

บทที่ 3

ระเบียบวิธีวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวทางการวิจัยและพัฒนา กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีที่น่าเสนอ การศึกษาพฤติกรรมการสร้างทราฟฟิกของสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ และการทดสอบผลการทำงานด้วยแบบจำลองการทำงาน

3.1 แนวทางการวิจัยและพัฒนา

ผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าและศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีจากการใช้งานบริการข้อมูลด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ตโฟน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาพายุสัญญาณขึ้นในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีบ่อยครั้งเกินไป โดยงานวิจัยที่ผ่านมาไม่ได้มุ่งเน้นในการแก้ปัญหาแต่กลับมุ่งเน้นในการแก้ไขปัญหการใช้พลังงานแบตเตอรี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่สำคัญ จึงยังก่อให้เกิดปัญหาพายุสัญญาณมากขึ้น

เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาความคับคั่งของสัญญาณในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผู้วิจัยได้นำเสนอกลไกการทำงานของอาร์เอ็นซีที่จะช่วยลดปริมาณสัญญาณที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซี เนื่องจากอาร์เอ็นซีเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่บริหารจัดการและควบคุมแอโรอินเตอร์เฟซทั้งหมด โดยมีโหนดบีเป็นตัวกระจายสัญญาณให้แก่ยูอีซึ่งการรับ-ส่งข้อมูลจากยูอีไปสู่คอร์เน็ตเวิร์ก และสัญญาณจากคอร์เน็ตเวิร์กกลับไปสู่ยูอีจะต้องผ่านอาร์เอ็นซีทั้งหมด อีกทั้งอาร์เอ็นซียังเป็นผู้กำหนดสถานะอาร์อาร์ซีที่เหมาะสมให้แก่ยูอีแต่ละเครื่องอีกด้วย ซึ่งในงานวิจัยนี้จะสนใจยูอีที่เป็นโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ตโฟนเท่านั้น กลไกนี้ทำงานโดยให้อาร์เอ็นซีกำหนดระยะเวลา Timeout ที่แตกต่างกันให้แก่ยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่แตกต่างกัน โดยใช้ความคับคั่งของสัญญาณในระบบเครือข่ายในขณะนั้นเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาระยะเวลา Timeout ที่เหมาะสม ตามพฤติกรรมในการสร้าง signaling traffic ที่แตกต่างกันของระบบปฏิบัติการ

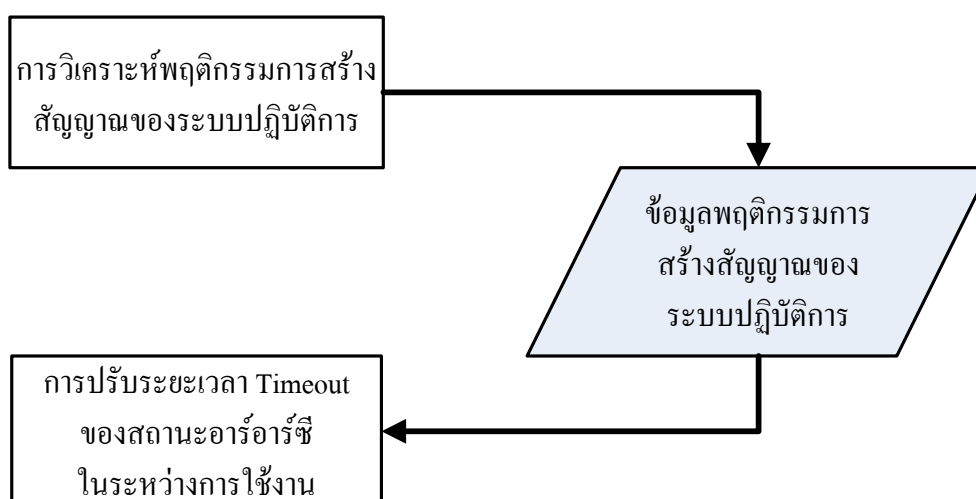
เพื่อเป็นการศึกษาว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่แตกต่างกันจะมีพฤติกรรมในการสร้าง signaling traffic ที่แตกต่างกัน จึงได้ออกแบบการทดลองโดยตรวจวัดทราฟฟิกที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานบริการข้อมูลของโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ตโฟนที่

ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ และนำกราฟฟิคที่ได้ไปวิเคราะห์การเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีเพื่อศึกษา และเปรียบเทียบพฤติกรรมในการสร้าง signaling traffic ของระบบปฏิบัติการต่างๆ

ในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีที่น่าเสนอนี้ ผู้วิจัยได้สร้างการจำลองการทำงานของระบบเครือข่าย โทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อแสดงให้เห็นถึงจำนวนปริมาณสัญญาณที่กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีนีจะสามารถช่วยลดลงได้ ตลอดจนแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีนี

3.2 ภาพรวมของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซี

ผู้วิจัยได้ออกแบบกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซี โดยพิจารณาจากความคับคั่งทั้งหมดในระบบ ภายในขอบเขตการควบคุมของอาร์เอ็นเอ็นอื่นๆ เพื่อกำหนดระยะเวลาคงอยู่ในสถานะอาร์อาร์ซีต่างๆ ให้เหมาะสม โดยที่ปริมาณสัญญาณควบคุมที่จะเกิดขึ้นจากการใช้งานบริการข้อมูลจะมีปริมาณไม่มากจนเกินความสามารถสูงสุดที่อาร์เอ็นเอ็นจะสามารถควบคุมได้ โดยมีการพิจารณาปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีให้เหมาะสมกับพฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการต่างๆ ด้วย ภาพรวมของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีนี แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ภาพรวมของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซี

จากภาพที่ 3.1 กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีจะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์พฤติกรรมสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการ และการปรับ

ระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีในระหว่างการใช้งาน โดยการวิเคราะห์พฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการนั้นจะเป็นการศึกษาพฤติกรรมการสร้างสัญญาณของสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ ที่มีอยู่ในท้องตลาดหรือเป็นระบบปฏิบัติการที่มีผู้ใช้อยู่เป็นจำนวนมากในระบบเครือข่าย เพื่อจำแนกกลุ่มของระบบปฏิบัติการว่าระบบปฏิบัติการใดที่มีการสร้างสัญญาณจำนวนมากหรือระบบปฏิบัติการใดมีการสร้างสัญญาณในปริมาณที่น้อยกว่า นำข้อมูลพฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้ในการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีในระหว่างการใช้งาน โดยจะปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีให้แก่สมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่สร้างสัญญาณมากให้นานกว่าสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่สร้างสัญญาณน้อยกว่า

ในการกำหนดระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีที่ยาวนานขึ้นนี้ จะส่งผลให้สมาร์ตโฟนคงอยู่ในสถานะอาร์อาร์ซีแต่ละสถานะนานขึ้น ทำให้ลดการเปลี่ยนแปลงสถานะที่มีการสร้างสัญญาณในระบบลง จึงเป็นการลดจำนวนของสัญญาณที่จะถูกสร้างขึ้นมาในระบบลง ซึ่งการกำหนดระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีให้แก่สมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่สร้างสัญญาณมากให้นานกว่าสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่สร้างสัญญาณน้อยกว่าเป็นการลดปริมาณสัญญาณจากสมาร์ตโฟนกลุ่มที่มีแนวโน้มที่จะสร้างสัญญาณในระบบจำนวนมากวก่อนนั่นเอง

3.3 การวิเคราะห์พฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการ

3.3.1 รูปแบบพฤติกรรมการใช้งานสมาร์ตโฟน

เนื่องจากระบบปฏิบัติการของสมาร์ตโฟนแต่ละระบบมีพฤติกรรมการสร้างสัญญาณจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีแตกต่างกัน¹ เพื่อเป็นการศึกษาพฤติกรรมเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีของโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่ต่างกัน ซึ่งส่งผลให้มีพฤติกรรมในการสร้างสัญญาณควบคุมที่แตกต่างกัน เนื่องจากไม่สามารถตรวจวัด traffic ในระหว่างการใช้งานจากระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จริงได้ เพื่อเป็นการศึกษาพฤติกรรมเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีของโทรศัพท์เคลื่อนที่จากข้อมูลจริง จึงได้ออกแบบการทดสอบโดยการตรวจวัดกราฟฟิคจากการใช้งานจริงด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางอยู่ในปัจจุบัน ดังนี้

¹ Nokia Siemens Networks. (2011). *Understanding smartphone behavior in the network white paper* (Research report). Finland: Author.

1) ระบบปฏิบัติการ Android เวอร์ชัน 4.3.1 Jelly Bean

2) ระบบปฏิบัติการ iOS เวอร์ชัน 7.0.3

โดยในแต่ละระบบปฏิบัติการได้เลือกศึกษาพฤติกรรมการใช้งานสมาร์ทโฟนที่มีความนิยมใช้งานในปัจจุบันจำนวน 5 รูปแบบ ได้แก่ การท่องเว็บไซต์ การเล่นเกมส์ การใช้งานอีเมลล์ การใช้งานเครือข่ายสังคมออนไลน์ และการดูวิดีโอผ่านอินเทอร์เน็ต เลือกโปรแกรมที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางและได้รับความนิยมในปัจจุบันเป็นตัวแทนพฤติกรรมการใช้งานสมาร์ทโฟนในรูปแบบต่างๆ โดยมีรายละเอียดในการตรวจนับ traffic ในแต่ละรูปแบบ ดังนี้

3.3.1.1 การท่องเว็บไซต์ โดยใช้โปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์พื้นฐานของระบบปฏิบัติการ iOS และ Android คือ โปรแกรม safari และ Native Android browser ตามลำดับ เข้าสู่เว็บไซต์หนังสือพิมพ์ไทยรัฐ (<http://www.thairath.co.th>) เพื่อจำลองการอ่านข่าวจากเว็บไซต์ระยะเวลาทั้งสิ้น 600 วินาที โดยจะทำการกดลิงก์ข่าวเพื่ออ่านรายละเอียดของข่าวตามตารางเวลาที่กำหนดไว้ในวินาทีต่างๆ ดังนี้ วินาทีที่ 10, 150, 180, 240, 360, 420, 450, 480, 470, 570 และ 585 ตรวจวัด traffic ระบบปฏิบัติการละ 3 ครั้ง รวมตรวจวัด traffic จากการท่องเว็บไซต์ทั้งหมด 6 ครั้ง

3.3.1.2 การเล่นเกมส์ โดยใช้โปรแกรมเกมส์ Angry Birds เวอร์ชัน 3.3.1 บนระบบปฏิบัติการ iOS และ Android โดยทำการเปิดบริการข้อมูลบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ไว้ตลอดการเล่นเกมส์ระยะเวลาทั้งสิ้น 600 วินาที ตรวจวัด traffic ระบบปฏิบัติการละ 3 ครั้ง รวมตรวจวัด traffic จากการเล่นเกมส์ Angry Birds ทั้งหมด 6 ครั้ง

3.3.1.3 การใช้งานอีเมลล์ โดยใช้โปรแกรมรับ-ส่งอีเมลล์พื้นฐานของระบบปฏิบัติการ iOS และ Android โดยตั้งค่าบัญชีผู้ใช้เดียวกัน โดยกำหนดให้มีการรับ-ส่งข้อมูลผ่านพอร์ต 443 และทำการเปิดบริการ Push service ของโปรแกรมรับ-ส่งอีเมลล์ไว้ เมื่อได้รับการแจ้งเตือนอีเมลล์เข้าแล้วจะทำการเปิดดูเนื้อหาอีเมลล์นั้นทันที ตรวจวัด traffic ระยะเวลาทั้งสิ้น 600 วินาที กำหนดให้มีการส่งอีเมลล์จากบัญชีผู้ใช้อื่นๆ เข้ามายังสมาร์ทโฟนที่ทำการตรวจวัด traffic ตามตารางเวลาที่กำหนดไว้ในวินาทีต่างๆ ดังนี้ วินาทีที่ 60, 240, 420 และ 570 ตรวจวัด traffic ระบบปฏิบัติการละ 3 ครั้ง รวมตรวจวัด traffic จากการใช้งานอีเมลล์ทั้งหมด 6 ครั้ง

3.3.1.4 การใช้งานเครือข่ายสังคมออนไลน์ โดยใช้โปรแกรม Facebook สำหรับระบบปฏิบัติการ iOS และ Android โดยตั้งค่าบัญชีผู้ใช้เดียวกัน ตรวจวัด traffic ในการใช้งาน Facebook ระยะเวลาทั้งสิ้น 600 วินาที ในการใช้งานจะโหลดข้อมูลใหม่ตามตารางเวลาที่กำหนดไว้ในวินาทีต่างๆ ดังนี้ วินาทีที่ 10, 150, 180, 240, 360, 420, 450, 480, 470, 570 และ 585 ซึ่งข้อมูลที่มาใหม่อาจจะมีปริมาณไม่เท่ากันในแต่ละครั้ง ขึ้นอยู่กับจำนวนโพสต์ที่มีผู้ใช้งานอื่นที่เป็น Friend

ทำการเพิ่มเข้ามาในขณะนั้น ตรวจสอบ traffic ระบบปฏิบัติการละ 3 ครั้ง รวมตรวจสอบ traffic จากการใช้งานเครือข่ายสังคมออนไลน์ทั้งหมด 6 ครั้ง

3.3.1.5 การดูวิดีโอผ่านอินเทอร์เน็ต โดยใช้โปรแกรม Youtube สำหรับระบบปฏิบัติการ iOS และ Android เปิดดูวิดีโอที่มีความยาวมากกว่า 10 นาที จำนวน 3 เรื่อง แต่ละเรื่องตรวจสอบ traffic ระยะเวลาทั้งสิ้น 600 วินาที เปิดดูวิดีโอยาวตลอดทั้งเรื่องและใช้วิดีโอเรื่องเดียวกันทำการตรวจสอบ traffic ทั้ง iOS และ Android ตรวจสอบ traffic ระบบปฏิบัติการละ 3 ครั้ง (วิดีโอละครั้ง) รวมตรวจสอบ traffic จากการดูวิดีโอผ่านอินเทอร์เน็ตทั้งหมด 6 ครั้ง

3.3.1.6 ไม่มีการใช้งานข้อมูล โดยรูปแบบนี้จะใช้ในการตรวจสอบการรับ-ส่งข้อมูลที่เกิดขึ้นในขณะที่ไม่มีการใช้งานโปรแกรมใดๆ เลย ซึ่งอาจมีโปรแกรมบางโปรแกรมที่ทำงานอยู่เบื้องหลังและไม่สามารถปิดการทำงานได้ และจะได้นำไปใช้เป็นข้อมูลในการกรอง Packet ที่ไม่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมที่ต้องการออกได้ในขั้นตอนต่อไป โดยจะทำการปิดโปรแกรมและ Service ต่างๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับโปรแกรมที่กำลังจะตรวจสอบ Traffic เปิดบริการข้อมูลของสมาร์ทโฟนทิ้งไว้ ตรวจสอบ Traffic โดยวางสมาร์ทโฟนไว้เฉยๆ เป็นเวลา 10 นาที

3.3.2 การวัดทราฟฟิกของระบบปฏิบัติการ iOS

การตรวจสอบ Traffic จากการใช้งานสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการสร้าง remote virtual interface ตามวิธีการของ Manbolo Team² โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) เชื่อมต่อ iPhone ที่จะใช้บริการข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เข้ากับคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก (MacBook Pro) ผ่านสายสัญญาณ USB ดังภาพที่ 3.2

² Manbolo Team. (2013). *Analysing iOS App Network Performances on Cellular/Wi-Fi*. Retrieved Oct 26, 2013, from <http://blog.manbolo.com/2013/02/22/analysing-ios-app-network-performances-on-cellularwifi#1>



ภาพที่ 3.2 การเชื่อมต่อ iPhone กับ MacBook Pro

2) สร้าง remote virtual interface โดยเปิด Terminal จากนั้นพิมพ์คำสั่ง `rvictl-s abcdef01234563e91f1f2f8a8cb0841d2dafcebbbc` ระบบจะสร้างอินเทอร์เฟซ `rvi0` ขึ้นมาโดยที่ `abcdef01234563e91f1f2f8a8cb0841d2dafcebbbc` คือ Unique Device Identifier (UDID) ซึ่งใช้ระบุตัวตนของเครื่อง iPhone แต่ละเครื่อง โดยสามารถเรียกดู UDID ได้จากโปรแกรม Xcode ที่ติดตั้งไว้ ดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 UDID ของ iPhone จากโปรแกรม Xcode

- 3) เมื่อสร้างอินเทอร์เน็ตเฟส rvi0 เรียบร้อยแล้ว ก็จะสามารถตรวจจับ Traffic ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานอินเทอร์เน็ตของเครื่อง iPhone ได้โดยใช้คำสั่ง `tcpdump -i rvi0 -n -s 0 -w dumpFile.pcap` โดยที่ `dumpFile` คือชื่อไฟล์ที่ต้องการบันทึกข้อมูล Traffic ที่เป็นไฟล์นามสกุล .PCAP นั่นเอง
- 4) ใช้งานสมาร์ตโฟนตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในระหว่างการตรวจวัด Traffic จนครบตามระยะเวลาที่กำหนด จากนั้นกดปุ่ม `Ctrl` และ `Z` เพื่อหยุดการตรวจวัด Traffic

```

Macintosh-2:~ spector$ sudo -s
Password:
bash-3.2# rviectl -s c20280f1086fc1989a2798d6d4d9019b08bfc540

Starting device c20280f1086fc1989a2798d6d4d9019b08bfc540 [SUCCEEDED]

bash-3.2# ifconfig -l
lo0 gif0 stf0 en0 en1 fw0 en2 p2p0 vmnet1 vmnet8 rvi0
bash-3.2# tcpdump -i rvi0 -n -s 0 -w /Users/spector/Desktop/pcap/filename.pcap
tcpdump: WARNING: rvi0: That device doesn't support promiscuous mode
(BIOCPRMISC: Operation not supported on socket)
tcpdump: WARNING: rvi0: no IPv4 address assigned
tcpdump: listening on rvi0, link-type PKTAP (Packet Tap), capture size 65535 bytes
^Z
[1]+  Stopped                  tcpdump -i rvi0 -n -s 0 -w /Users/spector/Desktop/pcap/filename
.pcap
bash-3.2#

```

ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างการตรวจวัด Traffic จากสมาร์ตโฟน iPhone

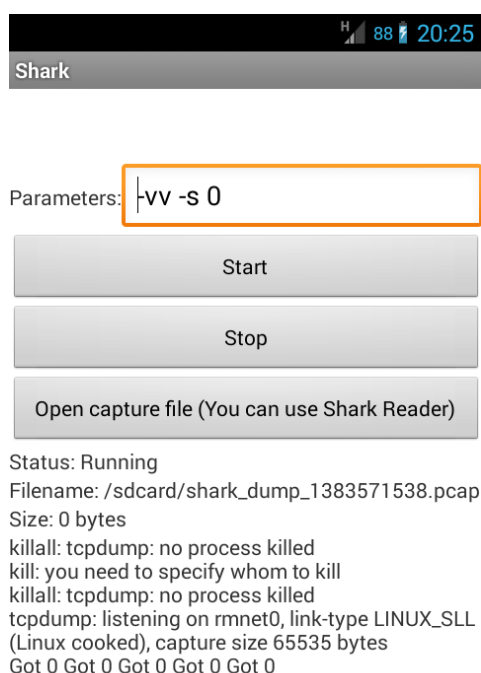
จากภาพที่ 3.4 แสดงตัวอย่างการตรวจวัด Traffic จากสมาร์ตโฟน iPhone ด้วยวิธีการข้างต้น ตั้งแต่ขั้นตอนการสร้าง remote virtual interface การตรวจสอบอินเทอร์เน็ตเฟส และการใช้โปรแกรม `tcpdump` ในการตรวจจับ Traffic แล้วบันทึกไว้ที่ไฟล์ที่กำหนดไว้

3.3.2 การวัดทราฟฟิกของระบบปฏิบัติการ Android

การตรวจวัด Traffic จากการใช้งานสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Wireshark สำหรับสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android โดยมีชื่อว่า Shark for Root ³ สำหรับการเก็บข้อมูลทราฟฟิกที่มีการรับ-ส่งระหว่างสมาร์ตโฟนและโหนดบี ซึ่งมีการทำงานเช่นเดียวกันกับโปรแกรม AT&T ARO Data Collector ตามหัวข้อที่ 2.5.1 ซึ่งโปรแกรมนี้จะ

³ int0x90. (2012). *Capturing Network Traffic using the WiFi Pineapple, tcpdump and Android*. Retrieved Oct 26, 2013, from <http://blog.intninetty.co.uk/2012/08/capturing-network-traffic-using-the-wifi-pineapple-tcpdump-and-android/>

ทำงานบนสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android และตรวจจับ Traffic ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานข้อมูลของสมาร์ตโฟนเครื่องนั้นได้โดยตรง ซึ่งจะได้อัข้อมูล Traffic เป็นไฟล์นามสกุล .PCAP โดยกดปุ่ม “Start” เพื่อเริ่มการตรวจจับ Traffic จากนั้นกดปุ่ม Home เพื่อไปเปิดโปรแกรมที่ต้องการใช้งาน ใช้งานจนครบตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วแล้วกลับเข้าสู่โปรแกรม Shark for Root กดปุ่ม “Stop” เพื่อยุติการตรวจจับ Traffic ดังตัวอย่างการตรวจวัด Traffic จากการใช้งานสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ตัวอย่างการตรวจวัด Traffic จากสมาร์ตโฟน Android

จากภาพที่ 3.5 แสดงหน้าจอของโปรแกรม Shark for Root ซึ่งเป็นตัวอย่างการตรวจวัด Traffic จากสมาร์ตโฟน Android ตามวิธีการข้างต้น

3.3.3 พฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการต่างๆ

เพื่อให้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีสามารถพิจารณาปรับระยะเวลาที่เหมาะสมให้แก่ยูทียี่ที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆในระหว่างการใช้งานได้ ต้องมีการวิเคราะห์เพื่อเป็นข้อมูลเก็บไว้ในระบบล่วงหน้าก่อนการใช้งาน ซึ่งจะสามารถเรียกดูได้อย่างรวดเร็ว หากใช้การเก็บข้อมูลจากยูทียี่ทุกเครื่องในระหว่างการใช้งานมาเป็นข้อมูลในการพิจารณาจะทำให้อาร์เอ็นซีทำงานหนักในการประมวลผลพฤติกรรมการใช้งานของยูทียี่ และต้องใช้พื้นที่ในการ

เก็บรวบรวมข้อมูลการใช้งานของยูสรีจำนวนมาก จึงต้องวัดพฤติกรรมการสร้างสัญญาณจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีของระบบปฏิบัติการต่างๆ จากอุปกรณ์ตัวอย่างซึ่งเป็นตัวแทนของระบบปฏิบัติการนั้นๆ และนำผลที่ได้จากการวัดมาวิเคราะห์พฤติกรรมในการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการ จากนั้นจึงจัดหมวดหมู่ให้แกระบบปฏิบัติการว่าเป็นระบบปฏิบัติการที่มีการสร้างสัญญาณมากหรือน้อยเพียงใด

3.4 แบบจำลองการวิเคราะห์การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซี

เพื่อเป็นการวิเคราะห์พฤติกรรมในการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการ ผู้วิจัยจึงทำแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อจำลองการวิเคราะห์การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซีในระหว่างการใช้งานบริการข้อมูลของสมาร์ตโฟน จากไฟล์ประเภท Packet Capture ด้วยโปรแกรม MATLAB ตามแบบการวิเคราะห์การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซีของโปรแกรม AT&T Application Resource Optimizer (ARO)⁴ ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซีในระหว่างการใช้งานบริการข้อมูลของสมาร์ตโฟน จากไฟล์ประเภท Packet Capture เช่น ไฟล์นามสกุล .PCAP เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ทราบว่าในช่วงเวลาที่ใช้งานสมาร์ตโฟนนั้นมีการใช้สถานะอาร์อาร์ซีในช่วงเวลาใดบ้าง และมีการเปลี่ยนแปลงสถานะไปยังสถานะอาร์อาร์ซีอื่นๆ เมื่อใด เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์พฤติกรรมในการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีของสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ ได้ แต่โปรแกรม AT&T Application Resource Optimizer ไม่รองรับการทำงานบนสถานะเซลล์พีซีเอช โดยมีวิธีการดังนี้

3.4.1 การเตรียมไฟล์ข้อมูลทราฟฟิค การปรับข้อมูลทราฟฟิคซึ่งเป็นไฟล์นามสกุล .PCAP ที่ตรวจวัดได้จากการใช้งานข้อมูลของสมาร์ตโฟนด้วยระบบปฏิบัติการต่างๆ ตามหัวข้อที่ 3.3.1 ให้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์พฤติกรรมด้วยแบบจำลองการวิเคราะห์การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซี มีขั้นตอนดังนี้

- 1) เปิดไฟล์ข้อมูลทราฟฟิคนามสกุล .PCAP ด้วยโปรแกรม WireShark
- 2) กรองข้อมูล Packet ที่ไม่ต้องการออก จากข้อมูล Traffic ที่ตรวจวัดโดยไม่มีการใช้งานข้อมูลเลยตามหัวข้อที่ 3.3.1.6 ได้พบว่าเป็น Packet ของ Service ต่างๆ ที่ไม่สามารถปิดได้หมด และไม่ใช่ packet จากโปรแกรมที่ต้องการศึกษาพฤติกรรม โดยได้นำหมายเลขไอพีไปค้นหาในเว็บไซต์ <http://who.is> เพื่อระบุเจ้าของและที่มาของ Packet นั้นๆ โดยจะนำข้อมูลจาก Packet

⁴ AT&T. (2012). *AT&T Application Resource Optimizer (ARO)*. Retrieved Nov 10, 2012, from <http://developer.att.com/developer/legalAgreementPage.jsp?passedItemId=9700312>.

เหล่านี้นำไประบุเงื่อนไขในการกรอง Filter สำหรับระบบปฏิบัติการ iOS สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่ต้องกรองออกได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การกรองข้อมูลที่ไม่ต้องการสำหรับระบบปฏิบัติการ iOS

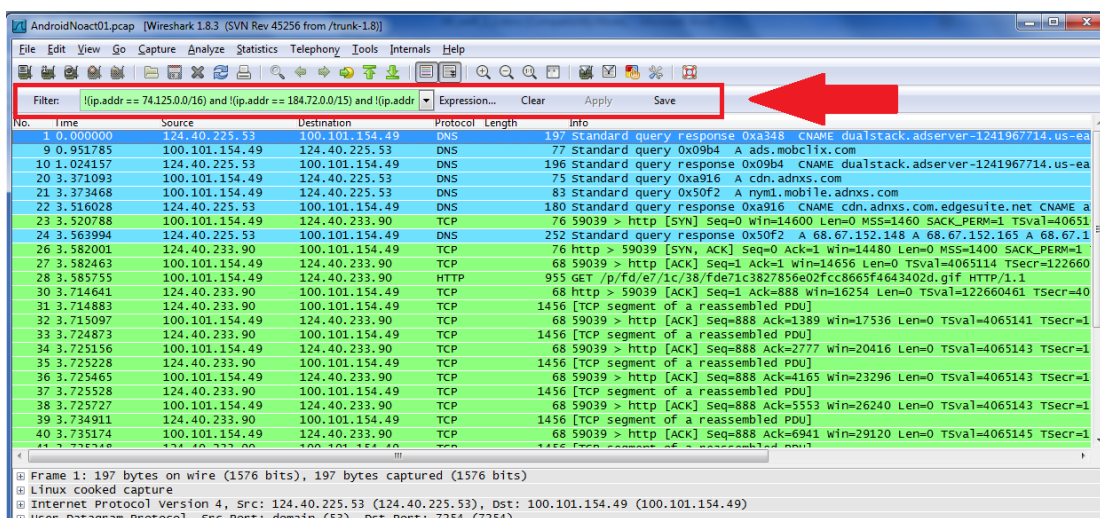
ลำดับ	เงื่อนไขการกรอง	หมายเลข IP	เจ้าของ
1.	!(ip.addr == 17.0.0.0/8)	17.0.0.0/8	Apple Inc.
2.	!(ip.addr == 74.125.0.0/16)	74.125.0.0/16	Google Inc.
3.	!(ip.addr == 124.40.224.0/12)	124.40.224.0/12	DTAC Network

สำหรับระบบปฏิบัติการ Android กรองข้อมูล Packet ที่ไม่ต้องการออกจากข้อมูล Traffic ที่ตรวจวัดโดยไม่มีการใช้งานข้อมูลเลขตามหัวข้อที่ 3.3.1.6 ได้พบว่าเป็น Packet ของ Service ต่างๆ ที่ไม่สามารถปิดได้หมด และไม่ใช่ packet จากโปรแกรมที่ต้องการศึกษาพฤติกรรม โดยระบุเงื่อนไขในการกรอง Filter สำหรับระบบปฏิบัติการ Android สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่ต้องกรองออกได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การกรองข้อมูลที่ไม่ต้องการสำหรับระบบปฏิบัติการ Android

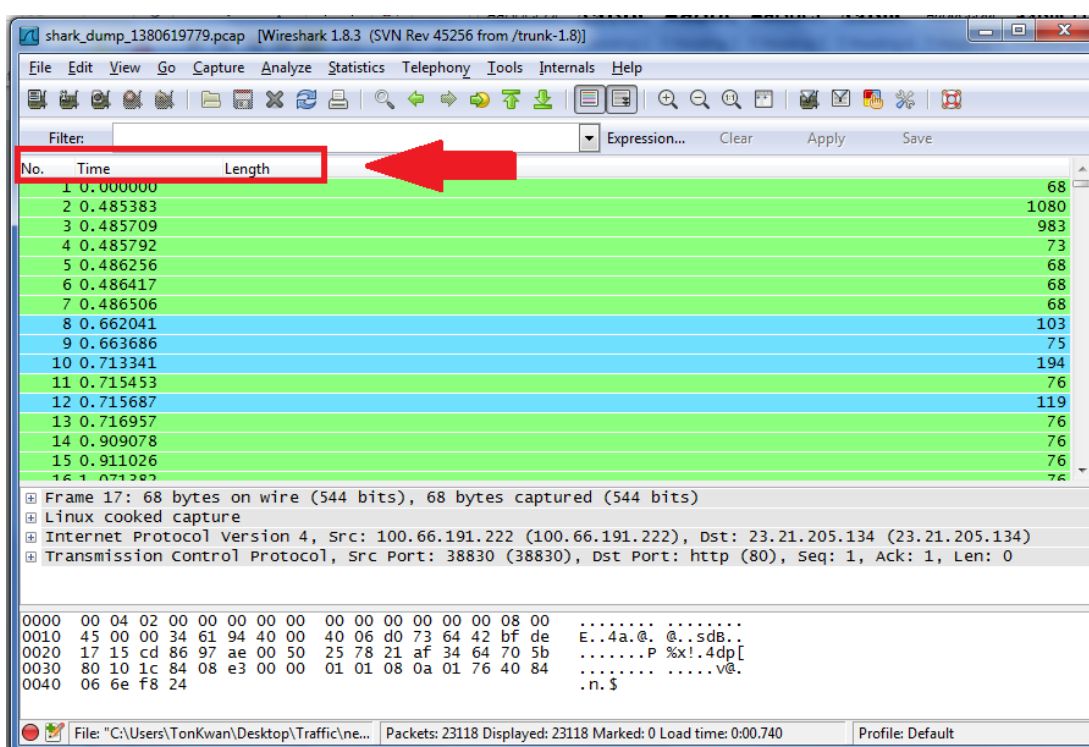
ลำดับ	เงื่อนไขการกรอง	หมายเลข IP	เจ้าของ
1.	!(ip.addr == 74.125.0.0/16)	74.125.0.0/16	Google Inc.
2.	!(ip.addr == 124.40.224.0/12)	124.40.224.0/12	DTAC Network
3.	!(ip.addr == 184.72.0.0/15)	184.72.0.0/15	Amazon.com, Inc.
4.	!(ip.addr == 23.20.0.0/14)	23.20.0.0/14	Amazon.com, Inc.
5.	!(ip.addr == 68.67.152.0/23)	68.67.152.0/23	Appnexus Inc.
6.	!(ip.addr == 68.67.176.0/23)	68.67.176.0/23	Appnexus Inc.

จากตารางที่ 3.1 และ 3.2 ระบุเงื่อนไขในการกรองในช่อง Filter จากนั้นกดปุ่ม Apply เพื่อดำเนินการกรองข้อมูล ดังภาพที่ 3.6



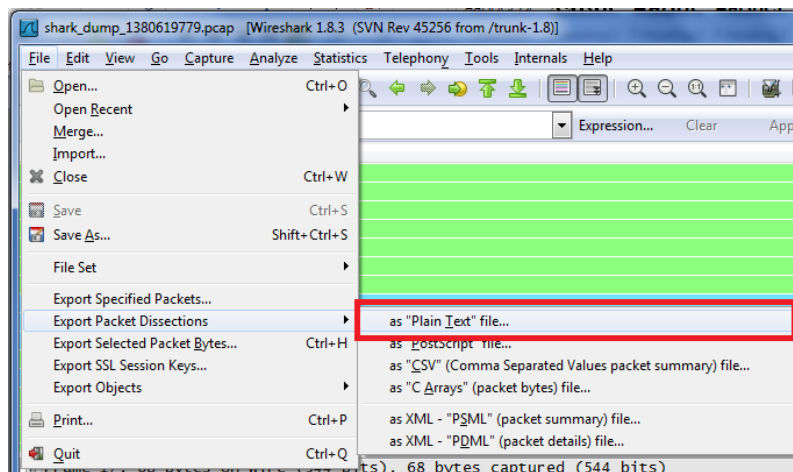
ภาพที่ 3.6 การกรองข้อมูลที่ไม่ต้องการในโปรแกรม WireShark

เลือกแสดงข้อมูลในคอลัมน์ No. , Time และ Length เท่านั้น ดังภาพที่ 3.7



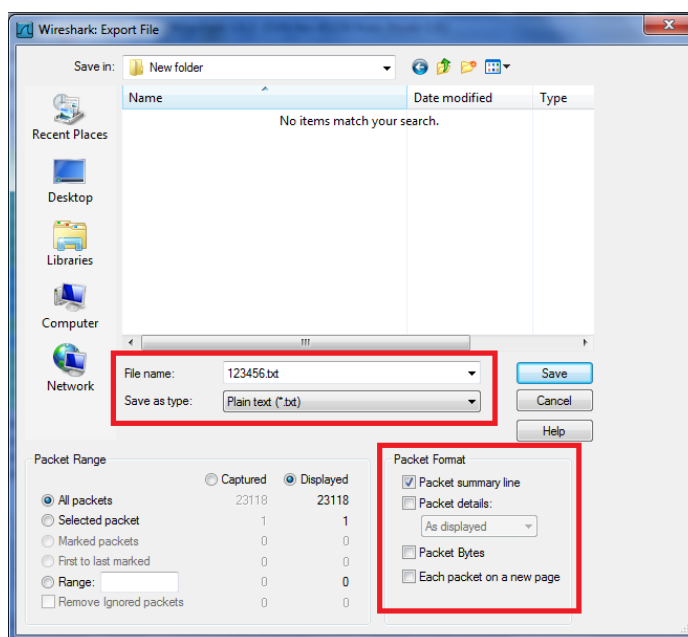
ภาพที่ 3.7 การแสดงข้อมูลกราฟฟิคในโปรแกรม WireShark

Export ข้อมูลไปเป็นไฟล์ Plain text (นามสกุล .TXT) โดยใช้คำสั่ง File -> Export Packet Dissections -> as “Plain Text” file ดังภาพ 3.8

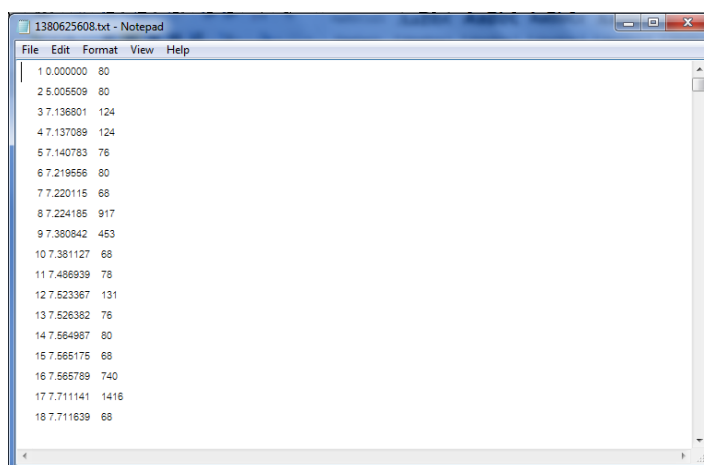


ภาพที่ 3.8 การ Export ข้อมูลไปเป็นไฟล์ Plain text

ตั้งชื่อไฟล์ตามด้วยนามสกุล .txt เลือกประเภทของไฟล์ที่ต้องการบันทึก (Save as type) เป็น “Plain text(*.txt)” และในส่วนของ Packet Format เลือก Packet summary line ดังภาพที่ 3.9 ซึ่งจะได้ไฟล์ข้อมูลทราฟฟิกในรูปแบบไฟล์ Plain text ดังภาพที่ 3.10 โดยทำเช่นนี้กับไฟล์ข้อมูลทุกไฟล์ที่ต้องการนำไปวิเคราะห์

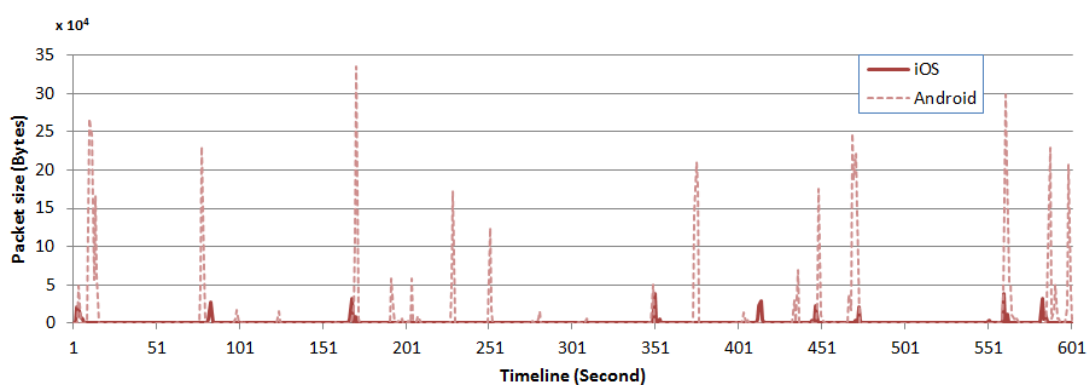


ภาพที่ 3.9 การกำหนดค่าเพื่อ Export ข้อมูลไปเป็นไฟล์ Plain text



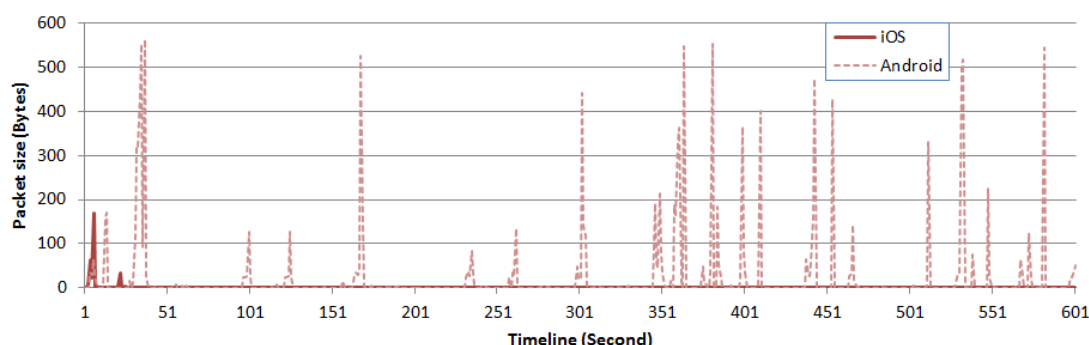
ภาพที่ 3.10 ข้อมูลกราฟฟิคในรูปแบบไฟล์ Plain text

3.4.2 ตัวอย่างข้อมูลกราฟฟิคที่ตรวจวัดได้จากการใช้งานข้อมูลของสมาร์ทโฟนด้วยระบบปฏิบัติการต่างๆ ตามหัวข้อที่ 3.3.1 ที่ผ่านการแปลงข้อมูลเป็นข้อมูลกราฟฟิคในรูปแบบไฟล์ Plain text ตามวิธีการในหัวข้อที่ 3.4.1 ตามการใช้งานในรูปแบบต่างๆ บนระบบปฏิบัติการ iOS และ Android แสดงได้ดังนี้



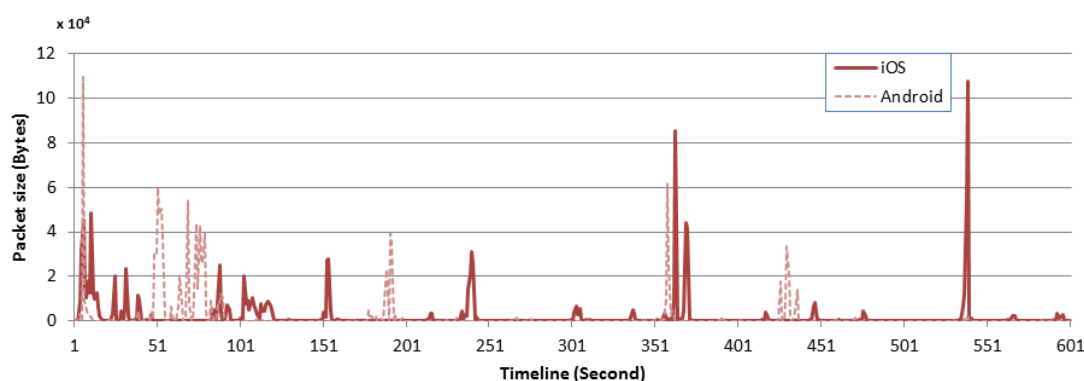
ภาพที่ 3.11 ตัวอย่างข้อมูลกราฟฟิคที่ตรวจวัดจากการใช้งานท่องเว็บไซต์

จากภาพที่ 3.11 แสดงตัวอย่างข้อมูลกราฟฟิคที่ตรวจวัดจากการใช้งานท่องเว็บไซต์ โดยพบว่าระบบปฏิบัติการ Android นั้นมีการรับ-ส่งข้อมูลบ่อยกว่า และมีปริมาณข้อมูลจำนวนมากกว่าระบบปฏิบัติการ iOS



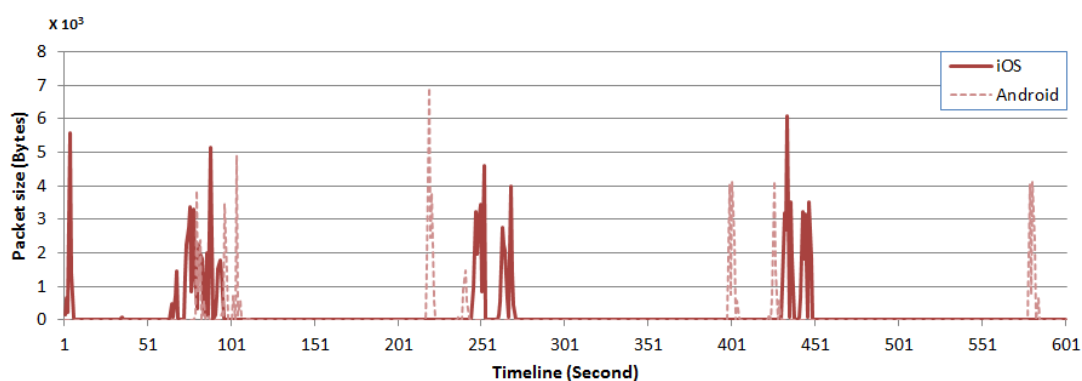
ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างข้อมูลกราฟฟิคที่ตรวจวัดจากการเล่นเกม Angry Birds

จากภาพที่ 3.12 แสดงตัวอย่างข้อมูลกราฟฟิคที่ตรวจวัดจากการเล่นเกม Angry Bird โดยพบว่าระบบปฏิบัติการ Android นั้นมีการรับ-ส่งข้อมูลบ่อยกว่า และมีปริมาณข้อมูลจำนวนมากว่า ในขณะที่ระบบปฏิบัติการ iOS นั้นแทบจะไม่มีมีการรับ-ส่งข้อมูลเลย อันเนื่องมาจากเกม Angry Bird ระบบปฏิบัติการ iOS จะมีโฆษณาเฉพาะตอนเริ่มเล่นเกมและกดปุ่มหยุดเล่นชั่วคราวเท่านั้น ในขณะที่บนระบบปฏิบัติการ Angry Bird นั้นมีโฆษณาตอนเริ่มเล่นเกม กดปุ่มหยุดเล่นชั่วคราว และในระหว่างการเล่นเกมในหลายๆ ด้าน



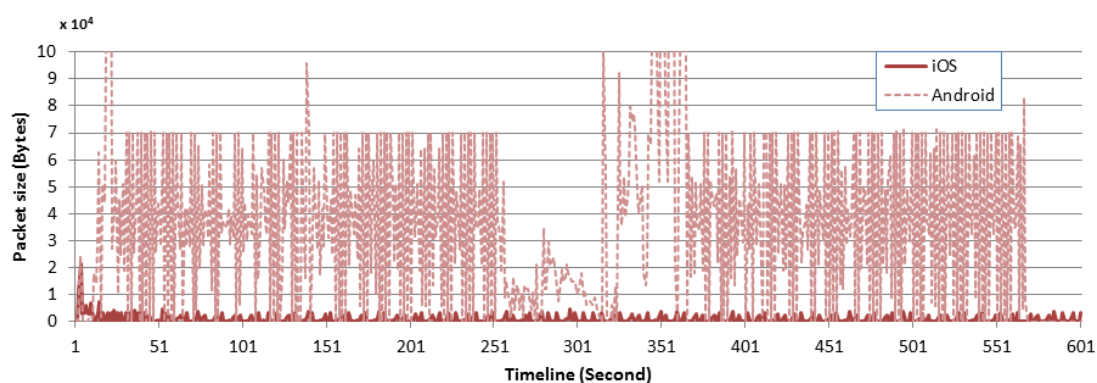
ภาพที่ 3.13 ตัวอย่างข้อมูลกราฟฟิคที่ตรวจวัดจากการใช้งานเครือข่ายสังคมออนไลน์

จากภาพที่ 3.13 แสดงตัวอย่างข้อมูลกราฟฟิคที่ตรวจวัดจากการใช้งานเครือข่ายสังคมออนไลน์ โดยพบว่าระบบปฏิบัติการ iOS นั้นมีการรับ-ส่งข้อมูลบ่อยกว่าเล็กน้อย แต่มีช่วงเวลาระหว่างการรับ-ส่งแต่ละครั้งไม่แตกต่างกันมาก ในขณะที่ระบบปฏิบัติการ Android มีช่วงเวลาระหว่างการรับ-ส่งแต่ละครั้งไม่เท่ากันและยาวนานกว่าระบบปฏิบัติการ iOS



ภาพที่ 3.14 ตัวอย่างข้อมูลกราฟฟิคที่ตรวจวัดจากการใช้งานอีเมล

จากภาพที่ 3.14 แสดงตัวอย่างข้อมูลกราฟฟิคที่ตรวจวัดจากการใช้งานอีเมล โดยพบว่าระบบปฏิบัติการ iOS และระบบปฏิบัติการ Android นั้นมีความถี่ในการรับ-ส่งข้อมูลเป็นช่วงๆ เท่าๆ กัน และช่วงระหว่างการรับ-ส่งข้อมูลในแต่ละชุดใกล้เคียงกัน ในช่วงที่มีการรับ-ส่งระบบปฏิบัติการ iOS มีการรับ-ส่งข้อมูลติดต่อกันมากกว่าระบบปฏิบัติการ Android



ภาพที่ 3.15 ตัวอย่างข้อมูลกราฟฟิคที่ตรวจวัดจากการดูวิดีโอผ่านอินเทอร์เน็ต

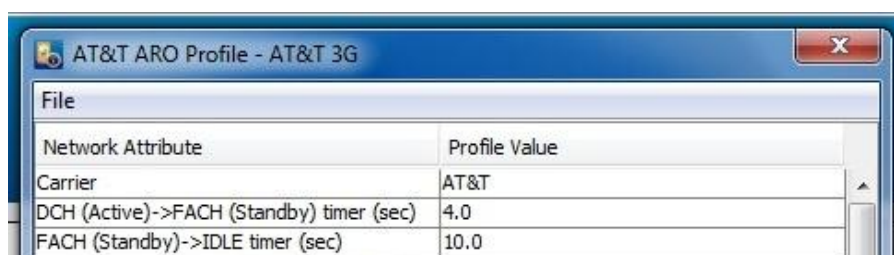
จากภาพที่ 3.15 แสดงตัวอย่างข้อมูลกราฟฟิคที่ตรวจวัดจากการดูวิดีโอผ่านอินเทอร์เน็ต พบว่าระบบปฏิบัติการ iOS และระบบปฏิบัติการ Android นั้นมีความถี่ในการรับ-ส่งข้อมูลสม่ำเสมอตลอดการใช้งาน แต่ระบบปฏิบัติการ Android มีการรับ-ส่งข้อมูลขนาดใหญ่กว่าระบบปฏิบัติการ iOS

3.4.3 แบบจำลองด้วยโปรแกรม MATLAB การทำงานของแบบจำลองในการวิเคราะห์การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซี มีขั้นตอนดังนี้

1) นำเข้าข้อมูลกราฟิกโดยการอ่านข้อมูลจากไฟล์ข้อมูลกราฟิกในรูปแบบ Plain text ที่ได้ จากหัวข้อที่ 3.4.1

2) รวบรวมปริมาณข้อมูลที่ใช้งานในแต่ละวินาที ตั้งแต่วินาทีแรกจนถึงวินาทีที่ 600 (รวมทั้งสิ้น 10 นาที) เพื่อดูว่าในแต่ละวินาทีที่มีการรับ-ส่งข้อมูลปริมาณเท่าใด

3) กำหนดค่าตัวแปรระยะเวลา Timeout แบบคงที่ในแต่ละสถานะตามโปรแกรม AT&T Application Resource Optimizer ดังภาพที่ 3.16



ภาพที่ 3.16 การกำหนดค่าระยะเวลา Timeout ของโปรแกรม AT&T Application Resource Optimizer

เนื่องจากโปรแกรม AT&T Application Resource Optimizer ไม่รองรับการทำงานของสถานะเซลล์พีซีเอช ผู้วิจัยจึงกำหนดระยะเวลา Timeout ในแต่ละสถานะเพื่อให้แบบจำลองมีการทำงานของสถานะทั้ง 4 อย่างครบถ้วน ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 การกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ในแต่ละสถานะ

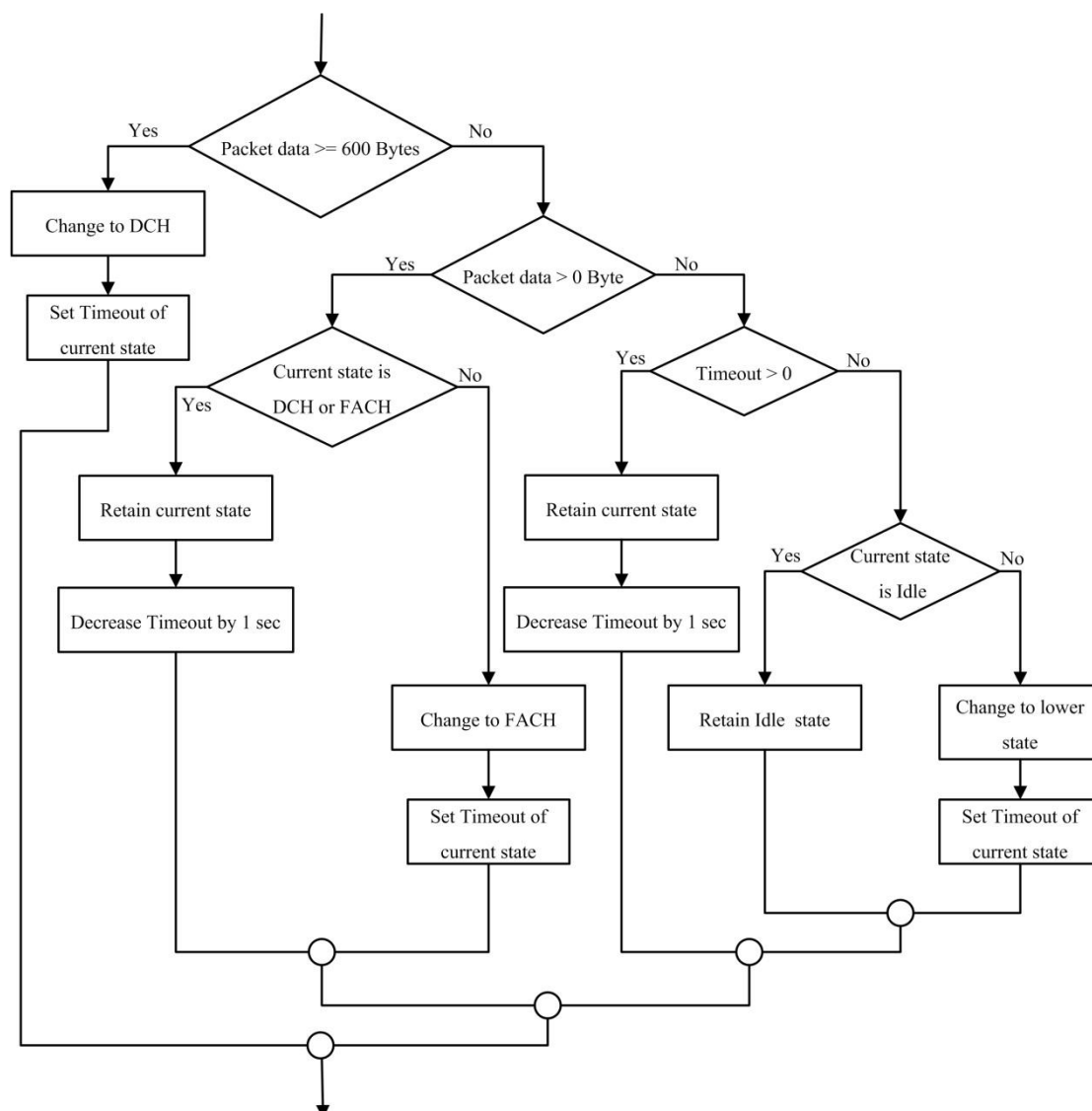
	DCH -> FACH	FACH -> PCH	PCH -> Idle
ระยะเวลา Timeout (วินาที)	4	10	25

กำหนดให้ระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์ดีซีเอช เป็น 4 วินาที ตามโปรแกรม AT&T Application Resource Optimizer กำหนดให้ระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์เอฟเอซีเอช เป็น 10 วินาที ตามสถานะเซลล์เอฟเอซีเอช->สถานะว่างในโปรแกรม AT&T Application Resource Optimizer เพิ่มการกำหนดระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์พีซีเอช->สถานะว่าง โดยอ้างอิงข้อมูล

การกำหนดระยะเวลา Timeout จากงานวิจัย Adaptive Radio Resource Management Scheme for UMTS Packet Data⁵ ที่กำหนดระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์ดีซีเอช 10 วินาที เซลล์เอฟเอช-เอช 50 วินาที และเซลล์พีซีเอช 240 วินาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าในแต่ละสถานะจะมีค่ามากกว่าสถานะก่อนหน้าอยู่ประมาณ 5 เท่า จึงพิจารณาการกำหนดระยะเวลา Timeout ของโปรแกรม AT&T Application Resource Optimizer ในสถานะเซลล์เอฟเอชเอชที่มากกว่าสถานะเซลล์ดีซีเอชอยู่ 2.5 เท่า ดังนั้นจึงกำหนดระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์พีซีเอชโดยการคูณระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์เอฟเอชเอชด้วย 2.5 ซึ่งเท่ากับ 25 วินาที

4) วาดรูปเพื่อพิจารณาสถานะอาร์อาร์ซีจากข้อมูลที่รวบรวมปริมาณข้อมูลไว้แล้ว ตามแบบโปรแกรม AT&T Application Resource Optimizer ในการวิเคราะห์สถานะอาร์อาร์ซีจากข้อมูลทราฟฟิก ซึ่งจะพิจารณาปริมาณข้อมูลที่รับ-ส่งในแต่ละวินาที โดยพิจารณาว่ามีการรับ-ส่งข้อมูลมากกว่าเกณฑ์ที่ต้องเปลี่ยนสถานะหรือไม่ หรือไม่มีการรับ-ส่งข้อมูลเป็นเวลานานกว่าระยะเวลา Timeout ที่กำหนดไว้หรือไม่ โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการพิจารณาสถานะอาร์อาร์ซีจากข้อมูลทราฟฟิก ดังภาพที่ 3.17

⁵ 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.



ภาพที่ 3.17 ขั้นตอนการพิจารณาสถานะอาร์อาร์ซีจากข้อมูลทราฟฟิก

ภาพที่ 3.17 แสดงขั้นตอนวิธีในการพิจารณาสถานะอาร์อาร์ซีจากข้อมูลทราฟฟิกของการใช้งานสมาร์ตโฟนตามแบบโปรแกรม AT&T Application Resource Optimizer

3.4.3 การเปลี่ยนสถานะ RRC ของระบบปฏิบัติการ วิเคราะห์พฤติกรรมในการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการ จากไฟล์ทราฟฟิกของสมาร์ตโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS และ Android จำนวน ระบบปฏิบัติการละ 15 ไฟล์ โดยแบ่งเป็นทราฟฟิกจากการใช้เว็บเบราว์เซอร์ จำนวน 3 ไฟล์ จากการเล่นเกม Angry Bird จำนวน 3 ไฟล์ จากการใช้งานเครือข่ายสังคมออนไลน์ จำนวน 3 ไฟล์ จากการใช้อีเมลล์ จำนวน 3 ไฟล์ และจากการดูวิดีโอผ่านอินเทอร์เน็ต จำนวน 3 ไฟล์ ที่ได้ตรวจวัดไว้ตามหัวข้อที่ 3.3 แล้วหาค่าเฉลี่ยของทราฟฟิกแต่ละแบบได้ผลดังนี้

ตารางที่ 3.4 จำนวนการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีโดยเฉลี่ยของระบบปฏิบัติการต่างๆ

	IDLE ->DCH	DCH ->FACH	FACH ->PCH	PCH ->IDLE	FACH ->DCH	PCH ->DCH	PCH ->FACH
iOS							
Web	4.67	13.67	10.00	4.67	6.33	2.67	2.67
Angry Bird	0.33	2.00	1.67	1.33	0.33	0.33	0
Facebook	2.67	19.33	13.67	2.67	7.33	9.33	1.67
email	3.00	6.67	4.67	3.67	2.00	0.67	0.33
Youtube	0	6.00	0.33	0.33	5.33	0	0
Android							
Web	1.33	17.67	10.67	1.33	10.67	5.00	4.33
Angry Bird	1.67	23.33	11.33	1.67	13.33	7.67	1.67
Facebook	3.00	21.67	12.67	3.00	12.00	5.67	3.67
email	4.33	9.67	9.67	4.33	1.00	3.67	1.33
Youtube	1.00	3.00	1.00	1.00	1.33	0	0

หน่วย : ครั้ง

จากตารางที่ 3.4 แสดงจำนวนครั้งในการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีของสมาร์ทโฟน ที่มีการตรวจจับทราฟฟิกจากการใช้งานเว็บเบราว์เซอร์ และการเล่นเกม Angry Bird ของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS และ Android พบว่าสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android มีการเปลี่ยนสถานะจาก IDLE -> DCH , FACH -> PCH , PCH -> IDLE และ PCH -> DCH จำนวนมากกว่าการเปลี่ยนสถานะของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ในขณะที่สมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android มีการเปลี่ยนสถานะ FACH -> DCH น้อยกว่าสมาร์ทโฟนที่ใช้ iOS และสมาร์ทโฟนทั้งสองระบบมีการเปลี่ยนสถานะ DCH -> FACH ใกล้เคียงกัน เมื่อนำค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีจากตารางที่ 3.4 มาคำนวณหาปริมาณสัญญาณควบคุมที่สมาร์ทโฟนแต่ละเครื่องจะสร้างขึ้นระหว่างการใช้นั้น ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 จำนวนสัญญาณควบคุมจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีโดยเฉลี่ย

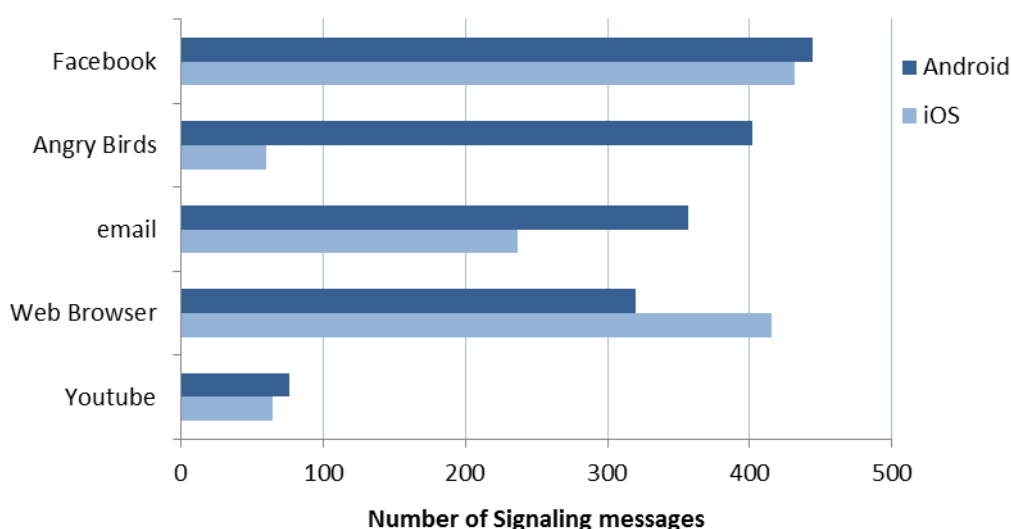
	IDLE ->DCH	DCH ->FACH	FACH ->PCH	PCH ->IDLE	FACH ->DCH	PCH ->DCH	PCH ->FACH	Total (message)
Signaling	30	4	4	22	6	12	3	-
iOS								
Web	140.00	54.67	40.00	102.67	38.00	32.00	8.00	415.33
Angry Bird	10.00	8.00	6.67	29.33	2.00	4.00	0	60.00
Facebook	80.00	77.33	54.67	58.67	44.00	112.00	5.00	431.67
email	90.00	26.67	18.67	80.67	12.00	8.00	1.00	237.00
Youtube	0	24.00	1.33	7.33	32.00	0	0	64.67
Average iOS								241.73
Android								
Web	40.00	70.67	42.67	29.33	64.00	60.00	13.00	319.67
Angry Bird	50.00	93.33	45.33	36.67	80.00	92.00	5.00	402.33
Facebook	90.00	86.67	50.67	66.00	72.00	68.00	11.00	444.33
email	130.00	38.67	38.67	95.33	6.00	44.00	4.00	356.67
Youtube	30.00	12.00	4.00	22.00	8.00	0	0	76.00
Average Android								319.80

หน่วย : messages

จากตารางที่ 3.5 แสดงพฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการต่างๆ โดยระบบปฏิบัติการ Android นั้นมีพฤติกรรมในการสร้างสัญญาณจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีจำนวนมาก ในขณะที่ระบบปฏิบัติการ iOS มีพฤติกรรมในการสร้างสัญญาณจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีจำนวนน้อยกว่า ซึ่งสอดคล้องกับบทความของ Nokia Siemens Networks⁶ ที่ระบุว่าสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android มีการสร้างสัญญาณมากกว่าสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS จึงเกิดแนวคิดในการปรับระยะเวลา

⁶ Nokia Siemens Networks. (2011). Understanding smartphone behavior in the network white paper (Research report). Finland: Author.

Timeout ของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่อยู่ในกลุ่มที่สร้างสัญญาณมากที่สุดคือระบบปฏิบัติการ Android จะถูกกำหนดระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีที้นานกว่ายูเอทีที่ใช้ระบบปฏิบัติการในกลุ่มที่มีการสร้างสัญญาณน้อยคือระบบปฏิบัติการ iOS ซึ่งข้อมูลกลุ่มของระบบปฏิบัติการนี้จะต้องถูกบันทึกเก็บไว้ในระบบ เพื่อใช้ในการพิจารณาการกำหนดระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูเอทีที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ ต่อไป



ภาพที่ 3.18 เปรียบเทียบจำนวนสัญญาณควบคุมจากการใช้งานแอปพลิเคชันต่างๆ บนสมาร์ทโฟน

จากตารางที่ 3.18 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนสัญญาณควบคุมจากการใช้งานแอปพลิเคชันต่างๆ บนสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS และ Android โดยพบว่า การใช้งานแอปพลิเคชัน Facebook , Angry Birds , email , และ Youtube สมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android มีการสร้างสัญญาณควบคุมจำนวนมากกว่า สมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS โดยเฉพาะเกมส์ Angry Birds เนื่องจากเกมส์ Angry Birds บนระบบปฏิบัติการ iOS นั้นมีโฆษณาในระหว่างการเล่นเกมส์น้อยกว่า โดยมีโฆษณาการลงทะเบียนกับผู้เล่นเกมส์ โฆษณาระหว่างการกดปุ่มหยุดการเล่นชั่วคราว เท่านั้น ซึ่งในการตรวจจับ Traffic ในงานวิจัยนี้ มีการกดหยุดเล่นชั่วคราวในตอนเริ่มต้นและยุติการตรวจจับ Traffic เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดเท่านั้น แต่เกมส์ Angry Birds บนระบบปฏิบัติการ Android จะมีโฆษณาในลักษณะ Popup ระหว่างการเล่นเกมส์ในด้านต่างๆ ด้วย ซึ่งระบบของเกมส์จะสุ่มโฆษณาขึ้นมาแสดงด้านบนขวาของหน้าจอ เกมส์ Angry Birds บนระบบปฏิบัติการ Android จึงมีการใช้งานข้อมูลน้อยกว่าเกมส์ Angry Birds บนระบบปฏิบัติการ

iOS แต่การท่องเว็บไซต์ด้วยโปรแกรมเว็บเบราว์เซอร์ สมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS มีการสร้างสัญญาณควบคุมจำนวนมากกว่า สมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android

3.5 การปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีในระหว่างการใช้งาน

3.5.1 กลไกป้องกันความคับคั่งของระบบเครือข่าย

ในการทำงานของอาร์เอ็นซีในการควบคุมความคับคั่งของระบบนั้น จะมีกลไกในการควบคุม 2 กลไก คือ การควบคุมการร้องขอการใช้งาน และการควบคุมความคับคั่ง ตามที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 2.6.3 งานวิจัยนี้นำเสนอกลไกการลดความคับคั่งของระบบโดยการลด Signal Processing Resource ที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซี ด้วยวิธีการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีตามความคับคั่งของระบบเครือข่าย เนื่องจากต้องการให้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีนีเริ่มทำงานก่อนที่ระบบจะมีความคับคั่งเกินกว่าเกณฑ์การควบคุมการร้องขอการใช้งาน และการควบคุมความคับคั่ง เมื่อระบบมีความคับคั่งเกินกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จึงกำหนดเกณฑ์ความคับคั่งเพื่อปรับระยะเวลา Timeout ตามกลไกนี้ไว้ 2 ระดับ คือระดับที่ 1 เมื่อระบบมีความคับคั่งเกินกว่า 55 เปอร์เซ็นต์ และระดับที่ 2 เมื่อระบบมีความคับคั่งเกินกว่า 70 เปอร์เซ็นต์

เมื่อระบบมีความคับคั่งมากกว่าเกณฑ์ของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่กำหนดไว้ในระดับที่ 1 อาร์เอ็นซีจะพิจารณาระยะเวลา Timeout ของโพรโตคอลอาร์อาร์ซีในสถานะต่างๆ ที่นานกว่าปกติให้แก่ยูอี และเมื่อระบบมีความคับคั่งมากกว่าเกณฑ์ของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่กำหนดไว้ในระดับที่ 2 อาร์เอ็นซีจะพิจารณาระยะเวลา Timeout ของโพรโตคอลอาร์อาร์ซีในสถานะต่างๆ ที่นานกว่าระยะเวลา Timeout ในระดับที่ 1 ให้แก่ยูอี ในการกำหนดระยะเวลา Timeout ในระดับที่ 1 และระดับที่ 2 นั้นจะพิจารณาร่วมกับพฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการด้วย ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

3.5.2 การพิจารณาระยะเวลา Timeout ที่เหมาะสม

3.5.2.1 การกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ของแบบจำลอง

ในการกำหนดระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีในระดับที่ 1 และระดับที่ 2 ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อจำลองการทำงานของระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นนี้ที่ได้ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองตามตัวอย่างงานวิจัย Adaptive Radio Resource Management Scheme for UMTS Packet Data โดยมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมในการทำงานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 เพิ่มเติม ดังนี้

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

2) กำหนดค่าตัวแปรที่สำคัญสำหรับเซอร์กิตสวิทช์ในแบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบดังนี้

2.1) ระยะเวลาใช้งานบริการสนทนาเฉลี่ย 120 วินาที

2.2) มีการตอบสนองระหว่างการใช้งานเป็นเวลา 3 วินาที และหยุดการตอบสนองชั่วคราวเป็นเวลา 3 วินาที สลับกันไปตลอดระยะเวลาใช้งาน

2.3) ยูอีแต่ละเครื่องได้รับการจัดสรรให้ใช้ Code Resource จำนวน 2 โค้ด

2.4) มีการใช้ทรัพยากรคลื่นวิทยุในระหว่างการใช้งานเฉลี่ยในขณะที่มีการตอบสนองระหว่างการใช้งานจำนวน 1.94 เปอร์เซ็นต์ และในขณะที่หยุดการตอบสนองชั่วคราวจำนวน 0.39 เปอร์เซ็นต์

3) กำหนดค่าตัวแปรที่สำคัญสำหรับแพ็กเก็ตสวิทช์ในแบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบดังนี้

3.1) ระยะเวลาใช้งานบริการข้อมูลเฉลี่ย 412 วินาที

3.2) ยูอีแต่ละเครื่องได้รับการจัดสรรให้ใช้ Code Resource จำนวน 8 โค้ด

3.3) การทดสอบการทำงานนี้ได้จำลองการทำงานของอาร์เอ็นซีในการควบคุมโหนดบีจำนวน 17 โหนด ซึ่งแต่ละโหนดมี 3 cell sectors รวมทั้งสิ้น 51 cell sectors มากกว่าแบบจำลองที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องอยู่ 51 เท่า จึงได้กำหนดค่าตัวแปรการใช้ทรัพยากรคลื่นวิทยุในระหว่างการใช้งานเฉลี่ยขณะอยู่ในสถานะ Cell_DCH (ระหว่างกำลังใช้งาน) จำนวน $7.61/51$ เท่ากับ 0.1492 เปอร์เซ็นต์, สถานะ Cell_DCH (ไม่มีการใช้งาน) จำนวน $1.52/51$ เท่ากับ 0.0298 เปอร์เซ็นต์, สถานะ Cell_FACH จำนวน $0.06/51$ เท่ากับ 0.0011 เปอร์เซ็นต์ และสถานะ Cell_PCH จำนวน $0.006/51$ เท่ากับ 0.000117 เปอร์เซ็นต์

4) กำหนดค่าตัวแปรจำนวนสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสถานะต่างๆ ตามตารางที่ 2.1 ซึ่งจะใช้ในการคำนวณหาปริมาณสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานและใช้สำหรับตรวจสอบความคับคั่งของสัญญาณเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้

5) การกำหนดค่าตัวแปรระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีต่างๆ สำหรับการคงอยู่ในสถานะหลังจากไม่มีการใช้งานข้อมูล ซึ่งเป็นค่าระยะเวลาของการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ ตามตารางที่ 3.3

6) สำหรับพฤติกรรมในการใช้งานบริการข้อมูลและพฤติกรรมในการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีจากการใช้งานนั้นจะใช้กราฟฟิคที่ตรวจวัดได้จากหัวข้อ 3.3.1 ในการกำหนดพฤติกรรมในการใช้งานบริการข้อมูลของยูเอแต่ละเครื่องโดยจะสุ่มเลือกกราฟฟิคที่ตรวจวัดได้ของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS และสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ในอัตราส่วนที่เท่ากัน และกำหนดให้ยูเอมีระยะเวลาใช้งานเฉลี่ย 412 วินาที การทดลองนี้กำหนดให้ยูเอที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายจะสามารถใช้งานได้จนกว่าจะครบระยะเวลาใช้งานหรือถูก Drop เนื่องจากเครือข่ายมีความคับคั่งของสัญญาณมากเท่านั้น

7) กำหนดค่าตัวแปรสำหรับเกณฑ์ที่จะให้กลไกการควบคุมการร้องขอการใช้งานให้เริ่มควบคุมการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบ โดยระบบจะทำปิดกั้นยูเอที่กำลังร้องขอการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบเครือข่ายก็ต่อเมื่อมีค่าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งใน 3 ตัวเท่ากับหรือมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ดังนี้

7.1) ปริมาณการใช้ Radio Resource เท่ากับ 75 เปอร์เซ็นต์

7.2) มีจำนวน Code Resource ที่ถูกใช้งาน 195×51 เท่ากับ 9,945 โค้ด

7.3) มีจำนวนสัญญาณควบคุม 400×51 เท่ากับ 20,400 สัญญาณต่อวินาที

8) กำหนดค่าตัวแปรสำหรับเกณฑ์ที่จะให้กลไกการควบคุมความคับคั่ง ให้เริ่มยุติการใช้งานของยูเอบางส่วน ดังนี้

8.1) ปริมาณการใช้ Radio Resource เท่ากับ 90 เปอร์เซ็นต์

8.2) มีจำนวน Code Resource ที่ถูกใช้งาน 244×51 เท่ากับ 12,444 โค้ด

8.3) มีจำนวนสัญญาณควบคุม 500×51 เท่ากับ 25,500 สัญญาณต่อวินาที

3.5.2.2 การประมวลผลแบบจำลองเพื่อพิจารณาผลของการปรับระยะเวลา Timeout ที่เพิ่มขึ้น

โดยแบบจำลองที่มีการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ โดยในการประมวลผลในแต่ละรอบ จะเพิ่มระยะเวลา Timeout จากค่า 4 วินาที ที่ใช้โดย AT&T ตามตารางที่ 3.3 ไปเรื่อยๆ ตั้งแต่ 1 วินาทีไปจนถึง 600 วินาที จากผลการทดสอบพิจารณาผลลัพธ์ในด้านที่สามารถลดลงได้ ได้แก่ ผลรวมสัญญาณควบคุมที่ลดลง จำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูเอที่ลดลง จำนวนการยุติยูเอที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบที่ลดลง และผลกระทบในด้านที่เพิ่มมากขึ้น ได้แก่ ผลรวมการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่เพิ่มขึ้น ปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูเอที่เพิ่มขึ้น จำนวนการควบคุมการร้องขอการใช้งานที่เพิ่มขึ้น โดยมีการให้น้ำหนักแก่ผลลัพธ์แตกต่างกันดังนี้

1) ผลรวมสัญญาณควบคุม น้ำหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของผลลัพธ์ที่ลดลงได้

2) จำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูเอ น้ำหนัก 20 เปอร์เซ็นต์ของผลลัพธ์ที่ลดลงได้

3) จำนวนการยุติยูนิตที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบ น้ำหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของผลลัพธ์ที่ลดลง
ได้

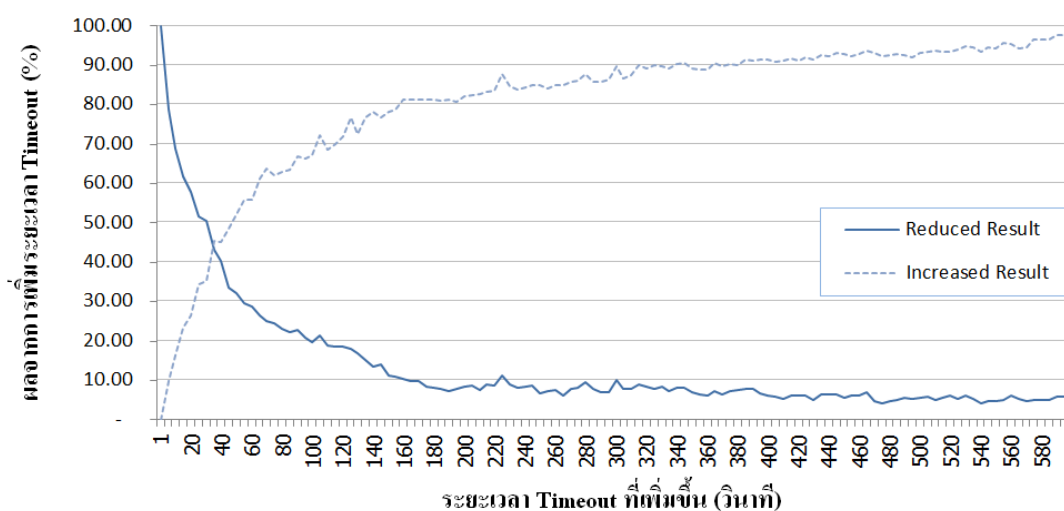
4) ผลรวมการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในเครือข่าย น้ำหนัก 20 เปอร์เซ็นต์ของผลลัพธ์ที่เพิ่ม
ขึ้น

5) ปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูนิต น้ำหนัก 50 เปอร์เซ็นต์ของผลลัพธ์ที่เพิ่มขึ้น

6) จำนวนการควบคุมการร้องขอการใช้งาน น้ำหนัก 30 เปอร์เซ็นต์ของผลลัพธ์ที่เพิ่ม
ขึ้น

โดยนำมาเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ กำหนดให้ผลการทดสอบด้วยแบบจำลองในด้านที่สามารถลดลงได้มากที่สุดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ และผลลัพธ์ในด้านที่ลดลงได้น้อยที่สุดเป็น 0 เปอร์เซ็นต์ นำมาพล็อตกราฟ และกำหนดให้ผลรวมในด้านที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเป็น 100 เปอร์เซ็นต์ และผลลัพธ์ในด้านที่ลดลงน้อยที่สุดเป็น 0 เปอร์เซ็นต์ นำมาพล็อตกราฟ พิจารณาจุดที่เปอร์เซ็นต์ของผลลัพธ์ในด้านที่ลดลงได้สมดุลกับเปอร์เซ็นต์ของผลลัพธ์ที่เพิ่มมากขึ้นในแต่ละสถานะอาร์อาร์ซี ได้ผลลัพธ์ดังนี้

1) ผลของการเพิ่มระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์ดีซีเอช โดยระยะเวลา Timeout ของสถานะอื่นๆ คงที่ ไม่มีการเพิ่มระยะเวลา ปรากฏดังภาพที่ 3.19

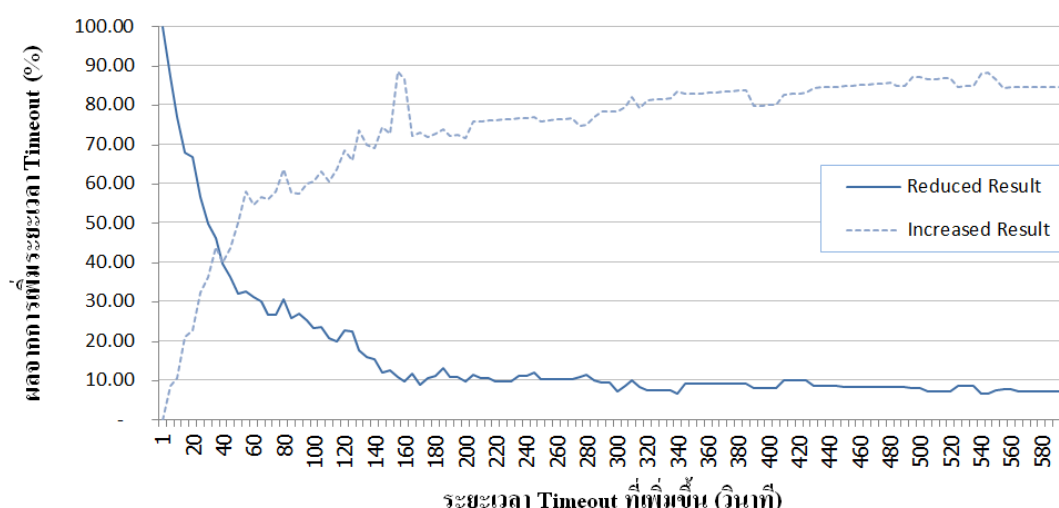


ภาพที่ 3.19 ผลการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์ดีซีเอช

จากผลลัพธ์ของการเพิ่มระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์ดีซีเอชตามภาพที่ 3.19 พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น จำนวนสัญญาณควบคุมโดยรวมในระบบเครือข่ายจะมีแนวโน้มลดลง

เนื่องจากเมื่อระยะเวลา Timeout เพิ่มมากขึ้นยูธียังคงอยู่ในสถานะเซลล์ดีซีเอชนานขึ้นกว่าเดิมจึงมีจำนวนครั้งในการเปลี่ยนสถานะน้อยลง เป็นผลให้มีการสร้างสัญญาณควบคุมจากการเปลี่ยนสถานะลดลง ในขณะที่การใช้พลังงานของยูธียังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อระยะเวลา Timeout เพิ่มมากขึ้นยูธียังคงอยู่ในสถานะเซลล์ดีซีเอชนานขึ้น ซึ่งการคงอยู่ในสถานะนี้ต้องใช้พลังงานมากกว่าสถานะอื่นๆ ปริมาณพลังงานที่ถูกใช้จึงเพิ่มมากขึ้น โดยจุดที่ระบบมีเปอร์เซ็นต์ผลลัพธ์ในด้านที่สามารถลดลงได้สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ผลลัพธ์ในด้านที่เพิ่มขึ้น คือเมื่อเพิ่มระยะเวลา Timeout 35 วินาที เมื่อรวมกับระยะเวลา Timeout แบบคงที่ตามตารางที่ 3.3 จะได้ 39 วินาที

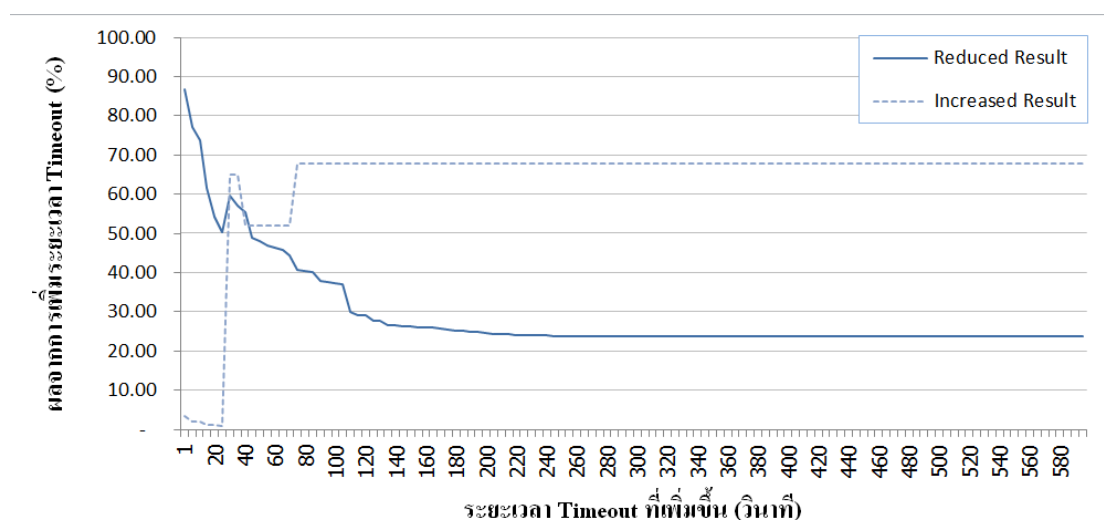
2) ผลของการเพิ่มระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์เอฟเอชไอเอช โดยระยะเวลา Timeout ของสถานะอื่นๆ คงที่ ไม่มีการเพิ่มระยะเวลา ปรากฏดังภาพที่ 3.20



ภาพที่ 3.20 ผลการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์เอฟเอชไอเอช

จากผลลัพธ์ของการเพิ่มระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์เอฟเอชไอเอชตามภาพที่ 3.20 พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น จำนวนสัญญาณควบคุมโดยรวมในระบบเครือข่ายมีการปรับขึ้นและลงในบางช่วงเวลา เช่นเดียวกันกับการใช้พลังงาน แต่เมื่อดูแนวโน้มของกราฟจะพบว่าจำนวนสัญญาณควบคุมโดยรวมในระบบเครือข่ายจะมีแนวโน้มลดลง และการใช้พลังงานมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยจุดที่ระบบมีเปอร์เซ็นต์ผลลัพธ์ในด้านที่สามารถลดลงได้สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ผลลัพธ์ในด้านที่เพิ่มขึ้น คือเมื่อเพิ่มระยะเวลา Timeout 35 วินาที เมื่อรวมกับระยะเวลา Timeout แบบคงที่ตามตารางที่ 3.3 จะได้ 45 วินาที

3) ผลของการเพิ่มระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์พีซีเอช โดยระยะเวลา Timeout ของสถานะอื่นๆ คงที่ ไม่มีการเพิ่มระยะเวลา ปรากฏดังภาพที่ 3.21



ภาพที่ 3.21 ผลการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์พีซีเอช

จากผลลัพธ์ของการเพิ่มระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์พีซีเอชตามภาพที่ 3.21 พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น จำนวนสัญญาณควบคุมโดยรวมในระบบเครือข่ายมีการปรับขึ้นและลง ในบางช่วงเวลา เช่นเดียวกันกับการใช้พลังงาน แต่เมื่อดูแนวโน้มของกราฟจะพบว่าจำนวนสัญญาณควบคุมโดยรวมในระบบเครือข่ายจะมีแนวโน้มลดลง และการใช้พลังงานมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยจุดที่ระบบมีเปอร์เซ็นต์ผลลัพธ์ในด้านที่สามารถลดลงได้สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ผลลัพธ์ในด้านที่เพิ่มขึ้น คือเมื่อเพิ่มระยะเวลา Timeout 30 วินาที เมื่อรวมกับระยะเวลา Timeout แบบคงที่ตามตารางที่ 3.3 จะได้ 55 วินาที และเมื่อเพิ่มระยะเวลา Timeout มากขึ้นการลดลงของจำนวนสัญญาณควบคุมโดยรวมและการเพิ่มการใช้พลังงานมีแนวโน้มใกล้เคียงกัน

จากภาพที่ 3.19 – 3.21 จะพบว่าระยะเวลา Timeout ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณสัญญาณควบคุมลดลงอย่างต่อเนื่อง แต่จะเพิ่มการใช้พลังงานของยูอีมากขึ้นเรื่อยๆ ผู้วิจัยจึงเลือกระยะเวลาที่สมดุลระหว่างการลดปริมาณสัญญาณควบคุมและการเพิ่มขึ้นของการใช้พลังงาน ซึ่งก็คือจุดตัดกันของกราฟ ซึ่งจะได้ค่าระยะเวลานานที่สุดที่จะใช้ในกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 การกำหนดระดับของระยะเวลา Timeout

	ระยะเวลา Timeout (วินาที)		
ระดับเวลา	Cell_DCH	Cell_FACH	Cell_PCH
ระดับปกติ	4	10	25
ระดับที่ 1	16	22	35
ระดับที่ 2	39	45	55

ตารางที่ 3.6 แสดงระยะเวลาที่กำหนดไว้ตามกลไกการปรับระยะเวลา Timeout โดยจะกำหนดให้ระดับเวลาระดับที่ 2 มีการเพิ่มระยะเวลา Timeout ตามระยะเวลาที่เหมาะสมตามหัวข้อที่ 3.5.2.2 และกำหนดให้ระดับเวลาระดับที่ 1 มีการเพิ่มระยะเวลา Timeout เป็นหนึ่งในสามของการเพิ่มระยะเวลา Timeout ในระดับเวลาระดับที่ 2 ซึ่งการกำหนดระดับระยะเวลา Timeout ในระดับที่ 2 จะสามารถช่วยลดสัญญาณควบคุมได้มากกว่าแต่ก็จะมีการใช้พลังงานมากกว่าการกำหนดระดับระยะเวลา Timeout ระดับเวลาระดับที่ 1

3.5.3 การพิจารณาเลือกระดับเวลาจากความคับคั่งของระบบ

อาร์เอ็นซีจะพิจารณาเลือกระดับระยะเวลา Timeout ที่จะใช้ในแต่ละช่วงเวลาจากความคับคั่งของระบบเครือข่ายโดยกำหนดระยะเวลา Timeout ของโพรโตคอลอาร์อาร์ซีดังตารางที่ 3.6 ซึ่งการกำหนดระยะเวลา Timeout ของโพรโตคอลอาร์อาร์ซีในสถานะต่างๆ ตามระดับความคับคั่งของระบบเครือข่าย โดยระยะเวลาระดับปกติ จะเป็นระยะเวลาพื้นฐานที่อาร์เอ็นซีจะกำหนดให้แก่อุปกรณ์ในระหว่างการใช้งาน มีระยะเวลาเท่ากับการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ ส่วนระยะเวลาระดับที่ 1 และระดับที่ 2 จะเป็นการเพิ่มระยะเวลา Timeout ของโพรโตคอลอาร์อาร์ซีให้นานยิ่งขึ้นในทุกสถานะตามความคับคั่งของระบบเครือข่ายในขณะนั้น ซึ่งตารางการกำหนดระยะเวลา Timeout ตามเกณฑ์ความคับคั่งในระดับต่างๆ จะนำไปใช้ในการพิจารณาเลือกระดับเวลาจากความคับคั่งของระบบ

ตารางที่ 3.7 การกำหนดระยะเวลา Timeout ตามเกณฑ์ความคับคั่ง

	ระยะเวลา Timeout		
ความคับคั่งของระบบ	Android	iOS	อื่นๆ (ถ้ามี)
ต่ำกว่าเกณฑ์ (< 55%)	ระดับปกติ	ระดับปกติ	ระดับปกติ
เกณฑ์ระดับที่ 1 ($\geq 55\%$)	ระดับที่ 1	ระดับปกติ	ระดับปกติ
เกณฑ์ระดับที่ 2 ($\geq 70\%$)	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับปกติ

จากตารางที่ 3.7 การกำหนดระยะเวลา Timeout ตามเกณฑ์ความคับคั่ง แสดงการกำหนดระยะเวลา Timeout ของโพรโตคอลอาร์อาร์ซีของอาร์เอ็นซีตามกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีที่น่าเสนอ โดยถ้าระบบเครือข่ายมีความคับคั่งน้อยหรืออยู่ในเกณฑ์ปกติหรือมีค่าน้อยกว่า 55 เปอร์เซ็นต์ อาร์เอ็นซีจะกำหนดระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูอีด้วยระยะเวลาในระดับปกติเช่นเดียวกันทุกระบบปฏิบัติการตามแต่ละสถานะอาร์อาร์ซีที่ยูอีมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งระยะเวลาในระดับปกตินี้เป็นระยะเวลา ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 การกำหนดระดับของระยะเวลา Timeout กรณีความคับคั่งของระบบต่ำกว่าเกณฑ์

ระบบปฏิบัติการ	ระดับเวลา	ระยะเวลา Timeout (วินาที)		
		Cell_DCH	Cell_FACH	Cell_PCH
iOS	ระดับปกติ	4	10	25
Android	ระดับปกติ	4	10	25

ในกรณีที่ระบบเครือข่ายมีความคับคั่งมากกว่าเกณฑ์ระดับที่ 1 ก็คือมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 55 เปอร์เซ็นต์ แต่น้อยกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ อาร์เอ็นซีจะกำหนดระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูอีแตกต่างกันออกไป โดยยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android จะมีการกำหนดระยะเวลา Timeout ในระดับที่ 1 ซึ่งมีระยะเวลายาวนานกว่าการกำหนดระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS และระบบปฏิบัติการอื่นๆ (ถ้ามี) ระยะเวลา Timeout ในระดับปกติ เนื่องจากต้องการให้ยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android นั้นคงอยู่ในสถานะอาร์อาร์ซีแต่ละสถานะนานขึ้น ลดจำนวนสัญญาณจากการเปลี่ยนแปลงสถานะลง ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 การกำหนดระดับของระยะเวลา Timeout กรณีความคับคั่งของระบบมากกว่าเกณฑ์ระดับที่ 1

ระบบปฏิบัติการ	ระดับเวลา	ระยะเวลา Timeout (วินาที)		
		Cell_DCH	Cell_FACH	Cell_PCH
iOS	ระดับปกติ	4	10	25
Android	ระดับที่ 1	16	22	35

ในกรณีที่ระบบเครือข่ายมีความคับคั่งมากกว่าเกณฑ์ระดับที่ 2 คือมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 70 เปอร์เซนต์ อาร์เอ็นซีจะกำหนดระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูอีทีไ้ระบบปฏิบัติการ Android จะมีการกำหนดระยะเวลา Timeout ในระดับที่ 2 ซึ่งมีระยะเวลายาวนานกว่าการกำหนดระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูอีทีไ้ระบบปฏิบัติการ iOS ซึ่งมีการกำหนดระยะเวลา Timeout ในระดับที่ 1 ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 การกำหนดระดับของระยะเวลา Timeout กรณีความคับคั่งของระบบมากกว่าเกณฑ์ระดับที่ 2

ระบบปฏิบัติการ	ระดับเวลา	ระยะเวลา Timeout (วินาที)		
		Cell_DCH	Cell_FACH	Cell_PCH
iOS	ระดับที่ 1	16	22	35
Android	ระดับที่ 2	39	45	55

เมื่อระบบเครือข่ายมีความคับคั่ง กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีที่นำเสนอนี้ จะปรับระยะเวลา Timeout ของโพรโตคอลอาร์อาร์ซีให้สูงขึ้น โดยจะมีการปรับระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูอีทีไ้ระบบปฏิบัติการ Android ยาวนานกว่าระบบปฏิบัติการ iOS อันเป็นผลมาจากระบบปฏิบัติการ Android มีพฤติกรรมการสร้างสัญญาณจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีมากกว่าระบบปฏิบัติการ iOS มีขั้นตอนการทำงานของอาร์เอ็นซีในการเลือกพิจารณา กำหนดระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูอีทีไ้ใช้งานในระบบ

ทั้งนี้ อาร์เอ็นซีจะมีการเก็บข้อมูลของระบบปฏิบัติการของยูอีทีไ้เชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายในขณะที่ทำการลงทะเบียนเพื่อขอเข้าใช้งานข้อมูลกับระบบเครือข่าย แล้วตรวจสอบ

จากภาพที่ 3.22 แสดงขั้นตอนการพิจารณากำหนดระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูทียูที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ เมื่อยูทียูมีการร้องขอการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซี ไม่ว่าจะเป็นในกรณีที่ยูทียูต้องการเชื่อมต่อกับระบบเพื่อขอใช้งานข้อมูล (Idle -> Cell_DCH) หรือยูทียูไม่มีการใช้งานข้อมูลในช่วงระยะเวลาหนึ่งจนหมดเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีใดสถานะหนึ่งแล้วต้องเปลี่ยนสถานะไปเป็นสถานะอื่น

อาร์เอ็นซีจะพิจารณาความคับคั่งของระบบเครือข่ายเทียบกับเกณฑ์ความคับคั่งของระบบระดับที่ 2 ก่อน ถ้าระบบมีความคับคั่งมากกว่าเกณฑ์ความคับคั่งระดับที่ 2 ก็จะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 70 เปอร์เซนต์ อาร์เอ็นซีจะทำการตรวจสอบระบบปฏิบัติการของยูทียู จากข้อมูลระบบปฏิบัติการของสมาร์ทโฟนในระบบที่มีการรวบรวมไว้ จากนั้นอาร์เอ็นซีจะตรวจสอบว่ายูทียูนั้นใช้ระบบปฏิบัติการ Android หรือไม่ ถ้าใช่ก็จะกำหนดระยะเวลาของสถานะอาร์อาร์ซีนั้นตามระยะเวลา Timeout ในระดับที่ 2 ตามตารางที่ 3.10 แต่ถ้ายูทียูนั้นไม่ได้ใช้ระบบปฏิบัติการ Android อาร์เอ็นซีจะตรวจสอบว่ายูทียูนั้นใช้ระบบปฏิบัติการ iOS หรือไม่ ถ้าใช่ก็จะกำหนดระยะเวลาตามระยะเวลา Timeout แต่ละสถานะในระดับที่ 1 ตามตารางที่ 3.10 แต่ถ้ายูทียูนั้นไม่ได้ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ระบบอาจตรวจสอบระบบปฏิบัติการอื่นเพิ่มเติมถ้ามีการวิเคราะห์พฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการนั้นๆ ไว้

ในกรณีอาร์เอ็นซีจะพิจารณาความคับคั่งของระบบเครือข่ายแล้วพบว่าระบบมีความคับคั่งมากกว่าเกณฑ์ความคับคั่งระดับที่ 1 ก็จะมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 55 เปอร์เซนต์ แต่น้อยกว่า 70 เปอร์เซนต์ อาร์เอ็นซีจะทำการตรวจสอบระบบปฏิบัติการของยูทียู จากข้อมูลระบบปฏิบัติการของสมาร์ทโฟนในระบบที่มีการรวบรวมไว้เช่นเดียวกันกับกรณีที่ระบบมีความคับคั่งมากกว่าเกณฑ์ความคับคั่งระดับที่ 2 จากนั้นอาร์เอ็นซีจะตรวจสอบว่ายูทียูนั้นใช้ระบบปฏิบัติการ Android หรือไม่ ถ้าใช่ก็จะกำหนดระยะเวลาของสถานะอาร์อาร์ซีนั้นตามระยะเวลา Timeout ในระดับที่ 1 ตามตารางที่ 3.9 แต่ถ้ายูทียูนั้นไม่ได้ใช้ระบบปฏิบัติการ Android อาร์เอ็นซีจะตรวจสอบว่ายูทียูนั้นใช้ระบบปฏิบัติการ iOS หรือไม่ ถ้าใช่ก็จะกำหนดระยะเวลาตามระยะเวลา Timeout แต่ละสถานะในระดับที่ปกติ ตามตารางที่ 3.9 แต่ถ้ายูทียูนั้นไม่ได้ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ระบบอาจตรวจสอบระบบปฏิบัติการอื่นเพิ่มเติมถ้ามีการวิเคราะห์พฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการนั้นๆ ไว้

ในกรณีอาร์เอ็นซีจะพิจารณาความคับคั่งของระบบเครือข่ายแล้วพบว่าระบบมีความคับคั่งน้อยกว่าเกณฑ์ความคับคั่งระดับที่ 1 ก็จะมีค่าน้อยกว่า 55 เปอร์เซนต์ อาร์เอ็นซีจะกำหนดระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูทียูด้วยระยะเวลาในระดับปกติเช่นเดียวกันทุกระบบปฏิบัติการ ตามตารางที่ 3.8 ตามแต่ละสถานะ

3.6 แบบจำลองการทำงานของระบบ

เพื่อเป็นการทดสอบการทำงานของระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่มีใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของโพรโตคอลอาร์อาร์ซีที่นำเสนอ จึงได้สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ขึ้น ด้วยโปรแกรม MATLAB โดยมีขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ดังนี้

```

FOR each second
    Initialize Current radio resource to 0.
    Initialize Current code resource to 0.
    Initialize signaling message to 0.
    FOR each active UE
        IF UE has usage time > max duration time
            Set UE to inactive.
        ENDIF
    ENDFOR
    FOR each active UE
        Current state = Determine current state from traffic.
        Current radio resource = Determine current state from Current state.
        Current signaling message = Determine signaling message from Current state.
    ENDFOR
    Current code resource = Calculate from number of Active UEs.
    % of radio resource = Calculate the percentage of current radio resource.
    % of code resource = Calculate the percentage of current code resource.
    % of signaling message = Calculate the percentage of current signaling message.
    Criteria = The largest value of % of radio resource , % of code resource and % of signaling message.
    IF Criteria > Threshold 2
        Set RRC timeout Level 2
    ELSE IF Criteria > Threshold 1
        Set RRC timeout Level 1.
    ELSE
        Set RRC timeout to Normal.
    ENDIF
    IF Current radio resource <= radio Threshold Lv 1 and code resource<= code Threshold Lv 1 and
    signaling message<= signaling Threshold Lv 1
        Add new UEs to Active UEs list (number of new UE up to TPS value).

```

```

DO
    Set Inactive UE to Active (Recall).

    code resource = Calculate from number of Active UEs.

    UNTIL code resource > code Threshold Lv 1

    ELSE IF Current radio resource <= radio Threshold Lv 2 and code resource<= code Threshold Lv 2 and
    signaling message<= signaling Threshold Lv 2

        Discard any new UE call (Blocking).

    ELSE

        FOR each active UE in the list

            IF Current state is Cell_PCH or IDLE

                Set UE to inactive. (Dropping)

            ENDIF

        ENDFOR

    ENDIF

    FOR each active UE in the list

        Random to set some UEs to inactive (Handover).

    ENDIF

ENDFOR

Calculate the energy consumption.

```

จาก Pseudo Code ข้างต้น การทำงานของโปรแกรมแบบจำลองการทำงานจะพิจารณาการทำงานของระบบในแต่ละวินาทีจนครบตามระยะเวลาที่กำหนด โดยในแต่ละวินาทีจะทำการกำหนดค่า Current radio resource , Current code resource และ signaling message ให้กับ 0 เพื่อใช้ในการพิจารณาความคับคั่งในแต่ละวินาที จากนั้นพิจารณากำหนดค่าให้ยู่อีที่มีระยะเวลาการใช้งานนานกว่าระยะเวลาใช้งานสูงสุดที่กำหนดไว้ให้เป็นสถานะไม่มีการใช้งาน พิจารณายู่อีที่กำลังใช้งานอยู่ว่าใช้งานสถานะอาร์อาร์ซีใดจากข้อมูล Traffic ด้วยขั้นตอนวิธีตามหัวข้อที่ 3.4.3 พิจารณา Current radio resource และ signaling message จากสถานะอาร์อาร์ซีปัจจุบัน และพิจารณา Current code resource จากจำนวนยู่อีที่มีการใช้งานอยู่ คำนวณหา radio resource , code resource และ signaling message โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยเทียบกับค่าสูงสุดที่ระบบจะสามารถรองรับได้ เปรียบเทียบโดยนำค่าที่มากที่สุดมาใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาความคับคั่ง พิจารณาความคับคั่งของระบบเทียบกับเกณฑ์ในระดับต่างๆ ที่กำหนดไว้แล้วกำหนดระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีตามความคับคั่งของระบบตามหัวข้อที่ 3.5.3 จากนั้นถ้าพิจารณาความคับคั่งของระบบแล้วปกติ ทำการเพิ่มยู่อีใหม่เข้าสู่ระบบตามจำนวน Transaction per Second ที่กำหนดไว้ แต่หากระบบมี

ความคับคั่งมากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์การควบคุมการร้องขอการใช้งาน ทำการปิดกั้นยูอีที่กำลังร้องขอการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบ แต่หากระบบมีความคับคั่งมากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์การควบคุมความคับคั่ง พิจารณายูอีที่อยู่ในสถานะว่างและเซลล์พีซีเอชออกจากระบบ พิจารณากำหนดสถานะยูอีจำนวนหนึ่งให้เป็นสถานะไม่มีการใช้งาน ตามเปอร์เซ็นต์การ Handover ที่กำหนดไว้ และสุดท้ายคำนวณการใช้พลังงานของยูอีจากสถานะอาร์อาร์ซีทั้งหมดในระหว่างการใช้งาน