

การศึกษาเปรียบเทียบและการตรวจสอบการทำงานร่วมกันของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 5G และ 4G:
กรณีศึกษาโรงพยาบาลราชวิถีA Comparative Study and Investigation Interoperability of 5G and 4G Mobile Networks:
A Rajavithi Hospital Case Study

¹เทอดพงษ์ แดงสี, ¹ภาคิษฐ์ ศรีอมรตระกูล, ¹ชนะกิจ วัฒนิกำธร, ²กฤษฏ์พนธ์ พรรณรัตน์ชัย,
³พิสิฐ พรพงศ์เตชวานิช, ⁴*สุรัชย์ ฉัตรเฉลิมพันธ์

¹Therdpong Daengsi, ¹Pakkasit Sriamorntrakul, ¹Thanakit Wattakeekamthorn,
²Kritphon Phanrattanachai, ³Phisit Pornpongtechavanich, ⁴*Surachai Chatchalermpun

¹คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จังหวัดกรุงเทพมหานคร

²คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ จังหวัดเพชรบูรณ์

³คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ จังหวัดประจวบคีรีขันธ์

⁴คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ จังหวัดกรุงเทพมหานคร

¹Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Phra Nakhon Bangkok, Bangkok

²Faculty of Agricultural Technology and Industrial Technology,
Phetchabun Rajabhat University, Phetchabun

³Faculty of Industry and Technology, Rajamangala University of Technology Rattanakosin,
Prachuap Khiri Khan

⁴Faculty of Engineering, South - East Asia University, Bangkok

*ผู้ติดต่อหลัก: surachai.won@gmail.com

*Corresponding author: surachai.won@gmail.com

Received: 3 May 2024; Revised: 10 June 2024; Accepted: 12 June 2024

Abstract

The objective of this research is to study the collaboration between 5G and existing 4G networks by comparing three Quality of Service (QoS) parameters: Download Speed (DL), Upload Speed (UL), and Latency. The study was conducted under scenarios where 5G and 4G networks work together, using two 5G-compatible phones of the same brand and model, which also support 4G technology, running on Android 13. The Speedtest application was used to measure the signal within the medical center of Rajavithi Hospital, specifically on the 1st floor of the building, where the average speed was 291.8 Mbps. Measurements on the 20th to 24th floors showed an average speed of 115.1 Mbps, a decrease of 60.5%. It is inferred that one of the reasons for this speed reduction is the higher-than-normal proportion of collaboration between 5G and 4G networks. One service provider's network had a 67.7% proportion of 5G service, while another had 55.5%. On the 1st floor, both providers had a 98.6% proportion of 5G service. It can be concluded that using 5G phones or devices at ground level generally provides better download service quality than using them on higher floors of a building, which affects the quality of service.

Keywords: Download; Upload; Latency; High-rise building

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการทำงานร่วมกันระหว่างโครงข่าย 5G และโครงข่าย 4G เดิม โดยศึกษาเปรียบเทียบด้วยการใช้ค่าคุณภาพของบริการ (Quality of Service: QoS) จำนวน 3 พารามิเตอร์ ประกอบด้วย ความเร็วในการดาวน์โหลด (Download Speed: DL) ความเร็วในการอัปโหลด (Upload Speed: UL) และค่าเวลาแฝง (Latency) ภายใต้สถานการณ์ที่มีการทำงานร่วมกันระหว่างโครงข่าย 5G และ 4G โดยใช้โทรศัพท์ที่รองรับเทคโนโลยี 5G จำนวน 2 เครื่อง เป็นยี่ห้อและรุ่นเดียวกัน รองรับเทคโนโลยี 4G และ 5G โดยมี Android 13 เป็นระบบปฏิบัติการ ใช้แอปพลิเคชัน Speedtest ทำการวัดสัญญาณภายในอาคารศูนย์การแพทย์แห่งหนึ่งของโรงพยาบาลราชวิถี ชั้นที่ 1 ของอาคารมีค่าเฉลี่ย 291.8 Mbps การวัดที่ชั้น 20-24 อยู่ที่ 115.1 Mbps ลดลงร้อยละ 60.5 อนุมานว่าสาเหตุที่ทำให้ความเร็วดังกล่าวลดลง มีสาเหตุส่วนหนึ่งมาจากการทำงานร่วมกันระหว่างโครงข่าย 5G และ 4G ในสัดส่วนที่สูงกว่าปกติ โดยโครงข่ายของผู้ให้บริการรายหนึ่งมีส่วนการให้บริการด้วยโครงข่าย 5G คิดเป็นร้อยละ 67.7 ส่วนผู้ให้บริการอีกรายมีส่วนการให้บริการด้วยโครงข่าย 5G คิดเป็นร้อยละ 55.5 ในขณะที่มีสัดส่วนการให้บริการด้วยโครงข่าย 5G ที่ชั้น 1 ของผู้ให้บริการทั้ง 2 ราย คิดเป็นร้อยละ 98.6 สรุปได้ว่า ในการใช้งานโทรศัพท์หรืออุปกรณ์ 5G นั้น หากเป็นการใช้งานในระดับพื้นราบทั่วไปจะได้รับคุณภาพของบริการ ดาวน์โหลดข้อมูล ที่ดีกว่าการใช้งานบนชั้นสูง ๆ ของอาคาร ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของบริการ

คำสำคัญ: ดาวน์โหลด; อัปโหลด; ค่าเวลาแฝง; อาคารสูง

บทนำ

5G หรือเทคโนโลยีโทรคมนาคมยุคที่ 5 ถือเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่มีความสำคัญในทศวรรษนี้ เป็นเทคโนโลยีที่ เริ่มมีการทดลองเปิดใช้งานในช่วงปีสุดท้ายของทศวรรษ 2010 โดยเริ่มทดสอบและทยอยเปิดให้บริการในประเทศต่าง ๆ ในปี 2019 เช่น อเมริกา สเปน อังกฤษ จีน และเกาหลีใต้ (Daengsi and Pornpongtechavanich, 2019) ก่อนที่จะ มีการเปิด ให้บริการอย่างแพร่หลายไปยังประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกในปี 2020 ทั้งนี้ มีรายงานหนึ่งระบุว่า ผลการทดสอบความเร็ว ในการรับส่งข้อมูลผ่านโครงข่าย 5G ในช่วงไตรมาสที่ 3 ปี 2020 กรุงอาบูดาบี เมืองหลวงของสหรัฐอาหรับเอมิเรตส์ เป็นเมืองที่มีความเร็ว 5G เฉลี่ยสูงที่สุดในโลก คือ 546.81 Mbps (GSMA, 2024) เมื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของ 5G กับเทคโนโลยี 4G เดิม 5G เป็นเทคโนโลยีที่มีสมรรถนะสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด เช่น อัตราการรับส่งข้อมูลสูงสุด (Peak Data Rate) คิดเป็น 20 เท่า เมื่อเทียบกับ 4G และค่าเวลาแฝง (Latency) ภายในเครือข่ายไม่เกิน 1 มิลลิวินาที ซึ่งลดลงประมาณ 10 เท่า เมื่อเทียบกับ 4G (Daengsi and Pornpongtechavanich, 2019) นอกจากนี้ ด้วยความสามารถของเทคโนโลยี 5G ที่สามารถรองรับลักษณะการใช้งานใน 3 รูปแบบหลัก ที่แตกต่างจากเทคโนโลยี 4G เดิม ซึ่งลักษณะการใช้งานดังกล่าวนี้ เรียกว่า กรณีการใช้งานเทคโนโลยี 5G (5G Use Cases) ซึ่งประกอบด้วยการใช้งานหลัก ดังนี้ (Erunkulu et al., 2021)

