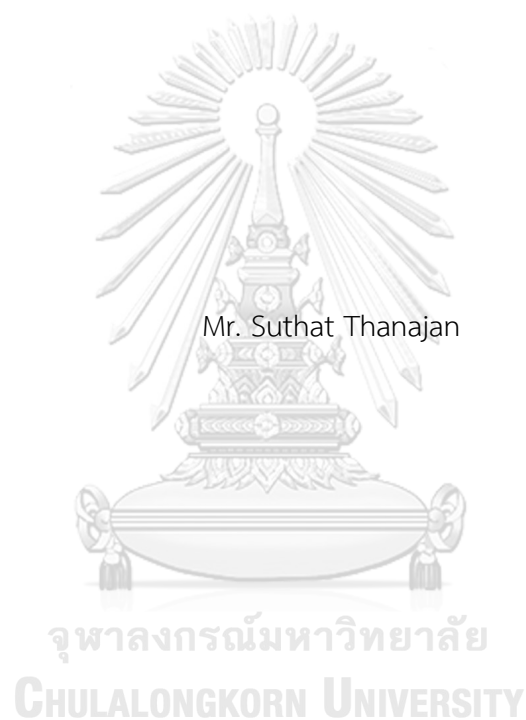


วิธีการทำนายคะแนนความพึงพอใจด้วยข้อมูลจากเครือข่ายคอมพิวเตอร์สำหรับการส่งวิดีโอแบบ
ปรับตัวผ่านทางเอชทีทีพี



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2565
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Network-based QoE scoring prediction scheme for HTTP Adaptive Streaming



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Computer Science

Department of Computer Engineering

FACULTY OF ENGINEERING

Chulalongkorn University

Academic Year 2022

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วิธีการทำนายคะแนนความพึงพอใจด้วยข้อมูลจากเครือข่ายคอมพิวเตอร์สำหรับการส่งวิดีโอแบบปรับตัวผ่านทางเอชทีทีพี
โดย	นายสุทัส ณะจันทร์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา โจรจน์วิบูลย์ชัย

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

.....	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)	
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ประธานกรรมการ
.....	
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐฉัตร หนูไฟโรจน์)	
.....	อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.กุลธิดา โจรจน์วิบูลย์ชัย)	
.....	กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กุลวดี ศรีพานิชกุลชัย)	
.....	กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม)	

สุทัส ณะจันทร์ : วิธีการทำนายคะแนนความพึงพอใจด้วยข้อมูลจากเครือข่าย
คอมพิวเตอร์สำหรับการส่งวิดีโอแบบปรับตัวผ่านทางเอชทีทีพี. (Network-based QoE
scoring prediction scheme for HTTP Adaptive Streaming) อ.ที่ปรึกษาหลัก :
รศ. ดร.กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา บริการวิดีโอสตรีมมิงผ่านอินเทอร์เน็ต ได้รับความนิยมขึ้นอย่าง
มาก ทำให้การวัด QoE เป็นกระบวนการที่มีความสำคัญสำหรับผู้ให้บริการเครือข่าย อย่างไรก็ตาม
กระบวนการวัด QoE ตามมาตรฐานไม่ได้ถูกออกแบบมาเพื่ออำนวยความสะดวกในการวัดของผู้
ให้บริการเครือข่ายเนื่องจากเป็นการใช้ข้อมูลจากฝั่งอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน เพื่อที่จะช่วยให้ผู้
ให้บริการเครือข่ายสามารถวัด QoE ได้โดยปราศจากการเข้าถึงอุปกรณ์ของผู้ใช้บริการ วิทยานิพนธ์
ฉบับนี้จึงเสนอแบบแผนการทำนาย QoE เชิงเครือข่ายสำหรับมาตรฐาน ITU-T P.1204.3 โดยใช้
การวิเคราะห์การถดถอย บนข้อมูลการจราจรในเครือข่าย ผลลัพธ์ของการทดลองแสดงให้เห็นว่า
แบบแผนที่เราแนะนำนั้น สามารถทำนาย QoE ของผู้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วย RMSE
เท่ากับ 0.14 และ PCC เท่ากับ 0.98



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์
ปีการศึกษา 2565

ลายมือชื่อนิสิต
ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

6270297021 : MAJOR COMPUTER SCIENCE

KEYWORD: Quality of experience (QoE), HTTP Adaptive Streaming(HAS), Network traffic based

Suthat Thanajan : Network-based QoE scoring prediction scheme for HTTP Adaptive Streaming. Advisor: Assoc. Prof. KULTIDA ROJVIBOONCHAI, Ph.D.

In the past few years, video streaming services on the Internet have gained a lot of interests. This makes QoE assessment a key process for network providers. However, QoE assessment does not design for convenience of network provider's assessment because the QoE assessment required information from the client side. For QoE assessment of network providers without client side information. In this paper, we propose a new network-based QoE prediction scheme for ITU-T P1204.3 using regression analysis on network traffic. The experimental results show that our proposed scheme is effective to predict the QoE of users with 0.14 RMSE and 0.98 PCC.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

Field of Study: Computer Science

Student's Signature

Academic Year: 2022

Advisor's Signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร. กุลธิดา โรจน์วิบูลย์ชัย อาจารย์ผู้ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ นอกจากนี้ยังได้ถ่ายทอด ประสบการณ์ ต่างๆ และข้อคิด เพื่อให้เป็นแรงผลักดันในการดำเนินชีวิต และการทำงานในภายภาคหน้า จึงขอกราบ ขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

กราบขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ณัฐวุฒิ หนู ไพโรจน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กุลวดี ศรีพานิชกุลชัย และรองศาสตราจารย์ ดร. อนันต์ ผลเพิ่ม ที่สละ เวลามาให้ข้อเสนอแนะ และแนวคิด ที่เป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้โอกาสให้ข้าพเจ้าได้เข้ามาศึกษา หาความรู้ และ มอบประสบการณ์ที่ดีในการใช้ชีวิตในมหาวิทยาลัย ได้พบ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ที่คอยแนะนำ สิ่งดีๆ คอยช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในช่วงเวลาต่างๆ

สุทัส ธนะจันทร์

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

.....	ค
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ค
.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญ.....	ฉ
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย	4
1.5 คุณค่าทางวิชาการ	4
1.6 ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	5
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	7
บทที่ 3 วิธีการทำนายคะแนนความพึงพอใจด้วยข้อมูลจากเครือข่ายคอมพิวเตอร์สำหรับ ITU-T P1204.3	13
3.1 แนวคิดในการออกแบบ	13

3.2 สถาปัตยกรรมของระบบที่ใช้ในการวิจัย	14
3.3 การจดจำกราฟ (graph recognition)	15
3.4 โมดูลการวิเคราะห์ถดถอย (Regression module)	16
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	18
4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	18
4.2 สนามทดสอบ (Testbed)	19
4.3 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง	20
4.4 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ	20
4.5 การวัดประสิทธิภาพของโมเดลด้วยวิธี K-fold cross validation	22
4.6 การวัดประสิทธิภาพของโมเดลในสภาวะที่มี background traffic	22
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ	26
5.1 สรุปผลวิจัย	26
5.2 อภิปราย	26
5.3 ข้อเสนอแนะ	29
บรรณานุกรม	30
ประวัติผู้เขียน	33

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของงานวิจัย [15]	9
ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของงานวิจัย[16]	9
ตารางที่ 3 สรุปรายละเอียดในแต่ละงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัด QoE	12
ตารางที่ 4 สรุปพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง	20



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 ลำดับชั้นของคุณภาพการให้บริการในงานวิจัย[14]	8
ภาพที่ 2 แหล่งที่เก็บข้อมูลและลำดับชั้นในการวัดความพึงพอใจ.....	10
ภาพที่ 3 เปรียบเทียบการวัดความพึงพอใจแบบดั้งเดิมและการวัดความพึงพอใจด้วยข้อมูลการจราจร ในเครือข่าย	13
ภาพที่ 4 สถาปัตยกรรมของระบบที่ใช้ในการวิจัย.....	14
ภาพที่ 5 ตัวอย่างกราฟจากสมการ.....	16
ภาพที่ 6 ตัวอย่างของไฟล์วิดีโอที่ใช้ในการทดลอง	18
ภาพที่ 7 สนามทดสอบที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์	19
ภาพที่ 8 กราฟแสดงค่าที่ทำนายได้และตัวเปรียบเทียบ(ground truth)	22
ภาพที่ 9 กราฟแสดงค่าที่ทำนายได้และตัวเปรียบเทียบ(ground truth) ในสถานะที่มี background traffic ในช่วงต่างๆ	24
ภาพที่ 10 วิดีโอที่ไม่มีความอ่อนไหวกับ background traffic.....	23
ภาพที่ 11 วิดีโอที่มีความอ่อนไหวกับ background traffic.....	24
ภาพที่ 12 กลุ่มของวิดีโอ 2 ประเภท	25

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา บริการวีดิโอสตรีมมิงผ่านอินเทอร์เน็ตได้รับความนิยมขึ้นอย่างมาก ตามรายงาน IMT Traffic estimates for the years 2020 to 2030[1] โดยสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ ได้พยากรณ์ไว้ในปี 2030 การจราจรทางเครือข่ายที่เป็นวีดิโอจะสูงถึง 75% ในปี 2030 ทำให้การวัดคะแนนความพึงพอใจของการส่งวีดิโอมีความสำคัญมากขึ้น โดยปกติแล้วการวัดคะแนนความพึงพอใจมีจุดมุ่งหมายเพื่อวัดความพึงพอใจของผู้รับชมวีดิโอเพื่อประกอบการวิเคราะห์ในมุมมองต่างๆ อาทิในมุมมองผู้ให้บริการวีดิโอสตรีมมิงสามารถใช้คะแนนความพึงพอใจในการทำความเข้าใจประสบการณ์ที่ผู้ใช้บริการได้รับในพื้นที่ที่แตกต่างกัน เพื่อนำมาปรับปรุงการให้บริการเช่นการพิจารณาเพิ่มเครื่องแม่ข่ายในจุดต่างๆโดยอาศัยการเก็บข้อมูลจากฝั่งตัวเล่นวีดิโอ ในมุมมองผู้ให้บริการเครือข่ายสามารถนำผลที่วัดได้มาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพเครือข่าย[2] เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันกับผู้ให้บริการเครือข่ายรายอื่น หรือจะเป็นการกำหนดค่าการใช้พลังงานและแบนด์วิดท์[3] เพื่อไม่ให้มีการใช้พลังงานเกินความจำเป็น และในมุมมองผู้ผลิตอุปกรณ์(devices manufacturing)อาจจะคะแนนความพึงพอใจมาใช้ในการกำหนดนโยบายการสลับวงจรของการส่งข้อมูลแบบไร้สายและการส่งผ่านพลังงานแบบไร้สาย (transmission strategies for wireless information transmission and wireless power transfer)[4] เพื่อให้ผู้ใช้งาน (end user) ได้รับประโยชน์สูงสุด

ในการวัดคะแนนความพึงพอใจแบบดั้งเดิมจะมีด้วยกัน 3 เทคนิค[5] คือ หนึ่ง, media layer based model หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า pixel based model โดยจะเป็นการเปรียบเทียบระหว่างเฟรมเป็นหลัก สามารถแบ่งย่อย[6] ได้อีกเป็น Full Reference (FR) , Reduce Reference (RR) , และ No Reference (NR) ซึ่ง FR จะเป็นการเปรียบเทียบของเฟรมต้นฉบับกับเฟรมที่ถูกส่งผ่านเครือข่ายโดยตรง ซึ่งต่างจาก RR ที่อาศัยข้อมูลจากเฟรมต้นฉบับแค่บางส่วนเนื่องจากการเข้าถึงถูกจำกัด และ NR จะไม่ใช่ข้อมูลจากเฟรมต้นฉบับ จะใช้แค่ข้อมูลจากเฟรมที่ได้รับเท่านั้น งานที่เป็นที่รู้จักในกลุ่ม media layer based model คือ PSNR และ SSIM จะมีจุดเด่นที่มีความเข้าใจง่ายแต่มี

ข้อเสียคือไม่มีการพิจารณาข้อมูลของการเข้ารหัสวิดีโอทำให้มีความแม่นยำไม่สูงมากนักเมื่อเทียบกับโมเดลในกลุ่มอื่นๆ สอง, bit stream model จะเป็นการใช้ข้อมูลที่ตัวเล่นวิดีโอรายงานออกมา ทำให้เหมาะสำหรับการวัดผลทันกาล ซึ่งมาตรฐานของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศได้ใช้เทคนิคนี้ในมาตรฐาน ITU-T P.1203[7] และ ITU-T P.1204[8] สุดท้าย, hybrid model จะเป็นการใช้เทคนิค 2 เทคนิคหรือมากกว่ามาคำนวณร่วมกันเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความแม่นยำมากขึ้น

ในการวัดคะแนนความพึงพอใจแบบดั้งเดิมทั้ง 3 เทคนิคจะเห็นได้ว่าเป็นการวัดที่ฝั่งผู้ใช้งาน ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการวัดประสบการณ์การรับชมวิดีโอสตรีมมิงที่ผู้ใช้งานได้รับ และในขณะเดียวกัน การวัดคะแนนความพึงพอใจที่ฝั่งผู้ใช้งานก็เป็นข้อจำกัดในการวัดคะแนนความพึงพอใจสำหรับผู้ให้บริการเครือข่ายด้วย เนื่องจากผู้ให้บริการเครือข่ายที่อยู่ตรงกลางของการส่งข้อมูลไม่สามารถเข้าถึงข้อมูลที่จำเป็นต่อการคำนวณคะแนนความพึงพอใจที่อยู่ในฝั่งผู้ใช้งานเพื่อนำมาคำนวณคะแนนความพึงพอใจตามเทคนิคแบบดั้งเดิมได้ ตามปรกติแล้วผู้ให้บริการเครือข่ายได้แก้ปัญหาโดยการนำเครื่องฝั่งผู้รับชมวิดีโอมาเชื่อมต่อกับเครือข่ายและเล่นวิดีโอสตรีมมิงจากผู้ให้บริการเนื้อหาบางส่วน หลังจากนั้นจึงวัดคะแนนความพึงพอใจจากเครื่องฝั่งผู้รับชมวิดีโอที่นำไปเชื่อมต่อแทน ซึ่งวิธีการนี้ทำให้ผู้ให้บริการเครือข่ายสามารถวัดคะแนนความพึงพอใจและนำไปใช้งานได้ แต่ก็มีข้อเสียคือจะสามารถวัดค่าคะแนนความพึงพอใจจากเครื่องฝั่งผู้รับชมที่นำมาเชื่อมต่อและผู้ให้บริการเนื้อหาที่เครื่องที่นำมาเชื่อมต่อกำลังเล่นอยู่เท่านั้น ทำให้ไม่สามารถรับประกันได้ว่ากำลังวัดค่าจากผู้ให้บริการเนื้อหาเดียวกันกับผู้ใช้งานในขณะนั้น การเพิ่มจำนวนเครื่องฝั่งผู้รับชมที่นำมาเชื่อมต่อจะสามารถเพิ่มจำนวนผู้ให้บริการเนื้อหาให้ครอบคลุมมากขึ้นได้ แต่ก็ทำให้มีผลกระทบต่อช่องสัญญาณของเครือข่ายมากขึ้นด้วยเช่นกัน

เพื่ออำนวยความสะดวกในการวัดความพึงพอใจของผู้ให้บริการเครือข่าย ในปัจจุบันได้มีงานวิจัยนำเสนอการใช้ข้อมูลการจราจรทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์มาคำนวณหาปัจจัยที่ส่งผลต่อคะแนนความพึงพอใจของผู้รับชมวิดีโอคือ ค่าเฉลี่ยของอัตราบิต (bitrate) [9] และการเกิดการ buffering [9, 10] ซึ่งไม่สามารถใช้อธิบายคะแนนความพึงพอใจและเปรียบเทียบกับวิธีวัดแบบดั้งเดิมได้เนื่องจาก [11] ได้มีการศึกษาและพบว่าตำแหน่งของการเกิดลดลงของอัตราบิตและ การเกิดการรอข้อมูลที่ส่งมาไม่ต่อเนื่องในช่วงต้นและช่วงท้ายของการรับชมวิดีโอสตรีมมิงส่งผลต่อคะแนนความพึงพอใจไม่เท่ากัน ทำให้ไม่สามารถใช้ค่าเฉลี่ยของอัตราบิตมาใช้ในการวัดคะแนนความพึงพอใจได้

ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะทำการเสนอเทคนิคการทำนายคะแนนความพึงพอใจด้วยการจดจำกราฟของขนาดข้อมูลแบบสะสมจากข้อมูลการจราจรของเครือข่าย ที่ผู้ให้บริการเครือข่ายสามารถเข้าถึงข้อมูลได้ร่วมกับการวิเคราะห์ถดถอย(regression analysis) เพื่อนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างรูปแบบกราฟ และการวัดคะแนนความพึงพอใจจากการวัดแบบดั้งเดิม[8] ซึ่งมีผลทำให้ผลลัพธ์ที่ได้สามารถใช้เปรียบเทียบกับวิธีการวัดแบบดั้งเดิมได้โดยตรง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อหาโมเดลการทำนายคะแนนความพึงพอใจของผู้รับชมวิดีโอสตรีมมิง ที่ใช้ข้อมูลจากเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่สามารถแปลผลและเปรียบเทียบกับการวัดคะแนนความพึงพอใจแบบดั้งเดิมได้โดยตรง และมีการวัดผลความคลาดเคลื่อนค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน(Pearson Correlation Coefficient : PCC) และรากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง(Root Mean Square Error : RMSE)
- 1.2.2 สร้างระบบส่งวิดีโอต้นแบบที่สามารถใช้ในการวิจัยการทำนายคะแนนความพึงพอใจของผู้รับชมวิดีโอสตรีมมิงที่ใช้ข้อมูลจากเครือข่ายคอมพิวเตอร์

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 การพัฒนาและทดสอบระบบงานระบบสตรีมมิงวิดีโอต้นแบบที่ได้พัฒนาขึ้น โดยเลือกใช้ Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH) protocol, การเข้ารหัสวิดีโอแบบ VP9 และ ความต้องการ bandwidth ตาม youtube [12] เนื่องจากเป็นผู้ให้บริการวิดีโอสตรีมมิงที่มีผู้ใช้บริการมากที่สุด
- 1.3.2 วิดีโอที่ใช้ในการทดสอบ จะเป็นวิดีโอชุดเดียวกับวิดีโอที่ใช้ในการพัฒนามาตรฐาน ITU-T P.1204.3
- 1.3.3 ในวิทยานิพนธ์นี้ พิจารณาปัจจัยกระทบ(influence factor)ที่ส่งผลต่อความพึงพอใจที่เกิดจากการสตรีมวิดีโอเท่านั้น เนื่องจากการออกแบบเพื่อให้ผู้ให้บริการเครือข่ายใช้งานจึงไม่พิจารณาปัจจัยที่ผู้ให้บริการเครือข่าย ไม่สามารถควบคุมได้
- 1.3.4 ใช้มาตรฐาน ITU-T P.1204.3 เป็นตัวเปรียบเทียบ(ground truth)ในการทำนาย

1.3.5 Background traffic ที่ใช้ในการทดสอบ จะมีค่าคงที่ตลอดการสตรีมวิดีโอในครั้งนั้นๆ

1.4 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษางานวิจัยในหัวข้อที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 พัฒนาระบบส่งวิดีโอที่จะใช้ในการเก็บข้อมูลมาใช้ในการวิจัย
- 1.4.2 เก็บข้อมูลจากระบบส่งวิดีโอมาวิเคราะห์ผลเพื่อศึกษาความเป็นไปได้เบื้องต้น
- 1.4.3 จัดทำโครงร่างวิทยานิพนธ์
- 1.4.4 เชื่อมต่อโปรแกรมในส่วนของ การวัดความพึงพอใจแบบดั้งเดิมและพัฒนาโปรแกรมใน ส่วนการจดจำกราฟ
- 1.4.5 พัฒนาและหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในส่วนของ การวิเคราะห์การถดถอย
- 1.4.6 สรุปผลวิจัย
- 1.4.7 จัดทำบทความสำหรับเผยแพร่ในงานวิจัย
- 1.4.8 นำเสนอวิทยานิพนธ์

1.5 คุณค่าทางวิชาการ

- 1.5.1 ได้โมเดลความพึงพอใจที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันสูง เมื่อเปรียบเทียบกับโมเดลแบบดั้งเดิม
- 1.5.2 ได้ระบบส่งวิดีโอต้นแบบที่สามารถใช้ในการวิจัยการทำนายคะแนนความพึงพอใจด้วย ข้อมูลจากเครือข่ายคอมพิวเตอร์

1.6 ผลงานตีพิมพ์จากวิทยานิพนธ์

สุทัส ณะจันทร์, กุลธิดา โรจนวิบูลย์ชัย และ เกียรติคุณ กาวิละ. ธันวาคม 2565. แบบแผนการทำนายคะแนนความพึงพอใจด้วยข้อมูลการจราจรในเครือข่ายสำหรับมาตรฐาน ITU-T P.1204.3, ใน รายงานการประชุมวิชาการระดับชาติ ครั้งที่ 19 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถแบ่งหัวข้อทฤษฎีที่เกี่ยวข้องออกเป็น 5 หัวข้อ ดังนี้

2.1.1 การส่งวิดีโอแบบปรับตัวผ่านทางเอชทีทีพี (HTTP Adaptive Streaming)

การส่งวิดีโอแบบปรับตัวผ่านทางเอชทีทีพี หรือที่รู้จักกันในชื่อ HAS [5] คือหลักการการส่งวิดีโอที่สามารถปรับความละเอียด (video resolution) ในระหว่างการส่งได้แบบทันทีตามขีดความสามารถของเครือข่ายในขณะนั้นผ่านทางเอชทีทีพีโปรโตคอล (HTTP protocol) และโปรโตคอลที่เชื่อถือได้ (reliable protocol) อย่างเช่น ทีซีพีโปรโตคอล (TCP protocol) ลักษณะของวิดีโอที่เล่นผ่านการส่งวิดีโอแบบปรับตัวผ่านทางเอชทีทีพีที่เห็นได้ในฝั่งผู้รับคือจะมีความล่าช้าในตอนเริ่ม (Initial delay), การรอข้อมูลที่ส่งมาไม่ต่อเนื่อง (Buffering event), และความละเอียดของวิดีโอที่เล่นในขณะนั้น (video resolution) ซึ่งในปัจจุบันได้มีเครื่องมือในลักษณะนี้ที่ได้รับความนิยมอยู่ 4 ชิ้น [5] ด้วยกันคือ

- Adobe HTTP Dynamic Streaming (HDS)
- Apple HTTP Live Streaming (HLS)
- Microsoft Smooth Streaming
- Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH)

ซึ่งเครื่องมือ 3 ชิ้นแรกจะใช้เทคโนโลยีเฉพาะที่เป็นความลับของผู้ผลิตและมีเครื่องมือขั้นสุดท้ายที่เป็นมาตรฐานเปิด (open source standard) โดยมี MPEG[13] เป็นผู้พัฒนาขึ้นมา

ในส่วนของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสนใจเพียงแค่ DASH เท่านั้น เนื่องจากเป็นมาตรฐานเปิด และมีผู้ให้บริการเนื้อหา (content provider) หลายรายเลือกใช้ เช่น youtube, netflix และ สำนักข่าว BBC

2.1.2 การส่งวิดีโอแบบปรับตัวไดนามิกผ่านทางเอชทีทีพี (Dynamic Adaptive Streaming over HTTP)

การส่งวิดีโอแบบปรับตัวไดนามิกผ่านทางเอชทีทีพี เป็นมาตรฐานเปิดสำหรับการส่งวิดีโอแบบปรับตัวผ่านทางเอชทีทีพี(HAS) ซึ่งจะแบ่งเนื้อหาออกเป็นส่วนๆ ในหลายๆความละเอียดของวิดีโอ และมีการส่งไฟล์เมตา เดต้า (meta data) ก่อนเป็นลำดับแรก เพื่อเป็นข้อมูลที่จะบอกให้ฝั่งผู้รับ ได้ทราบถึงรายละเอียดของไฟล์วิดีโอ โดยมีข้อมูลที่สำคัญคือความต้องการขั้นต่ำของเครือข่ายสำหรับความละเอียดต่างๆของไฟล์วิดีโอ หลังจากนั้นฝั่งผู้รับจะใช้ข้อมูลนี้ในการร้องขอไฟล์วิดีโอความละเอียดต่างๆจากฝั่งผู้ส่ง โดยจะมีการส่งวิดีโอความละเอียดที่ต่ำกว่าไปด้วยเสมอ เพื่อนำไปประกอบรวมกันเพื่อเล่นที่ฝั่งผู้รับ เช่นในกรณีที่ไฟล์เมตาเดต้าระบุว่ามีการเข้ารหัส (encode) ไฟล์วิดีโอที่ความละเอียด 144P, 240P, 360P, 720P, และ 1080P เมื่อจะทำการส่งวิดีโอที่ความละเอียด 720P จะมีการส่งไฟล์สำหรับ 144P, 240P, และ 360P ไปด้วย

2.1.3 การจราจรทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Network traffic)

การจราจรทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์คือการไหลเวียนของข้อมูลในเครือข่ายคอมพิวเตอร์โดยจะมีลักษณะสำคัญคือไอพี (IP) และพอร์ต (Port) ของต้นทางและปลายทาง, วันเวลาที่ดักจับข้อมูลการสื่อสาร (capture timestamp), โพรโตคอลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร (Protocol), และ ข้อมูลที่ส่งไปยังปลายทาง ซึ่งถ้ามีการเข้ารหัสข้อมูลก่อนส่ง จะทำให้ตัวกลางที่ดักจับข้อมูลไม่สามารถอ่านข้อมูลได้

2.1.4 การควบคุมการจราจร (Traffic Control : TC)

การควบคุมการจราจรเป็นคำสั่งในระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Linux) ที่ใช้ในการควบคุมการจราจรของเครือข่าย โดยสามารถหนดช่วงเวลาเพิ่ม หรือลดขนาดขีดความสามารถในการส่งข้อมูลต่อหนึ่งหน่วยเวลา (bandwidth)

