การปรับปรุงการกระจายแฟ้มข้อมูลแบบเข้ารหัสทางเครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพด้วยการหาเส้นทาง

นายภูริ นิโครวนจำรัส

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

EFFICIENCY IMPROVEMENT FOR NETWORK CODED FILE DISTRIBUTION WITH ROUTING

Mr.Phuri Nicrovanchumrus

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Computer Engineering
Department of Computer Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงการกระจายแฟ้มข้อมูลแบบเข้ารหัสทางเครือข่าย อย่างมีประสิทธิภาพด้วยการหาเส้นทาง
โดย	นายภูริ นิโครวนจำรัส
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมเอก อินทนากรวิวัฒน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกริก ภิรมย์โสภา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมเอก อินทนากรวิวัฒน์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม)

ภูริ นิโครวนจำรัส : การปรับปรุงการกระจายแฟ้มข้อมูลแบบเข้ารหัสทางเครือข่ายอย่างมีประสิทธิภาพด้วยการหาเส้นทาง (EFFICIENCY IMPROVEMENT FOR NETWORK CODED FILE DISTRIBUTION WITH ROUTING) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ.ดร.เฉลิมเอก อินทนากรวิวัฒน์, 63 หน้า

การกระจายไฟล์สำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะเป็นหัวข้อที่น่าสนใจในวงการวิจัยทางด้านเครือข่าย วิธีหนึ่งที่ถูกนำมาใช้คือการนำการเข้ารหัสทางเครือข่ายมาช่วยในการกระจายไฟล์ ซึ่งได้ถูกพิสูจน์แล้วว่าสามารถแก้ไขปัญหาการเปลี่ยนแปลงโทโพโลจีและการขาดความต่อเนื่องในการสื่อสาร งานวิจัยที่ผ่านมาทำงานบนการสื่อสารแบบหนึ่งก้าวกระโดด กล่าวคือโหนดจะดาวโหลดไฟล์จากเพื่อนบ้านเท่านั้น ซึ่งมีปัญหาเกิดขึ้นในกรณีที่เพื่อนบ้านไม่มีชิ้นส่วนที่เป็นประโยชน์ เช่น อยู่ในสถานการณ์ที่โหนดมีความหนาแน่นน้อย และ กรณีที่โหนดมีความสนใจในการดาวโหลดไฟล์ต่ำ

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบและพัฒนาวิธีการกระจายไฟล์โดยการร้องขอแบบปรับได้เพื่อปรับปรุงความเร็วและประสิทธิภาพของการกระจายไฟล์ที่ใช้การเข้ารหัสทางเครือข่าย โดยที่โหนดสามารถปรับตัวเพื่อร้องขอไฟล์ หากโหนดไม่ได้รับชิ้นส่วนเข้ารหัสที่เป็นประโยชน์ในระยะเวลานับถอยหลัง ซึ่งระยะเวลานับถอยแปรผันตรงจากค่าที่ได้จากการวัดคำนวณจากการวัดอัตราการเข้าใหม่ของโหนด ในขณะที่จำนวนชิ้นที่ร้องขอเป็นสัดส่วนตรงกันข้าม จากผลการทดลองพบว่างานวิจัยนี้สามารถลดระยะเวลาในการดาวโหลดไฟล์ และเพิ่มประสิทธิภาพได้

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....
ปีการศึกษา 2554

5370474021 : MAJOR COMPUTER ENGINEERING
KEYWORDS : VEHICULAR NETWORKS/ FILE DISTRIBUTION/ NETWORK CODING
PHURI NICROVANACHUMRUS : EFFICIENCY IMPROVEMENT FOR NETWORK CODED FILE DISTRIBUTION WITH ROUTING.
ADVISOR : ASST.PROF. CHALERMEK INTANAGONWIWAT, Ph.D., 63 pp.

Content dissemination in Vehicular Ad-Hoc Networks (VANET) has attracted wide interest in the research community. The use of network coding for file sharing has been proved to overcome several problems such as highly dynamic topology and intermittent connectivity. Prior works have originally been designed to work well even with only single hop communication. However, the previous works are not entirely suitable for networks with low node density or low percentage of interested nodes.

This thesis proposes an adaptive request mechanism to improve the speed and efficiency of network-coded file distribution in such networks. Each node adaptively requests coded pieces of the file from the source when it does not receive any useful coded piece from its current neighbors within a calculated timeout. Our adaptive timer is proportional to the rate of new incoming neighbors whereas the number of requested pieces is inversely proportional. Our result can significantly improve the efficiency and download latency under investigated scenarios.

Department: Computer Engineering Student's Signature .....
Field of Study: Computer Engineering Advisor's Signature .....
Academic Year: 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ ด้วยความกรุณาของผศ.ดร.เฉลิมเอก อินทนากรวิวัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำปรึกษา ข้อชี้แนะ และความช่วยเหลือในหลายสิ่งหลายอย่างจนกระทั่งลุล่วงไปได้ด้วยดี รวมถึงและเป็นแรงผลักดันในการทำวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้

กราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกริก ภิรมย์โสภา และ รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม ที่สละเวลามาให้ข้อเสนอแนะ และให้มุมมองที่หลากหลายอันเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การตีพิมพ์ผลงานได้รับความช่วยเหลือจาก ศุภเสฏฐ์ ชูชัยศรี ซึ่งเป็นผู้ให้คำแนะนำและเรียบเรียงงานเป็นภาษาอังกฤษ จึงต้องขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ได้สนับสนุนเรื่องทุนการศึกษา

และสุดท้าย ขอขอบคุณครอบครัวและญาติที่ได้ให้กำลังใจเสมอมา รวมทั้ง เพื่อนๆ พี่ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและ คำแนะนำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง.....ญ

สารบัญภาพ.....ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 3

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ 4

1.6 ผลงานที่ตีพิมพ์ 4

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 5

2.1.1 การเข้ารหัสทางเครือข่ายไร้สาย (Wireless Network Coding) 5

2.1.2 การเข้ารหัสทางเครือข่ายเชิงเส้นแบบสุ่ม (Random Linear Network Coding) 6

2.1.2.1 การเข้ารหัส (Encoding) 7

2.1.2.2 การเข้ารหัสซ้ำ(Re-Encoding) 8

2.1.2.3 การถอดรหัส(Decoding) 8

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9

2.2.1 Network coding for large scale content distribution 9

2.2.2 Co-operative downloading in vehicular ad-hoc wireless networks 9

หน้า

2.2.3 CarTorrent : A Bit-Torrent System for Vehicular Ad-hoc Networks 11
2.2.4 VANETCODE: Network Coding to Enhance Cooperative Downloading in Vehicular Ad-Hoc Networks 12
2.2.5 CodeTorrent: Content Distribution usingNetwork Coding in VANET 13
บทที่ 3 การออกแบบโพรโทคอลการกระจายไฟล์แบบเข้ารหัสด้วยการร้องขอแบบปรับได้ 15
3.1 แนวคิดในการออกแบบ 15
3.2 หลักการทำงานของโพรโทคอล 16
3.2.1 การประกาศคำอธิบายไฟล์ของโครงสร้างพื้นฐาน 16
3.2.2 การแลกเปลี่ยนข้อมูลจากโหนดเพื่อนบ้าน (Beaconing) 17
3.2.3 การดาวโหลดไฟล์จากเสาสัญญาณ 18
3.2.4 การกระจายไฟล์ระหว่างโหนด 18
3.2.5 การถอดรหัส 19
3.2.6 การคำนวณระยะเวลานับถอยหลัง 20
3.2.7 การคำนวณจำนวนชิ้นเพื่อใช้ในการร้องขอ 22
3.2.8 การดาวโหลดไฟล์จากเสาสัญญาณ 22
3.2.9 การปรับปรุงโพรโทคอลหาเส้นทางให้เหมาะสมกับการกระจายไฟล์แบบร่วมมือ (Co-operative distribution) 23
บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผล 24
4.1 ภาพรวมของการทดลอง 24
4.2 ตัววัดสมรรถนะของโพรโทคอล (Performance Metrics) 24
4.3 เครื่องมือในการวัดสมรรถนะของโพรโทคอล 24
4.4 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง 25
4.5 ผลการทดลอง 26
4.5.1 ผลการทดลองความเร็วในการกระจายไฟล์ (Content Distribution Latency) 27
4.5.2 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายของโพรโทคอล (Overhead) 29

หน้า

4.5.3 ผลการทดลองประสิทธิภาพ (Efficiency) 31
4.5.4 ผลการทดลองฟังก์ชันการสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วน (Cumulative Exchanged Coded Piece) 33
4.5.5 ผลการทดลองแสดงการเปรียบเทียบความเร็ว 35
4.6 ผลการทดลองการปรับค่าพารามิเตอร์ 38
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ 58
5.1 สรุปผลการวิจัย 58
5.2 ข้อจำกัด 58
5.3 ข้อเสนอแนะ 59
5.4 แนวทางการพัฒนาต่อ 59
รายการอ้างอิง 61
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 63

สารบัญตาราง

หน้า

ตาราง 2.1ตารางเปรียบเทียบหลักการทำงานของโพรโทคอล 14
ตาราง 4.1 พารามิเตอร์ 26
ตาราง 4.2 พารามิเตอร์สำหรับการปรับค่าพารามิเตอร์ 39

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 1.1 ระบบการขนส่งอัจฉริยะ [15] 1
รูปที่ 2.1 การเข้ารหัสทางเครือข่าย..... 5
รูปที่ 2.2 การส่งข้อมูลโดยไม่ใช้การเข้ารหัสทางเครือข่าย 6
รูปที่ 2.3 การส่งข้อมูลโดยใช้การเข้ารหัสทางเครือข่าย..... 6
รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงการทำงานโพรโทคอล SPAWN..... 9
รูปที่ 2.5 รหัสเทียมของโพรโทคอล SPAWN..... 10
รูปที่ 2.6 รายละเอียดข้อความกระซิบ (gossip message)..... 10
รูปที่ 2.7 สถาปัตยกรรมของ CarTorrent..... 11
รูปที่ 2.8 ตัวอย่างโปรแกรม CarTorrent..... 12
รูปที่ 3.1ตารางแสดงการเปลี่ยนสถานะ สถานะที่ 1 หมายถึง In-network coded pieces distribution phase และ สถานะที่ 2 หมายถึง On-demand ranking improvement phase..... 16
รูปที่ 3.2การคำนวณการนับถอยหลัง..... 21
รูปที่ 3.3 การคำนวณจำนวนชิ้นที่ร้องขอ 22
รูปที่ 4.1 แผนที่..... 25
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr 28
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr 28
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr..... 29
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายของโพรโทคอลที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr 30
รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายของโพรโทคอลที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr 30
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายของโพรโทคอลที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr 31
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงประสิทธิภาพที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr..... 32
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงประสิทธิภาพที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr 32
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงประสิทธิภาพที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr..... 33
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr..... 34
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr..... 34
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr..... 35

หน้า

รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเร็วที่ Popularity Index 5 36
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเร็วที่ Popularity Index 10 36
รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเร็วที่ Popularity Index 15 37
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเร็วที่ Popularity Index 20 37
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr
ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10 40
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยน
ชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที
และ Popular Index เท่ากับ 10 40
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr
ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10 41
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยน
ชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที
และ Popular Index เท่ากับ 10 41
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr
ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10 42
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยน
ชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที
และ Popular Index เท่ากับ 10 42
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr
ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10 43
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยน
ชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที
และ Popular Index เท่ากับ 10 43
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr
ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10 44
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยน
ชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด10 วินาที
และ Popular Index เท่ากับ 10 44
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr
ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10 45

หน้า

รูปที่ 4.29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10 45
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10 46
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10 46
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10 47
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10 47
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10 48
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10 48
รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20 49
รูปที่ 4.37 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20 49
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20 50
รูปที่ 4.39 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20 50
รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20 51

หน้า

รูปที่ 4.41 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยน ชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20 51
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20 52
รูปที่ 4.43 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยน ชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20 52
รูปที่ 4.44 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20 53
รูปที่ 4.45 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยน ชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20 53
รูปที่ 4.46 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20 54
รูปที่ 4.47 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยน ชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20 54
รูปที่ 4.48 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20 55
รูปที่ 4.49 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยน ชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20 55
รูปที่ 4.50 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20 56
รูปที่ 4.51 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยน ชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20 56
รูปที่ 4.52 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20 57

หน้า

รูปที่ 4.53 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยน
ชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที
และ Popular Index เท่ากับ 20 57

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เครือข่ายแอ็ดฮ็อกสำหรับยานพาหนะ (Vehicular Ad-hoc Networks) เป็นหัวข้อหนึ่งที่มีความน่าสนใจในวงการวิจัยด้านเครือข่ายมากเพราะเป็นแบบอย่างของระบบการขนส่งในอนาคต เนื่องจากเครือข่ายแอ็ดฮ็อกสำหรับยานพาหนะ มีความแตกต่างจากระบบเครือข่ายแบบใช้สาย (Wired network) อย่างมาก งานวิจัยที่ทำบนเครือข่ายแบบใช้สาย (Wired network) ส่วนใหญ่ไม่สามารถนำมาใช้ได้บนเครือข่ายแอ็ดฮ็อกสำหรับยานพาหนะได้โดยตรง เครือข่ายแอ็ดฮ็อกสำหรับยานพาหนะ มีลักษณะเฉพาะตัวในแง่ของการเคลื่อนที่ ซึ่งมีความแตกต่างจากเครือข่ายแอ็ดฮ็อกเคลื่อนที่ทั่วไป (Mobile Ad-hoc Networks)

รูปแบบการสื่อสารสำหรับเครือข่ายแอ็ดฮ็อกสำหรับยานพาหนะ (Vehicular ad hoc networks) มีหลายรูปแบบ เช่น การสื่อสารระหว่างยานพาหนะ (Vehicle-to-Vehicle) การสื่อสารจากโครงสร้างพื้นฐานไปยังยานพาหนะ (Vehicle-to-Infrastucture) และการสื่อสารจากยานพาหนะไปยังเครือข่ายพื้นฐาน (Infrastucture-to-Vehicle) เป็นต้น โดยเฉพาะมาตรฐาน DSRC (Dedicated Short Range Communication) [1] เป็นมาตรฐานที่ใช้ในระบบจราจรอัจฉริยะ (Intelligent Transportation System) อย่างแพร่หลาย

รูปที่ 1.1 ระบบการขนส่งอัจฉริยะ [15]

ตั้งแต่ในอดีตถึงปัจจุบัน ยานพาหนะเป็นสิ่งที่จำเป็นมากสำหรับมนุษย์ ยานพาหนะที่ใช้ในชีวิตประจำวันโดยส่วนใหญ่ ได้แก่ รถยนต์ รถโดยสารประจำทาง รถไฟ เป็นต้น งานวิจัยหลายงานได้พยายามคิดค้นแอพพลิเคชันต่างๆ เพื่อช่วยอำนวยความสะดวกให้กับมนุษย์ โดยตัวอย่างแอพพลิเคชันสำหรับยานพาหนะ เช่น การส่งข้อความเตือนภัยเมื่อเกิดอุบัติเหตุ การส่งไฟล์แบบเพียร์ทูเพียร์ การค้นหาที่จอดรถ ระบบจราจรอัจฉริยะ (Intelligent Transportation System) เป็นต้น บริษัทผลิตรถยนตร์หลายบริษัทได้มีความพยายามที่จะนำงานวิจัยเกี่ยวแอพพลิเคชันสำหรับยานพาหนะมาติดตั้งและใช้จริงในอนาคต

สำหรับงานวิจัยนี้เกี่ยวกับการกระจายไฟล์ในเครือข่ายแอ็ดฮ็อกสำหรับยานพาหนะ(Vehicular Ad Hoc Networks) โดยมุ่งหวังเพื่อลดระยะเวลาในการดาวโหลดไฟล์ (Content Distribution Latency) และเพิ่มประสิทธิภาพ(Efficiency) ในการส่งไฟล์ไปยังโหนดที่มีการร้องขอ การกระจายไฟล์ในเครือข่ายแอ็ดฮ็อกสำหรับยานพาหนะ(Vehicular Ad Hoc Networks) สามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การประยุกต์ระบบกระจายไฟล์แบบเพียร์ทูเพียร์บนเครือข่ายใช้สาย(Wired Network) การประยุกต์ข้อดีของการเข้ารหัสทางเครือข่ายเชิงเส้นแบบสุ่ม(Random Linear Network Coding) เป็นต้น ซึ่งการส่งไฟล์โดยการประยุกต์ระบบกระจายไฟล์แบบเพียร์ทูเพียร์บนเครือข่ายใช้สาย(Wired Network) มีปัญหาได้แก่ การเปลี่ยนแปลงโทโพโลจี (Dynamic Topology) การขาดความต่อเนื่องในการติดต่อ(Intermittent Connectivity) การขาดความน่าเชื่อถือ เป็นต้น การนำข้อดีของการเข้ารหัสทางเครือข่ายเชิงเส้นแบบสุ่ม(Random Linear Network Coding) มาใช้สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ค่อนข้างดี งานวิจัยนี้จึงจะพัฒนาโปรโตคอลที่ใช้การเข้ารหัสทางเครือข่ายเชิงเส้นแบบสุ่ม(Random Linear Network Coding) ต่อไปเพื่อแก้ไขจุดอ่อนของโพรโทคอลนี้ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โพรโทคอลดังกล่าว คือ CodeTorrent งานวิจัยที่ผ่านมาทำงานบนการสื่อสารแบบหนึ่งก้าวกระโดด กล่าวคือโหนดจะดาวโหลดไฟล์จากเพื่อนบ้านเท่านั้น ซึ่งมีปัญหาเกิดขึ้นในกรณีที่เพื่อนบ้านไม่มีชิ้นส่วนที่เป็นประโยชน์ เช่น อยู่ในสถานการณ์ที่โหนดมีความหนาแน่นน้อย และ กรณีที่โหนดมีความสนใจในการดาวโหลดไฟล์ต่ำสำหรับการแก้ปัญหาดังกล่าว โพรโทคอลที่พัฒนาขึ้นมาได้ใช้ความรู้ที่ว่า โหนดที่พบเจอกับโหนดใหม่บ่อยๆมีโอกาสที่จะแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสมากกว่า ซึ่งข้อมูลการตรวจพบโหนดใหม่สามารถนำมาใช้คาดการณ์ว่าโหนดมีโอกาสดาวโหลดไฟล์จากเพื่อนบ้านในอนาคตมากน้อยเพียงใด สามารถนำข้อมูลดังกล่าวมากำหนดระยะเวลาการนับถอยหลัง ซึ่งหากโหนดไม่สามารถดาวโหลดไฟล์ในระยะเวลาที่กำหนด โหนดจะร้องขอไฟล์ไปยังเสาสัญญาณซึ่งทราบตำแหน่งที่แน่นอน นอกจากนี้ ยังคำนวณด้วยว่าควรขอจากเสาสัญญาณจำนวนกี่ชิ้น ซึ่งอาศัยข้อมูลอัตราการเข้าใหม่ของโหนด

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโพรโตคอลสำหรับการกระจายไฟล์แบบเข้ารหัสทางเครือข่ายด้วยการร้องขอแบบปรับได้ให้ลดระยะเวลาในการดาวโหลดไฟล์ (Content Distribution Latency) และเพิ่มประสิทธิภาพ (Efficiency) ให้สูงขึ้น เพื่อให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้เป็นแอพพลิเคชั่นสำหรับการกระจายไฟล์บนยานพาหนะ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1 โหนดมีการติดตั้งระบบระบุพิกัด(GPS)

2 การจำลองเครือข่ายทำโดยใช้ NS-2.34

3 การเคลื่อนที่ของยานพาหนะถูกจำลองขึ้นโดยใช้ SUMO โดยเลือกถนนต้นแบบจากถนนจริงเป็นแผนที่สำหรับทดสอบ

4 โหนดมีความเต็มใจที่ให้ใช้ทรัพยากรด้านหน่วยความจำ และ หน่วยประมวลผล

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1 ศึกษาวิธีการกระจายไฟล์บนเครือข่ายแอ็ดฮ็อกสำหรับยานพาหนะ (Vehicular ad hoc networks)

2 ศึกษางานวิจัยที่ใช้การเข้ารหัสทางเครือข่าย

3 ออกแบบและคิดวิธีปรับปรุงงานวิจัยเดิมให้ดีขึ้น

4 พัฒนาโพรโทคอลเพื่อปรับปรุงงานวิจัยเดิมตามแนวคิดที่ออกแบบไว้

5 ทดสอบ และเก็บข้อมูลการทำงานของโพรโทคอล

6 วิเคราะห์ผลการทดลอง

7 แก้ไข ปรับปรุงข้อเสียของงานวิจัยเดิม

8 สรุปผลและเขียนวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1 ทำให้การแจกจ่ายไฟล์สำหรับยานพาหนะลดระยะเวลาในการดาวโหลดไฟล์ (Content Distribution Latency) และเพิ่มประสิทธิภาพ (Efficiency) ให้สูงขึ้น ถึงแม้อยู่ในสภาวะที่มีโหนดแลกเปลี่ยนไฟล์น้อย สามารถปรับตัวได้อย่างเหมาะสมกับสถานการณ์ต่างๆ

2 นำไปประยุกต์กับแอพพลิเคชันของระบบขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transport System) ได้ เช่น การกระจายไฟล์เสียง การกระจายแอพพลิเคชั่นพื้นฐาน เป็นต้น

1.6 ผลงานที่ตีพิมพ์

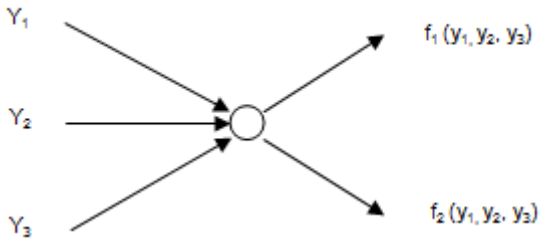
หัวเรื่อง " Efficiency and Speed Improvement for Network Coded File Distribution with Adaptive Request" โดย ภูริ นิโครวนจำรัส, ศุภเสฏฐ์ ชูชัยศรี และ เฉลิมเอก อินทนากรวิวัฒน์ ในบันทึกการประชุม "The 13th IEEE International Conference on Communication and Technology (ICCT 2011)" ซึ่งจัดขึ้น ณ เมืองจีหนาน (Jinan) ประเทศจีน ระหว่างวันที่ 25-28 กันยายน 2554

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

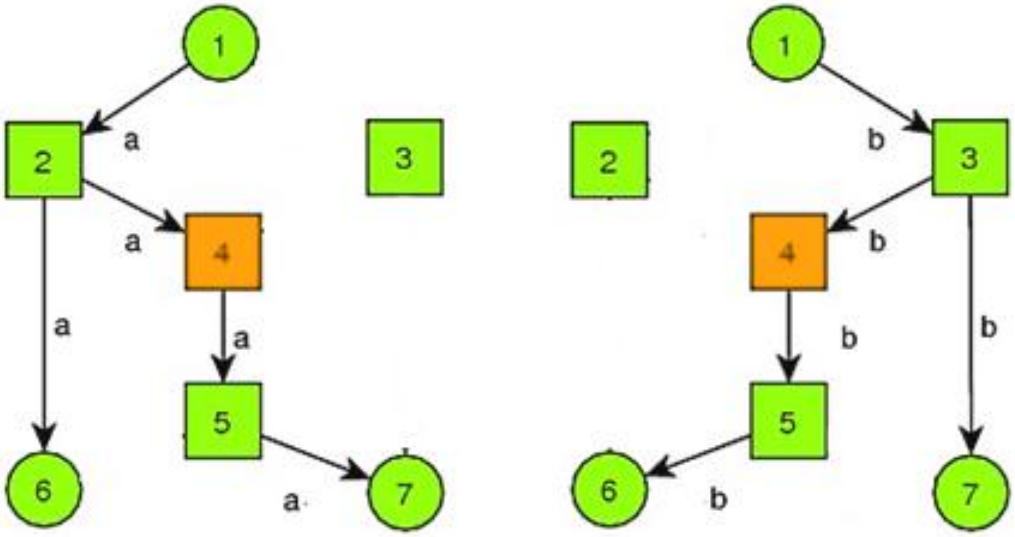
2.1.1 การเข้ารหัสทางเครือข่ายไร้สาย (Wireless Network Coding)

การเข้ารหัสทางเครือข่ายไร้สาย (Wireless Network Coding) เป็นเทคนิคการประมวลผลข้อมูลซึ่งใช้ประโยชน์จากคุณลักษณะของตัวกลางไร้สาย (Wireless Medium) เพื่อเพิ่มประสิทธิผล (Throughput) ในระบบเครือข่าย โดยมีหลักการคือ โหนดจะผสมข้อมูลก่อนที่จะส่งออกไป หรือเรียกว่าการเข้ารหัส (Encoding) ในรูปแบบของฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ดังรูปที่ 2.1

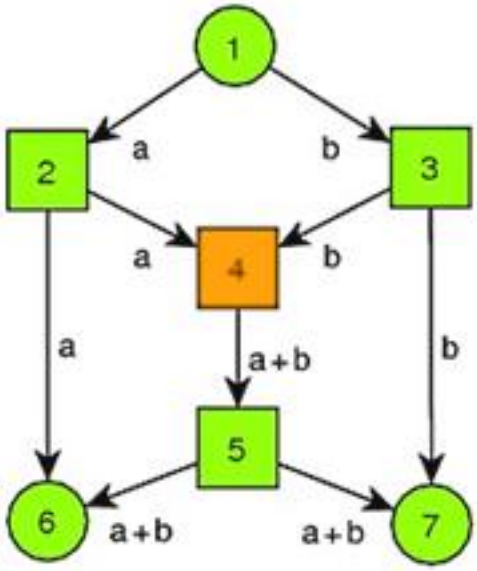


รูปที่ 2.1 การเข้ารหัสทางเครือข่าย

การเข้ารหัสทางเครือข่าย (Network Coding) ได้ถูกบุกเบิกครั้งแรกโดย Alswede et al [7] โดยได้พิสูจน์ว่าการเข้ารหัสทางเครือข่าย (Network Coding) สามารถเพิ่มประสิทธิผล (Throughput) ได้อย่างมาก โดยมีตัวอย่างการส่งข้อมูลใน เครือข่ายผีเสื้อ (Butterfly Network) ซึ่งเป็นตัวอย่างคลาสสิค สำหรับรูปที่ 2.2 โหนดหมายเลข 1 ต้องการส่งข้อมูล a และ b ไปยังโหนดหมายเลข 6 และ 7 ตามลำดับ จะสังเกตได้ว่าในการส่งแบบทั่วไปโหนดจะใช้จำนวนก้าวกระโดดในการส่งเท่ากับ 10 แต่เมื่อใช้การเข้ารหัสทางเครือข่าย โหนดหมายเลข 4 จะรวมข้อมูล a และ b โดยการ นำมา XOR กันก่อนที่จะส่งออกไปยังโหนดหมายเลข 5 และโหนดหมายเลข 5 ทำ Multicast ไปยัง 6 และ 7 ซึ่งจะใช้การส่งจำนวน 9 ก้าวกระโดดจะเห็นได้ว่าการเข้ารหัสทางเครือข่ายจะทำให้ลดจำนวนครั้งการส่ง ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 การส่งข้อมูลโดยไม่ใช้การเข้ารหัสทางเครือข่าย



