กลไกการปรับระยะเวลา Timeout เพื่อควบคุมความคับคั่งและลดจำนวนสัญญาณควบคุมในโครงข่ายเคลื่อนที่ยุคที่ 3

พงศกร ดวงเกษม

DPU

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์
พ.ศ. 2556

Adaptive RRC Timeout Mechanism for Congestion Control and Signaling Storm Reduction in 3G Network

Pongsakorn Duangkasem

DPU

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Computer and Telecommunication

Faculty of Engineering, Dhurakij Pundit University

2013

หัวข้อวิทยานิพนธ์ กลไกการปรับระยะเวลา Timeout เพื่อควบคุมความคับคั่งและลดจำนวนสัญญาณควบคุมในโครงข่ายเคลื่อนที่ยุคที่ 3
ชื่อผู้เขียน พงศกร ดวงเกษม
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์ ดร.ธนัญ จารุวิทยโกวิท
สาขาวิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม
ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

การใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ทโฟนมีการเติบโตอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้ผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ประสบปัญหา Signaling Storm อันเป็นผลมาจากพฤติกรรมในการใช้งาน Data service อย่างต่อเนื่อง และกลไก fast dormancy ที่มุ่งลดการใช้พลังงานของเครื่องสมาร์ทโฟน จะเปลี่ยนสถานะ Radio Resource Control Protocol (RRC) เพื่อลดอัตราการบริโภคพลังงานจากแบตเตอรี่ของเครื่องสมาร์ทโฟน ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนสถานะของ RRC บ่อยครั้งขึ้น ซึ่งในการเปลี่ยนสถานะนั้น จะมีการสร้างสัญญาณควบคุมจำนวนมาก

จากการศึกษา พบว่าสมาร์ทโฟนที่ซึ่งใช้ระบบปฏิบัติการ Android มีจำนวนการสร้างสัญญาณควบคุมจำนวนมากกว่าสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS งานวิจัยนี้นำเสนอกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของการเปลี่ยนสถานะของโพรโตคอล RRC ให้เหมาะสม โดยพิจารณาจากปริมาณความคับคั่งของเครือข่ายและชนิดของระบบปฏิบัติการของสมาร์ทโฟน โดยจะกำหนดระยะเวลา Timeout ให้นานขึ้น เมื่อเครือข่ายมีความคับคั่งมาก เพื่อให้สมาร์ทโฟนคงอยู่ในสถานะ RRC นานขึ้น ลดการเปลี่ยนแปลงสถานะของโพรโตคอล RRC ทำให้สัญญาณควบคุมลดจำนวนลง โดยระบบจะพิจารณาระบบปฏิบัติการของสมาร์ทโฟนเพื่อปรับระยะเวลา Timeout ที่นานกว่าให้แก่ระบบปฏิบัติการที่มีการสร้างสัญญาณมากกว่า อย่างไรก็ตามเทคนิคที่นำเสนอจะเพิ่มการอัตราการบริโภคพลังงานของแบตเตอรี่ของเครื่องสมาร์ทโฟน

จากแบบจำลองการทำงานพบว่ากลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของโพรโตคอล RRC ช่วยลดปริมาณสัญญาณในเครือข่ายลงได้ 29.74 - 37.08 เปอร์เซนต์ ทำให้ช่วยลดโอกาสที่จะเกิดความคับคั่งของสัญญาณควบคุมในเครือข่ายได้ แต่จะเพิ่มการใช้พลังงานของเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ขึ้น 30.76 - 58.25 เปอร์เซนต์

Thesis Title	Adaptive RRC Timeout Mechanism for Congestion Control and Signaling Storm Reduction in 3G Network
Author	Pongsakorn Duangkasem
Thesis Advisor	Chaiyaporn Khemapatapan, Ph.D
Co-Thesis Advisor	Tanun Jaruvitayakovit, Ph.D
Department	Computer and Telecommunication Engineering
Academic Year	2013

ABSTRACT

The rapid growth of smartphone usage causes the mobile network operators face a signaling storm problem. As a result of the behavior of continuous use the data service and the fast dormancy mechanisms that aim to reducing the power consumption of smartphone with fast RRC state demotion. However it makes more often state transition and generates more control signaling, causing congestion of network signal.

Research results indicated that smartphones Android's generates more signaling than iOS's smartphone. This paper presents a mechanism to dynamically adjust the timeout of RRC state transition by considering the overall load of the network and take into account the operating system of smartphones. If the network congested, system will set the longer RRC timeout to smartphones. In order to let smartphones remained in the active state to reduce the transition of state, as the result the signaling will be decreased. The operating system of a smartphone that generated more signals will adjust the longer timeout period than the operating system that generated less signals. However, this technique will increase the battery power consumption of the smartphones.

Simulation result found that the proposed mechanism can reduce the amount of signal by 29.74 - 37.08 percent. As the result, the congestion of signaling could be reduced. However, the battery consumption will increase 30.76 - 58.25 percent.

DPU

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้อย่างสมบูรณ์ ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก อาจารย์ ดร.ธนัญ จารุวิทยโกวิท อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ร่วม ที่คอยให้คำแนะนำ คำปรึกษา ตลอดจนแนวทางในการแก้ไขปัญหาต่างๆ และขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.ชัยพร เขมะภาตะพันธ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้ข้อคิดเห็นและคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย และเอาใจใส่นักศึกษาเสมอมา

ขอขอบคุณ อาจารย์ ดร.ประศาสน์ จันทราทิพย์ และ อาจารย์ ดร.ณรงค์เดช กีรติพรานนท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่สละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่องานวิจัย อีกทั้ง ขอขอบคุณอาจารย์ผู้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามมา ณ ที่นี้ และขอบคุณเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ช่วยดำเนินเรื่องต่างๆ ให้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณผู้บังคับบัญชา และเพื่อนร่วมงานของผู้วิจัย ที่คอยให้การสนับสนุนและให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม ทุกๆ คน ที่คอยช่วยเหลือกันมาตลอด

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

ท้ายสุดนี้ขอขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ตลอดจนทุกคนในครอบครัวของผู้วิจัย ที่คอยให้กำลังใจ และสนับสนุนผู้วิจัยในทุกๆ ด้าน ตลอดระยะเวลาการศึกษาจวบจนสำเร็จการศึกษา

พงศกร ดวงเกษม

DPU

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย …….	ฆ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ…….	ง
กิตติกรรมประกาศ……..	จ
สารบัญตาราง…….....……	ซ
สารบัญภาพ……...…….….	ฌ
บทที่	
1. บทนำ……...……	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..……..	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..……..	4
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย…….	5
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ...……...	5
1.5 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย……..	6
1.6 แผนการดำเนินงาน...……..	8
2. แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……..……	9
2.1 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่…...……	9
2.2 สถาปัตยกรรมของเทคโนโลยีไวด์แบนด์ซีดีเอ็มเอ……...……	11
2.3 โปรโตคอลอาร์อาร์ซี……	13
2.4 กลไกฟาสดอร์มแมนซี……..…	14
2.5 โปรแกรม AT&T Application Resource Optimizer (ARO) …….…….	18
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง……	22
3. ระเบียบวิธีวิจัย……	28
3.1 แนวทางการวิจัยและพัฒนา……..	28
3.2 ภาพรวมของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซี……..	29
3.3 การวิเคราะห์พฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการ…..……..…..	30
3.4 แบบจำลองการวิเคราะห์การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซี…..…..……..	36
3.5 การปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีในระหว่างการใช้งาน…….	49

DPU

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.6 แบบจำลองการทำงานของระบบ……..……..…..	59
4. ผลการทดลอง…..……	63
4.1 ข้อกำหนดและตัวแปรที่ใช้ในการจำลองระบบ……..……..	63
4.2 การวิเคราะห์ผลของกลไกที่นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับกลไกแบบคงที่ ในกรณีที่ระบบมีสัดส่วนของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ แตกต่างกัน……..	65
4.3 การวิเคราะห์ผลของกลไกที่นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับกลไกแบบคงที่ ในกรณีที่ระบบมีความคับคั่งของสมาร์ทโฟนที่ใช้งานที่แตกต่างกัน…..……..	72
5. สรุปผล และข้อเสนอแนะ…..……	79
5.1 สรุปผลการวิจัย……..…..	79
5.2 ปัญหาอุปสรรคและข้อจำกัดของระบบ……	81
5.3 ข้อเสนอแนะ……..……..	81
บรรณานุกรม……..	83
ภาคผนวก……	86
ก การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในการวิเคราะห์การกำหนดสถานะ อาร์อาร์ซี…….....…….....…….....….	87
ข การตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ยุคที่ 3 ……...……	88
ประวัติผู้เขียน……..……	91

DPU

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แผนการดำเนินงานวิจัย……..	7
2.1	การกำหนดค่าตัวแปรจำนวนสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสถานะต่างๆ……	17
2.2	การใช้พลังงานของยูอีในระหว่างใช้งานในสถานะอาร์อาร์ซีต่างๆ……	18
2.3	เปรียบเทียบคุณสมบัติของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่นำเสนอ…….....	27
3.1	การกรองข้อมูลที่ไม่ต้องการสำหรับระบบปฏิบัติการ iOS …..……..	37
3.2	การกรองข้อมูลที่ไม่ต้องการสำหรับระบบปฏิบัติการ Android .....……..	37
3.3	การกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ในแต่ละสถานะ……..……...	43
3.4	จำนวนการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีโดยเฉลี่ยของระบบปฏิบัติการต่างๆ ……..	46
3.5	จำนวนสัญญาณควบคุมจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีโดยเฉลี่ยใ……..……...	47
3.6	การกำหนดระดับของระยะเวลา Timeout……..	55
3.7	การกำหนดระยะเวลา Timeout ตามเกณฑ์ความคับคั่ง……..……..……..…	55
3.8	การกำหนดระดับของระยะเวลา Timeout กรณีความคับคั่งของระบบต่ำกว่าเกณฑ์	56
3.9	การกำหนดระดับของระยะเวลา Timeout กรณีความคับคั่งของระบบมากกว่าเกณฑ์ระดับที่ 1……..……..……..……	56
3.10	การกำหนดระดับของระยะเวลา Timeout กรณีความคับคั่งของระบบมากกว่าเกณฑ์ระดับที่ 2……..……..……..……	57
4.1	สรุปผลการทดลองเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน……	71
4.2	สรุปผลการทดลองเครือข่ายที่มีความคับคั่งแตกต่างกัน……..……	78

DPU

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	สถานะอาร์อาร์ซีในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ……	2
1.2	สถานะอาร์อาร์ซีในกลไกฟาสดอร์มแมนซี……...	3
2.1	สถาปัตยกรรมของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ……..	11
2.2	สถานะอาร์อาร์ซีและการเปลี่ยนแปลงสถานะ……...	13
2.3	สถานะอาร์อาร์ซีและการเปลี่ยนแปลงสถานะในกลไกฟาสดอร์มแมนซี……..	16
2.4	หน้าจอของโปรแกรม AT&T ARO Data Collector……..……...	19
2.5	หน้าจอของโปรแกรม AT&T ARO Data Analyzer …….....	21
2.6	ขั้นตอนการทำงานของกลไกการจัดการทรัพยากรคลื่นวิทยุ……..	24
3.1	ภาพรวมของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซี..…….	29
3.2	การเชื่อมต่อ iPhone กับ MacBook Pro…….	33
3.3	UDID ของ iPhone จากโปรแกรม Xcode……..	33
3.4	ตัวอย่างการตรวจวัด Traffic จากสมาร์ทโฟน iPhone……	34
3.5	ตัวอย่างการตรวจวัด Traffic จากสมาร์ทโฟน Android……..	35
3.6	การกรองข้อมูลที่ไม่ต้องการในโปรแกรม WireShark……..	38
3.7	การแสดงข้อมูลทราฟฟิกในโปรแกรม WireShark…….	38
3.8	การ Export ข้อมูลไปเป็นไฟล์ Plain text……...	39
3.9	การกำหนดค่าเพื่อ Export ข้อมูลไปเป็นไฟล์ Plain text…….	39
3.10	ข้อมูลทราฟฟิกในรูปแบบไฟล์ Plain text……	40
3.11	ตัวอย่างข้อมูลทราฟฟิกที่ตรวจวัดจากการใช้งานท่องเว็บไซต์…….	40
3.12	ตัวอย่างข้อมูลทราฟฟิกที่ตรวจวัดจากการเล่นเกมส์ Angry Birds……	41
3.13	ตัวอย่างข้อมูลทราฟฟิกที่ตรวจวัดจากการใช้งานเครือข่ายสังคมออนไลน์……..	41
3.14	ตัวอย่างข้อมูลทราฟฟิกที่ตรวจวัดจากการใช้งานอีเมลล์……..	42
3.15	ตัวอย่างข้อมูลทราฟฟิกที่ตรวจวัดจากการดูวีดีโอผ่านอินเทอร์เน็ต…….	42
3.16	การกำหนดค่าระยะเวลา Timeout ของโปรแกรม AT&T Application Resource Optimizer…….	43
3.17	ขั้นตอนการพิจารณาสถานะอาร์อาร์ซีจากข้อมูลทราฟฟิก……...	45

DPU

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

3.18 เปรียบเทียบจำนวนสัญญาณควบคุมจากการใช้งานแอพลิเคชั่นต่างๆ บนสมาร์ทโฟน……. 48
3.19 ผลการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์ดีซีเอช…… 52
3.20 ผลการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์เอฟเอซีเอช……. 53
3.21 ผลการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์พีซีเอช……. 54
3.22 ขั้นตอนการพิจารณากำหนดระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูอี…….. 58
4.1 ผลการทดสอบผลรวมสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน……..……..... 66
4.2 ผลการทดสอบผลรวมการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน……...……... 67
4.3 ผลการทดสอบจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน……...…… 68
4.4 ผลการทดสอบการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอีที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน……...……... 69
4.5 ผลการทดสอบการควบคุมการร้องขอการใช้งานและการยุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน……. 70
4.6 ผลการทดสอบผลรวมสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีความคับคั่งแตกต่างกัน……...……...……... 73
4.7 ผลการทดสอบผลรวมการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีความคับคั่งแตกต่างกัน……...……...……... 74
4.8 ผลการทดสอบจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีความคับคั่งแตกต่างกัน……...……..... 75
4.9 ผลการทดสอบการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอีที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีความคับคั่งแตกต่างกัน……...……...……..... 76
4.10 ผลการทดสอบการควบคุมการร้องขอการใช้งานและการยุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบในเครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน……..... 77

DPU

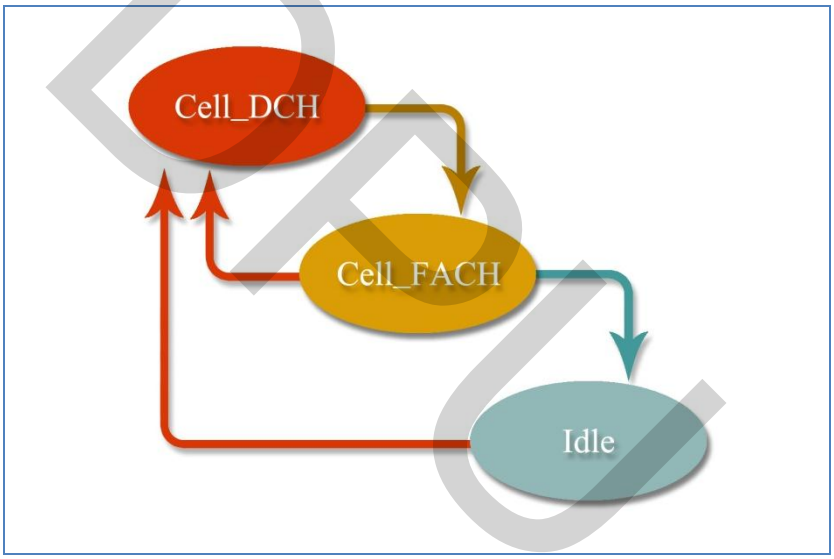
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

โทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นอุปกรณ์สื่อสารที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เข้ามามีบทบาทต่อการใช้ชีวิตประจำวันของมนุษย์มากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ทโฟน ที่มีความสามารถมากมายที่ช่วยอำนวยความสะดวกให้กับผู้ใช้งาน เช่น การส่งข้อความสั้นเอสเอ็มเอส ปฏิทิน นาฬิกาปลุก ตารางนัดหมาย เกม การใช้งานอินเทอร์เน็ต บลูทูธ อินฟราเรด กล้องถ่ายภาพ เอ็มเอ็มเอส วิทยุ เครื่องเล่นเพลง และ จีพีเอส เป็นต้น ในปัจจุบันผู้ใช้นิยมใช้งานสมาร์ทโฟนมากขึ้น ในประเทศไทยมียอดจำหน่ายสมาร์ทโฟนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ในขณะที่ยอดจำหน่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบฟีทเจอร์โฟนนั้นลดลง เช่นเดียวกับยอดจำหน่ายของสมาร์ทโฟนทั่วโลกที่เพิ่มขึ้นและมีแนวโน้มที่จะมีจำนวนสมาร์ทโฟนมากกว่าฟีทเจอร์โฟนในอนาคตอันใกล้นี้ นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์พกพาอื่นๆ ที่กำลังได้รับความนิยมในปัจจุบันและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในอนาคตด้วยเช่นกัน อาทิเช่น คอมพิวเตอร์แท็บเล็ต โดยในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 (3G : Third Generation) จะใช้ชื่อเรียกแทนโทรศัพท์เคลื่อนที่และอุปกรณ์พกพาเหล่านี้ว่ายูอี (UE : User Equipment)

การใช้งานบริการข้อมูลในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ระหว่างยูอีและอาร์เอ็นซี (RNC : Radio Network Controller) มีโพรโตคอลอาร์อาร์ซี (RRC : Radio Resource Control) ใช้ในการกำหนดความสามารถในการรับ-ส่งข้อมูลของยูอี จำกัดปริมาณทรัพยากรของระบบที่ยูอีจะสามารถใช้ได้ในระหว่างที่กำลังใช้งานบริการข้อมูล โดยการกำหนดสถานะที่แตกต่างกันให้แก่ยูอี สถานะต่างๆ ของโพรโตคอลอาร์อาร์ซี ประกอบไปด้วยสถานะเซลล์ดีซีเอช (Cell_DCH) เซลล์เอฟเอซีเอช (Cell_FACH) และสถานะว่าง (Idle) ดังภาพที่ 1.1 โดยสถานะที่สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้เร็วที่สุดคือสถานะเซลล์ดีซีเอชจะใช้ทรัพยากรของระบบอย่างเต็มที่ (ตามที่ได้รับการจัดสรรไว้) แต่ก็ต้องใช้พลังงานแบตเตอรี่สูงเช่นกัน ส่วนสถานะที่รับ-ส่งข้อมูลได้ที่ความเร็วต่ำคือสถานะเซลล์เอฟเอซีเอชซึ่งมีการใช้ทรัพยากรร่วมกับสมาร์ทโฟนเครื่องอื่นๆ ก็จะใช้พลังงานแบตเตอรี่น้อยลง และสถานะที่ไม่สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้คือสถานะว่างนั้นใช้พลังงานน้อยมาก โดยสมาร์ทโฟนจะมีการเปลี่ยนแปลงสถานะจากสถานะเซลล์ดีซีเอชมาเป็นสถานะเซลล์เอฟเอซีเอชก็ต่อเมื่อไม่มีการรับ-ส่งข้อมูลและคงอยู่ในสถานะเซลล์ดีซีเอช ตามระยะเวลาที่กำหนดไว้ เพื่อเป็นการลดการใช้

พลังงานแบตเตอรี่ของยูอีและเปลี่ยนสถานะจากสถานะเซลล์เอฟเอซีเอชไปเป็นสถานะว่างตามระยะเวลาที่กำหนดไว้เช่นเดียวกัน แต่ถ้ามีความต้องการใช้บริการข้อมูลความเร็วสูงอีกครั้งจะมีการเปลี่ยนแปลงสถานะไปเป็นสถานะเซลล์ดีซีเอชอีกครั้ง ในการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซี ในแต่ละครั้งจะมีการส่งสัญญาณควบคุม (Signaling Control) ระหว่างยูอีกับอาร์เอ็นซีเพื่อควบคุมการเปลี่ยนแปลงสถานะนั้นๆ เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสถานะบ่อยครั้งก็ยิ่งเพิ่มจำนวนสัญญาณควบคุมในระบบมากยิ่งขึ้น อีกทั้งในปัจจุบันมียูอีจำนวนมากจึงสร้างสัญญาณควบคุมจำนวนมหาศาล จึงเป็นภาระให้แก่อาร์เอ็นซีที่ต้องจัดการกับสัญญาณควบคุมทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบส่งผลให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบลดลงเนื่องจากต้องประมวลผลสัญญาณควบคุมมากเกินไป มีการตั้งชื่อปรากฏการนี้ว่า พายุสัญญาณ (Signaling Strom)[1]



ภาพที่ 1.1 แสดงสถานะอาร์อาร์ซีในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3

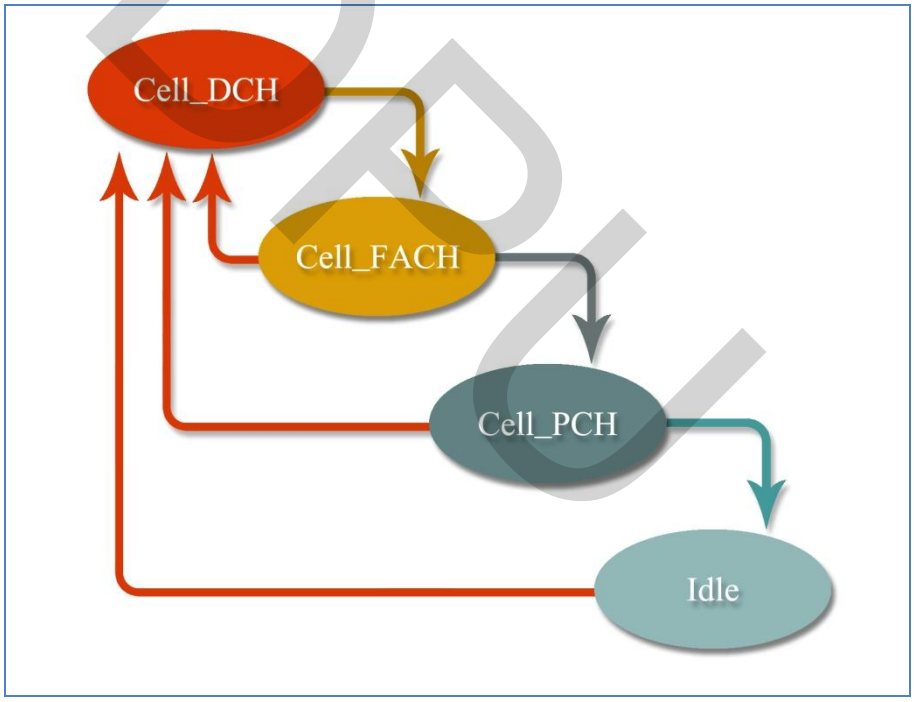
ที่มา: Nokia Siemens Networks (2011, p. 7)

ในการนำไปใช้งานจริง ผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่มักจะกำหนดระยะเวลาคงอยู่ในสถานะแบบคงที่ โดยกำหนดระยะเวลาแตกต่างกันไปหรือกำหนดตามค่าเริ่มต้นของ

---

[1] Yang, C (2011). *Weather the signaling storm* . Huawei Communicate. SEP 2011. ISSUE 61. (pp. 18 - 20).

อุปกรณ์ตามที่ผู้ผลิตอุปกรณ์กำหนดไว้ แต่ระยะเวลาเหล่านั้นมักเป็นระยะเวลาที่ไม่เหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้บริการข้อมูลของผู้ใช้ในปัจจุบันที่นิยมใช้บริการข้อมูลอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีบางแอพพลิเคชั่นที่ผู้ใช้ใช้งานอยู่มีการเชื่อมต่อแบบตลอดเวลา (Always on) ส่งผลให้ยูอีคงอยู่ในสถานะเซลล์ดีซีเอชอย่างต่อเนื่อง ทำให้สิ้นเปลืองพลังงานเป็นจำนวนมาก จึงมีการพัฒนากลไกการลดระยะเวลาการคงอยู่ในสถานะลง เรียกว่าฟาสดอร์มแมนซี (Fast Dormancy)[2] ที่มีการกำหนดให้ระยะเวลาการคงอยู่สั้นลงและเพิ่มสถานะที่มีการใช้พลังงานน้อยใกล้เคียงกับสถานะว่างแต่สามารถเปลี่ยนไปเป็นสถานะเซลล์ดีซีเอชได้อย่างรวดเร็ว เรียกว่าสถานะเซลล์พีซีเอช (Cell_PCH) ดังภาพที่ 1.2 แต่การกำหนดระยะเวลาคงอยู่ในสถานะยังคงเป็นแบบคงที่เช่นเดิม มีการพยายามหาค่าระยะเวลาคงอยู่ในแต่ละสถานะที่เหมาะสมแต่ก็ยังไม่สามารถลดปริมาณสัญญาณควบคุมจำนวนมากในระบบลงได้



ภาพที่ 1.2 แสดงสถานะอาร์อาร์ซีในกลไกฟาสดอร์มแมนซี

ที่มา: Nokia Siemens Networks (2011, p. 7)

---

[2] Nokia Siemens Networks, Signals Research Group. (2010). *Smartphones and a 3G network: Reducing the impact of smartphone-generated signaling traffic while increasing the battery life of the phone through the use of network optimization techniques*. N.P.: Author.

งานวิจัยนี้นำเสนอกลไกเพื่อลดสัญญาณที่เกิดขึ้นระหว่างการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซี ที่จะช่วยลดความคับคั่งของสัญญาณในระบบเครือข่ายลง โดยการพิจารณาพฤติกรรมในการสร้างสัญญาณควบคุมจากการใช้งานจริงของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการแตกต่างกันและใช้เป็นข้อมูลในการปรับระยะเวลาคงอยู่ของสถานะอาร์อาร์ซีตามเกณฑ์ความคับคั่งของระบบเครือข่าย เมื่อระบบเครือข่ายมีปริมาณสัญญาณน้อยและไม่มีปัญหาความคับคั่งของสัญญาณในระบบ อาร์เอ็นซีจะกำหนดระยะเวลาคงอยู่ของสถานะอาร์อาร์ซีตามกลไกปกติให้แก่ยูอี แต่เมื่อระบบเครือข่ายมีความคับคั่งของสัญญาณในระบบเกินเกณฑ์ความคับคั่งของสัญญาณที่กำหนดไว้ อาร์เอ็นซีจะกำหนดระยะเวลาคงอยู่ของสถานะอาร์อาร์ซีแก่ยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการของสมาร์ทโฟนที่มีพฤติกรรมในการสร้างสัญญาณควบคุมจำนวนมากในระหว่างการใช้งานให้มีระยะเวลาที่นานขึ้นเพื่อลดการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซี ทั้งนี้สมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่มีพฤติกรรมในการสร้างสัญญาณควบคุมจำนวนมากจะมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นในขณะที่สมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการอื่นยังคงใช้พลังงานเท่าเดิมเนื่องจากใช้การกำหนดระยะเวลาคงอยู่ของสถานะอาร์อาร์ซีตามกลไกปกติ และเมื่อระบบเครือข่ายมีความคับคั่งของสัญญาณในระบบเกินเกณฑ์ความคับคั่งของสัญญาณในระดับสูง อาร์เอ็นซีจะกำหนดระยะเวลาคงอยู่ของสถานะอาร์อาร์ซีแก่ยูอีทั้งหมดให้นานขึ้น โดยที่ระยะเวลาคงอยู่ของสถานะอาร์อาร์ซีของระบบปฏิบัติการของสมาร์ทโฟนที่มีพฤติกรรมในการสร้างสัญญาณควบคุมจำนวนมากจะมีระยะเวลาที่นานกว่าระบบปฏิบัติการของสมาร์ทโฟนที่มีพฤติกรรมในการสร้างสัญญาณควบคุมจำนวนเล็กน้อย เพื่อเป็นการควบคุมการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีให้น้อยลง จะช่วยให้ผู้ให้บริการไม่ต้องลงทุนจำนวนมากเพื่อขยายความจุสูงสุดของระบบเครือข่ายโดยไม่จำเป็น และผู้ใช้บริการสามารถใช้งานได้อย่างทั่วถึงและต่อเนื่อง

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยดังนี้

1. เพื่อศึกษาพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีจากการใช้งานข้อมูลในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS เวอร์ชั่น 7.0.3 และ Android เวอร์ชั่น 4.3.1

2. เพื่อนำเสนอกลไกที่สามารถลดจำนวนสัญญาณควบคุมจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3

3. เพื่อเปรียบเทียบผลการทำงานของกลไกที่นำเสนอกับผลการทำงานของกลไกการควบคุมการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีแบบคงที่หรือแบบดั้งเดิม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีขอบเขตของงานวิจัยดังนี้

1. ตรวจวัดพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีจากการใช้งานข้อมูลในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS เวอร์ชั่น 7.0.3 และ Android เวอร์ชั่น 4.3.1

2. สร้างแบบจำลองของการเปลี่ยนแปลงสถานะระบบอาร์อาร์ซีของสมาร์ทโฟนบนคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมแมทแล็บ (MATLAB) และตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองกับบทความวิจัยในระดับนานาชาติ

3. วิเคราะห์การใช้พลังงานและปริมาณสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีตามแบบจำลองคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้น

4. นำเสนอแนวทางการปรับระยะเวลา Timeout ที่สามารถลดความคับคั่ง และลดจำนวนสัญญาณควบคุมของสมาร์ทโฟนในระบบโครงข่ายเคลื่อนที่ยุคที่ 3 โดยเครื่องสมาร์ทโฟนจะมีการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่เพิ่มขึ้นในระดับที่ยอมรับได้

5. ทดสอบการใช้งานข้อมูลด้วยกลไกที่นำเสนอในแบบจำลองคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับการใช้งานของระบบเดิม เพื่อเปรียบเทียบปริมาณสัญญาณควบคุมและการใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ของเครื่องสมาร์ทโฟนที่เปลี่ยนแปลงไป

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีดังนี้

1. ได้ทราบถึงการทำงานของระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ในส่วนของยูทราน (UTRAN: Universal Terrestrial Radio Access) และโพรโตคอลอาร์อาร์ซี

2. ช่วยลดจำนวนสัญญาณควบคุมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไม่จำเป็นต้องขยายความจุของเครือข่ายเพื่อรองรับปริมาณสัญญาณที่มากเกินไป

3. ระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถให้บริการได้อย่างต่อเนื่อง ระบบไม่ล่มเนื่องจากการที่มีสัญญาณในระบบมากเกินไปหรือเกิดปัญหาพายุสัญญาณ

1.5 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

1. ฮาร์ดแวร์ ที่ใช้ในงานวิจัยมีดังนี้

1.1 คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ค (ใช้ระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows7) ในการเขียนโปรแกรมในการสร้างแบบจำลอง

1.2 โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ทโฟน Samsung GalaxyS2 ในการตรวจวัดพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีจากการใช้งานข้อมูลของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์

1.3 โทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ทโฟน iPhone 4S ใช้ในการตรวจวัดพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีจากการใช้งานข้อมูลของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการไอโอเอส

1.4 ซิมการ์ดซึ่งสามารถใช้งานบริการข้อมูลบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3

1.5 คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ค (MacBook Pro) ใช้ในการตรวจวัดการจราจรของข้อมูลในการใช้งานสมาร์ทโฟน iPhone

2. ซอร์ฟแวร์ ที่ติดตั้งบนคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊คมีดังนี้

2.1 โปรแกรมแมทแล็บ (MATLAB) ใช้ในการเขียนโปรแกรมในการสร้างแบบจำลอง

2.2 โปรแกรม WireShark เวอร์ชั่น 1.8.3 ใช้ในการวิเคราะห์ไฟล์การจราจรของข้อมูล (data traffic) ที่ตรวจวัดได้จากการใช้งานสมาร์ทโฟน

2.3 โปรแกรม AT&T Application Resource Optimizer (ARO) ใช้วิเคราะห์สถานะ อาร์อาร์ซีจากไฟล์การจราจรของสมาร์ทโฟนที่ตรวจวัดได้จากการใช้งานสมาร์ทโฟน

3. ซอร์ฟแวร์ ที่ติดตั้งบนสมาร์ทโฟน Samsung Galaxy S2 มีดังนี้

3.1 ระบบปฏิบัติการ Android เวอร์ชั่น 4.3.1 Jelly Bean

3.2 โปรแกรม Shark for Root เวอร์ชั่น 1.0.2 เพื่อใช้ในการตรวจวัดการจราจรของข้อมูล (data traffic) ในระหว่างการใช้งานข้อมูลของสมาร์ทโฟน

3.3 โปรแกรม Angry Birds เวอร์ชั่น 3.3.1 เพื่อใช้ในการตรวจวัดการจราจรของข้อมูลในระหว่างการเล่นเกม

3.4 โปรแกรม Android Web browser ใช้ในการตรวจวัดการจราจรของข้อมูลในการเรียกดูเว็บไซต์

3.5 โปรแกรม Mail ใช้ในการตรวจวัดการจราจรของข้อมูลในการใช้งานอีเมลล์

3.6 โปรแกรม Facebook เพื่อใช้ในการตรวจวัดการจราจรของข้อมูลในการใช้งานสังคมออนไลน์

DPU

3.7 โปรแกรม Youtube ใช้ในการตรวจวัดการจราจรของข้อมูลในการชมวีดีโอผ่านบริการอินเทอร์เน็ต

4. ซอร์ฟแวร์ ที่ติดตั้งบนสมาร์ทโฟน iPhone 4S มีดังนี้

4.1 ระบบปฏิบัติการ iOS เวอร์ชั่น 7.0.3

4.2 โปรแกรม Angry Birds เวอร์ชั่น 3.3.1 เพื่อใช้ในการตรวจวัดการจราจรของข้อมูลในระหว่างการเล่นเกม

4.3 โปรแกรม Safari ใช้ในการตรวจวัดการจราจรของข้อมูลในการเรียกดูเว็บไซต์

4.4 โปรแกรม Mail ใช้ในการตรวจวัดการจราจรของข้อมูลในการใช้งานอีเมลล์

4.5 โปรแกรม Facebook ใช้ในการตรวจวัดการจราจรของข้อมูลในการใช้งานสังคมออนไลน์

4.6 โปรแกรม Youtube ใช้ในการตรวจวัดการจราจรของข้อมูลในการชมวีดีโอผ่านบริการอินเทอร์เน็ต

5. ซอร์ฟแวร์ ที่ติดตั้งบนคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ค (MacBook Pro) มีดังนี้

5.1 โปรแกรม Tcpdump สำหรับการตรวจวัด traffic ที่เกิดขึ้น

5.2 โปรแกรม Xcode สำหรับเรียกดูรหัสเพื่อระบุตัวตนของสมาร์ทโฟน iPhone ที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์นี้

5.3 เครื่องมือ rvictl สำหรับสร้าง remote virtual interface (RVI) สำหรับสมาร์ทโฟนแบร์น iPhone ในการตรวจวัด Traffic

DPU

1.6 แผนการดำเนินงาน

ในงานวิจัยนี้ได้วางแผนการดำเนินงานดังต่อไปนี้

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงาน	ระยะเวลา(เดือน)				
	ก.พ.56	มี.ค.56	เม.ย.56	พ.ค.56	มิ.ย.56
1. ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับหัวข้องานวิจัย	↔				
2. ศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการตรวจวัดการจราจรเครือข่ายและเครื่องมือในการวิเคราะห์สถานะอาร์อาร์ซีจากการจราจรเครือข่าย	↔				
3. ตรวจวัดการจราจรเครือข่ายของอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ต้องการศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซี		↔			
4. ออกแบบกลไกควบคุมการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซี และวิธีการนำไปใช้งานร่วมกับกลไกอื่นๆ		↔			
5. ศึกษาเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลองสำหรับทดสอบการทำงาน		↔			
6. พัฒนาแบบจำลองสำหรับทดสอบการทำงาน			↔		
7. ทดสอบการทำงานและประเมินผล				↔	
8. สรุปผลการวิจัย ข้อเสนอแนะ และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์					↔

DPU

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่นำมาใช้ในงานวิจัยซึ่งประกอบไปด้วยระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ สถาปัตยกรรมของระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โพรโตคอลอาร์อาร์ซี กลไกฟาสดอร์มแมนซี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ [1]

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ เป็นระบบโทรคมนาคมภาคพื้นดินที่สามารถใช้ติดต่อสื่อสารกันได้ทุกที่ทุกเวลา โดยอาศัยการส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุระหว่างสถานีฐานและโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้งาน คลื่นวิทยุที่ใช้งานในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นได้ถูกกำหนดช่วงความถี่สำหรับการใช้งานโดยสหภาพโทรคมนาคมระหว่างประเทศ (ITU: International Telecommunication Union) และได้รับการจัดสรรคลื่นความถี่ให้แก่ผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยหน่วยงานของรัฐในแต่ละประเทศที่มีหน้าที่รับผิดชอบ สำหรับประเทศไทยหน่วยงานที่มีหน้าที่จัดสรรคลื่นความถี่ คือ คณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ หรือชื่อย่อว่า ก.ส.ท.ช.

ในปัจจุบันมีการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่กันอย่างแพร่หลาย เพราะความสามารถในการติดต่อสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุและเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำให้ผู้ใช้งานสามารถติดต่อสื่อสารได้ทุกที่ทุกเวลา นอกจากนี้โทรศัพท์เคลื่อนที่ในปัจจุบันยังมีความสามารถในการอำนวยความสะดวกให้แก่ผู้ใช้งาน เช่น การส่งข้อความสั้น (SMS: Short Message Service) ปฏิทิน นาฬิกาปลุก ตารางนัดหมาย เกม การใช้งานอินเทอร์เน็ต บลูทูธ อินฟราเรด กล้องถ่ายภาพ เอ็มเอ็มเอส (MMS: Multimedia Messaging Service) วิทยุ เครื่องเล่นเพลง และ จีพีเอส (GPS: Global Positioning System) เป็นต้น จึงทำให้จำนวนโทรศัพท์เคลื่อนที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วและมีความต้องการใช้งานบริการที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น

---

[1] From *3G wireless demystified*, by Harte, L., Kitka, R., & Levine, R., 2002, NY: McGraw-Hill.

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้ที่เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างต่อเนื่อง และเพื่อให้ตอบสนองต่อรูปแบบการใช้งานที่เปลี่ยนแปลงไปตามยุคสมัย สามารถแบ่งระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เป็น 4 ยุค ดังนี้

2.1.1 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 1 เป็นเทคโนโลยีระบบอนาล็อก โดยได้รับการพัฒนาขึ้นเพื่อให้สามารถให้บริการด้านเสียงเท่านั้น และยังมีข้อจำกัดด้านประสิทธิภาพของเครือข่ายเทคโนโลยีการสื่อสารในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 1 เช่น ระบบเอเอ็มเอส (AMPS: Advanced Mobile Phone Service) และระบบทีเอซีเอส (TACS : Total Access Communications System) เป็นต้น

2.1.2 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2 เป็นยุคที่เริ่มมีเทคโนโลยีดิจิตอล โดยมีการให้บริการข้อมูลควบคู่ไปกับการให้บริการเสียงสนทนา แต่ผู้ใช้งานไม่สามารถใช้งานบริการทั้งสองแบบพร้อมกันได้ และในยุคนี้ยังมีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2.5

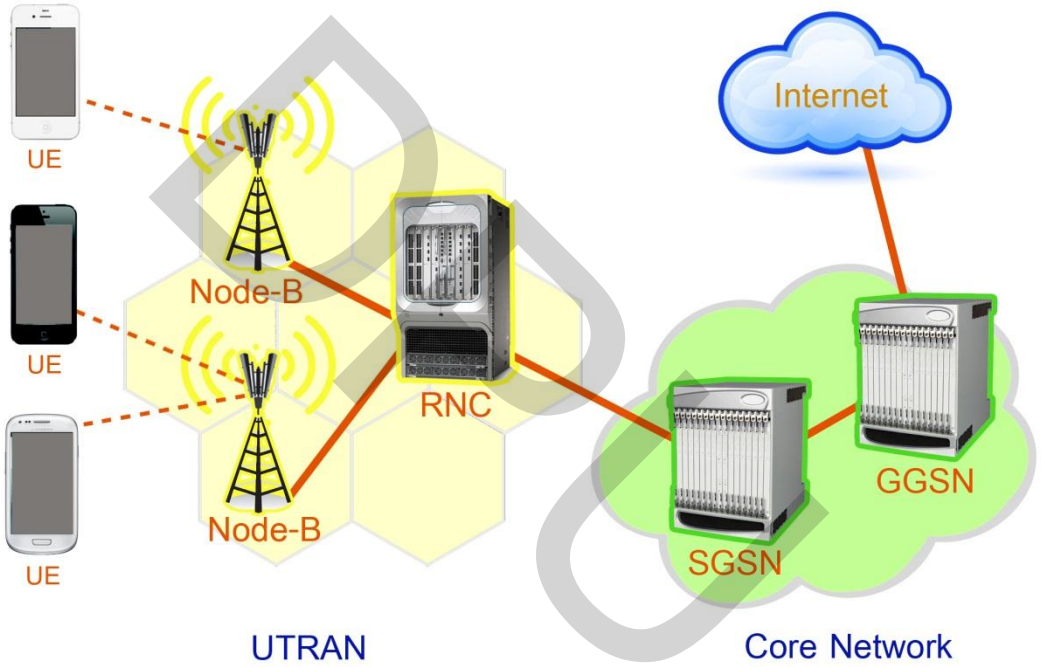
2.1.3 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 เป็นยุคของการสื่อสารแบบดิจิตอล โดยเน้นการสื่อสารมัลติมีเดีย ผู้ใช้งานสามารถใช้งานทั้งบริการข้อมูลและบริการเสียงสนทนาควบคู่ไปพร้อมกันได้ รองรับการใช้งานหลากหลายรูปแบบ มีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลสูง จึงมีการนำไปใช้ในการพัฒนาการให้บริการเนื้อหาออนไลน์และบริการต่างๆอีกมากมาย เป็นเทคโนโลยีที่มีการใช้งานกันอยู่ในปัจจุบัน ในประเทศไทยได้มีการนำเทคโนโลยีระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 มาให้บริการเชิงพาณิชย์แล้ว แต่อาจจะยังไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั่วทั้งประเทศ

2.1.4 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลสูงมาก มีการเปลี่ยนไปใช้วิธีการแบบแพ็คเกตสวิช ทั้งการให้บริการเสียงสนทนาและบริการข้อมูล มีการลดการใช้อุปกรณ์เครือข่ายในระบบเพื่อลดระยะเวลาในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์ และจะเป็นมาตรฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในอนาคต ซึ่งในปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มีการนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์ แต่มีผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่บางรายพยายามทดลองการให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 บ้างแล้ว

วิทยานิพนธ์นี้ สนใจการทำงานในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 เนื่องจากมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ อีกทั้งมีการใช้งานอยู่ในประเทศไทยในปัจจุบัน และมีการทำงานที่เป็นพื้นฐานที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 ในอนาคตได้

2.2 สถาปัตยกรรมของเทคโนโลยีไวด์แบนด์ซีดีเอ็มเอ [2]

เทคโนโลยีไวด์แบนด์ซีดีเอ็มเอ (WCDMA) เป็นเทคโนโลยีระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในหลากหลายประเทศ ซึ่งเป็นมาตรฐานที่พัฒนาโดยสามจีพีพี ซึ่งเป็นการรวมกลุ่มกันของผู้พัฒนาเทคโนโลยีจากปะเทศต่างๆในทวีปยุโรป ในงานวิจัยนี้จะสนใจการทำงานในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ด้วยเทคโนโลยีไวด์แบนด์ซีดีเอ็มเอ ซึ่งเป็นระบบที่มีการใช้งานในประเทศไทยอยู่ในปัจจุบัน โดยระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 มีสถาปัตยกรรมโครงสร้างของระบบ ดังภาพที่ 2.1



ภาพที่ 2.1 สถาปัตยกรรมของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3

ที่มา: Holma, H., & Toskala, A. (2001, p. 52)

จากภาพที่ 2.1 สถาปัตยกรรมของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ที่ทำหน้าที่ในการติดต่อสื่อสาร ควบคุมการทำงานของระบบ เก็บข้อมูลของผู้ใช้งาน โดยแบ่งออกกลุ่มของอุปกรณ์ได้เป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มยูทราน (UTRAN) และกลุ่มคอร์เน็ตเวิร์ค

---

[2] From *WCDMA for UMTS : Radio access for third generation mobile communications* , by Holma, H., & Toskala, A. (Ed.), 2001, NY: John Wiley & sons.

(Core Network) โดยอุปกรณ์ต่างๆ ในกลุ่มยูทรานจะมีหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารกลับอุปกรณ์ของผู้ใช้งานหรือยูอี ตลอดจนควบคุมการรับ-ส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณ จัดการการใช้ช่องสัญญาณ อุปกรณ์ในกลุ่มคอร์เน็ตเวิร์คจะมีหน้าที่ในการส่งผ่านข้อมูลและค้นหาเส้นทางในการส่งข้อมูลไปยังปลายทางทั้งในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่และระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลต่างๆ ด้วย โดยอุปกรณ์ต่างๆ ที่สำคัญในระบบ มีดังต่อไปนี้

2.2.1 โหนดบี (NodeB) เป็นสถานีรับ-ส่งสัญญาณ ประกอบไปด้วยสายอากาศ power amplifiers, digital signal processors และ backup batteries ทำหน้าที่รับ-ส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุกับยูอีโดยตรง โดยจะสามารถรับ-ส่งสัญญาณกับยูอีที่อยู่ในรัศมีครอบคลุมเท่านั้น จึงต้องมีการติดตั้งโหนดบีจำนวนมากไว้ตามบริเวณต่างๆ ให้ครอบคลุมพื้นที่ให้มากที่สุด

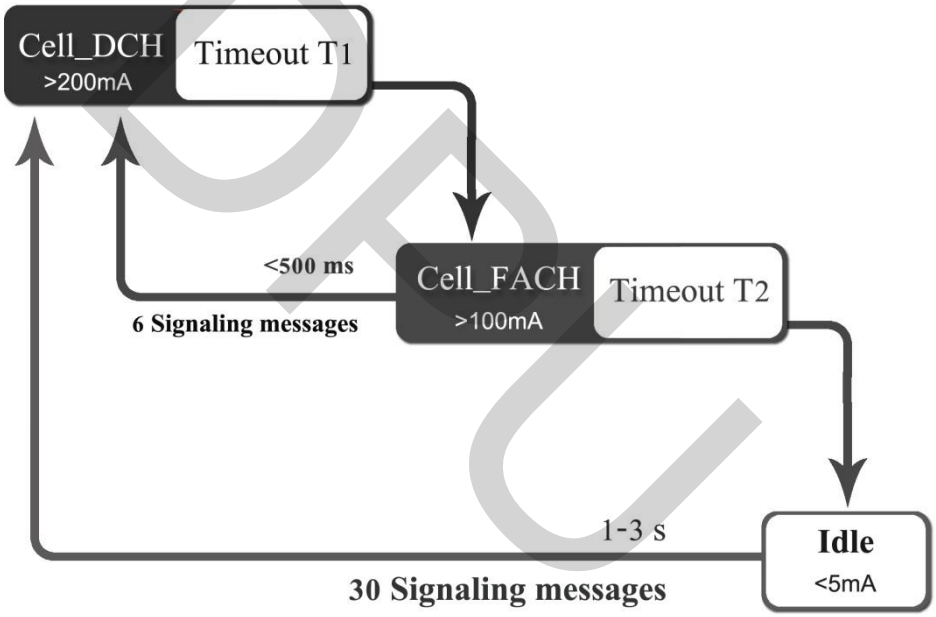
2.2.2 อาร์เอ็นซี (RNC: Radio Network Controller) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการติดต่อสื่อสาร โดยอาร์เอ็นซีมีฟังก์ชั่นในการจัดการทรัพยากรคลื่นวิทยุ (Radio Resource Management) และควบคุมการย้ายการเชื่อมต่อของยูอีกับโหนดบีหนึ่งไปยังอีกโหนดบีหนึ่ง อาร์เอ็นซีหนึ่งเครื่อง จะเชื่อมต่ออยู่กับโหนดบีหลายสถานี เพื่อเป็นศูนย์ควบคุมและบริหารจัดการการติดต่อสื่อสารโดยการรับ-ส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุของโหนดบีกับยูอี อาร์เอ็นซียังเชื่อมต่อกับเอสจีเอสเอ็น (SGSN) และเอ็มจีดับบิว (MGW) เพื่อส่งข้อมูลไปยังปลายทางผ่านเครือข่ายแบบแพ็คเกตสวิตซ์และเซอร์กิตสวิตซ์ต่อไป

2.2.3 เอสจีเอสเอ็น (SGSN: Serving GPRS Support Node) เป็นชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเชื่อมต่อแบบแพ็กเกตสวิตช์ ทำหน้าที่คล้ายกับอุปกรณ์เอ็มเอสซี (MSC : Mobile Service Switching Center) คือ ทำหน้าที่เป็นอุปกรณ์หลักในการเชื่อมต่อเครือข่ายสถานีฐานและอุปกรณ์ชุมสายเกตเวย์จีจีเอสเอ็นเพื่อเชื่อมต่อกับเครือข่ายภายนอกในส่วนของการสื่อสารข้อมูลต่อไป มีการร่วมใช้อุปกรณ์ วีแอลอาร์ (VLR : Visitor Location Register) กับชุมสายอุปกรณ์เอ็มเอสซี ที่ได้รับการกำหนดให้บริการในพื้นที่เดียวกัน

2.2.4 จีจีเอสเอ็น (GGSN: Gateway GPRS Support Node) เป็นชุมสายแบบแพ็กเกตสวิตช์ เช่นเดียวกับเอสจีเอสเอ็น แต่มีหน้าที่บริหารจัดการเชื่อมต่อกับเครือข่ายสื่อสารข้อมูลภายนอก ไม่ว่าจะเป็นเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เครือข่ายไอพี หรือแม้กระทั่งเครือข่ายที่เชื่อมต่อเฉพาะกับองค์กรอื่นๆ เช่น ลูกค้าแบบองค์กร (Corporate Customer) นอกจากนั้น GGSN ยังมีบทบาทในการกำหนดและบริหารจัดการกลไกการสร้างช่องสื่อสารเพื่อรับส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์เอสจีเอสเอ็น อีกด้วย

2.3 โพรโตคอลอาร์อาร์ซี[3]

โพรโตคอลอาร์อาร์ซี เป็นโพรโตคอลที่มีการใช้งานโดยอาร์เอ็นซี เพื่อกำหนดสถานะการเชื่อมต่อของยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับโหนดบีเพื่อใช้งานบริการข้อมูล โดยสถานะต่างๆ ของอาร์อาร์ซี จะมีการกำหนดปริมาณช่องสัญญาณที่ยูอีสามารถใช้งานได้แตกต่างกันออกไป รวมถึงความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลที่ถูกจำกัดด้วยช่องสัญญาณที่สถานะนั้นๆ สามารถใช้งานได้ เพื่อเป็นการควบคุมการใช้ช่องสัญญาณและแบ่งปันช่องสัญญาณที่มีอยู่อย่างจำกัดให้แก่ยูอีเครื่องอื่นๆ ในระบบได้ใช้บริการข้อมูลร่วมกัน ตามมาตรฐานของสามจีพีพีได้กำหนดสถานะอาร์อาร์ซีและการเปลี่ยนแปลงสถานะแสดงดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.2 สถานะอาร์อาร์ซีและการเปลี่ยนแปลงสถานะ

ที่มา: Nokia Siemens Networks (2011, p. 7)

จากภาพที่ 2.2 สามารถอธิบายการแบ่งสถานะอาร์อาร์ซีออกเป็น 3 สถานะ ดังนี้

---

[3] From *Radio Resource Control (RRC) Protocol specification (Release 8) TS 25.331 version 8.18.0*, by The 3rd Generation Partnership Project , 2012. Valbonne Sophia Antipolis, France.

2.3.1 สถานะเซลล์ดีซีเอช เป็นสถานะที่ยูอีเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายและสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ มีการจองและใช้งานช่องสัญญาณจำนวนมากที่สุดที่ระบบเครือข่ายอนุญาตให้ยูอีใช้งานได้ จึงมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลสูงที่สุด ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าระบบเครือข่ายของผู้ให้บริการแต่ละราย และมีการใช้พลังงานในการคงอยู่ในสถานะนี้มากที่สุด

2.3.2 สถานะเซลล์เอฟเอซีเอช เป็นสถานะที่ยูอีเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายและสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ โดยมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลเร็วกว่าในสถานะเซลล์พีซีเอชแต่ต่ำกว่าในสถานะเซลล์ดีซีเอช ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าระบบเครือข่ายของผู้ให้บริการแต่ละราย โดยมีการใช้พลังงานในการคงอยู่ในสถานะนี้มากกว่าการใช้พลังงานในสถานะว่างและในสถานะเซลล์พีซีเอช โดยใช้พลังงานประมาณครึ่งหนึ่งของการใช้พลังงานในสถานะเซลล์ดีซีเอช มีการจองและใช้ช่องสัญญาณประมาณครึ่งหนึ่งของสถานเซลล์ดีซีเอช

2.3.3 สถานะว่าง เป็นสถานะที่ยูอีเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายแต่ไม่มีการรับ-ส่งข้อมูล ไม่มีการจองช่องสัญญาณสำหรับการรับ-ส่งข้อมูล มีการใช้พลังงานน้อยมากในการคงอยู่ในระบบเพื่อคอยอัพเดตข้อมูลกับอาร์เอ็นซี ในการควบคุมการทำงาน โดยเมื่อผู้ใช้งานต้องการใช้งานบริการข้อมูลยูอีจะทำการส่งสัญญาณควบคุมไปยังอาร์เอ็นซีเพื่อร้องขอการเปลี่ยนสถานะไปยังสถานะอื่นๆ ที่สามารถรับ-ส่งข้อมูลได้

โดยเมื่อยูอีอยู่ในสถานะเซลล์ดีซีเอช แล้วไม่มีการรับ-ส่งข้อมูล จะมีการเริ่มจับเวลาการคงอยู่ในสถานะนั้น โดยเมื่อครบกำหนดระยะเวลาแล้วไม่มีการรับ-ส่งข้อมูลอีก ระบบจะทำการส่งสัญญาณควบคุมเพื่อร้องขอการเปลี่ยนแปลงสถานะไปยังสถานะที่มีการใช้พลังงานน้อยลงกว่าเดิม โดยมีลำดับการเปลี่ยนแปลงสถานะ ดังนี้ เซลล์ดีซีเอช , เซลล์เอฟเอซีเอช , เซลล์พีซีเอช และสถานะว่าง แต่หากในขณะที่จับเวลาอยู่มีการร้องขอการรับ-ส่งข้อมูลเกิดขึ้นระบบจะพิจารณาปริมาณข้อมูลที่จะรับ-ส่ง และความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อทำการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีให้เหมาะสมกับข้อมูลนั้นๆ

จากภาพที่ 2.2 กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีเริ่มต้นขึ้นเมื่อเริ่มเปิดเครื่องยูอี จะมีกระบวนการเชื่อมต่อยูอีเข้ากับระบบเครือข่าย หลังจากนั้นอาร์เอ็นซีจะกำหนดสถานะว่างให้แก่ยูอี เพื่อรอคอยการเรียกใช้งานข้อมูล เมื่อผู้ใช้งานต้องการใช้งานข้อมูลยูอีจะส่งสัญญาณไปยังอาร์เอ็นซีเพื่อร้องขอทรัพยากรในการใช้งาน ซึ่งอาร์เอ็นซีจะพิจารณาทรัพยากรที่มีอยู่โดยจะมีการเปลี่ยนสถานะไปเป็นสถานะเซลล์ดีซีเอชเพื่ออนุญาติให้ยูอีนั้นใช้งานข้อมูลได้ เมื่อยูอีไม่มีการรับ-ส่งข้อมูลระบบจะทำการรอเป็นระยะเวลา T1 หากยูอียังไม่มีการรับ-ส่งข้อมูลในช่วงระยะเวลานี้ อาร์เอ็นซีจะกำหนดสถานะเซลล์เอฟเอซีเอชให้แก่ยูอีเพื่อเป็นการคืนทรัพยากรต่างๆให้แก่ระบบเพื่อให้ยูอีอื่นๆ ได้ใช้งานต่อไปอีกทั้งยังเป็นการประหยัดพลังงานแบตเตอรี่ของยูอี เนื่องจากในการ

คงอยู่ในสถานะเซลล์เอฟเอซีเอชยูอีจะมีการใช้พลังงานแบตเตอรี่ประมาณ 100 มิลลิแอมแปร์ ในขณะที่ สถานะเซลล์ดีซีเอชยูอีจะมีการใช้พลังงานแบตเตอรี่ประมาณ 200 มิลลิแอมแปร์ ซึ่งมากกว่าสถานะเซลล์เอฟเอซีเอชถึง 2 เท่า ต่อมาเมื่อยูอีไม่มีการรับ-ส่งข้อมูลระบบจะทำการรอเป็นระยะเวลา T2 หากยูอียังไม่มีการรับ-ส่งข้อมูลในช่วงระยะเวลานี้ อาร์เอ็นซีจะกำหนดสถานะว่างให้แก่ยูอีเพื่อคืนทรัพยากรทั้งหมดให้แก่ระบบ แต่ถ้ายูอีมีการรับส่งข้อมูลในระหว่างระยะเวลา T2 อาร์เอ็นซีจะกำหนดสถานะเซลล์ดีซีเอชให้แก่ยูอีเพื่อให้สามารถใช้งานข้อมูลได้ จะเห็นได้ว่ายิ่งยูอีคงอยู่ในสถานะเซลล์ดีซีเอชนานก็จะยิ่งสิ้นเปลืองพลังงานแบตเตอรี่

ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีจะมีการส่งสัญญาณควบคุมระหว่างอาร์เอ็นซีและยูอีเพื่อเป็นการติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกันและรวมถึงการกำหนดการตั้งค่าสถานะต่างๆ เพื่อใช้งานด้วย ซึ่งในการเปลี่ยนแปลงสถานะต่างๆ ก็จะมีการส่งสัญญาณควบคุมในปริมาณที่แตกต่างกันไป เช่น ในการเปลี่ยนสถานะจากสถานะว่างไปเป็นสถานะเซลล์ดีซีเอช จะมีการส่งสัญญาณควบคุมระหว่างอาร์เอ็นซีและยูอีจำนวนประมาณ 30 สัญญาณ ในขณะที่ในการเปลี่ยนสถานะจากสถานะเซลล์เอฟเอซีเอชไปเป็นสถานะเซลล์ดีซีเอช จะมีการส่งสัญญาณควบคุมระหว่างอาร์เอ็นซีและยูอีจำนวนประมาณ 3 สัญญาณ จะเห็นได้ว่าถ้ายูอีมีการเปลี่ยนสถานะว่างไปเป็นสถานะเซลล์ดีซีเอชบ่อยครั้งก็จะมีการสร้างสัญญาณจำนวนมากขึ้นในระบบเครือข่าย

ในการใช้งานจริงนั้นผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะกำหนดระยะเวลาการคงอยู่ในสถานะอาร์อาร์ซีแบบคงที่หรือใช้ค่าเริ่มต้นจากโรงงานผู้ผลิตอุปกรณ์อาร์เอ็นซี ซึ่งอาจจะเป็นระยะเวลาที่ไม่เหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้งานข้อมูลของผู้ใช้งานในระบบเครือข่ายนั้นๆ อาจก่อให้เกิดปัญหาความคับคั่งของสัญญาณขึ้นในระบบหรือยูอีมีการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองมากเกินไปได้

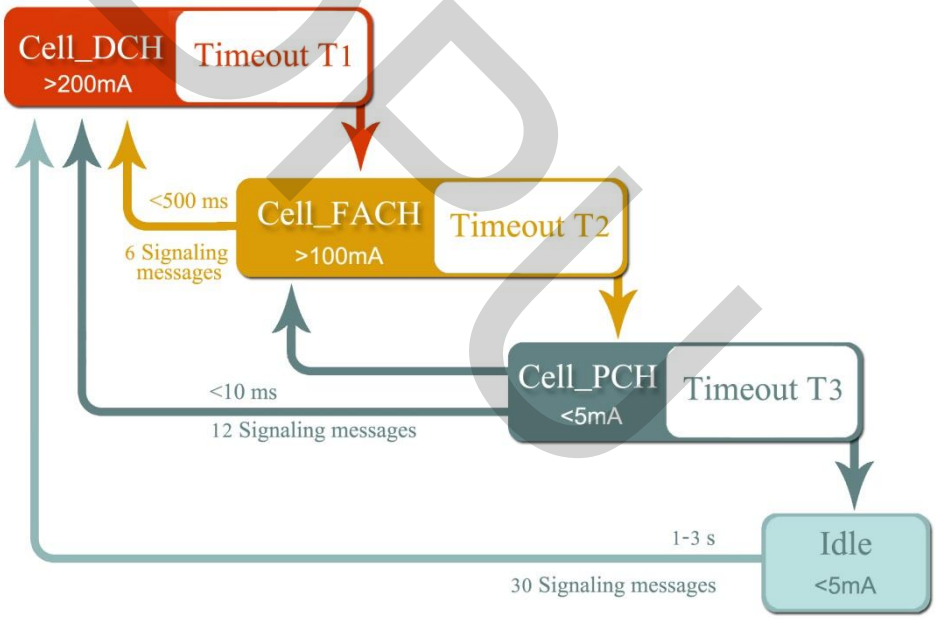
2.4 กลไกฟาสดอร์มแมนซี (Fast dormancy)[4]

กลไกฟาสดอร์มแมนซี เป็นกลไกการลดระยะเวลาการคงอยู่ในสถานะอาร์อาร์ซีลง มีการกำหนดให้ระยะเวลาการคงอยู่ในสถานะอาร์อาร์ซีสั้นลงและเพิ่มสถานะที่มีการใช้พลังงานน้อยใกล้เคียงกับสถานะว่าง แต่สามารถเปลี่ยนไปเป็นสถานะเซลล์ดีซีเอชได้อย่างรวดเร็วกว่าและมีการสร้างสัญญาณควบคุมที่น้อยกว่าการสร้างสัญญาณควบคุมของการเปลี่ยนสถานะจากสถานะว่างไป

---

[4] From *Smartphones and a 3G network : Reducing the impact of smartphone-generated signaling traffic while increasing the battery life of the phone through the use of network optimization techniques*, by Nokia Siemens Networks, Signals Research Group, 2010, N.P.

เป็นสถานะเซลล์ดีซีเอช โดยเรียกสถานะที่เพิ่มเข้ามานี้ว่า สถานะเซลล์พีซีเอช เป็นสถานะที่ยูอีเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายและสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้เล็กน้อย ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าระบบเครือข่ายของผู้ให้บริการแต่ละราย และรองรับการรับ-ส่งข้อมูลที่มีขนาดเล็ก เช่นการอัพเดตสถานะต่างๆ ตามรอบระยะเวลา โดยมีการใช้พลังงานในการคงอยู่ในสถานะนี้มากกว่าการใช้พลังงานในสถานะว่างเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อผู้ใช้งานต้องการใช้งานบริการข้อมูล จำนวนสัญญาณควบคุมที่ยูอีจะทำการส่งไปยังอาร์เอ็นซีเพื่อร้องขอการเปลี่ยนสถานะจะน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงสถานะจากสถานะว่าง ในกลไกฟาสดอร์มแมนซีมีการกำหนดระยะเวลาคงอยู่ในสถานะยังคงเป็นแบบคงที่เช่นเดิมแต่ระยะเวลาคงอยู่ในสถานะจะสั้นลงกว่าการเปลี่ยนแปลงสถานะแบบดั้งเดิม มีการพยายามหาค่าระยะเวลาคงอยู่ในแต่ละสถานะที่เหมาะสมแต่ก็ยังไม่สามารถลดปริมาณสัญญาณควบคุมจำนวนมากในระบบลงได้



ภาพที่ 2.3 สถานะอาร์อาร์ซีและการเปลี่ยนแปลงสถานะในกลไกฟาสดอร์มแมนซี

ที่มา: Nokia Siemens Networks (2011, p. 7)

จากภาพที่ 2.3 กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีที่มีการเพิ่มสถานะเซลล์พีซีเอชเข้ามาด้วย โดยเมื่อเปิดเครื่องยูอีจะมีกระบวนการเชื่อมต่อยูอีเข้ากับระบบเครือข่าย หลังจากนั้นอาร์เอ็นซีจะกำหนดสถานะว่างให้แก่ยูอี เพื่อรอคอยการเรียกใช้งานข้อมูล เมื่อผู้ใช้งานต้องการใช้

งานข้อมูลยูอีจะส่งสัญญาณไปยังอาร์เอ็นซีเพื่อร้องขอทรัพยากรในการใช้งาน ซึ่งอาร์เอ็นซีจะพิจารณาทรัพยากรที่มีอยู่โดยจะมีการเปลี่ยนสถานะไปเป็นสถานะเซลล์ดีซีเอช และจะเปลี่ยนสถานะไปยังสถานะเซลล์เอฟเอซีเอชหลังจากรอเป็นระยะเวลา T1 เช่นเดิม หากแต่เมื่ออยู่ในสถานะเซลล์เอฟเอซีเอชแล้วไม่มีการรับ-ส่งข้อมูลเป็นระยะเวลา T2 อาร์เอ็นซีจะกำหนดให้ยูอีเปลี่ยนไปเป็นสถานะเซลล์พีซีเอช ซึ่งจะมีการใช้พลังงานแบตเตอรี่น้อยกว่าการใช้งานในสถานะเซลล์เอฟเอซีเอช หากผู้ใช้ต้องการใช้งานข้อมูลในระหว่างที่อยู่ในสถานะเซลล์พีซีเอชนี้ อาร์เอ็นซีจะกำหนดให้ยูอีเปลี่ยนสถานะไปเป็นเซลล์ดีซีเอชเพื่อใช้งานข้อมูลได้โดยมีการสร้างสัญญาณควบคุมน้อยกว่าการเปลี่ยนสถานะจากสถานะว่างไปเป็นสถานะเซลล์ดีซีเอช ทั้งนี้ในขณะที่ยูอีอยู่ในสถานะเซลล์พีซีเอชเป็นระยะเวลา T3 โดยไม่มีการรับ-ส่งข้อมูลใดๆ อาร์เอ็นซีจะกำหนดให้ยูอีเปลี่ยนสถานะไปเป็นสถานะว่างเช่นเดียวกัน

จากที่กล่าวมา การใช้งานบริการข้อมูลของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในเครือข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 โดยการใช้งานแบบต่อเนื่องตลอดเวลา ก่อให้เกิดปริมาณสัญญาณควบคุมจำนวนมากในระบบเครือข่ายอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซี ถึงแม้ว่าจะมีการใช้กลไกฟาสดอร์มแมนซีเพื่อช่วยลดปริมาณสัญญาณควบคุมแล้ว ก็ยังไม่สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ ผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยังคงประสบปัญหาพายุสัญญาณอยู่

ในการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีจากสถานะหนึ่งไปสู่สถานะอื่นนั้นจะมีการสร้างสัญญาณควบคุมขึ้นในระบบ เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างยูอีและอาร์เอ็นซี สามารถสรุปจำนวนสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสถานะต่างๆ ได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การกำหนดค่าตัวแปรจำนวนสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสถานะต่างๆ

การเปลี่ยนสถานะ	**จำนวน signaling message**
IDLE -> Cell_DCH	30
Cell_PCH -> Cell_DCH	12
Cell_FACH -> Cell_DCH	6
Cell_DCH -> Cell_FACH	4
Cell_FACH -> Cell_PCH	4
Cell_PCH -> IDLE	22
Cell_PCH -> Cell_FACH	3

ที่มา: Nokia Siemens Networks (2011, p. 7)

ยูอีมีการใช้พลังงาน (เฉพาะการใช้พลังงานของสถานะ RRC เท่านั้น ไม่ได้รวมการใช้พลังงานในส่วนอื่นๆ เช่น จอภาพ ลำโพง เป็นต้น) ในระหว่างใช้งานบริการข้อมูลในสถานะอาร์อาร์ซีต่างๆ ตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การใช้พลังงานของยูอีในระหว่างใช้งานในสถานะอาร์อาร์ซีต่างๆ

	Cell_DCH	**Cell_FACH**	**Cell_PCH**	**Idle**
การใช้พลังงาน (mA)	5	5	100	200

ที่มา: Nokia Siemens Networks (2011, p. 7)

2.5 โพรแกรม AT&T Application Resource Optimizer (ARO)[5]

โพรแกรม AT&T Application Resource Optimizer หรือ ARO เป็นชุดของโพรแกรมที่พัฒนาโดย AT&T Labs ที่สามารถเก็บข้อมูลพฤติกรรมการรับ-ส่งข้อมูลของสมาร์ทโฟน และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงาน ความเร็ว ผลกระทบต่อเครือข่าย และการใช้พลังงานของสมาร์ทโฟนได้ ซึ่งเป็นโพรแกรมที่เปิดให้ใช้งานได้ฟรี รวมทั้งเป็นโพรแกรมโอเพ่นซอร์ซที่ผู้ใช้สามารถนำไปปรับปรุงแก้ไขการทำงานเพิ่มเติมได้ โดยในชุดของโพรแกรม AT&T Application Resource Optimizer ประกอบไปด้วยโพรแกรมย่อย 2 โพรแกรมที่มีฟังชั่นก์การทำงานแตกต่างกัน ดังนี้

2.5.1 AT&T ARO Data Collector

เป็นโพรแกรมสำหรับเก็บข้อมูลทราฟฟิกของสมาร์ทโฟน ในส่วนของการใช้งานข้อมูลผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ของแอพพลิเคชั่นที่ต้องการ ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้จะถูกเก็บไว้ในรูปแบบ trace file และสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพในด้านต่างๆ ของแอพพลิเคชั่นของสมาร์ทโฟนด้วยโพรแกรม AT&T ARO Data Analyzer ได้

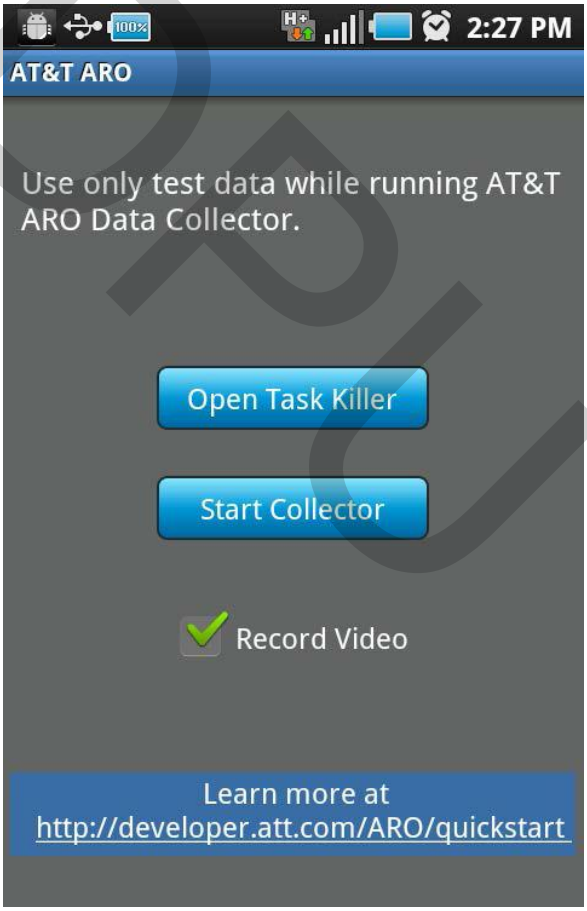
การนำโพรแกรม AT&T ARO Data Collector ไปใช้งานจะต้องทำการติดตั้งโพรแกรมไปยังอุปกรณ์ที่ต้องการตรวจจับทราฟฟิกก่อน โดยดาวน์โหลดไฟล์โพรแกรม (นามสกุล .apk) ได้จาก

---

[5] From *AT&T Developer Program Application Resource Optimizer (ARO) User Guide*, by AT&T Intellectual Property, 2013. Retrieved Oct 5, 2013, from http://developer.att.com/developer/forward.jsp?passedItemId=10500023

เว็บไซต์ของ AT&T และติดตั้งไปยังอุปกรณ์เป้าหมายที่ต้องการ เมื่อเปิดการใช้งานโพรแกรมจะทำการเก็บข้อมูล packet ที่มีการรับ-ส่งระหว่างอุปกรณ์ที่ตรวจจับกับเครือข่ายที่เชื่อมต่ออยู่ แล้วบันทึกข้อมูลที่ตรวจจับได้ในรูปแบบ Trace file หรือไฟล์นามสกุล .PCAP ไว้ในหน่วยความจำของอุปกรณ์

ในปัจจุบันโพรแกรม AT&T ARO Data Collector รองรับการตรวจจับทราฟฟิกของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android เท่านั้น หากต้องการที่จะตรวจจับทราฟฟิกของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการอื่นๆ จำเป็นจะต้องใช้การเชื่อมต่อผ่าน Wifi Hotspot ของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android แล้วใช้สมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android เครื่องนั้นเป็น Gateway ในการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 และทำการตรวจวัดทราฟฟิกจากการใช้งาน โดยตัวอย่างหน้าจอของโพรแกรมแสดงดังรูป



ภาพที่ 2.4 หน้าจอของโพรแกรม AT&T ARO Data Collector

ที่มา: AT&T (2013)

จากภาพที่ 2.4 แสดงหน้าจอของโพรแกรม AT&T ARO Data Collector ที่ติดตั้งไว้ในสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ในการใช้งานโพรแกรมเพื่อตรวจจับทราฟฟิกสามารถ

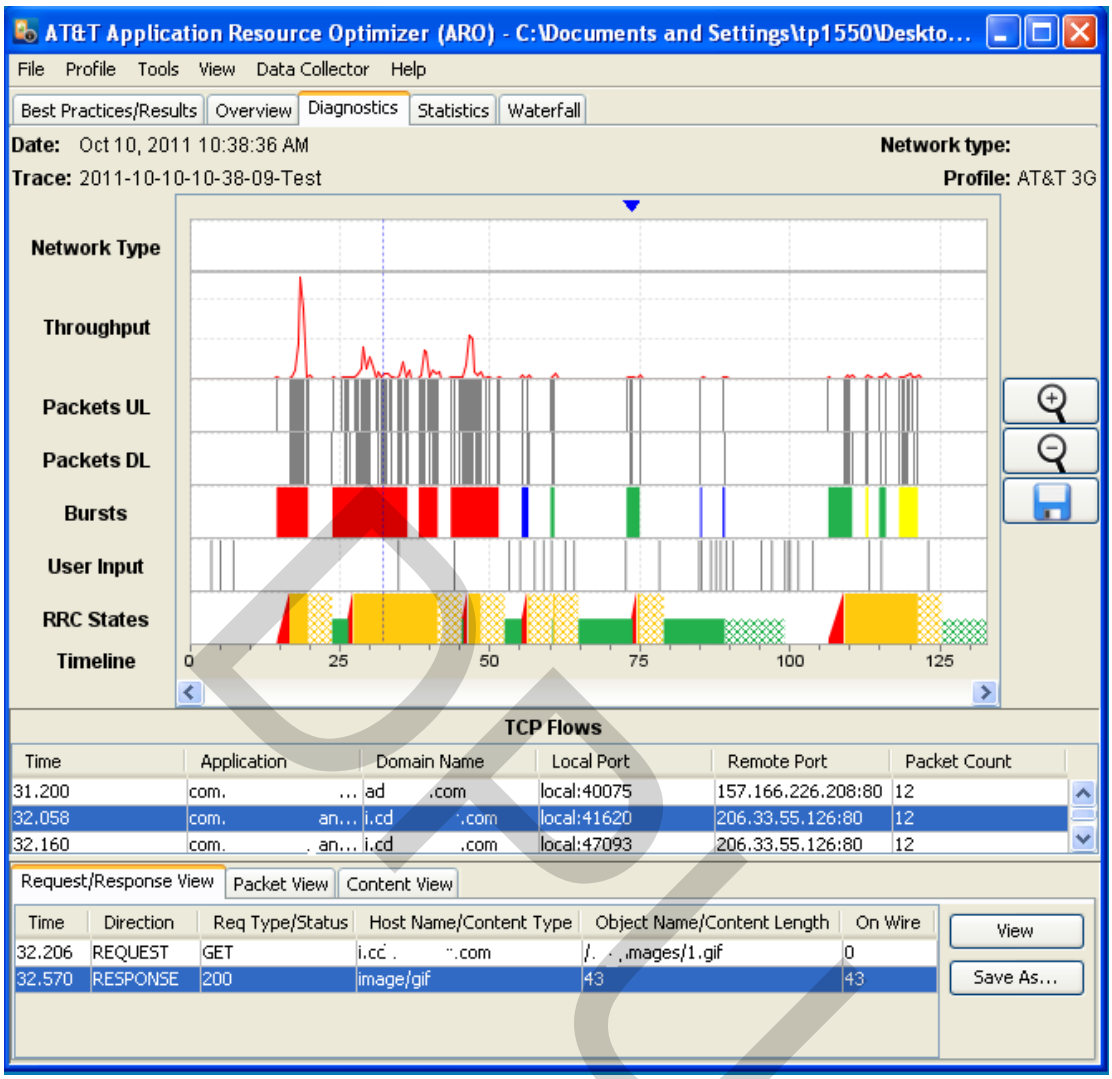
เลือกปุ่ม Start Collector เพื่อเริ่มการตรวจจับทราฟฟิก จากนั้นกดปุ่ม Home เพื่อไปเลือกแอพพลิเคชั่นของสมาร์ทโฟนที่ต้องการใช้งาน ทำการใช้งานแอพพลิเคชั่นที่ต้องการใช้งานและตรวจจับทราฟฟิกตามปกติ โพรแกรม AT&T ARO Data Collector จะทำงานอยู่เบื้องหลังคอยตรวจจับ packet ระหว่างการใช้งาน เมื่อต้องการยุติการตรวจจับทราฟฟิกสามารถทำได้โดยเปิดโพรแกรม AT&T ARO Data Collector อีกครั้งหนึ่งแล้วเลือกปุ่ม Stop Collector เพื่อหยุดการทำงาน

2.5.2 AT&T ARO Data Analyzer

เป็นโพรแกรมที่สามารถวัดและวิเคราะห์การใช้ทรัพยากรและพลังงานของแอพพลิเคชั่นที่ทำงานอยู่บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ โดยจะสามารถวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น Trace file ซึ่งเป็นข้อมูลจากจากการใช้งานข้อมูลผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ ซึ่งตรวจจับจากโพรแกรม AT&T ARO Data Collector หรือโพรแกรมอื่นๆ ที่มีการทำงานในลักษณะเดียวกันนี้

เมื่อทำการเปิดโพรแกรมและนำเข้าข้อมูล Trace file ที่ต้องการจะวิเคราะห์แล้วระบบจะแสดงผลดังภาพที่ 2.5

DPU



ภาพที่ 2.5 หน้าจอของโพรแกรม AT&T ARO Data Analyzer

ที่มา: AT&T (2013)

จากภาพที่ 2.5 แสดงหน้าจอการแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูลจาก Trace file ที่ต้องการประกอบด้วย Throighput, Packets Uplink, Packet Downlink, Bursts, User Input และ RRC States Timeline ซึ่งโพรแกรม AT&T ARO Data Analyzer รองรับการวิเคราะห์สถานะอาร์อาร์ซี 3 สถานะ ได้แก่ สถานะเซลล์ดีซีเอช เซลล์เอฟเอซีเอช และสถานะว่าง เท่านั้น แต่ไม่รองรับการทำงานของสถานะเซลล์พีซีเอช โดยการแสดงสถานะต่างๆ ในหน้าจอการแสดงผลการวิเคราะห์ข้อมูล ในส่วนของ RRC States Timeline นั้นจะแทนด้วยสีของกราฟที่แตกต่างกันตามช่วงระยะเวลาต่างๆ เพื่อให้เห็นว่าในช่วงเวลานั้นๆ ยูอีอยู่ในสถานะใด ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำข้อมูลการวิเคราะห์ RRC States

Timeline นี้นำไปใช้เพื่อเป็นต้นแบบในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีในแบบจำลองต่อไป

นอกจากนี้โพรแกรมยังสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ในลักษณะของรายงานที่จะแสดงภาพรวมของการใช้พลังงาน การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซีต่างๆ ให้แก่ยูอี ตลอดจนประสิทธิภาพของแอพพลิเคชั่นที่ใช้งานผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาค้นคว้ากลไกในการลดปริมาณสัญญาณควบคุมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซี มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.6.1 งานวิจัย The effect of unwanted internet traffic on cellular phone energy consumption.[6]

งานวิจัยนี้สนใจการลดการใช้พลังงานแบตเตอรี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานข้อมูลในโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 โดยมีการแบ่งการใช้พลังงานในการรับ-ส่งข้อมูลเป็น 3 ส่วน คือ พลังงานส่วนหัว สำหรับเริ่มการเชื่อมต่อ, พลังงานที่ส่งข้อมูล สำหรับใช้ส่งข้อมูลที่แท้จริง และพลังงานส่วนหาง สำหรับยุติการเชื่อมต่อ ในโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ยูอีใช้พลังงานและเวลาส่วนมากไปกับพลังงานส่วนหาง ประมาณร้อยละ 60 ส่วนที่เหลืออีกร้อยละ 40 เป็นของพลังงานส่วนหัวและพลังงานที่ส่งข้อมูลรวมกัน ผู้วิจัยได้วัดสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบเครือข่ายจากการใช้งานระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ในเครือข่ายของผู้ให้บริการรายหนึ่งของประเทศฟินแลนด์ พบว่าพลังงานส่วนหางนั้นเกิดจากการคงอยู่ในสถานะอาร์อาร์ซี (งานวิจัยนี้สนใจการเปลี่ยนสถานะเซลล์พีซีเอชไปเป็นสถานะเซลล์ดีซีเอช) เพื่อรอการรับ-ส่งข้อมูลครั้งต่อไปที่นานเกินไป แต่หากระบบมีการกำหนดระยะเวลาในการคงอยู่ในสถานะอาร์อาร์ซีน้อยเกินไปจะทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีบ่อยครั้งขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดสัญญาณซึ่งใช้ในการร้องขอและการควบคุมการเปลี่ยนสถานะมากขึ้น ผู้วิจัยจึงทำแบบจำลองเพื่อหาการกำหนดระยะเวลาคงอยู่ในสถานะอาร์อาร์ซีให้เหมาะสมที่สุด โดยมีการลดการใช้พลังงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ในขณะที่ลดการร้องขอการเปลี่ยนสถานะในระบบให้น้อยลงด้วย ผลการทดลองพบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 3.5 วินาทีสำหรับทุกๆ สถานะอาร์อาร์ซีโดยลดการใช้พลังงานได้ถึงร้อยละ 50

---

[6] Puustinen, I., & Nurminen, J.K. (2011). The effect of unwanted internet traffic on cellular phone energy consumption. *Proceeding of the Fourth IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security* (pp. 1 - 5). Paris: University of Sorbonne.

และลดจำนวนการเปลี่ยนสถานะเซลล์พีซีเอช -> เซลล์ดีซีเอชให้น้อยกว่าร้อยละ 10 ของจำนวนการเปลี่ยนสถานะจากการวัดการจราจรของสัญญาณ

2.6.2 งานวิจัย TOP: Tail optimization protocol for cellular radio resource allocation.[7]

ผู้วิจัยได้นำเสนอโพรโตคอลที่มีชื่อว่าทีโอพี (TOP : Tail Optimization Protocol) เพื่อใช้กำหนดการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ มีอัลกอริทึมที่ใช้ทำนายการเรียกใช้งานการรับ-ส่งข้อมูลครั้งต่อไปว่าจะเกิดขึ้นในเวลาใด โดยเป็นการคำนวณมาจากการใช้งานการรับ-ส่งข้อมูลครั้งก่อนหน้า และเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ถ้าระยะเวลาที่ทำนายสั้นกว่าเกณฑ์แสดงว่าจะมีการใช้งานการรับ-ส่งข้อมูลในเวลาอันใกล้จึงคงสถานะเดิมไว้เพื่อรอการรับ-ส่งข้อมูล แต่ถ้าระยะเวลาที่ทำนายนานเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้แสดงว่ายังไม่มีการร้องขอเพื่อรับ-ส่งข้อมูลในเวลาอันใกล้นี้ ให้ส่งสัญญาณไปยังอาร์เอ็นซีเพื่อร้องขอการเปลี่ยนสถานะลงไปยังสถานะที่ใช้พลังงานน้อยกว่า เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานแบตเตอรี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยระยะเวลาเกณฑ์ที่กำหนดนั้นสมมุติให้เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดที่จะกำหนดให้คงอยู่ในสถานะต่างๆ ที่ทำให้มีการใช้พลังงานแบตเตอรี่น้อยที่สุดในขณะที่มีสัญญาณในระบบเครือข่ายน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ด้วย ผู้วิจัยจึงทำแบบจำลองเพื่อแสดงผลของการทำงานของโพรโตคอลทีโอพีจากพฤติกรรมการใช้ตามสัญญาณที่วัดมา ผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบระบบเครือข่ายที่มีการใช้โพรโตคอลทีโอพีเทียบกับระบบเครือข่ายที่มีกลไกฟาสดอร์มแมนซีในการควบคุมสถานะอาร์อาร์ซีพบว่ามีจำนวนสัญญาณลดลงประมาณร้อยละ 49 และลดการใช้พลังงานแบตเตอรี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ประมาณร้อยละ 10 และยังพบว่าการทำนายระยะเวลาที่จะใช้งานการรับ-ส่งข้อมูลสำหรับโพรแกรมที่มีคาบในการรับ-ส่งข้อมูล เช่น แพนโดร่า(Pandora Radio Streaming) นั้นมีความแม่นยำ ในขณะที่การทำนายการใช้งานการรับ-ส่งข้อมูลสำหรับโพรแกรมที่ไม่มีคาบในการรับ-ส่งข้อมูล เช่น เว็บเบราเซอร์ นั้นยังไม่แม่นยำพอที่จะนำไปใช้งานได้ เนื่องจากการใช้งานแต่ละเว็บไซต์และผู้ใช้งานแต่ละคนอาจมีเวลาคงอยู่ในหน้าเว็บเพจแตกต่างกัน ก่อนที่จะมีการกดลิ้งค์เพื่อเปลี่ยนหรือร้องขอข้อมูลของหน้าเว็บเพจอื่นๆ

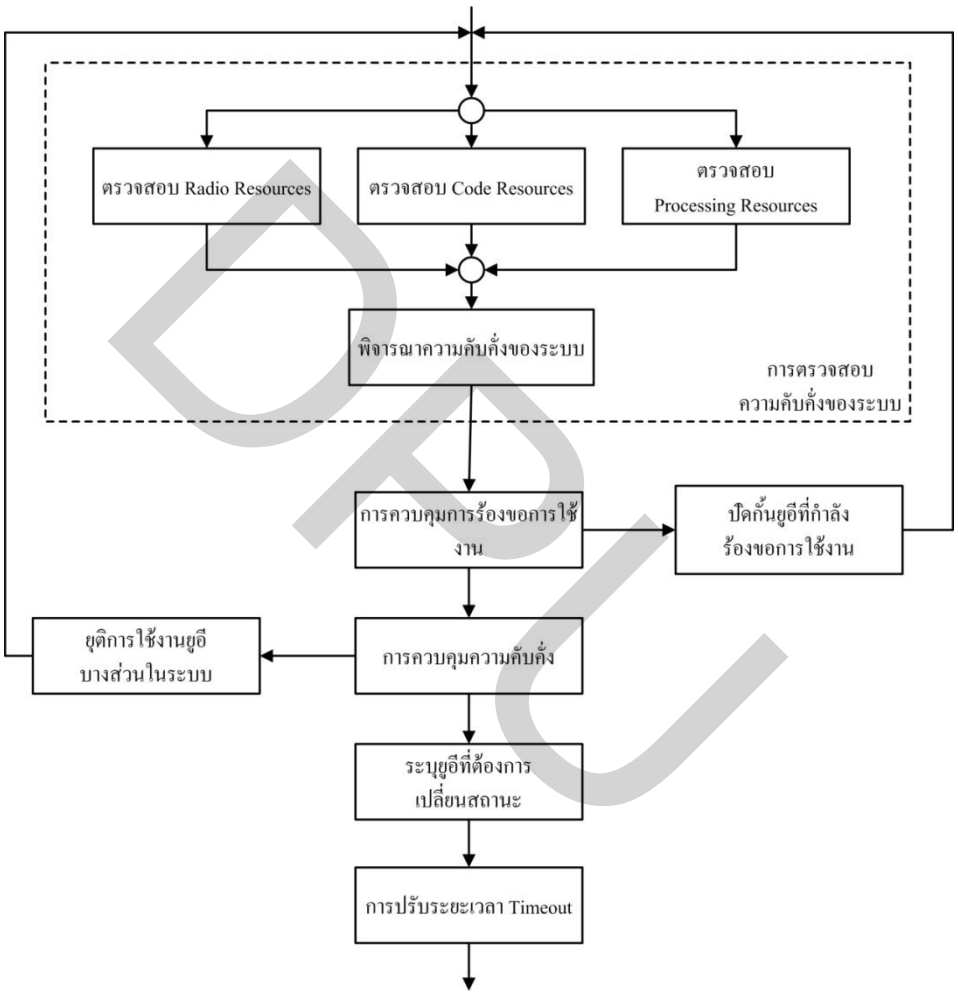
2.6.3 งานวิจัย Adaptive Radio Resource Management Scheme for UMTS Packet Data.[8]

ผู้วิจัยได้นำเสนอกลไกการจัดการทรัพยากรคลื่นวิทยุ โดยมีการแบ่งการทำงานออกเป็น

---

[7] Qian, F., Wang, Z., Gerber, A., Mao, Z.M., Sen, S., & Spatscheck, O. (2010). TOP: Tail optimization protocol for cellular radio resource allocation. *Proceeding of ICNP 2010* (pp. 285 - 294). Kyoto, Japan: n.p.

4 ขั้นตอน ได้แก่ การควบคุมการร้องขอการใช้งาน การควบคุมความคับคั่ง การระบุยูอีที่ต้องการเปลี่ยนสถานะ และการปรับระยะเวลา Timeout โดยจะมีการตรวจสอบความคับคั่งของระบบเครือข่ายจากทรัพยากรระบบ 3 ประเภท คือ Radio Resource, Code Resource และ Signal Processing Resource หรือการประมวลผลสัญญาณ เพื่อใช้บอกปริมาณความคับคั่งของระบบเครือข่าย ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 ขั้นตอนการทำงานของกลไกการจัดการทรัพยากรคลื่นวิทยุ

---

[8] 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.

จากภาพที่ 2.6 กลไกการจัดการทรัพยากรคลื่นวิทยุของงานวิจัย Adaptive Radio Resource Management Scheme for UMTS Packet Data มีขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนการตรวจสอบความคับคั่งของระบบ จะมีการตรวจสอบการใช้ทรัพยากรระบบ ได้แก่ Radio Resource, Code Resource และ Signal Processing Resource แล้วนำทรัพยากรทั้ง 3 มาเปรียบเทียบค่าที่มากที่สุด ใช้เป็นในการพิจารณาความคับคั่งของระบบเครือข่าย ซึ่งค่าความคับคั่งของระบบนี้จะถูกนำไปใช้ในในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนการควบคุมการร้องขอการใช้งาน (Call Admission Control) จากการตรวจสอบความคับคั่งของระบบ เมื่อระบบมีความคับคั่งมากกว่าเกณฑ์ของกลไกการควบคุมการร้องขอการใช้งานที่กำหนดไว้ ซึ่งมีความคับคั่งที่มากกว่า 75 เปอร์เซนต์ อาร์เอ็นซีจะพิจารณาปิดกั้นยูอีที่กำลังร้องขอการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบ เพื่อไม่ให้ยูอีเหล่านั้นเข้ามาใช้ทรัพยากรและเพิ่มความคับคั่งของระบบเครือข่ายให้มากขึ้น โดยจะยังคงอนุญาตให้ยูอีที่มีการเชื่อมต่อและใช้งานอยู่ในระบบยังคงใช้งานต่อไปได้

ขั้นตอนการควบคุมความคับคั่ง (Congestion Control) จากการตรวจสอบความคับคั่งของระบบ เมื่อระบบมีความคับคั่งมากกว่าเกณฑ์ของการควบคุมความคับคั่งที่กำหนด ซึ่งมีความคับคั่งที่มากกว่า 90 เปอร์เซนต์ อาร์เอ็นซีจะพิจารณายุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบแต่ไม่ได้มีการใช้งานข้อมูลมานานออกจากระบบก่อน เพื่อลดปริมาณของยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับเครือข่ายและลดโอกาสที่ยูอีเหล่านั้นจะสร้างสัญญาณขึ้นมาในระบบ แต่หากยูอีที่ถูกยุติไปแล้วต้องการจะใช้งานบริการข้อมูล ก็จะต้องทำการเชื่อมต่อกับเครือข่ายใหม่

ขั้นตอนการระบุยูอีที่ต้องการเปลี่ยนสถานะ ระบบจะทำการตรวจสอบยูอีที่ใช้งานอยู่ในระบบว่ามียูอีใดที่กำลังต้องการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซี เพื่อจะทำการพิจารณากำหนดสถานะและระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูอีเหล่านั้นในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนการปรับระยะเวลา Timeout สถานะอาร์อาร์ซีซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย ระบบจะพิจารณาการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีให้แก่ยูอี และกำหนดระยะ Timeout ของสถานะนั้นๆ โดยพิจารณาจากยูอีที่มีระยะเวลา Timeout เกินขอบเขตของเวลานานที่สุดที่เป็นไปได้

ปัจจุบันโทรศัพท์แบบสมาร์ทโฟนมีการใช้งานอย่างกว้างขวางและมีแน้วโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งรูปแบบการใช้งานสมาร์ทโฟนในการใช้งานข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้น ก่อให้เกิดปัญหาความคับคั่งของการจราจรในระบบเครือข่าย และอุปกรณ์อาร์เอ็นซี ต้องทำการประมวลผลข้อมูลจำนวนมากที่เกิดขึ้นจากสัญญาณจำนวนมากในระบบเครือข่าย ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นจากการใช้งานข้อมูลของสมาร์ทโฟนซึ่งมีกลไกการควบคุมทรัพยากรคลื่นวิทยุที่ควบคุมสถานะการรับ-ส่งข้อมูล ซึ่งสถานะเซลล์ดีซีเอชที่สามารถรับ-ส่งข้อมูล

ได้เร็วที่สุดจะใช้พลังงานสูง ส่วนสถานะว่างที่ไม่สามารถรับ-ส่งข้อมูลแต่รอการร้องขอการรับ-ส่งข้อมูลนั้นจะใช้พลังงานต่ำ เพื่อการประหยัดพลังงานของสมาร์ทโฟน จึงมีกลไกเพื่อให้สมาร์ทโฟนที่อยู่ในสถานะเซลล์ดีซีเอชเปลี่ยนสถานะไปเป็นสถานะว่างให้เร็วขึ้น แต่เมื่อต้องการรับ-ส่งข้อมูลอีกครั้งจำเป็นต้องเปลี่ยนสถานะกลับไปเป็นสถานะเซลล์ดีซีเอช เพื่อรับ-ส่งข้อมูล ซึ่งในการเปลี่ยนสถานะแต่ละครั้งจะมีการส่งสัญญาณควบคุมจำนวนหนึ่งระหว่างสมาร์ทโฟนและระบบเครือข่าย เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้ได้วิเคราห์พฤติกรรมการสร้างสัญญาณจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีของระบบปฏิบัติการต่างๆ จากการใช้งานบริการข้อมูลและนำเสนอกลไกการทำงานของอาร์เอ็นซีที่จะช่วยลดปริมาณสัญญาณที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซี โดยให้อาร์เอ็นซีทำการกำหนดระยะเวลา Timeout ที่แตกต่างกันให้แก่ยูอี ที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่แตกต่างกัน โดยใช้ความคับคั่งของสัญญาณในระบบเครือข่ายในขณะนั้นเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาระยะเวลา Timeout ที่เหมาะสม ตามพฤติกรรมในการสร้างสัญญาณควบคุมที่แตกต่างกันของระบบปฏิบัติการ ผลที่คาดว่าจะได้รับจากกลไกในการควบคุมการเปลี่ยนสถานะนี้คือ จำนวนสัญญาณควบคุมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ลดลง ทำให้ผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไม่ต้องปรับปรุงระบบเครือข่ายเพื่อรองรับปริมาณสัญญาณที่มากเกินไป

PPU

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่นำเสนอ

คุณสมบัติ	งานวิจัย 1	งานวิจัย 2	งานวิจัย 3	งานวิจัยที่นำเสนอ
1. มุ่งลดสัญญาณควบคุมเป็นสำคัญ		✓	✓	✓
2. มุ่งลดการใช้พลังงานของยูอีเป็นสำคัญ	✓			
3. มีการวัดสัญญาณจากการใช้งานจริง	✓	✓		✓
4. มีการปรับเปลี่ยนระยะเวลา Timeout แบบไม่คงที่			✓	✓
5. มีการทำนายช่วงเวลาที่จะเรียกใช้งานครั้งต่อไป		✓		
6. มีการติดตั้งโพรแกรมที่ยูอี		✓		
7. ใช้ปริมาณโหลดของระบบเครือข่ายเป็นเกณฑ์ในการปรับระยะเวลา Timeout			✓	✓
8. มีการพิจารณาพฤติกรรมการสร้างสัญญาณที่แตกต่างกันของระบบปฏิบัติการต่างๆ				✓

หมายเหตุ.

งานวิจัย 1 คือ งานวิจัย The effect of unwanted internet traffic on cellular phone energy consumption.

งานวิจัย 2 คือ งานวิจัย TOP: Tail optimization protocol for cellular radio resource allocation. งานวิจัย 3 คือ งานวิจัย Adaptive Radio Resource Management Scheme for UMTS Packet Data.

DPU

บทที่ 3
ระเบียบวิธีวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงแนวทางการวิจัยและพัฒนา กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีที่นำเสนอ การศึกษาพฤติกรรมการสร้างทราฟฟิกของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ และการทดสอบผลการทำงานด้วยแบบจำลองการทำงาน

3.1 แนวทางการวิจัยและพัฒนา

ผู้วิจัยได้ทำการค้นคว้าและศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับพฤติกรรมการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีจากการใช้งานบริการข้อมูลด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ทโฟน ซึ่งเป็นสาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหาพายุสัญญาณขึ้นในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ อันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีบ่อยครั้งเกินไป โดยงานวิจัยที่ผ่านมาไม่ได้มุ่งเน้นในการแก้ปัญหานี้แต่กลับมุ่งเน้นในการแก้ไขปัญหาการใช้พลังงานแบตเตอรี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นสำคัญ จึงยิ่งก่อให้เกิดปัญหาพายุสัญญาณมากขึ้น

เพื่อเป็นการแก้ไขปัญหาความคับคั่งของสัญญาณในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผู้วิจัยได้นำเสนอกลไกการทำงานของอาร์เอ็นซีที่จะช่วยลดปริมาณสัญญาณที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซี เนื่องจากอาร์เอ็นซีเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่บริหารจัดการและควบคุมแอร์อินเตอร์เฟสทั้งหมด โดยมีโหนดบีเป็นตัวกระจายสัญญาณให้แก่ยูอีซึ่งการรับ-ส่งข้อมูลจากยูอีไปสู่คอร์เน็ตเวิร์ค และสัญญาณจากคอร์เน็ตเวิร์คกลับไปสู่ยูอีจะต้องผ่านอาร์เอ็นซีทั้งหมด อีกทั้งอาร์เอ็นซียังเป็นผู้กำหนดสถานะอาร์อาร์ซีที่เหมาะสมให้แก่ยูอีแต่ละเครื่องอีกด้วย ซึ่งในงานวิจัยนี้จะสนใจยูอีที่เป็นโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ทโฟนเท่านั้น กลไกนี้ทำงานโดยให้อาร์เอ็นซีกำหนดระยะเวลา Timeout ที่แตกต่างกันให้แก่ยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่แตกต่างกัน โดยใช้ความคับคั่งของสัญญาณในระบบเครือข่ายในขณะนั้นเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาระยะเวลา Timeout ที่เหมาะสม ตามพฤติกรรมในการสร้าง signaling traffic ที่แตกต่างกันของระบบปฏิบัติการ

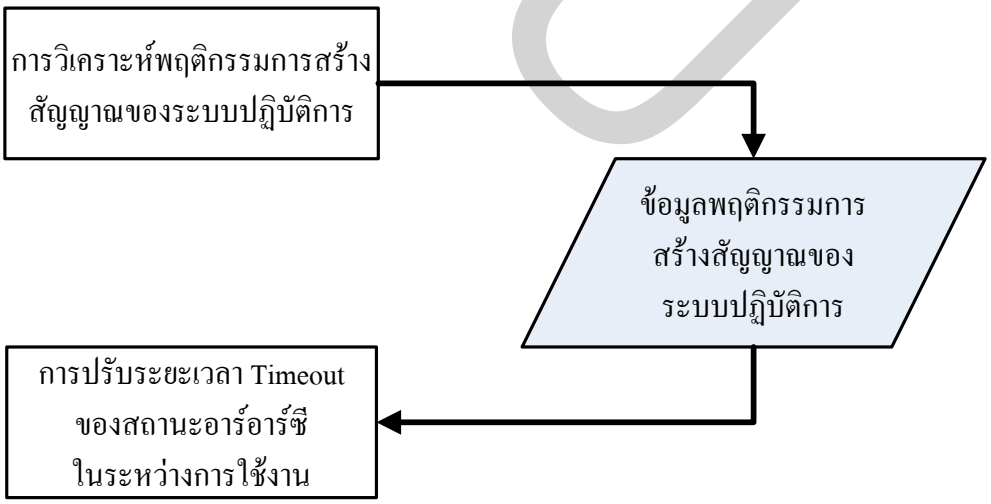
เพื่อเป็นการศึกษาว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่แตกต่างกันจะมีพฤติกรรมในการสร้าง signaling traffic ที่แตกต่างกัน จึงได้ออกแบบการทดลองโดยตรวจวัดทราฟฟิกที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานบริการข้อมูลของโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ทโฟนที่

ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ และนำทราฟฟิกที่ได้ไปวิเคราะห์การเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีเพื่อศึกษาและเปรียบเทียบพฤติกรรมในการสร้าง signaling traffic ของระบบปฏิบัติการต่างๆ

ในการทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีที่นำเสนอนี้ ผู้วิจัยได้สร้างการจำลองการทำงานของระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อแสดงให้เห็นถึงจำนวนปริมาณสัญญาณที่กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีนี้จะสามารถช่วยลดลงได้ ตลอดจนแสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นเมื่อมีการใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีนี้

3.2 ภาพรวมของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซี

ผู้วิจัยได้ออกแบบกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซี โดยพิจารณาจากความคับคั่งทั้งหมดในระบบ ภายในขอบเขตการควบคุมของอาร์เอ็นซีนั้นๆ เพื่อกำหนดระยะเวลาคงอยู่ในสถานะอาร์อาร์ซีต่างๆ ให้เหมาะสม โดยที่ปริมาณสัญญาณควบคุมที่จะเกิดขึ้นจากการใช้งานบริการข้อมูลจะมีปริมาณไม่มากจนเกินความสามารถสูงสุดที่อาร์เอ็นซีจะสามารถควบคุมได้ โดยมีการพิจารณาปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีให้เหมาะสมกับพฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการต่างๆ ด้วย ภาพรวมของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีนี้ แสดงดังภาพที่ 3.1



ภาพที่ 3.1 ภาพรวมของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซี

จากภาพที่ 3.1 กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีจะแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ การวิเคราะห์พฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการ และการปรับ

ระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีในระหว่างการใช้งาน โดยการวิเคราะห์พฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการนั้นจะเป็นการศึกษาพฤติกรรมการสร้างสัญญาณของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ ที่มีอยู่ในท้องตลาดหรือเป็นระบบปฏิบัติการที่มีผู้ใช้อยู่เป็นจำนวนมากในระบบเครือข่าย เพื่อจำแนกกลุ่มของระบบปฏิบัติการว่าระบบปฏิบัติการใดที่มีการสร้างสัญญาณจำนวนมากหรือระบบปฏิบัติการใดมีการสร้างสัญญาณในปริมาณที่น้อยกว่า นำข้อมูลพฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการที่ได้จากการวิเคราะห์ไปใช้ในการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีในระหว่างการใช้งาน โดยจะปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีให้แก่สมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่สร้างสัญญาณมากให้นานกว่าสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่สร้างสัญญาณน้อยกว่า

ในการกำหนดระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีที่ยาวนานขึ้นนี้ จะส่งผลให้สมาร์ทโฟนคงอยู่ในสถานะอาร์อาร์ซีแต่ละสถานะนานขึ้น ทำให้ลดการเปลี่ยนแปลงสถานะที่มีการสร้างสัญญาณในระบบลง จึงเป็นการลดจำนวนของสัญญาณที่จะถูกสร้างขึ้นมาในระบบลง ซึ่งการกำหนดระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีให้แก่สมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่สร้างสัญญาณมากให้นานกว่าสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่สร้างสัญญาณน้อยกว่าเป็นการลดปริมาณสัญญาณจากสมาร์ทโฟนกลุ่มที่มีแนวโน้มที่จะสร้างสัญญาณในระบบจำนวนมากกว่าก่อนนั่นเอง

3.3 การวิเคราะห์พฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการ

3.3.1 รูปแบบพฤติกรรมการใช้งานสมาร์ทโฟน

เนื่องจากระบบปฏิบัติการของสมาร์ทโฟนแต่ละระบบมีพฤติกรรมการสร้างสัญญาณจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีแตกต่างกัน[1] เพื่อเป็นการศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีของโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่แตกต่างกัน ซึ่งส่งผลให้มีพฤติกรรมในการสร้างสัญญาณควบคุมที่แตกต่างกัน เนื่องจากไม่สามารถตรวจจัด traffic ในระหว่างการใช้งานจากระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จริงได้ เพื่อเป็นการศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีของโทรศัพท์เคลื่อนที่จากข้อมูลจริง จึงได้ออกแบบการทดสอบโดยการตรวจวัดทราฟฟิกจากการใช้งานจริงด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ ซึ่งเป็นระบบปฏิบัติการที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางอยู่ในปัจจุบัน ดังนี้

---

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

1) ระบบปฏิบัติการ Android เวอร์ชั่น 4.3.1 Jelly Bean

2) ระบบปฏิบัติการ iOS เวอร์ชั่น 7.0.3

โดยในแต่ละระบบปฏิบัติการได้เลือกศึกษาพฤติกรรมการใช้งานสมาร์ทโฟนที่มีความนิยมใช้งานในปัจจุบันจำนวน 5 รูปแบบ ได้แก่ การท่องเว็บไซต์ การเล่นเกมส์ การใช้งานอีเมลล์ การใช้งานเครือข่ายสังคมออนไลน์ และการดูวีดีโอผ่านอินเทอร์เน็ต เลือกโพรแกรมที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางและได้รับความนิยมในปัจจุบันเป็นตัวแทนพฤติกรรมการใช้งานสมาร์ทโฟนในรูปแบบต่างๆ โดยมีรายละเอียดในการตรวจจับ traffic ในแต่ละรูปแบบ ดังนี้

3.3.1.1 การท่องเว็บไซต์ โดยใช้โพรแกรมเว็บเบราเซอร์พื้นฐานของระบบปฏิบัติการ iOS และ Android คือ โพรแกรม safari และ Native Android browser ตามลำดับ เข้าสู่เว็บไซต์หนังสือพิมพ์ไทยรัฐ (http://www.thairath.co.th) เพื่อจำลองการอ่านข่าวจากเว็บไซต์ระยะเวลาทั้งสิ้น 600 วินาที โดยจะทำการกดลิ้งข่าวเพื่ออ่านรายละเอียดของข่าวตามตารางเวลาที่กำหนดไว้ในวินาทีต่างๆ 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 โดยใช้โพรแกรมเกมส์ Angry Birds เวอร์ชั่น 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 โดยใช้โพรแกรมรับ-ส่งอีเมลล์พื้นฐานของระบบปฏิบัติการ iOS และ Android โดยตั้งค่าบัญชีผู้ใช้เดียวกัน โดยกำหนดให้มีการรับ-ส่งข้อมูลผ่านพอร์ต 443 และทำการเปิดบริการ Push service ของโพรแกรมรับ-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 โดยใช้โพรแกรม 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 ขึ้นอยู่กับจำนวนโพสที่มีผู้ใช้งานอื่นที่เป็น Friend

ทำการเพิ่มเข้ามาในขณะนั้น ตรวจวัด traffic ระบบปฏิบัติการละ 3 ครั้ง รวมตรวจวัด traffic จากการใช้งานเครือข่ายสังคมออนไลน์ทั้งหมด 6 ครั้ง

3.3.1.5 การดูวีดีโอผ่านอินเทอร์เน็ต โดยใช้โพรแกรม Youtube สำหรับระบบปฏิบัติการ iOS และ Android เปิดดูวีดีโอที่มีความยาวมากกว่า 10 นาที จำนวน 3 เรื่อง แต่ละเรื่องตรวจวัด traffic ระยะเวลาทั้งสิ้น 600 วินาที เปิดดูวีดีโอยาวตลอดทั้งเรื่องและใช้วีดีโอเรื่องเดียวกันทำการตรวจวัด traffic ทั้ง iOS และ Android ตรวจวัด traffic ระบบปฏิบัติการละ 3 ครั้ง(วีดีโอละครั้ง) รวมตรวจวัด traffic จากการดูวีดีโอผ่านอินเทอร์เน็ตทั้งหมด 6 ครั้ง

3.3.1.6 ไม่มีการใช้งานข้อมูล โดยรูปแบบนี้จะใช้ในการตรวจสอบการรับ-ส่งข้อมูลที่เกิดขึ้นในขณะที่ไม่มีการใช้งานโพรแกรมใดๆ เลย ซึ่งอาจมีโพรแกรมบางโพรแกรมที่ทำงานอยู่เบื้องหลังและไม่สามารถปิดการทำงานได้ และจะได้นำไปใช้เป็นข้อมูลในการกรอง Packet ที่ไม่เกี่ยวข้องกับโพรแกรมที่ต้องการออกได้ในขั้นตอนต่อไป โดยจะทำการปิดโพรแกรมและ Service ต่างๆ ที่ไม่เกี่ยวข้องกับโพรแกรมที่กำลังจะตรวจจับ Traffic เปิดบริการข้อมูลของสมาร์ทโฟนทิ้งไว้ตรวจจับ Traffic โดยวางสมาร์ทโฟนไว้เฉยๆ เป็นเวลา 10 นาที

3.3.2 การวัดทราฟฟิกของระบบปฏิบัติการ iOS

การตรวจวัด Traffic จากการใช้งานสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ผู้วิจัยได้ใช้วิธีการสร้าง remote virtual interface ตามวิธีการของ Manbolo Team [2] โดยมีรายละเอียดดังนี้

1) เชื่อมต่อ iPhone ที่จะใช้บริการข้อมูลผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ เข้ากับคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ค (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 abcdef01234563e91f1f2f8a8cb0841d2dafeebbc ระบบจะสร้างอินเตอร์เฟส rvi0 ขึ้นมาโดยที่ abcdef01234563e91f1f2f8a8cb0841d2dafeebbc คือ Unique Device Identifier (UDID) ซึ่งใช้ระบุตัวตนของเครื่อง iPhone แต่ละเครื่อง โดยสามารถเรียกดู UDID ได้จากโพรแกรม Xcode ที่ติดตั้งไว้ ดังภาพที่ 3.3

ภาพที่ 3.3 UDID ของ iPhone จากโพรแกรม Xcode

3) เมื่อสร้างอินเตอร์เฟส rvi0 เรียบร้อยแล้ว ก็จะสามารถตรวจจับ Traffic ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานอินเตอร์เน็ตของเครื่อง iPhone ได้โดยใช้คำสั่ง tcpdump -i rvi0 -n -s 0 -w dumpFile.pcap โดยที่ dumpFile คือชื่อไฟล์ที่ต้องการบันทึกข้อมูล Traffic ที่เป็นไฟล์นามสกุล .PCAP นั่นเอง

4) ใช้งานสมาร์ทโฟนตามรูปแบบที่กำหนดไว้ในระหว่างการตรวจวัด Traffic จนครบตามระยะเวลาที่กำหนด จากนั้นกดปุ่ม Ctrl และ Z เพื่อหยุดการตรวจวัด Traffic

ภาพที่ 3.4 ตัวอย่างการตรวจวัด Traffic จากสมาร์ทโฟน iPhone

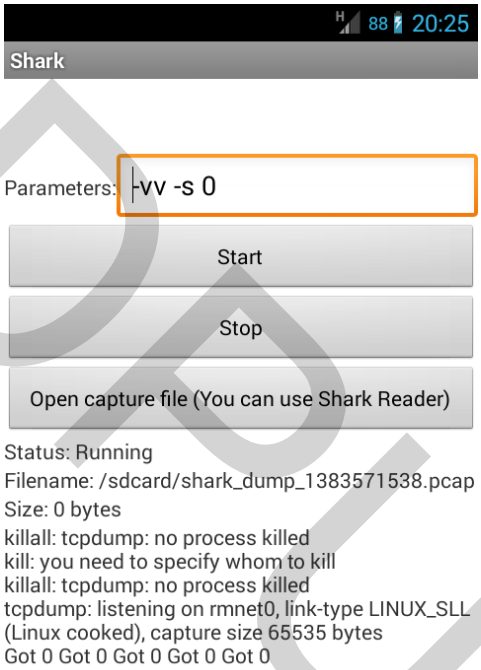
จากภาพที่ 3.4 แสดงตัวอย่างการตรวจวัด Traffic จากสมาร์ทโฟน iPhone ด้วยวิธีการข้างต้น ตั้งแต่ขั้นตอนการสร้าง remote virtual interface การตรวจสอบอินเตอร์เฟส และการใช้โพรแกรม tcpdump ในการตรวจจับ Traffic แล้วบันทึกไว้ที่ไฟล์ที่กำหนดไว้

3.3.2 การวัดทราฟฟิกของระบบปฏิบัติการ Android

การตรวจวัด Traffic จากการใช้งานสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ผู้วิจัยได้ใช้โพรแกรม Wireshark สำหรับสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android โดยมีชื่อว่า Shark for Root [3] สำหรับการเก็บข้อมูลทราฟฟิกที่มีการรับ-ส่งระหว่างสมาร์ทโฟนและโหนดบี ซึ่งมีการทำงานเช่นเดียวกันกับโพรแกรม AT&T ARO Data Collector ตามหัวข้อที่ 2.5.1 ซึ่งโพรแกรมนี้จะ

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

ทำงานบนสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android และตรวจจับ Traffic ที่เกิดขึ้นจากการใช้งานข้อมูลของสมาร์ทโฟนเครื่องนั้นได้โดยตรง ซึ่งจะได้ข้อมูล Traffic เป็นไฟล์นามสกุล .PCAP โดยกดปุ่ม “Start” เพื่อเริ่มการตรวจจับ Traffic จากนั้นกดปุ่ม Home เพื่อไปเปิดโพรแกรมที่ต้องการใช้งาน ใช้งานจนครบตามระยะเวลาที่กำหนดแล้วแล้วกลับเข้าสู่โพรแกรม Shark for Root กดปุ่ม “Stop” เพื่อยุติการตรวจจับ Traffic ดังตัวอย่างการตรวจวัด Traffic จากการใช้งานสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ตัวอย่างการตรวจวัด Traffic จากสมาร์ทโฟน Android

จากภาพที่ 3.5 แสดงหน้าจอของโพรแกรม Shark for Root ซึ่งเป็นตัวอย่างการตรวจวัด Traffic จากสมาร์ทโฟน Android ตามวิธีการข้างต้น

3.3.3 พฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการต่างๆ

เพื่อให้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีสามารถพิจารณาปรับระยะเวลาที่เหมาะสมให้แก่ยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆในระหว่างการใช้งานได้ ต้องมีการวิเคราะห์เพื่อเป็นข้อมูลเก็บไว้ในระบบล่วงหน้าก่อนการใช้งาน ซึ่งจะสามารถเรียกดูได้อย่างรวดเร็ว หากใช้การเก็บข้อมูลจากยูอีทุกเครื่องในระหว่างการใช้งานมาเป็นข้อมูลในการพิจารณาจะทำให้อาร์เอ็นซีทำงานหนักในการประมวลผลพฤติกรรมการใช้งานของยูอี และต้องใช้พื้นที่ในการ

เก็บรวบรวมข้อมูลการใช้งานของยูอีจำนวนมาก จึงต้องวัดพฤติกรรมการสร้างสัญญาณจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีของระบบปฏิบัติการต่างๆ จากอุปกรณ์ตัวอย่างซึ่งเป็นตัวแทนของระบบปฏิบัติการนั้นๆ และนำผลที่ได้จากการวัดมาวิเคราะห์พฤติกรรมในการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการ จากนั้นจึงจัดหมวดหมู่ให้แก่ระบบปฏิบัติการว่าเป็นระบบปฏิบัติการที่มีการสร้างสัญญาณมากหรือน้อยเพียงใด

3.4 แบบจำลองการวิเคราะห์การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซี

เพื่อเป็นการวิเคราะห์พฤติกรรมในการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการ ผู้วิจัยจึงทำแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ เพื่อจำลองการวิเคราะห์การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซีในระหว่างการใช้งานบริการข้อมูลของสมาร์ทโฟน จากไฟล์ประเภท Packet Capture ด้วยโพรแกรม MATLAB ตามแบบการวิเคราะห์การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซีของโพรแกรม AT&T Application Resource Optimizer (ARO)[4] ซึ่งเป็นเครื่องมือวิเคราะห์การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซีในระหว่างการใช้งานบริการข้อมูลของสมาร์ทโฟน จากไฟล์ประเภท Packet Capture เช่น ไฟล์นามสกุล .PCAP เป็นต้น ซึ่งจะทำให้ทราบว่าในช่วงเวลาที่ใช้งานสมาร์ทโฟนนั้นมีการใช้สถานะอาร์อาร์ซีในช่วงเวลาใดบ้าง และมีการเปลี่ยนแปลงสถานะไปยังสถานะอาร์อาร์ซีอื่นๆ เมื่อใด เพื่อนำไปใช้วิเคราะห์พฤติกรรมในการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ ได้ แต่โพรแกรม AT&T Application Resource Optimizer ไม่รองรับการทำงานของสถานะเซลล์พีซีเอชโดยมีวิธีการดังนี้

3.4.1 การเตรียมไฟล์ข้อมูลทราฟฟิก การปรับข้อมูลทราฟฟิกซึ่งเป็นไฟล์นามสกุล .PCAP ที่ตรวจวัดได้จากการใช้งานข้อมูลของสมาร์ทโฟนด้วยระบบปฏิบัติการต่างๆ ตามหัวข้อที่ 3.3.1 ให้สามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์พฤติกรรมด้วยแบบจำลองการวิเคราะห์การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซี มีขั้นตอนดังนี้

1) เปิดไฟล์ข้อมูลทราฟฟิกนามสกุล .PCAP ด้วยโพรแกรม WireShark

2) กรองข้อมูล Packet ที่ไม่ต้องการออก จากข้อมูล Traffic ที่ตรวจวัดโดยไม่มีการใช้งานจ้อมูลเลยตามหัวข้อที่ 3.3.1.6 ได้พบว่าเป็น Packet ของ Service ต่างๆ ที่ไม่สามารถปิดได้หมด และไม่ใช่ packet จากโพรแกรมที่ต้องการศึกษาพฤติกรรม 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.

เหล่านั้นไประบุเงื่อนไขในการกรอง Filter สำหรับระบบปฏิบัติการ iOS สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่ต้องกรองออกได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 การกรองข้อมูลที่ไม่ต้องการสำหรับระบบปฏิบัติการ iOS

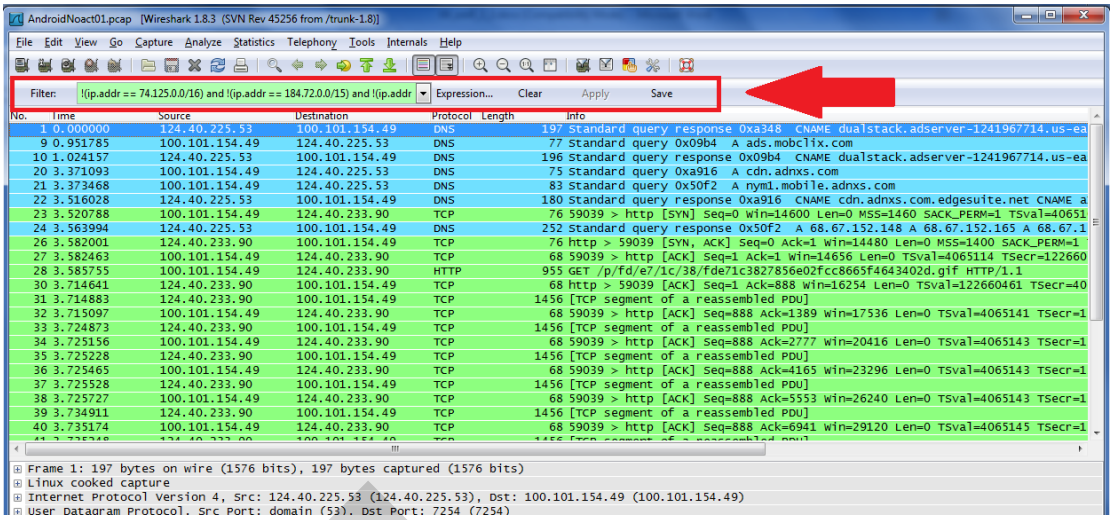
ลำดับ	เงื่อนไขการกรอง	หมายเลข IP	เจ้าของ
1.	!(ip.addr == 17.0.0.0/8)	17.0.0.0/8	Apple Inc.
2.	!(ip.addr == 74.125.0.0/16)	74.125.0.0/16	Google Inc.
3.	!(ip.addr == 124.40.224.0/12)	124.40.224.0/12	DTAC Network

สำหรับระบบปฏิบัติการ Android กรองข้อมูล Packet ที่ไม่ต้องการออก จากข้อมูล Traffic ที่ตรวจวัดโดยไม่มีการใช้งานข้อมูลเลยตามหัวข้อที่ 3.3.1.6 ได้พบว่าเป็น Packet ของ Service ต่างๆ ที่ไม่สามารถปิดได้หมด และไม่ใช่ packet จากโพรแกรมที่ต้องการศึกษาพฤติกรรม โดยระบุเงื่อนไขในการกรอง Filter สำหรับระบบปฏิบัติการ Android สามารถวิเคราะห์ข้อมูลที่ต้องกรองออกได้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 การกรองข้อมูลที่ไม่ต้องการสำหรับระบบปฏิบัติการ Android

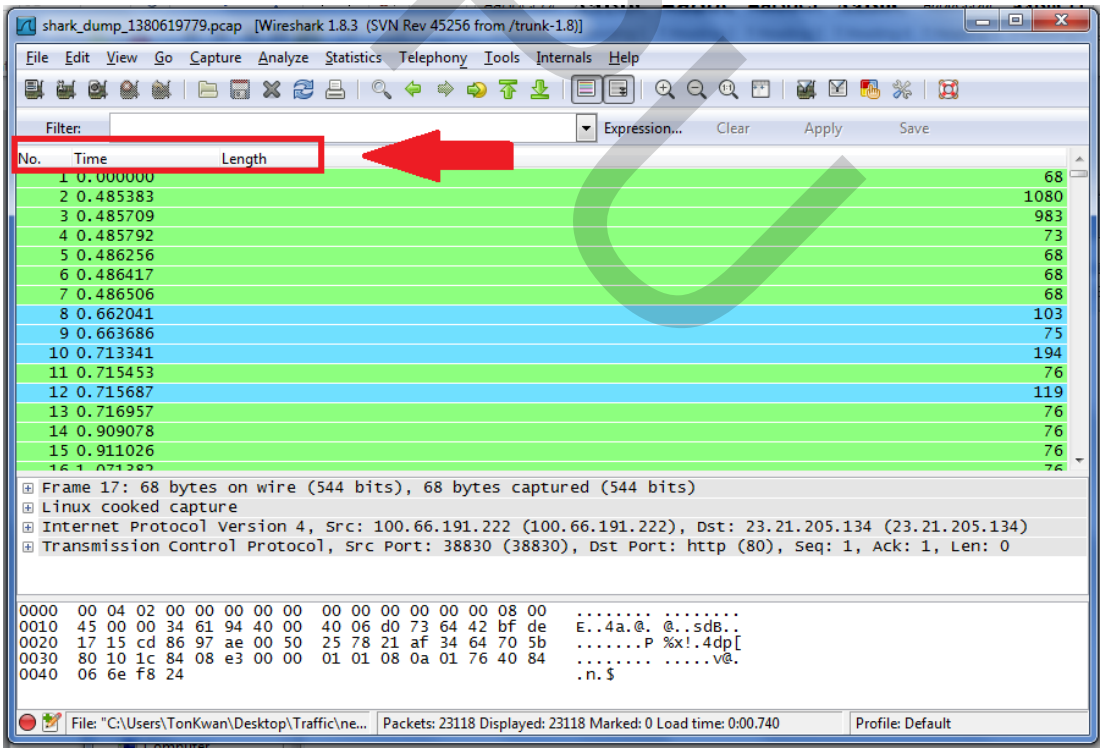
ลำดับ	เงื่อนไขการกรอง	หมายเลข IP	เจ้าของ
1.	!(ip.addr == 74.125.0.0/16)	74.125.0.0/16	Google Inc.
2.	!(ip.addr == 124.40.224.0/12)	124.40.224.0/12	DTAC Network
3.	!(ip.addr == 184.72.0.0/15)	184.72.0.0/15	Amazon.com, Inc.
4.	!(ip.addr == 23.20.0.0/14)	23.20.0.0/14	Amazon.com, Inc.
5.	!(ip.addr ==68.67.152.0/23)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



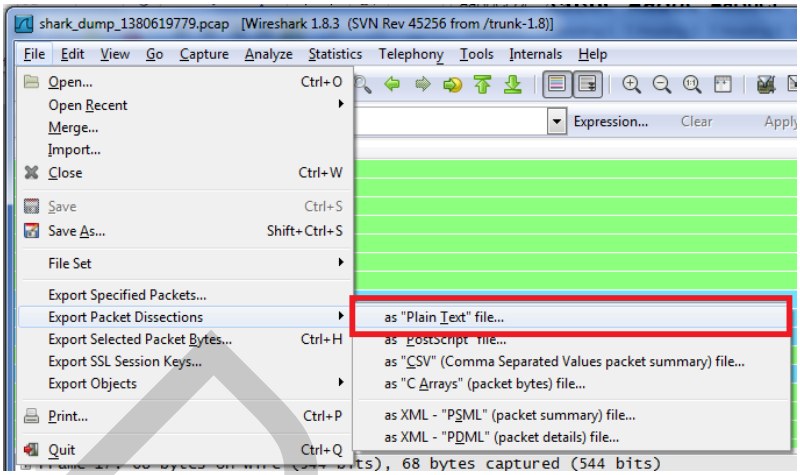
ภาพที่ 3.6 การกรองข้อมูลที่ไม่ต้องการในโพรแกรม WireShark

เลือกแสดงข้อมูลในคอลัมน์ No. , Time และ Length เท่านั้น ดังภาพที่ 3.7



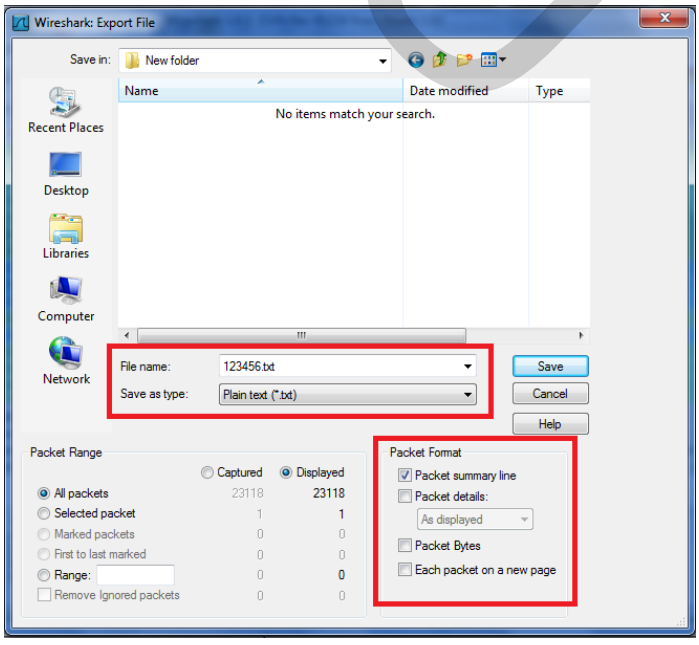
ภาพที่ 3.7 การแสดงข้อมูลทราฟฟิกในโพรแกรม WireShark

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

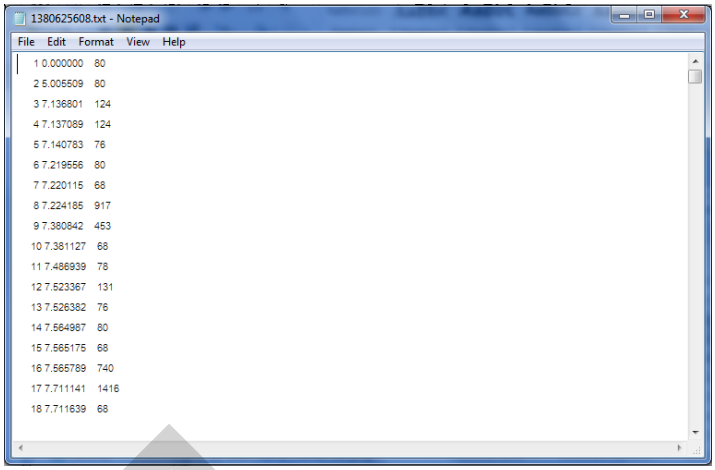


ภาพที่ 3.8 การ Export ข้อมูลไปเป็นไฟล์ Plain text

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

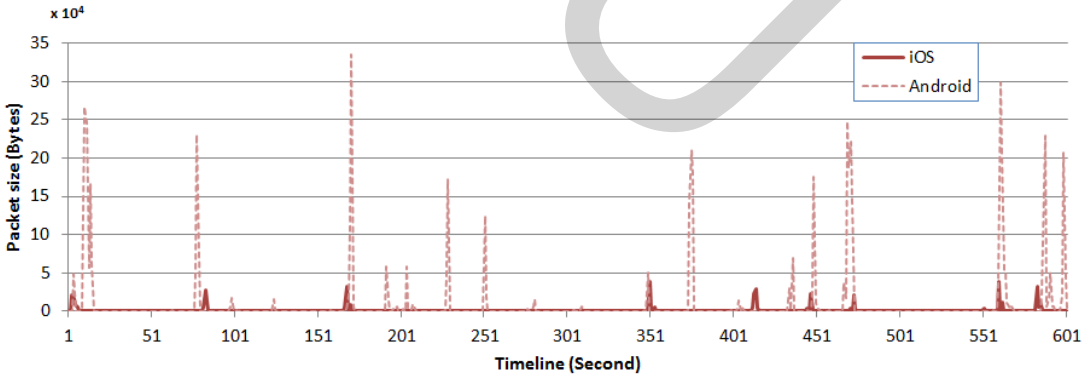


ภาพที่ 3.9 การกำหนดค่าเพื่อ Export ข้อมูลไปเป็นไฟล์ Plain text



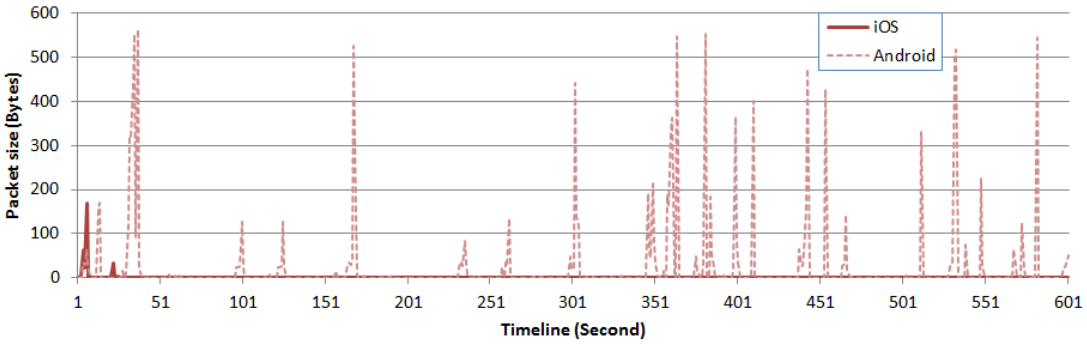
ภาพที่ 3.10 ข้อมูลทราฟฟิกในรูปแบบไฟล์ Plain text

3.4.2 ตัวอย่างข้อมูลทราฟฟิกที่ตรวจวัดได้จากการใช้งานข้อมูลของสมาร์ทโฟนด้วยระบบปฏิบัติการต่างๆ ตามหัวข้อที่ 3.3.1 ที่ผ่านการแปลงข้อมูลเป็นข้อมูลทราฟฟิกในรูปแบบไฟล์ Plain text ตามวิธีการในหัวข้อที่ 3.4.1 ตามการใช้งานในรูปแบบต่างๆ บนระบบปฏิบัติการ iOS และ Android แสดงได้ดังนี้



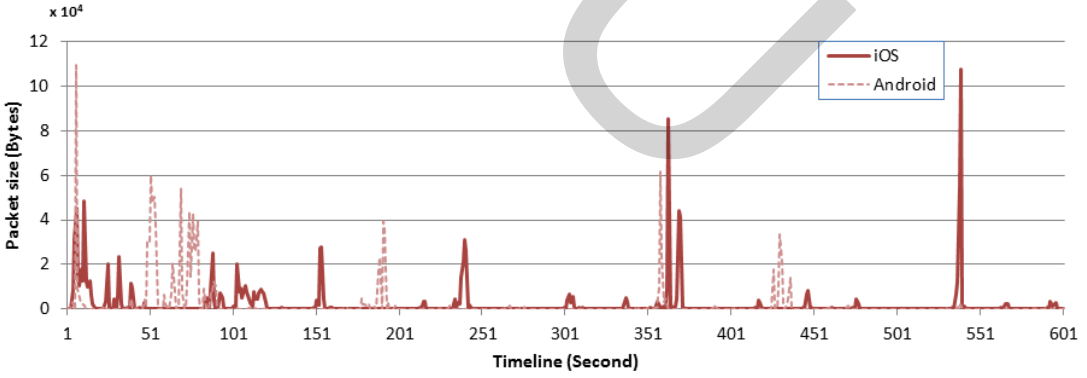
ภาพที่ 3.11 ตัวอย่างข้อมูลทราฟฟิกที่ตรวจวัดจากการใช้งานท่องเว็บไซต์

จากภาพที่ 3.11 แสดงตัวอย่างข้อมูลทราฟฟิกที่ตรวจวัดจากการใช้งานท่องเว็บไซต์ โดยพบว่าระบบปฏิบัติการ Android นั้นมีการรับ-ส่งข้อมูลบ่อยกว่า และมีปริมาณข้อมูลจำนวนมากกว่าระบบปฏิบัติการ iOS



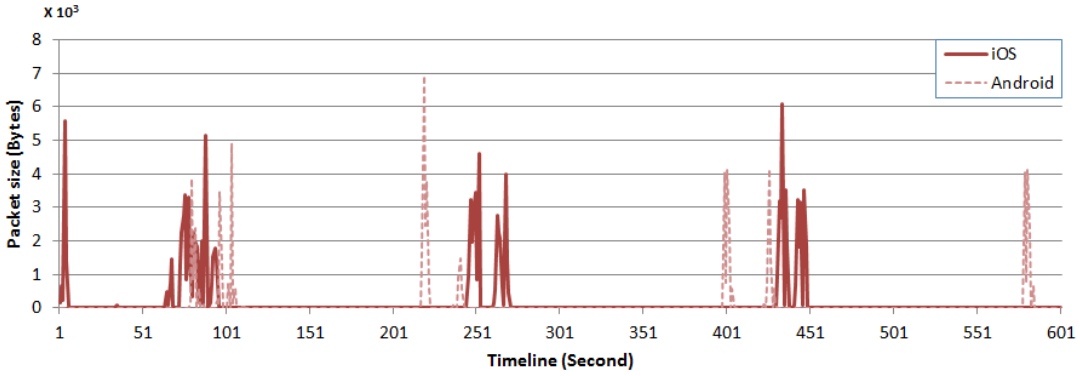
ภาพที่ 3.12 ตัวอย่างข้อมูลทราฟฟิกที่ตรวจวัดจากการเล่นเกมส์ Angry Birds

จากภาพที่ 3.12 แสดงตัวอย่างข้อมูลทราฟฟิกที่ตรวจวัดจากการเล่นเกมส์ Angry Bird โดยพบว่าระบบปฏิบัติการ Android นั้นมีการรับ-ส่งข้อมูลบ่อยกว่า และมีปริมาณข้อมูลจำนวนมากกว่า ในขณะที่ระบบปฏิบัติการ iOS นั้นแทบจะไม่มีการรับ-ส่งข้อมูลเลย อันเนื่องมาจากเกมส์ Angry Bird ระบบปฏิบัติการ iOS จะมีโฆษณาเฉพาะตอนเริ่มเล่นเกมส์และกดปุ่มหยุดเล่นชั่วคราวเท่านั้น ในขณะที่บนระบบปฏิบัติการ Angry Bird นั้นมีโฆษณาตอนเริ่มเล่นเกมส์ กดปุ่มหยุดเล่นชั่วคราว และในระหว่างการเล่นเกมส์ในทุกๆ ด่าน



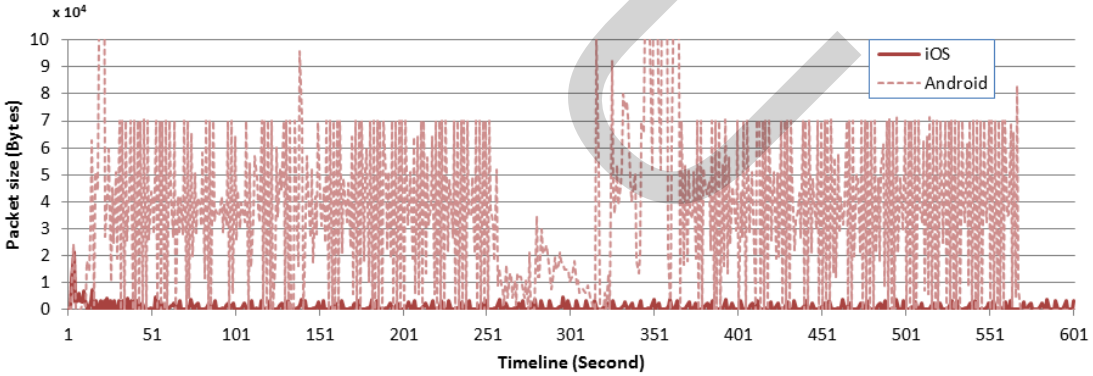
ภาพที่ 3.13 ตัวอย่างข้อมูลทราฟฟิกที่ตรวจวัดจากการใช้งานเครือข่ายสังคมออนไลน์

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



ภาพที่ 3.14 ตัวอย่างข้อมูลทราฟฟิกที่ตรวจวัดจากการใช้งานอีเมลล์

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



ภาพที่ 3.15 ตัวอย่างข้อมูลทราฟฟิกที่ตรวจวัดจากการดูวีดีโอผ่านอินเทอร์เน็ต

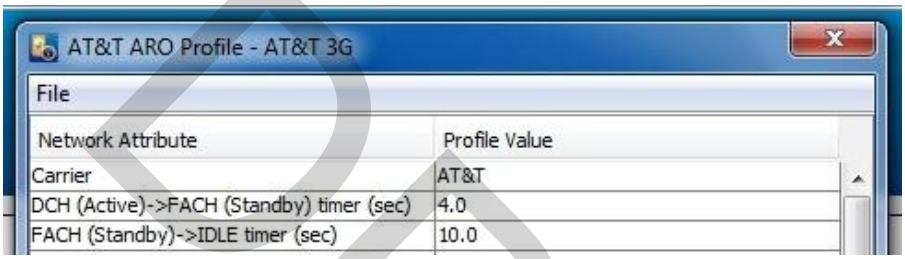
จากภาพที่ 3.15 แสดงตัวอย่างข้อมูลทราฟฟิกที่ตรวจวัดจากการดูวีดีโอผ่านอินเทอร์เน็ต พบว่าระบบปฏิบัติการ iOS และระบบปฏิบัติการ Android นั้นมีความถี่ในการรับ-ส่งข้อมูลสม่ำเสมอตลอดการใช้งาน แต่ระบบปฏิบัติการ Android มีการรับ-ส่งข้อมูลขนาดใหญ่กว่าระบบปฏิบัติการ iOS

3.4.3 แบบจำลองด้วยโพรแกรม MATLAB การทำงานของแบบจำลองในการวิเคราะห์การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซี มีขั้นตอนดังนี้

1) นำเข้าข้อมูลทราฟฟิกโดยการอ่านข้อมูลจากไฟล์ข้อมูลทราฟฟิกในรูปแบบ Plain text ที่ได้ จากหัวข้อที่ 3.4.1

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

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



ภาพที่ 3.16 การกำหนดค่าระยะเวลา Timeout ของโพรแกรม AT&T Application Resource Optimizer

เนื่องจากโพรแกรม 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

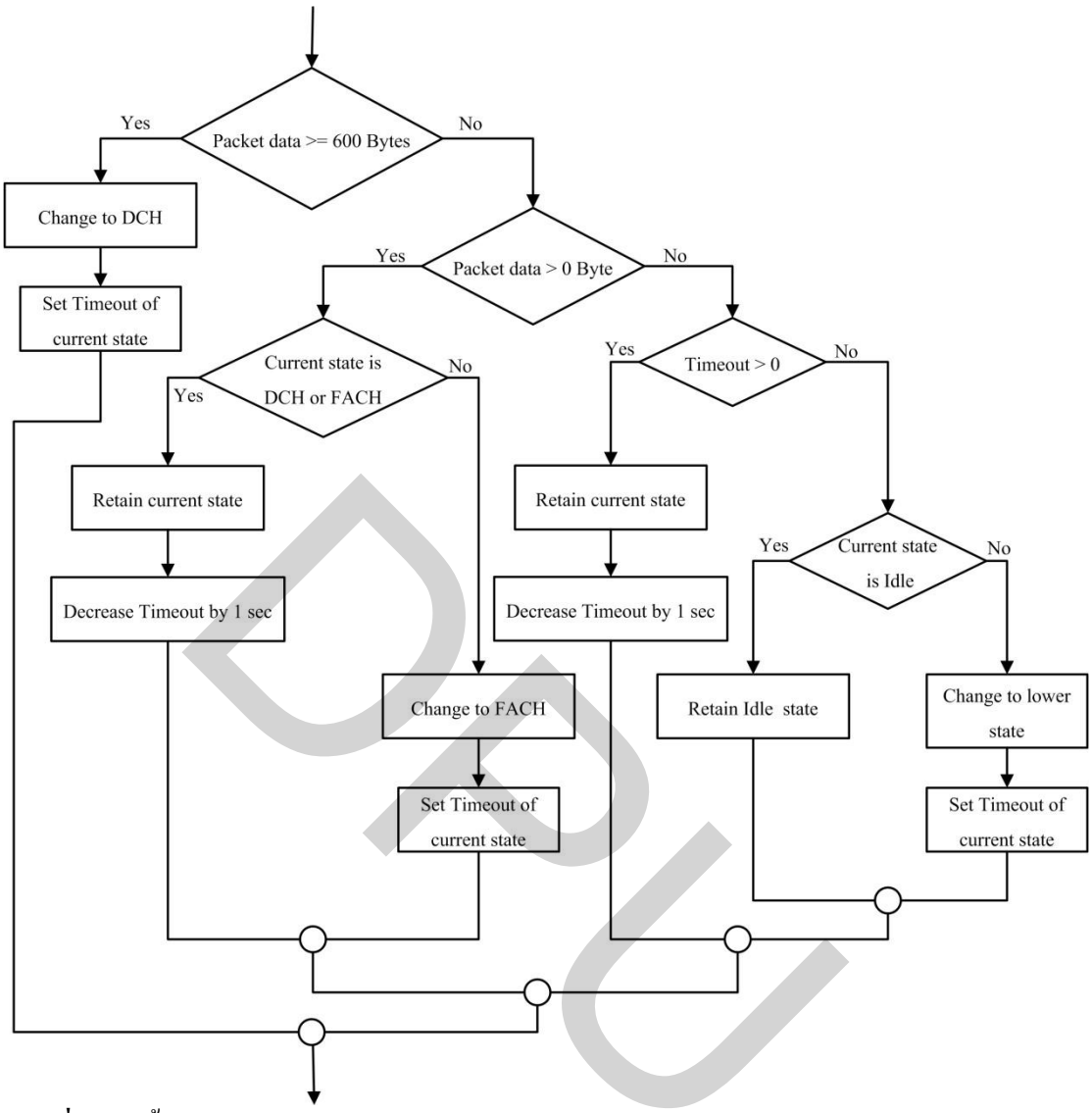
กำหนดให้ระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์ดีซีเอช เป็น 4 วินาที ตามโพรแกรม AT&T Application Resource Optimizer กำหนดให้ระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์เอฟเอซีเอช เป็น 10 วินาที ตามสถานะเซลล์เอฟเอซีเอช->สถานะว่างในโพรแกรม AT&T Application Resource Optimizer เพิ่มการกำหนดระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์พีซีเอช->สถานะว่าง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

การกำหนดระยะเวลา Timeout จากงานวิจัย Adaptive Radio Resource Management Scheme for UMTS Packet Data[5] ที่กำหนดระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์ดีซีเอช 10 วินาที เซลล์เอฟเอซี-เอช 50 วินาที และเซลล์พีซีเอช 240 วินาที ซึ่งจะเห็นได้ว่าในแต่ละสถานะจะมีค่ามากกว่าสถานะก่อนหน้าอยู่ประมาณ 5 เท่า จึงพิจารณาการกำหนดระยะเวลา Timeout ของโพรแกรม AT&T Application Resource Optimizer ในสถานะเซลล์เอฟเอซีเอชที่มากกว่าสถานะเซลล์ดีซีเอชอยู่ 2.5 เท่า ดังนั้นจึงกำหนดระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์พีซีเอชโดยการคูณระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์-เอฟเอซีเอชด้วย 2.5 ซึ่งเท่ากับ 25 วินาที

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

DPU

[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 แสดงขั้นตอนวิธีในการพิจารณาสถานะอาร์อาร์ซีจากข้อมูลทราฟฟิกของการใช้งานสมาร์ทโฟนตามแบบโพรแกรม AT&T Application Resource Optimizer

3.4.3 การเปลี่ยนสถานะ RRC ของระบบปฏิบัติการ วิเคราะห์พฤติกรรมในการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการ จากไฟล์ทราฟฟิกของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS และ Android จำนวน ระบบปฏิบัติการละ 15 ไฟล์ โดยแบ่งเป็นทราฟฟิกจากการใช้เว็บเบราเซอร์ จำนวน 3 ไฟล์ จากการเล่นเกมส์ Angry Bird จำนวน 3 ไฟล์ จากการใช้งานเครือข่ายสังคมออนไลน์ จำนวน 3 ไฟล์ จากการใช้งานอีเมลล์ จำนวน 3 ไฟล์ และจากการดูวีดีโอผ่านอินเทอร์เน็ต 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 ที่มีการตรวจจับทราฟฟิกจากการใช้งานเว็บเบราเซอร์ และการเล่นเกมส์ 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 มาคำนวณหาปริมาณสัญญาณควบคุมที่สมาร์ทโฟนแต่ละเครื่องจะสร้างขึ้นระหว่างการใช้งานนั้น ดังแสดงในตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 จำนวนสัญญาณควบคุมจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีโดยเฉลี่ย

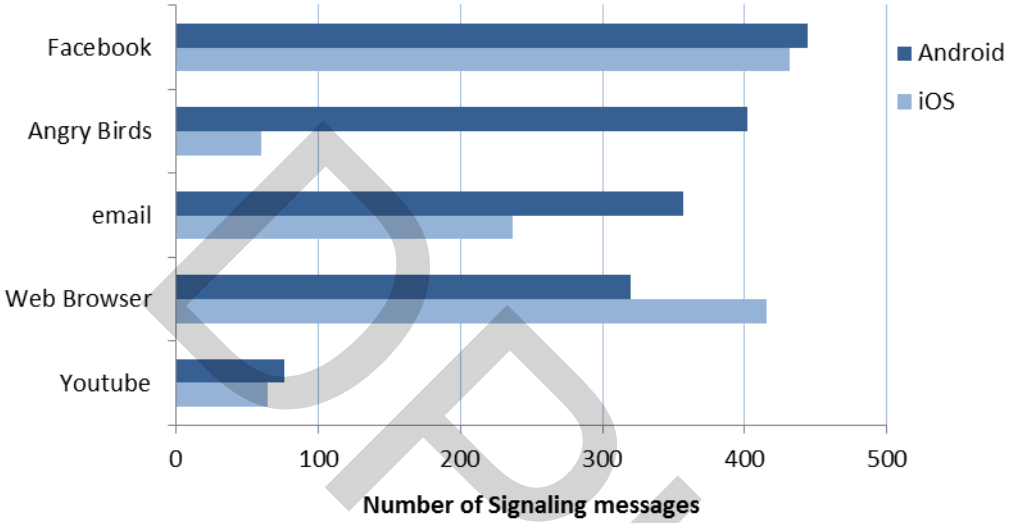
	IDLE ->DCH	DCH ->FACH	FACH ->PCH	PCH ->IDLE	FACH ->DCH	PCH ->DCH	PCH ->FACH	Total (message)
Signaling	**30**	**4**	**4**	**22**	**6**	**12**	**3**	-
iOS								
Web	140.00	54.67	40.00	102.67	38.00	32.00	8.00	415.33
Angry Bird	10.00	8.00	6.67	29.33	2.00	4.00	0	60.00
Facebook	80.00	77.33	54.67	58.67	44.00	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 Networks[6] ที่ระบุว่าสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android มีการสร้างสัญญาณมากกว่าสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS จึงเกิดแนวคิดในการปรับระยะเวลา

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

Timeout ของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่ในกลุ่มที่สร้างสัญญาณมากซึ่งคือระบบปฏิบัติการ Android จะถูกกำหนดระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีที่นานกว่ายูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการในกลุ่มที่มีการสร้างสัญญาณน้อยคือระบบปฏิบัติการ iOS ซึ่งข้อมูลกลุ่มของระบบปฏิบัติการนี้จะต้องถูกบันทึกเก็บไว้ในระบบ เพื่อใช้ในการพิจารณาการกำหนดระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ ต่อไป



ภาพที่ 3.18 เปรียบเทียบจำนวนสัญญาณควบคุมจากการใช้งานแอพลิเคชั่นต่างๆ บนสมาร์ทโฟน

จากตารางที่ 3.18 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนสัญญาณควบคุมจากการใช้งานแอพลิเคชั่นต่างๆ บนสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS และ Android โดยพบว่า การใช้งานแอพพลิเคชั่น Facebook , Angry Birds , email , และ Youtube สมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android มีการสร้างสัญญาณควบคุมจำนวนมากกว่า สมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS โดยเฉพาะเกมส์ Angry Birds เนื่องจากเกมส์ Angry Birds บนระบบปฏิบัติการ iOS นั้นมีโฆษณาในระหว่างการเล่นเกมส์น้อยกว่า โดยมีโฆษณาการลงทะเบียนกับผู้ผลิตเกมส์ โฆษณาระหว่างการกดปุ่มหยุดการเล่นชั่วคราว เท่านั้น ซึ่งในการตรวจจับ Traffic ในงานวิจัยนี้ มีการกดหยุดเล่นชั่วคราวในตอนเริ่มต้นและยุติการตรวจจับ Traffic เมื่อครบระยะเวลาที่กำหนดเท่านั้น แต่เกมส์ Angry Birds บนระบบปฏิบัติการ Android จะมีโฆษณาในลักษณะ Popup ระหว่างการเล่นเกมส์ในด่านต่างๆ ด้วยซึ่งระบบของเกมส์จะสุ่มโฆษณาขึ้นมาแสดงด้านบนขวาของหน้าจอ เกมส์ Angry Birds บนระบบปฏิบัติการ Android จึงมีการใช้งานข้อมูลบ่อยกว่าเกมส์ Angry Birds บนระบบปฏิบัติการ

iOS แต่การท่องเว็บไซต์ด้วยโพรแกรมเว็บเบราเซอร์ 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 ของสถานะอาร์อาร์ซีนี้เริ่มทำงานก่อนที่ระบบจะมีความคับคั่งเกินกว่าเกณฑ์การควบคุมการร้องขอการใช้งาน และการควบคุมความคับคั่ง เมื่อระบบมีความคับคั่งเกินกว่า 75 เปอร์เซนต์ และ 90 เปอร์เซนต์ ตามลำดับ จึงกำหนดเกณฑ์ความคับคั่งเพื่อปรับระยะเวลา Timeout ตามกลไกนี้ไว้ 2 ระดับ คือระดับที่ 1 เมื่อระบบมีความคับคั่งเกินกว่า 55 เปอร์เซนต์ และระดับที่ 2 เมื่อระบบมีความคับคั่งเกินกว่า 70 เปอร์เซนต์

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) มีการใช้ทรัพยากรคลื่นวิทยุในระหว่างการใช้งานเฉลี่ยในขณะที่มีการตอบสนองระหว่างการใช้จำนวน 1.94 เปอร์เซนต์ และในขณะหยุดการตอบสนองชั่วคราวจำนวน 0.39 เปอร์เซนต์

3) กำหนดค่าตัวแปรที่สำคัญสำหรับแพ็กเกตสวิตช์ในแบบจำลองที่ใช้ในการทดสอบดังนี้

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 จึงได้กำหนดค่าตัวแปรการใช้ทรัพยากรคลื่นวิทยุในระหว่างการใช้งานเฉลี่ยใขณะอยู่ในสถานะ Cell_DCH (ระหว่างกำลังใช้งาน) จำนวน 7.61/51 เท่ากับ 0.1492 เปอร์เซนต์, สถานะ Cell_DCH (ไม่มีการใช้งาน) จำนวน 1.52/51 เท่ากับ 0.0298 เปอร์เซนต์, สถานะ Cell_FACH จำนวน 0.06/51 เท่ากับ 0.0011 เปอร์เซนต์ และสถานะ Cell_PCH จำนวน 0.006/51 เท่ากับ 0.000117 เปอร์เซนต์

4) กำหนดค่าตัวแปรจำนวนสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสถานะต่างๆ ตามตารางที่ 2.1 ซึ่งจะใช้ในการคำนวณหาปริมาณสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานและใช้สำหรับตรวจสอบความคับคั่งของสัญญาณเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้

5) การกำหนดค่าตัวแปรระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีต่างๆ สำหรับการคงอยู่ในสถานะหลังจากไม่มีการใช้งานข้อมูล ซึ่งเป็นค่าระยะเวลาของการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ ตามตารางที่ 3.3

6) สำหรับพฤติกรรมในการใช้งานบริการข้อมูลและพฤติกรรมในการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีจากการใช้งานนั้นจะใช้ทราฟฟิกที่ตรวจวัดได้จากหัวข้อ 3.3.1 ในการกำหนดพฤติกรรมในการใช้งานบริการข้อมูลของยูอีแต่ละเครื่องโดยจะสุ่มเลือกทราฟฟิกที่ตรวจวัดได้ของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS และสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ในอัตราส่วนที่เท่ากัน และกำหนดให้ยูอีมีระยะเวลาใช้งานเฉลี่ย 412 วินาที การทดลองนี้กำหนดให้ยูอีที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายจะสามารถใช้งานได้จนกว่าจะครบระยะเวลาใช้งานหรือถูก Drop เนื่องจากเครือข่ายมีความคับคั่งของสัญญาณมากเท่านั้น

7) กำหนดค่าตัวแปรสำหรับเกณฑ์ที่จะให้กลไกการควบคุมการร้องขอการใช้งานให้เริ่มควบคุมการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบ โดยระบบจะทำปิดกั้นยูอีที่กำลังร้องขอการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบเครือข่ายก็ต่อเมื่อมีค่าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งใน 3 ตัวเท่ากับหรือมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ดังนี้

7.1) ปริมาณการใช้ Radio Resource เท่ากับ 75 เปอร์เซนต์

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

7.3) มีจำนวนสัญญาณควบคุม 400 x 51 เท่ากับ 20,400 สัญญาณต่อวินาที

8) กำหนดค่าตัวแปรสำหรับเกณฑ์ที่จะให้กลไกการควบคุมความคับคั่ง ให้เริ่มยุติการใช้งานของยูอีบางส่วน ดังนี้

8.1) ปริมาณการใช้ Radio Resource เท่ากับ 90 เปอร์เซนต์

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

8.3) มีจำนวนสัญญาณควบคุม 500 x 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 จำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีที่ลดลง จำนวนการยุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบที่ลดลง และผลกระทบในด้านที่เพิ่มมากขึ้น ได้แก่ ผลรวมการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่เพิ่มขึ้น ปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอีที่เพิ่มขึ้น จำนวนการควบคุมการร้องขอการใช้งานที่เพิ่มขึ้น โดยมีการให้น้ำหนักแก่ผลลัพธ์แตกต่างกันดังนี้

1) ผลรวมสัญญาณควบคุม น้ำหนัก 50 เปอร์เซนต์ของผลลัพธ์ที่ลดลงได้

2) จำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอี น้ำหนัก 20 เปอร์เซนต์ของผลลัพธ์ที่ลดลงได้

3) จำนวนการยุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบ น้ำหนัก 30 เปอร์เซนต์ของผลลัพธ์ที่ลดลงได้

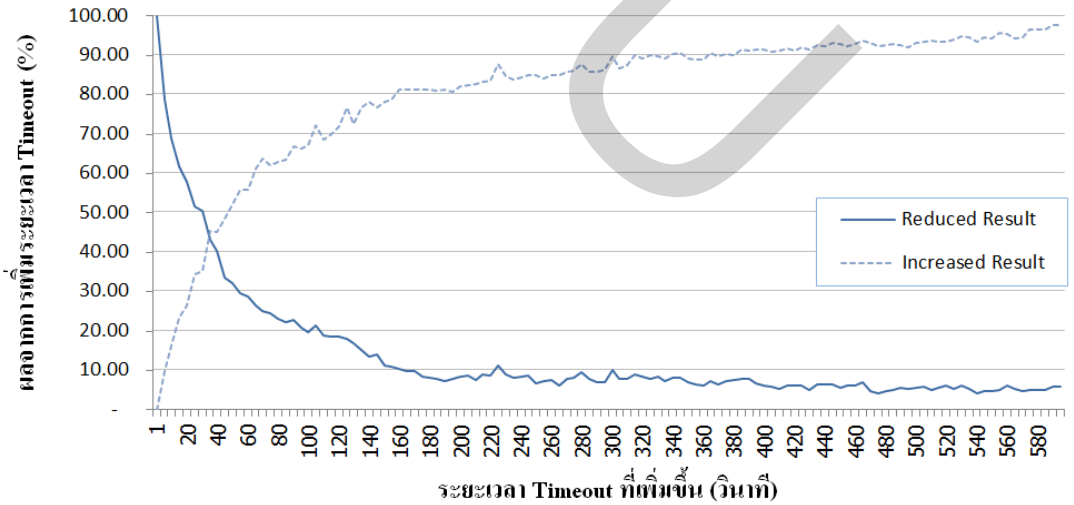
4) ผลรวมการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในเครือข่าย น้ำหนัก 20 เปอร์เซนต์ของผลลัพธ์ที่เพิ่มขึ้น

5) ปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอี น้ำหนัก 50 เปอร์เซนต์ของผลลัพธ์ที่เพิ่มขึ้น

6) จำนวนการควบคุมการร้องขอการใช้งาน น้ำหนัก 30 เปอร์เซนต์ของผลลัพธ์ที่เพิ่มขึ้น

โดยนำมาเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซนต์ กำหนดให้ผลการทดสอบด้วยแบบจำลองในด้านที่สามารถลดลงได้มากที่สุดเป็น 100 เปอร์เซนต์ และผลลัพธ์ในด้านที่ลดลงได้น้อยที่สุดเป็น 0 เปอร์เซนต์ นำมาพล็อตกราฟ และกำหนดให้ผลรวมในด้านที่เพิ่มขึ้นมากที่สุดเป็น 100 เปอร์เซนต์ และและผลลัพธ์ในด้านที่ลดลงน้อยที่สุดเป็น 0 เปอร์เซนต์ นำมาพล็อตกราฟ พิจารณาจุดที่เปอร์เซนต์ของผลลัพธ์ในด้านที่ลดลงได้สมดุลกับเปอร์เซนต์ของผลลัพธ์ที่เพิ่มมากขึ้นในแต่ละสถานะอาร์อาร์ซี ได้ผลลัพธ์ดังนี้

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

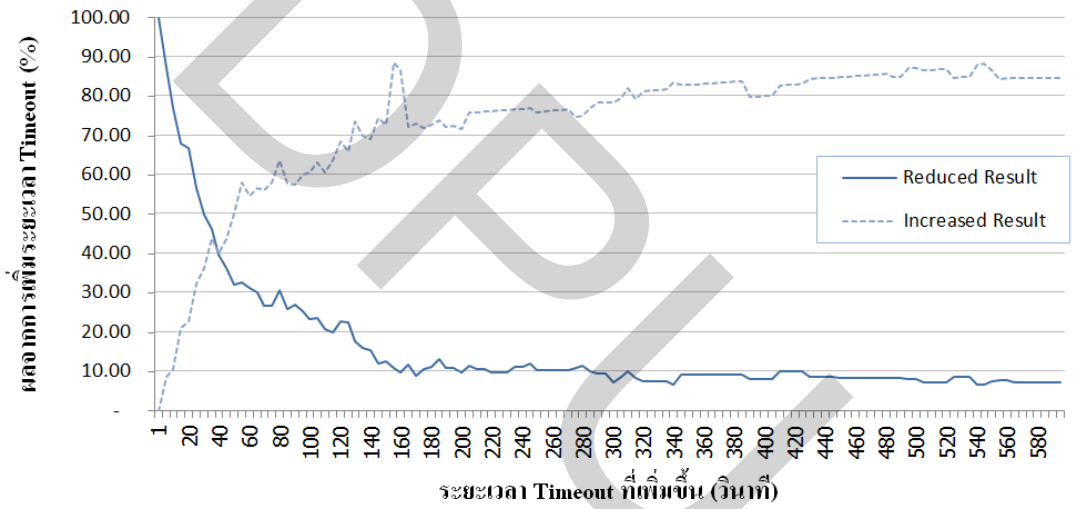


ภาพที่ 3.19 ผลการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์ดีซีเอช

จากผลลัพธ์ของการเพิ่มระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์ดีซีเอชตามภาพที่ 3.19 พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น จำนวนสัญญาณควบคุมโดยรวมในระบบเครือข่ายจะมีแนวโน้มลดลง

เนื่องจากเมื่อระยะเวลา Timeout เพิ่มมากขึ้นยูอีจะคงอยู่ในสถานะเซลล์ดีซีเอชนานขึ้นกว่าเดิมจึงมีจำนวนครั้งในการเปลี่ยนสถานะน้อยลง เป็นผลให้มีการสร้างสัญญาณควบคุมจากการเปลี่ยนสถานะลดลง ในขณะที่การใช้พลังงานของยูอีมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากเมื่อระยะเวลา Timeout เพิ่มมากขึ้นยูอีจะคงอยู่ในสถานะเซลล์ดีซีเอชนานขึ้น ซึ่งการคงอยู่ในสถานะนี้ต้องใช้พลังงานมากกว่าสถานะอื่นๆ ปริมาณพลังงานที่ถูกใช้จึงเพิ่มมากขึ้น โดยจุดที่ระบบมีเปอร์เซนต์ผลลัพธ์ในด้านที่สามารถลดลงได้สมดุลกับเปอร์เซนต์ผลลัพธ์ในด้านที่เพิ่มขึ้น คือเมื่อเพิ่มระยะเวลา Timeout 35 วินาที เมื่อรวมกับระยะเวลา Timeout แบบคงที่ตามตารางที่ 3.3 จะได้ 39 วินาที

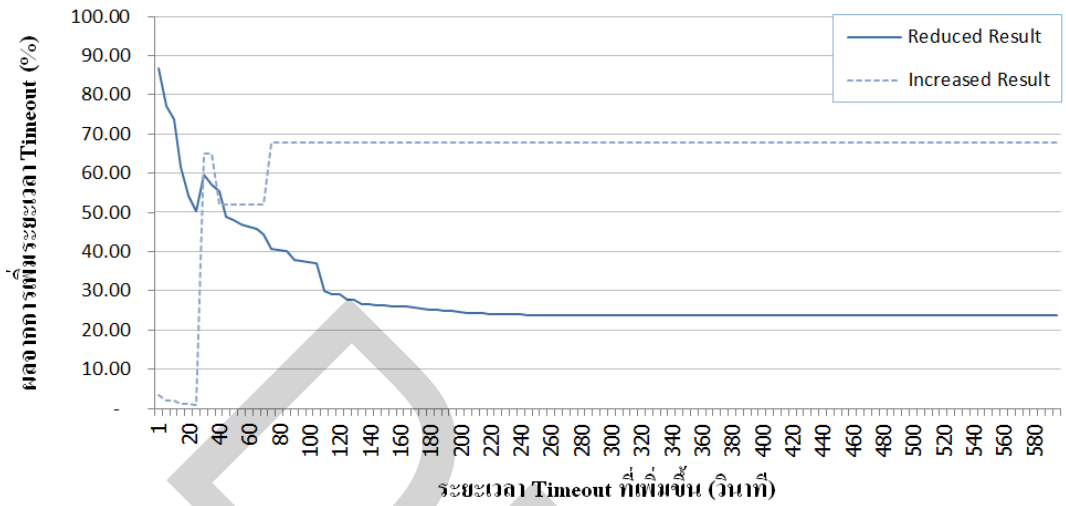
2) ผลของการเพิ่มระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์เอฟเอซีเอช โดยระยะเวลา Timeout ของสถานะอื่นๆ คงที่ ไม่มีการเพิ่มระยะเวลา ปรากฏดังภาพที่ 3.20



ภาพที่ 3.20 ผลการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์เอฟเอซีเอช

จากผลลัพธ์ของการเพิ่มระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์เอฟเอซีเอชตามภาพที่ 3.20 พบว่าเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น จำนวนสัญญาณควบคุมโดยรวมในระบบเครือข่ายมีการปรับขึ้นและลงในบางช่วงเวลา เช่นเดียวกันกับการใช้พลังงาน แต่เมื่อดูแนวโน้มของกราฟจะพบว่าจำนวนสัญญาณควบคุมโดยรวมในระบบเครือข่ายจะมีแนวโน้มลดลง และการใช้พลังงานมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยจุดที่ระบบมีเปอร์เซนต์ผลลัพธ์ในด้านที่สามารถลดลงได้สมดุลกับเปอร์เซนต์ผลลัพธ์ในด้านที่เพิ่มขึ้น 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 จำนวนสัญญาณควบคุมโดยรวมในระบบเครือข่ายมีการปรับขึ้นและลงในบางช่วงเวลา เช่นเดียวกันกับการใช้พลังงาน แต่เมื่อดูแนวโน้มของกราฟจะพบว่าจำนวนสัญญาณควบคุมโดยรวมในระบบเครือข่ายจะมีแนวโน้มลดลง และการใช้พลังงานมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยจุดที่ระบบมีเปอร์เซนต์ผลลัพธ์ในด้านที่สามารถลดลงได้สมดุลกับเปอร์เซนต์ผลลัพธ์ในด้านที่เพิ่มขึ้น 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 ซึ่งจะได้ค่าระยะเวลาที่นานที่สุดที่จะใช้ในกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ดังตารางที่ 3.6

DPU

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 จะเป็นระยะเวลาพื้นฐานที่อาร์เอ็นซีจะกำหนดให้แก่ยูอีในระหว่างการใช้งาน 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 (>= 55%)	ระดับที่ 1	ระดับปกติ	ระดับปกติ
เกณฑ์ระดับที่ 2 (>= 70%)	ระดับที่ 2	ระดับที่ 1	ระดับปกติ

จากตารางที่ 3.7 การกำหนดระยะเวลา Timeout ตามเกณฑ์ความคับคั่ง แสดงการกำหนดระยะเวลา Timeout ของโพรโตคอลอาร์อาร์ซีของอาร์เอ็นซีตามกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีที่นำเสนอ โดยถ้าระบบเครือข่ายมีความคับคั่งน้อยหรืออยู่ในเกณฑ์ปกติหรือมีค่าน้อยกว่า 55 เปอร์เซนต์ 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 คือมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 55 เปอร์เซนต์ แต่น้อยกว่า 70 เปอร์เซนต์ 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 ให้แก่ยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android จะมีการกำหนดระยะเวลา Timeout ในระดับที่ 2 ซึ่งมีระยะเวลายาวนานกว่าการกำหนดระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ซึ่งมีการกำหนดระยะเวลา Timeout ในระดับที่ 1 ดังตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 การกำหนดระดับของระยะเวลา Timeout กรณีความคับคั่งของระบบมากกว่าเกณฑ์ระดับที่ 2

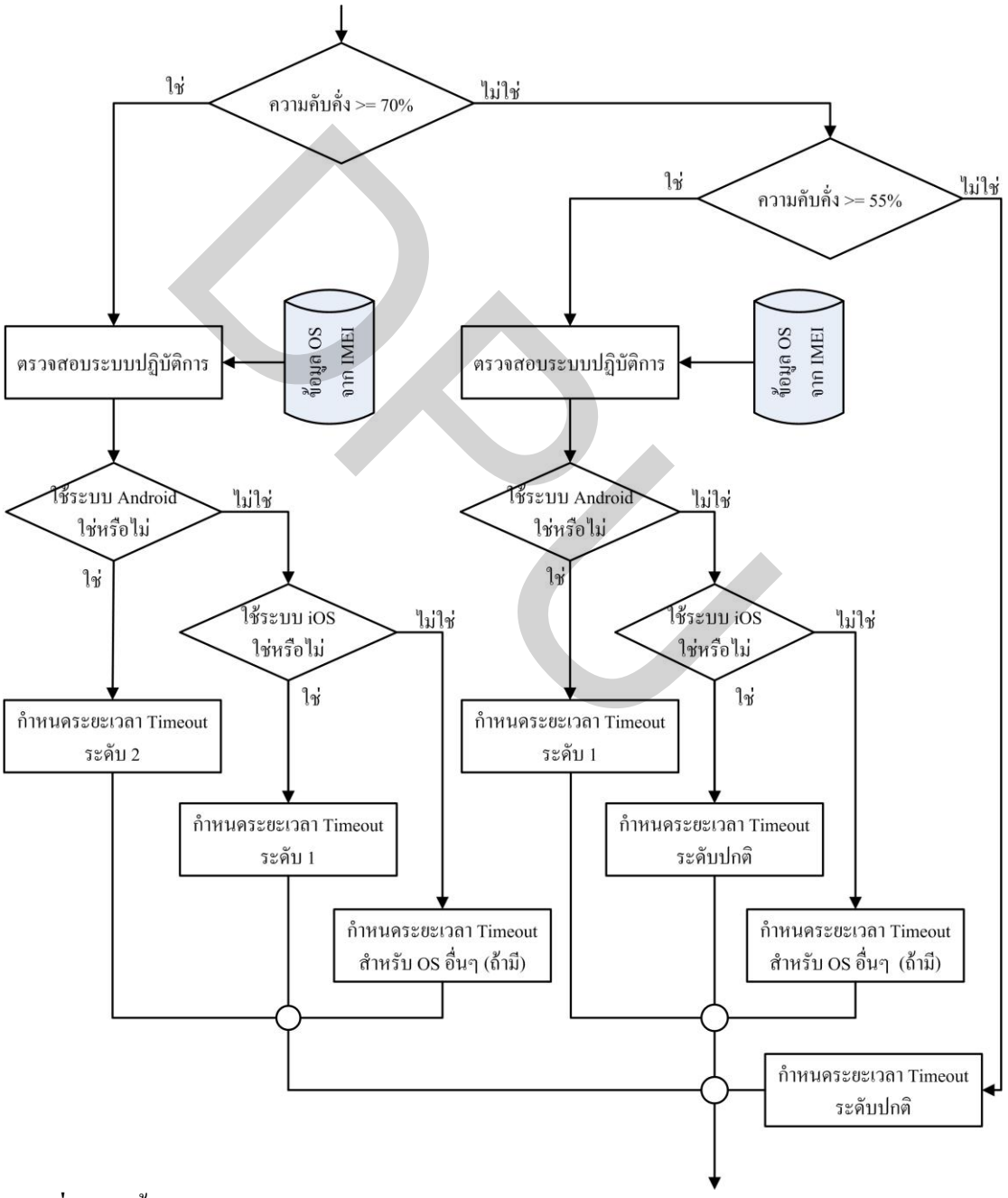
ระบบปฏิบัติการ	ระดับเวลา	ระยะเวลา Timeout (วินาที)		
		Cell_DCH	Cell_FACH	Cell_PCH
iOS	ระดับที่ 1	16	22	35
Android	ระดับที่ 2	39	45	55

เมื่อระบบเครือข่ายมีความคับคั่ง กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีที่นำเสนอนี้ จะปรับระยะเวลา Timeout ของโพรโตคอลอาร์อาร์ซีให้นานขึ้น โดยจะมีการปรับระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ยาวนานกว่าระบบปฏิบัติการ iOS อันเป็นผลมาจากระบบปฏิบัติการ Android มีพฤติกรรมการสร้างสัญญาณจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีมากกว่าระบบปฏิบัติการ iOS มีขั้นตอนการทำงานของอาร์เอ็นซีในการเลือกพิจารณากำหนดระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูอีที่ใช้งานในระบบ

ทั้งนี้ อาร์เอ็นซีจะมีการเก็บข้อมูลของระบบปฏิบัติการของยูอีที่เชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายในขณะที่ทำการลงทะเบียนเพื่อขอเข้าใช้งานข้อมูลกับระบบเครือข่าย แล้วตรวจสอบ

DPU

หมายเลขอีมี่ของยูอีเพื่อนำไปค้นหาในฐานข้อมูลอีมี่ว่าเป็นอุปกรณ์สมาร์ทโฟนที่ผลิตจากบริษัทผู้ผลิตรายใด เป็นสมาร์ทโฟนรุ่นใด เพื่อทำให้ทราบว่ายูอีนั้นเป็นสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการใด เมื่อทราบระบบปฏิบัติการของสมาร์ทโฟนแล้วจะทำการบันทึกเก็บไว้เป็นข้อมูลระบบปฏิบัติการของสมาร์ทโฟนในระบบ เพื่อใช้ในการกำหนดระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูอีตามระบบปฏิบัติการต่อไป ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานในการกำหนดระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูอีตามระบบปฏิบัติการดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.22 ขั้นตอนการพิจารณากำหนดระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูอี

จากภาพที่ 3.22 แสดงขั้นตอนการพิจารณากำหนดระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ เมื่อยูอีมีการร้องขอการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซี ไม่ว่าจะเป็นในกรณีที่ยูอีต้องการเชื่อมต่อกับระบบเพื่อขอใช้งานข้อมูล (Idle -> Cell_DCH) หรือยูอีไม่มีการใช้งานข้อมูลในช่วงระยะเวลาหนึ่งจนหมดเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีใดสถานะหนึ่งแล้วต้องเปลี่ยนสถานะไปเป็นสถานะอื่น

อาร์เอ็นซีจะพิจารณาความคับคั่งของระบบเครือข่ายเทียบกับเกณฑ์ความคับคั่งของระบบระดับที่ 2 ก่อน ถ้าระบบมีความคับคั่งมากเกินกว่าเกณฑ์ความคับคั่งระดับที่ 2 คือมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 70 เปอร์เซนต์ อาร์เอ็นซีจะทำการตรวจสอบระบบปฏิบัติการของยูอี จากข้อมูลระบบปฏิบัติการของสมาร์ทโฟนในระบบที่มีการรวบรวมไว้ จากนั้นอาร์เอ็นซีจะตรวจสอบว่ายูอีนั้นใช้ระบบปฏิบัติการ Android หรือไม่ ถ้าใช่ก็จะกำหนดระยะเวลาของสถานะอาร์อาร์ซีนั้นตามระยะเวลา Timeout ในระดับที่ 2 ตามตารางที่ 3.10 แต่ถ้ายูอีนั้นไม่ได้ใช้ระบบปฏิบัติการ Android อาร์เอ็นซีจะตรวจสอบว่ายูอีนั้นใช้ระบบปฏิบัติการ iOS หรือไม่ ถ้าใช่ก็จะกำหนดระยะเวลาตามระยะเวลา Timeout แต่ละสถานะในระดับที่ 1 ตามตารางที่ 3.10 แต่ถ้ายูอีนั้นไม่ได้ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ระบบอาจตรวจสอบระบบปฏิบัติการอื่นเพิ่มเติมถ้ามีการวิเคราะห์พฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการนั้นๆ ไว้

ในกรณีอาร์เอ็นซีจะพิจารณาความคับคั่งของระบบเครือข่ายแล้วพบว่าระบบมีความคับคั่งมากเกินกว่าเกณฑ์ความคับคั่งระดับที่ 1 คือมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 55 เปอร์เซนต์ แต่น้อยกว่า 70 เปอร์เซนต์ อาร์เอ็นซีจะทำการตรวจสอบระบบปฏิบัติการของยูอี จากข้อมูลระบบปฏิบัติการของสมาร์ทโฟนในระบบที่มีการรวบรวมไว้เช่นเดียวกันกับกรณีที่ระบบมีความคับคั่งมากเกินกว่าเกณฑ์ความคับคั่งระดับที่ 2 จากนั้นอาร์เอ็นซีจะตรวจสอบว่ายูอีนั้นใช้ระบบปฏิบัติการ Android หรือไม่ ถ้าใช่ก็จะกำหนดระยะเวลาของสถานะอาร์อาร์ซีนั้นตามระยะเวลา Timeout ในระดับที่ 1 ตามตารางที่ 3.9 แต่ถ้ายูอีนั้นไม่ได้ใช้ระบบปฏิบัติการ Android อาร์เอ็นซีจะตรวจสอบว่ายูอีนั้นใช้ระบบปฏิบัติการ iOS หรือไม่ ถ้าใช่ก็จะกำหนดระยะเวลาตามระยะเวลา Timeout แต่ละสถานะในระดับที่ปกติ ตามตารางที่ 3.9 แต่ถ้ายูอีนั้นไม่ได้ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ระบบอาจตรวจสอบระบบปฏิบัติการอื่นเพิ่มเติมถ้ามีการวิเคราะห์พฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการนั้นๆ ไว้

ในกรณีอาร์เอ็นซีจะพิจารณาความคับคั่งของระบบเครือข่ายแล้วพบว่าระบบมีความคับคั่งน้อยกว่าเกณฑ์ความคับคั่งระดับที่ 1 คือมีค่าน้อยกว่า 55 เปอร์เซนต์ อาร์เอ็นซีจะกำหนดระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูอีด้วยระยะเวลาในระดับปกติเช่นเดียวกันทุกระบบปฏิบัติการ ตามตารางที่ 3.8 ตามแต่ละสถานะ

3.6 แบบจำลองการทำงานของระบบ

เพื่อเป็นการทดสอบการทำงานของระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ที่มีใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของโพรโตคอลอาร์อาร์ซีที่นำเสนอ จึงได้สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ขึ้น ด้วยโพรแกรม MATLAB โดยมีขั้นตอนการทำงานของโพรแกรม ดังนี้

DPU

```
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).
```

DPU

```
    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 การทำงานของโพรแกรมแบบจำลองการทำงานจะพิจารณาการทำงานของระบบในแต่ละวินาทีจนครบตามระยะเวลาที่กำหนด โดยในแต่ละวินาทีจะทำการกำหนดค่า Current radio resource , Current code resource และ signaling message ให้กับ 0 เพื่อใช้ในการพิจารณาความคับคั่งในแต่ละวินาที จากนั้นพิจารณากำหนดค่าให้ยูอีที่มีระยะเวลาการใช้งานนานกว่าระยะเวลาใช้งานสูงสุดที่กำหนดไว้ให้เป็นสถานะไม่มีการใช้งาน พิจารณายูอีที่กำลังใช้งานอยู่ว่าใช้งานสถานะอาร์อาร์ซีใดจากข้อมูล Traffic ด้วยขั้นตอนวิธีตามหัวข้อที่ 3.4.3 พิจารณา Current radio resource และ signaling message จากสถานะอาร์อาร์ซีปัจจุบัน และพิจารณา Current code resource จากจำนวนยูอีที่มีการใช้งานอยู่ คำนวณหา radio resource , code resource และ signaling message โดยคิดเป็นเปอร์เซนต์โดยเทียบกับค่าสูงสุดที่ระบบจะสามารถรองรับได้เปรียบเทียบโดยนำค่าที่มากที่สุดมาใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาความคับคั่ง พิจารณาความคับคั่งของระบบเทียบกับเกณฑ์ในระดับต่างๆ ที่กำหนดไว้แล้วกำหนดระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีตามความคับคั่งของระบบตามหัวข้อที่ 3.5.3 จากนั้นถ้าพิจารณาความคับคั่งของระบบแล้วปกติ ทำการเพิ่มยูอีใหม่เข้าสู่ระบบตามจำนวน Transaction per Second ที่กำหนดไว้ แต่หากระบบมี

DPU

ความคับคั่งมากกว่ากรือเท่ากับเกณฑ์การควบคุมการร้องขอการใช้งาน ทำการปิดกั้นยูอีที่กำลังร้องขอการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบ แต่หากระบบมีความคับคั่งมากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์การควบคุมความคับคั่ง พิจารณายุติยูอีที่อยู่ในสถานะว่างและเซลล์พีซีเอชออกจากระบบ พิจารณากำหนดสถานะยูอีจำนวนหนึ่งให้เป็นสถานะไม่มีการใช้งาน ตามเปอร์เซนต์การ Handover ที่กำหนดไว้ และสุดท้ายคำนวณการใช้พลังานของยูอีจากสถานะอาร์อาร์ซีทั้งหมดในระหว่างการใช้งาน

DPU

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีการทดสอบการทำงานของระบบด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ และผลการทดสอบการทำงานของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของโพรโตคอลอาร์อาร์ซี ที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับผลการทำงานของกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่

4.1 ข้อกำหนดและตัวแปรที่ใช้ในการจำลองระบบ

ในการทดสอบการทำงานของระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยโพรแกรม MATLAB เพื่อจำลองการทำงานของระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ในส่วนของยูทราน โดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นนี้ที่ได้ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองตามตัวอย่างงานวิจัย Adaptive Radio Resource Management Scheme for UMTS Packet Data[1] เช่นเดียวกันกับแบบจำลองการทำงานของระบบเพื่อพิจารณาระยะเวลา Timeout ที่เหมาะสมในหัวข้อที่ 3.5.2.1 แบบจำลองมีข้อกำหนดดังนี้

1) จำลองการทำงานของอาร์เอ็นซีในการควบคุมโหนดบีจำนวน 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 และในการเพิ่มยูอีใหม่เข้าสู่ระบบจะใช้ทราฟฟิกที่ตรวจวัดได้จากหัวข้อ 3.3.1 ในการกำหนดพฤติกรรมในการจำลองการใช้งานบริการข้อมูลของยูอีแต่ละเครื่อง โดยจะสุ่มเลือกทราฟฟิกของสมาร์ทโฟนจากทราฟฟิกที่ตรวจวัดได้จำนวน 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 สำหรับจำลองการทำงานของอาร์เอ็นซีในการกำหนดสถานะอาร์อาร์ซีให้แก่ยูอีตามพฤติกรรมระหว่างการใช้งานบริการข้อมูลของยูอี

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 ใช้ระยะเวลาตามโพรแกรม AT&T Application Resource Optimizer ตามตารางที่ 3.1

9) กำหนดระยะเวลา Timeout ของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอในระดับต่างๆ ใช้ระยะเวลาตามตารางที่ 3.6

10) กำหนดเกณฑ์ความคับคั่งของระบบที่ใช้ในการพิจารณาการปรับระยะเวลา Time out ในระหว่างการทำงานของระบบตามตารางที่ 3.7

11) กำหนดเกณฑ์ความคับคั่งของระบบที่ใช้ในการพิจารณาปิดกั้นยูอีที่กำลังร้องขอการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบ ตามกลไกการควบคุมการร้องขอการใช้งาน เมื่อระบบมีความคับคั่งมากกว่า 75 เปอร์เซนต์

12) กำหนดเกณฑ์ความคับคั่งของระบบที่ใช้ในการพิจารณายุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบแต่ไม่ได้มีการใช้งานข้อมูลมานานออกจากระบบ ตามกลไกการควบคุมความคับคั่ง เมื่อระบบมีความคับคั่งมากกว่า 90 เปอร์เซนต์

4.2 การวิเคราะห์ผลของกลไกที่นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับกลไกแบบคงที่ในกรณีที่ระบบมีสัดส่วนของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ แตกต่างกัน

การทดสอบที่ 1

ผลของการใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout กับระบบที่มีสัดส่วนของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการต่างๆ ที่แตกต่างกัน

DPU

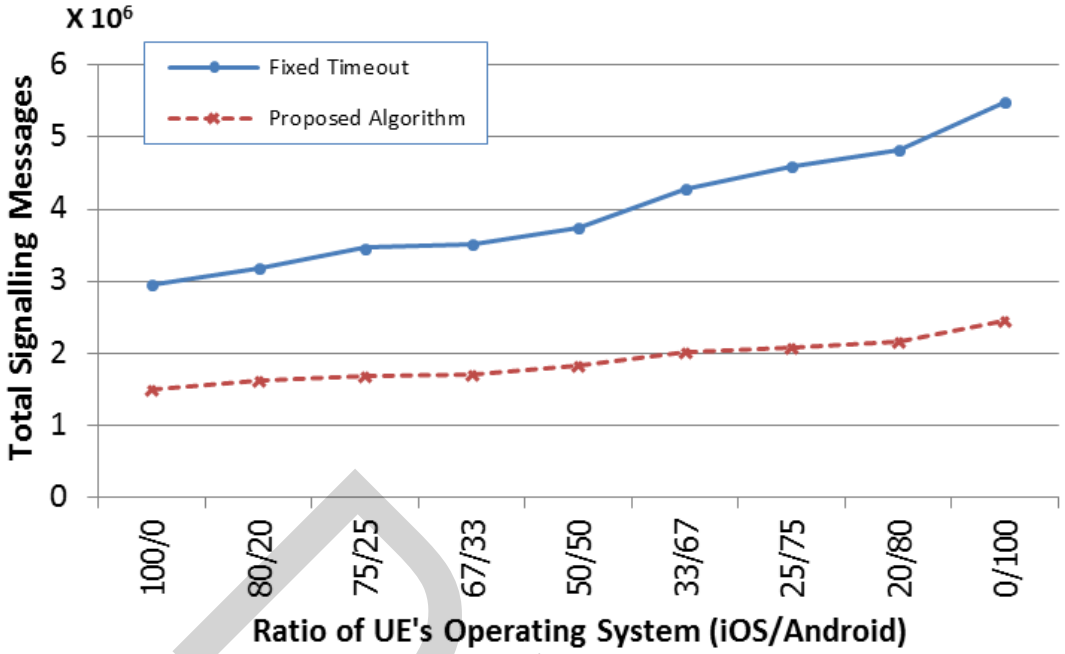
วัตถุประสงค์

1) เพื่อทดสอบว่ากลไกการปรับระยะเวลา Timeout สามารถลดปริมาณสัญญาณควบคุมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้

2) เพื่อทดสอบว่ากลไกการปรับระยะเวลา Timeout สามารถลดปริมาณสัญญาณควบคุมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีสัดส่วนของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android จำนวนมากกว่าสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ได้ดีกว่าระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีสัดส่วนของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS จำนวนมากกว่าสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android

ทดสอบโดยการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่จัดทำขึ้นตามหัวข้อที่ 4.1 จำลองการทำงานระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ที่มียูอีที่ใช้งานด้วยระบบปฏิบัติการ iOS หรือ Android เท่านั้น ซึ่งจะประมวลผลระบบที่มีสัดส่วนของจำนวนยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ต่อจำนวนยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ที่แตกต่างกัน โดยกำหนดจำนวนยูอีคิดเป็นเปอร์เซนต์ของจำนวนยูอีทั้งหมดในระบบ (iOS/Android) ตั้งแต่ระบบที่มียูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ทั้งหมด หรือ (100/0) เปอร์เซนต์ และลดสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ลงเรื่อยๆ ในขณะที่เพิ่มสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ขึ้นเรื่อยๆ ดังนี้ (80/20), (75/25), (66/33), (50/50), (33/66), (25/75), (20/80) ไปจนถึงระบบที่มียูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ทั้งหมด หรือ (0/100) เปอร์เซนต์

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



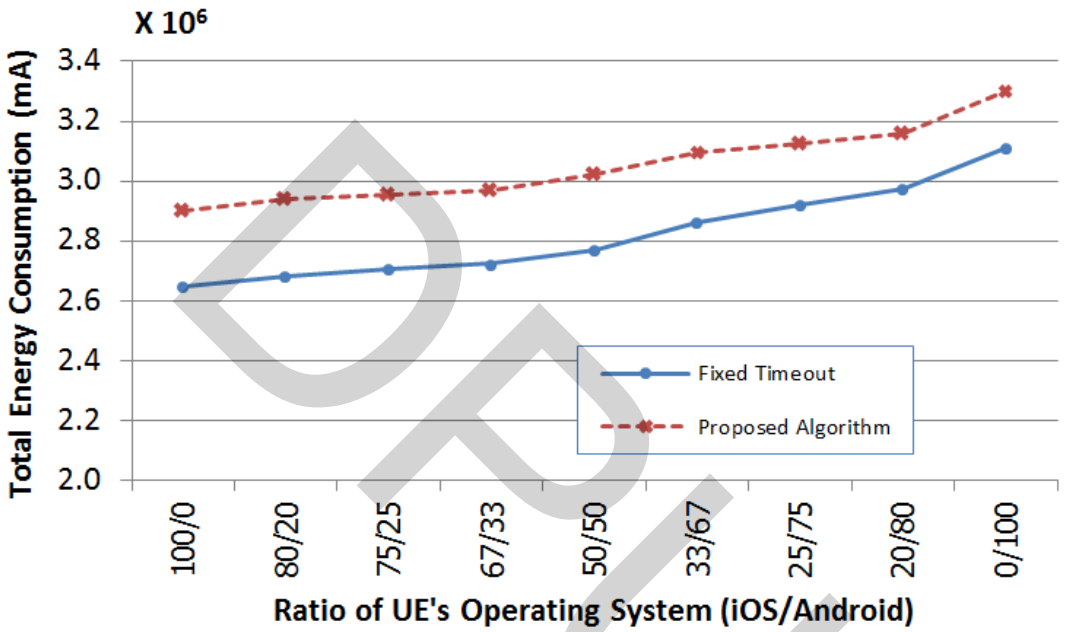
ภาพที่ 4.1 ผลการทดสอบผลรวมสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน

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

สำหรับกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ พบว่ามีผลรวมของสัญญาณควบคุมจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีน้อยกว่ากลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ในทุกๆ ระบบที่มีสัดส่วนของระบบปฏิบัติการแตกต่างกัน โดยจะมีผลรวมของสัญญาณควบคุมจาก

DPU

การเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีน้อยที่สุดเมื่อระบบมีสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซนต์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจนถึงระบบสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซนต์ เมื่อเปรียบเทียบผลรวมของสัญญาณควบคุมของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอกับกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เทียบเป็นเปอร์เซนต์ พบว่าสามารถลดสัญญาณควบคุมได้ 48.84 - 55.21 เปอร์เซนต์



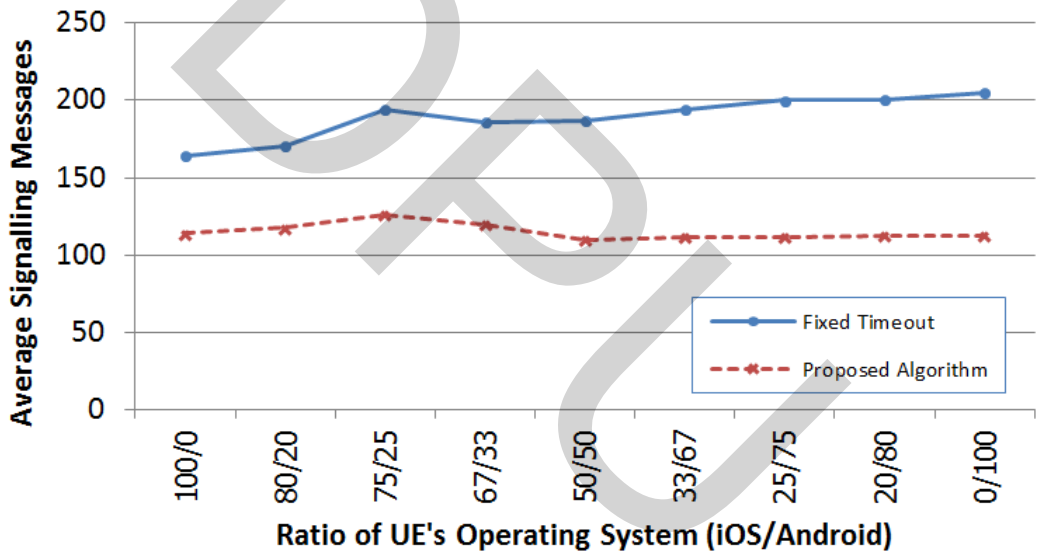
ภาพที่ 4.2 ผลการทดสอบผลรวมการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบผลรวมการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน พบว่าเมื่อใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ ระบบที่มียูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซนต์ มีผลรวมการใช้พลังงานน้อยกว่า ระบบที่มียูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซนต์ โดยมีแนวโน้มของผลรวมการใช้พลังงานเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระบบมีสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ลดลงและสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android เพิ่มขึ้น และมีผลรวมการใช้พลังงานมากที่สุดเมื่อระบบมีสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซนต์ เนื่องจากยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android นั้นมีการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีโดยเฉลี่ยบ่อยกว่าและมีการคงอยู่ในสถานะอาร์อาร์ซีที่ใช้พลังงานมากนาน

DPU

กว่ายูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ดังนั้นยิ่งระบบมีจำนวนยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android มากก็ยิ่งจะมีผลรวมการใช้พลังงานมากขึ้นนั่นเอง

สำหรับกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ พบว่ามีผลรวมการใช้พลังงานมากกว่ากลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ในทุกๆ ระบบที่มีสัดส่วนของระบบปฏิบัติการแตกต่างกัน โดยจะมีผลรวมการใช้พลังงานน้อยที่สุดเมื่อระบบมีสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซนต์ และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น จนถึงระบบสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซนต์ เมื่อเปรียบเทียบผลรวมการใช้พลังงานของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอกับกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เทียบเป็นเปอร์เซนต์ พบว่ากลไกที่นำเสนอเพิ่มการใช้พลังงาน 6.05 - 9.54 เปอร์เซนต์

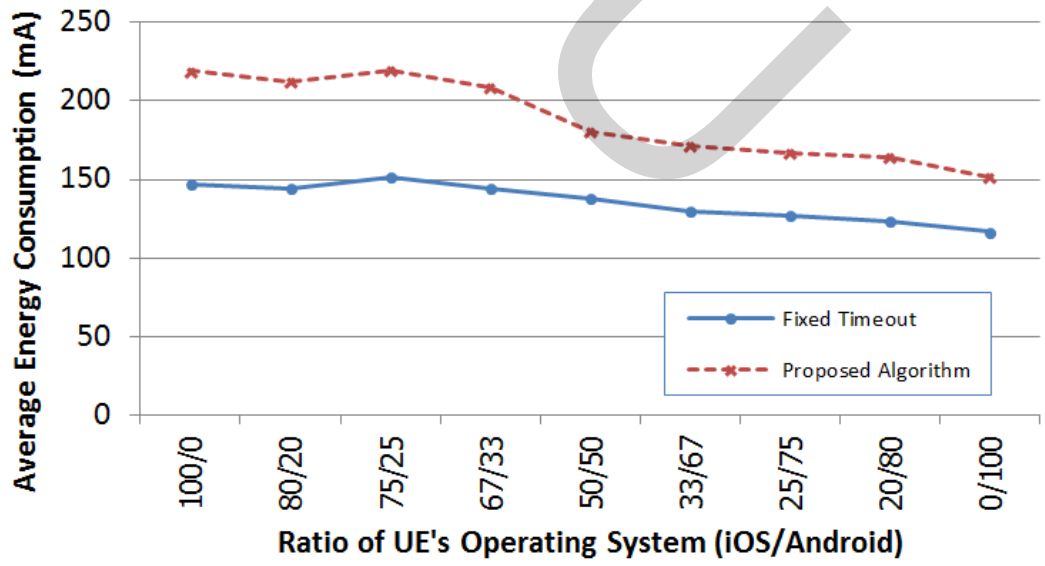


ภาพที่ 4.3 ผลการทดสอบจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน โดยนำผลรวมสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นในเครือข่ายตามภาพที่ 4.1 มาหารจำนวนยูอีทั้งหมดที่ใช้งานในเครือข่าย เพื่อหาจำนวนสัญญาณควบคุมโดยเฉลี่ยที่ยูอีแต่ละเครื่องสร้างขึ้น พบว่าเมื่อใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ ระบบที่มียูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซนต์ มีจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีน้อยกว่า ระบบที่มียูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซนต์ โดยมีแนวโน้มของจำนวนสัญญาณควบคุม

เฉลี่ยต่อยูอีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อระบบมีสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ลดลงและสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android เพิ่มขึ้น และมีผลรวมของจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีมากที่สุดเมื่อระบบมีสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซนต์ เนื่องจากยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android นั้นมีการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีโดยเฉลี่ยบ่อยกว่ายูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ดังนั้น ยิ่งระบบมีจำนวนยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android มากก็ยิ่งจะสร้างสัญญาณควบคุมจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีมากขึ้นนั่นเอง

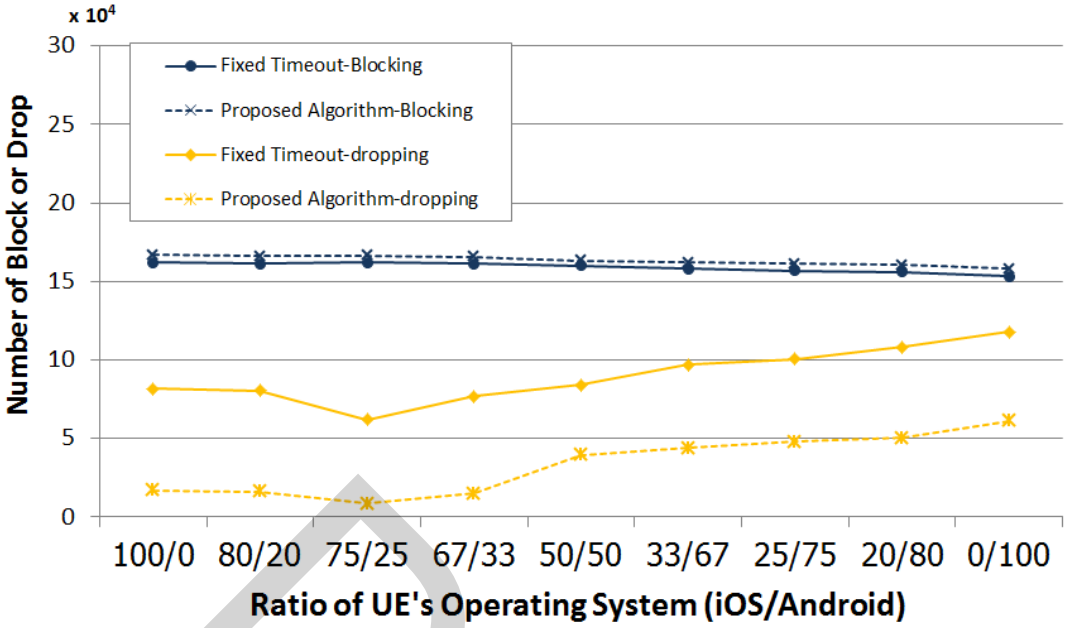
สำหรับกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ พบว่ามีจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีน้อยกว่ากลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ในทุกๆ ระบบที่มีสัดส่วนของระบบปฏิบัติการแตกต่างกัน โดยจะมีจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีมากที่สุดเมื่อระบบที่มีสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซนต์ และมีแนวโน้มคงที่ และเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อระบบมีสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซนต์ เมื่อเปรียบเทียบจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอกับกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เทียบเป็นเปอร์เซนต์ พบว่าสามารถลดสัญญาณควบคุมได้ 30.73 - 45.14 เปอร์เซนต์ โดยลงลงมากที่สุดในระบบที่มีสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซนต์



ภาพที่ 4.4 ผลการทดสอบการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอีที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอีที่เกิดขึ้นในเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน โดยนำผลรวมการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในเครือข่าย ตามภาพที่ 4.2 มาหารจำนวนยูอีทั้งหมดที่ใช้งานในเครือข่าย เพื่อหาการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยที่แต่ละยูอีใช้ พบว่าเมื่อใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ ระบบที่มียูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซนต์ มีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอีมากกว่าระบบที่มียูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซนต์ โดยมีแนวโน้มของการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอีลดลงเรื่อยๆ เมื่อระบบมีสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ลดลงและสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android เพิ่มขึ้น และมีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอีมากที่สุดเมื่อระบบมีสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซนต์

สำหรับกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ พบว่ามีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอีมากกว่ากลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ในทุกๆ ระบบที่มีสัดส่วนของระบบปฏิบัติการแตกต่างกัน โดยจะมีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอีมากที่สุดเมื่อระบบมีสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซนต์ และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนถึงระบบสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android 100 เปอร์เซนต์ เมื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอีของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอกับกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เทียบเป็นเปอร์เซนต์ พบว่ากลไกที่นำเสนอเพิ่มการใช้พลังงาน 29.89 - 48.81 เปอร์เซนต์ โดยมีการเพิ่มมากที่สุดในระบบที่มีสัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซนต์ เมื่อนำมาเปรียบเทียบระยะเวลาการใช้งาน โดยสมมุติให้สมาร์ทโฟนมีแบตเตอรี่ความจุ 1,650 mAh คำนวณเฉพาะการใช้พลังงานของสถานะ RRC เท่านั้น ไม่ได้รวมการใช้พลังงานในส่วนอื่นๆ เช่น จอภาพ ลำโพง เป็นต้น ถ้าใช้การกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ซึ่งมีการใช้พลังงานเฉลี่ย 135.72 mAh จะสามารถใช้งานสมาร์ทโฟนได้ประมาณ 12.16 ชั่วโมง แต่ถ้าใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะ RRC ด้วยระบบ ปฏิบัติการของสมาร์ทโฟน จะมีการใช้พลังงานเฉลี่ย 188.05 mAh ซึ่งสามารถใช้งานสมาร์ทโฟนได้ประมาณ 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 เปอร์เซนต์ ในส่วนของการยุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบนั้นพบว่าเมื่อใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอจะมีอัตราการยุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบน้อยลงกว่าการใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ ลดลงโดยเฉลี่ย 65.33 เปอร์เซนต์ เนื่องจากกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอมีการเพิ่มระยะเวลาที่ยูอีคงอยู่ในสถานะที่สามารถใช้งานบริการข้อมูลนานขึ้นทำให้มีการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีน้อยครั้งกว่า ระบบมีจำนวนสัญญาณควบคุมน้อยกว่า จึงมีอัตราการยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบน้อยลงกว่าการใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่

DPU

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
จำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีลดลง	45.14	30.73	0/100	100/0
การใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอีเพิ่มขึ้น	29.89	48.81	0/100	100/0

จากตารางที่ 4.1 แสดงการสรุปผลการทดลองเครือข่ายที่มีสัดส่วนของ iOS และ Android แตกต่างกัน โดยจะเห็นได้ว่าเครือข่ายที่สัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS 100 เปอร์เซนต์ มีผลการทดลองที่แย่ที่สุดเกือบทุกกรณี ทั้งผลรวมสัญญาณควบคุม ผลรวมการใช้พลังงาน จำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอี ในขณะที่เครือข่ายที่สัดส่วนของยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android มากกว่านั้นจะมีผลการทดลองที่ดีกว่า

สรุปได้ว่า กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอใช้งานได้ผลดี ในเครือข่ายที่มียูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ในสัดส่วนที่มากกว่ายูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS

4.3 การวิเคราะห์ผลของกลไกที่นำเสนอเมื่อเปรียบเทียบกับกลไกแบบคงที่ในกรณีที่ระบบมีความคับคั่งของสมาร์ทโฟนที่ใช้งานที่แตกต่างกัน

การทดสอบที่ 2

ผลของการใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout กับเครือข่ายที่มีความคับคั่งแตกต่างกั

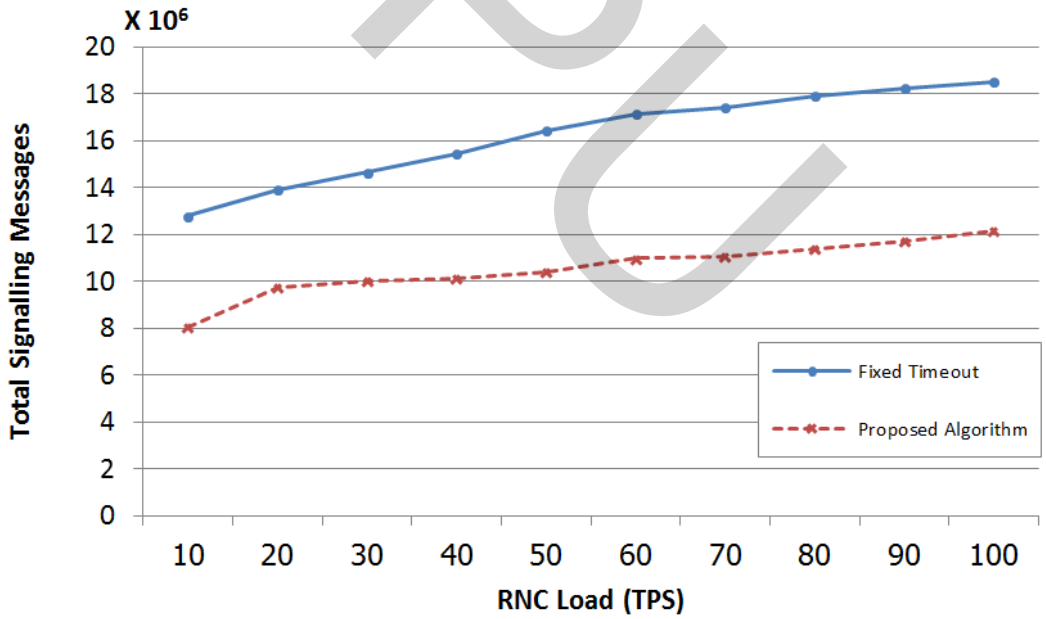
วัตถุประสงค์

1) เพื่อทดสอบว่ากลไกการปรับระยะเวลา Timeout สามารถลดปริมาณสัญญาณควบคุมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้

2) เพื่อทดสอบว่ากลไกการปรับระยะเวลา Timeout สามารถลดปริมาณสัญญาณควบคุมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีอัตราการเพิ่มยูอีเข้าสู่ระบบที่แตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบผลการทำงานของกลไกในสภาวะที่เครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน

ทดสอบโดยการใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่จัดทำขึ้นตามหัวข้อที่ 4.1 จำลองการทำงานระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ที่มียูอีที่ใช้งานด้วยระบบปฏิบัติการ iOS หรือ Android เท่านั้น ซึ่งจะประมวลผลระบบที่มีการเพิ่มยูอีเข้าสู่ระบบที่แตกต่างกัน โดยกำหนดจำนวนการเพิ่มยูอีเข้าสู่ระบบเป็น Transaction per second (TPS) ตั้งแต่ 10 TPS และเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ทีละ 10 ไปจนถึง 100 TPS

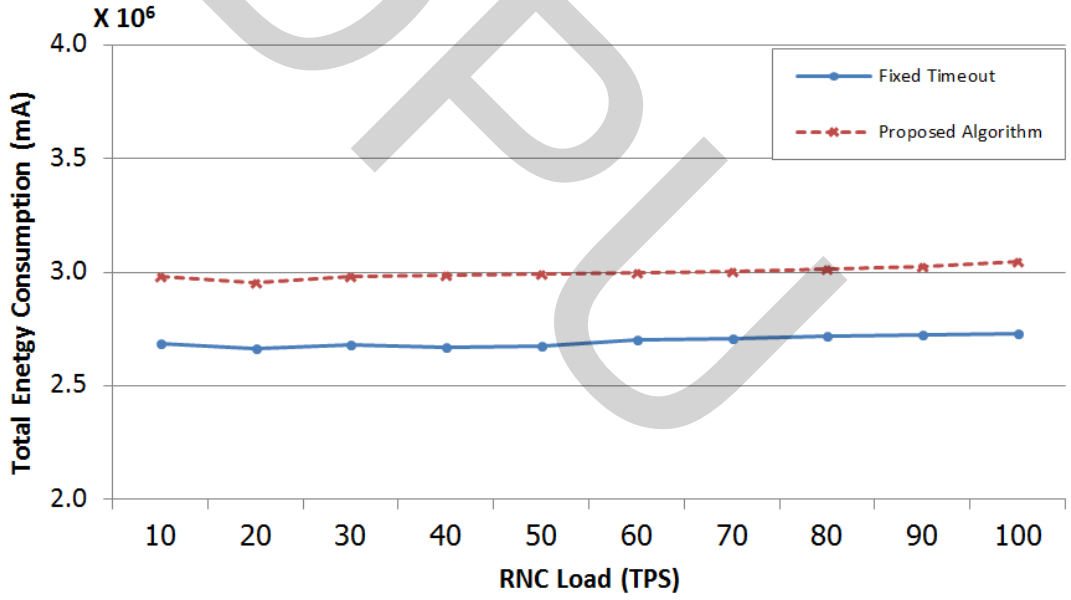
กำหนดสัดส่วนของจำนวนยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS ต่อจำนวนยูอีที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ระบบปฏิบัติการละเท่าๆกัน เท่ากับระบบละ 50 เปอร์เซนต์ (50/50) ประมวลผลแบบจำลองจำนวน 3 ครั้ง แล้วหาค่าเฉลี่ย ได้ผลลัพธ์ดังแสดงในภาพที่ 4.6, 4.7, 4.8, 4.9 และภาพที่ 4.10



ภาพที่ 4.6 ผลการทดสอบผลรวมสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นในเครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบผลรวมสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นในเครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน พบว่าเมื่อใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เครือข่ายที่มีความคับคั่ง 10 TPS มีผลรวมสัญญาณควบคุมน้อยที่สุดและมีแนวโน้มของผลรวมของสัญญาณควบคุม

จากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ไปจนถึงเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS ซึ่งมีผลรวมสัญญาณควบคุมมากที่สุด เนื่องจากยิ่งเครือข่ายมียูอีที่เข้ามาใช้งานมาก ก็จะยิ่งมีสัญญาณควบคุมจากการใช้งานของยูอีจำนวนมากขึ้นด้วย สำหรับกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ พบว่ามีผลรวมของสัญญาณควบคุมจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีน้อยกว่ากลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ในทุกๆ เครือข่ายที่มีความคับคั่งแตกต่างกัน โดยจะมีผลรวมของสัญญาณควบคุมจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีน้อยที่สุดเมื่อเครือข่ายมีความคับคั่ง 10 TPS และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยจนถึงเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS เมื่อเปรียบเทียบผลรวมของสัญญาณควบคุมของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอกับกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เทียบเป็นเปอร์เซนต์ พบว่าสามารถลดสัญญาณควบคุมได้ 29.74 - 37.08 เปอร์เซนต์ โดยลดลงมากที่สุดในเครือข่ายมีความคับคั่ง 100 TPS และเพิ่มขึ้นมากที่สุดในเครือข่ายมีความคับคั่ง 10 TPS

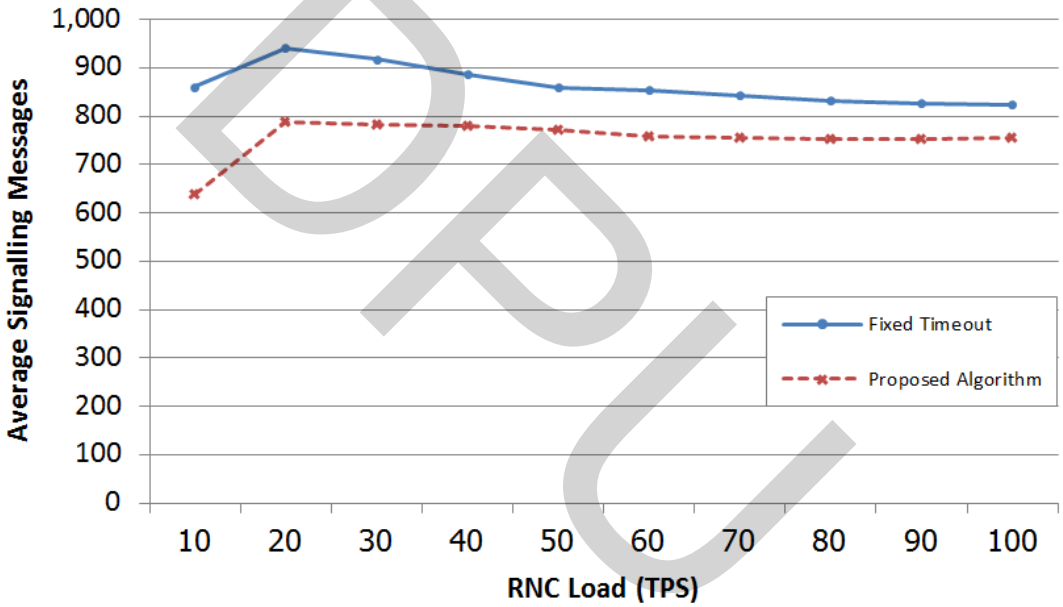


ภาพที่ 4.7 ผลการทดสอบผลรวมการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในเครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน

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

DPU

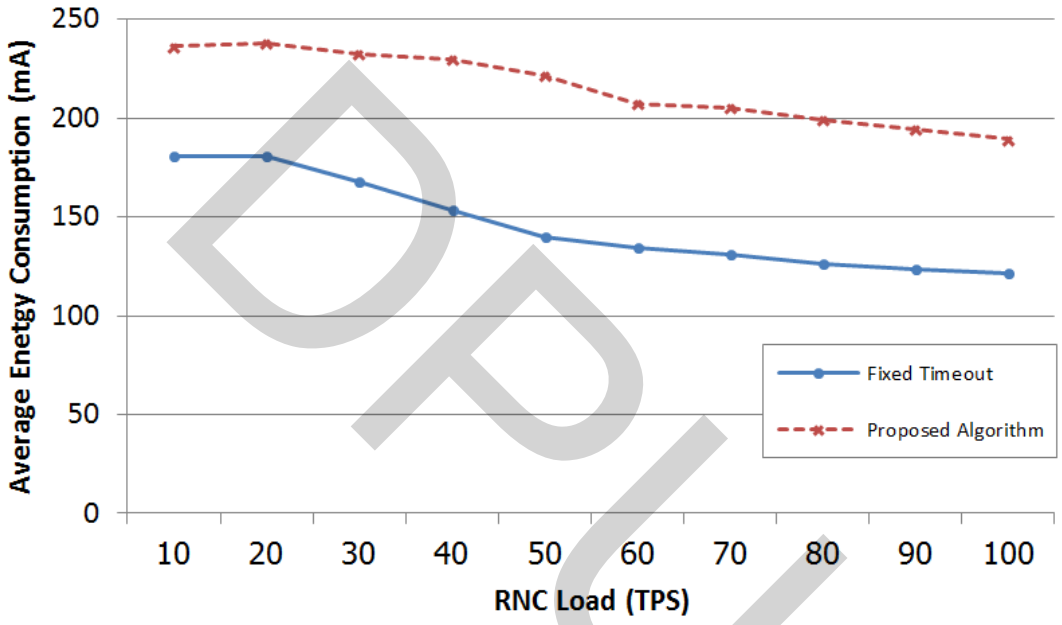
มากกว่าเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 20 TPS ที่มีการยุติยูอีในระบบเล็กน้อย สำหรับกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ พบว่ามีผลรวมของการใช้พลังงานมากกว่ากลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ในทุกๆ เครือข่ายที่มีความคับคั่งแตกต่างกัน โดยจะมีผลรวมมีน้อยที่สุดเมื่อเครือข่ายมีความคับคั่ง 20 TPS และมีแนวโน้มคงที่จนถึงเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS เมื่อเปรียบเทียบผลรวมการใช้พลังงานของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอกับกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เทียบเป็นเปอร์เซนต์ พบว่ากลไกที่นำเสนอเพิ่มผลรวมการใช้พลังงาน 10.75 -11.86 เปอร์เซนต์ โดยเพิ่มมากที่สุดในเครือข่ายมีความคับคั่ง 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 โดยจะมีจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีน้อยที่สุดเมื่อเครือข่ายมีความคับคั่ง 10 TPS และเพิ่มขึ้นเมื่อเครือข่ายมีความคับคั่ง 20 TPS และมีแนวโน้มคงที่จนถึงเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS เมื่อเปรียบเทียบจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอกับกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่เทียบเป็นเปอร์เซนต์ พบว่าสามารถลดสัญญาณควบคุมเฉลี่ยได้ 8.21 - 25.91 เปอร์เซนต์ โดยลดลงมากที่สุดในเครือข่ายมีความคับคั่ง 10 TPS และลดลงน้อยที่สุดในเครือข่ายมีความคับคั่ง 100 TPS

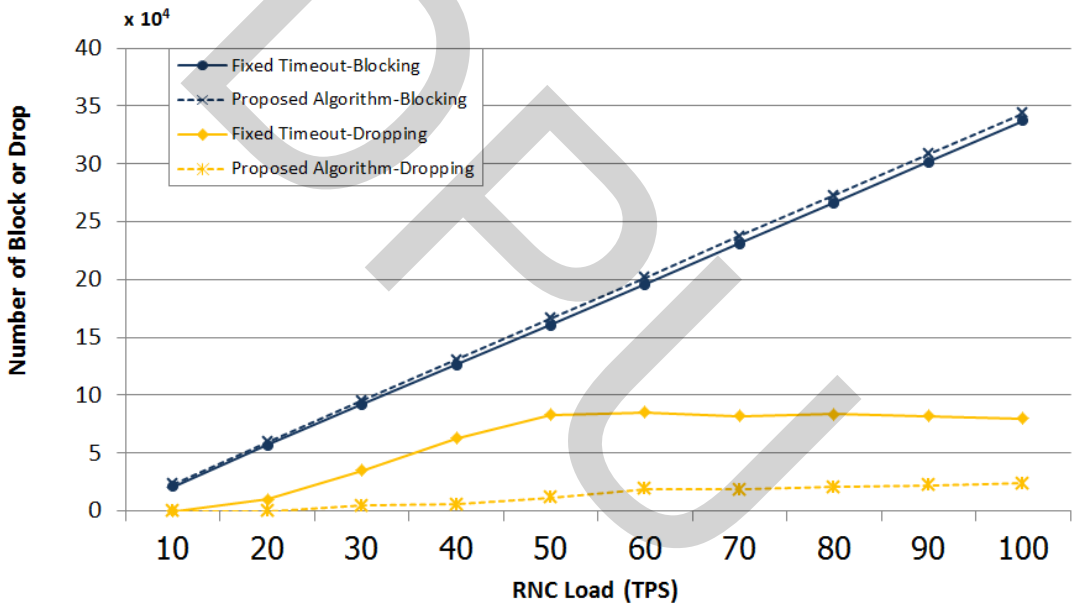


ภาพที่ 4.9 ผลการทดสอบการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอีที่เกิดขึ้นในเครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน

จากภาพที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอีที่เกิดขึ้นในเครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน พบว่าเมื่อใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เครือข่ายที่มีความคับคั่ง 10 TPS มีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอีมากที่สุด และมีแนวโน้มของผลรวมการใช้พลังงานลดลงเรื่อยๆ ไปจนถึงเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS ซึ่งมีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอีน้อยที่สุด สำหรับกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ พบว่ามีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอีมากกว่ากลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ในทุกๆ เครือข่ายที่มีความคับคั่งแตกต่างกัน โดยจะมีผลรวมมีมากที่สุดเมื่อเครือข่ายมีความคับคั่ง 10 TPS และมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ จนถึงเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS เมื่อเปรียบเทียบผลรวมการใช้พลังงานของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอกับกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เทียบเป็น

DPU

เปอร์เซนต์ พบว่ากลไกที่นำเสนอเพิ่มการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอี 30.76 - 58.25 เปอร์เซนต์ คิดเป็นค่าเฉลี่ย 49.10 เปอร์เซนต์ โดยเพิ่มขึ้นมากที่สุดในเครือข่ายมีความคับคั่ง 100 TPS และน้อยที่สุดในเครือข่ายมีความคับคั่ง 10 TPS เมื่อนำมาเปรียบเทียบระยะเวลาการใช้งาน โดยสมมุติให้สมาร์ทโฟนมีแบตเตอรี่ความจุ 1,650 mAh คำนวณเฉพาะการใช้พลังงานของสถานะ RRC เท่านั้น ไม่ได้รวมการใช้พลังงานในส่วนอื่นๆ เช่น จอภาพ ลำโพง การใช้พลังงานของ CPU และ GPU เป็นต้น ถ้าใช้การกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ซึ่งมีการใช้พลังงานเฉลี่ย 145.89 mAh จะสามารถใช้งานสมาร์ทโฟนได้ประมาณ 11.31 ชั่วโมง แต่ถ้าใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของสถานะ RRC ด้วยระบบ ปฏิบัติการของสมาร์ทโฟน จะมีการใช้พลังงานเฉลี่ย 215.31 mAh ซึ่งสามารถใช้งานสมาร์ทโฟนได้ประมาณ 7.66 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.10 ผลการทดสอบการควบคุมการร้องขอการใช้งานและการยุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบในเครือข่ายมีความคับคั่งแตกต่างกัน

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

Resource จำนวนมากขึ้น เมื่อมียูอีใหม่ที่ต้องการใช้งานร้องขอการใช้งานก็จะถูกปฏิเสธการใช้งานมากขึ้น เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 3.70 เปอร์เซนต์ ในส่วนของการยุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบนั้นพบว่าในเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 10 TPS ไม่มีการยุติยูอีในระบบเลย แต่จะการยุติอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบมากขึ้นเมื่อเครือข่ายมีความคับคั่งเพิ่มมากขึ้น เมื่อใช้กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอจะมีอัตราการยุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบน้อยลงกว่าการใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ เนื่องจากกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอมีการเพิ่มระยะเวลาที่ยูอีคงอยู่ในสถานะที่สามารถใช้งานบริการข้อมูลนานขึ้นทำให้มีการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีน้อยครั้งกว่า ระบบมีจำนวนสัญญาณควบคุมน้อยกว่า จึงมีอัตราการยุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบน้อยลงกว่าการใช้กลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ ลดลงโดยเฉลี่ย 81.81 เปอร์เซนต์

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
จำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอีลดลง	25.91	8.21	10 TPS	100 TPS
การใช้พลังงานเฉลี่ยต่อยูอีเพิ่มขึ้น	30.76	58.25	10 TPS	50 TPS

จากตารางที่ 4.2 แสดงการสรุปผลการทดลองเครือข่ายที่มีความคับคั่งของยูอีแตกต่างกัน โดยจะเห็นได้ว่าเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS มีผลการทดลองที่แย่ที่สุดในกรณีจำนวนสัญญาณควบคุมเฉลี่ยต่อยูอี ในขณะที่เครือข่ายที่มีความคับคั่ง 10 TPS มีผลการทดลองที่ดีที่สุดในกรณีดังกล่าว สำหรับในกรณีผลรวมสัญญาณควบคุมและผลรวมการใช้พลังงานนั้น เครือข่ายที่มีความคับคั่ง 10 TPS มีผลการทดลองแย่ที่สุดซึ่งเป็นเครือข่ายที่มีความคับคั่งน้อย และเครือข่ายที่มีความคับคั่ง 100 TPS และ 50 TPS มีผลการทดลองดีที่สุดตามลำดับ ถึงแม้ว่าจะไม่ใช่เครือข่ายที่มีความคับคั่งมากที่สุดแต่ก็จัดว่าเป็นเครือข่ายที่มีความคับคั่งค่อนข้างมาก

DPU

เนื่องจาก ถ้าผู้ให้บริการมุ่งสนใจผลรวมของเครือข่ายเป็นสำคัญ จะพบว่ากลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอที่ใช้ในเครือข่ายที่มีความคับคั่งมากจะช่วยลดการสร้างสัญญาณควบคุมรวมได้ดีที่สุด และถ้าผู้ใช้งานสนใจการใช้พลังงานของสมาร์ทโฟนที่ตนเองใช้อยู่เป็นสำคัญ จะพบว่าเครือข่ายที่มีความคับคั่งน้อยจะเพิ่มการใช้พลังงานเฉลี่ยต่ออยู่อีน้อยที่สุด

DPU

บทที่ 5
สรุปผล และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการอภิปรายเพื่อสรุปผลที่ได้จากการทดสอบงานวิจัย รวมทั้งข้อกำจัดของระบบที่พบจากการทดสอบระบบ และข้อเสนอแนะสำหรับแนวทางในการพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไปเพื่อแก้ข้อบกพร่องของระบบให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 งานวิจัยนี้ได้ตรวจวัดพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีจากการใช้งานข้อมูลในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ด้วยโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS และ Android ด้วยโพรแกรมการตรวจจับทราฟฟิก โดยแบ่งออกเป็นทราฟฟิกจากสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOSและ Android ในการใช้เว็บเบราเซอร์ท่องเว็บไซต์ จำนวน 3ไฟล์ การเล่นเกมส์ Angry Bird จำนวน 3 ไฟล์ การใช้งานอีเมลล์ จำนวน 3 ไฟล์ การใช้งานเครือข่ายสังคมออนไลน์โดยใช้โพรแกรม Facebook จำนวน 3 ไฟล์ และการดูวีดีโอผ่านอินเทอร์เน็ตโดยใช้โพรแกรม Youtube จำนวน 3 ไฟล์ รวมทั้งสิ้น 30 ไฟล์ แล้วสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีจากข้อมูลทราฟฟิกที่ตรวจจับได้

5.1.2 ผู้วิจัยได้จัดทำแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ด้วยโพรแกรม MATLAB เพื่อจำลองการแบบจำลองการวิเคราะห์การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซีของสมาร์ทโฟน และการทำงานของระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ในส่วนของยูทราน โดยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่สร้างขึ้นนี้ที่ได้ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองตามข้อมูลของงานวิจัย Adaptive Radio Resource Management Scheme for UMTS Packet Data

5.1.3 จากการวิเคราะห์การใช้พลังงานและปริมาณสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีด้วยแบบจำลองการวิเคราะห์การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซีของสมาร์ทโฟนที่สร้างขึ้น พบว่าสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android มีการใช้พลังงานโดยเฉลี่ยมากกว่า และมีการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีโดยเฉลี่ยบ่อยกว่าสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS

5.1.4 ผู้วิจัยได้นำเสนอกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของโพรโตคอลอาร์อาร์ซี ซึ่งใช้การพิจารณาความคับคั่งของระบบควบคู่กับพฤติกรรมในการสร้างสัญญาณที่แตกต่างกันของระบบปฏิบัตการ โดยเมื่อระบบมีความคับคั่งมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ จะพิจารณาเพิ่มระยะเวลา

Timeout ของโพรโตคอลอาร์อาร์ซีให้ยาวนานขึ้นเพื่อทำให้สมาร์ทโฟนคงอยู่ในสถานะเดิมนานขึ้น ลดการเปลี่ยนแปลงสถานะที่จะทำให้เกิดสัญญาณควบคุมในระบบ อีกทั้งนำเสนอระยะเวลา Timeout ที่เหมาะสม ที่สามารถลดสัญญาณควบคุมในขณะที่สมดุลกับการใช้พลังงานที่เพิ่มขึ้นของสมาร์ทโฟน คือ เพิ่มระยะเวลา Timeout ของสถานะเซลล์ดีซีเอช เป็นเวลา 39 วินาที สถานะเซลล์เอฟเอซีเอช เป็นเวลา 45 วินาที และสถานะเซลล์พีซีเอช เป็นเวลา 55 วินาที

5.1.5 ทดสอบการทำงานของกลไกที่นำเสนอด้วยแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ที่สร้างขึ้นเพื่อเปรียบเทียบกับกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ พบว่ากลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอใช้งานได้ผลดี ในกรณีที่เครือข่ายที่มีสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android มาก โดยสามารถลดสัญญาณควบคุมในระบบเครือข่ายโดยรวมได้เฉลี่ย 54.40 เปอร์เซนต์ ในขณะที่เพิ่มการใช้พลังงานของสมาร์ทโฟนโดยรวมทั้งเครือข่ายเฉลี่ย 6.87 เปอร์เซนต์ และสามารถลดการสร้างสัญญาณควบคุมต่อสมาร์ทโฟนเฉลี่ย 43.97 เปอร์เซนต์ ในขณะที่เพิ่มการใช้พลังงานต่อสมาร์ทโฟนขึ้นเฉลี่ย 31.34 เปอร์เซนต์

ในเครือข่ายที่มีสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ iOS จำนวนมากนั้น สามารถลดสัญญาณควบคุมในระบบเครือข่ายโดยรวมได้เฉลี่ย 50.06 เปอร์เซนต์ ในขณะที่เพิ่มการใช้พลังงานของสมาร์ทโฟนโดยรวมทั้งเครือข่ายเฉลี่ย 9.29 เปอร์เซนต์ และสามารถลดการสร้างสัญญาณควบคุมต่อสมาร์ทโฟนเฉลี่ย 33.09 เปอร์เซนต์ ในขณะที่เพิ่มการใช้พลังงานต่อสมาร์ทโฟนขึ้นเฉลี่ย 46.41 เปอร์เซนต์

สำหรับในเครือข่ายที่มีความคับคั่งมาก มีอัตราการเพิ่มขึ้นของสมาร์ทโฟนในเครือข่าย 60 - 100 TPS กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอสามารถช่วยลดสัญญาณควบคุมในระบบเครือข่ายโดยรวมได้เฉลี่ย 35.47 เปอร์เซนต์ ในขณะที่เพิ่มการใช้พลังงานของสมาร์ทโฟนโดยรวมทั้งเครือข่ายเฉลี่ย 11.19 เปอร์เซนต์ และสามารถลดการสร้างสัญญาณควบคุมต่อสมาร์ทโฟนเฉลี่ย 8.87 เปอร์เซนต์ ในขณะที่เพิ่มการใช้พลังงานต่อสมาร์ทโฟนขึ้นเฉลี่ย 57.04 เปอร์เซนต์

ในเครือข่ายที่มีความคับคั่งน้อย มีอัตราการเพิ่มขึ้นของสมาร์ทโฟนในเครือข่าย 10 - 50 TPS สามารถลดสัญญาณควบคุมในระบบเครือข่ายโดยรวมได้เฉลี่ย 33.87 เปอร์เซนต์ ในขณะที่เพิ่มการใช้พลังงานของสมาร์ทโฟนโดยรวมทั้งเครือข่ายเฉลี่ย 11.36 เปอร์เซนต์ และสามารถลดการสร้างสัญญาณควบคุมต่อสมาร์ทโฟนเฉลี่ย 15.89 เปอร์เซนต์ ในขณะที่เพิ่มการใช้พลังงานต่อสมาร์ทโฟนขึ้นเฉลี่ย 41.84 เปอร์เซนต์

กลไกการปรับระยะเวลา Timeout ที่นำเสนอ ช่วยลดจำนวนการยุติยูอีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบเนื่องจากระบบมีความคับคั่งสูง โดยลดลงโดยเฉลี่ย 81.81 เปอร์เซนต์ ในขณะที่เพิ่มจำนวน

การปฏิเสธการใช้งานของสมาร์ทโฟนใหม่ที่ต้องการใช้งานมากขึ้นโดยเพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ย 3.70 เปอร์เซนต์

5.2 ปัญหาอุปสรรคและข้อจำกัดของระบบ

ข้อจำกัดของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของโพรโตคอลอาร์อาร์ซี สามารถแยกข้อจำกัดออกเป็นข้อๆ ได้ดังต่อไปนี้คือ

5.2.1 การศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีของสมาร์ทโฟนนั้นไม่สามารถวัดสัญญาณจากการใช้งานจริงจากอุปกรณ์อาร์เอ็นซีในระบบเครือข่ายจริงได้ ทำให้ต้องใช้การวิเคราะห์พฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีของสมาร์ทโฟนจากข้อมูลทราฟฟิกในการใช้งานของสมาร์ทโฟนทดแทน

5.2.2 ระบบปฏิบัติการของสมาร์ทโฟนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ไม่ได้เป็นระบบปฏิบัติการรุ่นใหม่ล่าสุด อันเนื่องมากจากมีการพัฒนาและเปิดตัวระบบปฏิบัติการรุ่นใหม่อย่างรวดเร็ว ซึ่งอาจจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมในการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีที่แตกต่างจากรุ่นเดิม ซึ่งยังไม่มีกลไกของอาร์เอ็นซีที่จะทำให้ทราบถึงรุ่นของระบบปฏิบัติการที่สมาร์ทโฟนใช้งานอยู่ได้

5.2.3 งานวิจัยนี้ยังไม่ได้ครอบคลุมถึงระบบปฏิบัติการอื่นๆ ที่พัฒนาขึ้นใหม่ในปัจจุบันยกตัวอย่างเช่น ระบบปฏิบัติการวินโดว์โฟน 8 (Windows Phone 8) เป็นต้น

5.2.4 จากผลการทดลองพบว่ากลไกที่นำเสนอ จะเพิ่มการใช้พลังงานของสมาร์ทโฟนมากขึ้น อาจต้องเพิ่มความจุของแบตเตอรี่ของสมาร์ทโฟนให้มากขึ้นเพื่อรองรับการใช้งาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

ของกลไกการปรับระยะเวลา Timeout ของโพรโตคอลอาร์อาร์ซี สามารถแยกข้อจำกัดออกเป็นข้อๆ ได้ดังต่อไปนี้คือ

5.3.1 การศึกษาพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีของสมาร์ทโฟนนั้น ควรจะวัดสัญญาณจากการใช้งานจริงจากอุปกรณ์อาร์เอ็นซีในระบบเครือข่ายจริง จะทำให้ได้ทราบถึงพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีที่เกิดขึ้นจริงในระบบเครือข่าย และทราบถึงปริมาณของสัญญาณที่ถูกสร้างขึ้น

5.3.2 ควรจะมีการเพิ่มกลไกในการแยกแยะรุ่นของระบบปฏิบัติการซึ่งอาจจะทำให้การปรับระยะเวลา Timeout ได้ตรงกับพฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการรุ่นนั้นๆ ได้อย่างเหมาะสม

5.3.3 มีการศึกษาพฤติกรรมการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการของสมาร์ทโฟนใหม่ๆ เช่น ระบบปฏิบัติการวินโดว์โฟน 8

DPU

บรรณานุกรม

DPU

บรรณานุกรม

ภาษาต่างประเทศ

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

AT&T Intellectual Property. (2013). *AT&T Developer Program Application Resource Optimizer (ARO) User Guide.* Retrieved Oct 5, 2013, from http://developer.att.com/developer/forward.jsp?passedItemId=10500023

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.

Harte, L., Kitka, R., & Levine, R. (2002). *3G wireless demystified.* NY: McGraw-Hill.

Holma, H., & Toskala, A. (Ed.). (2001). *WCDMA for UMTS : Radio access for third generation mobile communications.* NY: John Wiley & sons.

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

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

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

Nokia Siemens Networks, Signals Research Group. (2010). *Smartphones and a 3G network: Reducing the impact of smartphone-generated signaling traffic while increasing the battery life of the phone through the use of network optimization techniques* (Research report). N.P.: Author.

DPU

Puustinen, I., & Nurminen, J.K. (2011). The effect of unwanted internet traffic on cellular phone energy consumption. *Proceeding of the Fourth IFIP International Conference on New Technologies, Mobility and Security* (pp. 1 - 5). Paris: University of Sorbonne.

Qian, F., Wang, Z., Gerber, A., Mao, Z.M., Sen, S., & Spatscheck, O. (2010). TOP: Tail optimization protocol for cellular radio resource allocation. *Proceeding of ICNP 2010, the eighteenth IEEE International Conference on Network Protocols* (pp. 285 - 294). Kyoto, Japan: n.p.

The 3rd Generation Partnership Project (2012). *Radio Resource Control (RRC) Protocol specification (Release 8). TS 25.331 version 8.18.0.* Valbonne Sophia Antipolis, France.

Yang, C. (2011, September). Weather the signaling storm. *Huawei Communicate*. 61, 18 - 20.

DPU

ภาคผนวก

DPU

1. การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองในการวิเคราะห์การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซี

เนื่องจากในการศึกษาพฤติกรรมในการเปลี่ยนแปลงสถานะของโพรโตคอลอาร์อาร์ซี ไม่สามารถทำการตรวจจับทราฟฟิกจริงบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จริงได้ งานวิจัยนี้จึงศึกษาพฤติกรรมในการสร้างสัญญาณของระบบปฏิบัติการ ด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ที่มีการทำงานตามแบบโพรแกรม AT&T Application Resource Optimizer โดยได้ตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง ด้วยวิธีการดังนี้

- นำข้อมูลทราฟฟิกที่ได้ตรวจจับจากการใช้งานสมาร์ทโฟนมาประมวลผลด้วยแบบจำลอง ได้ผลลัพธ์เป็นสถานะอาร์อาร์ซีที่สมาร์ทโฟนใช้ในช่วงเวลาต่างๆ โดยเรียงจากวินาทีแรกไปจนถึงวินาทีที่ 600
- นำข้อมูลทราฟฟิกที่ได้ตรวจจับจากการใช้งานสมาร์ทโฟนไปเปิดด้วยโพรแกรม AT&T Application Resource Optimizer แล้วบันทึกข้อมูลสถานะอาร์อาร์ซีที่สมาร์ทโฟนใช้ในช่วงเวลาต่างๆ จากกราฟ RRC States Timeline โดยเรียงจากวินาทีแรกไปจนถึงวินาทีที่ 600
- นำข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง และโพรแกรม AT&T Application Resource Optimizer ข้างต้นมาเปรียบเทียบกัน โดยจะเปรียบเทียบสถานะอาร์อาร์ซีที่สมาร์ทโฟนใช้ในทุกๆ 5 วินาที
- นำผลการเปรียบเทียบมาคำนวณหาเปอร์เซนต์ของสถานะอาร์อาร์ซี ในแต่ละวินาทีที่ถูกต้องตรงกัน

ได้ผลการเปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลอง ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบความถูกต้องของแบบจำลองตามข้อมูลทราฟฟิกประเภทต่างๆ

	iOS		**Android**	
	WebBrowser	**AngryBird**	**WebBrowser**	**AngryBird**
สถานะตรงกัน (%)	85	90	91	90

2. การตรวจสอบความถูกต้องของการทำงานของระบบโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3

เนื่องจากไม่สามารถทำการทดลองบนเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จริงได้ งานวิจัยนี้จะศึกษาผลการทำงานของกลไกที่นำเสนอจากการทดลองด้วยแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ โดยได้ทำแบบจำลองการทำงานของระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ในส่วนของยูทรานให้มีการทำงานเช่นเดียวกันกับกลไกการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ตามตัวอย่างงานวิจัย Adaptive Radio Resource Management Scheme for UMTS Packet Data

ทำการจำลองการทำงานของโหนดบีที่มี 1 Cell Sector และเชื่อมต่อไปยังอาร์เอ็นซีที่ควบคุมการทำงานอยู่ โดยจะจำลองการทำงานเมื่อมียูอีเข้ามาเชื่อมต่อกับระบบผ่านโหนดบีนี้ และอาร์เอ็นซีเป็นตัวควบคุม จัดการทรัพยากรของระบบให้แก่ยูอีในระหว่างการใช้งาน อีกทั้งคอยตรวจสอบความคับคั่งของระบบและทำการควบคุมความคับคั่งด้วยวิธีการต่างๆ เพื่อให้ระบบสามารถให้บริการหรือทำงานต่อไปได้อย่างปกติ

กำหนดค่าตัวแปรที่สำคัญสำหรับเซอร์กิตสวิทช์ในแบบจำลองการทำงานดังนี้

- ระยะเวลาใช้งานบริการสนทนาเฉลี่ย 120 วินาที
- มีการตอบสนองระหว่างการใช้งานเป็นเวลา 3 วินาที และหยุดการตอบสนองชั่วคราวเป็นเวลา 3 วินาที สลับกันไปตลอดระยะเวลาใช้งาน
- ยูอีแต่ละเครื่องได้รับการจัดสรรให้ใช้ Code Resource จำนวน 2 โค้ด
- มีการใช้ทรัพยากรคลื่นวิทยุในระหว่างการใช้งานเฉลี่ยในขณะที่มีการตอบสนองระหว่างการใช้จำนวน 1.94 เปอร์เซนต์ และในขณะหยุดการตอบสนองชั่วคราวจำนวน 0.39 เปอร์เซนต์

กำหนดค่าตัวแปรที่สำคัญสำหรับแพ็กเกตสวิตช์ในแบบจำลองการทำงานดังนี้

- ระยะเวลาใช้งานบริการข้อมูลเฉลี่ย 412 วินาที
- ยูอีแต่ละเครื่องได้รับการจัดสรรให้ใช้ Code Resource จำนวน 8 โค้ด
- มีการใช้ทรัพยากรคลื่นวิทยุในระหว่างการใช้งานเฉลี่ยในขณะอยู่ในสถานะ Cell_DCH (ระหว่างกำลังใช้งาน) จำนวน 7.61 เปอร์เซนต์, สถานะ Cell_DCH (ไม่มีการใช้งาน) จำนวน 1.52 เปอร์เซนต์, สถานะ Cell_FACH จำนวน 0.06 เปอร์เซนต์ และสถานะ Cell_PCH จำนวน 0.006 เปอร์เซนต์
- กำหนดค่าตัวแปรจำนวนสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสถานะต่างๆ ตามตารางที่ 2 ซึ่งจะใช้ในการคำนวณหาปริมาณสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นระหว่างการใช้งานและใช้สำหรับตรวจสอบความคับคั่งของสัญญาณเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้

ตารางที่ 2 การกำหนดค่าตัวแปรจำนวนสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นจากการเปลี่ยนสถานะต่างๆ

การเปลี่ยนสถานะ	จำนวนสัญญาณควบคุม
IDLE -> Cell_DCH	42
Cell_PCH -> Cell_DCH	12
Cell_FACH -> Cell_DCH	6
Cell_DCH -> Cell_FACH	4
Cell_FACH -> Cell_PCH	4
Cell_PCH -> IDLE	22

- การกำหนดค่าตัวแปรระยะเวลา Timeout ของสถานะอาร์อาร์ซีต่างๆ สำหรับการคงอยู่ในสถานะหลังจากไม่มีการใช้งานข้อมูล แสดงตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การกำหนดค่าตัวแปรระยะเวลา Timeout ของสถานะต่างๆ

สถานะ	ระยะเวลา Timeout (วินาที)
Cell_DCH	10
Cell_FACH	50
Cell_PCH	240

การกำหนดค่าตัวแปรสำหรับกลไกการควบคุมความคับคั่ง ในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 จะมีกลไกในการควบคุมความคับคั่งของสัญญาณ 2 กลไก คือ การควบคุมการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบโดยการบล๊อคยูอีที่ขอใช้งานใหม่ไม่ให้เชื่อมต่อเข้าสู่ระบบเครือข่าย และควบคุมความคับคั่งโดยการดรอปหรือยกเลิกการใช้งานยูอีที่กำลังเชื่อมต่ออยู่ในระบบแต่ไม่มีการใช้งานในขณะนั้นออกจากระบบเครือข่าย ซึ่งในการจำลองการทำงานนี้ได้กำหนดค่าตัวแปรสำหรับเกณฑ์ที่จะให้กลไกควบคุมความคับคั่งของสัญญาณด้วยวิธีการบล๊อคยูอีที่ขอใช้งานใหม่ให้เริ่มทำการควบคุมการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบดังนี้

- ปริมาณโหลดของระบบ 75 เปอร์เซนต์
- มีจำนวน Code Resource ที่ถูกใช้งาน 195 โค้ด
- มีจำนวนสัญญาณควบคุม 400 สัญญาณต่อวินาที

DPU

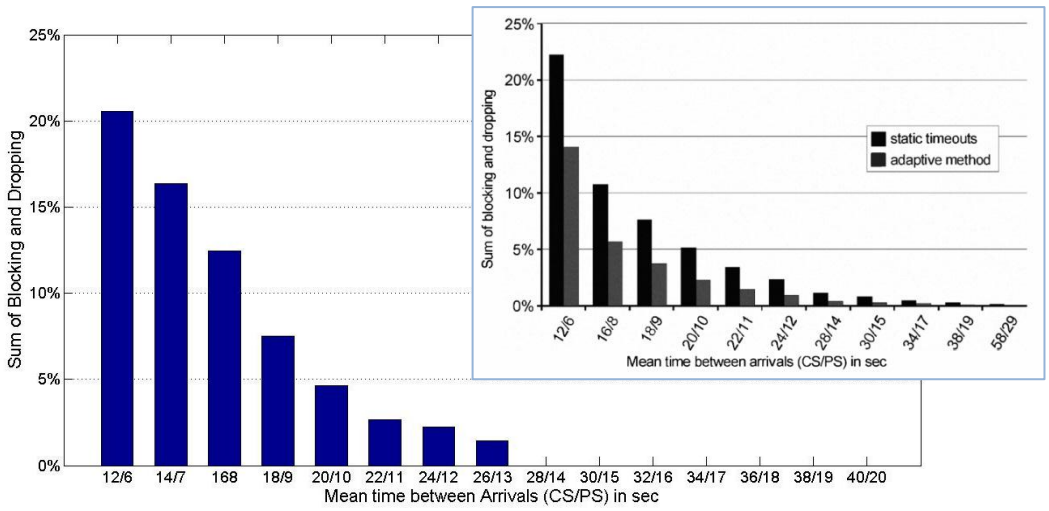
โดยระบบจะทำการบล๊อคยูอีที่ขอใช้งานใหม่ไม่ให้เชื่อมต่อเข้าสู่ระบบเครือข่ายก็ต่อเมื่อมีค่าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งใน 3 ตัวเท่ากับหรือมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และกำหนดค่าตัวแปรสำหรับเกณฑ์ที่จะให้กลไกควบคุมความคับคั่งของสัญญาณด้วยวิธีการดรอปยูอีให้เริ่มทำการควบคุมความคับคั่งดังนี้

- ปริมาณโหลดของระบบ 90 เปอร์เซนต์
- มีจำนวน Code Resource ที่ถูกใช้งาน 244 โค้ด
- มีจำนวนสัญญาณควบคุม 500 สัญญาณต่อวินาที

โดยระบบจะทำการดรอปหรือยกเลิกการใช้งานยูอีที่กำลังเชื่อมต่ออยู่ในระบบแต่ไม่มีการใช้งานในขณะนั้นออกจากระบบเครือข่าย ก็ต่อเมื่อมีค่าตัวแปรใดตัวแปรหนึ่งใน 3 ตัวเท่ากับหรือมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้

ประมวลผลแบบจำลองตามค่าตัวแปรที่ได้กำหนดไว้ โดยเปรียบเทียบผลรวมของร้อยละของการ Block และ Drop UE ที่เกิดขึ้นในกรณีที่ระบบมีปริมาณโหลดแตกต่างกัน โดยปริมาณโหลด คือ ระยะเวลาเฉลี่ยที่มีการร้องขอการใช้งานจากยูอี (เซอร์กิตสวิทช์ต่อแพ็กเกตสวิตช์) เช่น ระยะเวลาเฉลี่ยที่มีการร้องขอการใช้งานจากยูอี (12/6) วินาที หมายถึง มีการร้องขอใช้งานการสนทนาทุกๆ 12 วินาที และมีการร้องขอใช้งานบริการข้อมูลทุกๆ 6 วินาที

ทำการประมวลผลเหตุการณ์ของแบบจำลองการทำงานของระบบเครือข่ายเป็นระยะเวลารวมทั้งสิ้นครั้งละ 60 นาที ทำการประมวลผล 3 ครั้ง และนำผลลัพท์ที่ได้มาหาค่าเฉลี่ย ซึ่งนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับการกำหนดระยะเวลา Timeout แบบคงที่ของงานวิจัย Adaptive Radio Resource Management Scheme for UMTS Packet Data ได้ดังภาพ



ภาพที่ 1 เปรียบเทียบแบบจำลองกับงานวิจัยต้นแบบ

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายพงศกร ดวงเกษม
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2550 วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน	นักวิชาการคอมพิวเตอร์ปฏิบัติการ สำนักงานปลัดสำนักนายกรัฐมนตรี
ผลงานตีพิมพ์เผยแพร่	กลไกการปรับระยะเวลา Timeout เพื่อควบคุมความคับคั่งและลดจำนวนสัญญาณควบคุมในโครงข่ายเคลื่นที่ยุคที่ 3 The 9th National Confererce on Computing and Information Technology (NCCIT-2013) 9-10 พฤษภาคม 2556 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

DPU