

การประเมินสมรรถนะวิดีโอ 3 มิติบนระบบไอพีทีวี Performance Evaluation of 3D Video over IPTV System

อัฐพร คงถาวร (Attaporn Kongtavorn)¹ และชัยพร เขมะภักตะพันธ์ (Chaiyaporn Khemapatapan)²

^{1,2}สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

DestinyWing@hotmail.com, chaiyapon@dpu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการประเมินสมรรถนะของการส่งผ่านข้อมูลวิดีโอ 3 มิติเพื่อการแสดงผ่านระบบไอพีทีวี โดยใช้โปรแกรม NS2 ในการจำลอง ซึ่งมีการใช้ข้อมูลของแหล่งวิดีโอจากแหล่งข้อมูลจริงของภาพยนตร์ 2 เรื่องคือ Tangle และ Tron นำมาหาคุณลักษณะของแพ็คเกจข้อมูลจริงที่ต้องใช้ในการส่งผ่านระบบไอพีทีวี นอกจากนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างวิดีโอ 3 มิติ กับวิดีโอแบบความละเอียดสูง ซึ่งมีความละเอียดเท่ากัน เพื่อวัดอัตราการสูญหายของข้อมูลและอัตราล่าช้าของเวลาผลการทดสอบพบว่าวิดีโอ 3 มิติมีอัตราการสูญหายของข้อมูลและอัตราล่าช้าของเวลามากกว่าแบบ HD และอัตราการสูญหายของข้อมูลจะน้อยลงตามขนาดของบัฟเฟอร์ที่มากขึ้น แต่จะมีอัตราล่าช้าของเวลามากขึ้น

คำสำคัญ: IPTV, ประเมินสมรรถนะ, 3 มิติ, HD

Abstract

This article proposed performance evaluations of 3D video displaying over IPTV system by using NS2 program to simulate. By tracing from real video file of movies: Tangled and Tron, video packets to be simulated is applied to an IPTV system. Moreover, performance comparison between 3D and HD movies at the same resolution is studied in order to evaluate packet loss and delay. The studied results show that 3D video has more packet loss

and delay than HD video. Additionally, the more the buffer size, the less the packet loss is derived. However, packet delay increases as the buffer size increases.

Keyword: IPTV, performance test, 3D, HD

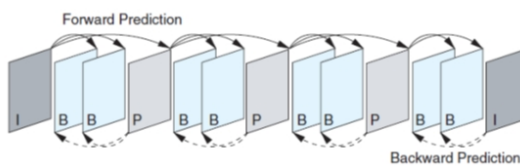
1. บทนำ

Internet Protocol TV (IPTV) เป็นการพัฒนาการให้บริการโทรทัศน์ผ่านทาง IP Protocol โดยมีรูปแบบการให้บริการที่เป็นเอกลักษณ์แตกต่างจากโทรทัศน์ทั่วไป เช่น การดูรายการย้อนหลัง, การเลือกกรายการแบบ Video on Demand และการให้บริการในรูปแบบความละเอียดสูงหรือ High Definition (HD) ซึ่งมีความละเอียดของภาพสูงกว่าแบบทั่วไป Standard Definition (SD) โดยในอนาคต ผู้ให้บริการจะเริ่มมีการให้บริการในรูปแบบ 3D ซึ่งพัฒนามาจากรายการแบบ HD โดยใช้เทคนิค Stereoscopic หรือมุมมองภาพคู่แบบ 2D ที่มีความแตกต่างกันเล็กน้อยหรือภาพซ้อนของสีเพื่อสร้างภาวะความลึกกลางตาของภาพวิดีโอทำให้เกิดเป็นภาพนูนขึ้นมา โดยปัญหาหลักของ 3D ไอพีทีวีคือตัววิดีโอในรูปแบบของ 3D มีขนาดใหญ่กว่า HD จากขนาดของเฟรมที่ใช้ในช่วงสามมิติ ซึ่งโดยปกติแล้ว HD นั้นจะมีขนาดข้อมูลที่ใหญ่มากกว่าวิดีโอทั่วไปอยู่แล้ว ดังนั้นการให้บริการในรูปแบบ 3D นั้นจะมีแนวโน้มที่ปริมาณของกราฟิกที่สูงมากกว่าปกติ และตัวโครงข่ายนั้นจำเป็นที่จะต้องเสียค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น เพื่อรับรองปริมาณกราฟิกที่เพิ่มขึ้นมาจากปกติ

ในการศึกษาวิจัยฉบับนี้จึงได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ระบบ โดยใช้การจำลองโครงข่าย ด้วยโปรแกรม NS2 และ ใช้ video source 3D และ HD ที่ทำการวัดค่าจากวิดีโอจริงมาเป็นตัวทดสอบ เพื่อศึกษาและประเมินสมรรถนะของระบบ ในสภาวะการใช้งานที่มีข้อจำกัด ทั้งนี้ในหัวข้อถัดไปจะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากนั้นจะกล่าวถึงรูปแบบโครงข่ายที่ใช้ในการจำลอง และรูปแบบของ video source ที่ใช้ทดสอบและข้อจำกัดต่างๆ ส่วนผลการทดลองและการสรุปผลนั้นจะกล่าวถึงเป็นลำดับสุดท้าย

2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในบทความนี้ได้ศึกษาและวิเคราะห์สถาปัตยกรรมของ IPTV ตามบทความ [1] และ [2] และนำมาใช้ในการจำลองระบบ IPTV โดยใช้ video trace ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ของแพ็กเก็ตข้อมูลการส่ง IPTV ของวิดีโอไฟล์ โดยการศึกษาได้นำข้อมูล trace file ตามที่กำหนดไว้ใน ITU H.264 แสดงตามภาพที่ 1 มาใช้



ภาพที่ 1: H.264 Frame Pattern [3]

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

ภาพที่ 2: Trace File จากวิดีโอ 'From Mars to China' [4]

ทางด้านแบนด์วิธ โดยหาอัตราการสูญหายของข้อมูล (Packet Loss Rate) และอัตราการล่าช้าของเวลา (Delay) ตามการเปลี่ยนแปลงของขนาดบัฟเฟอร์และปริมาณของเบ็กราวนักราฟฟิกในระบบที่จำลองไว้

Patrick Seeling และ Martin Reisslein [3] ได้กล่าวถึงการนำวิดีโอที่มีการเข้ารหัสแบบ H.264 มาทำเป็น Trace File เพื่อการจำลองระบบทดสอบ โดยใช้การเรียงลำดับประเภทของเฟรมสามชนิดของ H.264 นั่นคือ I-Frame, P-Frame และ B-Frame ตามรูปที่ 1 โดยการเก็บข้อมูลเป็น Text File โดยมีข้อมูลของเฟรม, ประเภทของเฟรม, เวลาที่ทำการส่ง และข้อมูลประเภทอื่นๆ ต่อมา Martin Reisslein ได้ร่วมกับ Gert Van der Auwera ได้ใช้ Trace File ประเภทเดียวกันสำหรับการทดสอบระบบจำลองโครงข่าย และรวบรวม Trace File ออกมาเป็นงานวิจัยโดยเปิด Video Trace Library สำหรับให้ผู้ต้องการได้ลองนำ Trace File ไปใช้ในการจำลองระบบ โดยรูปแบบของ Trace File ได้ถูกแสดงไว้ตามภาพที่ 2 ซึ่งบทความที่ [4] และ [5] นั้นได้นำ Trace File เหล่านี้ไปใช้ในการจำลองระบบทดสอบโดย NS2

3. แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

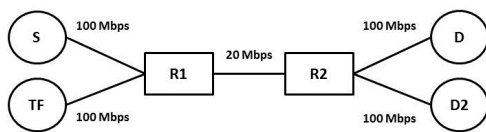
การจำลองการทำงานนั้นจะอาศัยการจำลองด้วยโปรแกรม NS2 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองระบบโครงข่ายโดยทั่วไป อีกทั้งยังเป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์มากในการจำลองการเลือกเส้นทางในการขนส่งแพ็กเก็ตจำลองการทำงาน ของ Multicast Protocol เช่น UDP, TCP และยังสามารถในการแสดงรายละเอียดของ การจราจรของโครงข่าย ออกมาในรูปแบบของกราฟฟิก

ในการวัดสมรรถนะของโครงข่ายที่กำหนดไว้ video source 4 แบบได้ถูกนำมาใช้ทดสอบนั่นคือ Tangled HD, Tangled 3D, Tron HD และ Tron 3D โดยค่าลักษณะต่างๆมีค่าตามตารางที่ 1

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

ตารางที่ 1: ค่าคุณลักษณะของวิดีโอ

จากตารางที่ 1 จะสังเกตได้ว่า วิดีโอ Tron ทั้งสองแบบนั้นมีอัตราข้อมูลไม่ต่างกันมาก เนื่องจากจาก 3 มิติในภาพยนตร์เรื่องนี้มีน้อยหากเปรียบเทียบกับแบบธรรมดาทำให้อัตราการส่งจะมีสูงในช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้น และหากเปรียบเทียบเป็นค่าเฉลี่ยทั้งวิดีโอจะมีค่าไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งจะแตกต่างจาก Tangled ที่มีค่าความแตกต่างที่ชัดเจน เนื่องจากวิดีโอมีปริมาณเฟรมสามมิตินอกกว่า



ภาพที่ 3: แบบจำลองโครงข่ายของระบบ

แบบจำลองของโครงข่ายได้ถูกแสดงไว้ตามภาพที่ 3 ซึ่ง Topology ที่ใช้คือรูปแบบ dumbbell ซึ่งเป็นรูปแบบพื้นฐานสำหรับการจำลองระบบ ทำให้สามารถเปรียบเทียบผลการทดลองของวิดีโอหลายๆตัวได้อย่างชัดเจน โดย S เป็นแทนสำหรับวิดีโอเซอเวอ์และเชื่อมต่อกับเราเตอร์ R1 ด้วย 100 Mbps link ซึ่งวิดีโอสตรีมนั้นจะถูกส่งผ่าน เราเตอร์ R1 และ R2 ไปยังจุดหมาย D โดยกำหนดรูปแบบทราฟฟิกให้เป็นการเข้ารหัสแบบ 1000 byte UDP ต่อหนึ่งแพ็กเก็ต และ TF แทนที่ด้วยแบ็คกราวด์ทราฟฟิก เพื่อใช้ในการจำลองแบบมีข้อมูลชนิดอื่นอยู่โครงข่ายนอกจากวิดีโอที่ใช้ทดสอบ โดยจุดหมายในการส่งนั้นคือ D2 โดย

link ระหว่าง R1 และ R2 จะเป็นจุดคอขวดสำหรับการตรวจสอบและถูกกำหนดขนาดให้ มี 20 Mbps ตามขีดจำกัดของการส่งข้อมูลโดยสายทองแดงของสายโทรศัพท์ ซึ่งขนาดของบัฟเฟอร์ในส่วนนี้จะถูกกำหนดให้มีขนาดตามเราเตอร์ของจริง 500 MB, 1GB, 2GB, 4GB และ 8GB เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงและตัวเราเตอร์นั้นจะใช้การควบคุมการเข้าคิวแบบ Drop-Tail โดยวิดีโอที่ใช้จะทำการทดสอบ 30 ครั้งครั้งละ 3 นาที ซึ่งแต่ละวิดีโอจะทำการสุ่มช่วงที่นำมาใช้ทดสอบเพื่อหลีกเลี่ยงค่าที่เหมือนกัน

4. ผลการทดสอบ

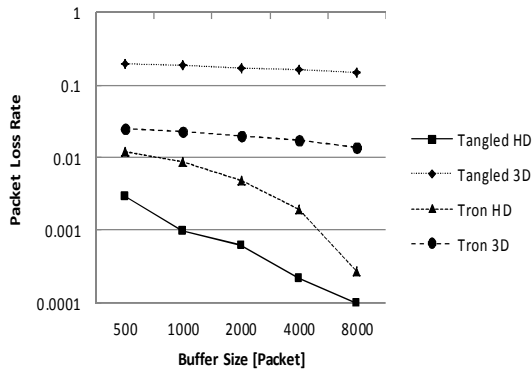
ผลการทดสอบจะแบ่งสภาพแวดล้อมของโครงข่ายเป็นสองแบบ คือแบบที่ไม่มีโหลดทั่วไป (background traffic) และแบบที่มีโหลดทั่วไปประมาณ 25% ทั้งนี้ โหลดทั่วไปคือโหลดที่เกิดจากทราฟฟิกประเภท TCP นั้นเอง ซึ่งจะแสดงผลไว้ตามกราฟในส่วนถัดไป

4.1 Packet Loss

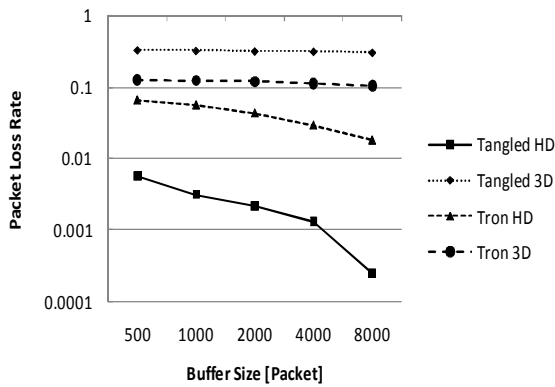
จากภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่าวิดีโอตัวอย่างจะมีอัตราการสูญหายของข้อมูลที่น้อยลงเมื่อขนาดของบัฟเฟอร์ที่กำหนดไว้เพิ่มขึ้น โดยวิดีโอแบบ 3D ทั้งสองตัวจะมีอัตราการสูญหายของข้อมูลลดลงไม่มากนักแม้ว่าขนาดของบัฟเฟอร์จะเพิ่มขึ้นมากก็ตาม ซึ่งสังเกตได้จากภาพที่ 7 และ 9 ที่ได้เปรียบเทียบไว้ โดยสภาพแท่งกราฟแทบจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แม้ว่าขนาดของบัฟเฟอร์จะเพิ่มขึ้นทุกๆสองเท่าก็ตาม ในขณะที่วิดีโอแบบ HD ทั้งสองตัวนั้นจะลดลงอย่างเห็นได้ชัดเจน

กรณีที่มีการเพิ่มโหลดทั่วไปเข้าไปในระบบนั้นโครงข่ายของจริงนั้นตัวระบบไม่ได้มีเพียงการส่งข้อมูลของวิดีโอเพียงอย่างเดียวแต่จะมีข้อมูลในการใช้งานชนิดอื่นถูกส่งไปมาตลอดเวลาที่ใช้ระบบ ซึ่งจะกำหนดให้มีปริมาณ 25% ของแบนด์วิธทั้งหมดนั้น โดยเมื่อเพิ่มโหลดเข้ามาในระบบ 25% อัตราการสูญหายของข้อมูลของวิดีโอทั้งหมดจะเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัดจากการเปรียบเทียบกราฟจากภาพที่ 4 กับ

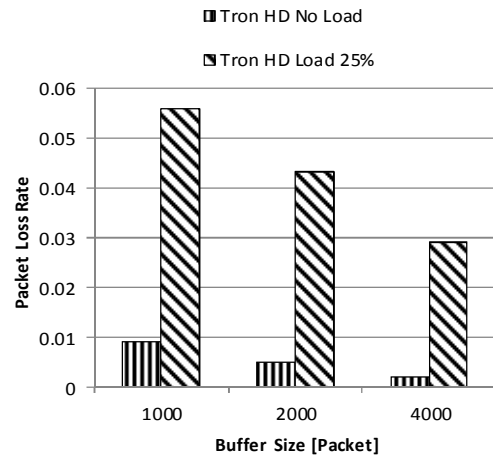
ภาพที่ 5 โดยเมื่อเทียบกับกราฟจากภาพที่ 6-9 จะเห็นได้ว่าปริมาณอัตราการสูญหายของข้อมูลของวิดีโอทั้งหมดจะเพิ่มขึ้นมากกว่าเท่าตัวเมื่อเทียบกับแบบไม่มีโหลด แต่วิดีโอ 3D ทั้งสองก็ยังมีรูปแบบของกราฟที่ไม่เปลี่ยนแปลงไป แม้จะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดของบัฟเฟอร์และการเพิ่มเข้ามาของโหลดในระบบก็ตาม



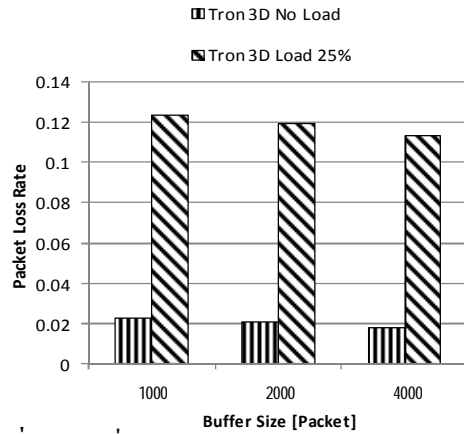
ภาพที่ 4 ค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate แบบไม่มีโหลดทั่วไป



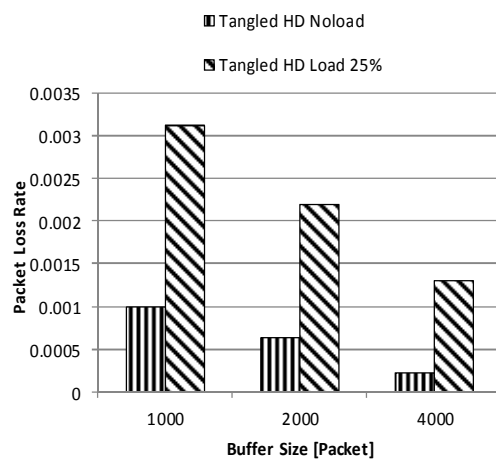
ภาพที่ 5 ค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate แบบมีโหลดทั่วไป 25%



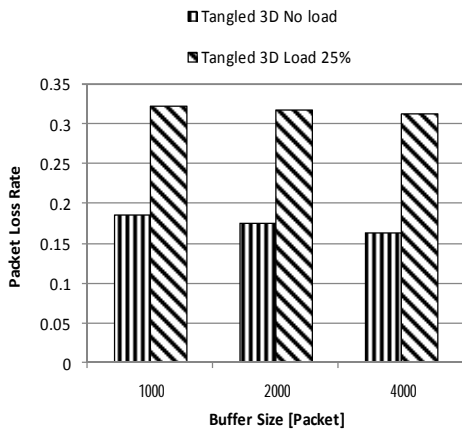
ภาพที่ 6 ค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate สำหรับ Tron HD



ภาพที่ 7 ค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate สำหรับ Tron 3D



ภาพที่ 8 ค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate สำหรับ Tangled HD



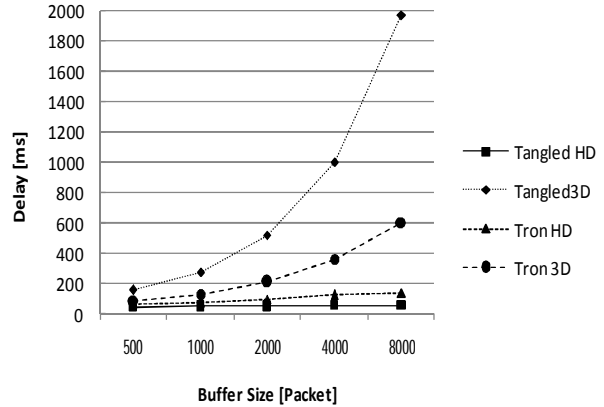
ภาพที่ 9 ค่าเฉลี่ย Packet Loss Rate สำหรับ Tangled 3D

4.2 Delay

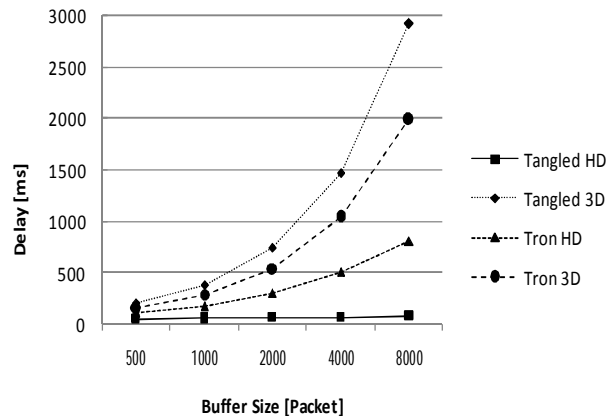
จากภาพที่ 10 อัตราล่าช้าของเวลาสำหรับ Tron นั้นจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อขนาดของบัฟเฟอร์ที่กำหนดไว้มากขึ้น โดยอัตราล่าช้าของเวลาของวิดีโอทั้งแบบ HD และ 3D นั้นมีอัตราล่าช้าของเวลาที่แตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัดเจน และจากรูปที่ 12 จะสังเกตเห็นได้ว่าความแตกต่างของอัตราล่าช้าของเวลาจะมากขึ้นเมื่อขนาดของบัฟเฟอร์มีขนาดมากขึ้น สำหรับ Tangled แบบ 3D จะมีอัตราล่าช้าของเวลาสูงขึ้นเมื่อขนาดของบัฟเฟอร์มากขึ้นเช่นเดียวกัน แต่แบบ HD นั้นจะเพิ่มขึ้นในปริมาณที่น้อยมาก ซึ่งความแตกต่างระหว่าง HD และ 3D จะมีค่าแตกต่างกันอย่างมากตามรูปที่ 13

โดยเมื่อเพิ่มโหลดทั่วไปเข้ามาในระบบ 25% จะทำให้อัตราล่าช้าของเวลาของวิดีโอทั้งหมดสูงขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเจน โดยอัตราล่าช้าของเวลาของ Tron ทั้งสองแบบนั้น ความแตกต่างอัตราล่าช้าของเวลาที่เพิ่มขึ้นในตอนแรกจะมีปริมาณไม่มากนัก แต่เมื่อขนาดของบัฟเฟอร์เพิ่มมากขึ้น ความแตกต่างระหว่างแบบไม่มี โหลด และแบบมี โหลดจะมากขึ้นหลายเท่าตัวตามภาพที่ 12 สำหรับ Tangled นั้นแบบ HD จะมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไม่มากนัก โดยปริมาณจะเพิ่มขึ้นระดับที่แทบไม่เห็นความแตกต่างแม้จะขนาดของบัฟเฟอร์ที่มากขึ้น และสำหรับแบบ 3D นั้นจะ

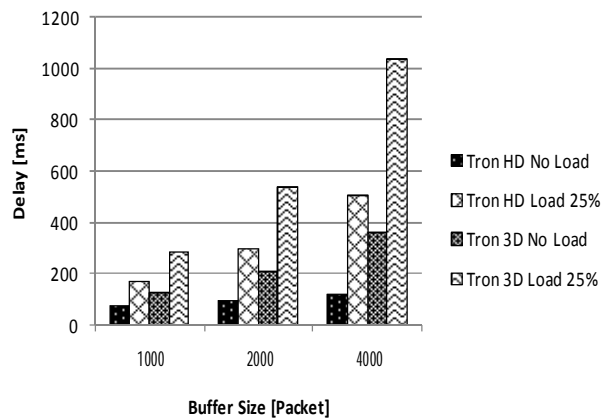
แสดงค่าความแตกต่างออกมาได้อย่างชัดเจนมากกว่า โดยเมื่อขนาดของบัฟเฟอร์มากขึ้น ความแตกต่างของจะมากขึ้นเช่นเดียวกับกับ Tron 3D แต่ในปริมาณที่มากกว่าเท่านั้น



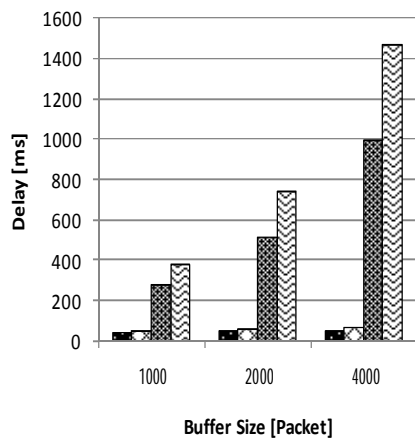
ภาพที่ 10 ค่าเฉลี่ย Delay แบบไม่มีโหลดทั่วไป



ภาพที่ 11: ค่าเฉลี่ย Delay แบบมีโหลดทั่วไป 25%



ภาพที่ 12: ค่าเฉลี่ย Delay สำหรับ Tron



ภาพที่ 13: ค่าเฉลี่ย Delay สำหรับ Tangled

5. สรุปผล

จากผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มขนาดของบัฟเฟอร์จะส่งผลให้อัตราการสูญหายของข้อมูลน้อยลง และเมื่อเพิ่มโหนดทั่วไปเข้ามาในระบบ อัตราการสูญหายของข้อมูลจะมีปริมาณเพิ่มขึ้นมากกว่าเท่าตัว ในขณะที่อัตราล่าช้าของเวลาจะมีผลกระทบที่ตรงกันข้ามกับอัตราการสูญหายของข้อมูล โดยเมื่อบัฟเฟอร์มีขนาดมากขึ้น อัตราล่าช้าของเวลาจะมีขนาดมากขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของภาพยนตร์ทั้งสองแล้ว วิดีโอ 3D จะมีอัตราการเพิ่มของอัตราล่าช้าของเวลามากกว่าวิดีโอแบบ HD และเมื่อเพิ่มโหนดทั่วไปเข้าไปในระบบจะสามารถเห็นความแตกต่างได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยเมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะที่ได้จากวิดีโอ แบบ HD และ 3D แล้ว Tron แบบ HD จะมีอัตราการสูญหายของข้อมูลใกล้เคียงกันมากกว่า Tangled เช่นเดียวกับอัตราล่าช้าของเวลาที่จะมีค่าใกล้เคียงกันมากกว่า ในขณะที่ตัวอย่างจาก Tangled จะมีอัตราการสูญหายของข้อมูลแบบ 3D สูงกว่าแบบ HD รวมไปถึงอัตราล่าช้าของเวลาที่มีความแตกต่างอย่างมาก โดยเมื่อดูจากอัตราการส่งข้อมูลของ Tron ทั้งสองแบบนี้จะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกันมากกว่าเมื่อเทียบกับ Tangled นอกจากนี้ยังพบว่าวิดีโอที่เป็น 3 มิติ นั้นมีสมรรถนะที่ใกล้เคียงแบบ HD มากนัก ถ้าจาก 3 มิติที่

ปรากฏในภาพยนตร์มีน้อย แต่หากปริมาณข้อมูลที่เกิดจากความแตกต่างของช่วง 3 มิติ มีจำนวนมากก็จะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของวิดีโอตามจำนวนข้อมูลที่มากขึ้น โดยเมื่อสังเกตจากสมรรถนะที่วัดได้ วิดีโอ 3 มิติที่มีสมรรถนะต่ำเกินกว่าจะนำไปให้บริการจริงได้ ด้วยขนาดความละเอียด 1080P อาจจะไม่จำเป็นมากนัก อาจจะทำให้ลดความละเอียดของภาพลง หรือเพิ่มขีดจำกัดของแบนด์วิธให้มากขึ้น เพื่อให้ผลการทดสอบที่ดีขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. V. Vasudevan, X. Liu, K. Kollmansberger and Cisco Systems, "IPTV Architectures for Cable Systems:An Evolutionary Approach", *IEEE Communications Magazine*, pp. 102-109, May 2008.
- [2] E. Mikoczy, S. Telekom, D. Sivchenko and B. Xu, D. Telekom, Jose I. Moreno, "IPTV Architectures for Cable Systems:An Evolutionary Approach", *IEEE Communications Magazine*, pp. 128-135, May 2008.
- [3] P. Seeling and M. Reisslein, "Evaluating multimedia networking mechanisms using video traces", *IEEE Potentials*, pp 21-25, Oct-Nov 2005.
- [4] F. Wan, L. Cai and T.A. Gulliver, "A Simple, Two-Level Markovian Traffic Model for IPTV Video Sources", *Global Telecommunications Conference 2008*, pp. 1-5, Nov 30 2008-Dec 4 2008.
- [5] A. Canovas, M. Garcia, J. Lloret, J. Tomás, "3D IPTV Study and Performance", *Evolving Internet (INTERNET) 2010 Second International Conference*, pp. 55-60, 20-25 Sep 2010.
- [6] M. Atenas, S. Sendra, M. Garcia, J. Lloret, "IPTV Performance in IEEE 802.11n WLANs", *GLOBECOM Workshops (GC Workshops), 2010 IEEE*, 6-10 Dec. 2010, pp. 929 – 933.
- [7] จิตติมา นิตยารรณ, โสภส ชัคคตราชยาภรณ์ และ อุไรรัตน์ พึ่งสุนทรรัตน์, "Network Simulator (NS2)",

- (National Electronics and Computer Technology Center: NECTEC).
- [8] G. V. Auwera and M. Reisslein, "Implications of Smoothing on Statistical Multiplexing of H.264/AVC and SVC Video Streams", *IEEE Transactions on Broadcasting*, pp. 541-558, September 2009.
- [9] G. V. Auwera, P.T. David, and M. Reisslein, "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*, pp. 698-718, September 2008.
- [10] P. Seeling, M. Reisslein, and B. Kulapala, "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, Third Quarter 2004.