

การลดต้นทุนการสัญญาณในไอพีเคลื่อนที่โดยใช้การเพจสองชั้นตอนในพื้นที่การเพจย่อย
ภายนอก และ ปรับเปลี่ยนการเพจตามผู้ใช้แต่ละคนในพื้นที่การเพจย่อยภายใน

นายผลประดิษฐ์ พุมมาวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

REDUCTION OF MOBILE IP SIGNALING COST BY USING TWO STEP PAGING IN
EXTERNAL SUB-PAGING AREA AND ADAPTIVE INDIVIDUAL PAGING IN INTERNAL
SUB-PAGING AREA

Mr. Phonepadith Phoummavong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Electrical Engineering

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การลดต้นทุนการสัญญาณในไอพีเคลื่อนที่โดยใช้การเพจ
สองขั้นตอนในพื้นที่การเพจย่อยภายนอกและปรับเปลี่ยน
การเพจตามผู้ใช้แต่ละคนในพื้นที่การเพจย่อยภายใน

โดย

นายผลประดิษฐ์ พุ่มมาวงศ์

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร.วาทีต เบญจพลกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศศิริวงษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญจกร วุฒิสิริทกุลกิจ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทีต เบญจพลกุล)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวนดิศ อิศวกุล)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.บงการ หอมนาน)

ผลประดิษฐ์ พุฒมาวงศ์: การลดต้นทุนการสัญญาณในไอพีเคลื่อนที่ โดยใช้การเพจสองขั้นตอนในพื้นที่การเพจย่อยภายนอก และ ปรับเปลี่ยนตามผู้ใช้แต่ละคนในพื้นที่การเพจย่อยภายใน (REDUCTION OF MOBILE IP SIGNALING COST BY USING TWO STEP PAGING IN EXTERNAL SUB-PAGING AREA AND ADAPTIVE INDIVIDUAL PAGING IN INTERNAL SUB-PAGING AREA)

อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร. วาทิต เบญจพลกุล, 106 หน้า.

ปัจจุบันโครงข่ายไอพีเคลื่อนที่แบบไร้สายมีการใช้กันอย่างแพร่หลายรองรับผู้ใช้งานที่มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามกระบวนการลงทะเบียนแบบไม่จำเป็นสำหรับการติดตามการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งานก่อให้เกิดต้นทุนการสัญญาณที่สูงมากและส่งผลกระทบต่อความยืดหยุ่นของระบบ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องตรวจสอบว่าจะลดต้นทุนการสัญญาณในโครงข่ายไอพีเคลื่อนที่อย่างไร จากปัญหาข้างต้นงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการลดต้นทุนการสัญญาณในโครงข่ายไอพีเคลื่อนที่ โดยใช้การเพจสองขั้นตอนในพื้นที่การเพจย่อยภายนอก และการเพจแบบปรับเปลี่ยนตามผู้ใช้แต่ละคนในพื้นที่การเพจย่อยภายใน (Two Step Paging In External Sub-Paging Area and Adaptive Individual Paging in Internal Sub-Paging Area , TSAP-MIP) เพื่อลดต้นทุนการสัญญาณและจุดอ่อนของระบบที่มีพารามิเตอร์ของผู้ใช้งานที่แตกต่างกันไป. เมื่อเปรียบเทียบกับวิธี Two-Step Paging for Mobile IP (TSP-MIP) และวิธี Adaptive Individual Distributed Local Paging Scheme (ADLP-MIP) ผ่านทางการวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณในเชิงคณิตศาสตร์และการจำลองการทำงาน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า วิธี TSAP-MIP ที่เสนอมีต้นทุนการสัญญาณโดยรวมต่ำกว่า.

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้าลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้าลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2555

5370679321 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : MOBILE IP/ TWO STEP PAGING/ ADAPTIVE INDIVIDUAL PAGING

PHONPADITH PHOUMMAVONG : REDUCTION OF MOBILE IP SIGNALING COST BY USING TWO STEP PAGING IN EXTERNAL SUB-PAGING AREA AND ADAPTIVE INDIVIDUAL PAGING IN INTERNAL SUB-PAGING AREA.

ADVISOR: ASSOC. PROF. WATIT BENJAPOLAKUL.D.Eng, 106 pp.

Recently, Mobile IP has been widely used to support seamless internet user mobility. However, unnecessary registration process of Mobile IP system for tracking mobile users' movement causes large increase in signaling costs, and affects the scalability. Therefore, it is necessary to investigate how to reduce the signaling costs in Mobile IP. This paper proposes a Two Step Paging In External Sub-Paging Area and Adaptive Individual Paging in Internal Sub- Paging Area (TSAP-MIP) to reduce signaling costs and the sensitivity of the system with various user parameters. The main concept is to partition Sub-Paging Area and select the optimal paging sequence. The performance of the proposed TSAP-MIP is compared with those of two existing schemes, namely, Two-Step Paging for Mobile IP (TSP-MIP) and Adaptive Individual Distributed Local Paging Scheme (ADLP-MIP) via analysis and simulation results. The results show that the total signaling costs of TSAP-MIP is the lowest, compared with those of the two existing schemes.

Department :Electrical Engineering..... Student's Signature

Field of Study : ...Electrical Engineering..... Advisor's Signature

Academic Year :2012.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี จากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล ซึ่งได้ให้ความรู้ คำแนะนำและ ข้อคิดเห็นอันมีค่ายิ่ง รวมถึงหนังสือที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย อีกทั้งตรวจทานงานวิทยานิพนธ์ด้วยดี เสมอมา ตลอดจนอาจารย์ทุกท่านที่ได้กรุณาให้ความรู้ให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะซึ่งเป็น ประโยชน์กับงานวิจัย ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัญฉกร วุฒิสัทติกุลกิจ ประธานกรรมการสอบ วิทยานิพนธ์และกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวนดิศ อัครกุล รอง ศาสตราจารย์ ดร. บงการ หอมมาน ที่ได้สละเวลาอันมีค่าตลอดจนให้คำแนะนำ และแนวทางใน การปรับปรุงงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณโครงการทุนการศึกษา AUN/SEED-net ระดับปริญญาโทจาก JICA ประเทศญี่ปุ่นที่สนับสนุนงบประมาณการส่งเสริมการศึกษาและงานวิจัยตั้งแต่วันที่ 18 ตุลาคม พ.ศ. 2553 ถึง 17 ตุลาคม พ.ศ. 2555

ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องทุกคนที่ทำงานร่วมกันในห้องปฏิบัติการวิจัยศูนย์ เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีโทรคมนาคมทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่ดี เสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดาและครอบครัวที่ให้ความรัก ความ เข้าใจและแรงสนับสนุนที่ดีตลอดมาจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
บทที่	
1	บทนำ..... 1
	1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา..... 1
	1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์..... 5
	1.3 แนวทางวิทยานิพนธ์..... 5
	1.4 ขอบเขตและเป้าหมายของวิทยานิพนธ์..... 6
	1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 6
	1.6 วิธีดำเนินการวิจัย..... 6
2	หลักการพื้นฐานการทำงานของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 7
	2.1 โครงสร้างของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่..... 8
	2.2 หลักการทำงานของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ทั่วไป..... 9
	2.3 กระบวนการค้นหาตัวแทน (Agent discovery)..... 11
	2.3.1 รูปแบบข่าวสารที่ใช้ในกระบวนการค้นหาตัวแทน..... 12
	2.3.1.1 รูปแบบข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทน..... 12
	2.3.1.2 รูปแบบข่าวสารการประกาศจากตัวแทน..... 13
	2.4 กระบวนการลงทะเบียน (Registration)..... 16
	2.4.1 รูปแบบข่าวสารที่ใช้ในกระบวนการลงทะเบียน..... 17
	2.5 การสร้างอุโมงค์รับส่งข้อมูล (Tunneling)..... 21
	2.6 กระบวนการรับและส่งแพ็กเก็ตของโนดเคลื่อนที่..... 22

บทที่

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	23
2.7.1 กระบวนการเพจ.....	24
2.7.2 การปรับปรุงระบบการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของโพรโทคอล ไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของกระบวนการเพจโดยอาศัย หลักการ Location area paging scheme.....	26
2.7.2.1 P-MIP.....	26
2.7.2.2 DLP-MIP: Distributed Local Paging Scheme for Mobility Management in Mobile IP	31
2.7.2.3 TSP-MIP: Two-Step Paging for Mobile IP	33
2.7.3 การปรับปรุงระบบการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของโพรโทคอล ไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของกระบวนการเพจโดยอาศัย หลักการ Adaptive Paging scheme.....	35
2.7.3.1 Extending Mobile IP with adaptive individual paging.....	35
2.7.3.2 An Adaptive Per-Host IP Paging Architecture	37
2.7.3.3 ADLP-MIP: Adaptive Individual Distributed Local Paging Scheme for Reducing Signaling Costs in Mobile IP.....	38
2.7.3.4 An Adaptive Dynamic Scheme For A Dynamic Paging Performance In Hierarchical Mobile IPv6.....	39
2.7.4 การปรับปรุงระบบการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของโพรโทคอล ไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของกระบวนการเพจโดยอาศัย หลักการ Selective Paging scheme.....	40
2.7.4.1 A Cost-Effective Approach to Selective IP Paging Scheme Using Explicit Multicast.....	40

บทที่		หน้า
3	วิธีการที่นำเสนอ.....	42
	3.1 วิธีการที่นำเสนอ.....	42
	3.1.1 หลักการสร้างพื้นที่การเพจ (Paging area construction).....	43
	3.1.2 การตรวจวัดการเคลื่อนที่ (Movement detection).....	44
	3.1.3 กระบวนการเพจ (Paging).....	46
	3.1.5 การจัดการข้อมูล (Data handling).....	53
	3.2 การวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณในวิธีการที่นำเสนอในเชิง คณิตศาสตร์.....	55
	3.2.1 การวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณของวิธี TSAP-MIP และ ของวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ.....	55
	3.3 การคำนวณขนาดพื้นที่การเพจย่อยภายในแบบ Adaptive Individual Paging.....	63
	3.4 การคำนวณต้นทุนการสัญญาณการเพจทั้งหมดของวิธี TSAP-MIP..	66
	3.5 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงที่เกิดจากการเพจ (The average paging delay) ในวิธีการที่นำเสนอในเชิงคณิตศาสตร์.....	69
4	ผลการวิจัย.....	71
	4.1 ผลการวิเคราะห์.....	71
	4.1.1 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการ สัญญาณ.....	72
	4.1.2 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการ สัญญาณ.....	75
	4.1.3 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ	81
	4.1.4 ผลกระทบของระยะทางระหว่าง HA กับ FA ($d_{FA,HA}$) ที่มีต่อ ต้นทุนการสัญญาณ.....	84
	4.1.5 ผลกระทบของความหนาแน่นของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการ สัญญาณ.....	85
	4.1.6 ผลกระทบของ Active ratio (α) ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ...	86

บทที่

4.1.7	ผลกระทบของ Data session rate (λ) ที่มีต่อต้นทุนการ สัญญาณ.....	87
4.1.8	ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงที่เกิดจากการเพจ (The average delay) ในวิธี TSAP-MIP เทียบกับวิธี DLP-MIP และ วิธี TSP-MIP จากการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์.....	92
4.2	แบบจำลองโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบ.....	93
4.3	ผลการจำลองการทำงาน.....	95
4.3.1	ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการ สัญญาณ.....	95
4.3.2	ผลกระทบของ Data session rate ที่มีต่อต้นทุนการ สัญญาณ.....	98
		137
5	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	102
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	102
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	103
	รายการอ้างอิง.....	104
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	106

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3.1	ความหมายของตัวแปรในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสัญญาณ.....	61
4.1	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสัญญาณ.....	72
4.2	ผลการวัดประสิทธิภาพ TSAP-MIP ที่ทำได้	101

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	การทำงานของ Mobile IP	2
2.1	รูปแบบข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทน.....	12
2.2	รูปแบบข่าวสารการประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement).....	13
2.3	รูปแบบข่าวสารร้องขอการลงทะเบียน.....	18
2.4	ส่วน Fixed-Length Portion ของข้อความตอบรับการลงทะเบียน.....	18
2.5	การลงทะเบียนบนชายเชื่อมโยงข้อมูลต่างพื้นที่ โดยใช้ CoA ของ FA.....	20
2.6	การลงทะเบียนจากที่อยู่ co-located CoA.....	20
2.7	การถอนการลงทะเบียน เมื่อ MN เคลื่อนที่กลับมายังโครงข่ายบ้าน.....	21
2.8	การสร้างอุโมงค์รับส่งข้อมูล (Tunneling).....	22
2.9	เส้นทางการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังโนดเคลื่อนที่.....	29
2.10	ลักษณะการทำงานของ P-MIP.....	29
2.11	การทำงานของวิธี DLP-MIP.....	33
2.12	ลักษณะพื้นที่การเพจของ TSP-MIP	34
2.13	รูปการแบบส่งข้อมูล TSP-MIP	34
2.14	ลักษณะการทำงานของ Extending Mobile IP with adaptive Individual Paging.....	36
2.15	ตัวอย่างขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจในวิธี Adaptive Per-Host IP Paging.....	38
2.16	ตัวอย่างขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจในวิธี ADLP-MIP.....	39
2.17	ลักษณะการทำงานของ Selective IP paging scheme.....	41
3.1	ลักษณะของแยกพื้นที่ Internal SPA และ External SPA แบบ Non-overlapping PA.....	44
3.2	การทำงานของวิธี TSAP-MIP	49
3.3	แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงสถานะของ MN.....	49
3.4	ภาพโครงสร้างของระบบ.....	50
3.5	ภาพโครงสร้างพื้นที่การเพจย่อยภายใน 1 เซลล์	50
3.6	แบบจำลองลักษณะของพื้นที่การเพจภายใน.....	52

3.7	ขั้นตอนในกระบวนการเพจในวิธีที่เสนอ.....	54
3.8	แบบจำลองลักษณะของพื้นที่การเพจสำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนการ สัญญาณ.....	56
3.9	ภาพโครงสร้างจำนวนเซลล์เมื่อค่า Tier ที่ i เพิ่มขึ้น.....	63
4.1	ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละ วิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาทีและใช้สถาปัตยกรรมแบบ macro system.....	72
4.2	ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละ วิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 20 เมตรต่อวินาทีและใช้สถาปัตยกรรมแบบ micro system.....	73
4.3	ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละ วิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาทีและใช้สถาปัตยกรรมแบบ pico system.....	73
4.4	ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีเมื่อ ขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 36 เซลล์และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008/s ใน ระบบ macro system	76
4.5	ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีเมื่อ ขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 72 เซลล์และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008/s ใน ระบบ macro system.....	76
4.6	ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีเมื่อ ขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 144 เซลล์และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008/s ใน ระบบ macro system.....	77
4.7	ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีเมื่อ ขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 144 เซลล์และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0016/s ใน ระบบ macro system.....	78
4.8	ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีเมื่อ ขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 144 เซลล์และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0016/s และ $\sigma_{air} = 3$	78
4.9	ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีเมื่อ ขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 144 เซลล์และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.00001/s ใน	

	ระบบ macro system.....	79
4.10	ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีเมื่อขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 144 เซลล์และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0/s ในระบบ macro system.....	80
4.11	ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที ในระบบ macro system.....	81
4.12	ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 20 เมตรต่อวินาที ในระบบ macro system.....	82
4.13	ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที ในระบบ macro system.....	82
4.14	ผลกระทบของ $d_{FA,HA}$ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณเมื่อขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 144 เซลล์และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008/s.....	84
4.15	ผลกระทบของ ρ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดของพื้นที่การเพจมีขนาดเท่ากับ 144 เซลล์และผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที.....	85
4.16	ผลกระทบของ α ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 144 เซลล์และผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที....	86
4.17	ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที และระบบมี R_w เท่ากับ 4 ในระบบ macro system.....	89
4.18	ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที และระบบมี R_w เท่ากับ 8.....	89
4.19	ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที และระบบมี R_w เท่ากับ 4.....	90
4.20	ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที และระบบมี R_w เท่ากับ 8.....	90
4.21	ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงที่เกิดจากการเพจในวิธี TSAP-MIP เทียบกับวิธี DLP-MIP และ TSP-MIP จากการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 1.39 เมตรต่อวินาที ในระบบ micro system.....	92
4.22	รูปแบบโครงข่ายบริการที่ใช้ในการจำลองแบบ.....	93

4.23	ลักษณะการเคลื่อนที่ของ MN ในแบบ Pure random.....	93
4.24	ลักษณะการเคลื่อนที่ของ MN ในแบบ Pure two-way.....	94
4.25	ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณเมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure random $\lambda = 0.0016$	95
4.26	ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ MN เคลื่อนที่แบบ Pure random ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณเมื่อขยายพล็อตแล้วตัด Mobile IP ออก $\lambda = 0.0016$	96
4.27	ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณเมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way $\lambda = 0.0016$	97
4.28	ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณเมื่อขยายพล็อตแล้วตัด Mobile IP ออก $\lambda = 0.0016$	97
4.29	ผลกระทบของ Data session rate $\lambda = 0.008$ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure random.....	99
4.30	ผลกระทบของ Data session rate $\lambda = 0.008$ เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure random ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณเมื่อขยายพล็อตแล้วตัด Mobile IP ออก...	99
4.31	ผลกระทบของ Data session rate $\lambda = 0.008$ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way.....	100
4.32	ผลกระทบของ Data session rate $\lambda = 0.008$ เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณเมื่อขยายพล็อตแล้วตัด Mobile IP ออก...	100

บทที่ 1

บทนำ

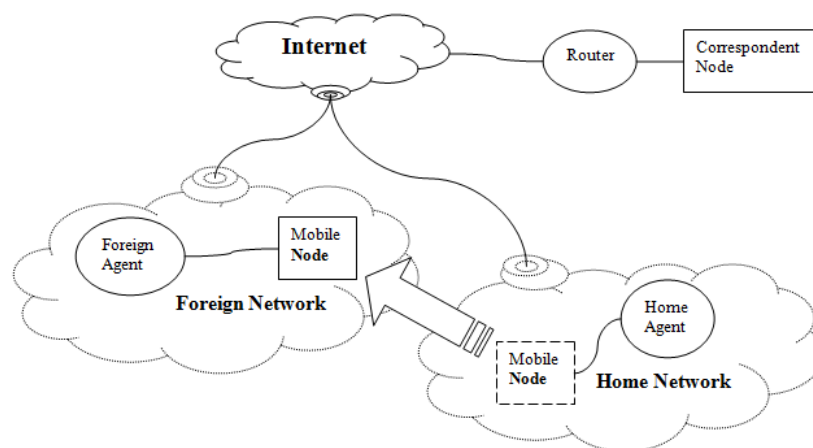
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันระบบโครงข่ายอินเทอร์เน็ตมีการให้บริการมีอัตราการเจริญเติบโตที่สูงมากจากจำนวนของผู้ใช้และผู้ให้บริการรวมถึงรูปแบบการให้บริการการสื่อสารบนอินเทอร์เน็ต 3.5G ที่มีความเร็วรับส่งข้อมูลสูงได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาตลอดเพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานของผู้ใช้บริการที่หลากหลายเพิ่มมากขึ้นในมือถือสมาร์ทโฟนในระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android), ระบบปฏิบัติการจากวินโดวส์ (Window OS) และ ระบบปฏิบัติการจากแอปเปิล (ISO, iPhone operating System) อาทิเช่น การรับส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์ (E-mail, Hotmail, Gmail), ระบบฝากไฟล์ออนไลน์ (Cloud), การโทรศัพท์ผ่านอินเทอร์เน็ต (Skype, Viber, Line, Tango), ฯลฯ ความต้องการใช้โครงข่ายอินเทอร์เน็ตเพื่อเป็นแหล่งพบปะสังสรรค์สร้างสังคมออนไลน์ (Social Network) อาทิเช่น เฟสบุ๊ก (Facebook), ทวิตเตอร์ (Twitter) และ วินโดวส์ไลฟ์ (WindowLive) ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย ส่งผลให้ปริมาณของผู้ใช้และผู้ให้บริการรวมถึงมีหลากหลายรูปแบบในการให้บริการที่เพิ่มขึ้นอีกต่อไป และ ผู้ใช้บริการยังต้องการการติดต่อสื่อสารที่สามารถเชื่อมต่อสื่อสารไปได้ทุกหนทุกแห่งและต้องการการเชื่อมต่อแบบเวลาจริง (Real time) สิ่งเหล่านี้จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่จะช่วยผลักดันให้มีการพัฒนาระบบอินเทอร์เน็ตเพื่อให้รองรับความต้องการของผู้ใช้บริการให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

อย่างไรก็ตามอินเทอร์เน็ตไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้บริการได้อย่างมีประสิทธิภาพเต็มที่ ขอบเขตของการใช้งานยังคงถูกจำกัดอยู่ ผู้ใช้บริการไม่สามารถใช้งานขณะมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงจากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่งได้ เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วระบบการสื่อสารแบบไอพี (Internet Protocol) ที่มีการใช้อยู่บนโครงข่ายอินเทอร์เน็ตแบบดั้งเดิมไม่สามารถรองรับการเคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการได้ เนื่องจากอินเทอร์เน็ตใช้การติดต่อสื่อสารตามหลักของมาตรฐานที่ซีพี/ไอพี (Transmission Control Protocol, TCP/IP) ซึ่งเป็นโพรโทคอลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสาร [1] ได้มีการเก็บที่อยู่ไอพี (IP address) ไว้ในแพ็กเก็ตข้อมูล แต่การที่จะใช้ที่อยู่ไอพีเดิมตลอดการสื่อสารเพียงอย่างเดียวนั้นไม่สามารถสนับสนุนการใช้งานแบบเคลื่อนที่ได้

ดังนั้นเพื่อรองรับการเคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการจึงได้มีการแก้ไขข้อจำกัดของโพรโทคอลไอพี (Internet Protocol) ที่มีการใช้อยู่ในระบบอินเทอร์เน็ตแบบเดิม โดยใช้มาตรฐานโพรโท

คอลไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP) [2] ซึ่งได้รับการออกแบบโดย Internet Engineering Task Force (IETF) เป็นการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของผู้ใช้อินเทอร์เน็ต ในเทคโนโลยีการเข้าถึง, อุปกรณ์สื่อสาร และการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ที่ถูกสร้างขึ้นเพื่อรักษาการติดต่อสื่อสารของโนดเคลื่อนที่ (Mobile Node, MN) ที่เคลื่อนที่ โดยกำหนดการทำงานในระดับชั้นโครงข่าย (Network layer) ซึ่งมีลักษณะเด่นแตกต่างจากโพรโทคอลที่ซีพี/ไอพี (TCP/IP) คือ โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ที่มีการอนุญาตให้ MN ใช้ที่อยู่ไอพีได้สองตัว นั่นคือ ที่อยู่ประจำบ้าน (Home address, HoA) และที่อยู่ไอพีชั่วคราว (Care of address, CoA) โดยที่อยู่ไอพีชั่วคราวนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงทุกครั้งที่ MN ได้เคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งการติดต่อสื่อสารตำแหน่งใหม่ จุดประสงค์หลักเพื่อให้โครงข่ายบ้าน (Home network) ของ MN สามารถรับส่งข่าวสารกับ MN ได้ตรงกับตำแหน่งปัจจุบันที่ MN อาศัยอยู่



รูปที่ 1.1 การทำงานของ Mobile IP

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่ามาตรฐานไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP) จะสามารถแก้ไขการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของผู้ใช้โครงข่ายอินเทอร์เน็ตให้มีประสิทธิภาพขึ้นมา แต่ยังมีปัญหาหลัก ๆ ที่ต้องได้รับการแก้ไข เช่น ปัญหาที่เกิดจากการจัดเส้นทางเคลื่อนที่ของแพ็กเก็ตข้อมูลหรือเรียกว่าปัญหาการจัดเส้นทางแบบสามเหลี่ยม (Triangle routing problem) ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 1.1 พบว่าเส้นทางที่ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจาก CN มายัง MN นั้นในกรณีนี้แพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกส่งจาก CN จะต้องส่งผ่านไปยัง HA ก่อนจะส่งต่อไปยัง MN ซึ่งจะเห็นว่ามียะยะทางที่ไกลกว่าจากกรณีที่ MN ต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยัง CN ซึ่งสามารถส่งผ่านแพ็กเก็ตข้อมูลไปได้โดยตรง และปัญหาที่เกิดจากกระบวนการแฮนด์ออฟ (Handoff) เป็นปัญหาที่ต้องได้รับการพิจารณาแก้ไข เพื่อให้การติดต่อสื่อสารนั้นมีประสิทธิภาพและไม่เกิดการสูญหายของข้อมูล นอกจากนี้ปัญหาที่

สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการของระบบโดยเฉพาะอย่างยิ่งประสิทธิภาพในการย่อ-ขยายได้ของระบบ (Scalability) นั่นคือปัญหาการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของผู้ใช้ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาและศึกษาเฉพาะการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของผู้ใช้ในระบบผ่านทางต้นทุนการสัญญาณที่เกิดขึ้น เพื่อสนับสนุนการรองรับจำนวนของผู้ใช้บริการที่เพิ่มมากขึ้น

เนื่องจากปกติแล้วผู้ใช้ในระบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ที่ไม่ได้อยู่ในสถานะที่กำลังสื่อสารกับผู้อื่นตลอดเวลา หรือสถานะทำงาน (Active MN) แต่ส่วนมากจะอยู่ในสถานะที่ไม่ได้สื่อสารกับใคร หรือสถานะไม่ทำงาน (Idle MN) โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่สนับสนุนการลงทะเบียนในการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของผู้ใช้เพียงอย่างเดียว โดยไม่คำนึงว่า MN อยู่ในสถานะใด ดังนั้นหาก MN มีการเคลื่อนที่เปลี่ยน FA บ่อย MN ต้องลงทะเบียนไปยัง HA เพื่อแจ้งที่อยู่ปัจจุบันของตนให้ HA ทราบทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่ หากระบบมีผู้ใช้บริการจำนวนมากขึ้นก็จะส่งผลให้ปริมาณข่าวสารการสัญญาณ (Signaling overhead) ในโครงข่ายไอพีหลัก (Core IP network) มีค่ามากขึ้นตามไปด้วย ขณะที่ระบบโครงข่ายเซลลูลาร์ (Cellular network) ใช้การลงทะเบียนและกระบวนการเพจ (Paging) ในการติดตามตำแหน่งของผู้ใช้บริการทั้งที่อยู่ในสถานะทำงานและสถานะไม่ทำงาน [3], [4] งานวิจัย [8] ได้มีแนวคิดที่จะนำกระบวนการเพจในระบบโครงข่ายเซลลูลาร์มาประยุกต์ใช้ในระบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เพื่อช่วยลดปริมาณข่าวสารการสัญญาณในระบบและสามารถเพิ่มการรองรับการขยายตัวของจำนวนผู้ใช้ที่เพิ่มมากขึ้นได้ โดยเสนอวิธี P-MIP (Paging Extensions for Mobile IP)

หลักการทำงานของกระบวนการเพจที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบไร้สาย ระบบจะสามารถค้นหาและติดตามตำแหน่งคร่าว ๆ ของ MN ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงานก่อนที่จะมีการเรียกเข้ามา โดย MN ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงานไม่จำเป็นต้องลงทะเบียนแจ้งที่อยู่ปัจจุบันไปยัง HA ของตนให้ทราบทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่ ซึ่งวิธีนี้ HA จะไม่ทราบตำแหน่งที่แน่นอนของ MN ที่อาศัยอยู่ปัจจุบัน แต่จะทราบเพียงที่อยู่คร่าว ๆ ของ MN นั่นคือกลุ่มของสถานีฐาน (Base station) ซึ่งกำหนดให้มีการจัดกลุ่มสถานีฐานที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกันเรียกว่า พื้นที่การเพจ (Paging area, PA) ซึ่งสถานีฐานเหล่านี้อยู่ภายใต้การควบคุมของ Mobile Switching Center (MSC) เดียวกัน MSC มีหน้าที่จัดการและจัดสรรช่องสัญญาณให้กับ MN เมื่อมีข้อมูลข่าวสารจาก CN ที่ต้องการติดต่อสื่อสารกับ MN MSC จะส่งข่าวสารการเพจ (Paging message) ไปยัง FA ทุกตัวภายในพื้นที่การเพจเดียวกัน โดยที่ FA แต่ละตัวก็จะกระจาย (Broadcast) ข่าวสารการเพจนี้ไปยังเซลล์ของตนเอง หากระบบได้รับข่าวสารตอบรับการเพจจาก MN ที่ถูกค้นหา ระบบก็จะพบตำแหน่งที่ถูกต้องของ MN ได้ โดยจะใช้ข้อมูลนี้ในกระบวนการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลต่อไป

วิธี P-MIP นี้จะช่วยลดปริมาณข่าวสารการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการลงทะเบียนในระบบลงได้ เมื่อ MN มีการเคลื่อนที่เปลี่ยน FA บ่อยและยังช่วยลด Power consumption ของ MN ด้วย เนื่องจาก MN ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงานนั้นไม่จำเป็นต้องส่งข่าวสารการลงทะเบียน (Registration message) ใดในขณะที่เคลื่อนที่เปลี่ยน FA ภายในพื้นที่การเพจ อย่างไรก็ตามการใช้กระบวนการเพจในวิธี P-MIP ได้ส่งผลให้เกิดเวลาประวิง (Delay) อันเนื่องมาจากการค้นหาตำแหน่งที่ถูกต้องของ MN และยังมีความไม่แน่นอนเกี่ยวกับตำแหน่งของ MN เนื่องจากในทางปฏิบัติจะมีผู้ใช้จำนวนมากอยู่ภายในระบบ ซึ่งผู้ใช้แต่ละคนก็จะมีค่าพารามิเตอร์ที่หลากหลายแตกต่างกันไป ดังนั้นในการออกแบบ P-MIP ให้เหมาะสมกับผู้ใช้แต่ละคนนั้นจึงเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก

จากปัญหาดังกล่าวในงานวิจัยนี้ได้เสนอการจัดการสภาพเคลื่อนที่ในโครงข่ายไอพีเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถลดต้นทุนการสัญญาณโดยรวมของระบบรวมถึงลด sentivity ของระบบที่มีต่อพารามิเตอร์หลายตัว โดยอาศัยหลักการเพจสองขั้นตอน (Two-Step Paging, TSP-MIP) และได้ออกแบบพื้นที่การเพจให้มีพื้นที่การเพจย่อยภายใน (Internal SPA) และ พื้นที่การเพจย่อยภายนอก (External SPA) เพื่อให้กระบวนการเพจในระบบมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เสนอวิธีปรับปรุงแบบแผนเพจจึงท้องถิ่นแบบกระจายสำหรับการจัดการสภาพเคลื่อนที่ในโครงข่ายไอพีเคลื่อนที่ ที่พัฒนาต่อ มาจากแนวคิด Two-Step paging for Mobile IP (TSP – MIP) [1] และ แนวคิด Adaptive Individual Distributed Local paging for Mobile IP (ADLP-MIP) [2] มาประยุกต์ใช้ร่วมกันเพื่อลดต้นทุนการสัญญาณภายในระบบให้ลดลง.
2. ศึกษาและวิเคราะห์เปรียบเทียบต้นทุนการสัญญาณที่เกิดขึ้นกับวิธีโครงข่ายไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP), TSP – MIP [1] และ ADLP-MIP [2] เมื่อพื้นที่การเพจมีขนาดต่างกัน.

1.3 แนวทางวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้การเพจสองขั้นตอนในแบบแผนเพจจิงท้องถิ่นแบบกระจายพื้นที่การเพจย่อยภายนอกและการเพจแบบปรับเปลี่ยนตามผู้ใช้แต่ละคนในพื้นที่การเพจย่อยภายในเพื่อลดต้นทุนในการสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบ

แนวความคิดที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ มีดังนี้

1. เสนอวิธีปรับปรุงการทำงานและการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP), TSP-MIP และ ADLP - MIP เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพการสัญญาณที่ดี กล่าวคือมีต้นทุนการสัญญาณต่ำและไม่ถูกรบกวนโดยง่ายจากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เปลี่ยนแปลงไป โดยอาศัยหลักการเพจสองขั้นตอนในแบบแผนเพจจิงท้องถิ่นแบบกระจาย
2. เสนอวิธีการเพจจิงสองขั้นตอน (Two Step Paging) โดยใช้วิธี Location area paging scheme ในพื้นที่การเพจย่อยภายนอก (External SPA) และใช้วิธี Individual paging scheme ในพื้นที่การเพจย่อยภายใน (Internal SPA) โดยมีหลักการคำนวณหาพื้นที่การเพจที่เหมาะสมสำหรับโนดเคลื่อนที่ (Mobile Node, MN) แต่ละตัวในพื้นที่การเพจย่อยภายนอก และ พื้นที่การเพจย่อยภายใน

แนวความคิดนี้ จะมีผลทำให้ต้นทุนการสัญญาณภายในระบบลดลงและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1. สร้างแบบจำลอง เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP), TSP-MIP, ADLP - MIP และวิธีที่เสนอ ในกรณีที่มีเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง
2. ศึกษาถึงผลกระทบจากพารามิเตอร์ต่าง ๆ ในระบบที่มีผลต่อต้นทุนการสัญญาณที่เกิดขึ้น รวมถึงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวิธีที่เสนอกับวิธีไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP), TSP-MIP และ ADLP - MIP

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. พัฒนาแบบแผนเพจจึงท้องถิ่นแบบกระจายสำหรับการจัดการสภาพเคลื่อนที่ เพื่อให้ได้แบบแผนการจัดการสภาพเคลื่อนที่ที่มีประสิทธิภาพ นั่นคือต้นทุนการสัญญาณมีค่าลดลง ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีขึ้น
2. เพื่อให้ทราบถึงหลักการทำงานและปัญหาที่เกิดขึ้นของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ รวมถึงแนวทางในการพัฒนา แก้ไข หรือปรับปรุงต่าง ๆ ที่ได้มีผู้เสนอไว้
3. วิธีที่นำเสนอสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับระบบสื่อสารอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ได้

1.6 วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษามาตรฐานและหลักการทำงานของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่
2. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องและแนวทางต่าง ๆ ที่ปรับปรุงประสิทธิภาพของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่
3. พัฒนาแบบแผนการจัดการสภาพเคลื่อนที่ที่เสนอ
4. จำลองการทำงานของไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP), TSP – MIP, ADLP – MIP และวิธีที่เสนอ.
5. วิเคราะห์และประเมินผล เปรียบเทียบสมรรถภาพการทำงานระหว่างแบบที่มีผู้แนะนำเสนอกับวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์.

บทที่ 2

หลักการพื้นฐานการทำงานของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันความต้องการเข้าถึงโครงข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet) ผ่านการสื่อสารไร้สายเพิ่มมากขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยพิจารณาได้จากผู้ใช้บริการนิยมใช้คอมพิวเตอร์แบบพกพา (Laptop, Netbook, Tablet) และ โทรศัพท์เคลื่อนที่ (Smart phone, iPhone, Samsung ..) ที่สามารถเข้าถึงโครงข่ายอินเทอร์เน็ตกันอย่างแพร่หลาย.

ความสามารถในการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์แบบพกพาส่วนใหญ่มักจะใช้ร่วมกับเทคโนโลยีแบบไร้สาย ซึ่งจุดที่น่าสนใจคือ ถ้ามีการเคลื่อนที่จากโครงข่ายเดิมไปยังโครงข่ายใหม่ที่อยู่ไอพีของโมบายโนด (Mobile Node, MN) จะต้องเปลี่ยนไปด้วย และอุปกรณ์จัดเส้นทาง หรือเราเตอร์ (Router) ซึ่งทำหน้าที่ตัดสินใจจัดเส้นทางให้กับแต่ละกลุ่มข้อมูล หรือแพคเกจ (Packet) จะต้องบอกเส้นทางใหม่ที่จะส่งข้อมูลให้ถูกต้องตามที่อยู่ไอพีของโมบายโนดที่เปลี่ยนใหม่ด้วย โดยปกติเมื่อที่อยู่ไอพีของโมบายโนดเปลี่ยนแปลงไป โมบายโนดต้องสิ้นสุดการติดต่อเดิมทั้งหมดและเริ่มการติดต่อใหม่กับแม่ข่าย (Host) ที่เคยติดต่อ ผ่านที่อยู่ไอพีใหม่ ซึ่งแม่ข่ายจะเข้าใจว่าเป็นการติดต่อมาจากโมบายโนดใหม่ ดังนั้นเพื่อให้แม่ข่ายสามารถจดจำโมบายโนดเดิมได้ต้องอาศัยบริการของดีเอ็นเอส (DNS – Domain Name Service) ซึ่งมีหน้าที่แปลงชื่อโดเมน (domain name) เป็นที่อยู่ไอพีของอุปกรณ์ที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต โดยดีเอ็นเอสจะต้องเปลี่ยนที่อยู่ไอพีเดิมเป็นที่อยู่ไอพีใหม่ของโมบายโนดในฐานข้อมูลของดีเอ็นเอส นอกจากนี้อาจต้องอาศัยการจัดเส้นทางแบบเจาะจงสำหรับที่อยู่ของโมบายโนดโดยใช้หลักการจับคู่ที่ยาวที่สุด (Longest match) ของที่อยู่ไอพี แต่วิธีการนี้ก็ไม่สามารถนำไปทั่วทั้งอินเทอร์เน็ตได้เพราะ คาดว่าจะมีโมบายโนดในอินเทอร์เน็ตเป็นจำนวนมาก ซึ่งทำให้ต้องใช้ตารางจัดเส้นทาง (Routing table) ที่ใหญ่มาก และเพิ่มปริมาณข้อมูลเพื่อปรับปรุงตารางจัดเส้นทางของเราเตอร์ต่างๆ ที่อยู่ระหว่างโครงข่ายบ้าน (Home Network) กับโครงข่ายภายนอก (Foreign Network) ซึ่งเป็นเหตุให้การจัดเส้นทางต้องใช้แบนด์วิดท์ (bandwidth) ที่สูงด้วย

Mobile IP เป็นโพรโทคอลมาตรฐานของ Internet Engineering Task Force (IETF) ออกแบบมาเพื่อให้โนดเคลื่อนที่ (Mobile Node, MN) สามารถเชื่อมต่อกับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต และสามารถรับส่งไอพีแพคเกจได้ แม้ว่าจะเคลื่อนที่ข้ามโครงข่าย ลักษณะของโครงข่าย Mobile IP ประกอบด้วย ที่อยู่บ้าน (Home Address) ซึ่งเป็นที่อยู่แรกและที่อยู่ถาวรที่ได้รับจากโครงข่ายบ้าน (Home network) ที่อยู่ต่างบ้าน (Care-of Address, CoA) ซึ่งเป็นที่อยู่ชั่วคราวที่ได้รับจากโครงข่ายภายนอก (Foreign Network) เพื่อให้โนดที่ต้องการติดต่อ (Correspondent Node, CN)

สามารถติดต่อกับโนดเคลื่อนที่ได้ เมื่อ CN ต้องการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลให้ MN นั้น CN จะทราบเฉพาะ Home Address ของ MN ทำให้แพ็กเก็ตข้อมูลจะถูกส่งมาที่ Home Network ของ MN ก่อน โดยใน Home Network จะมีตัวแทนบ้าน (Home Agent, HA) ทำการรับแพ็กเก็ตของ MN ไว้ หลังจากนั้น HA จะเช็คใน Binding list ว่า MN ได้มีการแจ้งเปลี่ยนที่อยู่ไว้หรือไม่ ถ้าไม่พบการแจ้งเปลี่ยน HA ก็ส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลให้ MN ที่ยังอยู่ใน Home Network ทันที แต่ถ้า HA เช็ค Binding list แล้วพบว่า MN ได้มีการแจ้งเปลี่ยนที่อยู่ไว้ HA ก็ทำการ encapsulation แพ็กเก็ตข้อมูลและส่งต่อไปยังที่อยู่ตาม CoA ที่ MN ได้ลงทะเบียนไว้ โดยข้อมูลจะถูกส่งไปที่ตัวแทนโครงข่ายภายนอก (Foreign Agent, FA) และเมื่อ FA ได้รับแพ็กเก็ตข้อมูล ก็ทำการ decapsulation แพ็กเก็ตข้อมูล และส่งแพ็กเก็ตข้อมูลนั้นต่อไปให้ MN ต่อไป ดังแสดงในรูปที่ 1 ในทางกลับกันเมื่อ MN ต้องการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลให้ CN นั้น MN สามารถส่งแพ็กเก็ตข้อมูลให้ CN ได้โดยตรง ผ่านทาง FA ได้ทันทีโดยไม่ต้องส่งผ่าน HA ทำให้การส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจาก MN ไป CN ใช้ระยะเวลาน้อยกว่าการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลจาก CN ไป MN เกิดเป็นปัญหาการจัดเส้นทางแบบสามเหลี่ยม (Triangle routing) ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งมีผู้เสนอวิธีแก้ไขโดยใช้วิธีการจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด (Route Optimization) โดยที่ HA จะส่ง Binding Update ไปให้ CN เมื่อ MN มีการแจ้งเปลี่ยนที่อยู่ ทำให้ CN สามารถส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปที่อยู่ CoA ของ MN ได้โดยไม่ต้องส่งผ่าน HA

2.1 โครงสร้างของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ [1]

โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP) ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาที่ชั้นโครงข่าย (Network layer) ทำให้อุปกรณ์สื่อสารไร้สายที่อยู่ปลายทางยังคงสามารถรักษาการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ตลอดเวลา แม้ว่าผู้ใช้บริการมีการเคลื่อนที่ข้ามชายเชื่อมโยงหนึ่งไปยังอีกชายเชื่อมโยงหนึ่งก็ตาม โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กำหนดให้ MN ใช้ที่อยู่ไอพี 2 ตัว นั่นคือ ที่อยู่ไอพีประจำบ้าน (Home address, HoA) ซึ่งเป็นที่อยู่ถาวรของ MN ไม่มีการเปลี่ยนแปลง และที่อยู่ไอพีชั่วคราว (Care-of-address, CoA) โดยที่อยู่ไอพีชั่วคราวนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงทุกครั้งที่อุปกรณ์สื่อสารไร้สายเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งชายเชื่อมโยงตำแหน่งใหม่โครงสร้างของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ถูกนำเสนอโดย IETF ประกอบด้วย

1. โนดเคลื่อนที่ (Mobile node, MN) คือ โนดที่สามารถเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งที่ติดต่อกับอินเทอร์เน็ตจากชายเชื่อมโยงหนึ่งไปยังอีกชายเชื่อมโยงหนึ่ง โดยที่ยังรักษาความต่อเนื่องในการสื่อสารขณะเคลื่อนที่ได้และยังคงใช้ที่อยู่ประจำบ้าน (HoA) เป็นที่อยู่ถาวร

2. ตัวแทนบ้าน (Home agent, HA) คือ เราท์เตอร์ (Router) ที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายบ้าน (Home network) ของ MN ซึ่งมีหน้าที่คอยรับแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกส่งมาถึง MN เมื่อ MN นั้น ๆ ได้เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายบ้านไปแล้วและได้แจ้งตำแหน่งปัจจุบันให้กับ HA ทราบโดยผ่านกระบวนการลงทะเบียนเพื่อแจ้งที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA) ซึ่งเป็นที่อยู่ปัจจุบันของ MN ก่อนจะส่งต่อไปยัง MN
3. ตัวแทนโครงข่ายภายนอก (Foreign agent, FA) คือ เราเตอร์ที่เชื่อมต่อกับโครงข่ายภายนอก (Foreign network) ของ MN ที่ซึ่งมีหน้าที่แจ้งที่อยู่ CoA ให้กับ MN และยังช่วยส่งข้อมูลที่มาจาก HA ให้กับ MN ขณะที่ MN เคลื่อนที่อยู่ในโครงข่ายเชื่อมโยงภายนอก นอกจากนั้นยังทำหน้าที่เสมือนเป็นเราเตอร์มาตรฐาน (Default router) ให้กับ MN ที่ได้ลงทะเบียนไว้ เมื่อ MN มีข้อมูลที่ต้องการส่งออกไปที่อื่น

2.2 หลักการทำงานของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ทั่วไป [2]

เมื่อมีแพ็กเก็ตข้อมูลจากโหนดที่ต้องการติดต่อ (Correspondent Node, CN) กับ MN แพ็กเก็ตข้อมูลทั้งหมดจะถูกส่งไปยังโครงข่ายบ้านของ MN นั้น ๆ เนื่องจาก HA อนุญาตให้ CN รู้เพียงแค่ว่าที่อยู่ประจำบ้าน (HoA) ของ MN เท่านั้น ดังนั้น HA จะทำหน้าที่เป็นตัวแทนรับแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกส่งมาจาก CN ไว้ หลังจากนั้นจึงจะผนึกข้อมูล (encapsulate) ด้วยที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA) ที่ MN ได้แจ้งตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันที่ MN ได้รับมาจาก FA ให้กับ HA ทราบผ่านกระบวนการลงทะเบียน หลังจากนั้น HA จึงส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA) ของโครงข่ายภายนอกที่ MN อาศัยอยู่ในขณะนั้น จากนั้น FA จะถอดผนึกแพ็กเก็ตข้อมูล (decapsulate) โดยถอดที่อยู่ไอพีชั่วคราวออกจากแพ็กเก็ตข้อมูลแล้วจึงส่งไปยัง MN แต่ในทางกลับกันหาก MN ต้องการติดต่อสื่อสารไปยัง CN MN สามารถส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยัง CN ได้โดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องส่งแพ็กเก็ตข้อมูลผ่านไปยัง HA อีกครั้ง ซึ่งหน้าที่หลักของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่นั้นสามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ การค้นหาตัวแทน (agent) การลงทะเบียน และการสร้างอุโมงค์รับส่งข้อมูล (tunneling) โดยขั้นตอนการทำงานอธิบายได้ดังนี้

1. ตัวแทนการเคลื่อนที่ (Mobility agent) ซึ่งได้แก่ ตัวแทนบ้าน (Home agent, HA) และตัวแทนโครงข่ายภายนอก (Foreign agent) จะทำหน้าที่คอยประกาศข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent advertisement) เป็นระยะ ๆ ตามคาบเวลาที่กำหนด เพื่อแจ้งให้กับ MN ทราบว่ามีตัวแทนใดกำลังให้บริการอยู่ในบริเวณนั้น
2. หาก MN ไม่ได้รับข่าวสารการประกาศจากตัวแทนการเคลื่อนที่ใด ๆ แล้ว MN สามารถร้องขอข่าวสารการประกาศจากตัวแทน (Agent solicitation message) ได้ด้วยตนเอง เพื่อส่งถึงตัวแทนในบริเวณใกล้เคียงให้ส่งข่าวสารประกาศจากตัวแทนมาให้ MN
3. MN จะคอยฟังข่าวสารการประกาศจากตัวแทนการเคลื่อนที่ จากนั้นก็จะตรวจสอบที่อยู่ต้นทางที่ได้รับมาจากข่าวสารการประกาศดังกล่าวว่าขณะนี้ตนเองกำลังติดต่ออยู่กับโครงข่ายบ้านหรือโครงข่ายภายนอก
4. หาก MN พบว่าตนเองกำลังติดต่ออยู่กับโครงข่ายบ้าน MN จะประพฤติเช่น โหนดไม่เคลื่อนที่ ซึ่งไม่จำเป็นต้องขอรับบริการใด ๆ จาก HA
5. แต่ในทางกลับกัน หาก MN เคลื่อนที่ไปยังโครงข่ายบ้านของตนอีกครั้ง หลังจากได้เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายบ้านไปแล้ว MN จะต้องแจ้งการลงทะเบียนตำแหน่งปัจจุบันของตนไปยัง HA ผ่านข่าวสารร้องขอการลงทะเบียน (Registration request) และข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน (Registration reply) ตามหลักการแลกเปลี่ยนข่าวสารกระบวนการลงทะเบียนของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่
6. และเมื่อ MN ตรวจพบว่าตนเองกำลังอยู่ในโครงข่ายภายนอก MN จะได้รับที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA) จาก FA ที่กำลังให้บริการขณะนั้น โดยที่อยู่นี้สามารถอ่านได้จากส่วนข้อมูลที่อยู่ในข่าวสารประกาศจากตัวแทนของ FA หรือสามารถได้รับจากกระบวนการอื่น ๆ เช่น DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol)
7. เมื่อ MN อยู่ในโครงข่ายภายนอกแล้ว MN จะต้องลงทะเบียนแจ้งที่อยู่ CoA ที่ได้รับมาจาก FA กับ HA ทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายบ้าน โดย

ใช้หลักการแลกเปลี่ยนข่าวสารกระบวนการลงทะเบียนของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

8. เมื่อมีแพ็กเก็ตข้อมูลจากปลายทางส่งมาถึงโครงข่ายบ้าน HA จะทำหน้าที่เป็นตัวแทนรับแพ็กเก็ตข้อมูลเหล่านั้นไว้ หลังจากนั้น HA จะเริ่มกระบวนการ encapsulation แพ็กเก็ตข้อมูล โดยจะเพิ่มข้อมูลส่วนหัว (IP header) ที่มีที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA) ของ MN จากนั้น HA จึงส่งแพ็กเก็ตข้อมูลเหล่านั้นมายังที่อยู่ชั่วคราวของ MN นั่นก็คือ FA ปัจจุบันที่ MN อาศัยอยู่และเมื่อ FA ได้รับแพ็กเก็ตก็จะ decapsulate แพ็กเก็ต นั่นคือการถอดที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA) ออกจากแพ็กเก็ต ก่อนจะส่งให้กับ MN ต่อไป
9. แต่ในทางกลับกัน หาก MN ต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลให้กับ CN MN สามารถส่งแพ็กเก็ตข้อมูลเหล่านั้น โดยไม่จำเป็นต้องส่งผ่าน HA แต่อย่างใด

กระบวนการทำงานของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ที่สามารถอธิบายได้ตามกระบวนการทำงาน 3 ส่วนหลักสำคัญดังนี้

1. กระบวนการค้นหาตัวแทน (Agent discovery)
2. กระบวนการลงทะเบียน (Registration)
3. กระบวนการรับและส่งแพ็กเก็ตของ MN (Tunneling)

2.3 กระบวนการค้นหาตัวแทน (Agent discovery) [3]

กระบวนการค้นหาตัวแทนเป็นกระบวนการที่กระทำโดย MN เพื่อตรวจสอบว่าปัจจุบัน MN อยู่บนโครงข่ายบ้าน (Home network) หรือโครงข่ายนอก (Foreign network) เมื่อ MN ได้เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายบ้านแล้ว MN ต้องการจะค้นหาตัวแทนภายนอกที่กำลังให้บริการอยู่ในขณะนั้น โดยไม่สูญเสียการเข้าถึงโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ซึ่งมีวิธีการค้นหาตัวแทน 2 วิธีนั้นคือ

1. MN จะคอยฟังข่าวสารการประกาศจากตัวแทนการเคลื่อนที่ (Agent advertisement) ทั้ง HA และ FA ในบริเวณใกล้เคียง สำหรับเพื่อแจ้งให้ MN ทราบว่ามีตัวแทนการเคลื่อนที่ใดบ้างที่ MN สามารถติดต่อสื่อสารได้

2. MN ส่งข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทน (Agent solicitation) ถึงตัวแทนการเคลื่อนที่เป็นระยะ ๆ เพื่อขอให้ตัวแทนในบริเวณใกล้เคียงส่งข่าวสารการประกาศจากตัวแทนมาให้กับ MN ทันที โดยกำหนดปลายทางของการส่งเป็น MN ที่เริ่มร้องขอการประกาศข่าวสารการประกาศจากตัวแทน เมื่อ MN ได้รับข่าวสารการประกาศจากตัวแทนการเคลื่อนที่ MN จะได้รับที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA) จาก FA เพื่อลงทะเบียนต่อไป

2.3.1 รูปแบบข่าวสารที่ใช้ในกระบวนการค้นหาตัวแทน

ข่าวสารที่ใช้ในกระบวนการค้นหาตัวแทนมีอยู่สองชนิด ชนิดแรกเป็นข่าวสารที่ใช้สำหรับการร้องขอการประกาศจากตัวแทนที่กำหนดโดยโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เป็นข่าวสารที่ MN ส่งถึงตัวแทนในบริเวณใกล้เคียงเพื่อขอให้ส่งข่าวสารการประกาศจากตัวแทนมาให้กับ MN ทันที โดยกำหนดปลายทางในการส่งไปยัง MN ที่เป็นโนดต้นทางของข่าวสารร้องขอตัวแทนนี้ ส่วนชนิดที่สอง คือ ข่าวสารการประกาศจากตัวแทนจะถูกประกาศออกมาจากตัวแทนบ้าน (Home agent, HA) และตัวแทนโครงข่ายภายนอก (Foreign agent, FA) โดยจะถูกประกาศออกเป็นช่วง (เช่น ทุกหนึ่งวินาที หรือ ทุกสองวินาที) เพื่อแจ้งให้ MN ทราบว่ามีตัวแทนใดบ้างที่อยู่บริเวณใกล้เคียงที่ MN สามารถสื่อสารได้

2.3.1.1 รูปแบบข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทน (Agent Solicitation)

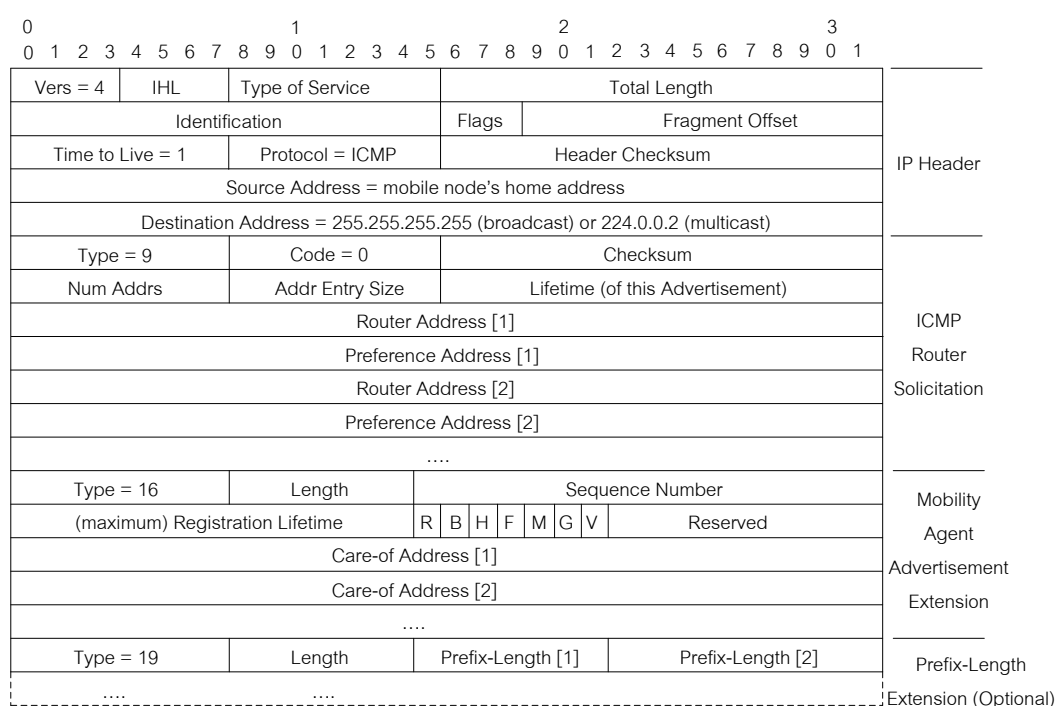
ข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทนในระบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ถูกระบุเช่นเดียวกับข่าวสารร้องขอเราท์เตอร์ หรือ ICMP (Internet Control Message Protocol) Router Solicitation ยกเว้นบางส่วนที่มีความแตกต่างกัน นั่นคือ ในการร้องขอการประกาศจากตัวแทนจะต้องมี Time to Live (TTL) โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อ HA หรือ FA ได้รับข่าวสารร้องขอการประกาศแล้วตัวแทนนั้น ๆ จะต้องส่งข่าวสารการประกาศไปยังโนดที่ส่งข่าวสารร้องขอทันที และส่วนของ Type ถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 10 ตาม RFC 1256 ดังรูปที่ 2.1

0				1				2				3										
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	
Vers = 4				IHL				Type of Service				Total Length				IP Header						
Identification								Flags				Fragment Offset										
Time to Live = 1				Protocol = ICMP				Header Checksum														
Source Address = mobile node's home address																						
Destination Address = 255.255.255.255 (broadcast) or 224.0.0.2 (multicast)																						
Type = 10				Code = 0				Checksum								ICMP Router Solicitation						
reserved																						

รูปที่ 2.1 รูปแบบข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทน

2.3.1.2 รูปแบบข่าวสารการประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement)

ข่าวสารการประกาศจากตัวแทนถูกระบุให้มีข่าวสารเดียวกันกับข่าวสารร้องขอเราท์เตอร์ ICMP แต่มีข้อแตกต่างตรงที่ข่าวสารการประกาศจากตัวแทนนี้มีการเพิ่มส่วนขยายเข้ากับข่าวสารในส่วน ICMP Router Advertisement ดังกำหนดใน RFC 1256 โดยส่วนขยายที่เพิ่มนี้คือ Mobility Agent Advertisement Extension) และอาจมีส่วนขยายเพิ่มที่ใช้สำหรับการตรวจสอบสภาพเคลื่อนที่นั่นคือ ส่วนขยาย Prefix-Length Extension ซึ่ง MN ใช้เพื่อตรวจสอบว่าตนเองได้เคลื่อนที่ไปยังโครงข่ายย่อยโครงข่ายอื่นหรือไม่ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปแบบข่าวสารการประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement)

จากรูปที่ 2.2 พบว่ารูปแบบข่าวสารการประกาศจากตัวแทนมีส่วนสำคัญหลัก ๆ 4 ส่วน ได้แก่

1. ส่วนหัวของไอพี (IP header)

ส่วนหัวของไอพีของข่าวสารการประกาศจากตัวแทนนี้เป็นส่วนที่ MN ใช้สำหรับตรวจสอบว่ากำลังอยู่ในข่ายเชื่อมโยงใด ถ้า network prefix ของที่อยู่ไอพีต้นทาง (IP Source Address) เป็น network prefix ชนิดเดียวกับที่อยู่ไอพีประจำบ้าน (Home address) ของ MN และโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพบว่าที่อยู่ไอพีต้นทางนี้มีไอพีตรงกับที่อยู่ของ HA ส่งผลให้ MN ไม่

จำเป็นต้องใช้กระบวนการสนับสนุนการเคลื่อนที่ของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ และ MN จะถอนการลงทะเบียนกับ HA และประพุดิตั้งเป็นโนดธรรมดาที่ไม่มีการเคลื่อนที่ หากในกรณีที่ MN ไม่ได้อยู่ในโครงข่ายบ้านหรือ MN มีการเคลื่อนที่ไปยังโครงข่ายเชื่อมโยงใหม่แล้ว MN จะตรวจสอบการเคลื่อนที่ (Move detection) จากการข่าวสารการประกาศที่ได้รับจาก FA ครั้งล่าสุด หาก MN พบว่าตนเองได้เคลื่อนที่เข้าสู่โครงข่ายเชื่อมโยงใหม่แล้ว MN จะหาที่อยู่ CoA และลงทะเบียนที่อยู่นี้ไปยัง HA เพื่อแจ้งที่อยู่ปัจจุบันของตนเองให้ HA ทราบในกระบวนการลงทะเบียนต่อไป

2. ส่วนประกาศเราท์เตอร์ (ICMP Router Advertisement)

ข่าวสารการประกาศในส่วนนี้จะระบุค่า Type เท่ากับ 9 เพื่อระบุว่าเป็นข่าวสารการประกาศ นอกจากนี้ข้อมูลในส่วนนี้ยังมีส่วนรหัสความถูกต้อง หรือ Checksum คอยตรวจสอบความผิดพลาดของข่าวสาร และค่า Lifetime ใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของ MN ซึ่งจะแตกต่างจากค่า Lifetime ในส่วนของ Mobility Agent Advertisement Extension

3. ส่วนขยายการประกาศจากตัวแทนการเคลื่อนที่ (Mobility Agent Advertisement)

ข่าวสารการประกาศในส่วนนี้จะระบุค่า Type เท่ากับ 16 เพื่อระบุว่าเป็นชนิดของส่วนขยายการประกาศตัวแทน และค่า Length ระบุเพื่อบอกความยาวเป็นจำนวนไบนารีของข้อมูล โดยไม่นับส่วน Type และ Length เข้าไปด้วย และค่า Sequence บอกถึงลำดับการส่งข่าวสารการประกาศที่สำเร็จ โดยเมื่อตัวแทนเปิดเครื่องใหม่ ตัวแทนจะล้างข้อมูลในส่วนของหมายเลขแสดงลำดับ (Sequence Number) ให้มีค่าศูนย์ทั้งหมด หาก MN ได้รับข่าวสารที่มี Sequence เท่ากับศูนย์ MN จะทราบได้ทันทีที่ไม่มีข้อมูลของ MN เลย ดังนั้น MN จึงจะต้องลงทะเบียนใหม่กับตัวแทนนั้น ๆ ส่วนค่า Registration Lifetime เป็นค่าที่ใช้เพื่อการตรวจสอบการหมดอายุของการลงทะเบียน เมื่อช่วงอายุนี้หมดลง MN จะต้องลงทะเบียนใหม่กับตัวแทน

ส่วนในส่วนของบิต R, H, G และ V จะถูกนำมาใช้ในการลงทะเบียนและการจัดเส้นทาง บิต H และ F เป็นค่าที่บอกให้ทราบว่าข่าวสารการประกาศนี้ถูกส่งมาจากตัวแทน ซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็น HA หรือ FA ได้หรือไม่ ถ้าข่าวสารนี้ถูกส่งมาจากตัวแทนที่ทำหน้าที่เป็นได้ทั้ง HA และ FA ดังนั้นบิต F และ H จะถูกระบุให้มีค่าเท่ากับ 1 เพื่อแสดงให้เห็นว่าตัวแทนนั้นยุ่งเกินกว่าจะให้บริการ MN อื่นได้อีก หาก MN ได้รับข่าวสารนี้ MN จะค้นหาตัวแทนอื่นเพื่อขอลงทะเบียนต่อไป

4. ส่วนขยาย Prefix-Length (Prefix-Length Extension)

ข่าวสารในส่วนนี้จะใช้ระบุเพื่อใช้สำหรับการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของ MN ว่าได้เคลื่อนที่ไปยังโครงข่ายใหม่แล้วหรือไม่ โดยมีส่วนของ Type และ Length เพื่อบอกชนิดและความยาวของส่วนขยายนี้

MN จะตรวจสอบว่าตนเองได้เคลื่อนที่ข้ามโครงข่ายภายนอกไปแล้วหรือไม่ โดยสามารถตรวจสอบได้สองวิธี คือ การใช้ Lifetimes ของ Agent Advertisement และการใช้หมายเลขประจำโครงข่าย (network-prefixes)

1) การตรวจสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ Lifetime

การตรวจสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ค่า Lifetime หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า LCS (Lazy cell switching) โดยวิธีนี้จะใช้ข้อมูลจากส่วนของ Lifetime ภายในข่าวสารการประกาศจากเราเตอร์ ICMP ที่อยู่ในข่าวสารการประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement) โดยค่า Lifetime นี้จะเป็นตัวที่ระบุให้ MN ทราบถึงช่วงเวลา MN จะได้รับข่าวสารการประกาศตัวแทนใหม่อีกครั้งจากตัวแทนตัวเดียวกัน เพื่อป้องกันความผิดพลาดและการสูญหายของข่าวสารการประกาศ เนื่องจากข่าวสารที่ประกาศในตัวกลางแบบไร้สาย (wireless) นั้นมีอัตราการสูญหายของข้อมูลและเกิดความผิดพลาดในการส่งสูงกว่าตัวกลางแบบมีสาย (wire) ตัวแทนจะประกาศข่าวสารนี้ด้วยคาบเวลาที่สั้นกว่าค่า Lifetimes ซึ่งปกติแล้วค่า Lifetimes จะมีค่าที่สูงกว่าค่าของช่วงคาบในการประกาศตัวแทนประมาณสามเท่า

MN สามารถตรวจสอบการเคลื่อนที่ของตนเองได้จากค่า Lifetime หาก MN ลงทะเบียนไว้กับ FA แต่ MN ยังไม่ได้รับ Agent Advertisement จากตัวแทนเดิมภายในช่วงเวลา Lifetime ที่ได้บันทึกเอาไว้ MN จะสันนิษฐานว่าขณะนี้ตนเองได้เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ให้บริการของ FA ตัวเดิมแล้ว MN จะตรวจสอบต่อว่าในช่วงเวลาที่ Agent Advertisement lifetime ยังไม่หมดอายุ ตนเองได้รับข่าวสารการประกาศจากตัวแทนอื่น ๆ หรือไม่ หาก MN ได้รับข่าวสารการประกาศ ก็จะส่งข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนกับ FA ตัวใหม่ เพื่อเริ่มต้นกระบวนการลงทะเบียนต่อไป แต่หาก MN ไม่ได้รับข่าวสารการประกาศจากตัวแทนใดเลย MN จะส่งข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทน (Agent Solicitation message) เพื่อร้องขอให้ตัวแทนในบริเวณใกล้เคียงส่งข่าวสารการประกาศมายัง MN โดยทันที

2) การตรวจสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ Network-prefixes

การตรวจสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ Network-prefixes หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ECS (Eager cell switching) MN จะตรวจสอบการเคลื่อนที่ของตนเองได้จากการตรวจสอบข่าวสารในส่วน network prefix หาก MN ได้ลงทะเบียนไว้กับ FA แล้ว และยังได้รับข่าวสารการประกาศจากตัวแทนอีกครั้ง MN ต้องตรวจสอบที่มาของข่าวสารการประกาศนี้ด้วยการตรวจสอบ network-prefix ในข่าวสารว่าเป็น network prefix ที่ได้รับจากข่าวสารการประกาศจากตัวแทนเดิมหรือไม่ จากที่อยู่ไอพีต้นทาง (IP source) ที่แตกต่างกัน ดังนั้น MN จะสันนิษฐานว่าตนเองได้เคลื่อนที่เปลี่ยนโครงข่ายภายนอกใหม่แล้ว และ MN ควรลงทะเบียนกับ FA บนชายเชื่อมต่อใหม่นี้ หาก MN ตรวจพบว่าข่าวสารการประกาศที่ได้รับมี network prefix ที่เหมือนกัน MN จะทราบได้ว่าขณะนี้ตนเองยังไม่ได้เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายเดิม ดังนั้น MN จึงไม่ต้องลงทะเบียนอีกครั้ง อย่างไรก็ตามกระบวนการตรวจสอบนี้จะทำได้ก็ต่อเมื่อข่าวสารการประกาศจากตัวแทนนั้นมีส่วนของ Prefix Length Extension อยู่ในข่าวสารด้วย

2.4 กระบวนการลงทะเบียน (Registration)

MN จะเริ่มกระบวนการลงทะเบียนเมื่อได้ตรวจพบว่าตนเองได้เคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งติดต่อสื่อสารจากชายเชื่อมต่อหนึ่งไปยังอีกชายเชื่อมต่อหนึ่งแล้ว MN ต้องลงทะเบียนแจ้งที่อยู่ CoA ให้กับ HA เพื่อที่จะขอรับบริการต่อไป กระบวนการลงทะเบียนสามารถทำได้โดยตรงจากตัว MN เอง หรือจะส่งต่อไปยัง FA ก่อนที่จะส่งคำขอร้องการลงทะเบียนไป HA ซึ่งขึ้นอยู่กับ CoA ที่ถูกกำหนดจาก FA กระบวนการลงทะเบียนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

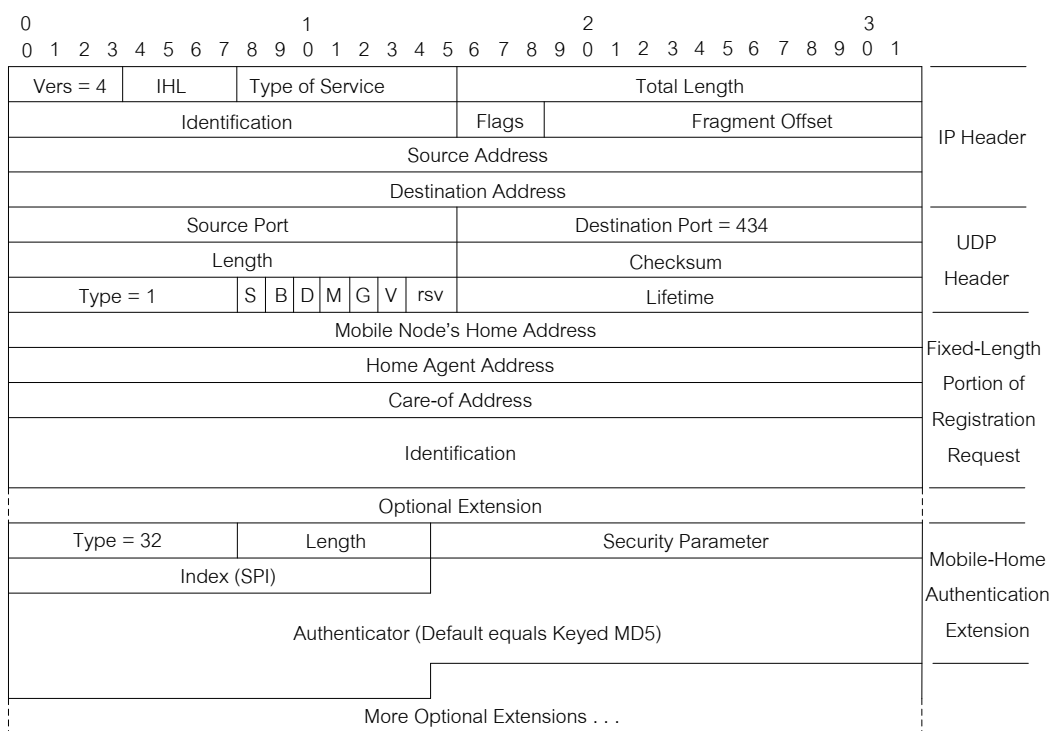
1. เมื่อ MN ตรวจพบว่าตนเองได้เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายบ้านไปยังโครงข่ายภายนอก MN จะต้องลงทะเบียนที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA) ที่ได้รับมาจาก FA ในโครงข่ายภายนอกที่ MN อาศัยอยู่ไปยัง HA
2. หากมีการเคลื่อนที่ข้ามโครงข่ายไปยัง FA ใหม่ MN จะได้รับที่อยู่ไอพีชั่วคราวอันใหม่จาก FA และ MN จะต้องลงทะเบียนที่อยู่นี้กับ HA ของตนเองทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่เปลี่ยนโครงข่าย
3. หากเวลาของการลงทะเบียนครั้งล่าสุดที่ MN ได้ลงทะเบียนไว้หมดอายุลง ดังนั้น MN จะต้องลงทะเบียนใหม่อีกครั้ง

MN จะยกเลิกการลงทะเบียนกับ HA ของตนเองในโครงข่ายบ้าน เมื่อพบว่าตนเองได้เคลื่อนที่กลับมายังโครงข่ายบ้าน และจะประพฤติตัวดังโหนดที่ไม่เคลื่อนที่ ซึ่งไม่จำเป็นต้องใช้บริการสนับสนุนการเคลื่อนที่ใด

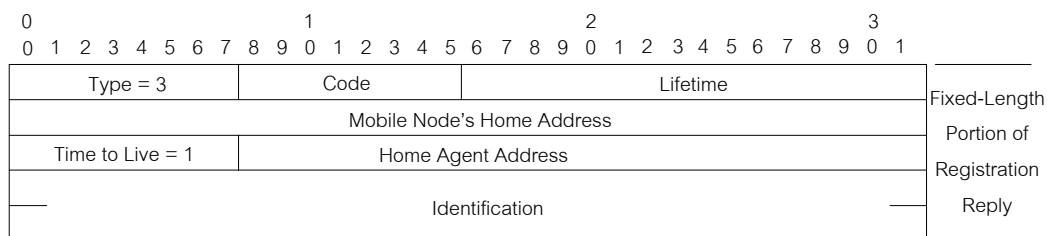
2.4.1 รูปแบบข่าวสารที่ใช้ในกระบวนการลงทะเบียน

กระบวนการลงทะเบียนประกอบด้วยข่าวสารสองชนิดในการร้องขอการลงทะเบียนและการตอบรับการลงทะเบียนระหว่าง MN กับ HA โดยผ่าน FA ข่าวสารการลงทะเบียนนี้จะถูกส่งด้วยรูปแบบที่เป็นไอพีแพ็กเก็ตที่มี payload เป็นดาตาแกรมของโพรโทคอลยูดีพี (User Datagram Protocol, UDP) ข่าวสารร้องขอการลงทะเบียน (Registration request message) ประกอบด้วยที่อยู่ไอพีชั่วคราวที่ได้รับมาใหม่จาก FA (CoA) โดยถูกส่งจาก MN ไปยัง HA และหาก HA ตอบรับการร้องขอการลงทะเบียนจาก MN แล้ว HA จะต้องส่งข่าวสารการตอบรับการลงทะเบียน (Registration reply message) กลับไปยัง MN รูปที่ 2.3 แสดงรูปแบบของข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนและ รูปที่ 2.4 แสดงรูปแบบของข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนที่แสดงแค่ส่วนที่เป็น Fixed-Length Portion เนื่องจากส่วนนี้เป็นเพียงส่วนเดียวที่ทำให้ข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนแตกต่างจากข่าวสารร้องขอการลงทะเบียน

ในส่วนของ Fixed-Length Portion ค่า Type จะมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อข่าวสารชนิดนี้เป็นข่าวสารร้องขอการลงทะเบียน และจะมีค่าเท่ากับ 3 เมื่อเป็นข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน บิต S ระบุให้มีค่าเท่ากับ 1 เมื่อ MN ต้องการให้ HA ทำ simultaneously binding โดยอนุญาตให้ MN มีที่อยู่ CoA ได้มากกว่าหนึ่งที่อยู่ในช่วงเวลาเดียวกัน ขณะที่บิต B, D, M, G และ V กำหนดเพื่อใช้ในการจัดเส้นทางของแพ็กเก็ต โดยบิต B ที่กำหนดแสดงถึง MN ร้องขอให้ HA ส่งการกระจายข่าวสารมาให้ ส่วนบิต D แสดงถึงว่า MN จะถอดฝืนข้อมูล (decapsulation) เอง ซึ่งในกรณีนี้ MN ได้รับที่อยู่ไอพีชั่วคราวแบบ co-located CoA ส่วนบิต M มีหน้าที่สั่งให้ HA ใช้การฝืนข้อมูล (encapsulation) แบบ Minimal encapsulation และบิต G ระบุไว้เพื่อบอกว่ากระบวนการฝืนข้อมูลที่ใช้เป็นแบบ GRE (Generic Routing Encapsulation)



รูปที่ 2.3 รูปแบบข่าวสารร้องขอการลงทะเบียน



รูปที่ 2.4 ส่วน Fixed-Length Portion ของข้อความตอบรับการลงทะเบียน

เมื่อพิจารณาในส่วนของ Code ในข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน พบว่าเป็นส่วนที่ระบุว่า HA จะต้องตอบรับการร้องขอการลงทะเบียนหรือปฏิเสธการลงทะเบียน และหากปฏิเสธการลงทะเบียนจะต้องบอกเหตุผลในการปฏิเสธด้วย ขณะที่ส่วน Identification ระบุไว้เพื่อใช้ในการป้องกันความปลอดภัยของข้อมูลข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนและข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าเฉพาะและจะใช้ร่วมกับ Mobile-Home Authentication Extension เพื่อยืนยันตัวผู้ส่งทราบว่าถูกส่งมาจาก MN ที่ต้องการร้องขอการลงทะเบียนจริง ในกระบวนการลงทะเบียนจำเป็นต้องมีวิธีการตรวจสอบยืนยัน (Authentication) เพื่อให้ HA มั่นใจได้ว่าข่าวสารการลงทะเบียนที่ได้รับมานี้ถูกส่งมาจาก MN จริง ๆ ไม่ใช่จากโนดอื่น ๆ ที่ประสงค์ให้เกิดความผิดพลาด (malicious node) ซึ่งการกระทำเช่นนี้ส่งผลให้ HA ปรับตารางการจัดเส้นทาง

ใหม่และส่งผลให้เกิดข้อมูลไปยังตำแหน่งที่ผิดพลาดได้ ทำให้ MN ไม่ได้รับข้อมูลใด ๆ จากโครงข่ายอินเทอร์เน็ตเลย ดังนั้นเพื่อรักษาความปลอดภัยของข้อมูล โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่จึงได้กำหนดวิธีการตรวจสอบยืนยัน 3 วิธีดังนี้

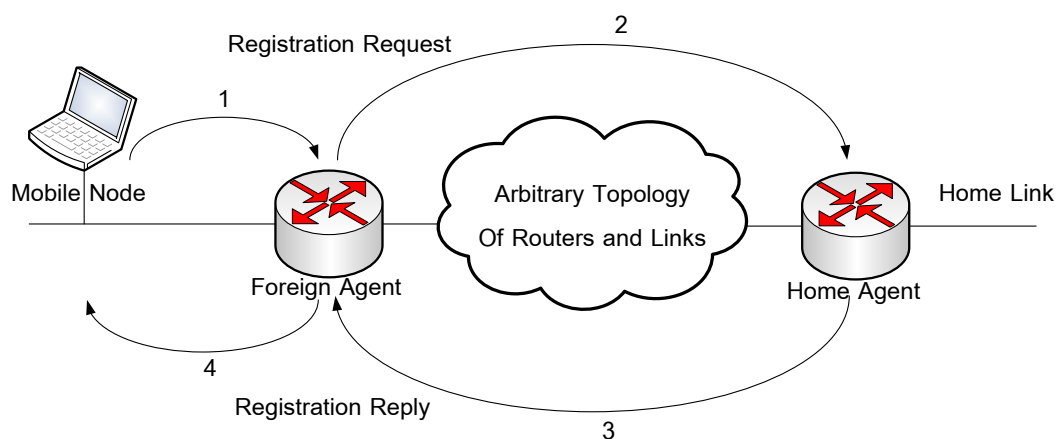
1. Mobile-home authentication extension
2. Mobile-foreign authentication extension
3. Foreign-home authentication extension

โดยส่วนขยายในแต่ละส่วนนั้นจะประกอบไปด้วย SPI (Security Parameter Index) ซึ่งเป็นส่วนรักษาความปลอดภัย (Security association) โดยข้อมูลนี้จะถูกบรรจุอยู่ในข่าวสารการสัญญาณระหว่างผู้ใช้เคลื่อนที่กับตัวแทนที่ติดต่อสื่อสารด้วย

นอกจากนี้ภายในข่าวสารการลงทะเบียนประกอบด้วยข้อมูลสำคัญ 3 ส่วนคือ ที่อยู่ประจำบ้าน (Home address), ที่อยู่ไอพีชั่วคราว (Care-of address) และช่วงเวลาอายุของการลงทะเบียน (Registration Lifetime) เมื่อ HA ได้รับข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนที่ถูกส่งมาจาก MN ผ่านทาง FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการกับ MN อยู่ HA จะบันทึกข้อมูล binding ของ MN แล้วจึงส่งข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนกลับไปยัง MN ผ่านทาง FA เพื่อตอบรับหรือปฏิเสธสำหรับการลงทะเบียนครั้งนี้ หลังจากที่ FA ได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนที่ถูกส่งมาจาก HA แล้ว FA ก็ส่งข่าวสารนี้ให้กับ MN ต่อไป และเมื่อ MN ได้เคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งเชื่อมโยงโครงข่ายใหม่ MN จะลงทะเบียนเพื่อแจ้งตำแหน่งที่อยู่ (CoA) ใหม่ให้กับ HA ทราบ และ HA จะปรับปรุงค่า binding (Binding update) ของ MN เอาไว้เมื่อได้รับข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนอันใหม่ที่ถูกส่งมาจาก MN หากครบช่วงระยะเวลาอายุของการลงทะเบียนแล้ว HA ยังไม่ได้รับข่าวสารการลงทะเบียนใหม่จาก MN นั้น HA ก็จะลบข้อมูลของ MN ตัวนั้นทิ้งไป

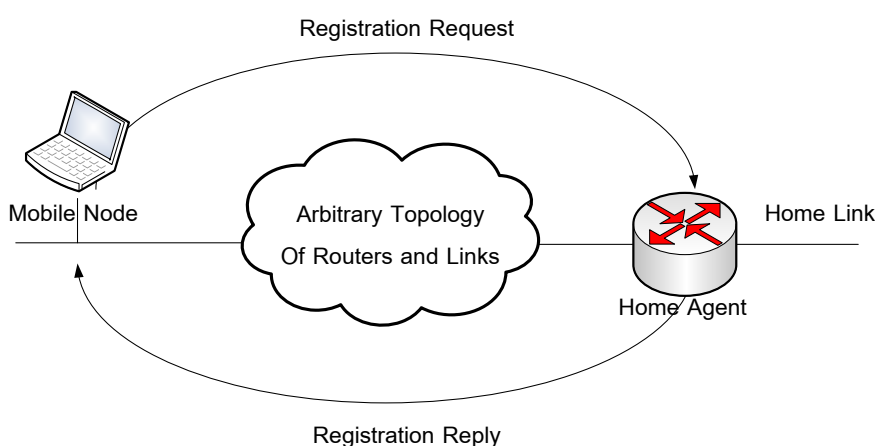
ขั้นตอนการลงทะเบียน ประกอบด้วยการแลกเปลี่ยนข่าวสารสองชนิดในการร้องขอการลงทะเบียนและการตอบรับการลงทะเบียนระหว่าง MN กับ HA โดยผ่าน FA ตามชนิดที่อยู่ที่ได้รับการดูแล การลงทะเบียนสามารถแบ่งเป็นสามประเภทตามสถานการณ์ที่ MN ได้รับดังนี้

1. MN ลงทะเบียนกับ HA ผ่านข่ายเชื่อมโยงภายนอกด้วยการใช้ CoA ที่ได้รับจากข่าวสารการประกาศของ FA (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 การลงทะเบียนบนข่ายเชื่อมต่อโยงข้อมูลต่างพื้นที่ โดยใช้ CoA ของ FA

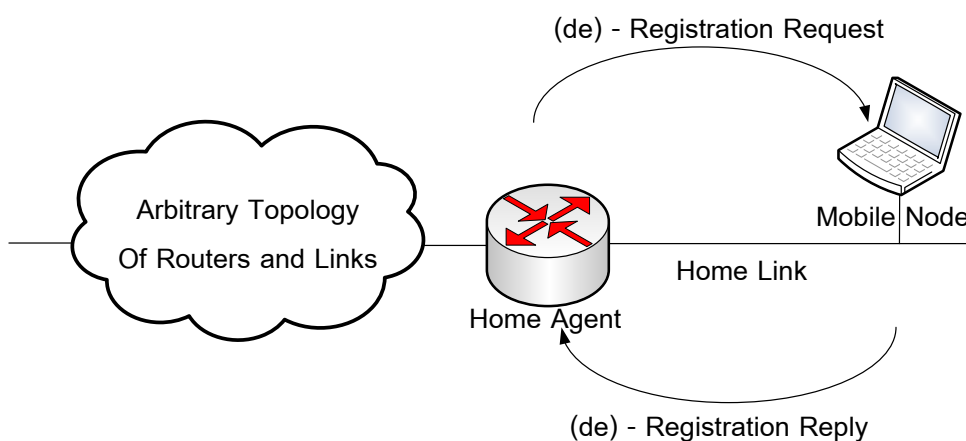
2. ในกระบวนการลงทะเบียน MN สามารถรับที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA) จาก FA ที่กำลังให้บริการได้โดยตรง หรืออาจได้รับการลงทะเบียนผ่านไปยังโพรโทคอลอื่น ๆ เช่น DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) ซึ่งในกรณีนี้ที่อยู่ไอพีที่ได้จะมีชื่อเรียกว่า co-located CoA โดย MN สามารถส่งข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนไปยัง FA ตามปกติหรือส่งข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนไปยัง HA ได้โดยตรง โดยใช้ที่อยู่ co-located CoA เสมือนเป็นที่อยู่ไอพีต้นทางของข่าวสารการลงทะเบียนนี้ (รูปที่ 2.6)



รูปที่ 2.6 การลงทะเบียนจากที่อยู่ co-located CoA

3. ในกรณีที่ MN ได้เคลื่อนที่กลับมายังโครงข่ายบ้านของตนเองอีกครั้ง MN จะยกเลิกการลงทะเบียนกับ HA เพื่อขอรับแพ็คเกจข้อมูลเอง หลังจาก MN ได้ส่งข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนไปแล้ว หาก MN ไม่ได้รับข้อความตอบรับ

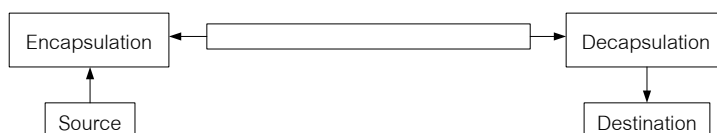
การลงทะเบียนภายในระยะเวลาที่กำหนดแล้ว (ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกินช่วงเวลาการตอบรับการลงทะเบียนครั้งก่อนหน้า) MN จะส่งข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนซ้ำ ตามจำนวนครั้งที่กำหนด จนกว่าจะได้รับการตอบรับการลงทะเบียนจาก HA (รูปที่ 2.7)



รูปที่ 2.7 การถอนการลงทะเบียน เมื่อ MN เคลื่อนที่กลับมายังโครงข่ายบ้าน

2.5 การสร้างอุโมงค์รับส่งข้อมูล (Tunneling) [4]

รูปที่ 2.8 แสดงการสร้างอุโมงค์รับส่งข้อมูล จะเห็นได้ว่ากระบวนการผนึกข้อมูล (Encapsulation) และกระบวนการถอดผนึกข้อมูล (Decapsulation) นั้นทำโดยโหนดที่แตกต่างกัน โหนดที่ผนึกข้อมูล (Encapsulate node) จะเริ่มทำในส่วนต้นทางของอุโมงค์ส่งข้อมูล (Tunnel) ส่วนโหนดที่ถอดผนึกข้อมูล (Decapsulate node) จะทำในส่วนปลายของอุโมงค์



รูปที่ 2.8 การสร้างอุโมงค์รับส่งข้อมูล (Tunneling)

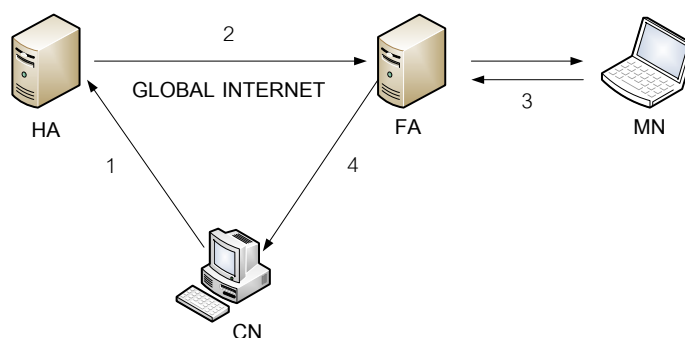
การสร้างอุโมงค์รับส่งข้อมูลเป็นวิธีการส่งข้อมูลข่าวสารที่ได้รับมาจาก HA ไปยัง FA เพื่อส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลเหล่านั้นไปยัง MN ซึ่งการสร้างอุโมงค์รับส่งข้อมูลนั้นสามารถกระทำผ่านการผนึกข้อมูล (Encapsulation) และการถอดผนึกข้อมูล (Decapsulation) โดยกระบวนการผนึกข้อมูลขั้นพื้นฐานที่ตัวแทนการเคลื่อนที่ทุกตัวในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ที่จะต้องรองรับ คือ IP-within-IP ในกระบวนการผนึกข้อมูลนี้จะเริ่มต้นที่ HA โดยจะเพิ่มส่วนหัวของไอพีใหม่ (Tunnel

header) เข้าไปยังส่วนหน้าของแพ็กเก็ตข้อมูลด้วยที่อยู่ไอพีปลายทางของ MN นั่นคือที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA) ของ FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการแก่ MN

ใน IP-within-IP ไอพีแพ็กเก็ตดั้งเดิม (Original IP packet) ทั้งแพ็กเก็ตจะถูกบรรจุเป็น payload ในแพ็กเก็ตใหม่ ดังนั้นเพื่อให้ได้แพ็กเก็ตเดิมคืนมา FA จึงต้องถอดส่วนที่เป็นส่วนหัวของไอพีออกและส่งไปยัง MN นอกจากนี้กระบวนการผนึกข้อมูลรูปแบบอื่น ๆ ที่มีการกำหนดส่วนของโพรโทคอลในรูปแบบที่เรียกว่า Minimal Encapsulation Protocol (MEP) โดยกระบวนการประมวลผลแบบ MEP นี้ ข้อมูลในส่วนหัวของแพ็กเก็ตจะถูกรวมเข้ากับส่วนของ inner minimal encapsulation header ซึ่งวิธีการผนึกข้อมูลแบบนี้จะสามารถลด overhead ที่อยู่ในส่วนหัวของแพ็กเก็ตได้ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ยังมีความซับซ้อนมากกว่าในวิธี IP-within-IP เล็กน้อย ส่วนกระบวนการถอดผนึกข้อมูล (Decapsulation) เป็นวิธีการถอดส่วนหัวของไอพีออกจากแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกเพิ่มมาจาก HA หลังจากกระบวนการถอดผนึกข้อมูลเสร็จสิ้นแล้ว FA ก็จะส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลไปยัง MN ต่อไป

2.6 กระบวนการรับและส่งแพ็กเก็ตของโนดเคลื่อนที่

รูปที่ 2.9 แสดงเส้นทางการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยัง MN ในกรณีที่ MN ได้เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายบ้านแล้ว เนื่องจาก MN อยู่บนโครงข่ายภายนอก จึงจำเป็นต้องลงทะเบียนแจ้งที่อยู่ปัจจุบันให้กับ HA ทราบ นั่นคือ ที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA) ที่ได้รับจาก FA ที่กำลังให้บริการอยู่



รูปที่ 2.9 เส้นทางการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังโนดเคลื่อนที่

สำหรับกระบวนการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังโนดเคลื่อนที่ที่อยู่บนโครงข่ายภายนอกมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. แพ็กเก็ตข้อมูลจากโนดที่ต้องการติดต่อ (Correspondent node, CN) กับ MN ถูกส่งมายังโครงข่ายบ้าน

2. HA ทำหน้าที่เป็นตัวแทนรับแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งมาถึง MN จากนั้น HA จะเพิ่มส่วนหัวของไอพีเข้าไปยังส่วนหน้าของแพ็กเก็ตข้อมูล โดยไอพีที่เพิ่มเข้าไปนี้จะมีที่อยู่ปลายทางเป็นที่อยู่ไอพีชั่วคราวของ MN นั่นคือ CoA และมีที่อยู่ต้นทางเป็นที่อยู่ของ HA
3. เมื่อแพ็กเก็ตข้อมูลถูกส่งมายัง FA แล้ว เพื่อให้ได้แพ็กเก็ตเดิมคืนมา FA จึงถอดฉีกข้อมูลส่วนที่เป็นส่วนหัวของไอพีออกและส่งข้อมูลต่อไปยัง MN
4. หาก MN ต้องการที่จะส่งข้อมูลไปยัง CN แพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกส่งมาจาก MN จะถูกส่งไปยัง CN โดยไม่จำเป็นต้องส่งผ่านไปยัง HA แต่อย่างใด

จากรูปที่ 2.9 พบว่าเส้นทางการส่งแพ็กเก็ตจาก CN มายัง MN นั้น แพ็กเก็ตข้อมูลจะต้องถูกส่งไปยัง HA ก่อนจะส่งต่อไปยัง MN แต่หาก MN ต้องการที่จะส่งแพ็กเก็ตไปยัง CN ซึ่งสามารถส่งแพ็กเก็ตได้โดยตรง โดยไม่จำเป็นต้องส่งผ่านไปยัง HA แต่อย่างใด ซึ่งทำให้เกิดปัญหาที่เกิดจากการจัดเส้นทางการเคลื่อนที่ของแพ็กเก็ตข้อมูลหรือเรียกว่าปัญหาการจัดเส้นทางแบบสามเหลี่ยม (Triangle routing problem) อย่างไรก็ตามนอกจากปัญหาการจัดเส้นทางการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลนี้แล้ว ยังพบว่ายังมีปัญหาสำคัญที่ต้องได้รับการแก้ไขและปรับปรุงต่อไป เช่น ปัญหาการแฮนด์ออฟ (Handoff) ที่เกิดจากการสูญเสียแพ็กเก็ตระหว่างการเคลื่อนที่ข้ามตำแหน่งการติดต่อสื่อสารชายเชื่อมโยงหนึ่งไปยังอีกชายเชื่อมโยงหนึ่ง และปัญหาการจัดการสภาพเคลื่อนที่ (Mobility management) ของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการของระบบโดยเฉพาะอย่างยิ่งประสิทธิภาพในการย่อ-ขยายได้ของระบบ (Scalability)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากปัญหาต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นระบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ดังที่ได้กล่าวข้างต้น พบว่าปัญหาการจัดการสภาพเคลื่อนที่ยังมีประเด็นสำคัญที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขและปรับปรุงอย่างเร่งด่วนทั้งปัญหาที่เกิดจากปริมาณข่าวสารการสัญญาณ (Signaling overhead) อันเนื่องมาจากการลงทะเบียนของ MN และปัญหาการสูญเสีย power consumption ของ MN จากการศึกษาลงรายละเอียดได้ว่ามีงานวิจัยจำนวนมากที่นำเอากระบวนการเพจ (Paging) มาประยุกต์ใช้กับระบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ จุดประสงค์เพื่อต้องการลดปริมาณข่าวสารการสัญญาณและปัญหาการสูญเสีย power consumption ของ MN ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้

พิจารณาและศึกษาการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของผู้ใช้ในระบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่เพื่อสนับสนุนการรองรับจำนวนของผู้ใช้บริการที่เพิ่มมากขึ้น โดยใช้การปรับปรุงระบบการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของกระบวนการเพจ

2.7.1 กระบวนการเพจ [5],[6]

ในการติดต่อสื่อสารผ่านโครงข่ายไร้สาย ระบบสามารถติดตามตำแหน่งปลายทางของโนดเคลื่อนที่ (Mobile node, MN) ได้จากการลงทะเบียน (Registration) และการเพจ (Paging) เพื่อติดตามและค้นหาตำแหน่งปัจจุบันของ MN ในโครงข่าย กระบวนการลงทะเบียนถูกนำมาใช้เพื่อแจ้งตำแหน่งปัจจุบันของ MN ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่อย่างไรก็ตามการนำกระบวนการลงทะเบียนมาใช้เพื่อติดตามตำแหน่งของ MN เพียงอย่างเดียวนั้น ส่งผลให้ระบบเกิด signaling overhead จำนวนมาก เนื่องจาก MN จำเป็นจะต้องลงทะเบียนแจ้งตำแหน่งของตนเองทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่เปลี่ยนข่ายเชื่อมโยง ดังนั้นกระบวนการเพจจึงถูกนำมาใช้เพื่อลด signaling overhead ที่เกิดขึ้น โดยกำหนดให้มีการจัดสรรพื้นที่การเพจ (Paging area) คือ กลุ่มของ FA ในพื้นที่ใกล้เคียง หาก MN ได้เคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจเดิมเข้าสู่พื้นที่การเพจใหม่ MN จะต้องลงทะเบียนแจ้งตำแหน่งของพื้นที่การเพจใหม่ไปยังโครงข่ายบ้าน เมื่อ MN เคลื่อนที่ข้ามเซลล์ภายในพื้นที่การเพจ MN ไม่จำเป็นต้องส่งข่าวสารการลงทะเบียนเพื่อแจ้งตำแหน่งปัจจุบันแต่อย่างใด ส่งผลให้ระบบสามารถลดปริมาณข่าวสารที่เกิดจากการลงทะเบียนที่ไม่สำคัญได้ เมื่อมีการเรียก (Call) เข้ามายัง MN โครงข่ายพยายามค้นหาตำแหน่งของ MN โดยอาศัยกระบวนการเพจ โครงข่ายจำเป็นต้องสร้างพื้นที่การเพจ (Paging area) สำหรับ MN ขึ้นมา และส่งข่าวสารการเพจ (Paging message) ไปยัง FA ทุกตัวในพื้นที่การเพจ กระบวนการเพจเพื่อค้นหาตำแหน่งของ MN ในโครงข่ายสามารถทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

1. Blanket Paging

วิธีนี้จะส่งข่าวสารการเพจไปยัง FA ทุกตัวที่อยู่ในพื้นที่การเพจเดียวกัน โดยสามารถแบ่งวิธีของการเพจวิธีนี้ได้เป็น 2 วิธี คือ

1.1 System wide paging

วิธีนี้จะไม่ใช้กระบวนการลงทะเบียนในการติดตามตำแหน่งของ MN แต่จะใช้เพียงกระบวนการเพจเท่านั้น เมื่อมีการเรียกเข้ามายัง MN ระบบจะส่งข่าวสารการเพจไปยัง FA ที่อยู่ในระบบทั้งหมดโดยทันที ทำให้สามารถค้นหา

ตำแหน่งของ MN ได้อย่างรวดเร็ว แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้ส่งผลให้ระบบเกิดปัญหา Signaling overhead จำนวนมาก เนื่องจากข่าวสารการเพจที่ถูกกระจายในพื้นที่ทั้งหมด

1.2 Location area paging

วิธีนี้ใช้การแบ่งพื้นที่ทั้งหมดออกเป็นพื้นที่การเพจ โดยจะใช้กระบวนการลงทะเบียนร่วมกับกระบวนการเพจ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น วิธีนี้สามารถลดปริมาณ Signaling overhead ที่เกิดจากกระบวนการเพจลงได้มากเมื่อเทียบกับวิธี System wide area เนื่องจากพื้นที่การเพจมีขนาดเล็กกว่า

2. Sequential Paging

พื้นที่การเพจในวิธีนี้จะถูกแบ่งออกเป็นพื้นที่เล็ก ๆ เรียกว่าพื้นที่ย่อย (Subareas) โดยระบบจะเพจหา MN ในพื้นที่ย่อยที่ถูกแบ่งออกมานี้ตามลำดับ เมื่อมีการเรียกเข้ามายัง MN ระบบจะส่งข่าวสารการเพจไปยังกลุ่มพื้นที่ย่อยกลุ่มแรก หากไม่มีการตอบสนองจาก MN อาจเนื่องจากขณะนี้ MN ไม่ได้อยู่ในกลุ่มพื้นที่ย่อยนี้แล้ว ดังนั้นระบบจึงจะเริ่มกระบวนการเพจครั้งที่สองในกลุ่มพื้นที่ย่อยส่วนอื่นต่อไป

2.1 Selective Paging

พื้นที่การเพจถูกแบ่งออกเป็นเขตพื้นที่ (Paging zones) แบบ step by step โดยวิธีนี้จะแบ่งเขตพื้นที่ตามลักษณะความน่าจะเป็นที่จะพบ MN ในพื้นที่นั้น โดยพบว่าเซลล์ที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกับเซลล์ที่ MN ได้ลงทะเบียนไว้ครั้งสุดท้ายมีความเป็นไปได้สูงที่จะพบ MN เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์อื่นที่อยู่ห่างออกไป ระบบจะค้นหาตำแหน่งของ MN โดยเริ่มค้นหาจากเขตพื้นที่ที่อยู่ใกล้กับเซลล์ที่ MN ได้ลงทะเบียนไว้ โดยส่งข่าวสารการเพจไปยัง FA ทุกตัวที่อยู่ในเขตพื้นที่นี้ หากไม่ได้รับการตอบสนองของ MN ในส่วนนี้ ระบบจะเริ่มค้นหาโดยส่งข่าวสารการเพจไปยังเขตพื้นที่อื่นต่อไป

2.2 Adaptive Paging

วิธีการเพจนี้พื้นที่การเพจมีคุณสมบัติที่สามารถปรับตัวได้ตามพารามิเตอร์ของ MN (Individual MN) เช่น ลักษณะการเคลื่อนที่ (Mobility

characteristic), อัตราความเร็วของ MN (Velocity) และเวลาที่ MN อาศัยอยู่ในเซลล์นั้น ๆ เป็นต้น ในวิธีนี้ MN สามารถคำนวณหาพื้นที่การเพจที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตนเองได้จากพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันนี้กระบวนการเพจถูกนำมาใช้เพื่อปรับปรุงการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของโครงข่ายไร้สาย (Wireless network) กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP) และระบบ Hierarchical Mobile IP ซึ่งจะพบว่ามิงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางในการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดการสภาพเคลื่อนที่ (Mobility management) จำนวนมากดังจะได้นำเสนอในส่วนตัวต่อไป

2.7.2 การปรับปรุงระบบการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของกระบวนการเพจโดยอาศัยหลักการ Location area paging scheme

2.7.2.1 P-MIP [7]

เนื่องจากปกติแล้วผู้ใช้บริการในระบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ที่ไม่ได้อยู่ในสถานะที่กำลังสื่อสารกับผู้อื่นตลอดเวลา แต่ส่วนมากจะอยู่ในสถานะที่ไม่ได้สื่อสารกับใคร โดยระบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่นี้ต้องการที่จะติดตามตำแหน่งปัจจุบันของ MN ด้วยการลงทะเบียน (Registration) เพียงอย่างเดียว เมื่อ MN เคลื่อนที่เข้าสู่โครงข่ายภายนอก MN ต้องแจ้งการลงทะเบียนกับ HA ทุกครั้งโดยไม่คำนึงถึงสถานะของ MN ว่าอยู่ในสถานะใด ส่งผลให้ระบบเกิดปริมาณข่าวสารการสัญญาณ (Signaling overhead) เป็นจำนวนมากและยังก่อให้เกิดปัญหา power consumption ของ MN อีกด้วย ในงานวิจัยนี้เสนอวิธีการลดปริมาณข่าวสารการสัญญาณอันเนื่องมาจากกระบวนการลงทะเบียนที่เกิดการแจ้งตำแหน่งของ MN ที่เกิดขึ้นในระบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ โดยอาศัยหลักการการลงทะเบียนและการเพจ (Paging) ที่ถูกใช้ในระบบโครงข่ายเซลล์ลูลาร์มาปรับปรุงใช้ในระบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ วิธีนี้สามารถช่วยเพิ่มการรองรับการขยายตัวของผู้ใช้ได้มากขึ้น (Scalability)

ในระบบโครงข่ายเซลล์ลูลาร์ (Cellular Network) กระบวนการเพจ (Paging) ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการค้นหาตำแหน่งโนดเคลื่อนที่ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงาน (Idle) โดยอนุญาตให้ระบบรู้ตำแหน่งคร่าว ๆ ของผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงาน (Idle) ก่อนที่จะมีการเรียกเข้ามา (Incoming calls) ยังผู้ใช้นั้นคือพื้นที่การเพจ (Paging area, PA) ที่ MN อาศัยอยู่ ซึ่งคือกลุ่มของสถานีฐาน (Base station) ที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน โดยทั่วไปสถานีฐานเหล่านี้จะอยู่ภายใต้การควบคุมของ MSC (Mobile switching center) เมื่อมีการเรียกเข้ามายัง MN MSC จะส่ง

ข่าวสารการเพจ (Paging message) ไปยังสถานีฐานทุกตัวภายในพื้นที่การเพจเดียวกัน และสถานีฐานแต่ละตัวเมื่อได้รับข่าวสารการเพจนี้ก็จะกระจาย (Broadcast) ข่าวสารการเพจภายในเซลล์ตนเองด้วยเช่นกัน ระบบจะค้นหาตำแหน่งที่ถูกต้องของ MN ก็ต่อเมื่อได้รับข่าวสารตอบรับการเพจ (Paging response message) จาก MN ที่ถูกค้นหา โดยข้อมูลตำแหน่งของ MN ที่ถูกต้องนี้จะถูกนำไปใช้ในกระบวนการเริ่มต้นการสื่อสารต่อไป

ในระบบโครงข่ายเซลลูลาร์จะเป็นการให้บริการแบบ connection-oriented โดยจะเริ่มกระบวนการเพจก็ต่อเมื่อมีการเรียกเข้ามาถึง MN เท่านั้น ขณะที่ระบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่จะเป็นการให้บริการแบบ connectionless หากมีการเพจในแต่ละแพ็กเก็ตข้อมูลที่เข้ามาจะส่งผลให้ระบบเกิด overhead จำนวนมากได้ เพื่อแก้ไขประเด็นนี้งานวิจัย P-MIP จึงได้กำหนดสถานะของ MN ออกเป็นสองสถานะ นั่นคือ สถานะทำงาน (Active MN) และสถานะไม่ทำงาน (Idle MN) โดย MN จะอยู่ในสถานะทำงานก็ต่อเมื่อตนเองเพิ่งได้รับหรือส่งข้อมูลไม่เกินช่วงระยะเวลา active timer period โดยแต่ละครั้งเมื่อ MN ได้รับหรือส่งแพ็กเก็ตข้อมูล อุปกรณ์จับเวลา (timer) จะเริ่มนับเวลาใหม่และเมื่อ active timer นับครบช่วงเวลา active timer period สถานะของ MN จะกลับเข้าสู่สถานะไม่ทำงานทันที และเมื่อ Idle MN มีการรับหรือส่งแพ็กเก็ตข้อมูลสถานะของ MN ก็จะไปเข้าสู่สถานะทำงานและตัว active timer ก็เริ่มการจับเวลาอีกครั้ง โดยระยะเวลา active timer period ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของผู้ให้บริการ ถ้าแพ็กเก็ตข้อมูลในขบวนแพ็กเก็ต (packet train) อยู่ใกล้กันมากพอ สถานะของ MN จะยังคงอยู่ในสถานะทำงานตลอดระยะเวลาการส่งขบวนแพ็กเก็ตนั้นเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งงานวิจัยนี้เรียกว่าเป็น data session แทนการเรียก (Call) ที่ใช้ระบบโครงข่ายเซลลูลาร์ และพิจารณา holding time ของ data session เช่นเดียวกับ call holding time ในโครงข่ายที่เป็นแบบ connection-oriented

วิธีนี้กำหนดให้ FA ทุกตัวที่รองรับการเพจ จะมีการกำหนดบิต 'P' ภายในข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement) ดังนั้นเมื่อ MN ได้รับข่าวสารประกาศจากตัวแทนก็จะสามารถตรวจสอบได้ว่า FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการอยู่นั้นรองรับการเพจหรือไม่ เช่นเดียวกัน จะมีการกำหนดค่าในบิต 'P' ในข่าวสารร้องขอการลงทะเบียน (Registration Request Message) ที่ถูกส่งโดย MN เพื่อแสดงว่า MN นั้นรองรับการเพจหรือไม่

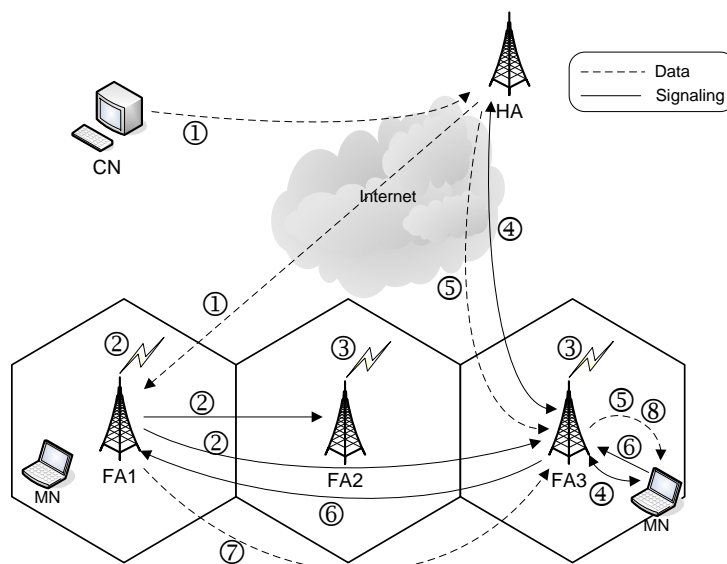
สถานะ MN มี 2 สถานะ คือสถานะ Active MN เมื่อ MN อยู่ในช่วงรับส่งแพ็กเก็ตข้อมูล ,ช่วงลงทะเบียนกับ HA และ MN จะเข้าสู่สถานะ Idle MN หลังจากเวลาที่มิได้รับส่งแพ็กเก็ตข้อมูลหรือลงทะเบียนเป็นระยะเวลาหนึ่ง สำหรับ Active MN จะมีการทำงานเหมือนกับใน Mobile IP มาตรฐานทุกอย่าง กล่าวคือ เมื่อมีการเคลื่อนที่เปลี่ยน FA MN จะต้องลงทะเบียนกับ HA เพื่อ

บอกที่อยู่ปัจจุบันของตน สำหรับ Idle MN เมื่อมีการเคลื่อนที่ข้ามไปยังพื้นที่การเพจใหม่ โดยกำหนดให้พื้นที่การเพจคือกลุ่มของ FA ที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน MN จะต้องลงทะเบียนพื้นที่การเพจใหม่กับ HA แต่ในกรณีที่ MN เคลื่อนที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจเดิมก็ไม่จำเป็นต้องส่งข่าวสารการสัญญาณใดๆ เมื่อมีแพ็กเก็ต ข้อมูลถูกส่งมาถึง MN แพ็กเก็ตเหล่านั้นจะถูกส่งไปยังโครงข่ายบ้าน (Home Network) ของ MN นั้นๆ HA จะดักจับแพ็กเก็ตเหล่านั้นแล้วจึงทำ encapsulation แพ็กเก็ตด้วยที่อยู่ใหม่ก่อนจะส่งต่อมายัง CoA ที่ถูกลงทะเบียนไว้โดย MN เราเรียก FA ที่ถูกลงทะเบียนนี้ว่าเป็น registered FA จากนั้นเมื่อ registered FA ได้รับแพ็กเก็ตนี้จะตรวจสอบว่ามีข้อมูลของ MN ตัวนั้นในบันทึกหรือไม่ ถ้าตรวจพบจะตรวจสอบต่อว่า MN นั้นรองรับการเพจหรือไม่ โดยดูจาก บิต 'P' ในข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนที่ MN ส่งมาตอนร้องขอการลงทะเบียน ถ้า MN รองรับการเพจก็จะตรวจสอบต่อว่า MN นั้นมีสถานะการทำงานเป็นอะไร ถ้า MN มีสถานะการทำงานเป็น active, registered FA ก็จะได้ decapsulate แพ็กเก็ตแล้วจึงส่งต่อไปยัง MN ได้ทันที เช่นเดียวกับในกรณีของ Mobile IP ปกติ แต่ถ้า MN มีสถานะการทำงานเป็น idle, registered FA ก็จะได้ส่งข่าวสารร้องขอการเพจ (Paging Request Message) ไปยัง FA ทุกๆตัวที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจเดียวกันพร้อมๆ กับกระจายข่าวสารร้องขอการเพจนี้ภายในพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์ตัวเอง ดังนั้นจะเห็นว่ายิ่งพื้นที่การเพจมีขนาดใหญ่ คือมีจำนวน FA ภายในพื้นที่การเพจมากก็จะยิ่งทำให้ต้นทุนในกระบวนการเพจเพื่อหา MN แต่ละครั้งมีค่ามาก โดยเฉพาะในระบบที่มีผู้ใช้งานจำนวนมากที่อัตราการเพจจะมีค่ามากขึ้นด้วย

ในที่นี้จะขออธิบายถึงศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการอธิบายการทำงานดังต่อไปนี้

- current FA คือ FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการ MN นั้นๆ อยู่
- registered FA คือ FA ที่ MN ได้ลงทะเบียนไว้กับ HA ซึ่งอาจเป็น FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการอยู่หรือไม่ก็ได้
- paging FA (PFA) คือ FA ที่ทำหน้าที่เป็นผู้เริ่มการส่งข่าวสารร้องขอการเพจในพื้นที่การเพจ

เมื่อ MN ได้รับข่าวสารร้องขอการเพจ ก็จะลงทะเบียนกับ HA ผ่านทาง current FA และหลังจากได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน (Registration reply message) MN ก็จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจ (Paging reply message) กลับไปยัง registered FA (ซึ่งก็คือ paging FA) ผ่านทาง current FA เพื่อบอกตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันของ MN (current FA) เมื่อ registered FA ได้รับข่าวสารตอบรับการเพจก็จะส่งแพ็กเก็ตที่ถูกพักไว้ให้กับ MN ผ่านทาง current FA ต่อไป



รูปที่ 2.10 ลักษณะการทำงานของ P-MIP

จากรูปที่ 2.10 ให้ FA1, FA2 และ FA3 รวมกันเป็นพื้นที่การเพจพื้นที่หนึ่งและ idle MN เคลื่อนที่จาก FA1 ไปยัง FA3 โดยไม่มีการลงทะเบียน ดังนั้นที่ HA จะมีการบันทึก Care-of Address ของ MN เป็นที่อยู่ของ FA1 ซึ่งเป็น registered FA เมื่อเน็ต CN ต้องการส่งข้อมูลไปหา MN ① แพ็กเก็ตจะถูกส่งไปที่ Home Network ของ MN นั้น แล้ว HA จึงดักจับแพ็กเก็ตข้อมูลเหล่านั้น พร้อมกับ encapsulate ด้วยที่อยู่ CoA แล้วจึงส่งต่อ (Tunnel) แพ็กเก็ตมายัง FA1 หลังจากที่ได้รับ แพ็กเก็ตข้อมูลนี้ก็จะตรวจสอบว่ามีข้อมูลบันทึกสำหรับ MN นั้นหรือไม่ ถ้าพบจึงตรวจสอบต่อว่าผู้ใช้เคลื่อนที่รองรับการเพจหรือไม่ ถ้ารองรับ MN มีสถานะการทำงานเป็นอะไร ในที่นี้เป็นสถานะ idle, FA1 จึงเริ่มพัก (buffer) แพ็กเก็ตข้อมูลพร้อมๆ กับส่งข่าวสารร้องขอการเพจ ② ภายในเซลล์และส่งไปยัง FA2 และ FA3 หลังจากนั้นทั้ง FA2 และ FA3 จะกระจายข่าวสารร้องขอการเพจนี้ ③ ในแต่ละเซลล์ของตัวเอง เมื่อ MN ได้รับข่าวสารร้องขอการเพจที่มี Home Address ของตนปรากฏอยู่ก็จะทำ Home Registration กับ HA ④ จากนั้น HA จึงเปลี่ยนเส้นทางแพ็กเก็ตข้อมูลมายัง FA3 เมื่อกระบวนการลงทะเบียนเสร็จสมบูรณ์ ⑤ และเมื่อ MN ได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน ④ แล้ว MN จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจ ⑥ กลับไปยัง FA1 (registered FA, paging FA) เพื่อให้ FA1 ส่งแพ็กเก็ตที่ถูกพักไว้มายัง MN ผ่านทาง FA3 (current FA) ⑦, ⑧ จากนั้น FA1 จึงลบบันทึกข้อมูลของ MN ตัวนั้นๆทิ้ง

อย่างไรก็ตามจากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของวิธี P-MIP ผ่านทางต้นทุนการสัญญาณ (Signaling cost) ในสภาวะต่างๆ จาก Signaling cost function ที่ได้มีการเสนอไว้พบว่า วิธี P-MIP ยังมีข้อเสียหรือประเด็นที่จะส่งผลกระทบต่อสมรรถนะของระบบดังนี้

1. ในกรณีที่ระบบมีผู้ใช้ที่มีอัตราการเคลื่อนที่ไม่สูงนัก ต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากการเพจมีแนวโน้มที่จะเพิ่มปริมาณของต้นทุนการสัญญาณโดยรวม แทนที่จะเป็นการช่วยลดภาระในการสัญญาณของระบบลง ส่งผลให้ระบบมีต้นทุนในการสัญญาณสูงกว่าในระบบ Mobile IP แบบดั้งเดิมในบางสถานะของระบบ ส่งผลให้ในการออกแบบจะมีช่วงการใช้งานได้น้อยลง
2. ในทางปฏิบัติ จะมีผู้ใช้จำนวนมากอยู่ภายในระบบ ซึ่งผู้ใช้แต่ละคนก็จะมีค่าพารามิเตอร์ที่หลากหลายแตกต่างกันไป ดังนั้นในการออกแบบ P-MIP ให้เหมาะที่สุดกับผู้ใช้ทั้งหมดจึงเป็นสิ่งที่ยาก โดยถ้าออกแบบให้พื้นที่การเพจมีขนาดใหญ่ก็จะเหมาะสมกับกลุ่มผู้ใช้ที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงแต่จะเกิดต้นทุนมากกับกลุ่มผู้ใช้ที่มีการเคลื่อนที่ด้วยอัตราที่ต่ำในทางกลับกันกรณีที่พื้นที่การเพจมีขนาดเล็กจะเหมาะสมกับกลุ่มผู้ใช้ที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำแต่จะเกิดต้นทุนมากกับกลุ่มผู้ใช้ที่มีการเคลื่อนที่ด้วยอัตราที่สูง
3. ระบบ P-MIP มีต้นทุนในการสัญญาณที่ค่อนข้างถูกกระทบโดยง่ายจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบที่เปลี่ยนแปลง เช่น Hop weight ratio, data session rate, ขนาดของพื้นที่การเพจ ความเร็วของโนดเคลื่อนที่ และระยะทางระหว่างตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันกับ HA ดังจะแสดงต่อไปในส่วนของการวิเคราะห์ ซึ่ง sensitivity ของระบบที่เกิดขึ้นนี้จะส่งผลเสียต่อระบบทำให้ผู้ออกแบบหรือดูแลระบบยากต่อการบริหารจัดการทรัพยากรอีกทั้งอาจส่งผลต่อคุณภาพการให้บริการ (QoS) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบที่มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แปรเปลี่ยนได้ตามเวลา ซึ่งพบได้ในระบบโครงข่ายทั่วไป
4. วิธี P-MIP เวลาเพจหาโนดเคลื่อนที่จะทำการเพจหาทั้งพื้นที่การเพจ ทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรโดยเฉพาะในข่ายเชื่อมโยงไร้สาย (wireless link) ที่มีทรัพยากรอยู่อย่างจำกัด

2.7.2.2 DLP–MIP: Distributed Local Paging Scheme for Mobility Management in Mobile IP [8]

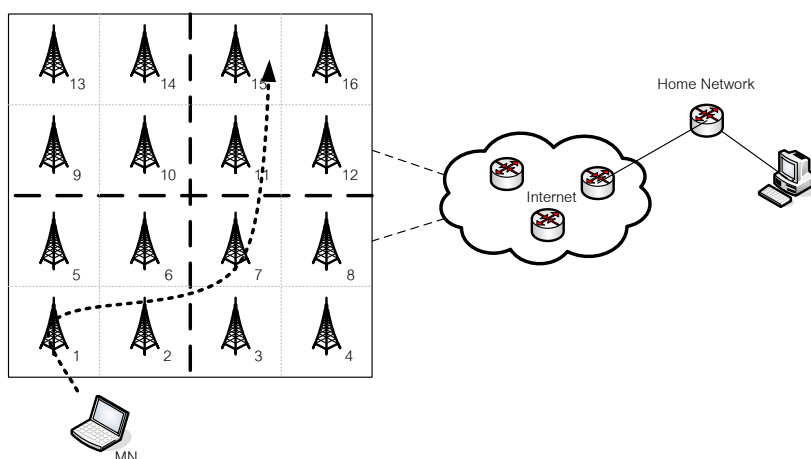
จากปัญหาที่เกิดขึ้นใน P-MIP งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีแก้ไขวิธีการจัดการสภาพเคลื่อนที่สำหรับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถลดต้นทุนการสัญญาณโดยรวมของระบบ รวมถึงลด sensitivity ของระบบที่มีต่อพารามิเตอร์หลาย ตัวโดยการจำกัดขนาดของพื้นที่การเพจให้มีขนาดเล็กลง โดยอาศัยหลักการแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นพื้นที่การเพจย่อย (Sub-PA, SPA) และกำหนดตัวแทนในการดูแลที่เหมาะสม นั่นคือมีการกำหนดการจัดวางตำแหน่งของตัวแทนโครงข่ายภายนอก (paging foreign agent, pFA) ที่ถูกลงทะเบียนไว้กับตัวแทนบ้าน (HA) และ FA ที่ทำหน้าที่เริ่มต้นกระจายข่าวสารการเพจในพื้นที่การเพจย่อย (Sub-pFA, SPA) เพื่อช่วยพัฒนาประสิทธิภาพการสัญญาณที่มีในโครงข่ายโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และ P-MIP

โดยแนวทางที่เสนอในงานวิจัยนี้กำหนดให้ FA ทุกตัวในระบบสามารถทำหน้าที่เป็นตัวแทนโครงข่ายภายนอก (paging foreign agent, pFA) ได้ คือสามารถรองรับกระบวนการเพจ และกำหนดให้ภายในพื้นที่การเพจหนึ่งมีการแบ่งออกเป็นพื้นที่ย่อย โดย FA แต่ละตัวที่รองรับการเพจจะมีการกำหนดบิต “P” ในข่าวสารประกาศจากตัวแทน เมื่อ MN ได้รับข่าวสารนี้ก็จะตรวจสอบได้ว่า FA นั้นรองรับการเพจหรือไม่ ขณะเดียวกันในข่าวสารร้องขอลงทะเบียนที่ถูกส่งโดย MN ก็จะมีการกำหนดบิต “P” เพื่อบอกว่า FA ว่า MN นั้นรองรับการเพจหรือไม่ เช่นเดียวกับวิธี P-MIP

สำหรับ Active MN จะมีการทำงานเช่นเดียวกับในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ กล่าวคือ เมื่อมีการเคลื่อนที่เปลี่ยน FA ก็จะต้องลงทะเบียนบอก HA ทุกครั้ง ขณะที่ idle MN ทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจจึงจะลงทะเบียนที่อยู่ของ pFA ตัวใหม่กับ HA โดยที่ HA ตัวแรกในพื้นที่การเพจที่ MN ได้เคลื่อนที่ผ่านเข้าไปจะทำหน้าที่เป็น pFA ให้กับ MN และจะคอยติดตามการเคลื่อนที่ของ MN ตัวนั้นตลอดระยะเวลาที่ MN ยังคงอยู่ในพื้นที่การเพจเดิม และเมื่อ idle MN มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจย่อยภายในพื้นที่การเพจเดิม FA ตัวแรกในพื้นที่การเพจย่อยที่ MN เคลื่อนที่ผ่านเข้าไปจะทำหน้าที่เป็น Sub-pFA คือรับผิดชอบดูแล MN ตัวนั้นตลอดระยะเวลาที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจย่อยเดิม MN เคลื่อนที่ข้ามไปยังพื้นที่การเพจย่อยใหม่ในพื้นที่การเพจเดิม MN จะต้องแจ้งที่อยู่ของ Sub-pFA ปัจจุบันให้ pFA ทราบโดยเราเรียกว่าเป็นการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่ง (Location Update) ซึ่งการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งนี้ไม่ได้ทำให้ MN เปลี่ยนจากสถานะ Idle เป็น Active แต่อย่างใด ส่วนในกรณีที่ Idle MN มีการเคลื่อนที่ที่อยู่ภายใน SPA ผู้ใช้ไม่จำเป็นจะต้องลงทะเบียนหรือส่งข่าวสารการสัญญาณใด

รูปที่ 2.12 แสดงการทำงานของวิธี DLP-MIP โดยเริ่มต้นจาก Idle MN เคลื่อนที่ข้ามมายังพื้นที่การเพจที่พิจารณาผ่านทาง FA_1 เมื่อ MN ตรวจพบว่าอยู่ในพื้นที่การเพจใหม่ก็จะลงทะเบียนกับ HA เพื่อให้ HA บันทึกที่อยู่ของ pFA (ที่อยู่ของ FA_1) จากนั้นเมื่อ MN ได้เคลื่อนที่ข้ามไปยัง FA_2 เนื่องจากยังคงอยู่ในพื้นที่เพจย่อยเดิมจึงไม่ต้องส่งข่าวสารการสัญญาณใด หากผู้ใช้ได้เคลื่อนที่ข้ามมายัง FA_3 ซึ่ง MN ตรวจพบได้ว่าอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยใหม่แต่ยังคงอยู่ภายในพื้นที่การเพจเดิม MN จะส่งข่าวสารแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งไปยัง pFA เพื่อบอกที่อยู่ของ Sub-pFA ปัจจุบันเช่นเดียวกับในกรณีที่ MN ได้เคลื่อนที่จาก FA_7 ไปยัง FA_{11} MN จะต้องส่งข่าวสารแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งไปยัง pFA เพื่อบอกที่อยู่ของ Sub-pFA ให้ pFA ทราบ

ขณะที่ MN กำลังอยู่ในเซลล์ของ FA_{15} เมื่อมีแพ็กเก็ตข้อมูลที่ต้องการส่งถึง MN HA จะเป็นตัวแทนรับแพ็กเก็ตข้อมูลและทำหน้าที่ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลเหล่านั้นมายัง pFA ที่ได้บันทึกเอาไว้ซึ่งก็คือ FA_1 เมื่อได้รับแพ็กเก็ตข้อมูล FA_1 จะตรวจสอบว่ามีบันทึกของ MN นี้หรือไม่ หากตรวจพบแล้ว MN จะตรวจสอบต่อไปว่า Sub-pFA ที่ MN ได้แจ้งไว้คือตำแหน่งใด ซึ่งพบว่า Sub-pFA ที่บันทึกไว้คือ FA_{11} ดังนั้น FA_1 จึงส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลไปยัง FA_{11} โดยทันที หลังจาก Sub-pFA ได้รับแพ็กเก็ตจะตรวจสอบข้อมูลในบันทึกว่ามีข้อมูลของผู้ใช้รายนี้หรือไม่ ถ้ามี Sub-pFA จะส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยังเซลล์ทุกตัวภายในพื้นที่การเพจย่อยอันได้แก่ FA_{12} , FA_{15} และ FA_{16} พร้อมกับกระจายข่าวสารการเพจนี้ในพื้นที่เซลล์ของตนเอง เมื่อ FA_{12} , FA_{15} และ FA_{16} ได้รับข่าวสารร้องขอการเพจนี้ FA แต่ละตัวจะกระจายข่าวสารการเพจนี้ในแต่ละเซลล์ของตนเอง และหลังจากที่ MN ตรวจพบ HoA ของตัวเองในข่าวสารการเพจ MN จะทำ Home registration กับ HA เมื่อกระบวนการลงทะเบียนเสร็จสมบูรณ์ HA จะเปลี่ยนเส้นทางของแพ็กเก็ตมายัง FA_{15} (current FA) โดยทันทีซึ่งเป็น optimal path พร้อมกันนั้น pFA ใหม่และ MN จะบันทึกสถานะของ MN เป็น active และเริ่มต้นนับ active timer ขณะเดียวกัน MN จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจผ่าน FA_{15} ไปยัง FA_{11} เพื่อขอรับแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกพักเอาไว้ที่ FA_{11} ต่อไป ขณะนี้ CoA ของ MN ที่ถูกบันทึกไว้ที่ HA จะเป็นที่อยู่ของ FA_{15} และเมื่อ MN ไม่ได้รับหรือส่งแพ็กเก็ตข้อมูลใดเกินช่วงเวลา Active timer period สถานะของ MN ที่ถูกเก็บไว้ที่ FA_{15} และ MN จะกลับเข้าสู่สถานะ Idle อีกครั้งหนึ่งและ FA_{15} จะทำหน้าที่เป็น pFA ให้กับ MN แทน FA_1 ต่อไป

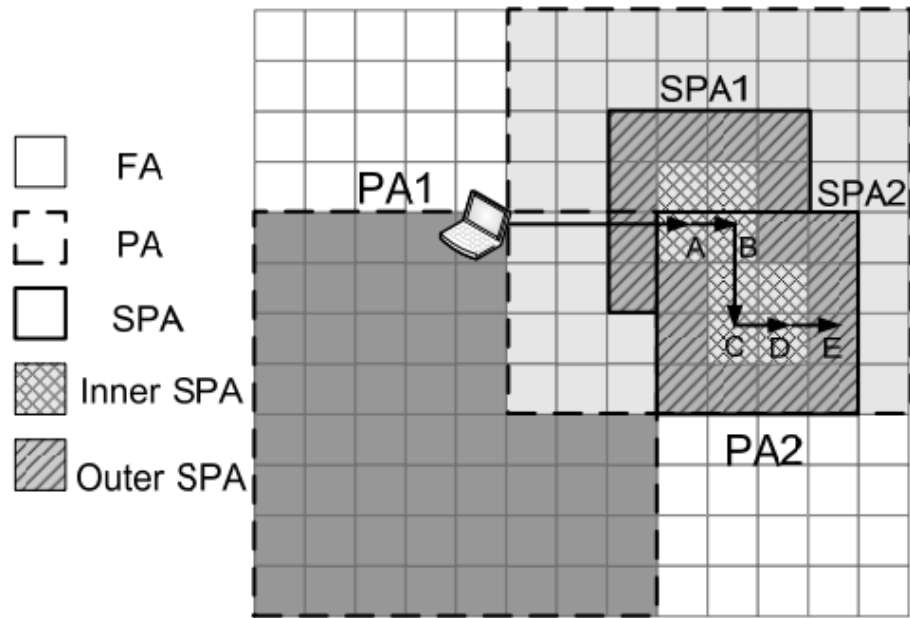


รูปที่ 2.11 การทำงานของวิธี DLP-MIP

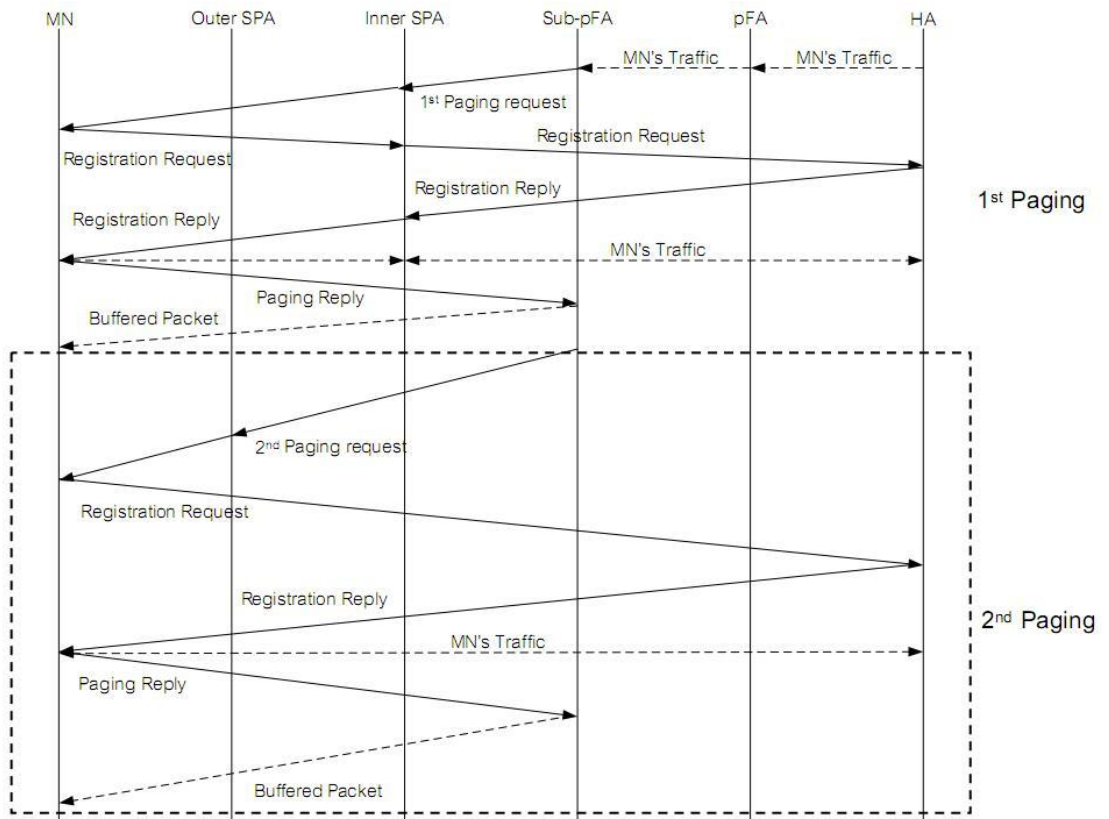
2.7.2.3 TSP-MIP: Two-Step Paging for Mobile IP [9]

งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการลดต้นทุนการสัญญาณโดยใช้แบบแผนเพจจิงสองขั้นตอนสำหรับโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (Two-Step Paging for Mobile IP, TSP-MIP) โดยได้แบ่งพื้นที่การเพจจอย (SPA) ออกเป็นพื้นที่การเพจจอยภายใน (Inner SPA) และพื้นที่การเพจจอยภายนอก (Outer SPA) เนื่องจากพบว่าจากลักษณะการจัดวางรูปแบบของพื้นที่การเพจจอยแบบพื้นที่การเพจจอยซ้อนทับกัน (Overlapping SPA) MN จะมีโอกาสอยู่ในบริเวณศูนย์กลางของพื้นที่การเพจจอย นั่นคือบริเวณ Inner SPA มากกว่าที่จะอยู่ในบริเวณขอบของพื้นที่การเพจจอยหรือ Outer SPA ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 9

วิธีนี้เสนอให้มีการเพจสองครั้งภายใน SPA โดยจะเริ่มเพจหา MN ในส่วนของ Inner SPA ก่อนเป็นอันดับแรก หากไม่พบ MN ในส่วนของการเพจครั้งแรกระบบจะเริ่มเพจหา MN เป็นครั้งที่สองในส่วนของ Outer SPA ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 2.12 ลักษณะพื้นที่การเพจของ TSP-MIP



รูปที่ 2.13 รูปการแบบส่งข้อมูล TSP-MIP

วิธี TSP-MIP สามารถลดต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการเพจจากรวิธี DLP-MIP ลงได้ แต่เมื่อพิจารณาถึงช่วงเวลาประวิงที่เกิดจากการเพจ (The paging delay) พบว่าวิธี TSP-MIP มีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าวิธี DLP-MIP เนื่องจากวิธี TSP-MIP อาศัยกระบวนการเพจสองขั้นตอนภายในพื้นที่การเพจย่อย ดังนั้นหากระบบไม่สามารถค้นหาตำแหน่งของผู้ใช้เจอจากกระบวนการเพจครั้งแรกสำเร็จ ระบบต้องเริ่มกระบวนการเพจครั้งที่สองในส่วนที่เหลือของพื้นที่การเพจย่อย ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้เกิดช่วงเวลาประวิงที่เกิดจากการเพจครั้งที่สองที่ระบบจะต้องรอให้กระบวนการเพจครั้งแรกเกิดขึ้นช่วงเวลาหนึ่งระบบถึงจะเริ่มกระบวนการเพจครั้งที่สองต่อไป

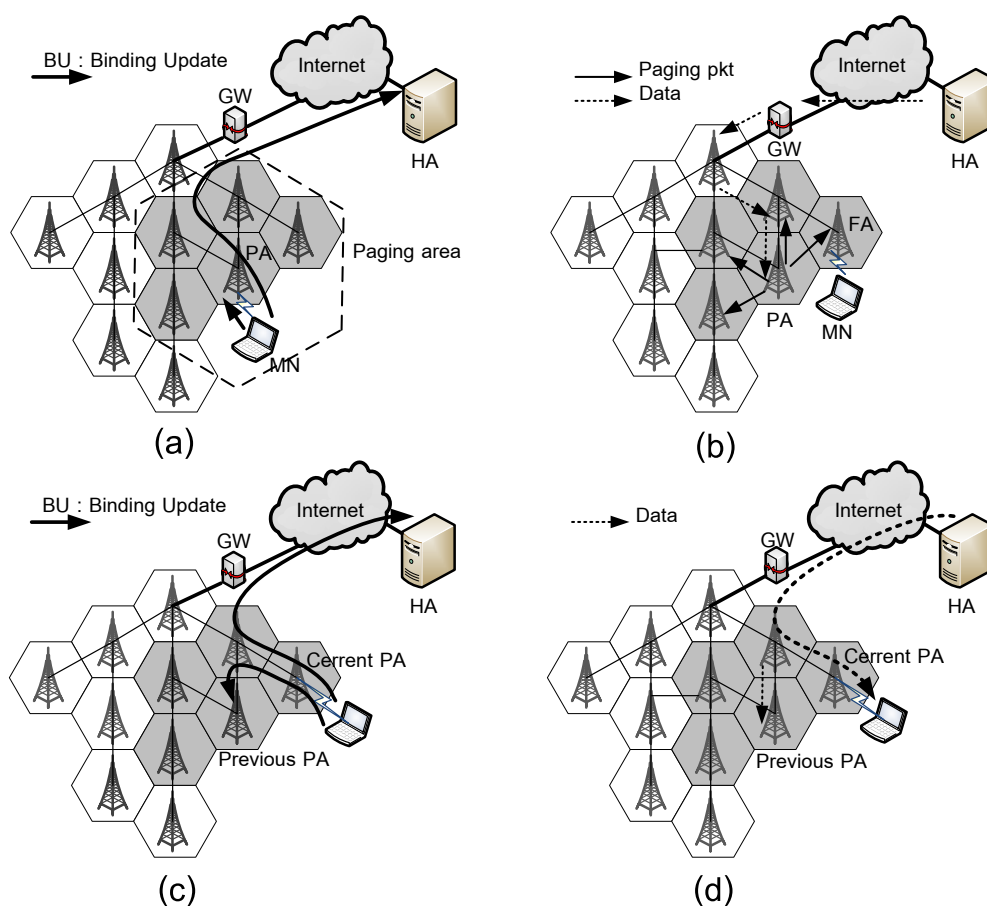
2.7.3 การปรับปรุงระบบการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของกระบวนการเพจโดยอาศัยหลักการ Adaptive Paging scheme

2.7.3.1 Extending Mobile IP with adaptive individual paging [10]

เช่นเดียวกับกับวิธี P-MIP [7] วิธีนี้ได้นำกระบวนการเพจที่ถูกใช้ในในระบบโครงข่ายเซลลูลาร์ (Cellular network) มาประยุกต์ใช้ในระบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP) เพื่อลดปริมาณข่าวสารการสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบ แต่สิ่งที่แตกต่างจากระบบโครงข่ายเซลลูลาร์ทั่วไปคือ ในงานวิจัยนี้เสนอให้มีการใช้หลักการ Individual และ Adaptive paging scheme เพื่อลดต้นทุนการสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบ เนื่องจากปกติแล้วผู้ใช้แต่ละคนในระบบจะมีลักษณะการเคลื่อนที่ (Mobility pattern), อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ (Average speed) และอัตราการเข้ามาขอแพ็กเก็ตข้อมูล (Incoming calls) ที่แตกต่างกัน ผู้ใช้แต่ละคนสามารถนำเอาค่าพารามิเตอร์เหล่านี้มาคำนวณหาพื้นที่การเพจ (Paging area, PA) เฉพาะที่เหมาะสมที่สุด (optimum PA) ของตน โดยใช้สมการต้นทุนการสัญญาณที่เสนอแล้วจึงผ่านกระบวนการ iterative algorithm เพื่อให้ได้ต้นทุนการสัญญาณต่ำที่สุด ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้พื้นที่การเพจเกิดจากรวมกลุ่มของสถานีฐาน (Base station) ที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน โดยสถานีฐานแต่ละตัวนี้สามารถเป็นได้ทั้งตัวแทนโครงข่ายภายนอก (Foreign agent, FA) และตัวแทนการเพจ (Paging agent, PA) คือสถานีฐานที่ตั้งอยู่จุดศูนย์กลางของพื้นที่การเพจและทำหน้าที่เริ่มต้นกระจายข่าวสารการเพจในพื้นที่การเพจ

เมื่อ MN ตรวจพบว่าตนเองได้เคลื่อนออกจากพื้นที่การเพจแล้ว MN จะคำนวณเพื่อหาขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะสมที่ให้ต้นทุนการสัญญาณต่ำที่สุด และ FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการกับ MN จะทำหน้าที่เป็น PA แทนที่ จากนั้น MN จะส่ง binding update ไปยัง HA เพื่อแจ้งตำแหน่งของ PA ใหม่พร้อมทั้งแจ้งค่าของพื้นที่การเพจใหม่ (รูปที่ 2.13(a)) เมื่อ HA ได้

รับแพ็กเก็ตข้อมูลที่ต้องการส่งไปถึง MN HA จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลเหล่านี้ไปยัง FA ที่ได้ลงทะเบียนไว้ก่อนหน้านี้ นั่นคือ PA หลังจาก PA ได้รับแพ็กเก็ตข้อมูลแล้ว PA จะพักแพ็กเก็ตข้อมูลเหล่านี้ไว้และเริ่มกระจายข่าวสารร้องขอการเพจ (Paging request message) ไปยัง FA ทุกตัวที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจเดียวกัน เพื่อต้องการค้นหาตำแหน่งปัจจุบันของ MN (รูปที่ 2.13(b)) หลังจาก MN ได้รับข่าวสารนี้ MN จะคำนวณเพื่อหาขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตนเองทันทีและส่งขนาดของพื้นที่การเพจนี้ให้กับ FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการอยู่ ซึ่ง FA นี้จะกลายเป็น PA ใหม่ของพื้นที่การเพจใหม่ทันที และ MN จะส่งขนาดของพื้นที่การเพจใหม่นี้ให้กับ HA และ PA ตัวเดิม (รูปที่ 2.13(c)) เมื่อ PA ตัวเดิมและ HA ได้รับข่าวสารการลงทะเบียนจาก MN ก็ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยัง FA ที่ได้รับการลงทะเบียนทันที (รูปที่ 2.13(d))



รูปที่ 2.14 ลักษณะการทำงานของ Extending Mobile IP with adaptive Individual Paging

อย่างไรก็ตามวิธีนี้อาจส่งผลให้เกิดปัญหา power consumption ของ MN เนื่องจาก MN ต้องคำนวณอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะสมที่สุด และพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการคำนวณมีค่าแปรเปลี่ยนได้ง่าย งานวิจัย [10] จึงวิเคราะห์ผลของ

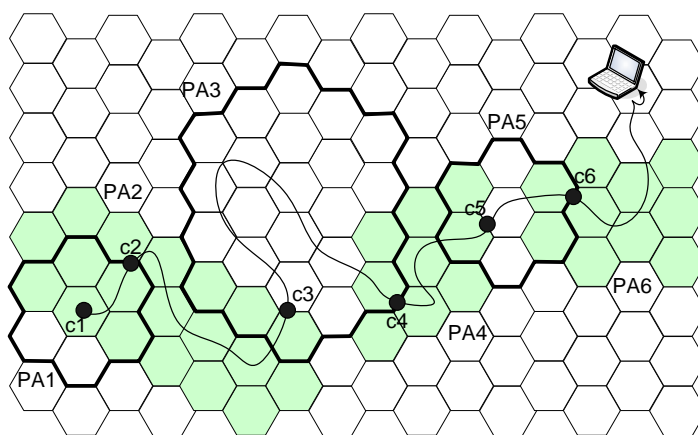
พารามิเตอร์ของผู้ใช้ที่เกี่ยวข้องในการคำนวณเพื่อหาขนาดที่เหมาะสมที่สุดของพื้นที่การเพจ นั่นคือ อัตราการเข้ามาของข้อมูล (data session) โดยงานวิจัย [10] พบว่าอัตราการเข้ามาของข้อมูลนั้นมีผลต่อขนาดของพื้นที่การเพจเพียงเล็กน้อยเท่านั้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผู้ใช้มีอัตราการเคลื่อนที่ต่ำ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนับสนุนให้การคำนวณหาขนาดของพื้นที่การเพจไม่จำเป็นต้องขึ้นอยู่กับค่าอัตราการเข้ามาของข้อมูล ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่มีการเปลี่ยนแปลงได้

2.7.3.2 An Adaptive Per-Host IP Paging Architecture [11]

งานวิจัยนี้เสนอว่า นอกเหนือจากขนาดที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้เคลื่อนที่แต่ละคน รูปร่างของพื้นที่การเพจก็มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการเพจเช่นเดียวกัน โดยในวิธีนี้ขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะสมที่สุดจะขึ้นกับลักษณะการเคลื่อนที่และอัตราเซสชันข้อมูลของผู้ใช้ โดยผู้ใช้เคลื่อนที่ที่จะเป็นผู้คำนวณขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะสม ส่วนกระบวนการคำนวณรูปร่างของพื้นที่การเพจที่เหมาะสมจะถูกทำโดยโครงข่าย จะเห็นว่าการกำหนดรูปร่างพื้นที่การเพจให้ผู้ใช้แต่ละคนเป็นหน้าที่ที่เพิ่มเติมเข้ามา ซึ่งผู้เสนอได้กำหนดให้มีตัวแทนทำหน้าที่เก็บข้อมูลรูปแบบการเคลื่อนที่ในโดเมนที่เรียกว่า Paging Area Configuration Agent (PACA) โดยตัวแทนนี้จะทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ภายในโดเมนเพื่อใช้ในการคำนวณความน่าจะเป็นที่ MN จะเคลื่อนที่จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง โดยกระบวนการทำงานเริ่มจากเมื่อ MN มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจ MN จะลงทะเบียนกับ HA ผ่านทาง PFA พร้อมกับส่งข้อมูลขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะสมจากการคำนวณให้กับ PFA เมื่อ PFA ได้รับข่าวสารดังกล่าวก็จะส่งข้อมูลที่ได้รับไปยัง PACA เพื่อประมวลผลว่ามี FA ไตบ้างในพื้นที่การเพจใหม่นี้ จากนั้นเมื่อ PFA ได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนจาก HA ก็จะทำรายการชื่อ FA ทั้งหมดที่อยู่ในพื้นที่การเพจใหม่ลงในข่าวสารก่อนจะส่งต่อไปให้กับ MN ต่อไป รูปที่ 12 แสดงตัวอย่างรูปแบบพื้นที่การเพจที่เกิดขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปขึ้นกับค่าพารามิเตอร์ของผู้ใช้ โดยจุด c แสดงถึงตำแหน่งที่ MN เคลื่อนที่ข้ามออกจากพื้นที่การเพจเดิมและเริ่มต้นการลงทะเบียน

MN จะคำนวณหาค่า K_{opt} โดยนำไปคำนวณจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่เหมาะสม (S_{max}) จาก $S_{max} = 1 + 3 * K_{opt} * (K_{opt} - 1)$ และส่งไปให้ PACA ซึ่งมีข้อมูลความน่าจะเป็นที่ MN จะเคลื่อนที่จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งในโดเมน PACA จะเริ่มสร้างพื้นที่การเพจโดยค่อยๆเพิ่มเซลล์ที่มีความน่าจะเป็นมากที่สุดที่ MN จะเคลื่อนที่ไปจนครบตามค่า S_{max} รูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจที่สามารถปรับขนาดและรูปร่างตามลักษณะการเคลื่อนที่และความเร็วของผู้ใช้ เมื่อ MN ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงานเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ที่

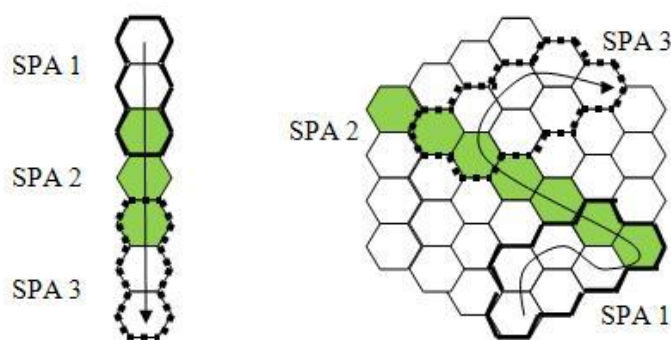
c_1 จากนั้น MN จะคำนวณค่าพื้นที่การเพจ PA_1 ซึ่งรูปร่างและขนาดของพื้นที่การเพจจะเป็นไปตามลักษณะของการเคลื่อนที่ของ MN จากนั้นเมื่อ MN เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจ PA_1 ที่เซลล์ c_2 และที่จุดเชื่อมต่อนี้ MN จะคำนวณขนาดของพื้นที่การเพจใหม่นั้นคือพื้นที่การเพจ PA_2 และหาก MN เคลื่อนที่ออกจาก PA_2 ที่เซลล์ c_3 MN จะต้องคำนวณหาขนาดของพื้นที่การเพจใหม่ต่อไป



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจในวิธี Adaptive Per-Host IP Paging

2.7.3.3 ADLP-MIP: Adaptive Individual Distributed Local Paging Scheme for Reducing Signaling Costs in Mobile IP [12]

งานวิจัยนี้ใช้หลักการทำงานคล้ายกับของ P-MIP [7] แต่สิ่งที่แตกต่างคือ วิธีนี้เสนอให้ MN สามารถคำนวณหาพื้นที่การเพจที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตนเองได้ ในวิธีนี้ MN จะมีขนาดพื้นที่การเพจเฉพาะที่เหมาะสมที่สุด (optimum PA) ที่จะทำให้เกิดต้นทุนการสัญญาณต่ำที่สุด (รูปที่ 11) เพราะแต่ละ MN จะมีความเร็วในการเคลื่อนที่และอัตราการรับแพ็กเก็ตข้อมูลแตกต่างกันไป ซึ่งทำให้พื้นที่การเพจที่เหมาะสมของแต่ละ MN แตกต่างกันไป ด้วย MN จะเก็บข้อมูลความเร็วในการเคลื่อนที่และอัตราการรับแพ็กเก็ตข้อมูล โดยคำนวณออกมาเป็นค่า K_{opt} โดยเมื่อ MN เคลื่อนที่ออกนอกพื้นที่การเพจเดิม MN จะลงทะเบียนกับ FA ที่จะทำหน้าที่เป็น PFA พร้อมทั้งแจ้งค่า K_{opt} เพื่อให้ PFA สามารถกำหนด FA ที่จะอยู่ในพื้นที่การเพจแล้วแจ้งให้กับ MN ทราบได้.



รูปที่ 2.16 ตัวอย่างขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจในวิธี ADLP-MIP

2.7.3.4 An Adaptive Dynamic Scheme For A Dynamic Paging Performance In Hierarchical Mobile IPv6 [13]

ในระบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่โดยทั่วไป MN จะต้องแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งโดยการลงทะเบียนไปยัง HA ทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่ ทำให้เกิดข่าวสารการสัญญาณมาก นอกจากวิธีการจัดการสภาพเคลื่อนที่โดยใช้กระบวนการเพจเพื่อลดปริมาณข่าวสารที่เกิดจากการลงทะเบียนในโครงข่ายหลักแล้ว (Core network) แล้วระบบ HMIPv6 (Hierarchical Mobile IPv6) [18] ถูกออกแบบมาเพื่อลดปริมาณข่าวสารการสัญญาณที่เกิดจากการลงทะเบียนระหว่าง MN, CN และ HA โดยอาศัยหลักการการทำงานแบบลำดับชั้น วิธี HMIPv6 นี้กำหนดตัวแทน MAP (Mobility Anchor Point) โดยทำหน้าที่เป็นตัวแทนรับแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกส่งมาถึง MN จากนั้นจะผนึกข้อมูล (encapsulate) ก่อนจะส่งต่อไปยังที่อยู่ปัจจุบันที่ MN อาศัยอยู่ โดย MAP จะทำหน้าที่คล้ายกับ HA ของวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เมื่อ MN เคลื่อนที่เปลี่ยน MAP domain ใหม่ MN จะต้องทำ Home registration ไปยัง HA และที่ HA จะบันทึกที่อยู่ RCoA ใหม่ซึ่งเป็นที่อยู่ของ MAP ตัวใหม่ หาก MN เคลื่อนที่เปลี่ยน FA ภายใน MAP domain ปัจจุบัน MN ไม่จำเป็นต้องทำ Home registration กับ HA แต่จะทำเพียงแค Regional registration คือแจ้งที่อยู่ปัจจุบันของ FA (LCoA) ให้กับ MAP ทราบเท่านั้นและที่อยู่ RCoA จะไม่มีการเปลี่ยนแปลง

ถึงแม้ว่าวิธี HMIPv6 จะสามารถลดปริมาณข่าวสารการสัญญาณที่เกิดขึ้นในโครงข่ายหลักได้ งานวิจัย [17] ยังพบว่าทุกครั้งที่ MN เคลื่อนที่เปลี่ยน FA ภายใน MAP domain จะต้องแจ้งการลงทะเบียนไปยัง MAP ส่งผลให้ปริมาณข่าวสารที่เกิดจากการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งเพิ่มขึ้น ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้เสนอวิธีลดปริมาณข่าวสารที่เกิดขึ้นโดยอาศัยกระบวนการเพจเช่นงานวิจัยจำนวนมากที่ได้กล่าวมาข้างต้น และยังได้กำหนดตัวแทน PAMAP (Paging

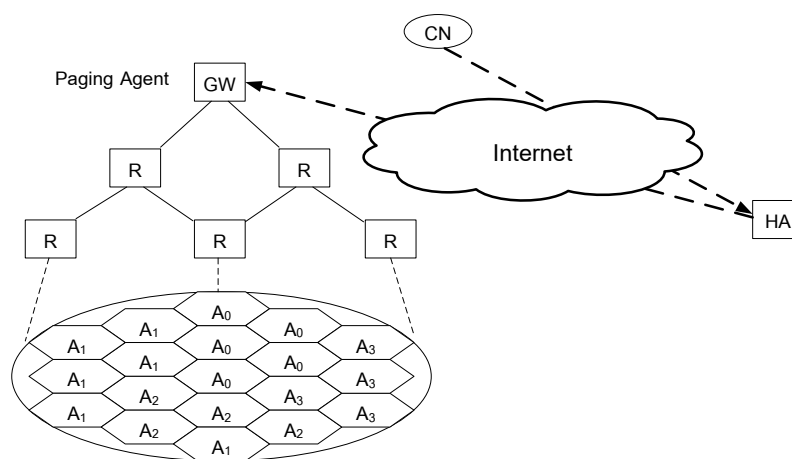
Agent MAP) ซึ่งทำหน้าที่เป็นทั้ง MAP และ HA ให้กับระบบ โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวแทนรับแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกส่งมาถึง MN และเป็นตัวแทนส่งข่าวสารการเพจไปยัง FA ทุกตัวภายในพื้นที่การเพจหรือ PAMAP's domain ด้วย โดยพื้นที่การเพจในวิธีนี้ MN สามารถคำนวณหาพื้นที่การเพจที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตนเองได้เช่นเดียวกับงานวิจัย [12] เมื่อมีแพ็กเก็ตข้อมูลต้องการส่งถึง MN PAMAP จะทำหน้าที่เป็นตัวแทนรับแพ็กเก็ตข้อมูลไว้และทำหน้าที่ส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ทุกตัวที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจพร้อมกับแพ็กเก็ตข้อมูลที่ได้รับมาจาก CN ด้วย หลังจากที่ FA ได้รับข่าวสารการเพจแล้วจะกระจายข่าวสารการเพจภายในเซลล์ตนเองด้วย เมื่อ MN ได้รับข่าวสารนี้จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจไปยัง FA ปัจจุบันที่ตนเองอาศัยอยู่และเริ่มส่ง regional binding update ไปยัง PAMAP เพื่อแจ้งที่อยู่ปัจจุบันให้ PAMAP ทราบ เพื่อขอให้ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลมาทันที ซึ่งพบว่า MN ส่งข่าวสารแจ้งที่อยู่ไปยัง PAMAP แค่เพียงข่าวสารเดียวเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเพจ HMIPv6 ทั่วไปที่ MN จะต้องส่งข่าวสารแจ้งที่อยู่ regional registration ไปยัง MAP และยังคงส่ง home registration ไปยัง HA อีกด้วยทำให้วิธีนี้ช่วยลดปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากการลงทะเบียนลงได้ อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าวิธีนี้สามารถลดปริมาณการสัญญาณในโครงข่ายหลักและโครงข่ายภายนอกได้ แต่เมื่อพิจารณาแล้วจะเห็นว่าลักษณะโครงข่ายของวิธีนี้มีลักษณะเป็นแบบ centralized system ส่งผลให้ระบบมีความมั่นคงต่ำเนื่องจากมีความไว (Sensitive) ต่อความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นที่ PAMAP ซึ่งเป็นโหนดศูนย์กลางได้ทำให้วิธีนี้ไม่มีประสิทธิภาพที่ดีเท่าที่ควร

2.7.4 การปรับปรุงระบบการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของกระบวนการเพจโดยอาศัยหลักการ Selective Paging scheme

2.7.4.1 A Cost-Effective Approach to Selective IP Paging Scheme Using Explicit Multicast [14]

ในงานวิจัยนี้เสนอให้มีการใช้วิธีการเพจแบบ Selective paging scheme โดยอาศัยหลักการเพจแบบ Xcast (Explicit Multicast) และการแบ่งพื้นที่การเพจ (Paging area) ออกเป็นพื้นที่การเพจย่อย (Sub-PAs) พื้นที่การเพจในวิธีนี้ถูกออกแบบเพื่อให้สามารถปรับตัวได้ตามรูปแบบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ (Mobility patterns) เพื่อลดต้นทุนการสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบ งานวิจัยนี้มีหลักการทำงานคล้ายกับ [8] และ [10] เมื่อมีข่าวสารร้องขอการเพจ (paging request packet) ถูกส่งมาเพื่อค้นหาตำแหน่งของ MN ตัวแทนการเพจ (Paging agent) จะเป็นตัวแทนรับแพ็กเก็ตข้อมูลเหล่านี้ ซึ่งเป็น AR (Access router) ที่ถูกลงทะเบียนไว้กับตัวแทนบ้าน โดยจะทำหน้าที่เริ่มต้นกระจายข่าวสารการเพจไปยัง ARs ทุกตัวภายในพื้นที่การเพจเพื่อที่จะค้นหาในปลายทาง

ต่อไป ในวิธีการเพจแบบ Selective paging scheme นี้ก่อนที่จะเริ่มส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง ARs ระบบจะต้องคำนวณจำนวนครั้งในการเพจนั้นคือจำนวนของพื้นที่การเพจย่อย ในที่นี้ได้กำหนดให้หนึ่งพื้นที่การเพจถูกแบ่งออกเป็น M พื้นที่การเพจย่อย นั่นก็คือจำนวนครั้งในการเพจจะเท่ากับ M ครั้ง หลังจากการคำนวณเสร็จสมบูรณ์ตัวแทนการเพจจะเริ่มส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยังกลุ่มพื้นที่ย่อยกลุ่มแรกโดยใช้การเพจแบบ xcast ในที่นี้กำหนดให้เป็นกลุ่ม A_0 (รูปที่ 2.15) หากได้รับการตอบสนองจาก MN แล้วระบบก็จะหยุดการค้นหา แต่ถ้าหากว่าไม่ได้รับการตอบสนองจาก MN ในการเพจครั้งแรกแล้ว ระบบจะเริ่มกระบวนการเพจในกลุ่มพื้นที่การเพจย่อยพื้นที่อื่นต่อไป นั่นคือกลุ่ม A_1, A_2 และ A_3 ต่อไปจนกว่าจะได้รับข่าวสารตอบรับการเพจจาก MN



รูปที่ 2.17 ลักษณะการทำงานของ Selective IP paging scheme

บทที่ 3

วิธีการที่นำเสนอ

เนื้อหาในบทที่ 3 เป็นการรวมเอาแนวความคิดและวิธีการในการพัฒนาและปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ดังที่ได้มีผู้นำเสนอไว้ในบทที่ 2 มาประยุกต์ใช้เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพการทำงานในด้านของการลดต้นทุนการสัญญาณโดยรวมของระบบให้ดีขึ้น งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการลดต้นทุนการสัญญาณโดยใช้แบบแผนเพจสองขั้นตอนสำหรับโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (Two Step Paging In External Sub-Paging Area and Adaptive Individual Paging in Internal Sub-Paging Area, TSAP-MIP) โดยได้แบ่งพื้นที่การเพจย่อย ภายนอก(External SPA) โดยใช้วิธี Location area paging scheme และ พื้นที่การเพจย่อยภายใน (Internal SPA) โดยใช้วิธี Individual paging scheme วิธีนี้เสนอให้มีการเพจสองครั้งภายใน SPA โดยจะเริ่มเพจหา MN ในส่วนของ Internal SPA ก่อนเป็นอันดับแรก หากไม่พบ MN ในส่วนของการเพจครั้งแรกระบบจะเริ่มเพจหา MN เป็นครั้งที่สองในส่วนของ External SPA โดยมีหลักการคำนวณหาพื้นที่การเพจที่เหมาะสมสำหรับโนดเคลื่อนที่ ซึ่งวิธีนี้จะช่วยลดต้นทุนการสัญญาณของระบบลงได้เมื่อการเพจครั้งแรกเสร็จสมบูรณ์ ทั้งนี้ได้เปรียบเทียบสมรรถนะของวิธี TSP-MIP กับวิธี ADLP-MIP, Mobile IP และวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ผ่านการวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณในเชิงคณิตศาสตร์และการจำลองการทำงาน

3.1 วิธีการที่นำเสนอ

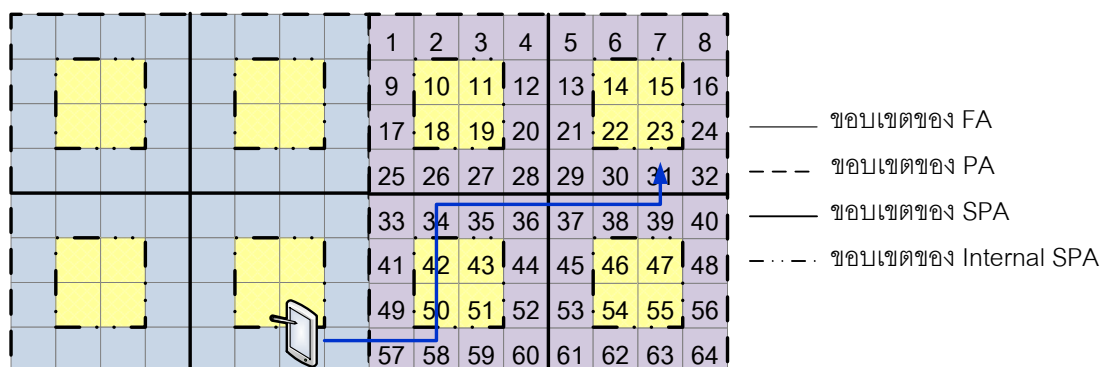
ในงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพและสมรรถนะของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP) โดยอาศัยหลักการพื้นฐานของกระบวนการเพจ ซึ่งมุ่งเน้นเพื่อต้องการลดปริมาณต้นทุนการสัญญาณ (Signaling cost) ในระบบทั้งต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากกระบวนการลงทะเบียนและกระบวนการเพจ อย่างไรก็ตามแนวทางในการพัฒนาเหล่านั้นสามารถแบ่งออกได้ 2 แนวทางสำคัญที่มีผู้ให้ความสนใจในการศึกษาและค้นคว้าวิจัยคือแนวทางที่พัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการเพจแบบ Location area paging scheme ซึ่งเป็นการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของผู้ใช้ที่ไม่ขึ้นอยู่กับข้อมูลของผู้ใช้แต่อย่างใด โดยอาศัยหลักการจัดแบ่งพื้นที่การเพจ, การปรับปรุงการลงทะเบียนและการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่ง ซึ่งวิธีนี้ช่วยประหยัด power consumption ของ MN ได้มากและยังช่วยลดความไว (Sensitivity) ในระบบที่มีต่อพารามิเตอร์ของผู้ใช้ในระบบได้อีกด้วย ขณะที่อีกแนวทางหนึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการเพจแบบ Adaptive paging scheme ที่ผู้ใช้สามารถคำนวณหาขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะสม

สำหรับตนเองได้ โดยอาศัยพารามิเตอร์ เช่น รูปแบบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้และอัตราการเข้ามาของแพ็กเก็ตข้อมูล ซึ่งล้วนแต่เป็นข้อมูลที่แปรเปลี่ยนได้ง่าย. จากงานวิจัย [13], [14] ถ้านำเอาสองวิธีนี้ คือทั้งแบบ Location area paging scheme และ Adaptive Individual Paging มาประยุกต์ใช้ร่วมกันน่าจะให้ผลที่ดีกว่าในด้านการลด Signaling Cost เนื่องจากมีการคำนวณหา Paging Area ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ MN แต่ละตัวในพื้นที่ Location area paging ในที่นี้จะมีการเพจ แบบ Two Step Paging [9] ในพื้นที่ย่อยภายนอก และแบบ Adaptive Individual paging area [12] ในพื้นที่ย่อยภายใน เพราะว่าคำนวณหาพื้นที่การเพจที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตนเองได้.

3.1.1 หลักการสร้างพื้นที่การเพจ (Paging area construction)

ในงานวิจัย [8] พื้นที่การเพจถูกระบุด้วยค่าหมายเลข PAI (Paging Area Identification) มีจุดประสงค์เพื่อแบ่งพื้นที่การเพจแต่ละพื้นที่ออกจากกัน และพื้นที่การเพจในวิธีนี้ประกอบด้วยกลุ่มของ FA ตั้งแต่ 2 เซลล์ขึ้นไป ซึ่งถูกระบุโดยการใช้ network prefix เพื่อแบ่งที่อยู่ CoA ที่แตกต่างกันของ FA แต่ละตัว ในวิธีที่เสนอได้กำหนดให้พื้นที่การเพจสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบคือ กรณีพื้นที่การเพจไม่มีพื้นที่ซ้อนทับกัน (Non-overlapping PA) ดังที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น

Non-overlapping PA วิธีนี้ FA แต่ละตัวจะอยู่ในพื้นที่การเพจเดียวกันนั้น ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 3.5 ในกรณีนี้พื้นที่การเพจจะถูกระบุด้วยหมายเลข PAI ที่แตกต่างกัน โดยภายในข่าวสารการประกาศจากตัวแทนของ FA แต่ละตัวจะมีส่วนที่แสดงถึง PAI และ Sub-Paging Area Identification (SPAI) เพื่อให้ MN สามารถตรวจสอบได้ว่าหากมีการเคลื่อนที่เปลี่ยน FA ในแต่ละครั้ง MN กำลังอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยและพื้นที่การเพจใด สำหรับข่าวสารการประกาศจากตัวแทนนี้จะไม่มีส่วนที่ระบุถึงพื้นที่ Internal SPA และ External SPA เนื่องจากขณะที่ MN อยู่ในพื้นที่ Internal SPA หรือเคลื่อนที่ออกไปยัง External SPA แล้ว MN จะประพฤติตัวเสมือนเคลื่อนที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจย่อยปกติ โดย MN จะไม่มีการส่งข่าวสารการแจ้งตำแหน่งใดในขณะที่เคลื่อนที่ที่อยู่ใน Internal SPA และ External SPA ดังนั้น MN ไม่จำเป็นต้องได้รับข่าวสารทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่ข้ามไปมาระหว่าง Internal SPA และ External SPA



รูปที่ 3.1 ลักษณะของแยกพื้นที่ Internal SPA และ External SPA แบบ Non-overlapping PA

ดังนั้นเพื่อแยกพื้นที่ Internal SPA และ External SPA ออกจากกันวิธีที่เสนอจึงได้กำหนดให้มีการใช้ Internal Sub-Paging Area Identification (I-SPA) และ External Sub-Paging Area Identification (E-SPA) คือที่อยู่ของตัวแทนทุกตัวในพื้นที่การเพจย่อยภายในและพื้นที่การเพจย่อยภายนอกตามลำดับ โดยที่ I-SPA และ E-SPA จะไม่ถูกระบุในข่าวสารการประกาศจากตัวแทนแต่อย่างใด แต่จะถูกระบุในตารางบันทึกที่อยู่ของ FA ทุกตัวที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจย่อยเดียวกัน เพื่อที่ว่าในแต่ละครั้งที่มีการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลมายัง MN ตัวแทน Sub-pFA จะทราบในทันทีว่าควรส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ไต่บ้างในพื้นที่ Internal SPA และ External SPA

3.1.2 การตรวจวัดการเคลื่อนที่ (Movement detection)

กระบวนการตรวจวัดการเคลื่อนที่ในวิธีที่เสนอนั้นมีหลักการเดียวกับวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP) และมีวิธีการทำงานเช่นเดียวกับวิธี [9] ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ

1. Lazy cell switching (LCS)

วิธีนี้ใช้การตรวจสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ข้อมูลจากส่วนของ Lifetime ภายในในข่าวสารการประกาศจากตัวแทน (Agent advertisement) ซึ่งค่า Lifetime คือ ช่วงเวลาหมดอายุของข่าวสารการประกาศ เมื่อ MN ได้รับข่าวสารการประกาศจากตัวแทน MN จะอ่านข้อมูลในส่วนของ Lifetime แล้วบันทึกข้อมูลนี้ไว้ หาก MN ไม่ได้รับข่าวสารการประกาศจากตัวแทนเดิมภายในช่วงเวลา Lifetime แล้ว MN จะสันนิษฐานว่าขณะนี้ตนเองได้เคลื่อนที่ข้ามไปยังโครงข่ายใหม่แล้ว

2. Eager cell switching (ECS)

วิธีนี้ MN จะเปรียบเทียบ network prefix ที่ได้รับมาจากข่าวสารการประกาศจากตัวแทนกับ network prefix ของที่อยู่ CoA ปัจจุบันที่ได้บันทึกไว้ หาก MN ตรวจพบว่าข้อมูลนี้แตกต่างกัน MN จะสันนิษฐานว่าตนเองได้เคลื่อนที่ข้ามไปยังโครงข่ายใหม่แล้ว ถ้า MN อยู่ในสถานะทำงาน (Active MN) เมื่อ MN ได้ตรวจพบว่าตนเองได้เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายเดิมแล้ว กระบวนการแฮนด์ออฟจะเริ่มทำงานจนกระทั่งกระบวนการลงทะเบียนเสร็จสมบูรณ์ ซึ่งในกรณีนี้ตำแหน่งของ MN จะถูกแจ้งไปยัง FA และ HA ในทางกลับกันหาก MN อยู่ในสถานะไม่ทำงาน (Idle MN) และตรวจพบว่าตนเองได้เคลื่อนที่ข้าม FA เดิมเข้าสู่ FA ใหม่แต่ยังคงอยู่ในพื้นที่การเพจเดิม กระบวนการลงทะเบียนแจ้งตำแหน่งปัจจุบันไปยัง HA จึงไม่จำเป็นสำหรับกรณีนี้ และหาก MN ตรวจพบว่าตนเองยังคงอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยเดิม MN ไม่จำเป็นจะต้องส่งข่าวสารการสัญญาณเพื่อแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งแต่อย่างใด แต่หาก MN ตรวจพบว่าตนเองได้เคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่การเพจย่อยใหม่แล้ว MN จะต้องแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งโดยแจ้งที่อยู่ของ Sub-pFA อันใหม่ให้กับ pFA ทราบต่อไป สำหรับกระบวนการตรวจวัดการเคลื่อนที่ของ MN ใน Non-overlapping PA กรณีนี้ MN จะบันทึกค่า Lifetime จากข่าวสารการประกาศจากตัวแทนที่ได้รับ หาก MN ไม่ได้รับข่าวสารการประกาศใดจากตัวแทนเดิมภายในช่วงเวลา Lifetime แล้ว MN จะสันนิษฐานว่าตนเองได้สูญเสียการเชื่อมต่อจาก FA เดิมแล้วหรือได้เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ให้บริการของตัวแทนเดิมแล้ว หากในระหว่างช่วงเวลา Lifetime ยังไม่หมดอายุ MN ได้รับข่าวสารการประกาศจากตัวแทนจากตัวแทนอื่น MN จะตรวจสอบส่วน SPAI จากตัวแทนว่าเหมือนกับ SPAI ที่ได้บันทึกไว้หรือไม่ หากมีค่าตรงกัน MN จะพบว่าตนเองยังคงเคลื่อนที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจเดิม แต่หาก MN ตรวจพบว่าค่า SPAI ที่ได้รับมานั้นมีค่าแตกต่างจากที่ได้บันทึกไว้ MN จะพบว่าตนเองได้เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจเดิมแล้ว จากนั้น MN จะต้องตรวจสอบส่วนของ PAI ที่ได้รับมาเพื่อเปรียบเทียบกับค่า PAI ที่ได้บันทึกไว้เช่นเดียวกับการตรวจสอบ SPAI นั่นคือ หาก MN ตรวจพบว่าค่า PAI มีค่าตรงกันกับที่ตนเองได้บันทึกไว้ MN จะทราบได้ว่าตนเองยังคงเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่การเพจเดิม MN จะต้องแจ้งข่าวสารการเปลี่ยนตำแหน่งไปยัง pFA เพื่อบอกที่อยู่ของ Sub-pFA อันใหม่ แต่หาก MN ตรวจพบว่าค่า PAI ที่ได้รับมาจากข่าวสารการประกาศจากตัวแทนใหม่นี้มีค่าไม่ตรงกับที่ตนเองได้บันทึกเอาไว้ MN จะพบว่าขณะนี้ตนเองได้เคลื่อนที่เปลี่ยนพื้นที่การเพจใหม่แล้ว ดังนั้น MN จะต้องส่งข่าวสารการลงทะเบียนเพื่อแจ้งตำแหน่ง pFA ใหม่ไปยัง HA เพื่อเริ่มกระบวนการลงทะเบียนต่อไป แต่หากในระหว่างที่ค่า Lifetime ยังไม่หมดอายุและ MN ไม่ได้รับข่าวสารการประกาศจากตัวแทนใดเลย MN จะต้องส่งข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทน (Agent solicitation message) ไปยังตัวแทนที่อยู่ในบริเวณใกล้เคียง เพื่อขอให้ตัวแทนนั้นส่งข่าวสารการประกาศจากตัวแทนกลับมาทันที

3.1.3 กระบวนการเพจ (Paging)

TSAP-MIP ที่เสนอซึ่งมีรายละเอียดการทำงานคล้ายกันกับของ TSP-MIP [9] และ ADLP-MIP [12] แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือในวิธี TSAP-MIP เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่ พื้นที่การเพจจะสามารถขยายเซลล์ตามความเร็วของผู้ใช้ และ FA สามารถค้นหาตำแหน่งของผู้ใช้งานและกำหนดให้พื้นที่การเพจเกิดจากการรวมกลุ่มของสถานีฐาน (Base station) ที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน โดยสถานีฐานแต่ละตัวนี้สามารถเป็นได้ทั้งตัวแทนโครงข่ายภายนอก (Foreign agent, FA) และตัวแทนการเพจ (Paging agent, PA) คือสถานีฐานที่ตั้งอยู่จุดศูนย์กลางของพื้นที่การเพจและทำหน้าที่เริ่มต้นกระจายข่าวสารการเพจในพื้นที่การเพจ, มีการแบ่งพื้นที่ออก 2 ส่วน คือ External Sub-Paging Area (ESPA) และ Internal Sub-Paging Area (ISPA) , มีการเพิ่มข้อมูลข่าวสาร List 2 ชนิดเพิ่มเข้าไปคือ Internal Sub-Paging Area Identification (I-SPA), External Sub-Paging Area Identification (E-SPA) ในที่นี้จะเริ่มเพจหา MN ในส่วนของ (I-SPA) ก่อนเป็นอันดับแรก สมมติว่า MN มีการลงทะเบียน (I-SPA) ในพื้นที่ย่อยนั้นๆ ซึ่งเป็นส่วนที่แจ้งให้ MN ทราบถึง FA ที่อยู่ใน Paging Area. กรณี MN อยู่ในสถานะ Active ตรวจสอบว่าตนเองได้เคลื่อนที่ใกล้จะออกจากพื้นที่การเพจแล้ว MN จะคำนวณเพื่อหาขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะสมที่ให้ต้นทุนการสัญญาณต่ำที่สุด และ FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการกับ MN จะทำหน้าที่เป็น PA ทันที จากนั้น MN จะส่ง binding update (I-SPA) List ไปยัง HA เพื่อแจ้งตำแหน่งของ PA ใหม่พร้อมกับแจ้งค่าของพื้นที่การเพจใหม่ กรณี MN อยู่ในสถานะเป็น idle เคลื่อนที่เข้าสู่ Paging Area ใหม่ก็จะตรวจสอบใน (I-SPA) List หากไม่พบ MN ในส่วนของการเพจครั้งแรกระบบจะเริ่มเพจหา MN เป็นครั้งที่สองในส่วนของ (E-SPA) หากพบ MN ก็จะมีการลงทะเบียน (E-SPA) จากนั้น MN จะส่ง binding update (E-SPA) List ไปยัง HA เพื่อแจ้งตำแหน่งของ PA ใหม่ และทำการค้นหา PA ที่ใกล้ที่สุด เพื่อทำการลงทะเบียน (I-SPA) ใหม่.

เมื่อมีแพ็กเก็ตข้อมูลที่ต้องการส่งถึง MN ตัวแทน Sub-pFA จะทำหน้าที่เป็นตัวแทนรับแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งมาจาก pFA เพื่อต้องการค้นหาตำแหน่งของ MN ดังนั้น Sub-pFA จึงส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ทุกตัวที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจย่อยภายใน (Internal SPA) เป็นลำดับแรก พร้อมกับกระจายข่าวสารร้องขอการเพจนี้ภายในพื้นที่ครอบคลุมของตนเอง เมื่อ FA ทุกตัวใน Internal SPA ได้รับข่าวสารนี้ก็กระจายข่าวสารการร้องขอการเพจนี้ในแต่ละเซลล์ของตนเองเช่นกัน หาก Sub-pFA ได้รับการตอบสนองจาก MN ตัวแทน Sub-pFA จะหยุดส่งข่าวสารร้องขอการเพจและเริ่มกระบวนการลงทะเบียนกับ HA ต่อไป แต่หาก Sub-pFA ไม่ได้รับการตอบสนองจาก MN ในการเพจครั้งแรก Sub-pFA จึงเริ่มกระบวนการเพจครั้งที่สองเพื่อส่ง

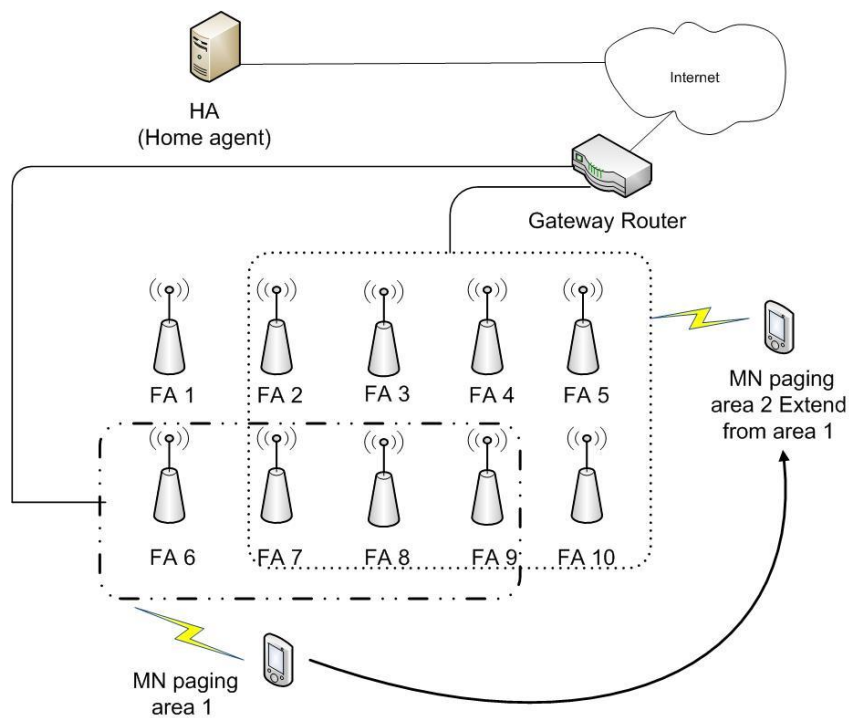
ข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ทุกตัวในพื้นที่การเพจย่อยภายนอก (External SPA) ทั้งนี้ เมื่อ FA ทุกตัวใน External SPA ได้รับข่าวสารนี้ก็จะกระจายข่าวสารการร้องขอการเพจนี้ในแต่ละเซลล์ของตนเองเช่นกัน

เมื่อ FA ได้รับข่าวสารร้องขอการเพจจาก Sub-pFA ชั้นตอนแรก FA จะเริ่มกระบวนการตรวจสอบ authentication และเมื่อกระบวนการ authentication เสร็จสมบูรณ์ FA จึงจะกระจายข่าวสารการเพจนี้ในเซลล์ของตัวเอง เมื่อ MN ตรวจพบที่อยู่ประจำบ้าน (Home address) ของตนเองและหาก MN พบว่าข่าวสารร้องขอการเพจนี้ถูกส่งมาจาก pFA MN จะทราบทันทีว่าขณะนี้ตนเองยังคงอยู่ในพื้นที่ให้บริการของ FA เดิมที่ได้ลงทะเบียนไว้กับ HA ดังนั้น MN จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจกลับไปยัง pFA โดยไม่จำเป็นจะต้องลงทะเบียน พร้อมทั้งปรับสถานะ active และเริ่มต้นนับ active timer แต่หากข่าวสารร้องขอการเพจนี้ไม่ได้ถูกส่งมาจาก pFA MN จะต้องเริ่มต้นกระบวนการลงทะเบียนเพื่อแจ้งที่อยู่ CoA ของ FA ปัจจุบันให้ HA ทราบเมื่อกระบวนการลงทะเบียนเสร็จสิ้น pFA และ MN จะปรับสถานะของ MN เป็น active และเริ่มต้นนับ active timer พร้อมกันนั้น MN จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจกลับไปยัง Sub-pFA โดยจะแทรกข้อมูลที่อยู่ปัจจุบัน (CoA) เข้าไปด้วยเพื่อให้ Sub-pFA ส่งแพ็กเก็ตที่ได้พักไว้มาให้กับ MN ต่อไป แต่หาก MN ถูกเพจในขณะที่กำลังอยู่ในพื้นที่ให้บริการของ Sub-pFA ภายหลังการลงทะเบียนเสร็จสิ้นลง MN ไม่จำเป็นจะต้องส่งข่าวสารตอบรับการเพจไปยัง Sub-pFA เพื่อขอรับแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกพักไว้ ส่วนในกรณีที่ MN ไม่ได้อยู่ในเซลล์ของ Sub-pFA ขณะถูกเพจเมื่อ Sub-pFA ได้ส่งแพ็กเก็ตที่ได้พักไว้ไปยัง MN แล้ว Sub-pFA จะลบบันทึกข้อมูลของ MN ตัวนั้นทิ้งไป เนื่องจาก MN นั้นได้แจ้งที่อยู่ปัจจุบันในกระบวนการลงทะเบียนกับ HA แล้ว ซึ่งที่อยู่ปัจจุบันที่ได้รับการลงทะเบียนนี้จะกลายเป็น pFA ให้กับระบบต่อไป

ในกระบวนการค้นหาตำแหน่ง หากการส่งข่าวสารการเพจครั้งแรกใน Internal SPA ล้มเหลว เนื่องจาก Sub-pFA ไม่ได้รับการตอบสนองจาก MN ภายในช่วงเวลา “response time” ที่ถูกเก็บไว้ใน Sub-pFA ดังนั้น Sub-pFA จะเริ่มส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ทุกตัวภายใน External SPA หาก MN ตรวจพบ Home address ของตัวเองในข่าวสารการเพจนี้ MN จะเริ่มกระบวนการลงทะเบียนกับ HA ต่อไปจนเสร็จสมบูรณ์ แต่หากยังไม่ได้รับการตอบสนองจาก MN ในกระบวนการเพจครั้งที่สอง Sub-pFA จะส่งข่าวสารร้องขอการเพจซ้ำ หากภายในช่วงเวลา “paging period” ไม่มีการตอบสนองจาก MN Sub-pFA จะหยุดการเพจหา MN หากส่งข่าวสารร้องขอการเพจซ้ำแล้วไม่มีการตอบสนองใด โดยจำนวนครั้งในการส่งข่าวสารร้องขอการเพจซ้ำนี้ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดจากผู้ให้บริการ

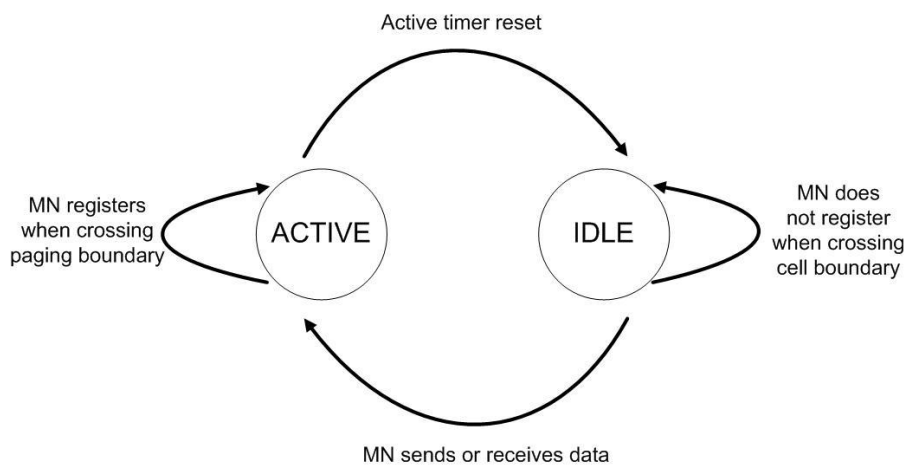
ในระหว่างกระบวนการลงทะเบียน เมื่อ FA ได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน จาก HA และ FA จะปรับสถานะของ MN เป็นสถานะ Active MN ก่อนจะส่งต่อข่าวสารนี้ไปยัง MN ถ้าหาก MN ไม่ได้รับข่าวสารนี้สถานะที่บันทึกไว้ที่ MN จะยังคงเป็นสถานะ Idle MN ดังนั้น การสูญหายของข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนจะส่งผลให้สถานะของ MN ที่บันทึกไว้ไม่สอดคล้องกับที่บันทึกไว้โดย FA แต่กรณีนี้จะไม่ส่งผลเสียใดเนื่องจากเมื่อ FA ได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน FA จะเริ่มต้นส่งแพ็กเก็ตข้อมูลให้กับ MN หาก MN ได้รับแพ็กเก็ตข้อมูลขณะที่มีสถานะไม่ทำงาน Idle MN จะตรวจสอบว่า FA ที่ส่งแพ็กเก็ตนี้ใช่ FA ที่ตนได้ส่งการร้องขอลงทะเบียนไปหรือไม่ ถ้าใช่ MN จะกำหนดที่อยู่ CoA ปัจจุบันให้สอดคล้องกับที่อยู่ของ FA นี้ พร้อมทั้งปรับสถานะของ MN ให้เป็นสถานะ Active และเริ่มนับ active timer ตามขั้นตอนปกติ

ในกรณีที่ MN ได้เคลื่อนที่ออกจากเซลล์ของ Sub-pFA แล้ว การสูญหายของข่าวสารตอบรับการเพจไม่ได้ส่งผลร้ายแรงต่อระบบ เนื่องจากก่อนที่ MN จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจมา MN จะต้องลงทะเบียน FA ใหม่กับ HA ก่อนแล้ว จึงทำให้แพ็กเก็ตข้อมูลที่สูญหายมีปริมาณเพียงเล็กน้อย (เฉพาะแพ็กเก็ตที่ถูกพักไว้ที่ Sub-pFA) แต่ในกรณีที่ MN ยังคงอยู่ภายในเซลล์ของ Sub-pFA การสูญหายของข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนอาจส่งผลให้เกิดการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูลปริมาณมากได้ เนื่องจากเมื่อ MN ได้ส่งข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนออกไปแล้ว ก็จะปรับสถานะเป็นสถานะ active หากข่าวสารการลงทะเบียนนี้สูญหาย ข้อมูลสถานะของ MN ที่บันทึกไว้ที่ Sub-pFA ก็ยังคงเป็นสถานะ idle อยู่ทำให้ Sub-pFA ต้องส่งข่าวสารการเพจนี้ซ้ำและหากไม่ได้รับการตอบสนองภายในจำนวนการส่งซ้ำที่กำหนดไว้ ก็จะหยุดการค้นหาและทิ้งแพ็กเก็ตข้อมูลของ MN นั้น ๆ ที่ถูกพักเอาไว้ทั้งหมด อย่างไรก็ตามมีแนวทางในการแก้ไขโดยภายหลังจากที่ MN ส่งข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนออกไปแล้ว MN จะสันนิษฐานว่าจะต้องได้รับแพ็กเก็ตข้อมูลจาก FA ภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ถ้าภายในช่วงเวลาดังกล่าว MN ไม่ได้รับแพ็กเก็ตใดเลย MN จะสันนิษฐานว่าข่าวสารการลงทะเบียนที่ได้ส่งไปสูญหายระหว่างทาง MN จึงเริ่มต้นส่งซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ถ้า MN ยังคงไม่ได้รับแพ็กเก็ตข้อมูลหลังจากพยายามส่งข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนซ้ำหลายครั้งแล้ว MN จึงจะปรับสถานะให้เป็นสถานะ Idle



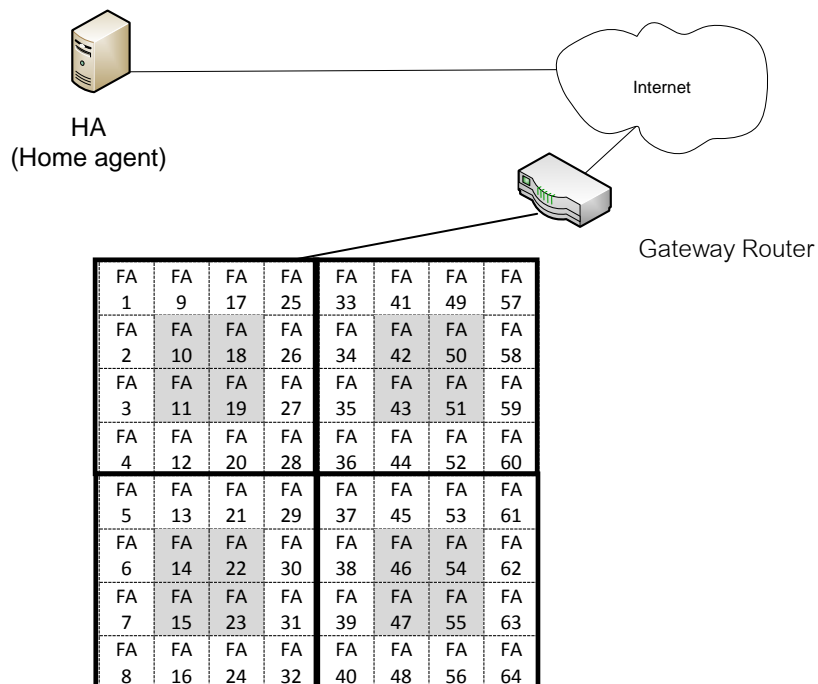
รูปที่ 3.2 การทำงานของวิธี TSAP-MIP

รูปที่ 3.2 แสดงการทำงานของวิธี TSAP-MIP ที่เสนอ เมื่อ MN อยู่ในสถานะ idle ไม่จำเป็นต้องลงทะเบียนในพื้นที่การเพจหรือภายในพื้นที่เดียวกัน และ เมื่อ MN มีการรับส่งข้อมูล MN จะเปลี่ยนสถานะเป็น Active ดังรูปที่ 3.3



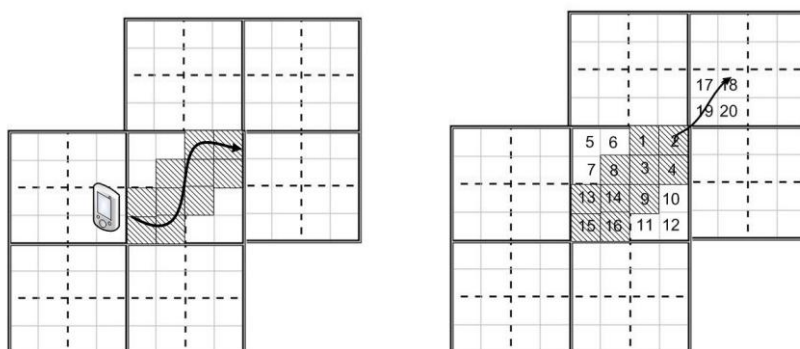
รูปที่ 3.3 แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแปลงสถานะของ MN

MN เข้าถึงอินเทอร์เน็ตโดยผ่านทาง FA ที่ประกอบกันเป็นโครงข่ายที่มีการเชื่อมต่อกันทั้งหมด และมีเกตเวย์เชื่อมต่อออกไปสู่ HA ดังแสดงในรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ภาพโครงสร้างของระบบ.

แต่ละเซลล์จะทำหน้าที่เป็นทั้ง FA และ PFA คือมีที่ตั้งอยู่ศูนย์กลางของพื้นที่การเพจ และ PFA มีหน้าที่รับผิดชอบในกระบวนการเพจในพื้นที่การเพจ. ในนั้นมีเราเตอร์บริการเชื่อมต่อเส้นทางให้ MN ได้ลงทะเบียนและแจ้งตำแหน่งของเซลล์ในพื้นที่การเพจไปยัง HA. เซลล์จะถูกจำลองเป็นรูปสี่เหลี่ยม.

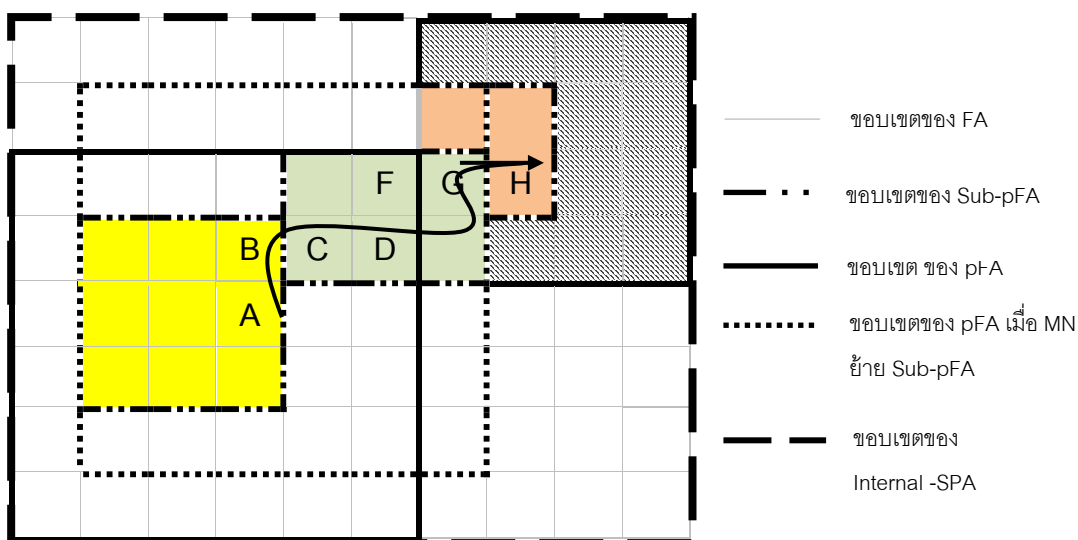


รูปที่ 3.5 ภาพโครงสร้างพื้นที่การเพจย่อยภายใน 1 เซลล์


สำหรับ Active MN จะมีการทำงานเช่นเดียวกับวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ขณะที่ Idle MN จะมีการทำงานเช่นเดียวกับวิธี ADLP-MIP [12] กล่าวคือ เมื่อ Idle MN เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจ PA1 เข้าสู่พื้นที่การเพจ PA2 ที่ตำแหน่ง FA , ถ้า MN ตรวจพบว่าอยู่ในพื้นที่การเพจใหม่ ก็จะลงทะเบียนกับ HA เพื่อให้ HA บันทึกที่อยู่ของ pFA ใหม่แต่สิ่งที่แตกต่างกันก็คือจะมีการปรับเปลี่ยนพื้นที่การเพจตามผู้ใช้ภายในเซลล์ย่อย

ในรูปที่ 3.5 สมมติเราจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้งานจากเซลล์ย่อยภายใน 1 เซลล์ จากเซลล์ย่อยที่ 15 ถึงเซลล์ย่อยที่ 2 กรณีนี้จะเป็นการเพจแบบ Adaptive Individual paging per cell ของเซลล์ย่อย ถ้าผู้ใช้งานเคลื่อนที่จากเซลล์ย่อย ที่ 2 ถึงเซลล์ย่อยที่ 18 กรณีนี้จะเป็นการเพจแบบ Location Area Paging Scheme และ มีการเพจย่อยแบบ Adaptive Individual Paging per cell ในเซลล์ย่อยต่อไป

เมื่อมีแพ็กเก็ตข้อมูลที่ต้องการส่งถึง MN ตัวแทน Sub-pFA จะทำหน้าที่เป็นตัวแทนรับแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งมาจาก pFA เพื่อต้องการค้นหาตำแหน่งของ MN ดังนั้น Sub-pFA จึงส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ทุกตัวที่อยู่ในพื้นที่การเพจย่อยภายใน (Internal SPA) เป็นลำดับแรก พร้อมกับกระจายข่าวสารร้องขอการเพจนี้ภายในพื้นที่ครอบคลุมของตนเอง เมื่อ FA ทุกตัวใน I-SPA (Internal SPA) ได้รับข่าวสารนี้ก็จะกระจายข่าวสารการร้องขอการเพจนี้ในแต่ละเซลล์ของตนเองเช่นกัน หาก Sub-pFA ได้รับการตอบสนองจาก MN ตัวแทน Sub-pFA จะหยุดส่งข่าวสารร้องขอการเพจและเริ่มกระบวนการลงทะเบียนกับ HA ต่อไป แต่หาก Sub-pFA ไม่ได้รับการตอบสนองจาก MN ในการเพจครั้งแรก Sub-pFA จะเริ่มกระบวนการเพจครั้งที่สองเพื่อส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ทุกตัวในพื้นที่การเพจย่อยภายนอก (External SPA) ทั้งนี้ เมื่อ FA ทุกตัวใน E-SPA (External SPA) ได้รับข่าวสารนี้ก็จะกระจายข่าวสารการร้องขอการเพจนี้ในแต่ละเซลล์ของตนเองเช่นกัน.

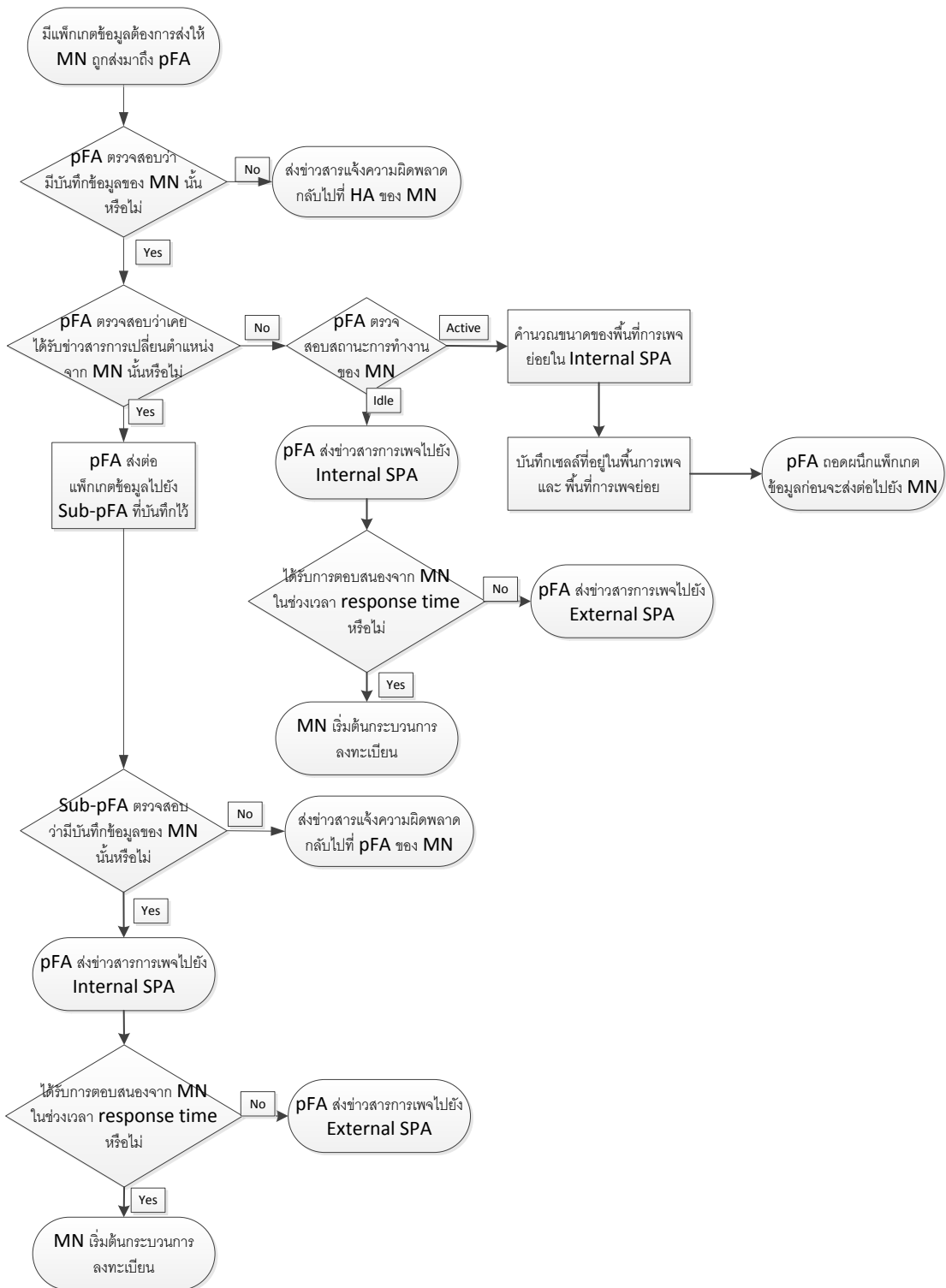


รูปที่ 3.6 แบบจำลองลักษณะของพื้นที่การเพจภายใน.

ส่วนพื้นที่การเพจภายใน I-SPA (Internal SPA) งานวิจัยนี้เลือกวิธี [11] เพราะมีการใช้ Individual Paging ร่วมด้วย โดย MN จะต้องเก็บค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ และค่าอัตราเซสชันของข้อมูล (Data session rate) คำนวณออกมาเป็นขนาดของ pFA และ Sub-pFA ที่เหมาะสมกับ MN นั้น จากรูปที่ 3.5 กำหนดให้ MN มีทิศทางและรูปแบบการเคลื่อนที่เหมือนกับรูปที่ 3.6 เพราะฉะนั้นจะขออธิบายเฉพาะการทำงานในส่วนที่เพิ่มเข้ามาเท่านั้น เมื่อ MN เคลื่อนที่เปลี่ยน Sub-PA จาก FA_B ไป FA_C , MN จะต้องแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งพร้อมทั้งส่งค่าความเร็วในการเคลื่อนที่และค่าอัตราเซสชันของข้อมูล ของตัวเองไปให้กับ pFA ด้วย โดย pFA หรือในกรณีนี้คือ FA_A จะมีหน้าที่คำนวณหาค่า Internal Sub-Paging Area Identification (I-SPAI) ใหม่ไปให้กับ MN โดยในกรณีนี้จะพบว่าขนาดของ I-SPA (Internal SPA) มีการเปลี่ยนแปลงจาก 9 เซลล์ไปเป็น 6 เซลล์ และขนาด Paging Area เท่าเดิมคือ 36 เซลล์ แต่ PAI list มีการเปลี่ยนแปลงโดยการตัดเซลล์เดิม \dots ออกและเพิ่มเซลล์เข้ามาใหม่ 11  เซลล์ ทำให้ MN อยู่ในบริเวณศูนย์กลางของ Paging Area อีกครั้ง ส่งผลให้ MN มีโอกาสอยู่ใน Paging Area ได้นานขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากกรณีที่ MN เคลื่อนที่จาก FA_F ไป FA_G ซึ่งยังอยู่ใน Paging Area เดิม.

3.1.4 การจัดการข้อมูล (Data handling)

ในกระบวนการจัดการข้อมูลในวิธีที่เสนอจะมีวิธีการทำงานเช่นเดียวกับวิธี [11] เมื่อมีแพ็กเก็ตข้อมูลที่ต้องการส่งถึง MN แพ็กเก็ตข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปยังโครงข่ายบ้านของ MN โดย HA จะทำหน้าที่เป็นตัวแทนรับแพ็กเก็ตข้อมูลแล้วจึงฝังข้อมูล (encapsulate) ก่อนจะส่งต่อไปยัง pFA จากนั้น pFA จะพักแพ็กเก็ตข้อมูลไว้และเริ่มตรวจสอบใน visitor list ว่ามีบันทึกของ MN ตัวนี้หรือไม่ หากตรวจพบ MN ในบันทึกแล้ว pFA จะตรวจสอบต่อว่าได้รับข่าวสารแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่ง จาก MN นั้นหรือไม่ หาก pFA ได้รับข่าวสารแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งจาก MN pFA จะทราบทันทีว่า MN ได้เคลื่อนที่เปลี่ยน SPA ไปแล้ว pFA จะส่งแพ็กเก็ตข้อมูลที่พักไว้ไปยัง Sub-pFA ปัจจุบันที่ MN ได้แจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งไว้โดยทันที หลังจาก Sub-pFA ได้รับแพ็กเก็ต ข้อมูลที่ส่งมาจาก pFA Sub-pFA จะพักแพ็กเก็ตข้อมูลนี้ไว้และเริ่มตรวจสอบจากบันทึกว่ามีข้อมูลของ MN นี้หรือไม่ หากตรวจพบ Sub-pFA จะเริ่มส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ทุกตัวที่อยู่ใน ภายใน Internal SPA พร้อมกับกระจายข่าวสารนี้ในพื้นที่ให้บริการของตัวเอง เมื่อ MN ได้รับ ข่าวสารร้องขอการเพจจาก Sub-pFA จากนั้น MN จะลงทะเบียนแจ้งที่อยู่ปัจจุบันไปยัง HA เพื่อให้ HA ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลมายัง FA ปัจจุบันโดยตรง และเมื่อกระบวนการลงทะเบียนเสร็จสิ้น MN ก็ส่งข่าวสารตอบรับการเพจกลับไปยัง Sub-pFA เพื่อขอรับแพ็กเก็ตข้อมูลที่ถูกพักเอาไว้ที่ Sub-pFA ต่อไป แต่หากกระบวนการเพจครั้งแรกล้มเหลว นั่นคือ Sub-pFA ไม่ได้รับการตอบสนอง จาก MN เกินช่วงเวลา “response time” Sub-pFA จะเริ่มส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ทุก ตัวที่อยู่ภายในส่วนของ External SPA เมื่อ MN ได้รับข่าวสารร้องขอการเพจจาก Sub-pFA จากนั้น MN จะเริ่มกระบวนการลงทะเบียนต่อไปดังที่ได้กล่าวไว้แล้วข้างต้น แต่หาก pFA ตรวจ พบว่าไม่เคยได้รับข่าวสารการเปลี่ยนตำแหน่งจาก MN แสดงว่า MN ยังคงอยู่ใน SPA เดิม pFA จะตรวจสอบต่อว่า MN นั้นมีสถานะเป็นอะไร ถ้ามีสถานะเป็น Active MN pFA จะถอดฝังข้อมูล (decapsulate) แพ็กเก็ตแล้วส่งต่อไปให้กับ MN ได้ทันที แต่ถ้า MN มีสถานะเป็น Idle MN pFA จะ ส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ทุกตัวที่อยู่ภายใน Internal SPA ในการเพจครั้งแรกและเริ่มส่ง ข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ทุกตัวที่อยู่ภายใน Outer SPA หากการเพจหา MN ครั้งแรกนั้น ล้มเหลว



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนในกระบวนการเพจในวิธีที่เสนอ

3.2 การวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณในวิธีการที่นำเสนอในเชิงคณิตศาสตร์

ในงานวิจัยนี้ได้เสนอการจัดการสภาพเคลื่อนที่ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่โดยอาศัยหลักการเพจจิงสองขั้นตอน (Two Step Paging In External Sub-Paging Area and Adaptive Individual Paging in Internal Sub-Paging Area, TSAP-MIP) และกำหนดให้มีพื้นที่การเพจย่อยภายใน (Internal SPA) และพื้นที่การเพจย่อยภายนอก (External SPA) ภายในพื้นที่การเพจย่อยเดียวกัน ซึ่งในงานวิจัยนี้จะวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพในด้านต้นทุนการสัญญาณโดยรวมของระบบของวิธี TSAP-MIP กับวิธี ADLP-MIP, TSP-MIP ที่มีขนาดของพื้นที่การเพจที่แตกต่างกัน และวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP) โดยงานวิจัยนี้ได้เสนอทั้งการวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณในเชิงคณิตศาสตร์และการจำลองการทำงานซึ่งจะนำเสนอในบทต่อไป

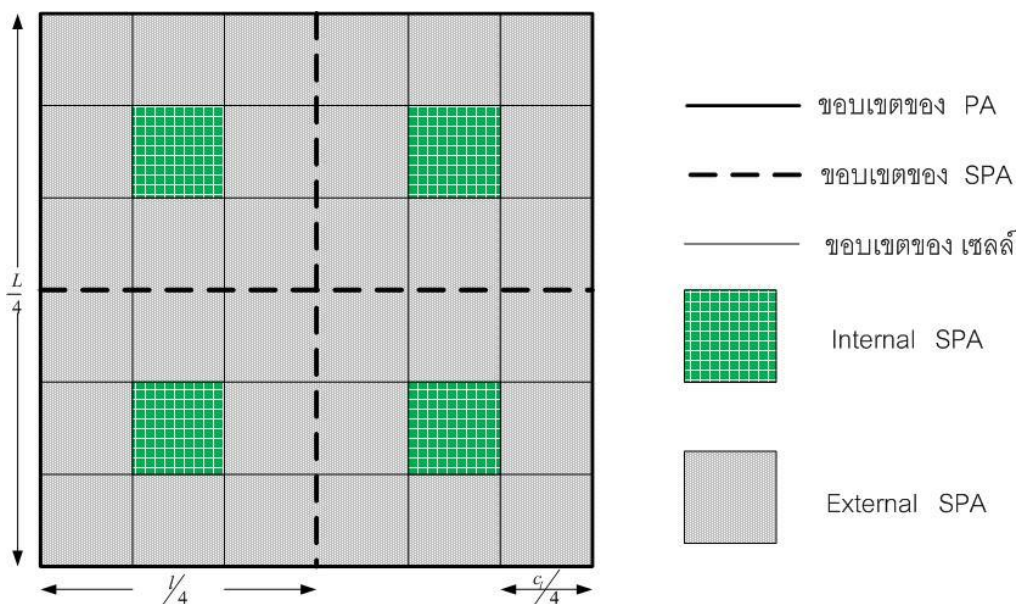
สำหรับในส่วนนี้จะเสนอการวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณในเชิงคณิตศาสตร์ของวิธี TSAP-MIP ในกรณีพื้นที่การเพจแบบ Non-overlapping PA เพื่อเปรียบเทียบกับวิธี ADLP-MIP, TSP-MIP และวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ โดยมุ่งเน้นศึกษาต้นทุนการสัญญาณโดยรวมของระบบเป็นหลัก ซึ่งต้นทุนการสัญญาณที่พิจารณาจะแสดงให้เห็นหน่วยของ $\text{weighted hops} \cdot \text{pkt/s}$ และในการวิเคราะห์นี้จะไม่พิจารณาในส่วนของข่าวสารการประกาศจากตัวแทนและข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทน เนื่องจากข่าวสารทั้งสองนั้นมีต้นทุนการสัญญาณเท่ากันทั้งในวิธี TSAP-MIP, ADLP-MIP, TSP-MIP และวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ดังนั้นจะมีเพียงข่าวสารที่เกิดจากการลงทะเบียน, การเปลี่ยนตำแหน่งและข่าวสารที่เกิดจากกระบวนการเพจเท่านั้นในการพิจารณาแนวโน้มปริมาณการสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบ

3.2.1 การวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณของวิธี TSAP-MIP และ ของวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ

กระบวนการเพจนั้นมีจุดประสงค์เพื่อลดปริมาณการสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ในโครงข่ายไร้สายเคลื่อนที่ ดังนั้นรูปแบบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้จึงมีความสำคัญในการวิเคราะห์ปริมาณการสัญญาณ โดยในระบบโครงข่ายไร้สายทั่วไปรูปแบบการเคลื่อนที่แบบ fluid flow ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการวิเคราะห์เกี่ยวกับอัตราการเคลื่อนที่ข้ามขอบของเซลล์ อย่างเช่นกระบวนการแฮนด์ออฟ (Handoff) เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยนี้ได้นำรูปแบบการเคลื่อนที่ดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณในเชิงคณิตศาสตร์ด้วย

งานวิจัยนี้กำหนดให้พื้นที่การเพจ, พื้นที่การเพจย่อยและพื้นที่ให้บริการในแต่ละเซลล์มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส [8],[9] โดยกำหนดให้

- พื้นที่การเพจ (PA) มีความยาวเส้นรอบรูปเท่ากับ L เมตร
- พื้นที่การเพจย่อย (SPA) มีความยาวเส้นรอบรูปเท่ากับ l เมตร
- พื้นที่ให้บริการในแต่ละเซลล์มีความยาวเส้นรอบรูปเท่ากับ c_i เมตร
- พื้นที่การเพจหนึ่งพื้นที่ประกอบไปด้วย FA จำนวน n เซลล์
- พื้นที่การเพจย่อยหนึ่งพื้นที่ประกอบไปด้วย FA จำนวน m เซลล์
- พื้นที่การเพจย่อยภายใน (Internal SPA) ประกอบไปด้วย FA จำนวน k เซลล์
- พื้นที่การเพจย่อยภายนอก (External SPA) ประกอบไปด้วย FA จำนวน $(m-k)$ เซลล์



รูปที่ 3.8 แบบจำลองลักษณะของพื้นที่การเพจสำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณ.

$$\text{จากรูปที่ 19} \left(\frac{l}{4} - \frac{c_i}{2}\right)^2 = \left(\frac{c_i}{4}\right)^2 k \quad \text{ดังนั้นจะได้ว่า} \quad l = c_i(2 + \sqrt{k})$$

$$\text{และ} \quad l = c_i \sqrt{m}$$

ซึ่งจากสมการข้างบนจะได้ว่าภายในหนึ่งพื้นที่การเพจย่อยจะมีจำนวนของเซลล์ภายในพื้นที่การเพจย่อยภายในเท่ากับ $k = (\sqrt{m} - 2)^2$

กำหนดให้

- MN เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย v เมตรต่อวินาที ในทิศทางสุ่มซึ่งมีการแจกแจงแบบ uniform ระหว่างช่วง $[0, 2\pi]$
- MN กระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทุกพื้นที่ให้บริการในระบบด้วยความหนาแน่นเท่ากับ ρ

จากแบบจำลอง fluid flow สามารถหาค่าอัตราการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์, อัตราการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจย่อย และอัตราการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจได้ดังนี้

$$\text{อัตราการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ : } r_c = \frac{\rho v c_l}{\pi} \quad (1)$$

$$\text{อัตราการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจย่อย : } r_{SPA} = \frac{\rho v l}{\pi} \quad (2)$$

$$\text{อัตราการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจ : } r_{PA} = \frac{\rho v L}{\pi} \quad (3)$$

พื้นที่การเพจที่เหมาะสมจะพิจารณาจากต้นทุนการสัญญาณในระบบเป็นหลักในแบบ TSP-MIP [1] แต่สิ่งที่แตกต่างคือในวิธี TSAP-MIP ที่เสนอ เมื่อคำนวณขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะสมได้แล้วจึงจะคำนวณขนาดพื้นที่การเพจย่อยแบบ Adaptive Individual Paging.

การวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณของวิธี Mobile-MIP [1]

$$\begin{aligned} C_{MIP} &= d_{FA,HA} (R_{core} \omega_{core} + R_{local} \omega_{local}) \left[r_c n + \rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 n r_r \right] \\ &= d_{FA,HA} (R_{core} \omega_{core} + R_{local} \omega_{local}) \left[\frac{\rho v c_l}{\pi} n + \rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 n r_r \right] \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} C_{MIPn} &= \frac{C_{MIP}}{d_{FA,HA} (R_{core} \omega_{core} + R_{local} \omega_{local})} \\ &= \frac{\rho v c_l}{\pi} n, \end{aligned} \quad (5)$$

การวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาของวิธี P-MIP [7]

$$\begin{aligned}
C_{PMIP} &= d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})[(r_c n - r_{PA})\alpha + r_{PA} + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 nr_r \\
&+ \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d)] + (n-1)d_{FA,FA}\omega_{local}\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)\lambda_a \\
&+ \sigma_{air}\left(\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)\lambda_a\right)n \\
&= d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})\left[\left(\frac{\rho v c_l}{\pi}n - \frac{\rho v L}{\pi}\right)\alpha + \frac{\rho v L}{\pi} + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 nr_r \right. \\
&+ \left. \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d)\right] + (n-1)d_{FA,FA}\omega_{local}\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)\lambda_a \\
&+ \sigma_{air}\left(\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)\lambda_a\right)n \tag{6}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{PMIPn} &= \frac{C_P}{d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})} \\
&= \left(\frac{\rho v c_l}{\pi}n - \frac{\rho v L}{\pi}\right)\alpha + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d) \\
&+ \frac{\rho v L}{\pi} + \frac{(n-1)d_{FA,FA}\rho(c_l/4)^2 n(1-\alpha)\lambda_a}{d_{FA,HA}(R_{core}R_w + R_{local})} \\
&+ \frac{(\sigma_{air}\rho(c_l/4)^2 n(1-\alpha)\lambda_a)n}{d_{FA,HA}(R_{core}R_w + R_{local})}, \tag{7}
\end{aligned}$$

การวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาของวิธี DLP-MIP [8]

$$\begin{aligned}
C_{DLPMP} &= d_{FA,HA} (R_{core} \omega_{core} + R_{local} \omega_{local}) [(r_c n - r_{PA}) \alpha + r_{PA} + \rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 n r_r \\
&+ \rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 n (1 - \alpha) (\lambda_a + \lambda_d)] + (m - 1) d'_{FA,FA} \omega_{local} \rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 m (1 - \alpha) \lambda_a \left(\frac{n}{m} \right) \\
&+ (1 - \alpha) d_{FA,FA} \omega_{local} \left[\frac{n}{m} r_{SPA} - r_{PA} \right] + \delta_{air} \left(\rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 m (1 - \alpha) \lambda_a \right) m \left(\frac{n}{m} \right) \\
&= d_{FA,HA} (R_{core} \omega_{core} + R_{local} \omega_{local}) \left[\left(\frac{\rho v c_l}{\pi} n - \frac{\rho v L}{\pi} \right) \alpha + \frac{\rho v L}{\pi} + \rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 n r_r \right. \\
&+ \left. \rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 n (1 - \alpha) (\lambda_a + \lambda_d) \right] + (m - 1) d'_{FA,FA} \omega_{local} \rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 m (1 - \alpha) \lambda_a \left(\frac{n}{m} \right) \\
&+ (1 - \alpha) d_{FA,FA} \omega_{local} \left[\frac{n}{m} \frac{\rho v l}{\pi} - \frac{\rho v L}{\pi} \right] + \delta_{air} \left(\rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 m (1 - \alpha) \lambda_a \right) m \left(\frac{n}{m} \right) \quad (8)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
C_{DLPn} &= \left(\frac{\rho v c_l}{\pi} n - \frac{\rho v L}{\pi} \right) \alpha + \rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 n (1 - \alpha) (\lambda_a + \lambda_d) \\
&+ \frac{\rho v L}{\pi} + \frac{(m - 1) d'_{FA,FA} \rho (c_l / 4)^2 m (1 - \alpha) \lambda_a \cdot \frac{n}{m}}{d_{FA,HA} (R_{core} R_w + R_{local})} \\
&+ \frac{(1 - \alpha) d_{FA,FA} \left[\frac{n}{m} \frac{\rho v l}{\pi} - \frac{\rho v L}{\pi} \right]}{d_{FA,HA} (R_{core} R_w + R_{local})} \\
&+ \frac{(\sigma_{air} \rho (c_l / 4)^2 m (1 - \alpha) \lambda_a) m \cdot \frac{n}{m}}{d_{FA,HA} (R_{core} R_w + R_{local})} \quad (9)
\end{aligned}$$

การวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาของวิธี TSP-MIP [9]

$$\begin{aligned}
C_{TSPMIP} &= d_{FA,HA} (R_{core} \omega_{core} + R_{local} \omega_{local}) [(r_c n - r_{PA}) \alpha + r_{PA} + \rho \left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n r_r \\
&+ \rho \left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n (1 - \alpha) (\lambda_a + \lambda_d)] + k d'_{FA,FA} \omega_{local} \rho \left(\frac{c_l}{4}\right)^2 k (1 - \alpha) \lambda_a \left(\frac{n}{m}\right) \\
&+ \sigma_{air} \left[\rho \left(\frac{c_l}{4}\right)^2 k (1 - \alpha) \lambda_a \right] k \left(\frac{n}{m}\right) \\
&+ (m - k - 1) d'_{FA,FA} \omega_{local} \rho \left(\frac{c_l}{4}\right)^2 (m - k) (1 - \alpha) \lambda_a P_{outer} \left(\frac{n}{m}\right) \\
&+ \sigma_{air} \left[\rho \left(\frac{c_l}{4}\right)^2 (m - k) (1 - \alpha) \lambda_a \right] (m - k) P_{outer} \left(\frac{n}{m}\right) \\
&+ (1 - \alpha) d_{FA,FA} \omega_{local} \left[\frac{n}{m} r_{SPA} - r_{PA} \right] \\
&= d_{FA,HA} (R_{core} \omega_{core} + R_{local} \omega_{local}) \left[\left(\frac{\rho v c_l}{\pi} n - \frac{\rho v l}{\pi} \right) \alpha + \frac{\rho v L}{\pi} + \rho \left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n r_r \right. \\
&+ \rho \left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n (1 - \alpha) (\lambda_a + \lambda_d)] + k d'_{FA,FA} \omega_{local} \rho \left(\frac{c_l}{4}\right)^2 k (1 - \alpha) \lambda_a \left(\frac{n}{m}\right) \\
&+ \sigma_{air} \left[\rho \left(\frac{c_l}{4}\right)^2 k (1 - \alpha) \lambda_a \right] k \left(\frac{n}{m}\right) \\
&+ (m - 1 - k) d'_{FA,FA} \omega_{local} \rho \left(\frac{c_l}{4}\right)^2 (m - k) (1 - \alpha) \lambda_a P_{outer} \left(\frac{n}{m}\right) \\
&+ \sigma_{air} \left[\rho \left(\frac{c_l}{4}\right)^2 (m - k) (1 - \alpha) \lambda_a \right] (m - k) P_{outer} \left(\frac{n}{m}\right) \\
&+ (1 - \alpha) d_{FA,FA} \omega_{local} \left[\frac{n}{m} \frac{\rho v l}{\pi} - \frac{\rho v L}{\pi} \right]
\end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned}
C_{TSPMIPn} = & \left(\frac{\rho v c_l}{\pi} n - \frac{\rho v L}{\pi} \right) \alpha + \rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 n (1 - \alpha) (\lambda_a + \lambda_d) \\
& + \frac{\rho v L}{\pi} + \frac{k d'_{FA,FA} \rho (c_l / 4)^2 k (1 - \alpha) \lambda_a \cdot n}{d_{FA,HA} (R_{core} R_w + R_{local}) \cdot m} \\
& + \frac{(m - 1 - k) d'_{FA,FA} \rho (c_l / 4)^2 (m - k) (1 - \alpha) \lambda_a \cdot n}{d_{FA,HA} (R_{core} R_w + R_{local})} \cdot \frac{n}{m} \cdot P_{outer} \\
& + \frac{(1 - \alpha) d_{FA,FA} \left[\frac{n \rho v l}{m \pi} - \frac{\rho v L}{\pi} \right]}{d_{FA,HA} (R_{core} R_w + R_{local})} \\
& + \frac{(\sigma_{air} \rho (c_l / 4)^2 k (1 - \alpha) \lambda_a) k \cdot n}{d_{FA,HA} (R_{core} R_w + R_{local}) \cdot m} \\
& + \frac{(\sigma_{air} \rho (c_l / 4)^2 (m - k) (1 - \alpha) \lambda_a) (m - k)}{d_{FA,HA} (R_{core} R_w + R_{local})} \cdot \frac{n}{m} \cdot P_{outer}
\end{aligned} \tag{11}$$

ตารางที่ 3.1 ความหมายของตัวแปรในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสัญญาณ

<u>ตัวแปร</u>	<u>ความหมายของตัวแปร</u>
C_{TSPMIP}	ต้นทุนการสัญญาณของวิธี TSP-MIP (weighted hops*pkts/s)
m	จำนวนเซลล์ภายในหนึ่งพื้นที่การเพจย่อย
$d_{FA,FA}$	ระยะทางเฉลี่ยระหว่าง FA ภายในพื้นที่การเพจเดียวกัน (hops)
$d'_{FA,FA}$	ระยะทางเฉลี่ยระหว่าง FA ภายในหนึ่งพื้นที่การเพจย่อยเดียวกัน (hops)
r_{SPA}	อัตราการเคลื่อนที่ข้ามขอบเขตพื้นที่การเพจย่อยของผู้ใช้ (MNs/s)
l	คือความยาวเส้นรอบรูปของพื้นที่การเพจย่อย (m)
R_{core}	คืออัตราส่วนของจำนวน hop ในโครงข่ายหลัก (core network) จากจำนวน hops ทั้งหมดระหว่าง HA กับ FA
R_{local}	คืออัตราส่วนของจำนวน hop ในโครงข่ายย่อย (local network) จากจำนวน hops ทั้งหมดระหว่าง HA กับ FA

ω_{core}	คือค่า weight ของแต่ละ hop ในโครงข่ายไอพีหลัก
ω_{local}	คือค่า weight ของแต่ละ hop ในโครงข่ายย่อย
r_c	คืออัตราการเคลื่อนที่ข้ามขอบเขตของเซลล์ของผู้ใช้ (MNs/s)
ρ	คือความหนาแน่นของผู้ใช้ต่อหน่วยพื้นที่ (MNs/ m^2)
n	คือจำนวนเซลล์ภายในหนึ่งพื้นที่การเพจ
v	คือความเร็วในการเคลื่อนที่โดยเฉลี่ยของผู้ใช้ (m/s)
c_l	คือความยาวเส้นรอบรูปของเซลล์ (m)
r_{PA}	คืออัตราการเคลื่อนที่ข้ามขอบเขตพื้นที่การเพจของผู้ใช้ (MNs/s)
r_r	คืออัตราการทำ registration refresh ของ MN (times/s)
k	คือจำนวนเซลล์ภายในพื้นที่การเพจย่อยภายใน
P_{outer}	คือความน่าจะเป็นที่จะพบ MN ในพื้นที่การเพจย่อยภายนอก
α	คืออัตราส่วนของจำนวน Active MN จากจำนวน MN ทั้งหมด
r_{PA}	คืออัตราการเคลื่อนที่ข้ามขอบเขตพื้นที่การเพจของผู้ใช้ (MNs/s)
λ_a	คืออัตราการเข้ามาของ data session ของ MN (1/s)
λ_d	คืออัตราการออกไปของ data session ของ MN (1/s)
σ_{air}	Weight ของ ข่าวสารการเพจที่ถูกกระจายใน wireless hop ของแต่ละเซลล์
L	ความยาวเส้นรอบรูปของพื้นที่การเพจ (m)

3.3 การคำนวณขนาดพื้นที่การเพจย่อยภายในแบบ Adaptive Individual Paging [12]

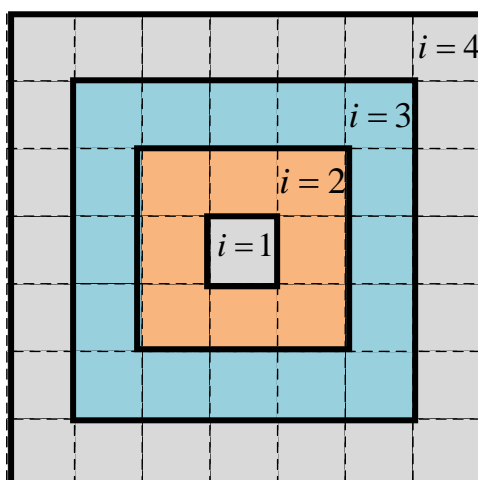
กำหนดให้ $l(i)$ คือความยาวเส้นรอบรูปพื้นที่การเพจย่อย แต่จะแตกต่างจาก [12] ซึ่งใช้รูปร่างเซลล์ 6 เหลี่ยม ในนี้เราจำลองรูปร่างเซลล์ ในแบบ 4 เหลี่ยม ซึ่งจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจหาได้จากสมการต่อไปนี้.

$$l(i) = (2i-1)c_l, \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (12)$$

โดย c_l คือความยาวเส้นรอบรูป 1 เซลล์

$S(i)$ คือจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจย่อยใน Tier ที่ i (รูปที่ 20)

$$S(i) = (2i-1)^2, \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (13)$$



รูปที่ 3.9 ภาพโครงสร้างจำนวนเซลล์เมื่อค่า Tier ที่ i เพิ่มขึ้น.

พื้นที่ของพื้นที่การเพจย่อย

$$A(i) = \left(\frac{c_l}{4}\right)^2 (2i-1)^2, \quad i = 1, 2, 3, \dots \quad (14)$$

โดย $\left(\frac{c_l}{4}\right)^2$ คือพื้นที่ของ 1 เซลล์

กำหนดให้

ตัวแปร	ความหมายของตัวแปร
β	คือ อัตราเซตชันของข้อมูลของ MN เมื่ออยู่ในพื้นที่การเพจย่อยภายใน
θ	คือ อัตราส่วนของเวลาที่ MN อยู่ในสถานะ idle ต่อเวลาที่อยู่ในสถานะ active เมื่ออยู่ในพื้นที่การเพจย่อยภายใน.
C'_w	คือ ต้นทุนการส่งสัญญาณต่อ hop ผ่านโครงข่ายมีสาย
C'_l	คือ ต้นทุนการส่งสัญญาณต่อ hop ผ่านโครงข่ายไร้สาย
d'_{FP}	คือ ระยะทางระหว่าง FA กับ PFA (hops) ในพื้นที่การเพจย่อยภายใน.
d'_{FH}	คือ ระยะทางระหว่าง FA กับ HA (hops) ในพื้นที่การเพจย่อยภายใน.

ต้นทุนการลงทะเบียนขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่าง MN กับ PFA (C'_{pFA}) และ PFA กับ HA (C'_{HA})

$$C'_{pFA} = d'_{FP} C'_w + C'_l \quad (15)$$

$$C'_{HA} = d'_{FH} C'_w + C'_l \quad (16)$$

ต้นทุนการเพจขึ้นอยู่กับการส่งสัญญาณไปยังเซลล์จำนวน $S(i)$ เซลล์ในพื้นที่การเพจทั้งหมด

$$\begin{aligned} C'_p(i) &= C'_l S(i) \\ &= C'_l (2i-1)^2 \end{aligned} \quad (17)$$

จากแบบจำลอง fluid flow model สามารถหาค่าอัตราการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ย่อย, อัตราการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจ และอัตราการลงทะเบียนได้ดังนี้

$$\text{อัตราการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์} \quad r_c = \frac{\rho V c_l}{\pi} \quad (18)$$

โดย V คือค่าความเร็วเฉลี่ยของ MN

$$\text{อัตราการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจย่อย} \quad R'(i) = \frac{\rho V l(i)}{\pi} = \frac{\rho V (2i-1) c_l}{\pi} \quad (19)$$

อัตราการลงทุนระยะเบี่ยนของ MN ในการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจย่อย

$$U'(i) = \frac{R'(i)}{\rho A(i)} = \frac{16V}{c_i \pi (2i-1)} \quad (20)$$

ต้นทุนการสัญญาณของ MN ในพื้นที่การเพจย่อยภายในหาได้จากผลบวกระหว่าง ต้นทุนการลงทุนระยะเบี่ยนระหว่าง MN กับ PFA (C'_{PFA}), และระหว่าง PFA กับ HA (C'_{HA}) ในสมการที่(15),(16) กับต้นทุนการเพจ $C'_p(i)$ ในสมการที่ (17) และ อัตราการลงทุนระยะเบี่ยน $U'(i)$ ในสมการที่ (20) ทั้งหมดนี้ขึ้นกับตัวแปรพารามิเตอร์ อัตราเซชันของข้อมูลของ MN (β),จำนวนเซลล์ที่มีการเพจใน Tier ที่ i และ ความเร็วในการเคลื่อนที่โดยเฉลี่ยของผู้ใช้งานนั้น (V) ดังสมการที่ (21).

$$C'_{PA}(i, \beta, V) = \theta\beta C'_p(i) + \theta\beta(C'_{PFA} + 2C'_{HA}) + 2U'(i)C'_{HA} = \theta\beta C'_p(2i-1)^2 + \theta\beta(C'_{PFA} + 2C'_{HA}) + \frac{32V}{c_i \pi (2i-1)} C'_{HA} \quad (21)$$

จากสมการที่ (14) เทอมแรกแสดงถึงต้นทุนการเพจเมื่อมีข้อมูลส่งถึง MN เทอมที่สองแสดงถึงต้นทุนการลงทุนระยะเบี่ยนของ MN เพื่อที่จะรับส่งข้อมูลหลังจากเสร็จสิ้นการเพจ เทอมที่สามแสดงถึงต้นทุนการลงทุนระยะเบี่ยนเมื่อ MN เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจเดิม.

กำหนดให้ Δ_{PA} เป็นผลต่างต้นทุนการสัญญาณของพื้นที่การเพจใน tier ที่ i กับ $i-1$

$$\Delta_{PA}(i, \beta, V) = C'_{PA}(i, \beta, V) - C'_{PA}(i-1, \beta, V) \quad (22)$$

สามารถหาค่า i_{opt} ได้ดังนี้

$$i_{opt}^{SPA'} = \begin{cases} 1, & \text{if } \Delta_{PA}(i, \beta, V) > 0 \\ \max(i : \Delta_{PA}(i, \beta, V) \leq 0), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (23)$$

จำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจย่อยภายในที่เหมาะสม

$$S_{max} = (2i_{opt}^{SPA'} - 1)^2 \quad (24)$$

3.4 การคำนวณต้นทุนการสัญญาการเพจทั้งหมดของวิธี TSAP-MIP

จากสมการที่ (10) TSP-MIP [9] เราสามารถตัดส่วนที่เป็นการเพจย่อยออกแล้ว นำเอาสมการที่ (17) นำมาบวก เข้าไปจะได้ ต้นทุนการสัญญาในพื้นที่การเพจที่เหมาะสมทั้งหมดของวิธีของ วิธี TSAP-MIP

$$\begin{aligned}
C_{TSAPMIP} &= d_{FA,HA} (R_{core} \omega_{core} + R_{local} \omega_{local}) [(r_c n - r_{PA}) \alpha + r_{PA} + \rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 nr_r \\
&+ \rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d)] + C'_{PA}(i, \beta, V) \\
&+ \sigma_{air} \left[\rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 k(1-\alpha)\lambda_a \right] k \left(\frac{n}{m} \right) \\
&+ C'_{PA}(i, \beta, V)(m-k)(1-\alpha)\lambda_a P_{outer} \left(\frac{n}{m} \right) \\
&+ (1-\alpha)d_{FA,FA} \omega_{local} \left[\frac{n}{m} R'(i) - r_{PA} \right] \\
&= d_{FA,HA} (R_{core} \omega_{core} + R_{local} \omega_{local}) \left[\left(\frac{\rho v c_l}{\pi} n - \frac{\rho v l}{\pi} \right) \alpha + \frac{\rho v L}{\pi} + \rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 nr_r \right. \\
&+ \left. \rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d) \right] + \theta\beta(2i-1)C'_i + \theta\beta(C'_{PFA} + 2C'_{HA}) \\
&+ \frac{32V}{c_l \pi (2i-1)} C'_{HA} \\
&+ \sigma_{air} \left[\rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 k(1-\alpha)\lambda_a \right] k \left(\frac{n}{m} \right) \\
&+ \theta\beta(2i-1)C'_i + \theta\beta(C'_{PFA} + 2C'_{HA}) \\
&+ \frac{32V}{c_l \pi (2i-1)} C'_{HA} (m-k)(1-\alpha)\lambda_a P_{outer} \left(\frac{n}{m} \right) \\
&+ (1-\alpha)d_{FA,FA} \omega_{local} \left[\frac{n}{m} \left(\frac{\rho V (2i-1) c_l}{\pi} \right) - \frac{\rho v L}{\pi} \right]
\end{aligned} \tag{25}$$

จากสมการที่ (25) ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสัญญาณของแต่ละวิธีเรา จะ normalize สมการต้นทุนการสัญญาณด้วย weighted distance ระหว่าง HA กับ FA ดังนั้น จะลดรูปลงเหลือดังสมการที่ (26)

$$\begin{aligned}
C_{TSAPMIPn} = & \left(\frac{\rho v c_l}{\pi} n - \frac{\rho v L}{\pi} \right) \alpha + \rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 n (1 - \alpha) (\lambda_a + \lambda_d) \\
& + \frac{\rho v L}{\pi} + \frac{k d'_{FA,FA} \rho (c_l / 4)^2 k (1 - \alpha) \lambda_a + \theta \beta (2i - 1) C'_l + \theta \beta (C'_{PFA} + 2C'_{HA}) + \frac{32V}{c_l \pi (2i - 1)} C'_{HA}}{d_{FA,HA} (R_{core} R_w + R_{local})} \cdot \frac{n}{m} \\
& + \frac{d'_{FA,FA} \rho (c_l / 4)^2 (1 - \alpha) \lambda_a + \frac{n}{m} \cdot P_{outer}}{d_{FA,HA} (R_{core} R_w + R_{local})} \\
& + \frac{(\sigma_{air} \rho (c_l / 4)^2 k (1 - \alpha) \lambda_a) k \left(\theta \beta (2i - 1) C'_l + \theta \beta (C'_{PFA} + 2C'_{HA}) + \frac{32V}{c_l \pi (2i - 1)} C'_{HA} \right)}{d_{FA,HA} (R_{core} R_w + R_{local})} \cdot \frac{n}{m} \\
& + \frac{(1 - \alpha) d_{FA,FA} \left[\frac{n}{m} \frac{\rho v l}{\pi} - \frac{\rho v L}{\pi} \right]}{d_{FA,HA} (R_{core} R_w + R_{local})} \quad (26)
\end{aligned}$$

ต้นทุนการสัญญาณของวิธีที่เสนอประกอบด้วยส่วนประกอบใหญ่ทั้งหมด 5 ส่วนคือ ส่วนที่ 1

$$\begin{aligned}
& d_{FA,HA} (R_{core} \omega_{core} + R_{local} \omega_{local}) \left[\left(\frac{\rho v c_l}{\pi} n - \frac{\rho v l}{\pi} \right) \alpha + \frac{\rho v L}{\pi} + \rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 n r_r \right. \\
& \left. + \rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 n (1 - \alpha) (\lambda_a + \lambda_d) \right]
\end{aligned}$$

ในเครื่องหมายวงเล็บใหญ่มีค่าเท่ากับส่วนแรกในสมการที่ (9) ทุกประการเช่นเดียวกับวิธี TSP-MIP [1].

ส่วนที่ 2

$$\theta \beta (2i - 1) C'_l + \theta \beta (C'_{PFA} + 2C'_{HA}) + \frac{32V}{c_l \pi (2i - 1)} C'_{HA}$$

หมายถึงต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากการเพจในพื้นที่การเพจย่อยภายใน (Internal SPA) เมื่อมีแพ็กเก็ตข้อมูลถูกส่งมาถึง MN, pFA เป็นตัวแทนรับแพ็กเก็ตข้อมูลจาก HA จากนั้น pFA จะส่งต่อข้อมูลนั้นไปยัง Sub-pFA ที่ MN ได้แจ้งไปยัง pFA ก่อนหน้านี้แล้ว เมื่อ Sub-pFA ได้รับแพ็กเก็ตข้อมูลที่ส่งถึง MN จะเริ่มส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ทุกตัวที่อยู่

ภายในพื้นที่การเพจย่อยภายใน. เนื่องจากลักษณะการจัดวางพื้นที่การเพจสำหรับการวิเคราะห์ ต้นทุนการสัญญาณนี้มีลักษณะแบบ Non-overlapping PA การเคลื่อนที่ของ MN มีรูปแบบการเคลื่อนที่แบบ fluid flow ดังนั้นหาก MN เคลื่อนที่เมื่อเปลี่ยนพื้นที่การเพจย่อย ตำแหน่งของ Sub-pFA จะไม่สามารถอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยภายในได้ และ การคำนวณ พื้นที่การเพจย่อยภายในที่เหมาะสม คือการหาค่า C'_{PA} ซึ่งหาได้คำนวณได้จากค่า i ตามสมการที่ (14) เพราะฉะนั้น จะต้องหาค่า i ที่ทำให้ต้นทุนการสัญญาณในสมการที่ (16) มีค่าน้อยที่สุด โดยเรียกเป็น i_{opt}

ส่วนที่ 3

$$\sigma_{air} \left[\rho \left(\frac{c_l}{4} \right)^2 k(1-\alpha)\lambda_a \right] k \left(\frac{n}{m} \right)$$

ค่า $k \left(\frac{n}{m} \right)$ คือ Sub-pFA และเนื่องจากต้นทุนการสัญญาณในส่วนนี้พิจารณาเพียงหนึ่งพื้นที่การเพจย่อยภายนอก ดังนั้นต้นทุนการสัญญาณในส่วนนี้จึงต้องคูณด้วย n/m เพื่อปรับให้เป็นต้นทุนการสัญญาณที่เกิดขึ้นในหนึ่งพื้นที่การเพจเช่นเดียวกับวิธี TSP-MIP [1].

ส่วนที่ 4

$$\theta\beta(2i-1)C'_l + \theta\beta(C'_{PFA} + 2C'_{HA}) + \frac{32V}{c_l\pi(2i-1)} C'_{HA} (m-k)(1-\alpha)\lambda_a P_{outer} \left(\frac{n}{m} \right)$$

หมายถึงต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากการเพจในพื้นที่การเพจย่อยภายนอก (External Sub-pFA) และ พื้นที่การเพจย่อยภายใน (Internal Sub-pFA) MN จะส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ทุกตัวที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจย่อยภายนอก โดยต้นทุนการสัญญาณนี้ ขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นที่จะพบ MN ในพื้นที่การเพจย่อยภายนอก $P_{outer} \left(\frac{n}{m} \right)$ ด้วย และ เนื่องจากตำแหน่งของ Sub-pFA อยู่ในส่วนของพื้นที่การเพจย่อยภายนอก (External SPA) ดังนั้นการส่งข่าวสารร้องขอการเพจในแต่ละครั้งจะไม่รวมถึงการส่งข่าวสารในพื้นที่ตนเอง ต้นทุนการสัญญาณนี้จึงเกิดจากการกระจายข่าวสารการเพจภายในเซลล์.

ส่วนที่ 5

$$(1-\alpha)d_{FA,FA}\omega_{local}\left[\frac{n}{m}\left(\frac{\rho V(2i-1)c_l}{\pi}\right)-\frac{\rho vL}{\pi}\right]$$

หมายถึงต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากการกระจายข่าวสารร้องขอการเพจในแต่ละเซลล์ของพื้นที่การเพจย่อยภายนอก (External Sub-pFA) เช่นเดียวกับสมการในส่วนที่ 4.

3.5 การวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเวลาการประวิงที่เกิดจากกระบวนการเพจ (The average paging delay) ในวิธีการที่นำเสนอในเชิงคณิตศาสตร์ [14], [15]

เนื่องจากในวิธี TSAP-MIP ที่เสนอได้กำหนดให้มีการเพจเกิดขึ้นสองครั้งในหนึ่งพื้นที่การเพจย่อยเพื่อลดต้นทุนการสัญญาณโดยรวมของระบบ ถึงแม้ว่าวิธีนี้สามารถลดต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากกระบวนการเพจที่เกิดขึ้นจากวิธี DLP-MIP ลงได้ แต่อย่างไรก็ตามยังพบว่ามีข้อเสียหรือประเด็นที่ต้องได้รับการแก้ไขเมื่อพิจารณาในส่วนของเวลาที่สูญเสียไปในการรอเพื่อที่จะเริ่มกระบวนการเพจครั้งต่อไป ดังนั้นในส่วนนี้จะพิจารณาและวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเวลาการประวิงที่เกิดจากกระบวนการเพจ (The average paging delay) ในวิธี TSP-MIP ที่เสนอในเชิงคณิตศาสตร์ ซึ่งแสดงสมการการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยเวลาการประวิงที่เกิดจากกระบวนการเพจดังสมการที่ (12) ดังนี้

$$\bar{D} = \sum_{i=1}^w ip_i \quad (27)$$

โดยที่

- \bar{D} คือ ค่าเฉลี่ยเวลาการประวิงที่เกิดจากกระบวนการเพจ
- w คือ จำนวนของพื้นที่การเพจที่ถูกเพจหรือจำนวนครั้งในการเพจ
- p_i คือ ความน่าจะเป็นที่จะพบ MN ในการเพจครั้งที่ i

ในที่นี้กำหนดให้ w มีค่าเท่ากับ 2 นั่นคือมีการเพจสองครั้งในหนึ่งพื้นที่การเพจ
ย่อย ดังนั้น p_1 คือ ความน่าจะเป็นที่จะพบ MN ในส่วนของพื้นที่การเพจย่อยภายใน และ p_2 คือ
ความน่าจะเป็นที่จะพบ MN ในส่วนของพื้นที่การเพจย่อยภายนอกตามลำดับ โดยได้เปรียบเทียบ
ผลของค่าเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจากวิธี TSAP-MIP ที่เสนอกับวิธี TSP-MIP และ วิธี DLP-MIP ซึ่งผลของ
การวิเคราะห์จะเสนอในบทถัดไป

บทที่ 4

ผลการวิจัย

บทนี้แสดงถึงผลการวิจัยที่ได้จากทั้งการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสัญจรของวิธีต่างๆ Mobile IP[1] , P-MIP[7] , DLP-MIP[8] ,TSP-MIP[9], ADLP-MIP[12] และวิธีที่นำเสนอ TSAP-MIP โดยทำการจำลองแบบ วิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีเทียบกับความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้,จำนวนเซลล์ในพื้นที่การพิจ,จำนวน Hop weight ratio,ระยะทางระหว่าง HA กับ FA,ความหนาแน่นของผู้ใช้, Active ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญจร,อัตราเซสชันของข้อมูลและการเคลื่อนที่รูปแบบต่างๆ

4.1 ผลการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทดสอบประสิทธิภาพการสัญจรในกรณีที่ใช้มีการเคลื่อนที่เป็นรูปแบบต่างๆและเคลื่อนที่ด้วยความเร็วซึ่งมักจะอยู่ในพื้นที่บริเวณนอกเมืองจึงเลือกใช้ลักษณะสถาปัตยกรรมแบบ Macro systems [17] ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

Macro systems	ความยาวเส้นรอบรูปของเซลล์	4,000 m
	ความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ของ MN	45 m/s
	ความหนาแน่นของผู้ใช้	200 MNs/km ²

ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสัญจร

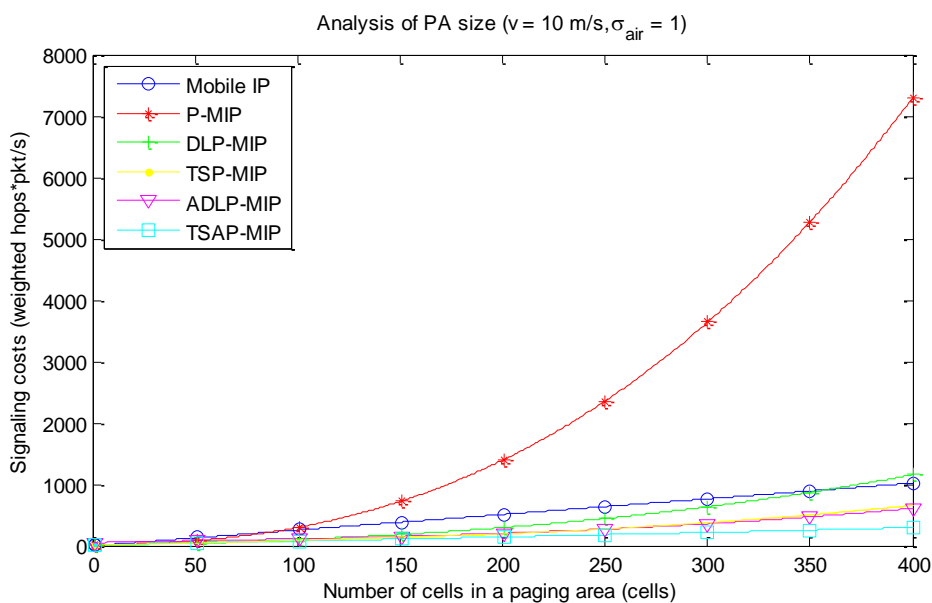
พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
C'_ω, C'_l	0.5
R_{core}, R_{local}	0.5
n/m	4
σ_{air}	1
$d_{FA,HA}$	16 hops
d'_{FA}, d'_{FP}	16 hops
$d_{FA,FA}$	\sqrt{n}
$d'_{FA,FA}$	\sqrt{m}
α	5%

v	0-45 m/s
$\beta, \lambda_a, \lambda_d$	0.0008/s
ρ	0.0002 MNs/m ²
k	$(\sqrt{m}-2)^2$
θ	1

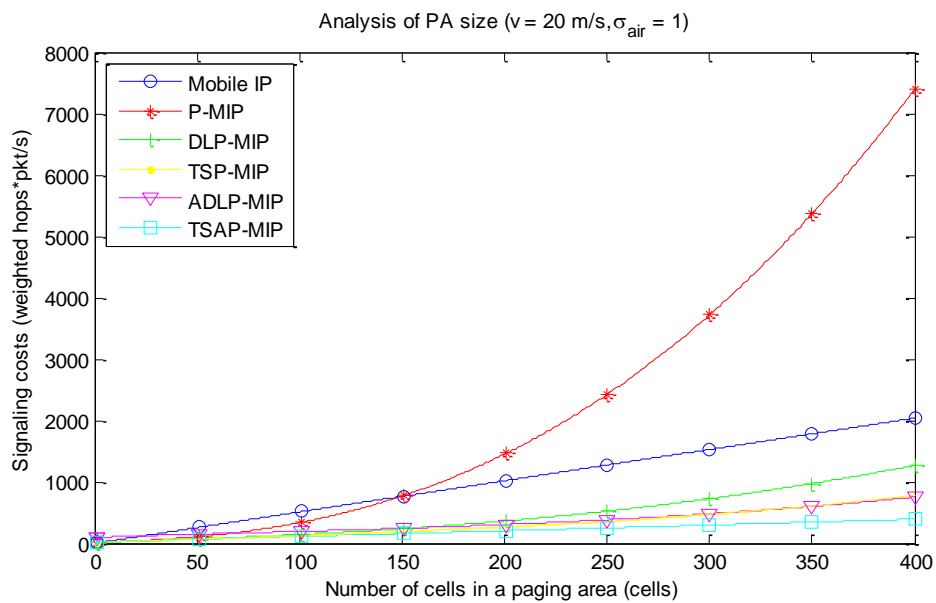
4.1.1 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ

ในการวิเคราะห์ครั้งนี้กำหนดให้ความเร็วของการเคลื่อนที่ขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนที่ของผู้ใช้โดยพิจารณาจากการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ขั้บรถยนต์หรือรถไฟความเร็วสูงโดยมีความเร็วสูงโดยเฉลี่ยเท่ากับ 10, 20, 30 เมตรต่อวินาทีตามลำดับ.

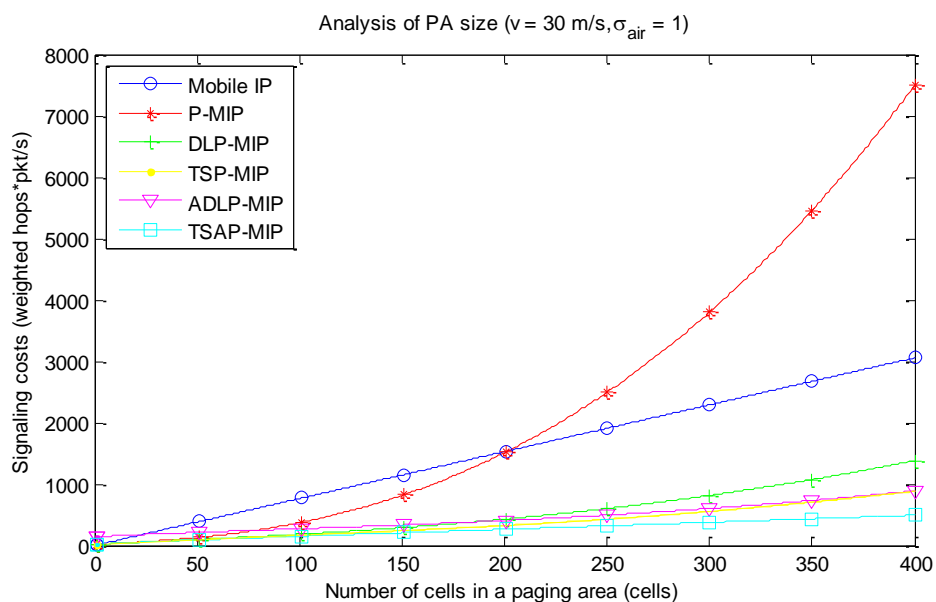
ในการจำลองนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณของวิธีต่างๆและวิธีที่เสนอ



รูปที่ 4.1 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาทีและใช้สถาปัตยกรรมแบบ macro system



รูปที่ 4.2 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 20 เมตรต่อวินาทีและใช้สถาปัตยกรรมแบบ macro system



รูปที่ 4.3 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาทีและใช้สถาปัตยกรรมแบบ macro system

จากรูปที่ 4.3 ในกรณี macro case พบว่าวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มีต้นทุนการสัญญาเพิ่มขึ้นสัมพันธ์กับจำนวนเซลล์ต่อพื้นที่การเพจเป็นแบบเชิงเส้น อันเนื่องมาจากจำนวนเซลล์มากจะพบการเคลื่อนที่ข้ามขอบเซลล์ของผู้ใช้ MN มากด้วยเช่นกัน ส่งผลให้ปริมาณการสัญญาอันเนื่องมาจากกระบวนการลงทะเบียนมีค่ามากและเมื่อพิจารณาวิธี P-MIP พบว่าต้นทุนการสัญญาอันเนื่องมาจากกระบวนการเพจจะให้ประสิทธิภาพที่ดีต่อระบบต่อเมื่อขนาดของพื้นที่การเพจมีขนาดตั้งแต่ 1-200 เซลล์ เมื่อพื้นที่การเพจมีขนาดใหญ่มากขึ้นแล้วต้นทุนการสัญญาที่เกิดจากการเพจนั้นก็เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพราะว่า วิธี P-MIP มีต้นทุนการสัญญาจะมาจากกระบวนการลงทะเบียนและกระบวนการเพจเพื่อค้นหาตำแหน่งของผู้ใช้ ดังนั้นพบว่าเมื่อเวลาขนาดของพื้นที่การเพจมีขนาดใหญ่จะมีต้นทุนการสัญญาที่เกิดจากกระบวนการเพจจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สาเหตุเนื่องมาจากเมื่อระบบต้องการค้นหาตำแหน่งของผู้ใช้ระบบจะส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ทุกตัวที่อยู่ในพื้นที่การเพจและ FA แต่ละตัวจะกระจายข่าวสารการเพจภายในเซลล์ของตนเองส่งผลให้เกิดภาระการสัญญาจากการเพจจำนวนมากจากรูปที่ 4.1, 4.2, และ 4.3 พบว่าจุดตัดระหว่างวิธี P-MIP และวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มีค่าแตกต่างกันเมื่อระบบมีผู้ใช้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยต่างกันหากผู้ใช้มีความเร็วต่ำจุดตัดนี้จะมีค่าน้อยส่งผลให้ช่วงขนาดของพื้นที่การเพจที่เลือกใช้ได้มีช่วงที่แคบลง แสดงให้เห็นว่าในระบบที่ผู้ใช้มีความเร็วต่ำ P-MIP ที่มีพื้นที่การเพจขนาดใหญ่จะมีต้นทุนในการเพจมาก ขณะที่ผู้ใช้มีแนวโน้มที่จะอยู่ในเซลล์เดิมได้นานขึ้นนั่นคือ มีอัตราการข้ามขอบเขตเซลล์ลดลงทำให้การสัญญาอันเนื่องมาจากการลงทะเบียนในวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนการสัญญาของวิธี P-MIP

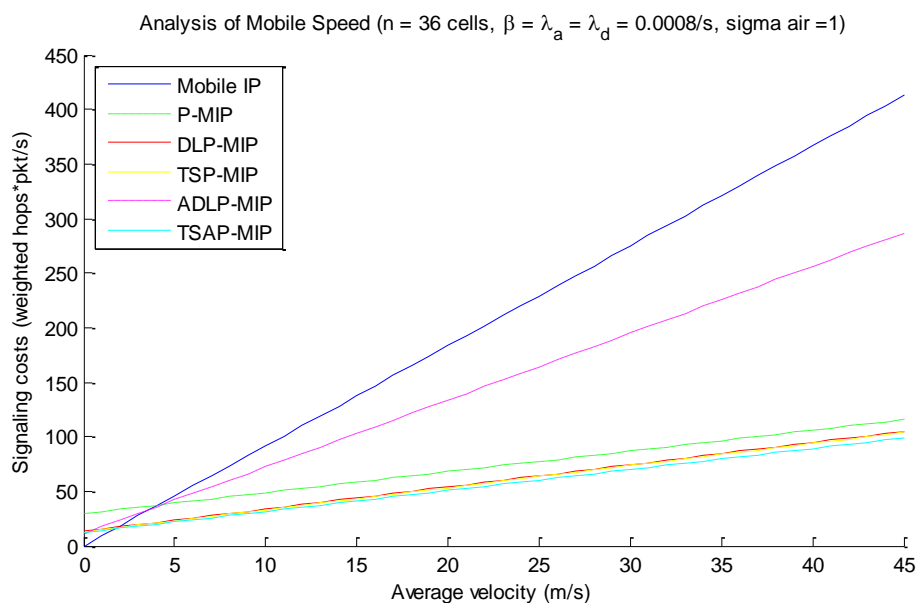
จากวิธี TSAP-MIP เมื่อพิจารณาต้นทุนการสัญญาที่ความเร็ว 10 เมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 4.1 พบว่าวิธี TSAP-MIP มีต้นทุนการสัญญาต่ำกว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบทุกค่าขนาดของพื้นที่การเพจตั้งแต่ 1-200 เซลล์ โดยสามารถลดปริมาณการสัญญาจากวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, P-MIP , DLP-MIP , ADLP-MIP และ TSP-MIP ได้ถึง 34.59%, 75.16%, 8.3%, 6.15% และ 5.52% ตามลำดับ ถ้าในกรณีที่ผู้ใช้มีความเร็วในการเคลื่อนที่เป็น 20 เมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 4.2 พบว่าวิธี TSAP-MIP ยังคงสามารถลดปริมาณการสัญญาจากวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, P-MIP , DLP-MIP , ADLP-MIP และ TSP-MIP ได้ถึง 80.052 % , 90.83 % , 55.45%, 20.11% และ 15.02% ตามลำดับ ขณะที่วิธี DLP-MIP ก็สามารถลดปริมาณการสัญญาของระบบลงได้เมื่อเทียบกับวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่จนถึงขนาดพื้นที่การเพจเท่ากับ 210 และในกรณีที่ผู้ใช้มีความเร็วในการเคลื่อนที่เท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที ดังรูปที่ 4.3 วิธี TSAP-MIP สามารถ

ลดปริมาณการสัญญาณของระบบลงได้เมื่อเทียบกับโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, P-MIP , DLP-MIP , ADLP-MIP และ TSP-MIP ได้ถึง 82.915%, 88.519 % , 49.856%, 18.31% และ 16.023% เมื่อพิจารณาขนาดของพื้นที่การเพจและขนาดของเซลล์เท่ากัน อีกทั้งยังมีช่วงขนาดของพื้นที่การเพจให้สามารถเลือกใช้ได้กว้างกว่าวิธี P-MIP, วิธี DLP-MIP, วิธี ADLP-MIP และ วิธี TSP-MIP เนื่องจากเมื่อขนาดของพื้นที่การเพจมีขนาดใหญ่ขึ้น วิธี P-MIP จะมีต้นทุนการสัญญาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่วิธี DLP-MIP, วิธี ADLP-MIP และ วิธี TSP-MIP จะให้ต้นทุนการสัญญาณของระบบที่ต่ำกว่าวิธี P-MIP เนื่องจากวิธี วิธี DLP-MIP, วิธี ADLP-MIP และ วิธี TSP-MIP แบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นพื้นที่การเพจย่อย ระบบจึงสามารถลดภาระในการส่งข่าวสารร้องขอการเพจลงได้ ส่งผลให้ต้นทุนการสัญญาณมีค่าต่ำกว่าวิธี P-MIP ขณะที่วิธี TSAP-MIP เมื่อขนาดพื้นที่การเพจมีค่าเพิ่มขึ้นระบบจะมีต้นทุนการสัญญาณที่เพิ่มขึ้นด้วยแนวโน้มที่ช้ากว่า เนื่องจากในวิธี TSAP-MIP กำหนดให้มีการแบ่งพื้นที่การเพจย่อยออกเป็นพื้นที่การเพจย่อยภายในและพื้นที่การเพจย่อยภายนอก หากวิธี TSAP-MIP สามารถค้นหาตำแหน่งของผู้ใช้จากการเพจภายในพื้นที่การเพจย่อยภายในสำเร็จ การเพจในพื้นที่การเพจย่อยภายนอกจึงไม่จำเป็นอีกต่อไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า P_{outer} หากความเป็นไปได้ที่จะพบผู้ใช้ในพื้นที่การเพจย่อยภายนอกมีความเป็นไปได้ต่ำทำให้ระบบสามารถลดภาระในการส่งข่าวสารการเพจลงไปได้มากทำให้วิธี TSAP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการเพจต่ำกว่าวิธี ADLP-MIP และวิธี TSP-MIP ขณะที่ยังคงมีปริมาณการสัญญาณอันเนื่องมาจากกระบวนการลงทะเบียนเท่ากัน เนื่องจากกรณีที่ผู้ใช้มีความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำทำให้ผู้ใช้มีโอกาสที่จะอาศัยอยู่ในพื้นที่การเพจเดิมได้นานขึ้นทำให้ระบบต้องส่งข่าวสารร้องขอการเพจซ้ำภายในพื้นที่การเพจเดิม ส่งผลให้ปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการเพจมีค่าเพิ่มขึ้นมาก

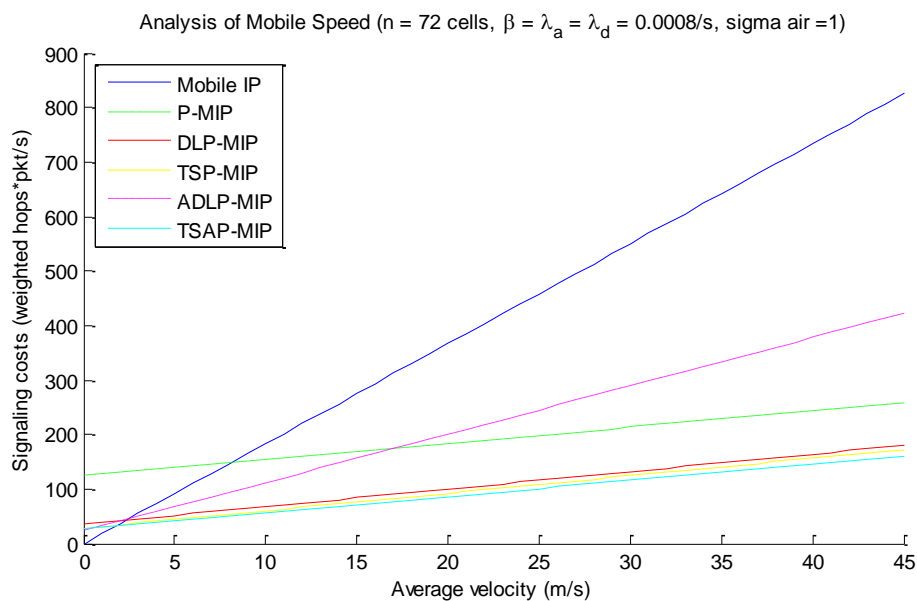
4.1.2 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ

การวิเคราะห์ในส่วนนี้ แสดงถึงระบบวิธี TSAP-MIP จากรูปที่ 4.4 ถึง 4.6 โดยพิจารณาในกรณีที่อัตราข้อมูลมีค่าต่างกัน [14] พบว่าวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มีต้นทุนการสัญญาณที่คงที่ไม่ขึ้นกับอัตราข้อมูลที่เข้ามาเนื่องจากวิธีนี้ผู้ใช้ต้องลงทะเบียนแจ้งตำแหน่งของตนเองทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่ ดังนั้นระบบจึงไม่ถูกรบกวนจากผลของอัตราข้อมูลขาเข้าของผู้ใช้ ซึ่งแตกต่างจากวิธี P-MIP, วิธี DLP-MIP, วิธี ADLP-MIP, วิธี TSP-MIP และ วิธี TSAP-MIP ที่เสนอ นั้นจะได้รับผลกระทบจากผลของอัตราข้อมูลที่เข้ามาเนื่องจากวิธีที่กล่าวมานี้ใช้กระบวนการเพจในการค้นหาตำแหน่งของผู้ใช้ หากไม่มีข้อมูลที่ต้องการส่งถึงผู้ใช้ระบบจะไม่จำเป็นที่จะต้องส่งข่าวสารการเพจแต่อย่างใด แต่หากมีข้อมูลเข้ามายังผู้ใช้ระบบจะต้องส่งข่าวสารการเพจเพื่อค้นหา

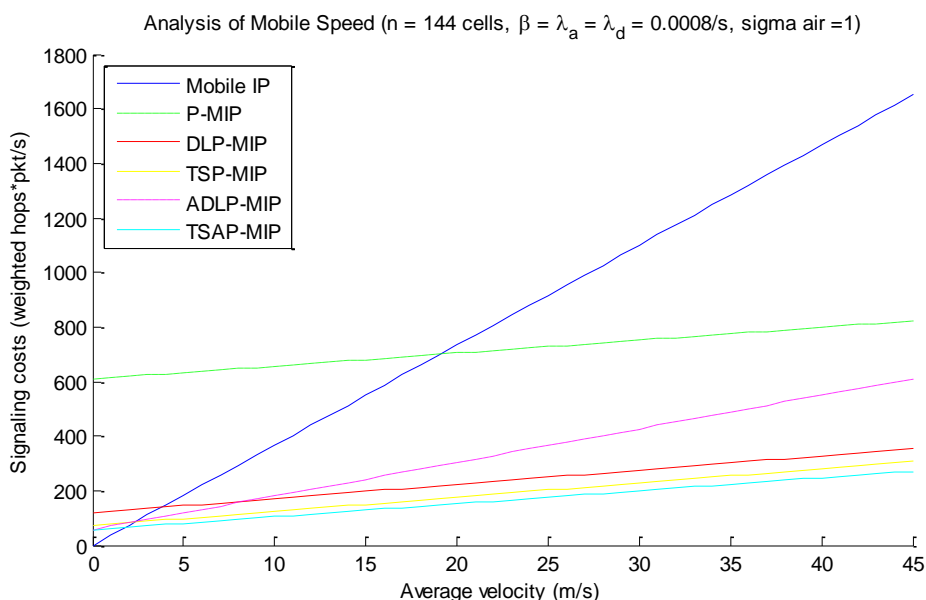
ตำแหน่งของผู้ใช้ต่อไป และพบว่าวิธี P-MIP, วิธี DLP-MIP, วิธี ADLP-MIP, วิธี TSP-MIP และ วิธี TSAP-MIP ได้รับผลกระทบจากความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่



รูปที่ 4.4 ผลกระทบของความเร็วจเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีเมื่อขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 36 เซลล์และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008/s ในระบบ macro system

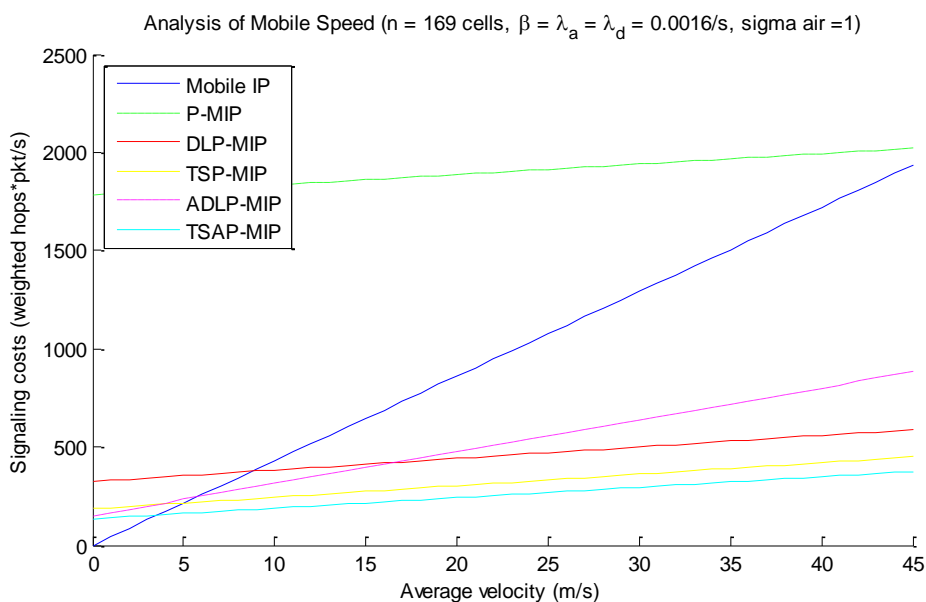


รูปที่ 4.5 ผลกระทบของความเร็วจเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีเมื่อขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 72 เซลล์และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008/s ในระบบ macro system

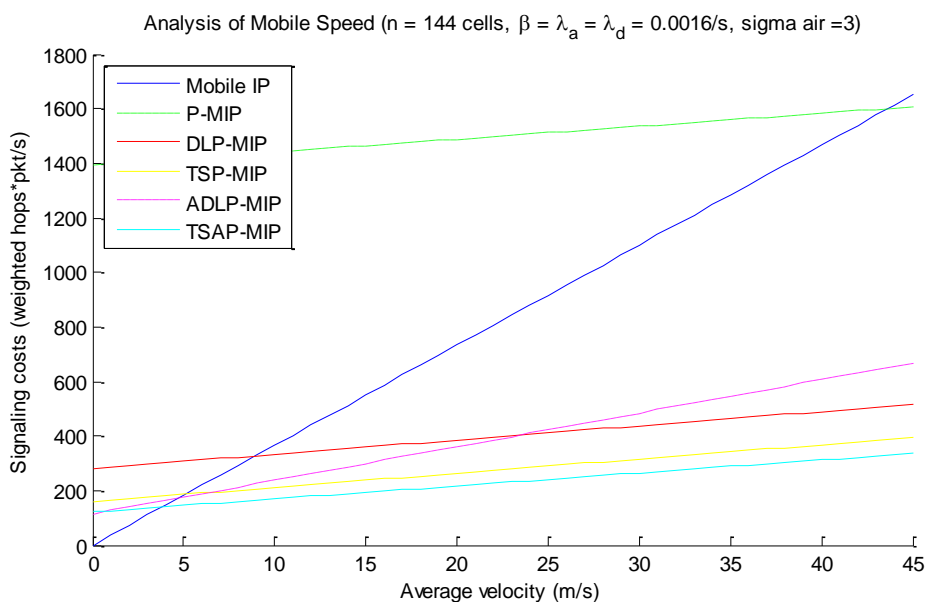


รูปที่ 4.6 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีเมื่อขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 144 เซลล์และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008/s ในระบบ macro system

รูปที่ 4.4 ถึง 4.6 แสดงผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณของระบบ โดยกำหนดให้จำนวนเซลล์ในหนึ่งพื้นที่การเพจเท่ากับ 144 เซลล์ ซึ่งพบว่ามีแนวโน้มสอดคล้องกับกรณีที่มีขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 36 เซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.6 และพบว่าวิธี TSAP-MIP สามารถลดปริมาณการสัญญาณจากวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, วิธี P-MIP , วิธี DLP-MIP ,วิธี ADLP-MIP และ วิธี TSP-MIP ได้ถึง 80.14%, 77.11%, 30.59%, 51.01% และ 13.3% ตามลำดับ (รูปที่ 4.6) ถ้าพิจารณากรณีที่อัตราเข้ามาของข้อมูลเท่ากับ 0.0016 ครั้งต่อวินาทีดังรูปที่ 4.7 พบว่าวิธี TSAP-MIP ยังคงให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดโดยสามารถลดปริมาณการสัญญาณจากวิธีที่นำมาเปรียบเทียบได้ถึง 73.28%, 83.36%, 37.82%, 43.73% และ 15.34% ตามลำดับ เนื่องจากจำนวนเซลล์ในหนึ่งพื้นที่การเพจที่พิจารณามีขนาดใหญ่ถึง 144 เซลล์ ดังนั้นจำนวนเซลล์ในหนึ่งพื้นที่การเพจย่อยภายในจึงมีค่าเท่ากับ 48 เซลล์ ทำให้ผู้ใช้มีความเป็นไปได้ที่จะอาศัยอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยภายในสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกรณีที่มีขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 36 เซลล์ นั่นคือค่า P_{outer} มีค่าสูงขึ้นส่งผลให้วิธี TSAP-MIP สามารถลดปริมาณต้นทุนการสัญญาณโดยรวมของวิธีที่นำมาเปรียบเทียบได้มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากการพิจารณาขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 36 เซลล์ ดังรูปที่ 4.4



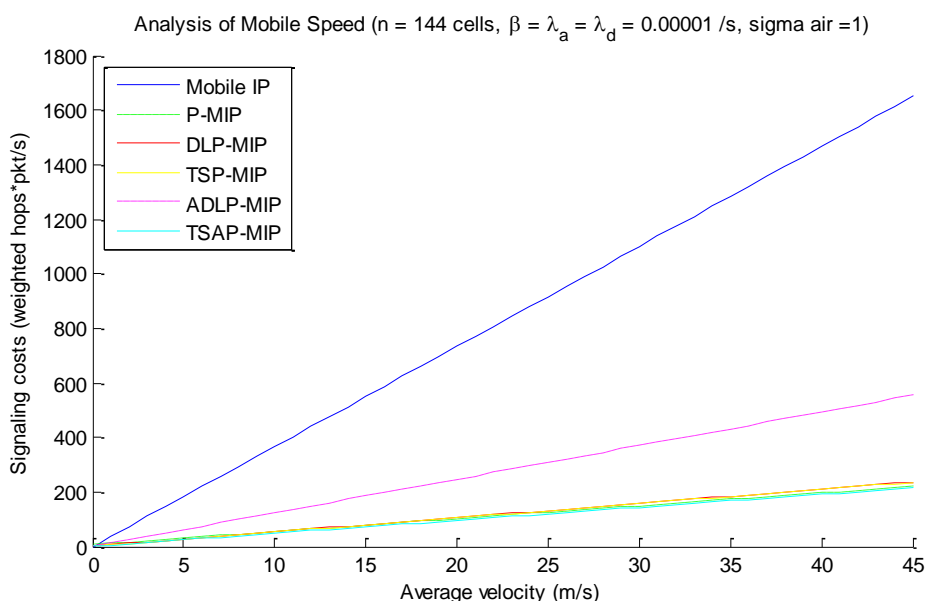
รูปที่ 4.7 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีเมื่อขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 144 เซลล์และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0016/s ในระบบ macro system



รูปที่ 4.8 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีเมื่อขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 144 เซลล์และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0016/s และ $\sigma_{air} = 3$

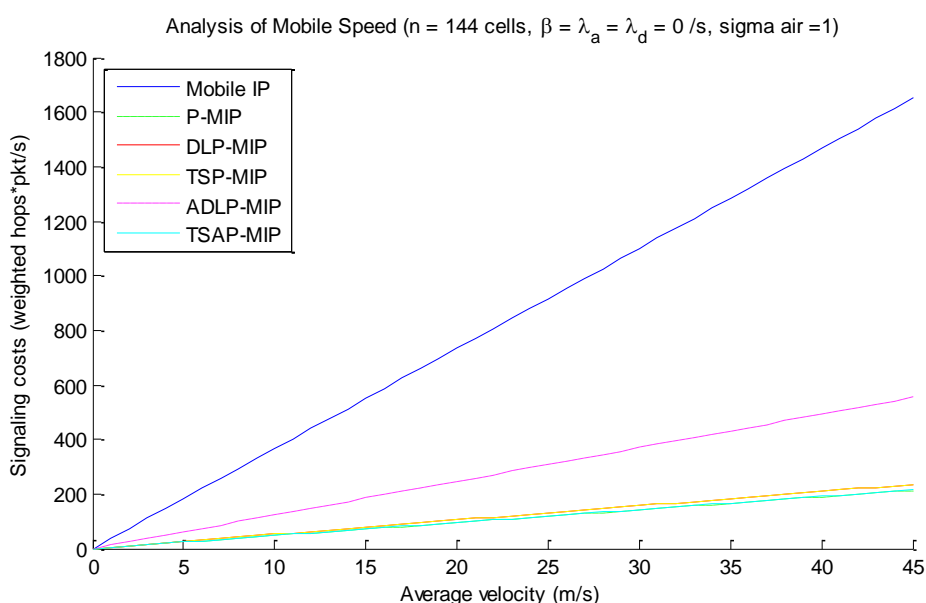
จากรูปที่ 4.8 กำหนดให้พารามิเตอร์ σ_{air} มีค่าเท่ากับ 3 เนื่องจากต้องการพิจารณาผลกระทบที่เกิดจากค่า σ_{air} ที่มีแนวโน้มมากกว่า 1 ขณะที่ค่า σ_{air} คืออัตราส่วนของ

wireless hop weight ต่อ weight ของแต่ละ hop ในโครงข่ายย่อย หากค่า σ_{air} มีค่าเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลกระทบต่อต้นทุนการสัญญาณที่มาจากกรเพจได้ เนื่องจากกระบวนการเพจเพื่อค้นหา ตำแหน่งของผู้ใช้ MN ในแต่ละครั้ง ระบบจะต้องส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยังเซลล์ทุกเซลล์ ภายในพื้นที่การเพจ พร้อมกับที่แต่ละเซลล์กระจายข่าวสารการเพจภายในพื้นที่เซลล์ของตนเอง จากการเปรียบเทียบรูปที่ 4.7 กับรูปที่ 4.8 พบว่าวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และวิธี ADLP-MIP มี ต้นทุนการสัญญาณไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากในการทำงานของวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ที่ไม่มี กระบวนการกระจายข่าวสารการเพจในแต่ละเซลล์ ดังนั้นวิธีนี้จึงไม่ถูกระทบจากผลของ σ_{air} ที่ เปลี่ยนแปลง แต่ขณะที่วิธี P-MIP พบว่ามีต้นทุนการสัญญาณเพิ่มขึ้นมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DLP-MIP, วิธี TSP-MIP และ วิธี TSAP-MIP เนื่องจากวิธี P-MIP ใช้กระบวนการเพจในการ ติดตามตำแหน่งของผู้ใช้และต้องเพจหาผู้ใช้ทั้งพื้นที่การเพจ ขณะที่วิธี DLP-MIP ,วิธี TSP-MIP และ TSAP-MIP จะกระจายข่าวสารร้องขอการเพจเฉพาะในพื้นที่การเพจย่อยเท่านั้น ซึ่งมีขนาด เล็กกว่าพื้นที่การเพจทั้งพื้นที่วิธี DLP-MIP, วิธี TSP-MIP และวิธี TSAP-MIP จึงถูกระทบจากผล ของการเปลี่ยนแปลงค่า σ_{air} ในสัดส่วนที่น้อยกว่า.



รูปที่ 4.9 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีเมื่อขนาด ของพื้นที่การเพจเท่ากับ 144 เซลล์และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.00001/s ในระบบ macro system

รูปที่ 4.9 แสดงให้เห็นถึงกรณีที่วิธี P-MIP ให้ต้นทุนการสัญญาณต่ำกว่าวิธี DLP-MIP และ วิธี TSP-MIP เมื่อผู้ใช้มีความเร็วตั้งแต่ 13 ถึง 45 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นสถานะที่ผู้ใช้มีความเร็วในการเคลื่อนที่ค่อนข้างสูงและมีอัตราการเข้ามาของข้อมูลต่ำมากในที่นี้มีค่าเท่ากับ 0.00001 ครั้งต่อวินาที เนื่องจากกรณีที่ผู้ใช้มีความเร็วในการเคลื่อนที่สูง โอกาสที่ผู้ใช้จะเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อมมีมาก ประกอบกับอัตราการเข้ามาของข้อมูลมีค่าที่ต่ำมากทำให้ระบบไม่จำเป็นต้องมีการเพจหาผู้ใช้บ่อยมากส่งผลให้ภาระการสัญญาณหลักมาจากกระบวนการลงทะเบียนและการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งของวิธี DLP-MIP , วิธี TSP-MIP และ วิธี TSAP-MIP ขณะที่วิธี P-MIP ในสถานะที่ผู้ใช้มีความเร็วสูง ภาระการสัญญาณหลักจะมาจากกระบวนการลงทะเบียนเพียงอย่างเดียว ดังนั้นจึงมีต้นทุนการสัญญาณโดยรวมต่ำ.

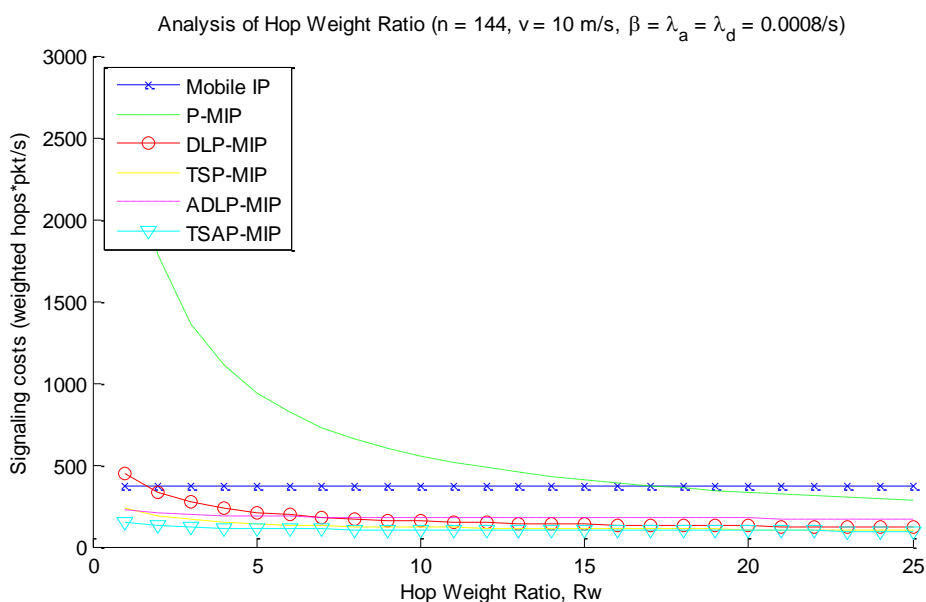


รูปที่ 4.10 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีเมื่อขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 144 เซลล์และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0/s ในระบบ macro system

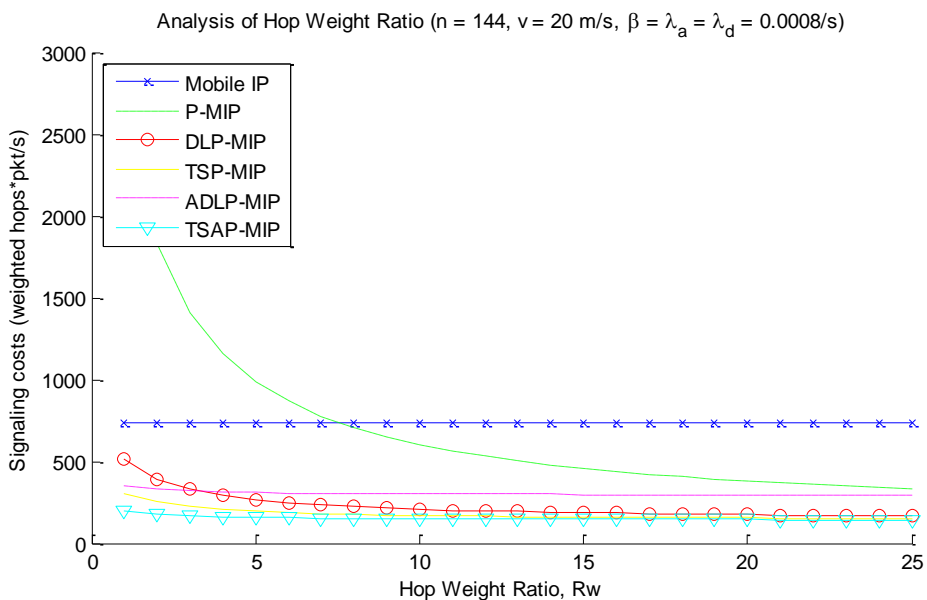
รูปที่ 4.10 แสดงผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่ออัตราการเข้ามาของข้อมูลมีค่าเท่ากับ 0 หรือไม่มีการเรียกไปยังผู้ใช้เลย ในกรณีนี้ทำให้วิธี TSAP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณเท่ากับวิธี DLP-MIP และ ทุกประการ เนื่องจากเมื่อไม่มีข้อมูลต้องการส่งถึงผู้ใช้ กระบวนการเพจจึงไม่เกิดขึ้น

4.1.3 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ

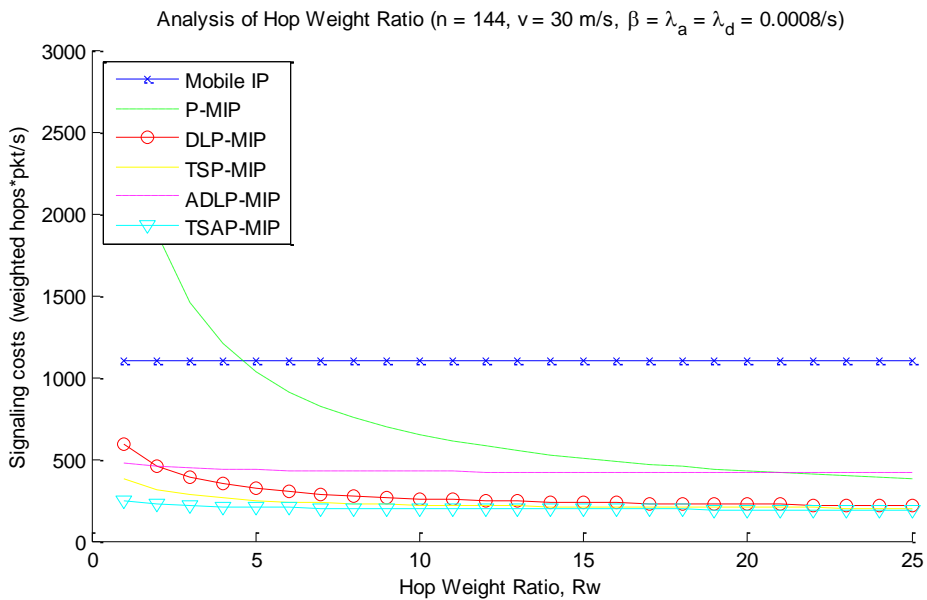
การวิเคราะห์ในส่วนนี้จะกำหนดขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 144 เซลล์ โดยจะแสดงผลของการวิเคราะห์ในแบบ Macro. โดยค่า R_w (Hop weight ratio) [15] แสดงให้เห็นถึงสัดส่วนของปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการลงทะเบียนและกระบวนการเพจในต้นทุนการสัญญาณรวม เมื่อ R_w มีค่าน้อย ปริมาณการสัญญาณที่เกิดขึ้นภายในโครงข่ายย่อย (นั่นคือ ปริมาณข่าวสารการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการเพจและการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่ง) และปริมาณการสัญญาณที่เกิดขึ้นภายในโครงข่ายหลัก (นั่นคือ ปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการลงทะเบียน) จะส่งผลกระทบต่อต้นทุนการสัญญาณในสัดส่วนที่เท่ากัน ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะลดปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการเพจและกระบวนการลงทะเบียน เพื่อให้ต้นทุนการสัญญาณโดยรวมลดลง ขณะที่ค่า R_w มีค่ามากขึ้น ผลกระทบของปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการเพจในต้นทุนการสัญญาณโดยรวมจะมีค่าลดลง ขณะที่ปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการลงทะเบียนมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญมากที่จะลดจำนวนของการลงทะเบียนลงเพื่อให้ต้นทุนการสัญญาณโดยรวมมีค่าลดลง ในกรณีนี้การเพิ่มหลักการเพจเข้ามาในระบบ เพื่อลดจำนวนข่าวสารการลงทะเบียนลง



รูปที่ 4.11 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที ในระบบ macro system



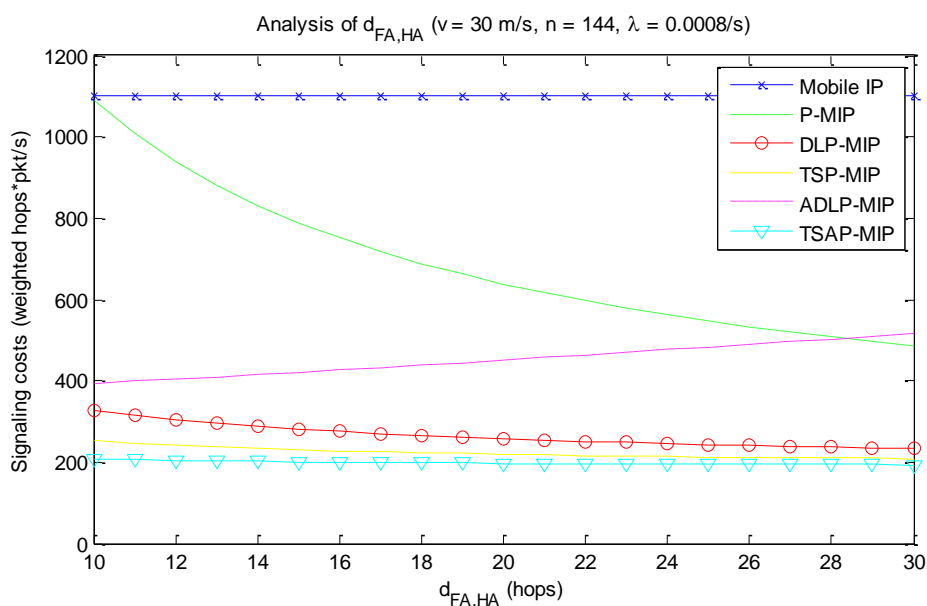
รูปที่ 4.12 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 20 เมตรต่อวินาที ในระบบ macro system



รูปที่ 4.13 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที ในระบบ macro system

จากรูปที่ 4.11 ถึง 4.13 พบว่าต้นทุนการสัญญาณของวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มีค่าคงที่ไม่เพิ่มขึ้นกับค่า R_w ที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากวิธีนี้มีเพียงการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการลงทะเบียนเท่านั้น จึงทำให้ R_w ไม่ส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณของระบบ ขณะที่กรณี P-MIP มีแนวโน้มที่ต้นทุนการสัญญาณลดลงเร็วกว่าวิธีอื่น เนื่องจากในวิธีนี้ต้นทุนการสัญญาณส่วนใหญ่มาจากกระบวนการเพจซึ่งเป็นปริมาณการสัญญาณในโครงข่ายย่อย เมื่อ R_w มีค่าเพิ่มขึ้นต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากกระบวนการลงทะเบียนซึ่งเป็นปริมาณการสัญญาณในโครงข่ายหลักจะเป็นภาระการสัญญาณหลักในต้นทุนการสัญญาณโดยรวม และ ผู้ใช้มีความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำ การเลือกใช้พื้นที่การเพจและขนาดของเซลล์ที่มีขนาดใหญ่ส่งผลให้เกิดปริมาณการสัญญาณอันเนื่องมาจากกระบวนการเพจจำนวนมากทำให้วิธี P-MIP มีต้นทุนการสัญญาณโดยรวมสูงเมื่อเทียบกับต้นทุนการสัญญาณของวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ที่ภาระการสัญญาณทั้งหมดมาจากกระบวนการลงทะเบียนเพียงอย่างเดียว ดังนั้นเมื่อพิจารณาสถานะที่ผู้ใช้มีความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำกระบวนการเพจจึงกลายเป็นปริมาณการสัญญาณหลักที่ทำให้ต้นทุนการสัญญาณของวิธี P-MIP, วิธี DLP-MIP, วิธี ADLP-MIP, วิธี TSP-MIP และวิธี TSAP-MIP มีค่าสูงขึ้น และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.13 ซึ่งแสดงสถานะที่ผู้ใช้มีความเร็วในการเคลื่อนที่สูงพบว่าวิธี DLP-MIP, วิธี ADLP-MIP และ วิธี TSP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่าวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ทุกช่วงของค่า R_w ขณะที่วิธี P-MIP ยังคงให้ต้นทุนการสัญญาณสูงกว่าวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ในช่วง R_w มีค่าตั้งแต่ 1-5 เนื่องมาจากวิธี P-MIP จำเป็นต้องส่งข่าวสารการเพจไปยัง FA ทุกตัวทั้งพื้นที่การเพจซึ่งพบว่าขนาดของพื้นที่การเพจในการวิเคราะห์ครั้งนี้มีขนาดใหญ่นั้นคือมีขนาด 144 เซลล์ส่งผลให้ในช่วง R_w ที่มีค่าต่ำ ปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการเพจในโครงข่ายย่อยจึงมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น

4.1.4 ผลกระทบของระยะทางระหว่าง HA กับ FA ($d_{FA,HA}$) ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ



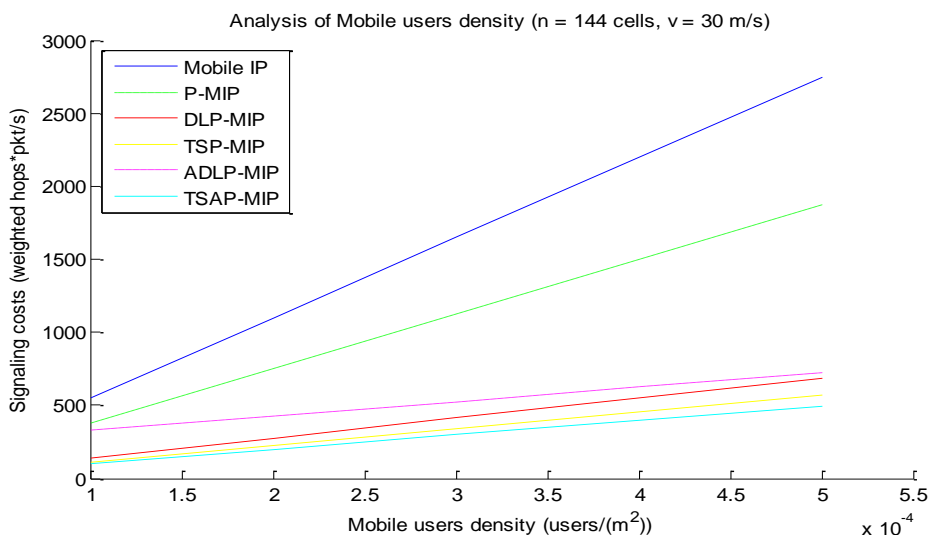
รูปที่ 4.14 ผลกระทบของ $d_{FA,HA}$ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณเมื่อขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 144 เซลล์และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008/s

จากสมการที่ (5), (7), (9), (11) และ (21) พบว่าระยะทางระหว่าง HA กับ FA นั้นส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณของระบบทั้งจากวิธี P-MIP, วิธี DLP-MIP, วิธี ADLP-MIP, วิธี TSP-MIP และวิธี TSAP-MIP โดยพบว่าหากค่า $d_{FA,HA}$ จะมีค่าปริมาณการสัญญาณน้อยในโครงข่ายย่อยและปริมาณการสัญญาณในโครงข่ายหลัก ส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณในสัดส่วนเท่ากัน ดังนั้นเพื่อที่จะลดต้นทุนการสัญญาณลง ระบบจำเป็นต้องลดทั้งปริมาณข่าวสารการเพจและข่าวสารการลงทะเบียน แต่หาก $d_{FA,HA}$ มีค่ามาก ผลของปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการเพจจะมีค่าลดลง ขณะที่ผลของปริมาณการสัญญาณจากการลงทะเบียนมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการลดต้นทุนการสัญญาณลง ระบบจำเป็นต้องลดจำนวนการสัญญาณการลงทะเบียน [14]

จากรูปที่ 4.14 พบว่าวิธี TSAP-MIP จะมีต้นทุนการสัญญาณโดยรวมต่ำที่สุดในเมื่อเทียบกับวิธีที่นำมาเปรียบเทียบพบว่ามีแนวโน้มจะถูกกระทบจากค่า $d_{FA,HA}$ ที่เปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่าวิธี P-MIP, วิธี DLP-MIP และ วิธี TSP-MIP เมื่อพิจารณาที่ $d_{FA,HA}$ มีค่าน้อยพบว่าต้นทุนการสัญญาณจากวิธี P-MIP และ วิธี ADLP-MIP มีค่าสูงมากเมื่อจำนวนระยะทางระหว่าง HA กับ FA มีค่าสูง ทั้งนี้เนื่องจากปริมาณการสัญญาณในโครงข่ายย่อย นั่นคือ ปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการเพจมีปริมาณเพิ่มขึ้น และ วิธี P-MIP ที่ต้องค้นหาตำแหน่งของผู้ใช้จากการ

เพจในพื้นที่การเพจทั้งพื้นที่จะให้ต้นทุนการสัญญาณของวิธี P-MIP และ วิธี ADLP-MIP มีค่าสูงขึ้น ขณะที่วิธี DLP-MIP ให้ต้นทุนการสัญญาณที่มีค่าต่ำกว่ามาก เนื่องจากวิธี DLP-MIP แบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นพื้นที่การเพจย่อย จึงช่วยลดภาระการสัญญาณจากการเพจทั้งพื้นที่ลงได้ อย่างดีส่งผลให้ต้นทุนการสัญญาณมีค่าต่ำและเช่นเดียวกับวิธี TSAP-MIP ใช้หลักการแบ่งพื้นที่การเพจย่อยออกเป็นพื้นที่การเพจย่อยภายในและการเพจย่อยภายนอกจึงช่วยลดภาระปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการเพจในโครงข่ายย่อยลงได้ ส่งผลให้ต้นทุนการสัญญาณมีค่าต่ำกว่าทั้งวิธี P-MIP, วิธี DLP-MIP และวิธี ADLP-MIP นอกจากนี้หากพิจารณาที่ $d_{FA,HA}$ มีค่าสูงพบว่าปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการลงทะเบียนจะกลายเป็นสาเหตุหลักของต้นทุนการสัญญาณโดยรวมที่เกิดขึ้นในระบบ ขณะที่ปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการเพจและการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งมีค่าน้อยมาก สังเกตได้ว่าต้นทุนการสัญญาณของวิธี TSAP-MIP ลู่เข้าใกล้ต้นทุนการสัญญาณของวิธี DLP-MIP และ ในช่วง $d_{FA,HA}$ มีค่ามาก เนื่องมาจากวิธี TSAP-MIP ใช้หลักการลงทะเบียนเช่นเดียวกับวิธี DLP-MIP และ วิธี TSP-MIP จึงส่งผลให้ต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการลงทะเบียนของวิธี TSP-MIP และวิธี DLP-MIP มีค่าเท่ากัน.

4.1.5 ผลกระทบของความหนาแน่นของผู้ใช้ (ρ) ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ

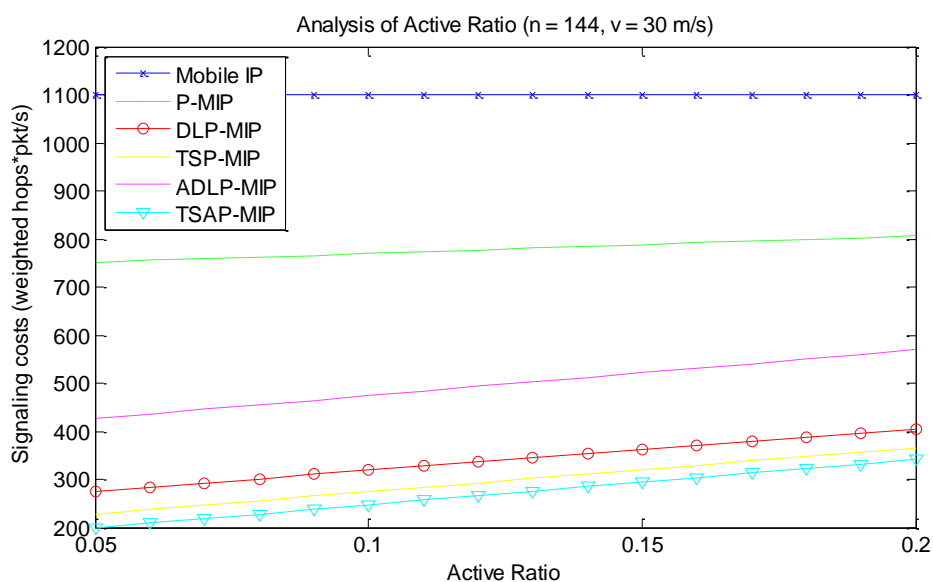


รูปที่ 4.15 ผลกระทบของ ρ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดของพื้นที่การเพจมีขนาดเท่ากับ 144 เซลล์และผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที

จากรูปที่ 4.15 ต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีที่นำมาเปรียบเทียบนั้น ค่าความหนาแน่นที่เปลี่ยนแปลงไม่ได้ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของต้นทุนการสัญญาณโดยตรง สังเกต

ได้จากสมการที่ จากสมการที่ (5), (7), (9), (11) และ (21) โดยค่า ρ จะส่งผลให้เห็นเพียงผลต่างของต้นทุนการสัญญาณระหว่างวิธี P-MIP, วิธี DLP-MIP, วิธี ADLP-MIP และวิธี TSAP-MIP เท่านั้น เมื่อพิจารณาจากสมการต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีพบว่าวิธี TSP-MIP ให้ต้นทุนการสัญญาณต่ำที่สุด เนื่องจากในวิธี P-MIP และ วิธี TSAP-MIP กำหนดให้จำนวนผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานมีอัตราส่วนเพียงเล็กน้อยมีค่าเท่ากับ 5% โดยส่วนใหญ่ผู้ใช้ MN จะอยู่ในสถานะที่ไม่ได้ติดต่อสื่อสารกับใครหรือสถานะไม่ทำงานมากกว่าและกำหนดให้ผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานหรือ Active MN มีลักษณะการทำงานเช่นเดียวกับวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ทุกประการ ดังนั้นต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงานหรือ Idle MN มีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงาน ดังนั้นการเพิ่มจำนวนความหนาแน่นของผู้ใช้จะส่งผลกระทบต่อปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ Active MN เพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบที่ได้จากวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ที่แสดงให้เห็นถึงผลกระทบที่ชัดเจนมากกว่าวิธี P-MIP, วิธี DLP-MIP, วิธี ADLP-MIP, วิธี TSP-MIP และ วิธี TSAP-MIP

4.1.6 ผลกระทบของ Active ratio (α) ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ



รูปที่ 4.16 ผลกระทบของ α ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 144 เซลล์และผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที

เนื่องจากวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ผู้ใช้ MN จำเป็นต้องลงทะเบียนแจ้งที่อยู่ปัจจุบันไปยังโครงข่ายบ้าน HA ทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ โดยไม่คำนึงถึงสถานะของผู้ใช้ว่า

อยู่ในสถานะทำงานหรือไม่ทำงาน ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากสมการต้นทุนการสัญญาณในสมการที่ (5) จึงพบว่าค่า α นั้นไม่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนการสัญญาณโดยรวมของระบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่แต่อย่างใด ขณะที่วิธี P-MIP จะมีต้นทุนการสัญญาณโดยรวมจะขึ้นอยู่กับค่า α ที่เปลี่ยนแปลงได้ โดยสังเกตได้จากสมการต้นทุนการสัญญาณของวิธี P-MIP ในสมการที่ (7) พบว่าต้นทุนการสัญญาณเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วน α เพิ่มขึ้น ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.16 เนื่องจากมีผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะทำงานเพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณการสัญญาณจากกระบวนการลงทะเบียนเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับวิธี DLP-MIP และวิธี TSP-MIP และเมื่อพิจารณาสมการต้นทุนการสัญญาณในสมการที่ (7), (9), (11) และ (21) เมื่อแทนค่า α เท่ากับ 1 นั้นหมายถึงผู้ใช้ในระบบอยู่ในสถานะทำงาน ดังนั้นต้นทุนการสัญญาณของวิธี P-MIP, วิธี DLP-MIP, วิธี ADLP-MIP, วิธี TSP-MIP และวิธี TSAP-MIP จะมีค่าเท่ากับต้นทุนการสัญญาณของวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

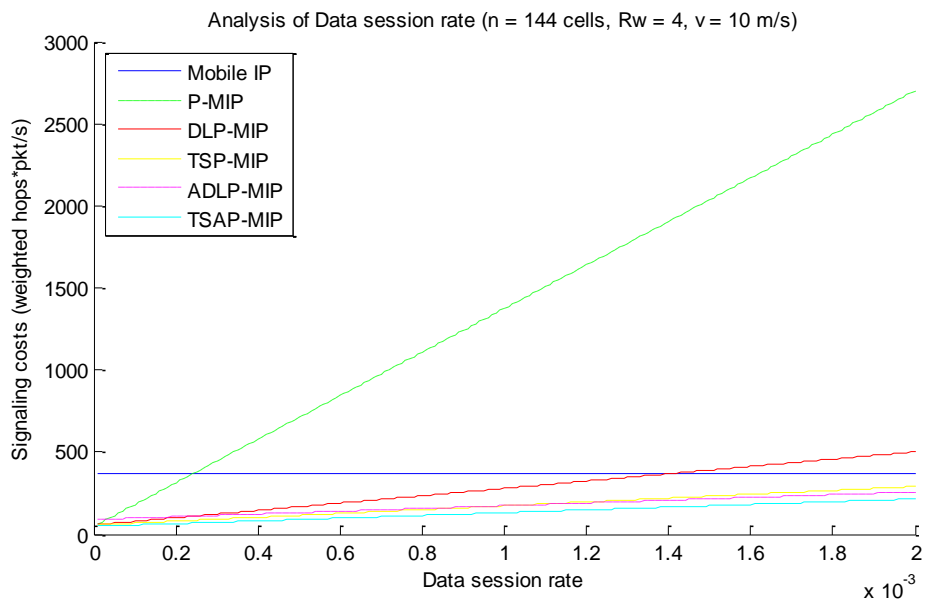
4.1.7 ผลกระทบของ Data session rate (λ) ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ

เมื่อพิจารณาสมการต้นทุนการสัญญาณของวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ในสมการที่ (7) พบว่าค่า λ ไม่ได้ส่งผลกระทบต่อต้นทุนการสัญญาณที่เกิดขึ้น และเมื่อพิจารณาสมการที่ (9), (11) และ (21) พบว่าค่า λ ส่งผลกระทบต่อปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการเพจในวิธี P-MIP, วิธี DLP-MIP, วิธี TSP-MIP และวิธี TSAP-MIP แสดงว่าระบบจะเริ่มส่งข่าวสารร้องขอการเพจต่อเมื่อมีผู้ต้องการส่งข้อมูลมายังผู้ใช้ MN หรือมี data session เข้ามา ดังนั้นถ้าค่า λ เปลี่ยนไปจะส่งผลกระทบโดยตรงต่อต้นทุนการสัญญาณที่มาจากกระบวนการเพจ ในการวิเคราะห์ส่วนนี้กำหนดให้ขนาดของพื้นที่การเพจมีค่าเท่ากับ 144 เซลล์ โดยแสดงผลการวิเคราะห์เฉพาะระบบ macro system

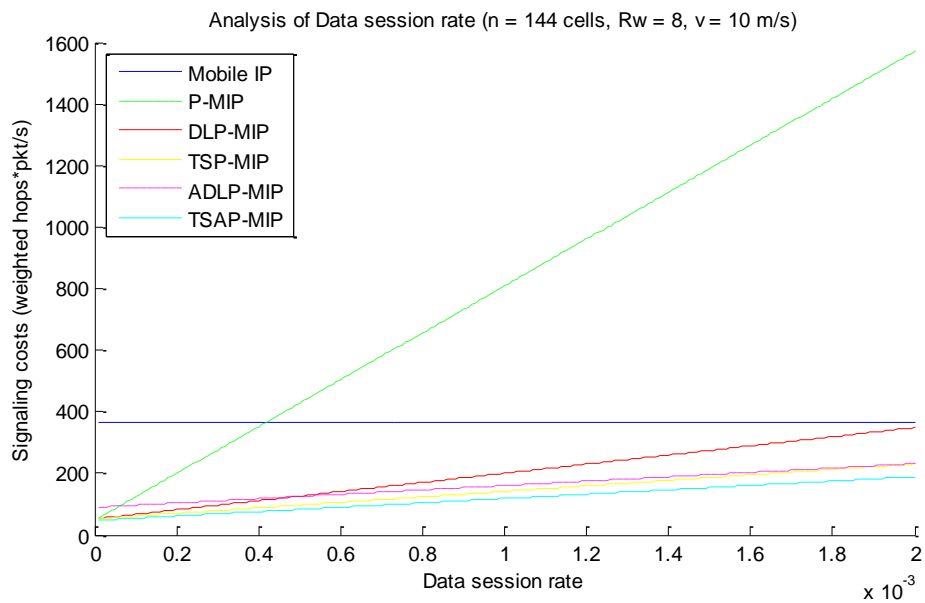
จากรูปที่ 4.17 และ 4.18 แสดงผลกระทบของค่า λ ต่อกับต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้ MN มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที นั้นเป็นกรณีที่ผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยต่ำมากที่สุดพบว่าเมื่อผู้ใช้ MN มีอัตราการเข้ามาของข้อมูลต่ำวิธี P-MIP สามารถลดต้นทุนการสัญญาณโดยรวมลงได้ เนื่องจากอัตราการเข้ามาของข้อมูลต่ำส่งผลให้ระบบส่งข่าวสารการเพจในจำนวนครั้งที่น้อย ทำให้ต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากกระบวนการเพจมีค่าต่ำตามไปด้วยและเนื่องจากพื้นที่การเพจมีขนาดใหญ่จึงสามารถลดต้นทุนการสัญญาณที่มาจากกระบวนการลงทะเบียนได้มาก ในทางกลับกันเมื่อพิจารณากรณีที่ผู้ใช้มีอัตราการเข้ามาของข้อมูลมีค่าเพิ่มขึ้นต้นทุนการสัญญาณของวิธี P-MIP กลับมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอัตราการเข้ามาของข้อมูลสูงขึ้นส่งผลให้ระบบส่งข่าวสารการเพจในจำนวนครั้งที่เพิ่มขึ้นตาม ทำให้ต้นทุนการ

สัญญาอันเนื่องมาจากการเพจมีค่าสูงตามไปด้วย ขณะที่วิธี DLP-MIP มีต้นทุนต่ำกว่าวิธี P-MIP เนื่องจากระบบส่งข่าวสารการเพจไปยังพื้นที่ที่มีขนาดเล็กกว่าส่งผลให้ต้นทุนการสัญญาอันเนื่องมาจากการเพจมีค่าลดลง และวิธี TSAP-MIP ให้ประสิทธิภาพในการลดต้นทุนการสัญญาดีกว่าวิธี DLP-MIP และวิธี TSP-MIP เนื่องจากวิธี TSAP-MIP ใช้หลักการแบ่งพื้นที่การเพจย่อยออกเป็นพื้นที่การเพจย่อยภายในและพื้นที่การเพจย่อยภายนอกและในแต่ละครั้งที่ระบบส่งข่าวสารการเพจจะส่งไปยังพื้นที่เล็กกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี DLP-MIP ขณะที่วิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ยังคงให้ต้นทุนการสัญญาโดยรวมที่ต่ำกว่าวิธีอื่น เนื่องจากผู้ใช้มีความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำมาก ดังนั้นผู้ใช้จึงมีโอกาสอยู่ในเซลล์ได้นานขึ้นส่งผลให้ต้นทุนการสัญญาอันเนื่องมาจากระบบการลงทะเบียนซึ่งเป็นต้นทุนการสัญญาหลักของวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มีค่าต่ำ แตกต่างจากวิธี P-MIP, วิธี DLP-MIP, วิธี ADLP-MIP, วิธี TSP-MIP และวิธี TSAP-MIP ที่ใช้กระบวนการเพจในการค้นหาตำแหน่งของผู้ใช้ หากผู้ใช้ยังคงเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่การเพจเดิม ระบบอาจจะส่งข่าวสารการเพจที่ไม่จำเป็นซ้ำในพื้นที่การเพจเดิมส่งผลให้ต้นทุนการสัญญาอันเนื่องมาจากระบบการเพจมีค่าสูงขึ้น

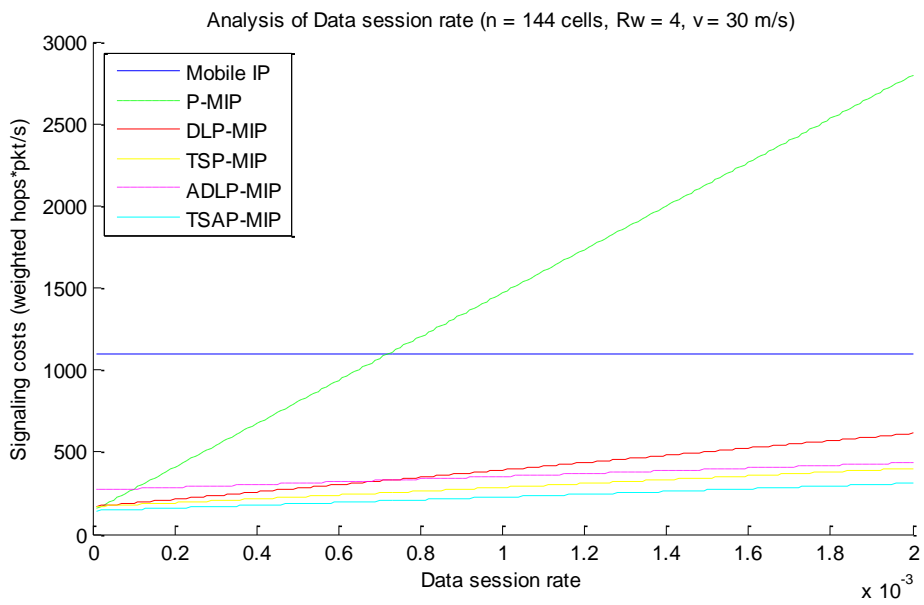
และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.19 ซึ่งเป็นระบบที่มีค่า R_w ต่ำพบว่าวิธี P-MIP มีแนวโน้มที่จะถูกระทบจากผลของค่า λ ที่เปลี่ยนแปลงมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับ R_w มีค่าสูง โดยพบว่าต้นทุนการสัญญาอันเนื่องมาจากการเพจมีค่าสูงถึง 2678.5 weighted hops*pkt/s ที่อัตราการเข้ามาของข้อมูลเท่ากับ 0.002 ครั้งต่อวินาที ขณะที่พิจารณารูปที่ 4.20 พบว่าต้นทุนการสัญญาอันเนื่องมาจากการเพจมีค่าเท่ากับ 1635 weighted hops*pkt/s ที่อัตราการเข้ามาของข้อมูลมีค่าเท่ากับ 0.002 ครั้งต่อวินาที เช่นเดียวกันเนื่องจากเมื่อระบบมีค่า R_w ลดลง ปริมาณการสัญญาอันเนื่องมาจากการลงทะเบียนในโครงข่ายหลักและปริมาณการสัญญาอันเนื่องมาจากการลงทะเบียนส่งผลกระทบต่อต้นทุนการสัญญาโดยรวมมีอัตราส่วนที่เท่ากัน นั่นคือหากต้องการลดต้นทุนการสัญญาอันเนื่องมาจากระบบจำเป็นต้องลดทั้งปริมาณการสัญญาอันเนื่องมาจากการลงทะเบียนในโครงข่ายหลัก และ โครงข่ายย่อยพร้อมกัน แต่ขณะที่วิธี P-MIP ลดเพียงปริมาณการสัญญาอันเนื่องมาจากการลงทะเบียนในโครงข่ายหลัก นั่นคือใช้กระบวนการเพจเข้ามาช่วยลดภาระการลงทะเบียนที่เกิดขึ้นในโครงข่ายหลัก ขณะที่ยังคงพบว่ามีปริมาณการสัญญาอันเนื่องมาจากการลงทะเบียนจำนวนมาก นั่นคือระบบยังคงต้องเพจหาผู้ใช้ทั้งพื้นที่การเพจส่งผลให้ต้นทุนการสัญญาอันเนื่องมาจากระบบการเพจมีค่าสูง ขณะที่รูป 4.20 แสดงผลกระทบของค่า λ ต่อต้นทุนการสัญญาอันเนื่องมาจากการเพจเมื่อผู้ใช้มีความเร็วเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นกรณีที่ผู้ใช้มีความเร็วสูง พบว่าวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ มีต้นทุนการสัญญาอันเนื่องมาจากการเพจที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากผู้ใช้ MN มีความเร็วสูงทำให้โอกาสที่ผู้ใช้จะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์มีมากขึ้นส่งผลให้ต้นทุนการสัญญาอันเนื่องมาจากระบบการลงทะเบียนมีค่าสูง



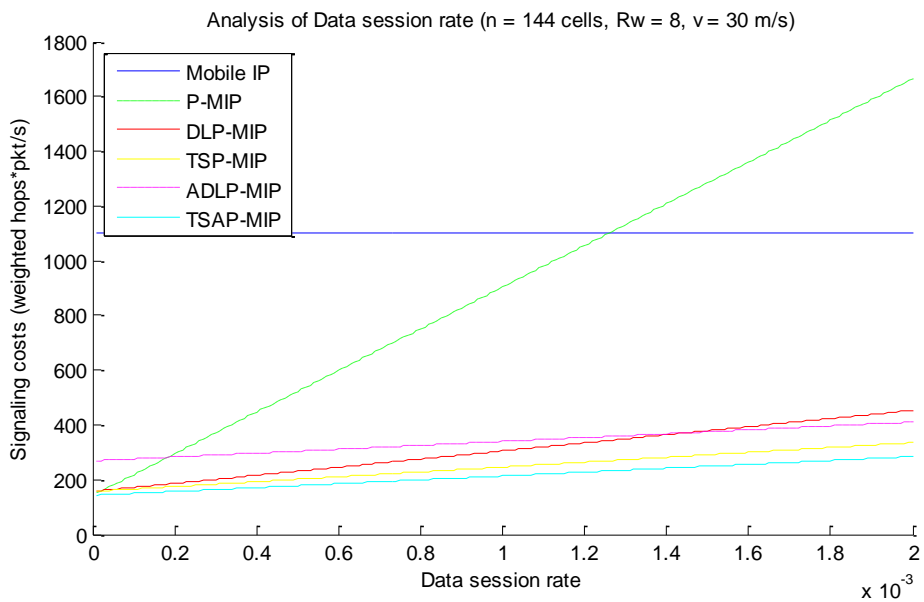
รูปที่ 4.17 ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ที่มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที และระบบมี R_w เท่ากับ 4 ในระบบ macro system



รูปที่ 4.18 ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ที่มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที และระบบมี R_w เท่ากับ 8



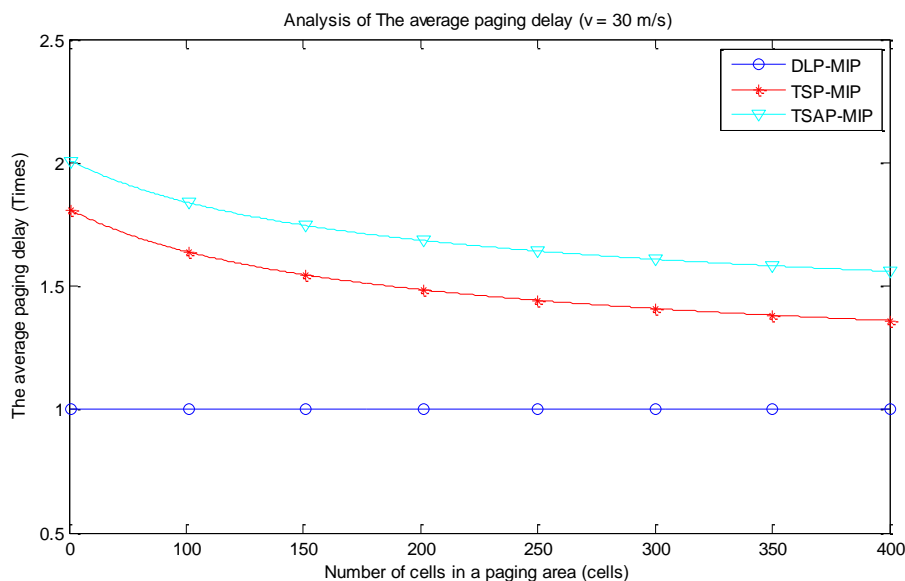
รูปที่ 4.19 ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ที่มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที และระบบมี R_w เท่ากับ 4



รูปที่ 4.20 ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ที่มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที และระบบมี R_w เท่ากับ 8

จากรูปที่ 4.20 พบว่าในช่วงอัตราการเข้ามาของข้อมูลมีค่าต่ำต้นทุนการสัญญาของวิธี TSAP-MIP มีค่าสูงใกล้เคียงต้นทุนการสัญญาของวิธี TSP-MIP เนื่องจากที่อัตราการเข้ามาของข้อมูลมีค่าต่ำส่งผลให้ต้นทุนการสัญญาอันเนื่องมาจากกระบวนการเพจมีค่าน้อยลง ดังนั้นต้นทุนการสัญญาอันเนื่องมาจากกระบวนการลงทะเบียนจะเป็นต้นทุนการสัญญาหลักในต้นทุนการสัญญาโดยรวม ซึ่งวิธี TSAP-MIP ใช้หลักการลงทะเบียนเช่นเดียวกับวิธี DLP-MIP, วิธี TSP-MIP และ วิธี TSAP-MIP จึงส่งผลให้ต้นทุนการสัญญาอันเนื่องมาจากกระบวนการลงทะเบียนของทั้งสองวิธีมีค่าเท่ากัน โดยวิธี TSAP-MIP สามารถลดต้นทุนการสัญญาจากวิธี P-MIP , วิธี DLP-MIP, วิธีADLP-MIP และ วิธี TSP-MIP ได้ถึง 87.62% 30.06% , 47.95% และ 13.27% ในกรณี R_w มีค่าเท่ากับ 4 และขณะที่ R_w มีค่าเท่ากับ 8 วิธี TSAP-MIP สามารถลดต้นทุนการสัญญาจากวิธี DLP-MIP ได้ถึง 19.7% ซึ่งจะเห็นได้ว่าที่อัตราการเข้ามาของข้อมูลมีค่าสูงวิธี TSAP-MIP แทบจะไม่ถูกผลกระทบจากค่า R_w ที่เปลี่ยนแปลงไปเลย แม้ว่าวิธี TSAP-MIP ให้ประสิทธิภาพในการลดต้นทุนการสัญญาที่ดีในช่วงที่มีอัตราการเข้ามาของข้อมูลเพิ่มขึ้นได้ แต่ในทางกลับกันหากพิจารณากรณีที่อัตราการเข้ามาของข้อมูลที่มีค่าต่ำมากตั้งแต่ 0.00001 ถึง 0.00002 ครั้งต่อวินาทีพบว่าวิธี TSAP-MIP , TSP-MIP และวิธี DLP-MIP ให้ต้นทุนการสัญญาสูงกว่าต้นทุนการสัญญาจากวิธี P-MIP เล็กน้อยเนื่องจากอัตราการเข้ามาของข้อมูลต่ำส่งผลให้ต้นทุนการสัญญาอันเนื่องมาจากกระบวนการเพจมีค่าน้อย ดังนั้นต้นทุนการสัญญาอันเนื่องมาจากกระบวนการลงทะเบียนและการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งจะเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้ต้นทุนการสัญญาโดยรวมเพิ่มขึ้น ประกอบกับผู้ใช้อยู่ในสถานะที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่สูงทำให้ผู้ใช้เคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยบ่อยครั้ง ต้นทุนการสัญญาอันเนื่องมาจากกระบวนการลงทะเบียนและกระบวนการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งจึงมีค่าสูง.

4.1.8 ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงที่เกิดจากการเพจ (The average delay) ในวิธี TSAP-MIP เทียบกับวิธี DLP-MIP และ วิธี TSP-MIP จากการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์

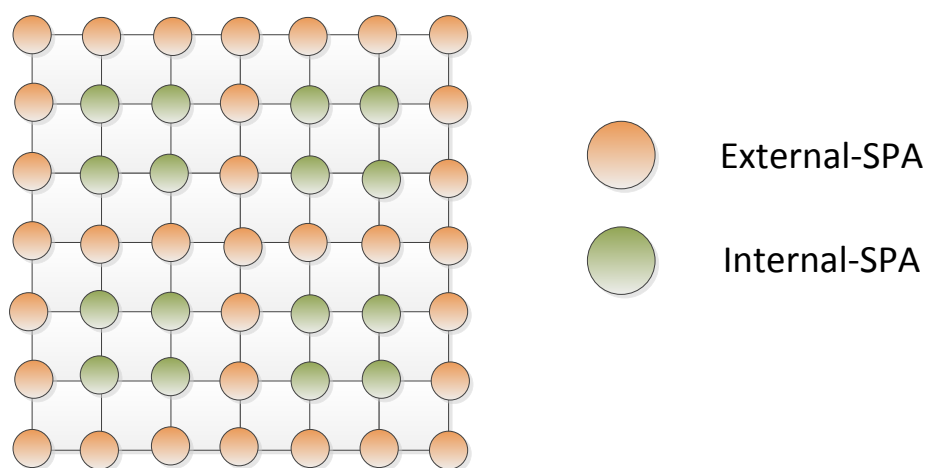


รูปที่ 4.21 ค่าเฉลี่ยเวลาประวิงที่เกิดจากการเพจในวิธี TSAP-MIP เทียบกับวิธี DLP-MIP และ TSP-MIP จากการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์

รูปที่ 4.21 แสดงค่าเฉลี่ยเวลาประวิงที่เกิดจากการเพจในวิธี TSAP-MIP เทียบกับวิธี DLP-MIP และ วิธี TSAP-MIP จากการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ดังสมการที่ (12) พบว่าค่าเฉลี่ยเวลาประวิงของวิธี DLP-MIP จะมีค่าเท่ากับ 1 ตลอดช่วงขนาดของพื้นที่การเพจ เนื่องจากวิธี DLP-MIP ส่งข่าวสารการเพจภายในหนึ่งพื้นที่การเพจย่อยครั้งเดียว ดังนั้นค่า w จะมีค่าเท่ากับ 1 และความน่าจะเป็นที่จะพบผู้ใช้ในพื้นที่การเพจย่อยทั้งหมดจะมีค่าเท่ากับ 1 เช่นเดียวกัน ขณะที่วิธี TSP-MIP และ วิธี TSAP-MIP ใช้วิธีการเพจสองครั้งภายในหนึ่งพื้นที่การเพจย่อย ดังนั้นค่า w จะมีค่าเท่ากับ 2 เมื่อพิจารณาค่าความน่าจะเป็นที่จะพบผู้ใช้ในพื้นที่การเพจย่อยภายในและพื้นที่การเพจย่อยภายนอกแล้วจะพบว่าค่าเฉลี่ยเวลาประวิงที่เกิดขึ้นจึงมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยจากวิธี DLP-MIP และเมื่อพิจารณาที่พื้นที่การเพจมีขนาดเพิ่มขึ้นจะพบว่าค่าเฉลี่ยจากวิธี TSAP-MIP มีค่าลดลง เนื่องจากเมื่อขนาดของพื้นที่การเพจมีขนาดใหญ่ขึ้น ส่งผลให้พื้นที่การเพจย่อยภายในมีขนาดใหญ่ขึ้นตามดังนั้นความน่าจะเป็นที่จะพบผู้ใช้ภายในพื้นที่การเพจย่อยภายใน (p_1) จึงมีค่าเพิ่มขึ้น และความน่าจะเป็นที่จะพบผู้ใช้ภายในพื้นที่การเพจย่อยภายนอก (p_2) มีค่าลดลง ดังนั้นเมื่อแทนค่าลงในสมการที่ (12) ค่าเฉลี่ยที่ได้พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการพิจารณาพื้นที่การเพจที่มีขนาดเล็กกว่า

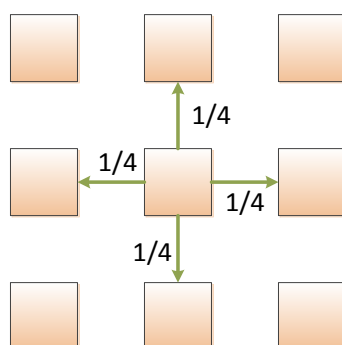
4.2 แบบจำลองโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบ

ในการจำลองการทำงานของวิธีที่เสนอกับวิธีอื่นๆ จะใช้การจำลองลักษณะของเซลล์ด้วยโหนดบน Connected Graph [16] - [19] โดยสามารถพิจารณา 1 เซลล์ เท่ากับหนึ่งโหนด ดังแสดงในรูปที่ 4.22 โดยพารามิเตอร์หลักที่จะนำมาพิจารณาในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพก็คือต้นทุนการสัญญาณของแต่ละวิธีที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของ MN หนึ่งตัวในช่วงเวลาทดสอบที่กำหนด ในที่นี้กำหนดให้ช่วงเวลาทดสอบเท่ากับ 10,000 timeslot (ts)

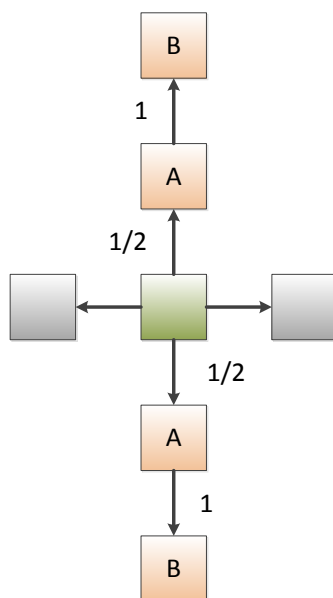


รูปที่ 4.22 รูปแบบโครงข่ายบริการที่ใช้ในการจำลองแบบ

ในการทดสอบจะใช้รูปแบบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ต่างกัน 2 แบบ คือ Pure random, Pure two-way ดังแสดงในรูปที่ 4.23 และ 4.24



รูปที่ 4.23 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ MN ในแบบ Pure random



รูปที่ 4.24 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ MN ในแบบ Pure two-way

รูปที่ 4.23 การเคลื่อนที่แบบ Pure random ในแต่ละ timeslot MN จะตัดสินใจว่าจะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์เดิมหรือไม่ด้วยโอกาสเท่ากับ P_{walk} ดังนั้นค่า P_{walk} นี้จึงแปรผันโดยตรงกับความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ และเมื่อ MN ตัดสินใจที่จะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์เดิมแล้ว ทิศทางการเคลื่อนที่ที่เป็นไปได้ คือเคลื่อนที่ไปยังเซลล์ที่อยู่ติดกันด้วยโอกาสเท่าๆกันสำหรับทุกทิศทาง

รูปที่ 4.24 การเคลื่อนที่แบบ Pure two-way จะกำหนดให้ MN สามารถเคลื่อนที่ไปยังเซลล์ด้านบนและด้านล่างที่อยู่ติดกันได้เท่านั้น โดยมีโอกาสเท่ากับ 0.5 และเมื่อ MN เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่สามารถย้อนกลับมายังเซลล์เดิมที่เคลื่อนที่ผ่านมาได้

สำหรับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมในแต่ละ timeslot MN [21] จะตัดสินใจว่าจะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์เดิมหรือไม่ด้วยโอกาสเท่ากับ P_{walk} ดังนั้นค่า P_{walk} นี้จึงแปรผันโดยตรงกับความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ สำหรับ Arrival rate และ Holding time หากพิจารณาในกรณี Continuous time โดยในแต่ละ timeslot จะมีการปรับสถานะและลำดับ timeslot ใหม่ทุกครั้งจนครบตามจำนวนที่ได้กำหนดไว้

การจำลองการทำงานจะแบ่งช่วงเวลาออกเป็น timeslot การเริ่มต้นของแต่ละ timeslot จะมีการสุ่มหาว่าจะมี data session หรือไม่ ซึ่งถูกกำหนดโดยตัวแปรสุ่มที่เกี่ยวข้อง Arrival rate โดยหากขณะนั้น MN มีสถานะเป็น idle ก็จะต้องปรับสถานะใหม่เป็น active ส่วนจะลงทะเบียนกับ HA หรือไม่ขึ้นกับว่าขณะนั้น MN กำลังอยู่ในเซลล์ของ I-SPA (Internal Sub paging Area) , E-SPA (External Sub paging Area) หรือไม่ ถ้าใช่ก็ไม่ต้องลงทะเบียนแต่หากไม่ใช่ MN ก็ต้องลงทะเบียนกับ HA จากนั้นในตอนท้ายของ timeslot แล้วตรวจสอบว่า Data

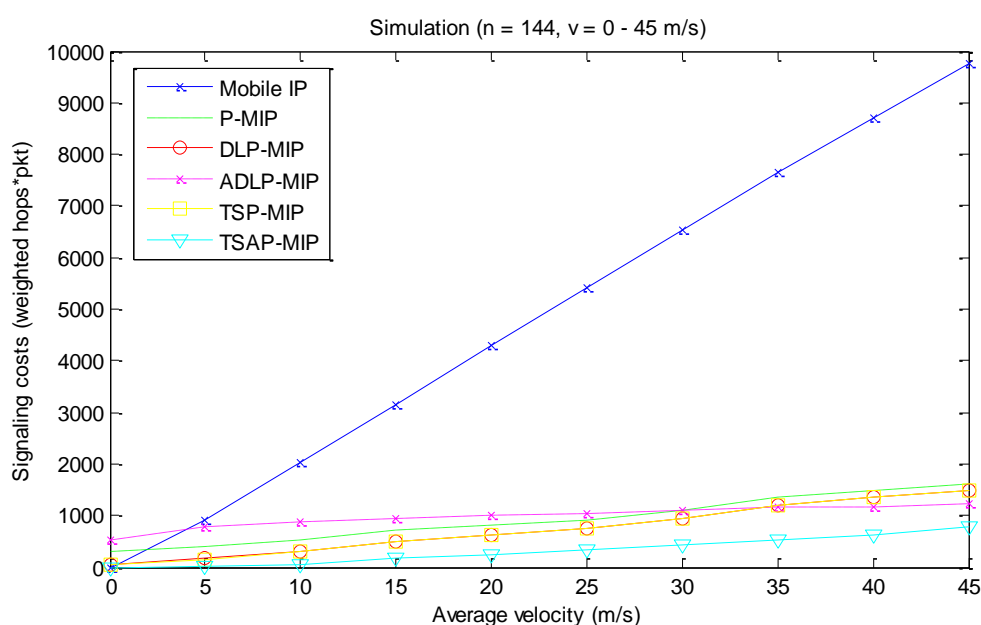
session จะสิ้นสุดลงหรือยัง ซึ่งถูกกำหนดโดยตัวแปรสุ่มที่เกี่ยวกับ holding time หากสิ้นสุดลง MN ก็จะปรับสถานะเข้าสู่ idle แต่หากยังไม่สิ้นสุด MN ก็จะคงอยู่ในสถานะ active และเคลื่อนที่ต่อไป

ถ้ากรณีที่ MN มีสถานะเป็น active อยู่แล้วก็ไม่ต้องสุ่มว่าจะมี data session เกิดขึ้นหรือไม่ เนื่องจากแพ็กเก็ตข้อมูลสามารถส่งไปหา MN ได้โดยตรงโดยไม่เกิดการสัญญาณใดๆ นอกจากนี้กรณีที่ตอนเริ่มต้นของ timeslot หาก MN มีสถานะเป็น idle และในตอนที่สุดว่ามี data session เกิดขึ้นหรือไม่นั้น หากปรากฏว่าไม่มี data session เกิดขึ้น MN ก็ยังคงมีสถานะเป็น idle ขั้นตอนของโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวิธีที่เสนอโดยระบบจะทำซ้ำจนครบ 10,000 รอบแล้วจึงนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาต้นทุนการสัญญาณต่อไป

4.3 ผลการจำลองการทำงาน

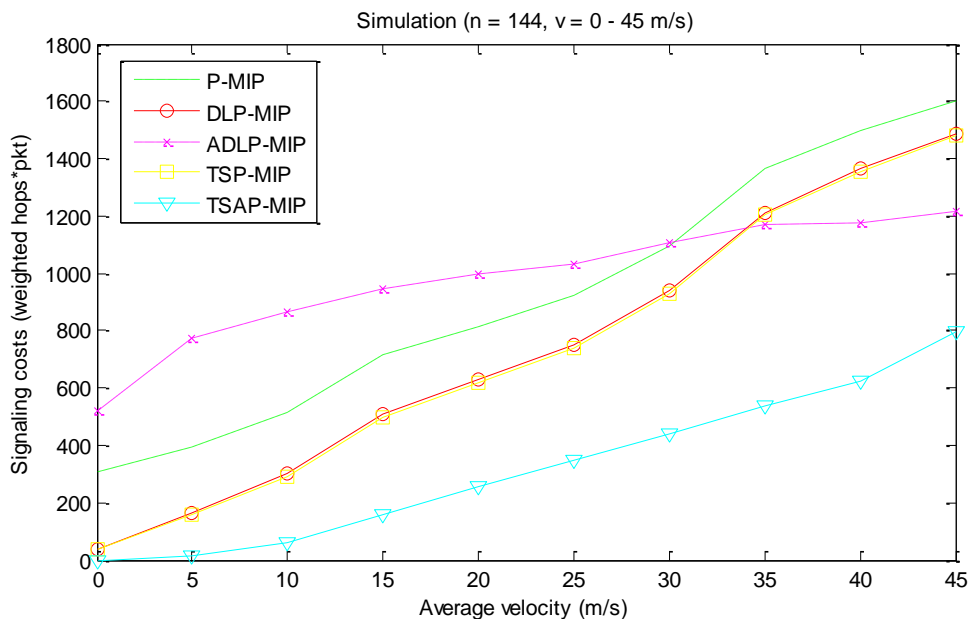
ในที่นี้จะศึกษาและเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพต้นทุนการสัญญาณของแต่ละวิธีในการจำลองการทำงาน อันได้แก่ ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ และ ผลกระทบของ Data session rate ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ.

4.3.1 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ



รูปที่ 4.25 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ

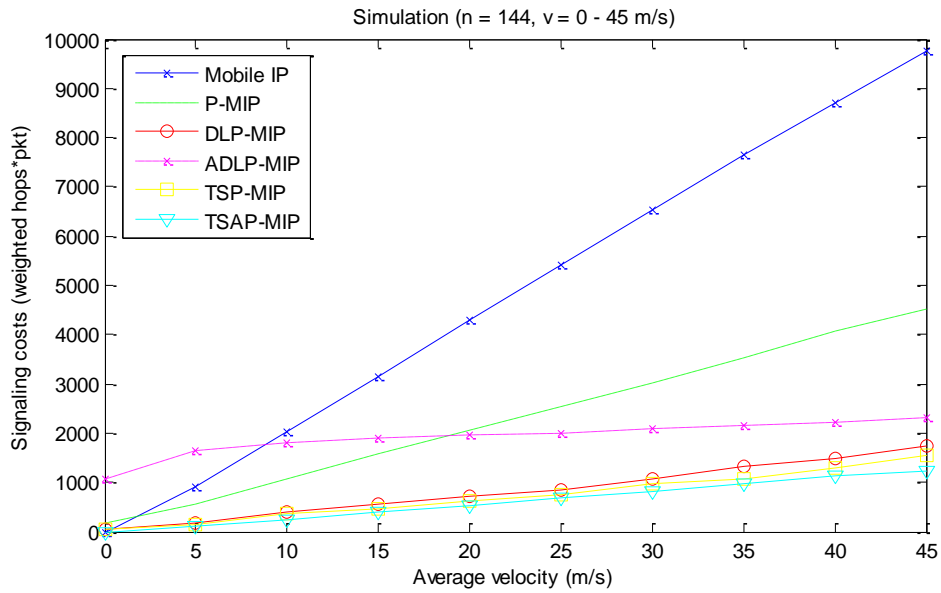
เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure random $\lambda = 0.0016$



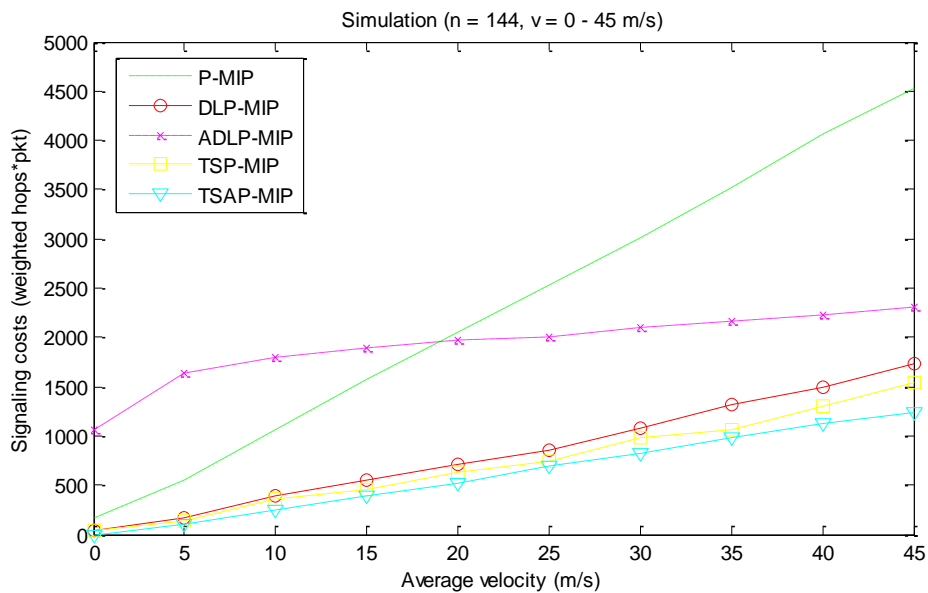
รูปที่ 4.26 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ MN เคลื่อนที่แบบ Pure random ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณเมื่อขยายพล็อตแล้วตัด Mobile IP ออก $\lambda = 0.0016$

รูปที่ 4.25 และ 4.26 แสดงถึงต้นทุนการสัญญาณกับความเร็วจนเฉลี่ยของผู้ใช้ โดยพิจารณาที่ความเร็วตั้งแต่ 0 ถึง 45 m/s พบว่า วิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มีต้นทุนการสัญญาณที่เพิ่มขึ้นสูงและมากกว่าวิธีอื่นมาก เนื่องจากผู้ใช้ MN จะต้องลงทะเบียนทุกครั้งเมื่อเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ ดังนั้นวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มีต้นทุนการสัญญาณจากการลงทะเบียนเมื่อเคลื่อนที่ข้ามเซลล์จะสูงกว่าต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากการเพิกถอนตำแหน่งของ MN มาก ในกรณีของวิธี DLP-MIP และ วิธี TSP-MIP พบว่ามีต้นทุนการสัญญาณเกือบเท่ากัน [20] เนื่องจาก MN เคลื่อนที่แบบ Pure random เมื่อเทียบกับ วิธี P-MIP พบว่า วิธี DLP-MIP และ วิธี TSP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณในช่วงความเร็วต่ำกว่า 30 m/s ต่ำกว่าเนื่องจากขนาดพื้นที่การเพิกถอนที่คำนวณได้มีขนาดต่างกับขนาดพื้นที่การเพิกถอนของ P-MIP แต่ในช่วงความเร็วมากกว่า 25 m/s มีต้นทุนการสัญญาณเท่ากัน เนื่องจากขนาดพื้นที่การเพิกถอนที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับขนาดพื้นที่การเพิกถอนของวิธี P-MIP สำหรับ วิธี ADLP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่สูงกว่า วิธี P-MIP, วิธี DLP-MIP, วิธี TSP-MIP ในช่วงความเร็ว 25 m/s แต่ต้นทุนการสัญญาณของวิธี ADLP-MIP มีอัตราการเพิ่มที่น้อยกว่า วิธี DLP-MIP และ วิธี TSP-MIP ในช่วงความเร็วสูงกว่า 25 m/s เนื่องจากวิธี ADLP-MIP มีการคำนวณหาขนาดพื้นที่การเพิกถอนและพื้นที่การเพิกถอนที่เหมาะสม [22] ส่วนวิธี TSAP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำมากกว่าวิธีอื่นมากเพราะว่ามีขนาดพื้นที่การเพิกถอน 36 เซลล์ ดังนั้นระบบสามารถค้นหาตำแหน่งของ

ผู้ใช้จากการเพจภายในพื้นที่การเพจย่อยภายในสำเร็จ แล้วการเพจในพื้นที่การเพจย่อยภายนอก จึงไม่จำเป็นอีกต่อไประบบจะมีต้นทุนการสัญญาณที่เพิ่มขึ้นด้วยแนวโน้มที่ช้ากว่า



รูปที่ 4.27 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way $\lambda = 0.0016$

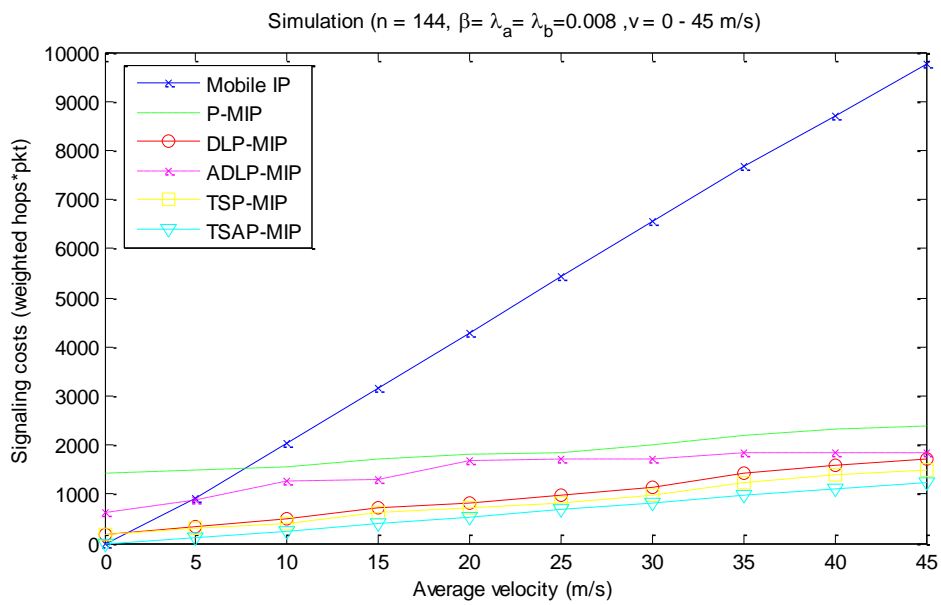


รูปที่ 4.28 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณเมื่อขยายพล็อตแล้วตัด Mobile IP ออก $\lambda = 0.0016$

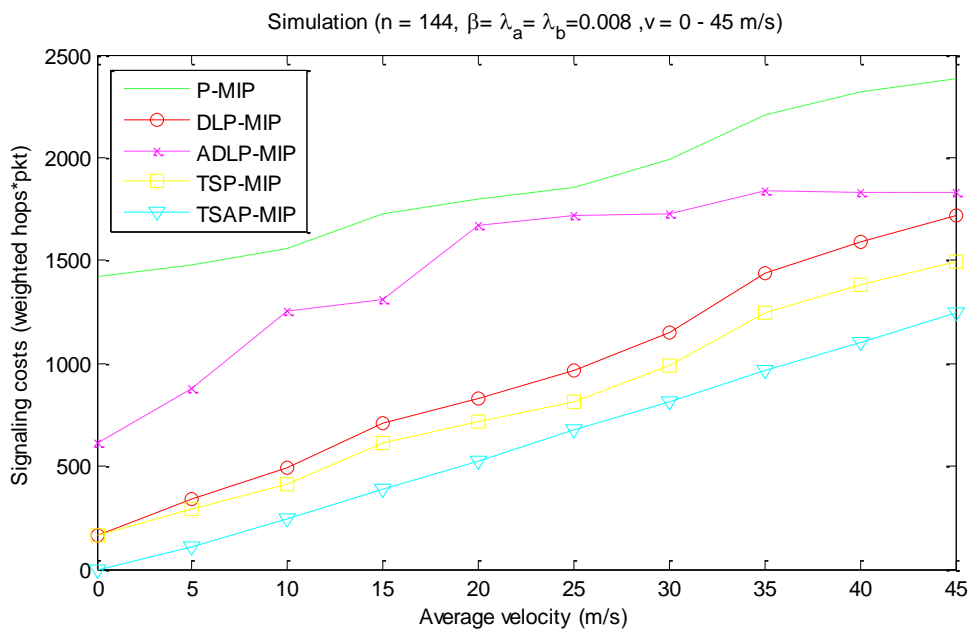
รูปที่ 4.27 และ 4.28 แสดงถึงผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ MN ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีเมื่อเคลื่อนที่แบบ Pure two-way พบว่าวิธี วิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, วิธี P-MIP, วิธี ADLP-MIP มีอัตราการเพิ่มของต้นทุนการสัญญาณที่สูงมาก ทั้งนี้อันเนื่องจากผู้ใช้ MN เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจและลงทะเลเบียนบ่อยขึ้น ขณะที่วิธี DLP-MIP, วิธี TSP-MIP และ วิธี TSAP-MIP มีอัตราการเพิ่มของต้นทุนการสัญญาณที่สูงเช่นกัน เนื่องจาก MN ต้องส่งสัญญาณแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งบ่อยขึ้นจากการเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจย่อย สำหรับวิธี TSAP-MIP พบว่ามีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่า วิธี DLP-MIP และ วิธี TSP-MIP เพราะว่าวิธี TSAP-MIP มีการคำนวณรูปร่างของพื้นที่การเพจย่อยภายในที่เหมาะสมและปรับเปลี่ยนการเพจตามผู้ใช้มีผลต่อการลดต้นทุนการสัญญาณได้

4.3.2 ผลกระทบของ Data session rate ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ

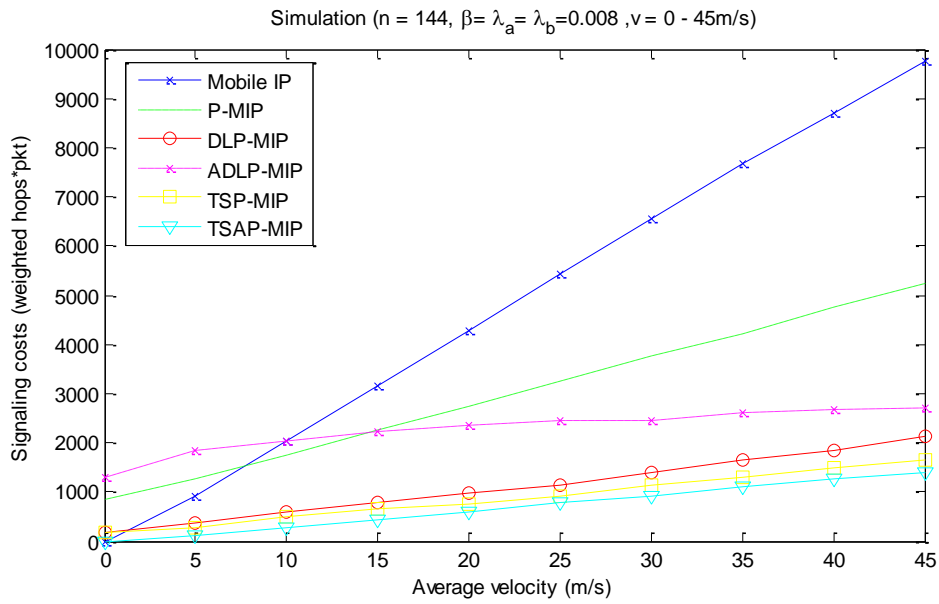
รูปที่ 4.29 และ 4.30 แสดงถึงความสัมพันธ์ของต้นทุนในการสัญญาณกับอัตราเซสชันของข้อมูลที่มีการเคลื่อนที่แบบ Pure random โดยพิจารณาที่อัตราเซสชันของข้อมูลที่ 0.008 ครั้งต่อวินาที พบว่าวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ มีต้นทุนการสัญญาณคงที่ไม่ขึ้นกับอัตราเซสชันของข้อมูล เนื่องจากว่าวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ไม่มีการใช้กระบวนการเพจในการทำงาน สำหรับกรณีของวิธี ADLP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่าวิธี P-MIP สำหรับวิธี TSAP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่าวิธี DLP-MIP และ วิธี TSP-MIP เนื่องจากมีต้นทุนการสัญญาณที่มาจาก การแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งเมื่อผู้ใช้ MN เคลื่อนที่ออกนอกพื้นที่การเพจย่อยไม่บ่อยส่วนมากจะอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยภายใน (Internal SPA) ดังนั้นจะมีต้นทุนการสัญญาณต่ำเพราะว่าอัตราเซสชันของข้อมูลจะมีอิทธิพลกับต้นทุนการสัญญาณมากกว่าความเร็วของผู้ใช้ ทำให้การคำนวณขนาดพื้นที่การเพจมีผลกระทบกับต้นทุนการสัญญาณน้อยลง



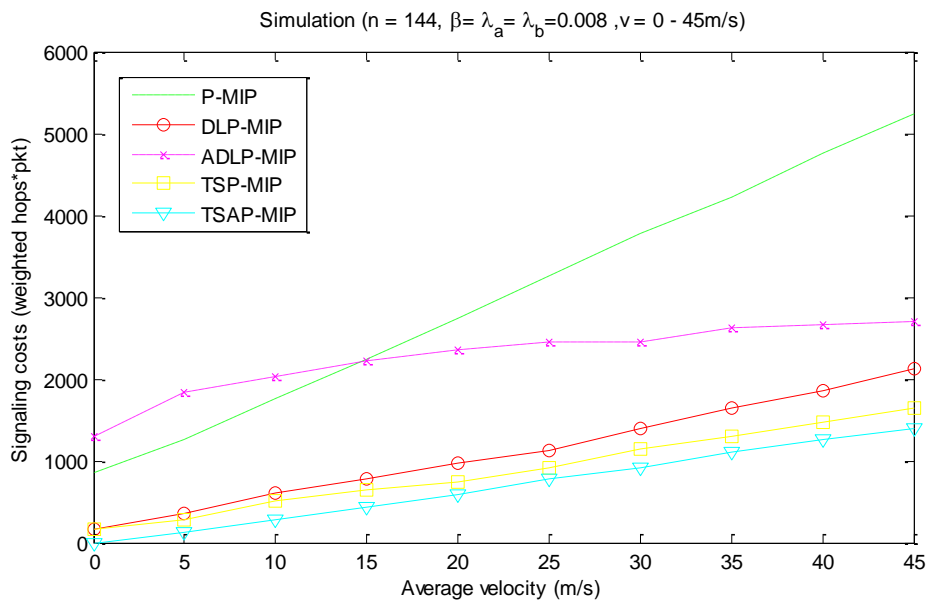
รูปที่ 4.29 ผลกระทบของ Data session rate $\lambda = 0.008$ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure random



รูปที่ 4.30 ผลกระทบของ Data session rate $\lambda = 0.008$ เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure random ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณเมื่อขยายพล็อตแล้วตัด Mobile IP ออก



รูปที่ 4.31 ผลกระทบของ Data session rate $\lambda = 0.008$ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way



รูปที่ 4.32 ผลกระทบของ Data session rate $\lambda = 0.008$ เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณเมื่อขยายพล็อตแล้วตัด Mobile IP ออก

รูปที่ 4.31 และ 4.32 แสดงถึงความสัมพันธ์ของต้นทุนในการสัญญาณกับอัตราเซสชันของข้อมูล เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way พบว่า TSAP-MIP ยังคงมีต้นทุนการ

สัญญาณที่ต่ำกว่า DLP-MIP เนื่องจาก TSP-MIP มีการคำนวณรูปร่างของพื้นที่การเพจที่เหมาะสม สำหรับวิธี ADLP-MIP อยู่ในช่วงความเร็ว 15 m/s มีต้นทุนการสัญญาณที่มากกว่าวิธี P-MIP และเมื่ออยู่ในช่วงความเร็วมากกว่า 15 m/s มีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่ามีส่วนต่างกับวิธี P-MIP มากขึ้นพิจารณาเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.28 เป็นผลจากการคำนวณรูปร่างของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสมของวิธี ADLP-MIP ขณะที่ วิธี TSP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่า วิธี DLP-MIP เนื่องจากมีการแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นพื้นที่การเพจย่อยมีการเพจสองครั้งจึงช่วยลดภาระการสัญญาณจากการเพจทั้งพื้นที่ลงได้อย่างดีส่งผลให้ต้นทุนการสัญญาณมีค่าต่ำ มีผลต่อการลดต้นทุนการสัญญาณมากกว่าการมีพื้นที่การเพจย่อย ในกรณี MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way ส่วน วิธี TSAP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่าวิธีอื่นตลอดช่วงอัตราเซสชันของข้อมูลที่พิจารณา ยกเว้นที่อัตราเซสชันของข้อมูลต่ำมากๆ ที่ TSAP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่าหรือเท่ากับ วิธี TSP-MIP และ วิธี DLP-MIP เนื่องจาก ไม่มีต้นทุนการสัญญาณจากการแจ้งเปลี่ยนตำแหน่ง

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดประสิทธิภาพ TSAP-MIP ที่ทำได้

TSAP-MIP มีประสิทธิภาพดีกว่า	Mobile IP	P-MIP	DLP-MIP	ADLP-MP	TSP-MIP
ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ	ดีกว่า 75.16%	ดีกว่า 34.75%	ดีกว่า 15.36%	ดีกว่า 14.25%	ดีกว่า 11.2%
ผลกระทบของความหนาแน่นของผู้ใช้ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ	ดีกว่า 81.88%	ดีกว่า 73.47%	ดีกว่า 15.58%	ดีกว่า 43.19%	ดีกว่า 12.63%
ผลกระทบของ Active ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ	-	ดีกว่า 70.79%	ดีกว่า 24.47%	ดีกว่า 51.72%	ดีกว่า 10.65%
ผลกระทบของ Data session rate ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ	-	ดีกว่า 46.89%	ดีกว่า 13.28%	ดีกว่า 30.08%	ดีกว่า 8.97%
ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ	ดีกว่า 80.14%	ดีกว่า 77.11%	ดีกว่า 25.59%	ดีกว่า 19.01%	ดีกว่า 11.3%

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้มีการศึกษาลักษณะการจัดวางพื้นที่การเพจในระบบโครงข่ายอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่โดยทั่วไปและได้เสนอให้มีการเพจย่อยภายในปรับเปลี่ยนตามผู้ใช้แต่ละคนในพื้นที่การเพจย่อยภายใน (Internal SPA) และ การเพจจริงสองชั้นตอนในพื้นที่การเพจย่อยภายนอก (External SPA) โดยพื้นที่การเพจย่อยภายในคือส่วนที่อยู่ในบริเวณรอบจุดศูนย์กลางของพื้นที่การเพจย่อยขณะที่พื้นที่การเพจย่อยภายนอกจะเป็นส่วนที่อยู่ในบริเวณขอบของพื้นที่ ซึ่งจากสมมติฐานจะสามารถพบผู้ใช้ MN ในพื้นที่การเพจย่อยภายใน (Internal SPA) มากกว่าที่จะพบผู้ใช้ในพื้นที่การเพจย่อยภายนอก งานวิจัยนี้จึงได้เสนอให้มีการเพจหาผู้ใช้สองครั้งภายในหนึ่งพื้นที่การเพจย่อยโดยเริ่มกระบวนการเพจหาผู้ใช้ในพื้นที่การเพจย่อยภายในเป็นลำดับแรกโดยมีหลักการคำนวณหาพื้นที่การเพจที่เหมาะสมหากไม่ได้รับการตอบสนองจากการเพจครั้งแรกระบบจะเริ่มกระบวนการเพจในพื้นที่การเพจย่อยภายนอก (External SPA) ต่อไป แต่หากสามารถค้นหาผู้ใช้ได้จากกระบวนการเพจครั้งแรกสำเร็จ วิธีนี้จะสามารถลดปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการเพจหาผู้ใช้ทั้งพื้นที่การเพจจากวิธี P-MIP , วิธี DLP-MIP ,วิธี ADLP-MIP และ วิธี TSP-MIP ลงได้

จากผลการวิจัยในบทที่ผ่านมาพบว่าวิธีที่เสนอสามารถลดต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากกระบวนการเพจลงได้เมื่อเทียบกับวิธีที่นำมาเปรียบเทียบมีแนวโน้มไม่ถูกระทบได้ง่ายจากค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการหาต้นทุนการสัญญาณ เช่น ความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้, จำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจ, อัตราข้อมูล (data session rate), ช่วงเวลา holding time และค่า hop weight ratio ที่มีการเปลี่ยนแปลงไปแต่วิธี TSAP-MIP ยังคงให้ประสิทธิภาพที่ดีในการลดต้นทุนการสัญญาณในช่วงการใช้งานที่กว้างกว่าวิธี P-MIP และ DLP-MIP และเมื่อพิจารณาผลของการวิเคราะห์จะพบว่าวิธี TSAP-MIP นี้ไม่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้ที่มีความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำ และพื้นที่การเพจควรมีขนาดที่เหมาะสมไม่ควรมีขนาดใหญ่จนเกินไป เนื่องจากหากพื้นที่การเพจมีขนาดใหญ่เกินไปและผู้ใช้มีความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำ จะส่งผลให้ระบบต้องส่งข่าวสารการเพจไปยังพื้นที่การเพจเดิมซ้ำส่งผลให้เกิดปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการเพจทั้งพื้นที่ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นมาก และยังถูกระทบจากค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงไปได้มากกว่าวิธี DLP-MIP และ TSP-MIP

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าวิธี TSAP-MIP ที่เสนอจะสามารถลดต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการเพจจากรหัสวิธี DLP-MIP และ TSP-MIP ลงได้ แต่เมื่อศึกษาและพิจารณาถึงช่วงเวลาประวิงที่เกิดจากการเพจ (The paging delay) พบว่าวิธี TSAP-MIP มีค่าเฉลี่ยที่สูงกว่าวิธี DLP-MIP และ วิธี TSP-MIP เนื่องจากวิธี TSAP-MIP อาศัยกระบวนการเพจสองชั้นตอนภายในพื้นที่การเพจย่อยและคำนวณหาพื้นที่การเพจที่เหมาะสมสำหรับโนดเคลื่อนที่ดังนั้นหากระบบไม่สามารถค้นหาตำแหน่งของผู้ใช้เจอจากกระบวนการเพจครั้งแรกสำเร็จ ระบบต้องเริ่มกระบวนการเพจครั้งที่สองในส่วนที่เหลือของพื้นที่การเพจย่อย ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้เกิดช่วงเวลาประวิงที่เกิดจากการเพจครั้งที่สองที่ระบบจะต้องรอให้กระบวนการเพจครั้งแรกเกิดขึ้นช่วงเวลาหนึ่งระบบถึงจะเริ่มกระบวนการเพจครั้งที่สองต่อไป ส่งผลให้กระบวนการส่งข้อมูลไม่ต่อเนื่องเท่าที่ควรมากนัก

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีปรับปรุงแบบแผนเพจจึงท้องถิ่นแบบกระจายสำหรับการจัดการสภาพเคลื่อนที่ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ โดยการเปรียบเทียบคือ ต้นทุนการสัญญาณโดยรวม (Total signaling cost) ที่เกิดขึ้นในวิธีที่เสนอและวิธีที่นำมาเปรียบเทียบผ่านการวิเคราะห์ในเชิงคณิตศาสตร์และการสร้างแบบจำลองการทำงาน โดยรูปแบบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ (Mobility model) ที่พิจารณาในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ผู้ใช้มีรูปแบบการเคลื่อนที่เป็นแบบ fluid flow model และ random walk model ตามลำดับ อย่างไรก็ตามเมื่อคำนึงถึงหลักความเป็นจริงในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้พบว่ารูปแบบการเคลื่อนที่แบบ random walk model นั้นมีทิศทางการเคลื่อนที่แบบสุ่มไม่มีรูปแบบและทิศทางที่แน่นอน ดังนั้นโอกาสที่ผู้ใช้จะเคลื่อนที่กลับมายังเซลล์เดิมจึงมีความเป็นไปได้สูงมาก ซึ่งในความเป็นจริงแล้วเมื่อพิจารณาทิศทางการเดินและการเคลื่อนที่ของผู้ใช้พบว่ามีความเป็นไปได้น้อยกว่าที่ผู้ใช้จะเคลื่อนที่แบบไม่มีทิศทาง ดังนั้นควรปรับปรุงให้มีการจำลองให้ตรงกับความเป็นจริงมากกว่านี้และอีกหนึ่งปัญหาก็คืองานวิจัยนี้ยังมีประเด็นที่ควรศึกษาเพิ่มเติมอย่างเช่น ปัญหาที่เกิดจากกระบวนการแฮนด์ออฟ, ปริมาณการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูล (Packet loss) ที่เกิดขึ้นรวมถึงปริมาณบัพเฟอร์ของแพ็กเกตข้อมูลที่มีมากเกินไปดังนั้นในงานวิจัยครั้งต่อไปควรจะมีการศึกษาและค้นคว้าวิจัยเหล่านี้เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

รายการอ้างอิง

- [1] Perkins, C. E. Mobile Networking Through Mobile IP. IEEE Internet computing 2 (January 1998): 58-69.
- [2] Perkins, C. E. IP Mobility Support for IPv4 (August 2002).
- [3] Campbell, A. T. Cellular IP4, 4 (January 99).
- [4] Xiaoping, L., Kai, W. Research of Mobile IP Tunneling Mechanism
- [5] Pack, S., Kafle, V. Yanghee. Choi Performance analysis of IP paging protocol in IEEE 802.11 networks. Local Computer Networks, 2003. LCN '03. Proceedings. 28th Annual IEEE International Conference (2003): : 673 - 680
- [6] Chouhan, A. S. Paging Mechanisms in Wireless Network. M.Tech Seminar Report (2007): 1-13.
- [7] Xiaowei, Z., Javier, G. C., Andrew, T. Campbell. P-MIP: Paging Extensions for Mobile IP. IEEE Mobile Networks and App 7 (2002) :127-141.
- [8] ไชติวิทย์ เตชะบัญญัติ. แบบแผนเพจจิงท้องถิ่นแบบกระจายสำหรับการจัดการสภาพเคลื่อนที่ในโครงข่ายอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2005.
- [9] อัญมณี ณะวิชัย. การลดต้นทุนการสัญญาณในไอพีเคลื่อนที่โดยเพจจิงสองขั้นตอนในแบบแผนเพจจิงท้องถิ่นแบบกระจาย. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2010.
- [10] Castelluccia, C. Extending Mobile IP with Adaptive Individual Paging: A Performance Analysis. Proc. ISCC 2002 (2000) : 113-118.
- [11] C. Castelluccia, and P. Mutaf." An Adaptive Per-Host IP Paging Architecture", ACM SIGCOMM Computer Communication Review. (2001), pp. 48-56.
- [12] สุรกิต บังวัฒนกุล แบบแผนเพจจิงท้องถิ่นแบบกระจายโดยปรับเปลี่ยนตามผู้ใช้แต่ละคนเพื่อลดต้นทุนการสัญญาณในโครงข่ายอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, (2012).
- [13] Lee, S., Choe, J. An Adaptive Dynamic Scheme For A Dynamic Paging Performance In Hierarchical Mobile IPv6. Advanced Communication Technology, ICACT 2006. The 8th International Conference (Feb 2006): 605 - 610

- [14] Pack, S., Kim, K. and Choi, Y. A Cost-Effective Approach to Selective IP Paging Scheme Using Explicit Multicast. *Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking* 50, 15 (Oct 2006): 2577-2595.
- [15] Hong, K., Jung, H., Lee, S., Cost-Effective IP Paging for Wireless Internet. Communications Society subject matter experts for publication in the IEEE GLOBECOM 2007. (2007),pp. 1982-1986
- [16] Akyildiz, I., Lin, Y., Rai, Lai. And Chan, R. A New Random Walk Model for PCS Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communication, Vol. 18, No. 7 (July 2000): 1254-1260
- [17] Do, H. T. and Onozato, Y. Merit of Adaptability to Mobile User Parameters in IP Paging. Proc. WONS'05 (January 2005): 246-251.
- [18] Burulitiz, A., Imre, S., and Szabo, S. On the Accuracy of Mobility Modeling in Wireless Networks. IEEE Communications Society (June 2004): 2303-2306
- [19] Singh, S. and Krishnamurthy, V. Partially Observed Stochastic Shortest Path Problem Application to Sequential Paging in Cellular Networks. Proceedings of the 40th IEEE Conference on Decision and Control Orlando, Florida USA (Dec 2001): 1053-1058
- [20] Xie, J. User Independent Paging Scheme for Mobile IP. *Wireless Networks* 12 (2006): 145-158.
- [21] Bizewski, K., Mendalka, M., Nyka, K. and Kulas, L. Wireless Paging System. *Proceedings of the 2nd International Conference on Information Technology, ICIT 2010* (June 2010): 85-86
- [22] Joe, I. and Kim, J. A Novel IP Paging Scheme with Dynamic Paging Areas according to the Mobile Velocity. Proc. NMC'09 (August 2009): 404-408.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายผลประดิษฐ์ พุ่มมาวงศ์เกิดเมื่อวันที่ 21 สิงหาคม พ.ศ. 2530 ที่เวียงจันทน์ สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนมัธยมสมบุญณเวียงจันทน์ และ สำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ และไอที คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากมหาวิทยาลัยแห่งชาติลาวในปีการศึกษา 2552 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2553