แบบแผนเพจจิงท้องถิ่นแบบกระจายสำหรับการจัดการสภาพเคลื่อนที่ในโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่

นายโชติวิทย์ เตชะบัญญัติ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2550
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

DISTRIBUTED LOCAL PAGING SCHEME FOR MOBILITY MANAGEMENT IN MOBILE IP

Mr.Chotevit Techabanyat

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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 2007

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์ แบบแผนเพจจิงท้องถิ่นแบบกระจายสำหรับการจัดการสภาพเคลื่อนที่ในโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่

โดย นายโชติวิทย์ เตชะบัญญัติ

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

.... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.บงการ หอมนาน)

.... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นายโชติวิทย์ เตชะบัญญัติ : แบบแผนเพจจิงท้องถิ่นแบบกระจายสำหรับการจัดการสภาพเคลื่อนที่ในโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่. (DISTRIBUTED LOCAL PAGING SCHEME FOR MOBILITY MANAGEMENT IN MOBILE IP)
อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล, 129 หน้า.

ในปัจจุบันที่ปริมาณความต้องการในการเข้าถึงโครงข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านการสื่อสารไร้สายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ให้บริการโครงข่ายจะต้องให้บริการการสื่อสารที่มีความต่อเนื่องตลอดการเคลื่อนที่ อินเทอร์เน็ตจัดเป็นโพรโทคอลมาตรฐานที่รองรับการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ในระบบ อย่างไรก็ตามโพรโทคอลดังกล่าวยังคงมีหลายประเด็นที่จำเป็นต้องได้รับการแก้ไขปรับปรุง โดยปัญหาที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติการย่อ-ขยายได้ของระบบ (scalability) และการรองรับปริมาณผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นได้แก่ ปัญหาต้นทุนการสัญญาณในระบบที่มีปริมาณมากรวมถึงปัญหาการใช้พลังงานของผู้ใช้เคลื่อนที่

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เราได้เสนอวิธีการจัดการสภาพเคลื่อนที่สำหรับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่โดยสามารถลดต้นทุนการสัญญาณโดยรวมของระบบ รวมถึงลดความไว (sensitivity) ของระบบที่มีต่อพารามิเตอร์หลายๆ ตัว โดยอาศัยหลักการแบ่งพื้นที่การเพจเป็นพื้นที่การเพจย่อยและการจัดวางตำแหน่งของตัวแทนโครงข่ายภายนอก (pFA) ที่ถูกลงทะเบียนไว้กับตัวแทนบ้าน (HA) และตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ทำหน้าที่เริ่มต้นกระจายข่าวสารการเพจในพื้นที่การเพจย่อย (Sub-pFA) วิธีที่เสนอแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือเมื่อพื้นที่การเพจซ้อนทับกันและพื้นที่การเพจไม่ซ้อนทับกัน นอกจากนี้เรายังได้เปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่เสนอกับวิธีอื่นๆ ผ่านทางการวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณในเชิงคณิตศาสตร์และการจำลองการทำงาน โดยผลการวิเคราะห์และทดสอบแสดงให้เห็นว่า วิธีที่เสนอมีประสิทธิภาพการสัญญาณที่ดีกว่าโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ (Mobile IP) แบบดั้งเดิมและการใช้เพจจิงในโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ (P-MIP) ในสภาวะต่างๆ ของระบบ แม้กระทั่งในกรณีที่เลือกขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะที่สุดในกรณีของการใช้เพจจิงในโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ (P-MIP) วิธีที่เสนอก็ยังคงให้ต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่า นอกจากนี้วิธีที่เสนอยังช่วยเพิ่มความเชื่อถือได้ของโครงข่ายและลดความไว (sensitivity) ของต้นทุนการสัญญาณในระบบที่มีต่อพารามิเตอร์ต่างๆของระบบได้อีกด้วย

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่อนิสิต..โชติวิทย์ เตชะบัญญัติ......
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..........................
ปีการศึกษา 2550	

4970287221 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING
KEY WORDS: MOBILE IP / PAGING / MOBILITY MANAGEMENT / SIGNALING COST / RANDOM WALK MODEL

CHOTEVIT TECHABANYAT : DISTRIBUTED LOCAL PAGING SCHEME FOR MOBILITY MANAGEMENT IN MOBILE IP. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. WATIT BENJAPOLAKUL. D. Eng., 129 pp.

As the current demand for wireless access to internet applications increases significantly, it is very important to provide smooth ongoing communication service while moving. Mobile IP has been proposed to be a standard protocol for global mobility management. However, it still has several problems that have to be solved. Two of the significant problems are the excessive signaling overhead and power consumption of mobile nodes. Both are considered as very important issues especially when improving the scalability of the protocol to handle large populations of mobile devices is needed.

In this thesis, we propose a new mobility management scheme for Mobile IP that reduces both the total signaling cost and the system sensitivity to many user parameters by configuring sub-paging areas within a paging area and also locating an appropriate location for the paging foreign agent and sub-paging foreign agent. The proposed method is developed in 2 scenarios, i.e. overlapping paging area and non-overlapping paging area. In order to investigate performance of the proposed scheme, we develop both analytical model and simulation model to evaluate the signaling cost. The results show that the proposed scheme performs better than conventional Mobile IP and Paging Mobile IP (P-MIP) with different paging area sizes and wide ranges of parameters and even in the case of P-MIP with optimal paging area size, our scheme can considerably save total signaling cost of the optimized P-MIP. Also, our scheme enhances system robustness and decreases sensitivity of the system signaling cost to various parameters.

Department Electrical Engineering Student's signature...Chotevit...
Field of study Electrical Engineering Advisor's signature...[signature]...
Academic year 2007

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี จากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล ซึ่งได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ อันมีค่ายิ่ง รวมถึงหนังสือต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย อีกทั้งตรวจทานงานวิทยานิพนธ์ด้วยดีเสมอมา ตลอดจนอาจารย์ทุกๆ ท่านที่ได้กรุณาให้ความรู้ให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์กับงานวิจัย ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้สละเวลาอันมีค่าตลอดจนให้คำแนะนำและแนวทางในการปรับปรุงงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในห้องปฏิบัติการวิจัยศูนย์เชี่ยวชาญพิเศษเฉพาะด้านเทคโนโลยีโทรคมนาคม ทุกๆ คนรวมถึงเพื่อนๆ ที่โรงเรียนที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่ดีเสมอมา

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบคุณ บิดา มารดาและครอบครัวที่ให้ความรัก ความเข้าใจและแรงสนับสนุนที่ดีตลอดมาจนผู้วิจัยสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย .... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .... จ
กิตติกรรมประกาศ .... ฉ
สารบัญ .... ช
สารบัญตาราง .... ญ
สารบัญรูป .... ฎ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 7
1.3 แนวทางวิทยานิพนธ์ 7
1.4 ขอบเขตและเป้าหมายของวิทยานิพนธ์ 7
1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ 8
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 8
2 หลักการทำงานของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 9
2.1 การทำงานของ Mobile IP 10
2.2 กระบวนการค้นหาตัวแทน (Mobile Agent Discovery) 12
2.2.1 รูปแบบข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทน (Agent Solicitation) 12
2.2.2 รูปแบบข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement) 13
2.3 กระบวนการลงทะเบียน (Registration) 17
2.4 กระบวนการรับและส่งแพ็กเกตของโนดเคลื่อนที่ (Routing and tunneling) 21
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 23
2.5.1 การปรับปรุงสมรรถนะของ Mobile IP บนพื้นฐานของการลงทะเบียนท้องถิ่น 23
2.5.1.1 Mobile IP Regional Registration 23

บทที่ หน้า

2.5.1.2 Distributed Dynamic Location Management Scheme 24
2.5.1.3 Dynamic Hierarchical Mobility Management Strategy 25
2.5.1.4 Adaptive Location Management Scheme 26
2.5.2 การปรับปรุงสมรรถนะของ Mobile IP บนพื้นฐานของกระบวนการเพจ 27
2.5.2.1 P-MIP 27
2.5.2.2 User Independent Paging Scheme 30
2.5.2.3 Extending Mobile IP with Adaptive Individual Paging 31
2.5.2.4 An Adaptive Per-Host IP Paging Architecture 32
2.5.2.5 IP Paging Service for Mobile Hosts 33
2.5.2.6 Combinatorial Mobile IP 34
2.5.3 การปรับปรุงสมรรถนะของ Mobile IP โดยแนวทางอื่นๆ 34
2.5.3.1 Integrating Mobile IP with Ad Hoc Networks 34
2.5.3.2 Nested Network Mobility 36
2.5.3.3 Improvement of Paging Extensions in MIP based on Post Registration 37
2.5.3.4 Mobile IP Route Optimization 38
2.5.3.5 Mailbox-Based Scheme 38
3 วิธีการที่นำเสนอ 40
3.1 วิธีการที่นำเสนอ 40
3.1.1 หลักการสร้างพื้นที่การเพจ (Paging area construction) 43
3.1.2 การตรวจวัดการเคลื่อนที่ (Movement detection) 47
3.1.3 การลงทะเบียน (Registration) 51
3.1.4 การเพจ (Paging) 52
3.1.5 การจัดการข้อมูล (Data handling) 54
3.2 การวิเคราะห์การสัญญาณในวิธีการที่นำเสนอในเชิงคณิตศาสตร์ 57
3.2.1 แบบจำลองสภาพเคลื่อนที่ (Mobility Model) 57
3.2.2 การวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณของ Mobile IP 59
3.2.3 การวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณของ P-MIP 60
3.2.4 การวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณของวิธีที่เสนอ (DLP-MIP) 61

บทที่ หน้า

4 ผลการวิจัย 65
4.1 ผลการวิเคราะห์ 65
4.1.1 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ 66
4.1.2 ความสัมพันธ์ของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ 71
4.1.3 ความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ 76
4.1.4 ความสัมพันธ์ของระยะทางระหว่าง HA กับ FA ($d_{FA,HA}$) ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ 83
4.1.5 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ 84
4.1.6 ความสัมพันธ์ของ Active ratio (α) ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ 85
4.1.7 ความสัมพันธ์ของ Data session rate (λ) ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ 86
4.1.8 ความสัมพันธ์ของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ขนาดของพื้นที่การเพจของวิธี P-MIP ถูกหาค่าเหมาะสมที่สุด 89
4.2 แบบจำลองโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบ 91
4.3 ผลการจำลองการทำงาน 94
4.3.1 ความสัมพันธ์ของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ 95
4.3.2 ความสัมพันธ์ของ Data session rate ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ 100
4.3.3 ความสัมพันธ์ของ Session holding time ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ 104
4.3.4 ความสัมพันธ์ของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ 105
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 106
5.1 สรุปผลการวิจัย 106
5.2 ข้อเสนอแนะ 108
รายการอ้างอิง 113
ภาคผนวก 116
บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว 117
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 129

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1.1 ตารางคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายเคลื่อนที่ 2
4.1 ตารางค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสัญญาณ 66
5.1 ตารางเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียขอวิธี P-MIP ทั้งกรณีที่พื้นที่การเพจซ้อนทับ และไม่ซ้อนทับกัน 109
5.2 ตารางเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธีที่เสนอทั้งกรณีที่พื้นที่การเพจซ้อนทับ และไม่ซ้อนทับกัน 110
5.3 ตารางสรุปเปรียบเทียบผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพ การสัญญาณของแต่ละวิธี 111

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่ **หน้า**

1.1 ส่วนประกอบของโครงข่ายและการทำงานของ Mobile IP 4
2.1 ข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทน (Agent Solicitation) 13
2.2 ข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement) 15
2.3 ข่าวสารร้องขอลงทะเบียน 18
2.4 ส่วน Fixed-Length Portion ของข้อความตอบรับการลงทะเบียน 19
2.5 การลงทะเบียนบนข่ายเชื่อมโยงข้อมูลต่างพื้นที่ โดยใช้ CoA ของ FA 20
2.6 MN ถอนการลงทะเบียนเมื่อเคลื่อนที่กลับมาที่ข่ายเชื่อมโยงบ้าน 21
2.7 กระบวนการ Encapsulation และส่งข้อมูลให้กับ MN 22
2.8 ลักษณะโครงข่ายของ Mobile IP Regional Registration 24
2.9 ลักษณะโครงข่ายของ Distributed Dynamic Mobile IP Regional Registration 25
2.10 ลักษณะการทำงานของ DHMIP 26
2.11 ลักษณะการทำงานของ P-MIP 28
2.12 ลักษณะการทำงานของ User Independent Paging scheme 31
2.13 ตัวอย่างรูปแบบพื้นที่การเพจที่เกิดขึ้นใน Adaptive Per-Host IP Paging 33
2.14 รูปแบบการสื่อสารระหว่างโครงข่าย Manet ทั้งในกรณี Intra- และ Inter-Manet 35
2.15 ลักษณะโครงข่ายสื่อสารแบบ Mobile hotspot 36
2.16 แผนภาพการสัญญาณเมื่อ MN เปลี่ยนเข้าสู่สถานะ active 37
2.17 ลักษณะการทำงานของ Mailbox-Based Scheme 39
3.1 การทำงานของวิธีที่เสนอ 41
3.2 แผนภาพแสดงการสัญญาณเมื่อมีแพ็กเกตส่งถึง idle MN 43
3.3 ลักษณะของพื้นที่การเพจกรณีที่เป็นแบบ non-overlapping PA 44
3.4 ลักษณะของพื้นที่การเพจกรณีที่เป็นแบบ overlapping PA แบบที่ 1 45
3.5 ลักษณะของพื้นที่การเพจกรณีที่เป็นแบบ overlapping PA แบบที่ 2 46
3.6 ขั้นตอนในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของ MN ที่มีสถานะการทำงานเป็น idle และพื้นที่การเพจเป็นแบบ Overlapping PA 50
3.7 ขั้นตอนในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของ MN ที่มีสถานะการทำงานเป็น idle และพื้นที่การเพจเป็นแบบ Non-overlapping PA 51

รูปที่ **หน้า**

3.8 ขั้นตอนในกระบวนการเพจหา MN เมื่อมีแพ็กเกตถูกส่งมาถึง pFA 56
4.1 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที 66
4.2 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 15 เมตรต่อวินาที 67
4.3 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 5 เมตรต่อวินาที 67
4.4 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อมีการแบ่งพื้นที่การเพจเป็น 4 และ 9 พื้นที่การเพจย่อย 69
4.5 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาทีและ σ_{air} เท่ากับ 3 70
4.6 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที 71
4.7 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 15 เมตรต่อวินาที 72
4.8 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 5 เมตรต่อวินาที 72
4.9 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาทีและอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0001 /s 74
4.10 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาทีและอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008 /s 75
4.11 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 15 เมตรต่อวินาทีและอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.002 /s 75
4.12 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์ และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0004 /s 77
4.13 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์ และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008 /s 77

รูปที่ **หน้า**

4.14 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์ และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0016 /s 78

4.15 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 64 เซลล์ และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0004 /s 80

4.16 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 64 เซลล์ และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008 /s 81

4.17 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์ และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0001 /s 81

4.18 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์ และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0001 /s และ $\sigma_{air} = 3$ 82

4.19 ผลกระทบของ $d_{FA,HA}$ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในวิธี P-MIP และวิธีที่เสนอ เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008 /s 83

4.20 ผลกระทบของ ρ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์และความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที 84

4.21 ผลกระทบของ α ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์และ ความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที 85

4.22 ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 15 เมตรต่อวินาทีและระบบมี R_w เท่ากับ 8 87

4.23 ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 15 เมตรต่อวินาทีและระบบมี Rw เท่ากับ 4 87

4.24 ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 35 เมตรต่อวินาทีและระบบมี Rw เท่ากับ 8 88

4.25 ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 35 เมตรต่อวินาทีและระบบมี Rw เท่ากับ 4 88

4.26 ผลกระทบของขนาดของพื้นที่การเพจมีต่อต้นทุนการสัญญาณในวิธี P-MIP เทียบกับวิธี Mobile IP และเส้นโค้งแสดงการหาขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะที่สุด 89

รูปที่ **หน้า**

4.27 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 17.5 เมตรต่อวินาที, อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008 /s และมีการใช้ขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะที่สุดในวิธี P-MIP 90
4.28 รูปแบบโครงข่ายบริการที่ใช้ในการจำลองแบบ 91
4.29 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ MN ในแบบ Pure random 91
4.30 ขั้นตอนของโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวิธีที่เสนอ 93
4.31 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์ และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0016 /s 94
4.32 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์ และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0032 /s 96
4.33 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 64 เซลล์ และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0032 /s 96
4.34 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อจำนวนการข้ามพื้นที่การเพจในวิธีที่เสนอ เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์ และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0016 /s 97
4.35 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อจำนวนการข้ามพื้นที่การเพจย่อยในวิธีที่เสนอ เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์ และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0016 /s 98
4.36 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อผลรวมของจำนวนการข้ามพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยในวิธีที่เสนอเมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0016 /s 98
4.37 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อจำนวน hop ระหว่าง pFA และ Sub-pFA ในวิธีที่เสนอเมื่อพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์ และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0016 /s 99
4.38 ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเป็น 30 เมตรต่อวินาทีและระบบมี R_w เท่ากับ 8 101
4.39 ผลกระทบของ data session rate ที่มีต่อจำนวนการข้ามพื้นที่การเพจในวิธีที่เสนอ เมื่อขนาดพื้นที่การเพจเท่ากับ 36 เซลล์ และผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ย 30 เมตรต่อวินาที 101

รูปที่ **หน้า**

4.40 ผลกระทบของ data session rate ที่มีต่อจำนวนการข้ามพื้นที่การเพจย่อยในวิธีที่เสนอ เมื่อขนาดพื้นที่การเพจเท่ากับ 36 เซลล์และผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ย 30 เมตรต่อวินาที 102
4.41 ผลกระทบของ data session rate ที่มีต่อจำนวน hop ระหว่าง pFA และ Sub-pFA ในวิธีที่เสนอเมื่อพื้นที่การเพจมีขนาดเท่ากับ 36 เซลล์ และผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ย 30 เมตรต่อวินาที 102
4.42 ผลกระทบของ Session holding time ของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 30 เมตรต่อวินาทีและอัตราข้อมูล 0.0016 /s 104
4.43 ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเป็น 30 เมตรต่อวินาที และระบบมี R_w เท่ากับ 4 105

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันจะเห็นได้ว่า โครงข่ายอินเทอร์เน็ต (Internet) มีอัตราการขยายตัวอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับในอดีต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาอันสามารถพิจารณาได้จากจำนวนโฮสต์ (host) หรือเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต่อกับอินเทอร์เน็ต ขนาดของโครงข่ายและจำนวนอุปกรณ์โครงข่าย ปริมาณข้อมูลข่าวสารที่ถูกส่งผ่านในระบบ จำนวนผู้ให้บริการ (ISPs, Internet Service Provider) รวมถึงรูปแบบการให้บริการสื่อสารบนอินเทอร์เน็ตที่ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องและแตกต่างไปจากในช่วงเริ่มต้นเป็นอย่างมาก จากเดิมที่เน้นเฉพาะเพียงการสื่อสารข้อมูลแบบดาตา (data communication) อันได้แก่การถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล (File Transfer) การรับและการส่งไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail) พัฒนาเรื่อยมาจนถึงยุคของโพรโทคอลแบบ HTML (Hypertext Transfer Protocol) อันนำมาซึ่งรูปแบบโปรแกรมที่เรียกว่าเวบบราวซิง (Web browsing) และในยุคปัจจุบันที่กำลังจะนำเข้าไปสู่ระบบการสื่อสารมัลติมีเดีย (multimedia) อย่างเต็มรูปแบบ ทั้งเสียงอันได้แก่รูปแบบการบริการแบบ VoIP (Voice over IP) วิดีโออันได้แก่การประชุมทางไกล (Remote Video Conference) ไอพีทีวี และ Video-on-demand เป็นต้น และแน่นอนว่าปริมาณของผู้ใช้รวมถึงรูปแบบการให้บริการที่หลากหลายจะเพิ่มขึ้นเช่นนี้ต่อไปในอนาคต สิ่งนี้เองที่จะเป็นตัวผลักดันให้คอมพิวเตอร์จากที่ต่างๆสามารถต่อถึงกันเพื่อรองรับความต้องการการติดต่อสื่อสารระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องที่อาจอยู่ใกล้หรือไกลกันได้อย่างไร้ขอบเขตและมีประสิทธิภาพ

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าอินเทอร์เน็ตจะสามารถนำพาเราไปสู่โลกของทรัพยากรข้อมูลข่าวสารจำนวนมาก แต่การต่อของผู้ใช้เข้ากับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตก็ยังคงถูกจำกัดไว้อยู่เพียงบางสถานที่เท่านั้น ไม่ว่าจะเป็นที่บ้าน ที่ทำงาน โรงเรียน หรือมหาวิทยาลัย โดยที่ผู้ใช้ไม่สามารถรักษาการติดต่อสื่อสารไว้ได้ตลอด เมื่อมีการเคลื่อนที่ของผู้ใช้จากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่ง ปัจจัยนี้จึงยังเป็นอุปสรรคที่สำคัญของการก้าวผ่านสู่โลกของ All-IP Network ที่กำลังจะเกิดขึ้นในโครงข่ายการสื่อสารยุคถัดไป (NGN, Next Generation Network) และเนื่องจากระบบการสื่อสารแบบไอพี (Internet Protocol) ที่มีการใช้อยู่บนระบบอินเทอร์เน็ตแบบเดิม ไม่ได้มีการออกแบบมาเพื่อรองรับการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการออกแบบพัฒนาโพรโทคอลใหม่ขึ้นมาเพื่อรองรับการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ในระบบและดูแลให้การติดต่อสื่อสารในโครงข่ายเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

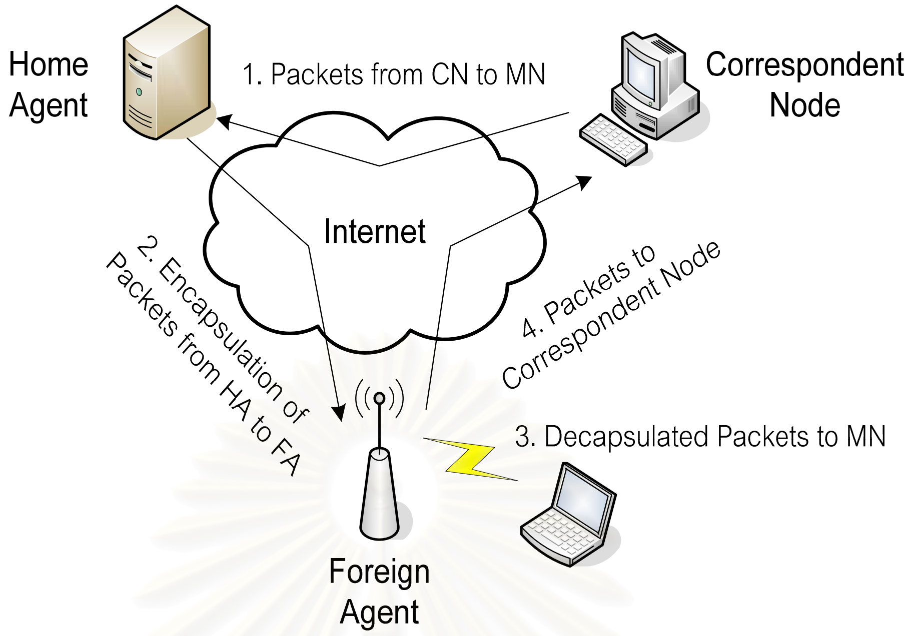
ด้วยสาเหตุนี้ปัญหาดังกล่าวจึงได้รับการแก้ไขโดยมาตรฐาน Mobile IP ซึ่งเป็นวิธีการในการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของผู้ใช้อินเทอร์เน็ตซึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดย Internet Engineering Task Force (IETF) เพื่อรองรับการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ โดยใช้ได้กับเทคโนโลยีการเข้าถึง, อุปกรณ์สื่อสาร และรูปแบบการประยุกต์ใช้งานที่หลากหลาย Mobile IP มีกลไกในการจัดการสภาพเคลื่อนที่ที่ไม่ซับซ้อน โดยการอนุญาตให้โนดเคลื่อนที่ใช้ที่อยู่ไอพีได้ *2* ตัว นั่นคือ ที่อยู่ไอพีประจำบ้าน (fixed home address) และที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA: Care-of-Address) โดยที่ที่อยู่ไอพีชั่วคราวนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงทุกครั้งที่เคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งติดต่อสื่อสารตำแหน่งใหม่ โดยก่อนที่จะเริ่มต้นอธิบายหลักการทำงานของ Mobile IP เราควรจะรู้จักความหมายของคำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายเคลื่อนที่ (ตารางที่ 1.1) เพื่อให้สามารถเข้าใจหลักการทำงานของโพรโทคอลได้ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 1.1 คำศัพท์ที่เกี่ยวข้องกับโครงข่ายเคลื่อนที่ (Mobile Networking Terminology)

Agent advertisement	หมายถึง	ข่าวสารที่ตัวแทนการเคลื่อนที่ (Mobility agent) หรือเราเตอร์สร้างขึ้นเพื่อให้โนดเคลื่อนที่ที่ได้รับ รู้ถึงที่อยู่ปัจจุบันของตน
Agent discovery	หมายถึง	กระบวนการที่โนดเคลื่อนที่ได้รับที่อยู่ไอพีจาก Home Agent หรือ Foreign Agent ขึ้นกับว่าโนดเคลื่อนที่ยังอยู่ในโครงข่ายบ้านหรือไม่ โดยจะเกิดขึ้นเมื่อโนดเคลื่อนที่ได้รับ agent advertisement
Binding	หมายถึง	กลุ่มของหมายเลขที่ประกอบด้วย ที่อยู่ประจำบ้าน, ที่อยู่ไอพีชั่วคราว และเวลาของอายุการลงทะเบียน (registration life time)
Binding update	หมายถึง	ข่าวสารที่แจ้งให้ตัวแทนบ้าน (home agent) หรือ โนดคู่สื่อสาร (correspondent node) ทราบที่อยู่ไอพีชั่วคราวของโนดเคลื่อนที่ และแจ้งข้อมูล binding ใหม่
Care-of address (CoA)	หมายถึง	ที่อยู่ชั่วคราว หรือ ที่อยู่ไอพีชั่วคราวของโนดเคลื่อนที่
Correspondent node	หมายถึง	โนดคู่สื่อสารของโนดเคลื่อนที่
Encapsulation	หมายถึง	กระบวนการซ้อนทับส่วนหัวของแพ็กเกตไอพี
Foreign Agent (FA)	หมายถึง	ตัวแทนของโนดต่างพื้นที่บนโครงข่ายต่างพื้นที่ ทำหน้าที่ช่วยรับและส่งแพ็กเกตให้กับโนดเคลื่อนที่

Foreign network	หมายถึง	โครงข่ายต่างพื้นที่ที่โนดเคลื่อนที่กำลังอาศัยอยู่ในขณะนั้น
Home address	หมายถึง	ที่อยู่ประจำบ้าน หรือ ที่อยู่ไอพีประจำบ้าน
Home Agent (HA)	หมายถึง	ตัวแทนบ้านของโนดเคลื่อนที่บนโครงข่ายบ้าน ทำหน้าที่เป็นตัวแทนรับและส่งแพ็กเกตให้โนดเคลื่อนที่
Home network	หมายถึง	โครงข่ายบ้านของโนดเคลื่อนที่ที่ให้ที่อยู่ไอพีประจำบ้าน
Mobile node (MN)	หมายถึง	โนดเคลื่อนที่
Registration	หมายถึง	กระบวนการลงทะเบียนที่อยู่ CoA ใหม่ของโนดเคลื่อนที่
Route optimization	หมายถึง	กระบวนการที่ทำให้โนดคู่สื่อสารสามารถส่งแพ็กเกตให้โนดเคลื่อนที่ได้โดยตรงโดยไม่ต้องผ่านตัวแทนบ้าน
Tunneling	หมายถึง	กระบวนการทำ Encapsulation ซึ่งส่งผลทำให้เหมือนกับว่าการส่งแพ็กเกตข้อมูลถูกส่งไปยังปลายทางผ่านอุโมงค์

ในกระบวนการทำงานของ Mobile IP [1] ตำแหน่งของ Mobile Node (MN) จะถูกติดตามโดย Home Agent (HA) ของ MN ตัวนั้น ซึ่ง HA จะทำการบันทึกและจับคู่ CoA ที่ถูกใช้โดย MN ขณะที่อยู่ในโครงข่ายภายนอก (Foreign network) เข้ากับ Home address ของ MN ตัวนั้นๆ เมื่อ MN มีการเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งไปยังโครงข่ายใหม่ MN จะทำการลงทะเบียน (register) CoA ที่ได้รับมาใหม่กับ HA ของมัน เมื่อมีโนดที่ต้องการติดต่อ (Correspondent Node, CN) กับ MN เนื่องจาก CN จะรู้เพียงแค่ Home address ของ MN เท่านั้นจึงส่งแพ็กเกตข้อมูลทั้งหมดไปยัง Home address นั้น เมื่อแพ็กเกตข้อมูลถูกส่งไปถึง Home network ของ MN นั้นๆ ตัวแทนบ้าน (Home Agent, HA) จะเป็นตัวแทนรับแพ็กเกต ก่อนจะทำ encapsulation แพ็กเกตข้อมูลเหล่านั้นด้วยที่อยู่ CoA ที่ MN ได้ลงทะเบียนเอาไว้ จากนั้น HA จะส่งต่อไปยังตัวแทนโครงข่ายภายนอก (Foreign Agent, FA) ปัจจุบันที่กำลังให้บริการ MN อยู่ ตามที่ได้บันทึกไว้ที่ CoA เมื่อ FA ได้รับข้อมูลจะทำ decapsulation แพ็กเกตข้อมูลเหล่านั้น แล้วจึงส่งต่อไปยัง MN ในทิศทางตรงกันข้าม เมื่อ MN ต้องการส่งข้อมูลไปยัง CN MN สามารถส่งข้อมูลไปยัง CN ได้โดยตรง ไม่จำเป็นจะต้องส่งผ่าน HA ดังแสดงการทำงานของ Mobile IP ในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ส่วนประกอบของโครงข่ายและการทำงานของ Mobile IP

ซึ่งในการทำให้ Mobile IP ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายจำเป็นจะต้องพิจารณาในหลายแง่มุม นอกเหนือจากกระบวนการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลแล้ว ประสิทธิภาพในการแฮนด์-ออฟก็นับเป็นสิ่งที่สำคัญเช่นกันเพื่อให้การติดต่อสื่อสารเป็นไปได้อย่างราบรื่นและไม่เกิดการสูญหายของข้อมูล สำหรับแนวทางต่างๆ ในการพัฒนาประสิทธิภาพในกระบวนการแฮนด์ออฟสามารถค้นคว้าได้จาก [2] และหากพิจารณาจากรูปที่ 1.1 จะเห็นว่า เส้นทางการส่งแพ็กเกตข้อมูลจาก MN ไปยัง CN และ CN มายัง MN มีเส้นทางที่แตกต่างกันคือ ในกรณีที่ CN ต้องการส่งข้อมูลไปยัง MN แพ็กเกตข้อมูลจะถูกส่งผ่านไปยัง HA ก่อนจะส่งต่อไปยัง MN ซึ่งมีระยะทางที่ไกลกว่าการที่ส่งจาก CN ไปยัง MN โดยตรง ปัญหานี้เรียกว่า ปัญหาการจัดเส้นทางแบบสามเหลี่ยม (Triangle routing problem) จึงได้มีงานวิจัยที่พัฒนาแนวทางการแก้ไขที่เรียกว่าการจัดเส้นทางที่เหมาะที่สุด (Route optimization) [3] ซึ่งจะได้กล่าวถึงในบทถัดไป นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของผู้ใช้ในระบบก็นับเป็นประเด็นสำคัญที่ส่งผลต่อคุณภาพการให้บริการของระบบและโดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อคุณสมบัติในการย่อ-ขยายได้ของระบบ (scalability) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะพิจารณาและศึกษาเปรียบเทียบเฉพาะในส่วนที่ส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติ scalability ของระบบผ่านทางต้นทุนการสัญญาณที่เกิดขึ้นในแต่ละวิธี

เนื่องจากในระบบการสื่อสารแบบ Mobile IP นั้น เมื่อผู้ใช้ในระบบมีจำนวนเพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ปริมาณข่าวสารการสัญญาณ (Signaling overhead) ภายในโครงข่ายไอพีหลัก (core IP network) อันเนื่องมาจาก internet mobility management มีค่ามากขึ้น ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อ

คุณสมบัติความสามารถในการย่อ-ขยายได้ (scalability) ของระบบ เนื่องจากโดยธรรมชาติของระบบ Mobile IP ที่จะติดตาม (tracking) ผู้ใช้เคลื่อนที่ด้วยวิธีการลงทะเบียน (registration) เพียงอย่างเดียว ทำให้ทุกๆครั้งที่ MN มีการเคลื่อนที่เปลี่ยน Subnet (Foreign Agent, FA) ก็จะต้องลงทะเบียนกับ HA เพื่อแจ้งที่อยู่ปัจจุบันให้ HA รู้ ซึ่งวิธีการนี้มีข้อเสียหลักๆ 2 ประการคือ

1. ระบบเกิดปริมาณข่าวสารการสัญญาณจำนวนมาก โดยเฉพาะในกรณีที่ MN มีการเคลื่อนที่เปลี่ยน FA บ่อย กล่าวคือผู้ใช้มีลักษณะการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง และกรณีที่ที่อยู่ปัจจุบันของ MN อยู่ห่างไกลจาก Home network ของ MN นั้นๆ เนื่องจากข่าวสารการสัญญาณที่ต้องส่งผ่านโครงข่ายไอพีหลักมีปริมาณมากอีกทั้งยังต้องส่งผ่านโครงข่ายในระยะทางที่ไกล

2. MN จำเป็นต้องใช้พลังงานในการรับส่งข่าวสารการลงทะเบียน (Registration messages) ในปริมาณมาก จึงอาจส่งผลให้เกิดปัญหา Power consumption ของ MN

ปัจจุบันจึงมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวทางในการแก้ไขปัญหาเหล่านี้จำนวนมากดังจะได้นำเสนอในบทถัดไป อย่างไรก็ตามงานวิจัยเหล่านั้นมีจำนวนมากที่ไม่ได้คำนึงถึงปัญหาการใช้พลังงานของ MN ขณะที่งานวิจัยอีกจำนวนมากไม่ได้คำนึงถึงความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงทางปฏิบัติ ดังนั้นในแนวทางที่วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอจึงพิจารณาถึงความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ และไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะเพียงโครงข่ายรูปแบบใดรูปแบบหนึ่งเท่านั้น โดยเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของ Cellular network กับของ Mobile IP จะเห็นได้ว่าในขณะที่ Mobile IP ใช้เพียงกระบวนการลงทะเบียน (Registration) ในการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของผู้ใช้ ระบบ Cellular network มีการใช้ทั้งกระบวนการลงทะเบียนและกระบวนการเพจ (Paging) ในการจัดการสภาพเคลื่อนที่ให้มีประสิทธิภาพ ดังนั้นเมื่อประกอบกับการสังเกตที่ว่าในโครงข่าย Mobile IP เวลาส่วนใหญ่ของผู้ใช้ไม่ได้อยู่ในสถานะที่กำลังสื่อสารกับผู้อื่นตลอดเวลา แต่จะอยู่ในสถานะที่ไม่ได้สื่อสารกับใคร (Idle) จึงมีแนวความคิดที่จะนำเอากระบวนการเพจมาใช้ในระบบ Mobile IP เพื่อให้ระบบสามารถรองรับจำนวนผู้ใช้จำนวนมากได้ (scalable) ดังที่ได้มีผู้เสนอไว้แล้วในวิธี P-MIP [4]

กระบวนการเพจเป็นระเบียบวิธีการที่ใช้ในระบบการสื่อสารแบบไร้สาย เพื่อใช้ในการค้นหา (search) ตำแหน่งของ idle MN เมื่อมีข่าวสารส่งมาถึงผู้ใช้เคลื่อนที่รายนั้นๆ วิธีนี้ทำให้ผู้ใช้ไม่จำเป็นจะต้องลงทะเบียนบอก HA ถึงตำแหน่งปัจจุบันทุกครั้งเมื่อมีการเคลื่อนที่ ดังนั้น HA จะไม่รู้ตำแหน่งที่แน่นอนของ MN ว่าอยู่ที่ FA ใดในขณะนั้น แต่จะรู้เพียงแค่กลุ่มของ FAs ที่ MN นั้นๆอาศัยอยู่ โดยเราเรียกกลุ่มของ FAs นี้ว่าเป็น Paging Area (PA) อย่างไรก็ตามกระบวนการเพจได้ส่งผลให้เกิดเวลาประวิงเพิ่มเติม อันเนื่องมาจากการค้นหาตำแหน่งที่ถูกต้องของ MN และปริมาณการสัญญาณเพิ่มเติมอันเนื่องมาจากการเพจ ดังนั้นจึงนับเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะต้อง

พิจารณาออกแบบระบบให้สมดุลระหว่างต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากกระบวนการเพจและต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากกระบวนการลงทะเบียนเพื่อให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพที่ดี ในระบบ Cellular system การเพจถูกใช้อย่างแพร่หลายในการค้นหาตำแหน่งของผู้ใช้เมื่อมีการเรียกเข้ามายังผู้ใช้นั้นๆ โดยพื้นที่การเพจ คือ กลุ่มของสถานีฐาน (Base Station) ที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกันและโดยทั่วไปสถานีฐานเหล่านี้จะอยู่ภายใต้การควบคุมดูแลของ Mobile Switching Center (MSC) เดียวกัน เมื่อมีการเรียกเข้ามายังผู้ใช้เคลื่อนที่ MSC จะส่งข่าวสารการเพจ (Paging message) ไปยังทุกๆสถานีฐานที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจเดียวกัน แต่ละสถานีฐานเมื่อได้รับข่าวสารนี้ก็จะกระจาย (broadcast) ข่าวสารการเพจในพื้นที่เซลล์ของตัวเอง ระบบจะตัดสินหาตำแหน่งที่ถูกต้องของ MN ได้ก็ต่อเมื่อได้รับข้อความตอบกลับการเพจจากผู้ใช้เคลื่อนที่นั้นๆที่ถูกค้นหา ข้อมูลตำแหน่งของผู้ใช้เคลื่อนที่นี้จึงถูกนำไปใช้ในกระบวนการเริ่มต้นการสื่อสารต่อไป และเนื่องจากในระบบอินเทอร์เน็ตและ Cellular system มีความแตกต่างกันที่ ในระบบ Cellular system จะเป็นการให้บริการแบบ connection-oriented ซึ่งจะใช้การเพจเฉพาะเมื่อมีการเรียกเข้ามา (incoming call) ยังผู้ใช้เคลื่อนที่ ขณะที่ในระบบอินเทอร์เน็ตซึ่งเป็นการให้บริการแบบ connectionless แน่นอนว่าหากเพจในแต่ละแพ็กเกตข้อมูลที่เข้ามาจะทำให้เกิด overhead จำนวนมาก จึงมีการใช้หลักการกำหนดสถานะการทำงานของ MN (Mobile Node state) และ data session ขึ้น โดยที่ข้อมูลสถานะของ MN ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ สถานะในการทำงาน (operational state) และระยะเวลาในช่วงทำงาน (active state timer) สถานะในการทำงานของ MN สามารถเป็นได้ 2 สถานะคือ สถานะทำงาน (active) และสถานะไม่ทำงาน (idle) MN จะอยู่ในสถานะทำงานเมื่อตัวมันเพิ่งจะได้รับหรือส่งข้อมูลไม่เกินช่วงระยะเวลา active timer period โดยในแต่ละครั้งที่ MN รับหรือส่งแพ็กเกตข้อมูล อุปกรณ์จับเวลา (timer) จะถูก reset ทั้งที่ MN และ FA ที่กำลังให้บริการ MN ตัวนั้นๆอยู่ เมื่อ active timer นับครบช่วงเวลา active timer period สถานะของ MN ก็จะกลับเข้าสู่สถานะไม่ทำงาน และเมื่อ Idle MN มีการรับหรือส่งแพ็กเกตข้อมูล สถานะของ MN ก็จะเข้าสู่สถานะทำงาน และ active timer เริ่มทำงานอีกครั้ง

ระยะเวลา Active timer period ขึ้นอยู่กับการกำหนดของผู้ให้บริการ โดยถ้าแพ็กเกตในขบวนแพ็กเกต (packet train) อยู่ใกล้กันมากพอ สถานะการทำงานของ MN ก็จะยังคงอยู่ในสถานะทำงาน ตลอดระยะเวลาการส่งขบวนแพ็กเกตนั้น โดยเราเรียกว่าเป็น data session แทนการเรียก (call) ที่ใช้ใน cellular system และพิจารณา “holding time” ของ data session เหมือนกับ call holding time ในโครงข่ายที่เป็นแบบ connection-oriented

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เสนอวิธีปรับปรุงการทำงานและการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของโพรโทคอล Mobile IP และ P-MIP เพื่อลดต้นทุนการสัญญาณภายในระบบลง รวมถึงลดความไว (sensitivity) ของระบบที่มีต่อพารามิเตอร์ต่างๆในระบบลง โดยอาศัยแนวคิดในการแบ่งพื้นที่การเพจ (Paging Area, PA) ออกเป็นพื้นที่ย่อย (Sub-Paging Area, SPA)
2. ศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบ Mobile IP, P-MIP ที่มีขนาดของพื้นที่การเพจต่างๆกัน เปรียบเทียบกับวิธีที่เสนอทั้งในกรณีที่มีการจัดรูปแบบของพื้นที่การเพจเป็นแบบ non-overlapping และ overlapping paging area

1.3 แนวทางวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้การเพจในโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ เพื่อลดต้นทุนในการสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบรวมถึงเพิ่มความมั่นคงของระบบเพื่อให้โครงข่ายไม่ถูกกระทบโดยง่ายจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เปลี่ยนแปลง

แนวความคิดที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ มีดังนี้

1. เสนอวิธีปรับปรุงการทำงานและการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของโพรโทคอล Mobile IP และ P-MIP เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพการสัญญาณที่ดี กล่าวคือมีต้นทุนการสัญญาณต่ำและไม่ถูกกระทบโดยง่ายจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไป โดยอาศัยหลักการเพจท้องถิ่นแบบกระจายในพื้นที่การเพจย่อย รวมถึงการจัดสรรตัวแทนที่ทำหน้าที่ติดตามการเคลื่อนที่ของ MN ที่เหมาะสม

2. วิธีที่เสนอพิจารณาทั้งกรณีที่พื้นที่การเพจซ้อนทับกันและไม่ซ้อนทับกัน โดยในกรณีที่พื้นที่การเพจซ้อนทับกันได้เสนอแนวทางในการพัฒนา 2 รูปแบบโดยแต่ละรูปแบบมีการจัดวางพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อย รวมถึงตำแหน่งของตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ถูกลงทะเบียนไว้กับ HA (pFA, Paging Initiator) และตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ทำหน้าที่เริ่มต้นกระจายข่าวสารการเพจ(Registered FA, Sub-pFA) ที่แตกต่างกัน

1.4 ขอบเขตและเป้าหมายของวิทยานิพนธ์

1. เสนอโพรโทคอลจัดการสภาพเคลื่อนที่ในระบบ Mobile IP ให้มีประสิทธิภาพการสัญญาณดีขึ้น
2. สร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณของ Mobile IP, P-MIP ที่มีขนาดของ PA ต่างๆกัน และวิธีที่เสนอ

3. สร้างแบบจำลองการทำงานของวิธี Mobile IP, P-MIP และวิธีที่เสนอ ทั้งในกรณีที่พื้นที่การเพจเป็นแบบ overlapping PA และ non-overlapping PA
4. นำผลที่ได้จากการจำลองการทำงานของวิธีต่างๆ และผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์มาศึกษาถึงผลของพารามิเตอร์ต่างๆในระบบที่ส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณ รวมถึงเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่เสนอกับวิธี Mobile IP และ P-MIP

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ

1. ศึกษามาตรฐานและหลักการทำงานของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่
2. ศึกษางานวิจัยและแนวทางต่างๆที่ปรับปรุงประสิทธิภาพของโพรโทคอล อินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ที่เคยมีผู้นำเสนอ
3. พัฒนาแบบแผนการจัดการสภาพเคลื่อนที่ที่เสนอและวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพผ่านทางสมการเชิงคณิตศาสตร์
4. จำลองการทำงานของ Mobile IP, P-MIP และวิธีที่เสนอ
5. วิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานระหว่างแบบที่มีผู้นำเสนอกับวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์
6. สรุปผลและรวบรวมข้อมูลพร้อมทั้งจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แบบแผนการจัดการสภาพเคลื่อนที่ที่มีประสิทธิภาพ กล่าวคือต้นทุนการสัญญาณของระบบมีค่าต่ำและไม่ถูกกระทบได้โดยง่ายจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เปลี่ยนแปลง
2. เพื่อให้สามารถนำความรู้ที่ได้ไปประยุกต์ใช้งานกับระบบสื่อสารแบบเคลื่อนที่ในโครงข่าย Internet Protocol ได้
3. ทำให้ทราบถึงหลักการทำงานและปัญหาที่เกิดขึ้นของ Mobile IP รวมถึงแนวทางในการพัฒนา แก้ไข หรือปรับปรุงต่างๆที่ได้มีผู้เสนอไว้
4. ทำให้ได้เรียนรู้แนวทางในการทำงานวิจัย รวมถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาอันเนื่องมาจากการทำงานวิจัย

บทที่ 2

หลักการทำงานของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในช่วงระยะเวลาที่ผ่านมาถึงแม้ว่าโครงข่ายอินเทอร์เน็ตจะได้มีวิวัฒนาการอย่างรวดเร็วก็ตาม แต่จะเห็นได้ว่าการติดต่อสื่อสารผ่านอินเทอร์เน็ตก็ยังคงไม่ได้ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ในเรื่องของการติดต่อสื่อสารแบบเคลื่อนที่ได้ ดังเช่นที่เกิดขึ้นในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งประสบความสำเร็จเป็นอย่างมาก โดยสาเหตุที่โครงข่ายเคลื่อนที่ (Mobile Networking) ยังไม่เป็นที่แพร่หลายในระบบอินเทอร์เน็ตอาจจะเป็นเพราะมีอุปสรรคทางด้านเทคนิคบางอย่างที่กำลังรอการแก้ไข โดยสิ่งที่สำคัญที่สุดสำหรับโครงข่ายเคลื่อนที่ คือ เส้นทางการส่งแพ็กเกตของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ต (IP) ไปยังที่อยู่ไอพีปลายทาง ซึ่งที่อยู่ไอพีปลายทางเหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับตำแหน่งที่ตั้งประจำของโครงข่าย (fixed network location) ดังนั้นถ้าหากที่อยู่ไอพีปลายทางนั้นเป็นของโนดเคลื่อนที่ (mobile node) จะทำให้การติดต่อสื่อสารไม่เป็นไปอย่างต่อเนื่อง กล่าวคือ เมื่อโนดเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งการติดต่อสื่อสารตำแหน่งใหม่ (new point of attachment) ซึ่งตำแหน่งติดต่อสื่อสารตำแหน่งใหม่นี้จะมีหมายเลขประจำโครงข่ายเป็นของตนเอง ส่งผลให้โนดเคลื่อนที่จำเป็นจะต้องสร้างการติดต่อสื่อสารขึ้นใหม่ (มีที่อยู่ไอพีใหม่) และไม่สามารถรับแพ็กเกตที่มีที่อยู่ไอพีปลายทางที่มีหมายเลขประจำโครงข่ายเป็นของตำแหน่งติดต่อสื่อสารตำแหน่งเดิมได้เช่นที่ได้กล่าวมาแล้ว

ด้วยสาเหตุนี้ปัญหาดังกล่าวจึงได้รับการแก้ไขโดยมาตรฐาน Mobile IP ที่นำเสนอโดยกลุ่มทำงานหนึ่งซึ่งอยู่ภายในองค์กร IETF (Internet Engineering Task Force) กลุ่มๆ นี้มีชื่อว่ากลุ่มทำงาน Mobile IP (Mobile IP working group) Mobile IP ช่วยแก้ไขปัญหาเส้นทางการส่งแพ็กเกตไปยังโนดเคลื่อนที่ด้วยการอนุญาตให้โนดเคลื่อนที่ใช้ที่อยู่ไอพีได้ *2* ตัว นั่นคือ ที่อยู่ไอพีประจำบ้าน (fixed home address) และที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA: Care-of-Address) โดยที่ที่อยู่ไอพีชั่วคราวนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงทุกครั้งที่เคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งติดต่อสื่อสารตำแหน่งใหม่ สำหรับโครงสร้างของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ซึ่งถูกนำเสนอโดย IETF [5] ประกอบด้วย

1. โนดเคลื่อนที่ (Mobile Node, MN) คือโนดที่สามารถเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งที่ติดต่อกับอินเทอร์เน็ตจากข่ายเชื่อมโยงหนึ่งไปยังอีกข่ายเชื่อมโยงหนึ่ง โดยยังคงรักษาความต่อเนื่องของการสื่อสารไว้ได้และใช้ที่อยู่ Home address เป็นที่อยู่ถาวรในการติดต่อสื่อสาร

2. ตัวแทนบ้าน (Home Agent, HA) คือเราเตอร์ที่ต่ออยู่กับโครงข่ายบ้าน (Home Network) ของโนดเคลื่อนที่ โดยโนดเคลื่อนที่จะต้องแจ้งตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันให้กับตัวแทนบ้าน

ของตนรู้โดยกระบวนการลงทะเบียนเพื่อแจ้งที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA) ซึ่งเป็นที่อยู่ไอพีปัจจุบันที่โนดเคลื่อนที่ได้รับมาจากตัวแทนโครงข่ายภายนอก ภายหลังจากมีการเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งไปยังข่ายเชื่อมโยงข้อมูลใหม่ นอกจากนี้ HA ยังมีหน้าที่ในการเป็นตัวแทนในการรับแพ็กเกตข้อมูลที่ถูกส่งมาถึงโนดเคลื่อนที่เมื่อโนดเคลื่อนที่นั้นๆได้เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายบ้านและได้ลงทะเบียนขอรับบริการเอาไว้ ก่อนจะส่งต่อไปยังโนดเคลื่อนที่ผ่านทางที่อยู่ CoA

3. ตัวแทนโครงข่ายภายนอก (Foreign Agent, FA) คือเราเตอร์ที่ต่ออยู่กับโครงข่ายต่างพื้นที่ (Foreign Network) ของโนดเคลื่อนที่ โดยมีหน้าที่หลักคือการแจ้งที่อยู่ CoA ให้กับโนดเคลื่อนที่ นอกจากนี้ยังทำงานร่วมกับ HA ในการส่งต่อแพ็กเกตข้อมูลให้กับโนดเคลื่อนที่ขณะที่โนดเคลื่อนที่อยู่ในข่ายเชื่อมโยงภายนอก และในกรณีที่โนดเคลื่อนที่ต้องการส่งแพ็กเกตออกไปที่อื่น FA นี้ก็สามารถให้บริการเป็นดีฟอลต์เราเตอร์ให้แก่โนดเคลื่อนที่ที่ลงทะเบียนไว้ได้อีกด้วย

2.1 การทำงานของ Mobile IP

Mobile IP ถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นเพื่อแก้ไขปัญหาการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ในระบบ โดยแก้ไขปัญหาที่ชั้นโครงข่าย ทำให้อุปกรณ์สื่อสารไร้สายปลายทางยังคงสามารถติดต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ตลอดเวลาแม้ว่าจะมีการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์สื่อสารไร้สายเคลื่อนที่ข้ามโครงข่าย โดยในโพรโทคอลนี้ที่อยู่ประจำบ้าน (Home address) จะถูกใช้โดยโนดเคลื่อนที่ (MN) เป็นที่อยู่ถาวรและจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้การทำงานในชั้น TCP สามารถติดต่อสื่อสารกับ MN นี้ได้ตลอดเวลาโดยไม่ขาดการติดต่อ ขณะที่ที่อยู่ไอพีชั่วคราว (Care-of address) นั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งที่โนดเคลื่อนที่ได้ข้ามผ่านเข้าไป ดังนั้นหากมองที่วัตถุประสงค์ของที่อยู่แต่ละชนิดก็จะพบว่าที่อยู่ทั้งสองมีจุดประสงค์ในการใช้งานที่แตกต่างกัน โดยที่อยู่ประจำบ้านมีเพื่อให้โนดอื่นๆที่ต้องการติดต่อสื่อสารด้วยมองเห็นเหมือนกับว่าโนดเคลื่อนที่ยังคงอยู่ที่โครงข่ายบ้าน (Home network) ขณะที่ที่อยู่ชั่วคราวจะแสดงให้เห็นถึงตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันของโนดเคลื่อนที่ซึ่งจะมีเพียง HA เท่านั้นที่รู้ถึงที่อยู่นี้ โดยใน Mobile IP โนดที่เรียกว่า HA จะทำหน้าที่เป็นตัวแทนในการรับแพ็กเกตข้อมูลแทน MN เมื่อ MN นั้นๆไม่ได้อยู่ที่ Home network ดังนั้นเมื่อไรก็ตามที่ MN ได้เคลื่อนที่ออกจาก Home network จะต้องลงทะเบียนกับ HA เพื่อขอให้ HA เป็นตัวแทนในการรับแพ็กเกตข้อมูลแทน และเมื่อ HA ได้รับแพ็กเกตข้อมูลที่ส่งมาถึง MN ที่ได้ลงทะเบียนขอรับบริการไว้ HA ก็จะตรวจสอบบันทึกเพื่อค้นหาที่อยู่ CoA ของโนดเคลื่อนที่นั้นๆ ก่อนจะส่งต่อแพ็กเกตเหล่านี้ไปยังตำแหน่งปัจจุบันของ MN ต่อไป โดยขั้นตอนการทำงานของ Mobile IP มีดังนี้

1. ตัวแทนการเคลื่อนที่อันได้แก่ FA และ HA จะทำหน้าที่ในการประกาศข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement message) ในทุกๆคาบเวลาที่กำหนดไว้ เพื่อแจ้งโนดเคลื่อนที่ว่ามีตัวแทนใดกำลังให้บริการอยู่ในบริเวณนั้น
2. โนดเคลื่อนที่จะคอยรับข่าวสารประกาศจากตัวแทน และตรวจสอบที่อยู่ต้นทางของข่าวสารดังกล่าวว่า ขณะนี้โนดเคลื่อนที่กำลังติดต่ออยู่กับข่ายเชื่อมโยงบ้านหรือข่ายเชื่อมโยงภายนอก หากเป็นข่ายเชื่อมโยงบ้านโนดเคลื่อนที่จะไม่จำเป็นต้องขอรับบริการจาก HA และจะประพฤติเช่นโนดไม่เคลื่อนที่ตามปกติ นอกจากนี้ในกรณีที่เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายบ้าน โนดเคลื่อนที่ยังใช้ข่าวสารนี้ในการตรวจสอบว่ามีการเคลื่อนที่เปลี่ยนข่ายเชื่อมโยงข้อมูลแห่งใหม่หรือไม่
3. เมื่อโนดเคลื่อนที่กำลังอยู่ในโครงข่ายภายนอก จะได้รับที่อยู่ไอพีชั่วคราว CoA จาก FA ที่กำลังให้บริการในพื้นที่ดังกล่าว ซึ่งที่อยู่นี้สามารถอ่านได้จากส่วนของข้อมูลที่อยู่ในข่าวสารประกาศจาก FA หรืออาจจะได้รับจากกลไกการจัดหาอื่นๆ เช่น DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) ซึ่งในกรณีนี้ที่อยู่ไอพีที่ได้จะมีชื่อเรียกว่า co-located CoA
4. โนดเคลื่อนที่จะลงทะเบียนที่อยู่ CoA ที่ได้รับมากับ HA ทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายบ้าน โดยใช้หลักการแลกเปลี่ยนข่าวสารตามกระบวนการลงทะเบียนของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ เช่นเดียวกันเมื่อโนดเคลื่อนที่มีการเคลื่อนที่ไปยังโครงข่ายใหม่โนดเคลื่อนที่ก็จะต้องลงทะเบียนที่อยู่ชั่วคราวอันใหม่จาก FA ที่กำลังให้บริการ MN กับ HA ของตน เพื่อที่ว่าเมื่อมีแพ็กเกตข้อมูลถูกส่งมาถึง MN HA ก็จะรู้ได้ว่าควรจะส่งต่อไปที่ใด
5. เมื่อมีแพ็กเกตข้อมูลที่มีปลายทางถึงโนดเคลื่อนที่ส่งมายังโครงข่ายบ้านของโนดเคลื่อนที่นั้นๆ HA จะทำหน้าที่เป็นตัวแทนรับข้อมูลดังกล่าวก่อนจะส่งต่อให้กับโนดเคลื่อนที่ต่อไป โดยในขั้นตอนของการส่งต่อนี้ HA จะเพิ่มข้อมูลส่วนหัว (IP header) ที่มีที่อยู่ชั่วคราว (CoA) ของโนดเคลื่อนที่เป็นที่อยู่ไอพีปลายทางด้วยกระบวนการ encapsulation แพ็กเกตข้อมูลเดิม แล้วจึงส่งมายังที่อยู่ชั่วคราวของโนดเคลื่อนที่ นั่นคือ FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการโนดเคลื่อนที่อยู่และเมื่อ FA ได้รับแพ็กเกตก็จะ decapsulate แพ็กเกตก่อนจะส่งให้กับ MN ต่อไป ในทางกลับกันกรณีที่โนดเคลื่อนที่ต้องการส่งแพ็กเกตให้กับ CN (Correspondent Node) ใดๆจะใช้วิธีการจัดเส้นทางผ่านโครงข่ายไอพีตามปกติโดยไม่จำเป็นต้องส่งผ่าน HA

หลักการทำงานของ Mobile IP ประกอบด้วยกระบวนการทำงาน 3 ส่วนหลัก ที่ต้องทำงานร่วมกันดังต่อไปนี้

- กระบวนการค้นหาตัวแทน (Mobile Agent Discovery)
- กระบวนการลงทะเบียน (Registration)
- กระบวนการรับและส่งแพ็กเกตของโนดเคลื่อนที่ (Routing and tunneling)

2.2 กระบวนการค้นหาตัวแทน (Mobile Agent Discovery)

การค้นหาตัวแทนเป็นกระบวนการที่กระทำโดยโนดเคลื่อนที่เพื่อตรวจสอบว่าปัจจุบันโนดเคลื่อนที่อยู่บนโครงข่ายบ้าน (Home network) หรือโครงข่ายต่างพื้นที่ (Foreign network) และยังใช้ในการตรวจสอบว่าโนดเคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่เปลี่ยนข่ายเชื่อมโยงแล้วหรือยังคงอยู่ในข่ายเชื่อมโยงเดิม เพื่อที่ MN จะได้รู้ว่าต้องรับที่อยู่ชั่วคราว (CoA) จากตัวแทนโครงข่ายต่างพื้นที่ (FA) เพื่อลงทะเบียนต่อไปหรือไม่ สำหรับกระบวนการค้นหาตัวแทนจะประกอบด้วยข่าวสาร 2 ชนิดดังนี้

1) ข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement) เป็นข่าวสารที่ประกาศโดยตัวแทนการเคลื่อนที่ทั้ง FA และ HA สำหรับประกาศเพื่อแจ้งให้ MN ทราบว่ามีตัวแทนอยู่ในบริเวณที่ MN สามารถติดต่อสื่อสารด้วยได้หรือไม่

2) ข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทน (Agent Solicitation) เป็นข่าวสารที่ MN ส่งถึงตัวแทนเพื่อขอให้ตัวแทนในบริเวณใกล้เคียงส่ง Agent Advertisement มาให้ MN เมื่อตัวแทนใดๆ ก็ตามได้รับ Agent Solicitation นี้ก็จะส่ง Agent Advertisement ทันทีโดยกำหนดปลายทางการส่งเป็น MN ที่เริ่มต้นส่งข่าวสารร้องขอข่าวสารการประกาศจากตัวแทน

2.2.1 รูปแบบข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทน (Agent Solicitation)

ข่าวสารที่ใช้สำหรับการร้องขอการประกาศจากตัวแทนที่กำหนดโดยโพรโทคอล Mobile IP เป็นข่าวสารชนิดเดียวกับข่าวสารร้องขอเราเตอร์ หรือ ICMP (Internet Control Message Protocol) Router Solicitation ยกเว้นบางส่วนเท่านั้นที่มีความแตกต่างกันระหว่างข่าวสารสองประเภทนี้ เช่นในการร้องขอการประกาศจากตัวแทนจะกำหนดค่า Time To Live : TTL ให้เป็น 1 โดยเมื่อตัวแทนใดๆ ก็ตามได้รับข่าวสารร้องขอการประกาศ ตัวแทนนั้นจะส่งข่าวสารประกาศให้แก่

โนดที่ส่งข่าวสารร้องขอทันทีนอกจากนี้ในส่วนของ Type จะถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 10 ดังกำหนดใน RFC 1256 โดยรูปแบบของข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทนแสดงไว้ในรูปที่ 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 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 ข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทน (Agent Solicitation)

2.2.2 **รูปแบบข่าวสารประกาศจากตัวแทน** (Agent Advertisement)

ข่าวสารประกาศจากตัวแทนเป็นข่าวสารที่ได้จากการเพิ่มส่วนขยายเข้ากับข่าวสาร ICMP Router Advertisement ดังกำหนดใน RFC 1256 โดยตัวแทนจะเติมส่วนขยายที่มีชื่อว่า Mobility Agent Advertisement ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.2 สำหรับส่วนขยาย Prefix – Length Extension อาจจะมีอยู่ในข่าวสารหรือไม่ก็ได้ โดยส่วนขยายส่วนนี้จะถูกใช้โดยโนดเคลื่อนที่สำหรับตรวจสอบได้เคลื่อนที่ไปยังโครงข่ายย่อยโครงข่ายอื่นแล้วหรือไม่

จากรูปจะเห็นได้ว่าข่าวสารดังกล่าวประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่

1) **ส่วนหัวของไอพี** (IP header)

MN จะพิจารณาข้อมูลจากส่วนหัวของไอพีในข่าวสารประกาศจากตัวแทนในการตรวจสอบว่าปัจจุบัน MN กำลังต่ออยู่กับข่ายเชื่อมโยงใด

- หากส่วน network prefix ของที่อยู่ไอพีต้นทาง (IP Source Address) ตรงกันกับ network prefix ของที่อยู่บ้าน (home address) ของโนดเคลื่อนที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าที่อยู่ไอพีต้นทางตรงกันกับที่อยู่ของตัวแทนบ้าน จะหมายความว่าโนดเคลื่อนที่กำลังต่ออยู่กับข่ายเชื่อมโยงบ้าน โนดเคลื่อนที่จึงไม่จำเป็นต้องอาศัยกระบวนการสนับสนุนการเคลื่อนที่ และจะถอนการลงทะเบียนการรับบริการจาก HA

