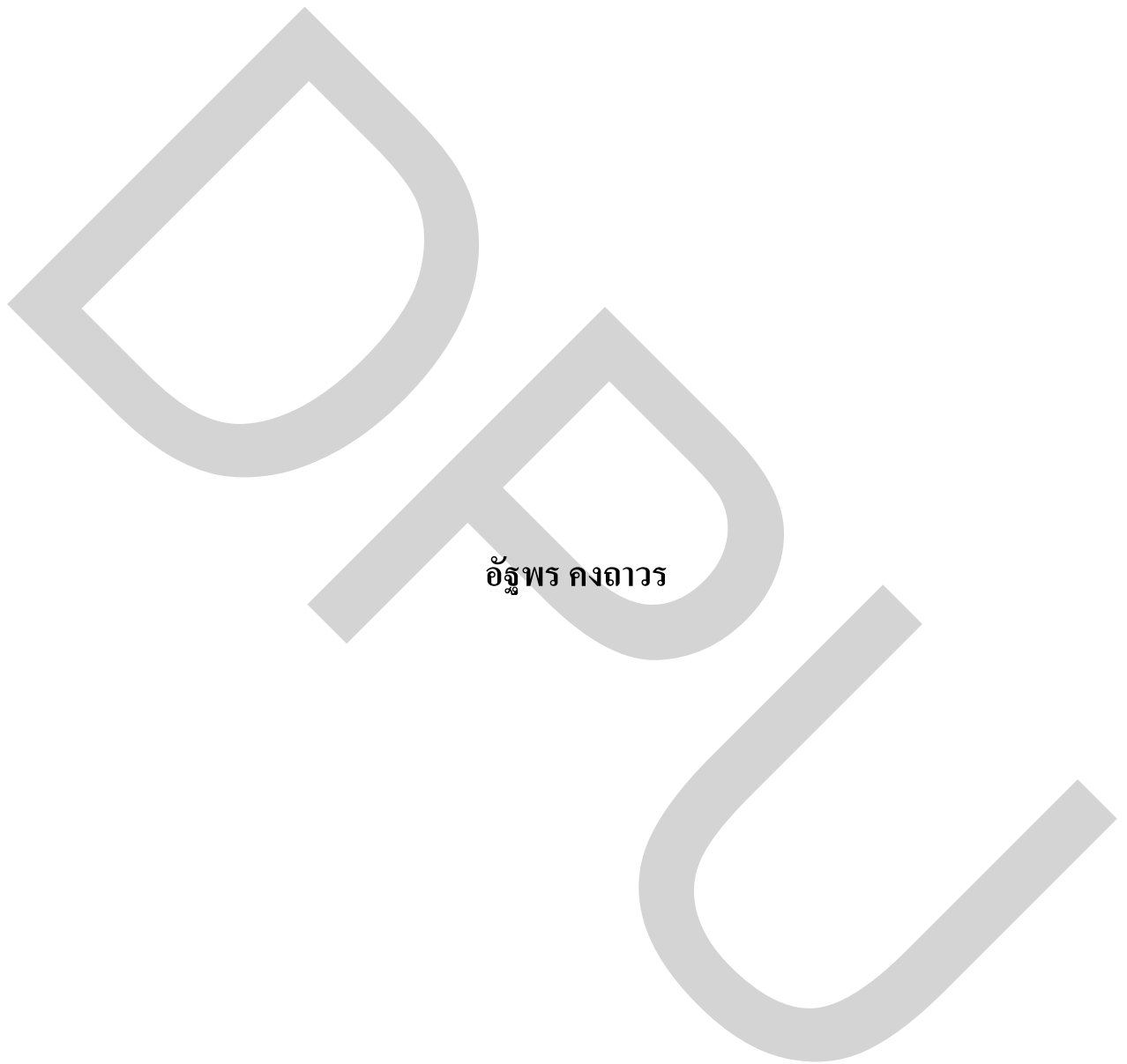


## การประเมินประสิทธิภาพของระบบไอพีทีวีสามมิติ

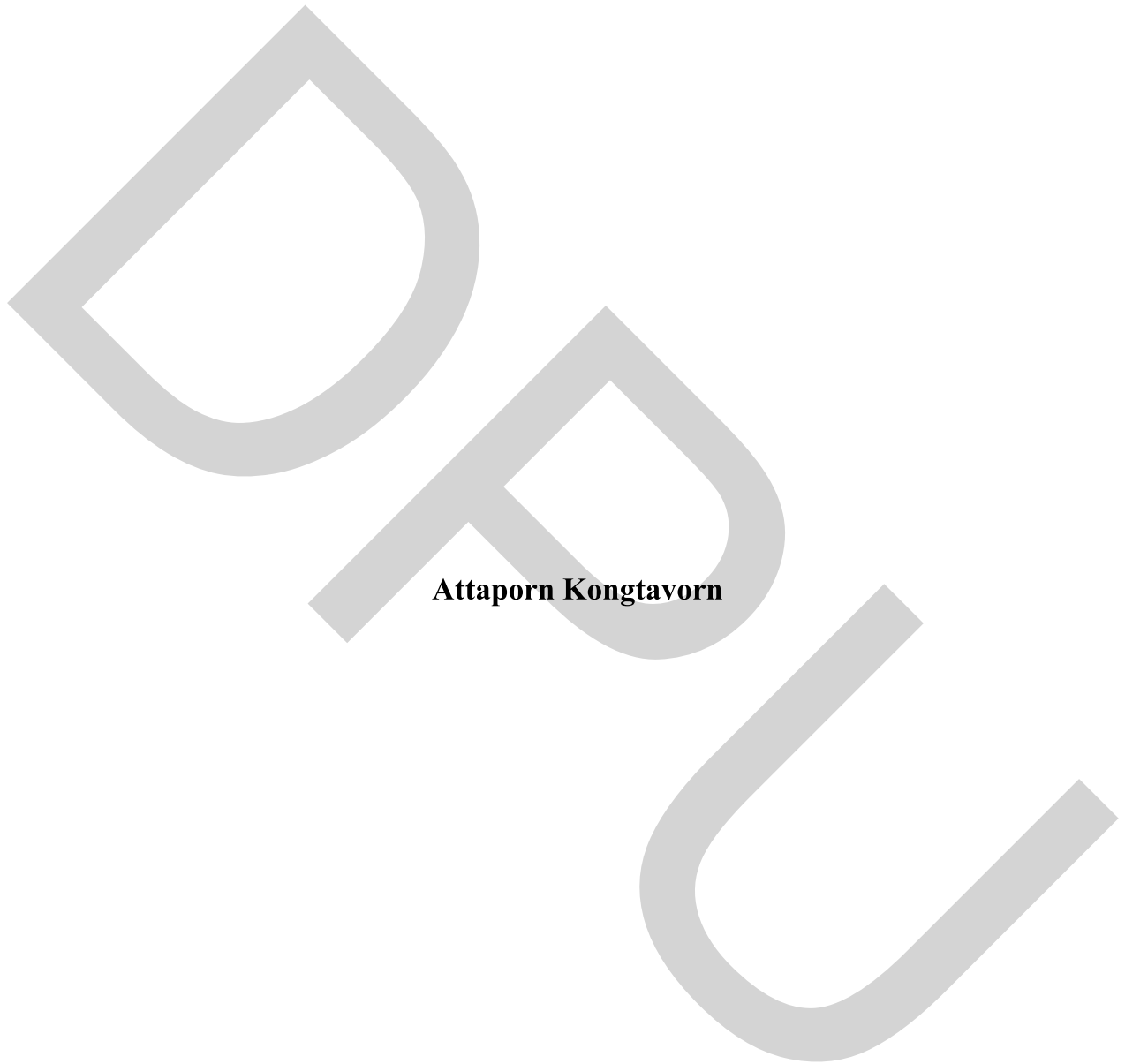


อัฐพร คงถาวร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. 2555

# **Performance Evaluation of 3D IPTV**



**Attaporn Kongtavorn**

**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements**

**for the Degree of Master of Engineering**

**Department of Computer and Telecommunication Engineering**

**Faculty of Engineering, Dhurakij Pundit University**

**2012**

## กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจากบุคคลหลายฝ่ายเป็นอย่างดี ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ อาจารย์ ดร.ชัยพร เขมะภาคะพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และขอบคุณ อาจารย์ ดร.ประศาสน์ จันทราทิพย์ ที่ให้ความคิดเห็นในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.ณรงค์เดช กิริติพรานนท์ และ อาจารย์ ดร.เจนจบ วีระพานิชเจริญกิจ ซึ่งได้ให้คำชี้แนะ แก่ไขข้อบกพร่องของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ด้วยดี

ส่วนหนึ่งของความสำเร็จในครั้งนี้ก็มาจากเพื่อนๆ ที่คอยแนะนำ และเป็นกำลังใจ รวมถึงคุณแม่และคุณย่าที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้ตลอดระยะเวลาที่จัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ท้ายสุดนี้ประโยชน์และความดีของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกๆ ท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและเสริมสร้างกำลังใจ กำลังใจให้ จนการจัดทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

อัฐพร คงถาวร

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ฉ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญตาราง .....	ซ
สารบัญรูป .....	ฅ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย .....	2
1.3 สมมติฐานของการวิจัย .....	2
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	2
2. ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	3
2.1 Internet Protocol Television:IPTV .....	3
2.2 สถาปัตยกรรม Internet Protocol Television:IPTV .....	3
2.3 การเข้ารหัสแบบ H.264 .....	7
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.5 Network Simulator version 2 (NS2) .....	14
3. ระเบียบวิธีวิจัย .....	20
3.1 แนวทางการวิจัยและพัฒนา .....	20
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย .....	20
3.3 แผนการดำเนินงาน .....	20
3.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน .....	23

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4. ผลการศึกษา.....	32
4.1 Average Packet Loss.....	32
4.2 Average Delay.....	46
4.3 Average Jitter.....	56
4.4 อภิปรายผลการวิจัย.....	67
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	71
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	71
5.2 ข้อจำกัดของระบบ.....	72
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	72
บรรณานุกรม.....	73
ภาคผนวก.....	76
ประวัติผู้เขียน.....	91

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 แสดงแผนการดำเนินงาน.....	22
3.2 ค่าคุณลักษณะของวิดีโอที่ใช้.....	29

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Cable Video Architecture.....	5
2.2 IMS-based IPTV Architecture .....	6
2.3 MPEG GoP Pattern .....	9
2.4 แบบจำลอง Traffic Model โดยใช้ Markov chain .....	10
2.5 Test Bench network Topology .....	11
2.6 (a) การทดสอบแบบสภาพแวดล้อมในอาคาร .....	12
2.6 (b) การทดสอบสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร .....	12
2.7 (a) ค่าเฉลี่ย Delay สำหรับ 1 Multicast channel .....	13
2.7 (b) ค่าเฉลี่ย Jitter สำหรับ 1 Multicast channel .....	13
2.8 (a) ค่าเฉลี่ย Packet loss สำหรับ 1 Multicast channel.....	13
2.8 (b) ค่าเฉลี่ย Bandwidth สำหรับ 1 Multicast channel.....	13
2.9 การทำงานของ NS2.....	14
2.10 Network Topology .....	16
2.11 GUI NUM สำหรับ NS2.....	16
2.12 ตัวอย่าง Source Code .....	19
3.1 Network Topology .....	23
3.2 ผล Packet Loss จากบทความ A Simple, Two-Level Markovian Traffic Model for IPTV Video Sources .....	24
3.3 ผล Packet Loss ที่ได้จากการจำลองระบบโครงข่ายด้วย NS2 .....	24
3.4 Verbose Trace File จากวิดีโอ “From Mars to China”.....	26
3.5 ข้อมูลที่ได้จาก mkvinfo ส่วนของ Header .....	27
3.6 ข้อมูลที่ได้จาก mkvinfo ส่วนของ Frame และ Timestamp.....	27
3.7 New Trace File สำหรับการจำลองระบบด้วย NS2.....	28
3.8 แบบจำลองโครงข่าย .....	29
3.9 รายละเอียดของ Trace File .....	30
3.10 รูปแบบของ Trace File .....	31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.1 ผลของ Average Packet Loss ของวีดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 0 % .....	32
4.2 ผลของ Average Packet Loss ของวีดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 0 %.....	33
4.3 ผลของ Average Packet Loss ของวีดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 25 %.....	34
4.4 ผลของ Average Packet Loss ของวีดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 25 %.....	34
4.5 ผลของ Average Packet Loss ของวีดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 50 %.....	35
4.6 ผลของ Average Packet Loss ของวีดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 50 %.....	36
4.7 ผลของ Average Packet Loss ของวีดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 75 %.....	37
4.8 ผลของ Average Packet Loss ของวีดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 75 %.....	37
4.9 ผลของ Average Packet Loss ของวีดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 100 %.....	38
4.10 ผลของ Average Packet Loss ของวีดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 100 %.....	39
4.11 ผลของ Average Packet Loss ของวีดีโอ Tron HD โดยการเปรียบเทียบ Background Traffic บน โครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps.....	40
4.12 ผลของ Average Packet Loss ของวีดีโอ Tron HD โดยการเปรียบเทียบ Background Traffic บน โครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps.....	40
4.13 ผลของ Average Packet Loss ของวีดีโอ Tron 3D โดยการเปรียบเทียบ Background Traffic บน โครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps.....	41
4.14 ผลของ Average Packet Loss ของวีดีโอ Tron 3D โดยการเปรียบเทียบ Background Traffic บน โครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps.....	42
4.15 ผลของ Average Packet Loss ของวีดีโอ Tangled HD โดยการเปรียบเทียบ Background Traffic บน โครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps.....	43
4.16 ผลของ Average Packet Loss ของวีดีโอ Tangled HD โดยการเปรียบเทียบ Background Traffic บน โครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps.....	43
4.17 ผลของ Average Packet Loss ของวีดีโอ Tangled 3D โดยการเปรียบเทียบ Background Traffic บน โครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps.....	44
4.18 ผลของ Average Packet Loss ของวีดีโอ Tangled 3D โดยการเปรียบเทียบ Background Traffic บน โครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps.....	45



สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 ผลของ Average Delay ของวีดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 0 %.....	46
4.20 ผลของ Average Delay ของวีดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 0 %.....	46
4.21 ผลของ Average Delay ของวีดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 25 %.....	47
4.22 ผลของ Average Delay ของวีดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 25 %.....	48
4.23 ผลของ Average Delay ของวีดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 50 %.....	49
4.24 ผลของ Average Delay ของวีดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 50 %.....	49
4.25 ผลของ Average Delay ของวีดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 75 %.....	50
4.26 ผลของ Average Delay ของวีดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 75 %.....	51
4.27 ผลของ Average Delay ของวีดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 100 %.....	52
4.28 ผลของ Average Delay ของวีดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 100 %.....	52
4.29 ผลของ Average Delay ของวีดีโอ Tron HD และ 3D โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่อ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps.....	53
4.30 ผลของ Average Delay ของวีดีโอ Tron HD และ 3D โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่อ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps.....	54
4.31 ผลของ Average Delay ของวีดีโอ Tangled HD และ 3D โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่อ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps.....	55
4.32 ผลของ Average Delay ของวีดีโอ Tangled HD และ 3D โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่อ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps.....	55
4.33 ผลของ Average Jitter ของวีดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 0 %.....	56
4.34 ผลของ Average Jitter ของวีดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 0 %.....	57
4.35 ผลของ Average Jitter ของวีดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 25 %.....	58
4.36 ผลของ Average Jitter ของวีดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 25 %.....	58
4.37 ผลของ Average Jitter ของวีดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 50 %.....	59
4.38 ผลของ Average Jitter ของวีดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 50 %.....	60
4.39 ผลของ Average Jitter ของวีดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 75 %.....	61
4.40 ผลของ Average Jitter ของวีดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 75 %.....	61
4.41 ผลของ Average Jitter ของวีดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 100 %.....	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.42 ผลของ Average Jitter ของวีดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 100 % .....	63
4.43 ผลของ Average Jitter ของวีดีโอ Tron HD และ 3D โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่อ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps .....	64
4.44 ผลของ Average Jitter ของวีดีโอ Tron HD และ 3D โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่อ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps .....	64
4.45 ผลของ Average Jitter ของวีดีโอ Tangled HD และ 3D โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่อ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps .....	65
4.46 ผลของ Average Jitter ของวีดีโอ Tangled HD และ 3D โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่อ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps .....	66

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประเมินประสิทธิภาพของระบบไอพีทีวีสามมิติ
ชื่อผู้เขียน	อัฐพร คงถาวร
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.ชัยพร เขมะภาคะพันธ์
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม
ปีการศึกษา	2554

### บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการประเมินสมรรถนะการส่งผ่านวิดีโอ 3 มิติบนโครงข่ายไอพีทีวีแบบจุดต่อจุด โดยใช้โปรแกรม NS2 ในการจำลอง ซึ่งมีการใช้ข้อมูลของวิดีโอจากแหล่งข้อมูลจริงของภาพยนตร์ 2 เรื่องคือ Tangled และ Tron และทำการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างวิดีโอ 3 มิติกับวิดีโอแบบความละเอียดสูงที่มีความละเอียดเท่ากันที่ 1080p โดยจะทำการวัดอัตราการสูญหายของข้อมูล อัตราล่าช้าของเวลา และความแปรปรวนของความล่าช้าของเวลา

ผลการวิจัยพบว่าแบนด์วิดท์ของการเชื่อมโยงมีผลกระทบอย่างมากต่อสมรรถนะทุกตัวแปร โดยเฉพาะอย่างยิ่งอัตราการสูญหายของข้อมูล โดยในโครงข่ายที่มีแบนด์วิดท์ที่ 20 Mbps วิดีโอแบบความละเอียดสูงจะมีอัตราการสูญหายของข้อมูลประมาณ 1-20 % แต่สำหรับวิดีโอแบบ 3 มิติ นั้น จะมีอัตราการสูญหายประมาณ 20-50% ตามการเปลี่ยนไปของปริมาณของโหนดอื่นๆ ที่ใช้งานอยู่บนโครงข่ายตามลำดับ เมื่อแบนด์วิดท์มีค่าเพิ่มเป็น 40 Mbps และค่าโหนดอื่นๆ ที่ใช้งานอยู่บนโครงข่ายมีค่าไม่เกิน 50% อัตราการสูญหายของข้อมูลของวิดีโอแบบความละเอียดสูงจะมีค่าเป็น 0 แต่สำหรับวิดีโอ 3 มิติ จะมีการสูญหายของข้อมูล ประมาณ 1-10% ทั้งนี้ขนาดของบัฟเฟอร์ของเราเตอร์มีส่วนช่วยลดอัตราการสูญหายได้ในระดับหนึ่ง สำหรับอัตราล่าช้าทางเวลานั้นจะได้รับผลกระทบโดยตรงจากแบนด์วิดท์ของการเชื่อมโยงเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบอีกว่าปริมาณของโหนดอื่นๆ ที่ใช้งานอยู่บนโครงข่าย จะมีผลกระทบอย่างมากต่ออัตราการสูญหายของข้อมูลและอัตราล่าช้าทางเวลา

Thesis Title	Performance Evaluation of 3D IPTV
Author	Attaporn Kongtavorn
Thesis Advisor	Chiyaporn Khemapatapan, Ph.D
Degree	Master of Engineering
Major	Computer and Telecommunication Engineering
Academic Year	2011

### **ABSTRACT**

This thesis proposed performance evaluations of 3D video transmission through an peer to peer IPTV network by using NS2 program to simulate. By tracing from real video files from 2 movies: Tangled and Tron, packet loss rate, delay and jitter with the comparison between 3D and HD videos at the same resolution at 1080p are evaluated.

The research results show that link bandwidth significantly impacts on all performance values, especially for the packet loss rate. For network which has bandwidth of 20 Mbps, the packet loss rate of HD video is around 1-20%, but the packet loss rate of 3D video is around 20-50%, depending on various background traffics respectively. Moreover, when link bandwidth is set to 40 Mbps and background traffic is less than 50% of link bandwidth, the packet loss rate will be 0% for HD video but 1-10% for 3D video. Incidentally, buffer size of router will help in reducing packet loss rate to some extent. Additionally, delay will be directly affected by link bandwidth as well. Besides, the volume of background traffic impacts extremely to the packet loss rate and delay.

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

Internet Protocol TV (IPTV) ถือว่าเป็นการพัฒนาในส่วนของโทรทัศนผ่านทางอินเทอร์เน็ต โดยบริการหลักที่โดดเด่นของ IPTV นั้นจะเป็นรูปแบบ Video on Demand ซึ่งอนุญาตให้ผู้ใช้บริการเลือกดูในสิ่งที่ต้องการ โดยไม่ยึดติดกับตารางเวลาที่กำหนดไว้ซึ่งแตกต่างกับการบริการผ่านเคเบิลและดาวเทียมทั่วไป และผู้ใช้บริการยังสามารถกำหนดและจัดตารางรายการต่างๆ โดยตนเอง ผ่านทางคอมพิวเตอร์หรือโทรศัพท์มือถือได้ โดยบริการใหม่อีกรูปแบบหนึ่งที่ได้รับคามนิยมอย่างมาก คือการรับชมรายการต่างๆในรูปแบบ High Definition (HD) ซึ่งมีความละเอียดของภาพสูงกว่ารายการธรรมดาทั่วไป แต่จะมี Traffic สูงมากกว่าปกติ ทำให้ต้องใช้ Bandwidth ที่สูงขึ้น ส่งผลให้การบริการรูปแบบนี้ถือเป็นส่วนเสริมจากรายการปกติ และมีผู้ให้บริการน้อยกว่ารูปแบบอื่น โดยก้าวต่อไปที่เหล่าผู้ให้บริการได้ตั้งเป้าไว้ คือการให้บริการรายการต่างๆ ในรูปแบบสามมิติ (3D) ซึ่งใช้เทคนิค Stereoscopic หรือมุมมองภาพคู่แบบ 2D ที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยเพื่อสร้างภาวะความลึกของภาพวิดีโอทำให้เกิดการนูนขึ้นของภาพเป็นมิติความหนาขึ้นมา

ปัญหาหลักของ 3D IPTV นั้นเป็นสิ่งที่ต่อเนื่องออกมาจากแบบ HD นั่นคือผู้ให้บริการต้องมีปริมาณ Bandwidth สูงในระดับหนึ่ง โดยปกติแล้ว HD นั้นจะมีขนาดข้อมูลที่ใหญ่มากกว่ารายการทั่วไป และโดยทั่วไปแล้วความละเอียดของวิดีโอ 3D นั้นจะมีขนาดเทียบเท่ากับวิดีโอแบบ HD ซึ่งนอกจากความละเอียดที่สูงแล้วตัววิดีโอ 3D นั้นในบางฉากที่ใช้เทคนิค Stereoscopic นั้นจำเป็นต้องใช้เฟรมภาพในหลายมุมมองทำให้มีปริมาณข้อมูลที่สูงขึ้น ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าวิดีโอ 3D นั้นจะมีการใช้ Bandwidth ที่สูงกว่าวิดีโอแบบ HD

ในการศึกษาวิจัยฉบับนี้จึงได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ระบบ โดยใช้การจำลองโครงข่ายด้วยโปรแกรม NS2 และใช้ video trace 3D และ HD ที่ทำการวัดค่าจากวิดีโอจริงมาเป็นตัวทดสอบเพื่อศึกษาและประเมินคุณภาพของระบบ ในสภาวะการใช้งานที่มีข้อจำกัดทางด้าน Bandwidth โดยหาอัตราค่าล่าช้าต่อหน่วยเวลา (Delay) อัตราการสูญหายของข้อมูล (Packet Loss Rate) และค่าผิดพลาดทางหน่วยเวลา (Jitter) ตามการเปลี่ยนแปลงของค่า Queue ในระบบที่จำลองไว้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษารูปแบบการสร้างข้อมูล Traffic สำหรับวิดีโอ HD และ 3D ที่เข้ารหัสโดยใช้ Codec มาตรฐาน H.264 เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลในการจำลองระบบ
2. เพื่อจำลองโครงข่าย IPTV โดยใช้โปรแกรม NS2 และใช้การส่งข้อมูลแบบ HD และ 3D ที่ได้ศึกษาไว้
3. เพื่อที่จะประเมินประสิทธิภาพของวิดีโอ 3D บนโครงข่าย IPTV ได้

## 1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1. ทำการจำลองระบบในโครงข่ายระบบ IPTV
2. ใช้กราฟฟิคที่เป็นวิดีโอซึ่งจำลองมาจากแบบ HD และ 3D ร่วมกับ Background Traffic

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการจำลองสถานการณ์และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการใช้งานวิดีโอ 3 มิติ ในโครงข่าย IPTV โดยใช้โปรแกรม NS2 เวอร์ชัน 2.35 โดยมีสภาวะแวดล้อมจำลองที่กำหนดไว้ในสมมติฐานการวิจัย

1. วิเคราะห์และศึกษารูปแบบการส่งข้อมูลวิดีโอในรูปแบบ HD และ 3D ที่มีการเข้ารหัสแบบ H.264 จากวิดีโอจริงในระดับความละเอียด 1920x1080p
2. พัฒนาโครงข่ายสำหรับการจำลอง 3D IPTV โดยใช้ NS2 โดยใช้ข้อมูลวิดีโอ HD และ 3D ที่ได้เป็นตัวกำหนดขนาดการส่งข้อมูล เพื่อให้ได้มาซึ่ง Trace File สำหรับการประเมินระบบ โดยใช้พารามิเตอร์ของระบบในขอบเขตที่กำหนดไว้
3. นำข้อมูลจาก Trace File หาค่า Packet loss, Delay และ Jitter ของระบบ

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ปริมาณและขอบเขตรูปแบบ Traffic สำหรับวิดีโอ 3D และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปใช้สำหรับการสร้างรูปแบบการส่งข้อมูลจำลองในโครงข่ายจำลองของ NS2 เพื่อนำไปวัดผลประสิทธิภาพของโครงข่ายที่ได้ออกมา

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่นำมาใช้ในงานวิจัยซึ่งประกอบด้วย Internet Protocol Television:IPTV สถาปัตยกรรม Television:IPTV การเข้ารหัสแบบ H.264 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ Network Simulator version 2 (NS2)

#### 2.1 Internet Protocol Television: IPTV

IPTV คือระบบมัลติมีเดียชนิดหนึ่ง ซึ่งให้บริการด้านโทรทัศนผ่านทาง IP (Internet Protocol) บนเครือข่ายแบบ Packet-Switched เช่น อินเทอร์เน็ต ซึ่งจะแตกต่างจากการส่งสัญญาณโทรทัศนแบบเก่าที่ส่งผ่านคลื่นความถี่ต่างๆ ผ่านดาวเทียมหรือเคเบิลทีวี โดยบริการที่เป็นจุดเด่นของ IPTV นั้นแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

2.1.1 การรับชมรายการถ่ายทอดสด (Live Television) โดยที่ผู้ใช้สามารถทำการโต้ตอบกลับไปยังสถานีได้อย่างรวดเร็ว โดยไม่ต้องผ่านเครือข่ายโทรศัพท์หรืออื่นๆ

2.1.2 การรับชมรายการย้อนหลัง (Time-Shifted Television) โดยสามารถเลือกรายการย้อนหลังที่ได้ออกอากาศไปแล้ว นำกลับมาดูใหม่ได้อีกครั้งหนึ่ง ซึ่งระยะเวลาที่สามารถย้อนกลับไปได้นั้นขึ้นอยู่กับเครือข่ายของผู้ให้บริการ

2.1.3 Video on Demand คือบริการที่ให้ผู้ใช้งานแต่ละคนสามารถเลือกรายการที่ตนเองต้องการในเวลาใดก็ได้ โดยไม่ขึ้นอยู่กับผู้อื่นหรือตารางรายการที่ทางสถานีได้จัดไว้

#### 2.2 สถาปัตยกรรม Internet Protocol Television: IPTV

สถาปัตยกรรม IPTV ในปัจจุบันนั้นมีการคิดค้นพัฒนาจากหลายๆแห่ง ทั้งในระดับองค์กรและระดับบุคคล โดยมีการนำสถาปัตยกรรมที่คิดค้นขึ้นมาเผยแพร่ให้บุคคลทั่วไปได้รับทราบ แต่ทั้งนี้ยังไม่มี การกำหนดมาตรฐานหลักของสถาปัตยกรรม IPTV ที่มีรูปแบบหลัก โดยภายในหัวข้อนี้จะยกตัวอย่างสถาปัตยกรรมบางตัวที่มีการใช้งานแพร่หลายมากกล่าวถึง

### 2.2.1 IPTV Architectures for Cable System<sup>1</sup>

การถ่ายทอดผ่านเคเบิลนั้นถือว่ามีการทำงานและพัฒนาอย่างต่อเนื่องในการให้บริการโทรทัศน์ โดยในปัจจุบันนั้นสามารถให้บริการได้ด้วยเคเบิลใยแก้วซึ่งมี Bandwidth ในการรับส่งข้อมูลสูงมากกว่าเคเบิลแบบเก่า ทำให้ผู้ให้บริการหลายแห่งเล็งถึงการใช้เคเบิลในการให้บริการ IPTV โดยพัฒนาระบบโครงข่าย IPTV ของตัวเองโดยใช้ IP Receiver (set-top boxes, STBs) เป็นตัวเชื่อมต่อเข้ากับโครงข่าย Broadband ผ่านโมเด็ม โดยรูปแบบการบริการที่พัฒนามาจากของเดิมหลักสองแบบ

#### 1) Broadcast Service

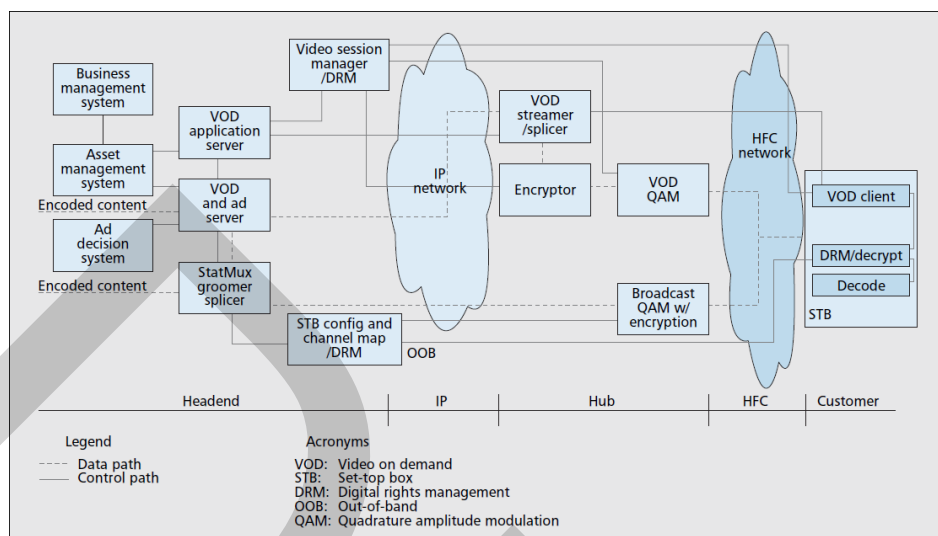
เป็นการบริการที่จะส่งรายการตามโปรแกรมกระจายไปสู่ผู้ใช้งานในแบบเดียวกันหมดในรูปแบบ one-to-many โดยแบ่งออกเป็น Digital Broadcast ที่จะทำการเข้ารหัสและเข้ารหัสรายการส่งไปให้ผู้ใช้งานทุกคนโดยไม่แบ่งแยกประเภท ซึ่งทำการคลายและถอดรหัสโดยตัว STB ของผู้ใช้แต่ละคน ส่วนการใช้งานอีกประเภทคือ Switched Digital Video ซึ่งจะส่งรายการที่กำหนดไว้ซึ่งให้กับกลุ่มผู้ใช้งานกลุ่มหนึ่งๆ เท่านั้น

#### 2) On-Demand Service

ใช้รูปแบบ one-to-one โดยจะส่งรายการที่ผู้ใช้อยู่ขอไว้ให้กับผู้ใช้งานคนเดียวเท่านั้น หากมีผู้ใช้สองคนเรียกวิดีโอตัวเดียวกันในเวลาเดียวกัน ตัววิดีโอที่ถูกส่งไปจะเป็นทำซ้ำคนละตัวกันที่เหมือนกันทุกประการ

<sup>1</sup> S. V. Vasudevan, X. Liu, and K. Kollmansberger and Cisco Systems. (2008, May). "IPTV Architectures for Cable Systems: An Evolutionary Approach". **IEEE Communications Magazine**. pp 102-109.





รูปที่ 2.1 Cable Video Architecture

ในรูปที่ 2.1 จะแสดงถึงองค์ประกอบและบริการต่างๆในสถาปัตยกรรมสำหรับ Cable Video ดังนี้

Headend เป็นตำแหน่งที่อนุมัติการส่งถ่ายโปรแกรมรายการต่างๆให้กับการบริการทั้ง Broadcast และ On-Demand Service อีกทั้งยังเป็นที่ตั้งระบบ back office ส่วนใหญ่ไว้ด้วย โดย back office นั้นรวมไปถึงระบบ Billing, Asset Management, Authorization เป็นต้น

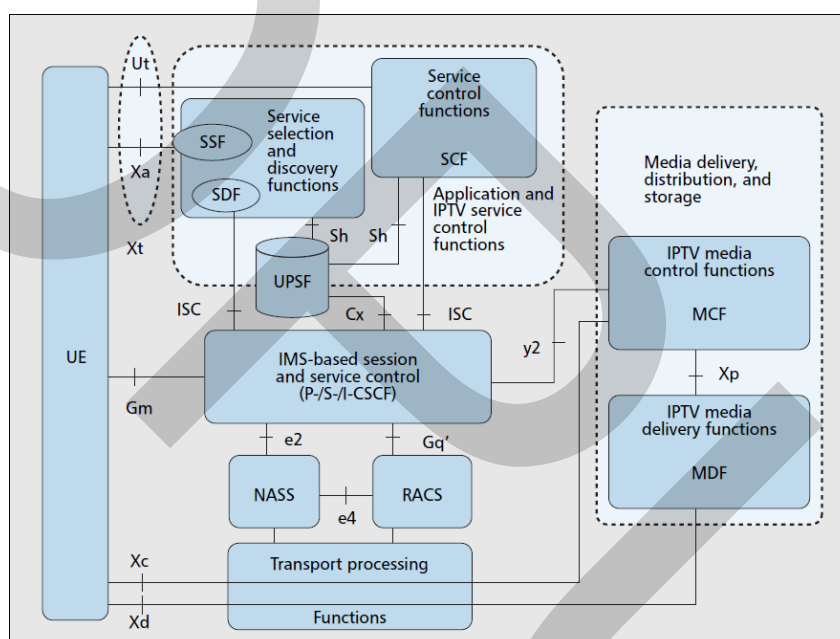
IP network จะเป็นศูนย์กลางการให้บริการ IP รูปแบบต่างๆ เช่น video, Voice over IP ซึ่งจะส่งต่อไปให้ Hub อีกทั้งยังเป็นส่วนควบคุม QoS (Quality of Service) และระดับความสำคัญของผู้ใช้บริการอีกด้วย

Hub เป็นที่ตั้งของโปรแกรมควบคุมความละเอียดของ Bandwidth และตัวอุปกรณ์เชื่อมต่อไปยังโครงข่าย HFC

HFC Network ตัวโครงข่าย Fiber-Coax สำหรับกระจายข้อมูลให้ผู้ใช้บริการ Customer ส่วนของผู้ใช้บริการ โดยจะติดตั้ง STB ไว้สำหรับรับข้อมูล

## 2.2.2 IPTV Services over IMS<sup>2</sup>

IMS (IP Multimedia Subsystem) เป็นสถาปัตยกรรมโครงข่ายสำหรับส่งข้อมูลการบริการมัลติมีเดียผ่านทาง IP ซึ่งตอนแรกนั้นถูกพัฒนาเพื่อใช้มาตรฐาน 3GPP ของโครงข่าย Wireless แต่ต่อมาถูกนำไปปรับใช้เป็นมาตรฐานสำหรับ NGN (Next Generation Network) และเมื่อนำมาใช้เป็นฐานสำหรับ IPTV นั้นทำให้ได้รับฟังก์ชันต่างๆของ IMS มา ซึ่งทำให้มีข้อได้เปรียบในด้าน Mobility การติดต่อกับเครือข่ายที่ใช้ NGN เป็นฐานหลัก การจัดการข้อมูลส่วนตัว รวมถึงการบริการด้าน Voice, Data, Video และ Mobile แบบเบ็ดเสร็จ



รูปที่ 2.2 IMS-based IPTV Architecture

จากรูปที่ 2.2 UE (User Equipment) จะทำการสื่อสารกับ IPTV Application และ Service Control ผ่านทาง Interface หลายๆตัวเพื่อจุดประสงค์ที่แตกต่างกันไป เช่น ทาง Gm ผ่าน IMS core เพื่อติดต่อด้าน Session Management, ผ่านทาง Ut เพื่อทำบริการ Profile Configuration หรือทาง Xa เพื่อติดต่อกับ Service Selection Functions ซึ่ง UE ทุกตัวจะมี Interface อย่างน้อยสี่ตัว โดย Xc ทำการติดต่อด้าน Media Control และ Media Delivery สำหรับ Xd ส่วน Gm นั้นจะเชื่อมต่อกับ IMS ส่วน Xt นั้นเชื่อมต่อกับ IPTV Application Server โดย IPTV Application Server

<sup>2</sup> E. Mikoczy, S. Telekom, D. Sivchenko, B. Xu, D. Telekom and Jose I. Moreno. (2008, May). "IPTV Architectures for Cable Systems: An Evolutionary Approach". **IEEE Communications Magazine**. pp 128-135.

นั้นจะใช้ IMS Service Control (ISC) เพื่อติดต่อกับ IMS-based NGN Service Control และตัว Media Control Functions (MCFs) จะควบคุม Media Delivery Functions (MDFs) ผ่านทาง Xp

### 2.3 การเข้ารหัสแบบ H.264<sup>3</sup>

H.264/MPEG-4 Part 10 หรือ AVC (Advance Video Coding) เป็นมาตรฐานชนิดหนึ่งสำหรับการบีบอัดวิดีโอ (Video Compression) และถือเป็นรูปแบบ (format) หนึ่งที่มีการใช้งานสำหรับบันทึก บีบอัดและการกระจายข้อมูลสำหรับวิดีโอความละเอียดสูง (High Definition Video) โดยตัว H.264/MPEG-4 AVC นั้นเป็น block-oriented motion-compensation-based codec ซึ่งถูกพัฒนาโดย International Telecommunication Union (ITU-T) ร่วมกันกับ International Organization for Standardization (ISO)/ International Electro technical Commission (IEC) ซึ่งมาตรฐาน H.264 ของ ITU-T และมาตรฐาน MPEG-4 AVC ของ ISO/IEC นั้นจะเป็นการร่วมกันทำงาน ทำให้มีเนื้อหาที่เหมือนกัน โดย H.264 นั้นจะถูกใช้เป็น codec มาตรฐานสำหรับแผ่นบลูเรย์ต่างๆทำให้เครื่องเล่นบลูเรย์นั้นจะต้องสามารถถอดรหัส H.264 ได้ นอกจากนั้นแล้ว H.264 ยังถูกใช้ในงานด้านต่างๆ ได้แก่ streaming internet source, web software, broadcast service, cable TV และ real-time videoconferencing

ในปัจจุบัน H.264 ได้มีการเพิ่มโครงสร้างหลักเข้าไปอีก 2 แบบนั้นคือ SVC และ MVC

#### 1) SVC (Scalable Video Coding)

เป็นชื่อของส่วนเสริมประเภท Annex G ของมาตรฐาน H.264/MPEG-4 AVC โดย SVC นั้นจะเป็นการวางมาตรฐานในการเข้ารหัส HD video bit stream ที่มีการบรรจุ subset bitstream มากกว่าหนึ่งตัว โดย subset bitstream นั้นสามารถปรับเปลี่ยนการแสดงความละเอียดของภาพ, ปรับระดับเฟรมเรทให้ลดลง หรือลดคุณภาพของสัญญาณวิดีโอลงได้

#### 2) MVC (Multiview Video Coding)

เป็นส่วนเสริมประเภท Annex H ของมาตรฐาน H.264/MPEG-4 AVC โดย MVC จะทำให้ bitstream นั้นสามารถทำให้วิดีโอแสดงผลมากกว่าหนึ่งมุมมองได้ ตัวอย่างหลักของการใช้งานประเภทนี้คือการเข้ารหัสวิดีโอ stereoscopic 3D โดยตัว MVC นั้นมีความสามารถ backward compatible กับ H.264/AVC ทำให้สามารถถอดรหัสโดยใช้แค่ AVC ได้ แต่จะไม่แสดงผลมุมมองอื่นๆ

<sup>3</sup> P.Seeling and M.Reisslein. (2005, October). "Evaluating multimedia networking mechanisms using video traces". **IEEE Potentials**, p. 21-25.

ลักษณะกระบวนการหลักในการเข้ารหัสของ H.264 มีองค์ประกอบหลัก 2 อย่างนั้นคือ

Inter frame Coding โดยใช้ Discrete Cosine Transform (DCT)

Inter frame Coding โดยใช้การประมาณการเคลื่อนไหวและการชดเชยระหว่างเฟรมของวิดีโอที่ต่อเนื่องกัน

โดยในกระบวนการ Inter frame Coding เฟรมของวิดีโอจะถูกแบ่งออกเป็นรูปบล็อก 8x8 โดยทุกๆบล็อกจะถูกเปลี่ยนโดยการใช้ DCT จะกลายเป็นสัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูล (transform coefficient) ขนาดบล็อก 8x8 ซึ่งแสดงถึงส่วนประกอบความถี่เชิงพื้นที่ (spatial frequency) ในบล็อกต้นแบบ โดยปกติแล้วข้อมูลเฟรมของวิดีโอจะถูกรวบรวมไว้ในส่วนประกอบความถี่เชิงพื้นที่ต่ำๆซึ่งมีจำนวนน้อย ทำให้วิดีโอเฟรมที่ถูกแสดงนั้นถูกบีบอัดได้มากขึ้น จากนั้นสัมประสิทธิ์การแปลงข้อมูลจะถูก quantize โดยระดับของความหยาบของการ quantization นั้นจะถูกควบคุมโดยการตั้งค่า quantization step size (quantization scale) ซึ่งถ้า quantization scale สูง จะให้การ quantization ที่หยาบขึ้นตามอัตราส่งผลให้เฟรมของวิดีโอมีขนาดเล็กขึ้นแต่คุณภาพของวิดีโอจะต่ำไปด้วย ซึ่งการเข้ารหัส Constant Bit Rate (CBR) นั้น quantization scale จะถูกปรับในอัตราที่แตกต่างกันเพื่อรักษาระดับ bit rate ให้คงที่ ในทางกลับกัน การเข้ารหัสแบบ Variable Bit Rate (VBR) quantization scale จะถูกรักษาระดับไว้ให้คงที่ ส่งผลให้วิดีโอมีคุณภาพที่คงที่ แต่ bit rate ที่ได้จะไม่คงที่แตกต่างกันไป

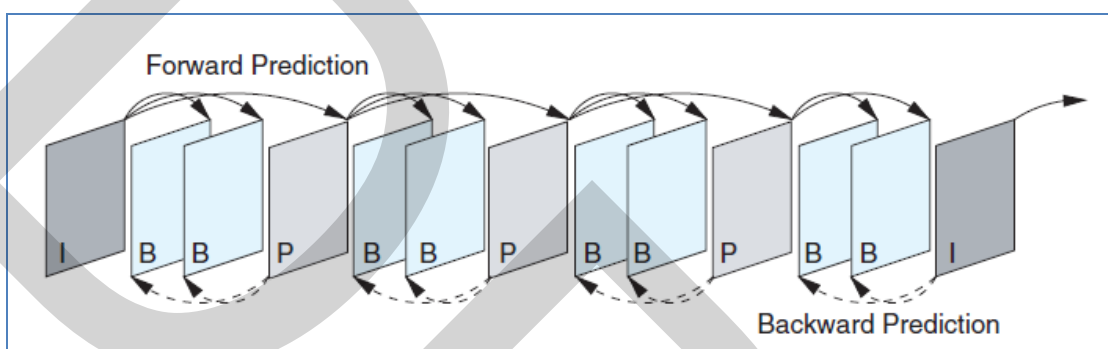
สำหรับการ Inter frame coding นั้น MPEG ได้แบ่งประเภทของเฟรมออกเป็น 3 ประเภท

1) I-frame (Intra-coded picture) เป็นเฟรมหลัก เป็นรูปภาพที่เก็บข้อมูลเฉพาะของตัวเองเหมือนรูปภาพหนึ่งที่คงที่ ทำให้มีอัตราการบีบอัดที่น้อยที่สุดแต่ไม่ต้องการเฟรมอื่นมาใช้ในการถอดรหัส (Decode)

2) P-frame (Predicted picture) เก็บเฉพาะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากเฟรมก่อนหน้า (ส่วนใหญ่จะเป็น I-frame) โดยการถอดรหัสนั้นจะดึงข้อมูลจากเฟรมก่อนหน้ามาใช้ ทำให้สามารถบีบอัดข้อมูลได้มากกว่า I-frame

3) B-frame (Bi-predictive picture) เก็บเฉพาะการเปลี่ยนแปลงจากเฟรมก่อนหน้าและเฟรมถัดไปต่อจากตัวมันเอง ทำให้ได้อัตราการบีบอัดข้อมูลสูงสุด

โดยเฟรมที่แตกต่างกันนี้จะถูกนำมาจัดรวมกันเรียกว่า groups of pictures (GoPs) โดยอาจกล่าวได้ว่า ลำดับความต่อเนื่องของกลุ่มเฟรมที่เริ่มจากเฟรม I หนึ่งไปจนถึงเฟรมก่อนหน้าเฟรม I ที่อยู่ถัดไปจะถูกเรียกว่า GoP ซึ่งรูปแบบของ I, P และ B เฟรมที่รวมกันเป็น GoP นั้นจะถูกเรียกว่า GoP Pattern หรือ GoP structure ตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดง GoP Pattern ที่มีสาม P เฟรมและมีสอง B เฟรมทั้งหน้าและหลัง P เฟรม



รูปที่ 2.3 MPEG GoP Pattern

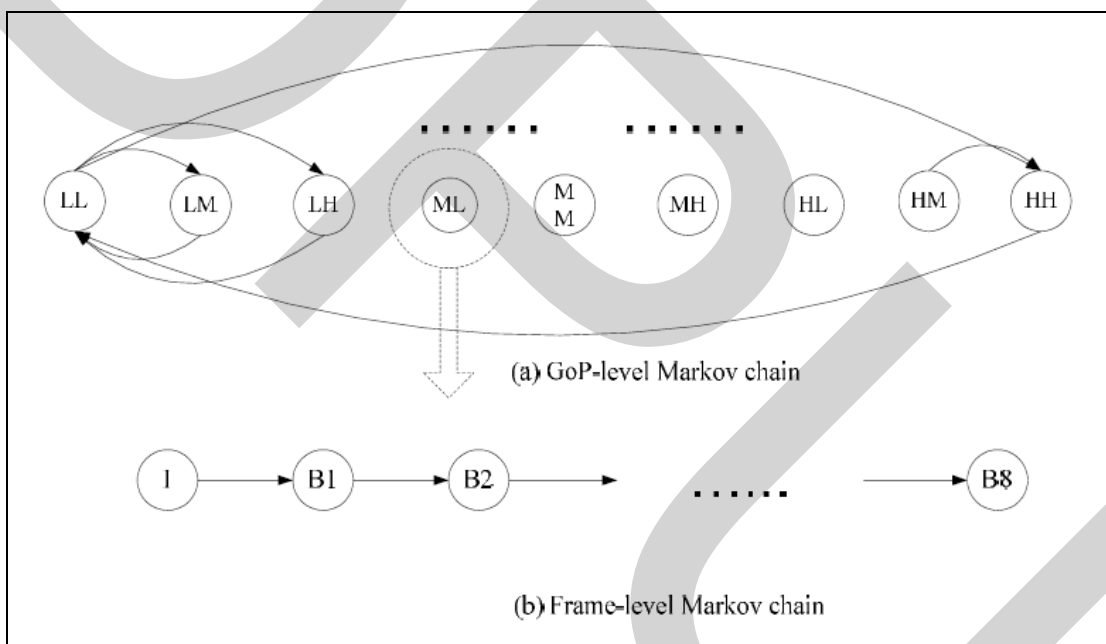
จากที่กล่าวไว้ข้างต้น I-frame ในรูปที่ 2.3 นั้นสามารถเข้ารหัสและถอดรหัสได้ในตัวมันเองโดยไม่ต้องพึ่งอ้างอิงจากเฟรมอื่น ในขณะที่ P-frame นั้นจะใช้การอ้างอิงจากตัว I-frame หรือ P-frame ก่อนหน้าเรียกว่า Forward Prediction ซึ่งแสดงไว้เป็นลูกศรสีเข้มในรูป ส่วนตัว B-frame นั้นจะใช้การอ้างอิงแบบ Forward Prediction และ Backward Prediction หรือก็คือการอ้างอิงแบบย้อนหลังจากตัว I-frame หรือ P-frame เบื้องหน้า ซึ่งแสดงไว้เป็นรูปลูกศรประจุดในรูป 2.3

ในกระบวนการอ้างอิงซึ่งใช้ในการ Prediction นั้น การจับคู่เหมือนของบล็อกต่างๆจะถูกวิเคราะห์และตัดสินใจโดยใช้ motion vector ซึ่งกระบวนการนี้จะถูกเรียกว่า motion estimation โดยข้อแตกต่างระหว่างบล็อกจะถูกนำไปเข้ารหัส ในขณะที่บล็อกที่เหมือนกันมากที่สุดจะถูกนำไปเปลี่ยนแปลงโดยใช้ DCT และการ quantize ตามที่กล่าวไว้ข้างบน โดยกระบวนการนี้เรียกว่า motion compensation ซึ่งถ้าไม่สามารถหาคู่ที่เหมือนกันของเฟรมที่นำมาอ้างอิงได้ แสดงว่าเฟรมนั้นเป็น I-frame

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.4.1 A Simple, Two-Level Markovian Traffic Model for IPTV Video Sources<sup>4</sup>

ในบทความชิ้นนี้ได้นำเสนอแบบจำลองทาง Traffic สำหรับ IPTV โดยการใช้กระบวนการ Markovian ซึ่งมีด้วยกันสองระดับนั่นคือ GoP-Level Markov chain และ Frame-Level Markov chain ซึ่งในระดับ GoP ได้จำลอง State ไว้เป็น  $S \times T = N$  โดย S และ T นั้นเป็นตัวแทนโดเมนของเวลาและสถานที่ (temporal and spatial domain) และ N คือ State ทั้งหมดที่เกิดขึ้น ซึ่งทั้ง S และ T นั้นจะแบ่ง State ออกเป็นสามระดับ Low (L), Medium (M), High (H) เพื่อผลประโยชน์ด้านการคำนวณ และจาก  $S \times T = N$  นั้น N state ทั้งหมดจะมีค่า  $3 \times 3 = 9$  state ดังรูปที่ 2.4 โดยการเปลี่ยน state นั้นจะใช้กระบวนการ transition probability



รูปที่ 2.4 แบบจำลอง Traffic Model โดยใช้ Markov chain

ในระดับ Frame นั้น จะมีลักษณะสอดคล้องกับ 12-step Markov chain ดังในภาพที่ 2.4 โดยจะแจกแจงออกมาได้เป็น I, B1, B2, P1, B3, B4, P2, B5, B6, P3, B7, B8 ซึ่งแสดงถึงเฟรม 12 ใน GoP ซึ่งค่า state transition probabilities ภายใน GoP นั้นจะถูกกำหนดไว้แล้ว โดยทุกๆ state นั้นจะมีความสัมพันธ์กับเฟรม โดยขึ้นอยู่กับประเภทของเฟรมและค่า Traffic arrival rate ของเฟรมนั้นๆ เนื่อง

<sup>4</sup> F. Wan, L. Cai and T.A. Gulliver. (2008, November). "A Simple, Two-Level Markovian Traffic Model for IPTV Video Sources". *Global Telecommunications Conference 2008*. p. 1-5.

ด้วยจาก State ของเฟรมนั้นมีถูกจำกัดไว้แค่ 9 state ทำให้ขอบเขตในการแบ่งลำดับความสัมพันธ์ของเฟรมนั้นมีค่ากว้างมากขึ้น

#### 2.4.2 3D IPTV Study and Performance<sup>5</sup>

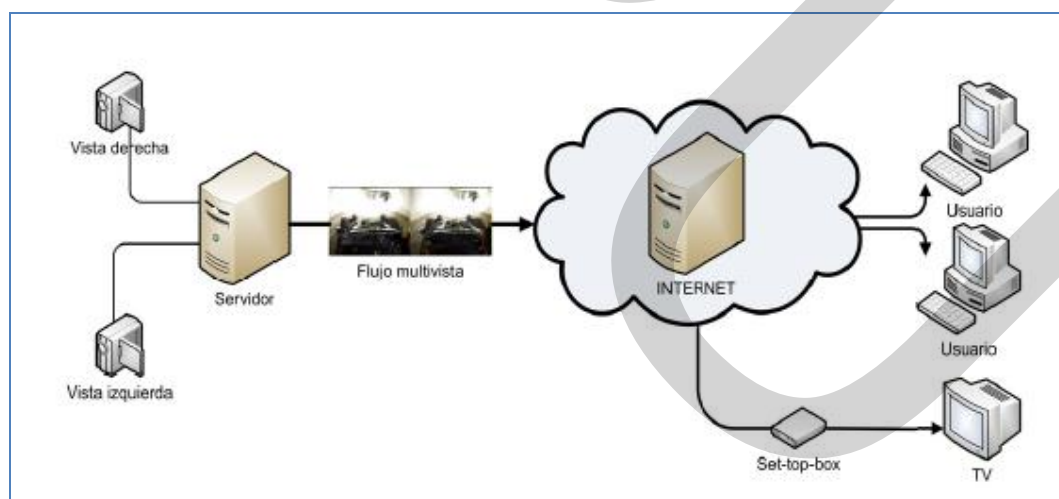
บทความนี้ได้แบ่งออกเป็นสองส่วน โดยส่วนแรกของบทความจะทำการวิเคราะห์ข้อมูลปัจจัยต่างๆในการส่งผ่านวิดีโอ 3D ผ่านทาง IPTV โดยมีการกล่าวถึงข้อจำกัดต่างๆของ 3D IPTV ที่ยังเป็นปัญหาอยู่ในขณะนี้ เช่น การที่ข้อมูลมีขนาดใหญ่เกินไป รูปแบบที่ใช้ในการ encode แบบต่างๆสำหรับ stereoscopic video สำหรับ MPEG4 part 10 (H.264) ขีดจำกัดทางด้านมุมมองต่างๆในการมอรูป 3D จากโทรทัศน์ จากนั้นส่วนที่สองได้ทำการจำลองโครงข่ายแบบใช้อุปกรณ์จริง (Test Bench) โดยมีข้อกำหนดต่างๆ ดังนี้

โครงข่ายมีความ scalability ในระดับสูง (10-100 Terabit/s)

สามารถให้ QoS ที่เชื่อถือได้โดยการรวม delay, jitter และ packet loss ไปในการคิดคำนวณ ซึ่งต้องทดสอบการส่งผ่านทั้ง CBR และ VBR

สามารถให้บริการต่างๆ นั้นเป็นไปได้ในขณะที่มี TCP traffic โดยการบริการนั้นต้องอยู่ในระดับดีที่สุด และไม่ถูกรบกวนโดย traffic ต่างๆ

โดย Topology ที่ใช้ในการทดลองจะถูกแสดงไว้ที่รูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 Test Bench network Topology

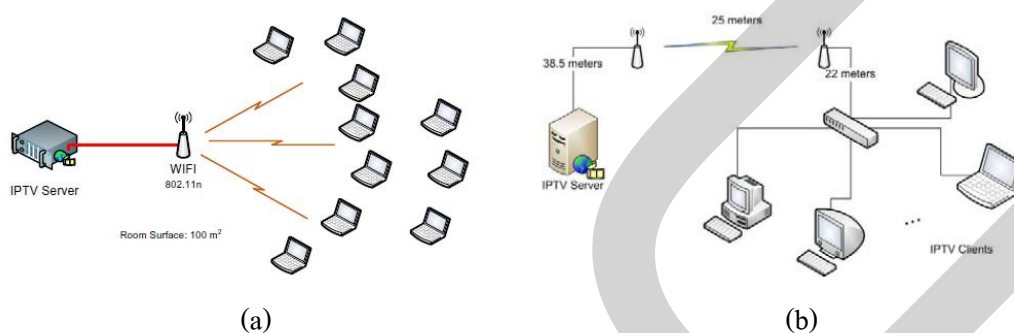
<sup>5</sup> A. Canovas, M. Garcia, J. Lloret and J. Tomas. (2010, September). "3D IPTV Study and Performance". **Evolving Internet (INTERNET) 2010 Second International Conference**. pp 55-60.

โดยการประเมินจะถูกแบ่งออกเป็นสองส่วน ซึ่งส่วนแรกจะประเมินการ coding 3D video โดยทดสอบว่าหลังจากถูก encode โดย H.264 แล้ว performance ของระบบจะได้ผลขนาดไหน และส่วนที่สองจะทำการทดสอบในโครงข่ายแบบอื่นๆ ว่า 3D video จะมีผลของ delay, jitter และ packet loss อย่างไรในโครงข่ายที่กำหนดผลรูปแบบต่างๆ เช่น มี jitter เป็น exponential, ไม่มี jitter เป็นต้น

#### 2.4.3 IPTV Performance in IEEE 802.11n WLANs<sup>6</sup>

ในบทความนี้ได้ชี้จุดเด่นไปที่การใช้มาตรฐานโครงข่ายไร้สาย IEEE 802.11n ซึ่งมีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงและขอบเขตที่กว้างกว่ามาตรฐาน IEEE 802.11a/b/g โดยนำมาใช้ในการให้บริการเครือข่าย IPTV โดยในบทความนี้จะทำการทดลองจริง (Test Benches) เพื่อวัดสมรรถภาพของระบบตามอัตราการเปลี่ยนแปลงของผู้ใช้งานในระบบ

จากรูปที่ 2.6 จะแสดงถึง Topology ที่ใช้ในการทดสอบทั้งแบบภายในและภายนอกอาคาร โดยวิดีโอที่ใช้ในการทดสอบนั้นจะอยู่ในรูป SDTV MPEG-2 โดยมีความละเอียดอยู่ที่ 720x576 เฟรมเรต 25 fps และมีความยาว 70 นาที โดยในการทดสอบทั้งสองแบบจะแยกออกเป็นสี่แบบนั้นคือการทดสอบ Delay, Jitter, Packer loss และ Bandwidth โดยจะส่งในรูปแบบ Multicast 1 channel

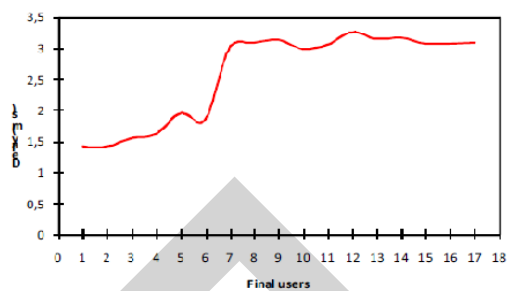


รูปที่ 2.6 (a) การทดสอบแบบสภาพแวดล้อมในอาคาร

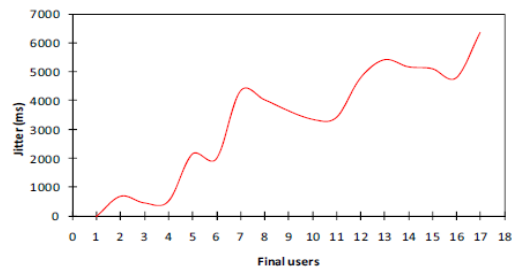
(b) การทดสอบสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร

<sup>6</sup> Marcelo Atenas, Sandra Sendra, Miguel Garcia and Jaime Lloret. (2010, December). "IPTV Performance in IEEE 802.11n WLANs". *IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps) 2010*. p. 929 – 933.





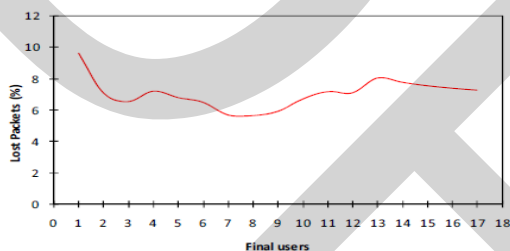
(a)



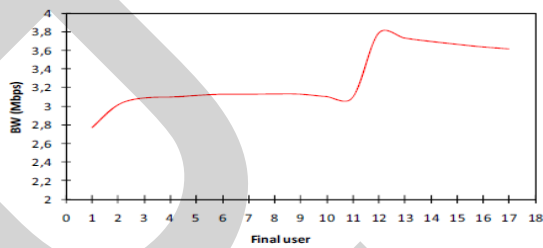
(b)

รูปที่ 2.7 (a) ค่าเฉลี่ย Delay สำหรับ 1 Multicast channel

(b) ค่าเฉลี่ย Jitter สำหรับ 1 Multicast channel



(a)



(b)

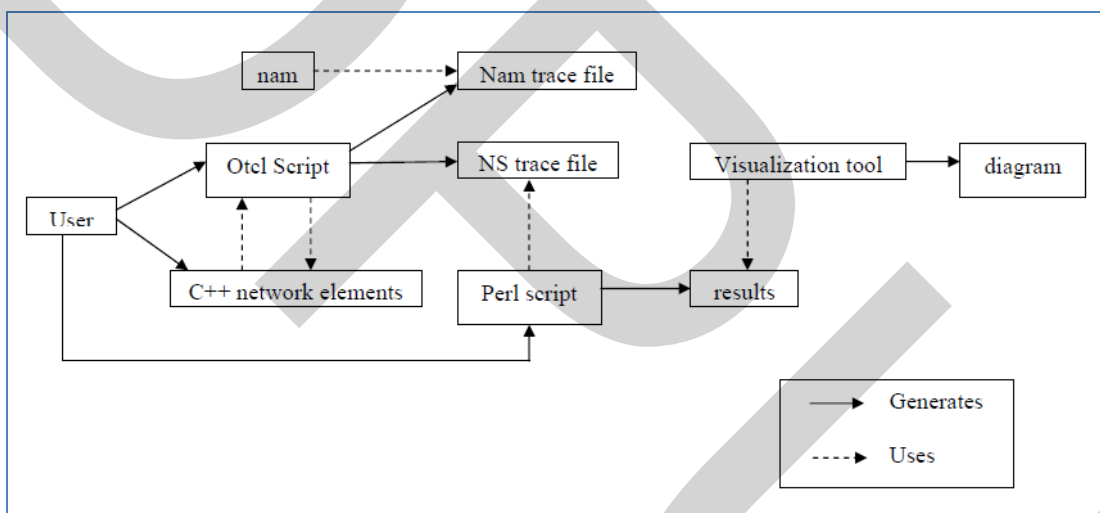
รูปที่ 2.8 (a) ค่าเฉลี่ย Packet loss สำหรับ 1 Multicast channel

(b) ค่าเฉลี่ย Bandwidth สำหรับ 1 Multicast channel

โดยจากสังเกตผลการทดสอบทั้งสี่แบบดังในรูปที่ 2.7 และ 2.8 แล้ว จะพบว่าค่าทั้งสี่นั้นจะไม่เพิ่มขึ้นในลักษณะเชิงเส้นกับปริมาณของผู้ใช้งานในระบบ ซึ่งค่าทั้งสี่นั้นจะมีพฤติกรรมของแต่ละชนิดแตกต่างกันไป

## 2.5 Network Simulator version 2 (NS2)<sup>7</sup>

NS2 เป็น open-source และสามารถที่จะ run ได้ทั้งบน Linux, FreeBSD, SunOS, Solaris, Window ถูกพัฒนาขึ้นโดย ISI (Information Sciences Institute) NS2 เป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของ network ในแบบที่เป็น discrete event simulator ซึ่งสนับสนุนการจำลองการเลือกเส้นทางในการขนส่ง packet, จำลองการทำงานของ multicast protocol และ IP protocol เช่น UDP, TCP, RTP, SRM ที่อยู่บนเครือข่ายประเภทที่เป็น wire และ wireless (local และ satellite) ซึ่ง NS2 เป็น tool ที่มีประโยชน์มากทั้งยังสนับสนุน multiple protocol และยังมีความสามารถในการแสดงรายละเอียดของ network traffic ออกมาในรูปแบบของกราฟฟิก รวมทั้งยังสนับสนุน Algorithm ในการ routing และ queuing เช่น FIFO, round-robin เป็นต้น



รูปที่ 2.9 การทำงานของ NS2

User จะสามารถสร้าง OtcI Script, C++ Network elements และ Perl Script เพื่อที่จะนำมาใช้ในการออกแบบเพื่อจำลองการทำงานของ Network ซึ่ง User สร้าง C++ network ขึ้นมาเพื่อให้เป็น object ที่อยู่ใน library ที่สามารถจะเรียกใช้ได้โดยเรียกใช้ผ่าน Command ของ OtcI Script ซึ่งจะมี OtcI linkage เป็นตัวที่จะเรียก Object ใน library ขึ้นมาใช้งาน เมื่อ OtcI script ถูกประมวลผล OtcI script จะสร้าง nam trace file และ ns trace file ซึ่งตัว nam trace file ที่ได้นั้นจะถูกเรียกใช้โดย nam เพื่อที่จะนำไปประมวลผลแล้วแสดงผลออกมาในรูปแบบกราฟฟิก ในส่วนของ perl

<sup>7</sup> จิตติมา นิตยวรรณ โสพล ชัคคิตรายาพงษ์ และอุไรรัตน์ พึ่งสุนทรบัตร์. (2550). Network Simulator (NS2). สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2555 จาก [wiki.nectec.or.th/ngiwiki/pub/Project/IntelligentNMS/bm-ns2.pdf](http://wiki.nectec.or.th/ngiwiki/pub/Project/IntelligentNMS/bm-ns2.pdf)

script นั้นจะเรียกใช้ ns trace file เพื่อนำ ns trace file มา filter ให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็น Result ที่จะถูกเรียกใช้โดย Visualization tool เช่น Xgraph เพื่อที่จะนำมาใช้สร้างกราฟที่แสดงผลการทำงานของ การจำลอง Network

ภาษาที่ใช้ใน NS2 มีอยู่ 2 ภาษา เนื่องจาก Simulator มีลักษณะการทำงาน 2 อย่างที่แตกต่างกัน ซึ่งงานส่วนแรกจะเป็นการจำลองรายละเอียดต่างๆเกี่ยวกับ Protocol จึงจำเป็นต้องใช้ System programming language ซึ่งมีประสิทธิภาพในการจัดการข้อมูลที่มีหน่วยของขนาดข้อมูลเป็น byte , packet header และสร้าง algorithm ที่สามารถประมวลผลข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ได้ ซึ่งงานในส่วนนี้จะเน้น และให้ความสำคัญในเรื่องของ run-time speed ส่วนในเรื่องของ turn-around time (ค้นหา bug ,re-run, recompile) นั้น จะมีความสำคัญน้อยกว่า ส่วนงานในส่วนที่ 2 ส่วนใหญ่จะเป็นเรื่องของการทำวิจัยเกี่ยวกับ network ซึ่งจะต้องยุ่งเกี่ยวกับพวก Parameters หรือ การทำ Configuration ซึ่ง iteration time (change the model and re-run) นั้นเป็นสิ่งสำคัญ เพราะฉะนั้นจึงจำเป็นที่ NS2 จะใช้ 2 ภาษา คือ

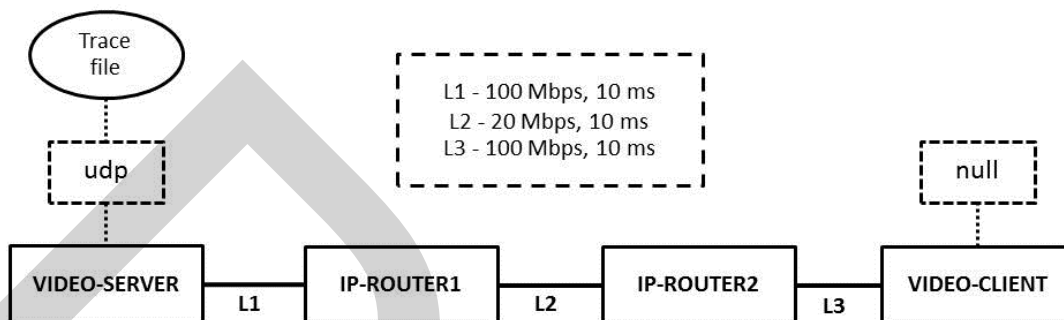
#### 1) ภาษา C++

เอาไว้ใช้ในการสร้าง Protocol และ Application Agents เพื่อใช้กำหนดคุณสมบัติของกระบวนการทำงานของแต่ละ packet ตามที่ผู้ใช้งานต้องการ โดยเปลี่ยนการทำงานของ object ใน C++ เพื่อเอาไว้ปรับใช้กับ non-standard policies ซึ่งมีข้อดีคือประมวลผลเร็ว และมีข้อเสียคือจะทำงานช้าเมื่อมีการ run simulation, ค้นหา bug, fix bug, recompile, re-run

#### 2) ภาษา Object Tool Command Language

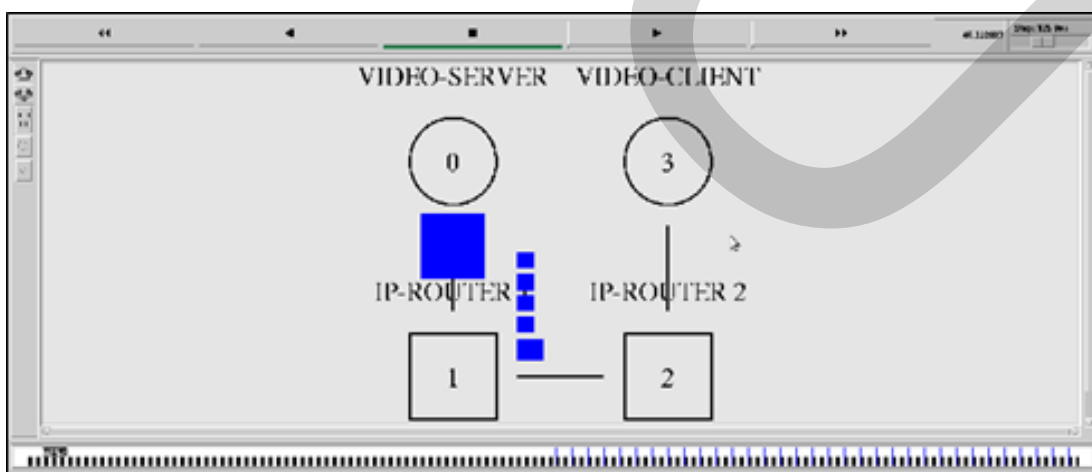
เอาไว้ใช้ในการเขียน Simulation script, Configuration และ setup และใช้ในการทดสอบผลของ network parameter โดยทำการเปลี่ยนแปลงค่าใน object ของ C++ รวมถึงการวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลง parameter โดยใช้การ trace และแสดงผลทางหน้าจอ โดยมีข้อดีคือสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วเมื่อมีการเปลี่ยนแปลง แต่ก็มีข้อเสียคือการประมวลผลที่ช้า

ในรูปที่ 2.10 จะเป็นตัวอย่างการใช้ NS2 สำหรับการจำลองระบบ



รูปที่ 2.10 Network Topology

จากบทความ A Simple, Two-Level Markovian Traffic Model for IPTV Video Sources ตัว Topology ที่ใช้ในการจำลองนั้นถูกแสดงไว้ในรูปที่ 2.10 โดยตัว Source นั้นจะใช้ Trace File จากวีดีโอจริงที่ชื่อว่า “Mars” โดย Video-server นั้นจะเชื่อมต่อเข้ากับ IP-Router1 ด้วยลิงค์ L1 ซึ่งมี bandwidth 100 Mbps หลังจากนั้นตัว video stream จะถูกส่งต่อโดย IP-Router1 และ IP-Router2 เพื่อส่งไปยังจุดหมายที่ Video-client ซึ่งสายระหว่าง IP-Router1 และ 2 นั้นจะเป็นจุดคอขวด (bottleneck) สำหรับทำการสำรวจ โดยในโค้ดโปรแกรมนั้นเราจะทำการปรับ buffer size ขนาดต่างๆตั้งแต่ 10 – 600 packets และทำการกำหนดประเภทการจัดคิว (queue) เป็นรูปแบบ Drop-Tail แบบธรรมดา โดยจะแสดงผลออกมาในรูปแบบ GUI โดยใช้ NUM ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 GUI NUM สำหรับ NS2

```

set ns [new Simulator]

$ns color 1 Blue

set f1 [open outvideo.tr w]
$ns trace-all $f1

set nf [open out.nam w]
$ns namtrace-all $nf

# define the trace format:
Agent/UDP set nam_tracevar_ true
Agent/UDP set tracevar_ true

# generate the sending node:
set send_node [$ns node]

# generate the routers:
set router_node_1 [$ns node]
$router_node_1 shape "box"

set router_node_2 [$ns node]
$router_node_2 shape "box"

# generate the receiving node:
set recv_node [$ns node]

# define the links between the nodes:
$ns duplex-link $send_node $router_node_1 100Mb 10ms DropTail
$ns duplex-link $router_node_1 $router_node_2 15Mb 10ms DropTail
$ns duplex-link $router_node_2 $recv_node 100Mb 10ms DropTail

# orientation of the links:
$ns duplex-link-op $send_node $router_node_1 orient down
$ns duplex-link-op $router_node_1 $router_node_2 orient right
$ns duplex-link-op $router_node_2 $recv_node orient up

$ns duplex-link-op $router_node_1 $router_node_2 queuePos 0.5
$ns duplex-link-op $router_node_2 $recv_node queuePos 0.5

# set the maximal queue lengths of the routers:
$ns queue-limit $send_node $router_node_1 600
$ns queue-limit $router_node_1 $router_node_2 600
$ns queue-limit $router_node_2 $recv_node 600

# define the source and the source model:
set udp [new Agent/UDP]
$udp set fid 1
$ns attach-agent $send_node $udp

#$ns add-agent-trace $udp udp
#$ns monitor-agent-trace $udp

# define the destination:
set snk [new Agent/Null]
$snk set fid 1

```

รูปที่ 2.12 ตัวอย่าง Source Code

```

$ns attach-agent $recv_node $snk

$ns connect $udp $snk

# generate the video trace file ("Verbose_Jurassic_64.dat" is only an example):
set original_file_name tt.data
set trace_file_name verbose.tr
set original_file_id [open $original_file_name r]
set trace_file_id [open $trace_file_name w]
configure $trace_file_id -encoding binary
configure $trace_file_id -translation binary

set last_time 0
while {[eof $original_file_id] == 0} {
    gets $original_file_id current_line
    if {[string length $current_line] == 0 ||
        [string compare [string index $current_line 0] "#"] == 0} {
        continue
    }

    scan $current_line "%f%d" next_time length
    set time [expr 1000*int($next_time-$last_time)]
    set frame [expr $length]
    puts -nonewline $trace_file_id [binary format "II" $time $frame]

    if {$next_time > $last_time} {
        set last_time $next_time
    }
}
close $original_file_id
close $trace_file_id

# set the simulation end time:
set end_sim_time [expr 1.0*$last_time/1000+0.001]

# read the video trace file:
set trace_file [new Tracefile]
$trace_file filename $trace_file_name

set video [new Application/Traffic/Trace]
$video attach-agent $udp
$video attach-tracefile $trace_file

# start the simulation:
$ns at 0.0 {
    $send_node label "VIDEO-SERVER"

```

รูปที่ 2.12 ตัวอย่าง Source Code (ต่อ)

```
$router_node_1 label "IP-ROUTER 1"
$router_node_2 label "IP-ROUTER 2"

$recv_node label "VIDEO-CLIENT"

$video start
}
# stop the simulation:
$ns at $end_sim_time {
  finish
}
proc finish {} {
  global ns nf f1
  $ns flush-trace
  close $nf
  close $f1
  exec nam out.nam &
  exit 0
}
$ns run
```

รูปที่ 2.12 ตัวอย่าง Source Code (ต่อ)

จากรูปที่ 2.12 เป็นตัวอย่าง Source Code สำหรับ Topology จากรูปที่ 2.10 โดย Source Code ที่ถูกใช้ในงานวิจัยจะถูกแสดงไว้ที่ภาคผนวก

## บทที่ 3

### ระเบียบวิธีวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการออกแบบระบบของโครงการรวมทั้งอธิบายถึง แนวทางการวิจัย และพัฒนา เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย แผนการดำเนินงาน ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

#### 3.1 แนวทางการวิจัยและพัฒนา

IPTV นับว่าเป็นรูปแบบหนึ่งของการให้บริการสื่อโทรทัศนผ่านทางระบบอินเทอร์เน็ต โดยจัดว่าเป็นเทคโนโลยีด้านมัลติมีเดียที่มีการแพร่หลายเป็นอย่างดี โดยในปัจจุบันมีผู้เปิดให้บริการด้าน IPTV โดยบริษัทเอกชนหลากหลายแห่ง ซึ่งมีการแข่งขันและพัฒนากันมาอย่างต่อเนื่อง และบริการรูปแบบใหม่ที่เริ่มเปิดให้ใช้นั้นคือการรับชมภาพยนตร์ต่างๆผ่านระบบ HD หรือ วีดีโอความละเอียดสูง ซึ่งมีการใช้ Bandwidth ที่สูงขึ้นมาอีกระดับหนึ่ง โดยก้าวต่อไปในการพัฒนาของการให้บริการ IPTV นั้นคือการรับชมผ่านระบบสามมิติ ซึ่งยังไม่มีผู้ได้เปิดให้บริการ ในบทความนี้จึงได้ทำการทดลองจำลองระบบโครงข่ายผ่านโปรแกรม NS2 โดยใช้ตัว Traffic ต้นแบบมาจากวีดีโอสามมิติ เพื่อนำมาทำการประเมินประสิทธิภาพของโครงข่ายจำลอง เพื่อหาคุณภาพที่เป็นไปได้ในการเปิดให้บริการภาพยนตร์สามมิติจากระบบโครงข่าย IPTV

#### 3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.1 เครื่อง Laptop สำหรับการจำลองระบบ จำนวน 1 เครื่อง

3.2.2 โปรแกรม NS2 สำหรับจำลอง Network Topology

#### 3.3 แผนการดำเนินงาน

3.3.1 ศึกษา ค้นคว้า และรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ IPTV และการเข้ารหัสแบบ H.264

ทำการศึกษาทฤษฎีและรูปแบบของ IPTV สำหรับการจำลองระบบและ ค้นคว้าการเข้ารหัสวีดีโอแบบ H.264



### 3.3.2 ศึกษาอุปกรณ์และ โปรแกรมที่ใช้ทำการจำลองระบบ

ทำการศึกษาค้นหาและรวบรวมโปรแกรมที่จะทำการจำลองระบบเพื่อที่จะสามารถประยุกต์ใช้ในการจำลองระบบของ IPTV บนระบบโครงข่ายที่สามารถนำเสนอได้อย่างถูกต้อง ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม NS2 ซึ่งเป็นโอเพนซอสหรือซอสที่เปิดให้ใช้งานได้ฟรี

### 3.3.3 ศึกษาหลักการทางานหลักการของ IPTV ที่มีการส่งข้อมูลวีดีโอที่มีการเข้ารหัสแบบ H.264

เพื่อหาตรวจสอบว่าโครงข่ายมีประสิทธิภาพที่สามารถใช้งาน IPTV ที่ซึ่งรองรับทราฟฟิกรูปแบบ H.264 ได้

### 3.3.4 ออกแบบและพัฒนาระบบที่ทำการทดสอบ

ออกแบบระบบโดยใช้โปรแกรมที่ทำการศึกษาจากข้างต้น พร้อมทั้งรวบรวมข้อมูลในการออกแบบ เพื่อที่จะทำการทดสอบว่าโครงข่ายมีประสิทธิภาพที่สามารถใช้งาน IPTV ได้

### 3.3.5 สร้างจำลองระบบที่น่าเสนอ

หลังจากทำการออกแบบและรวบรวมข้อมูลที่จะใช้ในการออกแบบ นำข้อมูลเหล่านั้นมาทำการจำลองระบบเพื่อแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบที่ทำการทดสอบ

### 3.3.6 เปรียบเทียบ วิเคราะห์ผลที่ได้ และสรุป

เมื่อทำการจำลองระบบที่ทำการนำเสนอเสร็จแล้ว และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของระบบที่ทำการนำเสนอ เพื่อที่จะสรุปผลการจำลองระบบว่าประสิทธิภาพของระบบนั้นเป็นอย่างไร

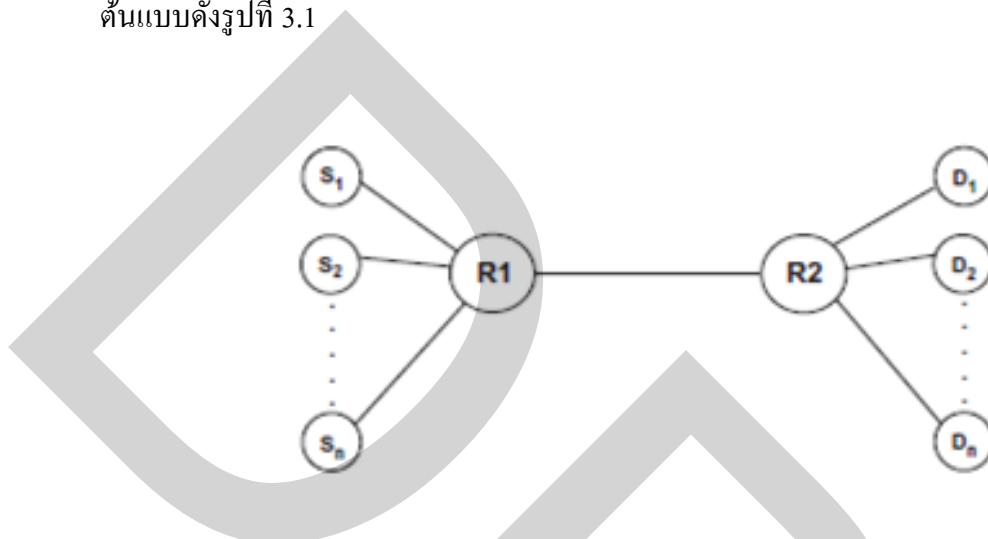
### 3.3.7 รวบรวมข้อมูลที่ได้ทั้งหมดจัดทำวิทยานิพนธ์

ทำการรวบรวมข้อมูลของระบบที่ทำการนำเสนอ ที่ได้ทำมาตั้งแต่ต้นเพื่อจัดทำเป็นวิทยานิพนธ์ แผนการดำเนินงานที่ได้วางแผนไว้ แสดงอยู่ในตารางที่ 3.1



### 3.4 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน

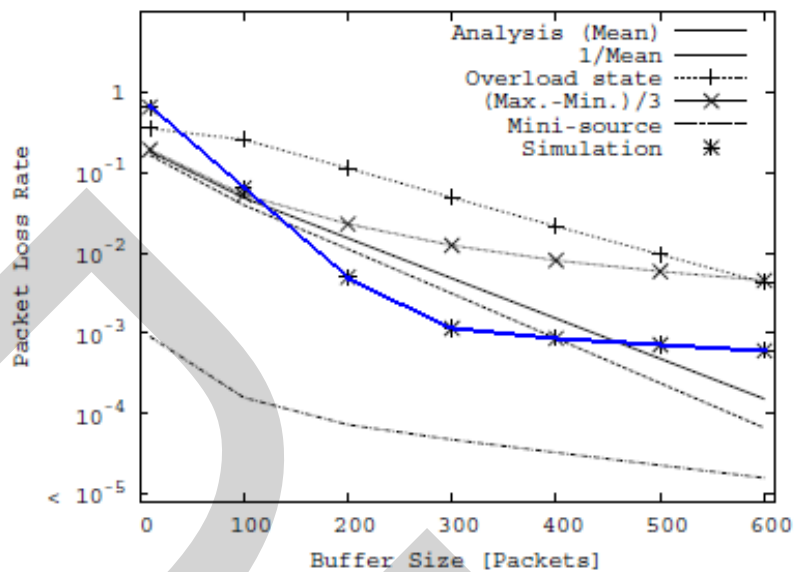
จากการทดลองจำลองระบบโครงข่ายโดยอ้างอิงต้นแบบของ Network Topology มาจากบทความ A Simple, Two-Level Markovian Traffic Model for IPTV Video Sources<sup>1</sup> มีต้นแบบดังรูปที่ 3.1



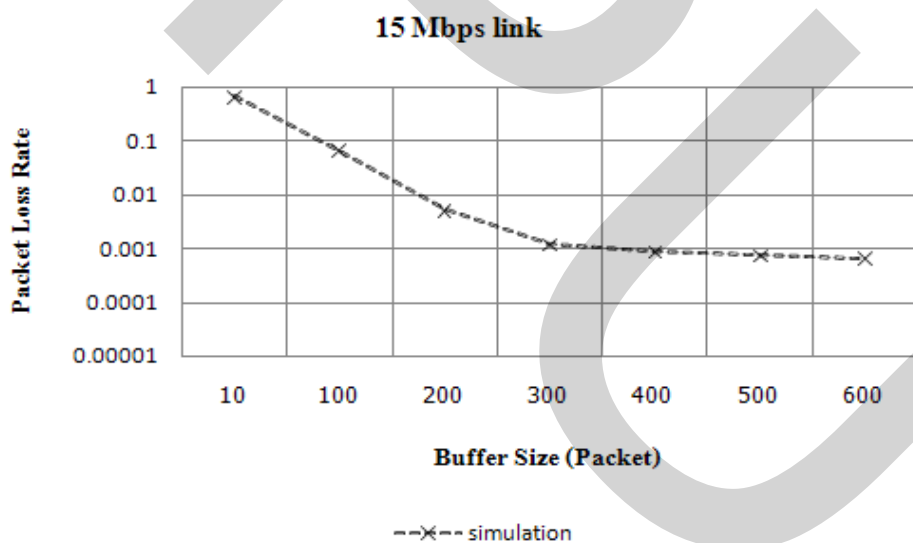
รูปที่ 3.1 Network Topology

จากรูปที่ 3.1 กำหนดให้ตัว Node  $S_{1-n}$  นั้นมีค่าแทน Video Source ที่ใช้เป็น Traffic ในการจำลองซึ่งวิดีโอที่ใช้จะอยู่ในระดับความละเอียด HD 1920x1080 ซึ่งจะถูกส่งผ่าน R1 และ R2 ไปยัง  $D_{1-n}$  ที่เป็น Destination Node โดยลิงก์ระหว่าง R1 และ R2 นั้นมี Bandwidth เท่ากับ 15 Mbps โดยถือเป็นจุดคอขวดหลักที่ใช้ในการเก็บข้อมูล Traffic ส่วนลิงก์อื่น ๆ นั้นมีค่า Bandwidth เท่ากับ 100 Mbps โดยเมื่อนำไปใช้ในการจำลองระบบ IPTV เพื่อหาค่า Packet loss นั้นจะได้ผลตามรูปที่ 3.2 และทำการทดลองจำลองโครงข่ายโดยใช้ข้อมูลเดียวกันในการจำลองระบบจะได้ผลตามรูปที่ 3.3

<sup>1</sup> F. Wan, L. Cai and T.A. Gulliver. (2008, November). Ibid.



รูปที่ 3.2 ผล Packet Loss จากบทความ A Simple, Two-Level Markovian Traffic Model for IPTV Video Sources<sup>2</sup>



รูปที่ 3.3 ผล Packet Loss ที่ได้จากการจำลองระบบโครงข่ายด้วย NS2

<sup>2</sup> F. Wan, L. Cai and T.A. Gulliver. (2008, November). Ibid.

โดยรูปที่ 3.2 นั้นเป็นค่าที่ได้จากบทความ A Simple, Two-Level Markovian Traffic Model for IPTV Video Sources ซึ่งในส่วนนี้จะแสดงไว้เป็นทึบให้เห็นในภาพหรือเส้นที่เรียกว่า Simulation โดยเมื่อเทียบจากรูปที่ 3.3 ผลการทดลอง Simulation ที่ได้จาก NS2 โดยการจำลองระบบก็มีค่า Packet loss ที่ได้ใกล้เคียงกัน ซึ่งเราสามารถอนุมานได้ว่า Network Topology ที่ใช้มีความเหมือนหรือใกล้เคียงกัน และสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงส่วนของ Video Source เพื่อใช้ในการหาค่าสำหรับวิดีโอสามมิติได้

#### 3.4.1 การทำ Video Source สามมิติโดยใช้วิดีโอจริง

จากบทความ A Simple, Two-Level Markovian Traffic Model for IPTV Video Sources<sup>3</sup> ได้ใช้ Video Source จาก Video Trace Library<sup>4,5,6</sup> ซึ่งมีตัว Video Trace File จากวิดีโอจริงๆ เก็บไว้และอนุญาตให้บุคคลทั่วไปนำไปใช้สำหรับงานวิจัยระบบได้ แต่เนื่องจากใน Video Trace Library นั้นไม่มี Video Trace File สำหรับวิดีโอสามมิติที่เหมาะสม ดังนั้นเราจึงได้ศึกษารูปแบบของ Video Trace File ที่มีและใช้โปรแกรมในการหาค่าที่จำเป็นจากตัววิดีโอสามมิติตัวจริง โดยตัวอย่างของ Video Trace File HD ที่ได้จาก Video Trace Library แสดงไว้ในรูปที่ 3.4

<sup>3</sup> F. Wan, L. Cai and T.A. Gulliver. (2008, November). Ibid.

<sup>4</sup> Patrick Seeling, Martin Reisslein, and Beshan Kulapala. (2004, Third Quarter). "Network Performance Evaluation with Frame Size and Quality Traces of Single-Layer and Two-Layer Video: A Tutorial". *IEEE Communications Surveys and Tutorials*. pp. 58-78.

<sup>5</sup> Geert Van der Auwera, Prasanth T. David, and Martin Reisslein. (2008, September). "Traffic and Quality Characterization of Single-Layer Video Streams Encoded with H.264/MPEG-4 Advanced Video Coding Standard and Scalable Video Coding Extension". *IEEE Transactions on Broadcasting*. p. 698-718.

<sup>6</sup> Geert Van der Auwera, Prasanth T. David, and Martin Reisslein. (2009, September). "Implications of Smoothing on Statistical Multiplexing of H.264/AVC and SVC Video Streams". *IEEE Transactions on Broadcasting*. p. 541-558.

0	0.000000	I	4328	68.458	75.070	105.277
3	100.000000	P	20808	51.282	56.021	56.870
1	33.333330	B	1296	45.284	62.242	59.516
2	66.666670	B	776	49.384	58.000	59.718
6	200.000000	P	36424	47.898	57.732	55.116
4	133.333330	B	1872	43.850	53.422	52.663
5	166.666670	B	1248	46.720	54.922	54.475
9	300.000000	P	51088	46.197	55.784	54.218
7	233.333330	B	2576	43.351	54.985	52.610
8	266.666670	B	3704	44.080	54.478	52.978
12	400.000000	I	112336	45.543	54.988	53.971
10	333.333330	B	4616	43.314	55.028	50.703
11	366.666670	B	3648	44.020	53.312	52.444
15	500.000000	P	78976	43.835	54.005	52.024
13	433.333330	B	5680	42.314	54.301	52.029
14	466.666670	B	5512	43.259	53.097	51.034
18	600.000000	P	96864	43.094	52.181	51.536
16	533.333330	B	7648	41.995	50.534	50.027
17	566.666670	B	6552	42.209	49.628	49.556
21	700.000000	P	112072	42.565	51.609	50.868
19	633.333330	B	7672	41.100	50.677	49.764
20	666.666670	B	7904	41.680	50.596	49.556

รูปที่ 3.4 Verbose Trace File จากวิดีโอ “From Mars to China”

จากรูปที่ 3.4 ตัวเลขที่ถูกแสดงไว้ตามลำดับนั้นคือ ลำดับเฟรม Timestamp (ของเวลาที่เริ่มส่งในรูปแบบ millisecond ) ชนิดของเฟรม ขนาดของเฟรม (ในรูปแบบ bit) และค่า quantize 3 ระดับของเฟรม โดยการนำไปใช้ในการส่ง Traffic นั้นจะเน้นไปที่ตัว Timestamp และขนาดของเฟรมเป็นหลักเพียงสองค่า ซึ่งการหาข้อมูลสองชนิดจากวิดีโอจริงสามารถใช้โปรแกรม mkvinfo ซึ่งเป็นฟรีแวร์สำหรับการหาข้อมูลของตัววิดีโอที่มีนามสกุลไฟล์เป็น .mkv ได้ และหากเป็นวิดีโอที่เป็นนามสกุลไฟล์อื่นก็สามารถใช้โปรแกรม Convert ชนิดต่างๆเปลี่ยนให้มาอยู่ในรูปที่จำเป็นได้ โดยรูปแบบข้อมูลที่ได้จาก mkvinfo จะอยู่ในรูปที่ 3.5 และ 3.6

```

(MKVInfo) + EBML head at 0
(MKVInfo) |+ Doc type: matroska at 5
(MKVInfo) |+ Doc type version: 2 at 16
(MKVInfo) |+ Doc type read version: 2 at 20
(MKVInfo) + Segment, size 15803192560 at 24
(MKVInfo) |+ Seek head at 36
(MKVInfo) |+ Seek entry at 41
(MKVInfo) |+ Seek ID: 0x15 0x49 0xa9 0x66 (KaxInfo) at 44
(MKVInfo) |+ Seek position: 4099 at 51
(MKVInfo) |+ Seek entry at 56
(MKVInfo) |+ Seek ID: 0x16 0x54 0xae 0x6b (KaxTracks) at 59
(MKVInfo) |+ Seek position: 4212 at 66
(MKVInfo) |+ Seek entry at 71
(MKVInfo) |+ Seek ID: 0x11 0x4d 0x9b 0x74 (KaxSeekHead) at 74
(MKVInfo) |+ Seek position: 15802977337 at 81
(MKVInfo) |+ Seek entry at 89
(MKVInfo) |+ Seek ID: 0x1c 0x53 0xbb 0x6b (KaxCues) at 92
(MKVInfo) |+ Seek position: 15802938991 at 99
(MKVInfo) |+ Seek entry at 107
(MKVInfo) |+ Seek ID: 0x10 0x43 0xa7 0x70 (KaxChapters) at 110
(MKVInfo) |+ Seek position: 5466 at 117
(MKVInfo) + EbmlVoid (size: 4010) at 122
(MKVInfo) + Segment information at 4135
(MKVInfo) + Timescale: 28832 at 4140
(MKVInfo) + Muxing application: libebml v0.7.8 + libmatroska v0.8.1 at 4146
(MKVInfo) + Writing application: DVDFab at 4184
(MKVInfo) + Duration: 7508.320s (02:05:08.319) at 4193
(MKVInfo) + Date: Wed May 04 15:42:31 2011 UTC at 4204
(MKVInfo) + Title: TRON LEGACY at 4215
(MKVInfo) + Segment UID: 0xb9 0x87 0x32 0x64 0x1b 0xc7 0x2d 0x66 0xab 0xca 0x97 0x99 0x45 0x3b 0xbb 0x3e at 4229

```

รูปที่ 3.5 ข้อมูลที่ได้จาก mkvinfo ส่วนของ Header

```

(MKVInfo) |+ SimpleBlock (track number 1, 1 frame(s), timecode 2864.403s = 00:47:44.403) at 6278783965
(MKVInfo) |+ Frame with size 61289
(MKVInfo) |+ SimpleBlock (track number 1, 1 frame(s), timecode 2864.444s = 00:47:44.444) at 6278845262
(MKVInfo) |+ Frame with size 59814
(MKVInfo) |+ SimpleBlock (key, track number 2, 8 frame(s), timecode 2864.458s = 00:47:44.458) at 6278905084
(MKVInfo) |+ Frame with size 8416
(MKVInfo) |+ Frame with size 8452
(MKVInfo) |+ Frame with size 8540
(MKVInfo) |+ Frame with size 8628
(MKVInfo) |+ Frame with size 8680
(MKVInfo) |+ Frame with size 8672
(MKVInfo) |+ Frame with size 8684
(MKVInfo) |+ Frame with size 8672
(MKVInfo) |+ SimpleBlock (track number 1, 1 frame(s), timecode 2864.486s = 00:47:44.486) at 6278973847
(MKVInfo) |+ Frame with size 59982
(MKVInfo) |+ SimpleBlock (track number 1, 1 frame(s), timecode 2864.528s = 00:47:44.528) at 6279033837
(MKVInfo) |+ Frame with size 60304
(MKVInfo) |+ SimpleBlock (key, track number 2, 8 frame(s), timecode 2864.543s = 00:47:44.543) at 6279094149
(MKVInfo) |+ Frame with size 8688
(MKVInfo) |+ Frame with size 8692
(MKVInfo) |+ Frame with size 8660
(MKVInfo) |+ Frame with size 8684
(MKVInfo) |+ Frame with size 8684
(MKVInfo) |+ Frame with size 8740
(MKVInfo) |+ Frame with size 8696
(MKVInfo) |+ Frame with size 8724
(MKVInfo) |+ SimpleBlock (track number 1, 1 frame(s), timecode 2864.570s = 00:47:44.570) at 6279163734
(MKVInfo) |+ Frame with size 59612
(MKVInfo) |+ SimpleBlock (track number 1, 1 frame(s), timecode 2864.611s = 00:47:44.611) at 6279223354

```

รูปที่ 3.6 ข้อมูลที่ได้จาก mkvinfo ส่วนของ Frame และ Timestamp

เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากวิดีโอหนึ่งๆ มีจำนวนปริมาณข้อมูลและส่วนที่ไม่จำเป็นในปริมาณมาก ดังนั้น จึงจำเป็นที่จะต้องกรองข้อมูล Text ที่จำเป็นออกมาโดยใช้ Gawk ซึ่งเป็นโปรแกรมในรูปแบบ Command line สำหรับการกรอง Text โดยเฉพาะ โดยสคริปต์ที่ใช้กรองนั้นคือ 'Frame' และ 'timecode' ตามที่เห็นในรูปที่ 3.6 โดยเมื่อนำมารวมกันในรูป Trace File ที่สามารถนำไปใช้ได้แล้วจะอยู่ในรูปที่ 3.7

30272	0
4086	42
1715	83
16096	85
2157	125
1910	167
16096	171
3594	209
1813	250
16096	256
1502	292
475	334
16096	341
1029	375
507	417
16096	427
1020	459
2606	500

รูปที่ 3.7 New Trace File สำหรับการจำลองระบบด้วย NS2

จากรูปที่ 3.7 ตามลำดับข้อมูลคือ ขนาดของเฟรม (ในรูป Byte), Timestamp (ของเวลาที่เริ่มส่งในรูป millisecond ) ซึ่งตัว Video Trace File นี้สามารถนำไปใช้ในการอ่าน Trace ของ NS2 เพื่อสร้าง Traffic สำหรับการจำลองระบบได้

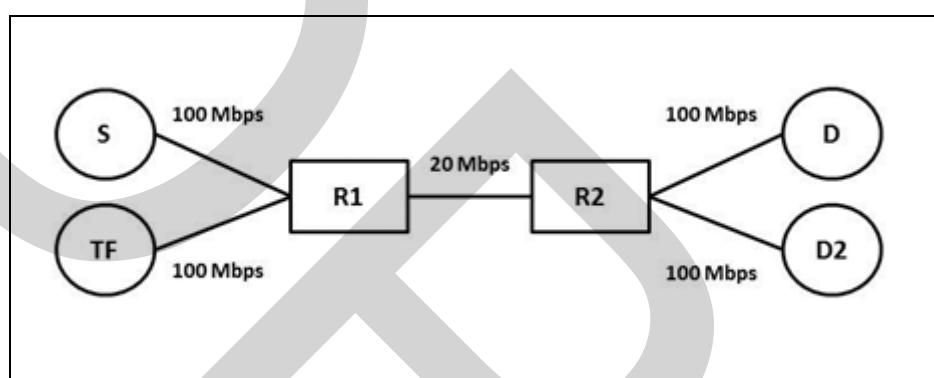
#### 3.4.2 แบบจำลองระบบโครงข่าย IPTV โดยใช้ Video Source สามมิติ

การวัดประสิทธิภาพของโครงข่ายที่กำหนดไว้ Video Trace 4 แบบได้ถูกเลือกนำมาใช้ทดสอบนั้นคือ Tangled HD, Tangled 3D, Tron HD และ Tron 3D โดยค่าลักษณะต่างๆมีค่าตามตารางที่ 3.2 โดย Topology ที่ใช้นำจากบทความ A Simple, Two-Level Markovian Traffic Model for IPTV Video Sources ตามรูปที่ 3.8



ตารางที่ 3.2 ค่าคุณลักษณะของวิดีโอที่ใช้

Video	Resolution	Format	Overall video bit rate	Frame rate
Tangled HD	1920 X 1080	MPEG4 AVC	6.3 Mbps	23.976 fps
Tangled 3D	1920 X 1080	MPEG4 AVC	19.6 Mbps	23.976 fps
Tron HD	1920 X 1080	MPEG4 AVC	11.0 Mbps	23.976 fps
Tron 3D	1920 X 1080	MPEG4 AVC	13.9 Mbps	23.976 fps



รูปที่ 3.8 แบบจำลองโครงข่าย

จากตาราง 3.2 จะเห็นได้ว่านอกจากตัวบิตเรตของวิดีโอแล้วค่าอื่นๆ จะมีค่าเท่ากันหมดในรูปแบบ ความละเอียด และเฟรมเรทของวิดีโอ จากตารางข้างบนจะสังเกตได้ว่า วิดีโอ Tron ทั้งสองแบบนั้นมีค่าบิตเรตไม่ต่างกันมาก ซึ่งจุดนี้มาจากฉากสามมิติในวิดีโอ นั้นมีจำนวนไม่มากนัก หากเปรียบเทียบกับแบบธรรมดาทำให้อัตราการส่งจะมีสูงในช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น และหากเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยทั้งวิดีโอจะมีค่าไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งจะแตกต่างจาก Tangled ที่มีค่าความแตกต่างที่ชัดเจน

แบบจำลองของโครงข่ายได้ถูกแสดงไว้ที่รูป 3.8 โดยรูปแบบที่ใช้คือ dumbbell ซึ่งเป็นรูปแบบพื้นฐาน ซึ่งสามารถเปรียบเทียบค่าของวิดีโอประเภทต่างๆ ได้ง่าย โดยไม่มีปัจจัยอื่นรบกวน โดย S เป็นแทนสำหรับวิดีโอเซอเวอ์และเชื่อมต่อกับเราเตอร์ R1 ด้วย 100 Mbps link ซึ่งวิดีโอสตรีมนั้นจะถูกส่งผ่าน เราเตอร์ R1 และ R2 ไปยังจุดหมาย D โดยกำหนดรูปแบบกราฟฟิกให้เป็นการเข้ารหัสแบบ 1000 byte UDP ต่อหนึ่งแพ็คเก็ต และ TF แทนที่ด้วยแบ็คกราว์นกราฟฟิกโดยจะส่งข้อมูลแบบ TCP ออกมาด้วยอัตราคงที่ตลอดเวลา เพื่อใช้ในการจำลองแบบมีข้อมูลชนิดอื่นอยู่โครงข่ายนอกจากวิดีโอที่ใช้ทดสอบ ซึ่ง link ระหว่าง R1 และ R2 จะเป็นจุดคอขวดสำหรับการตรวจสอบโดยมีขนาด 20 Mbps และ 40 Mbps โดยขนาดของบัฟเฟอร์ในแบบจำลองนี้จะถูก

กำหนดให้เปลี่ยนตั้งแต่ 500, 1000, 2000, 4000 และ 8000 ตามขนาดบัพเฟอร์สำหรับเราเตอร์ทั่วไป เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น และตัวเราเตอร์นั้นจะใช้การควบคุมการเข้าคิวแบบ Drop-Tail โดยวิธีโอทีซีนั้นจะทำการทดสอบ 30 ครั้งครั้งละ 3 นาที ซึ่งแต่ละวิธีโอทีซีจะทำการสุ่มช่วงที่นำมาใช้ทดสอบเพื่อหลีกเลี่ยงค่าที่เหมือนกัน

### 3.4.3 การประเมินประสิทธิภาพโดยใช้ Trace ที่ได้จากการจำลองระบบโครงข่าย

สำหรับการจำลองระบบของ NS2 นั้นเมื่อเสร็จสิ้นแล้ว เราจะได้ตัวไฟล์ที่มีนามสกุล .tr มาโดยไฟล์จะมีชื่อตามที่เรากำหนดไว้ตอนเขียน โปรแกรมไฟล์ tcl ซึ่งจากรูปตัวอย่าง Source Code ที่ 2.9 จะมีชื่อเป็น Trace.tr ซึ่งในตัว Trace นี้จะบรรจุการส่งข้อมูลทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบในรูปแบบของ Text ตามรูปที่ 3.9

```
+ 0.0096 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 5.0 48 48↓
- 0.0096 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 5.0 48 48↓
+ 0.0098 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 5.0 49 49↓
- 0.0098 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 5.0 49 49↓
+ 0.01 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 5.0 50 50↓
- 0.01 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 5.0 50 50↓
r 0.01008 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 5.0 0 0↓
+ 0.01008 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 5.0 0 0↓
- 0.01008 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 5.0 0 0↓
+ 0.0102 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 5.0 51 51↓
- 0.0102 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 5.0 51 51↓
r 0.01028 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 5.0 1 1↓
+ 0.01028 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 5.0 1 1↓
- 0.01028 2 3 cbr 1000 ----- 2 1.0 5.0 1 1↓
+ 0.0104 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 5.0 52 52↓
- 0.0104 1 2 cbr 1000 ----- 2 1.0 5.0 52 52↓
```

รูปที่ 3.9 รายละเอียดของ Trace File

event	time	from node	to node	pkt type	pkt size	flags	fid	src addr	dst addr	seq num	pkt id
r	:	receive (at to_node)									
+	:	enquere (at queue)						src_addr : node.port (3.0)			
-	:	dequeue (at queue)						dst_addr : node.port (0.0)			
d	:	drop (at queue)									

รูปที่ 3.10 รูปแบบของ Trace File<sup>7</sup>

จากรูปที่ 3.10 จะเป็นการแสดงรายละเอียดของแต่ละส่วนใน Trace File ซึ่งมีค่าทั้งหมด 12 ค่าดังนี้

- 1) Event คือ Event type ซึ่งมีสัญลักษณ์อยู่ 4 ชนิดคือ r, +, -, d โดย r หมายถึง receive, + หมายถึง enqueue, - หมายถึง dequeue, d หมายถึง drop
- 2) Time คือเวลาขณะที่เกิด event
- 3) From node คือ input node ของ link ที่เกิด event
- 4) To\_node คือ output node ของ link ที่เกิด event
- 5) Pkt\_type คือ Packet type หรือชื่อของตัวแปรที่ถูกกำหนดค่าให้เป็น Application
- 6) Pkt\_size คือ Packet Size
- 7) Flags
- 8) Fid คือ Flow id (ตัวแปรที่เก็บค่าสี)
- 9) Src\_addr คือ source address
- 10) Dst\_addr คือ destination address
- 11) Seq\_num คือ Sequence number ของ packet ใน Network Layer
- 12) Pkt\_id คือ unique id ของ packet

ซึ่งในการจำลองระบบบน NS2 นั้นสามารถจัดเตรียมรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละเหตุการณ์บนโครงข่ายได้ ซึ่งถ้าหากต้องการที่จะวิเคราะห์ข้อมูลต่าง ๆ นั้นเราสามารถที่จะทำการได้จาก Trace ไฟล์นี้โดยใช้ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรมต่างๆ ในการจัดการกับไฟล์ Trace ซึ่งในที่นี้เราได้ทำการจัดการไฟล์ข้อมูลด้วย Gawk ที่สามารถเขียนโปรแกรมในการกรองข้อมูลที่เป็นออกมาและนำมาคำนวณหาค่า Packet Loss, Delay และ Jitter ได้

<sup>7</sup> จิตติมา นิตยวรรณ โสพส ชัคัตตราพงษ์ และอุไรรัตน์ พึ่งสุนทรรัตน์. (2550). แหล่งเดิม

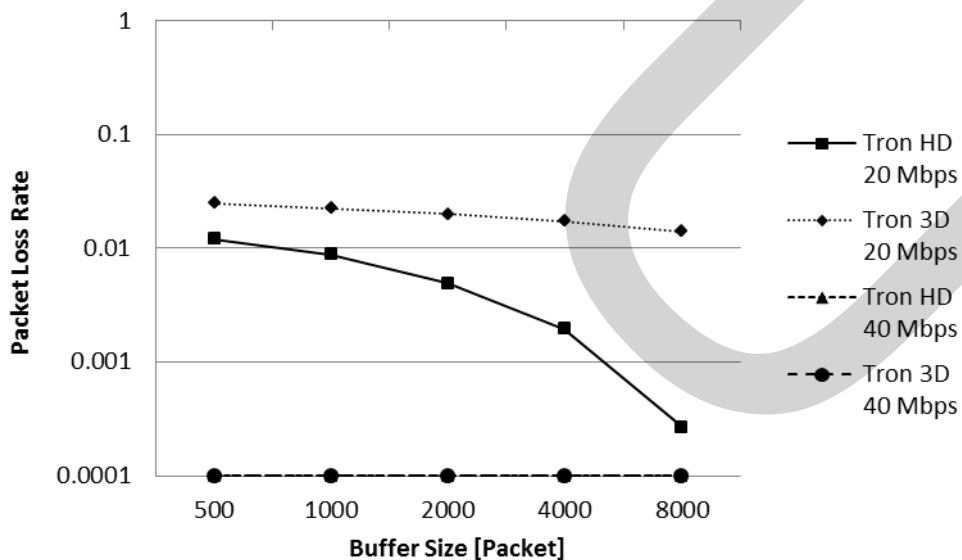
## บทที่ 4

### ผลการศึกษา

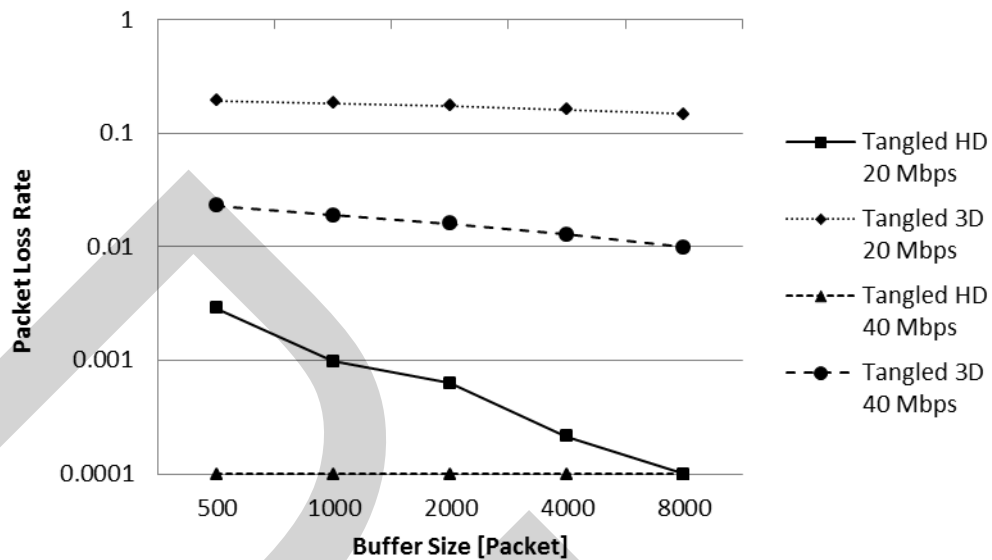
เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงผลการศึกษาวิจัยและการอภิปรายผลการวิจัย โดยผู้วิจัยทำการจำลองการใช้งาน IPTV โดยใช้ Video Source จากหนังแบบความละเอียดสูง (HD) และหนังสามมิติ (3D) สองชุดมาเปรียบเทียบผล โดยวิดีโอทั้งสองชนิดมีขนาดความละเอียดอยู่ที่ 1920x1080p บนโครงข่ายจำลองแบบ dumbbell โดยมีการปรับเปลี่ยน Buffer Size ของเราเตอร์ตั้งแต่ 500 – 8000 แพ็คเก็ต และการจำลอง Background Traffic ตั้งแต่ 0 – 100 % ของขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps และ 40 Mbps โดยวิดีโอทั้งสองชุดที่ใช้มีค่าคุณลักษณะตามตารางที่ 3.2 โดยในส่วนของผลการศึกษาวิจัยได้ผลการจำลองระบบดังต่อไปนี้

#### 4.1 Average Packet Loss

##### 4.1.1 ผลกระทบจาก Buffer Size ต่อ Packet Loss



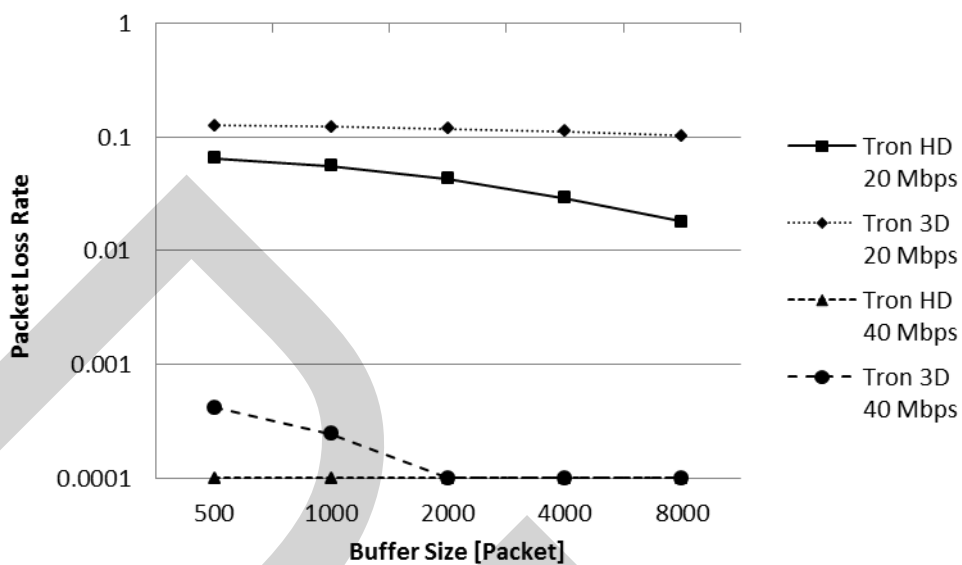
รูปที่ 4.1 ผลของ Average Packet Loss ของวิดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 0 %



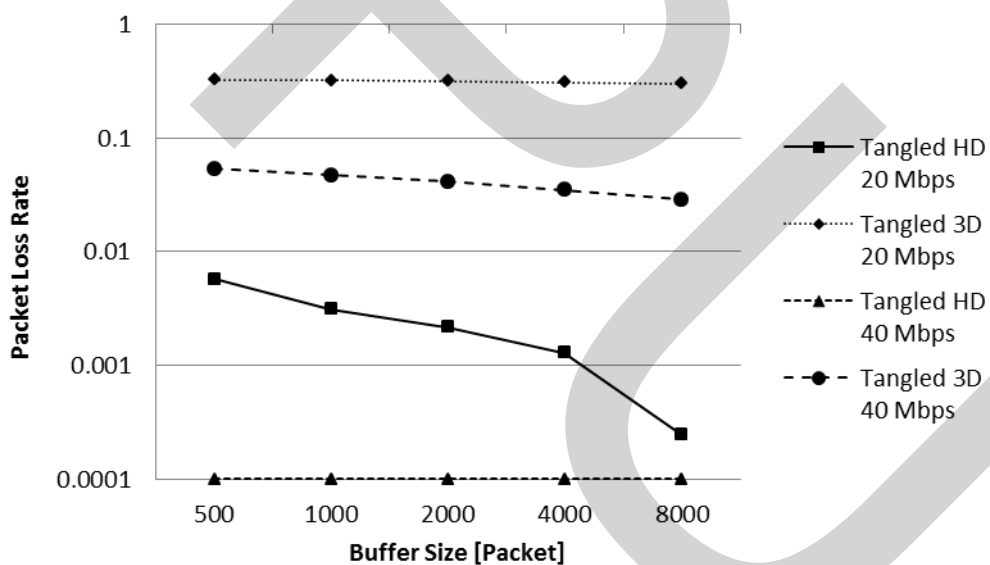
รูปที่ 4.2 ผลของ Average Packet Loss ของวิดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 0 %

จากรูปที่ 4.1 ค่าเฉลี่ยอัตราการสูญเสียของแพ็คเก็ตสำหรับวิดีโอ Tron จะมีค่าลดน้อยลงเมื่อขนาดของ buffer size เพิ่มมากขึ้น สำหรับแบนด์วิดท์ 20 Mbps นั้นวิดีโอ HD นั้นจะมีรูปกราฟที่โค้งลงมาอย่างเห็นได้ชัดเจนจนมีอัตราเฉลี่ยเป็น 0 ที่ buffer size มีขนาดเท่ากับ 8000 แพ็คเก็ต แต่ในแบบ 3D จะมีกราฟที่โค้งลงมาเช่นเดียวกันแต่ในระดับที่น้อยกว่า สำหรับในแบนด์วิดท์ 40 Mbps วิดีโอทั้งแบบ HD และ 3D จะมีค่าเฉลี่ยอัตราการสูญเสียของแพ็คเก็ตที่เป็น 0 ตั้งแต่ buffer size ขนาด 500

จากรูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยอัตราการสูญเสียของแพ็คเก็ตสำหรับวิดีโอ Tangled จะมีค่าลดน้อยลงเมื่อขนาดของ buffer size เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ Tron โดยเมื่อแบนด์วิดท์มีขนาด 20 Mbps ค่าเฉลี่ยของแบบ HD จะมีอัตราสูญเสียที่น้อยกว่าแบบ HD จำนวนมาก และเมื่อมีขนาด buffer size ถึง 8000 แพ็คเก็ตจะมีอัตราเฉลี่ยเท่ากับ 0 เช่นเดียวกับ Tron โดยในแบบ 3D นั้นจะมีอัตราเฉลี่ยในระดับที่สูงในระดับที่แม้จะเพิ่มขนาด buffer size ให้สูงขึ้นก็ไม่ส่งผลต่ออัตราเฉลี่ยมากนัก และเมื่อกำหนดแบนด์วิดท์เท่ากับ 40 Mbps วิดีโอแบบ HD จะมีค่าเฉลี่ยเป็น 0 ตั้งแต่ buffer size ขนาด 500 เช่นเดียวกับ Tron แต่สำหรับแบบ 3D นั้นแม้จะมีค่าเฉลี่ยที่ลดลงเป็นจำนวนมากเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยจากแบนด์วิดท์ 20 Mbps แต่ค่าก็ยังไม่สามารถลดลงจนเหลือ 0 ได้แบบ HD



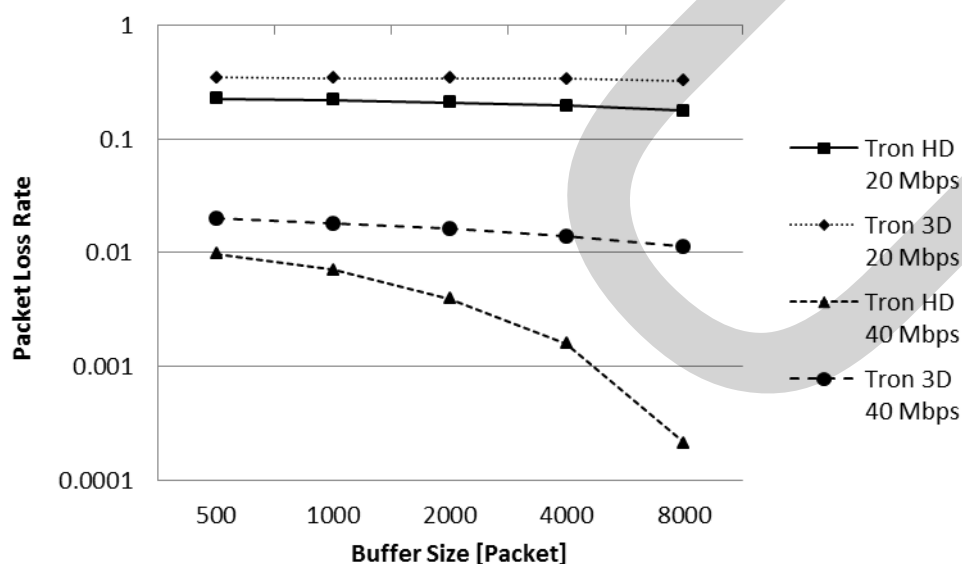
รูปที่ 4.3 ผลของ Average Packet Loss ของวิดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 25 %



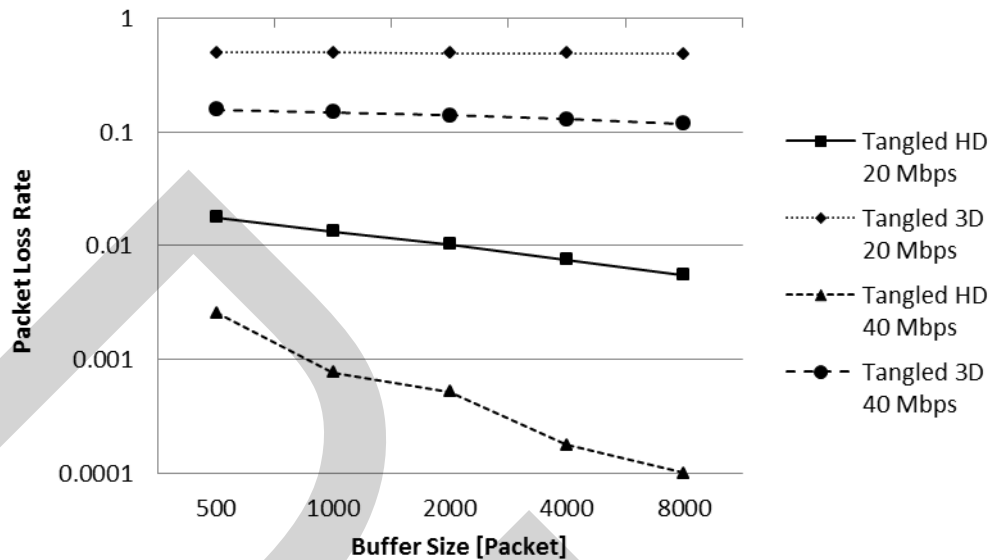
รูปที่ 4.4 ผลของ Average Packet Loss ของวิดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 25 %

จากรูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยอัตราการสูญเสียของแพ็คเก็ตสำหรับวิดีโอ Tron เมื่อมี background traffic เข้ามาในระบบ 25 % จะทำให้อัตราเฉลี่ยจะสูงขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยวิดีโอ Tron ที่แบนด์วิดท์มีขนาด 20 Mbps ทั้งแบบ HD และ 3D จะมีอัตราเฉลี่ยที่สูงขึ้นจากเดิม 4-5 เท่าตัว ส่งผลให้รูปภาพมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งแสดงให้เห็นว่า buffer size มีผลต่ออัตราเฉลี่ยน้อยลงจากเดิม แต่ที่แบนด์วิดท์ขนาด 40 Mbps วิดีโอในแบบ HD ยังมีอัตราเฉลี่ยเป็น 0 ตั้งแต่ buffer size ขนาด 500 แพ็คเก็ตเช่นเดิม และในส่วนของ 3D นั้น แม้ช่วงแรกอัตราเฉลี่ยจะมากขึ้น แต่เมื่อ buffer size มีขนาดมากขึ้นจนถึง 2000 แพ็คเก็ต อัตราเฉลี่ยจะกลับเป็น 0 เช่นเดียวกับเมื่อยังไม่มี background traffic เข้ามาในระบบ

จากรูปที่ 4.4 อัตราเฉลี่ยของ Tangled เมื่อมี background traffic เข้ามาในระบบ 25 % จะเพิ่มขึ้นไม่สูงมากเท่ากับ Tron เนื่องจากอัตราเฉลี่ยตอนแรกที่มีค่าสูงอยู่แล้ว โดยที่แบนด์วิดท์เท่ากับ 20 Mbps จะมีอัตราเฉลี่ยสูงขึ้นกว่าเดิมประมาณ 1.5 เท่าตัว โดยในแบบ 3D buffer size จะมีผลกระทบต่ออัตราเฉลี่ยน้อยมากจนลักษณะกราฟเกือบจะเป็นเส้นตรง และแบบ HD นั้นแม้จะมีอัตราเฉลี่ยที่สูงขึ้นแต่เมื่อ buffer size มีขนาดมากขึ้นก็ยังสามารถสร้างผลกระทบเป็นจำนวนมากได้ เมื่อกำหนดแบนด์วิดท์เท่ากับ 40 Mbps แบบ HD ยังสามารถรักษาอัตราเฉลี่ยเป็น 0 ตั้งแต่ buffer size แรกได้เช่นเดิม แต่สำหรับแบบ 3D นั้นอัตราเฉลี่ยจะสูงขึ้นประมาณ 2 เท่า และลักษณะกราฟแทบจะเป็นเส้นตรง แสดงถึงประสิทธิภาพของ buffer size ที่น้อยลง



รูปที่ 4.5 ผลของ Average Packet Loss ของวิดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 50 %

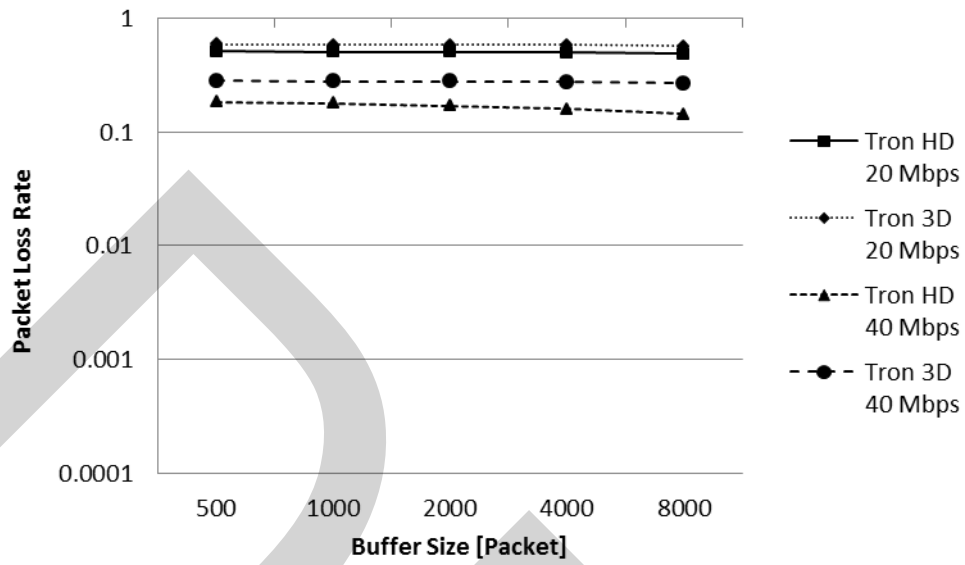


รูปที่ 4.6 ผลของ Average Packet Loss ของวิดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 50 %

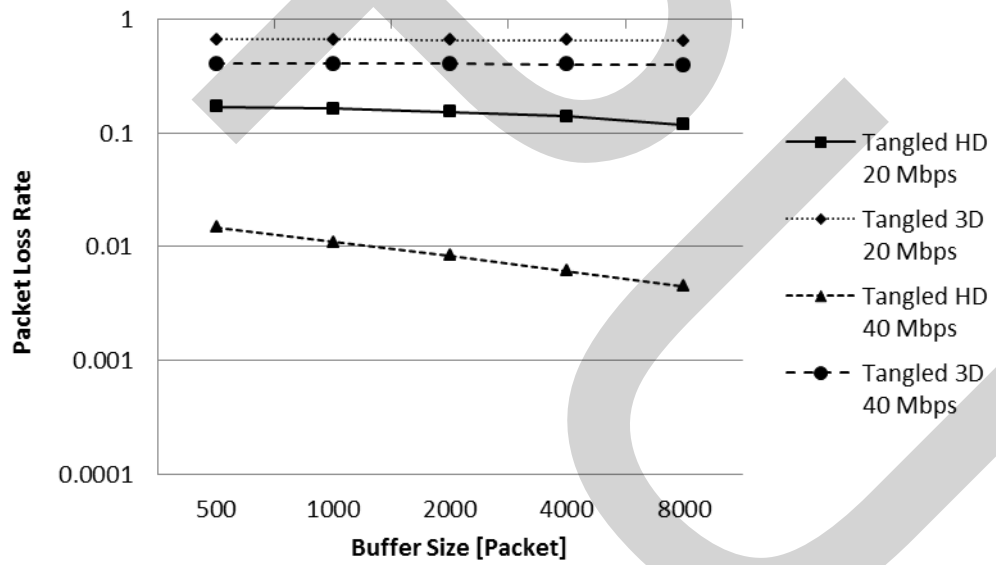
จากรูปที่ 4.5 แสดงถึงอัตราเฉลี่ยของวิดีโอ Tron เมื่อมี background traffic 50 % ซึ่งแบบ HD และ 3D เมื่อมีแบนด์วิดท์ขนาด 20 Mbps จะมีค่าในระดับ 0.2-03 หรือ 20-30 % ของวิดีโอทั้งหมด โดยที่ buffer size จะมีผลกระทบน้อยมากแม้จะมีขนาดสูงขึ้นไปถึง 8000 แพ็คเก็ต โดยสามารถสังเกตได้จากลักษณะกราฟที่เป็นรูปแบบเส้นตรง เมื่อเพิ่มขนาดแบนด์วิดท์เป็น 40 Mbps วิดีโอแบบ HD ยังได้รับผลกระทบจากการที่ buffer size มีขนาดมากขึ้นทำให้อัตราเฉลี่ยลดลงเป็นจำนวนมาก แต่ก็ไม่สามารถรักษาอัตราเฉลี่ยที่ 0 ไปได้ โดยแบบ 3D จะมีอัตราเฉลี่ยสูงกว่าเดิมหลายเท่าตัว ทำให้แม้จะ buffer size จะมีขนาดสูงขึ้น ก็ยังไม่สามารถรักษาภาพกราฟไว้ได้อีก

จากรูปที่ 4.6 เมื่อมี background traffic เข้ามาในระบบ 50 % วิดีโอ Tangled แบบ 3D ของทั้งสองแบนด์วิดท์มีอัตราเฉลี่ยจนเกือบเป็นเส้นตรง แสดงถึงผลกระทบจาก buffer size ที่น้อยมากจนไม่สามารถเปลี่ยนรูปกราฟได้ โดยวิดีโอแบบ HD ที่แบนด์วิดท์ 20 Mbps ยังคงได้รับผลกระทบจาก buffer size ที่เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด แม้จะไม่มากเท่ากับวิดีโอแบบ HD ที่แบนด์วิดท์ 40 Mbps ที่ซึ่งยังได้รับผลกระทบอย่างมากจนเมื่อ buffer size มีขนาด 8000 แพ็คเก็ต ก็สามารถทำให้อัตราเฉลี่ยเป็น 0 ได้





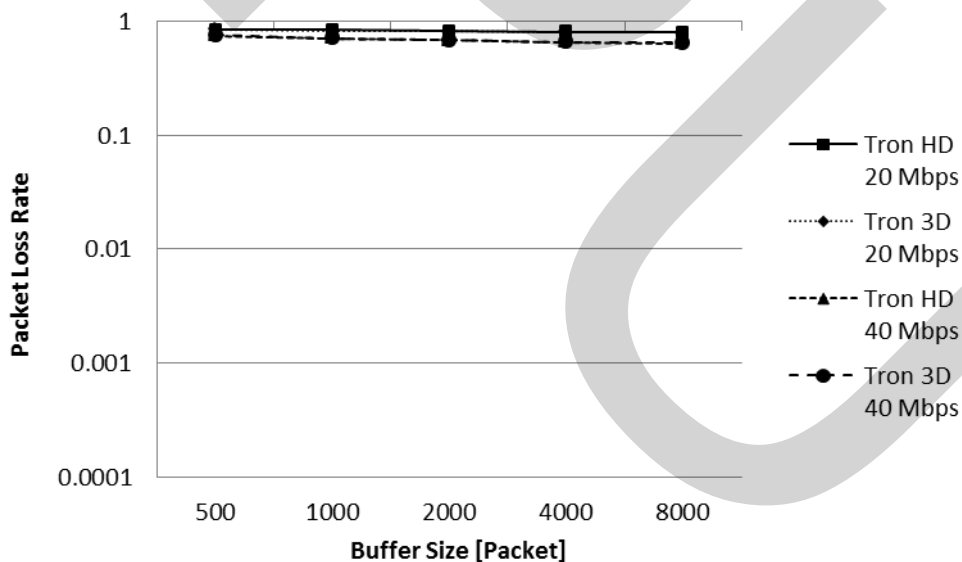
รูปที่ 4.7 ผลของ Average Packet Loss ของวิธีไอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 75 %



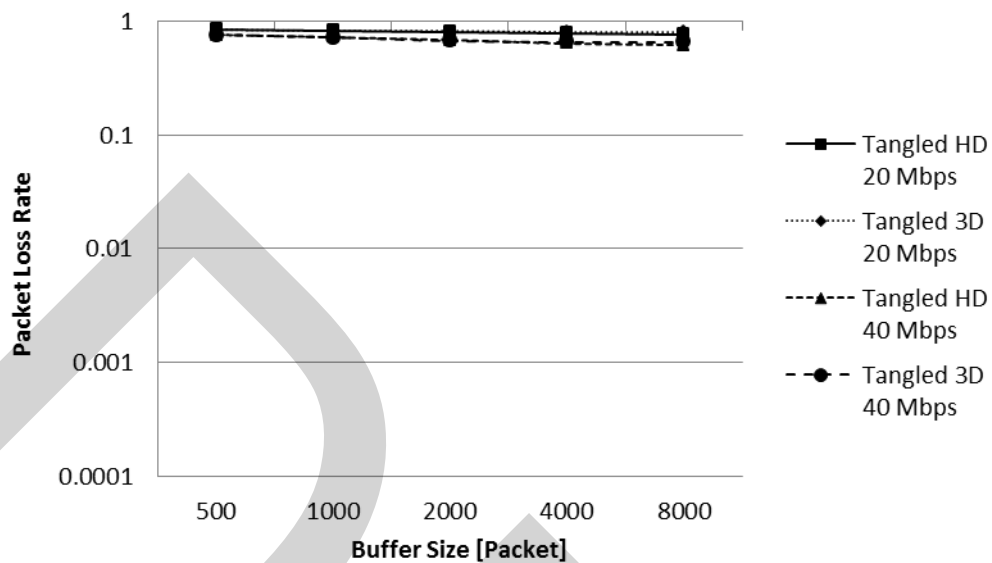
รูปที่ 4.8 ผลของ Average Packet Loss ของวิธีไอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 75 %

จากรูปที่ 4.7 ค่าเฉลี่ยอัตราการสูญเสียแพ็คเกจของวิดีโอ Tron จะมีลักษณะกราฟเป็นเส้นตรงในทุกๆเงื่อนไขเมื่อมี background traffic เข้ามาในระบบ 75 % โดยที่แบนด์วิดท์เท่ากับ 20 Mbps วิดีโอทั้งสองแบบจะมีอัตราเฉลี่ยอยู่ระหว่างค่า 0.5-0.6 หรือมากกว่าครึ่งของวิดีโอที่ส่งไปจะเกิดการสูญหายขึ้น โดยที่แม้จะมี buffer size สูงขึ้นเรื่อยๆ แต่ผลกระทบที่ได้กลับน้อยมากจนไม่ส่งผลกระทบต่ออัตราการสูญหายที่เกิดขึ้นมากนัก และเมื่อกำหนดแบนด์วิดท์เท่ากับ 40 Mbps อัตราเฉลี่ยที่ได้ แม้จะน้อยลงมากกว่าครึ่งเมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยที่แบนด์วิดท์ 20 Mbps แต่ก็ยังอยู่ในอัตราที่สูงจนผลกระทบจาก buffer size มีผลน้อยมาก ซึ่งจากกราฟผลกระทบจะแสดงออกมาเพียงเล็กน้อยเมื่อ buffer size มีขนาดถึง 8000 แพ็คเกจ

จากรูปที่ 4.8 เช่นเดียวกับวิดีโอ Tron เมื่อมี background traffic เข้ามาในระบบถึง 75 % จะทำให้ผลกระทบจาก buffer size มีผลน้อยลงโดยวิดีโอ 3D ทั้งสองตัวจะมีลักษณะกราฟเป็นเส้นตรงโดยไม่ได้รับผลจากการที่ buffer size มีขนาดมากขึ้น และวิดีโอแบบ HD ที่แบนด์วิดท์มีค่า 20 Mbps แม้จะมีอัตราเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 0.2 แต่ยังคงได้รับผลกระทบอยู่เมื่อ buffer size มีขนาดตั้งแต่ 2000 แพ็คเกจขึ้นไปแต่ก็อยู่ในระดับที่น้อยมาก และเมื่อเปลี่ยนเป็น 40 Mbps วิดีโอแบบ HD ยังคงได้รับผลกระทบจาก buffer size อย่างต่อเนื่องเมื่อมีการเพิ่มขนาด



รูปที่ 4.9 ผลของ Average Packet Loss ของวิดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 100 %

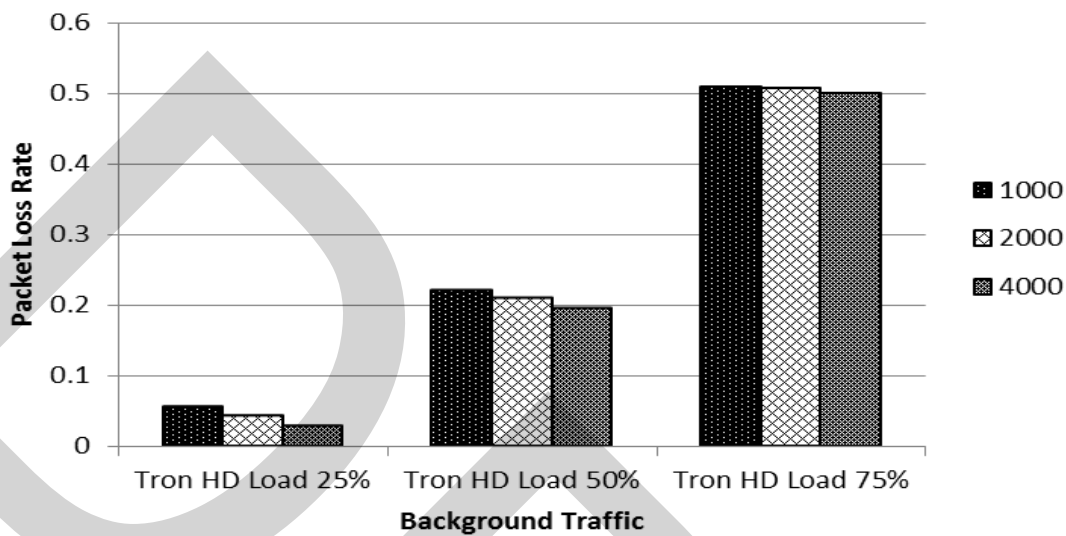


รูปที่ 4.10 ผลของ Average Packet Loss ของวิดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 100 %

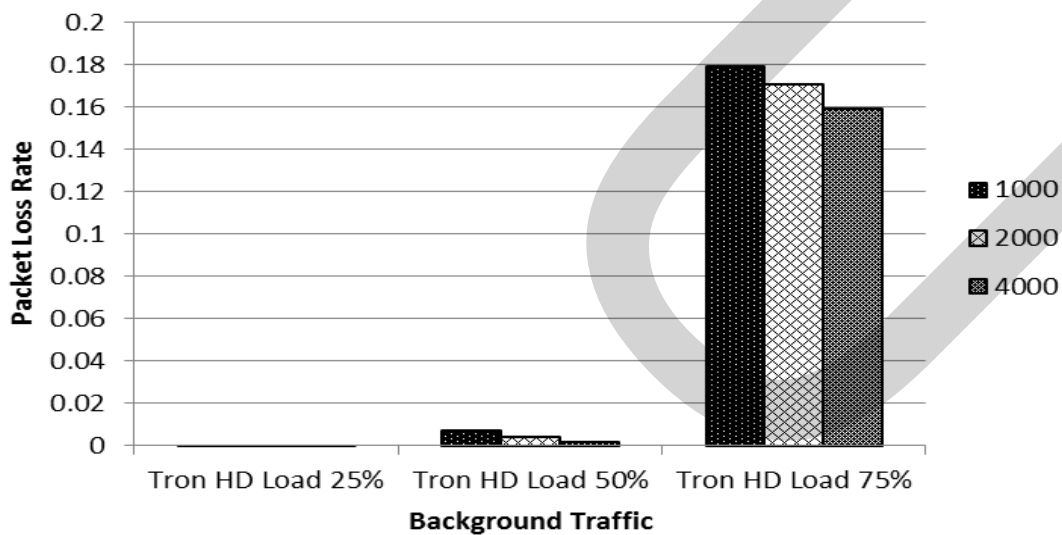
จากรูปที่ 4.9 อัตราเฉลี่ยการสูญเสียแพ็คเกจเกิดของ Tron เมื่อมีแบนด์วิดท์ 20 Mbps และ background traffic 100 % จะอยู่ที่ 0.84-0.8 โดยที่การเปลี่ยนแปลงของ buffer size มีผลกระทบน้อยมาก เช่นเดียวกับเมื่อกำหนดแบนด์วิดท์ที่ 40 Mbps ค่าที่ได้ของทั้งสองวิดีโอจะมีอัตราเฉลี่ยที่ไม่แตกต่างกัน โดยจะมีอัตราเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 0.75-0.64 เนื่องมาจากการมีแบนด์วิดท์ที่มากกว่าทำให้ อัตราเฉลี่ยสูงสุดลดลงมา

จากรูปที่ 4.10 ที่ background traffic 100 % ผลกระทบจากเปลี่ยนแปลงของ buffer size ต่อวิดีโอ Tangled จะมีลักษณะเช่นเดียวกับ Tron คือมีลักษณะกราฟเป็นเส้นเดียวโดยค่าทั้งสองแบบ HD และ 3D จะมีอัตราเฉลี่ยที่ไม่ต่างกันของทั้งสองแบนด์วิดท์ โดยที่อัตราเฉลี่ยจะออกมาในระดับเดียวกันกับ Tron เนื่องมาจากขีดจำกัดของแบนด์วิดท์สูงสุดที่สามารถส่งตัววิดีโอไปได้ ทำให้ กราฟจากรูปที่ 4.9 และ 4.10 มีค่าไม่ต่างกัน

#### 4.1.2 ผลกระทบจาก Background Traffic ต่อ Average Packet Loss



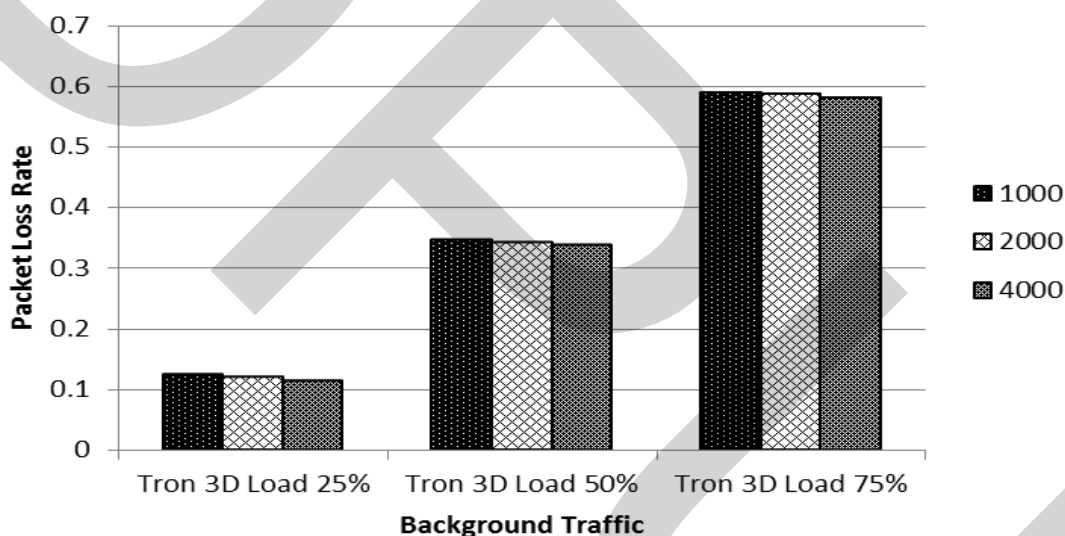
รูปที่ 4.11 ผลของ Average Packet Loss ของวิดีโอ Tron HD โดยการเปรียบเทียบ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps



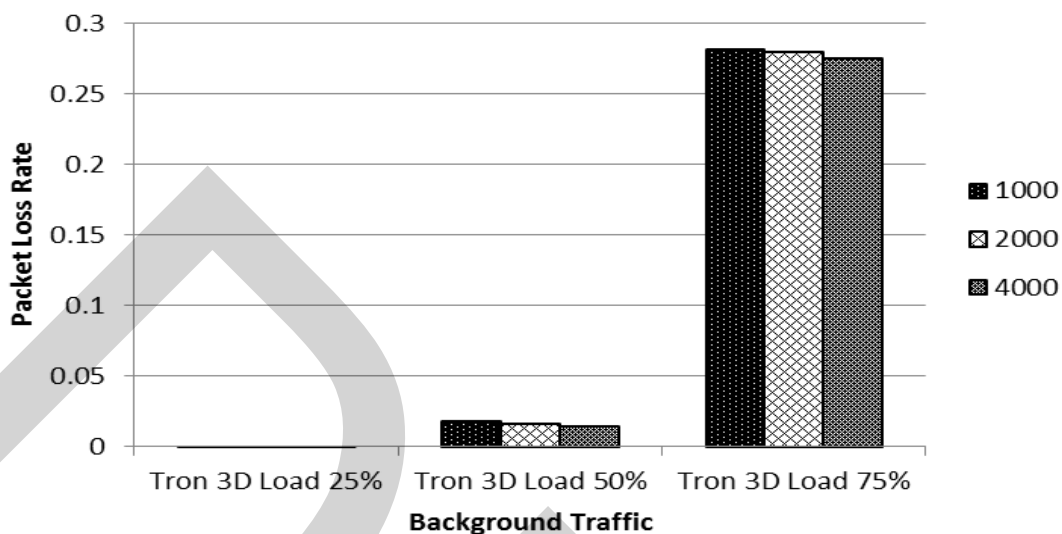
รูปที่ 4.12 ผลของ Average Packet Loss ของวิดีโอ Tron HD โดยการเปรียบเทียบ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps

จากรูปที่ 4.11 เป็นการเปรียบเทียบค่าอัตราเฉลี่ยการสูญเสียของวิดีโอ Tron HD บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps โดยเมื่อเทียบกับ buffer size แล้วการเพิ่มปริมาณ background traffic จะส่งผลในด้านตรงข้าม นั่นคือทำให้อัตราเฉลี่ยสูงขึ้น และเทียบจากกราฟแล้วผลกระทบจาก buffer size จะน้อยลงเรื่อยๆตามปริมาณของ background traffic ที่สูงขึ้น

จากรูปที่ 4.12 ค่าอัตราเฉลี่ยการสูญเสียของวิดีโอ Tron HD บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps Tron HD โดยเมื่อเปรียบเทียบจากรูปที่ 4.11 แล้วอัตราเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นจากช่วง background traffic 50 % ไป 75 % จะมีปริมาณมากกว่าช่วง 25 % ไป 50 % หลายเท่าตัว ซึ่งผลกระทบแบบนี้เป็นเช่นเดียวกันกับรูปที่ 4.11 แต่จะมีผลกระทบที่น้อยกว่าเท่านั้น



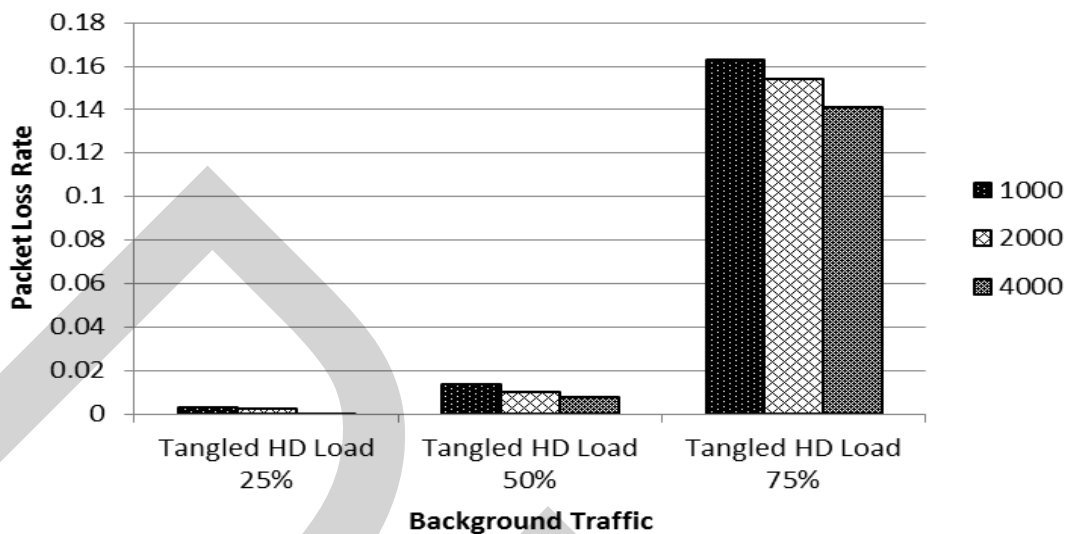
รูปที่ 4.13 ผลของ Average Packet Loss ของวิดีโอ Tron 3D โดยการเปรียบเทียบ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps



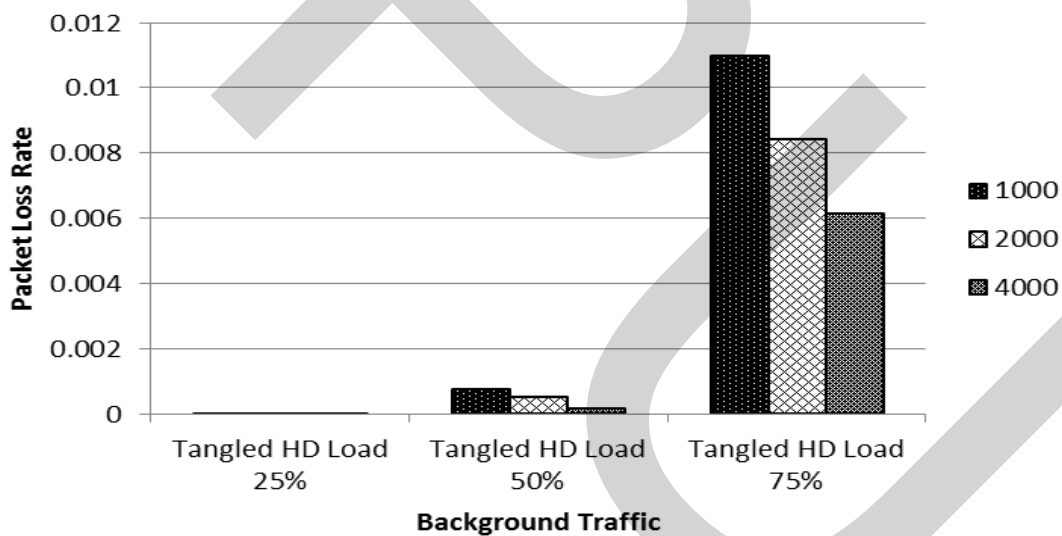
รูปที่ 4.14 ผลของ Average Packet Loss ของวิดีโอ Tron 3D โดยการเปรียบเทียบ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps

จากรูปที่ 4.13 เป็นการเปรียบเทียบค่าอัตราเฉลี่ยการสูญเสียของวิดีโอ Tron 3D บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps โดยการเพิ่ม buffer size จะส่งผลต่อวิดีโอ 3D ไม่มากนัก แต่การเพิ่มปริมาณ background traffic จะทำให้อัตราเฉลี่ยสูงขึ้น โดยที่การเพิ่มปริมาณ background traffic เข้าไปในแต่ละช่วงจะส่งผลกระทบต่ออัตราเฉลี่ยในระดับที่ค่อนข้างคงที่

จากรูปที่ 4.14 เป็นการเปรียบเทียบค่าอัตราเฉลี่ยการสูญเสียของวิดีโอ Tron 3D บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps โดยจากกราฟแท่งจะสังเกตเห็นได้ว่าช่วงของการเปลี่ยน background traffic จาก 50 % ไป 75 % จะมีการเพิ่มของอัตราเฉลี่ยเป็นปริมาณเช่นเดียวกันกับรูปที่ 4.12 ซึ่งตรงจุดนี้สามารถสังเกตได้ง่ายกว่าในช่วงของแบนด์วิดท์ 20 Mbps เนื่องจากปริมาณอัตราเฉลี่ยเริ่มต้นที่น้อยกว่า



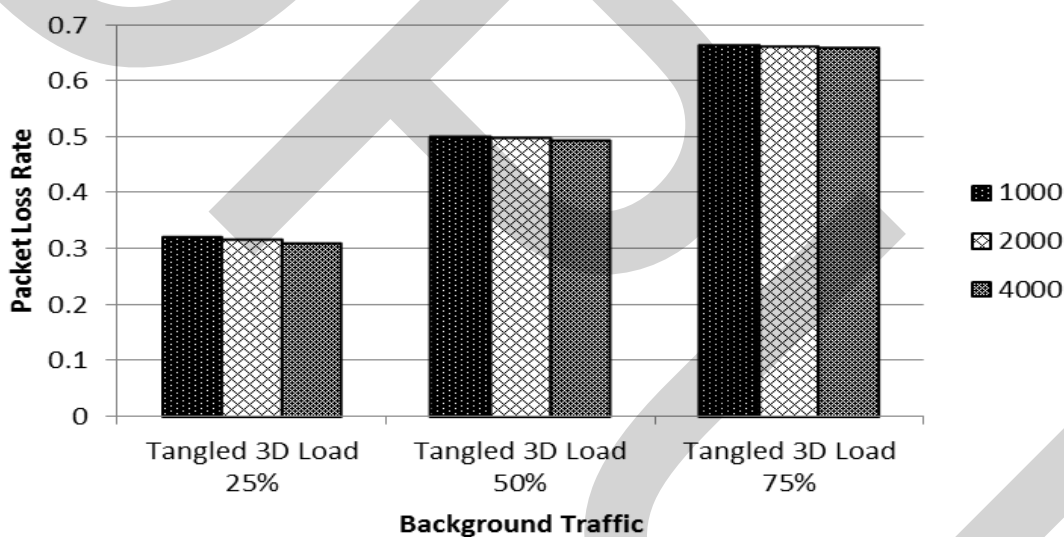
รูปที่ 4.15 ผลของ Average Packet Loss ของวิดีโอ Tangled HD โดยการเปรียบเทียบ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps



รูปที่ 4.16 ผลของ Average Packet Loss ของวิดีโอ Tangled HD โดยการเปรียบเทียบ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps

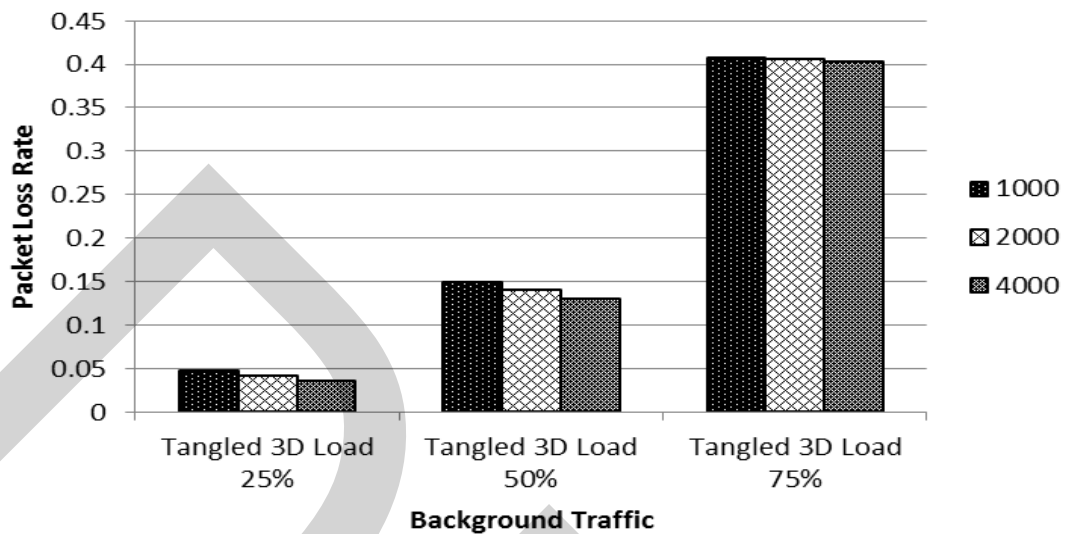
จากรูปที่ 4.15 เป็นการเปรียบเทียบค่าอัตราเฉลี่ยการสูญเสียของวิดีโอ Tangled HD บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps โดย background traffic จะส่งผลกระทบต่อโครงข่ายอย่างมากเมื่อปริมาณเพิ่มมากกว่า 50 % ไปถึง 75 % ส่งผลให้อัตราเฉลี่ยสูงขึ้นหลายเท่าตัว และ buffer size นั้นยังส่งผลกระทบต่อให้อัตราเฉลี่ยลดลงน้อยลงได้ในระดับหนึ่งแต่เมื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบจาก background traffic แล้วยังไม่สามารถทดแทนกันได้

จากรูปที่ 4.16 เป็นการเปรียบเทียบค่าอัตราเฉลี่ยการสูญเสียของวิดีโอ Tangled HD บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps โดย background traffic จะมีผลกระทบเช่นเดียวกับอัตราเฉลี่ยของแบนด์วิดท์ 20 Mbps นั่นคือช่วง 50 % ไป 75 % จะมีการเพิ่มปริมาณอัตราเฉลี่ยอย่างมาก แต่ buffer size นั้นส่งผลกระทบมากกว่าช่วงของแบนด์วิดท์ 20 Mbps เนื่องจากอัตราเฉลี่ยเริ่มต้นที่ต่ำกว่า



รูปที่ 4.17 ผลของ Average Packet Loss ของวิดีโอ Tangled 3D โดยการเปรียบเทียบ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps





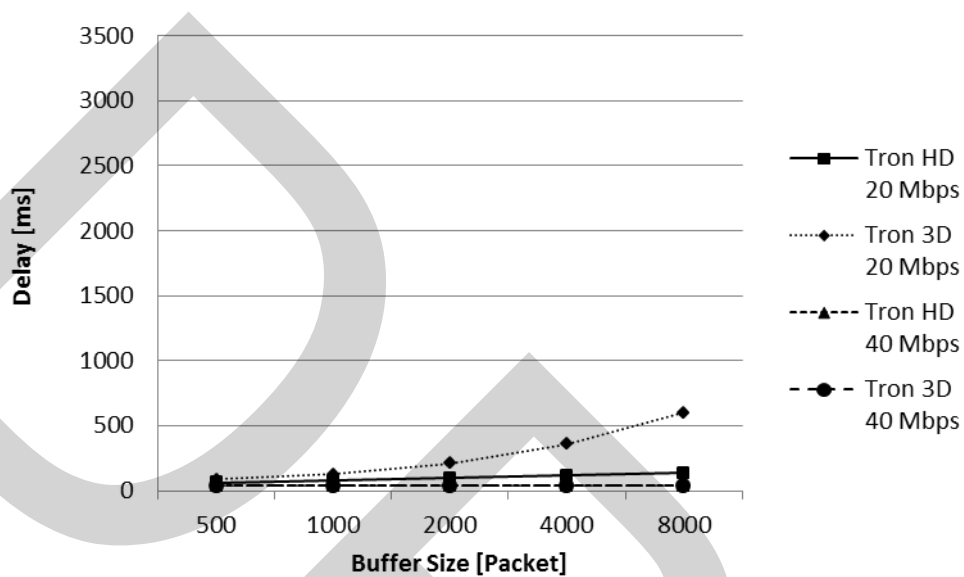
รูปที่ 4.18 ผลของ Average Packet Loss ของวิดีโอ Tangled 3D โดยการเปรียบเทียบ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps

จากรูปที่ 4.17 เป็นการเปรียบเทียบค่าอัตราเฉลี่ยการสูญเสียของวิดีโอ Tangled HD บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps โดย background traffic จะส่งผลกระทบต่อโครงข่ายน้อยลงจากการเพิ่ม background traffic แต่ละช่วง เนื่องจากปริมาณอัตราเฉลี่ยเริ่มต้นที่สูงอยู่แล้วซึ่งต่างจากวิดีโอแบบ HD โดยที่การเพิ่มขนาด buffer size นั้นส่งผลกระทบต่ออัตราเฉลี่ยน้อยมากเนื่องจากการอัตราเฉลี่ยการสูญเสียที่มากเกินไป

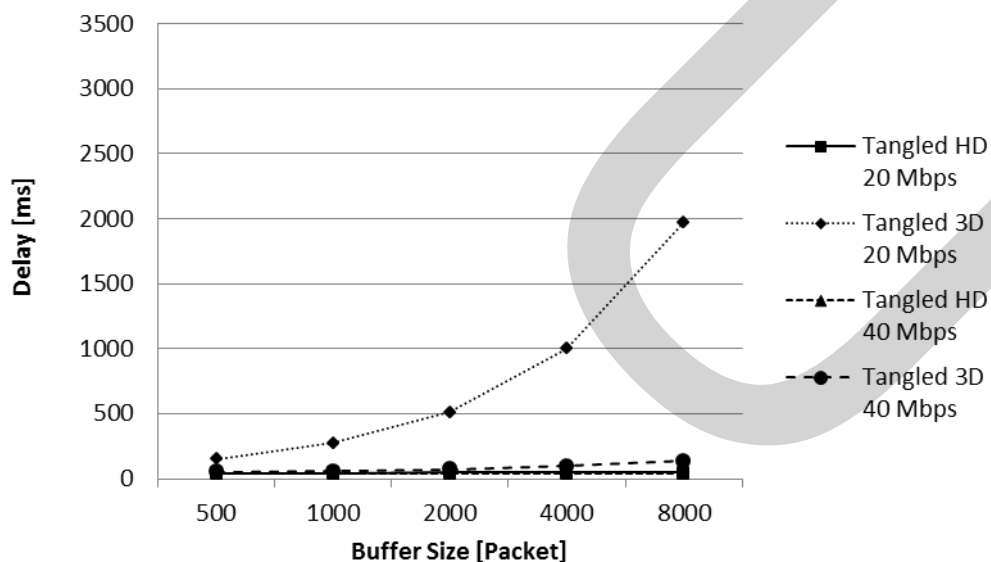
จากรูปที่ 4.18 เป็นการเปรียบเทียบค่าอัตราเฉลี่ยการสูญเสียของวิดีโอ Tangled HD บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps โดยช่วง 50 % ไป 75 % ยังเป็นช่วงของการเพิ่มปริมาณอัตราเฉลี่ยจำนวนมากอยู่เช่นเดิม ซึ่งต่างจากช่วงของแบนด์วิดท์ที่ 20 Mbps และ buffer size จะสูญเสียผลกระทบไปเรื่อยๆ เมื่อ background traffic สูงขึ้น

## 4.2 Average Delay

### 4.2.1 ผลกระทบจาก Buffer Size ต่อ Delay



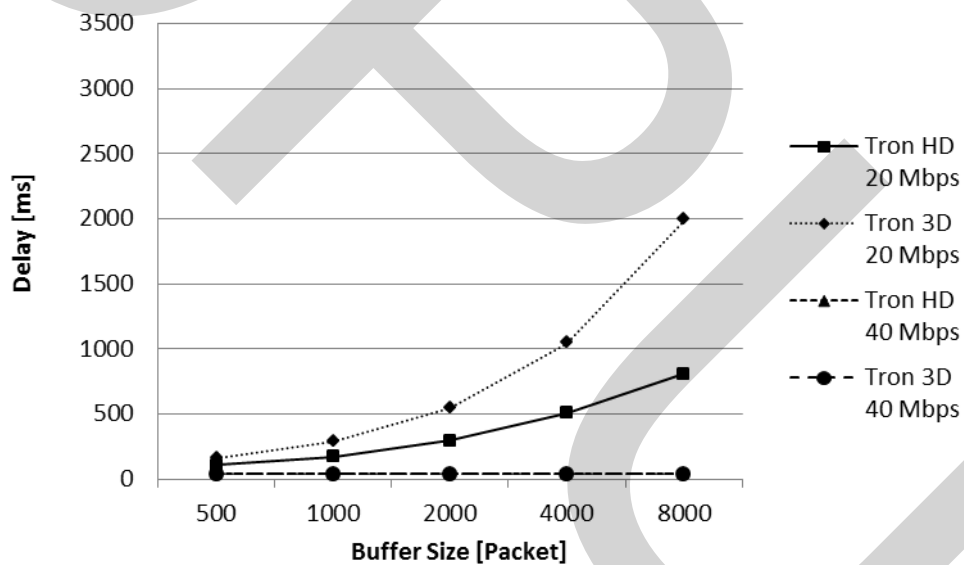
รูปที่ 4.19 ผลของ Average Delay ของวิดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 0 %



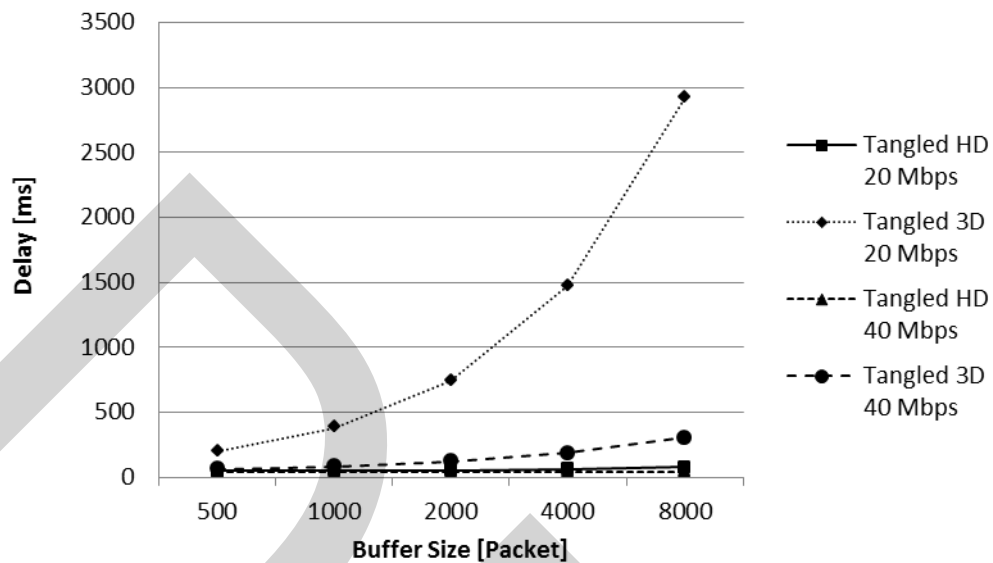
รูปที่ 4.20 ผลของ Average Delay ของวิดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 0 %

จากรูปที่ 4.19 ค่า Average Delay ของวิดีโอ Tron สำหรับแบนด์วิดท์ 20 Mbps นั้นจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อขนาดของ buffer size เพิ่มขึ้น โดยแบบ 3D จะมีการเพิ่มของ Average Delay มากกว่าแบบ HD โดยค่าแบบ HD จะอยู่ที่ 61-135 ms และแบบ 3D จะอยู่ที่ 85-601 ms เมื่อเพิ่มขนาดของแบนด์วิดท์เป็น 40 Mbps ค่า Average Delay จะมีค่าคงตัวไม่มากขึ้นหรือน้อยลงทำให้กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรง

จากรูปที่ 4.20 ค่า Average Delay ของวิดีโอ Tangled สำหรับแบนด์วิดท์ 20 Mbps นั้นแบบ HD จะมีการเพิ่มของ Average Delay ในปริมาณที่ไม่มากนักโดยอยู่ระหว่าง 44-49 ms แต่สำหรับแบบ 3D นั้นจะมีการเพิ่มขึ้นที่สูงถึง 152-1974 ms ซึ่งเป็นผลกระทบจากการเพิ่มขนาดของ buffer size และสำหรับแบนด์วิดท์ 40 Mbps นั้น แบบ HD จะมีค่าคงที่เป็นกราฟเส้นตรง แต่แบบ 3D นั้นจะมีการเพิ่มขึ้นตาม buffer size แต่ในปริมาณที่น้อยกว่าค่าของแบนด์วิดท์ 20 Mbps โดยมีค่าอยู่ในระหว่าง 51-138 ms



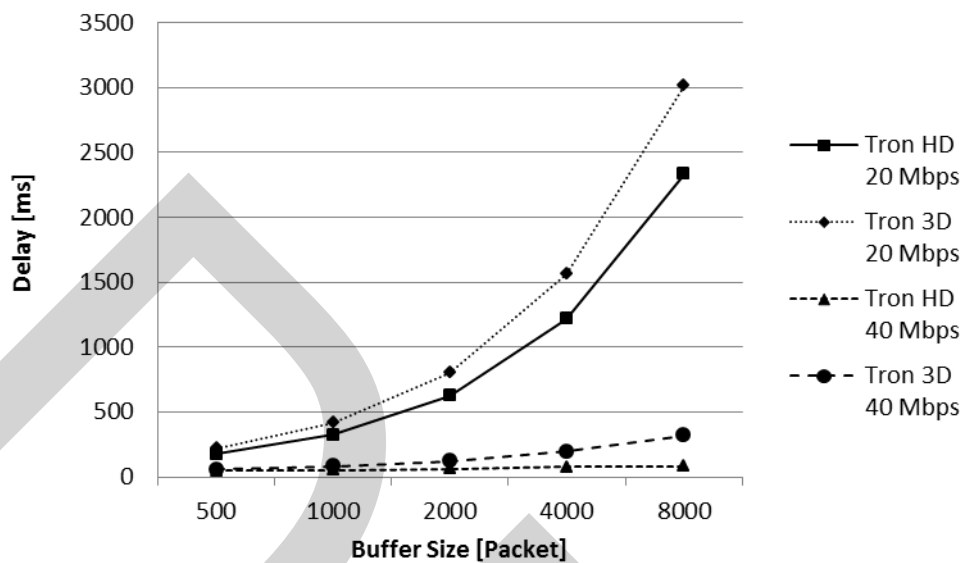
รูปที่ 4.21 ผลของ Average Delay ของวิดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 25 %



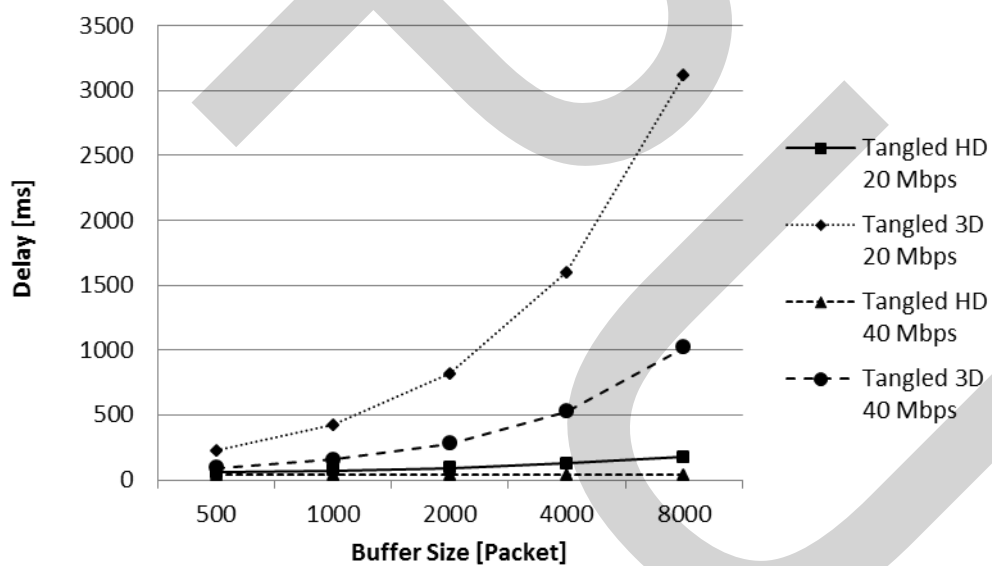
รูปที่ 4.22 ผลของ Average Delay ของวิดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 25 %

จากรูปที่ 4.21 ค่า Average Delay ของวิดีโอ Tron สำหรับแบนด์วิดท์ 20 Mbps นั้นจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อขนาดของ buffer size เพิ่มขึ้น โดยแบบ HD จะมีค่าอยู่ที่ 108-807 ms และแบบ 3D จะอยู่ที่ 157-1989 ms และสำหรับแบนด์วิดท์เป็น 40 Mbps ค่า Average Delay ของทั้งสองแบบจะยังคงมีค่าคงตัวแม้ว่าจะมี background traffic มากขึ้น 25 %

จากรูปที่ 4.22 ค่า Average Delay ของวิดีโอ Tangled สำหรับแบนด์วิดท์ 20 Mbps นั้นแบบ HD จะมีการเพิ่มของ Average Delay ในปริมาณที่ไม่มากนักแต่มีค่ามากขึ้นกว่าเดิมเมื่อเทียบกับรูป 4.20 โดยมีค่าอยู่ที่ 48-77 ms สำหรับแบบ 3D นั้นจะได้รับผลกระทบจากทั้ง buffer size และ background traffic ทำให้มีค่าอยู่ที่ 198-2919 ms และสำหรับแบนด์วิดท์ 40 Mbps นั้นแบบ HD จะมีค่าคงที่เป็นกราฟเส้นตรง แต่แบบ 3D นั้นจะมีการเพิ่มขึ้นตาม buffer size เช่นเดียวกับ รูปที่ 4.20 โดยมีค่า 63-304 ms



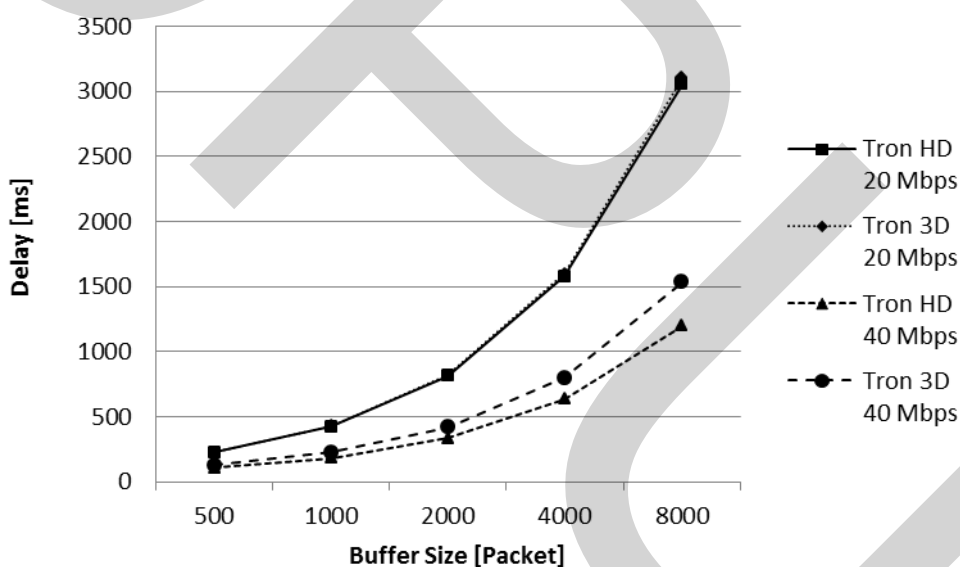
รูปที่ 4.23 ผลของ Average Delay ของวิดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 50 %



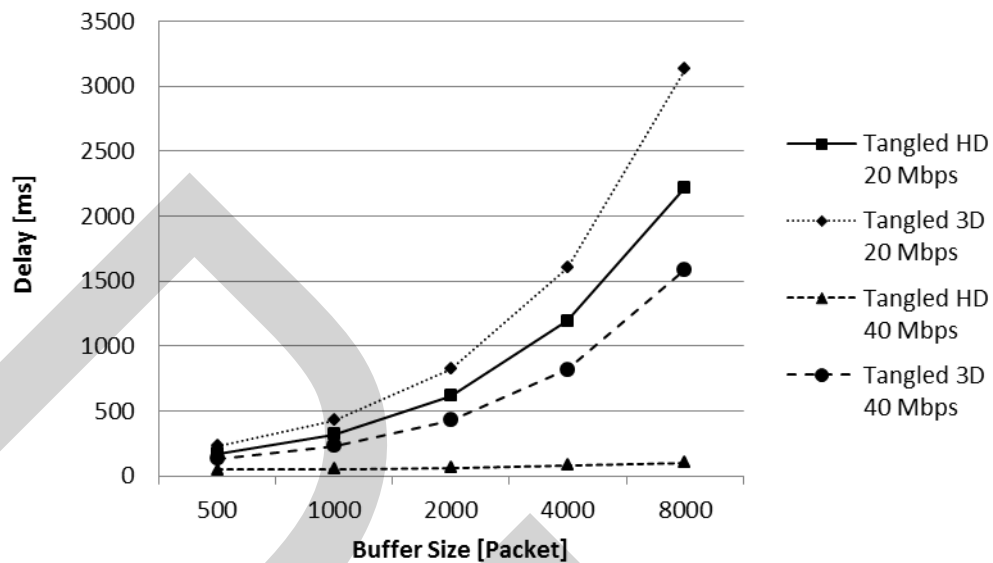
รูปที่ 4.24 ผลของ Average Delay ของวิดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 50 %

จากรูปที่ 4.23 ค่า Average Delay ของวิดีโอ Tron สำหรับแบนด์วิดท์ 20 Mbps นั้นจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อขนาดของ buffer size เพิ่มขึ้น โดยแบบ HD จะมีค่าอยู่ที่ 176-2334 ms และแบบ 3D จะอยู่ที่ 220-3016 ms และสำหรับแบนด์วิดท์เป็น 40 Mbps เนื่องจากได้รับผลกระทบจาก background traffic มากขึ้น ส่งผลให้ Average Delay ของทั้งสองแบบมีค่าสูงขึ้นจนกราฟมีการเปลี่ยนแปลงโดยแบบ HD จะยังได้รับผลกระทบไม่มากนักโดยมีค่า 47-85 ms แต่สำหรับแบบ 3D จะมีค่าสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจนโดยมีค่าอยู่ระหว่าง 59-320 ms

จากรูปที่ 4.24 ค่า Average Delay ของวิดีโอ Tangled สำหรับแบนด์วิดท์ 20 Mbps นั้นแบบ HD จะมีการเพิ่มขึ้นตามขนาดของ buffer size และผลกระทบจาก background traffic โดยมีค่าอยู่ที่ 60-176 ms และแบบ 3D มีค่าอยู่ที่ 225-3119 ms สำหรับแบนด์วิดท์ 40 Mbps นั้นแบบ HD จะได้รับผลกระทบเพียงเล็กน้อยและยังคงรูปแบบกราฟเส้นตรง ซึ่งมีค่าระหว่าง 38-40 ms แต่แบบ 3D จะมีการเพิ่มขึ้นตามขนาดของ buffer size โดยมีค่าอยู่ที่ 95-1022 ms



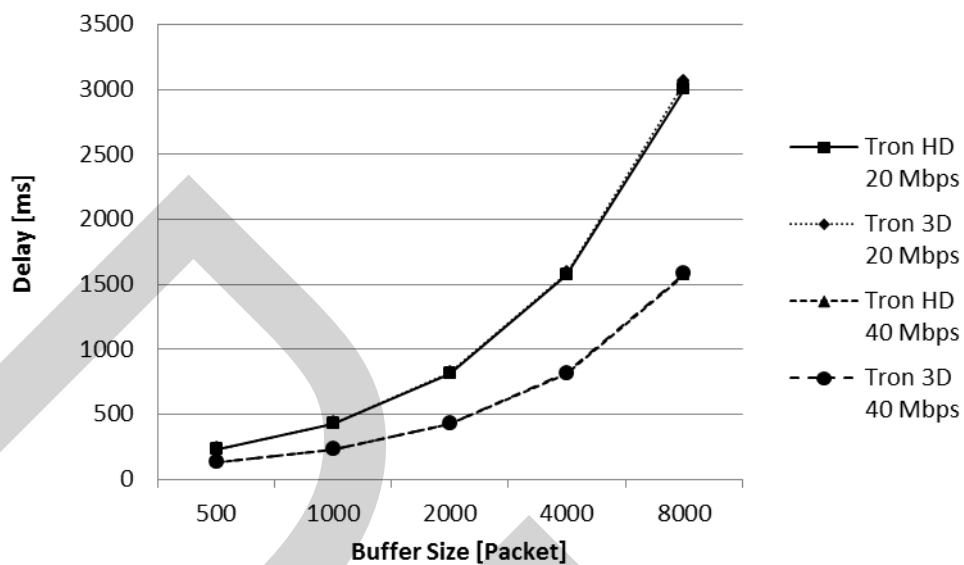
รูปที่ 4.25 ผลของ Average Delay ของวิดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 75 %



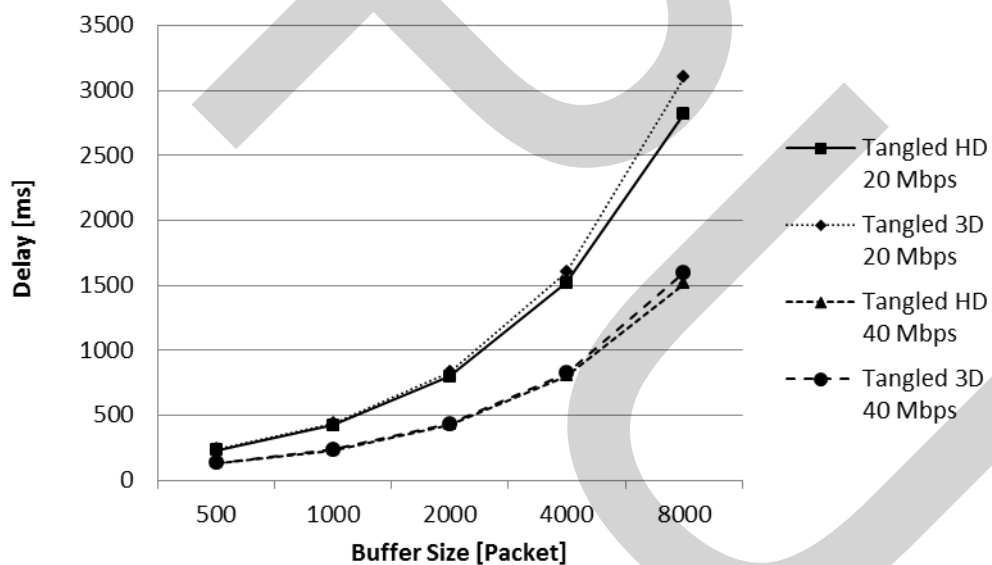
รูปที่ 4.26 ผลของ Average Delay ของวิดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 75 %

จากรูปที่ 4.25 ค่า Average Delay ของวิดีโอ Tron สำหรับแบนด์วิดท์ 20 Mbps นั้นจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อขนาดของ buffer size เพิ่มขึ้นโดยทั้งแบบ HD และ 3D จะได้รับผลกระทบจาก background traffic มีค่าใกล้เคียงกันซึ่งสังเกตได้จากลักษณะกราฟที่มีลักษณะทับซ้อนกัน โดยแบบ HD จะมีค่า 226-3054 ms และแบบ 3D จะมีค่า 228-3105 ms สำหรับแบนด์วิดท์ 40 Mbps นั้นจะได้รับผลกระทบจากทั้ง buffer size และ background traffic เช่นกันทำให้ค่าสูงขึ้นแต่ก็ยังน้อยกว่าช่วงแบนด์วิดท์ 20 Mbps โดยแบบ HD มีค่า 105-1200 ms และแบบ 3D มีค่า 127-1533 ms

จากรูปที่ 4.26 ค่า Average Delay ของวิดีโอ Tangled สำหรับแบนด์วิดท์ 20 Mbps นั้นจะมีค่าสูงขึ้นเนื่องจากผลกระทบจากการเพิ่มขนาดของ buffer size และปริมาณ background traffic ในระบบ โดยแบบ HD จะมีค่า 174-2222 ms และแบบ 3D มีค่า 230-3132 ms ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับ Tron เช่นกัน สำหรับแบนด์วิดท์ 40 Mbps นั้น 3D จะมีค่าสูงขึ้นจากเดิมจากผลกระทบของ background traffic ทำให้มีค่า 130-1586 ms และแบบ HD นั้นได้รับผลกระทบไม่มากทำให้ค่าเพิ่มสูงจากเดิมไม่มากนัก ทำให้มีค่า 46-105 ms



รูปที่ 4.27 ผลของ Average Delay ของวิดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 100 %



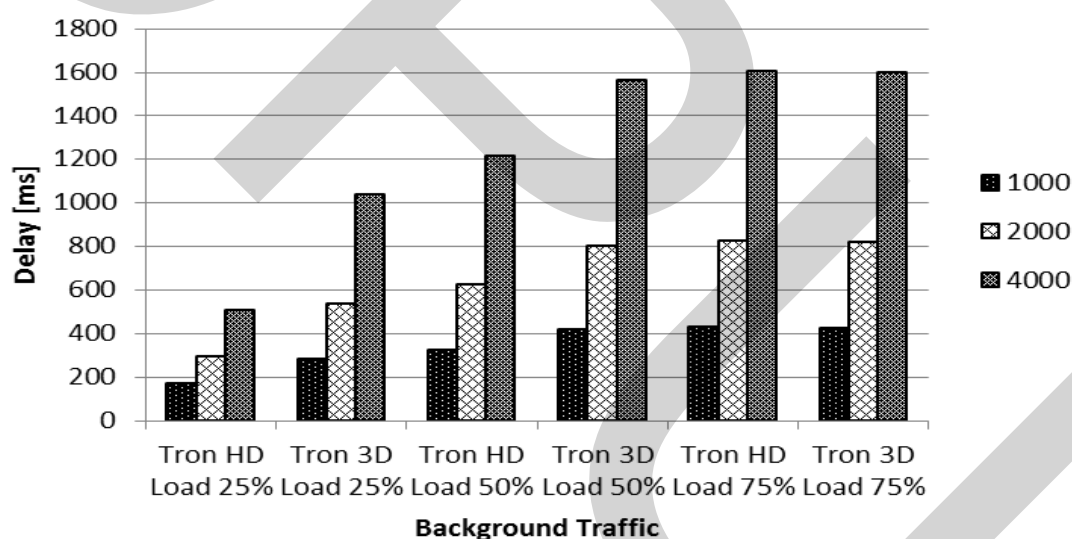
รูปที่ 4.28 ผลของ Average Delay ของวิดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 100 %



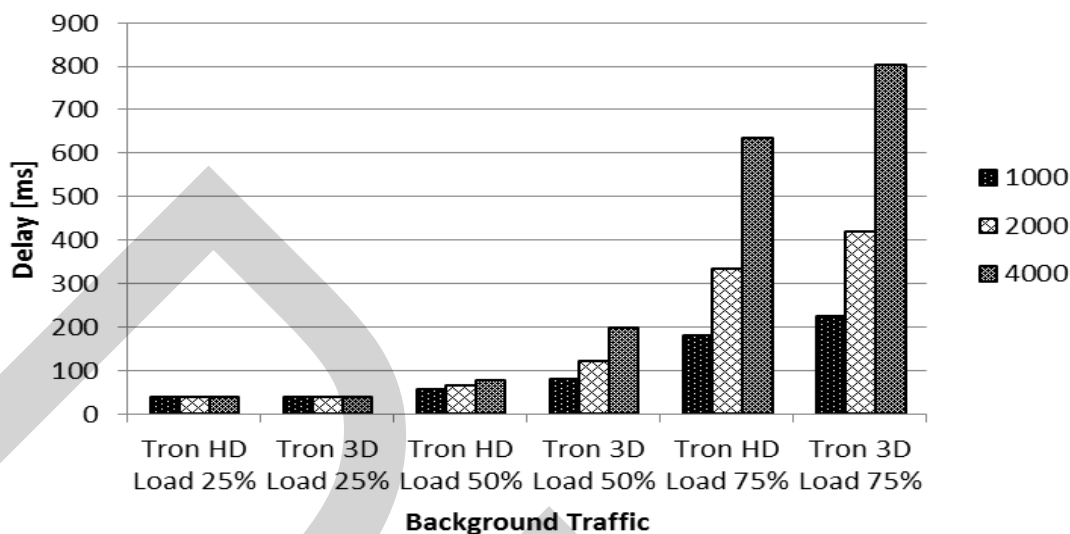
จากรูปที่ 4.27 ค่า Average Delay ของวิดีโอ Tron สำหรับแบนด์วิดท์ 20 Mbps นั้นจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อขนาดของ buffer size เพิ่มขึ้นโดยทั้งแบบ HD และ 3D จะได้รับผลกระทบจาก background traffic มีค่าใกล้เคียงกันซึ่งสังเกตได้จากลักษณะกราฟที่มีลักษณะทับซ้อนกัน โดยแบบ HD จะมีค่า 231-3003 ms และแบบ 3D จะมีค่า 231-3053 ms สำหรับแบนด์วิดท์ 40 Mbps นั้นแบบ HD มีค่า 132-1567 ms และแบบ 3D มีค่า 132-1582 ms โดยค่าบางค่าที่ได้จะไม่เปลี่ยนแปลงมากขึ้นจากรูปที่ 4.25 มากนัก

จากรูปที่ 4.28 ค่า Average Delay ของวิดีโอ Tangled นั้นจะได้ค่าที่ไม่แตกต่างจาก Tron เนื่องจากขีดจำกัดของ buffer size ทำให้ค่าที่ได้ออกมาใกล้เคียงกัน สำหรับ 20 Mbps HD จะมีค่า 229-2821 ms และ 3D จะมีค่า 234-3099 ms สำหรับ 40 Mbps HD จะมีค่า 131-1507 ms และ 3D จะมีค่า 134-1597 ms

#### 4.2.2 ผลกระทบจาก Background Traffic ต่อ Delay



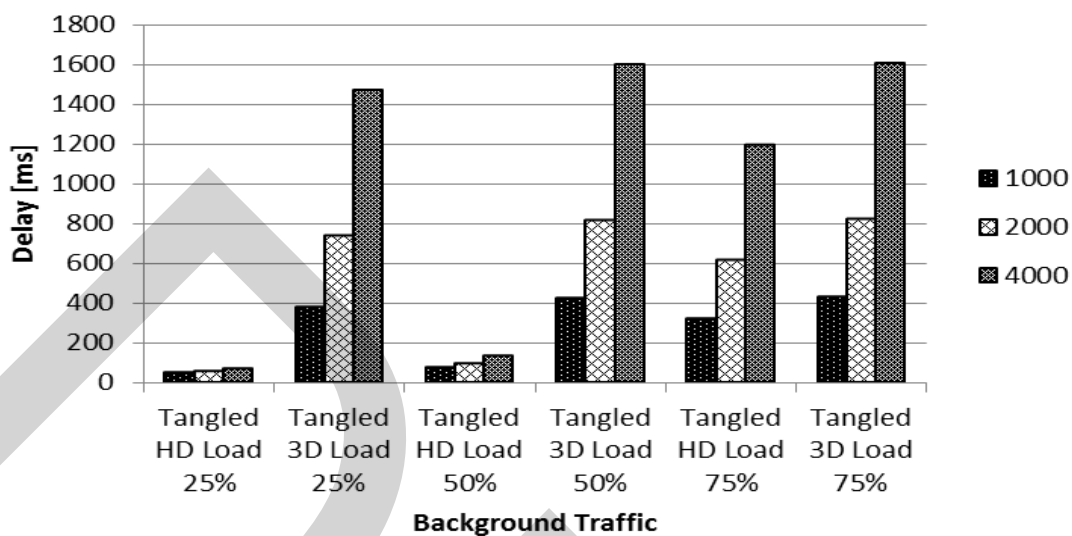
รูปที่ 4.29 ผลของ Average Delay ของวิดีโอ Tron HD และ 3D โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่อ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps



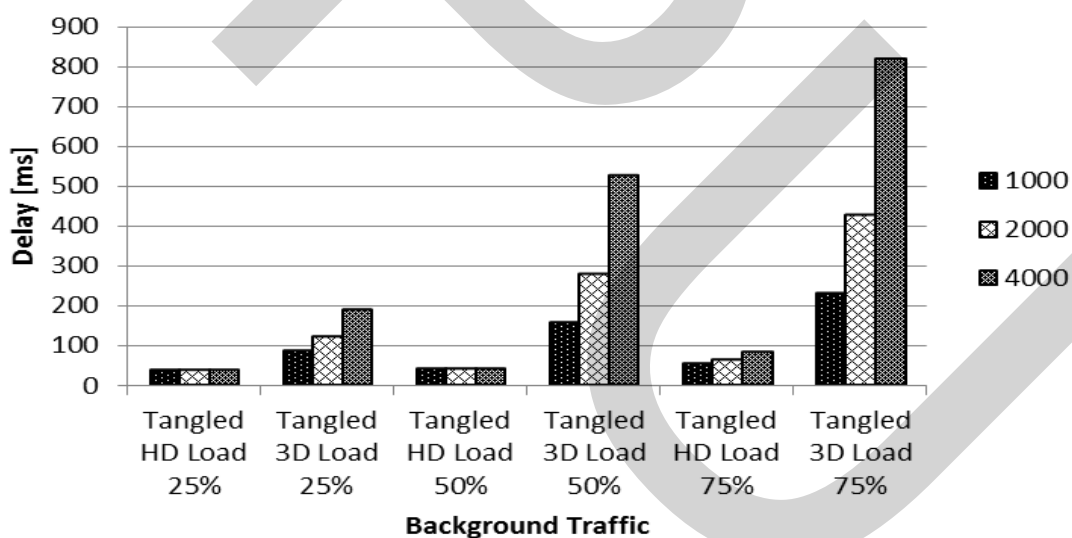
รูปที่ 4.30 ผลของ Average Delay ของวิดีโอ Tron HD และ 3D โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่อ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps

จากรูปที่ 4.29 ค่า Average Delay ของ Tron ทั้งสองแบบจะมีค่ามากขึ้นเมื่อ background traffic เข้ามาในระบบมากขึ้น โดยเมื่อ background traffic มีมากถึง 75 % ผลกระทบจะหยุดอยู่ในระดับหนึ่งและไม่เพิ่มขึ้นแม้จะมีค่า background traffic ที่สูงขึ้นไปอีก ทำให้ค่า Average Delay ของ Tron HD เพิ่มขึ้นมาในระดับเดียวกับแบบ 3D โดยขีดจำกัด Average Delay จะขึ้นอยู่กับขนาดของ buffer size ในขณะนั้น

จากรูปที่ 4.30 ค่า Average Delay ของ Tron HD จะได้รับผลกระทบจากขนาด Buffer Size ที่เพิ่มขึ้นน้อยมากในช่วงแรก จน background traffic มากถึง 75 % ถึงจะมีค่า Average Delay ที่ใกล้เคียงกับแบบ 3D โดย Tron 3D จะมีค่า Average Delay สูงขึ้นในปริมาณที่มากกว่าแบบ HD เมื่อ background Traffic หรือขนาดของ buffer size มากขึ้น โดยขีดจำกัดของ Average Delay จะมีค่าต่ำกว่าค่าจากแบนด์วิดท์ 20 Mbps เนื่องจากท่อที่ใช้ในการส่งสามารถส่งของใน buffer ออกไป ปริมาณที่มากกว่าได้



รูปที่ 4.31 ผลของ Average Delay ของวิดีโอ Tangled HD และ 3D โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่อ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps



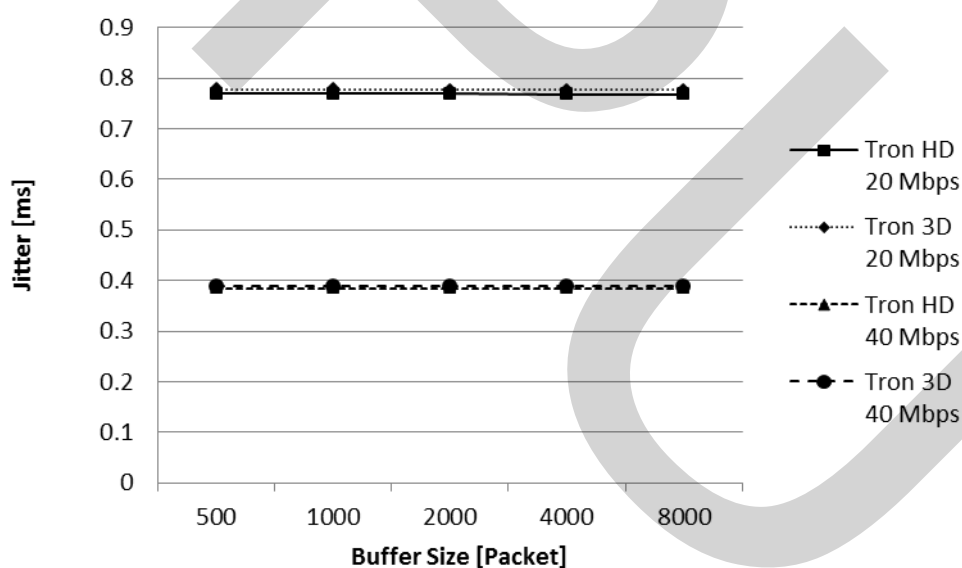
รูปที่ 4.32 ผลของ Average Delay ของวิดีโอ Tangled HD และ 3D โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่อ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps

จากรูปที่ 4.31 ค่า Average Delay ของ Tangled ทั้งสองแบบจะมีค่ามากขึ้นเมื่อ background traffic เข้ามาในระบบมากขึ้น โดยเมื่อ background traffic มีมากถึง 75 % ผลกระทบจะหยุดอยู่ในระดับหนึ่งและไม่เพิ่มขึ้นแม้จะมีค่า background traffic ที่สูงขึ้นไปอีก ทำให้ค่า Average Delay ของ Tron HD เพิ่มขึ้นมาในระดับเดียวกับแบบ 3D โดยขีดจำกัด Average Delay จะขึ้นอยู่กับขนาดของ buffer size ในขณะนั้น

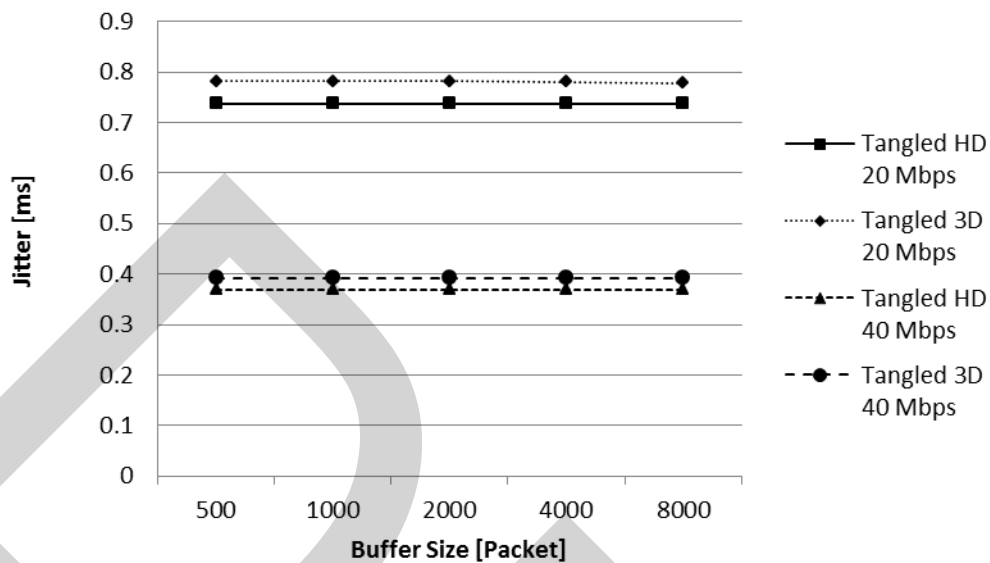
จากรูปที่ 4.32 ค่า Average Delay ของ Tangled จะได้รับผลกระทบจากขนาด Buffer Size ที่เพิ่มขึ้น โดยที่แบบ 3D จะถึงขีดจำกัดเช่นเดียวกับ Tron เมื่อ background traffic มากถึง 75 % และจะไม่เพิ่มขึ้นอีกแม้ background traffic จะเพิ่มขึ้นอีก และสำหรับแบบ HD ยังคงได้รับผลกระทบจากการเพิ่มของ background traffic ไม่มากนักเนื่องจากอัตราเฉลี่ยเริ่มต้นที่ไม่มากนักทำให้แบนด์วิดท์สามารถรองรับได้

### 4.3 Average Jitter

#### 4.3.1 ผลกระทบจาก Buffer Size ต่อ Jitter



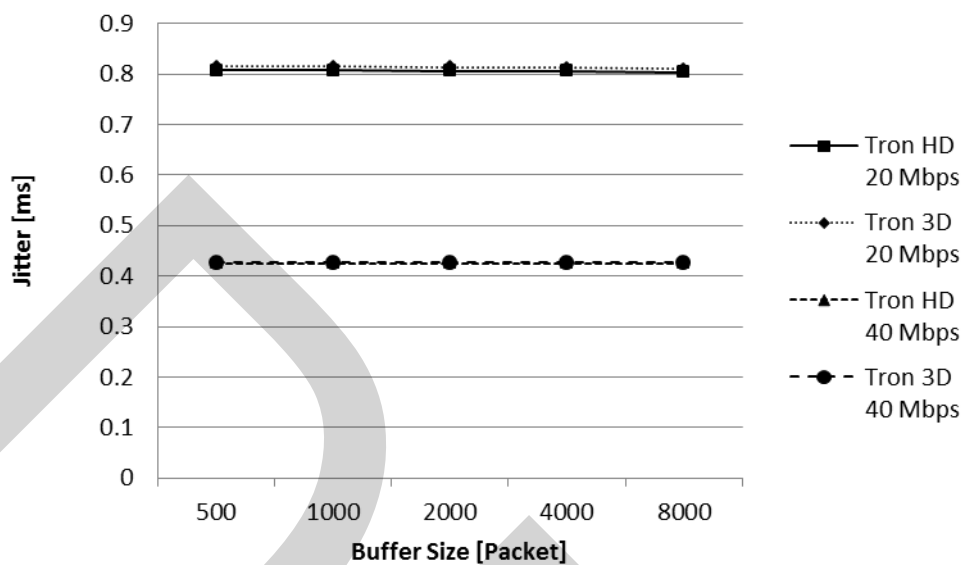
รูปที่ 4.33 ผลของ Average Jitter ของวิดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 0 %



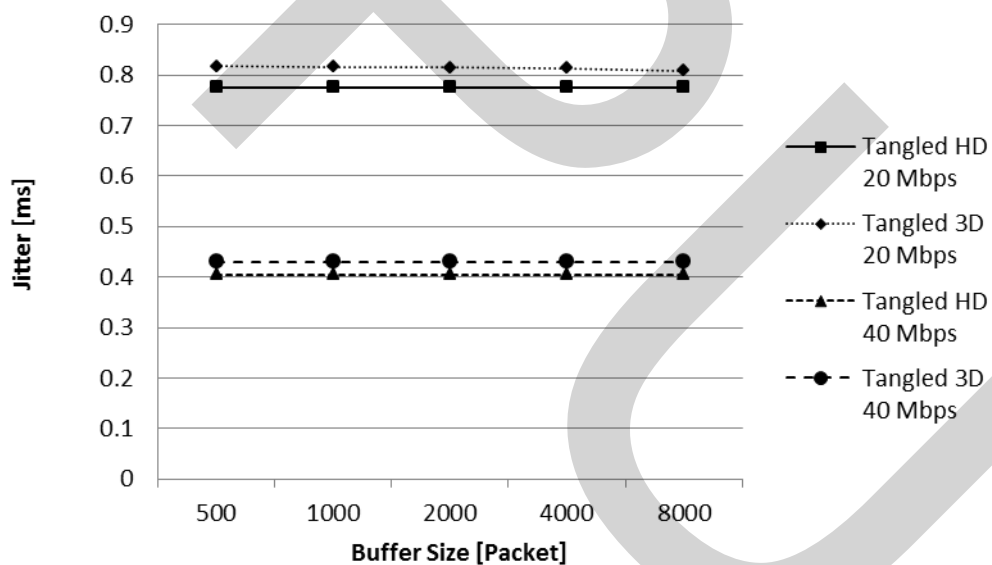
รูปที่ 4.34 ผลของ Average Jitter ของวิดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 0 %

จากรูปที่ 4.33 ค่า Average Jitter ของวิดีโอ Tron ที่แบนด์วิดท์ขนาด 20 Mbps แทบจะไม่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขนาดของ buffer size เลย ทำให้มีระดับค่า Average Jitter ที่ค่อนข้างคงที่ โดยแบบ HD มีค่าในระดับ 0.768 ms และแบบ 3D 0.777 ms เมื่อเพิ่มขนาดของแบนด์วิดท์เป็น 40 Mbps ค่า Average Jitter จะลดลงมาแต่ยังคงไม่ได้รับผลกระทบจาก buffer size ทำให้กราฟมีลักษณะเป็นเส้นตรงคงที่เช่นเดิม โดยแบบ HD มีค่า 0.384 ms และแบบ 3D จะมีค่า 0.388 ms

จากรูปที่ 4.34 ค่า Average Jitter ของวิดีโอ Tangled ที่แบนด์วิดท์ขนาด 20 Mbps แบบ HD มีลักษณะกราฟเช่นเดียวกับ Tron นั่นคือไม่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขนาดของ buffer size ทำให้ค่า Average Jitter มีค่าคงที่ และ 3D ที่ได้รับผลกระทบบ้างแต่ไม่มากนัก โดยแบบ HD มีค่าในระดับ 0.737 ms และแบบ 3D มีค่า 0.781-0.778 ms ซึ่งเมื่อขนาดของแบนด์วิดท์เพิ่มเป็น 40 Mbps ค่า Average Jitter จะลดลงมาเช่นเดียวกับ Tron รวมถึงไม่ได้รับผลกระทบจาก buffer size เช่นเดียวกัน โดยแบบ HD มีค่า 0.36 ms และแบบ 3D จะมีค่า 0.39 ms



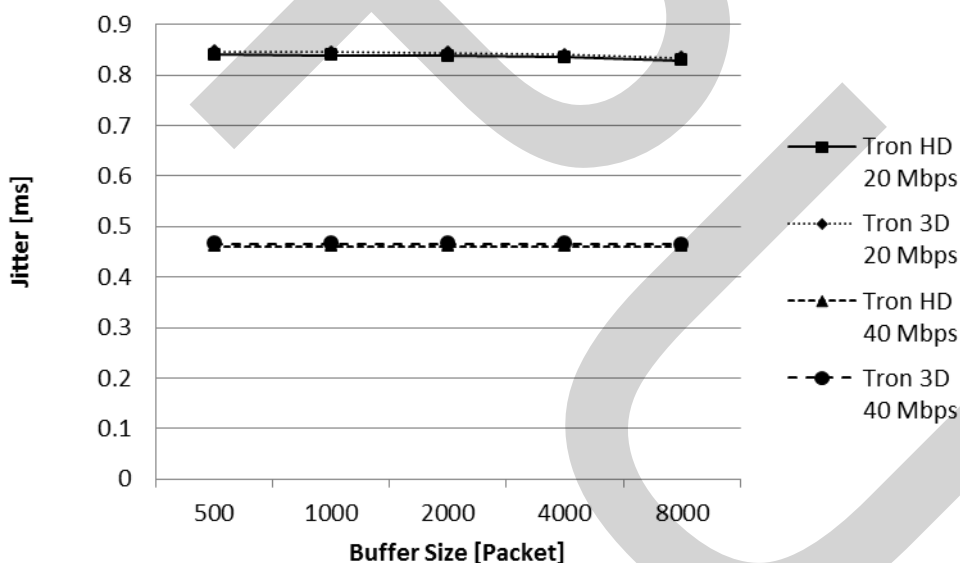
รูปที่ 4.35 ผลของ Average Jitter ของวิดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 25 %



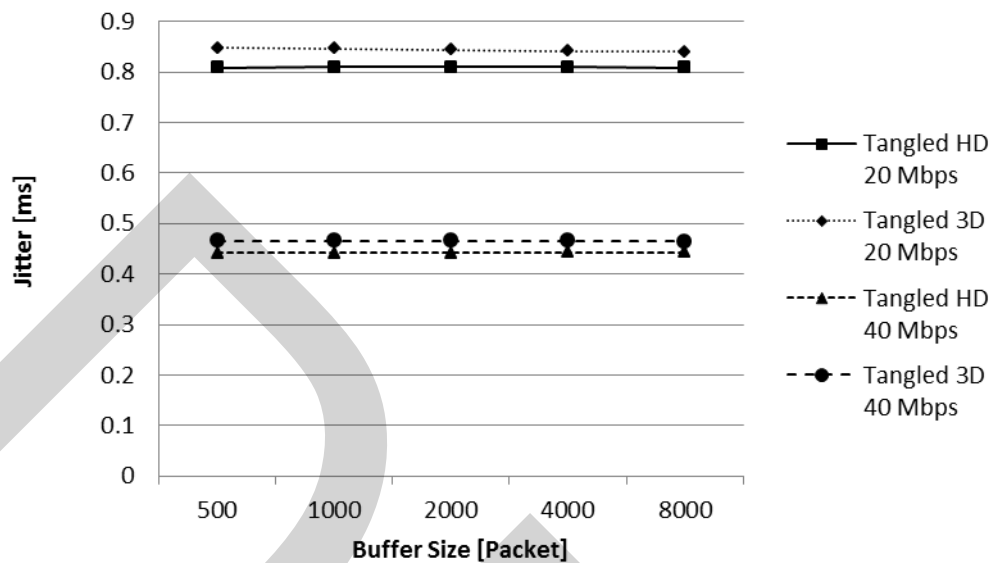
รูปที่ 4.36 ผลของ Average Jitter ของวิดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 25 %

จากรูปที่ 4.35 ค่า Average Jitter ของวิดีโอ Tron ที่แบนด์วิดท์ขนาด 20 Mbps ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขนาดของ buffer size เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากการเข้ามาในระบบของ background traffic ทำให้ค่า Average Jitter เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงแต่ยังไม่มากนัก โดยแบบ HD มีค่าในระดับ 0.806-0.803 ms และแบบ 3D 0.814-0.809 ms โดยเมื่อเพิ่มขนาดของแบนด์วิดท์เป็น 40 Mbps ขนาดที่เพิ่มขึ้นของ buffer size ยังไม่ส่งผลกระทบต่อ Average Jitter เช่นเดิม ทำให้ค่ากราฟมีลักษณะคงที่ โดยแบบ HD มีค่า 0.424 ms และแบบ 3D 0.426 ms

จากรูปที่ 4.36 ค่า Average Jitter ของวิดีโอ Tangled ที่แบนด์วิดท์ขนาด 20 Mbps วิดีโอแบบ HD ยังคงไม่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขนาดของ buffer size ทำให้ยังมีค่าคงที่ แต่แบบ 3D เมื่อขนาดของ buffer size เพิ่มถึง 8000 แพ็คเก็ต ลักษณะกราฟเริ่มที่ลดลงแม้จะเพียงเล็กน้อย โดยค่าของแบบ HD อยู่ที่ 0.775 ms และแบบ 3D มีค่า 0.816-0.808 ms เมื่อเพิ่มแบนด์วิดท์เป็น 40 Mbps ค่า Average Jitter ของทั้งสองแบบจะมีค่าคงที่ซึ่งไม่ได้รับผลกระทบจากขนาดของ buffer size โดยแบบ HD จะมีค่า 0.404 ms และแบบ 3D จะมีค่า 0.429 ms



รูปที่ 4.37 ผลของ Average Jitter ของวิดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 50 %

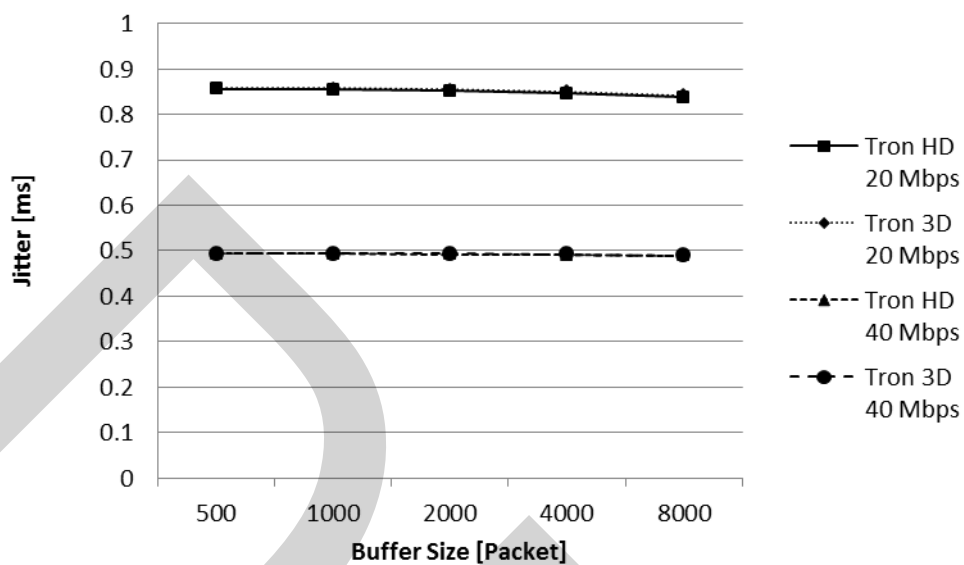


รูปที่ 4.38 ผลของ Average Jitter ของวิดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 50 %

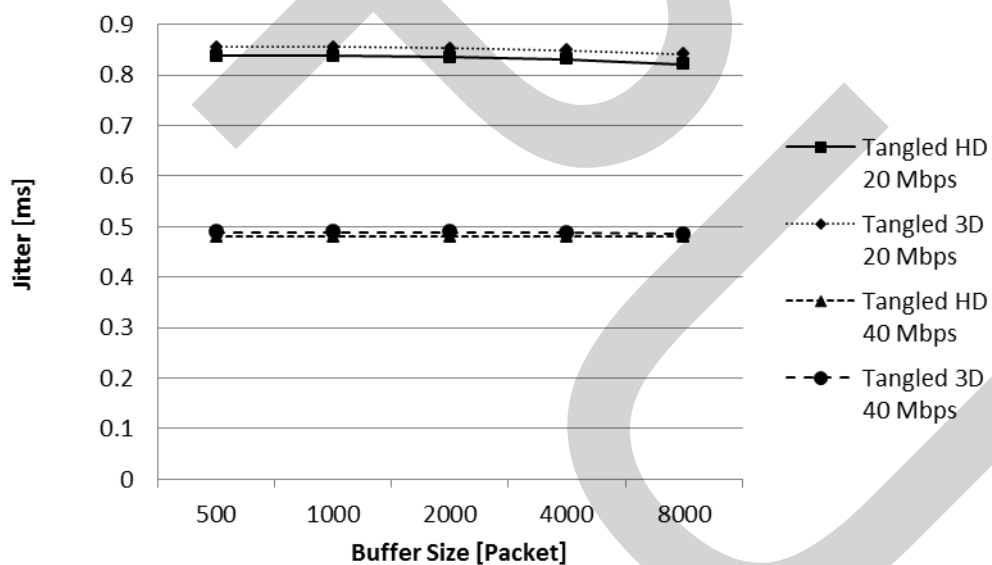
จากรูปที่ 4.37 ค่า Average Jitter ของวิดีโอ Tron ที่แบนด์วิดท์ขนาด 20 Mbps จากการเข้ามาของ background traffic ที่สูงขึ้นทำให้ผลกระทบจาก buffer size มีมากขึ้น โดยเมื่อ buffer size มากถึง 8000 แพ็คเก็ต ลักษณะกราฟจึงเริ่มที่จะลดลงแต่ก็ยังไม่มากนัก โดยแบบ HD มีค่า 0.839-0.828 ms และแบบ 3D มีค่า 0.845-0.833 ms สำหรับแบนด์วิดท์ 40 Mbps ผลกระทบจาก background traffic จะลดลง ทำให้ลักษณะกราฟกลับมามีค่าคงที่ โดยแบบ HD จะมีค่า 0.460 ms และแบบ 3D จะมีค่า 0.465 ms

จากรูปที่ 4.38 ค่า Average Jitter ของวิดีโอ Tangled ที่แบนด์วิดท์ขนาด 20 Mbps แม้จะมี background traffic ที่เพิ่มขึ้น แต่วิดีโอแบบ HD ยังคงไม่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขนาดของ buffer size มากนักทำให้ค่าค่อนข้างที่จะคงที่ และแบบ 3D ผลของกราฟเริ่มจะชัดเจนมากขึ้นจากรูปที่ 4.36 โดยค่าของแบบ HD อยู่ที่ 0.809-0.808 ms และแบบ 3D มีค่า 0.847-0.840 ms โดยเมื่อเพิ่มแบนด์วิดท์เป็น 40 Mbps ค่า Average Jitter ของทั้งสองแบบจะยังคงไม่ได้รับผลกระทบจากการเพิ่มขนาดของ buffer size เช่นเดิม แต่จะมีค่ามากขึ้นจากตอน background traffic 25 % โดยแบบ HD จะมีค่า 0.442 ms และแบบ 3D จะมีค่า 0.465 ms





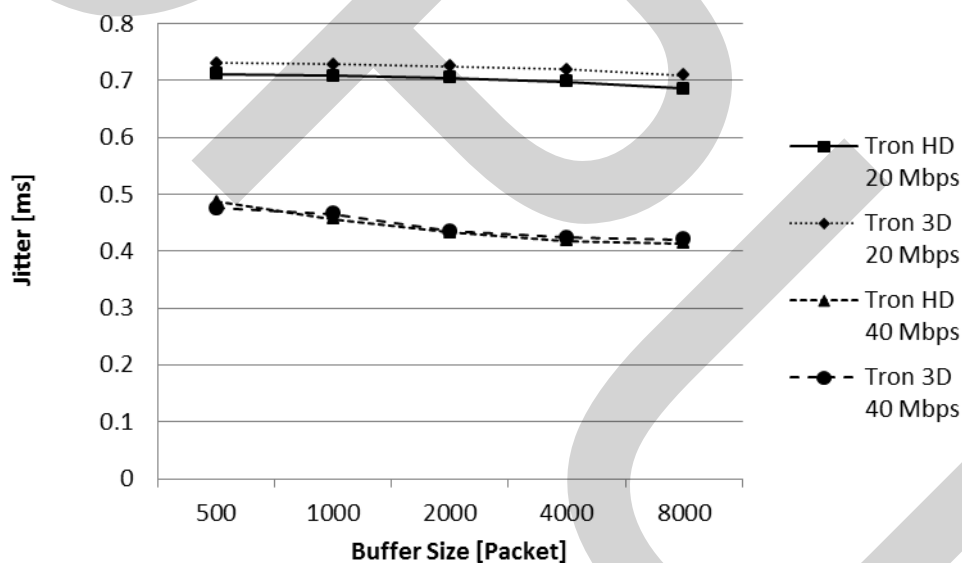
รูปที่ 4.39 ผลของ Average Jitter ของวิธีไอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 75 %



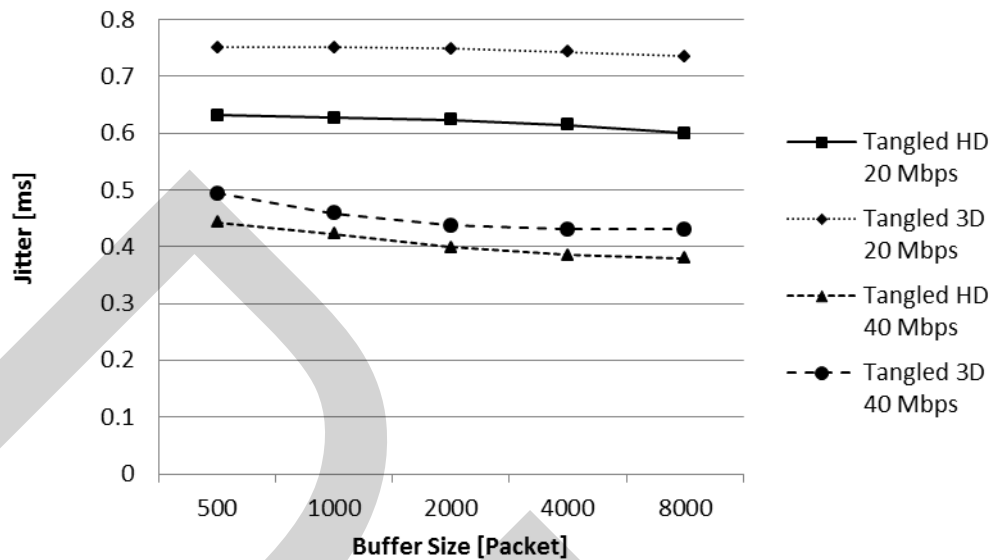
รูปที่ 4.40 ผลของ Average Jitter ของวิธีไอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 75 %

จากรูปที่ 4.39 จากการเข้ามาของ background traffic ที่สูงถึง 75 % ทำให้ผลกระทบจาก buffer size ซัดเจนมากขึ้น โดยค่า Average Jitter ของวิดีโอ Tron ที่แบนด์วิดท์ขนาด 20 Mbps แบบ HD มีค่า 0.856-0.837 ms และแบบ 3D มีค่า 0.857-0.841 ms เมื่อเพิ่มแบนด์วิดท์ให้มีขนาด 40 Mbps ผลกระทบจาก background traffic จะมากขึ้นทำผลกระทบจาก buffer size มากขึ้นเช่นเดียวกัน ทำให้ค่าที่ได้ไม่คงที่อีกต่อไป โดยแบบ HD จะมีค่า 0.492-0.488 ms และแบบ 3D จะมีค่า 0.493-0.489 ms

จากรูปที่ 4.40 ค่า Average Jitter ของวิดีโอ Tangled ได้รับผลกระทบจาก buffer size ซัดเจนมากขึ้นกว่าเดิม เนื่องมาจากปริมาณของ background traffic ที่สูงขึ้น โดยค่าของแบบ HD อยู่ที่ 0.838-0.821 ms และแบบ 3D มีค่า 0.855-0.840 ms และแบนด์วิดท์ที่มีขนาดเป็น 40 Mbps ค่า Average Jitter ของทั้งแบบ HD จะยังคงไม่ได้รับผลกระทบจาก buffer size เช่นเดิม แต่แบบ 3D จะเริ่มได้รับผลกระทบแต่ยังไม่มากนัก โดยแบบ HD จะมีค่า 0.479 ms และแบบ 3D จะมีค่า 0.488-0.485 ms



รูปที่ 4.41 ผลของ Average Jitter ของวิดีโอ Tron โดยมีค่า Background Traffic 100 %

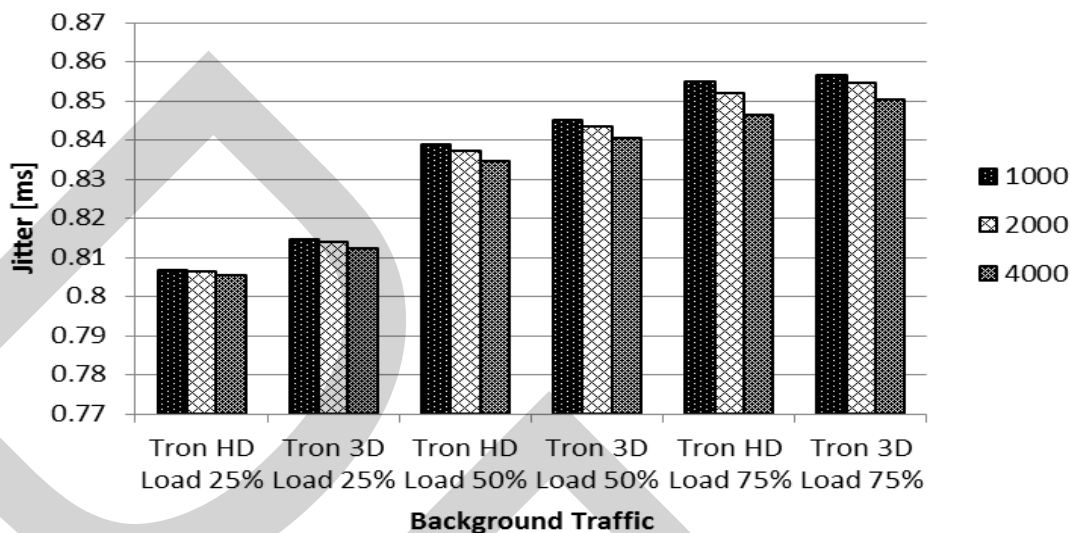


รูปที่ 4.42 ผลของ Average Jitter ของวิดีโอ Tangled โดยมีค่า Background Traffic 100 %

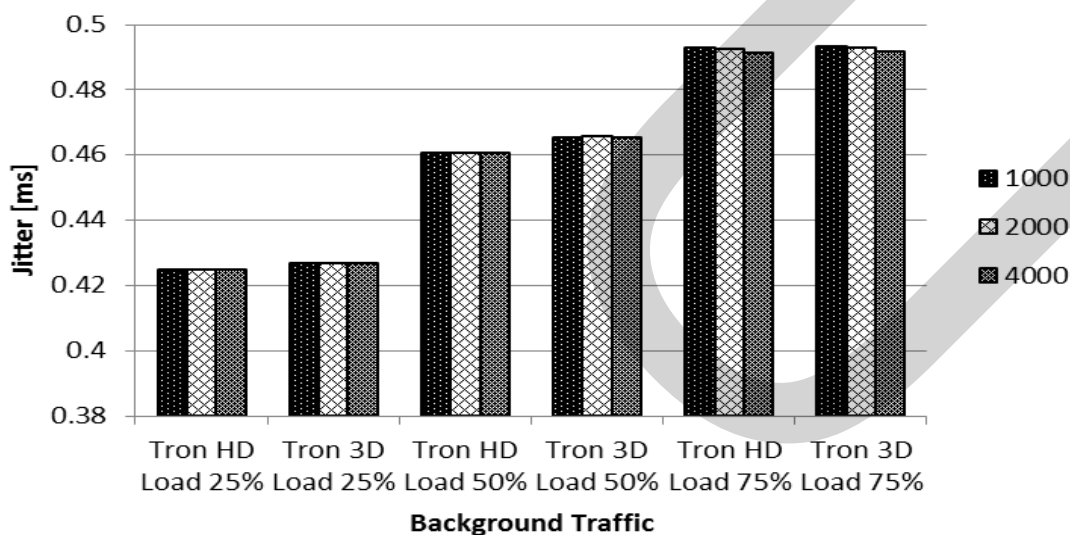
จากรูปที่ 4.41 เมื่อ background traffic สูงถึง 100 % ทำให้ผลกระทบจาก buffer size มีผลอย่างมาก สังเกตได้จากกราฟที่เริ่มโค้งลงตั้งแต่ buffer size มีขนาด 2000 แพ็คเก็ต โดยค่า Average Jitter ของวิดีโอ Tron ที่แบนด์วิดท์ขนาด 20 Mbps แบบ HD มีค่า 0.712-0.685 ms และแบบ 3D มีค่า 0.731-0.709 ms เมื่อเพิ่มแบนด์วิดท์ให้มีขนาด 40 Mbps ผลกระทบจาก buffer size จะมีผลโดยตรงต่อค่า Average Jitter โดยแบบ HD จะมีค่า 0.487-0.413 ms และแบบ 3D จะมีค่า 0.476-0.421 ms

จากรูปที่ 4.42 เช่นเดียวกัน Tron ที่รูป 4.41 ค่า Average Jitter ของ Tagled จะได้รับผลกระทบมากขึ้นแต่ไม่ชัดเจนเท่าเนื่องจากค่าตั้งต้นที่สูงกว่า โดยค่าของแบบ HD อยู่ที่ 0.631-0.599 ms และแบบ 3D มีค่า 0.751-0.735 ms และเมื่อเพิ่มขนาดแบนด์วิดท์เป็น 40 Mbps ขนาดของ buffer size จะทำให้ค่า Average Jitter ลดลงในระดับที่เห็นได้อย่างชัดเจนตั้งแต่ buffer size มีขนาด 1000 แพ็คเก็ต โดยแบบ HD จะมีค่า 0.442-0.380 ms และแบบ 3D จะมีค่า 0.494-0.430 ms

## 4.3.2 ผลกระทบจาก Background Traffic ต่อ Jitter



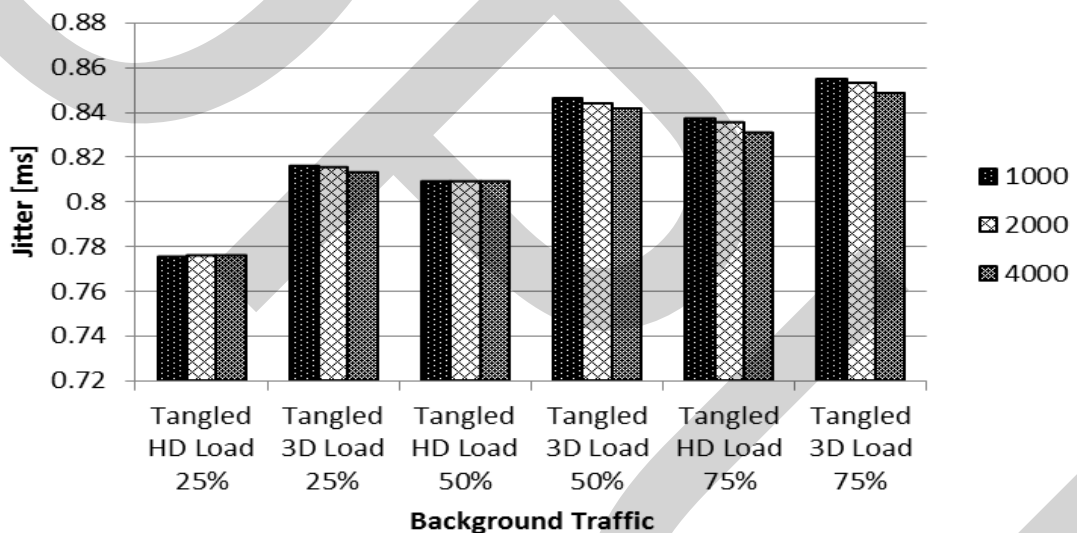
รูปที่ 4.43 ผลของ Average Jitter ของวิดีโอ Tron HD และ 3D โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่อ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps



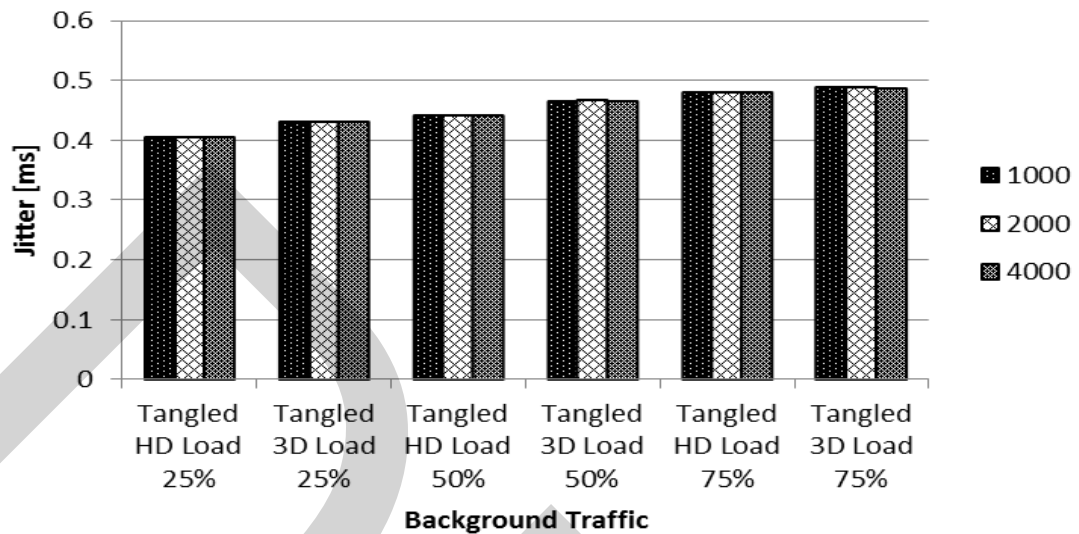
รูปที่ 4.44 ผลของ Average Jitter ของวิดีโอ Tron HD และ 3D โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่อ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps

จากรูปที่ 4.43 ค่า Average Jitter ของ Tron บนแบนด์วิดท์ 20 Mbps ทั้งแบบ HD และ 3D มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเมื่อมีค่า background traffic เข้ามาในระบบมากขึ้น แต่จะมีค่าที่น้อยลงเมื่อนำขนาดของ buffer size มากขึ้น โดยปริมาณของ Average Jitter ของแบบ 3D จะมีค่ามากกว่าแบบ HD อยู่ช่วงหนึ่ง และเมื่อ background traffic เพิ่มขึ้นถึง 75 % จะทำให้ค่า Average Jitter ของทั้งสองแบบอยู่ในระดับที่ใกล้เคียงกันมากขึ้น

จากรูปที่ 4.44 ค่า Average Jitter ของ Tron ของ Tron บนแบนด์วิดท์ 40 Mbps ทั้งแบบ HD และ 3D มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเมื่อมีค่า background traffic เข้ามาในระบบมากขึ้น โดยทั้งสองแบบมีค่า Jitter ที่ใกล้เคียงในระดับเดียวกัน แม้ว่าจะมีการเปลี่ยนแปลงค่า background traffic ก็ตาม โดยผลกระทบจากการเพิ่มปริมาณ buffer size มีน้อยมากต่อทั้งสองแบบ



รูปที่ 4.45 ผลของ Average Jitter ของวิดีโอ Tangled HD และ 3D โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่อ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps



รูปที่ 4.46 ผลของ Average Jitter ของวิดีโอ Tangled HD และ 3D โดยการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงต่อ Background Traffic บนโครงข่ายที่มีขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps

จากรูปที่ 4.45 ค่า Average Jitter ของ Tangled บนแบนด์วิดท์ 20 Mbps ทั้งแบบ HD และ 3D มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเมื่อมีค่า background traffic เข้ามาในระบบมากขึ้น แต่จะมีค่าที่น้อยลงเมื่อขนาดของ buffer size มากขึ้น โดยปริมาณของ Average Jitter ของแบบ 3D จะมีค่ามากกว่าแบบ HD อยู่เป็นจำนวนมากอย่างเห็นได้ชัดเจน และเมื่อ background traffic เพิ่มขึ้นถึง 75 % ก็ยังมีความแตกต่างกันในระดับหนึ่งอย่างเห็นได้ชัดเจน

จากรูปที่ 4.46 ค่า Average Jitter ของ Tangled บนแบนด์วิดท์ 40 Mbps ทั้งแบบ HD และ 3D มีแนวโน้มที่จะสูงขึ้นเมื่อมีค่า background traffic เข้ามาในระบบมากขึ้น โดยค่าของแบบ 3D จะมีค่าสูงกว่าแบบ HD ในปริมาณที่ไม่มากนัก โดยผลกระทบจากการเพิ่มปริมาณ buffer size มีน้อยมากต่อทั้งสองแบบ

#### 4.4 อภิปรายผลการวิจัย

การอภิปรายผลการวิจัยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กรณีคือ 1. ที่ขนาดแบนด์วิดท์ 20 Mbps และ 2. ที่ขนาดแบนด์วิดท์ 40 Mbps ที่มีขนาด buffer size และ background traffic แตกต่างกัน โดยมีวิดีโอแบบ HD และ 3D ของวิดีโอ Tron และ Tangled มาเป็นตัววัดที่ความละเอียด 1080p

##### 4.4.1 วิเคราะห์ผลค่าที่แบนด์วิดท์ 20 Mbps

###### 1) Average Packet Loss Rate

ค่า Average Packet Loss Rate ของทุกวิดีโอจะมีค่าลดลงเมื่อมี buffer size เพิ่มขึ้น โดยการเพิ่มขนาดของ buffer size สามารถทำได้เรื่อยๆจนสุดขีดจำกัดของอุปกรณ์ โดยอุปกรณ์แต่ละแบบจะมีค่าสูงสุดของ buffer size ต่างกันออกไป โดยเมื่ออัตราเฉลี่ยถึง 0.15 หรือมีอัตราสูญเสีย 15 % ผลกระทบจากการเพิ่มขนาดของ buffer size จะน้อยลงอย่างมาก และเมื่ออัตราเฉลี่ยสูงขึ้นเรื่อยๆผลกระทบจาก buffer size นั้นแทบจะไม่มีผลต่ออัตราเฉลี่ยเลยเนื่องจาก buffer size สามารถรองรับกราฟฟิคได้จำกัดตามที่ตั้งไว้ หากมีปริมาณกราฟฟิคมากเกินไปจึงต้องทำการทิ้งแพ็คเก็ตทั้งหมดที่ไม่สามารถรับได้ และเมื่อเพิ่ม background traffic เข้าไปในระบบ ค่า Average Packet Loss Rate จะมีค่าที่สูงขึ้น เนื่องจากกราฟฟิคชนิดอื่นได้เข้ามาในระบบ แต่ buffer size ที่มีขนาดเท่าเดิมต้องรองรับทั้งกราฟฟิคจากวิดีโอและ background traffic ส่งผลให้โอกาสการสูญเสียของวิดีโอมีมากขึ้น โดยจากรูปที่ 4.11-4.18 จะแสดงให้เห็นว่า ช่วงจากการเพิ่ม background traffic 50 %-75 % จะมีอัตราเฉลี่ยที่พุ่งขึ้นสูงมากกว่าช่วงอื่น ซึ่งต่างจากช่วงการเพิ่ม background traffic 0 %-25 % และ 25 %-50 % ที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก แสดงให้เห็นว่าตัวโครงข่ายหากมี background traffic มากกว่า 50 % จะไม่สามารถส่งวิดีโอได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ถึงอย่างนั้นเนื่องจากปริมาณกราฟฟิคที่มากเกินไปของวิดีโอและขีดจำกัดของแบนด์วิดท์ ที่ขนาด background traffic 0 % ค่า Average Packet Loss Rate จะมีค่า Tron HD 0.012-0.0002, Tron 3D 0.024-0.013, Tangled HD 0.002-0 และ Tangled 3D 0.194-0.147 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแม้จะไม่มี background traffic แต่วิดีโอ 3D บางตัวก็ยังไม่สามารถรับชมได้ และหากเพิ่ม background traffic เป็น 25 % Tron 3D จะมีค่า 0.126-0.102 และ Tangled 3D 0.327-0.302 ทำให้ลำบากแก่การรับชมเช่นกัน ทำให้สามารถสรุปได้ว่าที่แบนด์วิดท์ 20 Mbps นั้นจะสามารถรับชมวิดีโอแบบ HD ได้อย่างไม่มีปัญหา แต่จะไม่สามารถรับชมแบบ 3D ได้เนื่องจากปริมาณการสูญเสียที่มากเกินไป

## 2) Average Delay

ค่า Average Delay ของทุกวิดีโอจะมีค่ามากขึ้นเมื่อขนาดของ buffer size มากขึ้น เนื่องจาก แม้ว่าขนาดของ buffer size จะมากขึ้นทำให้รองรับแพ็คเก็ตได้มากขึ้นแต่อัตราการส่งออกไปยังมีเท่าเดิม ทำให้แพ็คเก็ตส่วนใหญ่จะถูกค้างไว้ใน buffer size เป็นเวลาพอสมควรก่อนจะถูกส่งออกไปยังจุดหมาย และยิ่ง buffer size มีขนาดใหญ่เท่าไร เวลาที่ถูกค้างไว้ข้างในจะเยอะขึ้นเท่านั้น แต่เหตุการณ์นี้จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อปริมาณกราฟฟิกจำนวนมากจนสามารถเต็ม buffer size ได้ และเมื่อมี background traffic เข้ามา กราฟฟิกอื่นนอกจากวิดีโอจะเข้ามาแย่งพื้นที่ใน buffer size ทำให้โอกาสที่ buffer size จะเต็มมีมากขึ้น โดยจากรูปที่ 4.25-4.28 จะเห็นได้ว่ากราฟมีลักษณะทับซ้อนกัน และค่าของ Average Delay ของทุกวิดีโอไม่ว่าจะ HD หรือ 3D ก็มีค่าใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากหาก buffer size มีปริมาณแพ็คเก็ตที่เต็มทำให้แพ็คเก็ตที่เข้ามาหลังจากนั้น จะใช้เวลาตั้งแต่เข้า buffer size และออกจนไปถึงจุดหมายจะมีเวลาที่ใกล้เคียงหรือเท่ากันเนื่องจากความเร็วในการส่งออกไปยังมีเท่ากัน และยิ่ง background traffic มาก โอกาสที่ buffer size จะเต็มก็มีมากขึ้นทำให้เกิดการซ้อนกันของกราฟ โดยขีดจำกัดสูงสุดของ Delay จะขึ้นอยู่กับขนาดของ buffer size หากตัว buffer size มีขนาดใหญ่ เวลาที่แพ็คเก็ตต้องอยู่ใน buffer size ก็จะมากขึ้นเป็นเงาตามตัว และวิดีโอ 3D ที่มีปริมาณกราฟฟิกมากกว่าจะเกิดเหตุการณ์นี้ได้ง่ายกว่าเช่นกัน โดยในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานในการวัด Delay ของวิดีโอที่ส่งออกเพื่อนำมาประเมินประสิทธิภาพของระบบทำให้ยังไม่สามารถสรุปผลจาก Delay ที่มีต่อวิดีโอได้

## 3) Average Jitter

Jitter คือค่าการแปรปรวนของ Delay ทำให้การเพิ่มขนาดของ buffer size ไม่ส่งผลกระทบต่อค่า Average Jitter แต่จากในกราฟ เมื่อ buffer size เพิ่มขึ้น Average Jitter จะมีแนวโน้มที่ค่าลดลง เนื่องจากเมื่อ buffer size เต็มจะทำให้แพ็คเก็ตที่เข้ามาหลังจากนั้นใช้เวลาในการไปถึงจุดหมายที่ใกล้เคียงหรือเท่ากันเนื่องจากอัตราส่งที่คงที่ของระบบ ทำให้มีค่าความแปรปรวนที่น้อยลง และเมื่อมี background traffic เข้ามาในระบบจะทำค่า Average Jitter มีค่ามากขึ้น เนื่องจาก Jitter จะคำนวณจากค่าความแตกต่างของ Delay หรือก็คือสมการ Delay ปัจจุบันลบด้วย Delay ก่อนหน้า ทำให้เมื่อมีแพ็คเก็ตจากกราฟฟิกเข้ามาขัดขวางในการส่งทำให้ช่องว่างของเวลาขยายมากขึ้น ส่งผลให้ Average Jitter มีค่าสูงขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งความแตกต่างระหว่าง HD และ 3D สำหรับ Average Jitter ก็ไม่ค่าไม่ต่างกันมากนัก และเป็นเช่นเดียวกับ Delay ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานในการวัด Jitter ของวิดีโอที่ส่งออกเพื่อนำมาประเมินประสิทธิภาพของระบบทำให้ยังไม่สามารถสรุปผลจาก Jitter ที่มีต่อวิดีโอได้



#### 4.4.2 วิเคราะห์ผลค่าที่แบนด์วิดท์ 40 Mbps

##### 1) Average Packet Loss Rate

ค่า Average Packet Loss Rate ของทุกวิดีโอจะมีค่าลดต่ำลงเมื่อมี buffer size เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกับผลที่ค่าแบนด์วิดท์ 20 Mbps แต่การที่ขนาดแบนด์วิดท์เพิ่มขึ้นก็เปรียบเสมือนมีท่อส่งทราฟฟิกที่ใหญ่ขึ้น ทำให้อัตราการส่งข้อมูลสูงขึ้นและสามารถระบายแพ็คเก็ตที่ค้างใน buffer size ได้เร็วขึ้น ส่งผลให้ค่า Average Packet Loss Rate ลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งสังเกตได้ว่าที่ background traffic 25 % วิดีโอแบบ HD ทั้ง Tron และ Tangled ยังมีอัตราเฉลี่ยอยู่ที่ 0 ส่วน Tron 3D มีอัตราเฉลี่ยที่ใกล้เคียง 0 มากและหาก buffer size สูงพอก็จะมีอัตราเป็น 0 เช่นเดียวกัน แม้แต่ Tangled ที่มีอัตราเฉลี่ยสูงมากจากตอนแบนด์วิดท์ 20 Mbps ก็ยังมีค่าเพียง 0.053-0.028 เท่านั้นซึ่งไม่เป็นอุปสรรคสำหรับการรับชมแต่อย่างใด แม้กระทั่งเมื่อเพิ่ม background traffic เป็น 50 % วิดีโอ HD ทั้งสองตัวที่ buffer size 500 แพ็คเก็ต ก็ยังมีอัตราเฉลี่ยไม่ถึง 0.01 และแบบ 3D Tron HD มีค่า 0.019-0.011 ซึ่งไม่ต่างจากแบบ HD มากนัก และ Tangled 3D มีค่า 0.15-0.11 ทำให้สามารถรับชมได้อย่างพอสมควร แต่เมื่อเพิ่ม background traffic เป็น 75 % อัตราเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก เช่นเดียวกับค่าของแบนด์วิดท์ 20 Mbps โดย Tron HD มีค่า 0.185-0.144, Tron 3D 0.282-0.266, Tangled HD 0.014-0.004 และ Tangled 3D 0.408-0.396 ส่งผลให้มีปัญหาในการรับชมวิดีโอแบบ 3D อย่างแน่นอน โดยยังสามารถรับชมแบบ HD ได้ดีในระดับหนึ่ง ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าที่แบนด์วิดท์ 40 Mbps นั้นจะสามารถรับชมวิดีโอแบบ HD และแบบ 3D ได้อย่างไม่มีปัญหาหาก background traffic ไม่เกิน 50 %

##### 2) Average Delay

ค่า Average Delay ของทุกวิดีโอจะมีค่ามากขึ้นเมื่อขนาดของ buffer size มากขึ้น เช่นเดียวกับผลที่ค่าแบนด์วิดท์ 20 Mbps เนื่องจากอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้นทำให้ค่า Average Delay นั้นลดลงเนื่องจากการส่งแพ็คเก็ตถึงจุดหมายได้เร็วขึ้น ในระดับที่ background traffic ไม่เกิน 25 % นั้นค่า Average Delay แทบจะมีค่าคงที่ ทำให้สรุปได้ว่าแบนด์วิดท์ที่มีผลต่อ Delay โดยขีดจำกัดสูงสุดของ Delay ต่อ buffer size หนึ่งๆ นั้นยังคงมีอยู่ แต่เนื่องจากอัตราการส่งข้อมูลที่มากขึ้นทำให้ขีดจำกัดนั้นลดลงมาเช่นกัน แม้ว่าค่า Average Delay ที่ 40 Mbps จะมีค่าน้อยกว่าที่ 20 Mbps แต่ในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานในการวัด Delay ของวิดีโอที่ส่งออกเพื่อนำมาประเมินประสิทธิภาพของระบบทำให้ยังไม่สามารถสรุปผลจาก Delay ที่มีต่อวิดีโอได้

### 3) Average Jitter

ค่า Average Jitter ที่แบนด์วิดท์ 40 Mbps จะมีค่าน้อยกว่าที่แบนด์วิดท์ 20 Mbps เนื่องจากอัตราการส่งข้อมูลที่สูงขึ้น ความแปรปรวนของ Delay ก็ย่อมที่จะน้อยลงเช่นเดียวกัน แต่ก็ทำให้ผลกระทบจาก buffer size นั้นน้อยลงกว่าที่แบนด์วิดท์ 20 Mbps เช่นกัน โดยที่แม้แต่ background traffic 75 % ก็ยังมีผลกระทบที่แทบจะไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งความแตกต่างระหว่าง HD และ 3D สำหรับ Average Jitter ก็ไม่ต่างกันมากนักไม่ต่างจากค่าของ แบนด์วิดท์ 20 Mbps โดย ปัจจุบันยังไม่มีความมาตรฐานในการวัด Jitter ของวิดีโอที่ส่งออกไปเพื่อนำมาประเมินประสิทธิภาพของระบบทำให้ยังไม่สามารถสรุปผลจาก Jitter ที่มีต่อวิดีโอได้

## บทที่ 5

### บทสรุป และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะเป็นการอภิปรายเพื่อสรุปผลที่ได้จากการทดสอบงานวิจัย รวมทั้งข้อจำกัดของระบบที่พบจากการจำลองโครงข่ายของระบบ และข้อเสนอแนะสำหรับแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไปเพื่อแก้ข้อบกพร่องของระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้จำลองการใช้งาน IPTV โดยใช้วีดีโอสามมิติ ทั้งแบบที่มีและไม่มี background traffic และมีการปรับเปลี่ยนค่า buffer size ของเราเตอร์ที่ใช้ในการจำลองตามเราเตอร์ของจริง โดยทำการทดสอบบนระดับแบนด์วิดท์ที่ 20 Mbps และ 40 Mbps โดยจากหัวข้อที่ 4.4 ในปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานในการวัดประสิทธิภาพจาก Delay และ Jitter สำหรับวีดีโอ ทำให้ผลที่เห็นเด่นชัดที่สุดมาจากค่า Packet Loss Rate ซึ่งแสดงให้เห็นผลโดยตรงจากภาพที่ฉาย

โครงข่ายที่มีแบนด์วิดท์ที่ 20 Mbps สามารถรองรับการให้บริการ IPTV สำหรับวีดีโอแบบ HD ได้แบบไม่มีปัญหาแต่ไม่สามารถให้บริการในแบบ 3D ได้อย่างเต็มที่เนื่องจากบางวีดีโออย่างเช่น Tangled ที่เป็นตัวอย่างในการวิจัยยังมีกราฟฟิกที่สูงเกินไป แต่เมื่อเพิ่มขนาดแบนด์วิดท์เป็น 40 Mbps อัตราเฉลี่ยต่างๆจะลดน้อยลงอย่างมาก แม้ว่าจะมี background traffic ที่ 50% วีดีโอ 3D จะมีปริมาณการสูญเสียอยู่ประมาณ 10% จากวีดีโอทั้งหมด ซึ่งภาพที่ส่งออกไปยังสามารถดูได้ในระดับหนึ่ง โดยในปัจจุบันมีผู้ให้บริการบางแห่งสามารถให้บริการแบนด์วิดท์ที่ 50 Mbps ได้แล้ว ซึ่งสามารถใช้รองรับ 3D IPTV ได้อย่างไม่มีปัญหาแต่ยังคงมีปัญหาเรื่องค่าใช้จ่ายที่สูงเกินกว่าจะนำมาใช้ในครัวเรือนทั่วไป

ผู้วิจัยแนะนำให้ผู้ให้บริการโครงข่ายทำการประเมินความคุ้มค่าของการลงทุนในโครงข่าย IPTV แบบ 3D นั้นก่อนการติดตั้งเพื่อใช้งานจริงโดยควรลงทุนโดยมีระดับแบนด์วิดท์เท่าเทียมหรือมากกว่า 40 Mbps และกำหนดการส่งข้อมูลขณะใช้งานไม่ควรเกิน 50% ของแบนด์วิดท์ทั้งหมดเพื่อคุณภาพในการรับชมวีดีโอ

สรุปผลตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) สามารถทำตัว Trace File สำหรับวิดีโอ HD และวิดีโอ 3D โดยมีการเข้ารหัสแบบ H.264 เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลในการจำลองระบบได้

2) สามารถจำลองระบบใช้งาน IPTV โดยใช้ Trac File แบบ HD และ 3D ที่ได้ศึกษารวบรวมข้อมูลมาได้

3) ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพของวิดีโอ 3D บนโครงข่าย IPTV ได้

สรุปผลตามขอบเขตของงานวิจัย ตามขอบเขตของระบบ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) สามารถทำการจำลอง Trace File สำหรับวิดีโอแบบ HD และ 3D ที่มีการเข้ารหัสแบบ H.264 ที่มีความละเอียด 1920x1080p ได้

2) สามารถพัฒนาโครงข่ายสำหรับการจำลอง 3D IPTV โดยใช้ NS2 โดยใช้ข้อมูลวิดีโอ HD และ 3D ที่ได้เป็นตัวกำหนดขนาดการส่งข้อมูล เพื่อให้ได้มาซึ่ง Trace File สำหรับการประเมินระบบ โดยใช้พารามิเตอร์ของระบบในขอบเขตจำกัดได้

3) สามารถนำข้อมูลจาก Trace File หาค่า Packet loss, Delay และ Jitter ของระบบได้

## 5.2 ข้อจำกัดและแนวทางแก้ไขของงานวิจัย

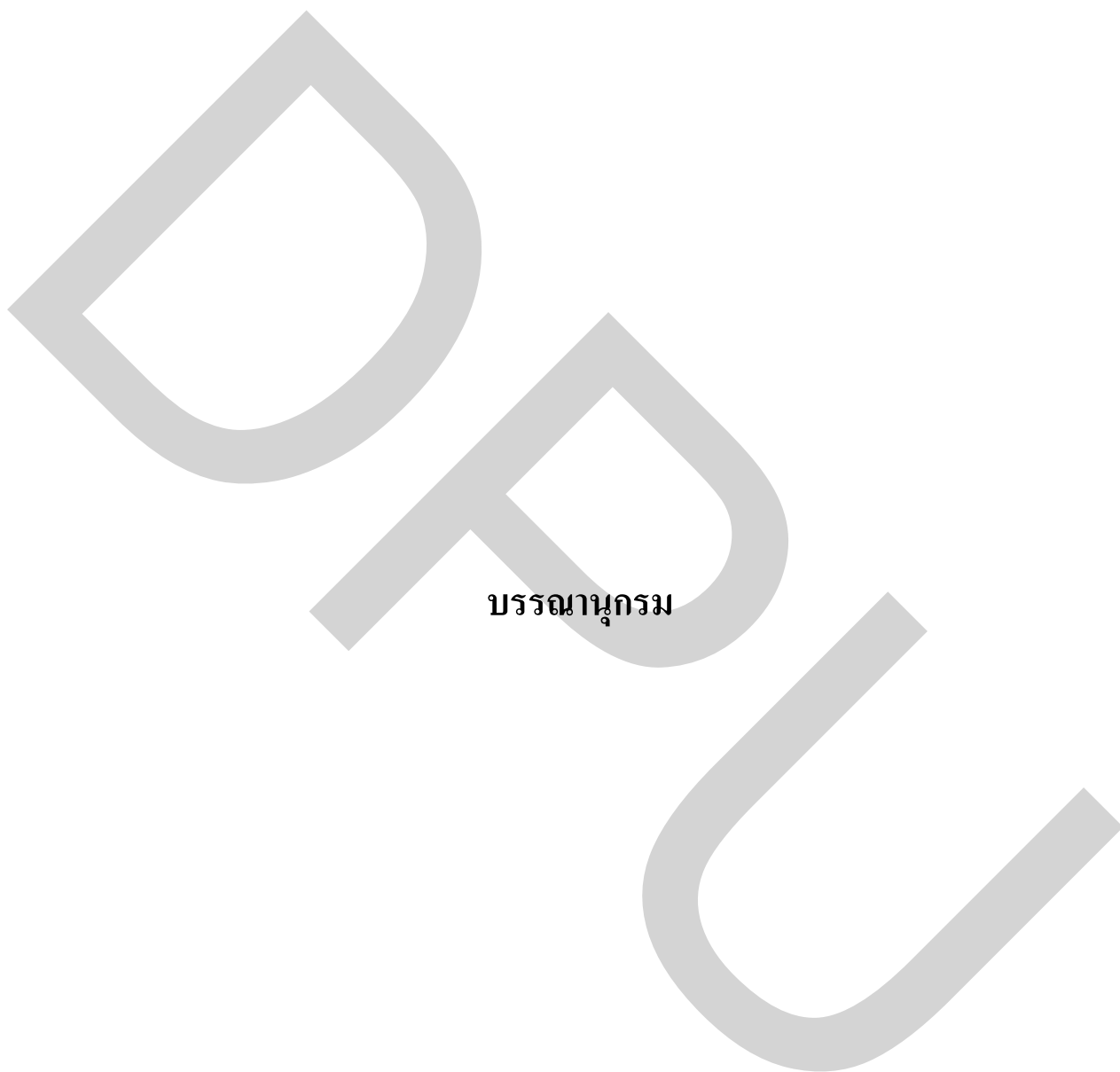
โปรแกรม NS2 ปัจจุบัน version 2.35 ที่เป็น stable version เป็นโปรแกรมที่ต้องใช้ C++ และ TCL อีกทั้งยังเป็นการใช้คำสั่งแบบ Command line ซึ่งต้องใช้เวลาในการศึกษาพอสมควร อีกทั้งตัวโปรแกรมยังไม่สมบูรณ์ในบางโมดูลของงานวิจัย และไม่สนับสนุนในบางเรื่อง ดังนั้นผู้ใช้ต้องควรทำความเข้าใจในการใช้ปลั๊กอินจากภายนอกเพื่อให้ NS2 สามารถทำงานในขอบเขตของงานวิจัยได้

## 5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

5.3.1 ควรจะทำให้ระบบสามารถทำทดลองโดยติดตั้งระบบจริงควบคู่ไปกับการจำลองระบบ เพื่อใช้เปรียบเทียบผลการทดลองว่าสามารถใช้งานได้เหมือนกันหรือไม่

5.3.2 เพิ่มระดับของแบนด์วิดท์ที่ใช้ในการทดสอบให้มากขึ้นเพื่อหาจุดที่ใช้งานได้คุ้มค่ามากยิ่งขึ้น

5.3.3 ไฟล์วิดีโอสามมิติสำหรับการทดสอบควรมีความหลากหลายมากขึ้น ทั้งด้านปริมาณบิตเรต และเข้ารหัสแบบอื่น



บรรณานุกรม

## บรรณานุกรม

### ภาษาไทย

#### สารสนเทศจากสื่ออิเล็กทรอนิกส์

จิตติมา นิตยวรรณ โสภส ชกัตตยาพงษ์ และอุไรรัตน์ พึ่งสุนทรบัตร์. (2550). Network Simulator (NS2). สืบค้นเมื่อ 10 พฤษภาคม 2555.

จาก [wiki.nectec.or.th/ngiwiki/pub/Project/IntelligentNMS/bm-ns2.pdf](http://wiki.nectec.or.th/ngiwiki/pub/Project/IntelligentNMS/bm-ns2.pdf)

### ภาษาต่างประเทศ

#### ARTICLES

- A. Canovas, M. Garcia, J. Lloret and J. Tomas. (2010, September). "3D IPTV Study and Performance". **Evolving Internet (INTERNET) 2010 Second International Conference**. pp 55-60.
- E. Mikoczy, S. Telekom, D. Sivchenko, B. Xu, D. Telekom and Jose I. Moreno. (2008, May). "IPTV Architectures for Cable Systems: An Evolutionary Approach". **IEEE Communications Magazine**. pp 128-135.
- F. Wan, L. Cai and T.A. Gulliver. (2008, November). "A Simple, Two-Level Markovian Traffic Model for IPTV Video Sources". **Global Telecommunications Conference 2008**. p. 1-5.
- Geert Van der Auwera, Prasanth T. David and Martin Reisslein. (2008, September). "Traffic and Quality Characterization of Single-Layer Video Streams Encoded with H.264/MPEG-4 Advanced Video Coding Standard and Scalable Video Coding Extension". **IEEE Transactions on Broadcasting**. p. 698-718.
- Geert Van der Auwera, Prasanth T. David and Martin Reisslein. (2009, September). "Implications of Smoothing on Statistical Multiplexing of H.264/AVC and SVC Video Streams". **IEEE Transactions on Broadcasting**. p. 541-558.

Marcelo Atenas, Sandra Sendra, Miguel Garcia and Jaime Lloret. (2010, December). "IPTV Performance in IEEE 802.11n WLANs". **IEEE GLOBECOM Workshops (GC Wkshps) 2010**. p. 929 - 933

Patrick Seeling, Martin Reisslein, and Beshan Kulapala. (2004, Third Quarter). "Network Performance Evaluation with Frame Size and Quality Traces of Single-Layer and Two-Layer Video: A Tutorial". **IEEE Communications Surveys and Tutorials**. p. 58-78.

Patrick Seeling and Martin Reisslein. (2005, October). "Evaluating multimedia networking mechanisms using video traces". **IEEE Potentials**, p. 21-25.

S. V. Vasudevan, X. Liu, K. Kollmansberger and Cisco Systems Company. (2008, May). "IPTV Architectures for Cable Systems: An Evolutionary Approach". **IEEE Communications Magazine**. pp 102-109.



ภาคผนวก



Source Code TCL สำหรับการทดสอบระบบ Dumbbell สำหรับระบบไอพีที่สามมิติ

```
set ns [new Simulator]
```

```
set fl [open viedo.tr w]
```

```
$ns trace-all $fl
```

```
Agent/UDP set nam_tracevar_ true
```

```
Agent/UDP set tracevar_ true
```

```
set send_node [$ns node]
```

```
set send_node_2 [$ns node]
```

```
set router_node_1 [$ns node]
```

```
set router_node_2 [$ns node]
```

```
set recv_node [$ns node]
```

```
set recv_node_2 [$ns node]
```

```
$ns duplex-link $send_node $router_node_1 100Mb 10ms DropTail
```

```
$ns duplex-link $send_node_2 $router_node_1 100Mb 10ms DropTail
```

```
$ns duplex-link $router_node_1 $router_node_2 40Mb 10ms DropTail
```

```
$ns duplex-link $router_node_2 $recv_node 100Mb 10ms DropTail
```

```
$ns duplex-link $router_node_2 $recv_node_2 100Mb 10ms DropTail
```

```
$ns queue-limit $send_node $router_node_1 500
```

```
$ns queue-limit $send_node_2 $router_node_1 500
```

```
$ns queue-limit $router_node_1 $router_node_2 500
```

```
$ns queue-limit $router_node_2 $recv_node 500
```

```
$ns queue-limit $router_node_2 $recv_node_2 500
```

```
set udp0 [new Agent/UDP]
```

```
$ns attach-agent $send_node $udp0
```

```
$udp0 set fid_ 1
```

```
set udp1 [new Agent/UDP]
$ns attach-agent $send_node_2 $udp1
$udp1 set fid_2

set snk [new Agent/Null]
$ns attach-agent $recv_node $snk
$ns connect $udp0 $snk

set snk2 [new Agent/Null]
$ns attach-agent $recv_node_2 $snk2
$ns connect $udp1 $snk2

set cbr [new Application/Traffic/CBR]
$cbr attach-agent $udp1
$cbr set type_ CBR
$cbr set packet_size_ 1000
$cbr set rate_ 40mb
$cbr set random_ false

set original_file_name TL3D-1.txt
set trace_file_name Trace-1.tr

set original_file_id [open $original_file_name r]
set trace_file_id [open $trace_file_name w]

fconfigure $trace_file_id -encoding binary
fconfigure $trace_file_id -translation binary

set last_time 0
```

```
while {[eof $original_file_id] == 0} {  
    gets $original_file_id current_line  
  
    if {[string length $current_line] == 0 ||  
        [string compare [string index $current_line 0] "#"] == 0} {  
        continue  
    }  
  
    scan $current_line "%d%f" length next_time  
  
    set time [expr 1000*int($next_time-$last_time)]  
  
    set frame [expr int($length)]  
  
    puts -nonewline $trace_file_id [binary format "I" $time $frame]  
  
    if {$next_time > $last_time} {  
        set last_time $next_time  
    }  
}  
  
close $original_file_id  
  
close $trace_file_id  
  
set end_sim_time [expr 1.0*$last_time/1000+0.001]  
  
set trace_file [new Tracefile]  
$trace_file filename $trace_file_name
```

```
set video [new Application/Traffic/Trace]
```

```
$video attach-agent $udp0
```

```
$video attach-tracefile $trace_file
```

```
$ns at 0.0 "$cbr start"
```

```
$ns at 0.5 "$video start"
```

```
$ns at $end_sim_time "$cbr stop"
```

```
$ns at $end_sim_time {
```

```
  finish
```

```
}
```

```
proc finish {} {
```

```
  global ns fl
```

```
  $ns flush-trace
```

```
  close $fl
```

```
  exit 0
```

```
}
```

```
$ns run
```

ข้อมูลแหล่งกำเนิดสัญญาณวิดีโอ Tron HD ที่ความละเอียด 1080P

ขนาดของเฟรม	เวลาที่เริ่ม (ms)
47310	0
7572	42
4883	83
16096	85
5927	125
5037	167
16096	171
9452	209
5458	250
16096	256
5323	292
7631	334
16096	341
5409	375
5445	417
16096	427
10580	459
5553	501
16096	512
5132	542
7588	584
16096	597
5227	626
5817	667
16096	683
10910	709

ข้อมูลแหล่งกำเนิดสัญญาณวิดีโอ Tron 3D ที่ความละเอียด 1080P

ขนาดของเฟรม	เวลาที่เริ่ม (ms)
86059	0
27537	41
5504	83
29376	85
7658	125
6766	166
30020	170
4385	208
7102	250
29492	256
5446	291
10213	333
28160	341
6375	375
7652	417
28300	426
7012	458
7151	500
28124	512
7296	542
7933	583
28248	597
6895	625
7953	667
28104	682
7178	709

ข้อมูลแหล่งกำเนิดสัญญาณวิดีโอ Tangled HD ที่ความละเอียด 1080P

ขนาดของเฟรม	เวลาที่เริ่ม (ms)
37750	0
1039	42
3363	83
16104	85
2173	125
1238	167
16104	171
8462	209
10164	250
16104	256
2268	292
1315	334
16104	341
7904	375
9579	417
16104	427
16879	459
16792	500
16104	512
13442	542
11644	584
16104	597
907	626
986	667
16104	683
1832	709

ข้อมูลแหล่งกำเนิดสัญญาณวิดีโอ Tangled 3D ที่ความละเอียด 1080P

ขนาดของเฟรม	เวลาที่เริ่ม (ms)
71162	0
12996	41
6843	83
35160	85
5695	125
8105	166
35192	170
5482	208
5358	250
35232	256
5551	291
5792	333
35356	341
5825	375
6128	417
35484	426
6348	458
6374	500
35528	512
6352	542
6360	583
35568	597
6235	625
6091	667
35708	682
5913	709



## Source Code AWK สำหรับกรองค่า Packet Loss

```
BEGIN {  
    fsDrops = 0;  
    numFs = 0;  
    fsRecv = 0;  
}  
  
{  
    action = $1;  
    time = $2;  
    from = $3;  
    to = $4;  
    type = $5;  
    pktsize = $6;  
    flow_id = $8;  
    src = $9;  
    dst = $10;  
    seq_no = $11;  
    packet_id = $12;  
  
    if (from==0 && to==2 && action == "+" && type == "udp")  
        numFs++;  
    if (from==0 && to==2 && action == "d" && type == "udp")  
        fsDrops++;  
    if (from==2 && to==3 && action == "d" && type == "udp")  
        fsDrops++;  
    if (from==3 && to==4 && action == "d" && type == "udp")  
        fsDrops++;  
    if (from==3 && to==4 && action == "r" && type == "udp")  
        fsRecv++;  
}
```

```

}

END {
    printf("number of packets sent:%d lost:%d recive:%d\n", numFs, fsDrops, fsRecv++);
}

```

Source Code AWK สำหรับกรองค่า Delay

```

BEGIN {
    for (i in send) {
        send[i] = 0
        sendt[i] = 0
    }
    for (i in recv) {
        recv[i] = 0
        recvt[i] = 0
    }
    delay = 0
    num = 0
    avg_delay = 0
}

{
    if ($2 != "-t") {
        event = $1
        time = $2
        node_id_s = $3
        node_id_d = $4
        pkt_type = $5
        pkt_size = $6
        pkt_attrib = $7
    }
}

```

```

        pkt_id = $12
    }

    if (event == "+" && node_id_s == "0" && pkt_type == "udp") {
        send[pkt_id] = time
        sendt[pkt_id] = 1
    }

    if (event == "r" && node_id_d == "4" && pkt_type == "udp") {
        rcv[pkt_id] = time
        rcvt[pkt_id] = 1
    }
}

END {
    for (i in rcv) {
        if (sendt[i] == 1 && rcvt[i] == 1) {
            delay += rcv[i] - send[i]
            num ++
        }
    }
    if (num != 0) {
        avg_delay = delay / num
    }
    else {
        avg_delay = 0
    }
    print("=> Average delay = ",avg_delay,"s")
    print("          = ",avg_delay*1000,"ms")
}

```

## Source Code AWK สำหรับกรองค่า Jitter

```
BEGIN {
    highest_packet_id = 0;
}

{
    action = $1;
    time = $2;
    from = $3;
    to = $4;
    type = $5;
    pktsize = $6;
    flow_id = $8;
    src = $9;
    dst = $10;
    seq_no = $11;
    packet_id = $12;

    if ( packet_id > highest_packet_id ) {
        highest_packet_id = packet_id;
    }

    if ( action == "+" && from == "0" && type == "udp" ) {
        start_time[packet_id] = time;
    }

    if ( action == "r" && to == "4" && type == "udp" ) {
        end_time[packet_id] = time;
    }

    else {
```

```

        end_time[packet_id] = -1;
    }
}

END {
    jitter1 = jitter2 = tmp_rcv = 0;
    prev_time = delay = prev_delay = 0;
    prev_delay = -1;

    for ( id = 0; id <= highest_packet_id; id++ ) {
        start = start_time[id];
        end = end_time[id];
        if ( start < end ) {
            if (prev_time != 0) {
                delay = end - prev_time;
                e2eDelay = end - start;
                if (delay < 0) {
                    delay = 0;
                }
            }
            if (prev_delay != -1) {
                jitter1 += abs(e2eDelay - prev_e2eDelay);
                jitter2 += abs(delay - prev_delay);
                tmp_rcv++;
            }
            prev_delay = delay;
            prev_e2eDelay = e2eDelay;
        }
        prev_time = end;
    }
}
}

```

```
END {  
    print("One way jitter    =",jitter1*1000/tmp_recv," ms");  
    print("Inter arrival jitter = ",jitter2*1000/tmp_recv," ms");  
}
```

```
function abs(value) {  
    if (value < 0) value = 0-value  
    return value  
}
```

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล

อัฐพร คงถาวร

ประวัติการศึกษา

วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมซอฟต์แวร์และความรู้  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