แบบแผนเพจจิงท้องถิ่นแบบกระจายโดยปรับเปลี่ยนตามผู้ใช้แต่ละคน เพื่อลดต้นทุนการสัญญาณในโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่

นายสุรกิต ปังวัฒนกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2554

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

ADAPTIVE INDIVIDUAL DISTRIBUTED LOCAL PAGING SCHEME FOR REDUCING SIGNALING COSTS IN MOBILE IP

Mr. Surakit Pangwattanakul

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 2011

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	แบบแผนเพจจิงท้องถิ่นแบบกระจายโดยปรับเปลี่ยนตามผู้ใช้แต่ละคนเพื่อลดต้นทุนการสัญญาณในโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่
โดย	นายสุรกิต ปังวัฒนกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

…….. คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……. ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ)

…….. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

……. กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชาวน์ดิศ อัศวกุล)

……. กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.บงการ หอมนาน)

สุรกิต ปังวัฒนกุล : แบบแผนเพจจิงท้องถิ่นแบบกระจายโดยปรับเปลี่ยนตามผู้ใช้แต่ละคนเพื่อลดต้นทุนการสัญญาณในโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่. (ADAPTIVE INDIVIDUAL DISTRIBUTED LOCAL PAGING SCHEME FOR REDUCING SIGNALING COSTS IN MOBILE IP) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร.วาทิต เบญจพลกุล, 79 หน้า.

โพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ (Mobile IP) มีปัญหาที่สำคัญอย่างหนึ่ง คือ ปัญหาต้นทุนการสัญญาณที่มีปริมาณมากในระบบ สำหรับโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ซึ่งใช้กระบวนการเพจเข้ามาช่วยในการหาตำแหน่งของผู้ใช้นั้น ขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจ (Paging Area) มีความสำคัญต่อต้นทุนการสัญญาณในระบบ จึงจำเป็นต้องกำหนดขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจให้เหมาะสม ซึ่งขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ของโนดเคลื่อนที่ในระบบ โดยโนดเคลื่อนที่แต่ละตัวจะมีค่าพารามิเตอร์ที่หลากหลายแตกต่างกันไป ทำให้ขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจที่เหมาะสมสำหรับโนดเคลื่อนที่แต่ละตัวนั้นแตกต่างกันไปด้วย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้เสนอวิธีปรับปรุงการทำงานของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ ในกรณีที่มีการแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นพื้นที่การเพจย่อย (Sub-Paging Area) เพื่อลดต้นทุนการสัญญาณภายในระบบให้ลดลง โดยอาศัยการสร้างสมการคำนวณหาขนาดพื้นที่เพจกับพื้นที่เพจย่อยที่เหมาะสม จากค่าพารามิเตอร์ความเร็วเฉลี่ยและอัตราเซสชันของข้อมูล รวมถึงออกแบบวิธีการสร้างรูปร่างของพื้นที่เพจกับพื้นที่เพจย่อยที่เหมาะสม จากรูปแบบในการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่ กำหนดให้ตัวแทนต่างบ้าน (FA) ทำการคำนวณขนาดและออกแบบรูปร่างของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยใหม่ทุกครั้งที่โนดเคลื่อนที่ทำการลงทะเบียนหรือทำการแจ้งเปลี่ยนตำแหน่ง เพื่อประสิทธิภาพในการลดต้นทุนการสัญญาณในระบบ

ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าวิธีที่เสนอมีต้นทุนการสัญญาณภายในระบบที่ต่ำกว่าวิธี Mobile IP, Paging Extension for Mobile IP (P-MIP), Distributed Individual Paging Extension for Mobile IP in IP-based Cellular Network (DIP-MIP), An Adaptive Per-Host IP Paging Architecture (APH-MIP) และ Distributed Local Paging Mobile IP (DLP-MIP) สำหรับการเคลื่อนที่แบบต่างๆในช่วงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ นอกจากนี้วิธีที่เสนอยังช่วยลดความไว (sensitivity) ของต้นทุนการสัญญาณในระบบที่มีต่อพารามิเตอร์ต่างๆของระบบได้

ภาควิชา : วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา: วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2554

5270706521 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEYWORDS : MOBILE IP / PAGING AREA / SIGNALING COST

SURAKIT PANGWATTANAKUL : ADAPTIVE INDIVIDUAL DISTRIBUTED LOCAL PAGING SCHEME FOR REDUCING SIGNALING COSTS IN MOBILE IP ADVISOR : ASSOC. PROF. WATIT BENJAPOLAKUL, D. Eng., 79 pp.

Mobile IP has one of the main problems that is the excessive signaling cost. For Paging Mobile IP (P-MIP), size and shape of paging area is significant for the system signaling cost. So appropriate size and shape of paging area determination is necessary. Each Mobile Node (MN) has different parameters. Therefore appropriate size and shape of paging area for each Mobile Node is also different.

This research proposes a new mobility management scheme for Mobile IP that has sub-paging areas within a paging area for reducing system signaling cost by creating equations to find appropriate paging area and sub-paging areas size from Mobile Node's average speed and data session rate including to design appropriate paging area and sub-paging areas shape from Mobile Node's moving pattern. By assigning Foreign Agent (FA) to compute paging area and sub-paging areas size and to design paging area and sub-paging areas shape every time when Mobile Node performs registration or updates location, system signaling cost can be reduced.

The simulation results show that the proposed scheme performs better than Mobile IP, Paging Extension for Mobile IP (P-MIP), Distributed Individual Paging Extension for Mobile IP in IP-based Cellular Network (DIP-MIP), An Adaptive Per-Host IP Paging Architecture (APH-MIP) and Distributed Local Paging Mobile IP (DLP-MIP) with wide ranges of parameters. Also, our scheme decreases sensitivity of the system signaling cost with respect to various parameters.

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

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

Academic Year : 2011

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ จากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล ที่ได้ให้ความรู้ ข้อคิดเห็น คำแนะนำ และชี้แนวทางในการปรับปรุง อันเป็นประโยชน์ต่อการวิจัย อีกทั้งช่วยตรวจทานงานวิทยานิพนธ์ด้วยดีเสมอมา ตลอดจนอาจารย์ทุกๆ ท่านที่ได้ให้ความรู้ ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์กับงานวิจัย ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้สละเวลาอันมีค่าพร้อมทั้งให้คำแนะนำและแนวทางในการปรับปรุงงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ร่วมห้องปฏิบัติการวิจัยระบบโทรคมนาคม ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำที่ดีเสมอมา ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและห้องปฏิบัติการวิจัยระบบโทรคมนาคม ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และสิ่งอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย ขอขอบคุณ AUN/SEED-Net ที่สนับสนุนเงินทุนและเครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการทำงานวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบคุณ บิดา มารดา ที่คอยสนับสนุน และเป็นกำลังใจที่ดี ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จได้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญภาพ ..... ฌ

บทที่

1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 4
1.3 แนวทางวิทยานิพนธ์ 4
1.4 ขอบเขตและเป้าหมายของวิทยานิพนธ์ 5
1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ 5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6
2 หลักการทำงานของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7
2.1 โครงสร้างของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ 7
2.2 หลักการทำงานของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ 8
2.3 กระบวนการค้นหาตัวแทน (Mobile Agent Discovery) 10
2.3.1 รูปแบบข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทน (Agent Solicitation) 10
2.3.2 รูปแบบข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement) 11
2.4 กระบวนการลงทะเบียน (Registration) 15
2.5 กระบวนการรับและส่งแพ็กเกตของโนดเคลื่อนที่ (Routing and tunneling) 20
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 22
2.6.1 Paging Extension for Mobile IP (P-MIP) 22
2.6.2 Distributed Local Paging Mobile IP (DLP-MIP) 26
2.6.3 Two-Step Paging for Mobile IP (TSP-MIP) 29

บทที่ **หน้า**

2.6.4 Distributed Individual Paging Extension for Mobile IP in IP-based Cellular Network (DIP-MIP) 31
2.6.5 An Adaptive Per-Host IP Paging Architecture (APH-MIP) 32
3 วิธีการที่นำเสนอ 33
3.1 วิธีการที่นำเสนอ 33
3.1.1 หลักการสร้างพื้นที่การเพจ 34
3.1.2 การตรวจวัดการเคลื่อนที่ 40
3.1.3 การลงทะเบียน 42
3.1.4 การเพจ 43
3.1.5 การจัดการข้อมูล 45
3.2 การคำนวณขนาดของพื้นที่การเพจ 47
3.2.1 การวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณ 47
3.2.2 การคำนวณหาพื้นที่การเพจ 50
4 ผลการวิจัย 53
4.1 แบบจำลองโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบ 53
4.2 ผลการจำลองการทำงาน 60
4.2.1 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ 60
4.2.2 ผลกระทบของ Data session rate ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ 65
4.2.3 ผลกระทบของ Session holding time ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ 70
4.2.4 เวลาในการเรียกใช้โปรแกรม 71
5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 75
5.1 สรุปผลการวิจัย 75
5.2 ข้อเสนอแนะ 76
รายการอ้างอิง 78
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 79

สารบัญภาพ

ภาพที่ **หน้า**

1.1 ส่วนประกอบของโครงข่ายและการทำงานของ Mobile IP 2
1.2 แผนภาพแสดงการสัญญาณของ Mobile IP 3
2.1 ข่าวสารเชิญชวนตัวแทน (Agent Solicitation) 11
2.2 ข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement) 12
2.3 ข่าวสารร้องขอลงทะเบียน 16
2.4 ส่วนความยาวคงที่ (Fixed-Length Portion) ของข้อความตอบรับการลงทะเบียน 17
2.5 การลงทะเบียนบนข่ายเชื่อมโยงข้อมูลต่างพื้นที่ โดยใช้ CoA ของ FA 19
2.6 MN ถอนการลงทะเบียนเมื่อเคลื่อนที่กลับมาที่ข่ายเชื่อมโยงบ้าน 19
2.7 เส้นทางการส่งและรับแพ็กเกตของ MN 20
2.8 กระบวนการ Encapsulation และส่งข้อมูลให้กับ MN 21
2.9 แผนภาพแสดงการสัญญาณของ P-MIP 24
2.10 ลักษณะการทำงานของ P-MIP 24
2.11 ลักษณะพื้นที่การเพจเมื่อมีการแบ่งเป็นพื้นที่การเพจย่อย 26
2.12 ลักษณะการทำงานของ DLP-MIP 27
2.13 แผนภาพแสดงการสัญญาณของ DLP-MIP 28
2.14 ลักษณะพื้นที่การเพจของ TSP-MIP 29
2.15 แผนภาพแสดงการสัญญาณเมื่อมีแพ็กเกตส่งถึง Idle MN 30
2.16 ลักษณะพื้นที่การเพจของ DIP-MIP 31
2.17 ตัวอย่างรูปร่างพื้นที่การเพจแบบต่างๆที่เกิดขึ้น 32
3.1 รูปแบบพื้นที่การเพจเป็นแบบ Overlapping PA and SPA 35
3.2 กระบวนการสร้างพื้นที่การเพจ 37
3.3 การทำงานของวิธีที่เสนอ 38
3.4 แผนภาพแสดงการสัญญาณเมื่อมีแพ็กเกตส่งถึง Idle MN 39
3.5 ขั้นตอนในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของ MN ที่มีสถานะการทำงานเป็น idle 41
3.6 ขั้นตอนในกระบวนการเพจหา MN เมื่อมีแพ็กเกตถูกส่งมาถึง pFA 46
3.7 รูปแบบเซลล์หกเหลี่ยมที่มีพื้นที่การเพจขนาด K = 3 47

ภาพที่ **หน้า**

3.8 ขั้นตอนกระบวนการคำนวณขนาดของพื้นที่การเพจและขนาดของพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม 52
4.1 รูปแบบโครงข่ายบริการที่ใช้ในการจำลองแบบ 53
4.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ MN ในแบบ Pure random 54
4.3 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ MN ในแบบ Modified two-way 55
4.4 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ MN ในแบบ Pure two-way 55
4.5 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ MN ในแบบ Mix 56
4.6 ขั้นตอนของโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวิธีที่เสนอ 57
4.7 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อจำนวนชั้นของพื้นที่การเพจที่คำนวณได้ 59
4.8 ผลกระทบของอัตราเซสชันของข้อมูลที่มีต่อจำนวนชั้นของพื้นที่การเพจที่คำนวณได้ 59
4.9 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure random 61
4.10 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Modified two-way 62
4.11 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way 63
4.12 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Mix 64
4.13 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อจำนวนครั้งของการข้ามพื้นที่การเพจเมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Mix 65
4.14 ผลกระทบของอัตราเซสชันของข้อมูลที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure random 66
4.15 ผลกระทบของอัตราเซสชันของข้อมูลที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Modified two-way 67
4.16 ผลกระทบของอัตราเซสชันของข้อมูลที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way 67

ภาพที่ **หน้า**

4.17 ผลกระทบของอัตราเซสชันของข้อมูลที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ 0 - 0.004 ครั้งต่อวินาที เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Mix 68
4.18 ผลกระทบของอัตราเซสชันของข้อมูลที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ 0 - 0.012 ครั้งต่อวินาที เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Mix 69
4.19 ผลกระทบของอัตราเซสชันของข้อมูลที่มีต่อจำนวนครั้งของการข้ามพื้นที่การเพจ เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Mix 70
4.20 ผลกระทบของ Session holding time ของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Mix 71
4.21 เวลาในการเรียกใช้โปรแกรม เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure random 72
4.22 เวลาในการเรียกใช้โปรแกรม เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Modified two-way 73
4.23 เวลาในการเรียกใช้โปรแกรม เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way 73
4.24 เวลาในการเรียกใช้โปรแกรม เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Mix 74

บทที่ 1

บทนำ

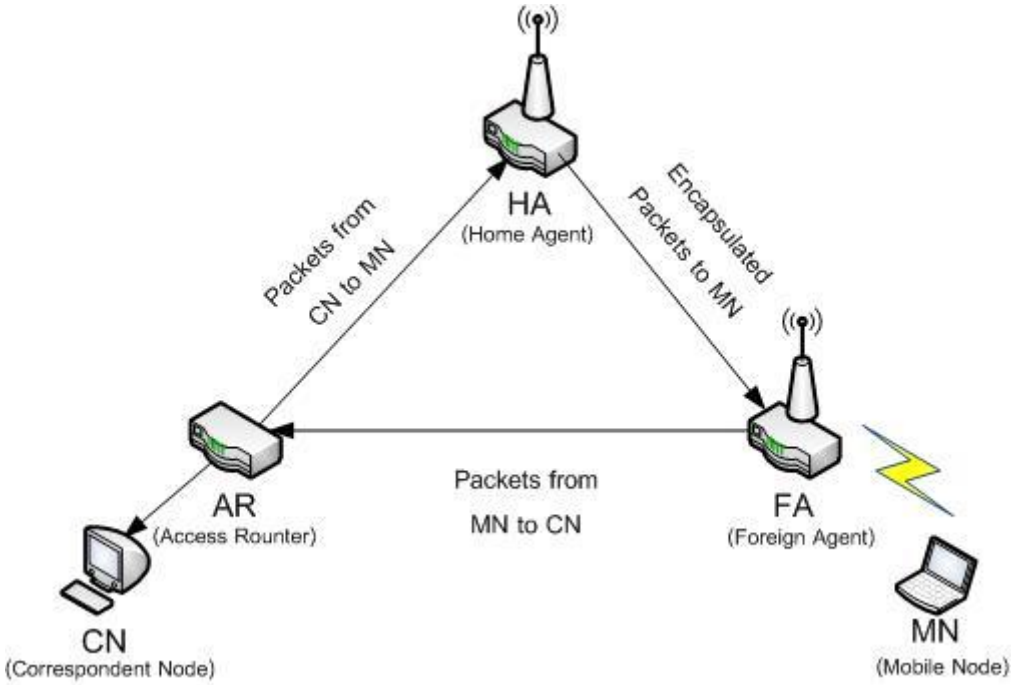
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การเข้ามาของระบบอินเทอร์เน็ต (Internet) ทำให้เกิดจุดเปลี่ยนทางวัฒนธรรม จากสังคมที่แต่เดิมมีศูนย์กลางอยู่ที่เครือข่าย วิทยุ ทีวีและโทรศัพท์มาสู่เครือข่ายคอมพิวเตอร์ที่อุดมไปด้วยข้อมูลข่าวสาร ซึ่งผลักดันให้สังคมก้าวสู่สังคมดิจิตอล (Digital Society) ในปัจจุบันตัวเลขของผู้ใช้อินเทอร์เน็ตทั่วโลกกระโดดเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทุกวงการไม่ว่าการศึกษา, ธุรกิจ, การเงิน, การแพทย์, การท่องเที่ยว ต่างจำเป็นต้องใช้อินเทอร์เน็ตทั้งสิ้น ทำให้พัฒนาการของการให้บริการทางอินเตอร์เน็ตมีมาอย่างต่อเนื่องและหลากหลายขึ้น ไม่ว่าการติดต่อสื่อสาร ผ่านไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (e-mail), การสนทนา (Chat), การประชุมทางไกล (Video conference) การสืบค้นข้อมูล การทำธุรกรรมอิเล็กทรอนิกส์ (e-Business) ฯลฯ เมื่ออินเตอร์เน็ตเข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิต ผู้ใช้จึงเกิดความต้องการใช้อินเตอร์เน็ตได้อย่างทุกเวลาและไม่จำกัดอยู่เฉพาะที่ใดที่หนึ่ง ผู้ให้บริการ (ISPs, Internet Service Provider) จึงต้องพยายามตอบสนองความต้องการของผู้ใช้โดยที่ต้องคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรของระบบอย่างคุ้มค่า

อย่างไรก็ตามมาตรฐาน TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) ซึ่งเป็นโพรโทคอลที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารที่มีการใช้อยู่บนระบบอินเทอร์เน็ตแบบเดิม ไม่ได้มีการออกแบบมาเพื่อรองรับการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ ทำให้การเข้าใช้อินเตอร์เน็ตถูกจำกัดไว้อยู่เพียงบางสถานที่เท่านั้น ไม่ว่าจะเป็นที่บ้าน ที่ทำงาน โรงเรียน หรือมหาวิทยาลัย โดยที่ผู้ใช้ไม่สามารถรักษาการติดต่อสื่อสารไว้ได้ตลอด เมื่อมีการเคลื่อนที่ของผู้ใช้จากสถานที่หนึ่งไปยังอีกสถานที่หนึ่ง จึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการออกแบบพัฒนาโพรโทคอลใหม่ขึ้นมาเพื่อรองรับการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ในระบบและดูแลให้การติดต่อสื่อสารในโครงข่ายเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ

ด้วยสาเหตุนี้ปัญหาดังกล่าวจึงได้รับการแก้ไขโดยมาตรฐานโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ (Mobile IP) [1] ซึ่งเป็นโพรโทคอลมาตรฐานของ Internet Engineering Task Force (IETF) ออกแบบมาเพื่อให้โนดเคลื่อนที่ (Mobile Node, MN) สามารถเชื่อมต่อกับโครงข่ายอินเทอร์เน็ตและสามารถรับส่งไอพีแพ็กเกตได้ แม้ว่าจะเคลื่อนที่ข้ามโครงข่าย ลักษณะของโครงข่าย Mobile IP ประกอบด้วย ที่อยู่บ้าน (Home Address) ซึ่งเป็นที่อยู่แรกและที่อยู่ถาวรที่ได้รับจากโครงข่ายบ้าน (Home network) ที่อยู่ต่างบ้าน (Care-of Address, CoA) ซึ่งเป็นที่อยู่ชั่วคราวที่ได้รับจากโครงข่ายภายนอก (Foreign Network) เพื่อให้โนดที่ต้องการติดต่อ (Correspondent Node, CN) สามารถติดต่อกับโนดเคลื่อนที่ได้

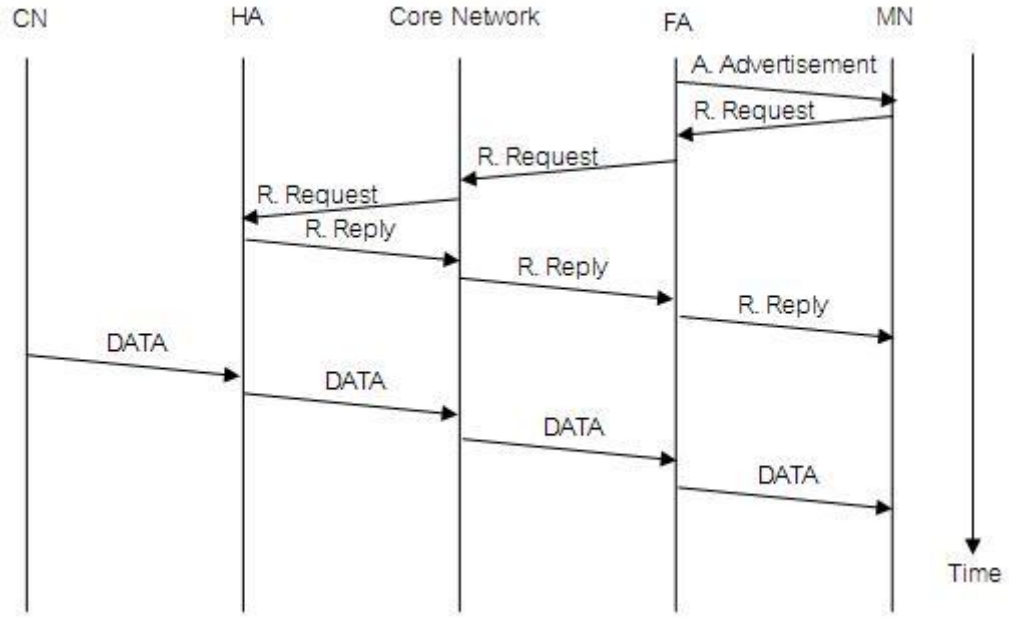
กระบวนการค้นหาตัวแทนอาศัยข่าวสาร 2 ชนิด ชนิดแรกคือ ข่าวสารประกาศจากตัวแทน หรือ Agent Advertisement และ ข่าวสารเชิญชวนตัวแทน หรือ Agent Solicitation โดยตัวแทนส่ง Agent Advertisement กระจายออกไปเป็นระยะๆ ตามคาบเวลาที่กำหนดไว้ เพื่อประกาศแจ้งให้โนดเคลื่อนที่ ทราบว่ามีตัวแทนอยู่ในบริเวณที่โนดเคลื่อนที่ สามารถสื่อสารด้วยได้ ส่วน Agent Solicitation จะถูกส่งโดย MN ในกรณีที่ MN ตรวจพบว่าได้เคลื่อนที่ข้ามโครงข่าย MN จะส่ง Agent Solicitation ถึงตัวแทน (HA, FA) และตัวแทนจะส่ง Agent Advertisement กลับมาให้ MN และเข้ากระบวนการลงทะเบียนเพื่อแจ้งที่อยู่ต่างบ้าน (CoA) ให้กับ HA ทราบ ดังแสดงในภาพที่ 1.1



ภาพที่ 1.1 ส่วนประกอบของโครงข่ายและการทำงานของ Mobile IP

เมื่อ CN ต้องการส่งแพ็กเกตข้อมูลให้ MN นั้น CN จะทราบเฉพาะ Home Address ของ MN ทำให้แพ็กเกตข้อมูลจะถูกส่งมาที่ Home Network ของ MN ก่อน โดยใน Home Network จะมีตัวแทนบ้าน (Home Agent, HA) ทำการรับแพ็กเกตของ MN ไว้ หลังจากนั้น HA จะเช็คใน Binding list ว่า MN ได้มีการแจ้งเปลี่ยนที่อยู่ไว้หรือไม่ ถ้าไม่พบการแจ้งเปลี่ยน HA ก็จะส่งต่อแพ็กเกตข้อมูลให้ MN ที่ยังอยู่ใน Home Network ทันที แต่ถ้า HA เช็ค Blinding list แล้วพบว่า MN ได้มีการแจ้งเปลี่ยนที่อยู่ไว้ HA ก็จะทำการ encapsulation แพ็กเกตข้อมูลและส่งต่อไปยังที่อยู่ตาม CoA ที่ MN ได้ลงทะเบียนไว้ โดยข้อมูลจะถูกส่งไปที่ตัวแทนโครงข่ายภายนอก (Foreign

Agent, FA) และเมื่อ FA ได้รับแพ็กเกตข้อมูล ก็จะทำการ decapsulation แพ็กเกตข้อมูล และส่งแพ็กเกตข้อมูลนั้นต่อไปให้ MN ต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 1.2 ในทางกลับกันเมื่อ MN ต้องการส่งแพ็กเกตข้อมูลให้ CN นั้น MN สามารถส่งแพ็กเกตข้อมูลให้ CN ได้โดยตรง ผ่านทาง FA ได้ทันทีโดยไม่ต้องส่งผ่าน HA ทำให้การส่งแพ็กเกตข้อมูลจาก MN ไป CN ใช้ระยะเวลาน้อยกว่าการส่งแพ็กเกตข้อมูลจาก CN ไป MN เกิดเป็นปัญหาการจัดเส้นทางแบบสามเหลี่ยม (Triangle routing) ดังแสดงในภาพที่ 1.2 ซึ่งมีผู้เสนอวิธีแก้ไว้โดยใช้วิธีการจัดเส้นทางที่เหมาะที่สุด (Route Optimization) [2] โดยที่ HA จะส่ง Binding Update ไปให้ CN เมื่อ MN มีการแจ้งเปลี่ยนที่อยู่ ทำให้ CN สามารถส่งแพ็กเกตข้อมูลไปที่อยู่ CoA ของ MN ได้โดยไม่ต้องส่งผ่าน HA



ภาพที่ 1.2 แผนภาพแสดงการสัญญาณของ Mobile IP

เนื่องจาก MN ต้องลงทะเบียนใหม่ทุกครั้งที่เคลื่อนที่เปลี่ยน FA ทำให้เกิดปัญหาต้นทุนการสัญญาณจำนวนมากภายในระบบโดยเฉพาะในโครงข่ายไอพีหลัก (core IP network) และยิ่งมีผลกระทบมากขึ้นในกรณี MN เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง หรือกรณีที่มี MN ในโครงข่ายอยู่จำนวนมาก

จากปัญหาต้นทุนการสัญญาณจำนวนมากภายในระบบของ Mobile IP จึงมีแนวคิดที่จะแก้ปัญหาโดยใช้กระบวนการเพจ (Paging) ซึ่งมีใช้อยู่ในระบบ Cellular network เพื่อติดตาม

ตำแหน่งปัจจุบันของ MN เนื่องจากเวลาส่วนใหญ่ของผู้ใช้ไม่ได้อยู่ในสถานะที่กำลังสื่อสารกับผู้อื่นตลอดเวลา (Active) แต่จะอยู่ในสถานะที่ไม่ได้สื่อสารกับใคร (Idle)

เมื่อมีข่าวสารส่งมาถึงผู้ใช้ HA จะไม่ทราบถึงตำแหน่งที่แน่นอนของ MN กระบวนการเพจจะถูกนำมาใช้ในการการค้นหาตำแหน่งที่ถูกต้องของ idle MN โดยที่ HA จะทราบเพียงแค่กลุ่มของ FAs ที่ MN นั้นๆอาศัยอยู่ โดยเราเรียกกลุ่มของ FAs นี้ว่าเป็นพื้นที่การเพจ (Paging Area, PA) โดยพื้นที่การเพจ คือ กลุ่มของสถานีฐาน (Base Station) ที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกันและโดยทั่วไปสถานีฐานเหล่านี้จะอยู่ภายใต้การควบคุมดูแลของ Mobile Switching Center (MSC) เดียวกัน เมื่อมีการเรียกเข้ามายังผู้ใช้เคลื่อนที่ MSC จะส่งข่าวสารการเพจ (Paging message) ไปยังทุกๆสถานีฐานที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจเดียวกัน แต่ละสถานีฐานเมื่อได้รับข่าวสารนี้ก็จะกระจาย (broadcast) ข่าวสารการเพจในพื้นที่เซลล์ของตัวเอง ระบบจะตัดสินหาตำแหน่งที่ถูกต้องของ MN ได้ก็ต่อเมื่อได้รับข้อความตอบกลับการเพจจากผู้ใช้เคลื่อนที่นั้นๆที่ถูกค้นหา ข้อมูลตำแหน่งของผู้ใช้เคลื่อนที่นี้จึงถูกนำไปใช้ในกระบวนการเริ่มต้นการสื่อสารต่อไป อย่างไรก็ตามกระบวนการเพจได้ส่งผลให้เกิดเวลาประวิงเพิ่มเติม อันเนื่องมาจากการค้นหาตำแหน่งที่ถูกต้องของ MN และ ปริมาณการสัญญาณเพิ่มเติมอันเนื่องมาจากการเพจ

ดังนั้นจึงนับเป็นสิ่งที่สำคัญที่จะต้องพิจารณาออกแบบระบบให้สมดุลระหว่างต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากกระบวนการเพจและต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากกระบวนการลงทะเบียนเพื่อให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพที่ดีในงานวิจัยนี้จึงเสนอการจัดการสภาพเคลื่อนที่ในโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถลดต้นทุนการสัญญาณโดยรวมของระบบรวมถึงลด sentivity ของระบบที่มีต่อพามิเตอร์หลายตัว โดยอาศัยการออกแบบระบบและหลักการคำนวณหาขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจ (Paging Area, PA) และพื้นที่การเพจย่อย (Sub-Paging Area, SPA) ที่เหมาะสมสำหรับโนดเคลื่อนที่แต่ละตัว

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เสนอวิธีปรับปรุงการทำงานของโพรโทคอล Mobile IP และ DLP-MIP เพื่อลดต้นทุนการสัญญาณภายในระบบ รวมถึงลดความไว (sensitivity) ของระบบที่มีต่อพารามิเตอร์ต่างๆในระบบลง โดยอาศัยการออกแบบระบบและหลักการคำนวณหาขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจ (Paging Area, PA) และพื้นที่การเพจย่อย (Sub-Paging Area, SPA) ที่เหมาะสมสำหรับโนดเคลื่อนที่แต่ละตัว
2. ศึกษาและวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบ Mobile IP, P-MIP, DIP-MIP, APH-MIP, DLP-MIP เปรียบเทียบกับวิธีที่เสนอ ในกรณีที่มีการ

จัดรูปแบบของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยเป็นแบบซ้อนทับกัน (Overlapping PA and SPA)

1.3 แนวทางวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพการใช้การเพจในโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ เพื่อลดต้นทุนในการสัญญาณที่เกิดขึ้นในระบบ

แนวความคิดที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ มีดังนี้

1. เสนอวิธีปรับปรุงการทำงานและการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของโพรโทคอล Mobile IP และ DLP-MIP เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพการสัญญาณที่ดี กล่าวคือมีต้นทุนการสัญญาณต่ำและไม่ถูกกระทบโดยง่ายจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เปลี่ยนแปลงไป โดยอาศัยหลักการคำนวณหาขนาดของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยจากสมการที่ออกแบบ
2. เสนอวิธีการปรับเปลี่ยนขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยให้เหมาะสมกับรูปแบบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ ซึ่งขึ้นอยู่กับภูมิศาสตร์ของพื้นที่ปัจจุบัน เพื่อลดต้นทุนการสัญญาณภายในระบบ

1.4 ขอบเขตและเป้าหมายของวิทยานิพนธ์

1. เสนอโพรโทคอลจัดการสภาพเคลื่อนที่ในระบบ Mobile IP เพื่อลดต้นทุนการสัญญาณภายในระบบ
2. สร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อคำนวณหาขนาดของพื้นที่การเพจและขนาดของพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสมที่สุด
3. สร้างแบบจำลองการทำงานของวิธี Mobile IP, P-MIP, DIP-MIP, APH-MIP, DLP-MIP และวิธีที่เสนอ
4. เปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่เสนอกับวิธี Mobile IP, P-MIP, DIP-MIP, APH-MIP, DLP-MIP และวิธีที่เสนอ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ

1. ศึกษามาตรฐานและหลักการทำงานของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่

2. ศึกษางานวิจัยและแนวทางต่างๆที่ปรับปรุงประสิทธิภาพของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ที่เคยมีผู้นำเสนอ
3. พัฒนาแบบแผนการจัดการสภาพเคลื่อนที่ที่เสนอ
4. จำลองการทำงานของ Mobile IP, P-MIP, DIP-MIP, APH-MIP, DLP-MIP และวิธีที่เสนอ
5. วิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานระหว่างแบบที่มีผู้นำเสนอกับวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์
6. สรุปผลและรวบรวมข้อมูลพร้อมทั้งจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้แบบแผนการจัดการสภาพเคลื่อนที่ที่มีประสิทธิภาพ กล่าวคือต้นทุนการสัญญาณของระบบมีค่าต่ำและไม่ถูกกระทบได้โดยง่ายจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เปลี่ยนแปลง
2. ทราบถึงหลักการทำงานและปัญหาที่เกิดขึ้นของ Mobile IP รวมถึงแนวทางในการพัฒนา แก้ไข หรือปรับปรุงต่างๆที่ได้มีผู้เสนอไว้
3. ได้ความรู้ด้านการเขียนโปรแกรม เพื่อจำลองการทำงาน
4. ได้เรียนรู้แนวทางในการทำงานวิจัย รวมถึงแนวทางการแก้ไขปัญหาอันเนื่องมาจากการทำงานวิจัย

บทที่ 2

หลักการทำงานของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในอดีตการใช้งานโครงข่ายอินเตอร์เน็ต (Internet) ส่วนใหญ่เป็นการใช้งานอยู่กับที่เฉพาะสถานที่ใดที่หนึ่ง แต่ในปัจจุบันมีอุปกรณ์ที่ออกแบบมารองรับการใช้งานอินเตอร์เน็ตนอกสถานที่มากขึ้น เช่น คอมพิวเตอร์แบบพกพา (Computer notebook), โทรศัพท์มือถือ (Mobile phone), แท็บเล็ต พีซี (Tablet Personal Computer, Tablet PC) รวมถึงผู้ใช้เองก็มีความต้องการใช้งานอินเตอร์เน็ตมากขึ้น การจำกัดให้ใช้งานอินเตอร์เน็ตเฉพาะสถานที่ใดที่หนึ่ง ไม่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ในปัจจุบันได้ แต่ก่อนที่การใช้งานอินเตอร์เน็ตนอกสถานที่จะแพร่หลายเหมือนในปัจจุบัน เริ่มแรกโครงข่ายเคลื่อนที่ (Mobile Networking) มีอุปสรรคทางด้านเทคนิคที่สำคัญ คือ เส้นทางการส่งแพ็กเกตของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ต ไปยังที่อยู่ไอพีปลายทาง ซึ่งที่อยู่ไอพีปลายทางเหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับตำแหน่งที่ตั้งประจำของโครงข่าย (fixed network location) ถ้าเจ้าของที่อยู่ไอพีปลายทางนั้นเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งการติดต่อสื่อสารใหม่ ซึ่งตำแหน่งติดต่อสื่อสารตำแหน่งใหม่นี้จะมีหมายเลขประจำโครงข่ายเป็นของตนเอง ทำให้ไม่สามารถส่งแพ็กเกตข้อมูลไปยังตำแหน่งใหม่ของผู้ใช้งานได้ โดยผู้ใช้งานจำเป็นต้องสร้างการติดต่อสื่อสารขึ้นมาใหม่และได้รับที่อยู่ไอพีใหม่

จากปัญหาดังกล่าวองค์กร Internet Engineering Task Force (IETF) จึงได้ออกแบบโพรโทคอลมาตรฐาน Mobile IP เพื่อแก้ปัญหาโดยการอนุญาตให้ผู้ใช้งานมีเลขไอพีได้ 2 ตัว ตัว นั่นคือ ที่อยู่ไอพีประจำบ้าน (fixed home address) และที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA: Care-of-Address) โดยที่ที่อยู่ไอพีชั่วคราวนี้จะมีการเปลี่ยนแปลงทุกครั้งที่เคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งติดต่อสื่อสารตำแหน่งใหม่