- หากตรวจสอบแล้วพบว่าไม่ได้อยู่ในโครงข่ายบ้าน โนดเคลื่อนที่จะต้องตรวจสอบว่าได้เคลื่อนที่เปลี่ยนข่ายเชื่อมโยงหรือไม่นับจากที่ได้รับข่าวสารประกาศครั้งล่าสุด ถ้าโนดเคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่ไปยังข่ายเชื่อมโยงใหม่ โนดเคลื่อนที่ก็จะหาที่อยู่ CoA ใหม่ แล้วลงทะเบียนที่อยู่ใหม่นี้เพื่อแจ้งตำแหน่งปัจจุบันของโนดเคลื่อนที่ ให้ HA รับทราบต่อไป

2) **ส่วนประกาศเราเตอร์โพรโทคอลข่าวสารควบคุมอินเทอร์เน็ต** (ICMP Router Advertisement)

ข่าวสารประกาศนี้จะมีค่าในส่วนของ Type เป็น 9 เพื่อระบุว่าเป็นข่าวสารประกาศ ในส่วนรหัสตรวจสอบความถูกต้อง หรือ Checksum จะใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข่าวสาร สำหรับค่าในส่วนของ Lifetime เป็นค่าที่บอกถึงคาบเวลาในการส่งข่าวสารประกาศ โดยโนดเคลื่อนที่จะใช้ค่านี้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่

3) **ส่วนขยายการประกาศจากตัวแทนการเคลื่อนที่** (Mobility Agent Advertisement)

ส่วนขยายนี้มีส่วนของ Type และ Length เพื่อใช้บอกชนิดของส่วนขยาย และความยาวของข้อมูลในส่วนขยาย โดยกำหนดให้ Type มีค่าเท่ากับ 16 เพื่อบอกว่าเป็นส่วนขยายการประกาศตัวแทน ส่วน Length บอกความยาวเป็นจำนวนไบต์ของข้อมูล ซึ่งไม่นับรวมส่วน Type และ Length เข้าไปด้วย

ค่า Sequence บอกถึงลำดับของการส่งข่าวสารประกาศที่สำเร็จ โดยเมื่อตัวแทนเปิดเครื่องใหม่ (reboot) ตัวแทนจะล้างข้อมูลในส่วนของหมายเลขแสดงลำดับ (Sequence Number) ให้เป็นศูนย์ทั้งหมด ถ้าโนดเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารมี Sequence เป็นศูนย์ทั้งหมด จะหมายความว่าตัวแทนเพิ่งจะเปิดเครื่องใหม่และไม่มีข้อมูลของโนดเคลื่อนที่ โนดเคลื่อนที่จะต้องลงทะเบียนใหม่กับตัวแทนนั้นๆ

ค่าแสดงอายุของการลงทะเบียน (Registration Lifetime) ใช้ตรวจสอบการหมดอายุของการลงทะเบียน เมื่อช่วงอายุนี้หมดลงโนดเคลื่อนที่จะต้องลงทะเบียนใหม่กับตัวแทน ซึ่งแตกต่างกับค่าแสดงอายุของข่าวสารประกาศจากเราเตอร์ (Router Advertisement Lifetime) และบิต R บิต M บิต G และ บิต V จะถูกใช้ในการลงทะเบียนและการจัดเส้นทาง

บิต H และ F เป็นค่าที่บอกให้ทราบว่าข่าวสารนี้ถูกส่งมาจากตัวแทนซึ่งสามารถทำหน้าที่เป็น HA หรือ FA ได้หรือไม่ ถ้าข่าวสารนี้ส่งมาจากตัวแทนที่ทำหน้าที่เป็นทั้งตัวแทนต่างบ้านและตัวแทนบ้านดังนั้น บิต F และบิต H จะถูกกำหนดค่าให้เป็น 1 ทั้งคู่ ส่วนของบิต B จะถูกกำหนดเพื่อบอกว่า ตัวแทนยุ่งเกินกว่าจะให้บริการโนดเคลื่อนที่อื่นได้อีก และโนดเคลื่อนที่ที่ได้รับข่าวสารนี้ควรจะค้นหาตัวแทนอื่นเพื่อขอลงทะเบียน

4) **ส่วนขยาย** Prefix-Lengths (Prefix Lengths Extension)

ข้อมูลส่วนนี้ใช้สำหรับการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่ว่ามีการเคลื่อนที่ไปยังโครงข่ายย่อยใหม่แล้วหรือไม่ โดยมีส่วนของ Type และ Length ไว้เพื่อบอกชนิดและความยาวของส่วนข้อมูลของส่วนขยายนี้ โดย Type ถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 19

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 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 IP Address = Mobile Node's home address				
Destination IP Address = 255.255.255.255 (broadcast) or 224.0.0.1 (multicast)				
Type = 9	Code	Checksum		ICMP Router Advertisement
Num Addrs	Addr Entry Size	Lifetime (of this Advertisement)		
Router Address [1]				
Preference Level [1]				
Router Address [2]				
Preference Level [2]				
…				
Type = 16	Length	Sequence Number		Mobility Agent Advertisement Extension
(maximum) Registration Lifetime		R B H F M G V	reserved	
Care-of-Address [1]				
Care-of-Address [2]				
…				
Type = 19	Length	Prefix-Length [1]	Prefix-Length [2]	Prefix-Length Extension (Optional)
…	…			

รูปที่ 2.2 ข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement)

กลไกของ MN ในการตรวจวัดว่าได้มีการเคลื่อนที่ข้ามโครงข่าย (FA) หรือไม่ สามารถทำได้ 2 วิธี คือ การใช้ค่า Lifetimes ของ Agent Advertisement และการใช้หมายเลขประจำโครงข่าย (network-prefixes)

วิธีตรวจสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ Lifetime

วิธีตรวจสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ค่า Lifetime หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า LCS (Lazy cell switching) จะใช้ข้อมูลจากส่วนของ Lifetimes ภายในข่าวสารประกาศจากเราเตอร์ (ICMP Router Advertisement) ที่อยู่ในข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement) โดยข่าวสารประกาศจากตัวแทนนี้จะถูกกระจายเป็นคาบๆผ่านข่ายเชื่อมโยงไร้สายของแต่ละ FA ซึ่งค่า Lifetimes จะบอกถึงช่วงเวลาที่ MN จะได้รับข่าวสารประกาศใหม่อีกครั้งจากตัวแทนตัวเดียวกัน โดยเพื่อป้องกันความผิดพลาดหรือข่าวสารสูญหายระหว่างทาง ตัวแทนจะประกาศข่าวสารนี้ด้วยคาบเวลาสั้นกว่าค่า Lifetime กล่าวคือ คาบในการประกาศ Agent Advertisement จะมีค่าประมาณหนึ่งในสามของค่า Lifetime หรือต่ำกว่า [6]

ถ้า MN ได้ลงทะเบียนไว้กับ FA แล้ว แต่ MN ยังไม่ได้รับ Agent Advertisement จากตัวแทนเดิมภายในช่วงเวลา Lifetime ที่ได้บันทึกเอาไว้ MN จะสันนิษฐานว่าได้มีการเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ให้บริการของ FA ตัวเดิมแล้ว หรือไม่ก็เป็นเพราะ FA ทำงานผิดพลาด จากกรณีเช่นนี้ MN จะตรวจสอบว่าในระหว่างช่วงเวลาที่ช่วงเวลา Agent Advertisement lifetime ยังไม่หมดอายุ MN ได้รับข่าวสารการประกาศจาก FA อื่นๆหรือไม่ ถ้าได้รับ MN ก็จะส่งข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนกับ FA นั้นเพื่อเริ่มต้นกระบวนการลงทะเบียนต่อไป แต่หาก MN ไม่ได้รับ Agent Advertisement จาก FA ตัวใดเลย MN จะส่ง Agent Solicitation message เพื่อร้องขอให้ตัวแทนในบริเวณใกล้เคียงที่รับข่าวสารนี้ช่วยส่ง Agent Advertisement กลับมายัง MN โดยทันที

วิธีตรวจสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ Network-Prefixes

วิธีตรวจสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ค่า Network Prefix หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ECS (Eager cell switching) สมมติให้ MN ซึ่งได้ลงทะเบียนกับตัวแทนโครงข่ายต่างพื้นที่ 1 (FA1) และได้รับข่าวสารประกาศจากตัวแทน MN จะต้องแยกแยะที่มาของข่าวสารประกาศนี้ด้วยการตรวจสอบ Network Prefix ในข่าวสารนั้นๆว่าเหมือนกับ Network Prefix ที่ได้รับจากข่าวสารประกาศจากตัวแทนเดิม (FA1) หรือไม่ อย่างไรก็ตามกระบวนการตรวจสอบนี้จะทำได้ก็ต่อเมื่อข่าวสารประกาศจากตัวแทนมีส่วนของ Prefix Length Extension อยู่ในข่าวสารด้วย

ถ้าหาก MN ตรวจสอบพบว่าข่าวสารประกาศจากตัวแทนที่ได้รับมาใหม่ มี Network Prefix แตกต่างจากข่าวสารเดิมที่เคยได้รับ MN จะเข้าใจว่าตัวเองได้เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายต่างพื้นที่เดิมแล้ว และจะลงทะเบียนกับตัวแทนโครงข่ายต่างพื้นที่ใหม่ทันที แต่ถ้าหากข่าวสารประกาศทั้ง 2 มี Network Prefix เหมือนกัน แสดงว่า MN ไม่ได้เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายเดิม จึงไม่ต้องลงทะเบียนซ้ำกับโครงข่ายเดิมอีกครั้ง

อย่างไรก็ตามวิธีทั้งสองมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกันคือ ในกรณีของ LCS จะพบว่า MN จะต้องรอจนกว่าช่วงเวลา Lifetime จะหมดอายุจึงจะลงทะเบียนใหม่ทั้งๆที่ได้เคลื่อนที่เข้ามายังพื้นที่ให้บริการของ FA ใหม่แล้วอันอาจส่งผลให้เกิดการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลได้ ขณะที่ในกรณีของ ECS MN จะลงทะเบียนกับ FA ใหม่ทันทีเมื่อได้รับข่าวสารการประกาศที่ถูกส่งมาจาก FA ใหม่ ส่งผลให้อาจเกิดการลงทะเบียนกลับไปมาซ้ำๆโดยไม่จำเป็นได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณรอยต่อของพื้นที่ให้บริการของแต่ละ FA

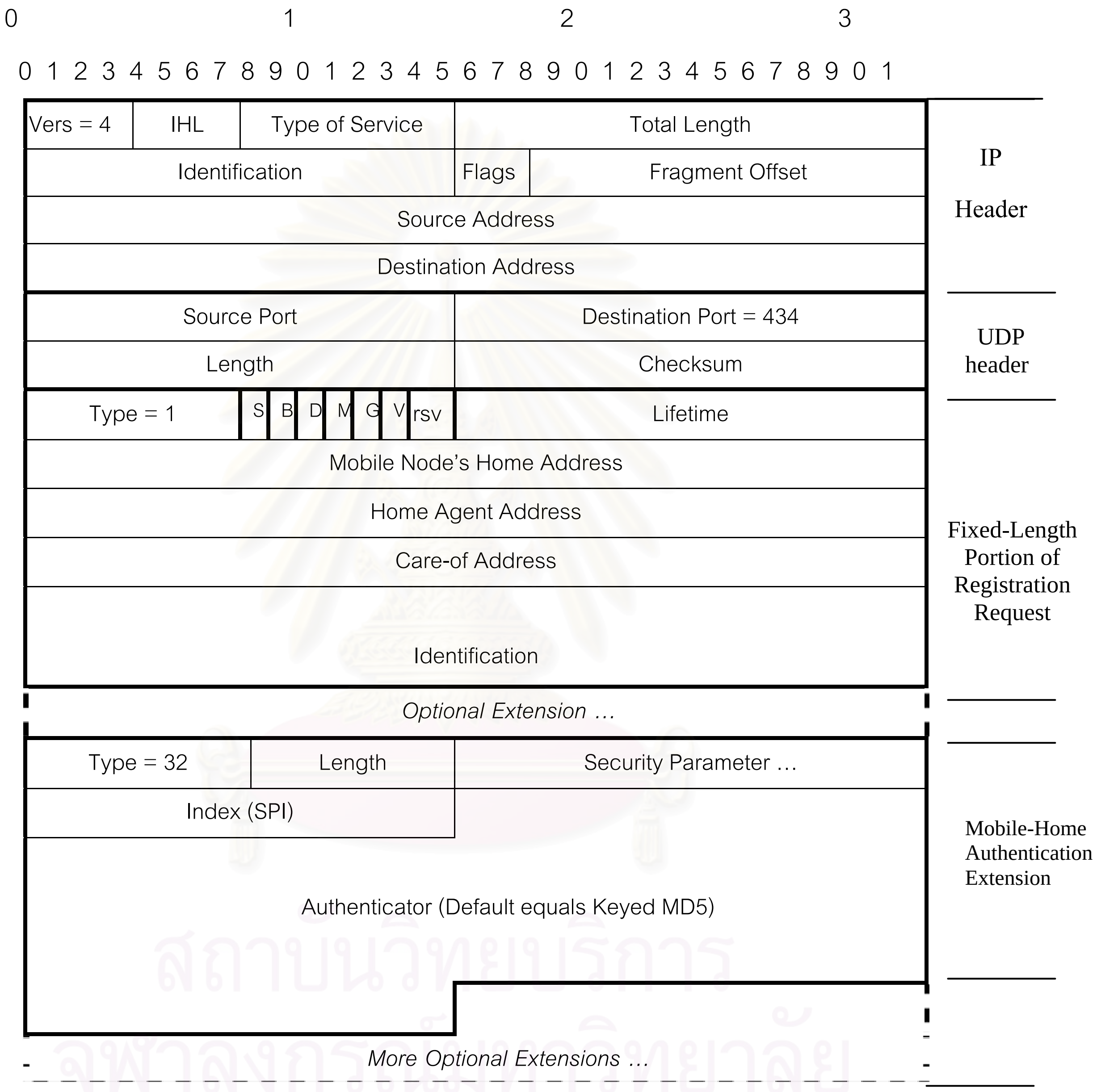
2.3 กระบวนการลงทะเบียน (Registration)

MN จะลงทะเบียนกับตัวแทนบ้าน (HA) เมื่อ MN พบว่าได้เคลื่อนที่เปลี่ยนโครงข่ายย่อย (subnet) โดยการลงทะเบียนในแต่ละครั้งจะถูกกำหนดอายุของการลงทะเบียน (Registration Lifetime) เอาไว้ และก่อนการลงทะเบียนจะหมดอายุลง MN จะต้องลงทะเบียนใหม่อีกครั้งกับตัวแทนเดิม แม้ว่าจะไม่ได้เคลื่อนที่เปลี่ยนโครงข่ายย่อยก็ตาม กระบวนการลงทะเบียนมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. เมื่อ MN ตรวจพบว่าได้เคลื่อนที่ออกจาก Home network ของตัวเองไปยังโครงข่าย Foreign network MN จะต้องลงทะเบียนที่อยู่ไอพีชั่วคราวที่ได้รับมาใหม่จาก FA (CoA) กับ HA
2. ทุกๆครั้งที่มีการเคลื่อนที่เปลี่ยนโครงข่ายไปยัง FA ใหม่ MN จะได้รับที่อยู่ไอพีชั่วคราวอันใหม่ และจะต้องลงทะเบียนที่อยู่นี้กับ HA ที่อยู่ที่ Home network ของ MN
3. MN จะต้องลงทะเบียนใหม่อีกครั้งถ้าการลงทะเบียนในครั้งล่าสุดหมดอายุลงแล้ว
4. MN จะยกเลิกการลงทะเบียน (สำหรับการรับบริการสนับสนุนการเคลื่อนที่) กับ HA เมื่อ MN พบว่าได้เคลื่อนที่กลับมายัง Home network และจะทำงานเหมือนเป็นโนดที่อยู่กับที่ตัวหนึ่ง โดยไม่ต้องใช้บริการสนับสนุนการเคลื่อนที่
5. เมื่อ MN ได้แจ้งการลงทะเบียนกับ CoA ให้ HA รับทราบแล้ว ถ้า HA ได้รับแพ็กเกตที่มีปลายทางส่งถึง MN แล้ว HA จะสำเนาแพ็กเกตนั้นแล้วส่งให้กับ MN โดยกำหนดให้มีปลายทางถึง CoA ของ MN ตัวนั้นๆ

การลงทะเบียนตามโพรโทคอล Mobile IP เกิดขึ้นโดยกระบวนการแลกเปลี่ยนข่าวสาร 2 ชนิด คือ ข่าวสารร้องขอลงทะเบียน (Registration request message) และข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน (Registration reply message) โดยข่าวสารการลงทะเบียนนี้จะถูกส่งด้วยรูปแบบที่เป็นไอพีแพ็กเกตที่มี payload เป็นดาตาแกรมของโพรโทคอลยูดีพี (UDP : User Datagram Protocol) รูปที่ 2.3 แสดงรูปแบบของข่าวสารร้องขอลงทะเบียน ขณะที่รูปที่ 2.4 แสดงเฉพาะส่วน

ที่เป็น Fixed-Length Portion ของข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน เนื่องจากส่วนนี้เป็นเพียงส่วนเดียวที่ทำให้ข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนแตกต่างจากข่าวสารร้องขอลงทะเบียน



รูปที่ 2.3 ข่าวสารร้องขอลงทะเบียน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

0 1 2 3 4 5 6 7	8 9 0 1 2 3 4 5	6 7 8 9 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0 1
Type = 3	Code	Lifetime
Mobile Node's Home Address		
Home Agent Address		
Identification		

Fixed-Length Portion of Registration Reply

รูปที่ 2.4 ส่วน Fixed-Length Portion ของข้อความตอบรับการลงทะเบียน

ในส่วนของ Fixed-Length Portion ค่า Type จะมีค่าเป็น 1 เมื่อเป็นข่าวสารร้องขอการลงทะเบียน และจะมีค่าเป็น 3 เมื่อเป็นข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน บิต S จะถูกกำหนดเป็น 1 เมื่อ MN ต้องการให้ HA ทำ simultaneously binding ที่อนุญาตให้ MN มีที่อยู่ CoA ได้มากกว่าหนึ่งที่อยู่ในช่วงเวลาเดียวกัน ขณะที่บิต B, D, M, G และ V กำหนดเพื่อใช้ในการจัดเส้นทางของแพ็กเกต โดยบิต B ที่กำหนดหมายความว่า MN ร้องขอให้ HA ส่งบรอดคาสต์ดาตาแกรมมาให้ ส่วนบิต D แสดงถึงว่า MN จะทำ dacapsulation แพ็กเกตข้อมูลเอง ซึ่งเป็นกรณีที่ MN ได้รับที่อยู่ไอพีชั่วคราวแบบ co-located CoA ส่วนบิต M มีไว้ในการสั่งให้ HA ใช้การ Encapsulation แบบ Minimal encapsulation และบิต G มีไว้เพื่อบอกว่า Encapsulation ที่ใช้เป็นแบบ Generic Routing Encapsulation: GRE

ส่วนของ Code ในข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนเป็นส่วนที่ระบุว่า HA ตอบรับการขอลงทะเบียนหรือปฏิเสธ รวมถึงบอกเหตุผลในการปฏิเสธด้วย ขณะที่ส่วน Identification มีไว้เพื่อใช้ในการป้องกันความปลอดภัยของข้อมูลของข่าวสารร้องขอลงทะเบียนและข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน โดยจะเป็นค่าที่ไม่ซ้ำกับใครและจะใช้ร่วมกับ Mobile-Home Authentication Extension เพื่อยืนยันตัวผู้สนทนา

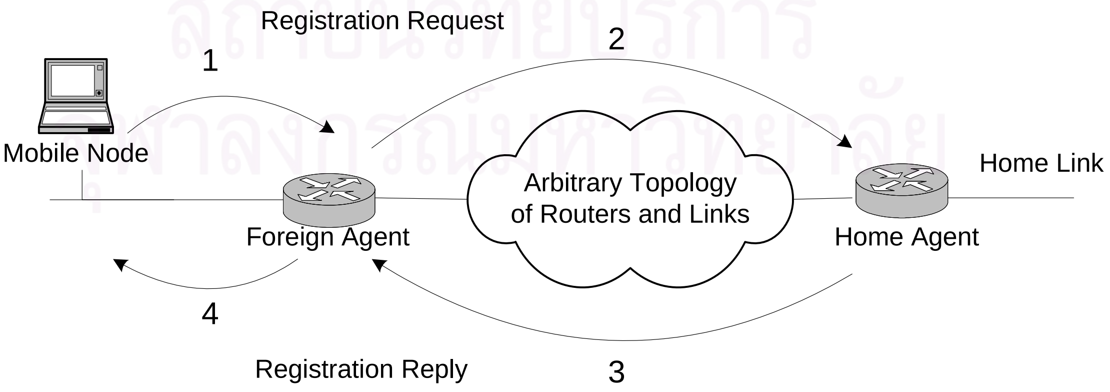
นอกจากนี้ภายในข่าวสารการลงทะเบียนยังประกอบด้วยข้อมูลหลักอีก 3 ส่วนคือ ที่อยู่ประจำบ้าน (Home address), ที่อยู่ไอพีชั่วคราว (Care-of address) และช่วงเวลาอายุของการลงทะเบียน (Registration Lifetime) เมื่อ HA ได้รับข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนที่ถูกส่งมาจาก MN ผ่านทาง FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการโนดเคลื่อนที่อยู่ HA จะบันทึกข้อมูลที่เรียกว่า binding ของ MN นั้นๆเอาไว้แล้วจึงส่งข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนกลับไปยัง MN ผ่านทาง FA (CoA) เพื่อบอกว่าตอบรับหรือปฏิเสธการลงทะเบียนนี้ เมื่อ FA ได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนก็จะส่งต่อให้กับ MN ต่อไป โดยที่ HA จะมีการปรับปรุงค่า binding (Binding update) เมื่อได้รับ

ข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนอันใหม่ที่ถูกส่งมาจาก MN โดยหากครบช่วงระยะเวลาอายุของการลงทะเบียนแล้ว HA ยังไม่ได้รับข่าวสารการลงทะเบียนใหม่จากโนดเคลื่อนที่นั้น ข้อมูลของ MN ตัวนั้นก็จะถูกลบทิ้งไป

จะเห็นได้ว่ากระบวนการลงทะเบียนของ MN หรือที่เรียกอีกอย่างว่า binding update เป็นการทำ remote redirect ประเภทหนึ่ง เนื่องจากเป็นข่าวสารที่ถูกส่งจากระยะไกลมายัง HA เพื่อเปลี่ยนตารางการจัดเส้นทางของ HA จึงทำให้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีวิธีการตรวจสอบยืนยัน (Authentication) เพื่อให้ HA มั่นใจได้ว่าข่าวสารการลงทะเบียนที่ได้รับมานี้ถูกส่งมาจาก MN จริงๆ ไม่ใช่จากโนดอื่นๆที่ประสงค์จะให้เกิดความผิดพลาด (malicious node) ซึ่ง malicious node นี้สามารถส่งผลให้ HA ปรับตารางการจัดเส้นทางใหม่และส่งแพ็กเกตข้อมูลไปยังตำแหน่งที่ผิดพลาดได้ ทำให้ MN ไม่ได้รับข้อมูลใดๆจากโครงข่ายอินเทอร์เน็ตเลย ดังนั้นในกระบวนการออกแบบ Mobile IP เพื่อใช้งานจริงจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึงกระบวนการยืนยันความถูกต้องของตัวบุคคลรวมถึงการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล สำหรับใน Mobile IP แต่ละ MN และ HA จะต้องมีกระบวนการรักษาความปลอดภัย (security association) ร่วมกัน โดยข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการดังกล่าวจะถูกบรรจุอยู่ในข่าวสารการสัญญาณระหว่างผู้ใช้เคลื่อนที่กับตัวแทนที่ติดต่อสื่อสารด้วย

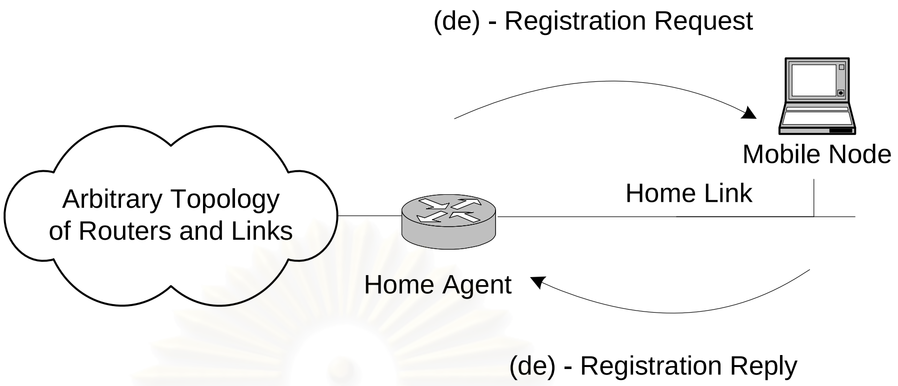
ขั้นตอนการลงทะเบียน ประกอบด้วยการส่งข่าวสารร้องขอลงทะเบียนและการได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนระหว่าง MN กับตัวแทน ซึ่งหมายถึง HA หรือ FA ก็ได้ การลงทะเบียนสามารถทำได้ 2 ลักษณะคือ

1. การลงทะเบียนกับ HA ผ่านข่ายเชื่อมโยงข้อมูลภายนอก โดยใช้ CoA ที่ได้จากข่าวสารประกาศของ FA (รูปที่ 2.5)



รูปที่ 2.5 การลงทะเบียนบนข่ายเชื่อมโยงข้อมูลต่างพื้นที่ โดยใช้ CoA ของ FA

2. MN ถอนการลงทะเบียนกับ HA เมื่อเคลื่อนที่กลับมาที่ข่ายเชื่อมโยงบ้าน (รูปที่ 2.6)



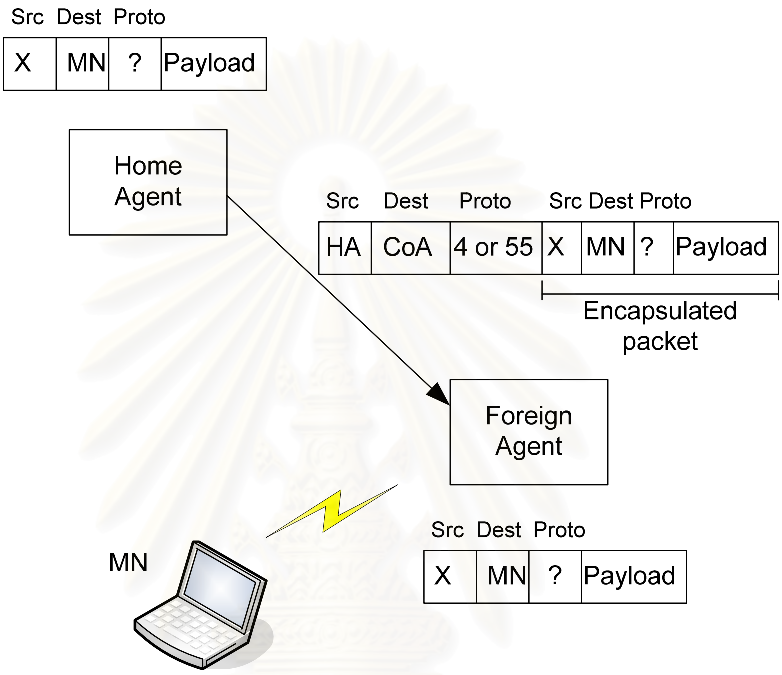
รูปที่ 2.6 MN ถอนการลงทะเบียนเมื่อเคลื่อนที่กลับมาที่ข่ายเชื่อมโยงบ้าน

ในกรณีที่ MN เคลื่อนที่กลับมายัง Home network โนดเคลื่อนที่ก็จะยกเลิกการลงทะเบียนกับ HA เพื่อรับแพ็กเกตข้อมูลเองโดยใช้กลไกเช่นเดียวกับระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ตามปกติ นอกจากนี้หลังจากที่ MN ได้ส่งข่าวสารร้องขอลงทะเบียนไปแล้ว หาก MN ไม่ได้รับข้อความตอบรับการลงทะเบียนภายในระยะเวลาที่เหมาะสมแล้ว MN จะส่งข่าวสารร้องขอลงทะเบียนซ้ำอีกครั้งหนึ่ง จนกว่าจะได้รับข้อความตอบรับการลงทะเบียน โดยการเว้นช่วงเวลาระหว่างการส่งข่าวสารร้องขอลงทะเบียนตามที่ได้กำหนดไว้ในโพรโทคอล คือ ช่วงเวลาที่น้อยกว่าหรือเท่ากับช่วงเวลาระหว่างการส่งข้อความร้องขอลงทะเบียนที่เคยใช้ส่งในครั้งก่อนหน้า และจะส่งซ้ำเช่นนี้ในจำนวนครั้งที่กำหนดเท่านั้น ถ้ายังไม่ได้รับการตอบสนองใดๆ MN จะเข้าใจว่า FA ที่กำลังให้บริการอยู่ ณ ปัจจุบัน ทำงานผิดพลาด MN จะพยายามติดต่อกับ FA อื่นๆที่อยู่ใกล้เคียง โดยใช้การส่ง Agent Solicitation เพื่อขอรับที่อยู่ CoA ใหม่และเพื่อใช้ในกระบวนการลงทะเบียนต่อไป

2.4 **กระบวนการรับและส่งแพ็กเกตของโนดเคลื่อนที่** (Routing and tunneling)

เราสามารถแบ่งพิจารณาการรับและส่งแพ็กเกตของโนดเคลื่อนที่ออกได้เป็น 2 กรณี คือ กระบวนการรับแพ็กเกตข้อมูลของ MN และกระบวนการส่งแพ็กเกตข้อมูลออกของ MN สำหรับกระบวนการรับแพ็กเกตข้อมูลของ MN กรณีที่ MN ยังคงอยู่บน Home network การรับและส่งแพ็กเกตของ MN มีการทำงานเหมือนกับการจัดเส้นทางของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตตามปกติ ไม่จำเป็นต้องอาศัยกระบวนการพิเศษใดๆ แต่หากขณะนั้น MN อยู่บนโครงข่าย Foreign network เนื่องจากโนด CN ใดๆที่ต้องการติดต่อกับ MN จะรู้เพียงที่อยู่บ้านของ MN เท่านั้นและมองเห็นเหมือนกับว่า MN อยู่ที่ Home network ตลอดเวลา CN จึงส่งแพ็กเกตข้อมูลที่มีที่อยู่ไอพี

ปลายทางเป็นที่อยู่ Home address ของ MN HA ของโนดเคลื่อนที่ตัวนั้นจะเป็นตัวแทนในการรับแพ็กเกตข้อมูลพร้อมๆกับตรวจสอบดูใน binding list ก่อนจะ encapsulate แพ็กเกตข้อมูลเดิมด้วยเฮดเดอร์อันใหม่ซึ่งมีที่อยู่ต้นทางเป็นที่อยู่ของ HA และมีที่อยู่ไอพีปลายทางเป็นที่อยู่ CoA ที่ MN ได้ลงทะเบียนไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 กระบวนการ Encapsulation และส่งข้อมูลให้กับ MN

รูปที่ 2.7 แสดงให้เห็นถึงกระบวนการ Tunneling แพ็กเกตข้อมูลจาก HA มายังตำแหน่งปัจจุบันของ MN (CoA) โดยกระบวนการ Encapsulation ขั้นพื้นฐานที่ตัวแทนการเคลื่อนที่ทุกตัวในโพรโทคอล Mobile IP จะต้องรองรับคือ IP-within-IP [7] ในกระบวนการนี้เริ่มต้นที่ HA จะเพิ่มส่วนของไอพีเฮดเดอร์ใหม่ หรือที่เรียกว่า tunnel header เข้าไปที่ส่วนหน้าของแพ็กเกตเดิม (ซึ่งมีที่อยู่ปลายทางเป็นที่อยู่บ้านของ MN) โดย tunnel header นี้จะมีที่อยู่ไอพีปลายทางเป็นที่อยู่ไอพีชั่วคราวของโนดเคลื่อนที่ (CoA) และมีที่อยู่ไอพีต้นทางเป็นที่อยู่ของ HA จากรูปจะเห็นว่าแพ็กเกตที่ถูกส่งจาก HA มายัง FA ในส่วนของเฮดเดอร์จะมีฟีลด์ protocol ถูกกำหนดเป็น 4 โดยส่วนนี้เป็นส่วนที่ระบุว่าข้อมูลในดาตาแกรมเป็นของโพรโทคอลในชั้นสูงกว่าชนิดใด (higher level protocol number) ซึ่งในกรณีนี้แสดงว่าโพรโทคอลเฮดเดอร์ถัดไปคือ ไอพีเฮดเดอร์

ใน IP-within-IP ไอพีแพ็กเกตดั้งเดิม (original IP packet) ทั้งแพ็กเกตจะถูกบรรจุเป็น payload ในแพ็กเกตใหม่ดังรูปที่ 2.7 ดังนั้นเพื่อให้ได้แพ็กเกตเดิมคืนมา FA จึงสามารถทำได้เพียงแค่ถอดส่วนที่เป็น tunnel header นี้ออกและส่งต่อไปยัง MN นอกจากนี้จะเห็นว่าแพ็กเกตที่ถูกส่ง

จาก HA ไปยัง FA อาจมีการกำหนดส่วนของ protocol เป็น 55 ซึ่งจะมีความหมายว่า HA ได้ทำการ Encapsulation ในรูปแบบที่เรียกว่า minimal encapsulation [RFC 2004] แทนการใช้แบบ IP-within-IP โดยกระบวนการในการประมวลผล minimal encapsulation header นี้จะมีความซับซ้อนมากกว่าในกรณี IP-within-IP เล็กน้อยเนื่องจากข้อมูลในส่วนของ tunnel header จะถูกรวมเข้ากับส่วนของ inner minimal encapsulation header เพื่อคำนวณ IP header ดั้งเดิมออกมา อย่างไรก็ตามวิธีการ encapsulation แบบนี้จะสามารถลด overhead ที่อยู่ในส่วนของเฮดเดอร์ลงได้

สำหรับกรณีการส่งแพ็กเกตของ MN จะมีกระบวนการเลือกเราเตอร์ที่สามารถส่งแพ็กเกตออกจาก MN ได้ 2 วิธี คือ

1) MN ใช้ FA เป็นเราเตอร์ก็ต่อเมื่อ MN ได้ลงทะเบียนไว้กับ FA แล้วและส่งแพ็กเกตโดยกำหนดที่อยู่ไอพีต้นทางเป็นที่อยู่ home address

2) MN ใช้เราเตอร์ที่ประกาศ ICMP Router Advertisement (กรณีไม่มี FA) และให้เราเตอร์นั้นช่วยส่งแพ็กเกตที่ออกจาก MN โดยกำหนดที่อยู่ไอพีต้นทางเป็นที่อยู่ home address เช่นเดียวกัน

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

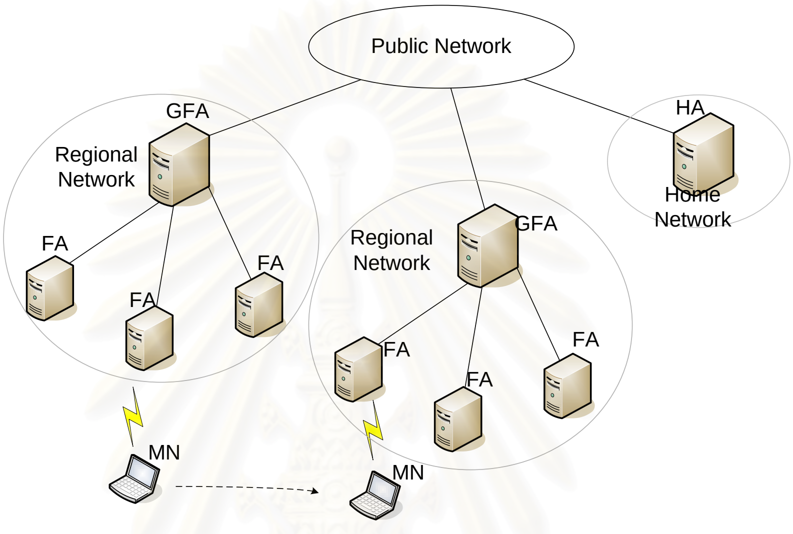
ดังที่ได้กล่าวข้างต้นแล้วว่าโพรโทคอล Mobile IP ยังมีประเด็นที่จำเป็นจะต้องได้รับการแก้ไขและปรับปรุง ทั้งปัญหาในส่วนที่เกิดจากการจัดการสภาพเคลื่อนที่ ปัญหาจากกระบวนการแฮนด์ออฟ และปัญหาที่เกิดจากการจัดเส้นทางแบบสามเหลี่ยม โดยในงานวิจัยนี้จะเน้นการพิจารณางานวิจัยในส่วนของการจัดการสภาพเคลื่อนที่ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติ scalability ของระบบ จากการศึกษาจึงพอสรุปได้ว่าแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ Mobile IP ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของผู้ใช้สามารถแบ่งได้เป็น 2 แนวทางคือ การพัฒนาบนพื้นฐานของการลงทะเบียนท้องถิ่น (Local Registration) และการพัฒนาบนพื้นฐานของกระบวนการเพจ ซึ่งแสดงดังต่อไปนี้

2.5.1 การปรับปรุงสมรรถนะของ Mobile IP บนพื้นฐานของการลงทะเบียนท้องถิ่น

2.5.1.1 Mobile IP Regional Registration (MIP-RR) [8]

เป็นแนวทางการพัฒนาประสิทธิภาพในการจัดการสภาพเคลื่อนที่โดยใช้หลักการ Hierarchical model และกระบวนการลงทะเบียน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดปริมาณข่าวสารการสัญญาณที่จะถูกส่งผ่านโครงข่ายหลัก (core network) ไปยัง Home network ในวิธีนี้จะมี FA อยู่

2 ประเภทคือ Gateway Foreign Agent (GFA) และ Foreign Agent (FA) โดย GFA จะอยู่ในลำดับชั้นที่สูงกว่า FA และที่ HA จะมีการบันทึกที่อยู่ของ GFA เป็น CoA ของ MN นั้น ทำให้เมื่อ MN มีการเคลื่อนที่เปลี่ยน FA ภายใน GFA ตัวเดิม MN ไม่จำเป็นจะต้องทำ Home registration กับ HA แต่จะทำเพียงแค่ Regional registration คือแจ้งที่อยู่ของ FA ใหม่กับ GFA เท่านั้นทำให้สามารถลดปริมาณข่าวสารการสัญญาณในโครงข่ายหลักลงได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะโครงข่ายของ Mobile IP Regional Registration

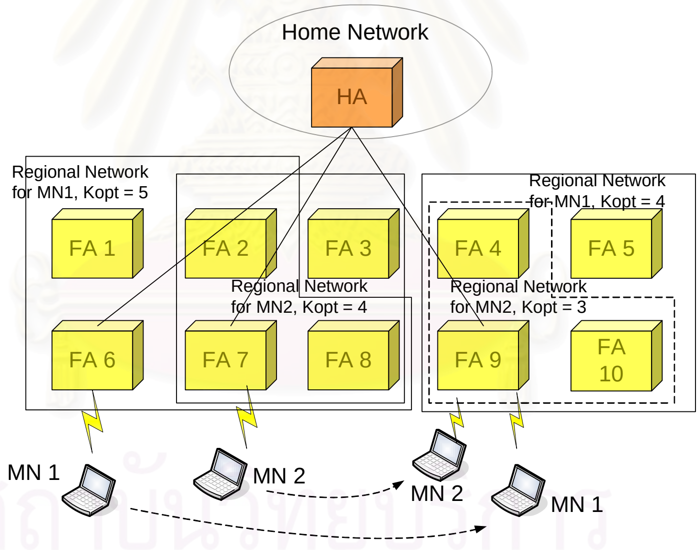
อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าวิธีนี้สามารถลดปริมาณการสัญญาณในโครงข่ายหลักลงได้ แต่ในมุมมองของ MN ผู้ใช้ยังคงจำเป็นจะต้องส่งข่าวสารการสัญญาณทุกครั้งที่เคลื่อนที่ข้าม FA จึงทำให้ยังคงเกิดปัญหา Power consumption อยู่ อีกทั้งวิธีนี้ไม่ได้มีการลดปริมาณข่าวสารการสัญญาณในโครงข่ายย่อย (Access network) เลย ทั้งในส่วนที่เป็นข่ายเชื่อมโยงแบบมีสายและไร้สาย ส่งผลให้ระบบยังคงประสบปัญหาภาระการสัญญาณในโครงข่ายย่อยและปัญหาขาดแคลนทรัพยากรแบนด์วิดท์โดยเฉพาะเมื่อผู้ใช้ในระบบมีจำนวนมากขึ้น

2.5.1.2 Distributed Dynamic Location Management Scheme [9]

ในวิธี MIP-RR ถึงแม้จะสามารถลดปริมาณข่าวสารการสัญญาณที่จะถูกส่งผ่านโครงข่ายหลักไปยังโครงข่ายบ้านของ MN ได้ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาจะเห็นว่าลักษณะโครงข่ายของ MIP-RR มีลักษณะเป็นแบบ centralized system จึงทำให้ระบบมีความมั่นคงต่ำเนื่องจาก sensitive ต่อความล้มเหลวที่อาจเกิดขึ้นที่โนดศูนย์กลาง นอกจากนี้จำนวน FA ภายใต้ GFA ก็นับเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณา หากจำนวน FA น้อยเกินไปก็จะทำให้ระบบมีปริมาณข่าวสารลงทะเบียน

ที่จะถูกส่งผ่านโครงข่ายหลักจำนวนมาก แต่หากมีมากเกินไปก็จะลดประสิทธิภาพลงเนื่องจากเกิดภาระข้อมูลข่าวสารปริมาณมากที่ GFA ส่งผลต่อ ต้นทุนในการส่งแพ็กเกตข้อมูลและความมั่นคงของโครงข่าย งานวิจัยนี้จึงเสนอรูปแบบการทำงานที่เป็น distributed GFA management scheme โดย FA แต่ละตัวสามารถทำหน้าที่เป็น GFA ได้ ภาระการส่งข้อมูลจึงถูกกระจายไปยัง FA แต่ละตัว โดยการทำงานเริ่มจากเมื่อ MN เข้าไปยัง regional network, FA ตัวแรกที่ MN ผ่านเข้าไปจะทำหน้าที่เป็น GFA ของ MN นั้นโดย GFA จะต้องเก็บรักษา visitor list และคอยปรับค่าให้ทันกาลตามคำร้องขอลงทะเบียนท้องถิ่น (Regional registration request) ที่ได้รับ

วิธีนี้จำนวนของ FA ภายใต้ GFA จะมีค่าไม่คงที่ แต่จะถูกหาค่าที่เหมาะที่สุดสำหรับ MN แต่ละตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.9 โดยขนาดของ regional network ที่เหมาะที่สุดของผู้ใช้แต่ละคนจะถูกคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ทั้งของโครงข่ายและของผู้ใช้เอง ที่ขนาดที่เหมาะที่สุดนี้ระบบจะมีต้นทุนการสัญญาณต่ำที่สุด โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญในกระบวนการคำนวณได้แก่ อัตราแพ็กเกตข้อมูลและความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ โดยค่าเหล่านี้อาจปรับเปลี่ยนได้ตามเวลา

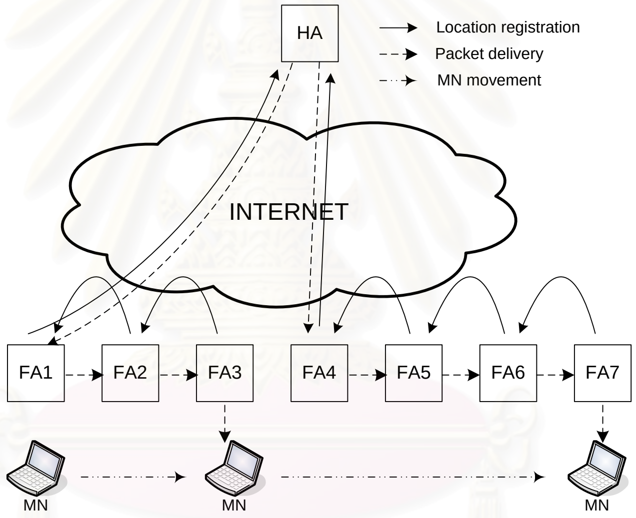


รูปที่ 2.9 ลักษณะโครงข่ายของ Distributed Dynamic Mobile IP Regional Registration

2.5.1.3 Dynamic Hierarchical Mobility Management Strategy (DHMIP) [10]

งานวิจัยนี้เสนอให้ผู้ใช้แต่ละคนมีลำดับชั้นของตัวแทนที่แตกต่างกันเพื่อลดปัญหาที่เกิดขึ้นในวิธี MIP-RR ดังนั้นภาระการสัญญาณที่เกิดขึ้นในโครงข่ายจึงถูกกระจายไปยัง FA แต่ละตัว โดยในวิธีนี้ข่าวสารลงทะเบียนที่ถูกส่งไปยัง HA จะลดลงได้จากกระบวนการสร้างลำดับชั้นของ FA ซึ่งมีจำนวนลำดับชั้นที่ปรับได้ขึ้นกับลักษณะการเคลื่อนที่และรูปแบบภาระข่าวสารของผู้ใช้แต่ละคน ณ เวลาปัจจุบัน เมื่อ MN เคลื่อนที่ไปยัง FA ใหม่ก็จะส่งข่าวสารลงทะเบียนกับ FA ที่ผ่านมาเพื่อ

บอก CoA ใหม่ที่ได้รับ ดังแสดงในรูปที่ 2.10 โดยเมื่อลำดับการลงทะเบียนในลำดับชั้นปัจจุบันครบตามที่ FA ตัวแรกของลำดับชั้น (GFA) ได้คำนวณและกำหนดไว้แล้ว การเคลื่อนที่ข้าม FA ครั้งต่อไปจึงต้องลงทะเบียน CoA ใหม่กับ HA เช่นการเคลื่อนที่จาก FA_3 ไปยัง FA_4 เมื่อมีข้อมูลต้องการส่งมาถึง MN ข้อมูลดังกล่าวจะถูก HA ส่งต่อมายัง GFA (FA ตัวแรกของลำดับชั้น) แล้วจึงส่งต่อมาตามลำดับชั้นของ FA จนถึง MN ดังนั้นจะเห็นได้ว่าข่าวสารลงทะเบียนที่เกิดขึ้นมีต้นทุนต่ำ เนื่องจากถูกส่งในโครงข่ายท้องถิ่นที่มีระยะสั้นๆ อย่างไรก็ตามการส่งต่อข้อมูลผ่านตัวแทนจำนวนมากจะส่งผลให้เกิดต้นทุนอันเนื่องมาจากการส่งมอบข้อมูล (packet delivery) และระยะเวลา transmission delay ที่นานขึ้น ดังนั้นในการคำนวณขนาดของลำดับชั้นที่เหมาะสมของ MN แต่ละตัวจึงจำเป็นจะต้องพิจารณาทั้งต้นทุนจากการสัญญาณและต้นทุนจากการส่งมอบข้อมูลไปพร้อมๆกัน



รูปที่ 2.10 ลักษณะการทำงานของ DHMIP

2.5.1.4 Adaptive Location Management Scheme [11]

ปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นในโครงข่ายที่มีลักษณะสถาปัตยกรรมเป็นแบบลำดับชั้นเช่นใน [8] คือ ความไม่มั่นคงของระบบ เนื่องจากปริมาณข้อมูลข่าวสารทั้งหมดจะไปคับคั่งที่โนดในลำดับชั้นที่สูงขึ้นไป ดังนั้นประสิทธิภาพของระบบจึงถูกจำกัดโดยประสิทธิภาพของโนดศูนย์กลาง นอกจากนี้ระบบยังถูกกระทบโดยง่ายจากความเสียหายที่เกิดขึ้นกับโนดในลำดับชั้นที่สูงขึ้นไป ในการแก้ปัญหาวิธีนี้จึงถูกเสนอขึ้น โดยในวิธีนี้ได้กำหนดให้ FA ทุกตัวสามารถเป็นได้ทั้ง FA และ GFA เช่นเดียวกับ [9] และ [10] โดย MN แต่ละตัวจะมีตัวแทนที่ทำหน้าที่เป็น GFA รวมถึงขนาดของ regional network แตกต่างกัน สำหรับหลักการทำงานเริ่มจาก เมื่อ MN เคลื่อนที่เข้าไปยัง regional network ใหม่ MN จะทำ home registration กับ FA ตัวแรกที่ผู้ใช้เคลื่อนที่ได้ผ่านเข้าไป

HA จะบันทึกที่อยู่ของ FA นี้เป็น GFA ของ MN จากนั้นเมื่อผู้ใช้มีการเคลื่อนที่เปลี่ยน FA จะส่งข่าวสารลงทะเบียนไปยัง GFA ผ่านทาง FA ปัจจุบัน เมื่อได้รับข่าวสาร GFA จึงคำนวณต้นทุนการสัญญาณรวม (total signaling cost) โดยใช้ฟังก์ชันที่เสนอ แล้วจึงตัดสินใจว่าจะทำ home registration หรือเพียง regional registration ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีหลักการทำงานคล้ายกับใน [9] แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือทุกครั้งที่เคลื่อนที่ข้าม FA MN จะลงทะเบียนกับ FA โดยไม่จำเป็นต้องรู้เลยว่าเป็นการทำ Home registration หรือ regional registration โนดที่จะตัดสินใจคือ GFA เนื่องจากสะดวกต่อการเก็บรวบรวมข้อมูลของโครงข่ายได้ดีและยังสามารถตรวจสอบสถานะของ FA แต่ละตัวที่อยู่ใกล้เคียงได้เพื่อเลือกวิธีการลงทะเบียนที่เหมาะสม นอกจากนี้ในวิธี [9] และ [10] ยังใช้ขนาดของ regional network ที่ถูกคำนวณล่วงหน้าซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการประมาณค่าโดยเฉลี่ยจึงอาจไม่สามารถปรับตัวและเลือกวิธีการลงทะเบียนที่เหมาะสมเท่ากับในกรณีที่ขนาดของ regional network มีโอกาสเปลี่ยนแปลงได้ทุกครั้งที่ข้าม FA

2.5.2 การปรับปรุงสมรรถนะของ Mobile IP บนพื้นฐานของกระบวนการเพจ

2.5.2.1 P-MIP [4]

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

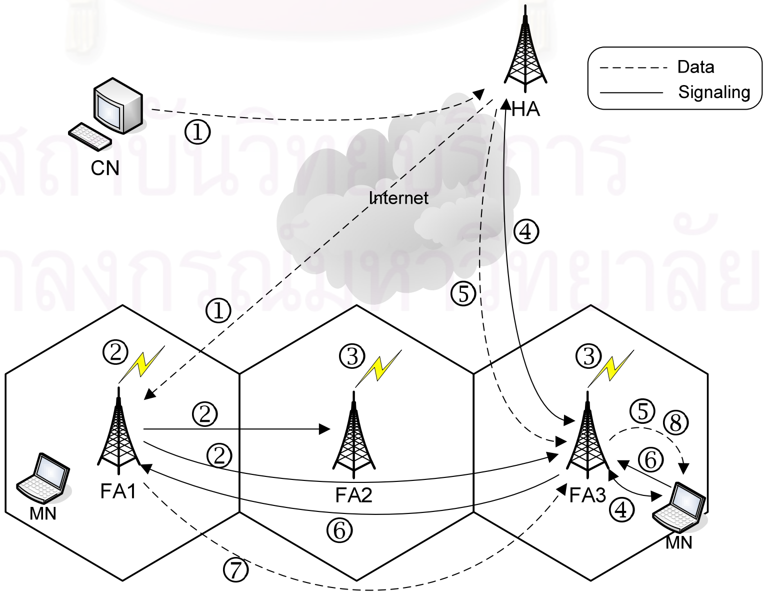
สำหรับ Active MN จะมีการทำงานเหมือนกับใน Mobile IP มาตรฐานทุกอย่าง กล่าวคือ เมื่อมีการเคลื่อนที่เปลี่ยน FA MN จะต้องลงทะเบียนกับ HA เพื่อบอกที่อยู่ปัจจุบันของตน สำหรับ Idle MN เมื่อมีการเคลื่อนที่ข้ามไปยังพื้นที่การเพจใหม่ โดยกำหนดให้พื้นที่การเพจคือกลุ่มของ FA ที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน MN จะต้องลงทะเบียนพื้นที่การเพจใหม่กับ HA แต่ในกรณีที่ MN เคลื่อนที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจเดิมก็ไม่จำเป็นต้องส่งข่าวสารการสัญญาณใดๆ เมื่อมีแพ็กเกตข้อมูลถูกส่งมาถึง MN แพ็กเกตเหล่านั้นจะถูกส่งไปยังโครงข่ายบ้าน (Home network) ของ MN นั้นๆ HA จะดักจับแพ็กเกตเหล่านั้นแล้วจึงทำ encapsulation แพ็กเกตด้วยที่อยู่ใหม่ก่อนจะส่งต่อมายัง CoA ที่ถูกลงทะเบียนไว้โดย MN เราเรียก FA ที่ถูกลงทะเบียนนี้ว่าเป็น registered FA จากนั้นเมื่อ registered FA ได้รับแพ็กเกตนี้จะตรวจสอบว่ามีข้อมูลของ MN ตัวนั้นในบันทึกหรือไม่ ถ้าตรวจพบจะตรวจสอบต่อว่า MN นั้นรองรับการเพจหรือไม่ โดยดูจาก บิต ‘P’ ในข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนที่ MN ส่งมาตอนร้องขอการลงทะเบียน ถ้า MN รองรับการเพจก็จะตรวจสอบต่อว่า

MN นั้นมีสถานะการทำงานเป็นอะไร ถ้า MN มีสถานะการทำงานเป็น active, registered FA ก็จะ decapsulate แพ็กเกตแล้วจึงส่งต่อไปยัง MN ได้ทันที เช่นเดียวกับในกรณีของ Mobile IP ปกติ แต่ถ้า MN มีสถานะการทำงานเป็น idle, registered FA ก็จะส่งข่าวสารร้องขอการเพจ (Paging request message) ไปยัง FA ทุกๆตัวที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจเดียวกันพร้อมๆ กับกระจายข่าวสารร้องขอการเพจนี้ภายในพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์ตัวเอง ดังนั้นจะเห็นว่ายิ่งพื้นที่การเพจมีขนาดใหญ่ คือมีจำนวน FA ภายในพื้นที่การเพจ มากก็จะยิ่งทำให้ต้นทุนในกระบวนการเพจเพื่อหา MN แต่ละครั้งมีค่ามาก โดยเฉพาะในระบบที่มีผู้ใช้จำนวนมากที่อัตราการเพจจะมีค่ามากขึ้นด้วย

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 ได้รับข่าวสารตอบรับการเพจก็จะส่งแพ็กเกตที่ถูกพักไว้ให้กับ MN ผ่านทาง current FA ต่อไป



รูปที่ 2.11 ลักษณะการทำงานของ P-MIP

จากรูปให้ FA_1, FA_2 และ FA_3 รวมกันเป็นพื้นที่การเพจพื้นที่หนึ่งและ idle MN เคลื่อนที่จาก FA_1 ไปยัง FA_3 โดยไม่มีการลงทะเบียน ดังนั้นที่ HA จะมีการบันทึก Care-of address ของ MN เป็นที่อยู่ของ FA_1 ซึ่งเป็น registered FA เมื่อโนด CN ต้องการส่งข้อมูลไปหา MN ① แพ็กเกตจะถูกส่งไปที่ Home Network ของ MN นั้น แล้ว HA จึงดักจับแพ็กเกตข้อมูลเหล่านั้น พร้อมกับ encapsulate ด้วยที่อยู่ CoA แล้วจึงส่งต่อ (Tunnel) แพ็กเกตมายัง FA_1 หลังจากที่ FA_1 ได้รับแพ็กเกตข้อมูลนี้ก็จะตรวจสอบว่ามีข้อมูลบันทึกสำหรับ MN นั้นหรือไม่ ถ้าพบจึงตรวจสอบต่อว่าผู้ใช้เคลื่อนที่รองรับการเพจหรือไม่ ถ้ารองรับ MN มีสถานะการทำงานเป็นอะไร ในที่นี้เป็นสถานะ idle, FA_1 จึงเริ่มพัก (buffer) แพ็กเกตข้อมูลพร้อมๆ กับส่งข่าวสารร้องขอการเพจ ② ภายในเซลล์และส่งไปยัง FA_2 และ FA_3 หลังจากนั้นทั้ง FA_2 และ FA_3 จะกระจายข่าวสารร้องขอการเพจนี้ ③ ในแต่ละเซลล์ของตัวเอง เมื่อ MN ได้รับข่าวสารร้องขอการเพจที่มี Home address ของตนปรากฏอยู่ก็จะทำ Home Registration กับ HA ④ จากนั้น HA จึงเปลี่ยนเส้นทางแพ็กเกตข้อมูลมายัง FA_3 เมื่อกระบวนการลงทะเบียนเสร็จสมบูรณ์ ⑤ และเมื่อ MN ได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน ④ แล้ว MN จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจ ⑥ กลับไปยัง FA_1 (registered FA, paging FA) เพื่อให้ FA_1 ส่งแพ็กเกตที่ถูกพักไว้มายัง MN ผ่านทาง FA_3 (current FA) ⑦, ⑧ จากนั้น FA_1 จึงลบบันทึกข้อมูลของ MN ตัวนั้นๆ ทิ้งไป

จะเห็นได้ว่าต้นทุนการสัญญาณของวิธีนี้ขึ้นอยู่กับสถานะการทำงานของผู้ใช้กล่าวคือความน่าจะเป็นของผู้ใช้ที่จะอยู่ในสถานะ active หรือ idle โดยความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา Active timer period กับความน่าจะเป็นของสถานะการทำงานของผู้ใช้ซึ่งปรากฏใน [12] แสดงให้เห็นว่า ที่ค่า Active timer period เพิ่มขึ้น ผู้ใช้จะมีโอกาสที่สถานะการทำงานเป็น active เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน

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

- ในกรณีที่ระบบมีผู้ใช้ที่มีอัตราการเคลื่อนที่ไม่สูงนัก ต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากการเพจมีแนวโน้มที่จะเพิ่มปริมาณของต้นทุนการสัญญาณโดยรวม แทนที่จะเป็นการช่วยลดภาระในการสัญญาณของระบบลง ส่งผลให้ระบบมีต้นทุนในการสัญญาณสูงกว่าในระบบ Mobile IP แบบดั้งเดิมในบางสภาวะของระบบ ส่งผลให้ในการออกแบบจะมีช่วงการใช้งานได้น้อยลง

- ในทางปฏิบัติ จะมีผู้ใช้จำนวนมากอยู่ภายในระบบ ซึ่งผู้ใช้แต่ละคนก็จะมีค่าพารามิเตอร์ที่หลากหลายแตกต่างกันไป ดังนั้นในการออกแบบ P-MIP ให้เหมาะที่สุดกับผู้ใช้ทั้งหมดจึงเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก โดยถ้าออกแบบให้พื้นที่การเพจมีขนาดใหญ่ก็จะเหมาะสมกับกลุ่มผู้ใช้ที่มีลักษณะ

การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงแต่จะเกิดต้นทุนมากกับกลุ่มผู้ใช้ที่มีการเคลื่อนที่ด้วยอัตราที่ต่ำ ในทางกลับกันกรณีที่พื้นที่การเพจมีขนาดเล็กจะเหมาะสมกับกลุ่มผู้ใช้ที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำแต่จะเกิดต้นทุนมากกับกลุ่มผู้ใช้ที่มีการเคลื่อนที่ด้วยอัตราที่สูง

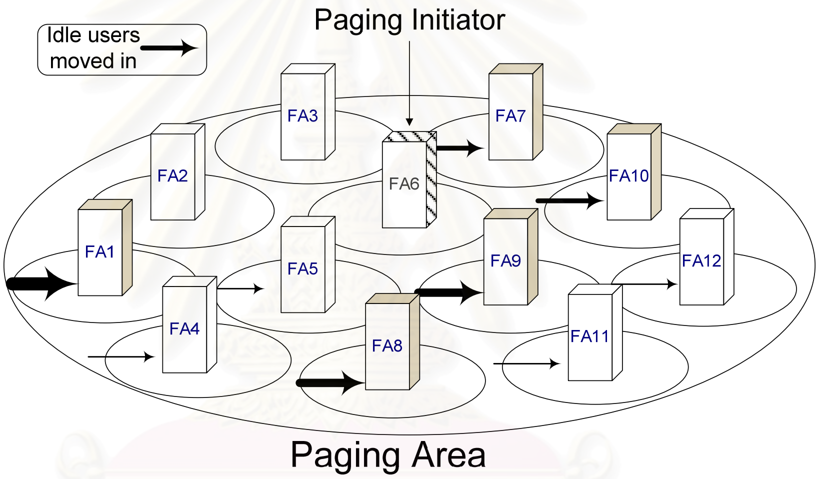
- ระบบ P-MIP มีต้นทุนในการสัญญาณที่ค่อนข้างถูกกระทบโดยง่ายจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบที่เปลี่ยนแปลง เช่น Hop weight ratio, data session rate, ขนาดของพื้นที่การเพจ ความเร็วของโนดเคลื่อนที่ และระยะทางระหว่างตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันกับ HA ดังจะแสดงต่อไปในส่วนของผลการวิเคราะห์ ซึ่ง sensitivity ของระบบที่เกิดขึ้นนี้จะส่งผลเสียต่อระบบทำให้ผู้ออกแบบหรือดูแลระบบยากต่อการบริหารจัดการทรัพยากรอีกทั้งอาจส่งผลต่อคุณภาพการให้บริการ (QoS) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบที่มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แปรเปลี่ยนได้ตามเวลา ซึ่งพบได้ในระบบโครงข่ายทั่วไป

- วิธี P-MIP เวลาเพจหาโนดเคลื่อนที่จะทำการเพจหาทั้งพื้นที่การเพจ ทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรโดยเฉพาะในข่ายเชื่อมโยงไร้สาย (wireless link) ที่มีทรัพยากรอยู่อย่างจำกัด

2.5.2.2 User Independent Paging Scheme [13]

ในกรณีที่ระบบไม่จำเป็นจะต้องค้นหาตำแหน่งของผู้ใช้โดยทันที เราสามารถลดต้นทุนการสัญญาณของระบบลงได้โดยใช้หลักการ Multi-step paging ซึ่งจะแบ่งการกระจายข่าวสารร้องขอการเพจตามลำดับทีละกลุ่มเซลล์จนกว่าจะพบ MN นั้นๆ ซึ่งที่ผ่านมามีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับวิธีนี้ โดยงานส่วนใหญ่จะเป็นแบบ User dependent paging กล่าวคือ ระบบจำเป็นจะต้องมีข้อมูลของผู้ใช้แต่ละคนว่ามีความน่าจะเป็นที่จะอยู่ในเซลล์หรือบริเวณใดมากน้อยเพียงใดแล้วจึงแบ่งการเพจตามลำดับ หรือมีข้อมูลที่บอกถึงความน่าจะเป็นของผู้ใช้ว่าจะมีการเคลื่อนที่รูปแบบอย่างไร ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นสิ่งที่ประมาณให้มีความถูกต้องได้ยากในทางปฏิบัติ งานวิจัยนี้จึงได้เสนอให้มีการใช้พารามิเตอร์ที่ใช้แบ่งลำดับการเพจในแต่ละครั้งเป็นแบบ User independent paging โดยในการตัดสินใจว่าในแต่ละขั้นของการเพจจะเลือกเซลล์ใดบ้างในพื้นที่การเพจ จะใช้พารามิเตอร์ที่ไม่ขึ้นกับผู้ใช้ที่ต้องการค้นหาตำแหน่งเพียงคนเดียวดังเช่นในกรณีของ User dependent paging โดยพารามิเตอร์ที่ผู้วิจัยได้เสนอมาคือ Mobility rate ซึ่งเป็นอัตราการเข้ามาใหม่ของ idle MN ในแต่ละเซลล์ในคาบเวลาหนึ่งๆ ทั้งนี้ MN จะต้องส่งข่าวสารบอก FA ใหม่ทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่เปลี่ยน FA จากนั้นในแต่ละคาบเวลาจะมีการแลกเปลี่ยนข่าวสาร Mobility rate ของแต่ละเซลล์ในพื้นที่การเพจ เมื่อมีเซสชันข้อมูลที่ต้องการส่งถึง MN แพ็กเกตข้อมูลจะถูก HA ส่งมาที่ pFA ซึ่งก็คือ Paging Initiator ดังรูปที่ 2.12 pFA จะส่งข่าวสารร้องขอการเพจภายในเซลล์ของตัวเองเป็นลำดับแรก หากไม่ได้รับการตอบสนองจาก MN จึงส่งข่าวสารร้อง

ขอการเพจไปยังกลุ่ม FA ที่มีอัตราการเข้ามาของ idle MN สูงที่สุดต่อไปตามลำดับ โดยในที่นี้ได้กำหนดให้ค่าลำดับการเพจมีค่าไม่เกิน 3 ลำดับดังนั้นในการเพจลำดับต่อมา pFA จึงส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA_1, FA_7, FA_8, FA_9 และ FA_{10} เนื่องจากมีค่า mobility rate สูงที่สุด (สังเกตจากความหนาของลูกศร) และหากยังไม่พบ MN จึงส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ที่เหลือต่อไป อย่างไรก็ตามจะสังเกตเห็นได้ว่าการกำหนดให้ MN ต้องส่งข่าวสารแจ้ง FA ทุกครั้งที่เคลื่อนที่เข้ามาใหม่อาจทำให้เกิดปัญหา Power consumption ตามมาได้ นอกจากนี้ยังอาจส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณที่เพิ่มมากขึ้นอีกทั้งระบบยังจำเป็นจะต้องมีการแลกเปลี่ยนข้อมูล Mobility rate ของ FA แต่ละตัวภายในพื้นที่การเพจทุกๆคาบเวลา ซึ่งจะส่งผลให้เกิดปริมาณข่าวสารการสัญญาณจำนวนมาก



รูปที่ 2.12 ลักษณะการทำงานของ User Independent Paging scheme

2.5.2.3 Extending Mobile IP with Adaptive Individual Paging [14]

วิธีนี้มีหลักการทำงานคล้ายกับของ P-MIP แต่สิ่งที่แตกต่างคือ ผู้วิจัยได้เสนอให้มีการใช้ Adaptive paging scheme ในวิธีนี้ผู้ใช้แต่ละคนจะมีพื้นที่การเพจเฉพาะที่เหมาะที่สุด (optimum PA) กล่าวคือ พื้นที่การเพจมีคุณสมบัติที่สามารถปรับตัวได้ตามลักษณะการเคลื่อนที่และอัตราแพ็กเกตข้อมูลของ MN ที่แตกต่างกัน โดย MN จะต้องคำนวณอย่างต่อเนื่องเพื่อหาขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะสมที่จะทำให้เกิดต้นทุนการสัญญาณต่ำที่สุด โดยใช้สมการต้นทุนการสัญญาณที่เสนอแล้วจึงผ่านกระบวนการ iterative algorithm เพื่อหาขนาดของพื้นที่การเพจที่ให้ต้นทุนการสัญญาณต่ำที่สุด จากนั้น MN ก็จะบอกค่านี้กับ FA ที่ทำหน้าที่เป็น pFA เพื่อให้ FA มอบหมายที่อยู่ของ FA ต่างๆ ในพื้นที่การเพจใหม่ อย่างไรก็ตามวิธีนี้อาจส่งผลต่อปัญหา Power consumption ของ MN เนื่องจากผู้ใช้แต่ละคนจำเป็นจะต้องคำนวณอย่างต่อเนื่องเพื่อให้ได้ขนาด

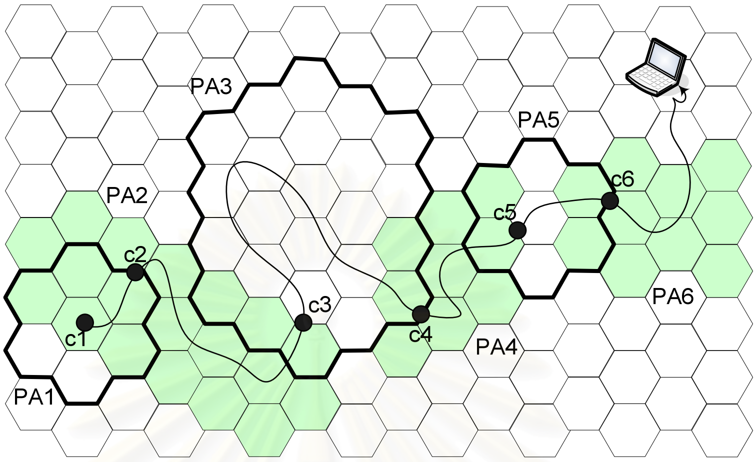
ของพื้นที่การเพจที่เหมาะที่สุด งานวิจัย [15] จึงวิเคราะห์ผลของความเร็วในการเคลื่อนที่และอัตราเซสชันข้อมูลของผู้ใช้ที่มีต่อขนาดพื้นที่การเพจที่เหมาะที่สุด ซึ่งพบว่าผลของอัตราเซสชันส่งผลต่อขนาดพื้นที่การเพจที่คำนวณได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผู้ใช้มีความเร็วในการเคลื่อนที่ต่ำ [15] จึงเสนอให้กระบวนการปรับตัวของพื้นที่การเพจไม่จำเป็นต้องปรับตัวตามค่าอัตราเซสชันที่อาจเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาแต่จะพิจารณาเฉพาะเพียงเมื่อผู้ใช้มีความเร็วสูงเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อให้ MN ลดภาระในการคำนวณและประมวลผลลง นอกจากนี้เนื่องจากพารามิเตอร์ต่างๆที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการคำนวณมีค่าเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา อีกทั้งตัวแปรบางตัวก็ยากต่อการประมาณหรือหาค่าได้อย่างถูกต้อง ทำให้วิธีนี้ไม่ได้ประสิทธิภาพที่ดีเท่าที่ควรในทางปฏิบัติ

2.5.2.4 An Adaptive Per-Host IP Paging Architecture [16]

งานวิจัยนี้เสนอว่า นอกเหนือจากขนาดที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้เคลื่อนที่แต่ละคน รูปร่างของพื้นที่การเพจก็มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของพื้นที่การเพจเช่นเดียวกัน โดยในวิธีนี้ขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะที่สุดจะขึ้นกับลักษณะการเคลื่อนที่และอัตราเซสชันข้อมูลของผู้ใช้ โดยผู้ใช้เคลื่อนที่จะเป็นผู้คำนวณเช่นใน [14] ขณะที่รูปร่างของพื้นที่การเพจที่เหมาะสมจะขึ้นกับรูปแบบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้เพียงอย่างเดียว โดยกระบวนการคำนวณส่วนนี้จะถูกทำโดยโครงข่าย (Network configuration) 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 ใดบ้างในพื้นที่การเพจใหม่นี้ จากนั้นเมื่อ pFA ได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนจาก HA ก็จะแทรกรายชื่อ FA ทั้งหมดที่อยู่ในพื้นที่การเพจใหม่ลงในข่าวสารก่อนจะส่งต่อให้กับ MN ต่อไป รูปที่ 2.13 แสดงตัวอย่างรูปแบบพื้นที่การเพจที่เกิดขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปขึ้นกับค่าพารามิเตอร์ของผู้ใช้ โดยจุด c แสดงถึงตำแหน่งที่ MN เคลื่อนที่ข้ามออกจากพื้นที่การเพจเดิมและเริ่มต้นการลงทะเบียน

สมมติให้ขนาดพื้นที่การเพจที่เหมาะที่สุดที่คำนวณได้เป็น k_{opt} สำหรับเซลล์ต่างๆที่ได้จากกระบวนการสร้างพื้นที่การเพจ (Paging Area Composition) ที่เกิดขึ้นที่ PACA จะได้มาจากข้อมูลความน่าจะเป็นที่ MN จะเคลื่อนที่จากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งในโดเมน จากนั้น PACA

จึงเริ่มการคำนวณจากเซลล์ของ pFA แล้วจึงคำนวณหาเซลล์ต่างๆ ที่ผู้ใช้มีความน่าจะเป็นที่จะเคลื่อนที่ไป k_{opt} ลำดับแรกจนครบ



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างรูปแบบพื้นที่การเพจที่เกิดขึ้นใน Adaptive Per-Host IP Paging

2.5.2.5 IP Paging Service for Mobile Hosts [17], [18]

สถาปัตยกรรมโครงข่ายของการเพจบนพื้นฐานของโครงข่ายแบบ IP นับเป็นสิ่งสำคัญที่ทำให้เกิดการทำงานร่วมกันของโครงข่ายสื่อสารไร้สายต่างชนิดอันจะนำมาซึ่งประสิทธิภาพที่ดีของการให้บริการการสื่อสารแบบไร้รอยต่อ โดยกระบวนการการเพจที่มีประสิทธิภาพนั้นจำเป็นจะต้องมีคุณลักษณะที่สำคัญได้แก่ กระบวนการติดตั้งทำได้ง่าย มีความยืดหยุ่นในการใช้งานรองรับการปรับปรุงและวิธีการเพจที่หลากหลาย มีคุณสมบัติในการรองรับการขยายโครงข่ายเมื่อผู้ใช้มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น มีการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ มีความมั่นคงของโครงข่ายและสุดท้ายคือความสะดวกและง่ายต่อการนำไปใช้จริง งานวิจัยนี้จึงได้เสนอรูปแบบของโพรโทคอลการเพจ 3 รูปแบบ ได้แก่ Home Agent paging, Foreign Agent paging และ Domain paging

สำหรับ Home Agent paging มีการทำงานที่เป็นแบบ centralized โดย HA จะทำหน้าที่ในการเพจหา MN เองโดยไม่จำเป็นต้องใช้ pFA เช่นใน [4] เมื่อมีข้อมูลที่ถูกส่งมาถึง MN HA จะพักข้อมูลไว้พร้อมกับส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยังสถานีฐานทุกๆสถานีในพื้นที่การเพจที่ MN ได้ลงทะเบียนไว้ เมื่อ MN ได้รับข่าวสารดังกล่าวก็จะลงทะเบียนกับ HA เพื่อขอรับแพ็กเกตข้อมูลต่อไป ส่วนในกรณี Foreign Agent paging มีหลักการทำงานคล้ายกับใน [4] สำหรับ Domain paging มีการกำหนดให้ภายในโดเมนมีลักษณะโครงข่ายเป็นแบบลำดับชั้น เราเตอร์ระดับบนสุดเป็น domain root router และส่วนที่อยู่ล่างสุดของลำดับชั้นเป็นสถานีฐานและในระหว่างทางจะประกอบด้วยเราเตอร์จำนวนมาก โดยหน้าที่ในการเริ่มการเพจจะถูกกระจายไปยังเราเตอร์และ

สถานีฐานต่างๆ ภายในโดเมนแทนที่จะถูกจำกัดไว้ที่ pFA เช่นในกรณีของ Foreign Agent paging ส่งผลให้ภาระการประมวลผลถูกกระจายไปยังหลายโนด ระบบมีประสิทธิภาพในการประมวลผลที่ดีขึ้น ทั้งนี้เราเตอร์หรือสถานีฐานที่อยู่ในเส้นทางจาก MN ไปยัง domain root router จะต้องเก็บรักษาข้อมูลเส้นทางและข้อมูลการเพจของ MN นั้นๆ โดยทุกครั้งที่ MN มีการเคลื่อนที่เปลี่ยนพื้นที่การเพจก็จะส่งข่าวสารแจ้ง domain root router และในระหว่างทางข่าวสารนี้ก็จะสร้างข้อมูลเส้นทางและข้อมูลการเพจของ MN นั้นๆ ใหม่บนเราเตอร์ เมื่อมีแพ็กเกตข้อมูลที่ส่งหา MN ที่อยู่ในสถานะ idle ข้อมูลจะถูกส่งมาที่ domain root router ก่อนจะถูกส่งไปยังเราเตอร์ระหว่างทางที่ได้บันทึกไว้ เราเตอร์หรือสถานีฐานระหว่างทางจาก domain router จนถึงสถานีฐานสุดท้ายที่บันทึกเอาไว้จะมีกระบวนการเลือกตัวเองขึ้นมาเป็น paging initiator ให้กับ MN นั้นโดยพิจารณาจากการกระจายโหลด เมื่อ MN ได้รับข่าวสารการเพจก็จะส่งข่าวสารตอบสนองการเพจ (paging response) กับ paging initiator ดังกล่าว จากนั้นข่าวสารทั้งหมดจึงถูกส่งมาให้ MN โดยใช้เส้นทางเดียวกับข่าวสารตอบสนองการเพจที่ MN ส่ง นอกจากนี้วิธีดังกล่าวยังลดปริมาณข่าวสารลงทะเบียนไปยัง HA ลงได้โดยกำหนดให้ active MN ที่เคลื่อนที่ข้ามสถานีฐานภายในโดเมนส่งข่าวสารแจ้งกับ domain root router เท่านั้น ไม่จำเป็นต้องลงทะเบียนกับ HA ใหม่

2.5.2.6 Combinatorial Mobile IP [19]

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์การเพจเข้ากับการทำงานแบบ MIP-RR โดยได้ออกแบบให้โครงข่ายมีลักษณะเป็นแบบลำดับชั้น CFA (Controlling FA) ในลำดับชั้นบนสุดทำหน้าที่เชื่อมต่อ regional area เข้ากับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตและภายใต้ CFA จะประกอบไปด้วย PFA (Paging FA) จำนวนหนึ่งที่ทำหน้าที่ดูแลการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ภายในพื้นที่การเพจ นอกจากนี้ยังได้นิยามลักษณะการลงทะเบียนที่แตกต่างกันสำหรับการเคลื่อนที่ข้ามแต่ละพื้นที่ อย่างไรก็ตามเนื่องจากโครงข่ายมีลักษณะการทำงานเป็นแบบรวมศูนย์ ระบบจึงมีปัญหาในเรื่องความมั่นคงของโครงข่าย อีกทั้งประสิทธิภาพการทำงานยังถูกจำกัดจากความสามารถของโนดศูนย์กลางเช่นกัน

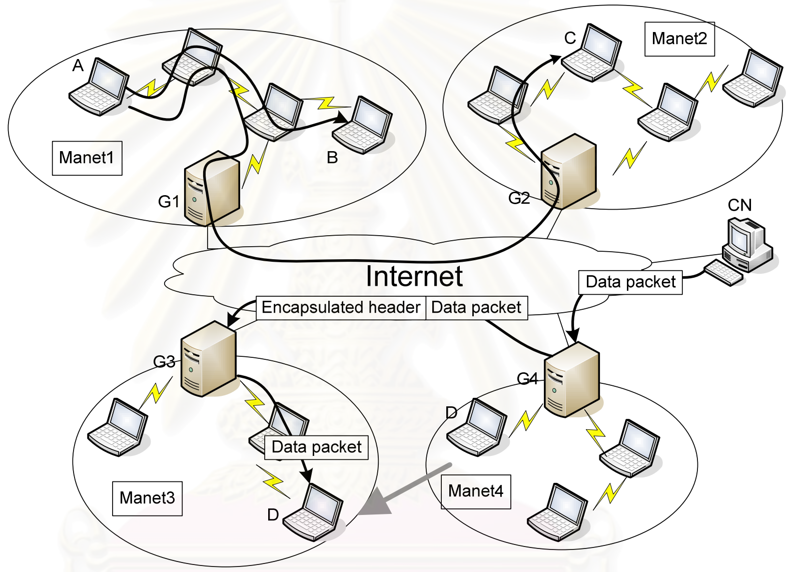
2.5.3 การปรับปรุงสมรรถนะของ Mobile IP โดยแนวทางอื่นๆ

2.5.3.1 Integrating Mobile IP with Ad Hoc Networks [20]

ขณะที่โครงข่าย Mobile IP ช่วยให้ผู้ใช้การสื่อสารไร้สายสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระโดยยังคงสามารถเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตอยู่ตลอดเวลา รูปแบบการสื่อสารไร้สายอีกชนิดหนึ่งที่ได้รับความสนใจมากเช่นกันก็คือโครงข่ายสื่อสารแบบ Mobile Ad Hoc Network (Manet) ซึ่งมีลักษณะเฉพาะตัวที่ไม่จำเป็นต้องอาศัยสถานีฐานในการติดต่อระหว่างผู้ใช้แต่ละคน งานวิจัยนี้จึง

มีแนวความคิดในการรวมรูปแบบการทำงานทั้งสองเข้าด้วยกัน ส่งผลให้พื้นที่ให้บริการของ FA ไม่ถูกจำกัดเพียงแค่ระยะทางจากกำลังส่งของ FA อีกต่อไปดังแสดงในรูปที่ 2.14

ในโครงข่ายที่ถูกเสนอ โครงข่าย Manet แต่ละโครงข่ายจะเชื่อมต่อกับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านทาง gateway ซึ่งโนดนี้เองจะกำหนดขนาดของ Manet ว่าให้มีขนาดเท่าใดผ่านทาง Time-To-Live (TTL) ในข่าวสารประกาศจากตัวแทน นอกจากนี้ gateway ยังทำหน้าที่เป็น FA ในการส่งต่อแพ็กเกตข้อมูลระหว่าง Manet กับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต สำหรับรูปแบบการสื่อสารที่เกิดขึ้นแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ การสื่อสารภายใน Manet (Intra-Manet) และการสื่อสารระหว่าง Manet (Inter-Manet)



รูปที่ 2.14 รูปแบบการสื่อสารระหว่างโครงข่าย Manet ทั้งในกรณี Intra- และ Inter-Manet

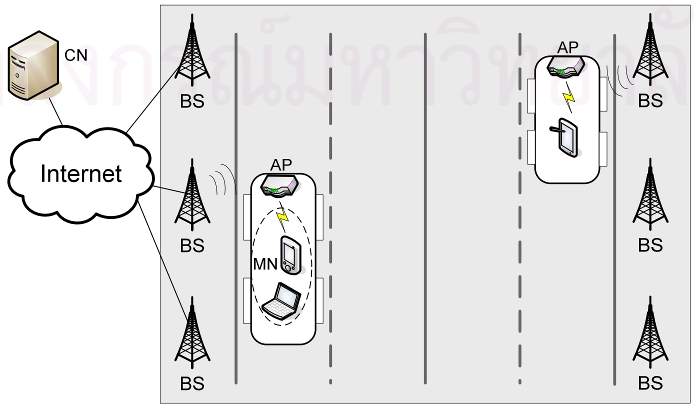
จากรูปการส่งข้อมูลจาก A ไปยัง B ซึ่งอยู่ภายใน Manet เดียวกันเป็นตัวอย่างของการสื่อสารแบบ Intra-Manet โดยในที่นี้ได้กำหนดให้โพรโทคอลจัดเส้นทางที่ใช้ใน Manet เป็นแบบ DSDV ขณะที่การสื่อสารแบบ Inter-Manet ถูกแสดงในกรณีที่ A ต้องการส่งข้อมูลไปยัง C ขั้นแรกข้อมูลดังกล่าวจะถูกโพรโทคอล DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector) จัดเส้นทางไปยัง G1 ก่อนถูกส่งผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ตไปยัง G2 และ DSDV จึงจัดเส้นทางต่อไปยัง C ทั้งนี้หากพื้นที่ของ Manet1 และ Manet2 ซ้อนทับกันโนด A อาจส่งข้อมูลไปยัง C ได้โดยตรงโดยใช้ DSDV ทำให้สามารถลดต้นทุนและเวลาการส่งข้อมูลลงได้ นอกจากนี้หากมี MN ใดที่อยู่ในพื้นที่ที่ซ้อนทับกันของหลาย Manet ก็สามารถเลือก gateway ที่อยู่ใกล้ที่สุดเป็น default ส่วน gateway อื่นๆ เป็นทางเลือกสำรองไว้ก็ได้ ในกรณีที่ MN เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายบ้าน Mobile IP จะส่งข้อมูลดังกล่าวระหว่าง Manet ดังรูป CN ส่งข้อมูลมายัง G4 ก่อนจะถูก encapsulate แล้วส่ง

ต่อมายัง G3 จากนั้น DSDV จึงจัดเส้นทางไปยัง MN จึงเห็นได้ว่านอกเหนือจากพื้นที่ให้บริการที่เพิ่มขึ้นแล้ว กรณีที่พื้นที่ Manet ซ้อนทับกันระบบยังมีทางเลือกในการลดความคับคั่งของข้อมูลในโครงข่ายหลักได้รวมถึงช่วยเพิ่มทางเลือกในการเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตให้กับผู้ใช้เคลื่อนที่ได้อีกด้วย

2.5.3.2 Nested Network Mobility (Nested NEMO) [21], [22]

รูปแบบการประยุกต์ใช้ Mobile IP ในทางปฏิบัติที่เสนอขึ้นในงานวิจัยนี้คือการติดตั้งจุดเชื่อมต่อกับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต (Access Point, AP) ในยานพาหนะ โดยเรียกโครงข่ายดังกล่าวว่า Mobile hotpot ดังแสดงในรูปที่ 2.15 [22] จะเห็นว่า AP ถูกติดตั้งอยู่บนยานพาหนะและทำหน้าที่ในการเชื่อมต่อการสื่อสารระหว่าง MN ภายในยานพาหนะผ่านทาง WLAN (Wireless local area network) กับสถานีฐาน (BS) ที่เชื่อมต่ออยู่กับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตผ่านทาง WWAN (Wireless wide area network) โดย MN จะมีการทำงานเช่นเดียวกับใน Mobile IP ทุกประการ โดยสิ่งที่เพิ่มเติมขึ้นมาคือ AP หรือ Mobile router ทุกครั้งที่ยานพาหนะเคลื่อนที่เปลี่ยนสถานีฐาน AP จะส่งข่าวสารลงทะเบียนไปยัง HA ของ AP นี้ขณะที่ MN ต่างๆ ที่อยู่ภายในยานพาหนะไม่ต้องส่งข่าวสารลงทะเบียนใดๆ ส่งผลให้ระบบสามารถลดปริมาณข่าวสารการสัญญาณที่จะต้องส่งผ่านโครงข่ายหลักลงได้มาก นอกจากนี้ยังส่งผลดีต่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานของ MN และประสิทธิภาพของสัญญาณที่ MN จะได้รับเนื่องจาก AP ที่ยานพาหนะมีประสิทธิภาพสูงกว่าของ MN จึงรองรับการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงได้ดีกว่า

ในกรณีที่ MN ภายในยานพาหนะไม่ได้เชื่อมต่อกับ Mobile router ของยานพาหนะโดยตรงแต่เชื่อมต่อผ่านทาง MN อื่นๆ ในรูปแบบของ Mobile Ad Hoc เราเรียกโครงข่ายนี้ว่า Nested NEMO โดยกำหนดให้เราเตอร์ของยานพาหนะเป็น root mobile router และ MN อื่นๆ ที่เชื่อมต่อกับเราเตอร์นี้สามารถทำหน้าที่เป็น mobile router ในลำดับชั้นต่อไปเพื่อให้บริการกับ MN อื่นๆ ทำให้โครงข่าย Nested NEMO มีลักษณะเป็นแบบลำดับชั้น (hierarchy network)

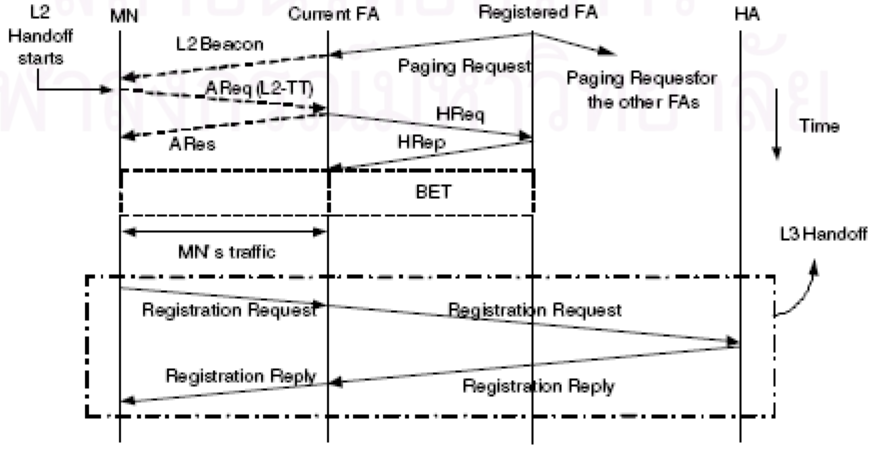


รูปที่ 2.15 ลักษณะโครงข่ายสื่อสารแบบ Mobile hotspot

2.5.3.3 Improvement of Paging Extensions in MIP based on Post Registration [23]

เนื่องจากวิธี P-MIP พิจารณาเพียงกระบวนการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของผู้ใช้เพียงอย่างเดียว โดยยังคงมีกระบวนการลงทะเบียนเช่นเดียวกับ Mobile IP มาตรฐาน ทำให้ระบบมีช่วงเวลา handoff latency มากส่งผลต่อปริมาณการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูล รวมถึงยังจำเป็นต้องใช้ที่พักแพ็กเกตข้อมูลจำนวนมาก งานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพ 2 ส่วนได้แก่

ส่วนแรกในขณะที่ MN มีสถานะเป็น active และมีการแฮนด์ออฟผู้วิจัยได้เสนอให้ใช้กระบวนการลงทะเบียนภายหลัง (Post registration) โดยให้ใช้ข่าวสารใน Layer 2 (ซึ่งมีอัตราการกระจายที่สูงกว่าข่าวสารใน Layer 3) ในการเริ่มต้นการสร้าง Bi-directional Edge Tunnel (BET) ระหว่าง FA เดิมและ FA ใหม่ เพื่อให้ MN ที่อยู่ในพื้นที่ของ FA ใหม่ยังคงสามารถใช้ CoA ของ FA เดิมในการรับแพ็กเกตข้อมูลก่อนได้ โดยข้อมูลนี้จะถูกส่งผ่าน BET มายัง MN หลังจากนั้น MN จึงค่อยเริ่มกระบวนการแฮนด์ออฟใน Layer 3 เพื่อขอรับแพ็กเกตข้อมูลจาก HA ต่อไป ในส่วนที่สองเมื่อ MN มีสถานะเป็น idle และมีแพ็กเกตข้อมูลถูกส่งมายัง MN ดังแสดงในรูปที่ 2.16 แพ็กเกตข้อมูลจะถูก HA ส่งมายัง registered FA จากนั้นข่าวสารร้องขอการเพจจะถูกส่งไปยัง FA ทุกๆตัวในพื้นที่การเพจเพื่อค้นหา MN นั้นๆ เมื่อ MN ได้รับข่าวสารนี้จะยังไม่ลงทะเบียนกับ HA ในทันทีแต่จะส่งข่าวสาร Association request (AReq) ไปยัง FA ปัจจุบันเพื่อให้ FA ปัจจุบันเริ่มต้นกระบวนการสร้าง BET กับ registered FA เมื่อ สร้าง BET เสร็จ แพ็กเกตข้อมูลก็จะถูกส่งจาก registered FA มายัง MN ผ่านทาง BET นี้ได้ทันที ส่งผลให้ MN สามารถดึงข้อมูลจากที่พักได้รวดเร็วและลดปริมาณความต้องการใช้ที่พักข้อมูลที่ registered FA เนื่องจากเมื่อเปรียบเทียบกับกรณี P-MIP ซึ่ง registered FA จะต้องพักข้อมูลไว้จนกว่า MN จะลงทะเบียนกับ HA เสร็จสิ้นแล้วจึงส่งข่าวสารตอบรับการเพจมายัง registered FA ซึ่งใช้เวลานานกว่า อย่างไรก็ตามการสร้าง BET ส่งผลให้เกิดปริมาณการสัญญาณเพิ่มขึ้นเล็กน้อย



รูปที่ 2.16 แผนภาพการสัญญาณเมื่อ MN เปลี่ยนเข้าสู่สถานะ active

2.5.3.4 การจัดเส้นทางที่เหมาะที่สุด (Route Optimization) [3]

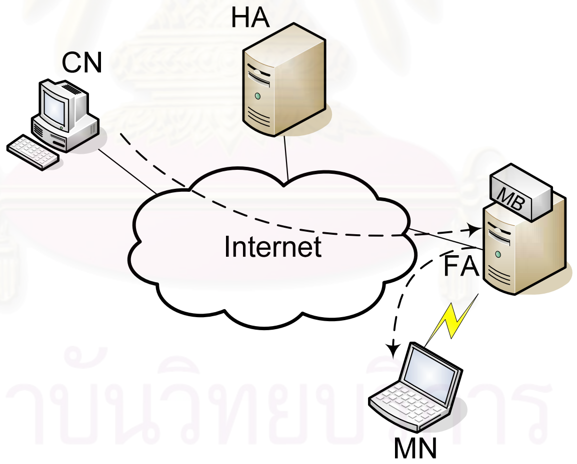
ในการส่งข้อมูลให้กับผู้ใช้เคลื่อนที่ของ Mobile IP แพ็กเกตจาก CN จะถูกส่งไปยัง HA จากนั้นแพ็กเกตจึงถูกส่งต่อไปยัง MN ตรงกันข้ามกับในกรณีที่ MN ต้องการส่งข้อมูลให้กับ CN แพ็กเกตข้อมูลจะถูกส่งผ่านโครงข่ายอินเทอร์เน็ตไปยัง CN ได้โดยตรง จากที่กล่าวมาจึงเห็นได้ว่ามีลักษณะการส่งแพ็กเกตข้อมูลเป็นสามเหลี่ยม นำมาซึ่งต้นทุนการส่งข้อมูลรวมถึงระยะเวลาที่สูงขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อ CN อยู่ใกล้กับ MN โดยเรียกปัญหานี้ว่า Triangular routing เพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดเส้นทางให้เหมาะสม IETF จึงได้นิยามแนวคิดของ binding cache ที่ถูกเก็บไว้ที่ CN ที่ต้องการติดต่อสื่อสารกับ MN ซึ่งจะทำให้ข้อมูลจาก CN ถูกส่งไปยัง MN ได้โดยตรงไม่ต้องผ่าน HA

เมื่อ HA ได้รับแพ็กเกตที่ต้องการส่งถึง MN ก็จะส่งต่อแพ็กเกตนั้นไปยัง CoA ที่บันทึกไว้พร้อมๆ กับส่งข่าวสาร binding update ไปยังผู้ส่งแพ็กเกตดังกล่าว (CN) เพื่อบอกถึงที่อยู่ CoA ปัจจุบันของ MN ที่ CN ดังกล่าวต้องการติดต่อด้วย CN เมื่อได้รับข่าวสารจึงปรับค่าใน binding cache จากนั้นจึงส่งแพ็กเกตข้อมูลที่เหลือไปยัง MN โดยตรงผ่านทาง CoA เมื่อ MN เคลื่อนที่เปลี่ยน CoA นอกเหนือจากที่จะต้องแจ้งกับ HA แล้วยังจะต้องแจ้งกับ CN อื่นๆ ที่ MN กำลังติดต่อสื่อสารด้วย ส่งผลให้อาจเกิดปริมาณการสัญญาณจำนวนมาก นอกจากนี้ยังมีข่าวสารอีก 2 ชนิดที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางที่เหมาะที่สุด คือ binding warning และ binding request โดย binding warning เป็นข่าวสารที่เกิดขึ้นในกรณีที่ CN ส่งข้อมูลมายัง CoA ซึ่ง MN ได้เคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งไปแล้ว FA ที่ได้รับข้อมูลดังกล่าวจะส่งข่าวสาร binding warning ไปยัง HA เพื่อบอกว่า CN ใดต้องการได้รับ binding update ใหม่ ขณะที่ข่าวสาร binding request จะเกิดขึ้นเมื่อ CN เห็นว่า binding cache ที่ตนมีอยู่เก่าแล้วก็จะส่ง binding request ไปยัง HA เพื่อขอรับ binding update ใหม่สำหรับใช้ในการส่งข้อมูลต่อไป

2.5.3.5 Mailbox-Based Scheme [24]

ถึงแม้ว่า MIP Route Optimization จะสามารถลดต้นทุนในการส่งแพ็กเก็ตจาก CN ไปยัง MN ลงได้แต่จะเห็นได้ว่าวิธีนี้ยังคงเกิดปัญหาปริมาณข่าวสารการสัญญาณจำนวนมาก เมื่อ MN มีการเคลื่อนที่บ่อยๆ เนื่องจาก HA ต้องส่งข่าวสาร binding update ไปยัง CN ทุกตัวที่กำลังติดต่ออยู่กับ MN ทุกครั้งที่ MN เคลื่อนที่เปลี่ยน CoA งานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทางในการแก้ไขโดยกำหนดให้ MN ทุกตัวมี mailbox ของตนเองโดย mailbox ดังกล่าวจะถูกเก็บไว้ที่ Mobility Agent ดังแสดงในรูปที่ 2.17 เมื่อ CN ใดต้องการติดต่อกับ MN ก็จะส่งข้อมูลมายัง mailbox ของ MN นั้น คล้ายกับใน MIP Route Optimization แตกต่างที่ในวิธีนี้แพ็กเกตจะถูกส่งไปยัง mailbox ของ MN

แทนที่จะเป็น CoA จริงๆ ของ MN โดยเริ่มต้น mailbox จะอยู่ในโครงข่ายเดียวกับ MN แต่เมื่อ MN ได้เคลื่อนที่ไปยังโครงข่ายใหม่ MN ก็จะลงทะเบียนกับ FA เก่าที่ mailbox ถูกเก็บรักษาไว้ผ่านทาง FA ใหม่ เมื่อ FA เก่าได้รับข่าวสารลงทะเบียนก็จะตัดสินใจว่าจะย้าย mailbox ไปยัง FA ใหม่หรือยังคงตั้งไว้ที่เดิม โดยปัจจัยที่นำมาพิจารณาคือ ระยะทางถึง FA ใหม่และอัตราข้อมูลขาเข้าของ MN นั้นๆ หาก FA เก่าคาดว่า MN จะมีแพ็กเกตขาเข้าจำนวนมากและระยะทางไปยัง FA ใหม่มีระยะทางไกล ก็จะตัดสินใจย้าย mailbox ไปยัง FA ใหม่เพื่อให้แพ็กเกตที่ถูกส่งใช้เส้นทางที่เหมาะที่สุด โดยหลังจากการย้าย mailbox, FA ใหม่ที่มี mailbox อยู่จะต้องส่งข่าวสารไปยัง MN และ HA เพื่อบอกถึงที่อยู่ใหม่ของ mailbox ในทางกลับกันหาก MN มีแนวโน้มที่จะได้รับแพ็กเกตต่ำหรือระยะทางจาก FA เก่าไปยัง FA ใหม่มีระยะสั้น การตั้ง mailbox ไว้ที่เดิมจะให้ต้นทุนโดยรวมที่ต่ำกว่า ในงานวิจัยนี้มีกระบวนการตัดสินใจจากการตั้งค่า threshold ของระยะทางระหว่าง FA เก่าและใหม่รวมถึงอัตราข้อมูลของ MN ไว้หากค่าที่ประมาณได้เกินค่าที่กำหนดก็จะย้าย mailbox ไปยัง FA ใหม่ ทั้งนี้ผู้เสนอยังได้นิยามการแฮนด์ออฟของ MN ไว้ 2 ชนิดคือ local handoff ซึ่งคือการแฮนด์ออฟของผู้ใช้โดย mailbox ไม่ได้เคลื่อนที่ไปด้วยและ home handoff ซึ่งคือการแฮนด์-ออฟที่ mailbox ถูกย้ายตามไปด้วย



รูปที่ 2.17 ลักษณะการทำงานของ Mailbox-Based Scheme

บทที่ 3

วิธีการที่นำเสนอ

เมื่อได้เรียนรู้หลักการทำงานของ Mobile IP รวมถึงแนวทางในการพัฒนาปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของ Mobile IP ในรูปแบบต่างๆที่ได้มีผู้เสนอไว้แล้ว ดังที่กล่าวในบทก่อนหน้านี้ เนื้อหาในบทที่ 3 นี้จะเป็นการนำความรู้รวมถึงแนวคิดในการพัฒนาต่างๆ มาประยุกต์ใช้ให้ได้ระบบที่มีสมรรถนะการทำงานที่ดี ดังแสดงในวิธีการที่นำเสนอ รวมถึงแสดงการวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณในเชิงคณิตศาสตร์ สำหรับผลการจำลองการทำงานของวิธีการที่นำเสนอและผลการวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณในเชิงคณิตศาสตร์จะมีการกล่าวถึงในบทถัดไป

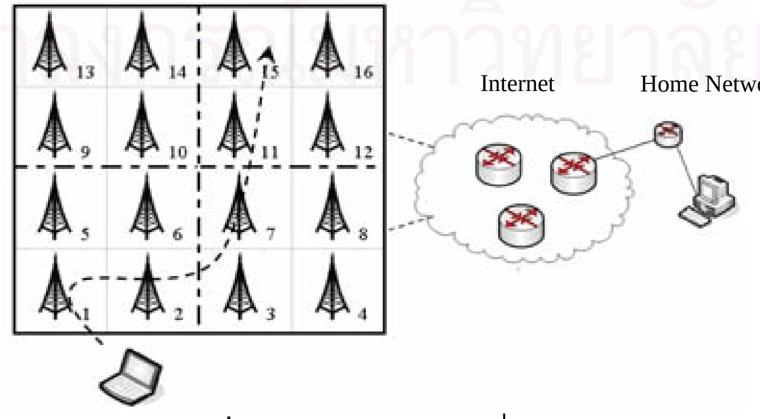
3.1 วิธีการที่นำเสนอ

จากบทที่ผ่านมาจะพบว่าในอดีตที่ผ่านมามีงานวิจัยจำนวนมากที่มีการพัฒนาปรับปรุงสมรรถนะของ Mobile IP อย่างไรก็ตามแนวทางในการพัฒนาเหล่านั้นสามารถแบ่งออกเป็นแนวทางหลักๆได้ 2 แนวทาง แนวทางหนึ่งคือแนวทางที่พัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการพื้นฐานของ Mobile IP Regional Registration ขณะที่อีกแนวทางหนึ่งถูกพัฒนาขึ้นโดยอาศัยหลักการพื้นฐานของกระบวนการเพจ (P-MIP) ซึ่งวิธีการต่างๆก็มีทั้งที่มีลักษณะการทำงานเป็นแบบ centralized และที่มีลักษณะการทำงานเป็นแบบ distributed ซึ่งในกรณีที่ระบบมีลักษณะเป็นแบบ centralized พบว่ามีข้อจำกัดที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบได้หลายประการ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาในเรื่องความเชื่อถือได้ของระบบ (system reliability) รวมถึงปัญหาความคับคั่งของแพ็กเกตข้อมูลบริเวณโนดศูนย์กลาง ที่อาจส่งผลกระทบต่อคุณภาพการให้บริการของโครงข่าย เนื่องจากที่โนดศูนย์กลางนี้จำเป็นจะต้องมีบัฟเฟอร์ขนาดใหญ่เพื่อใช้ในการพักแพ็กเกตข้อมูล ในระหว่างกระบวนการเพจหา MN เมื่อมีแพ็กเกตข้อมูลส่งมายัง idle MN ที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจนั้น โดยขนาดของบัฟเฟอร์ที่จำเป็นจะต้องใช้จะมีขนาดเพิ่มมากขึ้นเมื่อจำนวนของผู้ใช้เคลื่อนที่ที่อยู่ภายใต้การดูแลของ paging FA นี้มีค่ามากขึ้น กล่าวคือ เมื่อพื้นที่การเพจมีขนาดใหญ่ หรือความหนาแน่นของผู้ใช้ต่อหน่วยพื้นที่มีค่ามาก นอกจากนี้หากผู้ใช้ในระบบมีอัตราการเข้ามาของ data session ที่มีค่าสูงก็จะส่งผลต่อขนาดของบัฟเฟอร์ที่จำเป็นต้องใช้เช่นกัน และเนื่องจากลักษณะที่เป็น centralized system ทำให้ข่าวสารการสัญญาณต่างๆ ในระบบจะคับคั่งที่โนดศูนย์กลางนี้ความสามารถในการรองรับจำนวนผู้ใช้จึงถูกจำกัดโดยความสามารถของอุปกรณ์โครงข่าย ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหาต่างๆที่จะเกิดขึ้นในระบบที่เป็นแบบ centralized system ในวิธีที่จะนำเสนอนี้จึงใช้ลักษณะการทำงานที่เป็นแบบ distributed system ประกอบกับ

ในปัจจุบันที่เทคโนโลยีของอุปกรณ์โครงข่ายได้มีการพัฒนาไปมาก การให้อุปกรณ์โครงข่ายมีความสามารถทำงานแบบ distributed system จึงไม่ใช่ปัญหาอีกต่อไป

ในแนวทางที่เสนอนี้จะกำหนดให้ FA ทุกตัวในระบบสามารถทำหน้าที่เป็น pFA ได้ คือ รองรับกระบวนการการเพจ และกำหนดให้ภายในพื้นที่การเพจหนึ่งมีการแบ่งออกเป็นพื้นที่ย่อยๆ โดยเรียกพื้นที่ย่อยๆเหล่านี้ว่า พื้นที่การเพจย่อย (Sub-PA, SPA) FA แต่ละตัวที่รองรับวิธีการนี้จะกำหนดบิต ‘P’ ในข่าวสารประกาศจากตัวแทนให้มีค่าเป็น 1 เมื่อ MN เคลื่อนที่เข้ามายังพื้นที่บริการของ FA และเมื่อได้รับข่าวสารประกาศจากตัวแทนนี้ก็สามารถตรวจสอบได้ว่า FA ที่กำลังให้บริการอยู่นั้นรองรับการเพจหรือไม่ ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ FA ทุกตัวรองรับการเพจ ขณะเดียวกันก็จะมีการกำหนดบิต ‘P’ ในข่าวสารการร้องขอการลงทะเบียนโดย MN เพื่อบอกว่า MN นั้นรองรับการเพจหรือไม่

สำหรับ active MN จะมีการทำงานเช่นเดียวกับใน Mobile IP มาตรฐานคือ เมื่อ MN มีการเคลื่อนที่เปลี่ยน FA ก็จะต้องลงทะเบียนบอก HA ทุกครั้ง ขณะที่ idle MN เมื่อมีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจจะต้องลงทะเบียนที่อยู่ของ pFA ตัวใหม่กับ HA โดย FA ตัวแรกในพื้นที่การเพจที่ MN เคลื่อนที่ผ่านเข้าไปจะทำหน้าที่เป็น pFA ให้กับ MN ตัวนั้นและจะดูแล MN ตัวนั้นตลอดระยะเวลาที่ MN ยังคงอยู่ในพื้นที่การเพจ และเมื่อ idle MN มีการเคลื่อนที่ไปยังพื้นที่การเพจย่อยอื่นๆภายในพื้นที่การเพจเดิม FA ตัวแรกใน SPA ที่ MN ผ่านเข้าไปจะทำหน้าที่เป็น Sub-pFA โดยจะรับผิดชอบในการติดตาม MN ตัวนั้นตลอดระยะเวลาที่ MN นั้นยังคงอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยเดิม และเมื่อ MN เคลื่อนที่ข้ามไปยังพื้นที่การเพจย่อยใหม่ในพื้นที่การเพจเดิม MN จะต้องแจ้งที่อยู่ของ Sub-pFA ปัจจุบันให้ pFA รู้ โดยเราเรียกว่าเป็นการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่ง (Location Update) ซึ่งการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งนี้ไม่ได้ทำให้ MN เปลี่ยนจากสถานะ idle เป็น active แต่อย่างใด ส่วนในกรณีที่ idle MN มีการเคลื่อนที่อยู่ภายใน SPA ก็ไม่จำเป็นจะต้องลงทะเบียนหรือส่งข่าวสารการสัญญาณใดๆ



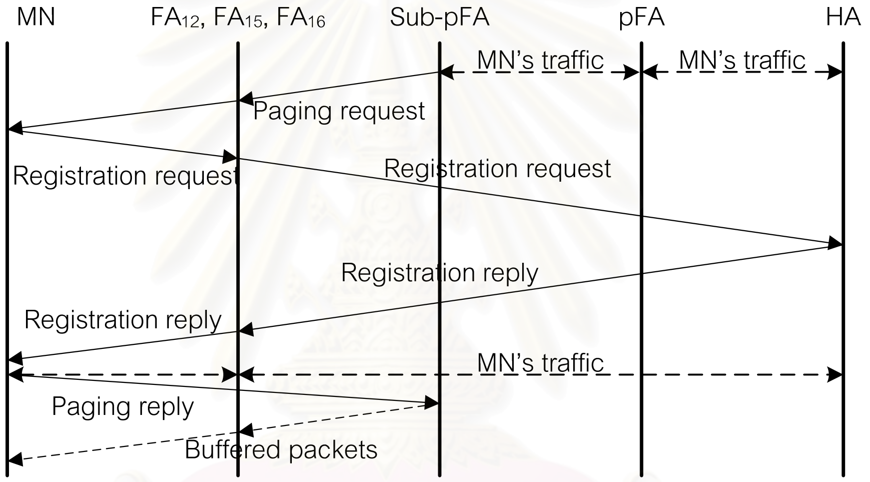
รูปที่ 3.1 การทำงานของวิธีที่เสนอ

รูปที่ 3.1 แสดงลักษณะการทำงานของวิธีที่เสนอ จากรูป พื้นที่การเพจประกอบด้วย 16 เซลล์ และมีการแบ่งออกเป็น 4 พื้นที่การเพจย่อย แต่ละพื้นที่การเพจย่อยประกอบด้วย 4 เซลล์ เริ่มต้นเมื่อ MN ซึ่งมีสถานะการทำงานเป็นสถานะ idle เคลื่อนที่ข้ามมายังพื้นที่การเพจที่พิจารณา โดยผ่านทาง FA_1 (FA_1 ทำหน้าที่เป็น pFA) MN จะต้องลงทะเบียนกับ HA เพื่อบอกที่อยู่ของ pFA ให้ HA รู้ จากนั้นเมื่อ MN เคลื่อนที่ข้ามไปยัง FA_2 ซึ่งยังคงอยู่ในพื้นที่การเพจเดิมและพื้นที่การเพจย่อยเดิม MN จึงไม่ต้องส่งข่าวสารการสัญญาณใดๆ แต่เมื่อเคลื่อนที่ไปยัง FA_3 MN ตรวจพบว่ากำลังอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยใหม่แต่ยังคงอยู่ในพื้นที่การเพจเดิม MN จึงส่งข่าวสารแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งไปยัง FA_1 (pFA) เพื่อบอกถึงที่อยู่ของ Sub-pFA ปัจจุบันของ MN (FA_3)

เมื่อ MN เคลื่อนที่ข้ามไป FA_7 ซึ่งยังอยู่ในพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยเดิม MN จึงไม่ต้องส่งข่าวสารการสัญญาณใดๆ แต่เมื่อเคลื่อนที่ไปยัง FA_{11} ก็จะต้องแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งไปยัง FA_1 เพื่อบอกที่อยู่ของ Sub-pFA ปัจจุบันดังเช่นที่ได้อธิบายข้างต้น จากรูปถ้ากำหนดให้ขณะที่ MN กำลังอยู่ที่ FA_{15} มีแพ็กเกตข้อมูลส่งมาถึง MN HA จะดักจับแพ็กเกตข้อมูลเหล่านั้นพร้อมทั้ง encapsulate แล้วจึงส่งต่อมายัง pFA ที่ได้บันทึกไว้ ซึ่งในที่นี้คือ FA_1 จากนั้น FA_1 จะตรวจสอบใน visitor list ว่ามีบันทึกของ MN นี้หรือไม่ ถ้าพบก็จะตรวจสอบว่า MN นั้นได้มีการเคลื่อนที่เปลี่ยนพื้นที่การเพจย่อยไปแล้วหรือยัง ซึ่งพบว่า MN ได้เคลื่อนที่เปลี่ยนพื้นที่การเพจย่อยแล้วโดยมี FA_{11} เป็น Sub-pFA ปัจจุบันที่บันทึกไว้ FA_1 จึงส่งแพ็กเกตทั้งหมดไปยัง FA_{11} ซึ่งทำหน้าที่เป็น Sub-pFA โดยทันที Sub-pFA จึงตรวจสอบว่ามีบันทึกของ MN นี้หรือไม่ ถ้าตรวจพบ FA_{11} จะส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยังทุกๆ FA ภายในพื้นที่การเพจย่อยอันได้แก่ FA_{12},FA_{15} และ FA_{16} พร้อมกับกระจายข่าวสารร้องขอการเพจในเซลล์ของตัวเอง และเมื่อ FA_{12},FA_{15} และ FA_{16} ได้รับข่าวสารร้องขอการเพจก็จะกระจายข่าวสารนี้ในแต่ละเซลล์ของตัวเอง เมื่อ MN ตรวจพบที่อยู่ของตัวเองในข่าวสารร้องขอการเพจก็จะลงทะเบียนกับ HA ผ่านทาง FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการอยู่ เมื่อกระบวนการการลงทะเบียนเสร็จสมบูรณ์ HA ก็จะเปลี่ยนเส้นทางของแพ็กเกตข้อมูลมาที่ FA_{15} แทนซึ่งเส้นทางนี้เป็น optimal path สำหรับแพ็กเกตข้อมูลที่จะส่งมาหา MN พร้อมกันนั้น MN จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจผ่าน FA_{15} ไปยัง FA_{11} เพื่อขอรับแพ็กเกตข้อมูลในบัฟเฟอร์ที่ถูกพักเอาไว้ที่ FA_{11} รูปที่ 3.2 แสดงแผนภาพการสัญญาณเมื่อมีแพ็กเกตส่งถึง MN

ขณะนี้ CoA ของ MN ที่ถูกเก็บบันทึกเอาไว้ที่ HA จะเป็นที่อยู่ของ FA_{15} เมื่อเวลาผ่านไปหาก MN ไม่ได้รับหรือส่งแพ็กเกตข้อมูลเกินช่วงระยะเวลา active timer period สถานะของ MN ที่ถูกเก็บไว้ที่ FA_{15} และที่ MN ก็จะเปลี่ยนเข้าสู่สถานะ idle อีกครั้งหนึ่งและ FA_{15} ก็จะทำหน้าที่เป็น pFA ให้กับ MN นั้นเช่นเดียวกับที่ได้อธิบายไว้แล้วในกรณี FA_1 นอกจากนี้หากพิจารณารูปที่ 3.1 จะพบว่าถ้าเป็นกรณีของ Mobile IP แพ็กเกตข้อมูลทั้งหมดที่ต้องการส่งถึง MN จะถูกส่งจาก HA

มายัง FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการ MN นั้นๆอยู่ ซึ่งเป็น optimal path แต่ในกรณีของ P-MIP และในวิธีที่เสนอนั้น จะมีแพ็กเกตบางส่วน (แพ็กเกตข้อมูลที่ถูกพักไว้ที่ Sub-pFA ขณะเพจหา MN) ที่จะถูกส่งมาที่ pFA ก่อนแล้วจึงถูกส่งต่อไปที่ Sub-pFA และ current FA ตามลำดับ ซึ่งไม่ใช่ optimal path แต่เนื่องจากจำนวนแพ็กเกตที่วิ่งในเส้นทางนี้มีจำนวนเพียงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับทั้งขบวนแพ็กเกต จึงทำให้สามารถละเลยผลของ data packet delivery cost ได้ ขณะที่วิธี [9] และ [10] แพ็กเกตข้อมูลทั้งหมดไม่ได้ส่งมาตามเส้นทางที่เป็น optimal path ทำให้จำเป็นที่จะต้องมีการคิดต้นทุนจาก packet delivery cost ด้วยนอกเหนือจากต้นทุนการสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบ สิ่งนี้จึงนับเป็นข้อดีของวิธี P-MIP ที่ปรากฏอยู่ในวิธีที่เสนอ

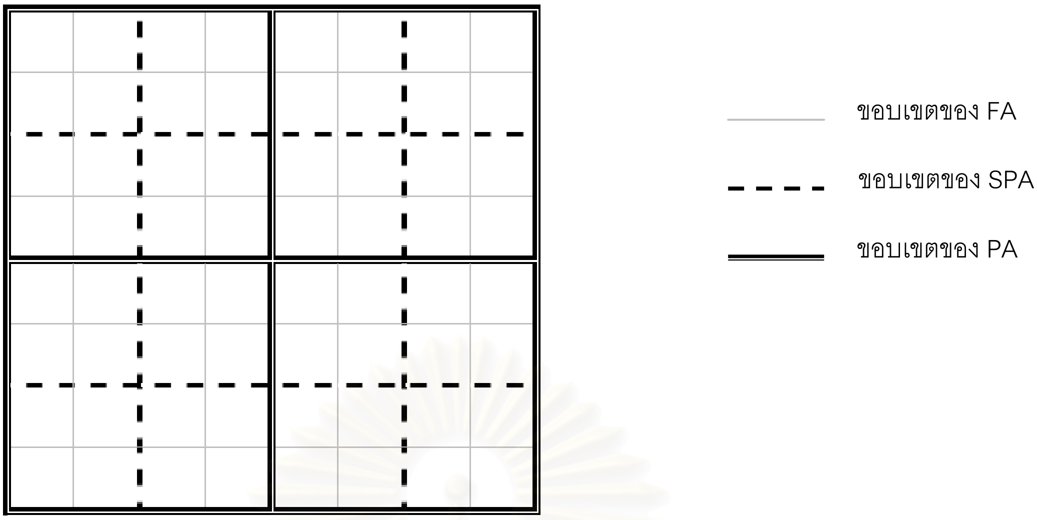


รูปที่ 3.2 แผนภาพแสดงการสัญญาณเมื่อมีแพ็กเกตส่งถึง idle MN

3.1.1 **หลักการสร้างพื้นที่การเพจ** (Paging area construction)

เช่นเดียวกับที่ได้มีการนิยามไว้ในวิธี P-MIP พื้นที่การเพจจะประกอบด้วยกลุ่มของ FA ตั้งแต่ 2 เซลล์ขึ้นไป โดยขอบเขตพื้นที่การเพจสามารถออกแบบได้โดยพารามิเตอร์ที่จำเป็นจะต้องพิจารณาในการออกแบบมีอยู่หลายชนิด ได้แก่ ลักษณะการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ (user mobility pattern), รูปแบบการสื่อสาร (traffic pattern) และความหนาแน่นของผู้ใช้เคลื่อนที่ (mobile density) โดยในวิธีที่เสนอกำหนดให้พื้นที่การเพจแต่ละพื้นที่ถูกแสดงแยกจากกันโดยใช้ Paging Area Identification (PAI) แบ่งพิจารณาได้เป็น 2 รูปแบบคือ กรณีที่พื้นที่การเพจไม่มีพื้นที่ซ้อนทับกัน (Non-overlapping PA) และกรณีที่พื้นที่การเพจมีพื้นที่ซ้อนทับกัน (Overlapping PA)

กรณี non-overlapping PA – ในวิธีนี้ FA แต่ละตัวจะอยู่ในพื้นที่การเพจพื้นที่หนึ่งเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ลักษณะของพื้นที่การเพจกรณีที่เป็นแบบ non-overlapping PA

ในกรณีนี้พื้นที่การเพจแต่ละพื้นที่จะถูกระบุด้วย PAI ที่ต่างกัน โดยภายในข่าวสารประกาศจากตัวแทนของ FA แต่ละตัวจะมีส่วนที่แสดงถึง PAI และ Sub-Paging Area Identification (SPAI) เพื่อที่ว่าในแต่ละครั้งที่ MN เคลื่อนที่เปลี่ยน FA ก็สามารถตรวจสอบได้ว่าขณะนั้นกำลังอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยใดของพื้นที่การเพจใด และที่แต่ละ FA ก็จะมีตารางบันทึกที่อยู่ของทุกๆ FA ที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจย่อยเดียวกันเพื่อที่ว่าเมื่อมีแพ็กเกตข้อมูลที่ต้องการส่งหา MN ถูกส่งมาถึง Sub-pFA ก็จะรู้ทันทีว่าควรส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ใดบ้าง

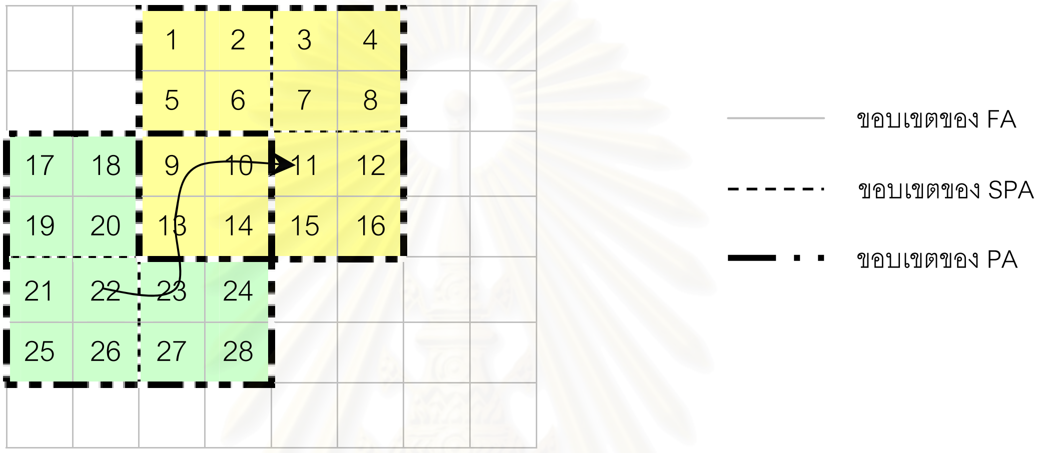
จาก [25] ซึ่งเป็นงานวิจัยที่วิเคราะห์แบบจำลองการเคลื่อนที่ของระบบการสื่อสารไร้สายส่วนบุคคล (Personal Communication Network) แสดงให้เห็นว่า ตำแหน่งเริ่มต้นในพื้นที่บริการหนึ่งๆ ส่งผลต่อระยะเวลาโดยเฉลี่ยที่ผู้ใช้จะยังคงอยู่ในพื้นที่บริการเดิม จึงมีแนวคิดที่จะประยุกต์แนวทางที่เสนอในรูปแบบที่มีพื้นที่การเพจซ้อนทับกันดังต่อไปนี้

กรณี overlapping PA – ในวิธีนี้ FA แต่ละตัวสามารถอยู่ในพื้นที่การเพจหลายๆพื้นที่ได้ โดยในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอ 2 รูปแบบ คือ

<u>แบบที่ 1 พื้นที่การเพจย่อยไม่ซ้อนทับกัน</u> (รูปที่ 3.4)

ในกรณีนี้ภายในข่าวสารประกาศจากตัวแทนจะไม่มีส่วนที่แสดง PAI เช่นในกรณีของ non-overlapping PA แต่จะมีเพียงส่วนของ SPAI เท่านั้น ดังนั้น MN ก็จะสามารถตรวจสอบได้ว่าขณะนี้อยู่ในพื้นที่การเพจย่อยใด สำหรับขอบเขตของพื้นที่การเพจสำหรับผู้ใช้แต่ละรายจะถูกกำหนดโดย pFA ที่ MN ได้ลงทะเบียนไว้กับ HA ทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจ จากรูปที่ 3.4 สมมติให้ MN มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจเดิมจาก FA_{10} ไป FA_{11} MN จะต้องลงทะเบียนที่อยู่ของ pFA อันใหม่กับ HA ซึ่งในที่นี้คือที่อยู่ของ FA_{11} และเมื่อกระบวนการลงทะเบียนเสร็จสิ้น

FA_{11} จะได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน (Registration reply message) จาก HA โดยก่อนที่ FA_{11} จะส่งต่อข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนนี้ไปยัง MN FA_{11} จะแทรกข้อมูลที่บอกว่าพื้นที่การเพจที่ได้กำหนดให้ MN นั้นประกอบไปด้วยพื้นที่การเพจย่อยใดบ้าง (SPAI list) เมื่อ MN ได้รับข่าวสารนี้ก็จะบันทึกข่าวสารนี้ไว้สำหรับใช้ในการตรวจสอบต่อไปทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่ว่ายังคงอยู่ภายในพื้นที่การเพจเดิมหรือไม่ จากรูปที่ 3.4 พื้นที่การเพจที่กำหนดให้ MN มีขนาดเท่ากับ 16 เซลล์ และประกอบด้วยพื้นที่การเพจย่อย 4 พื้นที่

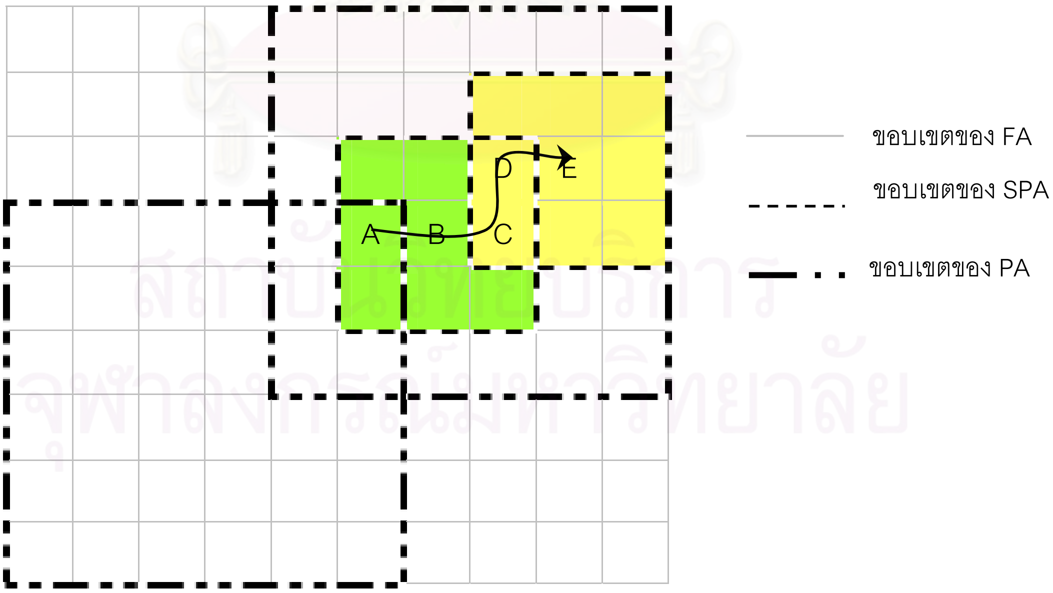


รูปที่ 3.4 ลักษณะของพื้นที่การเพจกรณีที่เป็นแบบ overlapping PA แบบที่ 1

ทุกครั้งที่ MN เคลื่อนที่ไปยัง FA ใหม่ MN ก็จะตรวจสอบจากข่าวสารการประกาศที่ได้รับจาก FA นั้นว่ากำลังอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยใด ถ้าตรวจพบว่ายังอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยเดิม MN ก็ไม่ต้องส่งข่าวสารการสัญญาณใด แต่หากตรวจพบว่าอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยใหม่ MN ก็จะต้องตรวจสอบต่อว่า SPAI ใหม่นี้ตรงกับที่ได้บันทึกไว้ใน SPAI list หรือไม่ ถ้าตรงกับที่ได้บันทึกเอาไว้ MN ก็จะรู้ทันทีว่ายังคงอยู่ภายในพื้นที่การเพจเดิม MN จึงแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่ง โดยส่งข่าวสารแจ้งที่อยู่ของ Sub-pFA อันใหม่ให้กับ pFA แต่หาก SPAI อันใหม่นี้ไม่ตรงกับที่ได้บันทึกเอาไว้ แสดงว่า MN ได้เคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจเดิมไปแล้ว MN จะต้องลงทะเบียนกับ HA เพื่อบอกที่อยู่ของ pFA ใหม่ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อ MN เคลื่อนที่ข้ามจาก FA_{10} ไปยัง FA_{11}และตรวจพบว่าได้เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจเดิมแล้ว MN จะลงทะเบียนบอกที่อยู่ของ pFA ใหม่ (FA_{11}) กับ HA และเมื่อ HA ตอบรับการลงทะเบียนมายัง FA_{11} โดยก่อนที่จะส่งต่อให้ MN FA_{11} จะแทรก SPAI list ลงไปในข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน เพื่อกำหนดขอบเขตของพื้นที่การเพจให้กับ MN นั้น ในที่นี้ SPAI list ประกอบด้วย SPAI ของ SPA_1 (FA_1, FA_2, FA_5 และ FA_6), SPA_2 (FA_3, FA_4, FA_7 และ FA_8), SPA_3 (FA_9, FA_{10}, FA_{13} และ FA_{14}) และ SPA_4 (FA_{11}, FA_{12}, FA_{15} และ FA_{16}) เมื่อ MN ได้รับก็จะบันทึก SPAI list นี้ไว้เพื่อใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ต่อไป

<u>แบบที่ 2 พื้นที่การเพจย่อยซ้อนทับกัน</u> (รูปที่ 3.5)

ในกรณีนี้ FA แต่ละตัวสามารถอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยหลายๆพื้นที่ได้ โดยภายในข่าวสารประกาศจากตัวแทนจะไม่มีทั้งส่วนที่แสดง PAI และ SPAI ดังนั้น MN จะสามารถตรวจสอบได้ว่าขณะนี้อยู่ในพื้นที่การเพจย่อยใด หรือยังคงอยู่ในขอบเขตของพื้นที่การเพจเดิมหรือไม่ โดยพิจารณาจากส่วนของ SPAI และ PAI ที่ถูกกำหนดโดย pFA ที่ MN ได้ลงทะเบียนไว้กับ HA ทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจ หลังจากนั้นเมื่อมีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจย่อยภายในพื้นที่การเพจเดิม SPAI ใหม่ของ MN ก็จะถูกกำหนดโดย Sub-pFA เมื่อมีการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่ง (Location Update) โดย SPAI และ PAI ก็คือที่อยู่ของตัวแทนทุกตัวในพื้นที่การเพจย่อยและพื้นที่การเพจตามลำดับ จากรูปที่ 3.5 สมมติให้ MN มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจเดิมจาก FA_A ไป FA_B MN จะต้องลงทะเบียนที่อยู่ของ pFA อันใหม่กับ HA ซึ่งในที่นี้คือที่อยู่ของ FA_B และเมื่อกระบวนการลงทะเบียนเสร็จสิ้น FA_B จะได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนจาก HA โดยก่อนที่จะส่งต่อข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนนี้ไปยัง MN FA_B จะแทรกข้อมูลที่บอกว่าพื้นที่การเพจที่ได้กำหนดให้ MN นั้นประกอบไปด้วยตัวแทนใดบ้าง (PAI) และตัวแทนใดที่อยู่ในพื้นที่การเพจย่อยบ้าง (SPAI) เมื่อ MN ได้รับก็จะบันทึกข่าวสารนี้ไว้สำหรับใช้ในการตรวจสอบต่อไปทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่ว่ายังคงอยู่ภายในพื้นที่การเพจเดิมหรือไม่ จากรูป พื้นที่การเพจที่กำหนดให้ MN มีขนาดเท่ากับ 36 เซลล์ และพื้นที่การเพจย่อยมีขนาดเท่ากับ 9 เซลล์



รูปที่ 3.5 ลักษณะของพื้นที่การเพจกรณีที่เป็นแบบ overlapping PA แบบที่ 2

เมื่อ MN เคลื่อนที่ไปยัง FA ใหม่ MN ก็จะตรวจสอบจากข่าวสารการประกาศที่ได้รับจาก FA นั้นว่ากำลังอยู่ในเซลล์ของตัวแทนใด ถ้าตรวจสอบจาก SPAI และพบว่ายังอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยเดิมก็ไม่ต้องส่งข่าวสารการสัญญาณใด แต่หากตรวจพบว่าอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยใหม่ก็จะต้องตรวจสอบต่อว่า ที่อยู่ของตัวแทนใหม่นี้ตรงกับที่ได้บันทึกไว้ใน PAI หรือไม่ ถ้าตรงกับที่ได้บันทึกเอาไว้ MN ก็จะรู้ทันทีว่ายังคงอยู่ภายในพื้นที่การเพจเดิม MN จะแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งโดยจะส่งข่าวสารแจ้งที่อยู่ของ Sub-pFA อันใหม่ให้กับ pFA แต่หากไม่ตรงกับที่ได้บันทึกเอาไว้แสดงว่า MN ได้เคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจเดิมไปแล้ว MN จะต้องลงทะเบียนกับ HA เพื่อบอกที่อยู่ของ pFA ใหม่ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อ MN เคลื่อนที่ข้ามจาก FA_A ไปยัง FA_B และตรวจพบว่าได้เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจเดิมแล้ว MN จะลงทะเบียนบอกที่อยู่ของ pFA ใหม่กับ HA และเมื่อ HA ตอบรับการลงทะเบียนมา FA_B จะแทรก SPAI และ PAI ลงไปในข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนก่อนจะส่งต่อให้ MN เพื่อกำหนดขอบเขตของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยให้กับ MN นั้นไว้เพื่อใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ต่อไป

จากที่ได้อธิบายมาจะเห็นว่ากรณีของ overlapping PA จะมีประสิทธิภาพในการจัดการสภาพการเคลื่อนที่ได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณี non-overlapping PA เนื่องจากทุกๆครั้งที่ MN มีการเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจเดิม MN จะเสมือนว่าถูกนำไปตั้งไว้ ณ บริเวณศูนย์กลางของพื้นที่การเพจอันใหม่ส่งผลให้ MN มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจเดิมได้นานขึ้น และยังจะไม่เกิดการลงทะเบียนซ้ำๆ เมื่อมีการเคลื่อนที่ข้ามขอบเขตเดิมที่เพิ่งข้ามมาด้วยจึงทำให้วิธีนี้สามารถลดต้นทุนการสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการลงทะเบียนอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ข้ามขอบเขตของพื้นที่การเพจ ดังที่เกิดขึ้นในกรณี non-overlapping PA ลงได้ นอกจากนี้ภาระในการสัญญาณข่าวสารการลงทะเบียนอันเนื่องมาจากการข้ามพื้นที่การเพจก็จะถูกกระจายไปยังทุกๆ FA ไม่เหมือนกับในกรณี non-overlapping PA ที่จะเกิดภาระในการสัญญาณการลงทะเบียนมากที่เซลล์บริเวณขอบของพื้นที่การเพจ และหากเปรียบเทียบกรณี overlapping PA แบบที่ 1 และ 2 จะเห็นว่าในแบบที่ 2 เมื่อมีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจย่อยในพื้นที่การเพจเดิม MN จะเริ่มต้นตำแหน่งที่จุดศูนย์กลางของพื้นที่การเพจย่อยอันใหม่ ทำให้ในกรณีที่มีการเคลื่อนที่ไปมาข้ามขอบเขตพื้นที่การเพจย่อยไปมาไม่ส่งผลให้เกิดการสัญญาณจากแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งบ่อยๆ จึงสามารถลดปริมาณการสัญญาณและพลังงานที่ MN ต้องใช้ในการส่งลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับ แบบที่ 1

3.1.2 **การตรวจวัดการเคลื่อนที่** (Movement detection)

กลไกของ MN ในการตรวจวัดว่าได้มีการเคลื่อนที่ข้ามโครงข่าย (FA) หรือไม่นั้นมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับใน Mobile IP โดยแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ

1. Lazy cell switching (LCS)

วิธีนี้ MN จะตรวจวัดการเคลื่อนที่โดยใช้ ข้อมูลจากข่าวสารประกาศจากตัวแทนและช่วงเวลาหมดอายุของข่าวสารการประกาศ (Advertisement lifetime) เมื่อ MN ได้รับข่าวสารประกาศจากตัวแทน MN จะอ่านข้อมูลช่วงเวลาหมดอายุของข่าวสารการประกาศของข่าวสารนั้นแล้วบันทึกไว้ หาก MN ไม่ได้รับข่าวสารประกาศจากตัวแทนเดิมภายในช่วงเวลาหมดอายุของข่าวสารการประกาศ MN จะเข้าใจว่ามันได้เคลื่อนที่ข้ามไปยัง FA ใหม่แล้ว

2. Eager cell switching (ECS)

วิธีนี้ MN จะตรวจวัดการเคลื่อนที่โดยอาศัยการเปรียบเทียบ network prefix ของข่าวสารประกาศจากตัวแทนที่ได้รับมาใหม่ กับ network prefix ของ CoA ปัจจุบันที่ได้บันทึกไว้ ถ้าแตกต่างกัน MN จะสันนิษฐานว่าได้มีการเคลื่อนที่ข้ามไปยังโครงข่ายใหม่แล้ว

ถ้า MN อยู่ในสถานะ active เมื่อตัวมันตรวจพบว่าได้มีการเคลื่อนที่ข้าม FA กระบวนการแฮนด์ออฟจะถูกเริ่มขึ้น จนกระทั่งการลงทะเบียนเสร็จสมบูรณ์ซึ่งในกรณีนี้ตำแหน่งของ MN จะถูกปรับให้ทันกาลกับปัจจุบันโดย HA และ FA ในทางตรงกันข้ามถ้า MN อยู่ในสถานะ idle และตรวจพบว่าได้มีการเคลื่อนที่เปลี่ยนโครงข่ายแต่ยังคงอยู่ภายในพื้นที่การเพจเดิม MN ก็ไม่จำเป็นจะต้องลงทะเบียนกับ HA อีก โดยหากการเคลื่อนที่นั้นยังอยู่ภายในพื้นที่การเพจย่อย (SPA) เดิม MN ก็ไม่จำเป็นจะต้องส่งข่าวสารการสัญญาณใดๆ แต่หากการเคลื่อนที่นั้นข้ามพื้นที่การเพจย่อย MN จะต้องแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งโดยแจ้งที่อยู่ของ Sub-pFA อันใหม่กับ pFA

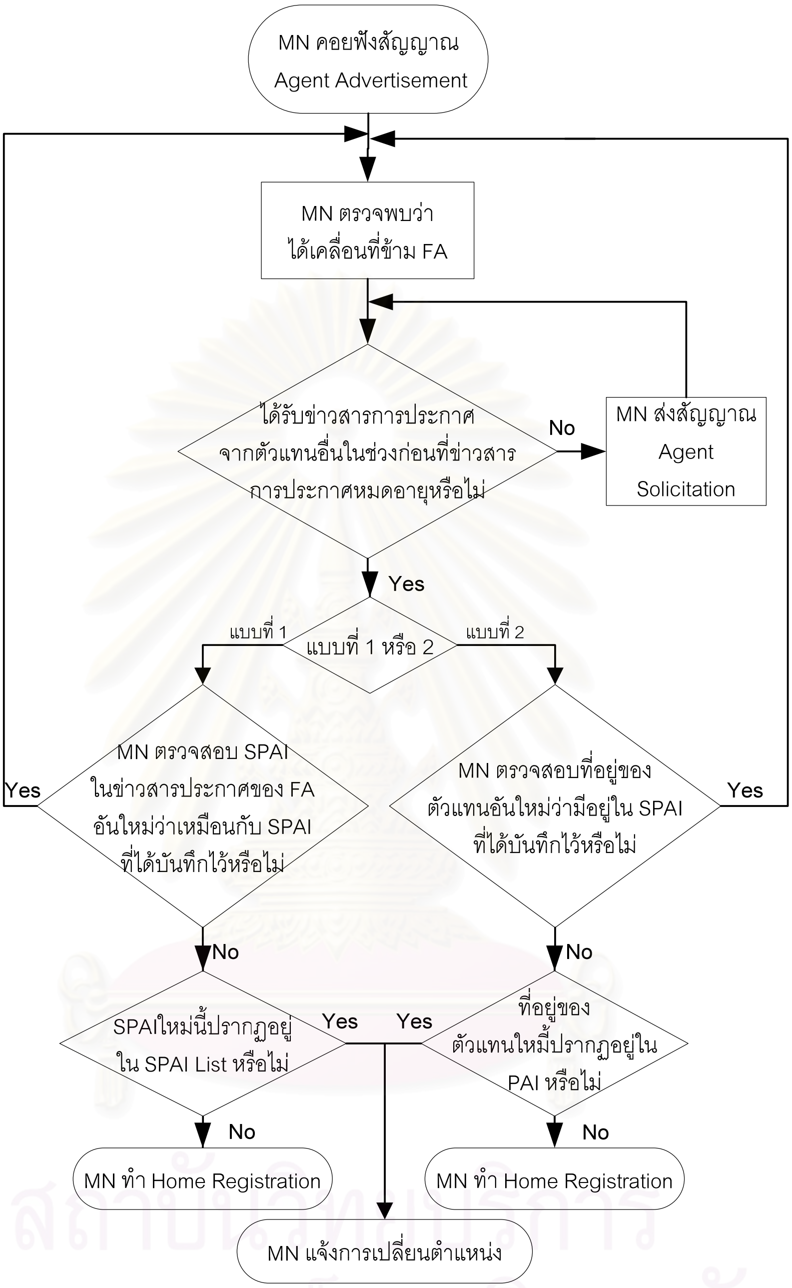
สำหรับกลไกของ MN ในการตรวจวัดว่าได้มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจย่อย (SPA) หรือพื้นที่การเพจ (PA) หรือไม่นั้นจะแตกต่างกันสำหรับในกรณีของ non-overlapping PA และ overlapping PA ดังนี้

กรณี non-overlapping PA – MN จะบันทึกช่วงเวลาหมดอายุของข่าวสารการประกาศ (Advertisement lifetime) จากตัวแทนที่ได้รับ ถ้า MN ไม่ได้รับข่าวสารการประกาศใดๆจากตัวแทน (FA) เดิมภายในช่วงเวลาหมดอายุของข่าวสารการประกาศ MN จะสันนิษฐานว่ามันได้เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ให้บริการของ FA ตัวเดิมแล้ว โดยถ้าในระหว่างช่วงเวลาที่ช่วงเวลาหมดอายุของข่าวสารการประกาศยังไม่หมดอายุ MN ได้รับข่าวสารการประกาศจาก FA อื่นๆ MN จะตรวจสอบ SPAI จากตัวแทนตัวใหม่นี้ว่าเหมือนกับ SPAI ปัจจุบันที่ได้บันทึกไว้หรือไม่ ถ้าเหมือนกันแสดงว่า MN ยังคงอยู่ภายในพื้นที่การเพจย่อยเดิม MN จึงไม่ต้องส่งข่าวสารการสัญญาณใด แต่หาก SPAI ที่ได้รับมาใหม่ไม่เหมือนกับที่ได้บันทึกเอาไว้ แสดงว่าได้มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจย่อยแล้ว MN จะต้องตรวจสอบต่อว่ายังคงอยู่ภายในพื้นที่การเพจเดิมหรือไม่โดยเปรียบเทียบจากข้อมูลในส่วนของ PAI ของตัวแทนตัวใหม่นี้ว่าเหมือนกับ PAI ปัจจุบันที่ได้

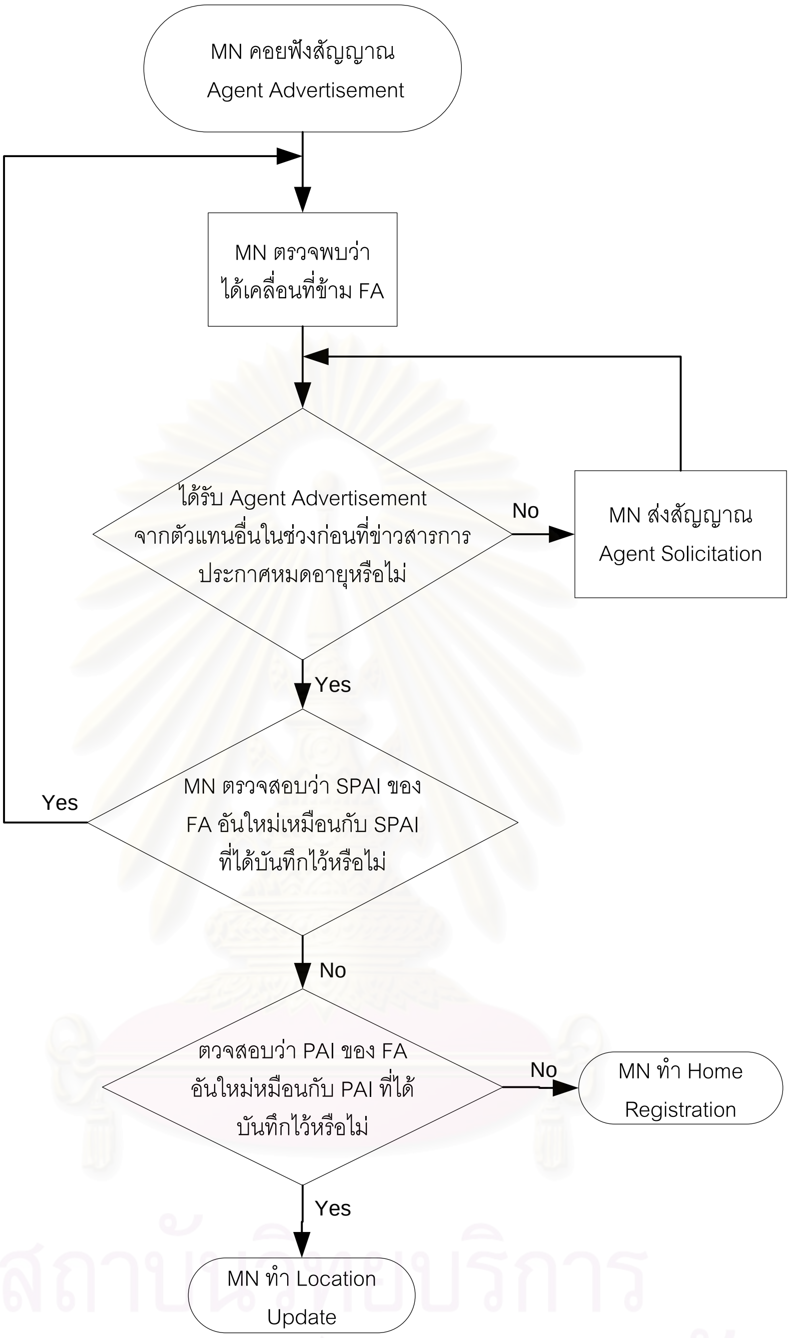
บันทึกไว้หรือไม่ ถ้าเหมือนกัน MN ก็จะส่งข่าวสารการเปลี่ยนตำแหน่ง (Location update message) ไปยัง pFA เพื่อบอกที่อยู่ของ Sub-pFA อันใหม่ หากแตกต่างกันแสดงว่า MN ได้เคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจเดิมแล้ว MN จะต้องลงทะเบียนกับ HA ทันทีโดยผ่านทาง FA ใหม่นี้ แต่ถ้าในระหว่างที่ช่วงเวลาหมดอายุของข่าวสารการประกาศยังไม่หมดอายุ MN ไม่ได้รับข่าวสารการประกาศจากตัวแทนใดๆเลย MN จะต้องส่ง Agent solicitation message เพื่อที่ว่าเมื่อ FA ที่อยู่ใกล้เคียงได้รับข่าวสารนี้ก็จะส่งข่าวสารการประกาศจากตัวแทนตอบกลับมาในทันที

กรณี overlapping PA – MN จะบันทึกช่วงเวลาหมดอายุของข่าวสารการประกาศ (Advertisement lifetime) ของข่าวสารการประกาศจากตัวแทนที่ได้รับ ถ้า MN ไม่ได้รับข่าวสารการประกาศใดๆจากตัวแทน (FA) เดิมภายในช่วงเวลาหมดอายุของข่าวสารการประกาศ MN จะสันนิษฐานว่าตนเองได้เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ให้บริการของ FA ตัวเดิมแล้ว โดยถ้าในระหว่างช่วงเวลาที่ช่วงเวลาหมดอายุของข่าวสารการประกาศยังไม่หมดอายุ MN ได้รับข่าวสารการประกาศจาก FA อื่นๆ ในแบบที่ 1 MN จะตรวจสอบ SPAI ในข่าวสารประกาศจากตัวแทนตัวใหม่นี้ว่าเหมือนกับ SPAI ปัจจุบันที่ได้บันทึกไว้หรือไม่ ส่วนในแบบที่ 2 จะพิจารณาเปรียบเทียบที่อยู่ของตัวแทนใหม่กับรายชื่อที่อยู่ของตัวแทนใน SPAI ที่ได้บันทึกไว้ ถ้าเหมือนกันแสดงว่า MN ยังคงอยู่ภายในพื้นที่การเพจย่อยเดิม MN จึงไม่ต้องส่งข่าวสารการสัญญาณใด แต่หาก SPAI ที่ได้รับมาใหม่ (ที่อยู่ของตัวแทนใหม่ ในกรณีของแบบที่ 2) ไม่เหมือนกับที่ได้บันทึกเอาไว้ แสดงว่าผู้ใช้ได้มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจย่อยแล้ว MN จะต้องตรวจสอบต่อว่ายังคงอยู่ภายในพื้นที่การเพจเดิมหรือไม่ โดยเปรียบเทียบจากข้อมูลในส่วนของ SPAI ของตัวแทนตัวใหม่นี้ว่ามีอยู่ใน SPAI list ปัจจุบันที่ได้บันทึกไว้หรือไม่ในกรณีของแบบที่ 1 ส่วนแบบที่ 2 จะตรวจสอบที่อยู่ของตัวแทนใหม่นี้ว่ามีในรายชื่อตัวแทนใน PAI หรือไม่ ถ้ามีแสดงว่ายังคงอยู่ภายในพื้นที่การเพจเดิม MN ก็จะส่งข่าวสารการเปลี่ยนตำแหน่ง (Location update message) ไปยัง pFA เพื่อบอกที่อยู่ของ Sub-pFA ใหม่ แต่หากไม่พบแสดงว่า MN ได้มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจเดิมแล้ว MN จะต้องลงทะเบียนกับ HA ทันทีโดยผ่านทาง FA ใหม่นี้ แต่ถ้าในระหว่างที่ช่วงเวลาหมดอายุของข่าวสารการประกาศยังไม่หมดอายุ MN ไม่ได้รับข่าวสารการประกาศจากตัวแทนใดๆเลย MN จะต้องส่ง Agent solicitation message เพื่อที่ว่าเมื่อ FA ที่อยู่ใกล้เคียงได้รับข่าวสารนี้ก็จะส่งข่าวสารการประกาศจากตัวแทนตอบกลับมาในทันที

รูปที่ 3.6 และ 3.7 แสดงขั้นตอนในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของ MN ที่มีสถานะการทำงานเป็น idle และพื้นที่การเพจเป็นแบบ overlapping PA ทั้งแบบที่ 1 และแบบที่ 2 และ non-overlapping PA ตามลำดับ



รูปที่ 3.6 ขั้นตอนในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของ MN ที่มีสถานะการทำงานเป็น idle และพื้นที่การเพจเป็นแบบ Overlapping PA



รูปที่ 3.7 ขั้นตอนในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของ MN ที่มีสถานะการทำงานเป็น idle และพื้นที่การเพจเป็นแบบ Non-overlapping PA

3.1.3 **การลงทะเบียน** (Registration)

กระบวนการลงทะเบียนของวิธีที่เสนอมีขั้นตอนเหมือนกับในวิธี P-MIP และ Mobile IP อย่างไรก็ตามในวิธีที่เสนอ จะต่างจาก Mobile IP ตรงที่ภายหลังจากที่ได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนที่ pFA และ MN จะต้องมีการปรับสถานะการทำงานของ MN ให้ทันกาลโดยเปลี่ยนให้

สถานะการทำงานของ MN เป็น active พร้อมทั้งเริ่มการนับใน active timer โดยในกรณีของ overlapping PA ข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนจะบรรจุข้อมูล SPAI list ไว้ด้วย ซึ่งรายชื่อหมายเลขประจำพื้นที่การเพจย่อยนี้จะถูกเพิ่มเข้าไปในข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนโดย pFA ก่อนที่จะส่งต่อไปให้กับ MN เพื่อให้ MN บันทึกรายชื่อหมายเลขประจำพื้นที่การเพจย่อยนี้ไว้สำหรับใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ต่อไป

ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างวิธีที่เสนอ, วิธี P-MIP และ Mobile IP คือปริมาณข่าวสารการสัญญาณต่างๆ ทั้งข่าวสารการเพจและข่าวสารการลงทะเบียนโดยในวิธี Mobile IP นั้นกระบวนการลงทะเบียนจะเกิดขึ้นเมื่อ

- MN ตรวจพบว่าได้เคลื่อนที่เปลี่ยน FA
- MN พบว่าช่วงเวลาในการลงทะเบียนของ MN กำลังจะหมดอายุ เรียกอีกอย่างว่า registration refresh
- MN ตรวจพบว่า FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการได้มีการปิดการทำงานแล้วเปิดการทำงานใหม่ (rebooted)

สำหรับวิธีที่เสนอและวิธี P-MIP กระบวนการลงทะเบียนจะเกิดขึ้นเมื่อ

- MN ตรวจพบว่าได้เคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจ
- MN พบว่าช่วงเวลาในการลงทะเบียนของ MN กำลังจะหมดอายุ เรียกอีกอย่างว่า registration refresh
- MN ตรวจพบว่า FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการได้มีการปิดการทำงานแล้วเปิดการทำงานใหม่ (rebooted)
- MN ถูกเพจขณะที่ไม่ได้อยู่ในพื้นที่ให้บริการของ pFA
- MN ที่มีสถานะการทำงานเป็น idle ต้องการจะส่งแพ็กเกตข้อมูล
- MN ที่มีสถานะการทำงานเป็น active ตรวจพบว่าได้เคลื่อนที่เปลี่ยน FA

สิ่งที่แตกต่างของวิธีที่เสนอกับวิธี P-MIP คือ ในวิธีที่เสนอมีการแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นพื้นที่การเพจย่อยๆ โดยหาก MN มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจย่อยภายในพื้นที่การเพจเดิม MN จะต้องส่งข่าวสารการเปลี่ยนตำแหน่งเพื่อแจ้งที่อยู่ของ Sub-pFA อันใหม่กับ pFA

3.1.4 **การเพจ** (Paging)

เมื่อ Sub-pFA ต้องการค้นหาตำแหน่งของ MN ก็จะส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ทุกๆตัวที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจย่อยเดียวกันพร้อมกับกระจายข่าวสารร้องขอการเพจนี้ภายในพื้นที่ครอบคลุมของตัวเอง เมื่อ FA อื่นๆในพื้นที่การเพจย่อยได้รับข่าวสารนี้ก็จะกระจายการร้องขอ

การเพจนี้ในแต่ละเซลล์ของตัวเอง ในกรณีที่ FA มีจำนวน MN หลายตัวที่ต้องการค้นหาตำแหน่งในขณะเดียวกัน วิธีที่เสนอสามารถรวมการร้องขอการเพจหลายๆครั้งมาไว้ภายในข่าวสารร้องขอการเพจ เพียงข่าวสารเดียว ทำให้สามารถลดปริมาณข่าวสารการเพจลงได้เมื่อในระบบมีจำนวนผู้ใช้มากขึ้น โดยภายในข่าวสารร้องขอการเพจจะประกอบด้วยรายชื่อของ home address ของ MN ทุกๆตัวที่ระบบต้องการค้นหาตำแหน่ง โดยในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะในกรณีที่ FA เพจหาตำแหน่งของ MN ครั้งละตัวเท่านั้น

หาก FA ในโครงข่ายมีการกำหนดให้ใช้มาตรการด้านความปลอดภัยร่วมกัน เมื่อ FA ได้รับข่าวสารร้องขอการเพจจาก Sub-pFA ขั้นตอนแรก FA จะเริ่มกระบวนการตรวจสอบ authentication และเมื่อกระบวนการ authentication เสร็จสมบูรณ์ FA จึงจะกระจายข่าวสารการเพจนี้ในเซลล์ของตัวเอง เมื่อ MN ตรวจพบ home address ของตัวเองในข่าวสารร้องขอการเพจ และถ้าข่าวสารร้องขอการเพจนั้นถูกส่งมาจาก FA ที่ได้ลงทะเบียนเอาไว้ (pFA) แสดงว่า MN ยังคงอยู่ในพื้นที่ให้บริการของ FA เดิมที่ได้ลงทะเบียนไว้กับ HA MN จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจกลับไปยัง pFA โดยไม่จำเป็นจะต้องลงทะเบียน พร้อมทั้งกำหนดสถานะการทำงานใหม่เป็น active และเริ่มต้นนับ active timer แต่หากข่าวสารร้องขอการเพจนั้นไม่ได้ถูกส่งมาจาก FA ที่ได้ลงทะเบียนเอาไว้ MN จะต้องเริ่มต้นกระบวนการลงทะเบียนกับ HA เพื่อแจ้งที่อยู่ของ FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการ MN นั้นๆอยู่ (CoA) เมื่อการลงทะเบียนเสร็จสิ้น pFA ใหม่และ MN จะบันทึกสถานะการทำงานของ MN เป็น active และเริ่มต้นนับ active timer พร้อมกันนั้น MN จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจกลับไปยัง Sub-pFA โดยจะแทรกข้อมูลที่อยู่ปัจจุบัน (CoA) เข้าไปด้วยเพื่อให้ Sub-pFA ส่งแพ็กเกตที่ได้พักไว้มาให้กับ MN ต่อไป แต่หาก MN ถูกเพจในขณะที่กำลังอยู่ในพื้นที่เซลล์ของ Sub-pFA ภายหลังการลงทะเบียนเสร็จสิ้นลง MN ไม่จำเป็นจะต้องส่งข่าวสารตอบรับการเพจไปยัง Sub-FA เพื่อขอรับแพ็กเกตข้อมูลที่ถูกพักไว้ เนื่องจากเป็นตัวแทนปัจจุบันที่กำลังให้บริการอยู่ซึ่งจะส่งแพ็กเกตข้อมูลทั้งหมดให้ผู้ใช้อยู่แล้ว ส่วนในกรณีที่ MN ไม่ได้อยู่ในเซลล์ของ Sub-pFA ขณะถูกเพจ เมื่อ Sub-pFA ได้ส่งแพ็กเกตที่ได้พักไว้ให้ MN หมดแล้ว Sub-pFA ก็จะลบบันทึกข้อมูลของ MN นั้นๆทิ้งได้ เนื่องจาก MN นั้นได้ลงทะเบียนใหม่กับ HA แล้ว

ในกระบวนการค้นหาตำแหน่ง Sub-pFA จะส่งข่าวสารร้องขอการเพจซ้ำ หากภายในช่วงเวลา “paging period” ไม่มีการตอบสนองต่อการร้องขอการเพจครั้งก่อนหน้า โดย Sub-pFA จะหยุดการเพจหา MN หากส่งข่าวสารร้องขอการเพจซ้ำๆ แล้วไม่มีการตอบสนองใด โดยจำนวนครั้งในการส่งซ้ำขึ้นอยู่กับการกำหนดของผู้ให้บริการ

ในระหว่างกระบวนการลงทะเบียน เมื่อ FA ได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนจาก HA ก็จะปรับสถานะการทำงานของ MN เป็นสถานะ active ก่อนจะส่งต่อข่าวสารนี้ไปยัง MN ถ้าหาก

MN ไม่ได้รับข่าวสารนี้สถานะการทำงานที่บันทึกไว้ที่ MN จะยังคงเป็นสถานะ idle ดังนั้นการสูญหายของข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนจะส่งผลให้สถานะของ MN ที่บันทึกไว้ไม่สอดคล้องกับที่บันทึกไว้โดย FA แต่กรณีนี้จะไม่ส่งผลเสียใดเนื่องจากเมื่อ FA ได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน FA ก็จะเริ่มต้นส่งแพ็กเกตข้อมูลให้กับ MN ถ้า MN ได้รับแพ็กเกตข้อมูลขณะที่มีสถานะการทำงานเป็น idle ก็จะตรวจสอบว่า FA ที่ส่งแพ็กเกตนี้ใช่ FA ที่ตนได้ส่งคำขอการลงทะเบียนไปหรือไม่ ถ้าใช่ MN ก็จะกำหนด CoA ปัจจุบันให้สอดคล้องกับที่อยู่ของ FA นี้พร้อมทั้งปรับสถานะการทำงานให้เป็นสถานะ active และเริ่มนับ active timer ตามขั้นตอนปกติ

ในกรณีที่ MN ได้เคลื่อนที่ออกจากเซลล์ของ Sub-pFA แล้ว การสูญหายของข่าวสารตอบรับการเพจไม่ได้ส่งผลร้ายแรงต่อระบบ เนื่องจากก่อนที่ MN จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจมา MN จะต้องลงทะเบียน FA ใหม่กับ HA ก่อนแล้ว จึงทำให้แพ็กเกตข้อมูลที่สูญหายมีปริมาณเพียงเล็กน้อย (เฉพาะแพ็กเกตที่ถูกพักไว้ที่ Sub-pFA) แต่ในกรณีที่ MN ยังคงอยู่ภายในเซลล์ของ Sub-pFA การสูญหายของข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนอาจส่งผลให้เกิดการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลปริมาณมากได้ เนื่องจากเมื่อ MN ได้ส่งข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนออกไปแล้ว ก็จะปรับสถานะการทำงานเป็นสถานะ active หากข่าวสารการลงทะเบียนนี้สูญหาย ข้อมูลสถานะการทำงานของ MN ที่บันทึกไว้ที่ Sub-pFA ก็จะยังคงเป็นสถานะ idle อยู่ทำให้ Sub-pFA ต้องส่งข่าวสารการเพจนี้ซ้ำและหากไม่ได้รับการตอบสนองภายในจำนวนการส่งซ้ำที่กำหนดไว้ ก็จะหยุดการค้นหาและทิ้งแพ็กเกตข้อมูลของ MN นั้นๆที่ถูกพักเอาไว้ทั้งหมด อย่างไรก็ตามมีแนวทางในการแก้ไขโดย ภายหลังจากที่ MN ส่งข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนออกไปแล้ว MN จะสันนิษฐานว่าจะต้องได้รับแพ็กเกตข้อมูลจาก FA ภายในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ถ้าภายในช่วงเวลาดังกล่าว MN ไม่ได้รับแพ็กเกตใดเลย MN จะสันนิษฐานว่าข่าวสารการลงทะเบียนที่ได้ส่งไปสูญหายระหว่างทาง MN จึงเริ่มต้นส่งซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ถ้า MN ยังคงไม่ได้รับแพ็กเกตข้อมูลหลังจากพยายามส่งข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนซ้ำหลายครั้งแล้ว MN จึงจะปรับสถานะการทำงานให้เป็นสถานะ idle

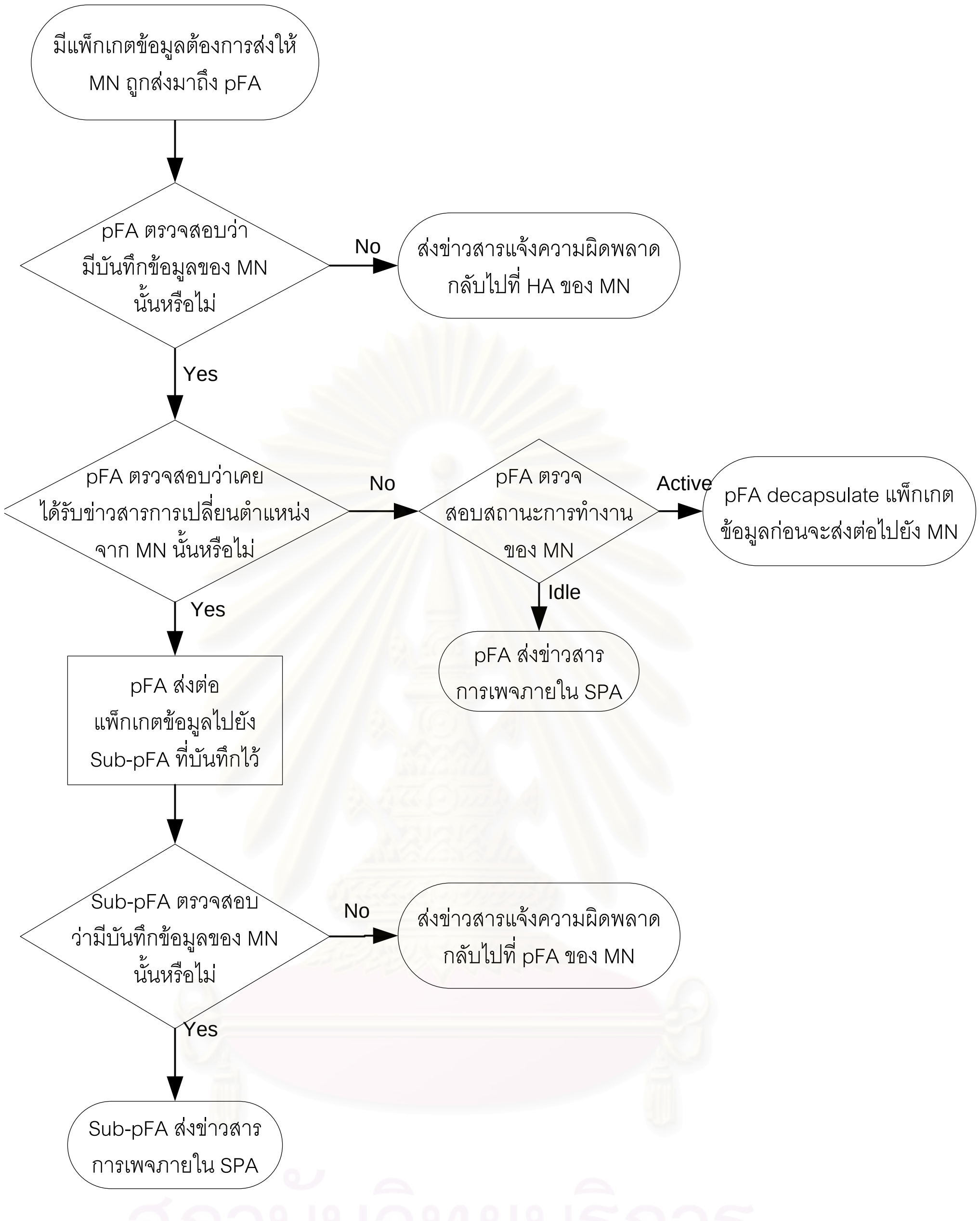
3.1.5 **การจัดการข้อมูล** (Data handling)

เมื่อมีแพ็กเกตข้อมูลที่ต้องการส่งไปถึง MN แพ็กเกตข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปยัง Home Network ของ MN นั้นๆ โดย HA จะดักจับแพ็กเกตข้อมูลเหล่านี้แล้วจึงทำ encapsulation ก่อนจะส่งต่อไปยัง FA ที่ได้บันทึกเอาไว้ (CoA ที่ MN ได้ลงทะเบียนไว้) ซึ่งก็คือ pFA ของ MN นั้นๆ เมื่อ pFA ได้รับแพ็กเกตข้อมูลนี้ ก็จะเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบใน visitor list ว่ามีบันทึกของ MN ตัวนี้หรือไม่ หากตรวจพบจะตรวจสอบต่อว่าเคยได้รับข่าวสารการเปลี่ยนตำแหน่ง จาก MN นั้นหรือไม่ ถ้า pFA เคยได้รับข่าวสารการเปลี่ยนตำแหน่ง แสดงว่า MN ได้มีการเคลื่อนที่เปลี่ยน SPA ไปแล้ว

pFA ก็จะส่งแพ็กเกตข้อมูลเหล่านี้ไปยัง Sub-pFA ปัจจุบันที่ MN ได้แจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งไว้โดยทันที เมื่อ Sub-pFA ได้รับแพ็กเกตข้อมูลนี้ก็จะตรวจสอบบันทึกว่ามีข้อมูลของ MN นี้หรือไม่ ถ้าตรวจพบ Sub-pFA ก็จะส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยังทุกๆ FA ที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจย่อยเดียวกัน พร้อมกับกระจายข่าวสารนี้ในพื้นที่ให้บริการของตัวเอง โดยในระหว่างกระบวนการค้นหาตำแหน่งนี้ Sub-pFA จะต้องพักเก็บ (buffer) แพ็กเกตข้อมูลนี้ไว้ก่อน ดังแสดงในรูปที่ 3.8 เมื่อ MN ได้รับข่าวสารร้องขอการเพจก็จะลงทะเบียน (Home Registration) เพื่อให้ HA ส่งแพ็กเกตข้อมูลมายัง FA ปัจจุบันโดยตรง และเมื่อกระบวนการลงทะเบียนเสร็จสิ้น MN ก็จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจกลับไปยัง Sub-pFA เพื่อขอรับแพ็กเกตข้อมูลที่ถูกพักเอาไว้ที่ Sub-pFA ต่อไป

แต่หาก pFA ตรวจพบว่าไม่เคยได้รับข่าวสารการเปลี่ยนตำแหน่งจาก MN นั้น แสดงว่า MN ยังคงอยู่ใน SPA เดิม pFA จะตรวจสอบต่อว่า MN นั้นมีสถานะการทำงานเป็นอะไร ถ้ามีสถานะเป็น active pFA ก็จะ decapsulate แพ็กเกตแล้วส่งต่อให้กับ MN ได้ทันที แต่ถ้า MN มีสถานะเป็น idle pFA จะส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยังทุกๆ FA ที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจย่อยเดียวกัน จากรูปที่ 3.1 ถ้าขณะที่ MN อยู่ที่ FA_2 โดยมี FA_1 เป็น pFA มีแพ็กเกตถูกส่งมาหา MN แพ็กเกตข้อมูลนี้จะถูกส่งมาที่ FA_1 ซึ่ง FA_1 ตรวจพบว่า MN ยังคงอยู่ภายใน SPA จึงส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ทุกๆตัวภายในพื้นที่การเพจย่อยเดียวกัน ได้แก่ FA_2, FA_5 และ FA_6 พร้อมกับกระจายข่าวสารร้องขอการเพจดังกล่าวภายในเซลล์ของตัวเอง โดยระหว่างขั้นตอนนี้ pFA จะต้องพักเก็บแพ็กเกตข้อมูลไว้ก่อน เมื่อ FA_2, FA_5 และ FA_6 ได้รับข่าวสารร้องขอการเพจนี้ก็จะกระจายข่าวสารการเพจในแต่ละเซลล์ต่อไป เมื่อ MN ได้รับข่าวสารการเรียกนี้ก็จะลงทะเบียนกับ HA เพื่อขอรับแพ็กเกตข้อมูลเองโดยตรง HA ก็จะเปลี่ยนเส้นทางแพ็กเกตมายังที่อยู่ปัจจุบันของ FA ที่กำลังให้บริการ MN เมื่อ MN ได้รับการตอบรับการลงทะเบียนก็จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจกลับไปยัง pFA เพื่อขอรับแพ็กเกตข้อมูลที่ถูกพักเอาไว้ในระหว่างขั้นตอนการเพจหา MN

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.8 ขั้นตอนในกระบวนการเพจหา MN เมื่อมีแพ็กเกตถูกส่งมาถึง pFA

3.2 การวิเคราะห์การสัญญาณในวิธีการที่นำเสนอในเชิงคณิตศาสตร์

ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้วิธีที่เสนอมีชื่อเรียกว่าวิธี Distributed Local Paging Mobile IP (DLP-MIP) และจะมีการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพต้นทุนในการสัญญาณของวิธีที่นำเสนอกับวิธี P-MIP ที่มีขนาดของพื้นที่การเพจต่างๆกัน และวิธี Mobile IP แบบมาตรฐาน โดยจะใช้ทั้งการวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณในเชิงคณิตศาสตร์ ร่วมกับการจำลองแบบในการทำงาน สำหรับส่วนนี้จะเป็นการวิเคราะห์การสัญญาณในเชิงคณิตศาสตร์ของวิธีที่เสนอในกรณีที่พื้นที่การเพจเป็นแบบ non-overlapping PA เปรียบเทียบกับวิธี P-MIP และ Mobile IP มาตรฐาน ส่วนของการจำลองแบบเพื่อวิเคราะห์ต้นทุนในการสัญญาณในวิธีที่เสนอทั้งกรณีที่พื้นที่การเพจเป็นแบบ overlapping PA และ non-overlapping PA เปรียบเทียบกับวิธี P-MIP และ Mobile IP มาตรฐาน จะแสดงในบทถัดไป

การวิเคราะห์การสัญญาณในเชิงคณิตศาสตร์ในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาที่ต้นทุนการสัญญาณในระบบเป็นหลัก เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อระบบทั้งในส่วนของคุณภาพการให้บริการ ขั้นตอนในการออกแบบระบบ รวมถึงคุณสมบัติในการรองรับผู้ใช้จำนวนมาก (Scalability) ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบจะใช้สมการฟังก์ชันต้นทุนการสัญญาณที่ได้สร้างขึ้นมา โดยจะศึกษาถึงผลกระทบของค่าพารามิเตอร์ต่างๆในระบบ อันได้แก่ ขนาดของพื้นที่การเพจ, ความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้, ความหนาแน่นของผู้ใช้, ลักษณะของ data session และพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนในการสัญญาณของแต่ละวิธีที่นำมาเปรียบเทียบภายใต้สภาวะต่างๆกัน ซึ่งต้นทุนการสัญญาณที่พิจารณาจะแสดงในรูปของผลคูณระหว่าง weighted distance (จำนวน hop) ที่ข่าวสารการสัญญาณนั้นเดินทางผ่านกับอัตราการสัญญาณ ดังนั้นต้นทุนการสัญญาณจะมีหน่วยเป็น weighted hops*pkt/s และเนื่องจากทั้งข่าวสารประกาศจากตัวแทน และ solicitation signaling มีต้นทุนในการสัญญาณเท่ากันทั้งในวิธีที่เสนอ, วิธี P-MIP และใน Mobile IP มาตรฐาน ในงานวิจัยนี้จึงไม่พิจารณาการสัญญาณนี้ในการวิเคราะห์เปรียบเทียบ ดังนั้นจะมีเพียงข่าวสารการลงทะเบียน, ข่าวสารการเปลี่ยนตำแหน่ง และการสัญญาณในการเพจ เท่านั้นในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

3.2.1 แบบจำลองสภาพเคลื่อนที่ (Mobility Model)

ในการใช้กระบวนการการเพจนั้น จุดประสงค์ก็เพื่อลดปริมาณการสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ในระบบสื่อสารไร้สาย ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณการสัญญาณจึงสัมพันธ์กับรูปแบบการเคลื่อนที่ของ MN โดยในระบบ cellular นั้นนิยมใช้ fluid flow model ในการวิเคราะห์ประเด็นที่เกี่ยวข้องอัตราการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ เช่น การแฮนด์ออฟ เป็นต้น

นอกจากนี้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Mobile IP จำนวนมากก็ใช้ fluid flow model ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของผู้ใช้เช่นกัน งานวิจัยนี้จึงใช้แบบจำลองสภาพเคลื่อนที่ดังกล่าวในการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพการสัญญาณของแต่ละวิธี

ในการวิเคราะห์นี้กำหนดให้พื้นที่การเพจ (PA), พื้นที่การเพจย่อย (SPA) และพื้นที่ให้บริการของแต่ละเซลล์มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยกำหนดให้

- พื้นที่การเพจ (PA) มีความยาวเส้นรอบรูปเท่ากับ L เมตร
- พื้นที่การเพจย่อย (SPA) มีความยาวเส้นรอบรูปเท่ากับ l เมตร
- พื้นที่ให้บริการของแต่ละเซลล์ มีความยาวเส้นรอบรูปเท่ากับ c_l เมตร

โดยกำหนดให้ภายในหนึ่งพื้นที่การเพจประกอบด้วย FA จำนวน n เซลล์

จาก $\left(\frac{L}{4}\right)^2 = \left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n$ ดังนั้นจะได้ว่า $L = c_l\sqrt{n}$

และกำหนดให้ภายในหนึ่งพื้นที่การเพจย่อยประกอบด้วย FA จำนวน m เซลล์

จาก $\left(\frac{l}{4}\right)^2 = \left(\frac{c_l}{4}\right)^2 m$ ดังนั้นจะได้ว่า $l = c_l\sqrt{m}$

จากสมการทั้งสองจะได้ว่าภายในหนึ่งพื้นที่การเพจจะประกอบด้วย n/m พื้นที่การเพจย่อยและจะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง L และ l เป็น $L = l\sqrt{\frac{n}{m}}$

นอกจากนี้ในการวิเคราะห์ในเชิงคณิตศาสตร์ จำเป็นจะต้องมีข้อสมมติฐานดังนี้

- MN มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย v ในทิศทางสุ่มซึ่งมีการแจกแจงเป็นแบบ uniform ระหว่างช่วง $[0,2\pi]$
- MN มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอทุกพื้นที่ในระบบด้วยความหนาแน่นเท่ากับ ρ

จากแบบจำลอง fluid flow model เราสามารถหาค่าอัตราการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์, อัตราการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจย่อย และอัตราการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจได้ดังนี้

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

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

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

3.2.2 **การวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณของ** Mobile IP

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

โดยที่

C_{MIP} คือ ต้นทุนในการสัญญาณของวิธี Mobile IP (weighted hops*packets/s)

$d_{FA,HA}$ คือ ระยะทางเฉลี่ยระหว่าง HA และ FA (hops)

R_{core} คือ อัตราส่วนของจำนวน hop ในโครงข่ายหลัก (core network) จากจำนวน hops ทั้งหมด ระหว่าง FA และ HA

R_{local} คือ อัตราส่วนของจำนวน hop ในโครงข่ายย่อย (local network) จากจำนวน hops ทั้งหมด ระหว่าง FA และ HA

ω_{core} คือ ค่า weight ของแต่ละ hop ในโครงข่ายไอพีหลัก

ω_{local} คือ ค่า weight ของแต่ละ hop ในโครงข่ายย่อย

r_c คือ อัตราการเคลื่อนที่ข้ามขอบเขตเซลล์ของผู้ใช้ (MNs/s)

ρ คือ ความหนาแน่นของผู้ใช้ต่อหน่วยพื้นที่ (MNs/m^2)

n คือ จำนวนเซลล์ภายในหนึ่งพื้นที่การเพจ

v คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่โดยเฉลี่ยของผู้ใช้ (m/s)

c_l คือ ความยาวเส้นรอบรูปของเซลล์ (m)

r_r คือ อัตราการทำ registration refresh ของ MN ซึ่งค่านี้สัมพันธ์กับค่าอายุของการลงทะเบียน (registration lifetime) เนื่องจากในการลงทะเบียนทุกครั้งจะมีอายุของการลงทะเบียนกำหนดไว้เสมอ และเมื่อช่วงเวลาอายุของการลงทะเบียนกำลังจะหมดลง MN จะต้องลงทะเบียนใหม่ เรียกว่าเป็นการทำ registration refresh

ในการเดินทางของข่าวสารการสัญญาณผ่าน hop ต่างๆในโครงข่ายสื่อสารที่เป็นโครงข่ายหลักจะมีผลกระทบที่แตกต่างจากกรณีที่ข่าวสารการสัญญาณเดินทางผ่านโครงข่ายสื่อสารที่เป็นโครงข่ายย่อย ในแง่ของต้นทุนการสัญญาณ สาเหตุเนื่องมาจากการสัญญาณที่เกิดในโครงข่ายไอพีหลักมีแนวโน้มที่จะส่งผลกระทบต่อโครงข่ายสื่อสารอื่นๆและผู้ใช้จำนวนมาก ขณะที่ภาระในการสัญญาณในโครงข่ายย่อยจะส่งผลเพียงแค่ระบบโครงข่ายย่อยและผู้ใช้จำนวนน้อย

เท่านั้น สิ่งเหล่านี้ถูกแสดงผ่าน weight factors อันได้แก่ ω_{core} และ ω_{local} ในสมการที่ (4) โดยค่า hop weight นี้สัมพันธ์กับระยะทางของ hop (hop length), เวลาประมวลผลแพ็กเกตของ CPU (CPU packet processing time), ช่วงเวลา queuing delay และอื่นๆ

จากสมการที่ (4) เทอมแรกในเครื่องหมาย [] แสดงต้นทุนในการสัญญาณอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ ขณะที่เทอมที่สองแสดงต้นทุนในการสัญญาณอันเนื่องมาจากการทำ registration refresh โดยสมการที่ (4) เป็นเช่นเดียวกับที่แสดงใน [4]

3.2.3 การวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณของ P-MIP (พื้นที่การเพจมีขนาดเท่ากับ n เซลล์)

$$\begin{aligned}
C_p &= d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})\Big[(r_c n - r_{PA})\alpha + r_{PA} + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 nr_r \\
&\quad + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d)\Big] + (n-1)d_{FA,FA}\omega_{local}\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)\lambda_a \\
&\quad + \delta_{air}\left(\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)\lambda_a\right)n \\
&= d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})\left[\left(\frac{\rho v c_l}{\pi}n - \frac{\rho v L}{\pi}\right)\alpha + \frac{\rho v L}{\pi} + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 nr_r\right. \\
&\quad \left. + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d)\right] + (n-1)d_{FA,FA}\omega_{local}\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)\lambda_a \\
&\quad + \delta_{air}\left(\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)\lambda_a\right)n
\end{aligned} \tag{5}$$

โดยที่

C_p คือ ต้นทุนในการสัญญาณของวิธี P-MIP (weighted hops*packets/s)

$d_{FA,FA}$ คือ ระยะทางเฉลี่ยระหว่าง FA ภายในพื้นที่การเพจเดียวกัน (hops)

r_{PA} คือ อัตราการเคลื่อนที่ข้ามขอบเขตพื้นที่การเพจของผู้ใช้ (MNs/s)

α คือ อัตราส่วนของจำนวน active MN จากจำนวน MN ทั้งหมด

L คือ ความยาวเส้นรอบรูปของพื้นที่การเพจ (m)

λ_a คือ อัตราการเข้ามาของ data session ของ MN (1/s)

λ_d คือ อัตราการออกไปของ data session ของ MN (1/s)

δ_{air} คือ weight ของ ข่าวสารการเพจที่ถูกกระจายใน wireless hop ของแต่ละเซลล์

จากสมการที่ (5) จะพบว่าสมการประกอบด้วย 3 เทอม คือ เทอมแรกที่อยู่ในวงเล็บและอีกสองเทอมถัดมา โดยเทอมแรกที่อยู่ภายในวงเล็บแสดงต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ข้ามขอบเขตเซลล์ของ MN ที่มีสถานะเป็น active โดยยังคงอยู่ในพื้นที่การเพจเดิม เทอมถัดมาในวงเล็บแสดงต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจ เทอมที่ 3 แสดงภาระการสัญญาณอันเนื่องมาจากการทำ registration refresh และเทอมสุดท้ายในวงเล็บแสดงการสัญญาณที่มีสาเหตุมาจากการลงทะเบียนของ idle MN ที่ต้องการจะรับหรือส่งข้อมูล เทอมที่ 2 ของสมการเป็นต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจาก pFA ส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยังทุกๆ FA ที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจเดียวกันเมื่อมีข้อมูลที่ส่งมาถึง idle MN ถูกส่งมาที่ pFA เทอมที่ 3 เป็นต้นทุนที่เกิดจากการที่ทุกๆ FA ในพื้นที่การเพจกระจายข่าวสารการเพจในเซลล์ของตัวเองเพื่อค้นหาตำแหน่งของ MN ที่มีข้อมูลส่งมาถึง โดยเทอมนี้ถูกเพิ่มขึ้นมาจาก [4] เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงต้นทุนการสัญญาณที่เกิดขึ้นจากการเพจในข่ายเชื่อมโยงไร้สาย

3.2.4 **การวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณของวิธีที่เสนอ** (Distributed Local Paging Mobile Internet Protocol, DLP-MIP)

$$
\begin{aligned}
C_{DLP} &= d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})\Big[(r_c n - r_{PA})\alpha + r_{PA} + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n r_r \\
&\quad + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d)\Big] + (m-1)d'_{FA,FA}\omega_{local}\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 m(1-\alpha)\lambda_a\left(\frac{n}{m}\right) \\
&\quad + (1-\alpha)d_{FA,FA}\omega_{local}\left[\frac{n}{m}r_{SPA} - r_{PA}\right] + \delta_{air}\left(\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 m(1-\alpha)\lambda_a\right)m\left(\frac{n}{m}\right) \\
&= d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})\left[(\frac{\rho v c_l}{\pi}n - \frac{\rho v L}{\pi})\alpha + \frac{\rho v L}{\pi} + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n r_r \right. \\
&\quad \left. + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d)\right] + (m-1)d'_{FA,FA}\omega_{local}\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 m(1-\alpha)\lambda_a\left(\frac{n}{m}\right) \\
&\quad + (1-\alpha)d_{FA,FA}\omega_{local}\left[\frac{n}{m}\frac{\rho v l}{\pi} - \frac{\rho v L}{\pi}\right] + \delta_{air}\left(\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 m(1-\alpha)\lambda_a\right)m\left(\frac{n}{m}\right) \qquad (6)
\end{aligned}
$$

โดยที่

C_{DLP} คือ ต้นทุนในการสัญญาณของวิธี DLP-MIP (weighted hops*packets/s)

m คือ จำนวนเซลล์ภายในหนึ่งพื้นที่การเพจย่อย

$d'_{FA,FA}$ คือ ระยะทางเฉลี่ยระหว่าง FA ภายในพื้นที่การเพจย่อยเดียวกัน (hops)

r_{SPA} คือ อัตราการเคลื่อนที่ข้ามขอบเขตพื้นที่การเพจย่อยของผู้ใช้ (MNs/s)

l คือ ความยาวเส้นรอบรูปของพื้นที่การเพจย่อย (m)

จากสมการที่ (6) จะเห็นได้ว่าสมการต้นทุนการสัญญาณประกอบด้วย 4 ส่วนคือ

- ส่วนที่อยู่ในวงเล็บเป็นต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการลงทะเบียนอันเนื่องมาจาก การที่ active MN เคลื่อนที่ข้ามเซลล์, การเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจของ MN, การทำ Registration refresh และเมื่อ idle MN มีข้อมูลที่ต้องการจะส่งออกหรือมีข้อมูลถูกส่งมาถึง ตามลำดับ
- ส่วนที่ 2 ที่อยู่ถัดมาแสดงต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากการที่ Sub-pFA ส่งข่าวสารการเพจไปยังทุกๆ FA ที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจย่อยเดียวกัน เริ่มต้นจากเมื่อมีข้อมูลส่งมาถึง idle MN เมื่อ pFA ได้รับข้อมูลนั้นก็จะส่งต่อข้อมูลนั้นไปยัง Sub-pFA ที่เกี่ยวข้อง เมื่อ Sub-pFA ได้รับข่าวสารนี้ก็จะส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA อื่นๆ ภายในพื้นที่การเพจย่อยเดียวกันซึ่งระยะทางในการส่งข่าวสารร้องขอการเพจนี้ก็คือระยะทางจาก FA ภายในพื้นที่การเพจย่อยไปถึง Sub-pFA แทนด้วย $d'_{FA,FA}$ โดยให้มีค่าประมาณ $\sqrt{m}$ และเนื่องจากการสัญญาณที่เราพิจารณาต้องเป็นของทั้งพื้นที่การเพจซึ่งประกอบไปด้วย n/m พื้นที่การเพจย่อย จึงต้องคูณด้วย n/m เพื่อปรับให้เป็นต้นทุนการสัญญาณที่เกิดขึ้นในหนึ่งพื้นที่การเพจ
- ส่วนที่ 3 เป็นการสัญญาณที่เกิดจากการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งของ idle MN เนื่องจาก $\frac{n}{m}r_{SPA} - r_{PA}$ คือ อัตราการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจย่อยที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจเดียวกัน ซึ่งก็คืออัตราการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งของ MN เพื่อแจ้งที่อยู่ของ Sub-pFA ปัจจุบันของ MN นั้นๆกับ pFA สรุปก็คือ ในแต่ละครั้งที่ idle MN มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจย่อยแต่ยังคงอยู่ภายในพื้นที่การเพจเดิม MN จะต้องแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งของ Sub-pFA ปัจจุบันกับ pFA ซึ่งระยะทางในการส่งข่าวสารแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่ง (Location update message) ก็คือระยะทางจาก Sub-pFA ไปถึง pFA แทนด้วย $d_{FA,FA}$ และให้มีค่าประมาณ $\sqrt{n}$
- ส่วนที่ 4 แสดงถึงต้นทุนในการสัญญาณที่เกิดจากการกระจายข่าวสารการร้องขอการเพจในแต่ละเซลล์ทั้งพื้นที่การเพจย่อยผ่านทาง wireless link โดย $\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 m(1-\alpha)$ แสดงถึงจำนวน idle MN ในหนึ่งพื้นที่การเพจย่อย และเนื่องจากต้นทุนการสัญญาณที่พิจารณาจะต้องเป็นของทั้งพื้นที่การเพจซึ่งประกอบไปด้วย n/m พื้นที่การเพจย่อย จึงต้องคูณด้วย n/m เพื่อปรับจากต้นทุนต่อพื้นที่การเพจย่อยให้เป็นต้นทุนต่อพื้นที่การเพจ

สำหรับ Registration refresh เนื่องจากอายุของการลงทะเบียนในแต่ละวิธีมีค่าเท่ากัน ส่งผลให้ refreshing cost ในวิธี Mobile IP, P-MIP และ DLP-MIP มีค่าเท่ากัน ดังนั้นในการวิเคราะห์ปริมาณการสัญญาณ เราจะไม่พิจารณาผลของการสัญญาณที่เกิดจากการทำ refresh และในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสัญญาณของแต่ละวิธีเราจะ normalize สมการฟังก์ชันต้นทุนการสัญญาณด้วย weighted distance ระหว่าง HA กับ FA ดังนั้นสมการที่ (4), (5) และ (6) จะลดรูปเหลือ

$$\begin{aligned} C_{MIPn} &= \frac{C_{MIP}}{d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})} \\ &= \frac{\rho v c_l}{\pi} n, \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned} C_{pn} &= \frac{C_P}{d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})} \\ &= (\frac{\rho v c_l}{\pi} n - \frac{\rho v L}{\pi})\alpha + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d) \\ &\quad + \frac{\rho v L}{\pi} + \frac{(n-1)d_{FA,FA}\rho(c_l/4)^2 n(1-\alpha)\lambda_a}{d_{FA,HA}(R_{core}R_w + R_{local})} \\ &\quad + \frac{\left(\sigma_{air}\rho(c_l/4)^2 n(1-\alpha)\lambda_a\right)n}{d_{FA,HA}(R_{core}R_w + R_{local})}, \end{aligned} \tag{8}$$

โดยที่ R_w คือ Hop weight ratio ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่าง ω_{core} กับ ω_{local}

σ_{air} คือ Wireless link weight ratio ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่าง δ_{air} กับ ω_{local}

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

ตามลำดับ

จากการสังเกตในสมการที่ (8) ซึ่งแสดงต้นทุนการสัญญาณของวิธี P-MIP และสมการที่ (9) ซึ่งแสดงต้นทุนการสัญญาณของวิธี DLP-MIP จะพบว่าหากแทนค่า α เท่ากับ 1 ลงไปจะทำให้ต้นทุนในการสัญญาณของทั้งสองวิธีมีค่าเช่นเดียวกับในวิธี Mobile IP และสมการที่ (8) และ (9) จะลดรูปลงกลายเป็นสมการที่ (7) เนื่องจากทั้งในวิธี P-MIP และ DLP-MIP ถ้าผู้ใช้ทุกคนอยู่ในสถานะ active จะมีการทำงานเหมือนกับใน Mobile IP ทุกอย่าง

เนื่องจากในวิธี DLP-MIP ที่เสนอมีพื้นที่การเพจขนาด n เซลล์และขนาดของพื้นที่การเพจย่อยเท่ากับ m เซลล์ ดังนั้นในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีที่เสนอกับวิธี P-MIP จึงเลือกกรณีที่ P-MIP มีขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ m เซลล์ และ n เซลล์มาเปรียบเทียบด้วย โดยหากพิจารณาต้นทุนการสัญญาณของวิธีที่เสนอกับ P-MIP กรณีที่มีขนาดพื้นที่การเพจเป็น m เซลล์ (P-MIP-m) จะพบว่าวิธีที่เสนอมีต้นทุนซึ่งประกอบด้วยการลงทะเบียน, การแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งและการสัญญาณจากการเพจ ขณะที่วิธี P-MIP-m จะมีต้นทุนอันเกิดจากการลงทะเบียนและการสัญญาณจากการเพจ โดยจากสมการจะพบว่าต้นทุนอันเกิดจากการเพจของวิธีทั้งสองมีค่าเท่ากัน เนื่องจากวิธีทั้งสองมีขอบเขตในการส่งข่าวสารร้องขอการเพจขนาดเท่ากัน และหากพิจารณาต้นทุนการสัญญาณของวิธีที่เสนอกับ P-MIP กรณีที่มีขนาดพื้นที่การเพจเป็น n เซลล์ (P-MIP-n) จะพบว่าวิธีที่เสนอมีต้นทุนซึ่งประกอบด้วยการลงทะเบียน, การแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งและการสัญญาณการเพจ ขณะที่วิธี P-MIP-n จะมีต้นทุนอันเกิดจากการลงทะเบียนและการสัญญาณการเพจ ซึ่งจากสมการพบว่าต้นทุนอันเกิดจากการลงทะเบียนในวิธีทั้งสองมีค่าเท่ากัน เนื่องจากวิธีทั้งสองมีขอบเขตพื้นที่ที่ MN จะเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระโดยไม่จำเป็นต้องลงทะเบียนบอกกับ HA ขนาดเท่ากัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบถึงประสิทธิภาพของวิธีที่เสนอเทียบกับวิธีต่างๆว่าเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยหรือไม่ บทนี้จึงแสดงถึงผลการวิจัยที่ได้จากทั้งการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสัญญาณของวิธีต่างๆ โดยใช้การวิเคราะห์ในเชิงคณิตศาสตร์ และการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธีโดยใช้การสร้างแบบจำลองการทำงานของวิธีต่างๆ รวมถึงสรุปผลการจำลองระบบ โดยจะสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะจากงานวิจัยในบทที่ 5 ต่อไป

4.1 ผลการวิเคราะห์

เนื่องจากในระบบโครงข่ายสื่อสารแบบไร้สายที่มีการใช้งานสามารถแบ่งสถาปัตยกรรมของระบบได้เป็น 3 ชนิด คือ macro, micro และ pico cellular system แทนโดยระบบ cellular networks, campus area networks และ local area networks ตามลำดับ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะพิจารณาทั้ง 3 กรณีเพื่อให้การศึกษาค้นคว้าครอบคลุมลักษณะสถาปัตยกรรมของระบบในทุกรูปแบบโดยจาก [4] ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆสำหรับสถาปัตยกรรมของระบบแต่ละชนิดดังนี้

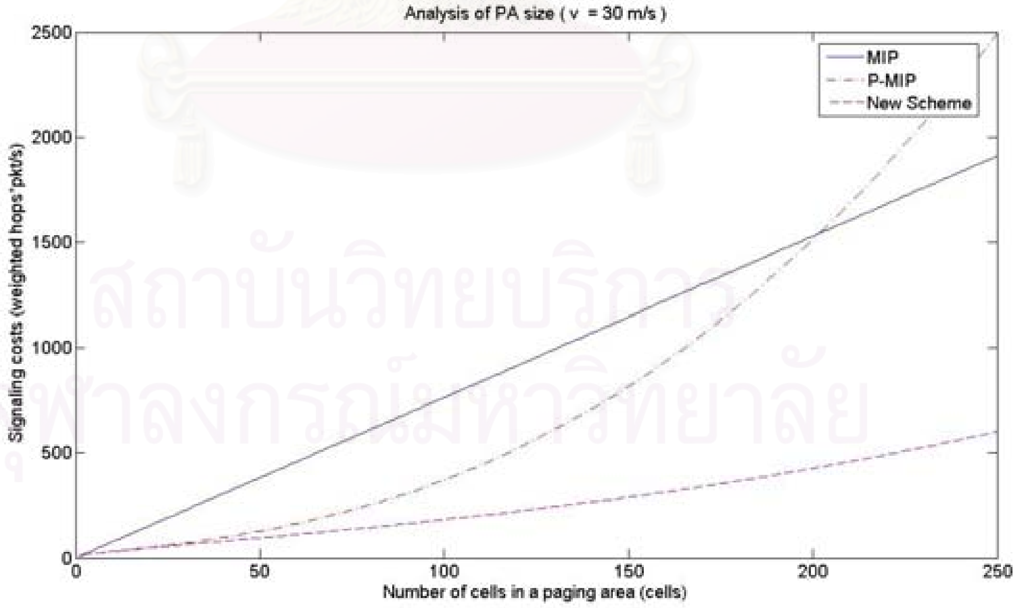
Macro systems	ความยาวเส้นรอบรูปของเซลล์	4,000 m
	ความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ของ MN	44.5 m/s
	ความหนาแน่นของผู้ใช้	200 MNs/km^2
Micro systems	ความยาวเส้นรอบรูปของเซลล์	400 m
	ความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ของ MN	8.9 m/s
	ความหนาแน่นของผู้ใช้	2,000 MNs/km^2
Pico systems	ความยาวเส้นรอบรูปของเซลล์	40 m
	ความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ของ MN	2.2 m/s
	ความหนาแน่นของผู้ใช้	20,000 MNs/km^2

นอกจากนี้ในการวิเคราะห์ยังกำหนดให้ MN มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอในแต่ละเซลล์ และอัตราส่วน α (active MN percentage) รวมถึง λ (data session rate) มีค่าเท่ากันในทุกๆขนาดของเซลล์ สำหรับในบทนี้จะเลือกเอาผลการวิเคราะห์ที่เป็นกรณี Macro system มาแสดง โดยค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์จะใช้ค่าเช่นเดียวกับในงานวิจัย [4] และจะใช้ค่าดังที่แสดงไว้ด้านล่างในทุกการวิเคราะห์เว้นแต่จะมีการระบุเป็นอย่างอื่นในแต่ละตอนของการวิเคราะห์

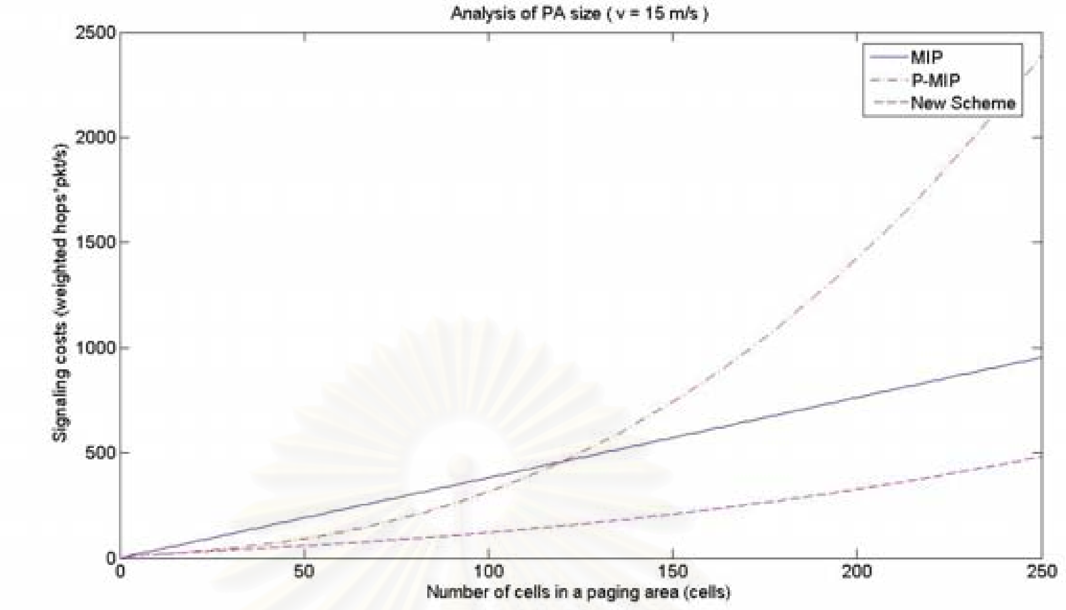
ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสัญญาณ

R_w	8
R_{core}, R_{local}	0.5
n/m	4
σ_{air}	1
$d_{FA,HA}$	16 hops
$d_{FA,FA}$	$\sqrt{n}$ hops
$d'_{FA,FA}$	$\sqrt{m}$ hops
α	5%
v	30 m/s
$\lambda_a = \lambda_d = \lambda$	0.0008/s, i.e., 3/hr
ρ	0.0002 MN/m^2

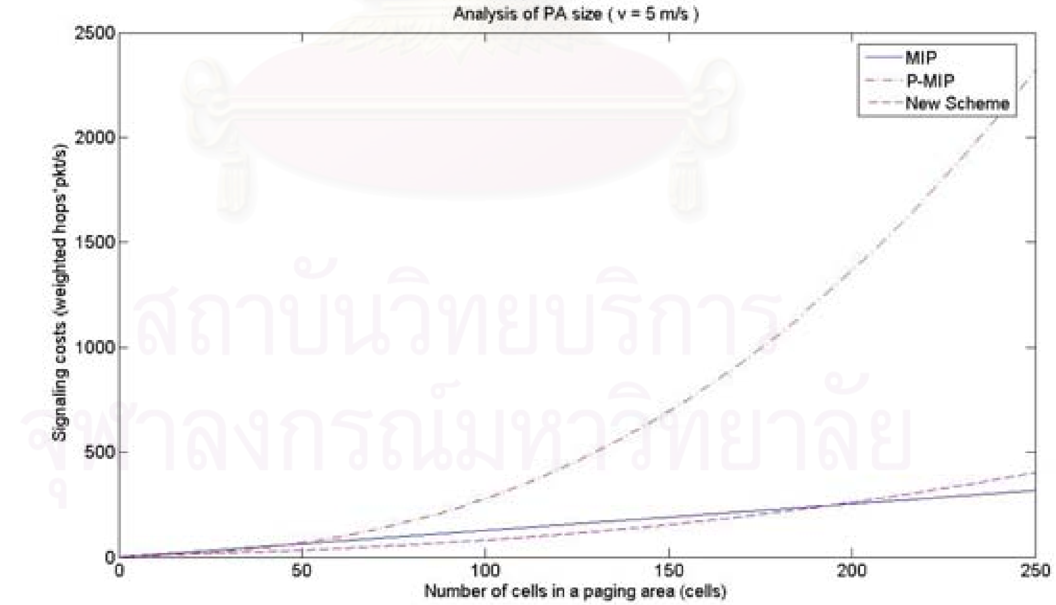
4.1.1 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ



รูปที่ 4.1 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.2 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 15 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.3 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 5 เมตรต่อวินาที

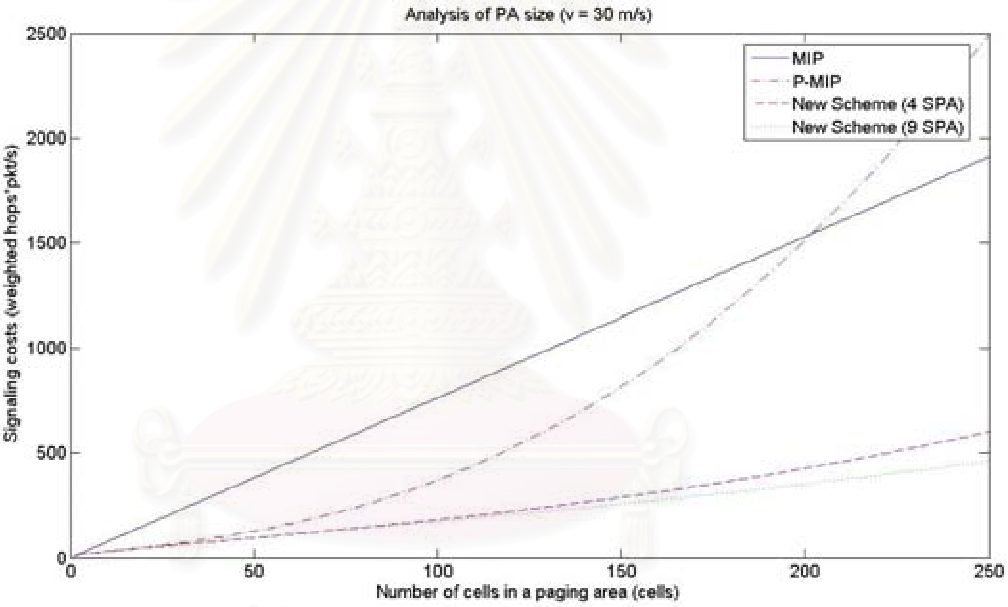
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.1 ถึง 4.3 เป็นการแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณของระบบทั้งในวิธี Mobile IP, P-MIP และในวิธีที่เสนอ โดยค่า $d_{FA,FA}$ (จำนวน hop เฉลี่ยระหว่าง FA ในพื้นที่การเพจ) จะขึ้นกับลักษณะโทโปโลยีของโครงข่ายพื้นที่การเพจแต่เพื่อให้การวิเคราะห์ทำได้ง่ายขึ้น เราจึงกำหนดให้ค่านี้มีค่าเท่ากับ $\sqrt{n}$ และโดยปกติในโครงข่ายการสื่อสารทั่วไป ω_{core} จะมีค่ามากกว่า ω_{local} ส่งผลให้ R_w มีค่ามากกว่า 1 ซึ่งค่านี้สามารถเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นกับสภาวะความคับคั่งของโครงข่ายหลักเมื่อเปรียบเทียบกับโครงข่ายย่อย โดยในที่นี้กำหนดให้ R_w มีค่าคงที่เท่ากับ 8

จากรูปจะพบว่าต้นทุนในการสัญญาณของวิธี Mobile IP มีความสัมพันธ์เป็นแบบเชิงเส้นกับจำนวนเซลล์ต่อพื้นที่การเพจ สาเหตุเนื่องมาจากหากเรายิ่งพิจารณาเซลล์จำนวนมาก ก็จะยิ่งพบการเคลื่อนที่ข้ามขอบเขตเซลล์ของผู้ใช้มากด้วยเช่นกัน ส่งผลให้ปริมาณการสัญญาณอันเนื่องมาจากกระบวนการลงทะเบียนมีค่ามาก ขณะที่ใน P-MIP และในวิธีที่เสนอนั้น ต้นทุนการสัญญาณจะมาจากทั้งกระบวนการลงทะเบียนและกระบวนการเพจเพื่อค้นหาตำแหน่งของ MN โดยพบว่าเมื่อขนาดของพื้นที่การเพจมีค่าน้อยกว่าค่าค่าหนึ่ง ต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากกระบวนการเพจของวิธี P-MIP จะมีค่าน้อยเมื่อเทียบกับต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการลงทะเบียน ทำให้ต้นทุนการสัญญาณโดยรวมมีค่าลดลงเมื่อเทียบกับต้นทุนการสัญญาณในวิธี Mobile IP แต่เมื่อพื้นที่การเพจมีขนาดใหญ่ ต้นทุนในการสัญญาณที่เกิดจากการเพจจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว สาเหตุเนื่องมาจากในแต่ละครั้งที่ระบบต้องการค้นหาตำแหน่งของ MN ข่าวสารร้องขอการเพจจะถูกส่งไปยังทุก FA ที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจ แล้วจึงถูกกระจายต่อในแต่ละพื้นที่เซลล์ ส่งผลให้เกิดภาระการสัญญาณจำนวนมาก และหากพิจารณาเปรียบเทียบรูปทั้งสาม จะพบว่าจุดตัดระหว่างวิธี P-MIP กับ Mobile IP มีค่าแตกต่างกันเมื่อระบบมีผู้ใช้ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยต่างกัน โดยยิ่งผู้ใช้มีความเร็วต่ำจุดตัดนี้จะยิ่งมีค่าน้อย ส่งผลให้ช่วงขนาดพื้นที่การเพจที่เลือกใช้ได้มีช่วงที่แคบลง แสดงให้เห็นว่าในระบบที่ผู้ใช้มีความเร็วต่ำ พื้นที่การเพจที่เหมาะสมควรมีขนาดเล็ก เนื่องจากกรณีที่ผู้ใช้มีความเร็วต่ำ P-MIP ที่มีพื้นที่การเพจขนาดใหญ่จะมีต้นทุนในการเพจมาก ขณะที่ผู้ใช้ก็มีแนวโน้มที่จะอยู่ในเซลล์เดิมนานขึ้นนั่นก็คือ มีอัตราการข้ามขอบเขตของเซลล์ลดลงทำให้การสัญญาณอันเนื่องมาจากการลงทะเบียนในวิธี Mobile IP มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับต้นทุนการสัญญาณของ P-MIP

ขณะที่ในวิธีที่เสนอเมื่อพิจารณาต้นทุนการสัญญาณที่ความเร็ว 30 และ 15 เมตรต่อวินาที วิธีที่เสนอจะมีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่าของทั้งวิธี Mobile IP และ P-MIP ทุกค่าขนาดของพื้นที่การเพจตั้งแต่ 1 จนถึง 250 เซลล์ ส่วนในกรณีที่ผู้ใช้มีความเร็วเป็น 5 เมตรต่อวินาที วิธีที่เสนอสามารถลดปริมาณการสัญญาณของระบบลงได้เมื่อเทียบกับ Mobile IP จนถึงค่าขนาดพื้นที่

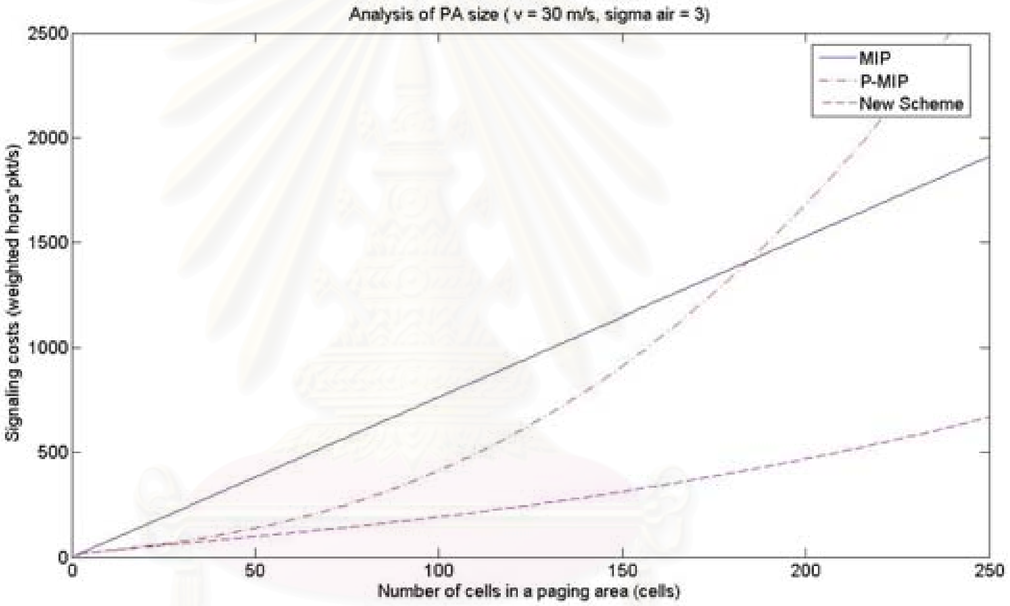
การเพจเท่ากับ 196 เซลล์ ขณะที่วิธี P-MIP สามารถลดปริมาณการสัญญาณของระบบลงได้เมื่อเทียบกับ Mobile IP จนถึงค่าขนาดพื้นที่การเพจเท่ากับ 49 เซลล์เท่านั้น จะเห็นว่าวิธีที่เสนอมีแนวโน้มที่จะให้ต้นทุนการสัญญาณของระบบที่ต่ำกว่าของวิธี P-MIP ที่มีขนาดพื้นที่การเพจเท่ากัน อีกทั้งยังมีช่วงขนาดของพื้นที่การเพจให้สามารถเลือกใช้ได้ที่กว้างกว่าของวิธี P-MIP ซึ่งแสดงดังรูป เนื่องจากเมื่อขนาดพื้นที่การเพจมีขนาดใหญ่ขึ้น วิธี P-MIP จะมีต้นทุนการสัญญาณที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่ในวิธีที่เสนอ เมื่อขนาดพื้นที่การเพจมีค่าเพิ่มขึ้น ระบบจะมีต้นทุนการสัญญาณที่เพิ่มขึ้นด้วยแนวโน้มที่ช้ากว่า เนื่องมาจากในวิธีที่เสนอมีการแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นพื้นที่การเพจย่อย ทำให้ต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากการเพจมีค่าต่ำกว่าในวิธี P-MIP แต่ยังคงมีปริมาณข่าวสารการลงทะเบียนเท่ากับวิธี P-MIP



รูปที่ 4.4 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อมีการแบ่งพื้นที่การเพจเป็น 4 และ 9 พื้นที่การเพจย่อย

รูปที่ 4.4 เป็นการแสดงเปรียบเทียบในวิธีที่เสนอ เมื่อมีการแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็น 4 พื้นที่การเพจย่อยและ 9 พื้นที่การเพจย่อย ซึ่งพบว่าวิธีที่เสนอกรณีที่มีการแบ่งเป็น 9 พื้นที่การเพจย่อยมีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่มีการแบ่งเป็น 4 พื้นที่การเพจย่อย เมื่อขนาดของพื้นที่การเพจมีค่ามากกว่า 64 เซลล์ เนื่องจากในสภาวะที่ผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที และมีอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008 /s หากเราแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็น 4 พื้นที่

ย่อย ระบบจะยังมีต้นทุนในการเพจที่สูงเมื่อเทียบกับต้นทุนในการส่งข่าวสารการเปลี่ยนตำแหน่ง (Location update) ดังนั้นการมีขนาดของพื้นที่การเพจย่อยขนาดเล็ก (จำนวนพื้นที่การเพจย่อยต่อหนึ่งพื้นที่การเพจมากขึ้น) จะช่วยลดต้นทุนในการสัญญาณการเพจลงได้ ถึงแม้ว่าต้นทุนในการส่งข่าวสารการเปลี่ยนตำแหน่งของกรณีที่มีพื้นที่การเพจย่อยขนาดเล็กจะมีค่าเพิ่มขึ้นแต่ก็เพิ่มขึ้นน้อยกว่าเมื่อเทียบกับต้นทุนการเพจที่ลดลงได้ จึงทำให้กรณีการแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็น 9 พื้นที่การเพจย่อยให้ผลดีกว่าการแบ่งออกเป็น 4 พื้นที่การเพจย่อย อย่างไรก็ตามการแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นพื้นที่ย่อยจำนวนมากๆไม่ได้ดีกว่าเช่นในกรณีนี้เสมอไป ขึ้นอยู่กับลักษณะการเคลื่อนที่และอัตราขาเข้าของข้อมูลของผู้ใช้ในแต่ละกรณีด้วย



รูปที่ 4.5 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที และ σ_{air} เท่ากับ 3

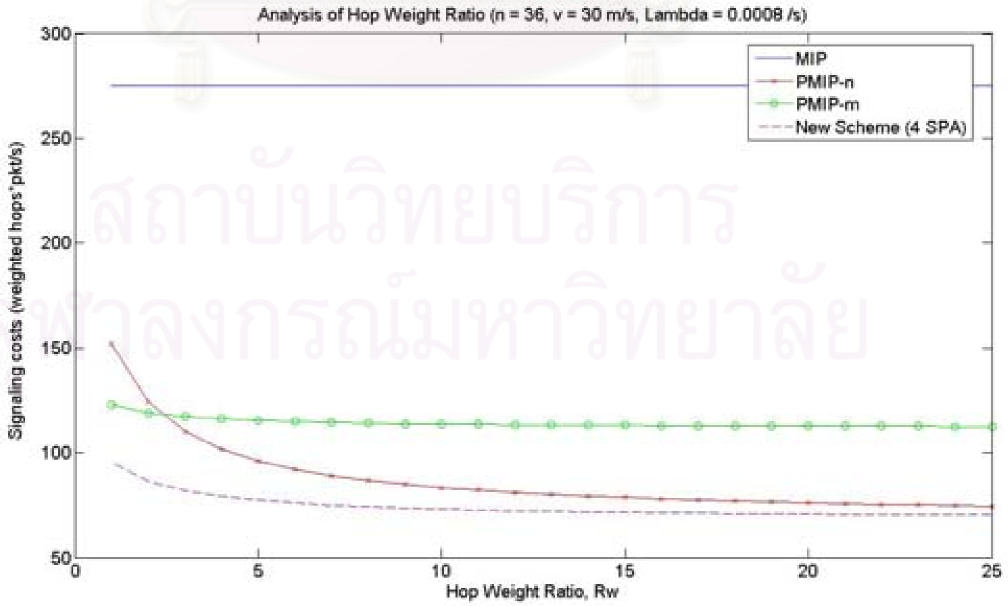
เนื่องจากแบนด์วิดท์ซึ่งเป็นทรัพยากรที่จำเป็นต้องใช้ในการสื่อสารแบบไร้สายมีอยู่อย่างจำกัดเมื่อเทียบกับในกรณีของการสื่อสารบนสายนำสัญญาณ ส่งผลให้ σ_{air} มีแนวโน้มที่จะมีค่ามากกว่า 1 โดยในการวิเคราะห์นี้กำหนดให้ σ_{air} มีค่าเท่ากับ 3 ซึ่งจากการเปรียบเทียบรูปที่ 4.5 กับรูปที่ 4.1 พบว่า Mobile IP มีต้นทุนการสัญญาณไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากในการทำงานของ Mobile IP ไม่มีกระบวนการกระจายข่าวสารการเพจในแต่ละเซลล์ วิธีนี้จึงไม่ถูกกระทบจากผลของ σ_{air} ที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่วิธี P-MIP จะมีต้นทุนการสัญญาณเพิ่มขึ้นมาก เมื่อเทียบกับวิธีที่

เสนอ ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากในวิธี P-MIP เมื่อต้องการค้นหาตำแหน่งของ MN ระบบจะต้องกระจายข่าวสารร้องขอการเพจในทุกๆเซลล์ทั้งพื้นที่การเพจ ขณะที่วิธีที่เสนอจะกระจายข่าวสารร้องขอการเพจเฉพาะในพื้นที่การเพจย่อย ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าทั้งพื้นที่การเพจ ผลของ σ_{air} ที่เปลี่ยนแปลงไปจึงส่งผลกระทบต่อวิธีที่เสนอในสัดส่วนที่น้อยกว่า

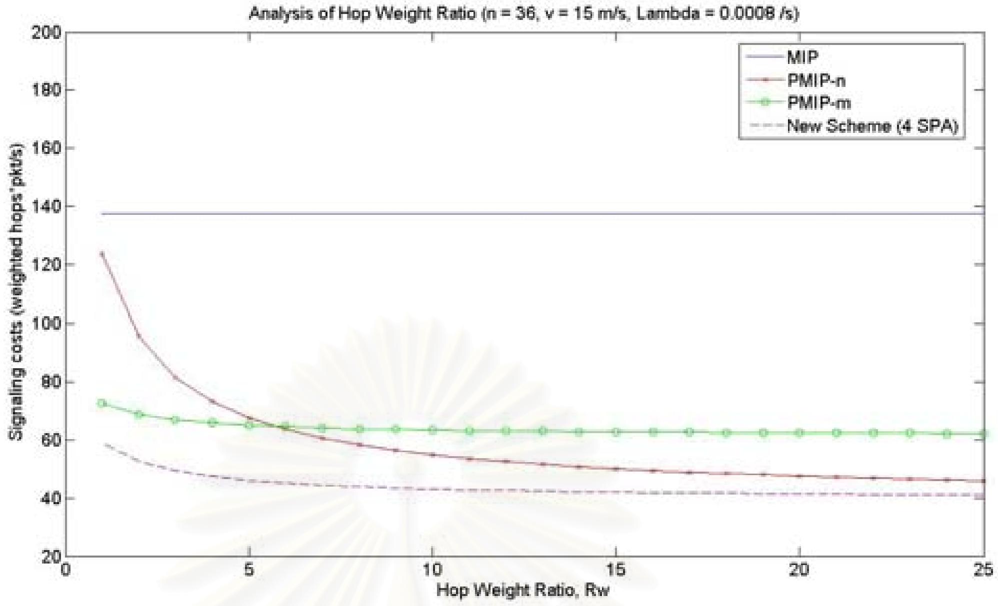
จากรูปที่ 4.5 เมื่อพิจารณาที่ขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 64 เซลล์พบว่าต้นทุนการสัญญาณของวิธี P-MIP มีค่าเพิ่มขึ้นจากรูปที่ 4.1 ถึง 9.7% ขณะที่ในวิธีที่เสนอมีต้นทุนการสัญญาณเพิ่มขึ้นจากรูปที่ 4.1 เพียง 3.6% จึงเห็นได้ว่าวิธี P-MIP มีแนวโน้มที่จะมีต้นทุนในการสัญญาณสูงในสภาวะที่ σ_{air} มีค่ามากและยังถูกกระทบจากผลของ σ_{air} มากกว่าวิธีที่เสนอ

4.1.2 **ผลกระทบของ** Hop weight ratio **ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ**

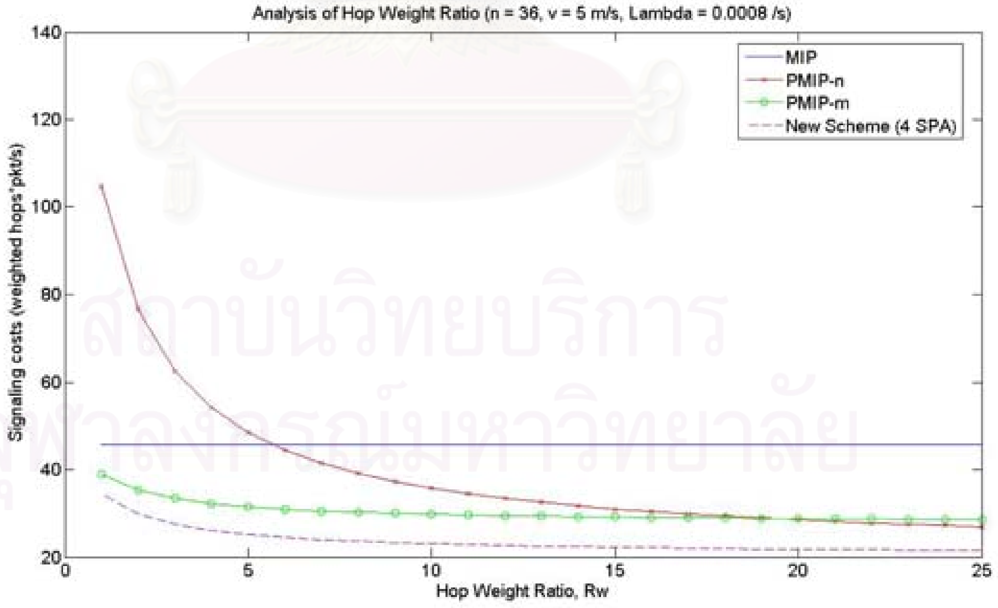
ในทางปฏิบัติจำนวนเซลล์ในหนึ่งพื้นที่การเพจมีค่าต่างกันไปขึ้นกับผู้ดูแลโครงข่าย โดยค่าปกติที่ใช้ทั่วไปมีค่าประมาณ 40 เซลล์ แต่เนื่องจากในการวิเคราะห์ เราใช้พื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสจึงเลือกขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 36 เซลล์ และในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีที่เสนอกับ P-MIP ที่มีขนาดของพื้นที่การเพจต่างๆ เราจะเลือกพิจารณา P-MIP ในกรณีที่มีขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอ ซึ่งเรียกว่า P-MIP-n และกรณีที่ P-MIP มีขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับขนาดของพื้นที่การเพจย่อยของวิธีที่เสนอ เรียกว่า P-MIP-m



รูปที่ 4.6 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี
เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.7 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 15 เมตรต่อวินาที



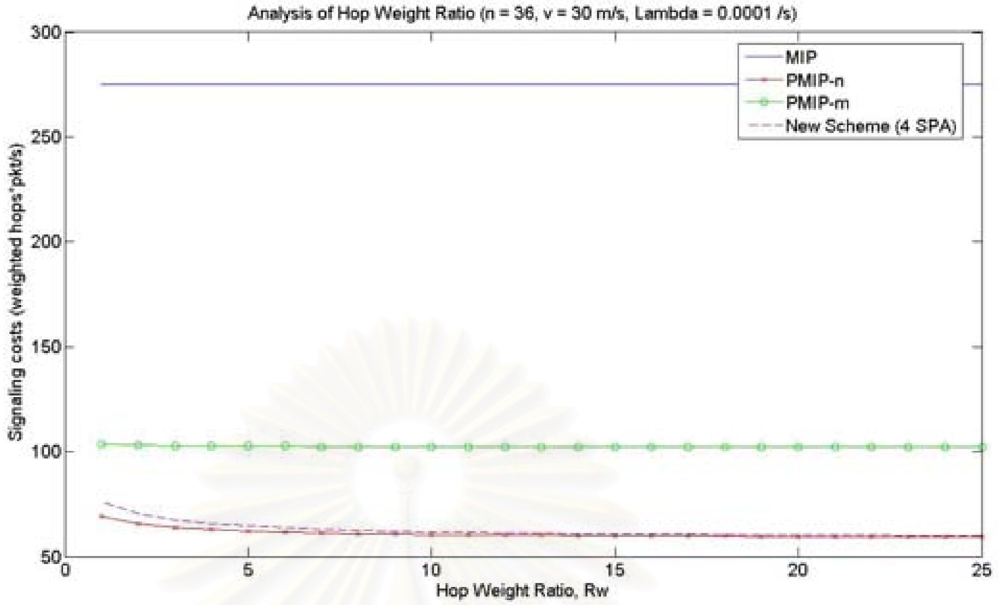
รูปที่ 4.8 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 5 เมตรต่อวินาที

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เนื่องจากค่า R_w (Hop weight ratio) สะท้อนให้เห็นถึงสัดส่วนของปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากการเพจและปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากการลงทะเบียนในต้นทุนการสัญญาณรวม โดยเมื่อ R_w มีค่าน้อย การสัญญาณในโครงข่ายย่อย (การเพจและการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่ง) และการสัญญาณในโครงข่ายหลัก (การลงทะเบียน) จะมีผลต่อต้นทุนการสัญญาณของระบบในสัดส่วนเท่าๆกัน ดังนั้นหากต้องการที่จะลดต้นทุนในการสัญญาณลงก็จำเป็นจะต้องลดทั้งปริมาณการสัญญาณจากการเพจและการสัญญาณจากการลงทะเบียนลง แต่เมื่อ R_w มีค่ามากขึ้น ผลของการสัญญาณในโครงข่ายย่อยที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณจะมีสัดส่วนลดลง ขณะที่ผลของการสัญญาณในโครงข่ายหลักจะมีสัดส่วนเพิ่มขึ้นในต้นทุนการสัญญาณรวม ดังนั้นในการที่จะลดต้นทุนการสัญญาณลง จึงจำเป็นที่จะต้องลดปริมาณข่าวสารการลงทะเบียนลง ทำได้โดยการใช้หลักการเพจเพื่อลดจำนวนข่าวสารลงทะเบียน

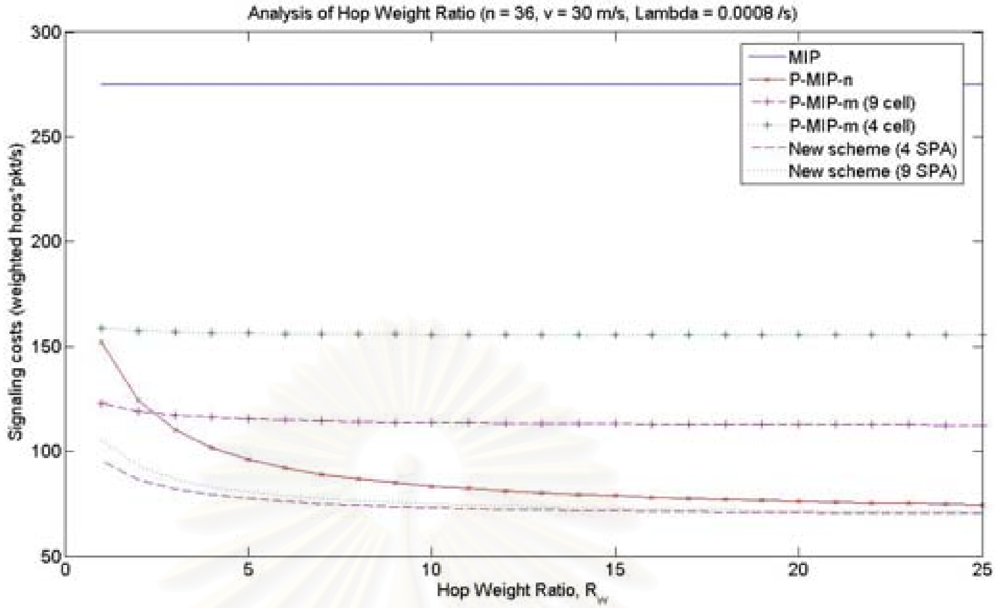
จากรูปที่ 4.6 ถึง 4.8 จะพบว่าต้นทุนการสัญญาณของวิธี Mobile IP มีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากในวิธีนี้มีเพียงการสัญญาณที่เกิดจากการลงทะเบียนเพียงอย่างเดียวจึงทำให้ R_w ไม่ส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณของระบบ ขณะที่ในกรณี P-MIP-n จะพบว่าวิธีนี้มีแนวโน้มที่จะมีต้นทุนในการสัญญาณที่ลดลงเร็วกว่าวิธีอื่นๆ เนื่องจากในวิธีนี้ต้นทุนการสัญญาณส่วนใหญ่เกิดจากการเพจซึ่งเป็นการสัญญาณในโครงข่ายย่อย หาก R_w มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงค่าๆหนึ่ง ต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากการลงทะเบียนซึ่งเป็นการสัญญาณในโครงข่ายหลักจะเป็นต้นทุนหลักในต้นทุนการสัญญาณรวม ในทางกลับกันต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากการเพจจะเป็นสัดส่วนน้อยมากในต้นทุนการสัญญาณรวม

สำหรับวิธีที่เสนอเมื่อ R_w มีค่าเพิ่มขึ้น ต้นทุนการสัญญาณก็มีแนวโน้มที่ลดลงเช่นกัน โดยพบว่าวิธีที่เสนอจะให้ต้นทุนการสัญญาณต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ นอกจากนี้วิธีที่เสนอยังมีต้นทุนการสัญญาณที่ไม่แปรปรวนง่ายต่อค่า R_w ต่างๆของระบบ ดังเช่นใน P-MIP-n ทำให้ในการออกแบบหรือดูแลโครงข่ายสามารถบริหารจัดการทรัพยากรรวมถึงคุณภาพการให้บริการได้ดีกว่าในรูปที่ 4.8 แสดงสภาวะที่ผู้ใช้มีความเร็วต่ำ การใช้พื้นที่การเพจขนาดใหญ่ทำให้เกิดปริมาณการสัญญาณการเพจจำนวนมาก ส่งผลให้ P-MIP-n มีต้นทุนการสัญญาณสูงกว่า Mobile IP ในช่วงที่ R_w มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 5 และเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบวิธี P-MIP-n และ P-MIP-m ที่ความเร็วต่างๆ จะพบว่าในสภาวะที่ผู้ใช้มีความเร็วสูง P-MIP-n จะมีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่าของวิธี P-MIP-m ในทางกลับกันในสภาวะที่ผู้ใช้มีความเร็วต่ำ การมีพื้นที่การเพจขนาดใหญ่จะมีต้นทุนในการเพจมาก เพื่อลดต้นทุนการสัญญาณพื้นที่การเพจที่เหมาะสมจึงควรมีขนาดเล็ก

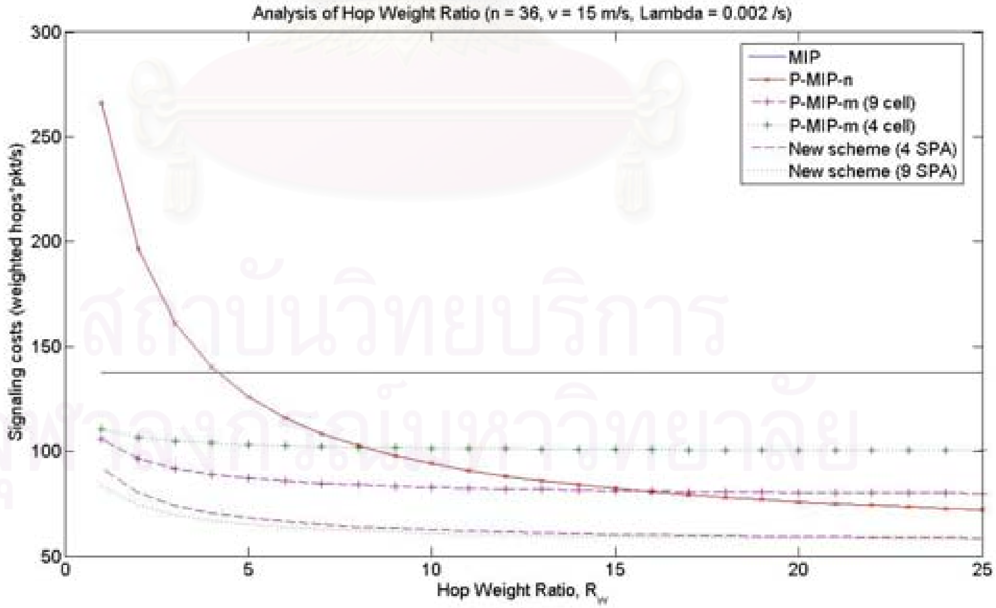


รูปที่ 4.9 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาทีและ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0001 /s

อย่างไรก็ตามวิธีที่เสนอไม่ได้มีประสิทธิภาพดีกว่า P-MIP เสมอไป มีบางสภาวะที่วิธี P-MIP-n ให้ต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่าวิธีที่เสนอ เช่นในรูปที่ 4.9 เป็นกรณีที่ผู้ใช้มีความเร็วสูง (30 เมตรต่อวินาที) และมีอัตราข้อมูลขาเข้าต่ำ (0.0001 /s) เนื่องจากทั้งวิธีที่เสนอและวิธี P-MIP-n มีต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการลงทะเบียนเท่ากัน (มีพื้นที่การเพจเท่ากัน) สิ่งที่จะทำให้ต้นทุนการสัญญาณของวิธีใดมีค่าน้อยกว่ากันจึงขึ้นกับต้นทุนในการเพจของ P-MIP-n และต้นทุนในการเพจ รวมกับต้นทุนจากการส่งข่าวสารการเปลี่ยนตำแหน่งของวิธีที่เสนอ ซึ่งพบว่าที่ค่าอัตราข้อมูลขาเข้าต่ำๆและผู้ใช้มีความเร็วสูง วิธีที่เสนอจะมีภาระการส่งข่าวสารการเปลี่ยนตำแหน่งมากทำให้ต้นทุนการสัญญาณรวมสูงกว่าวิธี P-MIP-n แต่จากรูปจะพบว่าต้นทุนการสัญญาณของวิธีที่เสนอมีค่าสูงกว่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยผลต่างนี้จะมีค่าลู่เข้าค่าๆหนึ่งเมื่ออัตราข้อมูลขาเข้ามีค่าลดต่ำลงเรื่อยๆ ดังแสดงถัดไปในการวิเคราะห์ที่ 4.1.7 อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติโอกาสที่ผู้ใช้จะมีอัตราข้อมูลขาเข้าต่ำมากๆหรือผู้ใช้มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงมากๆมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นน้อย ทำให้ในสภาวะทั่วไปวิธีที่เสนอจะมีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่าวิธี P-MIP



รูปที่ 4.10 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาทีและ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008 /s



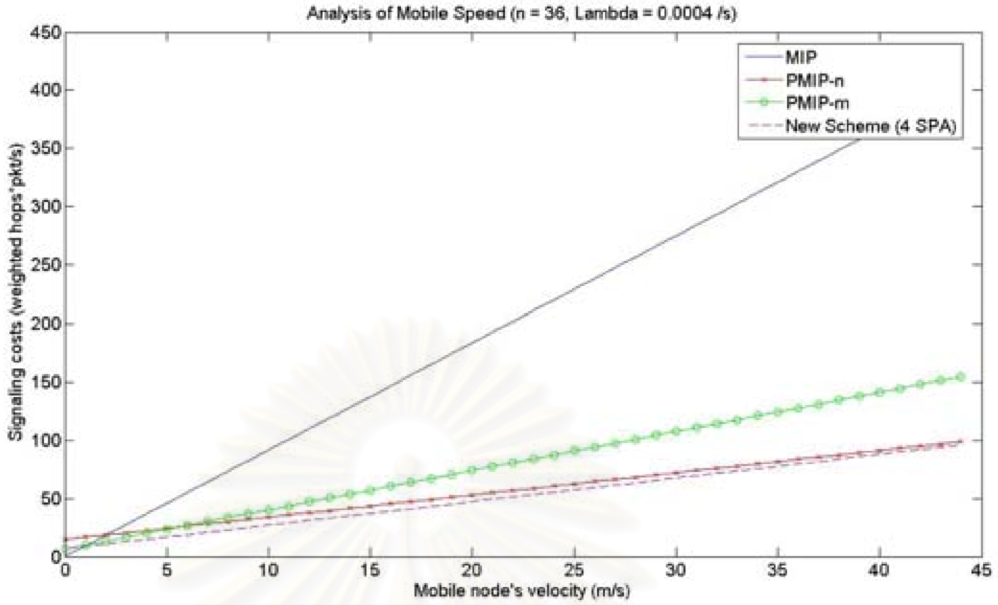
รูปที่ 4.11 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 15 เมตรต่อวินาทีและ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.002 /s

รูปที่ 4.10 และ 4.11 เป็นการเปรียบเทียบต้นทุนการสัญญาณของวิธี Mobile IP, P-MIP ที่มีขนาดพื้นที่การเพจขนาดต่างๆ (36 เซลล์ (P-MIP-n), 9 เซลล์ และ 4 เซลล์) และวิธีที่เสนอเมื่อมีการแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็น 4 และ 9 พื้นที่การเพจย่อย ที่สภาวะต่างๆของระบบ โดยในรูปที่ 4.10 เป็นกรณีที่ผู้ใช้ในระบบมีความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่สูง ขณะที่อัตราขาเข้าของข้อมูลต่ำ เราเรียกสภาวะเช่นนี้ว่ามี Call to Mobility Ratio (CMR) ต่ำ โดยนิยามให้ CMR คืออัตราส่วนของอัตราขาเข้าของข้อมูลต่อความเร็วของผู้ใช้ จะพบว่าวิธีที่เสนอกรณีที่แบ่งพื้นที่การเพจออกเป็น 4 พื้นที่การเพจย่อยมีต้นทุนในการสัญญาณที่ต่ำที่สุด สาเหตุที่วิธีที่เสนอกรณีที่แบ่งพื้นที่การเพจเป็น 4 พื้นที่ย่อยให้ประสิทธิภาพดีกว่าวิธีที่เสนอกรณีที่แบ่งพื้นที่การเพจเป็น 9 พื้นที่ย่อย เนื่องมาจากระบบมีพื้นที่การเพจย่อยที่มีขนาดใหญ่กว่าส่งผลให้สามารถลดต้นทุนการสัญญาณจากการส่งข่าวสารแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งลงได้เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่มีพื้นที่การเพจย่อยขนาดเล็กที่จะเกิดต้นทุนการสัญญาณจากการส่งข่าวสารแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งมากกว่า สำหรับรูปที่ 4.11 เป็นกรณีที่ผู้ใช้ในระบบมีความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ไม่สูงนัก แต่มีอัตราข้อมูลขาเข้าที่สูง (CMR สูง) จะพบว่าวิธีที่เสนอกรณีที่แบ่งพื้นที่การเพจออกเป็น 9 พื้นที่ย่อยให้ต้นทุนการสัญญาณของระบบที่ต่ำที่สุดและต่ำกว่าวิธีที่เสนอกรณีที่แบ่งพื้นที่การเพจเป็น 4 พื้นที่ย่อย สาเหตุเนื่องจากที่สภาวะนี้ผู้ใช้มีการเคลื่อนที่ไม่มาก แต่มีอัตราข้อมูลขาเข้ามาก ทำให้ระบบต้องส่งข่าวสารการเพจบ่อย การมีพื้นที่การเพจย่อยขนาดเล็กจึงช่วยลดปริมาณการสัญญาณของระบบลงได้

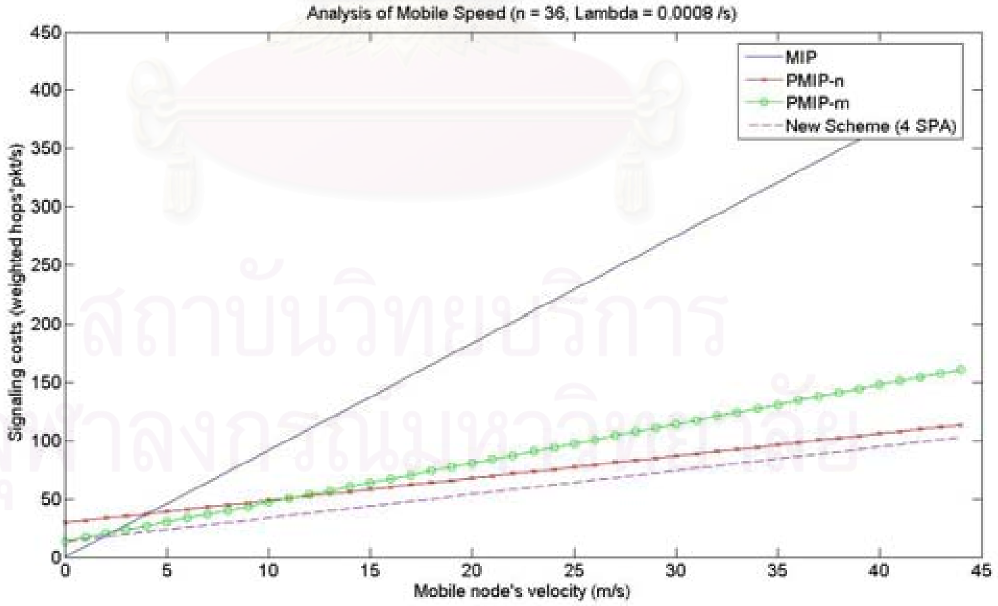
อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติ การพิจารณาว่าควรจะแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นกี่พื้นที่การเพจย่อยในวิธีที่เสนอนั้น นอกจากปัจจัยต้นทุนการสัญญาณของระบบที่ต้องวิเคราะห์แล้ว ปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อการออกแบบจำนวนพื้นที่การเพจย่อยที่จำเป็นจะต้องพิจารณาด้วยได้แก่ ปัญหาการใช้พลังงานของ MN โดยขนาดของพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสมนั้นควรเป็นเท่าใดเพื่อให้ผู้ใช้ไม่ถูกกระทบจากผลของการใช้พลังงานมากเกินไป รวมถึงลักษณะโทโปโลยีของโครงข่ายพื้นที่ที่ทำการออกแบบและความสามารถของอุปกรณ์โครงข่ายต่างๆ

4.1.3 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ

ในการวิเคราะห์นี้จะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ในระบบที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณทั้งในวิธี Mobile IP, P-MIP ที่มีขนาดพื้นที่การเพจต่างๆ และวิธีที่เสนอ โดยจะพิจารณาทั้งในกรณีที่ขนาดของพื้นที่การเพจมีขนาดเท่ากับ 36 เซลล์และ 64 เซลล์เพื่อแสดงให้เห็นถึงสิ่งที่เกิดขึ้นเมื่อระบบมีขนาดพื้นที่การเพจต่างกัน

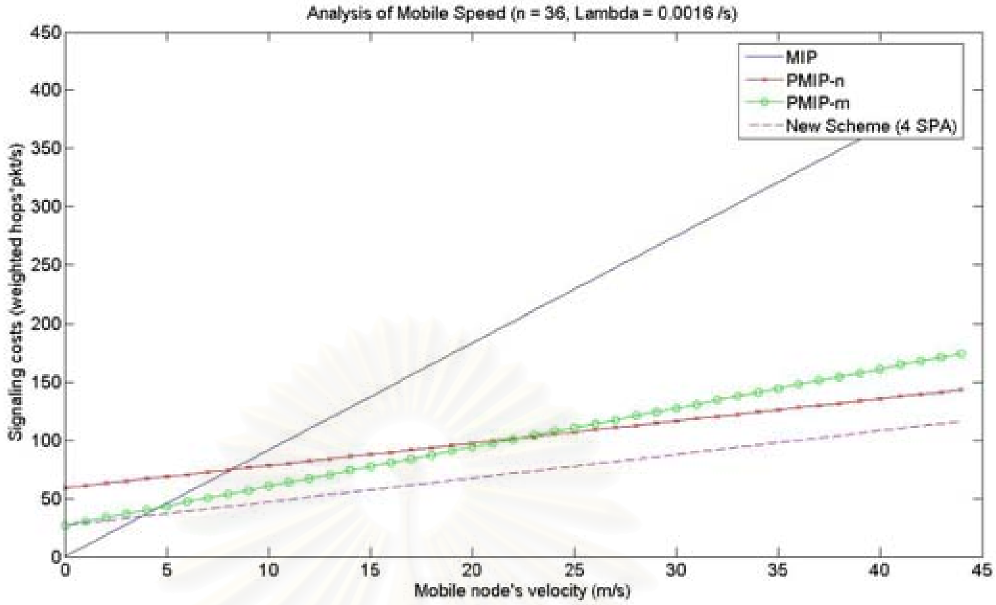


รูปที่ 4.12 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0004 /s



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.13 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008 /s



รูปที่ 4.14 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0016 /s

รูปที่ 4.12 ถึง 4.14 เป็นการแสดงถึงผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณของระบบในวิธีต่างๆ โดยมีการพิจารณาที่อัตราข้อมูลขาเข้าค่าต่างๆกันซึ่งพบว่าวิธี Mobile IP มีต้นทุนการสัญญาณที่คงที่ไม่ขึ้นกับอัตราขาเข้าของข้อมูล เนื่องจากไม่มีการใช้การเพจในการทำงาน ดังนั้นระบบจึงไม่ถูกกระทบจากผลของอัตราข้อมูลขาเข้า และพบว่าทั้งวิธี P-MIP และวิธีที่เสนอได้รับผลกระทบจากความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่เปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่าเมื่อเทียบกับวิธี Mobile IP โดยหากเปรียบเทียบระหว่าง P-MIP-n และ Mobile IP จะพบว่าเมื่อ MN มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยมากกว่าค่าค่าหนึ่งแล้ว (4.1 เมตรต่อวินาที ในรูปที่ 4.13) การเพจจะสามารถลดปริมาณการสัญญาณของระบบลงได้เมื่อเทียบกับวิธี Mobile IP แต่หากผู้ใช้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยที่ต่ำกว่าค่านั้น วิธี Mobile IP จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า สาเหตุเพราะว่าเมื่อ MN มีการเคลื่อนที่ช้าจะทำให้มีโอกาสที่จะอยู่ภายในเซลล์เดิมได้นานขึ้น ต้นทุนการสัญญาณจากการลงทะเบียนจึงมีค่าต่ำ ขณะเดียวกันการสัญญาณจากการเพจจะกลายเป็นสาเหตุหลักของต้นทุนการสัญญาณรวม และหากเปรียบเทียบระหว่าง P-MIP-m และ Mobile IP จะพบว่าถ้า MN มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยมากกว่าค่าค่าหนึ่งแล้ว (2.5 เมตรต่อวินาที ในรูปที่ 4.13) การเพจจะสามารถลดปริมาณการสัญญาณของระบบลงได้เมื่อเทียบกับวิธี Mobile IP แต่หากผู้ใช้

เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยที่ต่ำกว่าค่านั้น วิธี Mobile IP จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าเช่นเดียวกับในกรณี P-MIP-n

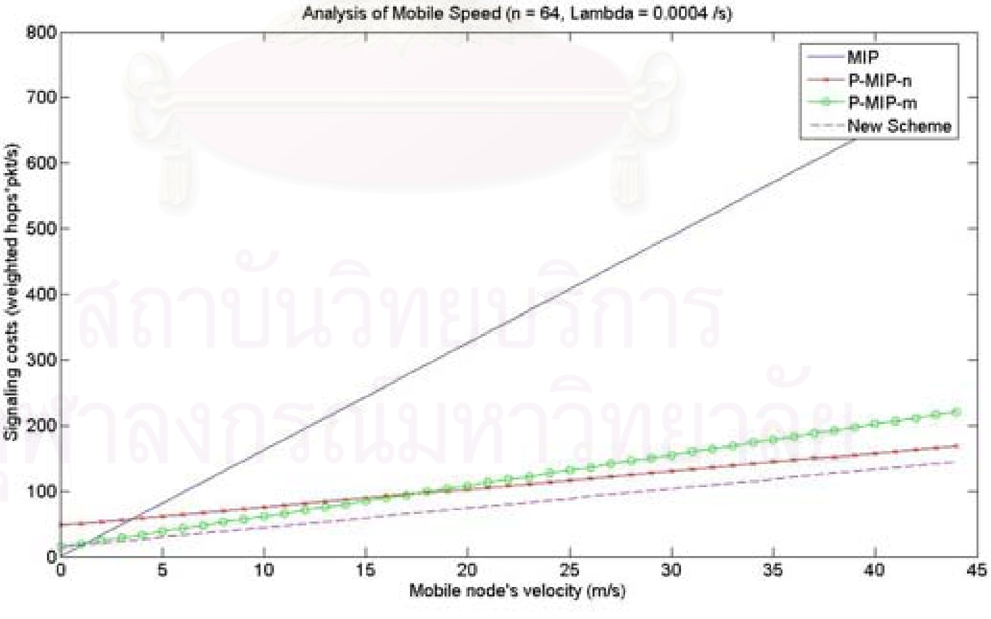
จากการสังเกตพบว่าวิธี P-MIP-m จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธี P-MIP-n เมื่อผู้ใช้มีความเร็วต่ำ เนื่องจากมีพื้นที่การเพจขนาดเล็กทำให้มีปริมาณการสัญญาณจากการเพจต่ำ นอกจากนี้ยังมีจุดตัดกับวิธี Mobile IP ที่ค่าความเร็วเฉลี่ยต่ำกว่าของ P-MIP-n ส่งผลให้ระบบมีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่า Mobile IP ในช่วงกว้างกว่า แต่ก็มีข้อเสียคือ ถูกกระทบจากผลของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ได้มาก พิจารณาจากต้นทุนการสัญญาณที่เปลี่ยนแปลงในช่วงความเร็วที่พิจารณา ในทางกลับกันวิธี P-MIP-n จะให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธี P-MIP-m เมื่อผู้ใช้มีความเร็วสูง เนื่องจากมีพื้นที่การเพจขนาดใหญ่ทำให้สามารถลดต้นทุนอันเกิดจากการลงทะเบียนลงได้ แต่ก็มีข้อเสียคือมีจุดตัดกับวิธี Mobile IP ที่ค่าความเร็วเฉลี่ยสูงกว่าของ P-MIP-m ส่งผลให้ระบบมีต้นทุนการสัญญาณที่สูงกว่า Mobile IP ในช่วงที่กว้างกว่า ดังนั้นจะเห็นได้ว่าในการออกแบบพื้นที่การเพจให้เหมาะสมกับระบบที่มีผู้ใช้ที่มีค่าพารามิเตอร์ที่หลากหลายจึงเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยและอัตราขาเข้าของข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ดังนั้นระบบที่ต้องการจึงควรให้ประสิทธิภาพที่ดีในช่วงพารามิเตอร์ของระบบที่กว้างเพื่อให้ระบบไม่ถูกกระทบจากการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์บางตัวเช่นที่ปรากฏในวิธี P-MIP

ในขณะที่วิธี P-MIP ที่มีพื้นที่การเพจขนาดใหญ่ให้ประสิทธิภาพต่ำในช่วงที่ผู้ใช้มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำ และวิธี P-MIP ที่มีพื้นที่การเพจขนาดเล็กให้ประสิทธิภาพต่ำในช่วงที่ผู้ใช้มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง วิธีที่เสนอให้ประสิทธิภาพที่ดีทั้งในช่วงที่ผู้ใช้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงและความเร็วต่ำ โดยในขณะที่ผู้ใช้มีความเร็วต่ำ วิธีที่เสนอมีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำคล้ายกับในวิธี P-MIP กรณีที่มีพื้นที่การเพจขนาดเล็ก และที่ความเร็วสูง วิธีที่เสนอก็ให้ต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำคล้ายกับในวิธี P-MIP กรณีที่มีพื้นที่การเพจขนาดใหญ่ วิธีที่เสนอจึงเป็นเหมือนกับการรวมข้อดีของวิธี P-MIP ที่พื้นที่การเพจขนาดใหญ่เข้ากับข้อดีของวิธี P-MIP ที่มีพื้นที่การเพจขนาดเล็ก นอกจากนี้วิธีที่เสนอยังมีจุดตัดของกราฟกับ Mobile IP ที่ค่าความเร็วเฉลี่ยน้อยกว่าวิธีอื่นๆ ด้วย จากรูปที่ 4.14 พบว่าต้นทุนการสัญญาณของ P-MIP กรณีพื้นที่การเพจเท่ากับ 36 เซลล์ (P-MIP-n) จะตัดกับของวิธี Mobile IP ที่ความเร็วเฉลี่ย 8.2 เมตรต่อวินาที ขณะที่ P-MIP กรณีที่พื้นที่การเพจเท่ากับ 9 เซลล์ (P-MIP-m) จะตัดกับวิธี Mobile IP ที่ความเร็วเฉลี่ย 4.7 เมตรต่อวินาที ส่วนวิธีที่เสนอจะตัดกับวิธี Mobile IP ที่ความเร็วเฉลี่ย 3.8 เมตรต่อวินาทีเท่านั้น แสดงให้เห็นว่าวิธีที่เสนอให้ต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่า Mobile IP ในช่วงความเร็วที่กว้างกว่าของวิธี P-MIP

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาจากรูปทั้งสามจะพบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี (ความชัน) มีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับอัตราขาเข้าของข้อมูล โดยค่าอัตราขาเข้าของข้อมูลที่

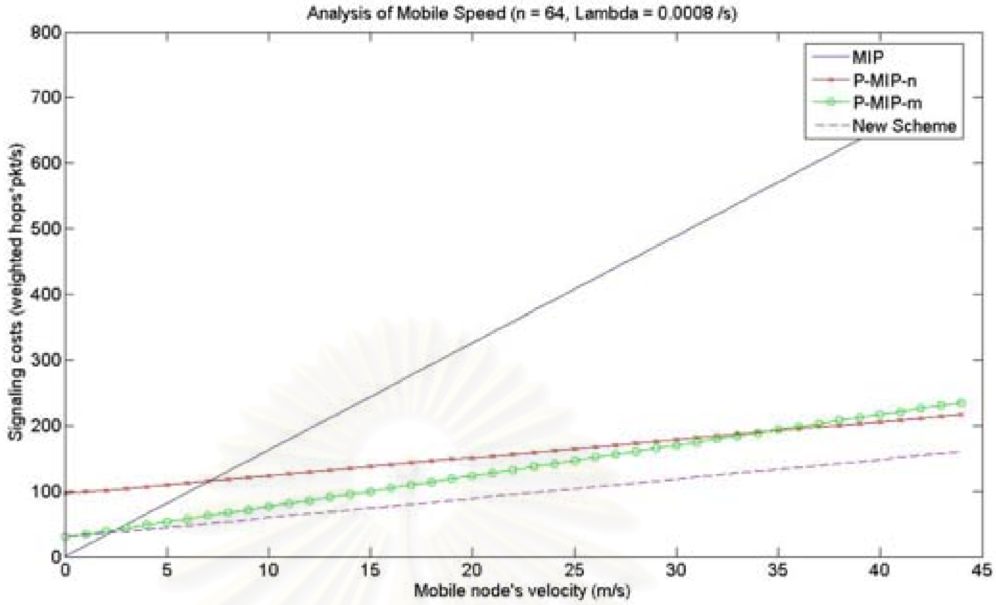
ต่างกันในแต่ละรูปจะส่งผลต่อกราฟที่จุดตัดของแต่ละวิธีกับแกนต้นทุนการสัญญาณเท่านั้น (เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับศูนย์) เนื่องมาจากค่าความเร็วของผู้ใช้และอัตราขาเข้าของข้อมูลส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณกันคนละส่วน โดยความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้จะส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากการลงทะเบียนและการส่งข่าวสารแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่ง ขณะที่อัตราขาเข้าของข้อมูลจะส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการเพจ ดังนั้นที่จุดตัดกับแกนต้นทุนการสัญญาณ ค่าต้นทุนการสัญญาณที่อ่านได้คือต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากการเพจเพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาที่ค่าความเร็วเพิ่มขึ้น ปริมาณการสัญญาณจากการเพจจะมีค่าคงที่ไม่ขึ้นกับความเร็วของผู้ใช้ สิ่งที่ทำให้ต้นทุนการสัญญาณของระบบเพิ่มขึ้นตามความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นคือ ปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากการลงทะเบียนในวิธี P-MIP และ ปริมาณการสัญญาณที่เกิดจากการลงทะเบียนรวมกับการส่งข่าวสารแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งในวิธีที่เสนอ

สำหรับรูปที่ 4.15 และ 4.16 แสดงผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณของระบบโดยเป็นกรณีที่ขนาดของพื้นที่การเพจในวิธีที่เสนอมีขนาดเท่ากับ 64 เซลล์ ซึ่งจะพบว่ามีแนวโน้มสอดคล้องกับในกรณีที่มีขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 36 เซลล์ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ถึง 4.14

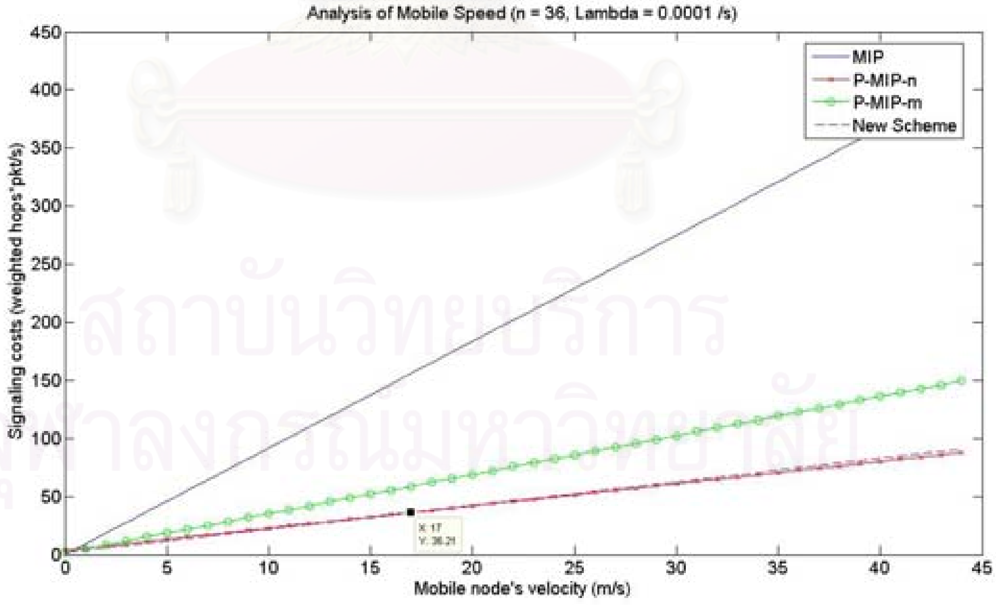


รูปที่ 4.15 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 64 เซลล์ และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0004 /s

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

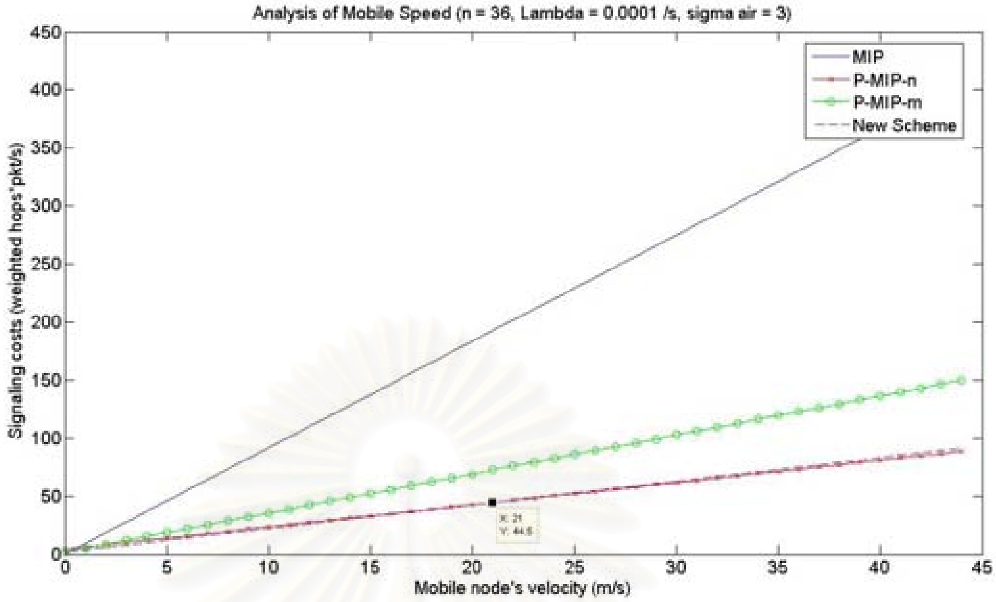


รูปที่ 4.16 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 64 เซลล์ และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008 /s



รูปที่ 4.17 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์ และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0001 /s

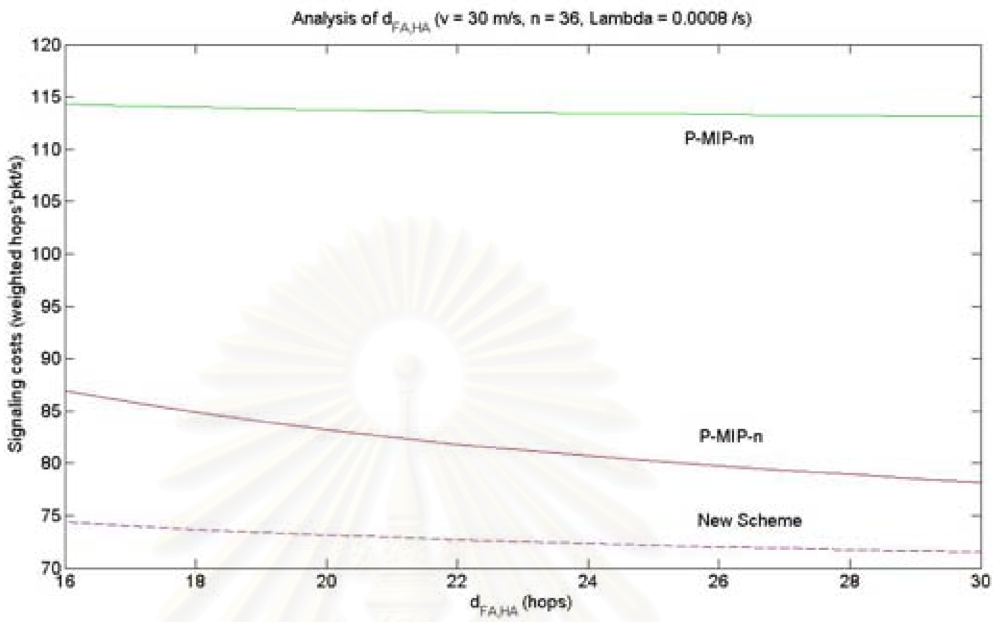
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.18 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0001 /s และ $\sigma_{air} = 3$

รูปที่ 4.17 แสดงให้เห็นถึงกรณีที่วิธี P-MIP ให้ต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่าวิธีที่เสนอ เช่นเดียวกับในรูปที่ 4.9 เป็นสภาวะที่ระบบมีผู้ใช้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ยมีค่าสูงๆและมีอัตราข้อมูลขาเข้าต่ำ อย่างไรก็ตามต้นทุนการสัญญาณของวิธีที่เสนอจะมีค่าสูงกว่าวิธี P-MIP ที่มีขนาดพื้นที่การเพจเท่ากันเพียงเล็กน้อยเท่านั้นเมื่อเปรียบเทียบกับขณะที่ผู้ใช้มีอัตราข้อมูลขาเข้าเพิ่มมากขึ้นดังปรากฏในรูป 4.12 ถึง 4.14 และเหตุการณ์ที่วิธีที่เสนอจะมีต้นทุนการสัญญาณสูงกว่าวิธี P-MIP ก็จะเกิดขึ้นเฉพาะในสภาวะที่ผู้ใช้เคลื่อนที่เร็วกว่า 17 เมตรต่อวินาที เท่านั้นจากรูปที่ 4.17 โดยช่วงที่ P-MIP มีต้นทุนการสัญญาณต่ำกว่าจะมีค่าแคบลงเมื่อ σ_{air} ซึ่งคือ อัตราส่วนของ wireless hop weight ต่อ weight ของแต่ละ hop ในโครงข่ายย่อย มีค่าเพิ่มมากขึ้น จากรูปที่ 4.18 เมื่อ σ_{air} มีค่าเท่ากับ 3 พบว่าต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากการเพจในวิธี P-MIP มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากการเพจในวิธีที่เสนอ เนื่องจากต้องกระจายข่าวสารการเพจในพื้นที่ที่มากกว่า ส่งผลให้เหตุการณ์ที่วิธีที่เสนอมีต้นทุนการสัญญาณสูงกว่าวิธี P-MIP เกิดขึ้นเฉพาะในสภาวะที่ผู้ใช้เคลื่อนที่เร็วกว่า 21 เมตรต่อวินาที ซึ่งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับในรูปที่ 4.17 ทำให้วิธีที่เสนอมีแนวโน้มที่จะให้ต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำว่า P-MIP ในช่วงที่กว้างมากขึ้น

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



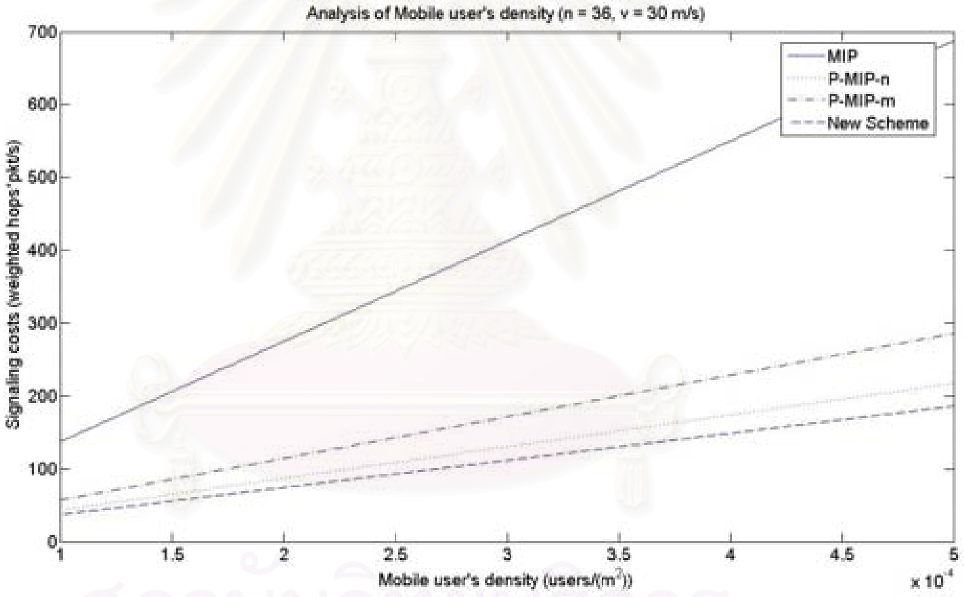
รูปที่ 4.19 ผลกระทบของ $d_{FA,HA}$ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในวิธี P-MIP และวิธีที่เสนอ เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008 /s

เนื่องจากระยะทางระหว่าง HA กับ FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการ MN ($d_{FA,HA}$) ส่งผลกระทบโดยตรงต่อต้นทุนการสัญญาณของทั้งวิธี Mobile IP, P-MIP และวิธีที่เสนอ ดังนั้นในการวิเคราะห์นี้จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่าง $d_{FA,HA}$ กับ ต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี จากรูปที่ 4.19 จะเห็นว่า $d_{FA,HA}$ ส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณของระบบ โดยหาก $d_{FA,HA}$ มีค่าน้อย การสัญญาณในโครงข่ายย่อย อันได้แก่ กระบวนการเพจและการส่งข่าวสารแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่ง และการสัญญาณในโครงข่ายหลัก อันได้แก่ การลงทะเบียน จะส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณรวมในสัดส่วนเท่าๆกัน ดังนั้นเพื่อที่จะลดต้นทุนการสัญญาณลง เราจำเป็นจะต้องลดทั้งปริมาณข่าวสารการเพจและข่าวสารการลงทะเบียน แต่หาก $d_{FA,HA}$ มีค่ามาก ผลของการสัญญาณที่เกิดจากการเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณรวมจะลดลง ขณะที่ผลของการสัญญาณจากการลงทะเบียนจะมีค่าเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการลดต้นทุนการสัญญาณลง เราจะต้องลดจำนวนการสัญญาณการลงทะเบียนลง ซึ่งทำได้โดยการใช้การเพจ จากรูปจะพบว่าวิธีที่เสนอให้ต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่นๆ อีกทั้งยังถูกกระทบจากค่า $d_{FA,HA}$ ที่เปลี่ยนแปลงไปในอัตราที่น้อยกว่าวิธี P-MIP-n ขณะที่ P-MIP-m ถึงแม้จะมีคุณสมบัติที่ถูกกระทบ

จากค่า $d_{FA,HA}$ ที่เปลี่ยนแปลงไปในอัตราที่น้อยเช่นเดียวกับในวิธีที่เสนอแต่จะเห็นได้ว่ายังมีต้นทุนการสัญญาณที่สูงอยู่ เนื่องจากมีพื้นที่การเพจขนาดเล็กทำให้เกิดปริมาณการลงทะเบียนเมื่อเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจมาก จึงไม่เหมาะสมที่จะนำมาใช้

นอกจากนี้หากพิจารณาที่ $d_{FA,HA}$ ค่ามากๆ สาเหตุหลักของต้นทุนการสัญญาณรวมจะมาจากกระบวนการลงทะเบียน ขณะที่การสัญญาณจากการเพจและการส่งข่าวสารแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งจะมีค่าน้อยมากจนสามารถละเลยต้นทุนส่วนนี้ได้ โดยเมื่อ $d_{FA,HA}$ มีค่ามากๆ ต้นทุนการสัญญาณของวิธี P-MIP-n จะมีค่าลู่เข้าสู่ต้นทุนการสัญญาณของวิธีที่เสนอ เนื่องจากต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากกระบวนการลงทะเบียนของวิธีที่เสนอและวิธี P-MIP-n มีค่าเท่ากัน

4.1.5 ผลกระทบของความหนาแน่นของผู้ใช้ (ρ) ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ



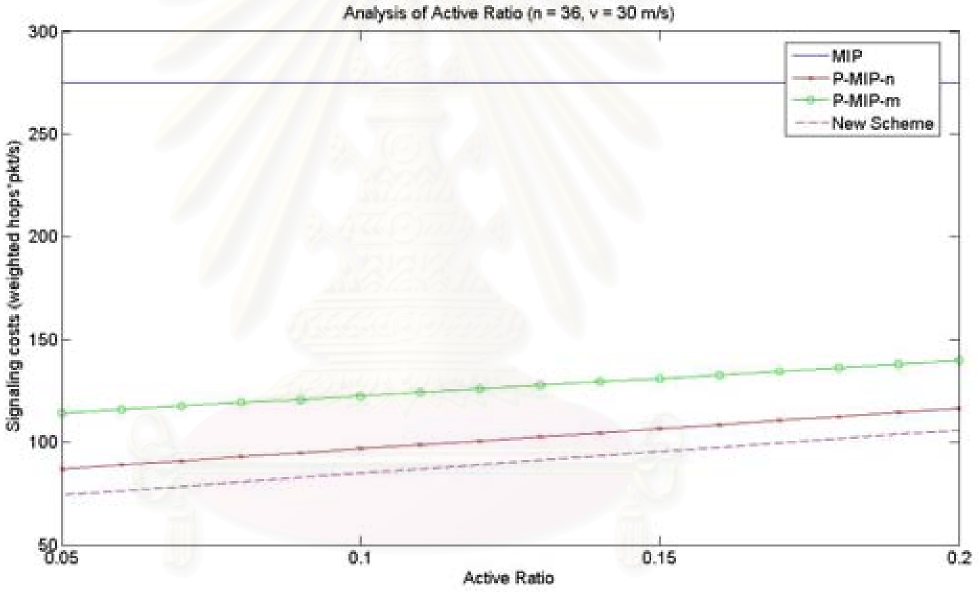
รูปที่ 4.20 ผลกระทบของ ρ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี
เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์และ ความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที

จากการวิเคราะห์สมการต้นทุนการสัญญาณของแต่ละวิธีจะพบว่า ค่าความหนาแน่นของผู้ใช้ไม่ได้ส่งผลกระทบโดยตรงที่จะทำให้วิธีที่เสนอมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธี P-MIP หรือวิธี P-MIP มีประสิทธิภาพดีกว่า แต่ค่าความหนาแน่นของผู้ใช้นี้จะส่งผลต่อเพียงผลต่างของต้นทุนการสัญญาณระหว่างวิธี P-MIP กับวิธีที่เสนอ ดังนั้นในการแสดงความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณนี้ เราจะไม่พบการตัดกันของเส้นกราฟในแต่ละวิธีเลย ในการ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิเคราะห์ตอนนี้จะพบว่า เนื่องจากในวิธี P-MIP และวิธีที่เสนอมีจำนวนผู้ใช้ในสัดส่วนเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่อยู่ในสถานะการทำงาน active โดยส่วนใหญ่ผู้ใช้จะอยู่ในสถานะ idle และดังที่ได้กล่าวไว้แล้วว่า active MN ในวิธีที่เสนอและในวิธี P-MIP มีการทำงานเหมือนกับ MN ใน Mobile IP รวมทั้งต้นทุนการสัญญาณของ idle MN ก็มีค่าน้อยเมื่อเทียบกับของ active MN ดังนั้นใน P-MIP และวิธีที่เสนอ เมื่อความหนาแน่นของผู้ใช้มีค่าเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ active MN เพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับผลกระทบนี้ในวิธี Mobile IP ดังนั้นต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากค่า ρ ที่เปลี่ยนแปลงไปจึงเด่นชัดในวิธี Mobile IP

4.1.6 **ผลกระทบของ** Active ratio (α) **ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ**



รูปที่ 4.21 ผลกระทบของ α ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี
เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์และ ความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 30 เมตรต่อวินาที

เมื่อพิจารณาสมการต้นทุนการสัญญาณของแต่ละวิธีจะพบว่า ค่า active ratio ไม่ได้ส่งผลให้วิธีที่เสนอมีประสิทธิภาพดีกว่าวิธี P-MIP หรือ วิธี P-MIP มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีที่เสนอ แต่ค่า active ratio นี้จะส่งผลต่อเพียงขนาดของผลต่างระหว่างต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี ดังนั้นเราจะไม่เห็นจุดตัดระหว่าง P-MIP กับวิธีที่เสนอเลย เช่นเดียวกับในการวิเคราะห์ที่ 4.1.5 และจากรูปที่ 4.21 จะพบว่า Mobile IP มีต้นทุนการสัญญาณคงที่ไม่ขึ้นกับค่า active ratio เลย เนื่องจากในการทำงานไม่มีการแบ่งสถานะการทำงานของ MN ขณะที่ในวิธี P-MIP และวิธีที่เสนอ

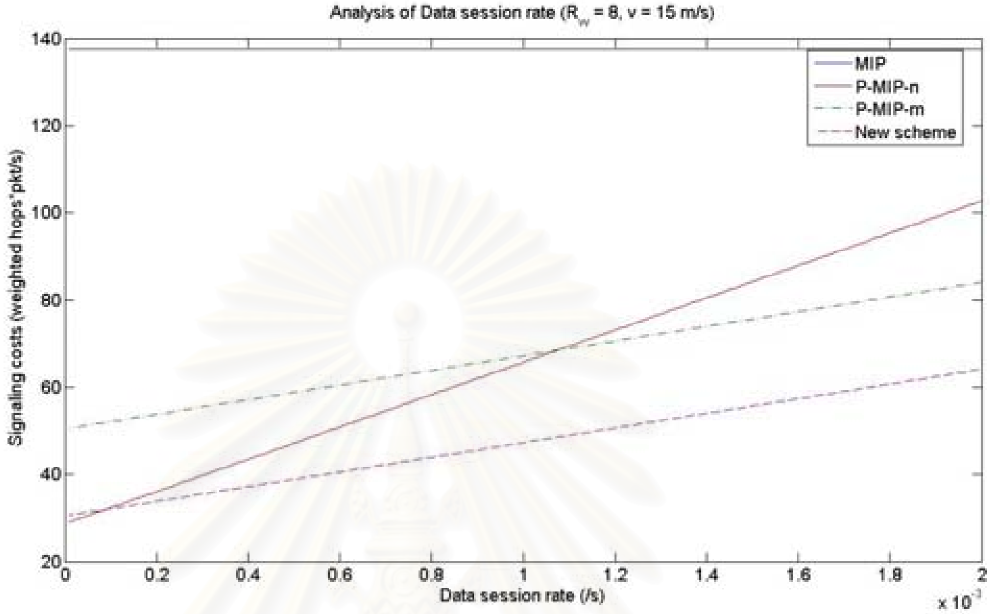
จะมีต้นทุนการสัญญาณเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราส่วน active ratio มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากระบบจะมีผู้ใช้ที่อยู่ในสถานะ active จำนวนเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ค่า α เท่ากับ 1 ซึ่งหมายถึงกรณีที่ผู้ใช้ในระบบทั้งหมดอยู่ในสถานะ active ต้นทุนการสัญญาณของ Mobile IP, P-MIP และวิธีที่เสนอจะมีค่าเท่ากันทั้งหมด

4.1.7 ผลกระทบของ Data session rate (λ) ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ

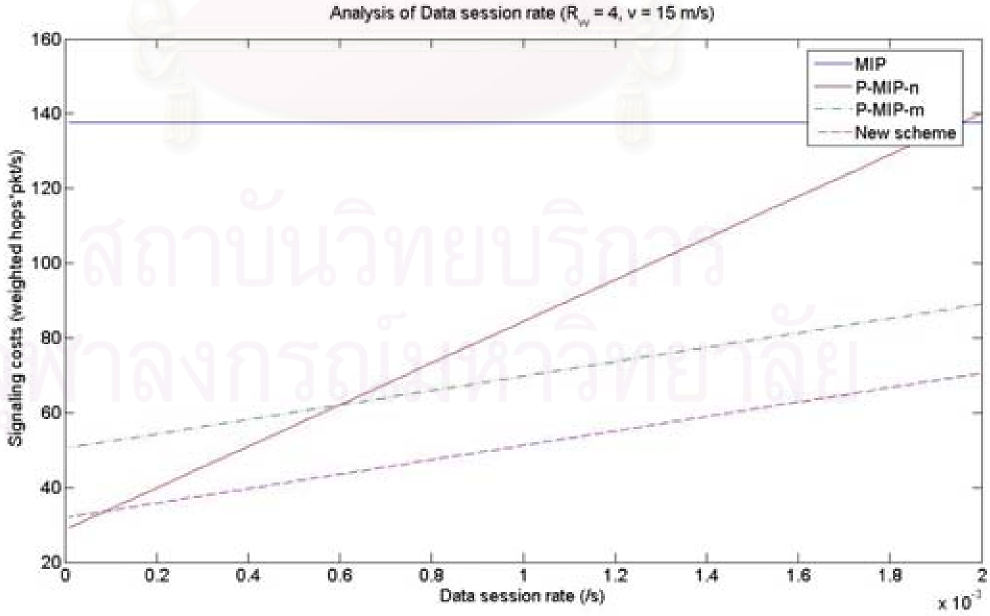
เนื่องจากในการวิเคราะห์ค่าอัตราการเข้ามาของ data session สัมพันธ์โดยตรงกับต้นทุนในการเพจ โดยระบบจะเพจหา MN ทุกครั้งที่มี data session ใหม่เข้ามา ดังนั้นในการวิเคราะห์ตอนนี้จึงพิจารณาถึงผลกระทบของค่าอัตราขาเข้าของข้อมูลที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีโดยพิจารณาที่ค่าอัตราข้อมูลขาเข้ามีค่าตั้งแต่ 0.00001 ถึง 0.002 ครั้งต่อวินาที จากรูปที่ 4.22 และ 4.23 ซึ่งเป็นกรณีที่ผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยปานกลางในการเคลื่อนที่จะพบว่าเมื่อผู้ใช้มีอัตราขาเข้าของข้อมูลต่ำๆ วิธี P-MIP-n ให้ประสิทธิภาพที่ดี เนื่องจากจำนวนครั้งในการเพจมีค่าน้อย ทำให้ต้นทุนการสัญญาณจากการเพจมีค่าต่ำ ประกอบกับระบบมีพื้นที่การเพจขนาดใหญ่จึงลดปริมาณการสัญญาณเนื่องจากการลงทะเบียนได้มาก แต่เมื่ออัตราข้อมูลขาเข้ามีค่าเพิ่มขึ้นวิธีนี้ก็จะมีต้นทุนการสัญญาณที่เพิ่มขึ้นเร็วกว่าวิธีอื่นๆ เนื่องจากมีภาระการส่งข่าวสารการเพจจำนวนมาก ขณะที่วิธี P-MIP-m จะให้ประสิทธิภาพดีกว่า P-MIP-n เมื่อผู้ใช้มีอัตราข้อมูลขาเข้าสูง เนื่องจากในวิธีนี้ระบบมีภาระในการส่งข่าวสารการเพจต่ำ สังเกตได้ว่าวิธี P-MIP ที่มีขนาดของพื้นที่การเพจต่างๆกัน จะเหมาะกับสภาวะของระบบที่ต่างกัน ขณะที่วิธีที่เสนอให้ประสิทธิภาพที่ดีในช่วงที่กว้างกว่าของ P-MIP มาก มีเพียงกรณีที่ผู้ใช้มีอัตราข้อมูลขาเข้าต่ำมากๆเท่านั้นที่จะทำให้วิธี P-MIP-n มีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่าวิธีที่เสนอ

เมื่อพิจารณาระบบที่มีค่า R_w ลดลงจะพบว่าวิธี P-MIP-n มีแนวโน้มที่จะถูกกระทบอย่างมากจากผลของอัตราขาเข้าของข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากเมื่อระบบมีค่า R_w ลดลง ต้นทุนที่เกิดจากการสัญญาณในโครงข่ายหลัก อันได้แก่ ข่าวสารการลงทะเบียน และต้นทุนที่เกิดจากการสัญญาณในโครงข่ายย่อยจะมีผลต่อต้นทุนการสัญญาณรวมพอๆกัน ดังนั้นหากต้องการลดต้นทุนการสัญญาณลง เราจำเป็นจะต้องลดทั้งปริมาณการสัญญาณในโครงข่ายหลักและโครงข่ายย่อย แต่ในวิธี P-MIP-n ลดเพียงการสัญญาณในโครงข่ายหลัก แต่ยังคงมีปริมาณการสัญญาณในโครงข่ายย่อยจำนวนมาก โดยเฉพาะเมื่อผู้ใช้มีอัตราขาเข้าของข้อมูลสูง เปรียบเทียบกับวิธีที่เสนอจะพบว่าวิธีที่เสนอแทบจะไม่ถูกกระทบจากค่า R_w ที่เปลี่ยนจาก 8 เป็น 4 เลย ทำให้การจัดการทรัพยากรในระบบและการสัญญาณภายในระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ขณะที่รูปที่ 4.24 และ 4.25 เป็นกรณีที่ผู้ใช้มีความเร็วสูง พบว่าวิธี P-MIP-n ให้ประสิทธิภาพดีกว่า P-MIP-m ในช่วง

ที่กว้างขึ้น อย่างไรก็ตามวิธี P-MIP-n ยังคงมีแนวโน้มที่จะถูกกระทบจากผลของอัตราขาเข้าของข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อ R_w มีค่าลดลงมากกว่าวิธีอื่นๆ

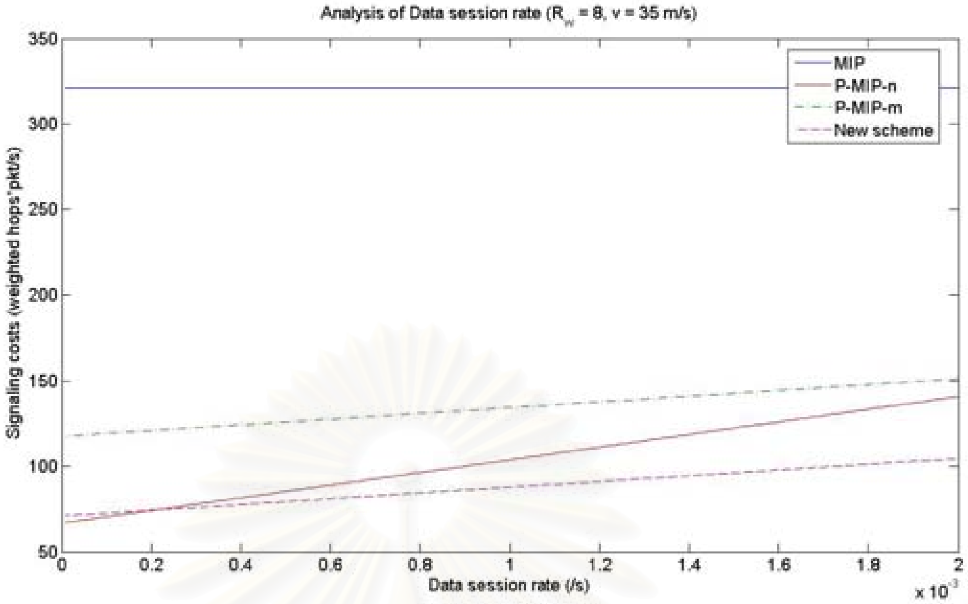


รูปที่ 4.22 ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี
เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 15 เมตรต่อวินาที และระบบมี R_w เท่ากับ 8

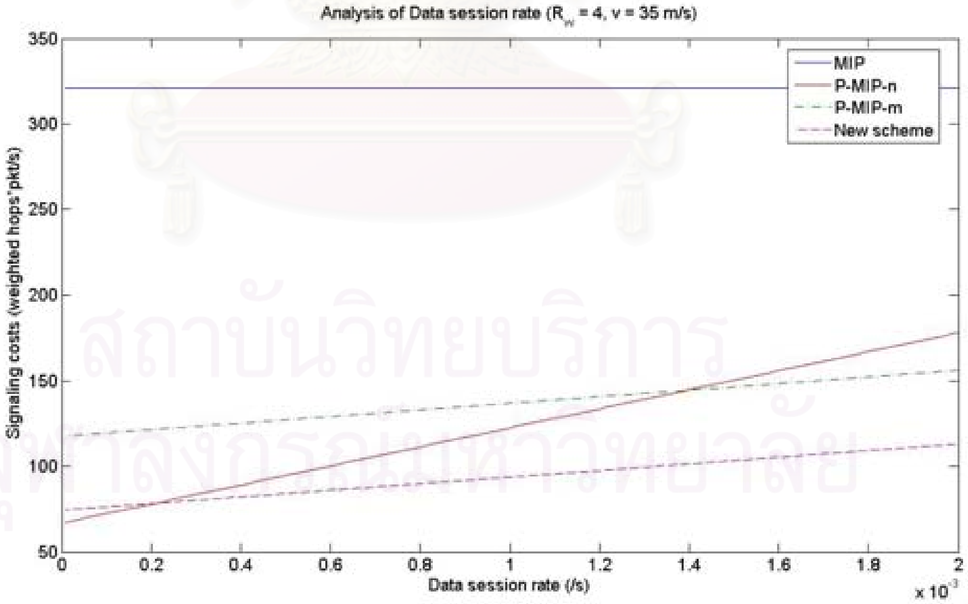


รูปที่ 4.23 ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี
เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 15 เมตรต่อวินาที และระบบมี R_w เท่ากับ 4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



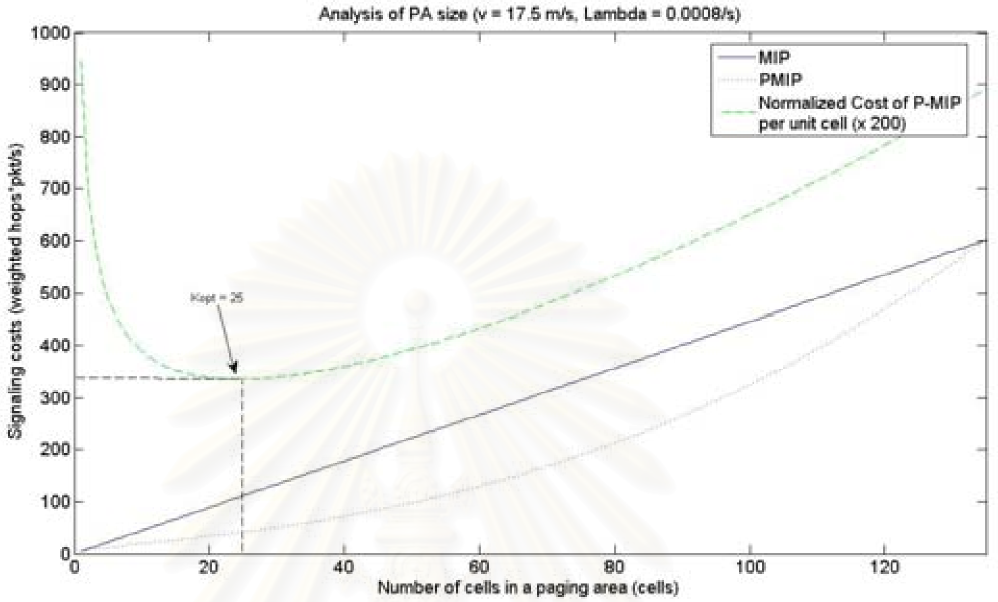
รูปที่ 4.24 ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี
เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 35 เมตรต่อวินาที และระบบมี R_w เท่ากับ 8



รูปที่ 4.25 ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี
เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 35 เมตรต่อวินาที และระบบมี R_w เท่ากับ 4

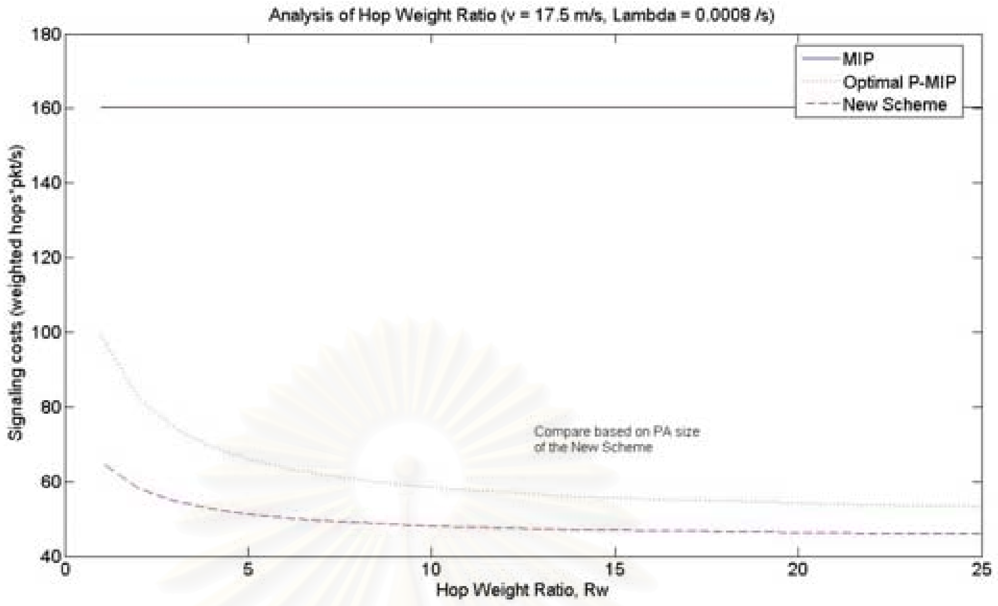
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1.8 ผลกระทบของ Hop weight ratio **ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ขนาดของพื้นที่การเพจของวิธี** P-MIP **มีค่าเหมาะที่สุด** (Optimal PA size)



รูปที่ 4.26 ผลกระทบของขนาดของพื้นที่การเพจที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในวิธี P-MIP เทียบกับวิธี Mobile IP และเส้นโค้งแสดงการหาขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะที่สุด

ในการวิเคราะห์ตอนนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีที่เสนอกับวิธี P-MIP กรณีที่มีขนาดของพื้นที่การเพจเหมาะที่สุด (optimal paging area size) โดยในการวิเคราะห์นี้กำหนดผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 17.5 เมตรต่อวินาที, อัตราข้อมูลขาเข้าเท่ากับ 0.0008 /s และ R_w มีค่าเท่ากับ 8 เมื่อหาต้นทุนการสัญญาณของระบบต่อหนึ่งพื้นที่เซลล์ดังรูปที่ 4.26 จะพบว่าวิธี P-MIP จะมีขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะที่สุดอยู่ค่าหนึ่งซึ่งเป็นค่าที่ให้ต้นทุนการสัญญาณต่อหนึ่งพื้นที่เซลล์ต่ำที่สุด ซึ่งในที่นี้จะได้ว่าจากเส้นโค้งวิธี P-MIP ที่มีขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 25 เซลล์จะให้ต้นทุนการสัญญาณต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับเมื่อระบบมีพื้นที่การเพจขนาดอื่นๆ ดังนั้นเราจะนำค่าที่ได้นี้ไปใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบที่ค่า hop weight ratio ค่าต่างๆเปรียบเทียบกับวิธีที่เสนอต่อไปดังแสดงในรูปที่ 4.27 ทั้งนี้เส้นโค้งแสดงการหาขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะที่สุดของ P-MIP ที่นำเสนอเป็นเส้นโค้งที่ได้คูณด้วย 200 เพื่อให้สามารถมองเปรียบเทียบได้ชัดเจนยิ่งขึ้น

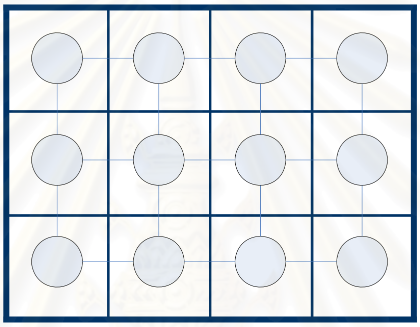


รูปที่ 4.27 ผลกระทบของ Hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเท่ากับ 17.5 เมตรต่อวินาที, อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0008 /s และมีการใช้ขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะที่สุดในวิธี P-MIP

รูปที่ 4.27 แสดงผลกระทบของ hop weight ratio ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณของแต่ละวิธี โดยในการวิเคราะห์นี้กำหนดให้วิธี P-MIP มีการใช้ขนาดพื้นที่การเพจที่มีค่าเหมาะที่สุดคือมีขนาดเท่ากับ 25 เซลล์ ขณะที่ในวิธีที่เสนอกำหนดให้มีขนาดของพื้นที่การเพจเท่ากับ 36 เซลล์และมีการแบ่งเป็น 4 พื้นที่การเพจย่อย และเนื่องจากขนาดของพื้นที่การเพจที่ใช้ในวิธี P-MIP และวิธีที่เสนอมีค่าต่างกัน ดังนั้นในการเปรียบเทียบต้นทุนการสัญญาณซึ่งเป็นต้นทุนของระบบต่อขนาดพื้นที่การเพจจึงจำเป็นจะต้องปรับให้ต้นทุนการสัญญาณในวิธี P-MIP เป็นต้นทุนการสัญญาณต่อพื้นที่ขนาดเท่ากับของวิธีที่เสนอ จากรูปจะพบว่าวิธีที่เสนอให้ต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำที่สุดในทุกค่า hop weight ratio ที่พิจารณาถึงแม้ว่าจะมีการใช้ขนาดพื้นที่การเพจที่เหมาะที่สุดใน P-MIP ก็ตาม นอกจากนี้วิธีที่เสนอยังมีต้นทุนการสัญญาณที่ไม่ถูกกระทบมากจากค่า hop weight ratio ที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่วิธี P-MIP เมื่อ hop weight ratio มีค่าเปลี่ยนแปลงไป จะกระทบต่อต้นทุนการสัญญาณมาก อันอาจส่งผลให้ยากต่อการบริหารจัดการทรัพยากรในระบบรวมถึงคุณภาพในการให้บริการของโครงข่าย

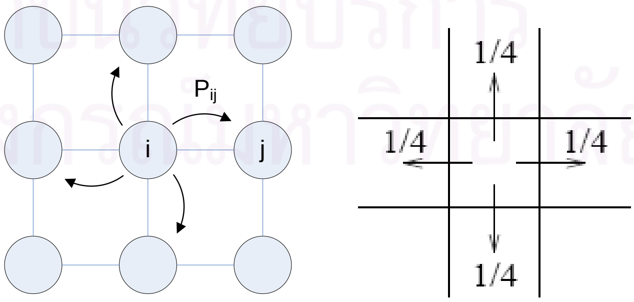
4.2 แบบจำลองโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบ

ในการจำลองการทำงานของวิธีที่เสนอกับวิธีอื่นๆ จะใช้การจำลองลักษณะของเซลล์ด้วยโนดบน Connected Graph โดยสามารถพิจารณา 1 เซลล์ ได้กับหนึ่งโนด และในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้เป็นแบบ random walk เช่นเดียวกับงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาลักษณะการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ในระบบสื่อสารไร้สาย [26], [27] ดังแสดงในรูปที่ 4.28 โดยพารามิเตอร์หลักที่จะนำมาพิจารณาในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพก็คือ ต้นทุนการสัญญาณของแต่ละวิธีที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของ MN หนึ่งตัวในช่วงเวลาทดสอบที่กำหนด ในที่นี้กำหนดให้ช่วงเวลาทดสอบเท่ากับ 10,000 timeslot (ts) โดยรูปแบบของการเคลื่อนที่ของผู้ใช้จะพิจารณาเป็นแบบ Pure random



รูปที่ 4.28 รูปแบบโครงข่ายบริการที่ใช้ในการจำลองแบบ

สำหรับวิธี Pure random [26] ในแต่ละ timeslot MN จะตัดสินใจว่าจะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์เดิมหรือไม่ด้วยโอกาสเท่ากับ P_{walk} ดังนั้นค่า P_{walk} นี้จึงแปรผันโดยตรงกับความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ และเมื่อ MN ตัดสินใจที่จะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์เดิมแล้ว ทิศทางการเคลื่อนที่ที่เป็นไปได้ คือ เคลื่อนที่ไปยังเซลล์ที่อยู่ติดกันด้วยโอกาสเท่าๆกันสำหรับทุกทิศทาง ดังแสดงในรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ MN ในแบบ Pure random

ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$P_{ij} = \frac{1}{d(i)} \qquad if \quad (i, j) \in E,$$ โดยที่ d(i) เป็นจำนวนโนดข้างเคียงของโนด i

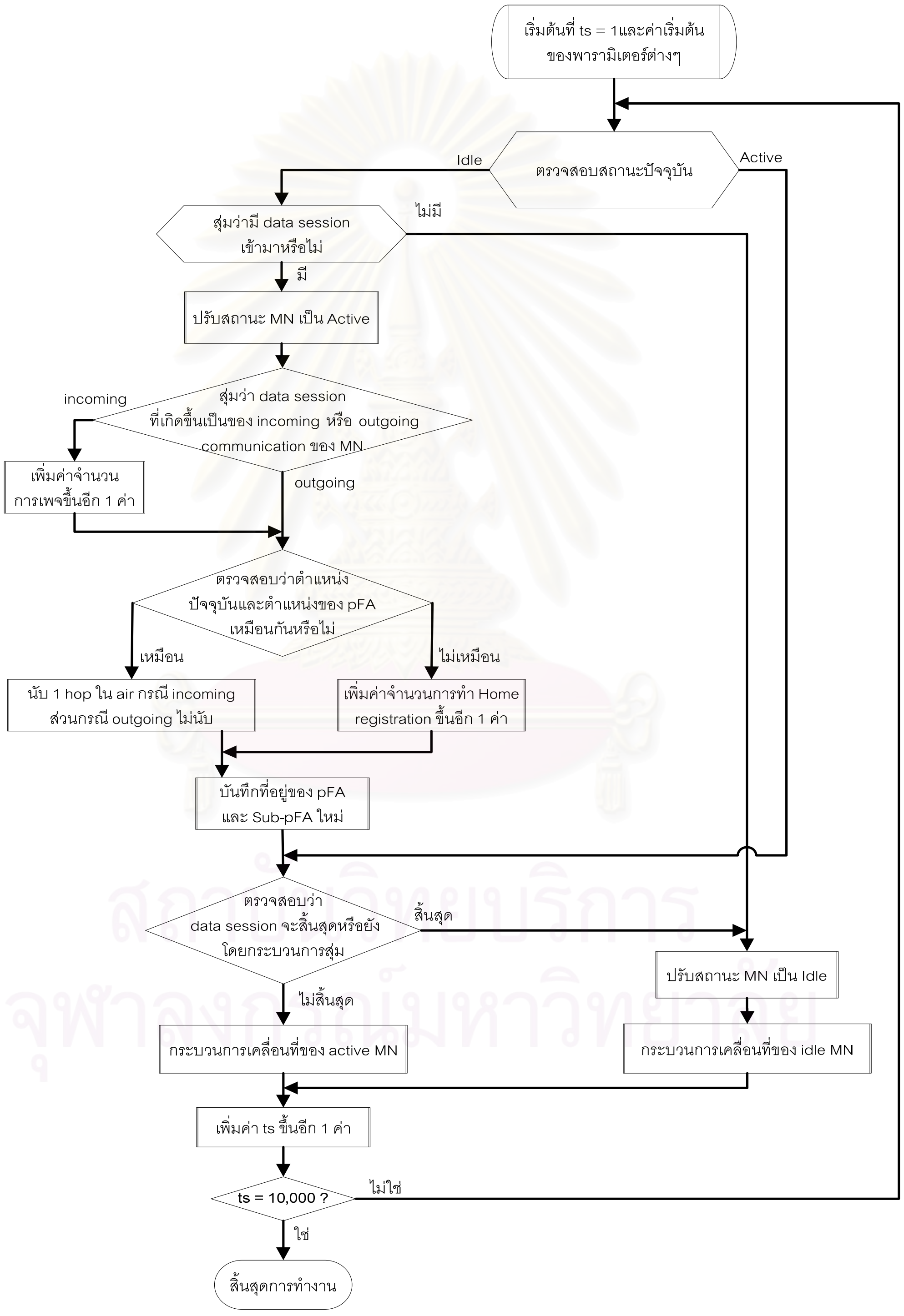
สำหรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการจำลองโครงข่ายนี้ใช้ค่าเดียวกับในการวิเคราะห์ดังแสดงในตารางที่ 4.1 เว้นแต่ λ ที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นผลรวมของอัตราข้อมูลขาเข้าและขาออก (อัตราข้อมูลขาเข้าเท่ากับอัตราข้อมูลขาออก) และจะใช้ค่าดังกล่าวในทุกการทดสอบเว้นแต่จะมีการระบุเป็นอย่างอื่นในแต่ละตอนของการทดสอบ

นอกเหนือจากความเร็วของผู้ใช้ที่ถูกกำหนดโดย P_{walk} และลักษณะการเคลื่อนที่ที่กำหนดโดย P_{ij} และ P_{ik} แล้ว ยังมีพารามิเตอร์อื่นๆที่เกี่ยวข้องกับ data session characteristic ได้แก่ arrival rate และ holding time โดยหากพิจารณาในกรณี continuous time ตัวแปรสุ่มที่มีการใช้อย่างแพร่หลายสำหรับ arrival rate เป็น Poisson process และมี holding time เป็น Exponential ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ Memoryless property แต่ในที่นี้เมื่อจำลองระบบแบบ discrete time ตัวแปรสุ่มแบบ Exponential จึงเปรียบได้กับ Geometric Distribution (ซึ่งคือลำดับของ Bernoulli trials) ดังนั้นในที่นี้จึงใช้ตัวแปรสุ่มแบบ Geometric Distribution ทั้งใน arrival rate และ holding time โดยในแต่ละ timeslot จะมีการปรับสถานะและลำดับ timeslot ใหม่ทุกๆรอบจนครบตามจำนวนที่ได้กำหนดไว้ จากนั้นจึงวัดต้นทุนการสัญญาณที่เกิดขึ้นในแต่ละวิธี โดยในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสัญญาณของแต่ละวิธีเราจะ normalize ต้นทุนการสัญญาณด้วย weighted distance ระหว่าง HA กับ FA เช่นเดียวกับในสมการที่ (7) ถึง (9)

โดยการจำลองการทำงานจะแบ่งช่วงเวลาการจำลองออกเป็น timeslot ในตอนเริ่มต้นของแต่ละ timeslot จะมีการสุ่มว่าจะมี data session เกิดขึ้นหรือไม่ (เป็น Bernoulli trials) ซึ่งถูกกำหนดโดยตัวแปรสุ่มที่เกี่ยวกับ arrival rate โดยหากขณะนั้น MN มีสถานะเป็น idle ก็จะต้องปรับสถานะใหม่เป็น active แล้วจึงตรวจสอบต่อว่า data session ที่เกิดขึ้นเป็นชนิดใดระหว่าง incoming หรือ outgoing data session ถ้าหากเป็น incoming ระบบจะนับจำนวนการเพจเพิ่มขึ้นหนึ่งครั้ง ส่วนจะลงทะเบียนกับ HA หรือไม่ขึ้นกับว่าขณะนั้น MN กำลังอยู่ในเซลล์ของ pFA หรือไม่ ถ้าใช่ก็ไม่ต้องลงทะเบียนแต่หากไม่ใช่ MN ก็ต้องลงทะเบียนกับ HA ในกรณีที่เป็น outgoing data session ก็เช่นกัน MN จะลงทะเบียนกับ HA เฉพาะเมื่อขณะนั้นมันไม่ได้อยู่ในเซลล์ของ pFA จากนั้นในตอนท้ายของ timeslot ก็จะมีการตรวจสอบว่า data session จะสิ้นสุดลงหรือยัง ซึ่งถูกกำหนดโดยตัวแปรสุ่มที่เกี่ยวกับ holding time หากสิ้นสุดลง MN ก็จะปรับสถานะเข้าสู่ idle ก่อนจะเข้าสู่กระบวนการสุ่มของการเคลื่อนที่ของ idle MN ต่อไป แต่หากยังไม่สิ้นสุดก็จะเข้าสู่กระบวนการสุ่มของการเคลื่อนที่ของ active MN แทน

ในกรณีที่ตอนเริ่มต้นของ timeslot หาก MN มีสถานะเป็น active อยู่แล้วก็ไม่ต้องสุ่มว่าจะมี data session เกิดขึ้นหรือไม่ เนื่องจากแพ็กเกตข้อมูลสามารถส่งไปหา MN ได้โดยตรงโดยไม่เกิดการสัญญาณใดๆ นอกจากนี้กรณีที่ตอนเริ่มต้นของ timeslot หาก MN มีสถานะเป็น idle และ

ในตอนที่สุ่มว่ามี data session เกิดขึ้นหรือไม่นั้น หากปรากฏว่าไม่มี data session เกิดขึ้น MN ก็จะยังคงมีสถานะเป็น idle ก่อนจะเข้าสู่กระบวนการสุ่มของการเคลื่อนที่ของ idle MN ต่อไป ขั้นตอนของโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวิธีที่เสนอแสดงในรูปที่ 4.30 โดยระบบจะทำซ้ำจนครบ 10,000 รอบแล้วจึงนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาต้นทุนการสัญญาณต่อไป



รูปที่ 4.30 ขั้นตอนของโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวิธีที่เสนอ

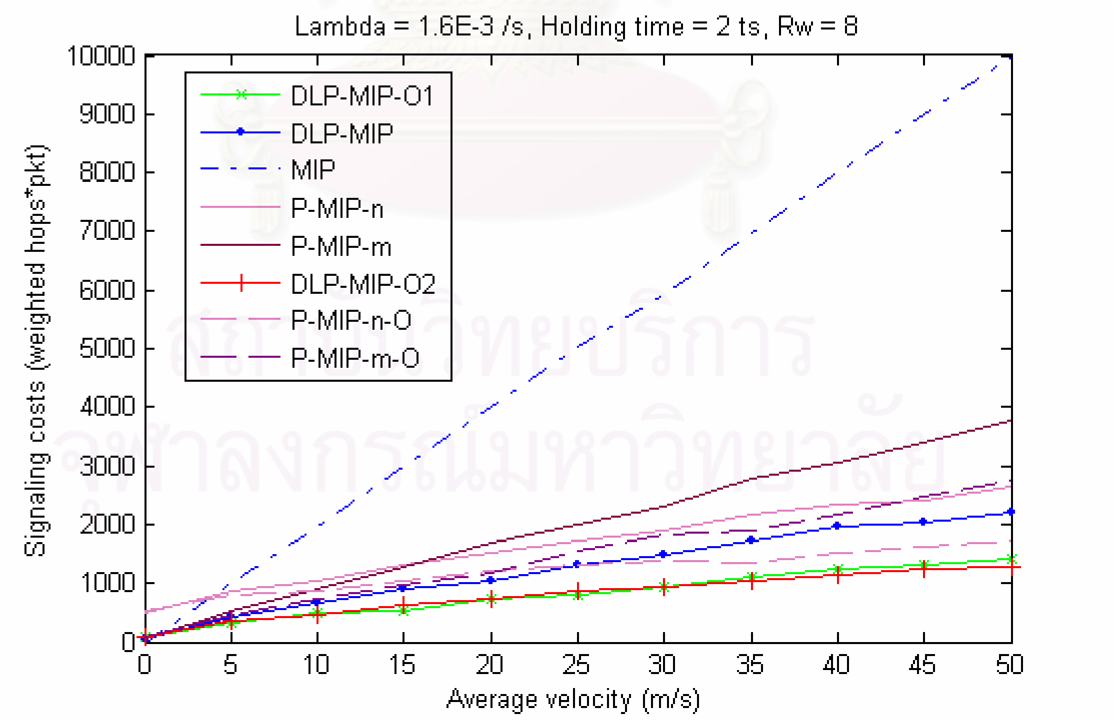
4.3 ผลการจำลองการทำงาน

สำหรับการจำลองแบบการทำงานของวิธีที่เสนอกับวิธี P-MIP จะแบ่งพิจารณาออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่พื้นที่การเพจไม่ซ้อนทับกัน (Non-overlapping PA) และกรณีที่พื้นที่การเพจซ้อนทับกัน (Overlapping PA) โดยหากมีตัวอักษร O ที่ตามหลังชื่อย่อของแต่ละวิธีจะหมายถึงกรณีที่พื้นที่การเพจซ้อนทับกัน หากไม่ระบุแสดงว่าเป็นกรณีพื้นที่การเพจไม่ซ้อนทับกัน ทั้งนี้เนื่องจากวิธีที่เสนอในกรณีพื้นที่การเพจซ้อนทับกันมี 2 รูปแบบจึงแทนรูปแบบที่ 1 และ 2 ด้วยตัวเลข 1 และ 2 ข้างหลังตัวอักษร O ตามลำดับ

ในที่นี้ได้ศึกษาและเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพต้นทุนการสัญญาณของแต่ละวิธีในการจำลองการทำงาน อันได้แก่ อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ (P_{walk}), รูปแบบการเคลื่อนที่ (P_{ik}), อัตราการเกิดของ data session ($\lambda = \lambda_a + \lambda_d$), ระยะเวลา holding time ของ data session (P_d) และ Hop weight ratio (R_w) ดังแสดงต่อไปนี้

4.3.1 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ

ในการจำลองนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณของวิธีต่างๆและวิธีที่เสนอ โดยพิจารณาในกรณีที่พื้นที่การเพจเท่ากับ 36 เซลล์

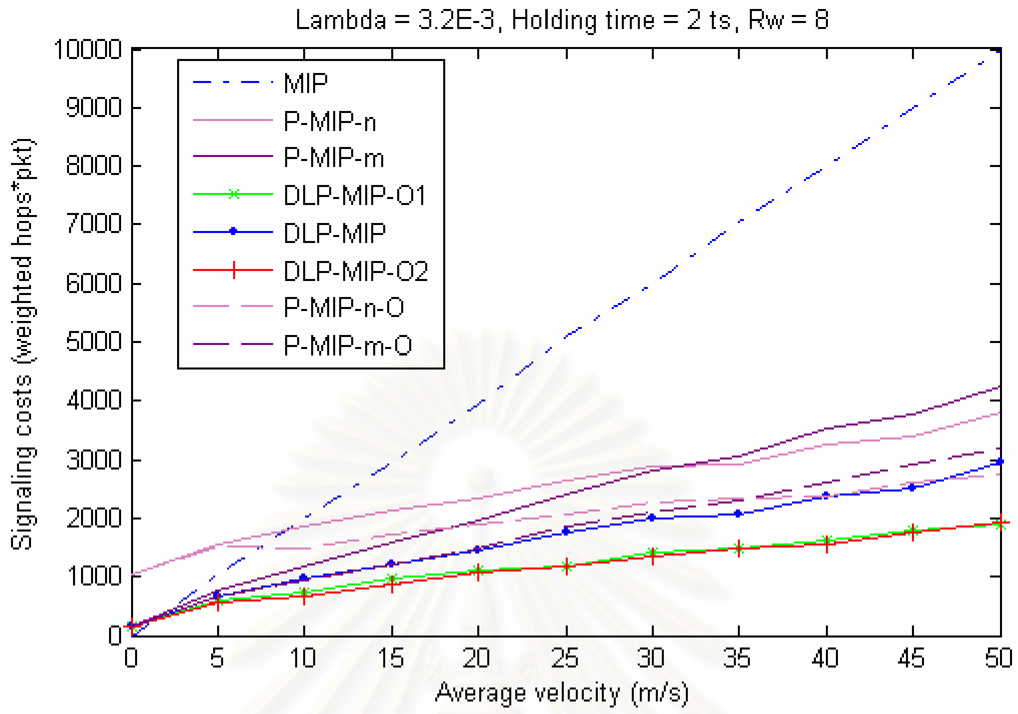


รูปที่ 4.31 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์ และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0016 /s

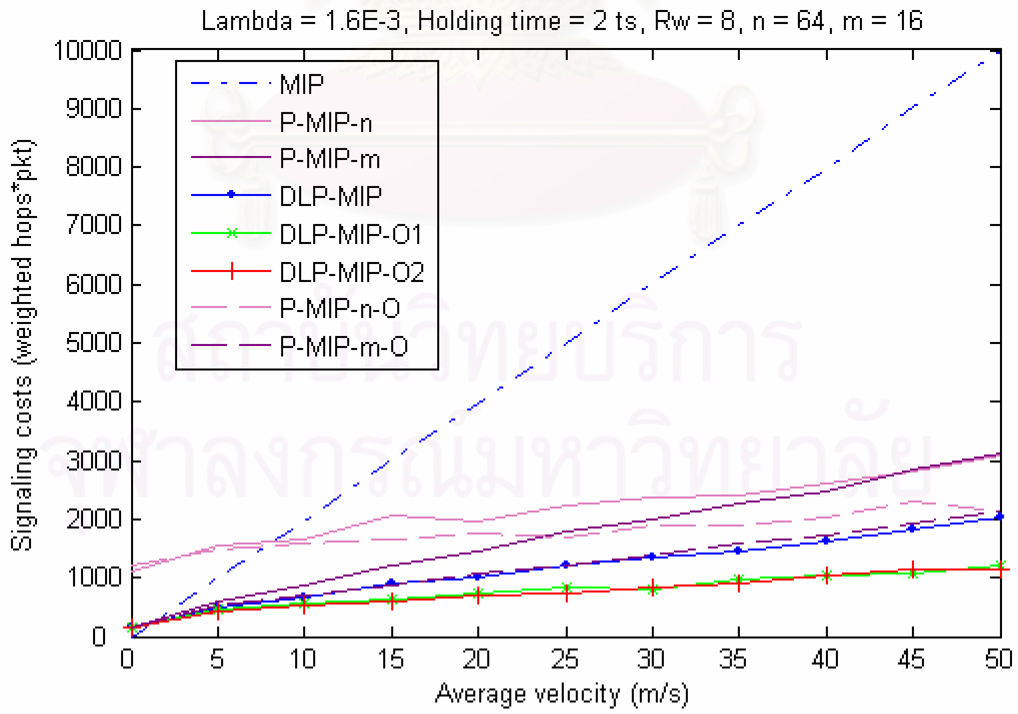
รูปที่ 4.31 เป็นการจำลองการทำงานของวิธี Mobile IP, P-MIP ที่มีขนาดพื้นที่การเพจต่างกันและวิธีที่เสนอ ทั้งในกรณีที่พื้นที่การเพจซ้อนทับและไม่ซ้อนทับกัน โดยพิจารณาถึงผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในวิธีต่างๆ พบว่า Mobile IP มีต้นทุนการสัญญาณที่เพิ่มขึ้นเมื่อผู้ใช้มีความเร็วมากขึ้น เนื่องจาก MN จะต้องลงทะเบียนทุกครั้งที่เคลื่อนที่ข้ามเซลล์ ในกรณีของ P-MIP เมื่อพื้นที่การเพจไม่ซ้อนทับกัน P-MIP-n จะให้ประสิทธิภาพที่ดีในช่วงความเร็วสูง ขณะที่ P-MIP-m มีสมรรถนะที่ดีกว่าในช่วงที่ผู้ใช้มีความเร็วต่ำซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ที่ผ่านมา ขณะที่เมื่อพื้นที่การเพจเป็นแบบซ้อนทับกันทั้งวิธี P-MIP-n-O และ P-MIP-m-O จะมีการเพิ่มของต้นทุนการสัญญาณในอัตราที่ต่ำกว่ากรณีที่พื้นที่การเพจไม่ซ้อนทับกัน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อผู้ใช้มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจเดิมไปแล้วพื้นที่การเพจใหม่ที่ถูกกำหนดให้จะมีเซลล์ปัจจุบันที่ MN อาศัยอยู่เป็นเซลล์ศูนย์กลางส่งผลให้มีอัตราการข้ามพื้นที่การเพจลดลง นอกจากนี้ยังสังเกตพบว่า วิธี P-MIP-m มีต้นทุนการสัญญาณที่ถูกกระทบจากผลของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่เปลี่ยนแปลงไปได้มาก

เมื่อพิจารณาวิธีที่เสนอกรณีพื้นที่การเพจไม่ซ้อนทับกัน (DLP-MIP) พบว่าให้ต้นทุนการสัญญาณต่ำกว่าของ P-MIP และสามารถลดต้นทุนการสัญญาณของ Mobile IP ได้มากในทุกช่วงความเร็วที่พิจารณา ยกเว้นกรณีที่ผู้ใช้มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำมากๆที่ระบบจะมีต้นทุนการสัญญาณสูงกว่า Mobile IP เล็กน้อย ส่วนในกรณีที่พื้นที่การเพจซ้อนทับกัน วิธีที่เสนอแบบที่ 1 (DLP-MIP-O1) และวิธีที่เสนอแบบที่ 2 (DLP-MIP-O2) มีประสิทธิภาพที่ดีใกล้เคียงกัน โดยจะเห็นว่ามีต้นทุนการสัญญาณต่ำกว่ากรณีที่พื้นที่การเพจไม่ซ้อนทับกัน เนื่องจากสามารถลดอัตราการข้ามพื้นที่การเพจลงได้ ส่งผลให้มีปริมาณข่าวสารการลงทะเบียนที่ต่ำกว่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



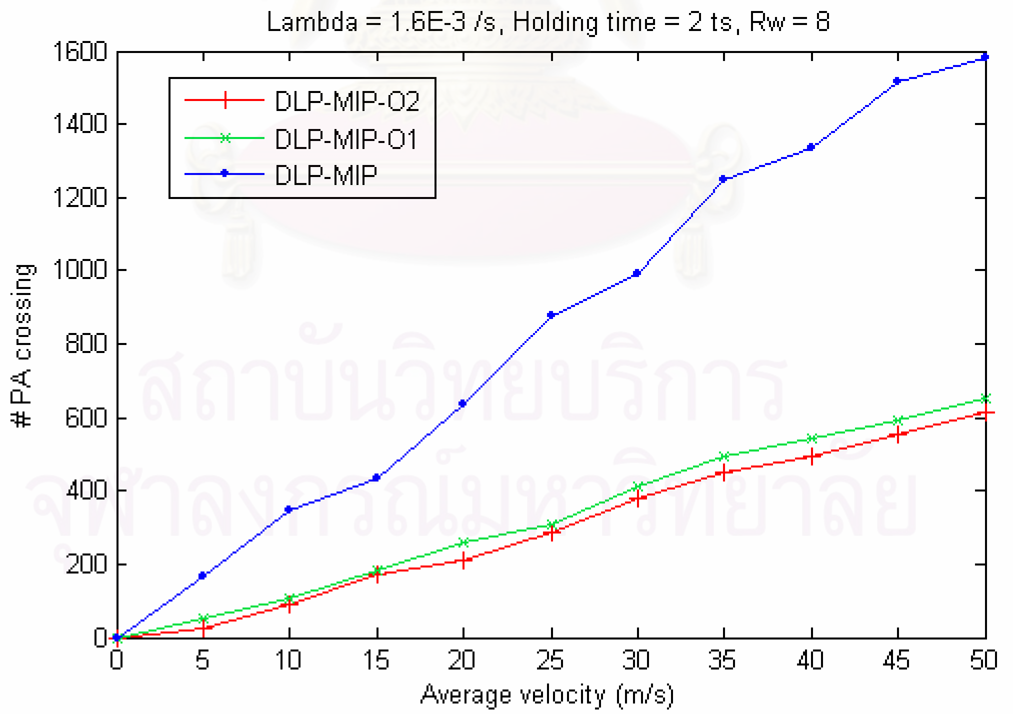
รูปที่ 4.32 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์ และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0032 /s



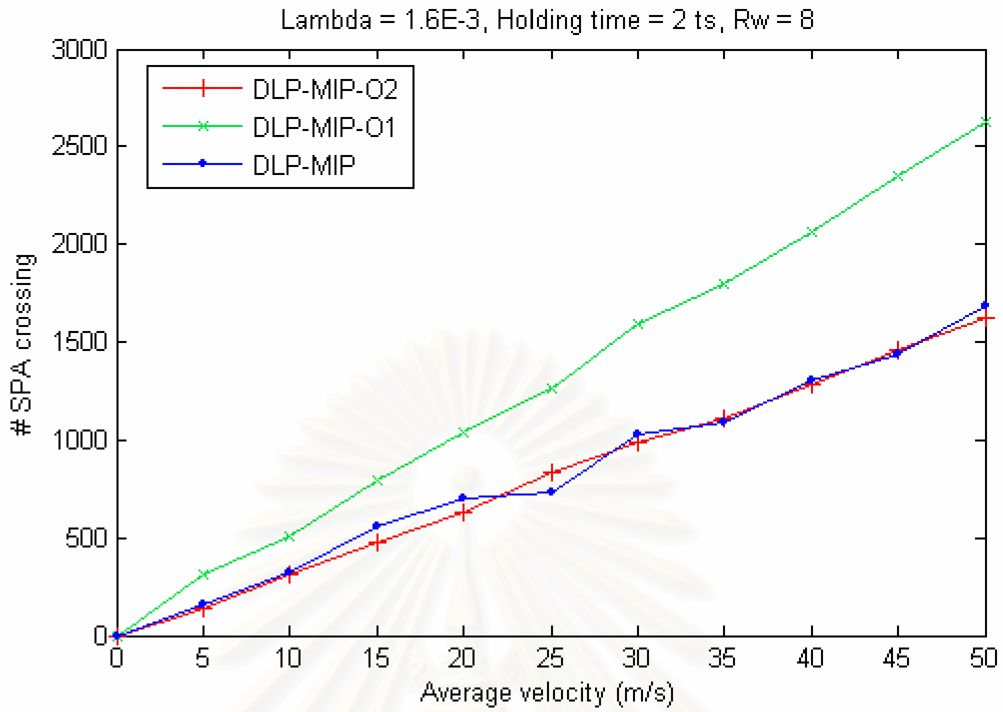
รูปที่ 4.33 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 64 เซลล์ และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0032 /s

รูปที่ 4.32 แสดงถึงผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้มี data session rate ที่เพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า เมื่อเทียบกับกรณีของรูปที่ 4.31 ที่มีอัตราข้อมูลเป็น 0.0016 /s พบว่าวิธี Mobile IP มีต้นทุนการสัญญาณคงที่ ไม่ขึ้นกับอัตราข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เนื่องจาก Mobile IP ไม่มีการใช้กระบวนการเพจในการทำงาน นอกจากนี้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.31 จะพบว่าวิธี P-MIP และวิธีที่เสนอมีจุดตัดกับแกนต้นทุนการสัญญาณที่ค่าที่สูงขึ้น เนื่องจากระบบจะมีต้นทุนในการเพจเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้วิธี P-MIP-m มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า P-MIP-n ในช่วงการใช้งานที่กว้างขึ้น อย่างไรก็ตามวิธีที่เสนอยังคงให้ต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำที่สุดและถูกกระทบจากผลของความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปน้อยกว่าวิธีอื่นๆ

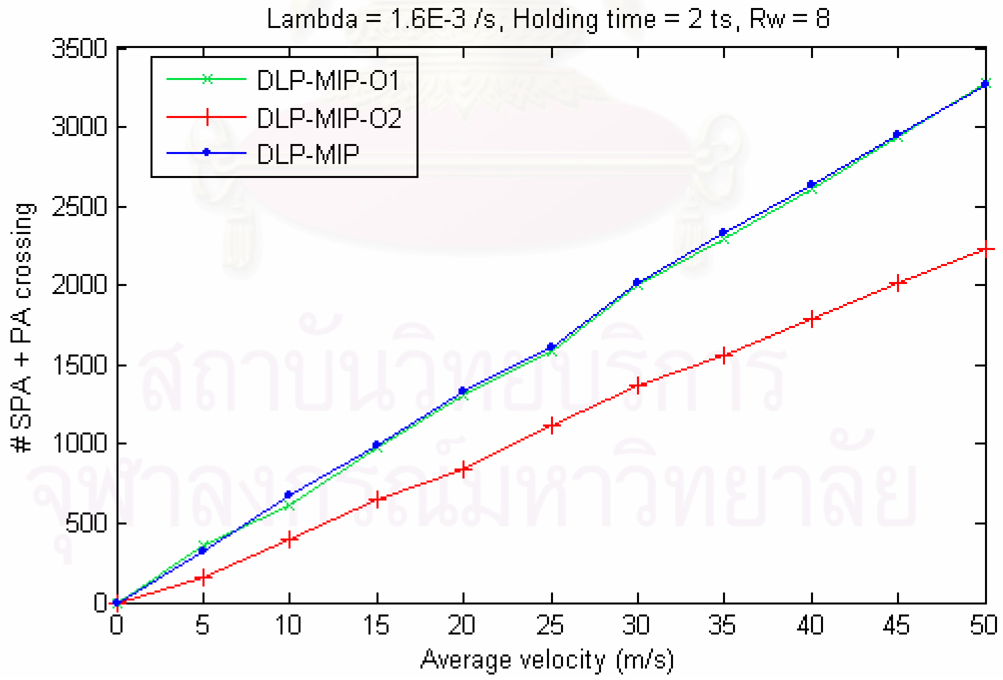
เมื่อพิจารณากรณีที่พื้นที่การเพจย่อยมีขนาด 16 เซลล์ และพื้นที่การเพจมีขนาด 64 เซลล์ ดังรูปที่ 4.33 จะสังเกตได้ว่า P-MIP-m ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าของ P-MIP-n ตลอดช่วงความเร็วที่พิจารณา เนื่องจากกรณี P-MIP-n มีพื้นที่การเพจใหญ่เกินไปจนทำให้การสัญญาณจากการเพจกลายเป็นต้นทุนหลักที่เกิดขึ้นในระบบ ขณะที่ในวิธีที่เสนอทั้งกรณีที่พื้นที่การเพจซ้อนทับกันและไม่ซ้อนทับกันจะพบว่า การเปลี่ยนแปลงของต้นทุนการสัญญาณที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยมาก แสดงให้เห็นถึงความมั่นคงของระบบที่ไม่ถูกกระทบได้โดยง่ายจากพารามิเตอร์ต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไป



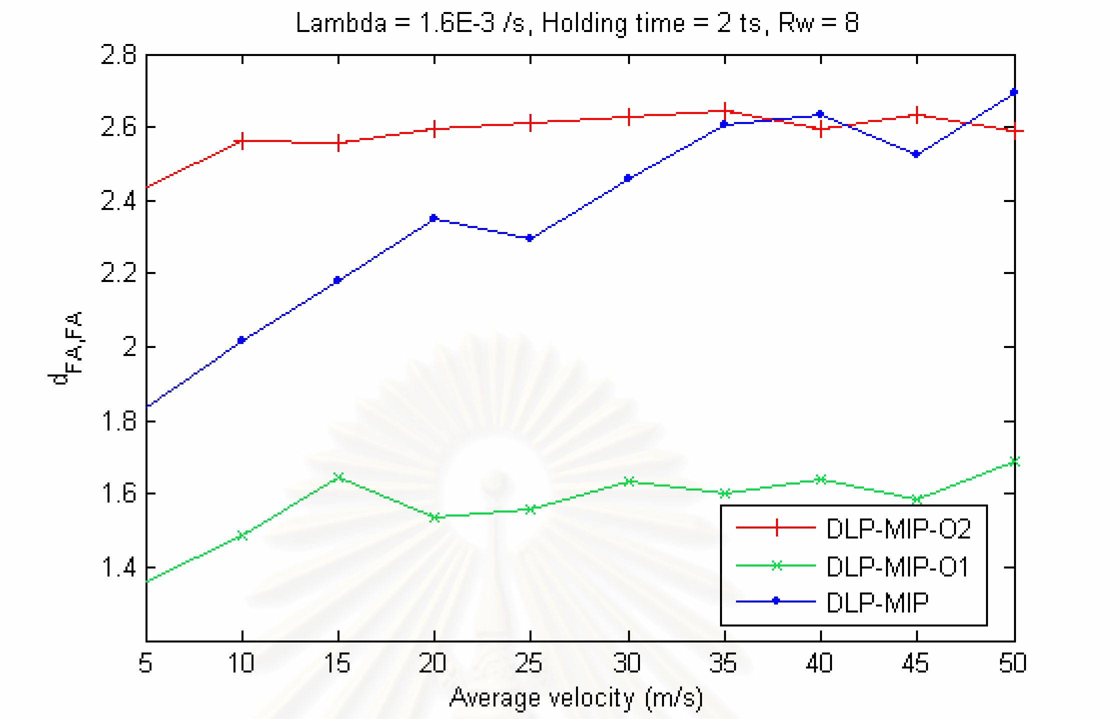
รูปที่ 4.34 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อจำนวนการข้ามพื้นที่การเพจในวิธีที่เสนอ เมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์ และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0016 /s



รูปที่ 4.35 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อจำนวนการข้ามพื้นที่การเพจย่อยในวิธีที่เสนอเมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์ และ อัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0016 /s



รูปที่ 4.36 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อผลรวมของจำนวนการข้ามพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยในวิธีที่เสนอเมื่อขนาดพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์ และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0016 /s



รูปที่ 4.37 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อจำนวน hop ระหว่าง pFA และ Sub-pFA ในวิธีที่เสนอเมื่อพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอเท่ากับ 36 เซลล์ และอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0016 /s

หลังจากพิจารณาถึงต้นทุนการสัญญาณของวิธีต่างๆ เมื่อความเร็วของผู้ใช้เปลี่ยนแปลงไปดังรูปที่ 4.31 ไปแล้ว ในการทดสอบต่อไปนี้จะศึกษาถึงรายละเอียดของปัจจัยต่างๆที่สะท้อนถึงต้นทุนการสัญญาณของวิธีที่เสนอว่าเหตุใดวิธีที่เสนอกรณีพื้นที่การเพจไม่ซ้อนทับกันจึงให้ต้นทุนที่สูงกว่ากรณีที่พื้นที่การเพจซ้อนทับกัน และปัจจัยที่ทำให้วิธีที่เสนอแบบที่ 1 (DLP-MIP-O1) และแบบที่ 2 (DLP-MIP-O2) มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน

จากรูปที่ 4.34 พบว่าเมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น ปริมาณการข้ามพื้นที่การเพจของวิธีที่เสนอทั้ง 3 กรณีจะมีค่าเพิ่มขึ้น โดยกรณี DLP-MIP จะมีอัตราการเพิ่มสูงกว่ากรณี DLP-MIP-O1 และ DLP-MIP-O2 เนื่องจากลักษณะพื้นที่การเพจที่ไม่ซ้อนทับกัน ส่วนในกรณีที่พื้นที่การเพจซ้อนทับกัน วิธีที่เสนอทั้งสองแบบมีปริมาณการข้ามพื้นที่การเพจที่ใกล้เคียงกัน โดยวิธี DLP-MIP-O2 จะมีปริมาณการข้ามพื้นที่การเพจที่ต่ำกว่าเล็กน้อย เนื่องด้วยลักษณะการกำหนดตำแหน่งของ pFA และการจัดวางพื้นที่การเพจ โดยวิธี DLP-MIP-O2 เมื่อ MN มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจ MN จะเริ่มต้นตำแหน่งใหม่ ณ เซลล์ศูนย์กลางของพื้นที่การเพจใหม่ ขณะที่วิธี DLP-MIP-O1 จะเริ่มต้นตำแหน่งใหม่ที่เซลล์ซึ่งอยู่บริเวณตรงกลางของพื้นที่การเพจใหม่เท่านั้น

รูปที่ 4.35 แสดงถึงผลกระทบของความเร็วที่มีต่อจำนวนการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่ง (เท่ากับจำนวนการข้ามพื้นที่การเพจย่อย #SPA) ซึ่งพบว่า DLP-MIP-O1 มีจำนวนการแจ้งเปลี่ยน

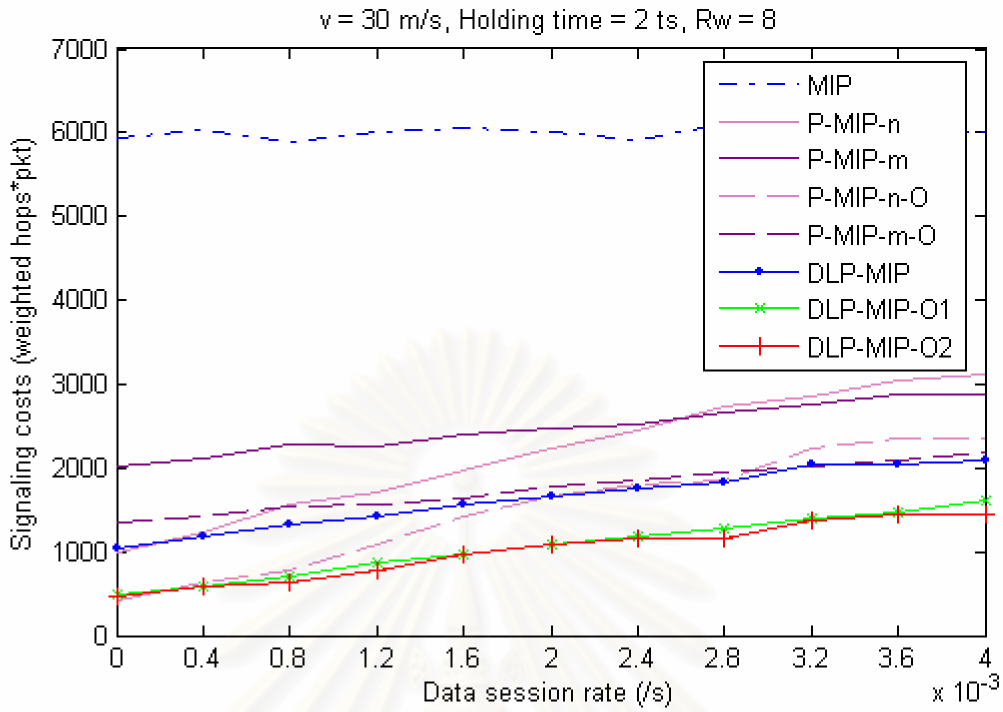
ตำแหน่งมากกว่าในอีก 2 กรณีเนื่องมาจากรูปแบบการจัดวางพื้นที่การเพจย่อยในพื้นที่การเพจที่ทำให้เมื่อ MN เคลื่อนที่เข้าไปยังพื้นที่การเพจใหม่ MN มีแนวโน้มที่จะต้องแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งเนื่องจากบริเวณกลางของพื้นที่การเพจมีรอยต่อของพื้นที่การเพจย่อยอยู่ ขณะที่ในวิธี DLP-MIP มีจำนวนการแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งน้อยเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์บางส่วนเป็นการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจดังปรากฏในรูปที่ 4.34

รูปที่ 4.36 เปรียบเทียบผลรวมของจำนวนการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งและการลงทะเบียนอันเนื่องมาจากการข้ามพื้นที่การเพจของ MN จะเห็นว่าความเร็วเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้วิธี DLP-MIP-O2 มีอัตราการเพิ่มปริมาณข่าวสารการสัญญาณดังกล่าวต่ำกว่าอีก 2 กรณี สาเหตุจากลักษณะการจัดวางพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่ซ้อนทับกัน

จากรูปที่ 4.34 ถึง 4.36 จะเห็นว่า DLP-MIP-O2 มีปริมาณการสัญญาณอันเนื่องจากการเคลื่อนที่ต่ำกว่าของวิธี DLP-MIP-O1 แต่ปัจจัยที่ทำให้วิธีทั้งสองมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันก็คือระยะห่างระหว่าง pFA และ Sub-pFA ($d_{FA,FA}$) ดังแสดงในรูปที่ 4.37 จากรูปจะเห็นว่า $d_{FA,FA}$ ในกรณี DLP-MIP-O2 มีค่าค่อนข้างคงที่ในระดับสูง ขณะที่ในกรณี DLP-MIP-O1 $d_{FA,FA}$ จะมีค่าต่ำและจะมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเมื่อผู้ใช้มีความเร็วเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้วิธีทั้งสองมีต้นทุนจากการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน ขณะที่ในวิธี DLP-MIP ความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นทำให้ $d_{FA,FA}$ มีค่าเพิ่มขึ้นมากกว่าวิธีอื่นๆสาเหตุเพราะ pFA ในกรณีนี้ไม่ได้ตั้งอยู่บริเวณศูนย์กลางของพื้นที่การเพจดังเช่นอีก 2 กรณี

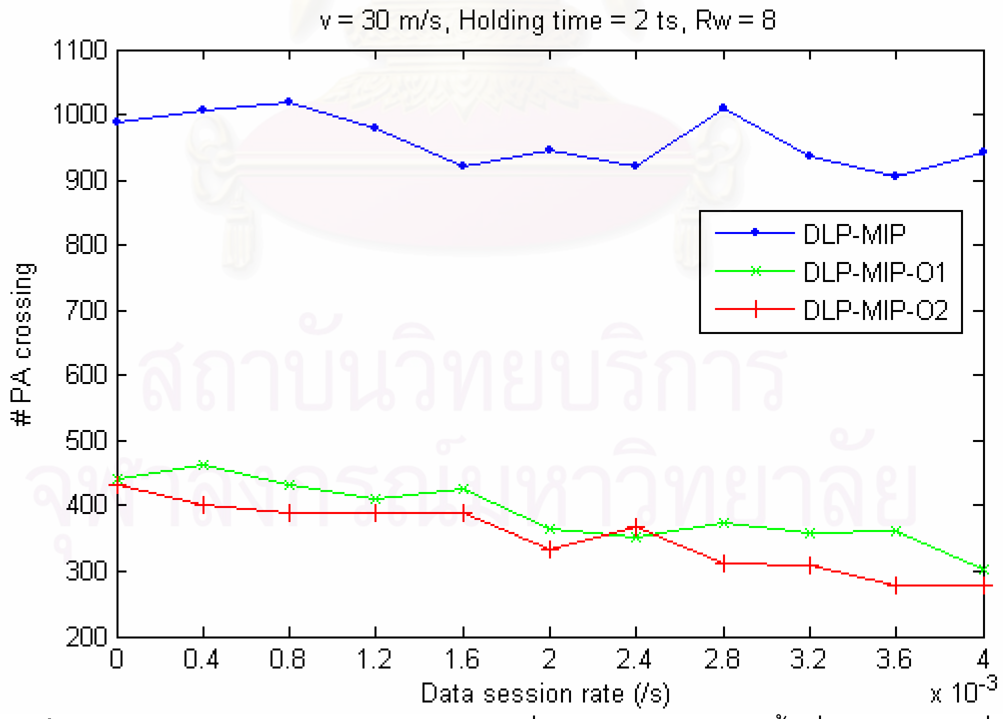
4.3.2 ผลกระทบของ Data session rate ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ

รูปที่ 4.38 แสดงถึงความสัมพันธ์ของต้นทุนในการสัญญาณกับ data session rate โดยพิจารณาที่อัตราข้อมูลตั้งแต่ 0 ถึง 0.004 ครั้งต่อวินาที พบว่าทั้งกรณีที่พื้นที่การเพจซ้อนทับกันและพื้นที่การเพจไม่ซ้อนทับกัน P-MIP-n ให้ประสิทธิภาพที่ดีเมื่อ data session rate มีค่าไม่มากเนื่องจากจำนวนครั้งในการเพจมีค่าน้อย ต้นทุนการสัญญาณจากการเพจจึงมีค่าต่ำ และยังสามารถลดปริมาณการสัญญาณอันเนื่องจากการลงทะเบียนกับ HA ได้มาก ตรงข้ามกับ P-MIP-m ที่ให้ต้นทุนการสัญญาณที่ดีในช่วงที่มี data session rate สูงขึ้น นอกจากนี้จะเห็นได้ว่า P-MIP-n มีต้นทุนการสัญญาณที่เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่ออัตราข้อมูลมีค่าเพิ่มขึ้น ขณะที่วิธีที่เสนอให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า Mobile IP และ P-MIP ในทุกช่วงอัตราข้อมูลที่พิจารณาเว้นแต่ช่วงที่ผู้ใช้มีอัตราข้อมูลต่ำมากๆเท่านั้นที่ P-MIP-n จะมีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่าเล็กน้อย



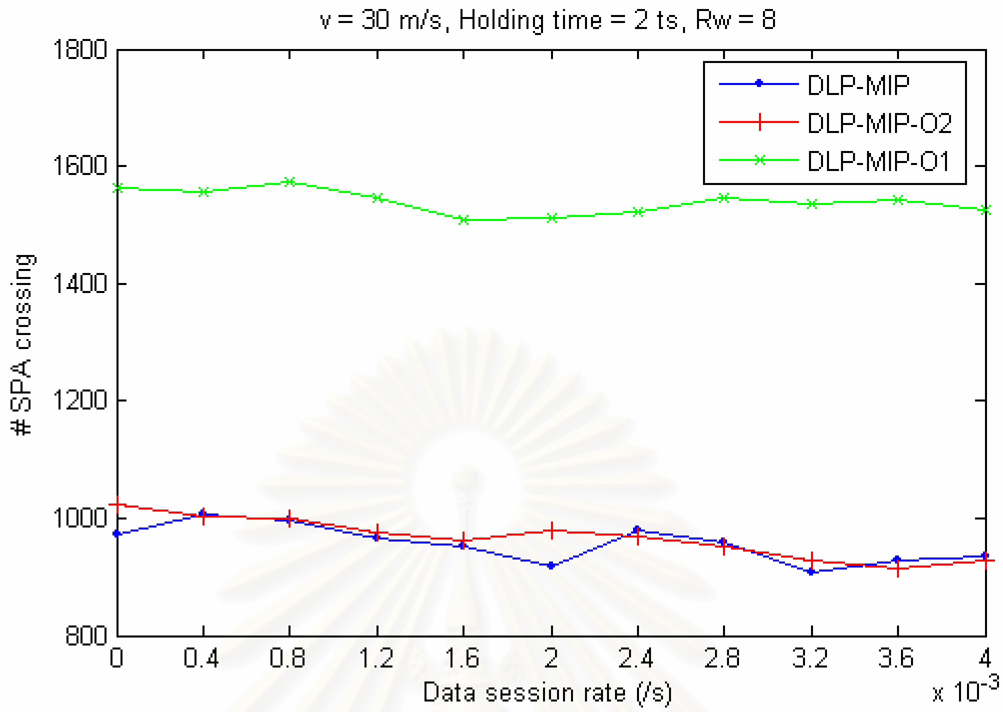
รูปที่ 4.38 ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี

เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเป็น 30 เมตรต่อวินาทีและระบบมี R_w เท่ากับ 8

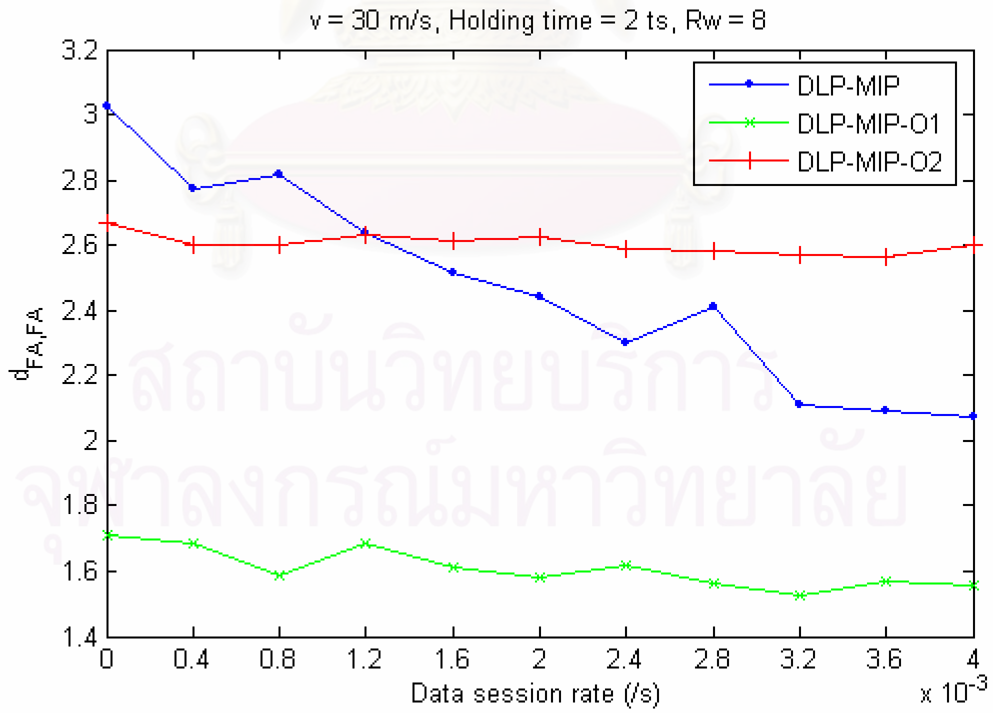


รูปที่ 4.39 ผลกระทบของ data session rate ที่มีต่อจำนวนการข้ามพื้นที่การเพจในวิธีที่เสนอ

เมื่อขนาดพื้นที่การเพจเท่ากับ 36 เซลล์ และผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ย 30 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.40 ผลกระทบของ data session rate ที่มีต่อจำนวนการข้ามพื้นที่การเพจย่อยในวิธีที่เสนอเมื่อขนาดพื้นที่การเพจเท่ากับ 36 เซลล์ และผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ย 30 เมตรต่อวินาที



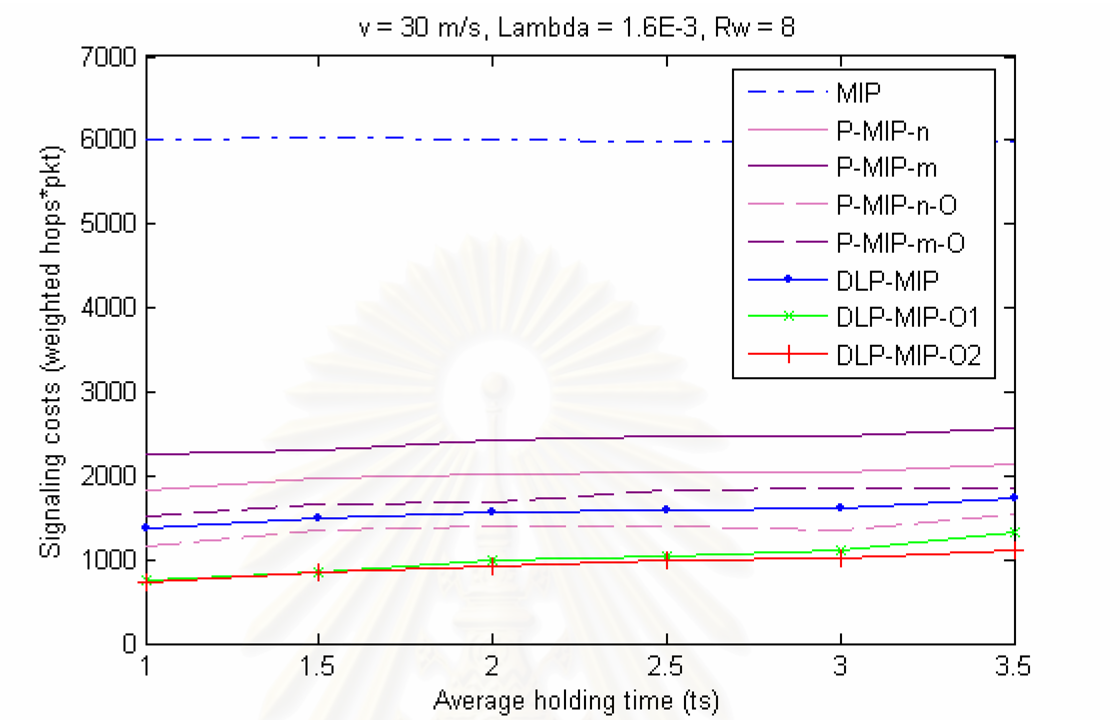
รูปที่ 4.41 ผลกระทบของ data session rate ที่มีต่อจำนวน hop ระหว่าง pFA และ Sub-pFA ในวิธีที่เสนอเมื่อพื้นที่การเพจมีขนาดเท่ากับ 36 เซลล์และผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ย 30 เมตรต่อวินาที

รูปที่ 4.39 ถึง 4.41 แสดงถึงปัจจัยต่างๆที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนการสัญญาณของวิธีที่เสนอเมื่อพิจารณาที่ค่า data session rate ต่างๆกัน จากรูปที่ 4.39 จะสังเกตเห็นว่า data session rate ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ปริมาณการข้ามพื้นที่การเพจมีค่าลดลงในกรณี DLP-MIP-O1 และ DLP-MIP-O2 เนื่องจากทุกครั้งที่ idle MN ได้รับหรือส่ง data session ก็จะต้องลงทะเบียนกับ HA และจะได้รับการปรับพื้นที่การเพจใหม่จาก pFA ทำให้ MN ได้เริ่มต้นตำแหน่งที่เซลล์บริเวณตรงกลางของพื้นที่การเพจใหม่ในกรณีของ DLP-MIP-O1 และเริ่มต้นตำแหน่งใหม่ที่เซลล์ศูนย์กลางของพื้นที่การเพจใหม่ในกรณีของ DLP-MIP-O2 ขณะที่ในวิธี DLP-MIP data session rate ไม่ได้ส่งผลต่อปริมาณการข้ามพื้นที่การเพจ เนื่องจากหลังการลงทะเบียน MN ยังคงอยู่ในตำแหน่งเดิมในพื้นที่การเพจ

รูปที่ 4.40 แสดงถึงผลกระทบของ data session rate ที่มีต่อจำนวนการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่ง พบว่าอัตราข้อมูลที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อวิธี DLP-MIP และ DLP-MIP-O1 โดยตรงเนื่องจาก MN ยังคงอยู่ในตำแหน่งเดิมในพื้นที่การเพจย่อยหลังการลงทะเบียนแต่จะส่งผลทางอ้อมทำให้จำนวนการแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งลดลง เนื่องจากอัตราข้อมูลที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ MN มีโอกาสมากขึ้นที่จะข้ามเซลล์และพื้นที่การเพจย่อยในขณะที่ยังมีสถานะเป็น active ซึ่งไม่นับว่าเป็นการแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งแต่เป็นการลงทะเบียนเนื่องจากการแฮนด์ออฟ ขณะที่ data session rate ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้จำนวนการแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งลดลงในวิธี DLP-MIP-O2 เนื่องจากหลังการลงทะเบียน MN จะเริ่มต้นตำแหน่งที่จุดศูนย์กลางของพื้นที่การเพจย่อย

จากการจำลองการทำงานข้างต้นจะเห็นว่า DLP-MIP-O2 มีปริมาณการสัญญาณเนื่องจากการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจและการแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งที่ต่ำกว่าวิธี DLP-MIP-O1 แต่ปัจจัยที่ทำให้วิธีทั้งสองมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกันก็คือ $d_{FA,FA}$ ดังแสดงในรูปที่ 4.41 ซึ่งเห็นได้ว่า $d_{FA,FA}$ ของวิธี DLP-MIP-O2 มีค่าค่อนข้างคงที่ในระดับสูง ขณะที่ในกรณี DLP-MIP-O1 อัตราข้อมูลที่เพิ่มขึ้นทำให้ $d_{FA,FA}$ สั้นลงเล็กน้อยเนื่องจากทุกครั้งที่ลงทะเบียนตำแหน่งของ pFA จะขยับเข้ามาอยู่บริเวณศูนย์กลางพื้นที่การเพจจึงมีระยะห่างเฉลี่ยไม่ไกลจาก Sub-pFA ในกรณีของ DLP-MIP อัตราข้อมูลที่เพิ่มขึ้นทำให้ $d_{FA,FA}$ สั้นลง เนื่องจากการลงทะเบียนจะช่วยให้ตำแหน่งของ pFA ขยับเข้าใกล้ MN มากขึ้น

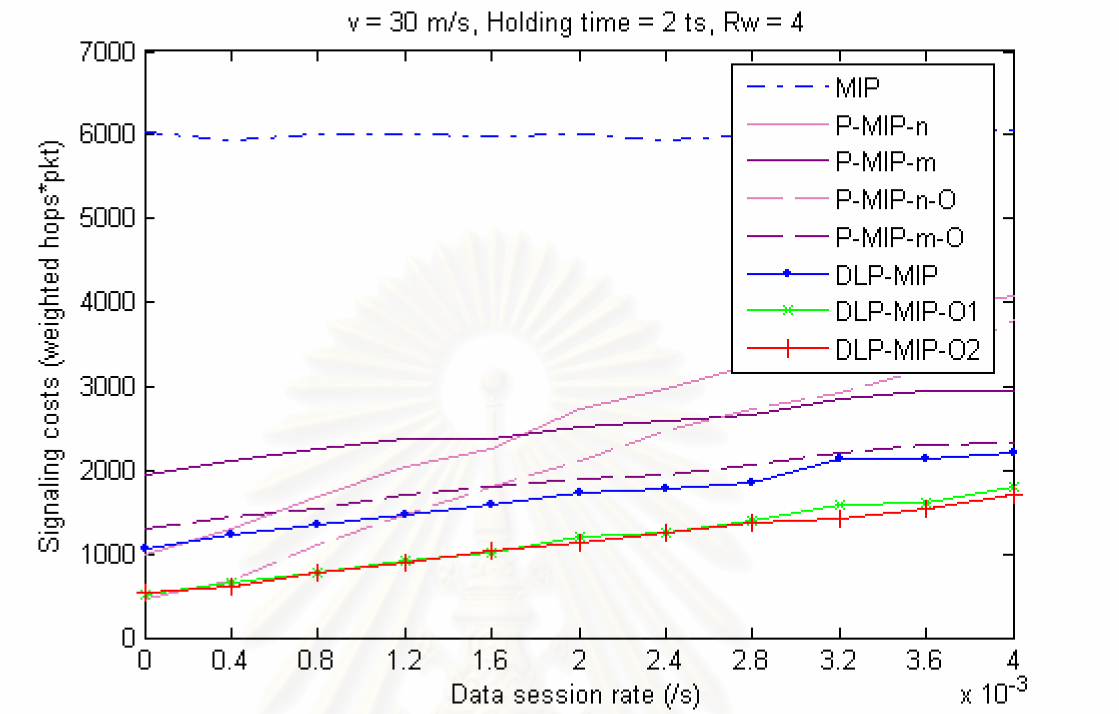
4.3.3 **ผลกระทบของ** Session holding time **ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ**



รูปที่ 4.42 ผลกระทบของ Session holding time ของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเฉลี่ย 30 เมตรต่อวินาทีและอัตราข้อมูลเท่ากับ 0.0016 /s

รูปที่ 4.42 แสดงถึงผลกระทบของช่วงเวลา session holding time ของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีโดยพิจารณาที่ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 1 ถึง 3.5 timeslot และกำหนดให้ผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ย 30 เมตรต่อวินาที และ data session rate เป็น 0.0016 ครั้งต่อวินาที พบว่ากรณีของ P-MIP และวิธีที่เสนอมีต้นทุนการสัญญาณที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากช่วงเวลา holding time ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ MN มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ในขณะที่มีสถานะเป็น active ได้บ่อยขึ้น จึงเกิดข่าวสารลงทะเบียนกับ HA จำนวนมากขึ้น แต่ในกรณีของ Mobile IP พบว่า holding time ไม่ได้ส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณของ Mobile IP เลยเนื่องจาก Mobile IP ไม่มีการแบ่งสถานะการทำงานเป็น active หรือ idle จึงต้องลงทะเบียนทุกครั้งที่เคลื่อนที่ข้ามเซลล์อยู่แล้ว

4.3.4 **ผลกระทบของ** Hop weight ratio **ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ**



รูปที่ 4.43 ผลกระทบของ λ ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี
เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยเป็น 30 เมตรต่อวินาที และระบบมี R_w เท่ากับ 4

เมื่อ Hop weight ratio (R_w) ของระบบมีค่าลดลง เช่นในรูปที่ 4.43 ที่มี R_w เท่ากับ 4 จะสังเกตเห็นว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 4.38 ที่มี R_w เท่ากับ 8 พบว่าวิธี P-MIP และวิธีที่เสนอจะมีอัตราการเพิ่มของต้นทุนการสัญญาณเทียบกับ data session rate ที่สูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อระบบมีค่า R_w ต่ำลง ต้นทุนที่เกิดจากการสัญญาณในโครงข่ายย่อยจะมีผลต่อต้นทุนการสัญญาณรวมพอๆกันกับต้นทุนที่เกิดจากการสัญญาณในโครงข่ายหลัก ต้นทุนจากกระบวนการเพจที่เพิ่มขึ้นจึงชัดเจนมากขึ้นเมื่อ R_w มีค่าลดลง นอกจากนี้ยังเห็นได้ว่า P-MIP-n มีแนวโน้มจะถูกกระทบอย่างมากจากผลของ data session rate ที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากต้นทุนในการเพจมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ขณะที่ Mobile IP ไม่ถูกกระทบใดๆจากอัตราข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากไม่มีการใช้การเพจในการทำงาน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้เสนอรูปแบบการจัดการสภาพเคลื่อนที่ในโครงข่ายอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่โดยอาศัยการแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นพื้นที่ย่อยและกำหนดตัวแทนในการดูแลที่เหมาะสม เพื่อช่วยพัฒนาประสิทธิภาพการสัญญาณที่มีในโครงข่าย Mobile IP และ P-MIP ในอดีตที่ผ่านมาแม้จะมีงานวิจัยจำนวนมากที่เสนอขึ้นเพื่อปรับปรุงสมรรถนะการทำงานของ Mobile IP แต่จะเห็นว่างานวิจัยเหล่านั้นบางงานไม่ได้คำนึงถึงปัญหาการใช้พลังงานของ MN ขณะที่งานวิจัยอีกจำนวนมากไม่ได้คำนึงถึงความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้งานจริงทางปฏิบัติ ดังนั้นในแนวทางที่เสนอจึงพิจารณาถึงความสามารถในการนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ และไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะเพียงโครงข่ายรูปแบบใดรูปแบบหนึ่ง โดยจากผลวิจัยในบทที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่า วิธีการที่เสนอสามารถลดต้นทุนการสัญญาณลงได้เทียบกับวิธีอื่นๆในช่วงการใช้งานที่กว้าง อีกทั้งยังไม่ถูกกระทบได้โดยง่ายจากผลของพารามิเตอร์ต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไป ส่งผลให้การออกแบบและดูแลโครงข่ายสามารถบริหารจัดการทรัพยากรรวมถึงคุณภาพการให้บริการได้ดีกว่า

เมื่อพิจารณาจากผลของการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าวิธี P-MIP มีประสิทธิภาพการสัญญาณที่ดีเฉพาะในช่วงที่ได้ออกแบบไว้เท่านั้น อีกทั้งระบบยังถูกกระทบได้โดยง่ายจากค่าพารามิเตอร์ของผู้ใช้และระบบที่เปลี่ยนแปลงไป ขณะที่วิธีการที่เสนอมีประสิทธิภาพการสัญญาณที่ดีในช่วงกว้างอีกทั้งยังมีความมั่นคงของโครงข่ายที่ไม่ถูกกระทบได้ง่ายจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เปลี่ยนแปลง อย่างไรก็ตามวิธีที่เสนอไม่ได้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า P-MIP เสมอไป มีบางสภาวะที่ P-MIP-n ให้ต้นทุนการสัญญาณต่ำกว่าวิธีที่เสนอ เช่น กรณีที่ผู้ใช้มีความเร็วสูงมากๆและมีอัตราข้อมูลต่ำ แต่จะเห็นได้ว่า ต้นทุนการสัญญาณของวิธีที่เสนอมีค่าสูงกว่าเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยผลต่างนี้จะมีค่าลู่เข้าค่าค่าหนึ่งเมื่ออัตราข้อมูลมีค่าลดต่ำลงเรื่อยๆ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าในวิธีที่เสนอ เราสามารถแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นพื้นที่การเพจย่อยได้หลายพื้นที่ซึ่งจำนวนพื้นที่การเพจย่อยที่ต่างกันก็จะเหมาะสมกับสภาวะการใช้งานที่ต่างกัน อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติการพิจารณาว่าควรจะแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นกี่พื้นที่ย่อยนั้น นอกเหนือจากปัจจัยต้นทุนการสัญญาณของระบบที่ต้องวิเคราะห์แล้ว ปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อการออกแบบจำนวนพื้นที่การเพจย่อยที่จำเป็นจะต้องคำนึงถึงด้วย ได้แก่ ปัญหาการใช้พลังงานของ MN เช่น ขนาดของพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสมควรมีค่าเป็นเท่าใด รวมไปถึงลักษณะโทโปโลยีโครงข่ายของพื้นที่ที่ออกแบบและความสามารถของอุปกรณ์โครงข่ายต่างๆเป็นต้น

นอกจากนี้เมื่อพิจารณาผลการทดสอบเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสัญญาณจากการจำลองการทำงานของแต่ละวิธี ทั้งในกรณีที่พื้นที่การเพจเป็นแบบซ้อนทับกันและไม่ซ้อนทับกัน โดยในกรณีที่พื้นที่การเพจไม่ซ้อนทับกัน วิธีที่เสนอให้ประสิทธิภาพในการสัญญาณที่ดีกว่า Mobile IP และ P-MIP ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ก่อนหน้านี้ ขณะที่เมื่อพิจารณากรณีพื้นที่การเพจซ้อนทับกัน ทั้งวิธีที่เสนอและ P-MIP จะมีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำลงกว่าในกรณีที่พื้นที่การเพจไม่ซ้อนทับกัน โดยวิธีที่เสนอแบบที่ 1 (DLP-MIP-O1) และวิธีที่เสนอแบบที่ 2 (DLP-MIP-O2) มีประสิทธิภาพในการจัดการสภาพเคลื่อนที่ใกล้เคียงกันและยังคงมีต้นทุนการสัญญาณที่ไม่ถูกกระทบโดยง่ายจากพารามิเตอร์ที่มีค่าเปลี่ยนแปลง นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าวิธีที่เสนอทั้งสองแบบมีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่าของทั้ง P-MIP และ Mobile IP ในทุกช่วงความเร็วที่พิจารณา ยกเว้นในกรณีที่ผู้ใช้มีความเร็วต่ำมากๆเท่านั้นที่ระบบจะมีต้นทุนการสัญญาณสูงกว่าของ Mobile IP เล็กน้อย นอกจากนี้หากพิจารณาต้นทุนการสัญญาณของแต่ละวิธีเมื่อผู้ใช้มี data session rate แตกต่างกันจะพบว่าวิธีที่เสนอยังคงให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่ากรณี P-MIP และ Mobile IP ในทุกช่วงการใช้งานเว้นแต่ในกรณีที่ผู้ใช้มีค่า data session rate ต่ำมากๆเท่านั้นที่ระบบจะมีต้นทุนสูงกว่าของ P-MIP-n เล็กน้อย

ในงานวิจัยนี้ยังได้ศึกษาถึงรายละเอียดปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณของวิธีที่เสนอซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ วิธี DLP-MIP-O1 และ DLP-MIP-O2 ให้สมรรถนะการสัญญาณที่ดีกว่า DLP-MIP เนื่องจาก MN จะเริ่มต้นตำแหน่งที่บริเวณศูนย์กลางของพื้นที่การเพจใหม่ทุกครั้งที่เคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจ ส่งผลถึงปริมาณการลงทะเบียนที่ลดลง และเมื่อพิจารณากรณีที่พื้นที่การเพจซ้อนทับกันจะเห็นว่าขณะที่วิธี DLP-MIP-O1 มีจำนวนการแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งและการข้ามพื้นที่การเพจที่สูงกว่าของ DLP-MIP-O2 แต่กลับมีต้นทุนการสัญญาณโดยรวมใกล้เคียงกับของ DLP-MIP-O2 สาเหตุเนื่องมาจากวิธี DLP-MIP-O1 มีระยะห่างโดยเฉลี่ยระหว่าง pFA และ Sub-pFA ($d_{FA,FA}$) ที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับ DLP-MIP-O2 ส่งผลให้มีต้นทุนในการสัญญาณแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตามวิธีทั้งสองมีข้อแตกต่างที่สำคัญคือ ผลรวมของจำนวนการแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งและการลงทะเบียนอันเนื่องมาจากการข้ามพื้นที่การเพจที่วิธี DLP-MIP-O2 มีปริมาณต่ำกว่าของวิธี DLP-MIP-O1 เป็นจำนวนมาก แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการใช้พลังงานของ MN ที่จะมีเพิ่มขึ้นของ DLP-MIP-O2 ดังนั้นในการเลือกว่าจะใช้รูปแบบใดนั้นจึงขึ้นอยู่กับทั้งสภาวะการใช้งานของผู้ให้บริการโครงข่ายและผู้ใช้ในระบบว่ามีความต้องการและข้อจำกัดเป็นอย่างไร

ทั้งนี้ผู้วิจัยได้จัดทำตารางสรุปข้อดีและข้อเสียของแต่ละวิธีในมุมมองของการติดตั้งและประยุกต์ใช้ ในตารางที่ 5.1 และ 5.2 นอกจากนี้ในตารางที่ 5.3 ผู้วิจัยยังได้สรุปเปรียบเทียบผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสัญญาณของแต่ละวิธีอีกด้วย

5.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้เสนอการปรับปรุงประสิทธิภาพการสัญญาณของโครงข่ายอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่โดยอาศัยหลักการเพจท้องถิ่นแบบกระจายสำหรับการจัดการสภาพเคลื่อนที่ แต่จากการศึกษาและทดสอบพบว่ายังมีประเด็นหรือปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของ Mobile IP ที่งานวิจัยนี้ยังไม่ได้พิจารณา จึงสรุปเป็นข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคตดังนี้

1. นอกเหนือจากรูปแบบเซลล์ที่เป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เซลล์รูปแบบอื่นๆเช่นหกเหลี่ยม ก็อาจนำมาใช้ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบและศึกษาผลของการทดสอบประสิทธิภาพเช่นเดียวกับรูปแบบการเคลื่อนที่แบบต่างๆ เช่น Brownian motion [28] ทั้งที่มีทิศทาง (with drift motion) และไม่มีทิศทาง (no drift motion) เพื่อให้การศึกษาวิเคราะห์ครอบคลุมสิ่งที่อาจเกิดขึ้นจริงในระบบครบทุกรูปแบบ

2. ในการจำลองการทำงานของงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ระยะห่างระหว่างตัวแทนปัจจุบันและตัวแทนบ้าน ($d_{FA,HA}$) มีค่าเฉลี่ยคงที่ จึงอาจใช้เป็นแนวทางในการวิจัยต่อไปในกรณีที่ $d_{FA,HA}$ มีค่าเฉลี่ยไม่คงที่

3. เนื่องจากในงานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะเพียงการจัดการสภาพเคลื่อนที่เท่านั้น ยังมีประเด็นที่สำคัญอื่นๆที่ส่งผลต่อคุณภาพการให้บริการ ได้แก่ ประสิทธิภาพในการแฮนด์ออฟอันวัดได้จากช่วงเวลาในการแฮนด์ออฟและปริมาณ packet loss ที่เกิดขึ้น รวมถึงปริมาณบัฟเฟอร์ที่จำเป็นในโครงข่ายเพื่อลดจำนวนการสูญหายของแพ็กเกตหรือช่วงเวลาแฝงในการรอรับแพ็กเกต ซึ่ง [23] ได้เสนอแนวทางในการพัฒนาอันอาจนำมาพัฒนาควบคู่กับวิธีที่เสนอ

4. ในการวิจัยนี้มีการจำลองการทำงานของแต่ละวิธีบนพื้นฐานของโปรแกรมแบบ discrete time ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปอาจจำลองการทำงานแบบ continuous time เพื่อเปรียบเทียบและศึกษาข้อแตกต่างที่เกิดขึ้น

ตารางที่ 5.1 ตารางเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธี P-MIP ทั้งกรณีที่พื้นที่การเพจซ้อนทับและไม่ซ้อนทับกัน

วิธี P-MIP กรณีพื้นที่การเพจไม่ซ้อนทับกัน		วิธี P-MIP กรณีพื้นที่การเพจซ้อนทับกัน	
ข้อดี	ข้อเสีย	ข้อดี	ข้อเสีย
- ระบบมี PAI ที่สั้นกว่ากรณีที่พื้นที่การเพจซ้อนทับกัน ทำให้ใช้แบนด์วิดท์และพลังงานในการจัดการต่ำ	- ข่าวสารประกาศจากตัวแทนในทุกคาบจำเป็นจะต้องมีส่วนขยายเพื่อบอก PAI ให้ MN ใช้ตรวจสอบการเคลื่อนที่ - เกิดข่าวสารการลงทะเบียนมากที่บริเวณขอบของพื้นที่การเพจ	- ข้อมูลที่ใช้ระบุถึงพื้นที่การเพจไม่ถูกส่งทุกคาบ ทำให้ช่วยลดปริมาณการสัญญาณลง - ไม่ถูกกระทบจากปรากฏการณ์ ping pong effect	- ระบบมี PAI ยาวกว่ากรณีพื้นที่การเพจไม่ซ้อนทับกัน (ขึ้นกับจำนวน FA ในพื้นที่การเพจ) จึงใช้แบนด์-วิดท์และพลังงานมากกว่า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.2 ตารางเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวิธีที่เสนอทั้งกรณีที่พื้นที่การเพจซ้อนทับและไม่ซ้อนทับกัน

DLP-MIP	ข้อดี	- ทั้ง PAI และ SPAI ในข่าวสารการประกาศมีขนาดเล็ก ทำให้ใช้แบนด์วิดท์และพลังงานในการจัดการต่ำ
	ข้อเสีย	- ข่าวสารประกาศจากตัวแทนในทุกคาบจำเป็นจะต้องมีส่วนขยายเพื่อบอก PAI ให้ MN ใช้ตรวจสอบการเคลื่อนที่ - เกิดข่าวสารการลงทะเบียนมากที่บริเวณขอบของพื้นที่การเพจ
DLP-MIP-O1	ข้อดี	- ในข่าวสารการประกาศจากตัวแทนบอกเพียง SPAI เท่านั้นไม่ต้องบอก PAI ของพื้นที่การเพจ - ไม่ถูกกระทบจากปรากฏการณ์ ping pong effect บริเวณขอบของพื้นที่การเพจ
	ข้อเสีย	- ข้อมูล PAI ซึ่งใช้ระบุพื้นที่การเพจที่จะถูกส่งในข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน มีความยาวเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับวิธี DLP-MIP (ขึ้นกับจำนวน SPA ในพื้นที่การเพจ)
DLP-MIP-O2	ข้อดี	- ข้อมูลที่ใช้ระบุถึงพื้นที่การเพจ (PAI) และพื้นที่การเพจย่อย (SPAI) ไม่ถูกส่งทุกคาบ ทำให้ช่วยลดปริมาณการสัญญาณลง - ไม่ถูกกระทบจากปรากฏการณ์ ping pong effect ทั้งที่บริเวณขอบของพื้นที่การเพจและขอบของพื้นที่การเพจย่อย
	ข้อเสีย	- ข้อมูล PAI ซึ่งใช้ระบุพื้นที่การเพจและ SPAI ซึ่งใช้ระบุพื้นที่การเพจย่อย ที่จะถูกส่งในข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน มีความยาวเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับวิธี DLP-MIP-O1 (ขึ้นกับจำนวน FA ในพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยตามลำดับ)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.3 ตารางสรุปเปรียบเทียบผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสัญญาณของวิธีการแต่ละวิธี

พารามิเตอร์	วิธีการ	ผลต่อประสิทธิภาพการสัญญาณ
Wireless link weight ratio (σ_{air})	Mobile IP	ค่า σ_{air} ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณของ Mobile IP เนื่องจาก ระบบไม่ใช้การเพจในการทำงาน
	P-MIP	ค่า σ_{air} ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณ เนื่องจากกระบวนการค้นหาตำแหน่งผู้ใช้กระจายข่าวสารการเพจทั้งพื้นที่การเพจ
	DLP-MIP	ค่า σ_{air} ที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณเพียงเล็กน้อย เนื่องจากพื้นที่ที่กระจายข่าวสารการเพจมีขนาดเล็กเมื่อเทียบกับ P-MIP
Data session rate (λ)	Mobile IP	λ ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากไม่มีกระบวนการเพจในการทำงาน
	P-MIP	กรณีพื้นที่การเพจขนาดใหญ่ ระบบจะมีประสิทธิภาพการสัญญาณที่ดีในช่วง λ มีค่าน้อย ตรงข้ามกับในกรณีที่พื้นที่การเพจขนาดเล็ก ระบบจะมีประสิทธิภาพการสัญญาณที่ดีในช่วง λ มีค่ามาก
	DLP-MIP	ระบบมีประสิทธิภาพการสัญญาณที่ดีกว่า P-MIP ในทุกช่วง λ ที่พิจารณา เว้นแต่กรณีที่ผู้ใช้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงและมี λ ต่ำมากๆเท่านั้นที่ระบบจะมีต้นทุนการสัญญาณสูงกว่า P-MIP-n
Active percentage (α)	Mobile IP	α ไม่ส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณเนื่องจากในการทำงานไม่มีการแบ่งสถานะของผู้ใช้
	P-MIP และ DLP-MIP	ต้นทุนการสัญญาณจะมีค่าเพิ่มขึ้น จนมีค่าเท่ากับ Mobile IP เมื่อ α มีค่าเป็น 1
Mobile user density (ρ)	Mobile IP	ต้นทุนการสัญญาณเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงเมื่อความหนาแน่นของผู้ใช้เคลื่อนที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น
	P-MIP และ DLP-MIP	ต้นทุนการสัญญาณเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ต่ำกว่า Mobile IP เนื่องจากความหนาแน่นของผู้ใช้เคลื่อนที่มีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่งผลต่อปริมาณที่เพิ่มขึ้นของ Active MN

ตารางที่ 5.3 ตารางสรุปเปรียบเทียบผลกระทบของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการสัญญาณของวิธีการแต่ละวิธี (ต่อ)

พารามิเตอร์	**วิธีการ**	**ผลต่อประสิทธิภาพการสัญญาณ**
ขนาดพื้นที่การเพจ (n)	Mobile IP	ต้นทุนการสัญญาณเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง เมื่อขนาดพื้นที่การเพจที่พิจารณามีค่ามากขึ้น
	P-MIP	ต้นทุนการสัญญาณเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อขนาดพื้นที่การเพจที่พิจารณามีค่ามากขึ้น
	DLP-MIP	ต้นทุนการสัญญาณเพิ่มขึ้นด้วยอัตราที่ต่ำกว่าวิธี P-MIP เมื่อขนาดพื้นที่การเพจที่พิจารณามีค่ามากขึ้น ทำให้ระบบมีช่วงการใช้งาน (n) ที่ให้ต้นทุนการสัญญาณต่ำกว่า Mobile IP ในช่วง n ที่กว้างกว่า
Hop weight ratio (R_w) **และ** $d_{FA,HA}$	Mobile IP	R_w และ $d_{FA,HA}$ ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการสัญญาณเกิดจากการลงทะเบียนเพียงอย่างเดียว
	P-MIP	กรณีพื้นที่การเพจขนาดใหญ่ ระบบจะมีประสิทธิภาพการสัญญาณที่ดีในช่วง R_w หรือ $d_{FA,HA}$ มีค่ามาก ตรงข้ามกับในกรณีที่พื้นที่การเพจขนาดเล็ก ซึ่งระบบจะมีประสิทธิภาพการสัญญาณที่ดีในช่วง R_w หรือ $d_{FA,HA}$ มีค่าต่ำ
	DLP-MIP	ระบบมีประสิทธิภาพการสัญญาณที่ดีกว่า P-MIP ในทุกช่วง R_w และ $d_{FA,HA}$ ที่พิจารณา
ความเร็วเฉลี่ย (v)	Mobile IP	ความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ Mobile IP มีต้นทุนการสัญญาณที่เพิ่มขึ้นด้วยอัตราสูงกว่าวิธีอื่นๆ
	P-MIP	กรณีพื้นที่การเพจขนาดใหญ่ ระบบจะมีต้นทุนการสัญญาณสูง เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยต่ำ ตรงข้ามกับในกรณีที่พื้นที่การเพจขนาดเล็กที่ระบบจะมีต้นทุนการสัญญาณสูง เมื่อผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยสูง
	DLP-MIP	ระบบให้ต้นทุนการสัญญาณต่ำทั้งในช่วงที่ผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่สูงและต่ำ

รายการอ้างอิง

[1] Perkins, C. E., Mobile Networking Through Mobile IP. IEEE Internet Computing, (January 1998): 58-69.

[2] Campbell, A. T. and Gomez, J., IP Micro-mobility Protocols in the IETF. ACM SIGMOBILE MC2R.

[3] Perkins, C. E. and Johnson, D., Route Optimization in Mobile IP. Internet draft, draft-ietf-mobileip-optim-07.txt, work in progress (November 1997).

[4] Zhang, X., Castellanos, J. G., and Campbell, A. T., P-MIP:Paging Extension for Mobile IP, Mobile Networks and Applications 7 (2002): 127-141.

[5] Perkins, C. E., IP Mobility Support. IETF RFC 2002 (October 1996).

[6] Perkins, C. E., IP Mobility Support for IPv4. IETF RFC 3344 (August 2002).

[7] Perkins, C. E., IP Encapsulation within IP. IETF RFC 2003 (October 1996).

[8] Fogelstroem, E., Jonsson, A. and Perkins, C. E. Mobile IPv4 Regional Registration. Internet draft, draft-ietf-mip4-reg-tunnel-03.txt, work in progress (August 2006)

[9] Xie, J. and Akyildiz, I. F., A Novel Distributed Dynamic Location Management Scheme for Minimizing Signaling Costs in Mobile IP. IEEE Transactions on Mobile Computing 1, 3 (July-September 2002): 163-175.

[10] Ma, W., and Fang, Y. Dynamic Hierarchical Mobility Management Strategy for Mobile IP Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications 22, 4 (May 2004): 664-676.

[11] Kim, H. W., Hong S. J., and Kim, J. Adaptive Location Management Scheme for Mobile IP. In Proceedings of the 3rd Int'l Conf. on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerCom 2005 Workshops), 263-267. March 2005.

[12] Chung, Y. W., Sung, D. K., and Aghvami, A. H., Steady State Analysis of P-MIP Mobility Management. IEEE Communications Letters 7, 6 (June 2003): 278-280.

[13] Xie, J. User Independent Paging Scheme for Mobile IP. Wireless Networks 12 (2006): 145-158.

[14] Castelluccia, C. Extending Mobile IP with Adaptive Individual Paging: A Performance Analysis. Mobile Computing and Communications Review 5, 2 (April 2001): 14-26.

[15] Do, H. T. and Onozato, Y. Merit of Adaptability to Mobile User Parameters in IP Paging. In Proceedings of the Second Annual Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS'05), 246-251. January 2005.

[16] Castelluccia, C. and Mutaf, P. An Adaptive Per-Host IP Paging Architecture. ACM SIGCOMM Computer Communication Review. (2001): 48-56.

[17] Ramjee, R., Li, L., Porta, T. L. and Kasera, S. IP Paging Service for Mobile Hosts. In Proceedings of the 7th annual international conference on Mobile computing and networking, 332-345. 2001.

[18] Do, H. T. and Onozato, Y. A Comparative Analysis on Performance of Mobile IP with Paging Support. In Proceedings of the International Federation for Information Processing 2004, 199-212. 2004.

[19] Choi, T., Kim, L., Nah, J., and Song, J. Combinatorial Mobile IP: A New Efficient Mobility Management Using Minimized Paging and Local Registration in Mobile IP Environments. Wireless Networks 10 (2004): 311-321.

[20] Tseng, Y. C., Shen, C. C., Chen, W. T. Integrating Mobile IP with Ad Hoc Networks. IEEE Computer Society (May 2003): 48-55.

[21] Lam, P. P. and Liew, S. C. Nested Network Mobility on the Multihop Cellular Network. IEEE Communications Magazine (September 2007): 100-104.

[22] Pack, S., Shen, X., Mark, J. W. and Pan, J. Mobility Management in Mobile Hotspots with Heterogeneous Multihop Wireless Links. IEEE Communications Magazine (September 2007): 106-112.

[23] Chiratana, K. and Benjapolakul, W. Improvement of Paging Extensions in Mobile Internet Protocol based on Post Registration. IEICE Trans. Fundamental. E89-D, 12 (December 2006): 2848-2855.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

[24] Zhang, L., Coa, J., and Das, S. K. A Mailbox-Based Scheme for Improving Mobile IP Performance. In Proceedings of the 23rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW'03), 864-869. May 2003.

[25] Chiang, K. H. and Shenoy, N. A 2D Random Walk Mobility Model for Location Management Studies in Wireless Networks. IEEE Transactions on Vehicular Technology. 53 (March 2004): 413-424.

[26] Burulitisz, A., Imre, S., and Szabo, S. On the Accuracy of Mobility Modeling in Wireless Networks. IEEE Communications Society. (June 2004): 2302-2306.

[27] Akyildiz, I. F., Lin, Y. B., Lai, W. R. and Chen, R.J. A New Random Walk Model for PCS Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications. 18, 7 (July 2000): 1254-1260.

[28] Lei, Z. and Rose, C. Wireless Subscriber Mobility Management using Adaptive Individual Location Areas for PCS Systems. In Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC'98), 1390-1394. June 1998.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว

บทความทางวิชาการจากการประชุมการสื่อสารไร้สายและโครงข่ายการสื่อสารทางแสง IEEE WOCN 2007 (2007 Fourth International Conference on Wireless and Optical Communications Networks) ซึ่งจัดขึ้นระหว่างวันที่ 2 - 4 กรกฎาคม พ.ศ. 2550 ณ โรงแรม Grand Hyatt Singapore ประเทศสิงคโปร์

บทความทางวิชาการจากการประชุม ICTIR 2007 (International Conference on Telecommunication, Industry, and Regulatory Development) ซึ่งจัดขึ้นระหว่างวันที่ 19-21 สิงหาคม พ.ศ. 2550 ณ โรงแรม Plaza Athenee กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Distributed Local Paging Scheme for Mobility Management in Mobile IP

Chotevit Techabanyat and Watit Benjapolakul
Department of Electrical Engineering
Chulalongkorn University
Bangkok, Thailand
chote082@hotmail.com, watit.b@eng.chula.ac.th

***Abstract*— In this paper, we propose a new mobility management scheme for Mobile IP that reduces both the total signaling cost and the system sensitivity to many user parameters by configuring sub-paging area within paging area. The analytical results show that the proposed scheme performs better than conventional Mobile IP and P-MIP with different paging area sizes with wide ranges of parameters and even in the case of P-MIP with optimal paging area size, our scheme can considerably save total signaling cost of the optimized P-MIP. Also, our scheme enhances system robustness and decreases sensitivity of the system signaling cost to various parameters.**

I. INTRODUCTION

As the current demand for wireless access to internet applications increases significantly, it is very important to provide smooth ongoing communication service while moving. Mobile IP (MIP) [1] has been proposed to be a standard protocol for global mobility management. MIP enables mobile nodes (MN) to maintain ongoing communication while moving, by using simple mechanism for routing IP packets to MNs. In this mechanism, MN is tracked by home agent (HA) using two IP addresses. The first IP address is a permanent address, called home address, and another is called care-of address (CoA) which is a temporary address used by MN in a visited network. However, it still has several aspects that have to be solved [2]. One of the significant problems is the excessive signaling overhead and power consumption of MNs.

Recently, several proposals have been developed to improve these problems. Mobile IP Regional Registration [3] is proposed to reduce the number of signaling overhead to the home network and the signaling latency when a MN changes point of attachment to internet. It uses hierarchical model and separates local mobility from global mobility.

However, because of its centralized architecture, this protocol is sensitive to failure of GFA and the scalability of the system is limited by the capability of this central node. To solve these problems, a distributed dynamic location management scheme [4] is proposed. This scheme distributes signaling load to all FAs which can function as a GFA. The regional network boundary is dynamically adjusted according to the current mobility and traffic characteristics of each MN. Nonetheless, this scheme does not improve the power consumed by MNs or signaling load in access network.

Paging is introduced to support mobility management in P-MIP [5]. From analysis and simulation results, this approach can reduce total signaling cost. However, P-MIP is not always better than MIP because paging procedure introduces additional signaling overhead. There exists tradeoff between registration cost and paging cost. For the system with bigger paging area (PA) size, a MN tends to perform registration less frequently, then the registration cost is reduced, whereas the paging cost increases. Therefore, calculating the optimal PA size is very critical.

In [6], the authors proposed an adaptive paging scheme. In this scheme, each MN frequently computes its optimal PA using an iterative algorithm and a PA is adaptive on per-mobile basis. Nevertheless, the employment of adaptability in practice is apparently not efficient because some of the input parameters used in the optimization process are difficult for MN to determine. More precisely, the input parameters may not be available in practice, hence they are predicted and estimated based on user movement and call pattern histories. This can not reflect the up-to-date values of MNs. In case that system need not find MNs immediately, multi-step paging scheme are preferable as in [7]. User Independent Paging scheme adopts multi-step paging where paging sequence is determined by mobility rate, the movement of all users, not based on individual user data.

In this paper, we propose a new mobility management that can reduce both the total signaling cost and the sensitivity of the system with many system and user parameters. This paper is organized as follows. Section II discusses overview of P-MIP and our proposed scheme. Section III evaluates the signaling cost function of MIP, P-MIP and the proposed scheme. Section IV presents the analysis results. Finally, section V concludes the paper.

II. OVERVIEW OF P-MIP AND DISTRIBUTED LOCAL PAGING SCHEME

Since P-MIP can improve both the signaling overhead and the power consumed by MNs and it can be implemented easily in real network, our scheme is proposed based on this protocol.

A. *Paging Extensions for Mobile IP (P-MIP)*

P-MIP can reduce total signaling cost, associated with registration and location system database updates, and power

consumption of MNs. In this protocol, an active MN operates exactly the same as in MIP. When a MN moves from one subnet to another subnet, it registers with its HA. For an idle MN, whenever it moves within the same PA, it is not need to perform registration. It is required to register its new location with its HA when it changes to a new PA. In this approach, the first FA in PA that a MN visited will be registered by MN at MN's HA. This registered FA is called paging FA (pFA). The complete operation of P-MIP can be found in [5]

B. Distributed Local Paging Scheme for MIP (DLP-MIP)

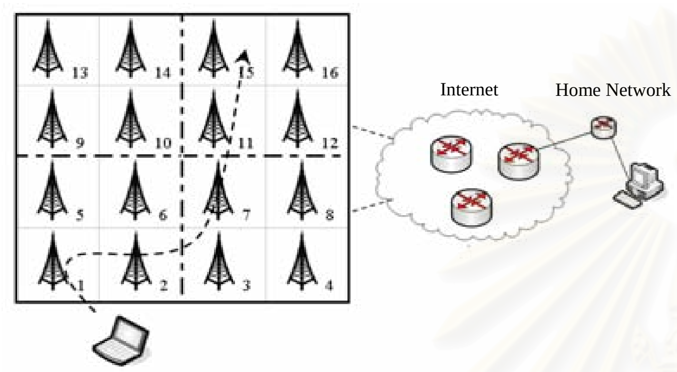


Figure 1. Distributed Local Paging Scheme for MIP.

The proposed scheme is motivated by the observation that in actual situation, mobility and communication patterns of mobile users vary and P-MIP is not appropriate for this condition. Therefore, what we want is the system that not only has low signaling cost, but also works effectively in wide range of parameters.

In the proposed Distributed Local Paging scheme, PAs are partitioned into sub-paging area (SPA) in order to minimize paging cost in the system. We also assume that all FAs support paging, that is all FAs can perform as pFA as in [5]. The first FA in a PA that a MN visited will be registered by a MN as the pFA of that MN. A pFA is responsible for tracking movement of MN when a MN still resides in the same PA. For an active MN, it operates in the same manner as in MIP. That is, MN registers with its HA whenever it moves from one FA to another FA. For an idle MN, if it moves within a SPA it is not need to perform registration. Idle MN has to register its pFA with its HA only when it crosses PA boundary. If a MN moves across SPA but still in the same PA, it performs location update with its pFA to inform a pFA the address of new sub-pFA.

When there are packets routed to MN, HA forwards them to the MN's registered pFA. A pFA first inspects its record for that MN. If there is a record for that MN, a pFA further checks whether the MN resides in the same SPA or not. If MN is still in the same SPA, then a pFA checks the MN's state. If it is active, the pFA decapsulates packets and forwards them to MN directly. If the MN is in idle state, the pFA sends a paging request message to all FAs in the same SPA similar to P-MIP.

In the case that MN has already moved to another SPA within the same PA, pFA forwards all data packets to the recorded sub-pFA without buffering. When the sub-pFA receives these packets, it first checks its visitor list for the MN. If the record exists, this sub-pFA further checks a MN's state. If it is active, sub-pFA decapsulates packets and forwards them to MN. If the MN is in idle state, the pFA sends a paging request message to all FAs residing in the same SPA as mentioned above. After a MN receives registration reply from HA, it sends paging reply message to its previous sub-pFA. Then, the previous sub-pFA forwards buffered packets to the MN via the current FA, i.e. the new pFA.

Figure 1 illustrates a simple scenario of DLP-MIP where a PA consists of 16 FAs. A PA is partitioned into four SPAs, i.e. one SPA covers four FAs. Firstly, a MN moves into the PA and registers FA_1 with its HA, hence FA_1 is the MN's pFA. MN moves from FA_1 to FA_2 without registering because it is still in the same SPA. Next, a MN moves out of its current SPA to the FA_3. It detects that it has already crossed SPA but still resides in the same PA, so it sends a location update message to the pFA (FA_1) to inform its current sub-pFA's address (FA_3' s address). In a similar way, when a MN moves from FA_7 to FA_{11}, it performs location update with its pFA via FA_{11}. Assume that, when a MN resides in FA_{15}'s cell, there are packets destined to it. The MN's HA tunnels them to the FA_1. FA_1 first checks its record for the MN and finds that the MN's current sub-pFA is recorded as the FA_{11}. FA_1 suddenly sends all packets to the FA_{11}. After FA_{11} receives data packets, it then checks if it has a record or not and also MN's state. In this case, MN is in idle state, FA_{11} then sends paging request to FA_{12}, FA_{15} and FA_{16}. After that, all FAs in the SPA broadcasts paging request message in their own cells. When a MN receives this request, it registers its current location with its HA. Then HA routes all remaining packets to the MN via FA_{15}. At the same time, MN sends paging reply message to FA_{11}, asking for the buffered packets.

III. ANALYSIS OF TOTAL SIGNALING COST

We study total signaling cost of Mobile IP, P-MIP and DLP-MIP. We also investigate the performance of each scheme using the proposed signaling cost functions under variety of system conditions.

In this paper, the total signaling cost of the system is defined as the product of the weighted distance all the signaling messages pass and the signaling rate, therefore the unit of cost is weighted hops*packet/s.

For the analysis, the fluid flow mobility model is used as in [5]. We also assume that PAs, SPAs and wireless cells are square-shaped where in DLP-MIP, each PA consisting of n FAs (cells) is divided into n/m SPAs, that is each SPA contains m subnets. The perimeter of a cell is c_l. The perimeter of a SPA is $l(=c_l\sqrt{m})$ and the perimeter of a PA is $L(=c_l\sqrt{n})$. Mobile users move in uniformly distributed directions over $[0,2\pi]$ at an average velocity of v. The MN density (ρ) is assumed to be uniformly distributed over the considered area. The rate of cell boundary crossing r_c is $\rho v c_l/\pi$. The SPA boundary crossing rate r_{SPA} is $\rho v l/\pi$. The PA boundary crossing rate r_{PA} is $\rho v L/\pi$.

A. Standard Mobile IP (MIP)

Similar to [5], the total signaling cost function of Mobile IP could be represented as:

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

$$= d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})\left[\frac{\rho v c_l}{\pi} n + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n r_r\right] \quad (1)$$

where:

C_{MIP} is the total signaling cost of standard Mobile IP (weighted hops*packets/s).

$d_{FA,HA}$ is the average distance between FA and HA in terms of the number of hops.

R_{core} is the ratio of the number of hops in the core network to the total number of hops between a FA and a HA.

R_{local} is the ratio of the number of hops in local access networks to the total number of hops between a FA and a HA.

ω_{core} is the weight of each hop in the IP core network.

ω_{local} is the weight of each hop in local access network.

r_c is the cell crossing rate (mobile nodes/s).

ρ is the mobile node density (mobile nodes/m²).

n is the number of cells in a considered paging area.

v is the mobile node velocity (m/s).

c_l is the cell perimeter (m).

r_r is the average mobile node registration refresh rate which is associated with registration lifetime.

B. P-MIP with paging area size of n cells

We adopt and modify the signaling cost formula of P-MIP in [5] which does not account the cost of wireless communication used in paging procedure, hence the new signaling cost function is able to accurately capture all the system operations as expressed in (2).

$$C_p = d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})\big[(r_c n - r_{PA})\alpha$$
$$+ r_{PA} + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n r_r + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d)\big]$$
$$+ (n-1) d_{FA,FA}\omega_{local}\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)\lambda_a$$
$$+ \delta_{air}\left(\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)\lambda_a\right) n$$
$$= d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})\left[(\frac{\rho v c_l}{\pi} n - \frac{\rho v L}{\pi})\alpha\right.$$
$$\left. + \frac{\rho v L}{\pi} + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n r_r + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d)\right]$$
$$+ (n-1) d_{FA,FA}\omega_{local}\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)\lambda_a$$
$$+ \delta_{air}\left(\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)\lambda_a\right) n \quad (2)$$

where:

C_p is the total signaling cost of P-MIP.

$d_{FA,FA}$ is the average distance between FAs within a PA.

r_{PA} is the PA boundary crossing rate (mobile nodes/s).

α is the ratio of active mobile nodes to the total number of mobile nodes.

L is the paging area perimeter (m).

λ_a is the incoming data session rate of mobile node, it is also the paging rate for mobile node, from assumption (1/s).

λ_d is the outgoing data session rate of mobile node (1/s).

δ_{air} is the weight of wireless hop for paging.

C. Distributed Local Paging Scheme for MIP (DLP-MIP)

In DLP-MIP, each paging area consisting of n subnets is partitioned into n/m SPAs, i.e. each SPA contains m subnets.

$$C_{DLP} = d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})\big[(r_c n - r_{PA})\alpha$$
$$+ r_{PA} + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n r_r + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d)\big]$$
$$+ (m-1) d'_{FA,FA}\omega_{local}(1-\alpha)\lambda_a\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 m\left(\frac{n}{m}\right)$$
$$+ (1-\alpha) d_{FA,FA}\omega_{local}\left[\frac{n}{m} r_{SPA} - r_{PA}\right]$$
$$+ \delta_{air}\left(\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 m(1-\alpha)\lambda_a\right) m\left(\frac{n}{m}\right)$$
$$= d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})\left[(\frac{\rho v c_l}{\pi} n - \frac{\rho v L}{\pi})\alpha\right.$$
$$\left. + \frac{\rho v L}{\pi} + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n r_r + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d)\right]$$
$$+ (m-1) d'_{FA,FA}\omega_{local}(1-\alpha)\lambda_a\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 m\left(\frac{n}{m}\right)$$
$$+ (1-\alpha) d_{FA,FA}\omega_{local}\left[\frac{n}{m}\frac{\rho v l}{\pi} - \frac{\rho v L}{\pi}\right]$$
$$+ \delta_{air}\left(\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 m(1-\alpha)\lambda_a\right) m\left(\frac{n}{m}\right) \quad (3)$$

where:

C_{DLP} is the total signaling cost of DLP-MIP.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

m is the number of cells in a sub-paging area.

$d'_{FA,FA}$ is the average distance between FAs within a SPA.

r_{SPA} is the sub-paging area crossing rate (mobile nodes/s).

l is the sub-paging area perimeter (m).

From (3), the first long term, containing all short terms in the brackets represents the signaling cost of home registration caused by active MNs crossing cell boundary, MN crossing PA boundary, registration refresh and registration when there is incoming or outgoing data associated with idle MNs, respectively. The second and fourth long terms present signaling cost due to paging process in wired and wireless link, respectively. The third term in (3) is the location update cost when idle MNs move into another SPA within a PA.

In the analysis, refreshing cost is ignored as in [5] because we can adjust the registration lifetime in P-MIP and DLP-MIP to make their registration refresh cost in MIP, P-MIP and DLP-MIP equivalent. We normalized the signaling cost function to the weighted distance between a FA and a HA, i.e. $d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})$. Equation (1), (2), and (3) could be reduced to

$$C_{MIPn} = \frac{\rho v c_l}{\pi} n, \tag{4}$$

$$\begin{aligned} C_{pn} &= \left(\frac{\rho v c_l}{\pi} n - \frac{\rho v L}{\pi}\right)\alpha + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d) \\ &+ \frac{\rho v L}{\pi} + \frac{(n-1) d_{FA,FA}\, \rho (c_l/4)^2 n(1-\alpha)\lambda_a}{d_{FA,HA}(R_{core}R_w + R_{local})} \\ &+ \frac{\left(\sigma_{air}\, \rho (c_l/4)^2 n(1-\alpha)\lambda_a\right) n}{d_{FA,HA}(R_{core}R_w + R_{local})}, \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned} C_{DLPn} &= \left(\frac{\rho v c_l}{\pi} n - \frac{\rho v L}{\pi}\right)\alpha + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d) \\ &+ \frac{\rho v L}{\pi} + \frac{(m-1) d'_{FA,FA}\, \rho (c_l/4)^2 m(1-\alpha)\lambda_a}{d_{FA,HA}(R_{core}R_w + R_{local})} \cdot \frac{n}{m} \\ &+ \frac{(1-\alpha) d_{FA,FA}\left[\frac{n}{m}\frac{\rho v l}{\pi} - \frac{\rho v L}{\pi}\right]}{d_{FA,HA}(R_{core}R_w + R_{local})} \\ &+ \frac{\left(\sigma_{air}\, \rho (c_l/4)^2 m(1-\alpha)\lambda_a\right) m}{d_{FA,HA}(R_{core}R_w + R_{local})} \cdot \frac{n}{m} \end{aligned} \tag{6}$$

where:

R_w is the wired link hop weight ratio of ω_{core} to ω_{local}.

σ_{air} is the wireless link hop weight ratio of δ_{air} to ω_{local}.

R_w reflects the fact that transmission of signaling in the IP core network has different effect on the signaling cost in comparison to that in the access network. σ_{air} is also introduced to show that transmission cost over wireless link is higher than the transmission cost over the wired link.

IV. Analysis Results

We assume following configurations for analyzing systems. Systems have an average perimeter cell size of 4000 m, user density of 0.0002 user/m^2, and average MN velocity of 28.9 m/s. For the average number of hops between FAs within a PA which depends on the topology and size of a PA, we assume it to be $\sqrt{n}$. Similarly, $d'_{FA,FA}$ is $\sqrt{m}$. The number of hops between HA and FA, the hop weight ratio (R_w), wireless link hop weight ratio (σ_{air}), R_{core} and R_{local} are set to 16 hops, 8, 1, 0.5 and 0.5, respectively. The ratio of active MNs to the total number of MNs is 0.05. The incoming and the outgoing data session rate of MN are 0.0008/s. We compare our scheme with MIP and P-MIP. We denoted P-MIP-n, as a P-MIP which has n cells (DLP-MIP's PA size) in a PA and P-MIP-m, as a P-MIP with m cells (DLP-MIP's SPA size) in a PA.

As shown in Figure 2, the signaling cost of MIP increase linearly with the number of cells. This is because the more cells considered, the more registration cost due to cell boundary crossing. In case of P-MIP and DLP-MIP, under a certain value of PA size, signaling cost is reduced due to paging operation. However, when PA has a large number of cells, the additional paging cost grows quickly. From the figure, when P-MIP has more than 196 cells in a PA, signaling cost of P-MIP is higher than that of P-MIP. In contrast, the DLP-MIP can bring about considerable cost saving compared to P-MIP and its signaling cost also increases much slower than that of P-MIP with respect to PA size. When the σ_{air} is set to be 3, the signaling cost of P-MIP increases 16.5% compare with Fig. 2, while the signaling cost adds only 1.9% for DLP-MIP. Therefore, the proposed scheme can offer both low signaling cost and a wide range of applicable PA size for implementation.

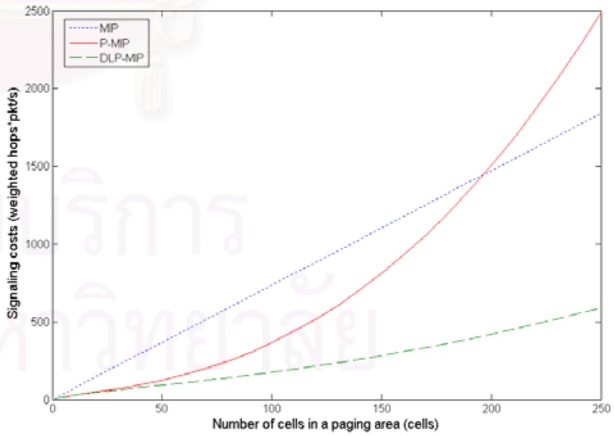


Figure 2. Effect of PA size on signaling cost .

Figure 3 plots the signaling cost as a function of hop weight ratio (R_w). We set a PA size to 36 cells and partition a PA into 4 SPAs. This form is also used in the following analysis. R_w shows the different impacts of signaling transmission in core and access networks. When R_w is small, signaling transmission in access network (paging and location update messages) and

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

signaling transmission in core network (registration signaling) have a similar effect on total cost. In contrast, when the ratio increases, the effect of signaling in access network decreases. Thus, in order to minimize total cost, we need paging to reduce number of signaling in core network. From the figure, P-MIP with 36 cells in a PA is very sensitive to hop weight ratio and the P-MIP with 9 cells in a PA has large signaling cost, while the DLP-MIP is better than P-MIP for any value of R_w. Our result shows that, DLP-MIP can reduce sensitivity of the system and total signaling cost compared with P-MIP.

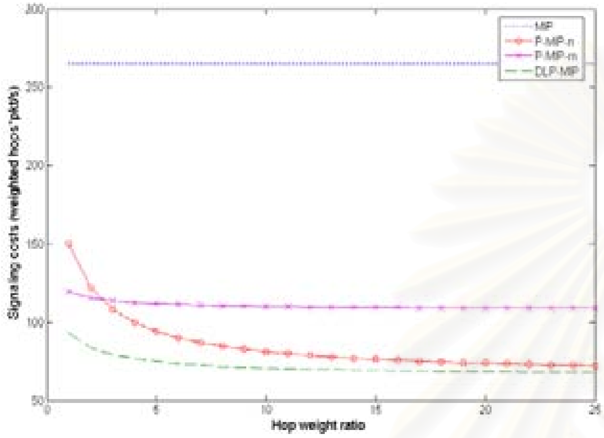


Figure 3. Effect of hop weight ratio on signaling cost.

The impact of MN speed on signaling cost is shown in Figure 4. When MNs move faster than a certain velocity, paging can reduce total signaling load. However, MIP has lower signaling cost than P-MIP, if users have low speed. From graph, the P-MIP with large PAs performs effectively in high speed environment, whereas the P-MIP with small PA size works effectively in low speed environment. In contrast, DLP-MIP performs better than P-MIP in both low and high speed environments, i.e. our scheme includes benefits from P-MIP with large PA size and P-MIP with small PA size.

When the number of cells in PA is optimized, using iterative algorithm similar to [6], DLP-MIP can further induce lower signaling cost than that of the optimal P-MIP. From figure 5, we assume the average velocity of MNs is 17.5 m/s and the data session rate is 0.0008/s. From iterative algorithm, the optimal number of cells in a PA is 25 cells; this optimal size gives the minimum cost among other PA sizes. In our DLP-MIP, we set 36 cells within a PA and partition a PA into 4 SPAs. Our result demonstrates that, DLP-MIP can further improve the performance up to 19% signaling cost saving over that of the optimal P-MIP when R_w is 8.

V. CONCLUSION

In this paper, we proposed a new mobility management scheme for Mobile IP that reduces the total signaling cost and the sensitivity of the system by partitioning a paging area into sub-paging area. We also investigate performance of the proposed scheme compared with the IETF Mobile IP and P-MIP. The analytical results show that the proposed DLP-MIP can offer considerably lower signaling cost than that of Mobile IP and P-MIP with different sizes in wide range of parameters. Even in the case that number of cells in a paging area is optimized in P-MIP, our scheme can further improve performance of the optimal P-MIP.

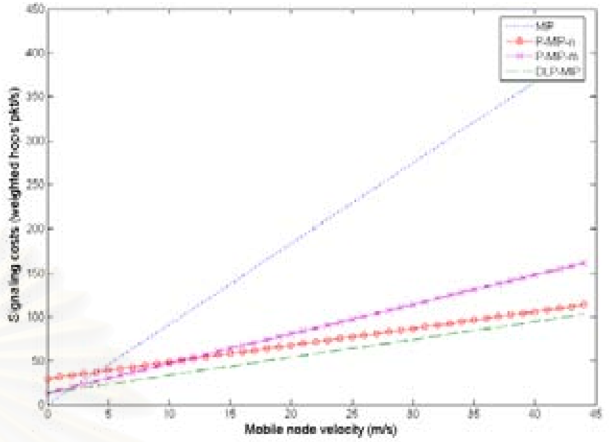


Figure 4. Effect of MN speed on signaling cost.

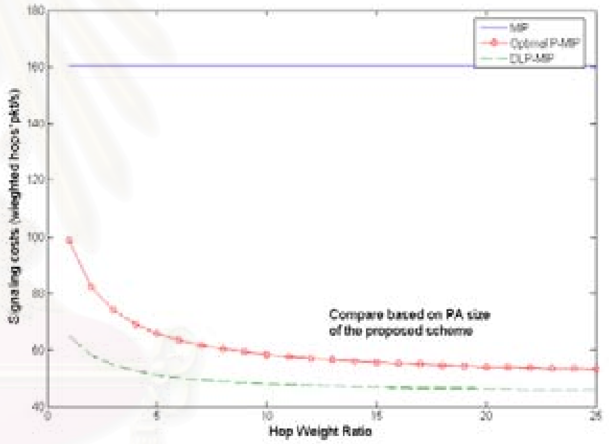


Figure 5. Effect of hop weight ratio on signaling cost with optimal P-MIP.

REFERENCES

[1] C. Perkins, "IP mobility support", RFC 2002, IETF .October 1996.

[2] C.E. Perkins, ed., "Mobile Networking Through Mobile IP," IEEE Internet Computing., vol.2, Issue: 1, Jan.-Feb., pp.58-69, 1998.

[3] E. Gustafsson, A. Jonsson, and C.E. Perkins, "Mobile IP Regional Registration," Internet draft, draft-ietf-mip4-reg-tunnel-03.txt, August 2006.

[4] J. Xie, and Ian F. Akyildiz, "A Novel Distributed Dynamic Location Management Scheme for Minimizing Signaling Costs in Mobile IP," IEEE Trans. on MobilCom, Vol.1, No. 3, Jul.- Sept. 2002.

[5] X. Zhang, J. G. Castellanos, and A. T. Cambell, "P-MIP:Paging Extensions for Mobile IP," IEEE Mobile Networks and App., vol.7, pp.127-141, 2002.

[6] C. Castellucia, "Extending Mobile IP with Adaptive Individual Paging: A Performance Analysis," Proc. IEEE Symp. Computer and Comm., pp. 113-118, 2000.

[7] Jiang Xie, " User Independent Paging Scheme for Mobile IP," Wireless Networks, vol.12, pp. 145-158, 2006.

An Efficient Mobility Management Scheme Using Configurable Sub-Paging Area in Mobile IP

Chotevit Techabanyat and Watit Benjapolakul
Department of Electrical Engineering
Chulalongkorn University
Bangkok, Thailand
chote082@hotmail.com, watit.b@eng.chula.ac.th

Abstract— **In this paper, we propose an efficient mobility management scheme for Mobile IP that can reduce both the system sensitivity to many parameters and the total signaling cost by configuring sub-paging area within paging area. The analytical results show that the proposed scheme performs better than conventional Mobile IP and Paging extensions for Mobile IP (P-MIP) with different paging area sizes in wide ranges of parameters. Also, our scheme enhances system robustness and decreases sensitivity of the system signaling cost to various parameters.**

I. INTRODUCTION

As the current demand for wireless access to internet applications increases significantly, it is very important to provide smooth ongoing communication service while moving. Mobile IP [1] has been proposed to be a standard protocol for global mobility management. Mobile IP (MIP) enables mobile nodes (MN) to maintain ongoing communication while moving, by using simple mechanism for routing IP packets to MNs. In this mechanism, MN's location is tracked by its home agent (HA) using two IP addresses. The first IP address is a permanent address which is called home address and another is called care-of address (CoA) which is a temporary address used by MN in a foreign network. However, there are several aspects that need to be solved [2]. One of the significant problems is the excessive signaling overhead and power consumption of MNs.

Recently, several proposals have been developed to improve performance of MIP. Mobile IP Regional Registration [3] is proposed to reduce the number of signaling overhead to the home network and the signaling latency when an MN changes point of attachment to internet. It uses hierarchical model and separates local mobility from global mobility. When an MN first visits a regional network, it performs a home registration with its HA. Then, HA binds CoA of MN, which is the address of gateway foreign agent (GFA), to the MN's home address. When an MN changes foreign agent (FA) under the same GFA, it just performs a regional registration with GFA.

However, because of its centralized system architecture, this protocol is sensitive to failure of GFA and the scalability of the system is limited by the capability of this central node. To solve these problems, a distributed dynamic location management scheme [4] is proposed. This protocol distributes signaling load to all FAs which can function as a GFA. The regional network boundary is dynamically adjusted according to the current mobility and traffic characteristics of each MN. Another mobility management scheme is adaptive location management scheme [5]. In the scheme, size of network is not calculated in advance as in [4] but it is determined along the communication by the GFA whether to perform regional registration or home registration using the cost function. Nonetheless, these schemes do not improve the power consumed by MNs or signaling overhead in access network.

Paging, an approach that allows a wireless system to locate an idle MN when there is a data session routed for it, is introduced to support mobility management in P-MIP [6]. From analysis and simulation results, this approach can reduce overall signaling cost. However, P-MIP is not always better than MIP because paging procedure introduces additional signaling overhead. There exists tradeoff between registration cost and paging cost. For the system with bigger paging area (PA) size, an MN tends to perform registration less frequently, then the registration cost is reduced, whereas the paging cost increases. Therefore, calculating the optimal PA size is very critical.

In [7], the authors proposed an adaptive paging scheme. In this scheme, each MN frequently computes its optimal PA using an iterative algorithm and a PA is adaptive on per-mobile basis. Nevertheless, the employment of adaptability in practice is apparently not efficient because some of the input parameters used in the optimization process are difficult for MN to determine. More precisely, the input parameters may not be available in practice, hence they are predicted and estimated based on user movement and call pattern histories. This can not reflect the up-to-date values and due to randomness of user mobility, the estimation sometimes cannot accurately present real characteristics of MNs. In case that system need not find MNs immediately, multi-step paging scheme are preferable as in [8]. User Independent Paging scheme adopts multi-step paging where paging sequence is determined by mobility rate, the movement of all users, not based on individual user data.

In this paper, we propose an efficient mobility management scheme that can reduce both the total signaling cost and the sensitivity of the system with many system and user parameters. This paper is organized as follows. Section II discusses overview of P-MIP and our proposed scheme.

Section III evaluates the signaling cost function of MIP, P-MIP and the proposed scheme. Section IV presents the analysis results. Finally, section V concludes the paper.

II. Overview of P-MIP and Distributed Local paging scheme

Since P-MIP can improve both the signaling overhead and the power consumed by MNs and it can be implemented easily in real network, our scheme is proposed based on this protocol.

A. Paging Extensions for Mobile IP (P-MIP)

P-MIP adopted paging into MIP environment to reduce total signaling cost, associated with registration and location system database updates, and power consumption of MNs. In this protocol, an active MN operates exactly the same as in MIP. When an active MN moves from one subnet to another subnet, it registers with its HA. For an idle MN, whenever it moves within the same PA, it need not to perform registration. It requires to register its new location with its HA when it changes to a new PA. In this approach, the first FA in PA that an MN visited will be registered by MN at MN's HA. This registered FA is called paging FA (pFA).

When there are packets destined to MN, they are routed to MN's home network. HA intercepts and forwards them to the pFA. A pFA first inspects its record for that MN. If the record exists, the pFA further checks MN's operation state. If the MN is in active state, the pFA decapsulates packets and forwards them to MN directly. If the MN is in idle state, the pFA sends a paging request message to all FAs in the same PA and simultaneously broadcasts this paging request message in its own cell. Other FAs receiving this message also broadcast in their own cells. When an MN receives a paging request message, it performs registration with its HA via the current FA. HA then sends registration reply and forwards all remaining packets to this new registered FA. After receiving reply message from HA, MN sends paging reply message to the previous pFA to notify it the current location of MN, then the previous pFA can forward all buffered packets to the MN.

B. Distributed Local Paging Scheme for MIP (DLP-MIP)

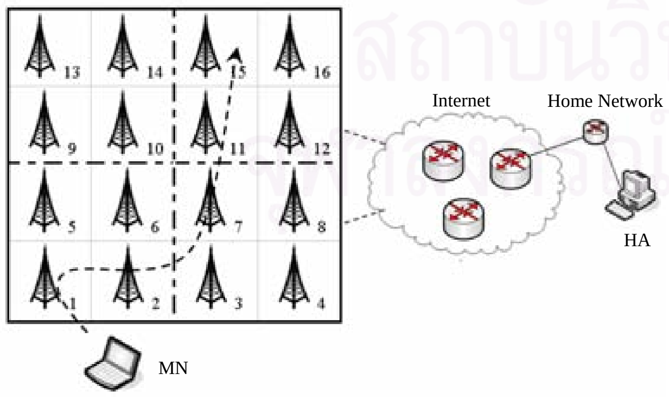


Figure 1. Distributed Local Paging scenario for MIP.

We call our proposed scheme the Distributed Local Paging Scheme for MIP (DLP-MIP). The proposed scheme is motivated by the observation that in actual situation, mobility and communication patterns of mobile users vary and P-MIP is not appropriate for this condition. Therefore, what we want is the system that not only has low signaling cost, but also works effectively in wide range of parameters.

In the proposed Distributed Local Paging scheme, PAs are partitioned into sub-paging area (SPA) in order to minimize paging cost in the system. We also assume that all FAs support paging, that is all FAs can perform as pFA as in [6]. The first FA in a PA that an MN visited will be registered by the MN as the pFA of that MN. A pFA is responsible for tracking movement of MN when the MN still resides in the same PA. For an active MN, it operates in the same manner as in MIP. That is, MN registers with its HA whenever it moves from one FA to another FA. For an idle MN, if it moves within an SPA it need not to perform registration. Idle MN has to register its pFA with its HA only when it crosses PA boundary. If the MN moves across SPA but still in the same PA, it performs location update with its pFA to inform the pFA the address of new sub-pFA.

When there are packets routed to MN, HA forwards them to the MN's registered pFA. A pFA first inspects its record for that MN. If there is a record for that MN, the pFA further checks whether the MN resides in the same SPA or not. If MN is still in the same SPA, then the pFA checks the MN's state. If it is active, the pFA decapsulates packets and forwards them to MN directly. If the MN is in idle state, the pFA sends a paging request message to all FAs in the same SPA.

In the case that MN has already sent a location update message to the pFA, pFA forwards all data packets to the recorded sub-pFA without buffering. When the sub-pFA receives these packets, it first checks its visitor list for the MN. If the record exists, this sub-pFA sends a paging request message to all FAs residing in the same SPA as mentioned above. After the MN receives registration reply from HA, it sends paging reply message to its previous sub-pFA. Then, the previous sub-pFA forwards buffered packets to the MN via the current FA, i.e. the new pFA.

Figure 1 illustrates a simple scenario of DLP-MIP where a PA consists of 16 FAs. The PA is partitioned into four SPAs, i.e. one SPA covers four FAs. Firstly, an MN moves into the PA and registers FA_1 with its HA, hence FA_1 is the MN's pFA. Then, the MN moves from FA_1 to FA_2 without registration because it is still in the same SPA. Next, the MN moves out of its current SPA to FA_3. MN detects that it has already crossed SPA but still resides in the same PA, so it sends a location update message to the pFA (FA_1) to inform its current sub-pFA's address (FA_3' s address). In a similar way, when the MN moves from FA_7 to FA_{11}, MN performs location update with its pFA via current sub-pFA (FA_{11}). Assume that, when the MN resides in FA_{15}'s cell, there are packets destined to it. The MN's HA tunnels them to the FA_1. FA_1 first checks its record for the MN and finds that the MN's current sub-pFA is recorded as FA_{11}. The FA_1 suddenly sends all packets to the FA_{11}. After FA_{11} receives data packets, FA_{11} then checks if it has a record or not. If the record for the MN exists, FA_{11} then sends paging request to FA_{12}, FA_{15} and FA_{16}. After that, all FAs in the SPA broadcast paging messages in their own cells. When

the MN receives this request, it registers its current location with its HA. Then HA routes all remaining packets to the MN via FA_{15}. At the same time, the MN sends paging reply message to FA_{11}, asking for the buffered packets.

III. Analysis of total Signaling Cost

We study total signaling cost of Mobile IP, P-MIP and Distributed Local Paging Scheme for Mobile IP. We also investigate the performance of each scheme using the proposed signaling cost functions under variety of system conditions.

In this paper, the total signaling cost of the system is defined as the product of the weighted distance all the signaling messages pass with the signaling rate, therefore the unit of cost is weighted hops*packet/s.

For the analysis, we assume that successive calls are not overlapped, i.e. MN always finishes a call then turns into idle mode before the next call arrival and the fluid flow mobility model is used as in [6]. We also assume that PAs, SPAs and wireless cells are square-shaped. In the DLP-MIP, each PA consisting of n FAs (cells) is divided into n/m SPAs, that is each SPA contains m subnets. The perimeter of a cell is c_l. The perimeter of an SPA is l and the perimeter of a PA is L, where $l = c_l\sqrt{m}$ and $L = c_l\sqrt{n}$ respectively. Mobile users move in uniformly distributed directions over $[0,2\pi]$ at an average velocity of v.The MN density (ρ) is assumed to be uniformly distributed over the considered area. The rate of cell boundary crossing r_c is $\rho v c_l/\pi$. The SPA boundary crossing rate r_{SPA} is $\rho v l/\pi$. The PA boundary crossing rate r_{PA} is $\rho v L/\pi$.

A. Standard Mobile IP (MIP)

Similar to [6], the total signaling cost function of conventional Mobile IP could be represented as:

$$C_{MIP} = d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})\left[r_c n + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n r_r\right]$$
$$= d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})\left[\frac{\rho v c_l}{\pi} n + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n r_r\right] \quad (1)$$

where:

C_{MIP} is the total signaling cost of standard Mobile IP (weighted hops*packets/s).

$d_{FA,HA}$ is the average distance between FA and HA in terms of the number of hops.

R_{core} is the ratio of the number of hops in the core network to the total number of hops between a FA and a HA.

R_{local} is the ratio of the number of hops in local access networks to the total number of hops between a FA and a HA.

ω_{core} is the weight of each hop in the IP core network.

ω_{local} is the weight of each hop in local access network.

r_c is the cell crossing rate (mobile nodes/s).

ρ is the mobile node density (mobile nodes/m^2).

n is the number of cells in a considered paging area.

v is the mobile node velocity (m/s).

c_l is the cell perimeter (m).

r_r is the average mobile node registration refresh rate which is associated with registration lifetime and registration triggered for other reasons (e.g., by an agent advertisement).

B. P-MIP with paging area size of n cells

We adopt and modify the signaling cost formula of P-MIP in [6] which does not account the cost of wireless communication used in paging procedure, hence our new signaling cost function is able to more accurately capture all the system operations as expressed in (2)

$$\begin{aligned}
C_p &= d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})\Big[(r_c n - r_{PA})\alpha \\
&\quad + r_{PA} + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n r_r + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d)\Big] \\
&\quad + (n-1) d_{FA,FA}\omega_{local}\,\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)\lambda_a \\
&\quad + \delta_{air}\left(\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)\lambda_a\right) n \\
&= d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})\Big[\left(\frac{\rho v c_l}{\pi} n - \frac{\rho v L}{\pi}\right)\alpha \\
&\quad + \frac{\rho v L}{\pi} + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n r_r + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d)\Big] \\
&\quad + (n-1) d_{FA,FA}\omega_{local}\,\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)\lambda_a \\
&\quad + \delta_{air}\left(\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)\lambda_a\right) n
\end{aligned} \quad (2)$$

where:

C_p is the total signaling cost of P-MIP.

$d_{FA,FA}$ is the average distance between FAs within a PA (hops).

r_{PA} is the PA boundary crossing rate (mobile nodes/s).

α is the ratio of active mobile nodes to the total number of mobile nodes (active ratio).

L is the paging area perimeter (m).

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

λ_a is the incoming data session rate of mobile node, it is also the paging rate for mobile node, from assumption (1/s).

λ_d is the outgoing data session rate of mobile node (1/s).

δ_{air} is the weight of wireless hop for paging.

In (2), signaling cost of P-MIP comprises of three parts. The first part is the registration cost induced when active MNs change subnet, MNs cross PA boundary, registration refresh or there are incoming or outgoing packets to or from idle MNs. The second parts in the equation express the paging cost in wired link, while the third part is additionally introduced by us to capture the signaling cost due to paging in wireless interface.

C. Distributed Local Paging Scheme for MIP (DLP-MIP)

In DLP-MIP, each paging area consisting of n subnets is partitioned into n/m SPAs, i.e. each SPA contains m subnets.

$$
\begin{aligned}
C_{DLP} &= d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})\big[(r_c n - r_{PA})\alpha \\
&\quad + r_{PA} + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n r_r + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d)\big] \\
&\quad + (m-1)d'_{FA,FA}\omega_{local}(1-\alpha)\lambda_a\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 m\left(\frac{n}{m}\right) \\
&\quad + (1-\alpha)d_{FA,FA}\omega_{local}\left[\frac{n}{m}r_{SPA} - r_{PA}\right] \\
&\quad + \delta_{air}\left(\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 m(1-\alpha)\lambda_a\right)m\left(\frac{n}{m}\right) \\
&= d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})\Big[\left(\frac{\rho v c_l}{\pi}n - \frac{\rho v L}{\pi}\right)\alpha \\
&\quad + \frac{\rho v L}{\pi} + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n r_r + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d)\Big] \\
&\quad + (m-1)d'_{FA,FA}\omega_{local}(1-\alpha)\lambda_a\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 m\left(\frac{n}{m}\right) \\
&\quad + (1-\alpha)d_{FA,FA}\omega_{local}\left[\frac{n}{m}\frac{\rho v l}{\pi} - \frac{\rho v L}{\pi}\right] \\
&\quad + \delta_{air}\left(\rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 m(1-\alpha)\lambda_a\right)m\left(\frac{n}{m}\right) \qquad (3)
\end{aligned}
$$

where:

C_{DLP} is the total signaling cost of DLP-MIP.

m is the number of cells in a sub-paging area.

$d'_{FA,FA}$ is the average distance between FAs within an SPA (hops).

r_{SPA} is the sub-paging area crossing rate (mobile nodes/s).

l is the sub-paging area perimeter (m).

From (3), the first long term, containing all short terms in the brackets represents the signaling cost of home registration caused by active MNs crossing cell boundary, MN crossing PA boundary, registration refresh and registration when there is incoming or outgoing data associated with idle MNs, respectively. The second and fourth long terms present signaling cost due to paging process in wired and wireless link, respectively. The third term in (3) is the location update cost when idle MNs move into another SPA within a PA.

For registration refresh rate, we can adjust the registration lifetime in P-MIP and DLP-MIP to make the registration refresh cost in MIP, P-MIP and DLP-MIP equivalent. Thus, in the analysis, refreshing cost is ignored as in [6]. We normalized the signaling cost functions to the weighted distance between a FA and a HA, i.e. $d_{FA,HA}(R_{core}\omega_{core} + R_{local}\omega_{local})$. Equation (1), (2), and (3) could be reduced to

$$C_{MIPn} = \frac{\rho v c_l}{\pi}n, \qquad (4)$$

$$
\begin{aligned}
C_{pn} &= \left(\frac{\rho v c_l}{\pi}n - \frac{\rho v L}{\pi}\right)\alpha + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d) \\
&\quad + \frac{\rho v L}{\pi} + \frac{(n-1)d_{FA,FA}\rho(c_l/4)^2 n(1-\alpha)\lambda_a}{d_{FA,HA}(R_{core}R_w + R_{local})} \\
&\quad + \frac{\left(\sigma_{air}\rho(c_l/4)^2 n(1-\alpha)\lambda_a\right)n}{d_{FA,HA}(R_{core}R_w + R_{local})}, \qquad (5)
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
C_{DLPn} &= \left(\frac{\rho v c_l}{\pi}n - \frac{\rho v L}{\pi}\right)\alpha + \rho\left(\frac{c_l}{4}\right)^2 n(1-\alpha)(\lambda_a + \lambda_d) \\
&\quad + \frac{\rho v L}{\pi} + \frac{(m-1)d'_{FA,FA}\rho(c_l/4)^2 m(1-\alpha)\lambda_a}{d_{FA,HA}(R_{core}R_w + R_{local})}\cdot\frac{n}{m} \\
&\quad + \frac{(1-\alpha)d_{FA,FA}\left[\frac{n}{m}\frac{\rho v l}{\pi} - \frac{\rho v L}{\pi}\right]}{d_{FA,HA}(R_{core}R_w + R_{local})} \\
&\quad + \frac{\left(\sigma_{air}\rho(c_l/4)^2 m(1-\alpha)\lambda_a\right)m}{d_{FA,HA}(R_{core}R_w + R_{local})}\cdot\frac{n}{m} \qquad (6)
\end{aligned}
$$

where:

R_w is the wired link hop weight ratio of ω_{core} to ω_{local}.

σ_{air} is the wireless link hop weight ratio of δ_{air} to ω_{local}.

R_w reflects the fact that transmission of signaling in the IP core network has different effect on the signaling cost in comparison with that in the access network. σ_{air} is also introduced to show that transmission cost over wireless link is higher than the transmission cost over the wired link.

IV. Analysis Results

We assume following configurations for analyzing systems. Based on the macro cellular system architecture, systems have an average perimeter cell size of 4000 m, user density of 0.0002 user/m^2, and average MN speed of 28.9 m/s. For the average number of hops between FAs within a PA ($d_{FA,FA}$) which depends on the topology and size of the PA, we simply

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

assume it to be $\sqrt{n}$. Similarly, $d'_{FA,FA}$ is $\sqrt{m}$. The number of hops between HA and FA ($d_{FA,HA}$), the hop weight ratio (R_w), wireless link hop weight ratio (σ_{air}), R_{core} and R_{local} are set to be 16 hops, 8, 1, 0.5 and 0.5, respectively. The ratio of active MNs to the total number of MNs is 0.05. The incoming and the outgoing data session rate of MNs are 0.0008/s. We compare our scheme with MIP and P-MIP with different PA sizes. We denoted P-MIP-n, as the P-MIP which has n cells (DLP-MIP's PA size) in a PA and P-MIP-m, as the P-MIP with m cells (DLP-MIP's SPA size) in a PA.

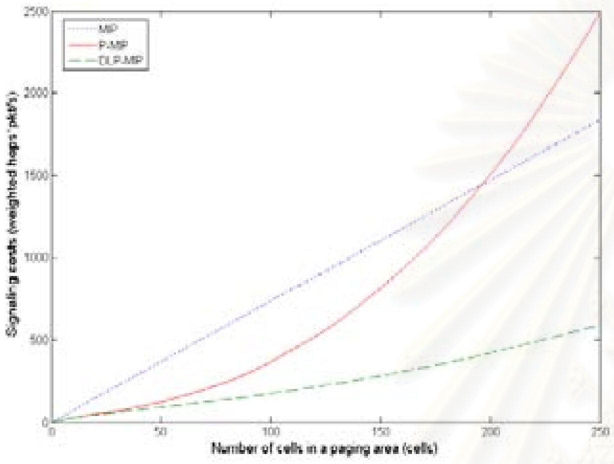


Figure 2. Effect of PA size (the number of cells in a paging area) on signaling cost for MIP, P-MIP and DLP-MIP.

As shown in Figure 2, the signaling cost of MIP increases linearly with the number of cells in a paging area. This is because the more cells considered, the more registration cost due to cell boundary crossing. In case of P-MIP and DLP-MIP, under a certain value of PA size, signaling cost is reduced compared with that of MIP due to paging operation. However, when PA has a large number of cells, the additional paging cost grows quickly. From the figure, when P-MIP has more than 196 cells in a PA, signaling cost of P-MIP is higher than that of P-MIP. In contrast, the DLP-MIP can bring about considerable cost saving compared with P-MIP and its signaling cost also increases much slower than that of MIP with respect to PA size. When PA size is 36 cells and the σ_{air} is set to be 3, the signaling cost of P-MIP increases 6.5% compared with Figure 2, while the signaling cost adds only 1.9% for the DLP-MIP. Therefore, the proposed scheme can offer both low signaling cost and a wide range of applicable PA size for implementation.

The impact of MN velocity on signaling cost is shown in Figure 3. We set the PA size to 36 cells (n = 36) and partition the PA into 4 SPAs (m = 9). This form is also used in the following analysis. When the PA size is 36 cells, as MNs move faster than a certain velocity, paging can reduce total signaling load. However, MIP has lower signaling cost than P-MIP, if users have low speed. From Figure 3, the P-MIP with large PAs (36 cells) performs effectively in high speed environment, whereas the P-MIP with small PA size (9 cells) works effectively in low speed environment. In contrast, DLP-MIP performs better than P-MIP in both low and high speed environments, i.e. our scheme includes benefits from P-MIP with large PA size and P-MIP with small PA size.

Figure 4 shows the signaling cost when users have varying average distance between FA and HA. The proposed scheme and P-MIP with small PA size have almost constant signaling cost, but the signaling cost of the P-MIP with large PA size considerably sensitive to $d_{FA,HA}$. DLP-MIP can significantly outperform P-MIP scheme and the cost saving may be as high as 15% compared with P-MIP with large PA and 35% compared with P-MIP with small PA, when $d_{FA,HA}$ is 16 hops.

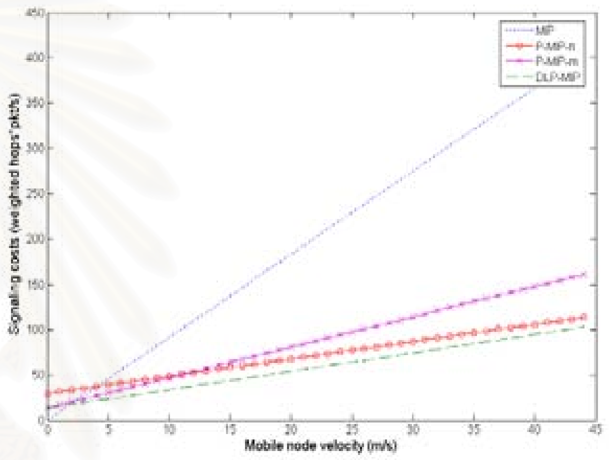


Figure 3. Effect of MN velocity on signaling cost for MIP, P-MIP and DLP-MIP.

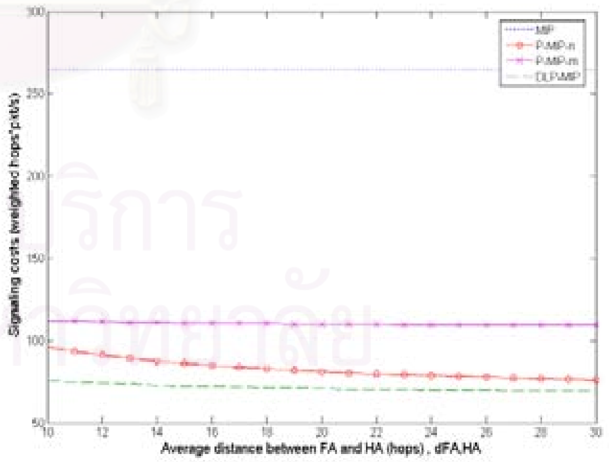


Figure 4. Effect of average distance between FA and HA on signaling cost for MIP, P-MIP and DLP-MIP.

Figure 5 plots the signaling cost as a function of data session rate (λ_a). Because data session rate of users is directly related to the paging cost of the system and it can be time

varying parameter, it is very important to consider effect of this parameter in the network design process. We can see that when users have low data session rate, P-MIP with large PA size (P-MIP-n) can improve the performance compared with P-MIP with small PA size (P-MIP-m). This is because P-MIP with large PA size can much save registration cost due to PA boundary crossing. However, when data session rate increases, signaling cost of this protocol grows quickly. In the case that users have high data session rate, P-MIP with small PA performs effectively, because paging messages will be broadcasted in small number of cells. For the DLP-MIP, it has lower signaling cost than that of P-MIP in most of the case, except the case that data session rate is extremely small which rarely occurs in normal situation.

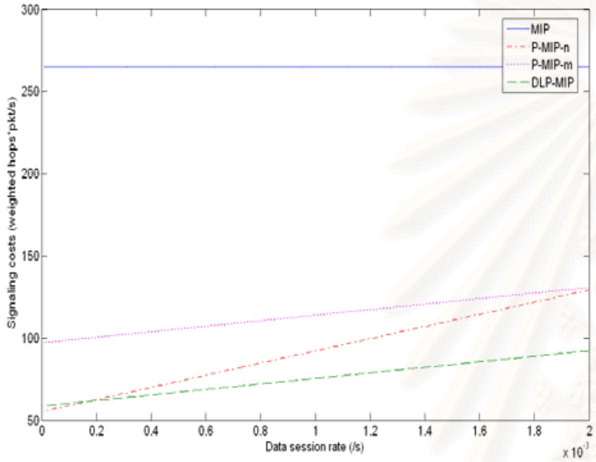


Figure 5. Effect of data session rate on signaling cost for MIP, P-MIP and DLP-MIP.

Ratio of active mobile nodes to the total number of mobile nodes (active ratio) directly affects total signaling overhead of the system. From Figure 6, signaling cost of P-MIP and DLP-MIP increases linearly with the active ratio. When α is equal to 1, signaling costs of MIP, P-MIP and DLP-MIP are the same, since all users are in active state so all operate in the same manner as in MIP. In contrast, the signaling cost of MIP remains unchanged as it performs the same to active MNs and idle MNs.

Further performance investigation about the effect of hop weight ratio on signaling cost for MIP, P-MIP and DLP-MIP can be found in [9]. In that paper, we also compare our proposed scheme with the optimal P-MIP which has optimized paging area size under a variety of R_w values.

V. Conclusion

In this paper, we proposed an effective mobility management scheme for Mobile IP that reduces the total signaling cost and the sensitivity of the system by partitioning a paging area into sub-paging area. We also investigate performance of the proposed scheme and compare with the Mobile IP and P-MIP. The analytical results show that the proposed DLP-MIP can offer considerably lower signaling cost than that of Mobile IP and P-MIP with different paging area sizes in wide range of parameters.

Moreover, in the situation that mobility and communication patterns of users vary, which appears in actual networks, our results also demonstrate that DLP-MIP can reduce system sensitivity to various user and system parameters.

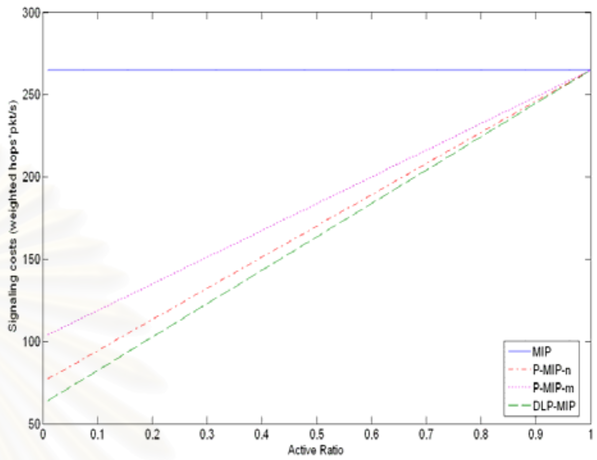


Figure 6. Effect of active ratio on signaling cost for MIP, P-MIP and DLP-MIP.

Acknowledgments

The authors wish to thank Sidkonkuti Supporting Fund of Department of Electrical Engineering, Chulalongkorn University and the AUN/SEED-Net's Collaborative Research Support Project for support on this research work.

References

[1] C. Perkins, "IP mobility support", RFC 2002, IETF .October 1996.

[2] C.E. Perkins, ed., "Mobile Networking Through Mobile IP," IEEE Internet Computing., vol.2, Issue: 1, Jan.-Feb., pp.58-69, 1998.

[3] E. Gustafsson, A. Jonsson, and C.E. Perkins, "Mobile IP Regional Registration," Internet draft, draft-ietf-mip4-reg-tunnel-03.txt, August 2006.

[4] J. Xie, and Ian F. Akyildiz, "A Novel Distributed Dynamic Location Management Scheme for Minimizing Signaling Costs in Mobile IP," IEEE Trans. on MobilCom, Vol.1, No. 3, Jul.- Sept. 2002.

[5] H. W. Kim, S. J. Hong and J. Kim, "Adaptive Location Management Scheme for Mobile IP," Proceedings of the PerCom 2005 Workshops, 2005.

[6] X. Zhang, J. G. Castellanos, and A. T. Cambell, "P-MIP:Paging Extensions for Mobile IP," IEEE Mobile Networks and App., vol.7, pp.127-141, 2002.

[7] C. Castellucia, "Extending Mobile IP with Adaptive Individual Paging: A Performance Analysis," Proc. IEEE Symp. Computer and Comm., pp. 113-118, 2000.

[8] J. Xie, " User Independent Paging Scheme for Mobile IP," Wireless Networks, vol.12, pp. 145-158, 2006.

[9] C. Techabanyat and W. Benjapolakul, "Distributed Local Paging Scheme for Mobility Management in Mobile IP," Proceedings of IEEE WOCN 2007 (CD-ROM), 2007.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายโชติวิทย์ เตชะบัญญัติ เกิดเมื่อวันที่ 17 พฤศจิกายน พ.ศ. 2527 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเซนต์คาเบรียล และสำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ 2) สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2548 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2549

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย