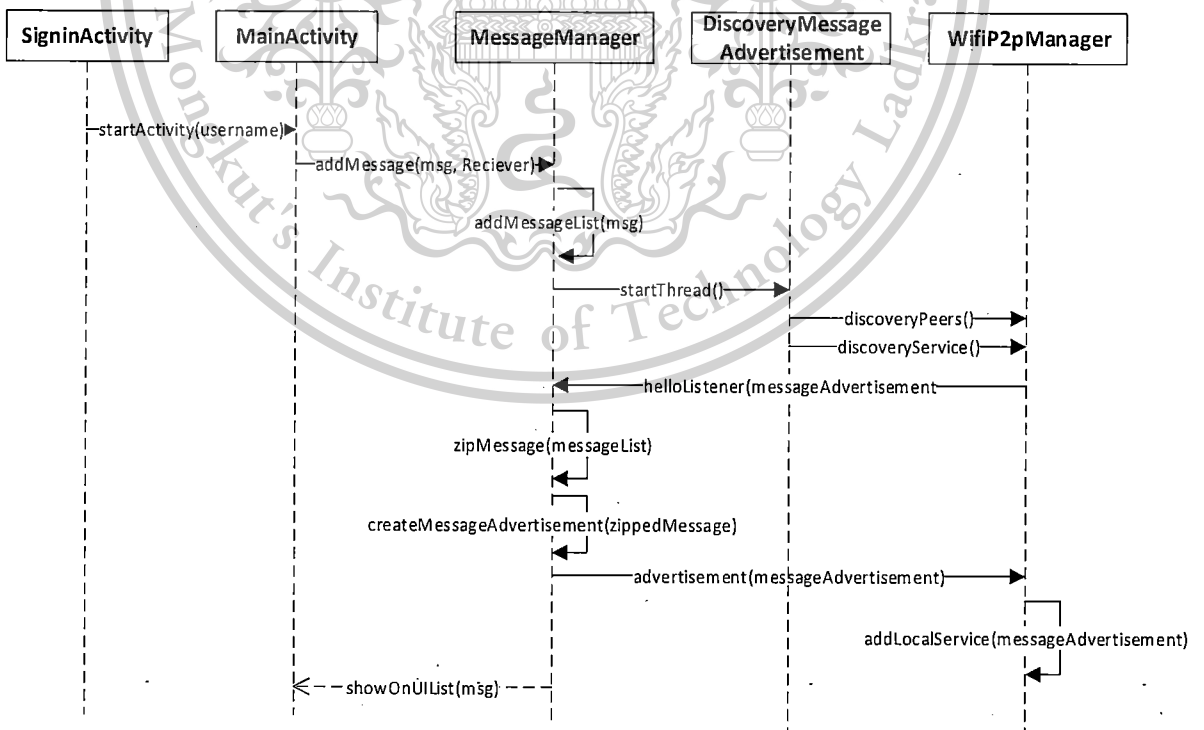
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4.3 ลำดับการทำงานการส่งข้อความแบบ Epidemic



ภาพที่ 3.13 ลำดับการทำงานการส่งข้อความแบบ Epidemic

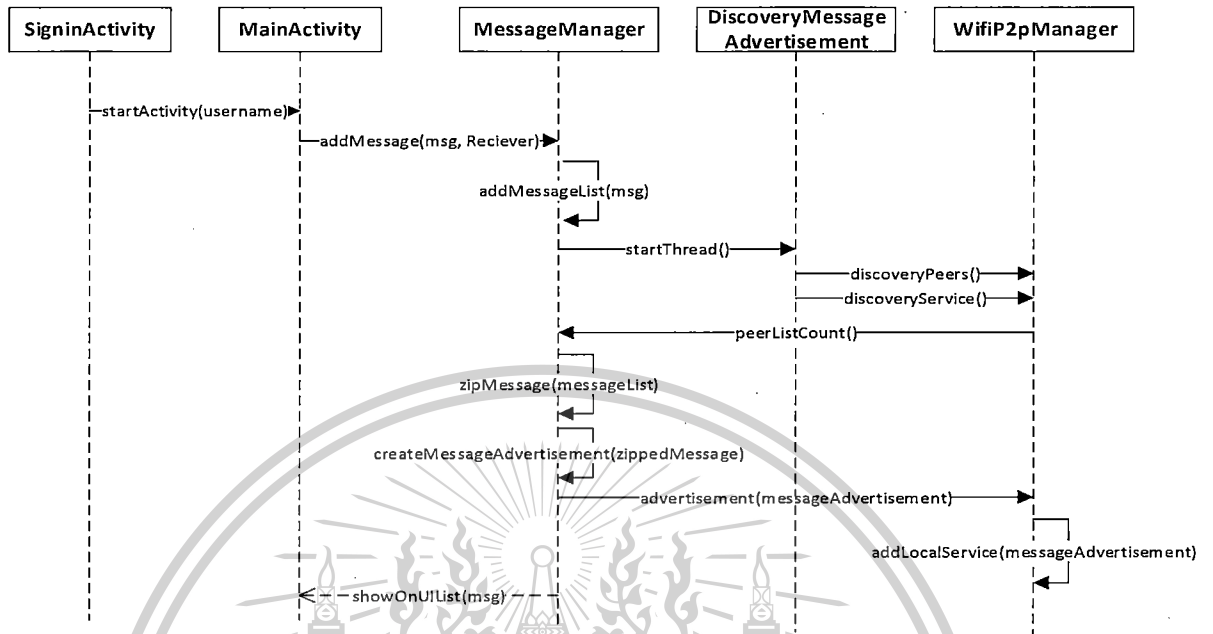
3.3.4.4 ลำดับการทำงานการส่งข้อความแบบ Direct Contact



ภาพที่ 3.14 ลำดับการทำงานการส่งข้อความแบบ Direct Contact

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

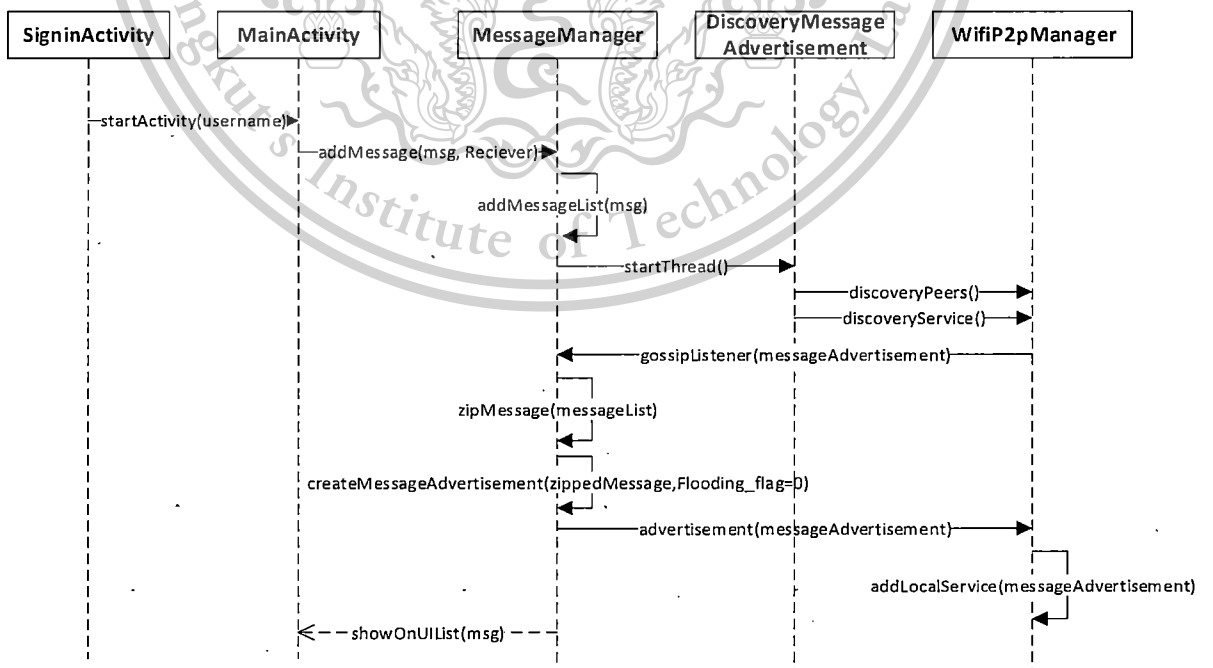
3.3.4.5 ลำดับการทำงานการส่งข้อความแบบ n-Epidemic



ภาพที่ 3.15 ลำดับการทำงานการส่งข้อความแบบ n-Epidemic

3.3.4.6 ลำดับการทำงานการส่งข้อความแบบ Gossip โดยโหนดรอบข้างมีโหนด

ปลายทางอยู่

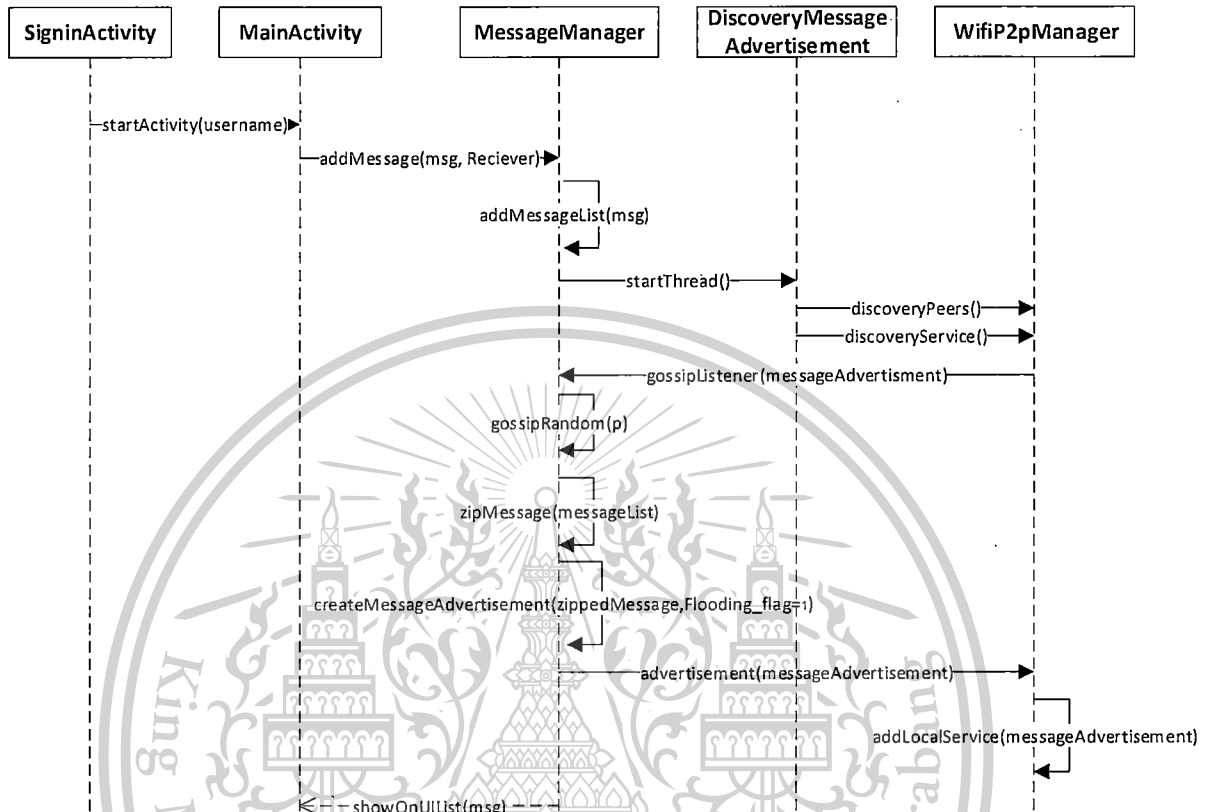


ภาพที่ 3.16 ลำดับการทำงานการส่งข้อความแบบ Gossip โดยโหนดรอบข้างมีโหนดปลายทางอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มี करनाไปใช้

3.3.4.7 ลำดับการทำงานการส่งข้อความแบบ Gossip โดยโหนดรอบข้างไม่มี

โหนดปลายทาง

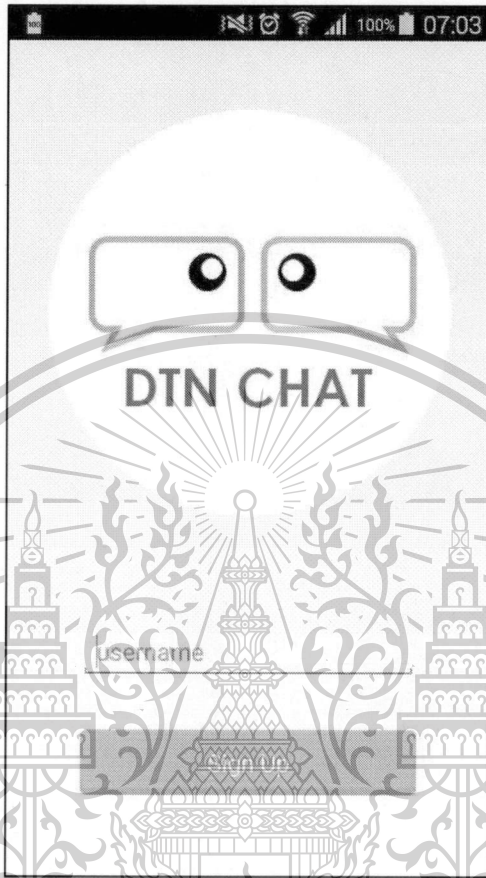


ภาพที่ 3.17 ลำดับการทำงานการส่งข้อความแบบ Gossip โดยโหนดรอบข้างไม่มีโหนดปลายทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ส่วนติดต่อผู้ใช้

- การเข้าสู่ระบบ

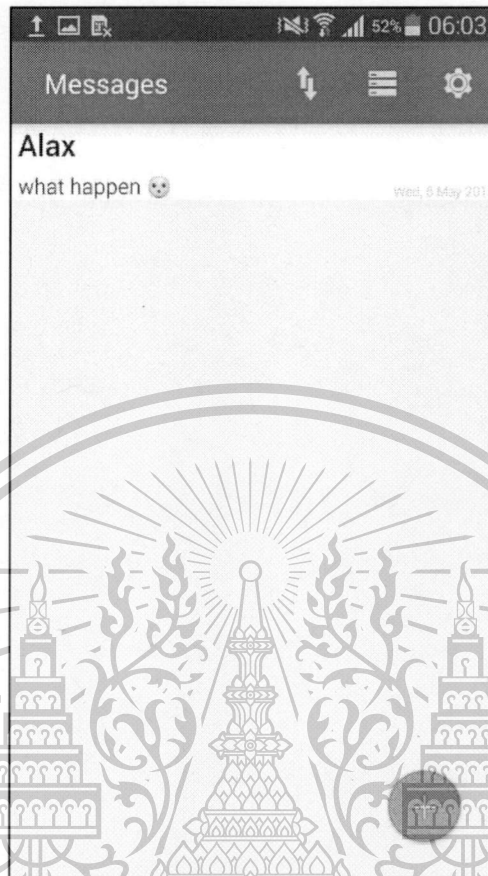


ภาพที่ 3.18 หน้าแรกของแอปพลิเคชัน

ภาพที่ 3.18 หน้าแรกของแอปพลิเคชัน หน้านี้จะแสดงเมื่อผู้ใช้ใช้แอปพลิเคชันนี้ครั้งแรก โดยแอปพลิเคชันนี้จะให้ผู้ใช้กรอกชื่อ (username) ที่ต้องการ โดยสามารถกรอกได้ไม่เกิน 8 ตัวอักษร จากนั้นให้ทำการคลิกปุ่ม เพื่อเข้าสู่แอปพลิเคชัน





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- หน้าแสดงข้อความ



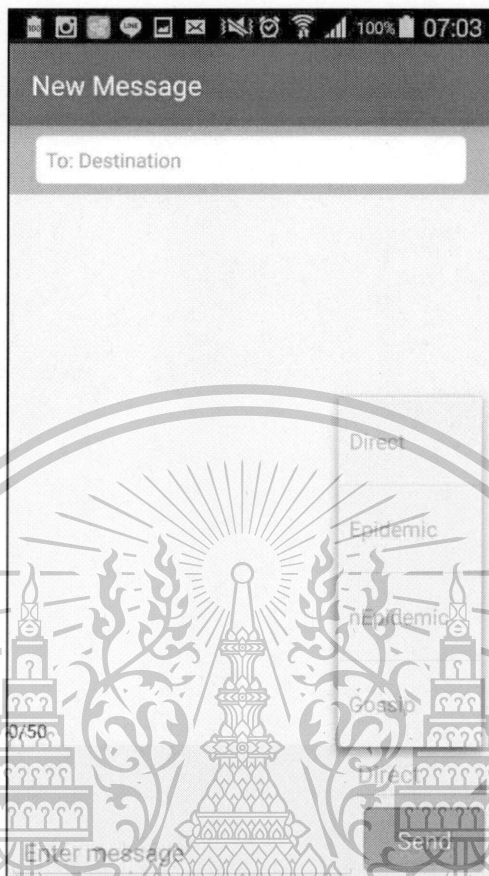
ภาพที่ 3.19 หน้าแสดงข้อความ

ภาพที่ 3.19 แสดงหน้าแสดงข้อความของแอปพลิเคชัน หลังจากผู้ใช้ได้เข้าสู่ระบบเรียบร้อยแล้ว ประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- **Alax**
what happen 😞 แสดงผู้ใช้ที่เราติดต่อด้วยล่าสุด ซึ่งในที่นี้คือ Alax และแสดงข้อความล่าสุดที่ได้สนทนากัน ซึ่งคือ “what happen” พร้อมบอกวันที่ ที่ใช้ในการส่งข้อความ
-  ไอคอนเพื่อเข้าสู่หน้าสร้างข้อความใหม่
-  ไอคอนเพื่อเข้าสู่หน้าแสดงข้อความทั้งหมดที่ตนมี
-  ไอคอนเพื่อเข้าสู่หน้าตั้งค่าของแอปพลิเคชัน
-  ไอคอนที่แสดงเมื่อ ตั้งค่าการเชื่อมต่อ Monitoring Server เป็น On

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-หน้าสร้างข้อความใหม่

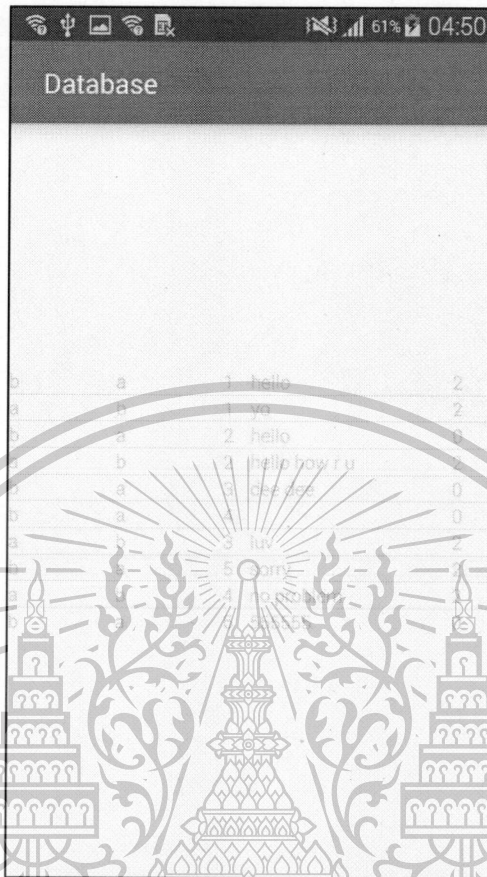


ภาพที่ 3.20 หน้าสร้างข้อความใหม่

ภาพที่ 3.20 หน้าสร้างข้อความใหม่ ผู้ใช้สามารถสร้างข้อความได้ที่หน้านี้ โดยการกรอกชื่อผู้รับ และพิมพ์ข้อความที่ต้องการ จากนั้นให้เลือกวิธีการส่งข้อความที่ต้องการ ซึ่งสามารถคลิกเลือกได้ที่ **Direct** และกดปุ่ม **Send** เพื่อทำการส่งข้อความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-หน้าแสดงข้อความทั้งหมดที่ตนมี

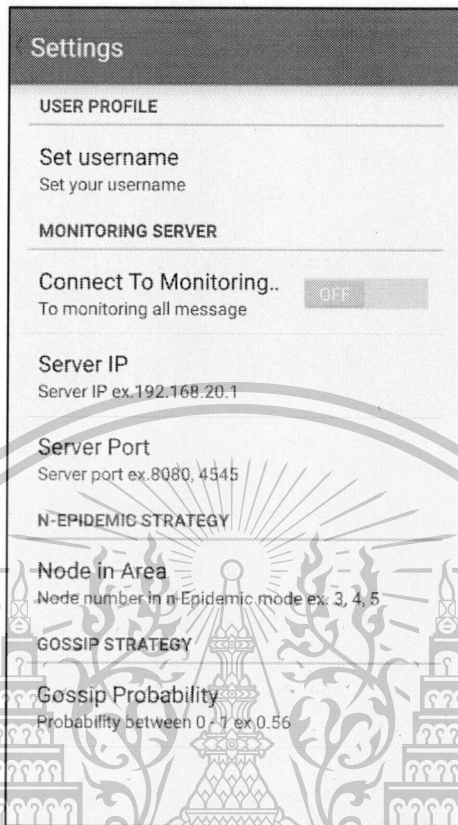


ภาพที่ 3.21 หน้าแสดงข้อความทั้งหมดที่ตนมี

ภาพที่ 3.21 หน้าแสดงข้อความทั้งหมดที่ตนมี โดยข้อความที่แสดงนั้น จะมีทั้งข้อความที่เป็นของตนเอง ไม่ว่าจะส่งหรือรับ และข้อความที่ไม่ใช่ของตนเองซึ่งได้รับมาจากเครื่องอื่น โดยประกอบด้วยฟิลด์ต่างๆดังนี้ ชื่อผู้รับ (Destination), ชื่อผู้ส่ง (Source), หมายเลขข้อความ (MessageID), ข้อความ (Message) และ สถานะ (Status)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

-หน้าการตั้งค่าแอปพลิเคชัน



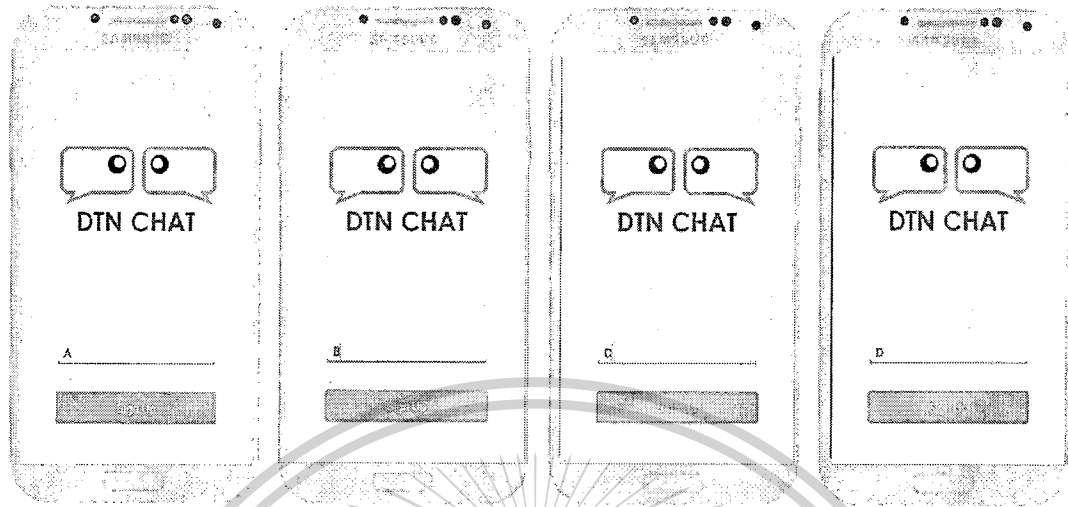
ภาพที่ 3.22 หน้าการตั้งค่าแอปพลิเคชัน

ภาพที่ 3.22 แสดงหน้าการตั้งค่าของแอปพลิเคชัน โดยผู้ใช้สามารถตั้งค่าต่าง ๆ ได้ดังนี้

- แก้ไขชื่อผู้ใช้ (Username)
- ตั้งค่า Monitoring Server เพื่อเก็บข้อมูลการส่งข้อความของแอปพลิเคชัน โดยสามารถเปิดปิดการเชื่อมต่อ โดยการใช้ อีกทั้งยังสามารถตั้งค่า IP address ของ Server โดยการคลิกที่ แอปพลิเคชันจะแสดงหน้าต่างให้กรอก IP address ของ Server
- กำหนดค่า n สำหรับการส่งข้อความแบบ n-Epidemic
- กำหนดค่า p (โอกาสในการส่งข้อความ) สำหรับการส่งข้อความแบบ Gossip

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

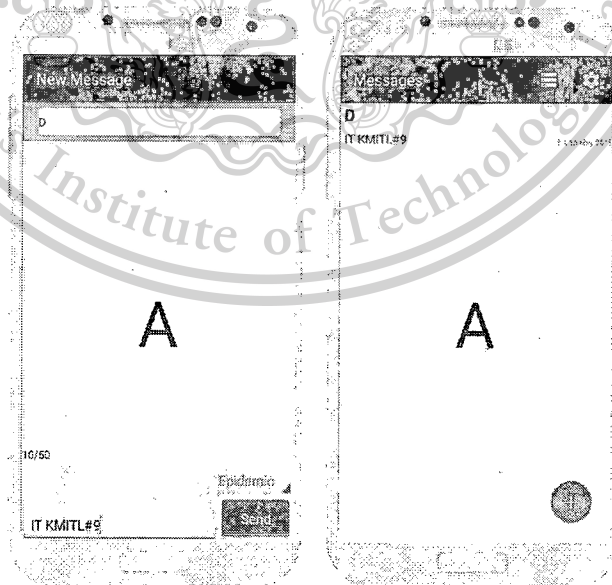
3.5 การทดสอบฟังก์ชันการทำงาน



ภาพที่ 3.23 การตั้งชื่อผู้ใช้ในการทดสอบ

ในการทดสอบใช้งานระบบ ใช้มือถือทั้งหมด 4 เครื่อง ตั้งชื่อ A, B, C และ D ตามลำดับ ดังภาพที่ 3.23 กำหนดให้ผู้ใช้งาน A ต้องการส่งข้อความ ไปให้ผู้ใช้งาน D โดยส่งข้อความว่า “ITKMITL#9” ซึ่งการทดสอบส่งข้อความด้วยวิธีการส่งข้อความแต่ละแบบนี้ ใช้เงื่อนไขเดียวกัน

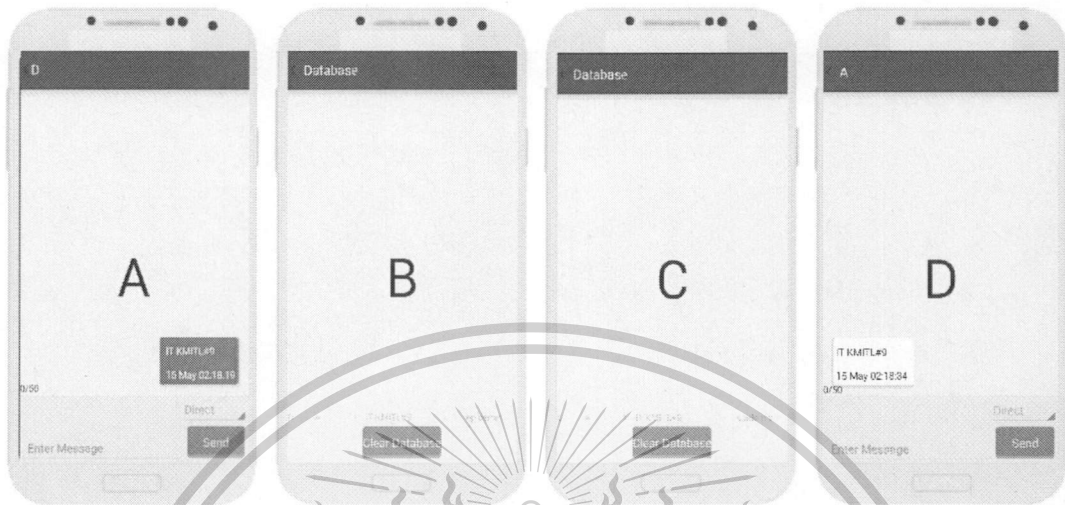
- การส่งข้อความแบบ Epidemic



ภาพที่ 3.24 พิมพ์ข้อความ (Epidemic)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

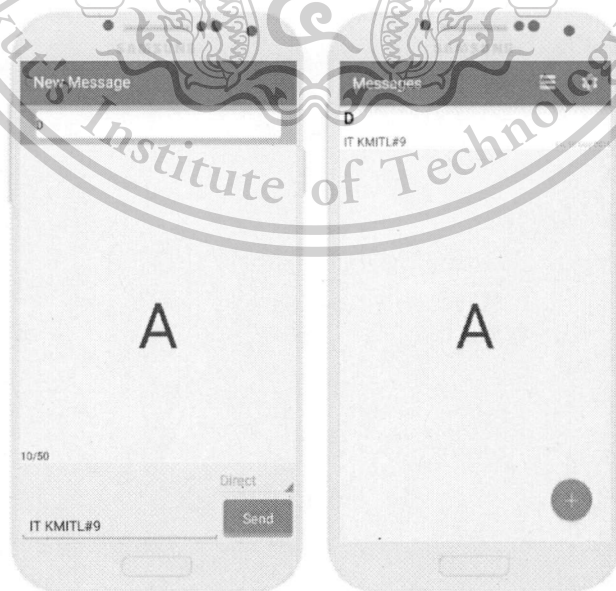
โหนด A กำหนดโหนดปลายทางเป็น D และข้อความที่จะส่ง เป็น “IT KMITL#9” พร้อมทั้งเลือกวิธีการส่งข้อความแบบ Epidemic ดังภาพที่ 3.24 จากนั้นกดปุ่ม Send



ภาพที่ 3.25 ส่งข้อความ (Epidemic)

จากภาพที่ 3.25 จะเห็นว่า ข้อความที่โหนด A ส่ง สามารถส่งให้ D ได้สำเร็จ อีกทั้งยังถูกส่งไปยัง โหนด B และโหนด C ด้วย ซึ่งข้อความที่ส่งให้ โหนด B และ C จะไม่แสดงที่หน้าแสดงข้อความ (Message) แต่จะสามารถดูได้ที่หน้าฐานข้อมูล (Database)

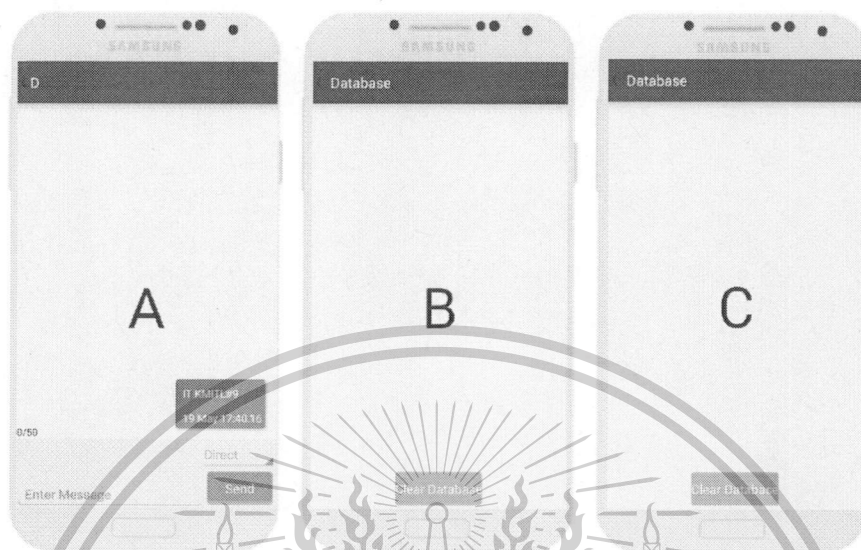
- การส่งข้อความแบบ Direct Contact



ภาพที่ 3.26 พิมพ์ข้อความ (Direct Contact)

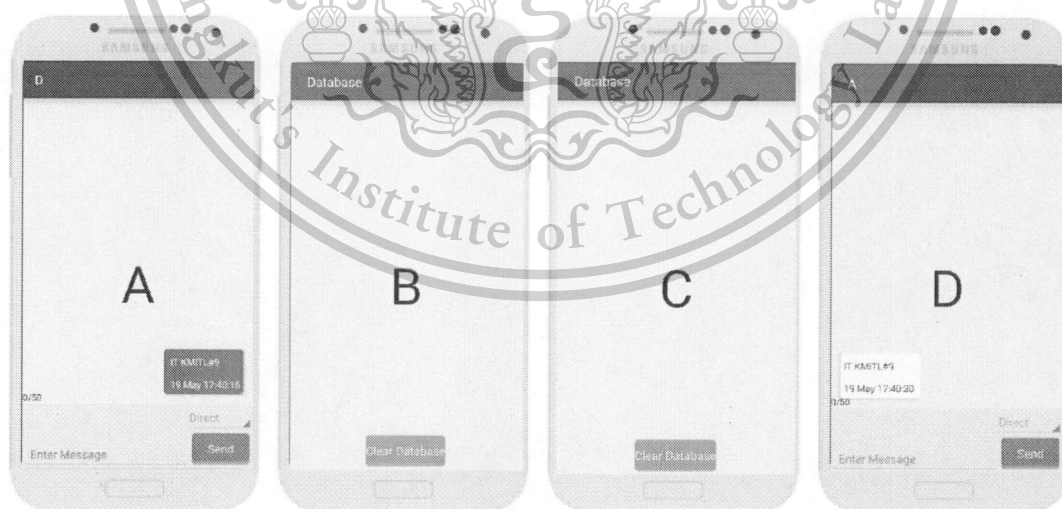
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหนด A กำหนดปลายทางเป็นโหนด D และข้อความที่จะส่ง เป็น “IT KMITL#9” พร้อมทั้งเลือกวิธีการส่งข้อความแบบ Direct Contact ดังภาพที่ 3.26 จากนั้นกดปุ่ม Send



ภาพที่ 3.27 ส่งข้อความเมื่อรอบข้างไม่มีโหนดปลายทาง (Direct Contact)

จากภาพที่ 3.27 ในตอนแรกกำหนดให้ โหนดรอบข้างไม่มีโหนดปลายทาง โหนด A จะยังไม่มีการส่งข้อความ ซึ่งสังเกตได้จาก หน้าฐานข้อมูลใน โหนด B และ C ไม่มีข้อความของโหนด A เนื่องจากรอบข้างไม่มีโหนด D อยู่



ภาพที่ 3.28 ส่งข้อความเมื่อรอบข้างมีโหนดปลายทาง (Direct Contact)

จากภาพที่ 3.28 โหนด A พบว่ามีโหนด D อยู่รอบข้าง โหนด A จึงส่งข้อความไปยังโหนด เอกสารนี้เป็นเอกสารที่โหนด A ส่งให้โหนด D จะแสดงในหน้าแสดงข้อความ (Message) ของโหนด D ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การส่งข้อความแบบ n-Epidemic กำหนดให้ค่า $n = 3$



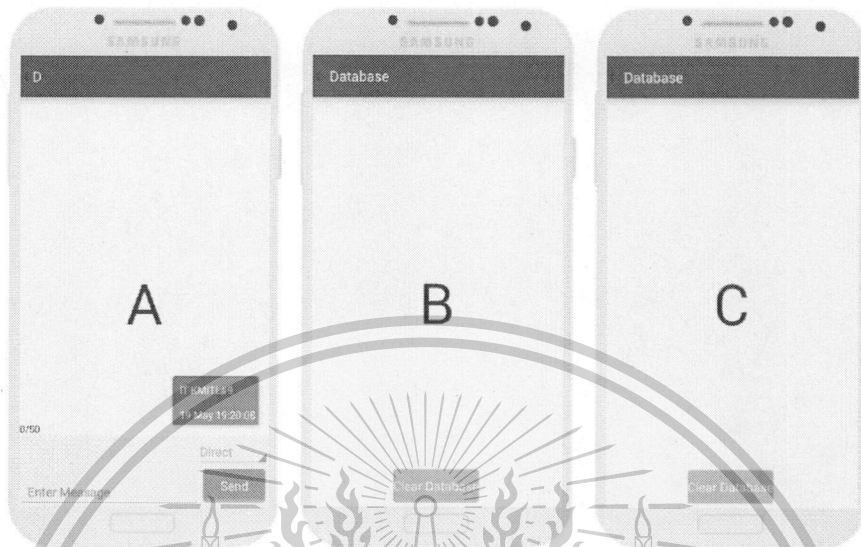
ภาพที่ 3.29 การตั้งค่า n (n-Epidemic)

การส่งข้อความแบบ n-Epidemic จะต้องกำหนดค่า n ให้กับแอปพลิเคชันก่อน โดยการเข้าไปที่หน้า Setting และทำการตั้งค่า n โดยการทดสอบที่กำหนดให้ n เท่ากับ 3 ดังภาพที่ 3.29

ภาพที่ 3.30 พิมพ์ข้อความ (n-Epidemic)

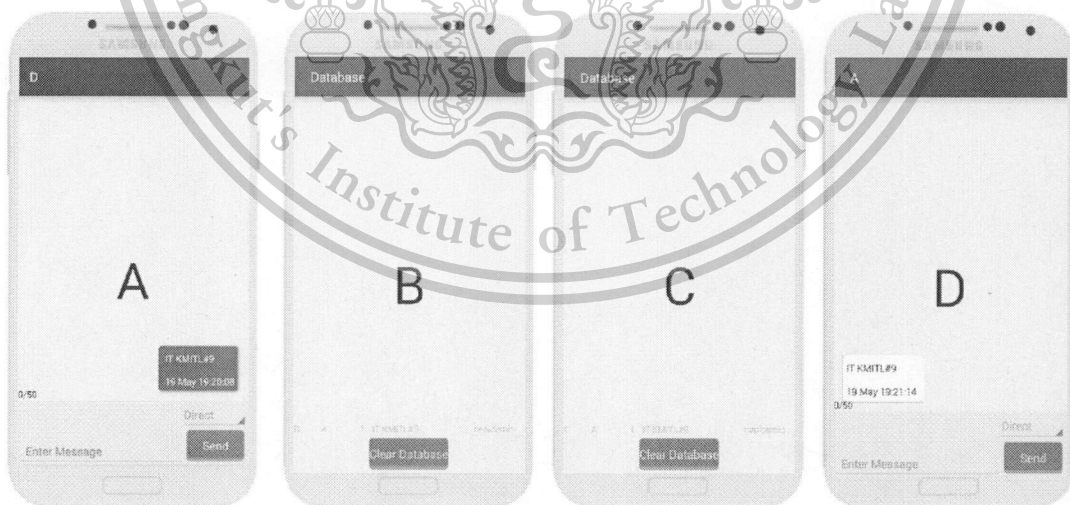
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหนด A กำหนดปลายทางเป็นโหนด D และข้อความที่จะส่ง เป็น “IT KMITL#9” พร้อม
 ทั้งเลือกวิธีการส่งข้อความแบบ n-Epidemic ดังภาพที่ 3.30 จากนั้นกดปุ่ม Send



ภาพที่ 3.31 การส่งข้อความ เมื่อจำนวนโหนดรอบข้างน้อยกว่าที่กำหนด (n-Epidemic)

จากภาพที่ 3.31 โหนดรอบข้างของโหนด A มีเพียง 2 โหนด ทำให้โหนด A ไม่มีการส่ง
 ข้อความออกไป จะสังเกตได้จาก หน้าฐานข้อมูลของ โหนด B และ C จะไม่แสดงข้อความของ
 โหนด A

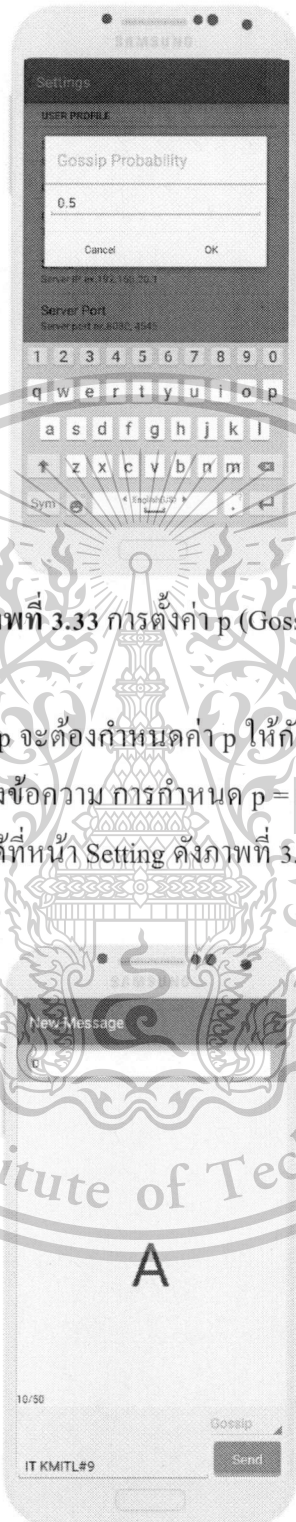


ภาพที่ 3.32 การส่งข้อความ เมื่อจำนวนโหนดรอบข้างเท่ากับที่กำหนด (n-Epidemic)

จากภาพที่ 3.32 จำนวนโหนดรอบข้างของโหนด A มีเพิ่มเป็น 3 โหนด ซึ่งเท่ากับจำนวน n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ห้ามมิให้เผยแพร่หรือใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การส่งข้อความแบบ Gossip กำหนดให้ค่า $p = 0.5$



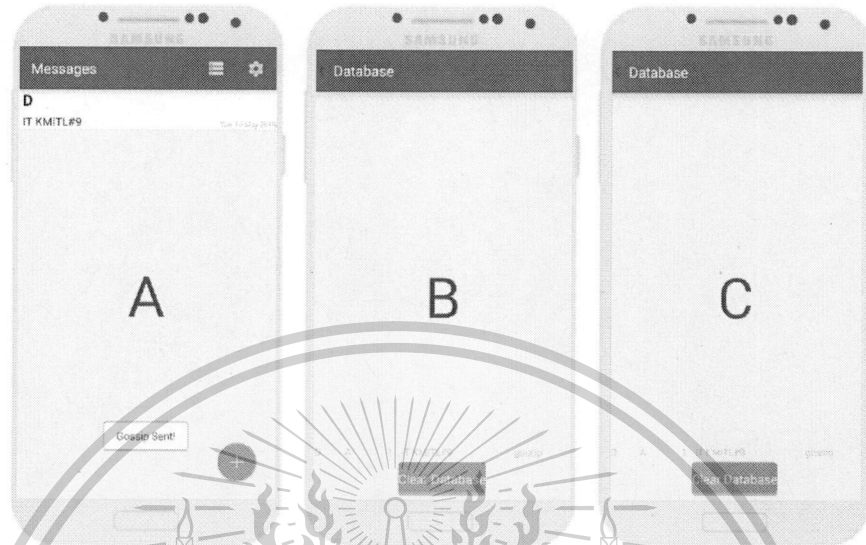
ภาพที่ 3.33 การตั้งค่า p (Gossip)

การส่งข้อความแบบ Gossip จะต้องกำหนดค่า p ให้กับแอปพลิเคชันก่อน ซึ่งค่า p ในแอปพลิเคชันนี้หมายถึง โอกาสในการส่งข้อความ การกำหนด $p = 0.5$ หมายถึง โอกาสที่ข้อความจะถูกส่งมีเท่ากับ 50% สามารถไปตั้งค่าได้ที่หน้า Setting ดังภาพที่ 3.33

ภาพที่ 3.34 พิมพ์ข้อความ (Gossip)

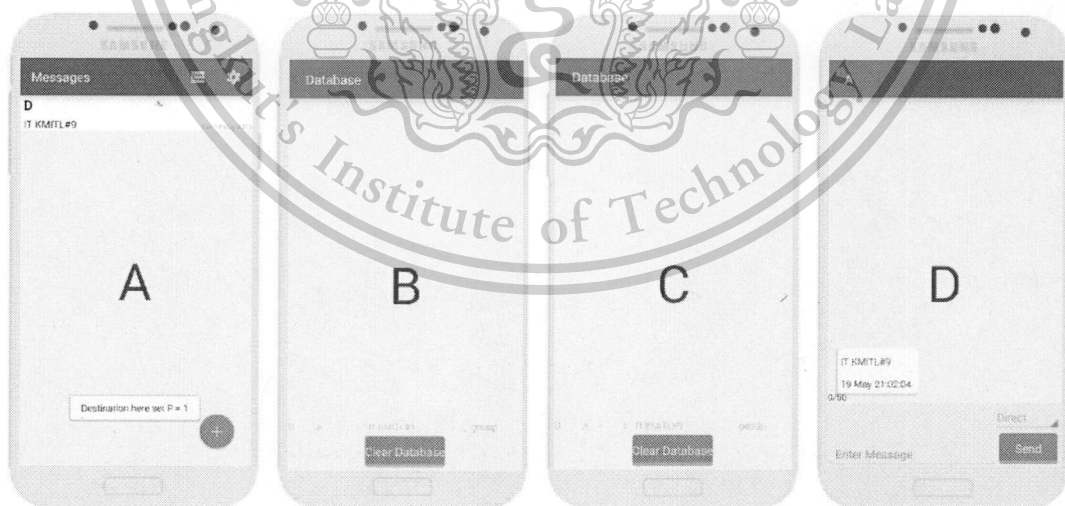
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหนด A กำหนดปลายทางเป็นโหนด D และข้อความที่จะส่ง เป็น "IT KMITL#9" พร้อมทั้งเลือกวิธีการส่งข้อความแบบ Gossip ดังภาพที่ 3.34 จากนั้นกดปุ่ม Send



ภาพที่ 3.35 การส่งข้อความ Gossip เมื่อรอบข้างไม่มีโหนดปลายทาง

ภาพที่ 3.35 แสดงกรณีที่รอบข้างไม่มีโหนดปลายทางอยู่ แอปพลิเคชันจะทำการสุ่มแบบ Bernoulli ด้วยค่า p หากค่าที่สุ่มได้ออกมาเป็น True เครื่อง A จะส่งข้อความออกไป ซึ่งแสดงได้ดังภาพที่ 3.35 แต่ถ้าค่าเป็น False เครื่อง A จะไม่ส่งข้อความออกไป



ภาพที่ 3.36 การส่งข้อความ Gossip เมื่อรอบข้างมีโหนดปลายทาง

ภาพที่ 3.36 กรณีรอบข้างมีโหนดปลายทาง เครื่อง A จะเปลี่ยนค่า p ให้เป็น 1 เพื่อเป็นการเอกสารนี้รับประกันว่าโหนด A จะส่งข้อความนี้ออกไปแน่นอน พร้อมกับส่งข้อความไปยังโหนดรอบข้างไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สิ่งที่นำเสนอมาเป็นผลงานต้นแบบระบบสื่อสารที่ไม่ต้องพึ่งพาสาธารณูปโภคพื้นฐานที่สามารถใช้เป็นช่องทางติดต่อสื่อสารสำรองได้หากมีการนำไปพัฒนาต่อยอด เป็นชิ้นงานสิ่งประดิษฐ์ในรูปของแอปพลิเคชันเครือข่ายสื่อสารดีทีเอ็น โดยผู้วิจัยได้ทำการทดสอบการส่งข้อความด้วยโพรโทคอลดีทีเอ็นรูปแบบต่าง ๆ รวมไปถึงทำการทดสอบบนอุปกรณ์สมาร์ตโฟนในสถานการณ์จริงที่โหนดต้นทางและโหนดปลายทางมีระยะห่างกันประมาณ 1.5 กิโลเมตร เพื่อทดสอบว่าแอปพลิเคชันต้นแบบดังกล่าวสามารถส่งข้อความได้จริงหรือไม่ โดยได้มีการเชิญนักศึกษาภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังเข้าร่วมทดสอบรวมทั้งสิ้นจำนวน 12 คน โดยนำสมาร์ตโฟนของผู้ร่วมทดสอบมาติดตั้งแอปพลิเคชันต้นแบบ ก่อนที่จะทำการจัดตำแหน่งผู้ร่วมทดสอบให้กระจายตัวไปโดยรอบพื้นที่ทดสอบ ประมาณ 1 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมสนามกีฬา สจล. หอพัก สำนักงานอธิการบดี สำนักบริการคอมพิวเตอร์ จนถึงคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยผู้ร่วมทดสอบแต่ละคนจะมีรูปแบบการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกัน เช่นเคลื่อนที่ด้วยการเดินเท้า ขับขี่มอเตอร์ไซค์ หรือ รถยนต์ เพื่อเป็นการจำลองสถานการณ์การทดสอบให้ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด หลังจากการทดสอบพบว่า แอปพลิเคชันต้นแบบสามารถใช้ในการส่งข้อความจากต้นทางไปยังปลายทางได้ แต่อย่างไรก็ตามแอปพลิเคชันต้นแบบยังคงมีข้อจำกัดดังต่อไปนี้

