

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี และผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่นำมาใช้ในงานวิจัยซึ่งประกอบไปด้วยระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ สถาปัตยกรรมของระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ โปรโตคอลอาร์อาร์ซี กลไกฟาสต์ออร์แมนซ์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่¹

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

ในปัจจุบันมีการใช้งานโทรศัพท์เคลื่อนที่กันอย่างแพร่หลายเพราะความสามารถในการติดต่อสื่อสารผ่านคลื่นวิทยุและเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ทำให้ผู้ใช้งานสามารถติดต่อสื่อสารได้ทุกที่ทุกเวลา 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.

ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ถูกพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อรองรับความต้องการของผู้ใช้ที่เพิ่มจำนวนขึ้นอย่างต่อเนื่อง 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 เป็นยุคที่เริ่มมีเทคโนโลยีดิจิทัล โดยมีการให้บริการข้อมูลควบคู่ไปกับการให้บริการเสียงสนทนา แต่ผู้ใช้งานไม่สามารถใช้งานบริการทั้งสองแบบพร้อมกันได้ และในยุคนี้นี้ยังมีการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลซึ่งอาจเรียกได้ว่าเป็น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 2.5

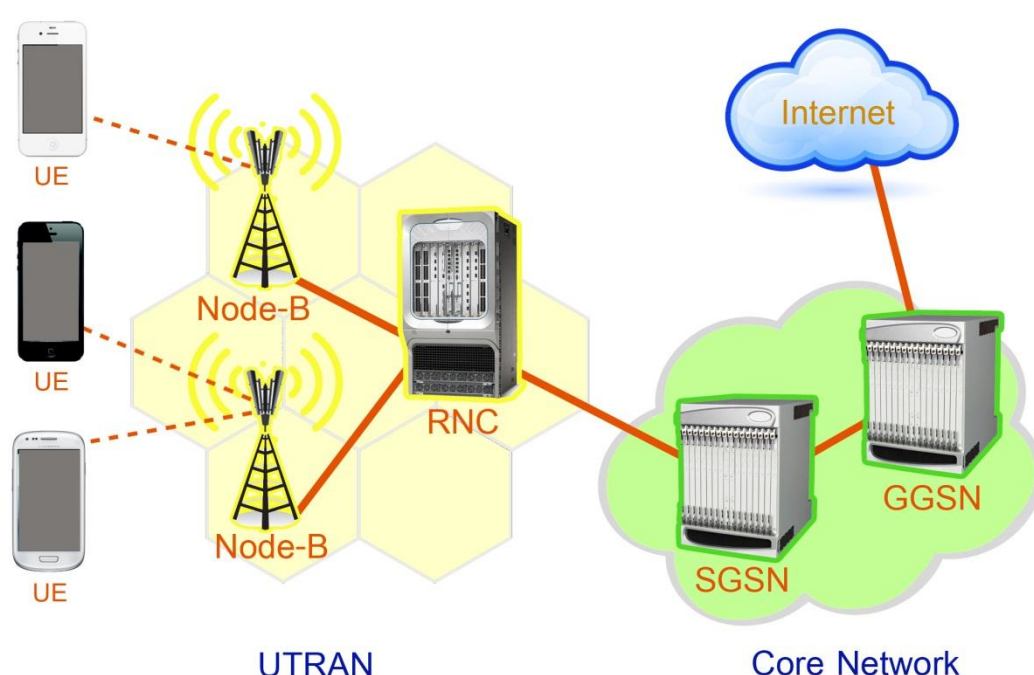
2.1.3 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 เป็นยุคของการสื่อสารแบบดิจิทัล โดยเน้นการสื่อสารมัลติมีเดีย ผู้ใช้งานสามารถใช้งานทั้งบริการข้อมูลและบริการเสียงสนทนาควบคู่ไปพร้อมกันได้ รองรับการใช้งานหลากหลายรูปแบบ มีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลสูง จึงมีการนำไปใช้ในการพัฒนาการให้บริการเนื้อหาออนไลน์และบริการต่างๆอีกมากมาย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

2.1.4 ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 เป็นเทคโนโลยีใหม่ที่มีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลสูงมาก มีการเปลี่ยนไปใช้วิธีการแบบแพ็คเกจสวิตซ์ ทั้งการให้บริการเสียงสนทนาและบริการข้อมูล มีการลดการใช้อุปกรณ์เครือข่ายในระบบเพื่อลดระยะเวลาในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างอุปกรณ์ และจะเป็นมาตรฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในอนาคต ซึ่งในปัจจุบันในประเทศไทยยังไม่มี การนำมาใช้งานในเชิงพาณิชย์ แต่มีผู้ให้บริการโทรศัพท์เคลื่อนที่บางรายพยายามทดลองการ ให้บริการระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 บ้างแล้ว

วิทยานิพนธ์นี้ สนใจการทำงานในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 เนื่องจากมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในหลายประเทศ อีกทั้งมีการใช้งานอยู่ในประเทศไทยในปัจจุบัน และมีการทำงานที่เป็นพื้นฐานที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 4 ในอนาคตได้

2.2 สถาปัตยกรรมของเทคโนโลยีไวด์แบนด์ซีดีเอ็มเอ²

เทคโนโลยีไวด์แบนด์ซีดีเอ็มเอ (WCDMA) เป็นเทคโนโลยีระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในหลากหลายประเทศ ซึ่งเป็นมาตรฐานที่พัฒนาโดยสามจีพีพี ซึ่งเป็นการรวมกลุ่มกันของผู้พัฒนาเทคโนโลยีจากประเทศต่างๆ ในทวีปยุโรป 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 ในกลุ่มยูทธานจะมีหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารกลับอุปกรณ์ของผู้ใช้งานหรือยูอี ตลอดจนควบคุมการรับ-ส่งสัญญาณผ่านช่องสัญญาณ จัดการการใช้ช่องสัญญาณ อุปกรณ์ในกลุ่มคอร์เน็ตเวิร์กจะมีหน้าที่ในการส่งผ่านข้อมูลและค้นหาเส้นทางในการส่งข้อมูลไปยังปลายทางทั้งในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่และระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ต นอกจากนี้ยังมีอุปกรณ์ในการเก็บข้อมูลต่างๆ ด้วย โดยอุปกรณ์ต่างๆ ที่สำคัญในระบบ มีดังต่อไปนี้

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

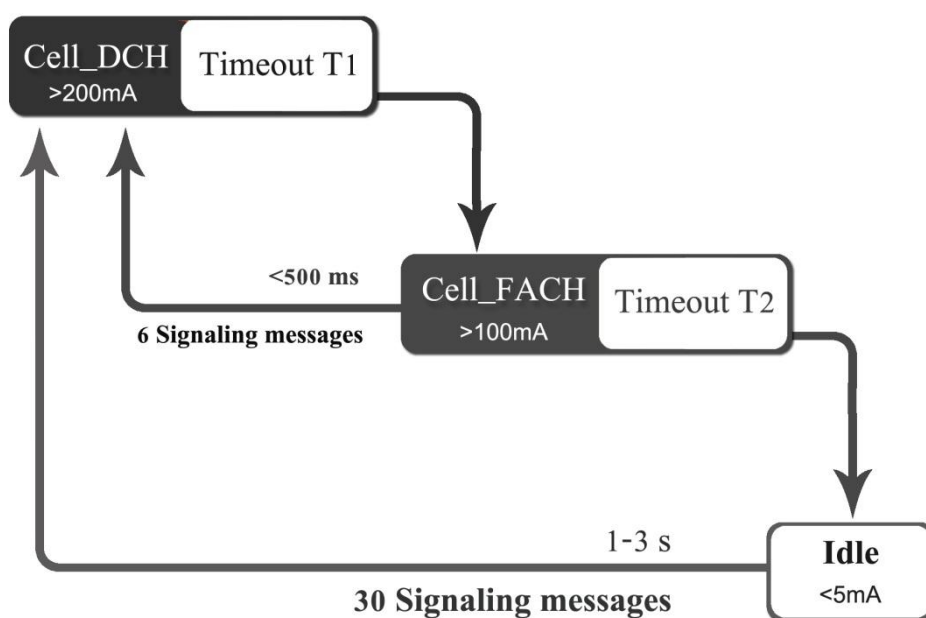
2.2.2 อาร์เอ็นซี (RNC: Radio Network Controller) เป็นอุปกรณ์ควบคุมการติดต่อสื่อสาร โดยอาร์เอ็นซีมีฟังก์ชันในการจัดการทรัพยากรคลื่นวิทยุ (Radio Resource Management) และควบคุมการย้ายการเชื่อมต่อของยูอีกับโหนดบีหนึ่งไปยังอีกโหนดบีหนึ่ง อาร์เอ็นซีหนึ่งเครื่อง จะเชื่อมต่ออยู่กับโหนดบีหลายสถานี เพื่อเป็นศูนย์กลางควบคุมและบริหารจัดการการติดต่อสื่อสารโดยการรับ-ส่งสัญญาณผ่านคลื่นวิทยุของโหนดบีกับยูอี อาร์เอ็นซียังเชื่อมต่อกับเอสจีเอสเอ็น (SGSN) และเอ็มจีดับบิว (MGW) เพื่อส่งข้อมูลไปยังปลายทางผ่านเครือข่ายแบบแพ็คเกจสวิตช์และเซอร์กิตสวิตช์ต่อไป

2.2.3 เอสจีเอสเอ็น (SGSN: Serving GPRS Support Node) เป็นชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเชื่อมต่อแบบแพ็คเกจสวิตช์ 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) เป็นชุมสายแบบแพ็คเกจสวิตช์ เช่นเดียวกับเอสจีเอสเอ็น แต่มีหน้าที่บริหารจัดการเชื่อมต่อกับเครือข่ายสื่อสารข้อมูลภายนอก ไม่ว่าจะเป็นเครือข่ายอินเทอร์เน็ต เครือข่ายไอพี หรือแม้กระทั่งเครือข่ายที่เชื่อมต่อเฉพาะกับองค์กรอื่นๆ เช่น ลูกค้าแบบองค์กร (Corporate Customer) นอกจากนั้น GGSN ยังมีบทบาทในการกำหนดและบริหารจัดการกลไกการสร้างช่องสื่อสารเพื่อรับส่งข้อมูลไปยังอุปกรณ์เอสจีเอสเอ็น อีกด้วย

2.3 โพรโทคอลอาร์อาร์ซี³

โพรโทคอลอาร์อาร์ซี เป็นโพรโทคอลที่มีการใช้งานโดยอาร์เอ็นซี 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 สถานะเซลล์เอฟเอชเอช เป็นสถานะที่ยูอีเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายและสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้ โดยมีความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลเร็วกว่าในสถานะเซลล์พีซีเอชแต่ต่ำกว่าในสถานะเซลล์ดีซีเอช ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าระบบเครือข่ายของผู้ให้บริการแต่ละราย โดยมีการใช้พลังงานในการคงอยู่ในสถานะนี้มากกว่าการใช้พลังงานในสถานะว่างและในสถานะเซลล์พีซีเอช โดยใช้พลังงานประมาณครึ่งหนึ่งของการใช้พลังงานในสถานะเซลล์ดีซีเอช มีการจองและใช้ช่องสัญญาณประมาณครึ่งหนึ่งของสถานเซลล์ดีซีเอช

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

โดยเมื่อยูอีอยู่ในสถานะเซลล์ดีซีเอช แล้วไม่มีการรับ-ส่งข้อมูล จะมีการเริ่มจับเวลาการคงอยู่ในสถานะนั้น โดยเมื่อครบกำหนดระยะเวลาแล้วไม่มีการรับ-ส่งข้อมูลอีก ระบบจะทำการส่งสัญญาณควบคุมเพื่อร้องขอการเปลี่ยนแปลงสถานะ ไปยังสถานะที่มีการใช้พลังงานน้อยลงกว่าเดิม โดยมีลำดับการเปลี่ยนแปลงสถานะ ดังนี้ เซลล์ดีซีเอช , เซลล์เอฟเอชเอช , เซลล์พีซีเอช และสถานะว่าง แต่หากในขณะที่จับเวลาอยู่มีการร้องขอการรับ-ส่งข้อมูลเกิดขึ้นระบบจะพิจารณาปริมาณข้อมูลที่จะรับ-ส่ง และความเร็วในการรับ-ส่งข้อมูลที่เหมาะสมเพื่อทำการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์เอ็นซีให้เหมาะสมกับข้อมูลนั้นๆ

จากภาพที่ 2.2 กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์เอ็นซีเริ่มต้นขึ้นเมื่อเริ่มเปิดเครื่องยูอี จะมีกระบวนการเชื่อมต่อยูอีเข้ากับระบบเครือข่าย หลังจากนั้นอาร์เอ็นซีจะกำหนดสถานะว่างให้แก่ยูอี เพื่อรอคอยการเรียกใช้งานข้อมูล เมื่อผู้ใช้งานต้องการใช้งานข้อมูลยูอีจะส่งสัญญาณไปยังอาร์เอ็นซีเพื่อร้องขอทรัพยากรในการใช้งาน ซึ่งอาร์เอ็นซีจะพิจารณาทรัพยากรที่มีอยู่โดยจะมีการเปลี่ยนสถานะไปเป็นสถานะเซลล์ดีซีเอชเพื่อบริการยูอีให้ใช้งานข้อมูลได้ เมื่อยูอีไม่มีการรับ-ส่งข้อมูลระบบจะทำการรอเป็นระยะเวลา T1 หากยูอียังไม่มีการรับ-ส่งข้อมูลในช่วงระยะเวลานี้ อาร์เอ็นซีจะกำหนดสถานะเซลล์เอฟเอชเอชให้แก่ยูอีเพื่อเป็นการคืนทรัพยากรต่างๆ ให้แก่ระบบเพื่อให้ยูอีอื่นๆ ได้ใช้งานต่อไปอีกทั้งยังเป็นการประหยัดพลังงานแบตเตอรี่ของยูอี เนื่องจากในการ

คงอยู่ในสถานะเซลล์เอฟเอชไอเอชยูอีจะมีการใช้พลังงานแบตเตอรี่ประมาณ 100 มิลลิแอมแปร์ ในขณะที่ สถานะเซลล์ดีซีเอชยูอีจะมีการใช้พลังงานแบตเตอรี่ประมาณ 200 มิลลิแอมแปร์ ซึ่งมากกว่าสถานะเซลล์เอฟเอชไอเอชถึง 2 เท่า ต่อมาเมื่อยูอีไม่มีการรับ-ส่งข้อมูลระบบจะทำการรอเป็นระยะเวลา T2 หากยูอียังไม่มีการรับ-ส่งข้อมูลในช่วงระยะเวลานี้ อาร์เอ็นซีจะกำหนดสถานะว่างให้แก่ยูอีเพื่อคืนทรัพยากรทั้งหมดให้แก่ระบบ แต่ถ้ายูอีมีการรับส่งข้อมูลในระหว่างระยะเวลา T2 อาร์เอ็นซีจะกำหนดสถานะเซลล์ดีซีเอชให้แก่ยูอีเพื่อให้สามารถใช้งานข้อมูลได้ จะเห็นได้ว่ายูอีคงอยู่ในสถานะเซลล์ดีซีเอชนานก็จะยิ่งสิ้นเปลืองพลังงานแบตเตอรี่

ในระหว่างการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์เอ็นซีจะมีการส่งสัญญาณควบคุมระหว่างอาร์เอ็นซีและยูอีเพื่อเป็นการติดต่อแลกเปลี่ยนข้อมูลกันและรวมถึงการกำหนดการตั้งค่าสถานะต่างๆ เพื่อใช้งานด้วย ซึ่งในการเปลี่ยนแปลงสถานะต่างๆ ก็จะมีการส่งสัญญาณควบคุมในปริมาณที่แตกต่างกันไป เช่น ในการเปลี่ยนสถานะจากสถานะว่างไปเป็นสถานะเซลล์ดีซีเอช จะมีการส่งสัญญาณควบคุมระหว่างอาร์เอ็นซีและยูอีจำนวนประมาณ 30 สัญญาณ ในขณะที่ในการเปลี่ยนสถานะจากสถานะเซลล์เอฟเอชไอเอชไปเป็นสถานะเซลล์ดีซีเอช จะมีการส่งสัญญาณควบคุมระหว่างอาร์เอ็นซีและยูอีจำนวนประมาณ 3 สัญญาณ จะเห็นได้ว่าถ้ายูอีมีการเปลี่ยนสถานะว่างไปเป็นสถานะเซลล์ดีซีเอชบ่อยครั้งก็จะมีการสร้างสัญญาณจำนวนมากขึ้นในระบบเครือข่าย

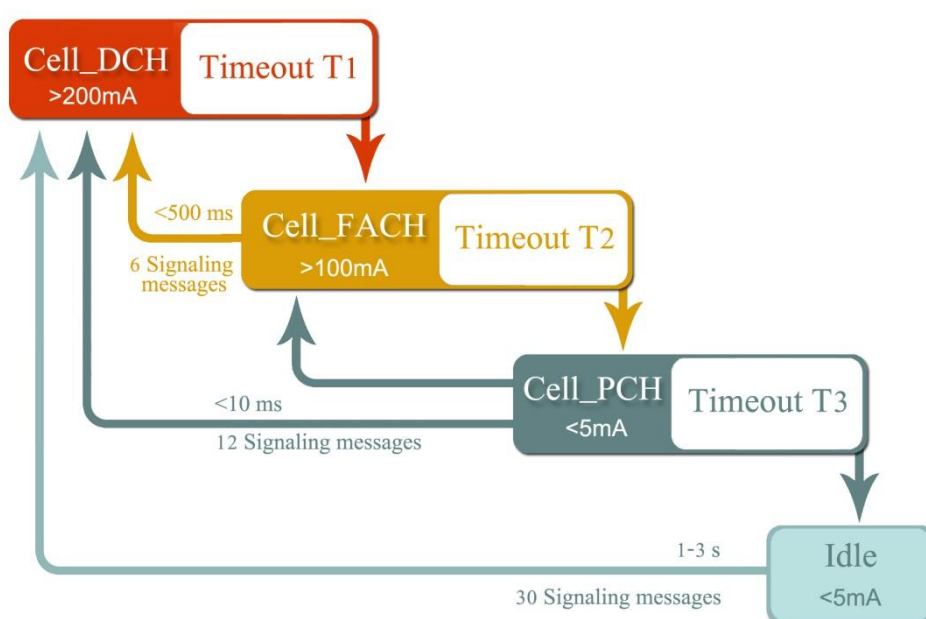
ในการใช้งานจริงนั้นผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะกำหนดระยะเวลาการคงอยู่ในสถานะอาร์เอ็นซีแบบคงที่หรือใช้ค่าเริ่มต้นจากโรงงานผู้ผลิตอุปกรณ์อาร์เอ็นซี ซึ่งอาจจะเป็นระยะเวลาที่ไม่เหมาะสมกับพฤติกรรมการใช้งานข้อมูลของผู้ใช้งานในระบบเครือข่ายนั้นๆ อาจก่อให้เกิดปัญหาความคับคั่งของสัญญาณขึ้นในระบบหรือยูอีมีการใช้พลังงานอย่างสิ้นเปลืองมากเกินไปได้

2.4 กลไกฟาสต์ดอร์แมนซี (Fast dormancy)⁴

กลไกฟาสต์ดอร์แมนซี เป็นกลไกการลดระยะเวลาการคงอยู่ในสถานะอาร์เอ็นซีลง มีการกำหนดให้ระยะเวลาการคงอยู่ในสถานะอาร์เอ็นซีสั้นลงและเพิ่มสถานะที่มีการใช้พลังงานน้อยใกล้เคียงกับสถานะว่าง 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 เป็นสถานะที่อยู่เชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายและสามารถรับ-ส่งข้อมูลได้เล็กน้อย ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าระบบเครือข่ายของผู้ให้บริการแต่ละราย และรองรับการรับ-ส่งข้อมูลที่มีขนาดเล็ก เช่นการอัปเดตสถานะต่างๆ ตามรอบระยะเวลา โดยมีการใช้พลังงานในการคงอยู่ในสถานะนี้มากกว่าการใช้พลังงานในสถานะว่างเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อผู้ใช้งานต้องการใช้งานบริการข้อมูล จำนวนสัญญาณควบคุมที่อยู่ จะทำการส่งไปยังอาร์เอ็นซีเพื่อร้องขอการเปลี่ยนสถานะจะน้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงสถานะจากสถานะว่าง ในกลไกฟาสคอร์ดแมนซีมีการกำหนดระยะเวลาคงอยู่ในสถานะยังคงเป็นแบบคงที่ เช่นเดิมแต่ระยะเวลาคงอยู่ในสถานะจะสั้นลงกว่าการเปลี่ยนแปลงสถานะแบบดั้งเดิม มีการพยายามหาค่าระยะเวลาคงอยู่ในแต่ละสถานะที่เหมาะสมแต่ก็ยังไม่สามารถลดปริมาณสัญญาณควบคุมจำนวนมากในระบบลงได้



ภาพที่ 2.3 สถานะอาร์อาร์ซีและการเปลี่ยนแปลงสถานะในกลไกฟาสคอร์ดแมนซี

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

จากภาพที่ 2.3 กระบวนการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีที่มีการเพิ่มสถานะเซลล์พีซีเอชเข้ามาด้วย โดยเมื่อเปิดเครื่องอยู่จะมีกระบวนการเชื่อมต่ออยู่เข้ากับระบบเครือข่าย หลังจากนั้นอาร์เอ็นซีจะกำหนดสถานะว่างให้แก่อยู่ เพื่อรอคอยการเรียกใช้งานข้อมูล เมื่อผู้ใช้งานต้องการใช้

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

จากที่กล่าวมา การใช้งานบริการข้อมูลของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในเครือข่ายระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 โดยการใช้งานแบบต่อเนื่องตลอดเวลา ก่อให้เกิดปริมาณสัญญาณควบคุมจำนวนมากในระบบเครือข่ายอันเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซี ถึงแม้ว่าจะมีการใช้กลไกฟาสต์สวิตช์เพื่อช่วยลดปริมาณสัญญาณควบคุมแล้ว 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

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

ตารางที่ 2.2 การใช้พลังงานของยูอีมี่ในระหว่างใช้งานในสถานะอาร์อาร์ซีต่างๆ

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

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

2.5 โปรแกรม AT&T Application Resource Optimizer (ARO)⁵

โปรแกรม AT&T Application Resource Optimizer หรือ ARO เป็นชุดของโปรแกรมที่พัฒนาโดย AT&T Labs ที่สามารถเก็บข้อมูลพฤติกรรมกรับ-ส่งข้อมูลของสมาร์ทโฟน และวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงาน ความเร็ว ผลกระทบต่อเครือข่าย และการใช้พลังงานของสมาร์ทโฟนได้ ซึ่งเป็นโปรแกรมที่เปิดให้ใช้งานได้ฟรี รวมทั้งเป็นโปรแกรมโอเพ่นซอร์สที่ผู้ใช้สามารถนำไปปรับปรุงแก้ไขการทำงานเพิ่มเติมได้ โดยในชุดของโปรแกรม AT&T Application Resource Optimizer ประกอบไปด้วยโปรแกรมย่อย 2 โปรแกรมที่มีฟังก์ชันการทำงานแตกต่างกัน ดังนี้

2.5.1 AT&T ARO Data Collector

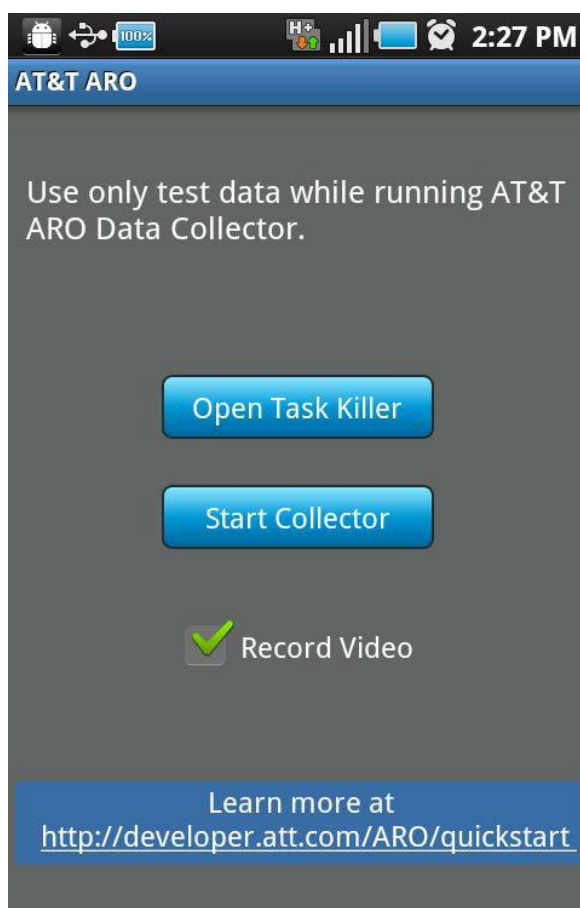
เป็นโปรแกรมสำหรับเก็บข้อมูลกราฟฟิคของสมาร์ทโฟน ในส่วนของการใช้งานข้อมูลผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ของแอปพลิเคชันที่ต้องการ ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้จะถูกเก็บไว้ในรูปแบบ trace file และสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ประสิทธิภาพในด้านต่างๆ ของแอปพลิเคชันของสมาร์ทโฟนด้วยโปรแกรม AT&T ARO Data Analyzer ได้

การนำโปรแกรม AT&T ARO Data Collector ไปใช้งานจะต้องทำการติดตั้งโปรแกรมไปยังอุปกรณ์ที่ต้องการตรวจจับกราฟฟิคก่อน โดยดาวน์โหลดไฟล์โปรแกรม (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 เมื่อเปิดการใช้งานโปรแกรมจะทำการเก็บข้อมูล packet ที่มีการรับ-ส่งระหว่างอุปกรณ์ที่ตรวจจับกับเครือข่ายที่เชื่อมต่ออยู่ แล้วบันทึกข้อมูลที่ตรวจจับได้ในรูปแบบ Trace file หรือไฟล์นามสกุล .PCAP ไว้ในหน่วยความจำของอุปกรณ์

ในปัจจุบันโปรแกรม AT&T ARO Data Collector รองรับการตรวจจับทราฟฟิกของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android เท่านั้น หากต้องการที่จะตรวจจับทราฟฟิกของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการอื่นๆ จำเป็นจะต้องใช้การเชื่อมต่อผ่าน Wifi Hotspot ของสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android แล้วใช้สมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android เครื่องนั้นเป็น Gateway ในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตผ่านระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 และทำการตรวจวัดทราฟฟิกจากการใช้งาน โดยตัวอย่างหน้าจอของโปรแกรมแสดงดังรูป



ภาพที่ 2.4 หน้าจอของโปรแกรม AT&T ARO Data Collector

ที่มา: AT&T (2013)

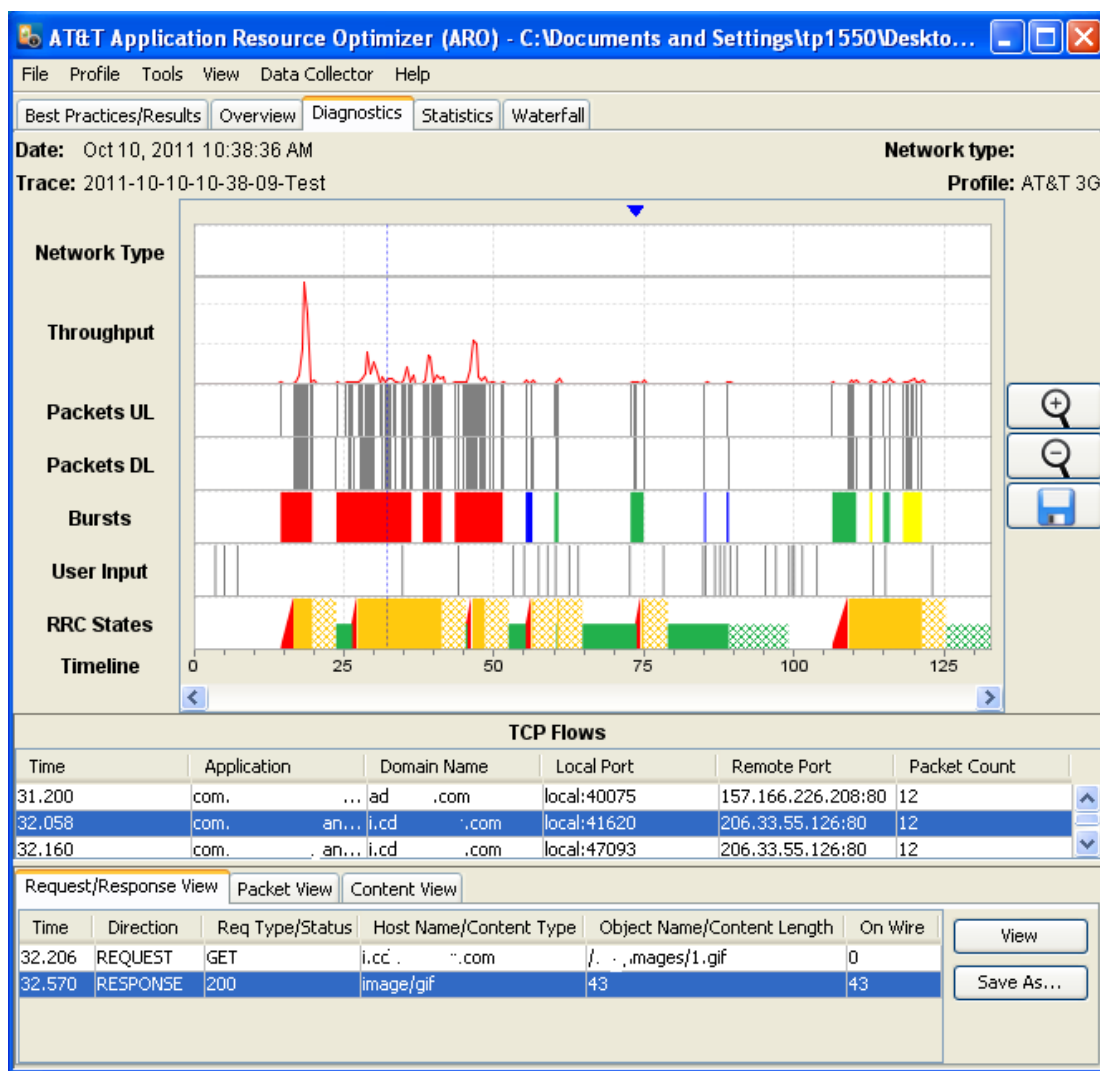
จากภาพที่ 2.4 แสดงหน้าจอของโปรแกรม AT&T ARO Data Collector ที่ติดตั้งไว้ในสมาร์ทโฟนที่ใช้ระบบปฏิบัติการ Android ในการใช้งานโปรแกรมเพื่อตรวจจับทราฟฟิกสามารถ

เลือกปุ่ม Start Collector เพื่อเริ่มการตรวจจับทราฟฟิก จากนั้นกดปุ่ม Home เพื่อไปเลือกแอปพลิเคชันของสมาร์ตโฟนที่ต้องการใช้งาน ทำการใช้งานแอปพลิเคชันที่ต้องการใช้งานและตรวจจับทราฟฟิกตามปกติ โปรแกรม AT&T ARO Data Collector จะทำงานอยู่เบื้องหลังคอยตรวจจับ packet ระหว่างการใช้งาน เมื่อต้องการยุติการตรวจจับทราฟฟิกสามารถทำได้โดยเปิดโปรแกรม AT&T ARO Data Collector อีกครั้งหนึ่งแล้วเลือกปุ่ม Stop Collector เพื่อหยุดการทำงาน

2.5.2 AT&T ARO Data Analyzer

เป็นโปรแกรมที่สามารถวัดและวิเคราะห์การใช้ทรัพยากรและพลังงานของแอปพลิเคชันที่ทำงานอยู่บนอุปกรณ์เคลื่อนที่ โดยจะสามารถวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น Trace file ซึ่งเป็นข้อมูลจากการใช้งานข้อมูลผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ ซึ่งตรวจจับจากโปรแกรม AT&T ARO Data Collector หรือโปรแกรมอื่นๆ ที่มีการทำงานในลักษณะเดียวกันนี้

เมื่อทำการเปิดโปรแกรมและนำเข้าข้อมูล Trace file ที่ต้องการจะวิเคราะห์แล้วระบบจะแสดงผลดังภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 หน้าจอของโปรแกรม AT&T ARO Data Analyzer

ที่มา: AT&T (2013)

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

Timeline นี้ นำไปใช้เพื่อเป็นต้นแบบในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีในแบบจำลองต่อไป

นอกจากนี้โปรแกรมยังสามารถสรุปผลการวิเคราะห์ในลักษณะของรายงานที่จะแสดงภาพรวมของการใช้พลังงาน การกำหนดสถานะอาร์อาร์ซีต่างๆ ให้แก่ยูอี ตลอดจนประสิทธิภาพของแอปพลิเคชันที่ใช้งานผ่านอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้

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 (งานวิจัยนี้สนใจการเปลี่ยนสถานะเซลล์พีซีเอสไปเป็นสถานะเซลล์ดีซีเอส) เพื่อรอการรับ-ส่งข้อมูลครั้งต่อไปที่นานเกินไป แต่หากระบบมีการกำหนดระยะเวลาในการคงอยู่ในสถานะอาร์อาร์ซีน้อยเกินไปจะทำให้เกิดการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีบ่อยครั้งขึ้น ซึ่งก่อให้เกิดสัญญาณซึ่งใช้ในการร้องขอและการควบคุมการเปลี่ยนสถานะมากขึ้น ผู้วิจัยจึงทำแบบจำลองเพื่อหาการกำหนดระยะเวลาคงอยู่ในสถานะอาร์อาร์ซีให้เหมาะสมที่สุด โดยมีการลดการใช้พลังงานของโทรศัพท์เคลื่อนที่ให้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ในขณะที่ลดการร้องขอการเปลี่ยนสถานะในระบบให้น้อยลงด้วย 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

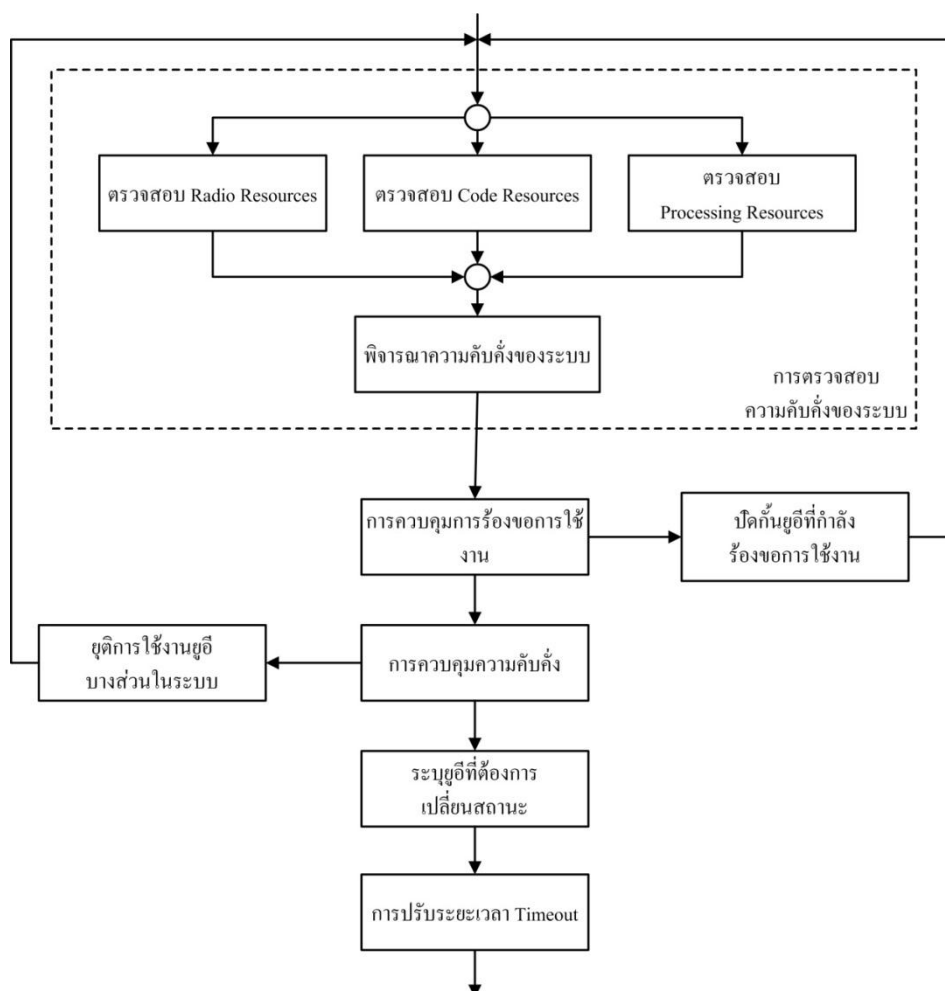
ผู้วิจัยได้นำเสนอโพรโตคอลที่มีชื่อว่าทีโอพี (TOP : Tail Optimization Protocol) เพื่อใช้กำหนดการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ มีอัลกอริทึมที่ใช้ทำนายการเรียกใช้งานการรับ-ส่งข้อมูลครั้งต่อไปว่าจะเกิดขึ้นในเวลาใด โดยเป็นการคำนวณมาจากการใช้งานการรับ-ส่งข้อมูลครั้งก่อนหน้า และเปรียบเทียบกับเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ถ้าระยะเวลาที่ทำนายสั้นกว่าเกณฑ์ แสดงว่าจะมีการใช้งานการรับ-ส่งข้อมูลในเวลาอันใกล้จึงคงสถานะเดิมไว้เพื่อรอการรับ-ส่งข้อมูล แต่ถ้าระยะเวลาที่ทำนายนานเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้แสดงว่ายังไม่มีการร้องขอเพื่อรับ-ส่งข้อมูลในเวลาอันใกล้นี้ ให้ส่งสัญญาณไปยังอาร์เอ็นซีเพื่อร้องขอการเปลี่ยนสถานะลงไปยังสถานะที่ใช้พลังงานน้อยกว่า เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานแบตเตอรี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ โดยระยะเวลาเกณฑ์ที่กำหนดนั้นสมมุติให้เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดที่จะกำหนดให้คงอยู่ในสถานะต่างๆ ที่ทำให้มีการใช้พลังงานแบตเตอรี่น้อยที่สุดในขณะที่มีสัญญาณในระบบเครือข่ายน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ด้วย ผู้วิจัยจึงทำแบบจำลองเพื่อแสดงผลของการทำงานของโพรโตคอลทีโอพีจากพฤติกรรมการใช้ตามสัญญาณที่วัดมา ผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับระบบเครือข่ายที่มีการใช้โพรโตคอลทีโอพีเทียบกับระบบเครือข่ายที่มีกลไกฟาสต์ออร์มแมนซีในการควบคุมสถานะอาร์อาร์ซีพบว่า มีจำนวนสัญญาณลดลงประมาณร้อยละ 49 และลดการใช้พลังงานแบตเตอรี่ของโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ประมาณร้อยละ 10 และยังพบว่าการทำนายระยะเวลาที่จะใช้งานการรับ-ส่งข้อมูลสำหรับโปรแกรมที่มีคาบในการรับ-ส่งข้อมูล เช่น แพนโดรา (Pandora Radio Streaming) นั้นมีความแม่นยำ ในขณะที่การทำนายการใช้งานการรับ-ส่งข้อมูลสำหรับโปรแกรมที่ไม่มีคาบในการรับ-ส่งข้อมูล เช่น เว็บเบราว์เซอร์ นั้นยังไม่แม่นยำพอที่จะนำไปใช้งานได้ เนื่องจากการใช้งานแต่ละเว็บไซต์และผู้ใช้งานแต่ละคนอาจมีเวลาคงอยู่ในหน้าเว็บเพจแตกต่างกัน ก่อนที่จะมีการกดลิงค์เพื่อเปลี่ยนหรือร้องขอข้อมูลของหน้าเว็บเพจอื่นๆ

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 การระบุยูทียที่ต้องการเปลี่ยนสถานะ และการปรับระยะเวลา Timeout โดยจะมีการตรวจสอบความคับคั่งของระบบเครือข่ายจากทรัพยากรระบบ 3 ประเภท คือ Radio Resource, Code Resource และ Signal Processing Resource หรือการประมวลผลสัญญาณ เพื่อให้ออกปริมาณความคับคั่งของระบบเครือข่าย 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 มาเปรียบเทียบกับค่าที่มากที่สุด ใช้เป็นในการพิจารณาความคับคั่งของระบบเครือข่าย ซึ่งค่าความคับคั่งของระบบนี้จะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนการควบคุมการร้องขอการใช้งาน (Call Admission Control) จากการตรวจสอบความคับคั่งของระบบ เมื่อระบบมีความคับคั่งมากกว่าเกณฑ์ของกลไกการควบคุมการร้องขอการใช้งานที่กำหนดไว้ ซึ่งมีความคับคั่งที่มากกว่า 75 เปอร์เซ็นต์ อาร์เอ็นซีจะพิจารณาปิดกั้นยูเอชทีที่กำลังร้องขอการเชื่อมต่อเข้าสู่ระบบ เพื่อไม่ให้ยูเอชทีเหล่านั้นเข้ามาใช้ทรัพยากรและเพิ่มความคับคั่งของระบบเครือข่ายให้มากขึ้น โดยจะยังคงอนุญาตให้ยูเอชทีที่มีการเชื่อมต่อและใช้งานอยู่ในระบบยังคงใช้งานต่อไปได้

ขั้นตอนการควบคุมความคับคั่ง (Congestion Control) จากการตรวจสอบความคับคั่งของระบบ เมื่อระบบมีความคับคั่งมากกว่าเกณฑ์ของการควบคุมความคับคั่งที่กำหนด ซึ่งมีความคับคั่งที่มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ อาร์เอ็นซีจะพิจารณายุติยูเอชทีที่เชื่อมต่ออยู่กับระบบแต่ไม่ได้มีการใช้งานข้อมูลมานานออกจากระบบก่อน เพื่อลดปริมาณของยูเอชทีที่เชื่อมต่ออยู่กับเครือข่ายและลดโอกาสที่ยูเอชทีเหล่านั้นจะสร้างสัญญาณขึ้นมาในระบบ แต่หากยูเอชทีที่ถูกยุติไปแล้วต้องการจะใช้งานบริการข้อมูล ก็จะต้องทำการเชื่อมต่อกับเครือข่ายใหม่

ขั้นตอนการระบุยูเอชทีที่ต้องการเปลี่ยนสถานะ ระบบจะทำการตรวจสอบยูเอชทีที่ใช้งานอยู่ในระบบว่ามียูเอชทีใดที่กำลังต้องการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซี เพื่อจะทำการพิจารณากำหนดสถานะและระยะเวลา Timeout ให้แก่ยูเอชทีเหล่านั้นในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนการปรับระยะเวลา Timeout สถานะอาร์อาร์ซีซึ่งเป็นขั้นตอนสุดท้าย ระบบจะพิจารณาการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีให้แก่ยูเอชที และกำหนดระยะเวลา Timeout ของสถานะนั้นๆ โดยพิจารณาจากยูเอชทีที่มีระยะเวลา Timeout เกินขอบเขตของเวลานานที่สุดที่เป็นไปได้

ปัจจุบันโทรศัพท์แบบสมาร์ตโฟนมีการใช้งานอย่างกว้างขวางและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งรูปแบบการใช้งานสมาร์ตโฟนในการใช้งานข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้น ก่อให้เกิดปัญหาความคับคั่งของการจราจรในระบบเครือข่าย และอุปกรณ์อาร์เอ็นซี ต้องทำการประมวลผลข้อมูลจำนวนมากที่เกิดขึ้นจากสัญญาณจำนวนมากในระบบเครือข่าย ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นจากการใช้งานข้อมูลของสมาร์ตโฟนซึ่งมีกลไกการควบคุมทรัพยากรคลื่นวิทยุที่ควบคุมสถานะการรับ-ส่งข้อมูล ซึ่งสถานะเซลล์ดีซีเอสเอชทีที่สามารถรับ-ส่งข้อมูล

ได้เร็วที่สุดจะใช้พลังงานสูง ส่วนสถานะว่างที่ไม่สามารถรับ-ส่งข้อมูลแต่รอการร้องขอการรับ-ส่งข้อมูลนั้นจะใช้พลังงานต่ำ เพื่อการประหยัดพลังงานของสมาร์ตโฟน จึงมีกลไกเพื่อให้สมาร์ตโฟนที่อยู่ในสถานะเซลล์ดีซีเอชเปลี่ยนสถานะไปเป็นสถานะว่างให้เร็วขึ้น แต่เมื่อต้องการรับ-ส่งข้อมูลอีกครั้งจำเป็นต้องเปลี่ยนสถานะกลับไปเป็นสถานะเซลล์ดีซีเอช เพื่อรับ-ส่งข้อมูล ซึ่งในการเปลี่ยนสถานะแต่ละครั้งจะมีการส่งสัญญาณควบคุมจำนวนหนึ่งระหว่างสมาร์ตโฟนและระบบเครือข่าย เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว งานวิจัยนี้ได้วิเคราะห์พฤติกรรมการสร้างสัญญาณจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซีของระบบปฏิบัติการต่างๆ จากการใช้งานบริการข้อมูลและนำเสนอกลไกการทำงานของอาร์เอ็นซีที่จะช่วยลดปริมาณสัญญาณที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะอาร์อาร์ซี โดยให้อาร์เอ็นซีทำการกำหนดระยะเวลา Timeout ที่แตกต่างกันให้แก่ยูอี ที่ใช้ระบบปฏิบัติการที่แตกต่างกัน โดยใช้ความคับคั่งของสัญญาณในระบบเครือข่ายในขณะนั้นเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาระยะเวลา Timeout ที่เหมาะสม ตามพฤติกรรมในการสร้างสัญญาณควบคุมที่แตกต่างกันของระบบปฏิบัติการ ผลที่คาดว่าจะได้รับจากกลไกในการควบคุมการเปลี่ยนสถานะนี้คือ จำนวนสัญญาณควบคุมที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงสถานะอาร์อาร์ซีในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่ 3 ลดลง ทำให้ผู้ใช้บริการเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ไม่ต้องปรับปรุงระบบเครือข่ายเพื่อรองรับปริมาณสัญญาณที่มากเกินไป

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยที่นำเสนอ

คุณสมบัติ	งานวิจัย 1	งานวิจัย 2	งานวิจัย 3	งานวิจัยที่ นำเสนอ
1. มุ่งลดสัญญาณควบคุมเป็นสำคัญ		✓	✓	✓
2. มุ่งลดการใช้พลังงานของยูเอไอเป็นสำคัญ	✓			
3. มีการวัดสัญญาณจากการใช้งานจริง	✓	✓		✓
4. มีการปรับเปลี่ยนระยะเวลา Timeout แบบไม่คงที่			✓	✓
5. มีการทำนายช่วงเวลาที่จะเรียกใช้งานครั้งต่อไป		✓		
6. มีการติดตั้งโปรแกรมที่ยูเอไอ		✓		
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.