2.1 โครงสร้างของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่

โครงสร้างของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ (Mobile IP) ประกอบด้วย

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

2. ตัวแทนบ้าน (Home Agent, HA) คือเราเตอร์ที่ต่ออยู่กับโครงข่ายบ้าน (Home Network) ของโนดเคลื่อนที่ โดยโนดเคลื่อนที่จะต้องแจ้งตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันให้กับตัวแทนบ้านของตนรู้โดยกระบวนการลงทะเบียนเพื่อแจ้งที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA) ซึ่งเป็นที่อยู่ไอพีปัจจุบันที่โนดเคลื่อนที่ได้รับมาจากตัวแทนโครงข่ายภายนอก ภายหลังจากมีการเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งไปยังข่ายเชื่อมโยงข้อมูลใหม่ นอกจากนี้ HA ยังมีหน้าที่ในการเป็นตัวแทนในการรับแพ็กเกตข้อมูลที่ถูกส่งมาถึงโนดเคลื่อนที่เมื่อโนดเคลื่อนที่นั้นๆได้เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายบ้านและได้ลงทะเบียนขอรับบริการเอาไว้ก่อนจะส่งต่อไปยังโนดเคลื่อนที่ผ่านทางที่อยู่ CoA
3. ตัวแทนโครงข่ายภายนอก (Foreign Agent, FA) คือเราเตอร์ที่ต่ออยู่กับโครงข่ายต่างพื้นที่ (Foreign Network) ของโนดเคลื่อนที่ โดยมีหน้าที่หลักคือการแจ้งที่อยู่ CoA ให้กับโนดเคลื่อนที่ นอกจากนี้ยังทำงานร่วมกับ HA ในการส่งต่อแพ็กเกตข้อมูลให้กับโนดเคลื่อนที่ขณะที่โนดเคลื่อนที่อยู่ในข่ายเชื่อมโยงภายนอก และในกรณีที่โนดเคลื่อนที่ต้องการส่งแพ็กเกตออกไปที่อื่น FA นี้ก็สามารถให้บริการเป็นดีฟอลต์เราเตอร์ให้แก่โนดเคลื่อนที่ที่ลงทะเบียนไว้ได้อีกด้วย

2.2 หลักการทำงานของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่

Mobile IP ออกแบบให้ผู้ใช้งานมีเลขไอพีได้ 2 ตัว เพื่อแก้ไขปัญหาการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ในระบบ โดยผู้ใช้ไม่จำเป็นต้องสร้างการติดต่อสื่อสารขึ้นมาใหม่ และยังคงการเชื่อมต่อกับอินเทอร์เน็ตได้ตลอดเวลา แม้ว่าผู้ใช้จะมีการเคลื่อนที่ข้ามโครงข่าย ในโพรโทคอลนี้ที่อยู่ไอพีประจำบ้าน (Home address) จะถูกใช้โดยโนดเคลื่อนที่ (MN) เป็นที่อยู่ถาวรและจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงเพื่อให้การทำงานในชั้น TCP สามารถติดต่อสื่อสารกับ MN นี้ได้ตลอดเวลาโดยไม่ขาดการติดต่อ ขณะที่ที่อยู่ไอพีชั่วคราว (Care-of address) นั้นจะเปลี่ยนแปลงไปตามตำแหน่งที่โนดเคลื่อนที่ได้ข้ามผ่านเข้าไป โดยที่อยู่ไอพีชั่วคราวจะมีเฉพาะ HA เท่านั้นที่รู้ถึงที่อยู่นี้ โดยใน Mobile IP โนดที่เรียกว่า HA จะทำหน้าที่เป็นตัวแทนในการรับแพ็กเกตข้อมูลแทน MN เมื่อ MN นั้นๆไม่ได้อยู่ที่โครงข่ายบ้าน (Home network) ดังนั้นเมื่อ MN เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายบ้านจะต้องทำการลงทะเบียนที่อยู่ไอพีชั่วคราวกับ HA เพื่อขอให้ HA เป็นตัวแทนในการรับแพ็กเกตข้อมูลที่จะส่งมาที่ MN แทนและ HA จะทำการ encapsulate ในส่วนของที่อยู่ไอพีชั่วคราวเพื่อส่งแพ็กเกตข้อมูลไปยังโครงข่ายภายนอกที่ MN อยู่ จากนั้น FA จะทำการ decapsulate ถอดในส่วนของที่อยู่ไอพีชั่วคราวออก และจึงส่งแพ็กเกตข้อมูลไปให้ MN โดยขั้นตอนการทำงานของ Mobile IP มีดังนี้

1. ตัวแทนการเคลื่อนที่อันได้แก่ FA และ HA จะทำหน้าที่ในการประกาศข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement message) ในทุกๆคาบเวลาที่กำหนดไว้ เพื่อแจ้ง MN ว่ามีตัวแทนใดกำลังให้บริการอยู่ในบริเวณนั้น ถ้า MN ไม่ได้รับข่าวสารประกาศจากตัวแทนในระยะเวลาหนึ่ง MN สามารถส่งข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทน (Agent Solicitation) ไปยังตัวแทนในบริเวณใกล้เคียงให้ส่งข่าวสารประกาศจากตัวแทนกลับมาให้ได้
2. เมื่อโนดเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารประกาศจากตัวแทน และตรวจสอบที่อยู่ต้นทางของข่าวสารดังกล่าวว่า ขณะนี้โนดเคลื่อนที่กำลังติดต่ออยู่กับข่ายเชื่อมโยงบ้านหรือข่ายเชื่อมโยงภายนอก หากเป็นข่ายเชื่อมโยงบ้านโนดเคลื่อนที่จะไม่จำเป็นต้องทำการลงทะเบียนที่อยู่ไอพีชั่วคราวกับ HA และจะประพฤติเช่นโนดไม่เคลื่อนที่ตามปกติ
3. เมื่อโนดเคลื่อนที่กำลังอยู่ในโครงข่ายภายนอก จะได้รับที่อยู่ไอพีชั่วคราวจาก FA ที่กำลังให้บริการในพื้นที่ดังกล่าว ซึ่งที่อยู่นี้สามารถอ่านได้จากส่วนของข้อมูลที่อยู่ในข่าวสารประกาศจาก FA
4. โนดเคลื่อนที่จะลงทะเบียนที่อยู่ไอพีชั่วคราวที่ได้รับมากับ HA ทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายบ้าน โดยใช้หลักการแลกเปลี่ยนข่าวสารตามกระบวนการลงทะเบียนของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ เช่นเดียวกันเมื่อโนดเคลื่อนที่มีการเคลื่อนที่ไปยังโครงข่ายใหม่โนดเคลื่อนที่ก็จะต้องลงทะเบียนที่อยู่ชั่วคราวอันใหม่จาก FA ที่กำลังให้บริการ MN กับ HA ของตน เพื่อที่ว่าเมื่อมีแพ็กเกตข้อมูลถูกส่งมาถึง MN HA ก็จะรู้ได้ว่าควรจะส่งต่อไปที่ใด
5. เมื่อมีแพ็กเกตข้อมูลที่มีปลายทางถึงโนดเคลื่อนที่ส่งมายังโครงข่ายบ้านของโนดเคลื่อนที่นั้นๆ HA จะทำหน้าที่เป็นตัวแทนรับข้อมูลดังกล่าวก่อนจะส่งต่อให้กับโนดเคลื่อนที่ต่อไป โดยในขั้นตอนของการส่งต่อนี้ HA จะทำการ encapsulate ในส่วนของที่อยู่ไอพีชั่วคราวเพื่อส่งแพ็กเกตข้อมูลไปยังโครงข่ายภายนอกที่ MN อยู่ จากนั้น FA จะทำการ decapsulate ถอดในส่วนของที่อยู่ไอพีชั่วคราวออก และจึงส่งแพ็กเกตข้อมูลไปให้ MN ในทางกลับกันเมื่อ MN ต้องการส่งแพ็กเกตข้อมูลให้โนดที่ต้องการติดต่อ (Correspondent Node, CN) นั้น MN สามารถส่งแพ็กเกตข้อมูลให้โนดที่ต้องการติดต่อได้โดยตรง ผ่านทาง FA ได้ทันทีโดยไม่ต้องส่งผ่าน HA

หลักการทำงานของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ ประกอบด้วยกระบวนการทำงาน 3 ส่วนหลัก ดังนี้

1. กระบวนการค้นหาตัวแทน (Mobile Agent Discovery)
2. กระบวนการลงทะเบียน (Registration)
3. กระบวนการรับและส่งแพ็กเกตของโนดเคลื่อนที่ (Routing and tunneling)

2.3 กระบวนการค้นหาตัวแทน (Mobile Agent Discovery)

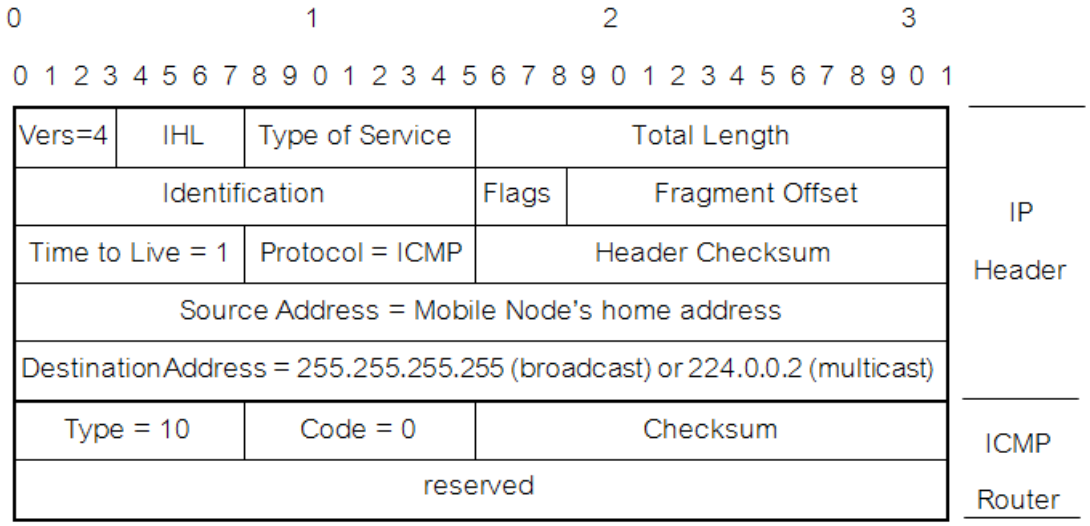
การค้นหาตัวแทนเป็นกระบวนการที่กระทำโดยโนดเคลื่อนที่เพื่อตรวจสอบว่าปัจจุบันโนดเคลื่อนที่อยู่บนโครงข่ายบ้าน (Home network) หรือโครงข่ายต่างพื้นที่ (Foreign network) และยังใช้ในการตรวจสอบว่าโนดเคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่เปลี่ยนข่ายเชื่อมโยงแล้วหรือยังคงอยู่ในข่ายเชื่อมโยงเดิม เพื่อที่ MN จะได้รู้ว่าต้องรับที่อยู่ชั่วคราว (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 กลับมาทันที

2.3.1 รูปแบบข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทน (Agent Solicitation)

ข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทนตามที่กำหนดในโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ เป็นข่าวสารชนิดเดียวกับข่าวสารเชิญชวนเราเตอร์ หรือ ICMP Router Solicitation ซึ่งมีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่มีความแตกต่างกันระหว่างข่าวสารสองประเภทนี้ เช่นข่าวสารเชิญชวนจะกำหนดค่า Time To Live : TTL ให้เป็น 1 รูปแบบของข่าวสารข่าวสารเชิญชวนแสดงไว้ในภาพที่ 2.1 ถ้าตัวแทนใดๆ ก็ตามได้รับข่าวสารข่าวสารเชิญชวนตัวแทนนั้นจะส่งข่าวสารประกาศให้แก่

โนดที่ส่งข่าวสารเชิญชวนทันที ส่วนของ Type สำหรับข่าวสารเชิญชวนแทน หรือ Agent / Router Solicitation จะมีค่าเป็น 10 ดังกำหนดใน RFC 1256



ภาพที่ 2.1 ข่าวสารเชิญชวนตัวแทน (Agent Solicitation)

2.3.2 รูปแบบข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement)

ข่าวสารประกาศจากตัวแทนเป็นข่าวสารที่ได้จากการเติมส่วนขยายเข้ากับข่าวสาร ICMP Router Advertisement โดยตัวแทนจะเติมส่วนขยายที่มีชื่อว่า Mobility Agent Advertisement Extension ดังกำหนดใน RFC 1256 ซึ่งแสดงในภาพที่ 2.2 สำหรับส่วนขยาย Prefix – Length Extension อาจจะมีรวมไว้ในข่าวสารหรือไม่มีก็ได้ ซึ่งส่วนขยายส่วนนี้จะถูกใช้สำหรับตรวจสอบการเคลื่อนที่ว่าโนดเคลื่อนที่ ได้เคลื่อนที่ไปยังโครงข่ายย่อยโครงข่ายอื่นแล้วหรือไม่

จากภาพที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าข่าวสารประกาศจากตัวแทนประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลัก ได้แก่

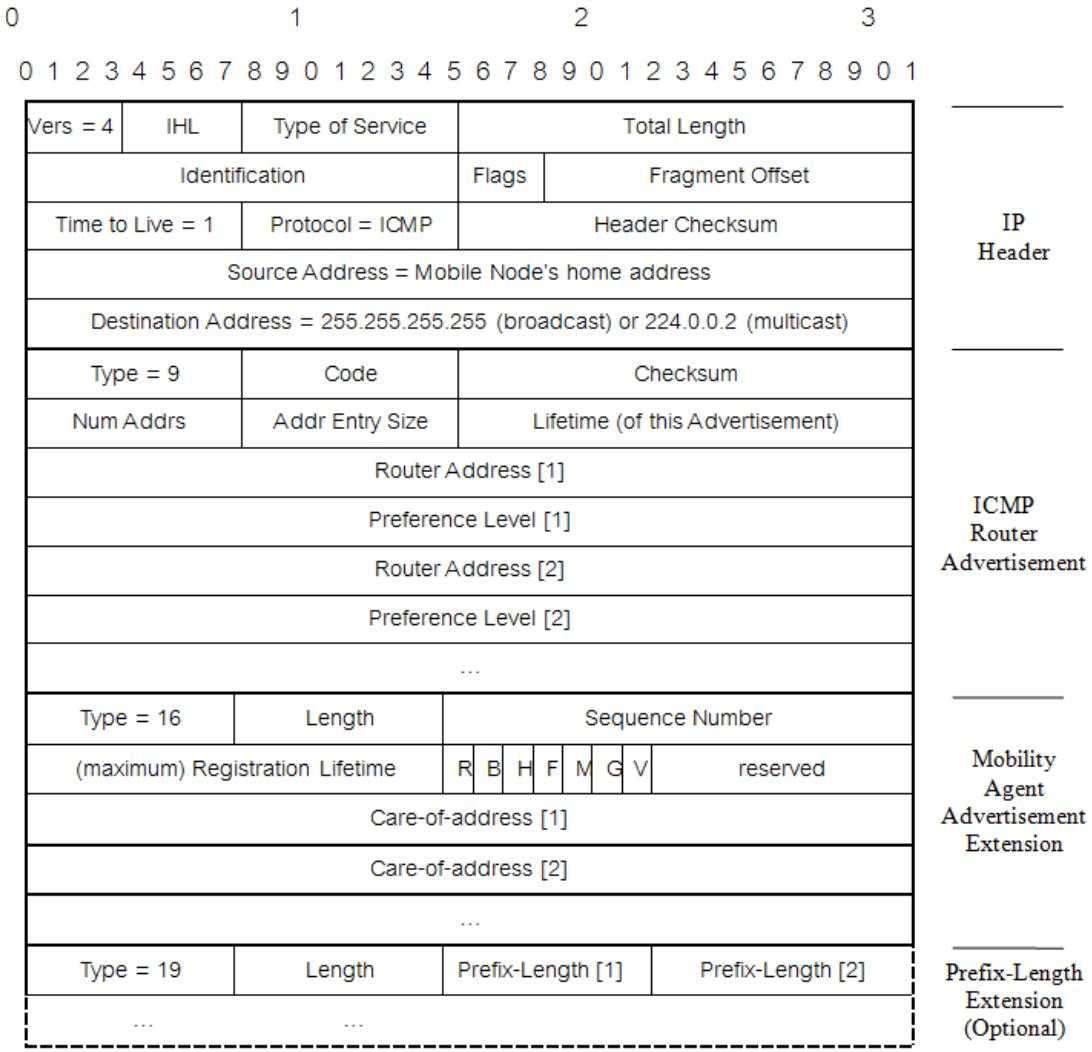
1) **ส่วนหัวของไอพี** (IP header)

MN จะใช้ส่วนหัวของไอพีภายในข่าวสารประกาศจากตัวแทนเพื่อหาว่าโนดเคลื่อนที่กำลังติดต่ออยู่กับ HA หรือ FA

- ถ้าส่วน network – prefix ของที่อยู่ต้นทางไอพี (IP Source Address) ตรงกันกับ network – prefix ในที่อยู่บ้าน (home address) ของโนดเคลื่อนที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้า ที่อยู่ไอพีของที่อยู่ต้นทางตรงกันกับที่อยู่ของตัวแทนบ้านเช่นนี้หมายความว่า

โนดเคลื่อนที่ กำลังต่ออยู่กับข่ายเชื่อมโยงบ้าน ถ้าโนดเคลื่อนที่ เคลื่อนที่กลับมายังข่ายเชื่อมโยงบ้าน (ถ้าเคลื่อนที่มาจากข่ายเชื่อมโยงต่างบ้าน) ดังนั้นโนดเคลื่อนที่ ไม่จำเป็นต้องใช้กระบวนการสนับสนุนการเคลื่อนที่ และจะถอนการลงทะเบียนการเคลื่อนที่กับ HA

- กรณีนอกเหนือจากข้อที่หนึ่ง หมายถึงโนดเคลื่อนที่ ไม่ได้ต่ออยู่กับข่ายเชื่อมโยงบ้าน และควรดำเนินการตรวจสอบการเคลื่อนที่ เพื่อตรวจสอบว่าโนดเคลื่อนที่ ได้เคลื่อนที่เปลี่ยนข่ายเชื่อมโยงหรือไม่ นับจากที่ได้รับข่าวสารประกาศครั้งล่าสุด ถ้าโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ไปยังข่ายเชื่อมโยงใหม่โนดเคลื่อนที่ ก็จะหาที่อยู่ต่างบ้านหมายเลขใหม่ แล้วลงทะเบียนที่อยู่ต่างบ้านหมายเลขใหม่เพื่อแจ้งตำแหน่งปัจจุบันของโนดเคลื่อนที่ ให้ตัวแทนบ้านรับทราบ



ภาพที่ 2.2 ข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement)

2) **ส่วนข่าวสารประกาศจากเราเตอร์** (ICMP Router Advertisement)

ข่าวสารประกาศจากเราเตอร์จะมีค่าในส่วนของ Type เป็น 9 เพื่อระบุว่าเป็นข่าวสารประกาศ กระบวนการค้นหาเราเตอร์ ICMP (ICMP Router Discovery) จะใช้ข่าวสารประกาศที่มีค่าในส่วน Code เท่ากับศูนย์เท่านั้น MN จะไม่ดำเนินการใดๆ ถ้าข่าวสารประกาศมีค่าในส่วน Code เป็นค่าอื่น ดังนั้น HA และ FA สามารถประกาศข่าวสารโดยให้ส่วนของ Code มีค่าเป็นค่าอื่นที่ไม่ใช่ศูนย์ เพื่อไม่ให้โนดอื่นมาใช้ตัวแทนเป็นเราเตอร์ รหัสตรวจสอบความถูกต้อง หรือ Checksum ใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข่าวสารที่โนดได้รับ สำหรับค่าในส่วนของ Lifetime เป็นค่าที่บอกความถี่ในการส่งข่าวสารประกาศ นอกจากนี้ MN ยังสามารถใช้ค่านี้เพื่อตรวจสอบการเคลื่อนที่ของ MN ด้วย

3) **ส่วนขยายข่าวสารประกาศจากตัวแทนการเคลื่อนที่** (Mobility Agent Advertisement)

ส่วนขยายนี้มีส่วนของ Type และ Length เพื่อใช้บอกชนิดของส่วนขยาย และความยาวของข้อมูลในส่วนขยาย ส่วนของ Type กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 16 เพื่อแสดงว่าส่วนขยายนี้เป็นส่วนขยายการประกาศตัวแทน ค่าในส่วนของ Length บอกถึงความยาวเป็นจำนวนไบต์ของข้อมูล ซึ่งไม่ได้รวมจำนวนไบต์ของส่วน Type และ Length เข้าไปด้วย

ค่า Sequence บอกถึงลำดับของการส่งข่าวสารประกาศที่สำเร็จ โดยเมื่อตัวแทนเปิดเครื่องใหม่ (reboot) ตัวแทนจะล้างข้อมูลในส่วนของ หมายเลขแสดงลำดับ (Sequence Number) ให้เป็นศูนย์ทั้งหมด ถ้าโนดเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารที่มี Sequence Number เป็นศูนย์ทั้งหมด หมายความว่าตัวแทนเพิ่งจะเปิดเครื่องใหม่และไม่มีข้อมูลของโนดเคลื่อนที่อยู่เลย ดังนั้นโนดเคลื่อนที่จะต้องลงทะเบียนใหม่กับตัวแทนนั้นๆ

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

บิต B จะถูกตั้งค่าให้เป็น 1 เพื่อเป็นการแจ้งว่า ตัวแทนยุ่งเกินกว่าจะให้บริการโนดอื่นได้อีก และ MN ที่ได้รับข่าวสารนี้ควรจะค้นหาตัวแทนอื่นเพื่อขอลงทะเบียนด้วย ส่วนบิต H และ บิต F เป็นค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อบอกให้ทราบว่าข่าวสารนี้ถูกส่งมาจาก HA หรือ FA ถ้าข่าวสารนี้ถูกส่งมาจาก FA บิต F จะถูกตั้งค่าให้เป็น 1 ถ้าข่าวสารนี้ถูกส่งมาจาก HA บิต H จะถูกกำหนดให้เป็น 1

ถ้าข่าวสารนี้ส่งมาจากตัวแทนที่ทำหน้าที่เป็น HA และ FA ดังนั้น บิต F และบิต H จะถูกกำหนดค่าให้เป็น 1 ทั้งคู่

4) ส่วนขยาย Prefix-Lengths (Prefix Lengths Extension)

ส่วนขยาย Prefix-Lengths จะใช้สำหรับ MN เพื่อตรวจสอบว่า MN เคลื่อนที่ไปยังโครงข่ายย่อยใหม่แล้วหรือไม่ ค่าของ Type และ Length มีไว้เพื่อบอกชนิดและความยาวของส่วนข้อมูลของส่วนขยายนี้ เช่นเดียวกันกับที่มีในส่วนขยายอื่นๆ

การตรวจสอบว่า MN ได้เคลื่อนที่ย้ายข่ายเชื่อมโยงข้อมูลไปที่อื่นหรือไม่ นับจากที่ได้รับข่าวสารประกาศครั้งล่าสุด สามารถกระทำได้สองทางคือ การใช้ค่า Lifetime และการใช้ Network-Prefixes

การตรวจสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ Lifetime

วิธีตรวจสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ค่า Lifetime หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า LCS (Lazy cell switching) จะใช้ข้อมูลจากส่วนของ Lifetime ของข่าวสารประกาศจากเราเตอร์ (ICMP Router Advertisement) ที่อยู่ในข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement) ซึ่งถูกกระจายเป็นคาบๆจาก FA ผ่านข่ายเชื่อมโยงไร้สาย ตามค่า Lifetime เพื่อให้ MN ทราบว่าถึงระยะเวลาที่จะได้รับข่าวสารประกาศจากเราเตอร์อีกครั้ง โดยคาบในการประกาศข่าวสารประกาศจาก FA จะมีค่าประมาณหนึ่งในสามของค่า Lifetime หรือต่ำกว่า เพื่อป้องกันข่าวสารสูญหายระหว่างทางหรือความผิดพลาดอื่นๆ [3]

ถ้า MN ได้ลงทะเบียนไว้กับ FA แต่หลังจากนั้นไม่ได้รับ Agent Advertisement เลยในช่วงเวลาเท่ากับค่า Lifetime MN จะตัดสินว่าได้เคลื่อนที่ไปยังข่ายเชื่อมโยงข้อมูลอื่นแล้ว หรือความผิดพลาดในการทำงานของ FA เมื่อเกิดเหตุการณ์ลักษณะนี้ ถ้า MN ตรวจสอบพบว่าได้รับ Agent Advertisement ที่ส่งมาจากตัวแทนอื่น ในช่วงที่ Lifetime เดิมยังไม่หมดเวลา MN จะทำการลงทะเบียนกับตัวแทนที่ได้ส่ง Agent Advertisement มา แต่ถ้าหาก MN ไม่ได้รับ Agent Advertisement จากตัวแทนใดๆเลย MN จะส่ง Agent Solicitation เพื่อขอให้ตัวแทนใดก็ตามที่ได้รับ Agent Solicitation นี้ให้ส่ง Agent Advertisement กลับมาให้ยัง MN

ตรวจสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ Network-Prefixes

วิธีตรวจสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ค่า Network Prefix หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ECS (Eager cell switching) เมื่อ MN ได้รับ Agent Advertisement จากตัวแทน จะสามารถตรวจสอบ

ได้ว่ายังคงอยู่ในโครงข่ายเดิมหรือไม่ โดยการตรวจสอบ Network Prefix ในข่าวสารนั้นๆว่าเหมือนกับ Network Prefix ใน Agent Advertisement เดิมหรือไม่ อย่างไรก็ตามกระบวนการตรวจสอบนี้จะทำได้ก็ต่อเมื่อ Agent Advertisement มีส่วนของ Prefix Length Extension อยู่ในข่าวสารด้วย

ถ้าตรวจสอบพบว่า Agent Advertisement ที่ได้รับมาใหม่มี Network Prefix ต่างจากข่าวสารเดิมที่เคยได้รับ จะสรุปได้ว่า MN เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายต่างพื้นที่เดิมแล้ว และจะทำการลงทะเบียนกับ FA ใหม่ทันที แต่ถ้า Agent Advertisement ทั้งสองมี Network Prefix เหมือนกันจะถือว่า MN ไม่ได้เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายต่างพื้นที่เดิม และไม่ต้องทำการลงทะเบียน

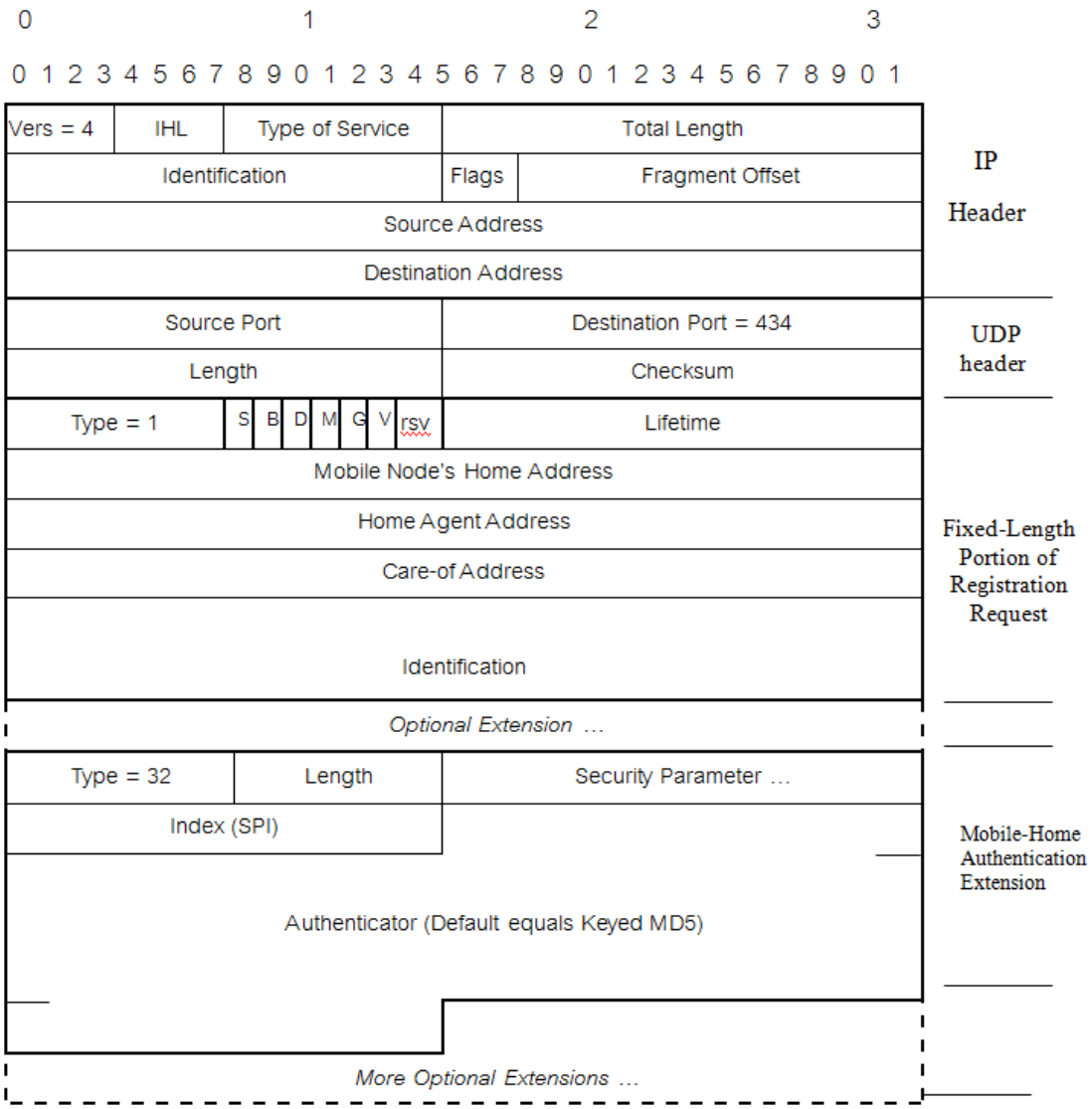
เมื่อเปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของวิธีตรวจสอบการเคลื่อนที่ทั้ง 2 วิธี พบว่าในกรณีของ LCS MN จะต้องรอจนกว่าช่วงเวลา Lifetime หมดลงจึงจะทำการลงทะเบียนใหม่ แม้ว่า MN จะได้เคลื่อนที่เข้ามายังพื้นที่ให้บริการของ FA ใหม่แล้ว ทำให้อาจเกิดแพ็กเกตข้อมูลสูญหายได้ ในขณะที่กรณีของ ECS MN จะลงทะเบียนกับ FA ใหม่ทันทีเมื่อได้รับข่าวสารการประกาศที่ถูกส่งมาจาก FA ใหม่ ส่งผลให้อาจเกิดการลงทะเบียนกลับไปมาซ้ำๆโดยไม่จำเป็นได้ โดยเฉพาะเมื่อ MN เคลื่อนที่อยู่บริเวณรอยต่อของพื้นที่ให้บริการของแต่ละ

2.4 **กระบวนการลงทะเบียน** (Registration)

MN จะลงทะเบียนกับ HA เมื่อ MN พบว่าได้เคลื่อนที่เปลี่ยนโครงข่ายย่อย การลงทะเบียนในแต่ละครั้งมีการกำหนดอายุของการลงทะเบียนไว้ ถ้าการลงทะเบียนหมดอายุ MN จะลงทะเบียนใหม่อีกครั้งกับตัวแทนเดิม แม้ว่าจะไม่ได้เคลื่อนที่เปลี่ยนโครงข่ายย่อย กระบวนการลงทะเบียนรายละเอียดดังต่อไปนี้

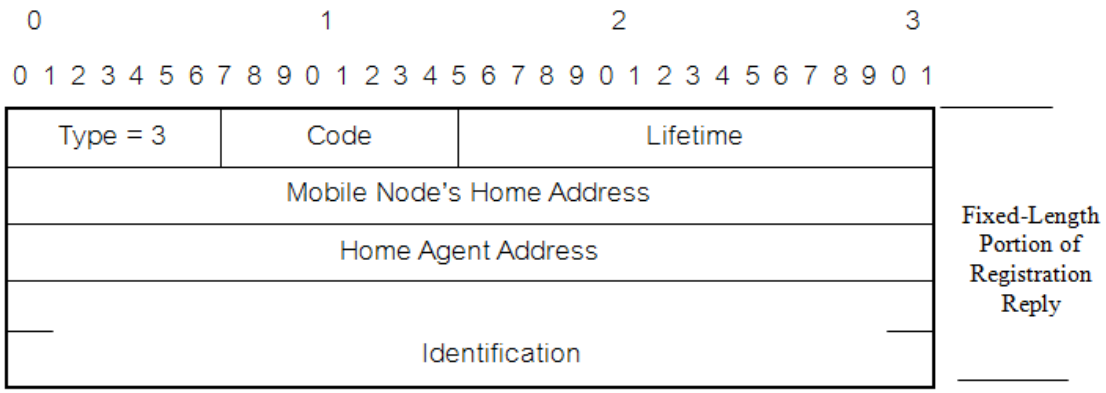
1. เมื่อ MN ตรวจพบว่าได้เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายเดิมไปยังโครงข่ายใหม่ MN จะต้องลงทะเบียนที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA) ที่ได้รับมาใหม่จาก FA กับ HA
2. MN ต้องทำการลงทะเบียนใหม่อีกครั้งถ้าการลงทะเบียนในครั้งล่าสุดหมดอายุแล้ว
3. เมื่อ MN ได้เคลื่อนที่กลับมายัง Home network MN จะถอนการลงทะเบียนที่ทำไว้กับ HA และทำงานเหมือนเป็นโนดอยู่กับที่ตัวหนึ่ง โดยไม่ต้องใช้บริการสนับสนุนการเคลื่อนที่

4. เมื่อ MN ได้ทำการลงทะเบียน แจ้ง CoA กับ HA แล้ว ถ้า HA ได้รับแพ็กเกตข้อมูลที่มีปลายทางส่งถึง MN แล้ว HA จะสำเนาแพ็กเกตข้อมูลนั้นแล้วส่งให้กับ MN โดยกำหนดให้มีปลายทางถึง CoA ของ MN



ภาพที่ 2.3 ข่าวสารร้องขอลงทะเบียน

การลงทะเบียนตามโพรโทคอล Mobile IP เกิดขึ้นโดยการแลกเปลี่ยนของข่าวสาร 2 ชนิด คือ ข่าวสารร้องขอลงทะเบียน (Registration request message) และข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน (Registration reply message) โดยข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนจะส่งด้วยโพรโทคอลยูดีพี (UDP: User Datagram Protocol) ข่าวสารนี้จะถูกนำไปแปะ payload ให้เป็นไอพีแพ็กเกต ภาพที่ 2.3 แสดงข่าวสารร้องขอลงทะเบียน มีส่วนหัวของไอพี ส่วนหัวของยูดีพี และส่วนขยาย ภาพที่ 2.4 แสดงเฉพาะส่วนที่มีความยาวคงที่ (Fixed-Length Portion) ของข่าวสารร้องขอลงทะเบียน ซึ่งส่วนความยาวคงที่นี้ เป็นเพียงส่วนเดียวที่ทำให้ข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนแตกต่างจากข่าวสารร้องขอลงทะเบียน ข้อความที่ใช้สำหรับการลงทะเบียนจะต้องมีส่วนตรวจสอบสิทธิในการเข้าถึงบ้านของโนดเคลื่อนที่ (Mobile Home Authentication Extension) ด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้โนดอื่นปลอมแปลงข้อมูลแล้วนำมาขอลงทะเบียนกับตัวแทน



ภาพที่ 2.4 ส่วนความยาวคงที่ (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 ใช้สำหรับการจัดเส้นทางของแพ็กเกตข้อมูล 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 บิต M ใช้สำหรับร้องขอให้ตัวแทนบ้านใช้ Minimal