- แอปพลิเคชันส่งข้อความได้ทั้งหมดพร้อมกัน รวมทุกข้อความไม่เกิน 1024 ตัวอักษร
- เวลาที่ใช้ในการรับข้อความไม่คงที่ และใช้เวลาค่อนข้างมากเพราะจะต้องค้นหาข้อความรอบ ๆ ข้างอยู่ตลอดเวลาซึ่งต่างกับการส่งข้อความผ่านเครือข่ายที่ต้องสร้างการเชื่อมต่อก่อนการส่งข้อความ
- เนื่องจากขนาดของฟิลด์ใน Message Advertisement มีจำกัด ทำให้จำนวนข้อความที่ถูกส่งต่อครั้งมีจำนวนจำกัด และข้อความที่มีความสำคัญน้อยอาจไม่ได้รับการบริการเท่าที่ควร
- ในบางช่วงของการทดสอบ แอปพลิเคชันเกิดความล่าช้าในการส่งข้อความไปยังโหนดถัดไปโดยเฉพาะอย่างยิ่งในพื้นที่ที่มีผู้ใช้งานสมาร์ตโฟนเป็นจำนวนมาก ซึ่งอาจจะเกิดจากการรบกวนสัญญาณจากอุปกรณ์สมาร์ตโฟนอื่น ๆ ในบริเวณใกล้เคียง

ผลงานนี้ได้รับการเผยแพร่บทความในงานประชุมวิชาการระดับชาติ NCIT 2015 [15] ดังแสดงในภาคผนวก ก. ส่วนรายละเอียดและผลการทดสอบแสดงในเอกสารรายงานการทดสอบระบบแสดงในภาคผนวก ข. และคลิปวิดีโอ [14]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

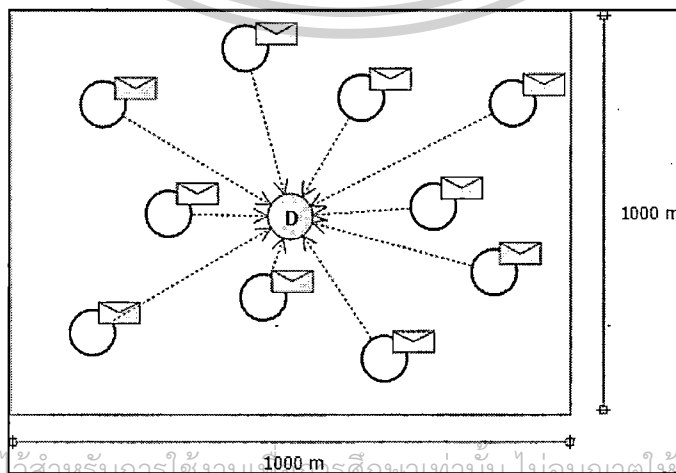
บทที่ 4

การวิเคราะห์และพัฒนาประสิทธิภาพ

จากการทดสอบส่งข้อความระยะไกลผ่านสมาร์ทโฟนของผู้วิจัย ด้วยเทคโนโลยี WiFi-Direct ทั้งในพื้นที่ปิด และเปิดพบว่าโดยพื้นฐานการใช้งาน Epidemic Routing นั้นสามารถส่งข้อความไปยังปลายทางได้สำเร็จ แต่พฤติกรรมการแลกเปลี่ยนข้อความเป็นจำนวนมาก ส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานบนสมาร์ทโฟน เพื่อป้องกัน และแก้ไขปัญหาดังกล่าว ลำดับถัดไปผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโพรโทคอลดีทีเอ็นที่มีอยู่ในปัจจุบัน เพื่อพัฒนาโพรโทคอลดีทีเอ็นรูปแบบใหม่ที่สามารถลดการแลกเปลี่ยนข้อความอย่างมีประสิทธิภาพ กล่าวคือยังคงไว้ซึ่งความสำเร็จในการส่งข้อความที่เป็นจุดประสงค์หลักของการสื่อสารบนเครือข่าย ซึ่งผลการศึกษาและพัฒนาปรับปรุงที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ได้รับการเผยแพร่ใน [16] – [19] ซึ่งแสดงในภาคผนวก ค. – จ. ตามลำดับ

4.1 กลไกหาเส้นทางแบบเอปิดิมิกในเครือข่ายดีทีเอ็น

โพรโทคอลดีทีเอ็นอาศัยการเก็บและส่งต่อข้อความไปยังโหนดต่าง ๆ บนเครือข่ายให้มากที่สุด เพื่อเพิ่มอัตราสำเร็จในการส่งข้อความให้ถึงปลายทาง ส่งผลให้เครือข่ายเกิดความคับคั่งจากปริมาณข้อความสะสม และสูญเสียพลังงานจำนวนมากจากกระบวนการส่งข้อความอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ดังนั้นใน [16] ผู้วิจัยจึงได้รวบรวมโพรโทคอลดีทีเอ็นที่น่าสนใจที่พยายามแก้ไขปัญหาดังกล่าว ได้แก่ Epidemic Routing, Spray & Wait, n-Epidemic และ Anti Entropy มาวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการส่งข้อความ บนสภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยเปรียบเทียบทั้งหมด 2 ด้านคือ โอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จ และประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโหนด เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าของพลังงานที่เสียไปต่อความสำเร็จในการส่งข้อความ



ภาพที่ 4.1 แสดงภาพจำลองทอพอโลยีของเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

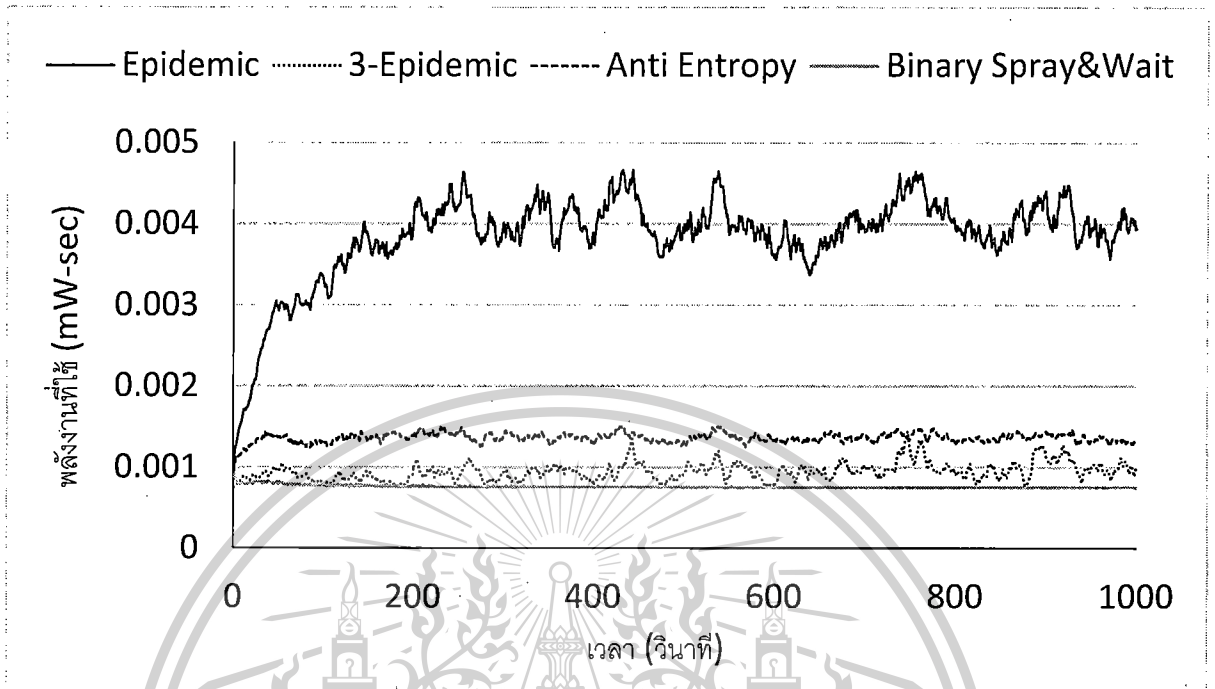
ตารางที่ 4.1 ตัวแปรที่กำหนดในการทดสอบ

ขอบเขตเครือข่าย	1,000 เมตร x 1,000 เมตร
จำนวนโหนด	10 50 และ 100
รัศมีการสื่อสาร	100 เมตร
รูปแบบการเคลื่อนที่	สุ่มทิศทาง
ความเร็วของโหนด	0-20 เมตร/วินาที
ขนาดข้อความ	1 กิโลบิต

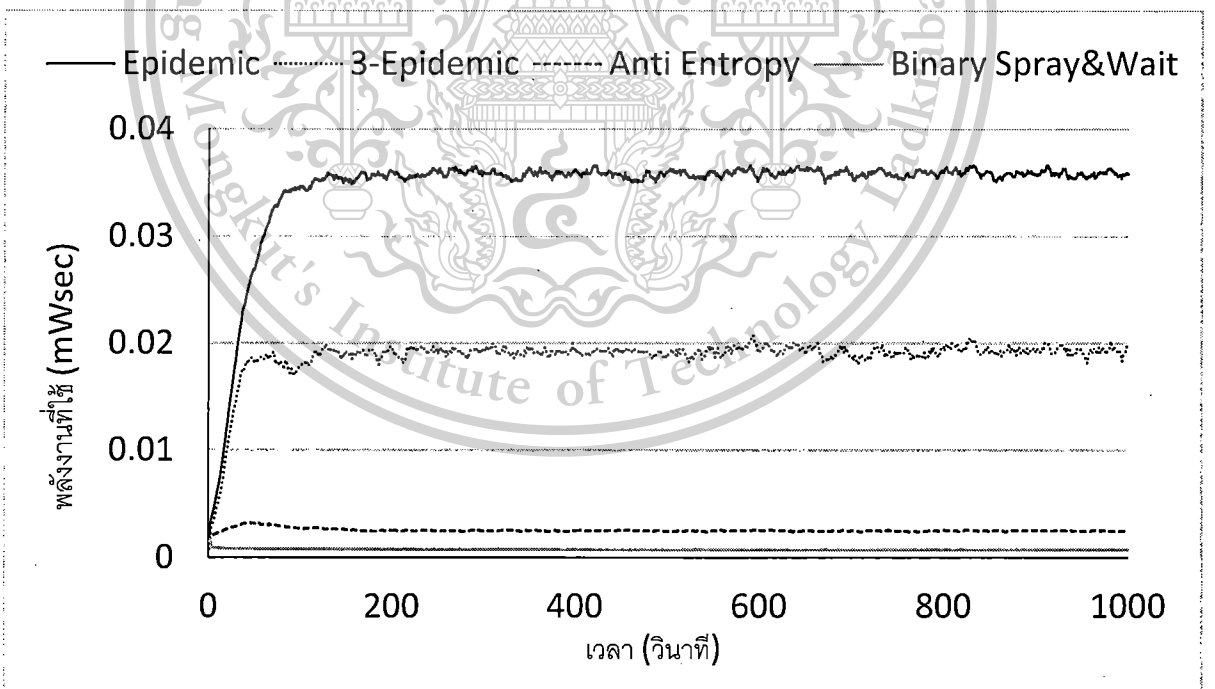
ในการทดสอบได้จำลองการทำงานของกลไกการส่งข้อความผ่านโปรแกรมจำลอง OMNET++ โดยมีสภาพแวดล้อมของเหตุการณ์จำลองและตัวแปรต่าง ๆ ที่กำหนดในการทดสอบ ดังภาพที่ 4.1 และตารางที่ 4.1 ซึ่งกำหนดให้เครือข่ายมีขนาด 1,000,000 ตารางเมตร เริ่มต้นทดสอบ โดยมีจำนวนโหนดเท่ากับ 10 50 และ 100 โหนดตามลำดับ โหนดในเครือข่ายมีรัศมีการสื่อสาร 100 เมตร มีการเคลื่อนที่แบบสุ่มทิศทางเพื่อไม่ให้เกิดความได้เปรียบเสียเปรียบของโหนด มีความเร็วของโหนดอยู่ในช่วง 0-20 เมตรต่อวินาที กำหนดให้โหนดปลายทาง (โหนด D) อยู่ตรงกลาง และตำแหน่งเริ่มต้นของโหนดรอบข้างมีการสุ่มแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Distribution) ทำให้มีโหนดใกล้ D และไกล D พอ ๆ กัน และกำหนดให้มีการสร้างข้อความพร้อมกันตอนเริ่มต้น มีขนาดข้อความเท่ากันคือ 1 กิโลบิต และมีโหนดปลายทาง (D) เหมือนกัน ทำให้เกิดสภาวะคับคั่งของข้อความซึ่งจะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโหนด ในกลไกการส่งข้อความแบบต่างๆ ในสถานการณ์ที่เลวร้ายที่สุด โดย Binary Spray & Wait ในการทดสอบนี้ กำหนดให้มีจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความเท่ากับ 10 และ n-Epidemic มีจำนวนโหนดที่กำหนดเท่ากับ 3 ($n=3$)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 การวิเคราะห์ปริมาณการใช้พลังงาน กับเวลา

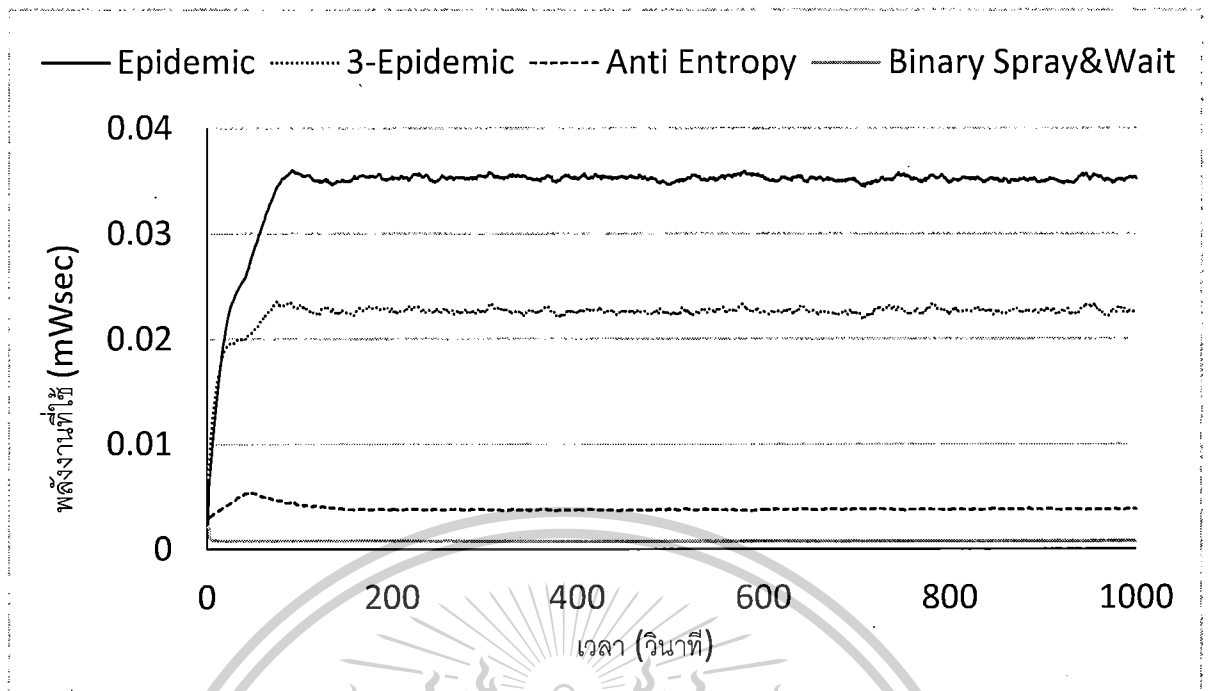


ภาพที่ 4.2 แสดงการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีจำนวน โหนดเท่ากับ 10 โหนด



ภาพที่ 4.3 แสดงการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีจำนวน โหนดเท่ากับ 50 โหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

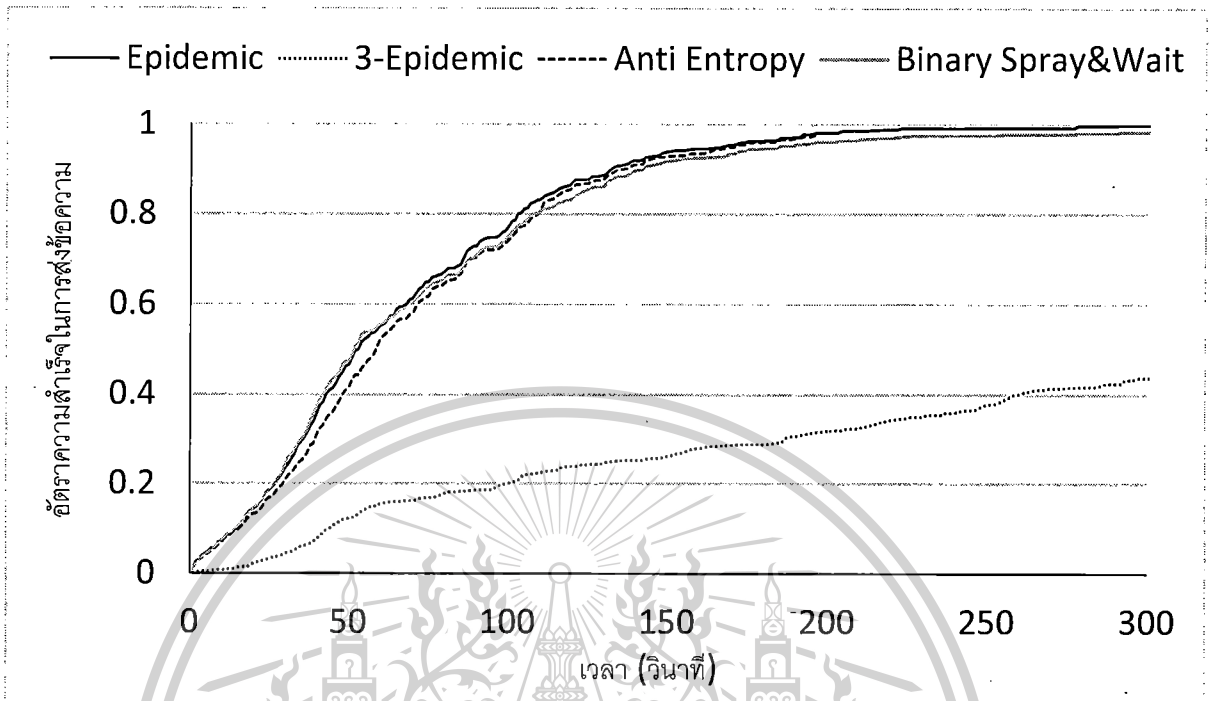


ภาพที่ 4.4 แสดงการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดเท่ากับ 100 โหนด

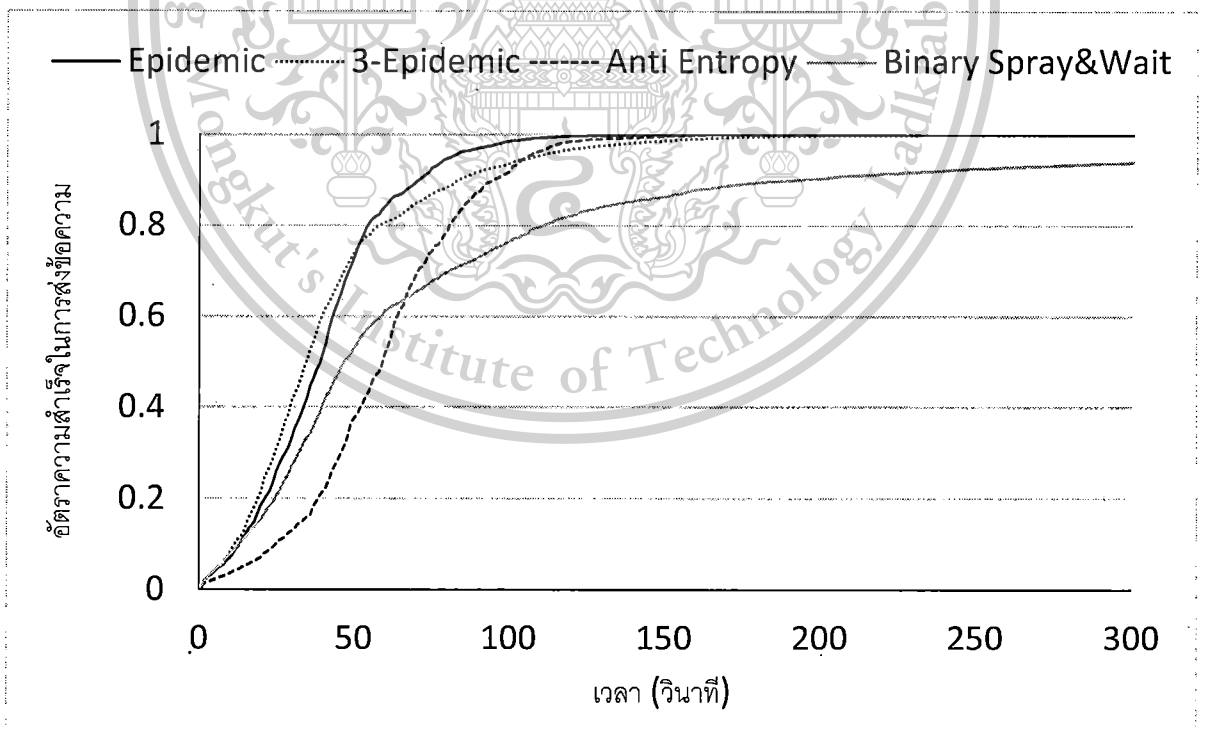
ภาพที่ 4.2 แสดงการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดเท่ากับ 10 โหนด จะเห็นว่า Epidemic Routing มีระดับการใช้พลังงานสูงสุด เนื่องจากเมื่อเวลาผ่านไป จำนวนข้อความที่โหนดได้รับมีจำนวนเพิ่มขึ้น โหนดจึงมีปริมาณการใช้พลังงานมากขึ้นตามปริมาณข้อความที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่ Anti-Entropy มีระดับการใช้พลังงานที่ลดลงมา เนื่องจากโหนดส่งเฉพาะข้อความที่ถูกร้องขอเท่านั้น ทำให้จำนวนข้อความที่ส่งมีน้อย ระดับการใช้พลังงานที่รองลงมาคือ n-Epidemic เพราะโอกาสที่จำนวนโหนดรอบข้างเท่ากับ 3 มีโอกาสน้อย ส่งผลให้มีจำนวนครั้งในการส่งข้อความของโหนดน้อยไปด้วย และสุดท้าย Binary Spray & Wait มีระดับการใช้พลังงานที่ต่ำสุด เนื่องจากแบ่งจำนวนสิทธิ์ในการคัดลอก และส่งต่อข้อความออกเป็นสองส่วนให้กับโหนดรอบข้าง ทุกครั้งที่มีการส่งต่อข้อความ ทำให้จำนวนครั้งในการส่งข้อความของแต่ละโหนดมีจำนวนที่ต่ำ พลังงานที่ใช้จึงต่ำสุดเมื่อเทียบกับโปรโตคอลดีที่อื่นอื่น ๆ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อจำนวนโหนดในเครือข่ายเพิ่มขึ้นเป็น 50 และ 100 ในภาพที่ 4.3 และภาพที่ 4.4 ตามลำดับ ระดับการใช้พลังงานของ n-Epidemic มีการใช้พลังงานสูงกว่า Anti-Entropy เนื่องจากโหนดมีโอกาสในการส่งข้อความมากขึ้นกว่าเดิม Epidemic Routing ยังคงเป็นโปรโตคอลดีที่อื่นที่มีการใช้พลังงานสูงสุดในขณะที่โปรโตคอลดีที่อื่นที่มีการใช้พลังงานน้อยสุดคือ Binary Spray & Wait

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การวิเคราะห์อัตราความสำเร็จในการส่งข้อความ กับเวลา

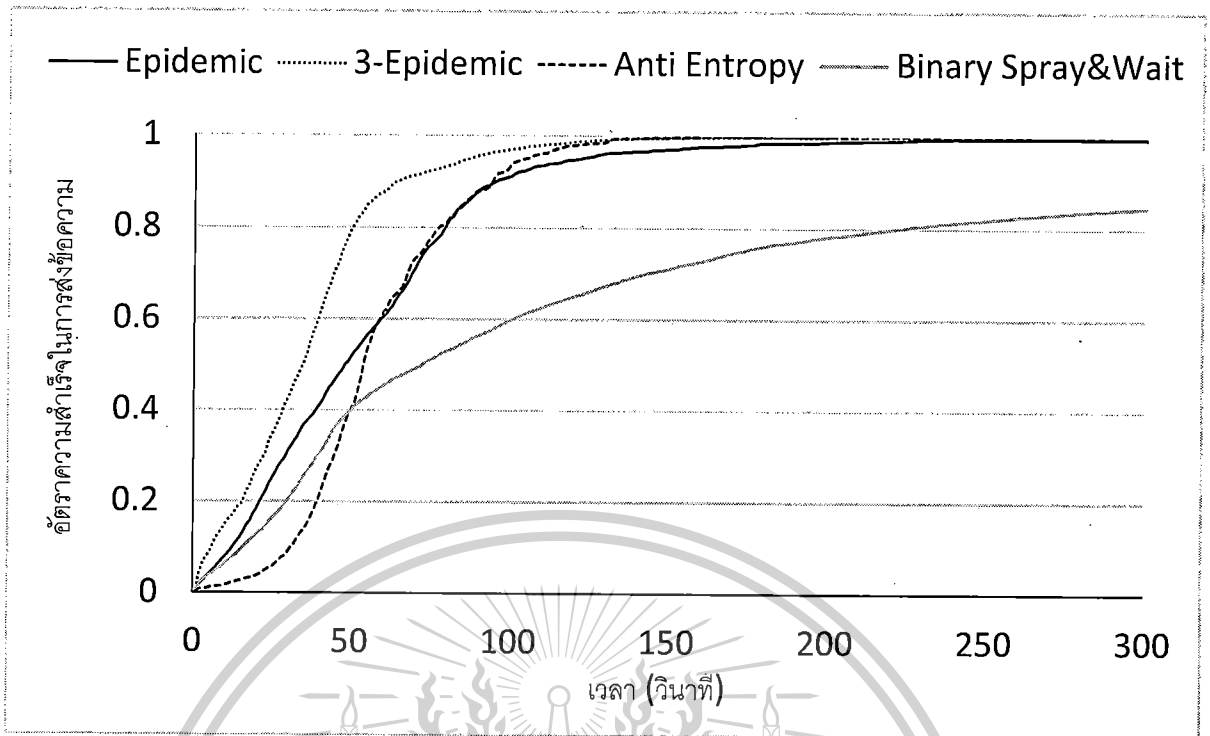


ภาพที่ 4.5 แสดงอัตราความสำเร็จในการส่งข้อความของเครือข่ายที่มีจำนวน โหนดเท่ากับ 10 โหนด



ภาพที่ 4.6 แสดงอัตราความสำเร็จในการส่งข้อความของเครือข่ายที่มีจำนวน โหนดเท่ากับ 50 โหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

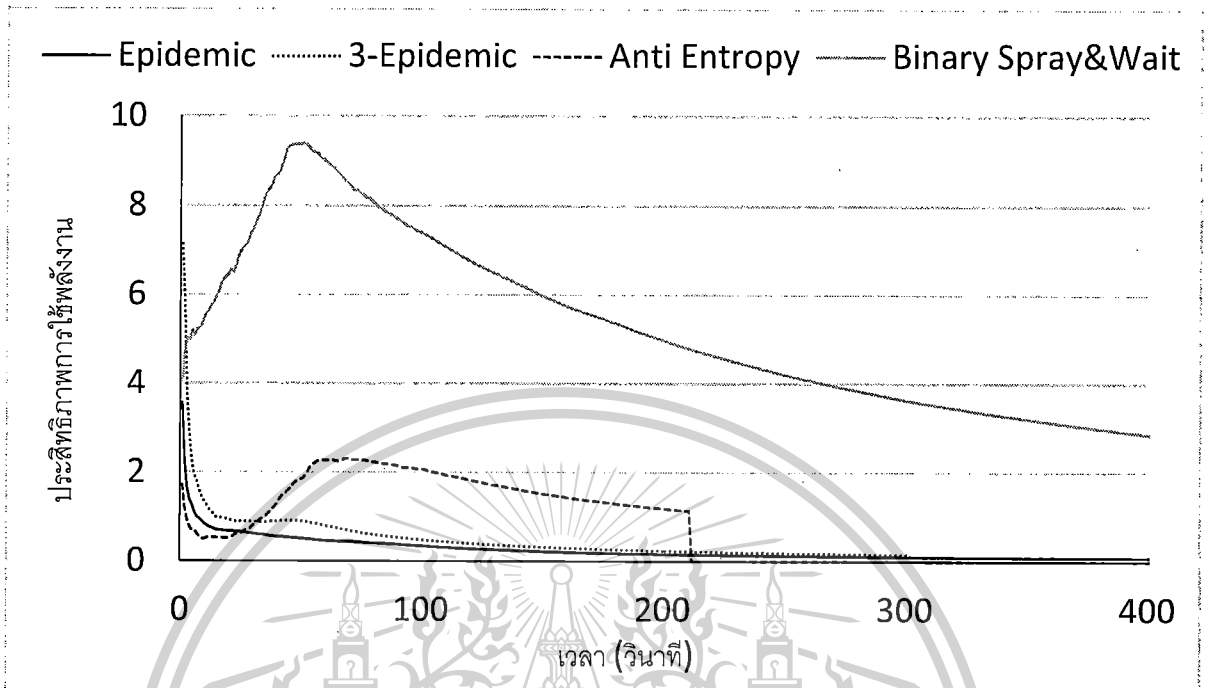


ภาพที่ 4.7 แสดงอัตราความสำเร็จในการส่งข้อความของเครือข่ายที่มีจำนวน โหนดเท่ากับ 100 โหนด

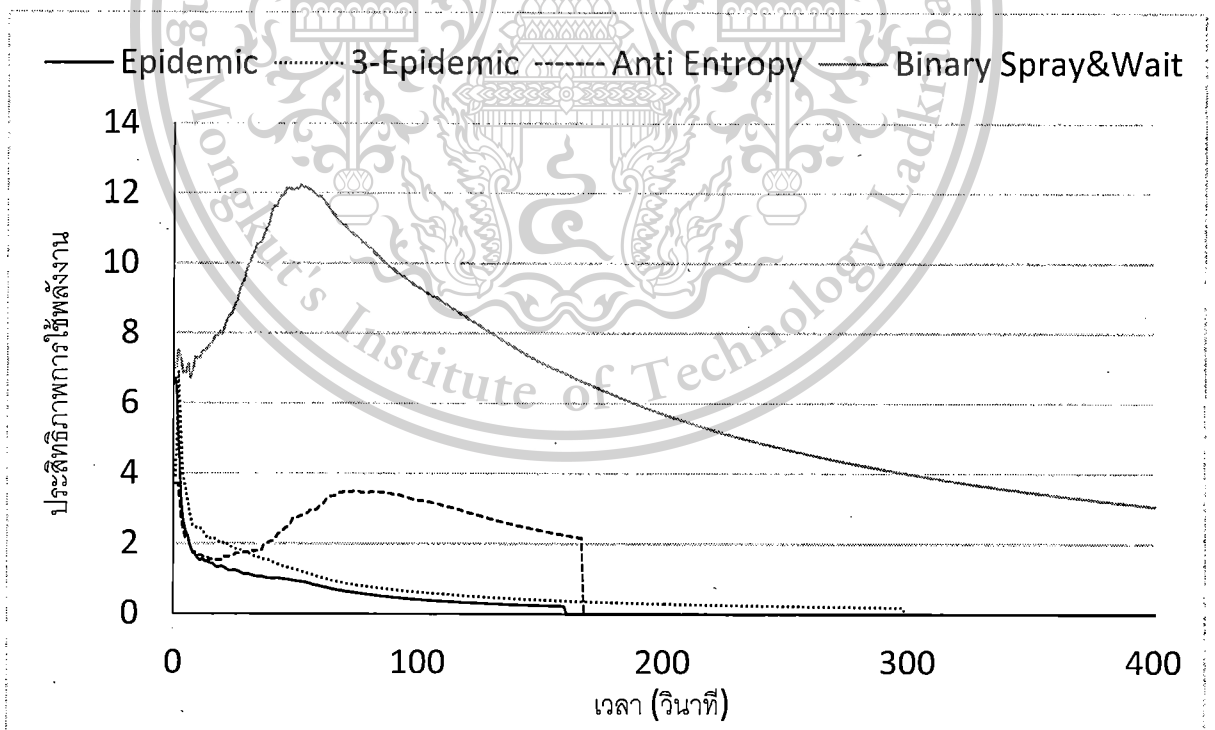
ภาพที่ 4.5 แสดงโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จของเครือข่ายที่มีจำนวน โหนดเท่ากับ 10 โหนด จะเห็นว่า Epidemic Routing, Anti Entropy และ Binary Spray & Wait มีโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จสูง ในขณะที่ n-Epidemic มีโอกาสต่ำสุด ดังที่เมื่อเวลาผ่านไป 300 วินาที การส่งข้อความก็ยังไม่สำเร็จทั้งหมด ด้วยเหตุผลที่ว่าจำนวน โหนดในเครือข่ายที่มีค่าน้อย ทำให้โอกาสที่จะพบจำนวน โหนดเพื่อนบ้านตามที่กำหนดน้อยไปด้วย แต่เมื่อจำนวน โหนดในเครือข่ายเพิ่มขึ้นเป็น 50 โหนด ในภาพที่ 4.6 Binary Spray & Wait กลับมีโอกาสนำส่งข้อความให้สำเร็จต่ำลง ตามความสามารถในการแพร่กระจายข้อความที่ลดลง เมื่อเทียบกับจำนวน โหนดในเครือข่ายที่มีเพิ่มขึ้น n-Epidemic มีโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จเพิ่มขึ้น โดยส่งสำเร็จในเวลาประมาณ 140 วินาที และเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม เมื่อจำนวน โหนดเพิ่มขึ้นเป็น 100 โหนดในภาพที่ 4.7 แต่ในทางกลับกันการเพิ่มจำนวน โหนดบนเครือข่ายกลับส่งผลกระทบต่อ Epidemic Routing เพราะโหนดจำเป็นจะต้องแลกเปลี่ยนข้อความทั้งหมดที่ตนมีกับ โหนดอื่น ๆ การเพิ่มจำนวน โหนดบนเครือข่ายจึงส่งผลให้เกิดการชนกันของข้อความ ทำให้โอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จจึงลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน กับเวลา

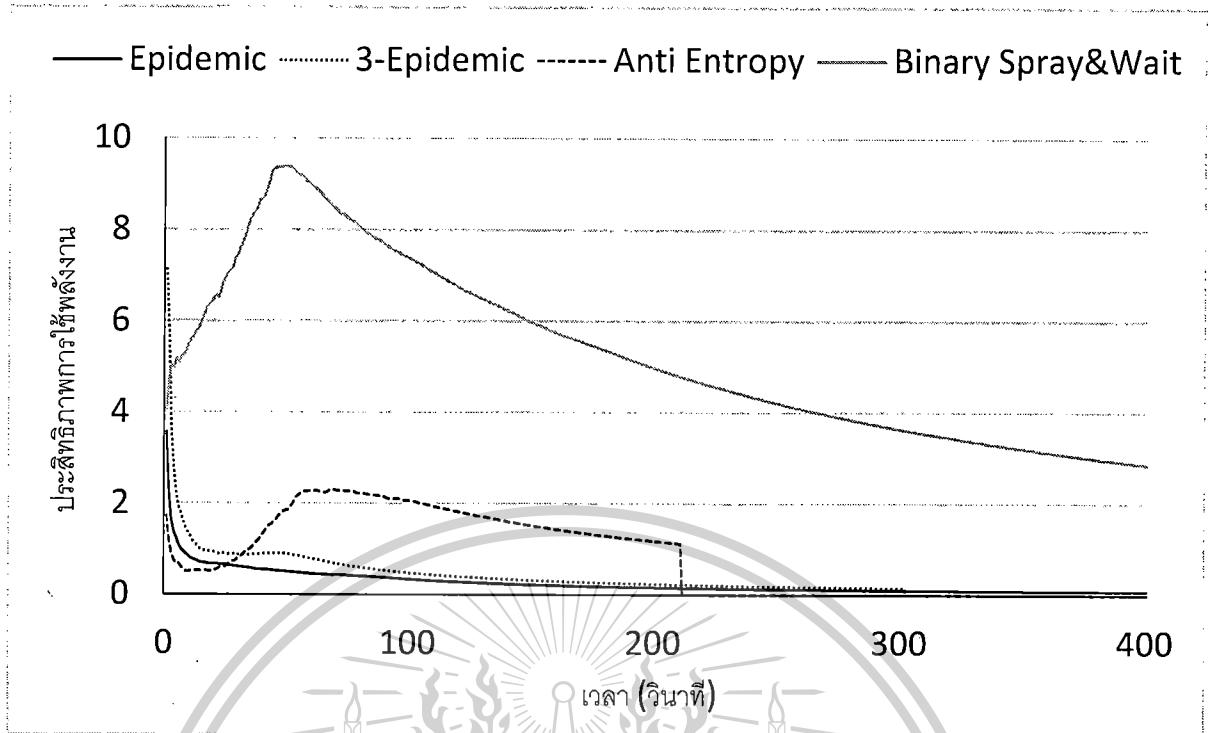


ภาพที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดเท่ากับ 10 โหนด



ภาพที่ 4.9 แสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดเท่ากับ 50 โหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.10 แสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีจำนวน โหนดเท่ากับ 100 โหนด

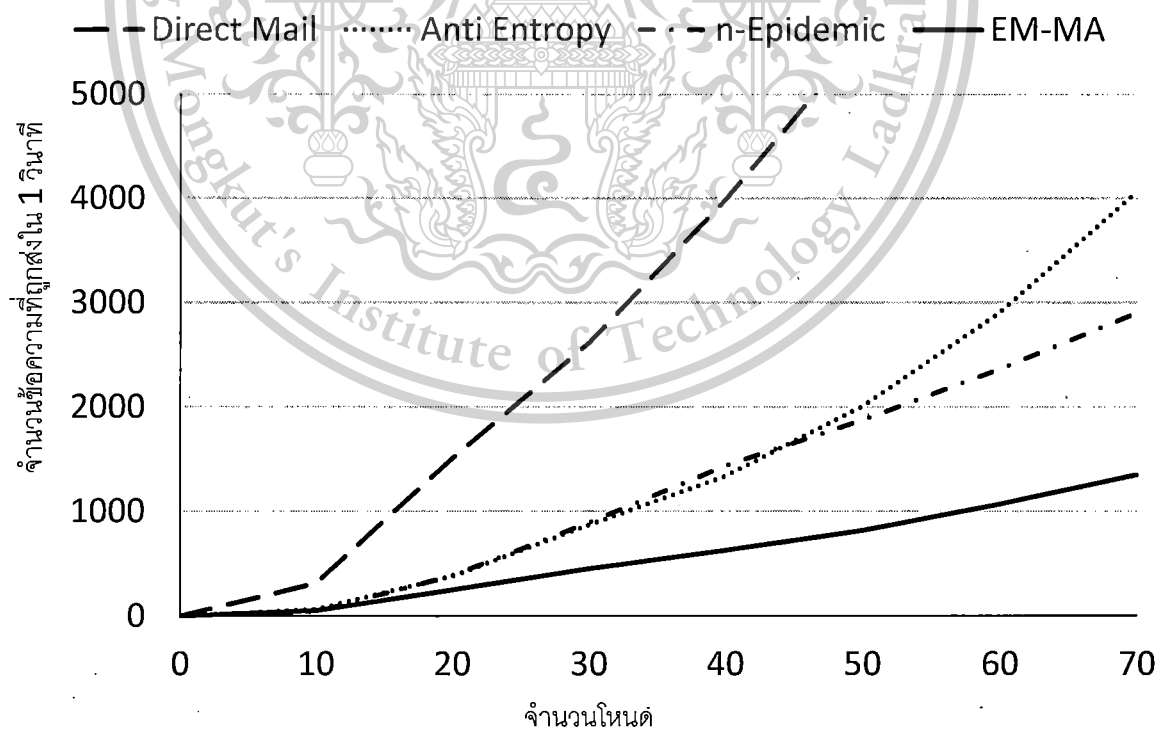
ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานเป็นการวัดโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จ ต่อการใช้พลังงาน 1 หน่วย ซึ่งจากความหมายข้างต้นทำให้โพรโทคอลดีเอ็นเอที่มีค่าประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงคือ โพรโทคอลดีเอ็นเอที่มีการใช้พลังงานอย่างคุ้มค่า ภาพที่ 4.8 แสดงประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีจำนวน โหนดเท่ากับ 10 โหนด จากกราฟพบว่า Binary Spray & Wait จะมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงสุด รองลงมาเป็น Anti Entropy Epidemic Routing และ n-Epidemic ตามลำดับ แต่เมื่อมองในมุมมองของเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความ จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 400 วินาที Binary Spray & Wait และ n-Epidemic กลับส่งข้อความยังไม่สำเร็จ ในขณะที่ Anti Entropy และ Epidemic Routing ถึงแม้มีประสิทธิภาพที่รองลงมา แต่กลับส่งข้อความให้ถึงปลายทางได้แล้วในเวลาประมาณ 350 วินาที เมื่อจำนวนของ โหนดเพิ่มขึ้นเป็น 50 โหนด ในภาพที่ 4.9 Epidemic Routing กลับมีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานต่ำสุด เนื่องจากโอกาสในการส่งให้สำเร็จต่ำลง แต่โหนดมีปริมาณการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่พิจารณาเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความให้สำเร็จ จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไป 400 วินาที Binary Spray & Wait ก็ยังไม่สามารถส่งข้อความให้สำเร็จเช่นเดิม Anti Entropy, n-Epidemic, และ Epidemic Routing กลับกลับส่งข้อความให้สำเร็จเร็วขึ้น อันเป็นผลมาจากความหนาแน่นของ โหนดในเครือข่ายเพิ่มมากขึ้น ซึ่งลำดับประสิทธิภาพการใช้พลังงานไม่ต่างจากภาพที่ 4.10 ที่แสดงกราฟประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีจำนวน โหนดเท่ากับ 100 โหนดมากนัก เพราะเมื่อโหนดบนเครือข่ายมีจำนวนที่สูงใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับหนึ่ง โหนดมีการส่งข้อความแลกเปลี่ยนกันจำนวนมาก เวลาที่ใช้ในการส่งข้อความให้สำเร็จ จึงมากขึ้นกว่าเดิม

4.2 กลไก Epidemic Message with Message Advertisement

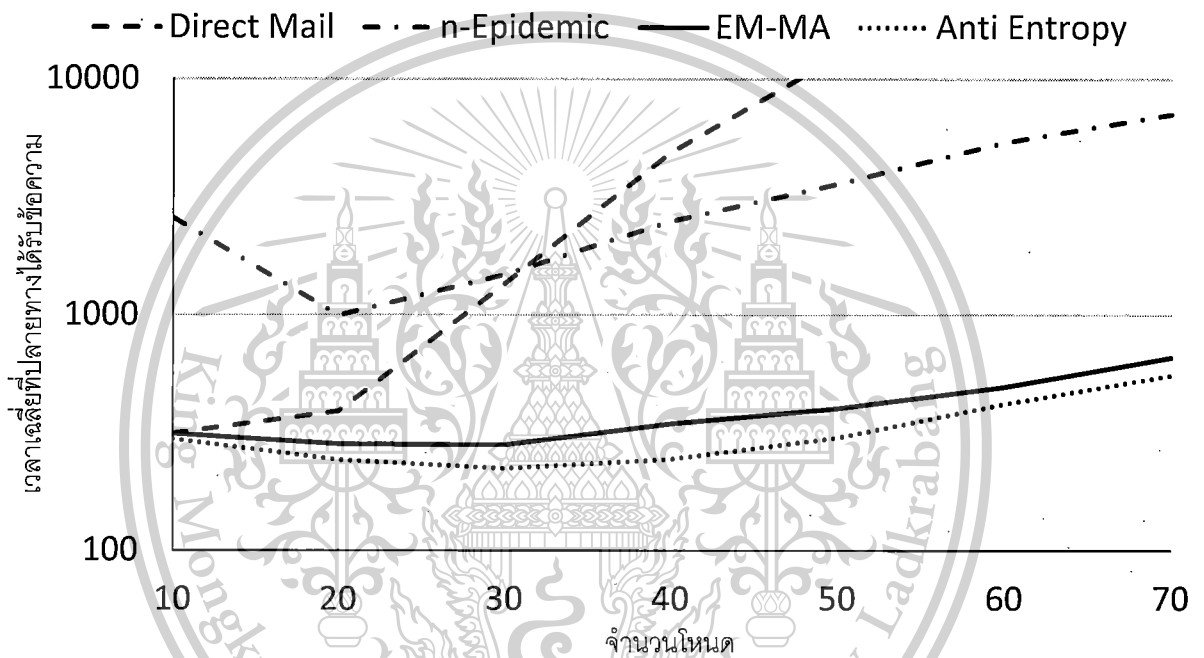
Epidemic Message with Message Advertisement (EM-MA) [17] เป็นโพรโทคอลดีเอ็นเอที่มุ่งเน้นไปที่การลดจำนวนการส่งข้อความที่ซ้ำซ้อนและไม่จำเป็น เช่น ข้อความเก่าที่โหนดรอบข้างมี หรือข้อความที่ถูกร้องขออีกครั้งในช่วงเวลาเดียวกัน เป็นต้น โดยที่ EM-MA ยังคงไว้ซึ่งประสิทธิภาพในการแพร่กระจายข้อความ EM-MA ได้เสนอกลไกการแพร่กระจายข้อความโดยใช้บรอดแคสต์ ที่เป็นลักษณะการส่งข้อความโดยธรรมชาติของอุปกรณ์ไร้สายมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ใน EM-MA โหนดส่งต่อข้อความไปยังโหนดรอบข้างทุกช่วงเวลา โดยเริ่มจากโหนดประกาศรายชื่อข้อความในหน่วยความจำ โหนดรอบข้างจะทำการเปรียบเทียบรายชื่อดังกล่าวกับข้อความของตนเอง เพื่อร้องขอข้อความที่ตนเองไม่มีในหน่วยความจำ แต่ทว่าโหนดจะไม่บรอดแคสต์ข้อความเหล่านั้นกับไปยังโหนดรอบข้างทันทีเมื่อได้รับการร้องขอ แต่จะรวบรวมการร้องขอจากโหนดรอบข้างอื่น ๆ และบรอดแคสต์ข้อความที่ถูกร้องขอทั้งหมดไปในรอบเดียวกัน เพื่อลดการส่งข้อความซ้ำ ในกรณีที่ถูกร้องขอมากกว่าหนึ่งครั้ง



ภาพที่ 4.11 แสดงจำนวนข้อความที่ถูกส่งใน 1 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพที่ 4.11 แสดงจำนวนข้อความเฉลี่ยที่ถูกส่งใน 1 วินาทีในสภาพแวดล้อมเครือข่ายที่มีจำนวนโหนดที่แตกต่างกัน จากกราฟ EM-MA มีจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความน้อยกว่าโปรโตคอลดีที่อื่นอื่นๆ ที่เปรียบเทียบร่วมกันอย่างเด่นชัด การลดลงของจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความของ n-Epidemic สามารถเห็นผลได้อย่างชัดเจนหลังจากจำนวนโหนดมากกว่า 50 โหนด เมื่ออัตราการส่งข้อความเริ่มลดลงจาก Anti Entropy แต่อย่างไรก็ตามจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความของ Anti Entropy ก็อยู่ในระดับต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับ Direct Mail ที่มีจำนวนข้อความที่ถูกส่งใน 1 วินาที สูงที่สุดในกราฟ



ภาพที่ 4.12 แสดงเวลาเฉลี่ยที่ปลายทางได้รับข้อความ

เพื่อให้เห็นถึงประสิทธิภาพการแพร่กระจายข้อความของ EM-MA เมื่อจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความลดลง ภาพที่ 4.12 จึงแสดงเวลาเฉลี่ยที่ปลายทางได้รับข้อความในแต่ละความหนาแน่นของโหนด จากกราฟ EM-MA ที่มีการรวบรวมคำร้องขอก่อนการส่งข้อความ ใช้เวลาในการส่งข้อความมากกว่า Anti Entropy เล็กน้อย Direct Mail ใช้เวลาในการส่งข้อความเพิ่มขึ้นตามปริมาณการส่งข้อความ (ความหนาแน่นของโหนด) เป็นที่สังเกตว่า n-Epidemic ใช้เวลาน้อยในช่วง 10-20 โหนด และค่อย ๆ เพิ่มขึ้นหลังจากนั้น แสดงให้เห็นถึงจุดที่เหมาะสมระหว่างจำนวนของโหนดและค่าตัวแปร $n=3$

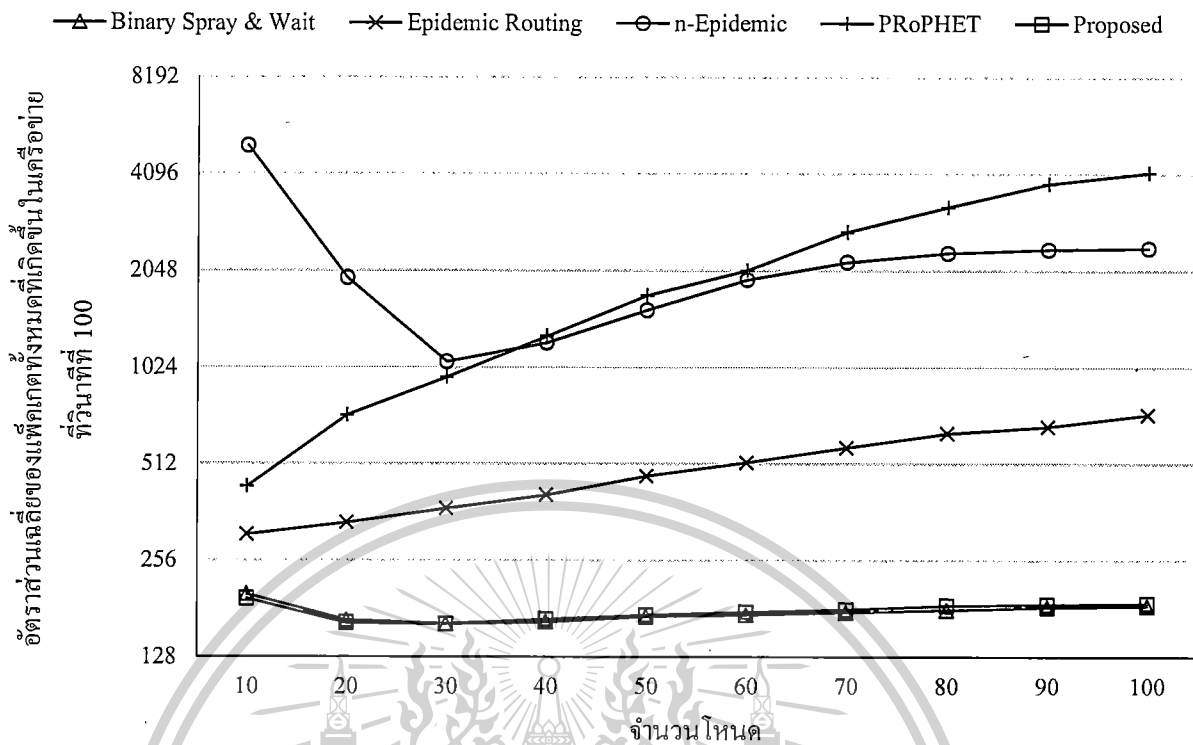
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การประยุกต์เทคนิค Overhearing กับกลไกที่มีอยู่เดิม

งานวิจัย [18] เป็นงานวิจัยที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นเพื่อปรับปรุงกลไกในการกระจายข้อความในเครือข่ายดีทีเอ็น โดยการประยุกต์เทคนิค Overhearing ซึ่งใช้ประโยชน์จากการบรอดแคสต์ข้อมูลในระดับชั้นกายภาพ (Physical Layer) เพื่อนำมาใช้ในการประเมินความคับคั่งของเครือข่าย และประยุกต์เทคนิค Gossip [10] มาใช้เพื่อลดการส่งข้อมูลที่ไม่จำเป็น โดยแต่ละข้อความที่โหนดจะกระจายต่ออันจะมีค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกกระจายต่อ แนวความคิดหลักของงานวิจัยชิ้นนี้คือ โหนดจะกระจายข้อความด้วยความน่าจะเป็นที่ต่ำ ถ้าข้อความกำลังถูกกระจายในละแวกเดียวกันเป็นจำนวนมาก เพื่อลดความซ้ำซ้อนในการส่งข้อความโดยไม่จำเป็น และส่งผลให้มีการใช้พลังงานที่ลดลง ซึ่งไม่กระทบต่อโอกาสสำเร็จในการส่งข้อความ

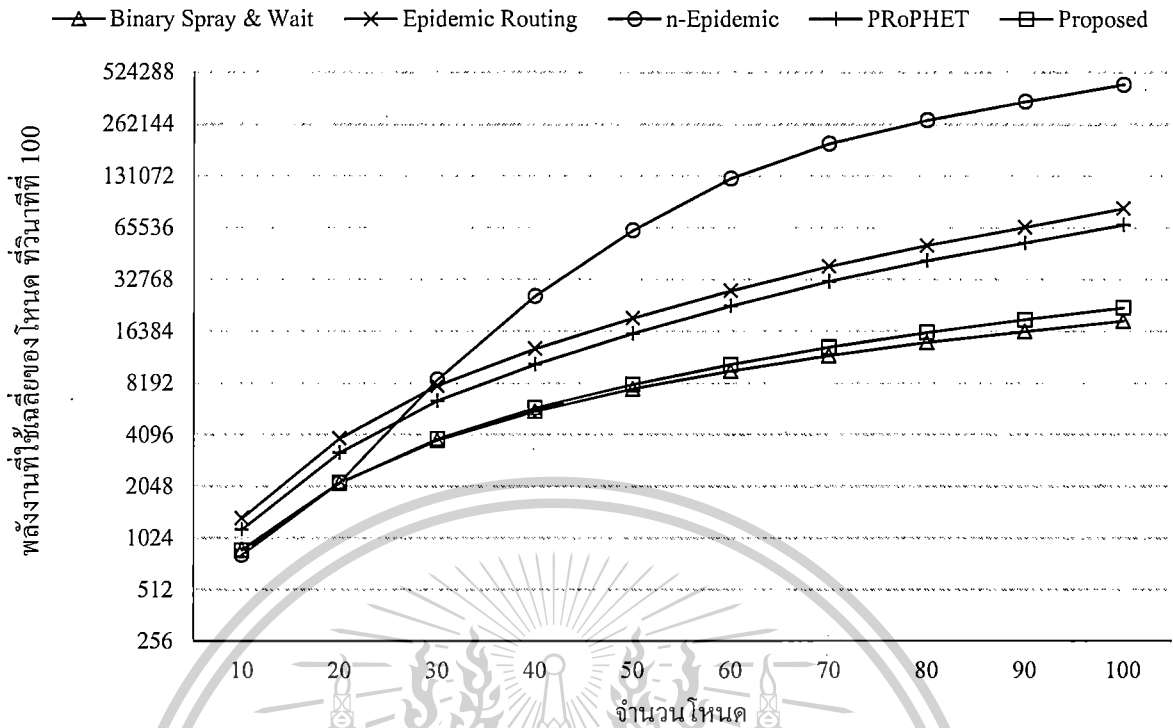
ทุกๆ ครั้งที่โหนดได้รับข้อความที่โหนดรอบข้างกระจายออกมา โหนดจะประมวลผลข้อความที่ได้รับ แม้ว่าตัวโหนดจะไม่ได้เป็นคู่สนทนา ซึ่งเป็นการใช้เทคนิค Overhearing โดยเป็นการเปิดใช้งานโหมด Promiscuous ในระดับชั้น MAC (MAC Layer) ในกรณีที่โหนดยังไม่มีข้อความ ก็จะทำการเก็บข้อความนั้นทันทีเพื่อใช้กระจายต่อในอนาคต ซึ่งจะลดจำนวนการส่งแพ็คเกจร้องขอข้อความ แต่ถ้าโหนดมีข้อความแล้ว ก็จะลดความน่าจะเป็นในการกระจายข้อความนั้นในอนาคต โดยในเบื้องต้น ผู้วิจัยได้กำหนดให้ความน่าจะเป็นเริ่มต้นของแต่ละข้อความมีค่าเท่ากับ 0.75 และโอกาสในการกระจายข้อความลดลงเหลือร้อยละ 75 จากค่าความน่าจะเป็นเดิมของแต่ละข้อความเมื่อโหนดได้รับข้อความนั้นๆ ซ้ำในแต่ละครั้ง และกำหนดให้โพรโทคอลที่นำเสนอ และโพรโทคอล Binary Spray & Wait มีจำนวนครั้งที่ข้อความจะสามารถถูกกระจายได้เท่ากับ 100 ครั้ง โพรโทคอลที่นำเสนอในงานนี้จะแสดงในเส้นของกราฟ Proposed

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.13 แสดงอัตราส่วนเฉลี่ยของแพ็คเกจทั้งหมดที่เกิดขึ้นในเครือข่าย ที่วินาทีที่ 100

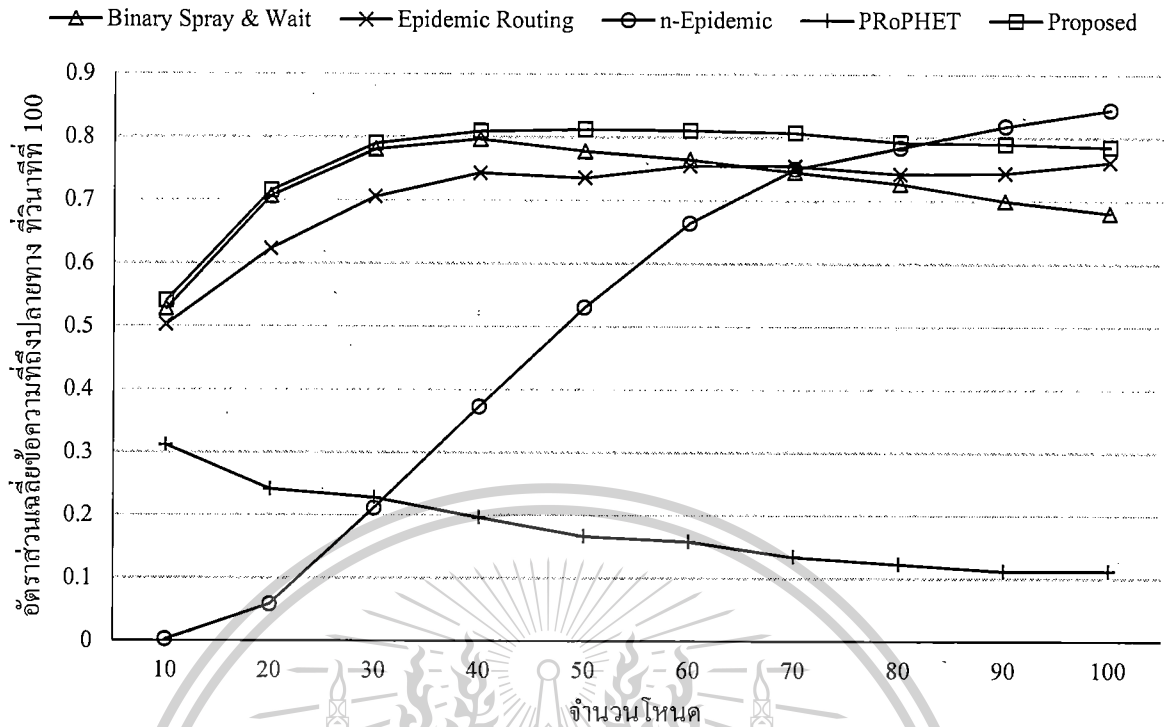
ภาพที่ 4.13 แสดงให้เห็นอัตราส่วนเฉลี่ยของแพ็คเกจที่เกิดขึ้นทั้งหมดในเครือข่าย ซึ่งแสดงให้เห็นว่างานวิจัยที่ได้นำเสนอไปนั้นมีแพ็คเกจที่เกิดขึ้นในเครือข่ายต่ำใกล้เคียงกับ Binary Spray & Wait ซึ่งเป็นผลมาจากการที่โปรโตคอลที่นำเสนอนั้นมีการใช้ความน่าจะเป็น และความคับคั่งของข้อความของ โหนดในละแวกเดียวกันมาเป็นเงื่อนไขในการกระจายข้อความ ในขณะที่โปรโตคอล n-Epidemic และ Epidemic Routing นั้นมีแพ็คเกจที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากกว่าอันเนื่องมาจากแต่ละข้อความนั้นไม่มีการจำกัดจำนวนครั้งในการส่งต่อข้อความ



ภาพที่ 4.14 แสดงพลังงานที่ใช้เฉลี่ยของโหนด ที่วินาทีที่ 100

ภาพที่ 4.14 แสดงให้เห็นพลังงานที่โหนดใช้ไปรวมทั้งหมด โดยที่โปรโตคอลที่นำเสนอ นั้นมีการใช้พลังงานที่ต่ำใกล้เคียงกับ Binary Spray & Wait ซึ่งเป็นผลสืบเนื่องมาจากกราฟแสดง แพ็คเก็ตที่เกิดขึ้นในเครือข่าย เมื่อโหนดมีการส่งข้อความ หรือแพ็คเก็ตที่ไม่จำเป็นลดลง ก็จะส่งผล ให้มีการใช้พลังงานที่ลดลงตามด้วยเช่นกัน

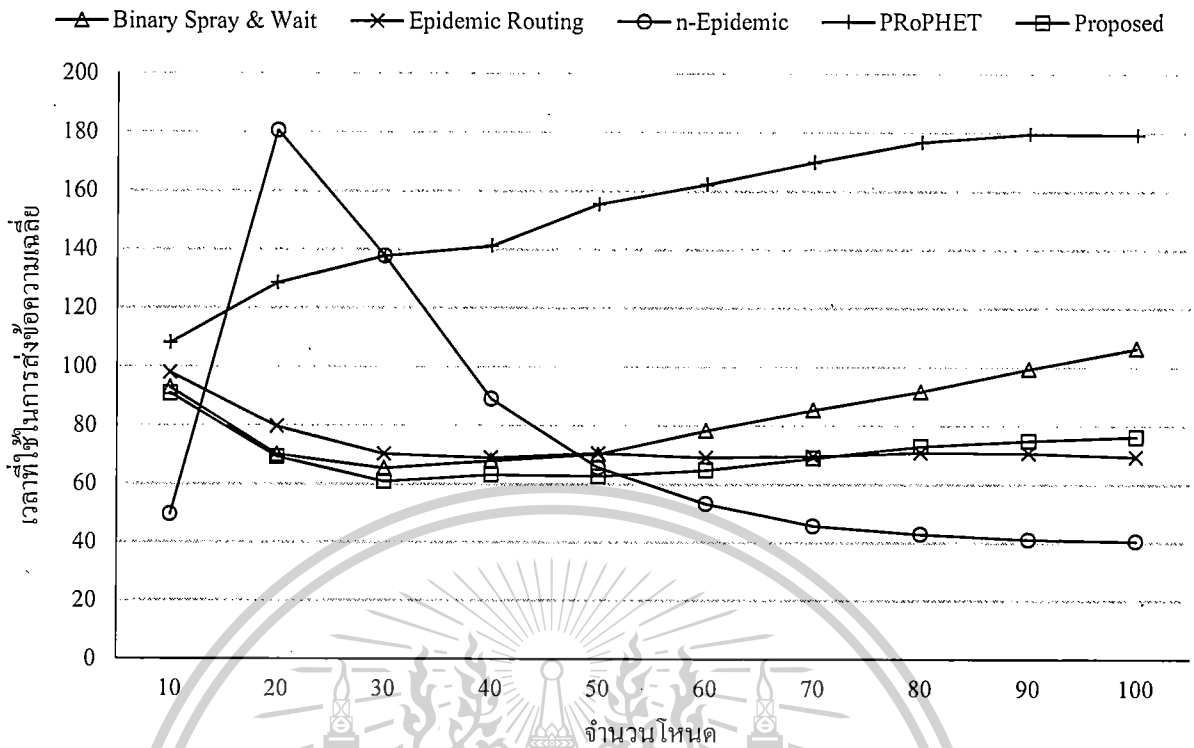
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.15 แสดงอัตราส่วนเฉลี่ยข้อความที่ถึงปลายทาง ที่วินาทีที่ 100

เพื่อแสดงให้เห็นว่าการลดการส่งแพ็คเก็ตที่ไม่จำเป็นไม่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในด้านอื่นๆ ภาพที่ 4.15 แสดงอัตราส่วนเฉลี่ยข้อความที่ถึงปลายทางแสดงให้เห็นว่าโปรโตคอลที่นำเสนอขึ้นนั้น ยังคงสามารถแพร่กระจายข้อความไปยังปลายทางในระดับที่ยังสูงแม้ว่าจะมีจำนวนโหนดเพิ่มขึ้นก็ตาม เนื่องจากการใช้เงื่อนไขในการแพร่กระจายข้อความที่ถูกแพร่กระจายโดยโหนดอื่น ๆ อยู่แล้ว ทำให้ช่วยลดการส่งข้อความที่ไม่จำเป็น หรือเป็นการส่งที่ซ้ำซ้อน ส่งผลให้ช่วยลดความคับคั่งของเครือข่าย และมีแบนด์วิดท์เหลือสำหรับส่งข้อความมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.16 แสดงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความเฉลี่ย

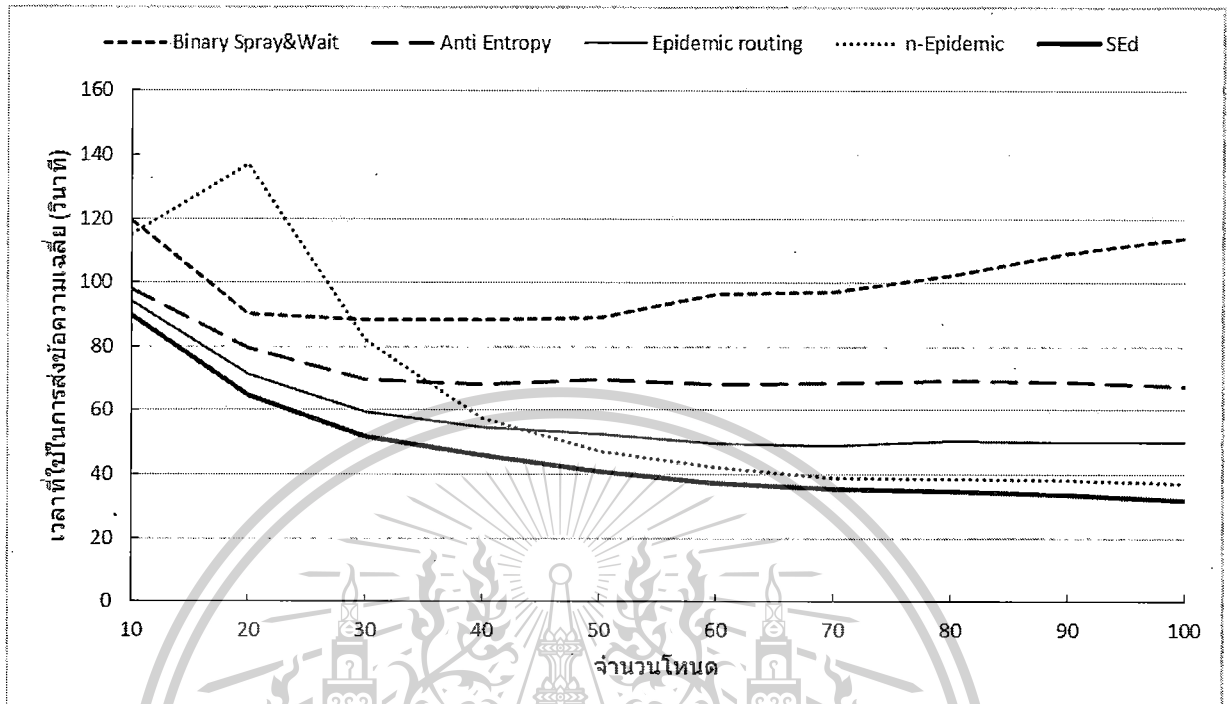
นอกจากนี้แล้ว ภาพที่ 4.16 แสดงเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการส่งข้อความยังแสดงให้เห็นว่าถึงแม้จะมีการลดการแพร่กระจายข้อความลงก็มิได้ทำให้โพรโทคอลที่นำเสนออื่นมีความหวังในการส่งข้อความให้ไปถึงปลายทางเพิ่มขึ้นมากแต่อย่างใด การส่งข้อความซ้ำซ้อนนั้นไม่ได้เกิดประโยชน์และไม่ช่วยให้ความส่งถึงปลายทางเร็วขึ้น เนื่องจากข้อความซ้ำซ้อนเหล่านี้ทำให้เกิดความคับคั่งในเครือข่าย

4.4 กลไก Speed Epidemic Routing

Speed Epidemic Routing (SEd) [19] ถูกพัฒนาขึ้น โดยนำการส่งข้อความแบบบรอดแคสต์ที่เป็นการส่งข้อความแบบแพร่กระจายไปยังโหนดรอบข้างภายในการส่งเพียงครั้งเดียวมาใช้ประโยชน์ เพื่อลดการส่งข้อความซ้ำซ้อน ทั้งในระหว่างโหนดที่มีการแลกเปลี่ยน และในระหว่างช่วงเวลาใด ๆ โดยหลักการทำงานของ SEd คือ โหนดจะแลกเปลี่ยนรายชื่อข้อความที่อยู่ในหน่วยความจำระหว่างกัน เพื่อร้องขอเฉพาะข้อความที่ตนเองต้องการ ลดการส่งข้อความซ้ำซ้อนจากการที่โหนดต้องส่งข้อความทั้งหมดที่มี นอกจากนี้การที่โหนดส่งข้อความดังกล่าวแบบบรอดแคสต์ ทำให้โหนดรอบข้างสามารถรับข้อความได้ โหนดจึงสามารถยกเลิกการส่งข้อความที่ถูกร้องขอซ้ำภายในระยะเวลาเดียวกันได้ ทำให้โหนดสามารถลดการส่งข้อความที่ไม่จำเป็นได้อีกทางหนึ่ง

ดังผลการทดสอบด้านล่าง ที่แสดงให้เห็นว่า SEd สามารถลดจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความได้ แต่เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

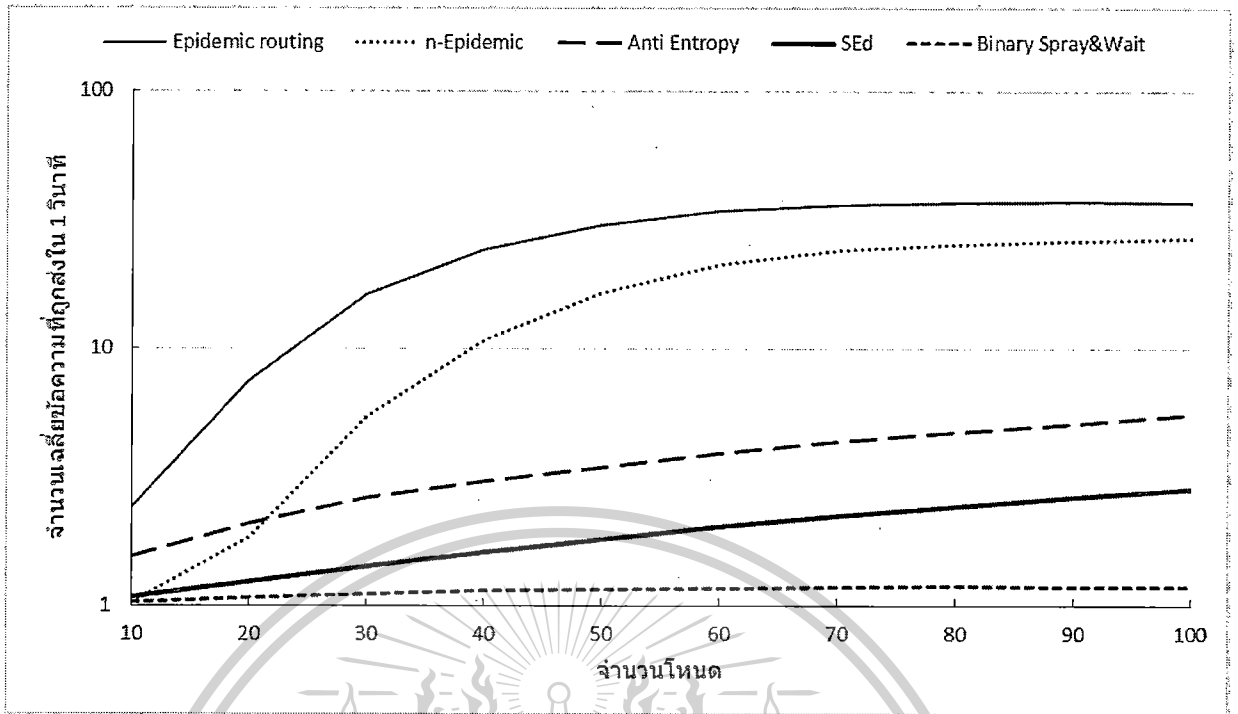
ในขณะที่เดียวกันก็มีความเร็วในการแพร่กระจายข้อความ และอัตราส่วนความสำเร็จในการส่งข้อความสูงกว่าโปรโตคอลดีที่อื่นอื่น ๆ



ภาพที่ 4.17 แสดงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความเฉลี่ย

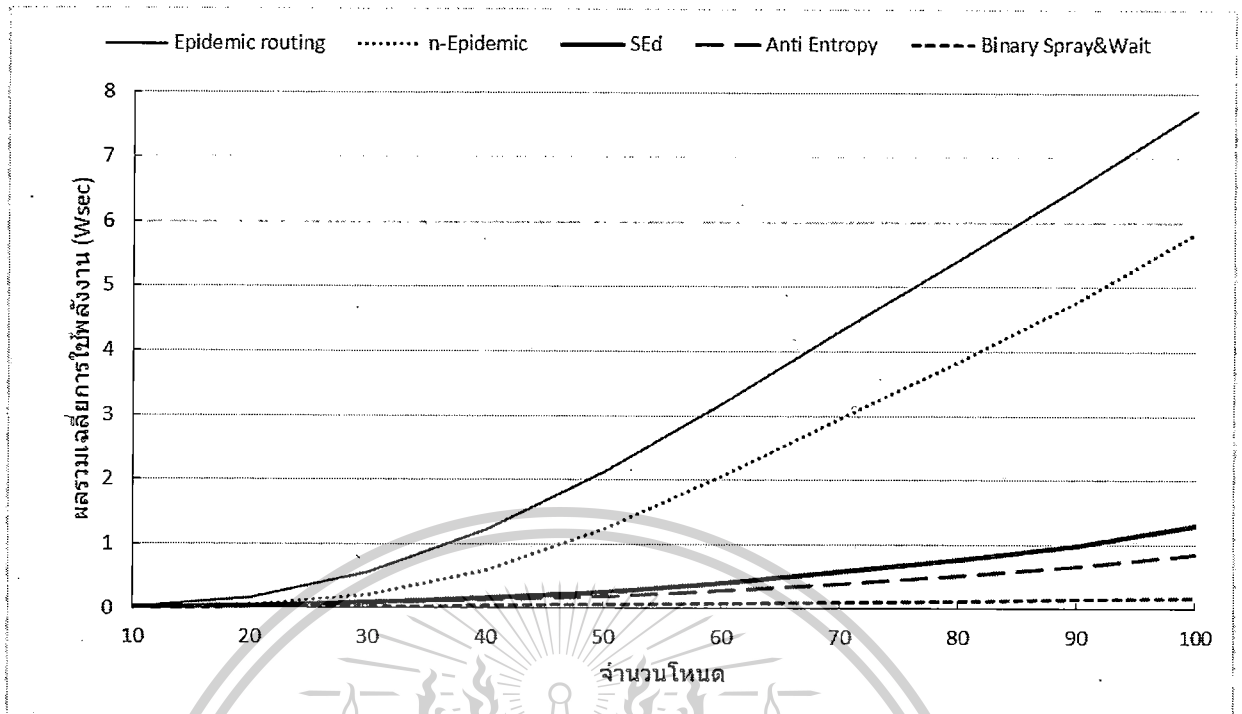
จากภาพที่ 4.17 ซึ่งแสดงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความเฉลี่ย SEd ใช้เวลาในการส่งข้อความจากต้นทางไปถึงปลายทางน้อยที่สุด ตามมาด้วย Epidemic Routing และ Anti Entropy ถึงแม้ว่าในช่วงต้น n-Epidemic จะใช้เวลาในการส่งข้อความนาน เนื่องจากความหนาแน่นของโหนดในเครือข่ายน้อย แต่เมื่อความหนาแน่นของโหนดเพิ่มขึ้น เวลาที่ใช้ในการส่งข้อความก็ลดลง สวนทางกับ Binary Spray & Wait ที่เมื่อจำนวนโหนดเพิ่มมากขึ้น กลับทำให้สัดส่วนของโหนดที่มีข้อความต่อโหนดทั้งหมดไม่สมดุล ทำให้เวลาที่ใช้ในการส่งข้อความมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าโปรโตคอลดีที่อื่นสามารถส่งข้อความไปยังปลายทางได้ก่อนเวลา 100 วินาที ดังนั้นเพื่อเพิ่มความแม่นยำในการวิเคราะห์ผล กราฟในส่วนที่เหลือจะเป็นการวิเคราะห์ผลจาก 0 วินาที จนกระทั่งถึง 100 วินาที ซึ่งเป็นเวลาที่ข้อความส่วนใหญ่ถูกส่งไปถึงปลายทางสำเร็จเรียบร้อยแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.18 แสดงอัตราการส่งข้อความเฉลี่ยในหนึ่งวินาที

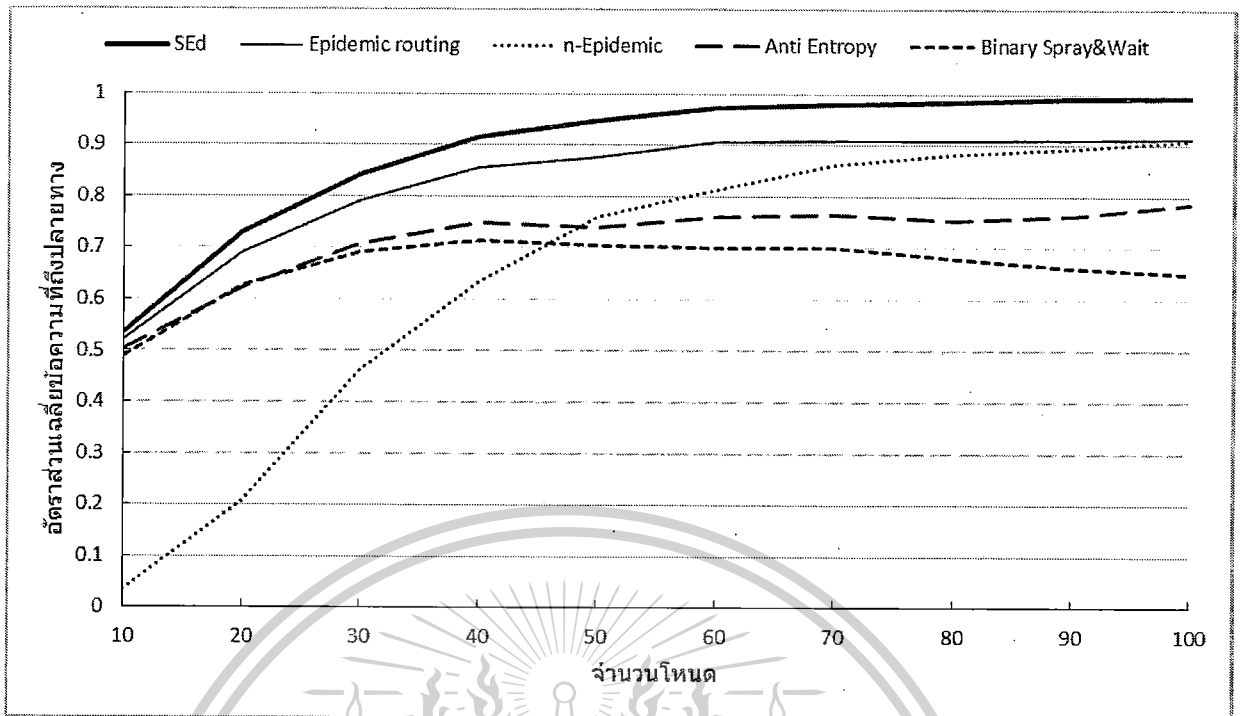
จากภาพที่ 4.18 ซึ่งแสดงอัตราการส่งข้อความเฉลี่ยในหนึ่งวินาที จะเห็นได้ว่า SEd สามารถลดจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความได้มากกว่า Epidemic Routing, n-Epidemic, และ Anti Entropy ถึงแม้ว่า SEd จะมีจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความที่มากกว่า Binary Spray & Wait แต่ก็แลกมาด้วยความเร็วในการแพร่กระจายข้อความไปยังโหนดปลายทาง ซึ่งจะเห็นได้จากภาพที่ 4.17 และจะเห็นได้อย่างชัดเจนจากอัตราส่วนข้อความที่ถึงปลายทางในภาพที่ 4.20



ภาพที่ 4.19 แสดงผลรวมเฉลี่ยการใช้พลังงาน

เพื่อให้เห็นว่าการลดจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความ สามารถลดปริมาณการใช้พลังงานของเครือข่ายได้อย่างมีนัยยะสำคัญ ภาพที่ 4.19 ซึ่งแสดงผลรวมเฉลี่ยการใช้พลังงานนั้น พบว่า Epidemic Routing และ n-Epidemic มีปริมาณการใช้พลังงานสูงกว่า SEd ที่จับกลุ่มอยู่กับโพรโทคอลดีที่เอ็นทีเอชไอ เหตุผลที่ SEd จะมีปริมาณการใช้พลังงานมากกว่า Anti Entropy และ Binary Spray & Wait ในช่วง 50-100 โหนด เนื่องจากเมื่อมองในมุมมองของเครือข่ายที่เวลาเดียวกัน SEd สามารถแพร่กระจายข้อความได้ในวงกว้างมากกว่า ทำให้มีการแลกเปลี่ยนข้อความในโหนดที่อยู่ไกลออกไปมากกว่า จึงมีการใช้พลังงานในภาพรวมของทั้งเครือข่ายมากกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 4.20 แสดงอัตราส่วนเฉลี่ยข้อมูลที่ถึงปลายทางที่วินาทีที่ 100

จากภาพที่ 4.20 ซึ่งแสดงอัตราส่วนเฉลี่ยข้อมูลที่ถึงปลายทางนั้น ในแต่ละความหนาแน่นของโหนด SEd มีอัตราส่วนของข้อมูลที่ไปถึงปลายทางสูงที่สุด รองลงมาคือ Epidemic Routing, Anti Entropy, และ Binary Spray & Wait ตามลำดับ n-Epidemic อัตราส่วนที่น้อยในช่วงแรกเนื่องจากโหนดมีความหนาแน่นน้อย แต่เมื่อจำนวน โหนดเพิ่มขึ้น อัตราส่วนก็เพิ่มขึ้นตามลำดับ จากกราฟจะเห็นว่า ในทุกช่วงจำนวน โหนด SEd มีอัตราส่วนมากกว่า Binary Spay & Wait เพราะฉะนั้นการที่ SEd มีจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความ หรือปริมาณการใช้พลังงานมากกว่าเพียงเล็กน้อย จึงถือว่าไม่มีนัยสำคัญ

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและแนวทางต่อยอด

ระบบสื่อสารเครือข่ายเฉพาะกิจแบบดิวีซีเอ็น เป็นระบบที่สามารถเชื่อมต่ออุปกรณ์สื่อสารเข้าด้วยกัน โดยมีจุดประสงค์เพื่อส่งข้อมูลไปยังปลายทางโดยไม่ต้องใช้เครือข่ายพื้นฐานเหมือนในระบบสื่อสารทั่วไป ซึ่งในการพัฒนาระบบสื่อสารเฉพาะกิจบนสมาร์ตโฟนในสถานการณ์ภัยพิบัติทำให้อุปกรณ์ต้นทางสามารถฝากและส่งต่อข้อความไปยังอุปกรณ์ปลายทางได้ แต่อย่างไรก็ตาม การพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพเพื่อให้เกิดความเหมาะสมต่อการนำไปใช้จริงได้นั้น จำเป็นต้องศึกษาทั้งในส่วนของการพัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนเพื่อให้รองรับการสื่อสารบนเครือข่ายดิวีซีเอ็น และการพัฒนาโพรโทคอลดิวีซีเอ็นในการส่งข้อความให้สามารถนำไปใช้ในการสื่อสารในสถานการณ์ที่โครงสร้างพื้นฐานใช้งานไม่ได้ และเหมาะสมกับสมาร์ตโฟนที่มีพลังงานอยู่อย่างจำกัด

จากการศึกษาวรรณกรรม และทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้เกิดแนวทางในการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารบนเครือข่ายเฉพาะกิจแบบดิวีซีเอ็นบนสมาร์ตโฟน โดยผู้วิจัยสามารถพัฒนาแอปพลิเคชันต้นแบบที่สามารถติดต่อสื่อสารแบบดิวีซีเอ็น ได้ทั้งหมด 4 โพรโทคอลด้วยกัน ได้แก่ Epidemic Routing, Direct Contact, n-Epidemic และ Gossip ในส่วนการรับส่งข้อความภายในแอปพลิเคชันอาศัยโพรโทคอล Generic Advertisement Service (GAS) ซึ่งเป็นโพรโทคอลที่ใช้ในการประกาศเซอวิซของ Wi-Fi Direct มาใช้ในการรับส่งข้อความ โดยมีระยะทางระหว่างผู้ส่งและผู้รับประมาณ 1.5 กิโลเมตร

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการใช้พลังงานของโพรโทคอลดิวีซีเอ็นต่างๆ ซึ่งจากการทดสอบพบว่า ปริมาณการใช้พลังงานส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความ การศึกษาในลำดับต่อไปจึงมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาโพรโทคอลดิวีซีเอ็นที่มีประสิทธิภาพในการแลกเปลี่ยนข้อความ โดยการรวบรวมการส่งข้อความซ้ำหลายข้อความมาส่งแบบบรอดแคสต์ในครั้งเดียว เพื่อลดการใช้พลังงานจากการลดจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความ และรักษาระดับความสำเร็จในการรับส่งข้อความให้ไปถึงยังปลายทาง ซึ่งทำให้โพรโทคอลดิวีซีเอ็นที่พัฒนาขึ้นนั้นมีการใช้พลังงานของสมาร์ตโฟนที่มีอยู่อย่างจำกัดอย่างคุ้มค่า

จากปัญหาวิจัยจนถึงผลการทดสอบ แสดงให้เห็นถึงความสำเร็จในการพัฒนาเครือข่ายเฉพาะกิจแบบดิวีซีเอ็นบนสมาร์ตโฟนสำหรับการสื่อสารในสถานการณ์ภัยพิบัติ แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นสามารถสร้างเครือข่ายสื่อสารดิวีซีเอ็นของสมาร์ตโฟน ได้สำเร็จ นอกจากนี้จากการทดสอบโพรโทคอลดิวีซีเอ็นที่น่าเสนอ แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำมาประยุกต์ใช้กับแอปพลิเคชัน เพื่อลดผลกระทบจากการสื่อสาร เช่น จำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความ และปริมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิใช่เอกสารที่เผยแพร่สู่สาธารณะ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานสำรองของสมาร์ตโฟนได้เป็นอย่างดี ดังที่ได้มีการศึกษาต่อยอด Speed Epidemic Routing (SEd) ในส่วนของประสิทธิภาพการใช้พลังงาน

แนวทางการพัฒนาต่อยอดที่น่าสนใจหนึ่งคือ การเชื่อมโยงกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เพื่อให้ผู้ใช้ในเครือข่ายเฉพาะกิจสามารถเข้าถึงบริการบนอินเทอร์เน็ตได้ โดยอาศัยเกตเวย์ในการเชื่อมโยง ซึ่งมีงานวิจัยที่นำเสนอกลไกเกตเวย์มากมาย แต่ก็มีปัญหาวิจัยที่ยังคงต้องรอคำตอบเพื่อให้กลไกเกตเวย์ที่นำเสนอในงานวิจัยเหล่านั้นใช้ได้จริง [20]

นอกจากนี้ยังมีปัญหาดีเลย์ในเครือข่ายที่มีต่อการจัดการความคับคั่งของกลไกที่ซีพียูบนเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งที่ซีพียูจะใช้ผลการตอบกลับจากผู้รับ ในการควบคุมการส่งของผู้ส่ง ดังนั้นบนเครือข่ายที่ไม่สามารถควบคุมหรือจัดการกับดีเลย์ได้ อย่างเช่น เครือข่ายที่มีเส้นทางผ่านดาวเทียม เครือข่ายดีทีเอ็น เป็นต้น จะมีประสิทธิภาพการทำงานไม่ดีเท่าที่ควร มีงานวิจัยที่ถูกนำเสนอ เพื่อให้กลไกที่ซีพียูทำงานบนเครือข่ายดังกล่าวได้ เช่น [21]–[24] เป็นต้น แต่ปัญหาผลกระทบจากการมีดีเลย์สูงและแปรปรวนของเส้นทางขาไป (Forward Path) ที่มีต่อกลไกควบคุมความคับคั่งยังคงอยู่ งานวิจัย [25] ดังแสดงในภาพผนวก ข. จึงถูกนำเสนอเป็นแนวทางในการจัดการปัญหาดังกล่าว เพื่อให้การเชื่อมโยงเครือข่ายดีทีเอ็นกับอินเทอร์เน็ตมีความเป็นไปได้มากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- [1] J. Tieu and S. Ye, "Wi-Fi Direct Services," Master's thesis, Lund University, 2014. Available: <http://www.eit.lth.se/srapport.php?uid=818>
- [2] Hughes Systique™, "Wi-Fi Direct™," White Paper. Available: https://www.hsc.com/Portals/0/Uploads/Articles/WFD_Technology_Whitepaper_v_1.7635035318321315728.pdf
- [3] "IEEE Standard for Information technology--Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks--Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," IEEE Std 802.11-2012 (Revision of IEEE Std 802.11-2007), Mar. 2012.
- [4] ARUBA Networks Inc., "Wi-Fi Certified Passpoint Architecture for Public Access Aruba White Paper Wi-Fi Certified Passpoint Architecture for Public Access Wi-Fi Certified Passpoint Architecture for Public Access Aruba White Paper," Jun. 2012. Available: http://www.arubanetworks.com/assets/wp/WP_Passpoint_Wi-Fi.pdf
- [5] S. Burleigh et al., "Delay-tolerant networking: an approach to interplanetary Internet," IEEE Communications Magazine, vol. 41, no. 6, pp. 128-136, Jun. 2003.
- [6] V. Cerf, S. Burleigh, A. Hooke, L. Torgerson, R. Durst, K. Scott, K. Fall, and H. Weiss, "Delay-Tolerant Networking Architecture," RFC 4838, Apr. 2007.
- [7] Kapadia, Shvama, Bhaskar Krishnamachari, and Lin Zhang. "Data delivery in delay tolerant networks: A survey," INTECH Open Access Publisher, 2011.
- [8] Demers, Alan, et al. "Epidemic algorithms for replicated database maintenance," in Proc. the sixth annual ACM Symposium on Principles of distributed computing. ACM, 1987.
- [9] F. De Rango and S. Amelio, "Performance evaluation of scalable and energy efficient dynamic n-epidemic routing in Delay Tolerant Networks," in Proc. International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS 2013), Toronto, ON, 2013, pp. 167-173.
- [10] Z. J. Haas, J. Y. Halpern and Li Li, "Gossip-based ad hoc routing," IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 14, no. 3, pp. 479-491, Jun. 2006.
- [11] R. Diana and E. Lochin, "Modelling the delay distribution of Binary Spray and Wait routing protocol," in Proc. IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM 2012), San Francisco, CA, 2012, pp. 1-6.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

[13] A. Vahdat and D. Becker, "Epidemic Routing for Partially-Connected Ad Hoc Networks," Technical Report CS-2000-06, Duke University, Jul. 2000.

[14] ชีรพงษ์ โชคสถิตย์, ชานนพ ทองถาวร, และ สุเมธ ประภาวัต, "เครือข่ายเฉพาะกิจแบบดีทีเอ็นบนสมาร์ตโฟน สำหรับการสื่อสารในสถานการณ์ภัยพิบัติ," ในรายงานผลการทดสอบระบบเครือข่ายเฉพาะกิจแบบดีทีเอ็นบนสมาร์ตโฟน, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. Available: https://youtu.be/fb0A_vDEUbe

[15] กฤษนิพันธ์ เดิมธรณินทร์, อรุณกมล ชรรณโกฎี, ชีรพงษ์ โชคสถิตย์, และ สุเมธ ประภาวัต, "เครือข่ายติดต่อสื่อสารเฉพาะกิจบนสมาร์ตโฟน," ในรายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 7 (National Conference on Information Technology: NCIT 2015), เชียงใหม่, ประเทศไทย, ต.ค. 2558.

[16] วรวัชร ณรงค์ชวณะ, กฤษนิพันธ์ เดิมธรณินทร์, ชีรพงษ์ โชคสถิตย์, อรุณกมล ชรรณโกฎี, และ สุเมธ ประภาวัต, "การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกลไกหาเส้นทางแบบเอปิดิมิกในเครือข่ายดีทีเอ็น," ในรายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 7 (National Conference on Information Technology: NCIT 2015), เชียงใหม่, ประเทศไทย, ต.ค. 2558.

[17] T. Choksatid and S. Prabhavat, "An Epidemic Routing with Low Message Exchange Overhead for Delay Tolerant Networks," Book: Advances in Intelligent Systems and Computing: Progress in Systems Engineering, vol. 330, Springer, 2015, pp. 429–436.

[18] W. Narongkhachavana, T. Choksatid, and S. Prabhavat, "An Efficient Message Flooding Scheme in Delay-Tolerant Networks," in Proc. IEEE International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE 2015), Chiangmai, Thailand, Oct. 2015, pp. 295–299.

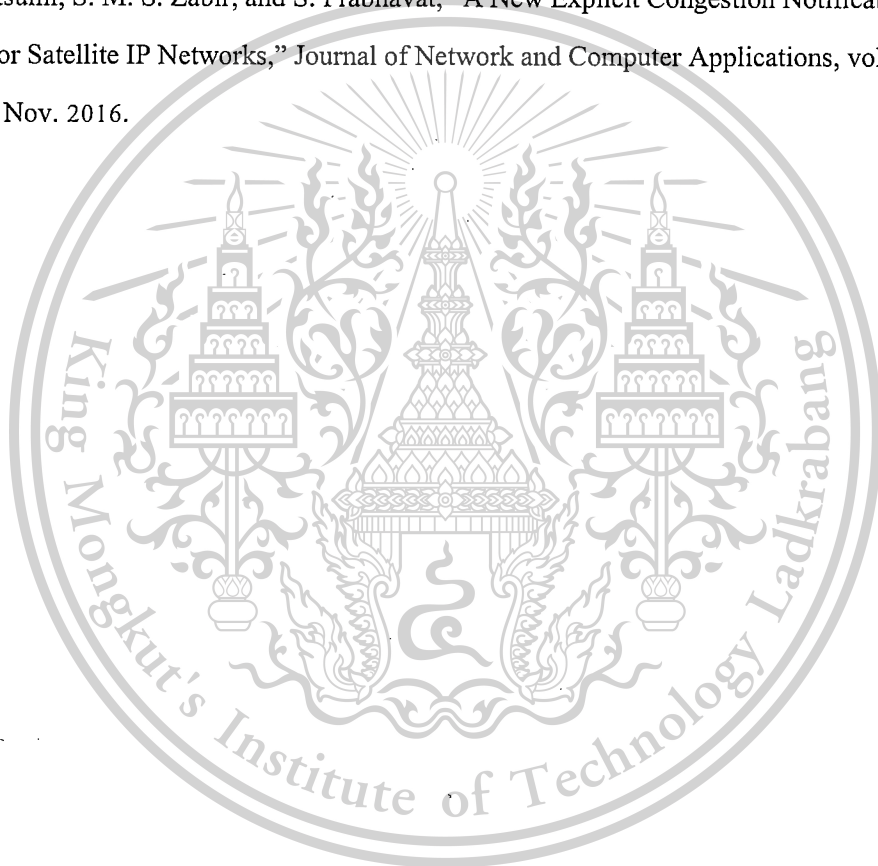
[19] T. Choksatid, W. Narongkhachavana, and S. Prabhavat, "An Efficient Spreading Epidemic Routing for Delay-Tolerant Network," in Proc. IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2016), Las Vegas, Nevada, Jan. 2016, pp. 480–483.

[20] T. Thongthavorn, W. Narongkhachavana, and S. Prabhavat, "Overhead Reduction of Location-aided Gateway Discovery Protocols," in Proc. IEEE International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE 2016), Yogyakarta, Indonesia, Oct.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [21] M. Allman, D. Glover and L. Sanchez, “Enhancing TCP Over Satellite Channels Using Standard Mechanisms,” RFC 2488, 1999.
- [22] S. Floyd, “TCP and Explicit Congestion Notification,” ACM Computer Communication Review, vol. 24, no. 5, Oct. 1994, pp. 10-23.
- [23] K. Ramakrishnan, S. Floyd, and D. Black, “The addition of explicit congestion notification (ECN) to IP,” RFC 3168, Sep. 2001.
- [24] M. Demmer, J. Ott, S. Perreault, “Delay-Tolerant Networking TCP Convergence-Layer Protocol,” RFC 7242, Jun. 2014.
- [25] S. Utsumi, S. M. S. Zabir, and S. Prabhavat, “A New Explicit Congestion Notification Scheme for Satellite IP Networks,” Journal of Network and Computer Applications, vol. 75, pp. 169–180, Nov. 2016.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลงานเผยแพร่ใน

งานประชุมทางวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 7

The 7th National Conference on Information Technology (NCIT 2015)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครือข่ายติดต่อสื่อสารเฉพาะกิจบนสมาร์ตโฟน

กฤษนิพนธ์ เต็มธรรมนิทร์ อรุณกมล ธรรมโกฏี วีรพงษ์ ไชตสถิตย์ และ สุเมธ ประภาวัต

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
E-mail: remainthong@cloud.com, arunkamon105@gmail.com, TeerapongC@outlook.com, sumet@nit.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันระบบการสื่อสาร มีอิทธิพลต่อชีวิตประจำวันของเราเป็นอย่างมาก แต่เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่ไม่คาดฝันขึ้นซึ่งทำให้เครือข่ายพื้นฐานไม่สามารถใช้งานได้อีก ย่อมส่งผลเสียต่อการดำเนินชีวิตของเราอย่างถึงงานวิจัยฉบับนี้ได้พัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อการติดต่อสื่อสารเฉพาะกิจบนสมาร์ตโฟน ที่ไม่ต้องพึ่งพาเครือข่ายพื้นฐานในการส่งข้อความ แต่ใช้เทคโนโลยี Wi-Fi Direct แทน ซึ่งมีเป็นเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายที่ทำให้อุปกรณ์ติดต่อสื่อสารกันได้โดยตรง โดยไม่ต้องใช้เครือข่ายพื้นฐาน การส่งข้อความของแอปพลิเคชันนี้สามารถส่งได้ไกลถึง 75 เมตร และใช้เวลาดำเนินการเพียง 10 วินาที หากเครื่องที่ได้รับข้อความที่ไม่ใช่ของคน เครื่องนั้นจะทำการเก็บและส่งข้อความไปยังเครื่องอื่นต่อไป

คำสำคัญ: เครือข่ายติดต่อสื่อสารเฉพาะกิจ; สมาร์ตโฟน; Wi-Fi Direct

1. บทนำ

จากเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นครั้งใหญ่ในญี่ปุ่น และเหตุการณ์ในทวีปประเทศไทย ทำให้เราพบปัญหาสำคัญคือ การขาดการสื่อสารหรือการสื่อสารขาดหลักโครงข่ายที่จุดเกิดเหตุหลายเวลา จนไม่สามารถใช้งานได้ ส่งผลให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการติดต่อสื่อสาร เพื่อช่วยเหลือผู้ประสบภัยเป็นไปอย่างยากลำบาก เหตุการณ์นี้สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการติดต่อสื่อสาร ว่านอกจากจะมีความจำเป็นในการดำรงชีวิตในปัจจุบันแล้ว ยังมีความจำเป็นอย่างยิ่งในเหตุการณ์ภัยพิบัติที่ไม่คาดฝันนี้

ในปัจจุบันอุปกรณ์สมาร์ตโฟนได้เข้ามามีบทบาทสำคัญอย่างยิ่งในชีวิตประจำวัน ผู้คนสามารถเข้าถึงข้อมูลข่าวสารได้ง่ายขึ้นโดยผ่านอุปกรณ์ดังกล่าว ทำให้จำนวนผู้ใช้บริการอุปกรณ์สมาร์ตโฟนในปัจจุบันมีจำนวนมาก นอกจากนี้เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายในอุปกรณ์สมาร์ตโฟนทำให้อุปกรณ์ดังกล่าวในเครือข่าย ติดต่อสื่อสารระหว่างกันได้โดยไม่มีสถานะสัญญาณเป็นตัวกลาง มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาพัฒนาเครือข่ายการติดต่อสื่อสารที่ไม่ต้องพึ่งพาเครือข่ายพื้นฐาน เช่น สถานีฐาน เสาสัญญาณ เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้ ผู้วิจัยจึงได้พัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อการติดต่อสื่อสารเฉพาะกิจ บนสมาร์ตโฟนที่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ โดยอาศัยการเก็บและส่งข้อความจากอุปกรณ์หนึ่งไปหาอุปกรณ์หนึ่งที่อยู่บนพื้นที่เดียวกัน และใช้เทคโนโลยี Wi-Fi

Direct ซึ่งเป็นเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย มาใช้ในการรับและส่งข้อความของแอปพลิเคชัน

ในบทที่ 2 จะกล่าวถึงเทคโนโลยี Wi-Fi Direct บทที่ 3 เป็นการอธิบายแนวความคิดการพัฒนาระบบของแอปพลิเคชัน การออกแบบชุดข้อมูลที่ใช้ พร้อมทั้งการวิเคราะห์และออกแบบการทำงานของระบบ บทที่ 4 เป็นส่วนของภาคทดลองใช้งานระบบ ประกอบด้วยการทดลองการรับส่งข้อความของแอปพลิเคชัน ระบบทางในการส่ง และระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความ และสุดท้ายเป็นบทสรุปผลการศึกษาระบบ

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้เริ่มต้นกับบทสรุปตัวถึงเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายในปัจจุบัน เทคโนโลยี Wi-Fi Direct ที่ผู้วิจัยตั้งใจ และอธิบายความแตกต่างระหว่างเทคโนโลยี Wi-Fi และเทคโนโลยี Wi-Fi Direct เพื่อให้เห็นความเข้าใจกระบวนการทำงานของแอปพลิเคชันที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้น

2.1 Wireless Technology

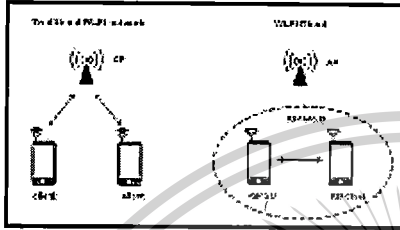
เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย (Wireless technology) เป็นเทคโนโลยีที่ทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ ในเครือข่าย สามารถสื่อสารระหว่างกันได้โดยไม่มีสายสัญญาณเป็นตัวกลางในการเชื่อมต่อ แต่ใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในการติดต่อสื่อสารแทน ซึ่งเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายนั้นได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จนทำให้ปัจจุบันมีเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายอยู่หลายตัวที่ถูกนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่มีอยู่ เช่น Near Field Communication (NFC), Bluetooth และ Wireless Fidelity (Wi-Fi) เป็นต้น ซึ่งเทคโนโลยีไร้สายที่ผู้วิจัยสนใจในงานวิจัยฉบับนี้คือเทคโนโลยี Wi-Fi เนื่องจากเป็นเทคโนโลยีที่มีความเร็วในการส่งข้อมูลเร็วที่สุด และมีขีดความสามารถที่กว้างที่สุด เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีทั้งหมด [1][2][3]

2.2 Wi-Fi & Wi-Fi Direct

Wi-Fi เป็นเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย ซึ่งมี IEEE 802.11 เป็นมาตรฐานในการกำหนดรูปแบบการสื่อสาร Wi-Fi พัฒนาเพื่อทำให้อุปกรณ์สามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยผ่านแอคเซสพอยท์ (Access Point)

Wi-Fi Direct หรือรู้จักในอีกชื่อหนึ่งว่า Wi-Fi peer-to-peer (Wi-Fi P2P) เป็นเทคโนโลยีที่ทำให้อุปกรณ์ สามารถเชื่อมต่อกัน

โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านแอคเซสพอยท์ ซึ่งในการคิดสื่อสื่อสารของอุปกรณ์ อุปกรณ์จะสร้างกลุ่ม P2P (P2P Group) เพื่อกำหนดบทบาทให้กับอุปกรณ์แต่ละเครื่องที่อยู่ในกลุ่ม โดยมีบทบาทอยู่ 2 ชนิด ได้แก่ P2P Group Owner (P2P GO) ทำหน้าที่เป็นแอคเซสพอยท์ และ P2P Client ทำหน้าที่เป็นเครื่องถูกถ่าย (Client) อันมีความแตกต่างของ Wi-Fi และ Wi-Fi Direct ได้ดังรูปที่ 1 [1][4]



รูปที่ 1. เปรียบเทียบความแตกต่างระหว่าง Traditional Wi-Fi กับ Wi-Fi Direct

กระบวนการการสร้างการติดต่อสื่อสารของอุปกรณ์ที่ใช้ Wi-Fi Direct แบ่งออกเป็น 4 เฟสคือ

1. Scan Phase เฟสนี้อุปกรณ์จะใช้ Wi-Fi แอสซอสซิเอตเพื่อค้นหาและเก็บข้อมูลของอุปกรณ์ทั้งหมดที่อยู่ในรัศมีการสื่อสาร
2. Find Phase เฟสนี้เกิดขึ้นเมื่อ Scan Phase เสร็จสิ้น อุปกรณ์จะตั้งสถานะไปมาระหว่าง สถานะค้นหา (Search State) และสถานะฟัง (Listen State) เพื่อส่งคำร้องขอ (Probe Request) ออกไปในทุกช่องสัญญาณ Social (Social Channel) และรอการร้องขอ (Probe Response) จากอุปกรณ์ในรัศมีการสื่อสาร ซึ่งเมื่อได้รับการร้องขอแล้วอุปกรณ์จะตอบสถานะโดยการรับ Probe Response กลับไป
3. Group Owner Negotiation Phase เฟสนี้อุปกรณ์ใน P2P Group มีการกำหนดบทบาทว่า อุปกรณ์ใดจะเป็น Group Owner (GO) สามารถระบุและเลือกเพิ่มเติมได้ที่ [4]
4. WPS Provisioning phase เป็นเฟสในการยืนยันตัวตน ซึ่งอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยี Wi-Fi Direct ใช้ Wi-Fi Protected Setup (WPS) เป็นโปรโตคอลรักษาความปลอดภัยในการสร้างเชื่อมต่อ [1][4]

2.3 Wi-Fi Direct Service

Wi-Fi Direct Service ทำให้อุปกรณ์ที่มีแอปพลิเคชันเดียวกัน สามารถสื่อสารระหว่างกันด้วย Wi-Fi Direct โดยเริ่มจากอุปกรณ์จะประกาศแอปพลิเคชันที่ตนเองให้บริการ ประกอบไปด้วยข้อมูลดัง เช่น ชื่อแอปฯ, ชื่ออุปกรณ์, IP Address และ Mac Address เป็นต้น เพื่อให้อุปกรณ์อื่นที่ติดตั้งค้นหาแอปพลิเคชันที่อยู่ สามารถทำการเชื่อมต่อมายังตนเองได้ ซึ่งการประกาศและค้นหาแอปพลิเคชันนี้เกิดขึ้นช่วง Find phase ของกระบวนการสร้างการติดต่อสื่อสารของ Wi-Fi Direct และใช้ Generic Advertisement Service Protocol ซึ่งเป็น Link Layer Protocol ในการรับส่งข้อมูลแอปพลิเคชัน [1][2]

2.4 Generic Advertisement Service Protocol (GAS)

โปรโตคอล GAS เป็นโปรโตคอลที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลแอปพลิเคชันที่เกิดขึ้นระหว่างอุปกรณ์ 2 ตัว โดยอุปกรณ์เครื่องหนึ่งจะส่ง GAS Initial Request เพื่อเป็นสัญญาณการร้องขอข้อมูลแอปพลิเคชันจากอุปกรณ์อีกเครื่องหนึ่ง โดยอุปกรณ์ที่ได้รับการร้องขอจะตอบสนองโดยการส่งข้อมูลผ่านทาง GAS Initial Response

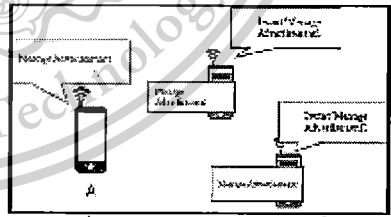
ในกรณีที่ข้อมูลของแอปพลิเคชันมีขนาดใหญ่เกินกว่าหน่วยที่ใช้ในการส่งกลับ ข้อมูลจะถูกแบ่งให้มีขนาดเล็กแล้วค่อยส่งกลับไป โดยอุปกรณ์ที่ร้องขอส่ง GAS Comeback Request ทุกครั้ง เพื่อร้องขอข้อมูลที่เหลือ ดังนั้นจำนวน GAS Comeback Request ขึ้นอยู่กับจำนวนของข้อมูลที่ถูกแบ่งเสร็จแล้ว [5][6]

3. วิสัยทัศน์งานวิจัย

ในงานนี้จะกล่าวถึงแนวคิดในการพัฒนาแอปพลิเคชันของงานวิจัยฉบับนี้ที่ได้จากการศึกษารายละเอียดของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พร้อมทั้งการออกแบบชุดข้อมูลที่ใช้ในแอปพลิเคชัน ความต้องการของระบบ และการนำความต้องการที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อออกแบบกระบวนการทำงานของระบบ

3.1 แนวคิดการที่พัฒนาแอปพลิเคชัน

จากการที่ Wi-Fi Direct Service สามารถประกาศข้อมูลแอปพลิเคชันที่ตนให้บริการ ให้แก่อุปกรณ์ที่อยู่โดยรอบมองเห็นได้โดยไม่ต้องสร้างการเชื่อมต่อในสารส่งข้อมูลแอปพลิเคชัน จึงมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน เพื่อการติดต่อสื่อสารเฉพาะกิจ แนวคิดการส่งข้อความของแอปพลิเคชันสามารถอธิบายได้จากรูปที่ 2 เริ่มจากผู้ใช้ A ประกาศข้อความออกในช่องทางที่ประกาศข้อมูลแอปพลิเคชันของ Wi-Fi Direct Service ซึ่งข้อความที่ถูกประกาศบนแอปพลิเคชันนี้เรียกว่า "Message Advertisement" (อธิบายรายละเอียดในหัวข้อที่ 3.2) ในขณะนั้นผู้ใช้คนอื่น ๆ ที่อยู่โดยรอบจะรับรู้ข้อความที่ถูกประกาศมาจากแอปพลิเคชันนี้ เมื่อผู้ใช้ได้รับข้อความที่ไม่ใช่ของตัวเองก็จะประกาศข้อความนี้ออกไป แต่หากผู้ใช้ได้รับข้อความที่ตรงมาตามแหล่ง ก็จะทำให้การแสดงผลออกมา



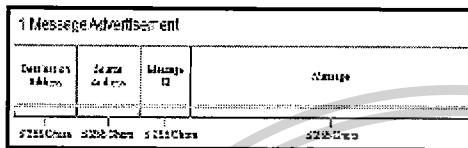
รูปที่ 2. แนวคิดการที่ส่งข้อความของแอปพลิเคชัน

3.2 การออกแบบชุดข้อมูลที่ใช้ในแอปพลิเคชัน

Wi-Fi Direct Service มีข้อกำหนดในการประกาศขอวีดีพร้อมกันได้ไม่เกิน 1024 ตัวอักษรต่อหนึ่งเครื่อง และฟิลด์แต่ละฟิลด์ใน Wi-Fi Direct

Service มีขนาดตัวอักษรได้ไม่เกิน 255 ตัวอักษร หากไม่ผู้วิจัยต้องออกแบบโครงสร้างของข้อมูลที่ใช้ประกาศ ดังนี้

ชุดข้อมูลที่ใช้ประกาศ ในงานวิจัยนี้เราเรียกว่า "Message Advertisement" ซึ่งใน Message Advertisement จะประกอบด้วยฟิลด์ทั้งหมด 4 ฟิลด์ดังนี้ Destination Address (ชื่อผู้รับ), Source Address (ชื่อผู้ส่ง), Message ID (หมายเลขข้อความ), Message (ข้อความ)



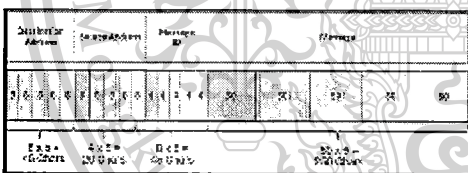
รูปที่ 3. แสดงโครงสร้างของ Message Advertisement

ในแอปพลิเคชันนี้ใช้ User name แทนอุปกรณ์ในแต่ละเครื่องในเครือข่าย ซึ่งผู้ใช้สามารถตั้งชื่อได้เองไม่เกิน 8 ตัวอักษร หมายเลขข้อความมีขนาดสูงสุด 4 ตัวอักษร ส่วนข้อความหนึ่งข้อความสามารถได้ตัวอักษรได้สูงสุด 50 ตัวอักษร ทำให้ Message Advertisement 1 ตัวสามารถเก็บข้อความได้ทั้งหมด ดังนี้

$$SumMsg = \frac{SizeField \times 255 \text{ ข้อความ}}{SizeMsg \times 50 \text{ ข้อความ}} = 5 \text{ ข้อความ} \quad (1)$$

โดย SumMsg คือ จำนวนข้อความใน Message Advertisement

SizeField คือ ขนาดของฟิลด์ : ฟิลด์
SizeMsg คือ ขนาดของข้อความ



รูปที่ 4. แสดงโครงสร้างของ Message Advertisement

จากรูปที่ 4 สรุปได้ว่า จำนวนขนาดพื้นที่ในการประกาศ Message Advertisement 1 ตัว เท่ากับ

$$SizeMsgAd = DesSize + SrcSize + IDSize + MsgSize \quad (2)$$

$$= 45 + 20 + 45 + 250$$

$$= 360 \text{ ตัวอักษร}$$

โดย SizeMsgAd คือ ขนาดของ Message Advertisement
DesSize คือ ขนาด Destination Address
SrcSize คือ ขนาด Source Address
IDSize คือ ขนาด Message ID
MsgSize คือ ขนาด Message

ในแอปพลิเคชันนี้จะใช้ Message Advertisement 2 ตัวด้วยกัน ซึ่งมีขนาดรวมกันเท่ากับ 700 ตัวอักษรซึ่งเป็นขนาดที่ไม่เกินข้อจำกัดในการประกาศของวีดิพร้อมกันของ WiFi Direct Service และทำให้แอปพลิเคชันสามารถประกาศข้อความได้ถึง 10 ข้อความในเวลาเดียวกัน

3.3 ความต้องการของระบบ

3.3.1 ความต้องการที่เป็นหน้าที่หลักของระบบ (Functional Requirement)

- ระบบสามารถระบุผู้รับได้
- ระบบสามารถปกป้องข้อความจากผู้ที่ไม่ใช่ผู้รับได้
- ระบบสามารถส่งข้อความได้

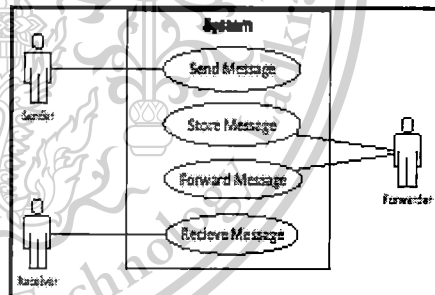
3.3.2 ความต้องการที่มิใช่หน้าที่หลักของระบบ (Non-Functional Requirement)

- ระบบมีความคิดสื่อนั้นผู้ใช้ง่ายต่อการใช้งาน

3.4 การวิเคราะห์และออกแบบระบบ

3.4.1 ยูสเคสไดอะแกรม

ชุดเคสไดอะแกรมเมคานิสมส์และการใช้งานของผู้ใช้งานแอปพลิเคชัน



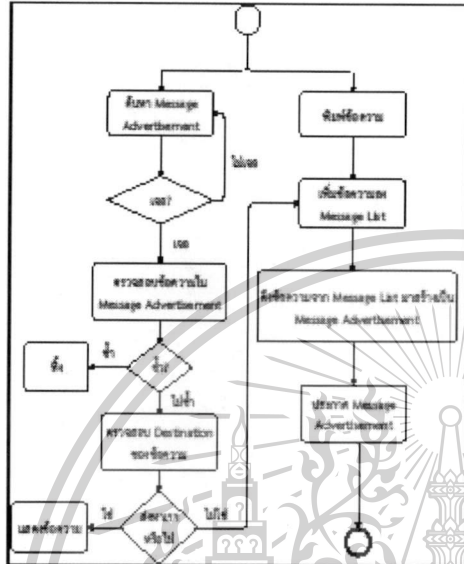
รูปที่ 5. ชุดเคสไดอะแกรมของแอปพลิเคชัน

แกลแกลของระบบ

1. Sender คือผู้ส่งข้อความ ทำหน้าที่ส่งข้อความไปหา Receiver
2. Forwarder คือผู้ส่งต่อข้อความ ทำหน้าที่รับข้อความจาก Sender หรือ Forwarder อื่นและทำการส่งข้อความต่อไปยัง Receiver หรือ Forwarder
3. Receiver คือ ผู้รับข้อความ ทำหน้าที่แสดงข้อความที่ได้รับจาก Sender

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 แยกทีวีดีโอะแแกรม
แสดงลำดับการทำงานการรับส่งข้อความของแอปพลิเคชัน



รูปที่ 6. แยกทีวีดีโอะแแกรมของแอปพลิเคชัน

4. ผลการทดลองหรือระบบต้นแบบ

ในบทนี้จะสรุปการทำงานภายในของแอปพลิเคชัน พร้อมทั้งแสดงผลการทดลองการใช้งาน ระยะเวลาในการรับส่งข้อความ และระยะเวลาที่สามารถส่งข้อความได้สูงสุด โดยทำการทดลองทั้งหมดนี้ใช้โทรศัพท์ 3 เครื่อง รุ่น Samsung Galaxy S5

ตาราง 1. ข้อมูลตัวเครื่องของ Samsung Galaxy S5

ชื่อรุ่น	Samsung Galaxy S5
ระบบปฏิบัติการ	Android 4.4.2 (KitKat)
บอร์ด	Qualcomm Snapdragon 801
หน่วยประมวลผล	Quad Core 2.5 GHz

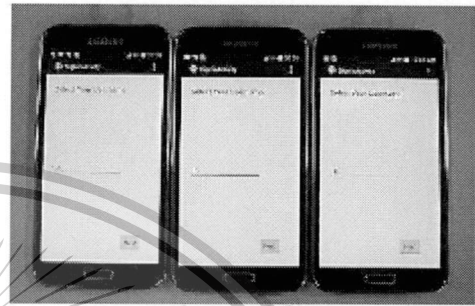
4.1 ผลในการพัฒนาแอปพลิเคชัน

4.1.1 การทำงานภายในของระบบ

การทำงานของแอปพลิเคชันนี้เริ่มจาก อุปกรณ์จะใช้ Wi-Fi แสดงผ่านทุกช่องสัญญาณเพื่อทำการค้นหาอุปกรณ์ที่อยู่รอบๆตัว จากนั้นอุปกรณ์จะสลับสถานะไปมาระหว่างสถานะฟังและสถานะค้นหา เพื่อให้แน่ใจว่าอุปกรณ์ทั้งสองอยู่ช่องสัญญาณเดียวกัน ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อความจะขึ้นอยู่กับกระบวนการนี้ เมื่ออยู่ในช่องสัญญาณเดียวกันแล้ว อุปกรณ์จะทำการส่ง Gas Initial Request เพื่อร้องขอ Message

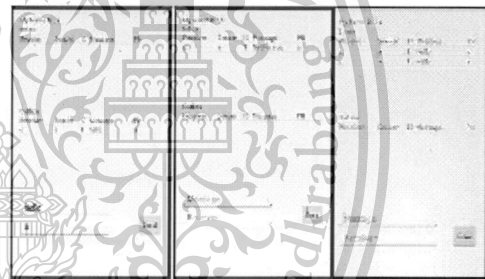
Advertisement เมื่ออุปกรณ์อีกเครื่องได้รับก็จะส่ง Message Advertisement ของตนกลับมาที่ Gas Initial Response

4.1.2 ผลการทดลองใช้งานระบบ



รูปที่ 7. ภาพหน้าจอการใช้งาน

เปิดแอปพลิเคชันเพื่อใช้งาน การกดชื่อใช้งาน ดังชื่อ a, b และ c ตามลำดับ ดังรูปที่ 7



รูปที่ 8. ภาพส่งข้อความ

จากรูปที่ 8 พบข้อความที่ต้องการส่ง ซึ่งในการทดสอบนี้จะส่งข้อความ Hello ไปที่เครื่อง C กดปุ่ม Send เพื่อส่งข้อความ ข้อความที่ส่งจะขึ้นที่ Outbox ของเครื่อง A เพื่อรอการข้อความได้ถูกส่งไปแล้ว จากนั้นเครื่อง B จะได้รับข้อความของเครื่อง A แต่ข้อความจะขึ้นว่า Not for you เนื่องจากไม่ใช่ข้อความที่ส่งมาหาตน แต่เครื่อง C จะสามารถมองเห็นข้อความได้ และข้อความที่ได้จะได้จากทั้งเครื่อง A เอง และการส่งต่อจากเครื่อง B

4.2 การทดลองเพื่อหาเวลาในการรับส่งข้อความ

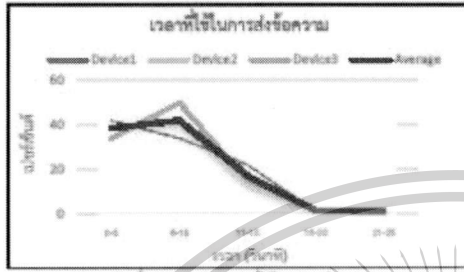
วิธีการทดลอง

เริ่มจากตั้งเวลาโทรศัพท์ทั้ง 3 เครื่องให้เท่ากัน ทำการทดลองโดยให้เครื่องหนึ่งเป็นเครื่องที่ประกาศข้อความที่ระยะเวลาของเครื่องตัวเองไว้ แล้วให้อีกเครื่องหนึ่งค้นหาข้อความที่เครื่องแรกได้ทำการประกาศ และนำมาคำนวณหาเวลาที่ใช้ตั้งแต่ประกาศข้อความจนกระทั่งได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อความ ให้เครื่องแรกส่งเป็นจำนวนทั้งสิ้น 100 ครั้ง จากนั้นเปลี่ยนเครื่องที่รับข้อความ ทำซ้ำอีกครึ่งจนครบ 3 เครื่อง นำระยะเวลาที่ใช้ในการรับข้อความแต่ละครั้งของแต่ละเครื่องมานับจำนวนความถี่ที่พบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์

ผลการทดลอง



รูปที่ 9. กราฟแสดงเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความ

สรุปผลการทดลอง

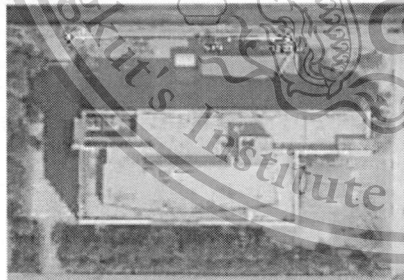
จากการทดลองสรุปได้ว่า เวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อความของแอปพลิเคชันส่วนมากจะใช้เวลาในช่วง 0 ถึง 10 วินาที ซึ่งเหนี่ยวนำของจำนวนครั้งการทดลองทั้งหมด และเวลาที่ใช้ในการรับข้อความที่น้อยที่สุดน้อยกว่า 1 วินาที และมากที่สุด 23 วินาที

4.3 การทดลองเพื่อหาระยะเวลาการรับส่งข้อความ

วิธีการทดลอง

ทำการทดลองโดยให้จุดเริ่มต้นที่เครื่องที่อยู่ติดกันในพื้นที่ได้ให้เครื่องแรกเป็นเครื่องที่ส่งข้อความจากอีกเครื่อง เมื่อเครื่องแรกได้รับข้อความจากเครื่องที่สอง ก็จะส่งข้อความกลับคืนมา เมื่อเครื่องที่สองได้รับข้อความจากเครื่องแรกก็จะส่งข้อความกลับคืนมาพร้อมทั้งวิเคราะห์ทาง ค่าเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่ได้รับข้อความตอบกลับจากเครื่องแรก

ผลการทดลอง



รูปที่ 10. ระยะเวลาการส่งข้อความของแอปพลิเคชัน

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองสรุปได้ว่า แอปพลิเคชันมีระยะเวลาการรับส่งข้อความแบบออนไลน์สูงสุดอยู่ที่ประมาณ 75 เมตร

5. สรุปผลการพัฒนา

ระบบสื่อสารเครือข่ายเฉพาะกิจของสมาร์ตโฟน เป็นระบบที่สามารถสร้างการสื่อสารและเชื่อมต่อการส่งข้อมูลได้ โดยไม่ต้องใช้เครือข่ายพื้นฐานเหมือนในระบบสื่อสารทั่วไป ซึ่งในการพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพ และเกิดความเหมาะสมต้องการนำไปใช้จริงได้นั้น จำเป็นต้องศึกษาและเลือกเทคโนโลยีที่จะนำมาใช้ในการพัฒนาระบบจากการศึกษารวบรวมและบททวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ทำให้เกิดแนวทางในการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อการติดต่อสื่อสารเฉพาะกิจบนสมาร์ตโฟน จนปัจจุบันสามารถพัฒนาแอปพลิเคชันนี้ได้ โดยใช้เทคโนโลยีการประกาศเซอร์วิสของ Wi-Fi Direct มาใช้ในการรับส่งข้อความของแอปพลิเคชัน การส่งข้อความของแอปพลิเคชันจะส่งก็ต่อเมื่อเครื่องที่ใช้แอปพลิเคชันเดียวกันอยู่ในรัศมีการสื่อสาร ซึ่งจากผลการทดลองมีระยะสูงสุดประมาณ 75 เมตร หากเครื่องปลายทางอยู่ไกลกว่า 75 เมตร การส่งข้อความบนแอปพลิเคชันนี้จะอาศัยเครื่องอื่นที่อยู่ในรัศมีการสื่อสารในการเก็บและส่งต่อข้อความไปยังเครื่องที่พบเรื่อยๆ จนถึงเครื่องปลายทาง นอกจากนี้ระยะเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความจากเครื่องหนึ่งไปหาคือเครื่องหนึ่งจะใช้เวลาประมาณ 0-10 วินาที

แต่อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันแอปพลิเคชันนี้จะส่งข้อความทุกครึ่งเมื่อเจอกับเครื่องอื่น ซึ่งอาจสูญเสียบางส่วนจำนวนมาก และอาจส่งผลให้เกิดความลับของเครื่องขึ้นได้ ดังนั้นในอนาคตเพื่อพัฒนาต่อยอดแอปพลิเคชันที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น นั้นเขียนแนะนำเทคนิคการส่งข้อความบนเครือข่ายเฉพาะกิจจากวิจัยพัฒนาเพื่อช่วยลดปัญหาข้างต้น มาใช้ในการรับส่งข้อความบนแอปพลิเคชัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยประมาณหนึ่งหมื่นปีงบประมาณ 2558 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผ่านการพิจารณาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jimmy Tigu, Shun Ye. "Wi-Fi Direct Service." Ph.D. Thesis of Faculty of Engineering, LTH, Lund University, June 2014.
- [2] Bluetooth SIG. (2014). A Look at the Basics of Bluetooth Technology. <http://www.bluetooth.com/Basics.aspx>
- [3] Techradar. What is NFC and why is it in your phone?. <http://techradar.com/news/phone-and-communications/what-is-nfc-and-why-is-it-in-your-phone-948410>
- [4] Hughes Systique™. (2013). Wi-Fi Direct® White Paper.
- [5] IEEE 802.11 Working Group. "IEEE Standard for Information Technology Telecommunication and Metropolitan Area Networks Specific Requirement Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications." IEEE Std. 802 (2012): 11p.
- [6] ARUBA network (2011). Wi-Fi Certified Passpoint Architecture for Public Access Anuba White Paper.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ภาคผนวก ข.

รายงานผลการทดสอบระบบเครือข่ายเฉพาะกิจแบบดีทีเอ็นบนสมาร์ตโฟน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานผลการทดสอบระบบเครือข่ายเฉพาะกิจแบบดีทีเอ็นบนสมาร์ทโฟน



เครือข่ายเฉพาะกิจแบบดีทีเอ็นบนสมาร์ทโฟนสำหรับการสื่อสารในสถานการณ์ภัยพิบัติ
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้ถูกจัดทำขึ้นเพื่อรายงานผลการทดสอบการทำงานของแอปพลิเคชันค้นแบบที่เมื่อติดตั้งในสมาร์โฟนแล้วทำให้เกิดเป็นเครือข่ายสื่อสารลิทีเนียบนสมาร์โฟน สามารถติดต่อสื่อสารกันได้โดยไม่ต้องอาศัยโครงสร้างพื้นฐานระบบเครือข่าย โดยทดสอบการส่งข้อมูลจากผู้ส่งไปยังผู้รับที่อยู่ห่างกันประมาณ 1.5 กิโลเมตร ในเครือข่ายที่มีสมาร์โฟน 12 เครื่อง กระจายกันอยู่บนพื้นที่ 1 ตารางกิโลเมตร ใช้ระยะเวลาในการทดสอบกว่า 8 ชั่วโมงติดต่อกัน แล้ววิเคราะห์ในด้านความสำเร็จในการรับส่งข้อมูลปริมาณการฟลิกที่เกิดขึ้นในเครือข่าย และเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลถึงปลายทาง ผลการทดสอบได้ถูกแสดง วิเคราะห์และอภิปราย ก่อนนำไปสู่บทสรุปในตอนท้ายของรายงานนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
สารบัญ	ข
สารบัญตาราง	ค
สารบัญรูป	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	2
2.1 ระบบเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วง	2
2.2 เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจที่มีพื้นฐานมาจาก โพรโทคอล DTN	3
บทที่ 3 การทดสอบใช้งานแอปพลิเคชัน DTN-CHAT	5
บทที่ 4 การทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพ	8
4.1 การทดสอบความสามารถในการเชื่อมต่อบนระบบเครือข่ายเฉพาะกิจแบบสวิตช์อินเทอร์เน็ตสำหรับบริการสื่อสารในสถานการณ์ภัยพิบัติ	9
4.2 การทดสอบความสามารถของโพรโทคอลบนระบบเครือข่ายเฉพาะกิจแบบสวิตช์อินเทอร์เน็ตสำหรับบริการสื่อสารในสถานการณ์ภัยพิบัติเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ	10
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบ	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.1 จำนวนข้อความที่ถูกส่งมาถึงปลายทางเปรียบเทียบระหว่าง Direct Contact และ Epidemic	13
ตารางที่ 4.2 ค่าความหน่วงเวลาจากต้นทางไปยังปลายทางของโพรโทคอล Epidemic	14
ตารางที่ 4.3 อัตราการส่งข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างโพรโทคอล Direct Contact และ Epidemic	15



สารบัญภาพ

รูปที่	หน้า
ภาพที่ 2.1 แสดงตัวอย่างของ Delay Tolerant Networks	2
ภาพที่ 2.2 แสดงตัวอย่างกระบวนการทำงานของคิทีเอ็น	3
ภาพที่ 3.1 หน้าหลักแอปพลิเคชัน DTN-CHAT	5
ภาพที่ 3.2 หน้าต่างแสดงผลการเรียกใช้งานแอปพลิเคชัน DTN-CHAT ด้วย username "A"	6
ภาพที่ 3.3 หน้าต่างแสดงผล โพรโทคอลสำหรับเครือข่ายเฉพาะกิจแบบคิทีเอ็น	7
ภาพที่ 4.1 หน้าต่างแสดงผลเว็บเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบข้อความ	8
ที่อุกส่งผ่านแอปพลิเคชัน DTN-CHAT	
ภาพที่ 4.2 เส้นทางการทดสอบความสามารถในการเชื่อมต่อของแอปพลิเคชัน DTN-CHAT	10
ภาพที่ 4.3 หน้าจอ Screen Shot หลังจบการทดลองระหว่างเครื่อง A และ I	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

เนื่องจากห้องปฏิบัติการวิจัยและพัฒนาระบบเครือข่ายอุปกรณ์โมบายล์และเซ็นเซอร์เน็ตเวิร์คประจำคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ได้มีการศึกษาและทำการวิจัยเกี่ยวกับระบบเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ (Mobile Ad Hoc Network - MANET) มาระยะหนึ่ง และมีผลงานวิจัยที่ออกตีพิมพ์และเผยแพร่ออกไปทั้งในและต่างประเทศ ซึ่งส่วนใหญ่แล้วงานวิจัยนั้นจะถูกจำลองการทำงานบนโปรแกรมจำลองเหตุการณ์ (Simulator) เพื่อเปรียบเทียบหรือวัดประสิทธิภาพของงานวิจัยซึ่งสามารถกำหนดสภาพแวดล้อม องค์ประกอบ และ ตัวแปรต่าง ๆ ได้อย่างอิสระ

อย่างไรก็ตามเพื่อให้งานวิจัยที่พัฒนาขึ้นในห้องทดลองสามารถนำออกมาใช้งาน ได้จริงและสามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของงานวิจัยภายใต้สภาพแวดล้อมจริง ทางห้องปฏิบัติการวิจัยได้พัฒนาระบบเครือข่ายเฉพาะกิจแบบลิทีนบนสมาร์ตโฟนสำหรับการสื่อสารในสถานการณ์ภัยพิบัติขึ้นในรูปแบบของแอปพลิเคชันบนแอนดรอยด์สมาร์ตโฟน ในชื่อ "DIN-CHAT" โดยแอปพลิเคชันดังกล่าวถูกออกแบบมาให้ส่งข้อความอักษรผ่านระบบเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจแบบ Delay Tolerant Network (DTN)

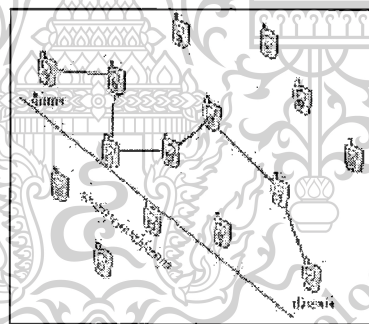
รายงานการทดสอบฉบับนี้ จะอธิบายถึงองค์ประกอบของแอปพลิเคชัน วิธีการใช้งาน โดยรวม ไปจนถึงการวัดประสิทธิภาพของโพรโทคอลต่าง ๆ ที่ถูกฝังไว้ในแอปพลิเคชัน โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อทดสอบว่าแอปพลิเคชันดังกล่าวสามารถทำงานและ ส่งข้อความได้จริง และเพื่อค้นหาข้อจำกัดหรือข้อผิดพลาดต่าง ๆ ของระบบเพื่อเป็นประโยชน์แก่นางผู้พัฒนาต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ (Mobile Ad Hoc Network - MANET) คือ ระบบพึ่งพาตัวเองของโหนดเคลื่อนที่แบบไร้สาย (Wireless Mobile Node) ที่สามารถเคลื่อนที่และจัดการตัวเองในขณะที่กำลังสื่อสารได้อย่างอิสระ ดังนั้นการเชื่อมต่อระหว่างกันของโหนดจึงมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ด้วยเหตุนี้จึงเกิดการรวมกลุ่มของโหนด เพื่อสร้างเครือข่ายสื่อสารชั่วคราวที่ไม่จำเป็นต้องมีโครงสร้างพื้นฐาน เช่น เสากระจายสัญญาณ (Base Station) และเปลี่ยนการควบคุมของศูนย์กลางการควบคุม (Centralized Administration) เป็นการอาศัยความร่วมมือกันระหว่างโหนดในการส่งต่อข้อมูล โดสโหนดจะปฏิบัติตัวเองเป็นเสมือนเราเตอร์ (Router) ส่งต่อข้อมูลระหว่างจากโหนดหนึ่งไปยังอีกโหนดหนึ่ง ต่อเนื่องไปจนถึงโหนดปลายทาง วิธีการส่งข้อมูลลักษณะนี้ว่า มีติคฮอป (Multi-Hop) เพราะฉะนั้นเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจจึงมีความยืดหยุ่น เพราะสามารถสร้างได้ทุกพื้นที่และทุกเวลาที่ต้องการ

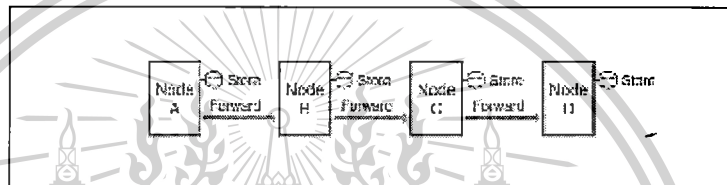
2.1 ระบบเครือข่ายที่มีความทนต่อความหน่วง (Delay Tolerant Network)



ภาพที่ 2.1 แสดงตัวอย่างของ Delay Tolerant Networks

โดยทั่วไป สักภาพหลักของระบบเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงหรือระบบเครือข่ายแบบสวิตช์อินเทอร์เน็ตคือการสร้างการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์โมบายลิตีไวร์หรือสมาร์ตโฟนในสถานการณ์ที่ระบบเครือข่ายไม่สามารถติดต่อสื่อสารกันได้ รวมทั้งสามารถขยายขอบเขตการติดต่อ และเชื่อมต่อเครือข่ายแบบมีสายและไร้สายเข้าด้วยกัน

กระบวนการทำงานของสวิตช์อินเทอร์เน็ตนั้นมีลักษณะการทำงานโดยทำการเชื่อมโยง โพรโทคอลของเครือข่าย ที่ยอมให้สามารถเกิดการติดต่อกันระหว่างอุปกรณ์สัญญาณได้ แม้ว่าเครือข่ายจะไม่ได้มีการเชื่อมต่อกับเทคโนโลยี WIFI หรือ 3G อยู่ตลอดเวลาก็ตาม ซึ่งโหนดระหว่างต้นทางและปลายทางอาจจะต้องทำหน้าที่ในการช่วยรับข้อมูลแล้วส่งต่อแทนที่เพื่อส่งข้อมูลไปจนถึงปลายทาง



ภาพที่ 2.2 แสดงตัวอย่างกระบวนการทำงานของสวิตช์อินเทอร์เน็ต

2.1 เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจที่มีพื้นฐานมาจากโพรโทคอลสแต็ก

ถึงแม้ว่าเครือข่ายสวิตช์อินเทอร์เน็ตจะทำให้โหนดในสภาพแวดล้อมของเครือข่ายเฉพาะกิจที่มีการเชื่อมต่อที่ไม่สม่ำเสมอสามารถติดต่อสื่อสารกันได้ แต่อย่างไรก็ตามโหนดยังคงสามารถเคลื่อนที่และแลกเปลี่ยนข้อความกับ โหนดอื่น ๆ ได้ อย่างไรก็ตามโหนดทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อความจำนวนมากภายในระบบเครือข่าย ซึ่งส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานในด้านต่าง ๆ โดยปัญหาที่เกิดขึ้นจะถูกจำแนกได้ดังต่อไปนี้

1. เวลาในการรอคอยโหนดถัดไป (Contact Schedules) เมื่อโหนดได้รับข้อความ โหนดจะเก็บข้อความไว้จนกระทั่งสามารถส่งข้อความไปยัง โหนดถัดไป ซึ่งเวลาในการรอคอยดังกล่าวถูกเรียกว่า เวลาในการรอคอยโหนดถัดไป ทั้งนี้สำหรับโพรโทคอลสวิตช์อินเทอร์เน็ต เวลาในการรอคอยโหนดถัดไป ถือเป็นข้อจำกัดที่มีความท้าทายอย่างมาก เนื่องจากไม่สามารถคาดการณ์ได้ว่าเมื่อใดโหนดที่รับฝากข้อความจะพบโหนดถัดไป หรือควรจะส่งข้อความไปให้ โหนดใดเพื่อให้ข้อความถูกส่งต่ออย่างต่อเนื่อง จนถึงโหนดปลายทางเร็วที่สุด

2. ขนาดพื้นที่ของหน่วยความจำ (Buffer Space) เพื่อจัดการกับปัญหาการเชื่อมต่อที่ไม่ต่อเนื่อง โหนดจำเป็นต้องจัดเก็บข้อความไว้ในหน่วยความจำ เพื่อรอการส่งต่อไปยังโหนดถัดไปช่วงระยะเวลาหนึ่ง ดังนั้น โพรโทคอลดีทีเอ็นต้องจัดการให้โหนดมีพื้นที่เพียงพอสำหรับเก็บข้อความที่รอคอยการถูกส่งต่อไปยังโหนดถัดไป นอกจากนี้โพรโทคอลดีทีเอ็นยังต้องระมัดระวังในการส่งข้อความเนื่องจากโหนดถัดไปอาจมีพื้นที่ว่างไม่เพียงพอและทำให้ข้อความที่ส่งไปถูกปฏิเสธได้เช่นกัน
3. แหล่งพลังงาน (Energy) โหนดในเครือข่ายดีทีเอ็นมีพลังงานจำกัด โดยพลังงานนั้นจะถูกใช้ในระบบการแลกเปลี่ยนข้อความและเก็บรักษาข้อความในหน่วยความจำและประมวลผลตลอดเวลา ดังนั้นการลดจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความจึงมีความสำคัญต่อเครือข่ายดีทีเอ็นเพื่อลดการสูญเสียพลังงานโดยเปล่าประโยชน์และยืดอายุขัยเครือข่ายให้นานมากขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

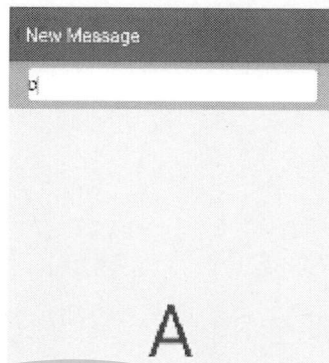
บทที่ 3

การทดสอบใช้งานแอปพลิเคชัน DTN-CHAT

แอปพลิเคชัน DTN-CHAT มีแนวคิดพื้นฐานการออกแบบจากโปรแกรมแชททั่วไปเพียงแต่แอปพลิเคชัน DTN-CHAT ไม่จำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีไวไฟ (WIFI) หรือเทคโนโลยีสามจี (3G) เป็นตัวกลางในการติดต่อสื่อสาร แต่จะใช้เทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจแบบ DTN เข้ามาแทนที่ ซึ่งการทำงานของเทคโนโลยีดังกล่าวได้มีการกล่าวถึงในบทที่ 2



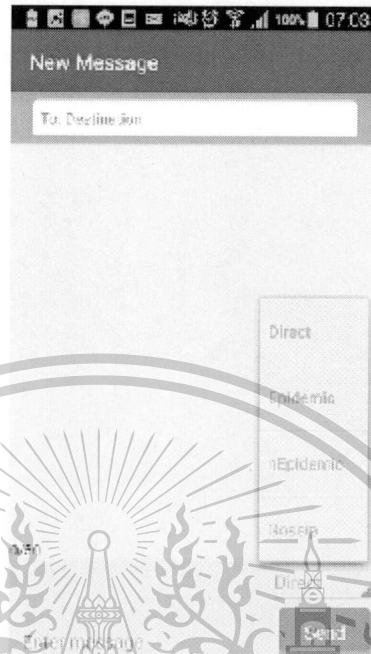
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพที่ 3.2 หน้าคํานําแสดงผลการเรียกใช้งานแอปพลิเคชัน DTN-CHAT ด้วย username “A”

จากภาพที่ 3.1 เมื่อผู้ใช้เปิดแอปพลิเคชัน DTN-CHAT ขึ้นมา ผู้ใช้จำเป็นต้องกรอก username เพื่อเริ่มใช้งานแอปพลิเคชัน ยกตัวอย่างเช่นถ้าผู้ใช้กรอกข้อความในช่อง username ด้วยตัวอักษร “A” แอปพลิเคชันจะแสดงผลดังเช่นภาพที่ 3.2 หลังจากผู้ใช้กรอก username เรียบร้อย ผู้ใช้สามารถเลือก โพรโทคอลที่จะใช้สำหรับการส่งข้อความได้จากเมนูในภาพที่ 3.3 โดยต้องระบุ username ของผู้รับให้ถูกต้องเพื่อให้การส่งข้อความสามารถทำได้อย่างถูกต้อง โดยอัตราความสำเร็จและรูปแบบของการส่งข้อความจะขึ้นอยู่กับโพรโทคอลที่ผู้ใช้กำหนด โดยวิธีการทำงานของโพรโทคอลที่ถูกทดสอบจะถูกกล่าวถึงในบทถัดไป

จากการทดสอบการใช้แอปพลิเคชันเบื้องต้นพบว่าแอปพลิเคชัน DTN-CHAT ยังไม่มีกลไกในการป้องกันความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากตัวผู้ใช้ ยกตัวอย่างเช่นในกรณีที่ใช้มากกว่า 1 คนกรอก username ซ้ำกัน ข้อความจะถูกส่งถึงปลายทางที่มี username เดียวกันทั้งหมด แต่อย่างไรก็ตามปัญหา ดังกล่าวเกิดขึ้นจากข้อจำกัดของเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ ทำให้กลายเป็นข้อจำกัดในการใช้งานแอปพลิเคชัน



ภาพที่ 3.3 หน้าต่างแสดงผลโทร โทคอลสำหรับเครือข่ายเฉพาะกิจแบบลัดเว็บ

นอกจากนี้แอปพลิเคชัน DIN-CHAT ยังมีข้อจำกัดด้านการส่งข้อความ โดยข้อความที่ส่งแต่ละครั้งจะมีความยาวได้ไม่เกิน 50 ตัวอักษร และผู้พัฒนาไม่แนะนำให้ส่งสติ๊กเกอร์ อีโมจิพิเศษ หรือ อีโมติคอนต่าง ๆ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการทดสอบเกิดความคลาดเคลื่อน

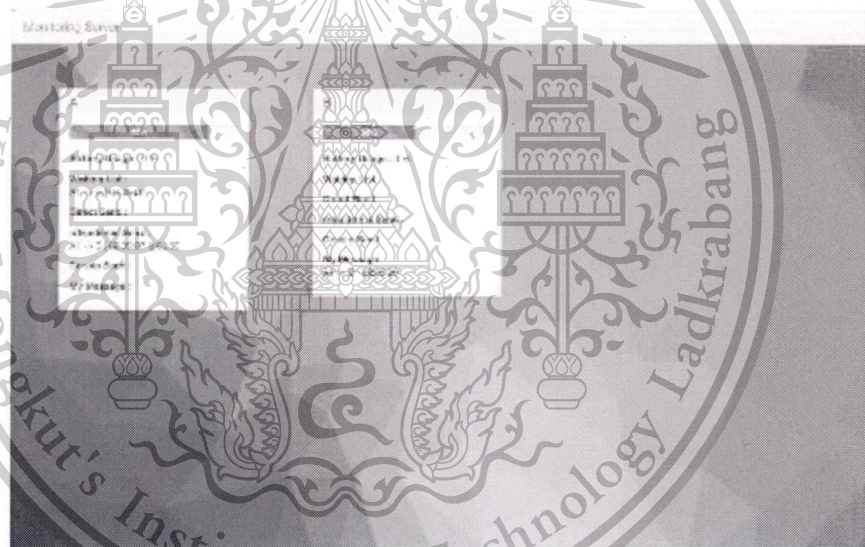
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดสอบเพื่อวัดประสิทธิภาพ

โดยพื้นฐานแล้วระบบเครือข่ายเฉพาะกิจแบบสติเอ็นบนสมาร์ตโฟนสำหรับการสื่อสารในสถานการณ์ภัยพิบัติจะมีองค์ประกอบทั้งหมด 3 ส่วนดังนี้

1. สมาร์ตโฟนที่ใช้งานระบบปฏิบัติการ Android 4.4 (KITKAT) หรือสูงขึ้นไป
2. แอปพลิเคชัน "DTN-CHAT"
3. ระบบมอนิเตอร์การส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย DTN ที่ถูกสร้างขึ้น มีลักษณะเป็นเว็บแอปพลิเคชันซึ่งมีข้อจำกัดในการใช้งานคือสมาร์ตโฟนทุกเครื่องจำเป็นต้องเชื่อมต่อเข้ากับอินเทอร์เน็ต ก่อน ระบบมอนิเตอร์จึงจะสามารถตรวจจับข้อมูลได้



ภาพที่ 4.1 หน้าต่างแสดงผลเว็บเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้ในการตรวจจับข้อความที่ถูกส่งผ่านแอปพลิเคชัน

DTN-CHAT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในเบื้องต้นก่อนเริ่มการทดสอบ ทางผู้ทดสอบได้ทำการติดตั้งแอปพลิเคชันลงบนอุปกรณ์สมาร์โฟน รวมไปถึงแท็บเล็ตมือถือต่างๆ และพบว่าสมาร์โฟนที่ใช้งานระบบปฏิบัติการ Android 5.0 เป็นต้นไปจะสามารถใช้งานแอปพลิเคชันได้ปกติ ในขณะที่สมาร์โฟนที่ใช้งานระบบปฏิบัติการ Android 4.4 บางรุ่นนั้นแอปพลิเคชันมีการทำงานผิดปกติ หรือบนสมาร์โฟนบางรุ่นแอปพลิเคชัน DTN-CHAT ก็ไม่สามารถใช้งานได้

4.1 การทดสอบความสามารถในการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายเฉพาะกิจแบบสี่ที่อินบนสมาร์โฟนสำหรับการสื่อสารให้สถานการณ์ภัยพิบัติ

เนื่องจากจุดประสงค์หลักของการทดสอบในครั้งนี้คือการทดสอบความสามารถของแอปพลิเคชัน “DTN-CHAT” ว่าสามารถทำงานในสภาวะแวดล้อมจริงได้หรือไม่ โดยมีข้อจำกัดในการห้ามให้สมาร์โฟนหรือแท็บเล็ตเชื่อมต่อที่ใช้ในการทดสอบเชื่อมต่อกับ WIFI หรือ 3G แต่ต้องสามารถส่งข้อความได้ถึงแม้ปลายทางจะอยู่นอกขอบเขตระยะการสื่อสารด้วยเทคโนโลยี WIFI ของสมาร์โฟนนั้น ๆ ดังนั้นผู้ทดสอบจึงออกแบบการทดลองและเชิญผู้เข้าร่วมทดสอบที่ใช้สมาร์โฟนหรือแท็บเล็ตจำนวนทั้งหมด 12 คน นำอุปกรณ์มาติดตั้งแอปพลิเคชัน และเริ่มทดสอบการส่งข้อมูลจากจุดเริ่มต้นมาถึงปลายทาง โดยมีแผนทำการทดสอบดังต่อไปนี้ 4.2 โดยรายชื่อผู้เข้าร่วมทดสอบมีดังต่อไปนี้

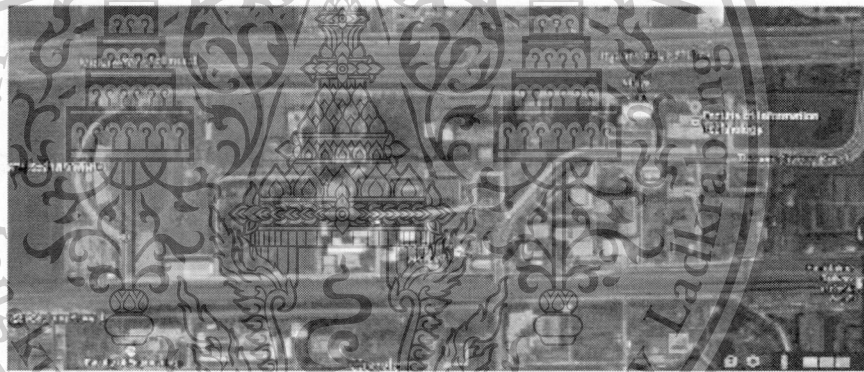
1. คุณ กิติพัฒน์ สาระเรืองพงศ์
2. คุณ มณฑล คงวิเศษ
3. คุณ นีรชามแก่นสม
4. คุณ มณฑุทัย สกฟ้า
5. คุณ ปวีรศ สุนทรประทุม
6. คุณ เบญญา รุ่งศรีสุทธีวงศ์
7. คุณ นมทกักร เสียงเสนาะ
8. คุณ ชัยภูมิ ศิริพันธ์พรชนะ
9. คุณ ชนวีร์ ชวาลธาดา

โครงการวิจัยเครือข่ายเฉพาะกิจแบบสี่ที่อินบนสมาร์โฟนดำเนินการสื่อสารในสถานการณ์ภัยพิบัติ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ จสจ.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. คุณ ชาริฟ หวังภักดี
11. คุณ หาญวรินทร์ เครือจิราวุธ
12. คุณ พุทธิพงษ์ เล็กขาว

เมื่อเริ่มการทดสอบ สมาร์ทโฟนทุกเครื่องจะถูกตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่ได้เปิดใช้งานเทคโนโลยี 3G หรือเชื่อมต่อกับสัญญาณ WiFi ใด ๆ จากนั้นสมาร์ทโฟนเครื่องแรกจะเริ่มกระจายข้อมูลจากสถานีวิทยุประจำสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยมีสมาร์ทโฟนปลายทางอยู่ที่คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ ในการทดสอบนี้สมาร์ทโฟนและแท็บเล็ตที่เข้าร่วมทดสอบทั้งหมดจะถูกลงแอปพลิเคชัน "DTN-CHAT" และเปิดใช้งานโพรโทคอล "Epidemic" ตลอดระยะเวลาการทดสอบ จากนั้นผู้เข้าร่วมทดสอบจะแยกย้ายและกระจายตำแหน่งอยู่ระหว่างทางโดยผู้ร่วมทดสอบจะใช้พาหนะแตกต่างกันเพื่อจำลองสถานการณ์โดยระยะทางรวมระหว่างต้นทางไปจนถึงปลายทางนั้นมีค่าโดยรวมประมาณ 1.5 กิโลเมตร ภายใต้พื้นที่การทดสอบทั้งหมดประมาณ 1 ตารางกิโลเมตร รายละเอียดการทดสอบอื่น ๆ สามารถตรวจสอบได้จากคลิปวิดีโอที่แนบมากับเอกสารฉบับนี้



ภาพที่ 4.2 เส้นทางการทดสอบความสามารถในการเชื่อมต่อของแอปพลิเคชัน DTN-CHAT

หลังจากการทดสอบเสร็จสิ้น ผู้ทดสอบพบว่าข้อความที่ถูกส่งจากต้นทางนั้นสามารถถูกส่งมาถึงปลายทางได้อย่างไร้ที่ติในระหว่างการทดสอบ ผู้ทดสอบพบว่าเมื่อผู้ร่วมทดสอบอยู่ในพื้นที่ที่มีผู้คนพลุกพล่านหรืออยู่ในพื้นที่อับสัญญาณ เช่นบริเวณใต้ต้นไม้หรือถูกบดบังสัญญาณจากสิ่งกีดขวาง

เช่นคำแพง แอปพลิเคชัน DTN-CHAT จะเกิดปัญหาการส่งข้อมูลล่าช้า แต่ไม่ส่งผลร้ายแรงจนทำให้การทดลองหยุดชะงัก

4.2 การทดสอบความสามารถของโพรโทคอลบนระบบเครือข่ายเฉพาะกิจแบบลิทีร์เอ็นบนสมาร์ตโฟนสำหรับการสื่อสารในสถานการณ์ภัยพิบัติเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ

ในส่วนของกรทดสอบถัดไป ทางผู้ทดสอบจะเปรียบเทียบความสามารถในการทำงานของโพรโทคอลที่อุทกบัณฑิตไว้บนแอปพลิเคชัน “DTN-CHAT” ซึ่งมีรายละเอียดของโพรโทคอลดังต่อไปนี้

4.2.1 โพรโทคอล Direct Contact

โพรโทคอล Direct Contact มีหลักการการทำงานพื้นฐานคือ โหนดต้นทางจะส่งข้อมูลให้โหนดปลายทางได้ก็ต่อเมื่อ โหนดทั้ง 2 อยู่ในระยะสัญญาณของกันและกันเท่านั้น ซึ่งเปรียบเสมือนกับการทำงานของ WIFI-DIRECT

4.2.2 โพรโทคอล Epidemic

โพรโทคอล Epidemic จะสามารถแพร่กระจายและส่งต่อข้อความที่ได้รับมาจากสมาร์ตโฟนหนึ่งไปยังอีกเครื่องหนึ่งได้ ในกรณีที่โหนดที่ได้รับข้อความไม่ใช้โหนดปลายทาง โหนดดังกล่าวจะทำหน้าที่ส่งข้อความต่อไปเรื่อย ๆ เพื่อเพิ่มโอกาสที่ข้อความจะถูกส่งต่อไปถึงปลายทาง

โดยพื้นที่การทดสอบนั้นใช้บริเวณอาคารของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ จากการทดสอบเบื้องต้นผู้ทดสอบได้ทดสอบระยะสัญญาณของสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตที่ใช้ในการทดสอบ และพบว่าโดยทั่วไปความแรงสัญญาณของสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ตที่ใช้ นั้นจะไม่สามารถส่งข้อความในแนวตั้งได้เกิน 2 ชั้น ยกตัวอย่างเช่น สมาร์ตโฟนที่ทำงานอยู่ในชั้นที่ 1 จะสามารถส่งข้อความไปที่สมาร์ตโฟนที่อยู่ชั้นที่ 2 ของตึกได้โดยตรง แต่สัญญาณจะไม่ทะลุไปถึงชั้นที่ 3

ดังนั้นเพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่สามารถทดสอบความแตกต่างของทั้งสองโพรโทคอลได้ ทางผู้ทดสอบจึงวางตำแหน่งของผู้ร่วมทดสอบไว้ที่ชั้น 1, 3 และ 5 ตามลำดับ โดยในแต่ละชั้นจะมีผู้ร่วมทดสอบทั้งหมด 4 คน ผู้ร่วมทดสอบจะใช้เวลาในการทดสอบแต่ละรอบ รอบละ 25 นาที โดยผู้ร่วม

ทดสอบจะทำการส่งข้อความทั้งหมด 15 ข้อความ ไปยังปลายทางแบบสุ่มซึ่งถูกกำหนดด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตั้งแต่ A ไปจนถึง L โดยผู้ร่วมทดสอบมีเวลาในการส่งข้อความทั้งหมด 10 นาที หลังจากนั้นผู้ที่ทดสอบจะหยุดส่งข้อความ และตลอดระยะเวลาการทดสอบ ผู้ร่วมทดสอบจะเคลื่อนที่ตลอดเวลาแบบสุ่ม และสามารถเปลี่ยนชั้นที่ตัวเองอยู่ได้อย่างอิสระแต่ห้ามเดินออกนอกพื้นที่อาคาร เพื่อเพิ่มโอกาสให้ทั้ง 2 โพรโทคอลสามารถส่งข้อมูลไปยังปลายทางได้

ในส่วนของ การเก็บข้อมูลต่าง ๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ โพรโทคอล ผู้ทดสอบได้ใช้โปรแกรม “Wireshark” เข้ามาช่วยในการตรวจจับข้อมูลที่ถูกส่งออกมาจากสมาร์ตโฟน โดยผู้ทดสอบได้วางไม้คูปกที่ติดตั้งโปรแกรมดังกล่าวไว้บริเวณโถงทางเข้าคณะที่ชั้น 1

เมื่อการทดสอบครั้งแรกเริ่มต้นคือ ทางผู้ทดสอบได้พบปัญหาแอปพลิเคชัน DTN-CHAT ปิดการทำงานของตัวเองลงแบบอัตโนมัติ รวมทั้งเกิดปัญหาแอปพลิเคชันค้าง ไม่สามารถกดปุ่มใด ๆ ได้ ทางผู้ทดสอบเลยสร้างการทดสอบขนาดย่อยเพื่อวิเคราะห์ปัญหาที่เกิดขึ้นและพบว่า ในบางกรณีสมาร์ตโฟนได้รับข้อความจากโหนดรอบข้างหลายโหนดพร้อม ๆ กันภายใต้โพรโทคอล Epidemic ประกอบกับแอปพลิเคชัน DTN-CHAT จะทำการกระจายข้อความซ้ำทุก ๆ 1 วินาทีส่งผลให้หน้าจอแสดงผลของแอปพลิเคชันไม่สามารถทำงานได้ทัน จนทำให้เกิดอาการค้างและหยุดการทำงานของโหนดอัตโนมัติ

ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวผู้พัฒนาแอปพลิเคชันได้ทำการปิดฟังก์ชัน ในส่วนของการแจ้งเตือนข้อความที่ได้รับ เพื่อลดภาระของการแสดงผล ก่อนเริ่มทำการทดสอบต่อไป

แต่ถึงแม้ว่าจะปิดการทำงานของระบบแจ้งเตือนไปแล้ว แอปพลิเคชันยังคงแสดงอาการปิดตัวเองลงโดยอัตโนมัติบ้างในบางครั้ง โดยทางผู้พัฒนาแอปพลิเคชันยืนยันว่า ข้อมูลที่ถูกบันทึกไว้ในตัวสมาร์ตโฟนจะไม่หายไปสิ่งแม้แอปพลิเคชันจะปิดตัวเองลงในระหว่างการทดสอบ และการทดสอบสามารถดำเนินการต่อได้ด้วยการเปิดแอปพลิเคชันขึ้นมาใหม่อีกครั้ง

โดยสรุปผู้ทดสอบใช้ระยะเวลาในการทดสอบและถ่ายทำคลิปวิดีโอทั้งสิ้นเป็นเวลา 1 วัน โดยมีการทดสอบในหัวข้อที่ 4.1 ทั้งหมด 2 ครั้งเพื่อใช้ประเมินความสามารถในการส่งข้อความของแอปพลิเคชัน ในส่วนการทดสอบในหัวข้อที่ 4.2 มีการทดสอบจำนวนมากภายใต้ระยะเวลาที่กล่าวไป

ข้างต้น เนื่องจากในบางรอบของการทดสอบเกิดปัญหาขึ้นจึงจำเป็นต้องหยุดการทดสอบเพื่อแก้ไข
 ปัญหาเบื้องต้นและเริ่มทดสอบใหม่อีกครั้งหนึ่ง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของการวัดผลเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของโพรโทคอล ผู้ทดสอบได้เก็บบันทึกปริมาณข้อความที่สามารถส่งมาถึงปลายทางจากบันทึกการสนทนาของสมาร์ตโฟนโดยตรงดังภาพที่ 4.3 และนำมาประมวลผลพร้อมกับข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม “Wireshark” โดยผลลัพธ์การทดสอบเป็นดังต่อไปนี้

จากตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าโพรโทคอล Epidemic สามารถส่งข้อมูลไปจนถึงปลายทางได้มีประสิทธิภาพมากกว่าโพรโทคอลแบบ Direct Contact เนื่องจากโพรโทคอลแบบ Epidemic ใช้สมาร์ตโฟนที่อยู่ใกล้เคียงเป็นตัวกลางในการช่วยคัดลอกและกระจายข้อมูล ในขณะที่โพรโทคอล Direct Contact จำเป็นต้องส่งข้อมูลไปยังปลายทางโดยตรงเท่านั้น ทำให้อัตราสำเร็จในการส่งข้อมูลของโพรโทคอล Direct Contact น้อยกว่าโพรโทคอล Epidemic แต่ในส่วนของโพรโทคอล Epidemic จะส่งผลให้สมาร์ตโฟนมีความคิดผลระหว่างการทดสอบบ่อยครั้งเนื่องจากการส่งและรับข้อมูลจำนวนมากระหว่างการใช้งานโพรโทคอลดังกล่าว

	ค่าความหน่วงเวลาจากต้นทางไปยังปลายทางของโพรโทคอล Epidemic (วินาที)
ค่าเฉลี่ย	86.2040
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	55.8592

ตารางที่ 4.2 ค่าความหน่วงเวลาจากต้นทางไปยังปลายทางของโพรโทคอล Epidemic

ตารางที่ 4.2 แสดงถึงค่าความหน่วงเวลานับจากโหนดต้นทางส่งข้อความ ไปจนกระทั่งไปถึงโหนดปลายทาง เนื่องจากโพรโทคอล Epidemic จะฝากส่งข้อความไปเรื่อย ๆ ตามกลไกการทำงาน ทำให้ค่าความหน่วงเวลาจะขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของแต่ละโหนดในระบบเครือข่ายที่เกิดขึ้นแบบสุ่ม และปริมาณข้อความที่ถูกกระจายออกไป แตกต่างจากโพรโทคอล Direct Contact ที่ความหน่วงเวลาจะขึ้นอยู่กับการเคลื่อนที่ของโหนดต้นทางและปลายทางว่าจะเดินทางมาเจอกันหรือไม่ ดังนั้นผู้ทดสอบจึงแสดงผลค่าความหน่วงเวลาเฉพาะโพรโทคอล Epidemic

อีกหนึ่งตัวชี้วัดที่แสดงถึงประสิทธิภาพของโพรโทคอลบนระบบเครือข่ายที่มีความคงทนต่อความหน่วงคืออัตราการส่งข้อมูลโดยรวมของระบบ โพรโทคอลที่มีประสิทธิภาพจะมีอัตราสำเร็จในการส่งข้อความไปยังปลายทางสูงในขณะที่มีการกระจายข้อมูลในระบบเครือข่ายต่ำ ตารางที่ 4.3 แสดงถึงอัตราการส่งข้อมูลโดยรวมของระบบของโพรโทคอล Direct Contact และ Epidemic

	อัตราการส่งข้อมูลโดยรวม บนเครือข่ายต่อวินาที
โพรโทคอล Direct Contact	29.5343
โพรโทคอล Epidemic	46.8954

ตารางที่ 4.3 อัตราการส่งข้อมูลเปรียบเทียบระหว่างโพรโทคอล Direct Contact และ Epidemic

ในการทดสอบโพรโทคอล Direct Contact สมาร์ทโฟนทั้งหมดมีการส่งข้อมูลออกมา 34,614 ข้อความ ภายในระยะเวลา 875 วินาที ในส่วนโพรโทคอล Epidemic สมาร์ทโฟนทั้งหมดมีการส่งข้อมูลออกมา 60,880 ข้อความ ภายในระยะเวลา 1,298 วินาที

สาเหตุที่เวลาการทดสอบของทั้งสองโพรโทคอลไม่เท่ากันเนื่องจากในขณะที่ทำการทดสอบโพรโทคอล Direct Contact โปรแกรม "Wireshark" มีการทำงานผิดปกติในขณะที่ตรวจจับข้อมูล ทำให้ต้องเริ่มการจับข้อมูลใหม่ แต่จากผลที่ออกมาซึ่งสรุปได้ว่าถึงแม้โพรโทคอล Epidemic จะมีอัตราความสำเร็จในการส่งข้อความที่สูงแต่ก็ต้องแลกมาด้วยอัตราการส่งข้อมูลที่ลดลงตามไปด้วยเช่นกัน

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบ

ในปัจจุบันแอปพลิเคชัน DTN-CHAT สามารถส่งข้อความจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางได้ผ่านระบบเครือข่ายไร้สายแบบสวิตช์อินแบนด์สำเร็จ แต่อย่างไรก็ตามตัวโปรแกรมยังคงพบปัญหาและมีข้อจำกัดด้านการทำงานอยู่หลายจุด เช่นการปิดโปรแกรมด้วยตนเองอยู่บ่อยครั้ง เกิดความล่าช้าในการส่งข้อมูลโดยไม่ทราบสาเหตุ ไม่สามารถส่งแอปพลิเคชันได้ในสมาร์ตโฟนหรือแท็บเล็ตในบางรุ่น รวมไปถึงหน้าจอการแสดงผลที่ไม่สามารถประมวลข้อมูลได้เมื่อมีจำนวนการแลกเปลี่ยนข้อความผ่านสมาร์ตโฟนในปริมาณมาก

ในส่วนของการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของ โพรโทคอลนั้น ผลการทดสอบมีแนวโน้มไปในทางเดียวกับการทดสอบผ่านโปรแกรมจำลองเหตุการณ์จึงหมายความว่า การทดสอบโพรโทคอลผ่านแอปพลิเคชัน DTN-CHAT มีความเที่ยงตรงน่าเชื่อถือ เมื่อมองข้ามปัจจัยความล้มเหลวต่าง ๆ ที่ค้ำขวามาต่อหน้า และเนื่องจากอุปกรณ์ในการทดสอบไม่เชื่ออำนาจทำให้ผู้ทดสอบไม่สามารถทดสอบอัตราการใช้พลังงานหรือตัวชี้วัดประสิทธิภาพอื่น ๆ ได้

แต่อย่างไรก็ตามงานวิจัยชิ้นนี้สามารถนำไปต่อยอดเพื่อใช้ทดสอบโพรโทคอลต่าง ๆ ในระบบเครือข่ายไร้สายแบบสวิตช์อินแบนด์ และอาจจะนำแอปพลิเคชัน DTN-CHAT ไปดัดแปลงเพื่อใช้ทดสอบเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจในรูปแบบอื่น ๆ ได้เช่นกัน ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในแวดวงงานวิจัยต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลงานเผยแพร่ใน

งานประชุมทางวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 7

The 7th National Conference on Information Technology (NCIT 2015)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกลไกหาเส้นทางแบบเอพิเดมิคในเครือข่ายดีทีเอ็น

วราวัชร วัฒนสุวรรณ, กฤษณ์พันธ์ เต็มดวงจันทร์, อธิพงษ์ ไชยสิทธิ์, อรุณกมล ธรรมโชติ และ ชุมนพร ประภาวัต

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร
Emails: Worawast@gmail.com, remanition@icloud.com, TeerapongC@outlook.com, arunkamon106@gmail.com, sumnab@it.lkmit.ac.th

บทคัดย่อ

เครือข่ายดีทีเอ็น เป็นเครือข่ายเฉพาะกิจที่ถูกสร้างขึ้นในทางวิจัยอย่างแพร่หลาย ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความสำเร็จในการส่งข้อความไปยังปลายทางให้มากที่สุด ซึ่งทำให้เกิดความคับคั่งบนเครือข่ายและสูญเสียพลังงานของโหนดจำนวนมากอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาทฤษฎีการส่งข้อความเพื่อลดปัญหาดังกล่าว แต่เนื่องจากขั้นตอนของทฤษฎีทดสอบสมรรถภาพแวดล้อมและวัดประสิทธิภาพด้วยวิธีที่แตกต่างกัน ทำให้การเปรียบเทียบความสามารถเป็นไปได้ยาก ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้ ผู้เขียนเสนอวิธีการวัดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโหนดและรวบรวมทฤษฎีการส่งข้อความที่นำเสนอไปมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของสมรรถภาพของเครือข่ายเดียวกัน เพื่อเป็นข้อมูลให้แก่การวิจัยอื่นในการพัฒนาเครือข่ายส่งข้อความวิจัยทางด้านเครือข่ายเฉพาะกิจต่อไป

คำสำคัญ— เครือข่ายดีทีเอ็น; ประสิทธิภาพการส่งพลังงาน; เอพิเดมิค

1. บทนำ

เครือข่ายเฉพาะกิจ (Ad Hoc Network) คือเครือข่ายการสื่อสารไร้สาย ที่โหนดในเครือข่ายสามารถเคลื่อนที่โดยอิสระ โดยไม่พึ่งพึงพินิจโครงสร้างพื้นฐาน ทำให้มีประโยชน์อย่างมากในเหตุการณ์ภัยพิบัติซึ่งโครงสร้างพื้นฐานไม่สามารถใช้งานได้ ปัจจุบันเครือข่ายเฉพาะกิจแบ่งออกเป็น เครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่ (Mobile Ad Hoc Network) และเครือข่ายที่มีความทนต่อความหน่วง (Delay-Tolerant Network : DTN)

ในงานวิจัยฉบับนี้ผู้เขียนได้ให้ทราบนโยบายกับเครือข่ายดีทีเอ็น [1] ที่ถูกออกแบบสำหรับการสื่อสารของอุปกรณ์ไร้สาย ที่มีเคลื่อนย้ายตำแหน่งตลอดเวลา และมีพลังงานในตัวจำกัด ทำให้เห็นแนวทางโหนดค้นหาไปยังโหนดปลายทาง (End-to-End Connection) ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ หรือเกิดขึ้นได้ยาก กลไกการส่งข้อความแบบเครือข่ายดีทีเอ็น อาศัยการเก็บและส่งข้อความไปยังโหนดต่างๆ บนเครือข่ายให้มากที่สุด เพื่อเพิ่มความสำเร็จในการส่งข้อความให้ถึงปลายทางส่งผลให้เครือข่ายมีความคับคั่งซึ่งปริมาณข้อความ และสูญเสีย

พลังงานของโหนดจำนวนมากอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ในปัจจุบันได้มีการวิจัยพัฒนาทฤษฎีในการส่งข้อความบนเครือข่ายดีทีเอ็น [2] เพื่อช่วยลดปัญหาข้างต้น ในงานวิจัยฉบับนี้ เราให้ความสนใจกลไกการส่งข้อความแบบเอพิเดมิค เนื่องจากเป็นทฤษฎีที่ไม่จำเป็นต้องใช้โหนดที่มีเทคโนโลยีพิเศษเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อประมวลผลก่อนการส่งข้อความ ตัวอย่างกลไกหาเส้นทางแบบเอพิเดมิค ได้แก่ Epidemic routing, Spray and Wait, n-Epidemic และ Anti Entropy เป็นต้น อย่างไรก็ตามทฤษฎีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกลไกหาเส้นทางนั้น เป็นไปได้อย่างเพราะกลไกหาเส้นทางนั้นถูกทดสอบบนสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน นอกจากนี้การพิจารณาเพียงแต่ปริมาณการแลกเปลี่ยนข้อความ ไม่สามารถบอกถึงประสิทธิภาพที่มีถึงงานของโหนดได้โดยตรง เพราะการทดสอบของปริมาณการแลกเปลี่ยนข้อความ ส่งผลตามข้อดีข้อเสียในการส่งข้อความให้สำเร็จ ดังนั้นงานวิจัยฉบับนี้ให้รวบรวมทฤษฎีแบบเอพิเดมิค ซึ่งในที่นี้ให้ที่ Epidemic routing, Spray and Wait, n-Epidemic และ Anti Entropy มาวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการส่งข้อความ บนสภาพแวดล้อมเดียวกัน โดยเปรียบเทียบผล 2 ด้านด้วยกัน คือ การวิจัยพลังงานในการส่งข้อความ โอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จ นอกจากนี้ได้เสนอวิธีการวัดประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโหนด เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่าของพลังงานที่เสียไปต่อความสำเร็จในการส่งข้อความ

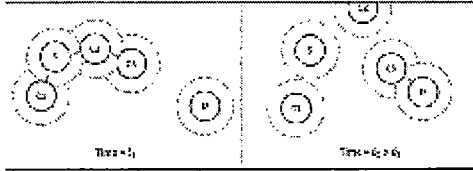
2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กลไกการส่งข้อความแบบเอพิเดมิค (Epidemic) [3][4] เป็นกลไกการส่งข้อความของเครือข่ายดีทีเอ็นที่ถูกเสนอขึ้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1987 เอพิเดมิคมีความหมายว่า แพร่กระจาย ซึ่งมาจากทฤษฎีการแพร่กระจายของโรคติดเชื้อของมนุษย์ เนื่องจากลักษณะการส่งข้อความแบบเอพิเดมิค โหนดจะคัดลอกข้อความและส่งต่อไปยังโหนดรอบข้างไปเรื่อยๆ ซึ่งในปัจจุบันมีทฤษฎีที่น่าสนใจหลายตัวด้วยกัน แต่ในทราบนโยบายที่สนใจกลไกหาเส้นทาง 4 ตัวคือ

2.1 Epidemic Routing

ทฤษฎีการส่งข้อความแบบ Epidemic routing [4] เป็นทฤษฎีที่อนุญาตให้โหนดคัดลอกข้อความที่เจอแล้วและส่งต่อข้อความให้เพื่อนบ้าน

(Synchronize) แลกเปลี่ยนกันหรือ รุณถึงโหนดปลายทาง อธิบายได้ดังรูปที่ 1



จากรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่า ที่เวลา t_1 โหนด S หรือโหนดส่งข้อความไปยังโหนด D ได้ โหนด S จึงส่งข้อความต่อไปยังโหนด C1 และ C2 ขณะเดียวกันที่โหนด C3 อยู่ในรัศมีการส่งของโหนด C2 จึงได้รับข้อความด้วย และเมื่อเวลา $t_2 = t_1 + \Delta t$ มีภาพเคลื่อนไหวที่โหนด C3 ส่งข้อความให้โหนด D และยังคงข้อความที่ไปโหนด D ซึ่งเป็นโหนดปลายทางสำเร็จ

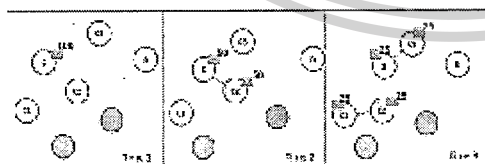
2.2 Spray and Wait

กลยุทธ์การส่งข้อความแบบ Spray and Wait [5] [6] พัฒนาขึ้นเพื่อลดจำนวนครั้งในการแลกเปลี่ยนข้อความของเครือข่าย โดยมีการกำหนดจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความ หรือแพร่กระจายข้อความที่จำกัดให้มีออกเป็น 2 เฟส คือ

Spray Phase เป็นเฟสที่โหนดต้นทางส่งข้อความจำนวน n ข้อความ ไปยังโหนดรอบข้างที่แตกต่างกัน โดยโหนดต้นทางแบ่งตัวเป็น การส่งข้อความให้เพียงครั้งเดียว ทำให้โหนดรอบข้างไม่มีสิทธิ์ในการคัดลอกข้อความและส่งข้อความได้ ซึ่งโหนดต้นทางจะส่งข้อความเรื่อยจนกว่า จำนวนครั้งในการส่งข้อความมีค่าเท่ากับ 1 จากนั้นจะเข้าสู่เฟสที่สอง

Wait Phase เป็นเฟสที่โหนดต้นทางและโหนดตัวกลางที่ได้รับข้อความจะรอจนกว่าโหนดปลายทางและยังข้อความให้โหนดปลายทางโดยตรง

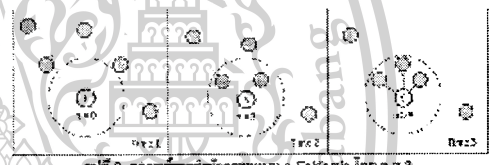
จากการส่งข้อความแบบข้างต้นจะเห็นว่า โหนดที่ทำหน้าที่ในการส่งข้อความมีเพียงโหนดต้นทางโหนดเดียว ซึ่งทำให้โหนดต้นทางมีภาระในการทำงานหนัก และนอกจากนั้นยังทำให้ความเร็วในการแพร่กระจายข้อความน้อย จึงมีการพัฒนา Binary Spray and Wait strategy ขึ้น เพื่อให้โหนดเพื่อนบ้านมีส่วนร่วมในการทำงาน โดยอธิบายขั้นตอนการทำงานของงานตามรูปที่ 2



จากรูปที่ 2 ที่เวลา Time 1 โหนด S ต้องการส่งข้อความไปหาโหนด D ซึ่งเป็นโหนดปลายทางที่อยู่ไกลออกไป โดยตนมีโหนด S มีจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความเท่ากับ 100 เมื่อเวลาผ่านไป Time 2 โหนด S พบโหนด C2 จึงส่งข้อความพร้อมกับแบ่งจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความออกเป็น 2 ส่วนให้กับ C2 ด้วย ซึ่งทำให้โหนด S และโหนด C2 มีจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความเป็น 50 ครั้ง และต่อมาเมื่อเวลา Time 3 โหนด S พบโหนด C5 และ โหนด C2 พบโหนด C1 จำนวนครั้งการคัดลอกข้อความของแต่ละโหนดก็ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนอีกครั้ง หรือเท่ากับ 25 ครั้ง โหนดจะทำงานเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกว่าโหนดนั้นจะมีจำนวนครั้งในการคัดลอกข้อความเท่ากับ 1 จากนั้นจะเข้าสู่สถานะ Wait

2.3 n-Epidemic

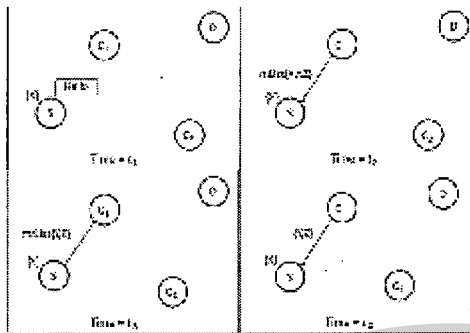
จากการส่งแบบ Epidemic routing ในเครือข่ายเคลื่อนที่ ซึ่งแอปพลิเคชันจากดร. บรอดแคส (Broadcase) ของอุปกรณ์ไร้สายมาใช้ โดยโหนดจะส่งข้อความทุกครั้งที่ได้รับกับโหนดอื่น ซึ่งการส่งทุกครั้งนี้ทำให้โหนดเสียพลังงานมาก และทำให้การส่งข้อความไม่สำเร็จ เพราะโหนดที่ส่งข้อความพลังงานหมดก่อน (n-Epidemic) จึงเสนอแนวคิดให้โหนดส่งตามยาวลดส่งข้อความได้ ก็คือเมื่อมีจำนวนโหนดรอบข้างเท่ากับ n โหนด อธิบายขั้นตอนการทำงานของงานได้ตามรูปที่ 3



จากรูปที่ 3 สามารถให้ค่า n เท่ากับ 3 ที่เวลา Time 1 โหนด S ต้องการส่งข้อความ แต่ยังไม่มีการส่งข้อความใดๆ เนื่องจากไม่มีโหนดเพื่อนบ้าน ($n=0$) โหนด S จึงเก็บข้อความไว้ ต่อมาที่เวลา Time 2 พบว่ามีโหนดเพื่อนบ้านเท่ากับ 2 ($n=2$) แต่ยังไม่ถึง 3 จึงเก็บข้อความไว้ต่อ จนกระทั่งเวลา Time 3 โหนด S มีโหนดเพื่อนบ้านมากกว่าเท่ากับ 3 ($n \geq 3$) โหนด S จึงส่งข้อความ

2.4 Anti Entropy

ปกติใน Epidemic routing โหนดจะส่งข้อความทั้งหมด เนื่องจากไม่ทราบว่าโหนดที่ติดต่อด้วยต้องการข้อความอะไรบ้าง ทำให้เกิดการทับซ้อนปริมาณข้อความ ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาจากกลยุทธ์การส่งข้อความแบบ Anti Entropy [7] ซึ่งเป็นกลยุทธ์ที่อนุญาตให้โหนดส่งข้อความเฉพาะที่โหนดที่ติดต่อด้วยต้องการเท่านั้น โดยโหนดจะแลกเปลี่ยนรายชื่อข้อความที่ตนมี ก่อนการส่งข้อความจริง ทำให้สามารถร้องขอเฉพาะข้อความที่ตนต้องการได้ และส่งผลให้จำนวนข้อความที่ส่งในแต่ละครั้งลดน้อยลงมาก

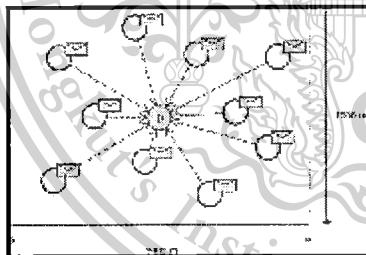


รูปที่ 4. ทฤษฎีการส่งข้อความแบบ Anti Entropy

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 จะส่งรายชื่อข้อความที่ตนต้องการ (mList(Y,Z)) กลับไปให้โหนด C_1 จากนั้นเวลา t_4 โหนด C_3 จึงจะส่งข้อความ (Y,Z) กลับไปให้โหนด S

3. ขั้นตอนการดำเนินการในวงเว็บบ์

ในภาพทดลองนี้ผู้เขียนได้จำลองการทำงานของกลไกการส่งข้อความผ่านโปรแกรมจำลอง OMNET++ โดยเปรียบเทียบกลไกทั้งหมด 4 ตัวด้วยกันคือ Epidemic routing, Anti Entropy, n-Epidemic และ Binary Spray and Wait โดยมีภาพขนาดต่อของเหตุการณ์จำลองแต่ละตัวเป็นตัวอย่างที่กำหนดในการทดลอง ดังรูปที่ 5 และ ตารางที่ 1



รูปที่ 5. ภาพขนาดต่อของเหตุการณ์จำลอง

ตารางที่ 1. ตัวแปรต่างๆที่กำหนดในการทดลอง

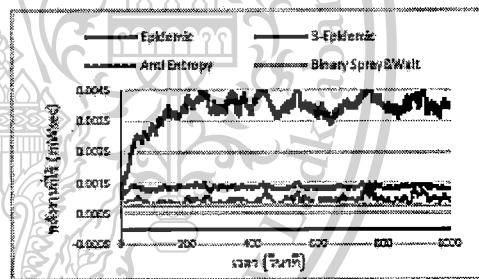
ขนาดของเครือข่าย	1000 เมตร x 1000 เมตร
จำนวนโหนด	10,50,100
รัศมีการสื่อสาร	100 เมตร
รูปแบบการเคลื่อนที่	สุ่มทิศทาง
ความเร็วของโหนด	0-20 เมตร/วินาที
ขนาดข้อความ	1 กิโลบิต

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

4. ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองการเปรียบเทียบกลไกการส่งข้อความแบบเอพิเดมิค โดยเปรียบเทียบทั้งหมด 3 ส่วนด้วยกัน คือ การใช้พลังงานในการส่งข้อความ โลกภาพในการส่งข้อความให้สำเร็จ และประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

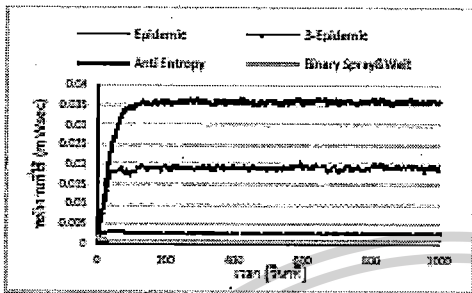
4.1. ภาพแสดงการใช้พลังงาน กับเวลา



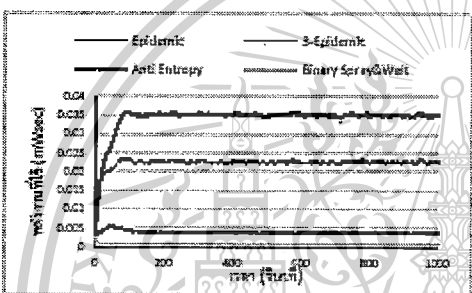
รูปที่ 6. ภาพที่กาใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 10

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

ทำให้จำนวนครั้งในการส่งข้อความของแต่ละโหนดมีจำนวนที่ต่ำลง
ปริมาณที่อิงค่าลูคมีจึงเทียบกับทฤษฎีการส่งข้อความอื่นๆ



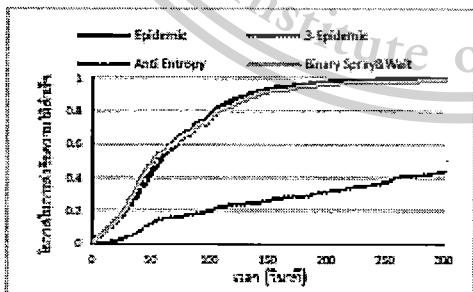
รูปที่ 7. กราฟการส่งข้อความของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 50



รูปที่ 8. กราฟการส่งข้อความของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 100

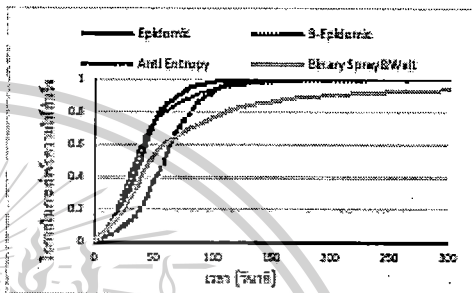
รูปที่ 7 และ รูปที่ 8 แสดงกราฟการให้พลังงานของเครือข่ายที่มีโหนดเป็น 50 และ 100 โหนดตามลำดับ จะสังเกตเห็นว่า ทฤษฎีที่มีการใช้พลังงานและสูงที่สุดยังคงเป็น Epidemic routing และทฤษฎีที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุดคือ Binary Spray and Wait แต่มีการเปลี่ยนแปลงจากรูปที่ 6 คือ ผลสัมฤทธิ์ของพลังงานของ 3-Epidemic มีการใช้พลังงานสูงกว่า Anti Entropy เพราะโหนดมีโอกาสในการส่งข้อความมากกว่าเดิม เนื่องจากจำนวนโหนดบนเครือข่ายมีมากขึ้น

4.2 กราฟแสดงโอกาสการส่งข้อความสำเร็จกับเวลา



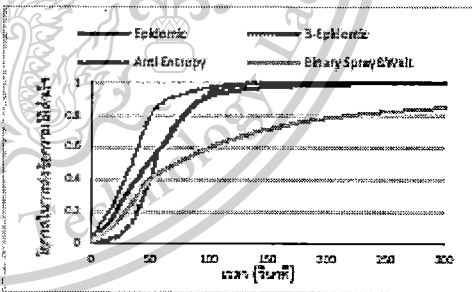
รูปที่ 9. กราฟโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 10

รูปที่ 9 กราฟแสดงโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 10 จะเห็นว่าทฤษฎีการส่งข้อความแบบ Epidemic routing, Anti Entropy และ Binary Spray and Wait มีโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จสูง ในขณะที่ 3-Epidemic มีโอกาสต่ำสุด เมื่อเวลาผ่านไป 300 วินาที ก็ยังมีส่งข้อความไม่สำเร็จ เนื่องจากจำนวนโหนดในเครือข่ายที่มีค่อนข้างน้อย ทำให้โอกาสที่จะพบจำนวนโหนดเพื่อนบ้านที่นำพาพจนศน้อยไปด้วย



รูปที่ 10. กราฟโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 50

รูปที่ 10 กราฟแสดงโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 50 จะเห็นว่า Epidemic routing มีโอกาสในการส่งข้อความสำเร็จสูงที่สุด รองลงมาเป็น Anti Entropy และจากรูปนี้จะสังเกตเห็นได้ว่า 3-Epidemic มีโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จเพิ่มขึ้นโดยส่งสำเร็จในเวลาประมาณ 140 วินาที เนื่องจากจำนวนโหนดในเครือข่ายเพิ่มขึ้น โอกาสที่โหนดรอบข้างมีจำนวนมากขึ้นที่พาพจนศน้อยลงด้วย ในขณะที่ Binary Spray and Wait กลับมีโอกาสนในการส่งข้อความให้สำเร็จต่ำลง ผลมาจากจำนวนครั้งในการส่งข้อความมีน้อยเมื่อเทียบกับจำนวนโหนดในเครือข่ายที่เพิ่มขึ้น



รูปที่ 11. กราฟโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 100

รูปที่ 11 กราฟแสดงโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 100 โหนด จะเห็นว่า 3-Epidemic มีโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จมากขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากจำนวนโหนดในเครือข่ายที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้โอกาสในการส่งข้อความมีมากขึ้นด้วย ต่อมาเป็น Anti Entropy ที่ให้เวลาในการส่งข้อความไม่ต่างจากเดิม แต่

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

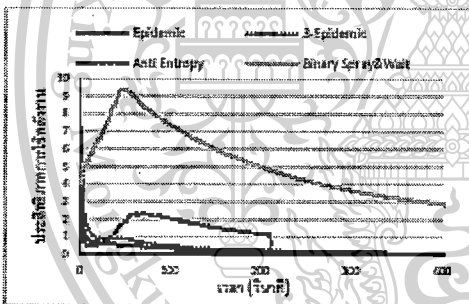
4.3. กราฟประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน กับเวลา

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสามารถคำนวณได้จากสมการ (1)

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

ตัวหนังสือ $Eff(t)$ คือ ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานที่เวลา t
 $DR(t)$ คือ โอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จที่เวลา t
 $Battery(t)$ คือ พลังงานสะสมที่ไว้จนถึงเวลา t

ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานหมายถึง การไว้พลังงาน t หน่วยสามารถเพิ่มโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จที่ใด ซึ่งจากความหมายข้างต้นทำให้ กลุ่มที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงหมายถึง กลุ่มที่มีประสิทธิภาพที่น้อยไปเรื่อยๆ



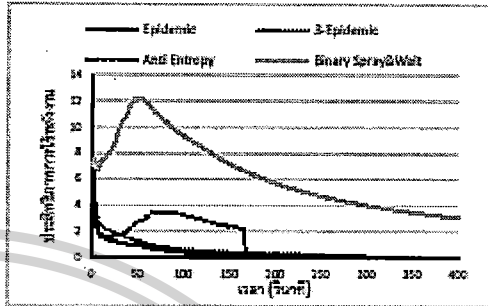
รูปที่ 12. กราฟประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 10

รูปที่ 12 แสดงกราฟประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครือข่ายที่มีโหนดเท่ากับ 10 ซึ่งสามารถมองได้ 2 มุมมองที่ชัดขึ้นคือ ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน และเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความให้สำเร็จ

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

แต่เมื่อมองในมุมของเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความ จะเห็นว่า เมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 400 วินาที Binary Spray and Wait กลับส่งข้อความยังไม่สำเร็จ ในขณะที่ Anti Entropy และ Epidemic routing ถึงแม้ประสิทธิภาพที่รองลงมา แต่ก็ส่งข้อความให้ถึงปลายทางได้

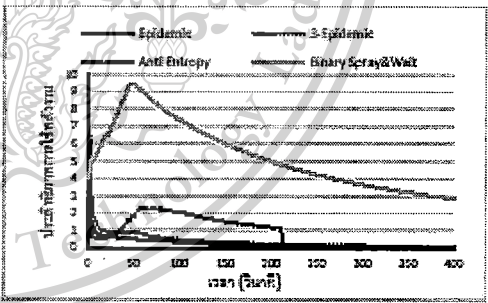
แล้ว ในเวลาประมาณ 350 วินาที และสุดท้าย 3-Epidemic เมื่อเวลาผ่านไป 400 วินาทีก็ยังไม่สามารถส่งข้อความให้สำเร็จได้



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 โอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จจึงต่ำลง ในขณะที่พลังงานที่เริ่มมีมากขึ้น

ส่วนเวลาที่ใช้ในการส่งข้อความให้สำเร็จ จะเห็นว่าเมื่อเวลาผ่านไป 400 วินาที Binary Spray and Wait ก็ยังไม่สามารถส่งข้อความให้สำเร็จเช่นกัน ในขณะที่ Anti Entropy กลับส่งข้อความให้สำเร็จเร็วขึ้น และด้วยเป็น 3-Epidemic ที่สามารถส่งข้อความให้สำเร็จได้หลังจากจำนวนโหนดบนเครือข่ายที่เพิ่มขึ้น 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

Binary Spray and Wait ยังไม่สามารถส่งข้อความให้สำเร็จ
เช่นเดิม ในขณะที่ Anti Entropy สามารถส่งสำเร็จ แต่ใช้เวลานานขึ้น
ส่วน 3-Epidemic ใช้เวลาดำเนินการเพิ่มไม่มาก และสุดท้าย
Epidemic routing เมื่อเวลาผ่านไป 400 วินาที โหนดสุดท้ายยังไม่สามารถ
ส่งข้อความให้ถึงปลายทางได้ ซึ่งแตกต่างจากรูปที่ 12 และ 13 ที่
สามารถส่งข้อความให้สำเร็จได้แล้ว เพราะเมื่อโหนดบนเครือข่ายมี
จำนวนที่สูงสุดในระดับหนึ่ง โหนดมีการส่งข้อความแลกเปลี่ยนกันจำนวน
มาก เมทริกซ์ในการส่งข้อความให้สำเร็จจึงมากขึ้นกว่าเดิม

5. บทสรุป

ในวิจัยฉบับนี้ได้รวบรวมกลยุทธ์ของบิตบิก มาวิเคราะห์เปรียบเทียบกับ
ประสิทธิภาพในการส่งข้อความ บนสภาพแวดล้อมเดียวกัน โดย
เปรียบเทียบทั้งหมด 2 ด้านด้วยกัน คือ การใช้พลังงานในการส่ง
ข้อความ โลกทัศน์ในการส่งข้อความให้สำเร็จ นอกจากนี้ได้เสนอวิธีการวัด
ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของโหนด เพื่อเปรียบเทียบความคุ้มค่า
ของพลังงานที่เสียไป ต่อความสำเร็จในการส่งข้อความ

จากบทสรุปของรูปที่ 12 Binary Spray and Wait มี
ประสิทธิภาพในการใช้พลังงานสูงสุด แต่ไม่สามารถส่งข้อความให้สำเร็จ
ได้ เนื่องจากมีจำนวนข้อความที่ส่งโดย ในขณะที่ Anti Entropy ที่มี
ประสิทธิภาพดีรองลงมา สามารถส่งข้อความให้สำเร็จได้ดีที่สุดในระดับ
ความหนาแน่น 3-Epidemic ที่มีโอกาสส่งสำเร็จมากขึ้น เมื่อจำนวนโหนดบน
เครือข่ายเพิ่มขึ้น และสุดท้ายกลยุทธ์ที่มีประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน
ต่ำสุดคือ Epidemic routing เนื่องจากมีการใช้พลังงานที่มาก เมื่อเทียบ
กับกลยุทธ์การส่งข้อความอื่นๆ

อย่างไรก็ตามในสถานการณ์จริง ที่โหนดบนเครือข่าย
ต้องการส่งข้อความหากันอย่างคั่งเนื่อง แม้ว่าการลดปริมาณข้อความ
บนเครือข่าย เพื่อไม่ให้เกิดการคับคั่งของปริมาณข้อความจะมี
ความสำคัญมาก แต่การลดปริมาณส่งข้อความนี้ส่งผลให้อัตราการ
ในการส่งข้อความให้สำเร็จ ดังนั้นสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ จะหาอย่างไรให้เรา
สามารถลดปริมาณข้อความ เพื่อช่วยใหโหนดมีอายุการใช้งานที่เพิ่มขึ้น
และยังสามารถรักษาโอกาสในการส่งข้อความให้สำเร็จไว้ได้อีกด้วย ซึ่ง
หมายถึง การใช้พลังงานของโหนดที่มีอยู่อย่างจำกัด ให้เกิดความคุ้มค่า
ต่ำสุด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ปีงบประมาณ
2558 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ผ่าน
การพิจารณาจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

เอกสารอ้างอิง

[1] Burtleigh, 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, Theaspyoulos, 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 tolerant 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-200036, Duke
University, 2000.

ภาคผนวก ง.

ผลงานเผยแพร่ในหนังสือ (Book Series)

Advances in Intelligent Systems and Computing: Progress in Systems Engineering



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

An Epidemic Routing with Low Message Exchange Overhead for Delay Tolerant Networks

Teerapong Choksatid and Sumet Prabhavat

1 Introduction

Communications plays a major part in our lives. We always communicate with other people on many ways such as sending messages to friends who live far away, check hot news via social networks, etc. To make the convenient conversation for our lives, researchers have continuously improved the communications from the basically communicated systems (i.e., LAN) to wireless communication system (i.e., WLAN). At present, many researchers have developed the communication system that allows devices to communicate with each other without relying on infrastructure. This kind of communication system is known as Ad Hoc network.

In this paper we focus on Delay Tolerant Network (DTNs), which is a form of Ad Hoc networks. DTN nodes are continuously moved and have limited energy that make it difficult for establish the communication path from source nodes to destination nodes. Therefore, Store and Forward Messages Switching has been used as technique for forwarding the messages to other node time after time and storing the messages until the nodes are able to forward a message to destination node successfully. In addition, probability of a message reaching destination depends on the number of nodes which store destination's message [1].

Although communication on DTNs network is very flexible, there are many problems that can reduce the performance of distributing messages. In this case, the authors pay attention to one biggest overhead: Message Exchanges Overhead. This overhead make traffic congestion of the communication path and limited energy in communicating nodes. Both problems are often found in DTNs, which always use broadcast to distribute messages continuously.

Therefore, in this article, we propose development of Epidemic Routing to reduce Message Exchanges Overhead in DTNs without impact the performance of spreading messages.

Section 2 reviews of related literatures which attempted to improve communication strategies in DTNs. Then, in section 3, introduces our proposed routing strategy and performance evaluation along with comparison with existing schemes are presented in section 4. Finally, the section 5 concludes the development of this novel strategy.

2 Related Work

Delay-Tolerant Networks (DTN) is an interesting alternative of communication in Ad Hoc Network. It has ability to transmit messages between devices in situations where traditional communications technology cannot accomplish, such as wireless sensor networks, vehicular networks and mobile Ad-Hoc networks, etc. The natures of these networks show characteristics of network structure, which change node position over time. Then, the ability to distribute a message depends on the probability of encountering other nodes during message transmission. Moreover, because it sensitive to nodes mobility, the communication path could be difficult to predict and maintain. This is the reason why in next paragraph we describe the challenges in DTNs before develop Epidemic Routing to reduce Message Exchanges Overhead. [2]

The challenges that the authors are taking into account include: First, Kapadia S., Krishnamachari B. and Zhang L. mentioned clearly that "Contact schedules are information about pre-calculate and determine the best path to forward its information". It makes nodes blindness because it don't know who is the next contact that can forward messages to destination. [3, 4] Second, network capacity or link bandwidth is amount of data that can be exchanged between a pair of nodes. If the number of messages exchange increases or the messages' size gets bigger, the network have more data

T. Choksatid (✉) • S. Prabhavat
Faculty of Informatics Technology, King Mongkut's Institute
of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand
e-mail: teerapongc@outlook.com; sumes@it.kmitl.ac.th

H. Selvaraj et al. (eds.), *Progress in Systems Engineering: Proceedings of the Twenty-Third International Conference on Systems Engineering, Advances in Intelligent Systems and Computing 1039*,
DOI 10.1007/978-3-319-08422-0_63, © Springer International Publishing Switzerland 2015

429

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

transmission and will become congested finally other than unknowing messages that opposite nodes don't have. Third, most nodes in DTN have limited amount of energy, which will be consumed continuously when distributing messages until the nodes can no longer function because of insufficient energy. Therefore, it is important to conserve node's energy.

Direct contact is a simplest routing strategy to send a message. When the source nodes have to send the messages, they will not spread the messages to other nodes or calculate the best path to forward the messages, but it will wait until it comes in contact with the destination node and transmit the messages directly. [5] The flexibility of DTNs gives birth to a lot of routing strategies, which intend to resolve communication problems on different network environments. Jones E. and Ward P. have surveyed and classified routing strategy into two categories: Flooding Strategies which rely on distributing messages to different nodes, even when the nodes continuously move unlike the Forwarding Strategies that collect information from network to analyze and select the best communication path to forward the messages to next nodes. [6, 7] In addition, Jones E., Li L., Schmidtke J. and Ward P. has proposed Minimum Estimated Expected Delay (MEED) path metric, which uses the observed contact history to predict future contact schedule for estimating waiting times on each contact. [8]

The previous studies demonstrate the importance of selecting routing strategy for appropriate network situation, makes the authors focus on Epidemic Routing that has ability to provide message transmission on a network which nodes move randomly. In such situation, it is impossible to predict when two nodes will come in range of one another. Anti Entropy is a pattern of Epidemic Routing of Flooding Strategies. It works by letting the nodes exchange a list of messages that used to check message which have and don't have. After that, the node can send only other request instead of sending all messages as shown in Figure 1.

From Figure 1, when node B gets to know node A via Hello, Node B will send Message List to determine message that stored in it. Then, node A uses Message List Request to request copies of messages that it has been unseen. This message causes node B can send some messages instead of sending all messages. Show that Anti Entropy protocol can resolve network congestion, which usually occurs on a network that nodes have to exchange a lot of messages such as nodes operating under Flooding Strategies. Additionally, Vahdat A., Becker D. and others have further developed Anti Entropy by allowing nodes to only request the messages that they need. [9]

In recent years, Lu X. and Hui P. have presented a routing strategy to reduce the loss of nodes' power by reduce time for sending a message. They use the advantage of communication on wireless device that transmits data by broadcasting. The wireless device (node) in this strategy will send

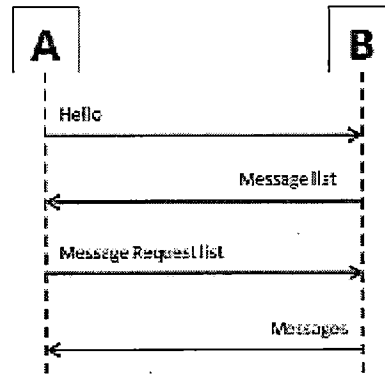


Fig. 1 Anti Entropy

broadcast messages when neighbor nodes reach the specific number. Then, each broadcasting can increase the number of nodes that receive messages (\geq the specific number) while broadcast for one time. [10] Moreover, Da Rango F. and Ameljo S. also developed n-Epidemic Routing that provides a mechanism to select forward messages (Dynamic Forwarding) by consider the density of nodes in each group. [11] Example of n-Epidemic shows in Figure 2. Wireless device (Phone) define number of neighbor nodes equal 3. They will broadcast Messages after receiving Hello packet from neighbor nodes reach 3.

3 Routing Strategies Description

The reason that Epidemic Routing can send messages in network that has unpredictable movement of nodes is shown in Figure 3.

Epidemic Routing is one of Flooding Strategies, which allows a pair of nodes to exchange messages to each other until they find the destination nodes. Figure 3 shows a group of nodes with node S that cannot directly send message to node D due to node D being out of transmission range of node S. At time t_1 , node S sends a message to node C1 and C2 to increase the number of nodes that received the message in the network. After that, node C1 sends the message to node C3. At time $t_2 > t_1$, since the mobility of nodes are random, some nodes, such as node C3 may come within range of node D. Therefore, node D can receive a message originally transmitted from node S from node C3. Additionally, the messages will not be lost when source nodes disappear, because messages have already been transmitted to other nodes. However, when consider the number of messages in another view, we can find a lot of Message Exchanges Overhead that

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 2 n-Epidemic

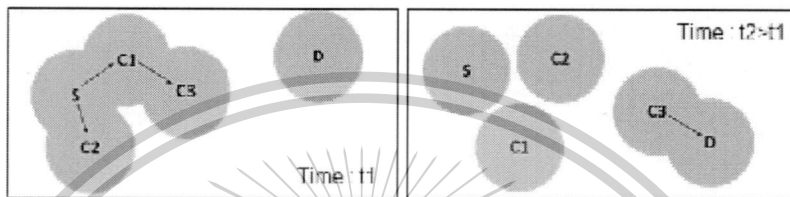
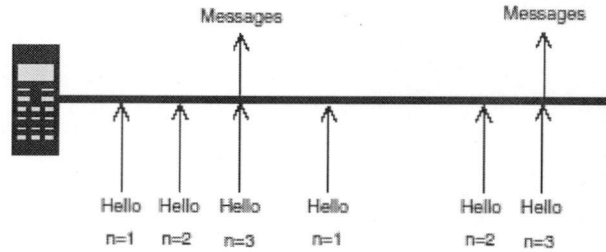


Fig. 3 Epidemic Routing

increase the congestion in the network and increase energy consumption during data transmission.

Anti-Entropy and n-Epidemic approach have inspired the authors to develop Epidemic routing that can potentially reduce the number of messages exchanging on network without sacrifice delivery time. We will be referring referring to Epidemic Message with Message List Advertisement as EM-MA for the rest of the article.

3.1 EM-MA Description

EM-MA works by spreading messages to surrounding nodes. The process occur when source node announces its messages to neighbor nodes in period of time and then neighbor nodes will check its requirements and send request back. Finally source node collects messages that have been requested and forward those nodes in next period time.

Figure 4 describes the process of EM-MA. Upon the expiration of each period time (T), Announcer will broadcast Message List Advertisement (Message List) to the surrounding Receivers. When these Receivers have received Message Lists, they will be created Message Request List to request messages which it doesn't have from Announcer's messages. Then, Announcer will respond by forwarding those messages (Messages[n]) in next interval time. In practice, we will be add a slight random delay before broadcast Message List. This delay is used to prevent synchronization

similar to DIFS in IEEE 802.11 [12]. For simplicity, we assign each node starts announcement not same time in simulations. Then, a slight random delay is omitted.

We expect that, One: using Message List instead of Hello, Two: the message aggregation of several Message Request List, Three: assigned nodes only send messages in their period time which resemblance to Slotted Aloha, can reduce retransmission due to Collision as proven in the article [13] and the number of Message Exchanges Overhead. EM-MA features detailed below.

Advantage of Message List Advertisement. The different between Anti Entropy and EM-MA is Anti Entropy's node send Message List after receive Hello message. It's like they wait for some greeting from a friend. However, EM-MA reduces each step by creating "All in one Message". Each node will be announced Message List based on the time interval continuously and sometimes it is also attached messages that have been requested by another nodes. Sending message once can communicate with surrounding nodes: "I live here.", "I have had these things", "She wants something from me?" and "And the last time she asked for these things from me."

Advantage of time period. In Figure 2, n-Epidemic proposed the mechanism for saving energy by the broadcasting of wireless transmission. In the mechanism, each node needs to wait until the number of neighbor nodes reach the defined number for broadcasting messages. [10] This process is similar to the process of EM-MA shown in Figure 4. When

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

announcer broadcasts Message List, it collects Request Message List from surrounding nodes over a time period before attach the messages that have been requested to the next Message List.

3.2 A variety of Interval Time

Because of the performance of EM-MA depends on the period time, In this section, the authors have created simulations for messages exchange between nodes in network environment that is defined the detail in Section 4.1.

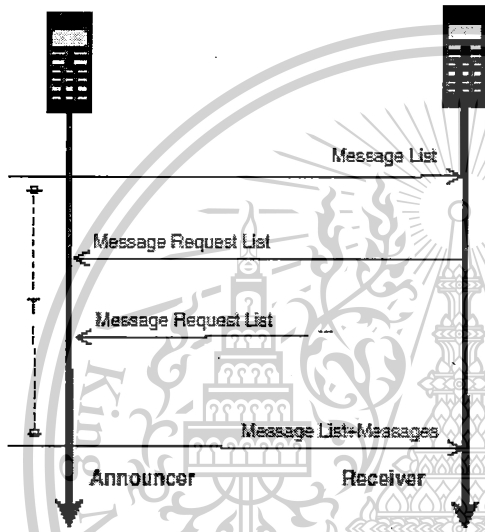


Fig. 4 EM-MA protocol

Message Transmission Rate. Message Transmission Rate (MTR) is total number of messages that were sent in the network per time units. The reduction of it means that the amount of data transferred each time units and number of data transmission rate decreased. Network Performance reduces when MTR increases due to the network being less congested. At the same time the network's nodes have highly energy consumption due to exchange big or a lot of messages.

Figure 5 shows average MTR with varying number of nodes in the network. The MTRs of different intervals of Broadcast Message are presented. The figure shows that the result of the scenario with 0.5 seconds Broadcast Message interval attains maximum MTR, followed by result of 1 second interval. Finally, the scenario with 2 seconds interval has minimal MTR. This means the network has a fewer time period to send fewer messages that makes nodes increase frequency of broadcast messages. MTR will increase with the inevitable.

Delivery Time. Delivery Time is the length of time it will take for all messages to be delivered from source nodes to their destinations. Simulation results are presented in Figure 6. From the graph, it is seen that the result of scenario with 0.5 second, scenario with 1 second and scenario with 2 second are slightly different. Although the increase of the period to send messages will cause the reduction of Message Transmission Rate, but it did not make Delivery Time to communicate differently.

4 Performance Evaluation

To demonstrate that EM-MA can resolve network congestion and increases energy efficiency when comparing with existing methods without having an impact on the performance of spreading messages. We present Message Transmission Rate Graph to indicate the reduction of

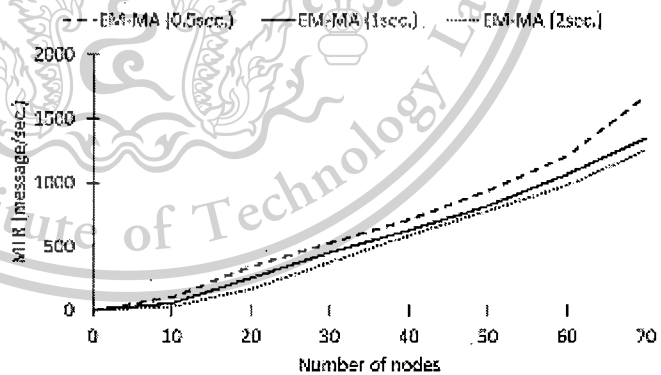
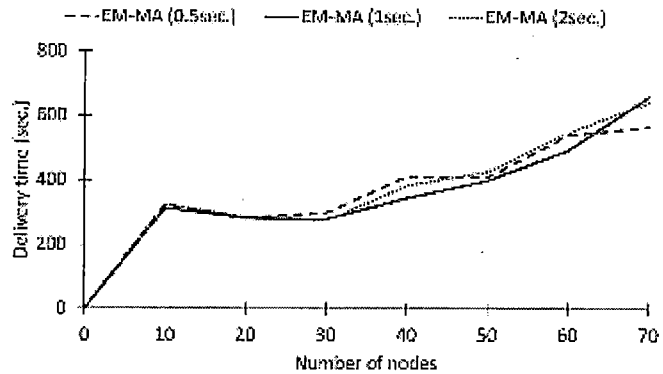


Fig. 5 Message Transmission Rate of EM-MA on the width of the period time

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 6 Delivery Time of EM-MA on the width of the period time



Message Exchanges Overhead. However, the problem of duplicating and distributing messages will occur when this overhead decrease. Then, we show message delivery time to confirm that EM-MA does not impact the performance of duplicating and distributing messages. This evaluation study is the same way with the study article of Same G. and Anders L., where they study and develop models for test DTNs routing strategies as to communicate in the real world. Lead to modeling 4 strategies: Epidemic (Direct Mail), Anti Entropy, n-Epidemic and EM-MA. The experimental results show through following graphs. [3]

4.1 Network Environment

Simulation parameters are listed in Table 1. In the simulation scenario, 90 percent of the total nodes generate messages and the other 10 percent only act as relay and do not generate any message. Additionally, a node that generate messages will try to send message to all other nodes that can generate messages. For example, if the network has 50 nodes, there are 45 nodes that can generate messages and one node will create a total of 44 messages to be sent to other 44 nodes. However, the other 5 nodes will not generate any messages. Therefore, to test the communication network with 50 nodes, 1,980 messages have to be created. Furthermore, In order to make communication in the network more realistic, we assume that the node's processing delay range from 0 to 0.01, with uniform distribution.

We use a simple mechanism called Direct Mail to represent a basic mechanism of Epidemic routing. Because of Direct Mail's node will send all of its messages when receive Hello packet from any node in the network. [14] Moreover, Because n-Epidemic can be configured within $n \geq 1$, so in this experiment has set $n = 3$ which is the middle of the test ($n = 1-5$) occurred in [10]. Likewise, announcement interval

Table 1 Simulation Parameters

Parameters	Value
Number of nodes	10-70
Simulation area	1500 m x 300 m
Transmission range	100 m
Message length	1 KB
Period of message list advertisement	1 sec
Max. transmission rate	54 Mbps
Mobility model	Random waypoint
Mobility rate	0-20 m/sec

in EM-MA can be set to many value. In section 3, we see that if the value is increasing, MPR is also increasing. But the change values does not affect the delivery time. Therefore, in this simulation, the interval is equal to 1, which is similar to the interval of sending Hello message in other strategies that were used in the comparison.

4.2 Number of Message Exchanges

Message Transmission Rate. In figure 7, show Message Transmission Rate that change by density of node. X-axis is the number of nodes in network and Y-axis is the number of messages per second that have been sent out to the network. Each line represents the routing strategy types. In line with high level of messages transmission would have a lot of Message Exchanges Overhead which cause network congestion and lost energy more than the line that have lower. This graph shows that when density of nodes in the network increased, the MTR also increased. Direct Mail has the highest MTR, followed by 3-Epidemic, Anti Entropy and EM-MA (1sec.) respectively. It evidences that MTR of EM-MA can reduce the number of message exchanges when compare to other strategies in this

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 7 Message Transmission Rate of Direct Mail, Anti Entropy, 3-Epidemic and EM-MA

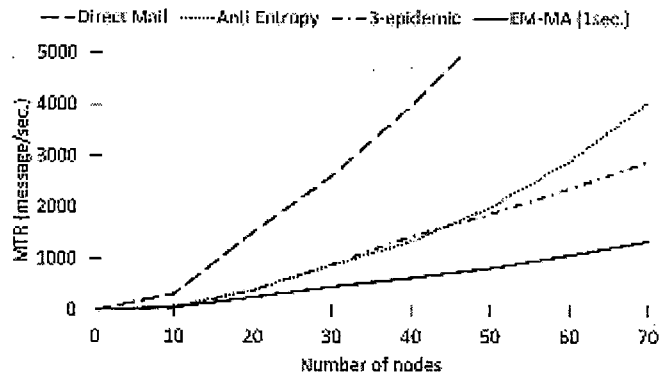
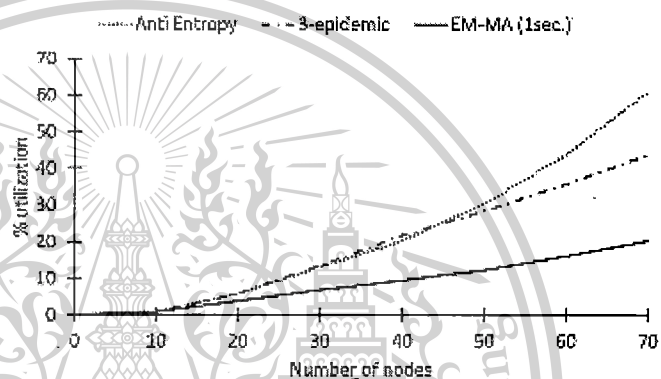


Fig. 8 Utilization Percentage of Direct Mail, Anti Entropy, 3-Epidemic and EM-MA



graph, MTR of Direct Mail have been clearly higher than other strategies because the slope of Direct Mail line is higher than other lines. Therefore, in Utilization Percentage graphs, we don't considerate Direct Mail, Utilization Percentage. Network utilization is the amount of traffic on the network comparing to the peak amount that the network can support. It compares to traffic on a road while cars passing each other all time. If it has a few vehicles on the road, traveling would be comfortable but if there are many vehicles, the opportunity to meet the traffic jam and accidents on the road are highly. Therefore, Utilization Percentage can show up at network congestion and network collision. In this simulation, maximum data rate is the maximum number of bits that are transferred per unit of time, IEEE 802.11G assign Top Data Rate equal to 54Mbps. [15]

Figure 8 is Utilization Percentage graph. It shows average Utilization percentage compared to density of nodes in the network. X-axis is the number of nodes in network and Y-axis is average Utilization percentage. Each graph line represents the routing strategies. Level of each line

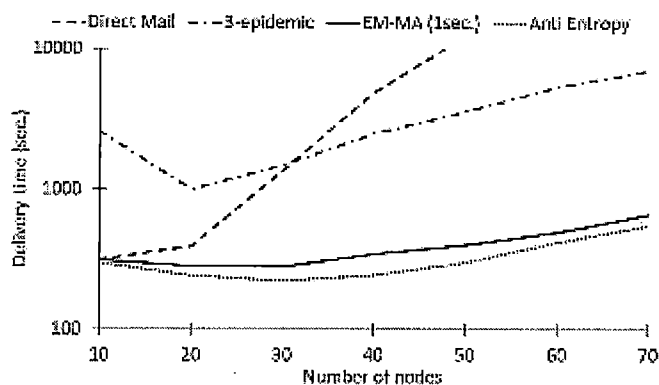
represents amount of message on network that network can support. Furthermore, average Utilization percentage also represents the chance of network congestion so the chance of network congestion of 3-Epidemic and Anti Entropy more than Utilization Percentage of EM-MA. In this graph, the value of each line shows the amount of messages that sent by nodes to the network. Therefore, it can be said that Message Transmission Rate and Utilization Percentage are equal to each other. Therefore, Figure 8 and Figure 9 show that the simulations and the experimental result in accuracy significantly.

4.3 Delivery Time

Figure 9 shows that reducing number of exchanged messages does not affect the efficiency of EM-MA while duplicating and distributing the messages. Delivery Time is the time until all nodes receive their intended messages.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 9 Delivery Time of Direct Mail, Anti Entropy, 3-Epidemic and EM-MA



The graph shows the Delivery Time in Figure 9. X-axis is the number of nodes in network and Y-axis is average Utilization percentage. In this graph, Direct Mail spent the most time when compare to other strategies. 3-Epidemic is likely to increase the time period when number of nodes increases. Although EM-MA would take a little time less than Anti Entropy, but it comes with a number of lower Messages Exchanges Overhead as shown in Figure 7. Anti-Entropy spent minimal time because it do not have the delay process before sending messages like n-Epidemic and EM-MA (Figure 2 & 4) In addition, it will quickly send back the messages to other which contact itself. Therefore, it can spread the messages faster.

5 Conclusion

If the network has a small number of nodes that need to send messages to the destination node, routing protocol with high delivery ratio should be strongly considered. However, in a real situation, each node creates a message to communicate for various nodes in the network continuously. Two questions that important than Delivery Time is: How to increases life time of node? and How to transfer data in the network continuously? Those answers will prevent communication failures due to network congestion and losable power. We proposed EM-MA and demonstrated it can reduce energy consumption of the nodes and decrease congestion in DTNs. Our simulation shows that the total number of messages sent by network operating under EM-MA is less than other existing strategies without affecting the message delivery time. Additionally, our simulation results also show

that EM-MA is better at reducing network congestion than the other existing strategies. Therefore, EM-MA can potentially improve message transmission in DTNs.

References

1. S. Burleigh, A. Hooke, L. Torgerson, K. Fall, V. Cerf, B. Durst, K. Scott, and H. Weiss, "Delay-tolerant networking: an approach to interplanetary internet," *Communications Magazine, IEEE* 41(6), pp. 128-134, 2003.
2. M. I. Khafizadeh, C. M. Assi, and W. F. Fawaz, "Disruption-tolerant networking: A comprehensive survey on recent developments and persisting challenges," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE* 14(2), pp. 607-640, 2012.
3. S. Ghosh and A. Lindgren, "An analysis of evaluation practices for the routing protocols," in *Proceedings of the seventh ACM international workshop on Challenged networks*, pp. 57-64, ACM, 2012.
4. S. Jain, K. Fall, and R. Patra, *Routing in a delay tolerant network*, vol. 34, ACM, 2004.
5. S. Kapadia, B. Kriemanchand, and L. Zhang, "Data delivery in delay tolerant networks: A survey," *Mobile Ad-hoc Networks: Protocol Design*, pp. 585-578, 2011.
6. E. P. Jones and P. A. Ward, "Routing strategies for delay-tolerant networks," *Submitted to ACM Computer Communication Review (CCR)*, 2006.
7. Y. Cao and Z. Sun, "Routing in delay/disruption tolerant networks: A taxonomy, survey and challenges," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE* 15(2), pp. 654-677, 2013.
8. E. P. Jones, L. Li, I. K. Schmittke, and P. A. Ward, "Practical routing in delay-tolerant networks," *Mobile Computing, IEEE Transactions on* 6(8), pp. 943-959, 2007.
9. A. Vahdat, D. Becker, et al., "Epidemic routing for partially connected ad hoc networks," *tech. rep., Technical Report CS-200006, Duke University*, 2000.
10. X. Lu and P. Hui, "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, 2010.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

11. F. De Rango and S. Amelin, "Performance evaluation of scalable and energy efficient dynamic n-epidemic routing in delay tolerant networks," in *Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPRCTS), 2013 International Symposium on*, pp. 167-173, IEEE, 2013.
12. IEEE-SA, "Ieee std 802.11-2012," 2012.
13. L. G. Roberts, "Aloha packet system with and without slots and capture," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review* 5(2), pp. 28-42, 1975.
14. A. Demers, D. Greene, C. Hanser, W. Isich, J. Larson, S. Shenker, H. Sargis, D. Swinehart, and D. Terry, "Epidemic algorithms for replicated database maintenance," in *Proceedings of the sixth annual ACM Symposium on Principles of distributed computing*, pp. 1-12, ACM, 1987.
15. i. Citra Systems, "Capacity, coverage, and deployment considerations for ieee 802.11g," 2005.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ.

ผลงานเผยแพร่ในงานประชุมทางวิชาการระดับนานาชาติ

IEEE International Conference on Information Technology and Electrical Engineering



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

An Efficient Message Flooding Scheme in Delay-Tolerant Networks

Worrawat Narongkhachavana*, Teerapong Choksatid** and Sumet Prabhavat***

Faculty of Information Technology

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Bangkok, Thailand

s7606007@kmitl.ac.th*, teerapongC@outlook.com**, sumet@it.kmitl.ac.th***

Abstract—In intermittently connected ad hoc networks, a reliable path between communication endpoints may not exist because mobile nodes randomly move during their operation. Furthermore, routing protocols have to work efficiently under constraints of limited bandwidth and energy. These challenge researchers to develop a suitable protocol for the networks. In this paper, we present a new routing protocol, which limits the number of message replications. In addition, a node should spread messages with lower probability if the messages are currently distributed in its local neighborhood. This increases an opportunity for a node to spread messages to other network areas. Simulation results show that our work can increase delivery ratio while maintaining low end-to-end delay and message exchange overhead.

Keywords—Epidemic Routing; Delay-Tolerant Networks; Token; Probabilistic

I. INTRODUCTION

In intermittently connected ad hoc network such as high mobility or large area networks, there is a high probability that instantaneous path between a source and a destination may not available. Moreover, sparse area may occur frequently due to small radio coverage and node's movement. Delay-Tolerant Networks (DTNs) [1] [2] solve these problems by introducing store-carry-forward mechanism. Nodes store a copy of every message they received in their buffer. Messages are forwarded when node meets some another nodes within its transmission range. Every node repeats these processes to make messages spread continuously to a destination. With this mechanism, messages can be delivered more successfully compared to conventional routing protocols in Mobile Ad hoc Networks (MANETs) which requires a full path for end-to-end connectivity. In addition, messages in DTNs are less likely to disappear from the network even the path to the destination does not exist.

The performance of DTNs routing protocol also depends on the number of replicated messages. Despite increasing amount of message copies increase delivery success rate and decrease end-to-end delay, the protocol can suffer from an unnecessary redundant transmission of messages. Since nodes shared the same wireless medium, flooding messages can conduce to signal interference and frame collision. As bandwidth requirement arises and scarce energy of mobile device, the node should avoid

forwarding the message repeatedly. Nevertheless, suppressing node to forward the message may results in unsatisfied performance since this can decrease an opportunity that the message will reach its destination. Therefore, we should balance the energy usage and the number of message forwarding carefully. Several models have been proposed to address these research problems. In [3], the authors suggested using probabilistic schemes when rebroadcasting a message. A node forwards a packet with some probability, which could prevent a broadcast storm problem. Some research papers such as [4], [5] referred this technique to as gossiping. With an intensive experiment, their results show that using gossiping model in MANETs could significantly alleviate amount of routing packets and maintain high packet delivery rate.

Herein, we apply the probabilistic method combined with an advantage of physical-layer broadcast and overhearing mechanism in our proposed protocol. A node forwards each message with some probability. If other nodes in local neighborhood already forward the message, the node should decrease the probability to forward that message in the future. On the other hand, a message which was not forwarded over time, should be sent with higher probability. This increases an opportunity for a message to reach its destination without an extra overhead. We also use token to limit the number of message replications. Such methods cause our protocol being simplicity and do not require any additional modification to the packet.

The rest of this paper is organized as follows. Section 2 describes related work and the current model of routing protocols in DTNs. We present the new probabilistic-based protocol for DTNs in Section 3. Simulation results are discussed in Section 4. Section 5 summarizes the conclusions of our work.

II. RELATED WORKS

A. Epidemic Routing

Epidemic Algorithm is a data synchronization model, which is mainly used in distributed database management system [6]. Since the concept can be applied to ad hoc routing, Basic Epidemic Routing is developed to be a basic message-spreading model in DTNs. A node buffers every message it received. When a node meets any neighbor, it simply sends messages. This can guarantee that message is delivered as fast as possible

This research project is approved by National Research Council of Thailand (NRC) and is financially supported by King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL).

to most of nodes in the network. As its behavior is similar to flooding, this is not an efficient way since a node may spread deluge of duplicated messages without any control to another node. This can lead to an excessive number of redundant messages dissemination and a demand on network resource abundantly.

Anti-Entropy [7] is an extension of Basic Epidemic Routing, which aim to diminish forwarding redundant messages. The protocol introduced a packet called summary vector, which contains keys of all message of the node. Instead of immediately sending all messages to neighboring nodes, a node transmits only a copy of message to the neighbor, which does not own that message. In the other words, node X advertises the summary vector it has in its buffer. The neighboring node Y checks the received summary vector for messages that it does not currently own and then sends a request for those messages. Node X responds the requests by sending the requested messages to its neighbor Y. From these procedures, node sends a specific message only when it receives a message request from its neighbor. This can significantly reduce the number of message exchanges. In addition, the protocol also includes a hop count field in a message to limit the dissemination. This field works similar to TTL (Time-To-Live) field in IP header. When a node is going to forward a message, it decreases the value in the hop count field by one. If the value becomes equal to zero, the node simply drops the message.

B. *n*-Epidemic

Since energy is a main constraint of mobile nodes, Lu et al. introduced an extension of Basic Epidemic Routing named *n*-Epidemic [8]. Their work focuses on improving energy conservation of Epidemic Routing. A node spreads a message to its neighbor only when the number of its neighboring nodes becomes equal or larger than *n* threshold. This technique can significantly preserve energy by decreasing the number of transmitted messages since a node has to wait until sufficient neighbor to spread messages. The *n* value plays a key role in this protocol in term of performance. User has to preconfigure it carefully. However, it is difficult to determine the optimal value of *n* due to the highly dynamic topology of ad hoc network.

C. *Spray and Wait*

Spray and Wait [9] [10] is developed to diminish message exchange overhead and scale to different network size. By controlling the number of messages that each node can spread, the protocol generates low contention. When a message is in spray phase, a node simply sprays by sending a copy of the message to its neighbor in the same manner as Epidemic Routing. When the copy of the message has spread exceed *L* copies, the node turns it into wait phase where node stops spreading it and will respond to a destination of the message only. If the destination is found during wait phases, the node simply delivers the message to that destination node. Moreover, Binary *Spray and Wait* is an alternative version. A node will able to spread $L/2$ copies to an encountered node and keep with itself $L/2$ copies for spreading in the future.

Spray and Wait is simplicity as it works similar to Epidemic Routing. The number of maximum replications mainly affects performance of the protocol.

D. *PROPHET*

Lindgren et al. present a new protocol called Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity (*PROPHET*) [11] [12]. The main idea is node should forwards a message only if an encountered node has a higher probability of meeting a destination of the message than it does. The protocol works on an assumption that a node does not move completely randomness but move in a predictable way. Nodes that traversed to some locations and met some encountered nodes, several times before, are likely that they will repeat the same behavior and visit that location again. In this case, it is possible to predict node's movement. The protocol introduced a new metric called delivery probability, $P_{(A,B)}$ at every node A for each destination B. It uses to indicate the level of likelihood that node A will meet node B again. Two nodes that met frequently would have a higher delivery probability while two nodes that met occasionally would have a lower delivery probability. Nodes exchange this metric by attaching them with summary vector. Therefore, using this information as a conditional forwarding logic should probably increase an opportunity for a message to reach the destination and prevent a node to spreads too many messages to an encountered node.

III. PROPOSED PROTOCOL

In this section, we present a methodology of the protocol. Token bucket mechanism is used to control the number of messages distributed in a network by the number of tokens associated with each message. When a node contacts another and copies a message to its encountered node, some tokens of the message will be divided and given for the copied message. As long as more than one token remains, the message will be distributed among nodes. Otherwise, it is quarantined unless the encountered node is its destination. This approach is similar to *Spray & Wait*.

However, using token bucket algorithm to limit message forwarding can cause messages not to be spread widely. This decreases an opportunity for the message to reach a destination. Therefore, we are interested in applying the probabilistic method to control message dissemination. We introduce a new metric called forwarding probability, $P(M) \in [0,1]$ for message M in every node. A node uses this metric to determine if it should forward a corresponding message to its encountered node or not.

To take an advantage of physical-layer broadcast in a wireless network, a node which overhears message M (not an intended next-hop receiver) operates as follow: If it does not buffer message M before, it assigns $P(M)$ with an initial value, P_{init} to message M. After that, the node stores the message into its buffer and adds one token into a corresponding bucket of message M. In case that the node already buffers message M, it decreases the corresponding forwarding probability metric of message M. We applied an equation from [11]. The node uses the following equation in (1), where $P_r \in [0,1]$ to recalculate the metric.

$$P(M) = P(M)_{old} \times P_r \quad (1)$$

The P_r parameter determines how much that $P(M)$ will be decreased when the node overhear message M. It should not be set too low (near to 0), otherwise the message may not spread widely due to very low forwarding probability.

For a node who is an intended next-hop receiver, after receiving message M , it scans its own buffer. If message M is already in its buffer from the previous overhearing method, then the node adds tokens from the received message into a bucket. Otherwise, the node simply buffers message M . These processes are explained thoroughly in a following pseudo code:

Algorithm 1: When node receives a message

```

Procedure Receive_msg(message M)
1: if I am a destination of M then
2:   Receive and process the message.
3: else if next hop address of M == my address then
4:   if M is not in my buffer then
5:     Store M in my buffer.
6:   else
7:     Add tokens to a bucket.
8:   end if
9: else
10:  if M is not in my buffer then
11:    Assign  $P_{new}$  and store M in node's buffer with one token.
12:  else
13:    Decrease  $P(M)$  in my buffer using (1).
14:  end if
15: end if

```

In order to reduce neighbor discovery overhead, we use aggregation in [13] by combining summary vector into hello packet. Each node periodically advertises a hello packet attached with summary vector. Previously overhead messages are not included in summary vector if there is only one token left. Then, the node makes a decision based on $P(M)$ to forward the message, which are not contained in summary vector it received from the encountered node. This approach will prevent nodes to forward a same message which is exchanging by its neighbor in a vicinity and preserve tokens for spreading in the future. These processes are explained thoroughly in a following pseudo code:

Algorithm 2: When node meets another node

```

Procedure Meet_node()
1: Advertise and exchange summary vector.
2: for each message M in node's buffer which is not in received summary vector.
3:   if an encountered node is the destination of M then
4:     Forward M to the encountered node.
5:   else if token > 1 then
6:     Decide to send M based on  $P(M)$ .
7:     if the node decides to forward M then
8:       Forward M to the encountered node.
9:       Revoke 1 tokens from a bucket and transfer to the encountered node.
10:    else
11:      Do nothing.
12:    end if
13:  end for
14: end for

```

In a random network, some parts of network area may become dense due to random node's movement. This can affect the $P(M)$ being decreased rapidly and intercept nodes to forward the message properly. To prevent such case, if the node does not overhear message M for some period, the metric must be increased when time elapses. The calculation is shown in (2), where $P_{new} \in (0, 1]$.

$$P(M) = P(M)_{old} + (1 - P(M)_{old}) \times P_{time} \quad (2)$$

The metric, $P(M)$, should be updated every time unit using (2). This provides an opportunity for the node to spread the message into other areas of the network. The P_{new} parameter should be set near to 0 to keep the metric slowly increase when time elapses. The protocol will operate similar to Spray & Wait if both P_r and P_{new} are set near to 1.

Note that in our proposed protocol, a node should forward messages by broadcasting rather than unicasting. This approach increases an opportunity that many nodes will get messages. However, sending messages by unicasting is also possible. In this case, every node should overhear any transmitted messages by enabling promiscuous mode in MAC layer. In the simulation of this paper, a node simply forwards the message by broadcasting.

IV. PERFORMANCE EVALUATION

A. Simulation Environment

Our simulation is performed by using OMNeT++ [14]. We setup a homogenous network where nodes are equipped with omni-directional antenna providing 100 meters radio coverage. IEEE 802.11 DCF is used as MAC layer with a fixed bit rate at 2 Mbps. The nodes share the same wireless channel for frame transmission. A radio transmit and receive power consumption are 70.86 mA and 17.26 mA respectively. We use random waypoint as a mobility model, where nodes move to a random destination with random speed from a uniform distribution [0,20] m/s in an area of 1000×1000 m². Pause time is set to zero. The size of a packet is 256 bits. In addition, every node participates in a communication by being a source of its message and a destination of a message from another node. We vary the number of nodes from 10 to 100 nodes in a fixed area to evaluate network performance in a different network density.

We use following performance criteria to evaluate performance of each DTNs protocol:

- Normalized message exchange overhead: the ratio of the number of forwarded packets (i.e. hello, summary vector, and user's message) to the number of message packets successfully delivered to destinations.
- Delivery ratio: the fraction of the number of delivered messages at destinations and the number of messages sent from sources.
- Average end-to-end delay: an average time used to deliver messages from sources to destinations successfully.
- Average energy consumption: an amount of energy consumed in milliwatt-second.

We performed the simulation for 1000 seconds. The following results were averaged from 100 simulations with different scenarios. We evaluate the performance of our protocol and compare it with Epidemic Routing (with Anti-Entropy extension and TTL is set to 10 hops), n -Epidemic ($n = 4$), Binary Spray and Wait (replications = 100) and PROPHET ($P_{init} = 0.7, \delta = 0.01, \beta = 0.9, \gamma = 0.999$). The values of proposed protocol's parameters we used in this simulation are $P_{init} = 0.75, P_r = 0.75$ and $P_{max} = 0.001$. These values come from our preliminary experiment. We also set the number of initial tokens to 100 for each message. When a node forwards a message, half of the tokens will be transferred to an encountered node as same as in Binary Spray & Wait.

B. Simulation Results

First, we examine the delivery ratio in different simulation time shown in Fig. 1 (50 nodes). The higher line has higher delivery ratio than the lower one. The slope of each line represents the speed of message delivery. By using summary vector combined with overhearing technique, our protocol can speed up message delivery nearly equal to Epidemic Routing. PROPHET has the slowest message delivery. Because a node has to wait until it found a neighbor with higher delivery probability metric to the destination before it could forward the message. After 200 seconds, the delivery ratio of most protocols nearly reaches 1.0 except PROPHET. Therefore, we focus on network performance of time 0 to 100 second.

Fig. 2 shows the normalized message exchange overhead with the different number of nodes at 100 second. Our protocol can alleviate the message exchange overhead close to Spray & Wait. The reason is our protocol use token to limit message propagation and avoid nodes to forward message that currently exchange in local neighborhood. Fig. 3 shows the amount of energy consumption at 100 second with varied network density. The energy consumption is propagation to the number of nodes. Since our protocol does not generate extra overhead compared to Binary Spray & Wait, we can still maintain low energy consumption. When the number of nodes is more than 70 nodes, the energy consumption of our protocol increases slightly since it can deliver message more successfully. We will describe in detail in Fig. 4.

