



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

ปริญญา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง กระบวนการประหยัดพลังงานในการข้ามเครือข่ายที่ไม่ขึ้นต่อกัน

Power Saving Mechanism in Media-Independent Handover Network

نامผู้วิจัย นายณวิธ นวลขาว

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รอนศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัยพร ใจแก้ว, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ภูงค์ อุทโยภาส, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รอนศาสตราจารย์กัญญา วีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

กระบวนการประหยัดพลังงานในการข้ามเครือข่ายที่ไม่ขึ้นต่อกัน

Power Saving Mechanism in Media-Independent Handover Network

โดย

นายณวิธ นวลขาว

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

พ.ศ. ๒๕๕๖

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

นววิธ นวลขาว 2556: กระบวนการประหยัดพลังงานในการข้ามเครือข่ายที่ไม่ขึ้นต่อกัน
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) สาขาวิศวกรรม
คอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
รองศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D. 75 หน้า

ตามมาตรฐาน MIH อุปกรณ์เคลื่อนที่จะประกอบไปด้วยอินเทอร์เน็ตเฟสมากกว่าหนึ่ง
อินเทอร์เน็ตเฟส เพื่อให้สามารถทำการเชื่อมต่อและโอนย้ายการเชื่อมต่อไปยังเครือข่ายที่มีความ
แตกต่างกันได้ ซึ่งในการทำงานแต่ละอินเทอร์เน็ตเฟสจะต้องทำการเปิดอินเทอร์เน็ตเฟสเพื่อค้นหา
เครือข่ายมาเป็นตัวเลือกซึ่งเป็นการใช้พลังงานอย่างไม่เหมาะสม ในงานวิจัยชิ้นนี้จึงได้นำเสนอ
กระบวนการ On-Off Period (OOP) เพื่อลดอัตราสิ้นเปลืองพลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ โดย
ยังคงสามารถรองรับการเชื่อมต่อที่ดีที่สุดตลอดเวลา (ABC) ด้วยการปรับปรุงกระบวนการ
ตรวจสอบสัญญาณเครือข่ายของ สแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสให้มีรอบการเปิดและปิดเป็นช่วงเวลา
ที่เหมาะสมโดยปราศจากการช่วยเหลือจากศูนย์ข้อมูลกลาง

จากการศึกษาพบว่ากระบวนการที่นำเสนอสามารถลดอัตราสิ้นเปลืองพลังงานของ
อุปกรณ์เคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการบริหารจัดการแบบศูนย์กลาง ในการ
กำหนดระยะเวลาปิดอินเทอร์เน็ตเฟสที่ 15- 30 วินาที และยังคงมีค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานในระดับ
ต่ำ

ลายมือชื่อนิติ

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Nawawit Nounkaw 2013: Power Saving Mechanism in Media-Independent Handover Network. Master of Engineering (Computer Engineering),
Major Field: Computer Engineering, Department of Computer Engineering.
Thesis Advisor: Associate Professor Anan Phonphoem, Ph.D. 75 pages.

MIH standard defines the mechanism for allowing a mobile device with more than one interface to seamlessly roam between different network technologies. All interfaces are simultaneously turned on for discovering the candidate technologies which cause unnecessary power consumption. In this research, an On-Off Period (OOP) mechanism for saving power consumption in mobile device and supporting always best connected (ABC) has been proposed. To enhance the monitoring process, the standby interfaces will be turned on and off for a period of time without any centralized information requirement.

The study shows that the proposed mechanism can save more energy similar to centralized mechanism by assigning off-durations in the range of 15 to 30 seconds with low opportunity loss.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชัยพร ใจแก้ว
กรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม และดร.อภิรักษ์ จันทร์สร้าง ที่ได้สละเวลาให้ความสนใจได้
ในการถ่ายทอดความรู้ ให้โอกาสได้เข้าร่วมงานประชุมวิชาการ และที่ให้คำปรึกษาในการเรียน
การค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้
อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

นววิธ นวลขาว
พฤษภาคม 2556

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	18
อุปกรณ์	18
วิธีการ	18
ผลและวิจารณ์	29
ผล	29
วิจารณ์	69
สรุปและข้อเสนอแนะ	70
สรุป	70
ข้อเสนอแนะ	71
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	72
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	75

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสในเทคโนโลยีต่างๆ	2
2	ความถี่ใช้งานและความเร็วในการส่งข้อมูลของมาตรฐานต่างๆ ในเทคโนโลยี WiFi	6
3	คุณลักษณะการใช้งานจำลองของเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย	8
4	สรุปรายละเอียดวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
5	คุณลักษณะพารามิเตอร์ด้านพลังงานในการทดสอบ	29
6	ค่าพารามิเตอร์ในการทดลองที่ 2	33
7	ค่าพารามิเตอร์ในการทดลองที่ 3	37
8	ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในกระบวนการ OOP ที่ความเร็ว 1 m/s ในการทดลองที่ 3	44
9	ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในกระบวนการ OOP ที่ความเร็ว 1,2 และ 3 m/s ในการทดลองที่ 3	46
10	เปรียบเทียบพื้นที่การให้บริการของแต่ละเครือข่ายในการทดลองที่ 4	49
11	การตั้งค่าพารามิเตอร์ในการทดลองที่ 4	50
12	ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในกระบวนการ OOP และกระบวนการ centralized ในการทดลองที่ 4	53
13	การตั้งค่าพารามิเตอร์ในการทดลองที่ 5	58
14	ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในกระบวนการ OOP และกระบวนการ centralized ในการทดลองที่ 5	61
15	อัตราการส่งข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ	68

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ขนาดพื้นที่บริการของเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย	5
2	ตำแหน่งในการทำงานของ MIH ในส่วนอุปกรณ์เคลื่อนที่และเครือข่าย	9
3	การรับส่งข้อมูลของฟังก์ชันใน MIH	10
4	การบริหารจัดการสแตนด์บายอินเตอร์เฟสในรูปแบบศูนย์กลาง	14
5	สถานะของสแตนด์บายอินเตอร์เฟสในกระบวนการ OOP	20
6	การควบคุมอินเตอร์เฟสของ MIH ในกระบวนการ OOP	20
7	เปรียบเทียบกระบวนการทำงานรูปแบบเดิมกับกระบวนการ OOP	22
8	การทำงานในกรณีที่อุปกรณ์เคลื่อนที่กำลังเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่บริการปัจจุบัน	23
9	กระบวนการทำงานในกรณีที่อุปกรณ์เคลื่อนที่ไม่มีการเคลื่อนที่	24
10	การตรวจพบเครือข่ายล่าช้าในกระบวนการ OOP	26
11	ตัวอย่างลักษณะจำลองของพื้นที่ให้บริการของแต่ละเครือข่าย	28
12	ตัวอย่างการพิจารณาพื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณระยะเวลาการใช้งานเครือข่าย WiFi	28
13	ตัวอย่างการพิจารณาพื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณระยะเวลาการใช้งานเครือข่าย WiMAX	28
14	โครงสร้างของเครือข่ายในการทดลองที่ 1	30
15	การใช้พลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการทดลองที่ 1	31
16	ความแตกต่างของการใช้พลังงานของช่วงเวลาปิดอินเตอร์เฟสในการทดลองที่ 1	32
17	สถานะอินเตอร์เฟสของเทคโนโลยี WiFi (สถานะสแตนด์บาย) ในการทดลองที่ 1	32
18	การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการทดลองที่ 2	34
19	การใช้พลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการทดลองที่ 2	35
20	ระยะเวลาในการส่งข้อมูลขนาด 150 MB ในการทดลองที่ 2	35
21	โครงสร้างเครือข่าย และขอบเขตการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการทดลองที่ 3	37

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
22	การเคลื่อนของอุปกรณ์เคลื่อนที่ 9 รูปแบบ ที่ความเร็ว 1 m/s ในการทดลองที่ 3	38
23	การเคลื่อนของอุปกรณ์เคลื่อนที่ 9 รูปแบบ ที่ความเร็ว 1 m/s ในการทดลองที่ 3 (ต่อ)	39
24	การเคลื่อนของอุปกรณ์เคลื่อนที่จากรูปแบบ 1 ที่ความเร็ว 1 m/s	40
25	การส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตต่างๆ ของอุปกรณ์เคลื่อนที่	41
26	สถานะการเปิดและปิดของอินเทอร์เน็ต WiFi	42
27	อัตราการใช้พลังงาน ที่ความเร็ว 1 m/s ในการทดลองที่ 3	43
28	ค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานเครือข่าย WiFi และ WiMAX ที่ความเร็ว 1 m/s ในการทดลองที่ 3	44
29	อัตราการใช้พลังงานที่ความเร็ว 1, 2 และ 3 m/s ในการทดลองที่ 3	45
30	ค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานเครือข่าย WiFi ที่ความเร็ว 1, 2 และ 3 m/s ในการทดลองที่ 3	46
31	ค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานเครือข่าย WiMAX ที่ความเร็ว 1, 2 และ 3 m/s ในการทดลองที่ 3	47
32	โครงสร้างของเครือข่ายในการทดลองที่ 4	49
33	อัตราการใช้พลังงานในกระบวนการ OOP และกระบวนการ centralized ในการทดลองที่ 4	52
34	ค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานในกระบวนการ OOP และกระบวนการ centralized ในการทดลองที่ 4	54
35	ข้อมูลการให้บริการเครือข่าย WiFi ของบริษัททรูมูฟ บริเวณพื้นที่สยามสแควร์	55
36	ขอบเขตการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการทดลองที่ 5	56
37	โครงสร้างของเครือข่ายในการทดลองที่ 5	57
38	โครงสร้างของเครือข่ายในการทดลองที่ 5 ในกรณีที่อุปกรณ์เคลื่อนที่มีข้อมูลบางส่วน	57
39	ข้อมูลการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการทดลองที่ 5	58

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
40	ข้อมูลการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการทดลองที่ 5 (ต่อ)	59
41	อัตราการใช้พลังงานของในกระบวนการ OOP และกระบวนการ centralized ในการทดลองที่ 5	60
42	ค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานในกระบวนการ OOP และกระบวนการ centralized ในการทดลองที่ 5	62
43	ระยะเวลาห่างระหว่างแพ็คเก็ตเกิดในการทดลองรูปแบบที่ 1 ในกระบวนการแบบเดิม	63
44	ระยะเวลาห่างระหว่างแพ็คเก็ตเกิดในการทดลองรูปแบบที่ 1 ในกระบวนการ OOP (5 sec)	63
45	ระยะเวลาห่างระหว่างแพ็คเก็ตเกิดในการทดลองรูปแบบที่ 1 ในกระบวนการ OOP (10 sec)	64
46	ระยะเวลาห่างระหว่างแพ็คเก็ตเกิดในการทดลองรูปแบบที่ 1 ในกระบวนการ OOP (15 sec)	64
47	ระยะเวลาห่างระหว่างแพ็คเก็ตเกิดในการทดลองรูปแบบที่ 1 ในกระบวนการ OOP (30 sec)	65
48	ระยะเวลาห่างระหว่างแพ็คเก็ตเกิดในการทดลองรูปแบบที่ 1 ในกระบวนการ OOP (60 sec)	65
49	ระยะเวลาห่างระหว่างแพ็คเก็ตเกิดในการทดลองรูปแบบที่ 1 ในกระบวนการ OOP (120 sec)	66
50	ขนาดของข้อมูลที่ส่งผ่านอินเทอร์เน็ตเฟสของเทคโนโลยีต่างๆ	67
51	เปรียบเทียบอัตราการส่งผ่านข้อมูลเฉลี่ยในกระบวนการต่างๆ	68

กระบวนการประหยัดพลังงานในการข้ามเครือข่ายที่ไม่ขึ้นต่อกัน

Power Saving Mechanism in Media-Independent Handover Network

คำนำ

ในปัจจุบันการให้บริการผ่านเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย มีหลากหลายเทคโนโลยีที่สามารถเลือกใช้งานได้ตามความเหมาะสมยกตัวอย่างเช่น IEEE802.11 (WiFi), IEEE 802.16 (WiMAX), Universal Mobile Telecoms System (UMTS) และ Long Term Evolution (LTE) เป็นต้น ด้วยเหตุนี้เองในปัจจุบันอุปกรณ์เคลื่อนที่ (mobile device) ในท้องตลาดจึงประกอบไปด้วยหลากหลายอินเทอร์เฟซตามเทคโนโลยีที่มีอยู่ เพื่อให้สามารถเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายที่มีให้บริการได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน ประกอบกับพื้นที่การให้บริการของแต่ละเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้นอาจมีพื้นที่ให้บริการทับซ้อนกัน ยิ่งส่งผลให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกเชื่อมต่อกับเครือข่ายผ่านเทคโนโลยีต่างๆ ได้ตามความต้องการหลากหลายรูปแบบ เช่น เน้นประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุด เน้นการประหยัดพลังงาน เน้นการประหยัดค่าใช้จ่าย หรือมีความสมดุลในการใช้งาน มากที่สุด เป็นต้น ดังนั้นกระบวนการตัดสินใจเลือกเทคโนโลยีในการเชื่อมต่อ และการข้ามเครือข่ายระหว่างเทคโนโลยี จึงมีความจำเป็นเพื่อให้การเชื่อมต่อของผู้ใช้งานเป็นการเชื่อมต่อที่เหมาะสมมากที่สุดตลอดเวลา หรือเรียกว่าคุณสมบัติ Always Best Connected (ABC)

มาตรฐาน IEEE 802.21 หรือ MIH (Media Independent Handover) service เป็นมาตรฐานที่มีการประกาศใช้งานในปี ค.ศ. 2008 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อรองรับการข้ามเครือข่ายที่แตกต่างกันระหว่างเทคโนโลยีในตระกูล IEEE 802 กับเทคโนโลยีที่ไม่ใช่ โดยจะทำงานอยู่ระหว่างชั้นเน็ตเวิร์ค และชั้นดาต้าลิงค์ ส่งผลให้การข้ามเครือข่ายที่มีเทคโนโลยีที่แตกต่างกันมีความยืดหยุ่น และมีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามยังคงมีประเด็นปัญหาที่จะต้องมีการปรับปรุง และแนวทางในการพัฒนาเพื่อให้ประสิทธิภาพในการใช้งานมีมากยิ่งขึ้นต่อไป เช่น การลดระยะเวลาที่ใช้ในการข้ามเครือข่าย, กระบวนการตัดสินใจเลือกเครือข่ายและพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสม, ปัญหาการข้ามเครือข่ายกลับไปกลับมา (ping-pong effect), และอัตราสิ้นเปลืองพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้นซึ่งมีสาเหตุมาจากจำนวนอินเทอร์เฟซที่เพิ่มขึ้น เป็นต้น

ตามมาตรฐาน IEEE 802.21 หรือ MIH service นั้น ไม่ว่าจำนวนอินเตอร์เฟซของอุปกรณ์เคลื่อนที่ จะมีจำนวนเท่าใดก็ตาม สถานะการทำงานของแต่ละอินเตอร์เฟซจะมีเพียง 2 สถานะ คือ สถานะแอคทีฟ (active) และสแตนด์บาย (standby) ซึ่งอินเตอร์เฟซในสถานะแอคทีฟนั้นจะมีได้เพียงหนึ่งอินเตอร์เฟซเพื่อทำหน้าที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายที่มีความเหมาะสมมากที่สุดตามเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณา ณ ช่วงเวลาดังกล่าว เพื่อทำหน้าที่ในการรับและส่งข้อมูล ในส่วนสแตนด์บาย อินเตอร์เฟซ จะเป็นอินเตอร์เฟซของอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ไม่ได้รับเลือกเป็นแอคทีฟอินเตอร์เฟซ ซึ่งมีหน้าที่ในการคอยตรวจสอบสัญญาณของเครือข่ายที่สามารถเชื่อมต่อได้ เพื่อนำมาพิจารณาเป็นตัวเลือกในกรณีที่เครือข่ายปัจจุบันกำลังจะไม่สามารถให้บริการต่อไปได้ หรือกรณีที่เครือข่ายใหม่ที่ตรวจพบมีความเหมาะสมมากกว่าเครือข่ายที่เชื่อมต่ออยู่ในปัจจุบัน (แอคทีฟ) เพื่อให้สามารถรับรองการใช้งานในรูปแบบ ABC ได้ ซึ่งจำนวนสแตนด์บายอินเตอร์เฟซที่เพิ่มขึ้นนี้เอง เป็นสาเหตุให้อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากอินเตอร์เฟซในสถานะสแตนด์บายจะมีการใช้งานพลังงานเพื่อทำการคอยตรวจสอบสัญญาณของเครือข่ายอย่างต่อเนื่องแสดงดังตารางที่ 1 และโดยเฉพาะอย่างยิ่งอุปกรณ์เคลื่อนที่ซึ่งมีแหล่งพลังงานที่จำกัด ยิ่งส่งผลให้ปัญหาด้านพลังงานเป็นปัญหาที่มีความสำคัญมากยิ่งขึ้น

ตารางที่ 1 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของสแตนด์บายอินเตอร์เฟซในเทคโนโลยีต่างๆ

เทคโนโลยี	การใช้พลังงานเฉลี่ยของสแตนด์บายอินเตอร์เฟซ
WiFi	60 mW
WiMAX	30 mW
UMTS/LTE	5 mW

ที่มา: Vuong *et al.* (2008)

กระบวนการทำงานของอินเตอร์เฟซในสถานะสแตนด์บายนั้น อินเตอร์เฟซจะมีช่วงเวลาการทำงาน 2 รูปแบบด้วยกันคือ เปิดอินเตอร์เฟซ (turn-on) และปิดอินเตอร์เฟซ (turn-off) โดยจะสลับปรับเปลี่ยนกันไป ซึ่งการใช้งานพลังงานจะเกิดขึ้นในช่วงเปิดอินเตอร์เฟซเพียงเท่านั้น โดยจะทำการเปิดอินเตอร์เฟซเพื่อคอยตรวจสอบสัญญาณของเครือข่ายที่สามารถเชื่อมต่อได้ ในส่วนของช่วงเวลาปิดอินเตอร์เฟซจะไม่มีการใช้พลังงานใดๆ เกิดขึ้น ดังนั้นแนวทางในการแก้ไขปัญหาด้านพลังงานของอินเตอร์เฟซในสถานะสแตนด์บาย คือ เพิ่มระยะเวลาในช่วงปิดอินเตอร์เฟซให้มีระยะเวลานานขึ้นหรือทำการปิดอินเตอร์เฟซ ซึ่งจะทำให้ช่วงเวลาในการใช้พลังงานของสแตนด์บาย

อินเทอร์เน็ตลดลง แต่ทั้งนี้ทั้งนั้นจะต้องพิจารณาถึงผลกระทบที่จะเกิดขึ้นจากการเลือกช่วงเวลาปิดอินเทอร์เน็ตนานจนเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้การตรวจพบเครือข่ายใช้เวลาเพิ่มมากขึ้น โดยหากเปรียบเทียบกับกระบวนการทำงานของสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตในรูปแบบเดิม (regular) อินเทอร์เน็ตจะเสมือนอยู่ในช่วงเวลาเปิดอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจะสามารถตรวจพบเครือข่ายใหม่ในทันทีเมื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่เคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณขอบของพื้นที่ให้บริการ แต่เมื่อมีการเพิ่มช่วงเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตอาจเกิดเหตุการณ์ที่อุปกรณ์เคลื่อนที่เคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ให้บริการ แต่ในขณะนั้นสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตยังอยู่ในช่วงเวลาปิดอินเทอร์เน็ตส่งผลให้การตรวจพบเครือข่ายใหม่ใช้เวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นนั้นจะเป็นระยะเวลาในช่วงการปิดอินเทอร์เน็ตที่เหลืออยู่ ส่งผลให้เกิดการสูญเสียโอกาสใช้งานเครือข่ายใหม่ที่เป็นไปได้ว่ามีความเหมาะสมกว่าเครือข่ายปัจจุบันที่กำลังทำการเชื่อมต่อ

ในงานวิจัยชิ้นนี้จะทำการศึกษาวิธีการกำหนดช่วงเวลาในการเปิดและปิดของสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเพื่อลดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน โดยนำเสนอกระบวนการ On-Off Period หรือ OOP บนการทำงานตามมาตรฐาน MIH ในรูปแบบที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยศูนย์กลางข้อมูลกลาง (central server) เข้ามาช่วยในการบริหารจัดการอินเทอร์เน็ต เพื่อศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการลดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของสแตนด์บายอินเทอร์เน็ต และผลกระทบต่อการใช้โอกาสใช้งานที่เกิดขึ้นซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติ ABC เมื่อทำการกำหนดช่วงเวลาปิดอินเทอร์เน็ตในช่วงเวลาต่างๆ รวมถึงการพิจารณาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสม

วัตถุประสงค์

พัฒนากระบวนการข้ามเครือข่ายไร้สายที่มีเทคโนโลยีแตกต่างกันตามมาตรฐาน IEEE 802.21 หรือ MIH ให้สามารถลดอัตราสิ้นเปลืองพลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ โดยยังคงมีคุณสมบัติการเชื่อมต่อแบบ Always Best Connected (ABC)

1. พัฒนาระบวนการตรวจสอบสัญญาณของเครือข่ายสำหรับสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟส ให้สามารถปรับเปลี่ยนช่วงเวลาในการเปิดและปิดอินเทอร์เน็ตเฟส เพื่อลดอัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน
2. ศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการลดลงของอัตราสิ้นเปลืองพลังงาน เปรียบเทียบกับผลกระทบต่อการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เกิดขึ้น เมื่อทำการเลือกช่วงเวลาในการเปิดและปิดอินเทอร์เน็ตเฟสในค่าต่างๆ

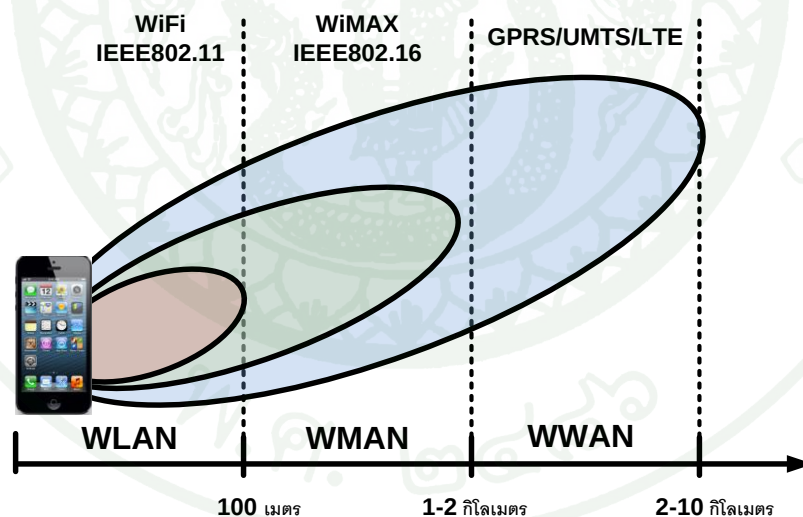
การตรวจเอกสาร

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการทำงานตามมาตรฐาน IEEE 802.21 หรือ MIH รวมถึงงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

ความรู้ที่เกี่ยวข้อง

1. เทคโนโลยีของเครือข่ายไร้สาย

ในปัจจุบันมีการนำเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สายมาให้บริการหลากหลายเทคโนโลยี ตามความเหมาะสมของการใช้งานแต่ละประเภท โดยสามารถแบ่งกลุ่มตามขนาดของพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณออกเป็น 3 กลุ่ม คือ 1. เครือข่ายแลนไร้สาย (WLANs: Wireless Local Area Networks) 2. เครือข่ายแมนไร้สาย (WMANs: Wireless Metro Area Networks) 3. เครือข่ายแวนไร้สาย (WWANs: Wireless Wide Area Network) แสดงดังนี้ภาพที่ 1 (อนันต์, 2550)



ภาพที่ 1 ขนาดพื้นที่บริการของเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย

1.1 เครือข่ายแลนไร้สาย

เครือข่ายแลนไร้สายเป็นเครือข่ายที่สามารถรองรับการเชื่อมต่อได้ในช่วงรัศมี 50-100 เมตร ตามแต่สภาพแวดล้อมในการใช้งาน ซึ่งได้รับการพัฒนาภายใต้มาตรฐาน IEEE802.11 หรืออีกชื่อหนึ่งคือ WiFi (Wireless Fidelity) ซึ่งเป็นเทคโนโลยีที่ได้รับความนิยมและนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง ทั้งในเชิงพาณิชย์และการใช้งานทั่วไป โดยมีย่านความถี่ในการใช้งาน และอัตราเร็วในการรับและส่งข้อมูล ของมาตรฐานต่างๆ ที่ได้รับการพัฒนามาอย่างต่อเนื่อง (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ความถี่ใช้งานและความเร็วในการส่งข้อมูลของมาตรฐานต่างๆ ในเทคโนโลยี WiFi

มาตรฐาน	ย่านความถี่ที่ใช้งาน (GHz)	อัตราเร็วในการส่งข้อมูล (Mbps)
IEEE802.11a	5	54
IEEE802.11b	2.4	11
IEEE802.11g	2.4	54
IEEE802.11n	2.4 และ 5	>100

และนอกจากนี้ยังมีการพัฒนาเทคโนโลยี WiFi โดยแบ่งเป็นกลุ่มทำงาน (task group) เพื่อให้การใช้งานมีคุณภาพดียิ่งขึ้น ยกตัวอย่างเช่น IEEE802.11i เน้นเรื่องระบบความปลอดภัยบนเครือข่าย WiFi, IEEE802.11e เน้นด้านคุณภาพการให้บริการ (QoS: Quality of Service) เป็นต้น

1.2 เครือข่ายแมนไร้สาย

เครือข่ายแมนไร้สายเป็นเครือข่ายสื่อสารไร้สายครอบคลุมพื้นที่ขนาดกว้าง มีพื้นที่ให้บริการระดับกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่การให้บริการประเภทเมือง หรือสถาบันการศึกษาขนาดใหญ่ ซึ่งพัฒนาอยู่ภายใต้มาตรฐาน IEEE 802.16 หรือ WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) มีการใช้งานที่ช่วงความถี่ 2-11 GHz โดยในทางทฤษฎีเทคโนโลยี WiMAX รองรับความเร็วสูงสุดที่ 70 Mbps นอกการนี้ได้มีการพัฒนาเวอร์ชัน โมบาย IEEE802.11e เพื่อรองรับการใช้งานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่เพิ่มสูงขึ้น ซึ่งได้เริ่มมีการนำมาใช้งานบ้างแล้วในบางประเทศ เช่น ประเทศเกาหลี ในชื่อ WiBro (Shin *et al.*, 2005) เป็นต้น

1.3 เครือข่ายแวนไร้สาย

เครือข่ายแวนไร้สายเป็นเครือข่ายไร้สายที่มีระยะครอบคลุมของสัญญาณมากที่สุด โดยเป็นเทคโนโลยีในกลุ่มของเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (cellular network) ซึ่งจะเน้นการให้บริการด้านเสียงเป็นหลัก สำหรับการให้บริการด้านการรับส่งข้อมูลนั้นในยุคแรกๆ มีอัตราการส่งข้อมูลที่ต่ำมากเพียง 11 Kbps เท่านั้น แต่ในปัจจุบันได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนส่งผลให้อัตราการส่งข้อมูลเพิ่มสูงขึ้นอยู่ในระดับ 3.5-10 Mbps ซึ่งเทคโนโลยีที่ได้รับการกล่าวถึงในปัจจุบัน เช่น UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) และ LTE (Long Term Evolution) เป็นต้น

2. Always Best Connected

นิยามของ ABC (Always Best Connected) หรือ การเชื่อมต่อที่ดีที่สุดตลอดเวลา นั้น ผู้ใช้งานไม่เพียงสามารถทำการเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายที่เปิดให้บริการอย่างต่อเนื่องเท่านั้น แต่จะเป็นการเชื่อมต่อกับเครือข่ายที่เปิดให้บริการที่ดีที่สุดอีกด้วย ซึ่งในการพิจารณาว่าเครือข่ายใดเป็นเครือข่ายที่ดีที่สุดอาจพิจารณาได้จากเกณฑ์ต่างๆ เช่น การตัดสินใจเลือกของผู้ใช้งาน คุณภาพการให้บริการ ความต้องของแอปพลิเคชัน ราคา และอัตราสิ้นเปลืองพลังงาน เป็นต้น ซึ่งเพื่อที่จะให้การเชื่อมต่อสามารถเกิดขึ้นได้ตามนิยามของ ABC สามารถทำงานได้นั้น อุปกรณ์เคลื่อนที่ต้องประกอบไปด้วยกระบวนการเปรียบเทียบเครือข่ายเพื่อทำการตัดสินใจเลือกเครือข่ายที่ดีที่สุด อินเทอร์เน็ตในการเชื่อมต่อกับเครือข่ายของเทคโนโลยีต่างๆ ครอบคลุมทุกเทคโนโลยีที่เปิดให้บริการ และขั้นตอนการข้ามเครือข่ายจากเทคโนโลยีหนึ่งไปสู่อีกเทคโนโลยีอย่างมีประสิทธิภาพ (Gustafsson *et al.*, 2003)

เพื่อให้เข้าใจนิยามของ ABC จึงขอยกตัวอย่างการเชื่อมต่อในรูปแบบ ABC ที่อาจจะเกิดขึ้นดังต่อไปนี้ เมื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่ให้บริการที่สามารถทำการเลือกเชื่อมต่อผ่านเทคโนโลยีต่างๆ ได้ จำนวน 3 เทคโนโลยี ซึ่งแต่ละเทคโนโลยีเองจะมีคุณลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน (ตารางที่ 3) โดยหากเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกเครือข่ายที่ดีที่สุด ให้ความสำคัญคุณลักษณะด้านราคา การเชื่อมต่อผ่านเทคโนโลยี WiFi จะมีความเหมาะสมที่สุด แต่ในทางกลับกันเทคโนโลยี UMTS มีความเหมาะสมมากกว่าเมื่อทำการพิจารณาคุณลักษณะด้านการสิ้นเปลืองพลังงาน หรือความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่สำคัญ

ตารางที่ 3 คุณลักษณะการใช้งานจำลองของเทคโนโลยีเครือข่ายไร้สาย

เทคโนโลยี	ความเร็วในการ รับส่งข้อมูล	ราคา	การสิ้นเปลือง พลังงาน	ความเร็วในการ เคลื่อนที่
WiFi	สูงมาก	ต่ำ	สูง	ต่ำ
WiMAX	สูง	ต่ำ/ปานกลาง	ปานกลาง	ปานกลาง
UMTS	ปานกลาง	สูง	ต่ำ	สูง

3. มาตรฐาน IEEE 802.21 หรือ Media Independent Handover (MIH) service

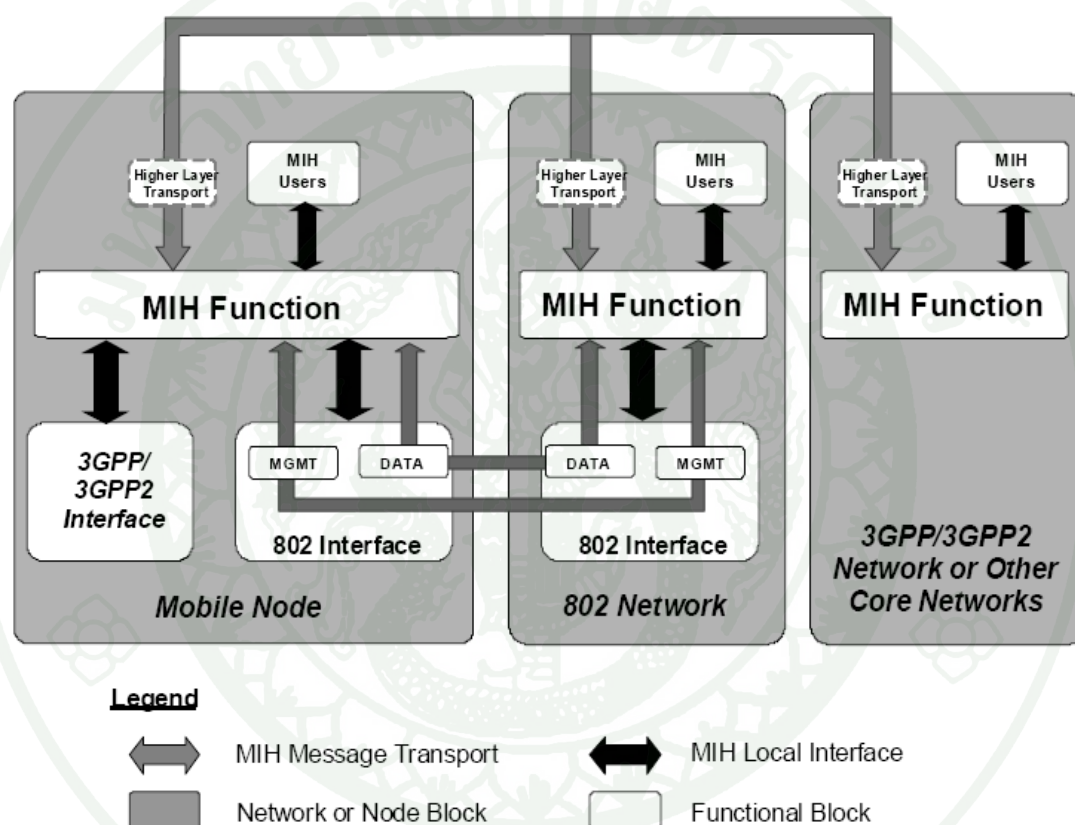
IEEE 802.21 หรือ Media Independent Handover (MIH) service เป็นมาตรฐานที่กำหนดขึ้นโดย Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) ซึ่งได้มีการประกาศใช้งานในปี ค.ศ. 2008 โดยมีเป้าหมายเพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นและประสิทธิภาพในการข้ามเครือข่ายและสนับสนุนการข้ามเครือข่ายระหว่างเทคโนโลยีตระกูล IEEE 802 กับเทคโนโลยีตระกูลอื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นเทคโนโลยีแบบสาย (wireline) หรือ ไร้สาย (wireless) ซึ่ง MIH จะทำงานอยู่ระหว่างชั้นเน็ตเวิร์กและชั้นดาต้าลิงก์ ทั้งในส่วนของผู้ประกอบการเคลื่อนที่และส่วนของเครือข่าย (network) เพื่อประสานการทำงานระหว่างกันแสดงดังภาพที่ 2 ซึ่งจากโครงสร้างการทำงานดังกล่าว ส่งผลให้ชั้นเน็ตเวิร์กสามารถทำงานได้โดยมองข้ามการเชื่อมต่อในชั้นดาต้าลิงก์ ว่าในปัจจุบันทำการเชื่อมต่อผ่านอินเตอร์เฟซของเทคโนโลยีชนิดใด เนื่องจาก MIH จะคอยประสานและจัดการส่งข้อมูลที่เหมาะสมให้กับชั้นเน็ตเวิร์กและดาต้าลิงก์ทราบ

MIH ได้มีการแบ่งฟังก์ชันการทำงานออกเป็น 3 ฟังก์ชันหลักเพื่อคอยประสานการทำงานระหว่างชั้นเน็ตเวิร์กและชั้นดาต้าลิงก์ แสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งแต่ละฟังก์ชันจะมีหน้าที่ในการทำงานแตกต่างกัน มีรายละเอียดดังนี้

3.1 MIES (Media Independent Event Service) มีหน้าที่ในการตรวจสอบสถานะและเหตุการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นซึ่งได้รับจากชั้นดาต้าลิงก์ เพื่อรายงานข้อมูลให้กับชั้นเน็ตเวิร์กทราบ ตัวอย่างเหตุการณ์ที่มีการรายงาน เช่น “Link_UP”, “Link_Down”, “Link_Detect” และ “Link_Going_Down” เป็นต้น

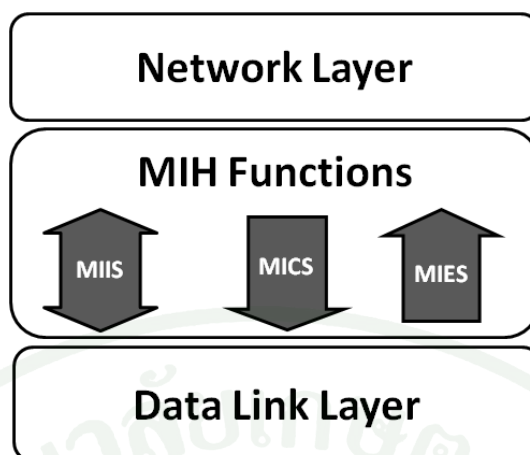
3.2 MICS (Media Independent Command Service) มีหน้าที่ในการส่งคำสั่งในการควบคุมการทำงานการเชื่อมต่อ จากชั้นเน็ตเวิร์คผ่านไปยังชั้นดาต้าลิงค์

3.3 MIIS (Media Independent Information Service) มีหน้าที่ในการค้นหาและรวบรวมข้อมูลของเครือข่ายที่สามารถเชื่อมต่อได้ เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวมาใช้ในการกระบวนการตัดสินใจเลือกเครือข่ายที่เหมาะสม



ภาพที่ 2 ตำแหน่งในการทำงานของ MIH ในส่วนอุปกรณ์เคลื่อนที่และเครือข่าย

ที่มา: IEEE Computer Society (2009)



ภาพที่ 3 การรับส่งข้อมูลของฟังก์ชันใน MIH

กระบวนการข้ามเครือข่ายของ MIH นั้น สามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 3 ขั้นตอน ซึ่งประกอบไปด้วย

1. ขั้นตอนการตรวจจับเครือข่าย (Monitor) ในขั้นตอนนี้อินเทอร์เน็ตเฟสในสถานะสแตนด์บาย จะทำหน้าที่ในการคอยตรวจจับสัญญาณของเครือข่ายที่สามารถทำการเชื่อมต่อได้ เช่น บีคอนเฟรม (beacon frame) ในเทคโนโลยี WiFi เป็นต้น และเมื่อมีการตรวจพบสัญญาณของเครือข่ายที่สามารถเชื่อมต่อได้ จึงทำการร้องขอข้อมูลของเครือข่ายโดยเรียกใช้งานฟังก์ชัน MIIS เพื่อนำข้อมูลไปใช้ในขั้นตอนพิจารณาเลือกข้ามเครือข่ายที่เหมาะสมต่อไป
2. ขั้นตอนพิจารณาเลือกข้ามเครือข่าย (handover decision) ในขั้นตอนนี้จะมีการนำข้อมูลที่ได้รับมาจากเครือข่ายต่างๆ ที่เป็นตัวเลือก รวมถึงเครือข่าย ณ ปัจจุบันที่กำลังเชื่อมต่อ มาทำการเปรียบเทียบเพื่อเลือกเครือข่ายที่มีความเหมาะสมที่สุด ซึ่งในกรณีที่ผลลัพธ์ในการเปรียบเทียบเครือข่ายปัจจุบันมีความเหมาะสมมากกว่าเครือข่ายใหม่ที่ตรวจพบจะไม่มีการเปลี่ยนข้ามเครือข่าย แต่หากผลลัพธ์ที่ได้เครือข่ายใหม่มีความเหมาะสมมากกว่าจึงจะเกิดการเปลี่ยนข้ามเครือข่ายเกิดขึ้น
3. ขั้นตอนการเปลี่ยนข้ามเครือข่าย (handover execution) เป็นขั้นตอนในการข้ามเครือข่ายจากเครือข่ายปัจจุบันไปยังเครือข่ายใหม่ที่มีความเหมาะสมมากกว่า โดยขั้นตอนนี้ MIH จะทำงานร่วมกับกระบวนการข้ามเครือข่ายในชั้นเน็ตเวิร์ก เช่น กระบวนการข้ามเครือข่าย Mobile IP เป็นต้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวทางในการบริหารจัดการพลังงานในการใช้งานตามมาตรฐาน MIH นั้น สามารถแบ่งวิธีการออกเป็น 2 กลุ่มด้วยกัน คือ กลุ่มที่ใช้วิธีการตัดสินใจเลือกเครือข่ายที่เหมาะสมโดยพิจารณาพารามิเตอร์ด้านพลังงานซึ่งจะเป็นการพัฒนาในขั้นตอนการพิจารณาเลือกข้ามเครือข่าย และกลุ่มที่ใช้วิธีการลดการใช้พลังงานของสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟส ซึ่งจะเป็นการพัฒนาในขั้นตอนการตรวจจบเครือข่าย

1. การบริหารจัดการพลังงานในขั้นตอนการพิจารณาเลือกข้ามเครือข่าย (handover decision)

MIIS เป็นฟังก์ชันหลักส่วนหนึ่งของ MIH ซึ่งทำหน้าที่ในการร้องขอและรวบรวมข้อมูลพารามิเตอร์จากเครือข่ายต่างๆ ที่เป็นตัวเลือกทั้งหมด เพื่อนำมาใช้ในขั้นตอนการพิจารณาเลือกข้ามเครือข่าย เพื่อให้การเชื่อมต่อกับเครือข่ายเป็นการเชื่อมต่อกับเครือข่ายที่ดีที่สุดตลอดเวลาตามคุณสมบัติ ABC โดยข้อมูลที่รวบรวมมาได้นั้นส่วนหนึ่งจะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ด้านพลังงาน จึงได้มีงานวิจัยที่นำเสนอเทคนิคและกระบวนการพิจารณาเลือกข้ามเครือข่าย ที่ให้ความสำคัญกับพารามิเตอร์ด้านพลังงาน เพื่อให้การตัดสินใจเลือกเครือข่ายมีความเหมาะสมกับสภาพการใช้งานในสถานการณ์ต่างๆ ดังนี้

Chowdhury *et al.* (2009) กล่าวถึงการบริหารจัดการพลังงานด้วยกระบวนการตัดสินใจเลือกใช้เครือข่าย และ Call Admission Control (CAC) โดยนำเสนอการพิจารณาระดับของแหล่งจ่ายพลังงานเป็นพารามิเตอร์หนึ่งในการตัดสินใจเลือกเครือข่าย รวมถึงการพิจารณาระยะห่างระหว่างสถานีฐาน (base station) กับอุปกรณ์เคลื่อนที่ ซึ่งมีผลต่อระดับการใช้พลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการส่งข้อมูลกลับไปยังสถานีฐาน เนื่องจากยิ่งระยะทางเพิ่มขึ้นจะยิ่งมีการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้น

Chamodrakas and Martakos (2011) กล่าวถึงการเปรียบเทียบคุณลักษณะการใช้พลังงานของอินเทอร์เน็ตเฟสที่มีความแตกต่างกันระหว่างการใช้งานในแอปพลิเคชันรูปแบบที่ไม่ใช่เวลาจริง (non real-time) และเวลาจริง (real-time) รวมถึงนำเสนอ The Fuzzy Set Representation (FSR) TOPSIS เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความขัดแย้งการจัดลำดับในขั้นตอนการเลือกตัดสินใจเลือกเครือข่าย

แนวทางในการบริหารจัดการพลังงานในขั้นตอนการพิจารณาเลือกข้ามเครือข่ายนั้น มีเป้าหมายเพื่อให้การตัดสินใจเลือกเครือข่ายมีเหมาะสมกับการใช้งาน สอดคล้องกับระดับแหล่งจ่ายพลังงาน และรูปแบบการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นกับอินเทอร์เน็ตของเทคโนโลยีต่างๆ ที่เป็นตัวเลือก แต่วิธีการนี้อาจไม่สามารถลดอัตราสิ้นเปลืองพลังงานได้มากหากผู้ใช้งานไม่ให้ค่าน้ำหนักหรือความสำคัญกับพารามิเตอร์ด้านพลังงานมากเท่าที่ควร รวมถึงสามารถลดการใช้พลังงานเฉพาะส่วนของอินเทอร์เน็ตที่ใช้ในการเชื่อมต่อหรือแอคทีฟอินเทอร์เน็ตเพียงเท่านั้น ซึ่งเป็นการใช้งานพลังงานเพื่อรับและส่งข้อมูล ดังนั้นการเลือกที่จะประหยัดพลังงานจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลลดลง หรือมีค่าใช้จ่ายในการเชื่อมต่อเพิ่มสูงขึ้น รวมถึงการใช้งานพลังงานของสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง

2. การบริหารจัดการพลังงานในขั้นตอนการตรวจจับเครือข่าย (Monitor)

ปัญหาของการสิ้นเปลืองพลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในสภาพแวดล้อมการใช้งานแบบ MIH นั้น เกิดจากการที่อุปกรณ์เคลื่อนที่จะประกอบไปด้วยอินเทอร์เน็ตหลากหลายเทคโนโลยี เพื่อให้สามารถทำการเชื่อมต่อเครือข่ายของเทคโนโลยีต่างๆ ที่มีให้บริการ ซึ่งในการเชื่อมต่อจะมีเพียงหนึ่งอินเทอร์เน็ตที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลเท่านั้น (แอคทีฟอินเทอร์เน็ต) สำหรับอินเทอร์เน็ตในส่วนที่เหลือ ซึ่งอยู่ในสถานะสแตนด์บายนั้นจะทำหน้าที่คอยตรวจสอบสัญญาณของเครือข่าย เพื่อทำการค้นหาเครือข่ายใหม่ต่อไป ซึ่งอินเทอร์เน็ตเหล่านี้จะต้องเปิดทำงานอยู่ตลอดเวลาเพื่อรองรับการใช้งานในรูปแบบ ABC ของผู้ใช้ ดังนั้นวิธีการลดการใช้พลังงานในขั้นตอนการตรวจจับเครือข่าย คือ ลดระยะเวลาในการใช้พลังงานของสแตนด์บายอินเทอร์เน็ต ซึ่งได้มีงานวิจัยที่นำเสนอวิธีการบริหารจัดการพลังงานในขั้นตอนการตรวจจับเครือข่าย โดยสามารถแบ่งลักษณะในการบริหารจัดการพลังงานออกเป็น 2 กลุ่มด้วยกัน คือ การบริหารจัดการแบบศูนย์กลาง (centralized control) และการบริหารจัดการแบบกระจาย (decentralized control)

2.1 การบริหารจัดการแบบศูนย์กลาง

การบริหารจัดการแบบศูนย์กลาง เป็นการควบคุมสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตให้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุด โดยอาศัยการช่วยเหลือจากศูนย์ข้อมูลกลาง (central server) ในการควบคุมการเปิดและปิดสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตได้อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถลดการสิ้นเปลืองพลังงานในการตรวจจับเครือข่าย และสามารถเลือกเปิดอินเทอร์เน็ตขึ้นมาใช้งานเมื่ออยู่ในพื้นที่ที่สามารถใช้

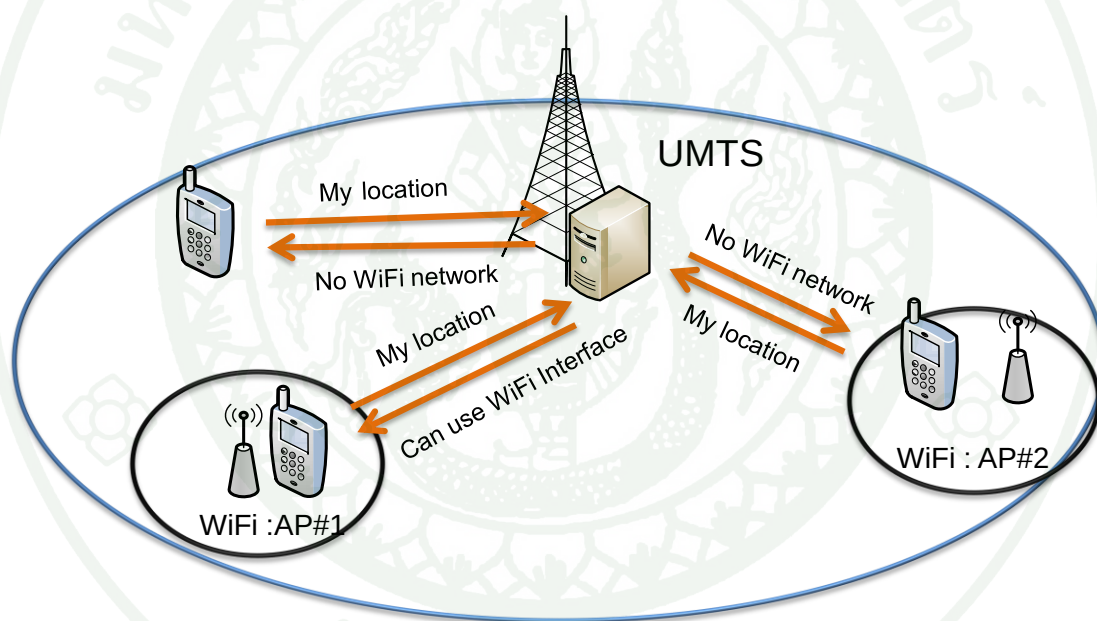
งานเครือข่ายอื่นๆ ได้ โดยมีงานวิจัยที่ได้นำเสนอการบริหารจัดการพลังงานในขั้นตอนการตรวจจับเครือข่ายในรูปแบบการบริหารจัดการแบบศูนย์กลาง ดังนี้

Seo and Song (2009) นำเสนอการบริหารจัดการ โดยอาศัยวิธีการ out-of-band paging ซึ่งวิธีการนี้จะมีอินเตอร์เฟซเพียงหนึ่งอินเตอร์เฟซเท่านั้นที่มีการเปิดใช้งาน ซึ่งเป็นแอคทีฟอินเตอร์เฟซที่ใช้ในการรับและส่งข้อมูล ส่วนอินเตอร์เฟซอื่นๆ ซึ่งอยู่ในสถานะสแตนด์บายจะทำการปิดอินเตอร์เฟซเพื่อลดการใช้พลังงาน สำหรับการตรวจสอบสัญญาณเพื่อค้นหาเครือข่ายใหม่นั้น จะอาศัยวิธีการรายงานตำแหน่งปัจจุบันของอุปกรณ์เคลื่อนที่ไปยังศูนย์ข้อมูลกลาง เพื่อตรวจสอบกับฐานข้อมูลของจุดให้บริการที่มีอยู่ โดยหากตำแหน่งปัจจุบันของอุปกรณ์เคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่ที่สามารถเชื่อมต่อเข้ากับเครือข่ายใดเครือข่ายหนึ่งของสแตนด์บายอินเตอร์เฟซที่มีอยู่ได้ ศูนย์ข้อมูลกลางจึงส่งคำสั่งไปยังอุปกรณ์เคลื่อนที่ให้ทำการเปิดอินเตอร์เฟซนั้นๆ ขึ้นมาทำงานผ่านช่องทางการสื่อสารของแอคทีฟอินเตอร์เฟซที่กำลังเชื่อมต่ออยู่ เพื่อให้สามารถตรวจสอบสัญญาณของเครือข่ายและทำการเชื่อมต่อกับเครือข่ายดังกล่าวต่อไปได้

Lim *et al.* (2008) นำเสนอวิธีกำหนดรูปแบบในการค้นหาเครือข่าย โดยอาศัยการข้อมูลจากศูนย์ข้อมูลกลาง ในการเลือกค้นหาในเครือข่ายในช่องสัญญาณที่มีอยู่ในฐานข้อมูลของแอคเซสพอยต์ (access point) ที่ได้รับ เพื่อให้ระยะเวลาในการค้นหาเครือข่ายลดลง รวมถึงการปรับระยะเวลาในการเปิดและปิดสแตนด์บายอินเตอร์เฟซ โดยพิจารณาตำแหน่งของอุปกรณ์เคลื่อนที่กับแอคเซสพอยต์ในฐานข้อมูล โดยหากตำแหน่งของอุปกรณ์เคลื่อนที่ใกล้เคียงกับพื้นที่ให้บริการ ระยะเวลาในการเปิดและปิดอินเตอร์เฟซจะสั้นลง แต่หากอยู่ในพื้นที่ที่ห่างไกลจากพื้นที่ให้บริการของแอคเซสพอยต์ในฐานข้อมูล จะทำการเพิ่มระยะเวลาในการเปิดและปิดอินเตอร์เฟซเพื่อให้การใช้งานพลังงานของสแตนด์บายอินเตอร์เฟสลดลง

แม้ว่าการบริหารจัดการแบบศูนย์กลาง จะสามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสามารถทำการปิดอินเตอร์เฟซที่ไม่ได้ใช้งาน (สแตนด์บายอินเตอร์เฟซ) ได้เป็นระยะเวลานาน และสามารถเปิดอินเตอร์เฟซขึ้นมาทำงานเมื่ออยู่ในเงื่อนไขที่กำหนด แต่หากไม่สามารถทำการค้นหาข้อมูลของเครือข่ายที่มีให้บริการได้อย่างครบถ้วน จะส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกเครือข่ายในการเชื่อมต่อที่เหมาะสม ตัวอย่างสถานการณ์แสดงดังภาพที่ 4 อุปกรณ์เคลื่อนที่ทำการปรับปรุงตำแหน่งของตนเองไปยังศูนย์ข้อมูลกลาง เพื่อตรวจสอบจุดให้บริการของแอคเซสพอยต์ในพื้นที่นั้นๆ ทำให้อุปกรณ์เคลื่อนที่ที่สามารถควบคุมสแตนด์บายอินเตอร์เฟซได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่อาจจะเกิดปัญหาขึ้นเมื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่เคลื่อนที่เข้าสู่จุดให้บริการของ

แอคเซสพอยต์อีกพื้นที่หนึ่ง แต่ศูนย์ข้อมูลกลางไม่มีข้อมูลของแอคเซสพอยต์ในตำแหน่งดังกล่าว ทำให้อุปกรณ์เคลื่อนที่ไม่สามารถตรวจพบเครือข่าย WiFi ส่งผลให้เกิดการสูญเสียโอกาสในการเชื่อมต่อกับเครือข่าย WiFi ในบริเวณของแอคเซสพอยต์ดังกล่าว กรณีนี้อาจเกิดขึ้นได้เมื่อเครือข่ายการให้บริการของแต่ละเทคโนโลยีในพื้นที่ดังกล่าวมีผู้ให้บริการ (service provider) ที่แตกต่างกัน การใช้ข้อมูลร่วมกันเกิดขึ้นได้ยาก ส่งผลให้อาจเกิดการสูญเสียโอกาสในการใช้งาน รวมถึงมีผลต่อความเป็นอิสระในการใช้งานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่จะต้องยึดติดกับข้อมูลการใช้งานที่มีอยู่ในศูนย์ข้อมูลกลางเพียงเท่านั้น รวมถึงในการตรวจสอบตำแหน่งของอุปกรณ์เคลื่อนที่เองนั้น อาจจะมี ความจำเป็นในการเรียกใช้งานระบบ GPS (Global Positioning System) ซึ่งเป็นการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากระดับการใช้พลังงานของอินเทอร์เฟส GPS มีค่าอยู่ในช่วง 64 – 123 mW (Paek *et al.*, 2010)



ภาพที่ 4 การบริหารจัดการสแตนด์บายอินเทอร์เฟสในรูปแบบศูนย์กลาง

2.2 การบริหารจัดการแบบกระจาย

การบริหารจัดการแบบกระจาย เป็นการควบคุมสแตนด์บายอินเทอร์เฟสโดยมีเป้าหมายให้มีการใช้พลังงานน้อยที่สุดเช่นเดียวกับการบริหารจัดการแบบศูนย์กลาง แต่แตกต่างกันที่ไม่มีการร้องขอข้อมูลจากศูนย์ข้อมูลกลาง แต่เป็นการบริหารจัดการด้วยตัวอุปกรณ์เคลื่อนที่เองส่งผลให้ลดผลกระทบต่อการยึดติดกับข้อมูลของผู้ให้บริการแต่ละราย สามารถทำการค้นหาข้อมูลจากทุก

เครือข่ายได้อย่างครบถ้วน ซึ่งได้มีงานวิจัยที่ได้นำเสนอการบริหารจัดการพลังงานในขั้นตอนการตรวจจับเครือข่ายในรูปแบบการบริหารจัดการแบบกระจาย ดังนี้

Vuong *et al.* (2008) นำเสนอแนวทางในการบริหารจัดการสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสด้วยการแบ่งรูปแบบการทำงานระหว่างช่วงเวลาที่ไม่มีการสื่อสาร (non-communication) กับช่วงเวลาที่มีการสื่อสาร (communication) ร่วมกับกฎในการควบคุมการทำงานของสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสจำนวน 5 ข้อ เพื่อลดการใช้พลังงาน โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. ในช่วงที่ไม่มีการสื่อสาร (non-communication) จะใช้อินเทอร์เน็ตเฟสของเทคโนโลยี UMTS/LTE ซึ่งมีอัตราสิ้นเปลืองพลังงานต่ำที่สุด ทำหน้าที่เป็นอินเทอร์เน็ตเฟสในสถานะสแตนด์บายเพื่อเตรียมความพร้อมรองรับการสื่อสารที่อาจจะเกิดขึ้น ส่วนอินเทอร์เน็ตเฟสที่เหลือจะถูกปิดเพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน

2. ในช่วงเวลาที่มีการสื่อสาร (communication) เมื่อมีการสื่อสารเริ่มต้นขึ้น จะทำการใช้เทคโนโลยี UMTS/LTE ซึ่งอยู่ในสถานะสแตนด์บายเพียงอินเทอร์เน็ตเฟสเดียว ทำหน้าที่ในการรองรับการเชื่อมต่อในเบื้องต้น สำหรับอินเทอร์เน็ตเฟสอื่นๆ จะทำการเปิดอินเทอร์เน็ตเฟสขึ้นมาอยู่ในสถานะสแตนด์บายเพื่อเตรียมพร้อมการข้ามเครือข่ายที่อาจจะเกิดขึ้น

3. ในกรณีที่ผู้ใช้งานมีการเปิดอินเทอร์เน็ตเฟสอื่นๆ ที่ไม่ใช่เทคโนโลยี UMTS/LTE เพื่อเชื่อมต่อตามความต้องการ อินเทอร์เน็ตเฟสดังกล่าวจะทำหน้าที่เป็นแอคทีฟอินเทอร์เน็ตเฟส และอินเทอร์เน็ตเฟส UMTS/LTE จะถูกสลับเปลี่ยนเป็นสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟส เพื่อคอยรองรับการข้ามเครือข่ายที่อาจจะเกิดขึ้น เช่นเดียวกับอินเทอร์เน็ตเฟสในเทคโนโลยีอื่นๆ

4. ในกรณีที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่มีค่าสูงกว่าความเร็วสูงสุดในการใช้งานที่เหมาะสมของแต่ละเทคโนโลยี (เกณฑ์ความเร็วในการพิจารณา WiFi มากกว่า 5 m/s, WiMAX มากกว่า 20 m/s) ในกรณีนี้จะทำการกำหนดให้มีการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสนั้นๆ เนื่องจากการเชื่อมต่อผ่านเทคโนโลยีดังกล่าวไม่เหมาะสมกับการใช้งาน และในขั้นตอนการพิจารณาเลือกเครือข่าย เครือข่ายของเทคโนโลยีดังกล่าวมีโอกาสสูงจะไม่ได้รับเลือกเป็นอันดับที่หนึ่ง (อาจเกิดการข้ามเครือข่ายบ่อยครั้ง หรือมีระดับคุณภาพในการให้บริการต่ำ)

5. พิจารณาระดับแหล่งจ่ายพลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่โดยจะทำการทยอยปิดสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสที่มีการใช้พลังงานสูงในขั้นตอนการตรวจจับเครือข่ายตามลำดับ เมื่อระดับของแหล่งจ่ายพลังงานมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้

ซึ่งแนวทางที่นำเสนอยังไม่ครอบคลุมการบริหารจัดการสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสทุกช่วงเวลา เนื่องจากในกรณีที่อยู่ในช่วงเวลาที่มีการสื่อสารเกิดขึ้น และค่าของเกณฑ์ที่ใช้ในการพิจารณา (ความเร็วและระดับแหล่งจ่ายพลังงาน) ยังคงอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ การบริหารจัดการสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสจะไม่เกิดขึ้น สแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสจึงยังคงสถานะเปิดเพื่อทำการคอยตรวจสอบสัญญาณของเครือข่ายอยู่ตลอดเวลา

Cheoleun *et al.* (2007) นำเสนอกระบวนการบริหารจัดการพลังงานในกระบวนการตรวจจับเครือข่าย เพื่อเปรียบเทียบช่วงเวลาในการค้นหาเครือข่ายของสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟส ในรูปแบบการเลือกช่วงเวลาแบบคงที่ (static) และแบบไม่คงที่ (dynamic) โดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ด้านความเร็วและขนาดของพื้นที่ให้บริการ รวมทั้งนำเสนอกระบวนการ Candidate Access network (CAN) ซึ่งจะทำการเลือกอินเทอร์เน็ตเฟสที่ได้รับคะแนนเป็นอันดับที่สองในขั้นตอนการตัดสินใจเลือกเพียงอินเทอร์เน็ตเฟสเดียวในการตรวจจับเครือข่าย และกระบวนการ Avoiding Handover in RAN Selection เพื่อหลีกเลี่ยงการข้ามเครือข่ายโดย พิจารณาช่วงเวลาให้อุปกรณ์เคลื่อนที่จะยังอยู่ในพื้นที่การให้บริการของเครือข่ายปัจจุบันเพื่อเป็นการลดการใช้พลังงานในการตรวจจับเครือข่าย ซึ่งวิธีการดังกล่าวมีผลกระทบต่อคุณสมบัติ ABC เนื่องจากมีความเป็นไปได้ที่เครือข่ายของอินเทอร์เน็ตเฟสที่ไม่ได้ทำการตรวจจับ (อยู่ในสถานะปิด) อาจจะมีเหมาะสมมากกว่าเมื่อมีการใช้งานผ่านไปหรือมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของอุปกรณ์เคลื่อนที่ รวมถึงในการศึกษาช่วงเวลาของการค้นหาเครือข่ายยังไม่มีกล่าวถึงประสิทธิภาพของการประหยัดพลังงานและผลกระทบที่จะเกิดขึ้นอย่างชัดเจน จากการกำหนดช่วงเวลาในการค้นหาเครือข่ายในช่วงเวลาต่างๆ

2.3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากตารางที่ 4 เป็นการสรุปรายละเอียดงานวิจัยต่างๆ ที่ผ่านมามีเป้าหมายในการบริหารจัดการพลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในสภาพแวดล้อมการใช้งานตามมาตรฐาน MIH ซึ่งแบ่งเป็นเป็นกลุ่มที่ให้ความสนใจการตัดสินใจเลือกแอคทีฟอินเทอร์เน็ตเฟสเพื่อรองรับการใช้งานในรูปแบบ ABC และกลุ่มที่บริหารจัดการสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟส ทั้งในรูปแบบการบริหารจัดการแบบศูนย์กลาง และการบริหารจัดการแบบศูนย์กลางแบบกระจาย ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อที่จะลดการใช้

พลังงานแต่ก็จะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติ ABC ดังนั้นงานวิจัยที่น่าเสนอจึงมุ่งเน้นการพิจารณาทั้งในส่วนของการประหยัดพลังงาน และการรองรับการคุณสมบัติ ABC รวมถึงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารจัดการพลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่

ตารางที่ 4 สรุปรายละเอียดวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Research	Property					Parameter	
	Always Best Connect	Centralized	Decentralized	Manage standby Interface	Decision making	Power Supply Level	Mobility Location Detection (GPS)
1. N.-Vuong <i>et al.</i> (2008)			√	√	√	√	√
2. Cheoleun <i>et al.</i> (2007)			√	√			√
3. Lim <i>et al.</i> (2008)	√	√		√			√
4. Chowdhury <i>et al.</i> (2009)	√				√	√	√
5. Seo and Song (2009)		√		√			√
6. Chamodrakas and Martakos (2011)	√	√			√	√	
This research	√		√	√	√	√	√

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก Intel (R) Core (TM) 2 Duo CPU P8600 @ 2.4 GHz RAM 3.0 GB Hard disk 300GB
2. ระบบปฏิบัติการอูบุนตุ (Ubuntu)
3. โปรแกรมจำลองการใช้งานเครือข่าย network simulation 2.29 (NS2) (ISI, 1999)
4. mobility patch โดย National Institute of Standards and Technology (NIST) (NIST, 2009)

วิธีการ

แนวทางในการแก้ไขปัญหาอัตราสิ้นเปลืองพลังงานที่เพิ่มสูงขึ้น จากการเพิ่มขึ้นตามจำนวนอินเทอร์เน็ตเฟสของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการทำงานตามมาตรฐาน MIH นั้น สามารถทำได้ด้วยการบริหารจัดการสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสให้มีช่วงเวลาในการเปิดอินเทอร์เน็ตเฟสที่สั้นลง ซึ่งได้มีงานวิจัยที่ได้นำเสนอกระบวนการบริหารจัดการทั้งในรูปแบบการบริหารจัดการแบบศูนย์กลางและบริหารจัดการแบบกระจาย ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้องานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ถึงแม้ว่าการบริหารจัดการแบบกระจายจะมีข้อได้เปรียบในเรื่องความยืดหยุ่นในการทำงาน และมีอิสระในการทำงานมากกว่ารูปแบบการบริหารจัดการแบบศูนย์กลาง แต่ประเด็นสำคัญที่สุดในการบริหารจัดการสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสในรูปแบบกระจาย คือ ระยะเวลาในช่วงการเปิดและปิดอินเทอร์เน็ตเฟสที่เหมาะสม เนื่องจากหากต้องการประหยัดพลังงานให้ได้ปริมาณสูงจะต้องทำการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสเป็นเวลานาน ซึ่งจะส่งผลให้การคอยตรวจสอบเครือข่ายของอินเทอร์เน็ตเฟสนั้นๆ เกิดปัญหาขึ้น เช่น ไม่สามารถตรวจพบเครือข่ายใหม่ หรือมีการตรวจพบเครือข่ายใหม่ล่าช้า เนื่องจากยังคงอยู่ในช่วงเวลาที่ปิดอินเทอร์เน็ตเฟส ทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสใช้งานเครือข่ายที่ดีกว่า ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อรูปแบบการใช้งานของผู้ใช้ในรูปแบบ ABC

ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงทำการนำเสนอกระบวนการ OOP (On-Off Period) ซึ่งเป็นกระบวนการบริหารจัดการสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสในรูปแบบการบริหารจัดการแบบกระจาย ให้มีการเปิดและปิดสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสเป็นช่วงเวลาเพื่อลดการใช้พลังงาน แสดงดังภาพที่ 5 โดยทำการพัฒนาให้ MIH สามารถควบคุมอินเทอร์เน็ตเฟสต่างๆ ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการเปิดและปิดอินเทอร์เน็ตเฟส และกำหนดช่วงเวลาในการเปิดและปิดได้ตามความเหมาะสมในแตรอบการทำงานแสดงดังภาพที่ 6 โดยจะทำการกำหนดช่วงเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสในช่วงเวลาต่างๆ เพื่อทำการศึกษาประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานและผลกระทบที่เกิดขึ้น รวมถึงพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสม

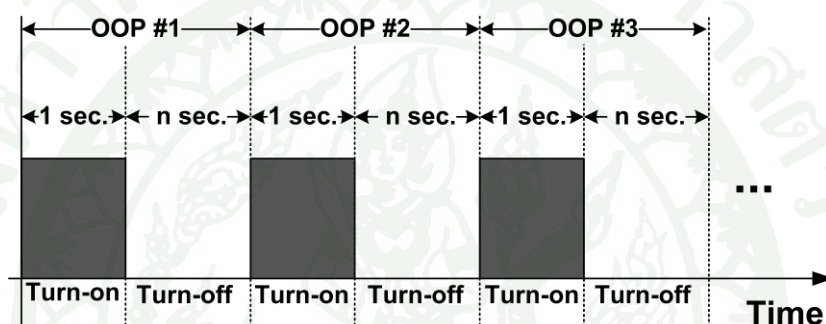
1. สถานการณ์ที่มีผลต่อการบริหารจัดการสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟส

ในการออกแบบกระบวนการทำงานของอินเทอร์เน็ตเฟสตามกระบวนการ OOP นั้น สามารถทำการพิจารณาสภาพแวดล้อมในการใช้งานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้จากรูปแบบการเคลื่อนที่ที่มีผลต่อการตรวจสอบเครือข่าย ซึ่งจะสามารถแบ่งเหตุการณ์ต่างๆ ที่จะเกิดขึ้นได้ดังนี้

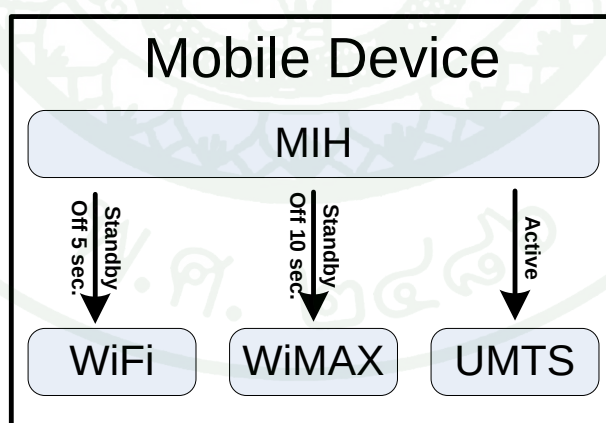
1.1 อุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ไม่มีการเคลื่อนที่ ในกรณีนี้ไม่มีความจำเป็นในการคอยตรวจสอบสัญญาณของเครือข่าย เนื่องจากในพื้นที่ดังกล่าวเมื่อทำการตรวจสอบจะพบเครือข่ายที่เป็นตัวเลือกเดียวกันทุกครั้ง แต่อาจมีการเปลี่ยนแปลงผลของการตัดสินใจเลือกเมื่อคุณภาพการให้บริการ และความต้องการใช้งานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่มีการเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้นการทำงานของสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสในเหตุการณ์นี้ สามารถทำการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสในช่วงระยะเวลาสั้น เพื่อให้สามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุด และหากในการตรวจสอบครั้งแรกผ่านไปแล้วไม่มีการตรวจพบเครือข่ายอื่นๆ ที่เป็นตัวเลือก กรณีนี้สามารถทำการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสตลอดช่วงเวลาที่ไม่มีเคลื่อนที่เพื่อเป็นการประหยัดพลังงาน และกลับมาตรวจสอบสัญญาณอีกครั้งเมื่อมีการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่เกิดขึ้น

1.2 อุปกรณ์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่และกำลังเคลื่อนออกจากพื้นที่การให้บริการของเครือข่ายที่เชื่อมต่ออยู่ในปัจจุบัน ในเหตุการณ์นี้จะเกิดการข้ามเครือข่ายเกิดขึ้นในไม่ช้า ดังนั้นมีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบหาเครือข่ายใหม่เพื่อรองรับการเชื่อมต่อให้มีความต่อเนื่อง การทำงานของอินเทอร์เน็ตเฟสในช่วงเวลานี้จึงควรทำการเปิดอินเทอร์เน็ตเฟสตลอดเวลา เช่นเดียวกับการทำงานในรูปแบบเดิม เพื่อให้สามารถค้นหาเครือข่ายใหม่มารองรับให้ได้เร็วที่สุด

1.3 อุปกรณ์เคลื่อนที่มีการเคลื่อนที่และกำลังเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ให้บริการของเครือข่ายใหม่ ซึ่งเป็นการทำงานปกติของอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่จะคอยตรวจสอบอยู่ตลอดเวลาเพื่อค้นหาเครือข่ายใหม่ เนื่องจากอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ไม่สามารถทราบได้เลยว่ากำลังจะเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่การให้บริการของเครือข่ายจนกว่าจะสามารถตรวจสอบพบสัญญาณของเครือข่าย ในเหตุการณ์นี้จะเป็นเหตุการณ์ที่เป็นประเด็นสำคัญของการคอยตรวจสอบเครือข่ายของสแตนด์บายอินเตอร์เฟซ เนื่องจากการเปิดและปิดอินเตอร์เฟซนั้นมีผลต่อการใช้พลังงาน รวมถึงผลกระทบต่อค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เกิดขึ้นจากตรวจพบเครือข่ายล่าช้า ดังนั้นจึงต้องมีการเลือกช่วงเวลาอย่างเหมาะสม และสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง



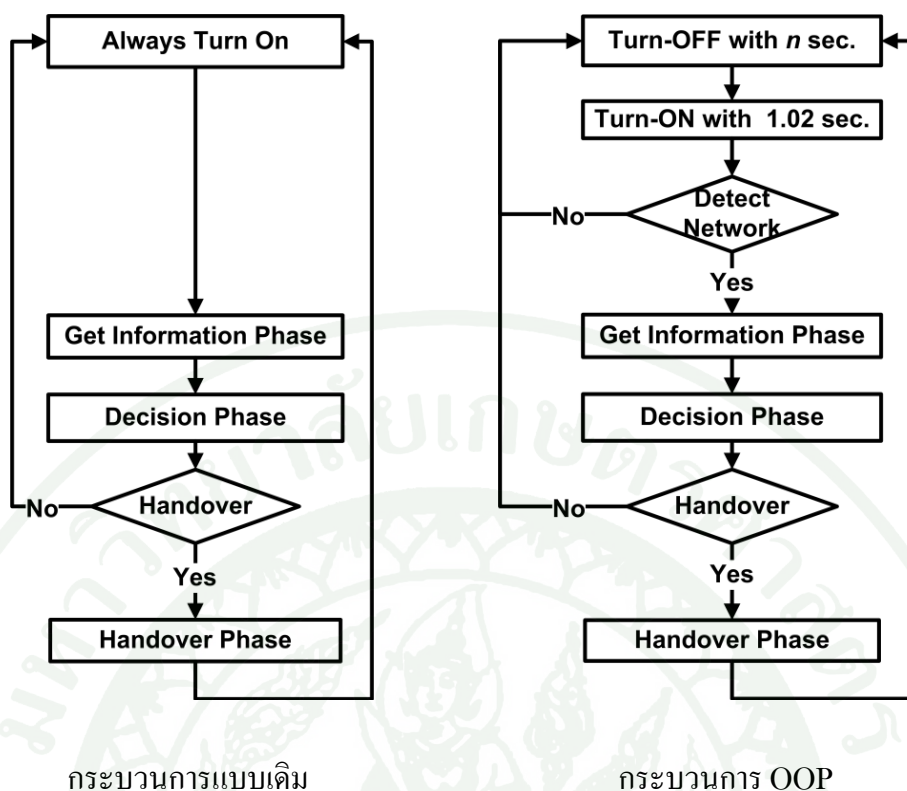
ภาพที่ 5 สถานะของสแตนด์บายอินเตอร์เฟซในกระบวนการ OOB



ภาพที่ 6 การควบคุมอินเตอร์เฟซของ MIH ในกระบวนการ OOB

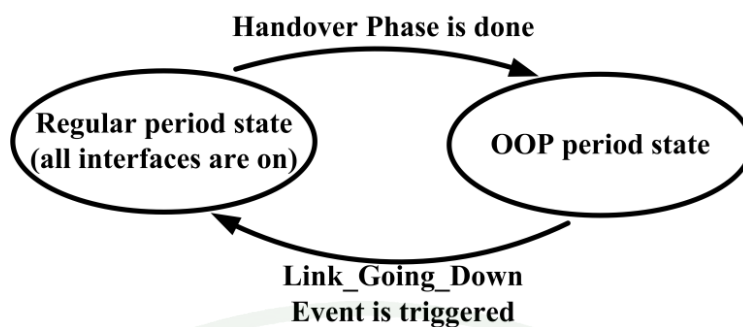
2. กระบวนการทำงานของ On-Off Period

จากสถานการณ์ต่างๆ ที่ได้กล่าวไว้แล้วในข้อหัวที่ 1. สถานการณ์ที่มีผลต่อการบริหารจัดการสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟส สามารถนำมาทำการปรับปรุงและออกแบบกระบวนการทำงานเพื่อใช้ในการบริหารจัดการสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสที่เหมาะสม ในชื่อกระบวนการ OOP โดยจะทำการปรับปรุงกระบวนการตรวจสอบเครือข่ายจากกระบวนการแบบเดิมแสดงดังภาพที่ 7 จากเดิมที่สแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสคงสถานะเปิดอินเทอร์เน็ตเฟสตลอดเวลาเพื่อทำคอยตรวจสอบสัญญาณของเครือข่าย จะทำการปรับเปลี่ยนเป็นการเปิดอินเทอร์เน็ตเฟสในช่วงเวลา 1.02 วินาที ซึ่งเป็นระยะในการค้นหาเครือข่ายทุกช่องสัญญาณของเครือข่าย WiFi โดยจะนำค่านี้ไปใช้งานกับสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสอื่นๆ ด้วย (WiMAX) และเมื่อครบช่วงระยะเวลาในการเปิดอินเทอร์เน็ตเฟสเป็นระยะเวลา 1.02 วินาทีแล้ว MIH จึงจะส่งคำสั่งให้สแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสให้ทำการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสเป็นระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งในส่วนนี้ได้พัฒนาให้ MIH มีฟังก์ชันที่ทำหน้าที่ในการพิจารณาระยะเวลาที่เหมาะสมในการปิดอินเทอร์เน็ตเฟส โดยทำการแจ้งไปพร้อมกับคำสั่งปิดอินเทอร์เน็ตเฟสในรอบนั้นๆ และเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสก็จะทำการเปิดอินเทอร์เน็ตเฟสอีกครั้ง โดยหากในช่วงที่เปิดอินเทอร์เน็ตเฟสไม่มีการตรวจพบสัญญาณของเครือข่ายใหม่ก็จะทำการเปิดและปิดอินเทอร์เน็ตเฟสเช่นนี้ต่อไป แต่หากในช่วงเวลาที่มีการเปิดอินเทอร์เน็ตเฟสมีการตรวจพบสัญญาณของเครือข่ายใหม่ จะมีกระบวนการทำงานเช่นเดียวกับกระบวนการแบบเดิม คือ MIH ทำการร้องขอข้อมูลจากเครือข่ายที่ให้บริการ และนำมาพิจารณาเลือกเครือข่ายที่เหมาะสม และหากผลลัพธ์ในการพิจารณาพบว่าเครือข่ายใหม่ที่ตรวจพบมีความเหมาะสมมากกว่าเครือข่ายปัจจุบันจะเกิดการข้ามเครือข่ายไปยังเครือข่ายใหม่ และเริ่มต้นกระบวนการตรวจสอบเครือข่ายของสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสต่อไป ซึ่งในขณะนี้เครือข่ายเดิมที่เคยเชื่อมต่อก่อนหน้านี้จะถูกเปลี่ยนสถานะจากแอคทีฟมาเป็นสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟส แต่หากในขั้นตอนพิจารณาเลือกเครือข่ายมีผลลัพธ์การตัดสินใจในลักษณะที่เครือข่ายปัจจุบันยังคงมีความเหมาะสมมากที่สุด จะทำการเพิกเฉยต่อเครือข่ายนั้นและ MIH จะส่งคำสั่งให้อินเทอร์เน็ตเฟสดังกล่าวทำการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสในระยะเวลาที่เหมาะสม (Nounkaw *et al.*, 2013)



ภาพที่ 7 เปรียบเทียบกระบวนการทำงานรูปแบบเดิมกับกระบวนการ OOP

นอกจากกระบวนการทำงานของ OOP ที่ได้กล่าวมาแล้วนั้นยังคงมีรูปแบบการทำงานสำหรับเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้นอีก 2 เหตุการณ์คือ เหตุการณ์ที่อุปกรณ์เคลื่อนที่มีการเคลื่อนที่และเป็นการเคลื่อนออกจากพื้นที่การให้บริการของเครือข่ายที่เชื่อมต่ออยู่ในปัจจุบันและเหตุการณ์ที่อุปกรณ์เคลื่อนที่ไม่มีการเคลื่อนที่ สำหรับกระบวนการทำงานในเหตุการณ์แรกคือ อุปกรณ์เคลื่อนที่มีการเคลื่อนที่และเป็นการเคลื่อนออกจากพื้นที่การให้บริการของเครือข่ายที่เชื่อมต่ออยู่ในปัจจุบัน ในเหตุการณ์นี้สแตนด์บายอินเตอร์เฟซมีความจำเป็นที่ต้องค้นหาเครือข่ายใหม่ให้ได้เร็วที่สุด ดังนั้นจึงควรเปิดอินเตอร์เฟซอยู่ตลอดเวลาจนกว่าจะมีการตรวจพบเครือข่ายใหม่มารองรับการเชื่อมต่อ ดังนั้นกระบวนการทำงานในงานวิจัยชิ้นนี้ได้เสนอแนวทางแสดงดังภาพที่ 8 เมื่อ MIH ได้รับสัญญาณเหตุการณ์ Link_Going_Down จากแอคทีฟอินเตอร์เฟซจะทำการส่งคำสั่งให้สแตนด์บายอินเตอร์เฟซเปลี่ยนกระบวนการทำงานจากกระบวนการ OOP เป็นกระบวนการแบบเดิมเพื่อทำการค้นหาเครือข่ายใหม่มารองรับการเชื่อมต่อ และเมื่อสามารถตรวจพบเครือข่ายใหม่ที่สามารถเชื่อมต่อได้ พร้อมทั้งสิ้นสุดกระบวนการข้ามเครือข่ายไปยังเครือข่ายใหม่ จึงสแตนด์บายอินเตอร์เฟซจึงเริ่มกระบวนการทำงานแบบ OOP อีกครั้ง



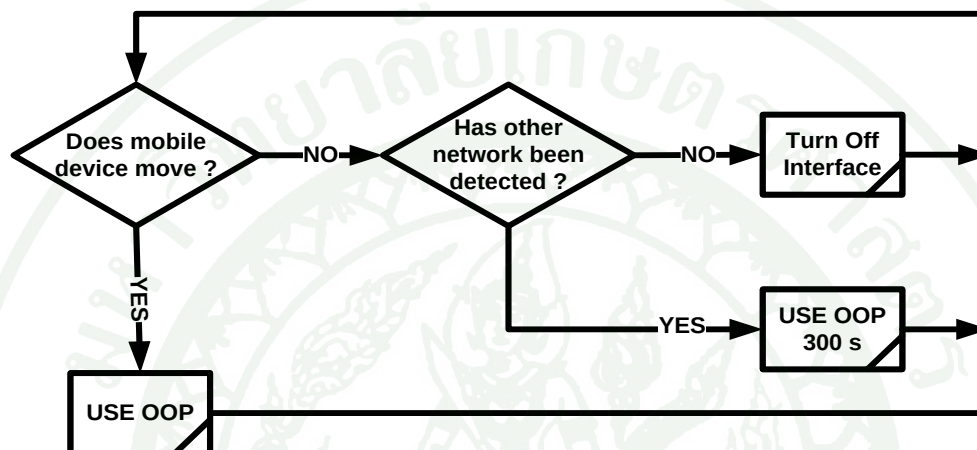
ภาพที่ 8 การทำงานในกรณีที่อุปกรณ์เคลื่อนที่กำลังเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่บริการปัจจุบัน

สำหรับเหตุการณ์ที่อุปกรณ์เคลื่อนที่ไม่มีการเคลื่อนที่นั้น การทำงานในกระบวนการ OOP มีทางเลือก 2 ทางเลือกคือ ทำการปิดอินเตอร์เฟซเป็นระยะเวลานาน กับทำการปิดอินเตอร์เฟซเป็นการถาวร เนื่องจากความจำเป็นในการคอยตรวจสอบสัญญาณของเครือข่ายมีน้อย ซึ่งในกระบวนการ OOP ที่นำเสนอ จะทำการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ด้วยวิธีการตรวจสอบค่าความแรงของสัญญาณ (RSSI) ที่ได้รับของแอคทีฟอินเตอร์เฟซ โดยทำการเพิ่มฟังก์ชันในการตรวจสอบค่าความแรงของสัญญาณที่ได้รับ และเนื่องจากค่าความแรงของสัญญาณมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จึงต้องพิจารณาเป็นช่วงเวลาโดยทำการคำนวณจากค่าเฉลี่ยความแรงของสัญญาณที่ได้รับในช่วงเวลา 0.5 วินาที เพื่อเป็นตัวแทนของค่าความแรงของสัญญาณในแต่ละช่วงเวลา $RSSI(t)$ และนำมาพิจารณาค่าความชันของกราฟความแรงของสัญญาณ $Slope(t)$ จากค่าความแรงของสัญญาณที่ตรวจวัดได้ โดยทำการคำนวณจากความแรงของสัญญาณของสัญญาณที่เวลา $T(t)$ คือ $RSSI(t)$ เปรียบเทียบกับค่าความแรงของสัญญาณที่เวลา $T(t-1)$ คือ $RSSI(t-1)$ แสดงตามสมการที่ (1)

จากนั้นจึงทำการปรับปรุงข้อมูลดังกล่าวไปยังพารามิเตอร์แสดงสถานะของแอคทีฟอินเตอร์เฟซ และเมื่อ MIH ทำการตรวจสอบค่าความชันของกราฟความแรงของสัญญาณจากพารามิเตอร์แสดงสถานะของแอคทีฟอินเตอร์เฟซ และค่าของความชันของกราฟความแรงของสัญญาณที่ได้รับ $Slope(t)$ มีค่าเป็น $0 \pm 5\%$ แสดงว่าเป็นกรณีที่อุปกรณ์เคลื่อนที่ไม่มีการเคลื่อนที่ ดังนั้นในช่วงเวลาการปิดอินเตอร์เฟซสามารถกำหนดค่าเป็นระยะเวลานานขึ้นเพื่อลดการใช้พลังงานลง แต่จะไม่ทำการปิดอินเตอร์เฟซเป็นการถาวรเนื่องจากมีความจำเป็นในการคอยเปิดอินเตอร์เฟซขึ้นมาเป็นระยะเพื่อที่จะสามารถตรวจสอบความเปลี่ยนแปลงของคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายปัจจุบันกับเครือข่ายอื่นๆ ที่เป็นตัวเลือก แต่หากในพื้นที่ดังกล่าวไม่มีการตรวจพบเครือข่ายตัวเลือกอื่น ในการตรวจสอบรอบแรกจึงจะทำการปิดอินเตอร์เฟซเป็นการถาวรเนื่องจากไม่มีความจำเป็นในการคอยตรวจสอบเครือข่ายต่อไปเพราะมีเพียงเครือข่ายปัจจุบันเพียง

เครือข่ายเดียวเท่านั้นที่สามารถทำการเชื่อมต่อได้ โดยจะกลับมาทำการตรวจสอบเครือข่ายในรูปแบบ OOP อีกครั้งเมื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่มีการเคลื่อนที่เกิดขึ้นแสดงการทำงาน ดังภาพที่ 9

$$Slope_{(t)} = \frac{RSSI_{(t)} - RSSI_{(t-1)}}{T_{(t)} - T_{(t-1)}} \quad (1)$$



ภาพที่ 9 กระบวนการทำงานในกรณีที่อุปกรณ์เคลื่อนที่ไม่มีการเคลื่อนที่

ในส่วนของการตัดสินใจเลือกช่วงเวลาในการปิดอินเตอร์เฟซของกระบวนการ OOP นั้น การเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสม สามารถนำข้อมูลที่อยู่บนอุปกรณ์เคลื่อนที่มีอยู่มาทำการวิเคราะห์เพื่อเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสม โดยมีพารามิเตอร์ที่จะใช้ในการนำมาพิจารณาในเบื้องต้น ดังต่อไปนี้

1. ความแรงของสัญญาณที่ได้รับของแอคทีฟอินเตอร์เฟซ
2. อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของอินเตอร์เฟซต่างๆ
3. ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่
4. ระดับแหล่งจ่ายพลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่
5. ค่าใช้จ่ายของแต่ละเทคโนโลยี

จากพารามิเตอร์ที่จะนำมาใช้ในการพิจารณาเลือกช่วงเวลาปิดอินเตอร์เฟสนั้น พารามิเตอร์แต่ละตัวต่างก็จะมีความสัมพันธ์กับการเลือกช่วงเวลาที่แตกต่างกันไป ทำให้อาจเกิดความคลุมเครือที่จะใช้ในการตัดสินใจเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสม ดังนั้นวิธีการที่จะนำมาใช้ในการตัดสินใจเลือกคือ หลักการสังเคราะห์ค่าแบบฟัซซี่เพื่อใช้ตัดสินใจเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมที่สุดจากพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการพิจารณา

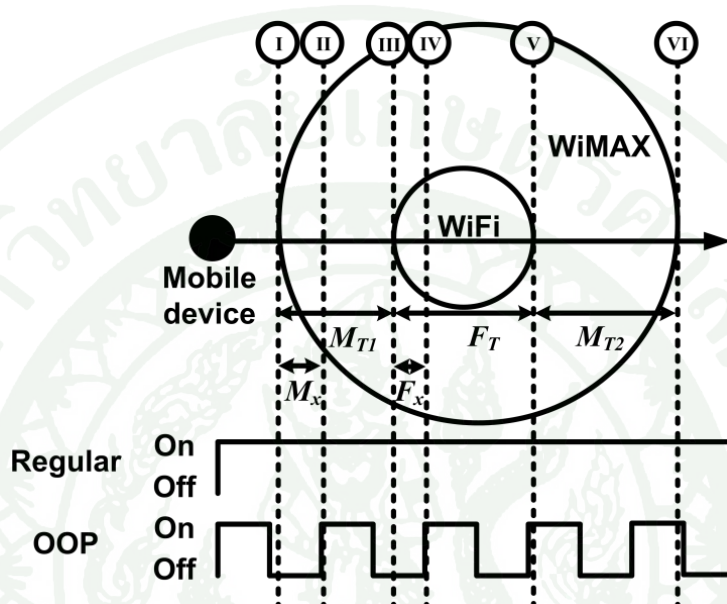
3. การเปรียบเทียบค่าของการสูญเสียโอกาสใช้งาน (Opportunity Loss, L)

วิธีการในการเปรียบเทียบค่าของการสูญเสียโอกาสใช้งาน (Opportunity Loss, L) นั้น จะเป็นการเปรียบเทียบกับกระบวนการตรวจสอบเครือข่ายในกระบวนการแบบเดิมที่จะลงการเปิดอินเตอร์เฟสตลอดเวลา ซึ่งวิธีการนี้จะสามารถทำให้การตรวจพบสัญญาณของเครือข่ายที่กระจายออกมา ได้ทันทีในบริเวณขอบของพื้นที่การให้บริการของเครือข่าย แต่หากทำการบริหารจัดการสแตนด์บายอินเตอร์เฟสในรูปแบบ OOP แล้วอาจมีความเป็นไปได้ที่อินเตอร์เฟสดังกล่าวยังคงอยู่ในช่วงเวลาปิดอินเตอร์เฟสทำให้เกิดความล่าช้าในการตรวจพบเครือข่าย ซึ่งเป็นระยะเวลาที่เหลือของช่วงเวลาที่จะต้องทำการปิดอินเตอร์เฟสในรอบนั้นๆ ดังนั้นค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เกิดขึ้น (L) คำนวณได้จากผลรวมของระยะการตรวจพบเครือข่ายล่าช้าทั้งหมดในกระบวนการ OOP เปรียบเทียบกับระยะเวลารวมในการใช้งานเครือข่ายในกระบวนการแบบเดิมแสดงดังสมการที่ (2)

$$L_b = \frac{\sum \text{ระยะเวลาตรวจพบเครือข่าย } b \text{ ล่าช้า}}{\sum \text{ระยะเวลาใช้งานเครือข่าย } b \text{ แบบปกติ}} \quad (2)$$

จากสมการ (2) จึงสามารถคำนวณค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานของเครือข่าย WiMAX และ WiFi แสดงตัวอย่างเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นดังภาพที่ 10 ในตำแหน่งที่ (I) เป็นเหตุการณ์ที่อุปกรณ์เคลื่อนที่กำลังเคลื่อนที่จากพื้นที่ให้บริการของเครือข่าย UMTS ไปยังพื้นที่ให้บริการของเครือข่าย WiMAX โดยหากมีการบริหารจัดการอินเตอร์เฟสรูปแบบเดิมอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่สามารถตรวจพบสัญญาณเครือข่ายและสามารถทำการเชื่อมต่อกับเครือข่าย WiMAX ในทันที ในขณะที่การทำงานในรูปแบบ OOP จะเกิดการล่าช้าในการตรวจพบเครือข่ายจนถึงตำแหน่งที่ (II) เป็นระยะเวลา M_x วินาที ดังนั้นในการคำนวณค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เกิดขึ้นของเครือข่าย WiMAX (L_{WiMAX}) คำนวณจากระยะเวลาที่ตรวจพบเครือข่ายล่าช้าของอินเตอร์เฟส WiMAX (M_x) เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่เชื่อมต่อนรวมของอุปกรณ์เคลื่อนที่ผ่านเครือข่าย WiMAX ในกระบวนการแบบเดิมแสดง

ดังสมการที่ (3) สำหรับการคำนวณค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานเครือข่าย WiFi (L_{WiFi}) จะคำนวณจากระยะเวลาที่ตรวจพบเครือข่ายล่าช้าของเครือข่าย WiFi เป็นระยะเวลา F_x วินาที เปรียบเทียบกับระยะเวลาที่เชื่อมต่อรวมของอุปกรณ์เคลื่อนที่ผ่านเครือข่าย WiFi ในกระบวนการแบบเดิมแสดงดังสมการที่ (4)



ภาพที่ 10 การตรวจพบเครือข่ายล่าช้าในกระบวนการ OOP

$$L_{WiMAX} = \frac{M_x}{M_{T1} + M_{T2}} \quad (3)$$

$$L_{WiFi} = \frac{F_x}{F_T} \quad (4)$$

กำหนดให้ M_x	ระยะเวลาที่ WiMAX ตรวจพบเครือข่ายล่าช้าในรูปแบบ OOP
F_x	ระยะเวลาที่ WiFi ตรวจพบเครือข่ายล่าช้าในรูปแบบ OOP
F_T	ระยะเวลาการใช้งานเครือข่าย WiFi ทั้งหมด ในรูปแบบเดิม
M_{T1}, M_{T2}	ระยะเวลาการใช้งานเครือข่าย WiMAX ทั้งหมด ในรูปแบบเดิม
L_{WiMAX}	ค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เกิดขึ้นของเครือข่าย WiMAX
L_{WiFi}	ค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เกิดขึ้นของเครือข่าย WiFi

4. การเปรียบเทียบการใช้พลังงาน

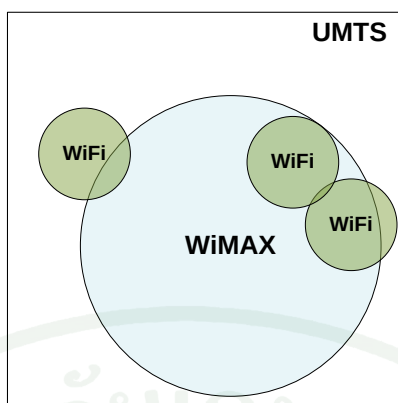
การเปรียบเทียบการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นเพื่อเป็นการศึกษาประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานเมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งานในการกำหนดช่วงเวลาปิดอินเตอร์เฟซที่ช่วงเวลาต่างๆ นั้น จะทำการเปรียบเทียบกับการใช้งานพลังงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการทำงานแบบเดิม เปรียบเทียบกับการใช้พลังงานในกระบวนการ OOP ที่ช่วงเวลาในการปิดอินเตอร์เฟซค่าต่างๆ แสดงดังสมการที่ (5)

$$\text{Energy usage ratio} = \frac{\text{Energy usage by OOP} \times 100}{\text{Energy usage by regular}} \quad (5)$$

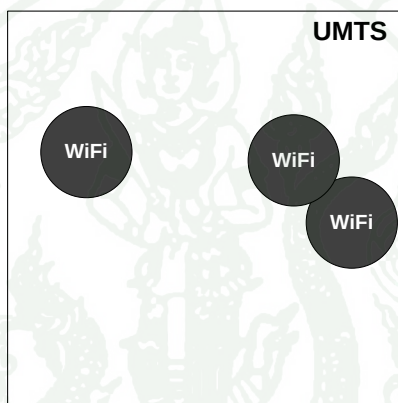
กำหนดให้ $\text{Energy usage ratio}$	อัตราการใช้พลังงานที่เกิดขึ้น
$\text{Energy usage by OOP}$	การใช้พลังงานในกระบวนการ OOP
$\text{Energy usage by regular}$	การใช้พลังงานในกระบวนการแบบเดิม

5. การคำนวณระยะเวลาในการใช้งานเครือข่าย

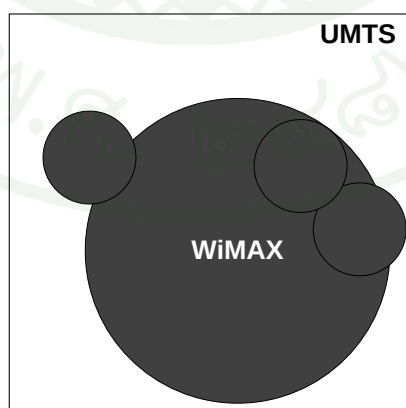
ในการพิจารณาช่วงเวลาในการใช้งานเครือข่ายต่างๆ เพื่อนำมาคำนวณค่าการสูญเสียโอกาสการใช้งานที่เกิดขึ้นนั้น จะมีการพิจารณาช่วงเวลาในการใช้งานของแต่ละเครือข่ายแยกออกจากกัน เช่น หากสภาพแวดล้อมของการใช้งานมีลักษณะของพื้นที่ให้บริการของแต่ละเครือข่ายแสดงดังภาพที่ 11 ในการพิจารณาระยะเวลาการใช้งานเครือข่าย WiFi จะพิจารณาช่วงเวลาที่อยู่ปรณเคลื่อนที่มีการเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่การให้บริการและทำการเชื่อมต่อกับเครือข่าย WiFi เพียงเท่านั้น แสดงดังภาพที่ 12 แต่ในการพิจารณาช่วงเวลาการใช้งานเครือข่าย WiMAX นั้น จะมองภาพรวมของพื้นที่การให้บริการของเครือข่าย WiFi และ WiMAX เป็นพื้นที่การบริการของเครือข่าย WiMAX ทั้งหมดแสดงดังภาพที่ 13 และพิจารณาระยะเวลาที่มีการเคลื่อนที่ผ่านพื้นที่การให้บริการและทำการเชื่อมต่อกับเครือข่ายทั้งสองเทคโนโลยี ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการนับรวมช่วงเวลาการใช้งานเครือข่าย WiMAX ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเกิดจากเหตุการณ์ที่มีการตรวจพบเครือข่าย WiFi ล่าช้า เมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งาน ทำให้ยังคงมีการใช้งานบนเครือข่าย WiMAX ต่อไปอีกระยะเวลาหนึ่ง ในกรณีที่พื้นที่ให้บริการของเครือข่าย WiFi และ WiMAX มีทับซ้อนกันอยู่ เพื่อให้ระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานเป็นระยะเวลาที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งเกิดจากการตรวจพบเครือข่ายล่าช้าเพียงอย่างเดียว



ภาพที่ 11 ตัวอย่างลักษณะจำลองของพื้นที่ให้บริการของแต่ละเครือข่าย



ภาพที่ 12 ตัวอย่างการพิจารณาพื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณระยะเวลาการใช้งานเครือข่าย WiFi



ภาพที่ 13 ตัวอย่างการพิจารณาพื้นที่ที่ใช้ในการคำนวณระยะเวลาการใช้งานเครือข่าย WiMAX

ผลและวิจารณ์

ผล

งานวิจัยนี้ทำการพัฒนาและทำการทดสอบโดยใช้โปรแกรมจำลองการทำงานชื่อว่า NS2 (Network Simulation 2) ในรุ่น 2.29.3 (ISI, 1999) ร่วมกับ mobility patch (NIST, 2009) ซึ่งได้ทำการพัฒนากระบวนการทำงานการข้ามเครือข่ายตามมาตรฐาน MIH

สำหรับการกำหนดสภาพแวดล้อมทั่วไปของการทดลอง จะทำการกำหนดให้พื้นที่ทดสอบประกอบด้วยเครือข่ายการให้บริการจำนวน 3 เทคโนโลยีด้วยกันคือ WiFi, WiMAX และ UMTS โดยกำหนดลำดับความสำคัญของเครือข่ายที่ใช้ในการพิจารณาเครือข่ายที่เหมาะสม คือ WiFi > WiMAX > UMTS ซึ่งในการทดลองอุปกรณ์เคลื่อนที่จะทำการส่งข้อมูลไปยังปลายทางตลอดเวลา และทำการกำหนดคุณลักษณะของพารามิเตอร์ด้านพลังงานแสดงตามตารางที่ 5

ตารางที่ 5 คุณลักษณะพารามิเตอร์ด้านพลังงานในการทดสอบ

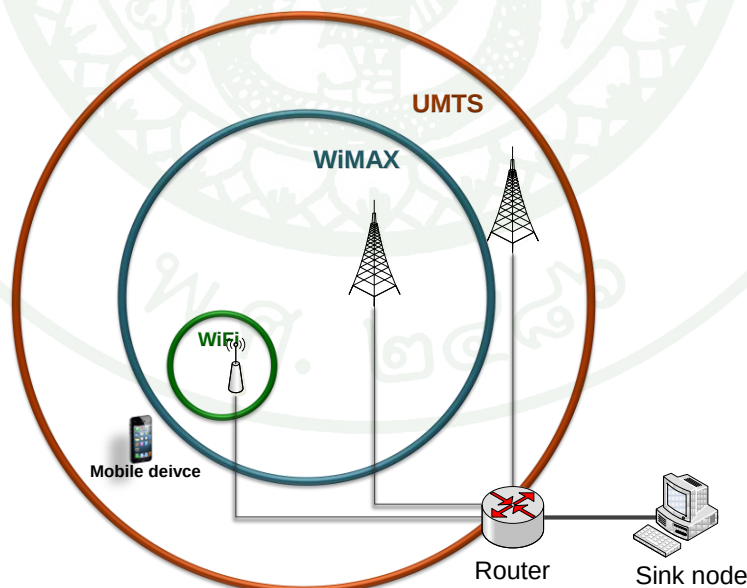
Network	Power consumption (W)			State Transition	
	Tx	Rx	Idle	Power (W)	Time (sec)
UMTS	2.805	0.495	0.082	0.002	0.05
WiMAX	1.32	0.66	0.2	0.002	0.05
Wi-Fi	2.25	1.35	0.75	0.002	0.05

ที่มา: Cheoleun *et al.* (2007)

การทดลองจะแบ่งเป็นหัวข้อ ไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการทดสอบ แล้วสรุปผลการทดลองของแต่ละหัวข้อ โดยจะทำการสรุปผลการทดลองทั้งหมดในส่วนสุดท้าย

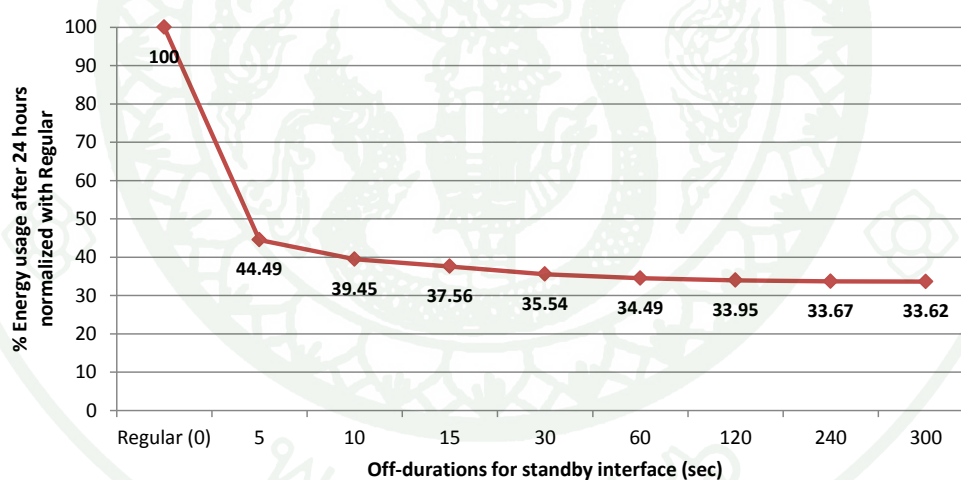
การทดลองที่ 1 ศึกษาประสิทธิภาพของการประหยัดพลังงานเมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งาน โดยกำหนดช่วงเวลาปิดสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสด้วยค่าต่างๆ

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการประหยัดพลังงานเมื่อทำการกำหนดช่วงเวลาปิดของสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสด้วยค่าต่างๆ ในกระบวนการ OOP เนื่องจากเมื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่ไม่มีการเคลื่อนที่ การปิดอินเทอร์เน็ตเฟสในช่วงเวลาต่างๆ จะไม่เกิดผลกระทบต่อการทำงาน ซึ่งเป็นสถานการณ์ในกรณีที่ดีที่สุด (best case scenario) ของกระบวนการ OOP เพื่อให้ได้กรอบของช่วงเวลาที่มียุทธศาสตร์ในการประหยัดพลังงานในช่วงเวลาต่ำสุดและสูงสุดมากำหนดในการทำงานของกระบวนการ OOP ต่อไป โดยในการทดลองอุปกรณ์เคลื่อนที่จะอยู่ในตำแหน่งที่สามารถเชื่อมต่อผ่านเครือข่าย UMTS ได้เพียงเครือข่ายเดียวเท่านั้น ในส่วนอินเทอร์เน็ตเฟสอื่นๆ จะอยู่สถานะสแตนด์บาย (WiFi และ WiMAX) โดยอุปกรณ์เคลื่อนที่จะไม่มีการเคลื่อนที่ และทำการส่งข้อมูลไปยังปลายทางตลอดเวลาด้วยอัตราการส่งแบบคงที่ (CBR: Constant Bit Rate) 256 kbps ที่ขนาดแพ็กเก็ตคงที่ 1,000 ไบต์ แสดงดังภาพที่ 14

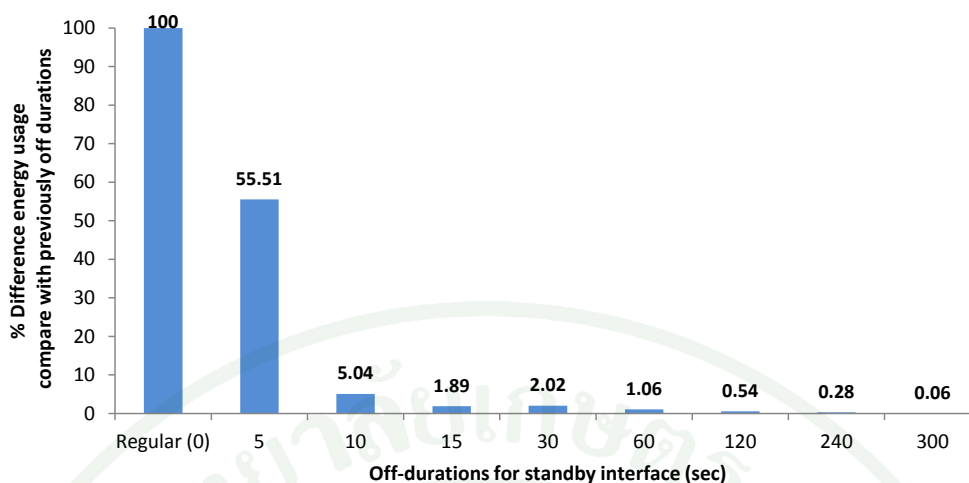


ภาพที่ 14 โครงสร้างของเครือข่ายในการทดลองที่ 1

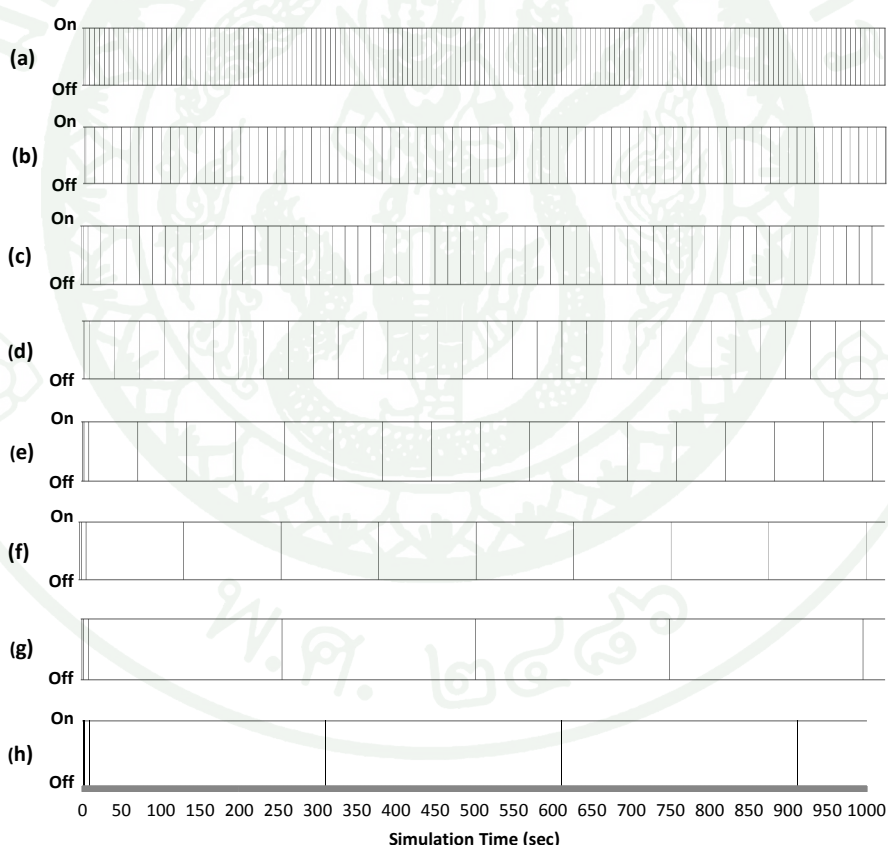
จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีการนำกระบวนการ OOP มาใช้งาน สามารถลดการสิ้นเปลืองพลังงานลงซึ่งเป็นพลังงานที่ใช้โดยอินเตอร์เฟซที่อยู่สถานะสแตนด์บาย (WiFi และ WiMAX) แสดงดังภาพที่ 15 โดยเมื่อมีการเลือกช่วงเวลาในช่วงปิดอินเตอร์เฟซเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถประหยัดพลังงานได้เพิ่มมากขึ้น แต่ประสิทธิภาพในการลดการสิ้นเปลืองพลังงานจะเริ่มลดต่ำลงเมื่อระยะเวลาในการปิดอินเตอร์เฟซมีค่าสูงมากขึ้น เช่น ในการเปรียบเทียบการเลือกช่วงเวลาปิดอินเตอร์เฟซระหว่าง 30 วินาที กับ 60 วินาที จะสามารถลดการใช้พลังงานได้ 1 % โดยประมาณ แสดงดังภาพที่ 16 ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากช่วงระยะเวลาที่มีการใช้งานพลังงานของการกำหนดช่วงเวลาเปรียบเทียบกับรอบก่อนหน้าจะมีความแตกต่างเพียงประมาณ 1.02 วินาที แสดงตามรูปที่ 17 ซึ่งแสดงสถานะอินเตอร์เฟซของเทคโนโลยี WiFi ที่อยู่ในสถานะสแตนด์บาย ดังนั้นจะเห็นได้ว่าช่วงเวลาในการปิดอินเตอร์เฟซที่จะใช้ในการทำงานของ OOP นั้น ไม่จำเป็นต้องใช้ค่าที่สูงเกินไปเพราะไม่สามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในงานวิจัยชิ้นนี้จึงพิจารณาช่วงเวลาในการปิดอินเตอร์เฟซที่ไม่เกิน 60 วินาที เนื่องจากสามารถลดการใช้พลังงานได้ต่ำกว่า 1%



ภาพที่ 15 การใช้พลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการทดลองที่ 1



ภาพที่ 16 ความแตกต่างของการใช้พลังงานของช่วงเวลาปิดอินเตอร์เฟซในการทดลองที่ 1



ภาพที่ 17 สถานะอินเตอร์เฟซของเทคโนโลยี WiFi (สถานะสแตนด์บาย) ในการทดลองที่ 1

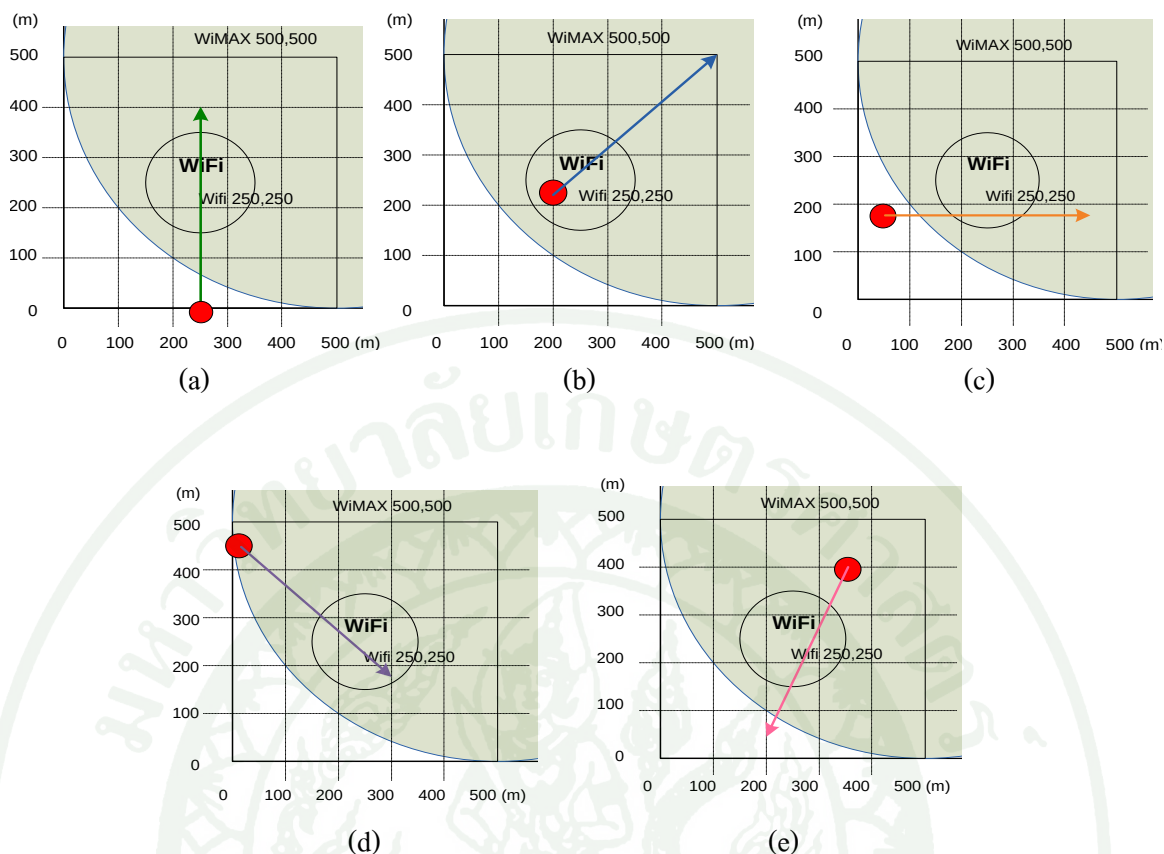
- (a) Off-duration: 5 sec, (b) Off-duration: 10 sec, (c) Off-duration: 15 sec,
 (d) Off-duration: 30 sec, (e) Off-duration: 60 sec, (f) Off-duration: 120 sec,
 (g) Off-duration: 240 sec, (h) Off-duration: 300 sec

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลกระทบต่อการใช้งานเมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งาน

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เมื่อทำการศึกษาผลกระทบต่อการใช้งานเมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งาน พร้อมทั้งกำหนดระยะเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตด้วยช่วงเวลาต่างๆ โดยกำหนดให้โครงสร้างของเครือข่ายมีลักษณะเช่นเดียวกับการทดลองที่ 1 แต่จะมีการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ความเร็ว 1 m/s ด้วยรูปแบบการเคลื่อนที่เป็นเส้นทางตรงแสดงดังภาพที่ 18 ซึ่งมีระยะทางในการเคลื่อนที่ประมาณ 400 เมตร และกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองตามตารางที่ 6 ซึ่งอุปกรณ์เคลื่อนที่จะทำการส่งข้อมูลไปยังปลายทางโดยการใช้งานโปรโตคอลเอฟทีพี (FTP: File Transfer Protocol) ในการส่งข้อมูลมีขนาด 150 MB

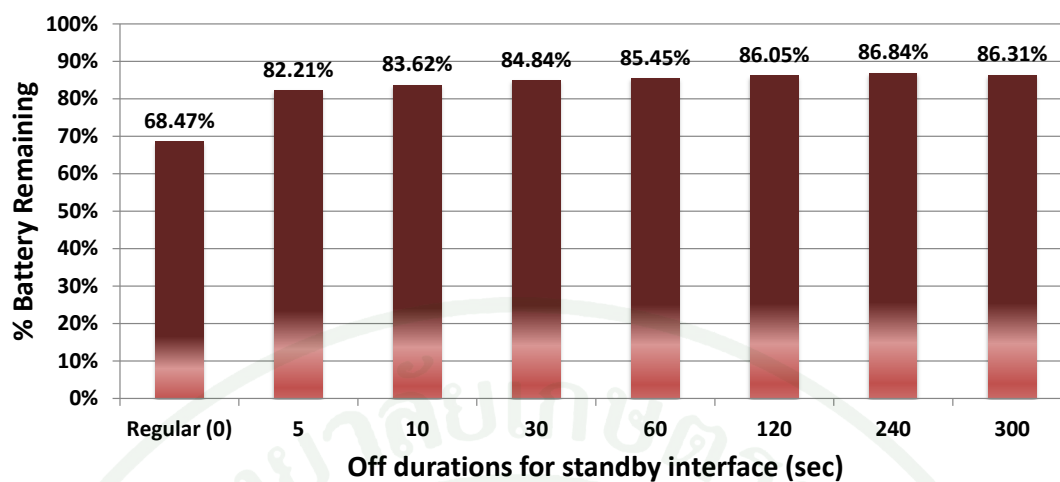
ตารางที่ 6 ค่าพารามิเตอร์ในการทดลองที่ 2

Parameters	Description
Simulation time	1,000 sec
Topology	500 m × 500 m
mobile device interfaces	UMTS, WiMAX and WiFi
Number of mobile device(s)	1 mobile device
Number of UMTS base station(s)	1 base station
Number of WiMAX base station(s)	1 base station
Number of WiFi access point(s)	1 AP
Data rate UMTS	1 Mbps
Date rate WiMAX	2.5 Mbps
Date rate WiFi	5 Mbps
Application/Traffic	FTP file size 150 MB
Mobility Pattern	Linear 1 m/s

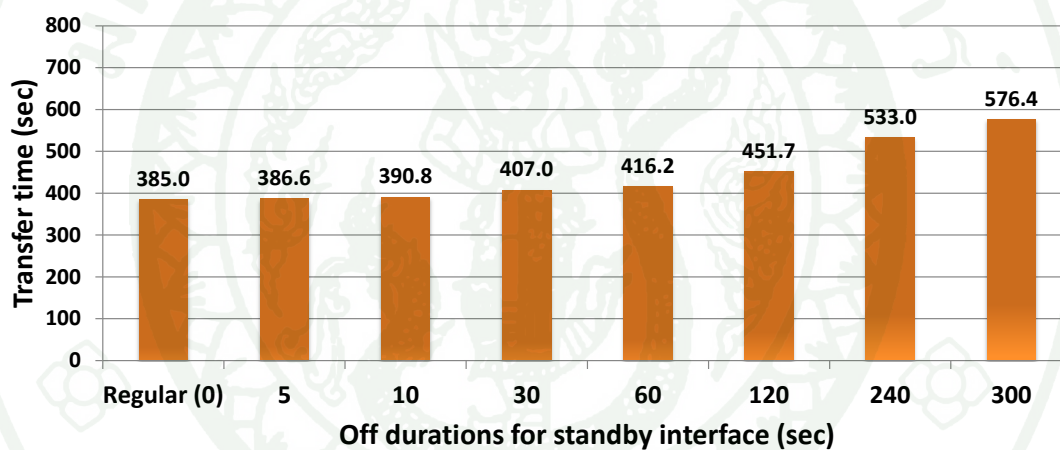


ภาพที่ 18 การเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการทดลองที่ 2

จากผลการทดลองที่ 2 เมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งานสามารถลดการสิ้นเปลืองพลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ลง เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการแบบเดิมแสดงดังภาพที่ 19 และเมื่อทำการพิจารณาผลกระทบต่อการใช้งาน จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งานจะส่งผลให้มีระยะเวลาในการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์เคลื่อนที่ไปยังปลายทางมีการใช้ระยะเวลาเพิ่มสูงขึ้น แสดงดังภาพที่ 20



ภาพที่ 19 การใช้พลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการทดลองที่ 2



ภาพที่ 20 ระยะเวลาในการส่งข้อมูลขนาด 150 MB ในการทดลองที่ 2

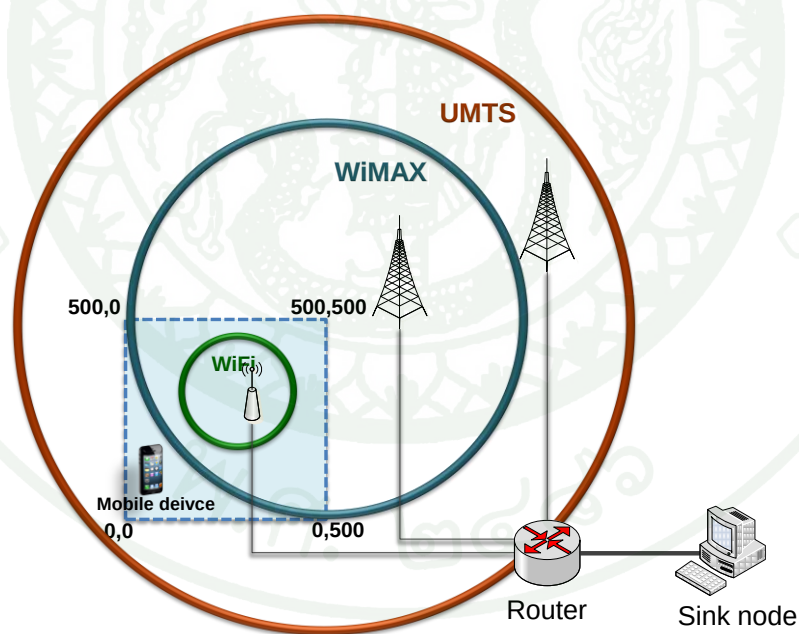
การทดลองที่ 3 ทำการศึกษาประสิทธิภาพของการประหยัดพลังงาน และผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งาน

ในการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการประหยัดพลังงาน รวมถึงผลกระทบต่อคุณสมบัติ ABC เมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งาน เนื่องจากเมื่อมีการกำหนดให้ช่วงเวลาปิดอินเทอร์เน็ตเฟสเป็นช่วงๆ จะทำให้มีโอกาสที่จะเกิดเหตุการณ์ตรวจพบเครือข่ายล่าช้า โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบกับกรณีเปิดอินเทอร์เน็ตเฟสทิ้งไว้ตลอดเวลาในกระบวนการแบบเดิม ซึ่งอินเทอร์เน็ตเฟสจะสามารถตรวจพบสัญญาณของเครือข่ายได้ในทันที เมื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณขอบของพื้นที่ให้บริการของเครือข่ายนั้นๆ แต่เมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งานหากในช่วงเวลาที่อุปกรณ์เคลื่อนที่กำลังเคลื่อนที่เข้าสู่บริเวณขอบของพื้นที่ให้บริการของเครือข่ายใหม่ แต่สแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสยังอยู่ในช่วงเวลาของการปิดอินเทอร์เน็ตเฟส จะทำให้อินเทอร์เน็ตเฟสไม่สามารถตรวจพบสัญญาณของเครือข่ายได้จนกว่าจะครบระยะเวลาของช่วงการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสที่เหลืออยู่ มีผลให้การตรวจพบเครือข่ายและการเริ่มต้นการเชื่อมต่อของผ่านเครือข่ายใหม่มีความล่าช้าเกิดขึ้น ซึ่งระยะเวลาดังกล่าวเป็นระยะเวลาที่สูญเสียโอกาสในการเชื่อมต่อใช้งานกับเครือข่ายที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่าจึงมีผลกระทบต่อคุณสมบัติ ABC

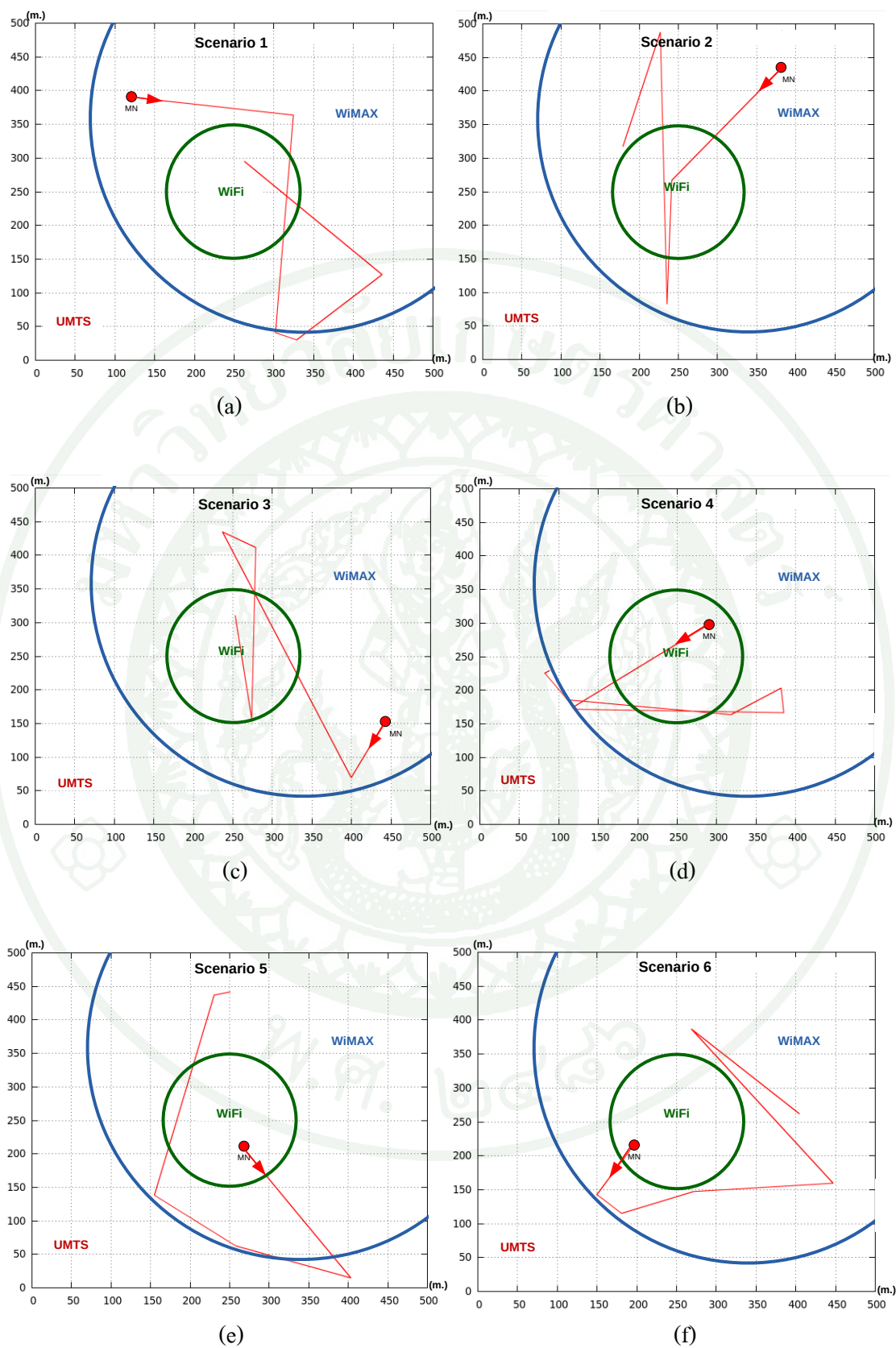
โดยกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองตามตารางที่ 7 และกำหนดโครงสร้างเครือข่ายที่ใช้ในการทดลองแสดงดังภาพที่ 21 ซึ่งในการทดลองจะทำการกำหนดให้อุปกรณ์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนแบบสุ่ม (random way point) จำนวน 9 รูปแบบ ในพื้นที่ 500 x 500 ตารางเมตร แสดงดังภาพที่ 22 และ 23 โดยจะมีการเลือกจุดเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ให้อยู่ในพื้นที่บริการของแต่ละเทคโนโลยีเครือข่ายอย่างละ 3 รูปแบบด้วยกัน รวมถึงในการทดลองจะมีการปรับเปลี่ยนความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ความเร็ว 1, 2 และ 3 m/s และทำการกำหนดช่วงเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสในกระบวนการ OOP ด้วยเวลาที่ 5, 10, 15, 30 และ 60 วินาที โดยในการทดลองนี้จะทำการพิจารณา ระยะเวลารวมทั้งทำการเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ตเฟสของเครือข่าย WiMAX และ WiFi ตลอดช่วงเวลากการทดลอง โดยนำช่วงเวลาในการตรวจพบเครือข่ายล่าช้าของแต่ละช่วงเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสที่ได้ทำการทดลอง มาเปรียบเทียบกับระยะเวลาที่ทำการเชื่อมต่อผ่านอินเทอร์เน็ตเฟสของเครือข่าย WiMAX และ WiFi ในกระบวนการแบบเดิม เพื่อนำมาคำนวณค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เกิดขึ้น (L_{WiMAX} , L_{WiFi}) ตามสมการที่ (3) และ (4) เพื่อทำการศึกษาผลกระทบที่จะเกิดขึ้นและประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานในแต่ละช่วงเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสตามกระบวนการ OOP

ตารางที่ 7 ค่าพารามิเตอร์ในการทดลองที่ 3

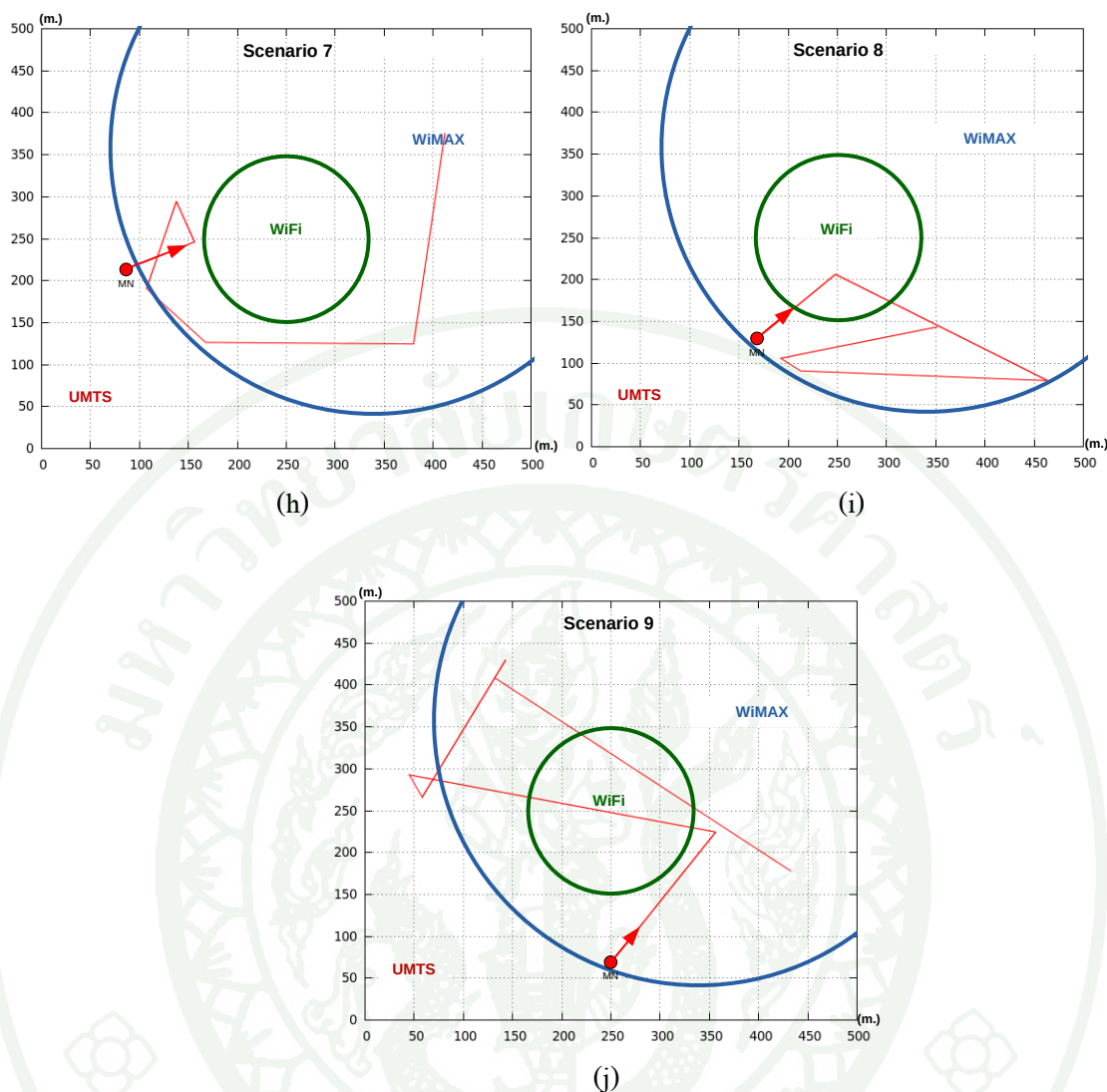
Parameters	Description
Simulation time	1,000 seconds
Topology	500 m × 500 m
mobile device interfaces	UMTS, WiMAX and WiFi
Number of mobile device(s)	1 mobile device
Number of UMTS base station(s)	1 base station (All area)
Number of WiMAX base station(s)	1 base station (500 m)
Number of WiFi access point(s)	1 AP (100 m)
Application/Traffic	CBR(256 kbps), 1,000-byte pkt. size
Mobility pattern	Random waypoint (1,2 and 3 m/s)



ภาพที่ 21 โครงสร้างเครือข่าย และขอบเขตการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการทดลองที่ 3

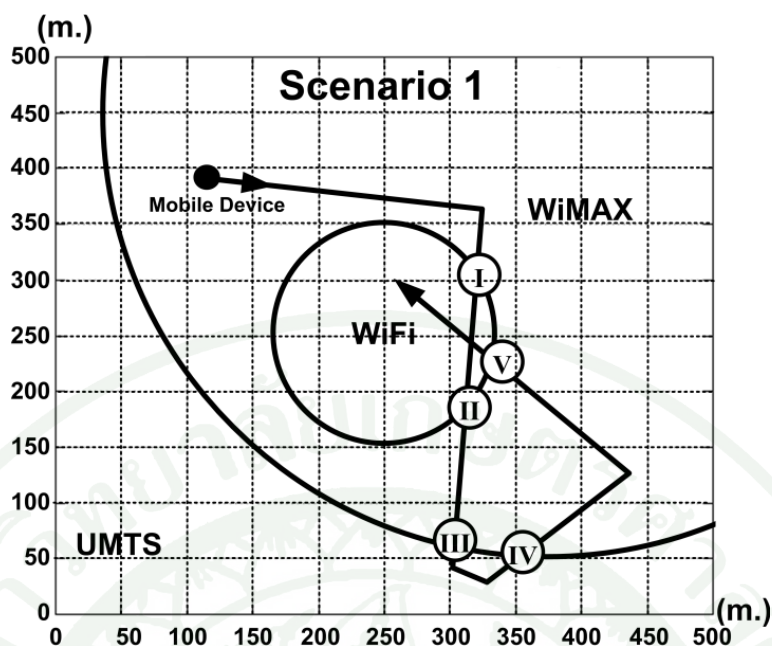


ภาพที่ 22 การเคลื่อนของอุปกรณ์เคลื่อนที่ 9 รูปแบบ ที่ความเร็ว 1 m/s ในการทดลองที่ 3



ภาพที่ 23 การเคลื่อนของอุปกรณ์เคลื่อนที่ 9 รูปแบบ ที่ความเร็ว 1 m/s ในการทดลองที่ 3 (ต่อ)

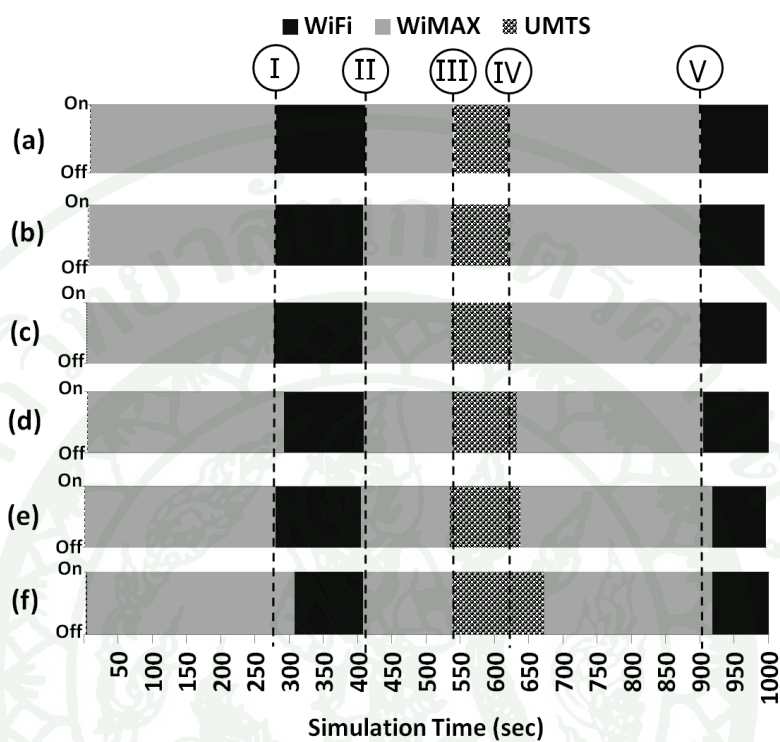
จากผลการทดลองเมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งานและกำหนดช่วงเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตด้วยค่าต่างๆ เปรียบเทียบกับกระบวนการทำงานแบบเดิม จะมีช่วงเวลาในการใช้งานอินเทอร์เน็ตของแต่ละเทคโนโลยีในการส่งข้อมูลจากอุปกรณ์เคลื่อนที่ผ่านไปยังปลายทาง แตกต่างกันไปแสดงดังภาพที่ 25 ซึ่งเป็นการแสดงการใช้งานอินเทอร์เน็ตของเทคโนโลยีต่างๆ ในการเชื่อมต่อ ที่สอดคล้องกับข้อมูลการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการทดลองรูปแบบที่ 1 ที่ช่วงความเร็ว 1 m/s แสดงดังภาพที่ 24



ภาพที่ 24 การเคลื่อนของอุปกรณ์เคลื่อนที่จากรูปแบบ 1 ที่ความเร็ว 1 m/s

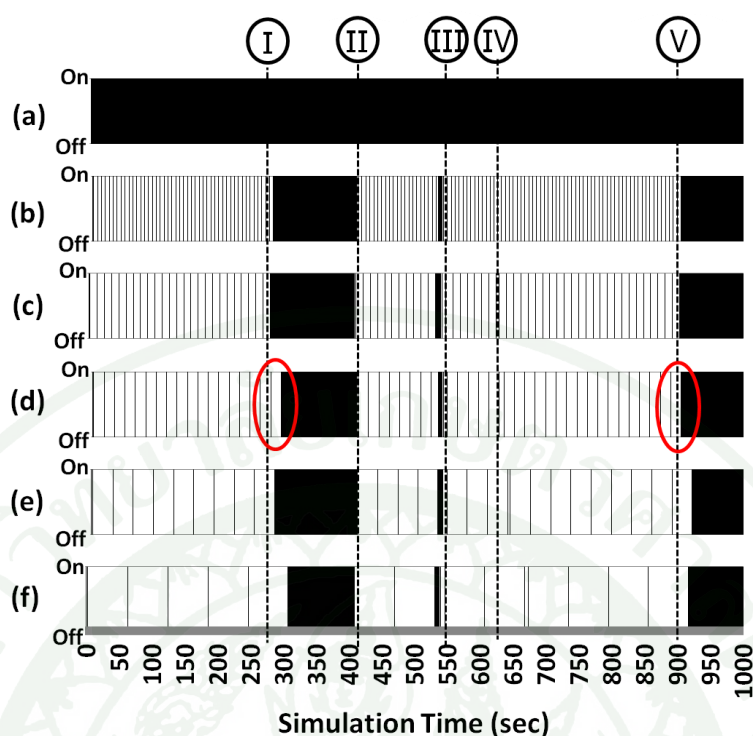
โดยภาพที่ 25 (a) เป็นการแสดงการใช้งานอินเทอร์เน็ตเฟสในกระบวนการแบบเดิม และ 25 (b)-(f) เป็นการแสดงการใช้งานอินเทอร์เน็ตเฟสเมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งานที่ทำการกำหนดช่วงเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสค่าต่างๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งาน และทำการกำหนดช่วงเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ระยะเวลาในการตรวจพบเครือข่ายล่าช้าเพิ่มสูงขึ้น และการเริ่มต้นการใช้งานเครือข่ายดังกล่าวมีความล่าช้าออกไป รวมถึงระยะเวลาที่สามารถทำการเชื่อมต่อผ่านเครือข่ายดังกล่าวจะมีระยะลดลงไปด้วย เมื่อทำการเปรียบเทียบกับช่วงเวลาในการส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตเฟสของเครือข่ายต่างๆ ในกระบวนการแบบเดิม ซึ่งจะเกิดขึ้นในเหตุการณ์ที่อุปกรณ์เคลื่อนที่กำลังเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ให้บริการของเครือข่ายใหม่ที่มีความเหมาะสมต่อการใช้งานมากกว่าเครือข่ายที่เชื่อมต่ออยู่ในปัจจุบัน โดยหากพิจารณาจากข้อมูลการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่จากภาพที่ 24 จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่เกิดปัญหาการตรวจพบเครือข่ายล่าช้าขึ้น คือตำแหน่งที่ (I), (IV) และ (V) เนื่องจากในช่วงเวลาที่อุปกรณ์เคลื่อนที่เคลื่อนที่มายังตำแหน่งขอบของพื้นที่ให้บริการแต่ละสถานะสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟส ยังอยู่ในช่วงเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสตามกระบวนการของ OOP ทำให้อินเทอร์เน็ตเฟสไม่สามารถทำการตรวจพบสัญญาณของเครือข่ายได้ จะต้องรอต่อไปจนกว่าจะครบช่วงเวลาในการเปิดอินเทอร์เน็ตเฟสในรอบต่อไป ซึ่งเห็นได้ว่าเมื่อมีการนำกระบวนการ OOP มาใช้งานจะเกิดผลกระทบต่อค่าการสูญเสียโอกาสในการใช้งานเครือข่ายที่ดีกว่าเกิดขึ้น ตัวอย่างในการเลือกช่วงเวลาปิดอินเทอร์เน็ตเฟสแบบ OOP ที่ 15 วินาที ของ

อินเทอร์เน็ต WiFi จะมีการตรวจพบเครือข่ายล่าช้าไป 14.0002 วินาที ในจุด (I) และ 3.0002 วินาที ในจุด (V) แสดงดังภาพที่ 26



ภาพที่ 25 การส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตต่างๆ ของอุปกรณ์เคลื่อนที่

- (a) Off-duration: 5 sec, (b) Off-duration: 10 sec, (c) Off-duration: 15 sec,
(d) Off-duration: 30 sec, (e) Off-duration: 60 sec



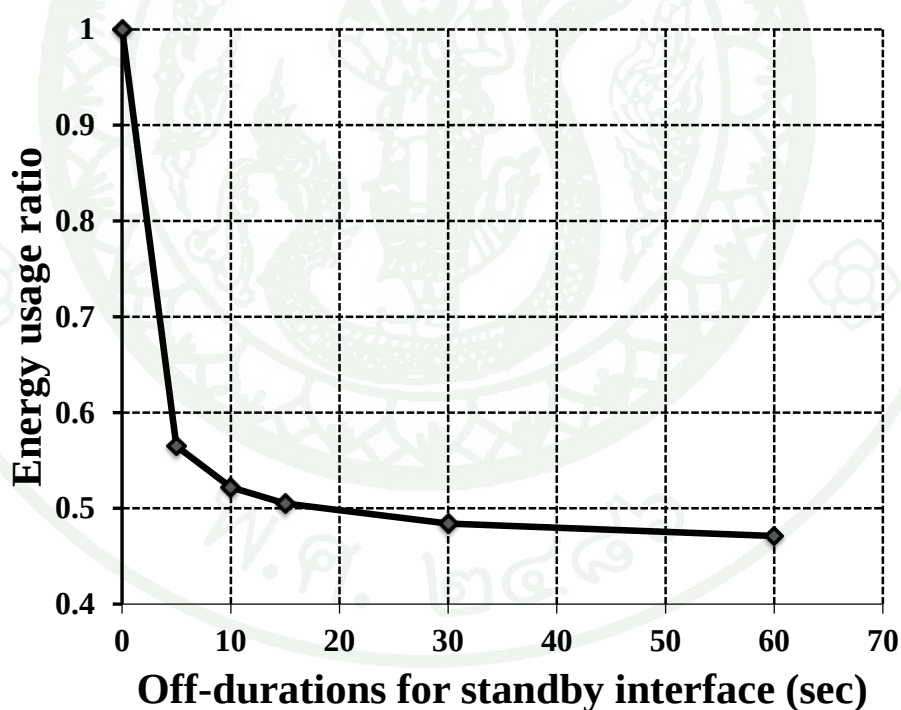
ภาพที่ 26 สถานะการเปิดและปิดของอินเทอร์เน็ต WiFi

(a) Regular, (b) Off-duration: 5 sec, (c) Off-duration: 10 sec,

(d) Off-duration: 15 sec, (e) Off-duration: 30 sec, (f) Off-duration: 60 sec

จากผลการทดลองหากพิจารณาการใช้พลังงานรวมของอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่เกิดขึ้น แสดงดังภาพที่ 27 โดยเป็นการเปรียบเทียบระดับการใช้พลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ใน กระบวนการ OOP ในการกำหนดช่วงเวลาปิดอินเทอร์เน็ตค่าต่างๆ กับระดับการใช้พลังงานที่ เกิดขึ้นในกระบวนการแบบเดิมที่มีการเปิดอินเทอร์เน็ตอยู่ตลอดเวลา ซึ่งว่าเรียกว่า อัตราการใช้ พลังงาน (energy usage ratio) คำนวณจากสมการที่ (3) ซึ่งจากกราฟแสดงให้เห็นว่า เมื่อทำการเปิด และปิดสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตตามกระบวนการแบบ OOP สามารถลดการใช้พลังงานของอุปกรณ์ เคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ในการกำหนดช่วงเวลาปิดอินเทอร์เน็ต OOP ที่ 5 วินาที อุปกรณ์เคลื่อนที่จะมีการใช้พลังงานไปเพียง 53.23 % เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานในรูป แบบเดิม และเห็นได้ว่าประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานอยู่ในเกณฑ์ที่สูงในช่วงเวลาในการปิด อินเทอร์เน็ตค่าต่ำ (5, 10, และ 15 วินาที สามารถลดการใช้พลังงานได้ 46.77%, 51.18%, และ 53.53%) แต่ในช่วงเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตในค่าที่สูง (30 และ 60 วินาที สามารถลดการใช้ พลังงานได้ที่ 55.63% และ 57.14%) มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานอยู่เกณฑ์ต่ำกว่า แสดง ตามตารางที่ 8

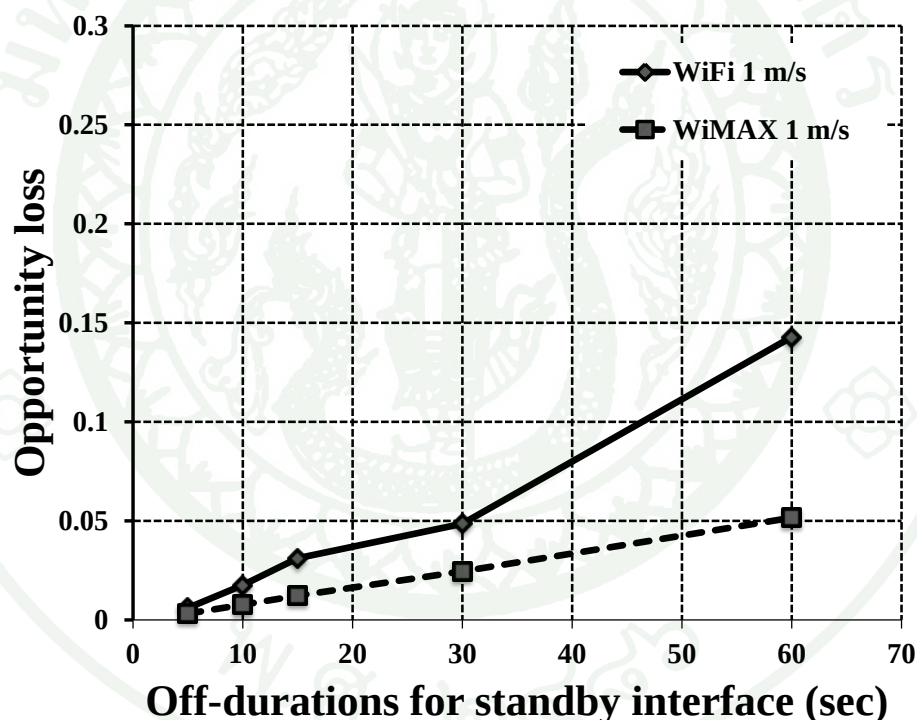
ในส่วนของการสูญเสียโอกาสใช้งานเครือข่ายนั้น เมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งานและทำการกำหนดช่วงเวลาในการปิดอินเตอร์เฟสในช่วงเวลาต่างๆ ค่าการสูญเสียโอกาสที่เกิดขึ้นจะสอดคล้องกับระยะเวลาในการปิดอินเตอร์เฟส คือ ค่าของการสูญเสียโอกาสใช้งานมีการเพิ่มสูงขึ้น เมื่อทำการเลือกใช้ช่วงเวลาในการปิดอินเตอร์เฟสที่เพิ่มขึ้น และอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าการสูญเสียโอกาสของเครือข่าย WiMAX มีค่าต่ำกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของเครือข่าย WiFi ทุกช่วงเวลาในการกำหนดระยะเวลาการปิดอินเตอร์เฟสในกระบวนการ OOP แสดงดังภาพที่ 28 ซึ่งมีสาเหตุมาจากอุปกรณ์เคลื่อนที่จะมีระยะเวลาในอยู่พื้นที่ของการเครือข่าย WiMAX ยาวนานกว่าเครือข่าย WiFi ซึ่งหากทำการพิจารณาจากสมการ (3) และ (4) ระยะเวลาในการตรวจพบเครือข่ายล่าช้าของเครือข่าย WiMAX และ WiFi คือ M_x , F_x ซึ่งค่าทั้งสองนี้จะมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับการกำหนดช่วงเวลาปิดอินเตอร์เฟสในแต่ละช่วงเวลา แต่ในขณะที่ระยะเวลาของการใช้งานในกระบวนการทำงานแบบเดิมของเครือข่าย WiMAX มีค่าสูงกว่าเครือข่าย WiFi มาก ส่งผลให้ค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานของเครือข่าย WiFi จะมีค่าที่สูงกว่าเครือข่าย WiMAX



ภาพที่ 27 อัตราการใช้พลังงาน ที่ความเร็ว 1 m/s ในการทดลองที่ 3

ตารางที่ 8 ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในกระบวนการ OOP ที่ความเร็ว 1 m/s ในการทดลองที่ 3

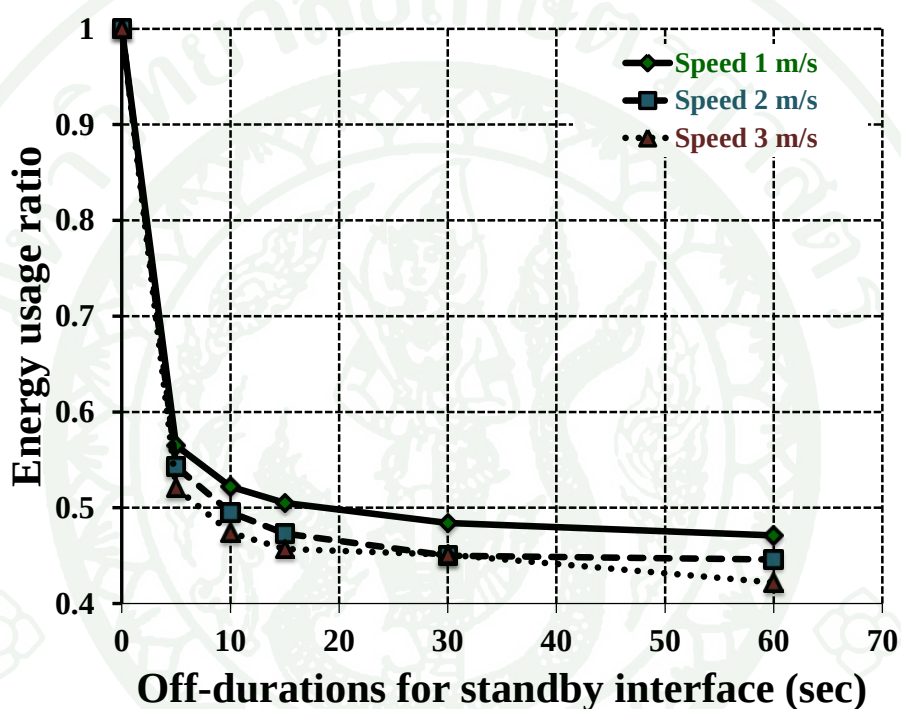
กระบวนการ	ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานเปรียบเทียบกับรูปแบบเดิม
OOP 5 sec	46.77 % $\pm$ 10.64
OOP 10 sec	51.18 % $\pm$ 11.40
OOP 15 sec	53.53 % $\pm$ 11.58
OOP 30 sec	55.63 % $\pm$ 11.54
OOP 60 sec	57.14 % $\pm$ 11.87



ภาพที่ 28 ค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานเครือข่าย WiFi และ WiMAX ที่ความเร็ว 1 m/s ในการทดลองที่ 3

จากการทดลองเมื่อทำการปรับเปลี่ยนความเร็วในการเคลื่อนของอุปกรณ์เคลื่อนที่ (1, 2 และ 3 m/s) การใช้พลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่มีลักษณะในทิศทางเดียวกัน คือ กระบวนการ OOP สามารถลดการใช้พลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่เมื่อทำการเปรียบเทียบกับกระบวนการแบบเดิม

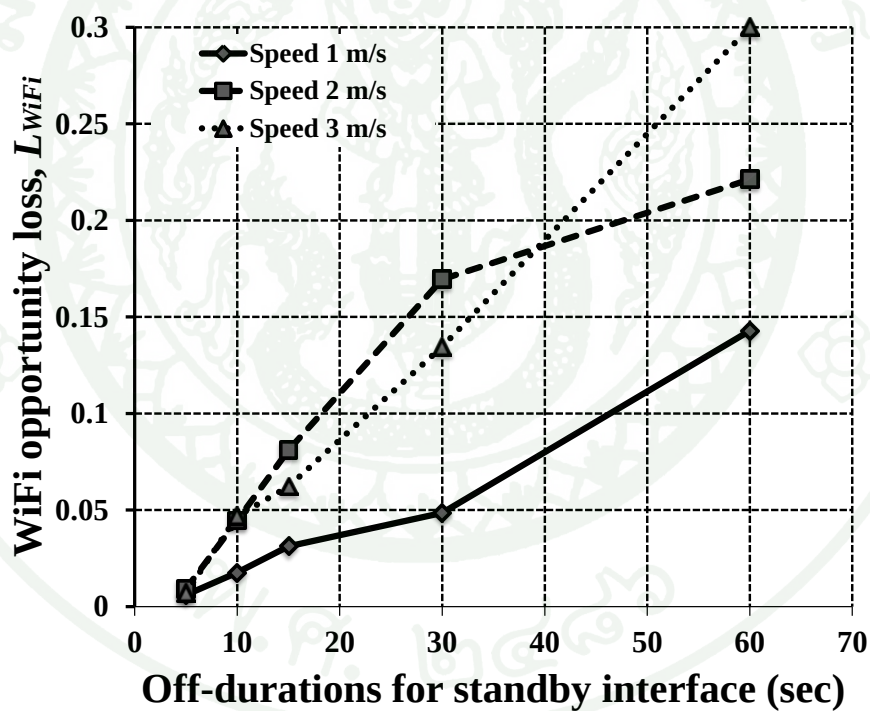
แสดงดังภาพที่ 29 และมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานที่สูงในช่วงเวลาการของการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสค่าต่ำแสดงตามตารางที่ 9 ในขณะที่ผลกระทบต่อค่าของการสูญเสียโอกาสใช้งานจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่เพิ่มขึ้น แต่อัตราการเพิ่มขึ้นของการสูญเสียโอกาสใช้งานของเครือข่าย WiFi ยังคงมีค่าที่สูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเครือข่าย WiMAX ที่ยังคงมีผลกระทบค่อนข้างต่ำเมื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่ที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น แสดงดังภาพที่ 30 และ 31



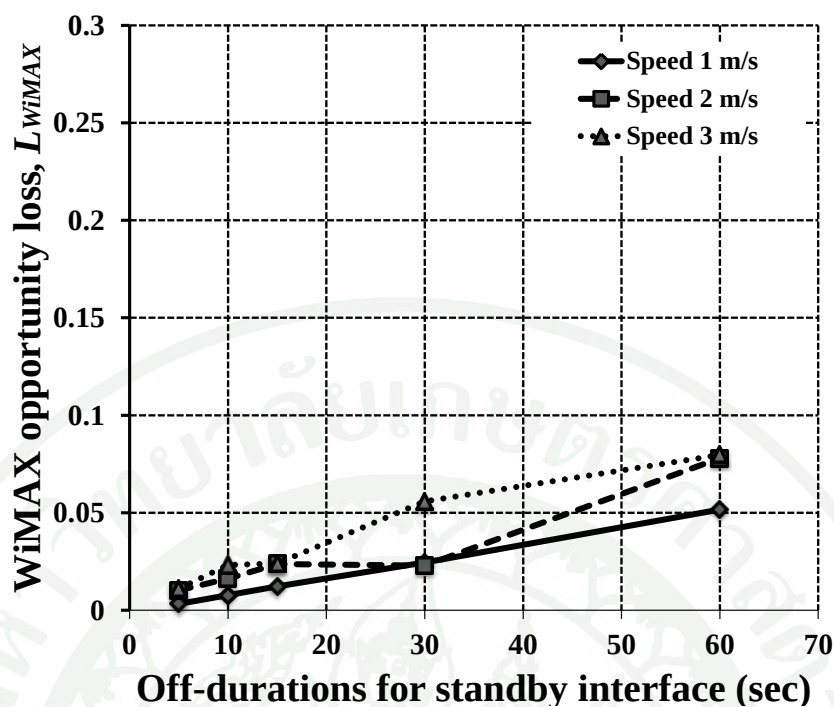
ภาพที่ 29 อัตราการใช้พลังงานที่ความเร็ว 1, 2 และ 3 m/s ในการทดลองที่ 3

ตารางที่ 9 ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในกระบวนการ OOP ที่ความเร็ว 1,2 และ 3 m/s ในการทดลองที่ 3

กระบวนการ	ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานเปรียบเทียบกับรูปแบบเดิม		
	ที่ความเร็ว 1 m/s	ที่ความเร็ว 2 m/s	ที่ความเร็ว 3 m/s
OOP 5 sec	46.77 % $\pm$ 10.64	45.66 % $\pm$ 10.07	47.85 % $\pm$ 6.97
OOP 10 sec	51.18 % $\pm$ 11.40	50.48 % $\pm$ 10.50	52.58 % $\pm$ 7.24
OOP 15 sec	53.53 % $\pm$ 11.58	52.68 % $\pm$ 10.66	54.27 % $\pm$ 7.51
OOP 30 sec	55.63 % $\pm$ 11.54	55.00 % $\pm$ 11.16	54.86 % $\pm$ 9.41
OOP 60 sec	57.14 % $\pm$ 11.87	55.36 % $\pm$ 12.45	57.76 % $\pm$ 7.24



ภาพที่ 30 ค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานเครือข่าย WiFi ที่ความเร็ว 1, 2 และ 3 m/s ในการทดลองที่ 3



ภาพที่ 31 ค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานเครือข่าย WiMAX ที่ความเร็ว 1, 2 และ 3 m/s ในการทดลองที่ 3

ดังนั้นจะเห็นได้จากการกำหนดช่วงเวลาในการปิดอินเตอร์เฟซในกระบวนการ OOP ในช่วงค่าต่ำ สามารถลดการใช้พลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีค่าการสูญเสียโอกาสการใช้งานที่ต่ำ ในขณะที่การกำหนดช่วงเวลาปิดอินเตอร์เฟซในค่าสูงเกินไป ไม่สามารถลดการใช้พลังงานได้มากเท่าที่ควร ในขณะที่เดียวกันกลับทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสใช้งานเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งผลจากการทดลองนี้แสดงให้เห็นช่วงเวลาในการปิดอินเตอร์เฟซเหมาะสม ที่จะนำมาใช้ในกระบวนการ OOP ควรอยู่ช่วง 15 -30 วินาที ซึ่งมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานประมาณ 54 % เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการทำงานแบบเดิม รวมถึงยังคงมีค่าการสูญเสียโอกาสการใช้งานต่ำอยู่ในช่วงที่สามารถรองรับได้

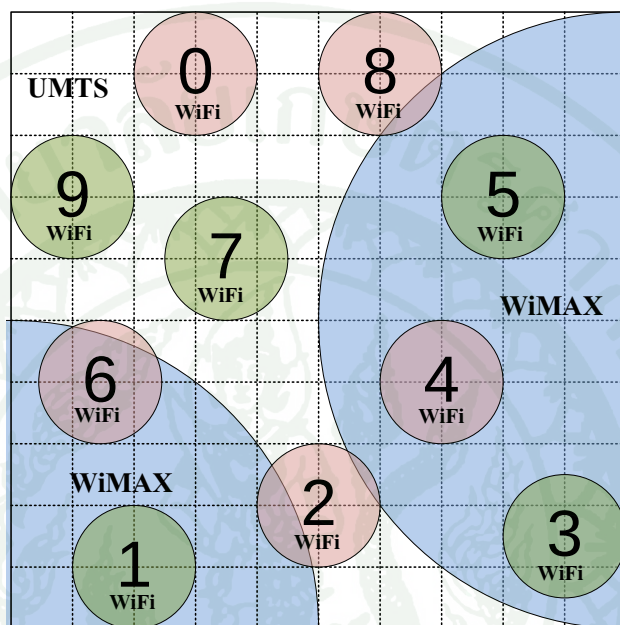
การทดลองที่ 4 ทำการศึกษาผลของการนำกระบวนการ OOP มาใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีจุดให้บริการของเครือข่ายต่างๆ หลากหลายจุดให้บริการ

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เป็นการจะศึกษาผลของการนำกระบวนการ OOP มาใช้งาน ซึ่งจะเป็นการศึกษาต่อเนื่องจากการทดลองก่อนหน้านี้ที่ทำการศึกษาผลของการสูญเสียโอกาสที่เกิดขึ้นเมื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่มีการเคลื่อนที่ แต่ในการทดลองนี้เป็นการจำลองในสภาพแวดล้อมที่มีจุดให้บริการของเทคโนโลยีต่างๆ เพิ่มขึ้น โดยในการทดลองจะกำหนดให้อุปกรณ์เคลื่อนที่มีการเคลื่อนที่แบบสุ่ม มีความเร็วในการเคลื่อนที่อยู่ในช่วงความเร็ว 0-3 m/s รวมถึงจะมีการหยุดการเคลื่อนที่เป็นระยะเวลาหนึ่งเป็นช่วงๆ โดยทำการกำหนดโครงสร้างของเครือข่าย และขนาดของพื้นที่ทำการทดลองขนาด 1,000 x 1,000 ตารางเมตร แสดงดังภาพที่ 32 และมีการกระจายตัวของพื้นที่ให้บริการของเครือข่าย WiFi, WiMAX และ UMTS ในตำแหน่งต่างๆ โดยสามารถคำนวณพื้นที่บริการของแต่ละเครือข่ายแสดงดังตารางที่ 10 และพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 11

และนอกจากนี้ได้ทำการทดลองโดยจำลองกระบวนการทำงานในรูปแบบบริหารจัดการแบบศูนย์กลางซึ่งมีศูนย์กลางข้อมูลกลางคอยช่วยเหลือในการควบคุมสแตนด์บายอินเตอร์เฟส เรียกกระบวนการรูปแบบนี้ว่ากระบวนการ centralized เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับการทำงานในรูปแบบ OOP ทั้งในด้านการประหยัดพลังงานและการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เกิดขึ้น โดยกำหนดให้อุปกรณ์เคลื่อนที่ทราบตำแหน่งของแอคเซสพอยต์ของเครือข่าย WiFi และสถานีฐานของเครือข่าย WiMAX สำหรับรูปแบบการทำงานนั้นสแตนด์บายอินเตอร์เฟสของอุปกรณ์เคลื่อนที่จะถูกกำหนดให้ทำการปิดอินเตอร์เฟสตลอดเวลาโดยไม่ต้องเปิดอินเตอร์เฟสขึ้นมาเพื่อคอยตรวจสอบสัญญาณของเครือข่าย แต่อุปกรณ์เคลื่อนที่จะทำการตรวจสอบตำแหน่งปัจจุบันของตนเองเปรียบเทียบกับตำแหน่งของแอคเซสพอยต์และสถานีฐานที่มีข้อมูลอยู่ เพื่อให้อุปกรณ์เคลื่อนที่สามารถทำการเปิดอินเตอร์เฟสเมื่อมีการเคลื่อนเข้าสู่พื้นที่ให้บริการของเครือข่านั้นๆ โดยจะทำการทดลอง 2 รูปแบบคือ

1. อุปกรณ์เคลื่อนที่มีข้อมูลตำแหน่งของแอคเซสพอยต์และสถานีฐาน ในการทดลองทุกตำแหน่ง มีเป้าหมายเพื่อเป็นการศึกษาผลของการประหยัดพลังงานสูงสุดที่จะเกิดขึ้น เมื่อไม่มีการเปิดอินเตอร์เฟสเพื่อคอยตรวจสอบสัญญาณของเครือข่าย เรียกกระบวนการนี้ว่า “centralized 100%”

2. อุปกรณ์เคลื่อนที่มีข้อมูลตำแหน่งของแอคเซสพอยต์และสถานีฐาน แต่จะมีข้อมูลของแอคเซสพอยต์เพียงครั้งหนึ่ง (5 จากทั้งหมด 10) เพื่อเป็นการศึกษาการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เกิดขึ้น เมื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่มีข้อมูลจุดให้บริการที่ไม่ครบถ้วน เรียกกระบวนการนี้ว่า “centralized 50%”



ภาพที่ 32 โครงสร้างของเครือข่ายในการทดลองที่ 4

ตารางที่ 10 เปรียบเทียบพื้นที่การให้บริการของแต่ละเครือข่ายในการทดลองที่ 4

ประเภท เครือข่าย	พื้นที่ครอบคลุมต่อ AP/BS (ตร.ม.)	จำนวน AP/BS	พื้นที่รวม (ตร.ม.)	คิดเป็น สัดส่วน
UMTS	1,000,000	1	1,000,000	100%
WiFi	31,429	10	314,286	31%
WiMAX	785,714	0.75	589,285	59%

ตารางที่ 11 การตั้งค่าพารามิเตอร์ในการทดลองที่ 4

Parameters	Description
Simulation time	5,000 sec
Topology	1,000 m × 1,000 m
mobile device interfaces	UMTS, WiMAX and WiFi
Number of mobile device(s)	1 mobile device
Number of UMTS base station(s)	1 base station (All area)
Number of WiMAX base station(s)	2 base station (500 m)
Number of WiFi access point(s)	10 AP (100 m)
Application/Traffic	CBR(256 kbps), 1,000-byte pkt. Size
Mobility pattern	Random waypoint (0-3 m/s)

ในส่วนของการกำหนดช่วงเวลาปิดอินเตอร์เฟสนั้น จะกำหนดช่วงเวลาในการปิดอินเตอร์เฟสแบบคงที่เช่นเดียวกับการทดลองที่ 2,3 เนื่องจากแนวคิดเดิมในการนำเสนอกระบวนการ OOP ในหัวข้อวิธีการนั้น ในแต่ละรอบของช่วงเวลาการปิดอินเตอร์เฟสควรมีกระบวนการพิจารณาเลือกช่วงเวลาตามความเหมาะสมจากข้อมูลของพารามิเตอร์ที่อุปกรณ์เคลื่อนที่มีอยู่ เพื่อให้สามารถทำการปิดอินเตอร์เฟสได้เป็นระยะเวลานานเพื่อให้สามารถประหยัดการใช้พลังงานให้มากที่สุด และในขณะเดียวกันสามารถควบคุมค่าของการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เกิดขึ้นให้อยู่ในช่วงที่สามารถรองรับได้ แต่จากผลการทดลองที่ 1, 2 และ 3 แสดงให้เห็นว่าเมื่อการทำปิดอินเตอร์เฟสเป็นระยะเวลานาน กลับไม่สามารถลดอัตราสิ้นเปลืองพลังงานได้เพิ่มขึ้นมากเท่าที่ควร แต่กลับส่งผลกระทบต่อการใช้งานที่เพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาในการปิดอินเตอร์เฟส ซึ่งจากการทดลองที่ 3 ได้สรุปช่วงเวลาในการปิดอินเตอร์เฟสในช่วง 15-30 วินาที เป็นช่วงเวลาที่มีความเหมาะสมในการประหยัดพลังงาน และค่าของการสูญเสียโอกาสใช้งานอยู่ในช่วงสามารถยอมรับ ทำให้การพิจารณาการเลือกช่วงเวลาในการปิดอินเตอร์เฟสในแต่ละรอบนั้น มีช่วงเวลาอยู่ในกรอบ 0-30 วินาที ซึ่งมีขอบเขตในการเลือกการใช้งานที่จำกัด ดังนั้นกระบวนการพิจารณาในการเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมด้วยวิธีการพิจารณาจากพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กล่าวไว้ก่อนหน้านี้ มีความจำเป็นน้อยในกรณีที่อุปกรณ์เคลื่อนที่มีการเคลื่อนที่

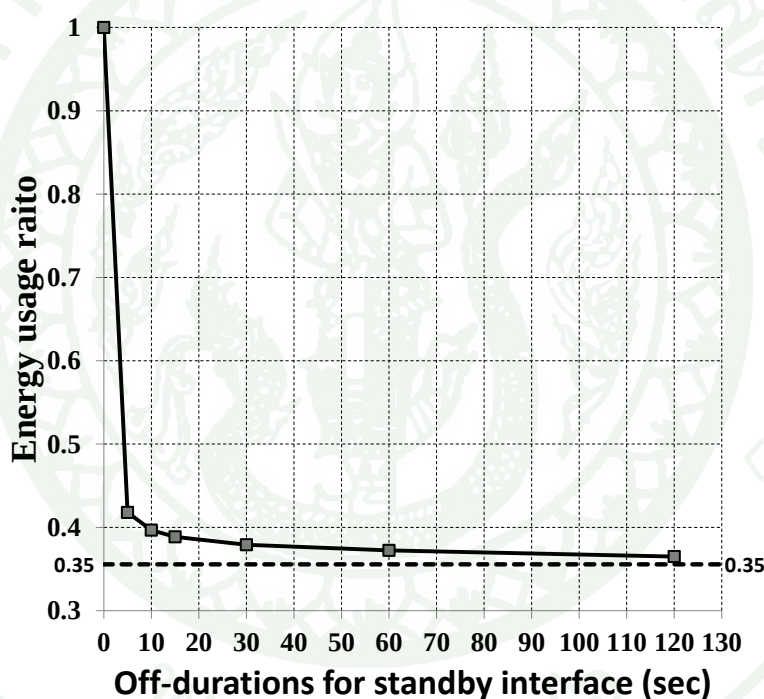
ดังนั้นในการทดลองที่ 4 นี้จะทำการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการประหยัดพลังงาน และค่าของการสูญเสียโอกาสใช้งานที่จะเกิดขึ้นโดยจะทำการทดลองในเงื่อนไขต่างๆ ดังนี้

1. กระบวนการทำงานแบบเดิม ทำการเปิดสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสอยู่ตลอดเวลา
2. กระบวนการ OOP ที่ทำการกำหนดช่วงเวลาในการปิดสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟส แบบคงที่ ด้วยเวลา 5, 10, 15, 30, 60 และ 120 วินาที
3. กระบวนการ centralized ที่มีศูนย์ข้อมูลกลางช่วยเหลือโดยทราบตำแหน่งสถานีฐานของเครือข่าย WiMAX 100% และทราบตำแหน่งแอคเซสพอยต์ของเครือข่าย WiFi 100% (centralized 100%)
4. กระบวนการ centralized ที่มีศูนย์ข้อมูลกลางช่วยเหลือโดยทราบตำแหน่งสถานีฐานของเครือข่าย WiMAX 100% และทราบตำแหน่งแอคเซสพอยต์ของเครือข่าย WiFi 50% (centralized 50%)

ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นเมื่อทำการทดลองด้วยกระบวนการแบบเดิม, กระบวนการ centralized และกระบวนการ OOP ที่เวลา 5, 10, 15, 30, 60 และ 120 วินาที แสดงดังภาพที่ 33 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มระยะเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสยาวนานขึ้น จะทำให้สามารถประหยัดการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการทำงานในรูปแบบเดิม แต่ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานจะเริ่มลดต่ำลงเมื่อทำการเลือกช่วงเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสในค่าที่สูง และนอกจากนี้ประสิทธิภาพของการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นมีค่าสูงกว่าผลจากการทดลองที่ 3 เนื่องจากในการทดลองนี้จะมีเหตุการณ์ที่อุปกรณ์เคลื่อนที่ไม่มีการเคลื่อนที่ทำให้การเลือกระยะเวลาปิดอินเทอร์เน็ตเฟสสามารถปิดอินเทอร์เน็ตเฟสที่ 300 วินาที หรือปิดอินเทอร์เน็ตเฟสเป็นการต่อเนื่องในเงื่อนไขที่ไม่มีการเคลื่อนที่และไม่มีเครือข่ายตัวเลือกอื่นๆ ส่งผลให้การใช้พลังงานมีค่าต่ำลง

เมื่อพิจารณาการใช้พลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในกระบวนการ centralized ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่มีการเปิดอินเทอร์เน็ตเฟสเพื่อคอยตรวจสอบสัญญาณใดๆ แต่จะสามารถเปิดอินเทอร์เน็ตเฟสที่สามารถใช้งานได้เมื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่เคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ให้บริการของเครือข่ายตามเทคโนโลยีของ

อินเทอร์เน็ตนั้นๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเปรียบเทียบกับรูปแบบเดิมที่จะทำการเปิดอินเทอร์เน็ตอยู่ตลอดเวลา จะมีการใช้พลังงานอยู่ประมาณ 35% ของการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นในกระบวนการแบบเดิม ซึ่งพลังงานที่ใช้ไปนี้เป็นการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นเพื่อใช้ในการรับและส่งข้อมูลของแอคทีฟอินเทอร์เน็ตเพียงเท่านั้น ซึ่งหากพิจารณาประสิทธิภาพของการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นของกระบวนการ OOP และกระบวนการ centralized เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลังงานของกระบวนการแบบเดิม แสดงตามตารางที่ 12 ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของการประหยัดในกระบวนการ OOP และกระบวนการ centralized มีความแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย แสดงให้เห็นว่ากระบวนการ OOP มีประสิทธิภาพในการลดการใช้พลังงานของสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตได้ใกล้เคียงกับกระบวนการ centralized

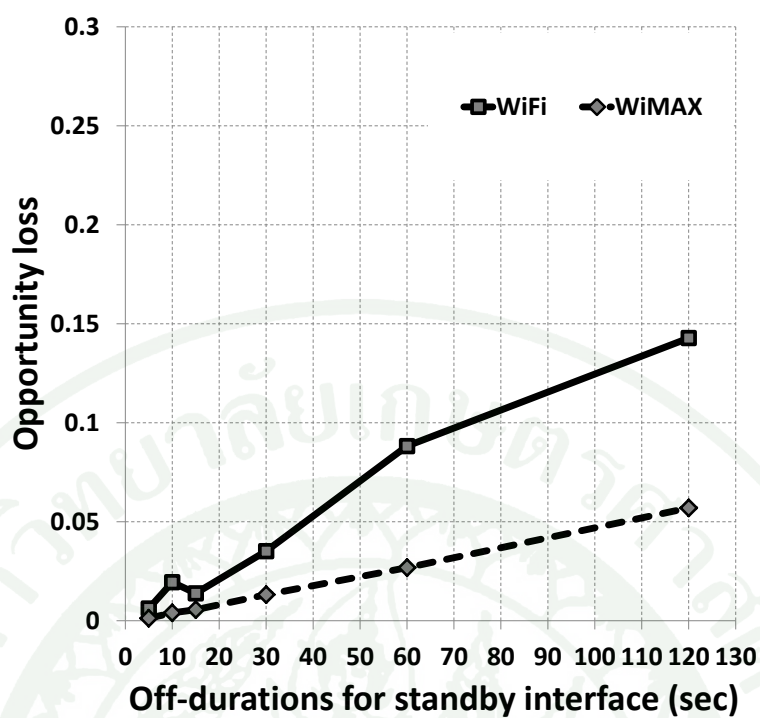


ภาพที่ 33 อัตราการใช้พลังงานในกระบวนการ OOP และกระบวนการ centralized ในการทดลองที่ 4

ตารางที่ 12 ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในกระบวนการ OOP และกระบวนการ centralized ในการทดลองที่ 4

กระบวนการ	ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน
	เปรียบเทียบกับรูปแบบเดิม
OOP 5 sec	58.21% $\pm$ 12.46
OOP 10 sec	60.33% $\pm$ 11.87
OOP 15 sec	61.14% $\pm$ 11.66
OOP 30 sec	62.09% $\pm$ 11.42
OOP 60 sec	62.77% $\pm$ 11.27
OOP 120 sec	63.49% $\pm$ 11.39
centralized 50%	65.73% (64.70% with GPS) $\pm$ 10.91
centralized 100%	64.44% (52.24% with GPS) $\pm$ 10.23

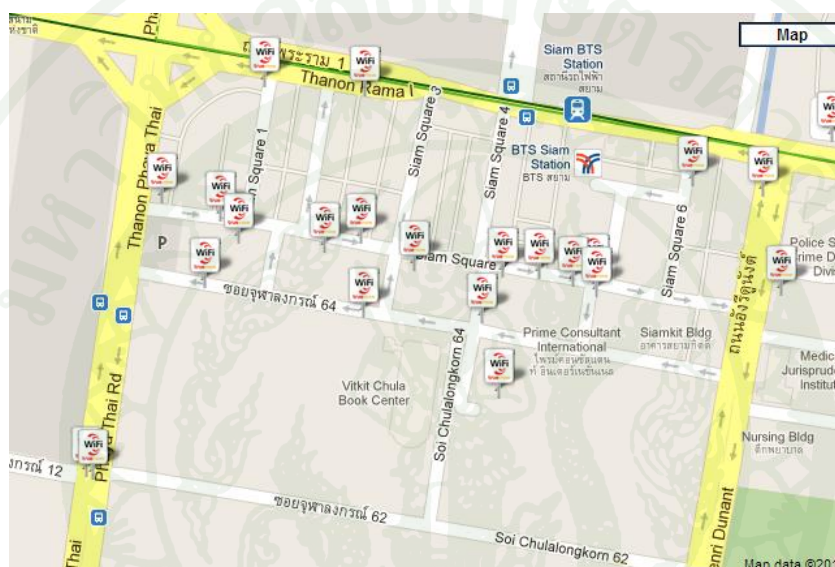
และเมื่อพิจารณาผลของการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เกิดขึ้น เมื่อปิดอินเทอร์เน็ตตามกระบวนการ OOP ด้วยระยะเวลาต่างๆ แสดงตามรูปที่ 34 แสดงให้เห็นว่าเมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งานจะมีผลให้เกิดการสูญเสียโอกาสใช้งานเกิดขึ้น และมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีการเพิ่มระยะเวลาในช่วงการปิดอินเทอร์เน็ตเพิ่มขึ้น และอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าการสูญเสียโอกาสของเครือข่าย WiFi มีค่าสูงกว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของเครือข่าย WiMAX สอดคล้องกับผลการทดลองก่อนหน้านี้ นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างกระบวนการ OOP กับกระบวนการ centralized ที่มีข้อมูลพิกัดตำแหน่งแอคเซสพอยต์ของเครือข่าย WiFi อยู่เพียง 50 % จากจำนวนทั้งหมด ซึ่งมีการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เกิดขึ้นสูงถึง 25.8% ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากระบวนการ OOP สามารถทำการตรวจพบเครือข่ายได้ครอบคลุมมากกว่ากระบวนการ centralized ในกรณีที่ไม่สามารถทราบข้อมูลของพิกัดตำแหน่งจุดให้บริการได้ครบถ้วน



ภาพที่ 34 ค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานในกระบวนการ OOP และกระบวนการ centralized ในการทดลองที่ 4

การทดลองที่ 5 ทำการศึกษาผลกระทบที่เกิดขึ้นเมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งานในสภาพแวดล้อมใกล้เคียงการใช้งานจริง

วัตถุประสงค์ของการทดลองนี้เพื่อที่จะทำการศึกษาผลของการนำกระบวนการ OOP มาใช้งานในรูปแบบการใช้งานจริงมากยิ่งขึ้น โดยจะทำการอ้างอิงจากจุดให้บริการเครือข่าย WiFi ของบริษัท ทรูมูฟ ในพื้นที่บริเวณสยามสแควร์ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร แสดงดังภาพที่ 35



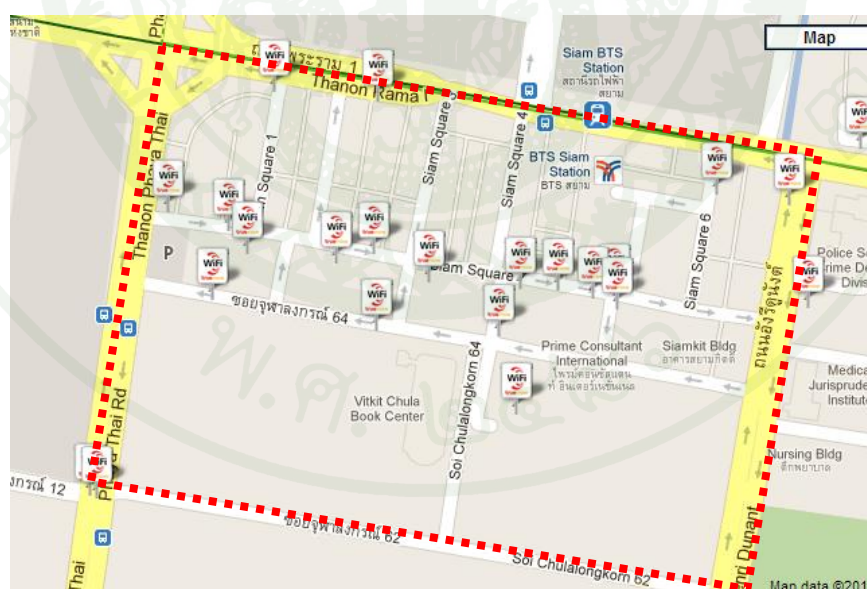
ภาพที่ 35 ข้อมูลการให้บริการเครือข่าย WiFi ของบริษัททรูมูฟ บริเวณพื้นที่สยามสแควร์

ที่มา: <http://www.truewifi.net>

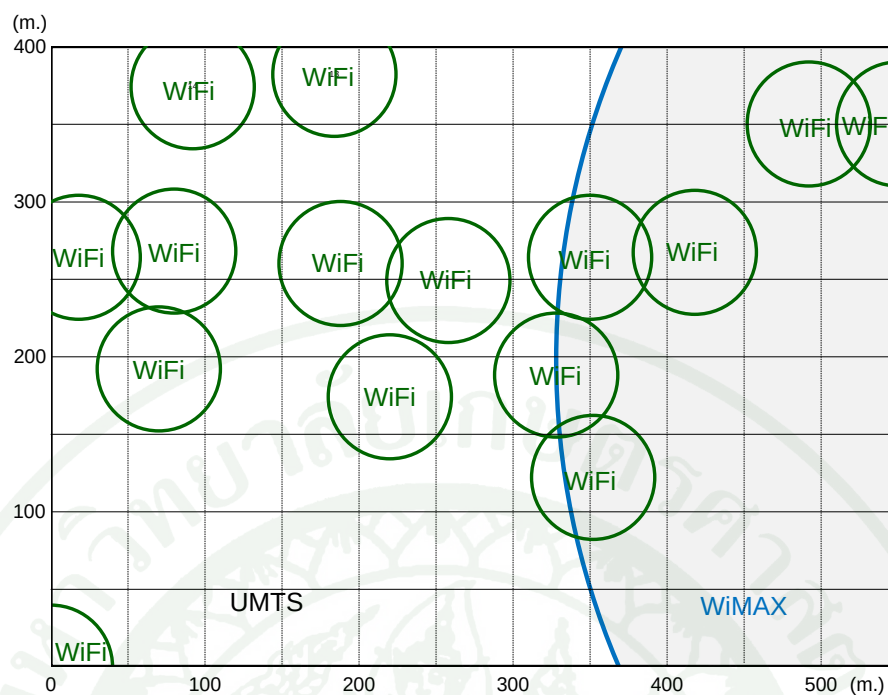
ซึ่งในการทดลองจะกำหนดให้อุปกรณ์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่แบบสุ่มในพื้นที่ขนาด 400 x 550 ตารางเมตร แสดงดังภาพที่ 36 และมีการกระจายตัวของพื้นที่การให้บริการของเครือข่าย UMTS ครอบคลุมพื้นที่ที่ทำการทดลอง 100 % ในส่วนการกระจายตัวของพื้นที่ให้บริการของเครือข่าย WiFi และ WiMAX มีการกระจายตัวแสดงตามภาพที่ 37 รวมถึงการทดลองในกระบวนการแบบ centralized ที่มีข้อมูลของจุดให้บริการเพียงบางส่วน จะมีตำแหน่งจุดให้บริการของเครือข่าย WiFi บางส่วนที่ขาดหายไปแสดงดังภาพที่ 38 และทำการกำหนดพารามิเตอร์ในการทดลองแสดงดังตารางที่ 13 ความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่อยู่ในช่วง 0-3 m/s และมีการหยุดการเคลื่อนที่เป็นช่วงๆ จำนวน 9 รูปแบบ โดยมีรูปแบบการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่แสดงตามแสดงดังภาพที่ 39 และ 40

ในการทดลองที่ 5 นี้จะทำการทดลองในรูปแบบเดียวกับการทดลองที่ 4 โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

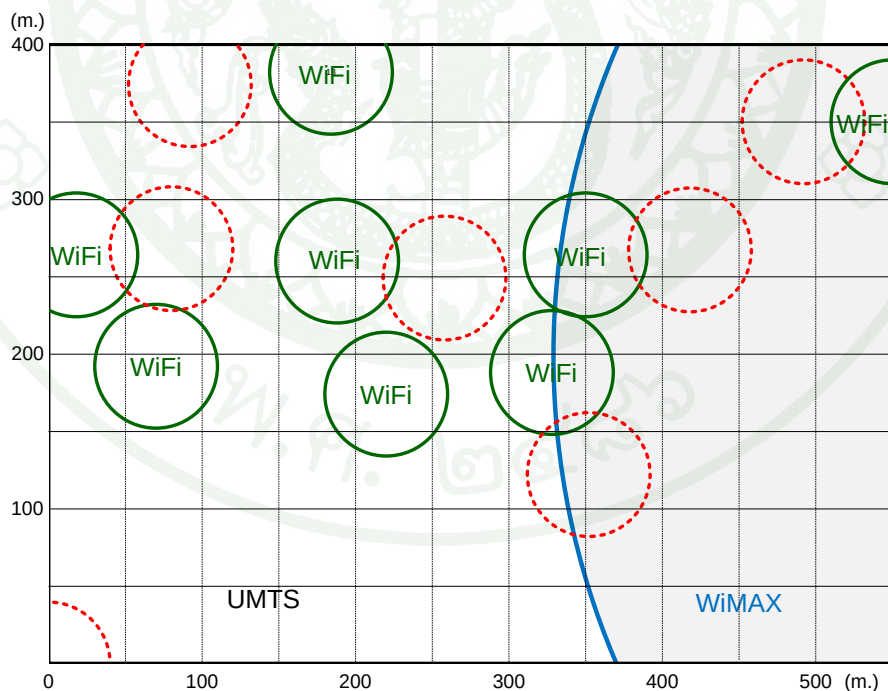
1. กระบวนการแบบเดิม คือ ทำการเปิดสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตอยู่ตลอดเวลา
2. กระบวนการทำงานแบบ OOP ที่ทำการกำหนดช่วงเวลาในการปิดสแตนด์บายอินเทอร์เน็ต แบบคงที่ด้วยเวลา 5, 10, 15, 30, 60 และ 120 วินาที
3. กระบวนการ centralized ที่มีศูนย์ข้อมูลกลางช่วยเหลือโดยทราบตำแหน่งสถานีฐานของเครือข่าย WiMAX 100% และทราบตำแหน่งแอคเซสพอยต์ของเครือข่าย WiFi 100% (centralized 100%)
4. กระบวนการ centralized ที่มีศูนย์ข้อมูลกลางช่วยเหลือโดยทราบตำแหน่งสถานีฐานของเครือข่าย WiMAX 100% และทราบตำแหน่งแอคเซสพอยต์ของเครือข่าย WiFi 50% (centralized 50%, 8 จาก 15)



ภาพที่ 36 ขอบเขตการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการทดลองที่ 5



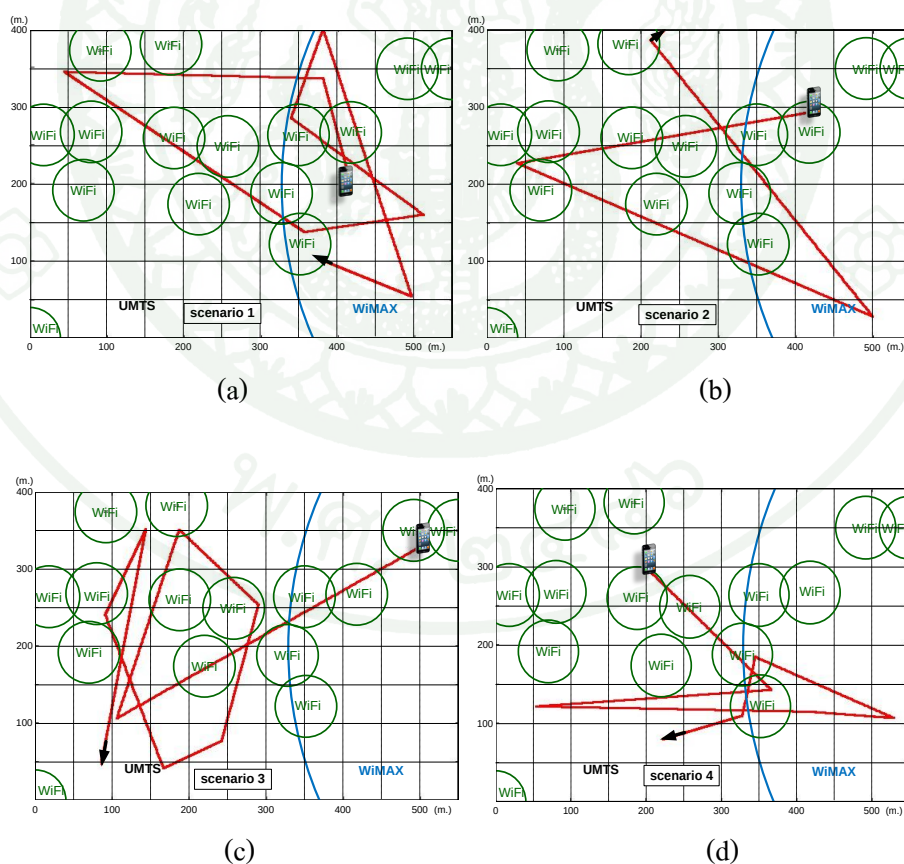
ภาพที่ 37 โครงสร้างของเครือข่ายในการทดลองที่ 5



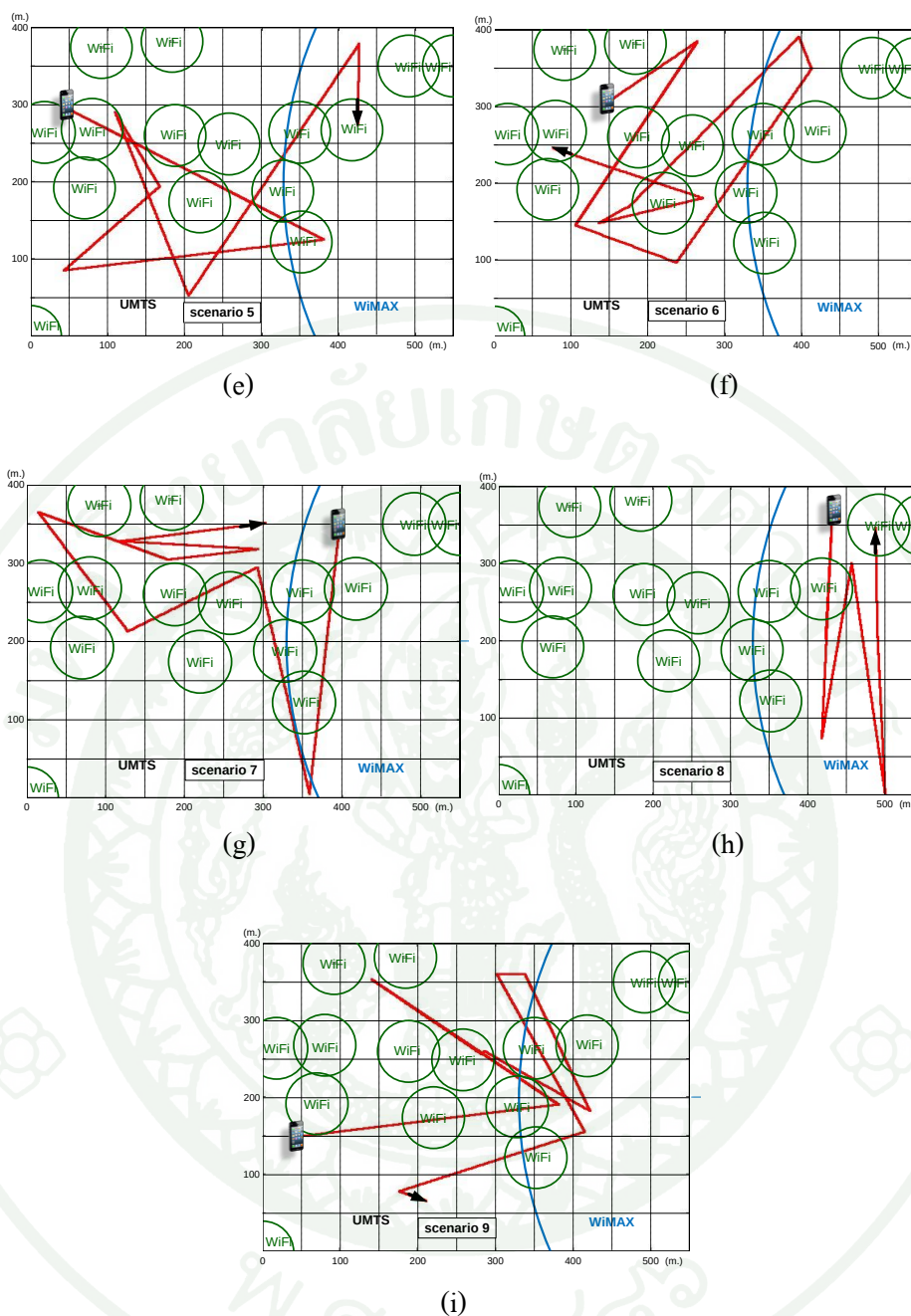
ภาพที่ 38 โครงสร้างของเครือข่ายในการทดลองที่ 5 ในกรณีที่อุปกรณ์เคลื่อนที่มีข้อมูลบางส่วน

ตารางที่ 13 การตั้งค่าพารามิเตอร์ในการทดลองที่ 5

Parameters	Description
Simulation time	5,400 sec
Topology	550 m × 400 m
mobile device interfaces	UMTS, WiMAX and WiFi
Number of mobile device(s)	1 mobile device
Number of UMTS base station(s)	1 base station (All area)
Number of WiMAX base station(s)	1 base station (500 m)
Number of WiFi access point(s)	15 AP (40 m)
Application/Traffic	CBR(256 kbps), 1,000-byte pkt. Size
Mobility pattern	Random waypoint (0-3 m/s)



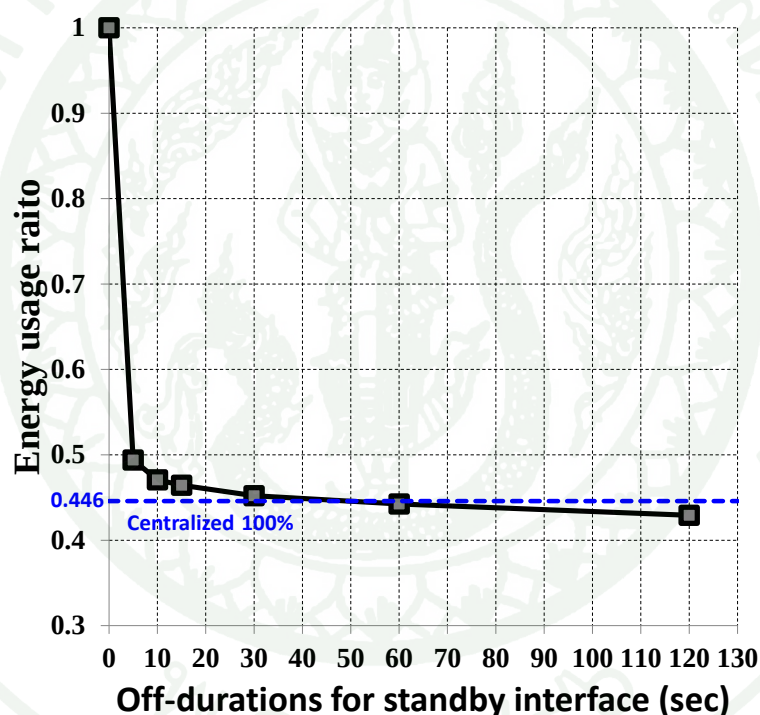
ภาพที่ 39 ข้อมูลการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการทดลองที่ 5



ภาพที่ 40 ข้อมูลการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในการทดลองที่ 5 (ต่อ)

จากผลการทดลองของการใช้พลังงานของอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่เกิดขึ้นเมื่อทำการเปรียบเทียบกับกระบวนการแบบเดิม เมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งานแสดงดังภาพที่ 41 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อทำการเพิ่มระยะเวลาในปิดอินเตอร์เฟซยาวนานขึ้น การใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจะมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการทำงานในรูปแบบเดิม และมีแนวโน้มลดลงเมื่อทำการเลือกช่วงเวลาในการปิดอินเตอร์เฟซเป็นในระยะเวลายาวนานขึ้น รวมถึงเมื่อทำการเปรียบเทียบกับการใช้พลังงาน

ในกระบวนการ centralized ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นมีค่าใกล้เคียงกัน และหากพิจารณาประสิทธิภาพของการประหยัดพลังงานที่เกิดขึ้นแสดงตามตารางที่ 14 จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานในกระบวนการ centralized เปรียบเทียบกับกระบวนการทำงาน OOP มีค่าใกล้เคียงกัน ในการกำหนดช่วงเวลาปิดอินเตอร์เฟสที่ 30 และ 60 วินาที แต่ในการกำหนดระยะเวลาปิดอินเตอร์เฟสที่ 120 วินาที จะสามารถประหยัดพลังงานที่สูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากการเลือกใช้ระยะเวลาปิดอินเตอร์เฟสที่ 120 วินาที นั้นมีการตรวจพบเครือข่ายล่าช้าทำให้ระยะเวลาในการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย WiFi และ WiMAX ซึ่งมีการใช้อัตราสิ้นเปลืองพลังงานในการรับและส่งข้อมูลสูงกว่าเครือข่าย UMTS มีระยะเวลาสั้นลงไป จึงทำให้ดูเหมือนว่ามีการใช้พลังงานต่ำกว่ากระบวนการ centralized

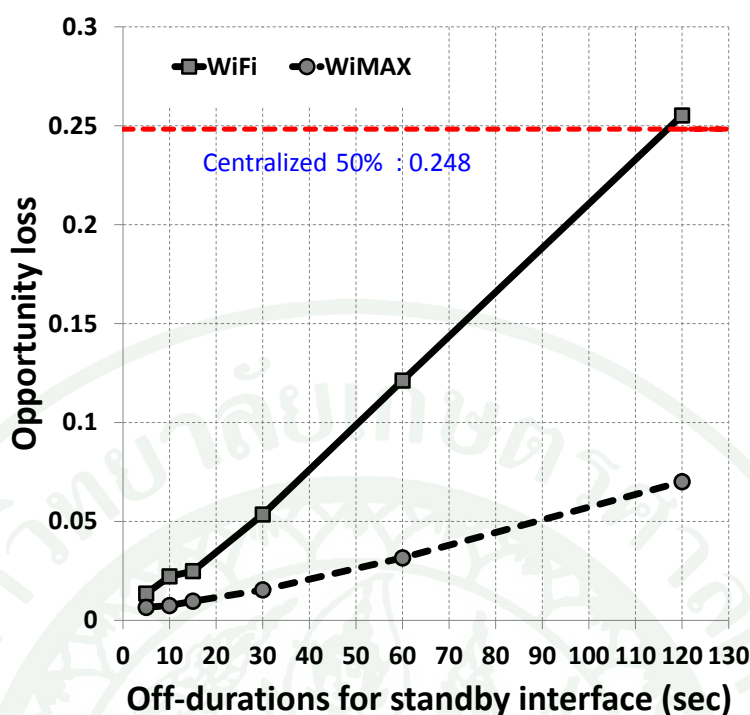


ภาพที่ 41 อัตราการใช้พลังงานของในกระบวนการ OOP และกระบวนการ centralized ในการทดลองที่ 5

ตารางที่ 14 ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงานในกระบวนการ OOP และกระบวนการ centralized ในการทดลองที่ 5

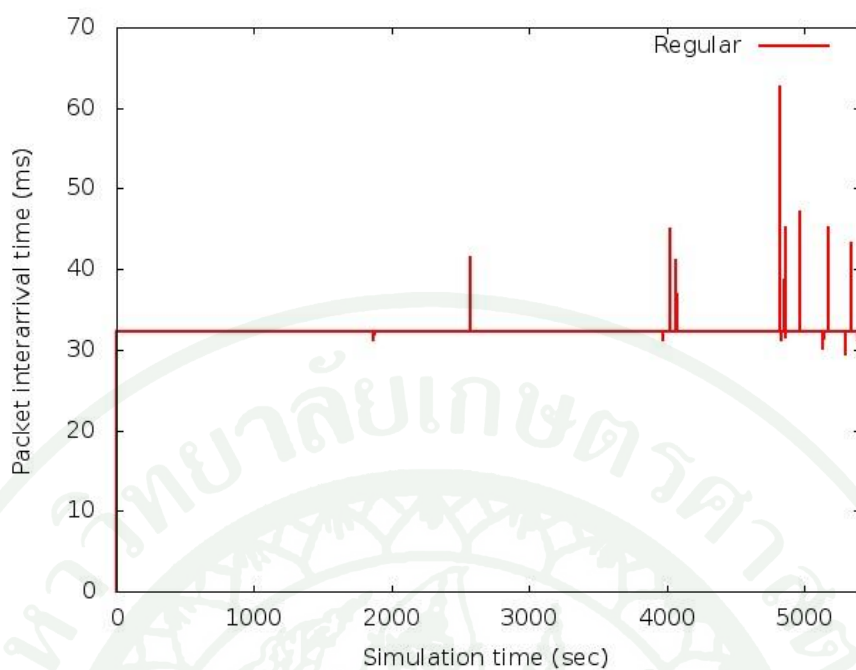
กระบวนการ	ประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน
	เปรียบเทียบกับรูปแบบเดิม
OOP 5 sec	50.60% $\pm$ 6.16
OOP 10 sec	52.93% $\pm$ 5.58
OOP 15 sec	53.56% $\pm$ 5.44
OOP 30 sec	54.79% $\pm$ 5.19
OOP 60 sec	55.75% $\pm$ 4.86
OOP 120 sec	57.08% $\pm$ 4.65
centralized 50%	57.67% (41.83% with GPS) $\pm$ 5.34
centralized 100%	55.42% (39.58% with GPS) $\pm$ 4.68

และเมื่อพิจารณาผลกระทบการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เกิดขึ้น เมื่อทำการเลือกใช้งานช่วงเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตตามกระบวนการ OOP ค่าต่างๆ แสดงตามรูปที่ 42 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าเมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งาน จะมีผลให้ค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานเพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำการเพิ่มระยะเวลาในช่วงการปิดอินเทอร์เน็ต นอกจากนี้เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างกระบวนการ OOP กับกระบวนการ centralized ที่มีข้อมูลพิกัดตำแหน่งแอคเซสพอยต์ของเครือข่าย WiFi เพียง 50% จากจำนวนทั้งหมด (centralized 50%) มีค่าของการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เกิดขึ้นที่ 24.8% ซึ่งจะเห็นได้ว่ากระบวนการทำงานแบบ OOP ที่ช่วงเวลา 5-60 วินาที สามารถทำการตรวจพบเครือข่ายได้ครอบคลุมมากกว่ากระบวนการ centralized ในกรณีที่ไม่สามารถทราบข้อมูลครบถ้วน และในการกำหนดระยะเวลาการปิดอินเทอร์เน็ตไม่เกิน 30 วินาที จะมีค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานที่ต่ำกว่า 10%

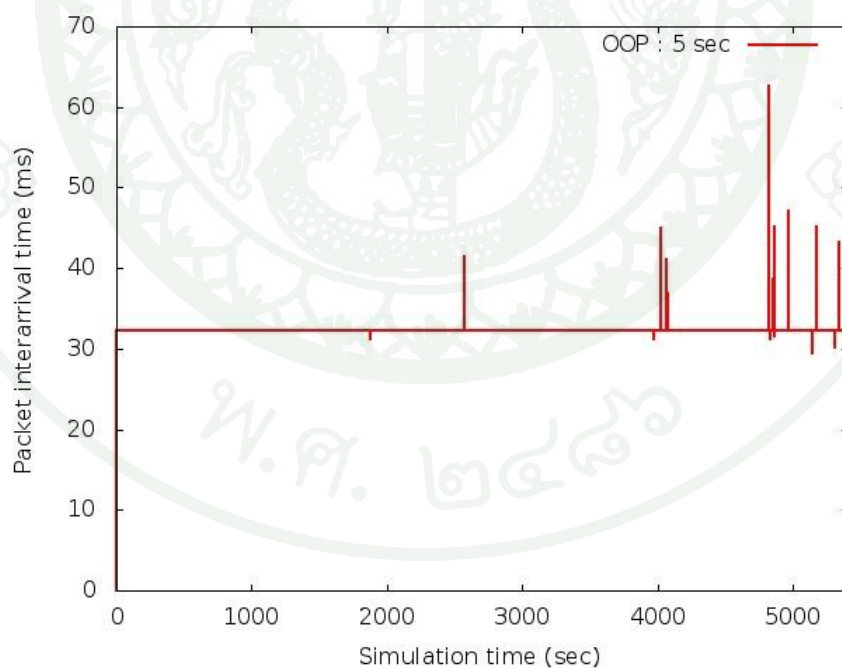


ภาพที่ 42 ค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานในกระบวนการ OOP และกระบวนการ centralized ในการทดลองที่ 5

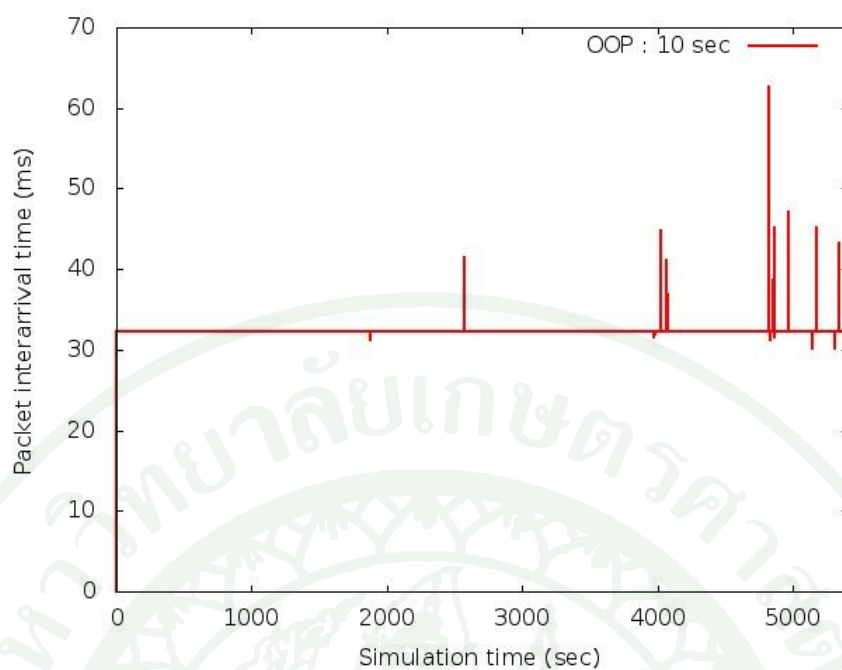
และเมื่อพิจารณาระยะเวลาห่างระหว่างแพ็คเก็ต (packet inter-arrival time) ที่มาถึงปลายทางแสดงดังภาพที่ 43-49 ซึ่งเป็นข้อมูลจากผลการทดลองรูปแบบที่ 1 จะเห็นได้ว่าในกระบวนการแบบเดิมกับกระบวนการ OOP มีความใกล้เคียงกัน ในการเลือกใช้ช่วงเวลาปิดอินเตอร์เฟซที่ 5, 10, 15 และ 30 วินาที ในส่วนช่วงเวลา 60 และ 120 วินาที จะมีการแตกต่างเล็กน้อยคือจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าระยะเวลาห่างระหว่างแพ็คเก็ตมีจำนวนลดลง เนื่องจากการไม่สามารถตรวจพบเครือข่ายใหม่ได้นั่นเอง ซึ่งหากพิจารณาโดยละเอียดจะเห็นว่า ณ จุดที่มีค่าของระยะเวลาห่างระหว่างแพ็คเก็ตมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นนั้น จะมีการขยับไปทางขวาของกราฟเมื่อเปรียบเทียบระหว่างการปิดอินเตอร์เฟซที่มีระยเวลาน้อยกว่า หรือเปรียบเทียบกับกระบวนการแบบเดิม ซึ่งเกิดจากการตรวจพบเครือข่ายล่าช้าในกระบวนการ OOP



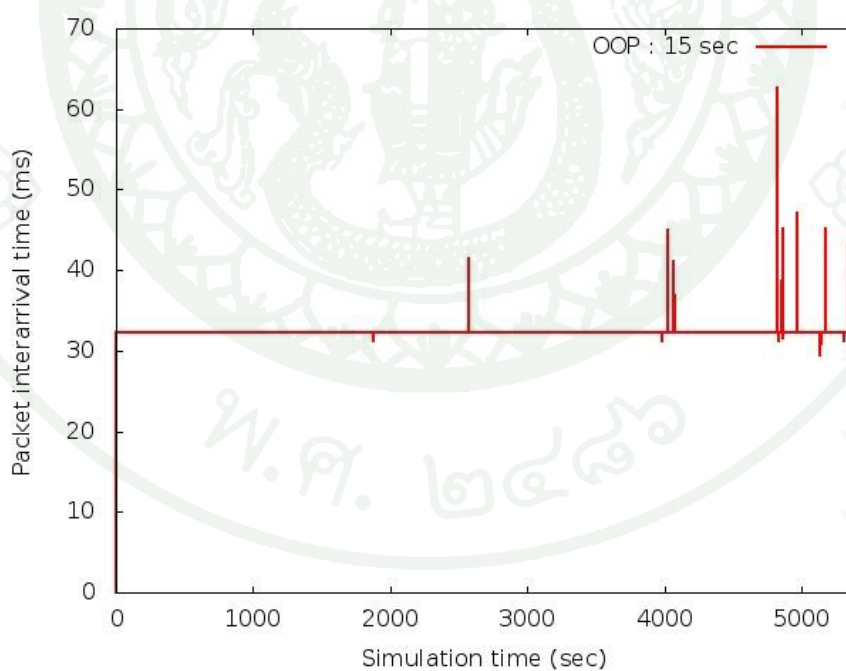
ภาพที่ 43 ระยะเวลาห่างระหว่างแพ็คเก็ตเกิดของการทดลองรูปแบบที่ 1 ในกระบวนการแบบเดิม



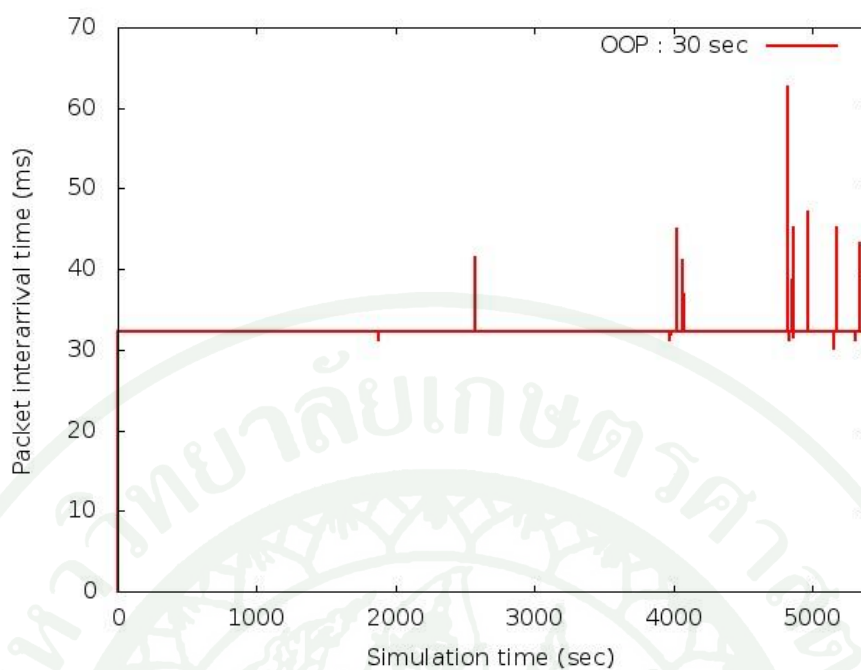
ภาพที่ 44 ระยะเวลาห่างระหว่างแพ็คเก็ตเกิดในการทดลองรูปแบบที่ 1 ในกระบวนการ OOP (5 sec)



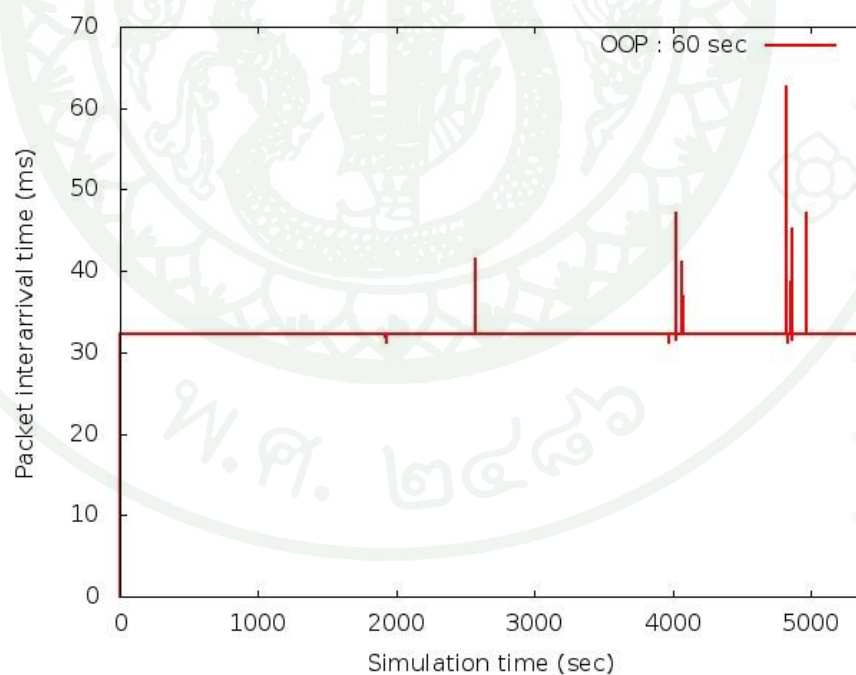
ภาพที่ 45 ระยะเวลาห่างระหว่างแพ็คเก็ตเกิดในการทดลองรูปแบบที่ 1 ในกระบวนการ OOP (10 sec)



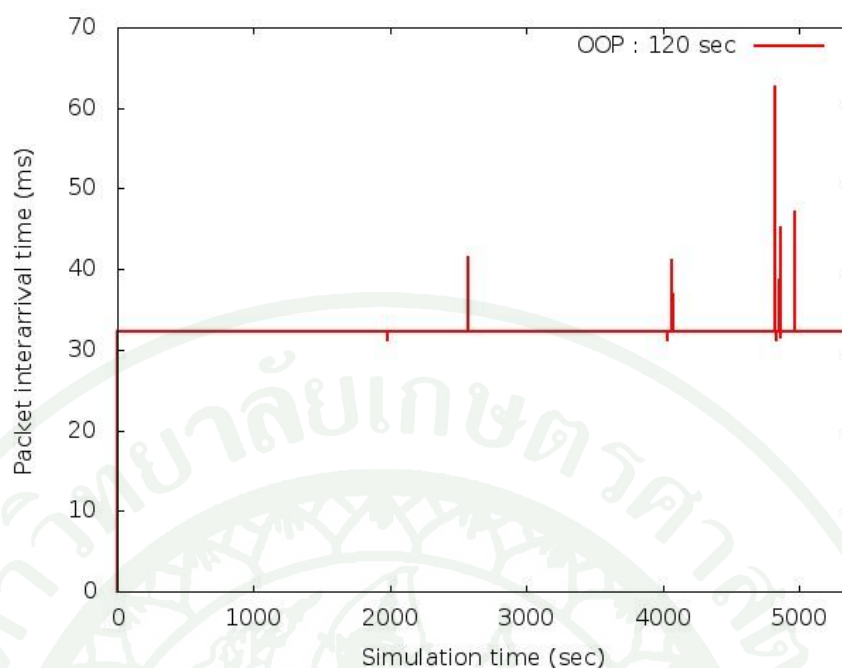
ภาพที่ 46 ระยะเวลาห่างระหว่างแพ็คเก็ตเกิดในการทดลองรูปแบบที่ 1 ในกระบวนการ OOP (15 sec)



ภาพที่ 47 ระยะเวลาห่างระหว่างแพ็คเก็ตเกิดในการทดลองรูปแบบที่ 1 ในกระบวนการ OOP (30 sec)

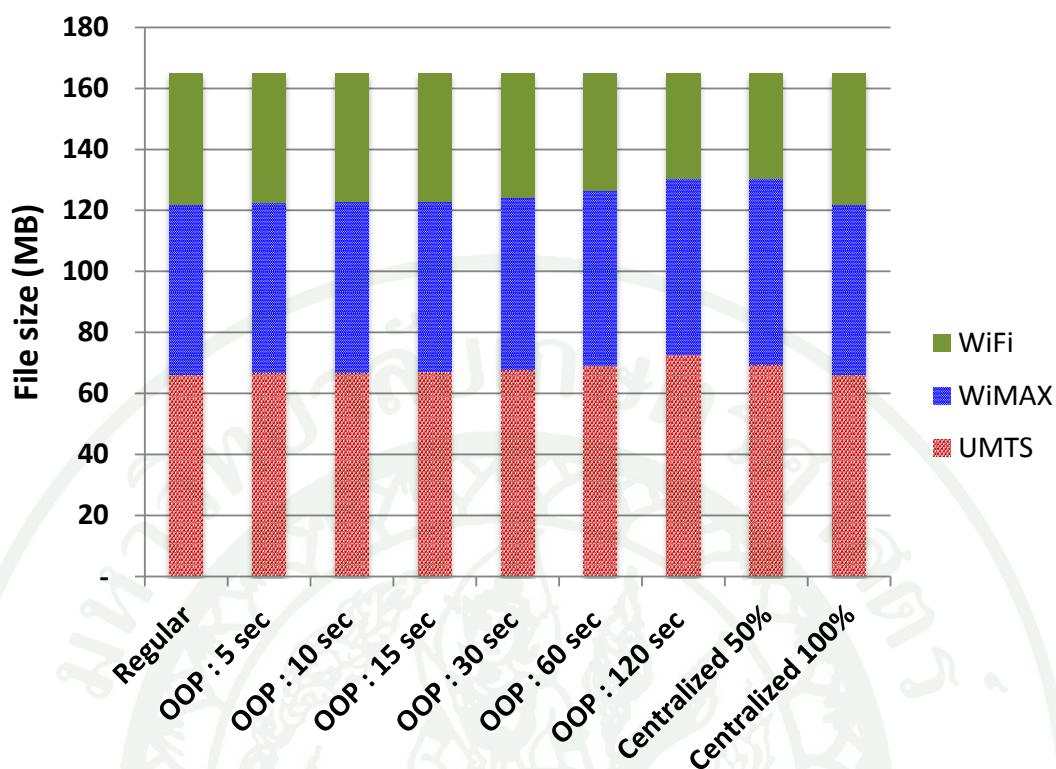


ภาพที่ 48 ระยะเวลาห่างระหว่างแพ็คเก็ตเกิดในการทดลองรูปแบบที่ 1 ในกระบวนการ OOP (60 sec)



ภาพที่ 49 ระยะเวลาห่างระหว่างแพ็คเก็ตเกิดในการทดลองรูปแบบที่ 1 ในกระบวนการ OOP (120 sec)

และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณการใช้งานอินเทอร์เน็ตเฟสของเทคโนโลยีต่างๆ ในการส่งข้อมูล แสดงดังภาพที่ 50 ซึ่งเป็นขนาดของข้อมูลที่ทำกรส่งผ่านอินเทอร์เน็ตเฟสของเทคโนโลยีต่างๆ เปรียบเทียบกันระหว่างกระบวนการ OOP กระบวนแบบเดิม และกระบวนการ centralized ที่มีข้อมูลของตำแหน่งจุดให้บริการ 100% และ 50% แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการเพิ่มระยะเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตเฟสในกระบวนการ OOP เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้การส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตเฟสของเครือข่าย WiFi และ WiMAX มีค่าลดลง และมีการใช้งานอินเทอร์เน็ตเฟสของเครือข่าย UMTS ในการส่งข้อมูลเพิ่มสูงขึ้น และในกระบวนการ centralized การส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตเฟสของเครือข่าย WiFi และ WiMAX มีค่าลดลง และจะมีการส่งข้อมูลผ่านอินเทอร์เน็ตเฟสของเครือข่าย UMTS เพิ่มสูงขึ้น เมื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่ที่ทราบข้อมูลของจุดให้บริการเพียงบางส่วน (centralized 50%) ซึ่งระยะเวลาในการใช้เครือข่าย UMTS ที่เพิ่มสูงขึ้นเกิดจากการตรวจพบเครือข่ายล่าช้า หรือการไม่ได้ตรวจสอบพบเครือข่ายที่มีคุณสมบัติที่ดีกว่า (WiFi, WiMAX) ทำให้ยังคงต้องมีการส่งข้อมูลผ่านเครือข่าย UMTS ต่อไปอีกระยะหนึ่ง ซึ่งค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดขึ้นจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากโดยทั่วไปแล้วเครือข่าย UMTS จะมีค่าใช้จ่ายในการเชื่อมต่อสูงที่สุด

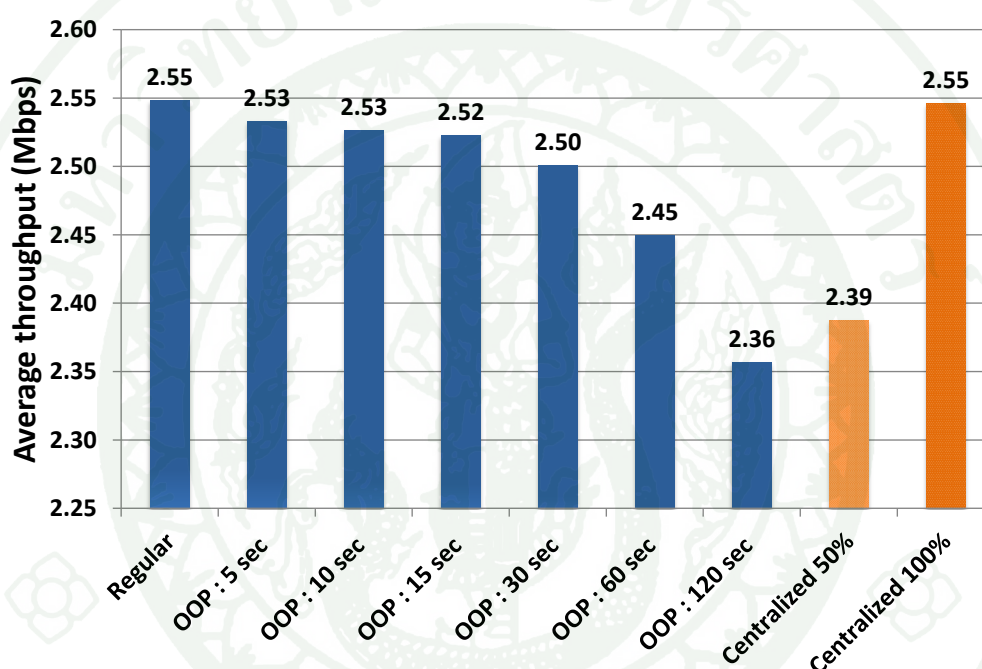


ภาพที่ 50 ขนาดของข้อมูลที่ส่งผ่านอินเทอร์เน็ตของเทคโนโลยีต่างๆ

และเพื่อที่จะพิจารณาผลกระทบของการใช้งานที่เกิดขึ้นเมื่อมีรูปแบบของอัตราการส่งแบบไม่คงที่ (VBR: Variable Bit Rate) โดยทำการคำนวณจากระยะเวลาการใช้งานของแต่ละอินเทอร์เน็ต และกำหนดให้แต่ละเทคโนโลยีมีอัตราความเร็วในการส่งข้อมูลแสดงตามตารางที่ 15 และผลจากการคำนวณแสดงค่าอัตราการผ่านของข้อมูลเฉลี่ย (average throughput) ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ตลอดระยะเวลาในการทดลอง แสดงดังภาพที่ 51 ผลจากการคำนวณเมื่อทำการกำหนดระยะเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตในกระบวนการ OOP เพิ่มสูงขึ้น จะมีผลให้อัตราการส่งผ่านข้อมูลเฉลี่ยของอุปกรณ์เคลื่อนที่ลดลง เนื่องจากการตรวจพบเครือข่าย WiFi และ WiMAX ล่าช้าทำให้เกิดการสูญเสียโอกาสในการส่งข้อมูลผ่านเทคโนโลยีที่มีอัตราการส่งข้อมูลที่สูงกว่า ซึ่งจะทำให้มีระยะเวลาในการส่งข้อมูลในอัตราที่สูงกว่ามีระยะเวลาดลดลง

ตารางที่ 15 อัตราการส่งข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ

Technology	Data rate (Mbps)
UMTS	1
WiMAX	2.5
WiFi	5



ภาพที่ 51 เปรียบเทียบอัตราการส่งผ่านข้อมูลเฉลี่ยในกระบวนการต่างๆ

เมื่อนำกระบวนการ OOP มาใช้งานสามารถลดการใช้พลังงานของสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตเฟสได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเมื่อมีการกำหนดให้ระยะเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตในค่าที่สูงจะมีผลกระทบต่อการใช้งานสูงขึ้นไปตาม ซึ่งมีผลต่อผู้ใช้ในลักษณะการเกิดการสูญเสียโอกาสในการเชื่อมต่อกับเทคโนโลยีที่มีอัตราการส่งข้อมูลที่มีค่าสูง หรือมีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นสืบเนื่องจากยังคงต้องมีการส่งข้อมูลผ่านเครือข่ายที่มีค่าใช้จ่ายในการเชื่อมต่อที่สูง เมื่อยังไม่สามารถตรวจพบเครือข่ายที่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า เป็นต้น นอกจากนี้เมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการ centralized กระบวนการ OOP สามารถประหยัดพลังงานได้ใกล้เคียงกัน และมีค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เกิดขึ้นที่ต่ำกว่ากระบวนการ centralized ในกรณีที่มีข้อมูลไม่ครบถ้วน

วิจารณ์

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อทำการปรับปรุงกระบวนการเปิดและปิดอินเตอร์เฟซตามกระบวนการ OOP นั้นสามารถลดการใช้พลังงานของสแตนด์บายอินเตอร์เฟซที่ใช้เพื่อทำการคอยตรวจสอบสัญญาณของเครือข่าย โดยช่วงเวลาในการปิดอินเตอร์เฟซที่เหมาะสมควรใช้ระยะเวลาในค่าที่ต่ำ เนื่องจากที่มีประสิทธิภาพของการประหยัดพลังงานมากกว่าการปิดอินเตอร์เฟซที่ค่าสูงที่ไม่สามารถลดการใช้พลังงานได้มากขึ้นกว่าเดิมมากนัก แต่กลับส่งผลกระทบต่อการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เพิ่มขึ้น

หากพิจารณาถึงผลกระทบต่อค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นเมื่อทำการเพิ่มระยะเวลาในการปิดอินเตอร์เฟซเพิ่มสูงขึ้น โดยอัตราการเพิ่มขึ้นของค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานของเครือข่ายที่มีพื้นที่ให้บริการขนาดใหญ่จะมีผลกระทบน้อยกว่าเครือข่ายที่มีพื้นที่ให้บริการขนาดเล็ก รวมถึงเมื่ออุปกรณ์เคลื่อนที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่เพิ่มสูงขึ้นจะมีผลให้ค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานเพิ่มสูงขึ้นตามเนื่องจากระยะเวลาในการใช้งานเครือข่ายรวมมีค่าลดลง

กระบวนการตัดสินใจเลือกระยะเวลาในการเปิดและปิดสแตนด์บายอินเตอร์เฟซ โดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อนำมาทำการคำนวณเพื่อเลือกช่วงเวลาที่เหมาะสมนั้น มีความจำเป็นน้อยมากเนื่องจากการกำหนดช่วงเวลาปิดอินเตอร์เฟซที่นานเกินไปไม่สามารถลดการใช้พลังงานได้มากนัก แต่กลับมีผลกระทบต่อการสูญเสียโอกาสใช้งานเพิ่มสูงขึ้น แต่ควรมีการพิจารณาเหตุการณ์ที่เหมาะสมกับการเลือกช่วงเวลาปิดอินเตอร์เฟซให้ยาวนานขึ้น เพื่อให้การประหยัดพลังงานมีค่าเพิ่มสูงขึ้นโดยไม่ส่งผลกระทบต่อการใช้งาน เช่น ในกรณีที่อุปกรณ์เคลื่อนที่ไม่มีการเคลื่อนที่ การกำหนดระยะเวลาในการปิดอินเตอร์เฟซตามขนาดของพื้นที่การให้บริการของแต่ละเครือข่าย หรือเมื่อระดับแหล่งจ่ายพลังงานมีค่าต่ำก็สามารถเลือกช่วงระยะเวลาปิดอินเตอร์เฟซในค่าที่สูง หรือทำการปิดอินเตอร์เฟซต่อเนื่องโดยยอมรับการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เกิดขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบกระบวนการ OOP กับกระบวนการ centralized แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานมีความแตกต่างเพียงเล็กน้อย แต่หากพิจารณาถึงการใช้พลังงานเพื่อใช้ในการตรวจสอบตำแหน่งในของอุปกรณ์เคลื่อนที่ในกระบวนการ centralized มีความเป็นไปได้ที่ระดับการใช้พลังงานเพิ่มสูงขึ้นจนอาจสูงกว่ากระบวนการ OOP

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยชิ้นนี้ได้นำเสนอกระบวนการบริหารจัดการอินเทอร์เน็ตเฟสโดยวิธีการเปิดและปิดอินเทอร์เน็ตแบบ On-Off Period หรือ OOP ที่รองรับคุณสมบัติในการใช้งาน Always Best Connected (ABC) ซึ่งสามารถลดปัญหาการใช้พลังงานของสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตในสภาพแวดล้อมการทำงานตามมาตรฐาน IEEE802.21 MIH ที่มีจำนวนอินเทอร์เน็ตเพิ่มขึ้น โดยยังคงมีคุณสมบัติของการใช้งานในรูปแบบ ABC ที่มีค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานในช่วงที่ยอมรับได้ และมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการบริหารจัดการแบบศูนย์กลาง

กระบวนการ OOP สามารถลดการใช้พลังงานของสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับการบริหารจัดการแบบศูนย์กลาง โดยไม่มีความจำเป็นต้องได้รับความช่วยเหลือจากศูนย์ข้อมูลกลาง ทำให้มีอิสระในการทำงานสามารถตรวจสอบเครือข่ายต่างๆ ที่เปิดให้บริการได้อย่างครบถ้วน รองรับการใช้งานในรูปแบบ ABC

ระยะเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตและความเร็วในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์เคลื่อนที่ที่เพิ่มสูงขึ้นจะมีผลกระทบต่อค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เพิ่มสูงขึ้น แต่ผลกระทบที่เกิดขึ้นจะมีค่าสูงมากกว่าในเครือข่ายที่มีพื้นที่ให้บริการขนาดเล็ก (เช่น WiFi) เมื่อเปรียบเทียบกับเครือข่ายที่มีพื้นที่ให้บริการที่มีขนาดใหญ่กว่า (เช่น WiMAX)

ระยะเวลาที่เลือกใช้ในระหว่างการปิดอินเทอร์เน็ตไม่มีความจำเป็นในการเลือกช่วงเวลาที่สูงเกินไป เนื่องจากไม่สามารถประหยัดพลังงานได้เพิ่มสูงขึ้น แต่กลับมีผลกระทบต่อค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานที่เพิ่มสูงขึ้น

กระบวนการในการตัดสินใจเลือกระยะเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ต โดยพิจารณาจากพารามิเตอร์ต่างๆ นั้น มีความจำเป็นน้อยมากเนื่องจากกรอบของระยะเวลาที่เหมาะสมในการเลือกช่วงเวลาปิดอินเทอร์เน็ตมีขอบเขตที่จำกัด แต่ควรพิจารณาถึงเหตุการณ์ที่เหมาะสมกับการเลือกช่วงเวลาปิดอินเทอร์เน็ตทดแทน เช่น อุปกรณ์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่ ระดับแหล่งจ่ายพลังงานมีค่าต่ำ ความเร็วในการเคลื่อนที่ที่มีค่าสูง เป็นต้น

จากการทดลองพบว่าระยะเวลาในการปิดอินเทอร์เน็ตที่เหมาะสมคือ 15-30 วินาที เนื่องจากสามารถลดการใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และยังคงมีค่าการสูญเสียโอกาสใช้งานต่ำ

ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากงานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลจากการกำหนดการทดลองที่ตั้งสมมุติฐานขึ้น อาจมีความแตกต่างหากนำเอารอบการทำงานของงานวิจัยนี้ไปใช้งานในสภาพแวดล้อมจริง ซึ่งผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นอาจมีความแตกต่างออกไป เช่น เมื่อมีการเปรียบเทียบความเหมาะสมในการเชื่อมต่อเครือข่ายโดยการพิจารณารายละเอียดจากพารามิเตอร์ต่างๆ หรือรูปแบบพฤติกรรมการใช้งานของผู้ใช้ เป็นต้น แต่มีความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไป

แนวทางที่นำเสนอในงานวิจัยชิ้นนี้เป็นการนำเสนอแนวทางเบื้องต้นในการพิจารณาความจำเป็นในการเปิดใช้งานสแตนด์บายอินเทอร์เน็ต เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพการใช้งานพลังงานสูงสุด ซึ่งไม่ได้มีการพิจารณาการบริหารจัดการพลังงานของสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตในกรณีที่มีการให้ความสำคัญต่อการประหยัดพลังงานและพร้อมที่จะลดประสิทธิภาพการใช้งาน ดังนั้นจึงควรทำการทดลองในเงื่อนไขอื่น ๆ เพิ่มเติม และควรกำหนดแนวทางในการนำกระบวนการในงานวิจัยชิ้นนี้ไปใช้งานร่วมกับการบริหารจัดการสแตนด์บายอินเทอร์เน็ตในรูปแบบศูนย์กลาง เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานสูงสุดต่อไป

งานวิจัยต่อไปที่ควรมีการศึกษาต่อเนื่องคือ การจำลองรูปแบบการเคลื่อนที่และความเร็วขนาดของพื้นที่การให้บริการของแต่ละเทคโนโลยี รวมถึงการนำข้อมูลพฤติกรรมการใช้งานจริงของผู้ใช้มาทำการศึกษา เพื่อให้สามารถพัฒนากระบวนการทำงานให้เกิดประสิทธิภาพเพิ่มสูงขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

อนันต์ ผลเพิ่ม. 2550. **แลนไร้สาย**. บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

Cheoleun, M., S. Yang and I. Yeom. 2007. Performance analysis of decentralized RAN (radio access network) discovery schemes for IEEE 802.21, pp. 41–45. *In **Vehicular Technology Conference, 2007. VTC-2007 Fall.*** 30 September – 3 October 2007, Baltimore, MD, USA.

Chamodrakas, I. and D. Martakos. 2011. A utility-based fuzzy TOPSIS method for energy efficient network selection in heterogeneous wireless networks. ***Applied Soft Computing*** 12(7): 3734–3743.

Chuchuay, J. and A. Phonphoem. 2007. A decision model for choosing suitable wireless technologies, pp. 363–371. *In **The 11th National Computer Science and Engineering Conference (NCSEC 2007)***, 19-21 November 2007, Bangkok, Thailand.

Chowdhury, M., Y. M. Jang, C. S. Ji, S. Choi, H. Jeon, J. Jee, and C. Park. 2009. Interface selection for power management in UMTS/WLAN overlaying network, pp. 795 –799. *In **Advanced Communication Technology, 2009. ICACT 2009. (ICACT 2009) (5 VOLS)***. 15-18 February 2009, Gangwon-Do, South Korea.

Gustafsson, E. and A. Jonsson. 2003. Always Best Connected. ***IEEE Wireless Communications*** 10(1): 49 – 55.

IEEE Computer Society. 2009. **IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks-Part 21: Media Independent Handover. IEEE 802.21 Standard.**

Information Sciences Institute (ISI). 1999. **The network simulator – ns-2.**

Available Source: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>, September 16, 2010.

Lin, C.L., C.H. Ho and J.Y. Pan. 2008. Hand-off evolution with multiple interfaces.

IT Professional 10(5): 22–28.

Lim, W.S., D.W. Kim, Y.J. Suh and J.J. Won. 2008. Efficient WLAN discovery schemes based on IEEE 802.21 MIH services in heterogeneous wireless networks, pp. 1 –5. *In Global Telecommunications Conference, 2008. IEEE GLOBECOM 2008*. 30 November - 4 Decumber 2008, New Orleans, LA, USA.

National Institute of Standards and Technology (NIST). 2009. **Seamless and secure mobility project**. Available Source:

http://www.nist.gov/itl/anttd/emntg/ssm_seamlessandsecure.cfm, September 14, 2010.

Nounkaw, N., A. Jansang and A. Phonphoem. 2013. On-Off Period Mechanism for Supporting Always Best Connected in IEEE 802.21 MIH Services. **International Journal of Future Computer and Communication** 2(5): 418-422.

Paek, J., J. Kim and R. Govindan. 2010. Energy-Efficient Rate-Adaptive GPS-based Positioning for Smartphones, pp. 299-314. *In Proceedings of the 8th international conference on Mobile systems (MobiSys '10)*. 15-18 June 2010, San Francisco, CA, USA.

Pontes, A.B., D.D.P. Silva, J. Jailton, O. Rodrigues and K.L. Dias. 2008. Handover management in integrated WLAN and mobile WiMAX networks. **IEEE Wireless Communications** 15(5): 86–95.

Seo, S. and J. Song. 2009. An energy-efficient interface selection for multimode terminals by utilizing out-of-band paging channels. **Telecommunication Systems** 42(1-2): 151–161.

Shin, S., C. Kang and S.-H. Oh. The performance comparison between WiBro and HSDPA, pp. 346 – 350. *In Wireless Communication Systems, 2005. 2nd International Symposium on*. 7 September 2005, Siena, USA.

Vuong, N., Q.T., N. Agoulmine and Y.G. Doudane. 2008. A user centric and context-aware solution to interface management and access network selection in heterogeneous wireless environments. **Computer Networks** 52(18): 3358 – 3372.



ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นววิธ นวลขาว
วัน เดือน ปี ที่เกิด	24 กันยายน 2526
สถานที่เกิด	อำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช
ประวัติการศึกษา	วศ.บ. (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรระดับ 5
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เขต 2 ภาคใต้ จังหวัดนครศรีธรรมราช