2.1.5 การวัดความพึงพอใจ (QoE assessment)

การวัดความพึงพอใจของผู้รับวิดีโอที่มีความแม่นยำมากที่สุดคือการที่ผู้รับชมวิดีโอเป็นคนให้คะแนนโดยตรง (subjective assessment) [6] ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วจะไม่สามารถทำได้จริงในทุกๆครั้งของการส่งวิดีโอเนื่องจากต้องอาศัยความร่วมมือของผู้ใช้งาน จึงมีการเสนอให้มีการคิดคะแนน (QoE Scoring) โดยใช้ข้อมูลที่สามารถวัดได้จากระบบคอมพิวเตอร์ (Objective assessment) มาใช้แทน แต่ข้อมูลที่วัดจากระบบคอมพิวเตอร์ก็ไม่ได้สะท้อนออกมาเป็นคะแนนโดยตรงเช่นเดียวกับการให้คะแนนของผู้ใช้งาน ทำให้ต้องอาศัยการถ่วง

น้ำหนักของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความพึงพอใจ (Influence Factors : QoE Metric) ของผู้ใช้งานออกมาเป็นคะแนน สามารถเขียนเป็นสมการแบบนามธรรม [5]ได้ดังนี้

$$QoE_{score} = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n) \quad \text{สมการที่ 1}$$

เมื่อ $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ คือปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความพึงพอใจแต่ละปัจจัย

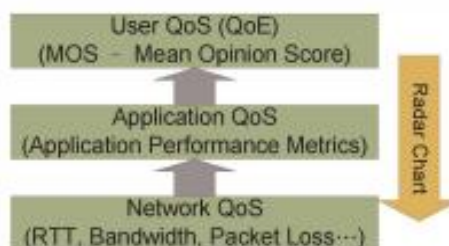
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่นำเสนอเกี่ยวกับการวัดความพึงพอใจในการส่งวิดีโอแบบปรับตัวผ่านทางเอชทีทีพี (HTTP Adaptive Streaming : HAS) สามารถแบ่งออกได้เป็นสองกลุ่ม ดังนี้

2.2.1 งานวิจัยที่สนใจการทำนายคะแนนความพึงพอใจจากปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความพึงพอใจ

1. Measuring the quality of experience of HTTP video streaming[14]

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพการให้บริการ (Quality of Service : QoS) ทั้ง 3 ชั้นในภาพที่ 1 ได้แก่ชั้นที่ 1 คุณภาพการให้บริการของเครือข่าย (Network QoS) จะเป็นการวัดในระดับเครือข่าย มีข้อมูลที่ให้ความสนใจคือ Throughput, latency, jitter ชั้นที่ 2 คุณภาพการให้บริการของแอปพลิเคชัน (Application QoS) จะเป็นการวัดที่สะท้อนคุณลักษณะของวิดีโอสตรีมมิ่งมากขึ้นเช่น Initial delay, resolution, stalling ชั้นที่ 3 คุณภาพการให้บริการของผู้ใช้งาน (User QoS : QoE) จะเป็นการวัดคะแนนความพึงพอใจ โดยส่วนใหญ่แล้ว จะเป็นการนำข้อมูลที่วัดได้ในชั้นที่ 2 มาถ่วงน้ำหนักและสรุปรวมกันเหลือเป็นค่าเดียวที่สะท้อนภาพรวมของวิดีโอสตรีมมิ่งครั้งนั้นๆ



ภาพที่ 1 ลำดับชั้นของคุณภาพการให้บริการในงานวิจัย[14]

งานวิจัยนี้ได้ให้นำหนักไปที่ความสัมพันธ์ระหว่างชั้นคุณภาพการให้บริการของแอปพลิเคชันและชั้นคุณภาพการให้บริการของผู้ใช้งานเป็นหลัก โดยมีการเก็บข้อมูลประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันจากฝั่งผู้รับชมวิดีโอและจัดกลุ่มของปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความพึงพอใจในแต่ละปัจจัยออกเป็น 3 ระดับ คือ ต่ำ, ปานกลาง และ สูง

งานวิจัยนี้เป็นจุดเริ่มต้นที่เสนอการวัดคะแนนความพึงพอใจในชั้นที่ 3 เพื่อเป็นการอธิบายคุณภาพโดยรวมของวิดีโอสตรีมมิ่งครั้งนั้น แต่ยังคงขาดการพิจารณาเรื่องความละเอียดของวิดีโอที่ผ่านการสตรีมมิ่งทำให้คะแนนความพึงพอใจที่วัดได้ยังไม่ความแม่นยำต่ำกว่างานวิจัยอื่น และใช้ข้อมูลจากผู้ให้บริการเครือข่ายไม่สามารถรวบรวมได้จากการดำเนินงานตามปรกติมาพิจารณา

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

2. A bitstream-based, scalable video-quality model for HTTP adaptive streaming: ITU-T P.1203.1 [15]

งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอมาตรฐาน ITU-T P.1203.1 สำหรับใช้วัดความพึงพอใจของผู้รับชมวิดีโอโดยเก็บข้อมูลที่ตัวเล่นที่ถูกพัฒนาโดยกลุ่มศึกษาที่ 12 ของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU-T Study Group 12) มีเป้าหมายที่จะรองรับการวัดความพึงพอใจของการส่งวิดีโอที่ความละเอียด 1080P และการเข้ารหัสแบบ H.264 โดยอาศัยปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจคือความล่าช้าในตอนเริ่ม, การรอข้อมูลที่ส่งมาไม่ต่อเนื่อง, และ ความละเอียดของวิดีโอที่เล่น เมื่อทำการ

ตรวจสอบความแม่นยำของโมเดลที่ได้จากฐานข้อมูลที่เปิดเผยสาธารณะจะมีความคลาดเคลื่อนตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของงานวิจัย [15]

Mode	Device	MSE	RMSE	Cor.
0	mobile	0.201	0.449	0.869
	PC	0.252	0.502	0.852
1	mobile	0.163	0.404	0.895
	PC	0.203	0.450	0.883
2	mobile	0.144	0.380	0.908
	PC	0.157	0.396	0.911
3	mobile	0.127	0.356	0.920
	PC	0.107	0.327	0.940

งานวิจัยนี้เป็นมาตรฐานสำหรับการวัดคะแนนความพึงพอใจแบบดั้งเดิมที่พิจารณาความละเอียดของวิดีโอที่มีความละเอียดสูงสุดที่ 1080P แต่ยังใช้ข้อมูลที่ทำให้บริการเครือข่ายไม่สามารถรวบรวมได้จากการดำเนินงานตามปกติมาพิจารณา

3. Bitstream-Based Model Standard for 4K/UHD: ITU-T P.1204.3 — Model Details, Evaluation, Analysis and Open Source Implementation [16]

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาต่อจาก [15] โดยได้เพิ่มข้อกำหนดที่สำคัญคือขยายเป้าหมายด้านความละเอียดของวิดีโอให้รองรับความละเอียด 2160P และรองรับการเข้ารหัส HEVC และ VP9 ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความพึงพอใจที่พิจารณา ยังคงเดิมเช่นเดียวกับ [15] โดยมีประสิทธิภาพตามตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ประสิทธิภาพของงานวิจัย[16]

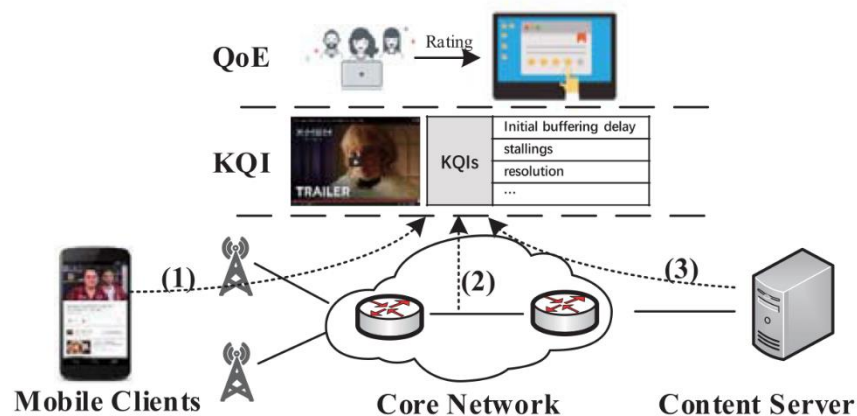
Database	RMSE	Pearson	Spearman	Kendall	R^2 Score
Test #1	0.32	0.968	0.953	0.822	0.916
Test #2	0.44	0.966	0.960	0.830	0.841
Test #3	0.41	0.957	0.935	0.785	0.868
Test #4	0.49	0.876	0.853	0.681	0.758

งานวิจัยนี้เป็นการเพิ่มตัวเลือกในการสตรีมวิดีโอให้ครอบคลุม และมีความเป็นปัจจุบันมากขึ้น เมื่อเทียบกับงานวิจัย[15] แต่ในขณะเดียวกันงานวิจัยนี้ยังคงใช้ข้อมูลให้ผู้ให้บริการเครือข่ายไม่สามารถรวบรวมได้จากการดำเนินงานตามปกติมาพิจารณา

2.2.2 งานวิจัยที่สนใจการทำนายการเกิดปัจจัยกระทบ(influence factor)ที่ต่อความพึงพอใจจากข้อมูลการจราจรทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์

1. Network-Based Video Quality Assessment for Encrypted HTTP Adaptive Streaming [10]

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ให้ความสำคัญกับการแยกตัวชี้วัดคุณภาพที่มีความสำคัญ (Key Quality Index : KQI) ออกมาจากข้อมูลจากเครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่ได้รับการปกปิด (encrypted network traffic) โดยอาศัยการเรียนรู้ของเครื่อง(machine learning) ประเภทเครือข่ายประสาทเทียม (neural network) และการสุ่มป่า (random forest) ตัวชี้วัดคุณภาพที่มีความสำคัญที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้ความสนใจคือความล่าช้าในตอนเริ่มและการรอข้อมูลที่ส่งมาไม่ต่อเนื่อง ในการทดลองนี้ได้ใช้ข้อมูลวิดีโอจาก Youtube และมีความแม่นยำในการตรวจจับอยู่ที่ 88.5%



ภาพที่ 2 แหล่งที่เก็บข้อมูลและลำดับขั้นตอนการวัดความพึงพอใจ

ภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่าในการวัดความพึงพอใจสามารถเก็บข้อมูลมาใช้ในการคำนวณได้จากทั้ง มือถือของผู้ใช้งาน, แกนกลางของเครือข่ายคอมพิวเตอร์, และผู้ให้บริการเนื้อหา และข้อมูลที่เก็บได้จะถูกประมวลผลเป็นตัวชี้วัดคุณภาพที่มีความสำคัญ และสามารถนำตัวชี้วัดคุณภาพที่มีความสำคัญไปคำนวณหาคะแนนความพึงพอใจเป็นลำดับสุดท้าย

งานวิจัยนี้ได้เลือก KQI บางส่วน ซึ่งเป็นการวัดความพึงพอใจในชั้นที่ 2 มาเป็นตัวแทนที่จะอธิบายความพึงพอใจโดยรวม แต่ยังคงขาดการนำ KQI ที่วัดได้ในชั้นที่ 2 มาสรุปรวมกันเป็นคะแนนความพึงพอใจในชั้นที่ 3 และถ้านำ KQI ที่ถูกเสนอในงานวิจัยนี้ ไปพิจารณาตามมาตรฐาน ITU-T P.1204.3 จะพบว่ายังขาดข้อมูลเกี่ยวกับความละเอียดของวิดีโอ

2. Using Session Modeling to Estimate HTTP-Based Video QoE Metrics From Encrypted Network Traffic [9]

ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการชื่อ eMIMIC ในการประมาณตัวชี้วัดที่มีผลต่อความพึงพอใจหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความพึงพอใจ ซึ่งผู้วิจัยให้ความสำคัญกับค่าเฉลี่ยของอัตราบิต (bitrate) และมีการทดสอบกับวิดีโอที่เก็บไว้ นอกจากนี้ยังทดสอบกับการสตรีมมิงวิดีโอที่ทำการจำลองขึ้นมาจากระบบอัตโนมัติ โดยใช้ Selenium, BrowserMob proxy, TShark, และ การควบคุมการจราจรทางเครือข่ายของลินุกซ์

ในงานวิจัยนี้ยังขาดการสรุปข้อมูลในชั้นที่ 3 และหากพิจารณาตามมาตรฐาน ITU-T P.1204.3 เพื่อสรุปข้อมูลที่วัดได้เป็นการวัดในชั้นที่ 3 จะพบว่ายังขาดข้อมูลเกี่ยวกับความหน่วงในตอนเริ่มต้น และความละเอียดของวิดีโอ

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องข้างต้น สามารถสรุปคุณลักษณะของแต่ละงานวิจัยได้ดังนี้

ตารางที่ 3 สรุปรายละเอียดในแต่ละงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัด QoE

