การประเมินการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมออนไลน์ในสภาพแวดล้อมแบนด์วิดท์ที่จำกัด

นางสาวกนกวรรณ ขวัญทอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคมและคอมพิวเตอร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
ปีการศึกษา 2565

TRAFFIC EVALUATION OF ONLINE-STREAMING APPLICATIONS ON LIMITED BANDWIDTH ENVIRONMENT

KANOKWAN KHWANTHONG

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the
Degree of Master of Engineering in Telecommunication and Computer Engineering
Suranaree University of Technology
Academic Year 2022

การประเมินการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมออนไลน์ในสภาพแวดล้อมแบนด์วิดท์ที่จำกัด

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....

(ผศ. ดร.ทิพพร เลาหะกังวาลวิทย์)
ประธานกรรมการ

.....

(ผศ. ดร.ชิตพงศ์ เวชไธสงค์)
กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

.....

(ผศ. ดร.เศรษฐวิทย์ ภูฉายา)
กรรมการ

.....

(รศ. ดร.ฉัตรชัย โชติษฐยางกูร)
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและประกันคุณภาพ

.....

(รศ. ดร.พรศิริ จงกล)
คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

กนกวรรณ ขวัญทอง: การประเมินการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมออนไลน์ในสภาพแวดล้อมแบนด์วิดท์ที่จำกัด (TRAFFIC EVALUATION OF ONLINE-STREAMING APPLICATIONS ON LIMITED BANDWIDTH ENVIRONMENT) อาจารย์ที่ปรึกษา: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชิตพงศ์ เวชไธสงค์, 92 หน้า.

คำสำคัญ: วิดีโอสตรีมมิ่ง/การจัดการแบนด์วิดท์/ประสบการณ์ผู้ใช้งาน/คุณภาพบริการของเครือข่าย/คะแนนความคิดเห็นเฉลี่ย/ความละเอียด

การเข้ามาของโลกอินเทอร์เน็ต ทำให้บริการวิดีโอสตรีมมิ่งได้รับความนิยมขึ้นเรื่อย ๆ ประกอบกับความเร็วของอินเทอร์เน็ตที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ผู้ชมสามารถเข้าถึงเนื้อหาและรับชมได้ในทุกที่ทุกเวลา และสามารถเลือกรับชมในรายการที่สนใจและต้องการได้ด้วยตัวเอง ในปัจจุบันการสตรีมวิดีโอเป็นบริการอินเทอร์เน็ตที่ผู้ใช้ใช้แบนด์วิดท์จำนวนมากที่สุด แต่ปัญหาคือแบนด์วิดท์เป็นทรัพยากรที่จำกัด ซึ่งถ้าในเครือข่ายมีแบนด์วิดท์ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน หรือเหลือแบนด์วิดท์ที่จะใช้งานในขณะนั้นน้อยมาก หมายถึงมีความกว้างของช่องทางในการรับ-ส่งข้อมูลแคบ เมื่อมีข้อมูลในการส่งเยอะขึ้น จะเกิดความแออัดในเครือข่าย ทำให้อัตราการส่งข้อมูลต่ำลง ซึ่งอาจประสบปัญหาบัฟเฟอร์ วิดีโอกระตุก ความละเอียดและคุณภาพการแสดงวิดีโอลดลง ภาพวิดีโอไม่ราบรื่น และล่าช้ามาก การใช้งานบริการต่าง ๆ ใช้ระยะเวลานานในการเข้าถึง หรืออาจเข้าใช้งานไม่ได้เลย เพื่อบริหารจัดการการใช้งานให้ดี และส่งเสริมการจัดการทรัพยากรแบนด์วิดท์ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดการประเมินการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมออนไลน์ในสภาพแวดล้อมแบนด์วิดท์ที่จำกัด โดยศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบกับเครือข่ายต่อการใช้งาน แสดงผลการเปรียบเทียบและประเมินการรับส่งข้อมูลของผู้ให้บริการสตรีมมิ่งยอดนิยมในประเทศไทยสามแพลตฟอร์ม คือ ดิสนีย์พลัส เน็ตฟลิกซ์ และยูทูบ แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการควบคุมแบนด์วิดท์สำหรับการรับส่งข้อมูล รวมถึงวิเคราะห์ความละเอียดและคุณภาพวิดีโอ โดยพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่ผู้ใช้สามารถดูวิดีโอออนไลน์ในสภาพแวดล้อมที่จำกัดแบนด์วิดท์ ในความละเอียดหรือคุณภาพของวิดีโอที่ผู้ใช้จะยังสามารถรับชมได้ และวัดระดับความพึงพอใจโดยรวมของผู้ใช้หรือคุณภาพของประสบการณ์กับบริการเครือข่ายสำหรับวิดีโอแบบเรียลไทม์ ผลลัพธ์งานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการจัดการทรัพยากรแบนด์วิดท์ที่มีอยู่เพื่อประโยชน์สูงสุดต่อผู้ใช้ ช่วยให้มีแบนด์วิดท์เพียงพอสำหรับใช้งานบริการอื่น ๆ ด้วย

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม ลายมือชื่อนักศึกษา กนกวรรณ ขวัญทอง

ปีการศึกษา 2565 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

KANOKWAN KHWANTHONG: TRAFFIC EVALUATION OF ONLINE-STREAMING APPLICATIONS ON LIMITED BANDWIDTH ENVIRONMENT. THESIS ADVISOR: ASST. PROF. CHITAPONG WECHTAISONG, Ph.D., 92 PP.

Keyword: Video streaming/Bandwidth management/Quality of experience/Quality of service/Mean opinion score/Resolution

The entry of the Internet world, video streaming services have grown in popularity, as have faster internet speeds. This allows users to access content and watch any show, anywhere at any time. Users can select the programs that they are interested in and want to watch on their own. Video streaming is currently the most bandwidth-intensive Internet service. It's a problem because bandwidth is a limited resource. If there isn't enough available bandwidth on the network. This refers to a narrow channel width for transmitting and receiving data. When data transmission is increased, it produces network congestion and lower data rates. This may result in buffering and lagging as well as a reduction in video resolution and quality. The service may take a long time to load or may not work at all. To effectively control the use of bandwidth resources. The researchers proposed the idea of analyzing several elements that affect network utilization to evaluate the traffic of online streaming apps in bandwidth-constrained scenarios. Compare and evaluate the traffic of three popular streaming services in Thailand: Disney Plus, Netflix, and YouTube, to demonstrate how bandwidth control affects traffic. It also considers video resolution and quality, as well as the potential that users will be able to watch online video in a bandwidth-constrained environment. It assesses overall customer satisfaction or quality of experience with real-time video network services. The findings of this study will serve as a guide for managing available bandwidth resources to the user's advantage. This guarantees that enough bandwidth is available to operate other services.

School of Telecommunication Engineering Student's Signature kanokwan khwanthong

Academic Year 2022 Advisor's Signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และความช่วยเหลืออย่างดียิ่ง ทั้งในด้านทางวิชาการ การดำเนินงานวิจัย และค่อยให้คำปรึกษา รวมทั้งเป็นกำลังใจให้เสมอมาจากบุคคลต่างๆ ดังนี้

ขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชิตพงศ์ เวชไธสงค์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้ความรู้ในด้านต่างๆ ให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการดำเนินงานวิจัย การแก้ไขปัญหา จนสามารถปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และคอยให้กำลังใจ ด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดี จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ทุกท่าน ที่ได้ถ่ายทอดความรู้ทางด้านวิชาการ ให้คำแนะนำในการดำเนินงานต่างๆ แนวทางการแก้ไข และข้อคิดในการศึกษา

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีที่ให้การสนับสนุนทุนกิตติบัณฑิตทุนการศึกษา

ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องบัณฑิตศึกษาทุกท่านที่คอยให้คำแนะนำความรู้ แนวทางในการแก้ไขและช่วยเหลือในด้านต่างๆ และขอบคุณคุณวีรินภ์ อาจหาญ เลขานุการสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม ที่ให้คำปรึกษาและดำเนินการด้านเอกสารตลอดระยะเวลาการศึกษา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ที่รวมถึงญาติพี่น้องของผู้วิจัย ทุกท่านที่ให้การอบรมเลี้ยงดู และให้การสนับสนุนทางการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ ผู้วิจัยหวังว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย สำหรับข้อบกพร่องต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษาเพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

กนกวรรณ ขวัญทอง

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....ก

บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....ข

กิตติกรรมประกาศ.....ค

สารบัญ.....ง

สารบัญตาราง.....ช

สารบัญรูป.....ฌ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญ..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 สมมติฐานของการวิจัย..... 3

1.4 ขอบเขตของการวิจัย..... 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 4

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย..... 4

1.7 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์..... 4

2 ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 6

2.1 กล่าวนำ..... 6

2.2 ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์..... 6

2.2.1 เครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer network)..... 6

2.2.2 องค์ประกอบพื้นฐานของเครือข่าย..... 6

2.2.3 ประเภทของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบ่งตามขนาดทางภูมิศาสตร์..... 7

2.2.3.1 เครือข่ายท้องถิ่นหรือเครือข่ายแลน (Local Area Network : LAN).... 8

2.2.3.2 เครือข่ายระดับเมือง หรือเครือข่ายแมน (Metropolitan Area Network : MAN)..... 8

2.2.3.3 ระบบเครือข่ายบริเวณกว้าง หรือเครือข่ายแวน (Wide Area Network : WAN).....9

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3 ชุดโปรโตคอล TCP/IP 9
2.4 แบนด์วิดท์ (Bandwidth) 12
2.4.1 ความหมายของแบนด์วิดท์ 12
2.4.2 การจัดการแบนด์วิดท์ (Bandwidth Management) 12
2.4.2.1 เครื่องมือจำกัดแบนวิดท์ WonderShaper 14
2.5 ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux) 15
2.6 การสตรีมวิดีโอ (Video streaming) 16
2.7 ความละเอียดของวิดีโอ (Video Resolution) และอัตราสัดส่วนภาพ (Aspect Ratio) 17
2.8 คุณภาพการให้บริการ (Quality of Service) 20
2.9 คุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (Quality of Experience) 23
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 24
3 วิธีดำเนินการวิจัย 34
3.1 กล่าวนำ 34
3.2 รูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ 34
3.3 การรวบรวมข้อมูล 36
3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 37
3.4.1 การดักจับแพ็กเก็ต (Packet Capturing) 37
3.4.2 การกรองแพ็กเก็ต (Packet Filtering) 37
3.4.3 การวิเคราะห์คุณภาพบริการของเครือข่าย (QoS) 42
3.4.4 การประเมินคุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (QoE) 42
3.5 การพิจารณาบริการเครือข่ายแก่ผู้ใช้งาน 42
3.6 ตัวชี้วัดคุณภาพการให้บริการ (QoS) 43
3.6.1 ปริมาณงาน (Throughput) 43
3.6.2 ความล่าช้า (Delay) 44
3.6.3 การสูญหายของแพ็กเก็ต (Packet Loss) 44
3.6.4 ความกระวนกระวาย (Jitter) 45
3.7 ตัวชี้วัดคุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (QoE) 46

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7.1 คะแนนความคิดเห็นเฉลี่ย (Mean Opinion Score: MOS)....46
4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล 47
4.1 กล่าวนำฉ 47
4.2 ผลการทดลองข้อมูลโปรโตคอลจากการดักจับแพ็กเก็ตทั้ง 3 เว็บไซต์ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และการอภิปรายผลการทดลอง 47
4.3 ผลการทดลองอัตราการดาวน์โหลดจากการดักจับแพ็กเก็ตทั้ง 3 เว็บไซต์ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ และการอภิปรายผลการทดลอง.... 50
4.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบพารามิเตอร์ QoS กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ และการอภิปรายผลการทดลอง.... 54
4.4.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบพารามิเตอร์ QoS ของเว็บไซต์ Disney+ กรณีไม่ จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ และการอภิปรายผลการทดลอง 54
4.4.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบพารามิเตอร์ QoS ของเว็บไซต์ Netflix กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ และการอภิปรายผลการทดลอง 55
4.4.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบพารามิเตอร์ QoS ของเว็บไซต์ YouTube กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ และการอภิปรายผลการทดลอง 56
4.5 ผลการทดลองความละเอียดวิดีโอทั้ง 3 เว็บไซต์ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ และการอภิปรายผลการทดลอง.... 57
4.6 ผลการทดลองการประเมิน QoE ด้วยคะแนน MOS ทั้ง 3 เว็บไซต์ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ และการอภิปรายผลการทดลอง 59
5 สรุปและข้อเสนอแนะ 62
5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์ 62
5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาในอนาคต 63
รายการอ้างอิง.... 73
ภาคผนวก.... 65
ประวัติผู้เขียน.... 92

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงการเปรียบเทียบชั้นโปรโตคอลระหว่างแบบอ้างอิง OSI และ TCP/IP 10
2.2 ตารางแสดงความละเอียดของวิดีโอในอัตราส่วนภาพ 16:9 ต่างๆ 19
2.3 เปรียบเทียบเครื่องมือตรวจสอบ วิเคราะห์และศึกษาคุณภาพการให้บริการเครือข่าย..... 22
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 25
3.1 แสดง Public IP address ที่ได้รับมาจากการดักจับแพ็คเก็ตการสตรีมวิดีโอของ Disney+ 39
3.2 แสดง Public IP address ที่ได้รับมาจากการดักจับแพ็คเก็ตการสตรีมวิดีโอของ Netflix..... 40
3.3 แสดง Public IP address ที่ได้รับมาจากการดักจับแพ็คเก็ตการสตรีมวิดีโอของ YouTube 41
3.4 แสดงค่าดัชนีและหมวดหมู่ปริมาณงาน 43
3.5 แสดงค่าดัชนีและหมวดหมู่ความล่าช้า 44
3.6 แสดงค่าดัชนีและหมวดหมู่การสูญหายของแพ็กเก็ต 45
3.7 แสดงค่าดัชนีและหมวดหมู่ความกระวนกระวาย 45
3.8 แสดงคะแนนความคิดเห็นเฉลี่ยเทียบกับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน..... 46
4.1 แสดงข้อมูลแพ็กเก็ตโปรโตคอลของอัตราการดาวน์โหลดที่ได้รับจากการดักจับแพ็กเก็ตของเว็บไซต์ Disney+ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ 48
4.2 แสดงข้อมูลแพ็กเก็ตโปรโตคอลของอัตราการดาวน์โหลดที่ได้รับจากการดักจับแพ็กเก็ตของเว็บไซต์ Netflix กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์..... 49
4.3 แสดงข้อมูลแพ็กเก็ตโปรโตคอลของอัตราการดาวน์โหลดที่ได้รับจากการดักจับแพ็กเก็ตของเว็บไซต์ YouTube กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์..... 50
4.4 แสดงการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ QoS บนเว็บไซต์ Disney+ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ 55
4.5 แสดงการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ QoS บนเว็บไซต์ Netflix กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ 62

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.6 แสดงการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ QoS บนเว็บไซต์ YouTube กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ 56
4.7 แสดงอัตราการดาวน์โหลดเฉลี่ยในกรณีไม่จำกัดแบนวิดท์และกรณีจำกัดแบนวิดท์ 57
4.8 สรุปผลการควบคุมแบนด์วิดท์ที่เหมาะกับการเข้าชมเว็บไซต์ Disney+ Netflix และ YouTube ที่คุณภาพวิดีโอต่างๆ 58
4.9 สรุปผลการทดลองที่แสดงคะแนน MOS ที่กลุ่มตัวอย่างประเมิน QoE ให้กับเว็บไซต์ Disney+ Netflix และ YouTube กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ 59

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 องค์ประกอบพื้นฐานของเครือข่าย 7
2.2 แสดงประเภทของเครือข่าย 3 ประเภท 8
2.3 เปรียบเทียบการใช้งานเครือข่ายที่ไม่มีการใช้ QoS จัดลำดับความสำคัญของแพ็กเก็ตข้อมูล และมีการจัดลำดับความสำคัญของแพ็กเก็ตข้อมูล 20
3.1 การเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ 34
4.1 แสดงกราฟอัตราการดาวน์โหลดเทียบกับระยะเวลาเข้าชมเว็บไซต์ Disney+ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และจำกัดแบนด์วิดท์ 51
4.2 แสดงกราฟอัตราการดาวน์โหลดเทียบกับระยะเวลาเข้าชมเว็บไซต์ Netflix กรณีไม่จำกัด แบนด์วิดท์ และจำกัดแบนด์วิดท์ 52
4.3 แสดงกราฟอัตราการดาวน์โหลดเทียบกับระยะเวลาเข้าชมเว็บไซต์ YouTube กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และจำกัดแบนด์วิดท์ 53
4.4 แสดงกราฟคะแนน MOS ที่กลุ่มตัวอย่างประเมิน QoE ให้กับเว็บไซต์ Disney+ Netflix และ YouTube กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ 60

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันอินเทอร์เน็ตมีบทบาทที่สำคัญเกี่ยวกับการดำเนินชีวิตอย่างมาก นอกจากนี้ความก้าวหน้าของเทคโนโลยี และสิ่งประดิษฐ์อื่น ๆ ล้วนส่งอิทธิพลต่อพฤติกรรมของผู้ชมในการเลิกดูละครหรือภาพยนตร์ในสื่อหลัก เช่น โทรทัศน์ ทำให้บริการสตรีมวิดีโอได้รับความนิยมขึ้นเรื่อย ๆ โดยบริการวิดีโอสตรีมมิ่งประเภทนี้ เรียกว่า OTT หรือ Over-The-Top คือ บริการรับชมวิดีโอหรือรับชมเนื้อหาตามความต้องการ (Video on Demand) บนแพลตฟอร์มของผู้ให้บริการออนไลน์ผ่านระบบสัญญาณอินเทอร์เน็ต โดยใช้อุปกรณ์ต่างๆ ที่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ เช่น คอมพิวเตอร์ สมาร์ทโฟน แท็บเล็ต สมาร์ททีวี และอื่น ๆ อีกมากมาย ซึ่งตอบสนองกับพฤติกรรมและรูปแบบการใช้ชีวิตของผู้คนสมัยใหม่ที่ต้องการความสะดวกและรวดเร็ว ประกอบกับความเร็วของอินเทอร์เน็ตที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ผู้ชมสามารถเข้าถึงคอนเทนต์และรับชมได้ในทุกที่ทุกเวลา ซึ่งถือเป็นจุดเด่นสำคัญที่ตอบโจทย์พฤติกรรมผู้ชมได้เป็นอย่างดี เพราะทำให้ผู้ชมสามารถเลือกรับชมในสิ่งที่สนใจและต้องการได้ด้วยตัวเอง เกิดเป็นการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมการบริโภคสื่อของผู้คนทั่วโลก แต่การใช้งานอินเทอร์เน็ตไม่เพียงมีแต่บริการสตรีมวิดีโอเพียงอย่างเดียว ยังมีทรัพยากรและบริการข้อมูลที่มากมาย เช่น จดหมายอิเล็กทรอนิกส์ การสนทนาออนไลน์ การโทรศัพท์ด้วยเสียง การเข้าถึงระยะไกล (Remote Access) การถ่ายโอนไฟล์ (File Transfer Protocol: FTP) การแชร์ไฟล์ การเล่นเกมออนไลน์ เครือข่ายใยแมงมุม (World Wide Web : WWW) ใช้ในการค้นหาข้อมูลข่าวสารหรือข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต การประชุมออนไลน์ การทำธุรกรรมทางโลกออนไลน์ และอื่น ๆ อีกมากมาย

แบนด์วิดท์ (Bandwidth) เป็นการวัดความกว้างหรือความจุของช่องทางสื่อสารว่าสามารถรับส่งข้อมูลได้มากน้อยเพียงใดต่อหนึ่งหน่วยเวลาภายใต้เครือข่ายการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต แสดงให้เห็นว่ายิ่งค่าของแบนด์วิดท์อินเทอร์เน็ตมีค่ามากเท่าไร ความเร็วอินเทอร์เน็ตก็จะมากขึ้นเท่านั้น ดังนั้นเมื่อทุกคนต่างใช้งานอินเทอร์เน็ต ณ เวลาและสถานที่เดียวกันจะทำให้มีปริมาณการจราจรบนเครือข่ายเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ หากแบนด์วิดท์ไม่เพียงพอจะส่งผลให้ระบบเครือข่ายไม่สามารถรองรับต่อจำนวนผู้ใช้งานที่เพิ่มขึ้น ทำให้ผู้ใช้งานประสบปัญหาการใช้งานอินเทอร์เน็ตที่มีความล่าช้าหรือเครือข่ายล่มจนไม่สามารถเข้าใช้งานได้

การสตรีมวิดีโอเป็นบริการอินเทอร์เน็ตที่ใช้แบนด์วิดท์มากที่สุดในปัจจุบัน การสตรีมวิดีโอที่ความละเอียดสูงต้องใช้อัตราการส่งข้อมูลสูง หากมีผู้ใช้งานจำนวนมากอาจประสบปัญหาบัฟเฟอร์

การสตรีมวิดีโอเป็นบริการอินเทอร์เน็ตที่ใช้แบนด์วิดท์มากที่สุดในปัจจุบัน การสตรีมวิดีโอที่ความละเอียดสูงต้องใช้อัตราการส่งข้อมูลสูง หากมีผู้ใช้งานจำนวนมากอาจประสบปัญหาบัฟเฟอร์

วิดีโอกระตุก ความละเอียดและคุณภาพการแสดงวิดีโอลดลง ภาพวิดีโอไม่ราบรื่น และล่าช้ามาก หรือไม่สามารถรับชมวิดีโอได้ และการใช้งานบริการอื่น ๆ บนอินเทอร์เน็ตใช้ระยะเวลานานในการเข้าถึงหรืออาจเข้าใช้งานไม่ได้เลย ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องทำการจัดสรรทรัพยากรแบนด์วิดท์อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อให้การรับส่งข้อมูลในเครือข่ายมีการควบคุมอย่างเหมาะสม เพื่อให้มีแบนด์วิดท์เพียงพอสำหรับใช้งานบริการอื่น ๆ ที่สำคัญ

จากปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดการประเมินการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมออนไลน์ในสภาพแวดล้อมแบนด์วิดท์ที่จำกัด โดยศึกษาและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบกับเครือข่ายต่อการใช้งาน แสดงผลการเปรียบเทียบและประเมินการรับส่งข้อมูลของผู้ให้บริการสตรีมมิ่งยอดนิยมในประเทศไทยสามแพลตฟอร์ม คือ ดิสนีย์พลัส (Disney+) เน็ตฟลิกซ์ (Netflix) และยูทูบ (YouTube) แสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการควบคุมแบนด์วิดท์สำหรับการรับส่งข้อมูล รวมถึงวิเคราะห์ความละเอียดและคุณภาพวิดีโอ โดยพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่ผู้ใช้สามารถดูวิดีโอออนไลน์ในสภาพแวดล้อมที่จำกัดแบนด์วิดท์ ในความละเอียดหรือคุณภาพของวิดีโอที่ผู้ใช้จะยังสามารถรับชมได้ โดยพิจารณาคุณภาพของบริการ (Quality of Service : QoS) ในเครือข่ายหรือวัดประสิทธิภาพโดยรวมของบริการ การวัดเชิงปริมาณของ QoS จะพิจารณาถึงการใช้แบนด์วิดท์ของบริการ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของบริการคุณภาพเสียง วิดีโอ และเครือข่าย โดยจะพิจารณาพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ปริมาณงาน (Throughput) การสูญหายของแพ็กเก็ต (Packet Loss) ความกระวนกระวายใจ (Jitter) และความล่าช้า (Delay) และวัดระดับความพึงพอใจโดยรวมของผู้ใช้หรือคุณภาพของประสบการณ์ (Quality of Experience : QoE) ของผู้ใช้กับบริการเครือข่ายสำหรับวิดีโอแบบเรียลไทม์ โดยงานวิจัยนี้เลือกประเมิน QoE โดยใช้ Mean Opinion Score (MOS) เพื่อแสดงระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ งานวิจัยฉบับนี้เกี่ยวข้องกับบริการวิดีโอเท่านั้น เหตุผลก็คือบริการวิดีโอเป็นบริการพื้นฐานที่ได้รับความนิยมสูงสุดบนเครือข่ายที่มีการเชื่อมต่อที่รวดเร็วและการเชื่อมต่อที่มีแบนด์วิดท์สูง เพื่อให้ผู้ใช้ยังคงสามารถรับบริการสตรีมวิดีโอได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้แบนด์วิดท์อย่างคุ้มค่าที่สุด และมีแบนด์วิดท์เหลือเพียงพอสำหรับการใช้งานบริการอื่น ๆ ที่สำคัญด้วย ผลลัพธ์งานวิจัยนี้จะเป็นแนวทางการใช้แบนด์วิดท์อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะในเครือข่ายแบนด์วิดท์เป็นทรัพยากรที่จำกัด และมีราคาแพง ดังนั้นควรจัดการการใช้งานให้ดี เพื่อให้มั่นใจในคุณภาพของการให้บริการในเครือข่ายว่าจะไม่ส่งผลกระทบต่อการการเข้าชมวิดีโอออนไลน์ หรือการใช้บริการอินเทอร์เน็ตอื่นๆ และส่งเสริมการจัดการทรัพยากรแบนด์วิดท์ที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้ใช้งานทุกคน ทำให้การใช้งานบริการมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อประเมินและแสดงผลการเปรียบเทียบการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมวิดีโอออนไลน์ในสภาพแวดล้อมแบนด์วิดท์ที่จำกัด

1.2.2 เพื่อแสดงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการควบคุมแบนด์วิดท์สำหรับการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมวิดีโอออนไลน์

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 สามารถประเมินและแสดงผลการเปรียบเทียบการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมวิดีโอออนไลน์ในสภาพแวดล้อมแบนด์วิดท์ที่จำกัดได้

1.3.2 การควบคุมแบนด์วิดท์ที่มีให้กับผู้ใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมวิดีโอออนไลน์ ทำให้ใช้ทรัพยากรแบนด์วิดท์อย่างคุ้มค่า

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 สร้างการเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลตั้งค่าเป็นเราเตอร์ หรืออุปกรณ์หาเส้นทางเครือข่าย

1.4.2 ใช้ Huawei VDSL Router เชื่อมต่อของระบบเครือข่ายภายนอก

1.4.3 ใช้บริการอินเทอร์เน็ต 3BB (Triple Broad Band) จากบริษัท ทริปเปิลที อินเตอร์เน็ต จำกัด (Triple T Internet Company Limited)

1.4.4 ใช้งานเว็บเบราว์เซอร์ Google Chrome สำหรับการเข้าเว็บไซต์บริการสตรีมมิ่ง Disney+ Netflix และ YouTube

1.4.5 การเปรียบเทียบการรับส่งข้อมูลบนแพลตฟอร์มสตรีมมิ่งเว็บไซต์ Disney+ Netflix และ YouTube

1.4.6 ตัวชี้วัดที่ใช้วัดประสิทธิภาพการทดลอง ได้แก่ อัตราเร็วในการดาวน์โหลด (Download rate) ขนาดของข้อมูล (Data size) ชนิดของโปรโตคอลที่ใช้ในการรับส่งข้อมูล (Protocol types) คุณภาพบริการของเครือข่าย (QoS) และคุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (QoE)

1.4.7 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาคือเฉพาะนักศึกษาและบัณฑิตศึกษา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวน 25 คน มีทั้งเพศชายและหญิง ช่วงอายุ 20 - 27 ปี

1.4.8 ระยะเวลาในการเก็บข้อมูลและรายละเอียดที่เกี่ยวข้อง เพื่อรวบรวมข้อมูลวิเคราะห์ข้อมูล สรุปผล และอภิปรายผล อยู่ในช่วงเวลา 19.00 - 23.00 น. ของวันที่ 26 มีนาคม 2565 เพื่อรวบรวมข้อมูลการประเมินคุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (QoE) อยู่ในช่วงเวลา 19.00 - 23.00 น. ของวันที่ 2 เมษายน และ 17 เมษายน 2565

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถประเมินและเปรียบเทียบการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมวิดีโอออนไลน์ในสภาพแวดล้อมแบนด์วิดท์ที่จำกัด

1.5.2 สามารถควบคุมแบนด์วิดท์ที่มีให้กับผู้ใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมวิดีโอออนไลน์ และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบริหารจัดการการใช้แบนด์วิดท์ของแต่ละแอปพลิเคชัน ทำให้ใช้ทรัพยากรแบนด์วิดท์อย่างคุ้มค่า

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1.6.1 ศึกษาสำรวจปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์

1.6.2 ศึกษาการจัดการแบนด์วิดท์บนระบบเครือข่าย

1.6.3 ออกแบบระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์

1.6.4 ดำเนินการควบคุมแบนด์วิดท์ให้กับผู้ใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลบนแพลตฟอร์มสตรีมมิ่งเว็บไซต์ Disney+ Netflix และ YouTube

1.6.5 วัดคุณภาพบริการของเครือข่าย (QoS) ตามมาตรฐาน TIPHON ที่ประกอบด้วย ปริมาณงาน (Throughput) ความล่าช้า (Delay) การสูญหายของแพ็กเก็ต (Packet Loss) และความกระวนกระวาย (Jitter)

1.6.6 วัดคุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (QoE) โดยใช้คะแนนความคิดเห็น (MOS) ตามมาตรฐานของ ITU-T (International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector)

1.6.7 ประเมินและแสดงผลการเปรียบเทียบการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมวิดีโอออนไลน์

1.7 ส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ นำเสนอการศึกษาค้นคว้า รวบรวมข้อมูล การออกแบบ การจำลองผล วิเคราะห์และสรุปผล โดยประกอบด้วยเนื้อหาทั้งหมด 5 บท ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา วัตถุประสงค์ของการวิจัย สมมุติฐานของการวิจัย ขอบเขตของงานวิจัย ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ และวิธีการดำเนินงานวิจัย และส่วนประกอบของวิทยานิพนธ์

บทที่ 2 กล่าวถึงปริทัศน์วรรกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดเกี่ยวกับการจัดการแบนด์วิดท์ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เครื่องมือที่ใช้ในการควบคุมแบนด์วิดท์ การสตรีมวิดีโอออนไลน์ ความละเอียดของวิดีโอ คุณภาพบริการของเครือข่าย (QoS) คุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (QoE) และ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าพารามิเตอร์เครือข่ายของบริการสตรีมวิดีโอ และวัดประสิทธิภาพของคุณภาพประสบการณ์ผู้ใช้งาน

บทที่ 3 กล่าวถึงการอธิบายวิธีดำเนินงานในการออกแบบรูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ การศึกษาการควบคุมแบนด์วิดท์ การวัดคุณภาพบริการของเครือข่าย (QoS) การวัดคุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (QoE) โดยใช้คะแนนความคิดเห็นเฉลี่ย (MOS) ของบริการเครือข่าย และการประเมินและแสดงผลการเปรียบเทียบการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมวิดีโอออนไลน์

บทที่ 4 กล่าวถึงผลการประเมินการรับส่งข้อมูลของเว็บไซต์การสตรีมวิดีโอออนไลน์ และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพบริการด้านต่างๆ ของเครือข่าย ตามมาตรฐาน TIPHON ที่ประกอบด้วย ปริมาณงาน (Throughput) ความล่าช้า (Delay) การสูญหายของแพ็กเก็ต (Packet Loss) และความกระวนกระวาย (Jitter) ทั้งการวัดคุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (QoE) โดยใช้คะแนนความคิดคิดเห็นเฉลี่ย (MOS) ที่มีต่อบริการเครือข่าย และการศึกษา วิเคราะห์แบนด์วิดท์ที่เหมาะสำหรับการสตรีมวิดีโอที่ราบรื่นบนเว็บไซต์การสตรีมวิดีโอออนไลน์

บทที่ 5 กล่าวถึงการสรุปผลของการวิจัย ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาต่อในอนาคต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 2
ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ และชุดโปรโตคอล TCP/IP ที่ใช้ในการสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต การจัดการแบนด์วิดท์ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์บนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ เครื่องมือ WonderShaper ที่ใช้ในการจัดการแบนด์วิดท์ การสตรีมวิดีโอออนไลน์ ความละเอียดของวิดีโอ การจัดการและควบคุมคุณภาพการให้บริการเครือข่าย (QoS) การวัดคุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (QoE) และเปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าพารามิเตอร์เครือข่ายของบริการสตรีมวิดีโอ และวัดประสิทธิภาพของคุณภาพประสบการณ์ผู้ใช้งาน

2.2 ระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer Network)

2.2.1 เครือข่ายคอมพิวเตอร์

เครือข่ายคอมพิวเตอร์ คือ เครือข่ายการสื่อสารโทรคมนาคมระหว่างคอมพิวเตอร์จำนวนตั้งแต่สองเครื่องขึ้นไปเชื่อมต่อกันโดยใช้สื่อกลาง และสามารถแลกเปลี่ยนข้อมูลกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ สื่อกลางที่ใช้การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ต่างๆในเครือข่ายจะใช้สื่อที่เป็นสายเคเบิลหรือสื่อไร้สาย ตัวอย่างเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่รู้จักกันดีคือ อินเทอร์เน็ต (Internet) ซึ่งเป็นระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่เชื่อมต่อกันทั่วโลก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.2.2 องค์ประกอบพื้นฐานของเครือข่าย

การที่คอมพิวเตอร์จะเชื่อมต่อกันเป็นเครือข่ายได้ ต้องมีองค์ประกอบพื้นฐานดังต่อไปนี้

1. คอมพิวเตอร์ อย่างน้อย 2 เครื่อง
2. เน็ตเวิร์คการ์ด หรือ NIC (Network Interface Card) เป็นการ์ดที่เสียบเข้ากับช่องเมนบอร์ดของคอมพิวเตอร์ ซึ่งเป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์และเครือข่าย
3. สื่อกลางสำหรับการรับส่งข้อมูล แบ่งออกได้สองประเภท
4. สื่อกลางทางกายภาพ (Physical Media) เช่น สายสัญญาณ สายสัญญาณที่เป็นที่นิยมในเครือข่าย เช่น สายโคแอ็กเชียล (Coaxial Cable) สายคู่เกลียวบิด (Twisted Pairs) และสายใยแก้วนำแสง (Fiber Optic) เป็นต้น

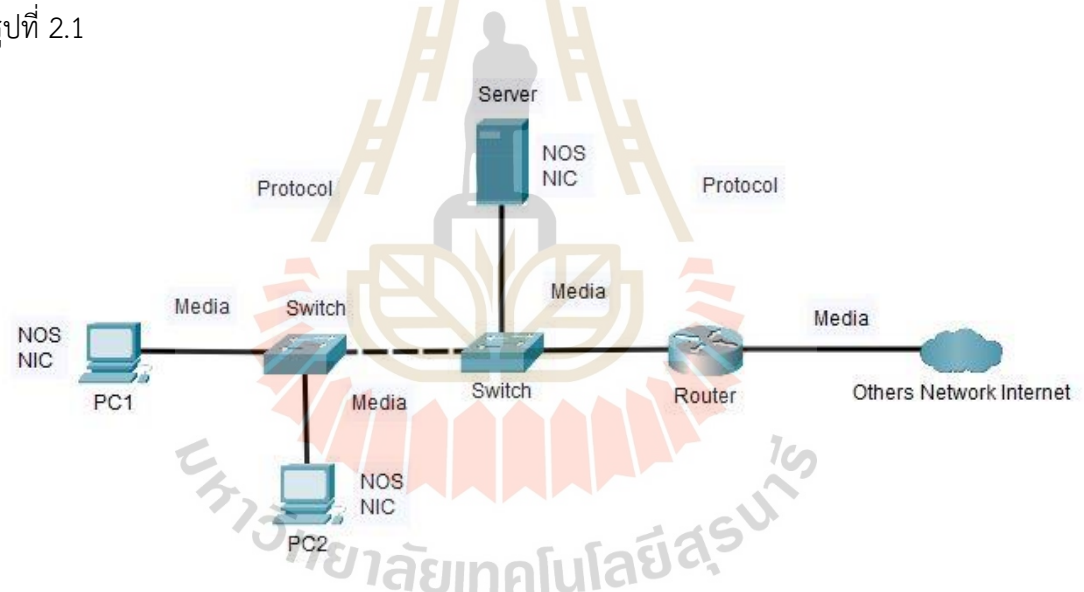
5. สื่อกลางไร้สาย (Wireless Media) เช่น คลื่นวิทยุ (Radio Wave) สัญญาณไมโครเวฟ (Microwave) อินฟราเรด (Infrared) ดาวเทียม (Satellite) บลูทูธ (Bluetooth) เป็นต้น

6. อุปกรณ์สำหรับการรับส่งข้อมูลเครือข่าย เช่น ฮับ (Hub) สวิตช์ (Switch) เราท์เตอร์ (Router) เป็นต้น

7. โปรโตคอล (Protocol) โปรโตคอลเป็นภาษาที่คอมพิวเตอร์ใช้สื่อสารกันผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่สามารถสื่อสารกันได้นั้นจำเป็นที่ต้องใช้ "ภาษา" หรือโปรโตคอลเดียวกัน เช่น OSI, TCP/IP, IPX/SPX เป็นต้น

8. ระบบปฏิบัติการเครือข่าย หรือ NOS (Network Operating System) ระบบปฏิบัติการเครือข่ายจะเป็นตัวที่คอยจัดการเกี่ยวกับการใช้งานเครือข่ายของผู้ใช้แต่ละคน หรือเป็นตัวจัดการและควบคุมการใช้ทรัพยากรต่างๆ ของเครือข่าย ระบบปฏิบัติการเครือข่ายที่เป็นที่นิยม เช่น Microsoft Windows Server, Sun Solaris. และ Red Hat Linux Sun เป็นต้น

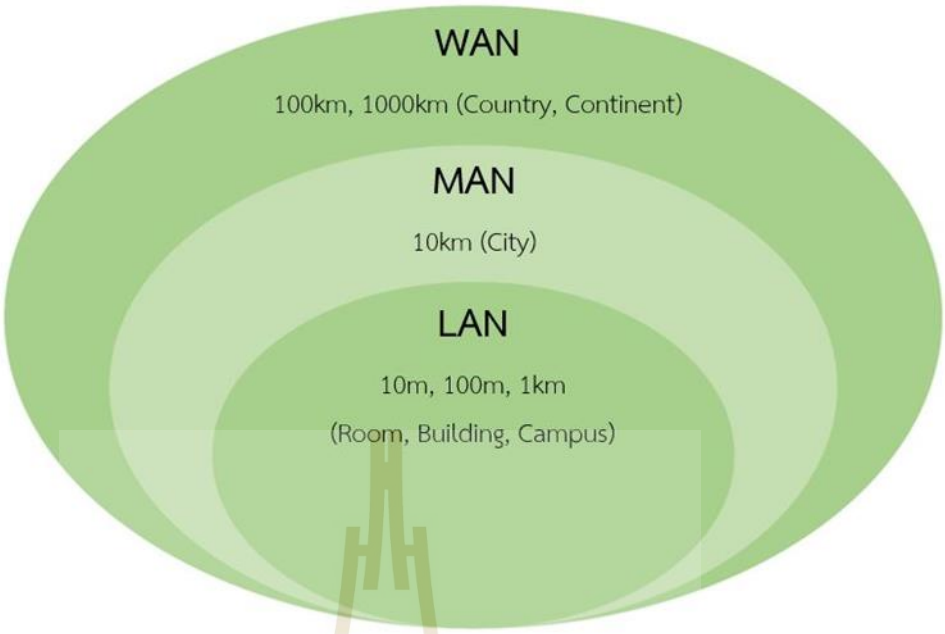
ตัวอย่างเครือข่ายอย่างง่ายที่แสดงองค์ประกอบพื้นฐานของเครือข่าย ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบพื้นฐานของเครือข่าย

2.2.3 ประเภทของระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์แบ่งตามขนาดทางภูมิศาสตร์

ถ้าใช้ขนาดทางกายภาพเป็นเกณฑ์ เครือข่ายสามารถแบ่งออกได้เป็นสามประเภท คือ เครือข่ายท้องถิ่น (Local Area Network : LAN) เครือข่ายระดับเมือง หรือเครือข่ายแมน (Metropolitan Area Network : MAN) และ เครือข่ายบริเวณกว้าง (Wide Area Network: WAN) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงประเภทของเครือข่าย 3 ประเภท

2.2.3.1 เครือข่ายท้องถิ่น หรือเครือข่ายแลน (Local Area Network : LAN)

เป็นรูปแบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ชนิดหนึ่ง ซึ่งเกือบทุก ๆ เครือข่ายต้องมี LAN เป็นองค์ประกอบ เครือข่าย LAN อาจเป็นได้ตั้งแต่เครือข่ายแบบง่ายๆ เช่น การเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์มากกว่า 2 เครื่องด้วยสายสัญญาณ หรือไปจนถึงคอมพิวเตอร์ไปร้อย ๆ เครื่อง เป็นต้น LAN คือเครือข่ายระยะใกล้ที่ครอบคลุมพื้นที่ในบริเวณแคบ ๆ เท่านั้น แม้ว่า LAN จะสามารถเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ และ อุปกรณ์ต่าง ๆ ได้หลายร้อยตัวในเครือข่าย แต่อุปกรณ์จะต้องอยู่ภายในอาคารที่สามารถเชื่อมโยงกันได้ผ่านคู่สายเท่านั้น โดยมีระยะไม่เกิน 1 กิโลเมตร เช่น บ้าน, ออฟฟิศสำนักงาน, โรงเรียน, โรงงาน, โรงพยาบาล เป็นต้น เทคโนโลยี LAN มีหลายประเภท เช่น Ethernet, ATM, Token Ring, FDDI เป็นต้น โดยปัจจุบันอุปกรณ์สำหรับเครือข่าย LAN มีการพัฒนาให้รองรับการเชื่อมต่อแบบไร้สาย (Wireless LAN หรือ WLAN) และใช้ Wi-Fi สื่อสารกันได้

2.2.3.2 เครือข่ายระดับเมือง หรือเครือข่ายแมน (Metropolitan Area Network : MAN)

เป็นเครือข่ายที่ครอบคลุมพื้นที่ขนาดใหญ่ ที่เชื่อมต่ออุปกรณ์คอมพิวเตอร์เครือข่ายคอมพิวเตอร์ในระยะพื้นที่ในอาณาเขตเมืองหรือบริเวณนอกตัวเมืองใกล้เคียง เช่น มหาวิทยาลัย บริษัท หรือ องค์กรใหญ่ ระบบ MAN ใช้เชื่อมต่อเครือข่าย LAN ตั้งแต่ 2 เครือข่ายขึ้นไปที่อยู่ต่างอาคาร สื่อนำสัญญาณของระบบ MAN จะใช้สายใยแก้วนำแสง ปัจจุบันได้พัฒนาให้ระบบ MAN

กลายเป็นเครือข่ายไร้สายหรือ WMAN (Wireless Metropolitan Area Network) เช่น เทคโนโลยี WiMax ซึ่งใช้การส่งข้อมูลด้วยคลื่นไมโครเวฟ

2.2.3.3 ระบบเครือข่ายบริเวณกว้าง หรือเครือข่ายแวน (Wide Area Network : WAN)

เป็นการเชื่อมโยงเครือข่าย LAN ตั้งแต่ 2 เครือข่ายขึ้นไปเข้าไว้ด้วยกันในระยะที่ไกลมาก ๆ เช่น ข้ามประเทศ ตัวอย่างเครือข่าย WAN ได้แก่ อินเทอร์เน็ต ซึ่งอินเทอร์เน็ตถือเป็นเครือข่าย WAN ที่ใหญ่ที่สุดในปัจจุบัน เครือข่ายโทรศัพท์พื้นฐาน หรือ PSTN (Public Switch Telephone Network), ระบบเครือข่ายมือถือ (Mobile Broadband) ที่ครอบคลุมทั่วทั้งประเทศ ระบบเครือข่ายสัญญาณดาวเทียม และเครือข่ายของธนาคารตู้กดเงิน ATM เทคโนโลยีที่จัดอยู่ในประเภท WAN เช่น การเช่าคู่สายอินเทอร์เน็ต (Leased Line), เทคโนโลยี ISDN (Integrated Service Digital Network) เทคโนโลยี ADSL (Asmmetric Digital Subscriber Line) สายเคเบิล, สายไฟเบอร์ ไปจนถึงการใช้งาน เครือข่ายเสมือน (Virtual Private Network - VPN) เป็นต้น

2.3 ชุดโปรโตคอล TCP/IP

โปรโตคอล (Protocol) คือ ข้อกำหนดหรือข้อตกลงในการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ หรือภาษาสื่อสารที่ใช้เป็น ภาษา กลางในการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ด้วยกัน การที่เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ถูกเชื่อมโยงกันไว้ในระบบจะสามารถติดต่อสื่อสารกันได้นั้น จำเป็นจะต้องมีการสื่อสาร

Transmission Control Protocol (TCP) และ Internet Protocol (IP) ซึ่งเรียกรวมกันว่า TCP/IP เป็นชุดของโปรโตคอลที่ถูกใช้ในการสื่อสารผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถใช้สื่อสารจากต้นทางข้ามเครือข่ายไปยังปลายทางได้ และสามารถหาเส้นทางที่จะส่งข้อมูลไปได้เองโดยอัตโนมัติ ถึงแม้ว่าในระหว่างทางอาจจะผ่านเครือข่ายที่มีปัญหา โปรโตคอลก็ยังคงหาเส้นทางอื่นในการส่งผ่านข้อมูลไปให้ถึงปลายทางได้

ชุดโปรโตคอลนี้ได้รับการพัฒนามาตั้งแต่ปี 1960 ซึ่งถูกใช้เป็นครั้งแรกในเครือข่าย ARPANET ซึ่งต่อมาได้ขยายการเชื่อมต่อไปทั่วโลกเป็นเครือข่ายอินเตอร์เน็ต ทำให้ TCP/IP เป็นที่ยอมรับอย่างกว้างขวางจนถึงปัจจุบัน

ตารางที่ 2.1 แสดงการเปรียบเทียบชั้นโปรโตคอลระหว่างแบบอ้างอิง OSI และ TCP/IP

OSI Reference Model		TCP/IP		
7 6 5	Application Presentation Session	Application	FTP, Telnet, HTTP, SMTP, SNMP, DNS, etc.	
4	Transport	Transport	TCP	UDP
3	Network	Internet	ICMP, IGMP IP	ARP, RARP
2 1	Data Link Physical	Network Access	Not Specified	

จากตารางที่ 2.1 แสดงแบบอ้างอิง OSI Model (Open Systems Interconnection Model) ออกแบบโดยองค์กร ISO (International Organization for Standardization) เพื่อเป็นมาตรฐานในการพัฒนาเครือข่ายการสื่อสารข้อมูลและคอมพิวเตอร์ โดยแบ่งเป็นชั้นทั้งหมด 7 ชั้น ได้แก่ ชั้นกายภาพ (Physical Layer) ชั้นสื่อสารเชื่อมต่อข้อมูล (Data Link Layer) ชั้นสื่อสารควบคุมเครือข่าย (Network Layer) ชั้นสื่อสารเพื่อนำส่งข้อมูล (Transport Layer) ชั้นสื่อสารควบคุมหน้าต่างสื่อสาร (Session Layer) ชั้นสื่อสารนำเสนอข้อมูล (Presentation Layer) และชั้นสื่อสารการประยุกต์ (Application Layer) ซึ่งการแบ่งเป็นชั้นนั้นเพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจว่าแต่ละชั้นมีความสำคัญอย่างไรและสัมพันธ์กันอย่างไรระหว่างชั้น แบบอ้างอิง OSI จะเน้นไปที่การแบ่งการทำงานของโปรโตคอลออกเป็นชั้นๆ เหมาะสำหรับใช้อธิบายการสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ในเครือข่าย

นอกจากนี้ตารางที่ 2.1 แสดงแบบอ้างอิง TCP/IP จะแบ่งเป็น 4 ชั้น ได้แก่ ชั้นเข้าถึงเครือข่าย (Network Access) ชั้นสื่อสารอินเทอร์เน็ต (Internet Layer) ชั้นสื่อสารนำส่งข้อมูล (Transport Layer) และชั้นสื่อสารการประยุกต์ (Application Layer) จะเห็นว่าแบบอ้างอิง TCP/IP แบ่งการทำงานของโปรโตคอลออกเป็นชั้นๆ เช่นเดียวกับแบบอ้างอิง OSI แต่ในมิติการทำงานจริงมีความแตกต่างและความหลากหลายของระบบคอมพิวเตอร์และระบบเครือข่าย การออกแบบ TCP/IP เป็นชั้นๆนี้จะขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของผู้ออกแบบ ดังนั้น แบบอ้างอิง TCP/IP เป็นที่นิยมมากกว่าในการนำไปใช้งานจริง

ชั้นของ TCP/IP แต่ละชั้นมีหน้าที่ดังนี้

1. ชั้นเข้าถึงเครือข่าย (Network Access)

โปรโตคอลสำหรับการควบคุมการสื่อสารในชั้นนี้เป็นสิ่งที่ไม่มีการกำหนดรายละเอียดอย่างเป็นทางการ หน้าที่หลักคือการรับข้อมูลจากชั้นสื่อสาร IP มาแล้วส่งไปยังโหนดที่ระบุไว้ในเส้นทางเดิน

ข้อมูลทางด้านผู้รับก็จะทำงานในทางกลับกัน คือรับข้อมูลจากสายสื่อสารแล้วนำส่งให้กับโปรแกรมในชั้นสื่อสาร อย่างไรก็ตาม ชุดโปรโตคอล TCP/IP สามารถใช้ได้กับเน็ตเวิร์คหลายประเภท เช่น Ethernet, ATM, X.25, Frame Relay, PPP, SLIP และ ISDN เป็นต้น

2. ชั้นสื่อสารอินเทอร์เน็ต (Internet Layer)

การทำงานในชั้นนี้จะทำงานคล้ายกับชั้น Network Layer ในแบบอ้างอิง OSI Model โปรโตคอลหลักที่ทำงานในชั้นนี้ คือ IP (Internet Protocol) มีหน้าที่ค้นหาเส้นทางระว่างผู้รับและผู้ส่ง โดยใช้หมายเลขไอพี (IP Address)

หมายเลขไอพี (IP Address) คือเลขที่บอกที่อยู่เฉพาะของโหนดหรือโฮสต์ที่อยู่ในเครือข่าย รวมถึงคอมพิวเตอร์ และเราท์เตอร์ ที่อยู่บนระบบเครือข่าย

หมายเลขไอพีของแต่ละเครื่องที่อยู่ในเครือข่ายเดียวกันจะต้องไม่ซ้ำกัน อย่างไรก็ตามโฮสต์หนึ่งอาจจะมีหมายเลขไอพีได้มากกว่าหนึ่งเลขหมายก็ได้ ซึ่งอาจจะมีประโยชน์ในการจัดการวงข่าย เช่น เราท์เตอร์ หรือ เกทเวย์ เป็นต้น

ปัจจุบันโปรโตคอลที่ใช้งานอยู่ในเครือข่ายอินเตอร์เน็ตจะเป็นเวอร์ชัน 4 หรือเรียกสั้นๆ ว่า IPv4 ซึ่งในเวอร์ชันนี้หมายเลขไอพีจะมีขนาด 32 บิต เนื่องจากเลขฐานสอง 32 บิตเป็นตัวเลขที่ยาว และยากต่อการจดจำ ดังนั้นเพื่อเป็นการง่าย หมายเลขไอพีจึงนิยมเขียนให้อยู่ในรูปแบบด็อตเดซิมอล (Dotted Decimal Notation) คือ เขียนแยกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 8 บิต แต่ละกลุ่มจะคั่นด้วยจุด หลังจากนั้นให้แปลงเลขฐานสองของแต่ละกลุ่มให้เป็นเลขฐานสิบ เมื่อแปลงเสร็จแล้วให้เอาเลขทั้งสี่ตัวมารวมกันโดยใช้จุดเป็นตัวเชื่อม เนื่องจากหมายเลขไอพีที่เป็นเลขฐานสิบนี้เป็นการแปลงมาจากเลขฐานสอง 8 บิต ดังนั้นเลขฐานสิบแต่ละตัวจะอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 เพราะฉะนั้นหมายเลขไอพีที่ถูกต้องจะอยู่ระหว่าง 0.0.0.0 ถึง 255.255.255.255

3. ชั้นสื่อสารนำส่งข้อมูล (Transport Layer)

การทำงานในชั้นนี้จะทำงานคล้ายกับ Transport Layer ในแบบอ้างอิง OSI Model โปรโตคอลในชั้นนี้ ได้แก่

3.1 TCP (Transmission Control Protocol) มีรูปแบบการสื่อสารแบบ Connection-Oriented ซึ่งจะมีการสร้างการเชื่อมต่อระหว่างสองฝั่งทั้งผู้ส่งและผู้รับก่อนการส่งข้อมูล และเมื่อรับส่งข้อมูลเสร็จแล้วก็จะยกเลิกการเชื่อมต่อ TCP มีการตรวจสอบให้แน่ใจว่าทุกแพ็กเก็ตที่จัดส่งไปยังปลายทางนั้นเป็นไปตามลำดับที่ถูกต้องตามที่ต้นทางส่งออกมา ดังนั้นข้อมูลที่แลกเปลี่ยนกันจะมีความน่าเชื่อถือสูงและและประกันว่าข้อมูลส่งถึงปลายทางแน่นอน TCP มีการกลไกในการตรวจสอบข้อผิดพลาด มีการ flow control และการรับรู้ว่าได้รับข้อมูล และมีการรับส่งซ้ำถ้ามีการสูญหายของข้อมูล และ TCP ถูกใช้งานกับ HTTP, HTTPs, FTP, SMTP และ Telnet

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

3.2 UDP (User Datagram Protocol) มีรูปแบบการส่งแบบ Connectionless คือไม่มีการสร้างการเชื่อมต่อกับเครื่องปลายทางก่อนส่ง โดยข้อมูลจะถูกส่งออกไปโดยทันที และคาดหวังว่าเครื่องปลายทางจะได้รับข้อมูลอย่างถูกต้องครบถ้วน เหมาะสำหรับการรับส่งข้อมูลแบบ broadcast และ multicast UDP จะไม่สามารถรับประกันได้ว่าข้อมูลจะถูกส่งถึงปลายทางหรือไม่ และไม่เรียงลำดับข้อมูล UDP มีการตรวจสอบการรับส่งข้อมูลแบบพื้นฐานเท่านั้นโดยใช้ checksums UDP ถูกใช้งานกับ DNS, DHCP, TFTP, SNMP, RIP, และ VoIP ข้อดีของ UDP คือ ทำงานเร็วกว่า ง่ายกว่าและมีประสิทธิภาพมากกว่า TCP

4. ชั้นสื่อสารการประยุกต์ (Application Layer)

การทำงานของชั้นนี้จะเป็นการเข้าใช้ทรัพยากรระยะไกล (Remote Access) และการแชร์การใช้ทรัพยากร (Resource Sharing) โปรโตคอลในชั้นนี้ ได้แก่

4.1 HTTP (Hyper Text Transfer Protocol): ใช้สำหรับการรับส่งไฟล์เว็บเพจระหว่างเว็บบราวเซอร์และเว็บเซิร์ฟเวอร์

4.2 SMTP (Simple Mail Transfer Protocol): ใช้สำหรับการรับส่งอีเมลระหว่างเมลเซิร์ฟเวอร์

4.3 POP (Post Office Protocol): ใช้สำหรับการดาวนโหลดอีเมลจากเมลเซิร์ฟเวอร์

4.4 IMAP (Internet Message Access Protocol): ใช้สำหรับการดาวน์โหลดอีเมลจากเมลเซิร์ฟเวอร์

4.5 FTP (File Transfer Protocol): ใช้สำหรับถ่ายโอนไฟล์ระหว่างโฮสต์

4.6 Telnet: ใช้สำหรับการล็อกอินเข้าใช้โฮสต์ระยะไกล

2.4 แบนด์วิดท์ (Bandwidth)

2.4.1 ความหมายของแบนด์วิดท์

แบนด์วิดท์ (Bandwidth) คือ ปริมาณการรับส่งข้อมูลทางอินเทอร์เน็ต โดยทั่วไปจะวัดเป็นหน่วย บิตต่อวินาที (bps: bit per second) คำว่า Bandwidth เกิดมาจากการรวมคำของ Band ที่หมายถึง คลื่นความถี่ และ Width ที่หมายถึงความกว้าง ดังนั้นเมื่อนำคำทั้ง 2 คำมารวมกัน Bandwidth แปลว่า ความกว้างของแถบคลื่นความถี่ ซึ่งก็คือระยะห่างระหว่างคลื่นสัญญาณความถี่สูงสุดและความถี่ต่ำสุดที่ใช้เป็นช่องทางของการสื่อสาร

แบนด์วิดท์มีบทบาทสำคัญในการกำหนดความเร็วและคุณภาพของการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต แบนด์วิดท์ที่สูงขึ้นช่วยให้อัตราการถ่ายโอนข้อมูลเร็วขึ้น ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้สามารถดาวน์โหลดและอัปโหลดไฟล์ สตรีมวิดีโอ และท่องเว็บได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น อย่างไรก็ตามแบนด์วิดท์ ไม่เหมือนกับความเร็วอินเทอร์เน็ต ความเร็วอินเทอร์เน็ต หมายถึง อัตราที่ข้อมูลถูกถ่ายโอนระหว่างอุปกรณ์ของผู้ใช้กับอินเทอร์เน็ต ในขณะที่แบนด์วิดท์ หมายถึง ความจุของการเชื่อมต่อเพื่อถ่ายโอนข้อมูล

โดยทั่วไปจะวัดแบนด์วิดท์โดยใช้การทดสอบความเร็ว ซึ่งจะคำนวณจำนวนข้อมูลที่สามารถถ่ายโอนผ่านการเชื่อมต่อในระยะเวลาที่กำหนด การวัดนี้อาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ รวมถึงประเภทของการเชื่อมต่อ ระยะห่างระหว่างผู้ใช้กับเซิร์ฟเวอร์ และจำนวนผู้ใช้บนเครือข่าย

2.4.2 การจัดการแบนด์วิดท์ (Bandwidth Management)

การจัดการแบนด์วิดท์ (Bandwidth Management) เป็นกระบวนการตรวจสอบควบคุม และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แบนด์วิดท์ของเครือข่าย เพื่อให้แน่ใจว่าทรัพยากรเครือข่ายจะถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิผล มีหลายวิธีและเทคนิคในการจัดการแบนด์วิดท์ ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อเสียต่างกันไป วิธีการทั่วไปสำหรับการจัดการแบนด์วิดท์ ได้แก่:

1. การจัดสรรแบนด์วิดท์ (Bandwidth allocation) เป็นการแบ่งแบนด์วิดท์ที่มีอยู่ระหว่างผู้ใช้หรือแอปพลิเคชันต่างๆ ตามความต้องการและลำดับความสำคัญของผู้ใช้

2. การควบคุมปริมาณแบนด์วิดท์ (Bandwidth throttling) เกี่ยวข้องกับการจำกัดจำนวนแบนด์วิดท์ที่มีให้สำหรับอุปกรณ์หรือแอปพลิเคชันบางอย่าง ป้องกันไม่ให้ใช้แบนด์วิดท์มากเกินไปและทำให้เครือข่ายแออัด ซึ่งสามารถทำได้โดยการตั้งค่าขีดจำกัดแบนด์วิดท์ (Bandwidth limits) หรือโดยการเลือกชะลอการรับส่งข้อมูลจากอุปกรณ์หรือแอปพลิเคชันบางอย่าง

3. คุณภาพของบริการ (QoS) เป็นชุดของเทคโนโลยีและโปรโตคอลที่ช่วยให้ผู้ดูแลระบบเครือข่ายจัดลำดับความสำคัญของทราฟฟิกบางประเภท (เช่น เสียงหรือวิดีโอ) เหนือสิ่งอื่นใด เพื่อให้แน่ใจว่าแอปพลิเคชันที่มีความสำคัญต่อการใช้งานมีแบนด์วิดท์เพียงพอและประสิทธิภาพของเครือข่ายได้รับการปรับให้เหมาะสม QoS ทำงานโดยกำหนดระดับความสำคัญที่แตกต่างกันให้กับทราฟฟิกประเภทต่างๆ จากนั้นจึงจัดสรรแบนด์วิดท์ตามนั้น เพื่อให้ทราฟฟิกที่มีลำดับความสำคัญสูงได้รับการปฏิบัติเป็นพิเศษเหนือทราฟฟิกที่มีลำดับความสำคัญต่ำกว่า

4. การควบคุมการไหลของทราฟฟิกบนเครือข่าย (Traffic shaping) โดยการหน่วงเวลาหรือบัฟเฟอร์แพ็กเก็ต เพื่อป้องกันความแออัดและให้แน่ใจว่าแบนด์วิดท์ถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพ

5. การดรอปแพ็กเก็ต (Packet dropping) เกี่ยวข้องกับการคัดแยกแพ็กเก็ตข้อมูลเพื่อลดความแออัดของเครือข่ายและป้องกันอุปกรณ์หรือแอปพลิเคชันบางอย่างไม่ให้ใช้แบนด์วิดท์มากเกินไป

6. การตรวจสอบแบนด์วิดท์ (Bandwidth monitoring) โดยติดตามการใช้งานเครือข่ายและระบุแอปพลิเคชันและผู้ใช้ที่ใช้แบนด์วิดท์สูง เพื่อที่จะจัดการทรัพยากรเครือข่ายได้ดีขึ้นและระบุปัญหาด้านประสิทธิภาพที่อาจเกิดขึ้น

7. โหลดบาลานซ์ (Load balancing) เกี่ยวข้องกับการกระจายทราฟฟิกให้เท่าๆ กันในหลายๆ เส้นทางเครือข่ายเพื่อให้แน่ใจว่าทรัพยากรเครือข่ายถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพและประสิทธิภาพของเครือข่ายได้รับการปรับให้เหมาะสม

8. การวางแผนแบนด์วิดท์ (Bandwidth planning) เป็นการประเมินรูปแบบการรับส่งข้อมูลเครือข่ายและข้อกำหนดการใช้งาน เพื่อกำหนดจำนวนแบนด์วิดท์ที่จำเป็นเพื่อรองรับความต้องการเครือข่ายในปัจจุบันและอนาคต

9. การเพิ่มประสิทธิภาพเครือข่าย (Network optimization) เป็นการระบุและแก้ไขปัญหาประสิทธิภาพบนเครือข่าย เพื่อให้แน่ใจว่าทรัพยากรเครือข่ายถูกใช้อย่างมีประสิทธิภาพ และประสิทธิภาพเครือข่ายได้รับการปรับให้เหมาะสมสำหรับผู้ใช้และแอปพลิเคชันทั้งหมด

10. การวางแผนความจุ (Capacity planning) เป็นการประเมินความต้องการความจุเครือข่ายในปัจจุบันและอนาคตขององค์กร เพื่อให้แน่ใจว่าทรัพยากรเครือข่ายได้รับการปรับขนาดอย่างเหมาะสมเพื่อตอบสนองความต้องการทางธุรกิจที่เปลี่ยนแปลงไป

2.4.2.1 เครื่องมือจำกัดแบนวิดท์ WonderShaper

WonderShaper โปรแกรมอรรถประโยชน์บรรทัดคำสั่งสำหรับระบบปฏิบัติการ Linux ที่ช่วยให้ผู้ใช้สามารถตั้งค่าควบคุมและจัดการการใช้แบนด์วิดท์เครือข่ายได้ ออกแบบมาให้ทำงานกับการเชื่อมต่อเครือข่ายทั้งแบบใช้สายและไร้สาย WonderShaper ใช้ระบบการจัดคิวแพ็กเก็ตและการสร้างรูปร่างเพื่อควบคุมการไหลของทราฟฟิกผ่านเครือข่าย ทำให้ผู้ใช้สามารถควบคุมความเร็วของการเชื่อมต่อเครือข่ายได้ WonderShaper ได้รับการออกแบบมาให้ใช้งานง่ายและมีไวยากรณ์ที่เรียบง่ายที่ช่วยให้ผู้ใช้ปรับการตั้งค่าเครือข่ายได้อย่างรวดเร็วและง่ายดาย สามารถใช้เพื่อจำกัดการใช้แบนด์วิดท์ของแอปพลิเคชันเฉพาะ หรือจัดลำดับความสำคัญของทราฟฟิกเครือข่ายประเภทต่างๆ เช่น การท่องเว็บ อีเมล หรือการสตรีมวิดีโอ และเพื่อจัดสรรแบนด์วิดท์ให้สอดคล้องกันโดยการตั้งค่าความเร็วในการอัปโหลดและดาวน์โหลดสูงสุด และควบคุมเวลาแฝงและการสูญเสียแพ็กเก็ตในการเชื่อมต่อเครือข่าย สามารถกำหนดขีดจำกัดของปริมาณแบนด์วิดท์ที่มีให้กับอินเทอร์เฟซเครือข่ายต่างๆ ได้ ซึ่งจะช่วยป้องกันความแออัดของเครือข่ายและทำให้มั่นใจได้ว่าแอปพลิเคชันที่สำคัญต่อการใช้งานมีแบนด์วิดท์เพียงพอ มีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับผู้ใช้ที่มีแบนด์วิดท์จำกัด เช่น ในสถานการณ์ที่ผู้ใช้หลายคนใช้การเชื่อมต่อเครือข่ายร่วมกัน หรือเมื่อจำเป็นต้องปรับการใช้แบนด์วิดท์ให้เหมาะกับงานเฉพาะ โดยรวมแล้ว WonderShaper เป็นเครื่องมือที่มีน้ำหนักเบาและยืดหยุ่นซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลายในระบบปฏิบัติการ Linux โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหมู่ผู้ดูแลระบบเครือข่ายและผู้ใช้ระดับสูง มีให้ใช้งานฟรีภายใต้ GNU General Public License และสามารถดาวน์โหลดและติดตั้งบนลีนุกซ์ได้เลย

การใช้งาน WonderShaper ผู้ใช้จำเป็นต้องระบุชื่อของอินเทอร์เฟซเครือข่ายที่ต้องการจัดการและตั้งค่าความเร็วในการอัปโหลดและดาวน์โหลดสูงสุดสำหรับอินเทอร์เฟซนั้น เครื่องมือ WonderShaper จะจำกัดการใช้แบนด์วิดท์ของอินเทอร์เฟซนั้นตามความเร็วที่ระบุ

หากผู้ใช้ต้องการจำกัดการใช้แบนด์วิดท์ของอินเทอร์เฟซเครือข่ายชื่อ "eth0" เป็น 1 เมกะบิตต่อวินาที (Mbps) สำหรับทั้งการอัปโหลดและดาวน์โหลด ให้ใช้คำสั่งต่อไปนี้:

sudo WonderShaper eth0 1,000 1,000

คำสั่งนี้จำกัดความเร็วในการอัปโหลดและดาวน์โหลดของอินเทอร์เฟซ eth0 ไว้ที่ 1,000 กิโลบิตต่อวินาที (Kbps) ซึ่งเทียบเท่ากับ 1 Mbps

หากผู้ใช้ต้องการจัดลำดับความสำคัญของการรับส่งข้อมูลการท่องเว็บเหนือการรับส่งข้อมูลประเภทอื่น ให้ใช้คำสั่งต่อไปนี้:

sudo WonderShaper eth0 1,000 100

คำสั่งนี้จำกัดความเร็วในการอัปโหลดและดาวน์โหลดของอินเทอร์เฟซ eth0 ไว้ที่ 1,000 Kbps สำหรับการอัปโหลด และ 100 Kbps สำหรับการดาวน์โหลด วิธีการลดดาวน์โหลดลงนี้จะจัดลำดับความสำคัญของการรับส่งข้อมูลการท่องเว็บ เพราะโดยทั่วไปการท่องเว็บเกี่ยวข้องกับการดาวน์โหลดมากกว่าการอัปโหลด

2.5 ระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux)

ลินุกซ์ (Linux) คือ ระบบปฏิบัติการ (Operating System) แบบยูนิกซ์ (Unix) โดยใช้ลินุกซ์เคอร์เนล (Linux kernel) เป็นศูนย์กลางทำงานร่วมกับไลบรารีและเครื่องมืออื่น เริ่มแรกลินุกซ์ถูกสร้างขึ้นโดย Linus Torvalds ในปีพ.ศ. 2534 โดยใช้ระบบปฏิบัติการ MINIX ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการแบบยูนิกซ์เป็นต้นแบบ โดย Torvalds ไม่ได้พัฒนาลินุกซ์ให้เป็นระบบปฏิบัติการ แต่พัฒนาให้ลินุกซ์เป็นเพียงเคอร์เนิล (Kernel) ซึ่งมีหน้าที่หลักในการติดต่อกับฮาร์ดแวร์ (Hardware) และจัดสรรทรัพยากรของระบบ (Resources Management) เท่านั้น ยังไม่เพียงพอต่อการถูกนำไปใช้งานโดยผู้ใช้ทั่วไป ในช่วงเวลาเดียวกัน Richard Stallman ผู้ก่อตั้งโครงการกนู (GNU) มีจุดมุ่งหมายที่จะพัฒนาระบบปฏิบัติการเพื่อให้เป็นซอฟต์แวร์เสรี (Free software) โดยระบบปฏิบัติการของโครงการกนู ประกอบไปด้วย คลังโปรแกรม (Libraries) คอมไพเลอร์ (Compiler) โปรแกรมแก้ไขข้อความ (Text Editor) และเปลือกระบบยูนิกซ์ (Shell) ซึ่งจะเหลือก็แต่ส่วนที่เป็นเคอร์เนลซึ่งยังพัฒนาออกมาได้ไม่สมบูรณ์ Stallman จึงได้เอาลินุกซ์เคอร์เนลที่พัฒนาโดย Torvalds มาใช้แทน จนทำให้ลินุกซ์ถูกเรียกได้ว่าเป็นระบบปฏิบัติการในที่สุด อย่างไรก็ตามถ้าจะให้ถูกต้องควรจะเรียกว่า ระบบกนู/ลินุกซ์ (GNU/Linux systems) และหลังจากนั้นลินุกซ์ก็เติบโตจนกลายเป็นหนึ่งในระบบปฏิบัติการที่ได้รับความนิยมสูงสุดในปัจจุบัน

ลินุกซ์ถูกออกแบบมาให้เป็นซอฟต์แวร์เสรี (Free software) และซอฟต์แวร์โอเพนซอร์ส (Open source software) กล่าวคือ เป็นระบบที่ทุกคนสามารถดูหรือนำโค้ดของลินุกซ์ไปใช้งาน, แก้ไข, และแจกจ่ายได้อย่างเสรี ใครๆก็สามารถเข้าถึงโค้ดและเข้าร่วมพัฒนาได้ เนื่องจากการเป็นซอฟต์แวร์โอเพนซอร์สนี้ ทำให้ผู้เชี่ยวชาญด้านความปลอดภัยสามารถตรวจสอบและระบุช่องโหว่ในโค้ดได้ จึงทำให้ลินุกซ์มีความเสถียร ความยืดหยุ่น และความปลอดภัยมากกว่าระบบปฏิบัติการอื่นๆ

ลินุกซ์ดิสทริบิวชัน (Linux distribution) หรือ ดิสโทร เป็นการจัดแพคเกจของระบบปฏิบัติการลินุกซ์ โดยการนำระบบปฏิบัติการลินุกซ์มาปรับแต่งและเพิ่มซอฟต์แวร์พื้นฐานต่างๆ รวมเข้าไป เช่น เพิ่มส่วนติดต่อผู้ใช้, โปรแกรมจัดการไฟล์, โปรแกรมสำหรับดูหนัง-ฟังเพลง, โปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ เป็นต้น ทำให้ลินุกซ์ดิสโทรเป็นระบบปฏิบัติการลินุกซ์แบบสำเร็จรูปพร้อมใช้งาน เมื่อติดตั้งแล้วแทบจะไม่ต้องปรับแต่งหรือติดตั้งซอฟต์แวร์เพิ่มเลย สามารถใช้งานได้ทันที ทำให้ผู้ใช้ใช้งานได้สะดวก ลินุกซ์ดิสโทรบางรุ่นได้รับการออกแบบมาสำหรับการใช้งานทั่วไป ในขณะที่บางรุ่นได้รับการปรับแต่งให้เหมาะกับการใช้งานเฉพาะเช่น การผลิตมัลติมีเดีย การวิจัยทางวิทยาศาสตร์ หรือความปลอดภัยของเครือข่าย ทำให้ผู้ใช้สามารถเลือกลินุกซ์ดิสโทรที่ตรงกับความต้องการได้มากที่สุด ลินุกซ์ดิสโทรยอดนิยม ได้แก่ Ubuntu, Debian, Fedora และ CentOS เป็นต้น

2.6 การสตรีมวิดีโอ (Video streaming)

การสตรีมวิดีโอเป็นวิธีการส่งเนื้อหาวิดีโอทางอินเทอร์เน็ตแบบเรียลไทม์ ด้วยการสตรีมวิดีโอ เนื้อหาวิดีโอจะถูกดาวน์โหลดเป็นสตรีมข้อมูลอย่างต่อเนื่อง แทนที่จะดาวน์โหลดทั้งหมดก่อนที่จะเริ่มเล่น ซึ่งช่วยให้ผู้ดูสามารถเริ่มดูวิดีโอได้ทันที โดยไม่ต้องรอให้ดาวน์โหลดวิดีโอทั้งหมด สามารถส่งวิดีโอสตรีมมิ่งโดยใช้โปรโตคอลต่างๆ เช่น HTTP Live Streaming (HLS), Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH) และ Real-Time Messaging Protocol (RTMP) โปรโตคอลเหล่านี้แบ่งเนื้อหาวิดีโอออกเป็นส่วนเล็กๆ หรือส่วนต่างๆ ซึ่งจะถูกส่งไปยังอุปกรณ์ของผู้ดูแบบเรียลไทม์ จากนั้นเครื่องเล่นวิดีโอบนอุปกรณ์ของผู้ดูจะรวบรวมส่วนเหล่านี้เพื่อสร้างสตรีมวิดีโออย่างต่อเนื่อง การสตรีมวิดีโอใช้สำหรับแอปพลิเคชันที่หลากหลาย รวมถึงรายการสด เช่น กีฬา ข่าว และคอนเสิร์ต ตลอดจนบริการวิดีโอตามความต้องการ เช่น Netflix, Disney+, Amazon Prime Video, Hulu และอื่น ๆ อีกมากมาย การสตรีมวิดีโอได้รับความนิยมเพิ่มขึ้นในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เนื่องจากการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตความเร็วสูงที่มีอยู่อย่างแพร่หลายและการใช้อุปกรณ์พกพาที่เพิ่มขึ้นสำหรับการบริโภควิดีโอ โดยรวมแล้วการสตรีมวิดีโอเป็นวิธีที่สะดวกและยืดหยุ่นในการนำเสนอเนื้อหาวิดีโอทางอินเทอร์เน็ต ทำให้ผู้ชมสามารถรับชมเนื้อหาวิดีโอได้ตามความต้องการและแบบเรียลไทม์ ไม่ว่าจะอยู่ที่ไหนและบนอุปกรณ์ใดก็ตามที่เลือกใช้

แบนด์วิดท์เป็นปัจจัยสำคัญในการสตรีมวิดีโอ เนื่องจากเป็นตัวกำหนดปริมาณข้อมูลที่สามารถส่งผ่านการเชื่อมต่อเครือข่าย ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง จำนวนแบนด์วิดท์ที่มีให้สำหรับการสตรีมวิดีโออาจส่งผลต่อคุณภาพและประสิทธิภาพของวิดีโอสตรีมมิงอย่างมาก ปัจจัยที่ทำให้แบนด์วิดท์เกี่ยวข้องกับการสตรีมวิดีโอ ได้แก่

1. คุณภาพวิดีโอ (Video quality): จำนวนแบนด์วิดท์ที่มีให้สำหรับการสตรีมวิดีโอจะส่งผลต่อคุณภาพของวิดีโอ แบนด์วิดท์ที่สูงขึ้นช่วยให้วิดีโอมีคุณภาพสูงขึ้น มีรายละเอียดมากขึ้น การเคลื่อนไหวราบรื่นขึ้น และการสร้างสีที่ดีขึ้น แบนด์วิดท์ที่ต่ำกว่าอาจส่งผลให้วิดีโอมีคุณภาพต่ำลง โดยมีพิกเซล การบิดเบือน และภาพผิดเพี้ยนอื่นๆ

2. การบัฟเฟอร์ (Buffering): แบนด์วิดท์ไม่เพียงพออาจส่งผลให้เกิดการบัฟเฟอร์ ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อสตรีมวิดีโอหยุดชั่วคราวหรือหยุดเพื่อให้สามารถดาวน์โหลดข้อมูลเพิ่มเติมได้ การบัฟเฟอร์อาจทำให้ผู้ชมรู้สึกหงุดหงิด เนื่องจากเป็นการขัดจังหวะประสบการณ์การรับชมและอาจทำให้ผู้ชมหมดความสนใจในเนื้อหาได้

3. เวลาแฝง (Latency): แบนด์วิดท์ยังส่งผลต่อเวลาแฝง ซึ่งเป็นความล่าช้าระหว่างเวลาที่บันทึกวิดีโอและเวลาที่แสดงบนหน้าจอของผู้ดู เวลาแฝงสูงอาจส่งผลให้เกิดความล่าช้าระหว่างเสียงและวิดีโอ ทำให้ประสบการณ์การรับชมเพลิดเพลินน้อยลง

4. การสตรีมแบบ Adaptive Bitrate (ABR): เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสตรีมวิดีโอตามแบนด์วิดท์ที่มีอยู่ บริการสตรีมวิดีโอมักจะใช้การสตรีมแบบ Adaptive Bitrate (ABR) ซึ่งจะปรับบิตเรตของสตรีมวิดีโอตามเงื่อนไขเครือข่ายของผู้ชม การสตรีม ABR สามารถช่วยให้แน่ใจว่าสตรีมวิดีโอจะเล่นได้อย่างราบรื่นเสมอ แม้ว่าเงื่อนไขของเครือข่ายจะเปลี่ยนไปก็ตาม

5. ความแออัดของเครือข่าย (Network congestion): แบนด์วิดท์อาจได้รับผลกระทบจากความแออัดของเครือข่าย ซึ่งอาจเกิดขึ้นเมื่อผู้ใช้หลายคนพยายามเข้าถึงเนื้อหาเดียวกันหรือเมื่อโครงสร้างพื้นฐานเครือข่ายโอเวอร์โหลด ความคับคั่งของเครือข่ายอาจส่งผลให้แบนด์วิดท์ลดลงและอาจส่งผลต่อคุณภาพและประสิทธิภาพของการสตรีมวิดีโอ

2.7 ความละเอียดของวิดีโอ (Video resolution) และอัตราสัดส่วนภาพ (Aspect ratio)

ความละเอียดของวิดีโอ (Video resolution) หมายถึง จำนวนพิกเซล (Pixel) ที่ประกอบวิดีโอในแต่ละภาพหรือเฟรม (frame) คำว่าพิกเซล (Pixel) มาจากคำว่า Picture ที่แปลว่ารูปภาพ และคำว่า Element ที่แปลว่าองค์ประกอบ โดยพิกเซล หมายถึง บล็อกสีเล็กๆ ที่ประกอบกันเพื่อสร้างภาพ พิกเซลมีลักษณะเป็นรูปสี่เหลี่ยม ในการแสดงผลภาพบนหน้าจอคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์อื่นๆ พิกเซลจำนวนมากจะเรียงต่อกันเป็นเส้นแนวนอนและแนวตั้ง ซึ่งในหน่วยความ

ละเอียดมักจะระบุในรูปแบบ ความกว้าง x ความสูง (width x height) ตัวอย่างเช่น วิดีโอที่มีความละเอียด 1920×1080 หรือที่เรียกว่าความละเอียด 1080p หมายถึง ความกว้าง 1920 พิกเซล x ความสูง 1080 พิกเซล โดยพิกเซลแต่ละจุดจะมีค่าสีที่แตกต่างกันออกไป พิกเซลนั้นมีขนาดที่เล็กมาก ซึ่งอยู่ในช่วงของไมโครเมตร (Micrometer) หรือน้อยกว่า โดยทั่วไปแล้วสายตาของคนไม่สามารถแยกความแตกต่างของพิกเซลได้ นอกจากใช้โปรแกรมที่สามารถแสดงภาพแบบสเกลต่ำลง (zoom out) เพื่อแสดงพิกเซลแต่ละตัว

การสตรีมวิดีโอจะเกี่ยวข้องกับความละเอียดของวิดีโอ ในเรื่องของคุณภาพวิดีโอหรือที่ผู้ใช้จะได้รับ ความละเอียดของวิดีโอจะมีผลต่อความชัดเจนและความคมชัดของภาพวิดีโอที่ผู้ใช้จะได้รับ โดยปกติแล้วความละเอียดของวิดีโอจะเพิ่มขึ้นเมื่อความกว้างและความสูงของภาพเพิ่มขึ้น ยิ่งความละเอียดสูงจะทำให้ภาพของวิดีโอมีความละเอียดและความคมชัดสูงขึ้น แต่ในเวลาเดียวกันการเพิ่มความละเอียดของวิดีโอจะทำให้ขนาดไฟล์ของวิดีโอใหญ่ขึ้นด้วย และการเล่นวิดีโอที่มีความละเอียดสูงอาจทำให้การเข้าถึงวิดีโอผ่านอินเทอร์เน็ตช้าลง และต้องพิจารณาความสามารถของอุปกรณ์ที่ใช้เล่นวิดีโอด้วย เพราะต้องใช้ระบบคอมพิวเตอร์ที่มีการ์ดจอและฮาร์ดแวร์ที่มีความสามารถสูงหรืออุปกรณ์สมาร์ทโฟนที่มีความสามารถในการแสดงผลวิดีโอที่สูง เพื่อให้สามารถแสดงผลวิดีโอได้อย่างสมบูรณ์แบบมีคุณภาพและคมชัด ดังนั้น ต้องเลือกความละเอียดของวิดีโอที่เหมาะสม เนื่องจากการสตรีมวิดีโอนั้นจะขึ้นอยู่กับความเร็วของการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต และความสามารถของอุปกรณ์ที่ใช้สตรีมวิดีโอ บางครั้งผู้ใช้อาจต้องลดความละเอียดของวิดีโอลงเพื่อให้สามารถสตรีมวิดีโอได้โดยไม่มีการกระตุกหรือค้างขณะเล่นวิดีโอ โดยทั่วไปแล้วความละเอียดของวิดีโอที่เป็นที่นิยมในปัจจุบันคือ 1080p และ 4K

อัตราสัดส่วนภาพ (Aspect ratio) คือ อัตราส่วนของความกว้าง (Width) และความสูง (Height) ของภาพหรือวิดีโอ โดยแสดงในรูปของสัดส่วน ตัวเลขที่แทนความกว้างอยู่ด้านหน้าและตัวเลขที่แทนความสูงอยู่ด้านหลัง ตัวอย่างเช่น อัตราสัดส่วนภาพ 16:9 หมายถึงว่าความกว้างของภาพหรือวิดีโอเป็น 16 หน่วย และความสูงเป็น 9 หน่วย หรือ 1.78:1 ในรูปแบบสัดส่วน