1) บรอดแบนด์ เคลื่อนที่ แบบเสริมสมรรถนะ (Enhanced Mobile Broadband: eMBB) เป็นลักษณะการใช้งานที่ต้องการอัตราการรับส่งข้อมูลที่สูง สามารถสร้างประสบการณ์ที่ดีให้กับผู้ใช้งาน มีการครอบคลุมพื้นที่ที่ดีกว่าเดิม มีประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานที่สูงขึ้น ใช้งานย่านความถี่ต่าง ๆ ได้อย่างคุ้มค่า นอกจากนี้ยังรองรับการใช้งานขณะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงได้ ทำให้สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย

2) การสื่อสารระหว่างอุปกรณ์จำนวนมาก (Massive Machine Type Communications: mMTC) เป็น ลักษณะการใช้งานที่ต้องการให้ระบบ 5G มีความสามารถรองรับอุปกรณ์จำนวนมาก ๆ ได้พร้อม ๆ กัน ทำให้ระบบ 5G สามารถรองรับการใช้งานต่าง ๆ เช่น ระบบเฝ้าระวังด้านสุขภาพและสมาร์ทโฮม/สมาร์ทซิตี้ได้เป็นอย่างดี

3) การสื่อสารด้วยความเร็วและความน่าเชื่อถือสูงยิ่งยวด (Ultra-Reliable and Low Latency Communications: uRLLC) เป็นลักษณะการใช้งานที่ให้ความสำคัญกับความต้องการที่เกี่ยวกับค่าเวลาแฝงและความน่าเชื่อถือของระบบ 5G เป็นอย่างมาก ทำให้ 5G สามารถรองรับการสื่อสารระหว่างคนบนถนนกับรถยนต์ รถยนต์กับรถยนต์ และการสื่อสารการระหว่างระบบอัตโนมัติในอุตสาหกรรมได้

ตามมาตรฐานของสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (International Telecommunication Union: ITU) หรือไอทียู โครงข่าย 5G จะต้องทำงานร่วมกับโครงข่ายที่ใช้เทคโนโลยีก่อนหน้า เช่น โครงข่าย 4G ได้ ซึ่งความสามารถในการทำงานร่วมกับโครงข่ายที่ใช้เทคโนโลยีก่อนหน้าได้นี้มีประโยชน์มาก ในกรณีที่เครื่องโทรศัพท์ 5G ไม่สามารถรับสัญญาณจากโครงข่าย 5G ได้ เครื่องโทรศัพท์ 5G จะเลือกรับสัญญาณ 4G โดยอัตโนมัติเพื่อให้การสื่อสารสามารถดำเนินต่อเนื่องได้ ซึ่งกระบวนการในการเลือกรับสัญญาณที่เป็นไปตามลำดับความสำคัญที่มีการกำหนดไว้สามารถแสดงได้ดัง Figure 1 (Lin et al., 2022)

นอกจากนี้ ในระหว่างการเปลี่ยนผ่านจาก 4G เดิมเป็น 5G มีการใช้โครงข่าย 4G บางส่วนในการให้บริการ 5G ด้วย โดยเรียกการให้บริการรูปแบบว่า 5G Non-standalone หรือเรียกสั้น ๆ ว่า 5G NSA ในขณะที่อีกรูปแบบของการให้บริการ 5G ผ่านโครงข่าย 5G เพียงโครงข่ายเดียว โดยไม่เกี่ยวข้องกับส่วนหนึ่งส่วนใดของโครงข่าย 4G เรียกว่า 5G Standalone (SA) หรือเรียกสั้น ๆ ว่า 5G SA (Arunruangsirilert et al., 2022) ซึ่งถือเป็นเป้าหมายหรือการพัฒนาการขั้นสูงสุดของโครงข่าย 5G ซึ่งในทางทฤษฎี 5G SA มีสมรรถนะสูงกว่า 5G NSA ไม่ว่าจะเป็นค่าเวลาแฝง (Latency) ตลอดจนค่าเวลาที่ใช้ในการแฮนด์โอเวอร์ (Handover interruption time)

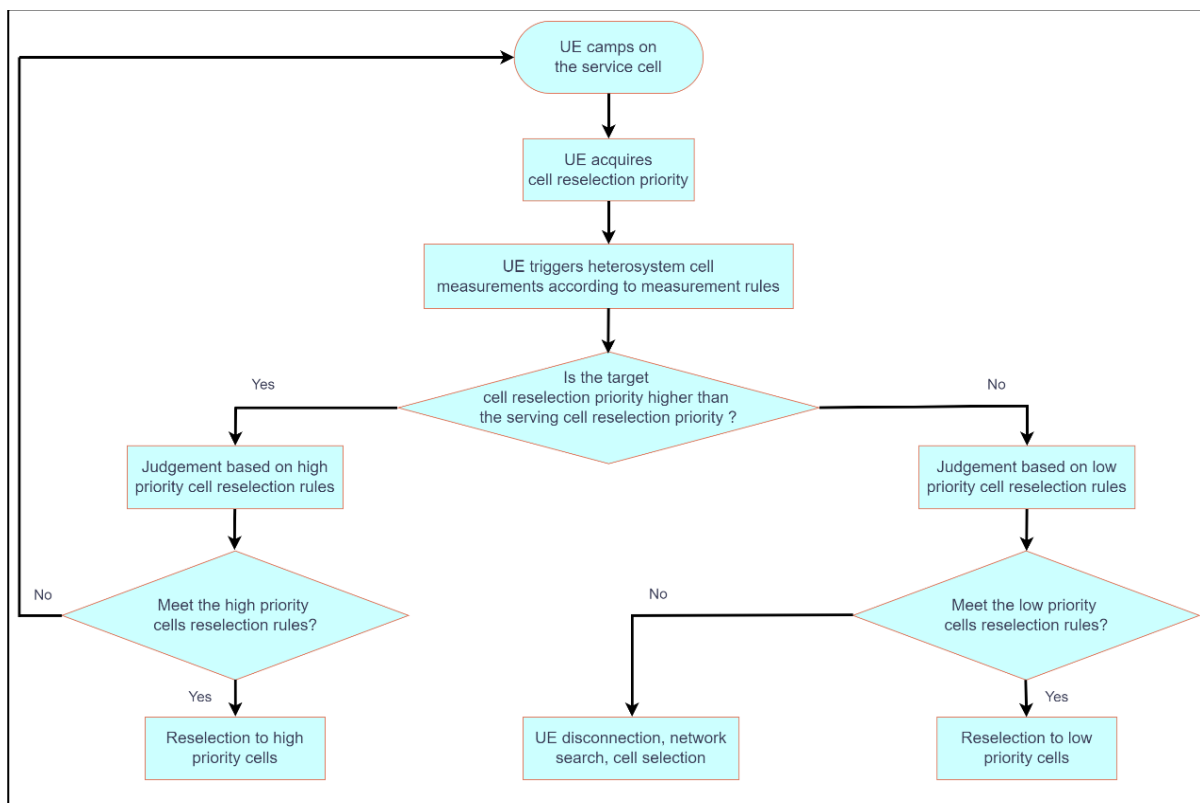


Figure 1 Signal selection mechanism

คุณภาพการให้บริการ (Quality of Service: QoS) เป็นค่าที่ถูกนิยามขึ้นเพื่อสื่อถึงลำดับความสำคัญที่แตกต่างกันของบริการแต่ละประเภท เพื่อรับประกันว่าระดับของบริการที่มีความสำคัญสูงจะได้รับบริการในระดับที่ดีเยี่ยม ซึ่งโดยทั่วไปคุณภาพของการให้บริการจะถูกใช้ เป็นดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของเครือข่ายคอมพิวเตอร์ หรือของโครงข่ายโทรคมนาคม ที่แสดงถึงความสามารถและประสิทธิภาพของเครือข่าย หรือโครงข่ายในการ ให้บริการที่ดีหรือเหมาะสมแก่ผู้ใช้งาน ในการวัดคุณภาพของบริการนั้นต้องอาศัยพารามิเตอร์ (Parameters) หลายตัว อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาครั้งนี้ จะให้เน้นที่พารามิเตอร์ 3 ตัว ดังนี้ (Daengsi et al., 2023a)

1) ความเร็วในการดาวน์โหลด (Download Speed: DL) หมายถึงความเร็วในการรับข้อมูลจากเซิร์ฟเวอร์ที่เก็บไฟล์ข้อมูลแล้วเก็บบันทึกลงในอุปกรณ์ของผู้ใช้งาน ยกตัวอย่างเช่น เมื่อดาวน์โหลดภาพยนตร์จากบริการสตรีมมิ่งไฟล์ภาพยนตร์จะถูกถ่ายโอนจากเซิร์ฟเวอร์ของผู้ให้บริการมายังอุปกรณ์เพื่อชมภาพของผู้ใช้งาน

2) ความเร็วในการอัปโหลด (Upload Speed: UL) หมายถึงความเร็วในการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์ของผู้ใช้งานไปยังเซิร์ฟเวอร์ปลายทางหรืออุปกรณ์อื่น ยกตัวอย่างเช่น เมื่ออัปโหลดรูปภาพไปยังเซิร์ฟเวอร์ของแพลตฟอร์มสื่อสังคมออนไลน์ ไฟล์รูปภาพจะถูกส่งไปยังเซิร์ฟเวอร์ของแพลตฟอร์มเพื่อจัดเก็บและแชร์ โดยทั่วไปความเร็วนี้จะน้อยกว่าความเร็วในการดาวน์โหลด

3) ค่าเวลาแฝง (Latency) หรือบางครั้งเรียกว่าค่าประวิงเวลา หรือค่าความหน่วง เป็นค่าที่ใช้วัดว่าอุปกรณ์ปลายทางได้รับการตอบสนองหลังจากส่งคำขอรวดเร็วเพียงใด ซึ่งค่านี้มีความสำคัญมากสำหรับแอปพลิเคชันเรียลไทม์ ค่ายิ่งต่ำประสิทธิภาพยิ่งสูง

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง พบงานวิจัยเกี่ยวกับเมืองอัจฉริยะที่ใช้โครงข่ายในการทดลองรับส่งสัญญาณ 5G และ 4G ซึ่งงานวิจัยดังกล่าวระบุว่าพบว่าคุณภาพของบริการจากโครงข่าย 5G มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับความสูงมากกว่าโครงข่าย 4G (Horsmanheimo et al., 2022) นอกจากนี้ยังพบว่ามีการศึกษาอื่น ๆ ที่คล้ายกันคือใช้โครงข่ายที่บินในระดับหลังคาอาคารหรือระดับความสูงที่กำหนดเพื่อช่วยทวนสัญญาณ 5G และช่วยทำหน้าที่เป็นสถานีฐานบินที่ลอยนิงอยู่บนอากาศ อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเหล่านั้นมุ่งเน้นไปที่การบูรณาการเทคโนโลยีโครงข่ายเพื่อช่วยในการปรับปรุงความครอบคลุมพื้นที่ และปรับปรุงคุณภาพของบริการ (Jayaraman et al., 2022; You et al., 2021; Patel and Joshi, 2022) นอกจากนี้ ยังมีการศึกษาที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของสายอากาศและการแพร่กระจายสัญญาณภายในอาคารสูง (Liu et al., 2014) และการศึกษาเกี่ยวกับสายอากาศแบบหลายชั้นที่รองรับความถี่ 3.5 GHz ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้กับ 5G ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่งสัญญาณภายในอาคาร (Al-Bawri et al., 2019) ในขณะที่มีการศึกษาอื่นที่เกี่ยวข้องกับสถานีฐานขนาดเล็กที่เรียกว่าเฟมโตเซลล์ (Femtocells) เพื่อปรับตำแหน่งของสถานีฐานขนาดเล็กในอาคารให้เหมาะสม โดยคำนึงถึงการส่งกำลังของเฟมโตเซลล์แต่ละตัวซึ่งเพิ่มประสิทธิภาพในการครอบคลุมพื้นที่ให้ดีขึ้น (Amine and Sylia, 2017) ซึ่งมุ่งเน้นในการปรับปรุง การครอบคลุมพื้นที่ภายในอาคารเช่นเดียวกับงานวิจัยของ Yang et al., (2017) ที่วิจัยเกี่ยวกับการครอบคลุม พื้นที่ภายในอาคารของโครงข่าย 4G ที่เรียกระบบ Time Division Duplexing-Long Term Evolution (TD-LTE) และงานวิจัย 5G ของ Guo et al., (2022) ที่จำลองเกี่ยวกับการแผ่คลื่นเพื่อการครอบคลุมของฮอตสปอต (Hotspot) ที่ติดตั้งภายในอาคาร (ไม่มีอ้างอิงด้านหลัง) นอกจากนี้ เมื่อสำรวจเกี่ยวกับการวิจัย 5G ย่านอาเซียน พบว่า มีหลายงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพของบริการ 5G ในประเทศไทย (Daengsi et al., 2021a; 2021b; Chatchalermpon et al., 2023a) อินโดนีเซีย (Putra and Widiasmoro, 2022; Widiasmoro et al., 2022) และมาเลเซีย (Shayea et al., 2020) แต่ยังไม่มียานวิจัยที่มุ่งเน้นการศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยด้านระดับความสูงของอาคาร ยกเว้นงานวิจัยของ Chatchalermpon et al., (2023a) ที่เป็นเพียงการศึกษาเบื้องต้นเท่านั้น ยังไม่มีการวิเคราะห์ เกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อความเร็วอินเทอร์เน็ตที่ลดลงเมื่อทดสอบที่ชั้นสูง ๆ ของอาคาร จึงเป็นที่มาในการวิจัยนี้ที่ศึกษาเพิ่มเติมเพื่อขยายผลจากการศึกษาดังกล่าว

แม้ว่าในปัจจุบันนี้จะมีการใช้งาน 5G แพร่หลายมากขึ้นในประเทศไทย แต่ข้อมูล ข้อเท็จจริง และองค์ความรู้เกี่ยวกับประสิทธิภาพของโครงข่าย 5G ตลอดจนคุณภาพของสัญญาณ 5G ที่ผู้ให้บริการโครงข่าย 5G เปิดให้บริการแก่ผู้ใช้งานยังมีจำกัด การศึกษานี้จึงถูกดำเนินการขึ้นเพื่อศึกษาเกี่ยวกับประสิทธิภาพของโครงข่าย 5G ตลอดจนการทำงานร่วมกันของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 5G และ 4G ซึ่งเป็นเทคโนโลยีเดิมในบริเวณพื้นที่หนึ่งในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งการศึกษานี้เป็นการศึกษาที่พัฒนาต่อยอดจากงานวิจัยของ Chatchalermpon et al. (2023) ซึ่งศึกษาสมรรถนะของโครงข่าย 5G โดยศึกษาเปรียบเทียบระหว่างชั้นล่างกับชั้นบนของอาคารสูง และตรวจสอบการทำงานร่วมกันของโครงข่าย 5G และ 4G โดยศึกษาในพื้นที่อาคารทศมินทร์ โรงพยาบาลราชวิถี ซึ่งเป็นพื้นที่ที่มีผู้เข้ารับบริการทางการแพทย์ในแต่ละวันหลายพันคน การวิจัยครั้งนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการทำงานร่วมกันระหว่างโครงข่าย 5G และโครงข่าย 4G เดิม โดยศึกษาเปรียบเทียบการใช้ค่าคุณภาพของบริการ (Quality of Service: QoS) จำนวน 3 พารามิเตอร์

ประกอบด้วย ความเร็วในการดาวน์โหลด (Download Speed: DL) ความเร็วในการอัปโหลด (Upload Speed: UL) และค่าเวลาแฝง (Latency) ภายใต้สถานการณ์ที่มีการทำงานร่วมกันระหว่างโครงข่าย 5G และ 4G

วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินการวิจัยนี้ประยุกต์ใช้วิธีการทดสอบแบบอยู่กับที่เพื่อทดสอบหาค่าความเร็วในการดาวน์โหลดและอัปโหลด และวัดค่าเวลาแฝงของโครงข่าย 5G ที่ให้บริการโดยผู้ให้บริการโครงข่าย 5G จำนวน 2 ราย (ต่อไปนี้จะเรียกผู้ให้บริการโครงข่าย 5G ทั้ง 2 รายดังกล่าวว่า Oper1 และ Oper2 แทนผู้ให้บริการ 1 และผู้ให้บริการ 2 ตามลำดับ) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่ได้รับความนิยมเนื่องจากไม่มีความซับซ้อน ซึ่งวิธีนี้ คณะผู้วิจัยใช้โทรศัพท์ที่รองรับเทคโนโลยี 5G จำนวน 2 เครื่องที่เป็นยี่ห้อและรุ่นเดียวกัน ซึ่งโทรศัพท์รุ่นดังกล่าวนี้ใช้ซีพียู (Central Processing Unit: CPU) Snapdragon 695 5G/Octa-core และใช้หน่วยความจำ (Memory) 128GB/8GB RAM โดยมี Android 13 เป็นระบบปฏิบัติการ ส่วนแอปพลิเคชันที่คณะผู้วิจัยเลือกใช้ในการศึกษาคือ แอปพลิเคชัน Speedtest (โดย Ookla เวอร์ชัน 5.2.1) ซึ่งเป็นแอปพลิเคชันที่นิยมใช้ในงานวิจัยในลักษณะคล้ายกันหลาย ๆ งานวิจัย (Daengsi et al., 2021a; 2023a; Putra & Widyasmoro, 2022; Widyasmoro et al., 2022)

คณะผู้วิจัยได้ทำการลงพื้นที่เพื่อทดสอบและเก็บรวบรวมข้อมูลจากภาคสนามภายในบริเวณอาคารทศมินทร์ โรงพยาบาลราชวิถี ในระหว่างวันที่ 25 และ 27 ธันวาคม 2566 ซึ่งเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลใหม่ทั้งหมด โดยไม่มีการใช้ข้อมูลที่เคยนำเสนอใน Chatchalernpun et al. (2023) ในการดำเนินการ คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบและเก็บข้อมูลที่ชั้นที่ 1 (หรือชั้นล่าง) โครงข่ายละ 36 ครั้ง และชั้นที่ 20-24 (หรือชั้นบน) ซึ่งสูงอยู่สูงจากพื้นดิน 80-95 เมตร โดยประมาณ ชั้นละอย่างน้อย 36 ครั้งต่อโครงข่าย รวมกันทั้ง 5 ชั้น เก็บข้อมูลได้โครงข่ายละ 150 ครั้ง ข้อมูลที่รวบรวมจากแต่ละชั้นมาจะได้จะเข้าสู่กระบวนการพิจารณาเพื่อทำการตัดข้อมูลที่เข้าข่ายเป็นข้อมูลที่มีค่าผิดปกติ (Outliers) ได้แก่ ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด หรือค่าที่แตกต่างจากกลุ่มข้อมูลส่วนใหญ่ แล้วทำการตัดออกก่อนที่จะมีการ นำเสนอเป็นผลการวิจัย และทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางสถิติ

ผลการวิจัย

ตอนที่ 1 ผลการวิจัยในภาพรวม

ผลการวิจัยในตอนต้นที่ 1 นี้ เป็นผลการศึกษาที่ได้มาจากการทดสอบภาคสนามด้วยแอปพลิเคชัน Speedtest ซึ่งผลการทดสอบแต่ละครั้งจะปรากฏดังตัวอย่างใน Figure 2 เมื่อทดสอบภาคสนามเสร็จและได้ข้อมูลตามที่ต้องการแล้ว ข้อมูลทั้งหมดได้ผ่านกระบวนการเพื่อลดความคลาดเคลื่อนของผลการวิจัย แล้วแสดงในรูปแบบของผลการวิจัยที่มีการเปรียบเทียบระหว่างผลที่ได้จากการทดสอบที่ 1 (หรือต่อไปนี้จะเรียกว่าชั้นล่าง (Low)) กับชั้น 20-24 (หรือหรือต่อไปนี้จะเรียกว่าชั้นบน (High)) ดังแสดงใน Table 1

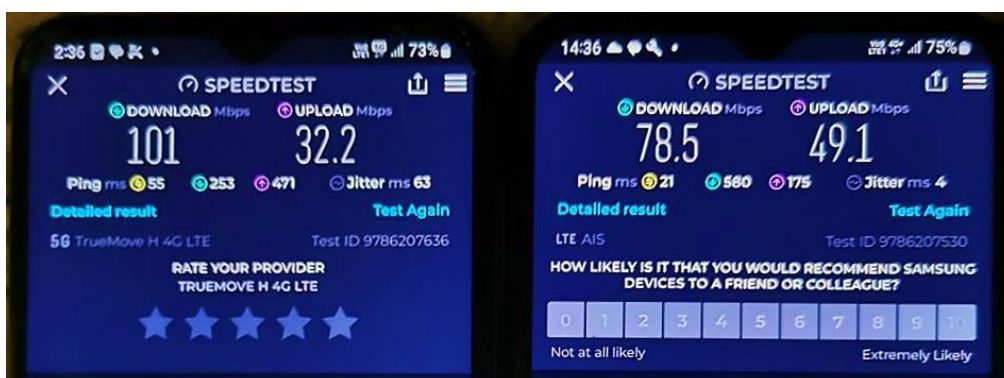


Figure 2 Example of test results with the Speedtest application that tests the networks of 2 service operators simultaneously.

Table 1 Overall results

QoS-Parameter	Floor	Operator	N	Mean
DL	Low	Oper1	34	299.0 ± 68.5 Mbps
		Oper2	34	284.6 ± 36.8 Mbps
		Oper1 & Oper2	68	291.8 ± 55.1 Mbps
	High	Oper1	140	109.6 ± 42.7 Mbps
		Oper2	144	120.6 ± 55.7 Mbps
		Oper1 & Oper2	284	115.1 ± 50.0 Mbps
UL	Low	Oper1	34	41.3 ± 20.4 Mbps
		Oper2	34	49.6 ± 7.7 Mbps
		Oper1 & Oper2	68	45.4 ± 15.8 Mbps
	High	Oper1	144	54.4 ± 14.3 Mbps
		Oper2	144	38.5 ± 8.0 Mbps
		Oper1 & Oper2	288	46.5 ± 14.0 Mbps
Latency	Low	Oper1	34	20.3 ± 2.1 ms
		Oper2	34	16.2 ± 2.8 ms
		Oper1 & Oper2	64	18.3 ± 3.2 ms
	High	Oper1	144	19.2 ± 2.8 ms
		Oper2	144	18.1 ± 2.2 ms
		Oper1 & Oper2	288	18.6 ± 2.6 ms

ซึ่งจาก Table 1 จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยความเร็วในการดาวน์โหลด ของชั้นล่างจากทั้ง Oper1 (299.0±68.5 Mbps) Oper2 (284.6±36.8 Mbps) ตลอดจนค่าเฉลี่ยของทั้งสองผู้ให้บริการ (291.8±55.1 Mbps) ค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยความเร็วในการดาวน์โหลดของชั้นบนจากทั้ง Oper1 (109.6±42.7 Mbps) Oper2 (120.6±55.7 Mbps) และเฉลี่ยของทั้งสองผู้ให้บริการ (115.1±50.0 Mbps) อย่างเห็นได้ชัด ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความเร็ว ในการอัปโหลดของชั้นล่างจากทั้ง Oper1 (41.3±20.4 Mbps) Oper2 (49.6±7.7 Mbps) และค่าเฉลี่ยของ ทั้งสองผู้ให้บริการ (45.4±15.8 Mbps) มีค่าแตกต่างกับค่าเฉลี่ยความเร็ว ในการดาวน์โหลดของชั้นบนจากทั้ง Oper1 (54.4±14.3 Mbps) Oper2 (38.5±8.0 Mbps) และเฉลี่ยของทั้งสองผู้ให้บริการ (46.5±14.0 Mbps) ไม่มากนัก นอกจากนี้ ค่าเวลาแฝงเฉลี่ยของชั้นล่างจากทั้ง Oper1 และ Oper2 ตลอดจนค่าเฉลี่ยของ ทั้งสองผู้ให้บริการ ที่มีค่า 20.3 ± 2.1 ms 16.2 ± 2.8 ms และ 18.3 ± 3.2 ms ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเวลาแฝงเฉลี่ย ของชั้นบนจากทั้ง Oper1 Oper2 และค่าเฉลี่ยของทั้งสองผู้ให้บริการ ที่มีค่า 19.2 ± 2.8 ms 18.1 ± 2.2 ms และ 18.6 ± 2.6 ms ตามลำดับ

ตอนที่ 2 ผลการวิจัยแยกตามผู้ให้บริการและเทคโนโลยี

คณะผู้วิจัยทำการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม โดยนำข้อมูลจากการทดสอบภาคสนามทั้งจากชั้นล่างและชั้นบน มาพิจารณาเกี่ยวกับประเด็นการทำงานร่วมกันระหว่าง 5G และ 4G ในกรณีที่เครื่องโทรศัพท์ 5G จำเป็นต้องรับสัญญาณ 4G เพื่อให้การสื่อสารสามารถดำเนินการได้ต่อเนื่องแม้ในกรณีที่สัญญาณ 5G ไม่มีความเสถียรหรือไม่พร้อมรองรับการให้บริการ ซึ่งพบว่าเมื่อทดสอบผ่านโครงข่ายของ Oper1 ที่ชั้นล่าง พบว่ามีเพียง 1 ครั้งจากทั้งหมด 36 ครั้ง ที่เครื่องโทรศัพท์ ที่ใช้ทำการทดสอบสามารถใช้งานได้ด้วยสัญญาณจากโครงข่าย 4G และมี 35 ครั้ง ที่เครื่องดังกล่าวรับสัญญาณ 5G ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 97.2 โดยประมาณ ในขณะที่ผลการทดสอบผ่านโครงข่ายของ Oper2 ที่พื้นที่และชั้นเดียวกัน เครื่องโทรศัพท์สามารถรับสัญญาณ 5G ได้ทั้ง 36 ครั้ง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 100 เมื่อคิดค่าเฉลี่ยค่าดังกล่าวจากผู้ให้บริการทั้ง 2

ราย พบว่ามีการเชื่อมต่อโครงข่าย 5G โดยเฉลี่ยคิดเป็นร้อยละ 98.6 อย่างไรก็ตาม เมื่อพิจารณาข้อมูลจากการทดสอบที่ชั้นบนหรือชั้น 20-24 พบว่าในการทดสอบทั้งหมด 150 ครั้งผ่านโครงข่ายของ Oper1 พบว่ามี 100 ครั้ง ที่เครื่องโทรศัพท์ที่ใช้ทำการทดสอบสามารถใช้งานได้ด้วยารับสัญญาณ 5G และมี 50 ครั้งที่เชื่อมต่อด้วยสัญญาณ 4G ในขณะที่ผลการทดสอบผ่านโครงข่ายของ Oper 2 พบว่ามี 83 ครั้ง ที่เครื่องโทรศัพท์ที่ใช้ทำการทดสอบเชื่อมต่อโครงข่ายด้วยสัญญาณ 5G และมี 67 ครั้งที่เชื่อมต่อด้วยสัญญาณ 4G ซึ่งสัดส่วนของการเชื่อมต่อผ่านสัญญาณ 5G เทียบกับสัญญาณ 4G ของ Oper1 และ Oper2 คิดเป็นร้อยละ 67.7 : 32.3 และ 55.5 : 44.5 ตามลำดับ ดังแสดงใน Table 2

ด้วยเหตุที่ค่าความเร็วในการดาวน์โหลดข้อมูลของชั้นบนมีค่าลดลงมากเมื่อเทียบกับชั้นล่าง ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากความไม่เสถียรของสัญญาณ 5G ที่บริเวณชั้นสูง ๆ ของอาคาร คณะผู้วิจัยจึงได้นำข้อมูลที่บันทึกไว้มาพิจารณาเพิ่มเติมโดยพิจารณาแยกเป็นผู้ให้บริการแต่ละราย พบว่าเมื่อทดสอบด้วยเครื่องโทรศัพท์ 5G ผ่านโครงข่ายของ Oper1 และเชื่อมต่อด้วยสัญญาณ 5G ค่าความเร็วในการดาวน์โหลด ค่าความเร็วอัปโหลด และค่าเวลาแฝง ที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 120.7 ± 40.2 Mbps 54.6 ± 17.0 Mbps และ 18.9 ± 3.1 ms ตามลำดับ ในขณะที่เชื่อมต่อด้วยสัญญาณ 4G และค่าความเร็วในการดาวน์โหลด ค่าความเร็วอัปโหลด และค่าเวลาแฝง ที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 90.9 ± 39.9 Mbps 53.9 ± 4.4 Mbps และ 18.9 ± 3.1 ms ตามลำดับ ส่วน Oper2 เมื่อทดสอบด้วยเครื่องโทรศัพท์ 5G และเชื่อมต่อด้วยสัญญาณ 5G ค่าความเร็วในการดาวน์โหลด ค่าความเร็วอัปโหลด และค่าเวลาแฝง ที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 149.6 ± 64.7 Mbps 41.3 ± 7.2 Mbps และ 18.2 ± 3.0 ms ตามลำดับ ในขณะที่เชื่อมต่อด้วยสัญญาณ 4G และค่าความเร็วในการดาวน์โหลด ค่าความเร็วอัปโหลด และค่าเวลาแฝง ที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 99.6 ± 31.2 Mbps 37.2 ± 7.4 Mbps และ 17.9 ± 0.8 ms ดังแสดงใน Table 3 ซึ่งจากข้อมูลเหล่านี้สามารถวิเคราะห์เชิงสถิติเพิ่มเติมได้ในตอนที่ 3

Table 2 Portion of 5G and 4G Technology from the field tests

Operator	Technology Usage	No. (times)	Portion
Oper1	5G	100	67.7 %
	4G	50	32.3 %
Oper2	5G	83	55.5 %
	4G	67	44.5 %

Table 3 Results from the 20-24 floors of the building under tests

QoS-Parameter	Operator	Technology	N	Mean
DL	Oper1	5G	92	120.7 ± 40.2 Mbps
		4G	46	90.9 ± 39.9 Mbps
	Oper2	5G	60	149.6 ± 64.7 Mbps
		4G	76	99.6 ± 31.2 Mbps
UL	Oper1	5G	94	54.6 ± 17.0 Mbps
		4G	46	53.9 ± 4.4 Mbps
	Oper2	5G	60	41.3 ± 7.2 Mbps
		4G	76	37.2 ± 7.4 Mbps
Latency	Oper1	5G	94	18.9 ± 3.1 ms
		4G	46	19.6 ± 1.7 ms
	Oper2	5G	60	18.2 ± 3.0 ms
		4G	78	17.9 ± 0.8 ms

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์เชิงสถิติ

เมื่อพิจารณาผลการวิจัยในตอนต้นที่ 2 พบว่าค่าความเร็วเฉลี่ยในการดาวน์โหลดและอัปโหลดข้อมูลของเครื่องโทรศัพท์ 5G ที่รับสัญญาณ 5G และ 4G ที่ชั้นสูง มีค่าค่อนข้างแตกต่างกันในบางเงื่อนไข ในขณะที่ค่าเวลาแฝงมีความใกล้เคียงกันค่อนข้างมาก คณะผู้วิจัยจึงทำการ วิเคราะห์ด้วย t-Test ซึ่งเป็นเครื่องมือทางสถิติ เพื่อหาความแตกต่างระหว่างค่าความเร็วที่ได้ทำการทดสอบ ที่พบว่า เครื่องโทรศัพท์ 5G ที่รับสัญญาณ 5G และ 4G โดยเฉพาะ ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 หรือไม่ โดยตั้งสมมติฐานดังนี้

- H1₀: ค่าความเร็วในการดาวน์โหลดของเครื่องโทรศัพท์ 5G ที่เชื่อมต่อสัญญาณ 5G และ 4G จาก Oper1 ไม่แตกต่างกัน
 H1₁: ค่าความเร็วในการดาวน์โหลดของเครื่องโทรศัพท์ 5G ที่เชื่อมต่อสัญญาณ 5G และ 4G จาก Oper1 แตกต่างกัน
 H2₀: ค่าความเร็วในการอัปโหลดของเครื่องโทรศัพท์ 5G ที่เชื่อมต่อสัญญาณ 5G และ 4G จาก Oper1 ไม่แตกต่างกัน
 H2₁: ค่าความเร็วในการอัปโหลดของเครื่องโทรศัพท์ 5G ที่เชื่อมต่อสัญญาณ 5G และ 4G จาก Oper1 แตกต่างกัน
 H3₀: ค่าความเร็วในการดาวน์โหลดของเครื่องโทรศัพท์ 5G ที่เชื่อมต่อสัญญาณ 5G และ 4G จาก Oper2 ไม่แตกต่างกัน
 H3₁: ค่าความเร็วในการดาวน์โหลดของเครื่องโทรศัพท์ 5G ที่เชื่อมต่อสัญญาณ 5G และ 4G จาก Oper2 แตกต่างกัน
 H4₀: ค่าความเร็วในการอัปโหลดของเครื่องโทรศัพท์ 5G ที่เชื่อมต่อสัญญาณ 5G และ 4G จาก Oper2 ไม่แตกต่างกัน
 H4₁: ค่าความเร็วในการอัปโหลดของเครื่องโทรศัพท์ 5G ที่เชื่อมต่อสัญญาณ 5G และ 4G จาก Oper2 แตกต่างกัน

ในการวิเคราะห์ด้วย t-Test นั้น คณะผู้วิจัยทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือที่ชื่อว่า Data Analysis ใน Microsoft Excel โดยได้ผลการวิเคราะห์ดังแสดงใน Table 4 ซึ่งจะเห็นได้ พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จากการทดสอบสมมติฐาน H1 (เปรียบเทียบค่าความเร็วในการดาวน์โหลดของเครื่องโทรศัพท์ 5G ที่เชื่อมต่อสัญญาณ 5G และ 4G ของ Oper1) H3 (เปรียบเทียบค่าความเร็วในการดาวน์โหลดของเครื่องโทรศัพท์ 5G ที่เชื่อมต่อสัญญาณ 5G และ 4G ของ Oper2) และ H4 (เปรียบเทียบค่าความเร็วในการอัปโหลดของเครื่องโทรศัพท์ 5G ที่เชื่อมต่อสัญญาณ 5G และ 4G ของ Oper2) เนื่องจากได้ผลการทดสอบสมมติฐานที่มีค่า p-value น้อยกว่า 0.05 ทั้ง 3 สมมติฐาน ในขณะที่ผลการทดสอบสมมติฐาน H2 พบว่าค่าความเร็วในการอัปโหลดของเครื่องโทรศัพท์ 5G ที่เชื่อมต่อสัญญาณ 5G และ 4G ของ Oper1 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากได้ p-value เท่ากับ 0.801 ซึ่งมากกว่า 0.05

Table 4 Hypothesis test results

Hypotheses	p-value	Meanings
H1 ₀ : DL-5G from Oper1 = DL-4G from Oper1 H1 ₁ : DL-5G from Oper1 ≠ DL-4G from Oper1	<0.001	Significant
H2 ₀ : UL-5G from Oper1 = UL-4G from Oper1 H2 ₁ : UL-5G from Oper1 ≠ UL-4G from Oper1	0.801	Insignificant
H3 ₀ : DL-5G from Oper2 = DL-4G from Oper2 H3 ₁ : DL-5G from Oper2 ≠ DL-4G from Oper2	<0.001	Significant
H4 ₀ : UL-5G from Oper2 = UL-4G from Oper2 H4 ₁ : UL-5G from Oper2 ≠ UL-4G from Oper2	0.001	Significant

อภิปรายผล

จากการศึกษานี้คณะผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบและการตรวจสอบเกี่ยวกับการทำงานร่วมกันของโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ 5G และ 4G ด้วยแอปพลิเคชัน Speedtest ในอาคารทศมิตร โรงแรมราชวิถี พบประเด็นที่น่าสนใจดังนี้

อภิปรายผลการวิจัยตอนที่ 1

1) จากผลการวิจัยตอนที่ 1 จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยความเร็วในการดาวน์โหลดข้อมูล ซึ่งเป็นหนึ่งในค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของคุณภาพของบริการของโครงข่าย 5G ที่บริเวณชั้น 1 และชั้นสูง ๆ ของอาคาร มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความเร็วในการอัปโหลดข้อมูล และค่าเฉลี่ยของเวลาแฝง มีความแตกต่างกันไม่มาก ซึ่งสอดคล้องกันทั้งสองผู้ให้บริการ (Oper1 และ Oper2) และสอดคล้องกับผลการศึกษาก่อนหน้านี้ (Chatchalermpun et al., 2023a) นอกจากนี้ค่าเฉลี่ยจากผู้ให้บริการทั้งสองราย ยังใกล้เคียงกับผลการศึกษาเดิมใน (Daengsi et al., 2023a)

2) จากผลการวิจัยตอนที่ 1 จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยความเร็วในการดาวน์โหลดข้อมูลที่ชั้น 1 ของอาคารที่ใช้เป็นสถานที่ในการทดสอบ มีความแตกต่างกันไม่มาก โดย Oper1 มีค่าเฉลี่ย 299.0 ± 68.5 Mbps ซึ่งสูงกว่า Oper2 ที่มีค่าเฉลี่ย 284.6 ± 36.8 Mbps ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความเร็วในการดาวน์โหลดข้อมูลที่ชั้น 20-24 ของอาคาร ก็มีความแตกต่างกันไม่มาก แต่ที่ชั้นบน Oper2 มีค่าเฉลี่ย 120.6 ± 55.7 Mbps ซึ่งสูงกว่า Oper1 ที่มีค่าเฉลี่ย 109.6 ± 42.7 Mbps ซึ่งสามารถอนุมานได้ว่า การใช้งานในระดับพื้นราบทั่วไปย่อมได้รับคุณภาพของบริการของโครงข่าย 5G ที่ดีกว่าการใช้งานบนชั้นสูง ๆ ของอาคารสูงอย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาในประเด็นของความค่าเฉลี่ยความเร็วในการดาวน์โหลดที่ลดลงเมื่อเปรียบเทียบระหว่างข้อมูลที่ได้จากการทดสอบที่ชั้น 1 กับชั้น 20-24 พบว่าความเร็วของ Oper1 ลดลงคิดเป็นร้อยละ $(299.0-109.6)/299.0 \times 100 = 63.3$ ส่วนของ Oper2 ลดลงคิดเป็นร้อยละ $(284.6-120.6)/284.6 \times 100 = 57.6$ เมื่อเฉลี่ยผลการคำนวณจากผู้ให้บริการทั้ง 2 ราย พบว่าค่าเฉลี่ยความเร็วในการดาวน์โหลดข้อมูลลดลงประมาณร้อยละ 60.5

3) จากผลการวิจัยตอนที่ 1 จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยความเร็วในการอัปโหลดข้อมูลที่ชั้น 1 ของอาคารในพื้นที่โรงพยาบาลราชวิถี ที่ใช้เป็นสถานที่ในการทดสอบ มีความแตกต่างกันไม่มาก โดย Oper1 มีค่าเฉลี่ย 41.3 ± 20.4 Mbps ซึ่งน้อยกว่า Oper2 ที่มีค่าเฉลี่ย 49.6 ± 7.7 Mbps ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความเร็วในการดาวน์โหลดข้อมูลที่ชั้น 20-24 ของอาคาร ก็มีความแตกต่างกันค่อนข้างเห็นได้ชัด โดยที่ชั้นบน Oper1 มีค่าเฉลี่ย 54.4 ± 14.3 Mbps ซึ่งสูงกว่า Oper2 ที่มีค่าเฉลี่ย 38.5 ± 8.0 Mbps

4) นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่าเวลาแฝงที่ระบุในผลการวิจัยตอนที่ 1 จะเห็นได้ว่า ค่าเวลาแฝงเฉลี่ยที่วัดได้จากชั้น 1 ของอาคารทศมิตร โรงพยาบาลราชวิถี มีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดย Oper2 มีค่าเฉลี่ย 16.2 ± 2.8 ms ซึ่งถือว่าดีกว่า Oper1 ที่มีค่าเฉลี่ย 20.3 ± 2.1 ms ในขณะที่ค่าเวลาแฝงเฉลี่ยที่ชั้น 20-24 ของอาคาร มีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกันมาก คืออยู่ในช่วงประมาณ 18-19 ms

อภิปรายผลการวิจัยตอนที่ 2

1) จากผลการวิจัยตอนที่ 2 ที่แสดงใน Table 2 จะเห็นได้ว่า ที่ชั้น 20-24 ของอาคารทศมิตร โรงพยาบาลราชวิถี มีการทำงานร่วมกันของโครงข่าย 5G และ 4G สามารถทำงานร่วมกันได้เป็นอย่างดี โดยเครือข่ายที่ใช้ในการทดสอบมีการเชื่อมต่อสัญญาณ 4G แทนสัญญาณ 5G โดยอัตโนมัติ โดยที่สัดส่วนของการเชื่อมต่อสัญญาณ 5G เมื่อทดสอบกับ Oper1 อยู่ที่ร้อยละ 67.7 ซึ่งเป็นสัดส่วนที่สูงกว่า Oper2 ซึ่งมีสัดส่วนร้อยละ 55.5 จึงอนุมานได้ว่า โครงข่าย 5G ของ Oper1 ครอบคลุมพื้นที่อาคารสูงของโรงพยาบาลราชวิถีได้ดีกว่า Oper2

2) จากผลการวิจัยใน Table 3 จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยความเร็วในการดาวน์โหลดข้อมูลผ่านการเชื่อมต่อโครงข่าย 5G และ 4G ของ Oper1 แบบอัตโนมัติ (ตามกลไกการทำงานของเทคโนโลยี 5G) ที่ชั้นบนของอาคารที่ใช้เป็นสถานที่ในการทดสอบ มีความแตกต่างกัน โดย 5G มีค่าเฉลี่ย 120.7 ± 40.2 Mbps ซึ่งสูงกว่า 4G ที่มีค่าเฉลี่ย 90.9 ± 39.9 Mbps ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความเร็วในการดาวน์โหลดผ่านการเชื่อมต่อโครงข่าย 5G และ 4G ของ Oper1 อัตโนมัติ ก็มีความแตกต่างกัน โดย 5G มีค่าเฉลี่ย 149.6 ± 64.7 Mbps ซึ่งสูงกว่า 4G ที่มีค่าเฉลี่ย 99.6 ± 31.2 Mbps

3) จากผลการวิจัยใน Table 3 จะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยความเร็วในการอัปโหลดข้อมูลผ่านการเชื่อมต่อโครงข่าย 5G และ 4G ของ Oper1 แบบอัตโนมัติ มีความค่าใกล้เคียงกันมาก โดย 5G และ 4G มีค่าเฉลี่ยประมาณ 54 Mbps ในขณะที่ค่าเฉลี่ยความเร็วในการอัปโหลดผ่านการเชื่อมต่อโครงข่าย 5G และ 4G ของ Oper2 แบบอัตโนมัติ ก็มีความแตกต่างกันเล็กน้อย โดย 5G มีค่าเฉลี่ย 41.3 ± 7.2 Mbps ซึ่งสูงกว่า 4G ที่มีค่าเฉลี่ย 37.2 ± 7.4 Mbps ซึ่งจะเห็นได้ว่า ค่าเฉลี่ยความเร็วในการอัปโหลดของ Oper2 น้อยกว่า Oper1

4) จาก Table 3 จะเห็นได้ว่า ค่าเวลาแฝงเฉลี่ยที่วัดได้การเชื่อมต่อโครงข่าย 5G และ 4G แบบอัตโนมัติ ของ Oper1 และ Oper2 มีความใกล้เคียงกันมาก คืออยู่ในช่วงประมาณ 18-20 ms ซึ่งใกล้เคียงกับผลการวิจัยที่ได้จากการทดสอบที่ชั้นล่างของอาคาร

อภิปรายผลการวิจัยตอนที่ 3

จากผลการวิจัยตอนที่ 3 สามารถอนุมานได้ว่า โครงข่าย 5G สามารถทำงานร่วมกันกับโครงข่าย 4G ได้อัตโนมัติ ตามกลไกของเทคโนโลยี 5G หากโครงข่าย 5G ขาดความเสถียรหรือสัญญาณอ่อน อย่างไรก็ตาม จากการศึกษาเปรียบเทียบภายในโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ให้บริการ 2 รายในการศึกษานี้ ที่แสดงใน Table 4 สามารถกล่าวได้ว่า คุณภาพของการให้บริการโดยรวมของโครงข่าย 5G โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าเฉลี่ยความเร็วในการดาวน์โหลดข้อมูลผ่านโครงข่าย 5G ดีกว่า 4G อย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} < 0.05$) แม้ว่าค่าเฉลี่ยความเร็วในการอัปโหลด และค่าเวลาแฝงเฉลี่ยจะมีค่าใกล้เคียงกัน และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p\text{-value} > 0.05$) ก็ตาม

ในการทดสอบนี้ ไม่ได้ควบคุมสภาพแวดล้อมเรื่องระยะห่างจากจุดวัดทดสอบสัญญาณถึงเสาสัญญาณ 5G จำนวนผู้ใช้บริการ ณ ขณะนั้น รวมถึงอุณหภูมิของเครื่องโทรศัพท์มือถือ อย่างไรก็ตาม มีขอบเขตการศึกษาเฉพาะพื้นที่อาคารทศมินทร์ โรงพยาบาลราชวิถีเท่านั้น จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติม ในอาคารสูงอื่นต่อไปในอนาคต เพื่อยืนยันผลการศึกษานี้ หากผลการศึกษาในอนาคตมีความสอดคล้องกัน

สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษานี้สรุปได้ว่า ในการใช้งานโทรศัพท์หรืออุปกรณ์ 5G นั้น หากเป็นการใช้งานในระดับพื้นราบทั่วไป จะได้รับคุณภาพของบริการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความเร็วในการดาวน์โหลดข้อมูลที่ดีกว่าการใช้งานบนชั้นสูง ๆ ของอาคารสูง เนื่องจากจะได้รับบริการผ่านโครงข่าย 5G จริง ๆ ซึ่งจะแตกต่างจากการใช้งานบนชั้นสูง ๆ ของอาคารสูงที่หากสัญญาณ 5G อาจไม่มีความเสถียร โทรศัพท์หรืออุปกรณ์ 5G จะเปลี่ยนไปเชื่อมต่อกับโครงข่าย 4G โดยอัตโนมัติ ตามกลไกการทำงานของเทคโนโลยี 5G ซึ่งจะมีผลกระทบต่อคุณภาพของบริการในภาพรวม โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความเร็วในการดาวน์โหลดที่อาจจะลดลงอย่างมาก ซึ่งสิ่งที่พบในการศึกษานี้ สามารถอนุมานได้ว่าโครงข่าย 5G มีประเด็นเรื่องการให้บริการบริเวณชั้นสูง ๆ ของอาคารสูง ซึ่งข้อมูลนี้สามารถใช้อ้างอิงเป็นหลักฐาน สำหรับผู้ให้บริการทั้งสองราย ในการพิจารณาปรับปรุงและพัฒนาการให้บริการของโครงข่าย 5G ในอาคารสูงให้ดียิ่ง ๆ ขึ้นไปในอนาคต

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้เป็นกรณีศึกษาในอาคารหนึ่งในโรงพยาบาลราชวิถีเท่านั้น ควรมีการศึกษาในอาคารสูงลักษณะอื่นเพิ่มเติม เช่น อาคารคอนโดมิเนียม นอกจากนี้ การศึกษานี้ยังไม่ได้วิเคราะห์ถึงผลกระทบของ 5G SA และ 5G NSA จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อตรวจสอบว่า 5G SA ที่เปิดให้บริการในประเทศไทยในปัจจุบัน มีสมรรถนะสูงกว่า 5G NSA อย่างมีนัยสำคัญหรือไม่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะเทคโนโลยีการเกษตรและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์ คณะอุตสาหกรรมและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ที่ให้การสนับสนุน

เอกสารอ้างอิง

Amine, O. M., & Sylia, Z. (2017). Femtocell placement in an indoor building using NSGA II. 2017 5th International Conference on Electrical Engineering - Boumerdes (ICEE-B), *Boumerdes, Algeria*, 1-7. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8192181>

- Arunruangsirilert, K., Wei, B., Song, H., & Katto, J. (2022). Performance Evaluation of Low-Latency Live Streaming of MPEG-DASH UHD video over Commercial 5G NSA/SA Network. 2022 International Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN), *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 1-6. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9868877>
- Chatchalermpun, S., Daengsi, T., Pornpongtechavanich, P., Phanrattanachai, K., Siamorntrakul, P., & Chukusol, C. (2023a). Impacts of Different Altitudes on 5G Performance: A Case Study of a Public Hospital in Central Bangkok. 2023 IEEE 8th International Conference on Recent Advances and Innovations in Engineering (ICRAIE), *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 1-4. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10468096>
- Chatchalermpun, S., Pornpongtechavanich, P., Phanrattanachai, K., & Daengsi, T. (2023b). Comparison of 5G-QoS After Merger Between Two Mobile Network Operators in Urban Areas Using Mobility Tests. 2023 6th International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI), *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 164-168. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10467595>
- Daengsi, T., & Pornpongtechavanich, P. (2019). 5G: The Communication Technology of the Next Decade. *The Journal of Industrial Technology*, 15(2), 162-180. https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/jit_journal/article/view/214029
- Daengsi, T., Ungkap, P., & Wuttidittachotti, P. (2021a). 5G Network Performance: A Study using Stationary and Mobility Tests on Sukhumvit Line – BTS Skytrain in Bangkok. 2021 4th International Conference of Computer and Informatics Engineering (IC2IE), *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 447-450. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9649216>
- Daengsi, T., Ungkap, P., & Wuttidittachotti, P. (2021b). A Study of 5G Network Performance: A Pilot Field Trial at the Main Skytrain Stations in Bangkok. 2021 International Conference on Artificial Intelligence and Computer Science Technology (ICAICST), *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 191-195. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9497810>
- Daengsi, T., Ungkap, P., & Wuttidittachotti, P. (2023a). 5G Quality of Service: A Case Study of BTS Skytrain Station Areas. *NBTC Journal*, 7(1), 80-105. https://so04.tci-thaijo.org/index.php/NBTC_Journal/article/view/254248
- Erunkulu, O. O., Zungeru, A. M., Lebekwe, C. K., Mosalaosi M., & Chuma, J. M. (2021). 5G Mobile Communication Applications: A Survey and Comparison of Use Cases. *IEEE Access*, 9, 97251-97295. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9466493>
- Guo, W., Deng, Y., Guo, C., Qi, S., & Wang, J. (2022). Performance improvement of 5G positioning utilizing multi-antenna angle measurements. *Satellite Navigation*, 3(1), 17. <https://satellite-navigation.springeropen.com/articles/10.1186/s43020-022-00078-y>
- GSMA. (2024). Massive Expansions and Huge Improvements in Speed: The Worldwide Growth of 5G in 2020. GSMA. https://www.gsma.com/get-involved/gsma-membership/gsma_resources/massive-expansions-and-huge-improvements-in-speed-the-worldwide-growth-of-5g-in-2020
- Horsmanheimo, S., Tuomimäki, L., Semkin, V., Mehnert, S., Chen, T., Ojennus, M., & Nykanen, L. (2022). 5G Communication QoS Measurements for Smart City UAV Services. 2022 16th European Conference on

- Antennas and Propagation (EuCAP), *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 1-5.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9769210>
- Jayaraman, J., Balu, V. R., Bregni, S., Scazzoli, D., & Magarini, M. (2022). Rooftop Relay Nodes to Enhance URLLC in UAV-Assisted Cellular Networks. ICC 2022 - IEEE International Conference on Communications, *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 733-738.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9839057>
- Lin, P., Hu, C., Xie, W., & Yu, J. (2022). Interoperability Research and Experiments in 4G/5G Network. 2022 4th International Conference on Communications, Information System and Computer Engineering (CISCE), *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 275-279.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9851126>
- Liu, X., Zhao, Z., Wei, M., Guan, H., & Yang, H. (2014). Performance Analysis of Micro Site with Tilted Antenna in a Realistic High Rise Building Scenario. 2014 IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC2014-Fall), *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 1-5.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/6966116>
- Patel, A. K., & Joshi, R. D. (2022). Area Coverage Analysis of Low Altitude UAV Bases Station using Statistical Channel Model. 2022 International Conference on Signal and Information Processing (IConSIP), *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 1-6. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10007493>
- Putra, D. F., & Widyasmoro. (2022). Quality of Service Analysis of 5G Telkomsel Network Technology. 2022 2nd International Conference on Electronic and Electrical Engineering and Intelligent System (ICE3IS), *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 231-236.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/10010232>
- SAL-Bawri, S. S., Islam, S. M., Sahaq, B. S. K., Marai, S. M., Jusoh, M., Sabapathy, T., Padmanathan, S., & Islam, T. M. (2019). Multilayer Base Station Antenna at 3.5 GHz for Future 5G Indoor Systems. 2019 First International Conference of Intelligent Computing and Engineering (ICOICE), *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 1-4. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9035137>
- Shayea, I., Ergen, M., Azmi, H. M., Nandi, D., El-Salah, A. A., & Zahedi, A. (2020). Performance Analysis of Mobile Broadband Networks With 5G Trends and Beyond: Rural Areas Scope in Malaysia. *IEEE Access*, 8, 65211-65229. <https://ieeexplore.ieee.org/document/9025271>
- Widyasmoro, Surahmat, I., Hariadi, T., & Putra, F. (2022). Comparative Performance Analysis of 4G and 5G Cellular Network Technology in Indonesia: Case Study in the City of Jakarta. 2022 2nd International Conference on Electronic and Electrical Engineering and Intelligent System (ICE3IS), *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 158-163. <https://ieeexplore.ieee.org/document/10010105>
- Yang, T., Ouyang, Z., Liu, J., & Luan, H. T. (2017). Design of TD-LTE Based Signal Indoor Distribution System. 2017 IEEE 86th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 1-7. <https://ieeexplore.ieee.org/document/8288330/>
- You, C., Kang, Z., Zeng, Y., & Zhang, R. (2021). Enabling Smart Reflection in Integrated Air-Ground Wireless Network: IRS Meets UAV. *IEEE Wireless Communications*, 28(6), 138-144.
<https://ieeexplore.ieee.org/document/9690481>