Year	Paper Reference	Influence factors available on network provider	Influence factors					Target VDO Resolution	Level 3 QoE	Level2 QoE		
			initial delay	VDO resolution	VDO bitrate	rebuffering event	throughput			initial delay	average bitrate	rebuffering event
2011	Ref. 14	x	✓	-	-	✓	-	N/A	✓	-	-	-
2017	Ref. 15	x	✓	✓	✓	✓	-	full HD	✓	-	-	-
2020	Ref. 16	x	✓	✓	✓	✓	-	4K	✓	-	-	-
2018	Ref. 10	✓	-	-	-	-	✓	N/A	-	✓	-	✓
2019	Ref. 9	✓	-	-	-	-	✓	full HD	-	-	✓	✓
2022	Proposed	✓	-	-	-	-	✓	4K	✓	-	-	-

จากตารางที่ 3 สามารถสรุปได้ว่างานวิจัยในกลุ่มที่ 1 ที่สนใจการทำนายคะแนนความพึงพอใจจากปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความพึงพอใจ[14-16] จะเป็นงานวิจัยที่ใช้ข้อมูลที่ได้จากการวัดในชั้นที่ 2 มาคำนวณหาคะแนนความพึงพอใจในชั้นที่ 3 ตามการแบ่งประเภทของ[14] แต่มีข้อเสียคืองานวิจัยในกลุ่มนี้จะใช้ข้อมูลจากผู้ให้บริการเครือข่ายไม่สามารถเข้าถึง และเก็บรวบรวมได้จากการให้บริการตามปกติ ทำให้ต้องอาศัยวิธีการพิเศษในการเก็บรวบรวมข้อมูลมาใช้ในการวัดคะแนนความพึงพอใจ ซึ่งทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมในการเก็บข้อมูล และงานวิจัยในกลุ่มที่ 2 ที่สนใจการทำนายการเกิดปัจจัยกระทบที่ต่อความพึงพอใจจากข้อมูลการจราจรทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์[9, 10] ได้พยายามแก้ปัญหาของงานวิจัยในกลุ่มแรกด้วยการใช้ข้อมูลการจราจรทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์มาคำนวณหาความพึงพอใจ เพื่อแก้ปัญหาที่ผู้ให้บริการเครือข่ายไม่สามารถเข้าถึง และเก็บรวบรวมข้อมูลที่จำเป็นต่อการวัดความพึงพอใจได้จากการให้บริการตามปกติ อย่างไรก็ตามงานวิจัยในกลุ่มนี้สามารถวัดความพึงพอใจในชั้นที่ 2 ได้เป็นบางส่วนเท่านั้น ทำให้ไม่สามารถนำไปคำนวณต่อเพื่อหาคะแนนความพึงพอใจในชั้นที่ 3 ได้

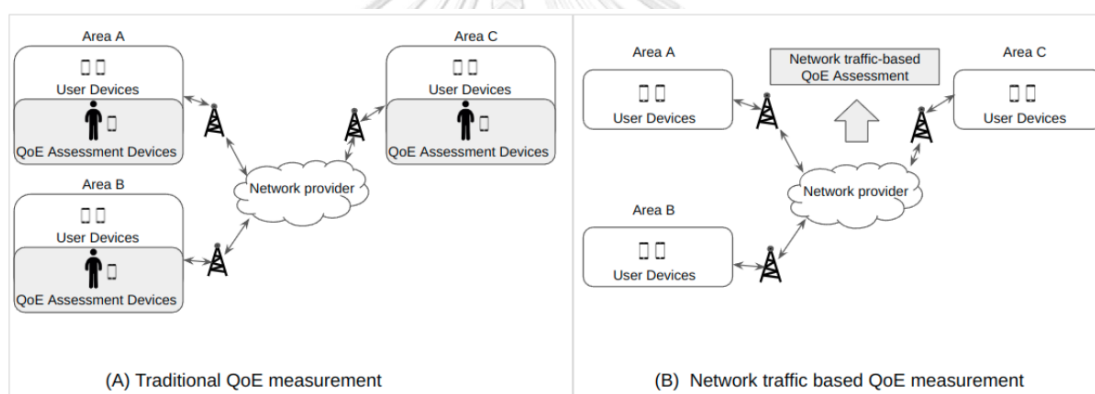
วิธีการวัดความคะแนนความพึงพอใจของวิดีโอสตรีมมิ่งสำหรับผู้ให้บริการเครือข่ายในวิทยานิพนธ์นี้จึงคำนวณจากข้อมูลจากผู้ให้บริการเครือข่ายสามารถเข้าถึง และเก็บรวบรวมได้จากการดำเนินงานตามปกติ เช่น ข้อมูลการจราจรทางเครือข่าย นอกจากนี้ยังต้องสามารถวัดคะแนนความพึงพอใจในชั้นที่ 3 ได้และมีการพิจารณาความละเอียดของวิดีโอที่ 4K ตามการใช้งานในปัจจุบัน

บทที่ 3

วิธีการทำนายคะแนนความพึงพอใจด้วยข้อมูลจากเครือข่ายคอมพิวเตอร์สำหรับ ITU-T P1204.3

3.1 แนวคิดในการออกแบบ

การวัดความพึงพอใจของวิดีโอสตรีมมิงแบบดั้งเดิมที่อาศัยข้อมูลจากฝั่งผู้รับชมยังมีความสำคัญเนื่องจากรูปแบบการเข้ารหัสและความละเอียดของวิดีโอมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เมื่อการเข้ารหัสและความละเอียดเปลี่ยนแปลงไปมีผลทำให้ขนาดไฟล์ที่ส่งผ่าน HTTP การเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกันทำให้นักวิจัยการวัดความพึงพอใจของวิดีโอสตรีมมิงแบบดั้งเดิมยังคงมีความสำคัญ

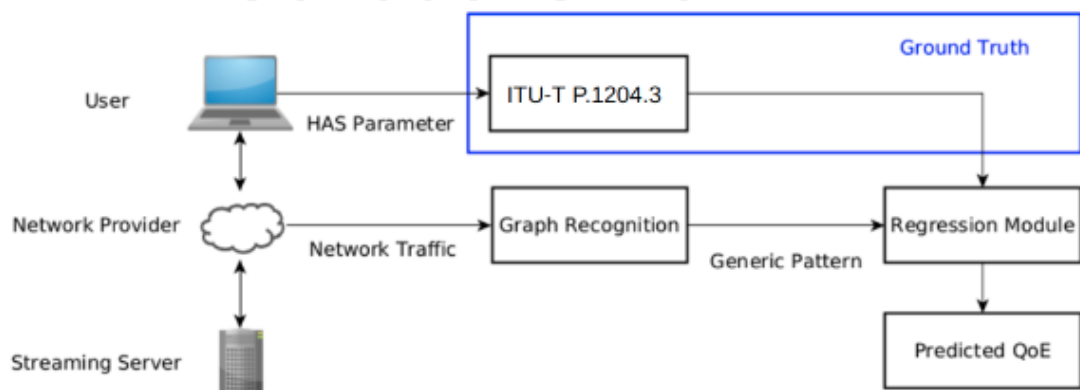


ภาพที่ 3 เปรียบเทียบการวัดความพึงพอใจแบบดั้งเดิมและการวัดความพึงพอใจด้วยข้อมูลการจราจรในเครือข่าย

ในขณะเดียวกัน ในการวัดความพึงพอใจของวิดีโอสตรีมมิงโดยผู้ให้บริการเครือข่ายด้วยวิธีแบบดั้งเดิม จำเป็นที่จะต้องส่งเจ้าหน้าที่ไปยังพื้นที่เป้าหมาย และใช้อุปกรณ์พิเศษในการเชื่อมต่อกับเครือข่ายเพื่อทำการวัดความพึงพอใจตามภาพที่ 3 ทำให้มีข้อเสีย 3 ประการคือ 1. ต้องเสียค่าใช้จ่ายสำหรับส่งเจ้าหน้าที่ลงไปยังพื้นที่เป้าหมาย 2. เกิด overhead ภายในเครือข่าย เนื่องจากต้องใช้ bandwidth ส่วนหนึ่งไปกับการวัดความพึงพอใจโดยเฉพาะ 3. ไม่สามารถรับรองได้ว่าผลลัพธ์จากการวัดความพึงพอใจที่ได้ เป็นการวัดความพึงพอใจจากผู้ให้บริการวิดีโอสตรีมมิงเดียวกันกับผู้ใช้บริการในขณะนั้น ทำให้การทำนายความพึงพอใจด้วยข้อมูลจากเครือข่ายคอมพิวเตอร์เป็นทางเลือกที่ดีสำหรับ

ผู้ให้บริการเครือข่ายในการวัดความพึงพอใจเนื่องจากการทำนายโดยใช้ข้อมูลจริงที่ผ่านเข้ามาในเครือข่ายในขณะนั้น แต่ในผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยการทำนายความพึงพอใจของผู้รับชมวิดีโอสตรีมมิ่งด้วยข้อมูลจากเครือข่ายคอมพิวเตอร์ยังเป็นผลลัพธ์อยู่ในขั้นที่ 2 ของการวัด ซึ่งต่างกับการวัดความพึงพอใจแบบดั้งเดิมที่จะให้ผลลัพธ์ของการวัดในขั้นที่ 3 ทำให้ค่าที่วัดจากงานวิจัยประเภทนี้ไม่ได้สะท้อนความพึงพอใจของผู้รับชมแบบเดียวกัน ซึ่งงานวิจัยในกลุ่มการวัดคะแนนความพึงพอใจแบบดั้งเดิมมีจุดเด่นที่สามารถคำนวณคะแนนความพึงพอใจออกมาสามารถนำไปเปรียบเทียบกับคะแนนจากผู้รับชมวิดีโอ(subjective assessment)ได้โดยตรง แต่การวัดความพึงพอใจแบบดั้งเดิมได้มีข้อจำกัดคือการเก็บข้อมูลมาคำนวณสามารถเก็บข้อมูลได้จากฝั่งผู้รับชมวิดีโอเท่านั้น ในขณะที่งานวิจัยที่สนใจการทำนายความพึงพอใจจากข้อมูลทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์มีจุดเด่นในด้านการเก็บข้อมูลมาคำนวณซึ่งสามารถใช้ข้อมูลจากฝั่งผู้ให้บริการเนื้อหา, ฝั่งผู้ให้บริการเครือข่าย, หรือ ฝั่งผู้รับชมวิดีโอ ทำให้มีความยืดหยุ่นในการใช้งานมากกว่า แต่ก็มีข้อจำกัดคือไม่สามารถคำนวณความพึงพอใจของผู้รับชมในขั้นที่ 3 ได้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบเพื่อใช้ในการวิจัยการทำนายความพึงพอใจจากข้อมูลทางเครือข่ายคอมพิวเตอร์ โดยใช้การวัดคะแนนความพึงพอใจแบบดั้งเดิมเป็น ground truth โดยทำการทดลองในแนวทางเดียวกับงานวิจัย [18] และเพิ่มงานวิจัย [16] มาใช้ในส่วนของการยืนยันผลการทำนาย

3.2 สถาปัตยกรรมของระบบที่ใช้ในการวิจัย



ภาพที่ 4 สถาปัตยกรรมของระบบที่ใช้ในการวิจัย

ในภาพที่ 4 แสดงให้เห็นถึงการเชื่อมโยงของส่วนต่างๆในการวิจัย เมื่อผู้รับชมร้องขอการสตรีมมิงวิดีโอไปยังเครื่องแม่ข่ายของวิดีโอสตรีมมิงผ่านทางผู้ให้บริการเครือข่าย เครื่องแม่ข่ายจะมีการส่งข้อมูลกลับไปยังผู้รับชมผ่านทางผู้ให้บริการเครือข่าย ในระหว่างการทำงานของวิดีโอสตรีมมิงผู้วิจัยได้มีการเก็บข้อมูล 2 ส่วนคือ 1. ข้อมูลการส่งวิดีโอสตรีมมิง (HAS parameter) ที่ฝั่งผู้ใช้บริการเพื่อนำไปใช้วัดความพึงพอใจแบบดั้งเดิม ซึ่งในการทดลองนี้จะใช้ค่าการวัดแบบดั้งเดิมตามมาตรฐาน ITU-T P.1204.3 เป็นตัวเปรียบเทียบ (Ground truth) 2. ข้อมูลการจราจรของเครือข่ายคอมพิวเตอร์เพื่อนำขนาดของข้อมูลในแต่ละแพ็คเก็ตไปใช้ในการคำนวณ ซึ่งจะนำไปใช้ต่อในส่วนของการจัดจํากราฟเพื่อหารูปทั่วไป (Generic pattern) ของวิดีโอสตรีมมิงครั้งนั้น เพื่อนำไปวิเคราะห์ถดถอยร่วมกับ Ground truth เพื่อใช้ในการทำนายคะแนนความพึงพอใจ

3.3 การจัดจํากราฟ (graph recognition)

โดยปรกติแล้ว การจัดจํากราฟ (graph recognition) หรือ Curve Fitting เป็นการหา generic pattern ของลำดับค่าตามสมการที่กำหนด เพื่อใช้ในการทำนายค่าที่อาจจะเกิดขึ้นเป็นลำดับถัดไป จากข้อมูลการจราจรทางเครือข่ายที่เก็บได้เราจะนำมาสร้างเป็นกราฟของ cumulative throughput (CTP) ตามสมการที่ 2

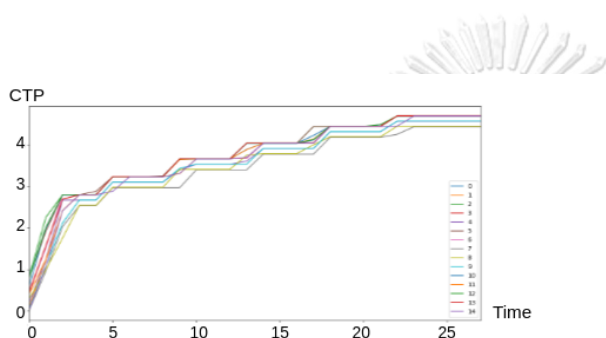
$$CTP_{T_i} = \frac{\sum_{T_1}^{T_i} TP}{CTP_{T_n}} \quad \text{สมการที่ 2}$$

เมื่อ CTP_{T_i} คือ cumulative throughput ที่เวลา T_i และ T_n คือช่วงเวลาสุดท้ายของการส่งวิดีโอ นอกจากนี้ระยะห่างของ T_i และ $T_i + 1$ จะอยู่ที่ 200ms โดยอ้างอิงตามระยะเวลาที่ measurement report ถูกส่งมาที่ user equipment ในระบบ cellular network ซึ่งสมการที่ 2 จะใช้ปริมาณข้อมูลของ network traffic ของการส่งวิดีโอจาก server มายัง client ครั้งนั้น มาคำนวณหา throughput ตาม windows size ด้านบนและนำ throughput ที่ได้ไปคิด cumulative throughput เพื่อให้ได้กราฟที่แสดงถึงปริมาณข้อมูลที่ถูกส่งที่เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาตาม windows size ที่กำหนด และเพื่อให้ค่า CTP_{T_i} สูงสุดที่เป็นไปได้ของวิดีโอในแต่ละครั้งเท่ากัน จึงได้มีการ normalize โดยการนำ CTP_{T_n} มาหาร cumulative throughput ในแต่ละช่วง

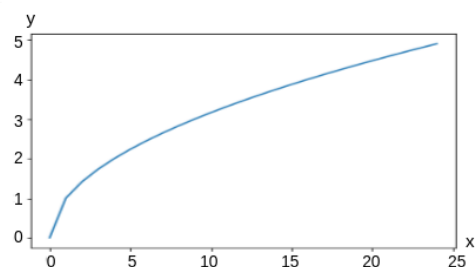
ในกรณีที่ผู้ให้บริการเครือข่ายต้องการตรวจสอบแบบย้อนกลับไปยังการเชื่อมต่อของเครื่อง ผู้ใช้บริการกับเครือข่ายของผู้ให้บริการในการเชื่อมต่อแบบไร้สายเพื่อเช็คความผิดปกติที่เกิดขึ้นในกรณีที่ QoE มีความผิดปกติจะใช้ข้อมูลจาก measurement report มาเทียบกับ QoE ได้ง่าย เนื่องจากมี windows size ที่เท่ากัน ซึ่งกราฟที่ได้จากสมการที่ 2 จะเห็นได้ว่ามีลักษณะคล้ายกราฟของสมการที่ 3 ตามภาพที่ 5

$$y = a + \sqrt{x + b}$$

สมการที่ 3



(ก) ตัวอย่างกราฟที่ได้จากสมการที่ 1



(ข) ตัวอย่างกราฟที่ได้จากสมการที่ 2

ภาพที่ 5 ตัวอย่างกราฟจากสมการ

ดังนั้นการทำ curve fitting กราฟของ cumulative throughput ไปยังสมการที่ 2 เพื่อหา generic pattern ของกราฟ จะช่วยให้การสตรีมวิดีโอแต่ละครั้งมีจำนวน attribute สำหรับ regression ที่เท่ากัน และยังคงสะท้อนภาพรวมของการส่งวิดีโอในแต่ละครั้ง

3.4 โมดูลการวิเคราะห์ถดถอย (Regression module)

ใน Regression module จะใช้ machine learning ประเภท regression เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง ลักษณะกราฟ cumulative throughput และ ground truth ซึ่งวิธีการที่เสนอคือการใช้ support vector regression โดยใช้ a, b จากสมการที่ 2 มาเป็น attribute และมีการใช้เคอร์เนลฟังก์ชันชนิด RBF kernel(Radial Basis Function kernel) โดย ground truth ที่นำมาใช้ในส่วนนี้จะอ้างอิงตามมาตรฐาน ITU-T P.1204.3 ซึ่งตามมาตรฐานนี้จะมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ การพิจารณาคะแนนความพึงพอใจที่สำคัญคือ ความละเอียดของวิดีโอสตรีมมิ่ง และอาการ stalling

ซึ่งอาการ stallingสามารถแบ่งย่อยออกได้เป็น 2 ประเภทย่อย คือ 1. อาการ stalling ที่เกิดจากการที่วิดีโอสตรีมมิงเปลี่ยนความละเอียดของวิดีโอระหว่างการเล่น 2. อาการ stalling ที่เกิดจากการที่วิดีโอไม่สามารถเล่นต่อได้เนื่องจากต้องหยุดรอข้อมูล(Buffering)

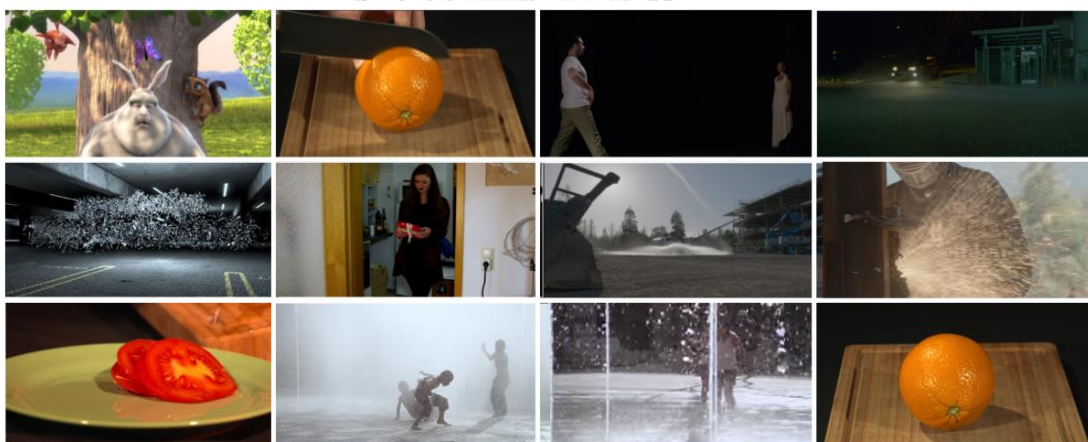


บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้จะอธิบายวิธีการทดลอง เครื่องมือที่ใช้ และตัวชี้วัดประสิทธิภาพต่างๆ เนื่องจากปัจจุบันยังไม่มีงานวิจัยที่ใช้ข้อมูลการจราจรภายในเครือข่ายมาทำนายความพึงพอใจในชั้นที่ 3 จึงไม่มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับงานวิจัยอื่น แต่จะแบ่งการวัดประสิทธิภาพเป็น 2 ส่วน คือ การวัดประสิทธิภาพของโมเดลด้วยวิธี K-fold cross validation และ การวัดประสิทธิภาพของโมเดลในสถานะที่มี background traffic

4.1 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

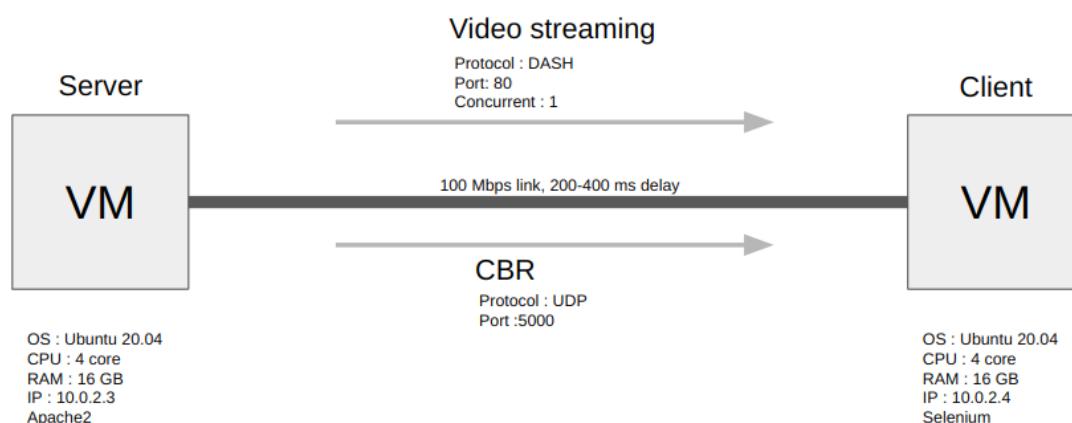


ภาพที่ 6 ตัวอย่างของไฟล์วิดีโอที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพ ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบที่ทำการส่งวิดีโอสตรีมมิงแบบอัตโนมัติโดยใช้ Selenium ซึ่งเป็นไลบรารียอดนิยมสำหรับการทดสอบยูสเซอร์อินเตอร์เฟซ(user interface)ของเว็บไซต์ และมีความสามารถที่สำคัญคือการทำงานร่วมกับ chrome driver ในการเปิดหน้าเว็บไซต์และความสามารถในการโต้ตอบ(interactive)กับยูสเซอร์อินเตอร์เฟซ ทำให้สามารถนำมาใช้เปิดหน้าเว็บไซต์เพื่อใช้ในการทดลองการสตรีมมิงวิดีโอแบบอัตโนมัติได้ นอกจากนี้ได้มีการใช้ Linux traffic control เพื่อจำกัดขนาดแบนด์วิดท์ในระบบ นอกจากนี้ไฟล์วิดีโอที่ใช้ในการทดลอง

เป็นไฟล์วิดีโอสำหรับการวิจัยด้านการวัดความพึงพอใจของวิดีโอสตรีมมิงโดยเฉพาะ ทั้งยังเป็นไฟล์วิดีโอชุดเดียวกันกับไฟล์วิดีโอที่ใช้ในพัฒนามาตรฐาน ITU-T P.1204.3 ตามภาพที่ 6

4.2 สนามทดสอบ (Testbed)



ภาพที่ 7 สนามทดสอบที่ใช้ในงานวิทยานิพนธ์

ในการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของงานวิจัยนี้ ได้มีการจัดเตรียมสนามทดสอบ(testbed) ในรูปแบบของ virtual machine ตามภาพที่ 7 โดยจะมีการเตรียม virtual machine ไว้ 2 เครื่อง คือ 1. เครื่องที่ทำหน้าที่ server ซึ่งมีการติดตั้งระบบปฏิบัติการ ubuntu 20.04 มีหน่วยประมวลผลกลาง 4 แกน และมีหน่วยความจำหลักอยู่ที่ 16 GB นอกจากนี้ยังทำการติดตั้ง Apache2 เพื่อทำหน้าที่เป็น streaming server ที่จะประมวลผลไฟล์ manifest ของ DASH และ 2. เครื่องที่ทำหน้าที่ client ซึ่งมีการตั้งระบบปฏิบัติการ หน่วยประมวลผลกลาง และหน่วยความจำหลักแบบเดียวกับเครื่องฝั่ง server แต่จะมีติดตั้ง Selenium เพื่อใช้ request การสตรีมมิงไปยัง server แบบอัตโนมัติทีละ 1 รายการ ซึ่งทั้ง 2 เครื่องจะมีการตั้งค่าให้อยู่บน network เดียวกันโดย link ที่ใช้จะมี bandwidth 100 Mbps และในการส่งแต่ละครั้งจะมีการสุ่ม propagation delay ในช่วง 200-400 ms. นอกจากนี้ได้เปิดการใช้งาน promiscuous mode เพื่อให้ network interface สามารถมองเห็นข้อมูลทั้งหมดในระบบได้ และมีการเก็บข้อมูลการจราจรในเครือข่ายที่ฝั่ง client

ในการทดสอบกับ background traffic จะมีการส่ง Constant Bit Rate (CBR) เป็น background traffic จาก server ไปยัง client โดยจะส่งเป็น UPD traffic ที่พอร์ต 5000 ด้วยขนาด 40Mbps- 90Mbps ตามปริมาณที่ใช้ในการทดลองครั้งนั้นๆ ก่อนเริ่มสตรีมวิดีโอไปยัง client

4.3 พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

ในการทดลองนี้ได้มีการเข้ารหัสไฟล์วิดีโอให้สามารถเปลี่ยนความละเอียดในการเล่นได้ตั้งแต่ 240p ถึง 2160p ตามขอบเขตของมาตรฐาน ITU-T P.1204.3 ที่นำมาใช้เป็นตัวเปรียบเทียบในการวิเคราะห์หัตถถอย และได้ทำการทดลองบนแบนด์วิดท์ตามมาตรฐาน ITU-T P.1204.3 ซึ่งกำหนดให้ 90Kbps เป็นขั้นต่ำของการสตรีมวิดีโอที่ความละเอียดต่ำกว่ามาตรฐาน(below SD) ไปจนถึง 45Mbps สำหรับความละเอียด 4K ซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 225 แบนด์วิดท์ นอกจากนี้วิดีโอที่ใช้ในการทดลองจะมีจำนวนทั้งสิ้น 12 วิดีโอตามงานวิจัย[17] ที่นำเสนอวิดีโอสำหรับงานวิจัยในด้านการวัดความพึงพอใจของวิดีโอสตรีมมิ่ง ทำให้มีจำนวนการสตรีมมิ่งวิดีโอทั้งหมด 2,700 ครั้ง ซึ่งเป็นจำนวนมากเพียงพอที่จะทำการวัดประสิทธิภาพของโมเดลด้วยวิธี K-fold cross validation ด้วยค่า K เป็น 10 สามารถสรุปเป็นตารางได้ดังนี้

ตารางที่ 4 สรุปพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการทดลอง

Parameter	Value
Resolution	240p, 360p, 480p, 720p, 1080p, 1440p, 2160p
Number of simulations	225 (Each simulation bandwidth 90Kbps – 45Mbps)
Number of videos for a simulation	12
Total video streaming session	2700
K for k-fold cross validation	10

4.4 ตัวชี้วัดประสิทธิภาพ

4.4.1 รากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสอง(Root Mean Square Error:RMSE)

เป็นการวัดความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นโดยให้ความสำคัญค่าที่มีความผิดปกติ (Outlier) และมีหน่วยเดียวกับค่าที่ทำนายได้ กล่าวคือค่าที่ทำนายได้อาจมีความคลาดเคลื่อนที่เป็นบวกหรือลบตามรากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองซึ่งสามารถเข้าใจได้ว่า การที่รากที่สองของความ

คลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองมีค่าน้อยที่สุด คือค่าที่ทำนายออกมามีความแม่นยำมากที่สุด ทั้งนี้การเปรียบเทียบรากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองในข้อมูลคนละชุด ต้องระวังเรื่องจุดสูงสุดและต่ำสุดของค่าที่เป็นได้ในการทำนายด้วย ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (m_{g,i} - m_{p,i})^2} \quad \text{สมการที่ 4}$$

เมื่อ N คือจำนวนการสตรึมวิดีโอ $m_{g,i}$ คือคะแนนความพึงพอใจที่เป็น ground truth พจน์ที่ i และ $m_{p,i}$ คือคะแนนความพึงพอใจที่คำนวณจาก regression module พจน์ที่ i

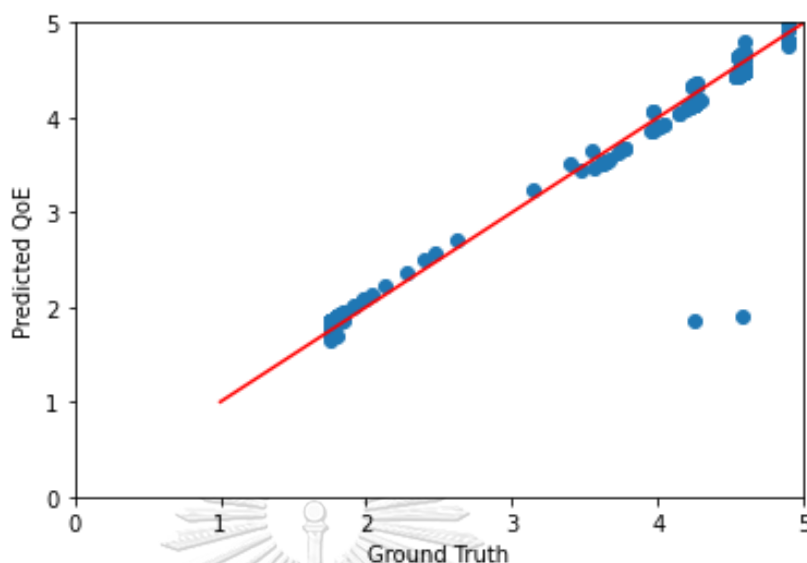
4.4.2 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson Correlation Coefficient: PCC)

ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรสองตัวซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 หากตัวแปรทั้งสองตัวเป็นไปในทิศทางเดียวกันจะมีค่าเป็น 1 และในทางกลับกันหากตัวแปรทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์ในทิศทางตรงกันข้ามจะมีค่าเป็น -1 ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 5

$$PCC = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{สมการที่ 5}$$

เมื่อ x_i คือค่าของตัวแปร x พจน์ที่ i \bar{x} คือค่าเฉลี่ยของตัวแปร x และ y_i คือค่าของตัวแปร y พจน์ที่ i \bar{y} คือค่าเฉลี่ยของตัวแปร y ซึ่งในที่นี้ตัวแปร x คือ คะแนนความพึงพอใจที่ได้จากการวัดแบบดั้งเดิมที่ใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ ตัวแปร y คือคะแนนความพึงพอใจที่ทำนายโดยอาศัยข้อมูลจากเครือข่าย

4.5 การวัดประสิทธิภาพของโมเดลด้วยวิธี K-fold cross validation



ภาพที่ 8 กราฟแสดงค่าที่ทำนายได้และตัวเปรียบเทียบ(ground truth)

ในการวัดประสิทธิภาพของโมเดลด้วยวิธี K-fold cross validation ที่มีค่า K เป็น 10 หรือ 10-fold cross validation ซึ่งผลการทดลองที่ได้แสดงในภาพที่ 8 จะสามารถคำนวณรากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองตามสมการที่ 3 เท่ากับ 0.14 ซึ่งถือว่ามีความผิดพลาดในการทำนายต่ำ ข้อมูลที่ทำนายได้ส่วนใหญ่จะอยู่ใกล้เส้นสีแดง ซึ่งเส้นสีแดงคืออุดมคติที่ค่าที่ทำนายได้เท่ากับค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบ และสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันตามสมการที่ 4 เท่ากับ 0.98 ทำให้สรุปได้ว่าค่าที่ทำนายได้มีความสัมพันธ์เชิงบวกกับค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

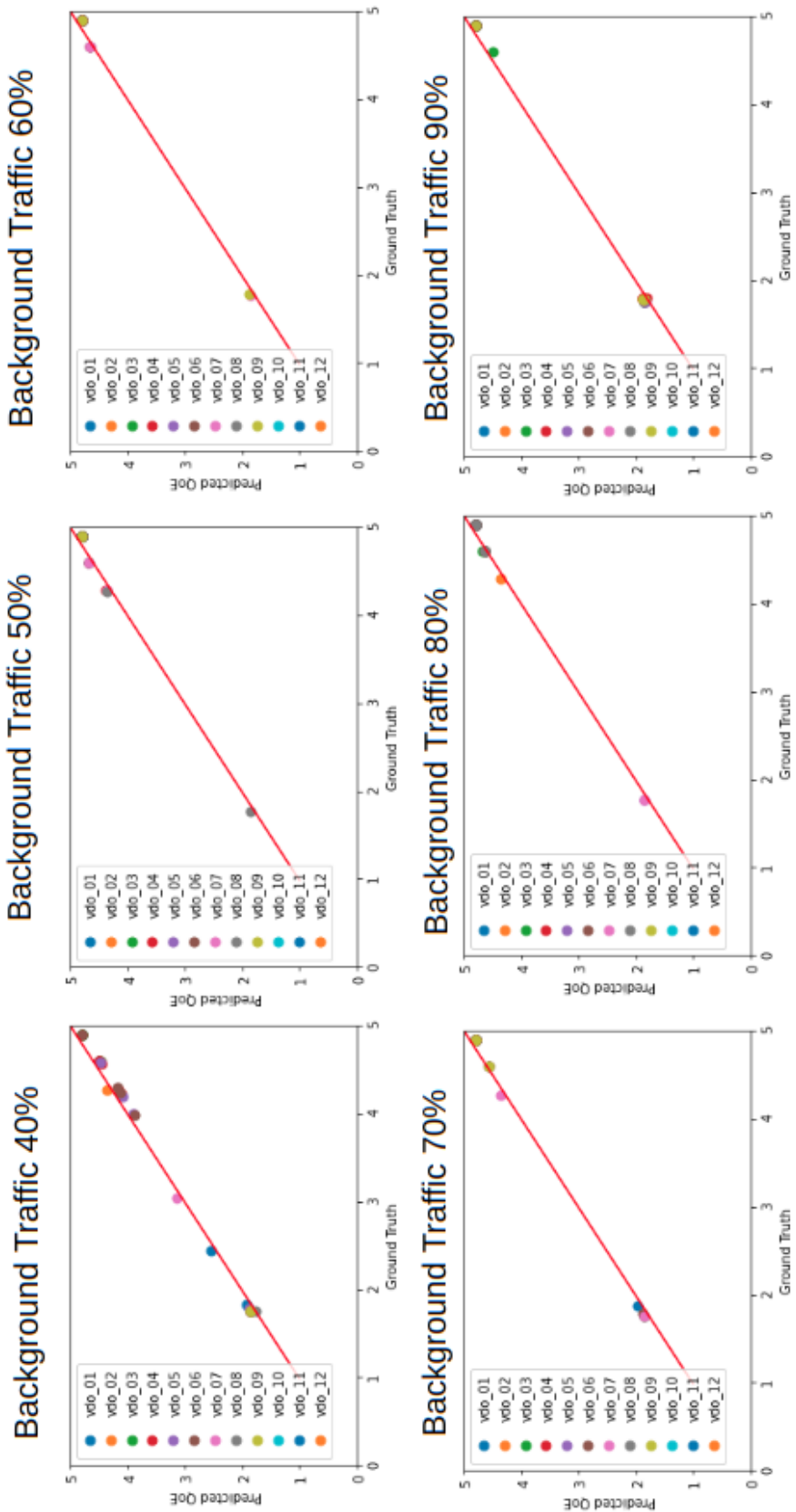
4.6 การวัดประสิทธิภาพของโมเดลในสถานะที่มี background traffic

ในการวัดประสิทธิภาพของโมเดลในสถานะที่มี background traffic เป็นการทดลองใช้โมเดลที่ผ่านจากการปรับจูนและวัดประสิทธิภาพด้วย 10-fold cross validation ในหัวข้อ 4.5 มาทดสอบกับวิดีโอสตรีมมิ่งที่มีการเพิ่ม background traffic ในระหว่างการสตรีมเพื่อศึกษาความความแม่นยำในการทำนายคะแนนความพึงพอใจของโมเดลเมื่อมี background traffic ในช่วงต่างๆ

ในการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของโมเดลในสถานะที่มี background traffic ได้ทำการกำหนดแบนด์วิดท์อยู่ที่ 100Mbps และในระหว่างการสตรีมวิดีโอจะมีการใช้แบนด์วิดท์เฉลี่ยที่ 60%

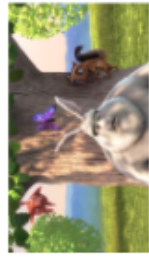
ในกรณีที่เป็นการสตรีมวิดีโอในความละเอียด 4K ทำให้ทำการทดสอบการทำนายในสภาวะที่มี background traffic ตั้งแต่ 40% ขึ้นไป และมีผลการทดลองตามกราฟในภาพที่ 9 ที่แสดงว่าในทุกๆ ช่วงของ background traffic ค่าที่ทำนายได้และตัวเปรียบเทียบจะอยู่ใกล้เส้นสีแดงเป็นอย่างมาก ซึ่งหมายถึงโมเดลที่ได้จากหัวข้อ 4.5 ยังสามารถทำนายคะแนนความพึงพอใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ในสภาวะที่มี background traffic 70% แม้โมเดลจะสามารถทำนายคะแนนความพึงพอใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่มีข้อสังเกตคือ VDO_08 มีคะแนนความพึงพอใจที่ทำนายได้ในแต่ละ session มีความแตกต่างกัน





ภาพที่ 9 กราฟแสดงค่าที่ทำนายได้และตัวเปรียบเทียบ(ground truth) ในสถานะที่มี background traffic ในช่วงต่างๆ

และเมื่อศึกษาการทำนายคะแนนความพึงพอใจในแต่ละวิดีโอ พบว่าวิดีโอทั้งหมดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ 1. วิดีโอที่ไม่มีความอ่อนไหวกับ background traffic ในภาพที่ 10 แสดง background traffic แต่ละช่วงของแต่ละวิดีโอ คะแนนความพึงพอใจที่ทำนายได้จะใกล้เคียงกัน 2. วิดีโอที่มีความอ่อนไหวกับ background traffic ในภาพที่ 11 VDO_03 ในการทดสอบกับ background traffic ที่ 70% จะมีคะแนนความพึงพอใจที่แตกต่างกันอยู่ 2 กลุ่ม เนื่องมาจากกลุ่มที่คะแนนความพึงพอใจต่ำเกิดจากการเปลี่ยนแปลงความละเอียดของวิดีโอสตรีมมิงในระหว่างการเล่นจาก 720P มาเป็นความละเอียด 480P แต่เมื่อทำการทดสอบ VDO_03 กับ background traffic ที่ 80% จะไม่มีการทำนายคะแนนความพึงพอใจที่ต่ำ เนื่องจากวิดีโอสตรีมมิงถูกเล่นในความละเอียด 480P โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงความละเอียดระหว่างเล่น และในการทดสอบกับ background traffic 90% วิดีโอสตรีมมิงมีการค้างระหว่างกันเล่น ทำให้มีบ้างครั้งที่คะแนนความพึงพอใจมีระดับต่ำ สำหรับ VDO_05 ในการทดสอบกับ background traffic 80% วิดีโอสตรีมมิงบางครั้งเกิดการเปลี่ยนแปลงความละเอียดระหว่างการเล่นจาก 480P มาเป็นความละเอียด 360P ทำให้คะแนนความพึงพอใจในครั้งนั้นอยู่ในระดับต่ำ และในการทดสอบกับ background traffic 90% วิดีโอสตรีมมิงมีการค้างระหว่างกันเล่น จึงทำให้คะแนนความพึงพอใจลดลงเช่นเดียวกับ VDO_03 และใน VDO_06 ที่การทดสอบกับ background traffic 70% จะมีการสตรีมมิงบางครั้งที่คะแนนความพึงพอใจอยู่ในระดับต่ำเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความละเอียดระหว่างการเล่นจาก 720P มาเป็น 480P และใน background traffic 90% ในการสตรีมมิงบางครั้งก็เกิดการค้างระหว่างการเล่นวิดีโอเช่นกัน



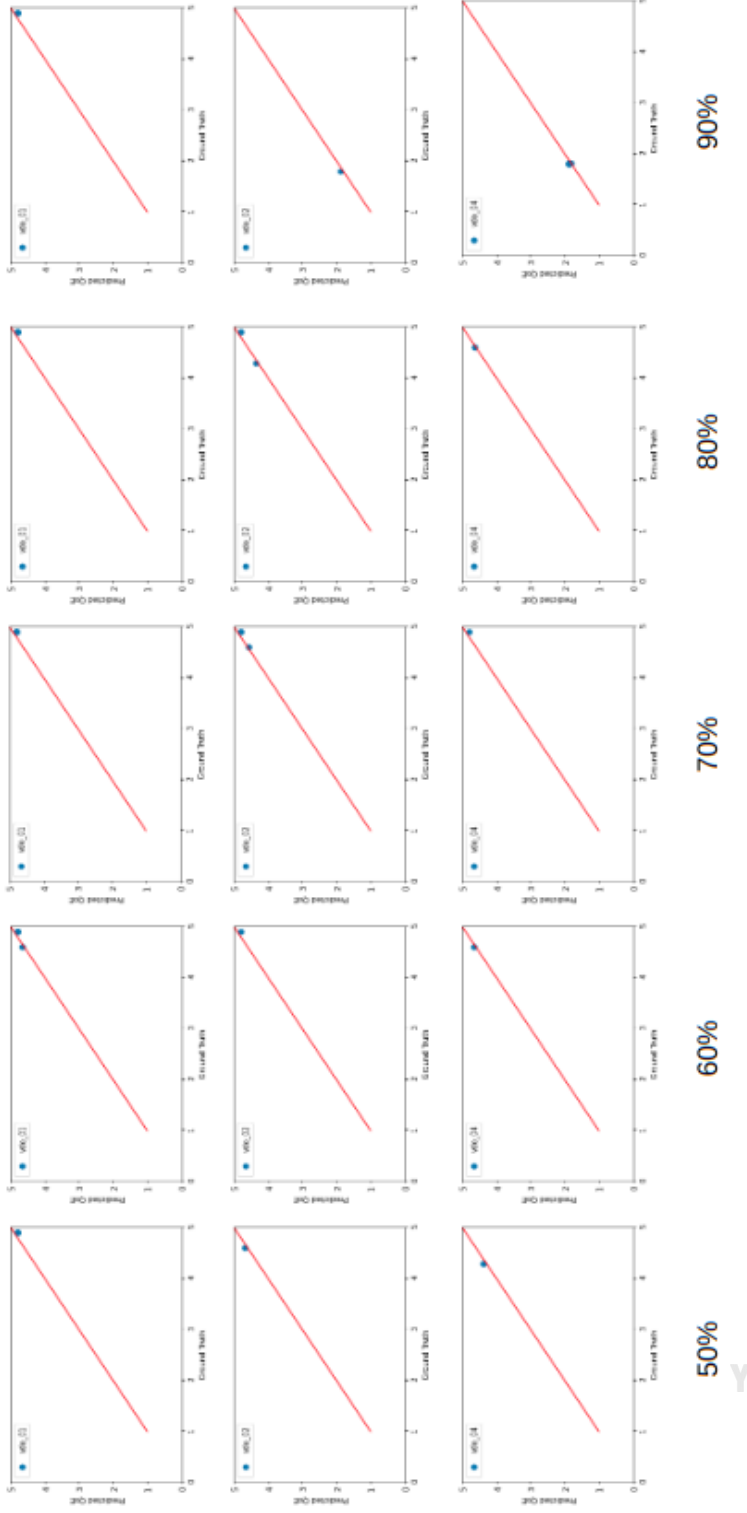
VDO_01



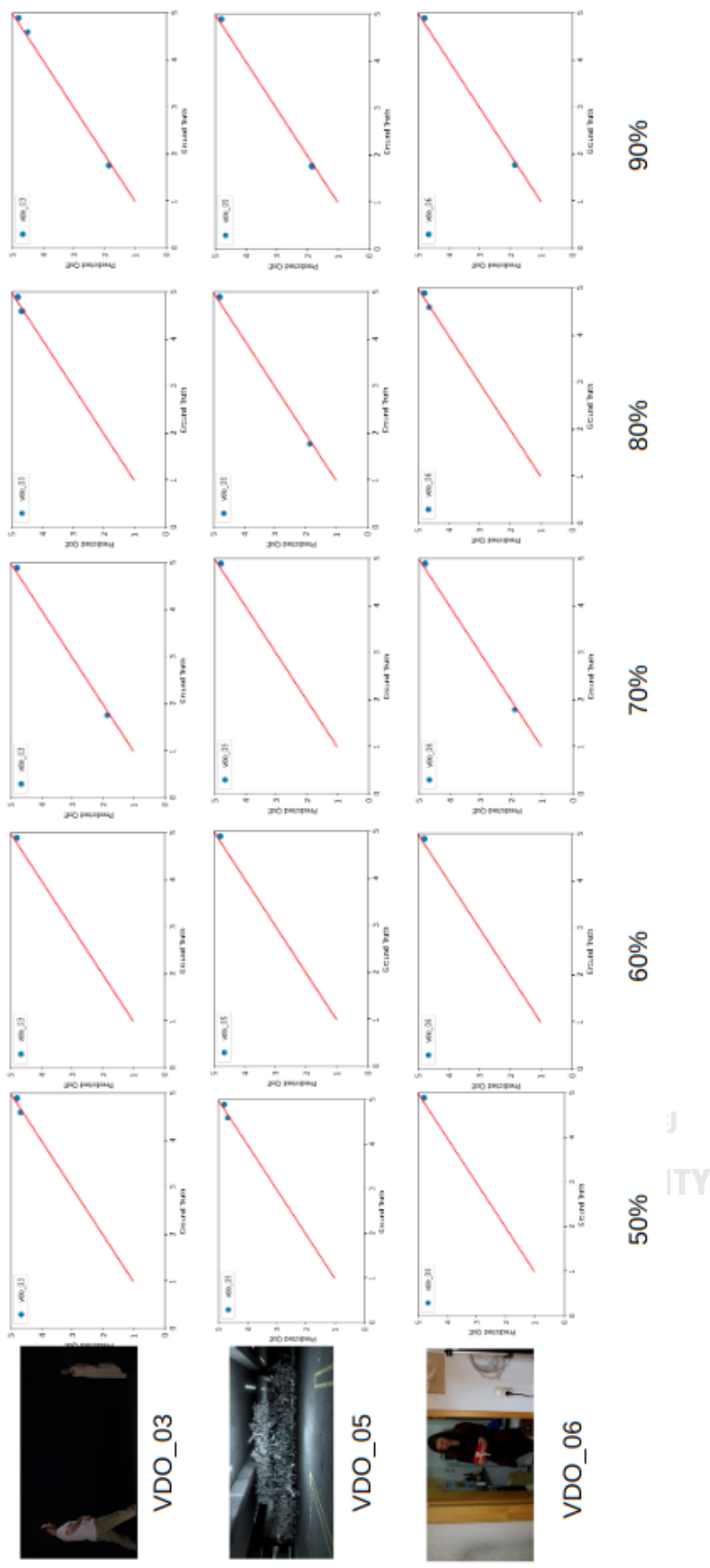
VDO_02



VDO_04



ภาพที่ 10 วิดีโอที่ไม่มีความอ่อนไหวกับ background traffic



ภาพที่ 11 วิดีโอที่มีความอ่อนไหวกับ background traffic

ในการทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพของโมเดลในสถานะที่มี background traffic กับ 12 วิดีโอ สามารถแบ่งวิดีโอออกเป็น 2 กลุ่มตามภาพที่ 12 ซึ่งวิดีโอในกรอบสีน้ำเงินจะเป็นวิดีโอที่ไม่อ่อนไหวกับ background traffic และวิดีโอในกรอบสีแดงจะเป็นวิดีโอที่อ่อนไหวกับ background traffic



ภาพที่ 12 กลุ่มของวิดีโอ 2 ประเภท

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการทำนายคะแนนความพึงพอใจด้วยข้อมูลจากเครือข่ายคอมพิวเตอร์สำหรับการส่งวิดีโอแบบปรับตัวผ่านทางเอชทีทีพี ซึ่งจากการศึกษาของงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่า งานวิจัยการทำนายความพึงพอใจด้วยข้อมูลจากเครือข่ายคอมพิวเตอร์ยังไม่สามารถทำนายความพึงพอใจในการวัดขั้นที่ 3 ทำให้ผู้ให้บริการเครือข่ายยังต้องอาศัยการวัดความพึงพอใจแบบดั้งเดิมเพื่อวัดความพึงพอใจในขั้นที่ 3 ซึ่งมีข้อเสียคือ 1. เกิดค่าใช้จ่ายในการลงพื้นที่ 2. จำเป็นต้องใช้แบนด์วิดท์เพิ่มเติมสำหรับการวัดความพึงพอใจ 3. ไม่สามารถรับประกันได้ว่าเป็นการวัดความพึงพอใจจากผู้ให้บริการวิดีโอสตรีมมิงเดียวกันกับผู้ใช้งาน

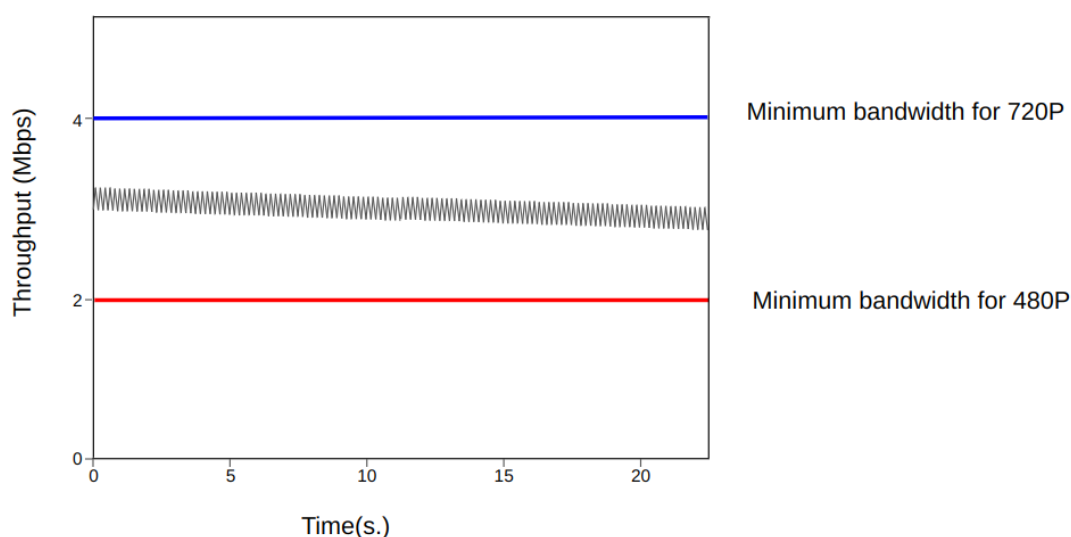
ในงานวิจัยนี้จึงได้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำนายคะแนนความพึงพอใจในขั้นที่ 3 ด้วยข้อมูลจากเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ผู้ให้บริการเครือข่ายสามารถวัดคะแนนความพึงพอใจในขั้นที่ 3 ได้สะดวกขึ้น โดยอาศัยแนวคิดในการแปลงข้อมูลวิดีโอสตรีมมิงให้อยู่ในรูปแบบทั่วไปของกราฟ และนำรูปทั่วไปที่ได้ไปวิเคราะห์ถดถอยร่วมกับตัวเปรียบเทียบตามมาตรฐาน ITU-T P.1204.3 โดยมีการวัดประสิทธิภาพด้วย 10-fold cross validation สามารถคำนวณรากที่สองของความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยกำลังสองเท่ากับ 0.14 และคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สันเท่ากับ 0.98 ซึ่งถือได้ว่าโมเดลที่ได้สามารถทำนายคะแนนความพึงพอใจได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ได้นำโมเดลไปทดสอบในสถานะที่มี background traffic พบว่าโมเดลยังสามารถทำนายได้อย่างมีประสิทธิภาพ และพบว่าวิดีโอทั้งหมดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ วิดีโอที่ไม่อ่อนไหวกับ background traffic และ วิดีโอที่อ่อนไหวกับ background traffic

5.2 อภิปราย

5.2.1 ความสัมพันธ์ระหว่าง throughput และ คะแนนความพึงพอใจ

ในการสตรีมมิงวิดีโอโดยทั่วไป throughput ในตอนต้นของการสตรีมวิดีโอจะมีความสำคัญต่อคะแนนความพึงพอใจมากกว่า throughput ในตอนท้ายของการสตรีมวิดีโอ เนื่องจากในตอนต้นของการสตรีมวิดีโอจะมีการส่งข้อมูล base layer ของการสตรีมวิดีโอแบบปรับตัว(HAS) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่ทำให้ วิดีโอสามารถเล่นได้โดยไม่เกิดการ stalling

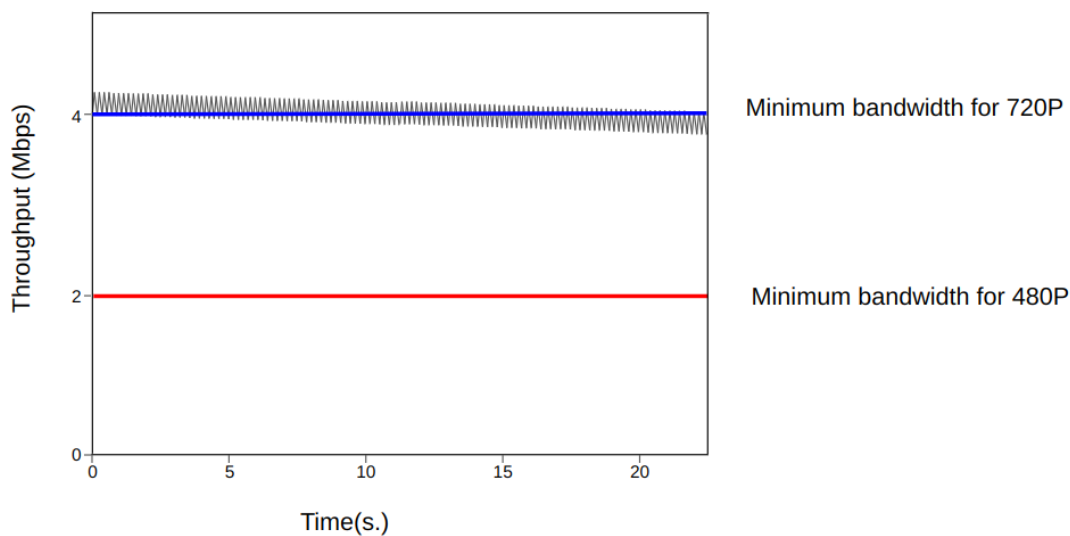
นอกจากนี้ throughput ที่มาก ไม่ได้มีการแปรผันตรง หรือแปรผันแบบผกผันกับคะแนนความพึงพอใจ แต่จะขึ้นอยู่กับค่า bandwidth ที่ใช้ในความละเอียดต่างๆ ของวิดีโอเป็นหลัก หาก throughput ณ เวลานั้นมีความชัดเจนในการเลือกความละเอียดของวิดีโอที่จะสตรีมมิ่งตามตัวอย่างในภาพที่ 13 ซึ่งเส้นสีน้ำเงินคือ bandwidth ขั้นต่ำสำหรับการสตรีมที่ความละเอียด 720P และเส้นสีแดงคือ bandwidth ขั้นต่ำที่จะสตรีมวิดีโอที่ความละเอียด 480P throughput ที่แสดงในภาพจะทำให้ระบบวิดีโอสตรีมมิ่งเลือกความละเอียดในการสตรีมที่ 480P และสามารถเล่นได้อย่างต่อเนื่อง ทำให้คะแนนความพึงพอใจที่วัดได้จากการสตรีมมิ่งในครั้งนี้จะมีค่าสูง



ภาพที่ 13 ตัวอย่างกราฟที่ throughput มีความชัดเจนในการเลือกความละเอียด

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในขณะเดียวกันหาก throughput ที่วัดได้ในเวลานั้นไม่มีความชัดเจนในการตัดสินใจเลือกความละเอียดตามตัวอย่างในภาพ 14 แม้ throughput โดยรวมจะสูงกว่า throughput ในภาพที่ 13 แต่คะแนนความพึงพอใจที่วัดได้จะต่ำกว่าการสตรีมมิ่งในภาพที่ 13 เนื่องจากอาจมีการ stalling เกิดขึ้น โดยมีสาเหตุมาจากเมื่อ throughput มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย ก็จะส่งผลกระทบต่อความละเอียดของวิดีโอที่จะสตรีมมิ่ง



ภาพที่ 14 ตัวอย่างกราฟที่ throughput ไม่มีความชัดเจนในการเลือกความละเอียด

ทั้งนี้การปรับค่า bandwidth ที่ใช้ในความละเอียดต่างๆ ของวิดีโอจะต้องเหมาะสมกับความละเอียดของวิดีโอด้วย

5.2.2 ความสมจริงของการทดลอง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นจุดเริ่มต้นของการวิจัย เพื่อสร้างโมเดลสำหรับทำนายคะแนนความพึงพอใจของผู้ใช้บริการวิดีโอสตรีมมิ่งตามมาตรฐาน ITU-T P.1204.3 จากการเรียนรู้ข้อมูลการจราจรทางเครือข่าย

แม้ว่าในขั้นตอนของการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของโมเดลที่นำเสนอ จะมีการจำลองการสตรีมมิ่งวิดีโอหลายขนาด พร้อมทั้งจำลอง background traffic ด้วย UDP อย่างไรก็ตามแต่ การทำงานในสภาพแวดล้อมจริง ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่จำเป็นต้องศึกษา และพิจารณาเพิ่มเติม เช่น การเพิ่มจำนวน traffic ของการเกิดสตรีมมิ่งวิดีโอ ณ ช่วงเวลาเดียวกัน การส่ง traffic ด้วยขนาดที่แตกต่างกัน ณ ช่วงเวลาเดียวกัน การทดสอบด้วย network topology ที่ใหญ่ขึ้น การจำลอง background traffic ด้วย TCP หรือสุมการเกิด background traffic ใน link ต่างๆ เพื่อให้เกิดความ dynamic ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมบน Internet มากที่สุด เป็นต้น

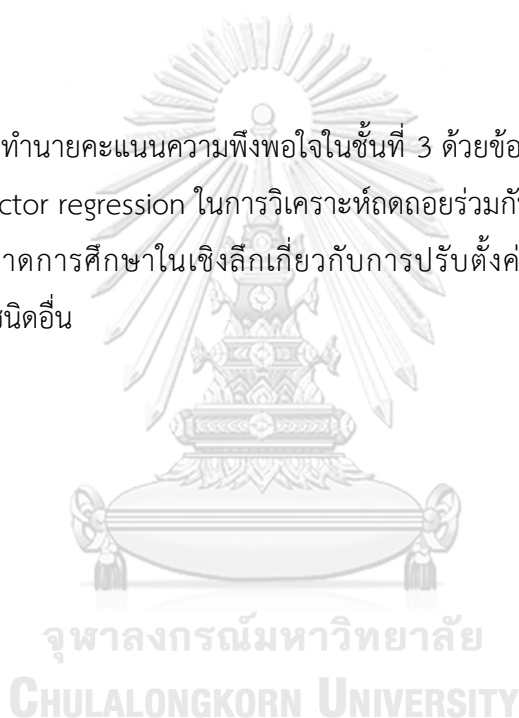
ดังนั้นการที่จะนำโมเดลที่นำเสนอไปใช้งานจริง จะต้องมีการศึกษาและทดลองเพิ่มเติมในปัจจัยอื่น ๆ ดังที่กล่าวไปข้างต้น เพื่อที่จะให้ได้โมเดลที่มีประสิทธิภาพ และทำงานได้ใกล้เคียงสภาพแวดล้อมจริงมากที่สุด

5.2.3 พารามิเตอร์อื่น

เนื่องจาก throughput ของวิดีโอสตรีมมิ่งที่สามารถคำนวณได้จากข้อมูลการจราจรในเครือข่ายไม่ได้เป็นข้อมูลเพียงอย่างเดียวที่ผู้ให้บริการเครือข่ายสามารถรวบรวมได้จากการให้บริการตามปกติ แต่ผู้ให้บริการเครือข่ายยังสามารถใช้ข้อมูลทางสถิติจากอุปกรณ์เครือข่ายได้เช่นกัน เพื่อเพิ่มความแม่นยำในการทำนายอาจพิจารณาเพิ่มข้อมูลอื่นในโมดูลการวิเคราะห์ถดถอย(Regression module) เช่น ข้อมูล delay ของ link แบบ End to End จาก streaming server ไปยัง client ซึ่งข้อมูลนี้จะเปลี่ยนแปลงตามเส้นทางที่ถูกเลือกจาก network ของผู้ให้บริการเครือข่ายในขณะนั้น

5.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการทำนายคะแนนความพึงพอใจในชั้นที่ 3 ด้วยข้อมูลจากเครือข่ายคอมพิวเตอร์นี้ ได้อาศัย support vector regression ในการวิเคราะห์ถดถอยร่วมกับตัวเปรียบเทียบตามมาตรฐาน ITU-T P.1204.3 ยังขาดการศึกษาในเชิงลึกเกี่ยวกับการปรับตั้งค่าแบบละเอียด(Fine tune)ใน machine learning ชนิดอื่น



บรรณานุกรม

1. Union, I.T., *IMT traffic estimates for the years 2020 to 2030*. 2015.
2. Eswara, N., et al., *Perceptual QoE-Optimal Resource Allocation for Adaptive Video Streaming*. IEEE Transactions on Broadcasting, 2020. **66**(2): p. 346-358.
3. Yang, F., et al., *A QoE-based Joint Bandwidth and Power Allocation Method for Multiple RATs in HetNets*. ICT Express, 2015. **1**(1): p. 39-43.
4. Jung, T., T. Kwon, and C.-B. Chae, *QoE-based transmission strategies for multi-user wireless information and power transfer*. ICT Express, 2015. **1**(3): p. 116-120.
5. Barman, N. and M.G. Martini, *QoE Modeling for HTTP Adaptive Video Streaming– A Survey and Open Challenges*. IEEE Access, 2019. **7**: p. 30831-30859.
6. Yang, M., et al., *Survey on QoE Assessment Approach for Network Service*. IEEE Access, 2018. **6**: p. 48374-48390.
7. Union, I.T., *Parametric bitstream-based quality assessment of progressive download and adaptive audiovisual streaming services over reliable transport*. 2016: Geneva, Switzerland.
8. Union, I.T., *Video quality assessment of streaming services over reliable transport for resolutions up to 4k*. 2020: Geneva, Switzerland.
9. Mangla, T., et al., *Using Session Modeling to Estimate HTTP-Based Video QoE Metrics From Encrypted Network Traffic*. IEEE Transactions on Network and Service Management, 2019. **16**(3): p. 1086-1099.
10. Tang, S., X. Qin, and G. Wei, *Network-Based Video Quality Assessment for Encrypted HTTP Adaptive Streaming*. IEEE Access, 2018. **6**: p. 56246-56257.
11. Rodriguez, D.Z., et al., *Quality metric to assess video streaming service over TCP considering temporal location of pauses*. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2012. **58**(3): p. 985-992.
12. Youtube. *Choose Live Encoder Settings, Bitrates, and Resolutions*. 2021 [cited 2021 Jun. 20, 2021]; Available from: <https://support.google.com/youtube/answer/2853702>.

13. Sodagar, I., *The MPEG-DASH Standard for Multimedia Streaming Over the Internet*. IEEE MultiMedia, 2011. **18**(4): p. 62-67.
14. Mok, R.K.P., E.W.W. Chan, and R.K.C. Chang. *Measuring the quality of experience of HTTP video streaming*. in *12th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management (IM 2011) and Workshops*. 2011.
15. Raake, A., et al. *A bitstream-based, scalable video-quality model for HTTP adaptive streaming: ITU-T P.1203.1*. in *2017 Ninth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*. 2017.
16. Rao, R.R.R., et al. *Bitstream-Based Model Standard for 4K/UHD: ITU-T P.1204.3 — Model Details, Evaluation, Analysis and Open Source Implementation*. in *2020 Twelfth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*. 2020.
17. Rao, R.R.R., et al. *AVT-VQDB-UHD-1: A Large Scale Video Quality Database for UHD-1*. in *2019 IEEE International Symposium on Multimedia (ISM)*. 2019.



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	สุทัส ณะจันทร์
วัน เดือน ปี เกิด	4 พฤศจิกายน 2536
สถานที่เกิด	นครศรีธรรมราช
วุฒิการศึกษา	วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ที่อยู่ปัจจุบัน	234/36 ซอยลาดพร้าว 26 แขวงจอมพล เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900



จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY