

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบการทำงานของระบบด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ และผลการทดสอบการทำงานของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของโพรโตคอลอาร์อาร์ซี ที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับผลการทำงานของกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่

4.1 ข้อกำหนดและตัวแปรที่ใช้ในการจำลองระบบ

ในการทดสอบการทำงานของระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อจำลองการทำงานของระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ในส่วนของยูทราน โดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นนี้ที่ได้ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองตามตัวอย่างงานวิจัย Adaptive Radio Resource Management Scheme for UMTS Packet Data¹ เช่นเดียวกันกับแบบจำลองการทำงานของระบบเพื่อพิจารณาระยะเวลา Timeout ที่เหมาะสมในหัวข้อที่ 3.5.2.1 แบบจำลองมีข้อกำหนดดังนี้

1) จำลองการทำงานของอาร์เอ็นซีในการควบคุมโหนดบิจำนวน 17 โหนดซึ่งแต่ละโหนดมี 3 cell sectors รวมทั้งสิ้น 51 cell sectors แต่ละ cell sector มีการกำหนดตัวแปรต่างๆ ตามงานวิจัย Adaptive Radio Resource Management Scheme for UMTS Packet Data

2) จำลองการทำงานของอาร์เอ็นซีในการควบคุมความคับคั่งของระบบและการกำหนดสถานะของโพรโตคอลอาร์อาร์ซีให้แก่ยูอี เป็นระยะเวลา 3,600 วินาที หรือเท่ากับ 1 ชั่วโมง

3) แบบจำลองมีการเพิ่มยูอีเข้าสู่ระบบในแต่ละรอบเวลา โดยมีการกำหนดจำนวนยูอีที่จะเพิ่มเข้ามาในระบบตามจำนวน Transaction per second (TPS) คือมีการร้องขอการใช้งานใหม่จำนวนกี่ครั้งใน 1 วินาที และในการเพิ่มยูอีใหม่เข้าสู่ระบบจะใช้กราฟฟิคที่ตรวจวัดได้จากหัวข้อ 3.3.1 ในการกำหนดพฤติกรรมในการจำลองการใช้งานบริการข้อมูลของยูอีแต่ละเครื่อง โดยจะสุ่มเลือกกราฟฟิคของสมาร์ตโฟนจากกราฟฟิคที่ตรวจวัดได้จำนวน 30 ไฟล์ ดังต่อไปนี้

¹ Brosch, C. & Mitschele-Thiel, A. (2005). Adaptive Radio Resource Management Scheme for UMTS Packet Data. In *Wireless Conference 2005 – Next Generation Wireless and Mobile Communications and Services (European Wireless), 11th European* (pp. 1 - 7). Nicosia, Cyprus: n.p.

- 3.1) ทราฟฟิกของระบบปฏิบัติการ iOS มีจำนวน 15 ไฟล์
- 3.2) ทราฟฟิกของระบบปฏิบัติการ iOS จำนวน 15 ไฟล์
- 4) ใช้แบบจำลองการวิเคราะห์การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซีตามหัวข้อที่ 3.4 สำหรับจำลองการทำงานของอาร์เอ็นซีในการกำหนดสถานะอาร์อาร์ซีให้แก่อุปกรณ์ตามพฤติกรรมระหว่างการใช้งานบริการข้อมูลของยูอี
- 5) จำนวนสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีจากสถานะหนึ่งไปสู่สถานะอื่นๆ จะใช้ค่าตามตารางที่ 2.1
- 6) ยูอีมีการใช้พลังงาน (เฉพาะการใช้พลังงานของสถานะอาร์อาร์ซี เท่านั้น ไม่ได้รวมการใช้พลังงานในส่วนอื่นๆ เช่น จอภาพ ลำโพง เป็นต้น) ในระหว่างใช้งานบริการข้อมูลในสถานะอาร์อาร์ซีต่างๆ จะใช้ค่าตามตารางที่ 2.2
- 7) ยูอีมีระยะเวลาใช้งานบริการข้อมูลเฉลี่ย 600 วินาที
- 8) กำหนดระยะเวลา Timeout ของกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ ใช้ระยะเวลาตามโปรแกรม AT&T Application Resource Optimizer ตามตารางที่ 3.1
- 9) กำหนดระยะเวลา Timeout ของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอในระดับต่างๆ ใช้ระยะเวลาตามตารางที่ 3.6
- 10) กำหนดเกณฑ์ความคับคั่งของระบบที่ใช้ในการพิจารณาการปรับระยะเวลา Timeout ในระหว่างการทำงานของระบบตามตารางที่ 3.7
- 11) กำหนดเกณฑ์ความคับคั่งของระบบที่ใช้ในการพิจารณาปิดกั้นยูอีที่กำลังร้องขอการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบ ตามกลไกการควบคุมการร้องขอการใช้งาน เมื่อระบบมีความคับคั่งมากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์
- 12) กำหนดเกณฑ์ความคับคั่งของระบบที่ใช้ในการพิจารณายุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบแต่ไม่ได้มีการใช้งานข้อมูลมานานออกจากระบบ ตามกลไกการควบคุมความคับคั่ง เมื่อระบบมีความคับคั่งมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์

4.2 การวิเคราะห์ผลของกลไกที่นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับกลไกแบบคงที่ในกรณีที่ระบบมีสัดส่วนของสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ แตกต่างกัน

การทดสอบที่ 1

ผลของการใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout กับระบบที่มีสัดส่วนของสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ ที่แตกต่างกัน

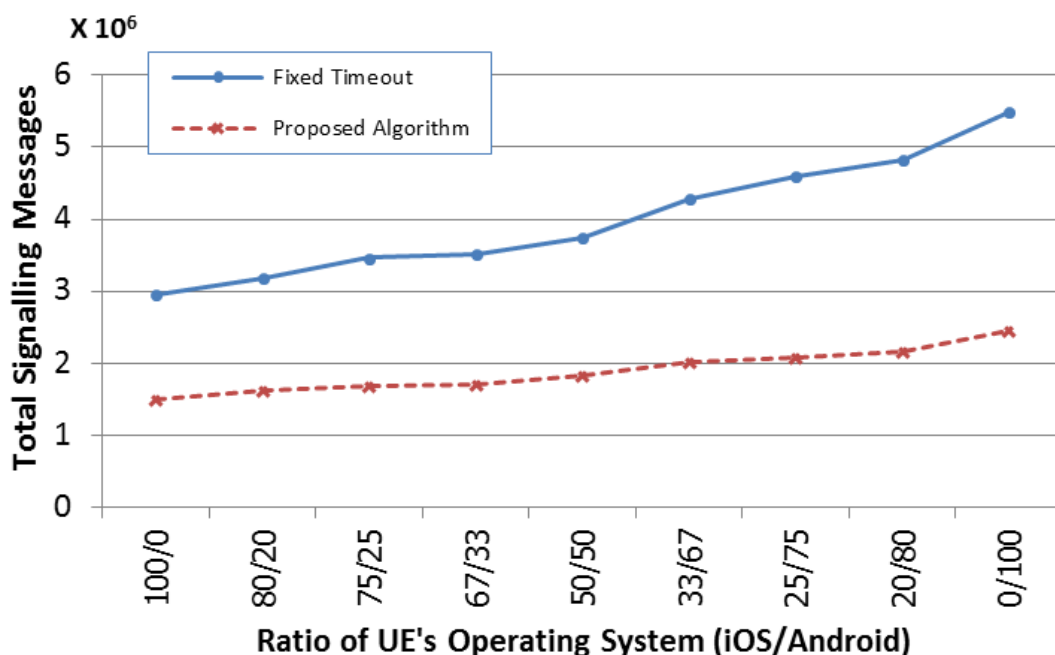
วัตถุประสงค์

1) เพื่อทดสอบว่ากลไกการปรับระยะเวลา Timeout สามารถลดปริมาณสัญญาณควบคุมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้

2) เพื่อทดสอบว่ากลไกการปรับระยะเวลา Timeout สามารถลดปริมาณสัญญาณควบคุมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีสัดส่วนของสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android จำนวนมากกว่าสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ได้ดีกว่าระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีสัดส่วนของสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS จำนวนมากกว่าสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android

ทดสอบโดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่จัดทำขึ้นตามหัวข้อที่ 4.1 จำลองการทำงานระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ที่มียูอีทีใช้งานด้วยระบบปฏิบัติการ iOS หรือ Android เท่านั้น ซึ่งจะประมวลผลระบบที่มีสัดส่วนของจำนวนยูอีทีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ต่อจำนวนยูอีทีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ที่แตกต่างกัน โดยกำหนดจำนวนยูอีทีคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของจำนวนยูอีทีทั้งหมดในระบบ (iOS/Android) ตั้งแต่ระบบที่มียูอีทีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ทั้งหมด หรือ (100/0) เปอร์เซ็นต์ และลดสัดส่วนของยูอีทีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ลงเรื่อยๆ ในขณะที่เพิ่มสัดส่วนของยูอีทีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ขึ้นเรื่อยๆ ดังนี้ (80/20), (75/25), (66/33), (50/50), (33/66), (25/75), (20/80) ไปจนถึงระบบที่มียูอีทีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ทั้งหมด หรือ (0/100) เปอร์เซ็นต์

กำหนดการเพิ่มยูอีทีเข้าสู่ระบบจำนวน 50 Transaction per second (TPS) และกำหนดให้มีการกำหนดระยะเวลา Timeout ของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ระดับเดียวกันทั้งยูอีทีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android และยูอีทีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ประมวลผลแบบจำลองจำนวน 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในภาพที่ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 และภาพที่ 4.5

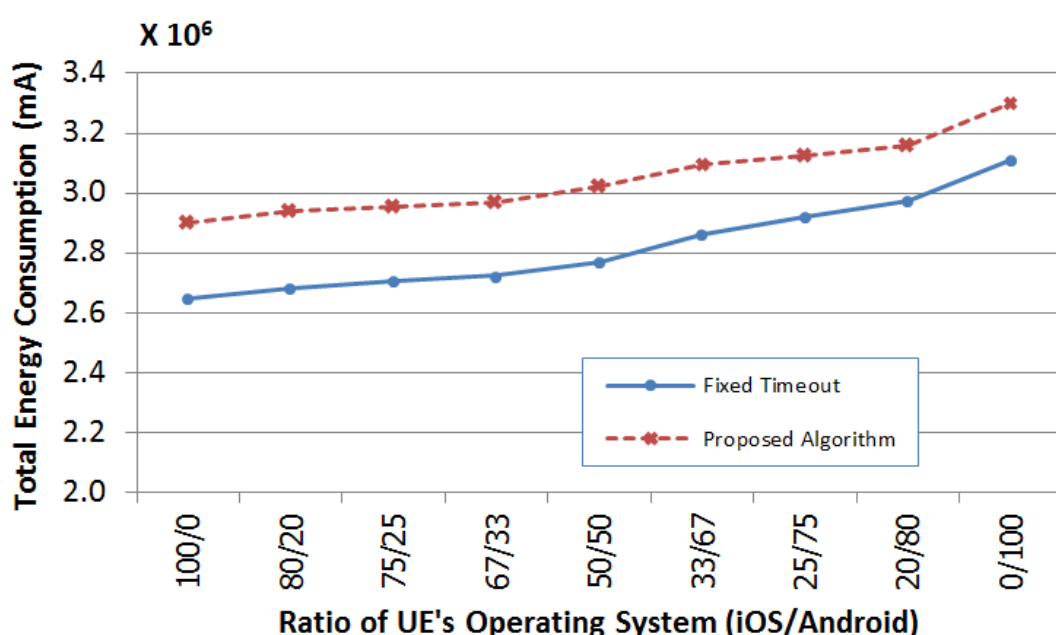


ภาพที่ 4.1 ผลการทดสอบผลรวมสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบผลรวมสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน พบว่าเมื่อใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ ระบบที่มียูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซ็นต์ มีผลรวมของสัญญาณควบคุมที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีน้อยกว่า ระบบที่มียูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซ็นต์ โดยมีแนวโน้มของผลรวมของสัญญาณควบคุมจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระบบมีสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ลดลงและสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android เพิ่มขึ้น และมีผลรวมของสัญญาณควบคุมจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีมากที่สุดเมื่อระบบมีสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android นั้นมีการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีโดยเฉลี่ยบ่อยกว่ายูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ดังนั้น ยิ่งระบบมีจำนวนยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android มากก็ยิ่งจะสร้างสัญญาณควบคุมจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีมากขึ้นนั่นเอง

สำหรับกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ พบว่ามีผลรวมของสัญญาณควบคุมจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีน้อยกว่ากลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ในทุกๆ ระบบที่มีสัดส่วนของระบบปฏิบัติการแตกต่างกัน โดยจะมีผลรวมของสัญญาณควบคุมจาก

การเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีน้อยที่สุดเมื่อระบบมีส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงระบบส่วนส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบผลรวมของสัญญาณควบคุมของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอกับกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถลดสัญญาณควบคุมได้ 48.84 - 55.21 เปอร์เซ็นต์

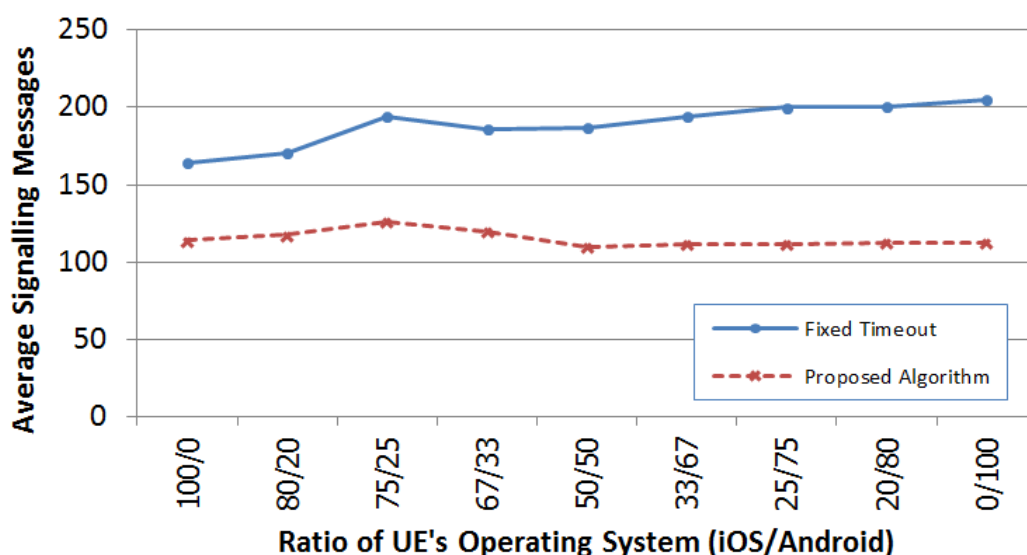


ภาพที่ 4.2 ผลการทดสอบผลรวมการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบผลรวมการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน พบว่าเมื่อใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ ระบบที่มียูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซ็นต์ มีผลรวมการใช้พลังงานน้อยกว่า ระบบที่มียูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซ็นต์ โดยมีแนวโน้มของผลรวมการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระบบมีส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ลดลงและสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android เพิ่มขึ้น และมีผลรวมการใช้พลังงานมากที่สุดเมื่อระบบมีส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android นั้นมีการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีโดยเฉลี่ยบ่อยกว่าและมีการคงอยู่ในสถานะอาร์อาร์ซีที่ใช้พลังงานมานาน

กว่ายูเอชไอซีระบบปฏิบัติการ iOS ดังนั้นยิ่งระบบมีจำนวนยูเอชไอซีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android มากก็ยิ่งจะมีผลรวมการใช้พลังงานมากขึ้นนั่นเอง

สำหรับกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ พบว่ามีผลรวมการใช้พลังงานมากกว่ากลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ในทุกๆ ระบบที่มีสัดส่วนของระบบปฏิบัติการแตกต่างกัน โดยจะมีผลรวมการใช้พลังงานน้อยที่สุดเมื่อระบบมีสัดส่วนของยูเอชไอซีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จนถึงระบบสัดส่วนของยูเอชไอซีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบผลรวมการใช้พลังงานของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอกับกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่ากลไกที่นำเสนอเพิ่มการใช้พลังงาน 6.05 - 9.54 เปอร์เซ็นต์

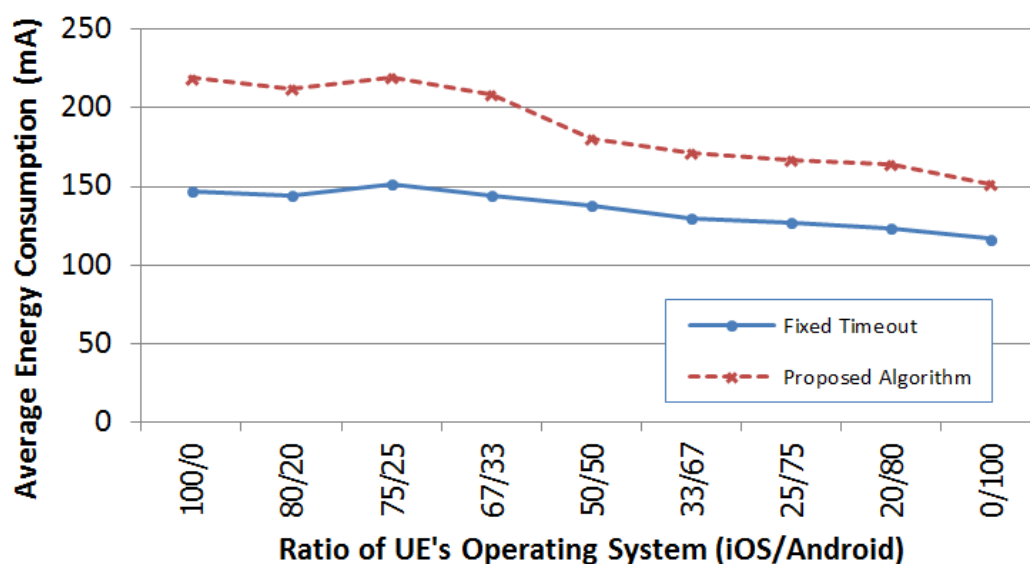


ภาพที่ 4.3 ผลการทดสอบจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูเอชไอซีที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูเอชไอซีในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน โดยนำผลรวมสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นในเครือข่ายตามภาพที่ 4.1 มาหารจำนวนยูเอชไอซีทั้งหมดที่ใช้งานในเครือข่าย เพื่อหาจำนวนสัญญาณควบคุมโดยเฉลี่ยที่ยูเอชไอซีแต่ละเครื่องสร้างขึ้น พบว่าเมื่อใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ ระบบที่มียูเอชไอซีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซ็นต์ มีจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูเอชไอซีน้อยกว่า ระบบที่มียูเอชไอซีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซ็นต์ โดยมีแนวโน้มของจำนวนสัญญาณควบคุม

เฉลี่ยต่อยูเอเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระบบมีส่วนของยูเอที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ลดลงและสัดส่วนของยูเอที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android เพิ่มขึ้น และมีผลรวมของจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูเอมากที่สุดเมื่อระบบมีส่วนของยูเอที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากยูเอที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android นั้นมีการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีโดยเฉลี่ยบ่อยกว่ายูเอที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ดังนั้น ยิ่งระบบมีจำนวนยูเอที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android มากก็ยิ่งจะสร้างสัญญาณควบคุมจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีมากขึ้นนั่นเอง

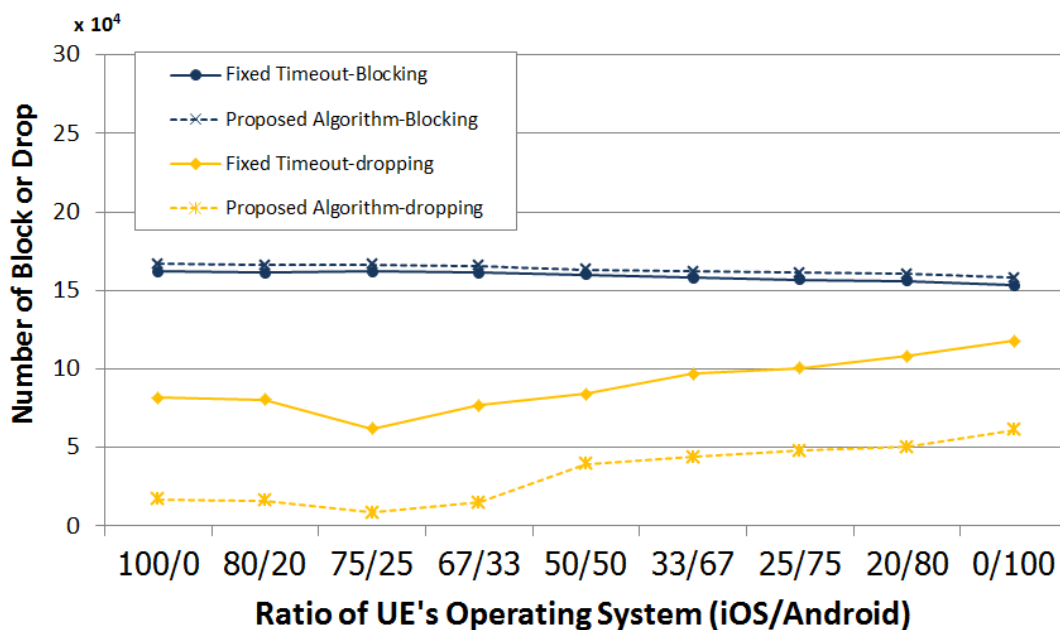
สำหรับกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ พบว่ามีจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูเอน้อยกว่ากลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ในทุกๆ ระบบที่มีสัดส่วนของระบบปฏิบัติการแตกต่างกัน โดยจะมีจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูเอมากที่สุดเมื่อระบบที่มีสัดส่วนของยูเอที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มคงที่ และเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อระบบมีส่วนของยูเอที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูเอของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอกับกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถลดสัญญาณควบคุมได้ 30.73 - 45.14 เปอร์เซ็นต์ โดยลดลงมากที่สุดในระบบที่มีสัดส่วนของยูเอที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.4 ผลการทดสอบการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูเอที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อชั่วโมงที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน โดยนำผลรวมการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในเครือข่าย ตามภาพที่ 4.2 มาหารจำนวนยูทิลิตี้ทั้งหมดที่ใช้งานในเครือข่าย เพื่อหาการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยที่แต่ละยูทิลิตี้ พบว่าเมื่อใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ ระบบที่มียูทิลิตี้ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซ็นต์ มีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อชั่วโมงมากกว่าระบบที่มียูทิลิตี้ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซ็นต์ โดยมีแนวโน้มของการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อชั่วโมงลดลงเรื่อยๆ เมื่อระบบมีสัดส่วนของยูทิลิตี้ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ลดลงและสัดส่วนของยูทิลิตี้ใช้ระบบปฏิบัติการ Android เพิ่มขึ้น และมีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อชั่วโมงมากที่สุดเมื่อระบบมีสัดส่วนของยูทิลิตี้ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซ็นต์

สำหรับกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ พบว่ามีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อชั่วโมงมากกว่ากลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ในทุกๆ ระบบที่มีสัดส่วนของระบบปฏิบัติการแตกต่างกัน โดยจะมีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อชั่วโมงมากที่สุดเมื่อระบบมีสัดส่วนของยูทิลิตี้ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนถึงระบบสัดส่วนของยูทิลิตี้ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อชั่วโมงของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอกับกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่ากลไกที่นำเสนอเพิ่มการใช้พลังงาน 29.89 - 48.81 เปอร์เซ็นต์ โดยมีการเพิ่มมากที่สุดในระบบที่มีสัดส่วนของยูทิลิตี้ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระยะเวลาการใช้งาน โดยสมมุติให้สมาร์ตโฟนมีแบตเตอรี่ความจุ 1,650 mAh คำนวณเฉพาะการใช้พลังงานของสถานะ RRC เท่านั้น ไม่ได้รวมการใช้พลังงานในส่วนอื่นๆ เช่น จอภาพ ลำโพง เป็นต้น ถ้าใช้การกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ซึ่งมีการใช้พลังงานเฉลี่ย 135.72 mAh จะสามารถใช้งานสมาร์ตโฟนได้ประมาณ 12.16 ชั่วโมง แต่ถ้าใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะ RRC ด้วยระบบปฏิบัติการของสมาร์ตโฟน จะมีการใช้พลังงานเฉลี่ย 188.05 mAh ซึ่งสามารถใช้งานสมาร์ตโฟนได้ประมาณ 8.77 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.5 ผลการทดสอบการควบคุมการร้องขอการใช้งานและการยุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.5 แสดงผลทดสอบการควบคุมการร้องขอการใช้งานและการยุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน พบว่าเมื่อใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ จะมีการควบคุมการร้องขอการใช้งานน้อยกว่าเมื่อมีการใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ เนื่องจากกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอมีการเพิ่มระยะเวลาที่ยูอีคงอยู่ในสถานะที่สามารถใช้งานบริการข้อมูลนานขึ้น ทำให้ยูอีในระบบใช้ทรัพยากร Code Resource จำนวนมากขึ้น เมื่อมียูอีใหม่ที่ต้องการใช้งานร้องขอการใช้งานก็จะถูกปฏิเสธการใช้งานมากขึ้น มีการเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 2.78 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของการยุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบนั้นพบว่าเมื่อใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอจะมีอัตราการยุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบน้อยลงกว่าการใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ ลดลงโดยเฉลี่ย 65.33 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอมีการเพิ่มระยะเวลาที่ยูอีคงอยู่ในสถานะที่สามารถใช้งานบริการข้อมูลนานขึ้นทำให้มีการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีน้อยครั้งกว่า ระบบมีจำนวนสัญญาณควบคุมน้อยกว่า จึงมีอัตราการยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบน้อยลงกว่าการใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่

จากผลการทดลองเบื้องต้นสามารถสรุปผลในภาพรวม ในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกันเพื่อพิจารณาผลจากการใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สรุปผลการทดลองเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน

ผลการทดลองในกรณี	ค่าข้อมูล (%)		สัดส่วน OS (iOS/Android)	
	ดีที่สุด	แย่ที่สุด	ดีที่สุด	แย่ที่สุด
ผลรวมสัญญาณควบคุมลดลง	55.21	48.84	0/100	80/20
ผลรวมการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น	6.05	9.54	0/100	100/0
จำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูเอชแอล	45.14	30.73	0/100	100/0
การใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูเอชแอลเพิ่มขึ้น	29.89	48.81	0/100	100/0

จากตารางที่ 4.1 แสดงการสรุปผลการทดลองเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน โดยจะเห็นได้ว่าเครือข่ายที่มีสัดส่วนของยูเอชแอลที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซ็นต์ มีผลการทดลองที่แย่ที่สุดเกือบทุกกรณี ทั้งผลรวมสัญญาณควบคุม ผลรวมการใช้พลังงาน จำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูเอชแอล ในขณะที่เครือข่ายที่มีสัดส่วนของยูเอชแอลที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android มากกว่านั้นจะมีผลการทดลองที่ดีกว่า

สรุปได้ว่า กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอใช้งานได้ดีผลดี ในเครือข่ายที่มียูเอชแอลที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ในสัดส่วนที่มากกว่ายูเอชแอลที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS

4.3 การวิเคราะห์ผลของกลไกที่นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับกลไกแบบคงที่ในกรณีที่ระบบมีความคับคั่งของสมาร์ตโฟนที่ใช้งานที่แตกต่างกัน

การทดสอบที่ 2

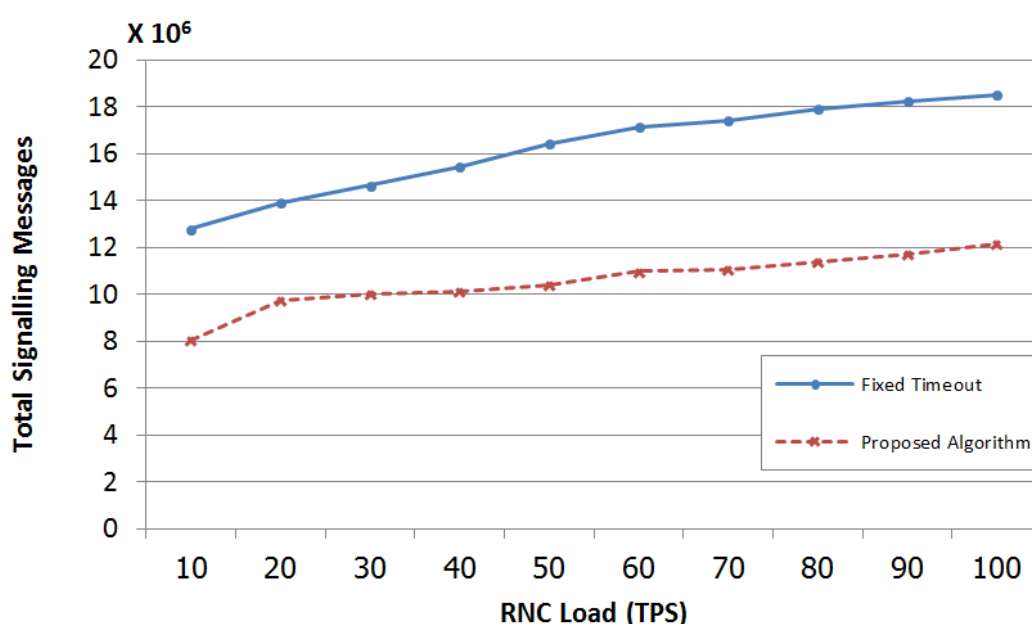
ผลของการใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout กับเครือข่ายที่มีความคับคั่งแตกต่างกัน
วัตถุประสงค์

- 1) เพื่อทดสอบว่ากลไกการปรับระยะเวลา Timeout สามารถลดปริมาณสัญญาณควบคุมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่

2) เพื่อทดสอบว่ากลไกการปรับระยะเวลา Timeout สามารถลดปริมาณสัญญาณควบคุมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีอัตราการเพิ่มยู่อีเข้าสู่ระบบที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบผลการทำงานของกลไกในสภาวะที่เครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน

ทดสอบโดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่จัดทำขึ้นตามหัวข้อที่ 4.1 จำลองการทำงานระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ที่มียู่อีที่ใช้งานด้วยระบบปฏิบัติการ iOS หรือ Android เท่านั้น ซึ่งจะประมวลผลระบบที่มีการเพิ่มยู่อีเข้าสู่ระบบที่แตกต่างกัน โดยกำหนดจำนวนการเพิ่มยู่อีเข้าสู่ระบบเป็น Transaction per second (TPS) ตั้งแต่ 10 TPS และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทีละ 10 ไปจนถึง 100 TPS

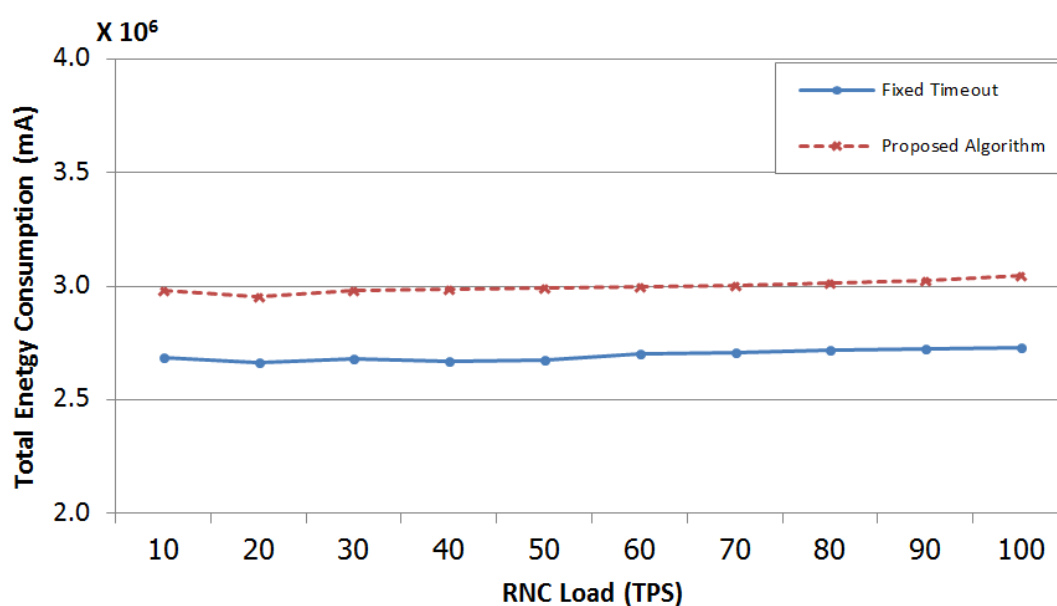
กำหนดสัดส่วนของจำนวนยู่อีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ต่อจำนวนยู่อีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ระบบปฏิบัติการละเท่าๆกัน เท่ากับระบบละ 50 เปอร์เซ็นต์ (50/50) ประมวลผลแบบจำลองจำนวน 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในภาพที่ 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 และภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.6 ผลการทดสอบผลรวมสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นในเครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบผลรวมสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นในเครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน พบว่าเมื่อใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เครือข่ายที่มีความคับคั่ง 10 TPS มีผลรวมสัญญาณควบคุมน้อยที่สุดและมีแนวโน้มของผลรวมของสัญญาณควบคุม

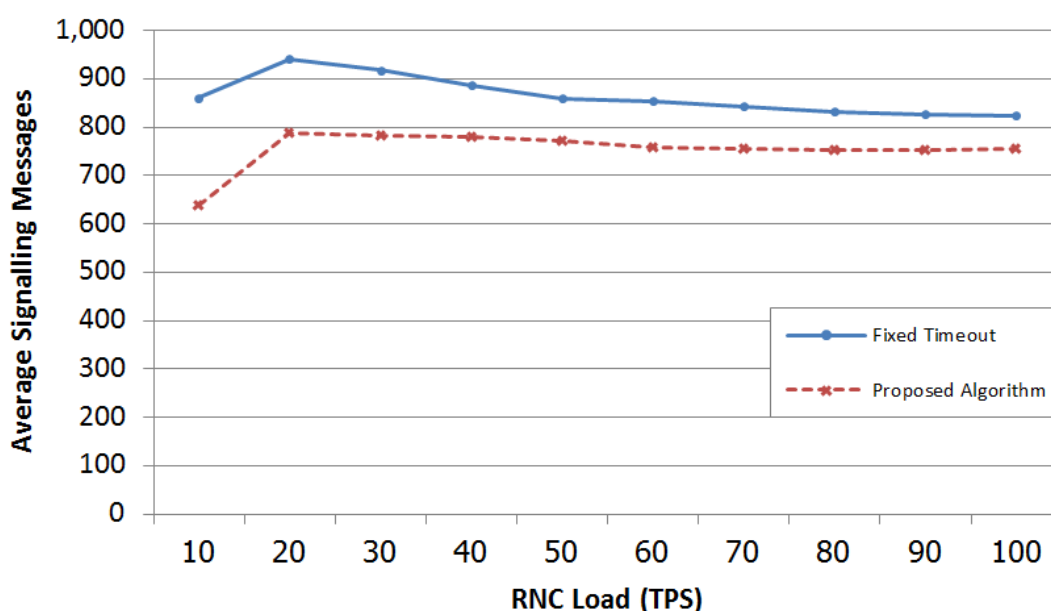
จากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึงเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS ซึ่งมีผลรวมสัญญาณควบคุมมากที่สุด เนื่องจากยิ่งเครือข่ายมียูอีที่เข้ามาใช้งานมาก ก็จะมีสัญญาณควบคุมจากการใช้งานของยูอีจำนวนมากขึ้นด้วย สำหรับกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ พบว่ามีผลรวมของสัญญาณควบคุมจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีน้อยกว่ากลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ในทุกๆ เครือข่ายที่มีความคับคั่งแตกต่างกัน โดยจะมีผลรวมของสัญญาณควบคุมจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีน้อยที่สุดเมื่อเครือข่ายมีความคับคั่ง 10 TPS และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS เมื่อเปรียบเทียบผลรวมของสัญญาณควบคุมของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอกับกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถลดสัญญาณควบคุมได้ 29.74 - 37.08 เปอร์เซ็นต์ โดยลดลงมากที่สุดในเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS และเพิ่มขึ้นมากที่สุดในเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 10 TPS



ภาพที่ 4.7 ผลการทดสอบผลรวมการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในเครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบผลรวมการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในเครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน พบว่าเมื่อใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เครือข่ายที่มีความคับคั่ง 20 TPS มีผลรวมการใช้พลังงานน้อยที่สุด และมีแนวโน้มของผลรวมการใช้พลังงานคงที่ไปจนถึงเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS ซึ่งมีผลรวมการใช้พลังงานมากที่สุด เนื่องจากยิ่งเครือข่ายมียูอีที่เข้ามาใช้งานมาก ผลรวมการใช้พลังงานของยูอีจำนวนมากขึ้นด้วย แต่ในเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 10 TPS ไม่มีการยุติยูอีในระบบเลย ซึ่งแสดงตามภาพที่ 4.10 จึงทำให้มีผลรวมการใช้พลังงาน

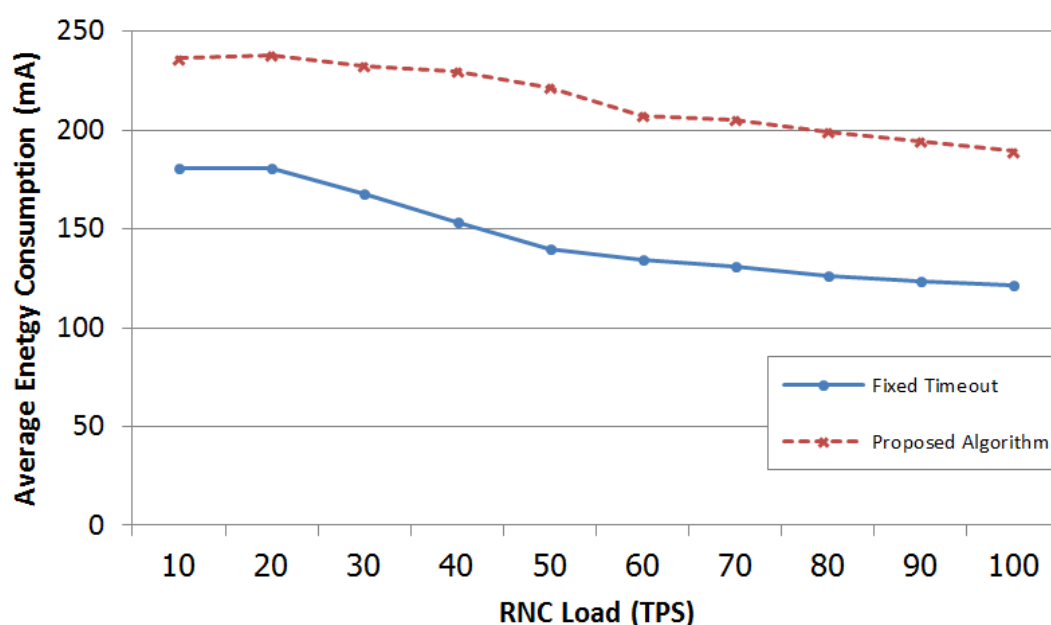
มากกว่าเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 20 TPS ที่มีการยุติอยู่ในระบบเล็กน้อย สำหรับกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ พบว่ามีผลรวมของการใช้พลังงานมากกว่ากลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ในทุกๆ เครือข่ายที่มีความคับคั่งแตกต่างกัน โดยจะมีผลรวมมีน้อยที่สุดเมื่อเครือข่ายมีความคับคั่ง 20 TPS และมีแนวโน้มคงที่จนถึงเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS เมื่อเปรียบเทียบผลรวมการใช้พลังงานของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอกับกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่ากลไกที่นำเสนอเพิ่มผลรวมการใช้พลังงาน 10.75 -11.86 เปอร์เซ็นต์ โดยเพิ่มมากที่สุดในการ์ข่ายมีความคับคั่ง 40 TPS และน้อยที่สุดในเครือข่ายมีความคับคั่ง 20 TPS



ภาพที่ 4.8 ผลการทดสอบจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีที่เกิดขึ้นในเครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีที่เกิดขึ้นในเครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน พบว่าเมื่อใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เครือข่ายที่มีความคับคั่ง 20 TPS มีจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีมากที่สุดและมีแนวโน้มของจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อลดลงเรื่อยๆ ไปจนถึงเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS ซึ่งมีจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีน้อยที่สุด สำหรับกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ พบว่ามีจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีน้อยกว่ากลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ในทุกๆ

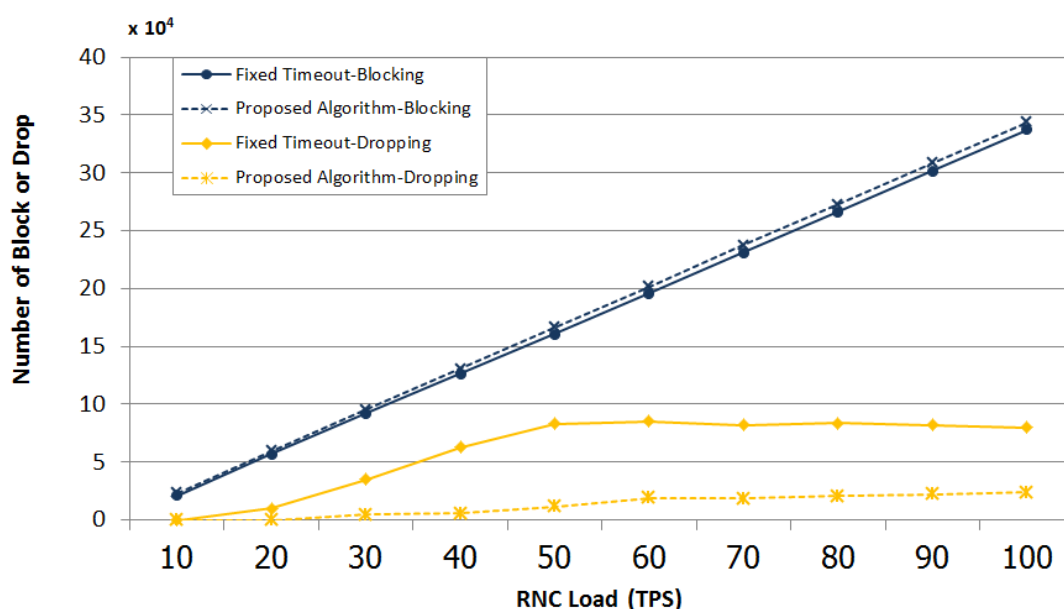
เครือข่ายที่มีความคับคั่งแตกต่างกัน โดยจะมีจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อผู้น้อยที่สุดเมื่อเครือข่ายมีความคับคั่ง 10 TPS และเพิ่มขึ้นเมื่อเครือข่ายมีความคับคั่ง 20 TPS และมีแนวโน้มคงที่จนถึงเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS เมื่อเปรียบเทียบจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อผู้น้อยของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอกับกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่เทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ พบว่าสามารถลดสัญญาณควบคุมเฉลี่ยได้ 8.21 - 25.91 เปอร์เซ็นต์ โดยลดลงมากที่สุดในการ์ข่ายมีความคับคั่ง 10 TPS และลดลงน้อยที่สุดในเครือข่ายมีความคับคั่ง 100 TPS



ภาพที่ 4.9 ผลการทดสอบการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อผู้น้อยที่เกิดขึ้นในเครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อผู้น้อยที่เกิดขึ้นในเครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน พบว่าเมื่อใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เครือข่ายที่มีความคับคั่ง 10 TPS มีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อผู้น้อยมากที่สุด และมีแนวโน้มของผลรวมการใช้พลังงานลดลงเรื่อยๆ ไปจนถึงเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS ซึ่งมีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อผู้น้อยที่สุด สำหรับกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ พบว่ามีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อผู้น้อยมากกว่ากลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ในทุกๆ เครือข่ายที่มีความคับคั่งแตกต่างกัน โดยจะมีผลรวมมีมากที่สุดเมื่อเครือข่ายมีความคับคั่ง 10 TPS และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนถึงเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS เมื่อเปรียบเทียบผลรวมการใช้พลังงานของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอกับกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เทียบเป็น

เปอร์เซ็นต์ พบว่ากลไกที่นำเสนอเพิ่มการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอี 30.76 - 58.25 เปอร์เซ็นต์ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 49.10 เปอร์เซ็นต์ โดยเพิ่มขึ้นมากที่สุดในเครือข่ายมีความคับคั่ง 100 TPS และน้อยที่สุดในเครือข่ายมีความคับคั่ง 10 TPS เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับระยะเวลาการใช้งาน โดยสมมุติให้สมาร์ตโฟนมีแบตเตอรี่ความจุ 1,650 mAh คำนวณเฉพาะการใช้พลังงานของสถานะ RRC เท่านั้น ไม่ได้รวมการใช้พลังงานในส่วนอื่นๆ เช่น จอภาพ ลำโพง การใช้พลังงานของ CPU และ GPU เป็นต้น ถ้าใช้การกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ซึ่งมีการใช้พลังงานเฉลี่ย 145.89 mAh จะสามารถใช้งานสมาร์ตโฟนได้ประมาณ 11.31 ชั่วโมง แต่ถ้าใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะ RRC ด้วยระบบ ปฏิบัติการของสมาร์ตโฟน จะมีการใช้พลังงานเฉลี่ย 215.31 mAh ซึ่งสามารถใช้งานสมาร์ตโฟนได้ประมาณ 7.66 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.10 ผลการทดสอบการควบคุมการร้องขอการใช้งานและการยุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบในเครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.10 แสดงผลทดสอบการควบคุมการร้องขอการใช้งานและการยุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบในเครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน พบว่าเมื่อใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ จะมีการควบคุมการร้องขอการใช้งานน้อยกว่าเมื่อมีการใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ เนื่องจากกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอมีการเพิ่มระยะเวลาที่ยูอีคงอยู่ในสถานะที่สามารถใช้งานบริการข้อมูลนานขึ้น ทำให้ยูอีในระบบใช้ทรัพยากร Code

Resource จำนวนมากขึ้น เมื่อมีผู้ใช้ใหม่ที่ต้องการใช้งานร้องขอการใช้งานก็จะถูกปฏิเสธการใช้งานมากขึ้น เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 3.70 เปอร์เซ็นต์ ในส่วนของการยุติผู้ใช้ที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบนั้นพบว่าในเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 10 TPS ไม่มีการยุติผู้ใช้ในระบบเลย แต่จะการยุติผู้ใช้ที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบมากขึ้นเมื่อเครือข่ายมีความคับคั่งเพิ่มมากขึ้น เมื่อใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอจะมีอัตราการยุติผู้ใช้ที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบน้อยลงกว่าการใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เนื่องจากกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอมีการเพิ่มระยะเวลาที่ผู้ใช้คงอยู่ในสถานะที่สามารถใช้งานบริการข้อมูลนานขึ้นทำให้มีการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีน้อยครั้งกว่าระบบมีจำนวนสัญญาณควบคุมน้อยกว่า จึงมีอัตราการยุติผู้ใช้ที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบน้อยลงกว่าการใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ ลดลงโดยเฉลี่ย 81.81 เปอร์เซ็นต์

จากผลการทดลองเบื้องต้นสามารถสรุปผลในภาพรวม เมื่อเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน เพื่อพิจารณาผลจากการใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 สรุปผลการทดลองเครือข่ายที่มีความคับคั่งแตกต่างกัน

ผลการทดลองในกรณี	ค่าข้อมูล (%)		ความคับคั่งของระบบ (TPS)	
	ดีที่สุด	แย่ที่สุด	ดีที่สุด	แย่ที่สุด
ผลรวมสัญญาณควบคุมลดลง	37.08	29.74	100 TPS	10 TPS
ผลรวมการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น	10.75	11.86	20 TPS	40 TPS
จำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อผู้ใช้ลดลง	25.91	8.21	10 TPS	100 TPS
การใช้พลังงานเฉลี่ยต่อผู้ใช้เพิ่มขึ้น	30.76	58.25	10 TPS	50 TPS

จากตารางที่ 4.2 แสดงการสรุปผลการทดลองเครือข่ายที่มีความคับคั่งของยูเอชแตกต่างกัน โดยจะเห็นได้ว่าเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS มีผลการทดลองที่แย่ที่สุดในกรณีจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อผู้ใช้ ในขณะที่เครือข่ายที่มีความคับคั่ง 10 TPS มีผลการทดลองที่ดีที่สุดในการดังกล่าว สำหรับในกรณีผลรวมสัญญาณควบคุมและผลรวมการใช้พลังงานนั้น เครือข่ายที่มีความคับคั่ง 10 TPS มีผลการทดลองแย่ที่สุดซึ่งเป็นเครือข่ายที่มีความคับคั่งน้อย และเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS และ 50 TPS มีผลการทดลองดีที่สุดตามลำดับ ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่เครือข่ายที่มีความคับคั่งมากที่สุดแต่ก็จัดว่าเป็นเครือข่ายที่มีความคับคั่งค่อนข้างมาก

เนื่องจาก ถ้าผู้ให้บริการมุ่งสนใจผลรวมของเครือข่ายเป็นสำคัญ จะพบว่ากลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอที่ใช้ในเครือข่ายที่มีความคับคั่งมากจะช่วยลดการสร้างสัญญาณควบคุมรวมได้ดีที่สุด และถ้าผู้ใช้งานสนใจการใช้พลังงานของสมาร์ทโฟนที่ตนเองใช้อยู่เป็นสำคัญ จะพบว่าเครือข่ายที่มีความคับคั่งน้อยจะเพิ่มการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อผู้น้อยที่สุด