การประเมินประสิทธิภาพบูรณาการแพลตฟอร์มของเทคโนโลยี VoIP และ WebRTC

PERFORMANCE INTEGRATED PLATFORM EVALUATION OF VOIP AND WEBRTC TECHNOLOGY

พสธิป สถาพร

POSATHIP SATHAPORN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2566

KMITL-2023-EN-M-027-067

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PERFORMANCE INTREGATED PLATFORM EVALUATION OF VOIP AND WEBRTC TECHNOLOGY

POSATHIP SATHAPORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL AND COMPUTER ENGINEERING

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2023

KMITL-2023-EN-M-027-067

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2023

SCHOOL OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	**การประเมินประสิทธิภาพบูรณาการแพลตฟอร์มของเทคโนโลยี VoIP และ WebRTC**
นักศึกษา	**นาย พสธิป สถาพร**
รหัสประจำตัว	65016065
ปริญญา	**วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต**
สาขาวิชา	**วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์**
พ.ศ.	**2566**
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	**รศ.ดร. ชวลิต เบญจางคประเสริฐ**

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เสนอการทดสอบประสิทธิภาพการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ในแพลตฟอร์มต่าง ๆ กับการติดต่อสื่อสารของเสียงและวิดีโอผ่านระบบอินเทอร์เน็ต ซึ่งเป็นเทคโนโลยีในการติดต่อสื่อสาร โดยใช้วิธีการสร้างเซิร์ฟเวอร์บน AWS และทำการแปลงเซิร์ฟเวอร์ให้เป็นสาขาโทรศัพท์ระบบไอพี (IP-PBX) รวมถึงทุกการติดต่อสื่อสารแบบเรียลไทม์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (WebRTC) โดยใช้บริการ API ของ Zegocloud ทำการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์โดยใช้แอปพลิเคชันบนมือถือร่วมกับเฟรมเวิร์กฟลัตเตอร์ (Flutter Framework) ซึ่งสามารถรองรับการทำงานบนแพลตฟอร์มได้ทั้งแพลตฟอร์มแอนดรอยด์ และแพลตฟอร์ม IOS โดยมีการทดสอบประสิทธิภาพของฮาร์ดแวร์ ระบบปฏิบัติการ เทคโนโลยีเครือข่ายที่เชื่อมต่อ และการเชื่อมต่อแบบหนึ่งต่อหนึ่ง หรือ การประชุมวิดีโอ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบการเชื่อมต่อ คือ แพลตฟอร์มแอนดรอยด์มีประสิทธิภาพในการติดต่อสื่อสารกับแพลตฟอร์มอื่น ๆ โดยมีความเร็วในการส่งข้อมูลที่ใกล้เคียงกับค่าบิตเรตที่กำหนด ความล่าช้ามีค่าน้อยกว่า รวมถึงไม่มีข้อมูลสูญหายขณะส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis:	Performance Integrated Platform Evaluation of VoIP and WebRTC Technology
Student	Mr. Posathip Sathaporn
Student ID.	65016065
Degree:	Master of Engineering
Program:	Electrical and Computer Engineering
Year	2023
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Chawalit Benjangkaprasert

ABSTRACT

This study offers the results of testing the connection performance of various platform devices with voice and video communication over the Internet, which is a communication technology. By building a server on Amazon Web Services (AWS), which provides dependable, scalable, and cost-effective cloud computing services. The server is then converted to an IP telephone branch (IP-PBX), containing all real-time conversations via a web browser (WebRTC) by using Zegocloud API service. Testing the efficiency of devices using mobile applications built by the Flutter Framework, which can function on both the Android and iOS platforms. Testing hardware performance, operating system version, connected network technology, peer-to-peer video call and video conferencing. The connection test results show that the Android platform is capable of communication when compare with other platforms. Because transmission speed is close to the assigned value , no data loss during transmission and lower latency than competing platforms.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ เนื่องด้วยได้รับโอกาสและความอนุเคราะห์จากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร. ชวลิต เบญจางคประเสริฐ ที่ให้คำปรึกษา และให้คำแนะนำต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงให้ความรู้ต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า ขอขอบประคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวของข้าพเจ้าที่สนับสนุนและให้คำสอน บทเรียน แก่ข้าพเจ้าตลอดมา

ท้ายที่สุด ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้ถ่ายทอดองค์ความรู้และให้คำแนะนำแก่ขาพเจ้า รวมถึงขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง หน่วยงานที่ประสิทธิประสาทวิชาความรู้และมอบโอกาสในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

นาย พสธิป สถาพร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ VII

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป VIII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ 2

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย 2

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา 3

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 การติดต่อสื่อสารข้อมูลเสียงผ่านทางอินเทอร์เน็ต (VoIP) 4

2.1.1 ประวัติของ VoIP 4

2.1.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบ VoIP 5

2.1.3 VoIP โพรโทคอล 6

2.2 การรับส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ (WEBRTC) 7

2.2.2 หลักการทำงานของ WebRTC 8

2.3 โปรแกรมและเฟรมเวิร์กที่ใช้ในการพัฒนา 11

2.3.2 MicroSIP 11

2.3.3 ฟลัตเตอร์ (Flutter) 12

2.3.4 Xcode 13

2.3.5 Android Studio 14

2.4 บริการคลาวด์ที่ใช้ 14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

2.4.1 การประมวลผลบน อะเมซอน คลาวด์ (Amazon EC2) 14
2.4.2 Zegocloud 14
2.5 การวัดและประเมินผลของ VoIP 15
2.5.1ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์แพลตฟอร์ม ไอโอเอส และ แอนดรอยด์ 15
2.5.2 การวัดคุณภาพของการใช้บริการ (QoS) 15
2.6 การเข้ารหัสและถอดรหัสของ ข้อมูลเสียงและวิดีโอ 16
2.6.2 การเข้ารหัสข้อมูลวิดีโอ 17
2.7 การคำนวณบิตเรตและค่าที่เหมาะสม 17
2.8 การทบทวนวรรณกรรม 19

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการทดลอง 20
3.1 บทนำ 20
3.2 การออกแบบสถาปัตยกรรม 20
3.2.1 การออกแบบสถาปัตยกรรมในการสร้าง การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ และ VoIP เซิร์ฟเวอร์ 21
3.2.2 การออกแบบสถาปัตยกรรม ในการสร้างการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ ผ่านทางบริการ WebRTC 22
3.3 การติดตั้งเซิร์ฟเวอร์ VoIP 23
3.3.1 Amazon EC2 23
3.4 การออกแบบหน้าต่างส่วนผู้ใช้ 25
3.4.1 UI สำหรับการทดลองการติดต่อสื่อสารผ่านทาง VoIP 26
3.4.2 UI สำหรับการทดสอบติดต่อสื่อสารผ่าน WebRTC 26
3.5 การประเมินผลการใช้งานระบบ VoIP ของแพลตฟอร์มต่าง ๆ 27
3.6 การประเมินผลการใช้งาน WebRTC โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมการใช้งานต่าง ๆ 28
3.7 การประเมินผลการใช้งาน WebRTC ผ่านทางการเชื่อมต่อของแพลตฟอร์มต่าง ๆ แบบ 1 ต่อ 1 29
3.8 การประเมินผลการประชุมคอลของอุปกรณ์บนแพลตฟอร์มต่าง ๆ 29

บทที่ 4 ผลการทดลอง 30
4.1 บทนำ 30
4.2 ผลการติดตั้งเซิร์ฟเวอร์ VoIP 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

4.3 ผลการใช้งานระบบ VoIP โดยผ่านทางแพลตฟอร์มต่าง ๆ 31
4.4 ผลการประเมินผลการใช้งาน WebRTC โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมการใช้งานต่างๆ 32
4.4.1 ผลลัพธ์การใช้งาน WebRTC ผ่านทางอุปกรณ์ไอโฟนรุ่นต่าง ๆ 33
4.4.2 ผลลัพธ์การใช้งาน WebRTC ผ่านระบบปฏิบัติการ IOS เวอร์ชันต่าง ๆ 48
4.4.3 ผลลัพธ์การใช้งาน WebRTC ผ่านระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เวอร์ชันต่าง ๆ 54
4.4.4 ผลลัพธ์การใช้งาน WebRTC ผ่านการเชื่อมต่อบนเครือข่ายต่าง ๆ 58
4.5 ผลลัพธ์การใช้งาน WebRTC โดยใช้อุปกรณ์จริงในการทดสอบการติดต่อสื่อสารแบบ 1 ต่อ 1 62
4.5.1 ผลการการเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์ไอโฟนกับโทรศัพท์โนเกียร์ 62
4.5.2 ผลการเชื่อมต่อระหว่าง เบราว์เซอร์กูเกิ้ลโครมกับ โทรศัพท์โนเกียร์ 65
4.5.3 ผลการเชื่อมต่อระหว่างเบราว์เซอร์โครมกับโทรศัพท์ไอโฟน 67
4.6 ผลการประเมินผลการประชุมวิดีโอคอลของอุปกรณ์บนแพลตฟอร์มต่าง ๆ 70
4.6.1 ผลลัพธ์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไอโฟน 70
4.6.2 ผลลัพธ์ประสิทธิภาพของแพลตฟอร์มแอนดรอยด์ 71

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 74
5.1 สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง 74
5.2 สรุปผลการเปรียบเทียบการทดลองการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ 75
5.3 ข้อเสนอแนะ 76
บรรณานุกรม 76
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์ 79
ประวัติผู้เขียน 80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

3.1 รายละเอียดจำเพาะต่างๆของอุปกรณ์แพลตฟอร์มต่างๆ 30

4.1 ผลลัพธ์การติดต่อสื่อสารของแพลตฟอร์มต่าง ๆ ผ่านทาง VOIP เซิร์ฟเวอร์ 32

4.2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการโทรติดต่อสื่อสารและประสิทธิภาพของเครื่องในขณะที่ไม่ได้มีการรับส่งข้อมูล 47

4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการโทรติดต่อสื่อสารและประสิทธิภาพของเครื่องในขณะที่มีการรับส่งข้อมูลเสียงอย่างเดียว 47

4.4 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการโทรติดต่อสื่อสารและประสิทธิภาพของเครื่องในขณะที่มีการรับส่งข้อมูลทั้งภาพและเสียง 48

4.5 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการโทรติดต่อสื่อสารของระบบปฏิบัติการ IOS เวอร์ชันต่าง ๆ 54

4.6 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการโทรติดต่อสื่อสารของระบบปฏิบัติการ IOS เวอร์ชันต่าง ๆ 58

4.7 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการโทรติดต่อสื่อสารของระบบปฏิบัติการ IOS ผ่านทางเทคโนโลยีเครือข่ายต่าง ๆ 62

4.8 ผลการเปรียบเทียบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ผ่านทาง 3 แพลตฟอร์ม 69

5.1 ผลสรุปการเปรียบเทียบบูรณาการแพลตฟอร์มการเชื่อมต่อ 75

5.2 ผลสรุปประสิทธิภาพการเชื่อมต่อเครือข่ายต่างๆ 76

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 สถาปัตยกรรมระบบโทรศัพท์ที่ใช้งานผ่านระบบคลาวด์ 5

2.2 สถาปัตยกรรมของ WEBRTC 8

2.3 สถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อ โดยผ่าน WEBSOCKET โพรโทคอล 9

2.4 การระบุไอพีของผู้ใช้งานผ่าน STUN SERVER 10

2.5 สัญลักษณ์ ASTERISK 11

2.6 หน้าต่างโปรแกรม MICROSIP 12

2.7 สัญลักษณ์โปรแกรม XCODE 13

2.8 ค่าการคำนวณบิตเรตโดยใช้การเข้ารหัสชนิด H.264 18

3.1 สถาปัตยกรรมในการเชื่อมต่ออุปกรณ์กับ VOIP เซิร์ฟเวอร์ 21

3.2 การติดต่อสื่อสารผ่านทางบริการ ZEGOCLOUD 23

3.3 ขั้นตอนการสร้างเซิร์ฟเวอร์ผ่านทางบริการคลาวด์ AWS 24

3.4 ขั้นตอนการกำหนดค่าต่างๆของระบบไฟล์ ASTERISK 25

3.5 ขั้นตอนการทำงานของแอปพลิเคชันที่ใช้ทดสอบ VOIP 26

3.6 ขั้นตอนการทำงานของแอปพลิเคชันที่ใช้ทดสอบ WEBRTC 27

3.7 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของการรับส่งข้อมูล โดยการเปลี่ยนสภาพแวดล้อม 28

4.1 ผลการสร้างเซิร์ฟเวอร์บนบริการคลาวด์ AWS EC2 31

4.2 ผลการลงทะเบียนจากผู้ใช้งานบนเซิร์ฟเวอร์ 31

4.3 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 11 โปร โดยไม่มีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน .. 34

4.4 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 11 โปร โดยเปิดเฉพาะไมโครโฟน 35

4.5 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 11 โปร โดยมีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน 36

4.6 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 12 โปร โดยไม่มีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน .. 37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.7 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 12 โปร โดยมีการเปิดใช้งานเฉพาะไมโครโฟน.....38

4.8 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 12 โปร โดยมีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน.....40

4.9 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 13 โปร โดยไม่มีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน..41

4.10 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 13 โปร โดยมีการเปิดใช้งานเฉพาะไมโครโฟน 42

4.11 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 13 โปร โดยมีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน....43

4.12 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 14 โปร โดยไม่มีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน44

4.13 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 14 โปร โดยมีการเปิดใช้งานเฉพาะไมโครโฟน 45

4.14 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 14 โปร โดยมีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน....46

4.15 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านระบบปฏิบัติการ IOS 13.7 โดยมีการเปิดใช้งานทั้งไมโครโฟนและกล้อง 49

4.16 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านระบบปฏิบัติการ IOS 14.3 โดยมีการเปิดใช้งานทั้งไมโครโฟนและกล้อง 51

4.17 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านระบบปฏิบัติการ IOS 15.0 โดยมีการเปิดใช้งานทั้งไมโครโฟนและกล้อง 52

4.18 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านระบบปฏิบัติการ IOS 16.4 โดยมีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน....53

4.19 หน้าจอแสดงผลการเชื่อมต่อกับเครื่องจำลองระบบปฏิบัติการแอนดรอยเวอร์ชัน 9.0.....55

4.20 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านเครื่องจำลองระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เวอร์ชัน 9.0.....55

4.21 หน้าจอแสดงผลการเชื่อมต่อกับเครื่องจำลองระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เวอร์ชัน 10.0.....56

4.22 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านเครื่องจำลองระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เวอร์ชัน 10.0.....56

4.23 หน้าจอแสดงผลการเชื่อมต่อกับเครื่องจำลองระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เวอร์ชัน 11.0.....57

4.24 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านเครื่องจำลองระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เวอร์ชัน 11.0.....57

4.25 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์ไอโฟน 12 โปร บนเครือข่าย 4G 59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.26 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์ไอโฟน 12 โปร บนเครือข่าย 5G....60

4.27 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์ไอโฟน 12 โปร บนเครือข่าย WIFI 61

4.28 ผลการวัดการสื่อสารจากโทรศัพท์ไอโฟน ไปยังโทรศัพท์โนเกียร์....63

4.29 ผลการวัดการสื่อสารจากโทรศัพท์โนเกียร์ ไปยังโทรศัพท์ไอโฟน....64

4.30 ผลการวัดการสื่อสารจากเว็บเบราว์เซอร์ไปยังโทรศัพท์โนเกียร์....65

4.31 ผลการวัดการสื่อสารจากโทรศัพท์โนเกียร์ไปยังเว็บเบราว์เซอร์....67

4.32 ผลการวัดคุณภาพการสื่อสารจากโทรศัพท์ไอโฟนไปยังเว็บเบราว์เซอร์....68

4.33 ผลการวัดคุณภาพการสื่อสารจากเว็บเบราว์เซอร์ไปยังโทรศัพท์ไอโฟน....69

4.34 ประสิทธิภาพของเครื่องโทรศัพท์ไอโฟน....70

4.35 ผลการใช้งานการบริโภคแบตเตอรี่ของโทรศัพท์โนเกียร์....71

4.36 ผลการรายงานอุณหภูมิของเครื่องโทรศัพท์โนเกียร์....72

4.37 ผลการรายงานอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเครื่องโทรศัพท์โนเกียร์....72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

บทนี้กล่าวถึงที่มาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษาแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย รวมถึงขั้นตอนการศึกษาของงานวิจัย

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สิ่งหนึ่งที่ทำให้มนุษย์เป็นสัตว์สังคม คือการที่มนุษย์มีการติดต่อสื่อสารกัน ไม่ว่าจะเป็นการสื่อสารสองทาง (Two Way Communication) เช่น การพูดคุยกันหรือการแสดงออกโดยใช้ภาษามือ หรือจะเป็นการสื่อสารทางเดียว (One Way Communication) การสื่อสาร เช่น การเขียน การอ่าน และการแพร่ภาพ ฯลฯ ซึ่งผู้พูดเป็นผู้พูดเท่านั้นและผู้ฟังเป็นผู้พูดคนที่ฟังเท่านั้น ด้วยเหตุนี้การสื่อสารนั้นมีความสำคัญต่อการใช้ชีวิต โดยการติดต่อสื่อสารในปัจจุบันมีหลากหลายวิธี อย่างรวดเร็วตามเทคโนโลยี และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่พัฒนาขึ้นตามยุคสมัย โดยวิธีการติดต่อสื่อสารในปัจจุบันนั้นมีได้หลายรูปแบบ เช่น การโทรศัพท์ การส่งข้อความ การสื่อสารทางวิดีโอ (Video Conference) และการใช้งานโซเชียลมีเดีย

การส่งสัญญาณเสียงผ่านอินเทอร์เน็ต (VoIP) คือเทคโนโลยีการส่งข้อมูลด้วยเสียง ส่งและรับเสียงโดยใช้การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตบรอดแบนด์แทนสายโทรศัพท์ปกติ (หรือแอนะล็อก) VoIP แปลงโทรศัพท์เป็นข้อมูลที่ส่งผ่านอินเทอร์เน็ต ซึ่งสามารถนำไปใช้กับเครือข่ายข้อมูลบน IP ใด ๆ นั่นทำให้สามารถโทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ตได้ เช่น การโทรศัพท์ผ่านแอปพลิเคชันหรืออุปกรณ์ VoIP ที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายอินเทอร์เน็ต โดยหลังจากที่ VoIP ได้ถูกนำมาใช้งานสักพักก็ได้มีการพัฒนาเพิ่มเติม ให้มีความสามารถเพิ่มเติมและรองรับการสื่อสารแบบ Real-Time ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ด้วยเทคโนโลยี WebRTC (Web Real-Time Communication) ที่มาพร้อมกับ เอพีไอ (Application Programming Interface) สำหรับการสื่อสารทางเสียงและวิดีโอผ่านอินเทอร์เน็ตไอพี (VoIP)

ทั้งนี้ปัญหาการใช้งานบริการ VoIP ผ่านทางอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยการข้ามแพลตฟอร์ม (Cross Platform) มีได้หลากหลาย เช่น ด้านความสามารถในการเข้ากันได้ของแพลตฟอร์มอุปกรณ์ และการรองรับเวอร์ชันของซอฟต์แวร์ การรับส่งข้อมูลบนเครือข่ายและแบนด์วิดท์ที่จำกัด และคุณภาพการบริการ VoIP โดยงานวิจัยนี้นำเสนอการใช้งานระบบ VoIP และ WebRTC โดยทำการสร้างแอปพลิเคชันทดสอบประสิทธิภาพการเชื่อมต่อของแพลตฟอร์มต่าง ๆ (เว็บเบราว์เซอร์ โปรแกรมบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ อุปกรณ์มือถือแอนดรอยด์ อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มือถือระบบปฏิบัติการ IOS) และมีการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพในการใช้บริการ WebRTC ของอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่ต่างกัน รวมถึงระบบเครือข่ายที่ต่างกันอีกด้วย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์

1. เพื่อพัฒนาแพลตฟอร์มที่สามารถใช้งานบริการ VoIP ที่ใช้บริการได้ทุกแพลตฟอร์ม
2. เพื่อทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของแพลตฟอร์มต่าง ๆ ที่ใช้บริการ VoIP และ WebRTC
3. เพื่อทดสอบประสิทธิภาพ บริการ VoIP และ WebRTC ผ่านสภาพแวดล้อมต่างๆการใช้งานต่างทั้งในด้านเครือข่าย ฮาร์ดแวร์ ระบบปฏิบัติการ และ จำนวนผู้ใช้งาน

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

หลักการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือการสร้างแอปพลิเคชันและการสร้าง VoIP เซิร์ฟเวอร์บนคลาวด์ สำหรับการสร้างแอปพลิเคชันจะใช้เฟรมเวิร์กที่มีชื่อว่า ฟลัตเตอร์ (Flutter) ซึ่งสามารถทำงานได้ทั้งระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และระบบปฏิบัติการ IOS ใช้ภาษา dart ในการพัฒนาโปรแกรม โดยในส่วนของเซิร์ฟเวอร์จะใช้บริการคลาวด์ บริษัท อะเมซอน เว็บ เซอร์วิสเซส (AWS) ในการสร้าง VoIP เซิร์ฟเวอร์ โดยในการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับเซิร์ฟเวอร์ จะนำไลบรารี่สำเร็จรูปชื่อว่า sip_ua ในการเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ และในส่วนของการทดสอบ WebRTC นั้น ได้มีการนำ API จาก zegocloud ซึ่งเป็นผู้ให้บริการ API สำหรับการโทรด้วยเสียง/วิดีโอและการสตรีมสดในแอปพลิเคชัน จากนั้นทำการทดสอบประสิทธิภาพทั้งในเรื่องของคุณภาพในการโทรจากหน้าแดชบอร์ดของบริการบน zegocloud รวมถึงประสิทธิภาพของเครื่องอุปกรณ์ในขณะทำการโทรหรือวิดีโอคอลด้วยโปรแกรม Xcode สำหรับแพลตฟอร์ม IOS และ Android Debug Bridge สำหรับแพลตฟอร์ม Android

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

1. สามารถเชื่อมต่อแพลตฟอร์มกับทาง VoIP server และติดต่อสื่อสารกับผู้ใช้งานอื่นได้
2. ประยุกต์จาก VoIP server เป็นการสร้างการสื่อสารแบบ Real-Time ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ด้วยเทคโนโลยี WebRTC
3. ทำการสร้างแอปพลิเคชันที่สามารถใช้งานได้ทั้งระบบปฏิบัติการ android และ IOS โดยสามารถรับส่งข้อมูลกับทางผู้รับที่เป็นภาพเคลื่อนไหวและเสียงแบบ real time ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. ทำการทดสอบและประเมินประสิทธิภาพของการติดต่อสื่อสาร โดยใช้ตัวบ่งชี้ 4 ค่า ได้แก่ ปริมาณการส่งข้อมูลในหนึ่งหน่วยเวลา (Bitrate) การวัดความล่าช้าในการส่งข้อมูล (Latency) และ เวลาที่ใช้ในการเริ่มต้นการโทร (Call Setup Time) ปริมาณการสูญหายของแพ็กเก็ต (Packet Loss)

5. ทำการทดสอบและประเมิน ประสิทธิภาพของตัวอุปกรณ์ในขณะโทรหรือวิดีโอคอล จากตัวบ่งชี้ 3 ค่า คือ ปริมาณการใช้หน่วยประมวลผลกลาง (CPU Usage) ปริมาณการรับส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย (Network) และ ปริมาณหน่วยความจำที่ใช้ (Memory Usage)

1.5 ขั้นตอนของการศึกษา

ขั้นตอนของการศึกษาและดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วย 7 ขั้นตอน ดังนี้

1. ค้นคว้าและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้งาน VoIP และ WebRTC กับแพลตฟอร์มต่าง ๆ รวมทั้งการนำไปประยุกต์กับอุตสาหกรรมอื่นๆ
2. กำหนดหัวข้อที่จะทำการวิจัย ตั้งสมมุติฐานเกี่ยวกับการใช้งาน VoIP และ WebRTC กับแพลตฟอร์ม
3. ทำการออกแบบสถาปัตยกรรมที่ใช้ และเลือกเครื่องมือที่จะใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน การสร้าง VoIP Server และ โอเพ้นซอร์ส API สำหรับการสื่อสารแบบเรียลไทม์
4. ทำการพัฒนาแอปพลิเคชันบนแพลตฟอร์ม IOS Android และ Web browser รวมถึงการตั้งค่าเซิร์ฟเวอร์บน AWS ให้เป็น VoIP Server
5. ทำการทดลองการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ต่างระบบปฏิบัติการเข้าด้วยกัน ทั้งการเชื่อมต่อผ่านทาง VoIP Server และเชื่อมต่อกันผ่านทาง WebRTC API
6. ประเมินผลการทดลองการติดต่อสื่อสารของแพลตฟอร์มต่าง ๆ โดยผ่าน VoIP Server และ WebRTC API
7. ทำการสรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทนี้จะกล่าวถึงวรรณกรรมและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ประกอบด้วย การติดต่อสื่อสารข้อมูลเสียงผ่านอินเทอร์เน็ต การรับส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ การพัฒนาเทคโนโลยีโมบายแอปพลิเคชัน การวัดประเมินผลการรับส่งข้อมูล การวัดประสิทธิภาพของตัวอุปกรณ์ที่ใช้

2.1 การติดต่อสื่อสารข้อมูลเสียงผ่านทางอินเทอร์เน็ต (VoIP)

VoIP เป็นเทคโนโลยีที่ส่งและรับเสียงรวมถึงวิดีโอ โดยใช้การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตบรอดแบนด์แทนสายโทรศัพท์ปกติ (Analog) VoIP แปลงโทรศัพท์เป็นข้อมูลที่ส่งผ่านอินเทอร์เน็ต ซึ่งสามารถนำไปใช้กับเครือข่ายข้อมูลบนอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (Internet Protocol: IP) เช่น อินเทอร์เน็ต อินทราเน็ต และเครือข่ายท้องถิ่นผ่านเครือข่าย

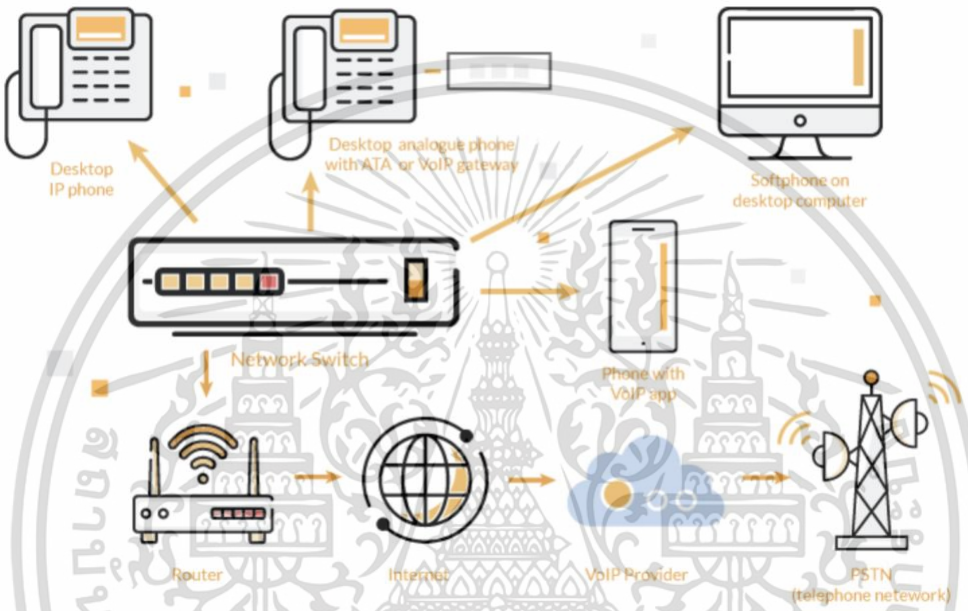
2.1.1 ประวัติของ VoIP

ประมาณ 20 ปีที่แล้ว กระบวนการติดต่อสื่อสารกับคนที่อยู่คนละที่ มีเพียงไม่กี่ขั้นตอนก็คือ การกดหมายเลขที่โทรศัพท์ แล้วทำการกดโทรออก จากนั้น สายโทรออกเหล่านั้นก็จะผ่านบริการโทรศัพท์พื้นฐานสาธารณะ (Public Switched Telephone Network) จากความต้องการโทรที่เพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ แต่ในขณะที่การเชื่อมต่อมีความเสถียร เพื่อการสร้างโอกาสสำหรับทางเลือกของบริการโทรศัพท์สาธารณะ ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลเสียงรวมถึงสัญญาณวิดีโอเป็นข้อมูลแพ็กเก็ตและทำการส่งข้อมูลโดยใช้อินเทอร์เน็ตเป็นสื่อกลางในการรับส่งข้อมูล โดยในช่วงต้นของปี 2000 VoIP ได้รับความนิยมมากและได้รับความสนใจอย่างรวดเร็ว เมื่อการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตดีขึ้นและบรอดแบนด์แพร่หลายมากขึ้น เทคโนโลยี VoIP ก็ได้รับแรงผลักดัน จนกระทั่ง บริษัท Yahoo ประกาศเวอร์ชันล่าสุดที่ให้ความสะดวกสบายแก่ผู้ใช้งาน โดยการที่สามารถโทรได้ทุกที่ทั่วโลกโดยผ่านทางอินเทอร์เน็ต การประกาศในครั้งนี้ถือว่าเป็นการปฏิวัติครั้งใหญ่ในอุตสาหกรรมโทรคมนาคม โดยหลังจากนั้นในช่วงกลางทศวรรษที่ 2000 เทคโนโลยี VoIP เริ่มรวมเข้ากับเครือข่ายมือถือ ทำให้สามารถโทรผ่านเครือข่ายข้อมูลเซลลูลาร์ได้ แอปพลิเคชันและบริการ Mobile VoIP เช่น WhatsApp, Viber และ FaceTime กลายเป็นที่นิยมสำหรับการโทรด้วยเสียงและวิดีโอบนสมาร์ตโฟน และในช่วงปี 2010 เทคโนโลยี VoIP พัฒนาอย่างต่อเนื่อง ด้วยความก้าวหน้าของตัวแปลงสัญญาณเสียง โครงสร้างพื้นฐานของเครือข่าย และคุณภาพของบริการ และมีการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พัฒนาเทคโนโลยี ระบบการสื่อสารแบบเรียลไทม์ผ่านเว็บเบราว์เซอร์ (WebRTC) โดยเป็นส่วนขยายมาจาก VoIP โดยเน้นความสามารถเพิ่มเติมและมุ่งเน้นไปที่การสื่อสารบนเว็บไซต์

2.1.2 โครงสร้างพื้นฐานของระบบ VoIP



รูปที่ 2.1 สถาปัตยกรรมระบบโทรศัพท์ที่ใช้งานผ่านระบบคลาวด์
จากเว็บไซต์ https://www.globalcallforwarding.com/blog/what-is-a-VoIP-infrastructure/

สถาปัตยกรรมของระบบ VoIP นั้น มีได้หลากหลายรูปแบบ โดยขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ใช้งาน รวมถึงขนาดขององค์กรด้วย โดยดังรูป 2.1 เป็นสถาปัตยกรรมแบบระบบโทรศัพท์ที่ใช้งานผ่านระบบคลาวด์ (Cloud-Based-Phone-System) สามารถใช้งานได้ผ่านอินเทอร์เน็ต ไม่ต้องมีฮาร์ดแวร์ติดตั้งแยกต่างหาก ระบบ VoIP ถูกบริหารจัดการโดยเซิร์ฟเวอร์ของผู้ให้บริการคลาวด์ ซึ่งสถาปัตยกรรมแบบระบบคลาวด์ไม่จำเป็นต้องกังวลเกี่ยวกับการปฏิบัติการและการบำรุงรักษาเซิร์ฟเวอร์ แค่มีอุปกรณ์โทรศัพท์ตั้งโต๊ะหรือ โทรศัพท์ที่มีแอปพลิเคชัน VoIP ก็สามารถใช้งานโทรติดต่อสื่อสารกันได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 VoIP โพรโทคอล

การใช้งานบริการ VoIP การประชุมทางวิดีโอต้องใช้โพรโทคอลการส่งสัญญาณ (Signaling Protocol) เพื่อตั้งค่าเซสชันระหว่างจุดสิ้นสุดและโพรโทคอลในการส่งสตรีมสื่อ (Media Transfer Protocol) โพรโทคอลมาตรฐานที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนสตรีมสื่อระหว่างจุดสิ้นสุดของเซสชันที่จัดตั้งขึ้น

2.1.3.1 โพรโทคอลในการส่งสตรีมสื่อ

โพรโทคอลในการส่งสตรีมสื่อ มีหลายโพรโทคอลที่ใช้สำหรับการขนส่งสื่อ เช่น

1. RTP (Real-time Transport Protocol): RTP เป็นโพรโทคอลที่ใช้สำหรับการส่งสื่อเสียงและสื่อที่มีการเคลื่อนไหวในเวลาจริง โดยมักใช้ร่วมกับโพรโทคอล RTCP (Real-time Transport Control Protocol) เพื่อจัดการการส่งข้อมูลและการควบคุมคุณภาพเสียง
2. SRTP (Secure Real-time Transport Protocol): SRTP เป็นรูปแบบของ RTP ที่เพิ่มระดับความปลอดภัย โดยใช้การเข้ารหัสข้อมูลการสื่อสาร เช่น AES (Advanced Encryption Standard) เพื่อป้องกันการแทรกแซงและการดักฟังข้อมูล
3. RTSP (Real-time Streaming Protocol): RTSP เป็นโพรโทคอลที่ใช้สำหรับการควบคุมการสื่อสารเสียงและวิดีโอในรูปแบบการสตรีมมิ่ง (streaming) โดยใช้โพรโทคอลแบบเรียลไทม์
4. SCTP (Stream Control Transmission Protocol): SCTP เป็นโพรโทคอลการสื่อสารที่ใช้สำหรับการส่งข้อมูลเสริมความเสถียรภาพในรูปแบบของความสามารถในการจัดส่งข้อมูลที่หลากหลาย และการกู้คืนข้อมูลที่สูญหาย

2.1.3.2 โพรโทคอลการส่งสัญญาณ

โพรโทคอลการส่งสัญญาณหลักที่มีการนำมาใช้ในระบบ VoIP แบบเชื่อมต่อไคลเอ็นต์-เซิร์ฟเวอร์ ได้แก่ H.323, SIP และ IAX

1. โพรโทคอล H.323 เป็นโพรโทคอลที่เอาไว้สร้างการเชื่อมต่อของ VoIP รวมถึงการกำหนดฟังก์ชันการส่งสัญญาณแบบเรียลไทม์ การสื่อสารแบบนี้จะส่งข้อมูลจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งโดยแบ่งข้อมูลออกเป็นส่วนเล็ก ๆ เรียกว่า แพ็กเก็ต เพื่อส่งไปยัง เป้าหมายตามสายสื่อสารที่เร็วที่สุดโพรโทคอลนี้ได้รับการรับรองมาตรฐานโดย ITU เมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ. 2539 โดย H.323 [2] เป็นแนวทางการส่งสัญญาณแรกใช้สาธารณะสำหรับการปรับใช้ระบบ VoIP ร่วมกับโพรโทคอล RTP

2. SIP (Session Initiation Protocol) โพรโทคอล ที่เอาไว้จัดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตั้งค่าและการแยกเซสชันมัลติมีเดียระหว่างจุดสิ้นสุด ในการส่งสัญญาณ SIP จะทำงานร่วมกับโพรโทคอลตัวอื่น ๆ โดยส่งผ่านทั้ง Transmission Control โพรโทคอล (TCP) หรือ User Defined Protocol (UDP)

3. IAX (Inter Asterisk Exchange) เป็นหนึ่งในวิธีการที่ใช้มากที่สุดสำหรับการปรับใช้ระบบ VoIP ตรงกันข้ามกับโพรโทคอล H.323 และ SIP โดย IAX ให้บริการชุดรักษาความปลอดภัยจริง ๆ แล้วจะช่วยให้การตรวจสอบข้อความและการรักษาความลับ และรองรับการส่งผ่าน NAT (Network Address Translation)

2.1.3.3 โพรโทคอลที่ใช้รับส่งข้อมูลบนอินเทอร์เน็ต

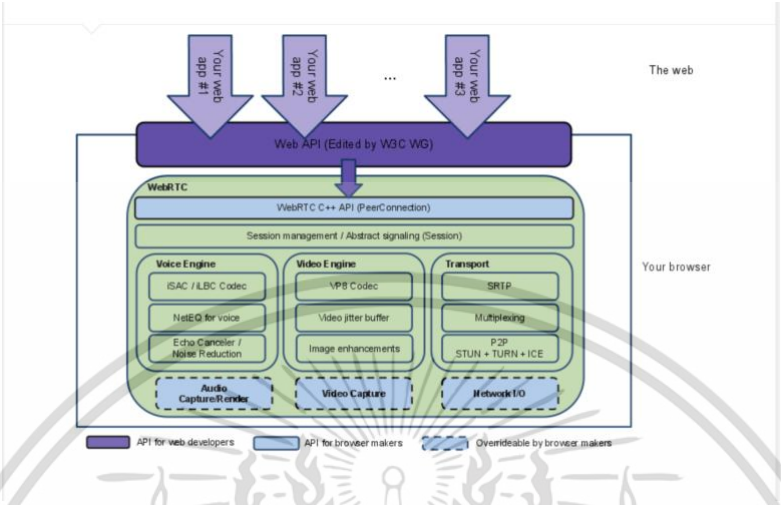
ในการส่งข้อมูลเสียงและวิดีโอนั้นจะแปลงข้อมูลแอนะล็อกเป็นแพ็กเก็ตแล้วส่งข้อมูลผ่านทางอินเทอร์เน็ตจากชั้นเน็ตเวิร์ก (Network Layer) ไปยังชั้นบนสุดของขั้นตอนการรับส่งข้อมูล (Application Layer) ปลายทางจากนั้นส่งไปยังปลายทาง โดยมีโพรโทคอลที่ใช้อยู่ 2 รูปแบบได้แก่ TCP (Transmission Control Protocol) เป็นโพรโทคอลที่ให้บริการแบบมีการตรวจสอบข้อมูลก่อนส่ง (Connection Oriented) มีการรับประกันความถูกต้องของข้อมูล และ UDP (User Datagram Protocol) เป็นโพรโทคอลที่ให้บริการแบบไม่รับประกันความถูกต้องของข้อมูล (Connectionless) แพ็กเก็ตข้อมูลจะถูกส่งโดยเร็วที่สุดโดยไม่ต้องตรวจสอบเพื่อให้แพ็กเก็ตทั้งหมดได้รับหรือได้รับตามลำดับที่ถูกต้อง โดยสำหรับการเกิดข้อผิดพลาดนั้นจะมาอยู่ในรูปแบบของการกระตุก (Jitter) โดย UDP เหมาสำหรับบริการVoIP เนื่องจากการโทรตามเวลาจริงและไม่มีการขัดจังหวะโดยความล่าช้า

2.2 การรับส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ (WebRTC)

WebRTC เป็นระบบการสื่อสารข้อมูลแบบเรียลไทม์ เช่น เสียง วิดีโอ ผ่านทางเว็บเบราว์เซอร์ ให้บริการแบบฟรี ที่ช่วยให้สามารถสื่อสารแบบเพียร์ทูเพียร์ระหว่างเว็บเบราว์เซอร์และแอปพลิเคชันมือถือผ่าน จาวาสคริป API แบบง่าย โดย WebRTC มีบริการแบบเรียลไทม์มากมายที่ไม่ได้มีแค่การข้อมูลเสียงหรือวิดีโอ โดยบริการที่มีเพิ่มเข้ามากมาย เช่น การแชร์หน้าจอ การประชุมวิดีโอสำหรับผู้ใช้งานหลายคน การแชร์ไฟล์ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.1 สถาปัตยกรรมและของ WebRTC



รูปที่ 2.2 สถาปัตยกรรมของ WebRTC

จากเว็บไซต์ https://princiya777.wordpress.com/2017/08/19/webrtc-architecture-protocols/

จากรูปสถาปัตยกรรมประกอบด้วย โปรแกรมเสียง โปรแกรมวิดีโอ และเครื่องมือสำหรับการขนส่งและการสื่อสารแปลว่า สิ่งที่เกี่ยวข้องกับการเข้ารหัสสื่อ (แปลงเสียงและวิดีโอจากไฟล์รูปแบบอื่น) และการบีบอัด เช่นเดียวกับเครือข่ายระดับต่ำ ถูกจัดการโดยเฟรมเวิร์กเว็บเบราว์เซอร์และแอปพลิเคชันพื้นฐานอื่น ๆ สามารถเข้าถึงได้ เฟรมเวิร์กผ่าน C++ API เว็บแอปพลิเคชัน ไม่สามารถเข้าถึง API ระดับต่ำนี้ เพื่อความปลอดภัยและเหตุผลในการทำงานร่วมกัน ดังนั้นเว็บเบราว์เซอร์จึง เป็นทางเลือกอีกวิธีหนึ่งสำหรับนักพัฒนาที่จะใช้ วิธีในการทำงานเช่นนี้ คือผ่าน JavaScript API เว็บแอปพลิเคชันสามารถใช้งาน JavaScript API มาตรฐานเพื่อเข้าถึงฟังก์ชันการทำงาน

2.2.2 หลักการทำงานของ WebRTC

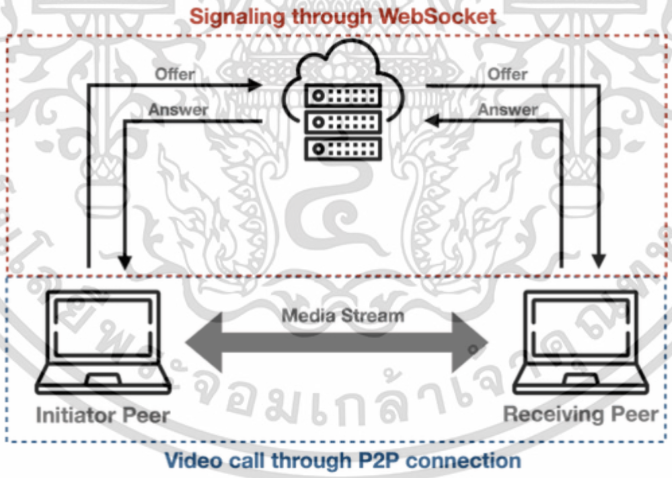
WebRTC เป็นโครงการโอเพ่นซอร์สที่ช่วยให้สามารถสื่อสารแบบเรียลไทม์ ระหว่างเว็บเบราว์เซอร์หรือแอปพลิเคชันอื่น ๆ โดยใช้ชุดของ API และโพรโทคอล ช่วยให้สามารถสื่อสารแบบ จุดต่อจุด (Peer to Peer) สำหรับเสียง วิดีโอ และการแบ่งปันข้อมูลโดยไม่ต้องใช้ปลั๊กอิน หรือการติดตั้งซอฟต์แวร์เพิ่มเติม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2.1 สัญญาณ

ก่อนสร้างการเชื่อมต่อโดยตรงแบบจุดต่อจุด การสื่อสารจำเป็นต้องแลกเปลี่ยนข้อมูลเกี่ยวกับที่อยู่ของเครือข่าย รายละเอียดเซสชัน และข้อมูลของสื่อ วิธีการนี้เรียกว่าการส่งสัญญาณ และไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของข้อกำหนด WebRTC สามารถนำไปใช้ได้โดยใช้โพรโทคอลที่แตกต่างกัน เช่น WebSocket โพรโทคอล SIP หรือรูปแบบการส่งสัญญาณที่กำหนดขึ้นมาเอง

Websocket โพรโทคอล เป็นโพรโทคอลที่ใช้บนเว็บไซต์และอนุญาตให้การเชื่อมต่อแบบสองทางโดยใช้ TCP หรือ Transport Layer Security (TLS) เป็นเทคโนโลยีการเข้ารหัสข้อมูล เพื่อเพิ่มความปลอดภัยในการสื่อสารหรือการส่งข้อมูผ่านเครือข่าย เพื่อสื่อสารระหว่างเว็บไคลเอ็นต์กับเซิร์ฟเวอร์ระยะไกล websocket ปล่อยให้เซสชันเปิดสำหรับข้อความจากทั้งสองทิศทาง โดยรูปแบบการเชื่อมต่อดังรูป 2.3



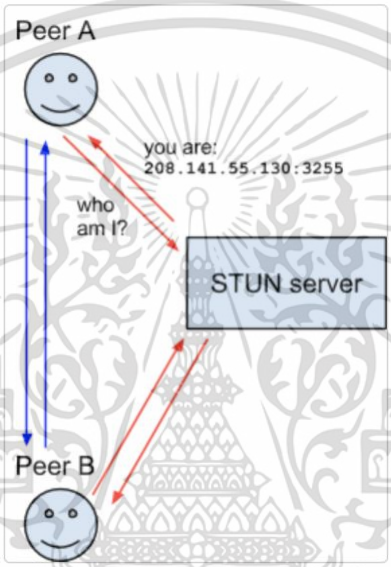
รูปที่ 2.3 สถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อ โดยผ่าน Websocket โพรโทคอล

จากเว็บไซต์ https://blog.theodo.com/2021/01/webRTC-websockets-video-call-app/

2.2.2.2 การเชื่อมต่อแบบจุดต่อจุด (Peer to Peer)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการเชื่อมต่อระหว่าง 2 อุปกรณ์ อุปกรณ์ 2 เครื่องจำเป็นที่จะต้องทราบรายละเอียดซึ่งกันและกัน โดยตัวอุปกรณ์ก็พยายามค้นหาซึ่งวิธีที่ดีที่สุดในการเชื่อมต่อกันโดยใช้ ICE โพรโทคอล (Interactive Connectivity Establishment) คือ โพรโทคอลที่หาวิธีที่ดีที่สุดในการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ โดยใช้ STUN (Session Traversal Utilities for Network Address Translation) และ TURN (Traversal Using Relays around Network Address Translation) เพื่อค้นหาที่อยู่เครือข่ายและรีเลย์สื่อหากไม่สามารถสื่อสารแบบเพียร์ทูเพียร์ได้โดยตรง



รูปที่ 2.4 การระบุไอพีของผู้ใช้งานผ่าน stun server
จาก เว็บไซต์ https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/API/WebRTC_API/Protocols

2.2.2.3 Media Stream Transmission and Reception

สตรีมสื่อที่บันทึกจะถูกเข้ารหัสและส่งผ่านเครือข่ายโดยใช้ Real-Time Transport Protocol (RTP) หรือ Secure Real-Time Transport Protocol (SRTP) สำหรับการสื่อสารที่เข้ารหัส โดยทั่วไปข้อมูลจะถูกส่งโดยใช้ User Datagram Protocol (UDP) หรือ Transmission Control Protocol (TCP) ตามเงื่อนไขและข้อกำหนดของเครือข่าย เมื่อสิ้นสุดการรับ เบราว์เซอร์จะรับสตรีมมีเดียและถอดรหัสเพื่อเรนเดอร์เสียงและวิดีโอ สื่อที่แสดงผลสามารถแสดงในองค์ประกอบ HTML เช่น ข้อมูลวิดีโอและเสีย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โปรแกรมและเฟรมเวิร์กที่ใช้ในการพัฒนา

ในการพัฒนาแพลตฟอร์มและทดสอบประสิทธิภาพของระบบ VoIP นั้นใช้เครื่องมือดังนี้

2.3.1 Asterisk

รูปที่ 2.5 สัญลักษณ์ asterisk

จากเว็บไซต์ https://www.asterisk.org/

ในปัจจุบัน ผู้ให้บริการซอฟต์แวร์ VoIP หลายราย Asterisk เป็นหนึ่งใน VoIP แบบโอเพ่นซอร์สที่ได้รับความนิยมมากที่สุด ซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่หลักเป็นซอฟต์สวิตช์ (IP-PBX) หรือไอพีโฟน นอกจากนี้ยังควบคุมและจัดการการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องโทรศัพท์ผ่านเครือข่ายอีกด้วย เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพและการกำหนดค่าที่ง่ายดาย ผู้ใช้สามารถปรับฐานโมดูลโทรศัพท์ตามความต้องการเครื่องหมายดอกจัน ยังรองรับโพรโทคอลต่าง ๆ มากมาย เช่น SIP, H.323, Skinny client control protocol (SCCP) และโพรโทคอลการควบคุมเกตเวย์สื่อ (MGCP) นอกจากนี้ ยังมีความสามารถในการบีบอัดสำหรับแบนด์วิดท์เครือข่ายประหยัด ตัวแปลงสัญญาณที่นิยมมากที่สุด คือ G.711, G.722, G.723 และ G729 การที่ Asterisk นั้นมีความยืดหยุ่น เนื่องจากมีระบบไฟล์มากมายสำหรับการปรับเปลี่ยนเพื่อให้สามารถจัดการและปรับระบบได้ขึ้นอยู่กับความต้องการ

2.3.2 MicroSIP

MicroSIP เป็นโทรศัพท์ VoIP ซอฟต์แวร์โอเพ่นซอร์สสำหรับระบบปฏิบัติการ window ที่ช่วยในการทดสอบการโทรผ่าน VoIP Server โดยการทำการจัดการบัญชีดังรูป 2.6 กรอกที่อยู่ IP และชื่อผู้ใช้ รหัสผ่านสำหรับการรับรองความถูกต้องด้วยบริการ VoIP นอกจากนั้น microSIP สามารถตั้งค่าโหมดการจัดการและการตั้งค่าอื่นๆ เช่น เปลี่ยนโหมดการโทร ตัวแปลงสัญญาณ และเสียงเรียกเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.6 หน้าต่างโปรแกรม MicroSIP

2.3.3 ฟลัตเตอร์ (Flutter)

Flutter คือ framework ที่ไว้ใช้สำหรับสร้าง UI ของการพัฒนาแอปพลิเคชัน โดยภาษาที่ใช้ใน Flutter นั้น คือ ภาษา ดาท ซึ่งถูกพัฒนาโดย Google และที่สำคัญคือเป็น open source ที่สามารถใช้งานได้แบบฟรี ๆ อีกด้วย ซึ่งฟลัตเตอร์เฟรมเวิร์กนั้น รองรับการทำงานบนแพลตฟอร์มได้ทั้งแพลตฟอร์มแอนดรอยด์ หรือแพลตฟอร์ม IOS สำหรับ flutter นั้นยังสามารถทดสอบกับอุปกรณ์จริง ๆ ได้ผ่านทางการต่อสายเข้ากับคอมพิวเตอร์ โดยไลบรารี่ที่ได้มีการนำมาใช้ ได้แก่ SIP-UA (Session Initiation Protocol User Agent) ในการเชื่อมต่อเข้ากับ VoIP เซิร์ฟเวอร์ และได้ใช้ ไลบรารี่ zego_uikit_prebuilt_video_conference และไลบรารี่ zego_uikit_signaling_plugin สำหรับการทดสอบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ โดยวิธีการ Web-RTC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4 Xcode

รูปที่ 2.7 สัญลักษณ์โปรแกรม Xcode

Xcode พัฒนาโดย Apple Inc. เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแอปพลิเคชันซอฟต์แวร์ สำหรับแพลตฟอร์มที่หลากหลายของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดของบริษัท แอปเปิ้ล ไม่ว่าจะเป็นโทรศัพท์ไอโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ IOS เครื่องแมคที่ใช้ระบบปฏิบัติการ MacOS และอื่น ๆ อีกมากมาย ด้วยชุดเครื่องมือและฟีเจอร์ที่ครอบคลุม Xcode ช่วยให้นักพัฒนาสามารถสร้างแอปพลิเคชันพิเศษที่ผสานเข้ากับสภาพแวดล้อมของ Apple ได้อย่างไร้รอยต่อ โดยฟังก์ชันของ Xcode ที่ได้ทำการนำมาใช้มีดังนี้

1. การทดสอบเครื่องจำลองและอุปกรณ์ โปรแกรมจำลองของ Xcode จำลองสภาพแวดล้อมการทดสอบ ซึ่งช่วยให้นักพัฒนาสามารถทดสอบแอปพลิเคชันบนอุปกรณ์เสมือนที่หลากหลายโดยไม่จำเป็นต้องใช้ฮาร์ดแวร์จริง เครื่องจำลองจำลองขนาดหน้าจอ ความสามารถของอุปกรณ์ และเวอร์ชันของระบบปฏิบัติการต่างๆ ได้อย่างแม่นยำ ทำให้มั่นใจได้ถึงการทดสอบที่ครอบคลุม นอกจากนี้ ยังสามารถใช้งานและทดสอบแอปพลิเคชันได้โดยตรงบนอุปกรณ์ IOS ที่เชื่อมต่อ ซึ่งช่วยอำนวยความสะดวกในสถานการณ์การทดสอบกับบนอุปกรณ์จริงที่ใช้กันในปัจจุบัน

2. การวัดและประเมินผล การวัดและประเมินผลบน Xcode (Xcode Instruments) เป็นชุดเครื่องมือวิเคราะห์ประสิทธิภาพและแก้จุดบกพร่องของแอปพลิเคชัน ซึ่งจะให้ข้อมูลเชิงลึกแก่นักพัฒนา ในด้านต่าง ๆ ของประสิทธิภาพของแอปพลิเคชัน รวมถึงการใช้งาน CPU การจัดสรรหน่วยความจำ การใช้งานเครือข่าย และบริโภคใช้พลังงาน โดยเครื่องมือ Xcode ช่วยระบุปัญหาคอขวดของประสิทธิภาพ การรั่วไหลของหน่วยความจำ และปัญหาอื่น ๆ ที่อาจส่งผลกระทบต่อการใช้งานแอปพลิเคชันของผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 Android Studio

Android Studio เป็นเครื่องมือที่ถูกนำมาใช้พัฒนาแอปพลิเคชันภายใต้ระบบปฏิบัติการแอนดรอย พัฒนาโดยบริษัท Google มีการควบคุมและตั้งค่าสภาพแวดล้อมในการพัฒนา มีชุดเครื่องมือและคุณสมบัติที่ครอบคลุมที่ช่วยให้นักพัฒนาสามารถสร้างแอปพลิเคชันคุณภาพสูง ฟีเจอร์หลากหลาย สามารถกำหนดรุ่นของ แอรดรอย เอพีไอ และฮาร์ดแวร์ต่าง ๆ ที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ได้อีกด้วย และนอกจากนี้ยังมีฟีเจอร์ Android Debug Bridge (adb) เป็นเครื่องมือที่ใช้สื่อสารกับอุปกรณ์ คำสั่ง adb ช่วยอำนวยความสะดวกในการดำเนินการต่าง ๆ ของอุปกรณ์ เช่น การติดตั้งและการดีบักแอป adb ให้การเข้าถึงเชลล์ Unix ที่คุณสามารถใช้เพื่อรันคำสั่งต่าง ๆ บนอุปกรณ์

2.4 บริการคลาวด์ที่ใช้

2.4.1 การประมวลผลบน อะเมซอน คลาวด์ (Amazon EC2)

Amazon EC2 เป็นบริการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างอุปกรณ์ในโลกอินเทอร์เน็ต (Web Service) ให้บริการโดยบริษัท อะเมซอนเว็บเซอร์วิส ซึ่งมีทรัพยากรการประมวลผลที่ปรับขนาดได้ในระบบคลาวด์ ช่วยให้นักพัฒนาสามารถเรียกใช้เซิร์ฟเวอร์เสมือนหรือที่เรียกว่าอินสแตนซ์ด้วยการกำหนดค่าที่แตกต่างกันเพื่อตอบสนองความต้องการผู้ใช้งานในส่วนของฮาร์ดแวร์เซิร์ฟเวอร์ ทำให้การใช้บริการมีความยืดหยุ่น และปรับขนาดได้ ซึ่งให้บริการอินสแตนซ์เซิร์ฟเวอร์เสมือนสำหรับการเรียกใช้แอปพลิเคชันและการจัดการปริมาณงานในระบบคลาวด์

2.4.2 Zegocloud

ZegoCloud เป็นแพลตฟอร์มที่ใช้เทคโนโลยี WebRTC สำหรับการสื่อสารและการทำงานร่วมกันแบบเรียลไทม์ ZegoCloud ให้บริการและโซลูชันที่หลากหลายสำหรับการประชุมทางวิดีโอ การสตรีมสด การออกอากาศแบบโต้ตอบ และสถานการณ์การสื่อสารแบบเรียลไทม์อื่น ๆ ด้วยการใช้ประโยชน์จากเทคโนโลยี WebRTC ทำให้ ZegoCloud ช่วยให้สามารถสื่อสารด้วยเสียงและวิดีโอแบบเพียร์ทูเพียร์ได้โดยตรงระหว่างผู้ใช้โดยไม่จำเป็นต้องใช้ปลั๊กอินหรือการติดตั้งซอฟต์แวร์เพิ่มเติม สิ่งนี้ทำให้ได้รับประสบการณ์การสื่อสารแบบเรียลไทม์ที่ราบรื่น และมีคุณภาพสูงโดยตรงภายในเว็บเบราว์เซอร์ หรือแอปพลิเคชันมือถือ ด้วยการใช้เทคโนโลยี WebRTC ทำให้มีคุณลักษณะต่าง ๆ เช่น การเข้ารหัสวิดีโอและเสียงตามเวลาจริง การส่งผ่านสตรีมสื่อ การข้าม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านเครือข่าย และการสื่อสารที่ปลอดภัย เพื่อให้มั่นใจว่าผู้ใช้จะได้รับประสบการณ์การสื่อสารแบบเรียลไทม์ที่ใช้งานได้ดีและเชื่อถือได้

2.5 การวัดและประเมินผลของ VoIP

2.5.1ทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์แพลตฟอร์ม ไอโอเอส และ แอนดรอยด์

1.) ปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผล (CPU Usage)

ในการรับส่งข้อมูลภาพและเสียงผ่านทางบริการ VoIP นั้น เครื่องอุปกรณ์ มีการใช้หน่วยประมวลผลรวมถึง การจัดการโหลดที่สูงเนื่องมาจากการรับและส่งข้อมูลที่เป็น เสียงและวิดีโอที่มาจากหลายๆ แหล่งในเวลาเดียวกัน โดยหน่วยประมวลผลของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และไอโอเอสนั้นมีความแตกต่างกันในด้านสถาปัตยกรรม และประสิทธิภาพในการประมวลผลตามฮาร์ดแวร์ของตัวเครื่อง

2.) ปริมาณการใช้งานหน่วยความจำ (Memory Usage)

แสดงถึงปริมาณการใช้หน่วยความจำของอุปกรณ์ในขณะที่มีการรับส่งข้อมูล ภาพ และวิดีโอ โดยปริมาณการใช้หน่วยความจำแสดงถึงประสิทธิภาพของหน่วยความจำและพื้นที่เก็บข้อมูลของตัวอุปกรณ์ โดยระบบปฏิบัติการ IOS และ แอนดรอยด์ มีความแตกต่างกันในด้านระบบจัดการหน่วยความจำและการจัดสรรทรัพยากร

3.) ปริมาณการใช้งานเครือข่าย (Network)

แสดงถึงปริมาณข้อมูลที่มีการรับส่งผ่านของตัวอุปกรณ์ โดยรายละเอียดจะสามารถระบุได้ว่าข้อมูลนั้นเข้ามาจากเลขไอพีเครื่องไหน ชนิดข้อมูลเป็นแพ็กเก็ตหรือไบต์มีขนาดเท่าไร โดยจะมีรายละเอียดเป็นรูปแบบของการวัดอยู่ในรูปแบบของกราฟ

2.5.2 การวัดคุณภาพของการใช้บริการ (QoS)

คุณภาพของการให้บริการ หมายถึงกลไกและเทคนิคที่ใช้ เพื่อให้แน่ใจว่าการสื่อสารด้วยเสียงมีความน่าเชื่อถือและมีคุณภาพสูงผ่านเครือข่าย IP เนื่องจาก VoIP อาศัยเครือข่ายแพ็กเก็ตสวิตช์ ซึ่งข้อมูลเสียงจะถูกแบ่งออกเป็นแพ็กเก็ตและส่งผ่านเครือข่าย IP การรักษา QoS จึงเป็นสิ่งสำคัญเพื่อให้ผู้ใช้ได้รับประสบการณ์ที่น่าพอใจ โดยตัวชี้วัดที่ใช้ในการวัดนั้น ได้แก่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. แพ็กเก็ตสูญเสีย (Packet Loss) การสูญเสียแพ็กเก็ตคือความล้มเหลวของแพ็กเก็ตที่ไปถึงปลายทางและเกิดจากความแออัดของเครือข่าย ถือเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญสำหรับบริการที่ไวต่อความล่าช้า เช่น VoIP ค่าการสูญเสียแพ็กเก็ตที่ยอมรับได้สูงถึง 5%

2. ดีเลย์ (Latency) เวลาแฝงใน VoIP คือเวลาที่เสียงของผู้โทรจะไปถึงผู้รับ สาเหตุหลักมาจากการเชื่อมต่อเครือข่ายที่ช้า เวลาแฝงสูงจะลดคุณภาพของการโทรผ่าน VoIP โดยทำให้การสนทนาช้าลง เพิ่มเสียงก้อง และทำให้ผู้โทรขัดกัน ตัวแปลงสัญญาณยังมีอิทธิพลต่อเวลาแฝงที่เป็นผลลัพธ์ เนื่องจากตัวแปลงสัญญาณที่แตกต่างกันใช้ช่วงเวลาของแพ็กเก็ตที่แตกต่างกัน ค่าเวลาแฝงที่สามารถยอมรับได้มีค่าเท่ากับ 150 มิลลิวินาที

3. บิทเรต (Bitrate) ในการรับส่งข้อมูล จำนวนบิตที่ถ่ายโอนหรือประมวลผลต่อหน่วยเวลา บิตเรตจะแสดงเป็นหน่วยบิตต่อวินาที

4. เฟรมเรต (Frame Rate) ความถี่ (อัตรา) ที่จับภาพหรือแสดงภาพ (เฟรม) ที่ต่อเนื่องกัน อัตราเฟรมมักจะแสดงเป็นเฟรมต่อวินาที หรือ fps

5. คุณภาพของวิดีโอ (Resolution) ความกว้างและความสูงของวิดีโอในพารามิเตอร์ความละเอียดแสดงถึงจำนวนพิกเซลแนวนอนและแนวตั้งตามลำดับ จำนวนพิกเซลต่อหน่วยความยาวยิ่งสูง ภาพยิ่งชัดเจน

2.6 การเข้ารหัสและถอดรหัสของ ข้อมูลเสียงและวิดีโอ

ก่อนที่เสียงและวิดีโอจะสามารถส่งผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ จะต้องแปลงเป็นข้อมูลดิจิทัลและบีบอัด การแปลงเป็นข้อมูลเป็นดิจิทัลนั้นจำเป็นในบิตส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายคอมพิวเตอร์ ข้อมูลที่ส่งทั้งหมดจะต้องแสดงเป็นลำดับของบิต และ การบีบอัดข้อมูลมีความสำคัญเนื่องจากเสียงและวิดีโอที่ไม่ได้บีบอัดใช้พื้นที่จัดเก็บและแบนด์วิดท์จำนวนมหาศาล การจัดการความซ้ำซ้อนโดยกำเนิดด้วยการบีบอัดสัญญาณเสียงและวิดีโอดิจิทัลสามารถลดจำนวนข้อมูลที่ต้องจัดเก็บและส่งผ่านตามลำดับความสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6.1 การเข้ารหัสข้อมูลเสียง

ในการส่งข้อมูลจำเป็นต้องมีการแปลงข้อมูลเสียงจากข้อมูลแอนะล็อกเป็นดิจิทัล ใช้วิธีการ เทคนิคการเข้ารหัสพื้นฐานที่เรียกว่าการมอดูเลตรหัสพัลส์ (PCM) การเข้ารหัสเสียงพูดมักใช้ PCM โดยมีอัตราการสุ่มตัวอย่าง 8,000 ตัวอย่างต่อวินาทีและ 8 บิตต่อตัวอย่าง ให้อัตรา 64 กิโลบิตต่อวินาที สำหรับเทคนิคการบีบอัดที่นิยมสำหรับตัวแปลงสัญญาณเสียงได้แก่ GSM 13 กิโลบิตต่อวินาที, G711 64 กิโลบิตต่อวินาที, G729 8 กิโลบิตต่อวินาที

2.6.2 การเข้ารหัสข้อมูลวิดีโอ

วิดีโอเป็นการแสดงลำดับของภาพ โดยทั่วไปจะแสดงในอัตราคงที่ เช่น 24 หรือ 30 ภาพต่อวินาที รูปภาพที่เข้ารหัสดิจิทัลแบบไม่บีบอัดประกอบด้วยอาร์เรย์ของพิกเซล โดยแต่ละพิกเซลจะเข้ารหัสเป็นบิตจำนวนหนึ่งเพื่อแสดงค่าความสว่างและสี ความซ้ำซ้อนในวิดีโอมีอยู่ 2 ประเภท ซึ่งทั้งสองอย่างนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการบีบอัดได้ ความซ้ำซ้อนเชิงพื้นที่คือความซ้ำซ้อนภายในภาพที่กำหนด เช่น ภาพที่ประกอบด้วยพื้นที่สีขาวส่วนใหญ่สามารถบีบอัดได้อย่างมีประสิทธิภาพ และ ความซ้ำซ้อนชั่วขณะสะท้อนถึงการทำซ้ำจากภาพก่อนไปยังภาพที่ตามมา เช่น รูปภาพก่อนและรูปภาพหลังเหมือนกัน ทำให้ไม่มีเหตุผลที่จะต้องเข้ารหัสรูปภาพหลังใหม่ โดยรูปแบบการเข้ารหัสวิดีโอนั้นมีหลายวิธีแต่วิธีที่นิยมใช้กันได้แก่ H.264 เป็นประเภทตัวแปลงสัญญาณวิดีโอที่ใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับการบันทึก การบีบอัด และการเผยแพร่วิดีโอที่มีความแม่นยำสูง โดยมีความเข้ากันได้ดี

2.7 การคำนวณบิตเรตและค่าที่เหมาะสม

การคำนวณบิตเรตโดยประมาณของสตรีมวิดีโอเป็นเรื่องของการคูณความละเอียดของภาพที่ถ่ายด้วยจำนวนเฟรมสำหรับภาพเคลื่อนไหว มีปัจจัยเพิ่มเติม เช่น แบนด์วิดท์ของเสียงและโพรโทคอล (การสื่อสารและการบีบอัด) ค่าซ้อนทับ (OverHead) แต่ค่าการซ้อนทับไม่ได้เป็นปัจจัยหลักในการคำนวณบิตเรต สามารถหาค่าบิตเรตได้โดยใช้สมการ

Bit Rate = Frame Size * Frame Rate (fps)

โดยการคำนวณจากตัวแปรความคมชัด และเฟรมเรต จะได้บิตเรตตามรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Video definition	Resolution (width × height)	Frame rate (fps)	Bitrate (Kbps)
480p	640 × 480	15	500
	640 × 480	30	1000
	480 × 480	15	400
	640 × 480	30	750
	480 × 480	30	600
	848 × 480	15	610
	848 × 480	30	930
	640 × 480	10	400
720p	1280 × 720	15	1130
	1280 × 720	30	2000
	1280 × 720	30	1710
	960 × 720	15	910
	960 × 720	30	1380
1080p	1920 × 1080	15	2080
	1920 × 1080	30	3000
	1920 × 1080	30	3150
	1920 × 1080	60	4780

รูปที่ 2.8 ค่าการคำนวณบิตเรตโดยใช้การเข้ารหัสชนิด H.264

จากเว็บไซต์ https://www.zegocloud.com/docs/video-call/common-video-config?platform=web&language=javascript

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8 การทบทวนวรรณกรรม

วรรณกรรมหลัก ๆ ที่นำมาใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ วรรณกรรมเกี่ยวกับการสื่อสารเสียงผ่านระบบอินเทอร์เน็ต และ วรรณกรรมเกี่ยวกับระบบการสื่อสารแบบเรียลไทม์