Encapsulation ส่วนบิต V ถูกกำหนดเป็น 1 เพื่อบอกให้โนดเคลื่อนที่ และตัวแทนต่างบ้านบีบอัดข้อมูลส่วนหัว (header compression) เมื่อส่งข่าวสารผ่านข่ายเชื่อมโยงต่างบ้าน

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

ส่วน Code ในข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนใช้สำหรับแจ้งให้ MN ทราบว่า HA ตอบรับการลงทะเบียนหรือปฏิเสธการขอลงทะเบียน ค่าใน Code นี้จะถูกกำหนดว่ามีเฉพาะค่าเดียวเท่านั้นที่จะแปลความหมายได้ว่าตัวแทนตอบรับการลงทะเบียน ถ้าเป็นค่าอื่นนอกเหนือจากค่าเฉพาะนี้จะถือว่า HA ปฏิเสธการลงทะเบียน พร้อมกับแจ้งเหตุผลที่ปฏิเสธการลงทะเบียนด้วย

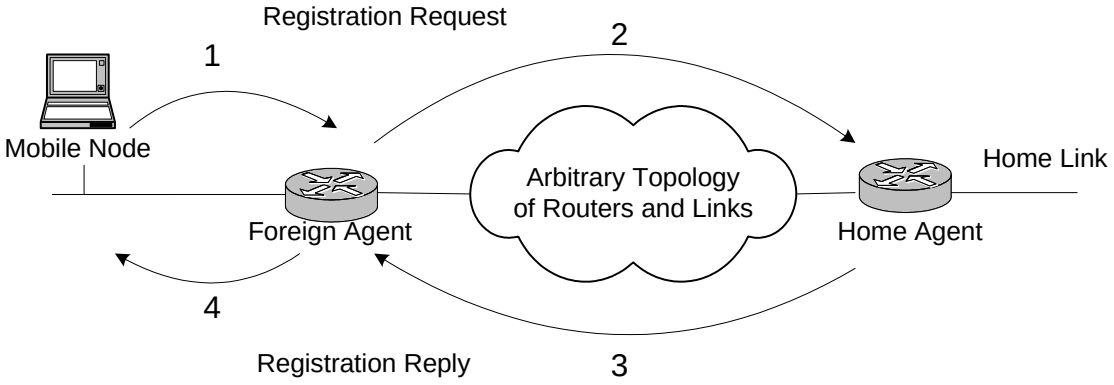
นอกจากนี้ภายในข่าวสารการลงทะเบียนยังประกอบด้วยข้อมูลหลักอีก 3 ส่วนคือ ที่อยู่ประจำบ้าน (Home address), ที่อยู่ไอพีชั่วคราว (Care-of address, CoA) และช่วงเวลาอายุของการลงทะเบียน (Registration Lifetime) HA จะมีส่วนเก็บบันทึกข้อมูลที่เรียกว่า binding ไว้สำหรับเก็บค่า CoA ปัจจุบันของ MN ที่ได้จากข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนล่าสุดที่ MN ส่งมา เมื่อ HA ได้รับข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนที่ถูกส่งมาจาก MN HA ก็จะส่งข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนกลับไปยัง MN ผ่านทาง FA เพื่อบอกว่าตอบรับหรือปฏิเสธการลงทะเบียนนี้ โดยที่ HA จะมีการปรับปรุงค่า binding (Binding update) เมื่อได้รับข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนอันใหม่ที่ถูกส่งมาจาก MN โดยหากครบช่วงระยะเวลาอายุของการลงทะเบียนแล้ว HA ยังไม่ได้รับข่าวสารการลงทะเบียนใหม่จากโนดเคลื่อนที่นั้น ข้อมูลของ MN ตัวนั้นก็จะถูกลบทิ้งไป

ในส่วน Identification ถูกใช้เพื่อตรวจสอบยืนยัน (Authentication) ให้ HA มั่นใจได้ว่าข่าวสารการลงทะเบียนที่ได้รับมานี้ถูกส่งมาจาก MN จริงๆ โดยการลงทะเบียนแต่ละครั้งมีความเป็นหนึ่งเดียวไม่ซ้ำกับโนดอื่นหรือไม่ซ้ำกับการลงทะเบียนในครั้งอื่น เพื่อความปลอดภัยของข้อมูลไม่ให้โนดอื่นปลอมแปลงข่าวสารร้องขอลงทะเบียน ซึ่งประสงค์จะให้เกิดความผิดพลาด (malicious node) ส่วนของ Identification จะใช้งานได้ 2 แบบ การใช้งานแบบแรกคือ ใช้เพื่อจับคู่ระหว่างข้อความที่ตอบรับการลงทะเบียนที่ตรงกันกับข้อความที่ร้องขอลงทะเบียน การใช้งานแบบที่สองคือ ใช้เพื่อป้องกันไม่ให้โนดอื่นปลอมแปลงข่าวสารร้องขอลงทะเบียนแล้วนำกลับมาใช้โดยอ้างการขอลงทะเบียนจากโนดที่ถูกปลอมแปลง ค่า Identification จะใช้ร่วมกับข้อมูลในส่วน Mobile Home Authentication Extension เพื่อช่วยป้องกันการจารกรรมข้อมูล ในกระบวนการออกแบบ Mobile IP เพื่อใช้งานจริงจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึงกระบวนการยืนยันความ

ถูกต้องของตัวบุคคลรวมถึงการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล สำหรับใน Mobile IP แต่ละ MN และ HA จะต้องมีกระบวนการรักษาความปลอดภัย (security association) ร่วมกัน โดยข้อมูลที่ใช้ในกระบวนการดังกล่าวจะถูกบรรจุอยู่ในข่าวสารการสัญญาณระหว่างผู้ใช้เคลื่อนที่กับตัวแทนที่ติดต่อสื่อสารด้วย

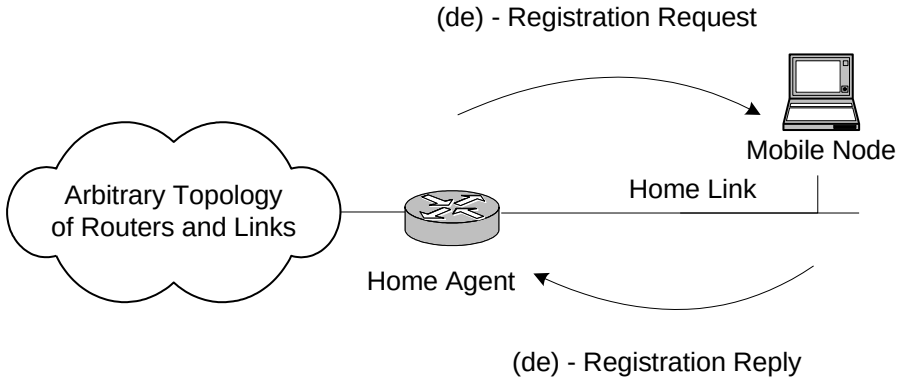
ขั้นตอนการลงทะเบียน ประกอบด้วยการส่งข่าวสารร้องขอลงทะเบียนและการได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนระหว่าง MN กับตัวแทน ซึ่งหมายถึง HA หรือ FA ก็ได้ การลงทะเบียนสามารถทำได้ 2 ลักษณะคือ

1. การลงทะเบียนกับ HA ผ่านข่ายเชื่อมโยงข้อมูลภายนอก โดยใช้ CoA ที่ได้จากข่าวสารประกาศของ FA แสดงไว้ในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 การลงทะเบียนบนข่ายเชื่อมโยงข้อมูลต่างพื้นที่ โดยใช้ CoA ของ FA

2. MN ถอนการลงทะเบียนกับ HA เมื่อเคลื่อนที่กลับมาที่ข่ายเชื่อมโยงบ้าน แสดงไว้ในภาพที่ 2.6

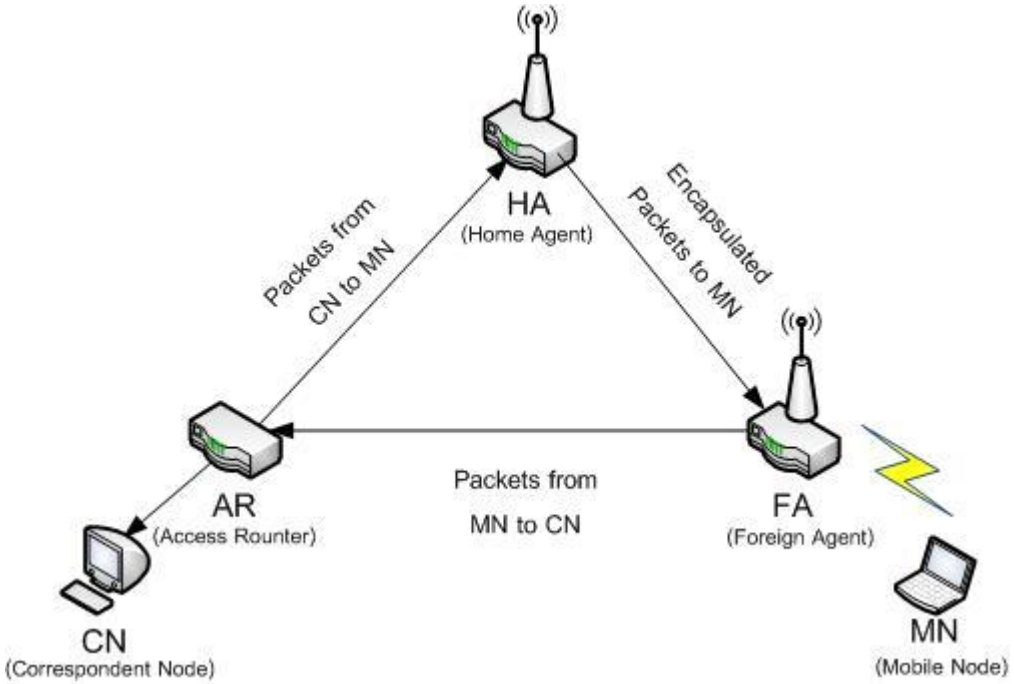


ภาพที่ 2.6 MN ถอนการลงทะเบียนเมื่อเคลื่อนที่กลับมาที่ข่ายเชื่อมโยงบ้าน

เมื่อ MN เคลื่อนที่ไปยังโครงข่ายใหม่ MN จะส่งข่าวสารร้องขอลงทะเบียนไปยัง HA ผ่าน FA แสดงไว้ในภาพที่ 2.5 โดย FA จะพิจารณาว่าข่าวสารร้องขอลงทะเบียนมีข้อผิดพลาดหรือไม่ ถ้าไม่มีข้อผิดพลาดใดๆ FA จะส่งข้อความร้องขอการลงทะเบียนไปยัง HA จากนั้น HA จะส่งข้อความตอบรับการลงทะเบียนนั้นกลับมายัง MN ผ่าน FA โดยเส้นทางของการส่งข้อความตอบรับการลงทะเบียนจะส่งในเส้นทางเดียวกันกับเส้นทางที่ใช้ส่งข่าวสารร้องขอลงทะเบียนแต่ส่งในทิศทางย้อนกลับ ถ้า MN ไม่ได้รับข้อความตอบรับการลงทะเบียนภายในระยะเวลาที่กำหนดในโพรโทคอลแล้ว MN จะส่งข่าวสารร้องขอลงทะเบียนอีกครั้งหนึ่งจนกว่าจะได้รับข้อความตอบรับการลงทะเบียน ส่วนกรณีที่ MN เคลื่อนที่กลับมายัง Home network โนดเคลื่อนที่ก็จะยกเลิกการลงทะเบียนกับ HA เพื่อรับแพ็กเกตข้อมูลเองโดยใช้กลไกเช่นเดียวกับระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ตามปกติ แสดงไว้ในภาพที่ 2.6

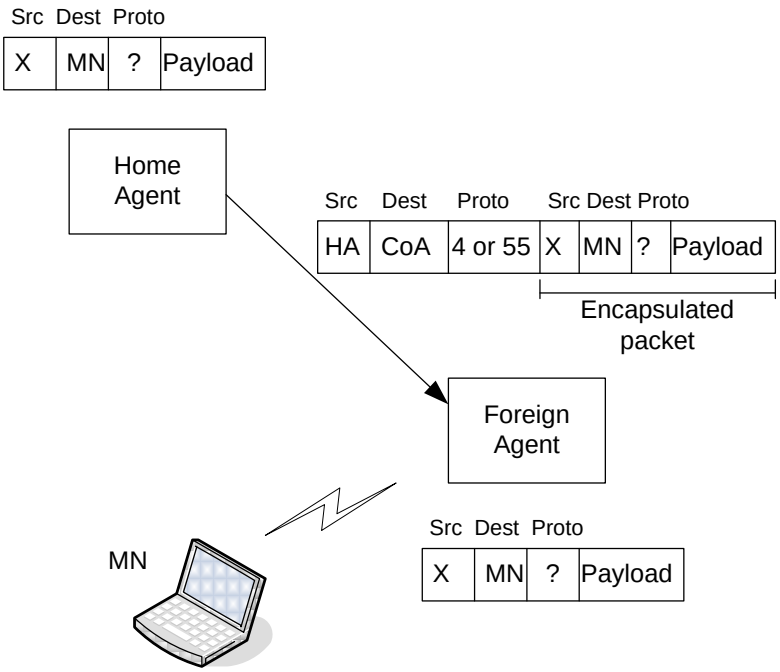
2.5 กระบวนการรับและส่งแพ็กเกตของโนดเคลื่อนที่ (Routing and tunneling)

เราสามารถแบ่งพิจารณาการรับและส่งแพ็กเกตของโนดเคลื่อนที่ออกได้เป็น 2 กรณี คือ กระบวนการรับแพ็กเกตข้อมูลของ MN และกระบวนการส่งแพ็กเกตข้อมูลออกของ MN ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 เส้นทางการส่งและรับแพ็กเกตของ MN

ในกรณีการรับแพ็กเกตข้อมูลของ MN เมื่อ CN ต้องการส่งแพ็กเกตข้อมูลมาที่ MN แพ็กเกตข้อมูลจะถูกส่งมาที่ HA ก่อนตามที่อยู่ไอพีประจำบ้าน เนื่องจาก CN จะไม่ทราบที่อยู่ไอพีชั่วคราวของโนดเคลื่อนที่ (CoA) ปัจจุบันของ MN จากนั้น HA ก็จะตรวจสอบดูใน binding list และ encapsulate แพ็กเกตข้อมูลเดิมด้วยเฮดเดอร์อันใหม่ซึ่งมีที่อยู่ต้นทางเป็นที่อยู่ของ HA และมีที่อยู่ไอพีปลายทางเป็นที่อยู่ CoA ที่ MN ได้ลงทะเบียนไว้ เมื่อ FA ได้รับแพ็กเกตข้อมูล ก็จะทำการ decapsulate เฮดเดอร์ออกจากแพ็กเกตข้อมูล แล้วจึงส่งต่อแพ็กเกตข้อมูลไปให้ MN ส่วนกรณีการส่งแพ็กเกตข้อมูล MN สามารถส่งแพ็กเกตข้อมูลไปยัง CN ได้โดยไม่จำเป็นต้องส่งผ่าน HA เหมือนในกรณีการรับแพ็กเกตข้อมูล ดังแสดงในภาพที่ 2.7 แต่ในกรณีที่ MN ยังคงอยู่บน Home network การรับและส่งแพ็กเกตของ MN มีการทำงานเหมือนกับการจัดเส้นทางของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตตามปกติ ไม่จำเป็นต้องอาศัยกระบวนการพิเศษใดๆ



ภาพที่ 2.8 กระบวนการ Encapsulation และส่งข้อมูลให้กับ MN

ภาพที่ 2.8 แสดงให้เห็นถึงกระบวนการ Tunneling แพ็กเกตข้อมูลจาก HA มายังตำแหน่งปัจจุบันของ MN (CoA) โดยกระบวนการ Encapsulation [4] ในกระบวนการนี้เริ่มต้นที่ HA จะเพิ่มส่วนของไอพีเฮดเดอร์ใหม่ หรือที่เรียกว่า tunnel header เข้าไปที่ส่วนหน้าของแพ็กเกตข้อมูลเดิม (ซึ่งมีที่อยู่ปลายทางเป็นที่อยู่บ้านของ MN) โดย tunnel header นี้จะมีที่อยู่ไอพีปลายทาง

เป็น CoA และมีที่อยู่ไอพีต้นทางเป็นที่อยู่ของ HA จากรูปจะเห็นว่าแพ็กเกตที่ถูกส่งจาก HA มายัง FA ในส่วนของเฮดเดอร์จะมีฟิลด์ protocol ถูกกำหนดเป็น 4 โดยส่วนนี้เป็นส่วนที่ระบุว่าข้อมูลในดาตาแกรมเป็นของโพรโทคอลในชั้นสูงกว่าชนิดใด (higher level protocol number) ซึ่งในกรณีนี้แสดงว่าโพรโทคอลเฮดเดอร์ถัดไปคือ ไอพีเฮดเดอร์

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากปัญหาต่างๆที่พบในโพรโทคอล Mobile IP ทั้งในปัญหาของการจัดการสภาพเคลื่อนที่ ปัญหาจากกระบวนการแฮนด์ออฟ และปัญหาที่เกิดจากการจัดเส้นทางแบบสามเหลี่ยม ในงานวิจัยนี้จะเน้นพัฒนางานวิจัยเพื่อแก้ปัญหาในด้านปัญหาของการจัดการสภาพเคลื่อนที่ ซึ่งก่อให้เกิดปริมาณข่าวสารการสัญญาณ (Signaling overhead) จากการลงทะเบียนของ MN จากศึกษาพบว่าแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ Mobile IP มีงานวิจัยจำนวนมากนำกระบวนการเพจมาช่วยแก้ปัญหาการจัดการสภาพเคลื่อนที่ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.6.1 Paging Extension for Mobile IP (P-MIP) [5]

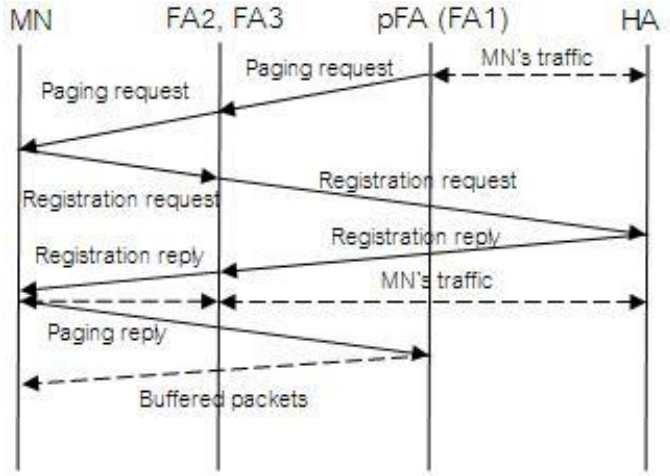
ตามปกติ MN จะไม่ได้อยู่ในสถานะที่กำลังสื่อสารกับผู้อื่นตลอดเวลา แต่จะอยู่ในสถานะไม่ได้สื่อสารกับโนดอื่นเป็นส่วนใหญ่ เพราะฉะนั้นการกำหนดให้ MN ทำการลงทะเบียนทุกครั้งที่เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายเดิม จะก่อให้ระบบเกิดปริมาณข่าวสารการสัญญาณจำนวนมาก จึงเกิดแนวคิดที่จะนำกระบวนการเพจซึ่งมีใช้อยู่ใน Cellular system มาประยุกต์ใช้กับโพรโทคอล Mobile IP โดยวิธีนี้สามารถเพิ่มการรองรับการขยายตัวของผู้ใช้ได้มากขึ้น (Scalability)

ถ้า FA นั้นรองรับการเพจ จะส่งข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent advertisement) ที่มีบิต ‘P’ อยู่ภายในข่าวสารประกาศจากตัวแทน ดังนั้นเมื่อ MN ได้รับข่าวสารประกาศจากตัวแทนก็จะสามารถตรวจสอบได้ว่า FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการอยู่นั้นรองรับการเพจหรือไม่ เช่นเดียวกันจะมีการกำหนดค่าในบิต ‘P’ ในข่าวสารร้องขอการลงทะเบียน (Registration request message) ที่ถูกส่งโดย MN เพื่อแสดงว่า MN นั้นรองรับการเพจหรือไม่

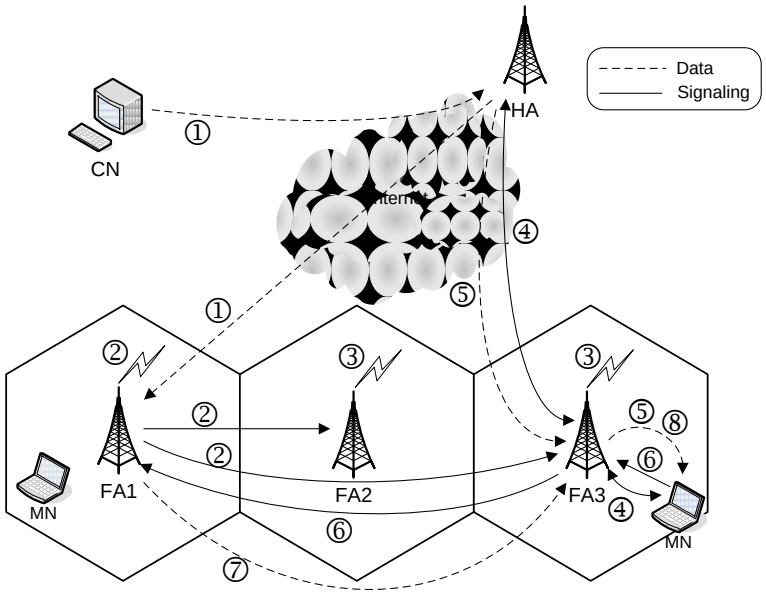
สถานะ MN มี 2 สถานะ คือสถานะ Active MN เมื่อ MN อยู่ในช่วงรับส่งแพ็กเกตข้อมูลช่วงลงทะเบียนกับ HA และสถานะ Idle MN หลังจากเวลาที่ MN ไม่ได้รับส่งแพ็กเกตข้อมูลหรือทำการลงทะเบียนเป็นระยะเวลาหนึ่ง โดยความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลา Active timer period กับความน่าจะเป็นของสถานะการทำงานของผู้ใช้ซึ่งปรากฏใน [6] แสดงให้เห็นว่า ที่ค่า Active timer period เพิ่มขึ้น ผู้ใช้จะมีโอกาสที่สถานะการทำงานเป็น active เพิ่มมากขึ้นเช่นกัน สำหรับ Active

MN จะมีการทำงานเหมือนกับใน Mobile IP มาตรฐานทุกอย่าง กล่าวคือ เมื่อมีการเคลื่อนที่เปลี่ยน FA MN จะต้องลงทะเบียนกับ HA ผ่านทาง FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการ MN นั้นๆ อยู่ (current FA) เพื่อบอกที่อยู่ปัจจุบันของตน สำหรับ Idle MN เมื่อมีการเคลื่อนที่ข้ามไปยังพื้นที่การเพจใหม่ โดยกำหนดให้พื้นที่การเพจคือกลุ่มของ FA ที่อยู่ในพื้นที่ใกล้เคียงกัน MN จะต้องลงทะเบียนพื้นที่การเพจใหม่กับ HA ผ่าน current FA และ FA จะถูกเรียกเป็น registered FA พร้อมทั้งทำหน้าที่เป็นผู้เริ่มการส่งข่าวสารร้องขอการเพจในพื้นที่การเพจ (paging FA, PFA) แต่ในกรณีที่ MN เคลื่อนที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจเดิมก็ไม่จำเป็นต้องส่งข่าวสารการสัญญาณใดๆ เมื่อมีแพ็กเกต ข้อมูลถูกส่งมาถึง MN แพ็กเกตเหล่านั้นจะถูกส่งไปยังโครงข่ายบ้าน (Home Network) ของ MN นั้นๆ HA จะทำการ 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

เมื่อมีแพ็กเกตข้อมูลต้องการส่งมาที่ MN จะถูกส่งมาที่ pFA ก่อนตามที่อยู่ CoA ที่ MN ได้ทำการลงทะเบียนไว้กับ HA จากนั้น pFA ก็จะส่ง Paging Request Message เมื่อ MN ได้รับ Paging Request Message ก็จะทำการลงทะเบียนกับ HA ผ่านทาง current FA และหลังจากได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน (Registration reply message) MN ก็จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจ (Paging reply message) กลับไปยัง FA ที่ได้ขอลงทะเบียนไว้ (ซึ่งก็คือ paging FA) ผ่านทาง current FA เพื่อบอกตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันของ MN (current FA) เมื่อ registered FA ได้รับข่าวสารตอบรับการเพจก็จะส่งแพ็กเกตที่ถูกพักไว้ให้กับ MN ผ่านทาง current FA ต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 แผนภาพแสดงการสัญญาณของ P-MIP



ภาพที่ 2.10 ลักษณะการทำงานของ P-MIP

จากภาพที่ 2.10 กำหนดให้ FA1, FA2 และ FA3 อยู่ในพื้นที่การเพจเดียวกันและ idle MN ได้ลงทะเบียนกับ HA ผ่าน FA1 ไว้ ดังนั้นที่ HA จะมีการบันทึก CoA ของ MN เป็นที่อยู่ของ FA1 ซึ่งเป็น registered FA เมื่อ MN เคลื่อนที่จาก FA1 ไปยัง FA3 โดยไม่มีการลงทะเบียน และโนด CN ต้องการส่งข้อมูลไปหา MN ① แพ็กเกตข้อมูลจะถูกส่งไปที่ Home Network ของ MN นั้น ตามที่อยู่ไอพีประจำบ้าน แล้ว HA จะ encapsulate แพ็กเกตข้อมูลเหล่านั้นด้วยที่อยู่ CoA และส่งต่อ (Tunnel) แพ็กเกตข้อมูลมายัง FA1 หลังจากที่ FA1 ได้รับ แพ็กเกตข้อมูลนี้ก็จะตรวจสอบว่ามี

ข้อมูลบันทึกสำหรับ MN นั้นหรือไม่ ถ้าพบจึงตรวจสอบต่อไปว่าผู้ใช้เคลื่อนที่รองรับการเพจหรือไม่ ถ้ารองรับ ก็จะตรวจสอบต่อ ว่า MN มีสถานะการทำงานเป็นอะไร ในที่นี้ MN มีสถานะ idle, FA1 จึงเริ่มพัก (buffer) แพ็กเกตข้อมูลพร้อมๆ กับส่งข่าวสารร้องขอการเพจ ② ภายในเซลล์และส่งไปยัง FA2 และ FA3 หลังจากนั้นทั้ง FA2 และ FA3 จะกระจายข่าวสารร้องขอการเพจนี้ ③ ในแต่ละเซลล์ของตัวเอง เมื่อ MN ได้รับข่าวสารร้องขอการเพจที่มี Home Address ของตนปรากฏอยู่ก็จะทำการลงทะเบียนกับ HA ④ จากนั้น HA จึงเปลี่ยนเส้นทางแพ็กเกตข้อมูลมายัง FA3 เมื่อกระบวนการลงทะเบียนเสร็จสมบูรณ์ ⑤ และเมื่อ MN ได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน ④ แล้ว MN จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจ ⑥ กลับไปยัง FA1 (registered FA, paging FA) เพื่อให้ FA1 ส่งแพ็กเกตที่ถูกพักไว้มายัง MN ผ่านทาง FA3 (current FA) ⑦, ⑧ จากนั้น FA1 จึงลบบันทึกข้อมูลของ MN ตัวนั้นๆ ทิ้งไป

จะเห็นว่า FA ทุกตัวในระบบสามารถทำหน้าที่เป็น PFA ได้ ระบบจึงมีลักษณะการทำงานเป็นแบบ distributed มีข้อดีเมื่อเทียบกับการทำงานแบบ centralized คือมีความเชื่อถือได้ของระบบ (System Reliability) มากกว่า รวมถึงการแบ่งภาระการรับส่งแพ็กเกตข้อมูลกระจายไปให้โนดต่างๆ เพื่อลดความคับคั่งของแพ็กเกตบริเวณศูนย์กลาง

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

1. ในกรณีที่ระบบมีผู้ใช้ที่มีอัตราความเร็วการเคลื่อนที่ไม่สูงนัก ต้นทุนการสัญญาณอันเนื่องมาจากการเพจมีแนวโน้มที่จะเพิ่มปริมาณของต้นทุนการสัญญาณโดยรวม แทนที่จะเป็นการช่วยลดภาระในการสัญญาณของระบบลง ส่งผลให้ระบบมีต้นทุนในการสัญญาณสูงกว่าในระบบ Mobile IP แบบดั้งเดิมในบางสภาวะของระบบ ส่งผลให้ในการออกแบบจะมีช่วงการใช้งานได้น้อยลง

2. ในทางปฏิบัติ จะมีผู้ใช้จำนวนมากอยู่ภายในระบบ ซึ่งผู้ใช้แต่ละคนก็จะมีค่าพารามิเตอร์ที่หลากหลายแตกต่างกันไป ดังนั้นในการออกแบบ P-MIP ให้เหมาะที่สุดกับผู้ใช้ทั้งหมดจึงเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก โดยถ้าออกแบบให้พื้นที่การเพจมีขนาดใหญ่ก็จะเหมาะสมกับกลุ่มผู้ใช้ที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงแต่จะเกิดต้นทุนมากกับกลุ่มผู้ใช้ที่มีการเคลื่อนที่ด้วยอัตราที่ต่ำ ในทางกลับกันกรณีที่พื้นที่การเพจมีขนาดเล็กจะเหมาะสมกับกลุ่มผู้ใช้ที่มีลักษณะการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วต่ำแต่จะเกิดต้นทุนมากกับกลุ่มผู้ใช้ที่มีการเคลื่อนที่ด้วยอัตราที่สูง

3. ระบบ P-MIP มีต้นทุนในการสัญญาณที่ค่อนข้างถูกกระทบโดยง่ายจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของระบบที่เปลี่ยนแปลง เช่น Hop weight ratio, data session rate, ขนาดของพื้นที่การ

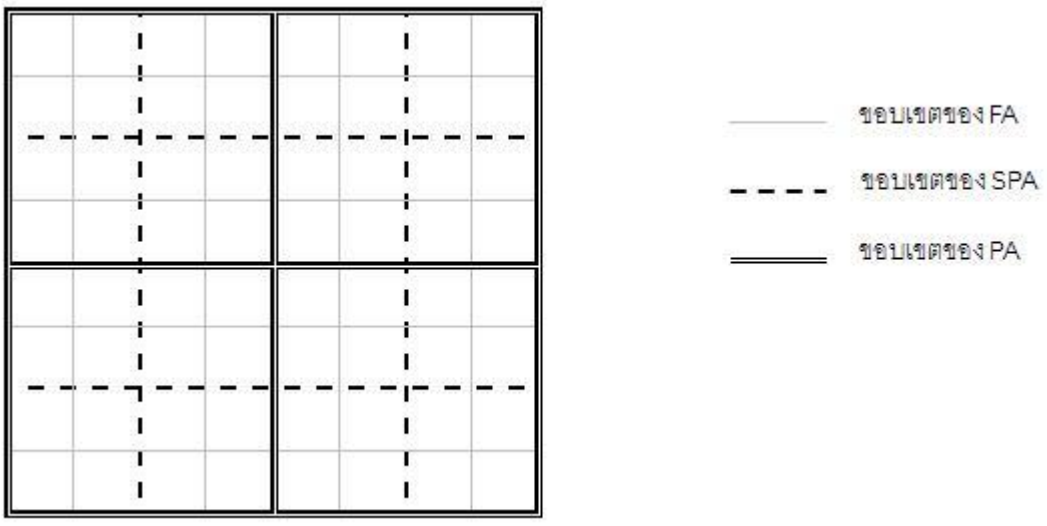
เพจ และความเร็วของโนดเคลื่อนที่ ซึ่ง sensitivity ของระบบที่เกิดขึ้นนี้จะส่งผลเสียต่อระบบทำให้ผู้ออกแบบหรือดูแลระบบยากต่อการบริหารจัดการทรัพยากรอีกทั้งอาจส่งผลต่อคุณภาพการให้บริการ (QoS) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบที่มีค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แปรเปลี่ยนได้ตามเวลา ซึ่งพบได้ในระบบโครงข่ายทั่วไป

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

2.6.2 Distributed Local Paging Mobile IP (DLP-MIP) [7]

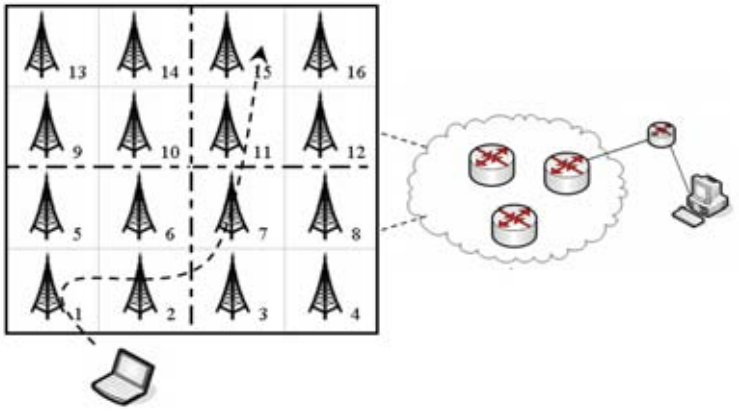
จากปัญหาที่เกิดขึ้นใน P-MIP งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการขัดการสภาพเคลื่อนที่สำหรับโครงข่ายอินเตอร์เน็ตเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถลดต้นทุนการสัญญาณโดยรวมในระบบ รวมถึงลด sentivity ของระบบที่มีต่อพารามิเตอร์ต่างๆ โดยการจำกัดขนาดของพื้นที่การเพจให้มีขนาดเล็กลง โดยอาศัยหลักกการแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นพื้นที่การเพจย่อย (Sub-PA, SPA) และกำหนดตัวแทนในการดูแลที่เหมาะสม นั้นคือมีการกำหนดการจัดวางตำแหน่งของ pFA ที่ถูกลงทะเบียนไว้กับ HA และ FA ที่ทำหน้าที่เริ่มต้นการกระจาย Paging Request Message ใน SPA เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการสัญญาณที่มีในโครงข่าย

โดย FA ทุกตัวในระบบจะรองรับกระบวนการการเพจ และกำหนดให้ภายในพื้นที่การเพจ (Paging Area, PA) หนึ่งมีการแบ่งออกเป็นพื้นที่ย่อยๆ โดยเรียกพื้นที่ย่อยๆเหล่านี้ว่า พื้นที่การเพจย่อย (Sub-PA, SPA) ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 ลักษณะพื้นที่การเพจเมื่อมีการแบ่งเป็นพื้นที่การเพจย่อย

การมี SPA จะช่วยลดต้นทุนการสัญญาณการเพจ (Paging Signaling Cost) ลงได้ เนื่องจากเมื่อ PFA ได้รับแพ็กเกตข้อมูลแล้วตรวจพบว่าโนดเคลื่อนที่อยู่ในสถานะ Idle อยู่ใน SPA ในพื้นที่การเพจ PFA จะส่งสัญญาณการเพจออกไปเฉพาะ SPA นั้น โดยส่งไปที่ FA ที่ทำหน้าที่เป็น Sub-PFA ซึ่งเป็น FA ตัวแรกที่ Idle MN เคลื่อนที่เข้ามาอยู่ใน SPA นั้นโดย MN จะต้องแจ้งที่อยู่ของ Sub-PFA ปัจจุบันให้ PFA ทราบ โดยเรียกว่าเป็นการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่ง (Location Update) ซึ่งการแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งนี้ไม่ได้ทำให้ MN เปลี่ยนจากสถานะ idle เป็น active แต่อย่างใด ส่วนในกรณีที่ idle MN มีการเคลื่อนที่อยู่ภายใน SPA ก็ไม่จำเป็นจะต้องลงทะเบียนหรือส่งข่าวสารการสัญญาณใดๆ

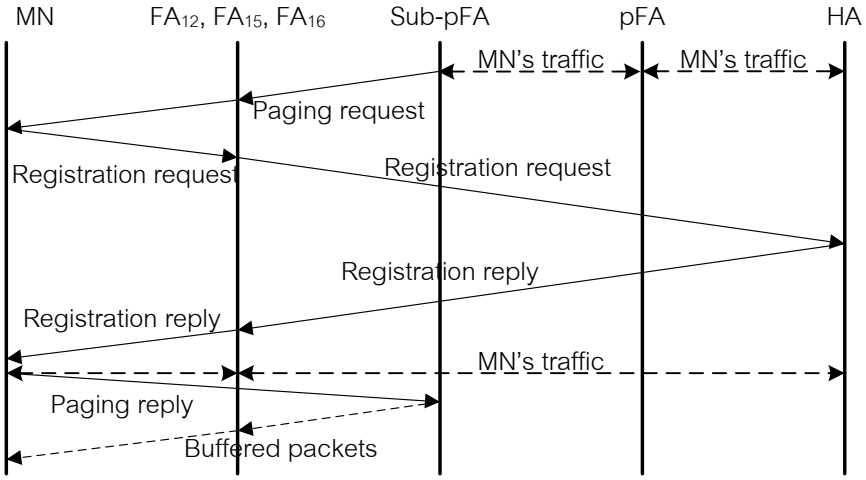


ภาพที่ 2.12 ลักษณะการทำงานของ DLP-MIP

ภาพที่ 2.12 แสดงลักษณะการทำงานของวิธีที่เสนอ จากรูป พื้นที่การเพจประกอบด้วย 16 เซลล์ และมีการแบ่งออกเป็นพื้นที่การเพจย่อย 4 พื้นที่การเพจย่อยแต่ละพื้นที่ประกอบด้วย 4 เซลล์ เริ่มต้นเมื่อ MN ซึ่งมีสถานะการทำงานเป็นสถานะ idle เคลื่อนที่ข้ามมายังพื้นที่การเพจที่พิจารณา โดยผ่านทาง FA1 (FA1 ทำหน้าที่เป็น PFA) MN จะต้องลงทะเบียนกับ HA เพื่อบอกที่อยู่ของ PFA ให้ HA รู้ จากนั้นเมื่อ MN เคลื่อนที่ข้ามไปยัง FA2 ซึ่งยังคงอยู่ในพื้นที่การเพจเดิมและพื้นที่การเพจย่อยเดิม MN จึงไม่ต้องส่งข่าวสารการสัญญาณใดๆ แต่เมื่อเคลื่อนที่ไปยัง FA3 MN ตรวจพบว่ากำลังอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยใหม่แต่ยังคงอยู่ในพื้นที่การเพจเดิม MN จึงส่งข่าวสารแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งไปยัง FA1 (PFA) เพื่อบอกถึงที่อยู่ของ Sub-PFA ปัจจุบันของ MN (FA3)

เมื่อ MN เคลื่อนที่ข้ามไป FA7 ซึ่งยังอยู่ในพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยเดิม MN จึงไม่ต้องส่งข่าวสารการสัญญาณใดๆ แต่เมื่อเคลื่อนที่ไปยัง FA11 ก็จะต้องแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งไปยัง FA1 เพื่อบอกที่อยู่ของ Sub-PFA ปัจจุบันดังเช่นที่ได้อธิบายข้างต้น จากภาพที่ 2.12 ถ้า

กำหนดให้ขณะที่ MN กำลังอยู่ที่ FA15 มีแพ็กเกตข้อมูลส่งมาถึง MN HA จะดักจับแพ็กเกตข้อมูลเหล่านั้นพร้อมทั้ง encapsulate แล้วจึงส่งต่อมายัง PFA ที่ได้บันทึกไว้ ซึ่งในที่นี้คือ FA1 จากนั้น FA1 จะตรวจสอบใน visitor list ว่ามีบันทึกของ MN นี้หรือไม่ ถ้าพบก็จะตรวจสอบว่า MN นั้นได้มีการเคลื่อนที่เปลี่ยนพื้นที่การเพจย่อยไปแล้วหรือยัง ซึ่งพบว่า MN ได้เคลื่อนที่เปลี่ยนพื้นที่การเพจย่อยแล้วโดยมี FA11 เป็น Sub-PFA ปัจจุบันที่บันทึกไว้ FA1 จึงส่งแพ็กเกตทั้งหมดไปยัง FA11 ซึ่งทำหน้าที่เป็น Sub-PFA โดยทันที Sub-PFA จึงตรวจสอบว่ามีบันทึกของ MN นี้หรือไม่ ถ้าตรวจพบ FA11 จะส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยังทุกๆ FA ภายในพื้นที่การเพจย่อยอันได้แก่ FA12,FA15 และ FA16 พร้อมกับกระจายข่าวสารร้องขอการเพจในเซลล์ของตัวเอง และเมื่อ FA12,FA15 และ FA16 ได้รับข่าวสารร้องขอการเพจก็จะกระจายข่าวสารนี้ในแต่ละเซลล์ของตัวเอง เมื่อ MN ตรวจพบที่อยู่ของตัวเองในข่าวสารร้องขอการเพจก็จะลงทะเบียนกับ HA ผ่านทาง FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการอยู่ เมื่อกระบวนการการลงทะเบียนเสร็จสมบูรณ์ HA ก็จะเปลี่ยนเส้นทางของแพ็กเกตข้อมูลมาที่ FA15 แทนซึ่งเส้นทางนี้เป็น optimal path สำหรับแพ็กเกตข้อมูลที่จะส่งมาหา MN พร้อมกันนั้น MN จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจผ่าน FA15 ไปยัง FA11 เพื่อขอรับแพ็กเกตข้อมูลในบัฟเฟอร์ที่ถูกพักเอาไว้ที่ FA11 ดังแสดงในภาพที่ 2.13

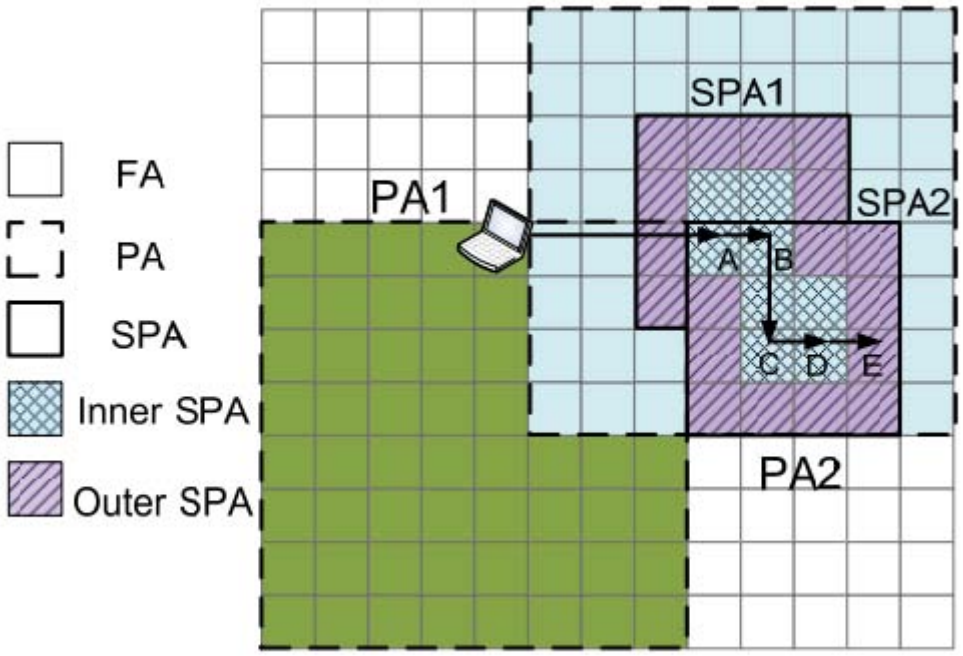


ภาพที่ 2.13 แผนภาพแสดงการสัญญาณของ DLP-MIP

แม้ว่าวิธีนี้จะช่วยลดต้นทุนการสัญญาณโดยรวมในระบบซึ่งเกิดจาการเพจหาตำแหน่งของ MN และการลงทะเบียนกับ HA รวมถึงลด sentivity ของระบบที่มีต่อพารามิเตอร์ต่างๆ แต่ปัญหาการออกแบบพื้นที่การเพจให้เหมาะที่สุดกับผู้ใช้ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ที่หลากหลายแตกต่างกันไป ยังไม่ได้ถูกแก้ไข

2.6.3 Two-Step Paging for Mobile IP (TSP-MIP) [8]

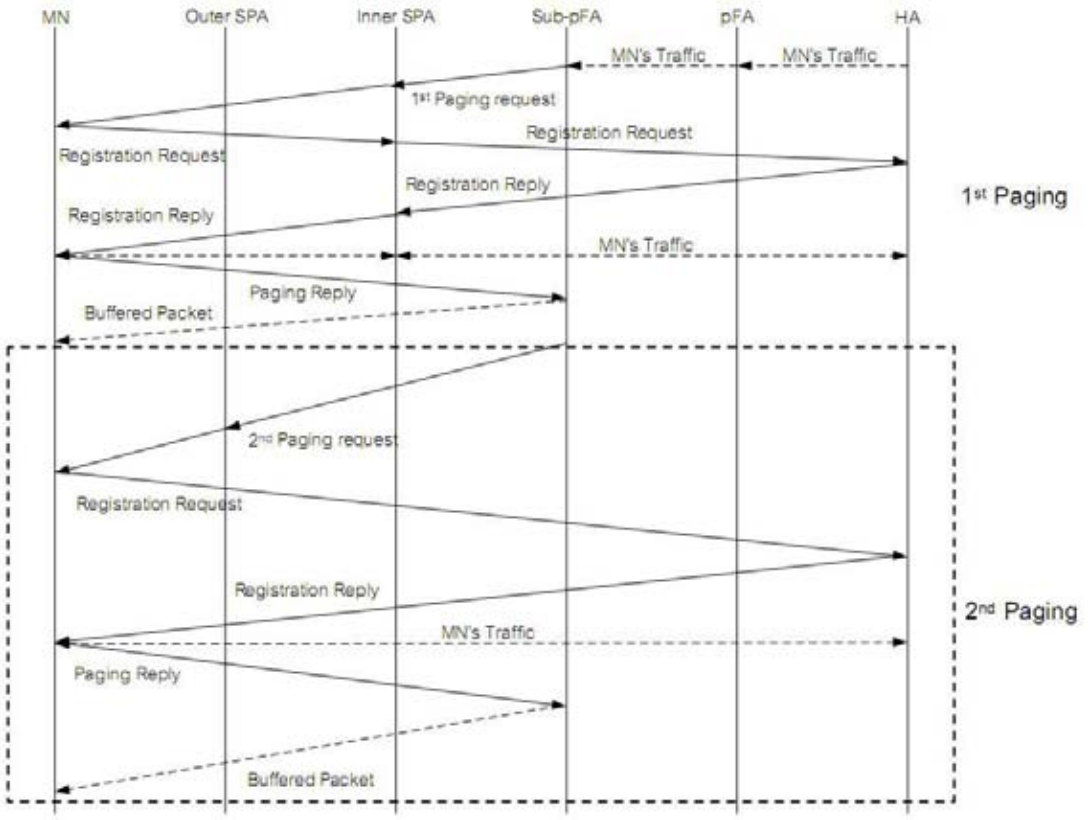
งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการลดต้นทุนการสัญญาณโดยใช้แบบแผนเพจจิงสองขั้นตอนสำหรับโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (Two-Step Paging for Mobile IP, TSP-MIP) โดยได้แบ่งพื้นที่การเพจย่อย (SPA) ออกเป็นพื้นที่การเพจย่อยภายใน (Inner SPA) และพื้นที่การเพจย่อยภายนอก (Outer SPA) เนื่องจากพบว่าจากลักษณะการจัดวางรูปแบบของพื้นที่การเพจแบบพื้นที่การเพจย่อยซ้อนทับกัน (Overlapping SPA) MN จะมีโอกาสอยู่ในบริเวณศูนย์กลางของพื้นที่การเพจย่อย นั่นคือบริเวณ Inner SPA มากกว่าที่จะอยู่ในบริเวณขอบของพื้นที่การเพจย่อยหรือ Outer SPA ดังแสดงในภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 ลักษณะพื้นที่การเพจของ TSP-MIP

จากภาพที่ 2.14 เมื่อ MN เคลื่อนที่จากโครงข่าย A ไปยัง C จะพบว่า MN ได้เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจย่อยเดิม (SPA1) ไปยังพื้นที่การเพจย่อยใหม่ (SPA2) MN ต้องทำการแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งไปยัง pFA และสมมุติว่ามีแพ็กเกตข้อมูลต้องการส่งมายัง MN pFA จะส่ง Paging Request Message เฉพาะ Inner SPA ซึ่งจะเห็นได้จากภาพที่ 2.14 ว่ามีโอกาสที่จะเพจเจอ MN ครั้งแรกใน Inner SPA อยู่มาก

วิธีนี้เสนอให้มีการเพจสองครั้งภายใน SPA โดยจะเริ่มเพจหา MN ในส่วนของ Inner SPA ก่อนเป็นอันดับแรก หากไม่พบ MN ในส่วนของการเพจครั้งแรกระบบจะเริ่มเพจหา MN เป็นครั้งที่สองในส่วนของ Outer SPA ดังแสดงในภาพที่ 2.15

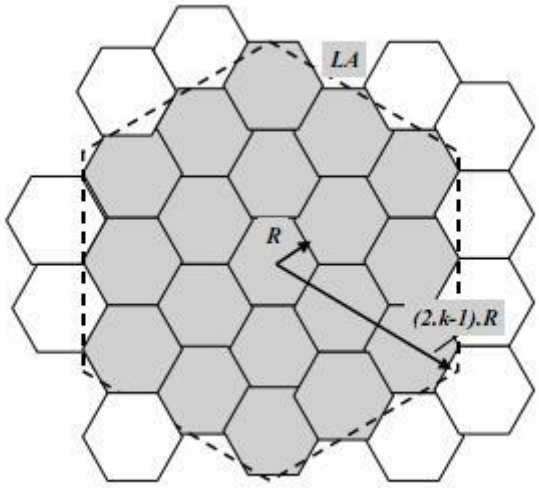


ภาพที่ 2.15 แผนภาพแสดงการสัญญาณเมื่อมีแพ็กเกตส่งถึง Idle MN

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

2.6.4 Distributed Individual Paging Extension for Mobile IP in IP-based Cellular Network (DIP-MIP) [9]

งานวิจัยนี้ใช้หลักการทำงานคล้ายกับของ P-MIP แต่สิ่งที่แตกต่างคือ วิธีนี้เสนอให้ MN สามารถคำนวณหาพื้นที่การเพจที่เหมาะที่สุดสำหรับตนเองได้ ในวิธีนี้ MN จะมีขนาดพื้นที่การเพจเฉพาะที่เหมาะที่สุด (optimum PA) ดังภาพที่ 2.16 ซึ่งจะทำให้เกิดต้นทุนการสัญญาณต่ำที่สุด เพราะแต่ละ MN จะมีความเร็วในการเคลื่อนที่และอัตราเซสชันของข้อมูลแตกต่างกันไป ซึ่งทำให้พื้นที่การเพจที่เหมาะสมของแต่ละ MN แตกต่างกันไปด้วย โดย MN จะเก็บข้อมูลความเร็วในการเคลื่อนที่และอัตราการรับแพ็กเกตพ้อมูล และคำนวณออกมาเป็นค่า K_{opt} โดยเมื่อ MN เคลื่อนที่ออกนอกพื้นที่การเพจเดิม MN จะลงทะเบียนกับ FA ที่จะทำหน้าที่เป็น PFA พร้อมทั้งแจ้งค่า K_{opt} เพื่อให้ PFA สามารถกำหนด FA ที่จะอยู่ในพื้นที่การเพจแล้วแจ้งให้กับ MN ทราบได้



ภาพที่ 2.16 ลักษณะพื้นที่การเพจของ DIP-MIP

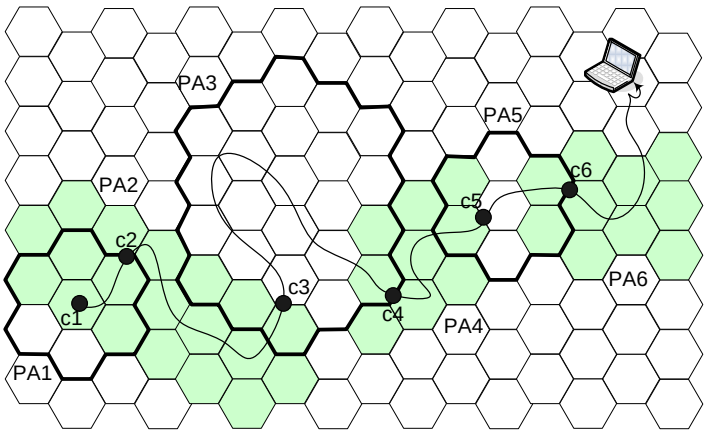
วิธีนี้กำหนดให้ MN เก็บข้อมูลความเร็วในการเคลื่อนที่และ data session rate อยู่ตลอดเพื่อทำการคำนวณหาขนาดพื้นที่การเพจที่เหมาะสม เมื่อ MN เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจเดิม MN จะทำการลงเบียนกับ HA ผ่าน current FA พร้อมทั้งส่งค่าขนาดพื้นที่การเพจที่เหมาะสมที่คำนวณได้ไปให้ pFA ด้วย เมื่อ pFA ได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน ก็จะส่งข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนต่อมาให้ MN พร้อมกับข้อมูล FA ที่อยู่ในพื้นที่การเพจใหม่มาให้ด้วย

จะเห็นว่าวิธีนี้แก้ปัญหาการออกแบบพื้นที่การเพจให้เหมาะที่สุดกับผู้ใช้ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ที่หลากหลายแตกต่างกันไปได้ แต่การกำหนดให้ MN เก็บข้อมูลความเร็วในการ

เคลื่อนที่และ data session rate พร้อมทั้งคำนวณขนาดพื้นที่การเพจที่เหมาะสมนั้น ได้ก่อให้เกิดปัญหา Power consumption ของ MN

2.6.5 An Adaptive Per-Host IP Paging Architecture (APH-MIP) [10]

งานวิจัยนี้เสนอว่า นอกเหนือจากขนาดที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้เคลื่อนที่แต่ละคน รูปร่างของพื้นที่การเพจก็มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของพื้นที่การเพจเช่นเดียวกัน โดยในวิธีนี้ขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะที่สุดจะขึ้นกับลักษณะการเคลื่อนที่และอัตราเซสชันข้อมูลของผู้ใช้ โดยผู้ใช้เคลื่อนที่จะเป็นผู้คำนวณขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะสม ส่วนกระบวนการคำนวณรูปร่างของพื้นที่การเพจที่เหมาะสมจะถูกทำโดยโครงข่าย (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 ภาพที่ 2.17 แสดงตัวอย่างรูปแบบพื้นที่การเพจที่เกิดขึ้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปขึ้นกับค่าพารามิเตอร์ของผู้ใช้ โดยจุด c แสดงถึงตำแหน่งที่ MN เคลื่อนที่ข้ามออกจากพื้นที่การเพจเดิมและเริ่มต้นการลงทะเบียน



ภาพที่ 2.17 ตัวอย่างรูปร่างพื้นที่การเพจแบบต่างๆที่เกิดขึ้น

บทที่ 3

วิธีการที่นำเสนอ

เนื้อหาในบทที่ 3 เป็นการนำหลักการและแนวคิด จากการศึกษาหลักการทำงานของโพรโทคอล Mobile IP และหลักการทำงานของงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้นำเสนอไว้ในบทที่แล้วมาประยุกต์ใช้ให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพการทำงานในด้านของการลดต้นทุนการสัญญาณโดยรวมของระบบให้ดีขึ้น รวมถึงแสดงการวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณในเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการคำนวณหาขนาดของพื้นที่การเพจและขนาดของพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม รวมถึงแสดงวิธีการออกแบบรูปร่างของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม

3.1 วิธีการที่นำเสนอ

จากงานวิจัยที่ผ่านมาในบทที่แล้ว มีการปรับปรุงประสิทธิภาพและสมรรถนะของโพรโทคอล Mobile IP โดยใช้กระบวนการเพจที่ได้มีผู้เสนอไว้ ในด้านของพื้นที่การเพจ พบว่ามี 2 แบบ คือแบบที่ขนาดของพื้นที่การเพจไม่มีการปรับเปลี่ยน (Static Aggregate Paging) และขนาดของพื้นที่การเพจปรับเปลี่ยนเฉพาะราย (Individual Paging) โดยพบว่าวิธีแบบ Individual Paging จะให้ผลที่ดีกว่าในด้านการลด Signaling Cost เนื่องจากมีการคำนวนหาขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะสมที่สุดสำหรับ MN แต่ละตัว ส่วนผลเสียคือมีความยุ่งยากในการคำนวนผลมากกว่าแบบ Static Aggregate Paging ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะเลือกใช้วิธีแบบ Individual Paging เพราะให้ Signaling Cost ที่ดีกว่า รวมถึงเลือกใช้วิธีการแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นพื้นที่การเพจย่อย (Sub-PA, SPA) ด้วยเนื่องจากการแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นพื้นที่การเพจย่อย นั้นช่วยลดภาระในการเพจลง เนื่องจากไม่ต้องส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปที่ FA ทุกตัวที่อยู่ในพื้นที่การเพจ โดยจะส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปที่ Sub-PFA ที่อยู่ใน Sub-PA ให้ช่วยกระจายข่าวสารร้องขอการเพจต่อไปในทุกๆ FA ที่อยู่ใน Sub-PA เท่านั้น ในกรณีนี้ในข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนที่ MN จะได้รับเมื่อเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่การเพจใหม่ จะมีการเพิ่มข่าวสาร 2 ชนิดเพิ่มเข้าไปคือ Paging Area Identification (PAI) และ Sub-Paging Area Identification (SPAI) ซึ่งเป็นส่วนที่แจ้งให้ MN ทราบถึง FA ที่อยู่ใน Paging Area และ Sub-PA ตามลำดับ โดย MN จะบันทึก PAI list และ SPAI list ไว้เพื่อที่ว่าในแต่ละครั้งที่ MN เคลื่อนที่เปลี่ยน FA ก็สามารถตรวจสอบได้ว่าขณะนั้นได้เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจย่อยหรือพื้นที่การเพจแล้วหรือยัง และที่แต่ละ FA ก็จะมีตารางบันทึกที่อยู่ของทุกๆ FA ที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจปัจจุบัน

กำหนดให้ FA ทุกตัวในระบบสามารถทำหน้าที่เป็น pFA ได้ คือรองรับกระบวนการการเพจ โดยกำหนดบิต ‘P’ ในข่าวสารประกาศจากตัวแทนให้มีค่าเป็น 1 เพื่อให้ MN เคลื่อนที่เข้ามายังพื้นที่บริการของ FA และเมื่อได้รับข่าวสารประกาศจากตัวแทนนี้ก็สามารถตรวจสอบได้ว่า FA ที่กำลังให้บริการอยู่นั้นรองรับการเพจหรือไม่ ส่วนข่าวสารการร้องขอการลงทะเบียนจาก MN ก็จะมีการกำหนดบิต ‘P’ ให้มีค่าเป็น 1 เพื่อเป็นการให้ FA ได้ทราบว่า MN นั้นรองรับการเพจหรือไม่

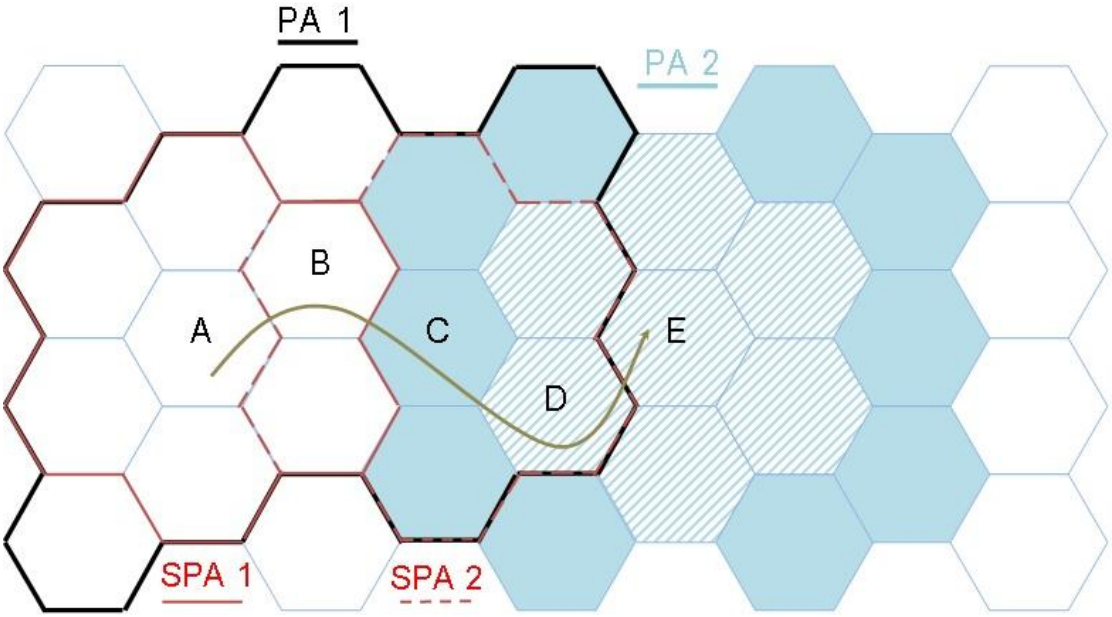
สำหรับ active MN จะมีการทำงานเช่นเดียวกับใน Mobile IP มาตรฐานคือ เมื่อ MN เคลื่อนที่ออกจาก FA เดิมก็จะต้องลงทะเบียนบอก HA ทุกครั้ง ขณะที่ idle MN เมื่อมีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจจะต้องลงทะเบียนที่อยู่ของ pFA ตัวใหม่กับ HA โดย FA ตัวแรกในพื้นที่การเพจที่ MN เคลื่อนที่ผ่านเข้าไปจะทำหน้าที่เป็น pFA 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

3.1.1 หลักการสร้างพื้นที่การเพจ

จากนิยามในวิธี P-MIP พื้นที่การเพจจะประกอบด้วยกลุ่มของ FA ตั้งแต่ 2 เซลล์ขึ้นไป ขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจสามารถออกแบบได้โดยพารามิเตอร์ที่จำเป็นจะต้องพิจารณาในการออกแบบมีอยู่หลายชนิด ได้แก่ ลักษณะการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ (user mobility pattern), อัตราความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ (MN Velocity) และอัตราเซสชันของข้อมูล (Data session rate) โดยในวิธีที่เสนอกำหนดให้พื้นที่การเพจแต่ละพื้นที่ถูกแสดงแยกจากกันโดยใช้ Paging Area Identification (PAI)

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้รูปแบบพื้นที่การเพจเป็นแบบ Overlapping PA and SPA ดังแสดงในภาพที่ 3.1 คือมีพื้นที่การเพจซ้อนทับกัน และพื้นที่การเพจย่อยในพื้นที่การเพจก็มีการซ้อนทับกันด้วย ซึ่งมีประโยชน์คือ เมื่อ MN ได้เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจหรือพื้นที่การเพจย่อยเดิม MN จะเข้าไปอยู่ในศูนย์กลางของ พื้นที่การเพจหรือพื้นที่การเพจย่อยใหม่ตามลำดับ ส่งผลให้ MN สามารถเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่การเพจหรือพื้นที่การเพจย่อยได้นานขึ้น ช่วยแก้ปัญหาการเคลื่อนที่

ข้ามขอบเขตเดิมซ้ำไปซ้ำมา ป้องกันการลงทะเบียนหรือการแจ้งเปลี่ยนตำแหน่ง (Location Update) ซ้ำไปซ้ำมา

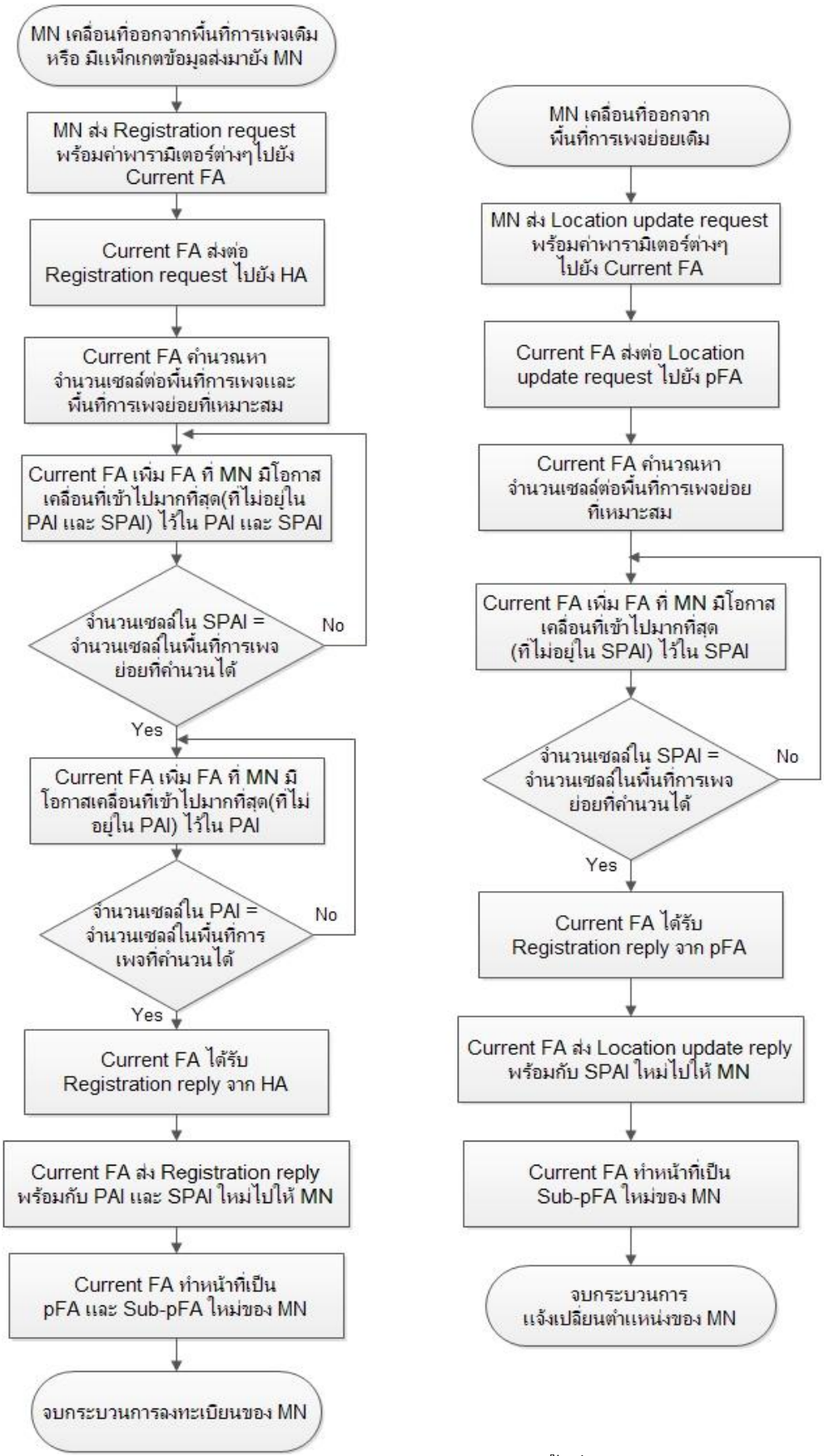


ภาพที่ 3.1 รูปแบบพื้นที่การเพจเป็นแบบ Overlapping PA and SPA

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 เมื่อ MN เคลื่อนที่ไปยัง FA ใหม่ MN ก็จะตรวจสอบจากข่าวสารการประกาศที่ได้รับจาก FA นั้นว่ากำลังอยู่ในเซลล์ของตัวแทนใด ถ้าตรวจสอบจาก SPAI และพบว่ายังอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยเดิมก็ไม่ต้องส่งข่าวสารการสัญญาณใด แต่หากตรวจพบว่าอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยใหม่ก็จะต้องตรวจสอบต่อว่า ที่อยู่ของตัวแทนใหม่นี้ตรงกับที่ได้บันทึกไว้ใน PAI หรือไม่ ถ้าตรงกับที่ได้บันทึกเอาไว้ MN ก็จะรู้ทันทีว่ายังคงอยู่ภายในพื้นที่การเพจเดิม MN จะแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่ง โดยจะส่งข่าวสารแจ้งที่อยู่ของ Sub-pFA อันใหม่ให้กับ pFA แต่หากไม่ตรงกับที่ได้บันทึกเอาไว้แสดงว่า MN ได้เคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจเดิมไปแล้ว MN จะต้องลงทะเบียนกับ HA เพื่อบอกที่อยู่ของ pFA ใหม่ ยกตัวอย่างเช่น จากภาพที่ 3.1

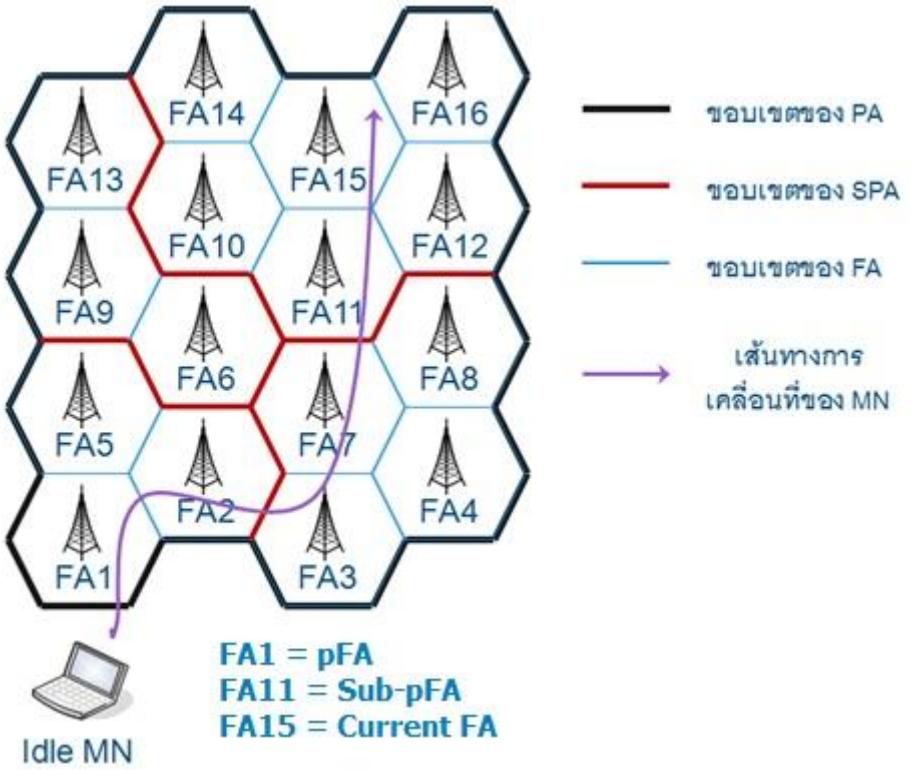
เมื่อ MN เคลื่อนที่ข้ามจาก FA_B ไปยัง FA_C และตรวจพบว่าได้เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจเดิมแล้ว MN จะลงทะเบียนบอกที่อยู่ของ pFA ใหม่กับ HA และเมื่อ HA ตอบรับการลงทะเบียนมา FA_C จะแทรก SPAI และ PAI ลงไปในข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนก่อนจะส่งต่อให้ MN เพื่อกำหนดขอบเขตของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยให้กับ MN นั้นไว้เพื่อใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ต่อไป และเมื่อ MN มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจเดิมจาก FA_D ไป FA_E MN จะต้องลงทะเบียนที่อยู่ของ pFA อันใหม่กับ HA ซึ่งในที่นี้คือที่อยู่ของ FA_E และเมื่อกระบวนการลงทะเบียนเสร็จสิ้น FA_E จะได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนจาก HA โดยก่อนที่จะส่งต่อข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนนี้ไปยัง MN FA_E จะแทรกข้อมูลที่บอกว่าพื้นที่การเพจที่ได้กำหนดให้ MN นั้นประกอบไปด้วยตัวแทนใดบ้าง (PAI) และตัวแทนใดที่อยู่ในพื้นที่การเพจย่อยบ้าง (SPAI) เมื่อ MN ได้รับก็จะบันทึกข่าวสารนี้ไว้สำหรับใช้ในการตรวจสอบต่อไปทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่ว่ายังคงอยู่ภายในพื้นที่การเพจเดิมหรือไม่ จากรูป พื้นที่การเพจที่กำหนดให้ MN มีขนาดเท่ากับ 17 เซลล์ และพื้นที่การเพจย่อยมีขนาดเท่ากับ 7 เซลล์

นอกจากนั้นงานวิจัยนี้กำหนดให้ MN เก็บค่าพารามิเตอร์ความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้และอัตราเซสชันของข้อมูล เพื่อใช้ในการคำนวณหาขนาดของพื้นที่การเพจและขนาดของพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม รวมถึงให้ MN เก็บค่า FA ที่ได้เคลื่อนที่ผ่าน เพื่อใช้ในการออกแบบรูปร่างของพื้นที่การเพจและรูปร่างของพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสมด้วย ส่วนหน้าที่การคำนวณและออกแบบกำหนดให้เป็นหน้าที่ของ Current FA โดยที่ MN จะส่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆของตนเองมาให้ Current FA คำนวณขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม เมื่อ MN ได้เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจเดิมหรือมีแพ็ตเกตข้อมูลส่งมายัง MN และได้ทำการลงทะเบียนกับ HA หรือในกรณีที่ MN ทำการแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งเมื่อ MN ได้เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจย่อยเดิม ดังแสดงในภาพที่ 3.2 โดยขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยสามารถเปลี่ยนแปลงได้ทุกครั้งที่ MN ทำการลงทะเบียนหรือทำการแจ้งเปลี่ยนตำแหน่ง ตามค่าที่คำนวณได้จากค่าพารามิเตอร์ของ MN ที่เปลี่ยนแปลงไป



ภาพที่ 3.2 กระบวนการสร้างพื้นที่การเพจ

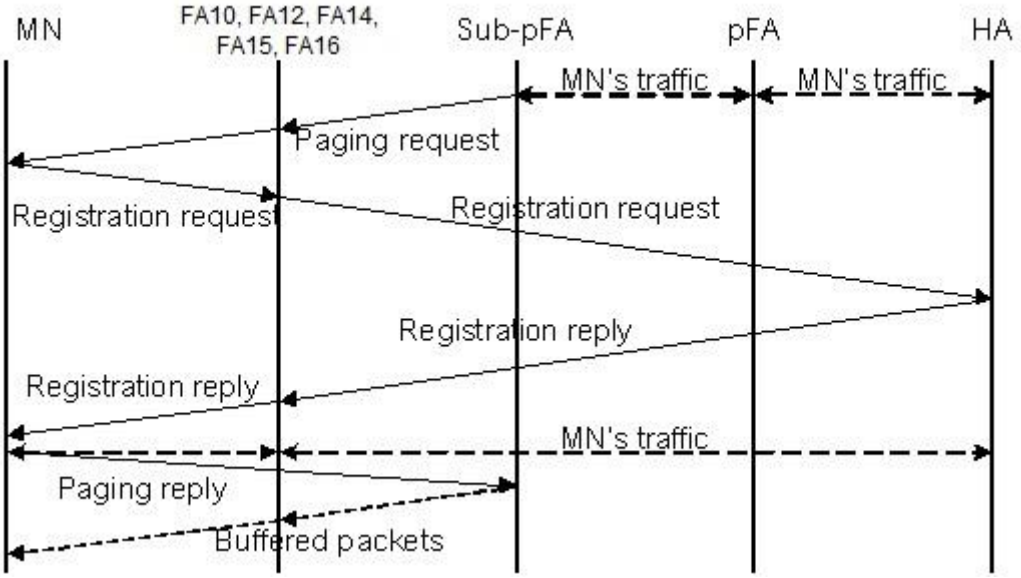
ภาพที่ 3.3 แสดงลักษณะการทำงานของวิธีที่เสนอ จากรูป พื้นที่การเพจประกอบด้วย 16 เซลล์ เริ่มต้นเมื่อ MN ซึ่งมีสถานะการทำงานเป็นสถานะ idle เคลื่อนที่ข้ามมายังพื้นที่การเพจที่พิจารณา โดยผ่านทาง FA_1 (FA_1 ทำหน้าที่เป็น pFA) MN จะต้องลงทะเบียนกับ HA เพื่อบอกที่อยู่ของ pFA ให้ HA รู้ จากนั้นเมื่อ MN เคลื่อนที่ข้ามไปยัง FA_2 ซึ่งยังคงอยู่ในพื้นที่การเพจเดิมและพื้นที่การเพจย่อยเดิม MN จึงไม่ต้องส่งข่าวสารการสัญญาณใดๆ แต่เมื่อเคลื่อนที่ไปยัง FA_3 MN ตรวจพบว่ากำลังอยู่ในพื้นที่การเพจย่อยใหม่แต่ยังคงอยู่ในพื้นที่การเพจเดิม MN จึงส่งข่าวสารแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งไปยัง FA_1 (pFA) ผ่านทาง Sub-pFA เพื่อบอกถึงที่อยู่ของ Sub-pFA ปัจจุบันของ MN (FA_3) และ Sub-pFA จะคำนวณขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจย่อยใหม่ให้กับ MN โดยพื้นที่การเพจย่อยใหม่ มีขนาด 4 เซลล์



ภาพที่ 3.3 การทำงานของวิธีที่เสนอ

เมื่อ MN เคลื่อนที่ข้ามไป FA_7 ซึ่งยังอยู่ในพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยเดิม MN จึงไม่ต้องส่งข่าวสารการสัญญาณใดๆ แต่เมื่อเคลื่อนที่ไปยัง FA_{11} ก็จะต้องแจ้งการเปลี่ยนตำแหน่งไปยัง FA_1 เพื่อบอกที่อยู่ของ Sub-pFA ปัจจุบันดังเช่นที่ได้อธิบายข้างต้น ซึ่งขนาดพื้นที่การเพจย่อยใหม่ที่ได้จากการคำนวณมีขนาด 6 เซลล์ จากรูปถ้ากำหนดให้ขณะที่ MN กำลังอยู่ที่ FA_{15} มีแพ็กเกตข้อมูลส่งมาถึง MN HA จะดักจับแพ็กเกตข้อมูลเหล่านั้นพร้อมทั้ง encapsulate แล้วจึงส่งต่อมา

ยัง 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_{10},FA_{12}, FA_{14},FA_{15} และ FA_{16} พร้อมกับกระจายข่าวสารร้องขอการเพจในเซลล์ของตัวเอง และเมื่อ FA_{10},FA_{12}, FA_{14},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} โดยจะสังเกตได้ว่าขนาดของพื้นที่การเพจย่อย มีค่าเปลี่ยนไปเมื่อ MN เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจย่อยเดิม เนื่องมาจาก Sub-pFA ได้คำนวณขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจย่อยใหม่ โดยสมมุติให้ค่าพารามิเตอร์ของ MN มีค่าเปลี่ยนไป ภาพที่ 3.4 แสดงแผนภาพการสัญญาณเมื่อมีแพ็กเกตส่งถึง MN



ภาพที่ 3.4 แผนภาพแสดงการสัญญาณเมื่อมีแพ็กเกตส่งถึง Idle MN

3.1.2 การตรวจวัดการเคลื่อนที่

วิธีตรวจวัดว่า MN ได้มีการเคลื่อนที่ข้ามโครงข่าย (FA) หรือไม่นั้นมีหลักการทำงานเช่นเดียวกับในโพรโทคอล 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

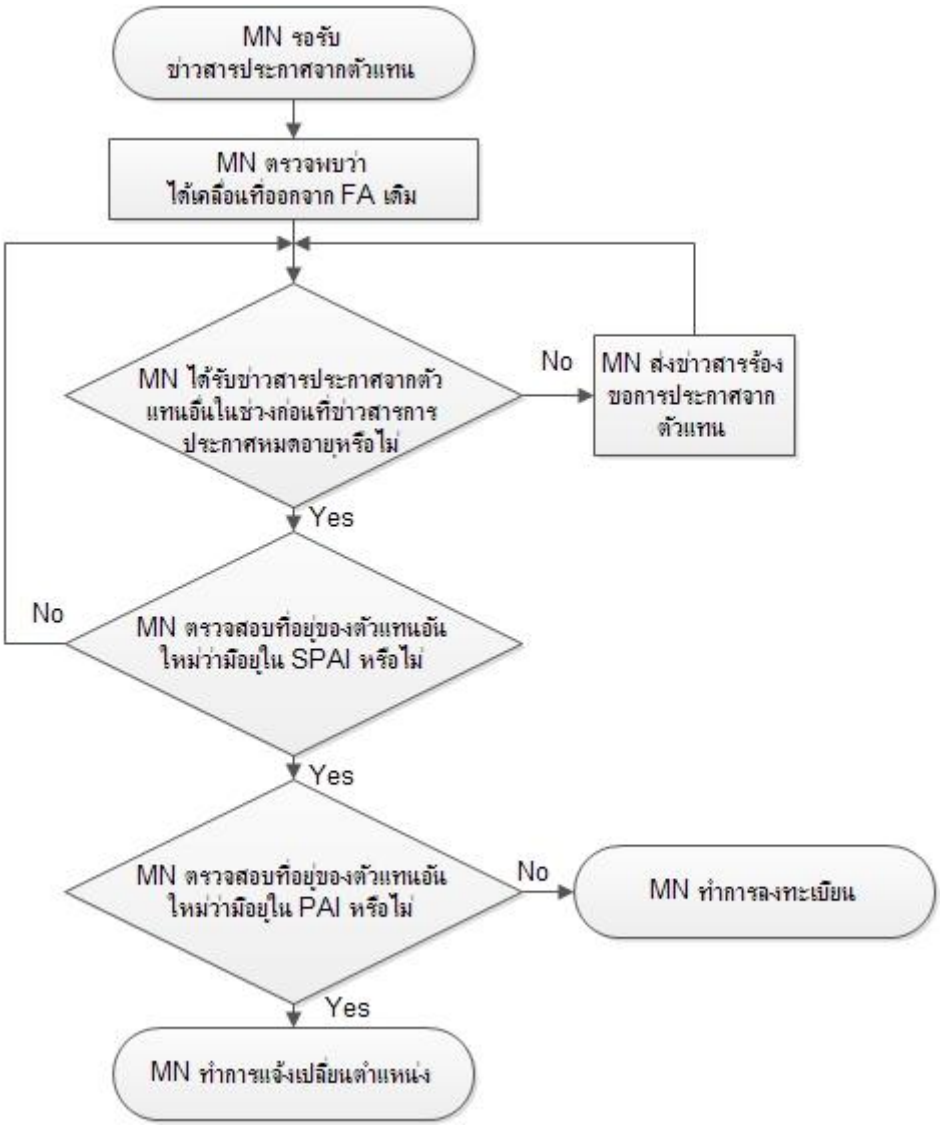
2. Eager cell switching (ECS)

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

MN จะบันทึกช่วงเวลาหมดอายุของข่าวสารการประกาศ (Advertisement lifetime) ของข่าวสารการประกาศจากตัวแทนที่ได้รับ ถ้า MN ไม่ได้รับข่าวสารการประกาศใดๆจากตัวแทน (FA) เดิมภายในช่วงเวลาหมดอายุของข่าวสารการประกาศ MN จะสันนิษฐานว่าตนเองได้เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่ให้บริการของ FA ตัวเดิมแล้ว โดยถ้าในระหว่างช่วงเวลาที่ช่วงเวลาหมดอายุของข่าวสารการประกาศยังไม่หมดอายุ MN ได้รับข่าวสารการประกาศจาก FA อื่นๆ MN จะพิจารณาเปรียบเทียบที่อยู่ของตัวแทนใหม่กับรายชื่อที่อยู่ของตัวแทนใน SPAI ที่ได้บันทึกไว้ ถ้าเหมือนกันแสดงว่า MN ยังคงอยู่ภายในพื้นที่การเพจย่อยเดิม MN จึงไม่ต้องส่งข่าวสารการสัญญาณใด แต่หาก SPAI ที่ได้รับมาใหม่ ไม่เหมือนกับที่ได้บันทึกเอาไว้ แสดงว่าผู้ใช้ได้มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจย่อยแล้ว MN จะต้องตรวจสอบต่อว่ายังคงอยู่ภายในพื้นที่การเพจเดิมหรือไม่ โดยจะตรวจสอบที่อยู่ของตัวแทนใหม่นี้ว่ามีในรายชื่อตัวแทนใน PAI หรือไม่ ถ้ามีแสดงว่ายังคงอยู่ภายใน

พื้นที่การเพจเดิม MN ก็จะส่งข่าวสารการเปลี่ยนตำแหน่ง (Location update message) ไปยัง pFA เพื่อบอกที่อยู่ของ Sub-pFA ใหม่ แต่หากไม่พบแสดงว่า MN ได้มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจเดิมแล้ว MN จะต้องลงทะเบียนกับ HA ทันทีโดยผ่านทาง FA ใหม่นี้ แต่ถ้าในระหว่างที่ช่วงเวลาหมดอายุของข่าวสารการประกาศยังไม่หมดอายุ MN ไม่ได้รับข่าวสารการประกาศจากตัวแทนใดๆเลย MN จะต้องส่งข่าวสารร้องขอการประกาศจากตัวแทนเพื่อที่ว่าเมื่อ FA ที่อยู่ใกล้เคียงได้รับข่าวสารนี้ก็จะส่งข่าวสารการประกาศจากตัวแทนตอบกลับมาในทันที ดังแสดงในภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 ขั้นตอนในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของ MN ที่มีสถานะการทำงานเป็น idle

3.1.3 การลงทะเบียน

ขั้นตอนการลงทะเบียนของวิธีที่เสนอมีกระบวนการเหมือนกับในวิธี P-MIP และ Mobile IP แต่ในวิธีที่เสนอ จะต่างจาก Mobile IP ตรงที่ในข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนจะมีส่วนที่เก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆของ MN ส่งไปด้วย เพื่อให้ Current FA คำนวณหาขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม และภายหลังจากที่ได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนที่ส่งมาจาก HA ผ่านทาง pFA จะต้องมีการปรับสถานะการทำงานของ MN ให้ทันกาลโดยเปลี่ยนให้สถานะการทำงานของ MN เป็น active พร้อมทั้งเริ่มการนับใน active timer โดยในข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนจะบรรจุข้อมูล SPAI และ PAI list ไว้ด้วย ซึ่งรายชื่อ FA ในพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยนี้จะถูกเพิ่มเข้าไปในข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนโดย pFA ก่อนที่จะส่งต่อไปให้กับ MN เพื่อให้ MN บันทึกรายชื่อ FA ประจำพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยนี้ไว้สำหรับใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ต่อไป

ข้อแตกต่างที่สำคัญระหว่างวิธีที่เสนอ, วิธี P-MIP และ Mobile IP คือปริมาณข่าวสารการสัญญาณต่างๆ 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 ตรวจพบว่าได้เคลื่อนที่ออกจาก FA เดิม

สิ่งที่แตกต่างของวิธีที่เสนอกับวิธี P-MIP คือ ในวิธีที่เสนอมีการแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นพื้นที่การเพจย่อยๆ โดยหาก MN มีการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจย่อยภายในพื้นที่การเพจเดิม MN จะต้องส่งข่าวสารการเปลี่ยนตำแหน่งซึ่งมีส่วนที่เก็บค่าพารามิเตอร์ต่างๆของ MN ส่งไปด้วย เพื่อให้ Current FA คำนวณหาขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสมด้วยเพื่อให้ Current FA คำนวณหาขนาดและรูปร่างของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม และเป็นการแจ้งที่อยู่ของ Sub-pFA อันใหม่กับ pFA

3.1.4 การเพจ

เมื่อมีโนดอื่นๆ (CN) ต้องการส่งแพ็กเกตข้อมูลไปยัง MN แพ็กเกตข้อมูลนั้นจะส่งไปยัง HA, pFA, Sub-pFA ตามลำดับ เมื่อแพ็กเกตส่งมาถึง Sub-pFA ซึ่งมีหน้าที่ค้นหาตำแหน่งของ MN ก็จะส่งข่าวสารร้องขอการเพจไปยัง FA ทุกๆตัวที่อยู่ภายในพื้นที่การเพจย่อยเดียวกันด้วย และ Sub-pFA ก็จะกระจายข่าวสารร้องขอการเพจนี้ภายในพื้นที่โครงข่ายของตัวเอง เมื่อ FA อื่นๆ ในพื้นที่การเพจย่อยได้รับข่าวสารนี้ก็จะกระจายการร้องขอการเพจนี้ในแต่ละเซลล์ของตัวเองเช่นกัน ในกรณีที่ FA มีจำนวน MN หลายตัวที่ต้องการค้นหาตำแหน่งในขณะเดียวกัน วิธีที่เสนอสามารถรวมการร้องขอการเพจหลายๆครั้งมาไว้ภายในข่าวสารร้องขอการเพจ เพียงข่าวสารเดียว ทำให้สามารถลดปริมาณข่าวสารการเพจลงได้เมื่อในระบบมีจำนวนผู้ใช้มากขึ้น โดยภายในข่าวสารร้องขอการเพจจะประกอบด้วยเลขไอพี home address ของ MN ทุกๆตัวที่ระบบต้องการค้นหาตำแหน่ง แต่ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะในกรณีที่ FA เพจหาตำแหน่งของ MN ครั้งละตัวเท่านั้น

เมื่อ Current FA ได้รับข่าวสารร้องขอการเพจจาก Sub-pFA แล้วขั้นตอนแรก FA จะเริ่มกระบวนการตรวจสอบ (authentication) และเมื่อกระบวนการตรวจสอบเสร็จสมบูรณ์ FA จึงจะกระจายข่าวสารการเพจนี้ในเซลล์ของตัวเอง เมื่อ MN ตรวจพบเลขไอพีของตัวเองในข่าวสารร้องขอการเพจ ถ้าข่าวสารร้องขอการเพจนั้นถูกส่งมาจาก pFA แสดงว่า MN ยังคงอยู่ในพื้นที่ให้บริการของ FA เดิมที่ได้ลงทะเบียนไว้กับ HA MN จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจ กลับไปยัง pFA โดยไม่จำเป็นจะต้องลงทะเบียน พร้อมทั้งกำหนดสถานะการทำงานใหม่เป็น active และเริ่มต้นนับ active timer แต่หากข่าวสารร้องขอการเพจนั้นไม่ได้ถูกส่งมาจาก FA ที่ได้ลงทะเบียนเอาไว้ MN จะต้องเริ่มต้นกระบวนการลงทะเบียนกับ HA เพื่อแจ้งที่อยู่ของ FA ปัจจุบันที่กำลังให้บริการ MN นั้นๆอยู่เป็นที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA) เมื่อการลงทะเบียนเสร็จสิ้น pFA ใหม่และ MN จะเปลี่ยนสถานะการทำงานของ 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 และ Current FA ที่ได้ลงทะเบียนจะทำหน้าที่เป็น pFA ใหม่ของ MN

เมื่อ Sub-pFA ส่งข่าวสารร้องขอการเพจแล้วไม่มีการตอบรับจาก MN ภายในช่วงเวลา “paging period” Sub-pFA จะส่งข่าวสารร้องขอการเพจซ้ำ โดยจำนวนครั้งในการส่งซ้ำขึ้นอยู่กับการตั้งค่าของผู้ให้บริการ โดย Sub-pFA จะหยุดการเพจหา MN หากส่งข่าวสารร้องขอการเพจซ้ำๆ แล้วไม่มีการตอบสนองใด

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

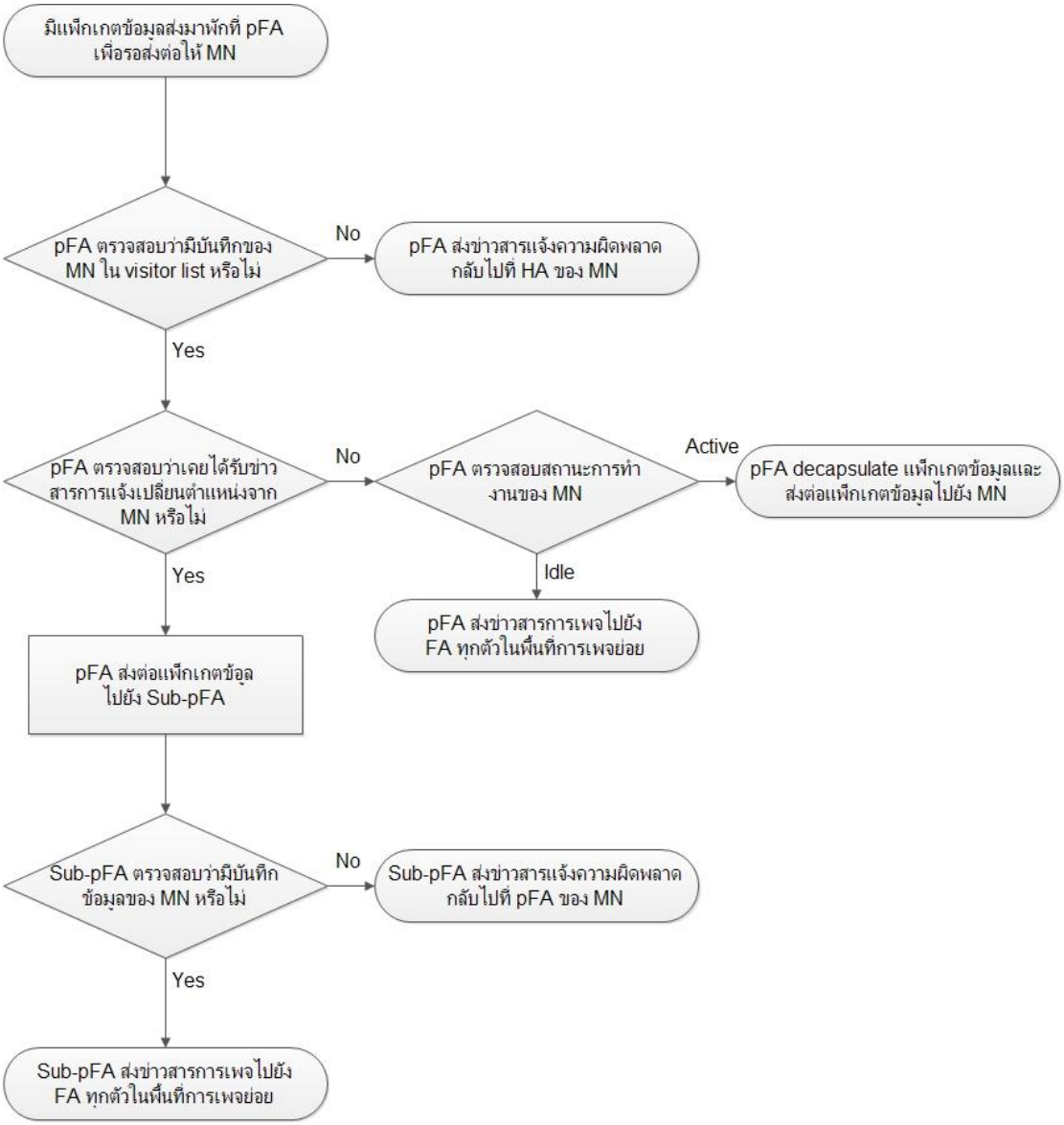
ในกรณีที่ MN ได้เคลื่อนที่ออกจากเซลล์ของ Sub-pFA แล้ว การสูญหายของข่าวสารตอบรับการเพจไม่ได้ส่งผลร้ายแรงต่อระบบ เนื่องจากก่อนที่ MN จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจมา MN จะต้องลงทะเบียน FA ใหม่กับ HA ก่อนแล้ว จึงทำให้แพ็กเกตข้อมูลที่สูญหายมีปริมาณเพียงเล็กน้อย (เฉพาะแพ็กเกตที่ถูกพักไว้ที่ Sub-pFA) แต่ในกรณีที่ 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

เมื่อ CN ต้องการส่งแพ็กเกตข้อมูลไปยัง MN แพ็กเกตข้อมูลเหล่านี้จะถูกส่งไปยัง Home Network ตามที่อยู่ไอพีประจำบ้าน (Home address) โดย HA จะรับแพ็กเกตข้อมูลเหล่านี้แล้วจึงทำการ encapsulation เพิ่มเฮดเดอร์ที่อยู่ไอพีชั่วคราว (CoA) ซึ่งเป็นที่อยู่ของ pFA ที่ MN ได้ลงทะเบียนไว้ เมื่อ pFA ได้รับแพ็กเกตข้อมูล pFA ก็จะเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบใน visitor list ของตนว่ามีบันทึกของ MN ตัวนี้หรือไม่ หาก 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

หาก pFA ตรวจพบว่าเคยได้รับข่าวสารการเปลี่ยนตำแหน่งจาก MN pFA จะตรวจสอบต่อว่าเคยได้รับข่าวสารการเปลี่ยนตำแหน่ง 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 พร้อมกับกระจายข่าวสารนี้ในพื้นที่โครงข่ายของตัวเอง โดยในระหว่างกระบวนการค้นหาตำแหน่งนี้ Sub-pFA จะต้องพักเก็บ (buffer) แพ็กเกตข้อมูลนี้ไว้ก่อน ดังแสดงในภาพที่ 3.6 เมื่อ MN ได้รับข่าวสารร้องขอการเพจก็จะลงทะเบียน (Home Registration) เพื่อให้ HA ส่งแพ็กเกตข้อมูลมายัง FA ปัจจุบันโดยตรง และเมื่อกระบวนการลงทะเบียนเสร็จสิ้น MN ก็จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจกลับไปยัง Sub-pFA เพื่อขอรับแพ็กเกตข้อมูลที่ถูกพักเอาไว้ที่ Sub-pFA ต่อไป

จากภาพที่ 3.3 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 และ FA_5 พร้อมกับกระจายข่าวสารร้องขอการเพจดังกล่าวภายในเซลล์ของตัวเอง โดยระหว่างขั้นตอนนี้ pFA จะต้องพักเก็บแพ็กเกตข้อมูลไว้ก่อน เมื่อ FA_2 และ FA_5 ได้รับข่าวสารร้องขอการเพจนี้ก็จะกระจายข่าวสารการเพจในแต่ละเซลล์ต่อไป เมื่อ MN ได้รับข่าวสารการเรียกนี้ก็จะลงทะเบียนกับ HA เพื่อขอรับแพ็กเกตข้อมูลเองโดยตรง HA ก็จะเปลี่ยนเส้นทางแพ็กเกตมายังที่อยู่ปัจจุบันของ FA ที่กำลังให้บริการ MN เมื่อ MN ได้รับการตอบรับการลงทะเบียนก็จะส่งข่าวสารตอบรับการเพจกลับไปยัง pFA เพื่อขอรับแพ็กเกตข้อมูลที่ถูกพักเอาไว้ในระหว่างขั้นตอนการเพจหา MN



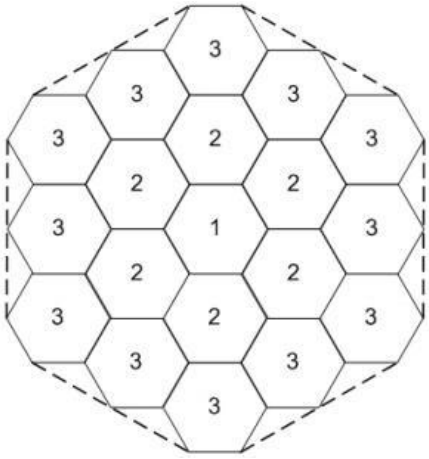
ภาพที่ 3.6 ขั้นตอนในกระบวนการเพจหา MN เมื่อมีแพ็กเกตถูกส่งมาถึง pFA

3.2 การคำนวณขนาดของพื้นที่การเพจ

การคำนวณขนาดพื้นที่การเพจ จะพิจารณาจากต้นทุนการสัญญาณในระบบเป็นหลัก ซึ่งค่าพารามิเตอร์สำคัญที่ส่งผลกระทบกับขนาดของพื้นที่การเพจ คือ ความเร็วและอัตราเซสชันของข้อมูล ในกระบวนการคำนวณจะคำนวณขนาดของพื้นที่การเพจออกมาก่อน แล้วถึงจะคำนวณขนาดพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม เมื่อได้ค่าขนาดของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสมออกมาแล้ว ก็จะนำผลที่ได้มาใช้ในกระบวนการออกแบบรูปร่างของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยต่อไป

3.2.1 การวิเคราะห์ต้นทุนการสัญญาณ

ในการวิเคราะห์นี้กำหนดให้พื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยรวมถึงพื้นที่ให้บริการของแต่ละเซลล์มีรูปร่างเป็นแบบหกเหลี่ยม ดังแสดงในภาพที่ 3.7 โดยกำหนดให้ K เป็นตัวแปรของจำนวนชั้นในพื้นที่การเพจ



ภาพที่ 3.7 รูปแบบเซลล์หกเหลี่ยมที่มีพื้นที่การเพจขนาด K = 3

จำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจ

$$S(K) = (3K(K-1)+1) \quad (1)$$

ความยาวเส้นรอบรูปพื้นที่การเพจ

$$L(K) = (2K-1)l \quad (2)$$

โดย l คือความยาวเส้นรอบรูป 1 เซลล์

พื้นที่ของพื้นที่การเพจ

$$A(K) = A(C)S(K)$$
$$= \frac{\sqrt{3}}{24} l^2 (3K(K-1)+1) \quad (3)$$

โดย $A(C) = \frac{\sqrt{3}}{24} l^2$ คือพื้นที่ของ 1 เซลล์

รูปแบบการเคลื่อนที่ของ MN ในระบบ cellular นั้นนิยมใช้ fluid flow model ในการวิเคราะห์ประเด็นที่เกี่ยวข้องอัตราการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ เช่น การแฮนด์ออฟ เป็นต้น นอกจากนี้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ Mobile IP จำนวนมากก็ใช้ fluid flow model ในการวิเคราะห์การเคลื่อนที่ของผู้ใช้เช่นกันงานวิจัยนี้จึงใช้แบบจำลองสภาพเคลื่อนที่ดังกล่าวในการคำนวณหาพื้นที่การเพจที่เหมาะสม โดยสามารถหาค่าอัตราการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์, อัตราการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจ และอัตราการลงทะเบียนได้ดังนี้

อัตราการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์

$$R(C) = \frac{\rho V l}{\pi} \quad (4)$$

โดย V คือค่าความเร็วเฉลี่ยของ MN

อัตราการเคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจ

$$R(K) = \frac{\rho V L(K)}{\pi} = \frac{\rho V (2K-1) l}{\pi} \quad (5)$$

อัตราการลงทะเบียน

$$U(K) = \frac{R(K)}{\rho A(K)} = \frac{8\sqrt{3}}{\pi l} V \left(\frac{2K-1}{3K(K-1)+1} \right) \quad (6)$$

กำหนดให้

λ คือ อัตราเซสชันของข้อมูล

θ คือ อัตราส่วนของเวลาที่ MN อยู่ในสถานะ idle จากเวลาทั้งหมด

C_w คือ ต้นทุนการสัญญาณต่อ hop ผ่านโครงข่ายมีสาย

C_l คือ ต้นทุนการสัญญาณต่อ hop ผ่านโครงข่ายไร้สาย

D_{FP} คือ ระยะทางระหว่าง FA และ pFA (hops)

D_{FH} คือ ระยะทางระหว่าง FA และ HA (hops)

D_{SP} คือ ระยะทางระหว่าง Sub-pFA และ pFA (hops)

D_{FS} คือ ระยะทางระหว่าง FA และ Sub-pFA (hops)

ต้นทุนการส่งสัญญาณระหว่าง MN กับ pFA

$$C_{PFA} = D_{FP}C_w + C_l = D_{SP}C_w + D_{FS}C_w + C_l \quad (7)$$

ต้นทุนการส่งสัญญาณระหว่าง Sub-pFA กับ pFA

$$C_{S-PFA} = D_{SP}C_w + C_l \quad (8)$$

ต้นทุนการส่งสัญญาณระหว่าง pFA กับ HA

$$C_{HA} = D_{FH}C_w + C_l \quad (9)$$

ต้นทุนการเพจขึ้นอยู่กับการส่งสัญญาณไปยังเซลล์ในพื้นที่การเพจย่อยทั้งหมด

$$C_P(K') = C_l S(K') = C_l(3K'(K'-1)+1) \quad (10)$$

ต้นทุนการสัญญาณของ MN

$$C_{PA}(K, K', \lambda, V) = \theta\lambda C_P(K') + \theta\lambda(C_{PFA} + 2C_{HA}) + 2U(K)C_{HA} + 2U(K')C_{S-PFA} \quad (11)$$

โดย K คือ จำนวนชั้นของพื้นที่การเพจ

K' คือ จำนวนชั้นของพื้นที่การเพจย่อย

จากสมการ (11) จะพบว่าสมการประกอบไปด้วย 4 เทอม โดยเทอมแรกแสดงถึงต้นทุนการเพจเมื่อมีแพ็กเกตข้อมูลต้องการส่งถึง MN ที่อยู่ในสถานะ idle เทอมที่สองแสดงถึงต้นทุนการลงทะเบียนรวมถึงการส่งข่าวสารตอบรับการเพจ เมื่อมีแพ็กเกตข้อมูลต้องการส่งถึง MN เพื่อที่ MN จะสามารถรับส่งข้อมูลได้หลังจากเสร็จสิ้นการเพจและการลงทะเบียน เทอมที่สามแสดงถึงต้นทุนการลงทะเบียนเมื่อ MN เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจเดิม เทอมที่สี่แสดงถึงต้นทุนการแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งเมื่อ MN เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจย่อยเดิม

เมื่อแทนค่า $C_P(K)$, C_{PFA}, C_{S-PFA}, C_{HA}, $U(K)$ ลงในสมการที่ (11) จะได้สมการต้นทุนการสัญญาณของ MN (12) ไว้ใช้ในการคำนวณหาพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม

สมการต้นทุนการสัญญาณของ MN

$$C_{PA}(K,K',\lambda,V) = \theta\lambda(3K'(K'-1)+1)C_l + \theta\lambda[D_{SP}C_w + D_{FS}C_w + C_l + 2(D_{FH}C_w + C_l)] + \frac{16\sqrt{3}}{\pi l}V\left(\frac{2K-1}{3K(K-1)+1}\right)D_{FH}C_w + C_l + \frac{16\sqrt{3}}{\pi l}V\left(\frac{2K'-1}{3K'(K'-1)+1}\right)D_{SP}C_w + C_l \quad (12)$$

3.2.2 การคำนวณหาพื้นที่การเพจ

ในการคำนวณนั้น จากสมการต้นทุนการสัญญาณของ MN (12) กำหนดให้ตัวแปรอื่นนอกจาก K และ K'เป็นตัวแปรคงที่ เพื่อทำการคำนวณหาพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม

การคำนวณหาขนาดพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม คือการหาค่าจำนวนเซลล์ในพื้นที่การเพจ (1) ซึ่งคำนวณได้จากค่า K (ในการคำนวณหาพื้นที่การเพจ) และ K' (ในการคำนวณหาพื้นที่การเพจย่อย) เพราะฉะนั้นจะต้องหาค่า K และ K' ที่ทำให้ต้นทุนการสัญญาณในสมการที่ (12) มีค่าน้อยที่สุด

กำหนดให้ Δ_{PA} เป็นผลต่างของต้นทุนการสัญญาณของจำนวนชั้นของพื้นที่การเพจ K กับ $K-1$

$$\Delta_{PA}(K,K',\lambda,V) = C_{PA}(K,K',\lambda,V) - C_{PA}(K-1,K',\lambda,V) \quad (13)$$

จำนวนชั้นในพื้นที่การเพจที่เหมาะสม

$$K_{opt}(K',\lambda,V) = \begin{cases} 1 & ,\Delta_{PA}(K,K',\lambda,V) > 0 \\ max(K:\Delta_{PA}(K,K',\lambda,V) \le 0) & ,otherwise \end{cases} \quad (14)$$

ในสมการที่ (14) ถ้าผลต่างของต้นทุนการสัญญาณ (13) มีค่าเป็นบวกเสมอ ขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะสมจะเป็น 1 เซลล์ ซึ่งเท่ากับเป็นการใช้โพรโทคอล Mobile IP ธรรมดา แต่ถ้าผลต่างของต้นทุนการสัญญาณมีค่าเป็นลบ ให้หาค่า K ที่มากที่สุดที่ยังคงทำให้ผลต่างของต้นทุนการสัญญาณมีค่าเป็นลบ ซึ่งค่า K นั้นคือจำนวนชั้นในพื้นที่การเพจที่เหมาะสม (K_{opt}) และเมื่อนำ K_{opt} ไปแทนในสมการที่ (15) ก็จะได้ค่าขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะสม

ขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะสม

$$S_{max} = \left(3K_{opt}\left(K_{opt}-1\right)+1\right) \quad (15)$$

กำหนดให้ Δ_{SPA} เป็นผลต่างของต้นทุนการสัญญาณของจำนวนชั้นของพื้นที่การเพจย่อย K' กับ $K'-1$

$$\Delta_{SPA}(K,K',\lambda,V) = C_{PA}(K,K',\lambda,V) - C_{PA}(K,K'-1,\lambda,V) \quad (16)$$

จำนวนชั้นในพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม

$$K'_{opt}(K,\lambda,V) = \begin{cases} 1 & ,\Delta_{SPA}(K,K',\lambda,V) > 0 \\ max(K' : \Delta_{SPA}(K,K',\lambda,V) \leq 0) & ,otherwise \end{cases} \quad (17)$$

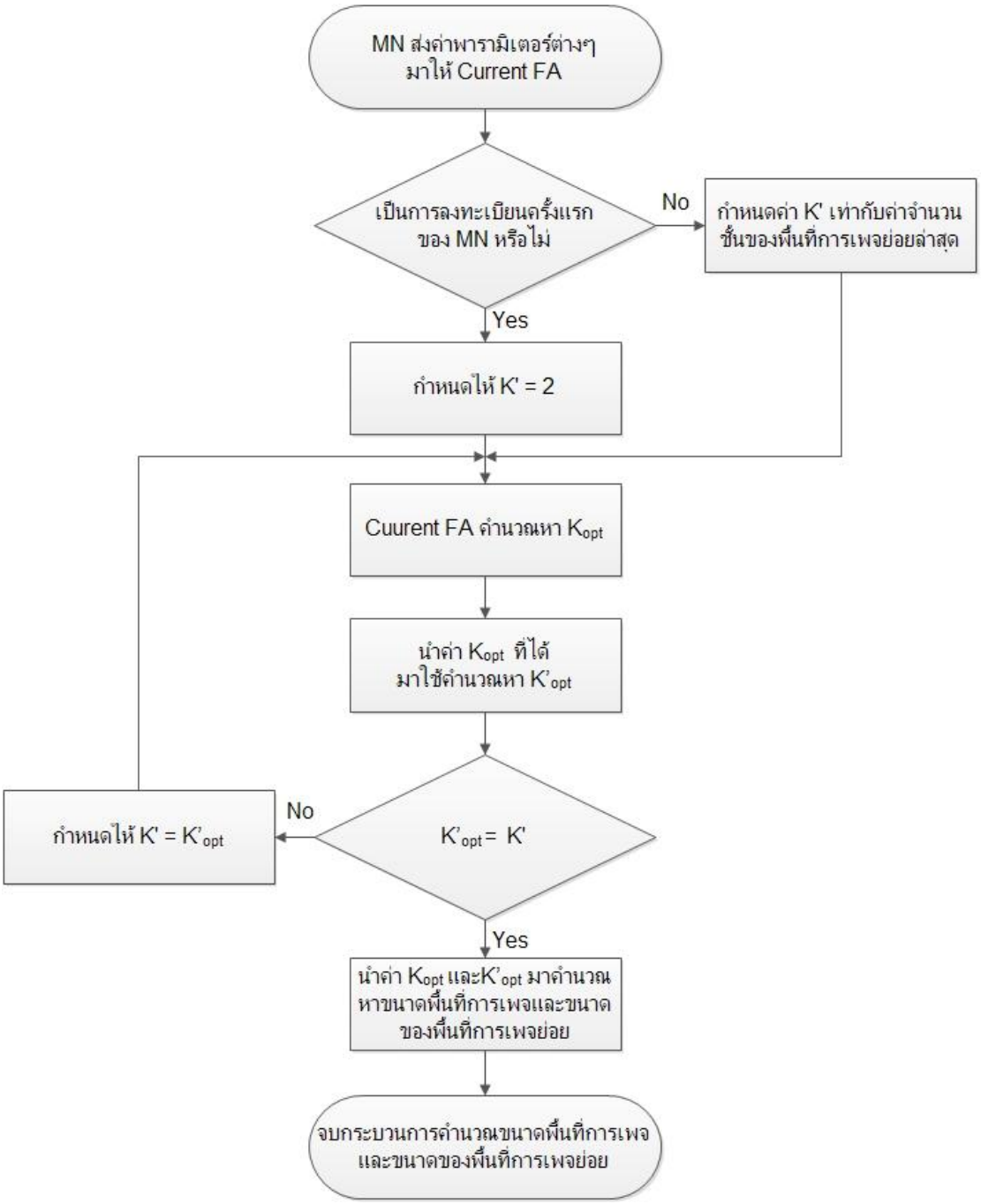
ในสมการที่ (17) ถ้าผลต่างของต้นทุนการสัญญาณ (16) มีค่าเป็นบวกเสมอ ขนาดของพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสมจะเป็น 1 เซลล์ ซึ่งหมายถึงพื้นที่การเพจจะไม่มีการแบ่งออกเป็นพื้นที่การเพจย่อยอยู่ภายใน แต่ถ้าผลต่างของต้นทุนการสัญญาณมีค่าเป็นลบ ให้หาค่า K' ที่มากที่สุดที่ยังคงทำให้ผลต่างของต้นทุนการสัญญาณมีค่าเป็นลบ ซึ่งค่า K' นั้นคือจำนวนชั้นในพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม (K'_{opt}) และเมื่อนำ K'_{opt} ไปแทนในสมการที่ (18) ก็จะได้ค่าขนาดของพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม

ขนาดของพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม

$$S'_{max} = \left(3K'_{opt}\left(K'_{opt}-1\right)+1\right) \quad (18)$$

สำหรับกระบวนการหาขนาดของพื้นที่การเพจและขนาดของพื้นที่ย่อยที่เหมาะสม จะเริ่มจากการคำนวณขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะสมก่อน แต่จากสมการต้นทุนการสัญญาณของ MN (12) พบว่ายังมีตัวแปรจำนวนของของพื้นที่การเพจย่อย (K') ที่ยังไม่ทราบค่า เพราะฉะนั้นในการคำนวณเริ่มแรก จะกำหนดค่า K' ให้มีค่าเท่ากับจำนวนชั้นของพื้นที่การเพจย่อยล่าสุด แต่ถ้าเป็นการลงทะเบียนครั้งแรกของ MN จะกำหนดให้ K'= 2 เพื่อใช้ในการคำนวณหาจำนวนชั้นในพื้นที่การเพจที่เหมาะสม (K_{opt}) และนำค่า K_{opt} ที่คำนวณได้ ไปใช้ในการคำนวณหาจำนวนชั้นในพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม (K'_{opt}) ต่อไป เมื่อคำนวณค่า K'_{opt} ออกมาได้แล้ว ให้เปรียบเทียบค่า K'_{opt} กับค่า K' ที่กำหนดให้ใช้ในการคำนวณจำนวนชั้นในพื้นที่การเพจที่เหมาะสม ถ้ามีค่าไม่เท่ากัน ให้ใช้ K'_{opt} คำนวณหาค่า K_{opt} ใหม่และนำค่า K_{opt}

ที่คำนวณได้ไปใช้ในการคำนวณหา K'_{opt} อีกครั้ง จนกว่าจะได้ค่าที่เท่ากันของ K'_{opt} กับ K' ที่ใช้ในการคำนวณจำนวนชั้นในพื้นที่การเพจที่เหมาะสม เมื่อได้ค่าที่เท่ากันแล้วให้นำ K_{opt} และ K'_{opt} ไปคำนวณหาขนาดของพื้นที่การเพจที่เหมาะสม (15) และขนาดของพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม (18) เป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการคำนวณ ดังแสดงในภาพที่ 3.8



ภาพที่ 3.8 กระบวนการคำนวณขนาดของพื้นที่การเพจและขนาดของพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม

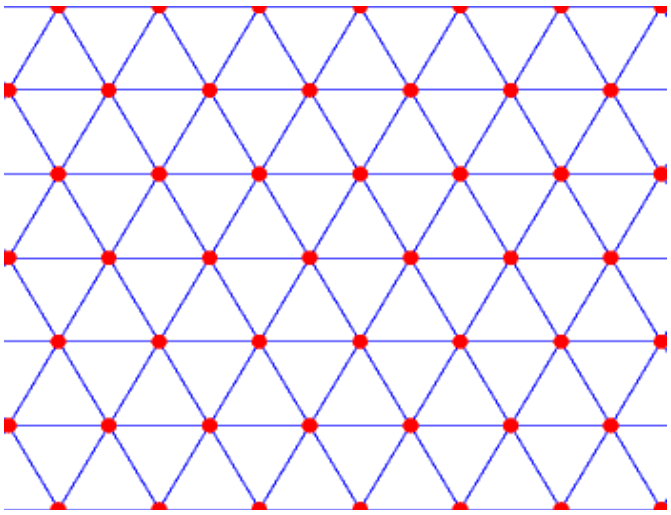
บทที่ 4

ผลการวิจัย

บทนี้แสดงถึงผลการวิจัยที่ได้จากทั้งการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสัญญาณของวิธีต่างๆ โดยใช้การจำลองแบบ วิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละวิธี เทียบกับความเร็วและอัตราเซสชันของข้อมูล สำหรับการเคลื่อนที่รูปแบบต่างๆ

4.1 แบบจำลองโครงข่ายที่ใช้ในการทดสอบ

ในการจำลองการทำงานของวิธีที่เสนอและวิธี Mobile IP, P-MIP, DIP-MIP, APH-MIP, DLP-MIP จะใช้การจำลองลักษณะของเซลล์ด้วยโนดบน Connected Graph โดยสามารถพิจารณา 1 เซลล์ เท่ากับหนึ่งโนด ดังแสดงในภาพที่ 4.1 โดยพารามิเตอร์หลักที่จะนำมาพิจารณาในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพก็คือต้นทุนการสัญญาณของแต่ละวิธีที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของ MN หนึ่งตัวในช่วงเวลาทดสอบที่กำหนด ในที่นี้กำหนดให้ช่วงเวลาทดสอบเท่ากับ 15,000 timeslots (ts)



ภาพที่ 4.1 รูปแบบโครงข่ายบริการที่ใช้ในการจำลองแบบ

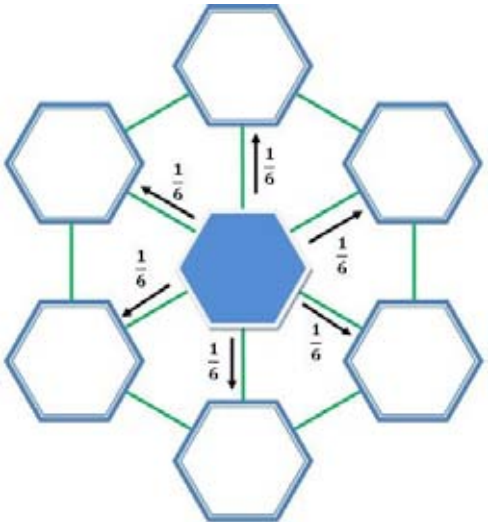
เนื่องจากงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะทดสอบประสิทธิภาพการสัญญาณในกรณีที่ผู้ใช้มีการเคลื่อนที่เป็นรูปแบบด้วยความเร็วซึ่งเป็นรูปแบบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ในบริเวณพื้นที่นอกเมือง จึงเลือกใช้ลักษณะสถาปัตยกรรมแบบ Macro systems ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังนี้

Macro systems	ความยาวเส้นรอบรูปของเซลล์	4,000 m
	ความเร็วสูงสุดในการเคลื่อนที่ของ MN	44.5 m/s
	ความหนาแน่นของผู้ใช้	200 MNs/km^2

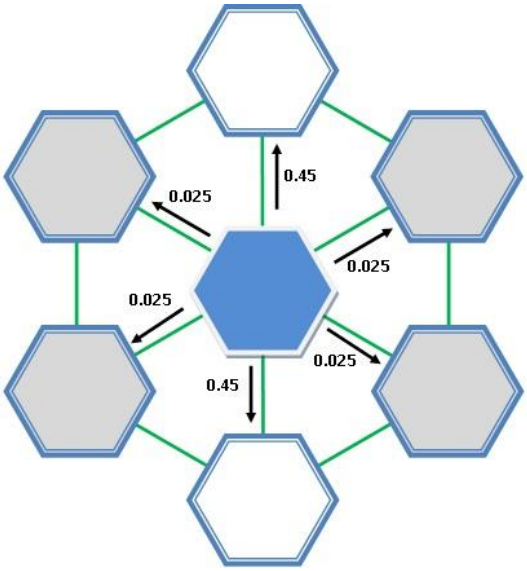
ตารางที่ 4.1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการสัญญาณ

พารามิเตอร์	ค่าที่ใช้
l	4,000 m
θ	0.95
C_w	0.5
C_l	1.0
D_{FH}	16 hops
D_{FP}	$\sqrt{S}$ hops
D_{SP}	$\sqrt{S - S'}$ hops
D_{FS}	$\sqrt{S'}$ hops

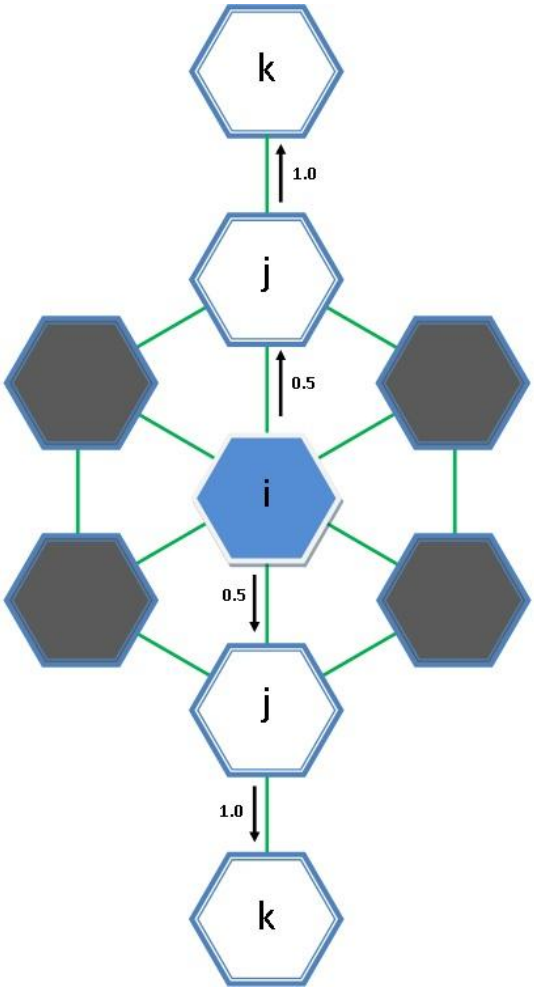
ในการทดสอบจะใช้รูปแบบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ต่างกัน 4 แบบ คือ Pure random, Modified two-way, Pure two-way, Mix



ภาพที่ 4.2 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ MN ในแบบ Pure random



ภาพที่ 4.3 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ MN ในแบบ Modified two-way

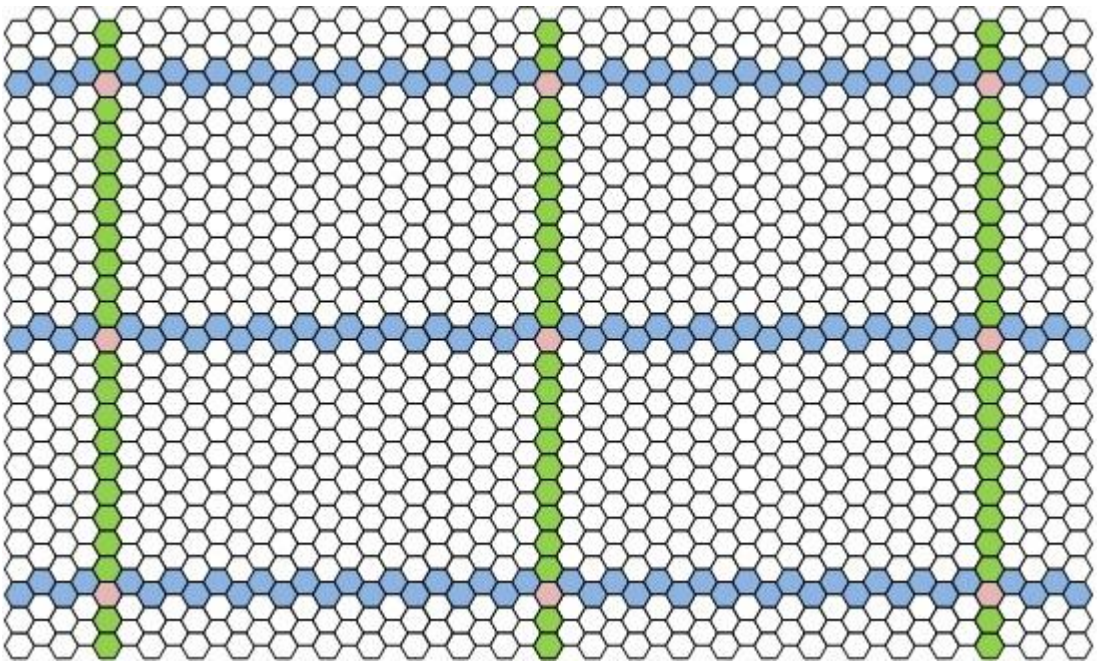


ภาพที่ 4.4 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ MN ในแบบ Pure two-way

ภาพที่ 4.2 การเคลื่อนที่แบบ Pure random ในแต่ละ timeslot MN จะตัดสินใจว่าจะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์เดิมหรือไม่ด้วยโอกาสเท่ากับ P_{walk} ดังนั้นค่า P_{walk} นี้จึงแปรผันโดยตรงกับความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ และเมื่อ MN ตัดสินใจที่จะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์เดิมแล้ว ทิศทางการเคลื่อนที่ที่เป็นไปได้ คือเคลื่อนที่ไปยังเซลล์ที่อยู่ติดกันด้วยโอกาสเท่าๆกันสำหรับทุกทิศทาง

ภาพที่ 4.3 การเคลื่อนที่แบบ Modified two-way จะเพิ่มโอกาสที่ MN จะเคลื่อนที่ไปยังเซลล์ด้านบนและด้านล่างที่อยู่ติดกันแต่ละเซลล์ด้วยโอกาสเท่ากับ 0.45 ในขณะที่โอกาสในการเคลื่อนที่ไปยังเซลล์ด้านข้างที่เหลือแต่ละเซลล์ด้วยโอกาส 0.025

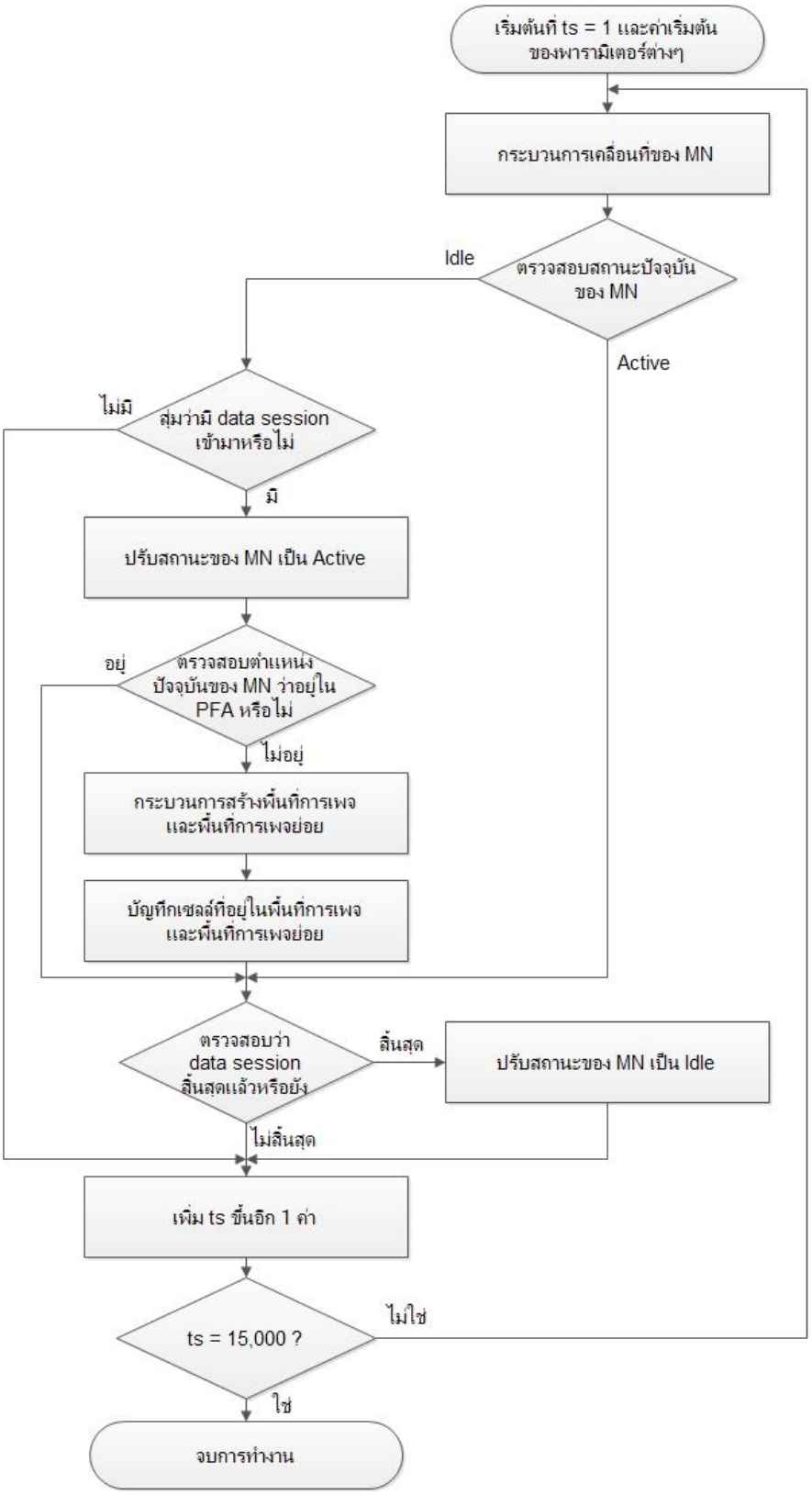
ภาพที่ 4.4 การเคลื่อนที่แบบ Pure two-way จะกำหนดให้ MN สามารถเคลื่อนที่ไปยังเซลล์ด้านบนและด้านล่างที่อยู่ติดกันได้เท่านั้น โดยมีโอกาสเท่ากับ 0.5 และเมื่อ MN เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่สามารถย้อนกลับมายังเซลล์เดิมที่เคลื่อนที่ผ่านมาได้



ภาพที่ 4.5 ลักษณะการเคลื่อนที่ของ MN ในแบบ Mix

ภาพที่ 4.5 การเคลื่อนที่แบบ Mix จะเป็นการผสมรูปแบบการเคลื่อนที่ทั้ง Pure random, Modified two-way, Pure two-way เข้าอยู่ในการทดสอบเดียวกัน กำหนดให้พื้นที่สีเขียวแทน Pure two-way, พื้นที่สีฟ้าแทน Modified two-way, พื้นที่สีขาวแทน Pure random ส่วนเซลล์สีแดงที่เป็นจุดตัดของการเคลื่อนที่แบบ Pure two-way และ Modified two-way กำหนดให้ MN มี

โอกาสเคลื่อนที่ไปยังเซลล์สีฟ้าและสีเขียวเท่ากันทั้ง 4 ทิศทางโดยมีโอกาสเท่ากับ 0.25 โดยกำหนดให้ทำการสุ่มเซลล์เริ่มต้นที่ MN อยู่

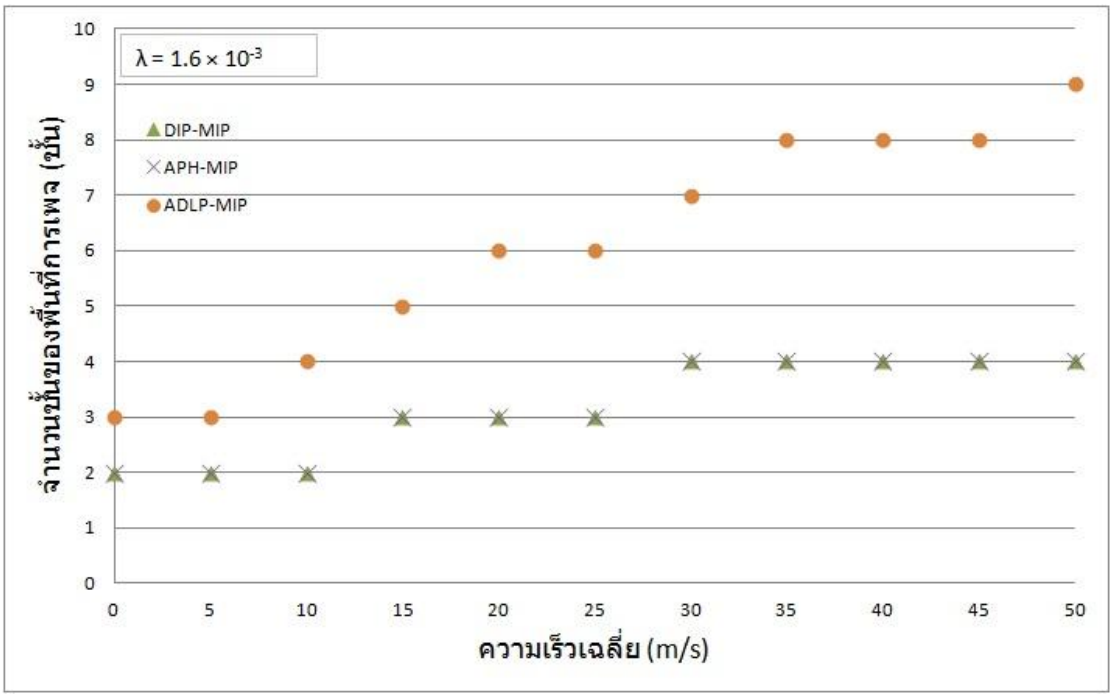


ภาพที่ 4.6 ขั้นตอนของโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวิธีที่เสนอ

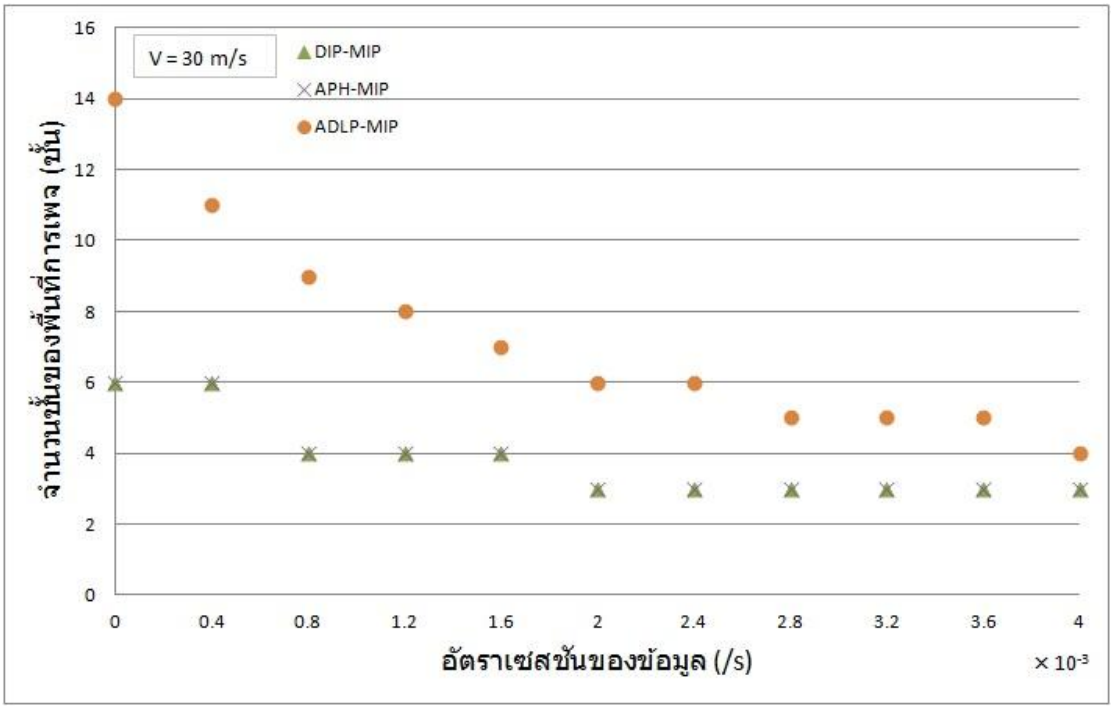
สำหรับขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ในแต่ละ timeslot MN จะตัดสินใจว่าจะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์เดิมหรือไม่ด้วยโอกาสเท่ากับ P_{walk} ดังนั้นค่า P_{walk} นี้จึงแปรผันโดยตรงกับความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ สำหรับ arrival rate และ holding time หากพิจารณาในกรณี continuous time ตัวแปรสุ่มที่มีการใช้อย่างแพร่หลายสำหรับ 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

การจำลองการทำงานจะแบ่งช่วงเวลาการจำลองออกเป็น timeslot ในตอนเริ่มต้นของแต่ละ timeslot จะมีการสุ่มว่าจะมี data session เกิดขึ้นหรือไม่ (เป็น Bernoulli trials) ซึ่งถูกกำหนดโดยตัวแปรสุ่มที่เกี่ยวกับ arrival rate โดยหากขณะนั้น MN มีสถานะเป็น idle ก็จะต้องปรับสถานะใหม่เป็น active ส่วนจะลงทะเบียนกับ HA หรือไม่ขึ้นกับว่าขณะนั้น MN กำลังอยู่ในเซลล์ของ pFA หรือไม่ ถ้าใช่ก็ไม่ต้องลงทะเบียนแต่หากไม่ใช่ MN ก็ต้องลงทะเบียนกับ HA จากนั้นในตอนท้ายของ timeslot ก็จะมีการตรวจสอบว่า data session จะสิ้นสุดลงหรือยัง ซึ่งถูกกำหนดโดยตัวแปรสุ่มที่เกี่ยวกับ holding time หากสิ้นสุดลง MN ก็จะปรับสถานะเข้าสู่ idle แต่หากยังไม่สิ้นสุด MN ก็จะคงอยู่ในสถานะ active และเคลื่อนที่ต่อไป

ในกรณีที่ตอนเริ่มต้นของ timeslot หาก MN มีสถานะเป็น active อยู่แล้วก็ไม่ต้องสุ่มว่าจะมี data session เกิดขึ้นหรือไม่ เนื่องจากแพ็กเกตข้อมูลสามารถส่งไปหา MN ได้โดยตรงโดยไม่เกิดการสัญญาณใดๆ นอกจากนี้กรณีที่ตอนเริ่มต้นของ timeslot หาก MN มีสถานะเป็น idle และในตอนที่สุ่มว่ามี data session เกิดขึ้นหรือไม่นั้น หากปรากฏว่าไม่มี data session เกิดขึ้น MN ก็จะยังคงมีสถานะเป็น idle ขั้นตอนของโปรแกรมที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวิธีที่เสนอแสดงในภาพที่ 4.6 โดยระบบจะทำซ้ำจนครบ 15,000 รอบแล้วจึงนำค่าที่ได้ไปคำนวณหาต้นทุนการสัญญาณต่อไป



ภาพที่ 4.7 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อจำนวนชั้นของพื้นที่การเพจที่คำนวณได้



ภาพที่ 4.8 ผลกระทบของอัตราเซสชันของข้อมูลที่มีต่อจำนวนชั้นของพื้นที่การเพจที่คำนวณได้

ภาพที่ 4.7 - 4.8 แสดงถึงความสัมพันธ์ของจำนวนชั้นของพื้นที่การเพจที่คำนวณได้กับความเร็วเฉลี่ยและอัตราเซสชันของข้อมูลของผู้ใช้ ซึ่งจำนวนชั้นจะแปรผันตรงกับขนาดของพื้นที่การเพจตามสมการที่ (1) ในบทที่ 3 สำหรับภาพที่ 4.7 พบว่าเมื่อความเร็วของผู้ใช้เพิ่มขึ้นขนาดพื้นที่การเพจที่เหมาะสมจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เนื่องจากความเร็วของผู้ใช้ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีโอกาสในการเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่เพจและต้องลงทะเบียนเพิ่มขึ้น ส่วนภาพที่ 4.8 พบว่าเมื่ออัตราเซสชันของข้อมูลเพิ่มขึ้นขนาดพื้นที่การเพจที่เหมาะสมจะมีเล็กลง เนื่องจากอัตราเซสชันของข้อมูลที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีการเพจหาตำแหน่งของ MN และลงเบียนบ่อยขึ้น ขนาดพื้นที่การเพจที่เหมาะสมจึงมีขนาดเล็กเพื่อต้นทุนการสัญญาณในการเพจ โดย DIP-MIP และ APH-MIP มีขนาดพื้นที่การเพจที่คำนวณได้มีค่าเท่ากันตลอดช่วงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ เนื่องจากใช้สมการในการคำนวณเหมือนกัน แต่สำหรับ ADLP-MIP จะมีขนาดพื้นที่การเพจที่คำนวณใหญ่กว่า เนื่องจากสมการที่ใช้คำนวณต่างกัน เนื่องจาก ADLP-MIP มีพื้นที่การเพจย่อย ซึ่งทำให้สามารถออกแบบพื้นที่การเพจให้มีขนาดใหญ่ได้

สำหรับ P-MIP และ DLP-MIP ซึ่งไม่มีการคำนวณขนาดของพื้นที่การเพจ กำหนดให้ใช้ขนาดพื้นที่การเพจ k = 4 ซึ่งเท่ากับค่าขนาดของพื้นที่การเพจที่คำนวณได้ของ DIP-MIP และ APH-MIP ที่ความเร็ว 30 m/s และ อัตราเซสชันของข้อมูล 0.0016 ครั้งต่อวินาที ตลอดช่วงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

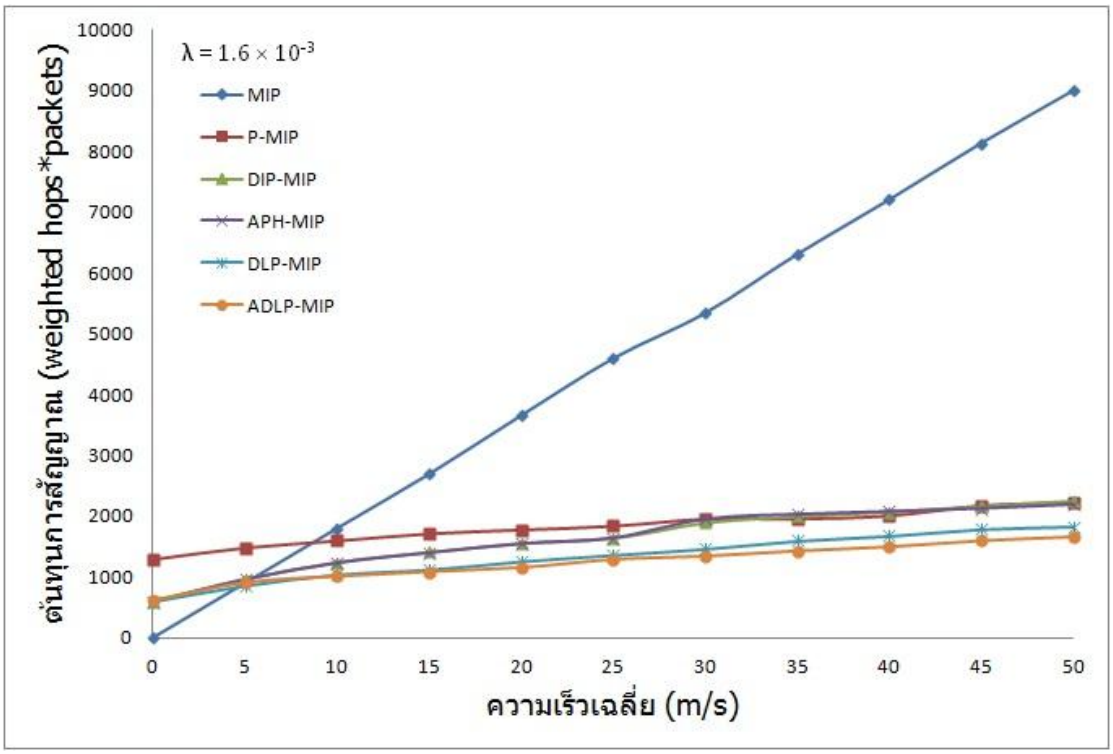
สำหรับ ADLP-MIP ขนาดพื้นที่การเพจย่อยที่คำนวณได้มีค่า k’ = 2 ทุกค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ ยกเว้นที่อัตราเซสชันของข้อมูลเป็นศูนย์ k’ = 4 ส่วน DLP-MIP กำหนดให้ใช้ขนาดพื้นที่การเพจย่อย k’ = 2 ตลอดช่วงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ

4.2 ผลการจำลองการทำงาน

ในที่นี้จะศึกษาและเปรียบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพต้นทุนการสัญญาณของแต่ละวิธีในการจำลองการทำงาน อันได้แก่ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้, อัตราเซสชันของข้อมูล, ระยะเวลา holding time ของ data session, จำนวนครั้งเฉลี่ยที่ MN เคลื่อนที่ข้ามพื้นที่การเพจ, เวลาที่ใช้ในการทดสอบ ดังแสดงในหัวข้อต่อไป

4.2.1 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ

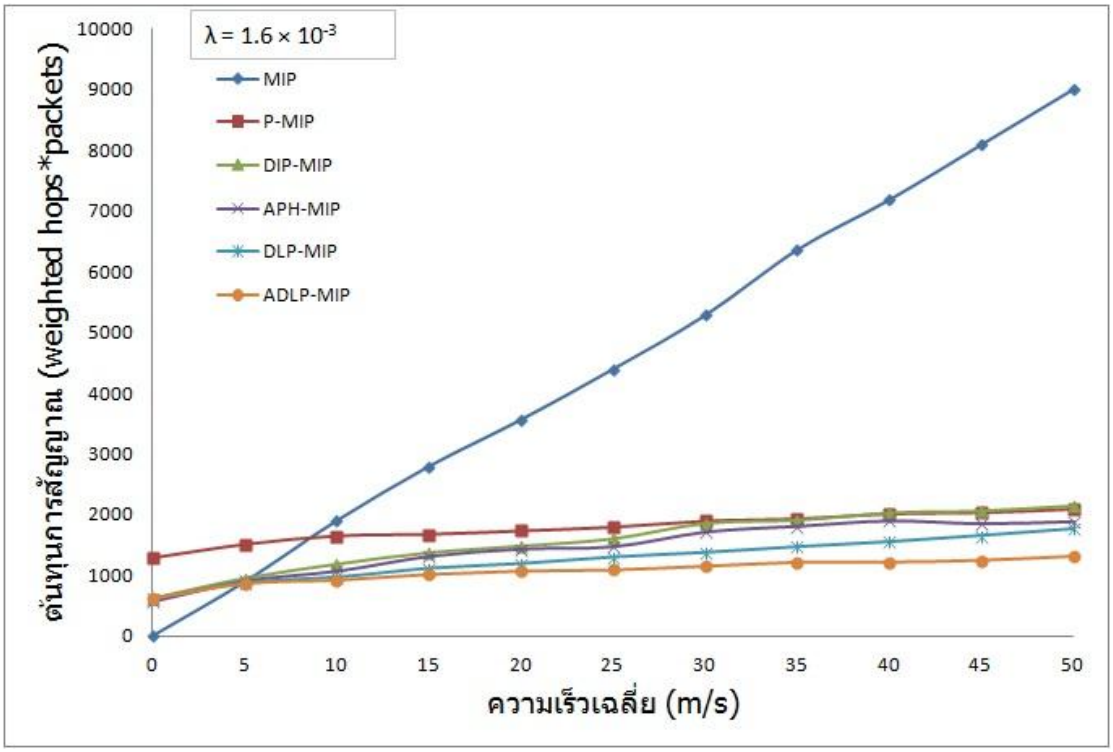
ในการจำลองนี้จะแสดงให้เห็นถึงผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณของวิธีต่างๆและวิธีที่เสนอ



ภาพที่ 4.9 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ
เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure random

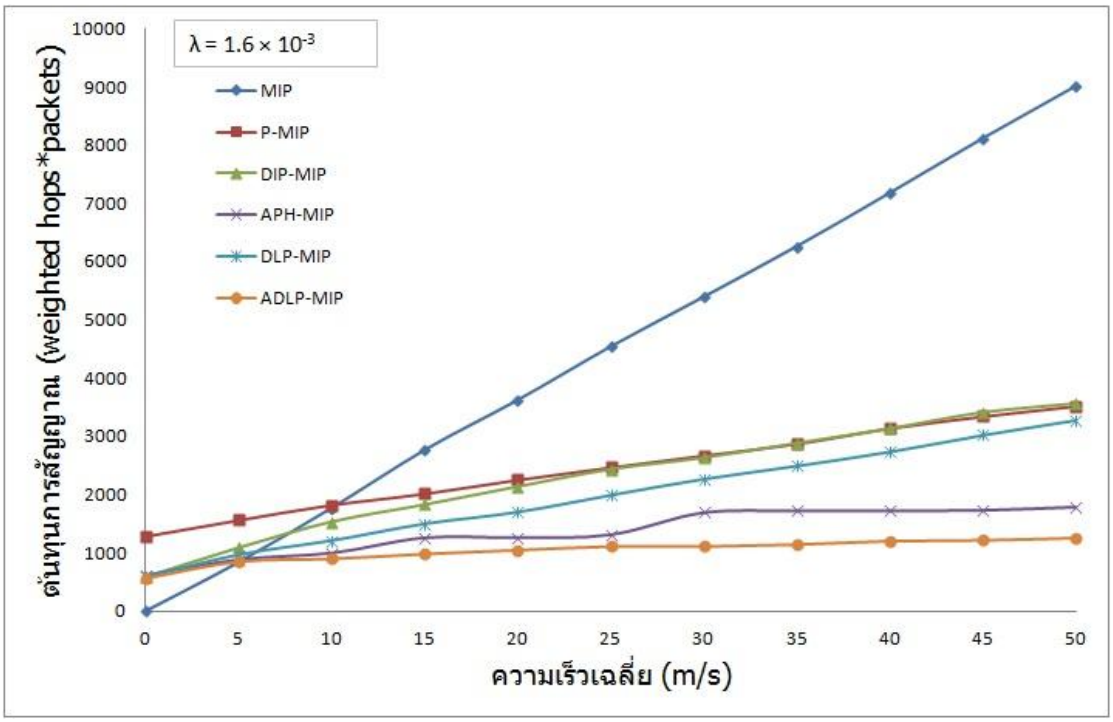
ภาพที่ 4.9 แสดงถึงความสัมพันธ์ของต้นทุนการสัญญาณกับความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ โดยพิจารณาที่ความเร็วตั้งแต่ 0 ถึง 50 m/s พบว่า MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่เพิ่มขึ้นเร็วและมากกว่าวิธีอื่นมาก เนื่องจาก MN จะต้องลงทะเบียนทุกครั้งที่เคลื่อนที่ข้ามเซลล์ แต่ที่ความเร็วต่ำกว่า 5 m/s พบว่า MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่าวิธีอื่น เนื่องจาก MIP มีเฉพาะต้นทุนการสัญญาณในส่วนของการลงทะเบียนเมื่อ MN เคลื่อนที่ข้ามเซลล์ ซึ่งที่ความเร็วต่ำมากๆ ต้นทุนการสัญญาณจากการลงทะเบียนเมื่อเคลื่อนข้ามเซลล์จะน้อยกว่าต้นทุนการสัญญาณที่เกิดจากการเพจหาตำแหน่งของ MN มาก ในกรณีของ DIP-MIP และ APH-MIP พบว่ามีต้นทุนการสัญญาณที่เท่ากัน เนื่องจาก MN เคลื่อนที่แบบ Pure random เมื่อเทียบกับ P-MIP พบว่า DIP-MIP และ APH-MIP มีต้นทุนการสัญญาณในช่วงความเร็วน้อยกว่า 30 m/s ต่ำกว่าเนื่องจากขนาดพื้นที่การเพจที่คำนวณได้มีขนาดต่างกับขนาดพื้นที่การเพจของ P-MIP แต่ในช่วงความเร็วมากกว่า 30 m/s มีต้นทุนการสัญญาณเท่ากัน เนื่องจากขนาดพื้นที่การเพจที่คำนวณได้มีค่าเท่ากับขนาดพื้นการเพจของ P-MIP สำหรับ DLP-MIP และ ADLP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่า P-MIP, DIP-MIP, APH-MIP ทุกช่วงการความเร็วที่พิจารณา แต่ต้นทุนการสัญญาณของ ADLP-MIP มีอัตราการเพิ่มที่น้อยว่า DLP-MIP เนื่องจาก ADLP-MIP มีการคำนวณหาขนาดพื้นที่การเพจและพื้นที่

การเพจย่อยที่เหมาะสม โดยที่ความเร็วเฉลี่ย 30 m/s วิธีที่เสนอสามารถลดต้นทุนการสัญญาณจากวิธี APH-MIP และ DLP-MIP ได้ 31.38% และ 8.54% ตามลำดับ



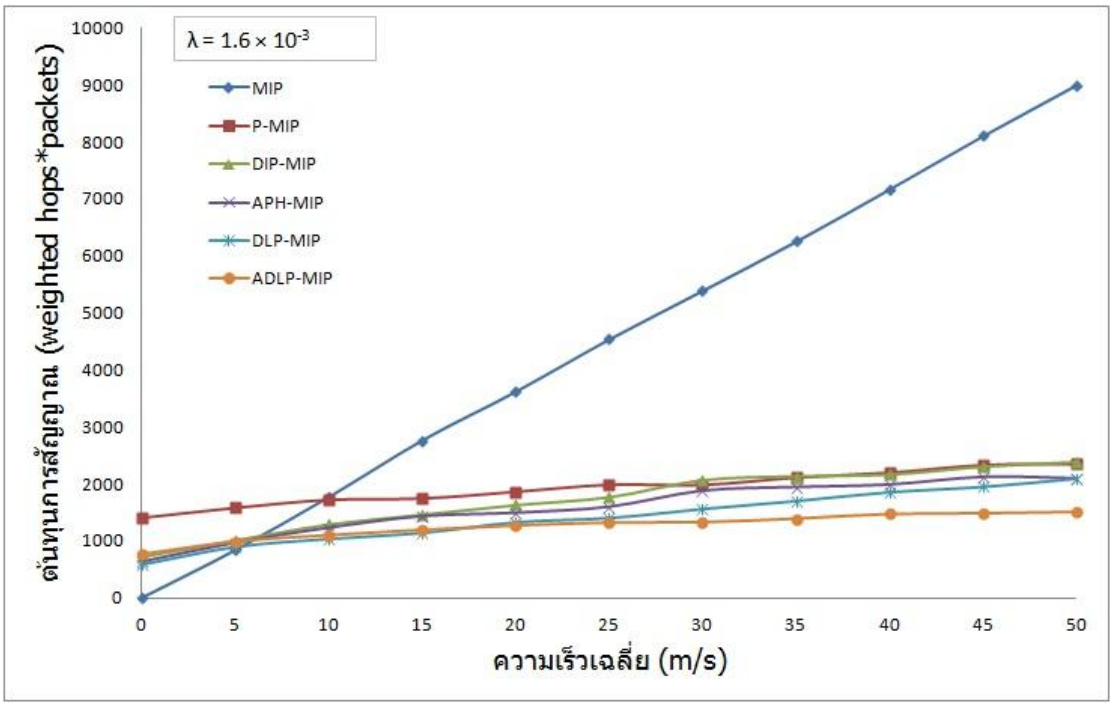
ภาพที่ 4.10 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ
เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Modified two-way

ภาพที่ 4.10 แสดงถึงผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Modified two-way พบว่า APH-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่า DIP-MIP โดยเฉพาะที่ความเร็วมากกว่า 20 m/s เนื่องจาก APH-MIP มีการคำนวณรูปร่างของพื้นที่การเพจที่เหมาะสม แต่การคำนวณรูปร่างของพื้นที่การเพจที่เหมาะสมมีผลต่อการลดต้นทุนการสัญญาณได้น้อยกว่า DLP-MIP ซึ่งมีการแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นพื้นที่การเพจย่อย สำหรับการเคลื่อนที่ของ MN แบบ Modified two-way ส่วน ADLP-MIP มีอัตราการเพิ่มของต้นทุนการสัญญาณที่น้อยลง และมีส่วนต่างของต้นทุนการสัญญาณที่น้อยกว่า DLP-MIP มากขึ้นเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับภาพที่ 4.9 ซึ่งเป็นผลจากการคำนวณรูปร่างของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสมของ ADLP-MIP โดยที่ความเร็วเฉลี่ย 30 m/s วิธีที่เสนอสามารถลดต้นทุนการสัญญาณจากวิธี APH-MIP และ DLP-MIP ได้ 32.51% และ 15.98% ตามลำดับ



ภาพที่ 4.11 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ
เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way

ภาพที่ 4.11 แสดงถึงผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way พบว่า P-MIP, DIP-MIP มีอัตราการเพิ่มของต้นทุนการสัญญาณที่สูงมาก ทั้งนี้เนื่องจากการใช้รูปร่างพื้นที่การเพจเป็นแบบวงกลมสมมาตร จะทำให้ MN เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจและลงทะเบียนบ่อยขึ้น ขณะที่ DLP-MIP มีอัตราการเพิ่มของต้นทุนการสัญญาณที่สูงมากเช่นกัน เนื่องจาก MN ต้องส่งสัญญาณแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งบ่อยขึ้นจากการเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจย่อย สำหรับ APH-MIP พบว่ามีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่า DLP-MIP เพราะการคำนวณรูปร่างของพื้นที่การเพจที่เหมาะสมมีผลต่อการลดต้นทุนการสัญญาณได้มากกว่าการแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นพื้นที่การเพจย่อย ในกรณี MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way ส่วน ADLP-MIP จากการแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นพื้นที่การเพจย่อยรวมถึงคำนวณและออกแบบรูปร่างพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม จึงส่งผลให้ ADLP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่า APH-MIP โดยที่ความเร็วเฉลี่ย 30 m/s วิธีที่เสนอสามารถลดต้นทุนการสัญญาณจากวิธี APH-MIP และ DLP-MIP ได้ 34.61% และ 51.17% ตามลำดับ

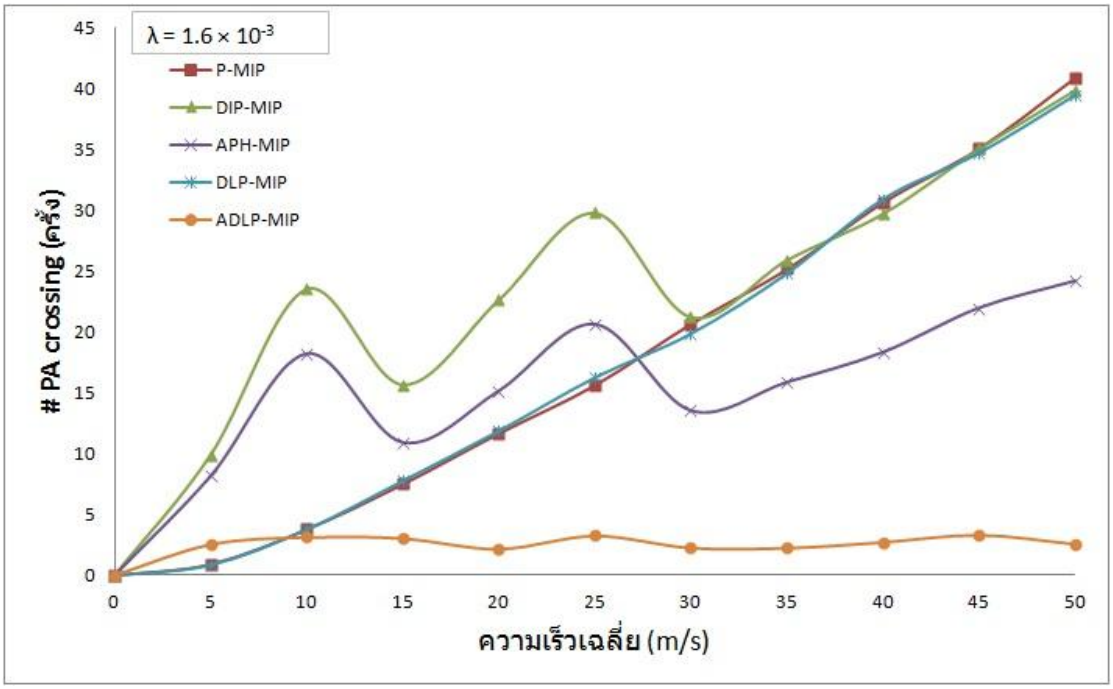


ภาพที่ 4.12 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ
เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Mix

ภาพที่ 4.12 แสดงถึงผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Mix พบว่าลักษณะกราฟค่อนข้างคล้ายกับภาพที่ 4.10 ที่ MN เคลื่อนที่แบบ Modified two-way แต่ภาพที่ 4.12 มีต้นทุนสัญญาณโดยรวมของแต่ละวิธีมากกว่าเล็กน้อย เนื่องจากลักษณะการเคลื่อนที่แบบ Mix มีส่วนของการเคลื่อนที่แบบ Pure two-way ผสมอยู่ ซึ่งทำให้ต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีสูงขึ้น ในขณะที่ ADLP-MIP ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีอื่นในทุกช่วงความเร็วสูงๆ โดยที่ความเร็วเฉลี่ย 30 m/s วิธีที่เสนอสามารถลดต้นทุนการสัญญาณจากวิธี APH-MIP และ DLP-MIP ได้ 29.26% และ 14.88% ตามลำดับ

ภาพที่ 4.13 แสดงถึงผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อจำนวนการข้ามพื้นที่การเพจเมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Mix พบว่าเมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเพิ่มขึ้น ปริมาณการข้ามพื้นที่การเพจของ P-MIP, DLP-MIP, ADLP-MIP มีค่าเพิ่มขึ้น โดย P-MIP และ DLP-MIP มีปริมาณการข้ามพื้นที่การเพจที่เท่ากันเนื่องจากขนาดพื้นที่การเพจที่ใช้มีค่าเท่ากัน ส่วน ADLP-MIP มีปริมาณและอัตราการเพิ่มของการข้ามพื้นที่การเพจที่ต่ำมาก เนื่องจากพื้นที่การเพจที่คำนวณได้มีขนาดใหญ่ จึงทำให้โอกาสที่ MN จะเคลื่อนที่ออกนอกพื้นที่การเพจมีค่าน้อย ส่วน DIP-MIP และ APH-MIP มีปริมาณการข้ามพื้นที่การเพจที่เพิ่มและลดเป็น 3 ช่วง เนื่องมาจากขนาดพื้นที่การเพจที่คำนวณได้มีค่าเปลี่ยนแปลงไป 3 ขนาดตามภาพที่ 4.7 โดยเมื่อขนาดพื้นที่การเพจที่คำนวณได้มี

ขนาดใหญ่ขึ้น ปริมาณการข้ามพื้นที่การเพจก็จะลดลง แต่แนวโน้มโดยรวมปริมาณการข้ามพื้นที่การเพจยังเพิ่มขึ้นตามความเร็วที่เพิ่มขึ้น

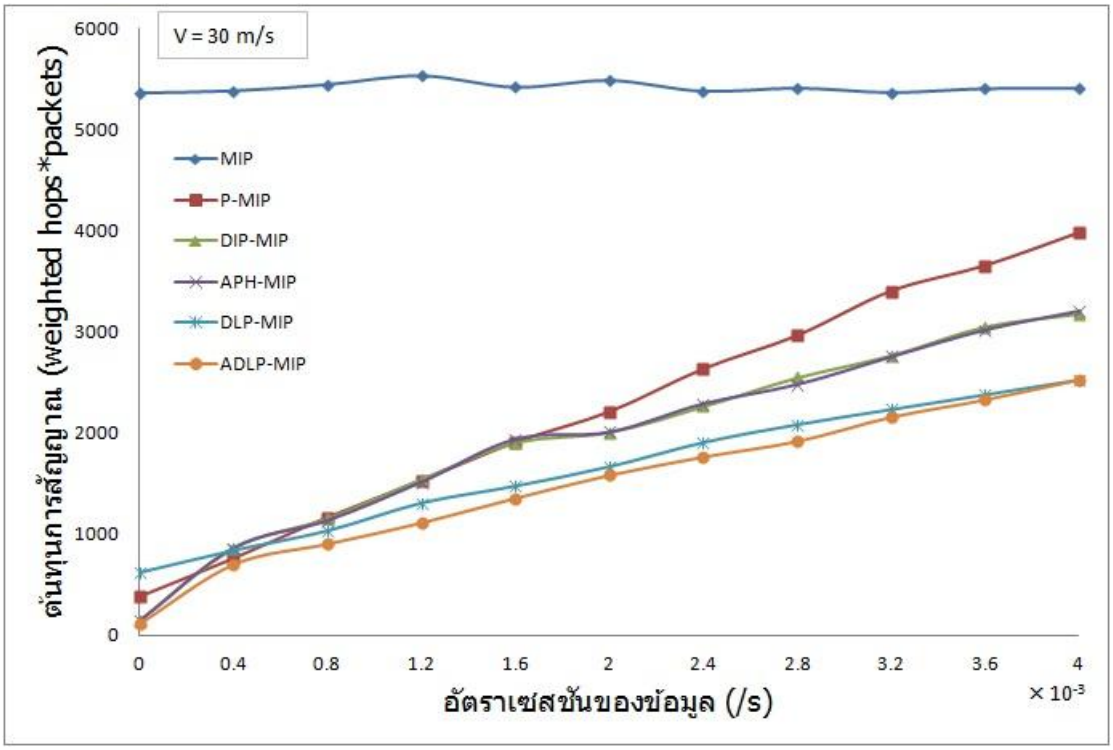


ภาพที่ 4.13 ผลกระทบของความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ที่มีต่อจำนวนครั้งของการข้ามพื้นที่การเพจเมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Mix

4.2.2 **ผลกระทบของ** Data session rate **ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ**

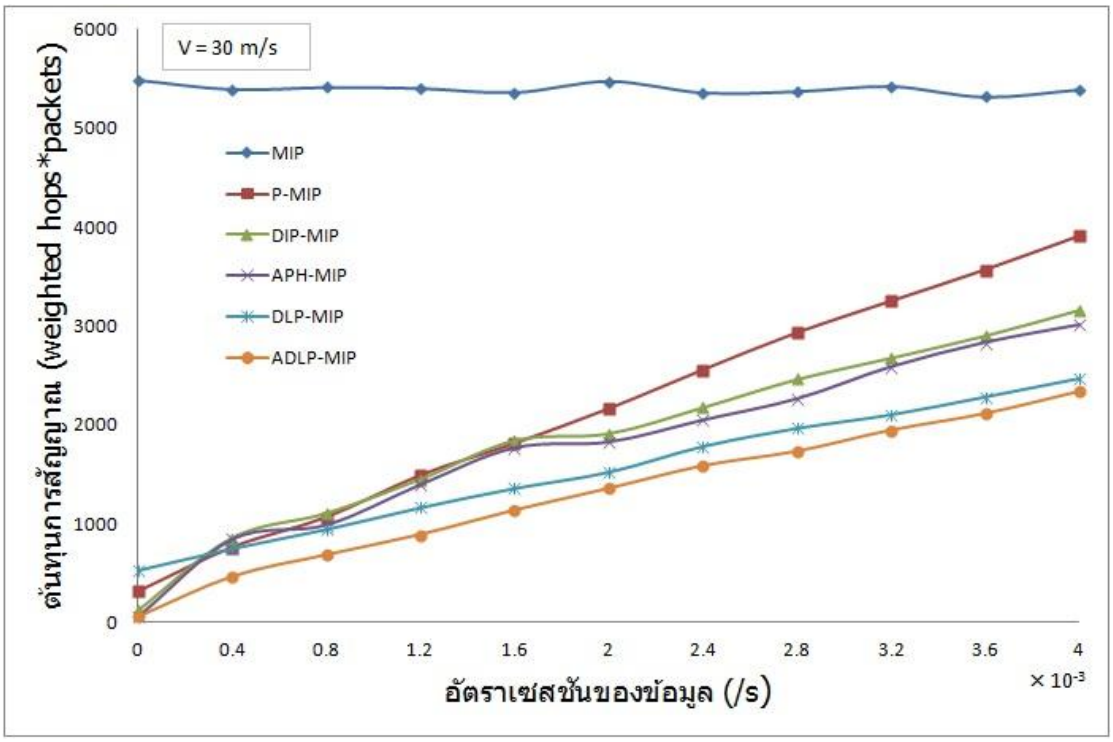
ภาพที่ 4.14 แสดงถึงความสัมพันธ์ของต้นทุนในการสัญญาณกับอัตราเซสชันของข้อมูล โดยพิจารณาที่อัตราเซสชันของข้อมูลตั้งแต่ 0 – 0.004 ครั้งต่อวินาที พบว่า MIP มีต้นทุนการสัญญาณคงที่ไม่ขึ้นกับอัตราเซสชันของข้อมูล เนื่องจาก MIP ไม่มีการใช้กระบวนการเพจในการทำงาน สำหรับกรณีของP-MIP, DIP-MIP และ APH-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่เท่ากันในช่วงอัตราเซสชันของข้อมูล 0 - 0.0016 ครั้งต่อวินาที เนื่องจากขนาดพื้นที่การเพจที่คำนวณได้ของ DIP-MIP และ APH-MIP มีค่าเท่ากับขนาดพื้นที่การเพจแบบคงที่ของ P-MIP สำหรับ DLP-MIP และ ADLP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่าวิธีอื่น ยกเว้นช่วงอัตราเซสชันของข้อมูลต่ำๆ เนื่องจากมีต้นทุนการสัญญาณจากการแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งเมื่อ MN เคลื่อนที่ออกนอกพื้นที่การเพจย่อย สำหรับที่อัตราเซสชันของข้อมูลสูงๆ DLP-MIP และ ADLP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่เท่ากันเพราะที่อัตราเซสชันของข้อมูลสูงๆ ขนาดของพื้นที่การเพจที่คำนวณได้ดังแสดงในภาพที่

4.8 ของ ADLP-MIP มีแนวโน้มเล็กลงเข้าใกล้ขนาดพื้นที่การเพจแบบคงที่ของ DLP-MIP โดยที่อัตราเซสชันของข้อมูล 0.0016 ครั้งต่อวินาที วิธีที่เสนอสามารถลดต้นทุนการสัญญาณจากวิธี APH-MIP และ DLP-MIP ได้ 30.21% และ 8.14% ตามลำดับ

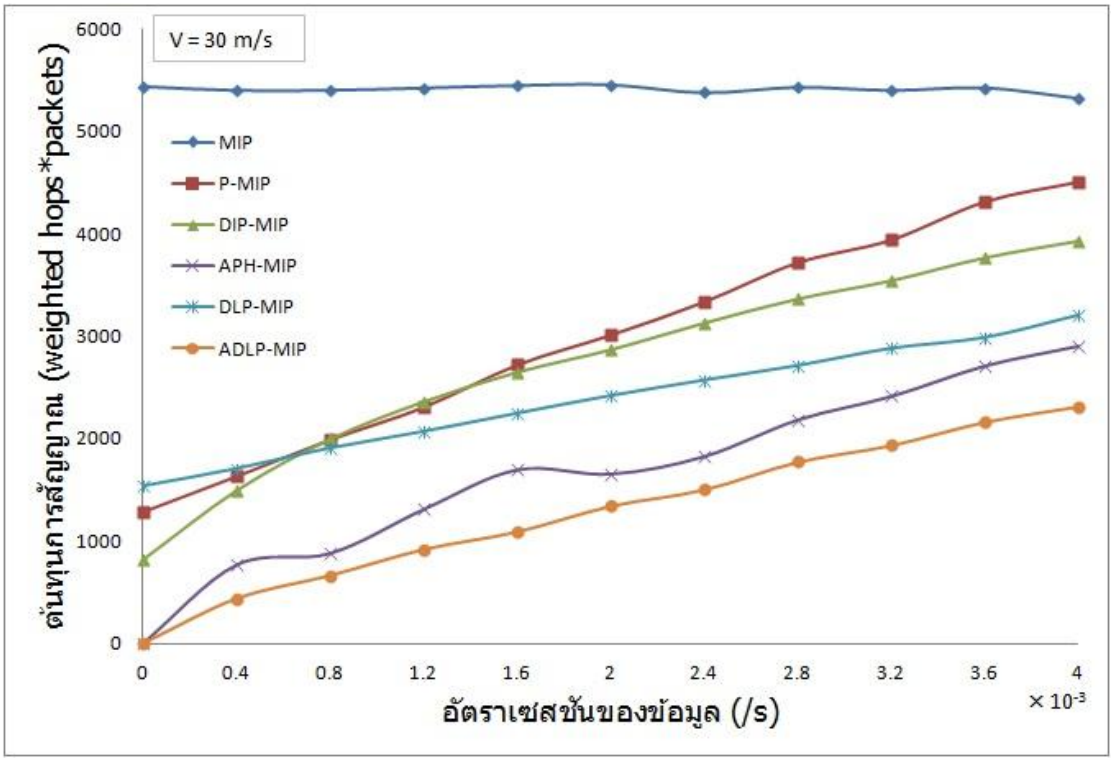


ภาพที่ 4.14 ผลกระทบของอัตราเซสชันของข้อมูลที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ
เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure random

ภาพที่ 4.15 แสดงถึงความสัมพันธ์ของต้นทุนในการสัญญาณกับอัตราเซสชันของข้อมูล เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Modified two-way พบว่า APH-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่า DIP-MIP เนื่องจาก APH-MIP มีการออกแบบรูปร่างของพื้นที่การเพจที่เหมาะสม สำหรับ ADLP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่น้อยลงและมีส่วนต่างกับ DLP-MIP มากขึ้นเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับภาพที่ 4.14 เป็นผลจากการคำนวณรูปร่างของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสมของ ADLP-MIP โดยที่อัตราเซสชันของข้อมูล 0.0016 ครั้งต่อวินาที วิธีที่เสนอสามารถลดต้นทุนการสัญญาณจากวิธี APH-MIP และ DLP-MIP ได้ 35.71% และ 16.37% ตามลำดับ

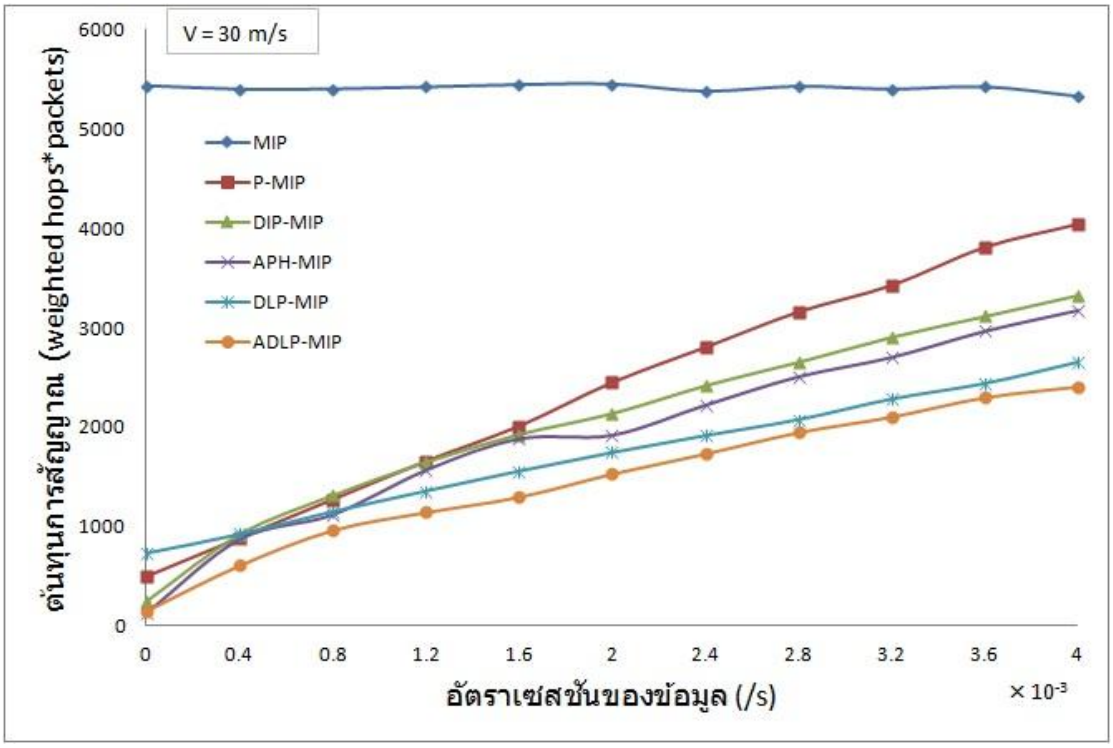


ภาพที่ 4.15 ผลกระทบของอัตราเซสชันของข้อมูลที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ
เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Modified two-way



ภาพที่ 4.16 ผลกระทบของอัตราเซสชันของข้อมูลที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ
เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way

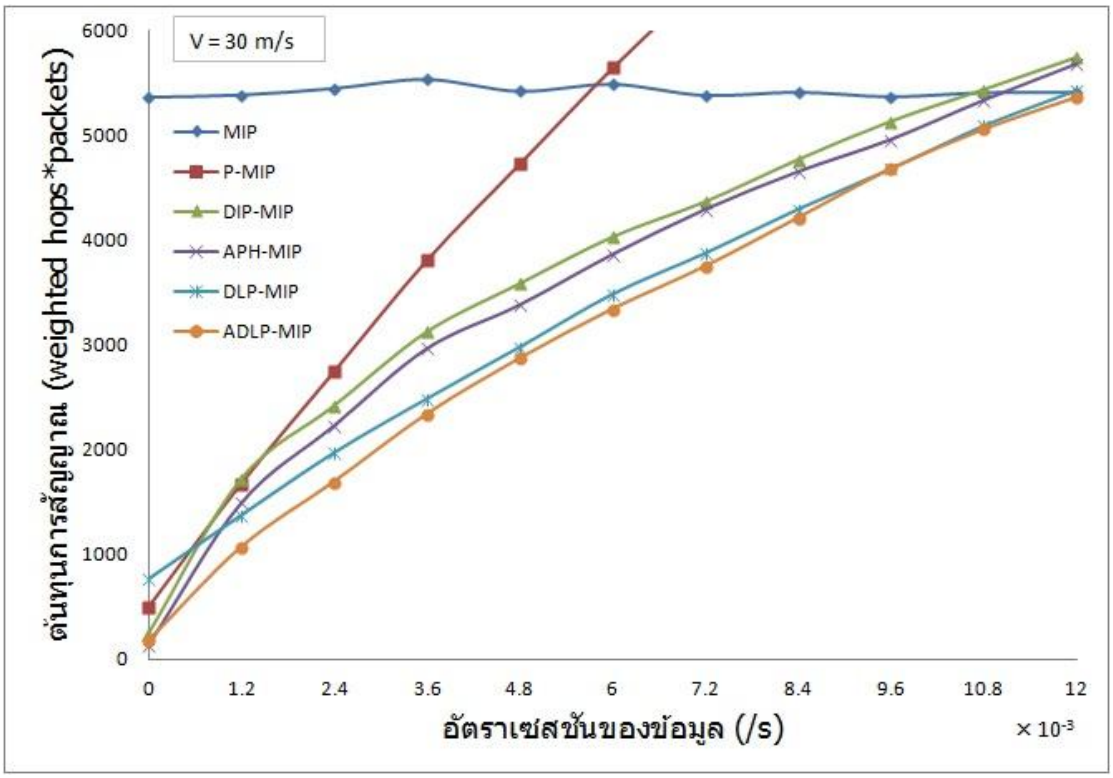
ภาพที่ 4.16 แสดงถึงความสัมพันธ์ของต้นทุนในการสัญญาณกับอัตราเซสชันของข้อมูล เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way พบว่าต้นทุนการสัญญาณของ P-MIP, DIP-MIP, DLP-MIP เพิ่มขึ้นมากเมื่อเทียบกับภาพที่ 4.15 เนื่องจาก MN เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยบ่อยขึ้นส่งผลให้จำนวนครั้งในการลงทะเบียนและแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งมากขึ้น ขณะที่ APH-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่า DLP-MIP เนื่องจากการออกแบบรูปร่างของพื้นที่การเพจของ APH-MIP มีผลต่อการลดต้นทุนการสัญญาณมากกว่าการแบ่งพื้นที่การเพจออกเป็นพื้นที่การเพจย่อยของ DLP-MIP สำหรับกรณี MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way ส่วน ADLP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่าวิธีอื่นตลอดช่วงอัตราเซสชันของข้อมูลที่พิจารณา โดยที่อัตราเซสชันของข้อมูล 0.0016 ครั้งต่อวินาที วิธีที่เสนอสามารถลดต้นทุนการสัญญาณจากวิธี APH-MIP และ DLP-MIP ได้ 35.67% และ 51.36% ตามลำดับ



ภาพที่ 4.17 ผลกระทบของอัตราเซสชันของข้อมูลที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ 0 - 0.004 ครั้งต่อวินาที เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Mix

ภาพที่ 4.17 แสดงถึงผลกระทบของอัตราเซสชันของข้อมูลที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธี เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Mix พบว่าลักษณะกราฟค่อนข้างคล้ายกับภาพที่ 4.15 ที่ MN เคลื่อนที่แบบ Modified two-way แต่ภาพที่ 4.17 มีต้นทุนสัญญาณโดยรวมของแต่ละวิธีมากกว่า

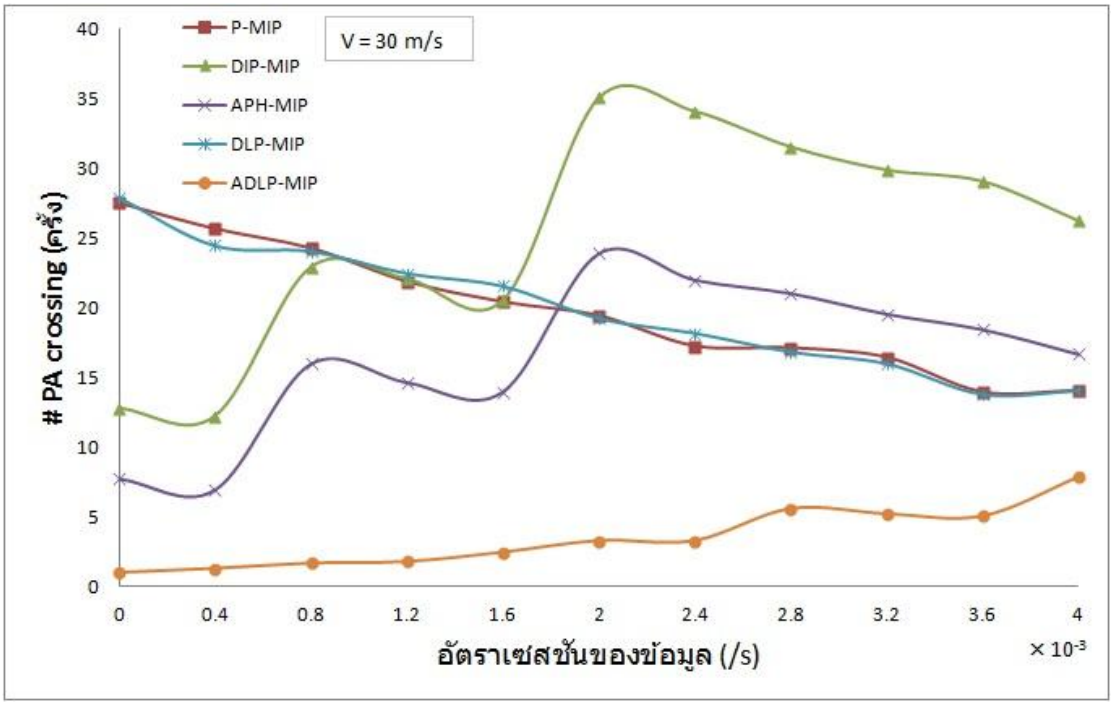
เล็กน้อย เนื่องจากลักษณะการเคลื่อนที่แบบ Mix มีส่วนของการเคลื่อนที่แบบ Pure two-way ผสมอยู่ ซึ่งทำให้ต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีสูงขึ้น ในขณะที่ ADLP-MIP ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีอื่นในทุกช่วงอัตราเซสชันของข้อมูลที่พิจารณา โดยที่อัตราเซสชันของข้อมูล 0.0016 ครั้งต่อวินาที วิธีที่เสนอสามารถลดต้นทุนการสัญญาณจากวิธี APH-MIP และ DLP-MIP ได้ 31.20% และ 16.73% ตามลำดับ



ภาพที่ 4.18 ผลกระทบของอัตราเซสชันของข้อมูลที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ
0 - 0.012 ครั้งต่อวินาที เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Mix

ภาพที่ 4.18 แสดงถึงความสัมพันธ์ของต้นทุนในการสัญญาณกับอัตราเซสชันของข้อมูล โดยพิจารณาที่อัตราเซสชันของข้อมูลตั้งแต่ 0 – 0.012 ครั้งต่อวินาที พบว่าเมื่ออัตราเซสชันของข้อมูลมีค่าสูงๆ วิธีที่ใช้การเพจมีแนวโน้มต้นทุนการสัญญาณที่สูงขึ้นจนมีค่ามากกว่าต้นทุนในการสัญญาณของวิธี MIP เนื่องจากวิธี MIP จะมีเฉพาะต้นทุนจากการลงทะเบียน แต่วิธีที่ใช้การเพจ จะมีต้นทุนการสัญญาณจากการเพจหาตำแหน่งของ MN เพิ่มเข้ามา ซึ่งที่อัตราเซสชันของข้อมูลสูงๆ จะทำให้เกิดการเพจหาตำแหน่งของ MN บ่อยครั้งขึ้น เป็นผลให้ต้นทุนการสัญญาณสูงกว่าวิธี MIP โดยกราฟของ P-MIP ตัดกับกราฟ MIP ที่อัตราเซสชันของข้อมูลประมาณ

0.0057 ครั้งต่อวินาที กราฟของ DIP-MIP และ APH-MIP ตัดกับกราฟ MIP ที่อัตราเซสชันของข้อมูลประมาณ 0.0108 ครั้งต่อวินาที กราฟของ DLP-MIP และ ADLP-MIP ตัดกับกราฟ MIP ที่อัตราเซสชันของข้อมูลประมาณ 0.012 ครั้งต่อวินาที

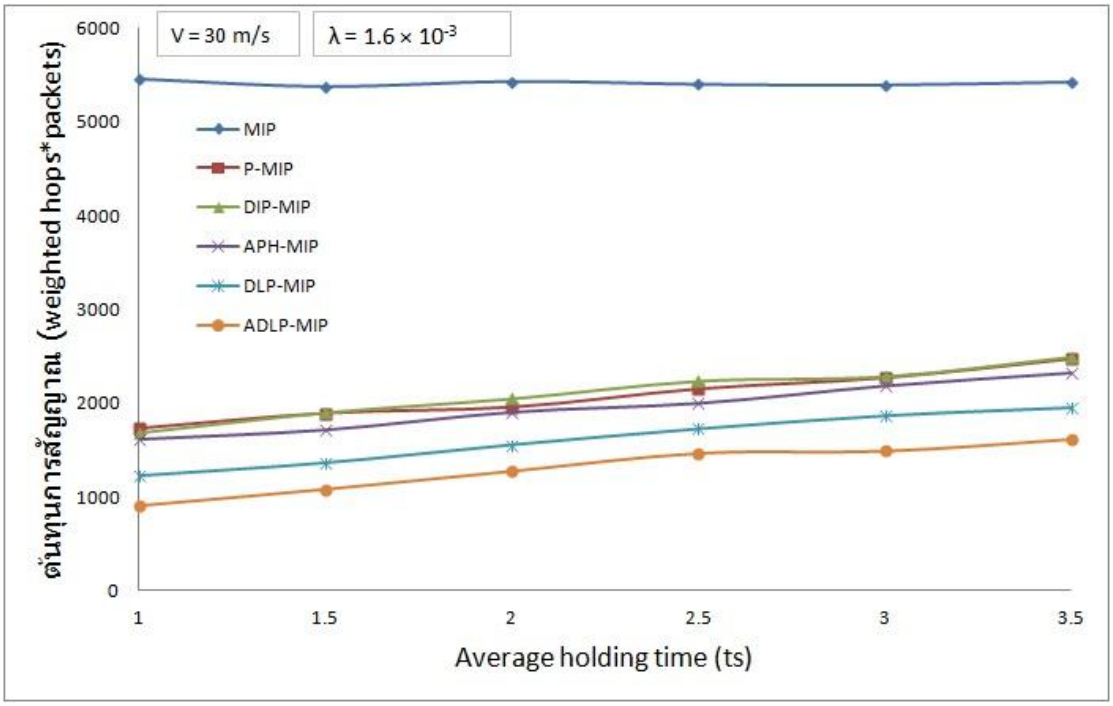


ภาพที่ 4.19 ผลกระทบของอัตราเซสชันของข้อมูลที่มีต่อจำนวนครั้งของการข้ามพื้นที่การเพจเมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Mix

ภาพที่ 4.19 พบว่า P-MIP, DLP-MIP, ADLP-MIP เมื่อ data session rate มีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณการข้ามพื้นที่การเพจมีค่าลดลง เนื่องจากการลงทะเบียนบ่อยขึ้นของ MN เมื่อมีแพ็กเกตข้อมูลส่งเข้ามา และเมื่อลงทะเบียนแล้ว MN จะอยู่ที่เซลล์ตรงกลางของพื้นที่การเพจ ทำให้โอกาสที่จะเคลื่อนที่ออกนอกพื้นที่การเพจมีน้อยลง ส่วน DIP-MIP และ APH-MIP มีปริมาณการข้ามพื้นที่การเพจที่ลดและเพิ่มเป็น 3 ช่วง เนื่องมาจากขนาดพื้นที่การเพจที่คำนวณได้มีค่าเปลี่ยนแปลงไปตามภาพที่ 4.8 โดยเมื่อขนาดพื้นที่การเพจที่คำนวณได้มีขนาดเล็กลง ปริมาณการข้ามพื้นที่การเพจก็จะเพิ่มขึ้น

4.2.3 ผลกระทบของ Session holding time ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณ

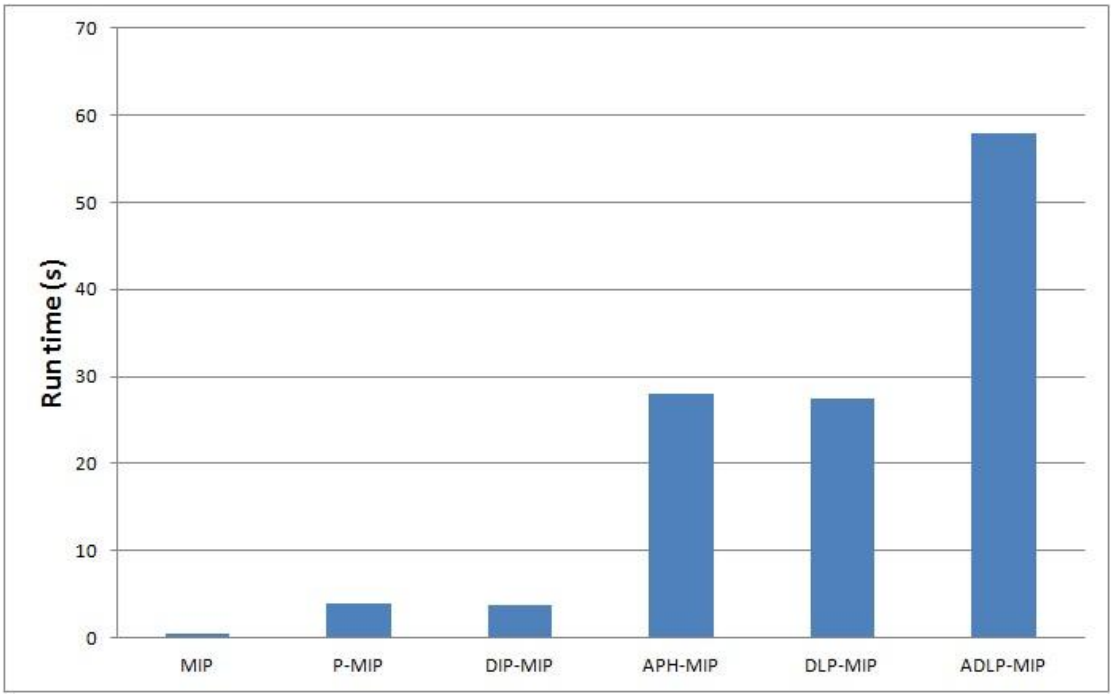
ภาพที่ 4.20 แสดงถึงผลกระทบของช่วงเวลา session holding time ของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณในแต่ละวิธีโดยพิจารณาที่ค่าเฉลี่ยตั้งแต่ 1 ถึง 3.5 timeslots และกำหนดให้ผู้ใช้มีความเร็วเฉลี่ย 30 เมตรต่อวินาที และ data session rate เป็น 0.0016 ครั้งต่อวินาที พบว่ากรณีของ MIP ค่า holding time ไม่ได้ส่งผลต่อต้นทุนการสัญญาณของ Mobile IP เลยเนื่องจาก MIP ไม่มีการแบ่งสถานะการทำงานเป็น active หรือ idle จึงต้องลงทะเบียนทุกครั้งที่เคลื่อนที่ข้ามเซลล์อยู่แล้ว ส่วนในกรณีของ P-MIP, DIP-MIP, APH-MIP, DLP-MIP, ADLP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่เพิ่มขึ้นเล็กน้อยเนื่องจากช่วงเวลา holding time ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ MN มีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ในขณะที่มีสถานะเป็น active ได้บ่อยขึ้นจึงเกิดข่าวสารลงทะเบียนกับ HA จำนวนมากขึ้น โดยที่ Session holding time 2 ts วิธีที่เสนอสามารถลดต้นทุนการสัญญาณจากวิธี APH-MIP และ DLP-MIP ได้ 29.34% และ 16.54% ตามลำดับ



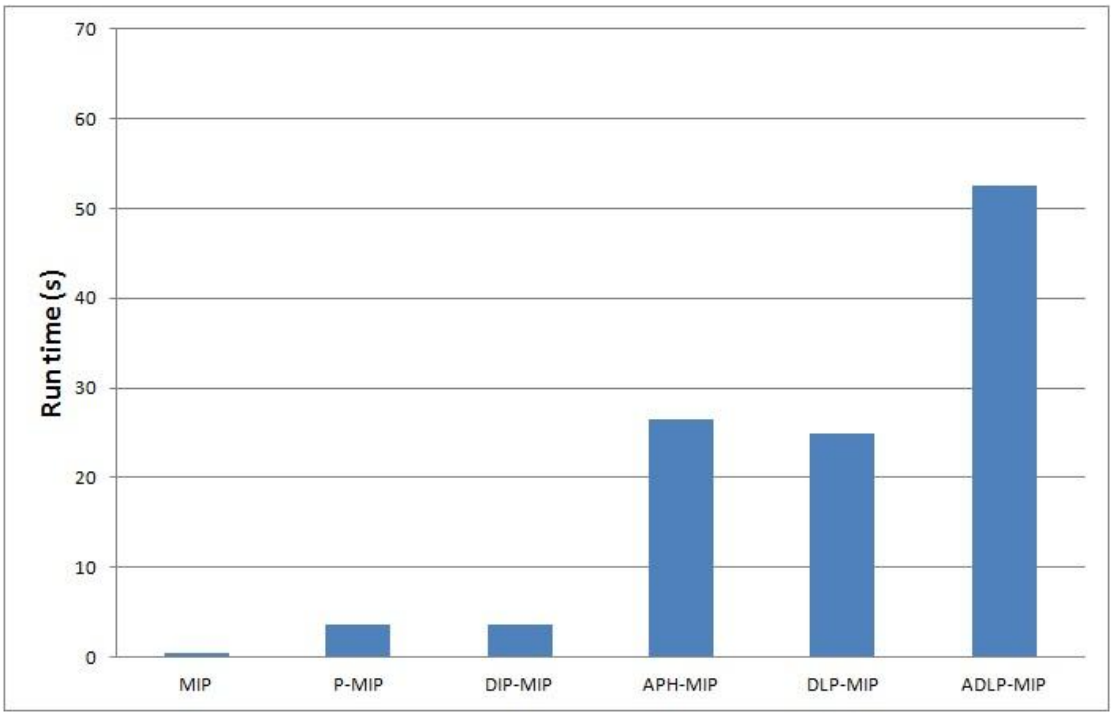
ภาพที่ 4.20 ผลกระทบของ Session holding time ของผู้ใช้ที่มีต่อต้นทุนการสัญญาณเมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Mix

4.2.4 เวลาในการเรียกใช้โปรแกรม

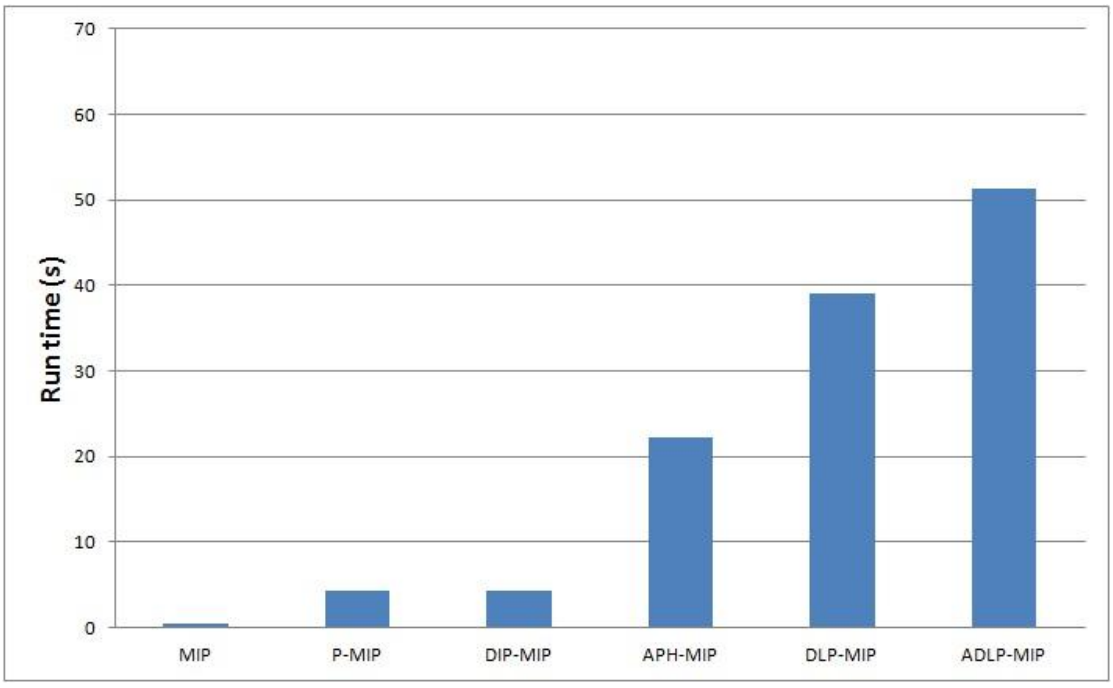
ภาพที่ 4.21 แสดงถึงเวลาในการเรียกใช้โปรแกรมของการจำลองแบบ พบว่า MIP ใช้เวลาน้อยที่สุดเนื่องจากไม่ต้องสร้างพื้นที่การเพจ ส่วน DIP-MIP ซึ่งมีการคำนวณขนาดของพื้นที่การเพจ แต่ใช้เวลาใกล้เคียงกับ P-MIP ที่ใช้ขนาดของพื้นที่การเพจคงที่ เนื่องจากขนาดของพื้นที่การเพจที่คำนวณได้ของ DIP-MIP มีขนาดเล็กกว่าขนาดของพื้นที่การเพจที่ P-MIP ใช้ จึงเสียเวลาในการสร้างพื้นที่การเพจน้อยกว่า ขณะที่ APH-MIP ใช้เวลามากกว่า P-MIP ประมาณ 6 เท่า เนื่องจากต้องออกแบบรูปร่างของพื้นที่การเพจย่อย ซึ่งทำให้กระบวนการสร้างพื้นการเพจนั้นซับซ้อนขึ้นเป็นผลให้ใช้เวลามากกว่า P-MIP สำหรับ DLP-MIP ใช้เวลาใกล้เคียงกับ APH-MIP เนื่องจากต้องใช้เวลาในการสร้างพื้นที่การเพจย่อย รวมถึงเวลาที่เพิ่มมาจากกระบวนการแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งเมื่อ MN เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจย่อยเดิม ส่วน ADLP-MIP ใช้เวลามากที่สุด เนื่องจากต้องคำนวณขนาดและออกแบบรูปร่างของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อย ทำให้ใช้เวลามากกว่า APH-MIP และ DLP-MIP ประมาณ 2 เท่า



ภาพที่ 4.21 เวลาในการเรียกใช้โปรแกรม เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure random



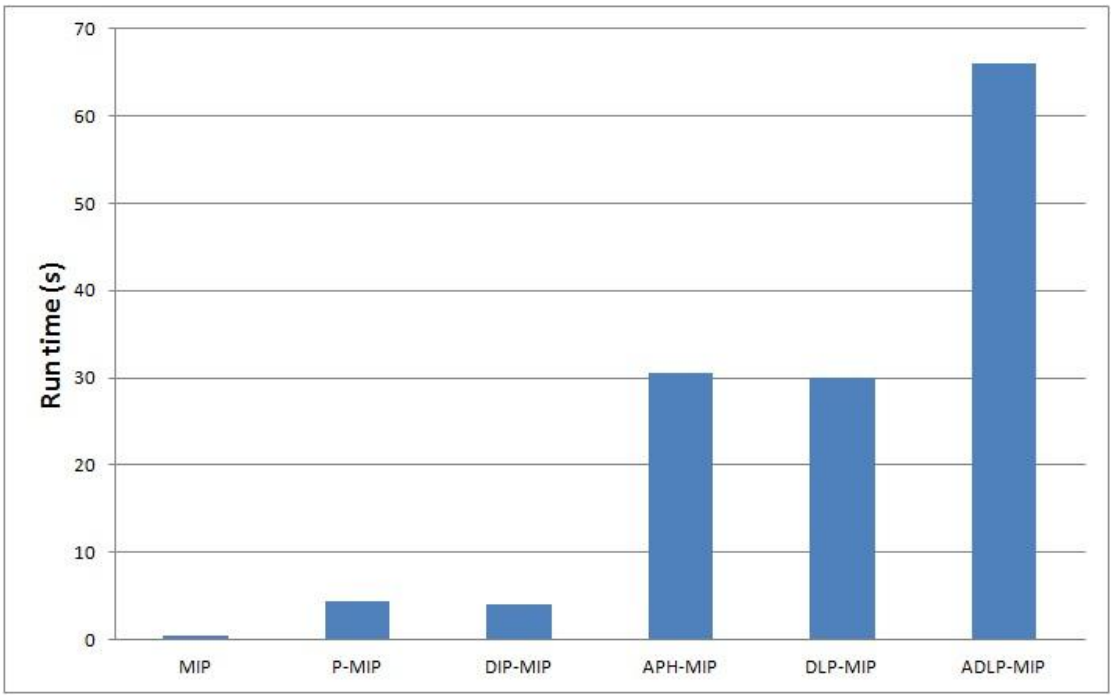
ภาพที่ 4.22 เวลาในการเรียกใช้โปรแกรม เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Modified two-way



ภาพที่ 4.23 เวลาในการเรียกใช้โปรแกรม เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Pure two-way

ภาพที่ 4.22 แสดงถึงเวลาในการเรียกใช้โปรแกรมของการจำลองแบบ ซึ่งเวลาในการเรียกใช้โปรแกรมรวมถึงแนวโน้มมีความใกล้เคียงกับภาพที่ 4.21 ที่ MN เคลื่อนที่แบบ Pure random แต่พบว่า ADLP-MIP มีการใช้เวลาน้อยลงเล็กน้อย เนื่องจากจำนวนครั้งที่ MN เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจหรือพื้นที่การเพจย่อยแล้วต้องสร้างพื้นที่การเพจหรือพื้นที่การเพจย่อยขึ้นมาใหม่นั้นมีจำนวนครั้งน้อยลง จากผลของการออกแบบรูปร่างพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อย

ภาพที่ 4.23 แสดงถึงเวลาในการเรียกใช้โปรแกรมของการจำลองแบบ พบว่า DLP-MIP มีเวลาในการเรียกใช้โปรแกรมมากขึ้น เมื่อเทียบกับภาพที่ 4.21 และ 4.22 เนื่องจากจำนวนครั้งที่ MN เคลื่อนที่ออกจากพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยแล้วต้องสร้างพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยมีจำนวนครั้งมากขึ้น เพราะ DLP-MIP ไม่มีการคำนวณและออกแบบรูปร่างของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม ซึ่งการเคลื่อนที่ของ MN แบบ Pure two-way ทำให้เห็นผลตรงนี้ได้ชัดเจน



ภาพที่ 4.24 เวลาในการเรียกใช้โปรแกรม เมื่อ MN เคลื่อนที่แบบ Mix

ภาพที่ 4.24 แสดงถึงเวลาในการเรียกใช้โปรแกรมของการจำลองแบบ พบว่า APH-MIP และ ADLP-MIP มีเวลาในการเรียกใช้โปรแกรมมากขึ้น เมื่อเทียบกับภาพที่ 4.21, ภาพที่ 4.22, ภาพที่ 4.23 เนื่องจากการกำหนดให้ MN มีรูปการเคลื่อนที่ที่หลากหลายทำให้การคำนวณรูปร่างของพื้นการเพจมีความซับซ้อนและใช้เวลามากขึ้น

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการปรับปรุงสมรรถนะการจัดการสภาพเคลื่อนที่ของโพรโทคอล Mobile IP และ P-MIP โดยใช้วิธีการคำนวณขนาดและออกแบบรูปร่างของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสมสำหรับ MN แต่ละตัว เพื่อลดต้นทุนการสัญญาณที่มีในระบบ สามารถสรุปผลการจำลองแบบได้ดังนี้

1. ขนาดของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์หลัก 2 ตัวคือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้และอัตราเซสชันของข้อมูล โดยขนาดของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสมแปรผันตรงกับความเร็วในการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ แต่แปรผกผันกับอัตราเซสชันของข้อมูล จากผลของการวิเคราะห์ขนาดของพื้นที่การเพจเหมาะสม พบว่าการมีพื้นที่การเพจย่อย ทำให้พื้นที่การเพจที่เหมาะสมนั้นมีขนาดใหญ่ขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีที่ไม่มีพื้นที่การเพจย่อย แต่ขอบเขตของขนาดถูกกำหนดด้วยต้นทุนการสัญญาณของการแจ้งเปลี่ยนตำแหน่ง ซึ่งขึ้นกับระยะทางระหว่างเซลล์ปัจจุบันที่ MN อยู่กับ PFA ทำให้ไม่สามารถกำหนดขนาดของพื้นที่การเพจให้ใหญ่จนไม่มีขอบเขตได้
2. พิจารณาจากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าวิธี P-MIP, DLP-MIP มีประสิทธิภาพการสัญญาณที่ดีเฉพาะในช่วงที่ได้ออกแบบไว้เท่านั้น เมื่อพารามิเตอร์มีค่าเปลี่ยนไปจากค่าที่ได้ออกแบบไว้ ประสิทธิภาพก็จะลดลงไป ขณะที่วิธีการที่เสนอมีประสิทธิภาพการสัญญาณที่ดีในช่วงกว้างอีกทั้งยังมีความมั่นคงของโครงข่ายที่ไม่ถูกกระทบได้ง่ายจากค่าพารามิเตอร์ต่างๆที่เปลี่ยนแปลง
3. วิธีที่เสนอแสดงถึงประสิทธิภาพที่ดีเมื่อเทียบกับวิธี P-MIP, DIP-MIP, APH-MIP, DLP-MIP โดยเฉพาะเมื่อทดสอบกับ MN ที่มีการเคลื่อนที่แบบมีรูปแบบ ซึ่งในทางปฏิบัติผู้ใช้ส่วนมากจะเคลื่อนที่แบบมีรูปแบบมากกว่าเคลื่อนที่แบบสุ่ม
4. แม้ว่าวิธีที่เสนอจะมีประสิทธิภาพการสัญญาณที่ดีในช่วงกว้าง อย่างไรก็ตามวิธีที่เสนอไม่ได้มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเสมอไป ยังมีบางช่วงที่ MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำกว่าวิธีที่เสนอ เช่น ช่วงที่ความเร็วเฉลี่ยของผู้ใช้ต่ำกว่า 5 m/s หรือช่วงที่ความเร็ว

ต่ำมากๆ จะพบว่า วิธีที่เสนอกับ วิธี DIP-MIP, APH-MIP, DLP-MIP มีต้นทุนการสัญญาณที่ใกล้เคียงกันมาก

5. ขนาดของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม ที่คำนวณได้ไม่ใช่ขนาดที่ให้ต้นทุนการสัญญาณที่ต่ำที่สุดเสมอไป เนื่องจากสมการใช้คำนวณมีการใช้ค่าจากการประมาณ เช่น ค่า θ, D_{FH}, D_{FP}, D_{SP}, D_{FS} รวมถึงรูปร่างเซลล์ที่นำมาเป็นแบบในการสร้างสมการกับรูปร่างเซลล์จริงที่คำนวณออกมาได้ก็มีรูปร่างที่ต่างกัน
6. เมื่อพิจารณาในด้านการประวิงเวลาในการส่งสัญญาณ แม้ว่าจากผลการทดสอบวิธีที่เสนอจะใช้เวลาในการเรียกใช้โปรแกรมมากที่สุด เนื่องจากต้องเสียเวลาคำนวณขนาดและออกแบบรูปร่างของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม แต่ในด้านการนำไปใช้งานจริง Current FA ถูกกำหนดให้ทำการคำนวณและออกแบบรูปร่างของพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม โดยใช้ช่วงเวลาระหว่างที่ Current FA ส่งข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนหรือข่าวสารแจ้งเปลี่ยนตำแหน่งแล้วรอการตอบรับ ซึ่งจะทำให้การประวิงเวลานั้นน้อยลง หรืออาจไม่มีการประวิงเวลาเพิ่มจากส่วนนี้เลยก็ได้
7. เมื่อพิจารณาในด้านการใช้พลังงานของ MN แม้ว่าวิธีที่เสนอจะกำหนดให้ MN มีหน้าที่เก็บรวบร่วมข้อมูลความเร็วเฉลี่ย, อัตราเซสชันของข้อมูล, เซลล์ที่ได้เคลื่อนที่ผ่านไว้อย่างต่อเนื่อง ซึ่งส่งผลให้ MN ใช้พลังงานมากขึ้น รวมถึงต้องเสียพื้นที่สำหรับเก็บค่าเหล่านี้ด้วย แต่ในปัจจุบัน สมรรถนะของอุปกรณ์ต่างๆถูกพัฒนาไปมาก จึงสามารถช่วยลดปัญหาการใช้พลังงานลงได้ รวมถึงช่วยในด้านการลดการประวิงเวลาอีกด้วย

5.2 **ข้อเสนอแนะ**

จากการศึกษาและทดสอบพบว่ายังมีประเด็นหรือปัจจัยอื่นๆที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของ Mobile IP ที่งานวิจัยนี้ยังไม่ได้พิจารณา จึงสรุปเป็นข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคตดังนี้

1. ในการสร้างสมการคำนวณหาขนาดพื้นที่การเพจและพื้นที่การเพจย่อยที่เหมาะสม อาจใช้แบบจำลองของพื้นที่การเพจรูปแบบอื่นๆตามพื้นที่ที่นำไปใช้ เพื่อให้ได้ค่าที่แม่นยำมากขึ้น
2. เนื่องจากในงานวิจัยนี้พิจารณาเฉพาะเพียงการจัดการสภาพเคลื่อนที่เท่านั้น ยังมีประเด็นที่สำคัญอื่นๆที่ส่งผลต่อคุณภาพการให้บริการที่ควรได้รับการพิจารณาศึกษา

ได้แก่ ประสิทธิภาพในการแฮนด์ออฟอันวัดได้จากช่วงเวลาในการแฮนด์ออฟและปริมาณ packet loss ที่เกิดขึ้น รวมถึงปริมาณบัฟเฟอร์ที่จำเป็นในโครงข่ายเพื่อลดจำนวนการสูญหายของแพ็กเกตหรือช่วงเวลาแฝงในการรอรับแพ็กเกต

3. ในการวิจัยนี้มีการจำลองการทำงานของแต่ละวิธีบนพื้นฐานของโปรแกรมแบบ discrete time ดังนั้นในงานวิจัยต่อไปอาจจำลองการทำงานแบบ continuous time เพื่อเปรียบเทียบและศึกษาข้อแตกต่างที่เกิดขึ้น

รายการอ้างอิง

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

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

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

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

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

[6] 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.

[7] Techabanyat, C. and Benjapolakul, W. Distributed Local Paging Scheme for Mobility Management in Mobile IP. Proc. WOCN 2007 (July 2007): 1-5.

[8] Navichai, A. and Benjapolakul, W. Two-Step Paging for reducing signaling costs in Mobile IP. Proc. ICACT 2011 (February 2011): 50-55.

[9] Chuan, C. and Guha, S. DIP-MIP: Distributed Individual Paging Extension for Mobile IP in IP-based Cellular Network. Proc. WIRLES 2005 2 (2005): 1050-1010.

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

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสุรกิต ปังวัฒนกุล เกิดเมื่อวันที่ 7 เมษายน พ.ศ.2530 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนวมินทราชินูทิศ เตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ และสำเร็จการศึกษาระดับวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2551 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2552 บทความวิจัยที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว แบบแผนเพจจิงท้องถิ่นแบบกระจายโดยปรับเปลี่ยนตามผู้ใช้แต่ละคนเพื่อลดต้นทุนการสัญญาณในโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 34 ปี 2554 หน้า 645-648