

อัลกอริทึมแบบฮิวริสติกสำหรับการจัดลำดับความสำคัญของแพคเกจใน
เครือข่ายที่มีความทนทานต่อความหน่วงของเวลาสูง

Heuristic Algorithm for Message Prioritization in Delay Tolerant Network

อรรถเดช มธุราจน์
AKADET MATHURAPOJ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าระดับปริญญาโท สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 255๖

KMITL-2010-IT-M-001-002

อัลกอริทึมแบบฮิวริสติกสำหรับการจัดลำดับความสำคัญของแมสเซจใน
เครือข่ายที่มีความทนทานต่อความหน่วงของเวลาสูง
Heuristic Algorithm for Message Prioritization in Delay Tolerant Network



T110353

อรรคเดช มธุรพจน์

AKADET MATHURAPOJ

ตงหมู่.....
เลขทะเบียน 110353
วัน,เดือน,ปี - 1 ๗๑, 2553

b.....
i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2553

KMITL-2010-IT-M-001-002

Heuristic Algorithm for Message Prioritization in Delay Tolerant Network

AKADET MATHURAPOJ

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN INFORMATION TECHNOLOGY
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2010

KMITL-2010-IT-M-001-002

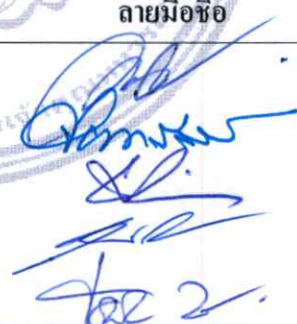
COPYRIGHT 2010

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ อัลกอริทึมแบบฮิวริสติกสำหรับการจัดลำดับความสำคัญของแมสเซจในเครือข่ายที่มีความทนทานต่อความหน่วงของเวลาสูง
Heuristic Algorithm for Message Prioritization in Delay Tolerant Network
นักศึกษา นายอรรคเดช มธุรพจน์
รหัสประจำตัว 48066438
ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.โชติพัชร ภรณ์วลัย

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม รองศาสตราจารย์ ดร.จันทร์บูรณ์ สถิตวิริยวงศ์ รองศาสตราจารย์ ดร.นพพร โชติกกำธร รองศาสตราจารย์ ดร.โชติพัชร ภรณ์วลัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอฬาร วงศ์วิรัตน์	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ วันศุกร์ที่ 15 มกราคม 2553 เวลา 10.30 น.

สถานที่สอบ ณ ห้อง 328 ชั้น 3 คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ


คณะเทคโนโลยีสารสนเทศรับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.จันทร์บูรณ์ สถิตวิริยวงศ์)

คณบดีคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

วันที่ 12 เดือน มกราคม พ.ศ. 2553

สำนักทะเบียนและประมวลผล สจล.
วันที่ส่งเล่ม วิทยานิพนธ์ของนักศึกษา มธุรพจน์
วันที่ 10 เดือน ม.ค. พ.ศ. 2553
ลงชื่อ 

หัวข้อวิทยานิพนธ์

อัลกอริทึมแบบฮิวริสติกสำหรับการจัดลำดับความสำคัญของ
แมสเสจในเครือข่ายที่มีความทนทานต่อความหน่วงของเวลา
สูง

นักศึกษา

นายอรรคเดช มธุรพจน์

รหัสนักศึกษา

48066438

ปริญญา

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา

เทคโนโลยีสารสนเทศ

แขนงวิชา

วิทยาการสารสนเทศ

พ.ศ.

2553

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์

รศ.ดร.โชติพัชร ภรณ์วลัย

บทคัดย่อ

เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเป็นเครือข่ายที่กำลังได้รับความนิยมจากนักวิจัยเป็นอย่างมาก สำหรับในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึงเครือข่ายไร้สายที่มีความหนาแน่นของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายหรือจำนวนโหนดน้อยเมื่อเทียบกับขนาดของพื้นที่และมีความทนทานต่อดีเลย์สูงซึ่งเรียกว่า Delay Tolerant Network หรือ DTN (ดีทีเอ็น) ในเครือข่ายดีทีเอ็นนี้โหนดจะสามารถเริ่มการสื่อสารได้เมื่อคู่โหนดใดๆ เคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในระยะส่ง (Transmission range) และข้อมูลที่ใช้ในการส่งเรียกว่าแมสเสจซึ่งจะถูกทำสำเนาจากโหนดผู้ส่งไปยังโหนดผู้รับ จากนั้นโหนดผู้รับจะทำหน้าที่สำเนาแมสเสจนี้แล้วส่งไปยังโหนดอื่นๆ ต่อไป โหนดดังกล่าวเรียกว่ารีเลย์โหนด สำหรับช่วงเวลาที่โหนดเจอกันและสามารถเริ่มส่งแมสเสจจนถึงเวลาที่โหนดเคลื่อนที่ออกจากระยะส่งจนโหนดไม่สามารถส่งแมสเสจต่อไปได้จะเรียกว่าช่วงเวลาคอนแทค (Contact time) ค่าของคอนแทคนี้จะขึ้นอยู่กับทิศทางและความเร็วของคู่โหนด ในงานวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอเร้าติ้งโพรโทคอลที่มีชื่อว่า Smart Spray และพารามิเตอร์ที่มีชื่อว่า Forward Transmission Count (FTC) หรือเอฟทีซี ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับการประมาณจำนวนสำเนาแมสเสจในเครือข่ายดีทีเอ็นได้อย่างแม่นยำ Smart Spray ได้นำเอาหลักการของฮิวริสติก (Heuristic) มาประยุกต์ใช้ โดยใช้พารามิเตอร์ 2 พารามิเตอร์มาช่วยในการตัดสินใจในการจัดลำดับแมสเสจในบัฟเฟอร์คือค่าของเอฟทีซีและขนาดของแมสเสจ ซึ่ง Smart Spray ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับโพรโทคอลที่นิยมในงานวิจัยที่เกี่ยวกับดีทีเอ็น

Thesis	Heuristic Algorithm for Message Prioritization in Delay Tolerant Network
Student	Mr. Akadet Mathurapoj
Student ID.	48066438
Degree	Master of Science
Programme	Information Science
Year	2010
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Chotipat Pornavalai

ABSTRACT

Mobile Ad hoc Networks (MANET) is very popular topic for researcher due to everyone can buy wireless device cheaper than before. Delay Tolerant Network (DTN) is a network comprised with very low node density. Node can deliver data when couple of nodes encounter into each transmission range area. DTN node deliver message to destination via relay node. So DTN called this scheme "Store, carry and forward". Time between node can start deliver message until node move out of transmission range is called "contact". In this thesis, we propose a new protocol called "Smart Spray" and parameter called Forward Transmission Count (FTC). Smart Spray applies heuristic fundamental with above parameter. Finally it has the best performance when comparing with existing protocols.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้อย่างดี ด้วยคำแนะนำ และคำปรึกษาจาก รศ.ดร. โชติพัชร ภรณ์วลัย ซึ่งเป็นอาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้ารู้สึกทราบบ้างในความอนุเคราะห์จากท่าน อาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบพระคุณคณาจารย์คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุก ๆ ท่านรวมทั้ง Professor Goutam Chakraborty ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชา ให้กับข้าพเจ้า

ขอขอบคุณห้องวิจัยและปฏิบัติการ Intelligent Internet and Informatics Laboratory คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ คอมพิวเตอร์ ตลอดจนข้อมูล และหนังสือต่างๆ ที่ใช้ในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ ในสาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ ทุกคนที่ให้คำแนะนำต่างๆ และคอยให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณบัณฑิตศึกษาและบัณฑิตวิทยาลัย คณะเทคโนโลยีสารสนเทศที่ให้ความช่วยเหลือในการช่วยดำเนินเรื่องต่างๆ สำหรับการสอบและจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์จนแล้วเสร็จ

สุดท้ายนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่เป็นกำลังใจ และให้การสนับสนุนในทุกเรื่องๆ ทำให้ข้าพเจ้าสามารถทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วง ด้วยดี

คุณค่าและประโยชน์อันพึงมาจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อรรคเดช มธุรพจน์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
1.3 สมมติฐานของการศึกษา.....	4
1.4 ขอบเขตการวิจัย	6
1.5 ขั้นตอนการศึกษา.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยและงานที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 เครือข่ายแบบดีทีเอ็น	7
2.2 เราดิง โพรโทคอลบนดีทีเอ็น	8
2.2.1 กลยุทธ์ในการฟลัดแมสเสจ (Flooding Strategy)	9
2.2.1.1 การส่งต่อโดยตรง (Direct transmission)	9
2.2.1.2 การส่งต่อแบบ 2 ฮอป (Two-hop relay)	9
2.2.1.3 การกระจายแบบทรี (Tree-base flooding)	9
2.2.1.3.1 สเปรย์แอนด์เวยท์ (Spray and wait)	9
2.2.1.3.2 สเปรย์แอนด์โฟกัส (Spray and focus)	10
2.2.1.4 เอพพิเดมิก (Epidemic routing)	10
2.2.1.5 พร็อพเพ็ท (Prophet)	11
2.2.1.6 MaxProp	13
2.2.2 กลยุทธ์การส่งต่อแมสเสจ (Forwarding strategy)	16
2.3 โมบิลิตี โมเดล (Mobility Model).....	16
2.3.1 แรนดอมวอล์ก โมบิลิตี โมเดล (Random Walk Mobility Mode)	17

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
2.3.2 แรนดอมเวย์พอยต์โมบิลิตีโมเดล (Random Waypoint Mobility Model) ...	17
2.4 รูปแบบการส่งต่อเมสเสจในเครือข่ายดีทีเอ็น	18
บทที่ 3 วิธีการจัดสรรระดับความสำคัญของเมสเสจในบัฟเฟอร์	21
3.1 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการส่งสำเร็จ	21
3.1.1 เอฟทีซี (Forward transmission count)	22
3.1.2 ขนาดของเมสเสจ	24
3.2 ประสิทธิภาพของเอฟทีซี	25
3.2.1 การวัดประสิทธิภาพจากการทดลอง	26
3.2.2 การวัดประสิทธิภาพด้วยขบวนการทางคณิตศาสตร์	26
3.2.2.1 การกระจายแบบเส้นตรง	26
3.2.2.2 การกระจายจากส่วนกลาง	27
3.3 โพรโทคอล Smart Spray	29
3.3.1 การจัดลำดับเมสเสจในบัฟเฟอร์	29
3.3.2 การจัดการเนื้อที่ของบัฟเฟอร์	35
บทที่ 4 การประเมินสมรรถนะของระบบ	36
4.1 แบบจำลองที่ใช้ในการจำลองระบบ	36
4.2 ค่าชี้วัดสมรรถนะ	36
4.3 การออกแบบการทดลอง	36
4.3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	36
4.3.2 วิธีการสร้างเมสเสจ.....	37
4.4 สมรรถนะของระบบ	38
4.4.1 สมรรถนะเมื่อพิจารณาที่ขนาดของบัฟเฟอร์.....	38
4.4.2 สมรรถนะเมื่อกำหนดให้โหนดมีการสร้างเมสเสจในช่วงเวลาต่างๆ ..	40
4.4.3 สมรรถนะเมื่อกำหนดความเร็วของโหนดแบบผสม.....	43
4.4.4 สมรรถนะเมื่อพิจารณาจากเมสเสจที่ส่งไปไม่ถึงโหนดปลายทาง.....	44

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	47
5.1 สรุปผลการวิจัย	47
5.2 ข้อเสนอแนะ และงานที่จะทำเพิ่มเติม	47
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก	50
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่	51
ประวัติผู้เขียน	60

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	แสดงการแบ่งพื้นที่การเคลื่อนที่ของโหนด	11
2.2	แสดงค่าความน่าจะเป็นในการเคลื่อนที่ของโหนด	12
2.3	แสดงค่าปริยายของพารามิเตอร์	12
3.1	การกระจายค่าของเอฟทีซีและฮอปเค้าท์ตามโหนดต่างๆ ในเครือข่าย	23
4.1	พารามิเตอร์ที่สำคัญในการจำลองระบบ	37
4.2	แสดงระดับความเร็วของโหนด	43
4.3	จำนวนแมจเสจประเภทต่างๆ	46

สารบัญรูป

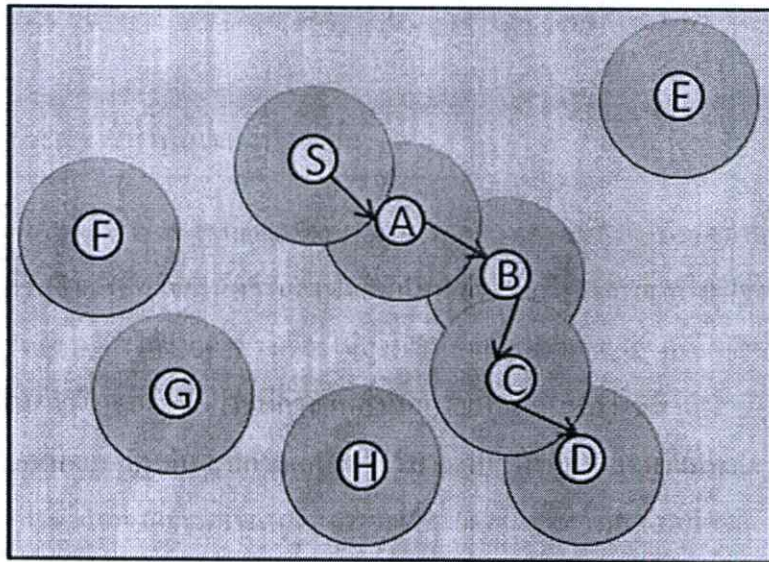
รูปที่		หน้า
1.1	แสดงรูปแบบการรับส่งแมสเสจบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ	1
1.2	แสดงรูปแบบการส่งแมสเสจบนคิทีเอ็น	3
2.1	แสดงการคำนวณค่าของเส้นทางสำหรับ โพร โทคอล MaxProp	14
2.2	แสดงจัดสรรบัพเฟอร์เพื่อการจัดลำดับแมสเสจ	15
2.3	การเคลื่อนที่แบบเรนคอมวอล์คในเชิงเวลา	17
2.4	การเคลื่อนที่แบบเรนคอมเวทย์พอยท์ในทอมของเวลา	18
2.5	แสดงการส่งต่อแมสเสจแบบขนาน	19
2.6	แสดงรูปแบบการส่งต่อแมสเสจบนเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจเปรียบเทียบกับคิทีเอ็น ...	20
3.1	แสดงเครือข่ายที่ใช้ในการคำนวณเอฟทีซีที่เปรียบเทียบกับฮอปเค๊าท์	22
3.2	แสดงการคำนวณค่าซีดีเอ็มระหว่างฮอปเค๊าท์และเอฟทีซี	27
3.3	การกระจายแมสเสจจากส่วนกลาง	28
3.4	แสดงวิธีการจัดลำดับแมสเสจในบัพเฟอร์	29
3.5	แสดงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการรับส่งแมสเสจ	30
3.6	แสดงการจัดลำดับของแมสเสจในบัพเฟอร์	31
3.7	แสดงขั้นตอนทำงานของโพร โทคอลด้วยชูโคโค้ด	33
3.8	แสดงขั้นตอนทำงานของการจัดเรียงแมสเสจ	34
3.9	แสดงขั้นตอนการทำงานของโพร โทคอล Smart Spray	35
4.1	แสดงอัตราความสำเร็จของการรับส่งแมสเสจ	39
4.2	แสดงค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการส่งแมสเสจไปยังโหนดปลายทาง	40
4.3	แสดงอัตราความสำเร็จของการรับส่งแมสเสจเมื่อทำการสร้างแมสเสจ ในช่วงวินาทีที่ 0 ถึง 34,560	41
4.4	แสดงอัตราความสำเร็จของการรับส่งแมสเสจเมื่อทำการสร้างแมสเสจ ในช่วงวินาทีที่ 8,640 ถึง 34,560	42
4.5	แสดงอัตราความสำเร็จของการรับส่งแมสเสจเมื่อทำการสร้างแมสเสจ ในช่วงวินาทีที่ 0 ถึง 1,200	42
4.6	แสดงอัตราความสำเร็จของการรับส่งแมสเสจเมื่อ โหนดมีการเคลื่อนที่แบบผสม	44
4.7	แสดงจำนวนแมสเสจเมื่อแบ่งตามประเภท	45

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ (Mobile Ad Hoc Network – MANET) เป็นเครือข่ายที่มีได้รับความนิยมนและเป็นเครือข่ายที่นักวิจัยให้ความสนใจกันเป็นอย่างมาก เนื่องจากในปัจจุบันอุปกรณ์สื่อสารไร้สายสามารถจัดหามาได้ง่ายด้วยราคาที่ไม่สูงมากนักและอุปกรณ์เหล่านี้มีความแพร่หลายไปถึงผู้ใช้งานตามบ้านทั่วไปจนถึงได้ว่าอุปกรณ์เหล่านี้ก็กลายเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวัน เช่น มือถือ โน้ตบุ๊ก เน็ตบุ๊ก พีดีเอ เป็นต้น อุปกรณ์สื่อสารไร้สายในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจจะเรียกว่า โหนด โหนดเหล่านี้นอกจากจะมีการสื่อสารแบบไร้สายแล้วยังมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วและทิศทางที่เป็นอิสระต่อกัน จากการทำโหนดมีการเคลื่อนที่นี้เองทำให้โทโพลยีของเครือข่ายมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา

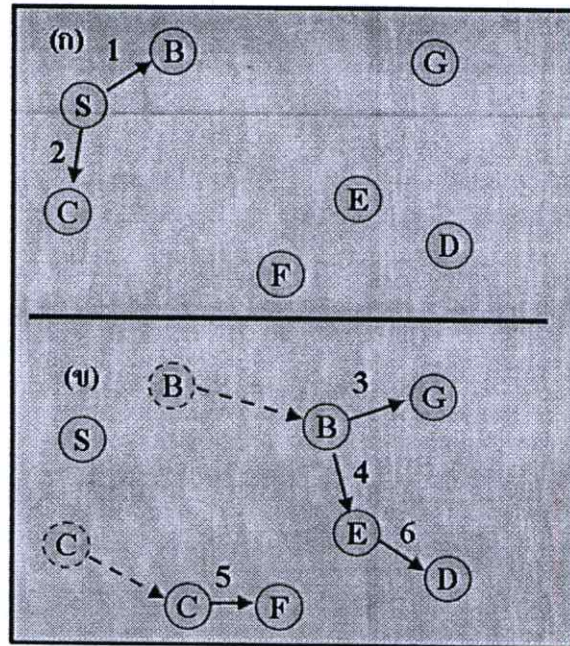


รูปที่ 1.1 แสดงรูปแบบการรับส่งแมสเสจบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ

ข้อมูลที่ใช้สำหรับรับส่งกันในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจจะเรียกว่าแมสเสจ การรับส่งแมสเสจบนเครือข่ายแบบนี้เราตั้งโพรโทคอลจะต้องทำการค้นหาเส้นทางไปยังโหนดปลายทางให้ได้ก่อนจากนั้นจึงส่งแมสเสจออกไป รูปที่ 1.1 แสดงตัวอย่างการส่งแมสเสจบนเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ จากรูปวงกลมที่มีอักษรภาษาอังกฤษข้างในคือโหนด และเส้นวงกลมรอบโหนดแสดงรัศมีการส่ง และเส้นลูกศรแสดงเส้นทางที่โหนดต้นทางใช้ในการส่งแมสเสจไปยังโหนดปลายทาง

จากรูปที่ 1.1 โหนด S ต้องการส่งแพสเสจไปยังโหนด D แต่โหนด S ไม่สามารถส่งแพสเสจหาโหนด D โดยตรงได้เนื่องจากระยะห่างระหว่างโหนด S และโหนด D มากกว่าระยะส่งของโหนด S ดังนั้นโหนด S จึงทำการค้นหาเส้นทางการส่งแพสเสจไปยังโหนด D ผ่านโหนดที่อยู่ระหว่างทาง จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่าระหว่างโหนด S และโหนด D มีโหนด A, B และ C อยู่ ดังนั้นโหนด S สามารถส่งแพสเสจไปยังโหนด D โดยผ่านโหนด A, B และ C ดังรูป แต่เนื่องจากแต่ละโหนดมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเส้นทางการส่งแพสเสจจึงมีการเปลี่ยนแปลงด้วย ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปถ้าโหนด S ต้องการส่งแพสเสจไปหาโหนด D เส้นทางการส่งแพสเสจจะเปลี่ยนไปเช่นกัน ในงานวิจัยที่ผ่านมา มีงานวิจัยเกี่ยวกับการรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจจำนวนมาก เช่น AODV [1], DSR [2] เป็นต้น

Delay Tolerant Network (DTN) หรือดีทีเอ็นเป็นเครือข่ายที่มีลักษณะคล้ายกับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ แต่มีความแตกต่างในเรื่องของความหนาแน่นของโหนดและความทนทานต่อดีเลย์ที่สูงกว่าปกติมาก เนื่องจากข่ายดีทีเอ็นมีความหนาแน่นของโหนดน้อยกว่าเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจโดยทั่วไป ดังนั้นเราจึงใช้โพรโทคอลสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจจึงไม่สามารถนำมาใช้งานบนเครือข่ายแบบนี้ได้โดยตรงเพราะว่าโพรโทคอลเหล่านี้จำเป็นต้องสร้างเส้นทางการรับส่งแพสเสจจากโหนดต้นทางไปจนถึงโหนดปลายทางก่อนที่การรับส่งแพสเสจจะเกิดขึ้นจริง แต่ในดีทีเอ็นโอกาสในการสร้างเส้นทางระหว่างโหนดต้นทางและโหนดปลายทางจะทำให้ยากกว่าเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจมาก และถึงแม้ว่าโหนดต้นทางจะสามารถสร้างเส้นทางการส่งแพสเสจไปยังโหนดปลายทางได้แต่เส้นทางนี้จะคงอยู่แค่ในช่วงระยะเวลาสั้นๆ เท่านั้น ทำให้เกิดโอกาสที่การส่งแพสเสจล้มเหลวได้ สำหรับโพรโทคอลที่ใช้ใช้งานบนเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจอย่าง AODV และ DSR จะมีสมมติฐานคือโหนดจะต้องสร้างเส้นทางระหว่างโหนดต้นทางและโหนดปลายทางก่อนที่จะมีการส่งแพสเสจเกิดขึ้น ด้วยลักษณะการทำงานแบบนี้เองทำให้นักวิจัยไม่สามารถนำโพรโทคอลสำหรับเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจมาใช้งานบนดีทีเอ็นได้ ดังนั้นนักวิจัยจึงจำเป็นต้องออกแบบโพรโทคอลขึ้นมาใหม่เพื่อให้โพรโทคอลสามารถทำงานได้บนเครือข่ายดีทีเอ็นและโพรโทคอลที่นำเสนอขึ้นมาใหม่นี้จะต้องไม่พึ่งพาเส้นทางจากโหนดต้นทางมายังโหนดปลายทางเหมือนอย่างโพรโทคอลสำหรับเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ สำหรับรูปแบบการรับส่งแพสเสจในดีทีเอ็นที่นิยมใช้กันจะเป็นรูปแบบที่เรียกว่า store, carry and forward



รูปที่ 1.2 แสดงรูปแบบการส่งแมสเสจบน DTN

รูปที่ 1.2 แสดงรูปแบบการรับมาแล้วส่งต่อบนดีทีเอ็น จากรูปลูกศรเส้นประแสดงทิศทางการเคลื่อนที่ของโหนด ลูกศรเส้นทึบแสดงการส่งแมสเสจและตัวเลขบนลูกศรเส้นทึบคือลำดับของการส่งแมสเสจ จากตัวอย่างในรูปโหนด S ต้องการส่งแมสเสจไปหาโหนด D แต่เนื่องจากความหนาแน่นของโหนดเบาบางมากดังนั้นโหนด S จึงไม่สามารถสร้างเส้นทางการส่งแมสเสจไปหาโหนด D ได้โดยตรง โหนด S จึงทำการสร้างสำเนาของแมสเสจแล้วส่งไปหาโหนดใกล้เคียงซึ่งในที่นี้คือโหนด B และ C ดังรูป 1.2(ก) ณ ขั้นตอนนี้แมสเสจจะอยู่ที่โหนด S, B และ C จากนั้นโหนด B และ C เคลื่อนที่ดังรูป 1.2(ข) เมื่อโหนด B เจอโหนด D และ E จากนั้นโหนด B สร้างสำเนาแมสเสจแล้วส่งไปให้โหนด D และ E ตามลำดับ ในขณะเดียวกันโหนด C เคลื่อนที่มาเจอโหนด F โหนด C จึงสร้างสำเนาแมสเสจแล้วส่งให้โหนด F เช่นกัน จากนั้นโหนด E เจอโหนด D ที่เป็นโหนดปลายทางโหนด E จึงทำการส่งแมสเสจไปหาโหนด D

จากตัวอย่างจะเห็นได้ว่าโหนดต้นทางจะมองไม่เห็นภาพรวมว่าเส้นทางการส่งแมสเสจจะออกมาในลักษณะไหน สิ่งที่โหนดต้นทางทำได้คือพยายามกระจายแมสเสจของตัวเองออกไปในระบบแล้วให้โหนดที่รับแมสเสจเหล่านี้ช่วยช่วยกระจายแมสเสจจนกระทั่งแมสเสจนั้นไปถึงยังโหนดปลายทาง ซึ่งโหนดระหว่างทางที่ช่วยกระจายแมสเสจเหล่านี้จะเรียกว่ารีเลย์โหนด ด้วยรูปแบบการส่งแบบนี้ทำให้โหนดไม่จำเป็นต้องสร้างเส้นทางจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางเหมือนเราตั้งโปรโตคอลสำหรับเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ นอกจากปัญหาเรื่องการหา

เส้นทางส่งแมสเสจที่กล่าวมาแล้วก็ดีที่อื่นยังมีปัญหาสำคัญอีกประการหนึ่งคือ โอกาสของการเจอกันของคู่ไหนใดๆ ในเครือข่ายจะเกิดขึ้นได้ไม่บ่อยนัก ด้วยเหตุนี้เองทำให้โหนดอาจจะต้องรอเป็นระยะเวลายาวนานมากกว่า 1 ชั่วโมงหรือมากกว่า 1 วันหรืออาจจะต้องรอเป็นปีกว่าที่โหนดจะเจอกันในแต่ละครั้ง ทั้งนี้การเจอกันของโหนดจะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้ ขนาดพื้นที่ของเครือข่าย รูปแบบการเคลื่อนที่ของโหนดและความหนาแน่นของโหนด ดังนั้นนักวิจัยจำเป็นต้องปรับแต่งวิธีการที่มีอยู่หรือคิดค้นพัฒนาและวิจัยวิธีการรับส่งแมสเสจขึ้นมาใหม่เพื่อให้โหนดสามารถรับส่งแมสเสจบนเครือข่ายที่มีข้อจำกัดและยากต่อการรับส่งแมสเสจแบบนี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลการอัตราความสำเร็จของการรับส่งแมสเสจ (delivery rate) และปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระยะเวลาที่ใช้ในการส่งแมสเสจไปถึงโหนดปลายทาง โดยที่ความสำเร็จในที่นี้จะหมายถึงแมสเสจต้นฉบับหรือสำเนาของแมสเสจใดแมสเสจหนึ่งถูกส่งไปถึงโหนดปลายทาง ในระยะเวลาที่กำหนด
2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของปัจจัยต่างๆ (ตามข้อที่ 1) รวมทั้งศึกษาระดับของผลกระทบของปัจจัยแต่ละอย่างที่ส่งผลต่ออัตราการส่งสำเร็จ
3. เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพของการรับส่งแมสเสจโดยใช้ความรู้จากปัจจัยต่างๆ ข้างต้นมาเป็นองค์ประกอบสำคัญในการตัดสินใจ
4. เพื่อวิจัยและพัฒนาวิธีการรับส่งแมสเสจอย่างมีประสิทธิภาพในเครือข่ายที่มีข้อจำกัดที่แตกต่างกัน รวมทั้งเพื่อให้วิธีการรับส่งแมสเสจที่พัฒนาขึ้นมาสามารถนำไปใช้บนเครือข่ายที่มีความหลากหลายได้
5. เพื่อพัฒนาโปรโตคอลให้มีการรับส่งแมสเสจอย่างมีประสิทธิภาพในขณะที่ฟังก์ชันองค์ความรู้ของเครือข่ายให้น้อยที่สุด

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

โดยปกติแล้วเราตั้งโปรโตคอลจะทำการเลือกเส้นทางโดยอ้างอิงจากข้อมูลสภาพแวดล้อมของเครือข่าย เช่น ลักษณะของโทโพโลยี สถานะของลิงค์ระหว่างโหนดและค่าคอสมท์ (cost) ของแต่ละเส้นทาง เป็นต้น แต่เนื่องจากดีทีเอ็นเป็นเครือข่ายที่มีความหนาแน่นของโหนดที่น้อย ดังนั้นโอกาสการเจอกันของแต่ละคู่โหนดจึงน้อยตามไปด้วย ทำให้การเก็บรวบรวมข้อมูลภาพรวมของ

เครือข่ายจึงทำได้ยากลำบากและข้อมูลที่ได้มาส่วนมากจะเป็นข้อมูลในอดีตซึ่งไม่สามารถใช้อธิบายสภาพเครือข่าย ณ ปัจจุบันได้อย่างเที่ยงตรง ในงานวิจัยที่ผ่านมา นักวิจัยพยายามที่จะพยากรณ์โอกาสการเจอกันของคู่โหนดใดๆ โดยใช้ข้อมูลการเจอกันในอดีตของคู่โหนดนั้นๆ แต่ว่าวิธีการนี้ใช้ได้ดีในกรณีที่โหนดมีรูปแบบการเคลื่อนที่ซ้ำรอยเดิมหรือเครือข่ายที่โหนดมีรูปแบบการเคลื่อนที่ที่เฉพาะเจาะจงเท่านั้น ในกรณีที่รูปแบบการเคลื่อนที่ของโหนดมีการเปลี่ยนแปลงบ่อยและมีความหลากหลายมากขึ้น ความแม่นยำในการพยากรณ์จะยิ่งลดลงและในกรณีที่รูปแบบการเคลื่อนที่มีความใกล้เคียงการเคลื่อนที่แบบสุ่ม (random) โดยสมบูรณ์ ความแม่นยำในการพยากรณ์จะลดลงมาก ดังนั้นจากเป้าหมายของวิทยานิพนธ์ข้างต้นที่ระบุว่า โพรโทคอลที่พัฒนาขึ้นมาจะต้องสามารถทำงานได้บนเครือข่ายที่มีรูปแบบการเคลื่อนที่ที่หลากหลาย ดังนั้นโหนดจำเป็นต้องรับส่งแมสเสจโดยพึ่งพาข้อมูลของเครือข่ายให้น้อยที่สุด นอกจากนี้ในกรณีที่ความหนาแน่นของเครือข่ายมีน้อยลงข้อมูลเกี่ยวกับเครือข่ายที่โหนดทำการแลกเปลี่ยนกันจะยังมีความขัดแย้งกับสภาพเครือข่ายที่เป็นจริงมากขึ้น ดังนั้นในกรณีนี้โหนดจะต้องพึ่งพาเฉพาะข้อมูลที่เชื่อถือได้ เช่น คุณสมบัติของแมสเสจที่อยู่ในหน่วยความจำ ขนาดหน่วยความจำหรือบัฟเฟอร์ของโหนดและพื้นที่ว่างของบัฟเฟอร์ที่โหนดสามารถรับแมสเสจเข้ามาได้ เป็นต้น

ระยะเวลาที่โหนดอยู่ในตำแหน่งที่สามารถสื่อสารกันได้จนกระทั่งโหนดเคลื่อนที่ออกจากกันจนทำให้การสื่อสารสิ้นสุดลงจะเรียกว่าคอนแทค (contact) ระยะเวลาของคอนแทคจะขึ้นอยู่กับความเร็วและทิศทางของคู่โหนดใดๆ การประมาณค่าเวลาของคอนแทคที่แม่นยำจำเป็นจะต้องติดตั้งอุปกรณ์พิเศษบนโหนดทุกโหนดในเครือข่าย เช่น อุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอส (GPS) เป็นต้น แต่การที่ทุกโหนดติดตั้งอุปกรณ์เหล่านี้ในความเป็นจริงแล้วเป็นเรื่องที่เกิดขึ้นได้ยากมาก ดังนั้นในงานวิจัยส่วนมากจึงไม่มีการตั้งสมมติฐานเกี่ยวกับอุปกรณ์จีพีเอส เมื่อโหนดไม่ได้ติดตั้งอุปกรณ์จีพีเอสแล้วจะทำให้โหนดไม่สามารถประมาณเวลาของคอนแทคที่แม่นยำได้ ระยะเวลาของคอนแทคเป็นค่าที่สามารถบ่งบอกได้ว่าโหนดสามารถรับและส่งแมสเสจที่อยู่ในบัฟเฟอร์ได้มากน้อยแค่ไหน ถ้าระยะเวลาของคอนแทคสูงมาก โหนดจะสามารถส่งแมสเสจทั้งหมดที่อยู่ในบัฟเฟอร์ออกไปได้ ในขณะเดียวกันถ้าระยะเวลาของคอนแทคน้อย โหนดจะส่งแมสเสจได้น้อยลงหรืออาจจะส่งแมสเสจไม่ได้เลย ด้วยเหตุนี้เองโหนดจำเป็นต้องเลือกที่จะส่งแมสเสจในแต่ละช่วงเวลาของคอนแทคอย่างเหมาะสมเพื่อให้การกระจายแมสเสจในเครือข่ายทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ จากเป้าหมายที่กล่าวมาข้างต้นว่า โพรโทคอลต้องส่งแมสเสจได้ดีในขณะที่พึ่งพาความรู้ของเครือข่ายให้น้อยที่สุด ทำให้โหนดจำเป็นต้องพึ่งพาข้อมูลที่ตนเองมีอยู่ให้มากที่สุดแทนที่จะเป็นการพึ่งพาความรู้ของเครือข่าย ซึ่งข้อมูลที่ทุกโหนดบนเครือข่ายมีเหมือนกันก็คือข้อมูลคุณลักษณะของแมสเสจที่อยู่ในบัฟเฟอร์ แมสเสจแต่ละแมสเสจจะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ถ้าผู้วิจัยสามารถนำคุณสมบัติที่แตกต่างกันของ

แมสเสงเหล่านี้มาประยุกต์ใช้สำหรับการตัดสินใจเพื่อคัดเลือกแมสเสงที่เหมาะสมในแต่ละช่วงเวลาของคอนแทคได้ ก็จะทำให้การทำงานโดยรวมของเครือข่ายดีขึ้นกว่าเดิม

1.4 ขอบเขตการวิจัย

งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับการพัฒนาเรตติ้งโพรโทคอลบนเครือข่ายดีทีเอ็นให้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพบนสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยนำปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพดังกล่าวมาประยุกต์ใช้ในโพรโทคอลของผู้วิจัย การวัดประสิทธิภาพของโพรโทคอลจะใช้ค่าดังนี้ 1) อัตราความสำเร็จในการส่งแมสเสงไปถึงโหนดปลายทางและ 2) ระยะเวลาที่ใช้ในการส่งแมสเสง ผู้วิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง โดยการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์และรูปแบบการสร้างแมสเสงที่แตกต่างกัน จากนั้นผู้วิจัยจะทำการสังเกตผลการทดลองเพื่อดูผลกระทบที่เกิดขึ้นและหาเหตุผลมาสนับสนุนผลการทดลองดังกล่าว

ผู้วิจัยทำการประเมินสมรรถนะด้วยการเปรียบเทียบวิธีการที่เรานำเสนอกับวิธีการที่สำคัญในปัจจุบันผ่านแบบจำลองระบบ ONE (Opportunistic Network Environments) หรือโอเอ็นอีโดยรายละเอียดจะอยู่ในบทที่ 4 ต่อไป

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บทด้วยกันคือ

บทที่ 1 กล่าวถึงความเป็นมาของงานวิจัย ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ สมมติฐาน ทฤษฎีที่ใช้ ขอบเขตของการวิจัย และขั้นตอนการศึกษา

บทที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัย หลักการทำงานของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจและเครือข่ายดีทีเอ็นและแนวคิดของงานวิจัย

บทที่ 3 นำเสนอปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการส่งสำเร็จโดยรวมของเครือข่ายและวัดประสิทธิภาพของปัจจัยดังกล่าว

บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการทดลอง และเปรียบเทียบโพรโทคอลในงานวิจัยฉบับนี้กับโพรโทคอลที่มีอยู่ในปัจจุบัน

บทที่ 5 บทสรุปของงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยและงานที่เกี่ยวข้อง

เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเป็นเครือข่ายที่ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ที่มีการสื่อสารแบบไร้สาย โดยส่วนมากอุปกรณ์เหล่านี้จะนิยมใช้การสื่อสารด้วยมาตรฐาน 802.11 นอกจากนี้อุปกรณ์สื่อสารเหล่านี้จะมีน้ำหนักเบาและพกพาได้สะดวก เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเป็นเครือข่ายที่กำลังได้รับความสนใจจากนักวิจัยทั่วโลกเนื่องจากอุปกรณ์สื่อสารไร้สายในปัจจุบันมีราคาถูกกว่าแต่ก่อนมากและผู้ใช้ทั่วไปเริ่มมีความคุ้นเคยในการใช้งานอุปกรณ์เหล่านี้เป็นอย่างดี เช่น พีดีเอ, โน้ตบุ๊ก, เน็ตบุ๊ก, ดีเอสและพีเอสพี เป็นต้น นักวิจัยเรียกอุปกรณ์เหล่านี้ว่า โหนด การสื่อสารระหว่างโหนดเกิดขึ้นได้โดยที่ไม่จำเป็นต้องมีโครงข่ายมารองรับ พฤติกรรมของโหนดในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจจะมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาส่งผลให้เส้นทางการเชื่อมต่อระหว่างโหนดใดๆ มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาด้วยเช่นกัน เนื่องจากเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเป็นเครือข่ายที่ทำให้โทโพโลยีมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงเกิดปัญหามากมายตามมา เช่น โหนดต้องปรับเปลี่ยนเส้นทางการส่งแมสเสจให้ทันต่อการเปลี่ยนแปลงของเครือข่าย โหนดมีขนาดบัฟเฟอร์ที่จำกัด พลังงานที่มีจำกัดและความสามารถในการประมวลผลที่จำกัด เป็นต้น ทำให้การออกแบบเราดิง โพร โทคอลต่างๆ ต้องคำนึงถึงข้อจำกัดเหล่านี้เป็นสำคัญด้วย

ดีทีเอ็นเป็นเครือข่ายที่มีความหนาแน่นของโหนดที่น้อยมากเมื่อเทียบกับขนาดพื้นที่ของเครือข่ายและเป็นเครือข่ายที่มีความทนทานต่อดีเลย์สูง การรับส่งแมสเสจบนเครือข่ายแบบนี้จะใช้รูปแบบการรับมาถือแล้วส่งต่อ (store, carry and forward) โดยไม่จำเป็นต้องสร้างเส้นทางการส่งแมสเสจเหมือนอย่างที่ทำกันในเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจ แต่เนื่องจากเครือข่ายแบบนี้จะประกอบไปด้วยโหนดที่มีทรัพยากรจำกัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีวิธีการรับส่งแมสเสจไปให้ถึงโหนดปลายทางด้วยเวลาน้อยที่สุดในขณะที่ใช้ทรัพยากรรวมน้อยที่สุด

เนื้อหาในบทนี้กล่าวถึงประโยชน์และการนำเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจไปใช้งาน และทฤษฎีพื้นฐานของดีทีเอ็น ความสำคัญและที่มาของงานวิจัยรวมถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และซิมูเลเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดนี้จำเป็นสำหรับการศึกษาและประเมินประสิทธิภาพของโพรโทคอลสำหรับเครือข่ายดีทีเอ็น

2.1 เครือข่ายแบบดีทีเอ็น

ดีทีเอ็นเป็นเครือข่ายที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงตามพื้นที่ต่างๆ ที่โครงข่ายทั่วไปไม่สามารถเข้าถึงได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

การสำรวจพฤติกรรมสัตว์ป่าที่อยู่ในบริเวณป่าดิบ เนื่องจากการวางระบบโครงข่ายในป่า ทำให้ธรรมชาติเกิดความเสียหายและเป็นการรบกวนที่อยู่อาศัยของสัตว์ป่า ดังนั้นนักวิจัยจึงได้นำอุปกรณ์เซ็นเซอร์ที่มีความสามารถในการสื่อสารไร้สายไปติดบนตัวสัตว์หรือวางไว้ตามจุดต่างๆ จากนั้นจึงให้อุปกรณ์เหล่านี้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูล เมื่อเวลาผ่านไปนักวิจัยจึงนำอุปกรณ์เซ็นเซอร์เหล่านี้ออกมาแล้วนำเอาข้อมูลที่อุปกรณ์เก็บรวบรวมมาได้มาวิเคราะห์ต่อไป ด้วยวิธีการนี้ จะเห็นได้ว่านักวิจัยสามารถเก็บรวบรวมข้อมูลชีวิตสัตว์ป่าได้ในขณะที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหายต่อธรรมชาติด้วย

การนำเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจไปใช้ในบริเวณประสบภัยพิบัติธรรมชาติอย่างเช่น สึนามิ ซึ่งสภาพแวดล้อมดังกล่าวทำให้โครงข่ายไร้สายทั่วไปสามารถถูกทำลายหรือเสียหายจากภัยพิบัติเหล่านี้จนไม่สามารถใช้งานได้ตามปกติ แต่เครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจสามารถทำงานได้ถึงแม้จะไม่มีโครงข่ายรองรับ และในกรณีที่โหนดโคนทำลายจากสภาพแวดล้อมเหล่านี้ เครือข่ายโดยรวมก็ยังคงสามารถทำงานได้เช่นเดิม แต่จะมีความแตกต่างกันในส่วนของความสมบูรณ์ของข้อมูล เช่น ถ้านักวิจัยวางเซ็นเซอร์เพื่อตรวจจับทิศทางของกระแสน้ำเป็นลักษณะตารางหมากรุก เมื่อมีโหนดใดโหนดหนึ่งโคนทำลายไปจะทำให้ให้นักวิจัยไม่สามารถทราบถึงกระแสน้ำ ณ ตำแหน่งนั้นได้ แต่นักวิจัยยังคงใช้ข้อมูลจากโหนดข้างเคียงเพื่อคาดคะเนระดับกระแสน้ำ ณ ตำแหน่งที่โหนดโคนทำลายไปได้

การตรวจจับสภาพแวดล้อมในบริเวณที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าถึงได้ เช่น การตรวจจับความเข้มข้นของแก๊สมันตาฟรังสี การตรวจจับพฤติกรรมของสัตว์ใต้ทะเลลึก การตรวจวัดแรงดันสะท้อนของภูเขาไฟ เป็นต้น

จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นได้ว่าด้วยคุณสมบัติของเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจเป็นเครือข่ายที่ไม่จำเป็นต้องพึ่งพาระบบโครงข่ายและแต่ละโหนดสามารถทำงานได้อย่างอิสระ ดังนั้นเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจจึงมีความจำเป็นที่จะต้องพัฒนาให้สามารถทำงานได้แม้ว่าสภาพแวดล้อมจะเลวร้ายแค่ไหนก็ตาม

2.2 เราตั้งโปรโทคอลบนดีทีเอ็น

ก่อนที่โหนดจะทำการส่งแพสเสจไปยังโหนดปลายทางในเครือข่าย โหนดต้นทางจะต้องรู้ว่าควรส่งแพสเสจไปในเครือข่ายด้วยลักษณะแบบใด นักวิจัยได้ทำการจำแนกประเภทของเราตั้งโปรโทคอลได้หลายลักษณะ วิธีหนึ่งที่น่ามาใช้สำหรับการแบ่งประเภทของเราตั้งโปรโทคอลคือการแบ่งตามลักษณะการส่งแพสเสจ ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทหลักๆ คือ

2.2.1 กลยุทธ์ในการฟลัดแมสเสจ (Flooding strategies) [3]

วิธีการกระจายแมสเสจจะทำสำเนาของแมสเสจแล้วส่งไปยังกลุ่มของโหนดที่เรียกว่า “รีเลย์โหนด” ทำให้แมสเสจหนึ่งๆ มีโอกาสกระจายอยู่ตามโหนดภายในเครือข่ายมากกว่าหนึ่งโหนด และโหนดเหล่านี้จะเก็บแมสเสจเอาไว้จนกระทั่งเจอโหนดปลายทาง ซึ่งกลยุทธ์ที่มึการทำงานในลักษณะนี้มีดังนี้

2.2.1.1 การส่งต่อโดยตรง (Direct transmission) [3]

วิธีการส่งแมสเสจแบบนี้ โหนดต้นทางจะสร้างแมสเสจและเก็บเอาไว้ในบัฟเฟอร์ จากนั้นเมื่อโหนดเคลื่อนที่ไปเจอรีเลย์โหนดใดๆ โหนดต้นทางจะตรวจสอบว่ารีเลย์โหนดนั้นคือโหนดปลายทางหรือไม่ ถ้าไม่ใช่โหนดต้นทางจะทำการเก็บแมสเสจเอาไว้และไม่ส่งต่อ ในขณะที่ถ้ารีเลย์โหนดคือโหนดปลายทาง โหนดต้นทางจะทำการตัดสินใจส่งแมสเสจดังกล่าวไปยังโหนดปลายทาง วิธีการนี้สามารถจะทำให้ทุกโหนดในเครือข่ายทำการส่งแมสเสจของตนเองเท่านั้น ด้วยรูปแบบการส่งต่อโดยตรงแบบนี้ทำให้วิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ข้อมูลสภาพแวดล้อมของเครือข่ายและไม่จำเป็นต้องพัฒนาวิธีการส่งแมสเสจที่ซับซ้อน

2.2.1.2 การส่งต่อแบบ 2 ฮอป (Two-hop relay) [3]

วิธีการส่งต่อแมสเสจแบบนี้เมื่อโหนดต้นทางสร้างแมสเสจขึ้นมาในบัฟเฟอร์ แมสเสจนั้นจะมีค่าที่ระบุว่าจะแมสเสจนี้จะถูกกระจายไปในเครือข่ายด้วยจำนวนเท่าไร เช่น โหนดต้นทางต้องการกระจายแมสเสจนี้ไปยังเครือข่ายด้วยจำนวน n แมสเสจ เมื่อโหนดต้นทางเจอรีเลย์โหนด โหนดต้นทางจะทำการส่งแมสเสจไปยังรีเลย์โหนดและปรับค่า n เป็นค่า $n-1$ จากนั้น โหนดต้นทางจะทำการส่งแมสเสจไปจนกระทั่งค่า n มีค่าเท่ากับ 0 ดังนั้นจะเห็นได้ว่าวิธีการนี้แต่ละแมสเสจจะมีจำนวน $n+1$ เมื่อรวมกับแมสเสจที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของโหนดต้นทางด้วย วิธีการนี้โหนดที่ทำหน้าที่กระจายแมสเสจจะเป็นโหนดต้นทางเท่านั้น ในส่วนของรีเลย์โหนดเมื่อรับแมสเสจมาแล้วจะไม่ทำการส่งต่อให้โหนดอื่นแต่จะส่งต่อในกรณีที่เจอโหนดปลายทางเท่านั้น ดังนั้นวิธีการแบบนี้แต่ละแมสเสจจะมีจำนวนฮอปสูงที่สุดคือ 2 ฮอปเท่านั้น

2.2.1.3 การกระจายแมสเสจแบบทรี (Tree-based flooding) [3]

การกระจายแบบทรีเป็นการพัฒนาวิธีการส่งต่อแมสเสจมาจากการส่งต่อแบบ 2 ฮอป โดยโปรโทคอลที่มีลักษณะการกระจายแมสเสจแบบทรีจะมีดังนี้

2.2.1.3.1 สเปรย์แอนด์เวยท์ (Spray and wait) [3,4]

วิธีการนี้จะมีรูปแบบการส่งต่อเป็นแบบไบนารีทรี (Binary tree) เมื่อแมสเสจถูกสร้างขึ้นมา n โหนดต้นทาง แมสเสจนี้จะถูกกำหนดคุณสมบัติด้วยค่า L ที่แสดงจำนวนสำเนาของแมสเสจที่กระจายไปในเครือข่าย เมื่อโหนดต้นทางเคลื่อนที่และเจอโหนดใดๆ โหนดที่ทำหน้าที่ส่งจะทำสำเนาแมสเสจขึ้นมาแล้วส่งต่อไปยังรีเลย์โหนด เมื่อแมสเสจนั้นถูกส่งออกไปที่โหนดผู้ส่งจะมีการ

ปรับค่า L เป็น $L = \lceil L/2 \rceil$ ในขณะที่โหนดที่ได้รับเมสเสจจะรับเมสเสจไว้แล้วปรับค่า L ด้วยค่า $L = \lfloor L/2 \rfloor$ โหนดต้นทางและรีเลย์โหนดจะทำการส่งต่อเมสเสจต่อไปซึ่งแต่ละครั้งที่มีการส่งต่อเมสเสจค่า L จะถูกปรับค่าตามสูตรข้างต้นไปจนกระทั่งค่า L ถูกลดค่ามาจนเหลือค่า $L = 1$ ซึ่งขั้นตอนดังกล่าวมาทั้งหมดนี้จะเรียกว่าขั้นตอนสเปรย์ (spray phase) เมื่อสิ้นสุดขั้นตอนของสเปรย์แล้วโหนดจะเข้าสู่สถานะที่เรียกว่าเวท (wait phase) ซึ่งสถานะนี้โหนดจะใช้การส่งเมสเสจแบบส่งต่อโดยตรงตามข้อ 2.2.1.1 สำหรับวิธีการนี้จะให้ความสำคัญกับการกำหนดค่า L ที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายใดๆ ซึ่งนักวิจัยได้ทำการวิจัยและได้ทำการคำนวณทางด้านคณิตศาสตร์พบว่าค่า L ที่เหมาะสมควรมีค่าอยู่ระหว่าง 10-15% ของจำนวนโหนดทั้งหมดในเครือข่าย

2.2.1.3.2 สเปรย์แอนโฟกัส (Spray and focus) [3,5]

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่พัฒนาต่อยอดมาจากวิธีของสเปรย์แอนเวท โดยที่ในขั้นตอนของสเปรย์จะทำงานเหมือนกับสเปรย์แอนเวททุกประการ แต่จะมีความแตกต่างในขั้นตอนที่สอง ซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีชื่อเรียกว่าโฟกัส (Focus phase) ในขั้นตอนนี้สเปรย์แอนโฟกัสจะใช้วิธีการส่งเมสเสจแบบ single-copy utility ซึ่งวิธีการนี้โหนดที่อยู่ในสถานะโฟกัสมีโอกาที่จะส่งต่อเมสเสจไปยังรีเลย์โหนดได้ ซึ่งจะต่างจากขั้นตอนเวทที่โหนดจะส่งต่อเมสเสจเมื่อเจอโหนดปลายทางเท่านั้น สำหรับหลักการที่โหนดใช้ตัดสินใจว่าจะทำการส่งต่อเมสเสจหรือไม่นั้น โหนดจะทำการพิจารณาจากค่า $\tau(i,j)$ ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าของเวลาที่แสดงว่าโหนด i และโหนด j เจอกันครั้งสุดท้ายนานเท่าไร โดยค่า $\tau(i,j)$ เริ่มต้นจะมีค่าเท่ากับอนันต์และเมื่อโหนด i เจอกับโหนด j ค่า $\tau(i,j)$ จะมีค่าเท่ากับศูนย์ เมื่อเวลาผ่านไปค่า $\tau(i,j)$ จะเพิ่มขึ้นตามหน่วยเวลาที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน สำหรับวิธีการที่โหนดใช้ในการพิจารณาว่าจะส่งต่อเมสเสจไปยังรีเลย์โหนดหรือไม่จะดูจาก τ ระหว่างโหนดผู้ส่งกับโหนดปลายทางเปรียบเทียบกับค่า τ ระหว่างรีเลย์โหนดกับโหนดปลายทาง แล้วพิจารณาว่าค่า τ ใดมีค่าน้อยกว่ากัน ถ้าค่า τ ระหว่างรีเลย์โหนดกับโหนดปลายทางมีค่าน้อยกว่า โหนดต้นทางจะตัดสินใจส่งเมสเสจไปยังรีเลย์โหนด ในขณะที่ ถ้าค่า τ ระหว่างรีเลย์กับโหนดปลายทางมีค่ามากกว่า โหนดผู้ส่งจะตัดสินใจไม่ส่งเมสเสจไปยังรีเลย์

2.2.1.4 อีพิเดมิก (Epidemic routing) [3,6]

อีพิเดมิกเป็นโพรโทคอลที่นำหลักการเรพลิเคท (replicate) ของฐานข้อมูลมาประยุกต์ใช้ในเครือข่ายดิดิเอน โดยที่วิธีการแบบนี้จะอ้างอิงอยู่บนสมมติฐานเรื่องแบนวิดและขนาดบัฟเฟอร์ (buffer) ที่ไม่มีขีดจำกัด เมื่อคู่โหนดใดๆ เคลื่อนที่เข้าหากันและอยู่ในระยะที่สามารถรับส่งเมสเสจได้ ในขั้นแรกโหนดจะทำการส่งเมสเสจที่ประกอบไปด้วยข้อมูลรายการเมสเสจทั้งหมดที่โหนดนั้นถืออยู่ที่เรียกว่า ซัมมารีเวกเตอร์ (summary vector) ซึ่งซัมมารีเวกเตอร์นี้จะใช้กรรมวิธีแฮช (hashing) มาแฮชเมสเสจไอดี (message ID) ทั้งหมดที่อยู่ในบัฟเฟอร์ ด้วยฟังก์ชันการแฮชที่แตกต่างกันจำนวนหนึ่ง ดังนั้นซัมมารีเวกเตอร์จึงเป็นเสมือนตัวแทนที่บ่งบอกว่าโหนดนั้นมีเมสเสจอะไรอยู่บ้าง หลังจากที่โหนดทำการแลกเปลี่ยนซัมมารีเวกเตอร์แล้วโหนดจะทำการเปรียบเทียบค่าซัมมารีเวกเตอร์

ของตัวเองกับค่าซัมมารีเวคเตอร์ที่ได้รับมาว่ามีค่าตรงกันหรือไม่ ถ้าค่าซัมมารีเวคเตอร์ทั้งสองมีค่าเหมือนกันก็หมายความว่าทั้ง 2 โหนดมีเมสเสจที่อยู่ในบัฟเฟอร์ที่เหมือนกัน ดังนั้นในกรณีนี้โหนดไม่จำเป็นต้องทำการส่งเมสเสจเนื่องจากทั้ง 2 โหนดมีเมสเสจที่เหมือนกันทุกประการแล้ว ในขณะที่ถ้าค่าซัมมารีเวคเตอร์ของตนเองมีความแตกต่างจากซัมมารีเวคเตอร์ที่รับเข้ามาแสดงว่าทั้ง 2 โหนดนี้จะมีเมสเสจที่อยู่ในบัฟเฟอร์ที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นโหนดจะทำการตรวจสอบว่าเมสเสจอะไรที่ตนเองมีแต่อีกโหนดหนึ่งไม่มี จากนั้นโหนดจะส่งเฉพาะเมสเสจที่อีกโหนดหนึ่งไม่มีไปให้เท่านั้น เอพพิเดมิกเป็นเร้าติ้งโพรโทคอลที่เหมาะสมสำหรับเครือข่ายที่มีความหนาแน่นของโหนดน้อยมาก เหมาะสำหรับเมสเสจที่มีเล็กและจำนวนเมสเสจในเครือข่ายที่ไม่มากนัก เนื่องจากการทำงานของเอพพิเดมิกจำเป็นต้องใช้ขนาดบัฟเฟอร์ที่ใหญ่มาก ดังนั้นเอพพิเดมิกจึงไม่เหมาะสำหรับเครือข่ายที่มีขนาดใหญ่

2.2.1.5 พร็อพเพ็ท (Prophet) [7]

พร็อพเพ็ทเป็นเร้าติ้งโพรโทคอลอันดับต้นๆ ที่นำความรู้ทางด้านความน่าจะเป็น (probability) มาประยุกต์ใช้งานในคติเอ็น พร็อพเพ็ทจะประมาณค่าความน่าจะเป็นในการเจอกันของคู่โหนดใดๆ ที่อยู่ในเครือข่ายจากความถี่ในการเจอกันในอดีต โดยพร็อพเพ็ทได้มีข้อกำหนดทางด้านรูปแบบและความน่าจะเป็นในการเคลื่อนที่ของโหนดไปยังบริเวณใดๆ โดยพร็อพเพ็ทได้กำหนดไว้ว่าในพื้นที่การจำลองจะแบ่งพื้นที่ดังกล่าวออกเป็นพื้นที่ย่อยๆ เหมือนตารางหมากรุก จากนั้นพร็อพเพ็ทได้กำหนดว่าพื้นที่ย่อยเหล่านี้ถูกแบ่งประเภทออกเป็น 3 ประเภท คือ (1) พื้นที่โฮม แต่ละโหนดจะมีพื้นที่ที่เรียกว่าโฮม 1 ช่องพื้นที่ (2) พื้นที่สำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลซึ่งเป็นพื้นที่ที่เป็นจุดศูนย์กลางในการรวบรวมข้อมูลทั้งหมดในเครือข่าย ในส่วนนี้ทุกโหนดในเครือข่ายจะมีพื้นที่รวบรวมข้อมูลในตำแหน่งเดียวกันทั้งหมดและ (3) พื้นที่ทั่วไป ซึ่งคือพื้นที่ในส่วนที่เหลือนอกจากข้อ 1 และ 2 จากตารางที่ 2.1 สมมติว่ามีโหนด ก ที่มีบริเวณโฮมอยู่ที่ตำแหน่ง C7 โหนด ก นี้จะมีบริเวณสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลที่ตำแหน่ง G และในตำแหน่ง C1, C2, C3, C4, C5, C6, C8, C9, C10 และ C11 เป็นบริเวณทั่วไป และถ้ามีโหนด ข ที่มีบริเวณโฮมอยู่ที่ตำแหน่ง C9 โหนด ข นี้จะมีบริเวณสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลที่ตำแหน่ง G และในตำแหน่ง C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C10 และ C11 เป็นบริเวณทั่วไป

ตารางที่ 2.1 แสดงการแบ่งพื้นที่การเคลื่อนที่ของโหนด

C1	C2	C3	C4
C5	C6	C7	C8
C9	C10	C11	G

จากนั้นโหนดจะมีค่าความน่าจะเป็นในการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าความน่าจะเป็นในการเคลื่อนที่ของโหนด

From / To	Home	Gathering place	Elsewhere
Home	-	0.8	0.2
Elsewhere	0.9	-	0.1

พรีอเพ็คทีฟจะมีการคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการเจอกันของคู่โหนดใดๆ ซึ่งเรียกว่า "Delivery predictability" หรือค่าการพยากรณ์ในการส่งแมสเสจ คู่โหนดที่เจอกันบ่อยก็จะมีค่าการพยากรณ์ในการส่งแมสเสจที่สูงตาม และเมื่อเวลาผ่านไปค่าความน่าจะเป็นของการเจอกันนี้จะลดลงทีละน้อย เมื่อคู่โหนดไม่ได้เจอกันนานมากค่าความน่าจะเป็นนี้จะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ สำหรับวิธีการในการคำนวณค่าการพยากรณ์ในการส่งแมสเสจจะประกอบไปด้วยสมการ จะประกอบไปด้วยสมการ 3 สมการดังนี้

$$P_{(a,b)} = P_{(a,b)old} + (1 - P_{(a,b)old}) \times P_{init} \quad (1.1)$$

สำหรับสมการ (1.1) จะเป็นการคำนวณค่าการพยากรณ์ในการส่งแมสเสจเมื่อโหนดเคลื่อนที่เข้ามาเจอกัน โดยค่าการพยากรณ์ในการส่งแมสเสจจะมีการนำเอาค่าการพยากรณ์ในการส่งแมสเสจก่อนหน้ามาคำนวณด้วย

$$P_{(a,b)} = P_{(a,b)old} \times \gamma^k \quad (1.2)$$

สำหรับสมการ (1.2) จะเป็นสมการที่ใช้เพื่อลดค่าการพยากรณ์ในการส่งแมสเสจเมื่อเวลาผ่านไป

$$P_{(a,c)} = P_{(a,c)old} + (1 - P_{(a,c)old}) \times P_{(a,b)} \times P_{(b,c)} \times \beta \quad (1.3)$$

และในส่วนสุดท้ายคือสมการ (1.3) จะเป็นสมการที่เรียกว่าสมการการสืบทอดหรือ transitive ซึ่งสมการนี้จะใช้ในกรณีที่โหนดเคลื่อนที่มาเจอกันเหมือนอย่างในกรณีของสมการที่ 1 จากสมการทั้ง 3 ข้างต้นจะมีการกำหนดค่าปริยายของพารามิเตอร์ทั้ง 3 ค่าคือ P_{init}, β, γ โดยค่าทั้ง 3 จะถูกกำหนดค่าโดยปริยายตามตารางที่ 2.3

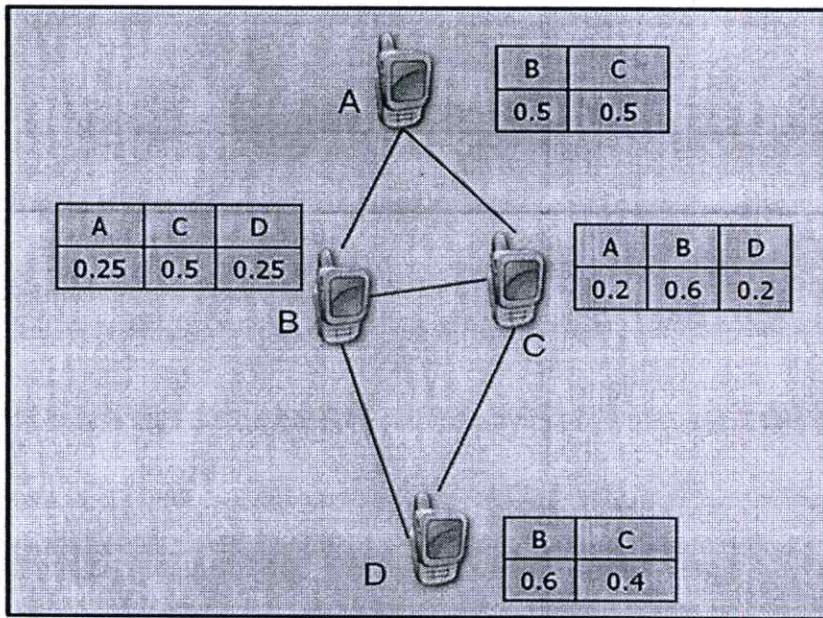
ตารางที่ 2.3 แสดงค่าปริยายของพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	ค่าปริยาย
P_{init}	0.75
β	0.25
γ	0.98

สำหรับหลักการพิจารณาการส่งเมสเสจนี้ โหนดผู้ส่งจะพิจารณาค่าความน่าจะเป็นว่าระหว่างความน่าจะเป็นที่โหนดต้นทางจะเจอโหนดปลายทางและความน่าจะเป็นที่รีเลย์โหนดจะเจอโหนดปลายทาง ค่าความน่าจะเป็นค่าไหนที่มากกว่ากัน ถ้าค่าความน่าจะเป็นที่รีเลย์โหนดจะเจอโหนดปลายทางมีสูงกว่าค่าความน่าจะเป็นที่โหนดผู้ส่งจะเจอโหนดปลายทาง โหนดต้นทางจะทำการส่งต่อเมสเสจนั้นไปยังรีเลย์โหนด ในขณะที่ถ้าค่าความน่าจะเป็นที่โหนดต้นทางจะเจอโหนดปลายทางมีสูงกว่า โหนดต้นทางจะตัดสินใจที่จะไม่ส่งต่อเมสเสจไปยังรีเลย์โหนด

2.2.1.6 MaxProp [8]

สำหรับการทำงานของโปรโตคอล MaxProp จะนำหลักการของความน่าจะเป็นมาประยุกต์ใช้ร่วมกับอัลกอริทึมสำหรับการค้นหาเส้นทางบนเครือข่ายแลนที่เรียกว่า Dijkstra เพื่อคำนวณค่าของเส้นทางในการส่งเมสเสจใดๆ (path cost) จากนั้น MaxProp จะทำการจัดเรียงเมสเสจในบัฟเฟอร์ตามค่าของเส้นทาง โดยเรียงจากค่าน้อยไปหามาก จากรูปที่ 2.1 กำหนดให้โหนด A ต้องการส่งเมสเสจไปหาโหนด D และกำหนดให้แต่ละโหนดจะมีตารางแสดงความน่าจะเป็นในการเจอกันดังรูป ซึ่งจะเห็นว่าโหนด A มีความน่าจะเป็นในการเจอโหนด B มีค่าเท่ากับ 0.5 และโหนด A มีความน่าจะเป็นในการเจอโหนด C มีค่าเท่ากับ 0.5 ทุกโหนดจะมีตารางดังกล่าวที่แตกต่างกันและค่าผลรวมของความน่าจะเป็นในแต่ละตารางจะมีค่าเท่ากับ 1 โดยเริ่มแรกโหนดจะมีความน่าจะเป็นในการเจอโหนดใดๆ เท่ากัน จากนั้นเมื่อโหนดเคลื่อนที่เข้ามาเจอกันค่าความน่าจะเป็นนี้จะถูกปรับค่า ซึ่งการปรับค่าจะคำนวณได้ดังนี้ กำหนดให้โหนด A มีตารางความน่าจะเป็นดังรูปที่ 2.1 เมื่อโหนด A เจอโหนด B ค่าความน่าจะเป็นในช่องโหนด B จะเพิ่มขึ้น 1 หน่วยเป็น 1.5 จากนั้น โหนด A จะทำการปรับค่าให้ผลรวมค่าความน่าจะเป็นในตารางให้เท่ากับ 1 ด้วยการนำค่าความน่าจะเป็นที่ถูกปรับค่าแล้วมารวมกัน ซึ่งจะได้เท่ากับ $1.5 + 0.5 = 2.0$ จากนั้นนำแต่ละค่าความน่าจะเป็นมาหารด้วยค่า 2.0 ดังนี้ ค่าความน่าจะเป็นในการเจอโหนด B เท่ากับ $\frac{1.5}{2.0} = 0.75$ และสำหรับค่าความน่าจะเป็นในการเจอโหนด C เท่ากับ $\frac{0.5}{2.0} = 0.25$



รูปที่ 2.1 แสดงการคำนวณค่าของเส้นทางสำหรับโปรโตคอล MaxProp

จากลักษณะการปรับค่าดังกล่าวจะทำให้คู่โหนดที่เจอกับบ่อยจะมีค่าความน่าจะเป็นในการเจอกับเท่ากับ 1 และคู่โหนดที่ไม่ได้เจอกันมาเป็นระยะเวลาานจะมีค่าความน่าจะเป็นในการเจอกันใกล้เคียงศูนย์ในการเจอกันแต่ละครั้ง โหนดจะทำการแลกเปลี่ยนตารางความน่าจะเป็นดังกล่าวทั้งที่เป็นตารางของตนเองและตารางของโหนดอื่นในเครือข่าย ดังนั้น โหนดจึงสามารถมองคำนวณเส้นทางในการส่งแพคเกจไปยังโหนดใดๆ ด้วยกลุ่มของตารางดังกล่าว สำหรับการคำนวณค่าของเส้นทางจะทำได้ดังนี้ ในขั้นแรกโหนด A จะทำการค้นหาเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดว่ามีกี่เส้นทางที่สามารถส่งแพคเกจไปถึงโหนดปลายทางได้ ซึ่งจากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าเส้นทางทั้งหมดจากโหนด A ไปยังโหนด D มีดังนี้ $A \rightarrow B \rightarrow D$, $A \rightarrow C \rightarrow D$, $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$ และ $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow D$ เนื่องจากค่าความน่าจะเป็นในการเจอกันของโหนดที่มีค่าสูงจะเป็นค่าที่ดี แต่เมื่อคิดค่าของเส้นทางจะนิยมใช้ค่าที่น้อยที่สุด ดังนั้นจึงต้องทำการแปลงจากค่าของความน่าจะเป็นไปเป็นค่าของเส้นทางด้วยการนำค่า 1 มาลบด้วยค่าความน่าจะเป็น เช่น ถ้าค่าความน่าจะเป็นมีค่าเท่ากับ 0.7 ดังนั้นค่าของเส้นทางจะเป็น $1 - 0.7 = 0.3$ จากนั้นนำหลักการคำนวณดังกล่าวมาคำนวณค่าของเส้นทางได้ดังนี้

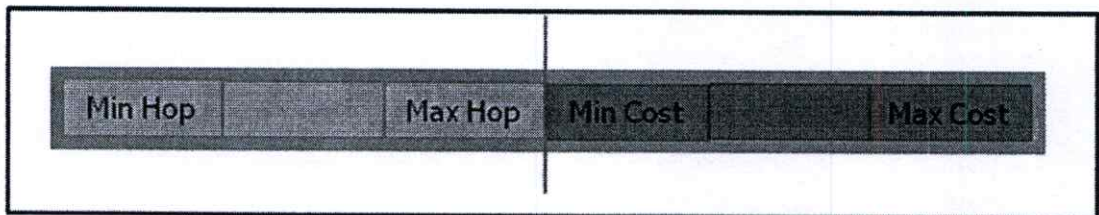
$$ABD = (1 - 0.5) + (1 - 0.25) = 1.25$$

$$ACD = (1 - 0.5) + (1 - 0.2) = 1.3$$

$$ABCD = (1 - 0.5) + (1 - 0.5) + (1 - 0.2) = 1.8$$

$$ACBD = (1 - 0.5) + (1 - 0.5) + (1 - 0.25) = 1.65$$

จากการคำนวณดังกล่าวจะเห็นได้ว่าเส้นทาง A->B->D จะให้ค่าของเส้นทางน้อยที่สุด ดังนั้นเมื่อโหนด A ต้องการส่งแพคเกจไปหาโหนด D จะมีค่าของเส้นทางเท่ากับ 1.25 ซึ่ง MaxProp จะทำการจัดลำดับของแพคเกจตามค่าของเส้นทางดังกล่าว แต่เนื่องจากผู้นำเสนอ MaxProp ได้ให้เหตุผลไว้ว่า ถ้ามีแพคเกจที่มีค่าของเส้นทางที่มีค่าสูงมากจะทำให้แพคเกจดังกล่าวไม่มีโอกาสในการกระจายไปในเครือข่าย ดังนั้นผู้นำเสนอผลงาน MaxProp จึงได้นำค่าของฮอปเคาท์มาช่วยพิจารณาการจัดลำดับแพคเกจ เพื่อให้แพคเกจที่ถึงสร้างขึ้นมาใหม่ได้มีโอกาสรกระจายตัวในเครือข่าย โดยเริ่มแรก MaxProp จะแบ่งบัพเฟอร์ออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ บัพเฟอร์ในส่วนที่จัดลำดับแพคเกจตามค่าของฮอปเคาท์และบัพเฟอร์ในส่วนที่มีการจัดลำดับแพคเกจตามค่าของเส้นทาง



รูปที่ 2.2 แสดงจัดสรรบัพเฟอร์เพื่อการจัดลำดับแพคเกจ

จากรูปที่ 2.1 เป็นการแบ่งบัพเฟอร์เพื่อการจัดลำดับแพคเกจที่ต่างกัน จากนั้น MaxProp จะมีกลไกสำหรับการจัดสรรบัพเฟอร์สำหรับแต่ละส่วนตามขนาดรวมของแพคเกจที่ส่งได้ในอดีตด้วยสมการ (2.4), (2.5) และ (2.6)

$$\text{If } x < \frac{b}{2}, \text{ then } p = x \quad (2.4)$$

$$\text{If } \frac{b}{2} < x < b \text{ then } p = \min(x, b - x) \quad (2.5)$$

$$\text{If } b < x \text{ then } p = 0 \quad (2.6)$$

จากสมการดังกล่าว b คือขนาดบัพเฟอร์ของโหนด x คือขนาดรวมของแพคเกจทั้งหมดที่โหนดส่งได้ในครั้งล่าสุด และ p คือตำแหน่งที่แบ่งบัพเฟอร์ จากสมการ (2.4) จะเห็นได้ว่าเมื่อโหนดสามารถส่งแพคเกจคิดเป็นขนาดรวมได้น้อยกว่าครึ่งหนึ่งของบัพเฟอร์ MaxProp จะทำการจัดสรรบัพเฟอร์สำหรับการเรียงลำดับตามค่าฮอปเคาท์ด้วยขนาดเนื้อที่เท่ากับขนาดแพคเกจรวมที่โหนดส่งได้ครั้งล่าสุด สำหรับสมการ (2.5) เมื่อโหนดส่งแพคเกจครั้งล่าสุดได้มากกว่าครึ่งของขนาดบัพเฟอร์ MaxProp จะจัดสรรบัพเฟอร์สำหรับการเรียงลำดับตามค่าฮอปเคาท์ด้วยการพิจารณาค่าที่น้อยที่สุดระหว่าง ขนาดบัพเฟอร์ขนาดเท่ากับขนาดแพคเกจรวมที่โหนดส่งได้ครั้งล่าสุดและขนาดบัพเฟอร์ในส่วนที่เหลือ สำหรับในกรณีสุดท้ายคือสมการ (2.6) เมื่อโหนดส่งแพคเกจครั้งล่าสุดได้ขนาดรวมของแพคเกจมากกว่าขนาดของบัพเฟอร์ MaxProp จะกำหนดให้ครั้งต่อไปโหนดไม่ต้องจัดสรรบัพเฟอร์สำหรับการจัดลำดับแพคเกจตามค่าฮอปเคาท์ เนื่องจากโหนดสามารถส่งแพคเกจทั้งหมดในบัพเฟอร์ออกไปได้ ทำให้การจัดลำดับ

ของเมสเสจไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายโดยรวม นอกจาก MaxProp จะมีกลไกในการจัดลำดับของเมสเสจแล้ว MaxProp ยังมีกลไกในการบริหารพื้นที่ของบัฟเฟอร์ ซึ่งกลไกในการบริหารจัดการเนื้อที่ของบัฟเฟอร์จะมีการทำงานดังนี้ แต่ละโหนดจะมีข้อมูลรายการของเมสเสจที่ส่งสำเร็จถึงโหนดปลายทางและโหนดจะทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลเหล่านี้เพื่อบอกโหนดในเครือข่ายว่ามีเมสเสจใดบ้างที่ส่งสำเร็จแล้ว จากนั้นโหนดจะทำการตรวจสอบว่าในบัฟเฟอร์ของตัวเองมีเมสเสจที่อยู่ในรายการส่งสำเร็จดังกล่าวหรือไม่ ถ้ามีโหนดจะทำการลบเมสเสจดังกล่าวออกจากบัฟเฟอร์ เนื่องจากเมสเสจดังกล่าวได้ส่งสำเร็จแล้ว ดังนั้นโหนดจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเก็บเมสเสจดังกล่าวเอาไว้อีกต่อไป นอกจากนี้การที่โหนดมีกลไกในการลบเมสเสจยังช่วยให้โหนดสามารถกระจายเมสเสจที่ยังส่งไปไม่ถึงโหนดปลายทางได้ดีขึ้น

2.2.2 กลยุทธ์การส่งต่อเมสเสจ (Forwarding strategies) [3]

รูปแบบการเราดิงประเภทนี้จะแตกต่างจากการกระจายเมสเสจตรงที่การส่งต่อเมสเสจจะใช้ข้อมูลของเครือข่ายในการประกอบการตัดสินใจ ซึ่งวิธีการประเภทนี้ทำการเลือกเส้นทางที่ดีที่สุดมาเส้นทางเดียวและจะส่งเมสเสจออกไปตามเส้นทางดังกล่าว แต่ว่าวิธีการประเภทนี้ไม่สามารถนำมาใช้งานบนเครือข่ายดิสทริบิวต์ได้เนื่องจากวิธีการนี้จะทำงานบนสมมติฐานที่ว่าถึงกระหว่างโหนดจะไม่หายไปในช่วงการส่งเมสเสจ และวิธีการนี้จะต้องพึ่งพาความรู้จากเครือข่ายเพื่อหาตำแหน่งทั้งหมดของโหนดที่อยู่ในเครือข่าย ซึ่งวิธีการนี้ได้ถูกนำไปใช้บนเครือข่ายแลนทั่วไป ดังนั้นจึงไม่มีการทำสำเนาเมสเสจเหมือนอย่างที่ทำกันในการกระจายเมสเสจ สำหรับวิธีการที่ใช้กลยุทธ์แบบนี้ ได้แก่ Location-Based Routing [3] วิธีการนี้โหนดจะต้องรู้ตำแหน่งของโหนดทั้งหมดในเครือข่าย ดังนั้นวิธีการนี้จึงไม่จำเป็นต้องใช้ routing table เนื่องจากโหนดจะตัดสินใจเลือกเส้นทางส่งต่อเมสเสจจากตำแหน่งของโหนดในเครือข่าย

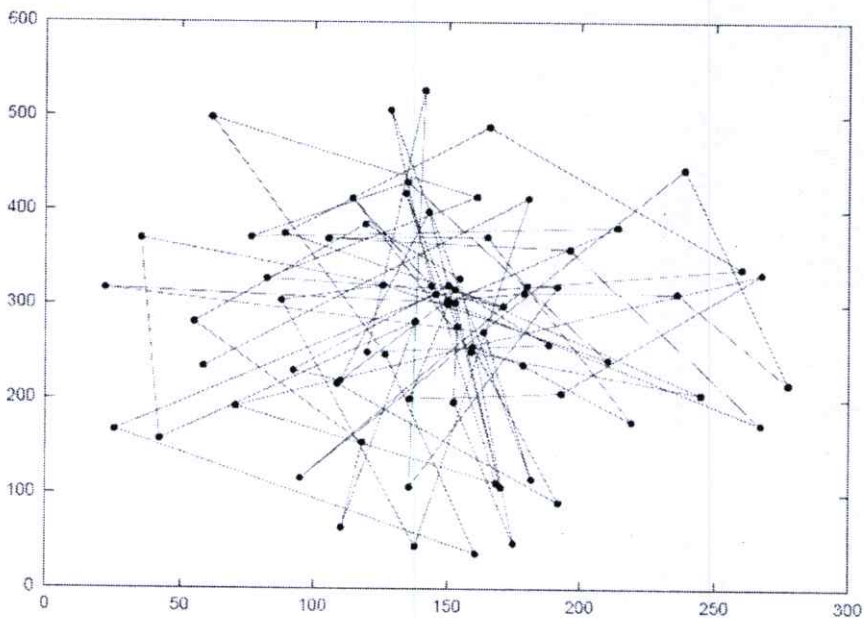
2.3 โมบิลิตีโมเดล (Mobility Model)

เพื่อให้การทดลองได้ผลที่ใกล้เคียงกับการทำงานจริงมากที่สุด ดังนั้นจึงต้องมีการจำลองรูปแบบการเคลื่อนไหวของโหนดที่เรียกว่าโมบิลิตีโมเดล (Mobility Model) นักวิจัยได้ทำการแบ่งประเภทของแบบจำลองการเคลื่อนไหวของโหนดออกเป็น 2 ประเภทคือ 1) เทรส (Trace) คือรูปแบบการเคลื่อนไหวที่เก็บรวบรวมมาจากการใช้งานจริง การจำลองแบบนี้จะทำให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและสมจริง โดยเฉพาะเมื่อการสังเกตเกิดจากเครือข่ายขนาดใหญ่และใช้เวลาในการสังเกตนานพอสมควร แต่การจะสังเกตเพื่อให้ได้แบบการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมกับแต่ละสถานการณ์เป็นเรื่องยาก ดังนั้นจึงมีโมบิลิตีโมเดลอีกแบบหนึ่งคือ 2) ซินเทติก (Synthetic) เป็นการจำลองการเคลื่อนไหวของโหนดให้เหมือนจริงมากที่สุดโดยไม่ต้องมีการเทรส การเคลื่อนไหวจะมีการ

เปลี่ยนแปลงความเร็วและทิศทางของโหนดเกิดขึ้นในเวลาที่เหมาะสมอย่างมีเหตุผล ตัวอย่างของโมบิลิตี้โมเดลประเภทนี้ ได้แก่

2.3.1 แรนดอมวอล์คโมบิลิตี้โมเดล (Random Walk Mobility Mode)

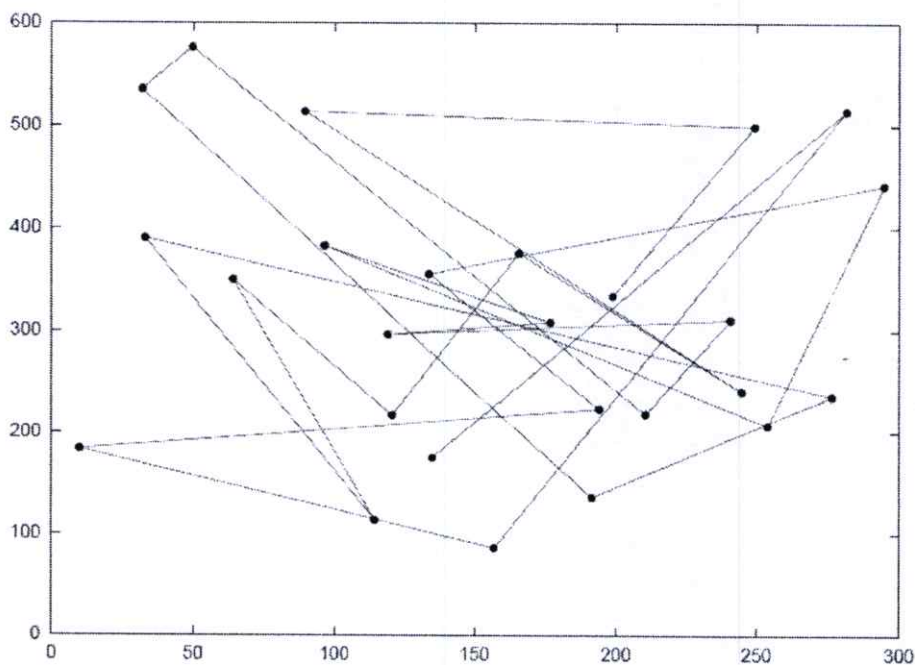
ทุกโหนดจะเคลื่อนที่แบบสุ่ม โหนดจะทำการสุ่มเลือกทิศทางและความเร็วในการเคลื่อนที่ จากนั้นจึงเคลื่อนที่ไปตามค่าที่สุ่มได้ก่อนหน้านี้ โดยตัวเลขความเร็วที่สุ่มออกมาได้จะอยู่ในช่วงความเร็วต่ำสุดถึงความเร็วสูงสุดที่ได้กำหนดไว้แล้ว และทิศทางอยู่ในช่วง $[0, 2\pi]$ ถ้าโหนดเคลื่อนที่ไปถึงขอบของพื้นที่การทดลองโหนดจะสะท้อนออกจากขอบตามมุมที่ตกกระทบและเคลื่อนที่ต่อไปดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.3 การเคลื่อนที่แบบแรนดอมวอล์คในเชิงเวลา

2.3.2 แรนดอมเวย์พอยต์โมบิลิตี้โมเดล (Random Waypoint Mobility Model)

โมบิลิตี้โมเดลนี้พัฒนามาจากแรนดอมวอล์ค โดยการเพิ่มเวลาหยุดในระหว่างการเปลี่ยนทิศทาง เมื่อโหนดเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่สุ่มไว้ก่อนหน้านี้โหนดจะหยุดรอจนครบเวลาตามที่กำหนด จากนั้นโหนดจึงสุ่มเลือกตำแหน่งใหม่ ในด้านของความเร็วโหนดจะสุ่มความเร็วที่อยู่ในช่วงความเร็วตามที่กำหนดไว้ จากนั้นโหนดก็จะเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายด้วยความเร็วที่เลือกไว้



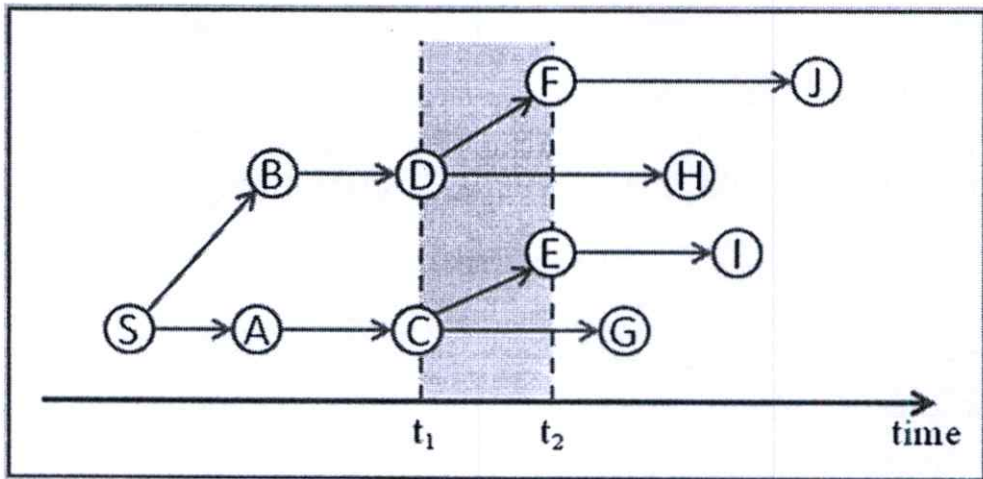
รูปที่ 2.4 การเคลื่อนที่แบบแรนดอมเว็พอยท์ในทอมของเวลา

2.4 รูปแบบการส่งต่อแมสเสจในเครือข่ายดีทีเอ็น

จำนวนสำเนาของแมสเสจ (Count duplicate message) หรือซีดีเอ็ม เมื่อโหนดต้นทางต้องการส่งแมสเสจไปยังโหนดปลายทางใดๆ โหนดต้นทางจะสร้างแมสเสจนั้นขึ้นมาและเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ของตัวเองก่อน ณ เวลาที่โหนดเริ่มสร้างแมสเสจขึ้นมาใหม่โอกาสที่แมสเสจจะส่งไปถึงโหนดปลายทางเท่ากับโอกาสที่โหนดต้นทางเคลื่อนที่เข้าไปหาโหนดปลายทางด้วยตัวเองเท่านั้น เมื่อเวลาผ่านไปโหนดต้นทางสร้างสำเนาของแมสเสจแล้วส่งไปยังรีเลย์โหนดในเครือข่ายจำนวนหนึ่ง ดังนั้นโอกาสที่แมสเสจนี้จะส่งไปถึงโหนดปลายทางก็คือโอกาสที่โหนดใดโหนดหนึ่งในบรรดารีเลย์โหนดที่มีแมสเสจนี้อยู่ในบัฟเฟอร์รวมทั้งโหนดต้นทางเคลื่อนที่ไปหาโหนดปลายทาง จากวิธีการนี้จะเห็นได้ว่าเมื่อแมสเสจมีจำนวนสำเนามากขึ้นโอกาสที่แมสเสจนี้จะถูกส่งไปยังปลายทางก็มีมากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นจำนวนสำเนาของแมสเสจจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการส่งสำเร็จ

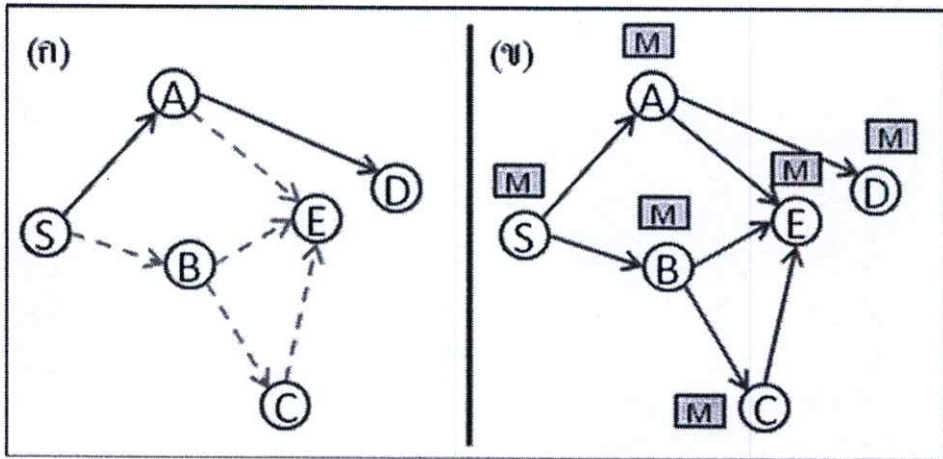
ในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจทั่วไปจะใช้ฮอปเคาท์ (Hop count) เป็นค่าเมตริกเสมือนที่ใช้บอกระยะห่างระหว่างโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง ค่าฮอปเคาท์ที่ยังมากเท่าไรจะหมายความว่าแมสเสจนั้นถูกส่งผ่านรีเลย์โหนดเป็นจำนวนมากเท่านั้น ซึ่งการนับจำนวนรีเลย์โหนดด้วยค่าของฮอปเคาท์ก็น่าจะใช้สำหรับการประมาณค่าซีดีเอ็มได้เช่นกัน แต่ในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจเมื่อโหนดต้นทางส่งแมสเสจไปยังรีเลย์โหนดแล้วโหนดต้นทางก็ไม่มี ความจำเป็นที่จะเก็บแมสเสจนั้นไว้อีกต่อไป ดังนั้นแมสเสจที่โหนดต้นทางจะถูกลบออกไปแล้วแมสเสจนั้นจะไปอยู่ที่รีเลย์โหนด

ซึ่งแตกต่างจากคิตีเอ็นที่การส่งต่อเมสเสจจะเป็นการทำสำเนาเมสเสจขึ้นมาใหม่ ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปเมสเสจนี้จะกระจายอยู่ตามโหนดในเครือข่ายมากกว่าหนึ่งที่ยังไปกว่านั้นการรีเลย์เมสเสจในคิตีเอ็น จะทำแบบขนาน ซึ่งหมายความว่าระหว่างที่โหนดหนึ่งกำลังสร้างสำเนาเพื่อส่งต่อก็มีความเป็นไปได้ว่ามีโหนดอื่นที่กำลังสร้างสำเนาเพื่อส่งต่อเมสเสจพร้อมๆ กันไปเช่นกัน ซึ่งรูปแบบดังกล่าวจะแตกต่างจากค่าขอบเขตที่ใช้ในเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจตรงที่เส้นทางการส่งเมสเสจของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจจะเป็นเส้นเดียว ดังนั้นรูปแบบการส่งและการกระจายเมสเสจของเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจและคิตีเอ็น จึงมีความแตกต่างกันมาก



รูปที่ 2.5 แสดงการส่งต่อเมสเสจแบบขนาน

จากรูปที่ 2.5 แสดงการส่งต่อแบบขนานที่เกิดขึ้นในคิตีเอ็น โหนด S เป็นโหนดต้นทางและโหนด S จะทำการส่งต่อเมสเสจเข้าไปในเครือข่าย โดยเริ่มแรกโหนด S จะทำการส่งต่อเมสเสจไปยังโหนด A และ B ตามลำดับ จากนั้นโหนด A จะส่งต่อเมสเสจไปยังโหนด C และโหนด B จะส่งต่อเมสเสจไปยังโหนด D ณ เวลา t_1 โหนด C และ D ได้รับเมสเสจมาจากโหนด A และ B ตามลำดับ จากนั้นเมื่อเวลา t_2 โหนด C จะส่งต่อเมสเสจไปยังโหนด E และโหนด D จะส่งต่อเมสเสจไปยังโหนด F เช่นกัน ณ เวลาเดียวกัน จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นได้ว่าโหนด C และโหนด D ได้ทำการส่งต่อเมสเสจพร้อมกัน ดังนั้นการส่งต่อเมสเสจในคิตีเอ็นจึงเป็นการส่งเมสเสจแบบขนาน



รูปที่ 2.6 แสดงรูปแบบการส่งต่อเมสเสจบนเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจเปรียบเทียบกับคิตีเอ็น

จากรูปที่ 2.6(ก) แสดงรูปแบบการรีเลย์เมสเสจบนเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ จากรูปจะเห็นได้ว่า ก่อนที่โหนดจะทำการส่งเมสเสจออกไปโหนดจะต้องค้นหาเส้นทางการส่งก่อนจากนั้นก็ส่งเมสเสจออกไปตามเส้นทางที่ได้คำนวณไว้ก่อนหน้า จากรูปลูกศรเส้นทึบแสดงเส้นทางการส่งเมสเสจ ในขณะที่ลูกศรเส้นประแสดงโทโพโลยีของเครือข่าย ซึ่งจากรูปโหนด S ที่เป็นโหนดต้นทาง ต้องการส่งเมสเสจไปหาโหนด D ซึ่งเป็นโหนดปลายทาง ดังนั้นเส้นทางการส่งเมสเสจจะเป็น $S > A > D$ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 2.6(ข) ที่เป็นการส่งต่อเมสเสจในเครือข่ายคิตีเอ็นจะเห็นว่าวิธีการรีเลย์เมสเสจจะแตกต่างกันมาก โดยที่ในคิตีเอ็น เมสเสจจะถูกทำสำเนากระจายไปตามโหนดต่างๆ ในเครือข่าย เมื่อเวลาผ่านไปจำนวนสำเนาที่เพิ่มขึ้นตามลำดับซึ่งการกระจายเมสเสจแบบนี้จะมีลักษณะแบบขนาน จากตัวอย่างข้างต้นถ้านำขอบเขตมาเป็นตัวแทนเพื่อคิดค่าชิตีเอ็มจะเห็นว่าที่โหนด S, A, B, C และ E จะมีค่าขอบเขตที่ 0, 1, 1, 2 และ 2 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนสำเนาของเมสเสจในเครือข่ายที่มีค่าเป็น 5 แล้วจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่ามีความแตกต่างกันมากและยิ่งในกรณีที่มีการรีเลย์มากขึ้นเท่าไรความแตกต่างก็จะมากขึ้นตามลำดับ ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องคิดค่าเมตริกที่สามารถประมาณค่าชิตีเอ็มที่แม่นยำกว่านี้ขึ้นมา

วิธีการจัดสรรระดับความสำคัญของแมสเสจในบัฟเฟอร์

เนื่องจากพฤติกรรมการส่งต่อแมสเสจผ่านเครือข่ายเคลื่อนที่เฉพาะกิจมีรูปแบบการส่งแมสเสจด้วยวิธีการส่งต่อกันเป็นทอดๆ ผ่านรีเลย์โหนดดังที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 ดังนั้นระดับความสำเร็จของการส่งแมสเสจส่วนหนึ่งจึงขึ้นอยู่กับรูปแบบการเคลื่อนที่โหนดต้นทาง รีเลย์โหนด และโหนดปลายทางในเครือข่าย แมสเสจที่มีจำนวนสำเนาในเครือข่ายเป็นจำนวนมากหรือแมสเสจที่กระจายในเครือข่ายจำนวนมากจะมีโอกาสส่งถึงโหนดปลายทางที่สูงเช่นกัน ปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อจำนวนการกระจายแมสเสจเข้าไปในเครือข่ายคือ 1) ขนาดบัฟเฟอร์ของโหนดเมื่อโหนดมีขนาดบัฟเฟอร์ที่ใหญ่ขึ้น โหนดก็สามารถรองรับจำนวนแมสเสจได้มากขึ้น ดังนั้นจึงทำให้แมสเสจถูกกระจายไปในเครือข่ายมากขึ้นเช่นกัน 2) ความถี่ของการเจอกันของคู่โหนดใดๆ 3) อัตราความเร็วในการส่งแมสเสจและ 4) โพรโทคอลที่ใช้ ซึ่งปัจจัย 3 อย่างแรกในความเป็นจริงถือว่าควบคุมได้ลำบากเนื่องจากแต่ละโหนดในคิตีเอ็น มีความแตกต่างกันทั้งทรัพยากรและความสามารถในการประมวลผล ดังนั้นสิ่งที่ผู้วิจัยสามารถปรับแต่งและนำไปใช้กับอุปกรณ์ทั่วไปได้คือเราตั้งโพรโทคอล

ในบทที่ 3 นี้ประกอบด้วย 3 หัวข้อ อันได้แก่ 1) พิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราความสำเร็จ 2) วิเคราะห์ประสิทธิภาพของปัจจัยที่เลือกมาจากข้อ 1 และ 3) นำปัจจัยเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ในโพรโทคอล

3.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการส่งสำเร็จ

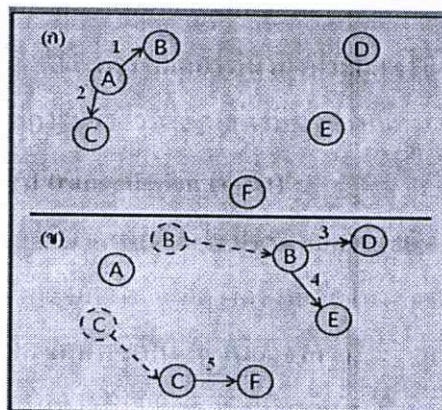
เนื่องจากคิตีเอ็นเป็นเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลา นักวิจัยจึงใช้ประโยชน์จากการเคลื่อนที่ของโหนดมาช่วยในการส่งต่อแมสเสจไปยังโหนดปลายทาง แต่การที่โหนดมีการเคลื่อนที่นี้เองทำให้การทำนายเวลาคอนแทกที่แม่นยำทำได้ยาก เนื่องจากแต่ละโหนดจะมีความเร็วและทิศทางเคลื่อนที่ที่เป็นอิสระจากกันและการคำนวณรูปแบบการเคลื่อนที่บนเครือข่ายที่โหนดมีการเคลื่อนที่แบบสุ่มโดยสมบูรณ์จะทำได้ยากหรือไม่สามารถทำได้เลย ด้วยเวลาของคอนแทกและขนาดบัฟเฟอร์ที่มีจำกัดนี้เองทำให้โหนดจึงไม่สามารถรับส่งแมสเสจทั้งหมดของตนเองที่อยู่ในบัฟเฟอร์ไปยังอีกโหนดหนึ่งได้ ดังนั้นโหนดจึงต้องทำการเลือกว่าจะรับหรือส่งแมสเสจใดในช่วงเวลาคอนแทกบ้าง ในงานวิจัยที่ผ่านมา มีโพรโทคอลจำนวนหนึ่งพยายามประมาณค่าระยะเวลาคอนแทกจากความเร็วและทิศทางของคู่โหนดแต่เพื่อให้การประมาณค่ามีความแม่นยำมากขึ้น

โพรโทคอลดังกล่าวจึงต้องตั้งสมมติฐานขึ้นมาข้อหนึ่งนั่นคือ ทุกๆ โหนดในเครือข่ายจะต้องติดตั้งอุปกรณ์พิเศษเพิ่มเติม เช่น อุปกรณ์รับสัญญาณ GPS และอุปกรณ์ตรวจจับความเร็ว เป็นต้น แต่ในความเป็นจริงแล้วการที่จะให้ทุกโหนดในเครือข่ายติดตั้งอุปกรณ์รับสัญญาณ GPS ทั้งหมดนั้นจะต้องเสียค่าใช้จ่ายจำนวนมากและสมมติฐานนี้เป็นสมมติฐานที่เกิดขึ้นจริงในทางปฏิบัติได้ยาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการนำเสนอโพรโทคอลที่สามารถทำงานได้โดยที่ไม่จำเป็นต้องพึ่งพาอุปกรณ์พิเศษเหล่านี้

เนื่องจากเวลาคอนแทกมีจำกัด ทำให้จำนวนแมสเสจที่รับและส่งได้มีจำนวนจำกัดตามไปด้วย โหนดจึงจำเป็นต้องมีอัลกอริทึมในการคัดเลือกแมสเสจที่จะส่งหรือรับในแต่ละช่วงเวลา คอนแทก การเลือกแมสเสจสำหรับการรับส่งแมสเสจก็คือการจัดลำดับของแมสเสจนั่นเอง ในบทนี้ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอพารามิเตอร์ 2 พารามิเตอร์ที่นำมาประยุกต์ใช้ในโพรโทคอลเพื่อการจัดลำดับความสำคัญของแมสเสจด้วยวิธีการทางฮิวริสติกอย่างมีประสิทธิภาพ

3.1.1 เอฟทีซี (Forward transmission count)

เป็นพารามิเตอร์ที่ผู้วิจัยได้นำเสนอเพื่อใช้ประมาณค่าซีดีเอ็ม โดยที่เอฟทีซีจะมีลักษณะการทำงานคล้ายคลึงกับฮอปเคาท์แต่จะมีความแตกต่างตรงที่เมื่อโหนดเริ่มสร้างแมสเสจขึ้นมาในบัฟเฟอร์ แมสเสจดังกล่าวจะมีค่าเอฟทีซีเป็น 1 เนื่องจากว่า ณ เวลาที่โหนดต้นทางสร้างแมสเสจขึ้นมาใหม่ในบัฟเฟอร์ โหนดต้นทางรู้แล้วว่าตอนนี้มีแมสเสจทั้งหมด 1 แมสเสจอยู่ในเครือข่าย ดังนั้นค่าเริ่มต้นของเอฟทีซีจึงเป็น 1 เมื่อโหนดเคลื่อนที่ไปเจอโหนด โหนดต้นทางจะสร้างสำเนาแมสเสจขึ้นมาด้วยค่า $FTC_{new} = FTC_{old} + 1$ จากนั้นจึงส่งแมสเสจออกไป เมื่อโหนดได้รับแมสเสจดังกล่าวโหนดที่ส่งแมสเสจจะทำการปรับค่าเอฟทีซีของตัวเองเพิ่มขึ้น 1 หน่วยเช่นกัน ซึ่งในส่วนของรายละเอียดการนับค่าเอฟทีซีนี้ผู้วิจัยได้แสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.1 แสดงเครือข่ายที่ใช้ในการคำนวณเอฟทีซีเปรียบเทียบกับฮอปเคาท์

จากรูปที่ 3.1 หมายเลขที่อยู่บนลูกศรสีแดงหมายถึงลำดับของการส่งต่อแพสเสจที่เกิดขึ้นในเครือข่าย เส้นประสีเขียวหมายถึงทิศทางที่โหนดเคลื่อนที่ในขณะที่ลูกศรสีทึบแสดงการส่งต่อแพสเสจและตัวเลขบนเส้นลูกศรแสดงลำดับการส่งแพสเสจ จากรูปที่ 3.1(ก) โหนด A ส่งต่อแพสเสจไปยังโหนด B ดังนั้นค่าเอพทีซีที่โหนด B จะมีค่าเท่ากับ $1+1 = 2$ และเมื่อโหนด A ส่งสำเร็จที่โหนด A จะปรับค่าเอพทีซีที่ตัวเองเพิ่มขึ้นหนึ่งหน่วยเป็น $1+1 = 2$ เช่นกัน เมื่อเวลาผ่านไปโหนด A เจอโหนด C โหนด A สร้างสำเนาแพสเสจด้วยค่าเอพทีซีเท่ากับ $2+1 = 3$ แล้วส่งไปยังโหนด C เมื่อโหนด A ส่งสำเร็จที่โหนด A ก็จะมีค่าเอพทีซีเท่ากับ $2+1$ เช่นกัน จากนั้นโหนด B และโหนด C เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งดังรูป 3.1(ข) โหนด B สร้างสำเนาแพสเสจด้วยค่าเอพทีซีเท่ากับ $2+1 = 3$ แล้วส่งให้โหนด D จากนั้นที่โหนด B ก็เพิ่มค่าเอพทีซีของตัวเองให้มีค่าเท่ากับ $2+1 = 3$ เช่นกัน จากนั้นโหนด B สร้างสำเนาแพสเสจด้วยค่าเอพทีซีเท่ากับ $3+1 = 4$ แล้วส่งไปยังโหนด E และโหนด B ก็เพิ่มค่าเอพทีซีของตัวเองให้มีค่าเท่ากับ $3+1 = 4$ ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงโหนดปลายทางเมื่อสิ้นสุดเหตุการณ์ตามรูป 3.1(ข) ทั้งหมดแล้วค่าเอพทีซีและฮอปเคาท์ของแต่ละโหนดจะเป็นดังตาราง 3.1

ตารางที่ 3.1 การกระจายค่าของเอพทีซีและฮอปเคาท์ตามโหนดต่างๆ ในเครือข่าย

	A	B	C	D	E	F	Sum
Ideal network	6	6	6	6	6	6	36
FTC	3	4	4	3	4	4	22
Hop Count	1	2	2	3	3	3	14

เมื่อพิจารณาตัวอย่างในรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าจำนวนแพสเสจทั้งหมดที่มีอยู่ในเครือข่ายคือ 6 แพสเสจ ดังนั้นค่าซีดีเอ็มในกรณีที่ทุกโหนดมีการเคลื่อนที่แบบสุ่มอย่างแท้จริงและโหนดรับรู้สภาพเครือข่ายทั้งหมดอย่างสมบูรณ์ซึ่งเหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นได้ในเครือข่ายในอุดมคติ (Ideal network) ทุกโหนดจะต้องรู้ว่าจำนวนแพสเสจอยู่ในระบบจำนวน 6 แพสเสจตามตารางที่ 3.1 แต่ในความเป็นจริงโหนดไม่สามารถรับรู้สภาพเครือข่ายทั้งหมดอย่างสมบูรณ์ได้ ดังนั้นจึงต้องมีอัลกอริทึมสำหรับการประมาณค่าซีดีเอ็มอย่างมีประสิทธิภาพ จากตารางที่ 3.1 จะเห็นได้ว่าเมื่อผู้วิจัยได้นำหลักการนับแบบเอพทีซีมาใช้ตัวเลขในการประมาณค่าซีดีเอ็มของทุกโหนดจะมีค่าสูงกว่าการประมาณค่าซีดีเอ็มด้วยหลักการนับแบบฮอปเคาท์ ดังนั้นหลักการนับแบบเอพทีซีจึงมีประสิทธิภาพสูงกว่า

3.1.2 ขนาดของแพคเกจ (Message size)

ในบรรดางานวิจัยที่มีอยู่ในปัจจุบันมีนักวิจัยได้นำเสนอโพรโทคอลที่เรียกว่า Opportunistic DTN Routing with Window-aware Adaptive Replication (ORWAR) ซึ่งโพรโทคอลนี้พยายามคัดเลือกแพคเกจที่ใช้ในการส่งโดยพิจารณาจากขนาดของแพคเกจ ในงานวิจัยนี้ได้ใช้อุปกรณ์ที่เอสเพื่อคำนวณค่าคอนแทกที่แม่นยำ จากค่าตำแหน่งและความเร็วของคู่โหนด จากนั้นจึงนำค่าทั้งสองมาคำนวณระยะเวลาคอนแทกดังกล่าวจากนั้นนำค่าเวลาคอนแทกคำนวณร่วมกับค่าอัตราความเร็วในการส่งแพคเกจของโหนดเพื่อหาว่าในช่วงเวลาคอนแทกนั้นๆ โหนดจะสามารถส่งแพคเกจเป็นขนาดทั้งหมดเท่าไร จากนั้นโพรโทคอลจึงคัดเลือกแพคเกจขนาดต่างๆ มาไว้ตำแหน่งด้านหน้าของบัฟเฟอร์และให้ขนาดของแพคเกจรวมทั้งหมดมีค่าพอดีกับค่าที่ได้คำนวณไว้ก่อนหน้านี้แล้วส่งแพคเกจกลุ่มดังกล่าวไปยังรีเลย์โหนด แต่ในงานวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ตั้งสมมติฐานไว้ว่าทุกโหนดในเครือข่ายไม่มีอุปกรณ์ที่เอสจึงไม่สามารถคำนวณค่าเวลาคอนแทกที่แม่นยำได้ ดังนั้นโพรโทคอลจึงควรจะทำกรคัดเลือกแพคเกจที่เหมาะสมโดยไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ที่เอส เมื่อคู่โหนดใดๆ ต้องการส่งแพคเกจไปยังอีกโหนดหนึ่ง คู่โหนดจะต้องเคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในรัศมีการส่งแพคเกจและจะต้องส่งแพคเกจให้เสร็จภายในช่วงเวลาที่คู่โหนดอยู่ในรัศมีการส่งเท่านั้น แต่เนื่องจากเวลาคอนแทกมีความไม่แน่นอน ดังนั้นโหนดจำเป็นต้องใช้เวลาคอนแทกในแต่ละครั้งอย่างคุ้มค่าที่สุด จากที่กล่าวในส่วนต้นของบทที่ 3 จะเห็นได้ว่าแพคเกจที่มีการกระจายอยู่ในเครือข่ายสูงย่อมมีโอกาสส่งสำเร็จสูงตามไปด้วย ดังนั้น เพื่อให้แต่ละแพคเกจกระจายไปตามเครือข่ายให้ได้มากที่สุดโหนดจะต้องรับส่งแพคเกจให้ได้จำนวนมากที่สุดในช่วงเวลาของคอนแทกเท่าที่จะทำได้ ปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลการจำนวนการรับส่งแพคเกจในแต่ละช่วงคอนแทกคือขนาดของแพคเกจ แพคเกจที่มีขนาดเล็กจะใช้เวลาในการส่งที่น้อยกว่าแพคเกจที่มีขนาดใหญ่กว่า ขนาดของแพคเกจนอกจากจะส่งผลต่อจำนวนของการส่งแพคเกจแล้วยังส่งผลต่อจำนวนของแพคเกจที่ส่งไม่ทันในช่วงเวลาคอนแทกด้วยซึ่งเรียกว่าแพคเกจที่ถูกส่งไปส่วนหนึ่ง (Partially transmitted message) แพคเกจที่มีขนาดใหญ่จะส่งผลให้ค่าแพคเกจที่ถูกส่งไปส่วนหนึ่งสูงขึ้นเนื่องจากแพคเกจขนาดใหญ่ต้องใช้เวลาในการส่งมากกว่า จำนวนแพคเกจที่ถูกส่งไปส่วนหนึ่งนอกจากจะกระทบต่อการกระจายตัวของแพคเกจแล้วยังส่งผลต่อแพคเกจที่มีขนาดเล็กด้วย นั่นหมายความว่าถ้าโหนดส่งแพคเกจขนาดใหญ่แล้วไม่สำเร็จการเจอกันของคู่โหนดครั้งนั้น โหนดก็จะไม่สามารถส่งแพคเกจอื่นที่มีขนาดเล็กได้เนื่องจากสิ้นสุดระยะเวลาคอนแทก ในขณะที่ถ้าเวลาคอนแทกเท่ากันแต่โหนดเลือกที่จะส่งแพคเกจที่มีขนาดเล็กกว่าจะทำให้โหนดสามารถส่งแพคเกจในครั้งนั้นได้สำเร็จและทำให้การกระจายแพคเกจโดยรวมสูงกว่า ดังนั้นเพื่อลดความสูญเสียจากแพคเกจที่ถูกส่งไปส่วนหนึ่ง

แล้ว โหนดจึงควรที่จะเลือกส่งแมสเสจที่มีขนาดเล็กก่อนจากนั้นถ้ามีเวลาคอนแทคเหลือ โหนดก็สามารถทำการส่งต่อแมสเสจที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้

3.2 ประสิทธิภาพของเอฟทีซี

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวัดประสิทธิภาพของเอฟทีซีในการประมาณค่าซีดีเอ็ม ซึ่งค่าประสิทธิภาพนี้เป็นค่าที่ผู้วิจัยได้นำเสนอขึ้นมา การวัดประสิทธิภาพของการประมาณค่าซีดีเอ็ม จะพิจารณาว่าทุกโหนดที่ถือแมสเสจเดียวกันในบัพเฟอร์สามารถประมาณค่าซีดีเอ็มได้ใกล้เคียงกับค่าที่แท้จริงได้มากน้อยแค่ไหน จากนั้นนำค่าของแต่ละโหนดมารวมกันเป็นการประมาณค่าแมสเสจนั้นๆ ทั้งเครือข่าย จากตารางที่ 3.1 พบว่าเมื่อโหนดรับรู้สภาพเครือข่ายทั้งหมดอย่างสมบูรณ์แล้วทุกโหนดต้องรู้ว่ามีแมสเสจกระจายอยู่ในเครือข่ายทั้งหมด 6 แมสเสจและถ้ามองในระดับเครือข่ายจะได้ผลรวมคือ 36 ค่านี้เป็นค่าสูงสุดที่เป็นไปได้จากตัวอย่างในรูปที่ 3.1 เมื่อคิดในกรณีของฮอปเคาท์จะได้ผลรวมเท่ากับ 14 และกรณีของเอฟทีซีจะได้ค่าผลรวมเท่ากับ 22 ตัวเลข 14 และ 22 ดังกล่าวนี้เป็นค่าซีดีเอ็มระดับเครือข่าย เมื่อคิดเป็นค่าประสิทธิภาพแล้วจึงต้องเปรียบเทียบกับค่าซีดีเอ็มในระดับเครือข่ายของเครือข่ายในอุดมคติ ซึ่งเมื่อเครือข่ายเป็นเครือข่ายในอุดมคติแล้วค่าซีดีเอ็มระดับเครือข่ายจึงมีค่า 36 ดังนั้นจากตารางที่ 3.1 ฮอปเคาท์จะมีประสิทธิภาพเท่ากับ $(14/36) * 100 = 38$ เปอร์เซ็นต์และเอฟทีซีมีประสิทธิภาพเท่ากับ $(22/36) * 100 = 61$ เปอร์เซ็นต์ จากค่าประสิทธิภาพที่ได้จะเห็นได้ว่าการนำเอาเอฟทีซีมาใช้เพื่อประมาณค่าซีดีเอ็มดีจะมีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ฮอปเคาท์อย่างเห็นได้ชัด

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้ใช้การจัดเรียงแมสเสจตามค่าฮอปเคาท์ ซึ่งการนำฮอปเคาท์มาใช้ในการจัดลำดับของแมสเสจจะมีข้อเสียคือ เมื่อโหนดต้นทางส่งแมสเสจออกไปแล้วค่าฮอปเคาท์ที่โหนดต้นทางจะมีค่าเท่าเดิมตลอด ดังนั้นไม่ว่าโหนดต้นทางนั้นจะส่งแมสเสจออกไปยังเครือข่ายมากแค่ไหนก็ตาม โหนดต้นทางนี้จะส่งแมสเสจที่เป็นเฉพาะแมสเสจของตัวเองเท่านั้น ดังนั้นการกระจายแมสเสจในเครือข่ายโดยรวมจึงไม่สมดุลกัน ผู้วิจัยเล็งเห็นข้อเสียจุดนี้จึงเป็นสาเหตุที่ได้นำเสนอพารามิเตอร์เอฟทีซีและนำพารามิเตอร์นี้มาใช้แทนค่าฮอปเคาท์ต่อไป

การวัดประสิทธิภาพของเอฟทีซีจะขึ้นอยู่กับลักษณะการกระจายของแมสเสจในเครือข่าย ซึ่งการวัดค่ารูปแบบการกระจายทั้งหมดที่เป็นไปได้นั้นจะต้องใช้เวลามากและทำได้ยาก ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงได้แบ่งการวัดประสิทธิภาพออกเป็น 2 ส่วนคือการวัดประสิทธิภาพที่เกิดจากการทดลองและการวัดประสิทธิภาพด้วยขบวนการทางคณิตศาสตร์

3.2.1 การวัดประสิทธิภาพจากการทดลอง

เนื่องจากประสิทธิภาพในการประมาณค่าซิติเอ็มขึ้นอยู่กับรูปแบบการกระจายเมสเสจในเครือข่าย ดังนั้นการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เพียงอย่างเดียวจึงไม่สามารถทำได้ในทุกรูปแบบที่เป็นไปได้ การซิมมูลเตอรืจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการหาประสิทธิภาพโดยเฉลี่ยของรูปแบบการกระจายที่หลากหลายได้ดีกว่า ในการซิมมูลเตอรืผู้วิจัยกำหนดให้โหนดมีการเคลื่อนที่แบบแรนดอมเวย์พอยท์ด้วยความเร็วปานกลางเมื่อเทียบกับความเร็วของรถยนต์ จำนวนโหนดทั้งหมด 60 โหนดและจำนวนเมสเสจ 13,000 เมสเสจ ผลการทดลองจะทำซ้ำเป็นจำนวน 10 ครั้งและใช้เวลาในการซิมมูลเตอรื 12 ชั่วโมง ส่วนค่าพารามิเตอร์อื่นๆ จะใช้ตามค่าปริยายของซิมมูลเตอรืโอเอ็นไอ และค่าจากตารางที่ 4.1 การวัดค่าประสิทธิภาพจะทำเมื่อเมสเสจส่งถึงโหนดปลายทางแล้ว เช่น โหนด S ต้องการส่งเมสเสจ M ไปหาโหนด D เมื่อเมสเสจ M ไปถึงโหนด D แล้วจะทำการนับทันทีว่า ณ ขณะนั้นมีแพคเกจ M อยู่ที่โหนดใดในระบบบ้างและแต่ละเมสเสจมีค่าเอฟทีซี ฮอบเคาท์และค่าซิติเอ็มเป็นจำนวนเท่าไร หลังจากนั้นจะไม่มีกรนับค่าสำหรับเมสเสจ M อีกต่อไป ถึงแม้ว่าหลังจากนั้นจะมีรีเลย์โหนดทำการส่งต่อเมสเสจนี้ต่อไปก็ตาม จากผลการทดลองได้ข้อสรุปว่าประสิทธิภาพของเอฟทีซีจะมีค่าโดยเฉลี่ยโดยประมาณคือ 60 เปอร์เซนต์ในขณะที่ประสิทธิภาพของฮอบเคาท์จะมีค่าเฉลี่ยโดยประมาณ 30 เปอร์เซนต์ ดังนั้นเอฟทีซีจึงมีประสิทธิภาพในการประมาณค่าซิติเอ็มได้ดีกว่าฮอบเคาท์

3.2.2 การวัดประสิทธิภาพด้วยขบวนการทางคณิตศาสตร์

การวัดค่าด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ผู้วิจัยได้นำเสนอรูปแบบการกระจายเมสเสจอย่างง่ายมา 2 รูปแบบคือรูปแบบดังรูปที่ 3.2 ซึ่งผู้วิจัยเรียกว่าการกระจายแบบเส้นตรงหรือแอลเอ็มดี (Linear message distribution) และรูปแบบดังรูปที่ 3.3 ซึ่งผู้วิจัยเรียกว่าการกระจายจากส่วนกลางหรือดีเอ็มซี (Distribute message from center) โดยที่ค่าประสิทธิภาพจะเป็นค่าของสัดส่วนระหว่างค่าผลรวมซิติเอ็มของทุกโหนดเทียบกับผลรวมซิติเอ็มของทุกโหนดในเครือข่ายในอุดมคติ ซึ่งค่าซิติเอ็มของเครือข่ายในอุดมคติจะมีค่าเท่ากับ n^2 เสมอ เมื่อ n คือจำนวนโหนดทั้งหมดในเครือข่าย

3.2.2.1 การกระจายแบบเส้นตรง

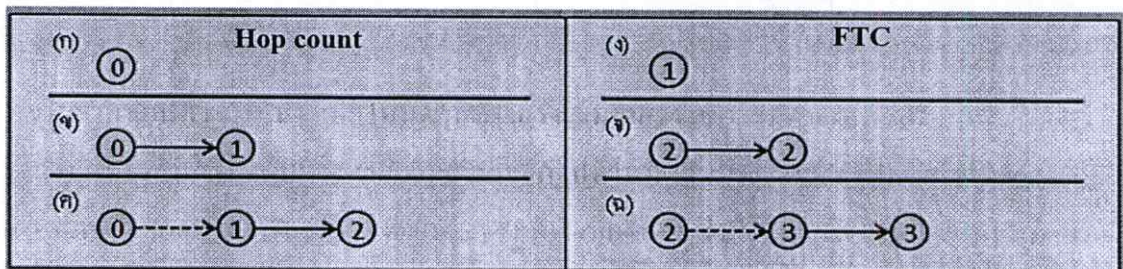
การกระจายเมสเสจแบบนี้จะมีลักษณะคล้ายกับการฟอเวิร์ดเมสเสจบนเครือข่ายไร้สายเฉพาะกิจ ให้ N เป็นจำนวนโหนดทั้งหมดและ n เป็นจำนวนครั้งที่ส่งต่อเมสเสจ เมื่อพิจารณาฮอบเคาท์จากรูปที่ 3.2(ข) จะเห็นว่าที่โหนดต้นทางฮอบเคาท์มีค่าเท่ากับ 0 และที่โหนดรับจะมีค่าฮอบเคาท์เท่ากับ 1 เมื่อโหนดส่งต่อเมสเสจไปจนถึงโหนดที่ N ค่าฮอบเคาท์ของแต่ละโหนดจะมีค่าเรียงกันจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางดังนี้ $0 > 1 > 2 > \dots > n-2 > n-1$ เมื่อนำรูปแบบการกระจายแบบนี้มาเขียนเป็นสมการจะได้ดังสมการ (3.1)

$$Efficient_{HopCount} = \left[\frac{\sum_{i=0}^{N-1} i}{n^2} \right] = \left[\frac{\sum_{i=0}^{N-3} i + \sum_{i=(N-2)}^{N-1} i}{n^2} \right] = \left[\frac{\sum_{i=0}^{N-3} i}{n^2} + \frac{(N-2) + (N-1)}{n^2} \right] = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N-2} (i-1)}{n^2} + \frac{2N-1}{n^2} \right] \quad (3.1)$$

พิจารณาค่าเอฟทีซีที่จะเห็นว่าเมื่อโหนดต้นทางสร้างเมสเสจขึ้นมาจะมีค่าเอฟทีซีเท่ากับ 1 ดังรูปที่ 3.2(ง) จากนั้นโหนดต้นทางส่งต่อเมสเสจออกไปที่โหนดต้นทางจะมีค่าเอฟทีซีเท่ากับ 2 และโหนดที่รับเมสเสจก็มีค่าเอฟทีซีเท่ากับ 2 เช่นกัน เมื่อโหนดส่งต่อเมสเสจไปจนถึงโหนดที่ N ค่าเอฟทีซีของแต่ละโหนดจะมีค่าเรียงกันจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางดังนี้

$2 > 3 > 4 > \dots > n-1 > n > n$ โดยที่ $2 > 3 > 4 > \dots > n-1$ สามารถเขียนเป็นสมการได้เป็น $\sum_{i=1}^{N-2} (i+1)$ และ $n > n$ คือ $2N$ เมื่อนำรูปแบบการกระจายแบบนี้มาเขียนเป็นสมการจะได้ดังสมการ (3.2)

$$Efficient_{FTC} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N-2} (i+1) + (2 \times N)}{n^2} \right] = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N-2} (i+1)}{n^2} + \frac{2N}{n^2} \right] \quad (3.2)$$



รูปที่ 3.2 แสดงการคำนวณค่าซีดีเอ็มระหว่างฮอปเคาท์และเอฟทีซี

3.2.2.2 การกระจายจากส่วนกลาง

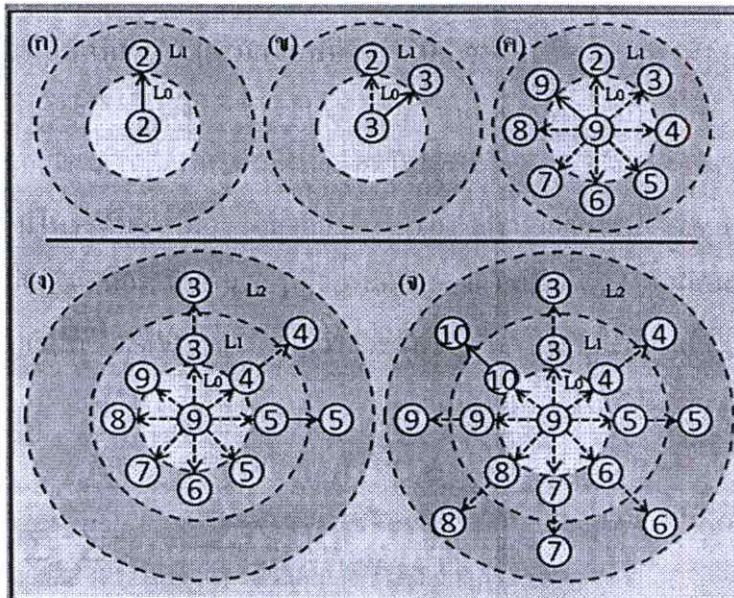
การกระจายจากส่วนกลางจะมีวิธีการคำนวณประสิทธิภาพที่ซับซ้อนกว่าการกระจายแบบเส้นตรง กำหนดให้ N_L คือระดับชั้นการของส่งต่อและ N_F คือจำนวนของการส่งต่อในแต่ละระดับชั้น เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.3(จ) จะเห็นได้ว่าการส่งต่อเมสเสจด้วยค่า N_L เท่ากับ 2 และค่า N_F เท่ากับ 8 ในการส่งต่อแบบฮอปเคาท์ ค่าของฮอปเคาท์จะมีค่าเท่ากับค่าของระดับชั้น เช่น ที่ระดับ L_1 ทุกโหนดที่อยู่ในชั้นนี้จะมีค่าฮอปเคาท์เท่ากับ 1 ในขณะที่ในระดับ L_N ทุกโหนดที่อยู่ในชั้นนี้จะมีค่าฮอปเคาท์เท่ากับ N เมื่อนำรูปแบบการกระจายแบบนี้มาเขียนเป็นสมการจะได้ดังสมการ (3.3)

$$Efficient_{HopCount} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{NL} \sum_{j=1}^{NF} (i+1) + 1}{n^2} \right] = \left[\frac{\sum_{i=1}^{NL-1} \sum_{j=1}^{NF} (i+1) + \sum_{i=NL}^{NF} (i+1)}{n^2} + \frac{1}{n^2} \right] \quad (3.3)$$

พิจารณาที่ค่าเอฟทีซี จากรูปที่ 3.3(ก-ค) จะเห็นได้ค่าโหนดในระดับ 0 จะมีค่าตามโหนดล่าสุดที่ส่งต่อเมสเสจ ดังนั้นโหนดที่ระดับนี้จะมีค่าเอฟทีซีเท่ากับ $NF + 1$ เมื่อพิจารณาที่ระดับ L_1 จะเห็นว่าค่าเอฟทีซีจะมีค่าเรียงกันเริ่มตั้งแต่ $L_1 + 1$ จนถึง $L_1 + 1 + NF$ ดังรูปที่ 3.3(ค) แต่เมื่อมีการส่งต่อในระดับ L_2 ค่าใน L_1 จะเปลี่ยนทั้งหมดโดยที่ทุกโหนดในระดับ L_1 จะมีค่าเพิ่มขึ้น 1 หน่วยดังรูปที่ 3.3(จ) ดังนั้นในระดับชั้นใดๆ ที่สูงกว่าชั้น L_0 และน้อยกว่าชั้น L_N จะมีค่าเอฟทีซีดังนี้ $\sum_{i=LX}^{LX+LF} (i+1)$ เมื่อ LX คือระดับชั้นใดๆ ที่อยู่ระหว่าง L_0 และ L_N ในขั้นตอนสุดท้ายพิจารณาที่ระดับ L_N จากรูปที่ 3.3(จ) จะเห็นได้ว่าที่ระดับชั้นนี้ทุกโหนดจะมีค่าเอฟทีซีเท่ากับระดับชั้น $L_N - 1$ เมื่อเขียนเป็นสมการจะได้ดังนี้ $\sum_{i=L_N}^{L_N+LF-1} (i+1)$ เมื่อรวมสมการทุกระดับชั้นเข้าด้วยกันจะได้

สมการ (3.4)

$$Efficient_{FTC} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{(LN-1)(i+LF)} \sum_{j=i+1}^{(i+LF)} (j+1)}{n^2} + \frac{\sum_{i=L_N}^{L_N+LF-1} (i+1)}{n^2} + \frac{LF+1}{n^2} \right] \quad (3.4)$$



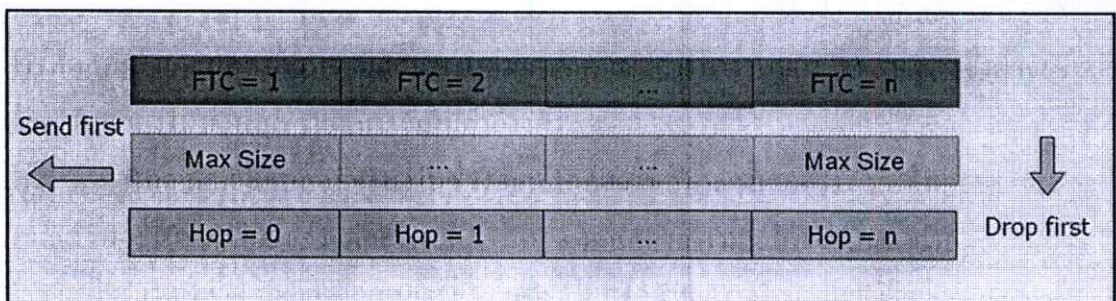
รูปที่ 3.3 การกระจายเมสเสจจากส่วนกลาง

3.3 โพรโทคอล Smart Spray

3.3.1 การจัดลำดับแมสเสจในบัฟเฟอร์

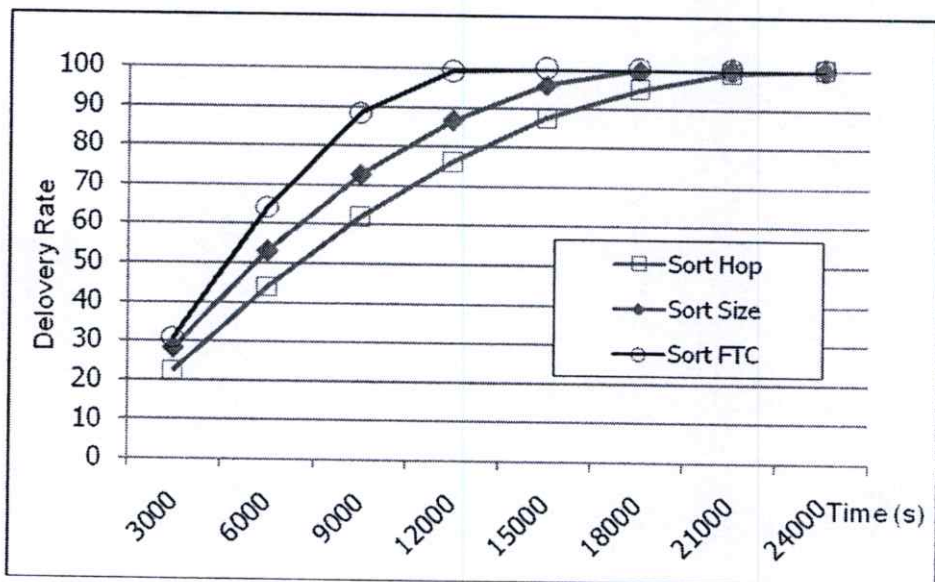
ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยได้นำเสนอ โพรโทคอลที่ชื่อว่า Smart Spray ขึ้นมา โดยที่ Smart Spray จะนำปัจจัยที่ได้ศึกษามาจากหัวข้อก่อนหน้านี้มาประยุกต์ใช้งาน ขั้นแรกผู้วิจัยจำเป็นต้องรู้ก่อนว่าปัจจัยแต่ละอย่างมีผลกระทบต่ออัตราการส่งแมสเสจสำเร็จมากน้อยแค่ไหน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองโดยใช้ค่าพารามิเตอร์เดียวกับหัวข้อ 3.2 ส่วนของการทดสอบจะแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มด้วยกันคือ 1) จัดเรียงแมสเสจตามค่าของเอฟทีซีจากน้อยไปหามาก 2) จัดเรียงแมสเสจตามค่าของขนาดของแมสเสจเรียงจากน้อยไปหามาก และ 3) จะเป็นการจัดเรียงแมสเสจตามค่าฮอปเคาท์ ซึ่งการทดสอบในกลุ่มสุดท้ายนี้จะมีลักษณะคล้ายกับลักษณะการทำงานของ MaxProp ซึ่งผู้วิจัยจะนำผลการทดลองในส่วนสุดท้ายนี้มาใช้เป็นค่าอ้างอิง

การคัดเลือกแมสเสจที่จะส่งในช่วงคอนเทคอย่างเหมาะสมคือการจัดลำดับการส่งของแมสเสจที่อยู่ในบัฟเฟอร์ของแต่ละโหนด รูปที่ 3.4 แสดงการทดลองเพื่อค้นหาว่าปัจจัยที่กล่าวมาข้างต้นปัจจัยใดที่ส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบโดยรวมมากหรือน้อยอย่างไร โดยทำการทดลองทั้งหมด 3 การทดลอง สำหรับในการทดลองแรกผู้วิจัยได้กำหนดให้ทุกโหนดใช้วิธีการจัดลำดับในการส่งแมสเสจตามค่าของเอฟทีซีและเรียงลำดับจากค่าน้อยไปยังค่ามาก สำหรับในการทดลองที่ 2 ผู้วิจัยได้กำหนดให้ทุกโหนดใช้วิธีการจัดลำดับในการส่งแมสเสจตามค่าของขนาดของแมสเสจและเรียงลำดับจากค่าน้อยไปยังค่ามากเช่นเดียวกันและ ในการทดลองที่ 3 ผู้วิจัยได้กำหนดให้ทุกโหนดใช้วิธีการจัดลำดับในการส่งแมสเสจตามค่าของฮอปเคาท์โดยเรียงลำดับจากค่าน้อยไปยังค่ามากเช่นเดียวกันดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงวิธีการจัดลำดับแมสเสจในบัฟเฟอร์

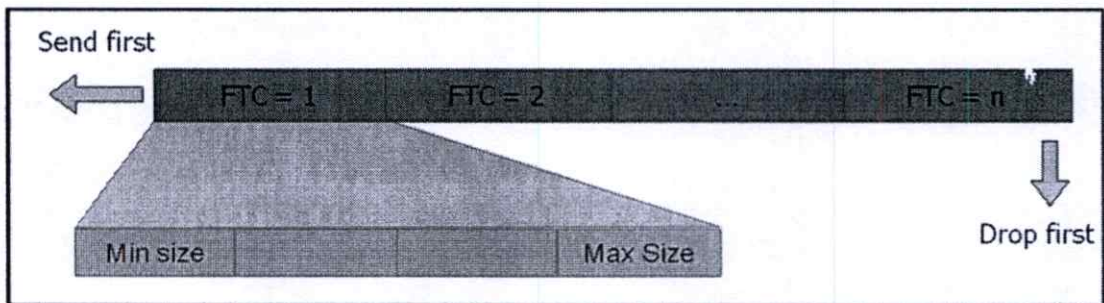
จากนั้นกำหนดให้ขนาดของบัฟเฟอร์ของทุกโหนดมีขนาดใหญ่พอที่จะรองรับแมสเสจทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบได้ ส่วนค่าพารามิเตอร์ในส่วนที่เหลือจะอ้างอิงจากตารางที่ 4.1 จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าวิธีการจัดเรียงแมสเสจตามค่าเอฟทีซีจะส่งผลต่ออัตราการส่งแมสเสจไปถึงโหนดปลายทางมากกว่าการจัดเรียงแมสเสจตามค่าขนาดของแมสเสจ ในขณะที่วิธีการจัดเรียงแมสเสจด้วยขอบเขตจะทำให้ผลการทดลองที่แย่ที่สุด เนื่องจากว่าวิธีการจัดเรียงแบบขอบเขตที่โหนดต้นทางจะไม่มี การปรับค่าขอบเขต ดังนั้นไม่ว่าโหนดต้นทางจะส่งแมสเสจเข้าไปในระบบมากเท่าไรก็ตาม ค่าขอบเขตของแมสเสจที่โหนดต้นทางจะยังคงเป็นศูนย์อยู่ ทำให้โหนดต้นทางพยายามจะส่งแมสเสจของตัวเองก่อนเป็นอันดับแรกเสมอ โดยที่ไม่ได้มีการพิจารณาว่าแมสเสจกระจายไปในเครือข่ายมากเท่าไรแล้ว ซึ่งต่างจากการจัดเรียงแมสเสจตามค่าเอฟทีซีที่จะมีการปรับค่าที่โหนดต้นทางด้วย ดังนั้นเมื่อโหนดมีการส่งแมสเสจไปในเครือข่ายระดับหนึ่งแล้วค่าเอฟทีซีดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นตาม ซึ่งการที่ค่าเอฟทีซีของแมสเสจเพิ่มขึ้นนี้เองทำให้ลำดับของแมสเสจดังกล่าวถูกขยับไปยังตำแหน่งถัดไปในบัฟเฟอร์ และแมสเสจที่มีค่าเอฟทีซีที่น้อยกว่าจะถูกจัดลำดับให้มาอยู่ในตำแหน่งต้นๆ ของบัฟเฟอร์ ดังนั้นการจัดลำดับแมสเสจตามค่าของเอฟทีซีจะมีความสัมพันธ์กับจำนวนแมสเสจที่กระจายไปในเครือข่ายมากกว่าการจัดลำดับแมสเสจตามค่าของขอบเขต



รูปที่ 3.5 แสดงปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่ออัตราการรับส่งแมสเสจ

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าการจัดเรียงแมสเสจตามค่าเอฟทีซีจะทำให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด ในขณะที่การจัดลำดับตามขนาดของแมสเสจได้ผลการทดลองที่ด้อยลงมา และในการ

จัดลำดับแมสเสจตามค่าของฮอปเคาท์จะให้ผลการทดลองที่แย่ที่สุด เมื่อผู้วิจัยได้ทราบถึงผลกระทบต่ออัตราการส่งแมสเสจสำหรับของทั้ง 2 ปัจจัยข้างต้นแล้ว ผู้วิจัยจึงนำหลักการของฮิวริสติกมาประยุกต์ใช้งานกับองค์ความรู้ดังกล่าว โดยผู้วิจัยได้เริ่มจัดลำดับแมสเสจตามค่าของเอฟทีซีและเรียงค่าจากน้อยไปหามาก โดยแมสเสจที่มีค่าเอฟทีซีที่มีค่าน้อยจะถูกส่งออกไปก่อน ส่วนแมสเสจที่มีค่าเอฟทีซีที่มากกว่าจะถูกส่งออกไปในลำดับถัดไป และในกรณีที่มีแมสเสจมากกว่าหนึ่งแมสเสจที่มีค่าเอฟทีซีเท่ากันจะจัดลำดับแมสเสจกลุ่มดังกล่าวตามค่าขนาดของแมสเสจและโหนด จะทำการส่งแมสเสจที่มีขนาดเล็กออกไปก่อน จากนั้นจึงส่งแมสเสจที่มีขนาดใหญ่ออกไปตามลำดับดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงการจัดลำดับของแมสเสจในบัฟเฟอร์

สำหรับรายละเอียดการทำงานของ Smart Spray จะแสดงเป็นอัลกอริทึมดังรูปที่ 3.7 และรูปที่ 3.8 สำหรับรูปที่ 3.7 จะแสดงลำดับการทำงานของอัลกอริทึมเมื่อคู่โหนด i และ j ใดๆ เคลื่อนที่เข้ามาเจอกันโดยในขั้นตอนแรก เมื่อคู่โหนดใดๆ เคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในระยะการส่ง นั่นคือ `connectionIsUp` มีค่าเป็น `true` โหนดจะเริ่มขั้นตอนในการส่งแมสเสจ ซึ่งเงื่อนไขที่เป็นตัวกำหนดว่าโหนดใดจะเป็นโหนดที่ส่งก่อนหรือหลังนั้นจะขึ้นอยู่กับจังหวะเวลา เช่น ในการเจอกันครั้งแรก โหนด i เป็นโหนดที่มองเห็นโหนด j ก่อน ดังนั้นโหนด i จะเป็นโหนดที่เริ่มส่งแมสเสจก่อนเป็นต้น โดยโหนดจะทำการแลกเปลี่ยน `acknowledge` ในบรรทัดที่ 13 และ 14 กันก่อน ซึ่ง `acknowledge` นี้จะใช้สำหรับการลบแมสเสจที่ถูกส่งไปถึงโหนดปลายทางแล้วออกจากบัฟเฟอร์ตามบรรทัดที่ 16-18 จากนั้นในขั้นตอนถัดไปคือบรรทัดที่ 20-24 โหนดต้นทางจะทำการตรวจสอบว่ามีแมสเสจที่มีปลายทางเป็นโหนดผู้รับหรือไม่ ถ้ามีโหนดต้นทางจะส่งแมสเสจนั้นออกไปก่อนแล้วบันทึกว่าแมสเสจนี้ถูกส่งไปถึงโหนดปลายทางแล้วและหลังจากนั้นโหนดต้นทางจะทำการลบแมสเสจนั้นออกจากบัฟเฟอร์ของตนด้วย ซึ่งขั้นตอนของ `acknowledge` ดังกล่าวนี้จะมีการทำงานเหมือนกับโปรโตคอล `MaxProp` ในบรรทัดที่ 25 โหนดต้นทางจะเริ่มส่งแมสเสจตามลำดับที่เรียง

ไว้ในบัพเฟอร์ จากนั้นในบรรทัดที่ เมื่อโนหนด i และ j เคลื่อนที่ออกจากกัน โหนดทั้ง 2 จะทำการจัดเรียงเมสเสจในบัพเฟอร์ตนเองใหม่ เนื่องจากเมื่อเมสเสจมีการส่งต่อแล้วค่าของเอฟทีซีของเมสเสจทั้งของโนหนด i และ j จะเปลี่ยนไปทำให้ลำดับของเมสเสจที่ควรจะเป็นก็เปลี่ยนไปเช่นกัน ซึ่งอัลกอริทึมที่ใช้ในการจัดลำดับเมสเสจจะอธิบายตามรูปที่ 3.8 ในรูปที่ 3.8 นี้ อัลกอริทึมสำหรับการจัดลำดับเมสเสจจะได้อธิบายในบรรทัดที่ 8-23 โดยในบรรทัดที่ 8 โหนดจะทำการตรวจสอบก่อนว่าเมสเสจมีค่าเอฟทีซีเท่ากันหรือไม่ ถ้าเมสเสจมีค่าเอฟทีซีเท่ากันแล้วจึงทำการจัดลำดับเมสเสจตามค่าของขนาดของเมสเสจตามบรรทัดที่ 9-14 แต่ถ้าเมสเสจมีค่าเอฟทีซีที่ไม่เท่ากัน โหนดจะทำการจัดลำดับของเมสเสจตามค่าเอฟทีซีตามบรรทัดที่ 17-22 การจัดลำดับเมสเสจตามอัลกอริทึมดังกล่าวจะอิงจากสมมติฐานที่ว่าทุกเมสเสจมีความสำคัญเท่ากัน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้คัดเลือกเมสเสจตามความเหมาะสมของค่าเอฟทีซีและขนาดของเมสเสจ ซึ่งการคัดเลือกนี้จะเป็นการหมายถึงการจัดสรรเมสเสจที่เหมาะสม

Algorithm Smart Spray

```

1 /*send packet until connection down with half duplex*/
2 While connectionIsUp(i,j)
3   sendPkg(i,j) //send packet from node i to node j
4   sendPkg (j,i)
5 End while
6
7 Function sendPkg (i,j)
8   Variables:
9     pkgi /* packet that node i carry*/
10    PKGi /*all packet in buffer that node i carry*/
11    ACKi /*all acknowledge packet that node i carry*/
12
13  sendAckMsg(ACKi) /*send ack to node j*/
14  ACKi := receiveAckPkg (ACKj) /*receive ack from node j*/
15
16  For each pkgi in PKGi
17    If pkgi is in ACKi then
18      remove pkgi
19    Else
20      For each destination(pkgi) = j then
21        send pkgi to node j
22        add AckPkg for pkgi to ACKi
23        remove pkgi
24      end for
25      send pkgi to node j /*Send message by queue in buffer*/
26    end if
27  end for each message
28 /*sort packet by FTC then by size for next contact*/
29  sort_Pkg(PKGi)
30 end function sendPkg

```

รูปที่ 3.7 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรโตคอลด้วยชุดโค้ด

Algorithm Sort Priority of Message

```

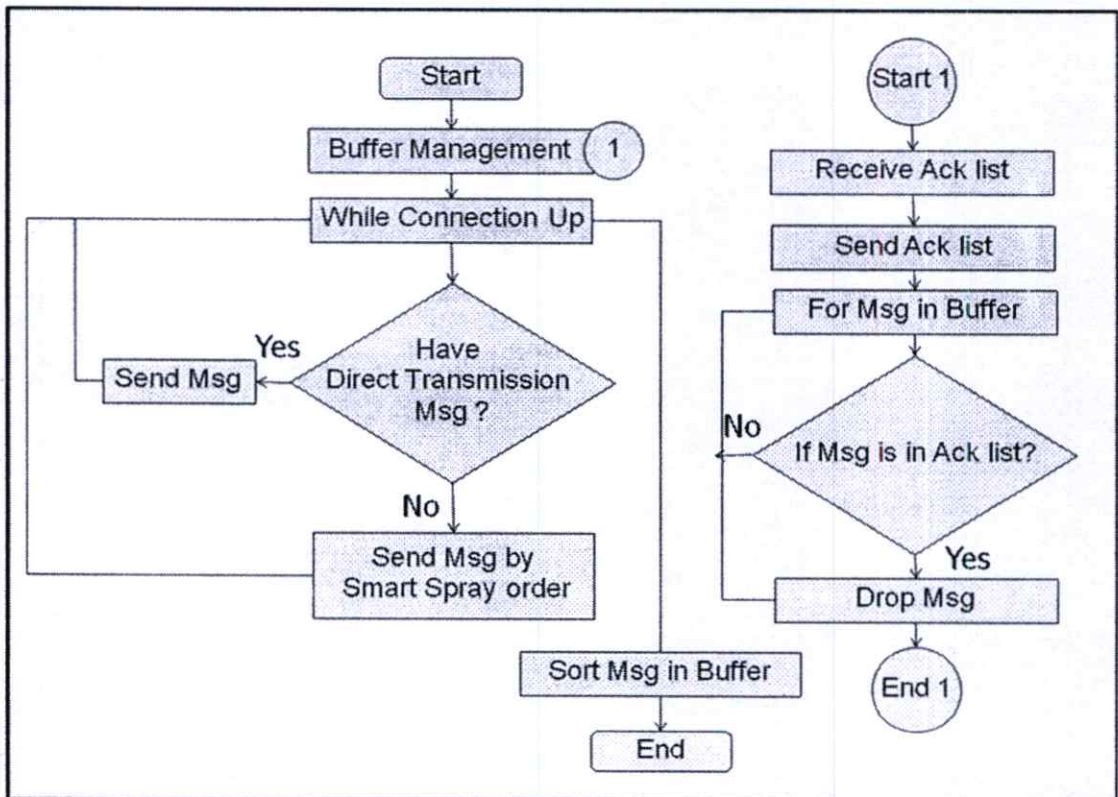
1 /*Sort packet by FTC and packet size*/
2 Function sort_Pkg(PKGi)
3   Variables:
4     pkgx  /* packet that node i carry*/
5     pkgy  /* packet that node i carry*/
6
7   For each pkgx and pkgy in PKGi /* pkgx, pkgy ∈ PKGi and pkgx ≠ pkgy */
8     If getFTC(pkgx) = getFTC(pkgy) then
9       if getSize(pkgx) < getSize(pkgy) then
10         set_Higher_Priority(pkgx)
11         set_Lower_Priority(pkgy)
12       else /*include equal size condition*/
13         set_Lower_Priority(pkgx)
14         set_Higher_Priority(pkgy)
17     else if getFTC(pkgx) < getFTC(pkgy) then
18       set_Higher_Priority(pkgx)
19       set_Lower_Priority(pkgy)
20     else if getFTC(pkgx) > getFTC(pkgy) then
21       set_Lower_Priority(pkgx)
22       set_Higher_Priority(pkgy)
23     end if
24 end function sort_Pkg

```

รูปที่ 3.8 แสดงขั้นตอนทำงานของการจัดเรียงแมสเสจ

3.3.2 การจัดการเนื้อที่ของบัฟเฟอร์

นอกจาก Smart Spray จะใช้กลไกในการจัดลำดับแมสเสจในบัฟเฟอร์แล้ว Smart Spray ยังมีกลไกในการบริหารพื้นที่ของบัฟเฟอร์ ซึ่งกลไกในการบริหารจัดการเนื้อที่ของบัฟเฟอร์จะมีลักษณะคล้ายคลึงกับการบริหารจัดการเนื้อที่บัฟเฟอร์ของ MaxProp โดยที่แต่ละโหนดจะมีข้อมูลรายการของแมสเสจที่ส่งสำเร็จถึงโหนดปลายทางและโหนดจะทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลเหล่านี้เพื่อบอกโหนดในเครือข่ายว่ามีแมสเสจใดบ้างที่ส่งสำเร็จแล้ว จากนั้นโหนดจะทำการตรวจสอบว่าในบัฟเฟอร์ของตัวเองมีแมสเสจที่อยู่ในรายการส่งสำเร็จดังกล่าวหรือไม่ ถ้ามีโหนดจะทำการลบแมสเสจดังกล่าวออกจากบัฟเฟอร์ เนื่องจากแมสเสจดังกล่าวได้ส่งสำเร็จแล้ว ดังนั้นโหนดจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเก็บแมสเสจดังกล่าวเอาไว้อีกต่อไป นอกจากนี้การที่โหนดมีกลไกในการลบแมสเสจยังช่วยให้โหนดสามารถกระจายแมสเสจที่ยังส่งไปไม่ถึงโหนดปลายทางได้ดีขึ้น ซึ่งขั้นตอนการทำงานของการบริหารจัดการเนื้อที่บัฟเฟอร์จะแสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.9 แสดงขั้นตอนการทำงานของโปรโตคอล Smart Spray

บทที่ 4

การประเมินสมรรถนะของระบบ

ในบทนี้กล่าวถึงแบบจำลองระบบ ค่าชี้วัดสมรรถนะ การออกแบบการทดลอง รวมทั้งผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละโพรโทคอลเมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ให้กับเครือข่ายแบบดิสทริบิวต์

4.1 แบบจำลองที่ใช้ในการจำลองระบบ

แบบจำลองระบบที่ผู้วิจัยนำมาใช้สำหรับการประเมินค่าสมรรถนะของโพรโทคอลสำหรับเครือข่ายแบบดิสทริบิวต์คือ ONE (Opportunistic Network Environment) หรือโอเอ็นอี [9] ซึ่งแบบจำลองนี้เป็นแบบจำลองที่ได้รับการออกแบบมาเพื่อจำลองการทำงานของเครือข่ายแบบดิสทริบิวต์ โดยเฉพาะ แบบจำลองโอเอ็นอีได้รับทุนสนับสนุนจากโนเกียและได้รับความนิยมนักวิจัยที่ทำการวิจัยเกี่ยวกับดิสทริบิวต์เป็นอย่างมาก นอกจากนี้ โอเอ็นอียังมาพร้อมกับเร้าดิงโพรโทคอลสำหรับเครือข่ายดิสทริบิวต์ ซึ่งโพรโทคอลเหล่านี้เป็นโพรโทคอลที่นักวิจัยส่วนมากนิยมใช้ในการอ้างอิงในเอกสารทางวิชาการ เช่น Epidemic, MaxProp, Prophet, Spray and Wait และ Spray and Focus เป็นต้น นอกจากนี้โอเอ็นอียังออกแบบให้ผู้วิจัยสามารถพัฒนาโพรโทคอลของตนได้ง่ายอีกด้วย

4.2 ค่าชี้วัดสมรรถนะ

สำหรับการประเมินสมรรถนะสำหรับงานวิทยานิพนธ์นี้ จะใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะอันได้แก่

- ค่าเฉลี่ยของอัตราความสำเร็จของการรับส่งแมสเสจ (Delivery rate)
- ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการรับส่งแมสเสจหรือดีเลย์ (Delay)

4.3 การออกแบบการทดลอง

4.3.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการจำลองเครือข่ายแบบดิสทริบิวต์เพื่อใช้สำหรับทดสอบสมรรถนะของโพรโทคอลจะแสดงดังในตารางที่ 4.1 โดยที่ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้จะอ้างอิงจากงานวิจัย MaxProp เป็นหลัก เนื่องจาก MaxProp เป็นเร้าดิงโพรโทคอลที่นิยมใช้ในการอ้างอิงจากงานวิจัยเครือข่ายดิสทริบิวต์เป็นจำนวนมาก ส่วนค่าพารามิเตอร์สำหรับแต่ละเร้าดิงโพรโทคอลผู้วิจัยจะใช้ค่าปริยายที่ถูกระบุในตารางที่แนบมาในการทดลองผู้วิจัยได้กำหนดให้แต่ละการทดลองจะมีการทำซ้ำเป็นจำนวน 50 รอบ โดยที่แต่ละรอบ

จะมีการสุ่มตำแหน่งเริ่มต้นของโหนดที่แตกต่างกันและให้โหนดมีการเคลื่อนที่เป็นระยะเวลา 500 วินาที ก่อนเริ่มการซิมูเลชัน นอกจากนี้ยังใช้การจำลองความเร็วในการเคลื่อนที่ที่มีค่าระหว่าง 10 ถึง 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมงด้วยการกระจายอย่างมีรูปแบบ (Uniformly Random Distribution) การเคลื่อนที่ของโหนดจะใช้โมบิลิตี โมเดลเรมคอมเวย์พอยต์ซึ่งเป็น โมบิลิตี โมเดลที่นิยมนำมาใช้งานในเครือข่ายแบบดีทีเอ็น นอกจากนี้ยังมีการกำหนดค่าเวลาในการรอ (wait time) ของโมบิลิตี โมเดลด้วยค่าระหว่าง 10 ถึง 30 วินาทีด้วยการกระจายอย่างมีรูปแบบ ซึ่งค่าเวลาในการรอดังกล่าวจะเป็นค่าที่ถูกกำหนดมาเป็นค่าปริยายของซิมูเลเตอร์เช่นเดียวกัน สำหรับขนาดบัฟเฟอร์ของโหนดจะถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 20 เมกกะไบต์ ในส่วนของวิธีและหลักการในการสร้างแมสเสจในแต่ละโหนดจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

ตารางที่ 4.1 พารามิเตอร์ที่สำคัญในการจำลองระบบ

Parameter	Value
Number of Node	60
Movement Speed	10 – 50 กิโลเมตร/ชั่วโมง
Node Buffer	20 MB
Transmission Range	30 เมตร
Transmission Rate	2 Mbps
Mobility Model	Random Waypoint
Simulation Time	12 ชั่วโมง
Simulation Area	3,220 x 3,220 เมตร
Number of Messages	12,000
Message Size	10 – 100 KB

4.3.2 วิธีการสร้างแมสเสจ

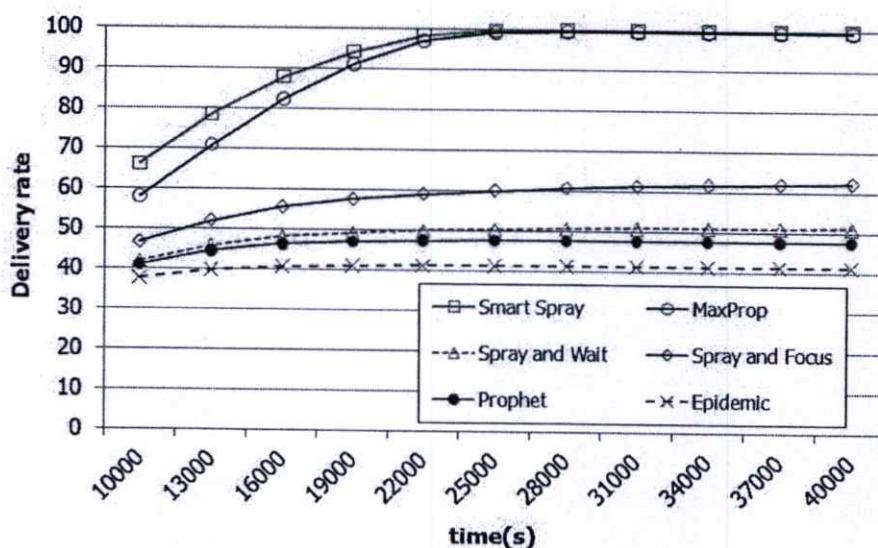
สำหรับรายละเอียดในการสร้างแมสเสจเพื่อใช้ในการทดลองจะมีดังนี้ ในการทดลองส่วนแรกจะกำหนดให้ทุกโหนดทำการสร้างแมสเสจขึ้นมาทั้งหมด ณ วินาทีที่ 0 ของการทดลอง และทุกแมสเสจที่สร้างขึ้นมาในการทดลองจะมีขนาดตั้งแต่ 10 ถึง 100 กิโลไบต์ เมื่อพิจารณาที่แต่ละโหนดจะมีรายละเอียดในการสร้างแมสเสจดังนี้คือ แต่ละโหนดจะมีแมสเสจอยู่ในบัฟเฟอร์คิดเป็นจำนวน 200 แมสเสจ และกำหนดให้ในแต่ละโหนดมีขนาดแมสเสจในบัฟเฟอร์รวมกันทั้งหมดคิดเป็นขนาด 10 เมกกะไบต์ ซึ่งเมื่อพิจารณากับขนาดของบัฟเฟอร์ของแต่ละโหนดแล้วขนาดแมสเสจ

รวมจะคิดเป็นสัดส่วน 50 เปอร์เซ็นต์ โดยที่แต่ละโหนดมีขนาดบัฟเฟอร์ 20 เมกะไบต์ จากนั้นในแต่ละแมสเสจจะกำหนดโหนดปลายทางด้วยการกระจายอย่างมีรูปแบบ ดังนั้นแต่ละแมสเสจจะถูกส่งค่าโหนดปลายทางด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากัน

4.4 สมรรถนะของระบบ

4.4.1 สมรรถนะเมื่อพิจารณาจากขนาดของบัฟเฟอร์

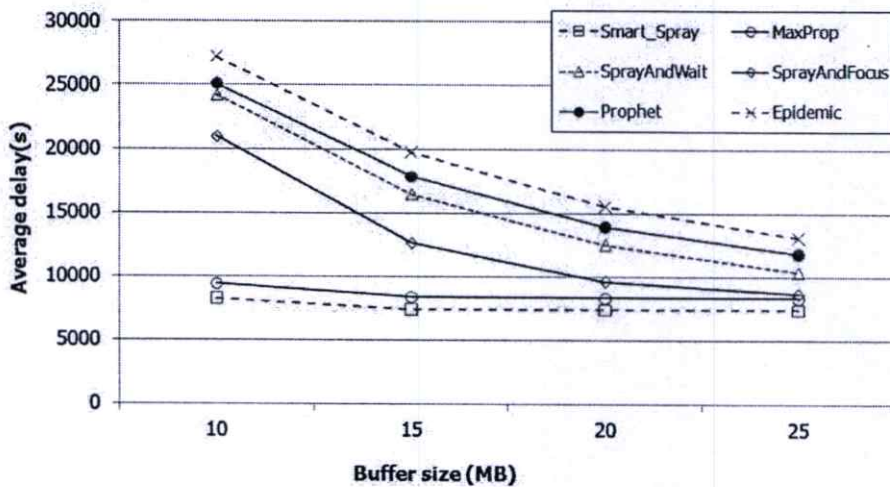
การทดลองในส่วนนี้จะมีการทดลองย่อยทั้งหมด 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรกจะกำหนดให้ทุกโหนดมีขนาดบัฟเฟอร์ที่เท่ากันคือ 20 MB และในส่วนที่ 2 จะกำหนดให้ทุกโหนดมีขนาดของบัฟเฟอร์ 10, 15, 20 และ 25 MB ตามลำดับ ในรูปที่ 4.1 แสดงอัตราความสำเร็จของการรับส่งแมสเสจโดยแต่ละโหนดมีขนาดบัฟเฟอร์ที่เท่ากันคือ 20 MB กราฟแกนตั้งแสดงอัตราความสำเร็จของการรับส่งแมสเสจไปถึงโหนดปลายทางโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ในขณะที่แกนนอนแสดงเวลาที่ผ่านไปของการทดลอง จากรูปจะเห็นได้ว่าเมื่อเวลาผ่านไปประมาณ 5 ชั่วโมง โพรโทคอล Smart Spray ซึ่งเป็นโพรโทคอลของผู้วิจัยสามารถส่งแมสเสจไปยังโหนดปลายทางได้สำเร็จเป็นจำนวนมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ MaxProp ซึ่งเป็นโพรโทคอลที่ได้รับการอ้างอิงจากงานวิจัยอย่างแพร่หลายสามารถส่งแมสเสจไปยังโหนดปลายทางได้ประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น และเมื่อเปรียบเทียบกับโพรโทคอลส่วนที่เหลือจะเห็นได้ว่าโพรโทคอลส่วนที่เหลือเหล่านี้สามารถส่งแมสเสจไปยังโหนดปลายทางได้ประมาณ 40-55 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น และเมื่อสิ้นสุดการทดลองโพรโทคอลเหล่านี้สามารถส่งไปถึงโหนดปลายทางได้ประมาณ 40-60% เท่านั้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าระหว่างชั่วโมงการทดลองที่ 5 จนถึงชั่วโมงการทดลองที่ 12 ซึ่งเป็นจุดสิ้นสุดการทดลองอัตราการส่งแมสเสจไปถึงโหนดปลายทางของโพรโทคอลเหล่านี้เพิ่มขึ้นมาไม่มากนัก ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองเพิ่มเวลาของการทดลองออกไป แต่ผลการทดลองที่ได้คืออัตราความสำเร็จของการรับส่งแมสเสจของเร้าติ้งโพรโทคอลเหล่านี้ไม่ต่างจากเดิมอย่างมีนัยสำคัญ สำหรับความแตกต่างของอัตราการส่งสำเร็จส่วนหนึ่งมาจากกลไก acknowledge เนื่องจากว่ากลไกนี้ช่วยให้โหนดมีพื้นที่ว่างพอสำหรับกระจายแมสเสจได้มากกว่าโพรโทคอลที่ไม่มีกลไก acknowledge



รูปที่ 4.1 แสดงอัตราความสำเร็จของการรับส่งแมสเสจ

ในรูปที่ 4.2 พิจารณาค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการส่งแมสเสจไปยังโหนดปลายทาง โดยการทดลองนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของบัฟเฟอร์ตั้งแต่ 10MB จนถึง 25MB โดยเพิ่มค่าบัฟเฟอร์ทีละ 5 MB สำหรับเวลาที่ใช้ในการส่งแมสเสจไปยังโหนดปลายทางจะคิดเฉพาะเวลาที่แต่ละแมสเสจถูกส่งไปถึงปลายทางครั้งแรกเท่านั้นในกรณีที่มิแมสเสจเดียวกันไปถูกส่งไปถึงโหนดปลายทางเป็นครั้งที่ 2 หรือครั้งต่อไป แมสเสจเหล่านี้จะไม่ถูกนับรวมในค่าเฉลี่ยดังกล่าว สำหรับแมสเสจที่สูญหายไปจากเครือข่ายหรือแมสเสจที่ไม่สามารถส่งไปถึงโหนดปลายทางได้ในระยะเวลาของการทดลองจะถูกกำหนดให้มีค่าเวลาในการส่งหรือดีเลย์มีค่าเท่ากับค่าเวลาของการทดลอง จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า Smart Spray ใช้เวลาในการส่งแมสเสจไปยังโหนดปลายทางโดยเฉลี่ยแล้วน้อยที่สุดในทุกการทดลอง ในขณะที่ MaxProp ให้ผลการทดลองที่ดีเป็นอันดับที่ 2 ส่วนเร็ดิงโปรโตคอลที่เหลือคือ Epidemic, Prophet, Spray and Wait และ Spray and Focus จะใช้เวลาในการส่งถึงโหนดปลายทางที่มากกว่า Smart Spray ประมาณ 2-3 เท่าเมื่อบัฟเฟอร์มีขนาด 10MB และจากกราฟผลการทดลองจะสังเกตได้ว่าเมื่อโหนดมีขนาดบัฟเฟอร์มากขึ้น โปรโตคอล Epidemic, Prophet, Spray and Wait และ Spray and Focus จะใช้เวลาในการส่งถึงโหนดปลายทางหรือดีเลย์ที่น้อยลงจนกระทั่งเมื่อขนาดบัฟเฟอร์มีขนาด 25MB โปรโตคอล Epidemic, Prophet, Spray and Wait และ Spray and Focus จะใช้เวลาในการส่งแมสเสจไปยังโหนดปลายทางมากกว่า Smart Spray ประมาณ 0.2 - 0.5 เท่า จากนั้นผู้วิจัยได้ทดลองเพิ่มขนาดบัฟเฟอร์ให้มากขึ้นไปจนถึง 100 MB แต่ผลการทดลองที่ได้จะไม่แตกต่างจากผลการทดลองเมื่อโหนดมีขนาดบัฟเฟอร์ 25MB อย่างมีนัยสำคัญ จากกราฟผลการทดลองเมื่อโหนดมีขนาดบัฟเฟอร์น้อยค่าเฉลี่ยจะสูงเนื่องจากว่าแต่ละโหนดสามารถ

เก็บแอสเสงในปริมาณที่น้อยและแอสเสงจะถูกครอบเมื่อมีจำนวนแอสเสงในเครือข่ายที่มากขึ้น ซึ่งทำให้แอสเสงถูกส่งกระจายไปในเครือข่ายได้น้อยกว่าเมื่อเทียบกับกรณีที่โหนดมีขนาดบัฟเฟอร์ที่มากขึ้น การที่แอสเสงกระจายไปยังเครือข่ายได้น้อยจึงเป็นสาเหตุที่ทำให้โอกาสที่แอสเสงส่งถึงโหนดปลายทางมีน้อยตามลงไปด้วย แต่สำหรับโพรโทคอล Smart Spray และ MaxProp จะมีค่าเฉลี่ยที่น้อยแม้ว่าขนาดบัฟเฟอร์ของโหนดจะมีจำกัดก็ตาม ซึ่งสาเหตุที่ทำให้โพรโทคอล Smart Spray และ MaxProp ใช้เวลาในการส่งน้อยเนื่องจาก Spray และ MaxProp มีกลไกในการจัดการบัฟเฟอร์ ซึ่งกลไกนี้จะช่วยให้โหนดสามารถลบแอสเสงที่ส่งถึงโหนดปลายทางได้และทำให้โหนดมีพื้นที่ว่างในบัฟเฟอร์มากกว่าโพรโทคอล Epidemic, Prophet, Spray and Wait และ Spray and Focus

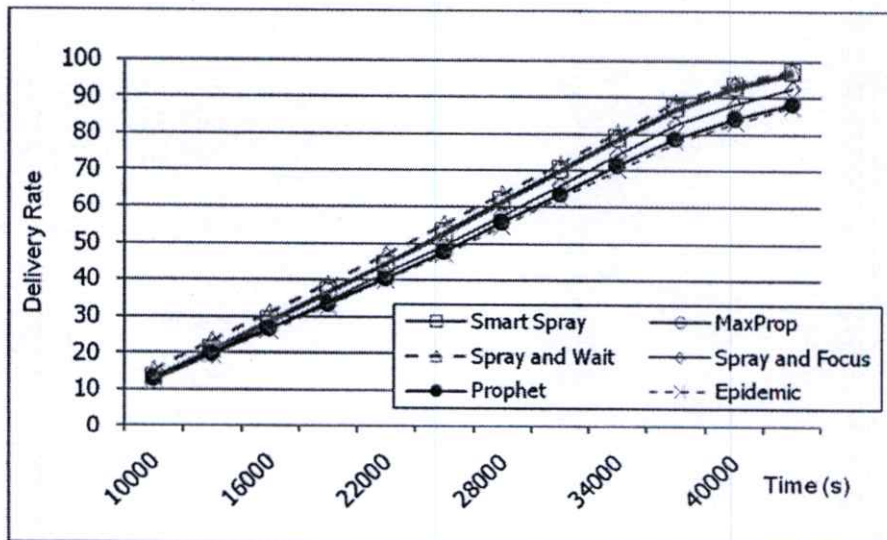


รูปที่ 4.2 แสดงค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการส่งแอสเสงไปยังโหนดปลายทาง

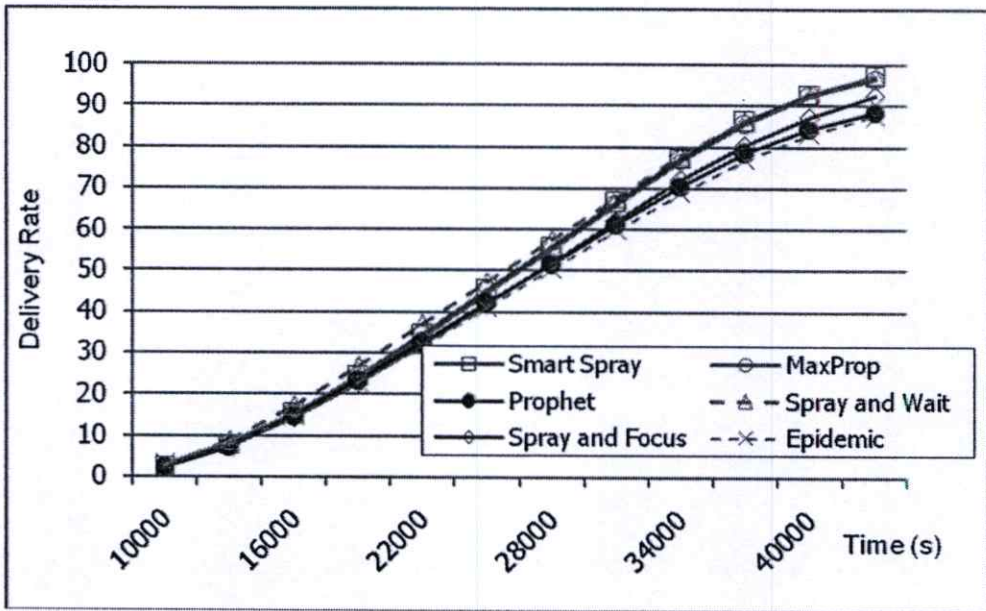
4.4.2 สมรรถนะเมื่อกำหนดให้โหนดมีการสร้างแอสเสงในช่วงเวลาต่างๆ

ในการทดลองในข้อ 4.4.1 นั้นผู้วิจัยได้กำหนดให้ทุกโหนดสร้างแอสเสงทั้งหมดขึ้นพร้อมกันที่วินาทีที่ศูนย์ แต่ในการทดสอบสมรรถนะในครั้งนี้จะกำหนดให้ทุกโหนดมีการสร้างแอสเสงในช่วงเวลาที่แตกต่างกัน โดยในหัวข้อนี้จะมีการทดลองย่อย 3 การทดลองด้วยกันดังนี้ 1) ผู้วิจัยกำหนดให้มีการสร้างแอสเสงในช่วงเวลาวินาทีที่ 0 จนถึงวินาทีที่ 34,560 ซึ่งคิดเป็นเวลา 80 เปอร์เซ็นต์ของเวลาในการทดลอง เมื่อคิดเป็นอัตราความเร็วในการสร้างแอสเสงจะได้เป็น 0.35 แอสเสงต่อวินาทีหรือเวลาในการสร้างแต่ละแอสเสงห่างกัน 2.88 วินาที 2) ผู้วิจัยกำหนดให้มีการ

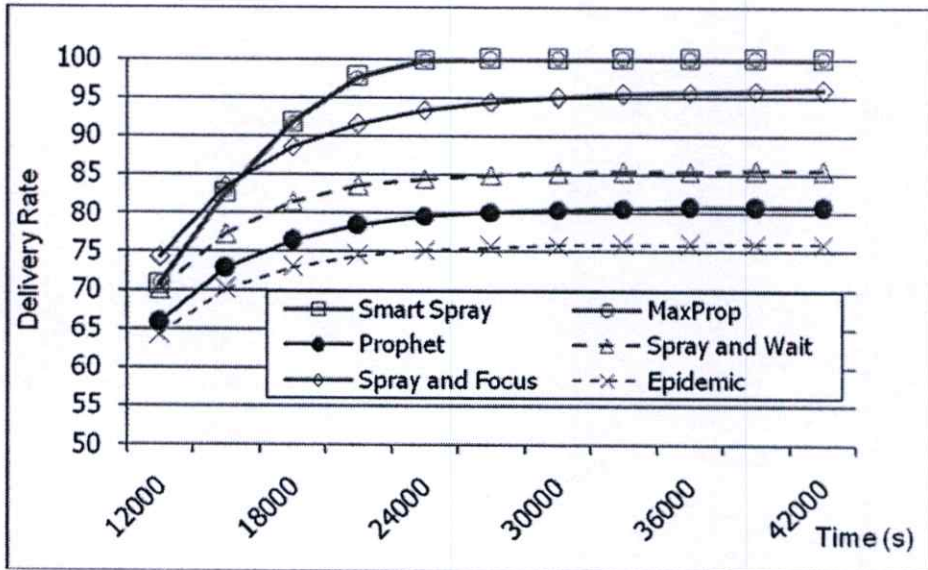
สร้างแมสเสงในช่วงเวลาวินาทีที่ 8,640 ซึ่งคิดเป็นเวลา 20 เปอร์เซ็นต์ของเวลาในการทดลองจนถึงวินาทีที่ 34,560 ซึ่งคิดเป็นเวลา 80 เปอร์เซ็นต์ของเวลาในการทดลอง เมื่อคิดเป็นอัตราความเร็วในการสร้างแมสเสงจะได้เป็น 0.46 แมสเสงต่อวินาทีหรือเวลาในการสร้างแต่ละแมสเสงห่างกัน 2.16 วินาทีและ 3) ผู้วิจัยกำหนดให้มีการสร้างแมสเสงในช่วงเวลาวินาทีที่ 0 จนถึงวินาทีที่ 1,200 เมื่อคิดเป็นอัตราความเร็วในการสร้างแมสเสงจะได้เป็น 10 แมสเสงต่อวินาทีหรือเวลาในการสร้างแต่ละแมสเสงห่างกัน 0.1 วินาที โดยผู้วิจัยได้กำหนดให้โหนดต้นทางมีการสร้างแมสเสงไปยังแต่ละโหนดในเครือข่ายด้วยจำนวนที่เท่ากันและระยะเวลาห่างในการสร้างแต่ละแมสเสงจะห่างกันด้วยเวลาที่เท่ากัน ดังนั้นเวลาในการสร้างแมสเสงจะเป็นการกระจายอย่างมีรูปแบบ จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าลำดับประสิทธิภาพของโพรโทคอลจะเหมือนกับการทดลองที่ 4.4.1 แต่จะต่างที่ความเร็วในการส่งแมสเสงไปถึงโหนดปลายทางเส้นกราฟจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง เนื่องจากแมสเสงสะสมในตอนเริ่มการทดลองยังมีน้อยอยู่ดังนั้นเส้นกราฟความสำเร็จจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามจำนวนแมสเสงที่เกิดขึ้นในเครือข่าย ในการทดลองนี้จะไม่มีโพรโทคอลที่สามารถส่งแมสเสงไปถึงโหนดปลายทางได้ครบ 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากโหนดยังคงมีการสร้างแมสเสงอยู่ตลอดเวลาจนกระทั่งการทดลองจะสิ้นสุด และเนื่องจากความหนาแน่นของเครือข่ายมีน้อยทำให้แมสเสงที่ถูกสร้างในช่วงท้ายของการทดลองไม่มีเวลามากพอที่จะกระจายไปในเครือข่ายมากพอที่จะส่งไปถึงโหนดปลายทางได้ และในการทดลองที่ 2 ในรูปที่ 4.4 ซึ่งมีความเร็วในการสร้างแมสเสงมากขึ้นจะส่งผลให้กราฟมีความชันที่มากขึ้นลำดับประสิทธิภาพของแต่ละเร้าติงโพรโทคอลจะไม่ต่างจากเดิม



รูปที่ 4.3 แสดงอัตราความสำเร็จของการรับส่งแมสเสงเมื่อทำการสร้างแมสเสงในช่วงวินาทีที่ 0 ถึง 34,560



รูปที่ 4.4 แสดงอัตราความสำเร็จของการรับส่งแมสเสจเมื่อทำการสร้างแมสเสจ ในช่วงวินาทีที่ 8,640 ถึง 34,560



รูปที่ 4.5 แสดงอัตราความสำเร็จของการรับส่งแมสเสจเมื่อทำการสร้างแมสเสจ ในช่วงวินาทีที่ 0 ถึง 1,200

สำหรับในการทดลองครั้งที่ 3 ซึ่งมีอัตราการสร้างแมสเสจที่มากกว่าการทดลองที่ 2 ประมาณ 5 เท่า จะให้ผลการทดลองที่แตกต่างกันซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่ออัตราการสร้างแมสเสจเพิ่มมากขึ้นอัลกอริทึม

ของโปรโตคอลจะเริ่มมีผลต่อประสิทธิภาพอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าโปรโตคอล Smart Spray สามารถส่งแมสเสจไปถึงโหนดปลายทางครบ 100 เปอร์เซ็นต์ภายในเวลาประมาณ 25,000 วินาที สำหรับแมสเสจในเครือข่ายทั้งหมดจำนวน 12,000 แมสเสจ ซึ่งเมื่อคิดเป็นสัดส่วนแล้วจะพบได้ว่า Smart Spray สามารถส่งแมสเสจแต่ละแมสเสจไปถึงโหนดปลายทางด้วยเวลาเฉลี่ยประมาณ 2.08 วินาที ในขณะที่การทดลองที่ 1 และ 2 จะมีแมสเสจเกิดขึ้นในเครือข่ายทุกๆ 2.88 และ 2.16 วินาทีตามลำดับ ดังนั้นจะเห็นได้ว่าโหนดสามารถส่งแมสเสจไปถึงโหนดปลายทางได้ก่อนที่จะมีแมสเสจใหม่เกิดขึ้นในระบบจึงทำให้อัตราการส่งสำเร็จเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ ดังรูป 4.5 จากการทดลองในรูปที่ 4.3, 4.4 และ 4.5 จะเห็นได้ว่าโปรโตคอล Smart Spray และ MaxProp นั้นจะให้ผลการทดลองที่ไม่แตกต่างกันมากนัก โดยที่ Smart Spray จะมีอัตราการส่งสำเร็จมากกว่า แต่มากกว่าในระดับที่ไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งสาเหตุที่ทั้ง 2 โปรโตคอลให้ผลการทดลองที่ดีขึ้นตามลำดับนั้นเป็นเพราะกลไกของ acknowledge เป็นส่วนใหญ่แต่เมื่อเพิ่มความหนาแน่นในการสร้างแมสเสจมากขึ้น เช่น ให้ทุกโหนดสร้างแมสเสจทั้งหมดในวินาทีที่ 0 ดังเช่นการทดลองที่ 4.4.1 จะเห็นได้ว่า Smart Spray จะเริ่มให้ผลการทดลองที่ดีกว่า แสดงว่าเมื่อความหนาแน่นของแมสเสจมีมากขึ้นในระดับหนึ่งจะทำให้การจัดลำดับแมสเสจมีผลต่อประสิทธิภาพโดยรวม

4.4.3 สมรรถนะเมื่อกำหนดความเร็วของโหนดแบบผสม

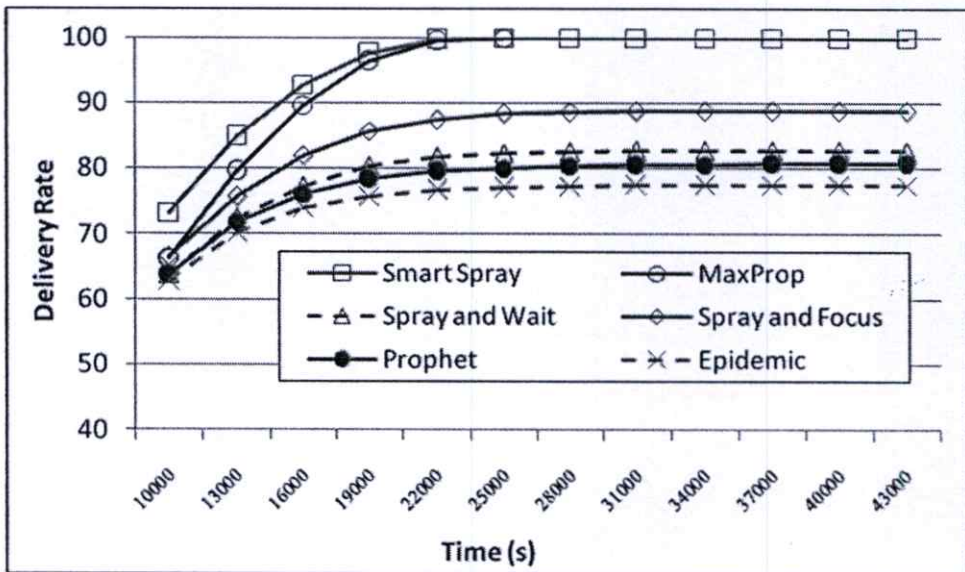
ในการทดลองที่ 4.4.1 ทุกโหนดจะมีความเร็วในช่วงที่เท่ากันคือความเร็วระดับปานกลาง แต่ในการทดลองนี้จะกำหนดให้แต่ละโหนดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน โดยผู้วิจัยกำหนดระดับความเร็วออกเป็น 3 ช่วงดังตารางที่ 4.2 ซึ่งระดับความเร็วดังกล่าวเป็นค่าที่อ้างอิงจากงานวิจัยทางวิชาการของโปรโตคอล ORWAR [10]

ตารางที่ 4.2 แสดงระดับความเร็วของโหนด

ระดับของความเร็ว	ช้า	ปานกลาง	เร็ว
ความเร็ว (กม./ชม.)	5 – 25	10 - 50	20 - 100

จากนั้นกำหนดให้จำนวนโหนดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วระดับต่ำจำนวน 20 โหนด จำนวนโหนดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วระดับปานกลางจำนวน 20 โหนดและจำนวนโหนดเคลื่อนที่ด้วยความเร็วระดับสูงจำนวน 20 โหนด รูปที่ 4.6 แสดงอัตราการส่งแมสเสจสำเร็จ จะเห็นได้ว่าของความสัมพันธ์ของเส้นกราฟสำหรับโปรโตคอล Smart Spray และ MaxProp จะมากกว่าการทดลองก่อนหน้านี้ ถึงแม้ว่าการเคลื่อนที่ความเร็วสูงจะทำให้โหนดไม่สามารถส่งแมสเสจได้มากเท่ากับโหนดที่มีการ

เคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ แต่เนื่องด้วยการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงนั้นทำให้ โอกาสการเจอกันของคู่ โหนดใดๆ มีมากขึ้น ส่งผลให้โอกาสที่โหนดต้นทางเจอกับโหนดปลายทางมีมากขึ้นเช่นกัน แต่ว่า เมื่อโหนดมีโอกาสส่งแมสเสจมากขึ้นแล้ว แต่เนื่องจากโหนดมีขนาดบัฟเฟอร์ที่จำกัดคือ 20 เมกกะไบต์ ดังนั้นโอกาสที่แมสเสจจะสูญหายไปจากเครือข่ายเนื่องจากขนาดบัฟเฟอร์ไม่เพียงพอก็มี เพิ่มขึ้นเช่นกัน

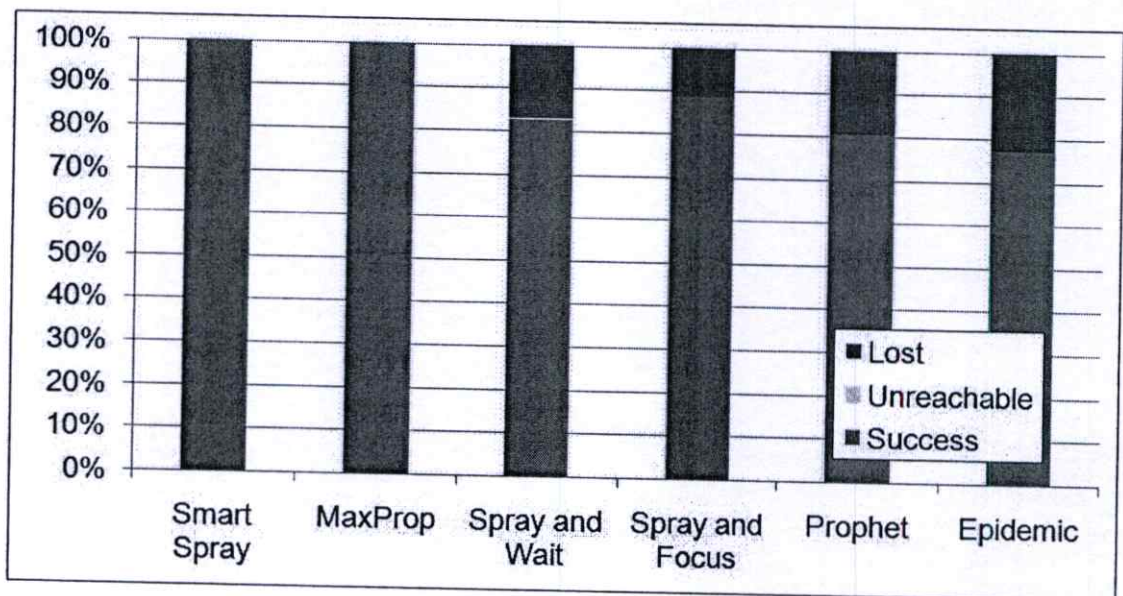


รูปที่ 4.6 แสดงอัตราความสำเร็จของการรับส่งแมสเสจเมื่อ โหนดมีการเคลื่อนที่แบบผสม

4.4.4 สมรรถนะเมื่อพิจารณาจากแมสเสจที่ส่งไปไม่ถึงโหนดปลายทาง

จากผลการทดลองที่โหนดมีการเคลื่อนที่แบบผสม ผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพิ่มเติม ด้วยการตรวจสอบว่าแมสเสจส่วนที่ไม่สามารถไปถึงโหนดปลายทางได้นั้นเป็นเพราะเหตุใด โดย ในการทดลองจะพิจารณาตามสัดส่วนของแมสเสจแยกตามประเภทด้วยการแบ่งแมสเสจในการ ทดลองออกเป็น 3 ประเภทด้วยกันดังนี้ 1) แมสเสจที่ส่งสำเร็จหมายถึงแมสเสจที่สามารถส่งไปถึง โหนดปลายทางภายในระยะเวลาของการทดลอง 2) แมสเสจที่ส่งไม่สำเร็จหมายถึงแมสเสจที่ค้างอยู่ ในเครือข่ายและไม่สามารถส่งไปถึงโหนดปลายทางในช่วงเวลาของการทดลอง 3) แมสเสจที่สูญ หายหมายถึงแมสเสจที่ต้นฉบับและสำเนาหายไปจากระบบ ซึ่งการสูญหายนี้เกิดจากโหนดนั้นมี แมสเสจอยู่เต็มขนาดบัฟเฟอร์จนไม่สามารถรองรับแมสเสจได้มากกว่านี้และมีแมสเสจใหม่ๆ เข้ามา ทำให้โหนดจำเป็นต้องทิ้งแมสเสจที่อยู่ในบัฟเฟอร์ทิ้งไปเพื่อรับแมสเสจใหม่เข้ามาแทนที่

การทดสอบสมรรถนะนี้จะกำหนดค่าพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.1 ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.3 จากตารางจะเห็นได้ว่า Smart Spray และ MaxProp สามารถส่งแมสเสงไปถึงปลายทางได้ครบทั้งหมดโดยที่ไม่มีแมสเสงสูญหายเกิดขึ้น ในขณะที่โพรโทคอลส่วนที่เหลือสามารถส่งแมสเสงไปถึงโหนดปลายทางได้ประมาณ 76-88 เปอร์เซ็นต์ และโพรโทคอลเหล่านี้มีแมสเสงสูญหายเกิดขึ้นคิดเป็น 12-23 เปอร์เซ็นต์ และมีจำนวนแมสเสงที่อยู่ในเครือข่ายแต่ส่งไปไม่ถึงโหนดปลายทางประมาณ 1-8 แมสเสงจากจำนวน 12,000 แมสเสง เมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์แล้วจะได้ค่าน้อยมากจนไม่มีระดับนัยสำคัญ ซึ่งเมื่อพิจารณาจำนวนแมสเสงดังกล่าวข้างต้นนั้นจะสอดคล้องกับผลการทดลองในหัวข้อ 4.4.3 สำหรับแมสเสงที่ไปไม่ถึงโหนดปลายทางเกือบจะทั้งหมดนั้นเกิดจากการสูญหายไปจากเครือข่ายเนื่องจากบัฟเฟอร์ของโหนดมีจำกัดและโพรโทคอลนั่นเอง เมื่อเริ่มต้นการทดลองทุกทุกโหนดจะทำการสร้างแมสเสงขึ้นในบัฟเฟอร์ซึ่งทำให้ทุกๆ โหนดมีขนาดเนื้อที่ว่างในบัฟเฟอร์น้อย จึงทำให้เกิดโอกาสที่แมสเสงสูญหายในช่วงต้นของการทดลองได้



รูปที่ 4.7 แสดงจำนวนแมสเสงเมื่อแบ่งตามประเภท

ตารางที่ 4.3 จำนวนแมงเสงประเภทต่างๆ

	Smart Spray	MaxProp	Spray and Wait	Spray and Focus	Prophet	Epidemic
ส่งสำเร็จ	12,000.00	12,000.00	9,942.67	10,665.13	9,692.42	9,306.92
ส่งไม่สำเร็จ	0.00	0.00	5.00	8.88	1.68	1.24
สูญหาย	0.00	0.00	2,052.33	1,344.52	2305.9	2,691.84

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาและการออกแบบอัลกอริทึมสำหรับการทำงานบนเครือข่ายดีทีเอ็นพบว่า การจัดลำดับแมงเสงที่ส่งในช่วงเวลาคอนแทคส่งผลต่อประสิทธิภาพโดยรวมของเครือข่าย เนื่องจากว่า เมื่อเวลาของคอนแทคมีค่าน้อย โอกาสที่โหนดจะส่งแมงเสงขนาดใหญ่จะน้อยลงตามไปด้วย เนื่องจากว่า จากแมงเสงที่มีขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการส่งที่มากกว่าแมงเสงขนาดเล็ก ดังนั้นแมงเสงเหล่านี้จึงมีโอกาที่จะส่งไม่สำเร็จในกรณีที่ช่วงเวลาคอนแทคมีค่าน้อย นอกจากนี้การที่โหนดส่งแมงเสงที่มีขนาดใหญ่ไม่สำเร็จยังทำให้โหนดสูญเสียโอกาสที่จะส่งแมงเสงที่มีขนาดเล็กในช่วงเวลาคอนแทค นั้นๆ ไปด้วย ดังนั้นผู้ทำวิจัยจึงได้กำหนดให้แมงเสงที่มีขนาดเล็กมีความสำคัญสูงกว่าแมงเสงที่มีขนาดใหญ่ แต่เมื่อเวลาผ่านไปแมงเสงที่มีขนาดใหญ่จะเริ่มมีความสำคัญมากขึ้นจนมีความสำคัญมากกว่าแมงเสงขนาดเล็ก เนื่องจากผู้วิจัยได้นำเสนอพารามิเตอร์เอฟทีซี และกำหนดให้แต่ละแมงเสงจะมีค่าเอฟทีซีเริ่มต้นที่เท่ากันและเมื่อแมงเสงถูกส่งออกไปมากเท่าใดค่าของเอฟทีซีของแมงเสงนั้นจะสูงขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นเมื่อเวลาผ่านไปแมงเสงที่มีขนาดเล็กถูกส่งออกไปจำนวนหนึ่งแล้วจะถูกลดความสำคัญลงจากค่าเอฟทีซีที่เพิ่มขึ้นนี้เองและแมงเสงขนาดใหญ่จะเริ่มมีความสำคัญสูงขึ้นตามลำดับ ซึ่งทำให้ระบบเกิดความแปรต่อแมงเสงที่มีขนาดใหญ่มากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป ด้วยเหตุนี้เองทำให้โปรโตคอลของผู้วิจัยลดความสูญเสียที่เกิดจากการส่งแมงเสงที่ล้มเหลวได้ นอกจากนี้การที่ผู้วิจัยนำหลักการของฮิวริสติกมาประยุกต์ใช้จะช่วยให้เครือข่ายทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในขณะที่ใช้ทรัพยากรของเครือข่ายน้อยที่สุด

5.2 ข้อเสนอแนะ และงานที่จะทำเพิ่มเติม

ในขั้นตอนของการส่งแมงเสงนอกจากค่าความล้มเหลวจะเกิดจากแมงเสงขนาดใหญ่ที่ส่งไม่สำเร็จแล้ว ปัจจัยดังต่อไปนี้ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ไม่สามารถส่งแมงเสงได้คือ (1) ขนาดบัฟเฟอร์ที่เหลือน้อยของโหนดผู้รับ (2) ระดับของพลังงานของโหนด เมื่อโหนดมีระดับพลังงานที่ต่ำมาก โหนดควรจะตัดสินใจที่จะไม่ส่งแมงเสงไปยังโหนดอื่นๆ และไม่ควรจะรับแมงเสงที่ไม่ใช่ของตนจากโหนดอื่นในช่วงเวลาคอนแทค เนื่องจากการรับและส่งแมงเสงจะใช้พลังงานมาก ส่งผลให้การส่งแมงเสงในขณะที่โหนดมีระดับพลังงานต่ำทำให้แมงเสงเกิดการสูญหายไปจากระบบโดยถาวรได้ เช่น ในกรณีที่โหนดที่มีระดับพลังงานต่ำมีแมงเสงต้นฉบับที่ทั้งระบบมีอยู่ที่เดียว เมื่อพลังงานของโหนดหมดไปแมงเสงดังกล่าวก็จะสูญหายไปจากเครือข่ายด้วย เป็นต้น นอกจากนี้

ในช่วงที่โหนดมีระดับพลังงานต่ำ
เท่านั้น

โหนดควรจะส่งแมสเสจเฉพาะในกรณีที่เจอโหนดปลายทาง

บรรณานุกรม

- [1] Asad Amir Pirzada, Marius Portmann, "High Performance AODV Routing Protocol for Hybrid Wireless Mesh Networks," *Mobile and Ubiquitous Systems, Annual International Conference on*, pp. 1-5, 2007 *Fourth Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems: Networking&Services (MobiQuitous)*, 2007
- [2] D. B. Johnson, D. A. Maltz, and J. Broch, "Dsr: The dynamic source routing protocol for multi-hop wireless ad hoc networks," in *In Ad Hoc Networking*, edited by Charles E. Perkins, Chapter 5, 2001, pp. 139-172. [Online]. Available: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.23.8367>
- [3] E. P. Jones and P. A. Ward, "Routing strategies for delay-tolerant networks," Submitted to *ACM Computer Communication Review (CCR)*, 2006.
- [4] Thrasylvoulos Spyropoulos, Konstantinos Psounis, Cauligi S.Raghavendra. Spray and Wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks, *ACM SIGCOMM Workshop. Delay Tolerant Networking (WDTN-05)*, Aug. 2005.
- [5] Spyropoulos, Thrasylvoulos; Psounis, Konstantinos; Raghavendra, Cauligi S., "Spray and Focus: Efficient Mobility-Assisted Routing for Heterogeneous and Correlated Mobility," *Pervasive Computing and Communications Workshops, 2007. PerCom Workshops '07. Fifth Annual IEEE International Conference on*, vol., no., pp.79-85, 19-23 March 2007.
- [6] Vahdat, Amin; Becker, David (2000), "Epidemic routing for partially connected ad hoc networks", Technical Report CS-2000-06, Duke University.
- [7] Anders Lindgren, Avri Doria, and Olov Schelen. Probabilistic routing in intermittently connected networks. pages 239–254. 2004.
- [8] J. Burgess, B. Gallagher, D. Jensen, and B. N. Levine. "MaxProp: Routing for Vehicle-Based Disruption-Tolerant Networks", In *Proc.IEEE Infocom*, pp. 1-11, IEEE, April 2006.
- [9] Ari Keränen: Opportunistic Network Environment simulator. Special Assignment, Helsinki University of Technology, Department of Communications and Networking, May 2008.
- [10] Sandulescu, G. and Nadjm-Tehrani, S. 2008. Opportunistic DTN routing with window-aware adaptive replication. In *Proceedings of the 4th Asian Conference on internet Engineering (Pratunam, Bangkok, Thailand, November 18 - 20, 2008)*. AINTEC '08. ACM, New York, NY, 103-112. DOI= <http://doi.acm.org/10.1145/1503370.1503397>

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

1. A. Mathurapoj, C. Pornavalai and G. Chakraborty, "**Fuzzy-Spray: Efficient Routing in Delay Tolerant Ad-hoc Network Based on Fuzzy Decision Mechanism**", Proceedings of the IEEE international conference on Fuzzy Systems, 20-24 August, 2009, Jeju Island, Korea.

FUZZ-IEEE2009

2009 IEEE International Conference on Fuzzy Systems

ICC Jeju, Jeju Island, Korea
August 20-24, 2009



Call for Papers

The Annual IEEE International Conference on Fuzzy Systems, well known as FUZZ-IEEE, is one of the premier international conferences in the field of fuzzy sets and systems. FUZZ-IEEE 2009 (16th in its series) will be held on Jeju Island, Korea, which is one of the most beautiful islands in Asia with a historical wealth of cultural and tourist attractions. The conference venue will be at the newly built "ocean view" Jeju International Convention Center. The conference will cover the whole range of research and applications in fuzzy systems and soft computing, including but not limited to:

- Adaptive, hierarchical, evolutionary, neural and nature-inspired systems
- Hybrid systems of computational intelligence techniques
- Fuzzy systems and internet applications
- Control, human-machine interface, brain-machine interface
- Fuzzy image, speech and signal processing, vision and multimedia
- Industrial, financial, and medical applications
- Fuzzy control and robotics, sensors, fuzzy hardware, fuzzy architecture
- Fuzzy optimization and design, decision analysis and support
- Fuzzy systems design, modeling, identification, fault detection
- Fuzzy data analysis - clustering and classifiers, pattern recognition, bio-informatics
- Fuzzy information processing - information extraction and retrieval, fusion, text mining
- Knowledge discovery, learning, reasoning, agents, knowledge representation
- Type-2 fuzzy sets, computing with words, granular computing, rough sets, fuzzy human computer interaction
- Fuzzy set theory, fuzzy measures, fuzzy integrals
- Rough sets, grey systems
- Optimization, decision analysis, decision making, multi-criteria decision making
- Software and hardware applications

Fuzzy-Spray: Efficient Routing in Delay Tolerant Ad-hoc Network Based on Fuzzy Decision Mechanism

Akadet Mathurapoj, Chotipat Pornavalai, *Member, IEEE*, and Goutam Chakraborty, *IEEE SM*

Abstract— Delay Tolerant Network (DTN) is a sparse and intermittently connected mobile wireless network where reliable communication and end-to-end connectivity cannot be assured. In DTN, a node delivers messages to the destination using store and forward scheme. Messages are copied and transferred to multiple relay-nodes in order to increase the opportunity for that message to reach the intended destination. Contact is the duration when two or more mobile nodes encounter each other within their radio transmission ranges, and are able to transfer messages. Due to arbitrary node movement, contact time will be varied, and is likely to be unpredictable. In this paper, we propose a fuzzy decision mechanism; we called “fuzzy-spray”, to improve the routing and packet transfer efficiency in DTN environment. Fuzzy-spray can reduce overall latency in DTN by intelligently selecting appropriate messages to send to the relay-node during its next contact time. It uses fuzzy logic to prioritize messages that are stored in the buffer, based only on local parameters from each message, namely *forward transmission count* and *message size*. There is no need to know a priori information about network such as node mobility model, or node-distribution on the deployed area. The simulation results show that fuzzy-spray has the best performance in terms of overall speed of delivery, and lowest average message delay compared with other existing algorithms.

I. INTRODUCTION

MOBILE ad-hoc network (MANET) is a self configuring network of mobile devices communicating via wireless links. In MANET, nodes or mobile devices can move arbitrarily. So its topology can change all the time. Communication in MANET can be established when two nodes or mores move close within their transmission ranges. When a node receives messages or packets that are not destined for it, those messages are stored and will be transmitted to other nodes or intended destination later. Due to changing locations of nodes, finding a good route to transmit messages in MANET is quite a challenging problem. Routing protocols, such as RIP or OSPF, that are currently used in fixed and wired network is not suitable. Therefore many routing protocols for MANET such as DSR, AODV were proposed.

Delay Tolerant Networks (DTN) is a kind of MANET where nodes are deployed sparsely over network area, and applications can tolerate high latency. Two or more nodes can exchange their messages only when they move within their transmission range. This event is called “contact” in DTN [1]. Once nodes move out of their transmission range, the communication breaks down. Thus “contact” duration depends on the mobility profile of the node. In conventional network communication, a routing protocol has to establish an end-to-end path, which is stable during the actual message communication. But in DTN, end-to-end path is very unstable and opportunity to establish end-to-end path is very low. On the other hand, in DTN network messages could tolerate very high latency, where latency is the time between the initiation of the data transfer in the sending process and the arrival of it in the receiving process. In DTN applications, latency can be as long as hours or even days or longer. Many researchers have proposed new routing protocols such as Epidemic [2], Prophet [3], Spray-and-Wait [4], Spray-and-Focus [5], MaxProp [6] and ORWAR [7] to handle this specific problem for DTN.

In this paper, we propose a fuzzy application, called “fuzzy-spray” for efficient routing in DTN. Our mechanism is simple with low overhead. It uses only two parameters, namely, *forward transmission count (FTC)* and *message size*, to prioritize messages for transmission that are stored in its buffer. *FTC* information is updated whenever messages are transmitted during the contact time. The order of messages, to be transmitted next, is done using simple fuzzy rules. The simulation results show that fuzzy-spray, has the best performance in terms of average success rate and average delay, compared with other existing DTN routing algorithms. These improved performances are significant, which are given in section IV.

In the next section we describe related works. In section III the detail of our proposed fuzzy-spray is discussed and presented. In section IV we describe simulation environment and results. Conclusion and future works are discussed in section V.

II. BACKGROUND AND RELATED WORKS

A large number of routing protocols have been proposed for wireless ad-hoc network. These protocols make good performance in high node density environment. With high density, transmission area covers almost the whole of the network area. In this situation end-to-end path can be established easily. However, DTN environment is different.

Manuscript received February 28, 2009.

Akadet Mathurapoj is with the Faculty of Information Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, 10520 Thailand (e-mail: akadet85@gmail.com).

Chotipat Pornavalai is with the Faculty of Information Technology, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, 10520 Thailand (e-mail: chotipat@it.kmitl.ac.th).

Goutam Chakraborty is with the Faculty of Software and Information Sciences, Iwate Prefectural University, Iwate-Ken, 020-0193 Japan (e-mail: goutam@soft.iwate-pu.ac.jp).

Here node density is much lower and the transmission range of nodes cover only a small part of the network. So it is difficult to establish source to destination path [5, 9]. The simplest strategy to transmit message in DTN is called single-hop transmission or direct transmission. In this strategy messages are transmitted only when the source node comes in contact with destination node directly. In other words, each node sends only its own messages. There are no relayed-messages. But it may take arbitrarily long time, and all messages may not be successfully delivered.

Epidemic [2] is an early sparse network routing protocol proposed for DTN. It is based on assumptions that each node has infinity storage (buffer) and bandwidth [8]. Every node can store all the messages communicated during “contact”s with other nodes. Epidemic uses concept of database replication. A node can also exchange all the messages it has in its buffer, when there is a “contact” (bandwidth is infinite). Each node also maintains a summary vector to minimize chances of exchanging duplicate messages. Nodes exchange their summary vectors first, and then exchange only messages that its peer does not have in its buffer. Epidemic is a pragmatic strategy only in case of very sparse network and small size messages. Otherwise, its assumptions are not practical.

Prophet [3] is another DTN protocol of early generation, like Epidemic. It uses history of previous encounters with neighbor nodes to estimate probability which is called “delivery predictability”. Pair of nodes that encountered often in the past has high delivery predictability. When two nodes encounter, they exchange delivery predictability vector. This vector contains list of delivery predictability, which is updated after each “contact”. Based on this information, each node can select the messages that have high possibility to reach the intended destinations, and transfer them to its “contact” node. However, this approach does not work well in DTN networks where node movements are not predictable.

Spray and Wait [4] approach consists of two phases. The first is *spray* phase. In this phase a node will flood (spray) each message up to L copy messages, i.e., communicate the message to L different nodes during subsequent “contact”s. If the destination is encountered, the message transfer is successfully terminated. If not, the second phase called *wait* phase, is started. In this phase, node can deliver message only when the destination comes in “contact” (i.e., direct transmission). In *Spray and Wait* approach the important parameter is L . Optimum value of L depends on node density, their distribution and mobility profile. Analysis to determine appropriate L for different network situations is still an open problem.

Spray and Focus [5] is a modification over *Spray and Wait*. It is designed for a specific situation where the mobility of each node localized, i.e., is limited to a small area for the majority of time. This protocol use spraying mechanism similar to *Spray and Wait*. The difference is in the second phase. In *Focus* phase, single-copy utility base routing [9] is performed.

MaxProp [6] protocol is based on same principle as *Prophet* [3]. It is designed for delivering messages in city environment where network nodes are city buses. The mobility pattern of bus is periodic repetition following the same route. Buses (i.e. network nodes) that encounter frequently have high opportunity to meet again in the future. *MaxProp* exploits this behavior to estimate probability for exchanging messages in future. A message will be selected for transmission based on the total cost of the path to destination. Cost of a path varies inversely with the probability of a message to reach the intended destination. *MaxProp* divides buffer into two sections. First section is to order stored messages based on hop count information (from source to present node) of each message from low to high. Second section is to order messages by cost from low to high. The first section occupies the front of the buffer, and the second section is at the tail. Cost of a path (from source to destination) is calculated using Dijkstra’s algorithm, where cost of links are reverse of “contact” probabilities between two nodes.

Opportunistic Routing with Window-Aware Replication (ORWAR) [7] is proposed recently. *ORWAR* goal is to reduce resource utilization and reduce partial or dropped messages during transmission. Partial message transmission arises when a node moves out from transmission area while still delivering the message. *ORWAR* reduce this overhead by estimating number of bytes that can be transferred for each contact time. So it can utilize bandwidth efficiently using this knowledge. However, to deploy *ORWAR* every node needs to be able to measure its speed and direction, which is possible when they are equipped with GPS or some similar devices.

III. FUZZY-SPRAY ALGORITHM

All the previous works mentioned in section II are optimized under specific node density or node mobility pattern. Moreover, a few of them need special equipment and/or complicated algorithm to predict encounters. We propose an algorithm whose parameters are easy to calculate, and they adapt themselves to the network environment. The protocol is also suitable for arbitrary movement of nodes.

In this section we describe our proposed algorithm, *Fuzzy-spray*, in more detail. *Fuzzy-spray* uses fuzzy technique to prioritize messages that are stored in the buffer, and then transfers (so called “spray”) as many messages from the buffer to its peer as possible, during its contact time. The *Fuzzy-spray* protocol is simple and based on pragmatic assumptions. For example, resources such as storage and bandwidth can be limited. Neither does it assume that nodes have to be equipped with GPS devices to calculate or predict the direction and velocity of movement of nodes. There is also no need to keep the history of encounters with other nodes to calculate the probability of exchanging messages with a particular node in the future to calculate path cost as done in *MaxProp* [6]. Such schemes do not work well in the random mobility environment. *Fuzzy-spray* uses simple store, forward and replication [10, 14] mechanism. It uses two

example, in table I the accuracy of *FTC* is 22/36 or 0.611, whereas for hop-count it is 14/36 = 0.388. Because the mobility patterns and forwarding are of various natures, only fixed forwarding patterns can be analyzed without complex mathematics. However, due to lack of space, it cannot be presented here.

We consider message size as the second parameter. Message size affects the number of partial message transmission. For example, in very short contact time node cannot deliver large message successfully. The probability of successful transmission for smaller messages is higher. In DTN network nodes lack the knowledge of contact schedule. Delivery decision has to be based on local information. In order to decrease the amount of partial message transmission prioritizing message delivery by their sizes is reasonable.

B. Fuzzy Rule System

Fuzzy-spray uses *FTC* and message size as inputs to the fuzzy rule system to prioritize which message is to be transmitted next from the buffer. From our discussion in previous subsections, messages with low *FTC* should have more priority than messages with high *FTC*. Similarly, smaller messages should have more priority than larger messages, to reduce the numbers of partial message transmission.

The membership function of *FTC* is divided into 3 sections, low, medium and high, with linear symmetric shape. Figure 2 illustrates the degree of membership function of *FTC* for 60 nodes DTN. The most important problem of fuzzy logic is to define the appropriate ranges for each input. We run simulation in different environments in order to investigate appropriate ranges, in terms of percentage of network nodes, for any arbitrary size of DTN network. We found that the maximum number of *FTC* is about 10% of number of nodes, for various network sizes from 40 to 100 nodes).

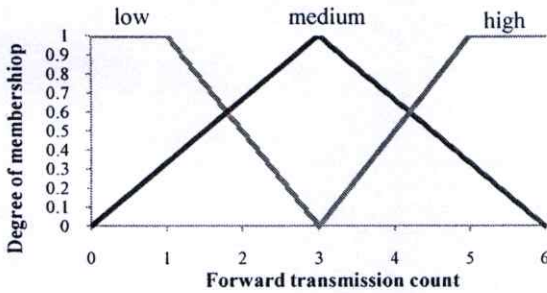


Fig.2. Memberships function of transmission count.

Figure 3 illustrates the degree of membership function of message size. We again divide message size into 3 categories, small, medium and large. We assume the range of message size is known at the time the network is deployed. If the message size is known to be between 0 and 100,000 byte, we can simply set the membership function (symmetric shape) as shown in figure 3. The fuzzy membership functions are adapted depending on a priori available information like network node numbers and message size range.

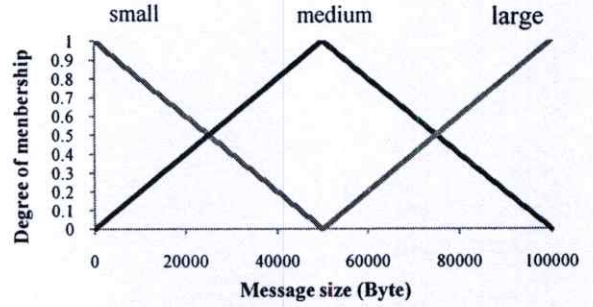


Fig.3. Membership function of message size

Since there are two inputs (each with 3 fuzzy categories), we simply divide the message in to 9 *buffer sections (BS)*, and set up the rules as follows.

$$FTC \in \{low, medium, high\}$$

$$MS \in \{small, medium, large\}$$

$$BS \in \{BS_0, BS_1, BS_2, BS_3, BS_4, BS_5, BS_6, BS_7, BS_8\}$$

If <i>FTC</i> is low	and	<i>MS</i> is small	then <i>BS</i> is BS_0
If <i>FTC</i> is low	and	<i>MS</i> is medium	then <i>BS</i> is BS_1
If <i>FTC</i> is low	and	<i>MS</i> is large	then <i>BS</i> is BS_2
If <i>FTC</i> is medium	and	<i>MS</i> is small	then <i>BS</i> is BS_3
If <i>FTC</i> is medium	and	<i>MS</i> is medium	then <i>BS</i> is BS_4
If <i>FTC</i> is medium	and	<i>MS</i> is large	then <i>BS</i> is BS_5
If <i>FTC</i> is high	and	<i>MS</i> is small	then <i>BS</i> is BS_6
If <i>FTC</i> is high	and	<i>MS</i> is medium	then <i>BS</i> is BS_7
If <i>FTC</i> is high	and	<i>MS</i> is large	then <i>BS</i> is BS_8

BS_i is the buffer position i in buffer space, where BS_0 is at the front or head of the buffer queue and has highest priority for transmission and BS_8 is at the tail of the queue. Figure 4 shows the degree of membership function for each BS .

For defuzzifier process, *COA* is applied to create a crisp value. The priority of a message, P , is $1 - COA$, and the messages in buffer are all sorted by values of their P , from highest to lowest, where highest P value is at the head of the queue, and lowest P value is at the tail.

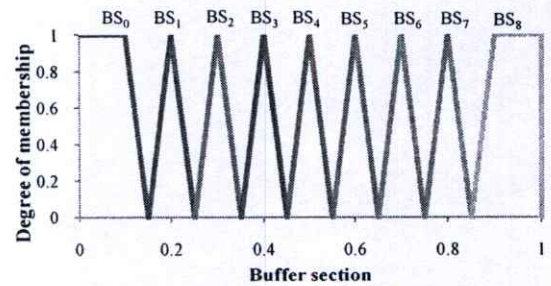


Fig. 4. Membership function of buffer section

Figure 5, shows the pseudo code of our proposed *fuzzy-spray*. Acknowledgement mechanism similar to what is proposed in [6] is used in *Fuzzy-spray*. This mechanism is required so that destination node after receiving the intended message sends an acknowledgement. Node that received this acknowledgement will remove the corresponding message

from its buffer queue. Every node will hold the list of acknowledgements and this list will always be exchanged at the beginning of each contact time.

IV. EVALUATIONS

A. Simulation setup

In this section we evaluate the performance of Fuzzy-spray with other 5 existing protocols, i.e., MaxProp, Spray and Wait, Spray and Focus, Epidemic, and Prophet. We choose ONE (Opportunistic Network Environment) [14] simulator for evaluation. ONE is a power tool that is designed to simulate and evaluate routing protocols for specific DTN environment. ONE is also bundled with the above 5 popular DTN protocol implementations. All the evaluation results of these protocols shown in this paper were using the shipped protocols in ONE, without any modifications. We set very sparse network parameters with random waypoint mobility (see Table II for detail). Compared with the whole network area, transmission coverage area is only 0.02% for each node and 1.63% for all nodes together. All messages are randomly generated with different sizes, origination nodes, and intended destinations during initialization of the simulation. Message size is randomly selected from 10KB to 100 KB. The L parameter for Spray and Wait is 10-15% of nodes and L for Spray and Focus is 5-10% of nodes. These values are recommended values by their authors in [5]. In fact, we found that the results vary widely with the choice of L , and the choice of proper L is very critical for the success of Spray-and-Wait and Spray-and-Focus. We ran the simulation with all ranges of recommended L and choose the best simulation results (on success rate) within those ranges. We also define parameters for Prophet following the recommendation in the paper, where $P_{init} = 0.75$, $\beta = 0.25$ and $\gamma = 0.98$

B. Simulation result

We consider two metrics which are success rate and delay to measure performance of routing protocols. Other metrics such as comparison of the number of dropped messages, transmission overhead etc. cannot be presented here because of lack of space. Figure 6 illustrates the cumulative distribution function (CDF) of message delivery or success rate within 12 hour simulation timeframe. This result was run on 60 nodes network. All other setup parameters are shown in Table II.

It is clear from the graph that Fuzzy-spray has a lot of improvement on success rate, compared with all other existing protocols. Furthermore, among 6 protocols including Fuzzy-spray, only two protocols which are Fuzzy-Spray and MaxProp can deliver all messages to destinations (success rate = 100%) within 12 hours. Fuzzy-spray can reach 100% success rate in just about 6 hours and 40 minute, which is faster than MaxProp about 1 hour and 20 minutes. While we show only results on 60-nodes network, the results on other sizes of network also have similar trends.

Algorithm Fuzzy-Spray Routing

```

/*send message until connection down*/
While connectionIsUp(i,j)
    sendMsg(i,j) //send message from node i to node j
    sendMsg(j,i)
End while

Function sendMsg(i,j)
Variables:
    msgi /*message that node i carry*/
    MSGi /*all messages in buffer that node i carry*/
    ACK /*all acknowledge messages*/

/*send message that have destination to contact node*/
For each msgi in MSGi
    If destination(msgi) = j then
        send msgi to node j
        createAckMsg(msgi(ack))
    end if
end for each message

    sendAckMsg(ACK)
    ACK := recieveAckMsg

For each msgi in MSGi
    If msgi is in ACK then
        remove(msgi)
    else
        msgi.coaValue := compute_fuzzy(msgi)
        msgi.priority := 1 - msgi.coaValue
    end if
end for each message

    sortingMsgByPriority(MSGi)
    send msgi to node j
    receive msgj from node j
    if destination(msgj) = i then
        remove msgj
        createAckMsg(msgj(ack))
    end if
end function sendMsg

Function compute_fuzzy(msgi)
Variables:
    listCombinedArea /*set of areas*/

/*define degree of membership of low, medium, high for FTC
and small, medium, large for size*/
    setMembershipDegree(msgk)
    listCombinedArea := computeFuzzyRule(msgk)
    return calCOA(listCombinedArea)
end function compute_fuzzy

```

Fig. 5. Pseudo-code of Fuzzy-Spray

TABLE II
SIMULATIONS ENVIRONMENT

PARAMETER	VALUE
Number of nodes	60
Movement speed	10-50 km/hr
Node buffer	250 MB
Transmission rate	250 kBps
Mobility model	Random waypoint
Simulation time	12 Hour
Simulation area	3220 x 3220 m
Number of messages	13,000
Message size	10-100 KB

ประวัติผู้เขียน

นายอรรคเดช มธุรพจน์ เกิดเมื่อวันที่ 7 พฤศจิกายน พ.ศ. 2525 ที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2548 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศ แขนงวิชาวิทยาการสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2548