อัตราสัดส่วนภาพมีความสำคัญในการเลือกใช้แพลตฟอร์มหรืออุปกรณ์ที่เหมาะสมในการแสดงผลภาพหรือวิดีโอ ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะอัตราส่วนภาพ 16:9 ดังแสดงในตารางที่ 2.2 เพราะเป็นอัตราส่วนภาพที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการสร้างและแสดงผลวิดีโอที่ต้องการความละเอียดสูงในปัจจุบัน โดยมีค่าต่ำสุดเป็น HD (High definition) 720p ที่มีความละเอียด 1280x720 พิกเซล หรือ Full HD 1080p ที่มีความละเอียด 1920x1080 พิกเซล เหมาะสำหรับการแสดงผลวิดีโอบนหน้าจอที่มีความกว้างในช่วง 14 ถึง 21 นิ้ว นอกจากนี้อัตราส่วนภาพ 16:9 ใช้กันอย่างแพร่หลายในการสตรีมวิดีโอบนแพลตฟอร์มออนไลน์ เช่น YouTube, Netflix, Amazon Prime Video, Disney+ และอื่นๆ อีกมากมาย อย่างไรก็ตามหากมีการใช้อัตราส่วนภาพ 16:9 กับวิดีโอที่มีความละเอียดต่ำกว่า HD 720p อาจทำให้ภาพไม่คมชัดเหมือนกับการใช้อัตราส่วนภาพที่เหมาะสมกับความละเอียดนั้นๆ ดังนั้น

การเลือกใช้อัตราส่วนภาพที่เหมาะสมกับความละเอียดของวิดีโอเป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้ได้ภาพที่คมชัดและสวยงามขึ้น

ตารางที่ 2.2 ตารางแสดงความละเอียดของวิดีโอในอัตราส่วนภาพ 16:9 ต่างๆ

ชื่อความละเอียด	ขนาดความละเอียด (ในหน่วยพิกเซล)	อัตราส่วนภาพ	คำอธิบาย
144p	256x144	16:9	คุณภาพต่ำสุดที่ใช้งานได้
240p	426x240	16:9	คุณภาพต่ำ แต่รับประกันความเหมาะสมกับการดูผ่านอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็ก
360p	640x360	16:9	คุณภาพปานกลาง แต่ยังคงมีขนาดไฟล์เล็ก
432p	768x432	16:9	คุณภาพปานกลางถึงคุณภาพดี แต่ไฟล์มีขนาดใหญ่ขึ้น
480p	854x480	16:9	คุณภาพดีและเหมาะสมกับการดูผ่านอุปกรณ์ที่มีขนาดเล็กถึงกลาง
540p	960x540	16:9	คุณภาพดี และเหมาะสมกับการดูผ่านอุปกรณ์ที่มีขนาดกลาง
720p	1280x720	16:9	คุณภาพ HD และเหมาะสมกับการดูผ่านอุปกรณ์ที่มีขนาดใหญ่
1080p	1920x1080	16:9	คุณภาพ Full HD ที่ดีที่สุดสำหรับวิดีโอที่มีขนาดใหญ่
1440p	2560x1440	16:9	คุณภาพ Quad HD (QHD) สำหรับวิดีโอที่มีขนาดใหญ่
2160p	3840x2160	16:9	คุณภาพ 4K Ultra HD ที่ดีที่สุดสำหรับวิดีโอที่มีขนาดใหญ่สุด

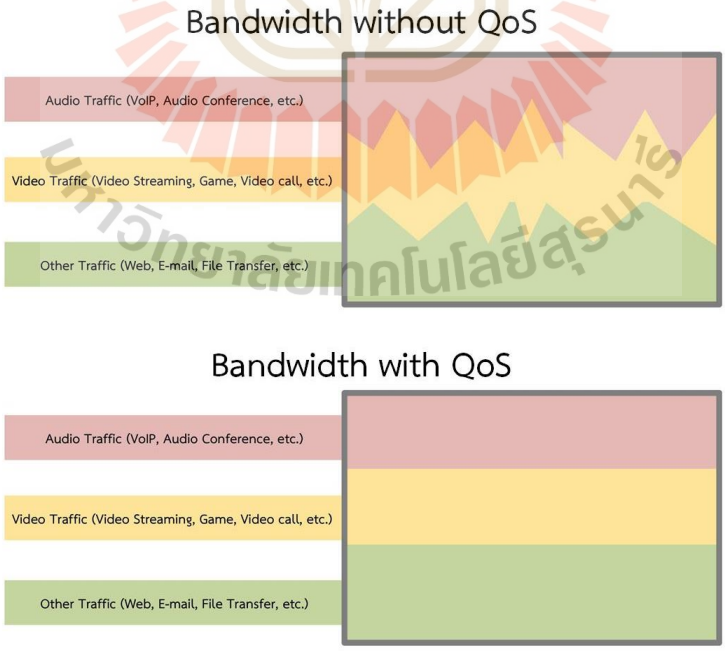
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2.8 คุณภาพการให้บริการ (Quality of Service)

คุณภาพการให้บริการ (Quality of Service : QoS) หมายถึงการจัดการและควบคุมคุณภาพของบริการเครือข่ายหรือบริการอินเทอร์เน็ต เพื่อให้การสื่อสารและการใช้งานบริการเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและเสถียรภาพ การใช้ QoS ช่วยทำให้เครือข่ายหรือบริการอินเทอร์เน็ตสามารถจัดสิทธิ์การใช้งานและกำหนดลำดับความสำคัญของข้อมูล ทำให้การสื่อสารและการใช้งานบริการไม่เกิดความล่าช้า หรือสะดุดขณะใช้งาน นอกจากนี้ QoS ยังช่วยลดปัญหาการสูญเสียข้อมูลและความไม่เสถียรของเครือข่ายหรือบริการ ทำให้ผู้ใช้งานได้รับประสบการณ์การใช้งานที่ดีและมีคุณภาพสูงขึ้น

QoS เป็นการจัดการและควบคุมการใช้งานทรัพยากรของเครือข่ายเพื่อให้บริการเครือข่ายแบบมีประสิทธิภาพและมีคุณภาพสูงสุด การใช้งาน QoS สำคัญมากในการสตรีมวิดีโอ (Video streaming) เพราะว่าการสตรีมวิดีโอต้องการการส่งข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Continuous data flow) ที่มีความเสถียรและต่อเนื่อง ดังนั้นการจัดการ QoS เพื่อให้ระบบสตรีมวิดีโอทำงานได้อย่างเหมาะสมจึงเป็นสิ่งสำคัญในการให้บริการสตรีมวิดีโอ

QoS ควบคุมและจัดการทรัพยากรเครือข่ายโดยกำหนดลำดับความสำคัญสำหรับประเภทข้อมูลเฉพาะบนเครือข่าย QoS เพิ่มประสิทธิภาพเครือข่ายด้วยการจัดการแบนด์วิดท์และกำหนดลำดับความสำคัญสำหรับแอปพลิเคชันที่ต้องการทรัพยากรมากกว่าแอปพลิเคชันอื่นๆ ช่วยให้ผู้ดูแลระบบสามารถปรับการตั้งค่าเครือข่าย แบ่งแบนด์วิดท์ที่มีอยู่ระหว่างแอปพลิเคชันต่างๆ อย่างเหมาะสม ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 2.3 เปรียบเทียบการใช้งานเครือข่ายที่ไม่มีการใช้ QoS จัดลำดับความสำคัญของแพ็กเก็ตข้อมูล และมีการจัดลำดับความสำคัญของแพ็กเก็ตข้อมูล

QoS เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้ผู้ดูแลเครือข่ายสามารถจัดการและควบคุมคุณภาพการให้บริการในเครือข่ายได้ด้วยวิธีต่างๆ ดังนี้:

1. Packet Prioritization: เป็นการจัดลำดับความสำคัญของแพ็กเก็ตที่ผ่านเครือข่าย โดยทำการกำหนดลำดับความสำคัญของแพ็กเก็ตตามลักษณะการใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น การใช้งาน VoIP จะต้องมีความสำคัญสูงกว่าการใช้งานอินเทอร์เน็ตทั่วไป เพื่อให้การสื่อสารเสียงไม่มีการสะดุดหรือตัดต่อ

2. Bandwidth Limitation: เป็นการจำกัดการใช้งานแบนด์วิดท์ในเครือข่าย โดยกำหนดการใช้งานแบนด์วิดท์ของแต่ละแอปพลิเคชันหรือผู้ใช้งาน ซึ่งช่วยลดปัญหาการใช้งานแบนด์วิดท์โดยไม่เหมาะสมทำให้เครือข่ายเต็มสปีดและส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการ

3. QoS Protocol: เป็นโปรโตคอลที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างเครือข่ายเพื่อกำหนดความสำคัญและลำดับของแพ็กเก็ตในเครือข่าย โดยการใช้ QoS Protocol จะช่วยให้เครือข่ายสามารถจัดการและควบคุมคุณภาพการให้บริการได้มากขึ้น โดยมี QoS Protocol หลายแบบเช่น DiffServ (Differentiated Services), MPLS (Multiprotocol Label Switchingc) และ RSVP (Resource Reservation Protocol) ซึ่งแต่ละแบบจะมีลักษณะการใช้งานและความสามารถที่แตกต่างกันไป

QoS มีหลายพารามิเตอร์ที่สามารถกำหนดค่าได้เพื่อควบคุมและเพิ่มประสิทธิภาพและคุณภาพของบริการเครือข่ายหรือบริการอินเทอร์เน็ตให้เหมาะสมกับความต้องการของแต่ละบริการ พารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่

1. แบนด์วิดท์ (Bandwidth) คือ ความกว้างของช่องสื่อสารเป็นปัจจัยสำคัญที่จะกำหนดความเร็วของการส่งข้อมูลในเครือข่าย ซึ่งจะกำหนดให้เครือข่ายสามารถรับส่งข้อมูลได้เท่าไร

2. ปริมาณงาน (Throughput) คือ ปริมาณข้อมูลที่สามารถส่งผ่านเครือข่ายได้ในหน่วยเวลาหนึ่ง ซึ่งถูกนำมาเป็นตัววัดประสิทธิภาพของเครือข่าย ค่าปริมาณงานที่สูงแสดงว่าเครือข่ายมีประสิทธิภาพสูงและสามารถส่งข้อมูลได้เร็ว

3. ความล่าช้า (Delay) คือ เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง ซึ่งถูกนำมาเป็นตัววัดคุณภาพของบริการ เมื่อค่า Delay มีค่าต่ำแสดงว่าเครือข่ายมีประสิทธิภาพสูงและสามารถส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว

4. ความกระวนกระวาย (Jitter) คือ ความแปรปรวนของเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง ซึ่งจะมีผลต่อความเสถียรภาพของการสื่อสารแบบเรียลไทม์ โดยค่า Jitter ที่ต่ำก็จะทำให้การสื่อสารเป็นไปได้อย่างราบรื่นและเรียลไทม์

5. การสูญหายของแพ็กเก็ต (Packet Loss) คือ การสูญเสียข้อมูลในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย ซึ่งมีผลต่อความเสถียรภาพและประสิทธิภาพในการใช้งานของผู้ใช้งาน โดยค่า Packet Loss ที่ต่ำก็จะทำให้การสื่อสารเป็นไปได้อย่างราบรื่นและเรียลไทม์

เครื่องมือตรวจสอบเครือข่าย (Network monitoring tools) เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบและวิเคราะห์การทำงานของเครือข่าย โดยสามารถตรวจสอบสถานะของอุปกรณ์เครือข่าย ตรวจสอบประสิทธิภาพของเครือข่าย ตรวจสอบความปลอดภัยของเครือข่าย จัดการอุปกรณ์เครือข่ายรายงาน

ผลการตรวจสอบ นอกจากนี้สามารถใช้ในการวิเคราะห์คุณภาพการให้บริการในเครือข่าย ซึ่งมีทั้งเครื่องมือที่ต้องจ่ายเงินและเครื่องมือที่สามารถใช้งานได้ฟรี ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบเครื่องมือตรวจสอบ วิเคราะห์และศึกษาคุณภาพการให้บริการเครือข่าย

เครื่องมือ	คำอธิบาย	ราคา
Wireshark	เป็นเครื่องมือตรวจสอบและวิเคราะห์การทำงานของเครือข่าย โดยที่ผู้ใช้สามารถตรวจสอบและวิเคราะห์การส่งข้อมูลในเครือข่ายได้อย่างละเอียด แต่ไม่มีฟังก์ชั่นการตรวจสอบและเฝ้าระวังการใช้งานเครือข่ายแบบอัตโนมัติ	Free
SolarWinds Network Performance	เป็นเครื่องมือตรวจสอบและวิเคราะห์การทำงานของเครือข่าย โดยที่มีฟังก์ชั่นการตรวจสอบและเฝ้าระวังการใช้งานเครือข่ายอย่างเป็นระบบ	$2,995
PRTG Network Monitor	เป็นเครื่องมือตรวจสอบและวิเคราะห์การทำงานของเครือข่าย โดยที่มีฟังก์ชั่นการตรวจสอบและเฝ้าระวังการใช้งานเครือข่ายอย่างเป็นระบบ รวมถึงการตรวจสอบความเสถียรของเซิร์ฟเวอร์และอุปกรณ์เครือข่าย	€1,600
NetFlow Analyzer	เป็นเครื่องมือวิเคราะห์และจัดการการใช้งานเครือข่าย โดยที่มีฟังก์ชั่นการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้งานเครือข่าย รวมถึงการตรวจสอบแบนด์วิดท์ของเครือข่าย	$1,295
Zabbix	เป็นเครื่องมือตรวจสอบและวิเคราะห์การทำงานของเครือข่าย โดยที่มีฟังก์ชั่นการตรวจสอบและวิเคราะห์การใช้งานเครือข่าย รวมถึงการตรวจสอบสถานะของเซิร์ฟเวอร์และอุปกรณ์เครือข่าย รวมถึงการแจ้งเตือนผู้ดูแลเครือข่ายในกรณีที่เกิดความผิดพลาด	Free
Cisco Prime Infrastructure	เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการเครือข่าย Cisco ช่วยให้ผู้ดูแลเครือข่ายสามารถกำหนดค่า QoS และตรวจสอบประสิทธิภาพของเครือข่ายได้	$1,995
HP Network Node Manager	เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจสอบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครือข่าย HP ช่วยให้ผู้ดูแลเครือข่ายสามารถตรวจสอบและแก้ไขปัญหาในเครือข่ายได้	$1,799
Microsoft System Center	เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการและควบคุมเครือข่ายของ Microsoft ช่วยให้ผู้ดูแลเครือข่ายสามารถตรวจสอบและแก้ไขปัญหาในเครือข่ายได้	$1,323

2.9 คุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (Quality of Experience)

คุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (Quality of Experience, QoE) เป็นเกณฑ์การวัดความพึงพอใจและประสิทธิภาพของผู้ใช้งานในการใช้บริการหรือแอปพลิเคชันต่างๆ QoE เป็นตัวชี้วัดที่สำคัญในการปรับปรุงคุณภาพและความพึงพอใจของผู้ใช้งาน โดยการวัดและประเมิน QoE สามารถทำได้โดยใช้เครื่องมือต่างๆ เช่น แบบสอบถามผู้ใช้งาน การวิเคราะห์ข้อมูลการใช้งาน หรือการใช้เทคโนโลยีต่างๆ เพื่อวัดและวิเคราะห์ผลของ QoE และนำเสนอแนวทางปรับปรุงคุณภาพแก่ผู้ใช้งานในอนาคต

การวัดคุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (QoE) ของบริการสตรีมวิดีโอเป็นสิ่งสำคัญที่สุด เนื่องจากผู้ใช้งานมักมีความคาดหวังที่สูงต่อคุณภาพการสตรีมวิดีโอ การวัด QoE ของบริการสตรีมวิดีโอสามารถทำได้โดยใช้ตัววัดต่างๆ ดังนี้:

1. ความคมชัดของวิดีโอ: การวัดความคมชัดของวิดีโอที่ถูกส่งมอบถึงผู้ใช้งาน โดยวัดจากความละเอียดของวิดีโอ ระบบการบีบอัด และประสิทธิภาพของเครือข่าย

2. ความเร็วในการโหลดวิดีโอ: การวัดเวลาที่ใช้ในการโหลดวิดีโอเมื่อผู้ใช้งานเลือกดูวิดีโอ โดยวัดจากความเร็วของเครือข่าย และประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณ

3. การล้มเหลวของการสตรีมวิดีโอ: การวัดจำนวนครั้งที่การสตรีมวิดีโอล้มเหลวหรือโดนตัดขณะเล่นวิดีโอ โดยวัดจากจำนวนครั้งที่เกิดข้อผิดพลาดในการส่งข้อมูล

4. ความเร็วในการเลื่อนไปหรือย้อนกลับ: การวัดความเร็วในการเลื่อนไปหรือย้อนกลับในวิดีโอ โดยวัดจากความลื่นไหลของวิดีโอ เมื่อผู้ใช้งานทำการเลื่อนหรือย้อนกลับ

5. ความเสถียรของสัญญาณ: การวัดความเสถียรของสัญญาณในการสตรีมวิดีโอ โดยวัดจากความแข็งแรงของสัญญาณและความเสถียรของการเชื่อมต่อ

6. คุณภาพเสียง: การวัดคุณภาพเสียงที่ผู้ใช้งานได้รับ เช่น ความชัดเจนของเสียง การสะท้อนเสียง หรือการเกิดเสียงรบกวน

Mean Opinion Score (MOS) เป็นวิธีการวัดคุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (QoE) ในบริการสตรีมวิดีโอ โดย MOS จะให้คะแนนคุณภาพรวมของบริการสตรีมวิดีโอจากผู้ใช้งาน โดยให้ผู้ใช้งานให้คะแนนตั้งแต่ 1 ถึง 5 โดยมีความหมายดังนี้

5: คุณภาพดีมาก (Excellent)

4: คุณภาพดี (Good)

3: คุณภาพปานกลาง (Fair)

2: คุณภาพไม่ดี (Poor)

1: คุณภาพแย่มาก (Bad)

การวัด MOS สามารถทำได้โดยการสอบถามผู้ใช้งานผ่านแบบสอบถามหรือการทดสอบการใช้งานจริง โดยใช้เกณฑ์การประเมินคุณภาพที่เหมาะสมกับแต่ละประเภทของบริการสตรีมวิดีโอ การวัด MOS เป็นวิธีการวัดคุณภาพที่มีความเป็นที่ยอมรับในวงการสื่อสาร โดยมีข้อดีในเรื่องของความเข้าใจ

ง่ายและสามารถใช้ได้กับหลายประเภทของบริการสตรีมวิดีโอ อย่างไรก็ตาม การวัด MOS อาจมีข้อจำกัดในเรื่องของความถูกต้องของผลการวัด โดยค่า MOS ที่ได้อาจไม่สามารถแสดงความจริงของประสิทธิภาพภายในบริการสตรีมวิดีโอได้อย่างแม่นยำในทุกสถานการณ์

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเครือข่าย วัดประสิทธิภาพของคุณภาพประสบการณ์ผู้ใช้งาน และวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบกับเครือข่าย และการใช้งานบริการสตรีมมิ่งต่างๆ โดยบทความที่ 1 2 3 เป็นการวัดค่าและวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายของบริการสตรีมวิดีโอ บทความที่ 4 5 และ 6 เป็นการวัดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายของบริการสตรีมวิดีโอ และวิเคราะห์ความละเอียดและคุณภาพวิดีโอ บทความที่ 7 8 9 และ 10 เป็นการวัดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับเครือข่ายของบริการสตรีมวิดีโอ และวัดประสิทธิภาพของคุณภาพประสบการณ์ผู้ใช้งาน จากผลลัพธ์ที่ได้จากการวัดและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบกับเครือข่ายต่อการใช้งานบริการสตรีมมิ่งต่างๆของแต่ละบทความข้างต้นนั้น ยังไม่มีงานวิจัยที่พิจารณาครบทั้งในเรื่องคุณภาพบริการและคุณภาพประสบการณ์ผู้ใช้งาน ผู้วิจัยจึงได้สนใจเกี่ยวกับวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบกับเครือข่ายต่อการใช้งานบริการสตรีมมิ่ง Disney+ Netflix and YouTube วิเคราะห์ความละเอียดและคุณภาพวิดีโอ โดยพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่ผู้ใช้สามารถดูวิดีโอออนไลน์ในสภาพแวดล้อมที่จำกัดแบนด์วิดท์ ในความละเอียดหรือคุณภาพของวิดีโอที่ผู้ใช้จะยังสามารถรับชมได้ และวัดระดับความพึงพอใจโดยรวมของผู้ใช้หรือคุณภาพของประสบการณ์ (QoE) กับบริการเครือข่ายสำหรับวิดีโอแบบเรียลไทม์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อ้างอิง	วิธีดำเนินงานและผลลัพธ์
[1] M. S. Ito, R. Antonello, D. Sadok and S. Fernandes, (2014) "Network level characterization of adaptive streaming over HTTP applications," IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), pp. 1-7, doi: 10.1109/ISCC.2014.6912603.	• ประเมินพฤติกรรมการรับส่งข้อมูลเครือข่ายของบริการสตรีม Netflix และ YouTube เพื่อวิเคราะห์เปลี่ยนแปลงในสภาวะของเครือข่ายต่างๆ • เข้าใช้งานผ่าน Mozilla Firefox (version 24.0) • ใช้เครื่องมือ TCPDump ดักจับแพ็กเก็ต และวิเคราะห์พฤติกรรมเครือข่าย • ใช้เครื่องมือ Netem ควบคุมและจำลองพารามิเตอร์เครือข่ายเพื่อทดสอบ ซึ่งเปรียบเทียบ 4 กรณี คือ ไม่มีข้อจำกัดของเครือข่าย จำกัด Bandwidth จำกัด Packet Loss และจำกัด Delay • พารามิเตอร์ที่วัด ได้แก่ Throughput, Packet per second, Packet size, และ Inter-arrival times • เมื่อเปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ไม่มีข้อจำกัด กับ จำกัด Bandwidth และ เปรียบเทียบกับผลลัพธ์ที่ไม่มีข้อจำกัด กับ จำกัด Packet Loss พบว่า Netflix และ YouTube ปริมาณงานลดลง ส่วนกรณีจำกัด Delay ผลลัพธ์ที่ไม่มีข้อจำกัด • สรุปประสิทธิภาพที่ดีขึ้นของผู้เล่น โดยอนุมานได้จากปริมาณงานเฉลี่ยสำหรับสถานการณ์ที่จำกัด จากผลการวิเคราะห์พบว่าแอปพลิเคชันทั้งสองทำงานได้ไม่ดีภายใต้เมื่อจำกัด Bandwidth และ Packet Loss แต่ยังคงทำงานได้ดีภายใต้ข้อจำกัด Delay
[2] Azhar, A. Z., Pramono, S., & Supriyanto, E. (2016): An Analysis of Quality of Service (QoS) In Live Video Streaming Using Evolved HSPA Network Media. JAICT, 1(1), 1-6.	• วิเคราะห์คุณภาพการบริการ (QoS) ในการสตรีมวิดีโอสด โดยใช้สื่อเครือข่าย Evolved High Speed Packet Access (HSPA+) ที่พัฒนาขึ้น • ใช้ Wireshark ในการดักจับแพ็กเก็ต • การทดลองกำหนดให้ Notebook 3 เครื่อง เป็น Client เชื่อมต่อกับ Media Server และสามารถเข้าถึงทรัพยากรมัลติมีเดียสตรีมมิ่งวิดีโอสดที่ได้มาจากเว็บแคม (Live video streaming webcams)

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

อ้างอิง	วิธีดำเนินงานและผลลัพธ์
	• เปรียบเทียบคุณภาพของบริการเครือข่ายที่ใช้สำหรับการสตรีมวิดีโอสดของผู้ให้บริการสองรายคือ A และ B • พารามิเตอร์ที่วัด ได้แก่ Download rate, Throughput, Delay, Packet Loss และ Jitter • ผลการทดลองพบว่า ผู้ให้บริการ A มีความเร็วในการดาวน์โหลดสูงสุด 9.208 Mbps ที่เวลา 04.00 น. และผู้ให้บริการ B มีความเร็วในการดาวน์โหลดสูงสุด 9.332 Mbps ที่เวลา 04.00 น. เช่นกันแสดงให้เห็นว่าเวลาในการทดสอบมีผลอย่างมากต่อคุณภาพของบริการเครือข่ายที่ใช้สำหรับการสตรีมวิดีโอสด • นอกจากนี้พบว่าเมื่อวัดค่า Throughput, Delay, Packet Loss และ Jitter จาก Media server ไปยัง Client สรุปได้ว่าค่าที่วัดได้ขึ้นอยู่กับจำนวน Client ที่เข้าถึงการสตรีมวิดีโอ o จำนวน Client น้อย ค่า Throughput จะมากขึ้น (โดยค่า Throughput สูงสุดที่ 446.354 Kbps เมื่อเข้าถึงโดย Client เพียงคนเดียวผ่านผู้ให้บริการ A) o จำนวน Client น้อย ค่า Delay จะน้อยลง (โดยค่า Delay ต่ำสุดที่ 28.317 ms เมื่อเข้าถึงโดย Client เพียงคนเดียวผ่านผู้ให้บริการ B) o จำนวน Client น้อย ค่า Jitter จะน้อยลง (โดยค่า Jitter ต่ำสุดที่ 29.725 ms เมื่อเข้าถึงโดย Client เพียงคนเดียวผ่านผู้ให้บริการ A) o ส่วน Packet Loss พบว่าเมื่อมีจำนวน Client มากขึ้น Packet Loss ที่ได้รับจากผู้ให้บริการ A ลดลง ในขณะที่ผู้ให้บริการ B จำนวน Client ไม่สัมพันธ์กับค่า Packet Loss • สรุปการวิเคราะห์คุณภาพการบริการ ตามมาตรฐาน TIPHON บนเครือข่าย Evolved HSPA ของผู้ให้บริการทั้งสองรายที่ใช้สำหรับการสตรีมวิดีโอสดนั้นจัดอยู่ในเกณฑ์ที่ดี

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

อ้างอิง	วิธีดำเนินงานและผลลัพธ์
[3] A. Charisma, A. D. Setiawan, G. Megiyanto Rahmatullah and M. R. Hidayat, (2019) "Analysis Quality of Service (QoS) on 4G Telkomsel Networks In Soreang," IEEE 13th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA), pp. 145-148, doi: 10.1109/TSSA48701.2019.8985489.	• วิเคราะห์คุณภาพการบริการ (QoS) ตามมาตรฐานTIPHON ของเครือข่ายอินเทอร์เน็ตจากผู้ให้บริการ Telkomsel ใน Soreang • พารามิเตอร์ที่วัด ได้แก่ คือ Throughput, Delay, Jitter และ Packet loss • การทดลองใช้ Wireshark ดักจับแพ็กเก็ตสตรีมวิดีโอในเวลากลางคืน ทั้งการดาวน์โหลด และอัปโหลด • ผลการทดลองวัดค่าพารามิเตอร์ QoS พบว่าเป็นไปตามมาตรฐาน TIPHON พารามิเตอร์ทุกตัวอยู่ในเกณฑ์ดีมาก คือ ไม่มี Packet loss ความเร็วการดาวน์โหลด อัปโหลด และสตรีมวิดีโออยู่ในช่วง 375 Kbps ถึง 1.2 Mbps และมี Jitter และ Delay เฉลี่ยน้อยกว่า 1 ms สรุปได้ว่าประสิทธิภาพของผู้ให้บริการ Telkomsel ใน Soreang กลางคืนดีมาก
[4] H. Nam, K. H. Kim, B. H. Kim, D. Calin and H. Schulzrinne, (2014): Towards dynamic QoS-aware over-the-top video streaming, Proceeding of IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, pp. 1-9, doi: 10.1109/WoWMoM.2014.6918921.	• วิเคราะห์แพ็กเก็ต TCP/IP และ HTTP ของบริการสตรีมวิดีโอ 2 บริการ คือ YouTube และ Netflix • ทดสอบบนอุปกรณ์มือถือ iOS และ Android ผ่านเครือข่ายไร้สายที่หลากหลาย Wi-Fi, 3G และ LTE (Long-Term Evolution) ภายใต้เงื่อนไขเครือข่ายที่แตกต่างกัน • การทดลองให้ Client A และ B สุ่มเลือกวิดีโอ YouTube และ Netflix โดยเวลาเล่นเฉลี่ยของแต่ละวิดีโอประมาณ 10 นาที และเลือกความละเอียดหนึ่งรายการแบบไดนามิกเป็น 360p, 480p และ 720p ตามเงื่อนไขเครือข่าย • ใช้ Netem, Netfilter และ iptables ควบคุมพารามิเตอร์เครือข่าย บน Linux • ใช้ Netem ตั้งค่า TCP Throughput สูงสุดที่มีอยู่ 0.2 MB/s, 0.4 MB/s และ 0.7 MB/s สำหรับความละเอียด 360p, 480p และ 720p ตามลำดับ

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

อ้างอิง	วิธีดำเนินงานและผลลัพธ์
	• ใช้ Video Streaming Packet Collector (VSPC) สำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูลแพ็กเก็ตของวิดีโอที่ถูกส่งมาผ่านเครือข่ายในการสตรีมวิดีโอ • ใช้ P-GW หรือ Packet Data Network Gateway เป็นอุปกรณ์สำคัญในการจัดการคุณภาพบริการ (QoS) ในระบบเครือข่ายด้วยการใช้ QoS-aware rule ในการควบคุมและจัดการการส่งข้อมูลในระบบเครือข่าย โดยกำหนด A-AMBR และ UE-AMBR เพื่อจัดการแบนด์วิดท์ที่ใช้งานในระบบเครือข่าย • ทำงานทดลอง 2 กรณี คือ Client A รับการสตรีมวิดีโอแบบปกติ และ Client B รับชมการสตรีมวิดีโอแบบใช้ QoS-aware rule • พารามิเตอร์ที่วัด ได้แก่ Throughput และ Discard ratio • ผลการทดลอง Client A ประสบปัญหาบัฟเฟอร์อันเดอร์โฟลว์จำนวนมากขณะเล่นวิดีโอ ส่วนปริมาณงาน TCP ของการสตรีมวิดีโอบน Client B ได้รับการปรับให้ดีขึ้น นอกจากนี้ กรณีใช้ QoS-aware rule ทำให้อัตราส่วนของข้อมูลที่ถูกลบทิ้งต่ำกว่าและประสิทธิภาพดีกว่า
[5] Paul Schmitt, Francesco Bronzino, Sara Ayoubi, Guilherme Martins, Renata Teixeira, Nick Feamster, (2019) “Inferring Streaming Video Quality from Encrypted Traffic: Practical Models and Deployment Experience”.	• พัฒนาโมเดลที่อนุมานตัวชี้วัดคุณภาพ (เช่น ความล่าช้าในการเริ่มต้น และความละเอียด) สำหรับบริการวิดีโอสตรีมมิ่ง Netflix, YouTube, Amazon และ Twitch • โมเดลการอนุมานคุณภาพวิดีโอแสดงระดับความละเอียด 5 คลาส คือ 240, 360, 480, 720 และ 1080p • ใช้เทคนิค Adaptive Bitrate (ABR) ควบคุมพารามิเตอร์เครือข่าย • พารามิเตอร์ที่วัด ได้แก่ Delay, Resolution, Speed และ Throughput • สรุปแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของอินเทอร์เน็ต และความละเอียดหรือคุณภาพของสตรีมวิดีโอที่เกี่ยวข้องสำหรับบริการที่หลากหลาย

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

อ้างอิง	วิธีดำเนินงานและผลลัพธ์
	• ผลการทดลองสำหรับ Netflix, YouTube, และ Twitch พบว่าความเร็วในการเข้าถึงที่สูงขึ้นนั้น ให้การปรับปรุงคุณภาพวิดีโอเป็น 1080p เพียงเล็กน้อยเท่านั้น (น้อยกว่า 20 %) แต่ Amazon ให้การปรับปรุงคุณภาพวิดีโอเป็น 1080p มากกว่า 50 % นอกจากนี้โดยทั่วไปแล้ว YouTube จะสตรีมที่ความละเอียดต่ำกว่าสำหรับเงื่อนไขเครือข่ายเดียวกันเมื่อเทียบกับบริการอื่น ๆ
[6] Wishnu, A. and Sugiantoro, B., (2019) “Analysis of Quality of Service (QoS) YouTube Streaming Video Service in Wireless Network in Faculty of Science and Technology UIN Sunan Kalijaga” Int. J. Inform. Dev. 2019,7, 30.	• การวิเคราะห์คุณภาพการบริการ (QoS) บริการสตรีมมิ่งวิดีโอ YouTube บนเครือข่ายไร้สาย SUKAnet WiFi • ใช้ระบบปฏิบัติการ Windows 7 Ultimate • ใช้ Wireshark เป็นเครื่องมือสำหรับดักจับแพ็กเก็ตสตรีมมิ่งวิดีโอ YouTube ที่คุณภาพวิดีโอ 360p, 480p และ 720p • ดักจับข้อมูลเครือข่ายในช่วงเวลา 09:00-11:00 น. เวลา 12:00-14:00 น. และเวลา 15:00-17:00 น. เป็นเวลา 5 วัน • ใช้ Axence netTools สำหรับขั้นตอนการทดสอบ Bandwidth and Packet loss • พารามิเตอร์ที่วัด ได้แก่ Delay, Jitter, Throughput, Packet Loss และ Bandwidth • ผลการทดลองสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของบริการอินเทอร์เน็ตใน SUKAnet WiFi มีระดับคุณภาพไม่สูง เมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพ TIPHON ในวิดีโอที่มีคุณภาพ 360p 480p และ 720p เนื่องจากยังมีพารามิเตอร์ throughput และ packet loss ที่จัดอยู่ในเกณฑ์ที่แย่ จึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพบริการ เพื่อตอบสนองความต้องการของบริการอินเทอร์เน็ตที่มีปริมาณการใช้งานสูงสุดของผู้ใช้

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

อ้างอิง	วิธีดำเนินงานและผลลัพธ์
[7] W. Robitza, A. M. Dethof, S. Göring, A. Raake, A. Beyer and T. Polzehl, (2020): Are You Still Watching? Streaming Video Quality and Engagement Assessment in the Crowd, 2020 Twelfth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX), pp. 1-6, doi: 10.1109/QoMEX48832.2020.9123148.	• นำเสนอการเปรียบเทียบ OTT สำหรับการสตรีมวิดีโอหลัก 3 รายการ ได้แก่ YouTube, Amazon Prime และ Netflix กับผู้ให้บริการอินเทอร์เน็ตระดับประเทศหลัก 5 แห่ง ในเยอรมนี • เข้าชมสตรีมวิดีโอผ่าน Web Browser คือ Google Chrome และ Mozilla Firefox • ประเมินประสิทธิภาพการสตรีมในแง่ของเวลาในการโหลดและการหยุดชะงัก ตลอดจนพฤติกรรมของลูกค้า (เช่น การมีส่วนร่วมของผู้ใช้) และคุณภาพของประสบการณ์ (QoE)โดยใช้โมเดล ITU-T P.1203 โดยการให้คะแนนความคิดเห็น หรือ MOS • พารามิเตอร์ที่วัด ได้แก่ Speed, Loading times และ Stalling • การทดลองการประมาณแบนด์วิดท์ โดยทำการทดสอบความเร็วสูงสุดที่ทำได้สำหรับผู้ใช้ ต่อ ISP แต่ละราย ซึ่งจัดผู้ใช้ออกเป็นกลุ่มแบนด์วิดท์สำหรับการวิเคราะห์ คือ [0, 16] Mbit/s, (16, 50] Mbit/s และ (50, 500] Mbit/s • ผลการทดลองพบว่าการสตรีมวิดีโอส่วนใหญ่เกิดขึ้นในกลุ่มแบนด์วิดท์ (16, 50] Mbit/s ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ใช้ที่มากขึ้นในกลุ่มนั้น ๆ • การวัดคุณภาพของประสบการณ์ โดยการให้คะแนนความคิดเห็น หรือ MOS พบว่า คะแนน MOS สำหรับ YouTube โดยทั่วไปจะสูงกว่า Amazon และ Netflix และคุณภาพที่นำเสนอโดย แต่ละ ISP นั้นไม่เหมือนกัน ตัวอย่างเช่น ISP C Netflix มี QoE ที่ต่ำกว่า เมื่อเทียบกับ Amazon ในขณะที่สำหรับ ISP D จะตรงกันข้าม Amazon มี QoE ที่ต่ำกว่า Netflix ซึ่งคุณภาพที่ต่ำกว่าโดยทั่วไปสามารถอธิบายได้ด้วยความเร็วในการเข้าถึงแบนด์วิดท์ต่ำ ซึ่งจะเห็นได้ชัดเจนเป็นพิเศษใน QoE สำหรับ ISP D

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

อ้างอิง	วิธีดำเนินงานและผลลัพธ์
[8] G. Gómez, L. Hortigüela, Q. Pérez, J. Lorca, R. García, and M. C. Aguayo-Torres, (2014): YouTube QoE evaluation tool for Android wireless terminals, EURASIP J. Wireless Commun. Netw., vol. 2014, Art. no. 164.	• นำเสนอแอปพลิเคชัน Android ที่สามารถประเมินและวิเคราะห์คุณภาพการรับรู้ประสบการณ์ (QoE) สำหรับ YouTube บนอุปกรณ์มือถือ • ทดสอบการใช้งานและประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันหรือโปรแกรมบนอุปกรณ์ Android จำนวน 17 เครื่อง เพื่อทดสอบการทำงานของแอปพลิเคชันและตรวจสอบประสิทธิภาพของระบบ เป็นเวลา 1 เดือน • พารามิเตอร์ที่วัด ได้แก่ Throughput, Round trip time และ Loss rate • แอปพลิเคชันที่นำเสนอใช้การวัดคุณภาพการบริการตามวัตถุประสงค์ (QoS) ซึ่งจากนั้นจะจับคู่กับ QoE (ซึ่งวัดจากคะแนนความคิดเห็นเฉลี่ย MOS) โดยใช้ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ แอปพลิเคชันจะแจ้งให้ผู้ใช้ทราบถึงสาเหตุที่เป็นไปได้ของ MOS ที่ต่ำ ตลอดจนให้คำแนะนำในการปรับปรุง • ผลการทดลองการใช้งาน YouTube บนอุปกรณ์ไร้สาย มีคะแนน MOS เพิ่มขึ้นประมาณ 20% เมื่อเทียบกับแบบจำลองทางทฤษฎีซึ่งได้มาจากสถานการณ์แบบมีสาย
[9] D. Pal, T. Triyason and V. Vanijja, (2018): Quality evaluation of high resolution videos viewed on a mobile device in an online streaming environment, 2017 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS), pp. 1-6, doi: 10.1109/ANTS.2017.8384172.	• ประเมินคุณภาพของวิดีโอความละเอียดสูงที่ดูบนอุปกรณ์มือถือในสภาพแวดล้อมการสตรีมออนไลน์บนแอปพลิเคชัน YouTube • ใช้โทรศัพท์มือถือ 4 รุ่น ได้แก่ Samsung Galaxy Note 5, Sony Xperia Z5 Premium, Xiaomi Mi 5 และ Samsung Galaxy S7 เนื่องจากแต่ละรุ่นมีขนาดหน้าจอและความละเอียดต่างกัน โทรศัพท์ทุกเครื่องใช้ระบบปฏิบัติการ Android เวอร์ชัน 7.0 ติดตั้งแอปพลิเคชัน YouTube เวอร์ชัน 12.27.53 • ใช้เครื่องมือ Microsoft Network Emulator สำหรับโปรไฟล์แบนด์วิดท์ • พารามิเตอร์ที่วัด ได้แก่ แบนด์วิดท์ • การทดลองให้ผู้ใช้ดูวิดีโอบนโทรศัพท์มือถือผ่านแอปพลิเคชัน YouTube โดยบังคับให้วิดีโอเล่นในโหมด "คุณภาพคงที่“ เลือกความละเอียด1440p

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

อ้างอิง	วิธีดำเนินงานและผลลัพธ์
	• จำลอง 3 สถานการณ์: - สถานการณ์ที่ 1 แบนด์วิดท์เครือข่ายจะคงที่ที่ระดับที่แตกต่างกัน 4 ระดับ 500, 1000, 2000 และ 5000 Kbps - สถานการณ์ที่ 2 สถานการณ์แบนด์วิดท์แบบแปรผัน ตอนแรกแบนด์วิดท์ของเครือข่ายจะคงที่ที่ 1,000 Kbps เป็นเวลา 10 วินาที หลังจากนั้นจะกระโดดไปที่ 5,000 Kbps เป็นเวลา 5 วินาที จากนั้นจึงลดลงอีกครั้งเป็น 1,000 Kbps และคงที่เป็นเวลา 10 วินาที และวนซ้ำในลักษณะเดียวกันเป็นเวลา 2 นาที ตลอดอายุการใช้งาน ของลำดับวิดีโอเฉพาะ - สถานการณ์ที่ 3 แบนด์วิดท์จะลดลงจากค่าเริ่มต้นที่ 5000 Kbps เป็น 0 Kbps • ทำการสตรีมแบบคลาสสิก และทำการสตรีมแบบปรับได้ • วัดประสิทธิภาพของคุณภาพประสบการณ์ผู้ใช้งาน (QOE) โดยการให้คะแนน MOS 3 ส่วน คือ ให้คะแนน MOS โดยรวมของลำดับวิดีโอ ให้คะแนน MOS สำหรับวัดการหน่วงเวลาเริ่มต้นครั้งแรกน่ารำคาญไหม และให้คะแนน MOS สำหรับวัดการขัดจังหวะระหว่างการเล่นวิดีโอน่ารำคาญไหม • สรุปการสตรีมแบบปรับได้จะได้รับคะแนน MOS ที่ค่อนข้างสูงกว่า กรณีการสตรีมแบบคลาสสิก และค่า MOS ที่ได้รับสำหรับสถานการณ์การสตรีมแบบคลาสสิก ที่ 5000 Kbps MOS ดีนอกนั้นสถานการณ์อื่นๆ ทั้งหมด MOS ค่อนข้างแย่
[10] K. Bilal and A. Erbad, (2017) "Impact of Multiple Video Representations in Live Streaming: A Cost, Bandwidth, and QoE Analysis," 2017 IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E),	• วิเคราะห์ผลกระทบของการแปลงรหัสสตรีมวิดีโอสดเป็นการแสดงหลายรายการ โดยพิจารณาจากต้นทุน (ตามการเช่าทรัพยากรบนคลาวด์) แบนด์วิดท์ และคุณภาพของประสบการณ์ (QoE ซึ่งวัดจากความพึงพอใจของผู้ใช้)โดยติดตามปริมาณงานจริงจาก Twitch ผู้ให้บริการวิดีโอสตรีมสดชั้นนำ • การทดลองดักจับแพ็กเก็ตในสัปดาห์แรกของเดือนมีนาคม 2015 เวลา 19:00 น. – 20:00 น. (ช่วงเวลาที่มีการใช้งานเครือข่ายหรือระบบมาก) และ 02:00 น. – 03:00 น. (ช่วงเวลาที่มีการใช้งานเครือข่ายหรือระบบน้อย)

ตารางที่ 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

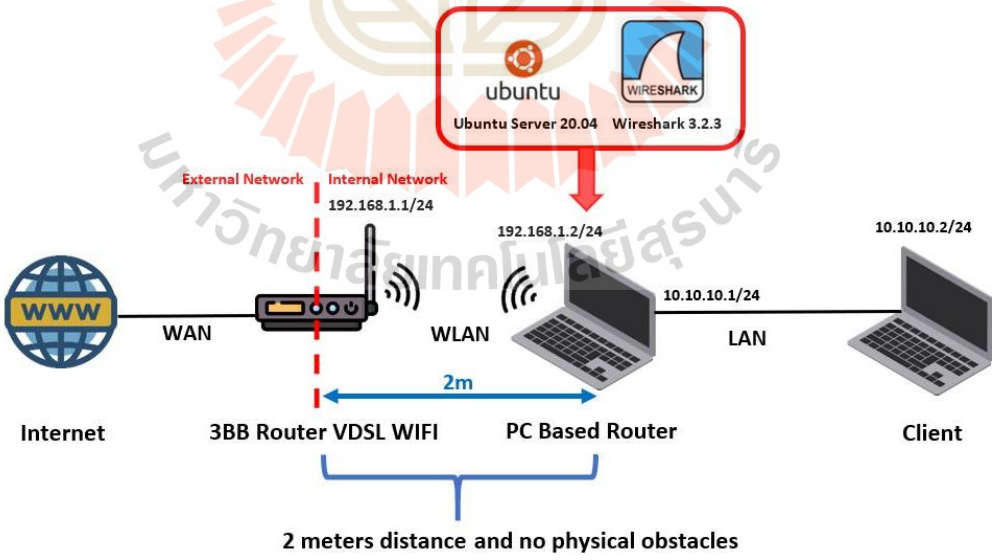
อ้างอิง	วิธีดำเนินงานและผลลัพธ์
2017, pp. 88-94, doi: 10.1109/IC2E.2017.20.	• พิจารณาเฉพาะสตรีมวิดีโอของสมาชิกที่ไม่ใช่สมาชิกระดับพรีเมียม • พารามิเตอร์ที่วัด ได้แก่ Cost และ Bandwidth • สตรีมต้นทางมีความละเอียด 1080p และ 720p • การทดลองทำการสตรีมวิดีโอโดยแสดงความละเอียดของวิดีโอที่แสดงผลบนหน้าจอสตรีมตามความละเอียดต้นทาง และที่ความละเอียด 480p, 720p และ 1080p • การแปลงรหัสสตรีมวิดีโอให้มีความละเอียดต่ำลงสามารถทำได้โดยใช้เทคโนโลยีการบีบอัดวิดีโอ โดยการบีบอัดวิดีโอจะลดขนาดของไฟล์วิดีโอและใช้แบนด์วิดท์น้อยลง ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่าย ส่วนการแปลงรหัสสตรีมวิดีโอให้มีความละเอียดสูงจะเป็นการเพิ่มขนาดของไฟล์วิดีโอและใช้แบนด์วิดท์ที่มากขึ้น และมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น นอกจากนี้การแปลงรหัสสตรีมวิดีโอให้มีความละเอียดสูงโดยใช้วิดีโอต้นฉบับที่มีคุณภาพต่ำอาจไม่คุ้มค่าและเป็นการเสียเวลาและทรัพยากรที่ไม่จำเป็น • ผลการทดลองยิ่งมีจำนวนผู้ชมมากเท่าไร ก็ยิ่งประหยัดทั้งต้นทุนและแบนด์วิดท์ ผู้ดูที่มีแบนด์วิดท์ต่ำหรือแชร์เพื่อใช้ร่วมกันสามารถเพลิดเพลินกับประสบการณ์การสตรีมที่ราบรื่นโดยปราศจากความล่าช้าและการบัฟเฟอร์ ส่งผลให้มี QoE สูง อย่างไรก็ตาม หากมีผู้ชมน้อยกว่า 40 คนต่อชั่วโมง ค่าใช้จ่ายในการประมวลผลจะมีความสำคัญ ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายโดยรวมมากขึ้น

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 กล่าวนำ

บทนี้จะกล่าวถึงขั้นตอนในการดำเนินการออกแบบรูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์โดยใช้คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลตั้งค่าฟังก์ชันเราเตอร์ลงไป เพื่อช่วยในการจำลองรูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่าย ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลและการควบคุมแบนด์วิดท์ให้กับผู้ใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลบนแพลตฟอร์มสตรีมมิ่ง เว็บไซต์ Disney+ Netflix และ YouTube และดำเนินการดักจับแพ็กเก็ตและวัดค่าค่าพารามิเตอร์เครือข่าย ซึ่งทางผู้วิจัยได้สนใจในการประเมินการรับส่งข้อมูลของเว็บไซต์การสตรีมวิดีโอออนไลน์ และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพบริการด้านต่างๆ ของเครือข่าย โดยการวัดคุณภาพบริการของเครือข่าย (QoS) และการวัดคุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (QoE) โดยใช้คะแนนความคิดเห็นเฉลี่ย (MOS) ของบริการเครือข่าย

3.2 รูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์



รูปที่ 3.1 การเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์

การตั้งค่าอุปกรณ์ในการทดลอง จากรูปที่ 3.1 ใช้งานคอมพิวเตอร์ Notebook ASUS TUF A15 กำหนดให้คอมพิวเตอร์เป็นเราเตอร์เสมือนบนคอมพิวเตอร์ (PC Based Router) โดยติดตั้งระบบปฏิบัติการ Linux คือ Ubuntu Server เวอร์ชัน 20.04 และใส่ฟังก์ชัน Router ลงไป เพื่อตั้งค่าคอมพิวเตอร์ให้เป็นเราเตอร์ออกสู่โลกอินเทอร์เน็ต และตั้งค่าการควบคุมแบนด์วิดท์บนเครือข่าย และติดตั้งโปรแกรม Wireshark เวอร์ชัน 3.2.3 เพื่อใช้ในการดักจับแพ็กเก็ต และใช้งานคอมพิวเตอร์ที่มีขนาดหน้าจอและความละเอียดพื้นฐาน เป็นที่ยอมรับสำหรับใช้ในบ้านส่วนใหญ่ อุปกรณ์ที่เลือกคือ Notebook ASUS TUF Gaming FX504 Series ที่มีหน้าจอ 15.6 นิ้ว และความละเอียด 1920 x 1080 พิกเซล (ความละเอียดมาตรฐาน 16:9) มาเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (Client) เพื่อใช้สำหรับเข้าใช้งานเว็บไซต์บริการสตรีมวิดีโอ

การทดลองกำหนดรูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ

1. ส่วนของ PC Based Router มีการเชื่อมต่ออยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนระบบเครือข่ายท้องถิ่นแบบไร้สาย (Wireless Local Area Network: WLAN) ที่เชื่อมกับ Huawei VDSL Router ของ 3BB (Triple Broad Band) โดยทำการกำหนด IP Address คือ 192.168.1.2 และส่วนการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายท้องถิ่น (Local Area Network: LAN) ซึ่งเชื่อมกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย (Client) โดยทำการกำหนด IP Address คือ 10.10.10.1

2. ส่วน Huawei VDSL Router ของ 3BB มีการเชื่อมต่ออยู่ 2 ส่วน คือ ส่วนการเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายภายนอก (Wide Area Network: WAN) หรือเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ต และส่วนของการเชื่อมต่อ WLAN ที่เชื่อมต่อไปยังเครื่อง PC Based Router โดยกำหนด IP Address คือ 192.168.1.1 และก่อนทำการทดลอง ทำการทดสอบความเร็วอินเทอร์เน็ตด้วยบริการ ADSLThailand Speedtest พบว่ามีความเร็วสูงสุด 55 Mbps

3. ส่วนของเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย จำนวน 1 เครื่อง โดยทำการเชื่อมต่อด้วยระบบเครือข่าย LAN ไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายเกตเวย์ ผ่านอะแดปเตอร์สำหรับแปลงพอร์ต USB เป็นช่องเชื่อมต่อสาย LAN โดยกำหนด IP Address คือ 10.10.10.2 ดังรูปที่ 3.1 และก่อนทำการทดลอง ทำกาทดสอบความเร็วอินเทอร์เน็ต พบว่ามีความเร็วสูงสุดที่ 7 Mbps

เนื่องจากการทดลองนี้เป็นการทดลองที่เชื่อมต่อระบบเครือข่าย WLAN ทำให้ยากที่จะควบคุมความเสถียรภาพของสัญญาณ งานนี้พยายามควบคุมผลกระทบจากระบบเครือข่าย WLAN ด้วยการควบคุมระยะห่าง ระหว่าง Huawei VDSL Router กับ PC based Router ที่ระยะประมาณ 2 เมตร และไม่มีให้มีสิ่งกีดขวางระหว่างอุปกรณ์ แต่สิ่งที่ควบคุมไม่ได้เลย คือ ในงานนี้ใช้งานบริการอินเทอร์เน็ตบ้านของผู้ให้บริการ 3BB ด้วย Package อินเทอร์เน็ตความเร็ว 100 Mbps เนื่องจากการใช้อินเทอร์เน็ตบ้าน ผู้ให้บริการจะไม่การันตีแบนด์วิทด์ให้กับผู้ใช้ ว่าผู้ใช้จะได้รับความเร็วอินเทอร์เน็ตตรงตาม Package ที่ซื้อ ซึ่งแตกต่างจากบริการอินเทอร์เน็ตความเร็วสูงสำหรับองค์กรที่ไม่ต้องไปแชร์แบนด์วิทด์กับองค์กรอื่น ๆ อินเทอร์เน็ตบ้านจะมีการแชร์แบนด์วิทด์เป็น 100 - 1000 ราย จาก พอร์ต

เดียวกัน และในช่วงเวลาที่คนใช้งานเครือข่ายจำนวนมาก จะส่งผลให้การใช้งานอินเทอร์เน็ตช้ามากๆ ผลลัพธ์ที่ได้คือความเร็วอินเทอร์เน็ตใช้งานได้ช้าไม่ตรงตาม Package ที่ซื้อผู้วิจัยวัดความเร็วอินเทอร์เน็ตได้เพียง 53 - 55 Mbps เท่านั้น

3.3 การรวบรวมข้อมูล

ขั้นตอนการรวบรวมข้อมูลใช้วิธีการดักจับแพ็กเก็ต แบบ Passive Sniffing โดยใช้เครื่องมือ Wireshark ทำงานโดยการการดักจับข้อมูลที่ถูกส่งไปมาภายในเครือข่าย โดยชุดข้อมูลทั้งหมดได้รับการบันทึกผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต 3BB

ข้อมูล ณ ตอนนี้มีแพ็กเก็ตเครือข่ายจากบริการสตรีมวิดีโอยอดนิยมในประเทศไทย 3 แพลตฟอร์ม สำหรับการศึกษาการเข้าชมสตรีมวิดีโอ และเปรียบเทียบคุณลักษณะคือ:

1. Disney+ ; แพ็กเกจ 49 บาท/เดือน
2. Netflix ; แพ็กเกจพรีเมียม 419 บาท/เดือน
3. YouTube ; แพ็กเกจพรีเมียม 159 บาท/เดือน

ผู้ทำวิจัยทำการทดลองดักจับแพ็กเก็ตเครือข่ายในช่วงเวลา 19.00 - 23.00 น. ของวันเสาร์ที่ 26 มีนาคม 2565 เนื่องจากเป็นช่วงเวลาที่มีการใช้งานเครือข่ายมากที่สุด (Peak time) ในประเทศไทย เวลา Peak time ของการสตรีมวิดีโอจาก Disney+ Netflix และ YouTube จะอยู่ในช่วงเวลา 19.00 - 23.00 น. ของวันศุกร์-เสาร์ โดยเป็นเวลาที่มีการใช้งานอินเทอร์เน็ตมากที่สุด ในช่วงเวลาเย็นถึงกลางคืนหลังจากทำงานหรือหลังเลิกเรียน เวลานี้จะมีผู้ใช้งานออนไลน์มากที่สุด เช่น การดูหนังออนไลน์ การเล่นเกมออนไลน์ หรือการใช้งานแอปพลิเคชั่นต่างๆ ซึ่งอาจจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่าย ดังนั้นการวิเคราะห์และตรวจสอบประสิทธิภาพของเครือข่ายช่วงเวลาที่มีการใช้งานเครือข่ายมากที่สุดจะช่วยให้ผู้ดูแลระบบเครือข่ายสามารถวิเคราะห์และประเมินประสิทธิภาพของเครือข่ายได้มากขึ้น

การดักจับแพ็กเก็ตเครือข่ายนั้นสามารถเลือกใช้เครื่องมือหรือโปรแกรมที่เหมาะสมได้หลากหลาย ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้งานโปรแกรม Wireshark ในการดักจับและวิเคราะห์แพ็กเก็ตของเครือข่าย เนื่องจากสามารถวิเคราะห์และตรวจสอบปัญหาเครือข่ายได้หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นการตรวจสอบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในเครือข่าย การตรวจสอบการสื่อสารของแอปพลิเคชั่นต่างๆ หรือการตรวจสอบและวิเคราะห์การโจมตีเครือข่าย สามารถแสดงข้อมูลแบบเรียลไทม์และแสดงข้อมูลแบบกราฟิกให้ผู้ใช้งานเห็นภาพรวมของการเชื่อมต่อและการสื่อสารในเครือข่ายได้อย่างชัดเจน นอกจากนี้ Wireshark สามารถดาวน์โหลดและใช้งานได้ฟรี ไม่มีค่าใช้จ่ายใดๆ ทั้งสิ้น

งานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Wireshark ดักจับแพ็กเก็ตโดยผู้วิจัยเข้าชมวิดีโอจากบริการทั้ง 3 รายการ บนเว็บเบราว์เซอร์ Google Chrome ซึ่งเวลาในการรับชมแต่ละรายการเป็นเวลา 600 วินาที (หรือ 10 นาที) และการทดลองกำหนดเงื่อนไขให้ใช้เวลาในการเข้าเว็บไซต์ภายใน 60 วินาที (หรือ 1 นาที) ก่อนเริ่มเล่นวิดีโอ ข้อมูลที่ได้จากการดักจับแพ็กเก็ตนี้จะนำไปวิเคราะห์คุณภาพบริการต่อไป

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

การทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองการใช้งานแบบไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และการทดลองจำกัดแบนด์วิดท์ ซึ่งจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps 2 Mbps 1 Mbps 512 Kbps และ 256 Kbps ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการจัดการแบนด์วิดท์เครือข่าย ใน Linux คือ WonderShaper

3.4.1 การดักจับแพ็กเก็ต (Packet Capturing)

ผู้วิจัยทำการทดลองจากกรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ โดยเริ่มดักจับแพ็กเก็ตการสตรีมเมื่อเข้าชมเว็บไซต์ Disney+ และรับชมวิดีโอเป็นระยะเวลา 10 นาที จากนั้นดักจับแพ็กเก็ตการสตรีมเมื่อเข้าชมเว็บไซต์ Netflix และรับชมวิดีโอเป็นระยะเวลา 10 นาที หลังจากนั้นดักจับแพ็กเก็ตการสตรีมเมื่อเข้าชมเว็บไซต์ YouTube และรับชมวิดีโอเป็นระยะเวลา 10 นาที ทำการทดลองซ้ำ โดยจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps, 2 Mbps, 1 Mbps, 512 Kbps และ 256 Kbps ตามลำดับ และขณะที่ทำการดักจับแพ็กเก็ต เพื่อให้ได้แพ็กเก็ตเฉพาะสตรีมวิดีโอ ผู้วิจัยได้ปิดเว็บไซต์ เว็บเบราว์เซอร์ หรือแอปพลิเคชันอื่นทั้งหมดแล้ว

3.4.2 การกรองแพ็กเก็ต (Packet Filtering)

การปิดเว็บไซต์ เว็บเบราว์เซอร์ หรือแอปพลิเคชันอื่นทั้งหมด อาจช่วยลดปัญหาการรับส่งแพ็กเก็ตที่ไม่เกี่ยวข้องกับสตรีมวิดีโอ แต่อาจไม่สามารถกำจัดได้ทั้งหมด เนื่องจากการรับส่งแพ็กเก็ตสามารถเกิดขึ้นได้จากหลายแหล่งที่ไม่ได้เชื่อมต่อกับเว็บไซต์ เว็บเบราว์เซอร์ หรือแอปพลิเคชันที่ถูกปิดไป ดังนั้น ควรมีการกรองแพ็กเก็ตโดยที่เกี่ยวข้องกับสตรีมวิดีโอ แม้การกรองแพ็กเก็ตยังมีความเสี่ยงที่อาจจะกรองแพ็กเก็ตที่ไม่ต้องการมาด้วย แต่การกรองแพ็กเก็ตยังคงเป็นวิธีการที่ดีและถูกต้องในการดักจับแพ็กเก็ตเพื่อให้ได้แพ็กเก็ตเฉพาะสตรีมวิดีโอ การกรองแพ็กเก็ตสามารถทำได้โดยใช้ตัวกรอง (Filter) ที่เกี่ยวข้องกับโปรโตคอลและด้วยเงื่อนไขต่างๆ เช่น IP address, Port number, Protocol, และแพ็กเก็ตเนื้อหา (Payload)

การกรองแพ็กเก็ตโดยใช้ตัวกรอง IP address เพื่อกรองแพ็กเก็ตที่เกี่ยวข้องกับสตรีมวิดีโอ Disney+ Netflix และ YouTube โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. ผู้วิจัยหา IP address ของ Disney+ Netflix และ YouTube โดยใช้ Command Prompt หรือ Terminal ของระบบปฏิบัติการ โดยใช้คำสั่ง ping ตามชื่อโดเมนของของเว็บไซต์

2. เลือก Filter แพ็กเก็ตที่มี source IP address หรือ destination IP address เป็น IP address ของ Netflix, Disney+ หรือ YouTube ตามที่ต้องการ

ก่อนกรองแพ็กเก็ตพบว่าทราฟฟิคที่ได้จากการดักจับแพ็กเก็ตส่วนใหญ่เป็น Public IP address ที่ได้รับมาจาก Content Delivery Network (CDN) ที่ใช้งานโดยบริการนั้นๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.1 3.2 และ 3.3 โดย CDN คือ ระบบการกระจายการทำงานของเซิร์ฟเวอร์ ที่ส่งหน้า

เว็บไซต์และเนื้อหาข้อมูล ให้กับผู้ใช้ตามที่ตั้งทางภูมิศาสตร์ของตัวผู้ใช้เอง เพื่อให้สามารถเข้าถึงเนื้อหาและข้อมูลได้อย่างรวดเร็วจากการส่งมอบเนื้อหาจาก Server CDN ที่อยู่ใกล้ที่สุด บริการสตรีมวิดีโอทั้ง 3 รายการ จะบังคับให้ผู้ใช้งานเว็บไซต์ Request ข้อมูลผ่านเครือข่าย CDN แทนที่จะ Request ไปที่เซิร์ฟเวอร์หลัก เพื่อทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงรับชมวิดีโอต่าง ๆ ผ่านอินเทอร์เน็ตได้เร็วยิ่งขึ้น

Disney+, Netflix และ YouTube ใช้ CDN ของบริการต่างๆ ในการจัดเก็บและแจกจ่ายเนื้อหาสำหรับผู้ใช้งาน ดังนี้:

1. Netflix: ใช้ CDN ของตัวเองที่ชื่อว่า Open Connect ซึ่งเป็นระบบ CDN หลักของ Netflix ที่ใช้งานในการจัดเก็บและแจกจ่ายเนื้อหา นอกจากนี้ยังใช้บริการ AWS CloudFront ซึ่งเป็นบริการ CDN ของ Amazon Web Services (AWS) เพื่อแจกจ่ายเนื้อหาให้กับผู้ใช้งานในภูมิภาคที่ไม่มีเซิร์ฟเวอร์ของ Netflix ในบริเวณนั้น

2. Disney+: ใช้ CDN ของ Amazon Web Services (AWS) ในการจัดเก็บและแจกจ่ายเนื้อหา โดยเนื้อหาจะถูกจัดเก็บบน Amazon S3 (Simple Storage Service) และใช้ Amazon CloudFront เพื่อแจกจ่ายเนื้อหาให้กับผู้ใช้งาน นอกจากนี้ Disney+ ยังใช้ CDN ของหลายบริษัท เช่น ใช้งาน CDN ของบริษัท Cloudflare, Fastly, Akamai, JasTel และบริษัทอื่นๆ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บและแจกจ่ายเนื้อหาให้กับผู้ใช้งานในทุกๆ ภูมิภาค

3. YouTube: ใช้ CDN ของ Google ที่ชื่อว่า Google Global Cache (GGC) ซึ่งเป็นระบบ CDN ของ Google ที่มีเซิร์ฟเวอร์ที่ติดตั้งอยู่ทั่วโลก โดยระบบ GGC จะนำเนื้อหาที่ได้รับการจัดเก็บไว้บนเครื่องเซิร์ฟเวอร์ส่วนกลางของ YouTube (YouTube data center) มาจัดเก็บบนเซิร์ฟเวอร์ในประเทศของผู้ใช้งาน ในปัจจุบัน Google ได้ติดตั้งเครื่อง GGC ในหลายสถานที่ในประเทศไทย ได้แก่ กรุงเทพมหานคร ภูเก็ต สมุทรปราการ และเชียงใหม่ ทำให้ผู้ใช้งานสามารถเข้าถึงเนื้อหาได้อย่างรวดเร็วและมีคุณภาพสูง นอกจากนี้ YouTube ยังใช้ CDN ของหลายบริษัท เช่น ใช้งาน CDN ของบริษัท Cloudflare, Fastly, Akamai, JasTel และบริษัทอื่นๆ

ดังนั้นนอกจากทำการกรองแพ็กเก็ต IP address ของ Server Disney+ Netflix และ YouTube แล้ว ผู้วิจัยจะทำการกรองแพ็กเก็ต IP address ที่ได้รับมาจาก CDN ด้วย

ตารางที่ 3.1 แสดง Public IP address ที่ได้รับมาจากการดักจับแพ็คเก็ตการสตรีมวิดีโอของ Disney+

IP Address	Internet service provider: ISP
104.16.18.94	CloudFlare Inc., San Francisco, US
110.164.11.169	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.11.184	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.11.35	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.11.89	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.2.57	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.21.32	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.21.58	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.29.120	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.29.145	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.29.161	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.29.209	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.29.235	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.29.81	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.29.97	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.3.246	Triple T Internet PCL, Surat Thani
142.250.80.99	Google LLC, Mountain View, US
151.101.2.217	Fastly, San Francisco, US
167.179.254.18	JasTel Network, BKK
172.217.166.131	Google LLC, Mountain View, US
172.217.174.163	Google LLC, Mountain View, US
172.217.24.174	Google LLC, Mountain View, US
172.217.27.227	Google LLC, Mountain View, US
216.58.196.14	Google LLC, Mountain View, US
216.58.203.67	Google LLC, Mountain View, US
216.58.221.202	Google LLC, Mountain View, US
61.91.1.228	True Internet Corporation Co. Ltd., BKK

ตารางที่ 3.2 แสดง Public IP address ที่ได้รับมาจากการดักจับแพ็คเก็ตการสตรีมวิดีโอของ Netflix

IP Address	Internet service provider: ISP
110.164.3.246	Triple T Internet PCL, Surat Thani
110.164.30.18	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.30.21	Triple T Internet PCL, BKK
142.250.199.35	Google LLC, Mountain View, US
172.217.166.131	Google LLC, Mountain View, US
172.217.174.170	Google LLC, Mountain View, US
216.58.196.42	Google LLC, Mountain View, US
216.58.221.206	Google LLC, Mountain View, US
23.42.146.206	Akamai Technologies Inc., BKK
34.246.130.175	Amazon Data Services Ireland Limited, Dublin, Ireland (IE)
34.252.28.38	Amazon Data Services Ireland Limited, Dublin, Ireland (IE)
45.57.90.1	Netflix Streaming Services Inc., Wilmington, US
52.214.181.141	Amazon Data Services Ireland Limited, Dublin, Ireland (IE)
52.214.33.123	Amazon Data Services Ireland Limited, Dublin, Ireland (IE)
52.51.207.105	Amazon Data Services Ireland Limited, Dublin, Ireland (IE)
54.155.246.232	Amazon Data Services Ireland Limited, Dublin, Ireland (IE)
54.246.79.9	Amazon Data Services Ireland Limited, Dublin, Ireland (IE)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.3 แสดง Public IP address ที่ได้รับมาจากการดักจับแพ็คเก็ตการสตรีมวิดีโอของ YouTube

IP Address	Internet service provider: ISP
103.16.204.13	Triple T Internet PCL, BKK
103.16.204.17	Triple T Internet PCL, BKK
104.16.19.94	CloudFlare Inc., San Francisco, US
110.164.10.17	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.11.43	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.19.76	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.19.79	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.3.246	Triple T Internet PCL, Surat Thani
110.164.6.209	Triple T Internet PCL, BKK
110.164.8.79	Triple T Internet PCL, BKK
151.101.2.217	Fastly, San Francisco, US
167.179.254.18	JasTel Network, BKK
172.217.13.195	Google LLC, Mountain View, US
172.217.194.156	Google LLC, Mountain View, US
172.217.27.227	Google LLC, Mountain View, US
216.58.203.65	Google LLC, Mountain View, US
216.58.203.78	Google LLC, Mountain View, US
35.186.224.25	Google LLC, Kansas City, US
35.206.118.237	Google LLC, Council Bluffs, US
40.91.80.89	Microsoft Corporation, Quincy, US
43.245.145.142	Triple T Internet PCL, BKK
52.109.12.18	Microsoft Corporation, Washington, US
52.114.77.33	Microsoft Corporation, Dublin, Ireland (IE)
52.137.110.235	Microsoft Corporation, Quincy, US
52.184.216.226	Microsoft Corporation, Boydton, US
61.91.1.228	True Internet Corporation Co. Ltd., BKK
96.17.244.66	Akamai Technologies Inc., BKK

3.4.3 การวิเคราะห์คุณภาพบริการของเครือข่าย (QoS)

หลังจากดักจับแพ็กเก็ตและกรองแพ็กเก็ตแล้ว นำข้อมูลแพ็กเก็ตที่ได้วิเคราะห์การไหลของเครือข่าย ลักษณะการใช้งานเครือข่าย โดยนำมาวิเคราะห์คุณภาพบริการของเครือข่าย (QoS) ตามมาตรฐาน TIPHON ที่ประกอบด้วย ปริมาณงาน (Throughput) ความล่าช้า (Delay) การสูญหายของแพ็กเก็ต (Packet Loss) และความกระวนกระวาย (Jitter)

3.4.4 การประเมินคุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (QoE)

ผู้ทำวิจัยทำการทดลองวัดคุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (QoE) โดยให้กลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมประเมินคือนักศึกษาและบัณฑิตศึกษา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จำนวนทั้งหมด 25 คน มีเพศชาย จำนวน 8 คน และเพศหญิง จำนวน 17 คน มีอายุระหว่าง 20 ถึง 27 ปี โดยที่ผู้เข้าร่วมการประเมินทั้งหมดใช้อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ไคลเอนต์เพียงเครื่องเดียว (โน้ตบุ๊ค ASUS TUF Gaming FX504 Series ที่มีหน้าจอ 15.6 นิ้วและความละเอียด 1920 × 1080 พิกเซล) เพื่อดูเนื้อหาวิดีโอและทำการประเมิน ทำการทดลองในช่วงเวลา 19.00 - 23.00 น. ของวันเสาร์ที่ 2 เมษายน 2565 (กลุ่มตัวอย่างเพศชาย 3 คน และเพศหญิง 9 คน) และวันอาทิตย์ที่ 17 เมษายน 2565 (กลุ่มตัวอย่างเพศชาย 5 คน และเพศหญิง 8 คน) ผู้วิจัยให้กลุ่มตัวอย่างรับชมสตรีมวิดีโอ Disney+ Netflix และ YouTube เป็นระยะเวลา 10 นาที และให้กลุ่มตัวอย่างให้คะแนนความคิดเห็น (MOS) โดยพิจารณาปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ในที่นี้คือความคมชัดของวิดีโอ โดยวัดจากความละเอียดของวิดีโอ ความเร็วในการโหลดวิดีโอเมื่อผู้ใช้งานเลือกดูวิดีโอ การสตรีมวิดีโอสะดุดหรือโดนตัดขณะเล่นหรือไม่ ซึ่งกลุ่มตัวอย่างสามารถให้คะแนนความพึงพอใจได้ตามความรู้สึกจริง โดยใช้คะแนนจากผู้ใช้งานเป็นหลัก โดยคะแนน MOS จะอยู่ในช่วง 1 ถึง 5 โดยค่าเฉลี่ยของคะแนน MOS สูงก็แสดงว่าประสบการณ์ผู้ใช้งานมีคุณภาพสูง

3.5 การพิจารณาบริการเครือข่ายแก่ผู้ใช้งาน

ปัจจุบันการใช้งานอินเทอร์เน็ตกลายเป็นส่วนหนึ่งในชีวิตประจำวัน ซึ่งบริการสำหรับอินเทอร์เน็ตมีอยู่มาก ทั้งด้านการศึกษา ด้านความบันเทิง ตัวอย่างเช่น การเรียนผ่านออนไลน์ การซื้อของออนไลน์ การดาวน์โหลดข้อมูล ฟังเพลง ดูวิดีโอ และเล่นเกมส์ เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้สนใจไปที่บริการสตรีมวิดีโอที่มีผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตสนใจและใช้งานจำนวนมาก เพื่อนำมาวัดความพึงพอใจของประสบการณ์ผู้ใช้งานที่มีต่อประสิทธิภาพในการส่งข้อมูลของเครือข่ายหรือคุณภาพบริการของเครือข่าย

3.6 ตัวชี้วัดคุณภาพการให้บริการ (QoS)

การวัดคุณภาพบริการในเชิงปริมาณ จะพิจารณาแง่มุมที่เกี่ยวข้องหลายประการของบริการเครือข่าย ตามมาตรฐาน TIPHON (Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks) เป็นมาตรฐานทางเทคโนโลยีสื่อสารเสียงที่พัฒนาขึ้นโดย TIPHON ซึ่งเป็นองค์กรที่มีภารกิจในการสร้างมาตรฐานการสื่อสารเสียงและวิศวกรรมเครือข่ายสื่อสารสำหรับการสื่อสารเสียงผ่านระบบ IP (Internet Protocol) โดย TIPHON มีวัตถุประสงค์เพื่อให้การสื่อสารเสียงผ่านระบบ IP มีคุณภาพเหมือนกับการสื่อสารเสียงผ่านวงจรเต็มตัว (Circuit-switched networks) ที่มีความเสถียรและเสถียรภาพสูง โดยมีการกำหนดมาตรฐานการใช้งาน QoS (Quality of Service) ที่ประกอบด้วย ปริมาณงาน (Throughput) ความล่าช้า (Delay) การสูญหายของแพ็กเก็ต (Packet Loss) และความกระวนกระวาย (Jitter)

3.6.1 ปริมาณงาน (Throughput)

ปริมาณงาน คือ ความเร็ว (อัตรา) ของการถ่ายโอนข้อมูลที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งวัดเป็นบิตต่อวินาที (bps) ค่าดัชนีและหมวดหมู่ปริมาณงานแสดงอยู่ในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงค่าดัชนีและหมวดหมู่ปริมาณงาน

Category	Throughput	Index
Bad	< 338 Kbps	0
Poor	338 – 700 Kbps	1
Fair	700 – 1200 Kbps	2
Good	1200 -2100 Kbps	3
Excellent	> 2100 Kbps	4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

การคำนวณค่าของปริมาณงาน จากสมการ:

$$Throughput\ (byte/sec) = \frac{Accepted\ Packet}{Duration} \quad (1)$$

$$Throughput\ (Mbps) = \frac{Throughput\ (byte/sec) \times 0.8}{100000} \quad (2)$$

โดย

Throughput (Mbps) คือ ปริมาณงาน หน่วย เมกะบิต/วินาที

Throughput (byte/sec) คือ ปริมาณงาน หน่วย ไบต์/วินาที

Accepted packet คือ จำนวนแพ็กเก็ตที่ถูกส่ง หน่วย ไบต์

Duration คือ เวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูล หน่วย วินาที

3.6.2 ความล่าช้า (Delay)

ความล่าช้า (เวลาแฝง) คือ ค่าเวลาการเดินทางของแพ็กเก็ตจากต้นทางไปยังปลายทาง ค่าดัชนีและหมวดหมู่ความล่าช้าแสดงอยู่ในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 แสดงค่าดัชนีและหมวดหมู่ความล่าช้า

Category	Delay	Index
Poor	> 450 ms	1
Medium	300 - 450 ms	2
Good	150 - 300 ms	3
Perfect	< 150 ms	4

การคำนวณค่าของความล่าช้า จากสมการ:

$$Delay = \frac{Total\ Delay}{Total\ number\ of\ received\ packets} \quad (3)$$

โดย

Delay คือ ความล่าช้า หรือเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลจากต้นทางไปยังปลายทาง หน่วยมิลลิวินาที

Total Delay คือ ผลรวมของเวลาที่ใช้ในการส่งและรับข้อมูลของแพ็กเก็ตทั้งหมด หน่วยมิลลิวินาที

Total number of received packets คือ จำนวนแพ็กเก็ตที่ถูกส่งไปยังปลายทางและได้รับโดยผู้รับสำเร็จ

3.6.3 การสูญหายของแพ็กเก็ต (Packet Loss)

การสูญหายของแพ็กเก็ต เป็นพารามิเตอร์ที่อธิบายเงื่อนไขที่แสดงจำนวนแพ็กเก็ตที่สูญหายทั้งหมด อาจเกิดขึ้นเนื่องจากการชนกันและความแออัดบนเครือข่าย ค่าดัชนีและหมวดหมู่การสูญเสียแพ็กแสดงอยู่ในตารางที่ 3.6

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ 3.6 แสดงค่าดัชนีและหมวดหมู่การสูญหายของแพ็กเก็ต

Category	Packet Loss	Index
Poor	> 25%	1
Medium	15 – 25%	2
Good	3 – 15%	3
Perfect	0 – 3%	4

การคำนวณค่าของการสูญหายของแพ็กเก็ต จากสมการ:

$$Packet\ Loss = \left(\frac{Number\ of\ sent\ packets - Number\ of\ received\ packets}{Number\ of\ sent\ packets}\right) \times 100\% \quad (4)$$

โดย

Packet Loss คือ เปอร์เซ็นต์ของจำนวนแพ็กเก็ตที่สูญหายในการส่งข้อมูล หรือจำนวนแพ็กเก็ตที่ไม่ถึงจุดปลายทาง หน่วยเป็นเปอร์เซ็นต์ (%)

Number of sent packets คือจำนวนแพ็กเก็ตที่ถูกส่งออกจากต้นทาง

Number of received packets คือจำนวนแพ็กเก็ตที่ถูกส่งไปยังปลายทางและได้รับโดยผู้รับสำเร็จ

3.6.4 ความกระวนกระวาย (Jitter)

ความกระวนกระวาย คือ ความผันผวนของอัตราความล่าช้าทั่วทั้งเครือข่าย ความกระวนกระวายจึงเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงของความล่าช้าในเครือข่าย และวัดเป็นมิลลิวินาที (ms) ค่าดัชนีและหมวดหมู่ความกระวนกระวายแสดงอยู่ในตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 แสดงค่าดัชนีและหมวดหมู่ความกระวนกระวาย

Category	Jitter	Index
Poor	125 - 225 ms	1
Medium	75 - 125 ms	2
Good	0 - 75 ms	3
Perfect	0 ms	4

การคำนวณค่าของความกระวนกระวาย จากสมการ:

$$Jitter = \frac{Total\ Variance\ Delay}{Number\ of\ received\ packets - 1} \quad (5)$$

โดยที่

$$Total\ Variance\ Delay = (Delay_2 - Delay_1) + (Delay_3 - Delay_2) + \cdots + (Delay_n - Delay_{(n-1)}) \quad (6)$$

โดย

Jitter คือ ความกระวนกระวาย หน่วย มิลลิวินาที

Total Variance Delay คือ ค่าความแปรปรวนของช่วงเวลาที่ใช้ในการรับแพ็กเก็ต ซึ่งเป็นค่าความแตกต่างของช่วงเวลาระหว่างการรับแพ็กเก็ตแต่ละตัว หน่วย มิลลิวินาที

Number of received packets คือ จำนวนแพ็กเก็ตที่ถูกส่งไปยังปลายทางและได้รับโดยผู้รับสำเร็จ

หมายเหตุ: ในสูตรนี้จะเห็นว่ามีการนำจำนวนแพ็กเก็ตที่ได้รับ มาลบด้วย 1 ในส่วนสุดท้าย ซึ่งเป็นเพราะ Jitter ถูกนิยามโดยความแตกต่างในเวลาระหว่างแพ็กเก็ตที่ถูกส่งไปยังปลายทาง โดยจำนวนครั้งที่ความแตกต่างนี้เกิดขึ้นจะมีจำนวนแพ็กเก็ตที่เท่ากับจำนวนครั้งที่ต่างกันระหว่างแพ็กเก็ต ซึ่งเป็นจำนวนแพ็กเก็ตทั้งหมดลบ 1 ดังนั้นจึงต้องนำจำนวนแพ็กเก็ตทั้งหมดลบ 1 เข้าไปในสูตรเพื่อให้คำนวณค่า Jitter ได้อย่างถูกต้อง

3.7 ตัวชี้วัดคุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (QoE)

3.7.1 คะแนนความคิดเห็นเฉลี่ย (Mean Opinion Score: MOS)

ในการวัดคุณภาพเสียงหรือวิดีโอด้วยคะแนนความคิดเห็นเฉลี่ย (MOS) ตามมาตรฐาน ITU-T P.800 และ ITU-T P.910 กำหนดโดยสหสาขาการสื่อสารระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector : ITU-T) ซึ่งงานวิจัยนี้อ้างอิง MOS ของ ITU-T P.910 ที่ใช้สำหรับการวัดคุณภาพวิดีโอที่ถูกส่งผ่านเครือข่ายโทรคมนาคมแบบ IP โดย MOS จะมีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1 ถึง 5 โดยค่ามาตรฐานสูงสุดจะเป็น 5 และค่ามาตรฐานต่ำสุดจะเป็น 1 ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 แสดงคะแนนความคิดเห็นเฉลี่ยเทียบกับความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

MOS	Quality	Impairment
5	Excellent	Imperceptible
4	Good	Perceptible but not annoying
3	Fair	Slightly annoying
2	Poor	Annoying
1	Bad	Very annoying

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 กล่าวนำ

จากทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้องกับการจัดการแบนด์วิดท์ในเครือข่าย พารามิเตอร์ในการใช้วัดประสิทธิภาพของสัญญาณ เทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการประเมินและวิเคราะห์ประสิทธิภาพบริการด้านต่างๆ ของเครือข่าย และความพึงพอใจของผู้ใช้งาน ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ผ่านมา ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงผลการประเมินการรับส่งข้อมูลของเว็บไซต์การสตรีมวิดีโอออนไลน์ และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพบริการด้านต่างๆ ของเครือข่าย ตามมาตรฐาน TIPHON ทั้งการวัดคุณภาพประสบการณ์ของผู้ใช้งาน (QoE) โดยใช้คะแนนความคิดคิดเห็นเฉลี่ย (MOS) ที่มีต่อบริการเครือข่าย และการศึกษาวิเคราะห์แบนด์วิดท์ที่เหมาะสำหรับการสตรีมวิดีโอที่ราบรื่นบนเว็บไซต์การสตรีมวิดีโอออนไลน์

4.2 ผลการทดลองข้อมูลโปรโตคอลจากการดักจับแพ็กเก็ตทั้ง 3 เว็บไซต์ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และการอภิปรายผลการทดลอง

จากการดักจับแพ็กเก็ตเครือข่ายบริการสตรีมวิดีโอของทั้ง 3 เว็บไซต์ในบทที่แล้ว หัวข้อนี้จะเป็นการเก็บผลและประเมินผลข้อมูลการทดลอง เมื่อดักจับแพ็กเก็ตการสตรีมเมื่อเข้าชมทั้ง 3 เว็บไซต์ เป็นระยะเวลา 10 นาที โดยใช้เครื่องมือ Wireshark และทำการกรองแพ็กเก็ต IP address ที่เกี่ยวข้องกับสตรีมวิดีโอ Disney+ Netflix และ YouTube แล้ว ผลการทดลองดังตารางที่ 4.1 4.2 และ 4.3 แสดงข้อมูลแพ็กเก็ตโปรโตคอลของอัตราการดาวน์โหลดที่ได้รับจากการดักจับแพ็กเก็ตของทั้ง 3 เว็บไซต์ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ โดยในตารางจะแสดงจำนวนแพ็กเก็ตทั้งหมด (Total number of packets) ขนาดของข้อมูล (Data size) อัตราการดาวน์โหลด (Download rate) และเปอร์เซนต์การใช้งานโปรโตคอล (Protocol usage)

งานวิจัยนี้ทำผลการทดลองข้อมูลโปรโตคอลโดยการดักจับแพ็กเก็ตทั้ง 3 เว็บไซต์ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์เพียงอย่างเดียวเท่านั้น เนื่องจากแต่ละเว็บไซต์เลือกใช้โปรโตคอลขึ้นอยู่กับลักษณะและความต้องการของเว็บไซต์ และไม่ว่าจะทำการทดลองกรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ หรือกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ค่าต่างๆ ผลการทดลองข้อมูลโปรโตคอลจะเป็นในลักษณะเดียวกัน

เมื่ออุปกรณ์ใช้อินเทอร์เน็ต ข้อมูลจะไหลไปสองทาง คือ ไหลไปยังอุปกรณ์ (ดาวน์โหลด) และไหลออกจากอุปกรณ์ (อัปโหลด) งานวิจัยนี้จึงสนใจเฉพาะอัตราการดาวน์โหลดเพียงอย่างเดียว เนื่องจากขั้นตอนการทดลองของงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตและรับชมสตรีมวิดีโอบนเว็บไซต์

ซึ่งแพ็กเก็ตส่วนใหญ่จะเป็นการรับข้อมูลจากเว็บไซต์ที่เข้าใช้มายังเครื่องของผู้วิจัยเท่านั้น (แพ็กเก็ตส่วนใหญ่ถูกดาวน์โหลดเนื่องจากได้รับข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์ของเว็บไซต์ที่ทดสอบผ่านอินเทอร์เน็ตไปยังเครื่องรับไคลเอนต์) ผู้วิจัยไม่ได้อัปโหลดใดๆ (แพ็กเก็ตอัปโหลดน้อยเนื่องจากไม่มีการส่งข้อมูลจากเครื่องไคลเอนต์ไปยังเซิร์ฟเวอร์ของเว็บไซต์ที่ทดสอบ)

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลแพ็กเก็ตโปรโตคอลของอัตราการดาวน์โหลดที่ได้รับจากการดักจับแพ็กเก็ตของเว็บไซต์ Disney+ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์

Protocol	Total number of packets	Data size (Mbyte)	Download rate (Mbps)	Protocol usage (%)
UDP	35	0.0053830	0.0000718	0.0019152
TCP	64104	92.6841920	1.2357892	32.9757209
SSLv2	786	1.1492170	0.0153229	0.4088751
TLSv1.2	136	0.0590360	0.0007871	0.0210042
TLSv1.3	128104	186.8177070	2.4909028	66.4670904
QUIC	712	0.3498130	0.0046642	0.1244585
ICMP	5	0.0004700	0.0000063	0.0001672
DNS	11	0.0017750	0.0000237	0.0006315
HTTP/XML	1	0.0003850	0.0000051	0.0001370
Total	193894	281.0679780	3.7475730	100.0000000

จากตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลแพ็กเก็ตโปรโตคอลของอัตราการดาวน์โหลดที่ได้รับจากการดักจับแพ็กเก็ต สังเกตได้ว่าเว็บไซต์ Disney+ มีโปรโตคอล TLSv1.3 และ TCP ในการกระจายข้อมูล เพราะเว็บไซต์ Disney+ มีการใช้งานโปรโตคอล TLSv1.3 มากที่สุด คิดเป็น 66.47% มีจำนวนแพ็กเก็ตทั้งหมด 128104 แพ็กเก็ต ขนาดของข้อมูลประมาณ 187 Mbyte อัตราการดาวน์โหลดประมาณ 2.491 Mbps และมีการใช้งานโปรโตคอล TCP รองลงมา คิดเป็น 32.98% มีจำนวนแพ็กเก็ตทั้งหมด 64104 แพ็กเก็ต ขนาดของข้อมูลประมาณ 93 Mbyte อัตราการดาวน์โหลดประมาณ 1.236 Mbps และมีการใช้งานโปรโตคอล UDP SSLv2 TLSv1.2 และอื่นๆ อยู่เป็นส่วนน้อย เว็บไซต์ Disney+ ใช้โปรโตคอล TLS (TLS: Transport Layer Security) เพื่อรักษาความปลอดภัยของข้อมูลที่เดินทางระหว่างเครื่องแม่ข่ายและอุปกรณ์ผู้ใช้งาน โดยใช้งาน TLSv1.3 ซึ่งเป็นเวอร์ชันล่าสุดของ TLS โดยข้อดีของโปรโตคอล TLS คือสามารถรับรองตัวตนและการเข้ารหัสของข้อมูลได้ ซึ่งเหมาะสำหรับการสื่อสารที่ต้องการความปลอดภัย เช่น การสมัครสมาชิก การชำระเงิน และการเข้าถึงเนื้อหาที่

จำเป็นต้องมีการควบคุม และ เว็บไซต์ Disney+ ใช้โปรโตคอล TCP ควบคุมการรับส่งข้อมูลระหว่างผู้ส่งกับผู้รับ เพื่อใช้แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน เนื่องจากโปรโตคอล TCP มีความเหมาะสมกับการสื่อสารแบบที่ต้องการความน่าเชื่อถือ และมีการตรวจสอบให้แน่ใจว่าทุกแพ็กเก็ตที่จัดส่งไปยังปลายทางนั้น เป็นไปตามลำดับที่ถูกต้องตามที่ต้นทางส่งออกมา ซึ่งเหมาะสำหรับการสตรีมวิดีโอและเนื้อหาที่ต้องการให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงได้โดยไม่มีการตัดต่อหรือสูญเสียข้อมูล

ตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลแพ็กเก็ตโปรโตคอลของอัตราการดาวน์โหลดที่ได้รับจากการดักจับแพ็กเก็ตของเว็บไซต์ Netflix กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์

Protocol	Total number of packets	Data size (Mbyte)	Download rate (Mbps)	Protocol usage (%)
UDP	39	0.0073130	0.0000978	0.0052808
TCP	66688	96.5377520	1.2904693	69.7104536
SSLv2	129	0.1891140	0.0025280	0.1365603
TLSv1.2	28	0.0152800	0.0002043	0.0110338
TLSv1.3	28966	41.5938360	0.5560060	30.0351429
QUIC	263	0.1397500	0.0018681	0.1009143
ICMP	1	0.0001390	0.0000019	0.0001004
DNS	6	0.0007120	0.0000095	0.0005141
Total	96120	138.4838960	1.8511848	100.0000000

จากตารางที่ 4.2 แสดงข้อมูลแพ็กเก็ตโปรโตคอลของอัตราการดาวน์โหลดที่ได้รับจากการดักจับแพ็กเก็ต พบว่าเว็บไซต์ Netflix มีการใช้งานโปรโตคอล TCP มากที่สุด คิดเป็น 69.71% มีจำนวนแพ็กเก็ตทั้งหมด 66688 แพ็กเก็ต ขนาดของข้อมูลประมาณ 96 Mbyte อัตราการดาวน์โหลดประมาณ 1.2905 Mbps และมีการใช้งานโปรโตคอล TLSv1.3 รองลงมา คิดเป็น 30.04% มีจำนวนแพ็กเก็ตทั้งหมด 28966 แพ็กเก็ต ขนาดของข้อมูลประมาณ 42 Mbyte อัตราการดาวน์โหลดประมาณ 0.556 Mbps และมีโปรโตคอล UDP SSLv2 TLSv1.2 และอื่นๆ อยู่เป็นส่วนน้อย จากตารางจะเห็นได้ว่าเว็บไซต์ Netflix ใช้โปรโตคอล TCP และ TLSv1.3 ในการกระจายข้อมูลเช่นเดียวกับ เว็บไซต์ Disney+ โดยที่ใช้โปรโตคอล TLSv1.3 เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการสื่อสารระหว่างเครื่องแม่ข่ายและอุปกรณ์ผู้ใช้งาน และใช้โปรโตคอล TCP ควบคุมการรับส่งข้อมูลระหว่างผู้ส่งกับผู้รับ เพื่อใช้แลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกัน

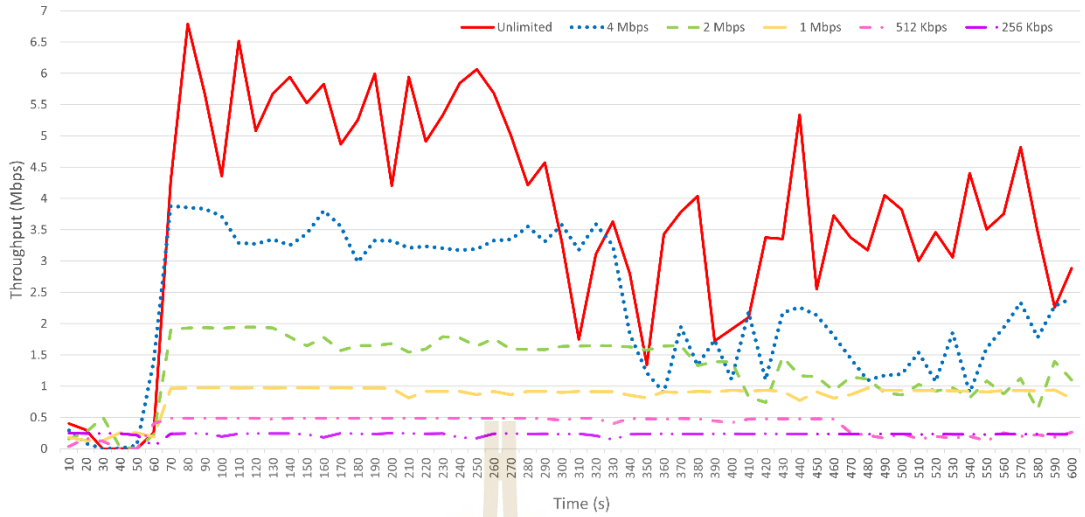
ตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลแพ็กเก็ตโปรโตคอลของอัตราการดาวน์โหลดที่ได้รับจากการดักจับแพ็กเก็ตของเว็บไซต์ YouTube กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์

Protocol	Total number of packets	Data size (Mbyte)	Download rate (Mbps)	Protocol usage (%)
UDP	169720	234.4681660	3.1365877	99.7960878
TCP	433	0.2408270	0.0032217	0.1025026
TLSv1.2	25	0.0062170	0.0000832	0.0026461
TLSv1.3	172	0.1647110	0.0022034	0.0701055
QUIC	53	0.0664990	0.0008896	0.0283038
DNS	2	0.0004210	0.0000056	0.0001792
HTTP/XML	1	0.0004110	0.0000055	0.0001749
Total	170406	234.9472520	3.1429967	100.0000000

จากตารางที่ 4.3 แสดงข้อมูลแพ็กเก็ตโปรโตคอลของอัตราการดาวน์โหลดที่ได้รับจากการดักจับแพ็กเก็ต พบว่าเว็บไซต์ YouTube มีการใช้งานโปรโตคอล UDP มากที่สุด คิดเป็น 99.80% มีจำนวนแพ็กเก็ตทั้งหมด 169720 แพ็กเก็ต ขนาดของข้อมูลประมาณ 234 Mbyte อัตราการดาวน์โหลดประมาณ 3.137 Mbps และมีโปรโตคอล TCP TLSv1.2 TLSv1.3 และอื่นๆ อยู่เป็นส่วนน้อย ในตารางข้อมูลแพ็กเก็ตโปรโตคอลจะเห็นว่ามีโปรโตคอลอื่นๆอยู่ เพราะไม่ใช่ทุกครั้งที่ YouTube ใช้โปรโตคอล UDP ในการส่งข้อมูลวิดีโอ การใช้งานโปรโตคอลขึ้นอยู่กับเงื่อนไขและการกำหนดค่าโดยผู้ใช้ โดยปกติแล้ว YouTube จะใช้โปรโตคอล HTTP ในการส่งข้อมูลวิดีโอผ่านเว็บเบราว์เซอร์ และใช้โปรโตคอล TCP เพื่อการสื่อสารระหว่างเว็บเซิร์ฟเวอร์และเครื่องคอมพิวเตอร์ของผู้ใช้ แต่จากการทดลองกรณีนี้ YouTube ใช้ UDP ในการส่งข้อมูลวิดีโอ เนื่องจากต้องการความเร็วในการส่งข้อมูลสูงและความสามารถในการจัดการข้อมูลแพคเก็ตที่สูงขึ้น สรุปได้ว่าเมื่อดักจับแพ็กเก็ตของเว็บไซต์ YouTube พบว่าเว็บไซต์มีโปรโตคอล UDP ในการกระจายข้อมูลสูงที่สุด

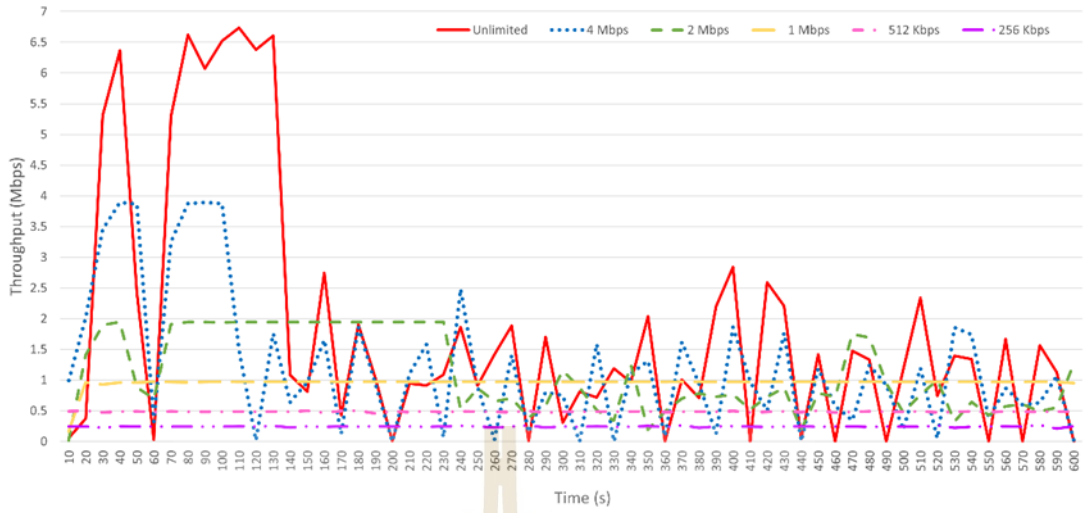
4.3 ผลการทดลองอัตราการดาวน์โหลดจากการดักจับแพ็กเก็ตทั้ง 3 เว็บไซต์ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ และการอภิปรายผลการทดลอง

จากรูปที่ 4.1 4.2 และ 4.3 แสดงกราฟอัตราการดาวน์โหลดเทียบกับระยะเวลาเข้าชมเว็บไซต์ (งานวิจัยนี้คำนวณระยะเวลาเข้าชมเว็บไซต์ด้วย 10 วินาที เนื่องจากแบ่งช่วงเวลาออกเป็นทุกๆ 10 วินาที) ของสามเว็บไซต์ที่กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ เครือข่าย



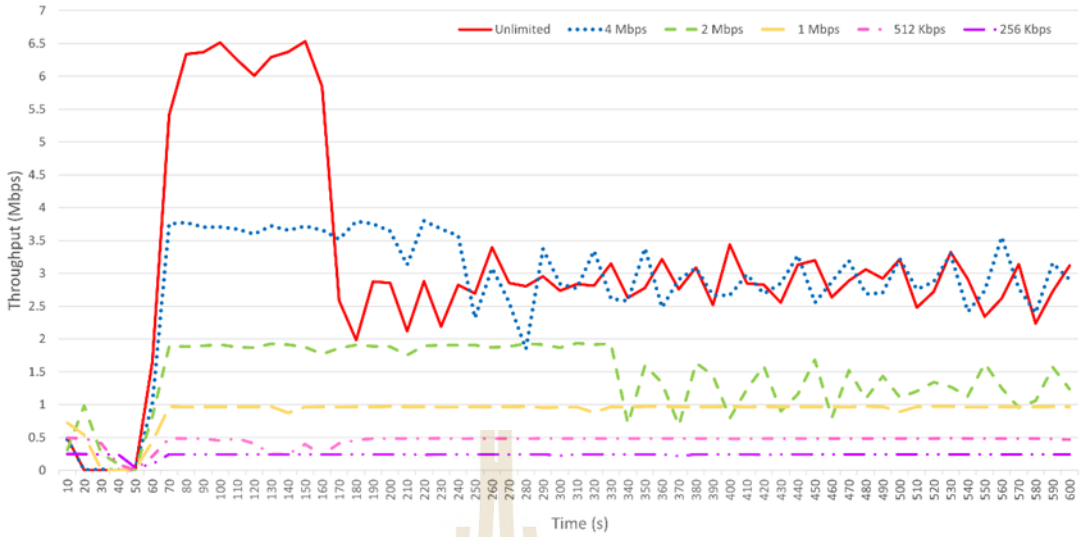
รูปที่ 4.1 แสดงกราฟอัตราการดาวน์โหลดเทียบกับระยะเวลาเข้าชมเว็บไซต์ Disney+ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และจำกัดแบนด์วิดท์

จากรูปที่ 4.1 แสดงกราฟอัตราการดาวน์โหลด เทียบกับระยะเวลาเข้าชมเว็บไซต์ Disney+ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps 2 Mbps 1 Mbps 512 Kbps และ 256 Kbps เมื่อพิจารณาอัตราการดาวน์โหลดพบว่าในช่วง 60 วินาทีแรก จะเห็นว่าอัตราการดาวน์น้อยมาก เพราะเป็นช่วงเวลาในการเข้าเว็บไซต์ และมีอัตราการดาวน์โหลดมากขึ้น หลังจาก 60 วินาที เนื่องจากเริ่มเข้าชมวิดีโอ จากกราฟจะเห็นว่ากรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ ในช่วง 60-290 วินาที มีอัตราการดาวน์โหลดสูง ซึ่งสูงสุดถึง 6.044 Mbps และหลังจาก 290 วินาที พบว่าค่าอัตราการดาวน์โหลดลดลง แต่หลังจากนั้นค่าอัตราการดาวน์โหลดเพิ่มขึ้นและลดลงสลับกันไปจนกว่าจะดาวน์โหลดเสร็จ กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps พบว่าในช่วง 60-320 วินาที มีอัตราการดาวน์โหลดสูงเกือบถึงขีดจำกัด ซึ่งสูงสุด 3.861 Mbps และหลังจาก 320 วินาที พบว่าค่าอัตราการดาวน์โหลดลดลง กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps พบว่าในช่วง 60-370 วินาที มีอัตราการดาวน์โหลดสูงเกือบถึงขีดจำกัด ซึ่งสูงสุด 1.946 Mbps และหลังจาก 370 วินาที พบว่าค่าอัตราการดาวน์โหลดลดลง กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 1 Mbps พบว่าตลอดการจับแพ็คเก็ตในช่วง 60-600 วินาที เส้นกราฟอัตราการดาวน์โหลดสูงเกือบถึงขีดจำกัด ซึ่งสูงสุด 0.973 Mbps กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 512 Kbps พบว่าในช่วง 60-460 วินาที ซึ่งสูงสุด 0.488 Mbps และหลังจาก 460 วินาที พบว่าค่าอัตราการดาวน์โหลดลดลง กรณีของการจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 256 Kbps พบว่าตลอดการจับแพ็กเก็ตในช่วง 60-600 วินาที เส้นกราฟมีอัตราการดาวน์โหลดสูงเกือบถึงขีดจำกัด ซึ่งสูงสุด 0.2491 Mbps จากกราฟยังเห็นได้ชัดว่าค่าอัตราการดาวน์โหลดจะลดลง เมื่อผู้วิจัยจำกัดแบนด์วิดท์ลงเรื่อยๆ เนื่องจากอัตราบิตวิดีโอได้รับการปรับให้เหมาะสมสำหรับแบนด์วิดท์ที่ต่ำลง ทำให้อัตราการส่งข้อมูลต่ำลง



รูปที่ 4.2 แสดงกราฟอัตราการดาวน์โหลดเทียบกับระยะเวลาเข้าชมเว็บไซต์ Netflix กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และจำกัดแบนด์วิดท์

จากรูปที่ 4.2 แสดงกราฟอัตราการดาวน์โหลด เทียบกับระยะเวลาเข้าชมเว็บไซต์ Netflix กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps 2 Mbps 1 Mbps 512 Kbps และ 256 Kbps เมื่อพิจารณาอัตราการดาวน์โหลด พบว่าในช่วง 60 วินาทีแรกเป็นช่วงเวลาในการเข้าเว็บไซต์ แต่อัตราการดาวน์โหลดสูง เพราะเว็บไซต์ Netflix จะแสดงตัวอย่างโดยอัตโนมัติ ขณะเลือกดูเนื้อหา ทำให้ช่วงเวลา 60 วินาทีนี้มีการดาวน์โหลดข้อมูลบนเว็บไซต์ Netflix ด้วย และมีอัตราการดาวน์โหลดมากขึ้นอีกครั้ง หลังจาก 60 วินาที เนื่องจากเริ่มเข้าชมวิดีโอ จากกราฟจะเห็นว่ากรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ในช่วง 60-130 วินาที พบว่ามีอัตราการดาวน์โหลดสูง ซึ่งสูงสุดถึง 6.736 Mbps และหลังจาก 130 วินาที พบว่าค่าอัตราการดาวน์โหลดลดลง กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps พบว่าในช่วง 60-100 วินาที มีอัตราการดาวน์โหลดสูงเกือบถึงขีดจำกัด ซึ่งสูงสุด 3.892 Mbps และหลังจาก 100 วินาที พบว่าค่าอัตราการดาวน์โหลดลดลง กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps พบว่าในช่วง 60-230 วินาที มีอัตราการดาวน์โหลดสูงเกือบถึงขีดจำกัด ซึ่งสูงสุด 1.946 Mbps และหลังจาก 230 วินาที พบว่าค่าอัตราการดาวน์โหลดลดลง ส่วนกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 1 Mbps 512 Kbps และ 256 Kbps พบว่าตลอดการจับแพ็กเก็ตในช่วง 60-600 วินาที เส้นกราฟอัตราการดาวน์โหลดสูงเกือบถึงขีดจำกัด ซึ่งสูงสุด 0.973 Mbps 0.488 Mbps และ 0.2681 Mbps ตามลำดับ จากกราฟเห็นได้ชัดว่าค่าอัตราการดาวน์โหลดจะลดลง เมื่อผู้วิจัยจำกัดแบนด์วิดท์ลงเรื่อยๆ เนื่องจากอัตราบิตวิดีโอได้รับการปรับให้เหมาะสมสำหรับแบนด์วิดท์ที่ต่ำลง ทำให้อัตราการส่งข้อมูลต่ำลง



รูปที่ 4.3 แสดงกราฟอัตราการดาวน์โหลดเทียบกับระยะเวลาเข้าชมเว็บไซต์ YouTube กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และจำกัดแบนด์วิดท์

จากรูปที่ 4.3 แสดงกราฟอัตราการดาวน์โหลด เทียบกับระยะเวลาเข้าชมเว็บไซต์ YouTube กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps 2 Mbps 1 Mbps 512 Kbps และ 256 Kbps เมื่อพิจารณาอัตราการดาวน์โหลดพบว่าในช่วง 60 วินาทีแรก จะเห็นว่าอัตราการดาวน์น้อยมาก เพราะเป็นช่วงเวลาในการเข้าเว็บไซต์ และมีอัตราการดาวน์โหลดมากขึ้น หลังจาก 60 วินาที เนื่องจากเริ่มเข้าชมวิดีโอ จากกราฟจะเห็นว่ากรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ ในช่วง 60-150 วินาที พบว่ามีอัตราการดาวน์โหลดสูง ซึ่งสูงสุดถึง 6.588 Mbps และหลังจาก 150 วินาที พบว่าค่าอัตราการดาวน์โหลดลดลง กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps พบว่าในช่วง 60-240 วินาที มีอัตราการดาวน์โหลดสูงเกือบถึงขีดจำกัด ซึ่งสูงสุด 3.840 Mbps และหลังจาก 240 วินาที พบว่าค่าอัตราการดาวน์โหลดลดลง กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps พบว่าในช่วง 60-330 วินาที มีอัตราการดาวน์โหลดสูงเกือบถึงขีดจำกัด ซึ่งสูงสุด 1.930 Mbps และหลังจาก 330 วินาที พบว่าค่าอัตราการดาวน์โหลดลดลง กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 1 Mbps 512 Kbps และ 256 Kbps พบว่าตลอดการจับแพ็คเก็ตในช่วง 60-600 วินาที เส้นกราฟอัตราการดาวน์โหลดสูงเกือบถึงขีดจำกัด ซึ่งสูงสุด 0.972 Mbps 0.487 Mbps และ 0.2465 Mbps ตามลำดับ จากกราฟเห็นได้ชัดว่าค่าอัตราการดาวน์โหลดจะลดลง เมื่อผู้วิจัยจำกัดแบนด์วิดท์ลงเรื่อยๆ เนื่องจากอัตราบิตวิดีโอได้รับการปรับให้เหมาะสมสำหรับแบนด์วิดท์ที่ต่ำลง ทำให้อัตราการส่งข้อมูลต่ำลง

สรุปได้ว่าจากรูปที่ 4.1 4.2 และ 4.3 กราฟกรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps กราฟอัตราการดาวน์โหลดช่วงแรกจะสูง เพราะว่าระบบมีการดาวน์โหลดข้อมูลวิดีโอในช่วงแรกอย่างรวดเร็วเพื่อให้การเล่นวิดีโอเริ่มได้อย่างรวดเร็ว โดยมีการดาวน์โหลดข้อมูลในช่วงแรกนี้

เป็นการเตรียมข้อมูลวิดีโอเพื่อให้ระบบสามารถเล่นวิดีโอต่อไปได้อย่างต่อเนื่อง และลดการบัฟเฟอร์ที่เกิดขึ้นในขณะที่เล่นวิดีโอ การดาวน์โหลดข้อมูลวิดีโอในช่วงแรกเพิ่มอัตราการใช้งานแบนด์วิดท์ของระบบเน็ตเวิร์ค ทำให้กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps 1 Mbps 512 Mbps และ 256 Mbps ไม่สามารถรองรับการใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากไม่มีความสามารถในการดาวน์โหลดข้อมูลวิดีโอด้วยความเร็วสูงพอในช่วงแรกของการเล่นวิดีโอ เกิดการบัฟเฟอร์ของวิดีโอในขณะที่ดาวน์โหลดข้อมูลวิดีโอในช่วงแรกอยู่

4.4 ผลการทดลองเปรียบเทียบพารามิเตอร์ QoS กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ และการอภิปรายผลการทดลอง

ผลลัพธ์ของการวัดพารามิเตอร์ QoS ได้แก่ ปริมาณงาน (Throughput) ความล่าช้า (Delay) การสูญหายของแพ็กเก็ต (Packet Loss) และความกระวนกระวาย (Jitter) ได้จากการดักจับแพ็กเก็ต ผู้วิจัยนำข้อมูลแพ็กเก็ตที่วัดได้มาคำนวณหาพารามิเตอร์ Throughput โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2) จากนั้นเปรียบเทียบพารามิเตอร์บริการของเครือข่ายตามมาตรฐาน TIPHON ดังแสดงในตารางที่ 3.4 การคำนวณหาพารามิเตอร์ Delay โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ดังแสดงในสมการที่ (3) จากนั้นเปรียบเทียบพารามิเตอร์บริการของเครือข่ายตามมาตรฐาน TIPHON ดังแสดงใน ตารางที่ 3.5 การคำนวณหาพารามิเตอร์ Jitter โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ดังแสดงในสมการที่ (4) จากนั้นเปรียบเทียบพารามิเตอร์บริการของเครือข่ายตามมาตรฐาน TIPHON ดังแสดงในตารางที่ 3.6 และการคำนวณหาพารามิเตอร์ Packet Loss โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ดังแสดงในสมการที่ (5) และ (6) จากนั้นเปรียบเทียบพารามิเตอร์บริการของเครือข่ายตามมาตรฐาน TIPHON ดังแสดงในตารางที่ 3.7

4.4.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบพารามิเตอร์ QoS ของเว็บไซต์ Disney+ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ และการอภิปรายผลการทดลอง

ผลการคำนวณหาพารามิเตอร์ทั้งสี่ของเว็บไซต์ Disney+ โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์จะแสดงในตารางที่ 4.4 เมื่อเปรียบเทียบพารามิเตอร์ QoS ตามมาตรฐาน TIPHON ของเว็บไซต์ Disney+ พบว่ากรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์และจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps, 2 Mbps, 1 Mbps, 512 Kbps และ 256 Kbps พารามิเตอร์ Delay และ Packet Loss จะอยู่ในหมวดหมู่ที่ Excellent (ยอดเยี่ยม) ส่วนพารามิเตอร์ Jitter อยู่ในหมวดหมู่ที่ Good (ดี) และพารามิเตอร์ Throughput กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์และจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps อยู่ในหมวดหมู่ที่ Excellent กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps อยู่ในหมวดหมู่ที่ Good กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 1 Mbps อยู่ในหมวดหมู่ที่ Fair (พอใช้) กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 512 Kbps อยู่ในหมวดหมู่ที่ Poor (ไม่ดี) และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 256 Kbps อยู่ในหมวดหมู่ที่ Bad (แย่)

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ QoS บนเว็บไซต์ Disney+ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์

Bandwidth	Throughput		Delay		Jitter		Packet Loss	
	Value (Mbps)	Category	Value (ms)	Category	Value (ms)	Category	Value (%)	Category
Unlimited	3.7476	Excellent	3.0945	Excellent	0.00001158	Good	0	Excellent
4Mbps	2.3092	Excellent	5.0145	Excellent	0.00002473	Good	0	Excellent
2Mbps	1.3217	Good	8.7075	Excellent	0.00008817	Good	0	Excellent
1Mbps	0.8483	Fair	13.4558	Excellent	0.00027137	Good	0	Excellent
512Kbps	0.3788	Poor	28.5143	Excellent	0.00114552	Good	0	Excellent
256Kbps	0.2286	Bad	40.4896	Excellent	0.00324510	Good	0	Excellent

4.4.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบพารามิเตอร์ QoS ของเว็บไซต์ Netflix กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ และการอภิปรายผลการทดลอง

ผลการคำนวณหาพารามิเตอร์ทั้งสี่ของเว็บไซต์ Netflix โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์จะแสดงในตารางที่ 4.5 เมื่อเปรียบเทียบพารามิเตอร์ QoS ตามมาตรฐาน TIPHON ของเว็บไซต์ Disney+ พบว่ากรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์และจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps, 2 Mbps, 1 Mbps, 512 Kbps และ 256 Kbps พารามิเตอร์ Delay และ Packet Loss จะอยู่ในหมวดหมู่ที่ Excellent ส่วนพารามิเตอร์ Jitter อยู่ในหมวดหมู่ที่ Good และพารามิเตอร์ Throughput กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์และจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps อยู่ในหมวดหมู่ที่ Good กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps และ 1 Mbps อยู่ในหมวดหมู่ที่ Fair กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 512 Kbps อยู่ในหมวดหมู่ที่ Poor และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 256 Kbps อยู่ในหมวดหมู่ที่ Bad

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ QoS บนเว็บไซต์ Netflix กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์

Bandwidth	Throughput		Delay		Jitter		Packet Loss	
	Value (Mbps)	Category	Value (ms)	Category	Value (ms)	Category	Value (%)	Category
Unlimited	1.8512	Good	6.2262	Excellent	0.12245194	Good	0	Excellent
4Mbps	1.2185	Good	9.32498	Excellent	0.00074190	Good	0	Excellent
2Mbps	1.1158	Fair	10.3121	Excellent	0.00010046	Good	0	Excellent
1Mbps	0.9575	Fair	11.9180	Excellent	0.00023909	Good	0	Excellent
512Kbps	0.4872	Poor	22.5606	Excellent	0.00006804	Good	0	Excellent
256Kbps	0.2435	Bad	41.3984	Excellent	0.00261367	Good	0	Excellent

4.4.3 ผลการทดลองเปรียบเทียบพารามิเตอร์ QoS ของเว็บไซต์ YouTube กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ และการอภิปรายผลการทดลอง

ผลการคำนวณหาพารามิเตอร์ทั้งสี่ของเว็บไซต์ YouTube โดยใช้เว็บไซต์ Disney+ พบว่ากรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์และจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps, 2 Mbpsสูตรทางคณิตศาสตร์จะแสดงในตารางที่ 4.6 เมื่อเปรียบเทียบพารามิเตอร์ QoS ตามมาตรฐาน TIPHON ของ, 1 Mbps, 512 Kbps และ 256 Kbps พารามิเตอร์ Delay และ Packet Loss จะอยู่ในหมวดหมู่ที่ Excellent พารามิเตอร์ Jitter อยู่ในหมวดหมู่ที่ Good และพารามิเตอร์ Throughput กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์และจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps อยู่ในหมวดหมู่ที่ Excellent กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps อยู่ในหมวดหมู่ที่ Good กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 1 Mbps อยู่ในหมวดหมู่ที่ Fair กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 512 Kbps อยู่ในหมวดหมู่ที่ Poor และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 256 Kbps อยู่ในหมวดหมู่ที่ Bad

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ QoS บนเว็บไซต์ YouTube กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์

Bandwidth	Throughput		Delay		Jitter		Packet Loss	
	Value (Mbps)	Category	Value (ms)	Category	Value (ms)	Category	Value (%)	Category
Unlimited	3.1430	Excellent	3.5094	Excellent	0.00042019	Good	0	Excellent
4Mbps	2.8298	Excellent	3.8897	Excellent	0.00001718	Good	0	Excellent
2Mbps	1.4468	Good	7.4826	Excellent	0.00007181	Good	0	Excellent
1Mbps	0.8956	Fair	10.9136	Excellent	0.00019741	Good	0	Excellent
512Kbps	0.4473	Poor	20.8043	Excellent	0.00074415	Good	0	Excellent
256Kbps	0.2363	Bad	35.5902	Excellent	0.00252173	Good	0	Excellent

พิจารณาเพิ่มเติมเฉพาะพารามิเตอร์ Throughput เพราะมีค่าหมวดหมู่พารามิเตอร์ต่างกัน ผลลัพธ์โดยรวมจากตารางที่ 4.7 จะเห็นว่ากรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps เว็บไซต์ Disney+ และ YouTube มีอัตราการดาวน์โหลดเฉลี่ยมากกว่าเว็บไซต์ Netflix มาก แสดงว่าการเข้าชมวิดีโอบนเว็บไซต์ Disney+ และ YouTube ใช้แบนด์วิดท์มากกว่าการรับส่งข้อมูลวิดีโอบนเว็บไซต์ Netflix ในการศึกษานี้พบว่าเมื่อจำกัดแบนด์วิดท์ลงจาก 4 Mbps เป็น 2 Mbps เว็บไซต์ Disney+ และ YouTube มีอัตราการดาวน์โหลดเฉลี่ยลดลงประมาณสองเท่า ส่วนเว็บไซต์ Netflix การจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps และ 2 Mbps มีอัตราการดาวน์โหลดเฉลี่ยใกล้เคียงกัน ทั้งสามเว็บไซต์จะมีอัตราการดาวน์โหลดเฉลี่ยใกล้เคียงกันเมื่อจำกัดแบนด์วิดท์ตั้งแต่ 2 Mbps ลงไป

ตารางที่ 4.7 แสดงอัตราการดาวน์โหลดเฉลี่ยในกรณีไม่จำกัดแบนวิดท์และกรณีจำกัดแบนวิดท์

Website	Unlimited bandwidth	Limited bandwidth				
		4Mbps	2Mbps	1Mbps	512Kbps	256Kbps
Disney+	3.7476	2.3092	1.3217	0.8483	0.3788	0.2286
Netflix	1.8512	1.2185	1.1158	0.9575	0.4872	0.2435
YouTube	3.1430	2.8298	1.4468	0.8956	0.4473	0.2363

สรุปได้ว่าจากผลการทดลองการจำกัดแบนด์วิดท์ส่งผลต่อการใช้งาน QoS โดยตรง สำหรับการจำกัดแบนด์วิดท์ในการสื่อสารแบบสตรีมวิดีโอ การจำกัดแบนด์วิดท์ที่ไม่เพียงพอสำหรับการส่งสตรีมวิดีโออาจทำให้เกิดปัญหาในการส่งข้อมูลที่ช้าหรือสะดุด ซึ่งส่งผลต่อคุณภาพของวิดีโอที่ถูกส่งไปหาผู้รับ ดังผลการทดลองที่แสดงในตารางที่ 4.4 4.5 และ 4.6 ทั้ง 3 เว็บไซต์เมื่อจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 1 Mbps, 512 Kbps และ 256 Kbps มีพารามิเตอร์อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่น่าพอใจ งานวิจัยนี้สนใจวิเคราะห์พารามิเตอร์ QoS โดยพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่ผู้ใช้สามารถดูวิดีโอออนไลน์ในสภาพแวดล้อมที่จำกัดแบนด์วิดท์ จากผลการทดลองผู้วิจัยแนะนำการจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps เนื่องจากเป็นการกำหนดแบนด์วิดท์ที่จำกัดที่เหมาะสมกับการส่งสตรีมวิดีโอทั้ง 3 เว็บไซต์ และจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps นี้ ช่วยลดขนาดข้อมูลการใช้แบนด์วิดท์ได้มากขึ้นโดยไม่เสียคุณภาพของวิดีโอเกินไป การสตรีมวิดีโอยังคงทำงานได้อย่างสมบูรณ์และมีคุณภาพที่ดี ไม่เกิดปัญหาในการส่งข้อมูลที่ช้าหรือสะดุด ซึ่งเป็นวิธีการประหยัดแบนด์วิดท์ที่มีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์พารามิเตอร์ QoS สำหรับสตรีมวิดีโอในมาตรฐาน TIPHON นี้จะช่วยให้การสื่อสารแบบสตรีมวิดีโอสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีคุณภาพภาพที่ดีโดยไม่เกิดปัญหาใด ๆ ที่อาจเกิดขึ้นจากการสื่อสารแบบสตรีมวิดีโอในเครือข่ายอินเทอร์เน็ตทั่วไป

4.5 ผลการทดลองความละเอียดวิดีโอทั้ง 3 เว็บไซต์ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ และการอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้สนใจความละเอียดของวิดีโอ เนื่องจากความละเอียดของวิดีโอเกี่ยวข้องโดยตรงกับแบนด์วิดท์ของสัญญาณ หากแบนด์วิดท์ในสัญญาณยิ่งสูง ความละเอียดก็จะยิ่งสูงขึ้น ผลที่ตามมาคือความคมชัดของวิดีโอจะยิ่งสูงขึ้น ซึ่งการจำกัดแบนด์วิดท์ที่มีอยู่ หากจำกัดแบนด์วิดท์ไม่เพียงพอ จะส่งผลให้วิดีโอใช้เวลานานขึ้นในการเริ่มเล่นหรืออาจบัฟเฟอร์บ่อย ปัจจุบันแต่ละแพลตฟอร์มบริการสตรีมวิดีโอมีความสามารถในการดาวน์เกรดสตรีมเพื่อประหยัดแบนด์วิดท์ เมื่อจำกัดแบนด์วิดท์ลง ระบบจะปรับคุณภาพของวิดีโอให้ต่ำลงเพื่อให้วิดีโอเริ่มเล่นเร็วขึ้น อย่างไรก็ตาม หากลดแบนด์วิดท์มากเกินไป อาจส่งผลให้คุณภาพวิดีโอต่ำจนไม่สามารถรับชมวิดีโอได้อย่างน่าพอใจ ผลการทดลองการควบคุมแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมสำหรับการสตรีมวิดีโอที่ราบรื่นบน Disney+ Netflix และ YouTube ดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 สรุปผลการควบคุมแบนด์วิดท์ที่เหมาะกับการเข้าชมเว็บไซต์ Disney+ Netflix และ YouTube ที่ความละเอียดวิดีโอต่างๆ

Website	Unlimited bandwidth	Limited bandwidth				
		4Mbps	2Mbps	1Mbps	512Kbps	256Kbps
Disney+	1080p	1080p	720p	480p	-	-
Netflix	720p	540p	540p	432p	432p	-
YouTube	1080p	1080p	1080p	720p	480p	360p

ตารางที่ 4.8 แสดงขีดจำกัดแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการดูเว็บไซต์ Disney+, Netflix และ YouTube ที่คุณภาพวิดีโอต่างๆ ทำให้ผู้ใช้สามารถดูวิดีโอได้อย่างราบรื่นและน่าพอใจ ไม่สะดุด หรือ บัฟเฟอร์ จากการศึกษาในเว็บไซต์ Disney+ พบว่ากรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์และจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps สามารถรับชมวิดีโอความละเอียด 1080p ได้ เมื่อจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps สามารถรับชมวิดีโอความละเอียด 720p ได้ เมื่อจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 1 Mbps สามารถรับชมวิดีโอความละเอียด 480p ได้ เมื่อจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 512 Kbps และ 256 Kbps จะพบว่าการเรียกดูเว็บไซต์ Disney+ นั้นใช้เวลานานและไม่สามารถรับชมวิดีโอได้ (วิดีโอไม่ชัด สะดุด ค้าง) ส่วนเว็บไซต์ Netflix เป็นเว็บไซต์ที่ไม่แสดงตัวเลือกในการปรับคุณภาพและความละเอียดของวิดีโอ ระบบจะเลือกคุณภาพและความละเอียดของวิดีโอโดยอัตโนมัติ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเร็วของอินเทอร์เน็ตและอุปกรณ์เครื่องเล่นวิดีโอของผู้ใช้งาน จากตารางพบว่ากรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์สามารถรับชมวิดีโอความละเอียด 720p ได้ เมื่อจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps และ 2 Mbps สามารถรับชมวิดีโอความละเอียด 540p ได้ เมื่อจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 1 Mbps และ 512 Kbps สามารถรับชมวิดีโอความละเอียด 432p ได้ เมื่อจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 256 Kbps จะพบว่าการเรียกดูเว็บไซต์ Netflix นั้นใช้เวลานานและไม่สามารถรับชมวิดีโอได้ (วิดีโอไม่ชัด สะดุด ค้าง) และเว็บไซต์ YouTube พบว่ากรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ จำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps และ 2 Mbps สามารถรับชมวิดีโอความละเอียด 1080p ได้ เมื่อจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 1 Mbps สามารถรับชมวิดีโอความละเอียด 720p ได้ เมื่อจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 512 Kbps สามารถรับชมวิดีโอความละเอียด 480p ได้ และเมื่อจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 256 Kbps สามารถรับชมวิดีโอความละเอียด 360p ได้

สรุปได้ว่าการสตรีมวิดีโอในความละเอียดสูงต้องใช้แบนด์วิดท์ที่มากกว่าการสตรีมวิดีโอในความละเอียดต่ำกว่าเนื่องจากวิดีโอในความละเอียดสูงมีจำนวนพิกเซลและอัตราเฟรมต่อวินาทีที่มากกว่า ดังนั้นจำเป็นต้องใช้แบนด์วิดท์ที่มากขึ้นเพื่อส่งข้อมูลวิดีโอให้ได้อย่างราบรื่น และผู้ชมจะสามารถรับชมวิดีโอได้โดยไม่มีการกระตุกหรือขัดจังหวะ อย่างไรก็ตาม แบนด์วิดท์มีจำกัดและมีการแบ่งปันในระบบเครือข่าย ดังนั้นการใช้แบนด์วิดท์สูงจะทำให้มีปัญหากับการใช้งานบริการอื่นๆ ในเครือข่าย เนื่องจากงานวิจัยนี้พิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่ผู้ใช้สามารถดูวิดีโอออนไลน์ในสภาพแวดล้อมที่จำกัดแบนด์วิดท์

โดยการควบคุมแบนด์วิดท์ที่มีให้กับผู้ใช้สำหรับการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมวิดีโอออนไลน์ ทำให้ใช้ทรัพยากรแบนด์วิดท์อย่างคุ้มค่า เพื่อทำให้มีแบนด์วิดท์เพียงพอสำหรับการใช้งานบริการอื่นๆ ในเครือข่าย เพื่อให้มั่นใจว่าการลดแบนวิดท์ลง จะไม่ส่งผลกระทบต่อการการเข้าชมวิดีโอออนไลน์ ผู้วิจัยแนะนำแบนด์วิดท์ที่เหมาะสำหรับการสตรีมวิดีโอที่ราบรื่นบนเว็บไซต์ Disney+ Netflix และ YouTube ดังแสดงในตารางที่ 4.8 และในหัวข้อก่อนหน้าเรื่องการวิเคราะห์พารามิเตอร์ QoS โดยพิจารณาถึงความเป็นไปได้ที่ผู้ใช้สามารถดูวิดีโอออนไลน์ในสภาพแวดล้อมที่จำกัดแบนด์วิดท์ ผู้วิจัยแนะนำการจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps เนื่องจากเป็นการกำหนดแบนด์วิดท์ที่จำกัดที่เหมาะสมกับการส่งสตรีมวิดีโอทั้ง 3 เว็บไซต์ เมื่อเปรียบเทียบกับความละเอียดวิดีโอ การจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps สำหรับเว็บไซต์ Disney+ สามารถรับชมวิดีโอได้ที่ความละเอียด 720p ส่วนเว็บไซต์ Netflix สามารถรับชมวิดีโอได้ที่ความละเอียด 540p และเว็บไซต์ YouTube สามารถรับชมวิดีโอได้ที่ความละเอียด 1080p การจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps นี้ ผู้ใช้จะสามารถรับชมวิดีโอได้อย่างราบรื่น แบบไหลลื่น ไม่สะดุด และน่าพอใจ

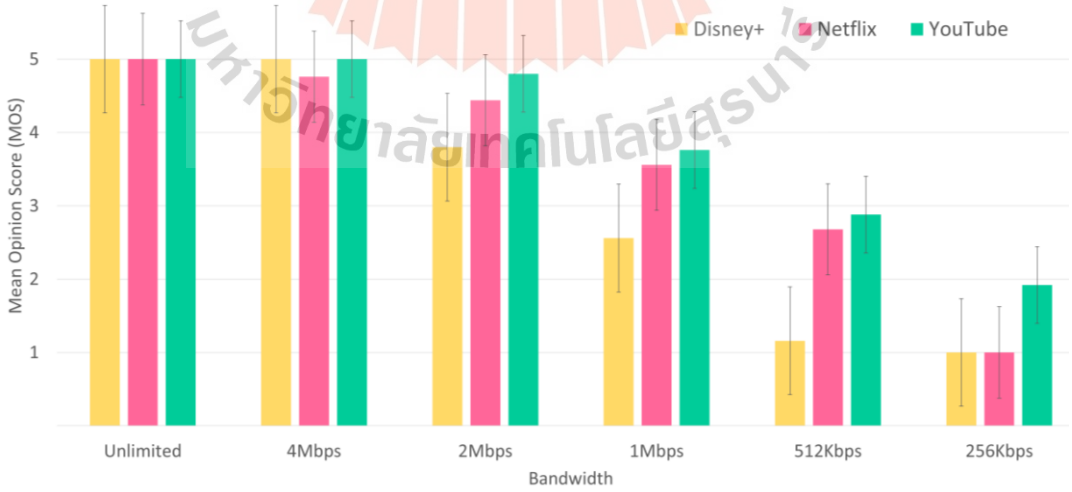
4.6 ผลการทดลองการประเมิน QoE ด้วยคะแนน MOS ทั้ง 3 เว็บไซต์ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ และการอภิปรายผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ประเมิน QoE โดยใช้ คะแนนความคิดเห็น (MOS) เพื่อแสดงระดับความพึงพอใจของผู้ใช้ โดยทั่วไป MOS จะจัดลำดับ ตั้งแต่ 1 ถึง 5 ระดับ โดยระดับ 5 อยู่ในระดับดีเลิศ และ 1 อยู่ในระดับแย่

ตารางที่ 4.9 สรุปผลการทดลองที่แสดงคะแนน MOS ที่กลุ่มตัวอย่างประเมิน QoE ให้กับเว็บไซต์ Disney+, Netflix และ YouTube กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์

Website	Unlimited bandwidth	Limited bandwidth				
		4Mbps	2Mbps	1Mbps	512Kbps	256Kbps
Disney+	5	5	3.8	2.56	1.16	1
Netflix	5	4.76	4.44	3.56	2.68	1
YouTube	5	5	4.8	3.76	2.88	1.92

จากตารางที่ 4.9 แสดงคะแนน MOS เฉลี่ยของวิดีโอ กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps, 2 Mbps, 1 Mbps, 512 Kbps และ 256 Kbps พบว่าเว็บไซต์ Disney+ ได้รับคะแนน MOS ที่ดีมากในกรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps โดยได้คะแนน MOS เฉลี่ย คือ 5 คะแนน กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps ได้คะแนน MOS เฉลี่ย คือ 3.8 คะแนน กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 1 Mbps ได้คะแนน MOS เฉลี่ย คือ 2.56 คะแนน และได้รับคะแนน MOS ที่แย่มากสำหรับการสตรีมในกรณีที่แบนด์วิดท์จำกัดที่ 512 Kbps และ 256 Kbps โดยกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 512 Kbps ได้คะแนน MOS เฉลี่ย คือ 1.16 คะแนน และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 256 Kbps ได้คะแนน MOS เฉลี่ย คือ 1 คะแนน ส่วนเว็บไซต์ Netflix พบว่ากรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ได้คะแนน MOS เฉลี่ยที่ดีมาก คือ 5 คะแนน และได้รับคะแนน MOS ที่ค่อนข้างดีในกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps และ 2 Mbps โดยกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps ได้คะแนน MOS เฉลี่ย คือ 4.76 คะแนน และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps ได้คะแนน MOS เฉลี่ย คือ 4.44 คะแนน กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 1 Mbps ได้คะแนน MOS เฉลี่ย คือ 3.56 คะแนน กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 512 Kbps ได้คะแนน MOS เฉลี่ย คือ 2.68 คะแนน และได้รับคะแนน MOS ที่แย่มากสำหรับการสตรีมกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 256 Kbps ได้คะแนน MOS เฉลี่ย คือ 1 คะแนน และเว็บไซต์ YouTube พบว่าได้รับคะแนน MOS ที่ดีมากในกรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps โดยได้คะแนน MOS เฉลี่ย คือ 5 คะแนน และได้รับคะแนน MOS ที่ค่อนข้างดีในกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps ได้คะแนน MOS เฉลี่ย คือ 4.8 คะแนน กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 1 Mbps ได้คะแนน MOS เฉลี่ย คือ 3.76 คะแนน กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 512 Kbps ได้คะแนน MOS เฉลี่ย คือ 2.88 คะแนน และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 256 Kbps ได้คะแนน MOS เฉลี่ย คือ 1.92 คะแนน



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟคะแนน MOS ที่กลุ่มตัวอย่างประเมิน QoE ให้กับเว็บไซต์ Disney+, Netflix และ YouTube กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์

จากรูปที่ 4.4 แสดงกราฟแสดงคะแนนความคิดเห็นเฉลี่ย (MOS) เทียบกับกรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps, 2 Mbps, 1 Mbps, 512 Kbps และ 256 Kbps เนื่องจาก MOS เป็นค่าเฉลี่ยของคะแนนความคิดเห็นที่ได้รับจากผู้ใช้งานเกี่ยวกับคุณภาพเสียงหรือสื่อสารเสียงในระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยค่าเฉลี่ย MOS ที่สูงกว่า 4 ถือว่าคุณภาพเสียงมีความดีมาก ส่วนค่าเฉลี่ย MOS ที่ต่ำกว่า 3 ถือว่าคุณภาพเสียงไม่ดี จากรูปจะเห็นว่าแท่งกราฟนี้จะแสดงความสูงที่แตกต่างกันตามความถี่ของคะแนน MOS ซึ่งจะช่วยให้สามารถดูความสัมพันธ์ระหว่างค่าคะแนน MOS และ Bandwidth ได้อย่างชัดเจน เห็นได้ชัดว่ากรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps และ 2 Mbps มีคะแนน MOS สูง ถือว่าคุณภาพดีมาก ส่วนกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 1 Mbps, 512 Kbps และ 256 Kbps คะแนน MOS น้อยลงเรื่อยๆ ตามค่าแบนด์วิดท์ที่ถูกจำกัดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเว็บไซต์ Disney+ คะแนน MOS มีค่าน้อยกว่าเว็บไซต์ Netflix และ YouTube

เมื่อเปรียบเทียบคำแนะนำของผู้วิจัยในการจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps พบว่าที่กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps เว็บไซต์ Disney+ ได้คะแนน MOS 3.8 คะแนน เว็บไซต์ Netflix ได้คะแนน MOS 4.44 คะแนนเว็บไซต์ YouTube ได้คะแนน MOS 4.8 คะแนน ซึ่งหมายถึงผู้ใช้ยังคงพึงพอใจในการเข้าชมเว็บไซต์ Disney+ Netflix และ YouTube แม้ว่าคุณภาพจะไม่ดีเท่ากับวิดีโอที่คะแนน MOS คือ 5 (กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์และจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps) แต่คุณภาพดีกว่าคะแนนวิดีโอ MOS ที่ต่ำกว่ามาก (กรณีจำกัดแบนด์วิดท์ 1 Mbps, 512 kbps และ 256 kbps) สรุปได้ว่าการจำกัดแบนด์วิดท์ส่งผลต่อคุณภาพหรือความละเอียดของวิดีโอ และความละเอียดของภาพเกี่ยวข้องกับคุณภาพของประสบการณ์ที่ผู้ใช้รับรู้ (QoE) เมื่อผู้ใช้ดูวิดีโอความละเอียดสูง ผู้ใช้ให้คะแนน MOS สูง ในทำนองเดียวกัน เมื่อผู้ใช้ดูวิดีโอความละเอียดต่ำ ผู้ใช้จะให้คะแนน MOS ที่ต่ำกว่า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปเนื้อหาวิทยานิพนธ์

ในงานวิจัยนี้ประเมินการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมออนไลน์ในสภาพแวดล้อมแบนด์วิดท์ที่จำกัด โดยเว็บไซต์ Disney+, Netflix และ YouTube เป็นเว็บไซต์ศึกษา วิเคราะห์ และทดสอบประสิทธิภาพ การดักจับแพ็กเก็ตแสดงให้เห็นว่าเว็บไซต์ Disney+ และ Netflix ใช้โปรโตคอล TCP และ TLSv1.3 สำหรับการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลส่วนใหญ่ ส่วนเว็บไซต์ YouTube ใช้โปรโตคอล UDP สำหรับการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลส่วนใหญ่ จากผลการทดลองการจัดการแบนด์วิดท์ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ประกอบด้วยบทสรุปของผลลัพธ์ของการทดลองทั้งสอง: กรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และกรณีจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps, 2 Mbps, 1 Mbps, 512 Kbps และ 256 Kbps พบว่ามีอัตราการดาวน์โหลดสูงตามการใช้แบนด์วิดท์ที่สูง เมื่อแบนด์วิดท์ถูกจำกัดไว้ที่ค่าต่างๆ ซึ่งจะทำให้อัตราการดาวน์โหลดลดลงตามค่าแบนด์วิดท์ ผลลัพธ์แสดงให้เห็นว่าเว็บไซต์ Disney+ และ YouTube ส่วนใหญ่มีอัตราการดาวน์โหลดเฉลี่ยมากกว่าเว็บไซต์ Netflix ผู้วิจัยวัดค่าและคำนวนพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อคุณภาพบริการ (QoS) เครือข่ายในเชิงปริมาณตามมาตรฐาน TIPHON คือ Throughput Delay Jitter และ Packet Loss ทั้ง 3 เว็บไซต์พบว่ากรณีไม่จำกัดแบนด์วิดท์และจำกัดแบนด์วิดท์พารามิเตอร์ Delay และ Packet Loss จะอยู่ในหมวดหมู่ที่ Excellent ส่วนพารามิเตอร์ Jitter อยู่ในหมวดหมู่ที่ Good แต่มีพารามิเตอร์ Throughput อยู่ในหมวดหมู่ทุกค่า ตั้งแต่ Excellent ไปจนถึง Bad ขึ้นอยู่กับแบนด์วิดท์ที่จำกัด เนื่องจากคุณภาพบริการ หรือประสิทธิภาพเครือข่ายลดลงตามแบนด์วิดท์ที่ลดลง โดยสรุปเมื่อแบนด์วิดท์ลดลงคุณภาพการให้บริการเครือข่ายจะไม่อยู่ในระดับคุณภาพสูงสุดเมื่อเทียบกับมาตรฐานคุณภาพ เนื่องจากมีพารามิเตอร์หนึ่งตัวถูกจัดประเภทว่าไม่ดี ในงานวิจัยนี้แนะนำขีดจำกัดแบนด์วิดท์ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการดูเว็บไซต์ Disney+ Netflix และ YouTube และแสดงความละเอียดวิดีโอที่ได้รับ ซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถชมวิดีโอได้อย่างราบรื่นและน่าพอใจ นอกจากการวัดพารามิเตอร์บริการ QoS เพื่อดูประสิทธิภาพบริการเครือข่ายแล้ว ผู้วิจัยประเมินจากมุมมองของผู้ใช้งานเกี่ยวกับคุณภาพโดยรวมของบริการด้วย คือ การวัดคุณภาพของประสบการณ์ (QoE) โดยการวัดความพึงพอใจ หรือความรำคาญของประสบการณ์ของผู้ใช้กับบริการ

งานวิจัยนี้วัดระดับ QoE โดยให้คนจำนวน 25 คน ให้คะแนนความคิดเห็นเฉลี่ย (MOS) ตามประสบการณ์จริงที่ได้รับจากการใช้งานเครือข่ายสำหรับการประเมินคุณภาพของสัญญาณสื่อความพึงพอใจของผู้ใช้แปรผันตรงกับแบนด์วิดท์ เมื่อมีแบนด์วิดท์มาก ผู้ใช้จะได้รับชมวิดีโอที่ความละเอียดสูง ส่งผลให้ผู้ใช้ให้คะแนน MOS สูง เมื่อมีแบนด์วิดท์น้อย ผู้ใช้จะได้รับชมวิดีโอที่ความ

ละเอียดต่ำ ส่งผลให้ผู้ใช้ให้คะแนน MOS ต่ำ สรุปได้ว่าการจำกัดแบนด์วิดท์ส่งผลต่อคุณภาพหรือความละเอียดของวิดีโอ และความละเอียดของภาพเกี่ยวข้องกับคุณภาพของประสบการณ์ที่ผู้ใช้รับรู้ การศึกษานี้แนะนำให้จำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps เพื่อผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับการใช้แบนด์วิดท์อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากช่วยลดอัตราการดาวน์โหลดลงอย่างมาก ช่วยลดขนาดข้อมูลและการใช้แบนด์วิดท์ได้มากขึ้น โดยไม่เสียคุณภาพของวิดีโอมากเกินไป นอกจากนี้เมื่อจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 2 Mbps พารามิเตอร์ QoS อยู่ในเกณฑ์ดี และการประเมิน QoE เป็นที่น่าพึงพอใจ การวัดทั้ง QoS และ QoE เป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยในการปรับปรุงคุณภาพการให้บริการในอนาคต อย่างไรก็ตาม การสตรีมวิดีโอใช้แบนด์วิดท์สูงในการรับส่งข้อมูล งานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางในเพื่อช่วยให้ผู้ใช้ใช้ปริมาณการใช้อินเทอร์เน็ตที่จำกัดได้อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัดมากขึ้น ในการทำงานในอนาคต

5.2 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนาในอนาคต

สำหรับการวิจัยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นการประเมินการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมออนไลน์ในสภาพแวดล้อมที่ไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps, 2 Mbps, 1 Mbps, 512 Kbps และ 256 Kbps ซึ่งรูปแบบการเชื่อมต่อเครือข่ายคอมพิวเตอร์ คือ เราเตอร์ของผู้ให้บริการออกสู่โลกอินเตอร์เน็ต (ความเร็วอินเทอร์เน็ตสูงสุด 100 Mbps) เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์พกพาโดยตั้งค่าให้เป็นเราเตอร์เสมือนบนคอมพิวเตอร์ การเชื่อมต่อเราเตอร์เสมือนนี้เข้ากับเราเตอร์หลักเป็นการเชื่อมต่อด้วย Wi-Fi ทำให้ความแรงของสัญญาณลดลง ทดสอบความเร็วอินเทอร์เน็ตสูงสุดได้ 55 Mbps และการใช้อะแดปเตอร์สำหรับแปลงพอร์ต USB เป็นช่องเชื่อมต่อสาย LAN ในการเชื่อมต่อเราเตอร์เสมือนกับเครื่องคอมพิวเตอร์ลูกข่าย ทำให้ความเร็วของเครือข่ายลดลง ทดสอบความเร็วอินเทอร์เน็ตสูงสุดได้เพียง 7 Mbps เท่านั้น เนื่องจากอะแดปเตอร์นี้ไม่สามารถส่งถ่ายข้อมูลได้ด้วยความเร็วเต็มที่ของเครือข่ายได้ เพราะความเร็วของสัญญาณนั้นจะจำกัดในขีดสูงสุดของความเร็วของพอร์ต USB ซึ่งจะช้ากว่าความเร็วของเครือข่ายที่ใช้อยู่ ดังนั้นหากมีการพัฒนาหรือนำไปใช้งานต่อในอนาคต ผู้วิจัยแนะนำให้เลือกใช้อุปกรณ์ที่มีคุณภาพสูงและรองรับการส่งถ่ายข้อมูลด้วยความเร็วสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเลือกซื้อ USB to LAN ควรเลือกชนิดที่ตรงกับมาตรฐาน Gigabit Ethernet ซึ่งมีความเร็วสูงสุดอยู่ที่ 1 Gbps หรือ 1000 Mbps ซึ่งเป็นความเร็วที่เทียบเท่ากับการใช้สาย LAN ที่เชื่อมต่อเข้ากับพอร์ต Ethernet โดยตรง นอกจากนี้ ควรเลือกซื้อจากแบรนด์ที่มีชื่อเสียงและได้รับความนิยมจากผู้ใช้งานมาก่อน เพื่อความมั่นใจในคุณภาพและความเสถียรของอุปกรณ์ นอกจากนี้งานวิจัยนี้จำกัดแบนด์วิดท์แบบ Static ซึ่งเป็นการลดแบนด์วิดท์ในเครือข่ายในระบบแบบคงที่ตลอดเวลา ซึ่งอาจจะทำให้ผู้ใช้งานไม่สามารถใช้งานแบบเต็มประสิทธิภาพได้ สำหรับงานในอนาคตแนะนำการจำกัดแบนด์วิดท์แบบ Dynamic ซึ่งเป็นการลดแบนด์วิดท์ในเครือข่ายโดยใช้วิธีการควบคุมการส่งข้อมูลเพื่อลดการใช้งานแบนด์วิดท์ในเครือข่าย ซึ่งจะทำการควบคุมการส่งข้อมูลโดยอัตโนมัติด้วยการจัดกลุ่มและควบคุมการส่งข้อมูลให้เหมาะสม จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งาน

เนื่องจากการจำกัดแบนด์วิดท์จะเปลี่ยนไปตามสถานการณ์และการใช้งานจริงๆ ซึ่งจะเป็นแนวทางในการสร้างฟังก์ชันการจัดการเครือข่ายต่อไปในอนาคต และเพื่อให้การประเมิน QoE มีความแม่นยำและน่าเชื่อถือมากขึ้น แนะนำให้ทำการให้คะแนน MOS จากหลายๆ ผู้ทดสอบ เนื่องจากความคิดเห็นที่เป็นผลมาจากผู้ใช้งานจริงๆ ที่มีความหลากหลายในการใช้งานจะช่วยให้การประเมิน QoE มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น ข้อควรระวังการทดสอบ MOS โดยหลายๆ ผู้ทดสอบอาจทำให้มีความผิดพลาดจากผู้ทดสอบแต่ละคนได้ เนื่องจากความรู้สึกและประสบการณ์ของผู้ทดสอบแต่ละคนอาจมีความแตกต่างกันไป ซึ่งอาจส่งผลให้คะแนน MOS ของผู้ทดสอบแต่ละคนไม่เหมือนกัน ดังนั้นการให้คะแนน MOS หลายๆ คนจึงต้องพิจารณาผลของการทดสอบจากหลายๆ ผู้ทดสอบร่วมกัน เพื่อให้การประเมินมีความแม่นยำและน่าเชื่อถือ นอกจากนี้ควรใช้เครื่องมือทางสถิติ เช่น Annova ในการหาค่าความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างความกว้างแบนด์วิดท์กับคะแนน MOS เพื่อยืนยันผลด้าน QoE

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

รายการอ้างอิง

จตุชัย แพงจันทร์, อนุโชต วุฒิพรพงษ์. (2555) เจาะระบบ Network 3rd Edition (พิมพ์ครั้งที่ 1). นนทบุรี : สำนักพิมพ์ไอดีซี พรีเมียร์.

Cody Lindley, (2019). Front-end developer handbook, Chapter 3. Learning Front-end Dev: Self Directed Resources/Recommendations (2019).

Cisco, Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2016–2021. [Online]. Available:https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-index-vni/complete-white-paper-c11-481360.pdf (Jun. 2017).

Imam, M., Abdullah. (2019). Bandwidth Management in Router for DHCP Protocol, International Journal of Scientific and Engineering Research, Volume 10, 2019, pp. 1343-1346, [DOI: 10.14299/ijser.2019.03.03]

Farung, S., Peerapong, U., Monthippa, U. (2021). QoE-Based Precoding for Partially Massive MIMO., 2021, 366-369. doi: 10.1109/ECTI-CON51831.2021.9454719.

Aderemi, H., Aderanti, F., Wasiu, A., Babalola, A. (2020). Bandwidth Monitoring and Network Usage in a Wireless Network, IJRIAS, Volume V, Issue VII, July 2020, ISSN 2454-6194

Kassim, M., Ismail, M., Jumari, K., Yusof, M.I. (2012). Survey: Bandwidth Management in an IP Based Network, World Academy of Science, Engineering and Technology, Issue 62, 2012, pp. 356-363.

Kamluewong, K., Siri, A. (2015). Maximizing Network Utilization of Dynamic Bandwidth Management with Minimum Bandwidth-Constrained Techniques. Payap University Research Symposium 2015, 2015, pp. 398-407.

Biernacki, A., Tutschku, K. (2014). Performance of HTTP video streaming under different network conditions. Multimedia Tools and Applications, V 72, N2, Springer US, 2014, pp. 1143-1166.

Ito, M.S., Antonello, R., Sadok, D., Fernandes, S. (2014). Network level characterization of adaptive streaming over HTTP applications, 2014 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), 2014, pp. 1-7, doi: 10.1109/ISCC.2014.6912603.

Azhar, A., Pramono, Z. Supriyanto, E. (2016). An Analysis of Quality of Service (QoS) In Live Video Streaming Using Evolved HSPA Network Media. JAICT, 1(1), 2016, 1-6.

Cámara, M., Díaz, C., Casal, J., Ruano, J., García, N. (2019). Perceptually Equivalent Resolution in Handheld Devices for Streaming Bandwidth Saving, in IEEE Signal Processing Letters, vol. 26, no. 6, 2019, pp. 878-882, doi: 10.1109/LSP.2019.2911189.

Nam, H., Kim, K.H., Kim, B.H., Calin, D., Schulzrinne, H. (2014). Towards dynamic QoS-aware over-the-top video streaming, Proceeding of IEEE International Symposium on a World of Wireless0, Mobile and Multimedia Networks 2014, 2014, pp. 1-9, doi: 10.1109/WoWMoM.2014.6918921.

Wishnu A., Sugiantoro, B. (2019). Analysis of Quality Of Service (Qos) YouTube Streaming Video Service In Wireless Network In The Environment Faculty Of Science And Technology Uin Sunan Kalijaga, IJID (International Journal on Informatics for Development), 2019.

Pal, D., Triyason, T., Vanijja, V. (2017). Quality evaluation of high-resolution videos viewed on a mobile device in an online streaming environment, 2017 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS), 2017, pp. 1-6, doi: 10.1109/ANTS.2017.8384172.

Gómez, G., Hortigüela, L., Pérez, Q., Lorca, J., García, R., Aguayo-Torres, M. C. (2014). YouTube QoE evaluation tool for Android wireless terminals, EURASIP J. Wireless Commun. Netw., vol. 2014, Art. no. 164.

Khan, A., Sun, L., Ifeachor, E. (2009). Content-based video quality prediction for MPEG4 video streaming over wireless networks, J. Multimedia 4(4), 2009, 228–239, doi:10.4304/jmm.4.4.228-239.

Asan, A., Robitza, W., Mkwawa, I.H., Sun, L., Ifeachor E., Raake, (2017). A. Impact of video resolution changes on QoE for adaptive video streaming, 2017 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), 2017, pp. 499-504, doi: 10.1109/ICME.2017.8019297.

Yuan, Y., Lin S., Zhou, G. (2019). QoE Control for Dynamic Adaptive Video Streaming Over HTTP at Access Point, 2019 IEEE International Conference on Industrial Internet (ICII), 2019, pp. 268-277, doi: 10.1109/ICII.2019.00053.

Robitza, W., Dethof, A.M., Göring, S., Raake, Beyer, A., Polzehl, T. (2020). Are You Still Watching? Streaming Video Quality and Engagement Assessment in the Crowd, 2020 Twelfth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX), 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/QoMEX48832.2020.9123148.

Netflix, The Story of Netflix, Retrieved from https://about.netflix.com/en, (2022).

Disney+, Disney Plus Revenue and Usage Statistics, Retrieved from https://www.businessofapps.com/data/disney-plus-statistics/, (2022).

MANSOOR IQBAL), YouTube Revenue and Usage Statistics, Retrieved from https://www.businessofapps.com/data/youtube-statistics/, (2022).

Lockias, C. (2012). Bandwidth management in universities in Zimbabwe: Towards a responsible user base through effective policy implementation, The International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology 8(2), 2012, 62-76.

Chitanana, L., Govender, D. W. (2015). Bandwidth Management in the Era of Bring Your Own Device, Electron. J. Inf. Syst. Dev. Ctries., vol. 68, no. 3, 2015, pp. 1-14.

Wijayanto, A. Adhitama, Rifki, (2020). QOS Analysis of Routing Protocol Babel on Mobile Ad-Hoc Network (MANET)., IOP Conference Series: Materials Science and Engineering., 771. 012032. 10.1088/1757-899X/771/1/012032., 2020.

Yusuf, Taufik, Slameto, Andika, (2022). Perbandingan Kinerja Redundant Link Menggunakan VRRP dan Load Balance pada Mikrotik. Respati., 17. 11. 10.35842/jtir.v17i2.453., 2022.

Terto, A. S. D., Laksana, E. P. (2019). Analysis of Management Bandwidth Using Queue Tree As Traffic Control With PFIFO Method (Analisa Management Bandwidth Menggunakan Queue Tree Sebagai Traffic Control Dengan Metode PFIFO), Journal of Maestro Vol. 2, pp: 398 – 407, 2019.

Marpaung, N.L., Saputri, R.D., Amri, R. (2022). Quality of Service from a Network when Using Youtube Application, IJEEPSE, vol. 5, no. 1, pp. 12-18, Feb. 2022.

Miraz, D. (2017). Simulation and Analysis of Quality of Service (QoS) Parameters of Voice over IP (VoIP) Traffic through Heterogeneous Networks., International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)., 8. 242-248. 10.14569/IJACSA.2017.080732., 2017.

Nurhaida, I., Pratama, D., Zen, R., Wei, Hong. (2019). Interior gateway protocol routing performance comparison of the virtual private network based on multi-protocol label switching and direct-link backupsed on MPLS and direct-link backup, SINERGI. 24. 1. 10.22441/sinergi.2020.1.001., December 2019.

Azad, A., Chignell, M., Zucherman, L. (2019). A Longitudinal Study on Quality of Experience (QoE) measures to predict customer's Likelihood to Recommend (L2R) a service., Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting, 63(1), 148-152. https://doi.org/10.1177/1071181319631499, 2019.

Charisma, A., Setiawan, A.D., Megiyanto, G., Rahmatullah, Hidayat, M.R. (2019). "Analysis Quality of Service (QoS) on 4G Telkomsel Networks In Soreang," IEEE 13th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA), pp. 145-148, doi: 10.1109/TSSA48701.2019.8985489.

Paul Schmitt, Francesco Bronzino, Sara Ayoubi, Guilherme Martins, Renata Teixeira, Nick Feamster, (2019). "Inferring Streaming Video Quality from Encrypted Traffic: Practical Models and Deployment Experience".

Pal, D., Triyason, T., Vanijja, V. (2018). Quality evaluation of high resolution videos viewed on a mobile device in an online streaming environment, 2017 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS), pp. 1-6, doi: 10.1109/ANTS.2017.8384172.

Bilal, K., Erbad, A. (2017). "Impact of Multiple Video Representations in Live Streaming: A Cost, Bandwidth, and QoE Analysis," 2017 IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E), 2017, pp. 88-94, doi: 10.1109/IC2E.2017.20.

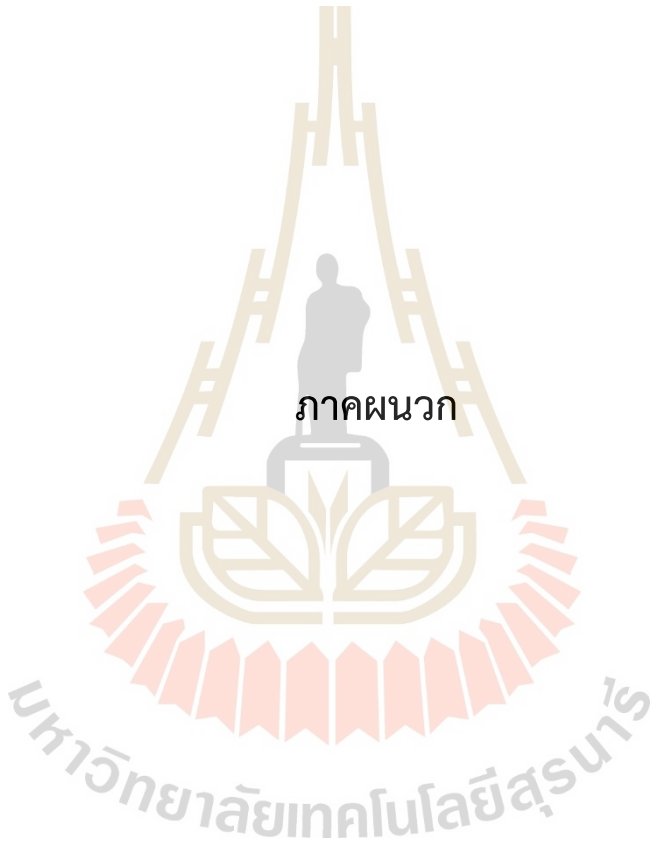
ISO/IEC 11801 (2017): Information technology - Generic cabling for customer premises

Tanenbaum, A. S., Wetherall, D. (2011). Computer Networks (5th ed.). Pearson.

Kurose, J. F., Ross, K. W. (2016). Computer Networking: A Top-Down Approach (7th ed.). Pearson.

ITU-T Recommendation P.910 (2022): Subjective evaluation of speech quality with a crowdsourcing approach

ภาคผนวก



รายชื่อบทความวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์และเผยแพร่ในระหว่างการศึกษา

กนกวรรณ ขวัญทอง, และ ชิตพงศ์ เวชไธสงค์, “การประเมินการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมออนไลน์ในสภาพแวดล้อมแบนด์วิดท์ที่จำกัด” The 2nd ECTI workshop on Biomedical Electrical-Electronics and Communications Engineering, 20 Nov 2021. (Abstract published)

K. Khwanthong, and C. Wechtaisong, “Traffic Evaluation of Online-Streaming Applications on Limited Bandwidth Environment” Proc. of the 16th South East Asia Technical University Consortium Symposium (SEATUC 2022), 23-24 Feb 2022. (Full paper published)

C. Wechtaisong, K. Khwanthong and A. A. Khan, “Bandwidth Allocation to Traffic and QoE Evaluation for Video Streaming Services” International Journal on Communications Antenna and Propagation (I.Re.C.A.P.), Vol. 12, N. 5, ISSN 2039 – 5086, October 2022, DOI: https://doi.org/10.15866/irecap.v12i5.22340 (Full paper published)

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

2021 ECTI Workshop on BEC
The 2nd ECTI workshop on Biomedical Electrical-Electronics and Communications Engineering

Paper ID: 048

การประเมินการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมออนไลน์ในสภาพแวดล้อมแบนด์วิดท์ที่จำกัด

กนกวรรณ ขวัญทอง, และ ชิตพงศ์ เวชไธสงค์
สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
111 ถ.มหาวิทยาลัย ต.สุรนารี อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000
M6300784@g.sut.ac.th

การเข้ามาของโลกอินเทอร์เน็ต ตลอดจนความก้าวหน้าของเทคโนโลยี ล้วนมีบทบาทในอิทธิพลต่อพฤติกรรมของผู้ชมในการเลิกดูละครหรือภาพยนตร์ในสื่อหลัก เช่น โทรทัศน์ หรือ Free TV ทำให้บริการ Video Streaming ได้รับความนิยมขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากเป็นการรับชมเนื้อหาบนแพลตฟอร์มของผู้ให้บริการออนไลน์โดยใช้อุปกรณ์ต่างๆ ที่สามารถเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตได้ ซึ่งตอบสนองกับพฤติกรรมและรูปแบบการใช้ชีวิตของผู้คนสมัยใหม่ที่ต้องการความสะดวก รวดเร็ว ประกอบกับความเร็วของอินเทอร์เน็ตที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น ทำให้ผู้ชมสามารถเข้าถึงคอนเทนต์และรับชมได้ในทุกที่ทุกเวลา และสามารถเลือกรับชมในสิ่งที่สนใจและต้องการได้ด้วยตัวเอง ในปัจจุบันการสตรีมวิดีโอเป็นบริการอินเทอร์เน็ตที่ผู้ใช้ใช้แบนด์วิดท์จำนวนมากที่สุด แต่ปัญหาคือแบนด์วิดท์เป็นทรัพยากรที่จำกัดและมีราคาแพง ซึ่งถ้าในเครือข่ายมีแบนด์วิดท์ไม่เพียงพอต่อการใช้งาน หรือเหลือแบนด์วิดท์ที่จะใช้งานในขณะนั้นน้อยมาก หมายถึงมีความกว้างของช่องทางในการรับ-ส่งข้อมูลนั้นแคบ เมื่อมีข้อมูลในการส่งเยอะขึ้น จะเกิดความแออัดในเครือข่าย เนื่องจากมีข้อมูลและปริมาณการใช้งานระบบเครือข่ายจำนวนมาก ทำให้อัตราการส่งข้อมูลต่ำลง ซึ่งอาจประสบปัญหาบัฟเฟอร์ วิดีโอกระตุก คุณภาพการแสดงวิดีโอลดลง หรือแสดงผลภาพได้ความละเอียดลดลง ภาพไม่ชัด วิดีโอขาดๆ หายๆ ภาพวิดีโอไม่ราบรื่น และล่าช้ามาก การใช้งานบริการต่างๆใช้ระยะเวลานานในการเข้าถึง หรืออาจเข้าใช้งานไม่ได้เลย ดังนั้นเราควรบริหารจัดการการใช้งานให้ดี เพื่อส่งเสริมการจัดการทรัพยากรแบนด์วิดท์ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด

ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดการประเมินการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมออนไลน์ในสภาพแวดล้อมแบนด์วิดท์ที่จำกัด โดยศึกษา วิเคราะห์ และทดสอบประสิทธิภาพของผู้ให้บริการ Video-on-Demand (VOD) ยอดนิยมในประเทศไทย 4 แพลตฟอร์ม คือ Disney+ LINE TV Netflix และ YouTube งานวิจัยนี้ทำการทดลองการใช้งานแบบไม่จำกัดแบนด์วิดท์ และจำกัดแบนด์วิดท์ที่ 4 Mbps, 2 Mbps, 1 Mbps และ 512 Kbps

TRAFFIC EVALUATION OF ONLINE-STREAMING APPLICATIONS ON LIMITED BANDWIDTH ENVIRONMENT

***Kanokwan Khwanthong, Chitapong Wechtaisong**
School of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Muang District, Nakhon Ratchasima, 30000, Thailand
***Corresponding Author: M6300784@g.sut.ac.th**

ABSTRACT

Video streaming is one of the most popular Internet services, and it necessitates a lot of bandwidth to help with data transmission speed. However, bandwidth is a limited and costly resource. Therefore, usage should be managed well in order to optimize the management of available bandwidth resources. In this work, we propose to evaluate the traffic of online streaming applications in a bandwidth-constrained environment by studying, analyzing, and testing the performance of Disney+, LINE TV, and YouTube websites. We did unlimited bandwidth trial and bandwidth limit trial. When we limit bandwidth at various values, it was found that the download rate was reduced as the bandwidth was reduced. This can save data usage. However, users will get to watch videos with the reduced video quality because the resolution of the image is reduced. The videos are optimized for reduced bandwidth, which is a cost-effective and efficient use of bandwidth resources.

Keywords: *Video Streaming, Network Traffic Analysis, Traffic Evaluation, Bandwidth Management, Resolution*

1. INTRODUCTION

The entry of the Internet and technological advancements have influenced consumers' decisions to cease watching dramas or movies in mainstream media such as television or Free TV. People are increasingly turning to video streaming services to watch content on online service providers' platforms via a variety of devices that can connect to the Internet. Viewers will be able to access content and watch it at any time and from any location. This is an important feature that responds to audience behavior very well. Because it allows viewers to choose to watch what they are interested in and want by themselves. But video streaming is the most bandwidth-consuming of Internet services today. According to Cisco, video streaming will account for about 82% of total Internet traffic in 2022 - K. Bilal & A. Erbad (2017) Which states that future bandwidth needs will increase. The high bandwidth provides faster data rates for video streaming. However, there is not only video stream traffic in the network. Other Internet services such as e-mail, Internet chat services, Internet search services, etc. are also used. If there is not enough bandwidth available, the receiving-sending information channel is limited. When there is a lot of data or network traffic to transfer, resulting in network traffic congestion and the data rates are decreased. -Kamluewong & Siri (2015), And video streaming is one of the causes of network congestion. Because there is a lot of data and network traffic. It will affect the use of other services on the Internet. It has a lot of buffering issues when it comes to video streaming. This results in a decrease in video display quality, as well as video lag, a jerky video image, and a blurry image. The use of services takes a long time or is not possible at all.

Experimental study, analyze, measure efficiency, and evaluating the traffic of the video stream. There were several studies on this topic, such as Using network simulators to assess HTTP-based video delivery and investigate how network problems impacted streamed video. It was discovered to be capable of detecting various types of buffering-affected video playback and resolving poor network circumstances to allow for seamless streaming video playback. -Biernacki & K. Tutschku (2014), Analyze the characteristics of live-streaming peer-to-peer applications and assess their performance using TVUPlayer to guide future open-source application improvements - Mongkonnawasatian & Kitisin (2016), Present the nature of streaming video transmission on YouTube services in 360p, 480p, and 720p resolutions. QoS characteristics such as delay, jitter, throughput, packet loss, and bandwidth were investigated. According to the results of the experiment, poor throughput and low packet loss were discovered, both of which were below TIPHON quality requirements. -Wishnu, & Sugiantoro (2019), Describe the network traffic behavior characteristics of popular streaming services, including Netflix and YouTube (Both of which use Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH) streaming). Throughput, average packet size, round trip duration, and packet inter-arrival time are all measured. Both services perform poorly when bandwidth and loss are limited. - M. S. Ito, et al. (2014),

From literature reviews, the researcher came up with the idea of evaluating the traffic of online streaming applications in a limited bandwidth environment. This study will assess the traffic of popular online video-related applications in Thailand: Disney+, LINE TV, and YouTube. We consider the possibility that users are able to watch online videos in a bandwidth-limited environment and the resolution or video quality that users will be able to watch video including audio depending on the allocated bandwidth. This experiment was conducted in the case of unlimited bandwidth and limited bandwidth. The experimental results show that the type of transmission protocols, data size, and download rates for each case are compared, and recommend bandwidth that is suitable for traffic to websites with the different video quality. This research will be a guideline to the management of available bandwidth resources for the best benefit of all users. This allows enough bandwidth to be used for other services as well, making the service more efficient and cost-effective use of bandwidth resources.

2. MATERIALS AND METHODS

2.1 DATASET

The data collection process uses a passive packet sniffing method using the Wireshark tool to capture network packets. All datasets are recorded over the 3BB (3 Broad Band) Internet network. The data contains network packets from 3 video streaming services (Disney+ LINE TV and YouTube).

2.2 EXPERIMENTAL SETUP AND PROCESSING

Set the 1st computer as the gateway host computer. Installing the Linux operating system is Ubuntu Server 20.04 and setting up the 1st computer as a router to the Internet and installing the Wireshark program. Set the 2nd computer as the client computer. Before the experiment, take an internet speed test showed a maximum speed of 7 Mbps as shown in Fig. 1.

Fig. 1. Diagram of a computer network

The researcher conducted an experiment on
Monday, July 19, 2021, at 11:00 p.m.
Wednesday, July 28, 2021, at 7:00 a.m.
and Sunday, August 1, 2021, at 3:00 p.m.

This experiment was divided into two parts: unlimited bandwidth and limited bandwidth. Experimental procedure: Using Wireshark to capture packets from all 3 services for 600 secs (or 10 mins), and the trial requires 60 secs (or 1 min) to enter the website before the video starts (Time to access the website). While capturing the packet, close the website or all other applications. Then, takes the data packet to analyze the network flow and network usage behavior.

3. RESULTS AND DISCUSSION

This section shows the results of the experiment. Packet data analysis, which the study considers protocol types, data size, time, and bandwidth/download rate. (Here we are only interested in the download rate).

Table 1. Shows data packets, protocol, and the download rate of Disney+, LINE TV, and YouTube websites in case of unlimited bandwidth.

Website	Protocol	Total number of packets	Data size (Mbyte)	Download rate (Mbps)	Protocol usage (%)
Disney+	UDP	273	0.1111	0.0015	0.0407
	TCP	64247	93.1781	1.2424	34.1176
	TLSv1.2	53	0.0241	0.0003	0.0088
	TLSv1.3	122277	178.4322	2.3818	65.4071
	etc.	805	1.1630	0.0155	0.4259
LINE TV	UDP	663	0.4111	0.0055	0.1422
	TCP	75962	110.4982	1.4733	43.9032
	TLSv1.2	97496	142.4810	1.8997	56.2109
	TLSv1.3	90	0.0518	0.0007	0.0204
	etc.	118	0.0336	0.0004	0.0133
YouTube	UDP	169720	234.6662	3.1282	99.7961
	TCP	433	0.2406	0.0032	0.1025
	TLSv1.2	25	0.0062	0.0001	0.0026
	TLSv1.3	172	0.1647	0.0022	0.0701
	etc.	56	0.0473	0.0009	0.0287

From Table 1, Disney+ has the most use of the TLSv1.3 protocol for downloads, 65.41%. And the TCP protocol accounted for 34.12%. Notice that the website has TLSv1.3 and TCP protocols to distribute information. And has a minority of UDP, SSLv2, TLSv1.2 protocol, and others. For LINE TV has the most use of the TLSv1.2 protocol for downloads, 56.21%. And the TCP protocol accounted for 43.59%. Notice that the website has TLSv1.2 and TCP protocols to distribute information. And has a minority of UDP, TLSv1.3, QUIC protocol, and others. YouTube has the most use of the UDP protocol for downloads, 99.50%. Notice that the website has UDP protocols to distribute information. And has a minority of TCP, TLSv1.2, TLSv1.3 protocol, and others.

Fig. 2. Shows graph of Throughput versus Time Duration in case of unlimited bandwidth and limited bandwidth of Disney+ website.

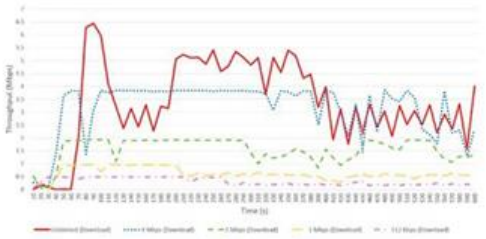


Fig. 3. Shows graph of Throughput versus Time Duration in case of unlimited bandwidth and limited bandwidth of LINE TV website.

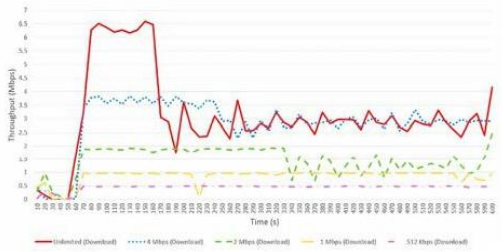


Fig. 4. Shows graph of Throughput versus Time Duration in case of unlimited bandwidth and limited bandwidth of YouTube website.

When considering the throughput of the Disney+ website from Fig. 2, it was found that during the first 60 secs the download rate was very low. because it is the time to access the website and has a higher download rate after 60 secs as the video starts to view. In the case of unlimited bandwidth and 4 Mbps bandwidth limitation, it was found that the download rate was high. After that, the download rate was reduced. But after that, the download rate increases and decreases alternately until the download is complete. In the case of 1 Mbps bandwidth limitation, it was found that throughout the packet capture during 60-600 secs, the download rate curve is near the limit. In the case of 2 Mbps and 512 Kbps bandwidth limitation, it was found that the download rate was almost as high as the limit. And after that, the download rate was reduced. And from the graph, it is clear that when we reduce the bandwidth. The download rate will be reduced. As the video bitrate is optimized based on the lower bandwidth, the lower the data rate.

Since the LINE TV website is a video streaming service, users can watch various high-quality videos for free. It's free, making LINE TV an ad-supported website. There is currently no paid service to disable ad content. Before watching a normal video, there will be about 1 to 2 random ads. Users must watch the ad before into watching the normal video. And when considering the throughput of the LINE TV website from Fig. 3, it was found that during the first 60 secs the download rate was very low. Because it is the time to access the website. After 60 seconds, when the video begins to play, the download rate is increasing. In the case of unlimited bandwidth in the range of 60-120 secs, it is the time when the video advertisement starts. It was found that the download rate was high. We can watch video ads smoothly without lag. And after that, start to a normal video, the download rate increases and decreases alternately until the download is complete. And it is clear that the download rate during the video ad is more than the normal video download rate. As for the bandwidth limitation of 4 Mbps, 2 Mbps, 1 Mbps, and 512 Kbps, it was found that after 30 secs. It is the time when the video advertisement starts. It was found that video ads used a high download rate. Which the download rate was almost as high as the limit and it takes a long time to get into a normal video. Therefore, the normal video starts playing after 80, 120, 200, and 260 secs, respectively. In the case of 4 Mbps and 2Mbps bandwidth limitation, when the normal video starts. The download rate was almost as high as the limit. And after that, the download rate increases and decreases alternately until the download is complete. In the case of 1 and 512 Kbps bandwidth limitation, when the normal video starts. The download rate was reduced. And from the graph, it is clear that when we reduce the bandwidth. The download rate will be reduced. As the video bitrate is optimized based on the lower bandwidth, the lower the data rate.

When considering the throughput of the YouTube website from Fig. 4, it was found that during the first 60 secs the download rate was very low. because it is the time to access the website and has a higher download rate after 60 secs as the video starts to view. In the case of unlimited bandwidth, it was found that the download rate was high. And after that, the download rate was reduced. In the case of 4 Mbps and 2 Mbps bandwidth limitation, it was found that the download rate was almost as high as the limit. And after that, the download rate was reduced. In the case of 1 and 512 Kbps bandwidth limitation, it was found that throughout the packet capture during 60-600 secs, the download rate curve is near the limit. And from the graph, it is clear that when we reduce the bandwidth. The download rate will be reduced. As the video bitrate is optimized based on the lower bandwidth, the lower the data rate.

Table 2. Summary of the experimental results the average download rate in case of unlimited bandwidth compared to the case of limited bandwidth.

Website	Unlimited bandwidth	Limited bandwidth			
		4Mbps	2Mbps	1Mbps	512Kbps
Disney+	3.641	2.302	1.312	0.842	0.380
Line TV	3.380	3.164	1.551	0.628	0.309
YouTube	3.133	2.818	1.467	0.854	0.444

From Table 2, it is found that when we reduce bandwidth by setting bandwidth according to the above values, we can see that the download rate decreases due to the decrease in the amount of data usage. In all cases, the download rate does not exceed the bandwidth limit. That means we can limit the bandwidth of traffic to the website. For video transmission that uses high bandwidth for data transmission. When we reduce the bandwidth is lower. It can be said that the transmission channel is narrow. Therefore, when there is more data in the transmission. This caused the data rate to drop as well. Which the system will reduce data usage. Video bitrate is optimized for lower bandwidth and helps users use the limited internet traffic more efficiently and economically.

This is because the resolution of the image is directly related to the bandwidth of the signal. If the higher the bandwidth in the signal, the higher the resolution. As a result, the sharpness of the image will be even higher. If there is insufficient bandwidth, videos take longer to start playing or may buffer frequently. Each service platform now has the ability to downgrade

streams to save bandwidth. When we reduce the bandwidth, The system will adjust the quality of the video image to be lower to make videos start playing faster. However, on some platforms, if we reduce the bandwidth too much, it may result in the image quality is so low that the video cannot be viewed. Therefore, we recommend bandwidth that is suitable for smooth video streaming on Disney+, LINE TV, and YouTube, shown in Table 3.

Table 3. Summary of the experimental results bandwidth limitation suitable for viewing all 3 websites at the various video quality.

Website	Unlimited bandwidth	Limited bandwidth			
		4Mbps	2Mbps	1Mbps	512Kbps
Disney+	High	High	Medium	Low	-
LINE TV	1080p	1080p	720p	360p	144p
YouTube	1080p	1080p	1080p	720p	480p

From Table 3, the Disney+ website found that when bandwidth is not limited or limited the bandwidth to 4 Mbps can watch videos at the high video quality. When bandwidth is limited to 2 Mbps, video can be viewed at the medium video quality. When bandwidth is limited to 1 Mbps, low video quality videos can be viewed. But when the bandwidth is limited to 512 Kbps, it takes longer to visit the Disney+ website and the video can't be viewed (stutter). On the LINE TV website, when bandwidth is limited or bandwidth is limited to 4 Mbps, videos can be viewed at 1080p resolution. When bandwidth is limited to 2 Mbps, videos can be viewed at 720p resolution. When bandwidth is limited to 1 Mbps, it takes longer to visit the LINE TV website but can view videos at 360p resolution. When bandwidth is limited to 512 Kbps, t takes longer to visit the LINE TV website but only can view videos at 144p resolution. On the YouTube website, it was found that when the bandwidth was not limited or limited bandwidth to 4 Mbps and 2 Mbps, YouTube can be viewed at 1080p resolution. When bandwidth is limited to 1 Mbps, videos can be viewed at 720p resolution. And when bandwidth is limited to 512 Kbps, videos can be viewed at 480p resolution.

4. CONCLUSIONS

In this research paper, we outline the characteristics of the Disney+, LINE TV, and YouTube streaming platforms. The packet capture showed that Disney+ and LINE TV websites use the TCP TLSv1.2 and TLSv1.3 protocols for the transmission of most data packets. YouTube website uses the UDP protocol for the transmission of most data packets. The results of the bandwidth management experiment in the computer network in the case of unlimited bandwidth and limited bandwidth. It was found that the download rate was high according to the high bandwidth. When bandwidth is limited to various values, this causes the download rate decreases based on the bandwidth value. And when a consumer streams video at a high bitrate throughput at a high resolution. If the bandwidth is reduced, the system will choose the resolution that is most appropriate and compatible with the data transmission rate received by the service user at the time. Because bandwidth resources are limited and expensive. Bandwidth limitation can help to reduce network congestion, avoid wasting data, and cost savings. From this work, we know bandwidth so that we can adjust the data rate and get the best video resolution quality. In order to be used to create the next network management function.

ACKNOWLEDGMENT

The authors wish to express their most sincere gratitude to Engineering Fundamental Laboratory Building (F11), Suranaree University of Technology who supported the raw internet traffic data for this research

REFERENCES

K. Bilal & A. Erbad, "Edge computing for interactive media and Video Streaming," 2017 Sec International Conference on Fog and Mobile Edge Computing (FMEC), 2017

K. Kamluewong & A. Siri. "Maximizing Network Utilization of Dynamic Bandwidth Management with Minimum Bandwidth-Constrained Techniques." Payap University Research Symposium 2015, pp. 398-407, 2015

A. Biernacki & K. Tutschku, "Performance of HTTP Video Streaming under different network conditions," Multimedia Tools and Applications, vol. 72, no. 2, pp.1143–1166, 2014

W. Mongkonnawasatian & S. Kitisin, "A Case Study on Performance of P2P Live-streaming Application: TVUPlayer", 2016

Wishnu, A. and Sugiantoro, B., "Analysis of Quality of Service (QoS) YouTube Streaming Video Service in Wireless Network in Faculty of Science and Technology UIN Sunan Kalijaga" Int. J. Inform. Dev. 2019,7, 30.

M. S. Ito, et al., "Network level characterization of adaptive streaming over HTTP applications," 2014 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), 2014

PHOTOS AND INFORMATION

Kanokwan Khwanthong received the B.Eng. (2019), degrees in Telecommunication Engineering from Suranaree University of Technology. She is currently pursuing the M. Eng. degree in Telecommunication Engineering.

Chitapong Wechtaisong received Ph.D. in the field of Information and Communication Engineering, from Shibaura Institute of Technology, Japan in 2016. Currently, he is an assistant professor at the school of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand

International Journal on Communications Antenna and Propagation (I.Re.C.A.P.), Vol. 12, N. 5
ISSN 2039 – 5086 October 2022

Bandwidth Allocation to Traffic and QoE Evaluation for Video Streaming Services

Chitapong Wechtaisong[1], Kanokwan Khwanthong[1], Arfat Ahmad Khan[2]

Abstract – *Video streaming is one of the most popular and highest bandwidth-consuming media on the internet. However, network bandwidth is a limited and costly resource. Therefore, usage should be managed well in order to optimize the management of available bandwidth resources. In this work, it is proposed to evaluate the traffic of online streaming applications in a bandwidth-constrained environment by testing the performance of Disney+, Netflix, and YouTube websites. The experiment has been done with both unlimited and limited bandwidth. The experiment has displayed protocol types, and data size, has measured QoS including throughput, delay, packet loss, and jitter of online video services, and it has compared the aforementioned elements with TIPHON standard specification. As a result, when the bandwidth has been limited, it has been found out that throughput has been in a bad range. This study recommends a bandwidth limitation of 2 Mbps for the greatest results for effective bandwidth usage. The importance of evaluating user satisfaction with service providers has been considered by measuring QoE levels using an individual rating or MOS for assessing the quality of video streams. This research has provided a guideline for managing the available bandwidth resources for the optimized benefit of all ISPs and users. This is a cost-effective and efficient use of bandwidth resources.* ***Copyright © 2022 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved.***

Keywords: *Bandwidth Management, Mean Opinion Score (MOS), Quality of Experience (QoE), Quality of Service (QoS), Video Streaming*

Nomenclature

DNS	Domain Name Server
ETSI	European Telecommunication Standards Institute
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
ICMP	Internet Control Message Protocol
IP	Internet Protocol
ITU-T	International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector
LAN	Local Area Network
MOS	Mean Opinion Score
OTT	Over-The-Top
QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
QUIC	Quick UDP Internet Connections
RICP	Real-Time Control Protocol
RTP	Real-Time Transport Protocol
RTSP	Real-Time Streaming Protocol
SIP	Session Initiation Protocol
SSLv2	Secure Socket Layer version 2
TCP	Transmission Control Protocol
TIPHON	Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks
TLSv1.2	Transport Layer Security version 1.2
TLSv1.3	Transport Layer Security version 1.3
UDP	User Datagram Protocol
VOD	Video On Demand
WAN	Wide Area Network
WLAN	Wireless Local Area Network
XML	Extensible Markup Language

I. Introduction

A global computer network that is connected is known as the Internet. In order to connect billions of devices worldwide, it uses the TCP/IP suite. On a local to a global scale, it is an amalgamated network of numerous subnets that connects millions of private, public, academic, business, and government networks via wireless electronic and optical network technology. E-mail, online chat, VoIP, streaming media, remote access, file transfer and sharing, online games, linked hypertext documents, and other World Wide Web (WWW) resources are just a few of the information resources and services available on the internet [1]. Video streaming, which makes up more than half of all traffic worldwide, is the biggest user of internet bandwidth. Cisco predicts that by 2022, the video will make up an incredible 82% of all Internet traffic, an increase of 12% from 2015 whose number has been 70%. This is comparable to the views of almost 4.5 trillion YouTube videos, which state that future bandwidth needs will increase [2]. For the Internet and data transmission, bandwidth is critical, because the present data transmission, such as loading

Copyright © 2022 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved https://doi.org/10.15866/irecap.v12i5.22340

various media files, is vast. Video streaming necessitates a high-bandwidth connection to aid in the faster transfer of data [3]. An efficient video streaming service should consider the QoS in the network or measure the overall performance of the service. A quantitative measure of the QoS takes into account the service's bandwidth usage. In order to maximize the performance of an audio, video, and network quality service, QoS is the control of bandwidth or network channels, by taking into account factors like throughput, packet loss, jitter, and latency [4]. The most effective use of bandwidth resources is referred to as bandwidth management [5]. The technique of allocating bandwidth resources to vital applications on a network is known as bandwidth management. Without proper bandwidth management, a user or application could hog all of the available bandwidth, preventing other users or applications from using the network [6].

Bandwidth management can be done by sorting outgoing or incoming network traffic based on user priority, which is classified by the type of web services and applications. The traffic is scheduled based on the defined minimum and maximum bandwidth for each traffic category and permissions are assigned to each user individually. Therefore, the transmission of data in the network is controlled appropriately [7]. The demand for bandwidth has increased as a result of streaming services [2]. However, just upgrading to larger connections will not solve the problem because bandwidth availability cannot be assured. As a result, bandwidth management, which allocates bandwidth to apps or users at peak times, prevents network traffic congestion. A user or application's access to bandwidth might be controlled to ensure a minimum amount of bandwidth and to prioritize traffic in accordance with rules or policies specified on the bandwidth management interface. It is hard to distinguish between the numerous forms of network traffic that make up the network applications layer. As a result, it is challenging to control which users or applications receive network priority. Applications may also need a precise amount and QoS, which cannot be predicted solely on the real-time network bandwidth availability. Specific applications may perform badly if they are not provided the bandwidth they demand when it is needed [6]. The QoS factor reflects the quality within the network without any indication of user satisfaction.

Some users may experience poor service due to access to crowded networks even if the signal strength is still good. The QoS should be improved. The QoE has become a crucial user indicator and a key component of user happiness. Therefore, a number of aspects connected to both QoE and QoS in the relationship between the two parameters should be assessed in order to maximize network service. A MOS may be used to represent the degree of user satisfaction when evaluating QoE's subjective component. Generally speaking, MOS is ranked from 1 to 5, with 5 being excellent and 1 being poor. Services such as web browsers, online gaming, online video-sharing and online communication platforms might cause issues in the future if Internet services expand quickly. As a result, a strategy for enhancing the network should be proposed in order to satisfy user demands [4]. Numerous studies have been conducted on the investigation, analysis, measurement, and evaluation of video stream traffic, including [8]. The authors have used network simulators to evaluate HTTP-based video delivery in order to analyze how network faults affected streamed video. It has been found to be able to identify various cases of buffering affecting video playback and to ameliorate poor network conditions. In order to enable smooth playback of streaming videos, ISPs can tailor their network characteristics to match their HTTP video needs. In [9], the study has described the network traffic behavior characteristics of popular streaming services, including Netflix and YouTube (both of which use Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH) streaming). At the network level, throughput, average packet per second, packet size, round trip time, and packet inter-arrival time are all measured. It has been concluded that, even with slight differences in bandwidth, both players' adaptive algorithms fail to perform well under bandwidth and loss limitations. In [10], network QoS performance has been measured using throughput, latency, jitter, and packet loss. Wireshark network analyzer is the program used to monitor the data flow of the live video streaming network. According to the test results, provider B has a 5,295 kbps higher average throughput than provider A, a 0.618 ms lower average delay, 0.420 ms lower average jitter, and a 0.451 percent lower average packet loss. In [17], the study has provided a summary, findings, and analysis of the trials that have been conducted to evaluate the equivalent resolution associated with handheld equipment. The discovery of equivalent resolutions results in a significant reduction in bandwidth usage. Subjective evaluations have been conducted on fifty people by utilizing a variety of video sequences and four mobile devices with varying screen sizes. The findings show that the equivalent resolution in contemporary portable devices is 720p, as users do not appreciate higher resolutions. A study of the traffic behavior of two major OTT video streaming services, YouTube and Netflix, has been presented in [12]. The traffic behaviors are tested on a variety of mobile devices (iOS and Android) over a variety of wireless networks (Wi-Fi, 3G, and LTE) in a dynamic network environment. The results reveal that, despite being correctly supplied to a client, video players typically trash a considerable amount of video content.

The authors look into the core of this unwelcome conduct, then, recommend a QoS-aware video streaming architecture in Long Term Evolution (LTE) networks, in order to reduce network resource waste and increase user experience, as well as, limit the maximum bandwidth's availability in real-time. QoS-aware rules also help video players choose an acceptable resolution when the channel is fluctuating. The suggested platform improves user experience by reducing the buffer underflow period to an average of 32 seconds, saving up to 20.58 percent downlink bandwidth. In [13], the nature of streaming

Copyright © 2022 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

video delivery on YouTube services has been presented by using video quality with resolutions of 360p, 480p, and 720p. Delay, jitter, throughput, packet loss, and bandwidth have been among the QoS characteristics examined. The performance of Internet services in SUKAnet WiFi is not of excellent quality, according to the results of the experiment, due to its low throughput and packet loss metrics, which has been below TIPHON quality requirement. As a result, the service should be improved in order to meet the requirements of the Internet service with the highest traffic of users. In [14], the study has replicated a real-world video streaming scenario by using both the classical and the adaptive streaming approaches to see if there is a discernible quality difference between the two. On the YouTube application installed on a mobile device, users can view and rate the videos they see. The findings will benefit both video sharing and streaming platforms and Internet service providers, as they will be able to manage better their resources and understand the benefits and drawbacks of the two streaming technologies available.

Moreover, [15] has presented an Android application that can assess and analyze the perceived QoE for YouTube on cellular devices. The application takes objective QoS measures, which are then mapped towards subjective QoE (in terms of MOS) using a utility function. The application also notifies the user about the possible causes of a low MOS as well as some tips on how to enhance it. Users can voluntarily qualify their YouTube session by taking an online opinion poll afterward. As a result of this experience, the theoretical model (drawn from the literature proposed in [16]) produces slightly more pessimistic results than user feedback. Users appear to be more lenient with wireless connections, with the MOS from the opinion survey increasing by around 20% when compared to the theoretical model based on cable scenarios. In [17], the study has presented the impact of resolution changes on user-perceived QoE and the results of an immersive audiovisual quality assessment test that has included 84 test sequences from four different video content genres, all of which have been replicated using the HAS adaption mechanism. In [17], the authors have used a unique method that has involved the systematic construction of adaptivity conditions that has been allocated to source sequences based on their spatiotemporal properties. All of these issues can be used as a starting point for future research, such as the development of better QoE models, HAS system adaptive mechanisms, the impact of different device kinds, and, among other things, socioeconomic aspects like user demographics and price. In [18], the authors have suggested a QoE control mechanism at the AP that dynamically allocates bandwidth for each DASH client based on real-time streaming performance feedback. Under variable Internet traffic conditions, the local area wireless network's streaming bandwidth sharing has been optimized by the author's robust control algorithm design [18]. When compared to state-of-the-art alternatives, the author's design dramatically reduces average video stalling duration by 57.1 percent and improves average video bitrate by 42.0 percent for all clients [18]. In [19], three major video streaming OTTs (YouTube, Amazon, and Netflix) have been compared across five main national ISPs in Germany in a large-scale crowdsourcing survey. Streaming performance has been assessed in terms of loading times and stalling, as well as customer behavior (e.g., user engagement) and QoE using the ITU-T P.1203 QoE model. The findings reveal variances in how customers utilize video services, how the material is consumed, how the network affects video streaming quality of experience, and how user engagement varies by provider. As a result, using the crowdsourcing paradigm to gather streaming QoE insights from OTTs is a realistic option for third parties.

From literature reviews, [8]-[10] have discussed assessing and measuring network-related video streaming service parameters as well as measuring network performance. [8]-[13] cover video resolution and quality while measuring network-related video streaming service parameters. [14]-[19] have assessed the network-related aspects of video streaming services and user experience.

However, none of the studies mentioned above has considered every aspect (parameter analysis affecting network, resolution, or video quality and overall user satisfaction or quality of user experience). Therefore, conducting a bandwidth limiting experiment while taking into account all three factors is of relevance to this research. The researchers have come up with the idea of evaluating the traffic of online streaming applications in a limited bandwidth environment. This study will assess the traffic of three popular online video-related applications in Thailand: Disney+, Netflix, and YouTube. The possibility that users can watch online videos in a bandwidth-limited environment and the resolution or video quality that users will be able to watch video including audio depending on the allocated bandwidth has been considered. This paper concerns only video-streaming services. The reason is that these services are expected to be the most popular baseline service over networks with fast connections and high-bandwidth connections. The followings are the contributions of this work:

- Comparing transmission protocol types, data sizes, throughput, delay, packet loss, and jitter of online video services.
- Recommending suitable bandwidth for the traffic of three websites with different video qualities.
- Measuring the overall user satisfaction level or QoE with network services for real-time video.

This research will be a guideline for the management of available bandwidth resources for the best benefit of all users. This allows enough bandwidth to be used for other services as well, making the service more efficient and cost-effective use of bandwidth resources.

The rest of this paper is organized as follows. In Section II, Background Theory is discussed. Then, Section III shows the methodology of the research.

Copyright © 2022 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

Section IV presents the result and discussion. Finally, Section V concludes the paper.

II. Background Theory

II.1. Architecture for Video Streaming

The architecture for streaming video is depicted in Fig. 1 and it is broken down into six sections: media compression, application-layer QoS control, media distribution services, streaming server, media synchronization at the receive side, and streaming media protocols [21].

II.1.1. Media Compression

The network should meet strict bandwidth requirements due to the enormous amount of raw multimedia data. Therefore, compression is frequently used to achieve improved transmission efficiency. Video demands 56-15 Mb/s of bandwidth whereas audio-only requires 8-128 kb/s.

Because people find audio loss to be more unpleasant than video loss, audio is given more priority for transmission in a multimedia streaming system. In order to meet the QoS criteria, only the video will be altered. In Fig. 1, pre-compressed video and audio data are stored in storage devices after being pre-compressed by video compression and audio compression algorithms.

Utilizing the similarities or redundancies present in a typical video feed allows for video reduction. By only encoding the video elements that are crucial to perception, video compression lowers the irrelevant information in the video signal [21]. Scalable and non-scalable video coding are two categories into which video compression algorithms can be divided [20].

II.1.2. Application-Layer QoS Control

The application-layer QoS control module modifies the video and audio bit-streams in accordance with the network state and QoS requirements when the streaming server collects compressed video and audio data from storage devices. Congestion and error control are part of the application-layer QoS control. Congestion control for streaming video typically takes the form of rate control of transmission of media streams based on estimated network bandwidth by synchronizing the speed of the video stream with the available network capacity. Rate control seeks to reduce the likelihood of network congestion which can be divided into three types: source-based, receiver-based, and hybrid, depending on where they are applied in the network system. Error control uses filtering to match the rate of pre-compressed media bit streams to the target rate restriction, which improves the quality of the video display when there is packet loss.

Forward Error Correction (FEC), retransmission, error-resilient encoding and error concealment are some of the error control technologies [21].

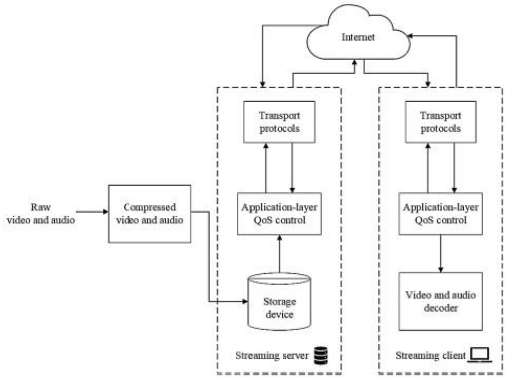


Fig. 1. Architecture for video streaming

II.1.3. Media Distribution Services

The transport protocols packetize the compressed bit streams and send the video/audio packets to the internet after adaption by the application-layer QoS control module. In order to avoid transport delays and packet losses and deliver high-quality multimedia presentations, proper network assistance is also required. Network filtering, application-level multicast, and content replication (caching) are all part of the network support.

In times of network congestion, network filtering improves video quality. According to the level of network congestion, the filter at the video server can adjust the rate of video broadcasts. On top of the Internet, the application-level multicast offers a multicast service.

The media delivery system is more scalable as a result of content replication [21].

II.1.4. Streaming Servers

In order to offer streaming services, streaming servers are essential. They should process multimedia data under time limits and provide interactive control actions like pause/resume, fast forward, and fast reverse in order to provide high-quality streaming services. Additionally, synchronous media component retrieval is required of streaming servers [20]. The viewers typically send an RTSP request to the streaming server. The server checks the relevant folder for a requested media with the desired name when it receives a request. The server sends the requested material to the viewer via RTP streams if the requested media is in the folder [21]. A communication system (such as transport protocols), an operating system, and a storage system are the three subsystems that commonly make up a streaming server [20].

II.1.5. Media Synchronization at the Receiver Side

The receiver-side application can provide different media streams exactly as they were initially captured with media synchronization mechanisms. The lip of a speaker moving in time with the sound of his/her words

Copyright © 2022 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

is an example of media synchronization [21].

II.1.6. Protocols for Streaming Media

The protocols relevant to Internet streaming video can be classified as network-layer protocol, transport protocol, and session control protocol. Clients and servers can assign network addresses through Internet protocols that act as network-level protocols. Clients and servers can transport data via end-to-end transport protocols. UDP, TCP, RTP, and RICP are examples of transport protocols. Clients and servers can negotiate services and define the messages and procedures to control the delivery of multimedia data during an established session through session control protocol.

Session control protocols include RTSP and SIP [21].

II.2. Historical Perspective of Video Streaming

Over The Top, or OTT, is the abbreviation for any TV or video programming that is streamed online. Any web- or app-based streaming services, such as Netflix, YouTube, Disney+, and many others, falls under this category. OTT service is a VOD service via the Internet.

Viewers can view content on the online service provider's platform using a variety of devices, that can connect to the Internet, such as computers, smartphones, tablets, or smart TVs. Viewers can access content and watch it anytime, anywhere. This important feature responds well to audience behavior because it allows viewers themselves to choose to watch what they are interested in. As a result, the media consumption behavior of people around the world has changed, such as quitting watching dramas or movies in major media such as television or free TV [22].

II.2.1. Netflix

Reed Hastings and Marc Randolph launched Netflix in 1997. When Reed Hastings encountered difficulties renting movies from the Blockbuster store, Netflix was born. The idea behind Blockbuster is to rent movies in-store. When it is time to return it, most tenants have a tendency to forget, which results in high fines. The fines can even be more expensive than renting a new movie. As a result, Netflix thought of the concept of a monthly video-renting store. Customers can rent or buy videos online, and they will receive the video through the mail.

A year later, the first website for renting and buying DVDs, Netflix.com, was introduced. In 1999, the Netflix subscription model debuted, replacing the per-title rental costs with a monthly subscription fee. In order to forecast future movie choices, Netflix established a member-rated movie suggestion system in 2000. The Profiles feature, which enables users to make distinct lists, debuted in 2005. Streaming, which enables users to watch TV shows and movies instantly, debuted in 2007. A year later, in order to enable streaming on Xbox 360, Blu-ray players, and TV set-top boxes, Netflix collaborated with consumer electronics manufacturers. In 2010, Netflix was launched in Canada. Following that, mobile device Netflix streaming was introduced. The first kid-focused streaming experience is released. After that, Netflix was launched in Latin America, the Caribbean, the United Kingdom, Ireland, and the Nordic Countries. The Profiles and My List features debuted in 2013. In 2014, Netflix began streaming in 4K Ultra HD. After that, Netflix was launched in Austria, Belgium, France, Germany, Luxembourg, Switzerland, Australia, Cuba, Italy, Japan, Spain, and New Zealand. Netflix expanded to 130 more countries in 2016. Thus, there are a total of 190 countries and 21 languages worldwide. Netflix added a download feature for offline and on-the-go viewing. In 2018, a new feature that protects personal information with a PIN code was added to the Netflix profile system. In 2020, Netflix debuted the Top 10 lists for subscribers to see what is trending for the first time. Now, Membership surpassed 200 million. A Netflix monthly subscription costs $9.99 for the Basic plan, $15.99 for Standard, and $19.99 for Premium [23].

II.2.2. Disney+ Hotstar

Disney+ is a VOD over-the-top streaming service operated by The Walt Disney Company. Disney+ features unique material from the Disney, Pixar, Marvel, Star Wars, and National Geographic brands. It primarily broadcasts movies and television shows created by The Walt Disney Studios and Walt Disney Television.

Disney+ launched in the US, Canada, the Netherlands, New Zealand, Australia, and Puerto Rico in November 2019. In 2020, Disney+ services expanded to countries in Europe, Latin America, and South Africa. In India, Disney+ debuted in April 2020 on Hotstar, a streaming platform run by Star India. It was rebranded Hotstar to Disney+ Hotstar. In 2022, Disney+ expanded to additional countries in Europe, Africa, and West Asia, while Disney+ Hotstar expanded to Southeast Asian countries. There are currently three countries: Indonesia, Malaysia, and Thailand. By the conclusion of the first day of operation, Disney+ had ten million subscribers.

As of January 1, 2022, the service had 129.8 million global subscribers. Disney+ hotstar costs $7.99 per month on a monthly subscription and $79.99 per year on a yearly subscription [24].

II.2.3. YouTube

Three former PayPal workers, Chad Hurley, Steve Chen, and Jawed Karim, created the firm YouTube startup in 2005. Karim posted "Me at the Zoo," the first video to be posted on the website. By the end of 2005, YouTube had over two million daily videos and more than 20 million active users on a daily basis. In late 2006, Google purchased YouTube for $1.65 billion. YouTube Red, a premium service that costs YouTube users money, was introduced in 2014. It offers ad-free YouTube video streaming, video downloads for offline viewing without

Copyright © 2022 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

an internet connection, and background video playback on a phone. With fewer than 10 million users, YouTube Red was a failure. Therefore, YouTube Premium was introduced. The YouTube Premium service is basically the same as YouTube Red but it also gets YouTube Music Premium. In 2020, YouTube Premium attracted 30 million users. Nowadays, YouTube is the most popular video streaming service in the world, with over two billion active users. There is a premium option that removes the advertisements. YouTube Premium costs $11.99/month [25].

II.3. Bandwidth Management

Organizations use bandwidth management in order to make the most efficient use of bandwidth resources [26].

The technique of assigning bandwidth resources to key applications on a network is known as bandwidth management [2]. By reducing superfluous traffic, bandwidth management seeks to enhance the performance of an internet connection. In order to guarantee that there is adequate bandwidth to fulfil everyone's traffic demands and to assist the network run fairly, satisfactorily, and under control, bandwidth management is a useful tool. Prioritization of traffic and management of available bandwidth enhance the quality of service for vital traffic while preventing competition for scarce network resources between high- and low-priority traffic [26].

II.3.1. Policy-Based Bandwidth Management

The viewpoints and methods used to allocate resources and services on the network in accordance with the organization's management policies and purpose are known as policy-based bandwidth management [26].

Bandwidth management components may be divided into three major categories:

- Techniques and technologies - Network administrators have a variety of tools and methods at their disposal for ensuring that regulations are upheld and that bandwidth is controlled;
- Organizational access and management policies - Policy-based bandwidth management;
- Monitoring - For the purpose of developing and enforcing policies, technical and physical audits, fault detection, and precise network troubleshooting are all necessary [26], [27].

II.4. Quality of Service (QoS)

Quality of Service (QoS) refers to a network's capacity to provide good service at various levels of service assurance [13], [37]-[39]. Packet loss, delay, jitter, and throughput are the four QoS characteristics that need to be assessed since they have an impact on how well the internet network performs. The QoS analysis has been carried out using the Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Networks (TIPHON) standard. The TIPHON effort has been proposed by the European Telecommunication Standards Institute (ETSI) in order to create a market for voice communication and related multimedia features between users of IP-based networks and users of circuit-switched networks [28].

II.4.1. Throughput

Throughput is the speed or rate of the effective data transfer, measured in bps (bits per second) [29]. Standardization of throughput according to TIPHON is stated in Table I. In order to measure the value of throughput, [31] has used:

$$Throughput\ (\text{bps}) = \frac{Received\ Packet\ Data}{Duration} \quad (1)$$

where *Received Data Packet* is the total number of packets observed, *Duration* is the time duration of observation. In order to obtain throughput in Mbps, Equation (2) is used:

$$Throughput\ (\text{Mbps}) = \frac{Throughput\ (\text{bps}) \times 0.8}{100000} \quad (2)$$

II.4.2. Packet Loss

Packet loss refers to data packets that do not reach their intended destination after being sent through a network. Collisions and queues on the network, network congestion, hardware faults, software bugs, and a variety of other reasons all contribute to packet loss during data transmission [14]. Standardization of packet loss according to TIPHON is stated in Table II. In order to measure the packet loss value, [31] has used Equation (3):

$$Packet\ Loss = \left(\frac{Total\ T_x - Total\ R_x}{Total\ T_x}\right) \times 100\% \quad (3)$$

where $Total\ T_x$ is the total number of transmitted packets, $Total\ R_x$ is the total number of received packets.

II.4.3. Delay (Latency)

Delay or latency refers to the amount of time it takes for a packet of data to travel from its source to its destination. Delays can be caused by distance, physical media, queues, congestion, overly-long processing times, or selecting a different path to avoid congestion [14].

Standardization of delay according to TIPHON is stated in Table III.

TABLE I
THROUGHPUT CATEGORY [30]

Category	Throughput (kbps)
Excellent	> 2100
Good	1200 – 2100
Fair	700 – 1200
Poor	338 – 700
Bad	< 338

Copyright © 2022 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

TABLE II
PACKET LOSS CATEGORY [31]

Category	Packet Loss (%)
Perfect	0≤p<3
Good	3≤p<15
Medium	15≤p<25
Poor	25≤p

TABLE III
DELAY CATEGORY [31]

Category	Delay (ms)
Perfect	< 150
Good	150 – 300
Medium	300 – 450
Poor	>450

In order to measure the value of delay [31], Equation (4) is used:

$$Delay = \frac{Total\ Delay}{Total\ number\ of\ received\ packets} \quad (4)$$

where *Total Delay* is the time spent travelling from beginning to end (second), *Total number of received packets* is the total number of packets arriving at the destination

II.4.4. Jitter

Jitter refers to the variation of the delay. It is caused by changes in traffic load and the number of packet collisions (congestion) on the network [32].

Standardization of jitter according to TIPHON is stated in Table IV. In order to measure the value of jitter [33], Equation (5) is used:

$$Jitter = \frac{Total\ Variance\ Delay}{Total\ number\ of\ received\ packets\ -\ 1} \quad (5)$$

The total delay variation is calculated by summing the difference of each delay as in (6):

$$Total\ Variance\ Delay = (Delay_2 - Delay_1) + \\ +(Delay_3 - Delay_2) + \cdots + (Delay_n - Delay_{(n-1)}) \quad (6)$$

II.5. Quality of Experience (QoE)

Quality of Experience (QoE) is a measure of the satisfaction of a customer's experience with a service. As the QoS measurement focuses on the media or network, it is not related to the user.

Therefore, QoE is just a subjective indicator of how well a service is being received generally from the perspective of the user.

TABLE IV
JITTER CATEGORY [31]

Category	Jitter (ms)
Poor	125 – 225
Medium	75 – 125
Good	0 – 75
Perfect	0

QoE studies provide a better understanding of human quality needs [34]. Mean Opinion Score (MOS) is a QoE evaluation method for video and audio proposed by the ITU-T P.800. MOS is a quantitative representation of the human-judged.

MOS in the range 1–5, where 1 is bad quality, 2 is poor quality, 3 is fair quality, 4 is good quality, and 5 is excellent quality [34] as shown in Table V.

III. Methodology

III.1. Dataset

The protocol, the packet size, the packet range, and the download size are analyzed in the network preferences of the video streaming website. The experiment is conducted using Disney+, Netflix, and YouTube as the three different video streaming sites. The data collection process uses a passive packet sniffing method by using the Wireshark tool (Network Analyzer) to capture the packet exchanges between the video application streaming servers and web browsers. The tool for the experimentation study in this work is Google Chrome as it is one of the mainstream web browsers.

Google Chrome (version 98.0.4758.102) has been used to watch the videos. Ubuntu PC is employed with both wired and wireless internet connections in investigating the network characteristic of the streaming sites. The wired internet service is accessed through an RPG cable connected to a router socket, and the wireless connection has a download rate of about 55 Mbps and an upload rate of 12 Mbps.

III.2. Experimental Setup and Processing

Computers with screen size and a native resolution, which is acceptable for most casual uses, which usually have relatively sharp screens with a resolution of 1920 × 1080 pixels or more, have been selected. The device chosen has been the Notebook ASUS TUF Gaming FX504 Series with a 15.6-inch screen and a resolution of 1920 x 1080 pixels (Standard 16:9 Resolutions).

The researchers have assigned the first computer to the role of gateway host, then have installed the Ubuntu Server 20.04 Linux operating system, as well as set up the first machine as an Internet router (PC Based Router) and have installed the Wireshark application. The second computer has been selected as the client computer in order to watch the video. The experiment divides the format of a computer network connection into three parts:

1) PC-Based Router: There is the connection of an external network or WAN connected to the Internet through the router of 3BB [35]. The IP address to configure is 192.168.1.2, and the LAN connection is connected to a client computer with the IP address 10.10.10.1;
2) The 3BB router connects to PC Based Router: 192.168.1.1 is the IP address. Before the experiment,

Copyright © 2022 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

the internet speed has been tested with ADSL Thailand Speedtest [36] and it has been found out that it has a maximum speed of 55 Mbps;

3) The client computer connects to PC Based Router through the USB port to convert it to a LAN cable connection. 10.10.10.2 is the IP address. Before the experiment, an internet speed test, which has showed a maximum speed of 7 Mbps, as indicated in Fig. 2, has been taken.

The experiment has been done with both unlimited and limited bandwidth. The bandwidth limits are 4 Mbps, 2 Mbps, 1 Mbps, 512 kbps, and 256 kbps. The tool used to manage network bandwidth in Linux is WonderShaper. Packets have been intercepted by viewing video from each of the three services for 600 seconds (or 10 minutes) on the Google Chrome web browser. The trial has required 60 seconds to enter the website before the video started (Time to access the website). While collecting packets, all other applications and websites have been closed. In the case of unlimited bandwidth, the experiment has been conducted by firstly visiting the Disney+ website and watching the video for 10 minutes, then visiting the Netflix website and watching the video for 10 minutes, then visiting the YouTube website and watching the video for 10 minutes.

The experiment has been repeated with bandwidth limits of 4 Mbps, 2 Mbps, 1 Mbps, 512 kbps, and 256 kbps.

The packet data obtained has been utilized to investigate network flow and usage behavior. Network QoS based on the TIPHON standard including throughput, delay, packet loss, and jitter has been analyzed.

The researchers have measured the QoE using the MOS. 25 people, both male and female, between the ages of 20 and 27, have been included in the study.

IV. Results and Discussion

This section shows the results of the experiment: the trial case of unlimited bandwidth and limited bandwidth. Regarding packet data analysis, the study considers protocol types, data size, time, and bandwidth/download speed.

TABLE V
MOS SCALE [4]

MOS	Quality	Impairment
5	Excellent	Imperceptible
4	Good	Perceptible but not annoying
3	Fair	Slightly annoying
2	Poor	Annoying
1	Bad	Very annoying

Fig. 2. Diagram of a computer network

When a device uses the Internet, information flows in two ways: to the device and from the device. When data flows to the device, the movement of information is downstream. When data flows from the device, the movement of information is upstream. Most common applications typically need more downstream bandwidth than upstream, with information flowing to the device rather than away from it.

As a result, most Internet connections prioritize downstream bandwidth. Therefore, the interest is only in downloading or data speed, because the experiment has been conducted by viewing the video stream on the website.

Most of the packets are downloads because they receive data from the server of the tested website via the Internet to the client receiver. There are few upload packets because no data is sent from the client machine to the server of the tested website. From Table VI, Disney+ has the most use of the TLSv1.3 protocol for downloads, 66.47%. The TCP protocol has accounted for 32.98%.

It should be acknowledged that the website has TLSv1.3 and TCP protocols to distribute information. Disney+ has a minority of UDP, SSLv2, TLSv1.2 protocol, and others. From Table VII, Netflix has the most use of the TCP protocol for downloads, 69.71%, and the TLSv1.3 protocol accounted for 30.04%. The website has TCP and TLSv1.3 protocols to distribute information. Netflix has a minority of UDP, SSLv2, TLSv1.2 protocol, and others.

TABLE VI
PACKET DATA, PROTOCOL, DOWNLOADING SHOWS THE DOWNLOAD SPEED OF DATA OBTAINED FROM DISNEY+ WEBSITE PACKET CAPTURE IN CASE OF UNLIMITED BANDWIDTH

Protocol	Total number of packets	Data size (Mb)	Download rate (Mbps)	Protocol usage (%)
UDP	35	0.0053830	0.0000718	0.0019152
TCP	64104	92.6841920	1.2357892	32.9757209
SSLv2	786	1.1492170	0.0153229	0.4088751
TLSv1.2	136	0.0590360	0.0007871	0.0210042
TLSv1.3	128104	186.8177070	2.4909028	66.4670904
QUIC	712	0.3498130	0.0046642	0.1244585
ICMP	5	0.0004700	0.0000063	0.0001672
DNS	11	0.0017750	0.0000237	0.0006315
HTTP/XML	1	0.0003850	0.0000051	0.0001370
Total	193894	281.0679780	3.7475730	100.0000000

TABLE VII
PACKET DATA, PROTOCOL, DOWNLOADING SHOWS THE DOWNLOAD SPEED OF DATA OBTAINED FROM NETFLIX WEBSITE PACKET CAPTURE IN CASE OF UNLIMITED BANDWIDTH

Protocol	Total number of packets	Data size (Mb)	Download rate (Mbps)	Protocol usage (%)
UDP	39	0.0073130	0.0000978	0.0052808
TCP	66688	96.5377520	1.2904693	69.7104536
SSLv2	129	0.1891140	0.0025280	0.1365603
TLSv1.2	28	0.0152800	0.0002043	0.0110338
TLSv1.3	28966	41.5938360	0.5560060	30.0351429
QUIC	263	0.1397500	0.0018681	0.1009143
ICMP	1	0.0001390	0.0000019	0.0001004
DNS	6	0.0007120	0.0000095	0.0005141
Total	96120	138.4838960	1.8511848	100.0000000

Copyright © 2022 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

From Table VIII, YouTube has the most use of the UDP protocol for downloads, 99.80%. The website has UDP protocols to distribute information. YouTube has a minority of TCP, TLSv1.2, TLSv1.3 protocol, and others. The findings are shown in Tables VI, VII, and VIII, which reveal that the TLSv1.3 protocol is used on the Disney+ and Netflix websites to ensure privacy and data security when communicating over the Internet. The data transmission between the sender and receiver is controlled by the TCP protocol. It ensures that all packets sent to the destination are delivered in the correct order.

On the YouTube website, the UDP protocol is the most often utilized for downloads. Figs. 3-5 show the average throughput (calculated with 10 seconds because the interval is divided into every 10 seconds) of three applications with and without network constraints. Upon examining the data, it can be seen that Disney+ and YouTube have greater buffering times, and their throughput is lower. YouTube has a smoother and lower throughput than Disney+. Netflix has a longer buffering time, and its throughput is lower than those of YouTube and Disney+. When considering the throughput of the Disney+ website from Fig. 3, it has been found out that during the first 60 seconds the download rate was very low, because it was the time to access the website and has a higher download rate after 60 seconds as the video starts to play. In the case of unlimited bandwidth in the range of 60-270 seconds, it has been found out that the download rate has been high. Then, the download rate has decreased. After that, the download rate has increased and decreased alternately until the download has been complete. In the case of the 4 Mbps bandwidth limitation, it has been found out that during 60-340 seconds, the download rate has been almost as high as the limit. Then, the download rate has decreased. After that, the download rate has increased and decreased alternately until the download has been complete. In the case of the 2 Mbps bandwidth limitation, it has been found out that during 60-370 seconds, the download rate has been almost as high as the limit. Then, the download rate has decreased. In the case of 1 Mbps bandwidth limitation, it has been found out that throughout the packet capture during 60-600 seconds, the download rate curve has been near the limit. In the case of 512 kbps bandwidth limitation, it has been found out that during 60-460 seconds, the download rate has been almost as high as the limit. Then, the download rate has decreased.

In the case of 256 kbps bandwidth limitation, it has been found out that throughout the packet capture during 60-600 seconds, the download rate curve has been near the limit. When considering the throughput of the Netflix website from Fig. 4, it has been found out that the first 60 seconds are reserved for entering the website, but the Netflix website offers auto-play previews while browsing on all devices from the details page of a TV show or movie.

This has resulted in an extremely high download pace during the first 60 seconds. When nothing is done, the download rate has suffered. After 60 seconds, as the video begins to play, the download rate has increased. In the case of unlimited bandwidth and 4 Mbps bandwidth limitation in the range of 60-140 seconds, it has been found out that the download rate has been high. Then, the download rate has decreased. In the case of the 2 Mbps bandwidth limitation, it has been found out that during 60-230 seconds, the download rate has been almost as high as the limit. Then, the download rate has decreased.

In the case of 1 Mbps bandwidth limitation, 512 kbps bandwidth limitation, and 256 kbps bandwidth limitation, it has been found out that throughout the packet capture during 60-600 seconds, the download rate curve has been near the limit. In the case of unlimited bandwidth and 4 Mbps bandwidth limitation in the range of 60-140 seconds, it has been found out that the download rate has been high.

TABLE VIII
PACKET DATA, PROTOCOL, DOWNLOADING SHOWS THE DOWNLOAD SPEED OF DATA OBTAINED FROM YOUTUBE WEBSITE PACKET CAPTURE IN CASE OF UNLIMITED BANDWIDTH

Protocol	Total number of packets	Data size (Mb)	Download rate (Mbps)	Protocol usage (%)
UDP	169720	234.4681660	3.1365877	99.7960878
TCP	433	0.2408270	0.0032217	0.1025026
TLSv1.2	25	0.0062170	0.0000832	0.0026461
TLSv1.3	172	0.1647110	0.0022034	0.0701055
QUIC	53	0.0664990	0.0008896	0.0283038
DNS	2	0.0004210	0.0000056	0.0001792
HTTP/XML	1	0.0004110	0.0000055	0.0001749
Total	170406	234.9472520	3.1429967	100.0000000

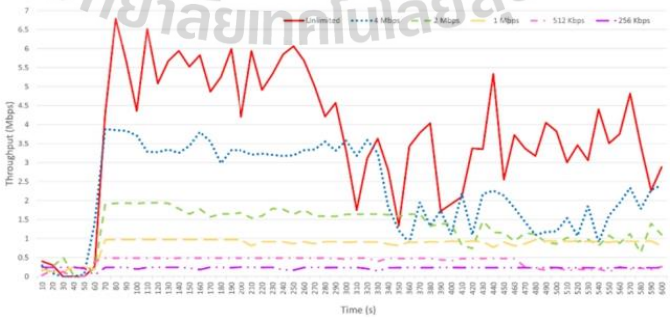


Fig. 3. Graph of Throughput versus Time Duration in case of unlimited bandwidth and limited bandwidth of Disney+ website

Copyright © 2022 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

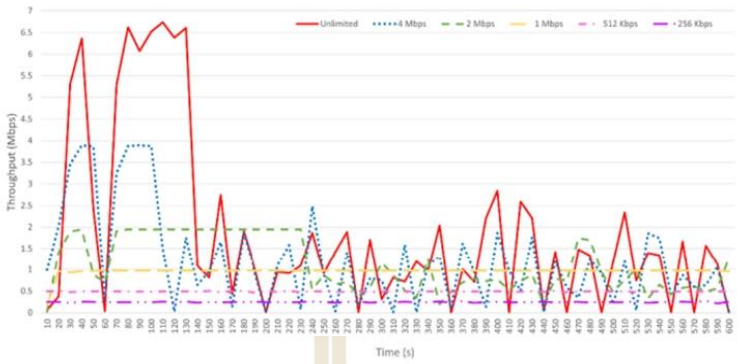


Fig. 4. Graph of Throughput versus Time Duration in case of unlimited bandwidth and limited bandwidth of Netflix website

Then, the download rate has been reduced. In the case of the 2 Mbps bandwidth limitation, it has been found out that during 60-230 seconds, the download rate has been almost as high as the limit. After that, the download rate has been reduced. In the case of 1 Mbps, 512 kbps, and 256 kbps bandwidth limitations, it has been found out that throughout the packet capture during 60-600 seconds, the download rate curve has been near the limit.

When considering the throughput of the YouTube website from Fig. 5, it has been found out that during the first 60 seconds the download rate has been very low, because it is the time to access the website and has a higher download rate after 60 seconds as the video starts to play. In the case of unlimited bandwidth in the range of 60-160 seconds, it has been found out that the download rate has been high. Then, the download rate has decreased. In the case of the 4 Mbps bandwidth limitation, it has been found out that during 60-240 seconds, the download rate has been almost as high as the limit. Then, the download rate has decreased. In the case of the 2 Mbps bandwidth limitation, it has been found out that during 60-330 seconds, the download rate has been almost as high as the limit. Then, the download rate has decreased. In the case of 1 Mbps bandwidth limitation, 512 kbps bandwidth limitation, and 256 kbps bandwidth limitation, it has been found out that throughout the packet capture during 60-600 seconds, the download rate curve has been near the limit. From a streaming perspective, higher video bit rates mean higher quality video that requires more bandwidth. If a lower video bitrate means lower quality video, it uses less bandwidth. All three graphs demonstrate that as bandwidth is reduced, the download rate decreases. This is because the bitrate of the video is optimized based on the limited bandwidth. The results of the QoS parameter measurements, including throughput, delay, packet loss, and jitter, are obtained from packet capture. The four measured parameters have been calculated using mathematical formulas as shown in Equations (2)-(5).

Then, network service parameters have been based on the TIPHON standard as shown in Tables I-IV. Table IX and Table XI show the results of the measurements and calculations of QoS parameters according to the TIPHON standard of the Disney+ website and the YouTube website, respectively. When bandwidth has been unlimited and limited to 4 Mbps, 2 Mbps, 1 Mbps, 512 kbps, and 256 kbps, it has been found out that the delay and packet loss parameters have been in the excellent category. The jitter parameter has been in a good category. Throughput parameters, when bandwidth has been unlimited and bandwidth has been limited to 4 Mbps, have been in the excellent category. The case of a bandwidth limitation of 2 Mbps has been in a good category. The 1 Mbps bandwidth limitation has been in the fair category. When the bandwidth is limited to 512 kbps, it has been in the poor category. The case of a bandwidth limitation of 256 Kbps has been in the bad category. Table X shows the results of the measurements and calculations of QoS parameters according to the TIPHON standard of the Netflix website. When bandwidth has been unlimited and limited to 4 Mbps, 2 Mbps, 1 Mbps, 512 Kbps, and 256 Kbps, it has been found out that the delay and packet loss parameters have been in the excellent category. The jitter parameter has been in a good category. Throughput parameters, when bandwidth has been unlimited and bandwidth has been limited to 4 Mbps, have been in a good category. In the case of bandwidth limits, 2 Mbps and 1 Mbps have been in the fair category. The 512 Kbps bandwidth limitation has been in the poor category. The case of a bandwidth limitation of 256 Kbps has been in the bad category.

This work is interested in the resolution of the video.

This is because the resolution of the video is directly related to the bandwidth of the signal. The higher the bandwidth in the signal is, the higher the resolution is. As a result, the sharpness of the video will be even higher.

The amount of bandwidth available is limited. If the available bandwidth is insufficient, the video may take longer to start playing or may buffer frequently. Each service platform now has the ability to downgrade streams to save bandwidth. When the bandwidth is reduced, the system will adjust the quality of the video to be lower to make videos start playing faster. However, on some platforms, if the bandwidth is reduced too much,

Copyright © 2022 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

it may result in the video quality being so low that the video cannot be viewed satisfactorily. Therefore, a bandwidth that is suitable for smooth video streaming on Disney+, Netflix, and YouTube is recommended, as shown in Table XII.

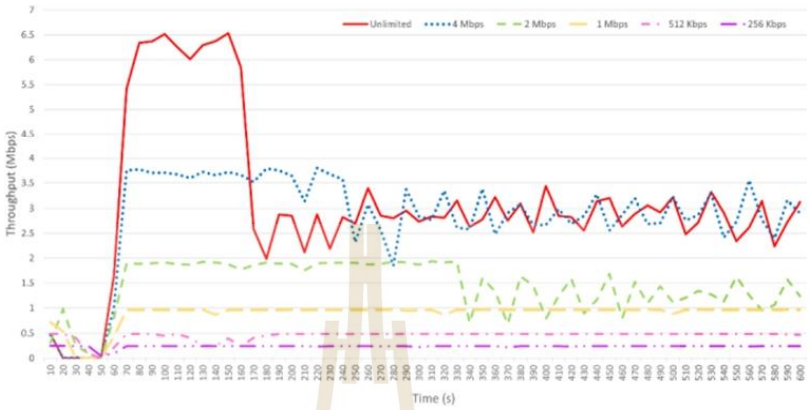


Fig. 5. Graph of Throughput versus Time Duration in case of unlimited bandwidth and limited bandwidth of YouTube website

TABLE IX
SHOWS COMPARISON OF QOS PARAMETERS ON THE DISNEY+ WEBSITE

Bandwidth	Throughput		Delay		Jitter		Packet Loss	
	Value (Mbps)	Category	Value (ms)	Category	Value (ms)	Category	Value (%)	Category
Unlimited	3.7476	Excellent	3.0945	Excellent	0.00001158	Good	0	Excellent
4 Mbps	2.3092	Excellent	5.0145	Excellent	0.00002473	Good	0	Excellent
2 Mbps	1.3217	Good	8.7075	Excellent	0.00008817	Good	0	Excellent
1 Mbps	0.8483	Fair	13.4558	Excellent	0.00027137	Good	0	Excellent
512 kbps	0.3788	Poor	28.5143	Excellent	0.00114552	Good	0	Excellent
256 kbps	0.2286	Bad	40.4896	Excellent	0.00324510	Good	0	Excellent

TABLE X
SHOWS COMPARISON OF QOS PARAMETERS ON THE NETFLIX WEBSITE

Bandwidth	Throughput		Delay		Jitter		Packet Loss	
	Value (Mbps)	Category	Value (ms)	Category	Value (ms)	Category	Value (%)	Category
Unlimited	1.8512	Good	6.2262	Excellent	0.12245194	Good	0	Excellent
4 Mbps	1.2185	Good	9.32498	Excellent	0.00074190	Good	0	Excellent
2 Mbps	1.1158	Fair	10.3121	Excellent	0.00010046	Good	0	Excellent
1 Mbps	0.9575	Fair	11.9180	Excellent	0.00023909	Good	0	Excellent
512 kbps	0.4872	Poor	22.5606	Excellent	0.00006804	Good	0	Excellent
256 kbps	0.2435	Bad	41.3984	Excellent	0.00261367	Good	0	Excellent

TABLE XI
SHOWS COMPARISON OF QOS PARAMETERS ON THE YOUTUBE WEBSITE

Bandwidth	Throughput		Delay		Jitter		Packet Loss	
	Value (Mbps)	Category	Value (ms)	Category	Value (ms)	Category	Value (%)	Category
Unlimited	3.1430	Excellent	3.5094	Excellent	0.00042019	Good	0	Excellent
4 Mbps	2.8298	Excellent	3.8897	Excellent	0.00001718	Good	0	Excellent
2 Mbps	1.4468	Good	7.4826	Excellent	0.00007181	Good	0	Excellent
1 Mbps	0.8956	Fair	10.9136	Excellent	0.00019741	Good	0	Excellent
512 kbps	0.4473	Poor	20.8043	Excellent	0.00074415	Good	0	Excellent
256 kbps	0.2363	Bad	35.5902	Excellent	0.00252173	Good	0	Excellent

TABLE XII
SUMMARY OF THE EXPERIMENTAL RESULTS SHOWING BANDWIDTH LIMITATION SUITABLE FOR VIEWING DISNEY+, NETFLIX, AND YOUTUBE WEBSITES AT THE VARIOUS VIDEO QUALITY

Website	Quality/Resolution		
	Disney+	Netflix	YouTube
Unlimited	High	720p	1080p
4 Mbps	High	540p	1080p
2 Mbps	Medium	540p	1080p
1 Mbps	Low	432p	720p
512 kbps	-	432p	480p
256 kbps	-	-	360p

Copyright © 2022 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

Table XII shows the optimal bandwidth limits for viewing Disney+, Netflix, and YouTube websites at various video quality. This allows users to watch videos smoothly and satisfactorily. Regarding the Disney+ website, the study has found out that, with unlimited bandwidth or a bandwidth limit of 4 Mbps, high-quality videos could be watched. When the bandwidth has been limited to 2 Mbps, it has been possible to watch videos in medium video quality. It should be noted that:

- The Disney+ website provides the following video quality options: high, medium, and low;
- The Netflix website does not allow users to adjust the video quality. However, the account used in this experiment subscribed to the Ultra HD (4K) and HDR (High Dynamic Range) quality video package, which used 7GB of data per hour (download rate of approximately 16.31 Mbps);
- The YouTube website provides following video resolution options: 2160p, 1440p, 1080p, 720p, 480p, 360p, and 240p.

When the bandwidth has been limited to 1 Mbps, it has been possible to watch low-quality videos. When the bandwidth has been limited to 512 Kbps and 256 Kbps, the authors have realized that browsing the Disney+ website took a long time and that it was not possible to watch the video (Choppy, stuttering, high pitched, or distorted sound). The Netflix website did not show the option to adjust video quality and resolution. Ctrl + Alt + Shift + D has been used to display various audio/video details on the screen, but the Google Chrome browser limitation streamed content at resolutions up to 720p.

With the unlimited bandwidth, 720p video has been watched. With the bandwidth limit of 4 Mbps and 2 Mbps, 540p videos could be watched. With the bandwidth limit of 1 Mbps and 512 Kbps, 432p videos have been watched. When the bandwidth has been limited to 256 Kbps, there was not enough bandwidth for the connection. It has been found out that it has not been able to play videos in Ultra HD quality. Netflix automatically downgraded the resolution. Browsing the Netflix website has taken a long time and it was not possible to watch the video. On the YouTube website, it has been found out that, with unlimited bandwidth or limited bandwidth to 4 Mbps and 2 Mbps, it has been possible to watch YouTube in 1080p resolution. When the bandwidth has been limited to 1 Mbps, 720p video could be watched. When bandwidth has been limited to 512 kbps, 480p resolution video could be viewed. When the bandwidth has been limited to 256 kbps, 360p video could be viewed. The overall result from Table XII, for the 2 Mbps bandwidth limitation on Disney+, shows that it has been still possible to watch the medium-quality video. For YouTube, 1080p videos could be still watched, and while the Netflix website does not allow users to choose the resolution manually, 540p videos could be still watched. Therefore, a 2 Mbps bandwidth limitation is recommended in this study. When bandwidth has been reduced from 4 Mbps to 2 Mbps, Disney+ and YouTube had a two-fold decrease in their average download rates as shown in Tables IX and XI.

At the 2 Mbps bandwidth limit, both websites have achieved average download rates comparable to Netflix website as shown in Table X. All 25 non-expert participants have been between 20 and 27 years old and of two sexes, male and female. All the test participants have used only one client computer device (Notebook ASUS TUF Gaming FX504 Series with a 15.6-inch screen and a resolution of 1920 × 1080 pixels) to watch video content. The researchers have paid attention to the MOS score (Measure the QoE) resulting from their watching sessions. From Table XIII, the average MOS score of the videos corresponding to the different scenarios is shown. (Unlimited bandwidth and bandwidth limitation to 4 Mbps, 2 Mbps, 1 Mbps, 512 kbps, and 256 kbps). Overall, it has been discovered that the MOS score for the streaming on the Disney+ website has been 5 for unlimited bandwidth and bandwidth limitation to 4 Mbps, 3.8 for bandwidth limitation to 2 Mbps, and 2.56 for bandwidth limitation to 1 Mbps, and very bad MOS values for 512 kbps and 256 kbps. The MOS score for 512 kbps is only 1.16, while for 256 kbps it has decreased to 1. For the Netflix website, the MOS score has been 5 for unlimited bandwidth, 4.76 for bandwidth limitation to 4 Mbps, 4.44 for bandwidth limitation to 2 Mbps, 3.56 for bandwidth limitation to 1 Mbps, 2.68 for bandwidth limitation to 512 kbps, and very bad MOS values are obtained for streaming in the case of bandwidth limitation to 256 kbps. The MOS score is only 1 for 256 Kbps. For the YouTube website, the MOS score has been 5 for unlimited bandwidth and bandwidth limitation to 4 Mbps, 4.8 for bandwidth limitation to 2 Mbps, 3.76 for bandwidth limitation to 1 Mbps, 2.88 for bandwidth limitation to 512 kbps, and very poor MOS values are obtained for streaming in the case of bandwidth limitation to 256 kbps. The MOS score has been only 1.92 for 256 kbps.

TABLE XIII
SUMMARY OF THE EXPERIMENTAL RESULTS SHOWING MOS SCORE GIVEN TO DISNEY+, NETFLIX, AND YOUTUBE WEBSITES IN CASE OF UNLIMITED BANDWIDTH AND LIMITED BANDWIDTH

Bandwidth	Website		
	Disney+	Netflix	YouTube
Unlimited	5	5	5
4 Mbps	5	4.76	5
2 Mbps	3.8	4.44	4.8
1 Mbps	2.56	3.56	3.76
512 kbps	1.16	2.68	2.88
256 kbps	1	1	1.92

The Mean Opinion Score (MOS) and Standard Deviations (SD) for each of the bandwidth limitations are shown in Fig. 6. In conclusion, when bandwidth is limited to 2 Mbps, customers have been pleased with the Disney+, Netflix, and YouTube websites. While the quality has not been quite as good as a MOS video score of 5 (unlimited bandwidth and a 4 Mbps bandwidth restriction), it has been a lot better than a lower MOS video score (bandwidth limitation to 1 Mbps, 512 kbps, and 256 kbps).

Copyright © 2022 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

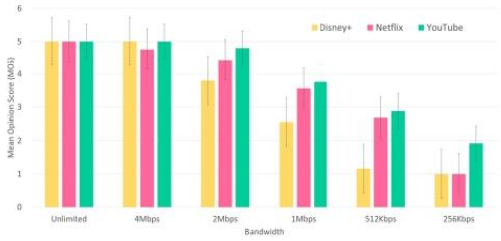


Fig. 6. Graph of MOS score given to Disney+, Netflix, and YouTube websites in case of unlimited bandwidth and limited bandwidth

This has been consistent with Table XIII because image resolution has been related to user-perceived QoE.

While watching high-resolution videos, users have given a high MOS score. In the same way, when watching low-resolution videos, the users have given a lower MOS score.

V. Conclusion

In this research, the characteristics of streaming platforms have been outlined. The website Disney+, Netflix, and YouTube have been studied, analyzed, and the performance of their sites has been tested. The packet capture has showed that Disney+ and Netflix websites have used the TCP and TLSv1.3 protocols for the transmission of most data packets. The YouTube website has used the UDP protocol for the transmission of most data packets. The results from the experiments of bandwidth management in computer networks, the unlimited bandwidth usage and the bandwidth limitation of 4 Mbps, 2 Mbps, 1 Mbps, 512 Kbps, and 256 Kbps, have showed that the download rate has been high according to the high bandwidth usage. When bandwidth is limited to various values, this causes the download rate decreases based on the bandwidth value respectively. The result has showed that, for the most part, Disney+ and YouTube websites have showed greater average download rates than the Netflix website. It has not been possible to adjust the video quality on Netflix as on Disney+ and YouTube. It has been because Netflix automatically selects the highest frame rate based on internet speed. Parameters affecting network QoE have been measured and quantified according to TIPHON standards. It has been shown for all three websites that in the case of unlimited bandwidth and limited bandwidth, the latency and packet loss parameters have been in the excellent category. The jitter parameter has been in a good category. Throughput parameters have been in a bad category when bandwidth is reduced. This has been because when bandwidth decreased, network performance suffered. In conclusion, when the bandwidth is reduced, the network service performance quality is not at the highest quality level compared to the quality standard because one parameter is categorized as bad.

Researchers recommend the optimal bandwidth limits for viewing Disney+, Netflix, and YouTube websites at various video quality, which allows users to watch videos smoothly and satisfactorily. This study recommends a bandwidth limitation of 2 Mbps because it offers the best outcome for effective bandwidth usage. In addition to measuring QoS parameters to determine network service performance, the overall quality of network services from the customer or user perspective should be assessed. The quality of experience has been taken by measuring the satisfaction or annoyance of users' experience with a network service. This paper has measured the level of QoE using human ratings or the MOS for assessing the quality of media signals. The participants have rated watching high-quality videos with high levels of satisfaction, but the downside was the high bandwidth for data transmission. While watching videos of lower quality resulted in poorer participant satisfaction, the upside has been that it uses less bandwidth. This allows users to use constrained internet traffic more effectively.

In future work, the bandwidth and data rate can be optimized and the right video quality can be obtained in order to create the next network management function.

Acknowledgements

The authors wish to express their most sincere gratitude to Institute of Engineering students from the Suranaree University of Technology for participation in this research effort to assess QoE for video streaming services traffic.

References

[1] Cody Lindley, *Front-end developer handbook*, Chapter 3. Learning Front-end Dev: Self Directed Resources/Recommendations (2019).

[2] Cisco, *Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology*, 2016–2021. [Online]. (Jun. 2017) Available: https://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/visual-networking-i ndex-vni/complete-white-paper-c11-481360.pdf

[3] Imam, Md. Abdullah, Bandwidth Management in Router for DHCP Protocol, *International Journal of Scientific and Engineering Research*, Volume 10, 2019, pp. 1343-1346. doi: 10.14299/ijser.2019.03.03

[4] F. Samklang, P. Uthansakul and M. Uthansakul, QoE-Based Precoding for Partially Massive MIMO, *2021 18th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON)*, 2021, pp. 366-369. doi: 10.1109/ECTI-CON51831.2021.9454719

[5] Aderemi, H., Aderanti, F., Wasiu, A., & Babalola, A., Bandwidth Monitoring and Network Usage in a Wireless Network, *IJRIAS*, Volume V, Issue VII, July 2020, ISSN 2454-6194

[6] M. Kassim, M. Ismail, K. Jumari, M. I Yusof, Survey: Bandwidth Management in an IP Based Network, *World Academy of Science, Engineering and Technology*, Issue 62, 2012, pp. 356-363.

[7] K. Kamluewong and A. Siri, Maximizing Network Utilization of Dynamic Bandwidth Management with Minimum Bandwidth-Constrained Techniques. *Payap University Research Symposium* 2015, 2015, pp. 398-407.

[8] Biernacki, A., Tutschku, K., Performance of HTTP video streaming under different network conditions. *Multimedia Tools and Applications*, V 72, N2, Springer US, 2014, pp. 1143 – 1166.

[9] M. S. Ito, R. Antonello, D. Sadok and S. Fernandes, Network level characterization of adaptive streaming over HTTP applications, *2014 IEEE Symposium on Computers and*

Copyright © 2022 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

Communications (ISCC), 2014, pp. 1-7.
doi: 10.1109/ISCC.2014.6912603

[10] Azhar, A. Z., Pramono, S., & Supriyanto, E., An Analysis of Quality of Service (QoS) In Live Video Streaming Using Evolved HSPA Network Media. *JAICT*, 1(1), 2016, 1-6.

[11] M. Cámara, C. Díaz, J. Casal, J. Ruano and N. García, Perceptually Equivalent Resolution in Handheld Devices for Streaming Bandwidth Saving, *in IEEE Signal Processing Letters,* vol. 26, no. 6, 2019, pp. 878-882.
doi: 10.1109/LSP.2019.2911189

[12] H. Nam, K. H. Kim, B. H. Kim, D. Calin and H. Schulzrinne, Towards dynamic QoS-aware over-the-top video streaming, *Proceeding of IEEE International Symposium on a World of Wireless0, Mobile and Multimedia Networks* 2014, 2014, pp. 1-9.
doi: 10.1109/WoWMoM.2014.6918921

[13] A. Wishnu and B. Sugiantoro, Analysis of Quality Of Service (Qos) YouTube Streaming Video Service In Wireless Network In The Environment Faculty Of Science And Technology Uin Sunan Kalijaga, *IJID (International Journal on Informatics for Development),* 2019.

[14] D. Pal, T. Triyason and V. Vanijja, Quality evaluation of high-resolution videos viewed on a mobile device in an online streaming environment, *2017 IEEE International Conference on Advanced Networks and Telecommunications Systems (ANTS)*, 2017, pp. 1-6.
doi: 10.1109/ANTS.2017.8384172

[15] G. Gómez, L. Hortigüela, Q. Pérez, J. Lorca, R. García, and M. C. Aguayo-Torres, YouTube QoE evaluation tool for Android wireless terminals, *EURASIP J. Wireless Commun. Netw.*, vol. 2014, Art. no. 164.

[16] A Khan, L Sun, E Ifeachor, Content-based video quality prediction for MPEG4 video streaming over wireless networks, *J. Multimedia* 4(4), 2009, 228–239, doi:10.4304/jmm.4.4.228-239.

[17] A. Asan, W. Robitza, I. -h. Mkwawa, L. Sun, E. Ifeachor and A. Raake, Impact of video resolution changes on QoE for adaptive video streaming, *2017 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME),* 2017, pp. 499-504.
doi: 10.1109/ICME.2017.8019297

[18] Y. Yuan, S. Lin and G. Zhou, QoE Control for Dynamic Adaptive Video Streaming Over HTTP at Access Point, *2019 IEEE International Conference on Industrial Internet (ICII),* 2019, pp. 268-277.
doi: 10.1109/ICII.2019.00053

[19] W. Robitza, A. M. Dethof, S. Göring, A. Raake, A. Beyer and T. Polzehl, Are You Still Watching? Streaming Video Quality and Engagement Assessment in the Crowd, *2020 Twelfth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX),* 2020, pp. 1-6.
doi: 10.1109/QoMEX48832.2020.9123148

[20] Dapeng Wu, Y. T. Hou, Wenwu Zhu, Ya-Qin Zhang and J. M. Peha, Streaming video over the Internet: approaches and directions, *in IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology,* vol. 11, no. 3, pp. 282-300, March 2001.
doi: 10.1109/76.911156

[21] Pathan ASK, Monowar MM, Fadlullah ZM. *Building next-generation converged networks: Theory and practice.* CRC Press, 2013. 561 p.
doi: https://doi.org/10.1201/b14574

[22] Digital, *The Latest Insights into the 'State of Digital'*. (2021). Retrieved from https://wearesocial.com/digital-2021

[23] Netflix, *The Story of Netflix*, (2022) Retrieved from: https://about.netflix.com/en

[24] Disney+, *Disney Plus Revenue and Usage Statistics*, (2022) . Retrieved from: https://www.businessofapps.com/data/disney-plus-statistics/

[25] Mansoor Iqbal, *YouTube Revenue and Usage Statistics*, (2022) Retrieved from: https://www.businessofapps.com/data/youtube-statistics/

[26] Lockias Chitanana, Bandwidth management in universities in Zimbabwe: Towards a responsible user base through effective policy implementation, *The International Journal of Education and Development using Information and Communication Technology* 8(2), 2012, 62-76.

[27] L. Chitanana and D. W. Govender, Bandwidth Management in the Era of Bring Your Own Device, *Electron. J. Inf. Syst. Dev. Ctries.*, vol. 68, no. 3, 2015, pp. 1–14.

[28] Wijayanto, A & Adhitama, Rifki., QOS Analysis of Routing Protocol Babel on Mobile Ad-Hoc Network (MANET)., *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.,* 771. 012032, 2020.
doi: 10.1088/1757-899X/771/1/012032

[29] Yusuf, Taufik & Slameto, Andika., Comparison of Redundant Link Performance Using VRRP and Load Balance on Mikrotik. *Respati.*, 17. 11., 2022
doi: 10.35842/jtir.v17i2.453.

[30] Terto, A. S. D. and Laksana, E. P, Analysis of Management Bandwidth Using Queue Tree As Traffic Control With PFIFO Method (Analisa Management Bandwidth Menggunakan Queue Tree Sebagai Traffic Control Dengan Metode PFIFO), *Journal of Maestro* Vol. 2, pp: 398 – 407, 2019.

[31] N. L. Marpaung, R. D. Saputri, and R. Amri, Quality of Service from a Network when Using Youtube Application, *IJEEPSE,* vol. 5, no. 1, pp. 12-18, Feb. 2022.

[32] Miraz, Dr., Simulation and Analysis of Quality of Service (QoS) Parameters of Voice over IP (VoIP) Traffic through Heterogeneous Networks., *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA).,* 8. 242-248, 2017.
doi: 10.14569/IJACSA.2017.080732.

[33] Nurhaida, Ida & Pratama, Dimas & Zen, Remmy & Wei, Hong., Interior gateway protocol routing performance comparison of the virtual private network based on multi-protocol label switching and direct-link backupsed on MPLS and direct-link backup, *SINERGI.* 24. 1. December 2019.
doi: 10.22441/sinergi.2020.1.001

[34] Azad, A., Chignell, M., & Zucherman, L., A Longitudinal Study on Quality of Experience (QoE) measures to predict customer's Likelihood to Recommend (L2R) a service., *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting,* 63(1), 148–152, 2019.
doi: https://doi.org/10.1177/1071181319631499

[35] 3BB, *3BB Broadband,* , 2022.
https://fiber.3bb.co.th/

[36] ADSL Thailand, *ADSL Thailand Speedtest,* 2022.https://speedtest.adslthailand.com/

[37] Fas-Millán, M., Pastor Llorens, E., Controller-Pilot Data Link Communications Display oriented to multiple Remotely Piloted Aircraft Systems pilots, (2019) *International Review of Aerospace Engineering (IREASE)*, 12 (1), pp. 1-11.
doi:https://doi.org/10.15866/irease.v12i1.15535

[38] Abu-Khadrah, A., The Effect of Changing the Backoff Exponent Value on Zigbee Network Performance, (2021) *International Review of Electrical Engineering (IREE)*, 16 (4), pp. 385-390.
doi:https://doi.org/10.15866/iree.v16i4.19549

[39] Sulthana, S., Performance Analysis of Scheduling with Combined Unicast and Multicast Services in Downlink LTE System, (2020) *International Journal on Communications Antenna and Propagation (IRECAP)*, 10 (1), pp. 24-30.
doi:https://doi.org/10.15866/irecap.v10i1.17593

Authors' information

[1]School of Telecommunications Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Muang District, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand.

[2]Department of Computer Science, College of Computing, Khon Kaen University, Khon Kaen 40002, Thailand.

Chitapong Wechtaisong, received Ph.D. in the field of Information and Communication Engineering, from Shibaura Institute of Technology, Japan in 2016. Currently, he is an assistant professor at the school of Telecommunication Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand.

Copyright © 2022 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

Kanokwan Khwanthong, received the B.Eng. (2019), degrees in Telecommunication Engineering from Suranaree University of Technology. She is currently pursuing the M. Eng. degree in Telecommunication Engineering.

Arfat Ahmad Khan, received the B.Eng. degree in electrical engineering from the University of Lahore, Pakistan, in 2013, the M.Eng. degree in electrical engineering from the Government College University Lahore, Pakistan, in 2015, and the Ph.D. degree in telecommunication and computer engineering from the Suranaree University of Technology, Thailand, in 2018. From 2014 to 2016, he was an RF Engineer with Etisalat, UAE. From 2018 to 2022, he worked as a lecturer and senior researcher with the Suranaree University of Technology. Currently, he is working as a senior lecturer and researcher at Khon Kaen University, Thailand. His research interests include optimization and stochastic processes, channel and the mathematical modeling, wireless sensor networks, ZigBee, green communications, massive MIMO, OFDM, wireless technologies, signal processing, and the advance wireless communications.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

Copyright © 2022 Praise Worthy Prize S.r.l. - All rights reserved

ประวัติผู้เขียน

นางสาวกนกวรรณ ขวัญทอง เกิดเมื่อวันที่ 4 เดือนพฤษภาคม พ.ศ. 2541 สำเร็จการศึกษาระดับประถมศึกษาปีที่ 1-6 จากโรงเรียนชินนุกูลวิทยา ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 1-3 จากโรงเรียนหัวหินวิทยาลัย ชั้นมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 จากโรงเรียนธัญรัตน์ และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา เมื่อปี พ.ศ. 2563 หลังจากสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีได้มีความสนใจที่จะศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต ด้านการสื่อสารข้อมูลและเครือข่าย จึงได้สมัครเข้าศึกษาต่อในสาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี โดยขณะศึกษาได้รับทุนสนับสนุนจากทุนกิตติบัณฑิต

ระหว่างศึกษาได้มีโอกาสนำเสนอบทความทางวิชาการที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติจำนวน 1 ฉบับ และตีพิมพ์วารสารวิชาการระดับนานาชาติจำนวน 1 ฉบับ ดังนี้

1) The 2nd ECTI workshop on Biomedical Electrical-Electronics and Communications Engineering, ในหัวข้อเรื่อง “การประเมินการรับส่งข้อมูลของแอปพลิเคชันการสตรีมออนไลน์ในสภาพแวดล้อมแบนด์วิดท์ที่จำกัด” 20 Nov 2021. (Abstract published)

2) The 16th South East Asia Technical University Consortium Symposium (SEATUC 2022), ในหัวข้อเรื่อง “**Traffic Evaluation of Online-Streaming Applications on Limited Bandwidth Environment**” University of Technology Malaysia (UTM), 23-24 Feb 2022. (Full paper published)

3) The International Journal on Communications Antenna and Propagation (IRECAP) ในหัวข้อเรื่อง “**Bandwidth Allocation to Traffic and QoE Evaluation for Video Streaming Services**” published by the Praise Worthy Prize S.r.l, Italy., October 2022. (Full paper published)