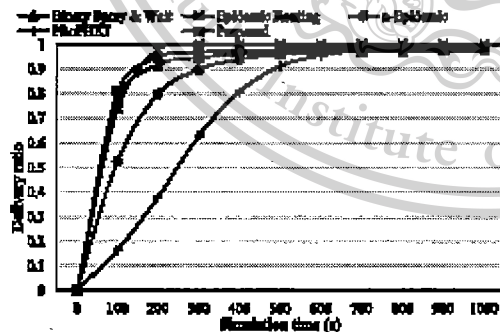


Fig. 1. Delivery ratio in different simulation time (50 nodes).

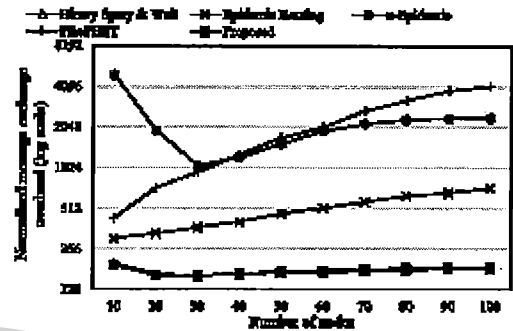


Fig. 2. Normalized message exchange overhead with varied number of nodes.

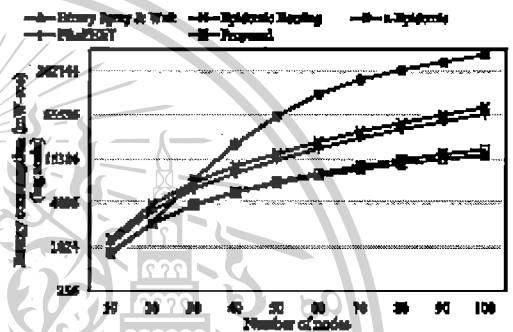


Fig. 3. Energy consumption with different network density.

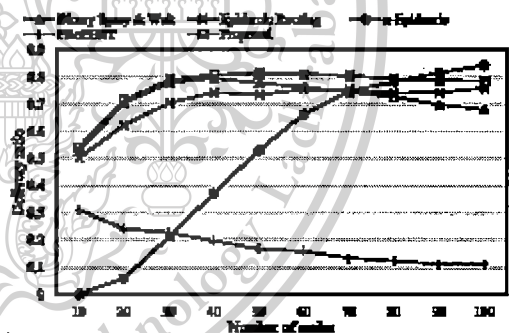


Fig. 4. Delivery ratio with varied number of nodes.

Fig. 4 shows the delivery ratio with increasing number of nodes at 100 second. Our protocol can achieve high delivery ratio because it can increase the opportunity to spread a message to the other network area. When the number of nodes increases more than 90 nodes, the delivery ratio slightly decreases. This is not an unexpected result because when the number of nodes increases, there is a high probability that no token left enough for message spreading. n -Epidemic has low delivery ratio when the number of nodes is lower than 60 nodes. When the network

density increases, the number of neighbors reaches equal or higher than the threshold n . This causes the protocol frequently forward messages so the protocol can deliver messages more successfully. PROPHET uses the contact probability to determine if it should forwards the message or not. However, the metric does not reflect that node will reset again due to random node's movement which results in rather low delivery ratio.

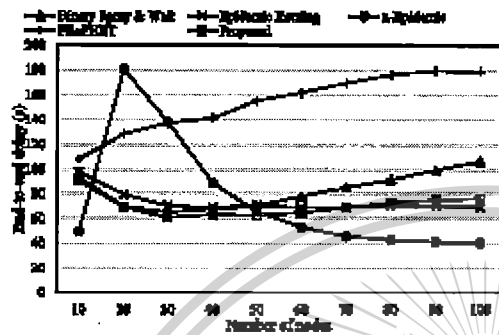


Fig. 5. End-to-end delay with varied number of nodes.

Fig. 5 shows the end-to-end delay with different network density. Our protocol can accomplish low end-to-end delay since our work utilize an overhearing mechanism from the physical-layer broadcast which help a message spreads faster without additional overhead. The delay of our protocol slightly increases when there are more than 70 nodes due to the limited number of tokens. When there is only one token left in a bucket of a message, the message will be forwarded if the node meets the destination only. Nevertheless, our protocol still maintain lower end-to-end delay up to 28.2 seconds compared to Binary Spray & Wait when there are 100 nodes. The reason is our protocol distributes a message properly by deciding to forward a message based on available tokens combined with the forwarding probability metric. This increases the opportunity for a message to reach its destination more quickly as similar to Epidemic Routing. n -Epidemic has rather high end-to-end delay when there are 10 to 40 nodes. A node has to wait for sufficient neighbors for long time before broadcasting a message because the network density is too low. In case of PROPHET, the protocol has to wait for an encountered node with higher delivery probability before it can forward a message. This delays a forwarding process of the protocol.

V. CONCLUSIONS

In this paper, we have studied on performance improvement of DTNs routing. First, we described a characteristic of MANETs and DTNs. Then, we reviewed a number of existing DTNs routings. We proposed a new routing protocol by using probabilistic method combined with broadcast transmission and overhearing technique. A node is able to decide whenever it should forward a message. In addition, tokens are used to limit the number of forwarding messages. These techniques help the

message being spread faster with minimum message exchange overhead. Moreover, there is no additional packet modification required. As evidenced by the simulation results, our protocol can increase delivery ratio while maintaining low end-to-end delay and message exchange overhead compared to the existing protocols.

REFERENCES

- [1] Carl V. Bursleigh, S. Hooke, A. Turgutoglu, L. Durst, R. Scott, K. Fall, K., and H. Weiss. "Delay-Tolerant Networking Architecture". RFC 4838, April 2007.
- [2] Pehui, L.; Passarella, A.; Conti, M., "Opportunistic networking: data forwarding in disconnected mobile ad hoc networks," *Communications Magazine, IEEE*, vol.44, no.11, pp.134-141, November 2006.
- [3] Yu-Chue Tseng, Sze-Yao Ni, Yuh-Shyan Chen, and Jung-Ping Shau. 2002. The broadcast storm problem in a mobile ad hoc network. *Wirel. News.* 8, 2/3 (March 2002), 153-167.
- [4] Zyzanski I. Haas, Joseph Y. Halpern, and Li Li. 2006. Gossip-based ad hoc routing. *IEEE/ACM Trans. Netw.* 14, 3 (June 2006), 479-491.
- [5] Lynduk LS.; Haas, Z.J., "Controlled Gossiping in Ad Hoc Networks," *Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2010 IEEE, vol., no., pp.1,6, 18-21 April 2010.
- [6] Alan Demers, Don Greene, Carl Hanser, Wes Irish, John Larson, Scott Shenker, Howard Sturgis, Dan Swinehart, and Dong Terry. 1987. Epidemic algorithms for replicated database maintenance. *In Proceedings of the sixth annual ACM Symposium on Principles of distributed computing (PODC '87)*, Fred B. Schneider (Ed.). ACM, New York, NY, USA, 1-12.
- [7] Valletti, A. and D. Becker, "Epidemic Routing for Partially Connected Ad Hoc Networks", *Duke University Technical Report CS-200006*, April 2000.
- [8] Xiaofang Lu; Pan Hui, "An Energy-Efficient n -Epidemic Routing Protocol for Delay Tolerant Networks," *Networking, Architecture and Storage (NAS)*, 2010 IEEE Fifth International Conference on, vol., no., pp.341-347, 13-17 July 2010.
- [9] Tharyswales Spathopoulos, Konstantinos Psounis, and Canligi S. Raghavendra. 2005. Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks. *In Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking (DTN '05)*. ACM, New York, NY, USA, 252-259.
- [10] Tharyswales Spathopoulos, Konstantinos Psounis, and Canligi S. Raghavendra. 2006. Efficient routing in intermittently connected mobile networks: the multiple-copy case. *IEEE/ACM Trans. Netw.* 16, 1 (February 2006), 77-90.
- [11] A. Lindgren, A. Doria, and O. Schelen. 2004. Probabilistic routing in intermittently connected networks. *Proc. of NAFIP, Fortaleza, Brazil, volume 3126 of Lecture Notes in Computer Science*, pages 239-254, August 2004.
- [12] Lindgren, A., Doria, A., Davis, E., and S. Garcia, "Probabilistic Routing Protocol for Intermittently Connected Networks", RFC 6693, August 2012.
- [13] T. Chakraborty and S. Prabhakar, "An Epidemic Routing with Low Message Exchange Overhead for Delay Tolerant Networks," in *Progress in Systems Engineering, Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1039, H. Schwarz, Ed. Springer International Publishing, 2013, pp. 429-436.
- [14] Andras Varga and Rudolf Hornig. 2008. An overview of the OMNeT++ simulation environment. *In Proceedings of the 1st international conference on Simulation tools and techniques for communications, networks and systems & workshops (SimuTools '08)*. ICST (Institute for Computer Science, Social-Informatics and Telecommunications Engineering), ICST, Brussels, Belgium, Belgium, Article 60, 10 pages.

ภาคผนวก ฉ.

ผลงานเผยแพร่ในงานประชุมทางวิชาการระดับนานาชาติ

IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC 2016)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

An Efficient Spreading Epidemic Routing for Delay-Tolerant Network

Teerapong Choksatid, Worrawat Narongkhabachavana, and Sumet Prabhavai

Faculty of Information Technology,

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand

Email: teerapongC@outlook.com, worrawat@gmail.com, sumet@it.kmitl.ac.th

Abstract—Delay-Tolerant Network (DTN) is a network technology which can provide communication in an environment where an end-to-end path may not be possible. Over the past years, Epidemic Routing has been recognized as the DTN protocol that can deliver messages quickly by spreading messages from node to node all over the network. However, many pieces of research argue against using Epidemic Routing due to the large number of message exchanges. In this paper, we propose Speed Epidemic Routing (SEd), which is the renovation of Epidemic Routing scheme. By applying broadcast transmission, we can increase the speed of messages spreading and reduce forwarding redundant messages. The simulation results show that SEd is a protocol providing high delivery rate and low packet rate at the same time.

Index Terms—Delay-Tolerant Network, Epidemic Routing, Speed of messages spreading, Message exchange overhead

I. INTRODUCTION

Delay-Tolerant Network (DTN) is a mobile ad-hoc network (MANET) in an intermittent connectivity environment [1]. In this environment, a traditional network cannot work efficiently due to unpredictable node mobility, network partitioning, and limited node's batteries [2]. Under such conditions, wireless network connectivity becomes necessary and indispensable for relaying messages from a source to a distant destination [3]. Without services from an infrastructure, nodes (e.g. smartphone, tablet, etc.) are used to form an interdependent network. Each node along the path stores a message from previous nodes and forwards it to other nodes whenever an opportunity arises. Thus, while nodes are moving, a message is forwarded in one or more hops until it's delivered to the destination. We called the message delivery model as Store-Carry-Forward [4]. Therefore, DTN is the combination of wireless technology and mobile device technology to extend the limitations of communication. We can send a message to someone who lives far away from anywhere such as on the road, undeveloped areas, or spaces. If mobile devices spread messages, DTN will ensure cooperation between them. A message can be forwarded through different devices and areas until it reaches the destination. At present, DTN is used for communication in many challenging areas; for examples, a disaster response network, a military ad-hoc network, and an inter-planet satellite communication network [5], [6].

This research project is approved by National Research Council of Thailand (NRCT) and is financially supported by King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL).

Spreading messages into a network is one of the most reliable methods of delivering messages when no information can determine the movement patterns of nodes, especially with an uncontrollable path. Epidemic Routing resembles the simplest DTN protocol and the fastest possible way to forward messages to a destination. When a node is aware of the existence of neighboring nodes, it replicates and forwards all of its stored messages to each of them directly. Hence, in Epidemic Routing, a message is forwarded from node to node all over a network, like the spread of a viral epidemic [7], [8], [9]. However, the condition that nodes have to receive an advertisement message from neighboring nodes before forwarding messages reduces the speed of messages spreading. By removing this condition, we can increase the speed more than previously claimed. Furthermore, when nodes are forwarding messages to a neighboring node, they do not restrict forwarding redundant messages. Network congestion will occur due to the enormous number of message exchanges from the forwarding behavior of nodes in Epidemic Routing.

In this paper, we aim to change the way to spread messages of Epidemic Routing. We propose a new routing algorithm in which messages are spread faster by using only a few number of forwarding messages. We increase the speed of messages spreading by letting a node forwards messages without waiting for notifications from advertisement messages. We also show how to use broadcast transmission (the nature of the wireless medium) to reduce the number of message exchanges. It means a message is delivered to a destination faster while using only a small number of forwarding messages.

II. RELATED WORKS

Before DTN is proposed, communication in extreme environment networks is inconvenient due to traditional network technology not be able to provide good enough services. For example, the traverse time between a source and a destination is too long to wait until the source comes in the destination's range and forwards a message. In some networks, forwarding paths are unpredictable because node's mobility is random. Thus, network partition can be happen all the time without warning signs. [10] To solve these problems, Store-Carry-Forward model has been used to create the possibility of message delivery in an extreme environment network. From the source, a message was forwarded to other carrying nodes until it reaches its destination. While nodes are moving around

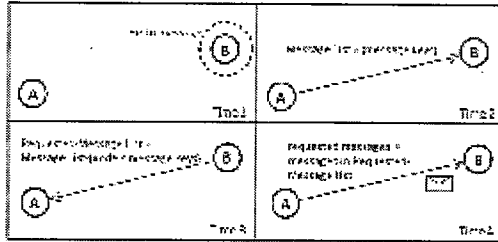


Figure 1. A scheme of Anti Entropy

network, the carrying node has a duty to store a message until it has a chance to forward a message to other nodes. Epidemic Routing resamples the simplest DTN protocol that adapted Store-Carry-Forward model. It works by spreading messages all over the network to reach the maximum delivery probability. Moreover, this idea is applied in a realistic opportunistic networking environment. It is a network of mobile devices named Mobile Delay/Disruption Tolerant Network (MDTN). [11] From [12], [13], DTN protocols have been categorized into two groups. The knowledge group is the first category; it uses particular devices to collect network information for creating temporary paths. The replication group is the second category. Without an end-to-end path, a node replicates and forwards a message to other nodes to increase the number of forwarding nodes because it relates to the message delivery probability. Some interesting DTN protocols in the replication group will be described in detail next. Note, for protocols in the replication group, the word "forward" means "replicate and forward" a message.

A. Anti Entropy

Evaluate Epidemic is a group of protocols that uses general information between nodes to increase the efficiency of messages forwarding [12]. Anti Entropy is a protocol in Evaluate Epidemic group, which reduces forwarding duplicate messages by updating message status between a pair of nodes [14]. Figure 1 presents a scheme of Anti Entropy. At Time 1, node B broadcasts a Hello message, which is an advertisement message from the node to other nodes. Because of the Hello message from node B, node A recognizes node B as a neighboring node. Hence, at Time 2, node A sends Message List, which contains message keys of its stored messages to node B. At Time 3, node B sends Requested-Message List that contains message keys of requested messages back to node A. At Time 4, node A forwards requested messages to node B. Therefore, by using Message List, an encountering node can request an unknown message from the forwarding node. In the same way, the forwarding node forwards only a requested message instead of its stored messages.

B. n-Epidemic

n-Epidemic is developed from Epidemic Routing. By taking an advantage of broadcast transmission, it reduces the number of message exchanges. A node forwards its stored messages

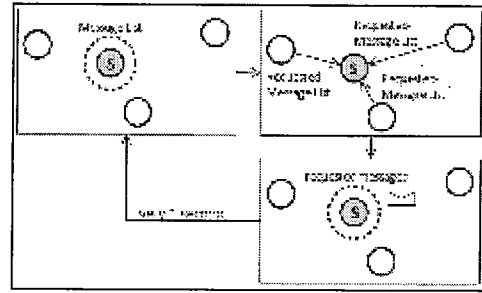


Figure 2. A scheme of EM-MA

by broadcasting if the number of neighboring nodes is greater or equal to N . Therefore, a node can forward messages to neighboring nodes by broadcasting one time instead of forwarding them directly to each neighboring node several times. Nevertheless, N is a sensitive parameter indicating the number of nodes in the network. If N is larger than the average number of neighboring nodes, messages have few chances to be forwarded. As a result, the destination has few chances to receive messages due to the low number of forwarding nodes. Conversely, if N is close to the average number of neighboring nodes, the number of message exchanges is slightly reduced from Epidemic Routing [15], [16].

C. Spray & Wait

Spray & Wait is Epidemic Routing that limits messages forwarding [17]. It reduces the number of message exchanges by limiting forwarding quota. *Replications* is the remaining quota that a message can be forwarded to other nodes. The message in Spray phase is messages that have more than one replications; a forwarding node can forward the message to another node. In contrast, the message in Wait phase is messages that have a single replication. The message will be stored in a forwarding node until it can forward the message directly to a destination. As we know, in DTN, the message delivery probability is proportional to the number of forwarding nodes. Although the little number of replications means a small number of forwarding messages, a message will not be delivered easily because of the little number of forwarding nodes. Additionally, Binary Spray & Wait is proposed to share the load of source nodes [18]. In Binary Spray & Wait, a node shares half of the number of replications with an encountering node instead of a single replication.

D. EM-MA

Epidemic Message with Message List Advertisement (EM-MA) is recently proposed protocol, which combined Anti Entropy and n-Epidemic [19]. EM-MA can reduce the number of message exchanges to the minimal point. Message List and broadcast transmission are used to reduce forwarding duplicate messages and the number of forwarding messages. A scheme of EM-MA is shown in Figure 2. Every second, at the start of a period, node S broadcasts Message List to neighboring

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<p>Algorithm to Handle Initial of period</p> <p>Procedure Broadcast_Message_List</p> <ol style="list-style-type: none"> 1: Clear Duplicate Set 2: Store Message List as M 3: For each key in message storage 4: Add key to R <p>Send R</p> <p>End for</p>	<p>Algorithm to Handle Requested-Message List</p> <p>Procedure Receive_Message_List</p> <ol style="list-style-type: none"> 1: Store Requested-Message List as R 2: For each key in R 3: If key is not in message storage then 4: Add key to M <p>Send M</p> <p>End for</p>
<p>Algorithm to Handle Requested-Message List</p> <p>Procedure Receive_Message_List</p> <ol style="list-style-type: none"> 1: For each key in R 2: If key is not in Duplicate Set 3: Add key to Duplicate Set 4: Copy and Broadcast a message that its key equals key 5: End for 	

Figure 3. Algorithms of SED

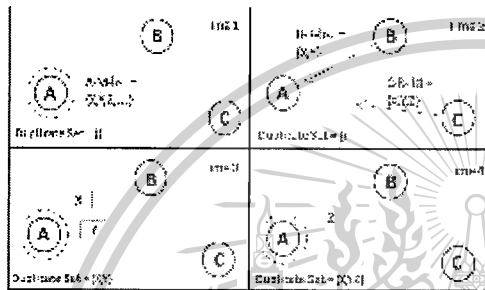


Figure 4. A sequence of SED

nodes. When neighboring nodes receive Message List, each of them sends Requested-Message List back to node S. After that, node S collects a message request from neighboring nodes and forwards all requested messages by broadcasting at the end of a period.

III. PROPOSED PROTOCOL

In this paper, we proposed a new routing algorithm which aims to increase the speed of messages spreading, Speed Epidemic Routing (SED). Figure 3 shows SED's algorithms in different situations: at an initial period, when receiving Message List, and when receiving Requested-Message List. At the beginning of a period, a node resets Duplicate Set and broadcasts Message List to advertise its stored messages to surrounding nodes. After receiving Message List, all surrounding nodes send a message request for the messages they do not have individually. This is referred to as Requested-Message List. A node responds to Requested-Message List by comparing all requested message keys in Duplicate Set, which is the set of forwarded messages in any period. If Duplicate Set does not include a requested message key, a node inserts it in Duplicate Set and forwards a requested message by broadcasting.

Figure 4 shows an example of SED when a node broadcasts Message List, and surrounding nodes request same messages. In this figure, there are three nodes: node A, node B, and node C. Time 1 is the start of a period of node A; the

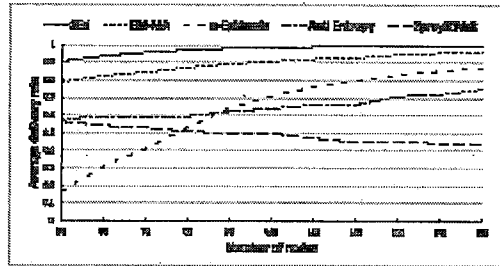


Figure 5. Average delivery rate in the different number of nodes

node broadcasts Message List (A-M-list), which is the set of message keys: X, Y, Z, and others. At the end of Time 1, Duplicate Set is empty. Next, node B receives A-M-list and sends Requested-Message List (B-R-list) to request message X and Y from node A at Time 2. At the same time, node C sends Requested-Message List (C-R-list), which contains message keys X, Y, and Z back to node A. At the end of Time 2, Duplicate Set is empty. Assume that node A receives and processes B-R-list before C-R-list. When node A receives B-R-list at Time 3, Duplicate Set does not have message keys X and Y. Hence, node A inserted message keys X and Y into Duplicate Set, and then forwards message X and Y by broadcasting. At the end of Time 3, Duplicate Set contains message keys X and Y. Nevertheless, when node A processes C-R-list at Time 4, Duplicate Set contains message keys X and Y, but does not include message key Z. Thus, node A inserted message key Z into Duplicate Set, and then forwards only message Z by broadcasting. At the end of Time 4, Duplicate Set contains message keys X, Y, and Z.

IV. ANALYSIS

In this section, we evaluate the performance of Speed Epidemic Routing (SED) by comparing it to Anti Entropy, n-Epidemic, Binary Spray & Wait (Spray & Wait), and EM-MA. We create simulations by using OMNeT++. The characteristics of the network environment are described as follows. The simulation area is a square. The square area is 1,000,000 square meters. Every node has the same transmission range, which is 100 meters. In the simulation, we vary the number of nodes between 50-150 nodes (in increment of 10) to represent the network performance in the different density of nodes. We can measure the number of message exchanges from Packet rate because every packet has the same size, 256 bits. For the mobility model, we use Random Waypoint. Nodes' speed are between 1 to 10 m/s. To ensure that all nodes are in the steady state before forwarding messages, we set the warm-up period equals to 300 seconds. From the simulation result, the steady-state average speed is 6.14 m/s[20]. We run 100 different scenarios for each DTM protocols. Moreover, in the simulation, every node is involved in the communication as the source of its message and the destination of another message. N for n-Epidemic equals 3. Replications for Spray & Wait are equal to 50% of the number of nodes.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

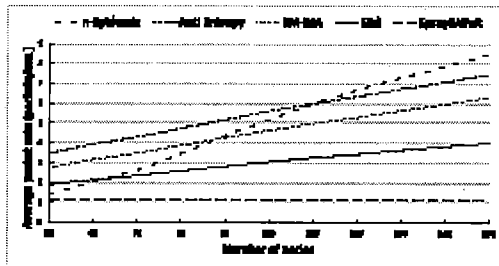


Figure 6. Average packet rate in the different number of nodes

Figure 5 shows the average delivery rate at 400 seconds in the different number of nodes. In this graph, we show the average delivery rate from another point of view: the tendency of Delivery rate when demand for communication in the network increases. From the graph, SED has the highest average delivery rate when compared to other protocols. Anti Entropy is the third, which is lower than SED and EM-MA, respectively. From 50-150 nodes, SED always has higher average delivery rate than EM-MA. That means, at the same point in time, SED can spread messages into the network faster than EM-MA. n-Epidemic has low average delivery rate between 50-100 nodes because nodes have the lowest opportunity to forward messages. Spray & Wait has the lowest delivery rate in the graph due to the number of replication, which limits messages forwarding.

To claim that the high delivery rate of SED came from a fewer number of forwarding messages, we present Packet rate graph in Figure 6. This figure shows the graph of average packet rate between 300-400 seconds with the different number of nodes. From this graph, SED has the lowest average packet rate compared to EM-MA, Anti Entropy, and n-Epidemic, respectively. By using Duplicate Set, in SED, a node does not forward a requested message that had already been forwarded in a period. n-Epidemic has a bigger number of forwarding messages when the number of nodes increases because the chances that the number of neighboring nodes being equal to N is higher. Spray & Wait has the lowest packet rate because the number of forwarding messages relies on the number of replications, not on the number of nodes.

V. CONCLUSION

The objective of this work is to increase the speed of messages spreading and reduce the number of message exchanges. We proposed Speed Epidemic Routing (SED), which applies broadcast transmission and Duplicate Set, to resolve two research problems. In the analysis, we created a network simulation to evaluate the performance of SED and other DTN protocols with different node densities. Delivery rate graph supports our assumption that SED has the highest speed of messages spreading among the protocols. Also, SED has fewer messages forwarding due to its low packet rate.

REFERENCES

- [1] V. Carl, S. Burlaigh, A. Hooks, L. Targerson, R. Durst, K. Scott, K. Fall, and H. Weiss, "Delay-tolerant networking architecture," RFC 4838, April, Tech. Rep., 2007.
- [2] K. Fall, "A delay-tolerant network architecture for challenged environments," in *Proceedings of the 2003 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*. ACM, 2003, pp. 27-34.
- [3] M. J. Khabbazi, C. M. Assi, and W. F. Fawaz, "Disruption-tolerant networking: A comprehensive survey on recent developments and persisting challenges," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, vol. 14, no. 2, pp. 807-840, 2012.
- [4] S. Kapadia, B. Krishnamachari, and L. Zhang, *Data delivery in delay tolerant networks: A survey*. INTECH Open Access Publisher, 2011.
- [5] C. Caimi, H. Cruickshank, S. Ferrell, and M. Marchese, "Delay-and disruption-tolerant networking (dm): an alternative solution for future satellite networking applications," *Proceedings of the IEEE*, vol. 99, no. 11, pp. 1980-1997, 2011.
- [6] S. Burlaigh, A. Hooks, L. Targerson, K. Fall, V. Carl, B. Durst, K. Scott, and H. Weiss, "Delay-tolerant networking: an approach to interplanetary internet," *Communications Magazine, IEEE*, vol. 41, no. 6, pp. 128-136, 2003.
- [7] A. Demers, D. Greene, C. Hauser, W. Irish, J. Larson, S. Shoobar, H. Sturgis, D. Swinehart, and D. Terry, "Epidemic algorithms for replicated database maintenance," in *Proceedings of the sixth annual ACM Symposium on Principles of distributed computing*. ACM, 1987, pp. 1-12.
- [8] C. S. De Amorim and R. M. Soles, "Modeling message diffusion in epidemical dm," *Ad Hoc Networks*, vol. 16, pp. 197-209, 2014.
- [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] Y. Cao and Z. Shen, "Routing in delay/disruption tolerant networks: A taxonomy, survey and challenges," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, vol. 15, no. 2, pp. 654-677, 2013.
- [11] C. Palamidis, A. Bujari, S. Bocatta, G. Maria, M. Roccetti, and A. Amoroso, "Mitar: Mobile delay/disruption tolerant network," in *Computer Communications and Networks (CCCN), 2011 Proceedings of 20th International Conference on*, July 2011, pp. 1-6.
- [12] E. P. Jones and P. A. Ward, "Routing strategies for delay-tolerant networks," *Submitted to ACM Computer Communication Review (CCR)*, 2006.
- [13] E. P. Jones, L. Li, I. R. Schmittke, and P. A. Ward, "Practical routing in delay-tolerant networks," *Mobile Computing, IEEE Transactions on*, vol. 6, no. 8, pp. 943-959, 2007.
- [14] A. Vahdat, D. Becker *et al.*, "Epidemic routing for partially connected ad hoc networks," *Technical Report CS-200008*, Duke University, Tech. Rep., 2000.
- [15] X. Lu and P. Hui, "An energy-efficient n-epidemic routing protocol for delay tolerant networks," in *Networking, Architecture and Storage (NAS), 2010 IEEE Fifth International Conference on*. IEEE, 2010, pp. 341-347.
- [16] R. De Rango and S. Amisio, "Performance evaluation of scalable and energy efficient dynamic n-epidemic routing in delay tolerant networks," in *Performance Evaluation of Computers and Telecommunication Systems (SPECTS), 2013 International Symposium on*. IEEE, 2013, pp. 162-173.
- [17] T. Spyropoulos, K. Psounis, and C. S. Raghavendra, "Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks," in *Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking*. ACM, 2005, pp. 252-259.
- [18] R. Dima and E. Lochin, "Modelling the delay distribution of binary spray and wait routing protocol," in *World of Wireless, Mobile and Multimedial Networks (WoWMoM), 2012 IEEE International Symposium on*. IEEE, 2012, pp. 1-6.
- [19] I. Chakraborty 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.
- [20] J. Yoon, M. Lin, and B. Noble, "Random waypoint considered harmful," in *INFOCOM 2003. twenty-second annual joint conference of the IEEE computer and communications societies, IEEE societies*, vol. 2. IEEE, 2003, pp. 1312-1321.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ช.

ผลงานเผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

Journal of Network and Computer Applications



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



A new explicit congestion notification scheme for satellite IP networks

Satoshi Utsumi^{a,*}, Salahuddin Muhammad Salim Zabir^b, Sumet Prabhavat^c^a *Fukuoka University, Faculty of Symbiotic Systems Science, 1 Kanayagawa, Fukuoka, Fukuoka, Japan*^b *National Institute of Technology, Tawau College, Department of Creative Engineering, 804 Sawada, Maoka, Tawau, Sarawak, Malaysia, Japan*^c *Faculty of Information Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, No. 1, Chalokkrung 1 Soi, Ladkrabang, Bangkok, Thailand*

ARTICLE INFO

Article history:

Received 6 January 2015

Received in revised form

15 June 2016

Accepted 29 August 2016

Available online 30 August 2016

Keywords:

TCP (Transmission Control Protocol)

ECN (Explicit Congestion Notification)

Congestion control

Satellite IP network

Analytical model

ABSTRACT

Longer transmission delay and higher link errors affect data communication performance over satellite links. The problem gets compounded in case a congestion occurs in the corresponding data path. Taking preventive measures before a congestion actually occurs can help in avoiding such situations. Irrespective of the network characteristics, Explicit Congestion Notification (ECN) either through ICMP messages or through marking packets aims to achieve this objective. However, use of ICMP messages for explicit congestion notification leads to vulnerability to attacks by malicious hosts. On the other hand, use of conventional marking schemes that mark data packets in the forward direction can be slow as they have to traverse the satellite links. In this manuscript, we propose a new mechanism of ECN for an even faster notification of an incipient congestion over satellite IP networks. Our proposal, Mark-Reverse ECN, marks packets corresponding to acknowledgement (ACK) segments in the reverse direction to the sender. This leads to a reduction of the latency between detection and actual notification. As such, our mechanism leads to a more accurate and effective approach to congestion control. In addition, our proposed mechanism is free from vulnerability to malicious attacks. We also develop a new analytical model for Mark-Reverse ECN on TCP Reno for performance prediction and validation of simulation outcomes. Simulation results show that our proposed mechanism (i) leads to up to 25% improvement of TCP performance, (ii) reduces packet loss at the congested router by down to about 0% and (iii) helps to improve the performance of conventional TCP when deployed together.

© 2016 Elsevier Ltd. All rights reserved.

1. Introduction

Longer transmission delay and higher link errors affect data communication performance over satellite links. Longer transmission delay results in slower data communication rate and slower response to changes in the network conditions. Higher link error, on the other hand, leads to loss of data while being transmitted. Both result in reduction of throughput in the corresponding data path. The problem gets compounded in case a congestion occurs in the corresponding data path. Taking preventive measures before a congestion actually occurs can be effective in avoiding such situations. Irrespective of the network characteristics, Explicit Congestion Notification (ECN) provides effective means to handle an incipient network congestion by notifying the corresponding TCP senders in advance. Such notifications can be achieved through ICMP messages or marking packets on the congested routes. However, both the schemes have their inherent weakness under certain conditions.

For example, in Rajan et al. (2002, 2003), the authors examined use of ICMP Source Quench (SQ) messages for Backward Explicit Congestion Notification (BECN) to inform the sender of the congestion situation in the network. However, such a mechanism allows the malicious hosts the opportunity to easily launch fake notification of congestion which would reduce the throughput of the target connection unnecessarily (Conti, 2010).

On the other hand, use of packet marking has been proposed as a superior option to packet dropping for notifying an incipient congestion to the sender (Alm et al., 2002; Kuhlwind et al., 2013). Usually, such marking is performed on Random Early Detection (RED) Gateways (Floyd and Jacobson, 1993). It has been found that ECN leads to better TCP performance than conventional buffer overflow dropping or RED based early dropping schemes in terms of throughput (Floyd and Jacobson, 1993; Almasri et al., 2012; Kuhlwind and Scheffenegger, 2012) or time delays for interactive traffic. However, if such marked data packets traverse through long delay links like a satellite link, the notification to the sender would take some time to reach the sender. During this time, the sender might continue sending data packets leading to worsening the congestion situation of the network and dropping of data packets if an overflow limit is reached.

* Corresponding author.

E-mail address: sutsumi@fukuoka-u.ac.jp (S. Utsumi).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

To overcome the above problems, in this manuscript, we propose a new mechanism of ECN for even faster notification of an incipient congestion over satellite IP networks. We name this as Mark-Reverse ECN. Our proposed scheme marks packets corresponding to acknowledgement (ACK) segments in the reverse direction to the sender. As a result, the latency between the detection of an imminent congestion and its notification to the end host is reduced. Since this allows the end host/sender to take actions in a more timely manner, our mechanism leads to an even more accurate and effective approach to congestion control. Moreover, our proposed mechanism is free from vulnerabilities to throughput-reduction attacks like the ones with ISQ because of the difficulty in obtaining connection information including the current TCP Acknowledgement sequence number etc.

We also develop a new analytical model for Mark-Reverse ECN on TCP Reno for performance prediction and validation of simulation outcomes. Simulation results show that our proposed mechanism (i) leads to up to 25% improvement of TCP performance, (ii) reduces packet loss at the congested router by down to about 0% and (iii) helps to improve the performance of conventional TCP when deployed together.

In our previous research (Usmani and Zahir, 2014), we devised a mechanism called Wireless Friendly Congestion Control (WFCC), to handle issues resulting from link errors over satellite channels. WFCC yields a significantly higher (up to 250%) throughput than standard TCP and is friendly to co-existing standard TCP flows. In this manuscript, we also show that when Mark-Reverse ECN is applied with WFCC over satellite links (which is equivalent to handling both the problems of link errors and long propagation delay over satellite link), the resulting throughput surpasses the same from other existing schemes.

The rest of this paper is organized as follows. We present a brief outline of relevant TCP congestion control schemes in Section 2. In Section 3, we describe a conventional ECN scheme, i.e., Mark-Tail ECN. In Section 4, we introduce our newly proposed Mark-Reverse ECN scheme. Section 5 describes a new analytical model for Mark-Reverse ECN. In Section 6, we evaluate our scheme comparing with the conventional scheme through simulations. Finally, we conclude this paper in Section 7.

2. Related works

In this section, we explain the related works for improving TCP performance over satellite networks.

Conventional TCP mechanisms of Slow Start, Congestion Avoidance and Fast Recovery have been designed to be well-mannered over the traditional Internet. As a result, on links where the bandwidth-delay product is large, TCP is significantly slow in discovering and utilizing the available bandwidth resource optimally. Satellite links belong to this category. Several research efforts address these issues from different perspectives.

HighSpeed TCP (Royal, 2003) provides a mechanism to improve TCP performance where the Congestion Window is adjusted for networks with large bandwidth delay products. The basic idea behind HighSpeed TCP is to modify the AIMD (Additive Increase and Multiplicative Decrease) as a function of cwnd. However, this scheme, as is not specialized for satellite links, considers link error losses as congestion loss. Also the moderate loss assumption where this is most effective, is often considerably less than practical for satellite links with relatively higher error rate. Hence despite some betterment than conventional TCP, it is not the optimal solution for use over satellite links.

BIC TCP (Xu et al., 2004) and CUBIC TCP (Jhee and Xu, 2005) are also for networks with large bandwidth delay products. BIC TCP uses two congestion window size control policies called

additive increase and binary search increase. BIC TCP is better than HighSpeed TCP in terms of bandwidth scalability and RTT (Round Trip Time) fairness (Xu et al., 2004). CUBIC TCP is an improvement of BIC TCP in term of RTT fairness (Jhee and Xu, 2005).

TCP Hybla (Caini and Firrincielli, 2004) has been proposed specifically for high RTT connections like satellite links. The basic idea of TCP Hybla is to obtain for long RTT connections the same instantaneous transmission rate of a comparatively fast reference TCP connection (e.g. wired ones). Although we find TCP Hybla to be quite effective even in cases of high link error rates, we observe that there is still room for proposing a more robust solution to yield better TCP performance over satellite links.

In a different thread, TCP-Peach, a unique approach for satellite links to solve the prohibitively slow inflation of the initial cwnd in Slow Start phase and recovering from a segment loss due to link errors has been proposed in Alyildiz et al. (2001). TCP-Peach (Alyildiz et al., 2001; Moraito et al., 2001) is a congestion control scheme based on probing segments, namely, dummy segments, for satellite networks with long propagation delays and relatively high link error rates. TCP-Peach replaces Slow Start and Fast Recovery in TCP Reno or in TCP NewReno with Sudden Start and Rapid Recovery, respectively. In Sudden Start and Rapid Recovery, the sender sends dummy segments, which are low-priority data segments carrying duplicate data blocks, to detect the available bandwidth in the network and tries to use the detected bandwidth for the connection.

TCP-Peach+ (Alyildiz et al., 2002) is an improvement of TCP-Peach. TCP-Peach+ replaces Sudden Start and Rapid Recovery algorithms of TCP-Peach by Jump Start and Quick Recovery respectively. Jump Start and Quick Recovery use NIL segments for probing the available bandwidth in the network instead of dummy segments. Because NIL segments carry unacknowledged data blocks, they can be used to recover lost segments by the receivers. At high link error rates, NIL segments in some scenario, may be more efficient than dummy segments, which carry duplicate data blocks.

TCP-Cherry (Usmani et al., 2006) is an improvement of TCP-Peach+. TCP-Cherry replaces Jump Start and Quick Recovery algorithms of TCP-Peach+ by Fast-Forward Start and First-Aid Recovery respectively. Fast-Forward Start and First-Aid Recovery use supplement segments for carrying new data blocks along with probing the available bandwidth in the network. At high link error rates, supplement segments in some scenario, may be more efficient than NIL segments, which carry unacknowledged data blocks.

As HighSpeed TCP, BIC TCP and CUBIC TCP are quite aggressive, standard TCP experiences starvation of throughput when deployed together with these aggressive TCP versions (Triah et al., 2004; Munir et al., 2007).

TCP Hybla is also more aggressive than standard TCP over satellite networks. Hence it affects standard TCP performance in such networks (Manoussis et al., 2005).

TCP-Peach, TCP-Peach+ and TCP-Cherry need for all intermediate nodes in the path to have a priority queuing system. It is difficult in a realistic Internet environment.

Various research works consider Explicit Congestion Notification (ECN) as a means for congestion control. A few of them, like Akujabi et al. (2002, 2003), consider use of Backward ECN (BECN) in the form of ICMP Source Quench Messages (ISQ) for the purpose. In addition, the authors of Akujabi et al. (2003) propose two thresholds for RED gateway for ECN and ISQ-based BECN. However, use of ISQ leads to vulnerability to attacks by aggressive hosts and has thus been considered unfair as well as ineffective. As such, in 1995, support of ISQ has been deprecated at the router level as outlined in RFC 1812 (Baker, 1995). Then, the use of ISQ has also been deprecated at the transport level in 2012 (RFC 6633 (Gont, 2012)).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A few ECN schemes deal with the issues related to satellite networks. The authors of Shang et al. (2008) proposed the combination of ECN and SNACK (Selective Negative Acknowledgement) option. These mechanism is capable of distinguishing congestion losses from link error losses. However, this scheme uses PEP (Performance Enhancing Proxy) for SNACK option. Use of PEP is a major violation of the End-to-End semantics of TCP.

The authors of Bai and Adigunzaman (2003) proposed a mechanism for appropriate selection of the RED threshold for ECN marking and Diff-C-TCP (Differentiation Capable TCP) to distinguish congestion from link error using ECN marking over satellite networks. Diff-C-TCP requires that all nodes in the path and end-nodes are ECN-capable. Hence the authors assume that their algorithm would be used within a WAN or enterprise network where it is possible to make all routers and end systems ECN capable.

3. Explicit Congestion Notification; conventional mark-tail scheme

Conventional ECN schemes are usually deployed over a Random Early Detection (RED) gateway. If an incipient congestion is detected, the data packets at the back of the corresponding router will be marked. Hence, it is often called Mark-Tail ECN. Fig. 1 demonstrates Mark-Tail ECN (Floyd, 1994). At time t_1 , suppose arrival of packet 1 at router R causes the router to experience congestion. It will then be marked before being forwarded to its destination. As this packet reaches destination D, corresponding ACK will also be marked. When this marked ACK reaches the source S at time t_2 , it will learn about the imminent congestion and will take actions accordingly. The time between detection and notification is almost RTT.

4. Our proposal: Mark-Reverse ECN

As mentioned before, Mark-Reverse ECN marks IP packets carrying ACK segments at the congested router that are on their way to the sender. We propose to deploy one bit flag on the IP header to indicate a Mark-Reverse ECN Capable Transport (MR-ECT). MR-ECT is different from the conventional ECN Capable Transport (ECT) bit and they both are mutually exclusive. That is, an IP packet cannot have both ECT and MR-ECT set at the same time.

Suppose a RED enabled router senses an incipient congestion in the forward direction from the sender to the receiver. With our scheme, the router will look for IP packets that have MR-ECT bit set in the reverse direction, i.e., from the receiver to the sender. If such packets exist, the router will set its CE (Congestion Experienced) bit. Upon reaching the end host (sender), this information

will be conveyed from the IP layer to the TCP layer which takes necessary actions.

Conventional Mark-Tail ECN scheme and Mark-Front ECN scheme (Liu and Jain, 2001) need about RTT time to notify congestion to the source node. To the contrary, Mark-Reverse ECN scheme needs nearly zero time to notify congestion to the source node if the congestion link is near the source node. Hence, congestion notification is faster with Mark-Reverse ECN. As a result, the number of packet lost due to congestion is minimized. This is a very useful property particularly when the scheme is on a satellite link.

As mentioned before, in case of Backward Explicit Congestion Notification (BECN), backward congestion notifications are sent as ICMP Source Quench (SQ) messages. As such, they can be vulnerable to any arbitrary third party billed throughput reduction attacks. On the other hand, Mark-Reverse ECN scheme uses the packets of the same connection for congestion notification. Hence, packets from a particular connection can only be marked by the nodes that they pass through. Moreover, this mechanism is free from overheads like SQ messages.

Fig. 2 shows how our proposed Mark-Reverse ECN works. At time t_1 , suppose arrival of packet 1 at router R causes the router to experience congestion. When an ACK packet of any previous packet arrives at the router, e.g. at time t_1' , it will be marked before being forwarded to its destination (i.e., Source S). Let us assume that the ACK packet acknowledges the successful delivery of packet 0 which is previously sent at time t_0 . Since both the detection and notification are free from the influence of the bottleneck link, notification delay $\Delta t = t_1' - t_1$ is very small. We are assuming that the satellite networks, especially GEO (Geostationary Earth Orbit) satellite networks, with access links. The average RTT of GEO satellite links is around 550 ms. Comparing with 550 ms, the one way delays of access links, e.g. Wi-Fi links or LTE links, is very small or negligible.

5. Analytical models for Mark-Reverse ECN

In this section, we first present an analytical model for Mark-Reverse ECN. The model extends the scope of corresponding models proposed in Zheng et al. (2003), Candwell et al. (2000) and Padhye et al. (2000). We utilize the model to first compute the performance of (i) short lived and (ii) steady state TCP flows with varying packet loss ratio and packet mark ratio. We then use the model to validate results obtained from simulation. Our proposed model is composed of four parts according to a typical short-lived flow evolution as follows:

- the start of the connection (three-way-handshake),

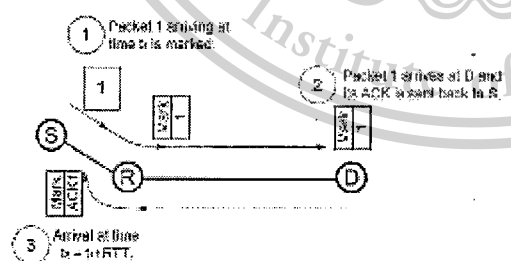


Fig. 1. Mark-Tail ECN scheme.

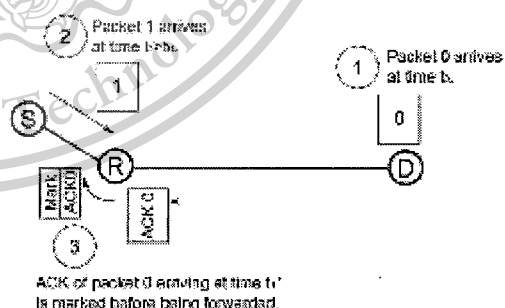


Fig. 2. Mark-Reverse ECN scheme.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E[Z^{TD}] = T_0 \frac{f(p)}{1-p} \tag{8}$$

where T_0 is the average duration of the first time-out, and

$$f(p) = 1 + p + 2p^2 + 4p^3 + 8p^4 + 16p^5 + 32p^6 \tag{9}$$

Finally, the expected latency that this loss would incur is

$$T_{loss} = \frac{p}{p+q} (1 - (1 - (p+q))^d) + (Q^{SS}(W^{SS})E[Z^{TD}] + (1 - Q^{SS}(W^{SS}))RTT) \tag{10}$$

5.4. Sending the rest of the packets

After the first packet loss or the first packet mark, the transmission latency of the remaining $(d - E[Y^{SS}])$ packets is obtained as follows

$$T_{rest} = \frac{d - E[Y^{SS}]}{H} \tag{11}$$

where H is the throughput of a steady state flow.

Figs. 3 and 4 compare packet transmission dynamics with packet drop and packet marking respectively. Here we define TDMP (triple-duplicate or marked period) to be the period between two triple-duplicate (TD) losses or receipts of marked ACKs. As can be seen from Figs. 3 and 4, since Mark Reverse ECN can detect an incipient congestion one RTT earlier than standard TCP, it eliminates the need for sending packets in the last round (β_1 packets in case of Fig. 3). For GEO (Geostationary Earth Orbit) satellites with RTT of nearly 550 ms, this difference is significant.

Taking this into account, we then derive the following general form equations (Eqs. (12)–(15)) for both the scenarios either when a packet loss occurs (Fig. 3) or when a marked ACK is received (Fig. 4). We derive these equations by extending the equations presented in Padhye et al. (2000). Let b be the number of data packets (segments) that are acknowledged by an ACK. In case the TCP implements delayed ACK, the value of b is 2.

$$Y_i = \begin{cases} \alpha_i + W_i^{TDM} - 1, & \text{when a packet loss occurs} \\ \alpha_i - (\beta_i + 1) + W_i^{TDM}, & \text{when a marked ack is received} \end{cases} \tag{12}$$

$$A_i = \begin{cases} \sum_{j=1}^{\alpha_i} r_j, & \text{when a packet loss occurs} \\ \sum_{j=1}^{\alpha_i} r_j, & \text{when a marked ack is received} \end{cases} \tag{13}$$

$$W_i^{TDM} = \frac{W_{i-1}^{TDM}}{2} + \frac{X_i}{b} - 1, \tag{14}$$

$$Y_i = \begin{cases} \frac{X_i}{2} \left(\frac{W_{i-1}^{TDM}}{2} + W_i^{TDM} - 1 \right) + \beta_i, & \text{when } \alpha_i \\ & \text{packet loss occurs} \\ \frac{X_i}{2} \left(\frac{W_{i-1}^{TDM}}{2} + W_i^{TDM} - 1 \right), & \text{when } \alpha_i \\ & \text{marked ack is received} \end{cases} \tag{15}$$

where X_i is the penultimate round in the TDMP which experiences packet losses, r_j is the round trip time, W_i^{TDM} is the window size at the end of a TDMP, α_i is the number of packets sent in a TDMP until the first loss or the first receipt of a marked ACK occurs, and β_i is the number of packets sent before the loss or the receipt of a

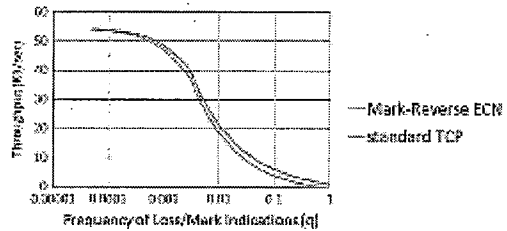


Fig. 5. Derived throughput for the steady state flow for standard TCP and Mark-Reverse ECN. For standard TCP, the mark ratio q is set to zero while loss ratio is varying. For Mark-Reverse ECN, the loss ratio p is set to zero and mark ratio q is varying. The conditions are: $RTT=550$ ms, $MSS=1000$ bytes, $T_r=T_0=1s$, $W_c=30$ segments, $b=1$.

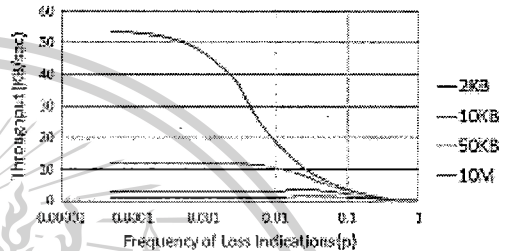


Fig. 6. Derived throughput for short TCP flows when loss ratio p is varying and mark ratio is constant $q=0$. The conditions are: $RTT=550$ ms, $MSS=1000$ bytes, $T_r=T_0=1s$, $W_c=30$ segments, $b=1$.

marked ack in the round. The expected value of the number of packets sent in a round when congestion occurs, $E[Y]$, is

$$E[Y] = \begin{cases} E[\alpha] + E[W^{TDM}] - 1, & \text{when a packet loss occurs} \\ E[\alpha] - (E[\beta] + 1) + E[W^{TDM}], & \text{when a marked ack is received} \end{cases} \tag{16}$$

where $E[\alpha]$ is the expected number of packets sent in a TDMP up to and including the first packet that is lost or marked. Eq. (15) is based on Eq. (12) and extends the concept of Padhye et al. (2000) to a more general form including packet marking. Given our loss and mark model, the probability that $\alpha_i = k$ equals the probability that exactly $k-1$ packets are successfully acknowledged before a loss or a mark occurs is

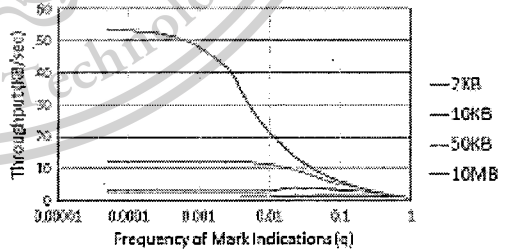


Fig. 7. Derived throughput for short TCP flows and the steady state flow when loss ratio is constant $p=0$ and mark ratio is varying. The conditions are: $RTT=550$ ms, $MSS=1000$ bytes, $T_r=T_0=1s$, $W_c=30$ segments, $b=1$.

$$P\{\alpha = k\} = (1 - (p + q))^{k-1}(p + q), \quad k = 1, 2, \dots \quad (17)$$

The mean of α is thus,

$$E[\alpha] = \sum_{k=1}^{\infty} (1 - (p + q))^{k-1}(p + q)k = \frac{1}{p + q} \quad (18)$$

From (15) and (18) it follows that

$$E[Y] = \begin{cases} \frac{1 - (p + q)}{p + q} + E[W^{TDM}], & \text{when a packet loss occurs} \\ \frac{1 - (p + q)}{p + q} - E[\beta] + E[W^{TDM}], & \text{when a marked ack is received} \end{cases} \quad (19)$$

From Zhang (2002) the expected round where the first loss or the first mark occurs, $E[X]$, is

$$E[X] = b \left(\frac{E[W^{TDM}]}{2} + 1 \right) \quad (20)$$

From Zhang (2002) the expected value of the number of packets sent in a round when congestion occurs, $E[Y]$, is

$$E[Y] = \begin{cases} \frac{E[X]}{2} \left(\frac{E[W^{TDM}]}{2} + E[W^{TDM}] - 1 \right) + E[\beta], & \text{when a packet loss occurs} \\ \frac{E[X]}{2} \left(\frac{E[W^{TDM}]}{2} + E[W^{TDM}] - 1 \right), & \text{when a marked ack is received} \end{cases} \quad (21)$$

Then, from Eqs. (19)–(21), we get the following expression which involves $E[W^{TDM}]$:

$$\frac{1 - (p + q)}{p + q} + E[W^{TDM}] = \frac{E[X]}{2} \left(\frac{E[W^{TDM}]}{2} + E[W^{TDM}] - 1 \right) + E[\beta] \quad (22)$$

For simplicity, we assume β_i to be uniformly distributed between 1 and $W_i - 1$. Thus, $E[\beta] = E[W^{TDM}]/2$. Combining (20) and (22), we get:

$$E[W^{TDM}] = \frac{2(b-1)}{3b} + \frac{4(b(p+q) + 2(1-(p+q))) + \frac{(2(b-1))^2}{3b}}{3b(p+q)} \quad (23)$$

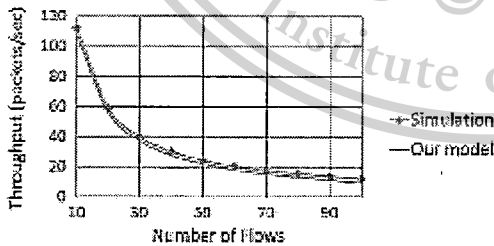


Fig. 2. Throughput comparisons between analytical model and simulation for Mark-Reverse ECN.

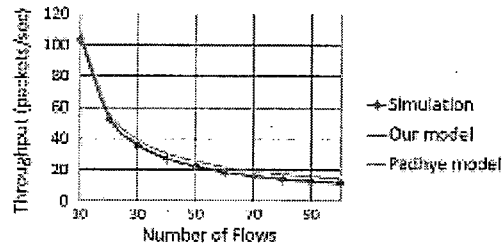


Fig. 3. Throughput comparisons between analytical model and simulation for standard TCP with drop tail.

From Zhang (2002) the expected value of duration of a round, $E[A]$, is

$$E[A] = \begin{cases} RTT \cdot (E[X] + 1), & \text{when a packet loss occurs} \\ RTT \cdot E[X], & \text{when a marked ack is received} \end{cases} \quad (24)$$

That is,

$$E[A] = \frac{p}{p+q} RTT \cdot (E[X] + 1) + \frac{q}{p+q} RTT \cdot E[X] \quad (25)$$

5.5 Impact of window limitation

At the beginning of TCP flow establishment, the receiver advertises a maximum buffer size which determines a maximum congestion window size, W_m . As a consequence, during a period without loss indications, the window size can grow up to W_m , but will not grow further beyond this value. During the first TDMP, the window grows linearly up to W_m , for U rounds, then remains constant for V rounds, and then a triple-duplicate or marking indication occurs. The expected U rounds, $E[U]$, is as follows (Padhye et al., 2000):

$$E[U] = \frac{b}{2} W_m \quad (26)$$

Since Y_i , the number of packets in the i th TDMP, does not depend on window limitation, $E[Y]$ is given by (16):

$$E[Y] = E[\alpha] + W_m - 1 \quad (27)$$

From Padhye et al. (2000),

$$E[Y] = \frac{3}{4} W_m E[U] + W_m E[V] \quad (28)$$

Then,

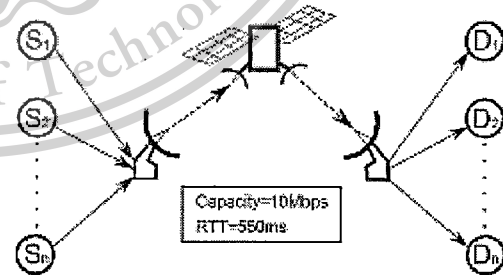


Fig. 10. Simulation scenario.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

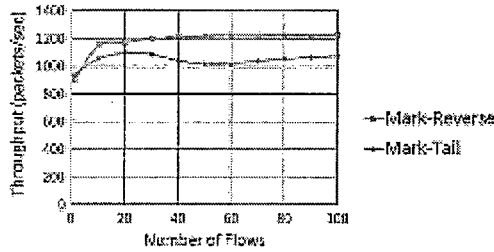


Fig. 11. Throughput comparisons between Mark-Reverse ECN and Mark-Tail ECN (simulation results).

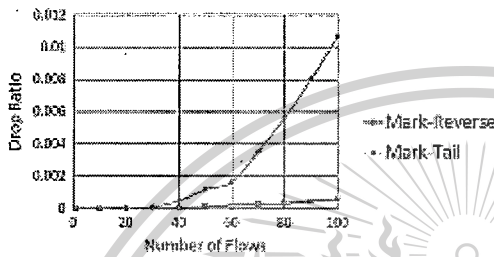


Fig. 12. Loss ratio comparisons between Mark-Reverse ECN and Mark-Tail ECN (simulation results).

$$\frac{1 - (p + q)}{p + q} + W_m = \frac{3b}{8} W_m^2 + W_m E[V]. \quad (29)$$

Thus,

$$E[V] = \frac{1 - (p + q)}{(p + q)W_m} + 1 - \frac{3b}{8} W_m. \quad (30)$$

Finally, since $X_i = U_i + V_i$ in TDMP, we have

$$E[X] = E[U] + E[V] = \frac{b}{8} W_m + \frac{1 - (p + q)}{(p + q)W_m} + 1. \quad (31)$$

5.6. Throughput and latency

The expected number of packets that have been received in a TDMP, $E[Y]$, is

$$E[Y] = \begin{cases} E[\alpha] + E[\beta] - 1, & \text{when a packet loss occurs} \\ E[\alpha] + E[W^{TDM}] - E[\beta] - 1, & \text{when a marked out is received} \end{cases} \quad (32)$$

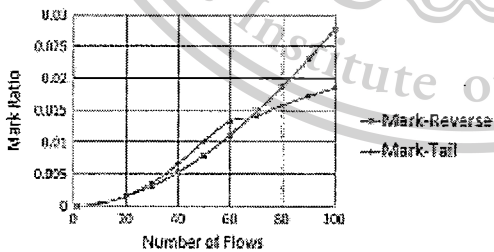


Fig. 13. Mark ratio comparisons between Mark-Reverse ECN and Mark-Tail ECN (simulation results).

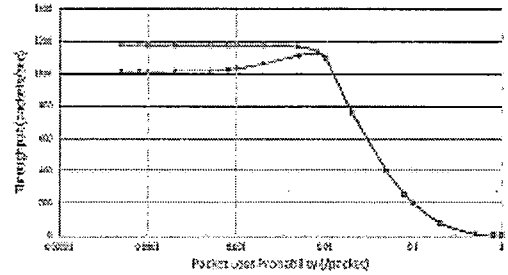


Fig. 14. Throughput of Mark-Reverse and Mark-Tail ECN with standard TCP New-Reno (simulation results).

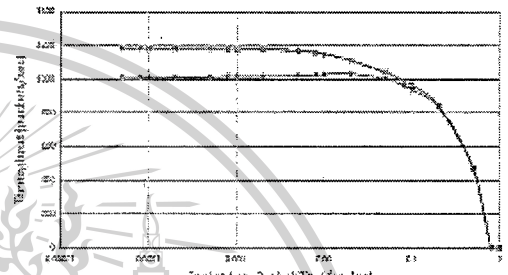


Fig. 15. Throughput of Mark-Reverse and Mark-Tail ECN with WFCC (simulation results).

That is,

$$E[Y] = \frac{p}{p + q} (E[\alpha] + E[\beta] - 1) + \frac{q}{p + q} (E[\alpha] + E[W^{TDM}] - E[\beta] - 1) = E[\alpha] + \frac{E[W^{TDM}]}{2} - 1. \quad (33)$$

As Padhye et al. (2000), during congestion-avoidance phase, $Q(w)$, the probability of detection of a loss through a TCP Timeout (TO) in a window size w , is given by

$$Q(w) = \begin{cases} 1, & \text{when } w \leq 3 \\ \sum_{k=0}^2 A(w, k) + \sum_{k=3}^w A(w, k) h(k), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (34)$$

The expected number of packets received in the time-out phase,

$$E[R] = L. \quad (35)$$

Thus, the throughput can be formulated as:

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

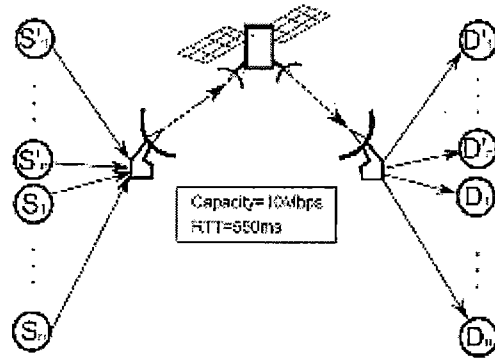


Fig. 5. Simulation scenario with standard TCP flows.

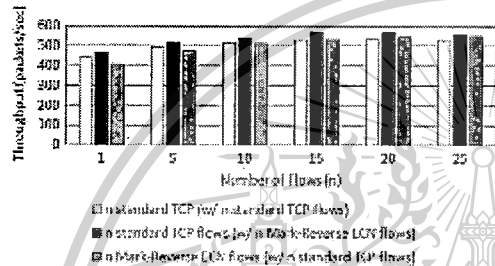


Fig. 6. Throughput comparison of standard TCP flows while coexisting with (F) only standard TCP flows and (H) Mark-Reverse ECN flows (simulation results).

$$H = \begin{cases} \frac{1}{p+q} + \frac{E[W_m]}{2} - 1 + \frac{p}{p+q} Q(W^{TDM}) \\ \frac{p}{p+q} RTT \left(\frac{D}{8} W_m + \frac{1-(p+q)}{(p+q)W_m} + 2 \right) + \frac{q}{p+q} RTT \left(\frac{D}{8} W_m + \frac{1-(p+q)}{(p+q)W_m} + 1 \right) + \frac{p}{p+q} Q(W^{TDM}) T_0 \frac{f(p)}{1-p} \\ \text{, when } E[W^{TDM}] > W_m \\ \frac{1}{p+q} + \frac{E[W^{TDM}]}{2} - 1 + \frac{p}{p+q} Q(W^{TDM}) \\ \frac{p}{p+q} RTT \left(b \left(\frac{E[W^{TDM}]}{2} + 1 \right) + 1 \right) + \frac{q}{p+q} RTT \left(b \left(\frac{E[W^{TDM}]}{2} + 1 \right) + 1 \right) + \frac{p}{p+q} Q(W^{TDM}) T_0 \frac{f(p)}{1-p} \\ \text{, when } E[W^{TDM}] \leq W_m \end{cases} \quad (35)$$

Fig. 5 shows throughput for Mark-Reverse ECN and standard TCP derived from the analytical model in steady state scenario. For calculating throughput for standard TCP, we set the packet mark ratio to 0 while varying the packet loss ratio. On the other hand, while calculating throughput for Mark-Reverse ECN, we set the packet loss ratio to 0 (under the condition when link error rate is 0 and TCP is in the steady state phase), while varying the packet mark ratio. The conditions are RTT=550 ms, MSS=1000 bytes, $T_r=T_o=1$ s, $W_m=30$ segments and $b=1$, that is, delayed ACKs are not implemented.

Fig. 6 shows throughput derived from the analytical model for short TCP flows without ECN transferring different data transfer volume. The loss ratio p is varying and mark ratio is constant $q=0$. The conditions are RTT=550ms, MSS=1000 bytes, $T_r=T_o=1$ s,

$W_m=30$ segments and $b=1$, that is, delayed ACKs are not implemented.

Fig. 7 shows throughput derived from the analytical model for short TCP flows with Mark-Reverse ECN transferring different data transfer volume. The loss ratio is constant $p=0$ (under the condition when link error ratio is 0 and TCP is in the steady state phase) and mark ratio q is changing. The conditions are RTT=550 ms, MSS=1000 bytes, $T_r=T_o=1$ s, $W_m=30$ segments and $b=1$, that is, delayed ACKs are not implemented.

As observed in Fig. 5, although the two curves look similar, the throughput of Mark-Reverse is higher than that of standard TCP. Then as we take into account Fig. 6 corresponding to short flows with varying packet loss ratio (standard TCP) and Fig. 7 corresponding to short flows with varying packet marking ratio (Mark-Reverse), we observe that although the curves look similar, the throughput of Mark-Reverse is higher than that of standard TCP for the same conditions.

As we will see later in Fig. 12, the number of packets dropped by Mark-Reverse ECN scheme is very small (or negligible) even when a large number of flows are present in the network. Hence, Fig. 7 (where loss ratio, $p=0$) roughly represents TCP Reno performance with Mark-Reverse ECN.

From Zheng et al. (2003), the total expected latency is

$$T_{delay} = E[T_{loss}] + E[T_r] RTT + T_{con} + T_{res} - \frac{RTT}{2} \quad (37)$$

Here, the delay caused by the delayed acknowledgement for the first packet is 0 ms. That is, the option of delayed acknowledgement is off.

5.7. Validation

We first calculate throughput of our proposed model and

Padhye model (Padhye et al., 2000) for varying number of flows using the analytical model of Section 5. We then compare them with results obtained from simulations conducted on network simulator ns-2 using the parameters used and given in Section 6.3. That is, we set the packet size to 1000 bytes, the maximum TCP window size to 1000 segments, the capacity of the satellite link between senders and receivers to 10 Mbps (about 1300 packets/sec), and the round trip time of the satellite link to 550 ms. We set RED for ECN on the forwarding node of the satellite link. The buffer size is 100 packets. The simulation time is 500 s. The results are shown in Figs. 8 and 9.

Fig. 8 shows the results obtained by our analytical model and simulation of Mark-Reverse ECN. As can be observed, simulation results closely match the curve obtained from our model.

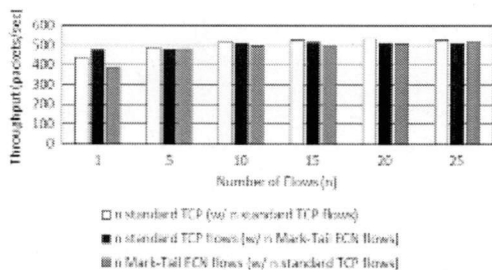


Fig. 18. Throughput comparison of standard TCP flows while co-existing with (i) only standard TCP flows and (ii) Mark-Tail ECN flows (simulation results).

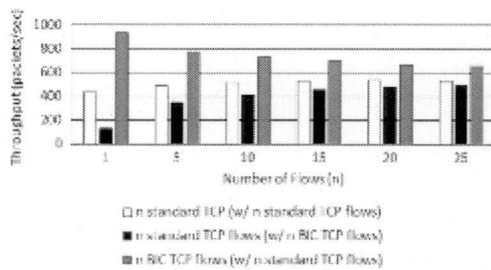


Fig. 21. Throughput comparison of standard TCP flows while co-existing with (i) only standard TCP flows and (ii) BIC TCP flows (simulation results).

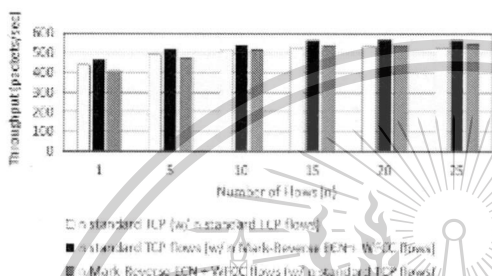


Fig. 19. Throughput comparison of standard TCP flows while co-existing with (i) only standard TCP flows and (ii) Mark-Reverse ECN+WFEC flows (simulation results).

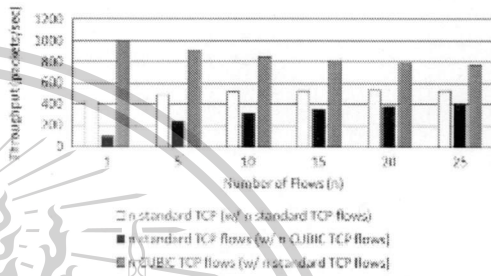


Fig. 22. Throughput comparison of standard TCP flows while co-existing with (i) only standard TCP flows and (ii) CUBIC TCP flows (simulation results).

Fig. 9 shows the results obtained from the Padhye (Padhye et al., 2000) model, our model and corresponding simulation results. It should be noted that for comparison purposes with packet dropping mechanisms, only a subset of our model, i.e., our model without Mark-Reverse function has been used in the calculations. As can be seen, simulation results match the curve from Padhye model (Padhye et al., 2000) reasonably closely. Moreover, the curves yielded from the simulation and from our model match almost exactly.

As such, we can reasonably infer that our model correctly represents the system behavior.

6. Simulation

In this section, we describe how we evaluate the performance implications of Mark-Reverse ECN by comparing with the

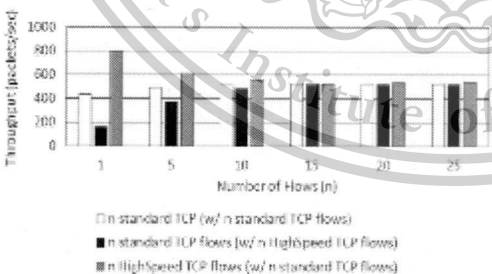


Fig. 20. Throughput comparison of standard TCP flows while co-existing with (i) only standard TCP flows and (ii) HighSpeed TCP flows (simulation results).

performances of existing schemes through simulation. We use the widely used network simulator, ns-2 (UCB/LBNL/MINT) for the purpose.

6.1. Performance metrics

The major performance metrics that we use to evaluate are as follows:

- 1. throughput, throughput is defined as the number of data packets that are transmitted from the sender(s) to the receiver (s) and acknowledged per unit time. That is,

$$\text{throughput} = \frac{\text{Amount of Cumulatively Acknowledged Data}}{\text{Connection Duration}}$$

- 2. packet loss ratio
- 3. mark ratio

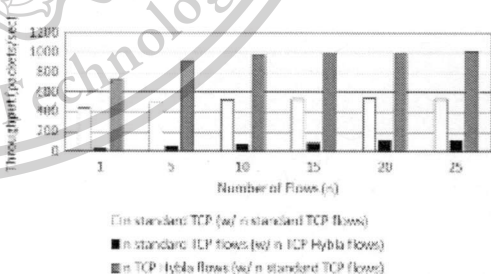


Fig. 23. Throughput comparison of standard TCP flows while co-existing with (i) only standard TCP flows and (ii) TCP Hybla flows (simulation results).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Besides these, we also observe how deployment of different new TCP enhancement schemes (e.g. TCP NewReno supporting Mark-Reverse ECN, TCP NewReno supporting Mark-Tail ECN, HighSpeed TCP etc.) affect the throughput obtained by conventional TCP NewReno.

6.2. Simulation scenario

We use the simulation scenario as shown in Fig. 10 for evaluating the above performance metrics. In our simulations, we set the packet size to 1000 bytes, the maximum TCP window size to 1000 segments, the capacity of the satellite link between senders and receivers to 10 Mbps (1250 packets/sec), round trip time of the satellite link to 550ms. We set RED for ECN on the forwarding node of the satellite link. The buffer size is 100 packets. The simulation time is 500 s.

6.3. Evaluation of throughput, loss ratio and mark ratio

At first, we set the link error ratio to 0% and vary the number of TCP flows. Fig. 11 shows comparison between TCP throughput when Mark-Reverse and Mark-Tail ECN schemes are deployed respectively. We see that Mark-Reverse yields up to 25% better performance than Mark-Tail ECN even when the number of connections increase.

Fig. 12 compares the packet loss ratio for both Mark-Reverse and Mark-Tail ECN schemes. We see that Mark-Reverse leads to very small loss ratio. Furthermore, all of drops are in initial slow start phase, even when the number of flows increase. That is, in the steady state phase of TCP with Mark-Reverse ECN, the loss ratio is 0. On the other hand, packet loss ratio drastically increases with Mark-Tail under similar conditions.

In Fig. 13, we compare the mark ratio for both the schemes. As can be seen, the ratio remains similar for both Mark-Reverse and Mark-Tail even when the number of connections is increased up to a certain level. Beyond that, the ratio becomes higher for Mark-Reverse. That is, more packets are marked using this scheme.

Next, we evaluate the throughput of Mark-Reverse ECN scheme with Wireless Friendly Congestion Control (WFCC) (Jitsumi and Zahir, 2014). As mentioned in Section 1, WFCC attempts to overcome the impact of link errors over satellite channels. In our simulations, we vary the link error ratio from 0.00005 to 10, and set the number of TCP flows to 50. We evaluate the throughput of Mark-Reverse ECN+WFCC comparing with Mark-Tail ECN+WFCC, Mark-Reverse ECN+standard TCP, and Mark-Tail ECN+standard TCP. Each scheme uses the TCP SACK option. The results are shown in Figs. 14 and 15.

As we see, deployment of Mark-Reverse scheme improves the throughput of both standard TCP and WFCC more than the Mark-Tail scheme. Moreover, for all practical ranges of link error rate values over satellite channels (e.g. 0.1), the Mark-Reverse+WFCC combination leads to the highest throughput.

6.4. Evaluation of TCP friendliness

In this section, we evaluate the TCP friendliness of the Mark-Reverse scheme. We simulate situations where both standard TCP (i.e. TCP NewReno not-supporting ECN) and Mark-Reverse ECN capable TCP flows co-exist. Also, to figure out relative TCP friendliness of the Mark-Reverse scheme with respect to other schemes like Mark-Tail, CUBIC TCP, TCP Hybla etc., we simulate situations where standard TCP co-exists with them. We use the simulation model of Fig. 16 for the purpose.

We set,

- Standard TCP senders and their receivers on $S_1 \sim S_n$ and on $D_1 \sim D_n$ respectively.

- Different types of TCP variants (e.g. standard TCP, TCP NewReno supporting Mark-Reverse ECN, Highspeed TCP, BIC, CUBIC and TCP Hybla) senders and their receivers on $S_1 \sim S_n$ and on $D_1 \sim D_n$ respectively.

The simulation parameters are the same as Section 6.2.

The results from these experiments are shown in Fig. 17 through Fig. 23. Each figure contains several groups of three bar graphs. Each of these groups corresponds to a particular number of simulated connections (e.g. 1, 5, 10 etc.).

- The left bar of all these figures show the total throughput of n nos. of standard TCP when deployed together with n nos. of standard TCP and the value is the same in all the figures.
- The middle bar shows the total throughput of n nos. of standard TCP when deployed with different variants of TCP respectively. For example, in Fig. 17, the middle bar corresponds to the throughput of n standard TCPs when deployed together with n nos. of HighSpeed TCP flows. Similar for other figures.
- The right bar of all these figures correspond to the total throughput of n nos. of specific TCP flows (different for each figure) when deployed together with n nos. of standard TCP flows. For example, the right bar in Fig. 17 shows the throughput of n nos. of Mark Reverse flows when deployed together with n nos. of standard TCP flows. Similarly, the right bar of Fig. 20 corresponds to HighSpeed TCP flows and so on.

In the first set of experiments, on the forwarding node of the satellite link, we implement RED gateway for standard TCP to drop packets. We run simulations for the situations when $S_1 \sim S_n$ are also fed with standard TCP.

Next, on the forwarding node of the satellite link, we implement RED gateway for standard TCP to drop packets and for Mark-Reverse ECN to mark packets. We run simulations for the situations when $S_1 \sim S_n$ are fed with TCP NewReno flows supporting Mark-Reverse ECN.

Fig. 17 compares throughput of standard TCP flows on $S_1 \sim S_n$ in two situations when co-existing with (i) standard TCP and (ii) TCP NewReno flows supporting Mark-Reverse ECN. They correspond to the left and middle bars in each cluster of the bar graph respectively. It is observed that the throughput of standard TCP flows connected to $S_1 \sim S_n$ is similar in both the cases or is better in the latter case. That is, Mark-Reverse does not affect the performance of standard TCP when both are deployed together. As such, we can infer that besides yielding higher performance, Mark-Reverse ECN is friendly to standard TCP.

About Fig. 17, TCP with Mark-Reverse ECN detects congestion earlier than standard TCP (non-ECN) when they co-exist. That is, TCP flows with Mark-Reverse ECN decrease congestion window size earlier than the ones without ECN. Moreover, in such a situation where both packet marking and packet dropping types of TCP flows are present, it is possible that packets from a Mark-Reverse TCP connection would also get dropped like standard TCP due to buffer overflow. As such, corresponding TCP connection would go through duplicate decrease of the congestion window. This can lead to lower throughput for Mark Reverse TCP than ideal. The right bars in Fig. 17 demonstrates this phenomenon. As can be seen, here the total throughput of standard TCP is greater than total throughput of Mark-Reverse TCP.

Next, on the forwarding node of the satellite link, we implement RED gateway for standard TCP (non-ECN) to drop packets and for Mark-Tail ECN to mark packets. We run simulations for the situations when $S_1 \sim S_n$ are fed with TCP NewReno flows supporting Mark-Tail ECN.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 18 compares throughput of standard TCP flows on $S_1 \sim S_n$ in two situations when co-existing with (i) standard TCP and (ii) TCP NewReno flows supporting Mark-Tail ECN. They correspond to the left and middle bars in each cluster of the bar graph respectively. It is observed that throughput of standard TCP flows is a bit smaller in the latter case. Hence, we can infer that Mark-Tail is not as friendly to standard TCP as Mark-Reverse. Also, throughput of Mark-Tail ECN flows is similar to throughput of standard TCP flows co-existing with standard TCP flows only (the former scenario or scenario (i)).

Next, on the forwarding node of the satellite link, we implement RED gateway for standard TCP (non-ECN) to drop packets and for Mark-Reverse ECN to mark packets. We run simulations for the situations when $S_1 \sim S_n$ are fed with TCP NewReno flows supporting Mark-Reverse ECN with WFCC.

Fig. 19 compares throughput of standard TCP flows on $S_1 \sim S_n$ in two situations when co-existing with (i) standard TCP and (ii) TCP NewReno flows supporting Mark-Reverse ECN with WFCC. They correspond to the left and middle bars in each cluster of the bar graph respectively. It is observed that throughput of standard TCP flows and one of Mark-Reverse ECN with WFCC are almost the same as Fig. 17 respectively. That is, the throughput of standard TCP flows connected to $S_1 \sim S_n$ is similar in both the cases or is better in the latter case – Mark-Reverse with WFCC does not affect the performance of standard TCP when both are deployed together. As such, we can infer that besides yielding higher performance, Mark-Reverse ECN with WFCC is friendly to standard TCP.

Next, on the forwarding node of the satellite link, we implement RED gateway for standard TCP and HighSpeed TCP to drop packets. We run simulations for the situations when $S_1 \sim S_n$ are fed with HighSpeed TCP flows.

Fig. 20 compares throughput of standard TCP flows on $S_1 \sim S_n$ in two situations when co-existing with (i) standard TCP and (ii) HighSpeed TCP flows. They correspond to the left and middle bars in each cluster of the bar graph respectively. It is observed that throughput of standard TCP flows is much less in the latter case. Hence, we can infer that HighSpeed TCP is not friendly to standard TCP flows. We also observe that the throughput of HighSpeed TCP flows is only a little larger than throughput of standard TCP flows co-existing with standard TCP flows only (the former scenario or scenario (i)).

Next, on the forwarding node of the satellite link, we implement RED gateway for standard TCP and BIC TCP to drop packets. We run simulations for the situations when $S_1 \sim S_n$ are fed with BIC TCP flows.

Fig. 21 compares throughput of standard TCP flows on $S_1 \sim S_n$ in two situations when co-existing with (i) standard TCP and (ii) BIC TCP flows. They correspond to the left and middle bars in each cluster of the bar graph respectively. It is observed that throughput of standard TCP flows is much less in the latter case. Hence, we can infer that BIC TCP is not friendly to standard TCP flows. We also observe that throughput of BIC TCP flows is much larger than throughput of standard TCP flows co-existing with standard TCP flows only (the former scenario or scenario (i)).

Next, on the forwarding node of the satellite link, we implement RED gateway for standard TCP and CUBIC TCP to drop packets. We run simulations for the situations when $S_1 \sim S_n$ are fed with CUBIC TCP flows.

Fig. 22 compares throughput of standard TCP flows on $S_1 \sim S_n$ in two situations when co-existing with (i) standard TCP and (ii) CUBIC TCP flows. They correspond to the left and middle bars in each cluster of the bar graph respectively. It is observed that throughput of standard TCP flows is much less in the latter case. Hence, we can infer that CUBIC TCP is not friendly to standard TCP flows. We also observe that throughput of CUBIC TCP flows is much larger than throughput of standard TCP flows co-existing

with standard TCP flows only (the former scenario or scenario (i)).

Next, on the forwarding node of the satellite link, we implement RED gateway for standard TCP and TCP Hybla to drop packets. We run simulations for the situations when $S_1 \sim S_n$ are fed with TCP Hybla flows.

Fig. 23 compares throughput of standard TCP flows on $S_1 \sim S_n$ in two situations when co-existing with (i) standard TCP and (ii) TCP Hybla flows. They correspond to the left and middle bars in each cluster of the bar graph respectively. It is observed that throughput of standard TCP flows is affected severely in the latter case. Hence, we can infer that TCP Hybla is not at all friendly to standard TCP flows. We also observe that throughput of TCP Hybla flows is much larger than throughput of standard TCP flows co-existing with standard TCP flows only (the former scenario or scenario (i)).

The above observations indicate that contrary to Mark-Tail ECN, HighSpeed TCP, BIC TCP, CUBIC TCP and TCP Hybla, Mark-Reverse ECN is more friendly to standard TCP flows and helps it enjoy higher performance when deployed together.

7. Conclusion

In this paper, we propose a new congestion notification scheme, named as Mark-Reverse ECN for satellite IP networks. Our proposed mechanism reduces the latency between the detection of an imminent congestion and its notification to the end host. Since this allows the end host/sender to take actions in a more timely manner, our mechanism leads to an accurate and effective approach to congestion control. We also develop a new analytical model for ECN on TCP NewReno for performance prediction and validation of simulation outcomes. Simulation results show that our proposed mechanism (i) leads to up to 25% improvement of TCP performance, (ii) reduces packet loss at the congested router by up to 90% and (iii) helps to maintain or improve the performance of conventional TCP when deployed together.

References

- Alrajabi, F., Lambadaris, I., Malhotra, R., Sedigh, N., Nandy, B., 2002. ECN for congestion control in TCP/IP networks: a study and comparative evaluation. In: Proceedings of IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM, 2002), November 2001.
- Alrajabi, F., Sedigh, N., Nandy, B., Malhotra, R., Lambadaris, I., 2003. Congestion control in TCP/IP networks: a combined ECN and BECN approach. In: Proceedings of IEEE Military Communications Conference (MILCOM) vol. 1, October 2003, pp. 243–254.
- Alrajabi, F., Mariani, G., Barzin, G., 2001. TCP-Reno: a new congestion control scheme for satellite IP networks. IEEE ACM Trans. Netw. 9 (2), 207–211.
- Alrajabi, F., Zhang, M., Pang, J., 2001. TCP-Reno+: enhancement of TCP-Reno for satellite IP networks. IEEE Commun. Lett. 5 (7), 303–305.
- Amaral, L., Hefawy, K., Samir, A., 2012. Analytical study of Pre-congestion notification (PCN) mechanisms. Int. J. Comput. Netw. Commun. (IJNC) 4 (4).
- Bal, H., Anjumman, M., 2001. Enhancing TCP throughput over busy links using ECN-capable RED gateways. In: Proceedings of IEEE Vehicular Technology Society (VTC), vol. 4, October 2001, pp. 2713–2715.
- Baker, R., 1985. Requirements for IP Version 4 Routers. RFC 1812, June 1985. Available Online at: <http://tools.ietf.org/html/rfc1812>.
- Choi, C., Shin, S., 2004. TCP Hybla: a TCP enhancement for heterogeneous networks. Int. J. Satell. Commun. Netw. 22, 547–552.
- Cashwell, N., Savage, S., Anderson, T., 2000. Modeling TCP latency. In: Proceedings of IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM), vol. 3, March 2000, pp. 472–475.
- Floyd, S., 2004. TCP and explicit congestion notification. Comput. Commun. Rev. 34 (3).
- Floyd, S., Jacobson, V., 1983. Random early detection gateways for congestion avoidance. IEEE/ACM Trans. Netw. 1 (4).
- Floyd, S., 2003. HighSpeed TCP for Large Congestion Windows. RFC 3549 December 2003.
- Gott, F., 2012. Deprecation of ICMP Source Quench Message. RFC 6632, May 2012. Available Online at: <https://tools.ietf.org/html/rfc6632>.
- Kshirsawa, M., Neuner, S., Trammell, B., 2013. On the state of ECN and TCP options

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- on the Internet. In: Proceedings of the 14th International Conference on Passive and Active Measurement, Lecture Note in Computer Science 7399, pp. 135–144.
- Kuthevala, M., Scheffczyk, R., 2012. Design and evaluation of schemes for more accurate ECN feedback. In: Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC), pp. 6987–6991.
- Li, C., Jain, R., 2004. Improving explicit congestion notification with the Markovian strategy. *Comput. Netw.* 38 (2–3).
- Marcodes, C., Marzouq, J., Chen, X., Sanadid, M.Y., Costa, M., 2008. A case-comparison of advanced TCP protocols in high speed and satellite environments. In: Proceedings of the 4th Advanced Satellite Mobile Systems (ASMS), August 2008.
- Morabin, G., Aydinli, L.F., Palazzo, S., 2003. TCP-Franch for satellite networks analytical model and performance evaluation. *Int. J. Satell. Commun.* 19 (5), 429–442.
- Maric, K., Weid, M., Banjanovic, D., 2007. Linux-based windows – or the worrying evolution of TCP in common operating systems. In: Proceedings of International Workshop on Protocols for Future, Large-Scale and Diverse Network Transports (PFLDnet).
- Pachya, J., Hanzlik, V., Bouilly, D.F., Kozma, L.E., 2009. Modeling TCP slow performance: a simple model and its empirical validation. *IEEE/ACM Trans. Netw.* 8 (2), 333–345.
- Good F. *TCP Attacks against TCP-FC-ECN*, July 2010. Available online at (<https://wiki.ietf.org/area/ncg/4527>).
- Rhee, I., Xu, L., 2005. CUBIC: a new TCP-friendly high-speed TCP variant. In: Proceedings of International Workshop on Protocols for Future, Large-Scale and Diverse Network Transports (PFLDnet).
- Sheng, M.-J., Park, K.I., Mandrekar, S., Min, T., 2008. Analysis of ECN on TCP performance enhancing proxy performance for satellite networks. In: Proceedings of IEEE Military Communications Conference (MILCOM), November 2008, pp. 1–7.
- Trish, T.A., Sontaly, B., Mohar, S., 2004. A HighSpeed TCP study: observations and re-evaluation. In: Proceedings of the 9th Europe Summer School and IFP Workshop on Advances in Fiber and Mobile Networks, Tampere, Finland, June 2004.
- UCB/LSN/UMT Network Simulator (NS), 2011.
- Usumi, S., Zabit, S.M.S., 2014. A new high-performance TCP friendly congestion control over wireless networks. *J. Netw. Comput. Appl.* 41, 369–378.
- Usumi, S., Zabit, S.M.S., Sifroni, M., 2008. TCP-friendly a new approach for TCP congestion control over satellite IP networks. *Comput. Commun.* 31, 2541–2551.
- Xu, L., Harfoush, K., Rhee, I., 2004. Binary increase congestion control for long-distance networks. In: Proceedings of IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM).
- Zheng, D., 2002. On the Modeling of TCP Latency and Throughput (Master's thesis), Mississippi State University.
- Zheng, D., Laxman, G.Y., Ho, R., 2003. A stochastic model for short-lived TCP flows. In: Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC), May, pp. 11–15.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-สกุล สุมธ ปรภาวัต

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	ทุนการศึกษาระดับปริญญาเอกมหาวิทยาลัยโทโฮกุ ประเทศญี่ปุ่น (Monbukagakusho: MEXT)	รัฐบาลญี่ปุ่น
2550	ทุนวิจัย GCOE Program สำหรับโครงการวิจัย “Traffic Engineering for Next Generation Network”	มหาวิทยาลัยโทโฮกุ ประเทศญี่ปุ่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2551	ทุนวิจัย GCOE Program สำหรับ โครงการวิจัย “Delay-Minimized Load Distribution for Multi-path Networks”	มหาวิทยาลัยโทโฮคุ ประเทศญี่ปุ่น
2552	ทุนวิจัย GCOE Program สำหรับ โครงการวิจัย “Towards Secure Quality of Services”	มหาวิทยาลัยโทโฮคุ ประเทศญี่ปุ่น
2553	ทุนผู้ช่วยสอนและผู้ช่วยนักวิจัย	มหาวิทยาลัยโทโฮคุ ประเทศญี่ปุ่น
2555	ทุน Visiting Researcher ที่ Tsuruoka NCT	Tsuruoka NCT, ประเทศญี่ปุ่น
2556	ทุนวิจัย “โครงการจัดตั้งห้องปฏิบัติการวิจัยและ พัฒนา Mobile Computing and Sensor Networks”	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2556	ทุนวิจัย “โครงการวิจัยด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ร่วมกับหน่วยงานนอกคณะ”	คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2556	ทุน Visiting Researcher ที่ Tsuruoka NCT	National Institute of Information and Communications Technology (NICT), ประเทศญี่ปุ่น
2558	ทุนวิจัย “เครือข่ายเฉพาะกิจแบบดีทีเอ็นบนสมาร์ต โฟนสำหรับการสื่อสารในสถานการณ์ภัยพิบัติ”	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง โดยผ่านการพิจารณาจากสำนักงาน คณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

ผลงานเผยแพร่ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

- 1) S. Utsumi, S. M. S. Zabir, and S. Prabhavat, “A New Explicit Congestion Notification Scheme for Satellite IP Networks,” Journal of Network and Computer Applications, vol. 75, pp. 169–180, Nov. 2016.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 2) **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.
- 3) **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.

การเสนอผลงานวิชาการ

ผลงานเผยแพร่ในรายงานการประชุมระดับนานาชาติ

- 1) T. Choksatid, W. Narongkhachavana, and **S. Prabhavat**, "An Efficient Spreading Epidemic Routing for Delay-Tolerant Network," in *Proc. IEEE Consumer Communications and Networking Conference (CCNC)*, Las Vegas, Nevada, Jan. 2016, pp. 480–483.
- 2) W. Narongkhachavana, T. Choksatid, and **S. Prabhavat**, "An Efficient Message Flooding Scheme in Delay-Tolerant Networks," in *Proc. IEEE International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*, Chiangmai, Thailand, Oct. 2015, pp. 295–299.
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) **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.
- 6) 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.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 7) **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.
- 8) **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)
- 9) **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.
- 10) **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.

ผลงานเผยแพร่ในรายงานการประชุมระดับชาติ

- 1) ชนากานต์ พันธุ์แก้ว, จิตติรัตน์ ศักดิ์พิชัยมงคล, วรวัชร ณรงค์ชวณะ, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "การศึกษาประสิทธิภาพด้านพลังงานของกลไกค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่," งานประชุมวิชาการระดับประเทศด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Computing and Information Technology: NCCIT) ครั้งที่ 12, ขอนแก่น, ประเทศไทย, ก.ค. 2559.
- 2) ธเนศ พุ่มไพจิตร, วรณิศา คำมะหะยี, ธนานพ ทองถาวร, วรวัชร ณรงค์ชวณะ, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "การศึกษาประสิทธิภาพการค้นหาเว็บในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่," งานประชุมวิชาการระดับประเทศด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Computing and Information Technology: NCCIT) ครั้งที่ 12, ขอนแก่น, ประเทศไทย, ก.ค. 2559.
- 3) วีร์ आयुวานานนท์, ฐายิกา ทองแสง, วรวัชร ณรงค์ชวณะ, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "การปรับปรุงกลไกในการเลือกเส้นทางเพื่อเพิ่มโอกาสในการส่งข้อมูลภายในเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่," รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 7, เชียงใหม่, ประเทศไทย, ต.ค. 2558.
- 4) วรวัชร ณรงค์ชวณะ, กฤษณิพันธ์ เดิมธรณินทร์, ชีรพงษ์ โชคสถิตย์, อรุณกมล ธรรมโกฎี, และ **สุเมธ ประภาวัต**, "การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกลไกหาเส้นทางแบบเอปิคมิคใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เครือข่ายดีทีเอ็นเอ," รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 7, เชียงใหม่, ประเทศไทย, ต.ค. 2558.
- 5) ปิ่นทัศน์ิต สุขจิตต์ติกาล, ผกามาศ จิตโสภิตพงษ์, วรวัชร ณรงค์ชวณะ, และ สุธเมธ ประภาวัต, “การปรับปรุงประสิทธิภาพการกระจายภาระงานเพื่อลดค่าใช้จ่ายเฉพาะกิจ,” รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 7, เชียงใหม่, ประเทศไทย, ต.ค. 2558.
 - 6) กฤษณิพันธ์ เดิมธรณินทร์, อรุณกมล ธรรมโกฏี, ชีรพงษ์ โชคสถิตย์, และ สุธเมธ ประภาวัต, “เครือข่ายติดต่อสื่อสารเฉพาะกิจบนสมาร์ตโฟน,” รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 7, เชียงใหม่, ประเทศไทย, ต.ค. 2558.
 - 7) เบลญญา รุ่งศรีสุทธิวงศ์, สรัลพร เสือดี, ธนานพ ทองถาวร, และ สุธเมธ ประภาวัต, “ระบบประสานงานระหว่างศูนย์รับแจ้งเหตุและรถบริการการแพทย์ฉุกเฉิน,” รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 7, เชียงใหม่, ประเทศไทย, ต.ค. 2558.
 - 8) ศุภโชค พงษ์ขวัญ, วรวัชร ณรงค์ชวณะ, และ สุธเมธ ประภาวัต, “การปรับปรุงการแบ่งโหลดเพื่อกระจายข้อมูลหลายทางบนเครือข่ายเฉพาะกิจเคลื่อนที่,” งานประชุมวิชาการระดับประเทศด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Computing and Information Technology: NCCIT) ครั้งที่ 10, ภูเก็ต, ประเทศไทย, พ.ค. 2557.
 - 9) สุธเมธ ประภาวัต, สารัช ศรีสวัสดิ์พงษ์, ทะนง ชวนิชชานนท์, และ วรวัชร ณรงค์ชวณะ, “กลไกค้นหาเกตเวย์ที่มีโอเวอร์เฮดจากการแลกเปลี่ยนข้อความต่ำสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ,” งานประชุมวิชาการระดับประเทศด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Computing and Information Technology: NCCIT) ครั้งที่ 10, ภูเก็ต, ประเทศไทย, พ.ค. 2557.
 - 10) ธนานพ ทองถาวร, วรวัชร ณรงค์ชวณะ, และ สุธเมธ ประภาวัต, “การศึกษาความเป็นไปได้ในการลดโอเวอร์เฮดบนระบบเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ โดยการสร้างเงื่อนไขในการจำกัดการกระจายข้อมูลในขั้นตอนการค้นหาเส้นทาง,” รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 6, นครราชสีมา, ประเทศไทย, ก.พ. 2557.
 - 11) ชีรพงษ์ โชคสถิตย์, เบลญพร ปาวะริย์, วรวัชร ณรงค์ชวณะ, และ สุธเมธ ประภาวัต, “การปรับปรุงกลไกการแพร่กระจายข้อความเพื่อลดการแลกเปลี่ยนข้อมูลบนเครือข่ายดีทีเอ็น,” รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 6, นครราชสีมา, ประเทศไทย, ก.พ. 2557.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 12) **สุเมธ ประภาวัต**, ทะนง ชูวนิชชานนท์, สารัช ศรีสวัสดิ์พงษ์ และ วรวัชร ณรงค์ชวณะ, “การปรับปรุงกลไกค้นหาเกตเวย์เพื่อลดโอเวอร์เฮดจากการแลกเปลี่ยนข้อมูลในเครือข่ายเฉพาะกิจ,” รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 6, นครราชสีมา, ประเทศไทย, ก.พ. 2557.
- 13) **สุเมธ ประภาวัต**, ธนานพ ทองถาวร, และ ณัฏชา วัฒนอรุณกิจ, “การประยุกต์ใช้สมาร์ตโฟนในการแจ้งเหตุฉุกเฉิน และตำแหน่งที่อยู่ เพื่อขอรับบริการรถนำส่ง และบริการทางการแพทย์,” รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 5, กุมภาพันธ์ 2556.
- 14) **สุเมธ ประภาวัต**, นิตติ ชัยกะเสวี, และ ภรภัทร นนทะบรรเทา, “การประยุกต์ใช้สมาร์ตโฟนเพื่อการพิสูจน์ตัวตนด้วยข้อมูลพิกัดจีพีเอส”, รายงานการประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้งที่ 5, กุมภาพันธ์ 2556.

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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้