กลุ่มงานวิจัยแรก คือ การสื่อสารเสียงผ่านระบบอินเทอร์เน็ต โมฮัมเหม็ด อับดุล กาเดร์ และคณะ [1] นำเสนอเทคนิคในการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับโทรศัพท์มือถือที่เปิดใช้งาน WiFi เพื่อสื่อสารกับอุปกรณ์ดังกล่าวอีกเครื่องหนึ่ง โดยใช้บริการของเซิร์ฟเวอร์ Asterisk ผ่าน WiFi แทนการใช้โทรศัพท์แบบเดิม งานวิจัย [3] นำเสนอผลลัพธ์ทางทฤษฎีและการปฏิบัติที่ประสบระหว่างการตั้งค่าเซิร์ฟเวอร์ VoIP (Voice over Internet Protocol) ด้วยเครื่องหมายดอกจันเซิร์ฟเวอร์ VoIP แบบโอเพ่นซอร์สที่รู้จักกันดี การเชื่อมต่อการใช้งานจากลูกค้าไปยังเซิร์ฟเวอร์ด้วยความช่วยเหลือของโพรโทคอล SIP งานวิจัย [4] เสนอแอปพลิเคชันการแชร์รถซึ่งรวบรวมเจ้าของรถและผู้ขับขี่ที่เป็นไปได้ สิ่งสำคัญคือต้องเปิดใช้งานการสื่อสารระหว่างผู้ขับขี่ และผู้ขับขี่โดยไม่ต้องเปิดเผยรายละเอียดส่วนบุคคลให้อีกฝ่ายทราบ โดยใช้โซลูชัน VoIP เพื่อโทรด้วยเสียงระหว่างผู้ขับขี่และผู้ขับขี่โดยไม่ต้องเปิดเผยหมายเลขโทรศัพท์ งานวิจัย [9] นำเสนอ การวิเคราะห์การปรับปรุงการควบคุมคุณภาพของสัญญาณ (QoS) ของบริการ VoIP ซึ่งใช้เครือข่ายซ้อนทับ กรณีศึกษา: การเรียก AWS VoIP Gateway ณ เมืองบันดุง ประเทศอินโดนีเซีย โดยใช้บริการคลาวด์ของ AWS

อีกกลุ่มงานวิจัย คือ เกี่ยวกับระบบการสื่อสารแบบเรียลไทม์ E. ALperay Tarim และคณะ [8] นำเสนอการพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับการปรึกษาทางการแพทย์ โดยใช้เทคโนโลยี WebRTC ทำการทดสอบประสิทธิภาพของการเชื่อต่อเครือข่ายที่แตกต่างกัน และ เบราว์เซอร์และระบบปฏิบัติการมือถือที่แตกต่างกัน โดยต่อมา Achyut Ajith Kumar และคณะ [12] นำเสนอ การใช้แอปพลิเคชันการประชุมทางวิดีโอซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถเข้าร่วม/โฮสต์แฮงเอาต์วิดีโอระหว่างสองคน หรือผู้เข้าร่วมมากขึ้นในหน้าเว็บการประชุมเดียวกัน ระบบหลังบ้านสร้างโดยใช้ WebRTC ต่อมา Khalid Ibn Zinnah Apu และคณะ [14] นำเสนอ ระบบการประชุมทางวิดีโอแบบ P2P ขึ้นอยู่กับ WebRTC ใช้ WebRTC เซิร์ฟเวอร์เว็บไซต์ส่งรหัสเบราว์เซอร์ไปยังผู้เยี่ยมชม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินการทดลอง

3.1 บทนำ

กระบวนการขั้นตอนการทดลองของงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 5 ส่วน ได้แก่ การออกแบบสถาปัตยกรรมที่ใช้ในการทดลอง การสร้างและจัดการค่าต่าง ๆ บน VoIP เซิร์ฟเวอร์ การพัฒนาแอปพลิเคนชัน การประเมินประสิทธิภาพการใช้งานระบบ VoIP ของแพลตฟอร์ม ต่าง ๆ และการประเมินผลการใช้งาน WebRTC ผ่านทางการเชื่อมต่อของแพลตฟอร์มต่าง ๆ

โดยเริ่มจากการเลือกเครื่องมือที่ใช้และทำการออกแบบสถาปัตยกรรมในการสร้าง VoIP เซิร์ฟเวอร์ จากนั้นทำการสร้างเซิร์ฟเวอร์และทำการกำหนดค่าต่าง ๆ เช่น สเปกของเซิร์ฟเวอร์ รวมถึงการเข้าถึงต่าง ๆ ซอฟต์แวร์ที่จะติดตั้ง หลังจากทำการสร้างเซิร์ฟเวอร์เสร็จแล้ว ทำการสร้างแอปพลิเคชันโดยพัฒนาตามส่วนออกแบบผู้ใช้งาน (User Interface) ที่ได้ทำการออกแบบไว้ จากนั้นดำเนินการทดสอบการเชื่อมต่อของ VoIP และ WebRTC ผ่านทางอุปกรณ์ต่าง ๆ ว่าสามารถเชื่อมติดต่อสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์สำเร็จ หลังจากนั้นทำการวัดประสิทธิภาพการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ต่างๆ เพื่อหาค่าต่างตามการบริการเครือข่าย (QoS) และเปรียบเทียบระหว่างอุปกรณ์ที่แตกต่างระบบปฏิบัติการ หรือฮาร์ดแวร์ที่แตกต่างกัน เพื่อหาการเชื่อมต่อของ VoIP และ WebRTC ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

3.2 การออกแบบสถาปัตยกรรม

การออกแบบสถาปัตยกรรมการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ระบบ VoIP จำเป็น และมีความสำคัญอย่างมากในการสร้างระบบสื่อสารเสียงที่มีประสิทธิภาพและสามารถเชื่อมต่อได้อย่างราบรื่น ในการออกแบบมีหลายปัจจัยที่ต้องพิจารณา เพื่อให้ระบบทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปัจจัย ได้แก่

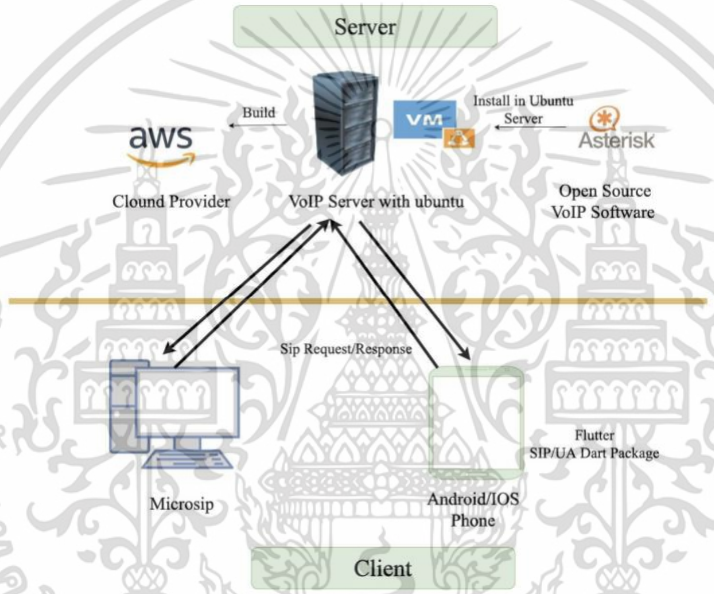
1. อุปกรณ์การเชื่อมต่อ การเลือกและการติดตั้งอุปกรณ์เชื่อมต่อเสียง เช่น IP phones, ATA (Analog Telephone Adapters) หรือ Softphones (โปรแกรมที่ใช้ในการโทรผ่านคอมพิวเตอร์) เป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาในการออกแบบ VoIP ให้เหมาะสมกับความต้องการของระบบ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถใช้งานได้อย่างสะดวกและมีคุณภาพสูง รวมทั้งการตรวจสอบความเข้ากันได้ของอุปกรณ์กับระบบที่ใช้งานอยู่เดิม (Compatibility)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ระบบเครือข่ายและเซิร์ฟเวอร์การเชื่อมต่อ การเลือกระบบเครือข่ายเพื่อรองรับการเชื่อมต่อของ VoIP ต้องพิจารณาประสิทธิภาพของเครือข่ายในการรับส่งข้อมูลเสียง รวมถึงการจัดการแบนด์วิดท์และการป้องกันการสูญเสียข้อมูล (Packet loss) หรือการล่าช้าในการส่งข้อมูล (Latency)

3.2.1 การออกแบบสถาปัตยกรรมในการสร้าง การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ และ VoIP เซิร์ฟเวอร์

การออกแบบสถาปัตยกรรมในการสร้าง การเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์กับ VoIP เซิร์ฟเวอร์ นั้นแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ดังรูป 3.1



รูปที่ 3.1 สถาปัตยกรรมในการเชื่อมต่ออุปกรณ์กับ VoIP เซิร์ฟเวอร์

1. ด้านทางฝั่งผู้ใช้งาน (Client Side)

อุปกรณ์ไคลเอ็นต์ ประกอบด้วย 2 อุปกรณ์ คือ PC และโทรศัพท์มือถือ โดยศึกษา 3 แพลตฟอร์ม ได้แก่ IOS, Android และ Windows และได้ทำการพัฒนา IOS และ Android โดยใช้ Flutter ในการสร้างแอปพลิเคชันในการเชื่อมต่อกับ VoIP Server โดยในส่วนแพลตฟอร์มวินโดว์นั้น ได้เลือกใช้โปรแกรมไมโครซิป (Microsip) ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์ VoIP แบบโอเพ่นซอร์สสามารถดาวน์โหลดและใช้งานได้ฟรี

2. ด้านเซิร์ฟเวอร์ (Server side)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

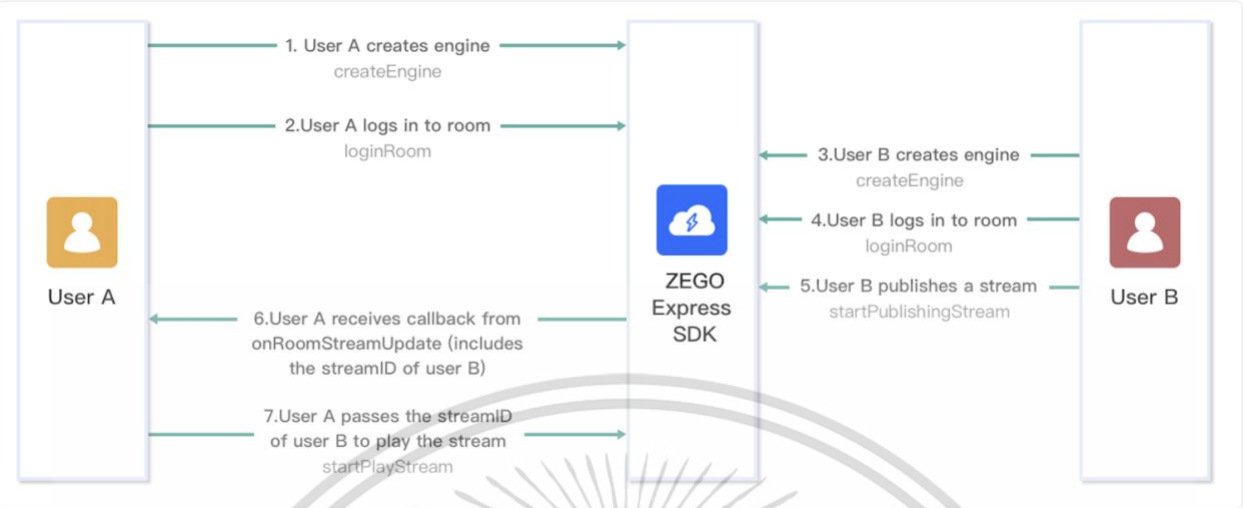
ในด้านของเซิร์ฟเวอร์ ได้ทำการเลือกใช้เซิร์ฟเวอร์จาก บริการคลาวด์ของบริษัท อะเมซอน เว็บ เซอร์วิสเซส (ประเทศไทย) จำกัด (AWS) ซึ่งเป็นบริการบนคลาวด์จ่ายตามการใช้งานสำหรับบริการต่าง ๆ (Infrastructure as a service) AWS มีชื่อบริการว่า Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2) ในการสร้างเซิร์ฟเวอร์บนคลาวด์โดยมีขั้นตอนการกำหนดค่าต่าง ๆ ของเซิร์ฟเวอร์ โดยหลังจากนั้นทำการติดตั้งเฟรมเวิร์ก แอสเตอริค บนตัวเซิร์ฟเวอร์ และ การกำหนดค่าบนเซิร์ฟเวอร์ ผ่านเทอร์มินัล IP เกี่ยวกับลงทะเบียน ชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านของผู้ใช้งานในไฟล์คอนฟิกูเรชันต่าง ๆ

3.2.2 การออกแบบสถาปัตยกรรม ในการสร้างการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ ผ่านทางบริการ WebRTC

ในการทดลองการเชื่อมต่อแบบ WebRTC นั้น ได้ทำการเลือกใช้บริการ Zegocloud ซึ่งเป็นบริการชุดของเครื่องมือสร้างแพลตฟอร์มสำหรับนักพัฒนา (Software Development Kit) ซึ่ง SDK ที่ได้เลือกมาใช้งานนั้นมีชื่อว่า Zego Express SDK โดยมีบริการ API และเครื่องมือที่ครอบคลุมสำหรับการสร้างแอปพลิเคชัน การสื่อสารแบบเรียลไทม์ รองรับการโทรด้วยเสียงและวิดีโอ การประชุมด้วยเสียงและวิดีโอ การสตรีมสด และการออกอากาศแบบโต้ตอบ

จากรูปที่ 3.2 เป็นการแสดงไดอะแกรมการติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ใช้งาน 2 ผู้ใช้งาน โดยเริ่มจาก คำสั่งขอเริ่มใช้งาน (Create Engine) โดยมีการแนบค่าไอดีของแอปพลิเคชัน (AppID) และ ลายเซ็นของแอปพลิเคชัน (Appsign) ไปพร้อมกับคำขอด้วย หลังจากนั้นทำการล็อกอินเข้าไปยังห้อง เพื่อรอผู้ใช้งานอีกด้านเข้าห้องมา หลังจากนั้นก็เริ่มต้นการสื่อสารโดยระหว่างการติดต่อสื่อสารนั้น ไม่ว่าจะเลิกคอล หรือออกจากห้อง มีการเรียกกลับและอัปเดตสถานการณ์สตรีมอยู่ตลอด และหลังจากทำการล็อกเอาต์ออกจากห้องนั้น ก็มีการอัปเดตสถานะ รวมถึงทำลายการเชื่อมต่ออย่างสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 การติดต่อสื่อสารผ่านทางบริการ Zegocloud

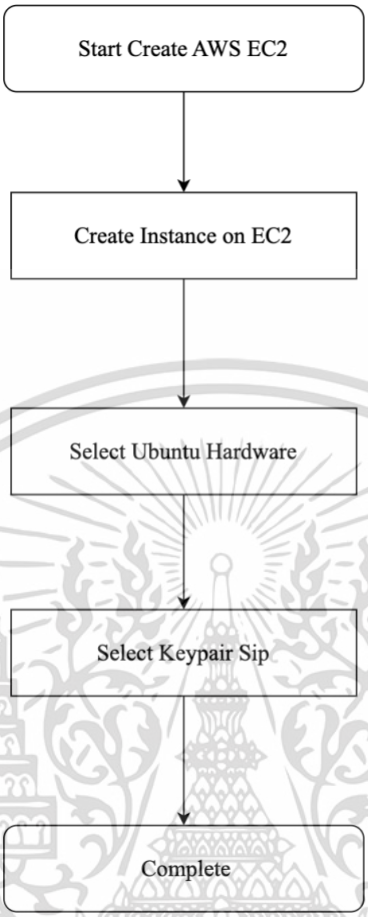
รูปภาพจาก https://www.zegocloud.com/docs/live-streaming/implement-basic-live?platform=electron&language=javascript

3.3 การติดตั้งเซิร์ฟเวอร์ VoIP

3.3.1 Amazon EC2

Amazon EC2 เป็นบริการที่ให้บริการเครื่องเสมือน (VM) เซิร์ฟเวอร์บนคลาวด์ อินสแตนซ์ EC2 อนุญาตให้ผู้ใช้สร้าง เครื่องคอมพิวเตอร์เสมือน (Virtual Machine) เพื่อปรับแต่งทรัพยากรของตน โดยใช้ EC2 มีข้อดีมากมาย เช่น การประมวลผลประสิทธิภาพสูง ความเสถียร การเพิ่มประสิทธิภาพและความปลอดภัย โดยขั้นตอนในการสร้างเซิร์ฟเวอร์ที่สามารถรองรับการสื่อสารด้วยเสียงผ่านทางอินเทอร์เน็ตขั้นตอนดังรูปที่ 3.3 โดยเริ่มจากการเลือกใช้บริการ Amazon EC2 ก่อน จากนั้นทำการเลือกระบบปฏิบัติการของเซิร์ฟเวอร์เป็น AMI Ubuntu server 20.04 LTS 64 bits จากนั้นทำการเลือกคีย์ ชื่อ ซิป เพื่อระบุเทมเพลตการเปิดตัวคู่คีย์ และกำหนดเงื่อนไขของเครือข่าย ทำการเลือกเป็น เปิดการเชื่อมต่อของทั้งโพรโทคอล User Datagram Protocol และ Transmission Control Protocol

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

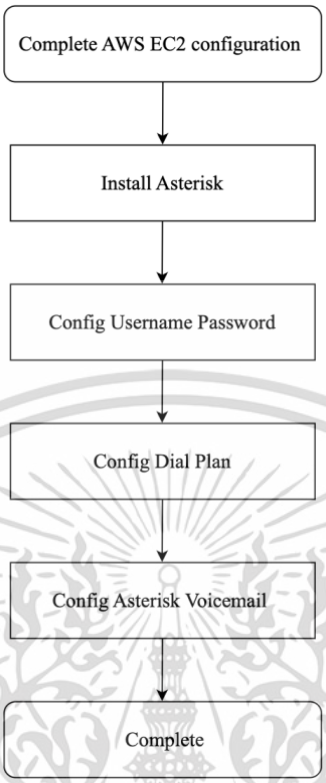


รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการสร้างเซิร์ฟเวอร์ผ่านทางบริการคลาวด์ AWS

3.3.2 Asterisk Configuration

หลังจากทำการตั้งค่าเซิร์ฟเวอร์บน AWS เรียบร้อยแล้ว ก็ทำการติดตั้ง Asterisk ซึ่งเฟรมเวิร์กซอฟต์แวร์ที่มีประสิทธิภาพและหลากหลายสำหรับการสื่อสารบนเซิร์ฟเวอร์เพื่อทำให้กลายเป็นเซิร์ฟเวอร์ที่ทำงานเหมือนกับตู้ชุมสายโทรศัพท์ไอพี โดยมีขั้นตอนในการติดตั้งดังรูป 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการกำหนดค่าต่างๆของระบบไฟล์ Asterisk

ขั้นตอนแรกติดตั้ง Asterisk บนเซิร์ฟเวอร์ Ubuntu หลังจากนั้นให้ทำการแก้ไข ไฟล์คอนฟิกูเรชันของ asterisk โดยไฟล์แรกที่ทำการแก้ไขคือไฟล์ ‘sip.conf’ เพื่อทำการลงทะเบียนข้อมูลลูกค้า โดยกำหนดรหัสผ่านชื่อผู้ใช้ จากนั้นกำหนดแผนการโทรใน ไฟล์ 'Extension.conf' แผนการโทรเป็นส่วนหลักของการประมวลผล การฟังก์ชันการโทรในเซิร์ฟเวอร์ ประกอบด้วยส่วนทั่วไป ในขั้นตอนต่อมา กำหนดค่าระบบข้อความเสียง Asterisk ในไฟล์ 'voicemail.conf' ไฟล์. สุดท้าย การยืนยันตัวตนผ่านพีซีหรือสมาร์ตโฟน อุปกรณ์โดยกรอกชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านและเซิร์ฟเวอร์ที่อยู่ IP สาธารณะและรอให้เซิร์ฟเวอร์รับทราบ รหัสสถานะข้อความตอบกลับ

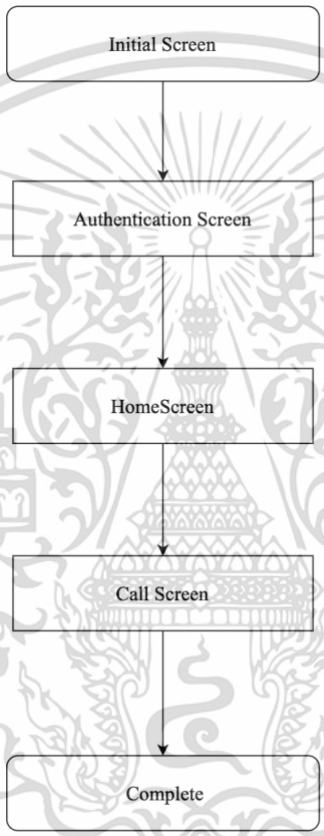
3.4 การออกแบบหน้าต่างส่วนผู้ใช้

การออกแบบแบบหน้าต่างส่วนผู้ใช้งาน (UI) เพื่อนำไปพัฒนาแอปพลิเคชันสำหรับทดสอบนั้น แบ่งออกเป็น 2 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 UI สำหรับการทดลองการติดต่อสื่อสารผ่านทาง VoIP

โดย UI สำหรับฟังก์ชันนี้ประกอบด้วยทั้งหมด 3 หน้า ได้แก่ หน้ายืนยันตัวตนผ่านทางเซิร์ฟเวอร์ หน้าโฮมที่เอาไว้ จากรูปที่ 3.5 กระบวนการทำงานของทางฝั่งผู้ใช้งาน จะเริ่มต้นจากหน้าเริ่มต้นมีเป็นการยืนยันตัวตนกับทางเซิร์ฟเวอร์โดยทำการกรอก ชื่อผู้ใช้งาน และพาสเวิร์ด รวมถึง IP address ของเซิร์ฟเวอร์ พอยืนยันตัวตนผ่านก็จะเข้าไปที่หน้า กดโทรออกและหลังจากอีกฝ่ายกดรับสาย ก็เข้าสู่หน้าสุดท้ายคือหน้าโทร



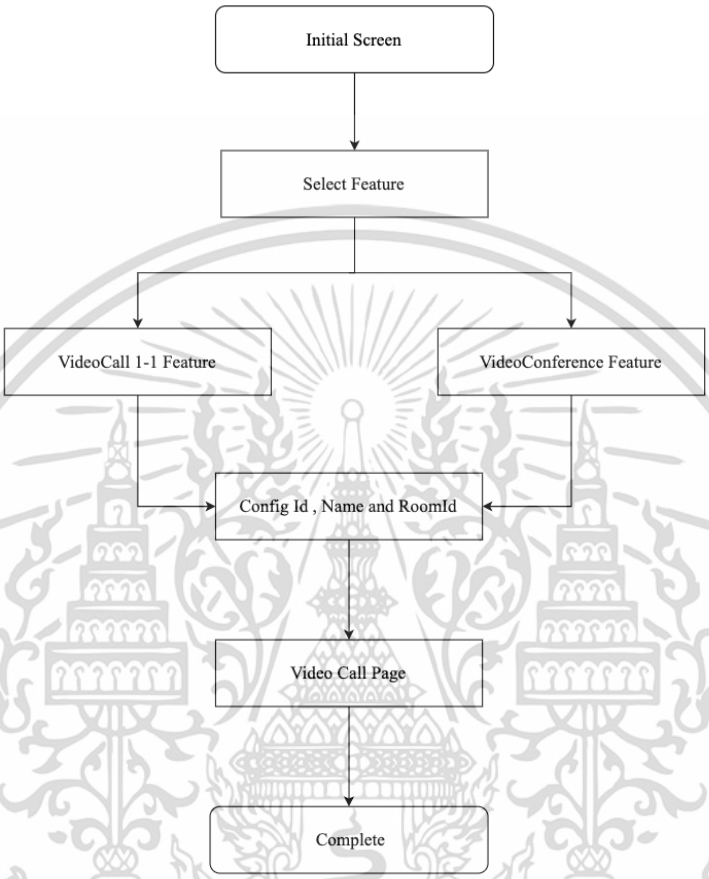
รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการทำงานของแอปพลิเคชันที่ใช้ทดสอบ VoIP

3.4.2 UI สำหรับการทดสอบติดต่อสื่อสารผ่าน WebRTC

สำหรับการสร้างหน้า UI สำหรับฟีเจอร์นี้ ประกอบด้วยหน้า UI ทั้งหมด 5 หน้า และมีขั้นตอนในการเชื่อมต่อแต่ละหน้า โดยกระบวนการทำงานเริ่มต้น ตั้งแต่หน้ารอโหลดเข้าแอป หลังจากนั้นเข้าสู่หน้าเลือกฟีเจอร์ที่จะใช้ โดยจะแบ่งออกเป็น การวิดีโอคอลแบบ 1 ต่อ 1 และวิดีโอคอลประชุม จากนั้นก็เข้าสู่หน้ากรอกเลขห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมถึงการกำหนดชื่อและไอดี สำหรับทั้งการโทรแบบ 1 ต่อ 1 และวิดีโอคอล และสุดท้ายก็เข้าสู่หน้า การโทรโดยสามารถเลือกเปิดกล้องหรือเปิดไมค์ได้ ขั้นตอนการใช้งานดังรูป 3.6



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนการทำงานของแอปพลิเคชันที่ใช้ทดสอบ WebRTC

3.5 การประเมินผลการใช้งานระบบ VoIP ของแพลตฟอร์มต่าง ๆ

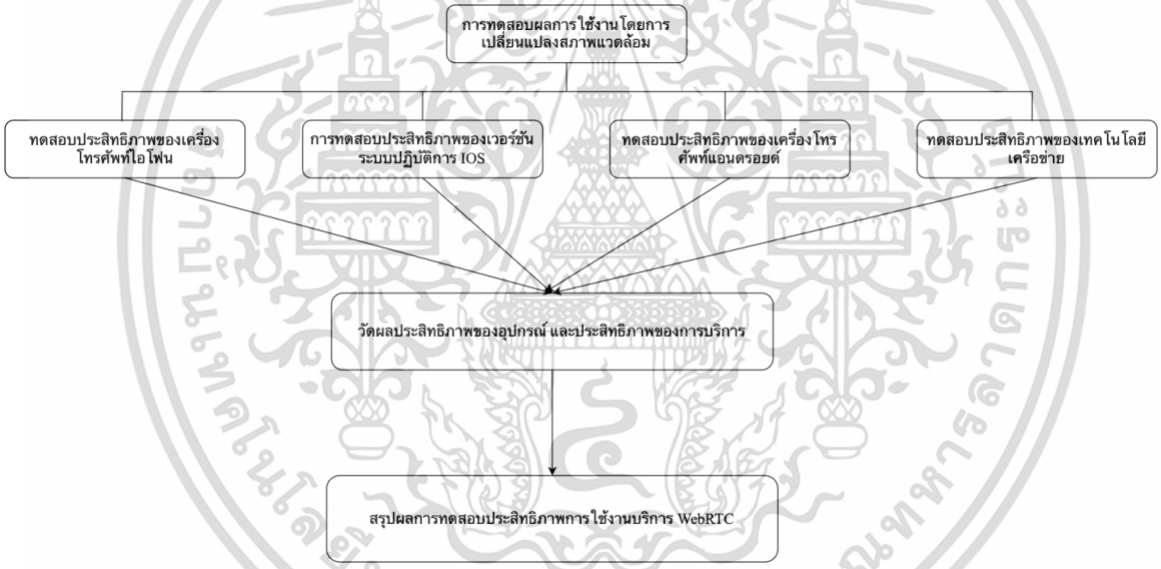
การประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ เชื่อมต่อกันผ่านทางเซิร์ฟเวอร์บน AWS นั้น แบ่งชนิดของการเชื่อมต่อได้ 6 แบบ ได้แก่ โทรจาก PC ไปยัง ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โทรจากแอนดรอยด์ไปยัง PC โทรจากระบบปฏิบัติการ IOS ไปยังระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โทรจากระบบปฏิบัติการ IOS ไปยังระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โทรจากระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ไปยังระบบปฏิบัติการ IOS ซึ่งในแต่ละการเชื่อมต่อจะใช้ตัวบ่งชี้ทั้งหมด 3 ค่า ได้แก่ ระยะเวลาที่ใช้ในการเริ่มโทร (Call Setup Time) การวัดความล่าช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Delay) และจำนวณปริมาณหน่วยประมวลผลของเซิร์ฟเวอร์ที่ใช้ CPU ซึ่งทั้ง 3 ค่านี้ ได้มีการวัดจากค่าแดชบอร์ดบน AWS

3.6 การประเมินผลการใช้งาน WebRTC โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมการใช้งานต่าง ๆ

การทดลองนั้นจะทำการทดสอบประสิทธิภาพของการรับส่งข้อมูลของแค่อุปกรณ์ทางฝั่งเดียว โดยจะมีการทดลองดังนี้ 1.) การทดสอบประสิทธิภาพในกรณีที่มีการเปลี่ยนรุ่นของโทรศัพท์ไอโฟน 2.) การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์โดยเวอร์ชันของระบบปฏิบัติการ IOS 3.) การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์โดยมีการเปลี่ยนรุ่นของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 4.) การทดสอบประสิทธิภาพในการสื่อสารโดยมีการเปลี่ยนเทคโนโลยีการสื่อสาร โดยมีขั้นตอนการทดลองดังรูปที่ 3.7 ในการประเมินนั้นได้มีการกำหนดค่า ความคมชัด 640 *360, ค่าเฟรมเรท 15 fps, และ ความเร็วในการรับส่งข้อมูล(Bitrate) 600 กิโลบิตต่อวินาที



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนการทดสอบประสิทธิภาพของการรับส่งข้อมูล โดยการเปลี่ยนสภาพแวดล้อม

การประเมินประสิทธิภาพการใช้งานของอุปกรณ์ต่าง ๆ ติดต่อสื่อสารกันผ่านทางบริการ zegocloud โดยการทดสอบนั้นแบ่งออกเป็น 2 แบบ หลักๆ ได้แก่

1.) การทดสอบด้วยการจำลองสภาพของอุปกรณ์ (Simulator) ซึ่งมีการทดสอบนั้นมีการทดสอบในหลายๆ ด้าน ได้แก่ การทดสอบการเชื่อมต่อในกรณีที่อุปกรณ์มีความแตกต่างกันในด้านฮาร์ดแวร์ รุ่นของตัวระบบปฏิบัติการ ความแตกต่างในเรื่องการเชื่อมต่อด้วยเครือข่ายที่ต่างกัน การทดสอบโดยใช้การจำลองผ่านทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอนดรอยด์สตูดิโอ (Android Studio) ในการจำลองระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และ ใช้ เอ้กโค้ด (Xcode) ในการจำลองสำหรับการทดสอบระบบปฏิบัติการ IOS ซึ่งในการเชื่อมต่อของอุปกรณ์กับ WebRTC นั้น ใช้ตัวบ่งชี้ทั้งหมด 5 ค่า ได้แก่ การวัดความล่าช้า (Delay) ปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผล การใช้งานหน่วยความจำ (CPU Usage) การบริโภคหน่วยความจำ (Memory Usage) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (Bitrate) โดยจะทำการทดสอบด้วยกันทั้งหมด 3 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงที่ไม่มีการเปิดกล้องเปิดไมค์โครโฟน ช่วงเปิดแค่ไมค์โครโฟนไม่เปิดกล้อง และช่วงเปิดกล้องเปิดไมค์

2.) การทดสอบด้วยอุปกรณ์จริง ๆ (Real Device) การทดสอบด้วยโทรศัพท์จริง ๆ ในการทดสอบการเชื่อมต่อกันของอุปกรณ์ที่ต่างกันโดยวิธีการติดต่อสื่อสารแบบ WebRTC โดยรุ่นของระบบปฏิบัติการไอโฟน ใช้เป็น ไอโฟน 12 โปร ระบบปฏิบัติการ ไอโอเอส เวอร์ชัน 16.1.2 ส่วนรุ่นของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ใช้เป็น โนเกีย x10 รุ่นของระบบปฏิบัติการ แอนดรอยด์เอพีไอ 29 และในส่วนของ PC นั้น ใช้เป็นเว็บเบราว์เซอร์กูเกิ้ลโครม ในการเชื่อมต่อ

3.7 การประเมินผลการใช้งาน WebRTC ผ่านทางการเชื่อมต่อของแพลตฟอร์มต่าง ๆ แบบ 1 ต่อ 1

โดยชนิดของการเชื่อมต่อแบ่งออกเป็น 3 แบบ เว็บเบราว์เซอร์เชื่อมต่อกับเครื่องไอโฟน โนเกียเชื่อมต่อกับเว็บเบราว์เซอร์ ไอโฟนเชื่อมต่อกับโนเกียร์ ใช้ตัวบ่งชี้ทั้งหมด 6 ค่า ได้แก่ การวัดความล่าช้า (Delay) ปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผล การใช้งานหน่วยความจำ (CPU Usage) การบริโภคหน่วยความจำ (Memory Usage) และอุณหภูมิของเครื่อง (Thermal State) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (Bitrate) โดยจะทำการทดสอบด้วยกันทั้งหมด 3 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงที่ไม่มีการเปิดกล้องเปิดไมค์โครโฟน ช่วงเปิดแค่ไมค์โครโฟนไม่เปิดกล้อง และช่วงเปิดกล้องเปิดไมค์

3.8 การประเมินผลการประชุมคอลของอุปกรณ์บนแพลตฟอร์มต่าง ๆ

การทดสอบการประชุมวิดีโอคอลนั้นทำการวัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายใต้เงื่อนไขที่มีจำนวนผู้เข้าใช้งานบริการเพิ่มมากขึ้น โดยในการทดสอบนี้จะเพิ่มจำนวนเครื่องที่ใช้งานทั้งหมด 6 ผู้ใช้งาน ประกอบด้วย เว็บเบราว์เซอร์ 4 โทรศัพท์ไอโฟน 1 โทรศัพท์แอนดรอยด์ 1 โดยการวัดนั้นจะวัดผลจากอุปกรณ์จริงโดยทำการวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 รายละเอียดของอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการทดสอบ

การทดสอบการเชื่อมต่อของแพลตฟอร์มโดยใช้อุปกรณ์จริงในการทดสอบนั้นเพื่อดูว่า ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ และ ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขณะทำการทดสอบ โดยมีแพลตฟอร์มทั้งหมด 3 แพลตฟอร์ม ได้แก่ แพลตฟอร์ม IOS, แพลตฟอร์ม แอนดรอยด์ และแพลตฟอร์ม เว็บเบราว์เซอร์ ดังตารางที่ 3.1 โดยในแต่ละแพลตฟอร์มนั้นมีรายละเอียดที่ต่างกันหลายส่วน ได้แก่ จำนวนและชนิดของหน่วยประมวลผล หน่วยความจำ คุณภาพของกล้อง

ตารางที่ 3.1 รายละเอียดจำเพาะของอุปกรณ์แพลตฟอร์มต่างๆ

แพลตฟอร์ม	หน่วยประมวลผล	หน่วยความจำ	เวอร์ชันระบบปฏิบัติการ	คุณภาพกล้อง	ความร้อนสูงสุด
IOS	Hexa-core (2x3.1 GHz Firestorm + 4x1.8 GHz Icestorm)	6 GB	16.4.1	1080p	35°C
Android	Octa-core (2x2.0 GHz Kryo 460 & 6x1.8 GHz Kryo 460)	6 GB	Android 11	1080p	35°C
BrowserChrome	1.4 GHz Quad-Core Intel Core i5	8 GB	13.0	720P	35°C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

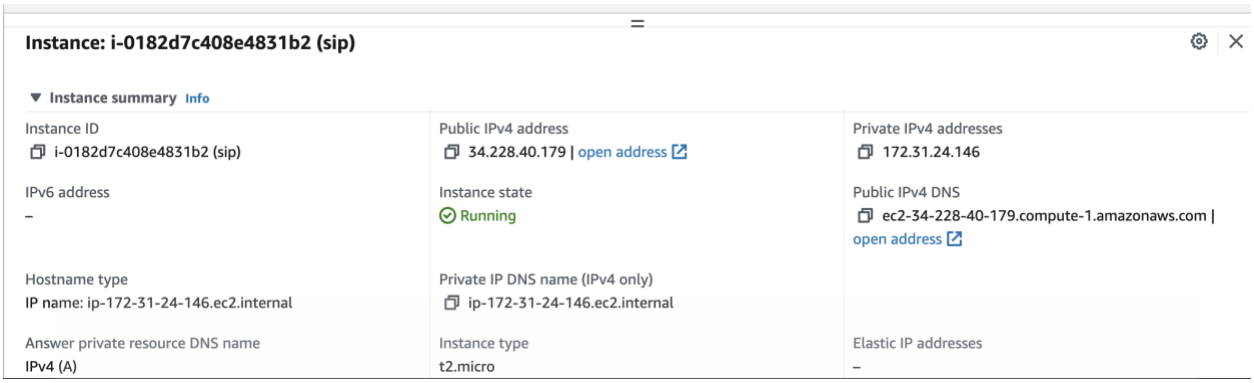
4.1 บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลลัพธ์ในการดำเนินงานแต่ละขั้นตอนของการทดลองวัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์บนแพลตฟอร์มต่าง ๆ ผ่านการเชื่อมต่อโดยวิธีการ VoIP รวมถึงการเชื่อมต่อแบบ WebRTC โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ ผลการติดตั้งและจัดการเซิร์ฟเวอร์ การพัฒนาส่วนแสดงผลผู้ใช้งาน ผลการใช้งานระบบ VoIP โดยผ่านทางแพลตฟอร์มต่าง ๆ ทั้งการเชื่อมต่อผ่านทางเซิร์ฟเวอร์ที่ได้ติดตั้งไว้ รวมทั้งการใช้งานการสื่อสารโดยวิธี WebRTC ในรูปแบบการสื่อสารแบบ 1 ต่อ 1 และสุดท้ายจะกล่าวถึงผลลัพธ์การประเมินผลการใช้งานการติดต่อสื่อสารโดยวิธี WebRTC ในรูปแบบการสื่อสารมีผู้ร่วมใช้งานจำนวนมาก

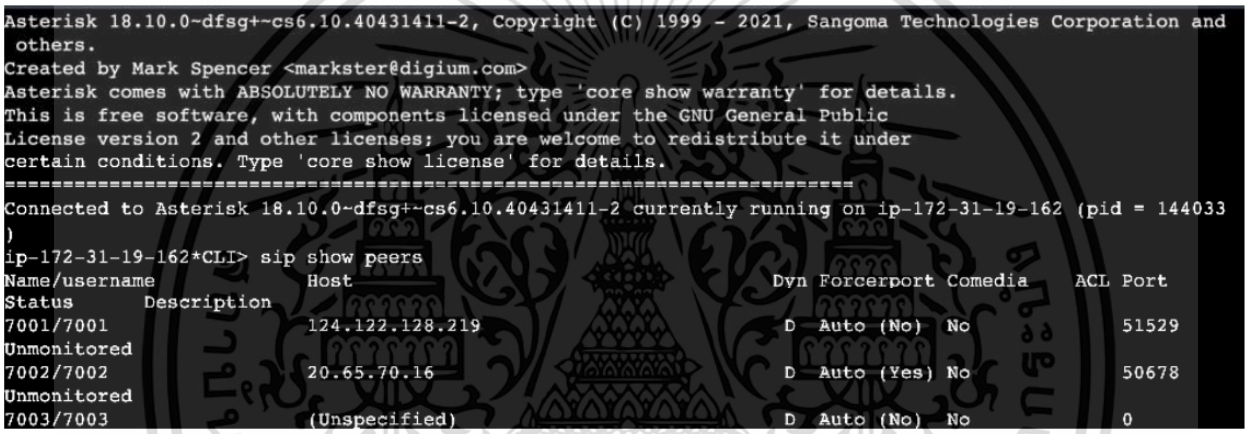
4.2 ผลการติดตั้งเซิร์ฟเวอร์ VoIP

งานวิจัยนี้ในส่วนของเซิร์ฟเวอร์นั้น ใช้คุณสมบัติเป็น AMI Ubuntu server 20.04 LTS 64 bits ระบบปฏิบัติการคอมพิวเตอร์ที่เป็นระบบแบบเปิด ซึ่งมีพื้นฐานจาก Linux Distribution หรือ Linux Distro ระบบปฏิบัติการที่ถูกออกแบบเพื่อการแบ่งปัน มีการปรับแต่งและเพิ่มซอฟต์แวร์พื้นฐานต่าง ๆ สำหรับพร้อมใช้งานได้ทันที และสามารถใช้งานได้แบบฟรี โดยมีการกำหนดสิทธิการเข้าถึงในทุก ไอพีแอดเดรส ทั้งการเชื่อมต่อแบบ UDP และ TCP AWS มีการแสดงค่าต่างๆดังรูป 4.1 โดยจะมีรายละเอียดเลขไอพีของเครื่อง ทั้งในรูปแบบสาธารณะและความลับ (Public and Private IP)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ผลการสร้างเซิร์ฟเวอร์บนบริการคลาวด์ AWS EC2



รูปที่ 4.2 ผลการลงทะเบียนจากผู้ใช้งานบนเซิร์ฟเวอร์

หลังจากทำการติดตั้ง Asterisk บนเซิร์ฟเวอร์ โดยผลการติดตั้งดังรูปที่ 4.2 แสดงการกำหนดค่าทั้งหมดไฟล์สุดท้าย การยืนยันตัวตนผ่านพีซีหรือสมาร์ทโฟน โดยกรอกชื่อผู้ใช้และรหัสผ่านและเซิร์ฟเวอร์ที่อยู่ IP สาธารณะและรอให้เซิร์ฟเวอร์รับทราบรหัสสถานะข้อความตอบกลับ ทำการลงทะเบียนผู้ใช้งานทั้งหมด 3 ผู้ใช้งาน ได้แก่ ผู้ใช้งาน 7001 7002 7003 โดยหลังจากลงทะเบียนเรียบร้อยแล้วนั้น จะเห็นว่ามีเลขไอพีของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อขึ้นมาแสดง ในกรณีที่ยังไม่เชื่อมต่อก็จะไม่มีเลขไอพีกลับ

4.3 ผลการใช้งานระบบ VoIP โดยผ่านทางแพลตฟอร์มต่าง ๆ

การทดลองของงานวิจัยนี้ ใช้ Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2) เพื่อสร้างเซิร์ฟเวอร์และติดตั้ง Asterisk บนเซิร์ฟเวอร์ และเลือกโพรโทคอล SIP จากนั้นสร้างสามบัญชีบนเซิร์ฟเวอร์ VoIP และตรวจสอบประสิทธิภาพการโทรจากหลากหลายอุปกรณ์ด้วย ระบบปฏิบัติการที่หลากหลายรวมถึง Windows, IOS

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และแพลตฟอร์ม Android ตารางที่ 1 แสดงการทดสอบการวัดอยู่ในรายการฝั่งไคลเอนต์ อาจใช้เซิร์ฟเวอร์ VoIP บน AWS ผ่านอุปกรณ์ของผู้ใช้ โดยดำเนินการตรวจสอบเซิร์ฟเวอร์ตามผลการทดสอบระบบ เมื่อมีข้อมูลจับคู่กับข้อมูลที่เก็บไว้เรียบร้อยแล้วเซิร์ฟเวอร์ ผลการทดสอบการโทรมือถือหลังจาก การเชื่อมต่อเสร็จสมบูรณ์พบว่าการตั้งค่าการโทรครั้งสำหรับแต่ละแพลตฟอร์มจะไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับระบบปฏิบัติการของแต่ละเครื่องก็มีค่าต่าง ๆ กันไป

ตารางที่ 4.1 ผลลัพธ์การติดต่อสื่อสารของแพลตฟอร์มต่าง ๆ ผ่านทาง VoIP เซิร์ฟเวอร์

แพลตฟอร์ม	เวลาในการติดตั้งการโทร	ดีเลย์	ไลน์โค้ด	บิตเรต
วินโดว์โทรไปแอนดรอยด์	2 วินาที	<1 วินาที	G.711	64 กิโลบิตต่อวินาที
วินโดว์โทรไปยัง IOS	2.69 วินาที	<1 วินาที	G.711	64 กิโลบิตต่อวินาที
ไอโอเอสไปยังแอนดรอยด์	2 วินาที	<1 วินาที	GSM	13 กิโลบิตต่อวินาที
ไอโอเอสไปยังวินโดว์	1 วินาที	<1 วินาที	GSM	13 กิโลบิตต่อวินาที
แอนดรอยด์ไปยังไอโอเอส	1 วินาที	<1 วินาที	G.729	8 กิโลบิตต่อวินาที
แอนดรอยด์ไปยังวินโดว์	3 วินาที	<1 วินาที	G.729	8 กิโลบิตต่อวินาที

จากตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าการเชื่อมต่อระหว่างสามแพลตฟอร์มเผยให้เห็นว่า เวลาตั้งค่าการโทรสำหรับแพลตฟอร์ม IOS/Android ไปยัง Windows น้อยกว่า 1 วินาที ซึ่งสั้นที่สุดเวลาในการเชื่อมต่อเมื่อเทียบกับการเชื่อมต่ออื่น ๆ อย่างไรก็ตาม ดีเลย์ของเสียงยังคงเหมือนกับทุกระบบปฏิบัติการ นอกจากนี้ ตัวแปลงสัญญาณจะแตกต่างกันไปตามอุปกรณ์สามารถสื่อสารกันผ่านเซิร์ฟเวอร์ VoIP

4.4 ผลการประเมินผลการใช้งาน WebRTC โดยการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมการใช้งานต่างๆ

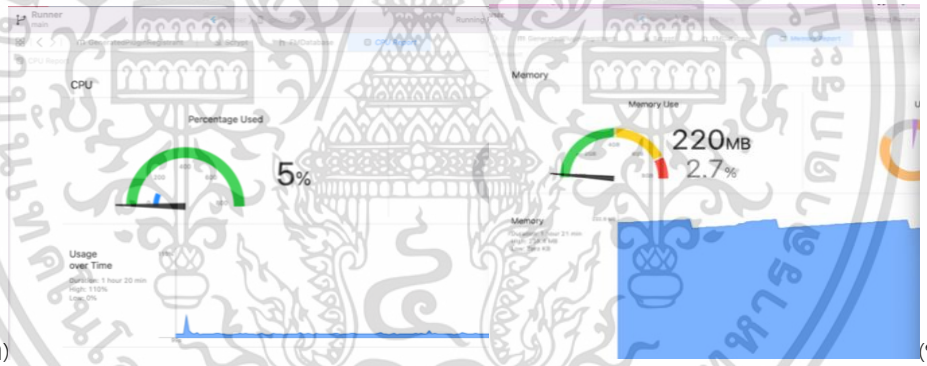
การวัดผลประสิทธิภาพการเชื่อมต่อระหว่างอุปกรณ์ ในหลากหลายแพลตฟอร์มติดต่อสื่อสารกัน โดยวิธีการ WebRTC นั้น สามารถจำแนกอุปกรณ์ออกได้เป็น 2 วิธีหลัก ๆ ได้แก่ ตัวจำลองอุปกรณ์มือถือ และอุปกรณ์มือถือจริง โดยในการทดสอบนั้น ได้มีการทดสอบทั้ง 2 อุปกรณ์ ทำการวัดประสิทธิภาพการเชื่อมต่อรวมถึงวัดประสิทธิภาพของฮาร์ดแวร์ของตัวอุปกรณ์นั้นด้วย โดยผลลัพธ์การทดลองการติดต่อสื่อสารผ่าน WebRTC แบบ 1 ต่อ 1 นั้น แบ่งออกเป็นผลลัพธ์การทดลองย่อย ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.1 ผลลัพธ์การใช้งาน WebRTC ผ่านทางอุปกรณ์ไอโฟนรุ่นต่าง ๆ

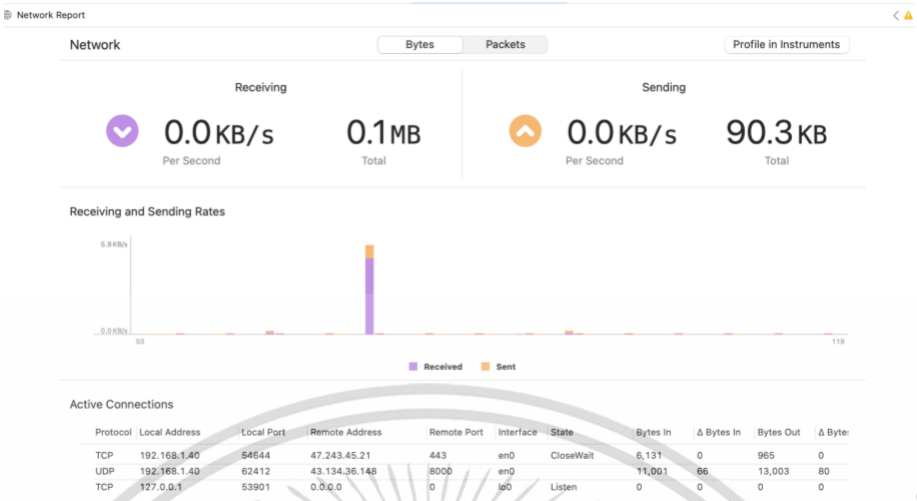
การวัดประสิทธิภาพการเชื่อมต่อ โดยทำการเปลี่ยนชนิดของฮาร์ดแวร์นั้น เนื่องจากโทรศัพท์ไอโฟนแต่ละประเภทนั้นมีความแตกต่างกันในหลาย ๆ ด้าน ตัวอย่างได้แก่ 1) ประสิทธิการประมวลผลในแต่ละรุ่นมีประสิทธิภาพการประมวลผลที่ต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพ เวลาในการโหลดแอปที่ต่างกัน การทำงานหลายอย่างพร้อมกันที่ราบรื่นขึ้น และประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่ดีขึ้น 2) การเชื่อมต่อ iPhone รุ่นใหม่มักจะมีความพัฒนาในตัวเลือกการเชื่อมต่อ ซึ่งรวมถึงการรองรับเครือข่ายเซลลูล่าร์ที่เร็วกว่า โดยการทดสอบนั้นจะทำการทดสอบด้วยตัวจำลองโทรศัพท์ โดยจะใช้โทรศัพท์ไอโฟนทั้งหมด 4 รุ่น ได้แก่ Iphone11 Iphone12 Iphone13 Iphone14 ซึ่งเป็น 4 รุ่นล่าสุดที่ผลิตออกสู่ตลาด โดยมีการกำหนดสภาพแวดล้อมในการทดสอบ ด้วยระบบปฏิบัติการ IOS 16.4 และการเชื่อมต่อผ่าน WiFi โดยช่วงเวลาที่ทำการทดสอบผ่านทาง WebRTC นั้น จะทำการทดสอบทั้งหมด 3 ช่วง ได้แก่ 1) ช่วงเริ่มการติดต่อสื่อสารโดยทำการปิดกล้องและปิดไมโครโฟน 2) ติดต่อสื่อสารเฉพาะเสียง เปิดไมโครโฟน 3) ติดต่อสื่อสารแบบเต็มรูปแบบ เปิดทั้งกล้องและไมโครโฟน

4.4.1.1 ผลลัพธ์การติดต่อสื่อสารผ่านทางไอโฟน 11 โปร



(ก) (ข)

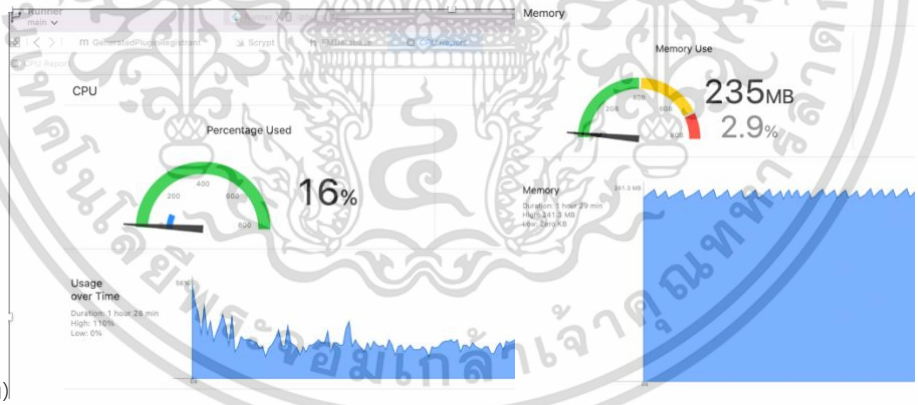
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

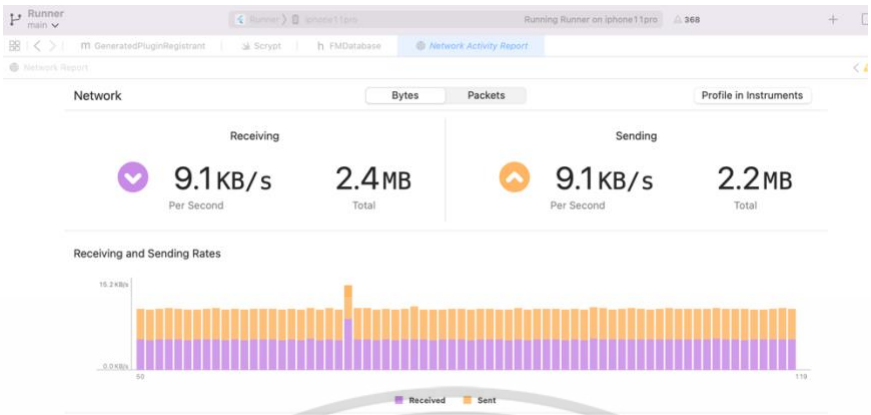
รูปที่ 4.3 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 11 โปร โดยไม่มีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน (ก) ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข) ปริมาณหน่วยความจำที่ใช้ (ค) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล

ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อผ่านโทรศัพท์ไอโฟน 11 โปร โดยไม่มีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน โดยผลจากการวัดผ่านตัวอุปกรณ์พบว่าปริมาณ หน่วยประมวลผลที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5% ใช้หน่วยความจำไปทั้งหมด 2.7% และการรับส่งข้อมูลเข้าและออก 0 ไบต์ เนื่องจากไม่ได้มีการติดต่อสื่อสาร

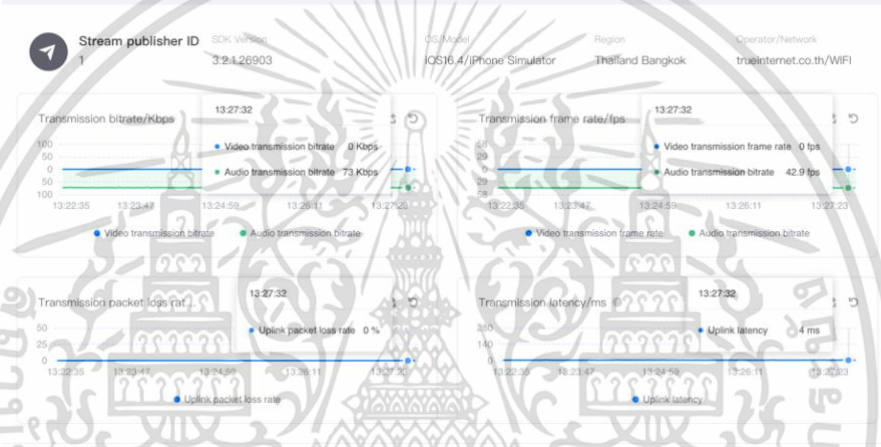


(ก) (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

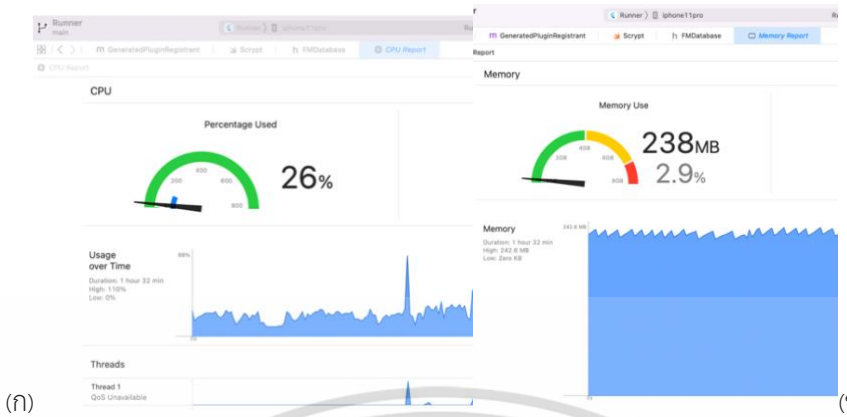


(ง)

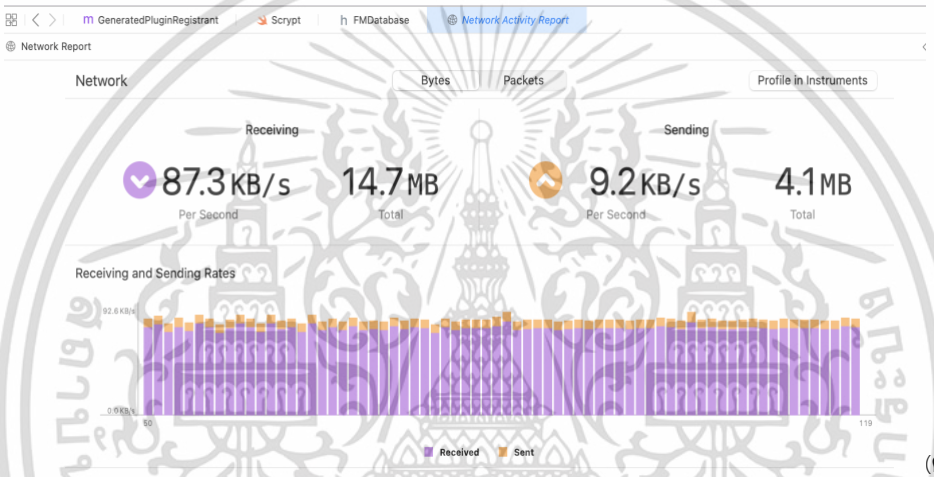
รูปที่ 4.4 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 11 โปร โดยเปิดเฉพาะไมโครโฟน (ก)ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข) ปริมาณหน่วยความจำที่ใช้ (ค) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (ง) คุณภาพในการโทร

ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อผ่านโทรศัพท์ไอโฟน 11 โปร มีเงื่อนไขในการติดต่อสื่อสารเฉพาะแค่เสียงเท่านั้น ไม่มีการเผยแพร่ภาพ ทำการเปิดใช้งานเฉพาะไมโครโฟน โดยผลจากการวัดผ่านตัวอุปกรณ์ พบว่า ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้มีค่าเท่ากับ 16% ใช้หน่วยความจำไปทั้งหมด 2.9% และการรับส่งข้อมูลเข้าและออกมีความเร็วในการรับส่งข้อมูล 9.1 กิโลไบต์ต่อวินาที ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการวัดคุณภาพการโทรผ่านทางการวิเคราะห์ของบริการ zegocloud นั้นพบว่า ปริมาณข้อมูลเสียงที่ส่งในหนึ่งหน่วยเวลา 74 กิโลบิตต่อวินาที ส่วน ปริมาณข้อมูลวิดีโอที่ส่ง 0 บิตต่อวินาที เนื่องจากไม่สามารถใช้บริการกล้องได้ ปริมาณแพ็กเก็ตสูญหาย 0 % ดีเลย์ในการส่ง 4 มิลลิวินาที

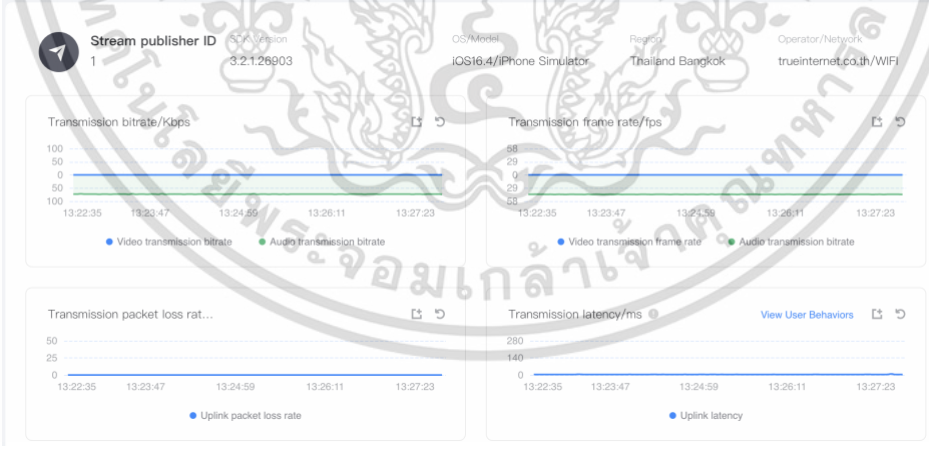
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)



(ค)



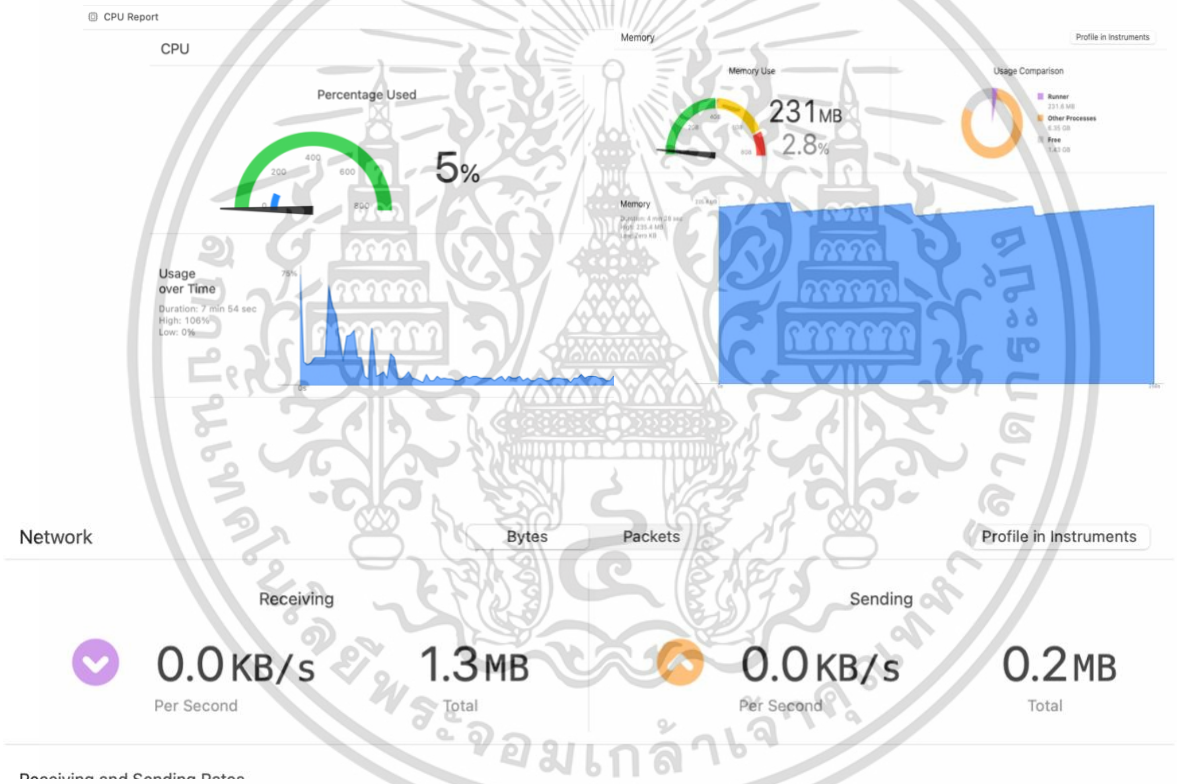
(ง)

รูปที่ 4.5 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 11 โปร โดยมีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน (ก) ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข) ปริมาณหน่วยความจำที่ใช้ (ค) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (ง) คุณภาพในการโทร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อผ่านโทรศัพท์ไอโฟน 11 โปร มีเงื่อนไขในการติดต่อสื่อสารทั้งเสียงและวิดีโอ ทำการเปิดใช้งานทั้งกล้องและวิดีโอ โดยผลจากการวัดผ่านตัวอุปกรณ์ พบว่า ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้มีค่าเท่ากับ 26% ใช้หน่วยความจำไปทั้งหมด 2.9% ความเร็วในการรับข้อมูล 87.3 กิโลไบต์ต่อวินาที และความเร็วในการส่งข้อมูล 9.2 กิโลไบต์ต่อวินาที เนื่องจากเงื่อนไขตัวจำลองนั้นไม่สามารถทำการเปิดใช้บริการกล้องได้ รวมถึงการแสดงผลวิดีโอที่ได้รับมาจากอีกอุปกรณ์หนึ่งได้ การวิเคราะห์ของบริการ zegocloud นั้น พบว่า ปริมาณข้อมูลเสียงที่ส่งในหนึ่งหน่วยเวลา 74 กิโลบิตต่อวินาที ส่วน ปริมาณข้อมูลวิดีโอที่ส่ง 0 กิโลบิตต่อวินาที เนื่องจากไม่มีการใช้บริการกล้อง ปริมาณแพ็กเก็ตสูญหาย 0% ดีเลย์ 5 มิลลิวินาที

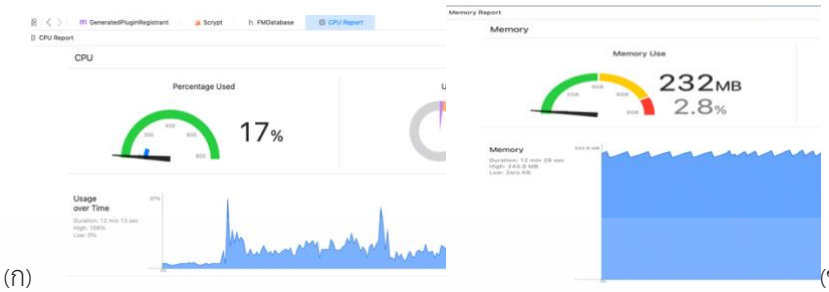
4.4.1.2 ผลลัพธ์การติดต่อสื่อสารผ่านทางไอโฟน 12 โปร



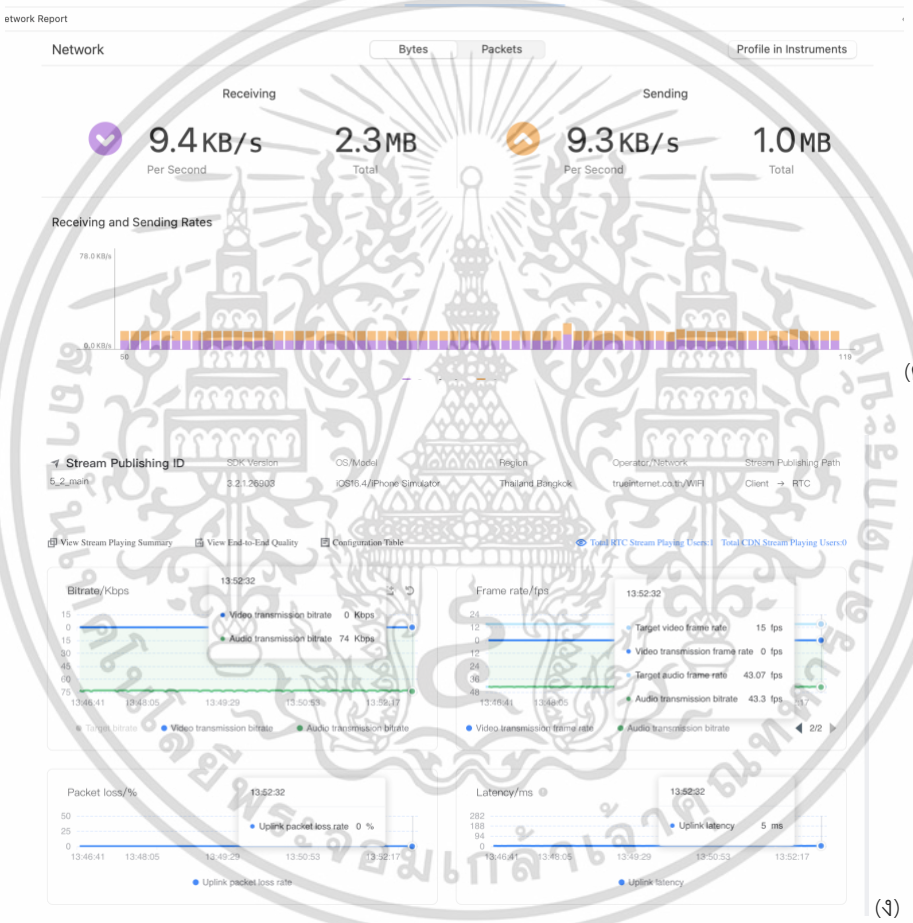
รูปที่ 4.6 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 12 โปร โดยไม่มีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน (ก)ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข) ปริมาณหน่วยความจำที่ใช้ (ค) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล

จากรูปที่ 4.6 ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อผ่านโทรศัพท์ไอโฟน 12 โปร โดยไม่มีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน โดยผลจากการวัดผ่านตัวอุปกรณ์พบว่าปริมาณ หน่วยประมวลผลที่ใช้มีค่าเท่ากับ 5% ใช้หน่วยความจำไปทั้งหมด 2.8% และการรับส่งข้อมูลเข้าและออก 0 ไบต์ เนื่องจากไม่ได้มีการติดต่อสื่อสารแลกเปลี่ยนข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)



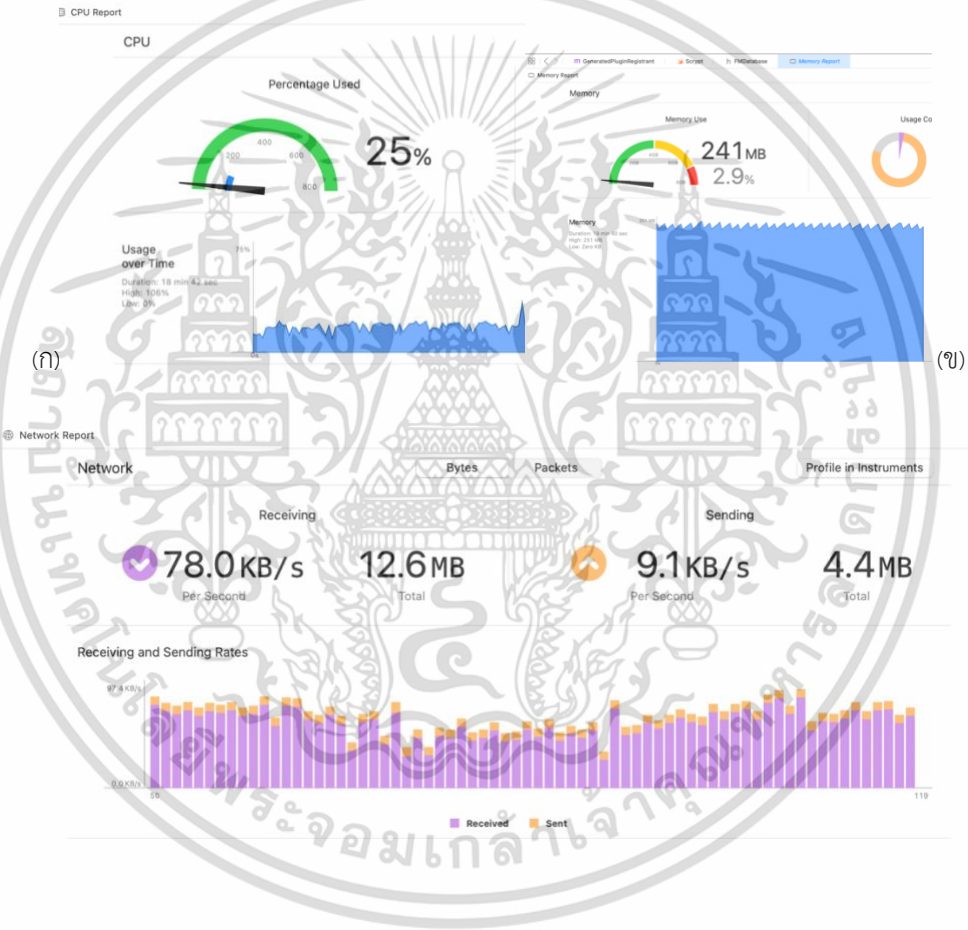
(ค)

(ง)

รูปที่ 4.7 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 12 โปร โดยมีการเปิดใช้งานเฉพาะไมโครโฟน (ก) ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข) ปริมาณหน่วยความจำที่ใช้ (ค) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (ง) การวัดคุณภาพในการโทร

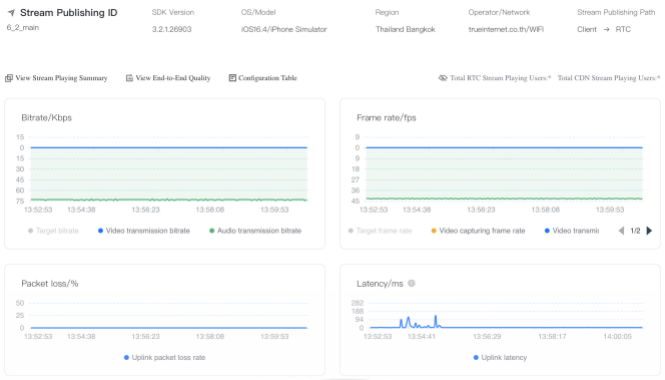
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.7 ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อผ่านโทรศัพท์ไอโฟน 12 โปร มีเงื่อนไขในการติดต่อสื่อสารเฉพาะแค่เสียงเท่านั้นไม่มีการเผยแพร่ภาพ ทำการเปิดใช้งานเฉพาะไมโครโฟน โดยผลจากการวัดผ่านตัวอุปกรณ์พบว่าปริมาณ หน่วยประมวลผลที่ใช้มีค่าเท่ากับ 16% ใช้หน่วยความจำไปทั้งหมด 2.9% และการรับส่งข้อมูลเข้าและออกมีความเร็วในการรับส่งข้อมูล 9.1 กิโลไบต์ต่อวินาที ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการวัดคุณภาพการโทรผ่านทางการวิเคราะห์ของบริการ zegocloud นั้นพบว่า ปริมาณข้อมูลเสียงที่ส่งในหนึ่งหน่วยเวลา 74 กิโลบิตต่อวินาที ส่วนปริมาณข้อมูลวิดีโอที่ส่ง 0 กิโลบิตต่อวินาที เนื่องจากไม่สามารถใช้บริการกล้องได้ ปริมาณแพ็กเก็ตสูญหาย 0% ดีเลย์ 4 มิลลิวินาที



(ก) (ข) (ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

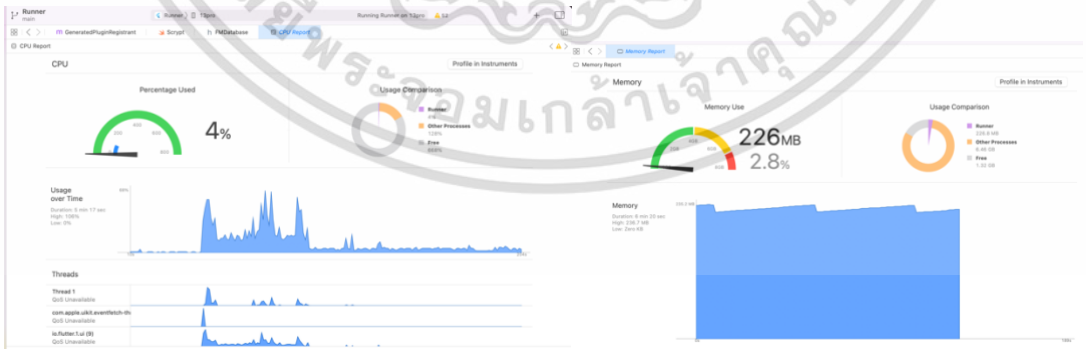


(ง)

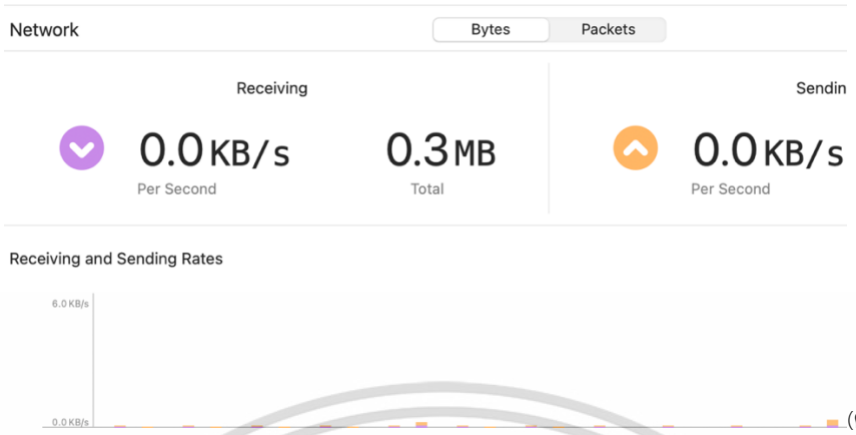
รูปที่ 4.8 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 12 โปร โดยมีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน (ก)ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข) ปริมาณหน่วยความจำที่ใช้ (ค) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (ง) การวัดคุณภาพในการโทร

จากรูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อผ่านโทรศัพท์ไอโฟน 12 โปร มีเงื่อนไขในการติดต่อสื่อสารทั้งเสียงและวิดีโอ ทำการเปิดใช้งานทั้งกล้องและวิดีโอ ผลจากการวัดผ่านตัวอุปกรณ์ พบว่า ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้มีค่าเท่ากับ 26% ใช้หน่วยความจำไปทั้งหมด 2.9% ความเร็วในการรับข้อมูลเฉลี่ย 80.3 กิโลไบต์ต่อวินาที และความเร็วในการส่งข้อมูลเฉลี่ย 9.2 กิโลบิตต่อวินาที เนื่องจากเงื่อนไขตัวจำลองนั้น ไม่สามารถทำการเปิดใช้บริการกล้องได้ รวมถึงการแสดงผลวิดีโอที่ได้รับมาจากอีกอุปกรณ์หนึ่งได้ การวิเคราะห์ของบริการ zegocloud นั้น พบว่า ปริมาณข้อมูลเสียงที่ส่งในหนึ่งหน่วยเวลา 74 กิโลบิตต่อวินาที ส่วน ปริมาณข้อมูลวิดีโอที่ส่ง 0 กิโลบิตต่อวินาที เนื่องจากไม่มีการใช้บริการกล้อง ปริมาณแพ็กเก็ตสูญหาย 0% ดีเลย์ 5 มิลลิวินาที

4.4.1.3 ผลลัพธ์การติดต่อสื่อสารผ่านทางไอโฟน 13 โปร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

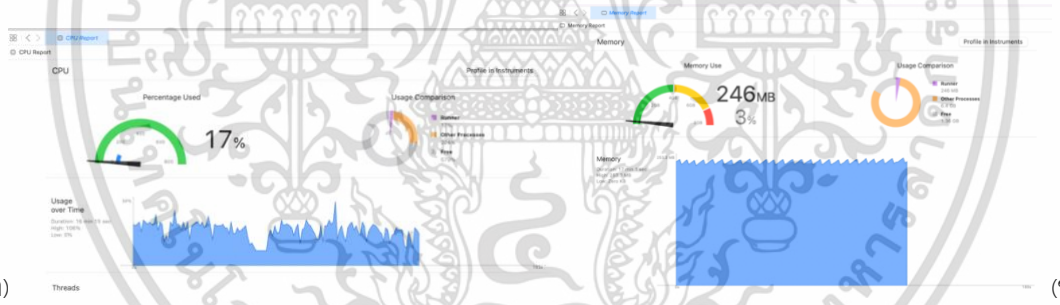


(ค)

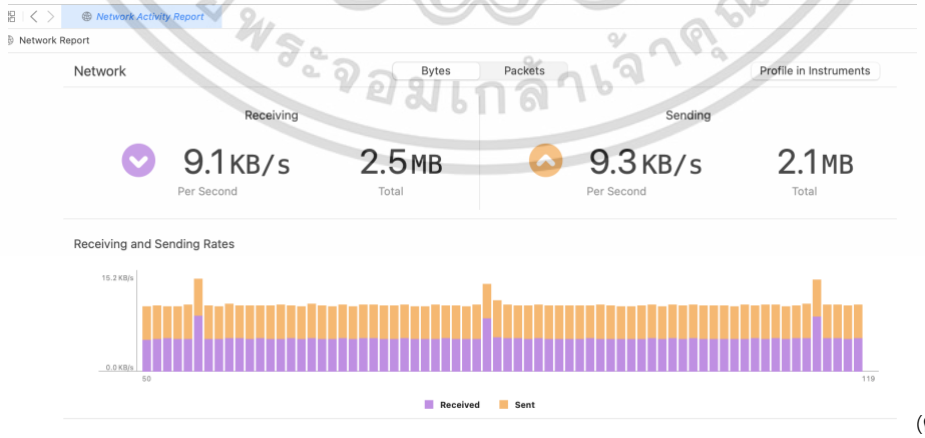
รูปที่ 4.9 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 13 โปร โดยไม่มีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน (ก)ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข) ปริมาณหน่วยความจำที่ใช้ (ค) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล

จากรูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อผ่านโทรศัพท์ไอโฟน 11 โปร โดยไม่มีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน โดยผลจากการวัดผ่านตัวอุปกรณ์พบว่าปริมาณ หน่วยประมวลผลที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4% ใช้หน่วยความจำไปทั้งหมด 2.8% และการรับส่งข้อมูลเข้าและออก 0 ไบต์ เนื่องจากไม่ได้มีการติดต่อสื่อสารทั้งข้อมูลภาพและวิดีโอ

(ก)

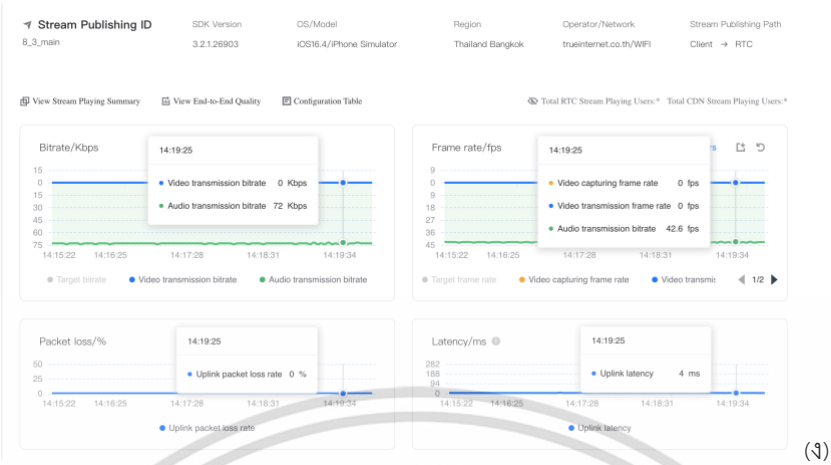


(ข)



(ค)

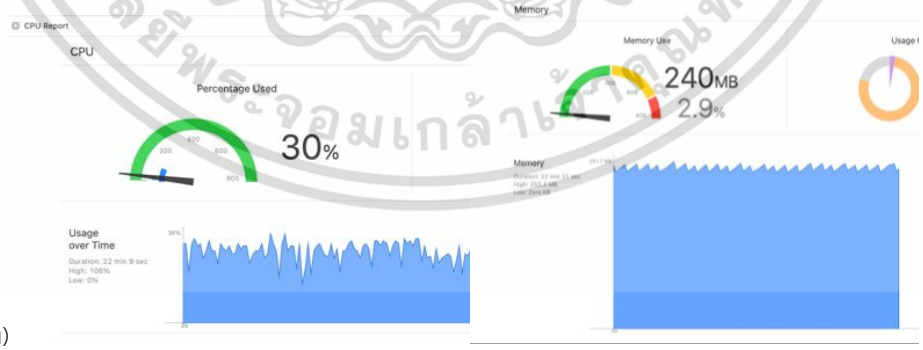
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ง)

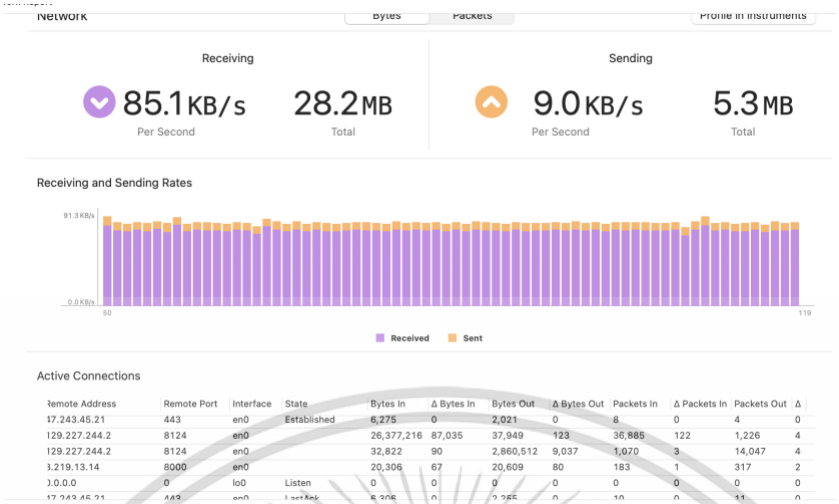
รูปที่ 4.10 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 13 โปร โดยมีการเปิดใช้งานเฉพาะไมโครโฟน (ก) ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข) ปริมาณหน่วยความจำที่ใช้ (ค) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (ง) การวัดคุณภาพในการโทร

ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อผ่านโทรศัพท์ไอโฟน 13 โปร มีเงื่อนไขในการติดต่อสื่อสารเฉพาะเสียงเท่านั้นไม่มีการเผยแผ่ภาพ ทำการเปิดใช้งานเฉพาะไมโครโฟน ผลจากการวัดผ่านตัวอุปกรณ์จากรูปที่ 4.10 พบว่า ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้มีค่าเท่ากับ 16% ใช้หน่วยความจำไปทั้งหมด 2.9% และการรับส่งข้อมูลเข้าและออกมีความเร็วในการรับส่งข้อมูล 9.1 กิโลไบต์ต่อวินาที ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการวัดคุณภาพการโทรผ่านทางการวิเคราะห์ของบริการ zegocloud นั้น พบว่า ปริมาณข้อมูลเสียงที่ส่งในหนึ่งหน่วยเวลา 74 กิโลบิตต่อวินาที ส่วนปริมาณข้อมูลวิดีโอที่ส่ง 0 กิโลบิตต่อวินาที เนื่องจากไม่สามารถใช้บริการกล้องได้ ปริมาณแพ็กเก็ตสูญหาย 0% ดีเลย์ 4 มิลลิวินาที

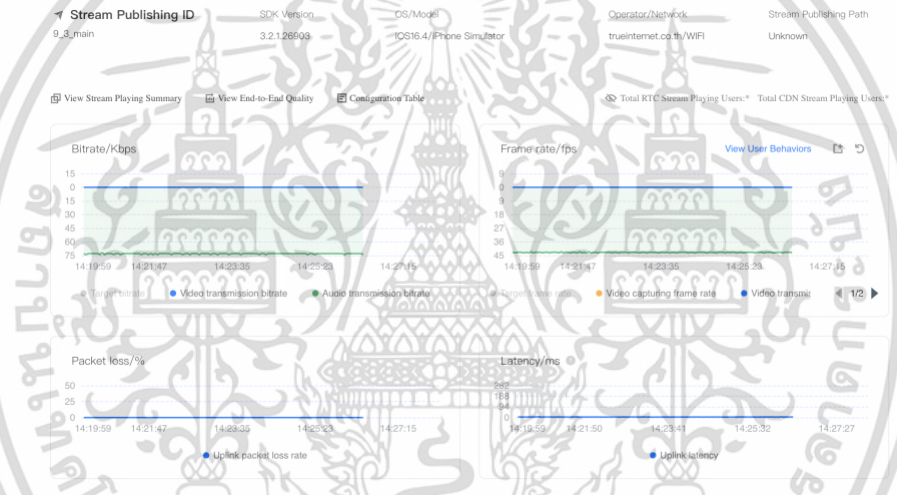


(ก) (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)



(ง)

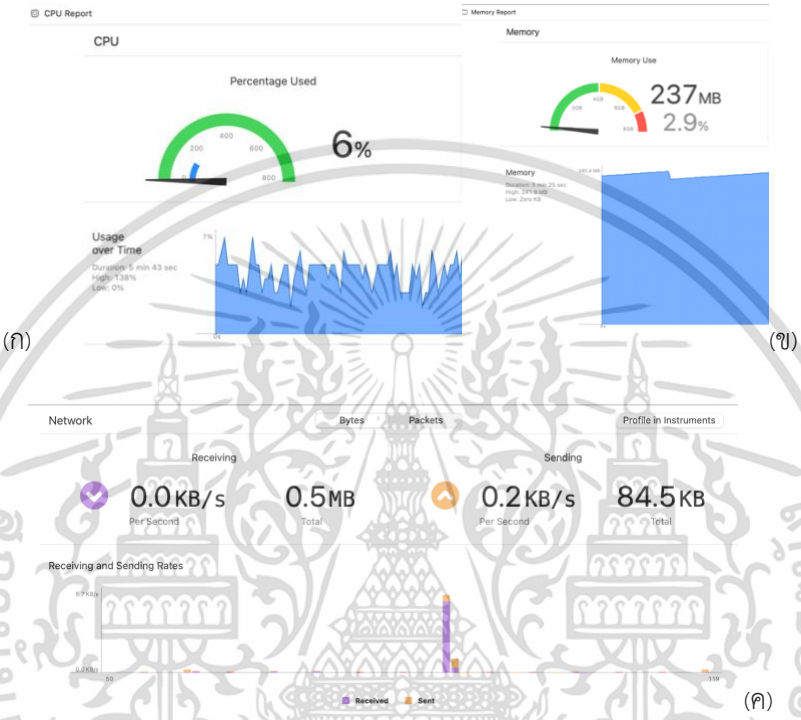
รูปที่ 4.11 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 13 โปร โดยมีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน (ก) ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข) ปริมาณหน่วยความจำที่ใช้ (ค) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (ง) การวัดคุณภาพในการโทร

จากรูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อผ่านโทรศัพท์ไอโฟน 13 โปร มีเงื่อนไขในการติดต่อสื่อสารทั้งเสียงและวิดีโอ ทำการเปิดใช้งานทั้งกล้องและวิดีโอ ผลจากการวัดผ่านตัวอุปกรณ์ พบว่า ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้มีค่าเท่ากับ 26% ใช้หน่วยความจำไปทั้งหมด 2.9% ความเร็วในการรับข้อมูลเฉลี่ย 85.3 กิโลไบต์ต่อวินาที และความเร็วในการส่งข้อมูลเฉลี่ย 9.2 กิโลไบต์ต่อวินาที เนื่องจากเงื่อนไขตัวจำลองนั้นไม่สามารถทำการเปิดใช้บริการกล้องได้ รวมถึงการแสดงผลวิดีโอที่ได้รับมาจากอีกอุปกรณ์หนึ่งได้ การวิเคราะห์ของบริการ zegocloud

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นั้น พบว่า ปริมาณข้อมูลเสียงที่ส่งในหนึ่งหน่วยเวลา 74 กิโลบิตต่อวินาที ส่วนปริมาณข้อมูลวิดีโอที่ส่ง 0 กิโลบิตต่อวินาที เนื่องจากไม่สามารถใช้บริการกล้อง ปริมาณแพ็กเก็ตสูญหาย 0% ดีเลย์ 5 มิลลิวินาที

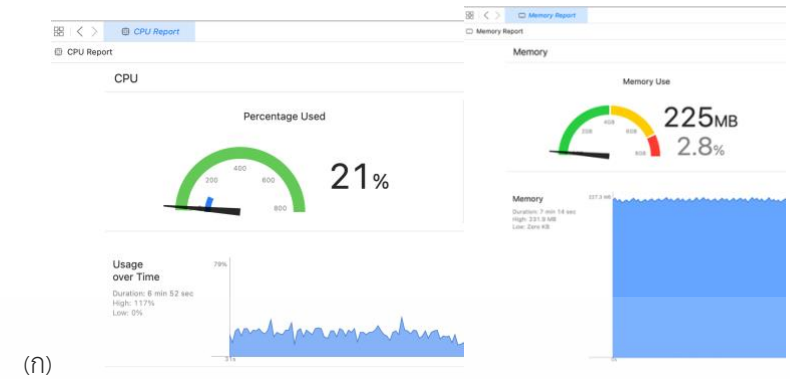
4.4.1.4 ผลลัพธ์การติดต่อสื่อสารผ่านทางไอโฟน 14 โปร



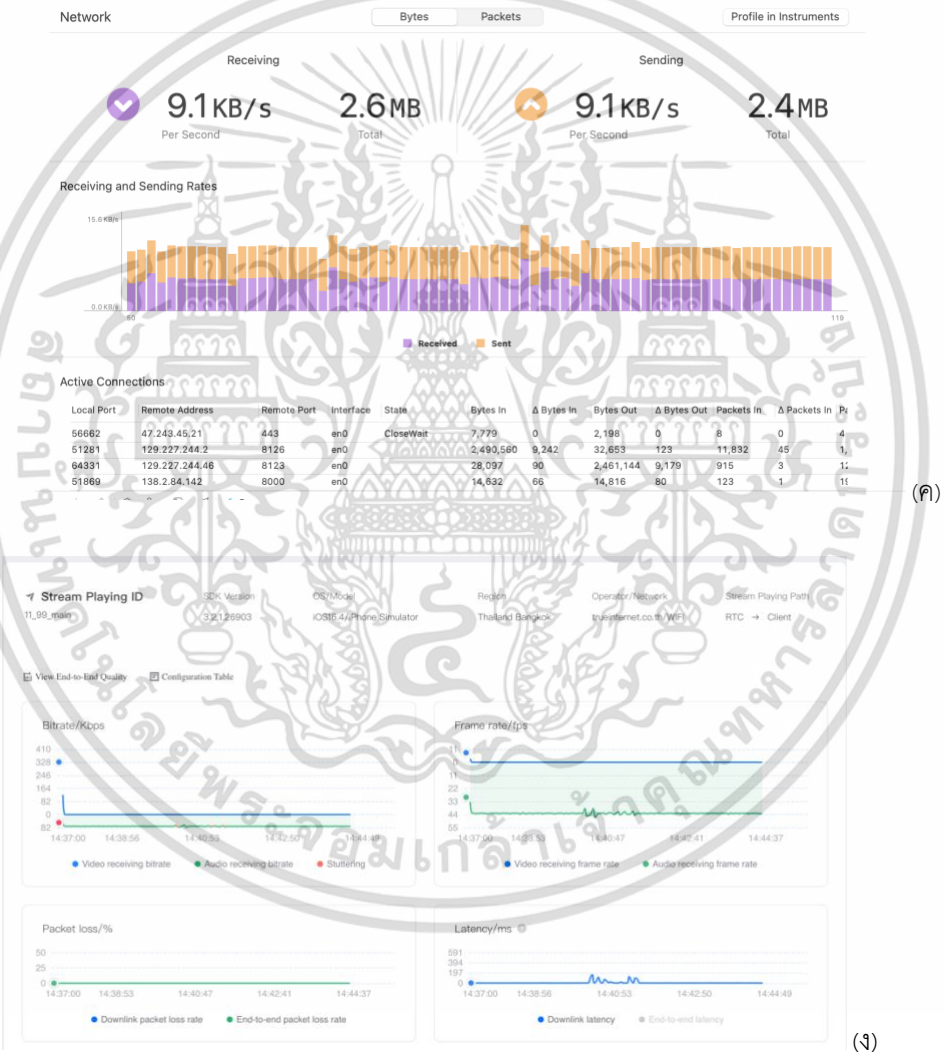
รูปที่ 4.12 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 14 โปร โดยไม่มีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน (ก)ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข) ปริมาณหน่วยความจำที่ใช้ (ค) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล

จากรูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อผ่านโทรศัพท์ไอโฟน 14 โปร โดยไม่มีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน โดยผลจากการวัดผ่านตัวอุปกรณ์พบว่าปริมาณ หน่วยประมวลผลที่ใช้มีค่าเท่ากับ 4 % ใช้หน่วยความจำไปทั้งหมด 2.8 % และการรับส่งข้อมูลเข้าและออก 0 ไบต์ เนื่องจากไม่ได้มีการติดต่อสื่อสารทั้งข้อมูลภาพและวิดีโอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) (ข)



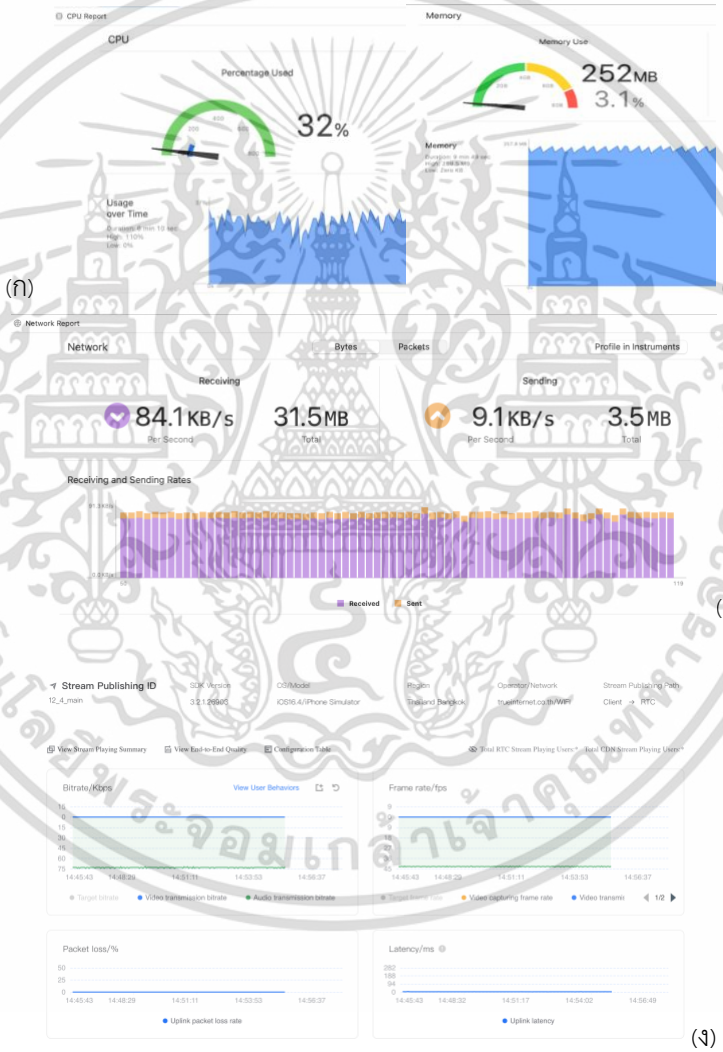
(ค)

(ง)

รูปที่ 4.13 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 14 โปร โดยมีการเปิดใช้งานเฉพาะไมโครโฟน (ก)ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข) ปริมาณหน่วยความจำที่ใช้ (ค) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (ง) การวัดคุณภาพในการโทร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อผ่านโทรศัพท์ไอโฟน 14 โปร มีเงื่อนไขในการติดต่อสื่อสารเฉพาะแค่เสียงเท่านั้นไม่มีการเผยแผ่รภาพ ทำการเปิดใช้งานเฉพาะไมโครโฟน ผลจากการวัดผ่านตัวอุปกรณ์พบว่าปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้มีค่าเท่ากับ 21% ใช้หน่วยความจำไปทั้งหมด 2.8% และการรับส่งข้อมูลเข้าและออกมีความเร็วในการรับส่งข้อมูล 9.1 กิโลไบต์ต่อวินาที ซึ่งเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับการวัดคุณภาพการโทรผ่านทางการวิเคราะห์ของบริการ zegocloud นั้น พบว่าปริมาณข้อมูลเสียงที่ส่งในหนึ่งหน่วยเวลา 73 กิโลบิตต่อวินาที ส่วน ปริมาณข้อมูลวิดีโอที่ส่ง 0 กิโลบิตต่อวินาที เนื่องจากไม่สามารถใช้บริการกล้องได้ ปริมาณแพ็กเก็ตสูญหาย 0 % การส่งข้อมูลดีเลย์ 4 มิลลิวินาที



รูปที่ 4.14 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์รุ่นไอโฟน 14 โปร โดยมีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน (ก) ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข) ปริมาณหน่วยความจำที่ใช้ (ค) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (ง) การวัดคุณภาพในการโทร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.14 ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อผ่านโทรศัพท์ไอโฟน 14 โปร มีเงื่อนไขในการติดต่อสื่อสารทั้งเสียงและวิดีโอ ทำการเปิดใช้งานทั้งกล้องและวิดีโอ ผลจากการวัดผ่านตัวอุปกรณ์ พบว่า ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้มีค่าเท่ากับ 26% ใช้หน่วยความจำไปทั้งหมด 2.9 % ความเร็วในการรับข้อมูลเฉลี่ย 85.3 กิโลไบต์ต่อวินาที และความเร็วในการส่งข้อมูลเฉลี่ย 9.2 กิโลไบต์ต่อวินาที เนื่องจากเงื่อนไขตัวจำลองนั้นไม่สามารถทำการเปิดใช้บริการกล้องได้ รวมถึงการแสดงผลวิดีโอที่ได้รับมาจากอีกอุปกรณ์หนึ่งได้ การวิเคราะห์ของบริการ zegocloud นั้น พบว่า ปริมาณข้อมูลเสียงที่ส่งในหนึ่งหน่วยเวลา 74 กิโลบิตต่อวินาที ส่วนปริมาณข้อมูลวิดีโอที่ส่ง 0 กิโลบิตต่อวินาที เนื่องจากไม่สามารถใช้บริการกล้อง ปริมาณแพ็กเก็ตสูญหาย 0%และมีดีเลย์ 5 มิลลิวินาที

ตารางที่ 4.2 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการโทรติดต่อสื่อสารและประสิทธิภาพของเครื่องในขณะที่ไม่ได้มีการรับส่งข้อมูล

ชื่อรุ่น	ปริมาณหน่วยประมวลผล	ปริมาณหน่วยความจำ	การวัดความล่าช้าในการส่งข้อมูล	ความเร็วในการรับส่งข้อมูล	ข้อมูลสูญหาย
Iphone11pro	5%	220 เมกะไบต์	0 มิลลิวินาที	0 บิตต่อวินาที	0 %
Iphone12pro	5%	231 เมกะไบต์	0 มิลลิวินาที	0 บิตต่อวินาที	0%
Iphone13pro	5%	226 เมกะไบต์	0 มิลลิวินาที	0 บิตต่อวินาที	0%
Iphone14pro	5%	237 เมกะไบต์	0 มิลลิวินาที	0 บิตต่อวินาที	0%

ตารางที่ 4.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการโทรติดต่อสื่อสารและประสิทธิภาพของเครื่องในขณะที่มีการรับส่งข้อมูลเสียงอย่างเดียว

ชื่อรุ่น	ปริมาณหน่วยประมวลผล	ปริมาณหน่วยความจำ	การวัดความล่าช้าในการส่งข้อมูล	ความเร็วในการรับส่งข้อมูลเสียง	ข้อมูลสูญหาย
Iphone11pro	16%	235 เมกะไบต์	4 มิลลิวินาที	73 กิโลบิตต่อวินาที	0 %
Iphone12pro	17%	232 เมกะไบต์	4 มิลลิวินาที	73 กิโลบิตต่อวินาที	0%
Iphone13pro	17%	246 เมกะไบต์	4 มิลลิวินาที	73 กิโลบิตต่อวินาที	0%
Iphone14pro	30%	240 เมกะไบต์	4 มิลลิวินาที	73 กิโลบิตต่อวินาที	0%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการโทรติดต่อสื่อสารและประสิทธิภาพของเครื่องในขณะที่มีการรับส่งข้อมูลทั้งภาพและเสียง

ชื่อรุ่น	ปริมาณหน่วยประมวลผล	ปริมาณหน่วยความจำ	การวัดความล่าช้า	ความเร็วในการรับข้อมูลวิดีโอ	ความเร็วในการส่งข้อมูลเสียง	ข้อมูลสูญหาย
Iphone11pro	26%	238 เมกะไบต์	4 มิลลิวินาที	690 กิโลบิตต่อวินาที	73 กิโลบิตต่อวินาที	0%
Iphone12pro	25%	241 เมกะไบต์	4 มิลลิวินาที	624 กิโลบิตต่อวินาที	73 กิโลบิตต่อวินาที	0%
Iphone13pro	30%	240 เมกะไบต์	4 มิลลิวินาที	680 กิโลบิตต่อวินาที	73 กิโลบิตต่อวินาที	0%
Iphone14pro	32%	252 เมกะไบต์	4 มิลลิวินาที	672 กิโลบิตต่อวินาที	73 กิโลบิตต่อวินาที	0%

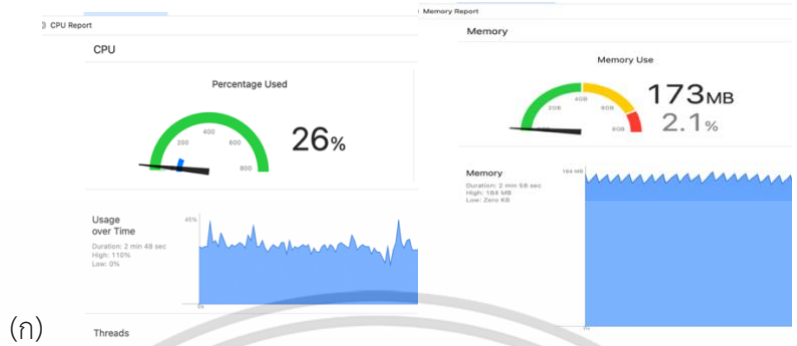
ผลลัพธ์การทดลองประสิทธิภาพของเครื่องระบบปฏิบัติการ IOS เวอร์ชัน 16.4 ในอุปกรณ์รุ่นต่างๆ สรุปผลได้ว่า การเปลี่ยนแปลงรุ่นของฮาร์ดแวร์นั้นไม่ได้ส่งผลต่อในด้านความเร็วการรับส่งข้อมูลรวมถึงปริมาณหน่วยความจำที่ใช้ รวมถึงปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ปริมาณใกล้เคียงกันโดย จากการเปรียบเทียบ 3 สถานะ ทั้งในกรณีไม่มีการใช้งานกล้องและไมโครโฟน รวมถึงการใช้บริการแค่กล้อง และการใช้บริการทั้งกล้องและวิดีโอ ผลจากตารางที่ 4.2, 4.3 และ 4.4 สรุปได้ว่า ปริมาณการใช้งานหน่วยประมวลผลที่แตกต่างกัน โดย การรับส่งข้อมูลทั้งภาพและเสียงมีการใช้ปริมาณ CPU มากที่สุด รองลงมาคือการรับข้อมูลแค่รูปภาพ จากนั้นน้อยที่สุดคือในกรณีที่ไม่มีการใช้บริการภาพและเสียง

4.4.2 ผลลัพธ์การใช้งาน WebRTC ผ่านระบบปฏิบัติการ IOS เวอร์ชันต่าง ๆ

การวัดประสิทธิภาพการเชื่อมต่อ โดยทำการเปลี่ยนรุ่นของระบบปฏิบัติการทั้งหมด 4 รุ่น ได้แก่ IOS 13.7, IOS14.3, IOS 15.0 และ IOS 16.4 โดยมีการควบคุมสภาพแวดล้อมในการทดสอบเป็น iphone11 โปร ซึ่งสามารถใช้เครื่องจำลองในการสร้างและยังสามารถรองรับระบบปฏิบัติการได้ทั้ง 4 รุ่น โดยทำการทดสอบในขณะที่มีการรับส่งข้อมูลทั้งภาพและเสียง

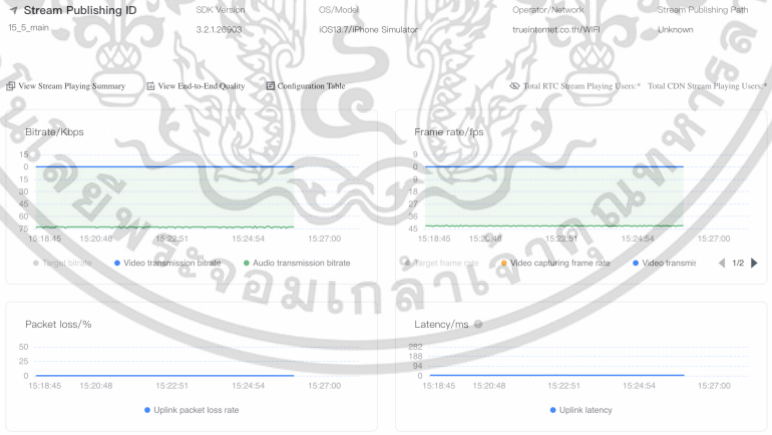
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.2.1 การวัดประสิทธิภาพการเชื่อมต่อของอุปกรณ์โดยใช้ระบบปฏิบัติการ IOS 13.7



(ก) (ข)

(ค)



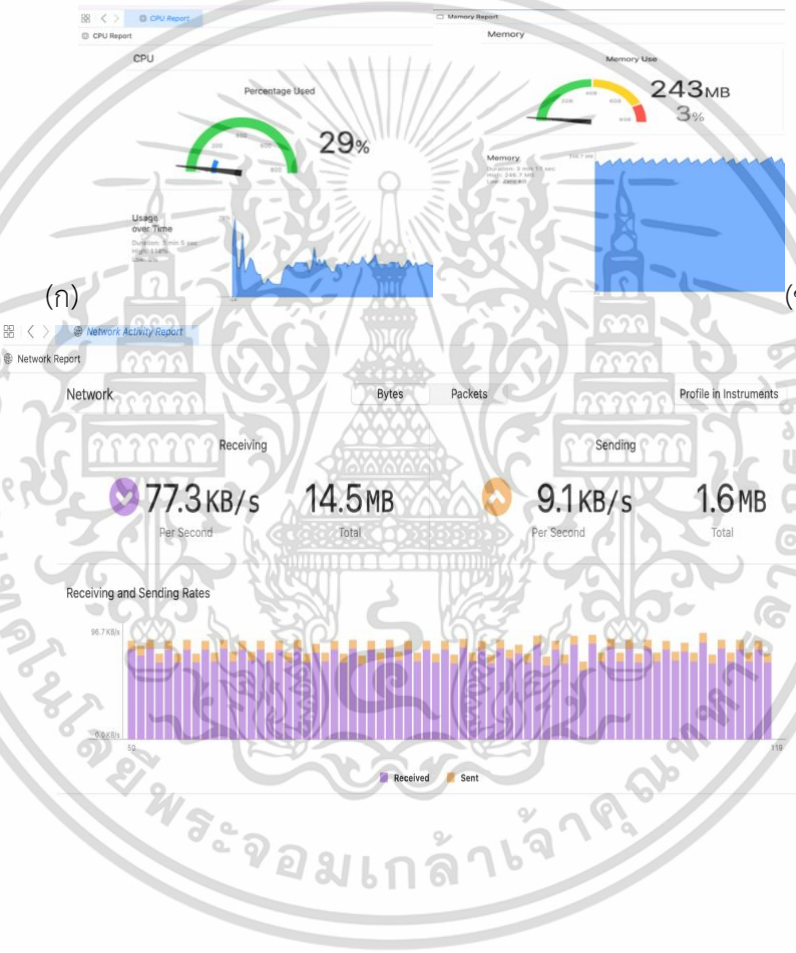
(ง)

รูปที่ 4.15 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านระบบปฏิบัติการ IOS 13.7 โดยมีการเปิดใช้งานทั้งไมโครโฟนและกล้อง (ก)ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข) ปริมาณหน่วยความจำที่ใช้ (ค) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (ง) การวัดคุณภาพในการโทร

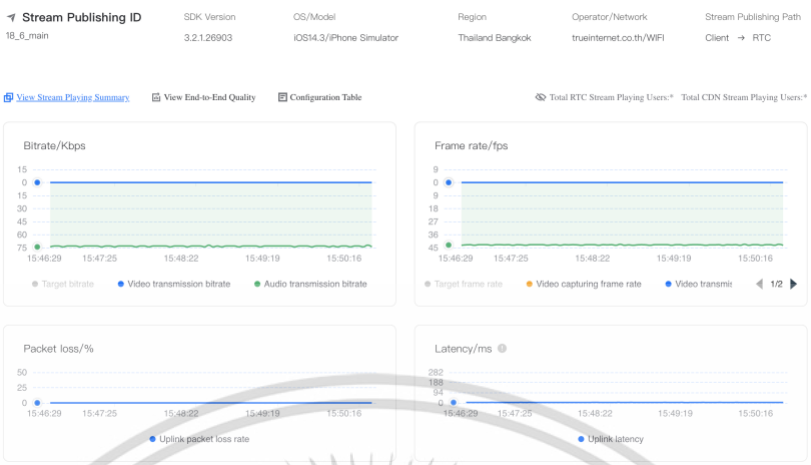
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.15 ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อโดยใช้ระบบปฏิบัติการ IOS 13.7 โดยทำการติดต่อสื่อสารทั้งภาพและวิดีโอ ผลการวัดประสิทธิภาพจากตัวอุปกรณ์ พบว่า หน่วยประมวลผลที่ใช้มีค่าเท่ากับ 26% มีการใช้หน่วยความจำปริมาณ 173 เมกะไบต์ คิดเป็น 3% ความเร็วในการรับข้อมูล 578 กิโลบิตต่อวินาที ความเร็วในการส่งข้อมูล 81 กิโลบิตต่อวินาที โดยเมื่อเทียบกับการวิเคราะห์คุณภาพการวิดีโอคอลผ่านทาง zegocloud นั้น พบว่า ความเร็วในการส่งข้อมูลมีค่าเท่ากัน และ ปริมาณแพ็กเก็ตสูญหาย 0% ดีเลย์ 4 มิลลิวินาที

4.4.2.2 การวัดประสิทธิภาพการเชื่อมต่อของอุปกรณ์โดยใช้ระบบปฏิบัติการ IOS 14.3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

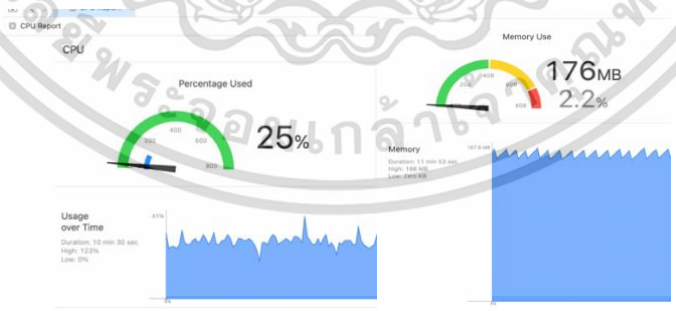


(ง)

รูปที่ 4.16 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านระบบปฏิบัติการ IOS 14.3 โดยมีการเปิดใช้งานทั้งไมโครโฟนและกล้อง (ก) ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข) ปริมาณหน่วยความจำที่ใช้ (ค) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (ง) การวัดคุณภาพในการโทร

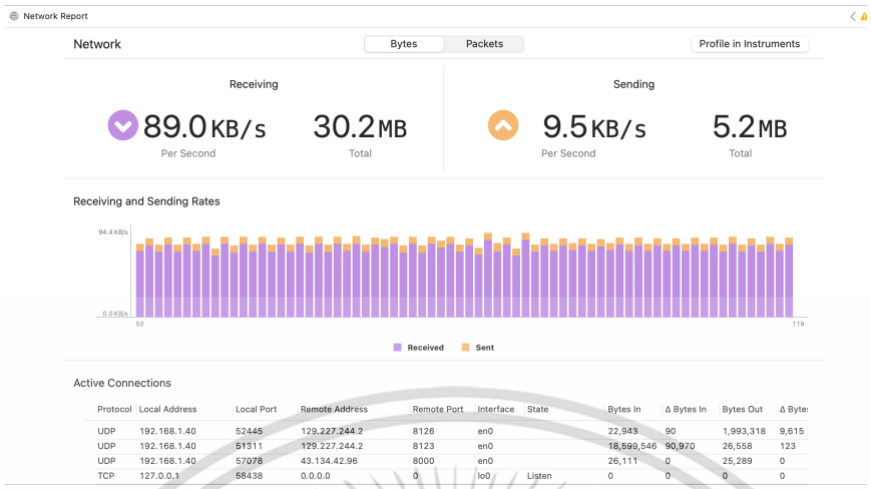
จากรูปที่ 4.16 ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อโดยใช้ระบบปฏิบัติการ IOS 14.3 โดยทำการติดต่อสื่อสารทั้งภาพและวิดีโอ ผลการวัดประสิทธิภาพจากตัวอุปกรณ์ พบว่า หน่วยประมวลผลที่ใช้มีค่าเท่ากับ 29% มีการใช้หน่วยความจำปริมาณ 243 เมกะไบต์ คิดเป็น 3% ความเร็วในการรับข้อมูล 618 กิโลบิตต่อวินาที ความเร็วในการส่งข้อมูล 81 กิโลบิตต่อวินาที โดยเมื่อเทียบกับการวิเคราะห์คุณภาพการวิดีโอคอลผ่านทาง zegocloud นั้น พบว่า ความเร็วในการส่งข้อมูลมีค่าเท่ากัน และ ปริมาณแพ็กเก็ตสูญหาย 0% และมีดีเลย์ 4 มิลลิวินาที

4.4.2.3 การวัดประสิทธิภาพการเชื่อมต่อของอุปกรณ์โดยใช้ระบบปฏิบัติการ IOS15.0

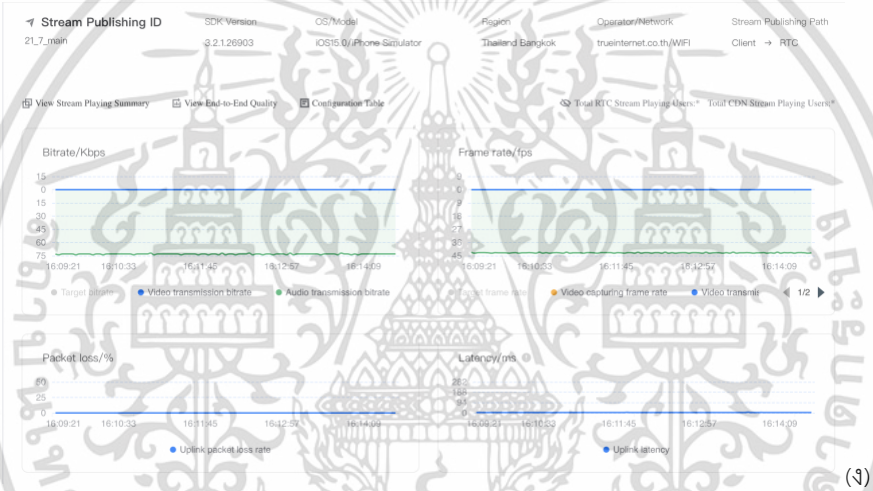


(ก) (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)



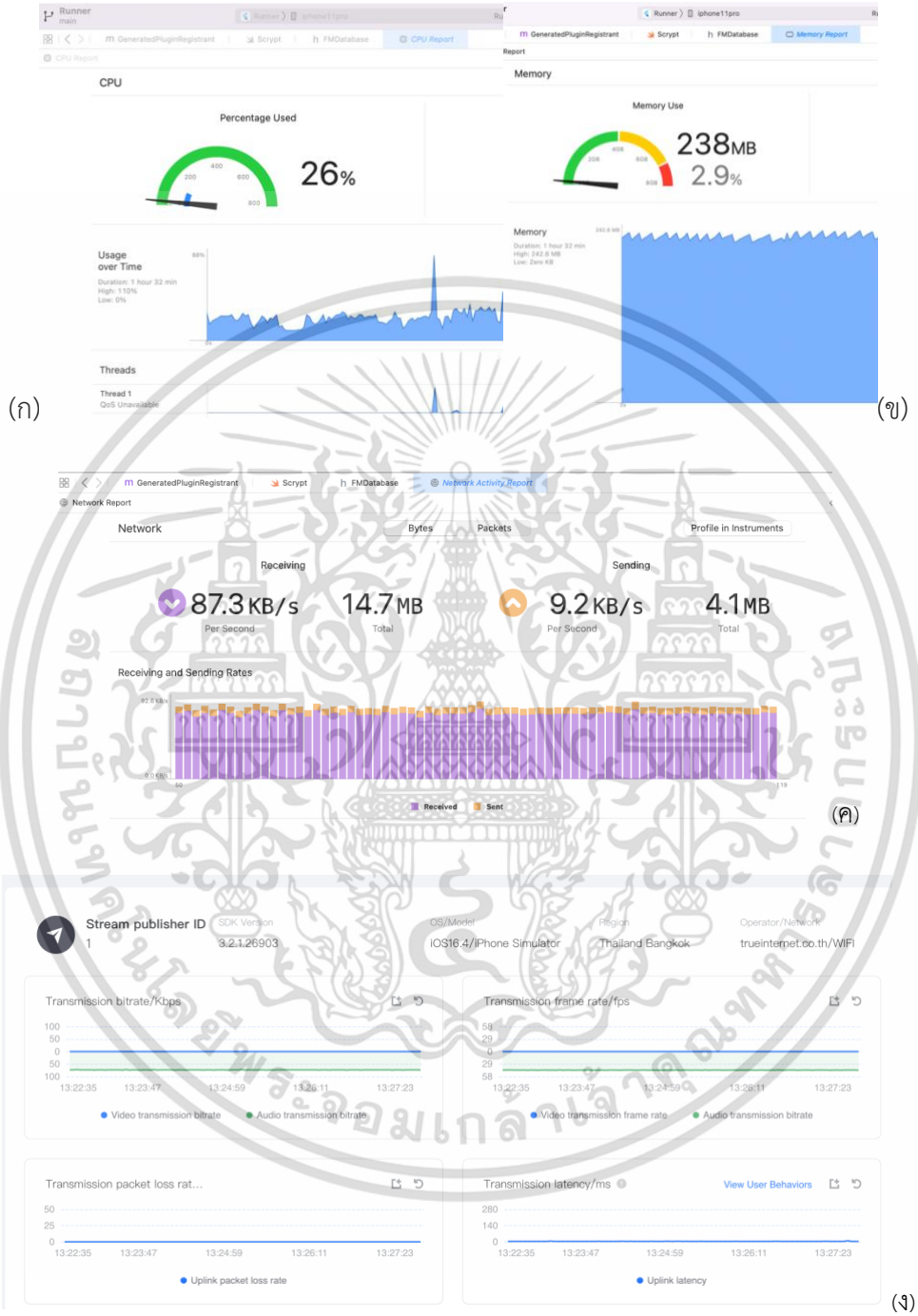
(ง)

รูปที่ 4.17 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านระบบปฏิบัติการ IOS 15.0 โดยมีการเปิดใช้งานทั้งไมโครโฟนและกล้อง (ก) ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข) ปริมาณหน่วยความจำที่ใช้ (ค) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (ง) การวัดคุณภาพในการโทร

จากรูปที่ 4.17 ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อโดยใช้ระบบปฏิบัติการ IOS 15.0 โดยทำการติดต่อสื่อสารทั้งภาพและวิดีโอ ผลการวัดประสิทธิภาพจากตัวอุปกรณ์ พบว่าหน่วยประมวลผลที่ใช้มีค่าเท่ากับ 25% มีการใช้หน่วยความจำปริมาณ 176 เมกะไบต์ คิดเป็น 2.2% ความเร็วในการรับข้อมูล 712 กิโลบิตต่อวินาที ความเร็วในการส่งข้อมูล 81 กิโลบิตต่อวินาที โดยเมื่อเทียบกับการวิเคราะห์คุณภาพการวิดีโอคอลผ่านทาง zegocloud นั้น พบว่า ความเร็วในการส่งข้อมูลมีค่าเท่ากัน และปริมาณแพ็กเก็ตสูญหาย 0% ดีเลย์ 4 มิลลิวินาที

4.4.2.4 การวัดประสิทธิภาพการเชื่อมต่อของอุปกรณ์โดยใช้ระบบปฏิบัติการ IOS 16.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.18 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านระบบปฏิบัติการ IOS 16.4 โดยมีการเปิดกล้องและเปิดไมโครโฟน (ก) ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข) ปริมาณหน่วยความจำที่ใช้ (ค) ความเร็วในการรับส่งข้อมูล (ง) คุณภาพในการโทร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.18 ประสิทธิภาพการเชื่อมต่อโดยใช้ระบบปฏิบัติการ IOS 16.4 โดยทำการติดต่อสื่อสารทั้งภาพและวิดีโอ ผลการวัดประสิทธิภาพจากตัวอุปกรณ์ พบว่าหน่วยประมวลผลที่ใช้มีค่าเท่ากับ 26% มีการใช้หน่วยความจำปริมาณ 238 เมกะไบต์ คิดเป็น 2.9% ความเร็วในการรับข้อมูล 698 กิโลบิตต่อวินาที ความเร็วในการส่งข้อมูล 81 กิโลบิตต่อวินาที โดยเมื่อเทียบกับการวิเคราะห์คุณภาพการวิดีโอคอลผ่านทาง zegocloud นั้น พบว่า ความเร็วในการส่งข้อมูลมีค่าเท่ากัน และปริมาณแพ็กเก็ตสูญหาย 0% ดีเลย์ 4 มิลลิวินาที

ตารางที่ 4.5 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการโทรติดต่อสื่อสารของระบบปฏิบัติการ IOS เวอร์ชันต่าง ๆ

เวอร์ชันของระบบปฏิบัติการ IOS	ปริมาณหน่วยประมวลผล	ปริมาณหน่วยความจำ	การวัดความล่าช้าในการส่งข้อมูล	ความเร็วในการรับข้อมูลวิดีโอ	ความเร็วในการรับข้อมูลเสียง	แพ็กเก็ตสูญหายขณะส่ง
13.7	26%	173 เมกะไบต์	4 มิลลิวินาที	578 กิโลบิตต่อวินาที	81 กิโลบิตต่อวินาที	0%
14.3	29%	243 เมกะไบต์	4 มิลลิวินาที	618 กิโลบิตต่อวินาที	81 กิโลบิตต่อวินาที	0%
15.0	25%	176 เมกะไบต์	4 มิลลิวินาที	712 กิโลบิตต่อวินาที	81 กิโลบิตต่อวินาที	0%
16.4	26%	238 เมกะไบต์	4 มิลลิวินาที	698 กิโลบิตต่อวินาที	81 กิโลบิตต่อวินาที	0%

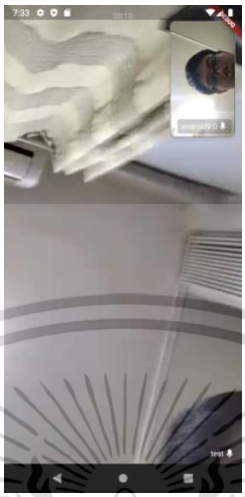
จากตารางที่ 4.5 ผลการโทรติดต่อสื่อสารของระบบปฏิบัติการ IOS เวอร์ชันต่าง ๆ สรุปได้ว่า ในระบบปฏิบัติการที่แตกต่างกัน คุณภาพในการรับส่งข้อมูลการติดต่อสื่อสาร โดยวิธี WebRTC ในแต่ละเวอร์ชันระบบปฏิบัติการนั้น ไม่ต่างกัน มีเพียงปริมาณหน่วยความจำที่ใช้งาน ซึ่งเวอร์ชัน 13.7 และ 15.0 นั้น จะใช้ปริมาณหน่วยความจำที่น้อยกว่า เวอร์ชันอื่น ๆ ด้านความเร็วในการรับส่งข้อมูลนั้นใกล้เคียงกัน รวมถึงปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้งานอีกด้วย

4.4.3 ผลลัพธ์การใช้งาน WebRTC ผ่านระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เวอร์ชันต่าง ๆ

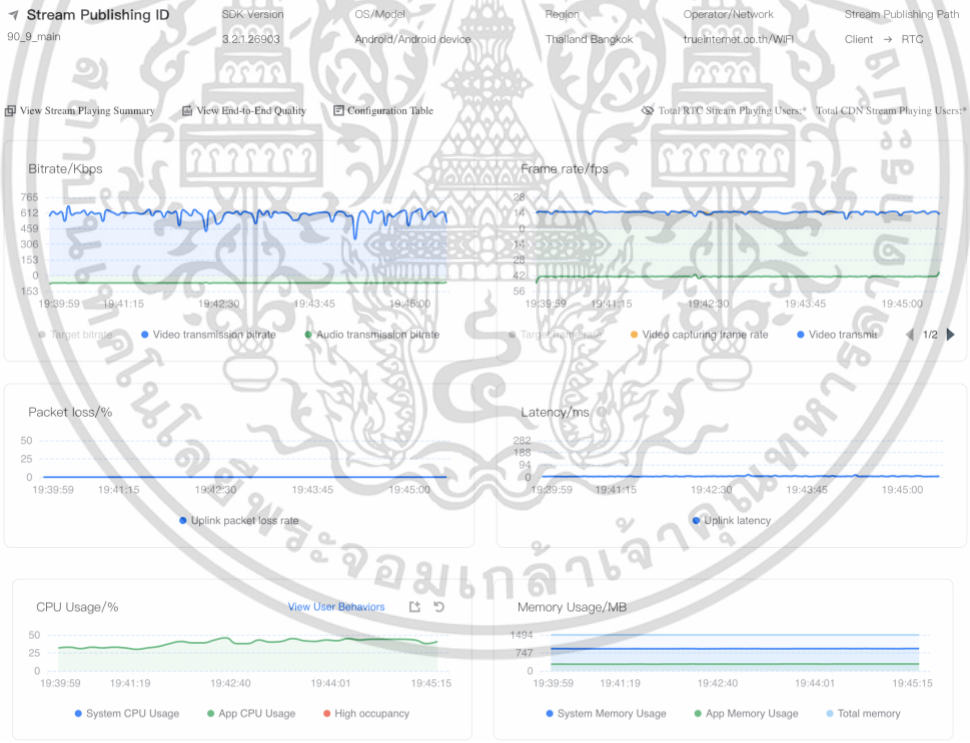
ในการทดสอบการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์แอนดรอยด์ โดยผ่านทาง WebRTC นั้น จะทำการเปลี่ยนรุ่นของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ทั้งหมด 3 เวอร์ชัน ได้แก่ แอนดรอยด์ API 9.0 10.0 และ 11.0 โดยทำการทดสอบติดต่อสื่อสารระหว่าง simulator android ทั้ง 3 กับ อุปกรณ์ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์จริง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.3.1 ผลลัพธ์การทดลองเชื่อมต่อของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เวอร์ชัน 9.0



รูปที่ 4.19 หน้าจอแสดงผลการเชื่อมต่อกับเครื่องจำลองระบบปฏิบัติการแอนดรอยเวอร์ชัน 9.0

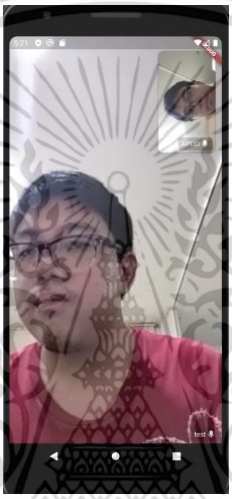


รูปที่ 4.20 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านเครื่องจำลองระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เวอร์ชัน 9.0

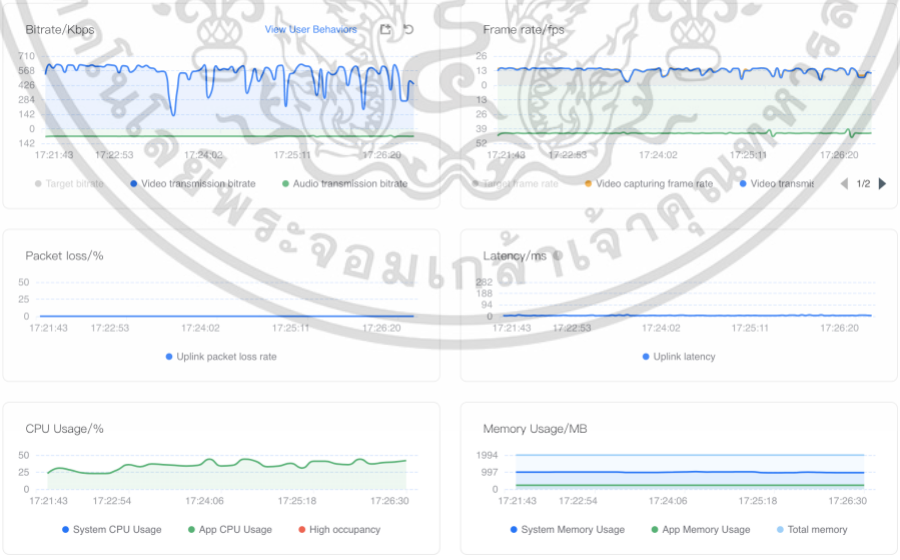
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.20 ผลการทดสอบการเชื่อมต่อด้วยระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 9.0 นั้น พบว่า ความเร็วในการส่งข้อมูลวิดีโอนั้นอยู่ในช่วง 500-600 กิโลบิตต่อวินาที โดยเฉลี่ย 550 กิโลบิตต่อวนาที ส่วนความเร็วในการส่งข้อมูลเสียงนั้นมีค่าเท่ากับ 73 กิโลบิตต่อวินาที โดยที่เฟรมเรตนั้นอยู่ในช่วง 14.9 เฟรมต่อวินาที ปริมาณการสูญหายของแพ็กเก็ตเท่ากับ 0 % การวัดความล่าช้า 7.8 มิลลิวินาที ปริมาณการใช้หน่วยประมวลผล 30% ในช่วงแรกแล้วค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจนถึง 40% และปริมาณหน่วยความจำที่ใช้งานเท่ากับ 280 เมกะบิตต่อวินาที

4.4.3.2 ผลลัพธ์การทดลองเชื่อมต่อของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ด้วย android10.0



รูปที่ 4.21 หน้าจอแสดงผลการเชื่อมต่อกับเครื่องจำลองระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เวอร์ชัน 10.0

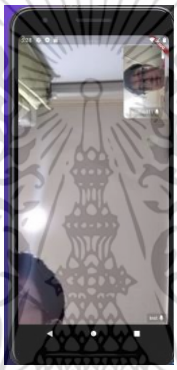


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

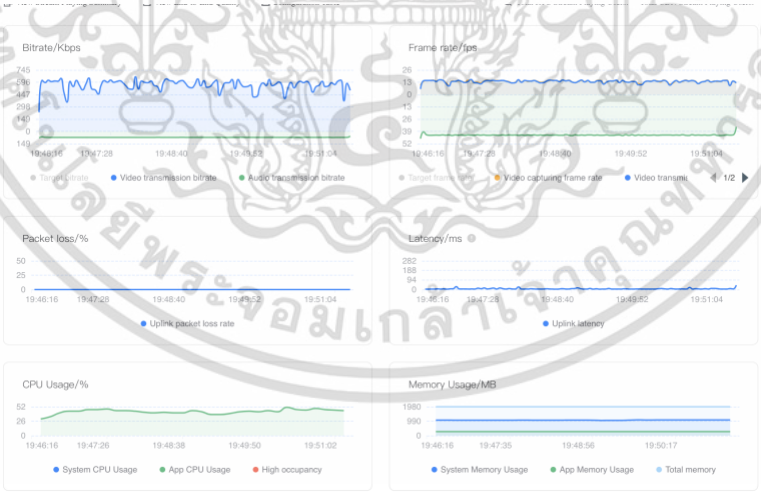
รูปที่ 4.22 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านเครื่องจำลองระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เวอร์ชัน 10.0

จากรูปที่ 4.20 ผลการทดสอบการเชื่อมต่อด้วยระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 10.0 นั้น พบว่า ความเร็วในการส่งข้อมูลวิดีโอนั้นอยู่ในช่วง 300-600 กิโลบิตต่อวินาที ค่าเฉลี่ยคือ 480 กิโลบิตต่อวินาที จากกราฟจะเห็นได้ว่ามีความแกว่งมาก ส่วนความเร็วในการส่งข้อมูลเสียงนั้นมีค่าเท่ากับ 73 กิโลบิตต่อวินาที โดยที่เฟรมเรตนั้นอยู่ในช่วง 14.9 เฟรมต่อวินาที ปริมาณการสูญหายของแพ็กเก็ตเท่ากับ 0 % การวัดความล่าช้า 7 มิลลิวินาที ปริมาณการใช้หน่วยประมวลผล 30 % และปริมาณหน่วยความจำที่ใช้งานเท่ากับ 232 เมกะบิตต่อวินาที

4.4.3.3 ผลลัพธ์การทดลองเชื่อมต่อของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ ด้วย android11.0



รูปที่ 4.23 หน้าจอแสดงผลการเชื่อมต่อกับเครื่องจำลองระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เวอร์ชัน 11.0



รูปที่ 4.24 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านเครื่องจำลองระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เวอร์ชัน 11.0

จากรูปที่ 4.24 ผลการทดสอบการเชื่อมต่อด้วยระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ 11.0 นั้น พบว่า ความเร็วในการส่งข้อมูลวิดีโอนั้นอยู่ในช่วง 300-600 กิโลบิตต่อวินาที โดยเฉลี่ย 532 กิโลบิตต่อวินาที ส่วนความเร็วในการส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลเสียงนั้นมีค่าเท่ากับ 73 กิโลบิตต่อวินาที โดยที่เฟรมเรตนั้นอยู่ในช่วง 12.5 เฟรมต่อวินาที ปริมาณการสูญหายของแพ็กเก็ตเท่ากับ 0 % การวัดความล่าช้า 12.7 มิลลิวินาที ปริมาณการใช้หน่วยประมวลผล 45% และปริมาณหน่วยความจำที่ใช้งานเท่ากับ 272 เมกะบิตต่อวินาที

ตารางที่ 4.6 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการโทรติดต่อสื่อสารของระบบปฏิบัติการ IOS เวอร์ชันต่าง ๆ

เวอร์ชันของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์	ปริมาณหน่วยประมวลผล	ปริมาณหน่วยความจำ	การวัดความล่าช้าในการส่งข้อมูล	ความเร็วในการส่งข้อมูลวิดีโอ	ความเร็วในการส่งข้อมูลเสียง	แพ็กเก็ตสูญหาย
9.0	40%	280 เมกะไบต์	7.8 มิลลิวินาที	550 กิโลบิตต่อวินาที	73 กิโลบิตต่อวินาที	0%
10.0	30%	232 เมกะไบต์	7 มิลลิวินาที	480 กิโลบิตต่อวินาที	73 กิโลบิตต่อวินาที	0%
11.0	45%	272 เมกะไบต์	12 มิลลิวินาที	532 กิโลบิตต่อวินาที	73 กิโลบิตต่อวินาที	0%

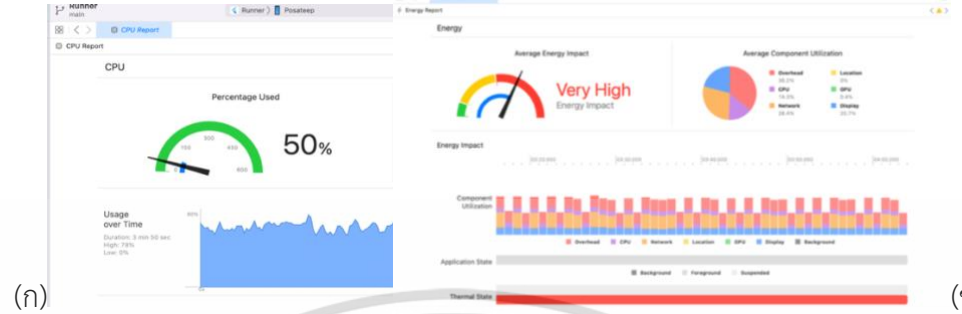
จากผลตารางที่ 4.6 การโทรติดต่อสื่อสารของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ เวอร์ชันต่าง ๆ ได้ผลว่า ในระบบปฏิบัติการเวอร์ชันที่แตกต่างกัน คุณภาพในการส่งข้อมูลยังคงจุดเด่นด้านแพ็กเก็ตที่ส่งนั้นไม่มีการสูญหายไป ส่วนในด้านของความล่าช้านั้นเวอร์ชัน 11 มีความล่าช้ามากสุด และในเรื่องความเร็วในการส่งข้อมูลวิดีโอนั้น เวอร์ชัน 9.0 มีความเร็วในการส่งข้อมูลที่สูงสุด แต่ในด้านของความเร็วในการส่งข้อมูลเสียงนั้นทั้ง 3 เวอร์ชันมีความเร็วใกล้เคียงกัน

4.4.4 ผลลัพธ์การใช้งาน WebRTC ผ่านการเชื่อมต่อบนเครือข่ายต่าง ๆ

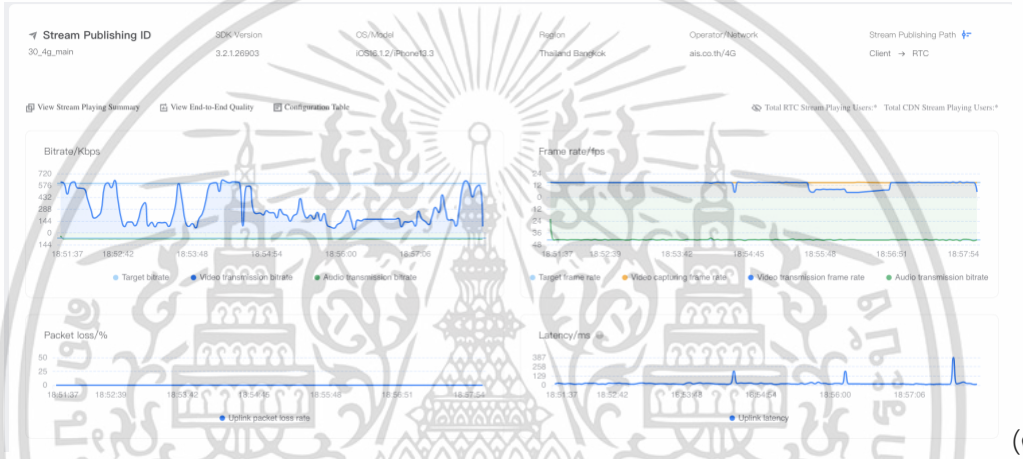
ในการทดสอบการติดต่อสื่อสารผ่านทาง WebRTC โดยวัดคุณภาพการสื่อสารด้วยเครือข่ายต่าง ๆ นั้น จะทำการทดสอบผ่านทางอุปกรณ์จริง ๆ โดยใช้อุปกรณ์เป็น ไอโฟน 1 เครื่อง และ โนเกียร์ 1 เครื่อง จะทำการเปลี่ยนเครือข่ายทั้งหมด 3 แบบ ได้แก่ 4G 5G และ WiFi บนโทรศัพท์ไอโฟน และทำการวัดค่าต่าง ๆ โดยวัดผลการเชื่อมต่อผ่าน 2 เครื่องมือ ได้แก่ xcode และบริการ zegocloud โดยในการวัดผลด้วยอุปกรณ์จริงจะสามารถดูค่าการใช้พลังงานและประสิทธิภาพของอุณหภูมิผ่านทางบริการของ xcode เพิ่มเติมได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4.1 ผลลัพธ์การใช้งาน WebRTC ผ่านการเชื่อมต่อบนเครือข่าย 4G



(ก) (ข)



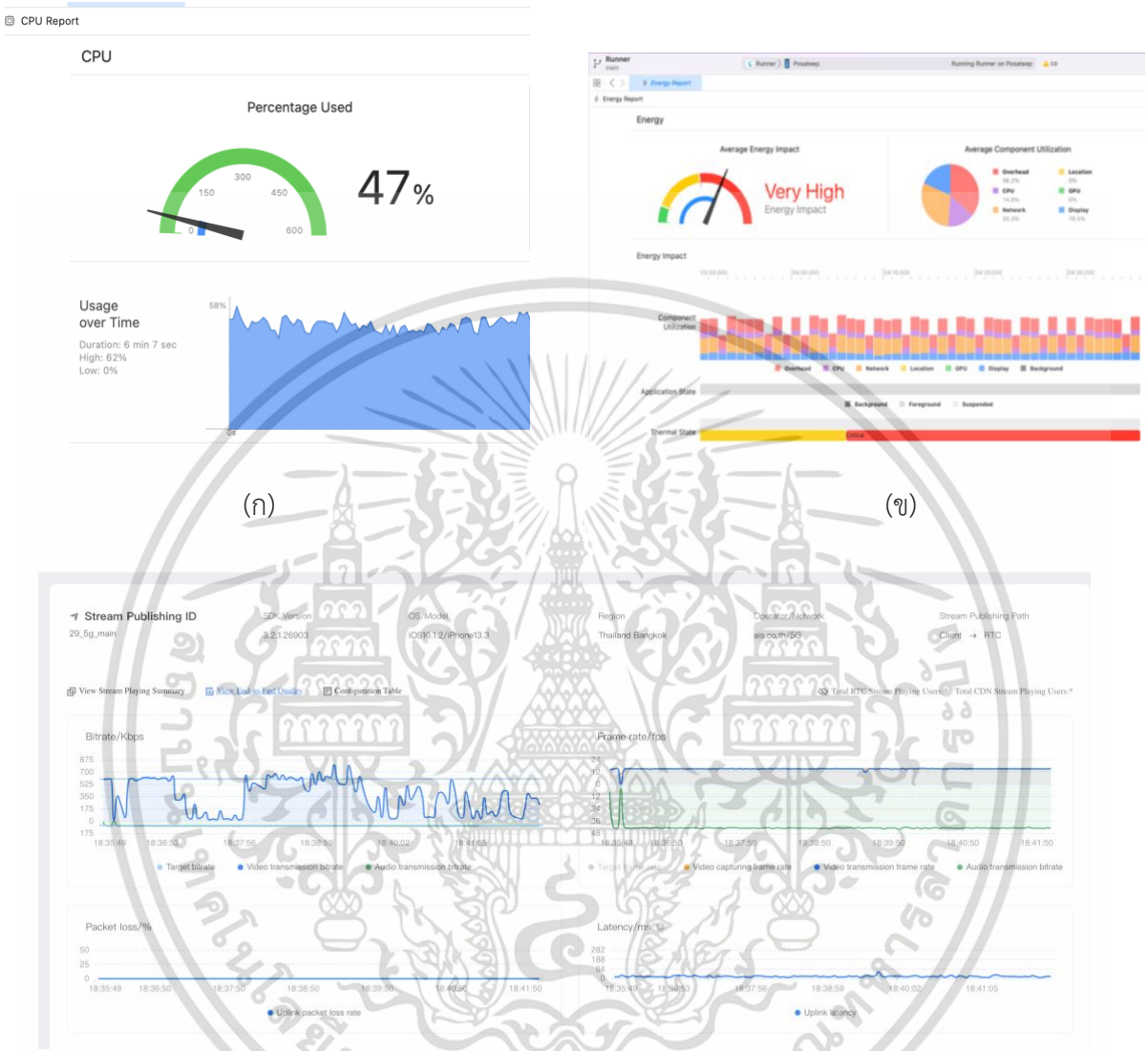
(ค)

รูปที่ 4.25 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์ไอโฟน 12 โปร บนเครือข่าย 4G (ก) ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข)รายงานการใช้พลังงาน (ค) คุณภาพในการโทรผ่านทางบริการของ zegocloud

จากรูปที่ 4.25 ระบุได้ว่าความเร็วในการรับส่งข้อมูลนั้น มีช่วงที่ต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็นหลายช่วง โดยค่าที่ควรจะเป็นจากการคำนวณนั่นก็คือ 600 กิโลบิตต่อวินาที โดยคำนวณจากค่าความคมชัด 360*640 และเฟรมเรต 15 เฟรมต่อวินาที และการเข้ารหัสแบบวิธี H.264 ซึ่งในกรณีเฟรมเรตนั้น มีค่าที่อยู่ในช่วงมาตรฐานอยู่เป็นส่วนใหญ่ ไม่มีการสูญหายของข้อมูล และค่าความล่าช้าในการส่งข้อมูล มีค่าประมาณ 30 มิลลิวินาที การใช้งานมีปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ 50% และระดับการใช้พลังงานของเครื่องนั้นอยู่ในระดับสูงมากนั้น หมายความว่าใช้ทรัพยากรระบบจำนวนมาก โดยเฉพาะการใช้งาน CPU นั่นทำให้สถานะอุณหภูมิของเครื่องอยู่ในสถานะวิกฤต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4.4.2 ผลลัพธ์การใช้งาน WebRTC ผ่านการเชื่อมต่อบนเครือข่าย 5G



(ก) (ข)

(ค)

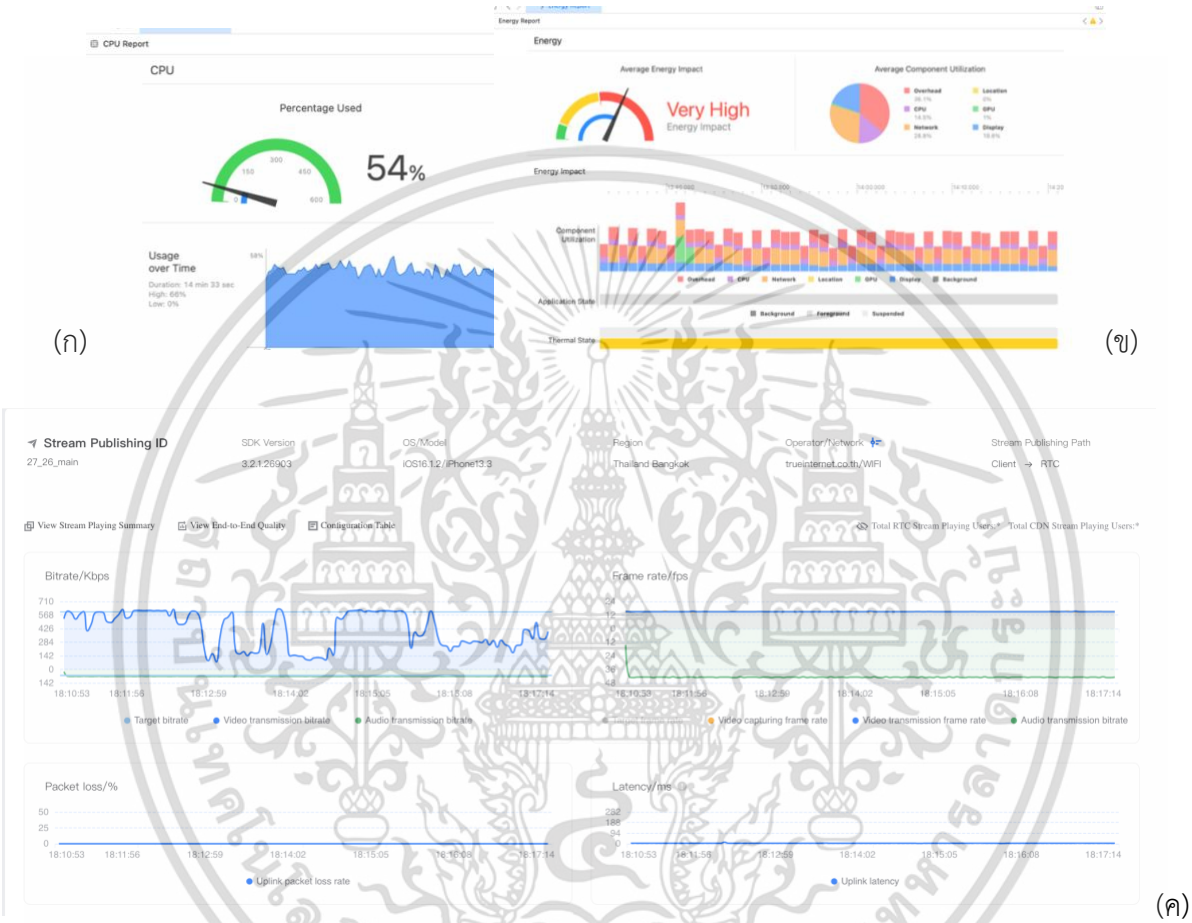
รูปที่ 4.26 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์ไอโฟน 12 โปร บนเครือข่าย 5G (ก) ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข) รายงานการใช้พลังงาน (ค) คุณภาพในการโทรผ่านทางบริการของ zegocloud

จากรูปที่ 4.26 ระบุได้ว่าความเร็วในการรับส่งข้อมูลนั้น มีช่วงที่ต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็นหลายช่วง และเฟรมเรตนั้นมีค่าที่อยู่ในช่วงมาตรฐานอยู่เป็นส่วนใหญ่ ไม่มีการสูญหายของข้อมูล และค่าความล่าช้า มีค่าประมาณ 23 มิลลิวินาที ในการใช้งานมีปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ 47% และระดับการใช้พลังงานของเครื่องนั้นอยู่ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับสูงมากนั้น หมายความว่า ใช้ทรัพยากรระบบจำนวนมาก โดยเฉพาะการใช้งาน CPU หลังจากใช้งานการโทรไปได้เพียง 4 นาที นั่นทำให้สถานะอุณหภูมิของเครื่องเข้าสู่สถานะวิกฤต

4.4.4.3 ผลลัพธ์การใช้งาน WebRTC ผ่านการเชื่อมต่อบนเครือข่าย WiFi



รูปที่ 4.27 ผลลัพธ์การทดสอบประสิทธิภาพผ่านโทรศัพท์ไอโฟน 12 โปร บนเครือข่าย WiFi (ก) ปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ (ข)รายงานการใช้พลังงาน (ค) คุณภาพในการโทรผ่านทางบริการของ zegocloud

จากรูปที่ 4.27 ระบุได้ว่าความเร็วในการรับส่งข้อมูลนั้น มีช่วงที่ต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็นหลายช่วง และเฟรมเรตนั้นมีค่าที่อยู่ในช่วงมาตรฐานอยู่เป็นส่วนใหญ่ ไม่มีการสูญหายของข้อมูล และค่าความล่าช้า มีค่าประมาณ 5 มิลลิวินาที ในการใช้งานมีปริมาณหน่วยประมวลผลที่ใช้ 47% และระดับการใช้พลังงานของเครื่องนั้น ยังอยู่ในระดับสูงมากนั้น หมายความว่า ใช้ทรัพยากรระบบจำนวนมาก และสถานะของอุณหภูมิเครื่องเมื่อใช้เครือข่ายการติดต่อสื่อสารเป็น WiFi ยังคงสถานะน่าเป็นห่วงแต่ยังไม่ถึงขั้นวิกฤต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ผลเปรียบเทียบประสิทธิภาพการโทรติดต่อสื่อสารของระบบปฏิบัติการ IOS ผ่านทางเทคโนโลยีเครือข่ายต่าง ๆ

เทคโนโลยีเครือข่าย	ความเร็วในการส่งข้อมูลวิดีโอ	เฟรมเรต	การวัดความล่าช้าในการส่ง	แพ็กเก็ตสูญหายขณะส่ง	ปริมาณหน่วยประมวลผล	สถานะอุณหภูมิและพลังงาน
4G	350 กิโลบิตต่อวินาที	15 เฟรมต่อวินาที	30 มิลลิวินาที	0%	50%	วิกฤต
5G	350 กิโลบิตต่อวินาที	15 เฟรมต่อวินาที	23 มิลลิวินาที	0%	47%	วิกฤต
WiFi	350 กิโลบิตต่อวินาที	15 เฟรมต่อวินาที	5 มิลลิวินาที	0%	54%	น่าเป็นห่วง

ข้อมูลที่ได้จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละการเชื่อมต่อ โดยใช้เทคโนโลยีเครือข่ายต่าง ๆ สรุปได้ว่า เทคโนโลยี WiFi มีประสิทธิภาพมากที่สุด ในด้านคุณภาพการโทร รวมถึงประสิทธิภาพของตัวเครื่องที่ใช้สื่อสาร จากค่าการวัดความล่าช้าที่น้อยที่สุด และสถานะอุณหภูมิและพลังงานที่ยังอยู่ในเกณฑ์น่าเป็นห่วง แตกต่างจากเทคโนโลยีการสื่อสาร 4G และ 5G ที่มีค่าดีเลย์มาก และสถานะอุณหภูมิและพลังงานยังอยู่ในสถานะวิกฤตอีกด้วย อย่างไรก็ตาม ความเร็วในการส่งข้อมูลของทั้ง 3 ชนิดยังต่ำกว่าค่าที่ควรจะเป็น

4.5 ผลลัพธ์การใช้งาน WebRTC โดยใช้อุปกรณ์จริงในการทดสอบการติดต่อสื่อสารแบบ 1 ต่อ 1

การทดสอบประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสารโดยวิธี WebRTC ของอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยจะแบ่งการเชื่อมต่อออกเป็น 3 การเชื่อมต่อ ได้แก่ การเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์ไอโฟนกับโทรศัพท์โนเกียร์ การเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์ไอโฟนกับเว็บเบราว์เซอร์ และการเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์โนเกียร์กับเว็บเบราว์เซอร์ โดยใช้เทคโนโลยีเครือข่าย WiFi

4.5.1 ผลการการเชื่อมต่อระหว่างโทรศัพท์ไอโฟนกับโทรศัพท์โนเกียร์

โดยการสื่อสารแบบ 1 ต่อ 1 นั้น ในแต่ละฝั่งการเชื่อมต่อ จะต้องมีการรับและการส่งข้อมูลทั้ง 2 ฝั่ง รูปด้านล่างเป็นผลการวัดการสื่อสารจากโทรศัพท์ไอโฟนไปยังโทรศัพท์โนเกียร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.28 ผลการวัดการสื่อสารจากโทรศัพท์ไอโฟน ไปยังโทรศัพท์โนเกียร์

จากรูปที่ 4.28 จะเห็นได้ว่าในการติดต่อสื่อสาร ณ ฝั่งด้านส่งกับทางด้านรับนั้น ความเร็วในการรับส่งข้อมูลได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นรูปแบบเดียวกัน ทั้งความเร็วในการส่งข้อมูลที่เป็นวิดีโอและรูปภาพทางฝั่งไอโฟน รวมถึงความเร็วในการรับข้อมูลที่เป็นทั้งวิดีโอและรูปภาพ จากทางฝั่งโทรศัพท์โนเกียร์อีกด้วย สำหรับความล่าช้าในการส่งข้อมูลของไอโฟน 5 มิลลิวินาที และความล่าช้าในการรับข้อมูลของทางฝั่งโนเกียร์ 5 มิลลิวินาที เช่นกัน โดย เวลาทั้งหมดที่ข้อความหรือข้อมูลใช้ในการเดินทางจากต้นทางไปยังปลายทาง และสำหรับการตอบกลับเพื่อส่งกลับไปยังต้นทาง (End to end latency) ประมาณ 100 มิลลิวินาที ซึ่งรวมถึงแพ็กเก็ตหายในการรับส่งข้อมูลด้วย ณ ภาคส่งไม่มีการสูญหายของข้อมูล แต่ที่ภาครับมีการสูญหายของข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.29 ผลการวัดการสื่อสารจากโทรศัพท์โนเกียร์ ไปยังโทรศัพท์ไอโฟน

จากรูปที่ 4.29 เป็นการสลับฝั่งจากทางโทรศัพท์โนเกียร์มาเป็นด้านส่ง และโทรศัพท์ไอโฟนเป็นด้านรับบ้าง จะเห็นว่าคุณภาพในการส่งข้อมูล จากแอนดรอยด์นั้นค่อนข้างมีความเสถียรและตรงตามค่าที่ได้จากการคำนวณ โดยมี ความเร็วในการส่งข้อมูลจากโนเกียร์และความเร็วในการรับข้อมูลจากไอโฟน มีค่าเท่ากัน รวมไปถึงอัตราการส่งข้อมูลแบบเฟรมอีกด้วย สำหรับความล่าช้าในการส่งข้อมูลของโนเกียร์ 5 มิลลิวินาที และความล่าช้าในการรับข้อมูลของทางฝั่งไอโฟน 5 มิลลิวินาที โดยความล่าช้าทั้งหมดวัดได้เท่ากับ 70 มิลลิวินาที โดยในการส่งข้อมูลจากโทรศัพท์โนเกียร์มายัง โทรศัพท์ไอโฟนนั้น มีการสูญเสียข้อมูลแพ็กเก็ต 0 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ผลการเชื่อมต่อระหว่าง เบราว์เซอร์กูเกิ้ลโครมกับ โทรศัพท์โนเกียร์

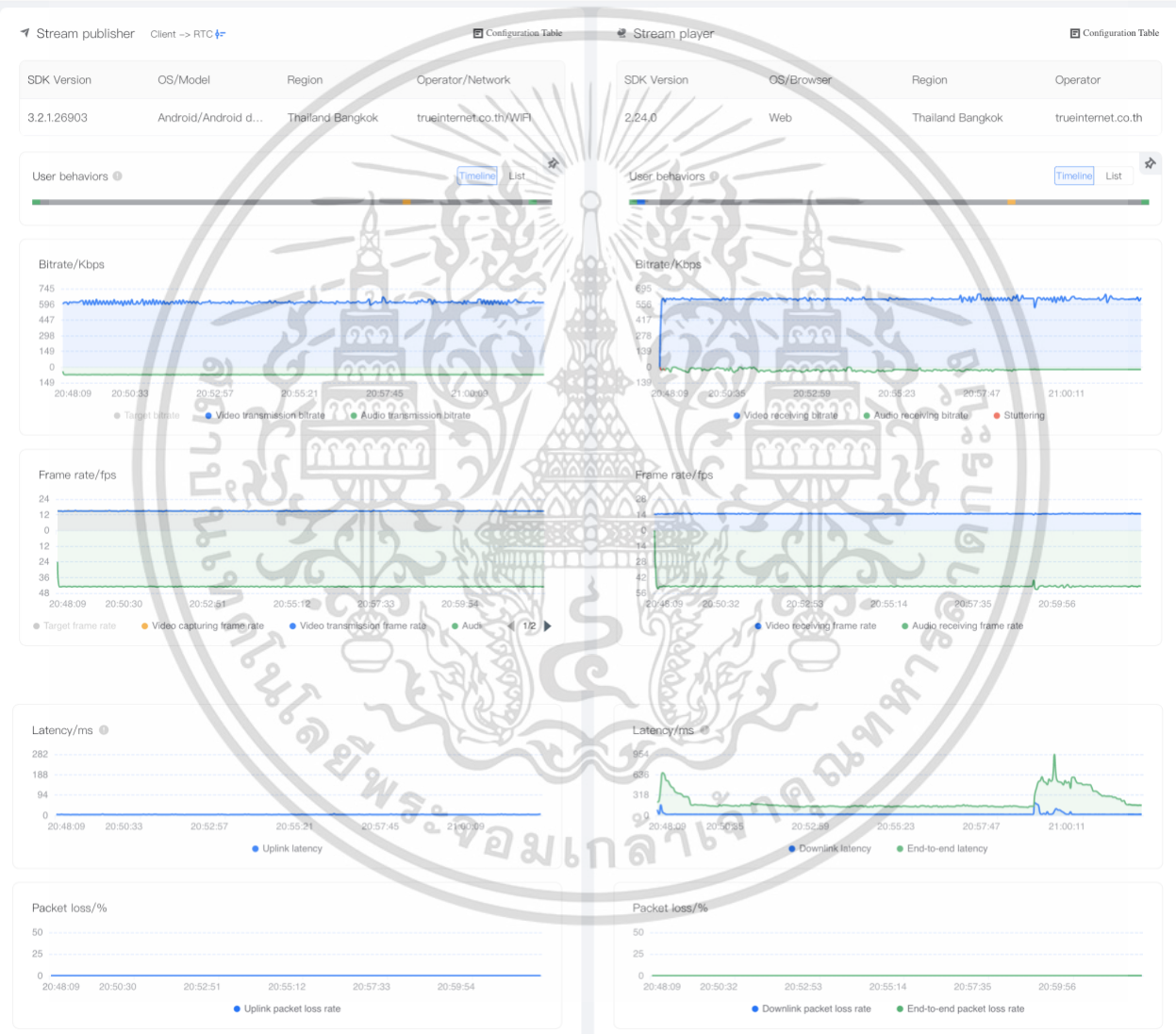
ทำการวัดคุณภาพการติดต่อสื่อสารจากเว็บไซต์เป็นด้านส่ง และโทรศัพท์โนเกียร์เป็นด้านรับ ดังรูป 4.30 และทำการวัดคุณภาพการติดต่อสื่อสาร โดยโทรศัพท์โนเกียร์เป็นด้านส่งและด้านรับเป็นเว็บเบราว์เซอร์ ดังรูป 4.31

รูปที่ 4.30 ผลการวัดการสื่อสารจากเว็บเบราว์เซอร์ไปยังโทรศัพท์โนเกียร์

จากรูปที่ 4.30 จะเห็นได้ว่าในการติดต่อสื่อสาร ณ ฝั่งด้านส่งกับทางด้านรับนั้น ความเร็วในการรับส่งข้อมูลได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นรูปแบบเดียวกัน ทั้งความเร็วในการส่งข้อมูลที่เป็นวิดีโอและรูปภาพทางฝั่งเว็บไซต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รวมถึงความเร็วในการรับข้อมูลที่เป็นทั้งวิดีโอและรูปภาพจากทางฝั่งโทรศัพท์โนเกียร์อีกด้วย สำหรับความล่าช้าในการส่งข้อมูลของเว็บเบราว์เซอร์ 5 มิลลิวินาที และความล่าช้าในการรับข้อมูลของทางฝั่งโนเกียร์ 20 มิลลิวินาทีเช่นกัน โดย เวลาทั้งหมดที่ข้อความหรือข้อมูลใช้ในการเดินทางจากต้นทางไปยังปลายทาง และสำหรับการตอบกลับเพื่อส่งกลับไปยังต้นทาง (End to end latency) ประมาณ 300 มิลลิวินาที ซึ่งมีค่ามากเมื่อเทียบกับชนิดการส่งข้อมูลด้วยอุปกรณ์อื่น ๆ ในการส่งข้อมูลจากเว็บเบราว์เซอร์ไปยังโทรศัพท์โนเกียร์นั้น ไม่มีการสูญหายของแพ็กเก็ต



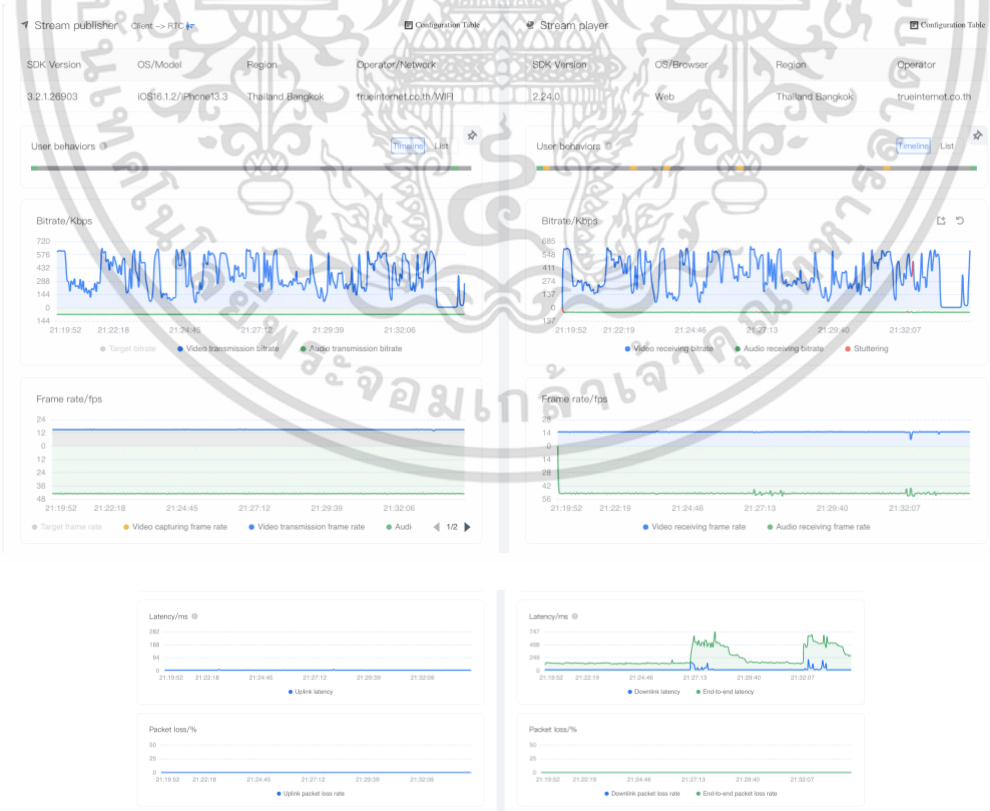
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.31 ผลการวัดการสื่อสารจากโทรศัพท์โนเกียร์ไปยังเว็บเบราว์เซอร์

จากรูปที่ 4.31 จะเห็นได้ว่าในการติดต่อสื่อสาร ณ ฝั่งด้านส่งกับทางด้านรับนั้น ความเร็วในการรับส่งข้อมูลได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นรูปแบบเดียวกัน ทั้งความเร็วในการส่งข้อมูลที่เป็นวิดีโอและรูปภาพทางโทรศัพท์โนเกียร์มีค่าเท่ากับ 600 กิโลบิตต่อวินาที รวมถึงความเร็วในการรับข้อมูลที่เป็นทั้งวิดีโอและรูปภาพจากทางฝั่งเว็บเบราว์เซอร์อีกด้วย สำหรับความล่าช้าในการส่งข้อมูลของโทรศัพท์โนเกียร์ 5 มิลลิวินาที และความล่าช้าในการรับข้อมูลของทางฝั่งเว็บเบราว์เซอร์ 20 มิลลิวินาที เช่นกัน โดยเวลาทั้งหมดที่ข้อความหรือข้อมูลใช้ในการเดินทางจากต้นทางไปยังปลายทาง และสำหรับการตอบกลับเพื่อส่งกลับไปยังต้นทาง (End to end latency) ประมาณ 500 มิลลิวินาที ซึ่งมีค่ามากเมื่อเทียบกับชนิดการส่งข้อมูลด้วยอุปกรณ์อื่น ๆ ในการส่งข้อมูลจากเว็บเบราว์เซอร์ไปยังโทรศัพท์โนเกียร์นั้น ไม่มีการสูญหายของแพ็กเก็ต

4.5.3 ผลการเชื่อมต่อระหว่างเบราว์เซอร์โครมกับโทรศัพท์ไอโฟน

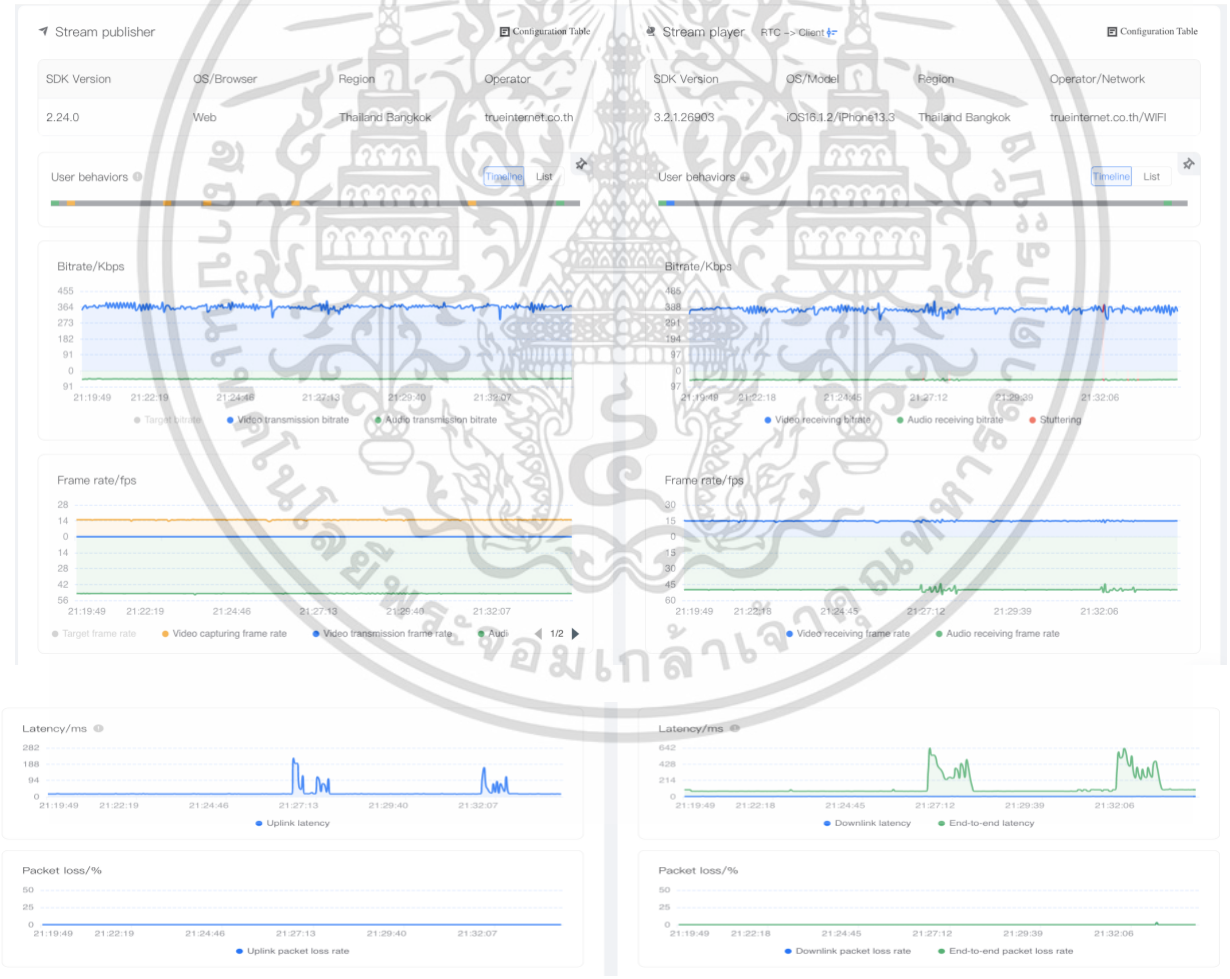
โดยการสื่อสารแบบ 1 ต่อ 1 นั้น ในแต่ละฝั่งการเชื่อมต่อจะต้องมีการรับและการส่งข้อมูลทั้ง 2 ฝั่ง รูปที่ 4.32 แสดงผลการวัดการสื่อสารจากโทรศัพท์ไอโฟนไปยังเว็บเบราว์เซอร์ และรูปที่ 4.33 เป็นผลการวัดการสื่อสารจากเว็บเบราว์เซอร์ไปยังโทรศัพท์ไอโฟน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.32 ผลการวัดคุณภาพการสื่อสารจากโทรศัพท์โอโฟนไปยังเว็บเบราว์เซอร์

การติดต่อสื่อสารโดยส่งข้อมูลจากไอโฟนไปยังเว็บเบราว์เซอร์นั้น ฝั่งด้านส่งนั้นมีความเร็วในการส่งข้อมูลวิดีโอที่ไม่คงที่และมีบางค่าต่ำกว่าค่าบิตเรตที่กำหนดมาก ส่งผลให้ ณ ภาครับหรือเว็บเบราว์เซอร์นั้น มีความเร็วในการรับข้อมูลวิดีโอในอัตราส่วนเดียวกัน สำหรับข้อมูลเสียงนั้นการรับส่งข้อมูลมีความเร็วไม่เท่ากัน ฝั่งส่งมีความเร็วในการส่ง 73 กิโลบิตต่อวินาที แต่ที่ภาครับนั้นมีความเร็วในการรับข้อมูล 46 กิโลบิตต่อวินาที และ สำหรับความล่าช้าในการส่งข้อมูลของไอโฟน 5 มิลลิวินาที และความล่าช้าในการรับข้อมูลของทางฝั่งเว็บเบราว์เซอร์ 26 มิลลิวินาที เช่นกัน เวลาทั้งหมดที่ข้อความหรือข้อมูลใช้ในการเดินทางจากต้นทางไปยังปลายทาง และสำหรับการตอบกลับเพื่อส่งกลับไปยังต้นทาง (End to end latency) มีค่ามาก ไม่มีการสูญหายของข้อมูล ในการรับส่งข้อมูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.33 ผลการวัดคุณภาพการสื่อสารจากเว็บเบราว์เซอร์ไปยังโทรศัพท์ไอโฟน

จากรูปที่ 4.33 การติดต่อสื่อสารโดยส่งข้อมูลจากเว็บเบราว์เซอร์ไปยังไอโฟนนั้น ฝั่งด้านส่งและด้านรับนั้นมีค่าเท่ากัน 380 กิโลบิตต่อวินาที แต่สำหรับข้อมูลเสียงนั้นการรับส่งข้อมูลมีความเร็วไม่เท่ากัน ฝั่งส่งมีความเร็วในการส่ง 47 กิโลบิตต่อวินาที แต่ที่ภาครับนั้นมีความเร็วในการรับข้อมูล 56 กิโลบิตต่อวินาที และสำหรับความล่าช้าในการส่งข้อมูลของเว็บเบราว์เซอร์ 100 มิลลิวินาที และความล่าช้าในการรับข้อมูลของทางฝั่งเว็บเบราว์เซอร์ 5 มิลลิวินาที เช่นกัน เวลาทั้งหมดที่ข้อความหรือข้อมูลใช้ในการเดินทางจากต้นทางไปยังปลายทาง และสำหรับการตอบกลับเพื่อส่งกลับไปยังต้นทางมีค่ามาก ไม่มีการสูญหายของข้อมูล ในการรับส่งข้อมูล

ตารางที่ 4.8 ผลการเปรียบเทียบการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ผ่านทาง 3 แพลตฟอร์ม

ชนิดการเชื่อมต่อ	**ความเร็วในการส่งข้อมูลวิดีโอ/เสียง**	**ความเร็วในการรับข้อมูลวิดีโอ/เสียง**	**อัตราการรับ/ส่งเฟรม**	**เวลาที่ใช้ในสร้างการเชื่อมต่อ**	**ความล่าช้าในการรีบ/ส่งข้อมูล/จากจุดต่อจุด**	**แพ็กเก็ตที่สูญหายขณะรับ/ส่ง/จากจุดต่อจุด**
ไอโฟนกับโนเกียร์						
ไอโฟนส่ง โนเกียร์รับ	200-600/73 กิโลบิตต่อวินาที	200-600/73 กิโลบิตต่อวินาที	15 เฟรมต่อวินาที	3 วินาที	5/5/70 มิลลิวินาที	0/0/20 %
โนเกียร์ส่ง ไอโฟนรับ	600/73 กิโลบิตต่อวินาที	600/73 กิโลบิตต่อวินาที	15 เฟรมต่อวินาที	3 วินาที	5/5/70 มิลลิวินาที	0 %
โนเกียร์กับเว็บเบราว์เซอร์						
โนเกียร์ส่ง เว็บเบราว์เซอร์รับ	608/73 กิโลบิตต่อวินาที	608/40 กิโลบิตต่อวินาที	15 เฟรมต่อวินาที	1.5 วินาที	5/17/142 มิลลิวินาที	0 %
เว็บเบราว์เซอร์ส่งโนเกียร์รับ	385/48 กิโลบิตต่อวินาที	385/57 กิโลบิตต่อวินาที	15 เฟรมต่อวินาที	1.5 วินาที	17/5/72 มิลลิวินาที	0 %
ไอโฟน กับเว็บเบราว์เซอร์						
ไอโฟนส่ง เว็บเบราว์เซอร์รับ	300/73 กิโลบิตต่อวินาที	300/48 กิโลบิตต่อวินาที	15 เฟรมต่อวินาที	2 วินาที	5/20/400 มิลลิวินาที	0 %
เว็บเบราว์เซอร์รับโนเกียร์ส่ง	380/47 กิโลบิตต่อวินาที	380/56 กิโลบิตต่อวินาที	15 เฟรมต่อวินาที	2 วินาที	100/5/400 มิลลิวินาที	0 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

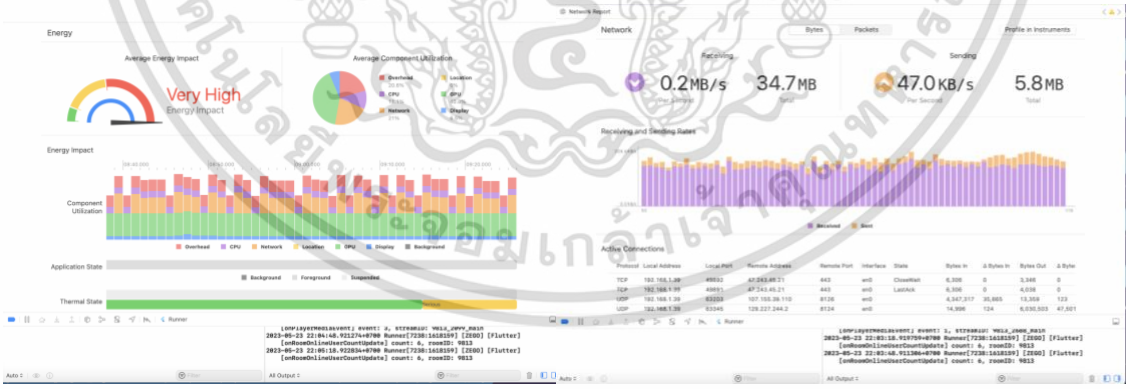
สรุปผลจากตารางการเปรียบเทียบการวัดคุณภาพการเชื่อมต่อและการรับส่งข้อมูลของทั้ง 3 การเชื่อมต่อนั้น พบว่า เวลาที่ใช้ในการเชื่อมต่อ การเชื่อมต่อของอุปกรณ์โนเกียร์กับเว็บเบราว์เซอร์ใช้เวลาน้อยที่สุด สำหรับความเร็วของการรับส่งข้อมูลนั้น อุปกรณ์โนเกียร์ ซึ่งใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์และเว็บเบราว์เซอร์นั้นมีค่าคงที่และใกล้เคียงกับค่าที่ตั้งไว้มากที่สุด ในทางกลับกัน ระบบปฏิบัติการ IOS นั้น มีค่าความเร็วในการส่งข้อมูลที่ไม่คงที่และต่ำกว่าค่าที่กำหนดเอาไว้ ในส่วนของความล่าช้าในการรับส่งข้อมูลแบบหนึ่งต่อหนึ่งนั้น พบว่า เมื่อมีการเชื่อมต่ออุปกรณ์ทำการรับส่งข้อมูลหากัน มีเวลาที่ใช้การตอบกลับเพื่อส่งกลับไปยังต้นทางนั้น ในทุก ๆ การเชื่อมต่อ และกรณีที่มีแพ็กเก็ตสูญเสียเกิดขึ้น เฉพาะการส่งข้อมูลจากโทรศัพท์ไอโฟนไปยังโทรศัพท์โนเกียร์

4.6 ผลการประเมินผลการประชุมวิดีโอคอลของอุปกรณ์บนแพลตฟอร์มต่าง ๆ

ทำการทดลองการใช้บริการการประชุม (Video Conference) โดยใช้การเข้าห้องประชุมผ่านทางหลาย ๆ อุปกรณ์ โดยมีจำนวนผู้เข้าใช้งานทั้งหมด 6 ผู้ใช้งาน ดังนี้ เว็บเบราว์เซอร์ 4 โทรศัพท์ไอโฟน 1 โทรศัพท์แอนดรอยด์ 1 โดยจะทำการวัดประสิทธิภาพของเครื่องอุปกรณ์โทรศัพท์ กับการรองรับบริการในการประชุมวิดีโอคอล โดยมีหน้าต่างผู้ใช้งานดังรูป

4.6.1 ผลลัพธ์ประสิทธิภาพของอุปกรณ์ไอโฟน

ทำการวัดประสิทธิภาพของเครื่องผ่านโปรแกรม xcode โดยจะทำการวัดพลังงานของเครื่อง อุณหภูมิ การรับส่งข้อมูลของเครื่อง ดังรูปที่ 4.34



(ก) (ข)

รูปที่ 4.34 ประสิทธิภาพของเครื่องโทรศัพท์ไอโฟน (ก)ปริมาณการใช้พลังงานและอุณหภูมิของเครื่อง (ข) ปริมาณข้อมูลที่รับและส่งของเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.34 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องโทรศัพท์ไอโฟน อยู่ในระดับเกจเต็มหลอด โดยเมื่อเทียบกับการวัดการเชื่อมต่อที่ผ่าน ๆ มา การใช้พลังงานของเครื่องในขณะประชุมวิดีโอคอล เมื่อมีผู้ใช้งานหลายคน และในส่วนของเครือข่ายจะเห็นว่าข้อมูลที่ไหลเข้ามานั้นมาจากหลายผู้ใช้งาน และมีปริมาณมากกว่าข้อมูลที่ส่งออกไป เนื่องมาจากต้องรับข้อมูลมาจากผู้ใช้งานหลาย ๆ คน แต่ในการส่งข้อมูลนั้น มีส่งแค่ข้อมูลของเครื่องตัวเอง โดยข้อมูลที่รับมานั้นทำการวัดได้นั้น มีค่าเท่ากับ 0.2 เมกะไบต์ต่อวินาที เมื่อทำการแปลงเป็นบิตนั้น ก็คือ 1.6 เมกะบิตต่อวินาที

4.6.2 ผลลัพธ์ประสิทธิภาพของแพลตฟอร์มแอนดรอยด์

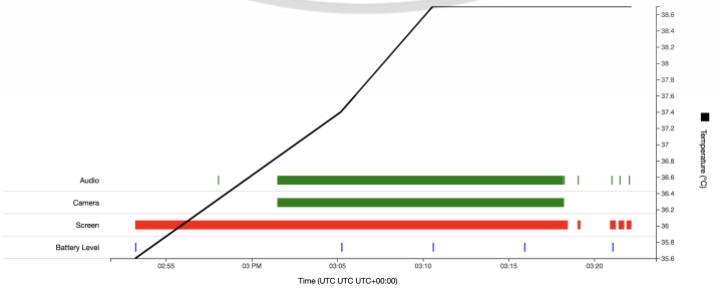
ทำการวัดประสิทธิภาพการใช้งานผ่านทางบริการ ADB ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเชื่อมต่อและควบคุมอุปกรณ์ระบบปฏิบัติการ Android ผ่านทางเครื่องคอมพิวเตอร์ ด้วยการต่อสาย USB รวมถึงตรวจสอบประสิทธิภาพการใช้งานในด้านต่าง ๆ ได้อีกด้วย จากรูปที่ 4.35 ระบุว่าการใช้งานแอปพลิเคชันแบบเรียลไทม์นั้นใช้ปริมาณในการบริโภคแบตเตอรี่ถึง 20.25% และจากรูปที่ 4.36 และ 4.37 อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในอัตราส่วน 3.5 เท่า เมื่อทำเทียบกับการใช้บริการวิดีโอคอลแบบหนึ่งต่อหนึ่ง

Device's Power Estimates:

Show 5 entries Search:

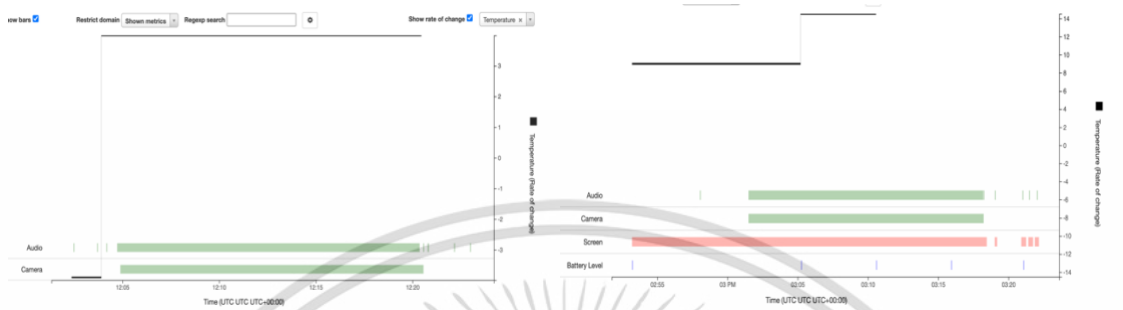
Ranking	Name	Uid	Battery Percentage Consumed
0	com.example.imakeflutterapril	10216	20.25%
1	WIFI	0	12.71%
2	SCREEN	0	2.23%
3	CAMERASERVER	1047	0.05%
4	IDLE	0	0.05%

รูปที่ 4.35 ผลการใช้งานการบริโภคแบตเตอรี่ของโทรศัพท์โนเกียร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.36 ผลการรายงานอุณหภูมิของเครื่องโทรศัพท์โนเกียร์



(ก) (ข)

รูปที่ 4.37 ผลการรายงานอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของเครื่องโทรศัพท์โนเกียร์ (ก) การวิดีโอคอลแบบ 1-1 (ข) การประชุมวิดีโอคอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

ในการทดลองประสิทธิภาพของแพลตฟอร์มต่าง ๆ ผ่านการเชื่อมต่อผ่านทาง VoIP และต่อยอดไปยังเทคโนโลยี WebRTC โดยการทดลองการโทรติดต่อสื่อสารผ่านทาง VoIP การทำงานออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนแรกคือ การติดตั้งเซิร์ฟเวอร์ที่ไว้รองรับการติดต่อสื่อสาร และอีกส่วน การพัฒนาแอปพลิเคชันที่ไว้ใช้สำหรับการติดต่อสื่อสาร และสามารถใช้บริการผ่านเซิร์ฟเวอร์ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการติดต่อสื่อสารผ่านเซิร์ฟเวอร์นั้น สามารถโทรหากันได้โดยผลจากการทดสอบประสิทธภาพในการโทร พบว่า ทุกแพลตฟอร์มมีดีเลย์เหมือนกัน และเวลาที่ใช้ในการเชื่อมต่อจากแพลตฟอร์ม IOS และแอนดรอยด์ไปยัง PC นั้นใช้เวลาน้อยที่สุด ด้วยเหตุที่ว่าการทดลองนั้นยังไม่สามารถประเมินผลในหลายๆตัวชี้วัดการเชื่อมต่อ และจำเป็นต้องการเครือข่ายในการทำงาน นอกจากนี้ยังจำเป็นต้องมีระบบที่ทำงานได้ดีของเราเตอร์ สวิตช์ เซิร์ฟเวอร์ และสายเคเบิล โดยทางผู้วิจัยได้ทำการทดลองเพิ่มเติมโดยเปลี่ยนเทคโนโลยีที่ใช้เป็น เทคโนโลยี WebRTC ซึ่งมีพื้นฐานมาจาก VoIP แต่แตกต่างกันที่โครงสร้างพื้นฐาน โดยได้ทำทดลองวัดประสิทธิภาพการรับส่งข้อมูลวิดีโอและเสียง แบบเรียลไทม์ผ่านการบริการ WebRTC ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้คือในการส่งข้อมูลด้วยอุปกรณ์ไอโฟนนั้น ไม่ว่าจะทำการเปลี่ยนรุ่นของระบบปฏิบัติการหรือรุ่นของอุปกรณ์ไม่ได้ส่งผลต่อคุณภาพในการส่งข้อมูล โดยในส่วนของระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์นั้น การเปลี่ยนรุ่นของตัวระบบปฏิบัติการนั้นพบว่าเวอร์ชัน 11 มีความล่าช้าในการส่งมากที่สุด และการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครือข่ายนั้น ผลลัพธ์ที่ได้คือการเชื่อมต่อผ่านเทคโนโลยี WiFi มีความล่าช้าในการส่งข้อมูลน้อยที่สุด (latency) และการปริมาณใช้พลังงานของเครื่องรวมถึงอุณหภูมิยังไม่อยู่ในระดับที่อันตรายเหมือน 4G และ 5G ผลการเปรียบเทียบการวัดคุณภาพการเชื่อมต่อและการรับส่งข้อมูลของทั้ง 3 การเชื่อมต่อนั้น พบว่าเวลาที่ใช้ในการเชื่อมต่อนั้น การเชื่อมต่อของอุปกรณ์โนเกียร์ กับเว็บเบราว์เซอร์ใช้เวลาน้อยที่สุด สำหรับความเร็วของการรับส่งข้อมูลนั้นอุปกรณ์โนเกียร์ ซึ่งใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ และ เว็บเบราว์เซอร์นั้นมีค่าคงที่และใกล้เคียงกับค่าที่คำนวนไว้ใกล้เคียงที่สุด ในทางกลับกัน ระบบปฏิบัติการ IOS นั้น มีค่าความเร็วในการส่งข้อมูลที่ไม่คงที่และต่ำกว่าค่าที่ได้จากการคำนวนเอาไว้ โดยผลการทดลองสุดท้ายการวัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ผ่านการประชุมวิดีโอ (Video Conference) นั้น พบว่าอุณหภูมิและการใช้พลังงานของเครื่องนั้นใช้มากขึ้น เนื่องจากมีการรับข้อมูลมายังโทรศัพท์มือถือมากขึ้น สุดท้ายนี้เทคโนโลยีในการติดต่อสื่อสารมีการพัฒนาขึ้นควบคู่กันไปของอุปกรณ์ที่มีการนำไปใช้งานเพื่อประโยชน์ในด้านต่าง ๆ ไม่ว่าจะเป็นในด้านของการประชุมสัมมนา การศึกษาการเรียนการสอนออนไลน์ การปรึกษาทางการแพทย์ (Telemedicine) สื่อบันเทิง การสตรีม หรือแม้กระทั้งอุปกรณ์ไอโอทีต่าง ๆ ที่ต้องการข้อมูลแบบเรียลไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 สรุปผลการเปรียบเทียบการทดลองการเชื่อมต่อของอุปกรณ์

ตารางที่ 5.1 ผลสรุปการเปรียบเทียบบูรณาการแพลตฟอร์มการเชื่อมต่อ

Quality Of Service	IOS	Android	WebBrowser
Sluttering	★	★★★	★★
Bitrates	★	★★★	★★
Latency	★★	★★	★
Packet Loss	★★	★★★	★★★
Call Setup Time	★★	★★★	★★
Frame Rates	★★★	★★★	★★★

จากการเปรียบเทียบแพลตฟอร์มทั้ง 3 แพลตฟอร์มผ่านทางบริการ WebRTC นั้น พบว่า แพลตฟอร์ม แอนดรอยด์นั้นมีประสิทธิภาพดีที่สุด เมื่อทำการวัดคุณภาพการบริการ โดยมีดีเลย์น้อยที่สุด และบิตเรตนั้นได้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่กำหนดไว้ นอกจากนั้นยังไม่มีการเกิด การกระตุกของวิดีโอของ (Sluttering) โดยรองลงมานั้นเป็นแพลตฟอร์มเว็บเบราว์เซอร์ ที่มีคุณภาพในการบริการรองลงมา ในด้าน บิตเรต และ ดีเลย์ รวมถึงเวลาที่ใช้ในการติดตั้งการโทรอีกด้วย โดยลำดับสุดท้าย แพลตฟอร์ม IOS เกิด Sluttering ในหลายๆครั้งที่ทำการทดสอบ รวมถึงบิตเรตที่ใช้รับส่งข้อมูลนั้นมีค่าแกว่งจากค่าที่คำนวณได้ จึงสรุปว่า แพลตฟอร์ม แอนดรอยด์นั้นมีประสิทธิภาพการติดต่อสื่อสารผ่านเทคโนโลยีการรับส่งข้อมูลแบบเรียลไทม์ได้ดีที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.2 ผลสรุปประสิทธิภาพการเชื่อมต่อเครือข่ายต่างๆ

Quality Of Service	4G	5G	WiFi
Energy Usage	★	★	★★
CPU	★★	★★	★★
Bitrates	★★	★★	★★
Latency	★★	★★	★★★
Packet Loss	★★★	★★★	★★★

จากผลสรุปประสิทธิภาพการเชื่อมต่อเครือข่ายต่างๆ ดังตารางที่ 5.3 พบว่า การเชื่อมต่อบนเครือข่ายที่ต่างกันนั้น มีความแตกต่างกันอยู่ 2 ตัวชี้วัดการประเมินผลการเชื่อมต่อ ได้แก่ ดีเลย์ และ ปริมาณพลังงานที่ใช้ในการประมวลผลของอุปกรณ์ โดย การเชื่อมต่อผ่าน WiFi นั้นมีดีเลย์น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับการเชื่อมต่อของเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ รวมถึงปริมาณพลังงานที่ใช้ของตัวเครื่องที่วัดจากเครื่องมือ Xcode มีปริมาณน้อยกว่า 4G และ 5G เนื่องจาก ระยะทางการเชื่อมต่อ และสถาปัตยกรรมเครือข่าย

5.3 ข้อเสนอแนะ

แม้ว่าการทดลองเรื่องประสิทธิภาพในการทดลองเกี่ยวกับการเชื่อมต่อ ถึงแม้ผลการทดสอบที่ได้มีการบันทึกนั้นจะมีผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ที่ถูกต้อง และแม่นยำ แต่ก็มีบางกรณีที่ทำการทดสอบแล้วเกิดการกระตุกขึ้นของภาพวิดีโอ เนื่องจากแอปพลิเคชันที่ได้ทำการพัฒนานั้น อยู่ในโหมดการทดสอบ และในการใช้การสร้างเครื่องจำลองบนระบบปฏิบัติการ IOS นั้น ไม่สามารถทำการใช้บริการกล้องผ่านเครื่องจำลองได้ ทำให้การวัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่านั้นวัดได้เพียงข้อมูลที่เป็นเสียง และในการทดสอบเชื่อมต่อกับเซิร์ฟเวอร์ VoIP ผ่านทางคลาวด์ AWS นั้น ไม่มีบริการในการวัดค่า บริการอื่นๆ เช่น ข้อมูลสูญหาย หรือดีเลย์ ทำให้ชุดข้อมูลที่นำมาวิเคราะต่อนั้นไม่มากพอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] M. Abdul Qadeer, K. Shah and Utkarsh Goel, “Voice - Video Communication on Mobile Phones and PCs’ using Asterisk EPBX”, **2012 International Conference on Communication Systems and Network Technologies**, 2012, pp. 534-538.

[2] C. Seung-Han, H. Ngoc-Son, K. Do-Young and L. Byung-Sun, “The development of HD-VoIP application with G.711.1 for smartphone”, **2011 3rd International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT)**, 2011. pp.1-4.

[3] A. Imran1, M. A Qadeer2 and M J R Khan1, “Asterisk VoIP Private Branch Exchange”, **2009 International Multimedia, Signal Processing and Communication Technologies**, 2009. pp. 217-220.

[4] M. Burak Amasyalı and E. Gu, “VoIP integration for mobile ride-sharing application”, **2017 7th International Conference on Communication Systems and Network Technologies (CSNT)**, 2017. pp. 44-47.

[5] T. G. Serikov, A. D. Serikov, V. V. Yugay, A. K. Muratova, M. Z. Yakubova, V. P. Yakubova, A.V. Okhorzina, A.V. Yurchenko and A. D. Alkina, “The analysis and modeling of efficiency of the developed telecommunication networks on the basis of IP PBX asterisk now” , **2016 11th International Forum on Strategic Technology (IFOST)**, 2016, pp. 510-514.

[6] S. Khan and N. Sadiq, “Design and Configuration of VoIP based PBX using Asterisk server and OPNET platform”, **2017 International Electrical Engineering Congress (iEECON)**, 2017.

[7] F. Iseki, Y. Sato and M. Wan Kim, “VoIP system based on Asterisk for enterprise network”, **13th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT2011)**, 2011, pp. 1284-1288.

[8] E. ALperay Tarim, H. Cumhur Tekin, “Performance evaluation of WEBRTC-based online consultation platform”, **Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences**, 2020.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

[9] I. Haryono, D.W. Sudiharto, A.G.Putrada, "Qos Improvement Analysis of VoIP Service Which Uses Overlay Network. Case Study: Calling Aws VoIP Gateway From Bandung, Indonesia", **2018 International Seminar on Application for technology of Information and Communication**, 2018, pp. 381-387.

[10] O.M. El-Amine, M.SALL and A. BASSE, "A WebRTC - VoIP Communication Platform", **2021 10th International Conference on Internet of Everything, Microwave Engineering, Communication and Networks (IEMECON)**, 2021.

[11] B. Jansen, T. Goodwin, V. Gupta, F. Kuipers and Gil Zussman, "Performance Evaluation of WebRTC-based Video Conferencing", **ACM SIGMETRICS Performance Evaluation Review**, 2018.

[12] A. A. Kumar, A. Kumar, A.T. Sam, Mouleeswaran SK, "Video Conferencing as a Web Application using WebRTC", **Journal of Emerging Technologies and Innovative Research**, vol. 9, 2022, pp. 68-73.

[13] P. Sathaporn, W. Krungseanmuang, V. Chaowalittawin, T. Anuwongpinit, "Voice Over IP Intregation Platform Performance By Using EC2 AWS Cloud Service", **8th International Conference on Engineering and Emerging Technologies**, 2022.

[14] K. Ibn, Z. Apu, N. Mahmud, F. Hasan, S. Sagar, "P2P video conferencing system based on WebRTC", **International Conference on Electrical, Computer and Communication Engineering (ECCE)**, 2017, pp. 557-561.

[15] เอกรินทร์ วทัญญูเลิศสกุล. **พัฒนา Mobile App ด้วย Flutter & Dart**. กรุงเทพ: บริษัท โปรวิชั่น จำกัด. 2020.

[16] D. Relo, "**How to Build Video Conferencing App for Android.**" [online]. Avaliable : https://www.zegocloud.com/docs/video-call/common-video-config?platform=flutter&language=dart, 2023.

[17] J. Chapman, "**What is a WebRTC test and WebRTC testing.**" [online]. Avaliable : https://testrtc.com/webrtc-testing-made-easy/, 2022.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

[18] Sam Dutton. “**ICE Framework.**” [online].
Avaliable : https://temasys.io/guides/developers/webrtc-ice-sorcery/, 2022.

[19] Android developer. “**Media app architecture overview.**” [online].
Avaliavble : https://developer.android.com/topic/architecture, 2023.

[20] Apple Inc. “**Getting Started with Xcode Instruments.**” [online].
Avaliable : https://developer.apple.com/videos/play/wwdc2019/411/. 2019.

[21] S. Pluemjitta, “**เริ่มต้นใช้งาน AWS EC2 กันเถอะ.**” [online].
เข้าถึงได้จาก : https://medium.com/@aglcsupachaipluamjitta/. 2017.

[22] B. Sredojev, D. Samardzija and D. Posarac, “WebRTC technology overview and signaling solution design and implementation”, **38th International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics**, 2012. pp. 1006-1009.

[23] Lorenzo Sintini. “**What is Websocket.**” [online].
Avaliable : https://blog.theodo.com/2021/01/webRTC-websockets-video-call-app/. 2021.

[24] J.F. Kurose, K.W. Ross and B. Anand, **Computer Networking.** Boston: Pearson, 2008.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์

[1] P. Sathaporn , W. Krungseanmuang, V. Chaowalittawin and C. Benjangkaprasert, “Voice Over IP Intregation Platform Performance By Using EC2 AWS Cloud Service”, **8th International Conference on Engineering and Emerging Technologies**, 2022.

[2] V. Chaowalittawin, W. krungseanmuang, P. Sathaporn, T. Archevapanich and B. Poorahong. “Information Engineering Innovation Management Process Leading the Student to Become Startup Entrepreneurship”, **Global Technology and Business Management Conference (GTBMC 2022) The 11th International Conference**, 2022.

[3] B. Purahong, V. Chaowalittawin, W. Krungseanmuang , P. Sathaporn, T. Anuwongpinit and A. Lasakul, “Crack Detection of Eggshell using Image Processing and Computer Vision” , **Journal of Physics: Conference Series**, 2022.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

วุฒิการศึกษา

กำลังศึกษาปริญญาโท สาขา วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

มัธยมศึกษา โรงเรียนอัสสัมชัญสมุทรปราการ

ประถมศึกษา โรงเรียนอัสสัมชัญสมุทรปราการ

ความภาคภูมิใจ หรือเกียรติประวัติที่เคยได้รับ

เกียรตินิยมอันดับ 1 เหรียญทอง ระดับปริญญาตรี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รางวัลเรียนดี 3 ปีติดต่อกัน ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย

รองชนะเลิศอันดับ 1 รายการ Senior Project Contest 2022

ประสบการณ์

1. อาจารย์พิเศษ โครงการ อบรม 50000+ เพื่อพัฒนาผู้เรียนสู่การเป็นวิศวกรในอนาคต
2. ฝึกงาน บริษัท KPMG Phoomchai Audit ตำแหน่งนักพัฒนา
3. วิทยากรอบรม Agile Project Management ณ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้