รูปที่ 2.3 การส่งข้อมูลโดยใช้การเข้ารหัสทางเครือข่าย

2.1.2 การเข้ารหัสทางเครือข่ายเชิงเส้นแบบสุ่ม (Random Linear Network Coding)

การเข้ารหัสทางเครือข่ายเชิงเส้น(Linear Network Coding) [16] เป็นการรวมข้อความ ข้อความ(Message) ที่ต้องการส่งหลายๆ ข้อความ(Message) แบบการรวมแบบเชิงเส้น (Linear Combination) หรือพูดในอีกนัยหนึ่งว่า ข้อมูลขาออกเกิดจากการรวมข้อความ

(Message) ของขาเข้าแบบเชิงเส้น สำหรับการเข้ารหัสทางเครือข่ายเชิงเส้นแบบสุ่ม (Random Linear Network Coding) เป็นการนำข้อความ(Message) มาคูณกับสัมประสิทธิ์ที่เกิดจากการสุ่ม จึงเป็นที่มาของชื่อการเข้ารหัสทางเครือข่ายเชิงเส้นแบบสุ่ม (Random Linear Network Coding) การเข้ารหัสทางเครือข่ายเชิงเส้นแบบสุ่ม (Random Linear Network Coding) มีวิธีการดังนี้

2.1.2.1 การเข้ารหัส (Encoding)

เป็นขั้นตอนการเข้ารหัสของข้อความ (Message) ก่อนที่จะส่งต่อไปยังโหนดอื่น ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นสำหรับโหนดที่ต้องการส่งไฟล์

กำหนดให้ X เป็นผลลัพธ์จากการรวมข้อความ(Message) แบบเชิงเส้น (Linear Combination)

M_i เป็น ข้อความ(Message) ที่ i ที่ต้องการส่ง

g_k เป็นสัมประสิทธิ์ที่สุ่มจาก Galois Field $GF(2^8)$

S เป็นจำนวนข้อความ(Message)

สมการการการเข้ารหัสเป็นตามสมการ (1) โดยที่สัมประสิทธ์การเข้ารหัสจะถูกแนบออกไปเพื่อใช้ในการถอดรหัสในอนาคต ซึ่งสัมประสิทธิ์จะถูกสุ่มขึ้นจาก Finite Field หรือ Galois Field ซึ่งเป็น Field จำกัด โดยGalois Field เขียนในรูปย่อคือ $GF(P^m)$ โดยที่ P เป็นจำนวนเฉพาะ และ m เป็นจำนวนเต็มที่มีค่ามากกว่าศูนย์ ซึ่งในฟิลด์จำกัดได้มีการนิยามการดำเนินการต่างๆ เช่น การบวก การลบ การคูณ การหาร ซึ่งมีประโยชน์มากในการเข้ารหัส ผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะมีค่าหรือขนาดที่จำกัด ยกตัวอย่างเช่น ในการคำนวณตัวเลขใน $GF(2^8)$ไม่ว่าจะเป็นการดำเนินการบวก ลบ หรือคูณ ตัวเลขผลลัพธ์ที่ได้จะมีขนาดไม่เกิน 255 เสมอ นอกจากนี้ยังมีข้อดีคือ ผลลัพธ์ที่ได้จะไม่มีค่าผิดพลาดที่เกิดจากการปัดเศษ โดยดังเช่นในตัวอย่าง $GF(2^8)$ ก็เป็นการสุ่มเลขขึ้นมาตั้งแต่ 0-255 ซึ่งการทำกระบวนการทางคณิตศาสตร์ไม่ว่าจะเป็นการบวก ลบ คูณ และ หาร จะแตกต่างจากคณิตศาสตร์ทั่วไป ผลลัพท์จากการหาคำตอบจะมีผลลัพท์อยู่ในค่า 0-255 ซึ่งแตกต่างจากการทำกระบวนการทางคณิตศาสตร์ทั่วไป

$$X = \sum_{k=1}^{S} g_k . M_k \qquad (1)$$

2.1.2.2 การเข้ารหัสซ้ำ(Re-Encoding)

การเข้ารหัสซ้ำ (Re-Encoding) เป็นการเข้ารหัสซ้ำของชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสมาจากโหนดอื่นแล้ว โดยมีขั้นตอนคล้ายกับการเข้ารหัส (Encoding) ขั้นตอนนี้เกิดขึ้นสำหรับโหนดส่งต่อ

กำหนดให้ c_k เป็นผลลัพธ์จากเข้ารหัสสัมประสิทธิ์ (Encoding Coefficient)

e_k เป็นผลลัพธ์จากเข้ารหัส (Encoding Vector)

g_k เป็นสัมประสิทธิ์ที่สุ่มจาก Galois Field $GF(2^8)$

c เป็นสัมประสิทธิ์ชิ้นที่ i

e เป็น Encoding vector ชิ้นที่ i

S เป็นจำนวนชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัส

ผลลัพธ์จากการเข้ารหัสของ Encoding Coefficient คือ

$$c = \sum_{k=1}^{S} g_k . c_k \quad (2)$$

ผลลัพธ์จากการเข้ารหัสของ Encoding Vector คือ

$$e = \sum_{k=1}^{S} g_k . e_k \quad (3)$$

2.1.2.3 การถอดรหัส(Decoding)

สำหรับการถอดรหัสเพื่อให้ได้ไฟล์ $M_1, M_2, \ldots, M_s$ โหนดจะต้องรวบรวมชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสที่ Linearly Independent

กำหนดให้ c เป็นผลจากการเข้ารหัสสัมประสิทธิ์ (Encoding Coefficient)

e เป็นผลจากการเข้ารหัส (Encoding Vector)

M เป็น ข้อความ(Message) เดิมก่อนการเข้ารหัส

S เป็นจำนวนชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัส

$E = [e_1, e_2, \ldots, e_{size}]$
$C = [c_1, c_2, \ldots, c_{size}]$
$M = [M_1, M_2, \ldots, M_s]$

เราสามารถถอดรหัสเพื่อให้ได้รับไฟล์เดิมโดยสมการ $M = E^{-1}C$ นอกจากนี้ยังมีวิธีอีกหลายวิธี ในการแก้สมการเช่น Gaussian Elimination, Gauss-Jordan Elimination เป็นต้น

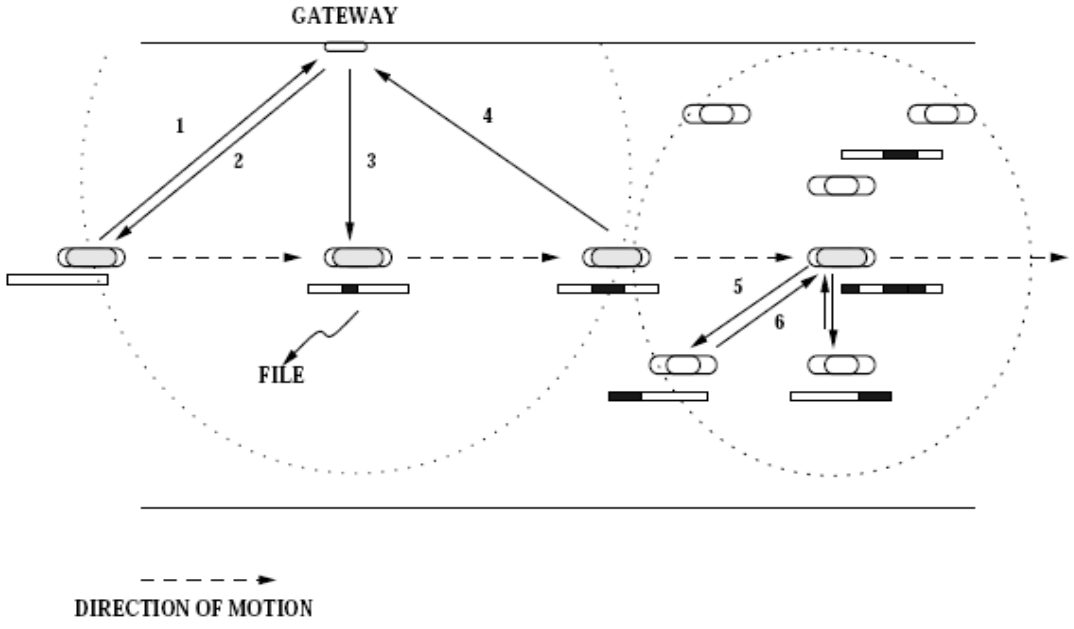
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 Network coding for large scale content distribution

[8] ได้ประยุกต์การเข้ารหัสทางเครือข่ายเชิงเส้นแบบสุ่มบน เครือข่ายใช้สาย เป็นงานวิจัยของทางบริษัท Microsoft ชื่อโพรโทคอลรู้จักกันในนาม Avalanche ผลปรากฏว่าสามารถเพิ่มความเร็วในการดาวโหลดไฟล์แบบเพียร์แบบเพียร์ทูเพียร์ได้อย่างมาก เมื่อเทียบกับโพรโทคอลที่ไม่ได้ใช้การเข้ารหัสทางเครือข่าย

2.2.2 Co-operative downloading in vehicular ad-hoc wireless networks

[2] ได้นำเสนอโพรโทคอล SPAWN (Swarming Protocol For Vehicular Ad-hoc Networks) ซึ่งเป็นงานลำดับต้นๆ ที่นำการกระจายไฟล์บนเครือข่ายใช้สายมาปรับปรุงเพื่อให้สามารถทำงานบน เครือข่ายบนพาหนะเคลื่อนที่ได้ โดยปรับปรุง มาจากโพรโทคอล Bittorrent โดยมีโพรโทคอล AODV [3] เป็นโพรโทคอลหาเส้นทาง



Evolution of a file in a node using SPAWN protocol: 1. a car arrives in the coverage area of the gateway, 2. Gateway offer car to download piece of file, 3.download a piece of file, 4. getting out of range, 5. starts to gossip with its neighbors about content availability,6. Exchanges pieces of the file, thereby getting a larger portion of the file as opposed to waiting for the next gateway to resume the download.

รูปที่ 2.4 แผนภาพแสดงการทำงานโพรโทคอล SPAWN

โดยจากภาพสามารถอธิบายด้วยอัลกอริธึมได้ดังนี้

```
procedure Initiate_download(torrentID)
    (1)if(|d_0 − d_G| < Radio_range) (2)SendRequest
    (3)if(Recv_Reply) Start_download(piece)
      else Wait for Gateway to fetch it
    (5)Init_Gossip
    Exchange BitFields
    (6)if (Out of Gateway Range) Exchange(pieces,neighbors).
```

รูปที่ 2.5 รหัสเทียมของโพรโทคอล SPAWN

โดย d_0และd_Gเป็นที่อยู่ของโหนดและ Gateway ตามลำดับ Contribution หลักๆของงานนี้คือ

1) การเสนอใช้ Gossip Message เพื่อบอกว่าโหนดของตนมีชิ้นส่วนใดบ้าง และบอกลิสต์ของโหนดตามเส้นทางที่ชิ้นส่วนนี้มีอยู่ เพื่อใช้ในการร้องของชิ้นส่วนของไฟล์ โดยรายละเอียดประกอบด้วย รหัสTorrent (TorrentID) ,ลิสต์ของชิ้นส่วน (ChunkList) ,Timestamp และ ลิสต์ของโหนดตามเส้นทางที่ชิ้นส่วนนี้มีอยู่

TorrentID	ChunkList			Timestamp
n1	n2	n3	n4	n5

รูปที่ 2.6 รายละเอียดข้อความกระซิบ (Gossip Message)

2) การเลือก Peer และชิ้นส่วนของไฟล์ เข้าได้เสนอวิธี Proximity-driven Piece Selection โดยมีวิธีการเลือก 3 รูปแบบ

- Rarest-Closest First คือการเลือกชิ้นที่หายากสุดก่อนเลือกเพียร์ที่ใกล้สุด

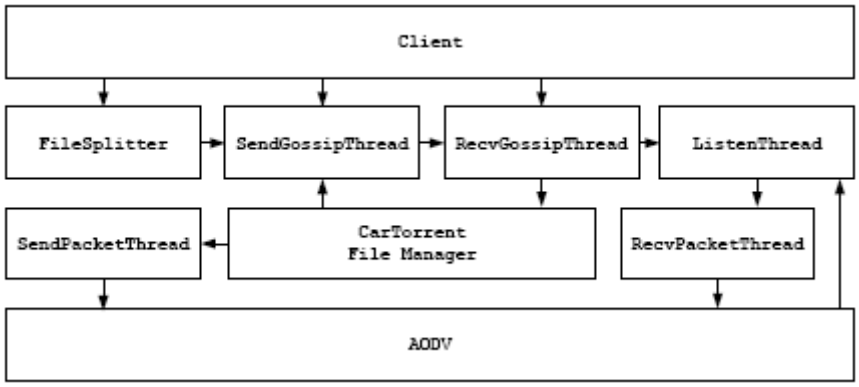
- Rarer-Closer เป็นการถ่วงน้ำหนักระหว่าง ความหายากกับระยะทาง

- Closest-Rarest First เลือกเพียร์ที่อยู่ใกล้แล้วจึงเลือกชิ้นที่หายากสุด

โดยระยะทางหมายถึง จำนวนก้าวกระโดด สำหรับโพรโทคอลนี้มีปัญหาเรียกว่า ปัญหาการรวบรวมคูปอง (Coupon Collection Problem) ซึ่งปัญหานี้เกิดขึ้นเมื่อโหนดยังขาดชิ้นส่วนที่หายาก และไม่สามารถดาวโหลดได้สำเร็จ

2.2.3 CarTorrent : A Bit-Torrent System for Vehicular Ad-hoc Networks

[4] เป็นการนำโปรโทคอลของ Co-operative downloading in vehicular ad-hoc wireless networks [2] ไปใช้จริงบนยานพาหนะ โดยได้เสนอสถาปัตยกรรม Cartorrent สำหรับรายละเอียดการออกแบบโพรโทคอลนี้แบ่งออกเป็น 6 ส่วนประกอบหลักๆ ดังนี้



รูปที่ 2.7 สถาปัตยกรรมของ CarTorrent

-CarTorrent File Manager เป็นส่วนที่เก็บสถานะ เมื่อไรก็ตามที่ได้รับ Gossip Message รายชื่อของ Peer, รหัสชิ้นส่วนของไฟล์ และ จำนวนก้าวกระโดดจะถูกเก็บไว้

-SendGossipThread ส่ง Gossip Message เป็นคาบๆ โดยที่ Gossip Message มีทั้งที่ Gossip Message เป็นของตัวเอง และ เป็นของโหนดอื่น เพื่อบอกให้รู้ว่าโหนดใด มีไฟล์ใดอยู่บ้าง

-ReceiveGossipThread เป็นตัวควบคุมการรับ Gossip Message หากได้รับ Gossip Message ของตัวเองจะโยนทิ้ง แต่ถ้าได้รับของโหนดอื่น จะทำการส่งต่อ

-SendPacketThread เป็นส่วนที่ส่งการร้องขอจนกว่าจะได้ไฟล์ครบ

-ListenThread รับ ข้อความ (Message) 2 แบบ คือ ข้อมูล กับการร้องขอ ถ้าเป็นข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในหน่วยความจำ

-ReceivePacketThread ควบคุมการรับการร้องขอที่ส่งมาจาก ListenThread โดยส่งไปยังโหนดที่ร้องขอทั้งหมดนี้ ทำการโปรแกรมด้วยภาษา JAVA แล้วนำไปทดสอบบนถนนจริง ผลที่ได้สอดคล้องการการทดสอบใน Simulator การเลือกชิ้นส่วนของไฟล์ที่มีประสิทธิภาพคือ Rarest-Closest First

รูปที่ 2.8 ตัวอย่างโปรแกรม CarTorrent

2.2.4 VANETCODE: Network Coding to Enhance Cooperative Downloading in Vehicular Ad-Hoc Networks

Shabbir et al [5]ใช้การเข้ารหัสเชิงเส้นแบบสุ่มเพื่อกำจัดปัญหามากมายเกิดขึ้นในการกระจายไฟล์แบบดั้งเดิม สำหรับตัวอย่างเช่น ปัญหาการรวบรวมคูปอง (Coupon Collection Problem), โครงสร้างเครือข่ายแบบความคล่องตัวสูง(Highly Dynamic Topology)

เริ่มต้นด้วยการตัดไฟล์เป็น k ชิ้น เหมือนกับโพรโทคอลการกระจายไฟล์แบบทั่วไป แต่ละชิ้นจะคูณด้วยค่าสัมประสิทธิ์จากการสุ่มจาก Galois Field เช่นวิธีการที่เรากล่าวถึงก่อนหน้านี้ การดำเนินการนี้เรียกว่า"การเข้ารหัส"และดำเนินการโดยเซิร์ฟเวอร์กลาง

เพื่อแก้สมการต้องได้รับชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสทั้งหมด k ชิ้นที่อิสระต่อกันอย่างเชิงเส้น กระบวนการนี้เรียกว่า"ถอดรหัส" กระบวนการนี้ใช้ทรัพยากรมากเพื่อการรวมกันเชิงเส้นตรง โดยใช้การผกผันของเมทริกซ์ VANETCODE ไม่จำเป็นต้องใช้การหาเส้นทางเหมือนกับโพรโทคอล Co-operative downloading in vehicular ad-hoc wireless networks เพราะ โพรโทคอลนี้คุยกันเพียงหนึ่งก้าวกระโดดเท่านั้น

2.2.5 CodeTorrent: Content Distribution usingNetwork Coding in VANET

Lee et al [6] ได้เสนอ Network Coding Based File Swarming Protocol บน vehicular ad hoc network (VANET) โพรโทคอลนี้มีการทำงานเหมือนกับ VANETCODE ซึ่งเป็นการนำการเข้ารหัสทางเครือข่ายเชิงเส้นแบบสุ่ม (Random Linear Network Coding) มาช่วยในการกระจายไฟล์บน Vehicular Ad Hoc Network (VANET) โพรโทคอลที่เขาได้นำเสนอสามารถแก้ไขปัญหา การเปลี่ยนแปลง topology และ ความไม่ต่อเนื่องของการติดต่อระหว่างโหนด ซึ่งเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นใน Vehicular Ad Hoc Network (VANET) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลที่ได้คือ โหนดที่ต้องการไฟล์สามารถดาวโหลดไฟล์ได้เร็วขึ้นเมื่อเทียบกับ File Swarming Protocol ทั่วไป เนื่องจากไม่ต้องมีการเลือกชิ้นส่วนของไฟล์ นอกจากนี้ยังค้นพบว่ารถยนต์ที่มีความเร็วสูงจะช่วยให้โพรโทคอลนี้ทำงานได้ดีขึ้นซึ่งต่างจากโพรโทคอลอื่นที่ ยิ่งมีการเปลี่ยนแปลง Topology สูงทำให้ประสิทธิภาพลดลง

ตารางเปรียบเทียบหลักการทำงานของโพรโทคอล

Protocol	**SPAWN**	**CarTorrent**	**VANETCODE**	**CodeTorrent**	**Proposed Protocol**
การเข้ารหัสทางเครือข่าย	ไม่มี	ไม่มี	มี	มี	มี
Routing	มี	มี	ไม่มี	ไม่มี	มี ในกรณีที่ดาวโหลดจากเพื่อนบ้านไม่ได้
ค่าความเคลื่อนไหวที่เหมาะสมสำหรับโพรโทคอล	ทำงานดีเมื่อโหนดมีความเคลื่อนไหวน้อย	ทำงานดีเมื่อโหนดมีความเคลื่อนไหวน้อย	ทำงานดีเมื่อโหนดมีความเคลื่อนไหวมาก	ทำงานดีเมื่อโหนดมีความเคลื่อนไหวมาก	ทำงานดีเมื่อโหนดมีความเคลื่อนไหวมากและแก้ปัญหาในกรณีที่โหนดมีความเคลื่อนไหวน้อย
ปัจจัยจากจำนวนโหนดที่ต้องการไฟล์	ทำงานได้ดีเมื่อมีโหนดที่ต้องการไฟล์น้อย-ปานกลาง	ทำงานได้ดีเมื่อมีโหนดที่ต้องการไฟล์น้อย-ปานกลาง	ทำงานได้ดีเมื่อมีโหนดที่ต้องการไฟล์มาก	ทำงานได้ดีเมื่อมีโหนดที่ต้องการไฟล์มาก	ทำงานได้ดีเมื่อมีโหนดที่ต้องการไฟล์มาก และแก้ปัญหาในกรณีที่โหนดมีความต้องการไฟล์น้อย
ปัญหา Coupon Collection	มี	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
ความคงทนต่อโทโพโลจีที่เปลี่ยนแปลง	น้อย	น้อย	มาก	มาก	มาก
การทดสอบ	Simulator	Testbed	Simulator	Simulator	Simulator

ตาราง 2.1ตารางเปรียบเทียบหลักการทำงานของโพรโทคอล

บทที่ 3
การออกแบบโพรโทคอลการกระจายไฟล์แบบเข้ารหัสด้วยการร้องขอแบบปรับได้

โพรโทคอลการกระจายไฟล์แบบเข้ารหัสทางเครือข่ายด้วยการร้องขอแบบปรับได้ (Network coded File Distribution with adaptive Request) ถูกออกแบบโดยคำนึงถึงปัจจัยสำคัญ 2 ประการ ดังนี้ 1) ความเร็วในการดาวโหลดไฟล์ (Latency) ซึ่งเป็นจุดประสงค์หลักในการทำงานของโพรโทคอล และ 2) ประสิทธิภาพ (Efficiency) ซึ่งบ่งบอกถึงสมรรถภาพการทำงานของโพรโทคอล นอกจากนี้ได้วัดค่าใช้จ่ายเพื่อดูสิ่งที่ต้องเสียเพิ่มจากการทำงานของโพรโทคอล โดยได้แบ่งรายละเอียดการอธิบายดังนี้

3.1 แนวคิดในการออกแบบ

โพรโตคอลนี้ปรับเปลี่ยนการทำงานบางส่วนของโพรโทคอล CodeTorrent โดยมีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มความเร็วในการดาวโหลดไฟล์ (Latency) และปรับปรุงประสิทธิภาพ (Efficiency) โดยเฉพาะในกรณีที่มีโหนดไม่สามารถดาวโหลดไฟล์จากเพื่อนบ้านได้ ซึ่งเกิดขึ้นในกรณีที่มีโหนดที่ความหนาแน่นต่ำ หรือมีโหนดที่สนใจในการดาวโหลดไฟล์น้อย ซึ่งทำให้โหนดเพื่อนบ้านไม่มีข้อมูลที่เป็นประโยชน์แก่โหนดที่ร้องขอไฟล์ โหนดที่ร้องขอไฟล์ต้องพยายามร้องขอชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสจากเสาสัญญาณ ซึ่งโหนดทราบพิกัดที่ตั้งของเสาสัญญาณอยู่แล้ว ทั้งนี้การร้องขอชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสจะไม่กระทำหากสามารถดาวโหลดไฟล์จากเพื่อนบ้าน หรือมีโอกาสที่จะดาวโหลดไฟล์จากเพื่อนบ้านในอนาคตอันใกล้ ซึ่งการทำงานของโพรโทคอลแบ่งการทำงานออกเป็น 2 สถานะ

1 In-network coded pieces distribution phase

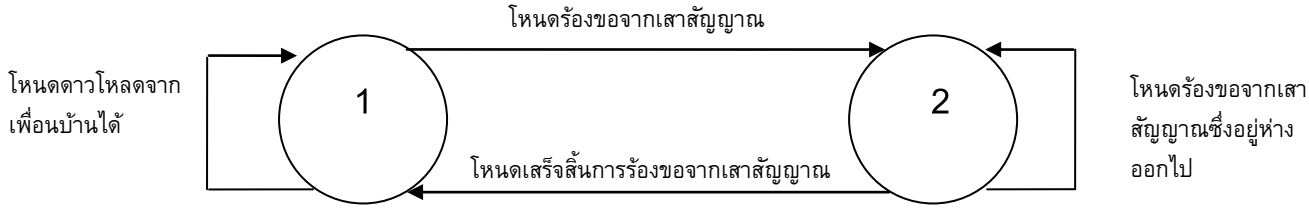
เป็นสถานะที่โหนดสามารถดาวโหลดไฟล์จากเพื่อนบ้านเพื่อนบ้านในระยะหนึ่งก้าวกระโดดตามรูปแบบโพรโทคอล CodeTorrent โดยที่มีการคำนวณระยะเวลานับถอยหลังทุกครั้งที่ได้ชิ้นส่วนใหม่ๆ หากครบการนับถอยหลัง นั่นหมายความว่าโหนดไม่สามารถดาวโหลดชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสจากเพื่อนบ้านในระยะเวลาที่กำหนด โหนดจะเปลี่ยนไปสู่สถานะ On-demand ranking improvement phase

2 On-demand ranking improvement phase

สถานะนี้เกิดขึ้นเมื่อโหนดไม่ได้รับชิ้นส่วนเพิ่มขึ้นพอที่จะทำให้ Rank สูงขึ้นในระยะเวลาหนึ่งๆ โหนดร้องขอข้อมูลจากเสาสัญญาณ ซึ่งทราบพิกัดของเสาสัญญาณจากข้อมูลการร้องขอไฟล์อยู่แล้ว ซึ่งจะมีการคำนวณชิ้นส่วนที่ร้องขอด้วย หลังจากนั้นโหนดจะเข้าสู่สถานะ In-network coded pieces distribution phase อีกครั้ง

ค่า Rank คือจำนวนชิ้นส่วนที่เข้ารหัสที่โหนดนั้นเก็บไว้ ที่มีความอิสระเชิงเส้นต่อกัน (Linearly Independent) โหนดที่มี Rank สูงย่อมทำให้การส่งข้อมูลมีโอกาสที่ผู้รับจะรับข้อมูลที่มีประโยชน์มากกว่าโหนดที่มี Rank ต่ำ เนื่องจากการส่งชิ้นส่วนเกิดจากการนำชิ้นส่วนที่เก็บไว้มาเข้ารหัสซ้ำ โหนดที่มี Rank สูงมีจำนวนชิ้นส่วนที่จะนำมาเข้ารหัสซ้ำมากกว่าโหนดที่มี Rank ต่ำ

แผนผังการเปลี่ยนสถานะ



รูปที่ 3.1ตารางแสดงการเปลี่ยนสถานะ สถานะที่ 1 หมายถึง In-network coded pieces distribution phase และ สถานะที่ 2 หมายถึง On-demand ranking improvement phase

3.2 หลักการทำงานของโพรโทคอล

3.2.1 การประกาศคำอธิบายไฟล์ของโครงสร้างพื้นฐาน

โครงสร้างพื้นฐานเป็นส่วนเก็บไฟล์ต้นฉบับไว้เพื่อใช้สำหรับการแจกจ่ายให้สำหรับคนขับรถที่สนใจที่จะดาวโหลดไฟล์ โดยการที่คนขับรถจะรับรู้ได้ว่าไฟล์ที่โครงสร้างพื้นฐานมีไฟล์ที่สนใจ โครงสร้างพื้นฐานจึงต้องมีการประกาศคำอธิบายไฟล์เป็นระยะๆ โดยรายละเอียดข้อมูลคำอธิบายไฟล์ ประกอบด้วย

- รหัสไฟล์เป็นหมายเลขเฉพาะตัวของไฟล์ ซึ่งในแต่ละไฟล์จะมีรหัสไฟล์ที่ต่างกัน

- ชื่อไฟล์

- ขนาดไฟล์ เป็นจำนวนที่บอกให้ผู้ที่สนใจดาวโหลดรับรูปว่าไฟล์ที่ดาวโหลดมีขนาดเท่าใด

- จำนวนชิ้นของไฟล์ เป็นจำนวนของชิ้นส่วนทั้งหมดที่เกิดจากการแบ่งไฟล์เป็นชิ้นย่อยๆ

การส่งข้อความประกาศคำอธิบายไฟล์จะส่งเป็นระยะๆ ซึ่งกระทำโดยโครงสร้างพื้นฐาน หรือ เสาสัญญาณ รถที่ได้รับข้อความและสนใจที่จะดาวโหลดไฟล์จะส่งการร้องขอไปยังเสาสัญญาณ การส่งข้อความประกาศคำอธิบายไฟล์จะส่งเป็นระยะการส่งหนึ่งก้าวกระโดดด้วยการบรอดคาสต์

3.2.2 การแลกเปลี่ยนข้อมูลจากโหนดเพื่อนบ้าน (Beaconing)

การแลกเปลี่ยนข้อมูลของเพื่อนบ้านจะกระทำผ่าน Beacon Message ซึ่งข้อมูลที่ส่งผ่าน Beacon Message ประกอบด้วย

- รหัสเฉพาะตัวของโหนด เป็นหมายเลขที่บอกรหัสประจำตัวของโหนด ซึ่งแต่ละโหนดจะมีรหัสไม่ซ้ำกัน

- ข้อมูลสำหรับการหาเส้นทางตามรูปแบบโพรโทคอลหาเส้นทาง (Routing Protocol) ที่ใช้ ซึ่งแต่ละโพรโทคอลมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลที่ต่างกัน เช่น GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing)[9] ส่งข้อมูลพิกัดโหนดของตนเพื่อใช้ในการหาเส้นทาง ดังนั้น Beacon Message ต้องส่งข้อมูลพิกัดไปด้วย สำหรับโพรโทคอลหาเส้นทางอื่น อาจมีข้อมูลที่ใช้แลกเปลี่ยนเพื่อหาเส้นทางที่ต่างกัน

การแลกเปลี่ยนข้อมูลจากโหนดเพื่อนบ้าน (Beaconing) เป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายส่วนเกินให้กับโพรโทคอล ซึ่งโดยปกติจะส่งด้วยความถี่สม่ำเสมออย่างต่อเนื่อง แต่มีข้อเสียคือทำให้เกิดค่าใช้จ่ายสูง จึงมีการนำงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับ Beacon Message มาใช้ โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกงานวิจัย [14] ช่วยในการปรับความถี่การส่ง Beacon Message ซึ่งใช้วิธีการปรับตามความหนาแน่นของโหนดเพื่อนบ้าน สำหรับกรณีที่มีความหนาแน่นของโหนดเพื่อนบ้านมีน้อย การทำ Beacon จะกระทำเพื่อความถี่สูง แต่ในการกรณีที่มีความหนาแน่นสูง การทำ Beacon ที่ความถี่สูงจะก่อให้เกิดปัญหาการชนได้

3.2.3 การดาวโหลดไฟล์จากเสาสัญญาณ

เสาสัญญาณแพร่รายละเอียดไฟล์เป็นระยะ ๆ โหนดที่ได้ยินรายละเอียดไฟล์และสนใจที่จะดาวโหลดไฟล์จะส่งการร้องขอไฟล์ไปยังเสาสัญญาณ เสาสัญญาณจะส่งชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสทางเครือข่ายด้วยการบรอดคาสต์ จนกว่าโหนดจะได้ชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสครบ หรือจนกระทั่งโหนดออกจากพื้นที่ที่ครอบคลุม โหนดมีการส่งข้อความร้องขอเป็นคาบ ๆ จนกว่าจะได้ชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสครบ การเข้ารหัสมีขั้นตอนดังสมการที่ 1

$$X = \sum_{k=1}^{S} g_k . M_k \qquad (1)$$

กำหนดให้ X เป็นผลลัพธ์จากการรวมข้อความ(Message) แบบเชิงเส้น (Linear Combination)

M_i เป็น ข้อความ(Message) ที่ i ที่ต้องการส่ง

g_{k} เป็นสัมประสิทธิ์ที่สุ่มจาก Galois Field $GF(2^8)$

S เป็นจำนวนข้อความ(Message)

จากสมการสามารถอธิบายได้ดังนี้ หลังจากที่ไฟล์ถูกแบ่งเป็น k ชิ้น ไฟล์แต่ละชิ้นจะถูกนำมาคูณด้วยเป็นสัมประสิทธิ์ที่สุ่มจาก Galois Field $GF(2^8)$ก่อนที่จะนำมารวมผลลัพท์จนกลายเป็นผลรวมแบบเชิงเส้น X เสาสัญญาณจะส่งผลรวมแบบเชิงเส้น X ไปยังโหนด ชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสจะถูกส่งไปพร้อมแนบกับสัมประสิทธิ์ที่ส่งออกไปเพื่อไว้สำหรับการถอดรหัสในภายหลัง

3.2.4 การกระจายไฟล์ระหว่างโหนด

ในกรณีที่โหนดไม่สามารถดาวโหลดจากเสาสัญญาณได้ครบ ภายหลังจากการออกนอกขอบเขตการส่งของเสาสัญญาณ โหนดต้องทำการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสระหว่างโหนดอื่น ๆ โดยที่โหนดทำการร้องขอไปยังโหนดเพื่อนบ้าน เมื่อโหนดเพื่อนบ้านได้รับการร้องขอจะส่งทำการเข้ารหัสซ้ำ ซึ่งเป็นการนำชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสที่แต่ละโหนดเก็บไว้มาทำการเข้ารหัสซ้ำ โดยที่การเข้ารหัสซ้ำต้องกระทำทั้งส่วนของสัมประสิทธิ์ และ ส่วนของข้อมูลด้วย โดยที่มีสมการ (2) เป็นการเข้ารหัสซ้ำส่วนของสัมประสิทธิ์ และ สมการ (3) เป็นการเข้ารหัสส่วนของข้อมูล

$$c = \sum_{k=1}^{S} g_k . c_k \qquad (2)$$

$$e = \sum_{k=1}^{S} g_k . e_k \qquad (3)$$

กำหนดให้ c_k เป็นผลลัพธ์จากเข้ารหัสสัมประสิทธิ์ (Encoding Coefficient)

e_k เป็นผลลัพธ์จากเข้ารหัส (Encoding Vector)

g_{k} เป็นสัมประสิทธิ์ที่สุ่มจาก Galois Field $GF(2^{\delta})$

c เป็นสัมประสิทธิ์ชิ้นที่ *i*

e เป็น Encoding Vector ชิ้นที่ *i*

S เป็นจำนวนชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัส

จากสมการสามารถอธิบายได้ดังนี้ โหนดที่ได้รับข้อความร้องขอ จะทำการเข้ารหัสซ้ำ โดยที่ สมการ (2) เป็นการเข้ารหัสส่วนที่เป็นสัมประสิทธิ์ และสมการ (3) เป็นการเข้ารหัสข้อมูล โดยมีวิธีการเหมือนกับการเข้ารหัส กล่าวคือมีการสุ่มสัมประสิทธ์ แล้วนำมาคูณกับข้อมูลสัมประสิทธิ์และข้อมูลชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสที่เก็บไว้ สิ่งที่ถูกส่งออกไปได้แก่ ชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสซ้ำ และสัมประสิทธิ์หลังจากการเข้ารหัสซ้ำออกไป

3.2.5 การถอดรหัส

โหนดที่ได้รับชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสจากการร้องขอจะสามารถคำนวณหาไฟล์ต้นฉบับได้ต้องได้รับชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสอย่างน้อย *k* ชิ้นที่อิสระต่อกันอย่างเชิงเส้นต่อกัน โดยวิธีการหาอันดับของเมตริกซ์ การถอดรหัสทำโดยวิธีการแก้สมการเชิงเส้นแบบทั่วไป เช่น การทำ Gaussian Elimination หรือ Gauss-Jordan Elimination

แต่ในกรณีที่เพื่อนบ้านไม่มีชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสที่เป็นประโยชน์ โหนดไม่สามารถดาวโหลดจากเพื่อนบ้านได้ โหนดต้องคาดการณ์ว่าโหนดมีโอกาสที่จะดาวโหลดจากเพื่อนบ้านในอนาคตได้มากน้อยเพียงใด และควรจะรอนานเท่าใดก่อนที่จะขอชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสจากเสาสัญญาณซึ่งจะไม่กระทำถ้าไม่มีความจำเป็น รวมทั้งคำนวณว่าจะขอชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสเป็นจำนวนกี่ชิ้น ซึ่งหมายถึงการเปลี่ยนสถานะจาก In-network coded pieces distribution phase ไปเป็นสถานะ On-demand ranking improvement phase

3.2.6 การคำนวณระยะเวลานับถอยหลัง

การนับระยะเวลาถอยหลัง ใช้ค่าที่เกิดจากการวัดอัตราการตรวจจับเพื่อนบ้านเข้าใหม่ (New Neighbors Detection Rate) หรือเขียนในรูปสัญลักษณ์ย่อ NDR ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกว่ามีเพื่อนบ้านเข้าใหม่กี่โหนดต่อหนึ่งช่วงเวลา โหนดเก็บข้อมูลโหนดเพื่อนบ้านเข้าใหม่จาก Beacon Message ที่รู้ได้จากรหัสโหนดซึ่งกำหนดให้แต่ละโหนดมีรหัสโหนดต่างกัน หากโหนดไม่ได้รับ Beacon Message หมายความว่าโหนดนั้นได้หลุดออกจากรัศมีแล้ว ให้ลบรหัสโหนดนั้นออกไป โดยการวัดอัตราการตรวจจับเพื่อนบ้านเข้าใหม่ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการ (4)

$$NDR = \frac{Number\ of\ new\ detected\ neighbors}{time\ interval} \tag{4}$$

โหนดที่มีค่า NDR สูงเป็นโหนดที่มีโอกาสพบเพื่อนบ้านใหม่ๆสูง มีโอกาสที่จะได้รับชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสได้มากกว่าโหนดที่มีค่า NDR ต่ำ โหนดมีการคำนวณค่าอัตราการตรวจจับเพื่อนบ้านเข้าใหม่เป็นคาบๆ โดยในคาบถัดไปได้ใช้วิธีการค่าเฉลี่ยความเคลื่อนไหวแบบยกกำลัง (Exponential Moving Average) ดังสมการ (5)

$$NDR_t = \alpha NDR'_{t-1} + (1-\alpha)NDR_{t-1} \tag{5}$$

กำหนดให้ $NDR(\text{New Neighbors Detection Rate})$ = อัตราการเข้าใหม่ของโหนดเพื่อนบ้าน

$Number\ of\ new\ detected\ neighbors$ = จำนวนโหนดที่เข้ามาใหม่

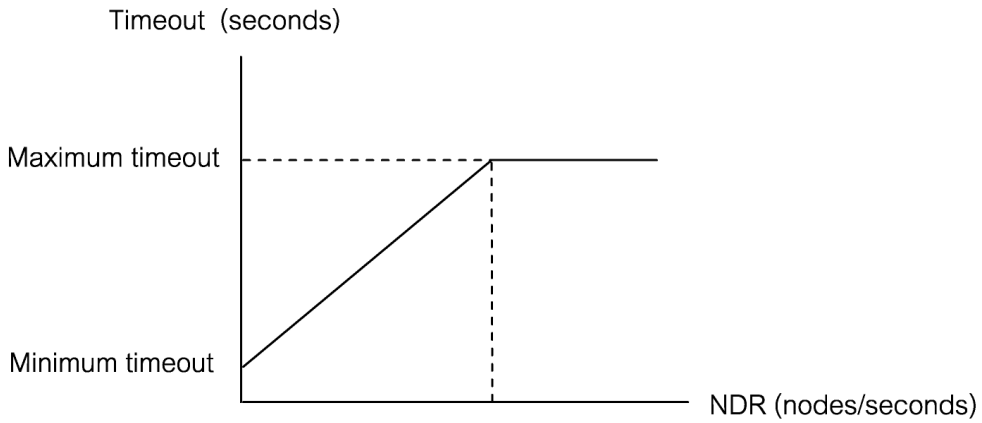
$time\ interval$ = คาบการคำนวณอัตราการเปลี่ยนแปลงของโหนด

NDR_t = เป็นค่า NDR ณ ขณะเวลา t

NDR'_t = เป็นค่า NDR ที่วัดได้ใหม่ในคาบ t

α = เป็น Step Size ของการปรับโดยใช้ Exponential Moving Average

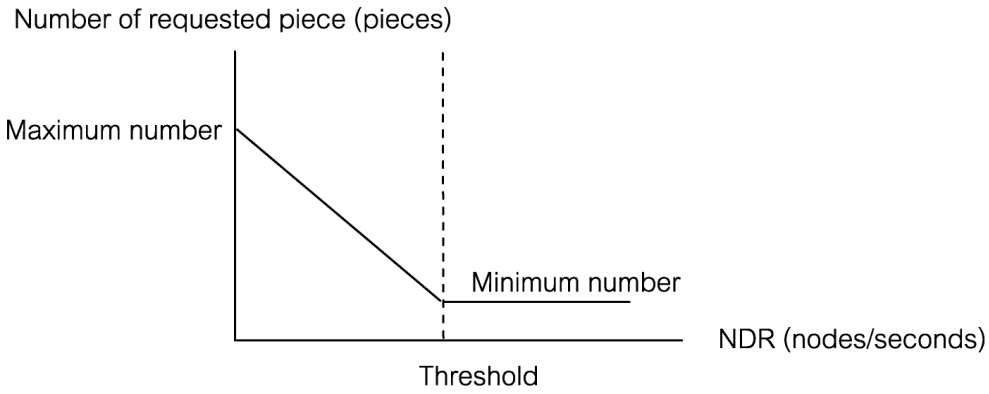
หลังจากที่โหนดคำนวณค่าอัตราการตรวจจับเพื่อนบ้านเข้าใหม่ โหนดจะทำการปรับระยะเวลานับถอยหลัง ถ้าค่าอัตราการตรวจจับเพื่อนบ้านเข้าใหม่สูง แสดงว่าโหนดมีโอกาสที่จะเจอโหนดใหม่ๆสูง ระยะเวลานับถอยหลังจะสูงตาม ซึ่งระยะเวลาการนับถอยหลังจะถูกให้ค่าดังรูปที่ 3.2 การนับถอยหลังมีจุดประสงค์เพื่อให้โหนดพยายามร้องขอชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสจากเพื่อนบ้านก่อน หากโหนดไม่ได้รับชิ้นส่วนภายในระยะเวลาที่โหนดคาดว่าจะได้ชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัส โหนดจะพยายามร้องของจากเสาสัญญาณซึ่งจะไม่กระทำหากไม่จำเป็น ทั้งนี้ปัจจัยที่มีผลต่อระยะเวลาการนับถอยหลัง คือ ค่าอัตราการเข้าใหม่ของโหนดเพื่อนบ้าน กล่าวคือ หากโหนดมีค่าอัตราการเข้าใหม่ของโหนดเพื่อนบ้านมาก โหนดจะมีโอกาสที่จะเจอโหนดที่เป็นประโยชน์ได้ในอนาคตอันใกล้ ดังนั้นการตั้งเวลาถอยหลังจะยาวกว่าระบบที่มีอัตราการเข้าใหม่ของโหนดเพื่อนบ้านน้อย ค่าอัตราการเข้าใหม่ของโหนดเพื่อนบ้านเป็นค่าที่วัดจากการที่มีโหนดเข้าใหม่ การปรับระยะเวลาถอยหลังที่สูง อาจมีผลทำให้โหนดต้องรอนานเกิน ก่อนที่จะร้องขอไปยังเสาสัญญาณ ส่งผลให้โหนดถอดรหัสได้ช้า โดยที่ค่า Maximum timeout และ Minimum timeout เป็นค่าที่สามารถปรับได้ เมื่อโหนดนับระยะเวลาถอยหลังสิ้นสุดโหนดจะเปลี่ยนไปสู่สถานะ On-demand ranking improvement phase ซึ่งโหนดจะทำการร้องขอไปยังเสาสัญญาณที่อยู่ใกล้ที่สุด



รูปที่ 3.2การคำนวณการนับถอยหลัง

3.2.7 การคำนวณจำนวนชิ้นเพื่อใช้ในการร้องขอ

การคำนวณจำนวนชิ้นส่วนที่ขอจากเสาสัญญาณ มีแนวคิดเช่นเดียวกับการนับเวลาถอยหลัง กล่าวคือ หากโหนดมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเข้าออกของโหนดสูง จำนวนชิ้นส่วนที่ขอควรจะมีจำนวนน้อย เนื่องจาก โหนดมีโอกาสแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสในอนาคตอันใกล้ได้ แต่ในกรณีที่โหนดมีโอกาสสูงที่จะแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัส โหนดจะปรับให้มีการร้องขอชิ้นส่วนน้อย รายละเอียดการคำนวณจำนวนชิ้นส่วนที่จะร้องขอจากเสาสัญญาณ จากค่าอัตราการเข้าใหม่ของโหนดเพื่อนบ้านสามารถนำมาคำนวณหาเวลานับถอยหลังได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การคำนวณจำนวนชิ้นที่ร้องขอ

3.2.8 การดาวโหลดไฟล์จากเสาสัญญาณ

เนื่องจากโหนดที่ร้องขอไฟล์ทราบพิกัดของเสาสัญญาณ โหนดจะส่งข้อความร้องขอไปยังเสาสัญญาณ โดยเลือกเสาสัญญาณที่อยู่ใกล้โหนดนั้นที่สุด โหนดมีการแนบข้อมูลรหัสโหนด, พิกัด ณ ขณะนั้น และ จำนวนชิ้นส่วนที่ต้องการไป พร้อมกับข้อความการร้องขอ หากระหว่างทางมีโหนดที่มีข้อมูลครบเท่ากับเสาสัญญาณ หรือเจอโหนดที่เป็นผู้ปล่อยไฟล์ โหนดนั้นจะทำหน้าที่แทนเสาสัญญาณในการส่งชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัส ซึ่งจะช่วยลดระยะทางการร้องขอลงได้

3.2.9 การปรับปรุงโพรโทคอลหาเส้นทางให้เหมาะสมกับการกระจายไฟล์แบบร่วมมือ(Co-operative distribution)

การส่งข้อความร้องขอใช้โพรโทคอลพื้นฐานเช่น GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing) [9] ไปยังเสาสัญญาณ หรือ โพรโทคอลการหาเส้นทางโดยใช้ GPS เช่น [10] เป็นต้น และในการตอบกลับของเสาสัญญาณสำหรับการส่งข้อมูลต่อในแต่ละครั้ง ไม่ได้เป็นการส่งต่ออย่างเดียว แต่เป็นการนำชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสที่ได้รับ รวมกับข้อมูลที่มีอยู่แล้วแบบการเข้ารหัสเชิงเส้นดังสมการ (2) และ สมการ (3) แล้วค่อยเลือกโหนดส่งต่อต่อไป ทั้งนี้เพื่อเพิ่ม Rank ของโหนดให้สูงขึ้น ซึ่งการที่Rank สูงขึ้นจะเป็นประโยชน์สำหรับโหนดในการกระจายไฟล์ เพราะลดการทิ้งข้อมูลอันเกิดจากการขึ้นต่อกันอย่างเชิงเส้น นอกจากนี้ได้มีการปรับการส่งต่อเป็นการส่งต่อแบบบรอดคาสต์แทนการส่งแบบยูนิคาสต์ เนื่องจากโหนดมีการเคลื่อนที่ หากส่งข้อมูลแบบยูนิคาสต์ โหนดอาจจะไม่ได้รับข้อมูลได้ซึ่งทำให้ข้อมูลเกิดการส่งที่เสียเปล่า ลดปัญหาอันเกิดจากการเคลื่อนที่ของโหนด

บทที่ 4
การทดลองและวิเคราะห์ผล

4.1 ภาพรวมของการทดลอง

ในบทนี้จะทำการวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลการกระจายไฟล์แบบเข้ารหัสทางเครือข่ายด้วยการร้องขอแบบปรับได้ในแต่ละด้าน คือ ความเร็วในการกระจายไฟล์ (Content Distribution Latency) ค่าใช้จ่าย (Overhead) และ ประสิทธิภาพ (Efficiency) โดยทำการทดสอบในแง่มุมต่างๆพร้อมทั้งเปรียบเทียบ

4.2 ตัววัดสมรรถนะของโพรโทคอล (Performance Metrics)

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการวัดสมรรถนะของโพรโทคอลใน 3 ด้าน คือ

1 ความเร็วในการกระจายไฟล์ (Content Distribution Latency): เป็นวัตถุประสงค์หลักในการออกแบบโพรโทคอลคือ รถยนต์สามารถแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการดาวโหลดไฟล์ลดลง วัดจากระยะเวลาที่รถเริ่มรับชิ้นส่วน จนกระทั่งได้รับชิ้นส่วนครบทั้งหมดเพียงพอที่จะสามารถถอดรหัสออกมาได้

2 ประสิทธิภาพ (Efficiency) : แสดงถึงความสามารถการทำงานของโพรโทคอลการกระจายไฟล์แบบเข้ารหัสทางเครือข่ายด้วยการร้องขอแบบปรับได้ คำนวณจากจำนวนครั้งในการส่งข้อมูล

3 ค่าใช้จ่าย (Overhead) : สำหรับโพรโทคอลการกระจายไฟล์แบบเข้ารหัสทางเครือข่ายด้วยการร้องขอแบบปรับได้มีค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมจากการหาเส้นทาง ซึ่งจำเป็นต้องมีการแลกเปลี่ยน Beacon โดยได้แสดงให้เห็นการเพิ่มขึ้นของค่าใช้จ่าย (Overhead) ในส่วนนี้

4.3 เครื่องมือในการวัดสมรรถนะของโพรโทคอล

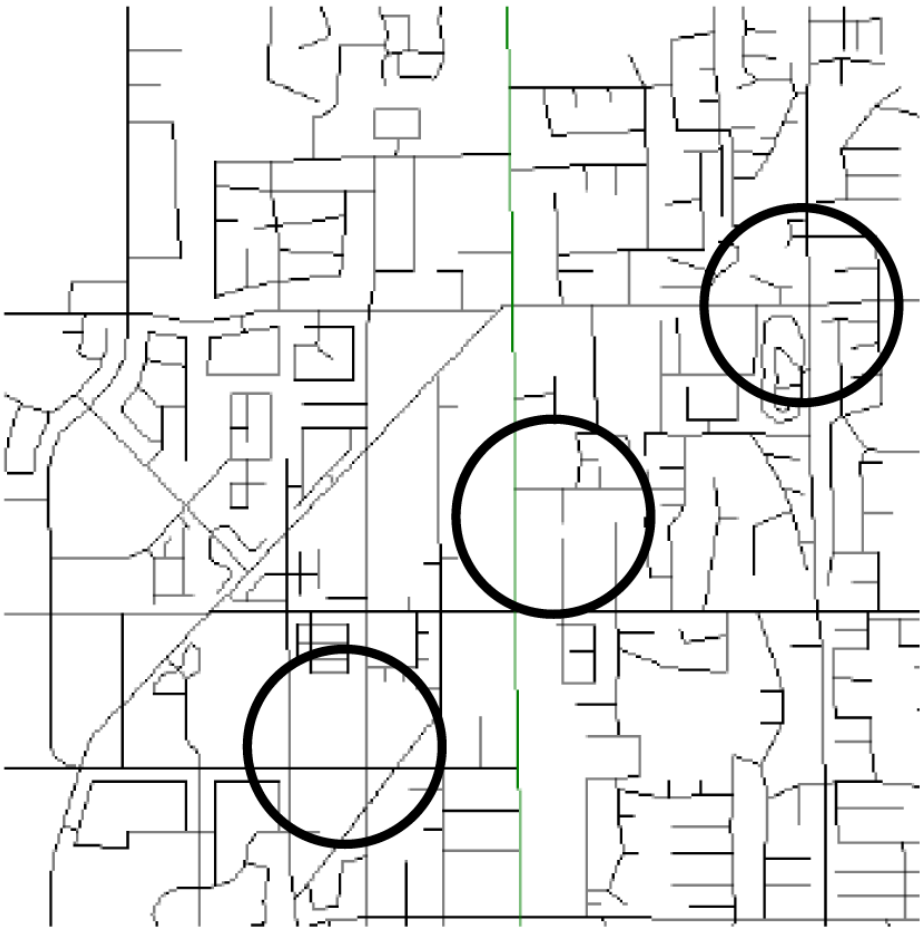
โพรโทคอลการกระจายไฟล์แบบเข้ารหัสทางเครือข่ายด้วยการร้องขอแบบปรับได้เป็นโพรโทคอลที่ออกแบบเพื่อใช้งานบนรถยนต์ ดังนั้นการทดสอบจริงบนท้องถนน ย่อมเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงได้เลือกโปรแกรมจำลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพดังนี้

1 โปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ของรถ SUMO (Simulation of Urban Mobility) [12] ซึ่งใช้ในการจำลองพฤติกรรมของรถยนต์

2 โปรแกรมจำลอง NS-2.34 (Network Simulation)[11] เป็นโปรแกรมจำลองลักษณะการทำงานเครือข่ายไร้สาย

4.4 สภาพแวดล้อมที่ใช้ในการทดลอง

ท้องถนนที่ใช้มีขนาด 2400เมตร x 2400 เมตร ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของเมือง Los Angeles ซึ่งอาศัยข้อมูลรายละเอียดของถนนจากฐานข้อมูลระบบ U.S. Census Bereau TIGER System [13] นำเข้าโดยใช้โปรแกรม CORNER[17] โดยที่โปรแกรมนี้จะสร้างไฟล์ XML เพื่อใช้เป็นส่วนนำเข้าของ SUMO (Simulation of Urban Mobility) โดยมีการวางเสาสัญญาณที่มีรัศมีการส่งดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนที่

4.5 ผลการทดลอง

ผลการทดลองทดลองในหัวข้อนี้เป็นผลการทดลองที่แสดงผลการทดลองในมุมกว้าง เพื่อรายงานผลด้านความเร็วในการกระจายไฟล์ (Content Distribution Latency) ค่าใช้จ่าย (Overhead) และ ประสิทธิภาพ (Efficiency) สำหรับผลการทดลองฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วน (Cumulative Distribution Function of Exchanged Coded Piece) เป็นผลที่ใช้อธิบายเพิ่มเติมของกราฟประสิทธิภาพ ส่วนกราฟผลการทดลองแสดงการเปรียบเทียบความเร็วเป็นกราฟที่นำกราฟความเร็วในการกระจายไฟล์ (Content Distribution Latency) มาแสดงความสัมพันธ์ด้านความเร็ว การทดสอบกระทำภายใต้พารามิเตอร์ตามตาราง 4.1

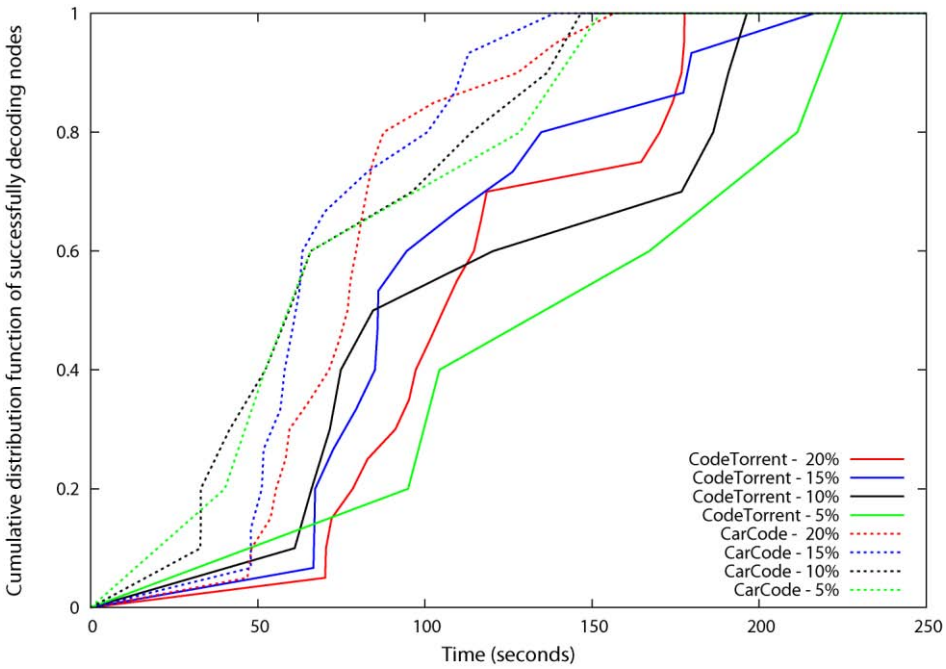
ขนาดแผนที่	2400 เมตร x 2400 เมตร
การสื่อสารไร้สาย	มาตรฐาน : IEEE802.11 ระยะเชื่อมต่อสูงสุด : 250 เมตร
สภาพการจราจร	ความเร็วสูงสุด : 50, 80 และ 110 กิโลเมตร/ชั่วโมง
เปอร์เซนต์โหนดที่มีความสนใจดาวโหลดไฟล์	5 % ,10 % ,15 % และ 20 %
ค่าระยะเวลารอสูงสุด	5 วินาที
ค่าระยะเวลาต่ำสุด	1 วินาที
ค่าจำนวนชิ้นที่ร้องขอสูงสุด	38 ชิ้น
ค่าจำนวนชิ้นที่ร้องขอต่ำสุด	1 ชิ้น
ขนาดของไฟล์	1 MB
ขนาดของชิ้นส่วน	8 kB
จำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด	125 ชิ้น
จำนวนโหนด	100 โหนด
ค่า threshold	40

ตาราง 4.1 พารามิเตอร์

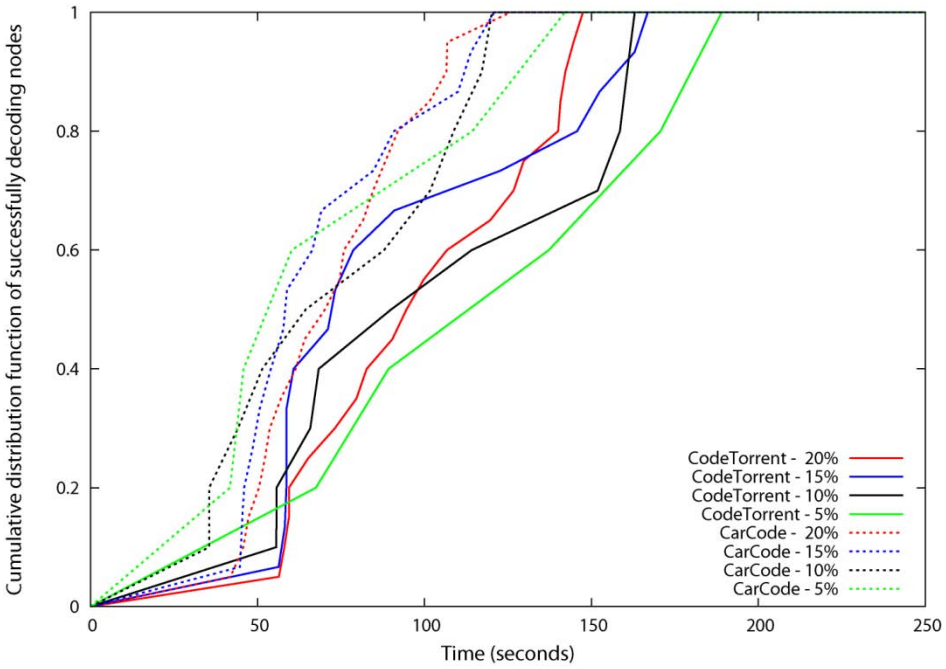
4.5.1 ผลการทดลองความเร็วในการกระจายไฟล์ (Content Distribution Latency)

การวัดความเร็วในการกระจายไฟล์ โดยได้วัดออกมาเนการกระจายเป็นฟังก์ชันการกระจายสะสม(Cumulative Distribution Function) สำหรับโหนดที่สามารถถอดรหัสไฟล์ออกมาได้ โดยได้แสดงผลออกมาในแต่ละเปอร์เซ็นต์ความสนใจของโหนดตั้งแต่ 5 เปอร์เซ็นต์ จนถึง 20 เปอร์เซ็นต์ และได้แสดงผลของกราฟในที่ความเร็วต่างกัน ตั้งแต่ความเร็วต่ำ (50 km/hr) ความเร็วปานกลาง (80 km/hr) และความเร็วสูง (110 km/hr)

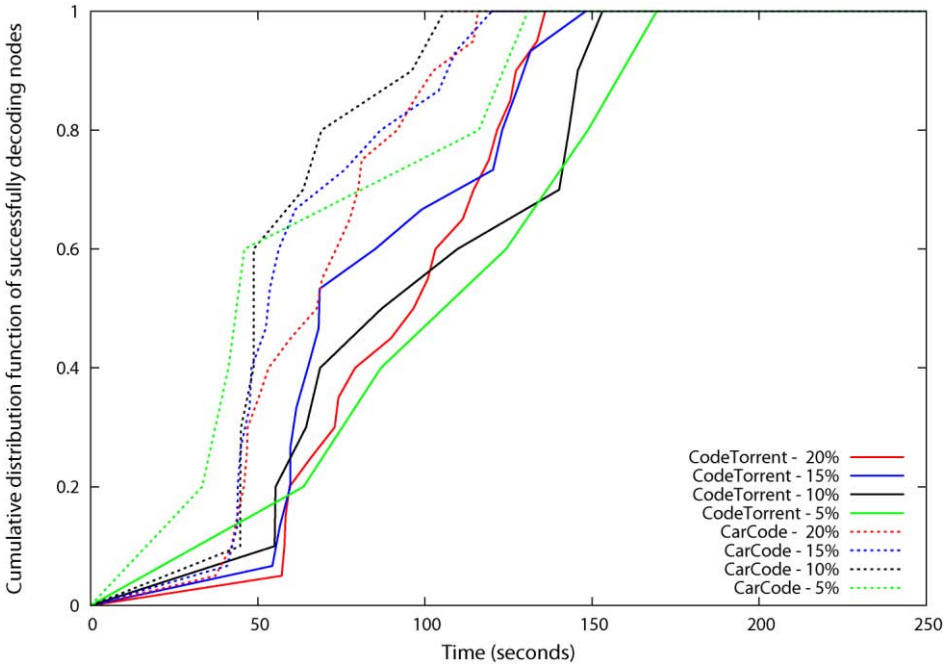
ผลการทดลองทดลองด้านความเร็วในการกระจายไฟล์ (Content Distribution Latency) พบว่าโพรโทคอล CARCODE สามารถลดระยะเวลาในการดาวโหลดไฟล์ได้ทุกเปอร์เซ็นต์ของโหนดที่มีความสนใจ ตั้งแต่ความเร็วต่ำ ความเร็วปานกลาง จนกระทั่งความเร็วสูง เมื่อเทียบกับโพรโทคอล CodeTorrent เนื่องจากโหนดสามารถร้องขอชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสไปยังเสาสัญญาณ หรือ โหนดที่มีชิ้นส่วนอยู่เต็ม ซึ่งข้อมูลที่เสาสัญญาณ หรือ โหนดเก็บไว้นั้นเป็นข้อมูลที่มีค่า Rank ค่อนข้างสูงทำให้โหนดสามารถได้รับชิ้นส่วนได้เร็วขึ้น โหนดจะปรับตัวให้เข้ากับสภาวะแวดล้อม โหนดจะคำนวณเวลานับถอยหลังจากการวัดอัตราการตรวจจับเพื่อนบ้านเข้าใหม่ (New Neighbors Detection Rate) โดยหากไม่ได้รับชิ้นส่วนจากเพื่อนบ้านในระยะเวลานับถอยหลัง โหนดจะส่งการร้องขอไปยังเสาสัญญาณ หรือถ้าระหว่างการร้องขอเจอโหนดที่สามารถให้ชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสได้ โหนดจะตอบแทนเสาสัญญาณ ซึ่งข้อมูลที่ส่งมาจากเสาสัญญาณเป็นข้อมูลที่เข้ารหัสใหม่ๆ มีโอกาสน้อยที่จะซ้ำกับข้อมูลโหนดที่ทำการร้องขอทำให้สามารถรับชิ้นส่วนได้เร็วจนสามารถถอดรหัสออกมาได้



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr

4.5.2 ผลการทดลองค่าใช้จ่ายของโพรโทคอล (Overhead)

ผลค่าใช้จ่ายในส่วนของงาน CodeTorrent ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายทั้งหมด 3 ส่วนได้แก่

1 ค่าใช้จ่ายอันเกิดจากข้อความร้องขอ (Request Message)

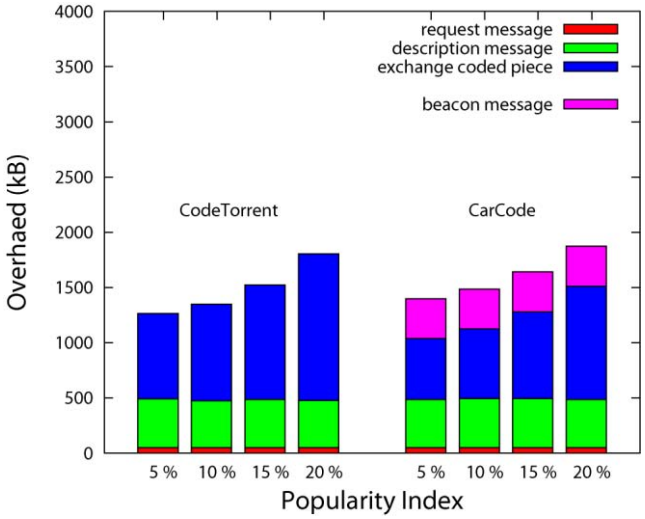
2 ค่าใช้จ่ายอันเกิดจากข้อความคำอธิบายไฟล์ (Description Message)

3 ค่าใช้จ่ายอันเกิดจากการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัส (Exchange Coded Piece)

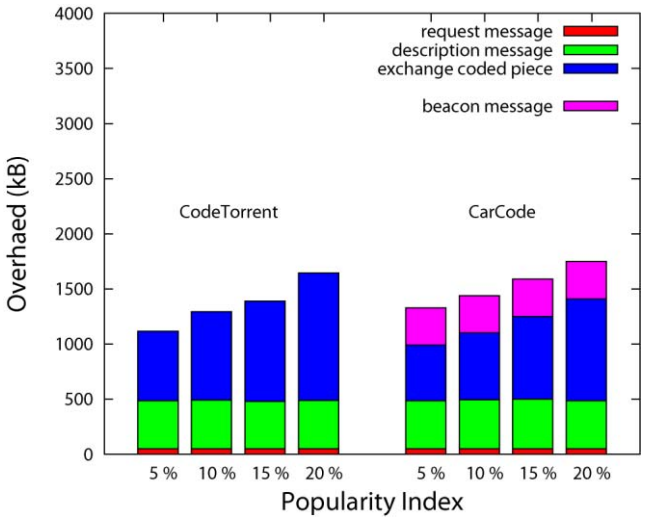
สำหรับในส่วนของ CARCODE มีค่าใช้จ่ายในส่วนของการแลกเปลี่ยน Beacon เพิ่มขึ้นมา ซึ่งเกิดจากการหาเส้นทางเพื่อส่งชิ้นส่วนไปยังเป้าหมาย

โพรโทคอล CARCODE มีส่วนของค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นมาจากการทำ Beacon เพื่อหาเส้นทาง แต่สำหรับ CodeTorrent ไม่มีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ ซึ่งBeacon เป็นค่าใช้จ่ายสำหรับทุกโพรโทคอลที่ทำการหาเส้นทางอยู่แล้ว แต่ส่วนของค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการส่งชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสได้ลดลง เนื่องมาจากการร้องขอส่วนที่ถูกเข้ารหัสแบบปรับได้ทำให้ CARCODE ได้รับชิ้นส่วนที่เข้ารหัส ซึ่งทำให้ Rank สูงขึ้น จนทำให้สามารถถอดรหัสได้เร็วกว่า ส่งผลให้

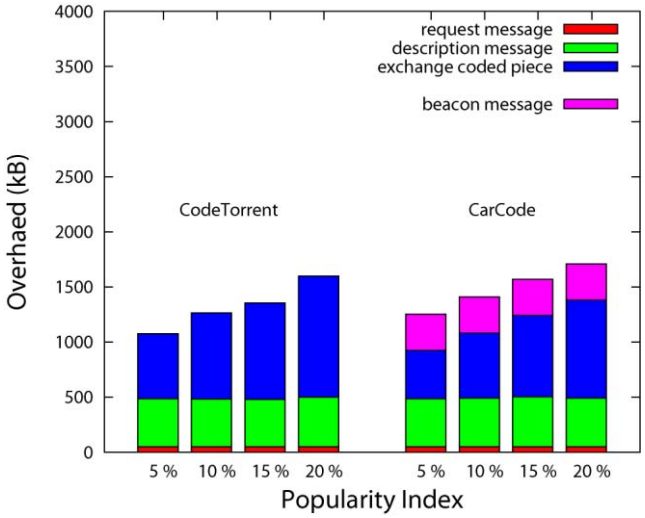
CARCODE หยุดแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสก่อน CodeTorrent ซึ่ง การที่CodeTorrent ร้องขอจากเพื่อนบ้านรัศมีหนึ่งก้าวกระโดด นอกจากจะทำให้ได้รับชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสช้าแล้ว ชิ้นส่วนที่ร้องขอจากเพื่อนบ้านมีโอกาสสูงที่จะไม่มีประโยชน์ทำให้ต้องโยนทิ้งไป เมื่อเทียบกับการร้องขอจากเสาสัญญาณ ซึ่งได้ข้อมูลที่มีประโยชน์สูงกว่า



รูปที่ 4.5 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายของโพรโทคอลที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายของโพรโทคอลที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่าใช้จ่ายของโพรโทคอลที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr

4.5.3 ผลการทดลองประสิทธิภาพ (Efficiency)

การกระจายไฟล์อย่าเข้าหรังมีประสิทธิภาพ คือการที่โหนดแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสน้อย แต่สามารถถอดรหัสได้เร็ว เราได้นิยามความหมายของชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัส คือ จำนวนชิ้นส่วนที่แลกเปลี่ยนต่อจำนวนชิ้นส่วนของไฟล์ที่ต้องรับต่อโหนด ซึ่งสามารถเขียนสมการดังนี้

$$Efficiency = \frac{number\ of\ exchanged\ coded\ piece}{number\ of original\ piece\ x\ number\ of\ node} \qquad (5)$$

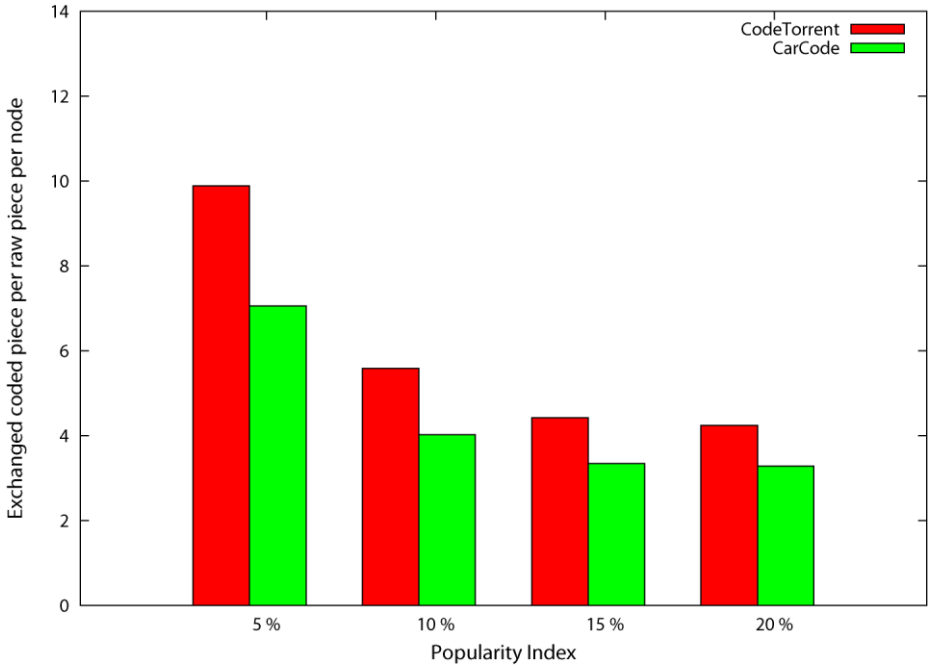
กำหนดให้ $number\ of\ exchanged\ coded\ piece$ เป็นจำนวนครั้งในการส่ง

$number\ of original\ piece$ เป็นจำนวนชิ้นส่วนหลังจากการแบ่งไฟล์

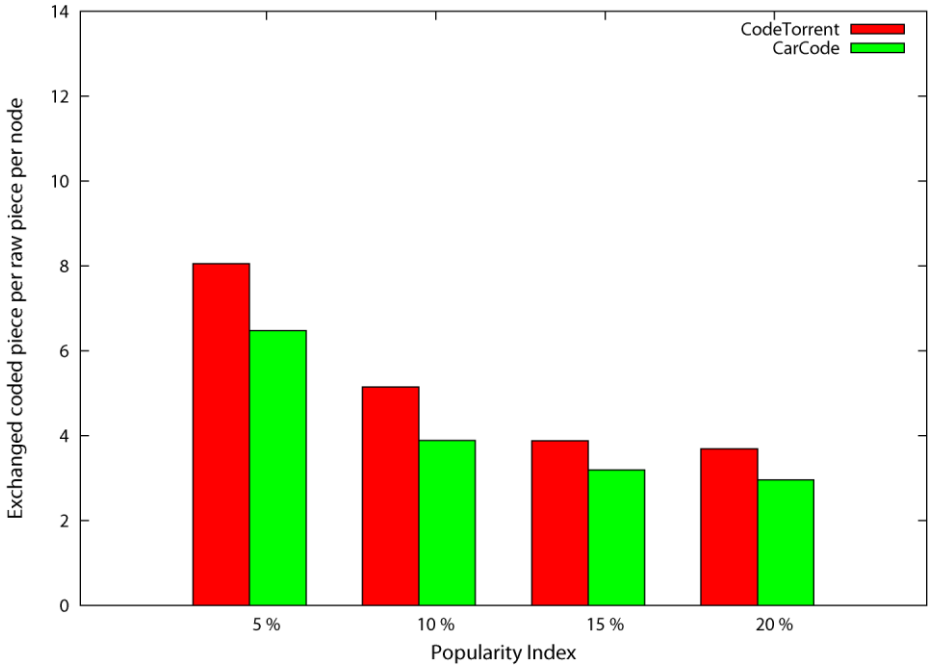
$number\ of node$ เป็นจำนวนโหนด

ค่าที่น้อยหมายถึงว่ามีประสิทธิภาพสูงกว่า ผลที่ได้คือ CARCODE มีประสิทธิภาพในการส่งสูงกว่า กล่าวคือ ใช้จำนวนครั้งในการส่งน้อยกว่า แต่สามารถถอดรหัสได้เร็วกว่า เนื่องจาก CARCODE หยุดแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสก่อน ทำให้จำนวนชิ้นที่สูญเสียลดลง สังเกตได้ว่าที่ค่า Popularity Index น้อยจะมีค่า Efficiency ที่ไม่ดีเมื่อเทียบกับ Popularity Index สูง เนื่องจากที่ค่าความสนใจโหนดน้อยมีโหนดที่สามารถช่วยเหลือให้ชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสได้น้อยกว่า ทำให้จำนวนครั้งในการส่งชิ้นส่วนสูงเมื่อเทียบกับชิ้นส่วนที่รับแล้วต้อง

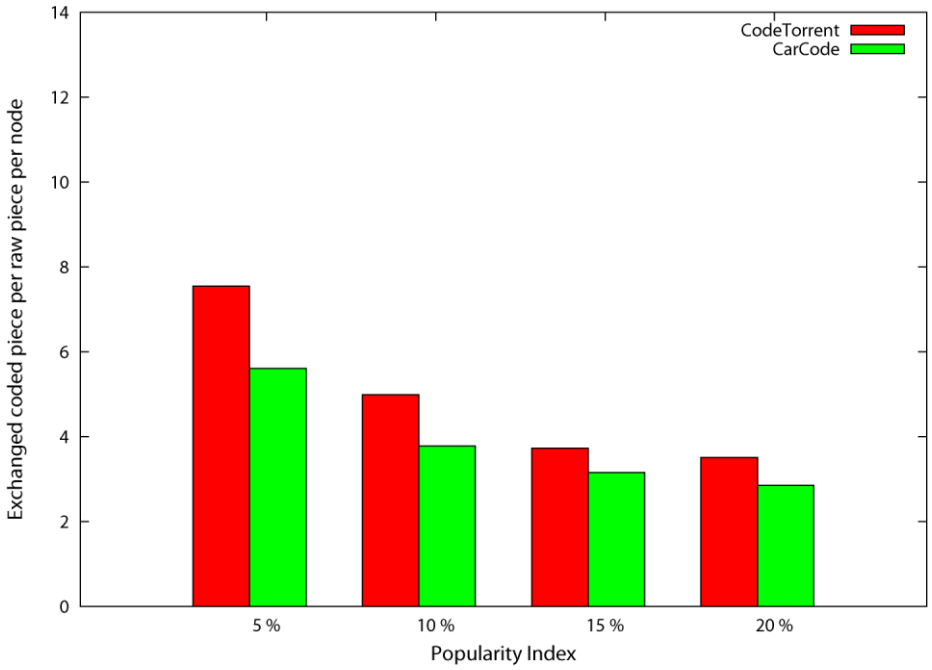
ทิ้งไป แต่ในกรณีที่โหนดที่มีความสนใจในการดาวโหลดไฟล์ที่สูงขึ้นทำให้มีโหนดช่วยเหลือมาก โหนดสามารถหยุดดาวโหลดได้เร็วขึ้น ประสิทธิภาพจึงสูงขึ้น



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงประสิทธิภาพที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงประสิทธิภาพที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr

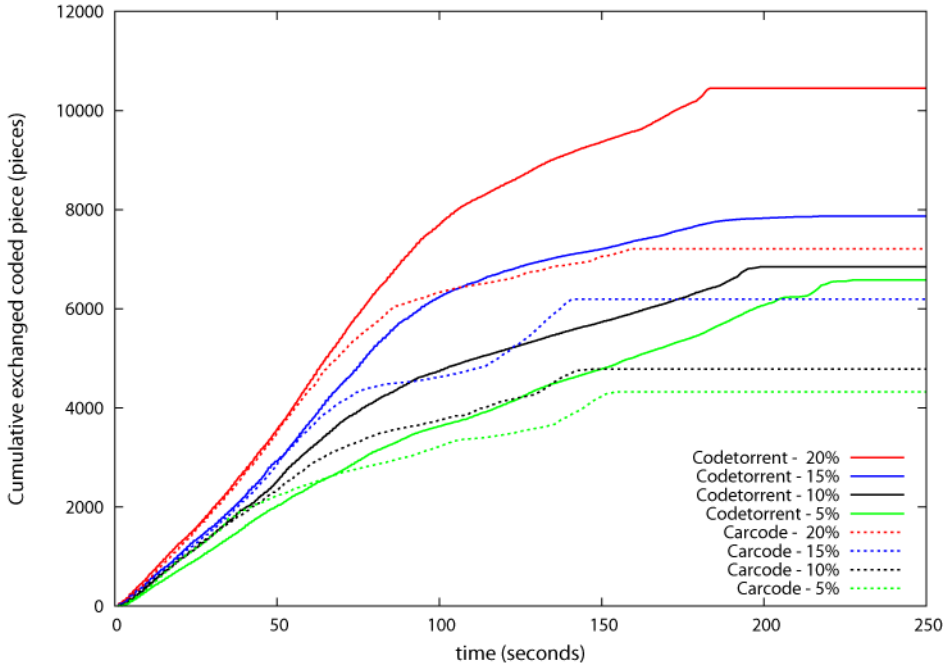


รูปที่ 4.10 กราฟแสดงประสิทธิภาพที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr

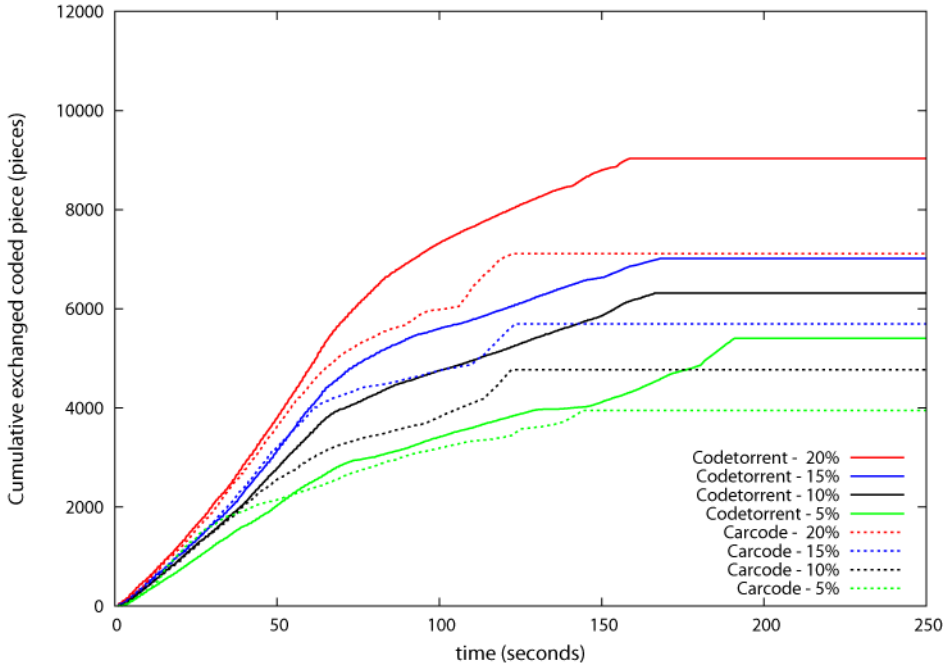
4.5.4 ผลการทดลองฟังก์ชันการสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วน (Cumulative Exchanged Coded Piece)

กราฟฟังก์ชันการกระจายสะสมของการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนเป็นกราฟที่แสดงถึงการเพิ่มขึ้นของจำนวนครั้งการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วน ณ ที่เวลาต่างๆ

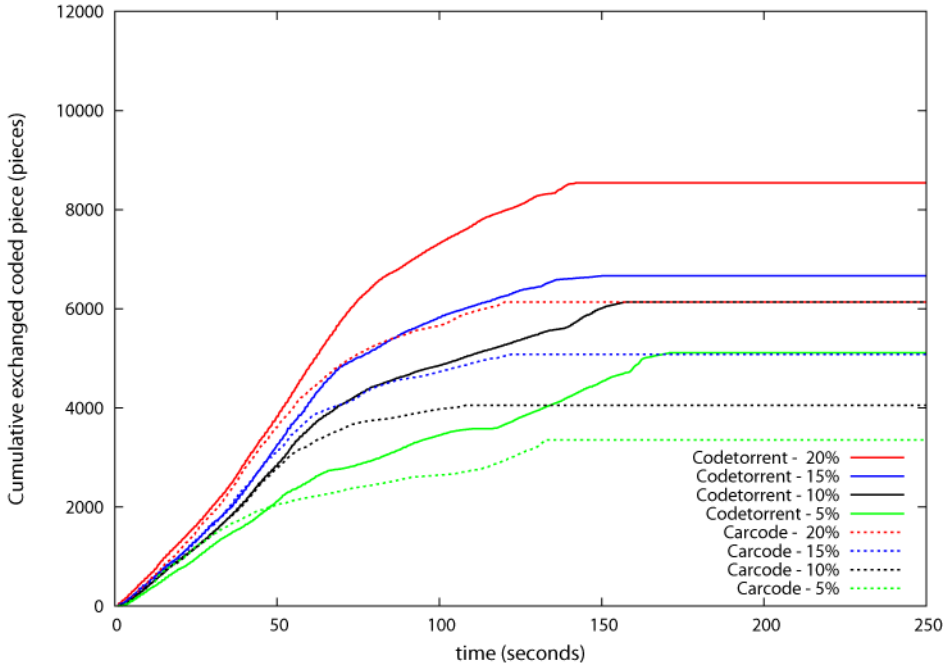
จากกราฟสามารถขยายคำอธิบายเพิ่มเติมจากกราฟผลการทดลองด้านประสิทธิภาพได้ว่า CARCODE หยุดการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสได้ก่อน CodeTorrent จึงทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสน้อยกว่า โดยที่มีเหตุผลเช่นเดียวกันคือ โหนดได้ร้องขอชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสจากเสาสัญญาณแบบปรับได้ ซึ่งวิธีนี้ทำให้โหนดได้รับชิ้นส่วนที่มีประโยชน์ได้เร็วกว่าการร้องขอจากเพื่อนบ้านรัศมีหนึ่งก้าวกระโดด โหนดจึงหยุดร้องขอได้เร็วกว่า



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr



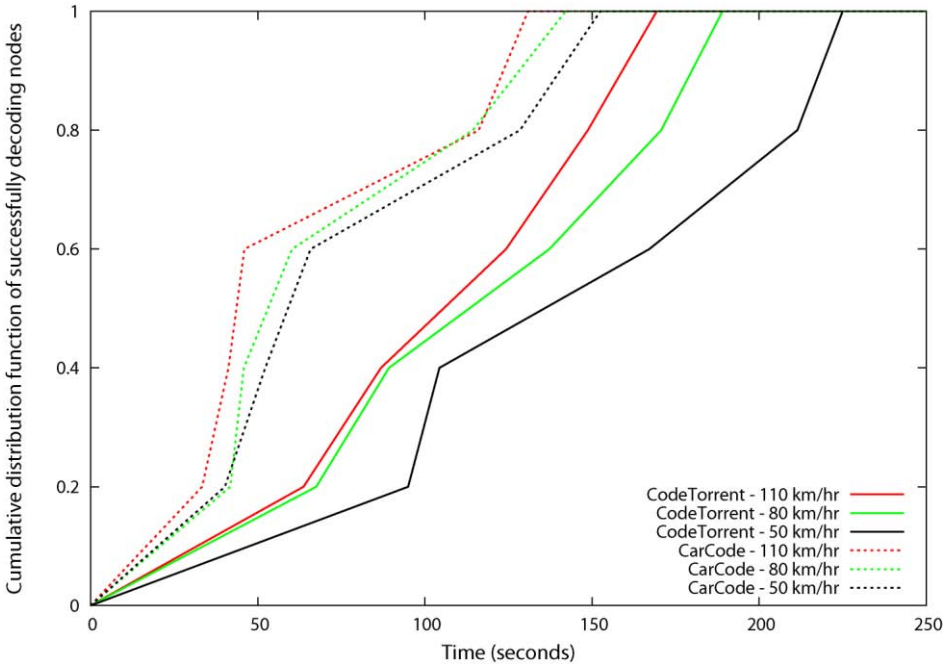
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr



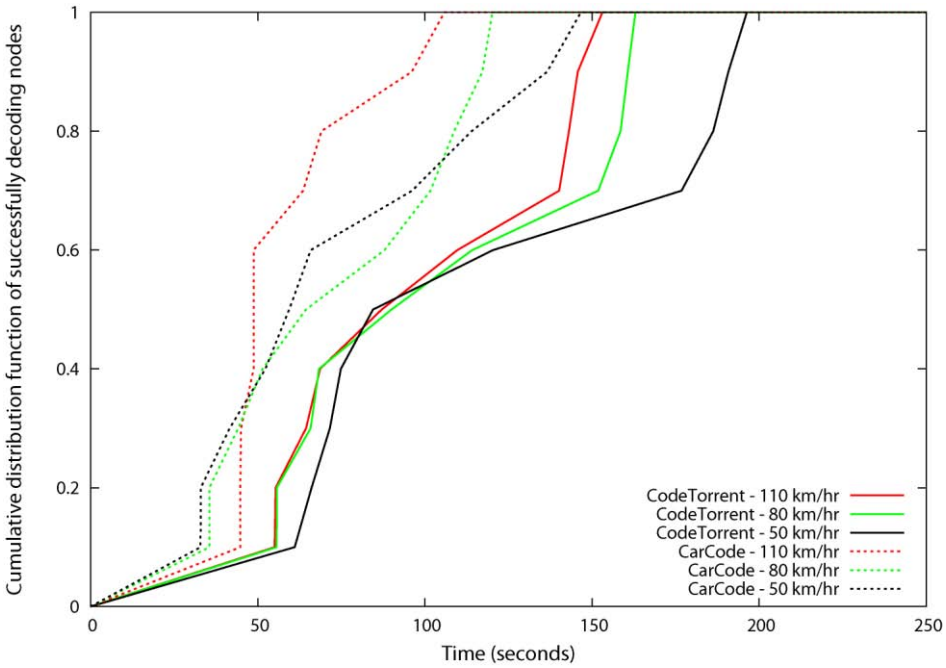
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr

4.5.5 ผลการทดลองแสดงการเปรียบเทียบความเร็ว

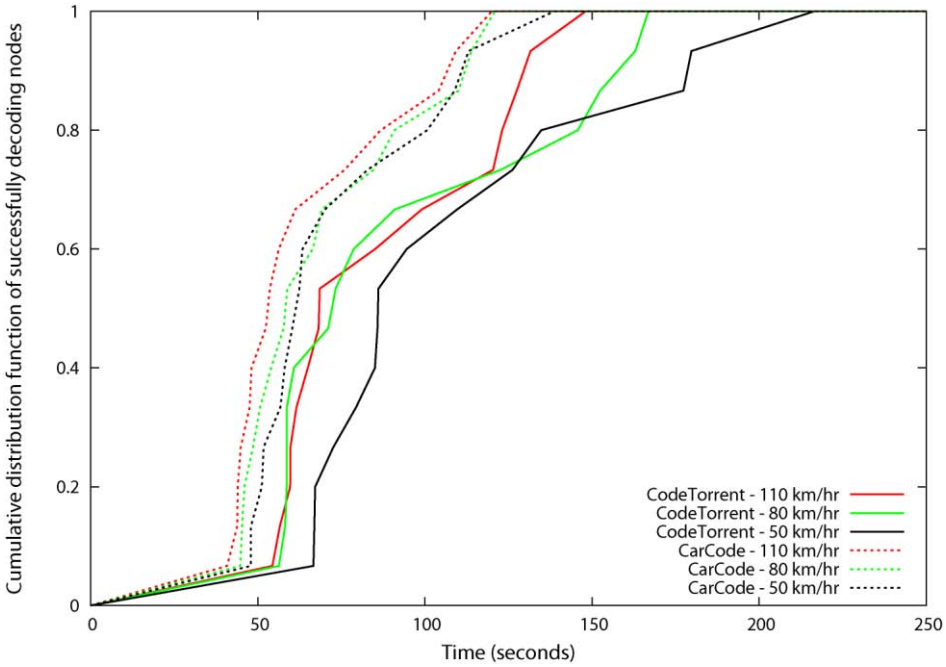
คุณสมบัติหนึ่งของเครือข่ายแอ็ดฮ็อกสำหรับยานพาหนะ (Vehicular ad hoc networks) คือค่าความเคลื่อนไหว ซึ่งในที่นี้หมายถึงความเร็ว กราฟนี้ได้แสดงถึงคุณสมบัติด้านความเร็วที่มีผลต่อความเร็วในการกระจายไฟล์ (Content Distribution Speed) ซึ่งได้ทำการทดสอบสำหรับทุกค่าเปอร์เซนความสนใจของโหนด ผลปรากฏว่าสำหรับทุกค่าความสนใจของโหนด ผลลัพท์อยู่ใน แนวโน้มเดียวกันคือ เมื่อรถยนต์มีความเร็วสูงขึ้น การดาวโหลดไฟล์จะทำได้เร็วขึ้น เหตุผลก็คือ โหนดที่มีความเคลื่อนไหวมากย่อมทำให้เจอเพื่อนบ้านใหม่ๆสูง ซึ่งมีผลทำให้โอกาสที่จะทำให้ได้รับชิ้นส่วนที่เป็นประโยชน์สูงขึ้นด้วย ดังนั้นโหนดที่มีความเร็วสูงสามารถถอดรหัสเพื่อหาไฟล์ต้นฉบับได้เร็ว ความสัมพันธ์ด้านความเร็วอาจไม่มีความแน่นอนหากโหนดไม่สามารถหาเส้นทางได้อย่างถูกต้อง ความเร็วในการกระจายไฟล์ (Content Distribution Speed) อาจไม่ได้เป็นไปในแนวโน้มดังกล่าว



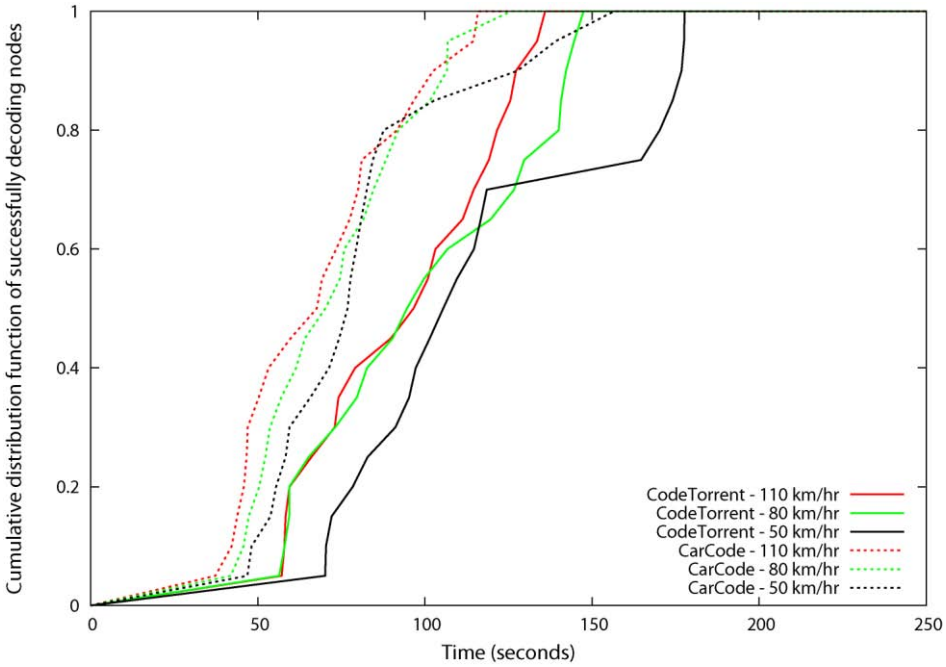
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเร็วที่ Popularity Index 5



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเร็วที่ Popularity Index 10



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเร็วที่ Popularity Index 15



รูปที่ 4.17 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความเร็วที่ Popularity Index 20

4.6 ผลการทดลองการปรับค่าพารามิเตอร์

เป็นการทดสอบในด้านลึก ภายใต้การปรับพารามิเตอร์ตามตารางที่ 4.2 โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ปรับเป็นพารามิเตอร์ในแง่ความเร็วของยานพาหนะ (Speed of Vehicle) ค่าความสนใจของโหนด (Popularity Index) ค่าระยะเวลารอสูงสุด (Maximum Timeout) และ ค่าจำนวนชิ้นที่ร้องขอสูงสุด (Maximum Requesting Piece)

กราฟที่ใช้แสดงผลการทดลองเป็นกราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ และกราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วน กราฟแต่ละกราฟแสดงตามค่าแปรผันตามจำนวนชิ้นที่ร้องขอสูงสุด (Maximum Requesting Piece) โดยมีค่าระยะเวลารอสูงสุด (Maximum Timeout) ค่าความเร็วของยานพาหนะ (Speed of Vehicle) และ ค่าความสนใจของโหนด (Popularity Index) คงที่

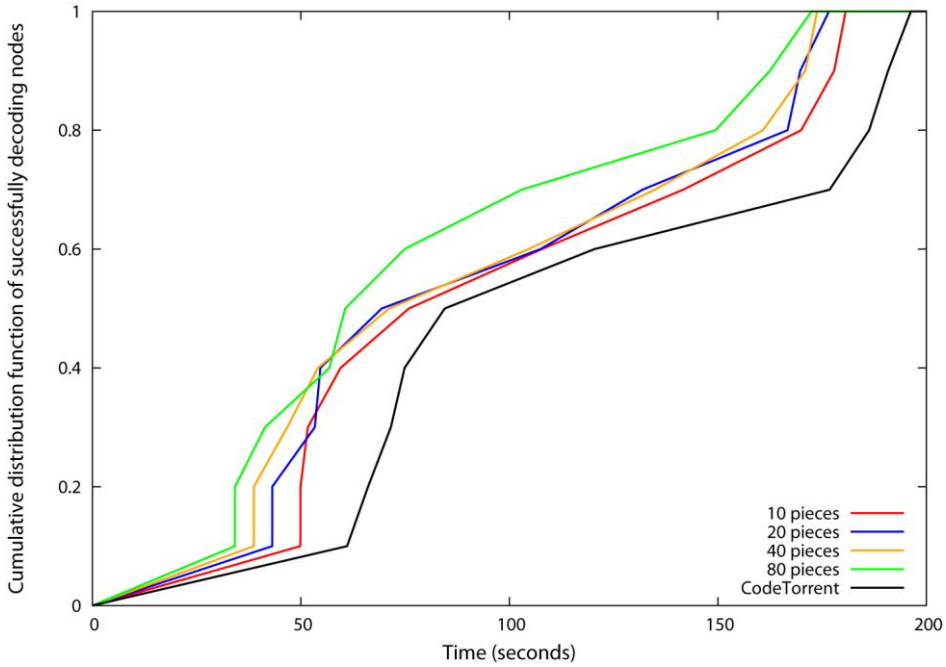
พารามิเตอร์ต่าง ๆสำหรับโพรโทคอลมีผลต่อความเร็วในการกระจายไฟล์ และจำนวนครั้งในการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่เห็นได้ชัดคือการกำหนดค่าระยะเวลารอสูงสุด (Maximum Timeout) ผลการทดลองพบว่าการกำหนดระยะเวลารอสูงสุด(Maximum Timeout) น้อยจะให้ผลที่ดีกว่าทั้งในแง่ความเร็วในการกระจายไฟล์ และ จำนวนครั้งในการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วน การกำหนดค่าระยะเวลารอสูงสุด(Maximum Timeout)มาก ย่อมมีผลทำให้ความเร็วในการกระจายไฟล์ไม่ดี รวมทั้งมีจำนวนครั้งในการส่งไฟล์สูง เมื่อเทียบการตั้งค่าระยะเวลารอสูงสุด (Maximum Timeout)น้อย ดังที่ปรากฏในผลดังรูปที่ 4.28,รูปที่ 4.29,รูปที่ 4.34,รูปที่ 4.35,รูปที่ 4.40,รูปที่ 4.41 รูปที่ 4.46,รูปที่ 4.47,รูปที่ 4.51 และ รูปที่ 4.52 โดยเฉพาะในรูปที่ 4.29 และ รูปที่ 4.35 ผลการทดลองจำนวนครั้งในการส่งไฟล์มีค่าสูงกว่างาน CodeTorrent เหตุผลก็คือการกำหนด(Maximum Timeout) สูง โหนดมีระยะเวลาการรอในกรณีที่ไม่ได้รับชิ้นส่วนที่รหัสนานเกิน และหากขอแล้วยังได้ไม่ครบต้องรออีกนานในรอบถัดไปอีก ทำให้โหนดหยุดการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ช้า ส่งผลให้จำนวนครั้งในการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสสูงตามด้วย

ในแง่ของจำนวนชิ้นการขอสูงสุด (Maximum Requesting Piece) การกำหนดให้จำนวนชิ้นการขอสูงสุด (Maximum Requesting Piece) น้อยมีผลทำให้ความเร็วในการกระจายไฟล์ต่ำเนื่องจากหากโหนดยังได้ชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสไม่ครบแล้วยังไม่สามารถดาวโหลดจากเพื่อนบ้านได้ โหนดต้องรอให้การนับระยะเวลาถอยหลังสิ้นสุดก่อน ถึงจะสามารถขอชิ้นส่วนเพิ่มเติมได้อีกครั้ง การตั้งจำนวนชิ้นการขอสูงสุด (Maximum Requesting Piece) สูงมีผลต่อการทดลองได้ใน 2 ลักษณะขึ้นอยู่กับการส่งสำเร็จในการหาเส้นทาง อย่างแรกคือ ในกรณีที่โหนดร้องขอชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสมาก แต่เสาสัญญาณไม่สามารถส่งมาได้สำเร็จ โหนดจำเป็นต้องร้องขอเพิ่มอีกจำนวนมากตามการตั้งค่าจำนวนชิ้นการขอสูงสุด (Maximum

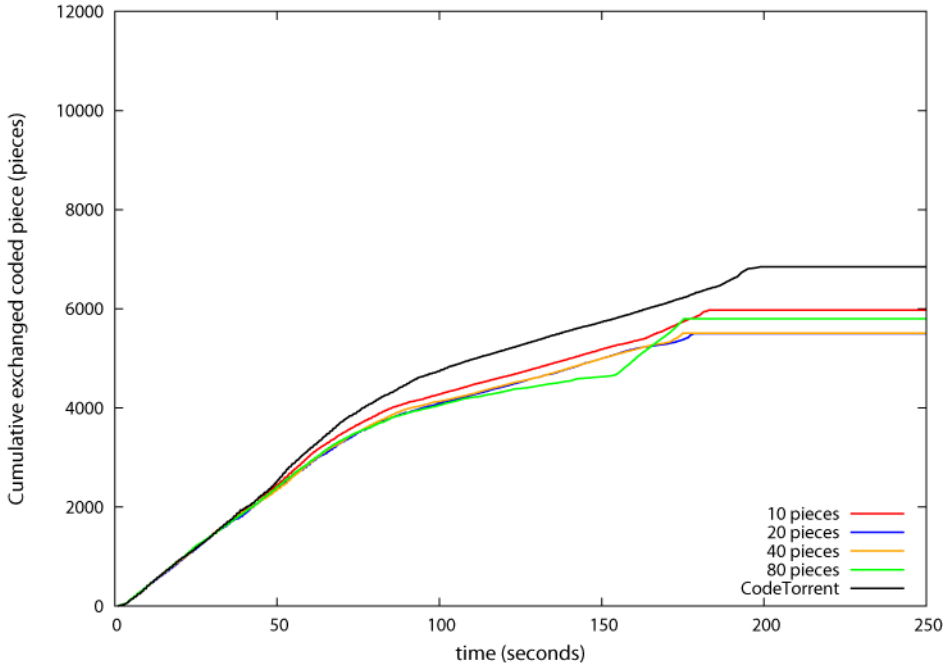
Requesting Piece) สูง ก็จะมีผลทำให้จำนวนครั้งในการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนสูง เพราะนอกจากจะร้องขอมากแล้วในแต่ละครั้งแล้ว ยังได้รับชิ้นส่วนเพื่อใช้ในการถอดรหัสในจำนวนที่น้อยส่งผลให้การส่งชิ้นส่วนมีความสูญเสียมาก ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.29 และ รูปที่ 4.35 เป็นต้น ในอีกลักษณะคือ หากกำหนดจำนวนครั้งในการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนมาก และสามารถส่งไปยังเป้าหมายได้ตามต้องการ ก็มีผลทำให้จำนวนครั้งในการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนน้อย เพราะว่าโหนดจะหยุดร้องขอได้เร็ว การที่โหนดร้องขอไปยังเสาสัญญาณซึ่งมี Rank สูง ย่อมได้ข้อมูลที่มีประโยชน์มากกว่าการร้องขอไปเรื่อยๆจากเพื่อนบ้านซึ่งมี Rank ต่ำกว่า ส่งผลความเร็วในการกระจายไฟล์สูง และ จำนวนครั้งในการส่งไฟล์มีค่าน้อย ดังที่ปรากฏในรูปที่ 4.42 ,รูปที่ 4.43 , รูปที่ 4.44 ,รูปที่ 4.45 ,รูปที่ 4.46 ,รูปที่ 4.47 ,รูปที่ 4.52 และ รูปที่ 4.53 หากโหนดหยุดแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนได้เร็ว ย่อมมีผลทำให้ประสิทธิภาพสูง เพราะใช้จำนวนครั้งในการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่น้อย

ขนาดแผนที่	2400 เมตร x 2400 เมตร
การสื่อสารไร้สาย	มาตรฐาน : IEEE802.11 ระยะเชื่อมต่อสูงสุด : 250 เมตร
สภาพการจราจร	ความเร็วสูงสุด : 50, 80 และ 110 กิโลเมตร/ชั่วโมง
เปอร์เซนต์โหนดที่มีความสนใจดาวโหลดไฟล์	10 % และ 20 %
ค่าระยะเวลารอสูงสุด	5, 10 และ 20 วินาที
ค่าระยะเวลาต่ำสุด	1 วินาที
ค่าจำนวนชิ้นที่ร้องขอสูงสุด	10, 20, 40 และ 80 ชิ้น
ค่าจำนวนชิ้นที่ร้องขอต่ำสุด	1 ชิ้น
ขนาดของไฟล์	1 MB
ขนาดของชิ้นส่วน	8 kB
จำนวนชิ้นส่วนทั้งหมด	125 ชิ้น
จำนวนโหนด	100 โหนด
ค่า threshold	10

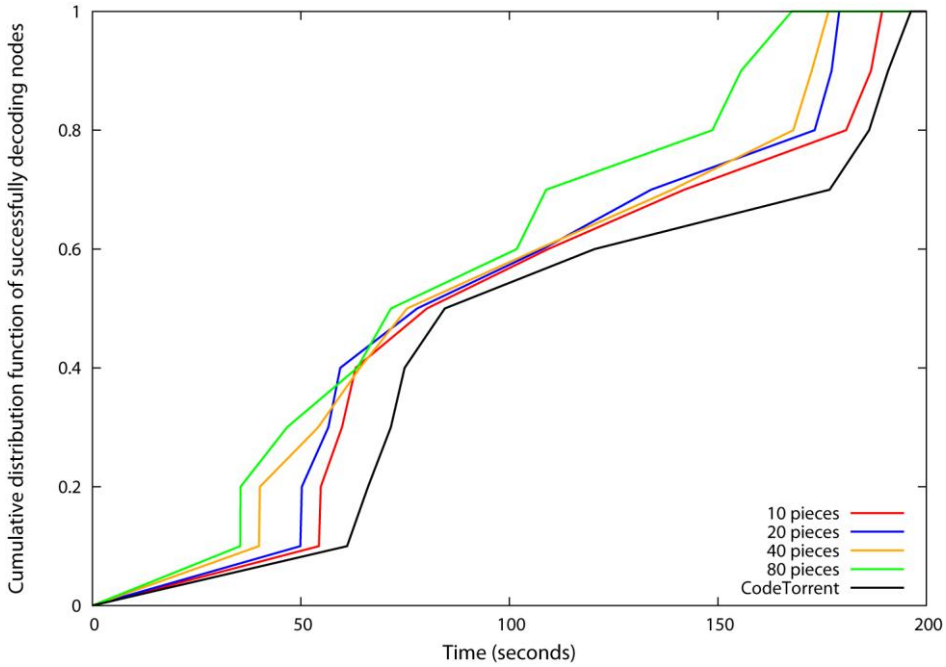
ตาราง 4.2 พารามิเตอร์สำหรับการปรับค่าพารามิเตอร์



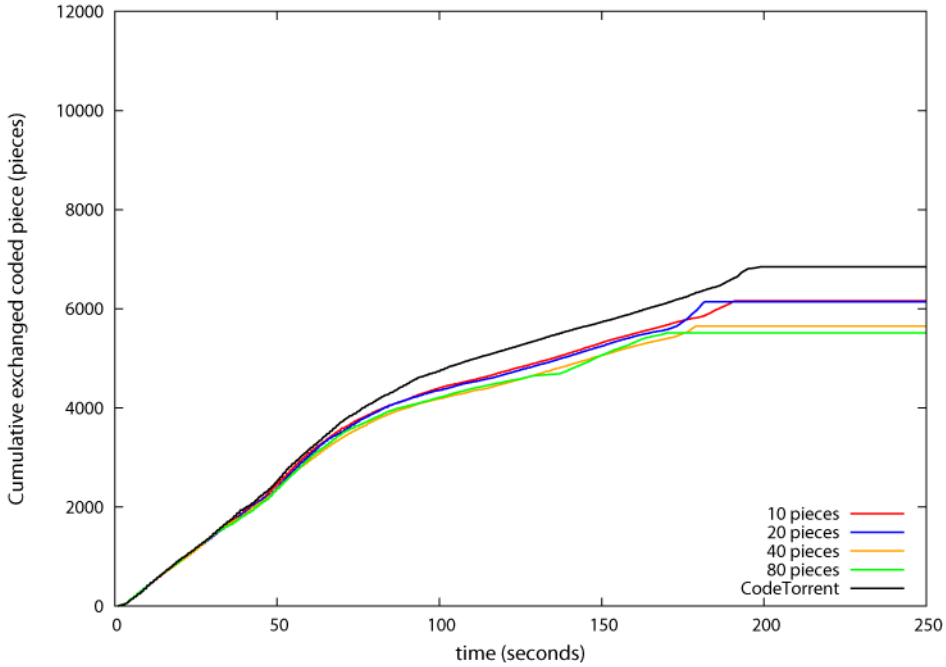
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10



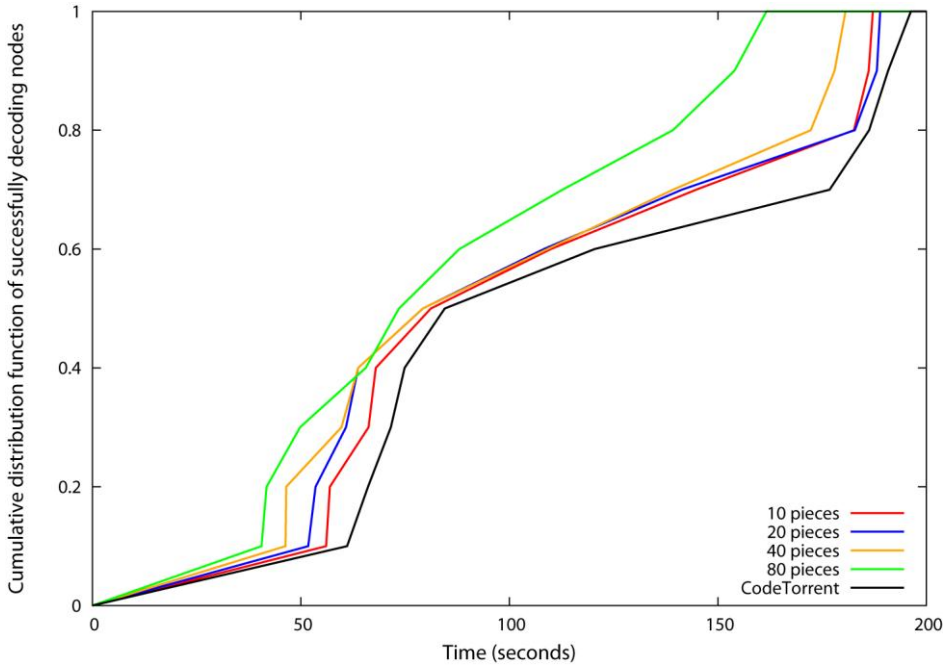
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10



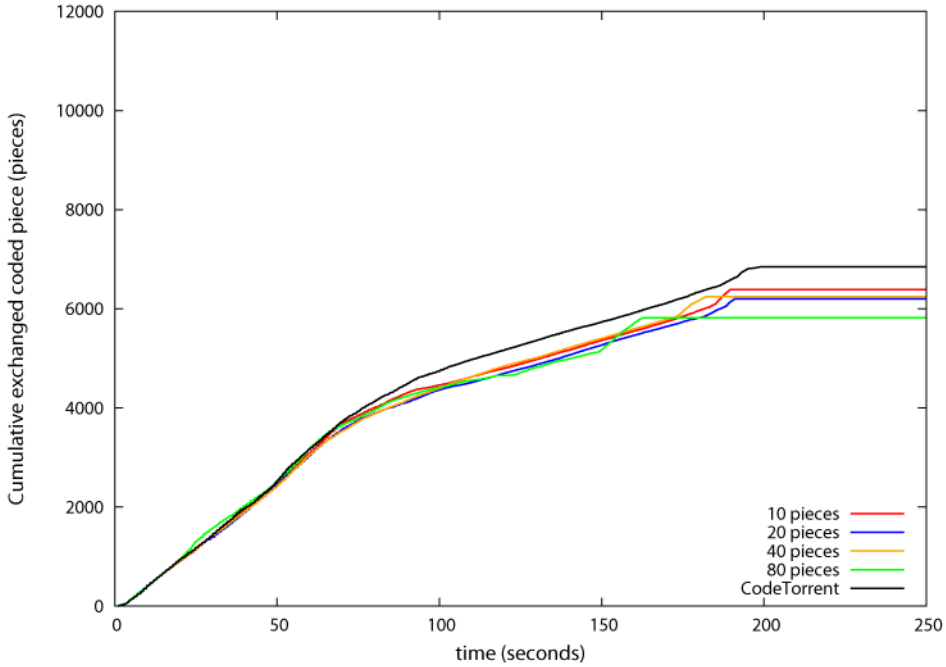
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10



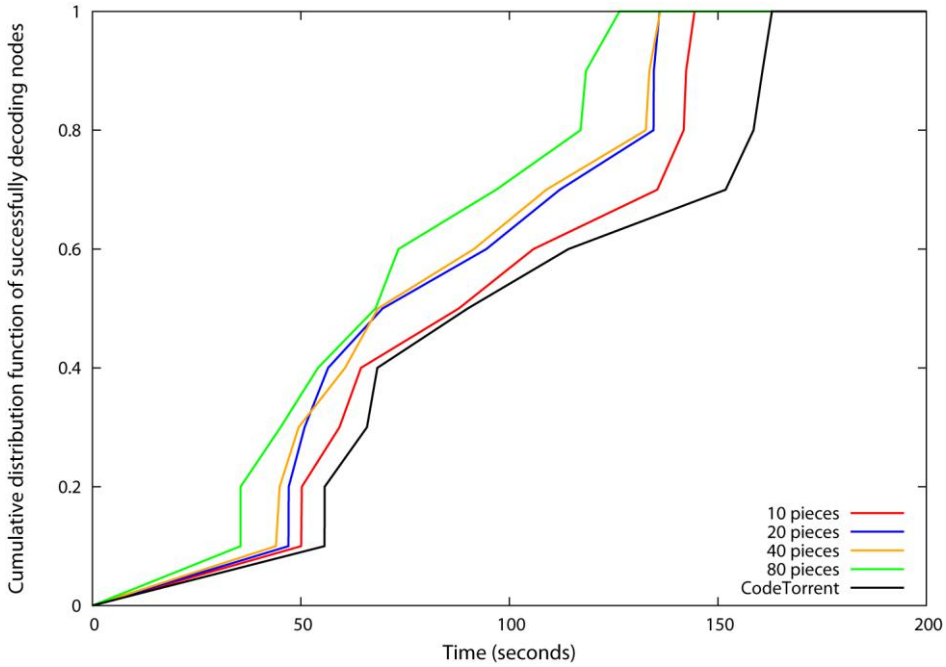
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10



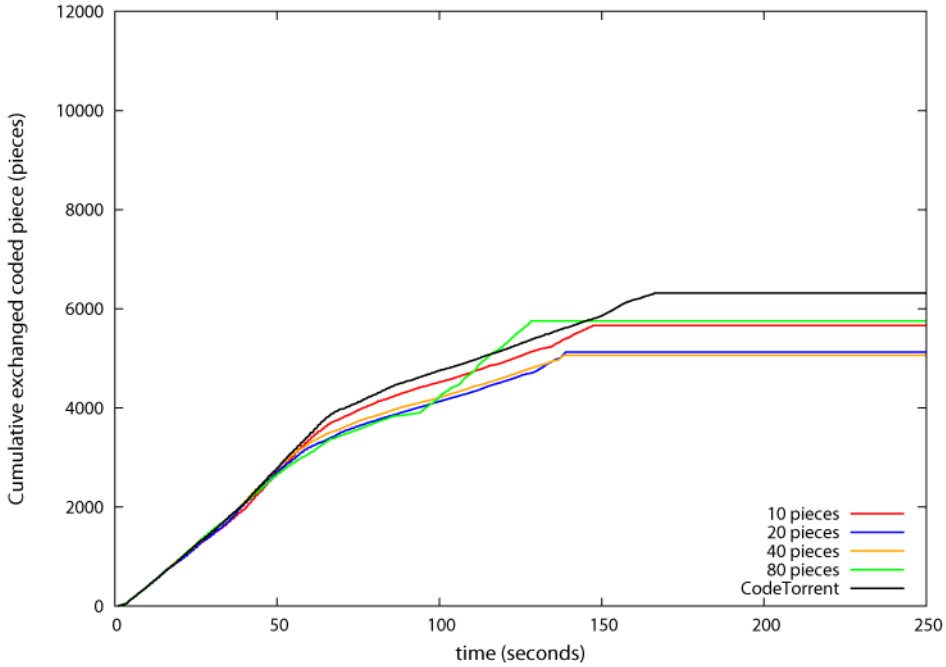
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10



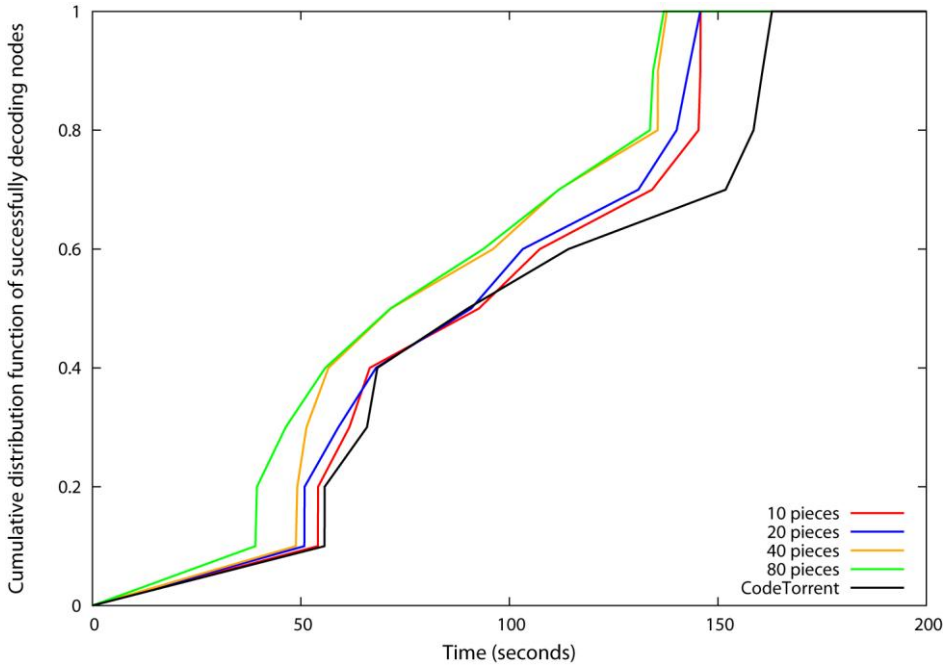
รูปที่ 4.23 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10



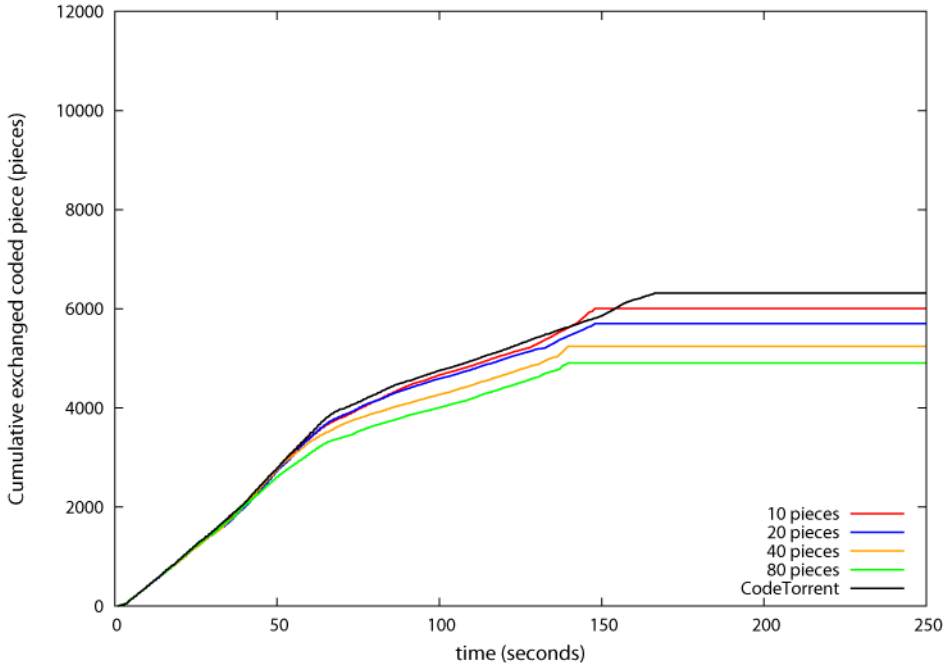
รูปที่ 4.24 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10



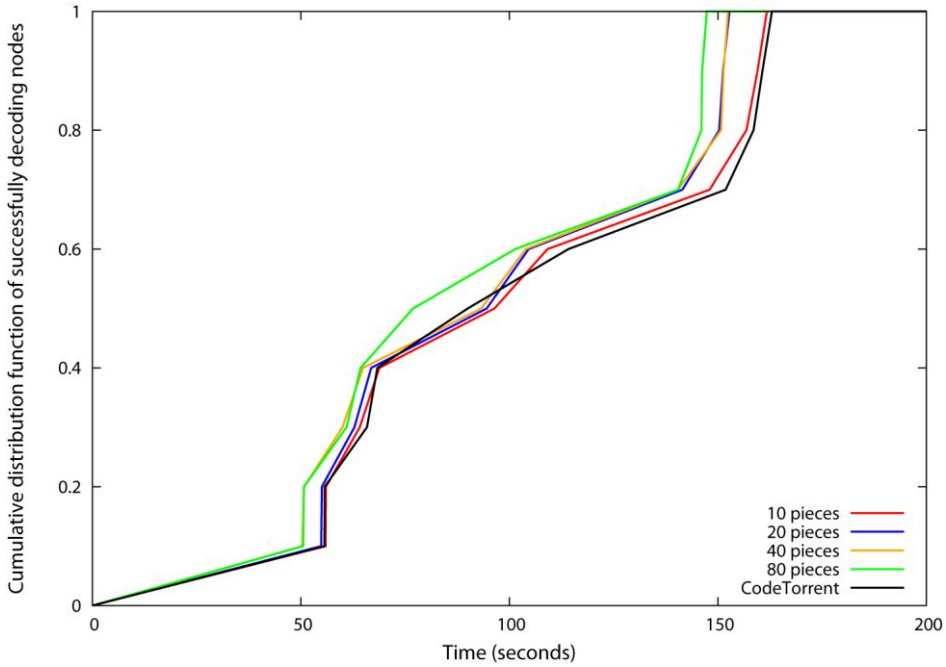
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10



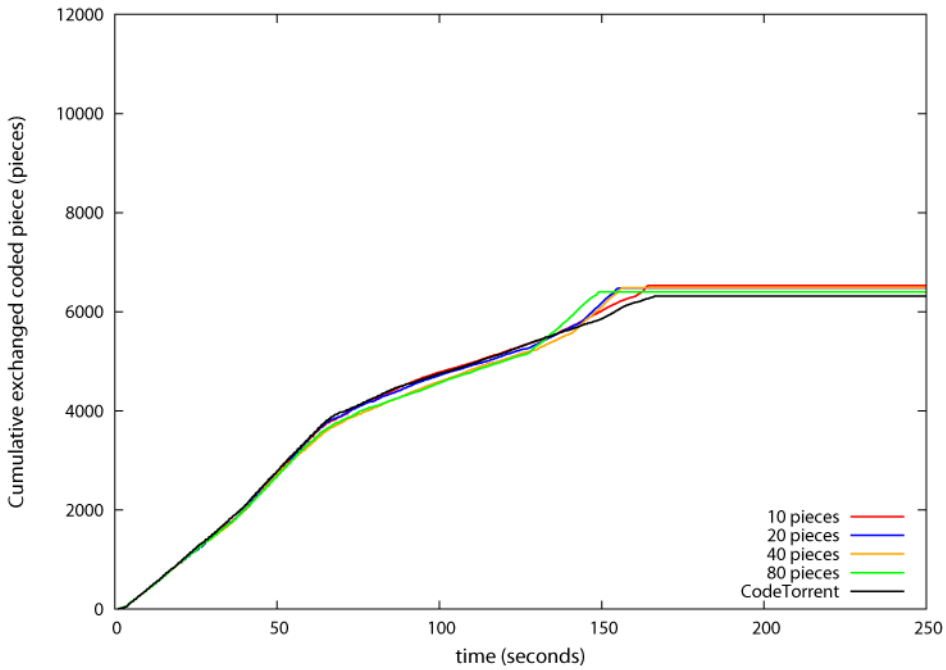
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10



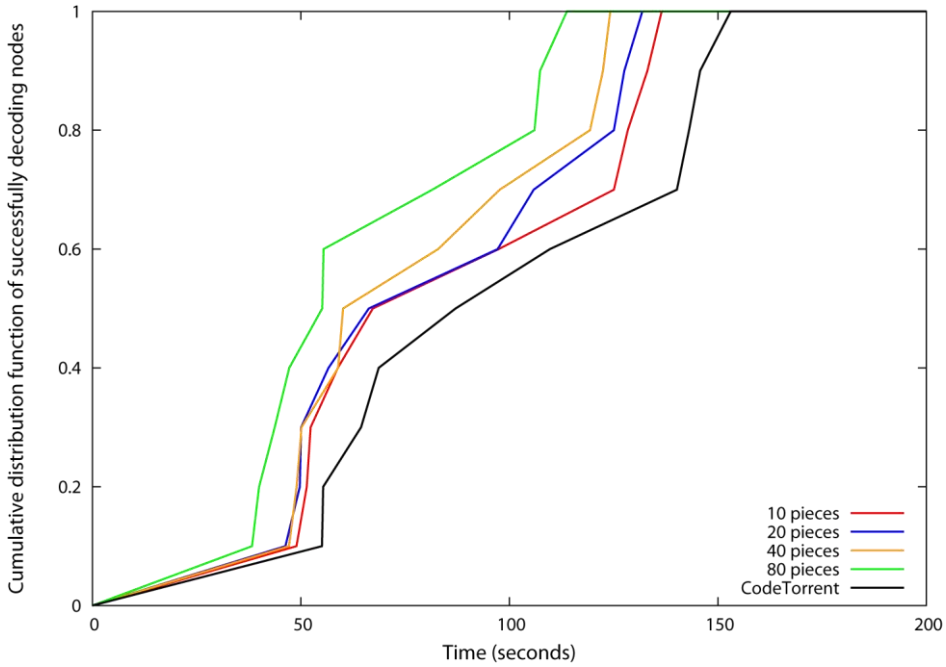
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10



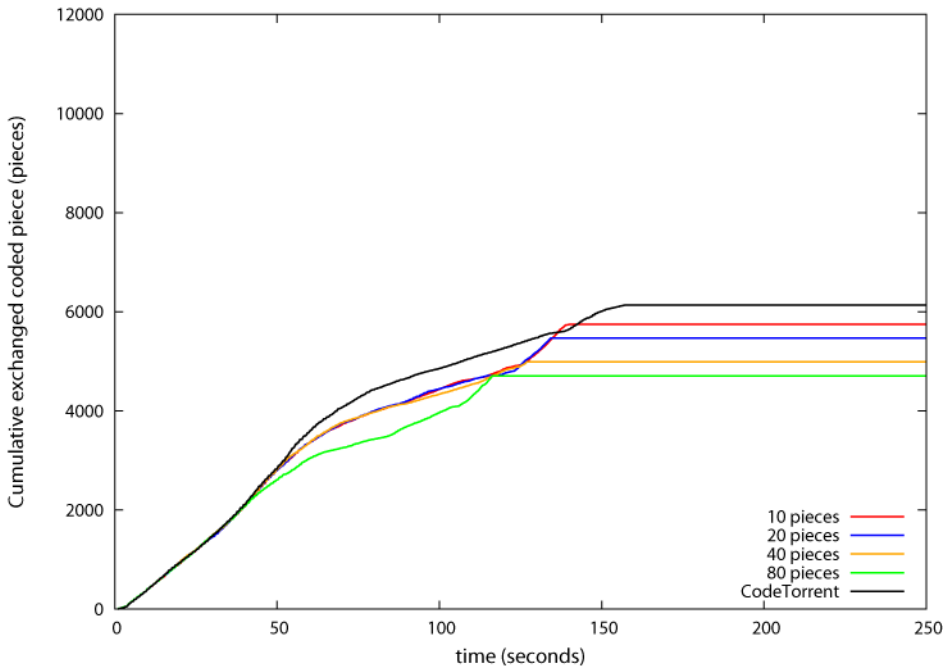
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10



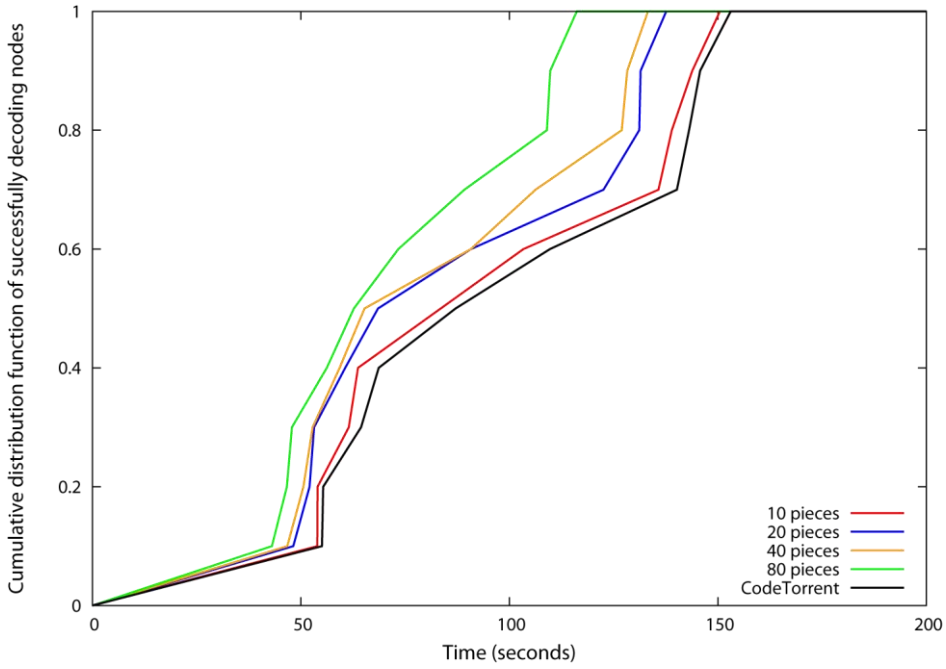
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10



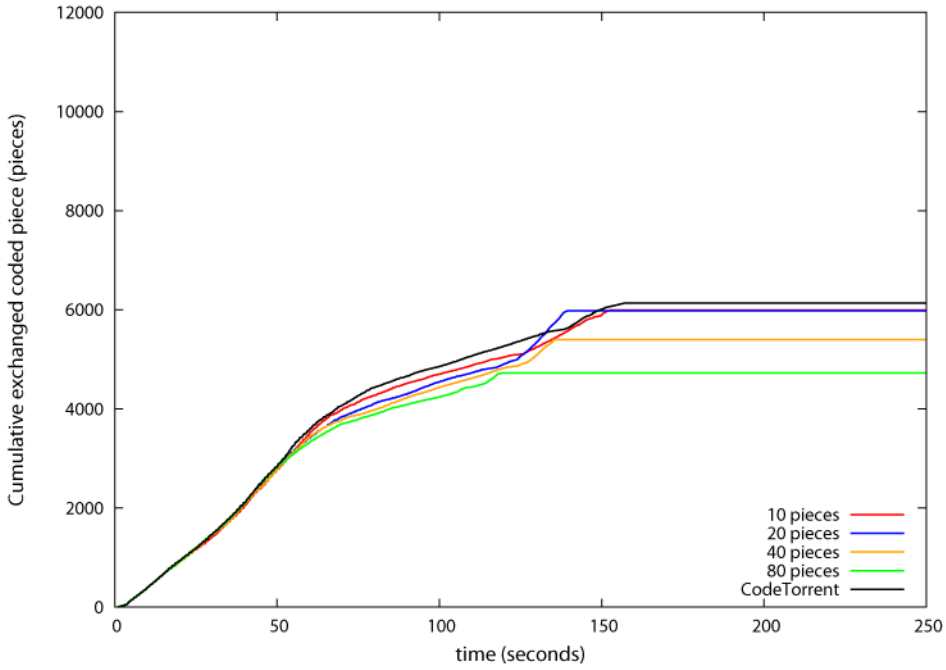
รูปที่ 4.30 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10



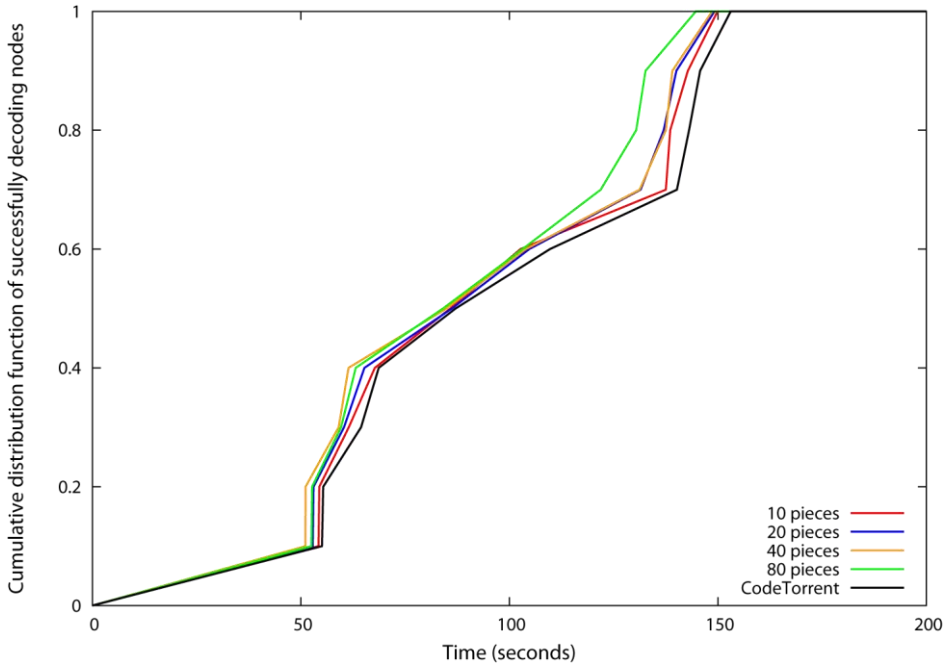
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10



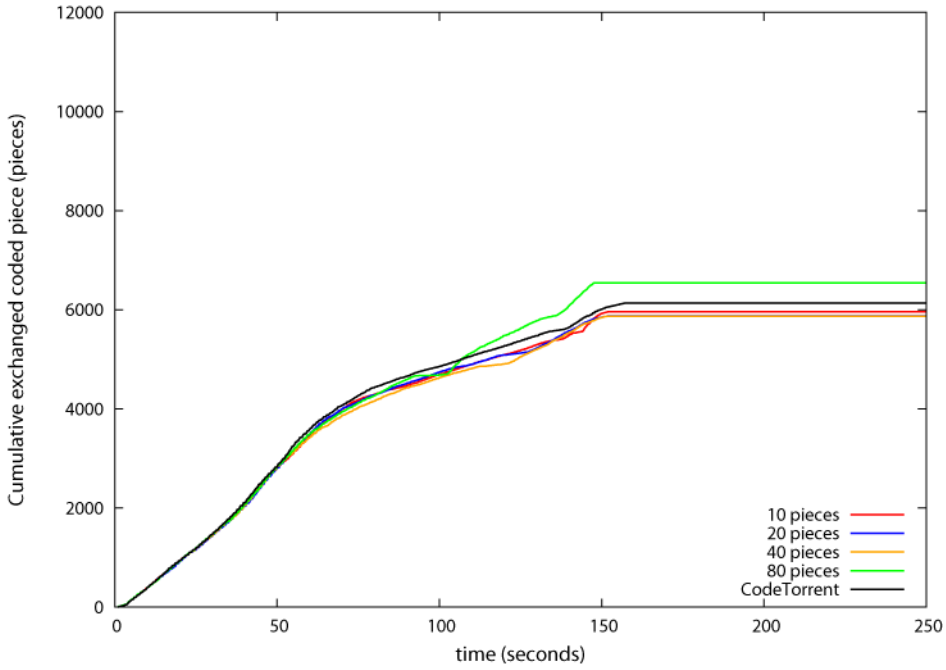
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10



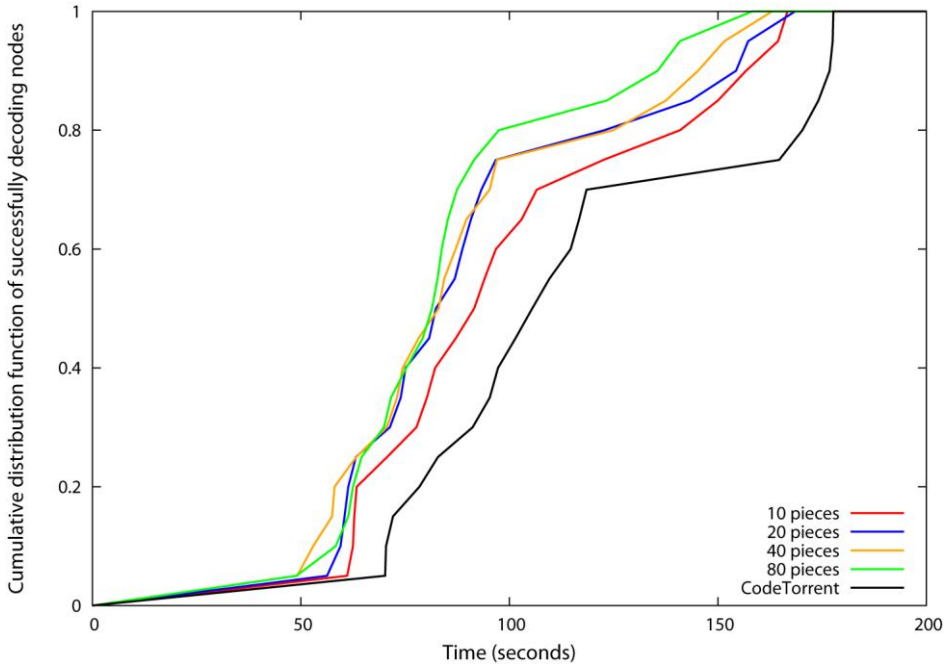
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10



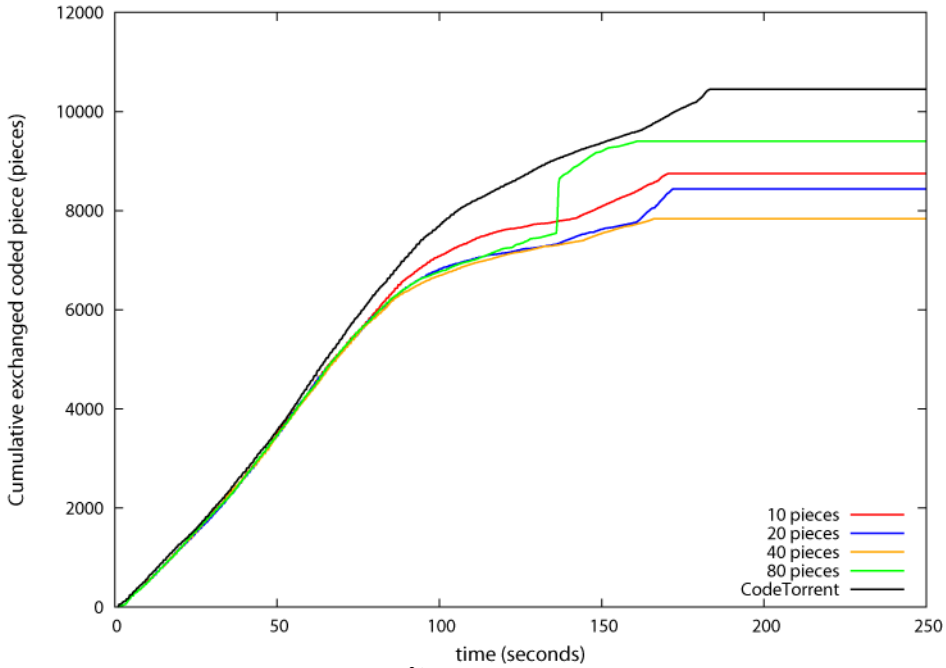
รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10



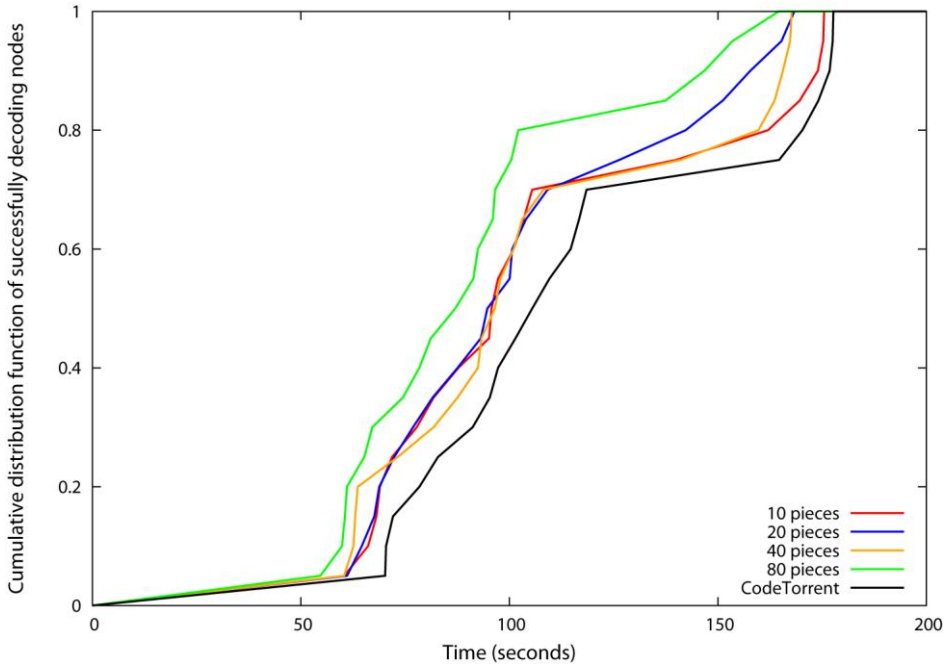
รูปที่ 4.35 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 10



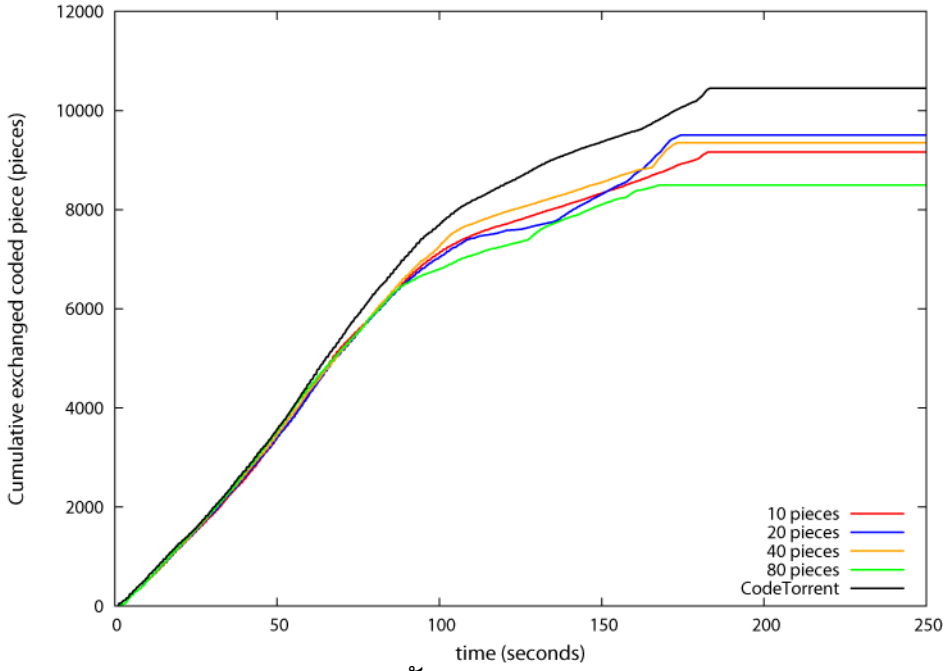
รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20



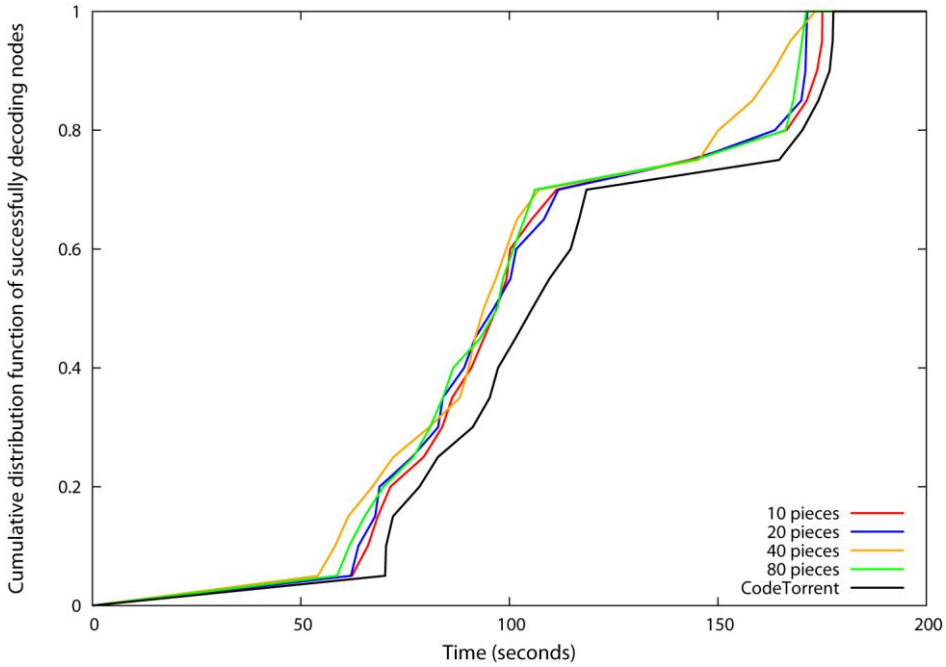
รูปที่ 4.37 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20



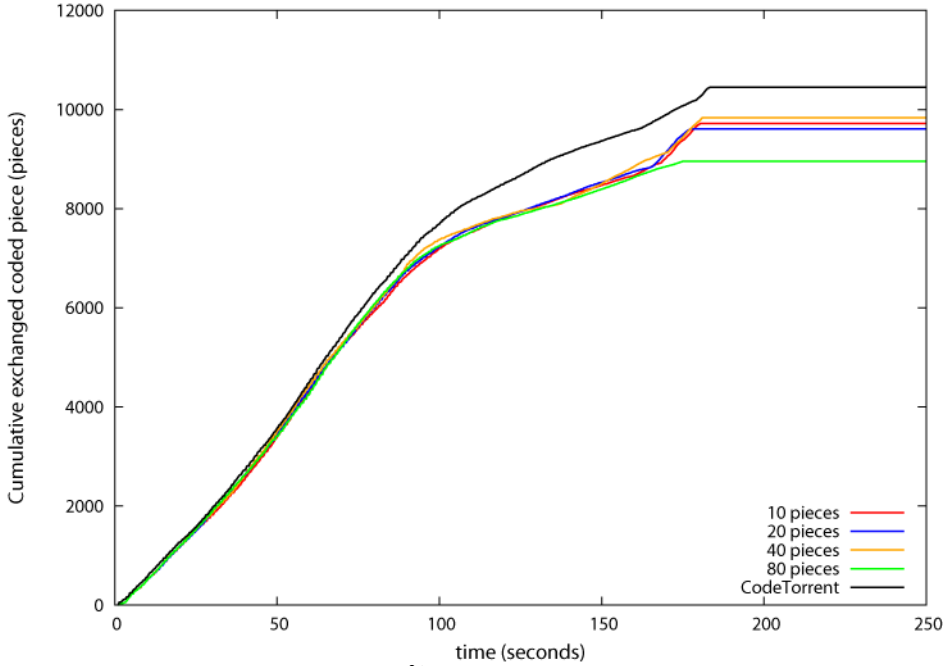
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20



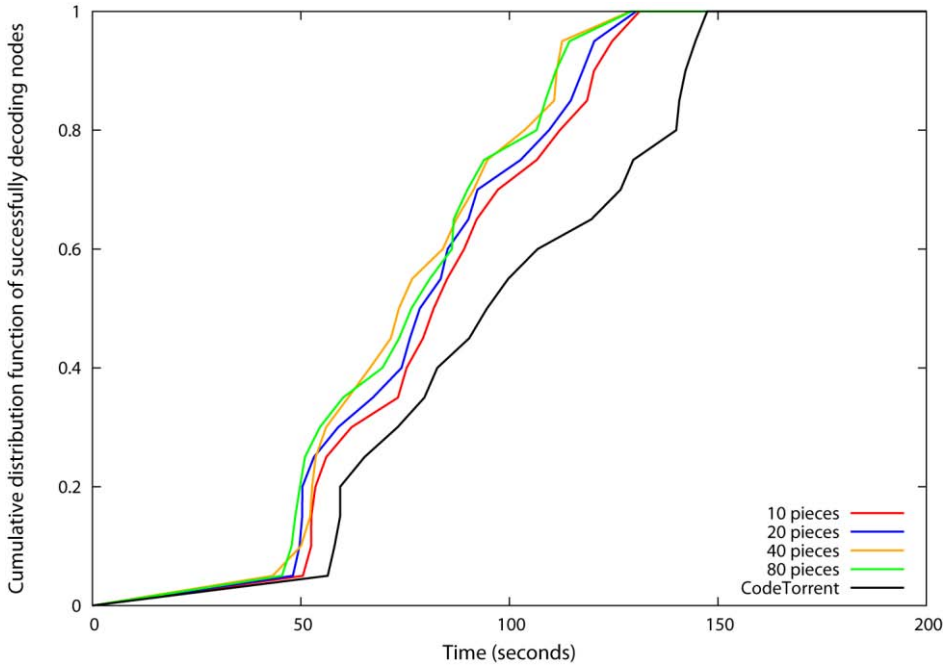
รูปที่ 4.39 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20



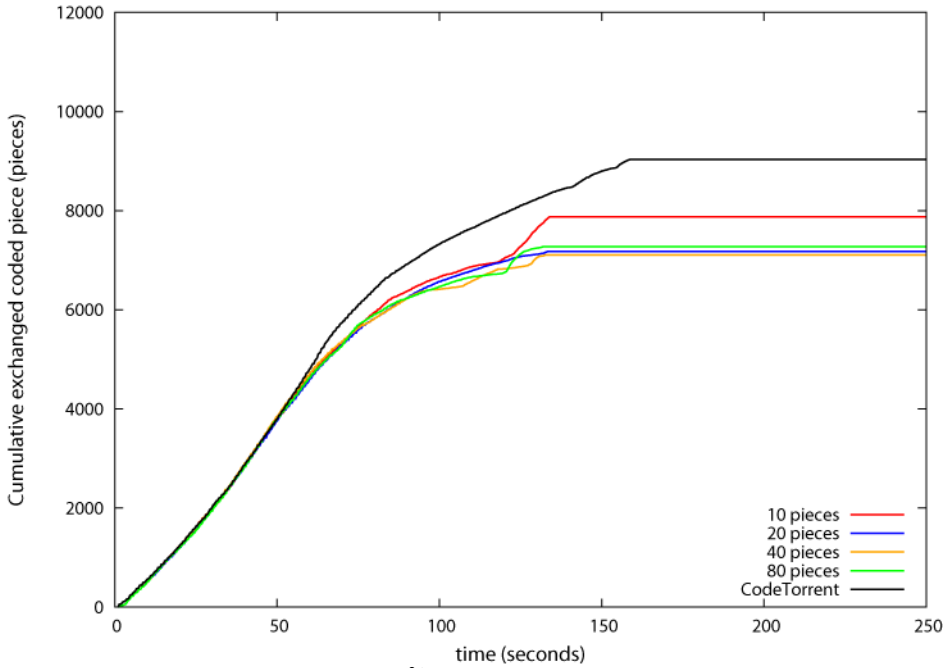
รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20



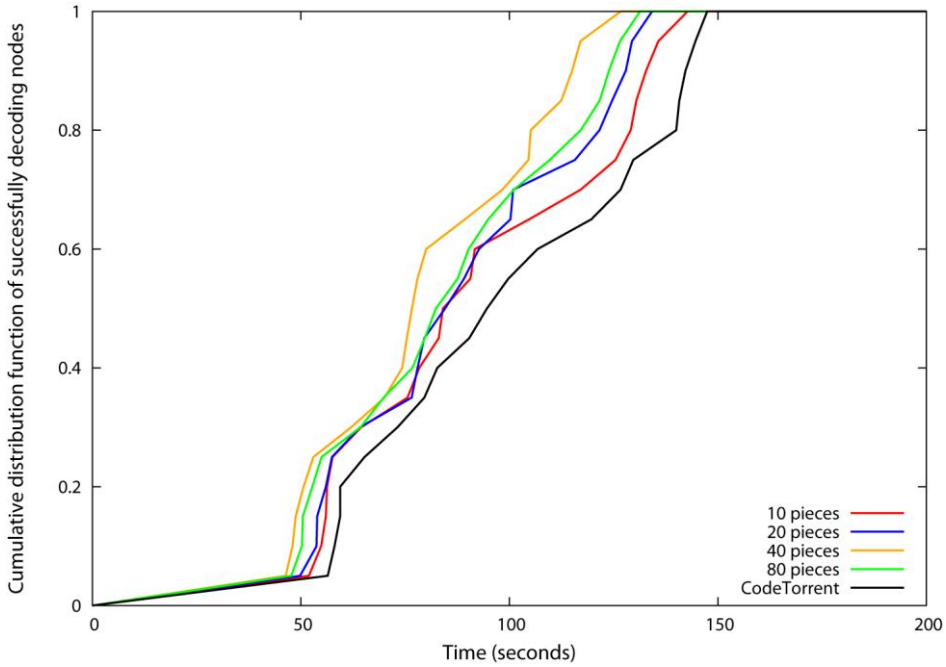
รูปที่ 4.41 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 50km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20



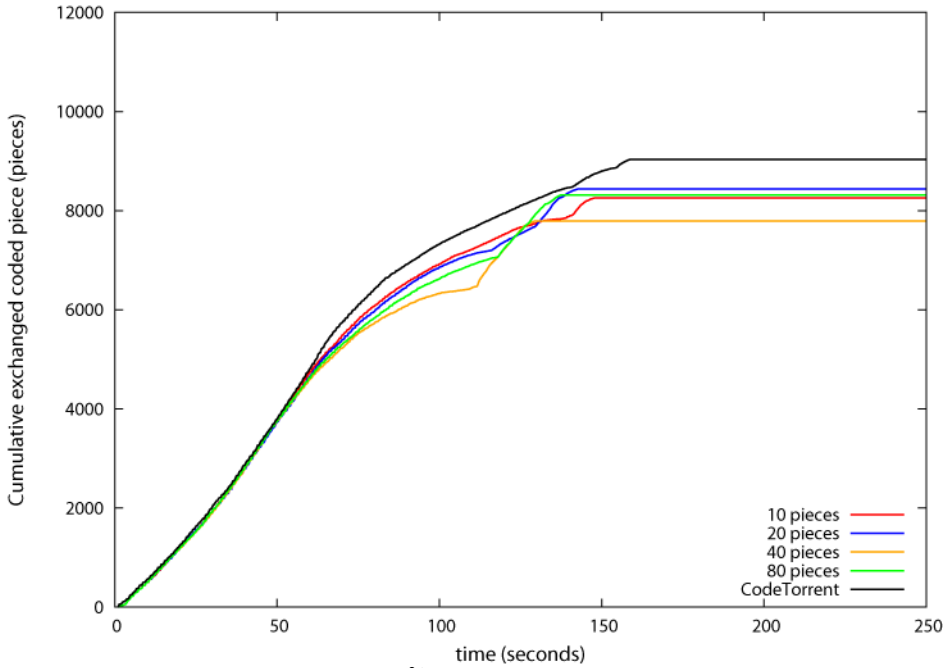
รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20



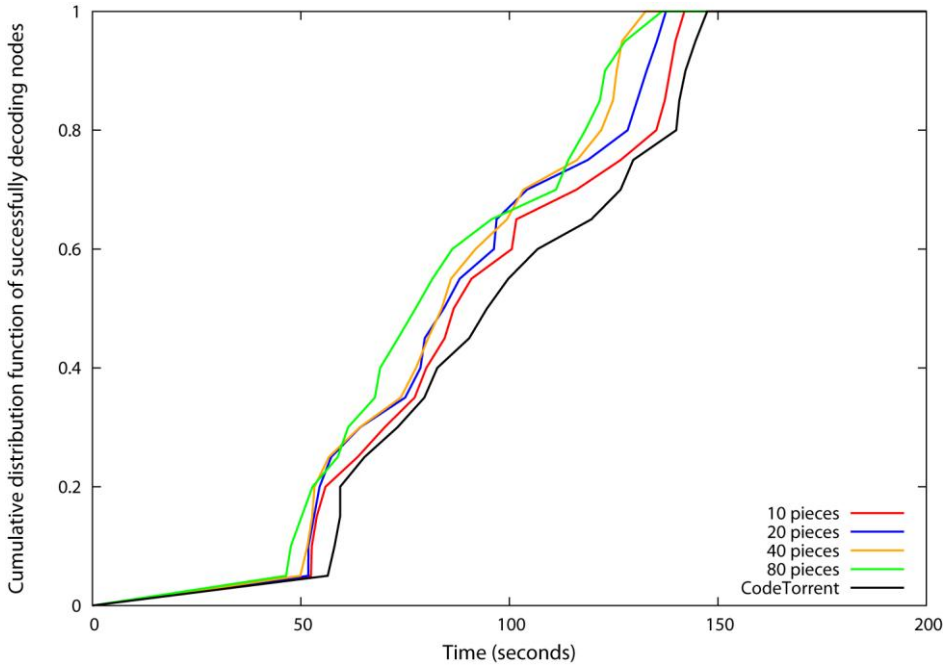
รูปที่ 4.43 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20



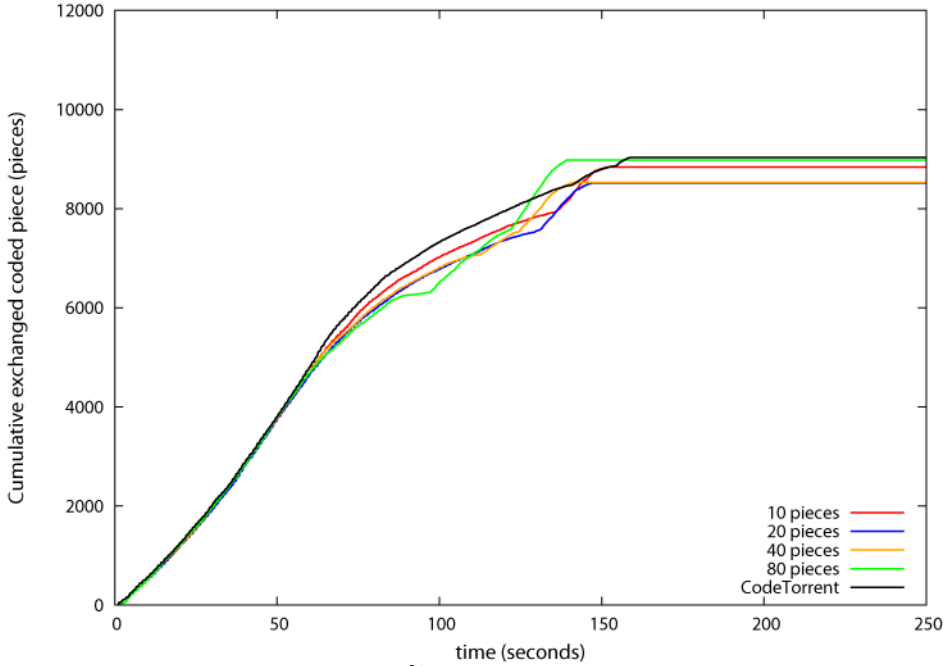
รูปที่ 4.44 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20



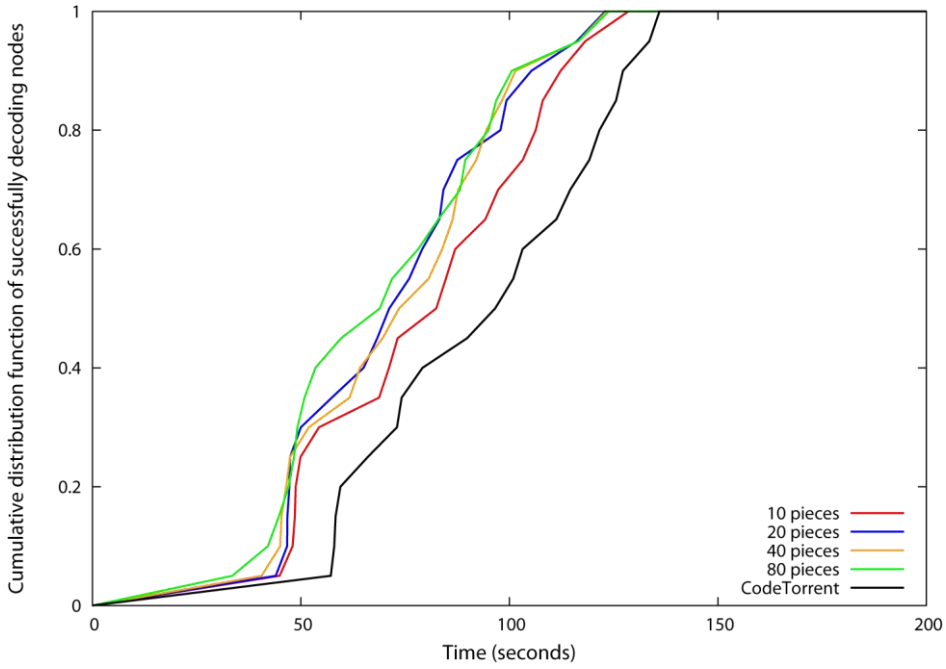
รูปที่ 4.45 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20



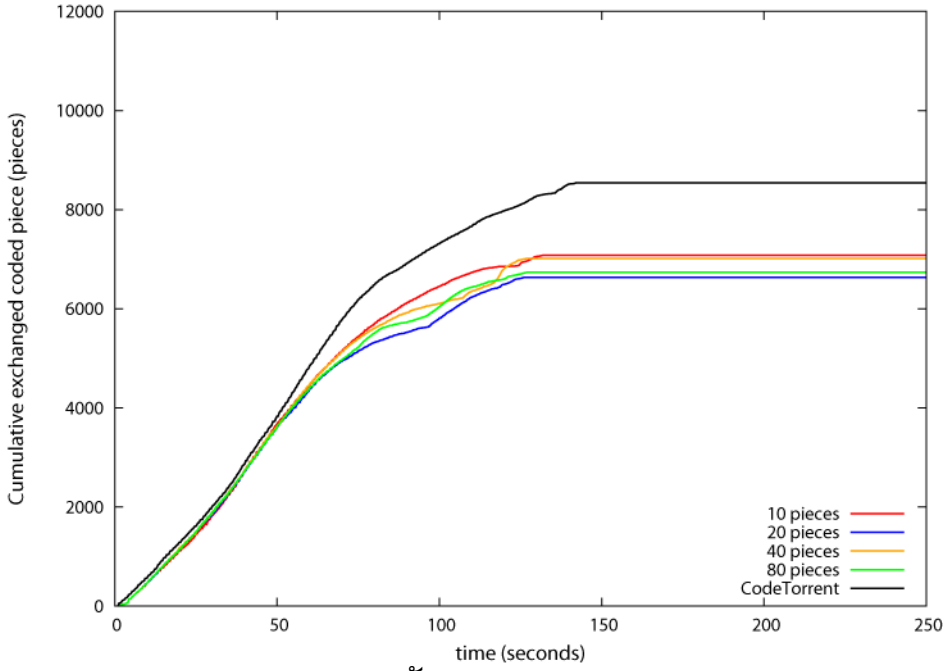
รูปที่ 4.46 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20



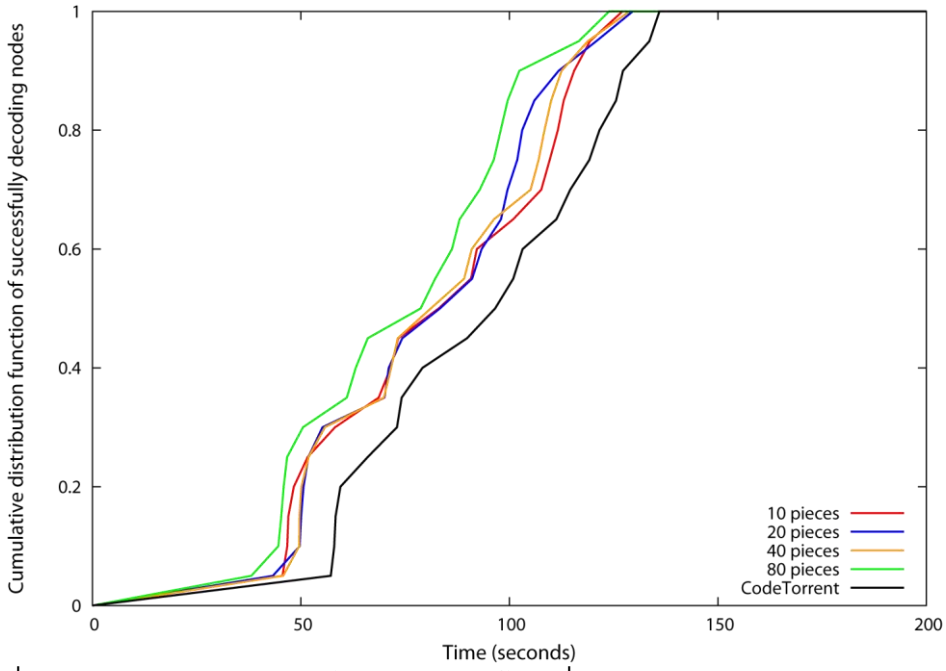
รูปที่ 4.47 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 80km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20



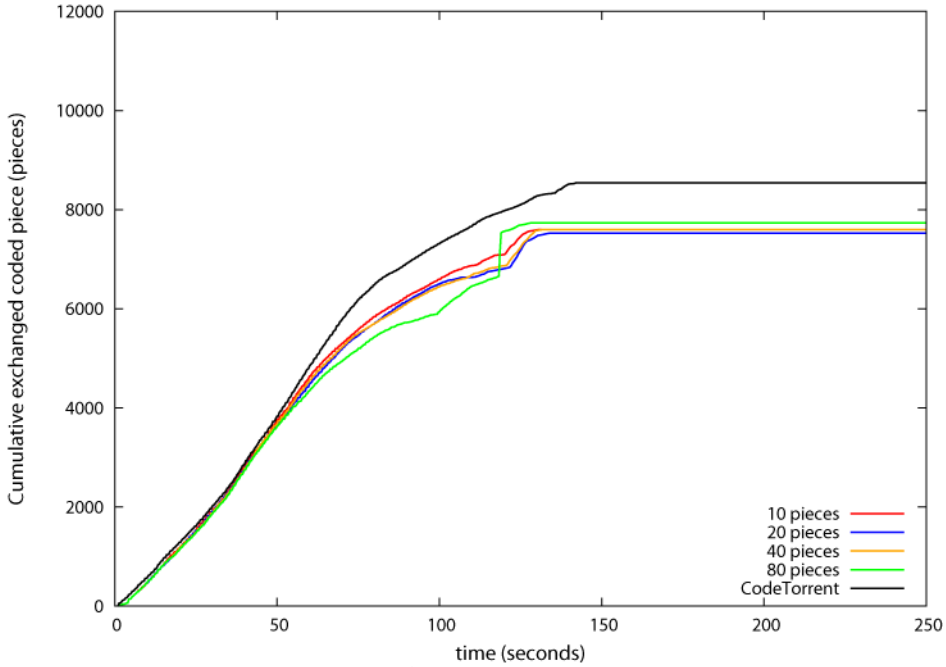
รูปที่ 4.48 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20



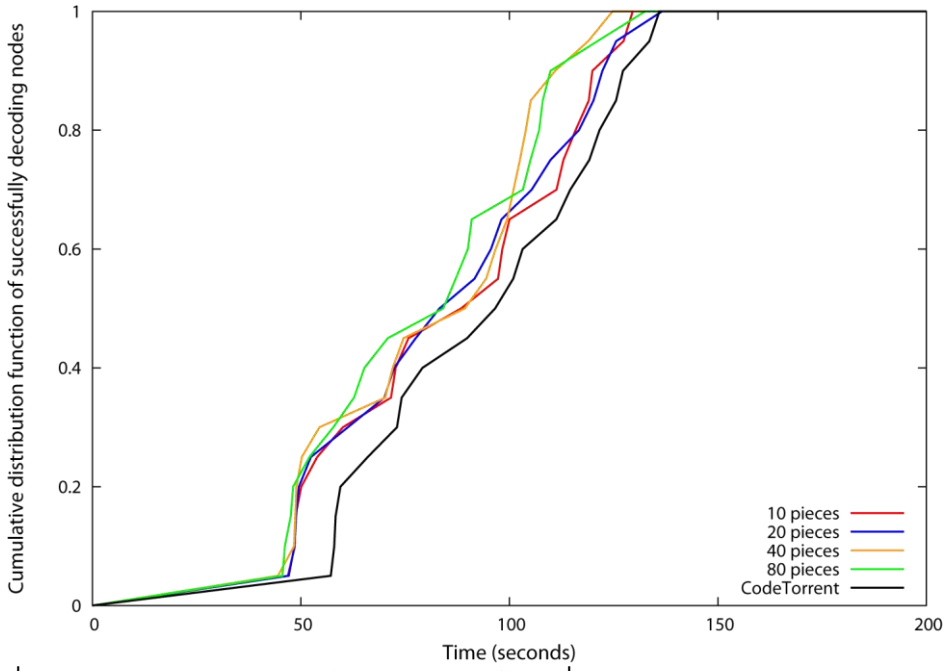
รูปที่ 4.49 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 5 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20



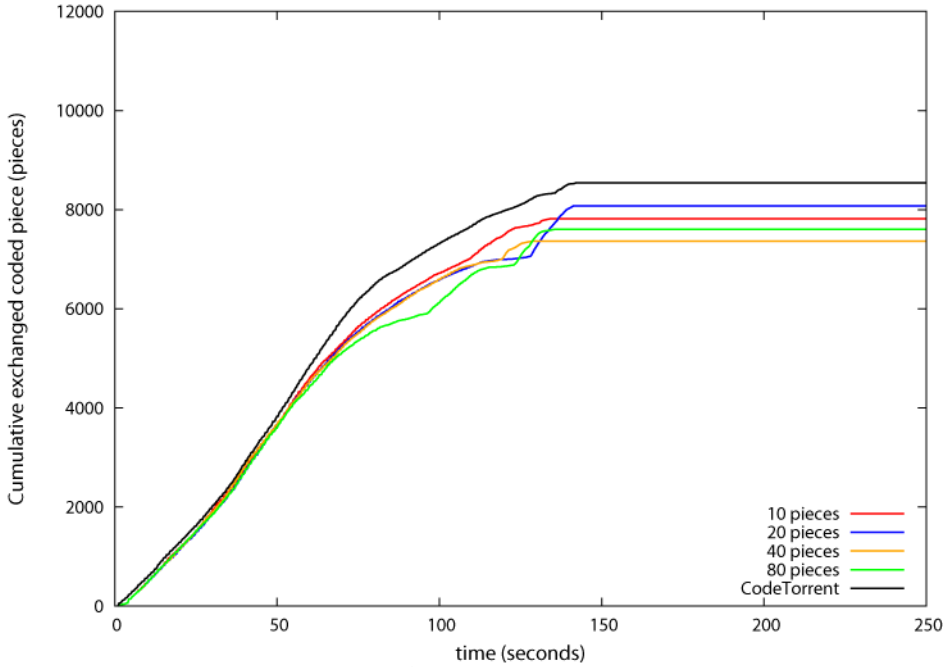
รูปที่ 4.50 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20



รูปที่ 4.51 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 10 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20



รูปที่ 4.52 กราฟแสดงความเร็วในการกระจายไฟล์ที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20



รูปที่ 4.53 กราฟแสดงการเปรียบเทียบฟังก์ชันการกระจายสะสมของจำนวนการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนที่ระดับความเร็วสูงสุด 110km/hr ค่าระยะเวลานับถอยหลังสูงสุด 20 วินาที และ Popular Index เท่ากับ 20

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการออกแบบและพัฒนาวิธีการกระจายไฟล์โดยการร้องขอแบบปรับได้เพื่อปรับปรุงความเร็วและประสิทธิภาพของการกระจายไฟล์ที่ใช้การเข้ารหัสทางเครือข่ายสำหรับเครือข่ายไร้สายแบบแอดฮอกบนยานพาหนะ โดยงานวิจัยได้เสนอวิธีการทำงานวิธีการกระจายไฟล์โดยการร้องขอแบบปรับได้

ในงานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์งานวิจัยที่ผ่านมา ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวทำงานบนการสื่อสารแบบหนึ่งก้าวกระโดด กล่าวคือโหนดจะดาวโหลดไฟล์จากเพื่อนบ้านเท่านั้น อาจเกิดกรณีที่เพื่อนบ้านไม่มีชิ้นส่วนที่เป็นประโยชน์ ซึ่งกรณีนี้มักจะเกิดขึ้นสำหรับกรณีที่โหนดมีความหนาแน่นน้อย และ กรณีที่โหนดมีความสนใจในการดาวโหลดไฟล์ต่ำ

โพรโทคอลนี้ทำงานบนพื้นฐานของโพรโทคอล CodeTorrent เป็นหลัก จุดประสงค์ของโพรโทคอล คือ เพื่อปรับปรุงความเร็วในการกระจายไฟล์ (Content Distribution Latency) และประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังได้วัดค่าใช้จ่ายทีเสียไปสำหรับโพรโทคอลที่นำเสนอ หลักการทำงานคือ การตั้งระยะเวลานับถอยหลัง และคำนวณชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสสำหรับการขอ โดยคำนวณจากการวัดอัตราการตรวจจับเพื่อนบ้านเข้าใหม่ (New Neighbors Detection Rate) หากค่าดังกล่าวสูงการนับระยะเวลาถอยหลังจะสูงซึ่งเป็นการแปรผันตรง แต่จะแปรผกผันกับจำนวนชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสเพื่อขอไปยังเสาสัญญาณ

ผลจากการทดลองปรากฏว่าโพรโทคอลที่นำเสนอขึ้นสามารถปรับปรุงความเร็วในการกระจายไฟล์ และประสิทธิภาพเมื่อเปรียบเทียบกับโพรโทคอลเดิม

5.2 ข้อจำกัด

โพรโทคอลนี้เป็นโพรโทคอลที่มีการเข้ารหัสทางเครือข่ายเพื่อใช้ในการส่งไฟล์ ซึ่งหากโหนดได้รับชิ้นส่วนไม่ครบเท่ากับจำนวนชิ้นส่วนก่อนหน้า โพรโทคอลจะไม่สามารถถอดรหัสหาไฟล์ต้นฉบับได้เลย ซึ่งถ้าเป็นโพรโทคอลที่ไม่ได้มีการเข้ารหัสทางเครือข่าย โหนดมีโอกาสที่จะสามารถดูไฟล์บางส่วนที่ได้รับแล้วได้ การนำการเข้ารหัสทางเครือข่ายไปใช้ในการกระจายวีดีโอแบบถ่ายทอดสดไม่เหมาะสม เพราะ ผู้รับต้องรับชิ้นส่วนที่ถูกเข้ารหัสทั้งหมดก่อนที่จะเปิดดูได้ ซึ่งในความเป็นจริงควรเปิดดูได้บางส่วนแล้วค่อยรับส่วนที่เหลือในภายหลัง

โพรโทคอลจะทำงานได้ก็ต่อเมื่อมีโหนดที่เต็มใจพร้อมที่จะช่วยเหลือซึ่งในลักษณะนี้ เรียกว่า Co-operative downloading กล่าวคือ โหนดต้องเก็บชิ้นส่วนของไฟล์ถึงแม้

ไม่ได้เป็นผู้ต้องการไฟล์ เพื่อที่จะให้ช่วยเหลือโหนดอื่น หากในระบบมีโหนดที่เห็นแก่ตัวค่อนข้างมากโพรโทคอลจะไม่สามารถทำงานได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

โพรโทคอล CARCODE เป็นโพรโทคอลการกระจายไฟล์ที่ใช้การเข้ารหัสทางเครือข่าย ซึ่งการเข้ารหัสมีการใช้ทรัพยากรในด้านหน่วยความจำ และหน่วยการประมวลผลค่อนข้างสูง ซึ่งในความเป็นจริงย่อมโหนดต้องทำงานอย่างอื่นด้วย โหนดมีโอกาสสูงที่จะไม่มีความเต็มใจในการให้ใช้ทรัพยากร ดังนั้นการนำการเข้ารหัสทางเครือข่ายมาใช้อาจต้องคำนึงถึงส่วนนี้ด้วย

5.4 แนวทางการพัฒนาต่อ

งานวิจัยด้านการกระจายแฟ้มข้อมูลยังมีพารามิเตอร์อื่นๆ ที่มีผลต่อความเร็วในการกระจายแฟ้มข้อมูล อาทิเช่น ความกว้างรัศมีของการส่งสัญญาณ จำนวนเสาสัญญาณ ตำแหน่งของยานพาหนะที่เริ่มดาวโหลด

ในแง่ของความกว้างของรัศมีการส่งสัญญาณ หากเสาสัญญาณมีรัศมีการส่งที่กว้างทำให้พื้นที่ที่ครอบคลุมเสาสัญญาณมาก ซึ่งมีผลทำให้โหนดมีโอกาสดาวโหลดไฟล์ได้มากก่อนที่จะออกจากเสาสัญญาณ เมื่อโหนดที่สนใจที่จะดาวโหลดไฟล์ออกจากรัศมีการส่ง โหนดไม่จำเป็นต้องแลกเปลี่ยนกับโหนดเพื่อนมากนัก ซึ่งในกรณีนี้โพรโทคอล CodeTorrent คาดว่าจะสามารถทำงานได้ดี แต่โพรโทคอล CARCODE จะไม่ค่อยได้ช่วยให้ดาวโหลดเร็วขึ้นมากนัก แต่ในกรณีที่รัศมีการส่งน้อย โหนดที่สนใจจะดาวโหลดไฟล์จะต้องแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนกับโหนดอื่นนอกเสาสัญญาณมากขึ้น ซึ่งทำให้โพรโทคอล CodeTorrent ที่อาศัยการดาวโหลดจากเพื่อนบ้านรัศมี 1 ก้าวกระโดดจะมีปัญหา แต่สำหรับโพรโทคอล CARCODE สามารถร้องขอไปยังเสาสัญญาณ ซึ่งคาดว่าน่าจะช่วยปรับปรุงความเร็วในการดาวโหลดได้ค่อนข้างดี

สำหรับจำนวนเสาสัญญาณมีผลต่อการทำงานของโพรโทคอล CARCODE เช่นเดียวกัน การที่มีจำนวนเสาสัญญาณมาก ทำให้พื้นที่การสื่อสารครอบคลุมโหนดมีโอกาสรับข้อมูลจากเสาสัญญาณได้มากมีการแลกเปลี่ยนกับเพื่อนบ้านน้อย การร้องขอแบบหลายก้าวกระโดดไม่จำเป็น ซึ่งในกรณีโพรโทคอล CARCODE จะทำงานเสมือนโพรโทคอล CodeTorrent นั่นคือจำนวนการร้องขอจะน้อย การร้องขอจะเป็นการร้องขอจากเพื่อนบ้าน

ตำแหน่งของโหนดที่เริ่มดาวโหลดก็มีผลเช่นกัน กล่าวคือ หากโหนดเริ่มดาวโหลดก็ต่อเมื่อได้ยินรายละเอียดของแฟ้มข้อมูลที่ส่งจากเสาสัญญาณ ดังนั้นหากโหนดเริ่มดาวโหลดเมื่ออยู่ใกล้จุดศูนย์กลางเสาสัญญาณ โหนดจะมีระยะเวลาในการรับชิ้นส่วนจากเสา

สัญญาณค่อนข้างมาก โหนดจะได้รับชิ้นส่วนจากเสาสัญญาณค่อนข้างมาก โหนดไม่จำเป็นต้องไปแลกเปลี่ยนกับเพื่อนบ้านมากนัก โพรโทคอล CARCODE จะทำงานในลักษณะที่เป็นการดาวโหลดจากเพื่อนบ้าน ทำให้ความเร็วการดาวโหลดใกล้เคียงกับโพรโทคอล CodeTorrent

รายการอ้างอิง

[1] Research and Innovative Technology Administration (RITA) U.S. Department of Transportation (US DOT) DSRC Standards: What's New? [online]. (2011). Available from: http://www.standards.its.dot.gov/Documents/advisories/dsrc advisory.htm. [2011, September 28]

[2] Nandan, A., Das, S., Pau, G., Gerla, M., Sanadidi, M.Y., Co-operative downloading in vehicular ad-hoc wireless networks , IEEE WONS 2005 Journals, pp. 32-41, 2005.

[3] Lee, S.-J., Belding-Royer, E. M., and Perkins, C. E., Ad hoc ondemand distance-vector routing scalability, ACM SIGMOBILE 2003 Journals, pp. 97-114, 2003.

[4] K. Lee, S.-H. Lee, R. Cheung, U. Lee, and M. Gerla First experience with cartorrent in a real vehicular ad hoc network testbed, IEEE Mobile Networking for Vehicular Environments 2007, pp. 109-114, 2007.

[5] Ahmed, S., and Kanhere, S.S., Vanetcode: network coding to enhance cooperative downloading in vehicular ad-hoc networks ACM IWCMC 2006, Newyork, USA: ACM, 2006.

[6] Lee, U., Park, J.-S, Yeh, J., Pau, G., and Gerla, M., Codetorrent: content distribution using network coding in vanet ACM MobiShare 2006, Newyork, USA: ACM, 2006.

[7] Ahlswede, R., Cai, N., Li, S.-Y., and Yeung, R., Network information flow IEEE Transactions on Information Theory 2000, pp. 1204 –1216, 2000

[8] Gkantsidis, C., and Rodriguez, P., Network coding for large scale content distribution IEEE INFOCOM 2005, pp. 2235 – 2245, 2005.

[9] Karp, B., and Kung, H.T., GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks, ACM MobiCom 2000, pp. 243–254, 2000.

[10] Kim, Y.-J., Govindan, R., Karp, B., and Shenker, S., Geographic routing made practical, NSDI 2005, pp. 217–230, 2005.

[11] Varadhan, K. The Network Simulator (NS-2). [online]. (2011). Available from: http://www.isi.edu/nsnam/ns [2011, September 28

[12] German Aerospace Center (DLR). Simulation of Urban MObility (SUMO) [online]. (2011). Available from: http://sumo.sourceforge.net [2011, September 28]

[13] U.S. Census Bureau.Topologically Integrated Geographic Encoding and Referencing system [online]. (2011). Available from: http://www.census.gov/geo/www/tiger/. [2011, September 28]

[14] Na Nakorn, K., and Rojviboonchai, K., POCA: Position-Aware Reliable Broadcasting in Vehicular Ad-Hoc Networks, APCIP 2010

[15] The European Telecommunications Standards Institute. Intelligent Transport Systems [online]. (2011). Available from: http://www.etsi.org/ [2011, September 28]

[16] Ho, T., Medard, M., Koetter, R., Karger, D.R., Effros, M., Shi, J., and Leong, B, A random linear network coding approach to multicast. IEEE Transactions on Information Theory 2006, pp. 4413 – 4430, 2006

[17] Giordano, E. Frank, R. Pau, G. Gerla, M., CORNER: a realistic urban propagation model for VANET, IEEE WONS 2010, pp. 57–60, 2010.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายภูริ นิโครวนจำรัส เกิดเมื่อวันที่ 12 ตุลาคม พ.ศ. 2531 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเซนต์คาเบรียล จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552 และเข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553