การปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลอินเทอร์เนตเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลัง

นายก่อทอง จิรธนา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6902-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF PAGING EXTENSIONS IN MOBILE INTERNET PROTOCOL BASED ON POST REGISTRATION

Mr.Kortong Chiratana

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Electrical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2004
ISBN 974-17-6902-4

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลอินเทอร์เนตเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลัง
โดย	นายก่อทอง จิรธนา
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตรจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาย จิตะพันธ์กุล)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร.ชัยเชษฐ์ สายวิจิตร)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก่อทอง จิรธนา : การปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลอินเทอร์เนตเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลัง. (IMPROVEMENT OF PAGING EXTENSIONS IN MOBILE INTERNET PROTOCOL BASED ON POST REGISTRATION)
อ. ที่ปรึกษา : รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล, จำนวน 126 หน้า. ISBN 974-17-6902-4.

เนื่องจากการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (P-MIP) สามารถลดเพียงจำนวนการลงทะเบียน แต่ P-MIP ไม่รองรับการปรับปรุงวิธีการลงทะเบียนที่มีประสิทธิภาพ ทำให้ยังคงมีจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายและเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟที่สูง อีกทั้งสิ้นเปลืองความต้องการในการพักข้อมูล และใช้ช่วงเวลาในการลงทะเบียนที่ยาวนาน เราจึงเสนอการปรับปรุงการประวิงเวลาในการลงทะเบียน ขณะที่โนดเคลื่อนที่กำลังเข้าสู่สถานะทำงาน (Active state) ซึ่งสามารถลดเวลาในการที่โนดเคลื่อนที่รอแพ็กเกตข้อมูล วิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้จึงสามารถลดความต้องการในการพักข้อมูลลงได้ ในวิทยานิพนธ์นี้ยังเสนอการปรับปรุงการลงทะเบียน เพื่อลดจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายจากการแฮนด์ออฟ และเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟ เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ข้ามเซลล์ในพื้นที่เพจจิงเดียวกัน ในช่วงที่โนดเคลื่อนที่อยู่ในสถานะทำงาน (Active state) อีกด้วย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เราจำลองด้วยทราฟฟิกแบบอัตราบิตคงที่ (CBR) โดยมีช่วงเวลาการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่เป็น 5% ของเวลาจำลองที่กำหนด ในวิธีการใช้เพจจิงในแบบจำลองนี้ เรากำหนดให้มีพื้นที่เพจจิง 2 พื้นที่ เราใช้สถานีฐาน 1 สถานี รองรับตัวแทนโครงข่ายภายนอก 1 ตัวแทนในแต่ละเซลล์บนพื้นฐานของ IEEE 802.11 และคาบในการส่งข่าวสารประกาศจากตัวแทน (agent advertisement) เป็น 1 วินาที และวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์ใช้ข่าวสารบีคอนในชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (L2) ซึ่งถูกประกาศทุกๆ 100 มิลลิวินาที ผลการจำลองแบบแสดงให้เห็นว่า วิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์สามารถลดจำนวนแพ็กเกตที่สูญหาย, เวลาแฝงในการแฮนด์ออฟ และความต้องการในการพักข้อมูลได้ ในสภาพแวดล้อมของระบบที่เหมาะสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2547

4470214021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORDS: MOBILE IP / POST REGISTRATION / PAGING EXTENSIONS FOR MOBILE IP

KORTONG CHIRATANA: IMPROVEMENT OF PAGING EXTENSIONS IN MOBILE INTERNET PROTOCOL BASED ON POST REGISTRATION. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. DR. WATIT BENJAPOLAKUL. D. Eng., 126 pp. ISBN 974-17-6902-4.

Paging Extensions for Mobile IP (P-MIP) decreases only the number of registration, but it does not improve the method of registration, which still has a lot of packet loss and long handoff latency, also wastes the data buffering and time during registration. We propose the registration delay improvement, while mobile node is entering the active state to decrease mobile node waiting time for data packets. Thus, this proposed method reduces requirement of data buffering. We also propose improvement of registration to decrease packet loss and handoff latency when mobile node moves across cell in the same paging area during active state.

In this thesis, we simulate with Constant Bit Rate (CBR) sources used as traffic sources. The active mobile node (MN) percentage is 5%. In these paging methods, the simulation area in each experiment models two complete paging areas. One base station supports a foreign agent (FA) in each cell based on IEEE 802.11 and use agent advertisement period of 1 second. The proposed method use link layer beacons (L2) which are sent every 100 ms. The simulated results show that the proposed method can decrease the packet loss, handoff latency and buffering requirement in the appropriate environment.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Electrical Engineering Student's signature .....

Field of study Electrical Engineering Advisor's signature .....

Academic year 2004

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คือ รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล ซึ่งคอยให้คำแนะนำ คำสั่งสอนต่างๆ อันมีค่า รวมทั้งจัดหาคอมพิวเตอร์ และหนังสือที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นประโยชน์ในการวิจัยด้วยดีเสมอมา พร้อมทั้งแรงกระตุ้น และคำแนะนำของอาจารย์ท่านอื่นทุกท่าน ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ ผศ. ดร.บงการ หอมนาน ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นที่ดีมาโดยตลอด

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ น้องๆ และคนรอบตัวของผู้วิจัยที่คอยเป็นกำลังใจและให้คำปรึกษา

ขอขอบคุณ ทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท-เอกในสถาบันอุดมศึกษาของรัฐ ประจำปีการศึกษา 2547 ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัย และทุน AUN/ SEED-Net Collaborative Research Project ที่ได้เอื้อเฟื้อให้ใช้คอมพิวเตอร์ในงานวิจัยนี้มาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอกราบขอบคุณ บิดาผู้ล่วงลับ มารดา พี่ชาย และพี่สาว ที่ให้ความรัก ความเข้าใจ และการสนับสนุนแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

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

บทที่1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์ 5
1.3 แนวทางวิทยานิพนธ์ 5
1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์ 6
1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ 6
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6
บทที่ 2 หลักการโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ 7
2.1 หลักการทั่วไปของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ 7
2.2 ความต้องการในการออกแบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ 9
2.3 จุดประสงค์ในการออกแบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ 10
2.4 โครงสร้างของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ใน IPv4 11
2.5 โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่โดยทั่วไป 12
2.6 ชนิดที่อยู่ที่ได้รับการดูแล (Care Of Address: COA) ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ 13
2.7 กระบวนการค้นหาตัวแทน (Agent Discovery) 14
2.7.1 รูปแบบข่าวสารร้องขอตัวแทน (Agent Solicitation) 15
2.7.2 รูปแบบข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement) 15
2.7.3 ส่วนหัวโพรโทคอลอินเทอร์เนต (IP header fields) ในข่าวสาร ประกาศจากตัวแทน 16

หน้า

2.7.4 ส่วนประกาศเราเตอร์โพรโทคอลข่าวสารควบคุมอินเทอร์เนต (ICMP Router Advertisement Fields) 17
2.7.5 ส่วนเสริมการประกาศตัวแทนการเคลื่อนที่ (Mobility Agent Advertisement Fields) 17
2.7.6 ส่วนเสริม Prefix-Length (Prefix-Length Extension Fields) 18
2.8 การตรวจสอบการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่ (Move Detection) 18
2.9 การลงทะเบียน (Registration) 19
2.9.1 แผนการการลงทะเบียน (Registration Scenarios) 19
2.9.2 รูปแบบข่าวสารการลงทะเบียน (Registration Request Message and Registration Reply Formats) 21
บทที่ 3 การปรับปรุงสมรรถนะโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ที่ได้มีผู้เสนอไว้ และแนวทางที่เสนอในวิทยานิพนธ์ 24
3.1 การปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ที่ได้มีผู้เสนอไว้ 24
3.1.1 แบบแผนการรักษาความปลอดภัยในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (SecMIP) โดยใช้โพรโทคอลรักษาความปลอดภัยไอพี (IPSec) 24
3.1.2 การลงทะเบียนท้องถิ่นของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP Regional Registration) 25
3.1.3 แบบแผนแฮนด์ออฟอย่างรวดเร็วในโครงข่ายไร้สาย (A Fast Handoff Scheme for Wireless Networks) 27
3.1.4 การใช้เพจจิงในโพรโทรคอลไอพีเคลื่อนที่ (Paging Extensions for Mobile IP: P-MIP) 30
3.1.5 การแฮนด์ออฟที่ใช้เวลาแฝงต่ำในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่เวอร์ชัน 4 (Low Latency Handoffs in Mobile IPv4) 39
3.2 การปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลังที่เสนอในวิทยานิพนธ์ 45

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

บทที่ 4 การจำลองแบบการปรับปรุงการใช้เพจจิงของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลังบนระบบ Wireless LAN IEEE 802.11ด้วยวิธีการที่เสนอ 54
4.1 แบบแผนการจำลองการลงทะเบียนภายหลัง บนระบบ Wireless LAN IEEE 802.11 55
4.2 การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบแนวโน้มปริมาณซิกแนลลิงของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ 57
4.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณซิกแนลลิงของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ 57
4.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณซิกแนลลิงของการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ 58
4.2.3 ผลปริมาณซิกแนลลิงของการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ 60
4.3 โครงสร้างโพรซีเยอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบตามแนวคิดวิทยานิพนธ์ 63
บทที่ 5 ผลการจำลองแบบ 88
5.1 การเปรียบเทียบผลการจำลองโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการลงทะเบียนภายหลัง 88
5.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองแบบระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, การลงทะเบียนภายหลัง, การใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ และการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลัง 91
5.2.1 การเปรียบเทียบผลการจำลองแบบระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, การลงทะเบียนภายหลัง, การใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ และการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลัง ในช่วงที่มีการส่งข้อมูลถึงโนดเคลื่อนที่ 5% ของช่วงเวลาทั้งหมดในการจำลอง โดยพิจารณาลำดับแพ็กเกตข้อมูลที่โนดเคลื่อนที่ได้รับ 92
5.2.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองแบบระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, การลงทะเบียนภายหลัง ,การใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, การปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลัง เมื่อปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมของโพรโทคอล 101

5.2.2.1 ผลการจำลองของโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด เมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนเซลล์ 102
5.2.2.2 ผลการจำลองของโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด เมื่อปรับเปลี่ยนความเร็วของโนดเคลื่อนที่ 106
5.2.2.3 ผลการจำลองของโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด เมื่อปรับเปลี่ยนจำนวน hop ระหว่างเราเตอร์ไปยังตัวแทนบ้าน 108
บทที่ 6 บทสรุป 113
6.1 บทสรุป 113
6.2 ข้อเสนอแนะ 116
รายการอ้างอิง 117
ภาคผนวก 119
ภาคผนวก ก 120
บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว 121
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 126

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 การจัดเส้นทางแบบสามเหลี่ยมในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ 8
รูปที่ 2.2 การทำอุโมงค์ข้อมูลที่ใช้ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ 12
รูปที่ 2.3 ข่าวสารร้องขอตัวแทน (Agent Solicitation) 15
รูปที่ 2.4 ข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement Message) 16
รูปที่ 2.5 การลงทะเบียนจากที่อยู่ที่ได้รับการดูแลจากตัวแทนโครงข่ายภายนอก 19
รูปที่ 2.6 การลงทะเบียนจากที่อยู่ที่ได้รับการดูแลจัดสรร 20
รูปที่ 2.7 การถอนการลงทะเบียน 20
รูปที่ 2.8 ไดอะแกรมของการลงทะเบียนในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ 21
รูปที่ 2.9 ข่าวสารร้องขอลงทะเบียน 22
รูปที่ 2.10 ส่วนความยาวคงที่ (fix –length portion) ของข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน 22
รูปที่ 3.1 แผนผัง SecMIP 24
รูปที่ 3.2 ท่อรับส่งข้อมูล IPSec และ MIP Tunnel ใน SecMIP 25
รูปที่ 3.3 แบบจำลองการลงทะเบียนท้องถิ่นของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ 25
รูปที่ 3.4 การลงทะเบียนบ้านของการลงทะเบียนท้องถิ่นโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ 26
รูปที่ 3.5 การลงทะเบียนภายในตัวแทนโครงข่ายภายนอกแบบเกตเวย์ ของ
การลงทะเบียนท้องถิ่นโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ 27
รูปที่ 3.6 การจัดการสภาพเคลื่อนที่แบบลำดับชั้นโดยใช้ DFA และใช้การส่งมัลติแคสต์
ในขณะที่ส่งแพ็กเกตจาก DFA ไปยังสถานีฐานข้างเคียง 28
รูปที่ 3.7 แบบแผนการเพจจิงใน P-MIP ขณะเปลี่ยนสถานะ 33
รูปที่ 3.8 ไดอะแกรมสัญญาณซิกแนลลิงเพจจิงในช่วงเริ่มมีข้อมูลส่งถึงโนดเคลื่อนที่ 34
รูปที่ 3.9 PAI extensionในข่าวสารประกาศตัวแทนที่เพิ่มเติม 36
รูปที่ 3.10 ข่าวสารการร้องขอเพจจิง 37
รูปที่ 3.11 ข่าวสารการตอบรับเพจจิง 37
รูปที่ 3.12 ข่าวสารการร้องขอการลงทะเบียนที่ถูกปรับเพื่อใช้เพจจิง 38
รูปที่ 3.13 ส่วนเพิ่มเติมข่าวสารประกาศตัวแทนเคลื่อนที่ที่ถูกปรับเพื่อใช้เพจจิง 38
รูปที่ 3.14 หลักการลงทะเบียนภายหลัง 41
รูปที่ 3.15 การแฮนด์ออฟสองส่วน (Two Party Handoff) ของการลงทะเบียนภายหลัง 42

หน้า

รูปที่ 3.16 ไดอะแกรมการแฮนด์ออฟแบบ L2-TT ใน Two Party Handoff 43
รูปที่ 3.17 ข่าวสารการร้องขอแฮนด์ออฟ (HRqst) 44
รูปที่ 3.18 ข่าวสารร้องตอบแฮนด์ออฟ (HRply) 44
รูปที่ 3.19 การซิงโครไนซ์ใหม่ของ L2 beacon ในแนวทางที่เสนอเปรียบเทียบกับการลงทะเบียนภายหลังตามมาตรฐานที่จังหวะการส่ง L2 beacon กับข่าวสารประกาศตัวแทนตรงกัน 48
รูปที่ 3.20 แบบแผนการเพจจิงในการประวิงการลงทะเบียนเพจจิงที่เสนอในวิทยานิพนธ์ขณะเริ่มเข้าสู่สถานะทำงาน 51
รูปที่ 3.21 ไดอะแกรมสัญญาณซิกแนลลิงการประวิงการลงทะเบียนขณะเปลี่ยนสถานะ 52
รูปที่ 3.22 กรณีที่ MN เริ่ม active ใน FA1 เมื่อ MN ยังไม่ทันลงทะเบียนกับ FA1 แต่เข้าสู่ FA2 ก่อน 53
รูปที่ 4.1 การแฮนด์ออฟแบบ Target- Trigger Handoff ในการลงทะเบียนภายหลังบน IEEE 802.11 56
รูปที่ 4.2 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ต่อพื้นที่เพจจิงส่งผลให้ปริมาณซิกแนลลิงในโพรโทคอลแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น 61
รูปที่ 4.3 ผลกระทบของการเพิ่มความเร็วแก่โนดเคลื่อนที่ส่งผลให้ปริมาณซิกแนลลิงในโพรโทคอลแต่ละชนิด เพิ่มขึ้น 62
รูปที่ 4.4 คลาสโนดเคลื่อนที่ 63
รูปที่ 4.5 คลาสตัวแทนโครงข่ายภายนอก 64
รูปที่ 4.6 คลาสตัวแทนบ้าน 64
รูปที่ 4.7 คลาสแพ็กเกตของข่าวสารประกาศค้นหาตัวแทน 65
รูปที่ 4.8 คลาส L2 จาก FA ไปยัง MN 65
รูปที่ 4.9 คลาส L2 จาก MN ไปยัง FA 65
รูปที่ 4.10 คลาสแพ็กเกตข้อมูล DataPacket1 จาก HA ไปยัง FA 66
รูปที่ 4.11 คลาสแพ็กเกตข้อมูล DataPacket2 จาก FA ไปยัง FA 66
รูปที่ 4.12 คลาสแพ็กเกตข้อมูล DataPacket 3 จาก FA ไปยัง MN 66
รูปที่ 4.13 คลาสแพ็กเกตการร้องขอเพจจิง 66
รูปที่ 4.14 คลาสข่าวสารร้องขอการแฮนด์ออฟ 67
รูปที่ 4.15 คลาสข่าวสารตอบรับการแฮนด์ออฟ 67

หน้า

รูปที่ 4.16 คลาสแพ็กเกตการร้องขอการลงทะเบียน 67
รูปที่ 4.17 คลาสแพ็กเกตการตอบรับการลงทะเบียนจาก HA ไปยัง FA 68
รูปที่ 4.18 คลาสแพ็กเกตการตอบรับการลงทะเบียนจาก FA ไปยัง MN 68
รูปที่ 4.19 โปรแกรมหลักในการเรียกใช้กลุ่มโพรซีเยอร์ (Main Program) 70
รูปที่ 4.20 โพรซีเยอร์ MN รับข่าวสารการประกาศ Agent Advertisement (TMobile.AdvReception) 71
รูปที่ 4.21 โพรซีเยอร์ MN รับข้อมูล (TMobile.DataReception) 72
รูปที่ 4.22 โพรซีเยอร์ MN รับข่าวสารการประกาศ L2 (TMobile.L2Reception) 73
รูปที่ 4.23 โพรซีเยอร์ MN ได้รับข่าวสารการตอบรับ (TMobile.ReplyReception) 74
รูปที่ 4.24 โพรซีเยอร์ MN เคลื่อนที่ทุกๆ 1 ms (TMobile.Run) 75
รูปที่ 4.25 โพรซีเยอร์ MN ลงทะเบียน (TMobile.RequestPacketSending) 76
รูปที่ 4.26 โพรซีเยอร์ FA ส่งข่าวสารการประกาศ Agent Advertisement (ส่วนที่หนึ่ง: TFA.Adv-1) 77
รูปที่ 4.27 โพรซีเยอร์ FA ส่งข่าวสารการประกาศ Agent Advertisement (ส่วนที่สอง: TFA.Adv-2) 78
รูปที่ 4.28 โพรซีเยอร์ FA ส่งข่าวสารการประกาศ Agent Advertisement (ส่วนที่สาม: TFA.Adv-3) 79
รูปที่ 4.29 โพรซีเยอร์ FA ได้รับข้อมูลจาก HA (TFA.DataReception) 80
รูปที่ 4.30 โพรซีเยอร์ FA รับข่าวสาร Handoff Request (TFA.HandoffReqReception) 81
รูปที่ 4.31 โพรซีเยอร์ FA รับข่าวสาร Paging Request (TFA.PagingReqReception) 82
รูปที่ 4.32 โพรซีเยอร์ FA รับข่าวสารการตอบรับ (TFA.ReplyReception) 82
รูปที่ 4.33 โพรซีเยอร์ FA รับข้อมูลจาก FA ตัวอื่น (TFA.Data2Reception) 83
รูปที่ 4.34 โพรซีเยอร์ FA รับข่าวสารประกาศ L2 (TFA.L2Reception) 84
รูปที่ 4.35 โพรซีเยอร์ HA ได้รับการลงทะเบียน (THA.RegisterReception) 85
รูปที่ 4.36 โพรซีเยอร์ HA ส่งข้อมูลไปยัง MN (THA.DataSending) 86
รูปที่ 5.1 โครงสร้างของแบบจำลองในการเปรียบเทียบระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการลงทะเบียนภายหลัง 89
รูปที่ 5.2 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในช่วงเวลาการจำลองระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการลงทะเบียนภายหลัง ของโนดเคลื่อนที่ที่มีความเร็ว 5 m/s 89

หน้า

รูปที่ 5.3 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในช่วงเวลาการจำลองระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการลงทะเบียนภายหลัง ของโนดเคลื่อนที่ที่มีความเร็ว 30 m/s ---- 90
รูปที่ 5.4 เวลาแฝงการแฮนด์ออฟเฉลี่ยตามการเปลี่ยนแปลงของความเร็วของโนดเคลื่อนที่ระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการลงทะเบียนภายหลัง ---- 90
รูปที่ 5.5 จำนวนแพ็กเกตที่สูญหายทั้งหมดเทียบกับความเร็วของโนดเคลื่อนที่ระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการลงทะเบียนภายหลัง ---- 91
รูปที่ 5.6 โครงสร้างของแบบจำลองเพื่อศึกษาลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด ---- 93
รูปที่ 5.7 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็ว 5 m/s ---- 93
รูปที่ 5.8 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในการลงทะเบียนภายหลังเมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็ว 5 m/s ---- 94
รูปที่ 5.9 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็ว 5 m/s ---- 95
รูปที่ 5.10 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานการลงทะเบียนภายหลังเมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็ว 5 m/s ---- 96
รูปที่ 5.11 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็ว 30 m/s ---- 97
รูปที่ 5.12 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในการลงทะเบียนภายหลังเมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็ว 30 m/s ---- 98
รูปที่ 5.13 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็ว 30 m/s ---- 99
รูปที่ 5.14 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานการลงทะเบียนภายหลังเมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็ว 30 m/s ---- 100
รูปที่ 5.15 โครงสร้างของแบบจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด ---- 102

หน้า

รูปที่ 5.16 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ต่อพื้นที่เพจจิงส่งผลให้ปริมาณซิกแนลลิงในโพรโทคอลแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น 103
รูปที่ 5.17 เวลาแฝงเฉลี่ยในการแฮนด์ออฟตามการปรับเปลี่ยนจำนวนเซลล์ 104
รูปที่ 5.18 จำนวนแพ็กเกตที่สูญหายทั้งหมดตามการปรับเปลี่ยนจำนวนเซลล์ 105
รูปที่ 5.19 ผลกระทบของการเพิ่มความเร็วในโนดเคลื่อนที่ต่อปริมาณซิกแนลลิงในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด 106
รูปที่ 5.20 เวลาแฝงเฉลี่ยของการแฮนด์ออฟตามการเปลี่ยนแปลงความเร็วของโนดเคลื่อนที่ในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด 107
รูปที่ 5.21 จำนวนแพ็กเกตที่สูญหายทั้งหมดเทียบกับความเร็วของโนดเคลื่อนที่ในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด 108
รูปที่ 5.22 ผลกระทบของจำนวน hop จากเราเตอร์ไปยังตัวแทนบ้าน ส่งผลให้ปริมาณซิกแนลลิงในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด เพิ่มขึ้น 109
รูปที่ 5.23 เวลาแฝงในการแฮนด์ออฟตามการเปลี่ยนแปลงระยะ hop จากเราเตอร์ไปยังตัวแทนบ้านในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด 110
รูปที่ 5.24 จำนวนแพ็กเกตที่สูญหายเทียบกับระยะ hop จากเราเตอร์ไปยังตัวแทนบ้านในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด 111
รูปที่ 5.25 การเปรียบเทียบจำนวนแพ็กเกตที่พักไว้มากที่สุดในช่วงค้นหาโนดเคลื่อนที่ตามระยะ hop จากเราเตอร์ไปยังตัวแทนบ้านในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด 112

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ผู้ใช้บริการโครงข่ายมีความต้องการที่จะใช้บริการสื่อสารที่ต่อเนื่องในขณะเคลื่อนที่ ดังนั้นเพื่อรักษาความต่อเนื่องของการสื่อสารตามหลักของ Transmission Control Protocol (TCP) จึงได้มีการเก็บที่อยู่ไอพี (IP Address) ไว้ในแพ็กเกต แต่การที่จะใช้ที่อยู่ไอพีเดิมเพียงอย่างเดียว จะไม่สามารถทำให้ผู้ใช้บริการได้รับบริการการสื่อสารที่ต่อเนื่องในขณะเคลื่อนที่ได้ [1]

ดังนั้นโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP) จึงถูกออกแบบโดย Internet Engineering Task Force (IETF) เพื่อใช้แก้ปัญหาการเคลื่อนที่ของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ต (IP) ซึ่งเป็นการแก้ปัญหาสภาพเคลื่อนที่ [2] ของโนดเคลื่อนที่ ในเทคโนโลยีการเข้าถึง, อุปกรณ์สื่อสาร และการใช้งานที่หลากหลาย

โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ถูกสร้างเพื่อรองรับโนดเคลื่อนที่ที่เคลื่อนที่โดยปราศจากการเปลี่ยนที่อยู่ไอพีถาวร ตำแหน่งของโนดเคลื่อนที่ (Mobile Node: MN) จะถูกติดตามด้วยตัวแทนบ้าน (Home Agent: HA) ซึ่งจะผนวก (binding) ที่อยู่ที่ได้รับการดูแล (Care Of Address: COA) หรือ ที่อยู่ที่ได้รับการดูแลที่ถูกจัดสรร (Co- located COA) กับ ที่อยู่บ้าน (Home Address) ของโนดเคลื่อนที่ ซึ่งที่อยู่ที่ได้รับการดูแลเหล่านี้ โนดเคลื่อนที่จะได้รับเมื่อโนดเคลื่อนที่อยู่ในโครงข่ายอื่น เมื่อโนดเคลื่อนที่ได้วิ่งเข้าสู่โครงข่ายใหม่ โนดเคลื่อนที่จะลงทะเบียน (registration) ที่อยู่ที่ได้รับการดูแลกับตัวแทนบ้าน เพื่อให้ตัวแทนบ้านสามารถส่งแพ็กเกตข้อมูลจากโนดที่ต้องการติดต่อ (Correspondent Node: CN) ที่ต้องการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่ โนดที่ต้องการติดต่อจะส่งแพ็กเกตข้อมูลตามที่อยู่ไอพีถาวรของโนดเคลื่อนที่ซึ่งโนดเคลื่อนที่จะส่งข้อมูลผ่านตัวแทนบ้านเสมอโดยตามหลักของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ทั่วไป ซึ่งโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ตามมาตรฐาน จะประกอบด้วย ข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement) ข่าวสารร้องขอลงทะเบียน (Registration Request) และข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน (Registration Reply) [2]

ในโครงข่ายเซลล์ลูลาร์ (Cellular networks) เทคนิคการลงทะเบียน และการเพจจิงถูกใช้เพื่อลด Signalling overhead และ ทำให้เกิดสมรรถภาพการจัดการการเคลื่อนที่ที่เหมาะสม ซึ่งเป็นแนวทางที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้กับโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เพราะโดยปกติแล้ว ผู้ใช้จะไม่ติดต่อสื่อสารตลอดเวลา [3] ยิ่งไปกว่านั้น ส่วนมากผู้ใช้จะอยู่ในสถานะไม่ได้ใช้งาน (Idle state) โดยปัจจุบันการเข้าถึงแบบไร้สายได้กลายเป็นการใช้งานที่แพร่หลาย โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

จำเป็นที่จะต้องจัดหาวิธีการที่สามารถรองรับผู้ใช้จำนวนมากที่มีแนวโน้มจะขยายตัวต่อเนื่อง และมีแบบแผนการติดตามตำแหน่งผู้ใช้อย่างมีประสิทธิภาพ ที่คอยจำแนกโนดเคลื่อนที่ที่ติดต่อสื่อสารหรือที่ไม่ได้ใช้งาน ในกรณีนี้ การรู้ตำแหน่งคร่าวๆ ของผู้ใช้ที่ไม่ได้ใช้งาน จะสามารถช่วยเพิ่มการรองรับการขยายตัวของผู้ใช้ได้มากขึ้น ซึ่งตำแหน่งของโนดเคลื่อนที่ที่ไม่ได้ใช้งานการสื่อสารข้อมูลนี้ สามารถถูกติดตามได้โดยการใช้สัญญาณเพจจิง (Paging Signalling) [4]

วิธีการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (Paging Extensions for Mobile IP: P-MIP) [5] ใช้หลักการเพจจิงที่ได้รับการยอมรับในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ซึ่งอนุญาตให้ระบบไร้สายสามารถค้นหาโนดเคลื่อนที่ที่ไม่ได้ใช้งานสื่อสารข้อมูล เมื่อมีข่าวสารเรียกเข้าหาโนดเคลื่อนที่นั้น เพื่อโนดเคลื่อนที่ไม่ต้องลงทะเบียน ในการบอกตำแหน่งอย่างแม่นยำแก่ระบบทุกครั้งที่โนดได้เคลื่อนที่ เพจจิงจึงสามารถลด Signalling Overhead ที่เกี่ยวข้องในการลงทะเบียน และการแจ้งตำแหน่งของโนดเคลื่อนทีเป็นระยะๆ ได้ เป็นการลดการบริโภคกำลังงานของโนดเคลื่อนที่ ในช่วงที่อยู่ในสถานะไม่มีการส่งข้อมูล

แม้ว่าการใช้เพจจิงจำเป็นต้องเพิ่มสัญญาณซิกแนลลิงบางส่วนในการค้นหาตำแหน่งของโนดเคลื่อนที่ซึ่งอาจดูเหมือนเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรระบบ แต่หลักการใช้เพจจิงเป็นการลดจำนวนครั้งการลงทะเบียนที่มีความสำคัญมาก ถ้าเลือกการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ที่เหมาะสม จะเป็นการลดปริมาณซิกแนลลิงที่มีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะกรณีที่โนดเคลื่อนที่อยู่ห่างไกลจากโครงข่ายบ้าน ยิ่งประหยัดทรัพยากรในระบบได้อย่างมาก ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่สำคัญในการประยุกต์ใช้เพจจิงที่ถูกต้อง เช่น การเลือกจำนวนเซลล์ในพื้นที่เพจจิงเดียวกัน หรือ แบบแผนการเลือกพื้นที่เพจจิง เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม ในการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่แต่เดิมนี้ เป็นการเน้นเฉพาะการลดจำนวนการลงทะเบียนแต่เพียงอย่างเดียว แต่ไม่ได้ปรับปรุงกระบวนการลงทะเบียนร่วมกับการใช้เพจจิง ซึ่งยังคงมีการสูญเสียแพ็กเกต และเวลาแฝงของการแฮนด์ออฟ (Handoff Latency) ในการแฮนด์ออฟเมื่อข้ามเซลล์ที่สูงอยู่ และยังเป็นการสิ้นเปลืองที่พักข้อมูล จึงเป็นวิธีที่ไม่มีประสิทธิภาพ และในช่วงที่เริ่มกระบวนการค้นหาโนดเคลื่อนที่ โนดเคลื่อนที่จำเป็นต้องแจ้งที่อยู่แก่ตัวแทนบ้านเพื่อรอรับการจัดเส้นทางใหม่ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรในการพักข้อมูลในช่วงการรอเส้นทางใหม่ และสูญเสียสมรรถภาพของงานบริการเวลาจริง (real time) ของระบบอีกด้วย ในแนวทางที่เสนอนี้ได้เสนอการประวิงการลงทะเบียนในช่วงเปลี่ยนสถานะเริ่มทำงานที่มีประสิทธิภาพ เพื่อลดเวลาที่โนดเคลื่อนที่ต้องรอข้อมูล จึงลดความต้องการใช้ทรัพยากรการพักข้อมูล และ วิธีที่เสนอนี้จะปรับปรุงการลงทะเบียนบนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลัง เพื่อลดการสูญหายของข้อมูล และลดเวลาแฝงของการแฮนด์ออฟของโนดเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ในช่วงที่โนดเคลื่อนที่อยู่สถานะทำงาน

เนื่องจากในวิธีที่เสนอเป็นการเน้นการปรับปรุงการลงทะเบียนในการแฮนด์ออฟ ในบทนี้จะกล่าวถึงการเปลี่ยนแปลงการลงทะเบียนเพื่อการแฮนด์ออฟ จากวิธีการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ที่กล่าวข้างต้น ว่าเพราะเหตุใดจึงควรเปลี่ยนแปลง เพื่อลดแพ็กเกตที่สูญหายและเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟได้อย่างไร

การใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ใช้วิธีการลงทะเบียนตามมาตรฐานของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ การใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่จึงมีการแฮนด์ออฟที่เหมือนกับโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มาตรฐาน โดยตัวแทนบ้านและตัวแทนโครงข่ายภายนอก (Foreign Agent: FA) จะกระจายข่าวสารประกาศจากตัวแทนทุกๆ 1 วินาที ข่าวสารประกาศจากตัวแทนจะถูกส่งในช่วงเวลาไม่ต่อเนื่อง (discrete time intervals) ซึ่งใช้กำหนดการตรวจพบการแฮนด์ออฟ ถ้าลดช่วงเวลานี้ลง จะส่งผลให้ลดเวลาในการตรวจพบแฮนด์ออฟ แต่วิธีนี้กลับเพิ่ม Signalling Overhead [6]

โนดเคลื่อนที่โดยปกติจะได้ยินข่าวสารประกาศจากตัวแทนเป็นประจำ ทำให้โนดเคลื่อนที่สามารถรู้ว่า โนดเคลื่อนที่อยู่ในโครงข่ายบ้านหรือโครงข่ายภายนอก ตามระยะเวลาอายุ (life time) ของข่าวสารประกาศจากตัวแทน หรือ ค่าเอกลักษณ์โครงข่าย (network identification) ที่อยู่ในข่าวสารประกาศนั้น ถ้าโนดเคลื่อนที่อยู่ในโครงข่ายบ้าน โนดเคลื่อนที่จะทำงานเหมือนเป็นโนดที่อยู่กับที่ของโครงข่าย และใช้ที่อยู่บ้านเพื่อส่งข้อมูล เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่เข้าสู่โครงข่ายภายนอก โนดเคลื่อนที่จะได้รับที่อยู่ที่ได้รับการดูแล และจะลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านโดยโนดเคลื่อนที่จะส่งข่าวสารร้องขอลงทะเบียน ผ่านตัวแทนโครงข่ายภายนอก ซึ่งตัวแทนบ้านจะตอบรับด้วยข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนแก่โนดเคลื่อนที่ เมื่อกระบวนการการลงทะเบียนได้เสร็จสิ้นลง โนดเคลื่อนที่จะได้รับการติดต่ออย่างสมบูรณ์กับตัวแทนโครงข่ายภายนอก ปรากฏการณ์เมื่อโนดเคลื่อนที่ได้เคลื่อนย้ายจากโครงข่ายหนึ่งไปอีกโครงข่ายหนึ่งเราเรียกว่า การแฮนด์ออฟ

เมื่อการใช้งานเพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ใช้หลักการลงทะเบียนแบบมาตรฐาน เมื่อมีการใช้งานในสภาพแวดล้อมที่มีการแฮนด์ออฟบ่อยครั้ง อาจนำมาสู่การเพิ่มปริมาณซิกแนลลิงมากขึ้นและการรบกวนที่ไม่สามารถยอมรับในการสื่อสารที่ต่อเนื่องได้ [7], [8] ค่า Signalling Cost และ กระบวนการแฮนด์ออฟเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องพิจารณาในการใช้งานตามหลักโพรโทคอลการเคลื่อนที่ไอพี

ตามที่กล่าวมา การลงทะเบียนแบบพื้นฐานไม่สามารถรองรับความต้องการของโครงข่ายในอนาคตที่ต้องการป้องกันการสูญหายของแพ็กเกต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในงานบริการแบบเวลาจริง (real time service) เพื่อช่วยแก้ไขปัญหานี้ มีบางโพรโทคอลได้ถูกเสนอ ได้แก่ การลงทะเบียนท้องถิ่นในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ IPv4 (Mobile IP Regional Registration in IPv4) [9] ซึ่ง

ตัวแทนการเคลื่อนที่ถูกจัดให้ทำงานแบบลำดับชั้นภายใต้ตัวแทนโครงข่ายภายนอกแบบเกตเวย์ (Gateway Foreign Agent: GFA)

เพื่อรองรับการเคลื่อนที่ในท้องถิ่น ตัวแทนบ้านไม่ต้องรับทราบถึงสภาพเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่ในขณะที่โนดเคลื่อนที่ได้ข้ามโครงข่ายภายนอกในโครงข่ายท้องถิ่น จนกระทั่งโนดเคลื่อนที่วิ่งออกนอกโดเมนของตัวแทนโครงข่ายภายนอกแบบเกตเวย์ วิธีนี้ต้องการลดปริมาณซิกแนลลิงที่ใช้ในการปรับข่าวสารให้ทันปัจจุบันแก่ตัวแทนบ้านและลดเวลาการแฮนด์ออฟ

อย่างไรก็ตาม บางรายงานที่ศึกษา การลดเวลาแฝงของการแฮนด์ออฟโดยใช้การลงทะเบียนท้องถิ่นนี้ไม่ได้ดีขึ้นกว่าโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่แบบดั้งเดิมเท่าใดนัก เพราะว่าทั้งโพรโทคอลลงทะเบียนแบบท้องถิ่นและโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มาตรฐาน ทั้งสองต่างใช้อัลกอริทึมในการตรวจพบการแฮนด์ออฟแบบเดิม ซึ่งเป็นการทำงานที่มีพื้นฐานอยู่บนข้อมูลในชั้นโครงข่ายที่ตรวจพบจากข่าวสารประกาศจากตัวแทน

ในแนวทางที่เสนอในวิทยานิพนธ์ เราใช้ตัวกระตุ้นการแฮนด์ออฟ (trigger) ในชั้นเชื่อมโยงข้อมูล ที่ IETF ได้เสนอแบบแผนที่เรียกว่า การแฮนด์ออฟที่ใช้เวลาแฝงต่ำ (Low Latency Handoff) [10] ซึ่งใช้ข้อมูลในชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data link Layer)ในการเริ่มแฮนด์ออฟ ข้อมูลนี้อนุญาตให้โนดเคลื่อนที่ตรวจพบการสูญเสียการติดต่อได้เร็วกว่าชั้นโครงข่ายในข่าวสารประกาศจากตัวแทนโครงข่ายภายนอก ทำให้เวลาแฝงของการแฮนด์ออฟสั้นลง

การแฮนด์ออฟที่ใช้เวลาแฝงต่ำถูกจำแนกเป็นสองวิธี คือ การแฮนด์ออฟด้วยการลงทะเบียนก่อน (Pre Registration handoff) และ การแฮนด์ออฟด้วยการลงทะเบียนภายหลัง (Post Registration handoff) วิธีการลงทะเบียนก่อนอนุญาตให้โนดเคลื่อนที่ติดต่อกับตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ในขณะที่ยังคงติดต่อกับตัวเก่า สำหรับวิธีการลงทะเบียนภายหลัง ทำให้แพ็กเกตสามารถถูกส่งไปยังโนดเคลื่อนที่ที่ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ ก่อนกระบวนการลงทะเบียนเสร็จสิ้นลง

ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้นำเสนอแนวความคิดของการลงทะเบียนภายหลังมาประยุกต์ใช้ในการใช้เพจจิงของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เนื่องจากการลงทะเบียนภายหลังมีประสิทธิภาพมากกว่าการลงทะเบียนก่อน ตามภาคผนวก ก.1 [11] ที่แสดงถึง การเปรียบเทียบสมรรถภาพของการลงทะเบียนทั้งสองแบบ ซึ่งการลงทะเบียนภายหลังใช้เวลาแฝงของการแฮนด์ออฟและการสูญเสียแพ็กเกตข้อมูลน้อยกว่า เพราะว่าเวลาในการติดตั้งเส้นทางที่ต่อระหว่างตัวแทนเก่าและตัวแทนใหม่นั้นเร็วกว่าแบบการลงทะเบียนก่อน จึงสามารถป้องกันการสูญหายของแพ็กเกตได้

โดยการลงทะเบียนภายหลังจัดให้ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่จัดโครงสร้างอุโมงค์ข้อมูลแบบสองทิศทาง (Bi-directional Edge Tunnel: BET) กับตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวเก่าในช่วงที่โนดเคลื่อนที่ได้ติดต่อกับตัวแทนใหม่ แต่โนดเคลื่อนที่ยังไม่ลงทะเบียนที่อยู่ที่ได้รับการดูแลของตัวแทนใหม่แก่ตัวแทนบ้าน ดังนั้น ตัวแทนเก่าจะส่งข้อมูลแพ็กเกตแก่โนดเคลื่อนผ่านทาง

อุโมงค์รับส่งข้อมูล (tunnel) เป็นเหตุให้การสูญเสียแพ็กเกตในช่วงข้ามเซลล์นั้นลดลง เป็นการลดเวลาแฝงของการแฮนด์ออฟ และหลีกเลี่ยงการติดขัดการสื่อสารได้

การใช้หลักการลงทะเบียนภายหลังในแนวทางที่เสนอนี้ มีแนวโน้มที่จะเพิ่มปริมาณซิกแนลลิงมากกว่า วิธีการเสริมเพจจิง P-MIP ใน [5] เพียงเล็กน้อย แต่ลดความสูญหายของแพ็กเกตข้อมูล และลดการพักข้อมูลได้อย่างมาก โดยปริมาณซิกแนลลิงที่เพิ่มขึ้นนั้นคาดว่ามีปริมาณซิกแนลลิงน้อยมากเมื่อเทียบกับการลงทะเบียนภายหลังแบบเดิม เมื่อเลือกจำนวนสมาชิกในพื้นที่เพจจิงที่เหมาะสม โดยโพรโทคอลการลงทะเบียนภายหลัง และการเสริมเพจจิงสามารถทำงานร่วมกันได้

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เสนอวิธีปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่โดยใช้การลงทะเบียนภายหลัง (Post Registration) ที่ใช้การแฮนด์ออฟที่ใช้เวลาแฝงต่ำ (Low Latency Handoff) ทั้งในช่วงที่ตัวแทนบ้านเริ่มส่งข้อมูลถึงโนดเคลื่อนที่ และในช่วงที่โนดเคลื่อนที่อยู่ในสถานะทำงานอย่างต่อเนื่อง
2. เสนอวิธีลดเวลารอข้อมูลในช่วงเปลี่ยนสถานะจากสถานะไม่มีการส่งข้อมูล (Idle) เป็นสถานะทำงาน (Active)

1.3 แนวทางวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เพื่อลดความต้องการทรัพยากรที่ใช้ในการพักข้อมูลช่วงเปลี่ยนสถานะ และเพิ่มประสิทธิภาพในการแฮนด์ออฟเมื่อโนดเคลื่อนที่วิ่งข้ามโครงข่าย

แนวความคิดที่ถูกนำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ มีดังนี้

1. ประวิงการลงทะเบียนด้วยหลักการการลงทะเบียนภายหลัง (Post Registration) เพื่อลดเวลาในการรอข้อมูล และลดการพักข้อมูล
2. ในช่วงที่มีข้อมูลสื่อสารกับโนดเคลื่อนที่ ใช้การลงทะเบียนภายหลังเพื่อลดความสูญหายของแพ็กเกตข้อมูล

แนวความคิดทั้งสองนี้ จะมีผลทำให้ลดเวลาการแฮนด์ออฟ และ เพิ่มประสิทธิภาพการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ได้ดีขึ้น

1.4 ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1. เขียนโปรแกรมจำลอง เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, การลงทะเบียนภายหลัง (Post Registration) และ การใช้เพจจิงที่เสนอให้ใช้ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เพื่อปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่
2. เขียนโปรแกรมจำลองสำหรับวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อปรับปรุงการใช้เพจจิงให้ดีขึ้นกว่าการใช้เพจจิงในโพรทีคอลไอพีเคลื่อนที่แบบดั้งเดิม และทดสอบประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอพร้อมทั้งเปรียบเทียบกับ วิธีของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่แบบดั้งเดิม , การลงทะเบียนภายหลัง และการใช้เพจจิงที่ใช้ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ที่เสนอ

1.5 ขั้นตอนการดำเนินการ

1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และโพรโทคอลในการแฮนด์ออฟของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่
2. ศึกษาการจำลองการทำงานของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่
3. จำลองการทำงานของโครงข่ายด้วยโปรแกรม Delphi 7.0
4. จำลองแบบวิธีที่จะนำเสนอในวิทยานิพนธ์
5. วิเคราะห์และเปรียบเทียบสมรรถภาพการทำงานระหว่างแบบที่มีผู้นำเสนอ กับแบบที่เสนอในวิทยานิพนธ์
6. สรุปผล และจัดทำเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. พัฒนาการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่
2. ลดเวลาในการรอข้อมูลในช่วงการเปลี่ยนสถานะข้อมูล ลดจำนวนแพ็กเกตข้อมูลที่พักไว้ให้น้อยลงในช่วงเปลี่ยนสถานะทำงาน ลดเวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟในช่วงที่มีการส่งข้อมูลระหว่างโนดเคลื่อนที่กับตัวแทนบ้าน และลดการสูญหายของแพ็กเกตทำให้ระบบมีประสิทธิภาพในการทำงานที่ดีขึ้น

บทที่ 2

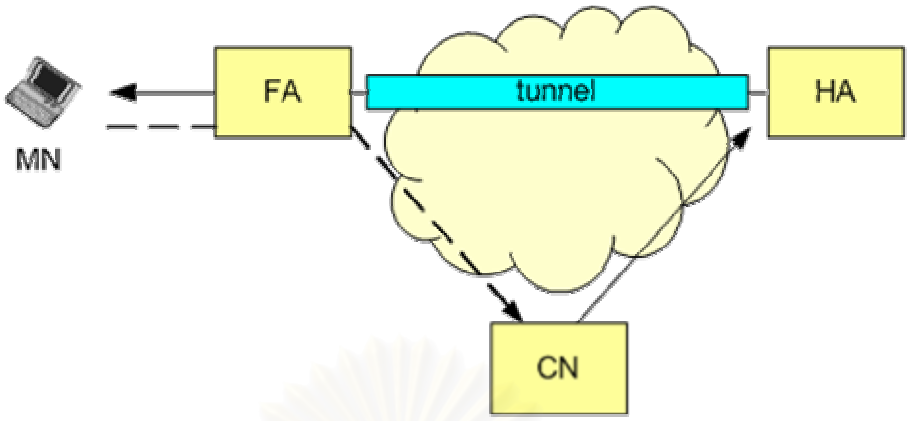
หลักการโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

2.1 หลักการทั่วไปของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP) ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อใช้แก้ปัญหาการเคลื่อนที่ของโพรโทคอลอินเทอร์เน็ต (IP) ซึ่งโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่จะรักษาการติดต่อสื่อสารของโนดเคลื่อนที่ (Mobile Node: MN) โดยแพ็กเกตไอพีจะมีที่อยู่สองชั้น คือที่อยู่บ้าน (Home address) ที่เป็นที่อยู่ถาวรของโนดเคลื่อนที่ตั้งแต่แรกที่ได้อยู่ในโครงข่าย กับที่อยู่ที่ได้รับการดูแล (Care Of Address: COA) ที่เป็นที่อยู่ชั่วคราวตามการติดต่อสื่อสารที่โนดเคลื่อนที่ใช้ในขณะที่อยู่ในโครงข่ายภายนอก เมื่อมีโนดที่ต้องการติดต่อ (Correspondent Node: CN) กับโนดเคลื่อนที่ (Mobile Node: MN) CN ที่รู้เพียงแค่ที่อยู่บ้าน จึงส่งข้อมูลไปยังโครงข่ายบ้าน เมื่อตัวแทนโครงข่ายบ้าน (Home Agent: HA) ได้รับข้อมูลจะผนึกข้อมูล (encapsulation) ด้วยที่อยู่ที่ได้รับการดูแลที่ MN ได้บอกต่อ HA หลังจากนั้น HA จึงส่งต่อข้อมูล ไปยังที่อยู่ที่ได้รับการดูแลของโครงข่ายภายนอกที่ MN อยู่ในขณะนั้น จากนั้นตัวแทนโครงข่ายภายนอก (Foreign Agent: FA) จะปลดผนึกข้อมูล (decapsulation) ถอดที่อยู่ที่ได้รับการดูแลออกแล้วส่งไปยัง MN หลังจากนั้น เมื่อ MN ต้องการส่งข้อมูลไปยัง CN ตัว MN จะสามารถส่งข้อมูลไปยัง CN ได้โดยตรง ซึ่งหน้าที่หลักๆ ของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่นั้น สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ การค้นหาตัวแทน (agent) การลงทะเบียน และการสร้างอุโมงค์รับส่งข้อมูล (tunneling) จากการผนึกข้อมูลซึ่งผู้อื่นทั่วไปจะมองไม่เห็น [1], [2] ดังรูปที่ 2.1

ในส่วนของการค้นหาตัวแทน (Agent) นั้น MN จะคอยฟังการประกาศ (advertisement) จากตัวแทนที่ MN ติดต่อ (HA หรือ FA) บนข่ายเชื่อมโยงแต่ละข่าย ที่ตัวแทนเหล่านั้นคอยให้บริการ แก่ MN หรือ MN อาจส่งการเชื้อเชิญ (Solicitation) ไปยังตัวแทนนั้นแทน

เมื่อโนดเคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่ออกจากบ้านไป MN จะลงทะเบียนสถานที่ใหม่กับ HA โดยผ่าน FA ที่ MN ติดต่อกับ FA นั้น เมื่อ HA ยอมรับคำร้องขอแล้ว มันจะเริ่มสื่อสารกับ MN ด้วย COA และคอยดูแลการสื่อสารจนกระทั่งการลงทะเบียนนี้หมดอายุไป (รูปที่ 2.1) ข้อมูลที่บอก HA นี้ประกอบด้วยสามส่วนหลักๆ คือ ที่อยู่บ้าน (Home Address) ที่อยู่ที่ได้รับการดูแล (COA) และ เวลาอายุของการลงทะเบียน (registration lifetime) ซึ่งเรียกว่า binding update [12]



รูปที่ 2.1 การจัดเส้นทางแบบสามเหลี่ยมในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ [1]

และในการสื่อสารโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่นั้น การเข้าถึงระบบถึงแม้ว่าจะเป็นเครือข่ายส่วนตัวเสมือน (Virtual Private Networks: VPN) ก็ตาม บ่อยครั้งที่ต้องผ่านระบบสื่อสารไร้สาย และ ข่ายเชื่อมโยง (link) ที่ใช้ร่วมกัน ซึ่งใน links ที่ใช้ร่วมกันนี้สามารถถูกผู้อื่นที่เราไม่ต้องการติดต่อเข้ามาบุกรุกได้โดยวิธีต่างๆกันไม่ว่าจะเป็นลอบฟัง (eavesdropping) ที่ใช้โปรแกรมสนิฟเฟอร์ (sniffer) ในการเก็บบันทึกข้อมูลการจราจรในการสื่อสารที่ผ่านมา หรือ วิธีปฏิเสธการบริการ (Denial of Service) ที่มีผู้อื่นมาปลอมแปลง (spoofing) ข้อมูลที่ส่งและส่งมาอย่างมากจนทำให้ผู้ให้บริการไม่สามารถให้งานบริการได้ หรือวิธีการจู่โจมไฮแจ็ค (hi-jack) เป็นการขโมยการติดต่อของผู้ใช้ที่ถูกกฎหมายไป ทำให้เจ้าของที่แท้จริงคิดว่าระบบที่ให้บริการกำลังล่ม ในขณะที่ผู้บุกรุกได้เข้ามาใช้บริการแทน หรือวิธีการจู่โจมแบบ The man-in-the-middle เป็นวิธีที่ขณะที่มีคนสื่อสารกันโดยมีการแลกเปลี่ยนรหัสลับในการเข้ารหัส ได้มีการดักฟังข้อมูล และเสนอรหัสลับของผู้บุกรุกเองทำให้ผู้บุกรุกสามารถถอดรหัสได้ เป็นต้น

แม้ว่าจะทำท่อรับส่งข้อมูล (Tunneling) ก็ตาม แต่นั่นยังไม่สามารถทำให้ข้อมูลได้รับความเป็นส่วนตัวเพียงพอ ดังนั้น จึงมีบางวิธีการที่ผู้นำเสนอท่านอื่น ได้เสนอวิธีที่จะช่วยเพิ่มความเป็นส่วนตัวและความปลอดภัยให้แก่ข้อมูลวิธีบางวิธี ที่จะมากล่าวถึงในที่นี้ ได้แก่ การใช้โพรโทคอลรักษาความปลอดภัยไอพี (IPSec) และวิธีการรักษาความปลอดภัยไอพีเคลื่อนที่ (Secure Mobile IP: SecMIP) ที่จะจัดให้ผู้ใช้บริการที่เคลื่อนที่ได้เข้าถึงเครือข่ายส่วนตัวเสมือนที่ได้รับการป้องกันจากไฟร์วอล์ (firewall) เพื่อป้องกันการดักฟังได้ดียิ่งขึ้น [13]

ในบทนี้จะเน้นถึงการใช้งานในโพรโทคอลอินเทอร์เนตเวอร์ชัน 4 (IPv4) เนื่องจากเป็นมาตรฐานที่ผ่านการยอมรับทั่วโลก ซึ่งในปัจจุบันกำลังพัฒนาโพรโทคอลอินเทอร์เนตเวอร์ชัน 6 (IPv6)

ในชั้นโครงข่ายไม่ได้พิจารณาตำแหน่งปลายทางในการติดต่อสื่อสาร แต่จะรับผิดชอบการส่งแพ็กเกตให้ถึงผู้รับ โดยเลือกเส้นทางจากต้นทางถึงปลายทางในชั้นโครงข่าย อินเทอร์เนตโพรโทคอล (IP) ก็เป็นโพรโทรคอลที่ทำงานในชั้นโครงข่ายนี้ โดยพิจารณาจากที่อยู่อินเทอร์เนตของต้นทางกับปลายทาง โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ถูกสร้างมาเพื่อแก้ไขปัญหาการทำงานในชั้นโครงข่ายให้กับโนดเคลื่อนที่ในโครงข่ายอินเทอร์เนต นั่นคือทำให้โนดเคลื่อนที่สามารถรับส่งแพ็กเกตไอพีได้

โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP) เป็นโพรโทคอลชั้นโครงข่ายที่มีการทำงานเป็นอิสระจากตัวกลางการส่งข้อมูล ดังนั้น โนดเคลื่อนที่ซึ่งทำงานตามโพรโทคอลนี้ สามารถเคลื่อนย้ายและเปลี่ยนไปใช้ตัวกลางในการสื่อสารชนิดอื่นได้ โดยยังคงสามารถสื่อสารได้ต่อเนื่อง (Ongoing Communication) เช่น คอมพิวเตอร์แบบพกพาที่ยกเลิกการติดต่อจากโครงข่ายอีเทอร์เนตไร้สายแล้วสลับไปใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (wireless LAN) เรียกการเคลื่อนที่ในลักษณะนี้ว่า การเคลื่อนที่แบบต่างชนิดตัวกลาง (Heterogeneous Mobility) ซึ่งเป็นความสามารถในการทำงานที่ทำให้โนดเคลื่อนที่วิ่งผ่านตัวกลางต่างชนิดกันโดยไม่ขาดการติดต่อสื่อสาร ในกรณีที่โนดเคลื่อนที่ย้ายตำแหน่งจากข่ายเชื่อมโยงข้อมูลหนึ่งไปอีกข่ายเชื่อมโยงข้อมูลอีกที่หนึ่ง แต่ยังใช้ตัวกลางชนิดเดิมก็สามารถทำได้ โดยการเคลื่อนที่รูปแบบนี้เรียกว่า การเคลื่อนที่ในตัวกลางชนิดเดียวกัน (Homogeneous Mobility)

ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ สามารถแก้ปัญหาเบื้องต้นในการจัดเส้นทางรับส่งแพ็กเกตให้กับโนดเคลื่อนที่ แต่จะสามารถแก้ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์เมื่อได้รับการปรับปรุงการทำงานในชั้นอื่นด้วย เช่นการปรับปรุงการทำงานของโพรโทคอลทีซีพี (TCP) เช่น การปรับปรุงการทำงานของ Snoop Protocol เป็นต้น

2.2 ความต้องการในการออกแบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

เพื่อเป็นการออกแบบการทำงานให้โพรโทคอลสามารถใช้งานรวมกับโพรโทคอลอื่นได้ จึงมีความต้องการในการใช้งานโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ดังนี้

1. โนดเคลื่อนที่สามารถสื่อสารกับโนดอื่นๆ ในโครงข่ายอินเทอร์เนตได้ภายหลังการเปลี่ยนตำแหน่งจุดติดต่อในชั้นข่ายเชื่อมโยงข้อมูล
2. โนดเคลื่อนที่จะต้องสามารถสื่อสารกับโนดอื่นด้วยการใช้ที่อยู่ไอพีเพียงที่อยู่เดียว ซึ่งเป็นที่อยู่บ้าน (home address) โดยใช้เป็นที่อยู่ถาวรไม่มีการเปลี่ยนที่อยู่นี้ ไม่ว่าโนดเคลื่อนที่จะวิ่งไปจุดติดต่อที่ใดก็ตามในข่ายเชื่อมโยงข้อมูล เนื่องจาก ถ้าโนดเคลื่อนที่เปลี่ยนที่อยู่บ้านตามตำแหน่งที่โนดเคลื่อนที่วิ่งผ่านตลอด จะทำให้โนดที่

ต้องการติดต่อ ไม่สามารถส่งแพ็กเกตข้อมูลให้กับโนดเคลื่อนที่ได้ นอกจากนี้การเปลี่ยนที่อยู่บ้าน ยังมีผลกระทบต่อสิทธิการเข้าใช้โครงข่ายของโนดอีกด้วย

3. โนดเคลื่อนที่ต้องสามารถสื่อสารกับคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นที่ไม่ได้มีการทำงานแบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ได้ เพราะโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่นี้ กำหนดไว้ว่าต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงโพรโทคอลของโนดอื่นๆ ที่ไม่ได้เคลื่อนที่ เช่น เราเตอร์ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมดภายในโครงข่าย ไม่สามารถกระทำได้ ดังนั้น จะมีเพียงโนดเคลื่อนที่กับโนดอื่นเพียงไม่กี่โนดเท่านั้นที่มีสมบัติการทำงานแบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ก็ยังคงสามารถทำงานได้
4. โนดเคลื่อนที่ต้องไม่เปิดเผยข้อมูลที่ถูกรักษาเป็นความลับออกไปให้แก่โนดอื่นที่ลอบดักฟังหรือขโมยข้อมูล เพื่อป้องกันการบุกรุกพวก denial – of – service เพื่อเป็นมั่นใจได้ว่าโนดที่โนดเคลื่อนที่ติดต่อด้วยเป็นโนดที่ต้องการจริงๆ (Authentication) [1]

2.3 จุดประสงค์ในการออกแบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

จาก [13] แสดงให้เห็นว่า การสื่อสารในระบบโครงข่ายโทรศัพท์เซลลูลาร์มี ทราฟฟิกของสัญญาณซิกแนลลิงจำนวนมากและมากกว่าระบบโครงข่ายโทรศัพท์แบบมีสาย เนื่องจากมีทราฟฟิกสำหรับจัดการสภาพเคลื่อนที่รวมอยู่ด้วย ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ โนดเคลื่อนที่มักใช้ข่ายเชื่อมโยงไร้สายในการสื่อสารกับโครงข่ายอินเทอร์เนต ซึ่งในข่ายเชื่อมนี้อาจมีแบนด์วิดท์ต่ำกว่า และ มีอัตราผิดพลาดบิต (BER) สูงกว่าข่ายเชื่อมโยงแบบมีสายทั่วไป และ โนดเคลื่อนที่ยังใช้กำลังงานส่งที่ค่อนข้างจำกัดจากการเป็นอุปกรณ์ขนาดเล็ก ดังนั้น การประหยัดพลังงานจึงมีความสำคัญ การใช้จำนวนแพ็กเกตควบคุมที่ส่งในข่ายเชื่อมโยงจึงควรมีจำนวนน้อยที่สุด และขนาดของแพ็กเกตควบคุมก็ควรมีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่เป็นได้ ในแนวทางในวิทยานิพนธ์นี้จึงใช้วิธีลดจำนวนการลงทะเบียน ตามจุดประสงค์ของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ซึ่งจะกล่าวในบทต่อไป

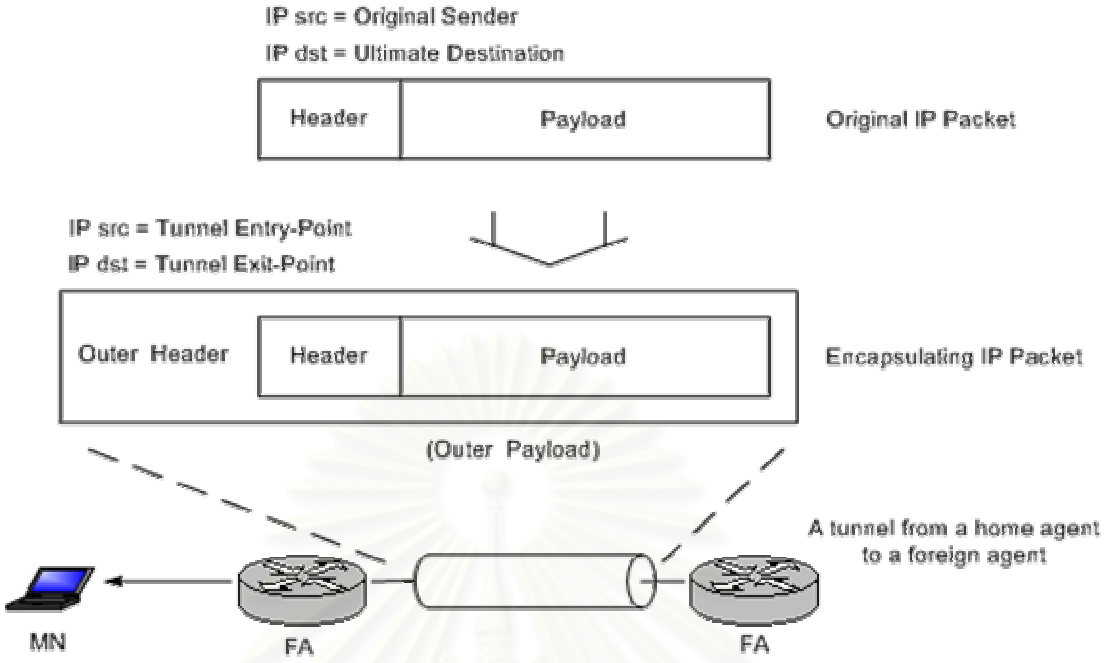
เพื่อให้การสื่อสารในข่ายเชื่อมโยงไร้สายในการทำงานของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ทำได้สะดวกขึ้น จึงพยายามลดขนาดแพ็กเกตให้เล็ก มีการทำงานที่ง่ายต่อการใช้งานร่วมกับโพรโทคอลอื่นๆ และจำนวนครั้งที่จำเป็นต้องใช้ในการแจ้งตำแหน่งปัจจุบันควรมีขนาดน้อยสุด แนวความคิดในการใช้เพจจิงในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้ถูกประยุกต์ใช้ ดังนั้น โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่จึงรองรับการใช้งานของโนดเคลื่อนที่ได้จำนวนมาก เช่น คอมพิวเตอร์พกพา การออกแบบ ควรหลีกเลี่ยงกระบวนการที่โนดเคลื่อนที่ใช้ที่อยู่ไอพีหลายๆ หมายเลขที่อยู่พร้อมๆ กัน เพราะจะทำให้จำนวนหมายเลขที่อยู่ไอพีที่มีอยู่ มีไม่เพียงพอต่อการใช้งานนี้ได้

2.4 โครงสร้างของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ใน IPv4

รูปแบบนี้ได้ถูกนำเสนอโดย IETF จากรูปที่ 2.1 ซึ่งประกอบด้วย

1. โนดเคลื่อนที่ (Mobile Node: MN) คือโนดซึ่งสามารถเปลี่ยนตำแหน่งที่ติดต่ออินเทอร์เนตจากข่ายเชื่อมโยงหนึ่ง ไปยังอีกข่ายเชื่อมโยงหนึ่งในขณะที่ยังรักษาการสื่อสารที่ต่อเนื่องและใช้ที่อยู่บ้านที่อยู่เดียวเป็นที่อยู่ถาวร
2. ตัวแทนบ้าน (Home Agent: HA) เป็นเราเตอร์ที่เชื่อมต่อกับข่ายเชื่อมโยงบ้าน (home link) ของโนดเคลื่อนที่ซึ่ง
    - โนดเคลื่อนที่จะรักษาการแจ้งตำแหน่งสถานที่ปัจจุบันไว้ นั่นคือ ที่อยู่ที่ได้รับการดูแล (COA) เมื่อโนดเคลื่อนที่ได้วิ่งจากข่ายเชื่อมโยงหนึ่งไปยังอีกข่ายเชื่อมโยง
    - ในบางกรณี อาจมีความสามารถเข้าถึงการประกาศจากตัวแทนของ network-prefix ในที่อยู่บ้านของโนดเคลื่อนที่ ทำให้สามารถส่งแพ็กเกตไอพีซึ่งมีปลายทางเป็นที่อยู่บ้านของโนดเคลื่อนที่ได้
    - สามารถส่งต่อแพ็กเกตที่มีปลายทางเป็นที่อยู่บ้านของโนดเคลื่อนที่และทำอุโมงค์ (tunnel) พวกแพ็กเกตไปยังตำแหน่งปัจจุบันของโนดเคลื่อนที่ได้ นั่นคือ ตำแหน่งที่อยู่ที่ได้รับการดูแลได้ จากรูปที่ 2.2
3. ตัวแทนโครงข่ายภายนอก (Foreign Agent: FA) เป็นเราเตอร์บนข่ายเชื่อมโยงโครงข่ายภายนอก (Foreign link) ของโนดเคลื่อนที่ซึ่ง
    - ช่วยโนดเคลื่อนที่ในการแจ้งที่อยู่ที่ได้รับการดูแลแก่ตัวแทนบ้าน
    - ในบางกรณี ตัวแทนโครงข่ายภายนอกจัดให้ที่อยู่ที่ได้รับการดูแล และถอดข้อมูลจากอุโมงค์ (de-tunnels) ที่ถูกส่งมาจากตัวแทนบ้าน จากรูปที่ 2.2
    - ให้บริการดั่งเป็นเราเตอร์มาตรฐาน (default router) สำหรับแพ็กเกตที่ถูกสร้างโดยโนดเคลื่อนที่ ขณะที่ติดต่อกับข่ายเชื่อมโยง

จากรูปที่ 2.2 แสดงถึงการทำอุโมงค์ข้อมูลจากตัวแทนบ้านไปยังตัวแทนโครงข่ายภายนอกเพื่อเป็นโครงข่ายส่วนตัวเสมือน (Virtual Private network)



รูปที่ 2.2 การทำอุโมงค์ข้อมูลที่ใช้ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

2.5 โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่โดยทั่วไป

1. ตัวแทนการเคลื่อนที่ (Mobility Agent) ซึ่งได้แก่ ตัวแทนบ้าน (Home Agent) และตัวแทนโครงข่ายภายนอก (Foreign Agent) จะทำหน้าที่คอยประกาศข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Advertisement messages) เป็นระยะๆ ตามช่วงคาบที่กำหนดไว้ เพื่อแจ้งแก่โนดเคลื่อนที่ว่ามีตัวแทนอะไรที่โนดเคลื่อนที่ได้เข้าถึงในขณะนั้น
2. โนดเคลื่อนที่จะคอยรับข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement messages) และตรวจสอบข่าวสารเพื่อกำหนดว่า ขณะนี้โนดเคลื่อนที่กำลังติดต่อกับข่ายเชื่อมโยงบ้าน (home link) หรือ ข่ายเชื่อมโยงภายนอก (foreign link) ถ้าเป็นการติดต่อกับข่ายเชื่อมโยงบ้าน โนดเคลื่อนที่จะประพฤติดั่งเป็นโนดไม่เคลื่อนที่ (Stationary node) และตัดหน้าที่ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนที่ทิ้งไป นั่นคือ จะไม่ใช้หลักการของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ซึ่งถ้าไม่เป็นดั่งที่กล่าวแล้ว โนดเคลื่อนที่จะอนุมานว่า ขณะนี้กำลังอยู่ในข่ายเชื่อมโยงภายนอก (Foreign link)
3. โนดเคลื่อนที่ที่ได้รับการติดต่อกับข่ายเชื่อมโยงภายนอก จะได้รับที่อยู่ที่ได้รับการดูแลที่อยู่ที่ได้รับการดูแลจากตัวแทนโครงข่ายภายนอก (foreign agent care of address) สามารถอ่านได้จากส่วนข้อมูลที่อยู่ในข่าวสารประกาศจากตัวแทนของตัวแทนโครงข่ายภายนอก ที่อยู่ที่ได้รับการดูแลที่ได้รับการจัดสรร (collocated care of address)

ต้องถูกได้รับด้วยกระบวนการมอบหมายบางกระบวนการ เช่น ได้รับที่อยู่นี้จาก โพรโทคอลการจัดโครงสร้างโฮสท์แบบพลวัต (Dynamic Host Configuration Protocol: DHCP) , โพรโทคอลควบคุมไอพีของโพรโทคอลจากโนดถึงโนด (Point to Point Protocol' s IP Control Protocol) หรือ การจัดสรรโครงสร้างโดยกำหนดเอง

4. โนดเคลื่อนที่ลงทะเบียนที่อยู่ที่ได้รับจากข้อ 3. แก่ตัวแทนบ้าน โดยใช้หลักการแลกเปลี่ยนข่าวสารตามโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ในกระบวนการลงทะเบียน โนดเคลื่อนที่ร้องขอบริการจากตัวแทนโครงข่ายภายนอก เพื่อที่จะป้องการการบุกรุกข้อมูลด้านความปลอดภัยใน denial of service ทำให้ข่าวสารการลงทะเบียนนั้นต้องได้รับการยืนยันผู้สื่อสาร (Authentication)
5. ตัวแทนบ้านหรือ เราเตอร์ตัวอื่นในข่ายเชื่อมโยงบ้านที่ประกาศ network prefix ของที่อยู่บ้านของโนดเคลื่อนที่ เพื่อการส่งแพ็กเกตแก่โนดเคลื่อนที่ ตัวแทนบ้านจะส่งแพ็กเกตเหล่านี้โดยการใช้โพรโทคอลค้นหาที่อยู่ (Address Resolution Protocol: ARP)
6. ข้อมูลที่ส่งมายังที่อยู่ที่ได้รับการดูแล จะผ่านการทำอุโมงค์ข้อมูลเพื่อที่จะส่งแก่โนดเคลื่อนที่
7. ในทิศทางกลับกัน แพ็กเกตที่ส่งโดยโนดเคลื่อนที่จะถูกจัดเส้นทางโดยตรงไปยังโนดที่ต้องการติดต่อ (Correspond Node: CN)ได้เลย (ไม่ต้องผ่านตัวแทนบ้าน) จึงไม่ต้องทำอุโมงค์ข้อมูล ตัวแทนโครงข่ายภายนอกจะบริการดั่งเป็นเราเตอร์ปกติแก่ทุกแพ็กเกตที่ถูกสร้างจากโนดเคลื่อนที่ ไปยังโนดที่ต้องการติดต่อกันกับโนดเคลื่อนที่ได้โดยตรง

2.6 ชนิดที่อยู่ที่ได้รับการดูแล (Care Of Address: COA) ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

มีสองชนิด ได้แก่

1. ที่อยู่ที่ได้รับการดูแลจากตัวแทนโครงข่ายภายนอก (Foreign agent care of address) เป็นที่อยู่ไอพีของตัวแทนโครงข่ายภายนอกซึ่งมีจุดติดต่อบนข่ายเชื่อมโยงภายนอกที่โนดเคลื่อนที่ติดต่อ ที่อยู่ที่ได้รับการดูแลจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกนี้สามารถเป็นหนึ่งในที่อยู่ไอพีของตัวแทนโครงข่ายภายนอกได้ ตราบเท่าที่ตัวแทนโครงข่ายภายนอกได้มีจุดติดต่ออย่างน้อยหนึ่งจุดบนข่ายเชื่อมโยงภายนอกนั้น ดังนั้น network prefix ของที่อยู่ที่ได้รับการดูแลจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกไม่จำเป็นต้องเท่ากับ network prefix ที่ได้รับมอบหมายแก่ข่ายเชื่อมโยงภายนอก และที่อยู่ชนิดนี้สามารถถูกใช้ร่วมกันกับโนดเคลื่อนที่หลายโนดพร้อมกันได้อีกด้วย

2. ที่อยู่ที่ได้รับการดูแลที่ถูกจัดสรร (Collocated care of address) เป็นที่อยู่ไอพีชั่วคราวที่ได้รับการมอบหมายแก่จุดเชื่อมต่อของโนดเคลื่อนที่ network prefix ของที่อยู่ที่ไดรับการดูแลที่ถูกจัดสรรนี้ ต้องเป็น network prefix ซึ่งได้รับการมอบหมายแก่ข่ายเชื่อมโยงภายนอกที่โนดเคลื่อนที่ติดต่อ ที่อยู่ชนิดนี้อาจใช้ในสถานการณ์ที่ไม่มีตัวแทนโครงข่ายภายนอกในข่ายเชื่อมโยงภายนอก ซึ่งที่อยู่ชนิดนี้ถูกใช้ได้เพียงหนึ่งโนดเคลื่อนที่ในหนึ่งช่วงเวลาเท่านั้น

จากที่กล่าวมาข้างต้น โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ได้กำหนดหน่วยรับส่งข่าวสารอยู่สามชนิดที่ต้องทำงานร่วมกันได้แก่ โนดเคลื่อนที่ ตัวแทนบ้าน และตัวแทนโครงข่ายภายนอก เมื่อโนดเคลื่อนที่ได้กลับมาที่โครงข่ายบ้าน ข่ายเชื่อมโยงนี้จะมี network prefix เหมือนกับ network prefix ของที่อยู่บ้านของโนดเคลื่อนที่ โนดเคลื่อนที่จะประพฤติเป็นโนดไม่เคลื่อนที่ และตัดการทำงานตามหลักโพรโทคอลเคลื่อนที่ทิ้งไป

เมื่อโนดเคลื่อนที่ได้วิ่งเข้าสู่ข่ายเชื่อมโยงภายนอก โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่จะส่งข้อมูลแบบอุโมงค์ (tunnel) โดยตัวแทนบ้านเป็นผู้ผนึกข้อมูล (encapsulation) ไปยังโนดเคลื่อนที่ที่ต้องการ การส่งข้อมูลแบบอุโมงค์นี้จะซ่อนแพ็กเกตแบบเดิมที่มีปลายทางเป็นที่อยู่บ้านของโนดเคลื่อนที่ ไว้ในเปลือกนอกที่ใช้ที่อยู่ที่ได้รับการดูแลจากโครงข่ายภายนอกซึ่งเป็นที่อยู่ที่ได้รับการจัดเส้นทางระหว่างโครงข่าย เมื่อแพ็กเกตที่ซ้อนกันด้วยเปลือกที่อยู่ที่ได้กรับการดูแลนี้มาถึงโครงข่ายภายนอกที่โนดเคลื่อนที่ต้องการ ตัวแทนโครงข่ายภายนอกจะถอดเปลือกนอกทิ้ง (decapsulation) และ ส่งแพ็กเกตเดิมแก่โนดเคลื่อนที่ได้

จะเห็นได้ว่า การส่งข้อมูลแบบอุโมงค์นั้นต้องการการรายงานที่อยู่ปัจจุบันของโนดเคลื่อนที่แก่ตัวแทนบ้านเสมอ ซึ่งกระบวนการนี้เรียกว่า กระบวนการลงทะเบียน ซึ่งในกระบวนการนี้จำเป็นต้องมีกระบวนอีกกระบวนการหนึ่งในการค้นหาตัวแทนต่างๆ (Agent Discovery) อีกด้วย จึงสามารถส่งแพ็กเกตแก่โนดเคลื่อนที่ตามกลไกของกระบวนการจัดเส้นทางแพ็กเกตได้ (Packet Routing) ซึ่งทั้งสามส่วนนี้จะกล่าวอธิบายในส่วนต่อไป

2.7 กระบวนการค้นหาตัวแทน (Agent Discovery)

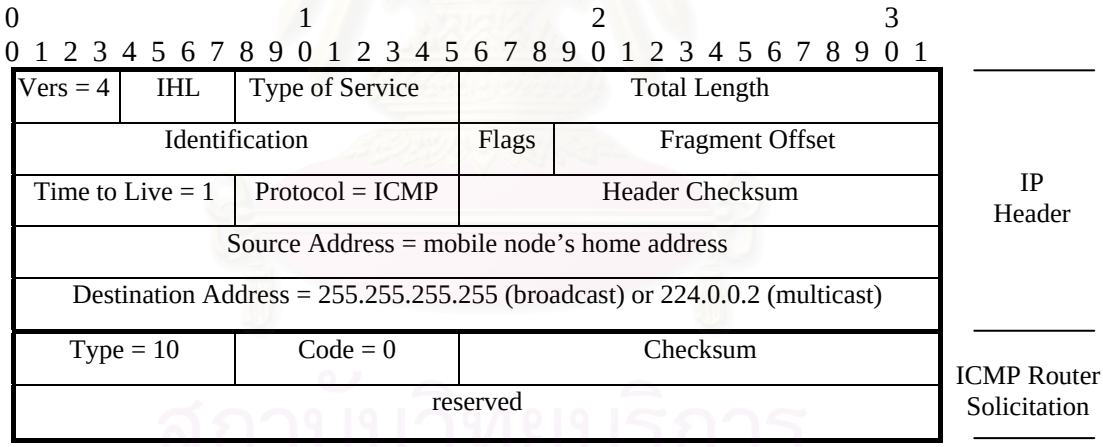
กระบวนการค้นหาตัวแทนนี้มีข่าวสารที่ใช้อยู่สองชนิด ชนิดแรกเป็นข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement) ซึ่งจะถูกประกาศจากตัวแทนต่างๆ ทั้งตัวแทนบ้าน และตัวแทนโครงข่ายภายนอกก็ได้ มีเพื่อแจ้งให้โนดเคลื่อนที่ทราบว่ามีตัวแทนอยู่ในบริเวณที่โนดเคลื่อนที่สามารถสื่อสารได้ ชนิดที่สอง คือ ข่าวสารร้องขอตัวแทน (Agent Solicitation) เป็นข่าวสารที่โนด

เคลื่อนที่ส่งถึงตัวแทนเพื่อขอให้ตัวแทนส่ง ข่าวสารประกาศจากตัวแทนมาให้กับโนดเคลื่อนที่ทันที โดยกำหนดปลายทางในการส่งไปยังโนดเคลื่อนที่ ที่เป็นโนดต้นทางของข่าวสารร้องขอตัวแทนนี้

ข่าวสารทั้งสองประเภทนี้ไม่ต้องการกระบวนการรักษาความปลอดภัย เนื่องจากเป็นกระบวนการค้นหาตัวแทนที่ต้องการความรวดเร็ว ซึ่งกระบวนการรักษาความปลอดภัยจะทำให้ช้าได้

2.7.1 รูปแบบข่าวสารร้องขอตัวแทน (Agent Solicitation)

การร้องขอตัวแทนดั่งที่กำหนดโดยโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ถูกระบุเป็นเหมือนการร้องขอเราเตอร์โพรโทคอลข่าวสารควบคุมอินเทอร์เนต (ICMP Router Solicitation) ยกเว้นบางส่วนที่ต่างเช่น ในการร้องขอตัวแทนต้องมี ค่าเวลาชีวิต (Time To Live: TTL) เป็นหนึ่ง ดังนั้น เมื่อตัวแทนบ้าน หรือตัวแทนโครงข่ายภายนอกได้รับข่าวสารร้องขอตัวแทน จึงควรตอบกลับทันทีด้วยข่าวสารประกาศจากตัวแทน และส่วนของชนิด (Type) ถูกกำหนดให้มีค่าเป็น 10 ในข่าวสารการร้องขอตัวแทน ตาม RFC 1256 ดังรูปที่ 2.3

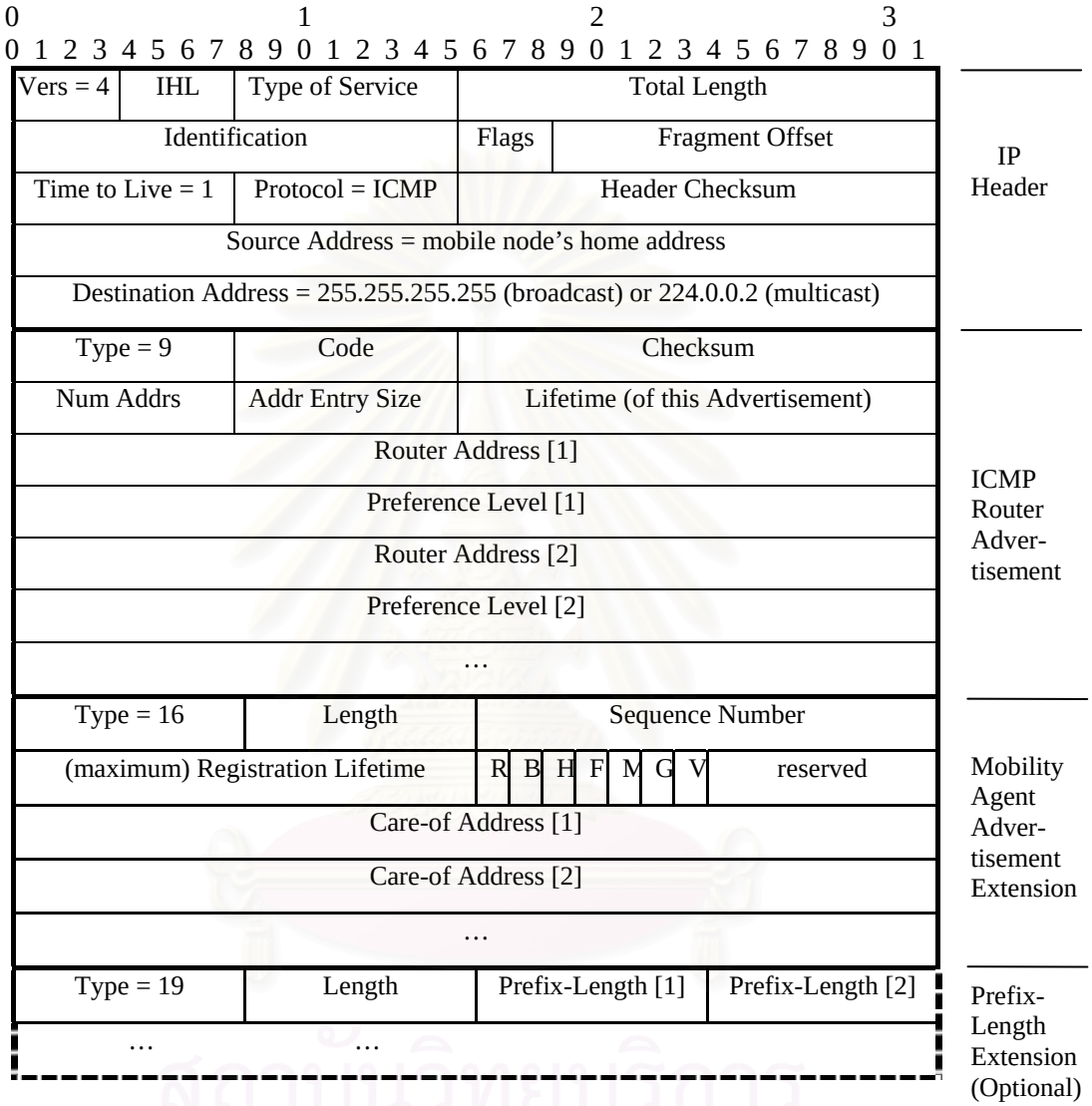


รูปที่ 2.3 ข่าวสารร้องขอตัวแทน (Agent Solicitation)

2.7.2 รูปแบบข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement)

ข่าวสารประกาศจากตัวแทนถูกเพิ่มส่วนแสริมดังที่กำหนดโดยโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ตาม RFC 2002 แก่ข่าวสารประกาศเราเตอร์โพรโทคอลข่าวสารควบคุมอินเทอร์เนต (ICMP Router Advertisement) ที่กำหนดใน RFC 1256 จะมีส่วนขยายการประกาศตัวแทนการเคลื่อนที่ (Mobility

Agent Advertisement Extension) อยู่ในข่าวสารนี้ และอาจมีส่วนเสริมพิเศษอีกส่วนนั่นคือ ส่วนขยาย Prefix-Length Extension ซึ่งมีไว้สำหรับการตรวจสภาพเคลื่อนที่เป็นพิเศษ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 ข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement Message)

2.7.3 ส่วนหัวโพรโทคอลอินเทอร์เนต (IP header fields) ในข่าวสารประกาศจากตัวแทน

ส่วนหัวไอพีของข่าวสารประกาศเป็นส่วนที่โนดเคลื่อนที่ใช้ในการกำหนดว่าโนดเคลื่อนที่กำลังอยู่ในข่ายเชื่อมโยงไหนตามลักษณะนี้

- ถ้า network prefix ของ ที่อยู่ต้นทางไอพีเป็น network prefix เดียวกับที่อยู่บ้านของโนดเคลื่อนที่ โดยเฉพาะอย่างยิ่งตรงกับที่อยู่ของตัวแทนบ้าน จะหมายความว่าโนดเคลื่อนที่กำลังอยู่ในข่ายเชื่อมโยงบ้าน ทำให้โนดเคลื่อนที่ไม่ต้องใช้หลักการโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ โนดเคลื่อนที่จะถอนการลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านและประพฤติดั่งเป็นโนดธรรมดาในโครงข่าย
- ในกรณีที่โนดเคลื่อนที่ไม่ได้อยู่ในโครงข่ายบ้าน โนดเคลื่อนที่จะใช้อัลกอริทึมการตรวจสอบการเคลื่อนที่ (move detection) ว่ามันเคลื่อนที่เข้าสู่ข่ายเชื่อมโยงใหม่หรือไม่จากการตรวจสอบข่าวสารประกาศที่ได้รับครั้งล่าสุด ถ้าตรวจสอบแล้วเป็นข่ายเชื่อมโยงใหม่จริง จะได้รับที่อยู่ที่ได้รับการดูแลใหม่ แล้วนำไปลงทะเบียนกับตัวแทนตามกระบวนการลงทะเบียน

2.7.4 ส่วนประกาศเราเตอร์โพรโทคอลข่าวสารควบคุมอินเทอร์เนต (ICMP Router Advertisement Fields)

จะมีค่า Type เป็น 9 ระบุว่าข่าวสาร ICMP นี้เป็นข่าวสารการประกาศ ในข้อมูลส่วนนี้จะเป็นการกำหนดการจัดเส้นทางของตัวเราเตอร์ มี Checksum คอยตรวจสอบความผิดพลาด ค่า Life time ในส่วนนี้จะต่างกัน Life timeในส่วนของ Mobility Agent Advertisement Extension โดยสิ้นเชิง ค่า Life time ส่วนนี้ใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่

2.7.5 ส่วนเสริมการประกาศตัวแทนการเคลื่อนที่ (Mobility Agent Advertisement Fields)

โดยระบุค่า Type มีค่าเป็น 16 เพื่อบอกว่าเป็นชนิดส่วนเสริมการประกาศตัวแทน ค่า Length บอกขนาดของข้อมูลที่ไม่นับส่วน Type และ ส่วน Length ตัวมันเองด้วย ค่า Sequence บอกถึงลำดับการส่งข่าวสารประกาศที่สำเร็จ ค่า Registration Lifetime เป็นค่าที่ใช้ในตรวจสอบการหมดอายุของการลงทะเบียน บิต R, M, G และ V เป็นบิตที่ใช้ในการลงทะเบียนและการจัดเส้นทาง

บิต H และ F เป็นการระบุว่าผู้ส่งข่าวสารประกาศนี้เป็นตัวแทนบ้านหรือว่าตัวแทนโครงข่ายภายนอกตามลำดับ ถ้าเป็นชนิดไหน ก็จะตั้งค่าในบิตนั้นเป็น 1 ถ้าเป็นทั้งคู่ ก็ตั้งค่าเป็น 1 ทั้งสองบิต ส่วนบิต B นี้บอกถึงความไม่ว่างในการใช้ตัวแทนนั้นๆให้แก่โนดเคลื่อนที่ได้รู้ ส่วนที่อยู่ที่ได้รับการดูแลเป็นส่วนที่สำคัญที่โนดเคลื่อนที่ดูเพื่อใช้ส่วนนี้ในการลงทะเบียนแก่ตัวแทนบ้าน

2.7.6 ส่วนเสริม Prefix-Length (Prefix-Length Extension Fields)

ค่า Type และ Length เป็นส่วนระบุชนิดกับขนาดตามลำดับ แต่ส่วนนี้จะใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่

2.8 การตรวจสอบการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่ (Move Detection)

โนดเคลื่อนที่จะตรวจสอบว่าย้ายที่อยู่หรือไม่ โดยดูจากข่าวสารประกาศจากตัวแทนครั้ง โดยมีสองวิธีที่ตรวจสอบการเคลื่อนที่ได้แก่

1. การตรวจสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ค่าชีวิต (Lifetimes)

วิธีแรกเป็นการตรวจสอบค่า Lifetimes ในส่วนประกาศเราเตอร์โพรโทคอลข่าวสารควบคุมอินเทอร์เนต ซึ่งจะบอกโนดเคลื่อนที่ว่าควรจะได้ยินข่าวสารประกาศตัวแทนครั้งต่อไปเมื่อไรจากตัวแทนเดิม เพราะข่าวสารที่ประกาศในตัวกลางไร้สายนั้นมีการสูญหายและมีความผิดพลาดในการส่งสูงกว่าตัวกลางมีสาย ตัวแทนจะประกาศข่าวสารนี้ด้วยคาบที่สั้นกว่า Lifetimes โดยตามหลักค่า Lifetimes จะมีค่าสูงกว่าสามเท่าของช่วงคาบในการประกาศตัวแทน

2. การตรวจสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ Network-Prefixes

การตรวจสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ Network-Prefix จากข่าวสารประกาศจากตัวแทนที่โนดเคลื่อนที่ได้รับ ถ้ามีการได้รับข่าวสารนี้จากที่อยู่ไอพีต้นทางที่ต่างกัน จะอนุมานว่าโนดเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารประกาศจาตัวแทนตัวใหม่ เพราะว่า เป็นไปได้ที่จะมีตัวแทนโครงข่ายภายนอกหลายตัวบนข่ายเชื่อมโยงเดียวกัน โนดเคลื่อนที่ต้องกำหนดว่าเข้าสูตัวแทนโครงข่ายภายนอกใหม่หรือไม่จากการได้รับสองข่าวสารประกาศบนข่ายเชื่อมโยงเดิมหรือแตกต่าง ถ้ามาจากข่ายเชื่อมโยงเดิมโนดเคลื่อนที่จะไม่ลงทะเบียนใหม่ แต่ถ้ามาจากข่ายเชื่อมโยงใหม่จะถือว่าโนดเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่ง แลควรลงทะเบียนตัวแทนโครงข่ายภายนอกบนข่ายเชื่อมโยงใหม่นี้

การกำหนดว่าข่าวสารประกาศทั้งสองที่ได้รับเป็นข่ายเชื่อมโยงเดิมหรือไม่ โนดเคลื่อนที่จะพิจารณาจาก Network-Prefix ของข่าวสารประกาศตัวแทน ซึ่งข่าวสารประกาศตัวแทนทั้งคู่ต้องมีส่วนเสริมของ Prefix-Lengths Extension ถ้า Network-Prefix ต่างจากเดิม โนดเคลื่อนที่จะสรุปว่า

เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายเดิมแล้ว และเริ่มแฮนด์ออฟ ซึ่งการเริ่มแฮนด์ออฟแบบนี้เรียกว่า Eager Cell Switching (ECS)

2.9 การลงทะเบียน (Registration)

กระบวนการลงทะเบียนในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่จะถูกดำเนินการโดยโนดเคลื่อนที่ซึ่ง

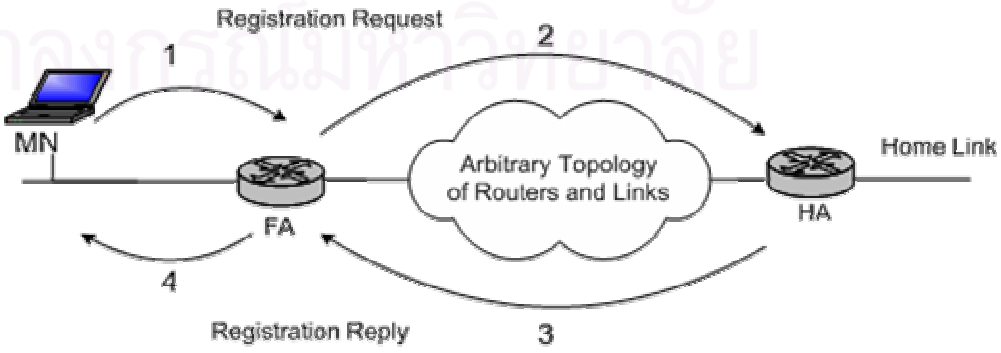
- ขอบริการการจัดเส้นทางจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกบนข่ายเชื่อมโยงภายนอก
- แจ้งตัวแทนบ้านด้วยที่อยู่ที่ได้รับการดูแล
- ถอนการลงทะเบียนเมื่อโนดเคลื่อนที่ได้กลับสู่ข่ายเชื่อมโยงบ้าน

ซึ่งกระบวนการลงทะเบียนจะประกอบด้วยข่าวสารสองชนิดคือ ข่าวสารร้องขอลงทะเบียน (Registration Request) กับ ข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน (Registration Reply) ซึ่งอยู่ในส่วนของโพรโทคอลดาตาแกรมผู้ใช้ (User Datagram Protocol: UDP) ตาม RFC 768

2.9.1 แผนการการลงทะเบียน (Registration Scenarios)

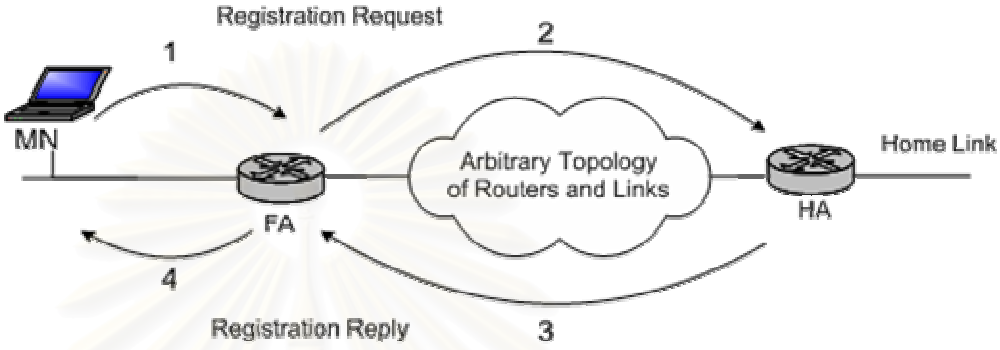
การลงทะเบียนประกอบด้วยการแลกเปลี่ยนข่าวสารสองชนิดในการร้องขอการลงทะเบียนและการตอบรับการลงทะเบียนระหว่างโนดเคลื่อนที่กับตัวแทนบ้านโดยผ่านตัวแทนโครงข่ายภายนอก (ในกรณี IPv4) หรือไม่ผ่านตัวแทนโครงข่ายภายนอก (IPv6) ตามชนิดที่อยู่ที่ได้รับการดูแล การลงทะเบียนจะแบ่งเป็นสามประเภทตามสถานการณ์ที่โนดเคลื่อนที่ได้รับดังนี้

1. โนดเคลื่อนที่ลงทะเบียนบนข่ายเชื่อมโยงภายนอกด้วยการใช้ที่อยู่ที่ได้รับการดูแลจากตัวแทนโครงข่ายภายนอก (Foreign agent care of address)



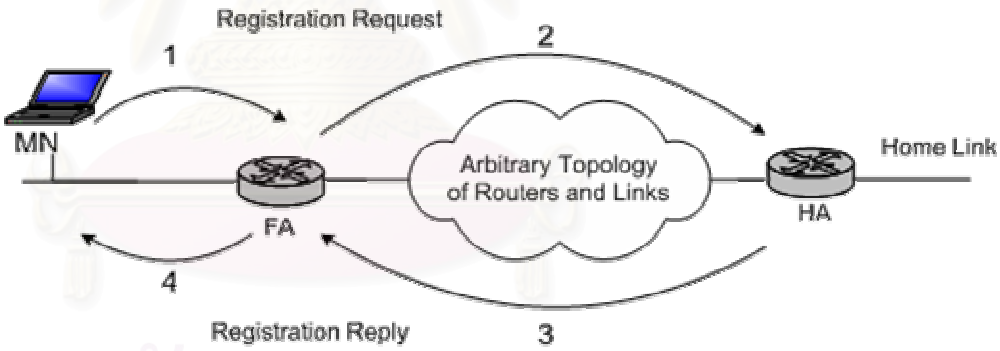
รูปที่ 2.5 การลงทะเบียนจากที่อยู่ที่ได้รับการดูแลจากตัวแทนโครงข่ายภายนอก

2. โนดเคลื่อนที่ลงทะเบียนบนข่ายเชื่อมโยงภายนอกด้วยการใช้ที่อยู่ที่ได้รับการดูแลจัดสรร (Collocated care of address) ไม่ผ่านทางตัวแทนโครงข่ายภายนอก ซึ่งอาจมาจากเซิร์ฟเวอร์ในโพรโทคอลการจัดโครงสร้างโฮสท์แบบพลวัต (Dynamic Host Configuration Protocol: DHCP)



รูปที่ 2.6 การลงทะเบียนจากที่อยู่ที่ได้รับการดูแลจัดสรร

3. โนดเคลื่อนที่ถอนการลงทะเบียนขณะที่กลับสู่ข่ายเชื่อมโยงบ้าน



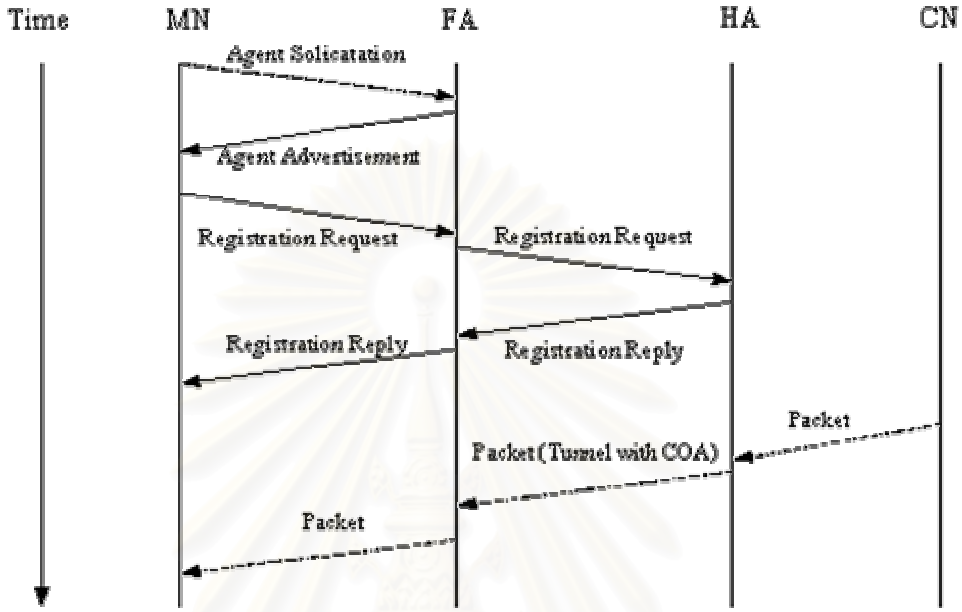
รูปที่ 2.7 การถอนการลงทะเบียน

การลงทะเบียนจะเริ่มจากโนดเคลื่อนที่ส่งข่าวสารร้องขอลงทะเบียนไปยังตัวแทนบ้านด้วยที่อยู่ที่ได้รับการดูแลจากข่าวสารประกาศตัวแทนในตอนต้น

จากนั้นตัวแทนบ้านจะตอบรับการลงทะเบียนหรือปฏิเสธการการลงทะเบียนได้ด้วยข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนแก่โนดเคลื่อนที่นั้นโดยใช้เส้นทางย้อนกลับของข่าวสารร้องขอลงทะเบียน

ถ้าโนดเคลื่อนที่ไม่ได้รับการตอบรับการลงทะเบียนในช่วงเวลาที่กำหนด (ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกินช่วงเวลาการตอบรับการลงทะเบียนครั้งก่อนหน้านี้) โนดเคลื่อนที่จะส่งการร้อง

รอลงทะเบียนซ้ำ ตามจำนวนครั้งที่กำหนด เพื่อให้ได้รับการตอบรับจากตัวแทนบ้าน ซึ่งในรูปที่ 2.8 จะแสดงไดอะแกรมกระบวนการลงทะเบียนของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่โดยทั่วไป

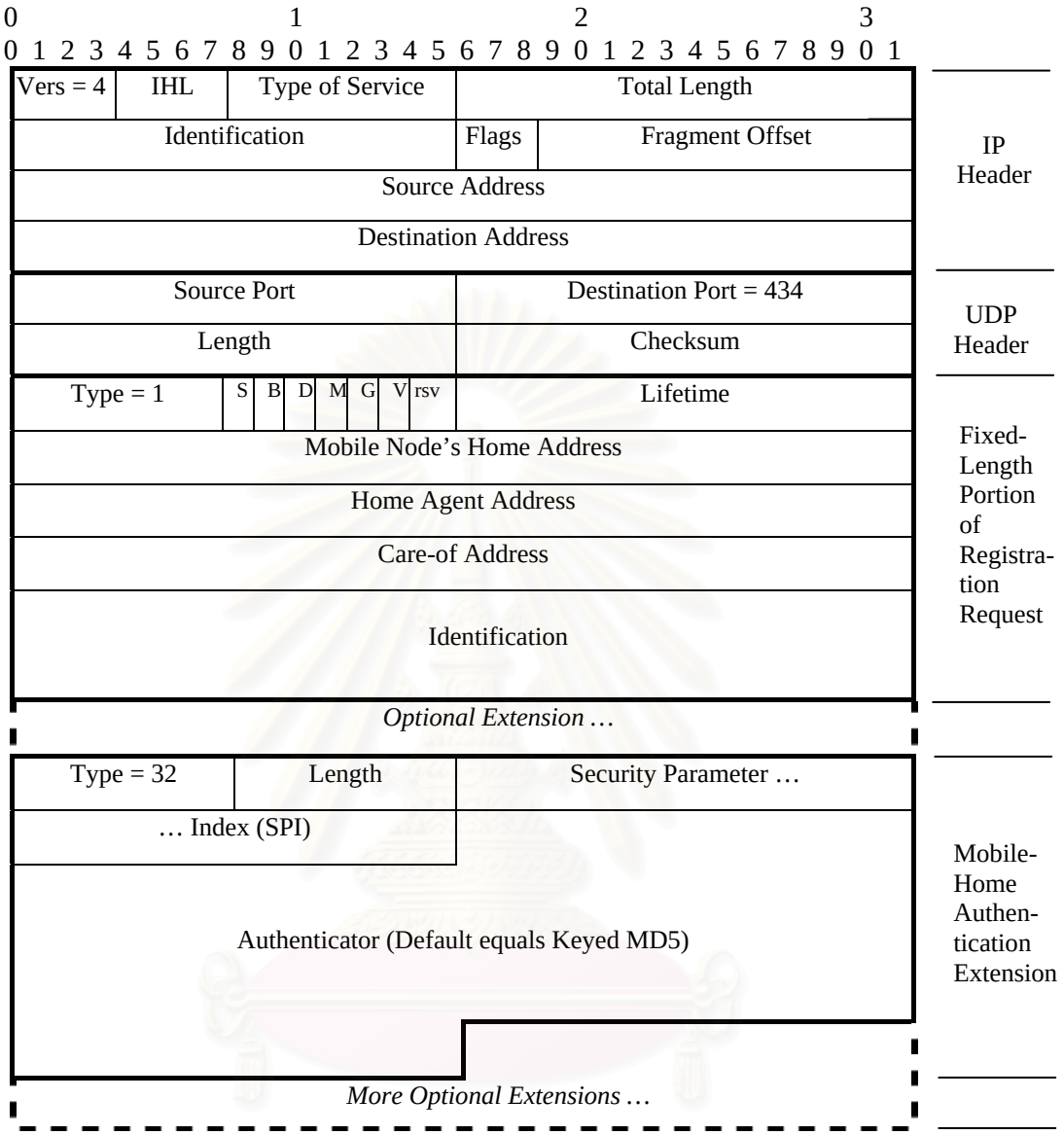


รูปที่ 2.8 ไดอะแกรมของการลงทะเบียนในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

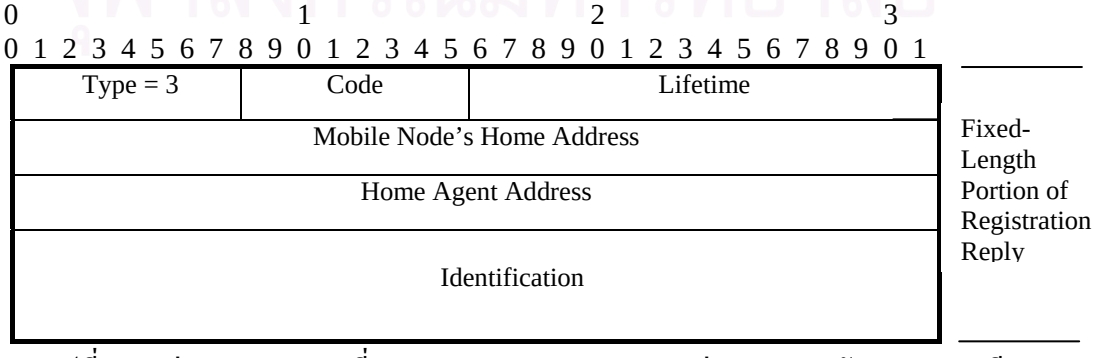
2.9.2 รูปแบบข่าวสารการลงทะเบียน (Registration Request Message and Registration Reply Formats)

จากรูปที่ 2.9 แสดงรูปแบบข่าวสารร้องขอการลงทะเบียน ซึ่งมีส่วนหัวของไอพี ส่วนหัวของ UDP และส่วนเสริมต่างๆ ซึ่งส่วนของFixed-Length Portion เท่านั้นจะเป็นส่วนที่แตกต่างจากข่าวสารการตอบรับการลงทะเบียนดังรูปที่2.10

ทุกครั้งในข่าวสารการลงทะเบียนที่โนดเคลื่อนที่ส่ง ประกอบด้วยส่วนเสริม Mobile-Home Authentication Extension ซึ่งจะยืนยันการผู้ที่ติดต่อเป็นการรักษาความปลอดภัยของการสื่อสาร ซึ่งจากส่วนของข่าวสารการประกาศตัวแทนที่ไม่มีการรักษาความปลอดภัย ในตัวแทนบ้านจะมีตารางการจับคู่ระหว่างที่อยู่บ้านของโนดเคลื่อนที่ที่ตัวแทนบ้านคอยดูแล กับที่อยู่ที่ได้รับการดูแลจากภายนอกที่โนดเคลื่อนที่ต้องแจ้งแก่ตัวแทนบ้านอย่างสม่ำเสมอ ตารางจับคู่นี้เรียกว่า ตารางจับคู่การเข้าถึง (Binding Entry) ซึ่งตัวแทนบ้านจะใช้ในการส่งแพ็กเกตข้อมูลแบบอุโมงค์ (Tunnel) โดยสอดคล้องที่อยู่ทั้งสองชนิดตามช่วงเวลาที่ได้ลงทะเบียนไว้ใน Registration Lifetime



รูปที่ 2.9 ข่าวสารร้องขอลงทะเบียน



รูปที่ 2.10 ส่วนความยาวคงที่ (fix –length portion) ของข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน

ส่วนหัวไอพี (IP Header Fields) จะมีที่อยู่ไอพีต้นทางกับที่อยู่ไอพีปลายทางตามหลักการทำงานโพรโทคอลอินเทอร์เนตตามปกติ

ส่วนหัวโพรโทคอลดาตาแกรมผู้ใช้ (UDP Header Fields) กำหนดส่วนพอร์ตปลายทางเป็น 434 ซึ่งเป็นค่าที่จองไว้ใช้ในการลงทะเบียนในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ส่วนขนาดความยาวของ UDP บอกขนาดของ Payload มีหน่วยเป็นไบต์ ส่วน Checksum ก็มีไว้ตรวจสอบความผิดพลาดที่มีในการส่ง

ส่วนของไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP Fields) ค่า Type ถ้าเป็น 1 หมายถึงข่าวสารร้องขอการลงทะเบียน ถ้ามีค่าเป็น 3 หมายถึง ข่าวสารการตอบรับการลงทะเบียน กำหนด S มีค่าเป็น 1 หมายถึง ในข่าวสารร้องขอลงทะเบียนร้องขอให้ตัวแทนบ้านสร้างหรือลบการจับคู่ในตารางจับคู่ของที่อยู่ที่ได้รับการดูแล ซึ่งในส่วนนี้สามารถกำหนดให้โนดเคลื่อนที่สามารถมีที่อยู่ที่ได้รับการดูแลได้มากกว่าหนึ่งที่อยู่ในช่วงเวลาเดียวกัน

จาก [2] ในบิต B, D, M, G และ V ใช้ในการจัดเส้นทางของแพ็กเกต ถ้าบิต B มีค่าเป็นหนึ่ง หมายความว่า โนดเคลื่อนที่ร้องขอให้ตัวแทนบ้านส่งบรอดแคสต์ (broadcast) มาให้ ถ้าบิต D ถูกตั้งค่า หมายถึงโนดเคลื่อนที่จะถอดผนึก (decapsulation) ด้วยตัวโนดเคลื่อนที่เอง นั่นคือเป็นแบบที่อยู่ที่ได้รับการจัดสรร (Collocate care of address) ส่วน M บิตมีไว้ในการสั่งให้ผนึก (Encapsulation) แบบ Minimal encapsulation ซึ่งเป็นผนึกข้อมูลส่งทางอุโมงค์ชนิดหนึ่งซึ่งเกินขอบเขตวิทยานิพนธ์นี้ ถ้าสนใจสามารถดูใน RFC 2004 ส่วนบิต G เป็นการผนึกข้อมูลส่งทางอุโมงค์แบบ Generic Routing Encapsulation: GRE ซึ่งอยู่ใน RFC 1701 บิต V ใช้ในการส่งข้ามโครงข่ายภายนอกตามหลัก Van Jacobson Header ใน RFC 1144

ส่วน Code ในข่าวสารการตอบรับการลงทะเบียน เป็นส่วนที่ระบุว่าตัวแทนบ้านตอบรับคำขอหรือปฏิเสธคำร้องขอของโนดเคลื่อนที่ ซึ่งสาเหตุในการปฏิเสธอาจเป็นเพราะ การยืนยันผู้สนทนาล้มเหลว เป็นต้น ค่า Registration Lifetimes ที่โนดเคลื่อนที่ตั้งค่า มีหน่วยเป็นวินาที ซึ่งถ้าค่านี้มีค่าเป็นศูนย์นั่นหมายถึงโนดเคลื่อนที่ต้องการถอนการลงทะเบียนซึ่งเป็นกรณีที่โนดเคลื่อนที่กลับสู่โครงข่ายบ้าน ซึ่งค่าที่อยู่ที่ได้รับการดูแลเมื่อกลับมาถึงโครงข่ายจึงเป็นที่อยู่บ้านนั่นเอง แต่ถ้ามีค่าที่ตั้งไว้เป็น FFFF ฐานสิบหก นั่นหมายถึงที่อยู่ที่ได้รับการดูแลมีค่า Lifetimes เป็นอนันต์

ส่วนค่าเอกลักษณ์ (Identification Field) เป็นค่าที่ไม่ซ้ำใครใช้ในการตอบสนองระหว่างข่าวสารร้องขอลงทะเบียนกับข่างสารตอบรับการลงทะเบียน และป้องกันความปลอดภัยของข้อมูลที่สื่อสารกัน โดยใช้รวมกับ Mobile-Home Authentication Extension เพื่อยืนยันผู้สนทนา

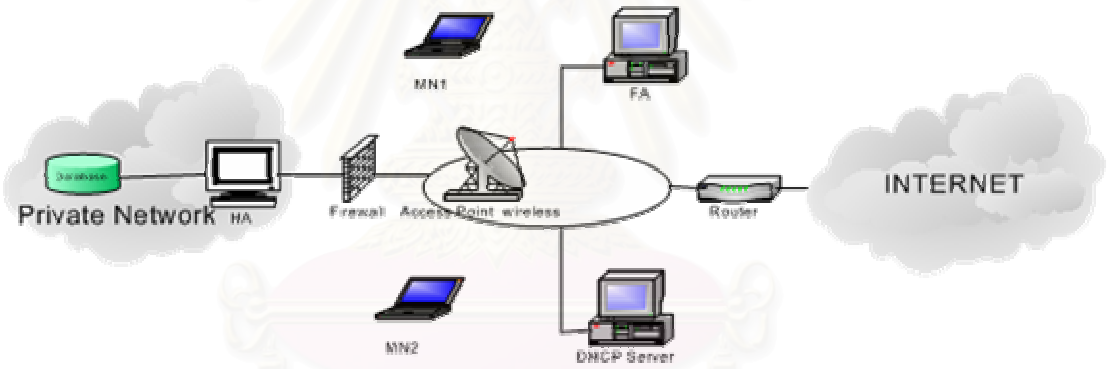
บทที่ 3

การปรับปรุงสมรรถนะโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ที่ได้มีผู้เสนอไว้ และแนวทางที่เสนอในวิทยานิพนธ์

ในบทนี้จะกล่าวถึงวิธีที่มีผู้นำเสนอไว้สำหรับการพัฒนาโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ทั้งด้านการรักษาความปลอดภัย การแฮนด์ออฟในแบบต่างๆ และแนวทางที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้

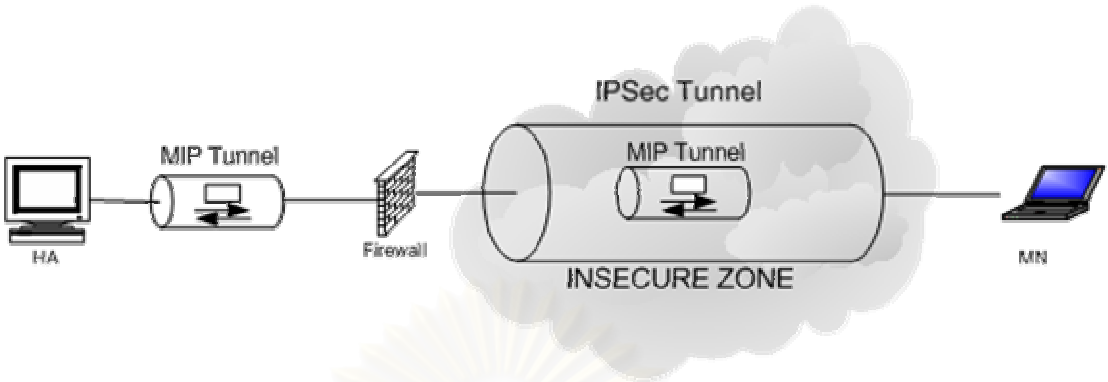
3.1 การปรับปรุงสมรรถนะของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ที่ได้มีผู้เสนอไว้

3.1.1 แบบแผนการรักษาความปลอดภัยในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (SecMIP) โดยใช้โพรโทคอลรักษาความปลอดภัยไอพี (IPSec) [13]



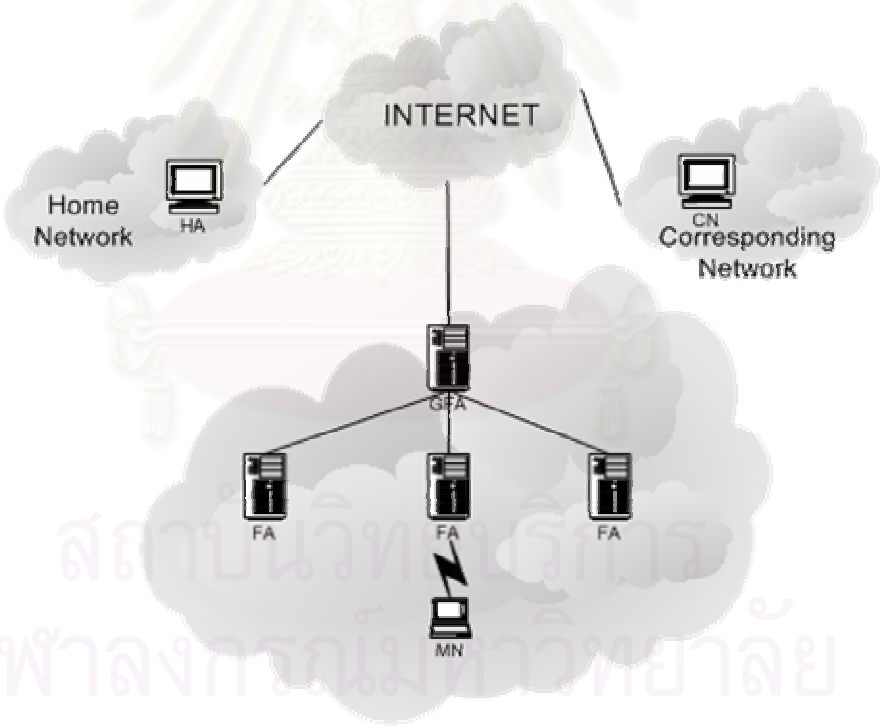
รูปที่ 3.1 แผนผัง SecMIP

แบบแผน SecMIP จากรูปที่ 3.1 เป็นการใช้หลักการของ De-militarized Zon: DMZ [13] ที่เป็นหลักการกำหนดพื้นที่ระหว่างไฟร์วอลล์กับเราเตอร์จะทำการส่งส่งข้อมูลด้วยการใช้โพรโทคอลรักษาความปลอดภัยไอพี (IPSec) ซึ่งในส่วนของโพรโทคอลนี้จะทำการรักษาความปลอดภัยอยู่สองส่วนหลักคือการตรวจสอบยืนยันผู้สนทนา (Authentication) และการเข้ารหัสลับ (Encryption) เพื่อป้องกันความปลอดภัยของแพ็กเกต แต่ในส่วนของหลังไฟร์วอลล์ที่เป็นโครงข่ายส่วนบุคคล (Private Network) จะถอดโพรโทคอล IPSec ออก เหลือเพียงแค่การทำอุโมงค์ข้อมูลเท่านั้น (Tunnel) เพราะมีการรักษาความปลอดภัยด้วยกลไกของไฟร์วอลล์ก็ถือว่าเพียงพอแล้ว ดั่งรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ท่อรับส่งข้อมูล IPSec และ MIP Tunnel ใน SecMIP

3.1.2 การลงทะเบียนท้องถิ่นของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (Mobile IP Regional Registration)



รูปที่ 3.3 แบบจำลองการลงทะเบียนท้องถิ่นของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

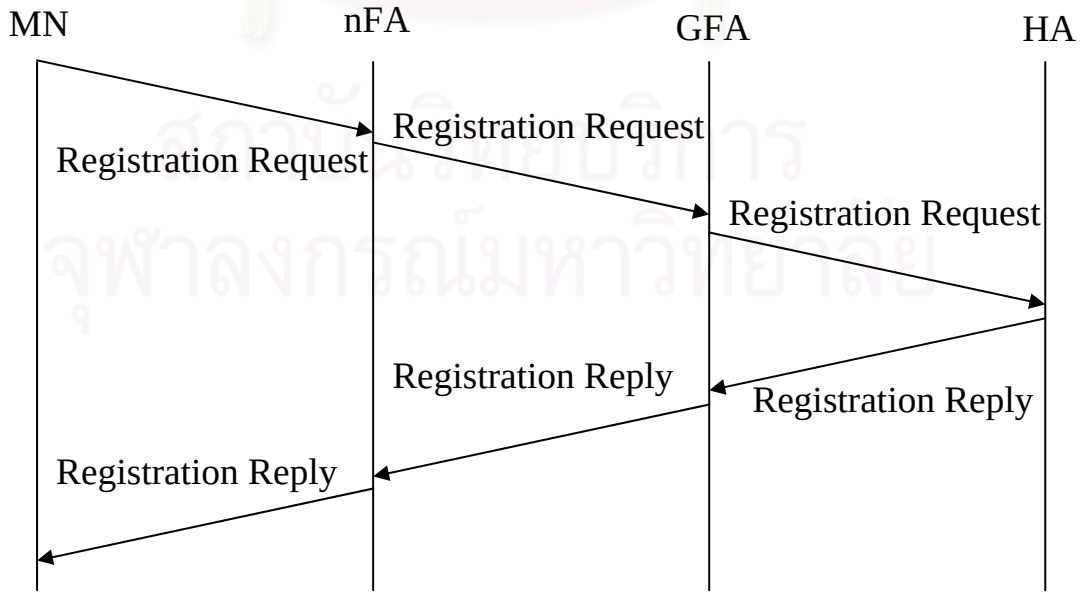
การลงทะเบียนท้องถิ่นของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ใช้ตัวแทนการเคลื่อนที่ท้องถิ่น [9] ที่เรียกว่า ตัวแทนโครงข่ายภายนอกแบบเกตเวย์ (Gateway Foreign Agent: GFA) ซึ่งเป็นเราเตอร์พิเศษที่สามารถประพฤติตัวเป็นตัวแทนท้องถิ่นแทนตัวแทนบ้าน เมื่อโนดเคลื่อนที่วิ่งจากโครงข่ายภายนอกหนึ่งไปโครงข่ายภายนอกอีกโครงข่ายภายนอกหนึ่ง แต่ยังอยู่ในความควบคุมของตัวแทน

ท้องถิ่นนี้ โนดเคลื่อนที่จะไม่ลงทะเบียนกับตัวแทนบ้าน แต่จะลงทะเบียนท้องถิ่นกับตัวแทนโครงข่ายภายนอกแบบเกตเวย์แทน โดยใช้ที่อยู่ที่ได้รับการดูแลปัจจุบัน (COA) ของตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ ถ้าโนดเคลื่อนที่ข้ามโดเมนของตัวแทนโครงข่ายภายนอกแบบเกตเวย์ โนดเคลื่อนที่จะลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านตามหลักการโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มาตรฐาน ซึ่งเรียกว่า การลงทะเบียนบ้าน (home registration) โนดเคลื่อนที่ใช้ที่อยู่ไอพีของตัวแทนโครงข่ายภายนอกแบบเกตเวย์เหมือนเป็นที่อยู่ที่ได้รับการดูแล (COA) เมื่อโนดเคลื่อนที่ลงทะเบียนกับตัวแทนบ้าน

การลงทะเบียนท้องถิ่นของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มีจุดประสงค์เพื่อลดปริมาณข่าวสารซิกแนลลิงที่ถูกส่งต่อโครงข่ายบ้าน และเป็นการลดเวลาการส่งซิกแนลลิงที่เกิดขึ้นเมื่อโนดเคลื่อนที่วิ่งจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกหนึ่งไปโครงข่ายภายนอกอีกโครงข่ายภายนอกหนึ่ง ตามแบบจำลองโครงข่ายของการลงทะเบียนท้องถิ่นของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ถูกแสดงดังรูปที่3.3

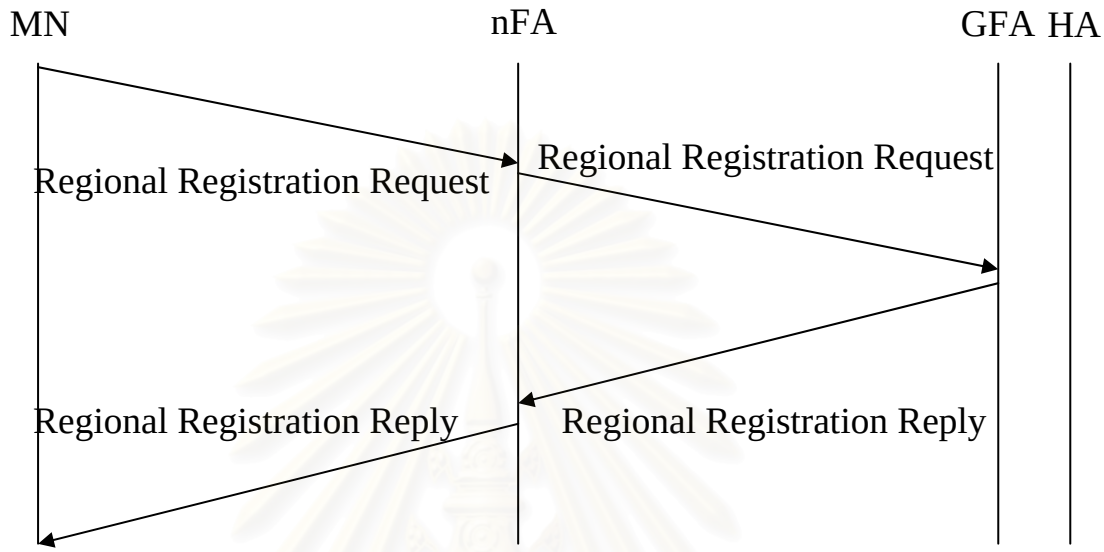
เพื่อที่โนดเคลื่อนที่จะลงทะเบียนท้องถิ่นของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ จำเป็นต้องมีชนิดข่าวสารใหม่เพิ่มอีกสองชนิด ได้แก่ ข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนท้องถิ่น (Regional Registration Request) กับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนท้องถิ่น (Regional Registration Reply) ซึ่งมีการทำงานเหมือนข่าวสารร้องขอลงทะเบียนกับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน IPv4 แบบปกติ แต่ลงทะเบียนกับ GFA

รูปที่ 3.4 แสดงกระบวนการลงทะเบียนบ้าน (home registration)ในการลงทะเบียนท้องถิ่นของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เมื่อโนดเคลื่อนที่วิ่งออกจากโครงข่ายบ้านไปยังโครงข่ายภายนอกเป็นครั้งแรก



รูปที่ 3.4 การลงทะเบียนบ้านของการลงทะเบียนท้องถิ่นโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

รูปที่ 3.5 แสดงกระบวนการลงทะเบียนท้องถิ่นในการลงทะเบียนท้องถิ่นของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่เมื่อโนดเคลื่อนที่วิ่งข้ามตัวแทนโครงข่ายภายนอกแต่ยังอยู่ภายในตัวแทนโครงข่ายภายนอกแบบเกตเวย์ (GFA)



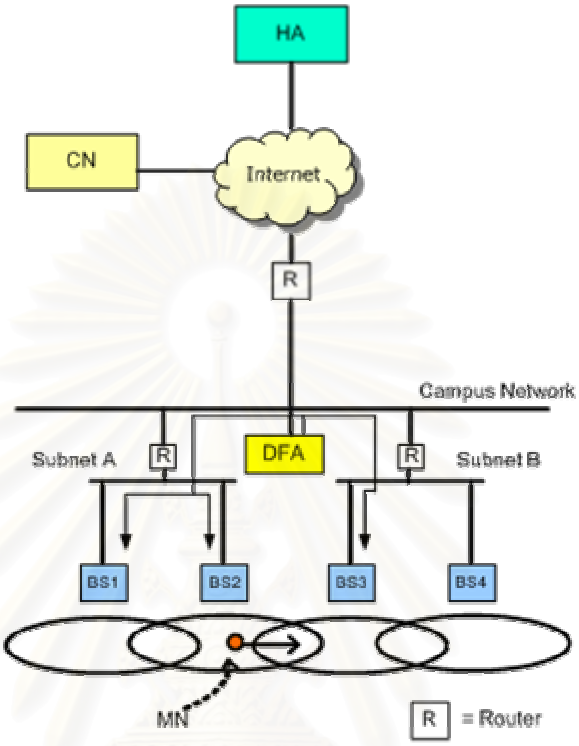
รูปที่ 3.5 การลงทะเบียนภายในตัวแทนโครงข่ายภายนอกแบบเกตเวย์ ของการลงทะเบียนท้องถิ่นโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

อย่างไรก็ตาม บางเอกสารที่ได้ศึกษาได้รายงานว่าเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟไม่ได้ถูกแก้ไขให้ดีขึ้นจากโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่อย่างเห็นได้ชัด เพราะว่ายังเป็นการลงทะเบียนในชั้นโครงข่าย (Network Layer) อยู่ ซึ่งใช้เวลาในการรอช่วงประกาศคาบของข่าวสารประกาศจากตัวแทนที่นาน ซึ่งในภายหลัง IETF ได้นำเสนอการแฮนด์ออฟที่ใช้เวลาแฝงต่ำ ที่จะกล่าวต่อไปในภายหลังในบทนี้ที่ลดเวลาในการแฮนด์ออฟได้

3.1.3 แบบแผนแฮนด์ออฟอย่างรวดเร็วในโครงข่ายไร้สาย (A Fast Handoff Scheme for Wireless Networks) [14]

C. L. Tan, S. Pink และ K. M. Lye [14] ได้นำเสนอการนำตัวแทนโครงข่ายภายนอกแบบโดเมน (Domain Foreign Agent: DFA) มาควบคุมการเคลื่อนที่ภายในโดเมน ตามหลักการลงทะเบียนแบบท้องถิ่น ร่วมกับการส่งแบบมัลติแคสต์ ซึ่งไม่ส่งทราฟฟิก Location Update ตลอดเวลา เป็นการ

ขจัดปัญหาการส่งทราฟฟิก Location Update ข้ามโครงข่ายพื้นที่กว้าง เพราะ DFA รับภาระการรับการลงทะเบียนแทนตัวแทนบ้านในช่วงที่โนดเคลื่อนที่วิ่งอยู่ภายในโดเมนนี้



รูปที่ 3.6 การจัดการสภาพเคลื่อนที่แบบลำดับชั้นโดยใช้ DFA และใช้การส่งมัลติแคสต์ในขณะที่ส่งแพ็กเกตจาก DFA ไปยังสถานีฐานข้างเคียง

รูปที่ 3.6 เมื่อ MN ได้เข้ามาในโครงข่ายลำดับชั้นนี้ MN จะได้รับข่าวสาร Agent Advertisement Messages จาก DFA ซึ่งมีข้อมูลที่อยู่ไอพีของ DFA ที่ประกาศแบบกระจายสัญญาณ (Broadcast) เป็นระยะๆ (periodical) เมื่อ MN ได้รับสัญญาณชิกแนลลิง และตัดสินใจที่จะติดต่อกับโครงข่ายมีสายนี้ MN จะลงทะเบียน (registration) ต่อ DFA และส่งที่อยู่ COA ของ DFA ไปยัง HA เมื่อ MN เคลื่อนที่จากเซลล์เดิมไปเซลล์ข้างเคียง ซึ่งทำให้ต้องเปลี่ยนเซลล์ที่ให้บริการ (แต่ยังคงอยู่ในความรับผิดชอบของ DFAเดียวกัน) จึงไม่มีการส่ง Location Update ไปยัง HA และเมื่อมีการเคลื่อนที่ข้ามโครงข่ายหลัก (Campus Network) แพ็กเกตทุกแพ็กเกตที่ต้องการส่งไปให้ MN จะถูกผนึกและส่งผ่านอุโมงค์รับส่งข้อมูลตามหลักการไอพีเคลื่อนที่เดิม ซึ่งการเคลื่อนที่ข้ามโครงข่ายหลักนี้มีไม่บ่อยครั้งนัก ผลที่ได้รับจึงยังเป็นที่ยอมรับ

สำหรับการจัดหาเส้นทางที่เหมาะที่สุดนั้น ทำได้โดยมีการแจ้งที่อยู่ COA จาก DFA ซึ่งสามารถส่งได้โดยตรงจาก CN ไปยัง DFA โดยไม่ต้องผ่าน HA [1], [2]

การแฮนด์ออฟด้วยการส่งแบบมัลติแคสต์ [14]

เมื่อ MN เคลื่อนที่อยู่ในโครงข่ายหลักของ DFA และลงทะเบียนกับ DFA แล้ว DFA จะมอบค่าที่อยู่มัลติแคสต์ที่ไม่ซ้ำกับที่อยู่อื่นในโครงข่ายหลักนี้ MN จะแจ้งสถานีฐานที่ให้บริการ MN อยู่เพื่อให้สถานีฐานนี้ทำการลงชื่อเป็นสมาชิกในที่อยู่กลุ่มมัลติแคสต์นี้ด้วย เมื่อมีข้อมูลส่งมาให้ DFA แล้ว DFA จะส่งต่อแพ็กเกตที่มีปลายทางเป็น MN ด้วยการใช้ที่อยู่มัลติแคสต์ เมื่อสถานีฐานที่ให้บริการแก่ MN ได้ลงชื่อแล้ว จะแจ้งไปยังสถานีฐานตัวอื่นที่อยู่รอบข้างให้ลงชื่ออยู่ในกลุ่มมัลติแคสต์กลุ่มเดียวกันนี้ด้วย

ขณะที่มีเพียงสถานีฐานที่ให้บริการแก่ MN ที่สามารถส่งต่อแพ็กเกตแบบยูนิแคสต์ (Unicast) ให้แก่ MN ได้เพียงโนดเดียว สถานีฐานอื่นจะพักแพ็กเกตไว้เพื่อที่จะสามารถส่งข้อมูลที่ถูกพักไว้แก่ MN เมื่อ MN ได้แฮนด์ออฟเข้ามา

ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เส้นลูกศรที่มาจาก DFA ไปยังสถานีฐานต่างๆแสดงถึงเส้นทางในการส่งมัลติแคสต์แบบต่อเนื่อง เมื่อ MN อยู่ในพื้นที่ครอบคลุมของสถานีฐาน BS2 และเคลื่อนที่ไปทางขวามือไปยัง BS3 ซึ่ง BS1 และ BS3 ได้เก็บแพ็กเกตรอไว้แล้ว เมื่อ MN เคลื่อนที่ไปยัง BS3 จึงไม่จำเป็นที่จะต้องส่งแพ็กเกตข้ามจากสถานีฐานเก่า (BS2) ไปยังสถานีฐานใหม่ (BS3) ดังนั้นการแฮนด์ออฟจึงรวดเร็วและสูญเสียแพ็กเกตน้อย

ซึ่งต่างจากวิธีที่โฮสต์ดูแลต้องคอยดูแลติดตาม MN เสมอ แต่ในวิธีนี้ DFA เพียงต้องการจัดสรรที่อยู่มัลติแคสต์ให้แก่ MN ในระหว่างการลงทะเบียนเท่านั้น และที่อยู่มัลติแคสต์ที่ส่งให้แก่ MN จะไม่เปลี่ยนไปในขณะที่ MN ยังคงอยู่ในโครงข่ายหลักนี้ ซึ่งการส่งต่อเนื่องแบบมัลติแคสต์จะถูกจำกัดอยู่ในโครงข่ายหลักนี้เท่านั้น จึงไม่มีการส่งที่ขัดกับการส่งในระบบอื่นที่ใช้มัลติแคสต์เหมือนกัน (เป็นการป้องกันการใช้ที่อยู่มัลติแคสต์ซ้ำกัน)

การแลกเปลี่ยนข่าวสารในการแฮนด์ออฟที่ส่งแบบมัลติแคสต์ [14]

ดังแสดงในรูปที่ 3.6 เมื่อ MN อยู่ในพื้นที่ครอบคลุมของ BS2 และ BS1, BS3 จะพักข้อมูลแพ็กเกตสำหรับ MN สมมุติว่า MN เคลื่อนที่ไปทางขวา และได้ยินสัญญาณบีคอน (สัญญาณชิกแนลลิง) ที่ประกาศจาก BS3 และตัดสินใจแฮนด์ออฟไปยัง BS3 พิจารณาการแลกเปลี่ยนข่าวสารได้ดังนี้

1. หลังจากที่ MN ที่อยู่ในพื้นที่ครอบคลุมของ BS2 ได้ยินบีคอนจาก BS3 แล้ว MN ตัดสินใจสวิตช์จาก BS2 ไป BS3 โดยพิจาณาจากความแรงของสัญญาณและคุณภาพของการเชื่อมต่อ

2. MN ส่งข่าวสาร greet message แก่ BS3 เพื่อแสดงถึงความตั้งใจที่จะแฮนด์ออฟไปยัง BS3 ซึ่งข่าวสาร greet message นี้ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ ที่อยู่มัลติแคสต์ที่ MN ได้รับ ที่อยู่ของสถานีฐานเก่า (BS2) และหมายเลขแสดงตัวของแพ็กเกต (IP ID) ที่ส่งเป็นลำดับสุดท้ายที่ MN ได้รับจาก BS2

3. BS3 ส่ง greet acknowledge message กลับมายัง MN เพื่อยืนยันการแฮนด์ออฟ, หลังการแฮนด์ออฟ BS3 ส่ง notify message ไปยัง BS2 ในขณะเดียวกัน BS3 เริ่มส่งแพ็กเกตจากที่พักข้อมูลใน BS3 ไปยัง MN โดยเริ่มจากแพ็กเกตแรกที่มี IP ID เดียวกันกับที่ระบุไว้ใน greet message ที่ได้รับจาก MN การใช้ IP ID ก็เพื่อลดความผิดพลาด หรือ การซ้ำกันของแพ็กเกตที่ส่งต่อไปให้สถานีฐานใหม่หลังการแฮนด์ออฟ

4. BS3 ส่งข่าวสารควบคุมแบบมัลติแคสต์แก่สถานีฐานข้างเคียง (BS2, BS4) ให้ลงชื่ออยู่ในกลุ่มมัลติแคสต์กลุ่มเดียวกัน หลังจากที่ได้รับข้อความนี้ BS4 จะลงชื่อเป็นสมาชิกในกลุ่มมัลติแคสต์กลุ่มนี้ด้วย และเริ่มพักข้อมูล ส่วน BS2 ไม่ต้องลงชื่อ เพราะได้เคยลงชื่อในกลุ่มนี้ไปแล้ว

5. หลังจากที่ BS2 ได้รับ notify message จาก BS3 แล้ว BS2 จะส่ง notify acknowledge message กลับไปยัง BS3 และหยุดการส่งแพ็กเกตไปให้ MN ใน BS2

6. BS2 ส่งข่าวสารควบคุมแบบมัลติแคสต์ ไปแจ้งให้แก่สมาชิกในกลุ่มมัลติแคสต์ (BS1, BS3) ที่อยู่ในเซลล์ข้างเคียงซึ่ง MN ได้ออกจากเซลล์นี้เหล่านี้ไปแล้ว เพื่อทำการถอนชื่อออกจากกลุ่มเซลล์ที่ MN เคลื่อนที่ออกห่างไป

แต่วิธีการแฮนด์ออฟด้วยการส่งแบบมัลติแคสต์นี้ ยังเป็นการสิ้นเปลืองการพักข้อมูลเนื่องจากต้องทำการพักข้อมูลไปยังเซลล์รอบๆ ที่โนดเคลื่อนที่อยู่ ซึ่งจะมีเพียง 1-2 เซลล์ที่โนดเคลื่อนที่จะเคลื่อนที่เข้าหา จึงเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรอย่างมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีโนดเคลื่อนที่หลายโนดที่เคลื่อนที่ในระบบนี้

3.1.4 การใช้เพจจิงในโพรโทรคอลไอพีเคลื่อนที่ (Paging Extensions for Mobile IP: P-MIP) [5]

เพจจิงถูกใช้อย่างแพร่หลายในระบบเซลลูลาร์ ในการค้นหาตำแหน่งโนดเคลื่อนที่ที่ไม่ได้ใช้งาน (Idle) ก่อนติดต่อสายเรียกเข้า พื้นที่เพจจิงถูกจัดสรรเป็นกลุ่มของสถานีฐาน ซึ่งโดยทั่วไปจะอยู่ภายใต้การควบคุมของศูนย์สวิตชิงเคลื่อนที่ (mobile switching center: MSC) เมื่อสายเรียกเข้ามีการเรียกเข้าหาโนดเคลื่อนที่ MSC จะส่งข่าวสารเพจจิงแก่สถานีฐานทุกสถานีในพื้นที่เพจจิงเดียวกัน สถานีฐานจะกระจายข่าวสารเพจจิงทั่วเซลล์ของสถานีฐาน ระบบจะกำหนดสถานที่ที่ถูกต้องของโนดเคลื่อนที่ได้หลังจากรับข่าวสารที่ตอบสนองต่อเพจจิงจากอุปกรณ์ที่ถูกเพจ ข้อมูลตำแหน่งที่ถูกต้องจึงถูกใช้ในการติดตั้งการเรียกเข้านี้

โครงข่ายเซลลูลาร์เป็นการสื่อสารแบบ connection-oriented และใช้กลไกเพจจิงในการรองรับสายเรียกเข้า ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่นี้เป็นการทำงานในรูปแบบ connectionless ที่ ดาตาแกรมถูกดูแลอย่างอิสระจากส่วนอื่น จึงเป็นหัวข้อที่เปิดกว้างต่อการทำเพจจิงในโครงข่ายไอพีในประเด็นการใช้เพจจิงช่วยโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ให้มีการเปลี่ยนสถานะของโนดเคลื่อนที่และหลักการของ data session

สถานะของโนดเคลื่อนที่ประกอบด้วยสองสถานะ คือ สถานะทำงาน (Active) ซึ่งเหมือนกับสถานะทำงานทั่วไปของโนดเคลื่อนที่ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มาตรฐาน กับสถานะไม่ทำงาน (Idle) ที่ไม่มีข้อมูลส่งต่อโนดเคลื่อนที่ ซึ่งในสถานะไม่ทำงาน โนดเคลื่อนที่จะไม่ลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านในขณะที่อยู่ในพื้นที่เพจจิงเดียวกัน โดยโนดเคลื่อนที่จะเปลี่ยนสถานะจากสถานะทำงานเป็นสถานะไม่ทำงาน เมื่อโนดเคลื่อนที่ไม่ได้รับข้อมูลเกินช่วงเวลาหนึ่ง ตัวนับเวลาในช่วงเวลานี้จะถูกเรียกว่าตัวนับเวลาสถานะช่วงทำงาน (active state timer) แต่ละครั้งที่โนดเคลื่อนที่ได้รับหรือส่งข้อมูล ตัวนับเวลาจะนับเวลาใหม่ เมื่อไรที่โนดไม่ทำงานได้เริ่มส่งข้อมูลหรือรับข้อมูล โนดเคลื่อนที่จะกลับเข้าสู่สถานะทำงานแล้วตัวนับเวลาจะเริ่มนับอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งช่วงเวลาที่จะเปลี่ยนจากสถานะจากสถานะทำงานเป็นสถานะไม่ทำงานควรจะนานเท่าใดขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมของระบบสื่อสาร ถ้าแพ็กเกตในขบวนข้อมูลที่ส่งต่อโนดเคลื่อนที่อยู่ชิดกันมากพอ สถานะของโนดเคลื่อนที่จะเป็นสถานะทำงานในช่วงการส่งขบวนข้อมูล ซึ่งในหลักการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่นั้นเรียกว่า data session โดยทั่วไป การใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่จำเป็นต้องเพจหาโนดเคลื่อนที่จากแพ็กเกตแรกของขบวน data session

ในปัจจุบัน จำนวนของโพรโทคอลการเคลื่อนที่ของ Micro-mobility [4] เช่น Cellular IP, Hawaii เอา IP mobility และ การลงทะเบียนท้องถิ่น ซึ่งสนับสนุนสมรรถนะการแฮนด์ออฟที่ดีขึ้นในสภาวะที่โนดเคลื่อนที่มีการแฮนด์ออฟจำนวนบ่อยครั้ง แม้ว่าการเคลื่อนที่แบบ Micro-mobility จะลดปริมาณซิกแนลลิงการลงทะเบียน และแก้ไขสมรรถนะการทำงานโดยลดการเวลาการแฮนด์ออฟ และการสูญเสียของแพ็กเกตในช่วงการแฮนด์ออฟ แต่วิธีการแฮนด์ออฟอย่างรวดเร็วเช่นนี้ไม่ได้แก้ไขการบริโภคกำลังของโนดเคลื่อนที่ หรือแบนด์วิดท์ที่ถูกใช้ในจุดเข้าถึงของโครงข่าย

ในบทความอื่น ได้มีการเสนอการใช้เพจจิงที่ปรับจำนวนสมาชิกตัวแทนโครงข่ายภายนอกในพื้นที่เพจจิงแบบเฉพาะ [5] P-MIP เป็นการใช้โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ที่ใช้เพจจิงแบบปรับตัวได้ ที่ว่าด้วยการปรับจำนวนสมาชิกเซลล์ในหนึ่งพื้นที่เพจจิงที่เหมาะสมที่สุด ที่สามารถปรับตัวได้ในโนดเคลื่อนที่แต่ละโนดเคลื่อนที่ โนดเคลื่อนที่จะคำนวณหาจำนวนตัวแทนโครงข่ายภายนอกในพื้นที่เพจจิงหนึ่งพื้นที่ที่เหมาะสมที่สุดตลอดเวลา จึงมีผลกระทบต่อการบริโภคกำลังของโนดเคลื่อนที่ และยังเพิ่มค่าพารามิเตอร์บางค่าในกระบวนการหาค่าจำนวนสมาชิกตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่เหมาะสมที่สุดซึ่งยากที่โนดเคลื่อนที่จะสามารถกำหนดได้ แบบแผนเพจจิงปรับตัวได้ยัง

จำเป็นต้องปรับเปลี่ยนโพรโทคอลซึ่งไม่สนับสนุนการทำงานร่วมกันของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มาตรฐาน ต่างจากใน P-MIP ที่กำหนดส่วนการใช้เพจจิงเพียงเล็กน้อยในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มาตรฐาน

หลักการการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่โดยทั่วไป

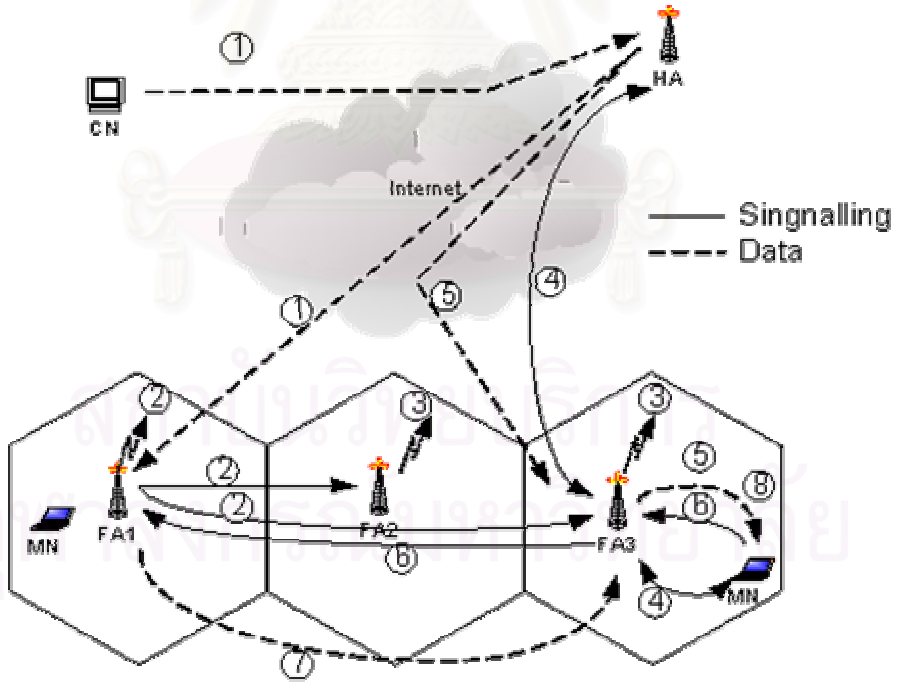
ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เราใช้เพจจิงในข่าวสารประกาศตัวแทนให้มีส่วนใช้เพจจิง โดยการที่ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตั้งค่าบิต P ในข่าวสารประกาศ และโนดเคลื่อนที่เมื่อได้รับข่าวสารประกาศจะค้นหาบิต P นี้เพื่อรับรู้การทำงานเพจจิง และในข่าวสารการลงทะเบียนก็ใช้บิต P เช่นกัน

ในโนดเคลื่อนที่ที่อยู่ในสถานะทำงานจะทำงานตามปกติในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ธรรมดา เมื่อโนดเคลื่อนที่เปลี่ยนจุดติดต่อก็จะลงทะเบียน เมื่อโนดเคลื่อนที่ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงานวิ่งเข้าพื้นที่เพจจิงใหม่ก็จะลงทะเบียน แต่จะไม่ลงทะเบียนถ้าโนดเคลื่อนที่วิ่งอยู่ภายในพื้นที่เพจจิงเดิม

เมื่อมีแพ็กเกตส่งไปยังโนดเคลื่อนที่ ตัวแทนบ้านจะส่งต่อไปยังตัวแทนโครงข่ายที่ตัวแทนบ้านนั้นได้ลงทะเบียนไว้จากโนดเคลื่อนที่ เราเรียกว่า ตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียน (registered Foreign Agent: registered FA) ตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนจะตรวจสอบว่าโนดเคลื่อนที่รองรับการทำเพจจิงหรือไม่ ถ้าโนดเคลื่อนที่นั้นรองรับ ตัวแทนโครงข่ายภายนอกจะตรวจสอบสถานการณ์ทำงานของโนดว่าอยู่ในสถานะไหน ถ้าอยู่ในสถานะทำงาน ตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนจะถอดผนึกข้อมูล (decapsulate) แล้วส่งต่อให้แก่โนดเคลื่อนที่ตามหลักโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ทั่วไป แต่ถ้าโนดเคลื่อนที่อยู่ในสถานะไม่ทำงาน ตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนจะพักข้อมูลและส่งข่าวสารร้องขอเพจจิงให้แก่สมาชิกทั้งหมดในพื้นที่เพจจิงเดียวกันพร้อมทั้งกระจายข่าวสารร้องขอเพจจิงในโครงข่ายของตัวแทนที่ลงทะเบียนเพื่อค้นหาโนดเคลื่อนที่

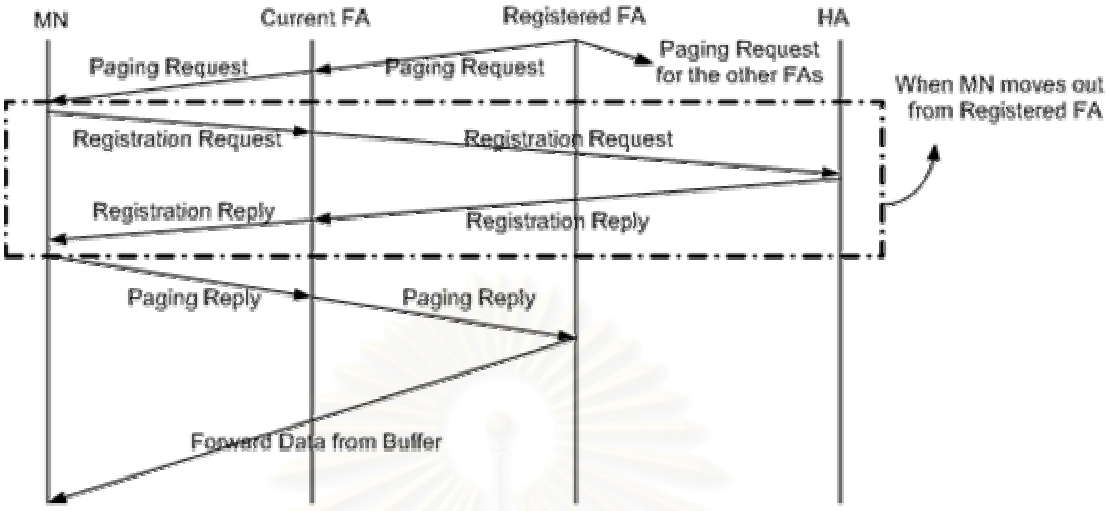
เมื่อโนดเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารร้องขอเพจจิง โนดเคลื่อนที่จะลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านผ่านตัวแทนโครงข่ายภายนอกเพจจิงที่โนดเคลื่อนที่อาศัยอยู่ หลังจากโนดเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน โนดเคลื่อนที่จะส่งข่าวสารตอบรับเพจจิงกลับไปตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ได้ลงทะเบียนไว้ในครั้งก่อนนี้ ผ่านทางตัวแทนโครงข่ายภายนอกปัจจุบัน เพื่อแจ้งถึงตัวแทนโครงข่ายภายนอกปัจจุบันที่โนดเคลื่อนที่อาศัยอยู่ในตอนนั้น ในกรณีที่ตัวแทนโครงข่ายภายนอกปัจจุบันเป็นตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ได้ลงทะเบียนไว้ครั้งก่อน โนดเคลื่อนที่ไม่จำเป็นต้องลงทะเบียนซ้ำ (เว้นแต่ต้องการยืนยันตำแหน่ง) โนดเคลื่อนที่สามารถร้องขอข้อมูลที่พักไว้ได้ทันที

รูปที่ 3.7 แสดงถึงแบบแผนพื้นฐานการใช้เพจจิง เมื่อ FA1, FA2 และ FA3 อยู่ในพื้นที่เพจจิงเดียวกัน โนดเคลื่อนที่ที่ไม่ทำงาน (Idle MN) วิ่งผ่านจากเซลล์ FA1 ไปยัง FA3 โดยปราศจากการลงทะเบียน ที่อยู่ที่ได้รับการดูแลที่ตัวแทนบ้านรับทราบเป็น FA1 ในรูปนี้ โนดที่ต้องการสนทนา (CN) ส่งข้อมูล (1) ไปยังโนดเคลื่อนที่ MN ตัวแทนบ้านผนึกข้อมูล (1) ไปยัง FA1 หลังจาก FA1 ได้รับข้อมูลจะตรวจสอบบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวกับโนดเคลื่อนที่ว่ามีข้อมูลนี้หรือไม่ ถ้ามี จะตรวจสอบต่อไปว่า โนดเคลื่อนที่นี้รองรับการทำเพจจิงหรือไม่ และเมื่อรองรับจะตรวจสอบต่อว่าในขณะนั้นโนดเคลื่อนที่นั้นอยู่ในสถานะการทำงานแบบใด ในรูปที่ 3.7 เรากำหนดว่าโนดเคลื่อนที่อยู่ในสถานะไม่ทำงาน FA1 จะเริ่มพักข้อมูลพร้อมทั้งส่งข่าวสารการร้องขอเพจจิง (2) รวมทั้งแพร่สัญญาณ (broadcast) ในเซลล์ตัวมันเองและส่งแบบยูนิแคสต์ (unicast) หรือมัลติแคสต์ (multicast) ไปยัง FA2 และ FA3 แล้ว เพื่อแพร่สัญญาณต่อไปในแต่ละเซลล์ (3) โนดเคลื่อนที่เมื่อได้รับข่าวสารร้องขอเพจจิง ซึ่งข้างในข่าวสารนี้จะมีที่อยู่บ้านของโนดเคลื่อนที่ในเซลล์ FA3 จะลงทะเบียนที่อยู่ปัจจุบันแก่ตัวแทนบ้าน (4) และตัวแทนบ้านจะเริ่มส่งข้อมูลมายังเส้นทางใหม่ตามที่อยู่ใหม่ (5) นั่นคือ FA3 เมื่อกระบวนการลงทะเบียนเสร็จสิ้น ในส่วนเพิ่มเติมจาก (4) โนดเคลื่อนที่จะส่งข่าวสารตอบรับเพจจิง (6) ไปยัง FA1 ผ่าน FA3 แล้ว FA1 จะส่งต่อข้อมูลที่อยู่ใน buffer ไปยัง FA3 (7) แล้วลบบันทึกข้อมูลของโนดเคลื่อนที่ออก หลังจากนี้ FA3 จะส่งต่อข้อมูลไปยังโนดเคลื่อนที่ (8)



รูปที่ 3.7 แบบแผนการเพจจิงใน P-MIP ขณะเปลี่ยนสถานะ

ซึ่งจะเห็นจากรูปที่ 3.8 ที่เป็นไดอะแกรมของการเพจจิงใน P-MIP ได้ว่า ต้องลงทะเบียนก่อนการดึงข้อมูลที่พักอยู่ในที่พักของตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวเก่า



รูปที่ 3.8 ไดอะแกรมสัญญาณซิกแนลลิงเพจจิงในช่วงเริ่มมีข้อมูลส่งถึงโนดเคลื่อนที่

ใน P-MIP นั้น พื้นที่เพจจิงจะถูกระบุด้วยค่าหมายเลขเอกลักษณ์เพจจิง (Unique Paging Area ID: PAID) พื้นที่เพจจิงสามารถถูกจัดโครงสร้างตามเงื่อนไขต่างๆ [15] เช่น สภาพการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่ รูปแบบทราฟฟิกของข้อมูล ความหนาแน่นของโนดเคลื่อนที่ เป็นต้น เพื่อที่โนดเคลื่อนที่ทั่วไปจะได้อยู่ในพื้นที่เพจจิงเดียวกัน พื้นที่เพจจิงสามารถถูกควบคุมด้วยผู้ให้บริการได้เอง หรือมีเครื่องเซอร์เวอร์เพจจิงควบคุมโดยอัตโนมัติได้ ซึ่งมีข้อดีที่เราสามารถควบคุมได้เองที่จุดเดียวนั่นคือที่เซอร์เวอร์เพจจิง โครงสร้างการจัดการเพจจิงเราแบ่งเป็นสองชนิด คือ พื้นที่เพจจิงแบบทับซ้อนกัน (overlapping) และพื้นที่เพจจิงแบบไม่ทับซ้อนกัน (non-overlapping) โดยแบบทับซ้อนกันนั่นตัวแทนโครงข่ายภายนอกแต่ละตัวจะอยู่ในพื้นที่เพจจิงหลายพื้นที่ในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะมีวิธีการที่ซับซ้อน และโนดเคลื่อนที่ต้องรองรับการทำงานแบบทับซ้อนนี้ด้วย ในหัวข้อนี้เน้นการใช้พื้นที่เพจจิงแบบไม่ทับซ้อนกัน นั่นคือตัวแทนโครงข่ายภายนอกแต่ละตัวจะขึ้นกับพื้นที่เพจจิงเดียวเท่านั้น ซึ่ง PAID จะสั้นกว่าทำให้กินกำลังส่งน้อยกว่า และกลไกการทำงานจะไม่ยุ่งยาก

ตารางการเพจจิงของพื้นที่ไม่ทับซ้อนถูกดูแลในตัวแทนโครงข่ายภายนอกแต่ละตัวและสามารถดูแลด้วยเซอร์เวอร์เพจจิงหรือ ผู้ดูแลระบบ ข่าวสารการประกาศตัวแทนจะถูกเสริมด้วยส่วนเพิ่มเติม PAID ซึ่งจะถูกประกาศเป็นคาบ เพื่อโนดเคลื่อนที่จะได้รับข้อมูลตำแหน่ง PAID เป็นระยะ

อัลกอริทึมในการตรวจสอบว่าโนดเคลื่อนที่ได้วิ่งข้ามโครงข่ายหรือไม่ใน P-MIP เป็นเช่นเดียวกับของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ปกติ นั่นคือ อย่างแรก การที่โนดเคลื่อนที่ตรวจพบการ

เคลื่อนที่โดยใช้ข่าวสารประกาศตัวแทนและ lifetime ของข่าวสารประกาศ เมื่อโนดเคลื่อนที่ได้รับจะตรวจดู lifetime ถ้าหมดอายุแล้วโนดเคลื่อนที่ยังไม่ได้รับข่าวสารประกาศ โนดเคลื่อนที่จะเข้าใจว่าได้เข้าสู่โครงข่ายใหม่แล้ว อย่างที่สองคือ โนดเคลื่อนที่ตรวจสอบเปรียบเทียบ network-prefix ตัวใหม่ที่ได้รับจากข่าวสารประกาศตัวแทนกับที่อยู่ที่ได้รับการดูแลในปัจจุบัน ถ้าต่างกัน โนดเคลื่อนที่จะเข้าใจว่ามันได้วิ่งเข้าสู่โครงข่ายใหม่

ถ้าโนดเคลื่อนที่อยู่ในสถานะทำงาน (active mode) เมื่อตรวจพบว่าได้เคลื่อนที่ข้ามเซลล์ กระบวนการแฮนด์ออฟจะเริ่มกระบวนการลงทะเบียนตามปกติ ทำให้เป็นการปรับสถานที่ของโนดเคลื่อนที่ตลอดเวลาแก่ตัวแทนบ้านและตัวแทนโครงข่ายภายนอก ในทางกลับกัน ถ้าโนดเคลื่อนที่อยู่ในสถานะไม่ทำงาน (idle state) เมื่อเป็นการเคลื่อนที่ข้ามเซลล์แต่อยู่ในพื้นที่เพจจิงเดียวกัน จะไม่ลงทะเบียนช่วงไม่มีข้อมูล ในแบบแผนพื้นที่เพจจิงที่ไม่ทับซ้อน ถ้าข่าวสารการประกาศตัวแทนที่ได้รับมีค่า PAID ต่างไป โนดเคลื่อนที่จะลงทะเบียนใหม่เพื่อแจ้งกับตัวแทนบ้านว่าขณะนี้โนดเคลื่อนที่ได้เข้าสู่พื้นที่เพจจิงใหม่

P-MIP สามารถรองรับหลักการส่งข่าวสารร้องขอเพจจิงที่เหมาะสมได้ด้วยการที่ตัวแทนโครงข่ายภายนอกรวมบันทึกรายชื่อที่อยู่บ้านของโนดเคลื่อนที่ที่ต้องการเพจจิงพร้อมกันนั้นในข่าวสารเพียงข่าวสารเดียว การทำเช่นนี้สามารถลด overhead ของเพจจิงให้เหมาะสมได้ เมื่อโนดเคลื่อนที่ในระบบมีจำนวนมากขึ้น

เมื่อตัวแทนโครงข่ายภายนอกได้รับข่าวสารร้องขอเพจจิงจาก registered FA ตัวแทนโครงข่ายภายนอกจะเริ่มตรวจสอบการยืนยันคู่สื่อสาร เมื่อตัวแทนโครงข่ายภายนอกใช้หลักการสื่อสารที่รักษาความปลอดภัยขณะเคลื่อนที่ (mobility security association) หลังจากขั้นตอนนี้ตัวแทนโครงข่ายภายนอกจะกระจายข่าวสารร้องขอเพจจิงในตัวแทนโครงข่ายตัวเอง ในข่าวสารร้องขอเพจจิงนี้มีที่อยู่บ้านของโนดเคลื่อนที่ที่ต้องการตามหา เมื่อโนดเคลื่อนที่พบว่าตัวโนดเคลื่อนที่ได้ถูกค้นหาซึ่งโนดเคลื่อนที่จะตรวจสอบจากข้อมูลส่วนนี้ โนดเคลื่อนที่จึงมองเป็นตัวกระตุ้นให้เกิดกระบวนการลงทะเบียนตามลำดับ จากนั้นโนดเคลื่อนที่จะส่งข่าวสารตอบรับเพจจิงโดยข้างในข่าวสารตอบรับเพจจิงนั้นจะมีที่อยู่ที่ได้รับการดูแลปัจจุบันของตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่โนดเคลื่อนที่อาศัยอยู่

หลังจากที่ลงทะเบียนทุกครั้ง (ทุกครั้งที่โนดเคลื่อนที่ลงทะเบียนจะมีการตั้งค่าบิต Pด้วยเพื่อให้ตัวแทนโครงข่ายภายนอกรับรู้ว่าโนดเคลื่อนที่รองรับการทำเพจจิง) เมื่อได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน ตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่โนดเคลื่อนที่อาศัยอยู่ จะเปลี่ยนสถานะที่รับรู้ของโนดเคลื่อนที่ที่รับผิดชอบให้กลายเป็นสถานะทำงาน และเมื่อโนดเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนนี้ก็ปรับเปลี่ยนสถานะให้เป็นสถานะทำงานด้วย ในกรณีที่ข่าวสารตอบรับลงทะเบียนเกิดสูญหายโดยที่โนดเคลื่อนที่ไม่ได้รับ จึงไม่ได้เปลี่ยนสถานะให้เป็นสถานะทำงาน แต่

มีข้อมูลส่งมาถึง โนดเคลื่อนที่ก็จะตรวจสอบว่าข้อมูลที่มาถึงนี้มาจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่มันได้ขอการลงทะเบียนผ่านตัวนี้หรือไม่ ถ้าใช่ โนดเคลื่อนที่ก็จะเปลี่ยนเข้าสู่สถานะทำงานตามลำดับ

ตัวแทนโครงข่ายภายนอกเพจจิงจะส่งข่าวสารร้องขอเพจจิงซ้ำ หลังจากไม่ได้รับการตอบรับเพจจิงในช่วงเวลาที่กำหนดของการทำเพจจิง (paging period) ซึ่งจำนวนครั้งที่ส่งซ้ำขึ้นอยู่กับการตั้งค่าการทำงานของระบบนั้นๆ

เนื่องจาก P-MIP ลงทะเบียนเพื่อเปลี่ยนเส้นทางของข้อมูลก่อนโนดเคลื่อนที่ส่งข่าวสารตอบรับเพจจิง ดังนั้น หากเกิดการสูญหายของข่าวสารตอบรับเพจจิง แพ็กเกตที่สูญหายจะสูญหายเฉพาะแพ็กเกตที่พักข้อมูลไว้ ในขณะเดียวกันเมื่อโนดเคลื่อนที่ส่งข่าวสารตอบรับเพจจิงเพื่อขอรับข้อมูลที่พักไว้ ได้เกิดสูญหายแล้วรอเกินเวลาค่าหนึ่งก็จะทำการส่งข่าวสารตอบรับเพจจิงซ้ำ ซึ่งจำนวนครั้งที่ส่งซ้ำขึ้นอยู่สภาพแวดล้อมของระบบนั้นๆ

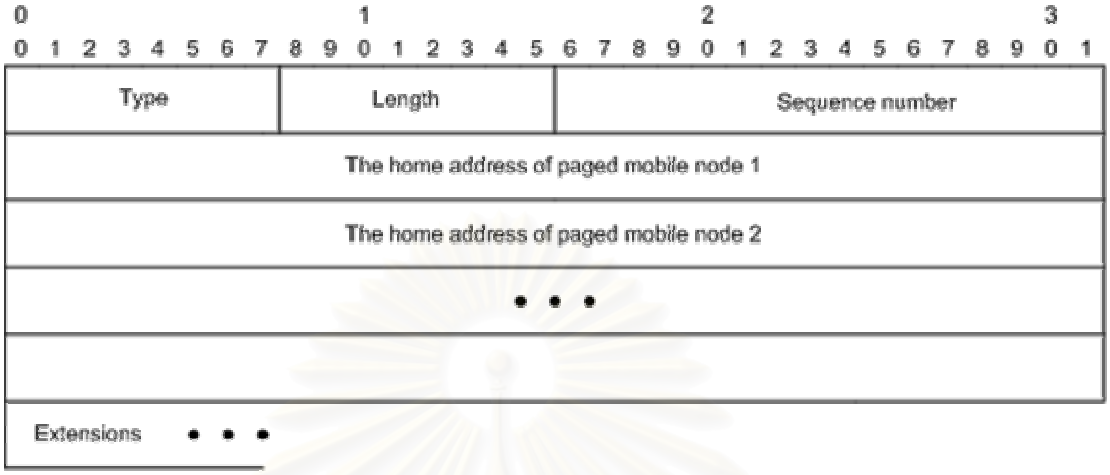
รูปแบบข่าวสารที่ใช้ในการเพจจิงของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

ส่วนเสริมหมายเลข PAI (PAI extension)

รูปที่ 3.9 PAI extensionในข่าวสารประกาศตัวแทนที่เพิ่มเติม

ส่วน PAI extension ที่ใช้ในแบบแผนพื้นที่เพจจิงแบบไม่ทับซ้อน (non-overlapping) เป็นส่วนเพิ่มเติมในข่าวสารการประกาศตัวแทน และจะถูกกระจายในโครงข่ายเพื่อโนดเคลื่อนที่ใช้ตรวจสอบว่าโนดเคลื่อนที่อยู่ในพื้นที่เพจจิงใด

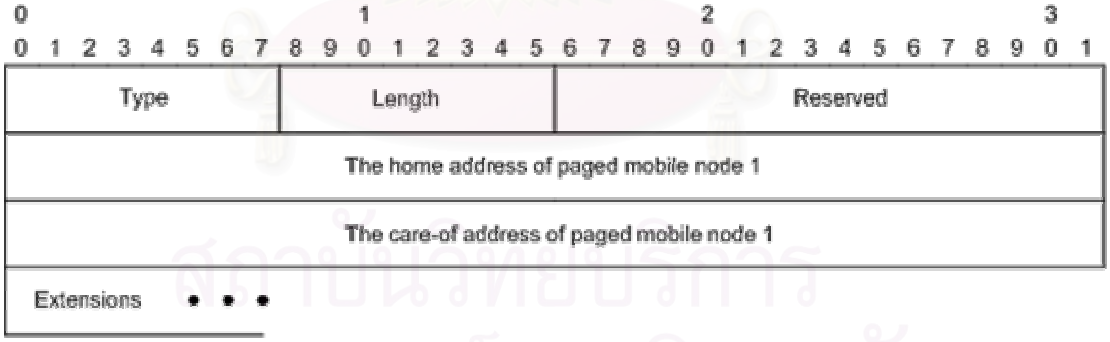
ข่าวสารการร้องขอเพจจิง (Paging Request)



รูปที่ 3.10 ข่าวสารการร้องขอเพจจิง

Length = 2+4*N ไบต์ เมื่อ N เป็นจำนวนของโนดเคลื่อนที่ที่ถูกเพจหา Length ไม่นับส่วนของ type, length และ ส่วนของ extension

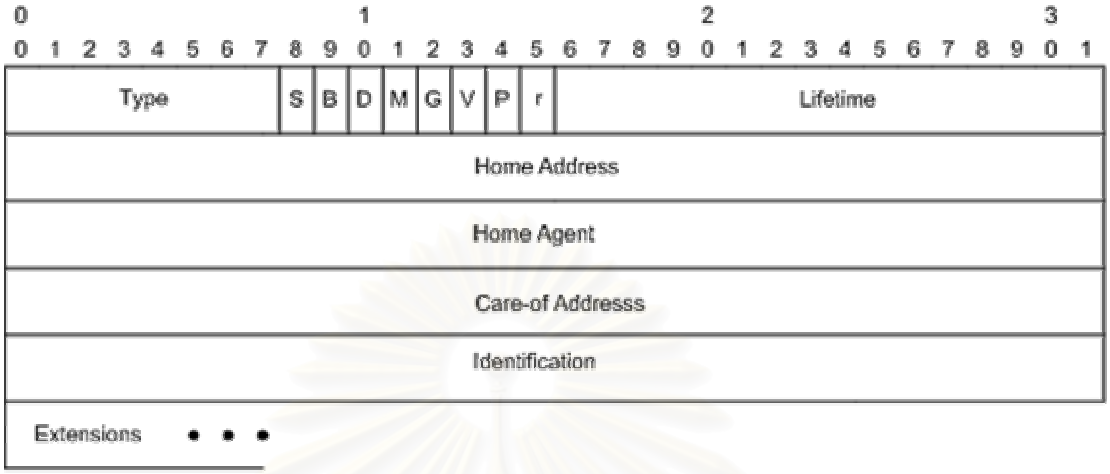
ข่าวสารการตอบรับเพจจิง (Paging Reply)



รูปที่ 3.11 ข่าวสารการตอบรับเพจจิง

Length = 2+ 8*N ไบต์ เมื่อ N เป็นจำนวนของโนดเคลื่อนที่ที่ถูกเพจหา Length ไม่นับส่วนของ type, length และ ส่วนของ extension เมื่อที่อยู่ที่ได้รับการดูแลที่ตอบรับเป็นของตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวปัจจุบันที่โนดเคลื่อนที่อยู่

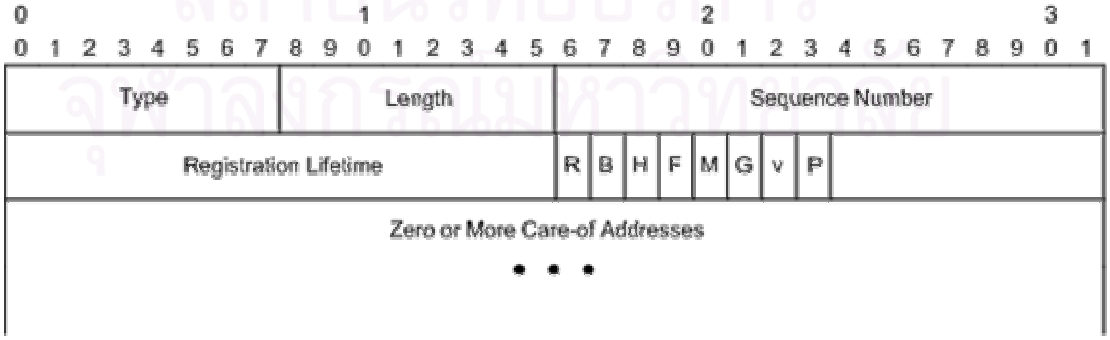
ข่าวสารการร้องขอการลงทะเบียนที่ถูกปรับเพื่อใช้เพจจิง (Registration Request)



รูปที่ 3.12 ข่าวสารการร้องขอการลงทะเบียนที่ถูกปรับเพื่อใช้เพจจิง

เราเปลี่ยน 1 บิตที่จองในข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ คือบิต P เพื่อบ่งบอกว่าโนดเคลื่อนที่รองรับการทำเพจจิงหรือไม่ ถ้าบิต P ถูกตั้งค่าเป็น 1 หมายถึงโนดเคลื่อนที่รองรับการทำเพจจิง

ส่วนเพิ่มเติมข่าวสารประกาศตัวแทนเคลื่อนที่ที่ถูกปรับเพื่อใช้เพจจิง (Mobility Agent Advertisment extension)



รูปที่ 3.13 ส่วนเพิ่มเติมข่าวสารประกาศตัวแทนเคลื่อนที่ที่ถูกปรับเพื่อใช้เพจจิง

เราเปลี่ยนหนึ่งบิตที่จองไว้ในข่าวสารประกาศตัวแทนเป็น บิต P เพื่อบ่งบอกว่าตัวแทนโครงข่ายภายนอกรองรับการทำเพจจิงหรือไม่ ถ้าบิต P ถูกตั้งค่าให้เป็น 1 หมายความว่าตัวแทนโครงข่ายภายนอกรองรับการทำเพจจิง

3.1.5 การแฮนด์ออฟที่ใช้เวลาแฝงต่ำในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่เวอร์ชัน 4 (Low Latency Handoffs in Mobile IPv4)

โดยปกติการแฮนด์ออฟในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่เป็นการแฮนด์ออฟในชั้นโครงข่ายระหว่างโครงข่ายย่อย (Sub-Network) ซึ่งยังคงใช้เวลาในการแฮนด์ออฟที่นานและมีแพ็กเก็ตสูญหายที่มากอยู่ในช่วงการเกิดลงทะเบียนเปลี่ยนเส้นทางเมื่อโนดเคลื่อนที่ได้ข้ามไปยังตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ ทำให้เกิดการพัฒนาการแฮนด์ออฟเพื่อลดปัญหานี้ จึงเกิดวิธีการแฮนด์ออฟที่ใช้เวลาแฝงต่ำในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ โดยใช้ความสามารถของชั้นเชื่อมโยงข้อมูลมาช่วยเริ่มกระบวนการแฮนด์ออฟ [10] ข้อมูลจากขั้นเชื่อมโยงข้อมูลเช่น ความแรงของสัญญาณ ที่ยอมให้โนดเคลื่อนที่ตรวจพบการติดต่อได้เร็วกว่าชั้นโครงข่าย ซึ่งชั้นเชื่อมโยงข้อมูลจะมีข้อมูลพวกตัวระบุที่อยู่ไอพีของตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่หรือตัวระบุที่อยู่ไอพีของตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวเก่า ซึ่งขึ้นกับชนิดของการกระตุ้น (trigger) ชั้นเชื่อมโยงข้อมูล

เทคนิคที่จะลดการประวิงเวลาของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่แบ่งเป็นสองประเภทได้แก่

1. วิธีที่ยอมให้โนดเคลื่อนที่สื่อสารกับตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ (nFA) ขณะที่ยังติดต่อกับตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวเก่า (oFA)
2. วิธีที่จัดส่งข้อมูลที่ต้องการส่งแก่โนดเคลื่อนที่ไปยังตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ก่อนการลงทะเบียน

ซึ่งวิธีทั้งสองวิธีนี้ก่อให้เกิดนิยามการแฮนด์ออฟที่ใช้เวลาแฝงต่ำนั่นคือ การลงทะเบียนก่อน (Pre-Registration) และการลงทะเบียนภายหลัง (Post- Registration)

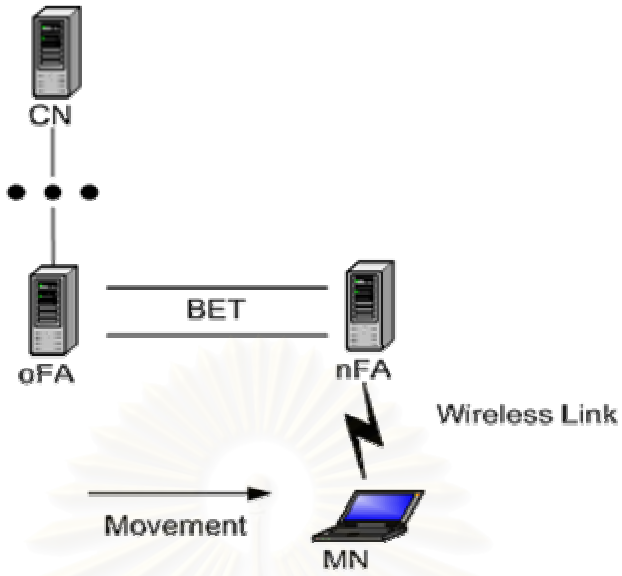
ในวิทยานิพนธ์นี้ ได้เสนอแนวคิดของการลงทะเบียนภายหลังมาประยุกต์ใช้ในการใช้เพจจิงของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เนื่องจากการลงทะเบียนภายหลังมีประสิทธิภาพมากกว่าการลงทะเบียนก่อน ตามภาคผนวก ก.1 [11] ในช่วงที่มีทับซ้อนของเซลล์เท่ากัน การลงทะเบียนภายหลังจะลดการสูญเสียแพ็กเก็ต และเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟได้ดีกว่าการลงทะเบียนก่อน จึงขอเสนอการลงทะเบียนภายหลัง (Post-Registration) เท่านั้นในวิทยานิพนธ์นี้

การแฮนด์ออฟด้วยการลงทะเบียนภายหลัง (Post-Registration Handoff)

เป็นการเสนอส่วนเสริมแก่โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ในการยอมให้ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวเก่าและตัวใหม่ใช้ประโยชน์ของตัวกระตุ้นชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (L2 Trigger) เพื่อติดตั้งอุโมงค์ข้อมูลแบบสองทิศทาง (Bi- directional Edge Tunnel: BET) ระหว่างตัวแทนโครงข่ายภายนอกทั้งสอง โนดเคลื่อนที่จะสื่อสารต่อเนื่องโดยใช้ที่อยู่ของตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวเก่าขณะที่โนดเคลื่อนที่อยู่ในโครงข่ายย่อยของตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ ซึ่งเป็นวิธีที่เกิดการส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและลดผลกระทบในการใช้งานแบบเวลาจริง (real-time) ได้ดีที่สุด หลังจากนั้นโนดเคลื่อนที่ต้องลงทะเบียนหลังจากการสื่อสารใน L2 กับ nFA ได้ถูกติดตั้งแล้วตามหลักการโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

ตามหลักการการลงทะเบียนภายหลัง ตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนครั้งล่าสุด (oFA) จะเป็นจุดทอดสมอ (anchor point) แล้วเรียก oFA นี้ว่า ตัวแทนโครงข่ายภายนอกทอดสมอ (anchor FA: aFA) เมื่อโนดเคลื่อนที่วิ่งเข้าสู่ nFA โนดเคลื่อนที่จะประวิงการแฮนด์ออฟในชั้น L3 และยังคงใช้ aFA อย่างต่อเนื่องในช่วงการแฮนด์ออฟ ซึ่งกระบวนการทำอุโมงค์สองทิศทางระหว่างตัวแทนโครงข่ายภายนอกสองตัวนี้เราเรียกว่า การแฮนด์ออฟสองส่วน (Two Party) แต่ถ้าโนดเคลื่อนที่วิ่งเข้าสู่ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวที่สามก่อนการลงทะเบียน ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวที่สามนั้นจะแจ้งแก่ aFA ในการทำอุโมงค์ข้อมูลแบบสองทิศทาง เพื่อเป็นการรั้งสภาพการทอดสมออีกช่วงหนึ่งแทน จวบจนถึงการลงทะเบียนตามโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ซึ่งกระบวนการรั้งสภาพไปยังตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวที่สามเราเรียกว่า การแฮนด์ออฟสามส่วน (Three Party) รูปที่ 3 แสดงถึงหลักการแฮนด์ออฟทั่วไปของการลงทะเบียนภายหลัง (Post-Registration)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

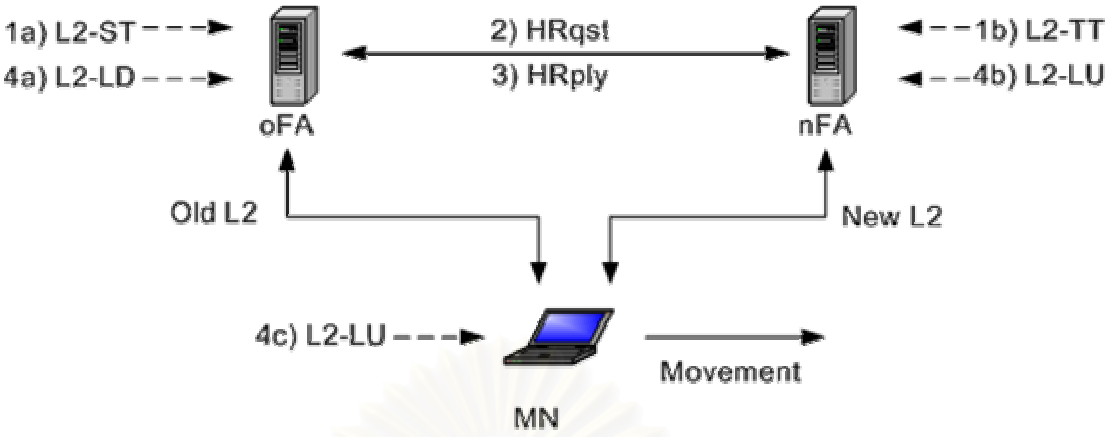


รูปที่ 3.14 หลักการลงทะเบียนภายหลัง

ข่าวสารระหว่าง aFA กับ nFA นั้นทั้งสองตัวแทนโครงข่ายภายนอกต้องผ่านการตรวจสอบยืนยันผู้สนทนาก่อน เพื่อป้องกันปัญหาด้านความปลอดภัยระหว่างตัวแทนโครงข่ายภายนอก ซึ่งเกี่ยวข้องกับกระบวนการใช้รหัสลับร่วมกัน (shared keys) กระบวนการลงทะเบียนภายหลังระหว่างตัวแทนโครงข่ายภายนอกเหล่านี้ จำเป็นต้องทำงานภายใต้ส่วนเพิ่มเติมการตรวจสอบยืนยันระหว่างตัวแทนโครงข่ายภายนอก (FA-FA authentication extension) ซึ่งอาจจะเพิ่มกระบวนการรักษาความปลอดภัยอื่นได้อีกด้วย

การแฮนด์ออฟสองส่วน (Two Party Handoff)

การแฮนด์ออฟนี้เกิดขึ้นเมื่อโนดเคลื่อนที่วิ่งจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวเก่าที่ได้ลงทะเบียนไว้ ไปยังตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ ในกรณีทั่วไป การเคลื่อนที่นี้จะทำให้เกิดการลงทะเบียนกับตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ แต่วิธีการลงทะเบียนภายหลังจะประวิงไว้และรักษาสภาพการติดต่อด้วยการใช้อุโมงค์ข้อมูลสองทิศทาง (BET) ระหว่าง oFA กับ nFA ดังรูปที่ 3.15

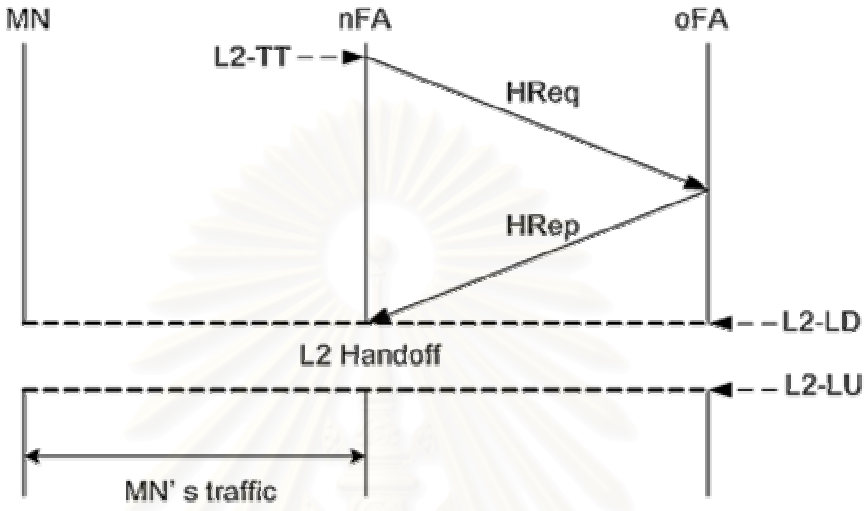


รูปที่ 3.15 การแฮนด์ออฟสองส่วน (Two Party Handoff) ของการลงทะเบียนภายหลัง

จากรูปที่ 3.15 เนื่องจากการลงทะเบียนภายหลังยังจำแนกประเภทการกระตุ้นอีกด้วยว่ากระตุ้นที่ต้นทาง (source triggered: L2-ST) หรือปลายทาง (target triggered: L2-TT) ซึ่งก็มีส่วนที่แตกต่างกันตามระบบโครงข่าย ตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ได้รับการกระตุ้น L2-ST หรือ L2-TT จะส่งข่าวสารร้องขอการแฮนด์ออฟ (HRqst) ไปยังอีกฝ่ายที่เป็นตัวแทนโครงข่ายภายนอกจะตอบรับด้วยการส่งข่าวสารการตอบรับการแฮนด์ออฟ (HRply) เป็นการเสร็จสิ้นกระบวนการสร้างอุโมงค์สองทิศทาง (Bi- directional Edge Tunnel: BET) เมื่อตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวเก่าได้รับ L2-LD trigger จะเป็นการกระตุ้นให้ส่งแพ็กเกตผ่านทางอุโมงค์นี้ไปยังตัวแทนโครงข่ายภายนอกใหม่ เมื่อโครงข่ายภายนอกได้รับ L2-LU trigger จะเริ่มส่งแพ็กเกตที่ได้รับจาก BET ไปยังโนดเคลื่อนที่ โนดเคลื่อนที่เมื่อได้รับ L2-LU trigger จะเริ่มกระบวนการลงทะเบียนโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ในภายหลัง

อุโมงค์ไปข้างหน้า (forward tunnel) จาก oFA ไป nFa มีโครงสร้างเหมือนกับโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ปกติเพียงแต่เปลี่ยนจุดปลายของอุโมงค์จาก HA ไป FA เป็น oFA ไป nFA แทนตามลำดับ ซึ่ง reverse tunnel ใน BET ก็คล้ายกัน ยังคงโครงสร้างเหมือน reverse tunnel ปกติเพียงแต่เปลี่ยนจุดปลายทางของอุโมงค์เป็น nFA ไป oFA ตามหลักของ revese tunnel ถ้าทั้งอุโมงค์ไปข้างหน้าและอุโมงค์ย้อนกลับได้ติดตั้งเสร็จ จะเรียกว่า BET ได้ติดตั้งแล้ว ด้วยข้อมูลตัวกระตุ้น L2 ที่เหมาะสม ตัวแทนโครงข่ายภายนอกจะสามารถติดตั้ง BET ได้ทันทีเมื่อแฮนด์ออฟ L2 ได้ถูกเริ่มขึ้น และจะเริ่มส่งข้อมูลที่ต้องการส่งไปโนดเคลื่อนที่ผ่านทางอุโมงค์เมื่อข่ายเชื่อมโยงระหว่างโนดเคลื่อนที่กับ oFA ได้สูญเสียข่ายเชื่อมโยงนี้ และ nFA สามารถใช้ ตัวกระตุ้นข่ายเชื่อมโยงขาขึ้นในการเริ่มส่งข้อมูล ในกรณีที่เกิดการสูญหายของ L2 trigger ที่เหมาะสม ข่าวสาร HRply สามารถเป็นตัวกระตุ้นให้เริ่มการทำอุโมงค์ข้อมูลแทนได้ ในการใช้ L2 trigger ยังเป็นหัวข้อเปิดกว้างที่ใน

การลงทะเบียนภายหลังนี้ไม่ได้เน้นหรือกำหนดลงไป L2 ยังเป็นความสามารถที่ควรได้รับการพัฒนาต่อไป



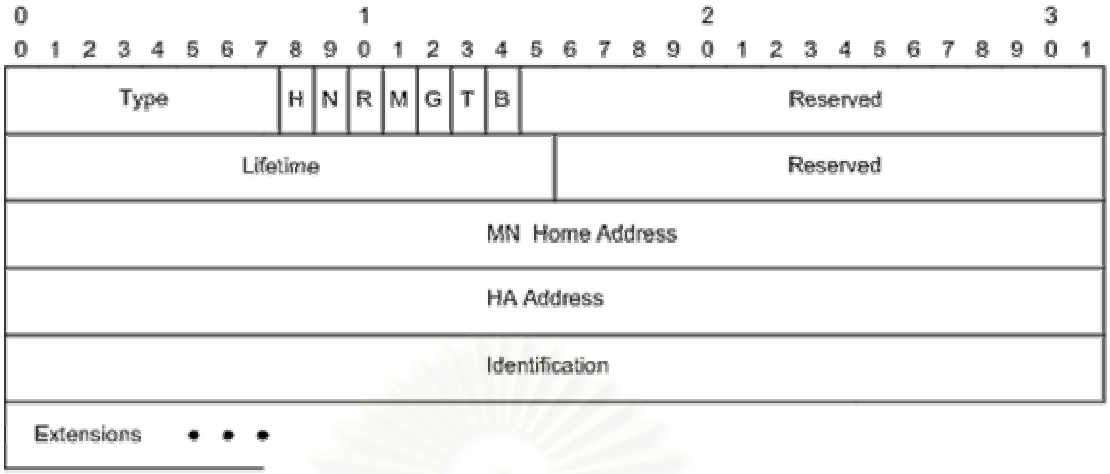
รูปที่ 3.16 ไดอะแกรมการแฮนด์ออฟแบบ L2-TT ใน Two Party Handoff

จากรูปที่ 3.16 แสดงถึงไดอะแกรมของเวลาในการแฮนด์ออฟแบบกระตุ้นด้วย L2-TT ซึ่งจะกระตุ้นที่ตัวโครงข่ายภายนอกตัวใหม่

ในการทำอุโมงค์ BET นี้ อาจยกเลิกการใช้อุโมงค์เนื่องจากหลายสาเหตุ เช่น lifetime ของอุโมงค์สองทิศทางหมดอายุลง หรือถูก renew หรือ ตัวแทนโครงข่ายภายนอกได้ยกเลิกการทำ tunnel ด้วยเหตุผลบางประการ หรือโนดเคลื่อนที่ได้ทำการลงทะเบียนตามหลักโพรโทคอลเคลื่อนที่เสร็จสิ้นแล้ว เป็นต้น

รูปแบบข่าวสารการร้องขอแฮนด์ออฟ (Handoff Request Message Format)

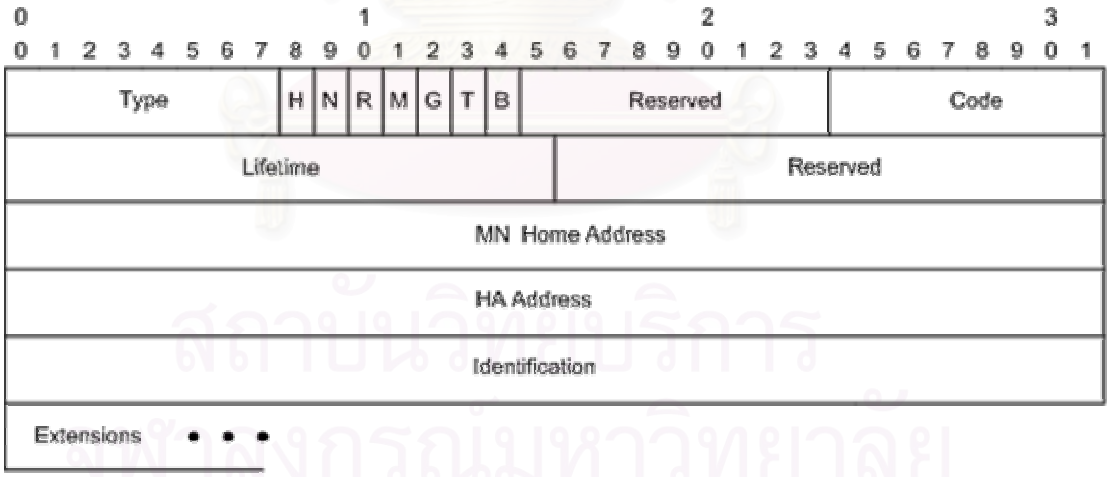
ข่าวสารการร้องขอแฮนด์ออฟ ซึ่ง UDP header ยอมให้มีส่วนโครงสร้างดังรูปที่ 3.17 [10] ซึ่งในส่วนเสริม extension ในข่าวสารนี้ต้องมีส่วนของ LLA ที่จะบรรจุ ที่อยู่ L2 ของโนดเคลื่อนที่ และที่อยู่ L2 ที่จะ mapping กับที่อยู่ไอพีของตัวแทนโครงข่ายภายนอกได้ และข่าวสารนี้ต้องบรรจุ FA-FA Authentication Extension ซึ่งถูกใช้ในการรักษาความปลอดภัยของข่าวสารร้องขอการแฮนด์ออฟ



รูปที่ 3.17 ข่าวสารการร้องขอแฮนด์ออฟ (HRqst)

รูปแบบข่าวสารการตอบรับการแฮนด์ออฟ (Handoff Reply Message Format)

ข่าวสารนี้ต้องมีส่วนเสริมเช่นกัน ในส่วนของ FA-FA Authentication Extension เพื่อรักษาความปลอดภัยของข่าวสารนี้ และส่วนของรหัส (code) ในข่าวสารตอบรับการแฮนด์ออฟนี้จะต่างจากข่าวสาร HRqst เพราะรหัสที่ใช้ในการตอบรับหรือปฏิเสธการร้องขอแฮนด์ออฟ



รูปที่ 3.18 ข่าวสารร้องตอบแฮนด์ออฟ (HRply)

ในการลงทะเบียนภายหลัง (Post-Registration) FA ต้องรองรับเทคโนโลยี radio access ที่สามารถแฮนด์ออฟระหว่าง heterogeneous radio technologies ได้ โดยกลไกที่ไม่ระบุเฉพาะเจาะจงขอเพียงแค่โนดเคลื่อนที่สามารถแจ้ง oFA หรือ nFA ที่เกี่ยวการแฮนด์ออฟในชั้นเชื่อมโยงข้อมูลได้

เช่น ข่าวสาร L2 อาจบ่งบอกจากคุณภาพของสัญญาณวิทยุที่ทำให้ oFA หรือ nFA ส่งข่าวสารการแฮนด์ออฟ การบ่งบอกนี้ต้องสามารถระบุเอกลักษณ์ของตัวแทนโครงข่ายภายนอกแต่ละตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่เกี่ยวข้องกับการแฮนด์ออฟ เพื่อข่าวสารนี้สามารถส่งไปได้ถูกสถานที่ และตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่เกี่ยวข้องกับการแฮนด์ออฟนี้ต้องมีการจัดเตรียมการรักษาความปลอดภัยไว้ก่อนด้วย

3.2 การปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลังที่เสนอในวิทยานิพนธ์

วิธี P-MIP เป็นวิธีใช้เพจจิงเพื่อลดจำนวนการลงทะเบียนที่เกิดขึ้นของระบบในช่วงเวลาที่โนดเคลื่อนที่ไม่ทำงาน แต่วิธีการลงทะเบียนนี้ยังคงประพฤติเป็นโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่เดิม ซึ่งกระบวนการแฮนด์ออฟ ยังคงมีเวลาแฮนด์ออฟที่สูง และพบความสูญหายของแพ็กเกตในระบบที่มาก โดยเฉพาะเมื่อโนดเคลื่อนที่ต้องลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านซึ่งอาจอยู่ห่างไกลจากโครงข่ายที่โนดเคลื่อนที่อาศัยในขณะนั้น ในกรณีที่ยิ่งห่างไกล แพ็กเกตที่สูญหายกับเวลาที่ใช้ในการตอบรับการลงทะเบียนก็มากตาม และระบบอาจเข้าใจว่ากรณีที่เกิดการสูญหายของแพ็กเกตอาจเกิดจากกรณีที่มีทราฟฟิกข้อมูลที่คับคั่งทั้งที่ไม่ได้เกิดในกรณีนี้ อาจลดประสิทธิภาพของระบบลงได้ เป็นการสูญเสียทรัพยากรในระบบอย่างน่าเสียดาย

และอีกด้านหนึ่งของ P-MIP เดิม ขณะที่เปลี่ยนสถานะการทำงานนั้น จำเป็นต้องมีที่พักข้อมูลจำนวนมากตามระยะทางที่ห่างไกลระหว่างตัวแทนบ้านกับโครงข่ายปัจจุบันที่โนดเคลื่อนที่อาศัย และสูญเสียงานบริการตามเวลาจริงที่เราต้องการ ซึ่งต้องรอการลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านก่อนที่จะดึงข้อมูลจากที่พักข้อมูล หากในระบบมีโนดเคลื่อนที่เป็นจำนวนมาก จะเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรที่พักข้อมูลอย่างน่าเสียดาย และเกิดการติดขัดในงานบริการแบบเวลาจริงได้

เพื่อป้องกันความสูญเสียดังกล่าวนี้ เราจึงเสนอวิธีการปรับปรุงการลงทะเบียนและปรับการดึงข้อมูลในที่พักข้อมูลช่วงเปลี่ยนสถานะการทำงานของ P-MIP ให้รวดเร็วขึ้น ทำให้โนดเคลื่อนที่สามารถรับข้อมูลจากที่พักข้อมูลหลังการเปลี่ยนสถานะได้เร็วขึ้น จึงลดความต้องการการพักข้อมูลที่ดีขึ้น ลดเวลาการแฮนด์ออฟ และลดความสูญหายของแพ็กเกต ซึ่งคงไว้ในหลักการลดจำนวนการลงทะเบียนที่ไม่จำเป็นเพื่อลดปริมาณซิกแนลลิงแก่โครงข่ายหลัก (core network) โดยใช้ความสามารถในชั้นเชื่อมโยงข้อมูลของระบบ ตามหลักการของการลงทะเบียนภายหลัง (Post-Registration) โดยที่โนดเคลื่อนที่และตัวแทนโครงข่ายภายนอกต้องรองรับการทำงานของเพจจิงและกลไกในชั้นเชื่อมโยงข้อมูล ในแนวทางที่เสนอนี้เน้นปรับปรุงอยู่สองช่วง ได้แก่

1. ช่วงที่โนดเคลื่อนที่อยู่ในสถานะทำงาน (active state) ให้ลงทะเบียนแบบลงทะเบียนภายหลัง (Post-Registration)
2. ช่วงที่ HA เริ่มมีข้อมูลที่ต้องการส่งถึง MN โดยใช้แนวความคิดของการลงทะเบียนภายหลัง เพื่อเปลี่ยนเส้นทางข้อมูลก่อนการลงทะเบียนเสร็จสิ้น ทำให้ MN สามารถดึงข้อมูลจากที่พักข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและลดความต้องการใช้ที่พักข้อมูล

ในแนวทางที่เสนอนี้ เราใช้พื้นที่เพจจิงแบบไม่ทับซ้อนกัน (non-overlapping) ซึ่งเป็นแบบแผนที่ใช้ส่วนเสริมในข่าวสารน้อยกว่าแบบทับซ้อน (overlapping) ทำให้กินกำลังส่งน้อยกว่า และพึ่งพากลไกการทำงานที่ไม่ซับซ้อน ลดภาระการทำงานของโนดเคลื่อนที่ พื้นที่เพจจิงนี้สามารถถูกจัดโครงสร้างตามเงื่อนไขต่างๆ เช่น ตามสภาพการเคลื่อนที่ของกลุ่มโนดเคลื่อนที่ รูปแบบทราฟฟิกของข้อมูล และความหนาแน่นของโนดเคลื่อนที่ เป็นต้น พื้นที่เพจจิงสามารถควบคุมได้โดยผู้ให้บริการเอง หรืออาจแบ่งภาระนี้ไปให้เครื่องเซอร์เวอร์เพจจิง (paging server) คอยควบคุมที่จุดเดียว ตารางการเพจจิงของพื้นที่ที่ไม่ทับซ้อนจะถูกดูแลอยู่ในตัวแทนโครงข่ายภายนอกแต่ละตัว และข่าวสารการประกาศตัวแทนจะถูกเสริมด้วยค่าหมายเลข PAID (Paging Area ID) ซึ่งจะถูกประกาศเป็นคาบๆ เพื่อแจ้งให้โนดเคลื่อนที่ทราบตามหลัก P-MIP เดิมที่ได้รับการยอมรับ

ขณะที่โนดเคลื่อนที่อยู่ในสถานะไม่ทำงาน (idle state) เมื่อโนดเคลื่อนที่วิ่งข้ามเซลล์ โนดเคลื่อนที่จะตรวจสอบสภาพเคลื่อนที่เหมือนเดิมตามโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ แต่จะเพิ่มการตรวจสอบในส่วนของ PAID ที่อยู่ในข่าวสารประกาศตัวแทน ว่าเปลี่ยนจากเดิมหรือไม่ ถ้า PAID เปลี่ยนไป นั่นหมายถึงโนดเคลื่อนที่ได้ข้ามไปสู่พื้นที่เพจจิงใหม่ โนดเคลื่อนที่จะลงทะเบียนตามการลงทะเบียนโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ดั้งเดิมไปยังตัวแทนบ้านโดยใช้ที่อยู่ที่ได้รับการดูแลจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ แต่ถ้าโนดเคลื่อนที่ยังคงอยู่ในพื้นที่เพจจิงเดิม (PAID ไม่เปลี่ยน) โนดเคลื่อนที่ก็ไม่ต้องลงทะเบียนใหม่ (เว้นแต่ต้องการการยืนยันการลงทะเบียน)

เราใช้เพจจิงในข่าวสารประกาศตัวแทนให้มีบิต P เพื่อบ่งบอกว่าตัวแทนโครงข่ายภายนอกรองรับการทำงานเพจจิงหรือไม่ และถ้าในข่าวสารร้องขอลงทะเบียนมีบิต P ที่ถูกตั้งค่า จะหมายถึงโนดเคลื่อนที่นี้สามารถรองรับการทำเพจจิง จาก P-MIP [5]

เมื่อโนดที่ต้องการติดต่อ (CN) ต้องการส่งข้อมูลไปยังโนดเคลื่อนที่ จะส่งผ่านไปยังตัวแทนบ้าน ตามที่อยู่บ้าน (home address) HA จะส่งข้อมูลแบบอุโมงค์ (tunnel) เพื่อเป็นการสร้างโครงข่ายส่วนบุคคลเสมือน (Virtual Private Network: VPN) เป็นการป้องกันข้อมูลในที่นี้เป็นแบบ IP-in-IP ไปยังที่อยู่ที่ได้รับการดูแลครั้งล่าสุดคือตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนไว้ (registered foreign agent)

ตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนไว้จะตรวจสอบว่ามีการบันทึกโนดเคลื่อนที่ที่ต้องการหรือไม่ ถ้ามีก็จะตรวจสอบต่อว่า รองรับการทำเพจจิงหรือไม่ ถ้ารองรับ (จากบิต Pใน

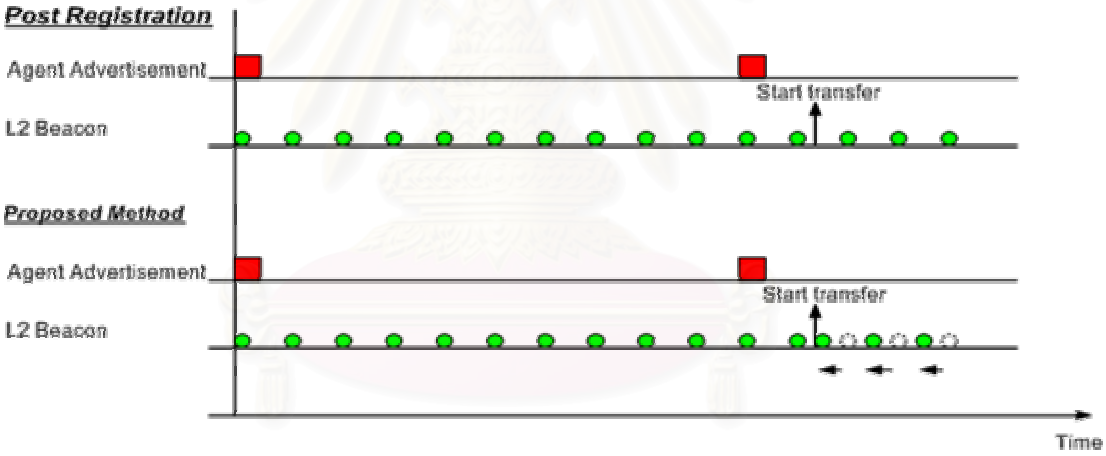
ข่าวสารร้องขอลงทะเบียน) จึงตรวจสอบสถานะการทำงานของโนดว่าอยู่ในสถานะใด ถ้าเป็นสถานะทำงาน (active state) ตัวแทนโครงข่ายภายนอกจะถอดผนึก (decapsulate) แล้วส่งข้อมูลต่อให้แก่โนดเคลื่อนที่ตามการลงทะเบียนภายหลังมาตรฐาน แต่ถ้าโนดเคลื่อนที่อยู่ในสถานะไม่ทำงาน ตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนจะเริ่มกระบวนการค้นหาโนดเคลื่อนที่ด้วยการส่งข่าวสารร้องขอเพจจิง (Paging Request Message) ไปยังตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวอื่นที่อยู่ในพื้นที่เพจจิงเดียวกัน และส่ง L2 beacon ในเซลล์ตัวเอง พร้อมทั้งพักข้อมูลในที่พักข้อมูล ซึ่งในกรณีที่มีโนดเคลื่อนที่หลายโนดที่ต้องการค้นหาตำแหน่งในช่วงเวลาเดียวกัน ตัวแทนโครงข่ายภายนอกสามารถรวมกลุ่มโนดเคลื่อนที่ที่ต้องการค้นหาร่วมกันไว้ในข่าวสารร้องขอเพจจิงข่าวสารเดียว การทำเช่นนี้สามารถลด overhead ของข่าวสารเพจจิงให้เหมาะสมได้ เมื่อระบบมีจำนวนโนดเคลื่อนที่เพิ่มมากขึ้น [5]

เมื่อตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวแทนอื่นในพื้นที่เพจจิงเดียวกัน ได้รับข่าวสารร้องขอเพจจิง ตัวแทนนั้นจะกระตุ้นในชั้นเชื่อมโยงข้อมูลในทันที โดยส่ง L2 beacon เมื่อโนดเคลื่อนที่ได้รับ L2 beacon ที่เกิดจากการเปลี่ยนสถานะนี้ จะตอบรับด้วยตัวกระตุ้นชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (L2 trigger) แก่ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวปัจจุบัน และโนดเคลื่อนที่จะเปลี่ยนสถานะตัวเองให้เข้าสู่สถานะทำงาน (active state) ทันที เพื่อพร้อมที่จะลงทะเบียนเมื่อได้รับข่าวสารการประกาศตัวแทน จากนั้นตัวแทนโครงข่ายนอกจะเริ่มกระบวนการเปลี่ยนเส้นทางข้อมูลโดยการส่งข่าวสารร้องขอแฮนด์ออฟ (Handoff Request Message) กลับไปยังตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนไว้ เพื่อขอรับข้อมูลที่ได้พักในที่พักข้อมูล และเปลี่ยนเส้นทางข้อมูลจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวเก่ามายังตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ โดยให้ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวเก่าประพฤติตัวเป็นตัวแทนโครงข่ายภายนอกทอดสมอ (anchor FA: aFA) หลังจากที่ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตอบรับด้วยข่าวสารตอบรับแฮนด์ออฟ (Handoff Reply Message) ตามหลักการลงทะเบียนภายหลังแล้ว ก็จะเป็นการเสร็จสิ้นการสร้างอุโมงค์สองทิศทาง (BET) ข้อมูลที่พักสามารถส่งผ่านทางอุโมงค์สองทิศทางนี้ ในกรณีที่โนดเคลื่อนที่ต้องการส่งข้อมูลขึ้นไปก็สามารถส่งผ่านทางนี้ได้หรือส่งขึ้นไปยังตัวแทนบ้านโดยตรงก็ได้

เมื่อเปรียบเทียบระหว่างวิธี P-MIP กับวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์ ในกรณีที่โนดเคลื่อนที่อยู่ในตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ แล้วเริ่มมีข้อมูลส่งหาโนดเคลื่อนที่ จะเห็นได้ว่า ในวิธีของ P-MIP นั้นโนดเคลื่อนที่จะลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านผ่านตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ก่อน เพื่อให้ HA เปลี่ยนเส้นทางข้อมูลที่ส่งต่อโนดเคลื่อนที่ หลังจากนั้นจึงเริ่มกระบวนการส่งแพ็กเกตที่พักใน registered FA แต่แนวทางที่เสนอในวิทยานิพนธ์ มีกระบวนการเปลี่ยนเส้นทางข้อมูลด้วยอุโมงค์สองทิศทางก่อนการลงทะเบียนทันทีโดยไม่ผ่านตัวแทนบ้านข้ามโครงข่าย จะทำให้โนดเคลื่อนที่ได้รับข้อมูลอย่างรวดเร็วแล้วลดจำนวนแพ็กเกตที่พักข้อมูลไว้ใน registered FA ส่วนกรณี

ที่โนดเคลื่อนที่อยู่ใน registered FA แล้วเริ่มมีข้อมูลส่งหาโนดเคลื่อนที่ โนดเคลื่อนที่สามารถรับข้อมูลจาก registered FA ได้โดยตรงทั้งวิธี P-MIP และวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์

ในแนวทางวิทยานิพนธ์นี้ เนื่องจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวอื่นในพื้นที่เพจจิงเดียวกันที่ได้รับข่าวสารร้องขอเพจจิงช่วงเปลี่ยนสถานะนั้น จะกระตุ้นให้ส่ง L2 beacon ทันที เป็นการซิงโครไนซ์ใหม่ โดยเลื่อนจังหวะใหม่เข้ามาจากเดิม ทำให้จังหวะในการส่ง L2 กับข่าวสารการประกาศตัวแทนเปลี่ยนไปจากเดิม จึงเพิ่มโอกาสที่โนดเคลื่อนที่อาจได้รับข่าวสารการประกาศตัวแทนก่อนได้รับ L2 beacon ทำให้ โนดเคลื่อนที่มีสิทธิ์ที่จะลงทะเบียนเปลี่ยนเส้นทางกับตัวแทนบ้านก่อนที่จะลงทะเบียนภายหลังได้ ถ้าตัวแทนบ้านอยู่ไม่ไกลจากโครงข่ายปัจจุบันที่โนดเคลื่อนที่อาศัยอยู่ ดังรูปที่ 3.19 เป็นการเปรียบเทียบแนวทางที่เสนอกับการลงทะเบียนภายหลังในกรณีที่จังหวะในชั้น L2 กับ L3 ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แต่ในแนวทางที่เสนอ จะพบว่า L2 beacon ถูกเลื่อนจังหวะเข้ามา



รูปที่ 3.19 การซิงโครไนซ์ใหม่ของ L2 beacon ในแนวทางที่เสนอเปรียบเทียบกับการลงทะเบียนภายหลังตามมาตรฐานที่จังหวะการส่ง L2 beacon กับข่าวสารประกาศตัวแทนตรงกัน

เมื่อโนดเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารประกาศตัวแทนจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกครั้งใหม่ โนดเคลื่อนที่นั้นจะเริ่มลงทะเบียนตามโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ตามปกติ หลังจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนจะเข้าสู่สถานะทำงาน การประวิงการลงทะเบียนในลักษณะนี้โดยใช้ไอพีเดิมของตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวเก่านี้ ทำให้โนดเคลื่อนที่สามารถรับข้อมูลที่พักไว้ได้เร็วกว่า P-MIP ที่จำเป็นต้องลงทะเบียนเสร็จก่อน แล้วจึงขอรับข้อมูลที่พักไว้ในที่พักข้อมูลจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกเก่า ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทั้งเวลาและที่พักข้อมูลที่ใช้ใน P-MIP

การที่เรากระตุ้นให้โนดเคลื่อนที่เข้าสู่สถานะทำงานทันทีที่ได้รับ L2 beacon ที่เกิดจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกได้รับการกระตุ้นจากข่าวสารการร้องขอเพจจิงนี้ ต่างจากของ P-MIP เดิม เพราะใน P-MIP เดิมจะลงทะเบียนทันทีอยู่แล้ว จึงไม่จำเป็นต้องเข้าสู่สถานะทันที เพราะถ้าโนดเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารการประกาศตัวแทนในขณะนั้น จะเกิดการลงทะเบียนซ้ำซ้อนที่ไม่จำเป็นขึ้น แต่ในแนวทางที่เสนอนี้ โนดเคลื่อนที่จะเข้าสู่สถานะทำงานทันทีเมื่อได้รับ L2 beacon เพื่อเปลี่ยนสถานะ เพื่อโนดเคลื่อนที่พร้อมจะลงทะเบียนเมื่อได้รับข่าวสารการประกาศตัวแทนในเวลาต่อมา

การดึงข้อมูลในขณะเปลี่ยนสถานะและการแฮนด์ออฟในขณะที่โนดเคลื่อนที่อยู่ในสถานะทำงาน เป็นการใช้ความสามารถของชั้นเชื่อมโยงข้อมูลมาช่วยเริ่มกระบวนการแฮนด์ออฟ [10] ข้อมูลจากชั้นเชื่อมโยงข้อมูลเช่น ความแรงของสัญญาณ ที่ยอมให้โนดเคลื่อนที่ตรวจพบ จะติดต่อได้เร็วกว่าชั้นโครงข่าย ซึ่งชั้นเชื่อมโยงข้อมูลจะมีข้อมูลพวกตัวระบุที่อยู่ไอพีของตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่หรือตัวระบุที่อยู่ไอพีของตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวเก่า ซึ่งขึ้นกับชนิดของการกระตุ้น (trigger) ของชั้นเชื่อมโยงข้อมูล

ในการสร้างอุโมงค์สองทิศทาง (BET) ระหว่างตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนไว้แล้ว (registered foreign agent) กับตัวแทนโครงข่ายภายนอกปัจจุบันที่โนดเคลื่อนที่อาศัยอยู่ โนดเคลื่อนที่จะสื่อสารต่อเนื่องโดยใช้ที่อยู่ของตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนไว้แล้ว ขณะที่โนดเคลื่อนที่อยู่ในโครงข่ายย่อยของตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ที่เป็นวิธีที่ส่งข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและลดผลกระทบในการใช้งานแบบเวลาจริง (real-time) ซึ่งเป็นการลดเวลาในการรอการเปลี่ยนเส้นทางให้สำเร็จก่อนการดึงข้อมูลจากที่พักข้อมูล(ใน P-MIP) เพราะต้องรอการตอบรับจากตัวแทนบ้าน ถ้าหากระบบมีโนดเคลื่อนที่เป็นจำนวนมาก ตัวแทนโครงข่ายภายนอกต้องรับภาระในการพักข้อมูลมากขึ้นตามลำดับ และต้องเพิ่มความสามารถในการพักข้อมูลที่รองรับปัญหาจุดนี้อีกด้วย

ในแนวทางที่เสนอนี้ เราดึงข้อมูลจากที่พักข้อมูลในขณะเปลี่ยนสถานะทำงานโดยใช้การกระตุ้นระบบที่ปลายทาง (target trigger) ซึ่ง L2 trigger ในชั้นเชื่อมโยงข้อมูลที่กระตุ้นเป็นชนิด target trigger (L2-TT) เกิดที่ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวปัจจุบัน (current foreign agent) โดยข้างในตัวกระตุ้นจะมีที่อยู่ของ L2 address ของโนดเคลื่อนที่ ซึ่งในความสามารถของ L2 trigger อาจมีตัวระบุไอพีของตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนไว้ก็ได้ ซึ่งจะตรงกับข้อมูลที่อยู่ของต้นทางผู้ส่งข่าวสารร้องขอเพจจิง ซึ่งถ้า L2 ไม่มีข้อมูลส่วนนี้ ตัวแทนโครงข่ายภายนอกก็สามารถใช้ข้อมูลในข่าวสารร้องขอเพจจิงเพื่อเป็นที่อยู่ปลายทางที่จะส่งข่าวสารร้องขอแฮนด์ออฟได้

ตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนไว้แล้วเมื่อได้รับ HRqst จะส่ง HRply ตอบรับกลับไปยังตัวแทนโครงข่ายภายนอกปัจจุบัน เมื่อสร้างอุโมงค์สองทิศทางเสร็จจึงเปลี่ยนเส้นทางข้อมูล

ในช่วงการข้ามพื้นที่เพจจิง จะไม่มีการส่งข่าวสารการร้องขอการแฮนด์ออฟและข่าวสารการตอบรับการแฮนด์ออฟ เพื่อสร้างอุโมงค์สองทิศทาง เนื่องจากใน L2 beacon ที่เราใช้อ้างอิงจาก Wirless LAN IEEE 802.11 จะไม่มีข้อมูลส่วนของหมายเลข PAID ที่บอกว่ามาจากต่างพื้นที่เพจจิง เพื่อความสอดคล้องกับมาตรฐานของระบบที่ควรมี หากต้องการสร้างอุโมงค์สองทิศทางข้ามพื้นที่เพจจิง L2 ที่ใช้ต้องรองรับการแจ้งการข้ามพื้นที่เพจจิงด้วย

ถ้าการแฮนด์ออฟใน L2 ล้มเหลวในตอนการแลกเปลี่ยนข่าวสารร้องขอและตอบรับการแฮนด์ออฟ เนื่องจากเหตุผลใน L2 ตัวแทนโครงข่ายภายนอกปัจจุบันจะส่ง HRqst ที่สามารถบอกยกเลิกการสร้างอุโมงค์กับตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนไว้ โดยส่ง HRqst ชนิดหนึ่ง ที่มีค่า lifetime เป็นศูนย์ และลงทะเบียนตามโพรโทคอลไอพีตามปกติ จากนั้นจึงส่งข่าวสารตอบรับเพจจิงเพื่อขอข้อมูลจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนไว้แล้ว ตามหลักการของ P-MIP

อุโมงค์สองทิศทาง (BET) เป็นการสร้างอุโมงค์ย้อนกลับและอุโมงค์ไปหน้าตามหลักการที่อธิบายไว้ในเอกสารอ้างอิง [2], [10] แต่เปลี่ยนจุดปลายอุโมงค์ (edge point of tunnel) ในอุโมงค์ไปหน้า (forward tunnel) จาก HA ถึง FA (ใน IPv4) เปลี่ยนเป็น registered FA ถึงตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวปัจจุบัน ส่วนในอุโมงค์ย้อนกลับ (reverse tunnel) ก็เช่นกันคือจาก FA ถึง HA เปลี่ยนเป็น ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวปัจจุบันถึง registered FA ตามลำดับ

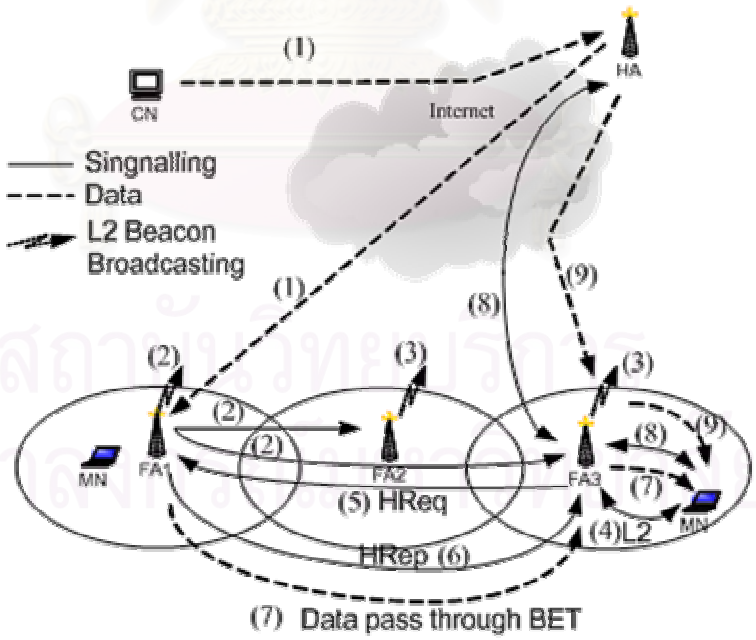
ในกรณีที่ registered FA ส่งข่าวสารร้องขอเพจจิงไปแต่ไม่มีการตอบรับใดๆ กลับมาเกินช่วงเวลาที่รอการตอบรับเพจจิง (paging period) registered FA จะส่งข่าวสารร้องขอเพจจิงซ้ำ ซึ่งจำนวนครั้งการส่งซ้ำขึ้นอยู่กับการตั้งค่าการทำงานของระบบนั้นๆ

รูปที่ 3.20 แสดงถึงแบบแผนการประวิงการลงทะเบียนในการใช้เพจจิง ในช่วงที่มีการเปลี่ยนสถานะไม่ทำงานเป็นสถานะทำงาน เมื่อมีข้อมูลเริ่มส่งมาหาโนดเคลื่อนที่ FA1, FA2 และ FA3 อยู่ในพื้นที่เพจจิงเดียวกัน โนดเคลื่อนที่ที่ไม่ทำงาน (Idle MN) วิ่งข้ามจากเซลล์ FA1 ไปยัง FA3 โดยปราศจากการลงทะเบียน ตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนไว้แล้ว ที่ตัวแทนบ้านรู้จักคือ FA1 ในรูปที่ 3.20 นี้ โนดที่ต้องการติดต่อ (CN) เริ่มส่งข้อมูล (1) ไปยังโนดเคลื่อนที่ MN ผ่านตัวแทนบ้าน HA

HA จะผนึกข้อมูล (encapsulate) (1) ไปยัง FA1 หลังจาก FA1 ได้รับข้อมูลจะตรวจสอบบันทึกข้อมูลที่เกี่ยวกับโนดเคลื่อนที่ว่ามีข้อมูลนี้หรือไม่ ถ้ามี จะทำการตรวจสอบต่อไปว่า โนดเคลื่อนที่นี้รองรับการทำเพจจิงหรือไม่ และเมื่อรองรับจะตรวจสอบต่อว่าในขณะนั้นโนดเคลื่อนที่นั้นอยู่ในสถานการณ์ทำงานแบบใด ในรูปที่ 3.20 เรากำหนดว่าโนดเคลื่อนที่อยู่ในสถานะไม่ทำงาน FA1 จะเริ่มพักข้อมูล และส่งข่าวสารร้องขอเพจจิงแก่ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวอื่นๆ ในพื้นที่เพจจิงเดียวกัน พร้อมทั้งกระตุ้นการทำงาน L2 beacon ทันทีเพื่อตามหาโนดเคลื่อนที่เป็นการใช้กลไกความสามารถของข่ายเชื่อมโยงในระบบ (2)

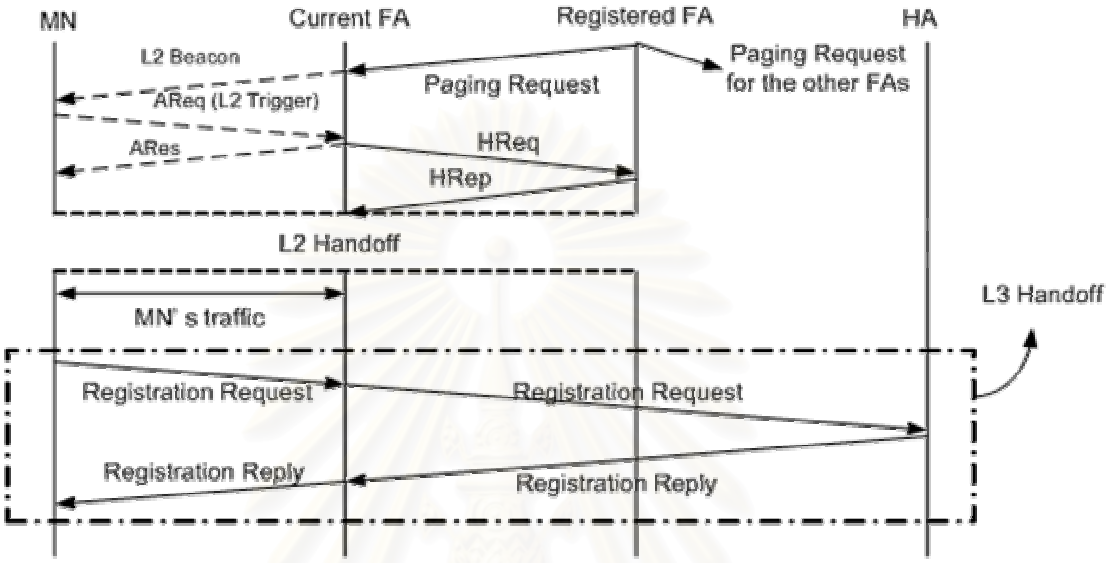
เมื่อตัวแทนโครงข่ายภายนอกได้รับข่าวสารร้องขอเพจจิง ตัวแทนนี้จะกระตุ้นการส่ง L2 beaconเช่นกัน (3)เพื่อค้นหาโนดเคลื่อนที่ เมื่อโนดเคลื่อนที่ได้รับข่าวสาร L2 ที่เกิดจากการกระตุ้นจากข่าวสารร้องขอเพจจิง โนดเคลื่อนที่จะเข้าสู่สถานะทำงาน และโนดเคลื่อนที่จะตอบสนองด้วยข่าวสารในชั้นเชื่อมโยงข้อมูลด้วย Association Request ซึ่งเป็น L2 trigger ให้แก่ระบบชนิด L2-Target Trigger (L2-TT) ตามหลักการทำงานของ wireless LAN IEEE 802.11 ที่เป็นที่ยอมรับ (4) จาก [11] เมื่อตัวแทนโครงข่ายภายนอกได้รับข่าวสาร L2 จะเริ่มกระบวนการเปลี่ยนเส้นทางข้อมูลโดยส่งข่าวสารร้องขอแฮนด์ออฟ (Handoff Request) ไปยังตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนไว้ (5) เมื่อตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนไว้ได้รับข่าวสารนี้ จะตอบรับด้วยการส่งข่าวสารตอบรับการแฮนด์ออฟ (Handoff Reply) (6) กลับไปยังตัวแทนโครงข่ายภายนอกปัจจุบัน เป็นการเสร็จสิ้นการสร้างอุโมงค์สองทิศทาง (BET) ข้อมูลที่พักไว้จึงเริ่มส่งมาตามอุโมงค์สองทิศทางได้ (7)

เมื่อโนดเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารประกาศตัวแทนจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่จึงเริ่มกระบวนการลงทะเบียนตามปกติในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ทั่วไป (8) และเริ่มรับข้อมูลจากเส้นทางใหม่ (9) ตามลำดับ



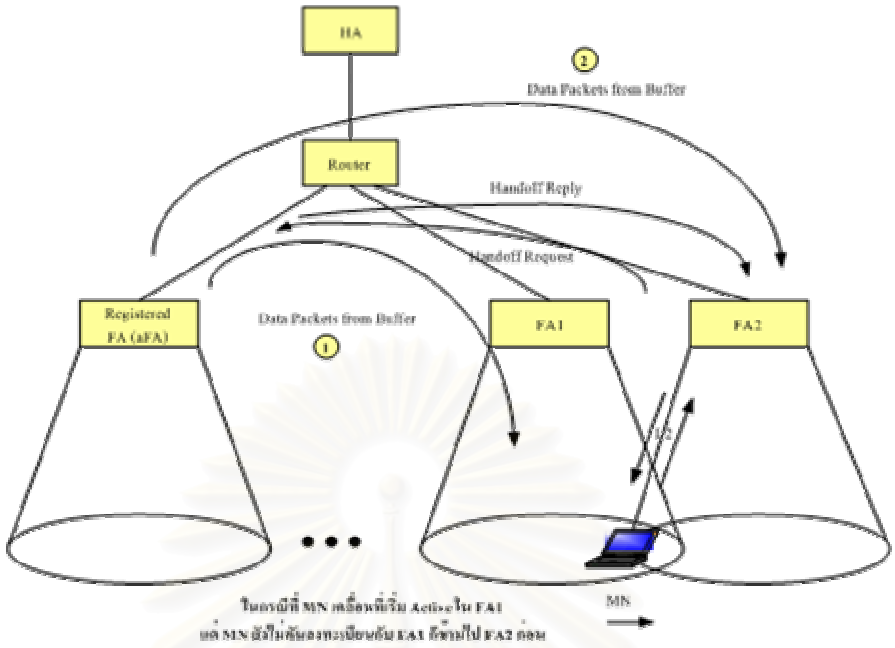
รูปที่ 3.20 แบบแผนการเพจจิงในการประวิงการลงทะเบียนเพจจิงที่เสนอในวิทยานิพนธ์ขณะเริ่มเข้าสู่สถานะทำงาน

รูปที่ 3.21 แสดงถึงไดอะแกรมการทำงานของการประวิงการลงทะเบียนที่ใช้เพจจิงในการเปลี่ยนสถานะจากไม่ทำงาน (idle state) เป็นสถานะทำงาน (active state) เมื่อมีข้อมูลต้องการส่งไปยังโนดเคลื่อนที่



รูปที่ 3.21 ไดอะแกรมสัญญาณซิกแนลลิงการประวิงการลงทะเบียนขณะเปลี่ยนสถานะ

แนวทางที่เสนอนี้ยังมีข้อดีที่ช่วยแก้ไขปัญหาใน P-MIP เดิม อันเนื่องมาจาก กรณีที่เริ่มมีข้อมูลส่งให้แก่โนดเคลื่อนที่ในขณะที่โนดเคลื่อนที่กำลังจะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ หากโนดเคลื่อนที่ได้ส่งข่าวสารเพจจิงเพื่อขอข้อมูลที่พักไว้ในตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวเก่า แล้วเคลื่อนที่ออกจากเซลล์นั้นพอดี ข้อมูลในที่พักข้อมูลหลังจากโนดเคลื่อนที่ออก จะสูญหายไปทั้งหมด แต่ในแนวทางที่เสนอนี้ หลังจากที่โนดเคลื่อนที่ได้เริ่มเข้าสู่สถานะทำงาน แล้วเริ่มเคลื่อนที่ออกจากเซลล์เมื่อโนดเคลื่อนที่ได้รับ L2 beacon จากตัวแทนโครงข่ายตัวใหม่ โดยยังไม่ทันได้ลงทะเบียนกับเซลล์ตัวที่กำลังเคลื่อนที่ออก โนดเคลื่อนที่ก็จะส่ง L2 trigger เหมือนเดิมแก่ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ ซึ่งตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่จะส่งข่าวสารการร้องขอการแฮนด์ออฟแก่ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวล่าสุดที่ลงทะเบียนไว้ นั้นก็คือตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่พักข้อมูลนั่นเอง ทำให้ข้อมูลที่พักไว้สามารถเปลี่ยนเส้นทางมายังตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ได้ ซึ่งเป็นไปตามหลักการแฮนด์ออฟสามส่วน (Three Party Handoff) จาก [10] หากโนดเคลื่อนที่ได้รับสัญญาณ L2 beacon พอดีในช่วงโอเวอร์แลป อาจเกิดการแฮนด์ออฟอย่างไร้รอยต่อ (Seamless Handoff) ได้ ดังรูปที่ 3.22



รูปที่ 3.22 กรณีที่ MN เริ่ม active ใน FA1 เมื่อ MN ยังไม่ทันลงทะเบียนกับ FA1 แต่เข้าสู่ FA2 ก่อน

จากรูปที่ 3.22 ขณะที่โนดเคลื่อนที่เปลี่ยนเส้นทางและดึงข้อมูลจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนแล้ว (registered FA) มายังตัวแทนโครงข่ายภายนอกในขณะนั้น (FA1) โนดเคลื่อนที่ก็เข้าสู่ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่อีกตัวแทนหนึ่ง (FA2) ในช่วงโอเวอร์แลปที่ได้รับ L2 beacon จาก FA2 จึงทำการกระตุ้น FA2 ให้ FA2 ทำอุโมงค์สองทิศทางอีกครั้งไปยังตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ลงทะเบียนแล้วอีกครั้งหนึ่ง ดังนั้น ข้อมูลและแพ็กเก็ตที่พักไว้ก็จะถูกเปลี่ยนเส้นทางมายัง FA2 ได้อย่างรวดเร็ว

ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่เดิมที่ใช้เพจจิง เมื่อระบบอยู่ช่วงสถานะทำงาน (active state) หากตัวแทนบ้านอยู่ในโครงข่ายที่ห่างไกล การสูญเสียเวลาแฮนด์ออฟที่จะมากตามระยะทางที่ข้ามโครงข่ายพื้นที่กว้าง (Wide Area Network) จะทำให้เกิดการสูญเสียแพ็กเกตข้อมูลมากขึ้นตามลำดับ ซึ่งไม่เป็นที่ยอมรับในการสื่อสารแบบเวลาจริง (real-time) แต่ในแนวทางที่เสนอนี้เราใช้การลงทะเบียนภายหลังควบคู่กับการใช้เพจจิง ในช่วงสถานะทำงานจึงสามารถลดเวลาแฮนด์ออฟและแพ็กเกตข้อมูลที่สูญเสียได้ พร้อมทั้งลดเวลาในการรอข้อมูลช่วงเปลี่ยนสถานะ ซึ่งจะลดปริมาณใช้งานของที่พักข้อมูล และยังคงหลักการลดจำนวนครั้งการลงทะเบียนที่ไม่จำเป็นได้อีกด้วย จึงเป็นการรักษาทรัพยากรในโครงข่ายหลัก (core network) ได้โดยเพิ่มปริมาณซิกแนลลิงบางส่วนแต่โดยรวมแล้วมีปริมาณซิกแนลลิงน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณซิกแนลลิงของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ และการลงทะเบียนภายหลัง

บทที่ 4

การจำลองแบบการปรับปรุงการใช้เพจจิงของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลังบนระบบ Wireless LAN IEEE 802.11 ด้วยวิธีการที่เสนอ

ในบทนี้ เราจะกล่าวถึงแนวคิดในการจำลองโพรโทคอลด้วย การจำลองแบบเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event) เชิงวัตถุด้วย Delphi 7.0 บนระบบ Wireless LAN IEEE 802.11 [11] ที่ใช้กระตุ้นในชั้นเชื่อมโยงข้อมูล และการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการใช้เพจจิงของโพรโทคอลไอพีเคลื่อน เพื่อเปรียบเทียบแนวโน้มในการลดปริมาณซิกแนลลิงที่เกิดขึ้นในโพรโทคอลทั้งสอง

เราจำลองโพรโทคอลทั้งโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, การลงทะเบียนภายหลัง, การเสริมเพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (P-MIP) และการประวิงการลงทะเบียนในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ในแนวทางวิทยานิพนธ์นี้บน Wireless LAN IEEE 802.11 [11] ด้วยการจำลองแบบเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event Simulation) ชนิดขับเคลื่อนด้วยเวลา (Time Driven) [16] ซึ่งเขียนโปรแกรมด้วย Delphi 7.0 เพื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลกระทบต่างๆในโพรโทคอลที่ต้องการศึกษา

ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ปกติ โนดเคลื่อนที่จะใช้ข่าวสารในชั้นโครงข่าย ในวิทยานิพนธ์นี้ โพรโทคอลไอพีที่เราใช้เปรียบเทียบประสิทธิภาพเราใช้อัลกอริทึมการตรวจสอบสภาพเคลื่อนที่ด้วยวิธี Eager Cell Switching [11] ที่กระตุ้นในชั้นโครงข่าย โดยโนดเคลื่อนที่จะตรวจสอบจากค่าเอกลักษณ์ที่ระบุโครงข่ายในข่าวสารการประกาศตัวแทนเป็นตัวตรวจสอบ ถ้าโนดเคลื่อนที่ตรวจพบข่าวสารประกาศตัวแทนที่มีค่าเอกลักษณ์ระบุโครงข่ายที่แตกต่างจากโครงข่ายปัจจุบัน โนดเคลื่อนที่จะอนุมานว่าโนดเคลื่อนที่ข้ามโครงข่ายและเกิดการแฮนด์ออฟขึ้นและโนดเคลื่อนที่จะลงทะเบียนกับตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่

ทางเลือกอีกทางหนึ่งนอกเหนือจากการกระตุ้นการแฮนด์ออฟในชั้นโครงข่ายนี้ คือการกระตุ้นในชั้นเชื่อมโยงข้อมูล ซึ่งจะลดเวลาที่ใช้ในการตรวจสอบการเปลี่ยนโครงข่าย และกระตุ้นการแฮนด์ออฟโดยใช้ข้อมูลที่ข้ามชั้นจากชั้นเชื่อมโยงข้อมูลไปสู่ชั้นโครงข่ายได้

ในวิทยานิพนธ์นี้เราสนใจที่จะเปรียบเทียบกับการลงทะเบียนภายหลัง (Post-Registration) ที่ใช้ตัวกระตุ้นในชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (L2 trigger) ชนิด กระตุ้นที่ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ (L2-Target Trigger: L2-TT) ซึ่งได้จากการปรับปรุงในระบบ Wireless LAN IEEE 802.11 และอ้างอิงจากจากแบบจำลองโครงข่าย (Network Simulator) จากมหาวิทยาลัยโคลัมเบีย

ในบทนี้ จะขอแบ่งเนื้อหาหลักเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นแบบแผนการจำลองของการลงทะเบียนภายหลังว่าทำงานอย่างไรในระบบ Wireless LAN IEEE 802.11 ในการกระตุ้นในชั้นเชื่อมโยงข้อมูลที่ใช้ในการลงทะเบียนภายหลังมาตรฐานและในแนวทางที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้

ส่วนที่สองเป็นการเปรียบเทียบแนวโน้มของต้นทุนในซิกแนลลิงระหว่างการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มาตรฐานทางการวิเคราะห์คณิตศาสตร์ว่าการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่สามารถลดต้นทุนซิกแนลลิงได้ดีกว่าโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มาตรฐานเพียงใด ในวิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอการนำเพจจิงมาประยุกต์ใช้

ส่วนหัวข้อสุดท้ายเป็นการกล่าวถึงโครงสร้างของแบบจำลองที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ ซึ่งประกอบด้วย โปรแกรมหลัก และชุดโพรซีเยอร์ที่จำลองการทำงานตามแนวทางวิทยานิพนธ์นี้

4.1 แบบแผนการจำลองการลงทะเบียนภายหลังบนระบบ Wireless LAN IEEE 802.11

ใน IEEE 802.11 กลไกการแฮนด์ออฟในชั้นโครงข่ายได้ถูกระบุจาก [17], [18] และสถานีฐานถูกอ้างเป็นจุดเข้าถึง (Access Point) และเราอ้างอิงสมมติฐานดังนี้

- ตัวแทนโครงข่ายภายนอก (FA) เป็นหน่วยรับส่งข้อมูลถูกรวมเข้ากับจุดเข้าถึง (Access Point: AP) ดังนั้น ตัวแทนโครงข่ายภายนอกในที่นี้เป็นจุดเข้าถึง
- โนดเคลื่อนที่สามารถติดต่อจุดเข้าถึงทั้งคู่ได้ในช่วงที่อยู่ในพื้นที่ทับซ้อนกัน และสภาพเคลื่อนที่ในชั้นเชื่อมโยงข้อมูลจะถูกตรวจพบในขณะที่ได้รับบีคอน (beacon) แรกสุดจากจุดเข้าถึงใหม่ ใน IEEE 802.11 บีคอนจะถูกส่งทุกๆ 100 มิลลิวินาที โนดเคลื่อนที่จะใช้ L2 beacons ในการกำหนดว่าตัวแทนโครงข่ายภายนอกใดที่มีการติดต่อที่ดีที่สุด
- ข่าวสารประกาศตัวแทนเราเตอร์จะถูกส่งทุกๆ 1 วินาที

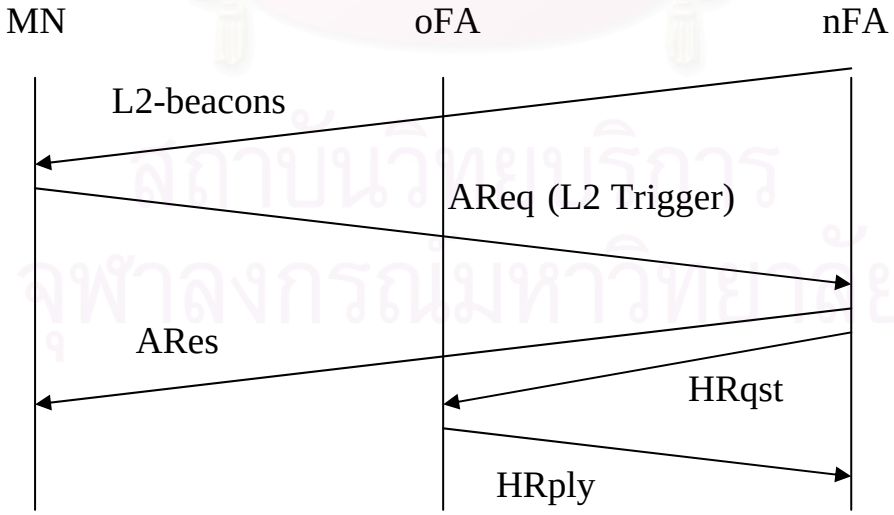
เนื่องจาก L2 beacons ถูกส่งจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกด้วยอัตราการส่งที่สูงกว่าอัตราการส่งสัญญาณข่าวสารประกาศตัวแทน จึงสามารถลดการสูญหายของแพ็กเกตได้

เราจำลองการกระตุ้นที่โครงข่ายภายนอกตัวใหม่ในการแฮนด์ออฟของการลงทะเบียนภายหลังตาม IEEE 802.11 ดังเป็นชั้นเชื่อมโยงข้อมูลตามแบบจำลองโครงข่าย (Network Simulator: NS) ในแบบแผนนี้ โนดเคลื่อนที่จะเชื่อมโยง (associate) กับตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่หนึ่งครั้งในการเลือกจุดเข้าถึงจุดใหม่ ข่าวสารเชื่อมโยงนี้จะประพฤติเป็นตัวกระตุ้นตัวแทนโครงข่ายภายนอกที่ต้องการ (L2-TT) ในชั้นเชื่อมโยงข้อมูลที่ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวเก่าและตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่จะติดตั้งอุโมงค์สองทิศทาง (Bi-directional Edge Tunnel: BET) หลังจากแลกเปลี่ยนข่าวสารร้องขอและตอบรับแฮนด์ออฟ ทราฟฟิกที่สื่อสารจึงผ่านอุโมงค์ระหว่างตัวแทนโครงข่ายภายนอกนี้ได้ เพื่อโนดเคลื่อนที่สามารถได้รับ

งานบริการที่ต่อเนื่องผ่านอุโมงค์สองทิศทางนี้โดยประวิงการลงทะเบียนกับตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ หลังจากนั้น โนดเคลื่อนที่จะลงทะเบียนกับตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่เอง

จากรูปที่ 4.1 [11] แบบแผนการจำลองการลงทะเบียนภายหลังบน IEEE 802.11 มีเหตุการณ์ระหว่างการแฮนด์ออฟดังนี้

- ขณะที่ได้รับ 802.11 beacons (L2-beacons) จากตัวแทนโครงข่ายภายนอก โนดเคลื่อนที่จะเชื่อมโยงกับตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ด้วยการส่งการร้องขอเชื่อมโยง (Association Request: AReq) กับตัวแทนโครงข่ายภายนอก ข่าวสารนี้จะประพฤติเป็น L2-TT ที่ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ ในอีกทางหนึ่งตัวแทนโครงข่ายภายนอกจะส่งการตอบรับด้วยการตอบรับการเชื่อมโยง (Association Response: ARes) แก่โนดเคลื่อนที่
- ตัวกระตุ้น AReq จะกระตุ้นให้ตัวแทนโครงข่ายภายนอกส่งข่าวสารการร้องขอแฮนด์ออฟ (HRqst) แก่ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวเก่า
- เมื่อตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวเก่าได้รับ HRqst จะส่ง HRply กลับไปยังตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ เป็นการติดตั้งอุโมงค์สองทิศทาง BET ระหว่างตัวแทนโครงข่ายภายนอกทั้งสอง ตัวแทนโครงข่ายภายนอกจะส่งแพ็กเกตที่ต้องการส่งไปยังโนดเคลื่อนที่ผ่านอุโมงค์นี้
- เมื่อโนดเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารประกาศตัวแทนจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่ก็จะเริ่มกระบวนการลงทะเบียนมาตรฐานกับตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวใหม่



รูปที่ 4.1 การแฮนด์ออฟแบบ Target- Trigger Handoff ในการลงทะเบียนภายหลังบน IEEE 802.11

4.2 การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบแนวโน้มปริมาณซิกแนลลิงของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

การวิเคราะห์นี้จะพิจารณาเปรียบเทียบแนวโน้มของปริมาณซิกแนลลิงระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ในแบบแผนพื้นที่เพจจิงที่ไม่ทับซ้อนกัน (non-overlapping) หน่วยเป็น weighted hops • pkt/s. เรานับ hop ทางอากาศเป็นหนึ่ง hop และในการวิเคราะห์นี้เราไม่นับข่าวสารการประกาศตัวแทนและข่าวสารร้องขอการประกาศเพราะทั้งสองโพรโทคอลที่เราพิจารณามีส่วนของข่าวสารดังกล่าวเท่ากัน ดังนั้น การลงทะเบียนและซิกแนลลิงเพจจิงจึงพิจารณาในส่วนที่เราสนใจเท่านั้นก็เพียงพอในการพิจารณาแนวโน้มปริมาณซิกแนลลิง

ในรูปแบบการเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่ที่พิจารณานี้ เราสมมุติว่า พื้นที่เพจจิงและเซลล์ไร้สายเป็นรูปร่างสี่เหลี่ยมมีจำนวน n เซลล์ในพื้นที่เพจจิง เส้นรอบรูปของเซลล์มีค่าเป็น l ดังนั้นเส้นรอบรูปของพื้นที่เพจจิง L มีค่าเป็น $L = l\sqrt{n}$ โดยโนดเคลื่อนที่วิ่งด้วยความเร็วเฉลี่ย v ในทิศทางซึ่งมีการกระจายแบบ uniform บนช่วง $[0, 2\pi]$ และมีความหนาแน่นของโนดเคลื่อนที่ ρ, อัตราการข้ามขอบเซลล์ $r_c = \frac{\rho v l}{\pi}$ และอัตราการข้ามขอบพื้นที่เพจจิงคือ $r_p = \frac{\rho v L}{\pi}$ หน่วย (mobiles/s)

ในส่วนต่อไปเราจะแยกการวิเคราะห์ปริมาณซิกแนลลิงเป็นสองส่วน ส่วนแรกเป็นของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ และส่วนที่สองเป็นวิธีการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เพื่อศึกษาแนวโน้มการลดลงของปริมาณซิกแนลลิง

4.2.1 การวิเคราะห์ปริมาณซิกแนลลิงของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

สมการที่ใช้ในการคำนวณปริมาณซิกแนลลิงของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่คือ

$$C = d_{HA,FA}(R_{core}w_{core} + R_{local}w_{local})[r_c\, n + \rho\left(\frac{l}{4}\right)^2 n\, r_r]$$

$$= d_{HA,FA}(R_{core}w_{core} + R_{local}w_{local})[\frac{\rho v l}{\pi}\, n + \rho\left(\frac{l}{4}\right)^2 n\, r_r] \qquad (4.1)$$

ซึ่งสมการที่ (4.1) อ้างอิงจาก [5] ที่เป็นการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ในวงเล็บปีกกานั้น พจน์ของ $r_c n$ เป็นปริมาณซิกแนลลิงในการข้ามเซลล์ ส่วนพจน์ที่สองของ $\rho\left(\frac{l}{4}\right)^2 n r_r$ เป็นปริมาณซิกแนลลิงในการลงทะเบียนใหม่

โดยที่

- C คือ Signalling Cost ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ (weighted hops • pkt/s.)
- $d_{HA,FA}$ เป็นระยะทางเฉลี่ยระหว่างตัวแทนบ้านกับตัวแทนโครงข่ายภายนอก หน่วยเป็น hop
- R_{core} เป็นอัตราส่วนของจำนวน hopในโครงข่ายหลัก (core network) กับจำนวน hop ทั้งหมดระหว่างตัวแทนบ้านกับตัวแทนโครงข่ายภายนอก
- R_{local} เป็นอัตราส่วนของจำนวน hopในโครงข่ายเข้าถึงท้องถิ่น (local access network) กับจำนวน hop ทั้งหมดระหว่างตัวแทนบ้านกับตัวแทนโครงข่ายภายนอก
- w_{core} เป็นการถ่วงน้ำหนักของแต่ละ hop ในโครงข่ายหลัก
- w_{local} เป็นการถ่วงน้ำหนักของแต่ละ hop ในโครงข่ายเข้าถึง
- r_c เป็นอัตราการข้ามเซลล์ (number of mobiles/s)
- ρ เป็นความหนาแน่นของโนดเคลื่อนที่ (number of mobiles/m^2)
- n เป็นจำนวนของเซลล์ที่พิจารณา
- v เป็นความเร็วของโนดเคลื่อนที่ (m/s)
- l เป็นความยาวเส้นรอบรูปของเซลล์ (m)
- r_r เป็นอัตราการลงทะเบียนใหม่เฉลี่ย ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่า lifetime ของการลงทะเบียน (number of mobiles/s)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.2 การวิเคราะห์ปริมาณซิกแนลลิงของการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

ค่า Signalling cost ที่เกี่ยวข้องกับ P-MIP ประกอบด้วยต้นทุนในการลงทะเบียนกับต้นทุนในการทำซิกแนลลิงเพจจิง นั่นคือ

$$C_p = d_{HA,FA}(R_{core}w_{core} + R_{local}w_{local})[r_p + (r_c n - r_p)\alpha + \rho\left(\frac{l}{4}\right)^2 n r_r +$$

$$\rho\left(\frac{l}{4}\right)^2 n (1-\alpha)(\lambda_d + \lambda_a)] + (n-1)\, d_{FA,FA}\, w_{local}\, \rho\left(\frac{l}{4}\right)^2 n (1-\alpha)\lambda_a$$

$$= d_{HA,FA}(R_{core}w_{core} + R_{local}w_{local})[\frac{\rho vL}{\pi} + \frac{\rho vl}{\pi}(n - \sqrt{n})\alpha + \rho\left(\frac{l}{4}\right)^2 n r_r$$

$$+ \rho\left(\frac{l}{4}\right)^2 n (1-\alpha)(\lambda_d + \lambda_a)] + (n-1)\, d_{FA,FA}\, w_{local}\, \rho\left(\frac{l}{4}\right)^2 n (1-\alpha)\lambda_a \quad (4.2)$$

ซึ่งสมการที่ (4.2) อ้างอิงจาก [5] เป็นการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ ในวงเล็บแรกปีกกานั้น พจน์แรกของ $\frac{\rho vL}{\pi}$ เป็นปริมาณซิกแนลลิงในการข้ามพื้นที่เพจจิง, พจน์ที่สองของ $\frac{\rho vl}{\pi}(n - \sqrt{n})\alpha$ เป็นปริมาณซิกแนลลิงในการข้ามเซลล์ช่วงสถานะทำงาน, พจน์ที่สามของ $\rho\left(\frac{l}{4}\right)^2 n r_r$ เป็นปริมาณซิกแนลลิงในการลงทะเบียนใหม่ และพจน์ที่สี่ของ $\rho\left(\frac{l}{4}\right)^2 n (1-\alpha)(\lambda_d + \lambda_a)$ เป็นปริมาณซิกแนลลิงในการเริ่มสถานะทำงาน

ส่วนในวงเล็บหลังของ $(n-1)\, d_{FA,FA}\, w_{local}\, \rho\left(\frac{l}{4}\right)^2 n (1-\alpha)\lambda_a$ เป็นปริมาณซิกแนลลิงในการค้นหาโนดเคลื่อนที่

โดยที่

- C_p คือ Signalling Cost ใน P-MIP (weighted hops • pkt/s.)
- $d_{FA,FA}$ เป็นระยะทางเฉลี่ยระหว่างตัวแทนโครงข่ายภายนอก หน่วยเป็น hop
- r_p เป็นอัตราการข้ามพื้นที่เพจจิง (number of mobiles/s)
- α เป็นอัตราส่วนระหว่างจำนวนโนดเคลื่อนที่ในสถานะทำงานกับจำนวนโนดเคลื่อนที่ทั้งหมด
- λ_a เป็นอัตราความถี่ของ data session เข้าหาโนดเคลื่อนที่ (1/s)
- λ_d เป็นอัตราความถี่ของ data session ออกจากโนดเคลื่อนที่ (1/s)
- L เป็นเส้นรอบรูปพื้นที่เพจจิง (m)

สำหรับการลงทะเบียนใหม่เมื่อ Registration lifetime หมดอายุลง จะมีปริมาณซิกแนลลิงของการลงทะเบียนใหม่เหมือนกันทั้งในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับ P-MIP ดังนั้นในการวิเคราะห์นี้เราจะไม่นำส่วนนี้มาเปรียบเทียบและจะสนใจเฉพาะในส่วนซิกแนลลิงที่แตกต่างกันของโพรโทคอลทั้งสองที่ไม่มีเพจจิงและมีเพจจิง เราลดรูปด้วยการ normalize ค่า signalling cost ที่ถ่วงน้ำหนักด้วยระยะทาง ระหว่างตัวแทนบ้านกับตัวแทนโครงข่ายภายนอกจากสมการที่ (4.1) และ (4.2) ตามลำดับได้ดังนี้

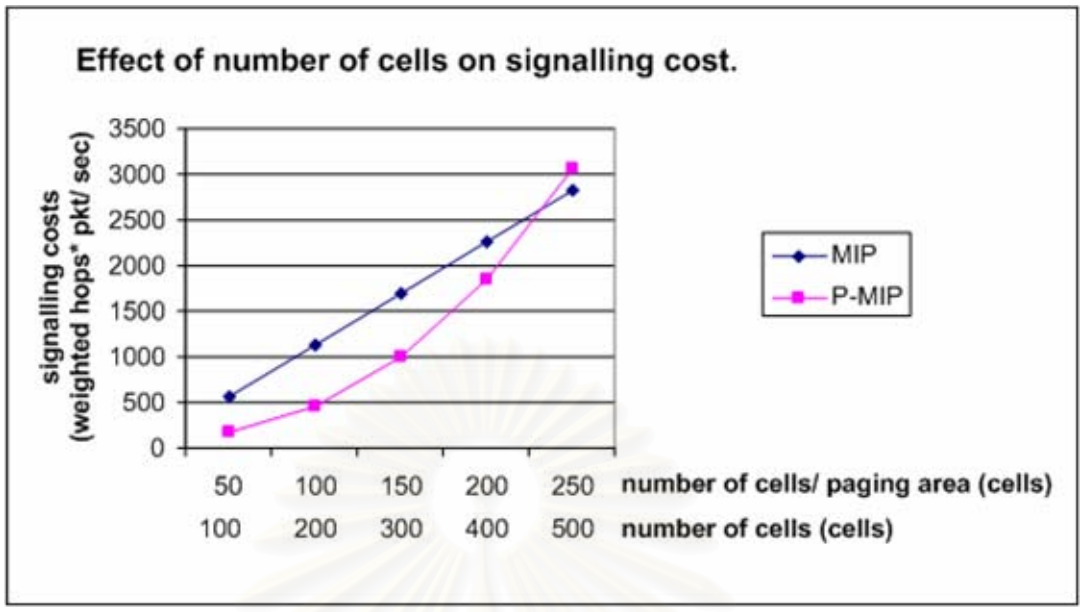
$$C_n = \frac{C}{d_{HA,FA}\left(R_{core}w_{core} + R_{local}w_{local}\right)} = \frac{\rho v l}{\pi} n \qquad (4.3)$$

$$C_{pn} = \frac{C_p}{d_{HA,FA}\left(R_{core}w_{core} + R_{local}w_{local}\right)} = \frac{\rho v l \sqrt{n}}{\pi} + \frac{\rho v l}{\pi}\left(n - \sqrt{n}\right)\alpha + \rho\left(\frac{l}{4}\right)^2 n\,(1-\alpha)\left(\lambda_d + \lambda_a\right) + \frac{d_{FA,FA}(n-1)\rho\left(l/4\right)^2 n(1-\alpha)\lambda_a}{d_{HA,FA}\left(R_{core}R_w + R_{local}\right)} \qquad (4.4)$$

เมื่ออัตราส่วนถ่วงน้ำหนัก hop (R_w) เป็นอัตราส่วนระหว่าง w_{core} และ w_{local}

4.2.3 ผลปริมาณซิกแนลลิงของการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ จากสมการที่ (3), (4) จากเอกสารอ้างอิง [5]

จากสมการดังกล่าวเมื่อเราวิเคราะห์โพรโทคอลทั้ง 2 ชนิดโดยใช้ค่าพารามิเตอร์จาก [5] เมื่อเราเพิ่มจำนวนเซลล์มากขึ้น ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ตามมาตรฐานก็จะมีปริมาณซิกแนลลิงมากขึ้นดังสมการที่ (4.3) และเมื่อเราเพิ่มจำนวนเซลล์ต่อพื้นที่เพจจิงมากขึ้นก็จะเพิ่มปริมาณซิกแนลลิงมากขึ้นแต่ผลกระทบของโพรโทคอลเคลื่อนที่จะแตกต่างจากการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ในสมการที่ (4.4) ดังรูปที่ 4.2

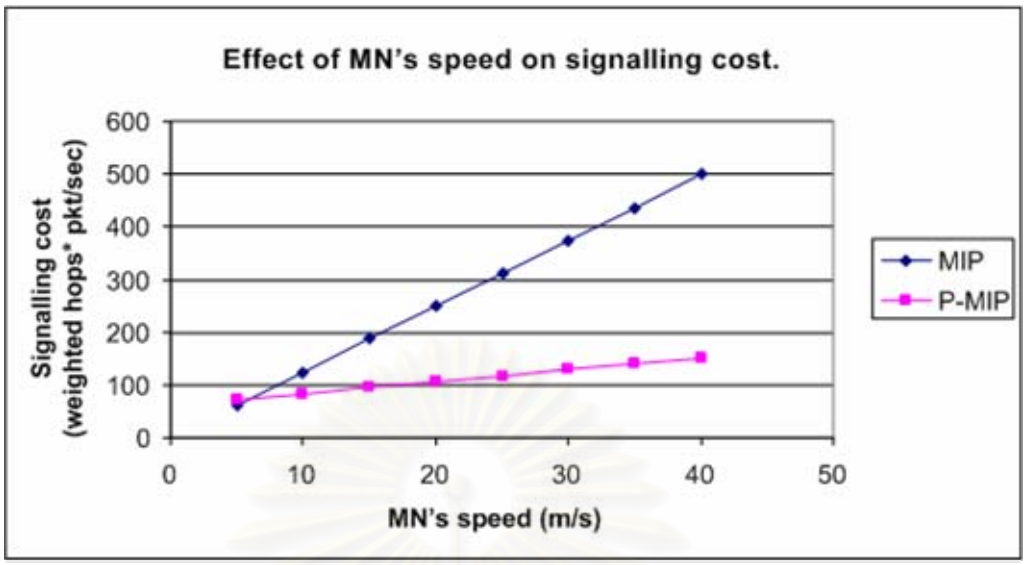


รูปที่ 4.2 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ต่อพื้นที่เพจจิงส่งผลให้ปริมาณซิกแนลลิงในโพรโทคอลแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าในการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ จะช่วยลดปริมาณซิกแนลลิงลงได้ แต่ถ้าหากเราเลือกจำนวนเซลล์ต่อพื้นที่เพจจิงมากเกินไป ก็จะทำให้มีปริมาณซิกแนลลิงมากกว่าโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ทั้งนี้เป็นเพราะว่า เมื่อเพิ่มจำนวนสมาชิกของเพจจิงมากเกินไป เวลาส่งสัญญาณเพจจิงหาโนดเคลื่อนที่จะต้องส่งให้ทั่วถึงแก่เซลล์ทุกเซลล์ ยิ่งมีจำนวนเซลล์มาก จะยิ่งเพิ่มปริมาณซิกแนลลิงในการทำเพจจิงให้มากยิ่งขึ้น ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรของระบบ ดังนั้น เราควรเลือกจำนวนเซลล์สมาชิกต่อพื้นที่เพจจิงให้เหมาะสม

[5] ได้แนะนำว่าควรมีจำนวนสมาชิกตัวแทนโครงข่ายภายนอกต่อพื้นที่เพจจิง 1 พื้นที่ ไม่เกิน 50 เซลล์ ซึ่งจากรูปที่ 12 จะพบได้ว่า เมื่อเราเลือกจำนวนเซลล์ต่อพื้นที่เพจจิงเป็นจำนวน 50 เซลล์ ใน P-MIP นี้สามารถลดปริมาณซิกแนลลิงได้ลงประมาณ 4-5 เท่าจากโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่

ในการศึกษาเกี่ยวกับความเร็วที่มีผลต่อปริมาณซิกแนลลิงของโพรโทคอลทั้ง 2 ชนิด พบว่าเมื่อเพิ่มความเร็วแก่โนดเคลื่อนที่ ในระบบที่ใช้เพจจิงจะช่วยลดปริมาณซิกแนลลิงได้ดีกว่าระบบโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผลกระทบของการเพิ่มความเร็วแก่โนดเคลื่อนที่ส่งผลให้ปริมาณซิกแนลลิงในโพรโทคอลแต่ละชนิด เพิ่มขึ้น

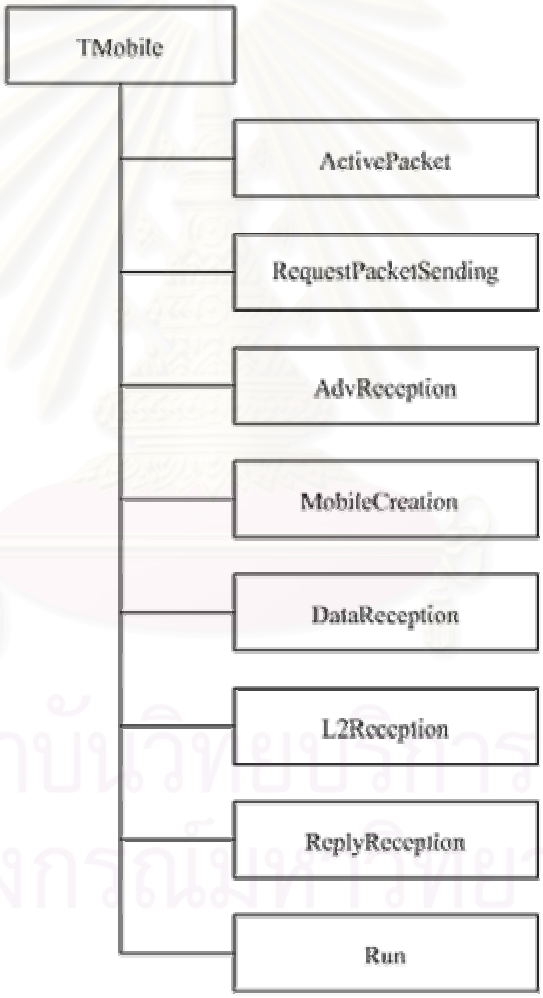
จะพบว่าเมื่อความเร็วมากขึ้น การใช้เพจจิงจะช่วยลดปริมาณซิกแนลลิงลงได้เพราะ เมื่อโนดเคลื่อนที่ที่อยู่ในสถานะไม่ทำงานข้ามเซลล์ที่อยู่ในพื้นที่เพจจิงเดียวกัน โนดเคลื่อนที่จะไม่ลงทะเบียน แต่ในขณะที่โนดเคลื่อนที่มีสภาพเคลื่อนที่ที่ช้าเหมือนหยุดนิ่ง การใช้เพจจิงกลับเพิ่มส่วน overhead มากขึ้นโดยเปล่าประโยชน์ เนื่องจากต้องเพิ่มปริมาณซิกแนลลิงในการค้นหาโนดเคลื่อนที่ ทั้งๆ ที่โนดเคลื่อนที่อยู่ในเซลล์เดิม

จากผลการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์พบว่า การใช้เพจจิงมาช่วยในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ จะสามารถลดปริมาณซิกแนลลิงได้เป็นอย่างมากในจำนวนเซลล์ต่อพื้นที่เพจจิงที่มีขนาดที่เหมาะสม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

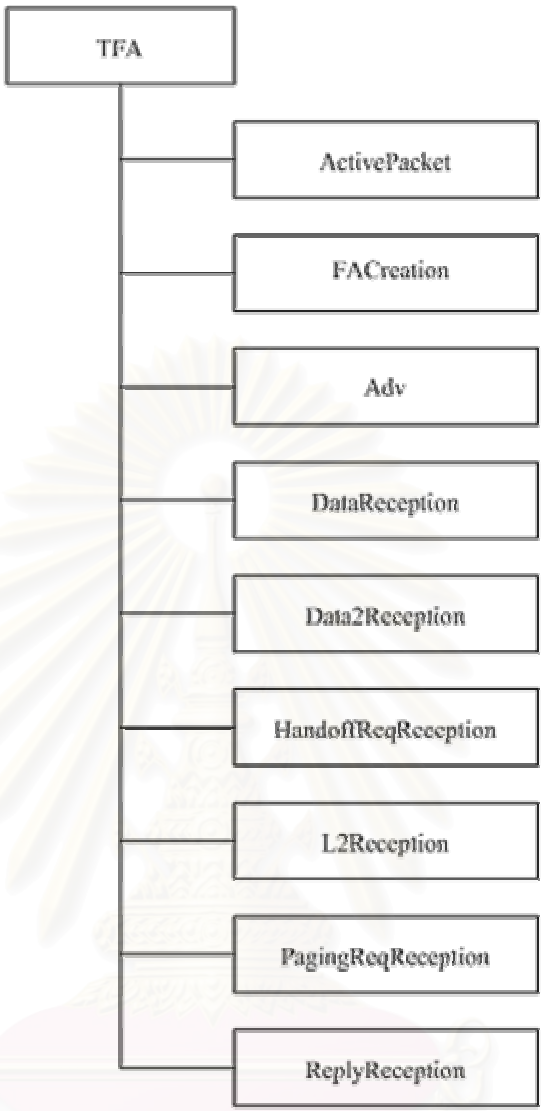
4.3 โครงสร้างโพรซีเยอร์ที่ใช้ในการจำลองแบบตามแนวคิดวิทยานิพนธ์

ในส่วนนี้อธิบายถึงโครงสร้างที่ใช้ในการจำลองแนวคิดที่เสนอในวิทยานิพนธ์ ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มวัตถุ (Object) ที่ทำงานร่วมกัน โดยวัตถุแต่ละวัตถุจะถูกสร้างด้วยคลาส (Class) ที่ประกอบด้วยชุดโพรซีเยอร์ (Procedure) ที่ทำงานร่วมกัน ตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในคลาสแต่ละคลาส ในส่วนนี้จะขอกล่าวเฉพาะโครงสร้างโพรซีเยอร์ที่จำลองตามแนวคิดวิทยานิพนธ์เท่านั้น เรากำหนด MN, FA, HA และชนิดของแพ็กเกตต่างๆ เป็นวัตถุ โดยวัตถุแต่ละวัตถุจะถูกสร้างจากคลาส (Class) ซึ่งจะประกอบด้วยกลุ่มโพรซีเยอร์ตามคลาสแต่ละคลาสดังนี้

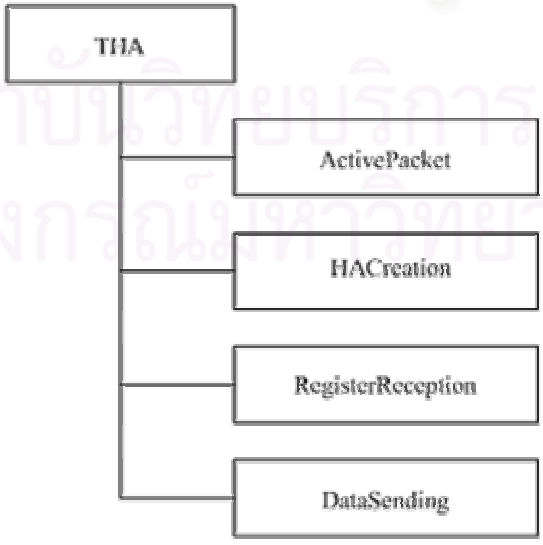


รูปที่ 4.4 คลาสโนดเคลื่อนที่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

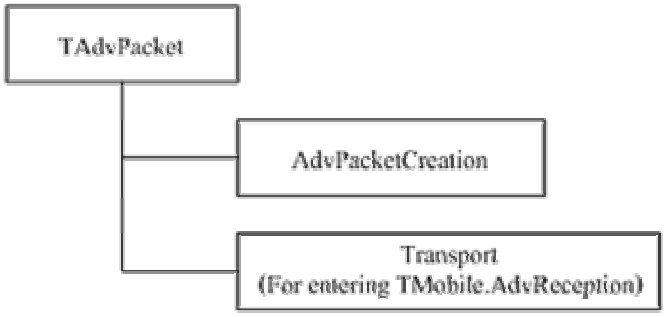


รูปที่ 4.5 คลาสตัวแทนโครงข่ายภายนอก

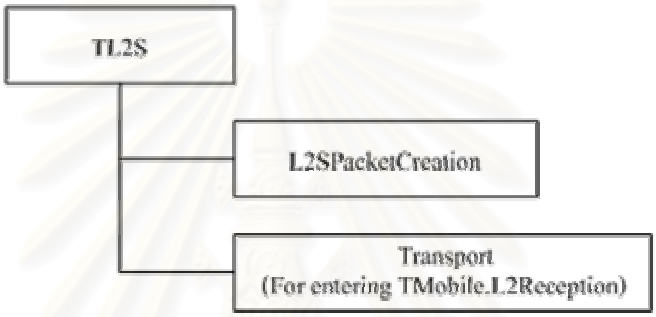


รูปที่ 4.6 คลาสตัวแทนบ้าน

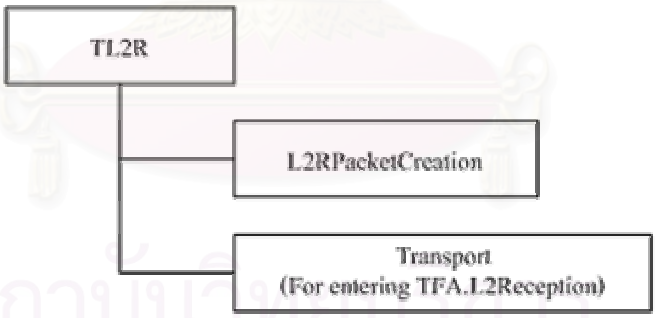
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 คลาสแพ็กเกตของข่าวสารประกาศค้นหาตัวแทน

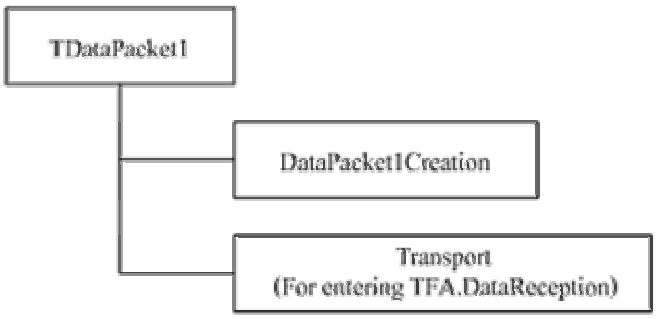


รูปที่ 4.8 คลาส L2 จาก FA ไปยัง MN

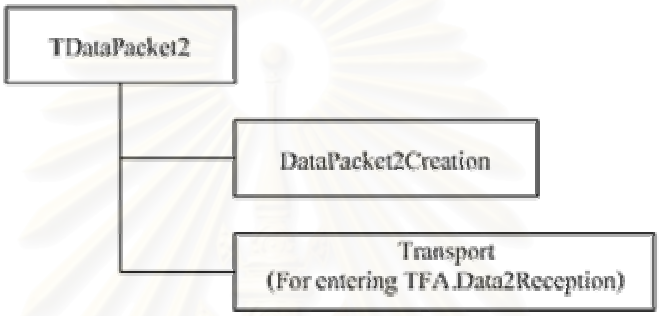


รูปที่ 4.9 คลาส L2 จาก MN ไปยัง FA

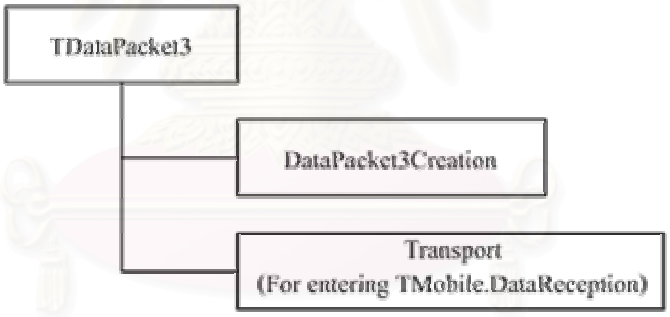
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



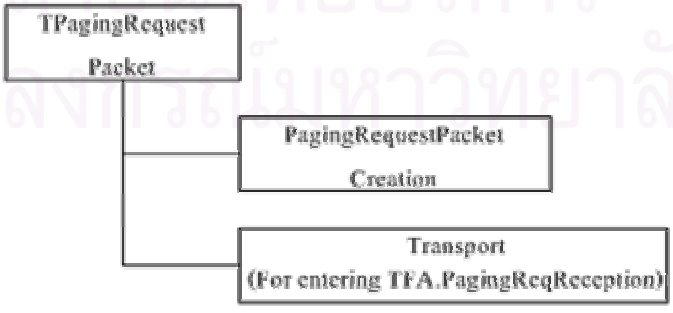
รูปที่ 4.10 คลาสแพ็กเกตข้อมูล DataPacket1 จาก HA ไปยัง FA



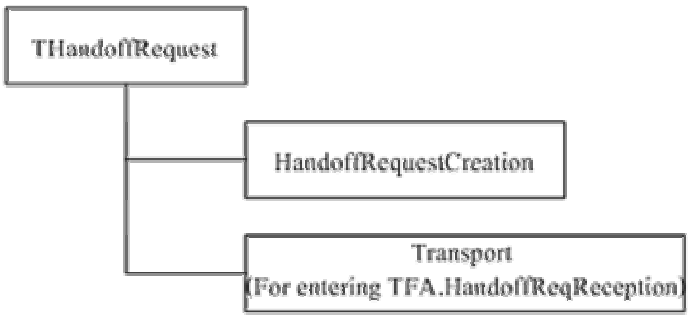
รูปที่ 4.11 คลาสแพ็กเกตข้อมูล DataPacket2 จาก FA ไปยัง FA



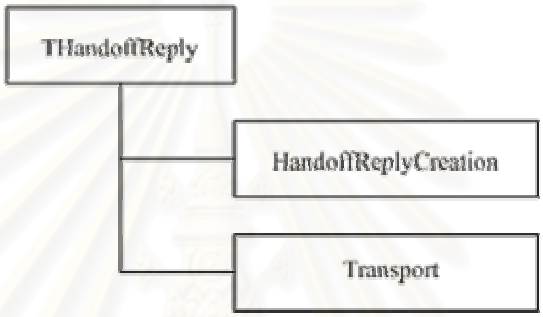
รูปที่ 4.12 คลาสแพ็กเกตข้อมูล DataPacket 3 จาก FA ไปยัง MN



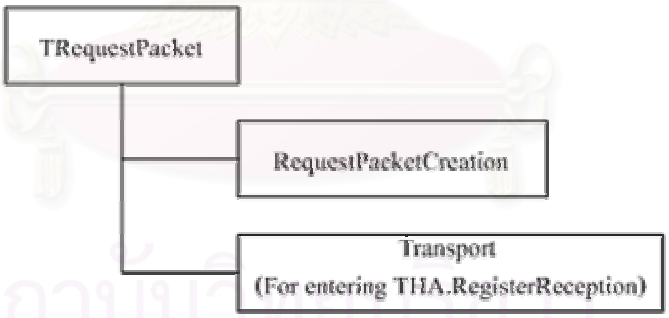
รูปที่ 4.13 คลาสแพ็กเกตการร้องขอเพจจิง



รูปที่ 4.14 คลาสข่าวสารร้องขอการแฮนด์ออฟ

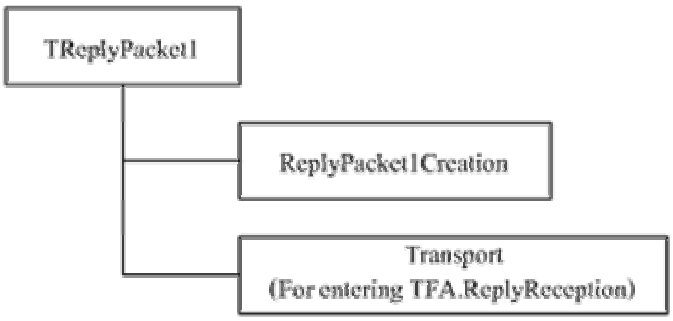


รูปที่ 4.15 คลาสข่าวสารตอบรับการแฮนด์ออฟ

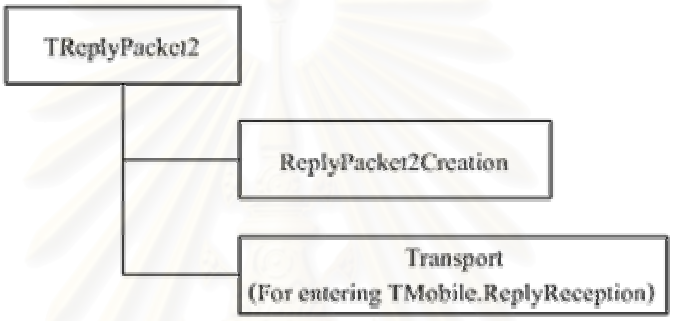


รูปที่ 4.16 คลาสแพ็กเกตการร้องขอการลงทะเบียน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.17 คลาสแพ็กเกตการตอบรับการลงทะเบียนจาก HA ไปยัง FA



รูปที่ 4.18 คลาสแพ็กเกตการตอบรับการลงทะเบียนจาก FA ไปยัง MN

ในรูปที่ 4.4 แสดงถึง TMobile เป็นคลาสของวัตถุโนดเคลื่อนที่ (MN) ซึ่งจะประกอบด้วยชุดโพรซีเยอร์ ได้แก่ โพรซีเยอร์การการกระตุ้นการทำงานของแพ็กเกตทุกชนิดที่สร้างจาก MN ให้เคลื่อนที่ตามที่กำหนด (ActivePacket Procedure), โพรซีเยอร์ MN ลงทะเบียน (RequestPacketSending Procedure), โพรซีเยอร์การกำหนดค่าเริ่มต้นของ MN (MNCreation Procedure), โพรซีเยอร์ MN รับข้อมูล (DataReception Procedure), โพรซีเยอร์ MN รับการตอบรับการลงทะเบียน (ReplyReception Procedure) และโพรซีเยอร์ MN เคลื่อนที่ (Run Procedure) ซึ่งโพรซีเยอร์ทั้งหมดนี้จะทำงานเมื่อ MN ได้รับเหตุการณ์ที่กำหนดในแบบจำลองมากระตุ้นให้ MN ทำงานในแต่ละโพรซีเยอร์

รูปที่ 4.5 แสดงถึง TFA เป็นคลาสของวัตถุตัวแทนโครงข่ายภายนอก (FA) ซึ่งจะประกอบด้วยชุดโพรซีเยอร์ ได้แก่ โพรซีเยอร์การกระตุ้นการทำงานของแพ็กเกตทุกชนิดที่สร้างจาก FA ให้เคลื่อนที่ตามที่กำหนด (ActivePacket Procedure), โพรซีเยอร์การกำหนดค่าเริ่มต้นของ FA (FACreation Procedure), โพรซีเยอร์ FA ประกาศข่าวสาร Agent Advertisement (Adv Procedure), โพรซีเยอร์FA รับข้อมูลจาก HA (DataReception Procedure), โพรซีเยอร์ FA รับข้อมูลจาก FA ตัวอื่น (Data2Reception Procedure), โพรซีเยอร์ FA รับข่าวสารการร้องขอการแฮนด์ออฟ

(HandoffReqReception Procedure), โพรซีเยอร์ FA รับ L2 จาก MN (L2Reception Procedure), โพรซีเยอร์ FA รับข่าวสารการร้องขอเพจจิง (PagingReqReception Procedure) และโพรซีเยอร์ FA รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนจาก HA (ReplyReception Procedure) ซึ่งโพรซีเยอร์ทั้งหมดนี้ จะทำงานเมื่อ FA ได้รับเหตุการณ์ที่กำหนดในแบบจำลองมากระตุ้นให้ FA ทำงานในแต่ละโพรซีเยอร์

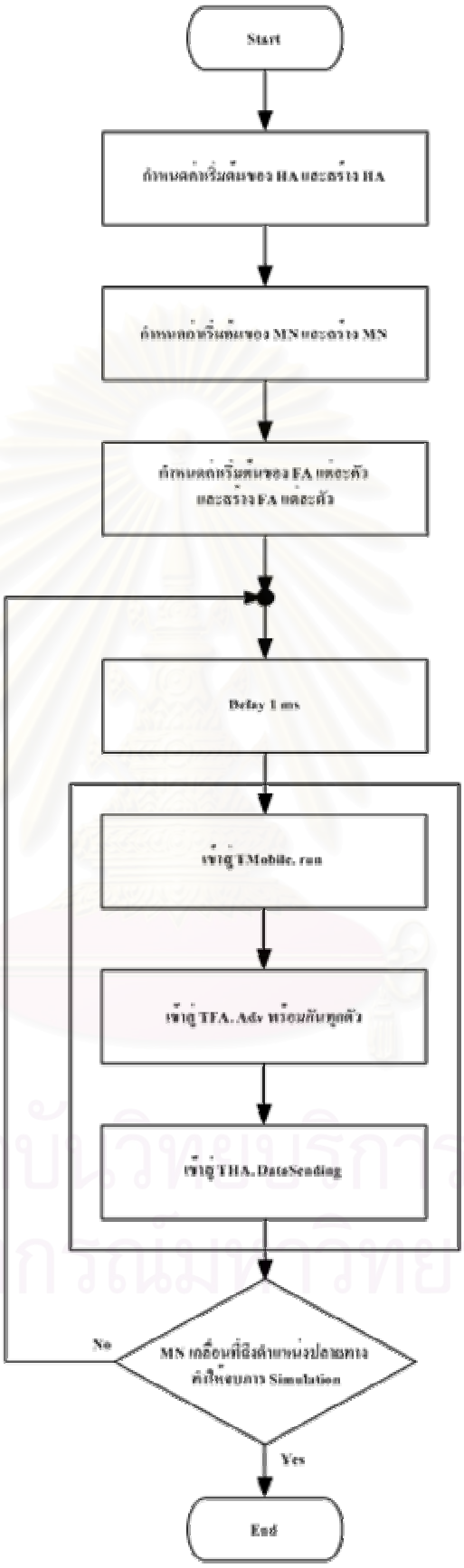
รูปที่ 4.6 แสดงถึง THA เป็นคลาสของวัตถุตัวแทนบ้าน (HA) ซึ่งจะประกอบด้วยชุดโพรซีเยอร์ ได้แก่ โพรซีเยอร์การกระตุ้นการทำงานของแพ็กเกตทุกชนิดที่สร้างจาก HA ให้เคลื่อนที่ตามที่กำหนด (ActivePacket Procedure), โพรซีเยอร์การกำหนดค่าเริ่มต้นของ HA (HACreation Procedure), โพรซีเยอร์ HA รับการร้องขอการลงทะเบียนจาก MN (RegisterReception Procedure) และโพรซีเยอร์ HA ส่งข้อมูล (DataSending Procedure) ซึ่งโพรซีเยอร์ทั้งหมดนี้ จะทำงานเมื่อ HA ได้รับเหตุการณ์ที่กำหนดในแบบจำลองมากระตุ้นให้ HA ทำงานในแต่ละโพรซีเยอร์

รูปที่ 4.7 ถึง 4.18 แสดงถึงชนิดแพ็กเกตแต่ละชนิดที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้ ประกอบด้วย

- TAdv เป็นคลาสของวัตถุข่าวสารการประกาศ Agent Advertisement จาก FA ลงทั่วทั้งเซลล์
- TL2S เป็นคลาสของวัตถุ L2 ที่ส่งจาก FA ไปยัง MN
- TL2R เป็นคลาสของวัตถุ L2 ที่ส่งจาก MN ไปยัง FA
- TData1 เป็นคลาสของวัตถุแพ็กเกตข้อมูลที่ส่งจาก HA ไปยัง FA
- TData2 เป็นคลาสของวัตถุแพ็กเกตข้อมูลที่ส่งจาก FA ไปยัง FA อื่น
- TData3 เป็นคลาสของวัตถุแพ็กเกตข้อมูลที่ส่งจาก FA ไปยัง MN
- TPagingRequestPacket เป็นคลาสของวัตถุข่าวสารการร้องขอเพจจิง จาก FA ไปยัง FA อื่น
- THandoffReuest เป็นคลาสของวัตถุข่าวสารการร้องขอการแฮนด์ออฟ จาก FA ไปยัง FA อื่น
- THandoffReply เป็นคลาสของวัตถุข่าวสารการตอบรับการแฮนด์ออฟ จาก FA ไปยัง FA อื่น
- TRequest เป็นคลาสของวัตถุข่าวสารการร้องขอการลงทะเบียนจาก MN ไปยัง HA
- TReply1 เป็นคลาสของวัตถุข่าวสารการตอบรับการลงทะเบียนจาก HA ไปยัง FA
- TReply2 เป็นคลาสของวัตถุข่าวสารการตอบรับการลงทะเบียนจาก FA ไปยัง MN

โดยคลาสแต่ละชนิดแพ็กเกตจะประกอบด้วย 2 โพรซีเยอร์ คือ โพรซีเยอร์การกำหนดค่าเริ่มต้นของแต่ละชนิดแพ็กเกต และโพรซีเยอร์การเคลื่อนที่ของแพ็กเกตในแต่ละชนิดแพ็กเกต (Transport Procedure) ที่เคลื่อนที่ไปยังปลายทาง

เราใช้โปรแกรมหลักที่กำหนดค่าเริ่มต้นและสร้างวัตถุ MN, FA และ HA โดยใช้ตัวนับเวลาหลักที่ประมวลผลทุกๆหนึ่งมิลลิวินาที (คอยประวิงเวลาทุกๆ 1 มิลลิวินาที) ทำให้เกิดการเรียกใช้โพรซีเยอร์ในแต่ละวัตถุ โดยโปรแกรมหลักมีรูปแบบดังนี้

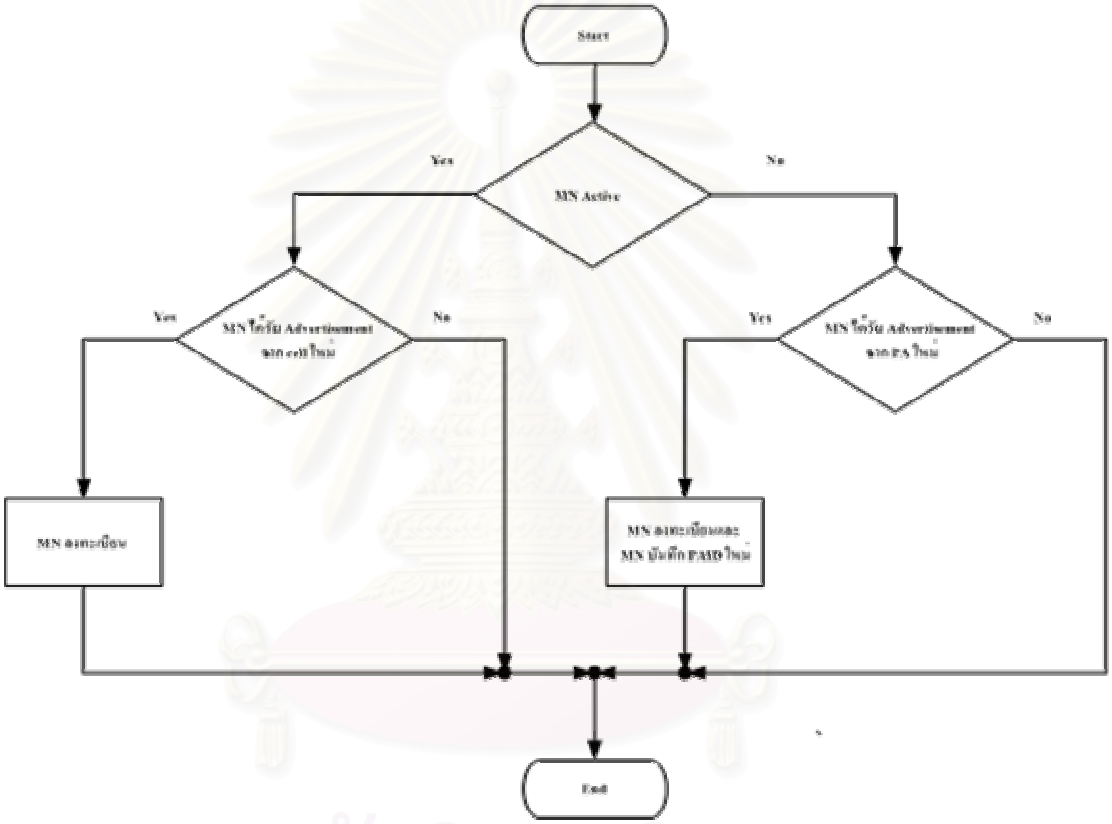


รูปที่ 4.19 โปรแกรมหลักในการเรียกใช้กลุ่มโพรซีเยอร์ (Main Program)

การเข้าสู่ TMobile.Run, TFA.Adv และ THA.DataSending นี้ จะทำงานทุกๆ 1 ms ตามการเรียกของโปรแกรมหลักที่กำหนด

ใน MN, FA และ HA จะมีโพรซีเยอร์ ActivePacket ที่ทำหน้าที่กระตุ้นให้แพ็กเกตทุกชนิดที่ถูกสร้างขึ้นในแต่ละ MN, FA และ HA เข้าสู่โพรซีเยอร์ Transport ที่ทำหน้าที่เคลื่อนที่แพ็กเกตตามแต่ละชนิดแพ็กเกตไปยังปลายทางตามที่กำหนด

ในส่วนต่อไป เราจะแสดงการทำงานของโพรซีเยอร์ที่มีการตัดสินใจในแต่ละโพรซีเยอร์ ดังรูป 4.20-4.36 ที่อยู่ในวัตถุ MN, FA และ HA ตามลำดับ



รูปที่ 4.20 โพรซีเยอร์ MN รับข่าวสารการประกาศ Agent Advertisement (TMobile.AdvReception)

จากรูปที่ 4.20 แสดงถึงเหตุการณ์ที่ MN ได้รับข่าวสารการประกาศ Agent Advertisement จะทำให้เกิดการตัดสินใจที่จะลงทะเบียนหรือไม่อย่างไร

รูปที่ 4.21 โพรซีเยอร์ MN รับข้อมูล (TMobile.DataReception)

จากรูปที่ 4.21 แสดงถึงโพรซีเยอร์ MN เมื่อได้รับข้อมูลจะเข้าสู่สถานะ Active ตามหลัก P-MIP

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 4.22 โพรซีเยอร์ MN รับข่าวสารการประกาศ L2 (TMobile.L2Reception)

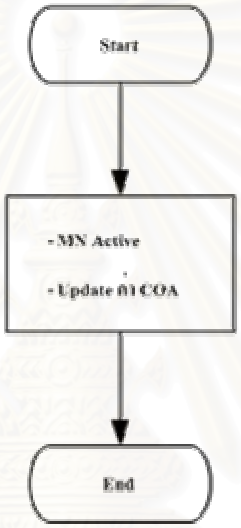
จากรูปที่ 4.22 ในการจำลองนี้ เราสมมุติว่า L2 ที่ใช้ในการจำลองนี้มีความสามารถที่จะเพิ่มบิตข้อมูลพิเศษบางบิต สามารถทำให้ MN รู้ว่า L2 ที่ MN ได้รับ เป็น L2 ที่เกิดกระตุ้นเพื่อค้นหา

MN เพื่อทำให้ MN เข้าสู่สถานะ Active ได้ทันที เพื่อที่ MN เมื่อได้รับ Agent Advertisement แล้ว MN จะสามารถลงทะเบียนกับ HA อย่างรวดเร็ว

HoMust หมายถึง ชนิดของ L2 ที่ MN ต้องการให้ FA ส่งข่าวสารการร้องขอแฮนด์ออฟไปยัง FA ที่ MN ลงทะเบียนไว้ครั้งล่าสุดในช่วงที่ MN อยู่ในสถานะ Active แล้วเข้าสู่เซลล์ใหม่

HoYes หมายถึง ชนิดของ L2 ที่ MN ตอบรับการค้นหา MN ของ FA ในขณะที่ HA เริ่มมีข้อมูลส่งถึง MN

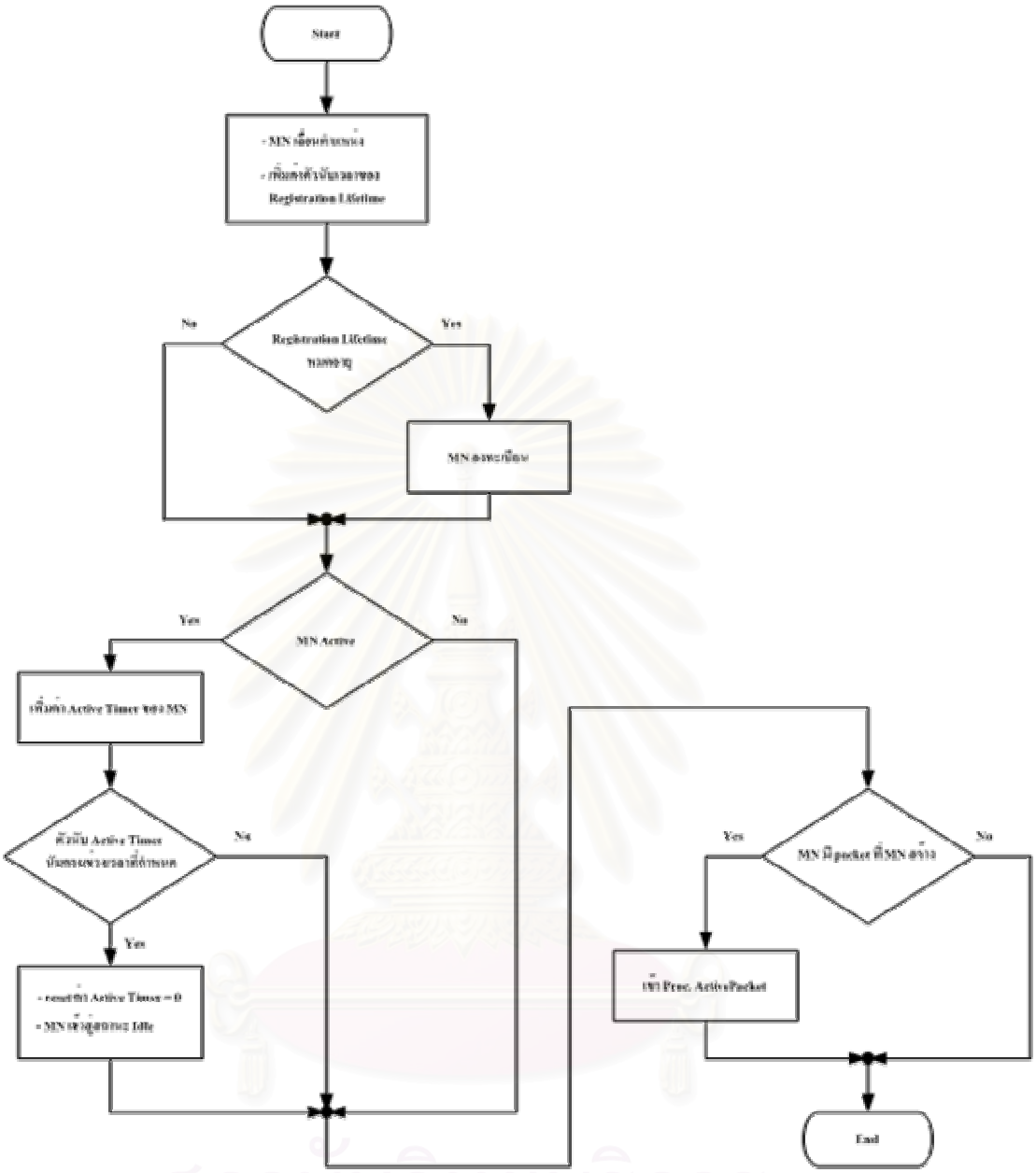
HoNo หมายถึง ชนิดของ L2 ที่ MN ไม่ต้องการให้ FA ส่งข่าวสารร้องขอแฮนด์ออฟใดๆ



รูปที่ 4.23 โพรซีเยอร์ MN ได้รับข่าวสารการตอบรับ (TMobile.ReplyReception)

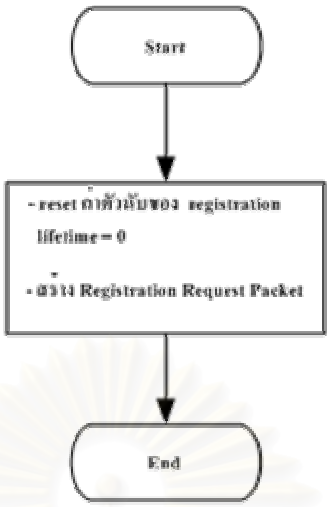
จากรูปที่ 4.23 แสดงถึงโพรซีเยอร์ MN รับข่าวสารการตอบรับจาก HA เพื่อปรับค่า COA ตัวใหม่จาก FA ตัวใหม่

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



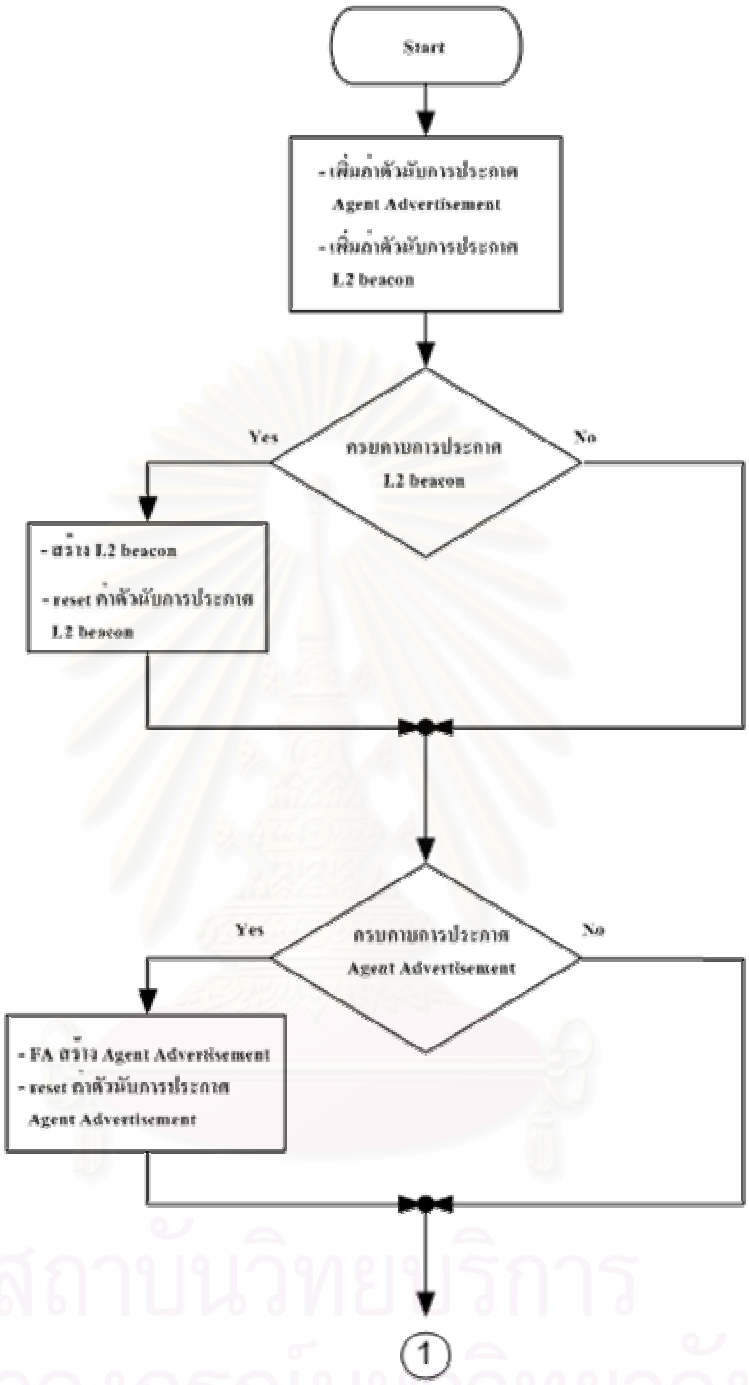
รูปที่ 4.24 โพรซีเยอร์ MN เคลื่อนที่ทุกๆ 1 ms (TMobile.Run)

รูปที่ 4.24 แสดงถึงโพรซีเยอร์การเคลื่อนที่ของ MN โดยโพรซีเยอร์นี้จะถูกเรียกใช้จากโปรแกรมหลัก ทุก ๆ 1 ms เพื่อขยับตำแหน่งของ MN ทุกๆ 1 ms โดยจะมีส่วนของการนับเวลา Registration Lifetime และกระตุ้นการส่งแพ็กเกตที่เกิดจาก MN ทุก ๆ 1 ms ให้เข้าสู่โพรซีเยอร์ ActivePacket เพื่อเข้าสู่โพรซีเยอร์ Transport ที่ทำหน้าที่เคลื่อนที่แพ็กเกตตามแต่ละชนิดของแพ็กเกตอีกทีหนึ่ง และในรูปที่ 4.25 แสดงถึงโพรซีเยอร์ MN ร้องขอการลงทะเบียนด้วยการส่งข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนไปยัง HA

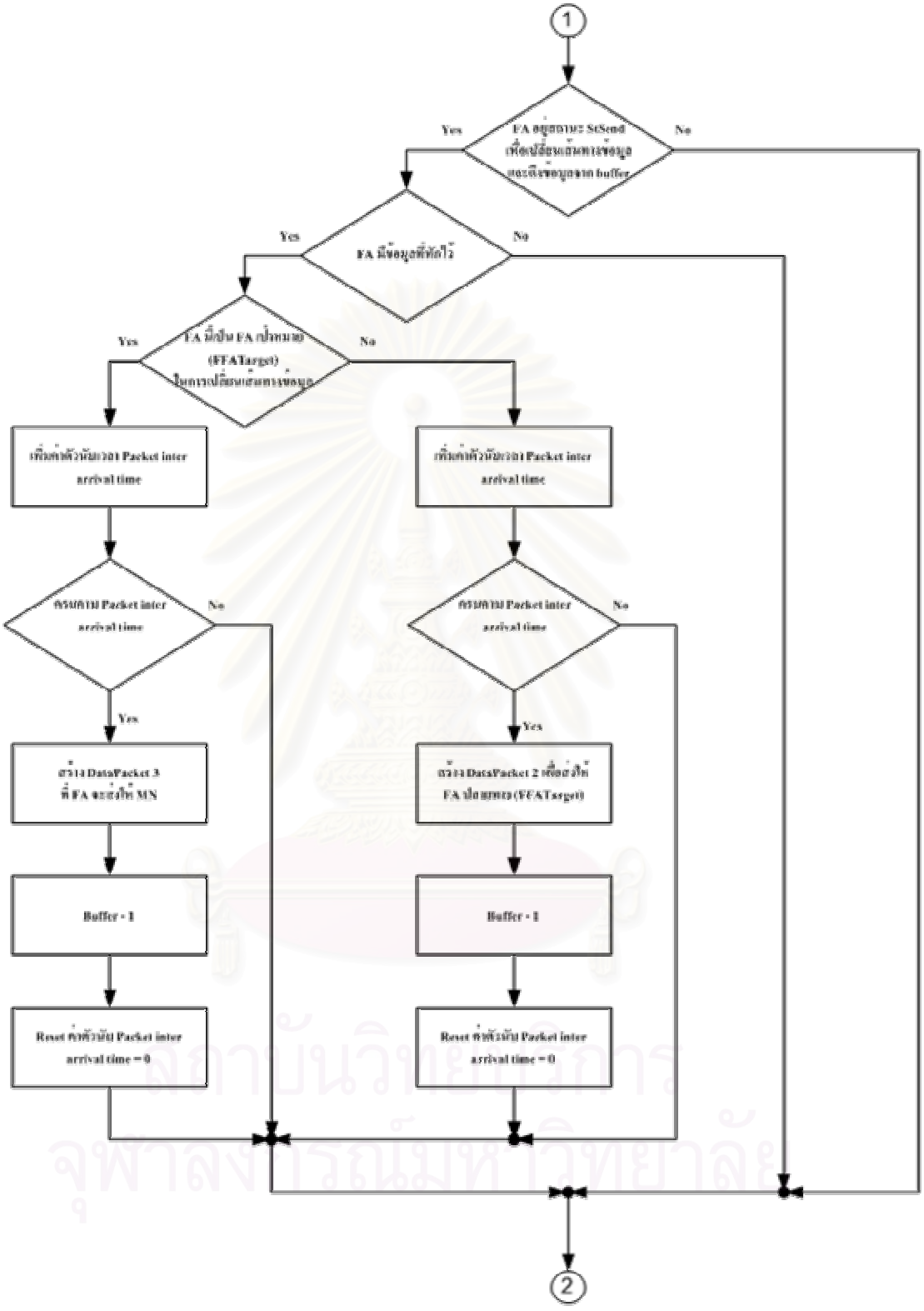


รูปที่ 4.25 โพรซีเยอร์ MN ลงทะเบียน (TMobile.RequestPacketSending)

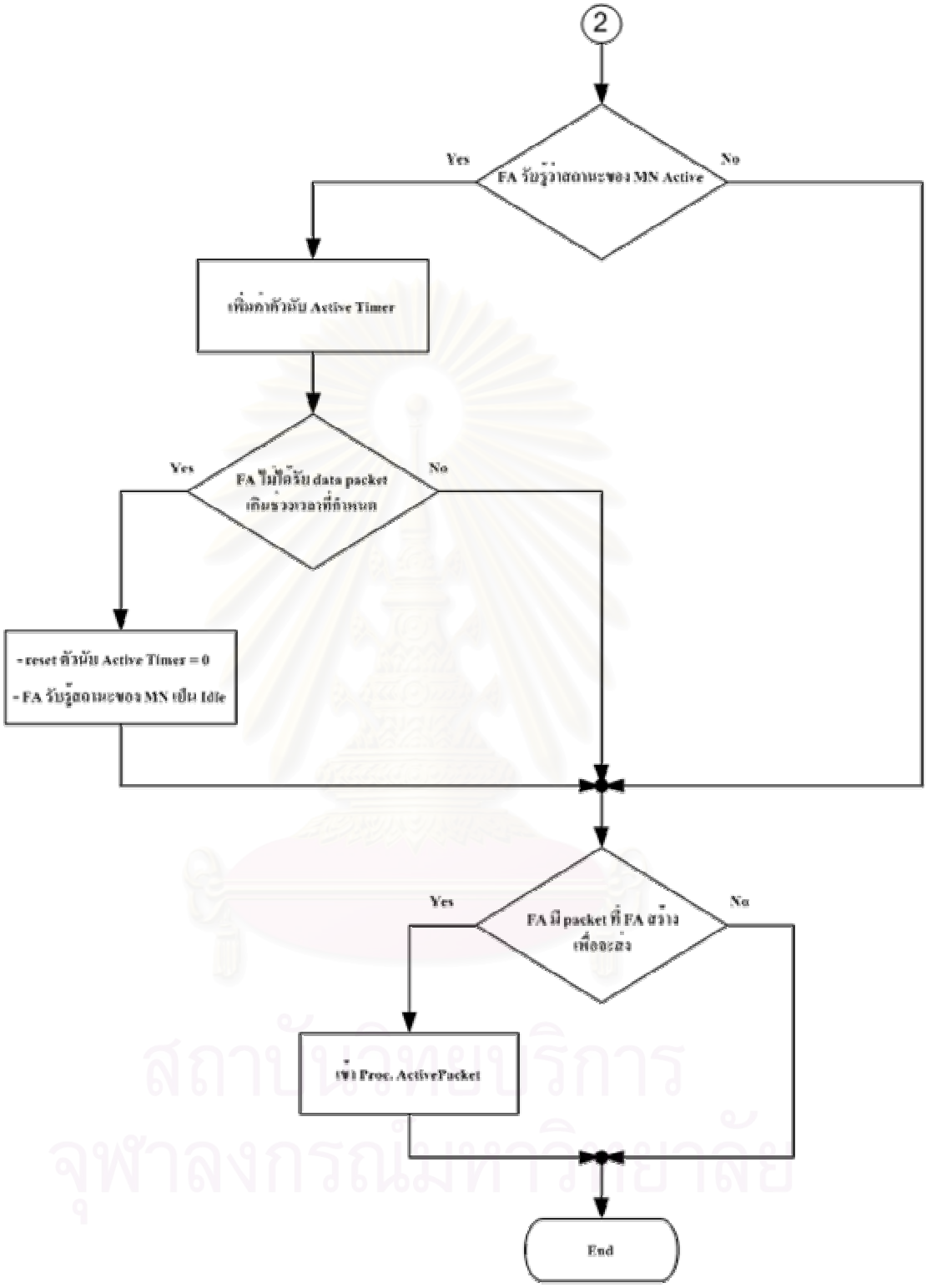
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.26 โพรซีเยอร์ FA ส่งข่าวสารการประกาศ Agent Advertisement (ส่วนที่หนึ่ง: TFA.Adv-1)



รูปที่ 4.27 โพรซีเยอร์ FA ส่งข่าวสารการประกาศ Agent Advertisement (ส่วนที่สอง: TFA.Adv-2)



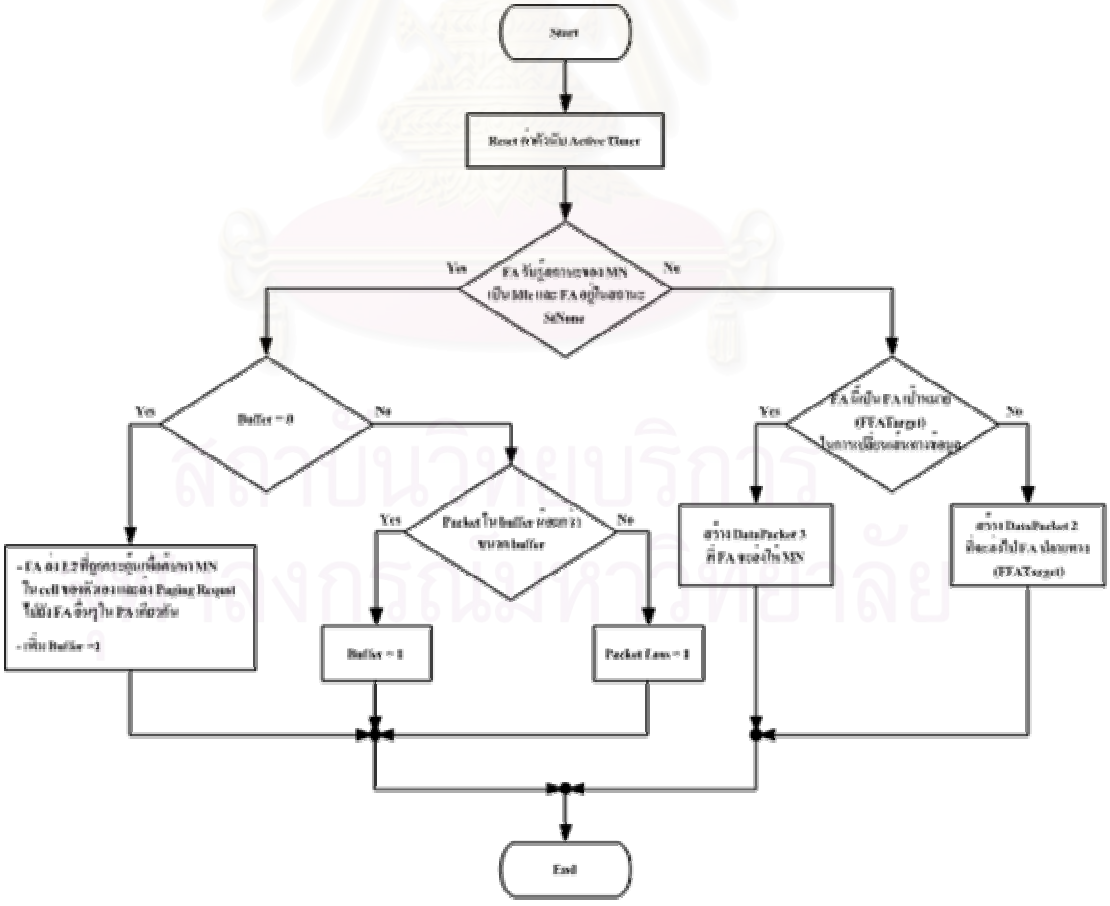
รูปที่ 4.28 โพรซีเยอร์ FA ส่งข่าวสารการประกาศ Agent Advertisement (ส่วนที่สาม: TFA.Adv-3)

จากรูปที่ 4.26 -4.28 แสดงถึงการที่ FA ส่งข่าวสารการประกาศ Agent Advertisement และข่าวสาร L2 beacon โดยมีตัวนับเวลาคอยนับเวลา เมื่อครบช่วงเวลาที่กำหนดในแต่ละข่าวสาร FA ก็จะประกาศข่าวสารเหล่านั้น

FA จะเปลี่ยนจาก StNone มาเป็น StSend เมื่อ FA ได้รับข่าวสารการร้องขอการแฮนด์ออฟ หรือ FA ได้รับข่าวสาร L2 จาก MN ในกรณีที่ MN อยู่ใน Registered FA ที่พักข้อมูลไว้ (การที่ FA เข้าสู่สถานะ StSend นั้น หมายถึง FA หยุดการพักข้อมูล และเริ่มการดึงข้อมูลจากข้อมูลเพื่อที่จะส่งไปยัง MN)

ค่าพารามิเตอร์ FFATarget จะเก็บตำแหน่งของ FA ว่า FA ที่ตรวจสอบนี้ เป็น FA ปลายทางของข้อมูลหรือไม่ โดย FFATarget นี้จะเปลี่ยนแปลงเมื่อ FA ได้รับข่าวสารร้องขอแฮนด์ออฟเท่านั้น ถ้าค่า FFATarget นี้เปลี่ยนแปลงเป็นตำแหน่งของ FA ตัวอื่น จะทำให้ FA ตัวที่ตรวจสอบอยู่ จะส่งต่อข้อมูลไปยัง FFATarget ที่ระบุไว้

โพรซีเยอร์นี้จะถูกเรียกใช้จากโปรแกรมหลักทุกๆ 1 ms เพื่อกระตุ้นการส่งแพ็กเกตที่เกิดจาก FA ทุกๆ 1 ms ให้เข้าสู่โพรซีเยอร์ ActivePacket เพื่อแยกเข้าสู่โพรซีเยอร์ Transport ที่ทำหน้าที่เคลื่อนที่แพ็กเกตแต่ละชนิดแพ็กเกตอีกทีหนึ่ง

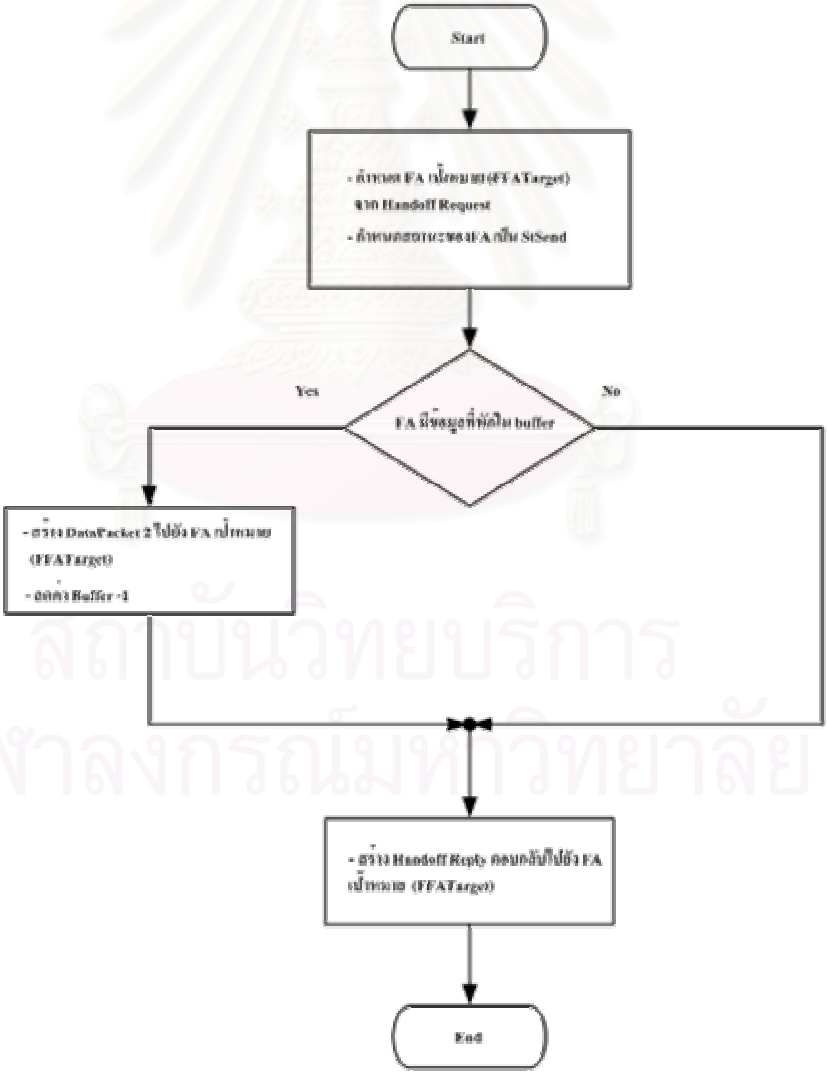


รูปที่ 4.29 โพรซีเยอร์ FA ได้รับข้อมูลจาก HA (TFA.DataReception)

รูปที่ 4.29 แสดงถึงการที่ FA ได้รับข้อมูลซึ่งจะตรวจสอบว่าเป็นแพ็กเกตข้อมูลแรกที่จะส่งให้กับ MN ในช่วงที่ MN อยู่ในสถานะ Idle หรือไม่ ถ้าใช่ FA ก็จะเริ่มกระบวนการค้นหา MN โดยส่งข่าวสารร้องขอเพจจิงไปยัง FA ตัวอื่นใน PA เดียวกัน พร้อมกับส่ง L2 ลงในเซลล์ตัวเอง ถ้าแพ็กเกตข้อมูลที่ส่งมาไม่ใช่แพ็กเกตแรก FA นี้ก็จะพักข้อมูลไว้ จนกว่าจะเกินขนาดที่พักข้อมูลที่กำหนดไว้ ถ้าเกินก็จะนับแพ็กเกตที่เกินเหล่านั้นเป็นจำนวนแพ็กเกตที่สูญเสียไป

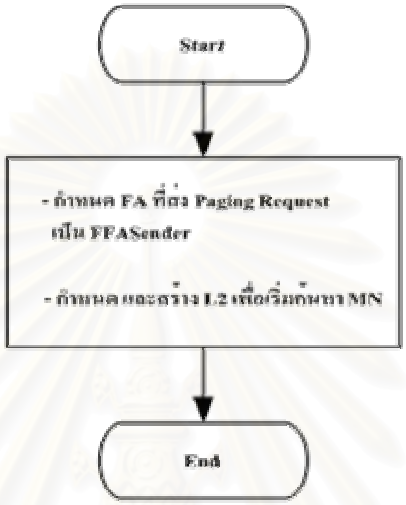
แต่ถ้า FA อยู่ในสถานะ StSend เราก็จะตรวจสอบว่า FA นี้เป็น FA ปลายทางของข้อมูลหรือไม่ ถ้าใช่ เราจะส่งข้อมูลลงมาให้ MN ในเซลล์นั้น แต่ถ้าไม่ใช่ เราก็จะเปลี่ยนเส้นทางข้อมูลที่มาจาก HA ไปยัง FA ปัจจุบันที่ MN อาศัยอยู่แทน

หรือถ้าเป็นเหตุการณ์ที่ FA ได้รับข้อมูลในช่วงที่ MN อยู่ในสถานะ Active เราก็จะตรวจสอบว่า FA นี้เป็น FA ปลายทางหรือไม่ ถ้าใช่ เราก็จะส่งข้อมูลลงมาหา MN ในเซลล์นั้น แต่ถ้าไม่ใช่ FA นี้ก็จะส่งต่อไปยัง FA ปลายทางอีกทีหนึ่ง



รูปที่ 4.30 โพรซีเยอร์ FA รับข่าวสาร Handoff Request (TFA.HandoffReqReception)

จากรูปที่ 4.30 แสดงถึงการที่ FA ได้รับข่าวสารการร้องขอการแฮนด์ออฟจาก FA ปัจจุบันที่ MN อาศัยอยู่ ทำให้ Registered FA ที่เข้าโพรซีเยอร์นี้ จะตั้งค่าพารามิเตอร์ FFATarget เป็นตำแหน่งของ FA ปัจจุบันที่ MN อาศัยอยู่ เพื่อเปลี่ยนเส้นทางข้อมูลที่ต้องการส่งให้กับ MN และ Registered FA นี้จะส่งข่าวสารตอบรับการแฮนด์ออฟกลับไปยัง FA ที่ส่งข่าวสารร้องขอการแฮนด์ออฟอีกด้วย

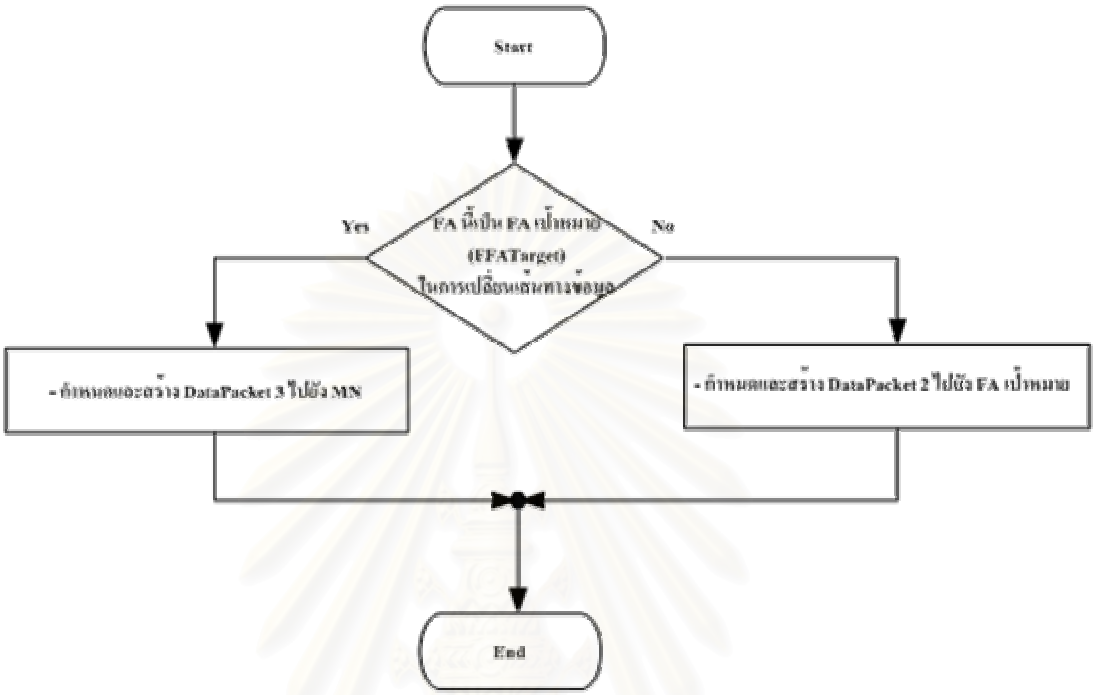


รูปที่ 4.31 โพรซีเยอร์ FA รับข่าวสาร Paging Request (TFA.PagingReqReception)

จากรูปที่ 4.31 แสดงถึงการที่ FA ได้รับข่าวสารการร้องขอเพจจิงจาก Registered FA เพื่อกระตุ้นให้ส่ง L2 เพื่อค้นหา MN ซึ่ง FA นี้จะตั้งค่าพารามิเตอร์ FFASender ให้จำตำแหน่งของ Registered FA ที่ส่งมา

รูปที่ 4.32 โพรซีเยอร์ FA รับข่าวสารการตอบรับ (TFA.ReplyReception)

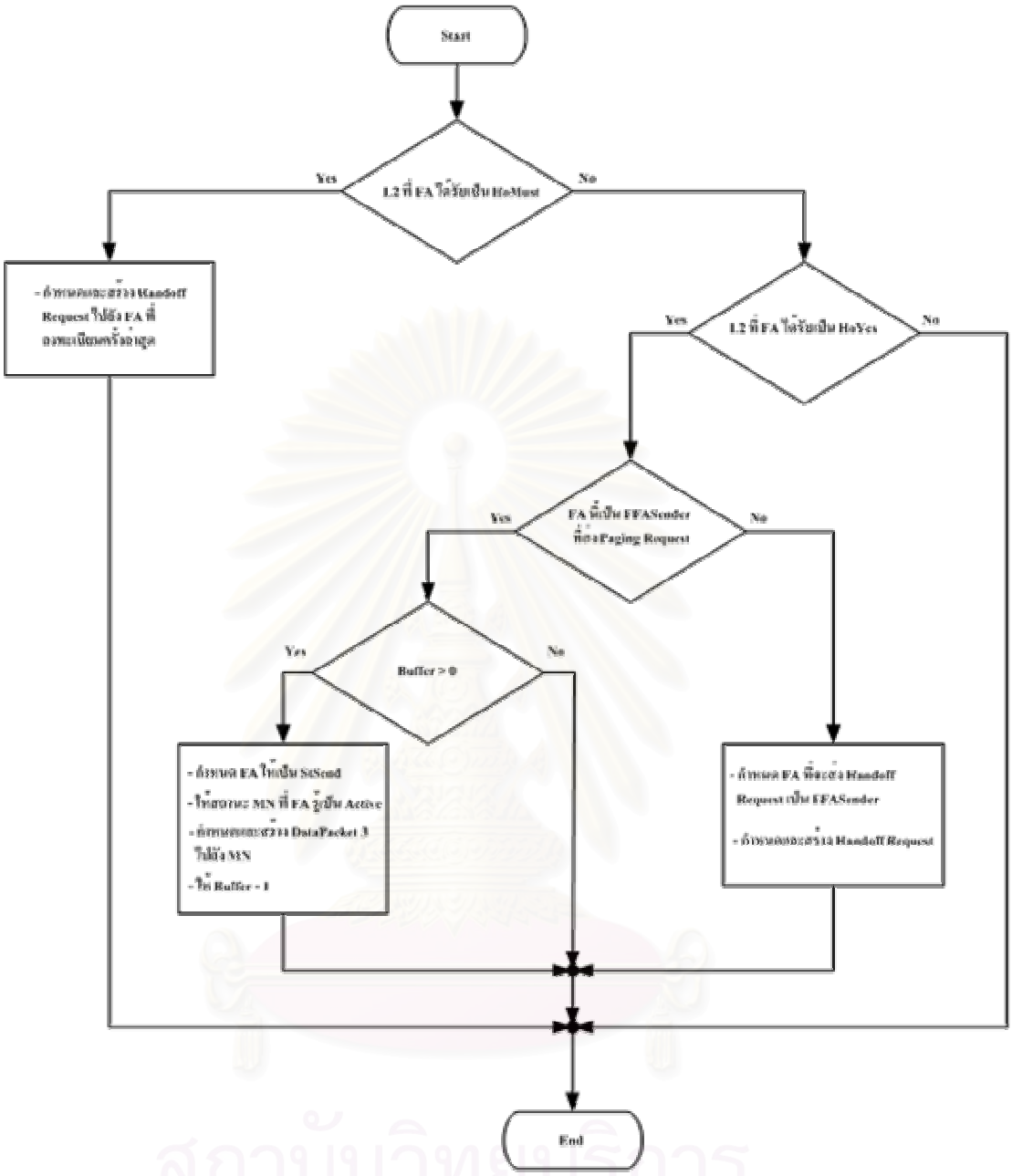
จากรูปที่ 4.32 แสดงถึงการที่ FA ได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียนจาก HA จะทำให้สถานะ MN ที่ FA รู้ เป็น Active ตามหลัก P-MIP และ จะส่งต่อข่าวสารการตอบรับการลงทะเบียนจาก HA นี้ไปยัง MN



รูปที่ 4.33 โพรซีเยอร์ FA รับข้อมูลจาก FA ตัวอื่น (TFA.Data2Reception)

จากรูปที่ 4.33 แสดงถึงการที่ FA ได้รับข้อมูลจาก FA ตัวอื่นที่ส่งมา แล้วจะตรวจสอบว่าตัวเองเป็น FA จุดหมายปลายทางหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะส่งต่อข้อมูลไปยัง MN แต่ถ้าไม่ใช่ก็จะส่งต่อข้อมูลไปยัง FA ปลายทางอีกทีหนึ่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.34 โพรซีเยอร์ FA รับข่าวสารประกาศ L2 (TFA.L2Reception)

จากรูปที่ 4.34 แสดงถึงการที่ FA ได้รับข่าวสารตอบรับ L2 จาก MN ทำให้ FA ตรวจสอบ L2 ว่า ตัว FA นี้ได้รับข่าวสาร L2 แบบ HoMust หรือไม่ ถ้าใช่ แสดงว่า FA ได้รับ L2 trigger จาก MN ที่อยู่ในสถานะ Active และ MN กำลังเข้าสู่เซลล์ใหม่ FA จึงส่งข่าวสารการร้องขอแฮนด์ออฟไปยัง FA ที่ลงทะเบียนไว้ในครั้งล่าสุด เพื่อเปลี่ยนเส้นทางข้อมูล

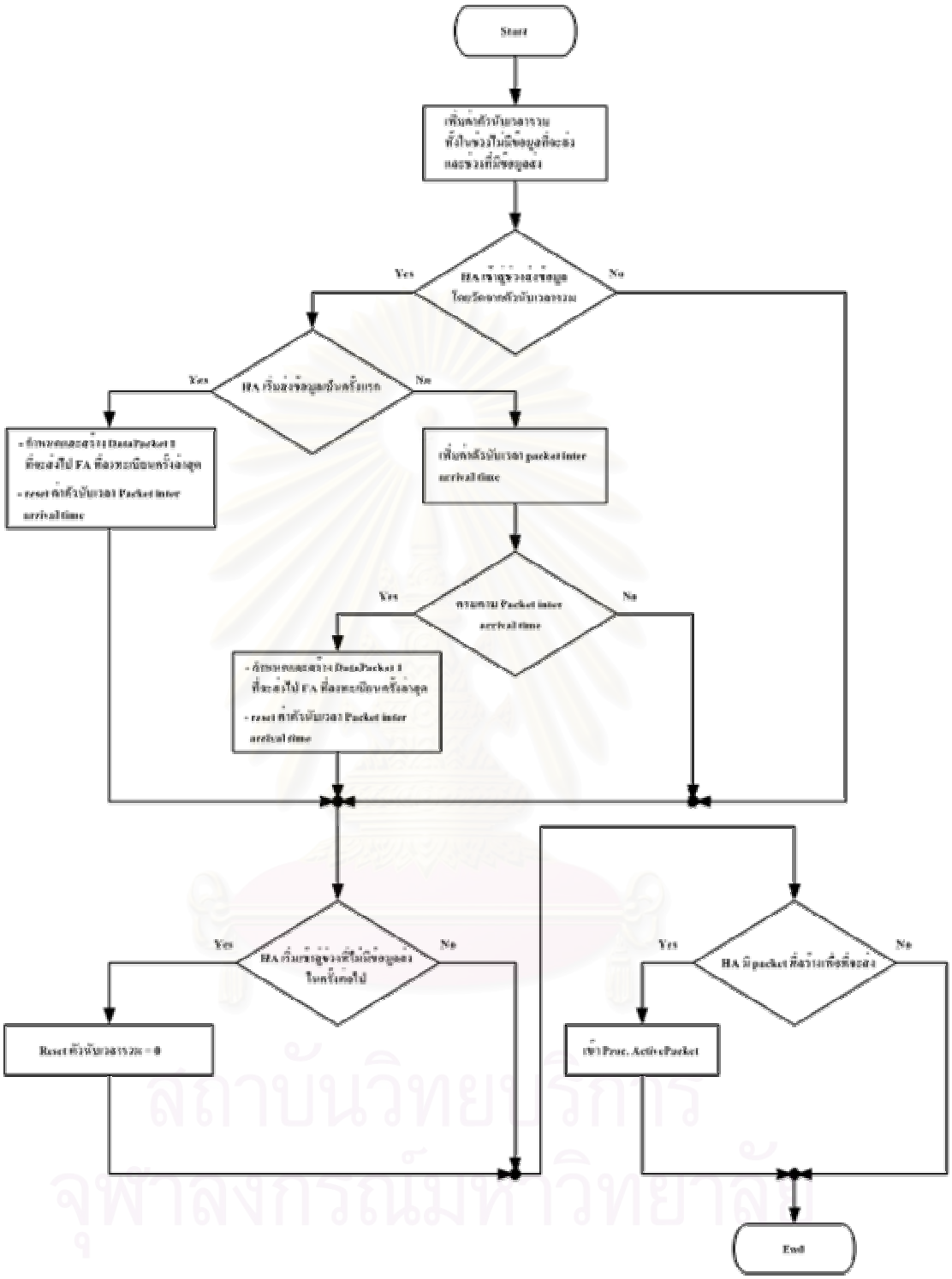
แต่ถ้า L2 ที่ FA ได้รับจาก MN ไม่ใช่ HoMust แล้ว FA ก็จะตรวจสอบต่อว่า L2 ที่ FA ได้รับเป็น L2 แบบ HoYes หรือไม่ ถ้าใช่ แสดงว่า FA ได้รับ L2 trigger ตอบรับจาก MN หลังจาก

FA ส่ง L2 เพื่อค้นหา MN ในช่วงเริ่มมีข้อมูลส่งถึง MN จากนั้นเราจึงตรวจสอบต่อว่าค่าพารามิเตอร์ FFASender เปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ (เรากำหนดว่า ค่าพารามิเตอร์ FFASender นั้นจะเปลี่ยนแปลง เมื่อ FA ตัวที่ตรวจสอบนี้ได้รับข่าวสารการร้องเพจจิงจาก FA ตัวอื่น โดย FA ที่ตรวจสอบ จะเก็บค่าตำแหน่ง FA ที่ส่งข่าวสารร้องขอเพจจิงไว้ในค่าพารามิเตอร์ FFASender) ถ้าค่า FFASender ไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงว่า FA นี้เป็น Registered FA ที่ MN อยู่ในเซลล์ในขณะที่ค้นหา MN พอดี จึงทำให้ Registered FA นี้ ส่งข้อมูลลงมาในเซลล์ของตัวเองไปยัง MN

แต่หาก FA นี้ มีการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ FFASender นั่นหมายถึง FA นี้ไม่ใช่ Registered FA และเป็น FA ที่ส่ง L2 เพื่อค้นหา MN ซึ่งเกิดจากการกระตุ้นของข่าวสารร้องขอเพจจิง จึงทำให้ทำให้ FA นี้จะส่งข่าวสารร้องขอการแฮนด์ออฟเพื่อเปลี่ยนเส้นทางข้อมูลจาก Registered FA มายัง FA ปัจจุบันนี้ที่ MN อาศัยอยู่

รูปที่ 4.35 โพรซีเยอร์ HA ได้รับการลงทะเบียน (THA.RegisterReception)

จากรูปที่ 4.35 แสดงถึงการที่ HA ได้รับข่าวสารการร้องขอการลงทะเบียน HA จะบันทึก COA (Care Of Address) ตัวใหม่ และ HA จะตอบรับด้วยข่าวสารการตอบรับการลงทะเบียนไปยัง FA ตามที่อยู่ COA



รูปที่ 4.36 โพรซีเยอร์ HA ส่งข้อมูลไปยัง MN (THA.DataSending)

จากรูปที่ 4.36 แสดงถึงการที่ HA ส่งข้อมูลตามที่กำหนดไว้ โดยจะมีตัวนับเวลาที่คอยนับเวลาว่าถึงช่วงเวลาที่เริ่มมีข้อมูลส่งถึง MN แล้วหรือยัง ถ้าถึงช่วงเวลาที่เริ่มส่งแล้ว HA ก็จะเริ่มส่ง

ข้อมูลไปยัง FA ตาม COA ครั้งล่าสุด เมื่อครบเวลาการส่งข้อมูล ก็จะเริ่มเข้าสู่ช่วงไม่มีข้อมูลส่งสลับกันไปตามที่กำหนด โพรซีเยอร์นี้จะถูกเรียกใช้จากโปรแกรมหลัก ทุก ๆ 1 ms เพื่อนับเวลาที่จะเริ่มส่งข้อมูลทุก ๆ 1 ms และกระตุ้นการส่งแพ็กเกตที่เกิดจาก HA ทุก ๆ 1 ms ให้เข้าสู่โพรซีเยอร์ ActivePacket เพื่อแยกชนิดการส่งในแต่ละชนิดแพ็กเกตด้วยโพรซีเยอร์ Transport อีกทีหนึ่ง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

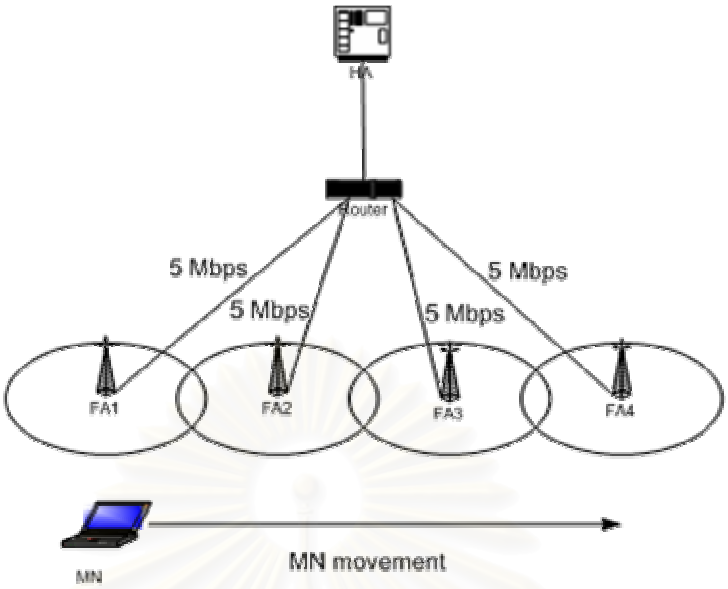
ผลการจำลองแบบ

ในบทนี้ ส่วนแรกจะแสดงการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการลงทะเบียนภายหลังด้วยการจำลองโพรโทคอลทั้งสองที่มีการส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาการจำลอง ซึ่งจะพบว่า ในการลงทะเบียนภายหลังจะป้องกันการสูญหายของแพ็กเกตและลดเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟได้ดีกว่าโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ แนวคิดการลงทะเบียนภายหลังจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการประวิงการลงทะเบียนที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้

ส่วนที่สองเป็นการจำลองโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, การลงทะเบียนภายหลัง, การใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ และการปรับปรุงใช้เพจจิงของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลังที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด

5.1 การเปรียบเทียบผลการจำลองโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการลงทะเบียนภายหลัง

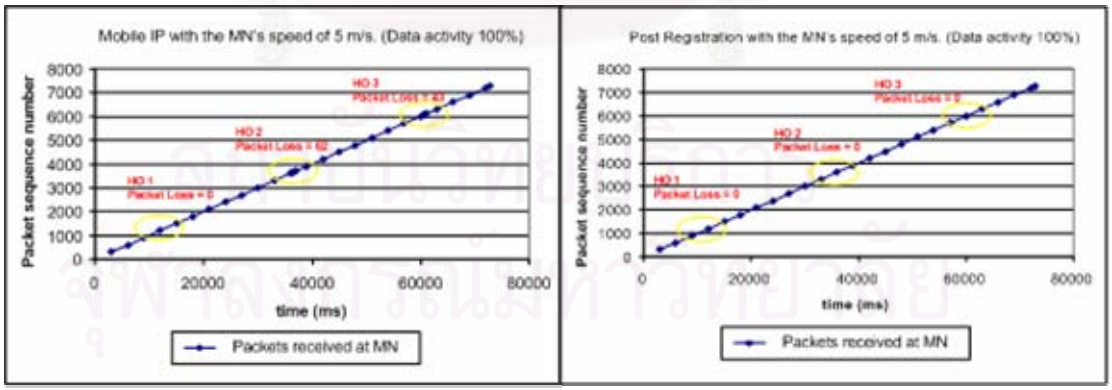
เพื่อเป็นการแสดงถึงแนวโน้มของผลการแฮนด์ออฟที่ใช้หลักการลงทะเบียนภายหลัง ว่าสามารถลดเวลาแฮนด์ออฟ กับแพ็กเกตข้อมูลที่สูญหายลงได้อย่างไร เราจึงจำลองระบบ Wireless LAN IEEE 802.11 ที่กล่าวข้างต้นทั้งสองโพรโทคอล ที่มีการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่องตลอดช่วงเวลาการจำลอง โดยกำหนดให้จำนวนตัวแทนบ้านเท่ากับ 1 ตัวแทน, ตัวแทนโครงข่ายภายนอกจำนวน 4 เซลล์ ที่มีขนาดรัศมีเป็น 61 เมตร, บริเวณทับซ้อนกัน 1 เมตร, เราเตอร์ 1 ตัว, แบนด์วิดท์ขนาด 5 Mbps, การเรียกมีการประวิงเวลา 3 มิลลิวินาที, ส่งข้อมูลด้วยอัตราบิตคงที่ (CBR) ,โนดเคลื่อนที่ 1 โนด เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่เราปรับเปลี่ยนค่าเพื่อศึกษาผลและให้ส่งข้อมูลตลอดช่วงการจำลองโพรโทคอล (Data activity 100 %) ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 โครงสร้างของแบบจำลองในการเปรียบเทียบระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการลงทะเบียนภายหลัง

ผลการจำลองระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการลงทะเบียนภายหลัง

เมื่อเราให้โนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 m/s ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และ การลงทะเบียนภายหลัง ลำดับของแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในช่วงเวลาการจำลองโพรโทคอลแสดงดังรูปที่ 5.2

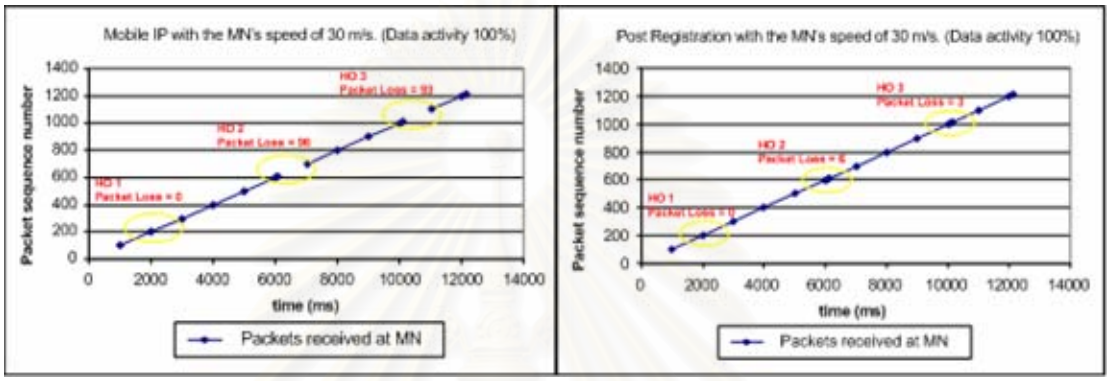


รูปที่ 5.2 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในช่วงเวลาการจำลองระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการลงทะเบียนภายหลัง ของโนดเคลื่อนที่ที่มีความเร็ว 5 m/s

รูปที่ 5.2 แสดงถึงการข้ามเซลล์ 4 ครั้ง เนื่องจากครั้งแรกเราลองปรับให้โนดเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารการประกาศตัวแทนขณะที่เริ่มเข้าเซลล์ใหม่พอดี ทำให้โนดเคลื่อนที่ลงทะเบียนจัดเส้นทาง

กับตัวแทนบ้านได้อย่างรวดเร็ว จึงไม่เกิดการสูญหายของแพ็กเกต ซึ่งเป็นเช่นเดียวกันทั้งสองโพรโทคอลที่เปรียบเทียบ และจะเห็นได้ว่าในการแฮนด์ออฟครั้งต่อไปพบว่าในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มีแพ็กเกตที่สูญหายมากกว่าในการลงทะเบียนภายหลัง

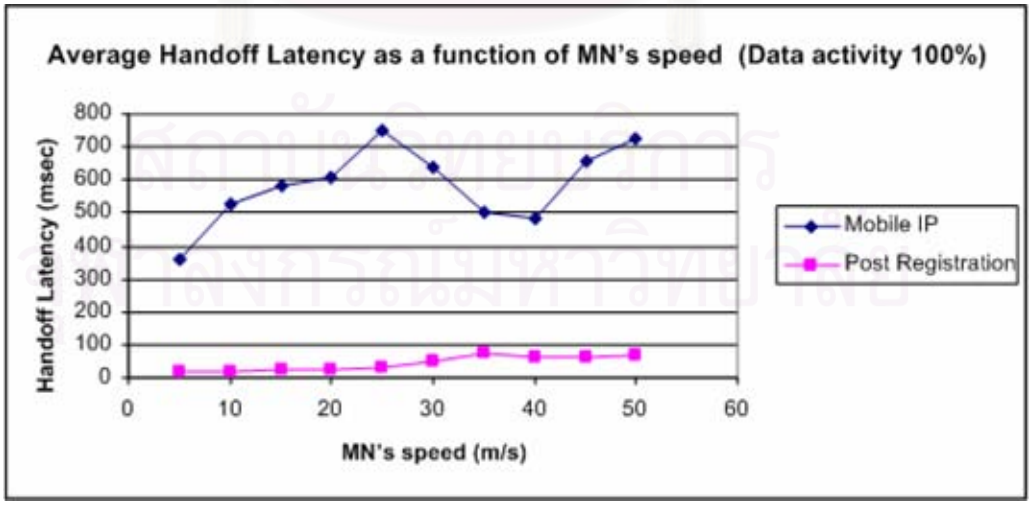
เมื่อปรับให้โนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30 m/s ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการลงทะเบียนภายหลัง ลำดับของแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในช่วงเวลาการจำลองโพรโทคอลแสดงดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในช่วงเวลาการจำลองระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการลงทะเบียนภายหลัง ของโนดเคลื่อนที่ที่มีความเร็ว 30 m/s

เมื่อโนดเคลื่อนที่วิ่งด้วยความเร็วที่สูงขึ้น จะเกิดการสูญหายของแพ็กเกตมากขึ้น แต่ในการลงทะเบียนภายหลังจะมีการสูญเสียแพ็กเกตที่น้อยกว่าโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่อย่างมาก

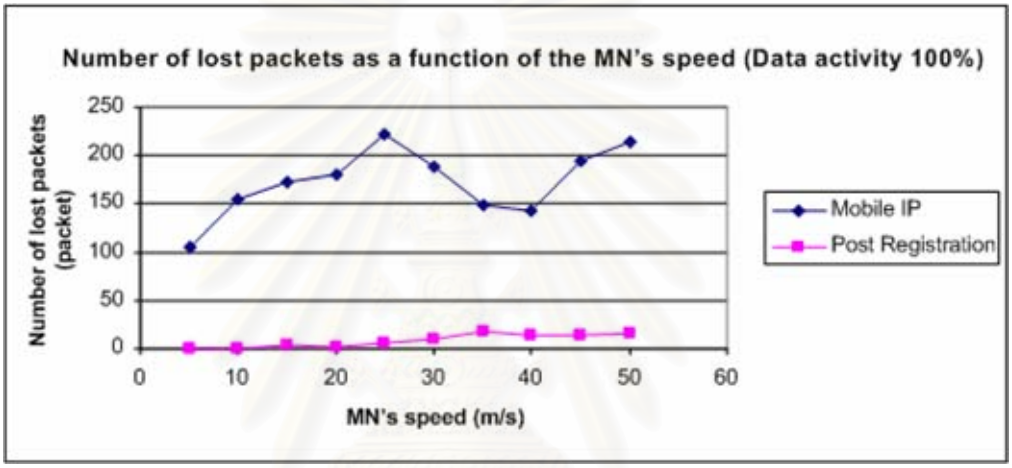
หากเราพิจารณาเวลาในการแฮนด์ออฟเฉลี่ย เมื่อเราปรับความเร็วของโนดเคลื่อนที่จะมีผลการจำลองดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 เวลาแฝงการแฮนด์ออฟเฉลี่ยตามการเปลี่ยนแปลงของความเร็วของโนดเคลื่อนที่ระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการลงทะเบียนภายหลัง

พบว่าที่ความเร็วบางความเร็วจะมีเวลาแฝงการแฮนด์ออฟที่ต่ำ เพราะที่ความเร็วนั้น เมื่อโนดเคลื่อนที่เริ่มข้ามเซลล์ โนดเคลื่อนที่นั้นจะได้รับข่าวสารการประกาศตัวแทนพอดีจึงลงทะเบียนเปลี่ยนเส้นทางได้เร็ว จึงมีเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟที่น้อย แต่เมื่อความเร็วสูงขึ้น เวลาแฝงการแฮนด์ออฟก็จะมากขึ้นตาม และจะเห็นได้ว่า การลงทะเบียนภายหลังจะใช้เวลาแฝงการแฮนด์ออฟที่สั้นกว่าโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่อย่างเห็นได้ชัด

เมื่อเราพิจารณาจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายที่โนดเคลื่อนที่ไม่ได้รับเนื่องจากการแฮนด์ออฟจะพบว่า มีแนวโน้มของแพ็กเกตที่สูญหายเพิ่มมากขึ้นตามความเร็วของโนดเคลื่อนที่ที่เพิ่มความเร็วมากขึ้นตามรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 จำนวนแพ็กเกตที่สูญหายทั้งหมดเทียบกับความเร็วของโนดเคลื่อนที่ระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการลงทะเบียนภายหลัง

จากการจำลองระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการลงทะเบียนภายหลัง จะเห็นได้ว่าการลงทะเบียนภายหลังสามารถลดเวลาแฝงการแฮนด์ออฟ และลดจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายได้ จึงเป็นที่น่าสนใจในหลักการประวิงการลงทะเบียนที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในแนวทางที่เสนอนี้

5.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองแบบระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, การลงทะเบียนภายหลัง, การใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ และการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลัง

ในส่วนนี้ เราจะเริ่มจำลองโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, การลงทะเบียนภายหลัง, การใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ และการปรับปรุงใช้เพจจิงของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลังที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อ

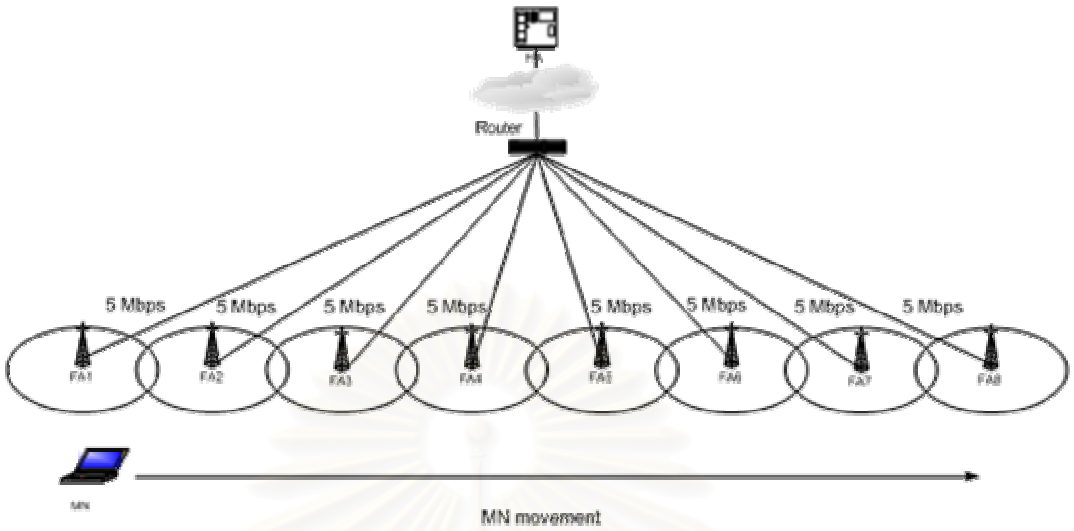
เปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด โดยช่วงเวลาที่มีข้อมูลส่งเป็น 5% ของช่วงเวลาการจำลองทั้งหมด ตามเอกสารอ้างอิง [3] เพื่อเปรียบสมรรถนะการทำงานของโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด มีช่วงเวลาที่คงสภาพ Active หลังจากที่โนดเคลื่อนที่ไม่ได้รับข้อมูลเป็น 995 ms และมีไม่มีการหมดอายุของ Registration Lifetime

โดยส่วนย่อยแรก เป็นการเปรียบเทียบผลการจำลองระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, การลงทะเบียนภายหลัง, การใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ และการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลัง ในช่วงเวลา 5% ของเวลาในการจำลองทั้งหมด ที่มีข้อมูลส่งถึงโนดเคลื่อนที่ เมื่อมีเซลล์ 8 เซลล์ในการจำลอง เพื่อศึกษาถึงลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับทั้ง 4 โพรโทคอล เมื่อปรับความเร็วของโนดเคลื่อนที่ ลำดับที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด จะเป็นอย่างไร

ส่วนย่อยที่สองเป็นการจำลองโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, การลงทะเบียนภายหลัง, การใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ และการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลัง เมื่อมีการปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมในโพรโทคอลแต่ละชนิด เพื่อศึกษาผลกระทบว่า หากปรับสภาพแวดล้อมของโพรโทคอลชนิดต่างๆ แล้วจะมีการทำงานในแต่ละโพรโทคอลเป็นอย่างไร

5.2.1 การเปรียบเทียบผลการจำลองแบบระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, การลงทะเบียนภายหลัง, การใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ และการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลัง ในช่วงที่มีการส่งข้อมูลถึงโนดเคลื่อนที่ 5% ของช่วงเวลาทั้งหมดในการจำลอง โดยพิจารณาลำดับแพ็กเกตข้อมูลที่โนดเคลื่อนที่ได้รับ

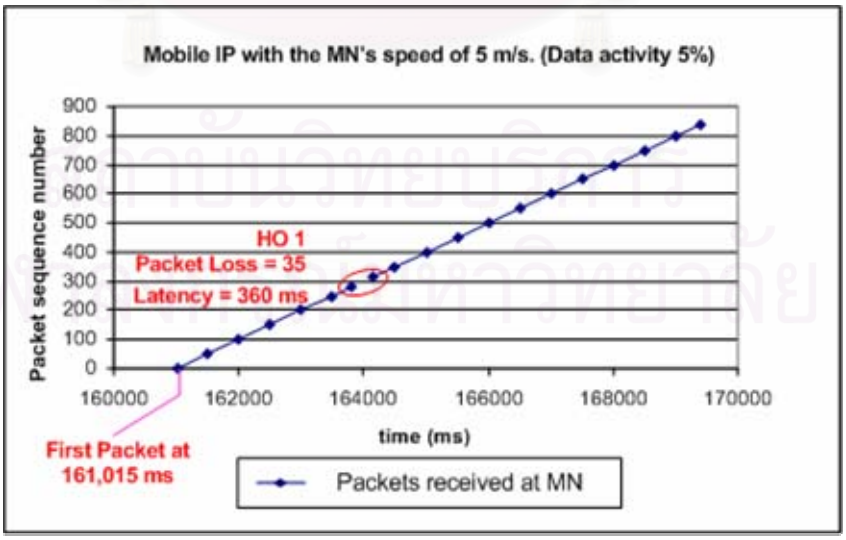
เราจำลองโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด ที่มีการส่งข้อมูลเพียง 1 ช่วง โดยมีช่วงเวลาการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่เป็น 5% ของเวลาจำลองทั้งหมด โดยมีเซลล์ 8 เซลล์ในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด และให้โนดเคลื่อนที่วิ่งเป็นเส้นตรงข้ามเซลล์ทั้ง 8 เซลล์นี้ เราจำลองโพรโทคอลตาม Wireless LAN IEEE 802.11 โดยกำหนดให้จำนวนตัวแทนบ้านเท่ากับ 1 ตัวแทน, ตัวแทนโครงข่ายภายนอกจำนวน 8 เซลล์ ที่มีขนาดรัศมีเป็น 61 เมตร, เราเตอร์ 20 ตัว, แบนด์วิดท์ขนาด 5 Mbps, การเรียกมีการประวิงเวลา 3 มิลลิวินาที, ส่งข้อมูลด้วยอัตราบิตคงที่ (CBR) ,โนดเคลื่อนที่ 1 โนด ซึ่งปรับเปลี่ยนความเร็วตามสภาพแวดเล้อม และในการจำลองวิธีการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ กับวิธีการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานการลงทะเบียนภายหลัง จะมีพื้นที่เพจจิง 2 พื้นที่ ซึ่ง FA1 ถึง FA 4 นับเป็นพื้นที่เพจจิงแรก ส่วน FA5 ถึง FA8 นับเป็นพื้นที่เพจจิงที่สอง ตามลำดับ ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 โครงสร้างของแบบจำลองเพื่อศึกษาลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด

ผลการจำลองของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 m/s

รูปที่ 5.7 แสดงลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับ โดยมีช่วงเวลาการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่เป็น 5% ของเวลาจำลองทั้งหมด เมื่อมีเซลล์ 8 เซลล์ในการจำลอง โนดเคลื่อนที่จะเริ่มได้รับแพ็กเกตขณะที่อยู่ในเซลล์ FA7 แล้วเกิดการแฮนด์ออฟระหว่างเมื่อโนดเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ FA8

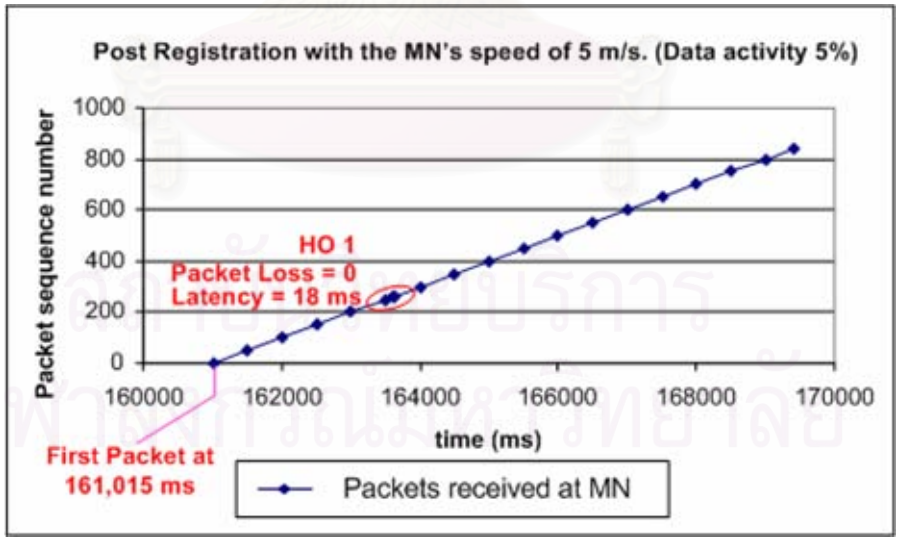


รูปที่ 5.7 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็ว 5 m/s

รูปที่ 5.7 แสดงลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับ เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็วเป็น 5 m/s พบว่า โนดเคลื่อนที่ได้รับแพ็กเกตแรกที่เวลา 161,015 ms ซึ่งโนดเคลื่อนที่อยู่ในเซลล์ FA7 เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ FA8 จึงเกิดกระบวนการแฮนด์ออฟที่เกิดการสูญหายของแพ็กเกต ลำดับที่ 280 ถึงลำดับที่ 314 เป็นจำนวน 35 แพ็กเกต ซึ่งใช้เวลาแฝงในการแฮนด์ออฟคือ 360 ms โนดเคลื่อนที่จะได้รับแพ็กเกตลำดับที่ 315 จาก FA8 ที่เวลา 164,155 ms หลังจากที่โนดเคลื่อนที่ลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านเพื่อเปลี่ยนเส้นทางข้อมูล ซึ่งแพ็กเกตแรกที่ตัวแทนบ้านส่งให้แก่โนดเคลื่อนที่จะสามารถส่งถึงโนดเคลื่อนที่ได้ทันที เพราะมีเส้นทางข้อมูลจากการลงทะเบียนครั้งหลังสุดอยู่ก่อน

ผลการจำลองของการลงทะเบียนภายหลัง เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 m/s

รูปที่ 5.8 แสดงลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับ โดยมีช่วงเวลาการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่เป็น 5% ของเวลาจำลองทั้งหมด เมื่อมีเซลล์ 8 เซลล์ในการจำลอง โนดเคลื่อนที่จะเริ่มได้รับแพ็กเกตขณะที่อยู่ในเซลล์ FA7 แล้วเกิดการแฮนด์ออฟระหว่างเมื่อโนดเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ FA8 โดยมีตัวกระตุ้นชั้นเชื่อมโยงข้อมูลตาม Wireless LAN IEEE 802.11 ซึ่งตัวแทนโครงข่ายภายนอกจะประกาศ L2 beacon ทุกๆ 100 ms



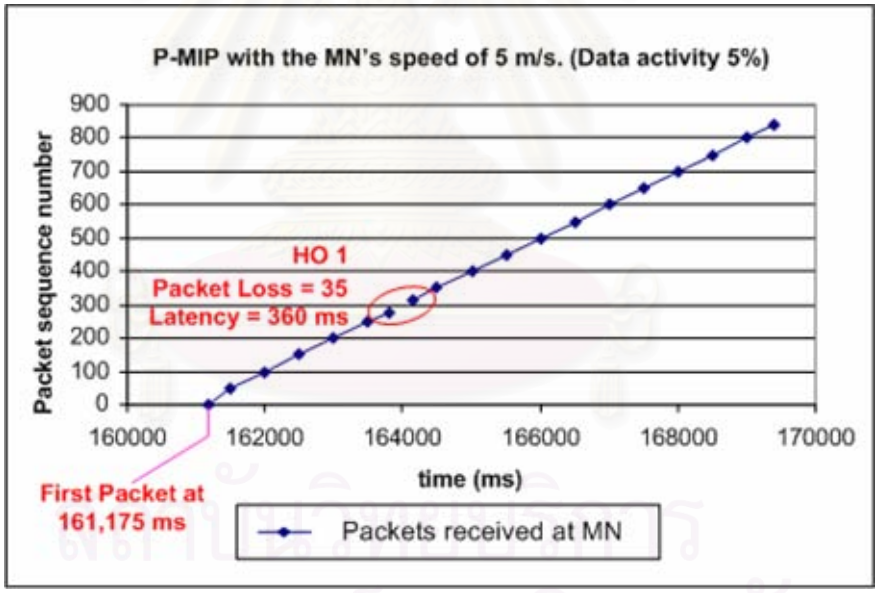
รูปที่ 5.8 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในการลงทะเบียนภายหลัง เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็ว 5 m/s

รูปที่ 5.8 แสดงลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในวิธีการลงทะเบียนภายหลัง เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็วเป็น 5 m/s พบว่า โนดเคลื่อนที่ได้รับแพ็กเกตแรกที่เวลา 161,015 ms ซึ่งโนด

เคลื่อนที่อยู่ในเซลล์ FA7 เหมือนโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่เนื่องจากโนดเคลื่อนที่จัดเส้นทางข้อมูลก่อนไว้แล้ว ตัวแทนบ้านจึงสามารถส่งแพ็กเกตมายังโนดเคลื่อนที่ได้ทันที เนื่องจากโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่ 5 m/s และเป็นการลงทะเบียนภายหลัง โนดเคลื่อนที่จึงได้รับแพ็กเกตลำดับที่ 261 จาก FA8 หลังการแฮนด์ออฟที่ใช้เวลาแฝงในการแฮนด์ออฟ 18 ms โดยไม่มีแพ็กเกตสูญหาย

ผลการจำลองของการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 m/s

รูปที่ 5.9 แสดงลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับ โดยมีช่วงเวลาการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่เป็น 5% ของเวลาจำลองทั้งหมด เมื่อมีเซลล์ 8 เซลล์ในการจำลอง โนดเคลื่อนที่จะถูกค้นหาตำแหน่งด้วยข่าวสารร้องขอเพจจิงในเซลล์ FA7 แล้วโนดเคลื่อนที่จะลงทะเบียนกับตัวแทนบ้าน ภายหลังโนดเคลื่อนที่จึงเข้าสู่สถานะทำงาน จากนั้นโนดเคลื่อนที่จึงเริ่มการแฮนด์ออฟเมื่อโนดเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ FA8



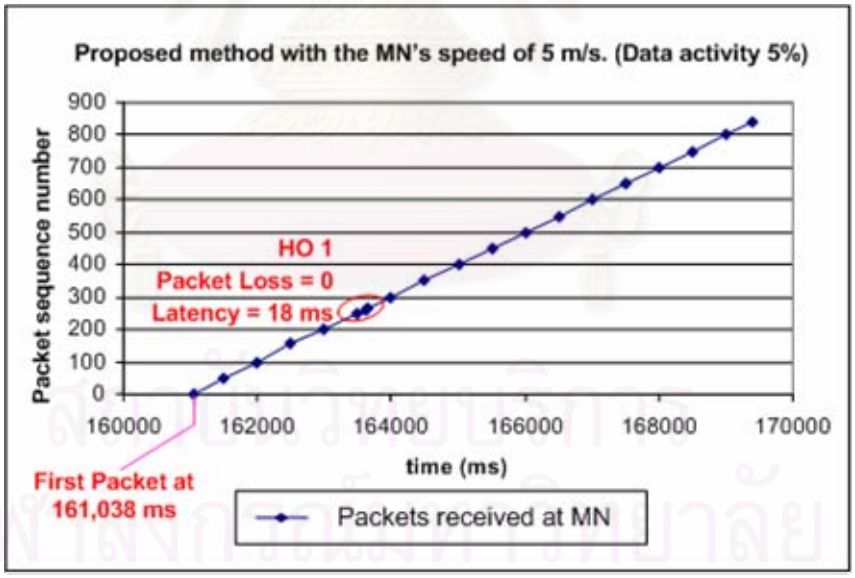
รูปที่ 5.9 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็ว 5 m/s

รูปที่ 5.9 แสดงลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในวิธีการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็วเป็น 5 m/s โนดเคลื่อนที่จะได้รับแพ็กเกตแรกที่เวลา 161,175 ms จาก FA7 หลังการลงทะเบียนกับตัวแทนบ้าน จากนั้นโนดเคลื่อนที่จะส่งข่าวสารตอบรับเพจจิงไปยัง FA5 ที่เป็น registered FA ของพื้นที่เพจจิงนี้ เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ข้ามเซลล์ก็จะเริ่มกระบวนการแฮนด์ออฟเหมือนโพรโทคอลไอพีมาตรฐาน จึงเกิดแพ็กเกตสูญหายที่ลำดับ 280 ถึง

314 เป็นจำนวน 35 แพ็กเกต ซึ่งใช้เวลาแฝงในการแฮนด์ออฟคือ 360 ms โนดเคลื่อนที่จะได้รับแพ็กเกตลำดับที่ 315 จาก FA8 ที่เวลา 164,155 ms หลังจากที่โนดเคลื่อนที่ลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านเพื่อเปลี่ยนเส้นทางข้อมูล จะเห็นได้ว่ากระบวนการแฮนด์ออฟที่มีเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟ และแพ็กเกตที่สูญหายเนื่องจากการแฮนด์ออฟจะเหมือนกับผลการจำลองของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ในรูป 5.7

ผลการจำลองของการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานการลงทะเบียนภายหลัง เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 5 m/s

รูปที่ 5.10 แสดงลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับ โดยมีช่วงเวลาการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่เป็น 5% ของเวลาจำลองทั้งหมด เมื่อมีเซลล์ 8 เซลล์ในการจำลอง โนดเคลื่อนที่ที่อยู่ใน FA7 จะถูกค้นหาตำแหน่งโดยใช้ชั้นเชื่อมโยงข้อมูลมาช่วยให้เข้าสู่สถานะทำงาน จึงเกิดกระบวนการสร้างอุโมงค์สองทิศทางระหว่าง FA5 ที่เป็น registered FA กับ FA7 จากนั้นจะเข้าสู่กลไกลการทำงานในการลงทะเบียนภายหลังมาตรฐาน ในการจำลองนี้โนดเคลื่อนที่จะเกิดการแฮนด์ออฟเมื่อโนดเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ FA8 ด้วยการลงทะเบียนภายหลัง



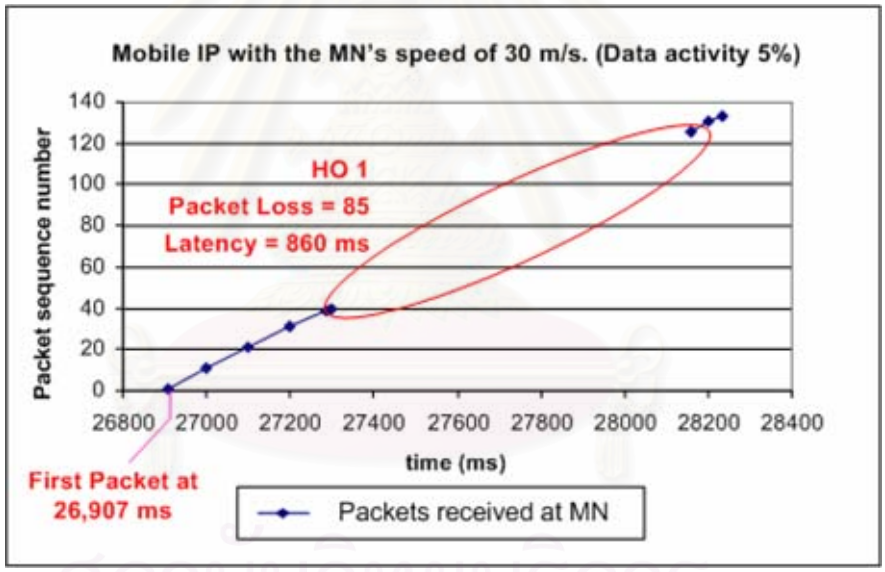
รูปที่ 5.10 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานการลงทะเบียนภายหลัง เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็ว 5 m/s

รูปที่ 5.10 แสดงลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในวิธีการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลัง เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็วเป็น 5 m/s โนดเคลื่อนที่จะได้รับแพ็กเกตแรกที่เวลา 161,038 ms จาก FA5 ผ่านทาง FA7 โดยอุโมงค์

สองทิศทาง ซึ่งจะเร็วกว่าวิธีการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่เดิมในรูปที่ 5.9 เพราะเป็นการดึงข้อมูลที่พักจาก FA5 ก่อนลงทะเบียนเสร็จสิ้น จากนั้นโนดเคลื่อนที่จะเข้าสู่การลงทะเบียนภายหลัง แต่เป็นการลงทะเบียนภายหลังที่เลื่อนจังหวะเข้ามาใหม่แล้ว ทำให้จังหวะการส่ง L2 beacon เปลี่ยนไปจากเดิม ซึ่งจะเห็นได้ว่า โนดเคลื่อนที่จึงได้รับแพ็กเกตลำดับที่ 263 จาก FA8 หลังการแฮนด์ออฟที่ใช้เวลาแฝงในการแฮนด์ออฟเป็นเวลา 18 ms

ผลการจำลองของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30 m/s

รูปที่ 5.11 แสดงลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับ โดยมีช่วงเวลาการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่เป็น 5% ของเวลาจำลองทั้งหมด ที่มีข้อมูลส่งถึงโนดเคลื่อนที่ เมื่อมีเซลล์ 8 เซลล์ในการจำลอง โนดเคลื่อนที่จะเริ่มได้รับแพ็กเกตขณะที่อยู่ในเซลล์ FA7 แล้วเกิดการแฮนด์ออฟระหว่างเมื่อโนดเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ FA8



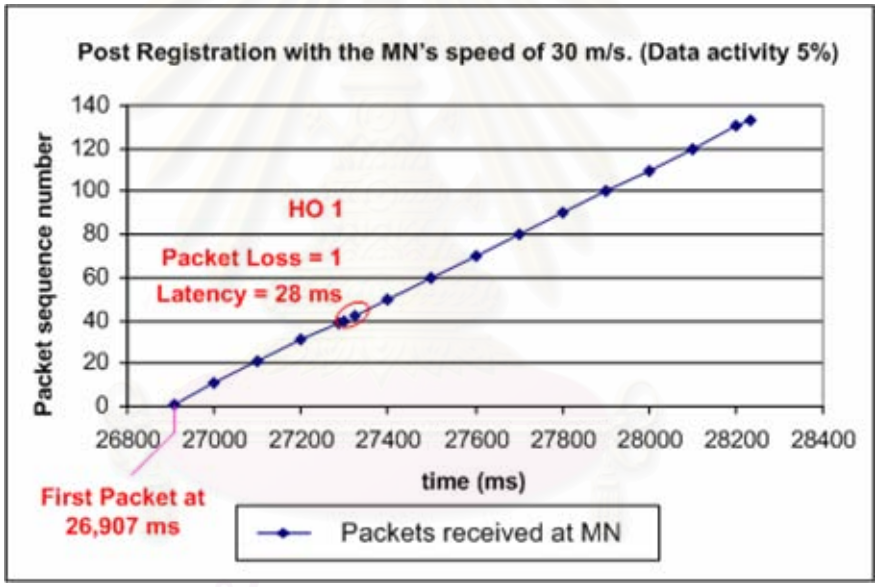
รูปที่ 5.11 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็ว 30 m/s

รูปที่ 5.11 แสดงลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับ เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็วเป็น 30 m/s พบว่า โนดเคลื่อนที่ได้รับแพ็กเกตแรกที่เวลา 26,907 ms ซึ่งโนดเคลื่อนที่อยู่ในเซลล์ FA7 เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ FA8 จึงเกิดกระบวนการแฮนด์ออฟที่เกิดการสูญหายของแพ็กเกตลำดับที่ 41 ถึงลำดับที่ 125 เป็นจำนวน 85 แพ็กเกต ซึ่งใช้เวลาแฝงในการแฮนด์ออฟคือ 860 ms โนดเคลื่อนที่จะได้รับแพ็กเกตลำดับที่ 126 จาก FA8 ที่เวลา 28,157 ms หลังจากที่โนดเคลื่อนที่ลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านเพื่อเปลี่ยนเส้นทางข้อมูล ซึ่งแพ็กเกตแรกที่ตัวแทนบ้านส่งให้แก่โนด

เคลื่อนที่จะสามารถส่งถึงโนดเคลื่อนที่ได้ทันที เพราะมีเส้นทางข้อมูลจากการลงทะเบียนครั้งหลังสุดอยู่ก่อน เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงขึ้นจะมีแพ็กเกตที่สูญหายจากการแฮนด์ออฟมากขึ้น

ผลการจำลองของการลงทะเบียนภายหลัง เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30 m/s

รูปที่ 5.12 แสดงลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับ โดยมีช่วงเวลาการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่เป็น 5% ของเวลาจำลองทั้งหมด เมื่อมีเซลล์ 8 เซลล์ในการจำลอง โนดเคลื่อนที่จะเริ่มได้รับแพ็กเกตขณะที่อยู่ในเซลล์ FA7 แล้วเกิดการแฮนด์ออฟระหว่างเมื่อโนดเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ FA8 โดยมีตัวกระตุ้นชั้นเชื่อมโยงข้อมูลตาม Wireless LAN IEEE 802.11 ซึ่งตัวแทนโครงข่ายภายนอกจะประกาศ L2 beacon ทุกๆ 100 ms



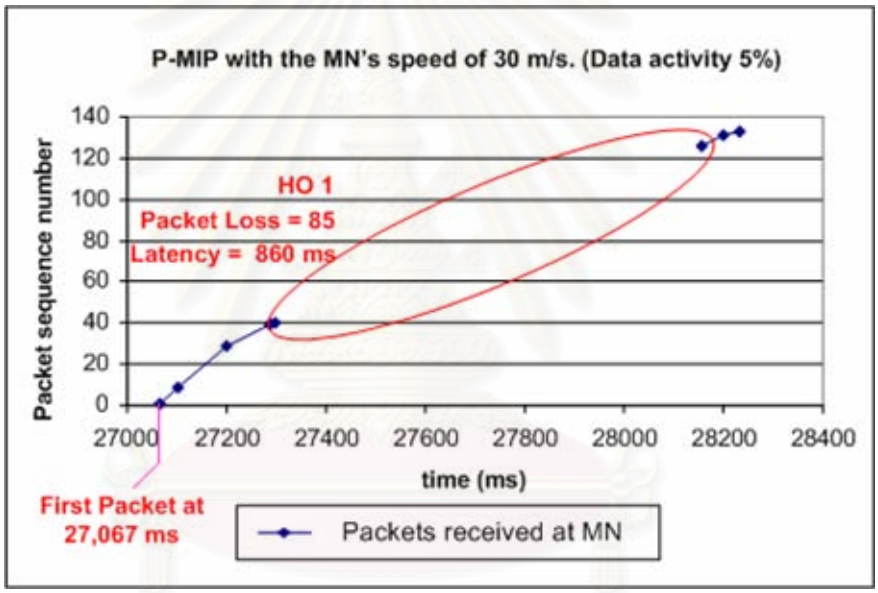
รูปที่ 5.12 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในการลงทะเบียนภายหลัง เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็ว 30 m/s

รูปที่ 5.12 แสดงลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในวิธีการลงทะเบียนภายหลัง เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็วเป็น 30 m/s พบว่า โนดเคลื่อนที่ได้รับแพ็กเกตแรกที่เวลา 26,907 ms ซึ่งโนดเคลื่อนที่อยู่ในเซลล์ FA7 เหมือนโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่เนื่องจากโนดเคลื่อนที่จัดเส้นทางข้อมูลก่อนไว้แล้ว ตัวแทนบ้านจึงสามารถส่งแพ็กเกตมายังโนดเคลื่อนที่ได้ทันที เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ FA8 จึงเกิดกระบวนการแฮนด์ออฟที่เกิดการสูญหายของแพ็กเกต 1 แพ็กเกตคือแพ็กเกตลำดับที่ 41 ซึ่งใช้เวลาแฝงในการแฮนด์ออฟคือ 28 ms จากรูปที่ 5.12 จะพบว่าเมื่อโนดเคลื่อนที่วิ่งด้วยความเร็วมากขึ้น ก็จะมีแพ็กเกตที่สูญหายมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม โนดเคลื่อนที่ที่ใช้

วิธีการลงทะเบียนภายหลังจะลดเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟและแพ็กเกตที่สูญหายได้ดีกว่าวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่มาตรฐานเสมอ

ผลการจำลองของการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30 m/s

รูปที่ 5.13 แสดงลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับ โดยมีช่วงเวลาการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่เป็น 5% ของเวลาจำลองทั้งหมด เมื่อมีเซลล์ 8 เซลล์ในการจำลอง โนดเคลื่อนที่จะถูกค้นหาตำแหน่งด้วยข่าวสารร้องขอเพจจิงในเซลล์ FA7 แล้วโนดเคลื่อนที่จะลงทะเบียนกับตัวแทนบ้าน ภายหลังโนดเคลื่อนที่จึงเข้าสู่สถานะทำงาน จากนั้นโนดเคลื่อนที่จึงเริ่มการแฮนด์ออฟเมื่อโนดเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ FA8



รูปที่ 5.13 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็ว 30 m/s

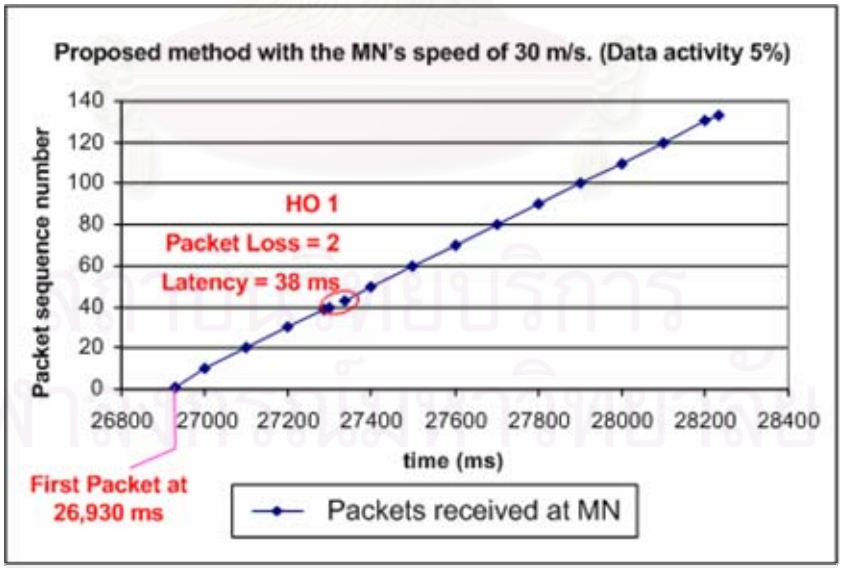
รูปที่ 5.13 แสดงลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในวิธีการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็วเป็น 30 m/s โนดเคลื่อนที่จะได้รับแพ็กเกตแรกที่เวลา 27,067 ms จาก FA7 หลังการลงทะเบียนกับตัวแทนบ้าน จากนั้นโนดเคลื่อนที่จะส่งข่าวสารตอบรับเพจจิงไปยัง FA5 ที่เป็น registered FA ของพื้นที่เพจจิงนี้ เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ข้ามเซลล์ก็จะเริ่มกระบวนการแฮนด์ออฟเหมือนโพรโทคอลไอพีมาตรฐาน จึงเกิดแพ็กเกตสูญหายที่ลำดับ 41 ถึง 125 เป็นจำนวน 85 แพ็กเกต ซึ่งใช้เวลาแฝงในการแฮนด์ออฟคือ 860 ms โนดเคลื่อนที่จะได้รับแพ็กเกตลำดับที่ 126 จาก FA8 ที่เวลา 28,157 ms หลังจากที่โนดเคลื่อนที่ลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านเพื่อเปลี่ยนเส้นทางข้อมูล จะเห็นได้ว่ากระบวนการแฮนด์ออฟที่มีเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟ และ

แพ็กเกตที่สูญหายเนื่องจากการแฮนด์ออฟจะเหมือนกับผลการจำลองของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ในรูป 5.11 ที่เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่มากขึ้น จะทำให้โนดเคลื่อนที่วิ่งออกจากบริเวณทับซ้อนเร็วขึ้น จึงเกิดแพ็กเกตที่สูญหายเพิ่มขึ้น

ช่วงเวลาเริ่มต้นที่โนดเคลื่อนที่ได้รับแพ็กเกตข้อมูลจะมีความชันของกราฟที่สูงเนื่องจากโนดเคลื่อนที่จะได้รับแพ็กเกตจากตัวแทนบ้านและข้อมูลที่พักใน registered FA พอ registered FA ส่งแพ็กเกตที่พักไว้แก่โนดเคลื่อนที่จนหมด โนดเคลื่อนที่ก็จะรับแพ็กเกตจากตัวแทนบ้านเพียงเส้นทางข้อมูลเดียว เหมือนโพรโทคอลไอพีมาตรฐาน

ผลการจำลองของการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานการลงทะเบียนภายหลัง เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 30 m/s

รูปที่ 5.14 แสดงลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับ โดยมีช่วงเวลาการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่เป็น 5% ของเวลาจำลองทั้งหมด เมื่อมีเซลล์ 8 เซลล์ในการจำลอง โนดเคลื่อนที่ที่อยู่ใน FA7 จะถูกค้นหาตำแหน่งโดยใช้ชั้นเชื่อมโยงข้อมูลมาช่วยให้เข้าสู่สถานะทำงาน จึงเกิดกระบวนการสร้างอุโมงค์สองทิศทางระหว่าง FA5 ที่เป็น registered FA กับ FA7 จากนั้นจะเข้าสู่กลไกลการทำงานในการลงทะเบียนภายหลังมาตรฐาน ในการจำลองนี้โนดเคลื่อนที่จะเกิดการแฮนด์ออฟเมื่อโนดเคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ FA8 ด้วยการลงทะเบียนภายหลัง



รูปที่ 5.14 ลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานการลงทะเบียนภายหลัง เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็ว 30 m/s

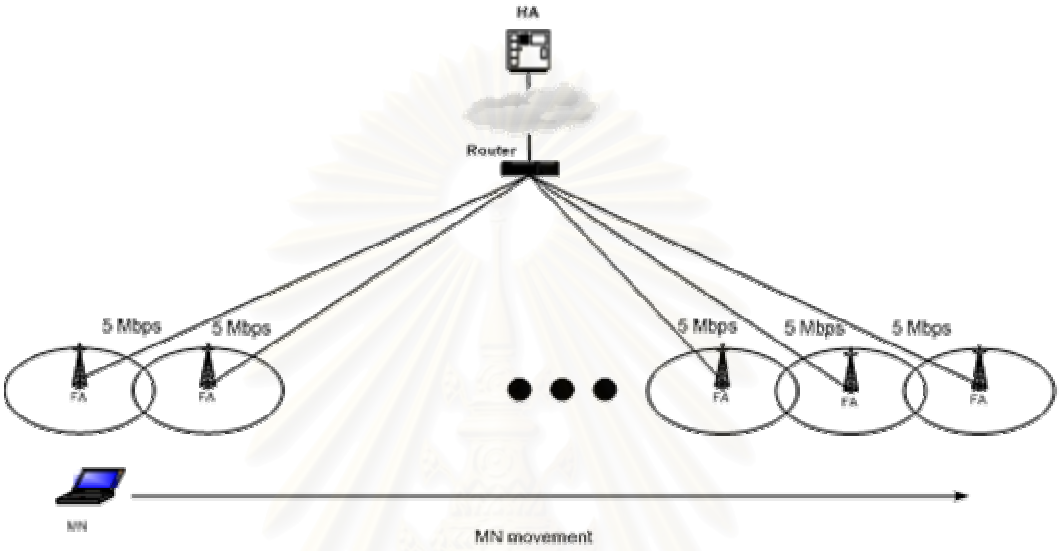
รูปที่ 5.14 แสดงลำดับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ได้รับ ในวิธีการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลัง เมื่อโนดเคลื่อนที่มีความเร็วเป็น 30 m/s โนดเคลื่อนที่จะได้รับแพ็กเกตแรกที่เวลา 26,930 ms จาก FA5 ผ่านทาง FA7 โดยอุโมงค์สองทิศทาง ซึ่งจะเร็วกว่าวิธีการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่เดิมในรูปที่ 5.13 เพราะเป็นการดึงข้อมูลที่พักจาก FA5 ก่อนลงทะเบียนเสร็จสิ้น จากนั้นโนดเคลื่อนที่จะเข้าสู่การลงทะเบียนภายหลัง แต่เป็นการลงทะเบียนภายหลังที่เลื่อนจังหวะเข้ามาใหม่แล้ว ทำให้จังหวะการส่ง L2 beacon เปลี่ยนไปจากเดิม เมื่อโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่เข้าสู่เซลล์ FA8 จึงเกิดกระบวนการแฮนด์ออฟที่เกิดการสูญหายของแพ็กเกต 2 แพ็กเกตคือแพ็กเกตลำดับที่ 41 และแพ็กเกตลำดับที่ 42 ซึ่งใช้เวลาแฝงในการแฮนด์ออฟคือ 38 ms จากรูปที่ 5.14 จะพบว่าเมื่อโนดเคลื่อนที่วิ่งด้วยความเร็วมากขึ้น ก็จะมีแพ็กเกตที่สูญหายมากขึ้น การที่เวลาแฝงในการแฮนด์ออฟ และแพ็กเกตที่สูญหายจากการแฮนด์ออฟ ไม่เหมือนการลงทะเบียนภายหลังดังรูปที่ 5.12 เพราะว่าจังหวะของ L2 beacon ถูกเลื่อนเข้ามาซึ่งต่างจากการลงทะเบียนเดิม แต่ยังคงใกล้เคียงกันกับการลงทะเบียนเดิมเพราะต่างกันแค่การเลื่อนจังหวะใหม่เท่านั้น

จากรูปที่ 5.7- 5.14 จะพบว่า ในวิธีการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานการลงทะเบียนภายหลังจะช่วยให้โนดเคลื่อนที่ได้รับแพ็กเกตแรกได้เร็วกว่าวิธีการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ และแพ็กเกตที่สูญหายจากการแฮนด์ออฟและเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟในวิธีการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานการลงทะเบียนภายหลังจะน้อยกว่าวิธีการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ เนื่องจากในวิธีที่เสนอนี้ โนดเคลื่อนที่ไม่ต้องเสียเวลารอเส้นทางข้อมูลใหม่จากตัวแทนบ้านก่อน จึงลดเวลาที่โนดเคลื่อนที่รอแพ็กเกตแรก และลดการพักข้อมูลลงได้

5.2.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองแบบระหว่างโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, การลงทะเบียนภายหลัง, การใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, การปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลัง เมื่อปรับเปลี่ยนสภาพแวดล้อมของโพรโทคอล

เราจำลองโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด ที่มีช่วงเวลาในการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่เป็น 5 % ของเวลาจำลองทั้งหมด โดยโนดเคลื่อนที่วิ่งเป็นเส้นตรงข้ามเซลล์ทั้งหมดในโพรโทคอลแต่ละชนิดนี้ เราจำลองโพรโทคอลตาม Wireless LAN IEEE 802.11 โดยกำหนดให้จำนวนตัวแทนบ้านเท่ากับ 1 ตัวแทน, ตัวแทนโครงข่ายภายนอกมีจำนวนปรับเปลี่ยนตามสภาพแวดล้อม, เซลล์แต่ละเซลล์มีขนาดรัศมีเป็น 61 เมตร,บริเวณทับซ้อนกัน 1 เมตร, จำนวนเราเตอร์ปรับเปลี่ยนตามสภาพแวดล้อม, แบนด์วิดท์ขนาด 5 Mbps, การเรียกมีการประวิงเวลา 3 มิลลิวินาที, ส่งข้อมูลด้วยอัตราบิตคงที่

(CBR) ,โนดเคลื่อนที่ 1 โนด ซึ่งปรับเปลี่ยนความเร็วตามสภาพแวดล้อม และในการจำลองวิธีการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ กับวิธีการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่บนพื้นฐานการลงทะเบียนภายหลัง จะมีพื้นที่เพจจิง 2 พื้นที่ โดยจำนวนสมาชิกต่อพื้นที่เพจจิงปรับเปลี่ยนตามสภาพแวดล้อม ดังรูปที่ 5.15

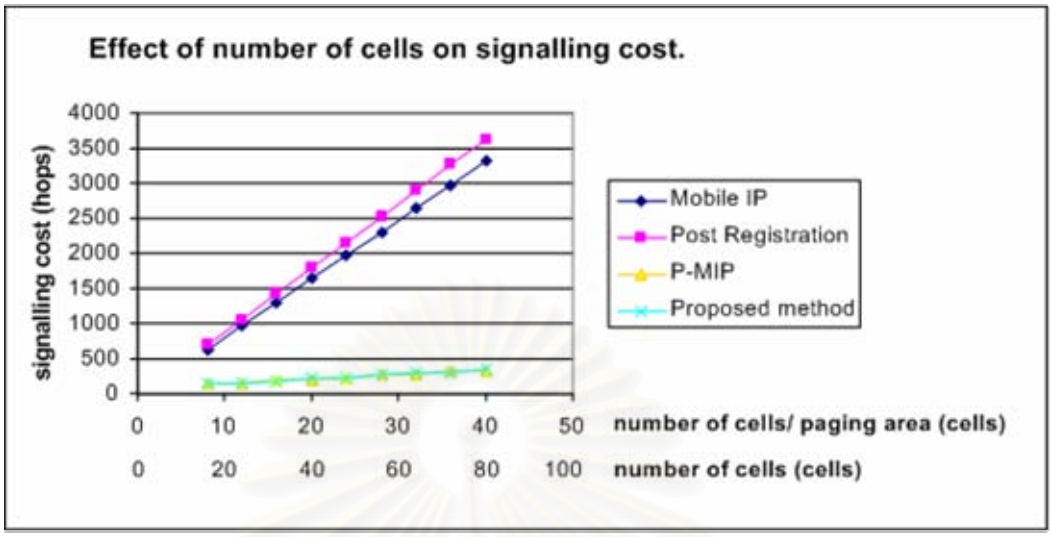


รูปที่ 5.15 โครงสร้างของแบบจำลองเพื่อศึกษาผลกระทบที่โนดเคลื่อนที่ได้รับในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด

5.2.2.1 ผลการจำลองของโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด เมื่อปรับเปลี่ยนจำนวนเซลล์

ในส่วนนี้เราจะปรับเปลี่ยนจำนวนเซลล์ที่ใช้ในแบบจำลอง เพื่อศึกษาปริมาณซิกแนลลิงซึ่งมีหน่วยเป็นจำนวน hop ในระบบโครงข่ายมีสายของสัญญาณซิกแนลลิง ศึกษาเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟ และจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายโดยให้โนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่คือ 20 m/s เป็นเส้นตรง และมีช่วงเวลาที่มีข้อมูลส่งแก่โนดเคลื่อนที่เป็น 5% ของเวลาจำลองทั้งหมดเพียงครั้งเดียว และจำนวนเราเตอร์ที่ข้ามไปยังตัวแทนบ้านมีจำนวน 20 เราเตอร์

เมื่อเราเพิ่มจำนวนเซลล์มากขึ้น ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ตามมาตรฐานและการลงทะเบียนภายหลังก็จะมีปริมาณซิกแนลลิงมากขึ้น และเมื่อเราเพิ่มจำนวนเซลล์ต่อพื้นที่เพจจิงมากขึ้นก็จะเพิ่มปริมาณซิกแนลลิงมากขึ้นแต่ผลกระทบของโพรโทคอลเคลื่อนที่และการลงทะเบียนภายหลังจะแตกต่างจากการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีบนพื้นทางการลงทะเบียนภายหลัง ดังรูปที่ 5.16

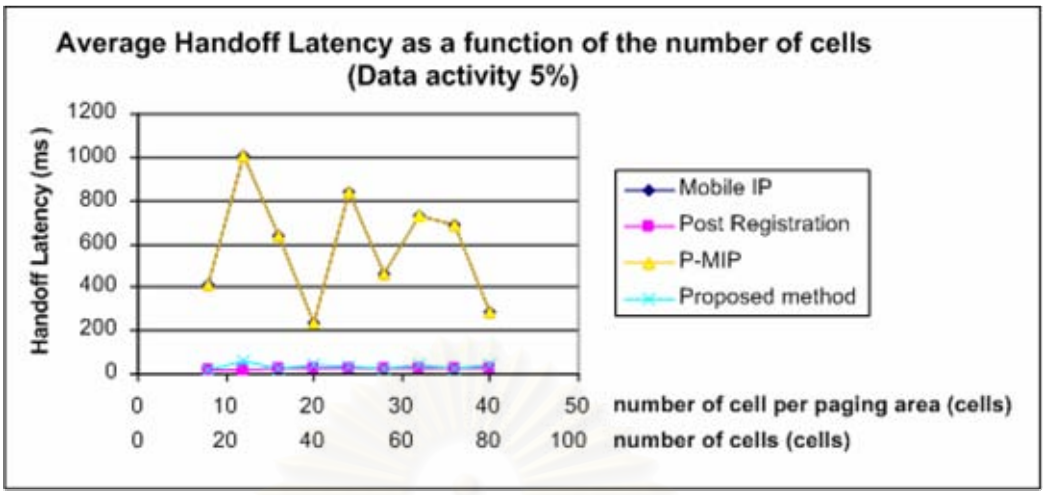


รูปที่ 5.16 ผลกระทบของจำนวนเซลล์ต่อพื้นที่เพจจิงส่งผลให้ปริมาณซิกแนลลิงในโพรโทคอลแต่ละชนิดเพิ่มขึ้น

รูปที่ 5.16 แสดงถึงการเพิ่มปริมาณซิกแนลลิงเมื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ในแบบจำลอง จะเห็นได้ว่า การใช้เพจจิงใน P-MIP กับการปรับปรุงการใช้เพจจิงที่เสนอจะช่วยลดปริมาณซิกแนลลิงได้ดีกว่าโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการลงทะเบียนภายหลัง โดยการปรับปรุงการใช้เพจจิงที่เสนอจะมีปริมาณซิกแนลลิงมากกว่าการใช้เพจจิงใน P-MIP เพียงเล็กน้อย แต่หากเพิ่มจำนวนสมาชิกในพื้นที่เพจจิงมากขึ้นเกินไป จะทำให้ปริมาณซิกแนลลิงในการใช้เพจจิงใน P-MIP กับวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์จะมากกว่าโพรโทคอลไอพีและการลงทะเบียนภายหลังแทน แต่ในที่นี้เราจำลองด้วยจำนวนสมาชิกเซลล์ต่อพื้นที่เพจจิงด้วยจำนวนสมาชิกที่ไม่มาก จึงไม่ค่อยเห็นผลชัด

เมื่อเราวัดเวลาแฝงเฉลี่ยในการแฮนด์ออฟในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด จะได้ผลกราฟดังรูปที่ 5.17

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

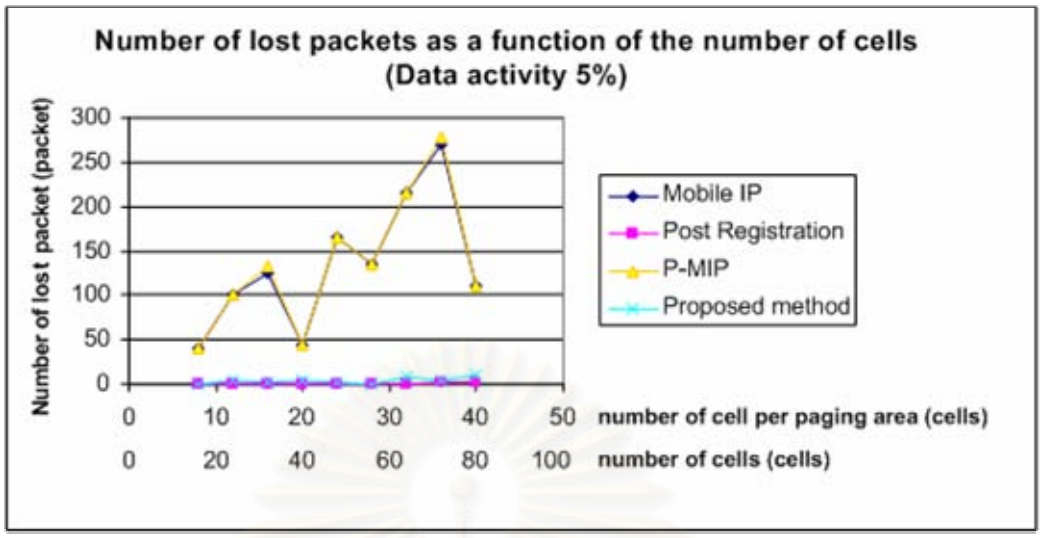


รูปที่ 5.17 เวลาแฝงเฉลี่ยในการแฮนด์ออฟตามการปรับเปลี่ยนจำนวนเซลล์

รูปที่ 5.17 จะเห็นว่า การลงทะเบียนภายหลัง และการปรับปรุงการใช้เพจจิงในโพรโทคอลเคลื่อนที่บนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลังจะช่วยลดเวลาแฝงเฉลี่ยในการแฮนด์ออฟได้ดีกว่าโพรโทคอลไอพีมาตรฐานและการใช้เพจจิงใน P-MIP และสาเหตุที่กราฟแกว่ง เป็นเพราะโนดเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารการประกาศตัวแทนได้ถูกจังหวะหรือไม่ บางครั้งโนดเคลื่อนที่เข้าเซลล์ใหม่แล้วได้รับข่าวสารประกาศตัวแทนจากเซลล์ใหม่ก็จะทำให้เวลาแฝงในการแฮนด์ออฟต่ำ ซึ่งในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการใช้เพจจิงใน P-MIP จะมีเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟเหมือนกันเพราะว่ามีกลไกในการแฮนด์ออฟเหมือนกัน ส่วนสาเหตุที่วิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์ต่างจากการลงทะเบียนภายหลังทั้งที่ใช้แนวคิดในการลงทะเบียนภายหลังเหมือนกันเป็นเพราะว่า วิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้มีการเลื่อนจังหวะ L2 beacon เข้ามา จึงมีเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟต่างกับการลงทะเบียนภายหลัง แต่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

เมื่อเราวัดจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายในแบบจำลองโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด จะได้กราฟดังรูป 5.18

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.18 จำนวนแพ็กเกตที่สูญหายทั้งหมดตามการปรับเปลี่ยนจำนวนเซลล์

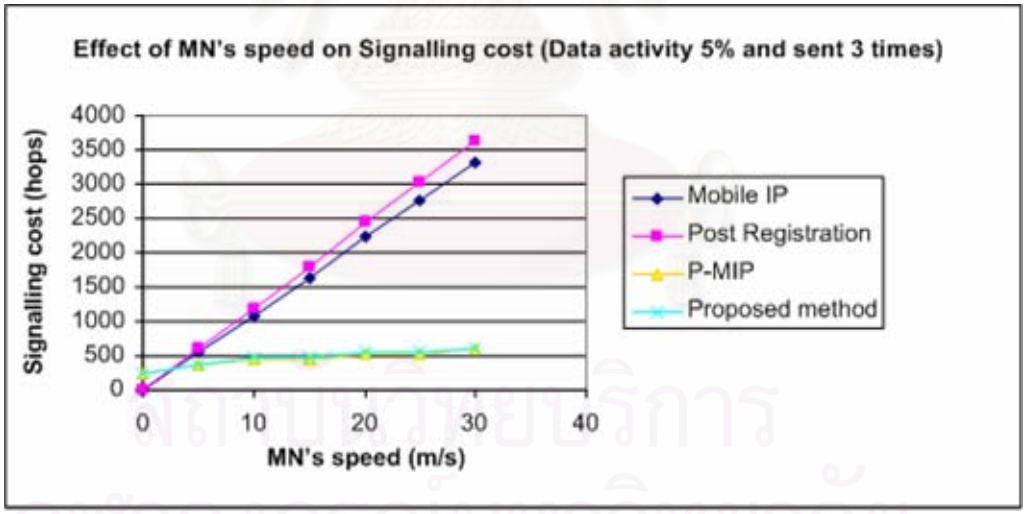
รูปที่ 5.18 เราจะพบว่า จำนวนแพ็กเกตที่สูญหายทั้งหมดของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการใช้เพจจิงใน P-MIP จะคล้ายกัน แต่ต่างกันที่จำนวนสมาชิก 16 เซลล์ต่อพื้นที่เพจจิง กับจำนวนสมาชิก 36 เซลล์ต่อพื้นที่เพจจิงในการใช้เพจจิงใน P-MIP จะมีจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายมากกว่าโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่เพียงเล็กน้อย สาเหตุเป็นเพราะ ขณะที่โนดเคลื่อนที่กำลังรอแพ็กเกตที่พักไว้จาก registered FA โนดเคลื่อนที่ได้เข้าสู่เซลล์ใหม่ ทำให้แพ็กเกตที่ส่งมาสูญหายในเซลล์เก่า แต่ในวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้จะไม่มีการสูญหายของแพ็กเกตในสาเหตุดังกล่าว เนื่องจากแพ็กเกตที่พักในวิธีที่เสนอไว้มีจำนวนน้อยกว่าการใช้เพจจิงใน P-MIP อีกทั้งสามารถดึงข้อมูลที่พักไว้ออกมาส่งให้โนดเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว และถึงแม้ว่าโนดเคลื่อนที่จะข้ามไปยังเซลล์ใหม่ทั้งที่โนดเคลื่อนที่กำลังรับข้อมูลจาก registered FA โนดเคลื่อนที่ที่เข้าสู่เซลล์ใหม่ก็จะกระตุ้นให้เซลล์ใหม่สร้างอุโมงค์สองทิศทางกับ registered FA อีกด้วย ทำให้ข้อมูลที่พักไว้สามารถส่งมายังเซลล์ใหม่ได้

ในการลงทะเบียนภายหลังและวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์จะมีจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายน้อยกว่าโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่กับการใช้เพจจิงใน P-MIP อย่างไรก็ตามจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายทั้งหมดในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิดจะมีจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายมากขึ้นเมื่อมีจำนวนเซลล์ในแบบจำลองมากขึ้น เพราะมีการแฮนด์ออฟข้ามเซลล์มากขึ้น

5.2.2.2 ผลการจำลองของโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด เมื่อปรับเปลี่ยนความเร็วของโนดเคลื่อนที่

ในการจำลองโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด เมื่อปรับเปลี่ยนความเร็วของโนดเคลื่อนที่นี้ เราจำลองโดยการให้โนดเคลื่อนที่ 7 โนด เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเป็น 0, 5, 10, 15, 20, 25 และ 30 m/s โนดเคลื่อนที่ทั้งหมดจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงผ่านเซลล์ 80 เซลล์ กรณีที่เป็นวิธีการใช้เพจจิงใน P-MIP กับวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้จะมีพื้นที่ 2 เพจจิง แต่ละพื้นที่เพจจิงมีจำนวนสมาชิกเป็น 40 เซลล์ต่อพื้นที่เพจจิงเดียวกัน กำหนดให้ทุกๆ 100 วินาที จะมีการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่เป็นระยะเวลา 5 วินาที (ซึ่งเป็น 5 % ของเวลา 100 วินาที) เนื่องจากเวลาทั้งหมดในการจำลองโพรโทคอล เรากำหนดเป็น 318.633 วินาที (ซึ่งเป็นเวลาที่โนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่จากจุดศูนย์กลางเซลล์ที่ 1 ไปยังจุดศูนย์กลางเซลล์ที่ 80 ด้วยความเร็ว 30 m/s) จึงมีการส่งข้อมูลได้ 3 ช่วง และกำหนดให้จำนวนเราเตอร์ที่ข้ามไปยังตัวแทนบ้านเป็นจำนวน 20 เราเตอร์ เมื่อจำลองโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด จะวัดปริมาณซิกแนลลิง เวลาแฝงเฉลี่ยในการแฮนด์ออฟ และ จำนวนแพ็กเกตที่สูญหาย จากโนดเคลื่อนที่ทั้ง 7 โนดเคลื่อนที่

เมื่อเราปรับให้โนดเคลื่อนที่วิ่งด้วยความเร็วมากขึ้น จึงเกิดการแฮน์ออฟมากขึ้น แนวโน้มของปริมาณซิกแนลลิงในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด จึงมีมากขึ้น ดังรูปที่ 5.19

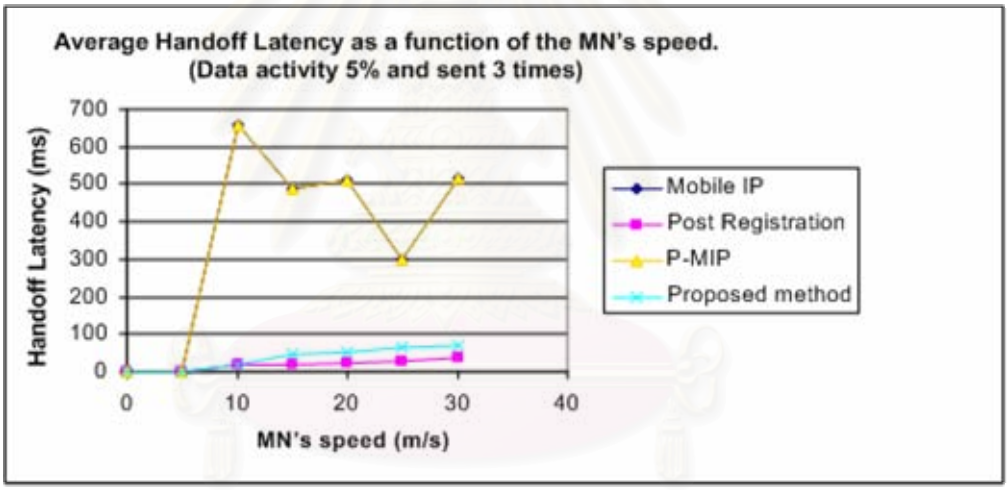


รูปที่ 5.19 ผลกระทบของการเพิ่มความเร็วในโนดเคลื่อนที่ต่อปริมาณซิกแนลลิงในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด

รูปที่ 5.19 จะเห็นได้ว่า การใช้เพจจิงใน P-MIP และวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์จะช่วยลดปริมาณซิกแนลลิงได้ดีกว่าโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการลงทะเบียนภายหลัง เนื่องจากวิธีการใช้เพจจิงใน P-MIP และวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นั้น ในช่วงที่โนดเคลื่อนที่ไม่มีข้อมูลติดต่อสื่อสาร โนดเคลื่อนที่จะไม่ลงทะเบียนกับตัวแทน นอกจากข้ามพื้นที่เพจจิง หรือหมดอายุการ

ลงทะเบียน แต่ในวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการลงทะเบียนภายหลังนั้น โนดเคลื่อนที่จะลงทะเบียนทุกครั้งที่ข้ามเซลล์แม้ว่าจะไม่มีข้อมูลส่งต่อโนดเคลื่อนที่ในช่วงนั้นก็ตาม แต่ในกรณีที่โนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ช้าหรือหยุดนิ่ง การใช้เพจจิงใน P-MIP และวิธีที่เสนอกลับเป็นการเพิ่มปริมาณซิกแนลลิงมากกว่าโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการลงทะเบียนภายหลัง เพราะวิธีการใช้เพจจิงใน P-MIP และวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์มใช้ซิกแนลลิงเพื่อค้นหาโนดเคลื่อนที่ ทั้งๆ ที่โนดเคลื่อนที่ยังคงอยู่ในเซลล์เดิม

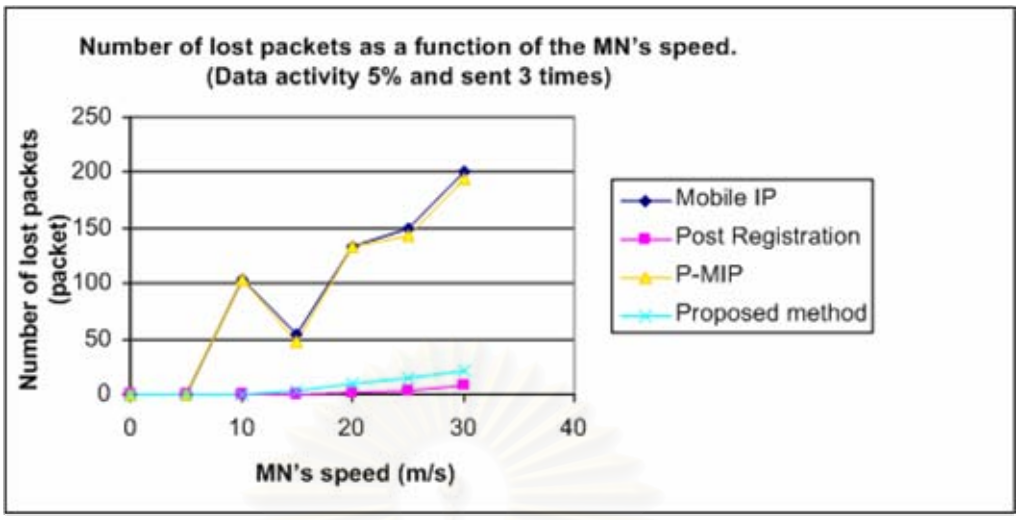
เมื่อเราวัดเวลาแฝงเฉลี่ยในการแฮนด์ออฟ เราจะพบว่าเมื่อโนดเคลื่อนที่ที่เคลื่อนที่เร็ว จะมีแนวโน้มที่จะมีเวลาแฝงเฉลี่ยในการแฮนด์ออฟสูงขึ้น เนื่องจากเวลาที่อยู่ในบริเวณทับซ้อนของโนดเคลื่อนที่ที่เคลื่อนที่เร็วจะน้อยกว่าโนดเคลื่อนที่ที่เคลื่อนที่ช้า ดังรูปที่ 5.20 แต่อย่างไรก็ตาม หากโนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่เร็วแต่พบข่าวสารการประกาศตัวแทนในช่วงที่เข้าสู่บริเวณทับซ้อนพอดี ก็ทำให้ใช้เวลาแฝงในการแฮนด์ออฟที่น้อยได้



รูปที่ 5.20 เวลาแฝงเฉลี่ยของการแฮนด์ออฟตามการเปลี่ยนแปลงความเร็วของโนดเคลื่อนที่ในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด

รูปที่ 5.20 จะเห็นได้ว่า โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการใช้เพจจิงใน P-MIP จะมีเวลาแฝงเฉลี่ยของการแฮนด์ออฟเหมือนกันเพราะกลไกการแฮนด์ออฟที่เหมือนกัน ส่วนในการลงทะเบียนภายหลังกับวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์จะคล้ายกัน แต่ต่างกันเล็กน้อยที่จังหวะของ L2 beacon ในวิธีที่เสนอที่เลื่อนเข้ามา อย่างไรก็ตามในวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์จะเห็นได้ว่าสามารถลดเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟได้ดีกว่าโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการใช้เพจจิงใน P-MIP อย่างเห็นได้ชัด

เมื่อเราวัดจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายในแบบจำลองโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด จะได้กราฟดังรูป 5.21



รูปที่ 5.21 จำนวนแพ็กเกตที่สูญหายทั้งหมดเทียบกับความเร็วของโนดเคลื่อนที่ในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด

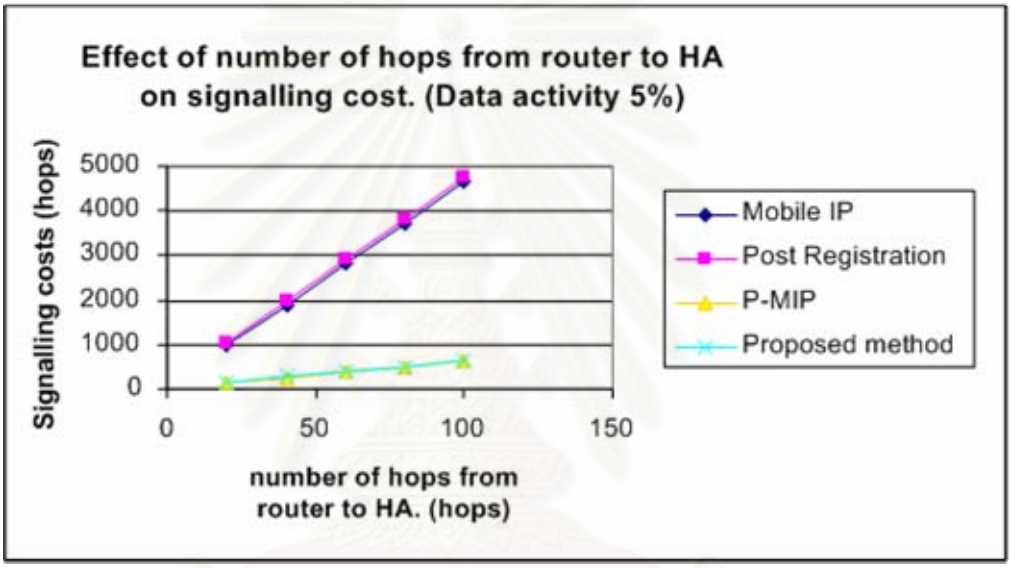
รูปที่ 5.21 พบว่า โนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่เร็วมากขึ้นจะมีจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายมากขึ้น เพราะว่าโนดเคลื่อนที่ข้ามเซลล์มากขึ้น ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการใช้เพจจิงใน P-MIP จะมีจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายใกล้เคียงกันเนื่องจากมีกลไกการแฮนด์ออฟเหมือนกัน แต่ที่ความเร็ว 15, 25 และ 30 m/s ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่จะมีจำนวนแพ็กเกตสูญหายมากกว่าการใช้เพจจิงใน P-MIP เพราะว่า ในโพรโทคอลไอพีจะเริ่มส่งข้อมูลให้แก่โนดเคลื่อนที่ในขณะที่โนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่ข้ามไปยังเซลล์ใหม่พอดีแต่ยังไม่ทันลงทะเบียนกับตัวแทนผ่านเซลล์ใหม่ จึงเกิดการสูญหายของแพ็กเกตที่ถูกส่งไปยังเซลล์เก่า ซึ่งในการใช้เพจจิงใน P-MIP จะมีที่พักข้อมูลพักแพ็กเกตในช่วงค้นหาโนดเคลื่อนที่ จึงป้องกันการสูญหายของแพ็กเกตในสาเหตุนี้ได้ แต่อย่างไรก็ตามการลงทะเบียนภายหลังและวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ยังคงลดการสูญหายของแพ็กเกตได้ดีกว่าโพรโทคอลไอพีและวิธีการใช้เพจจิงใน P-MIP อย่างเห็นได้ชัด

5.2.2.3 ผลการจำลองของโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด เมื่อปรับเปลี่ยนจำนวน hop จากเราเตอร์ไปยังตัวแทนบ้าน

ในส่วนสุดท้ายนี้ เราจะปรับเปลี่ยนจำนวน hop ระหว่างเราเตอร์ในรูป 5.15 จาก 20 hop เปลี่ยนเป็น 20, 40, 60, 80 และ 100 hop เพื่อศึกษาปริมาณซิกแนลลิง เวลาแฝงในการแฮนด์ออฟ จำนวนแพ็กเกตที่สูญหาย และความต้องการในการพักข้อมูลขณะที่เริ่มมีข้อมูลส่งแก่โนดเคลื่อนที่ในกระบวนการค้นหาโนดเคลื่อนที่

โดยกำหนดให้โนดเคลื่อนที่ 1 โนดเคลื่อนที่ผ่านเซลล์ 24 เซลล์ (กรณีที่เป็นโพรโทคอลที่ใช้เพจจิง จะเป็น 12 cell/ PA)ด้วยความเร็วคงที่เป็นเส้นตรงคือ 20 m/s จากจุดศูนย์กลางเซลล์ที่ 1 ไปยังจุดศูนย์กลางเซลล์ที่ 24 และมีช่วงเวลาในการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่เป็น 5% ของเวลาจำลองทั้งหมด โดยมีช่วงเวลาที่ส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่เพียงครั้งเดียว และมีเวลาทั้งหมดในการจำลองโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด เป็น 139,150 มิลลิวินาที

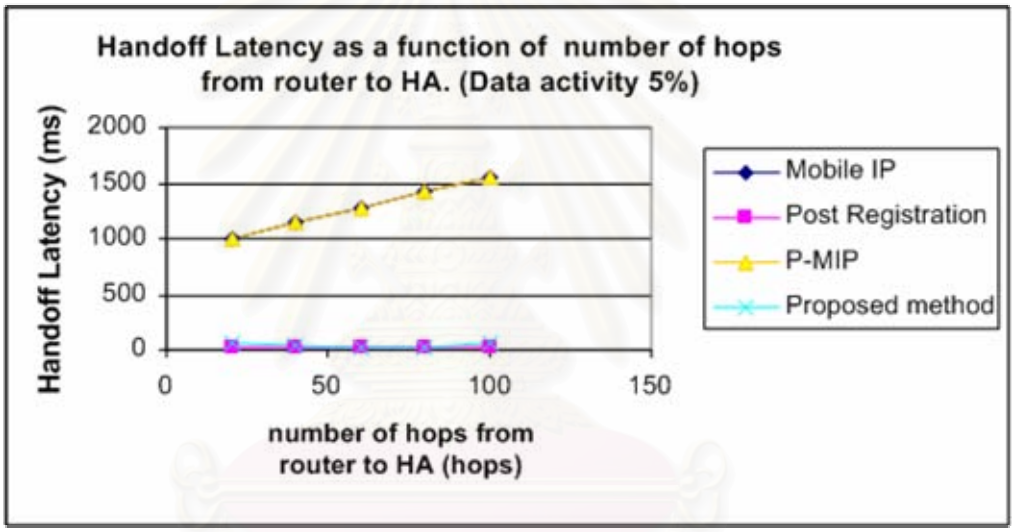
เมื่อเราปรับจำนวน hop ระหว่างโครงข่ายให้มากขึ้น จะพบว่าปริมาณซิกแนลลิงในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด จะเพิ่มมากขึ้น เพราะโนดเคลื่อนที่จำเป็นต้องลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านที่อยู่ห่างไกลมากขึ้น ดังรูปที่ 5.22



รูปที่ 5.22 ผลกระทบของจำนวน hop จากเราเตอร์ไปยังตัวแทนบ้าน ส่งผลให้ปริมาณซิกแนลลิงในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด เพิ่มขึ้น

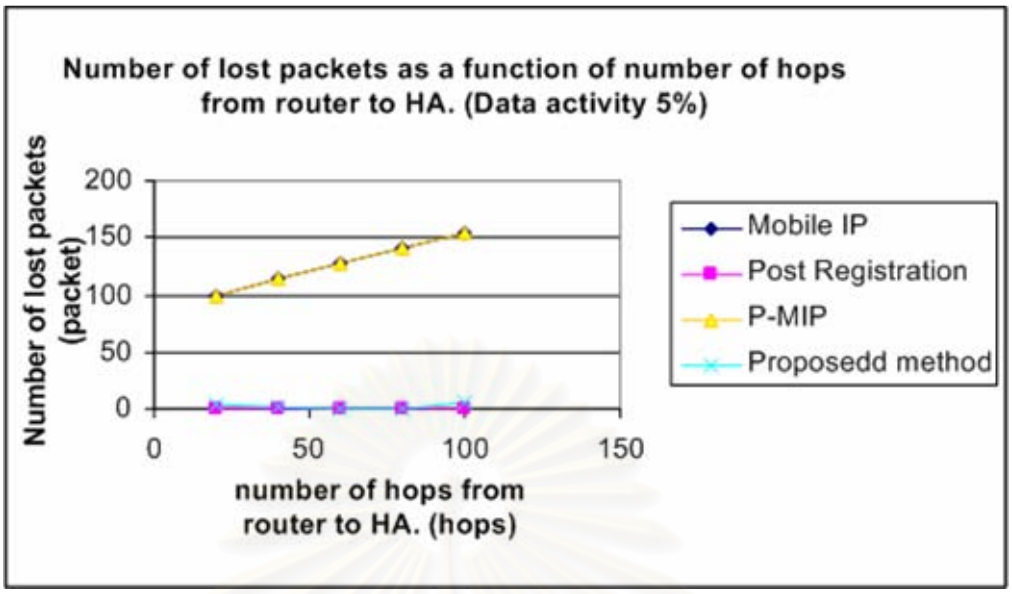
รูปที่ 5.22 จะเห็นว่า โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการลงทะเบียนภายหลังจะมีปริมาณซิกแนลลิงที่สูงกว่าการใช้เพจจิงใน P-MIP และวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์อย่างมาก เพราะโนดเคลื่อนที่ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการลงทะเบียนภายหลังจะลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านทุกครั้งเมื่อโนดเคลื่อนที่ข้ามเซลล์ไม่ว่าจะมีข้อมูลส่งถึงโนดเคลื่อนที่หรือไม่ก็ตาม แต่ในการใช้เพจจิงใน P-MIP และ วิธีที่เราเสนอในวิทยานิพนธ์นี้จะลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านในขณะที่มีข้อมูลติดต่อกับโนดเคลื่อนที่เท่านั้น ยิ่งโครงข่ายบ้านอยู่ไกลจากโนดเคลื่อนที่ ยิ่งเป็นการลดปริมาณซิกแนลลิงในการใช้เพจจิงใน P-MIP และ วิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ได้มาก โดยวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้จะมีปริมาณซิกแนลลิงมากกว่าการใช้เพจจิงใน P-MIP เพียงเล็กน้อย เพราะในการสร้างอุโมงค์สองทิศทางของวิธีที่เสนอนี้จำเป็นต้องใช้ข่าวสารร้องขอการแฮนด์ออฟและข่าวสารตอบรับการแฮนด์ออฟ

เมื่อเราวัดเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟที่เกิดขึ้นในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด เราจะพบว่า เมื่อตัวแทนบ้านยิ่งอยู่ห่างไกลจากโนดเคลื่อนที่ ในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการใช้เพจจิงใน P-MIP จะใช้เวลาแฝงในการแฮนด์ออฟสูงกว่าการลงทะเบียนภายหลังและวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ เพราะโนดเคลื่อนที่ต้องลงทะเบียนเมื่อข้ามเซลล์ก่อนเพื่อเปลี่ยนเส้นทางข้อมูลจากตัวแทนบ้านเสร็จสิ้นแล้วโนดเคลื่อนที่จึงจะได้รับแพ็กเกตข้อมูลจากตัวแทนบ้านผ่านเส้นทางใหม่ได้ ซึ่งหากตัวแทนบ้านอยู่ห่างไกลจากโนดเคลื่อนที่ กระบวนการลงทะเบียนจะยิ่งใช้เวลามากจึงจะเสร็จสิ้น ทำให้โนดเคลื่อนที่ได้รับแพ็กเกตช้า แต่ในการลงทะเบียนภายหลังและวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ โนดเคลื่อนที่สามารถได้รับแพ็กเกตก่อนการลงทะเบียนเสร็จสิ้น จึงทำให้ใช้เวลาแฝงในการแฮนด์ออฟต่ำกว่าโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการใช้เพจจิงใน P-MIP ดังรูปที่ 5.23



รูปที่ 5.23 เวลาแฝงในการแฮนด์ออฟตามการเปลี่ยนแปลงระยะ hop จากเราเตอร์ไปยังตัวแทนบ้านในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด

เมื่อเราวัดจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายในแบบจำลองโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด จะได้กราฟดังรูปที่ 5.24

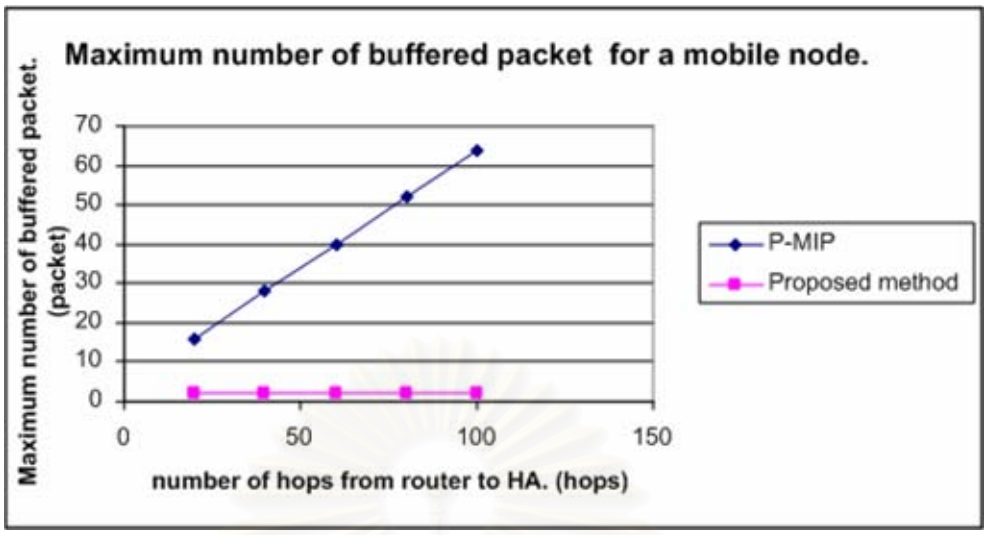


รูปที่ 5.24 จำนวนแพ็กเกตที่สูญหายเทียบกับระยะ hop จากเราเตอร์ไปยังตัวแทนบ้านในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด

รูปที่ 5.24 จะเห็นได้ว่า โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการใช้เพจจิงใน P-MIP ซึ่งมีกลไกการลงทะเบียนเหมือนกัน จึงมีจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายเหมือนกัน โดยที่ยิ่งเพิ่มระยะห่างระหว่างโนดเคลื่อนที่และตัวแทนบ้านมากขึ้น โนดเคลื่อนที่จำเป็นที่ต้องใช้เวลาในการลงทะเบียนที่อยู่ห่างไกลมากขึ้น ทำให้โนดเคลื่อนที่จะได้รับแพ็กเกตข้อมูลช้ามากขึ้นซึ่งช่วงในช่วงขณะที่โนดเคลื่อนที่ออกจากเซลล์เดิมจนถึงการลงทะเบียนเสร็จสิ้นจะเกิดการสูญหายของแพ็กเกตข้อมูลขึ้น แต่ในการลงทะเบียนภายหลังและในวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ โนดเคลื่อนที่สามารถรับแพ็กเกตข้อมูลได้ก่อนการลงทะเบียนเสร็จสิ้น โดยใช้ไอพีเดิม

เมื่อเราวัดจำนวนแพ็กเกตที่ถูกพักไว้ในที่พักข้อมูลใน registered FA ที่พักมากที่สุด ในการใช้เพจจิงใน P-MIP และ วิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ เราจะได้กราฟดังรูปที่ 5.25

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.25 การเปรียบเทียบจำนวนแพ็กเกตที่พักไว้มากที่สุดในช่วงค้นหาโนดเคลื่อนที่ตามระยะ hop จากเราเตอร์ไปยังตัวแทนบ้านในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด

รูปที่ 5.25 เมื่อเราพิจารณากลไกการทำงานของการพักข้อมูลในช่วงรอการค้นหาตำแหน่งโนดเคลื่อนที่ในการใช้เพจจิงใน P-MIP กับ วิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ พบว่า การใช้เพจจิงใน P-MIP จะต้องการที่พักข้อมูลมากกว่าวิธีที่เสนอในวิทยานิพธ์นี้ เนื่องจากในการใช้เพจจิงใน P-MIP นั้น registered FA จำเป็นต้องพักข้อมูลในช่วงการรอการค้นหาตำแหน่งของโนดเคลื่อนที่ก่อน ซึ่งต้องรอจนกว่าโนดเคลื่อนที่ลงทะเบียนกับตัวแทนเสร็จสิ้นก่อนแล้วโนดเคลื่อนที่จึงจะตอบรับ registered FA ด้วยข่าวสารตอบรับเพจจิง registered FA จึงจะสามารถเริ่มส่งแพ็กเกตที่พักไว้ในข้อมูลนั้นได้ ซึ่งถ้าตัวแทนบ้านอยู่ห่างไกลจากโนดเคลื่อนที่ จะทำให้เสียเวลาในการลงทะเบียนนานขึ้น ช่วงเวลานั้น registered FA จำเป็นต้องพักข้อมูลเพิ่มขึ้นอีก เป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรในการพักแพ็กเกตข้อมูล ซึ่งในวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ โนดเคลื่อนที่ไม่จำเป็นต้องลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านเสร็จสิ้นก่อน โนดเคลื่อนที่สามารถกระตุ้นให้ตัวแทนโครงข่ายภายนอกตัวปัจจุบันที่โนดเคลื่อนที่อยู่อาศัยเริ่มกระบวนการสร้างอุโมงค์สองทิศทางเพื่อเปลี่ยนเส้นทางข้อมูลโดยใช้ไอพีเดิมและสามารถดึงข้อมูลที่พักอยู่ใน registered FA อย่างรวดเร็ว ดังนั้น ไม่ว่าตัวแทนบ้านจะอยู่ห่างไกลจากโนดเคลื่อนที่เพียงใด ความต้องการที่จะใช้ทรัพยากรในการพักข้อมูลก็จะไม่เพิ่มขึ้นในวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้

จะเห็นได้ว่าจากการจำลองในสภาพแวดล้อมต่างๆ ในวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ เราเพียงใช้ปริมาณซิกแนลลิงที่เพิ่มจากการใช้เพจจิงใน P-MIP เพียงเล็กน้อย แต่ยังคงน้อยกว่าโพรโทคอลไอพีมาตรฐาน และการลงทะเบียนภายหลังเป็นอย่างมาก แต่วิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้สามารถลดเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟ ลดแพ็กเกตที่สูญหาย ลดเวลารอข้อมูลในช่วงที่ตัวแทนบ้านเริ่มส่งข้อมูลถึงโนดเคลื่อนที่ และลดความต้องการในการใช้ทรัพยากรที่พักข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 6

บทสรุป

6.1 บทสรุป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาและปรับปรุงสมรรถนะการทำงานของการใช้เพจจิงบนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลัง โดยแนวความคิดหลักที่ใช้สำหรับปรับปรุงสมรรถนะของการใช้เพจจิง มีอยู่ 2 ส่วนด้วยกันคือ

1. การประวิงเวลาการลงทะเบียนโดยใช้อุโมงค์ข้อมูล 2 ทิศทาง (BET) เพื่อเปลี่ยนเส้นทางข้อมูลก่อนการลงทะเบียนข้ามโครงข่ายไปยังตัวแทนบ้านเสร็จสิ้นลง
2. การใช้หลักการลงทะเบียนภายหลังในช่วงที่ MN อยู่ในสถานะ Active

จากการศึกษาผลกระทบของการใช้เพจจิงใน P-MIP พบว่า สมรรถนะของการใช้เพจจิงใน P-MIP นี้จะลดลงเมื่อตัวแทนบ้านอยู่ห่างไกลจากตัวแทนโครงข่ายภายนอกปัจจุบันที่ MN อาศัยอยู่ เมื่อระยะทางระหว่างตัวแทนบ้านกับโครงข่ายภายนอกที่ MN อาศัยอยู่นั้นห่างไกลกันมากขึ้น ตัวแทนโครงข่ายภายนอกจำเป็นต้องใช้ที่พักข้อมูลที่มีสมรรถนะที่ดีมากขึ้น และสูญเสียงานบริการเวลาจริง (real time services) ที่จะสื่อสารกับโนดเคลื่อนที่ อีกทั้งสูญเสียสมรรถนะในการแฮนด์ออฟ ทั้งในด้านเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟที่นานมากขึ้น และจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายขณะข้ามเซลล์ที่เพิ่มมากขึ้นอีกด้วย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอการประวิงเวลาในการลงทะเบียนด้วยหลักการแฮนด์ออฟที่ใช้เวลาแฝงต่ำ (Low Latency Handoff Scheme) ชนิดการลงทะเบียนภายหลัง (Post Registration) ซึ่งมีสมรรถนะที่ดีในการลดจำนวนแพ็กเกตที่สูญเสียและเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟที่ดีกว่าการลงทะเบียนภายหลัง เพื่อสามารถส่งข้อมูลให้แก่ MN ได้อย่างรวดเร็วและลดความต้องการการพักข้อมูลได้อย่างดี

แนวคิดวิทยานิพนธ์นี้ เราใช้ความสามารถของชั้นเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Layer) เพื่อเปลี่ยนเส้นทางข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว ทั้งในช่วงที่เริ่มส่งข้อมูลแก่ MN ที่ยังไม่ทราบตำแหน่งของ MN อย่างชัดเจน และในช่วงที่ MN ได้รับข้อมูลอย่างต่อเนื่องขณะ MN เคลื่อนที่ข้ามเซลล์

จากการทดสอบพบว่า การปรับปรุงการใช้เพจจิงบนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลัง มีผลการทำงานดีกว่าการใช้เพจจิงใน P-MIP พร้อมทั้งในแนวคิดวิทยานิพนธ์นี้ สามารถลดปริมาณซิกแนลลิงได้ดีกว่าโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการลงทะเบียนภายหลัง โดยเราจำลองโพรโทคอล

ทั้ง 4 ชนิด ได้แก่ โพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่, การลงทะเบียนภายหลัง, การใช้เพจจิงใน P-MIP และวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะการทำงานในด้านต่างๆ โดยแบ่งการทดสอบเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. ทดสอบในด้านของลำดับแพ็กเกตข้อมูลที่ MN ได้รับ เมื่อเปลี่ยนแปลงความเร็วของ MN จาก 5 m/s เป็น 30 m/s ผ่านเซลล์จำนวน 8 เซลล์ โดยมีช่วงเวลาการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่เป็น 5% ของเวลาจำลองทั้งหมด เพียง 1 ช่วงการส่งข้อมูล ผลการทดสอบพบว่า

แพ็กเกตข้อมูลแรกที่ MN ได้รับในวิธีของโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการลงทะเบียนภายหลัง จะได้รับแพ็กเกตข้อมูลแรกที่เร็วกว่า วิธีการใช้เพจจิงใน P-MIP และวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์ เนื่องจากในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการลงทะเบียนภายหลังนี้ มีการจัดเตรียมเส้นทางข้อมูลไว้ก่อนเสมอเพราะวิธีการใช้เพจจิงจำเป็นต้องพักข้อมูลก่อนเริ่มส่งข้อมูลให้กับ MN อย่างไรก็ตาม วิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้สามารถรับแพ็กเกตข้อมูลแรกได้เร็วกว่าวิธีใน P-MIP เนื่องจากวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้สามารถเปลี่ยนเส้นทางข้อมูลก่อนการรอการลงทะเบียนเสร็จสิ้นลงในวิธี P-MIP อีกทั้งวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ใช้ที่พักข้อมูลในช่วงเริ่มค้นหา MN ได้น้อยกว่าวิธีใน P-MIP และหากเปรียบเทียบโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด ในด้านของจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายและเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟพบว่า วิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์และการลงทะเบียนภายหลังมีสมรรถนะดีกว่าโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการใช้เพจจิงใน P-MIP

2. ทดสอบในด้านของการเปลี่ยนแปลงจำนวนเซลล์ที่ใช้ในโพรโทคอล ทั้ง 4 ชนิด เมื่อ MN ใช้ความเร็วเป็น 20 m/s โดยมีช่วงเวลาการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่เป็น 5% ของเวลาจำลองทั้งหมด เพียง 1 ช่วงการส่งข้อมูล ผลการทดสอบพบว่า

ในด้านของจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายและเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟนั้น วิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์และการลงทะเบียนภายหลังมีสมรรถนะดีกว่าโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการใช้เพจจิงใน P-MIP ในด้านของการแฮนด์ออฟเป็นอย่างมาก เนื่องจากวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์มีกลไกการแฮนด์ออฟเหมือนการลงทะเบียนภายหลัง และวิธีใน P-MIP มีกลไกการแฮนด์ออฟเหมือนโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่ โดยปริมาณซิกแนลลิงของวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้เพิ่มมากกว่าวิธี P-MIP เพียงเล็กน้อย แต่เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีที่ไม่ได้ใช้เพจจิงในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการลงทะเบียนภายหลังพบว่า ปริมาณซิกแนลลิงของวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้น้อยกว่าวิธีในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการลงทะเบียนภายหลังเป็นอย่างมาก ซึ่งเป็นจุดเด่นหลักของการใช้เพจจิง

3. ทดสอบในด้านของการเปลี่ยนแปลงความเร็วของ MN ที่ใช้ในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด เมื่อ MN เคลื่อนที่ผ่านเซลล์จำนวน 80 เซลล์ กำหนดให้ทุกๆ 100 วินาที จะมีการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่เป็นระยะเวลา 5 วินาที (ซึ่งเป็น 5 % ของเวลา 100 วินาที) เนื่องจากเวลาทั้งหมดในการจำลองโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด เรากำหนดเป็น 318.633 วินาที (ซึ่งเป็นเวลาที่โนดเคลื่อนที่เคลื่อนที่

จากจุดศูนย์กลางเซลล์ที่ 1 ไปยังจุดศูนย์กลางเซลล์ที่ 80 ด้วยความเร็ว 30 m/s) จึงมีการส่งข้อมูลได้ 3 ช่วงผลการทดสอบพบว่า

วิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์มีสมรรถนะที่ดีในการลดจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายและเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟเหมือนวิธีการลงทะเบียนภายหลัง ซึ่งดีกว่าทั้งโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และวิธี P-MIP โดยขณะที่ MN วิ่งด้วยความรวดเร็วนั้น วิธีที่ใช้เพจจิงทั้ง 2 วิธี ทั้งในวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์และวิธีใน P-MIP สามารถลดปริมาณซิกแนลลิงได้ดีกว่าวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการลงทะเบียนภายหลัง แต่หาก MN วิ่งช้าหรือหยุดนิ่ง เรากลับพบว่าวิธีที่ใช้เพจจิงทั้ง 2 วิธีนี้ ทั้งวิธีที่เสนอและวิธี P-MIP กลับเพิ่มปริมาณซิกแนลลิงมากกว่าวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และการลงทะเบียนภายหลัง เนื่องจากวิธีที่ใช้เพจจิงทั้ง 2 วิธีนี้ต้องเพิ่มปริมาณซิกแนลลิงในการค้นหา MN ทั้งๆ ที่ MN อยู่ในเซลล์เดิม

4. ทดสอบเมื่อปรับเปลี่ยนระยะทางระหว่างตัวแทนบ้านกับโครงข่ายภายนอกที่ MN อาศัยอยู่ โดย MN เคลื่อนที่ผ่านเซลล์ 24 เซลล์ ด้วยความเร็ว 20 m/s โดยมีช่วงเวลาการส่งข้อมูลแก่โนดเคลื่อนที่เป็น 5% ของเวลาจำลองทั้งหมด เพียง 1 ช่วงการส่งข้อมูล ผลการทดสอบพบว่า

วิธีที่ใช้เพจจิงทั้ง 2 วิธี ทั้งในวิธีที่เสนอและวิธี P-MIP สามารถลดปริมาณซิกแนลลิงได้ดีกว่าวิธีโพรโทคอลไอพีเคลื่อนทีและการลงทะเบียนภายหลังเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อตัวแทนอยู่ห่างไกลจากโครงข่ายภายนอกที่ MN อาศัยอยู่ ยิ่งสามารถเห็นความแตกต่างของปริมาณซิกแนลลิงที่ลดลงอย่างชัดเจนเมื่อใช้วิธีเพจจิงทั้ง 2 วิธีทั้งวิธีที่เสนอและวิธี P-MIP ซึ่งเมื่อพิจารณาผลกระทบของจำนวนแพ็กเกตข้อมูลที่สูญหายและเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟ พบว่าวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์และการลงทะเบียนภายหลังนี้มีสมรรถนะในการแฮนด์ออฟดีกว่าโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และวิธี P-MIP เพราะในโพรโทคอลไอพีเคลื่อนที่และวิธี P-MIP จำเป็นต้องลงทะเบียนข้ามโครงข่ายไปยังตัวแทนบ้านก่อนได้รับข้อมูลจากตัวแทนบ้าน ยิ่งตัวแทนบ้านอยู่ห่างไกลออกไปจากโครงข่ายภายนอกปัจจุบันที่ MN อาศัยอยู่ ก็ยิ่งลดสมรรถนะการแฮนด์ออฟลง

เมื่อพิจารณาการใช้ที่พักข้อมูลในช่วงที่เริ่มมีข้อมูลส่งถึง MN ขณะที่เริ่มค้นหา MN นั้น พบว่า วิธีที่เสนอนี้สามารถลดความต้องการการใช้ที่พักข้อมูลลงได้ดีกว่าวิธีใน P-MIP อย่างชัดเจน

จากการทดสอบทั้ง 4 ส่วนในโพรโทคอลทั้ง 4 ชนิด สามารถสรุปได้ว่า วิธีการปรับปรุงการใช้เพจจิงบนพื้นฐานการลงทะเบียนภายหลังที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้สามารถลดความต้องการในการพักข้อมูลอีกทั้งลดเวลาในการรอแพ็กเกตข้อมูลในช่วงเริ่มค้นหา MN ดีกว่าวิธี P-MIP ตามสภาวะแวดล้อมการทำงานของระบบ

วิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้สามารถลดปริมาณซิกแนลลิงได้เป็นอย่างดี เมื่อใช้หลักการเพจจิงในสภาพแวดล้อมของระบบสื่อสารได้อย่างเหมาะสม เช่น กำหนดจำนวนสมาชิกในพื้นที่เพจจิง

ตามสภาพเคลื่อนที่ของโนดเคลื่อนที่ที่เหมาะสม และสามารถลดจำนวนแพ็กเกตที่สูญหายเนื่องจากการแฮนด์ออฟ พร้อมทั้งลดเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟได้เป็นอย่างดี

6.2 ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้เสนอการปรับปรุงการใช้เพจจิงบนพื้นฐานของการลงทะเบียนภายหลัง เพื่อปรับปรุงสมรรถนะการทำงานร่วมกันระหว่างการใช้เพจจิงและการลงทะเบียนภายหลังได้อย่างเหมาะสม งานวิจัยนี้จึงสามารถปรับปรุงสมรรถนะด้านปริมาณซิกแนลลิง, ความต้องการพักข้อมูล, งานบริการเวลาจริง (real time services), จำนวนแพ็กเกตที่สูญหายในการแฮนด์ออฟ และเวลาแฝงในการแฮนด์ออฟ แต่จากการศึกษาและทดสอบพบว่า ยังคงมีปัจจัยบางส่วนที่ทำให้สมรรถนะการใช้เพจจิงลดลง ได้แก่ ความถี่ในการเริ่มส่งข้อมูลแก่ MN ที่มีความถี่สูง ทำให้สิ้นเปลืองปริมาณซิกแนลลิงในการค้นหาโนดเคลื่อนที่มากขึ้น, จำนวนสมาชิกในพื้นที่เพจจิงที่ไม่เหมาะสม ถ้าใช้จำนวนสมาชิกในพื้นที่เพจจิงมากเกินไป จะสิ้นเปลืองปริมาณซิกแนลลิงในการค้นหาโนดเคลื่อนที่ในระบบมากขึ้น แต่ถ้าใช้จำนวนสมาชิกในพื้นที่เพจจิงน้อยเกินไป จะมีอัตราการข้ามพื้นที่เพจจิงมากขึ้น ทำให้สิ้นเปลืองปริมาณซิกแนลลิงในการลงทะเบียนเมื่อโนดเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่เพจจิงใหม่มากขึ้น เป็นต้น ดังนั้นในงานวิจัยต่อๆ ไปควรจะมีการศึกษาและค้นคว้าปัจจัยเหล่านี้ เพื่อเพิ่มสมรรถนะในการทำงานให้มากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

[1] J. D. Solomon. Mobile IP The Internet Unplugged. New Jersy: Prentice Hall, 1998.

[2] C. E. Perkins. IP Mobility Support for IPv4. Request for Comments (RFC) 3220. January 2002.

[3] A. Campbell, J. Gomez, C. Y. Wan, Z. Turanyi, and A. Valko. Cellular IP. Internet Draft, IETF 1999.

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

[5] X. Zhang, J. G. Castellanos, and A. T. Campbell. P-MIP: Paging Extensions for Mobile IP. ACM Mobile Networks and Applications (MONET). 7, 2 (April 2002): 127-141.

[6] H. Omar, T. Saadawi, and M. Lee. Supporting Reduced Location Management Overhead and Fault Tolerance in Mobile IP Systems. Proc. IEEE Symposium on Computer and Communications. (July 1999): 347-353.

[7] R. Caceres and V. N. Padmanabham. Fast and Scalable Handoffs for Wireless Internetworks. Proc. ACM Mobicom 96. (November 1996): 56-66.

[8] A. Stephane and A. H. Aghvami. Fast Handover Schemes for Future Wireless IP Networks: a Proposal and Analysis. Proc. IEEE Vehicular Technology Conference. VTC 2001 Spring. 3 (May 2001): 2046-2050.

[9] E. Gustafsson, A. Jonsson, and C. E. Perkins. Mobile IPv4 Regional Registration. Internet Draft. draft-ietf-mobileip-reg-tunnel-05.txt, work in progress (2001).

[10] E. Malki. Low Latency Handoff in Mobile IPv4. Internet Draft. draft-ietf-mobileip-lowlatency-handoffs-v4-03.txt, IETF (October 2003).

[11] Kimtho Po and W. Benjapolakul. Performance of Low Latency Handoff Schemes in Mobile IP Communication System. ECTI Conference2004. Pattaya Thailand. (May 2004): 368-371.

[12] C. Perkins. IP Encapsulation within IP. Request for Comments (RFC) 2003. October 1996.

[13] V. Gupta, G. Montenegro. Secure and Mobile Networking, Mobile Networks and Applications. Baltzer Science Publisher BV, 1998, pp. 3 (381-390).

[14] C. L. Tan, S. Pink, and K. M. Lye. A Fast Handoff Scheme for Wireless Networks. available from http://ntrg.cs.tcd.ie/htewari/papers/p83-tan.pdf.

[15] C. Castelluccia. Extending Mobile IP with Adaptive Individual Paging: A Performance Analysis. INRIA. available from http://www.inrialpes.fr/planete/people/ccastel/Welcome.html/#PUB. (November 1999).

[16] A. M. Law, W. D. Kelton. Simulation Modeling and Analysis. 3 nd Edition. Singapore: McGraw-Hill, 2000.

[17] H. Yokota, A. Inoue, T. Hasegawa, and T. Kato. Link Layer Assisted Mobile IP Fast Handoff Method over Wireless LAN Networks. Proceedings of the Eighth Annual International Conference on Mobile Computing and Networking. (September 2002): 131-139.

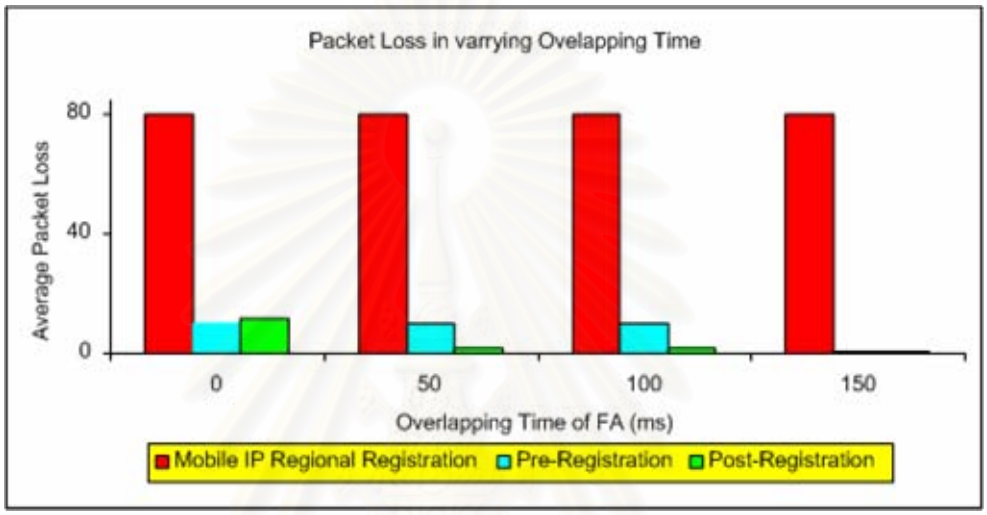
[18] IEEE Standard. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer Specifications. Std P802.11, 1999 edition.

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่ MN ได้รับ ระหว่าง การลงทะเบียนโพรโทคอลไอพีท้องถิ่น, การลงทะเบียนก่อน และการลงทะเบียนภายหลังโดยพิจารณาจากจำนวนแพ็กเกตที่สูญเสียต่อการแฮนด์ออฟ จากเอกสารอ้างอิง [11]



รูปที่ ก. 1 จำนวนแพ็กเกตที่สูญหายเฉลี่ยโดยการพิจารณาช่วง Overlapping Time ในกรณีที่ไม่มีที่พักข้อมูล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่แล้ว

บทความทางวิชาการจากการประชุม ECTI Annual Conference ครั้งที่ 2 (2nd Electrical Engineering/ Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology Conference : ECTI-CON 2005) ซึ่งจัดขึ้นระหว่างวันที่ 12 - 13 พฤษภาคม พ.ศ. 2548 ณ โรงแรม Asia Pattaya Hotel พัทยา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF PAGING EXTENSIONS IN MOBILE INETERNET PROTOCOL BASED ON POST REGISTRATION

Kortong Chiratana and Watit Benjapolakul

Department of Electrical Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand
E-mail: mormorzone@hotmail.com, watit.b@eng.chula.ac.th

ABSTRACT

Paging Extensions for Mobile IP (P-MIP) decreases only the number of registration, but it does not improve the method of registration, which still has a lot of packet loss and long handoff latency, also waste the data buffering and time during registration. We propose the registration delay improvement, while mobile node is entering the active state to decrease mobile node waiting time for data packets. Thus, this proposed method reduces requirement of data buffering and also proposes improvement of registration to decrease packet loss and handoff latency when mobile node move across cell in the same paging area during active state.

Keywords: Mobile IP, Post Registration, Paging Extensions for Mobile IP.

1. INTRODUCTION

With increasing users who need ongoing communication while moving, Mobile IP is a mobility protocol without changing permanent IP address. It is developed by the Internet Engineering Task Force (IETF) for all ongoing communication according to Transmission Control Protocol (TCP) in the global internet [1]. The location of Mobile Node (MN) is tracked by Home Agent (HA), which binds Care Of Address (COA) with MN's home address. When an MN moves to a foreign network, it obtains a COA from agent advertisement periodically every 1 second in the standard Mobile IP from a new Foreign Agent (FA). Then, the MN registers this COA with its HA by sending a registration request through the new FA and HA replies a registration reply to the MN. After this process finished, the Correspondent Node (CN) sends the packets to the MN through the new FA [1], [2].

Mobile IP supports registration but not paging. Mobile IP users will not be actively communicating most of the time [3], rather, they will be idle. It would be sufficient to know the approximate location of idle MNs that can be found by using paging in Paging Extensions for Mobile IP (P-MIP) [4]. P-MIP is a procedure that allows a wireless system to search for an idle MN when there is a message destined for it, such that the mobile user does not need to register its process location to the system whenever it moves. Thus, it reduces signaling overhead associated with registration and location database updates. The power consumption of MN is also reduced because idle MNs no longer have to register their exact location with the system. However, original P-MIP concentrates only the decreased number of registration. P-MIP still uses Mobile IPv4 registration, which has a lot of packet loss and long handoff latency; moreover, it waste data buffering and duration for state changing.

Consequently, we propose to improve registration delay, while MN is changing its state, to decrease MN waiting time for data packets and data buffering. The proposed method improves registration during active state. It can also reduce data packet loss and handoff latency by using the main idea of Post Registration, that is Low Latency Handoff, proposed by IETF [5]. Post Registration uses link layer information to initiate handoff. In this method, packets can be delivered to the MN at the new FA even before the formal registration process has completed.

This paper is organized as follows. In section 2 we describe the principle of P-MIP and Post Registration. In section 3 we propose the method to decrease registration delay, data buffering, handoff latency and to improve performance in active state. Section 4 presents the simulation scenario and simulation results in Mobile IP, P-MIP, Post Registration and the proposed method. Finally, section 5 concludes this paper.

2. OVERVIEW OF PAGING EXTENSIONS FOR MOBILE IP (P-MIP) AND POST REGISTRATION

2.1 Paging extensions for Mobile IP (P-MIP)

P-MIP uses MN state which includes active state and idle state. An MN is in active mode if it has recently sent or received IP data. An active MN operates in exactly the same manner as in Mobile IP [2]. If an MN cannot receive or send data packets more than duration which is depended on the environment of system, an MN will enter idle state [4] that MN does not register when moving within the same paging area, while it is not the case in original Mobile IP. When packets are destined to MNs, home agents forward them to the foreign agents registered by the MNs, known as registered foreign agents. A registered foreign agent first determines if it

has any information on record for the MN. If a record exists, then the registered foreign agent checks if the MN supports paging or not. If the MN supports paging, then the registered foreign agent checks the MN's operational state. If the MN is in active state, then the registered foreign agent decapsulates packets and forwards them to the MN, as in the case of Mobile IP. If the MN is in idle state, then the registered foreign agent sends a paging request message to all other foreign agents that reside in the same paging area, as well as broadcasting the paging request on its own network. After the other foreign agents receive this message, they will broadcast the paging request on their own cells for search MN.

When an MN receives a paging request message, it registers with its home agent through the foreign agent on the current foreign agent. After receiving a registration reply message, the MN sends a paging reply message back to the foreign agent it had previously registered with through its current foreign agent to inform the previously registered foreign agent of its current location. Paging signalling while MN is entering the active state is as shown in Fig. 1.

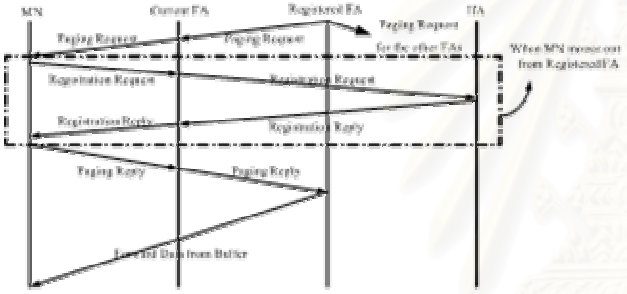


Fig. 1: *Paging signalling while MN is entering the active state.*

2.2 Post Registration

The Post Registration handoff scheme uses layer 2 (L2) trigger to set up a bi-directional edge tunnel that allows the MN to continue using its old COA while on new FA (nFA)'s subnet. It is based on a network-initiated model of handoff by means that the MN does not involve in performing the handoff process until the actual L2 connection with the nFA is completed [5].

In Post Registration handoff, instead of making a new Mobile IP registration with the nFA, the MN defers it while maintaining connectivity using the BET (Bi-directional Edge Tunnel) to tunnel the packets from old FA (oFA) to nFA. Two network-initiated handoffs are defined source trigger and target trigger handoffs. In this paper, we describe only the target trigger received at nFA. The nFA received L2 trigger informing that the MN is about to associate with it. The nFA then sends Handoff Request (HReq) to the oFA. The oFA replies the Handoff Reply (HRep) to nFA. This establishes the BET between oFA and nFA. The MN may lose the connection with the oFA when the L2 Link Down (L2-LD) is received at oFA. The MN fully connects to the nFA when the L2 Link Up (L2-LU) is received at nFA. After the BET is established, the traffic is tunneled from oFA to nFA so that the MN continues to receive service through the BET without registration to the nFA. At some future time, the MN will register to the nFA. The signalling flow chart is shown in Fig. 2 [6].

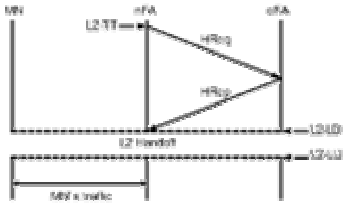


Fig. 2: *Two party target trigger (TT) handoff timing in Post Registration.*

3. THE PROPOSED REGISTRATION DELAY SCHEME

P-MIP uses the original network layer registration which has a lot of packets loss and long handoff latency, as in the case of Mobile IP; furthermore, P-MIP needs to register across the core network to HA, while registered FA is buffering until it receives paging reply message from MN after MN has finished the registration process. Consequently, we propose the registration delay scheme to improve performance in two phases. When:

- an MN is in active state; or
- there are incoming data packets destined to MN.

When an MN is in active state, we propose using the Post Registration scheme. The original P-MIP can detect movement when an MN receives agent advertisement message in network layer (L3) periodically every 1 second, but, basically, the Post Registration use L2 beacons sends every 100 ms. Therefore, link layer (L2) information allows an MN to detect the loss of connectivity more quickly than a network layer in the Mobile IP algorithm.

When there are incoming data packets destined to MN, we propose MN defers registration process and keeps using registered FA's COA while MN is on current FA' s subnet through BET, that is established between registered FA and current FA. Then, MN can obtain these data packets quickly before MN registers to HA.

While the data packets are destined to MN, HA forwards these packets to the registered FA. First, the registered FA determines if it has any information on record for the MN. If a record exists, then the registered FA checks if the MN supports paging or not. If the MN supports paging, then the registered FA checks the MN's state. If the MN is in active state, then the registered FA decapsulates packets and forwards them to the MN, and enters the Post Registration scheme. If MN is in idle state, then the registered FA sends a paging request message to all other FAs that reside in the same paging area, and broadcasts the L2 beacon, that trigger MN to enter active state. After the other foreign agents receive paging request message, they will broadcast the L2 beacon on their own cells to search for MN.

When MN receives the L2 beacon from current FA for changing state, the MN re-associates with the current

FA by sending Association Request message (AReq) to current FA. This association message will act as a L2 target trigger at the current FA. In return, the current FA sends the Association Response (ARes) to the MN according to IEEE 802.11. The AReq triggers the current FA to send a Handoff Request (HReq) to registered FA. When the registered FA receives the HReq it sends back the Handoff Reply (HRep). This establishes the BET between the registered FA and current FA. At this point, the registered FA sends the packets addressed to the MN and buffering data packets through the BET. When the MN receives the agent advertisement message from the current FA, the MN initiates the Post Registration scheme with the current FA. Signalling timing while MN is entering the active state is as shown in Fig. 3.

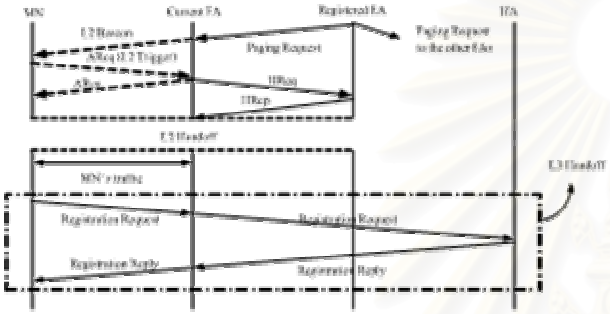


Fig. 3: *Signalling timing while MN is entering the active state in the proposed method.*

We illustrate a simple registration delay scenario where foreign agents FA1, FA2, and FA3 form a paging area as shown in Fig. 4. An idle MN moves from the FA1 cell to the FA3 cell without registration in idle state. The COA record maintained at the MN's home agent points to the FA1. In this scenario, a correspondent node (CN) sends data (1) to MN. The HA encapsulates the data packets (1) and tunnels packets to the FA1. After FA1 receives data destined to MN, it checks if it has a record for the MN. If it has a record, then it determines if the MN supports paging. If this is the case, the MN is in idle state. As a result, the FA1 starts to buffer packets, and it sends a paging request message (2) to the other cells in the same paging area (FA2 and FA3), and it broadcasts the L2 beacon to change MN's state in FA1's cell. Following this, FA2 and FA3 broadcast the L2 beacon in their cells (3) as FA1 acts. When the MN receives this L2 beacon, MN enters active state to prepare itself for registration of network layer, and MN re-associates with the FA3 by sending AReq, which acts as L2 trigger (4). When FA3 sends HReq to FA1 (5), FA1 responds back the HReq to FA3 (6). Consequently, the data packets and buffering packets at FA1 can be sent through BET (7) faster than P-MIP, which buffers the packets until wide network crossing registration to HA finishes. This crossing registration delays the MN in receiving the data packets from HA. When MN obtains agent advertisement message from FA3, it registers its location with HA (8).Then, the HA starts forwarding data toward FA3 (9)

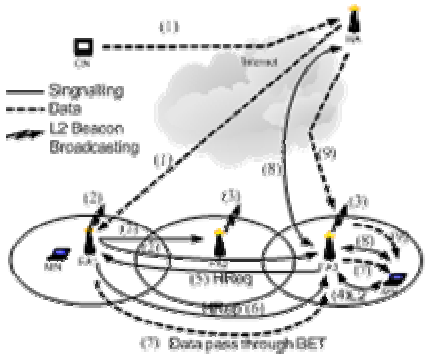


Fig. 4: *An Example of the proposed method scenario.*

4. SIMULATION SCENARIO AND SIMULATION RESULTS

We simulate Mobile IP, Post Registration, P-MIP, and the proposed method using Delphi 7.0, with Constant Bit Rate (CBR) sources used as traffic sources. The active MN percentage is approximately 5% [3]. In these Paging methods (P-MIP and the proposed method), the simulation area in each experiment models two complete paging areas. One base station supports an FA in each cell based on IEEE 802.11, as shown in Fig. 5.

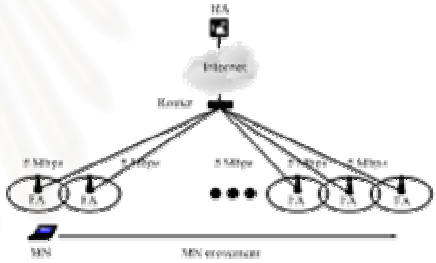


Fig. 5: *Topology with overlapping cell coverage scenario*

The HA sends the CBR packets of size 500 bytes in a period of 10 ms. All links have a transmission rate of 5 Mbps and each link has a delay of 3 ms. FAs, whose cell diameter is 122 m with overlapping distance with other FAs of 1 m, send the agent advertisement every 1 s, and the IEEE 802.11 beacons are sent every 100 ms. There are 1 MN, and 1 HA in our simulations, in which the MN travels straight. The number of cells in a paging area, the number of routers in core network, and the varied speed of MN are depended on simulation environment.

In Fig. 6, we show the impact of MN speed on signalling cost. The number of routers in core network is 20 units. The number of cells in simulation scenario is 80 cells. In case of paging, it has two paging areas, where the number of cells is 40 cells. There are 3 active intervals. The duration of each total time including active state and idle state times is 100 s. The duration of simulation is 318.633 s at the maximum speed from the first FA's center to the terminal FA's center. When MN speed increases, the signalling volume of each method increases because of the boundary crossing. The signalling cost of the proposed method is a little more than that of P-MIP due to established BET, but the signaling cost of the proposed method is much less than

those of Mobile IP and Post Registration as a result of decreasing the number of registration.

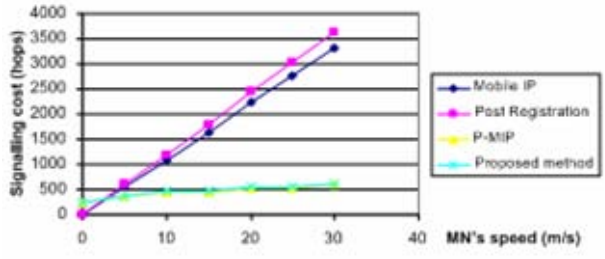


Fig. 6: *Effect of MN speed on signalling cost.*

Fig. 7 illustrates when MN speed is fast, the trend of the number of lost packets is increased because of the boundary crossing. When MN speed is 15 m/s, Mobile IP and P-MIP have a downtrend of lost packets, because MN obtains agent advertisement rapidly when MN enters the new FA. However, the lost packets of the proposed method are less than those of Mobile IP and P-MIP. In Fig. 8, when we consider handoff latency, the proposed method which receives L2 beacons quickly can reduce handoff latency compared with those of Mobile IP and P-MIP. The lost packets and handoff latency of proposed method are similar to those of Post Registration, but they are different because of L2 beacon synchronization change when MN begins to enter active state.

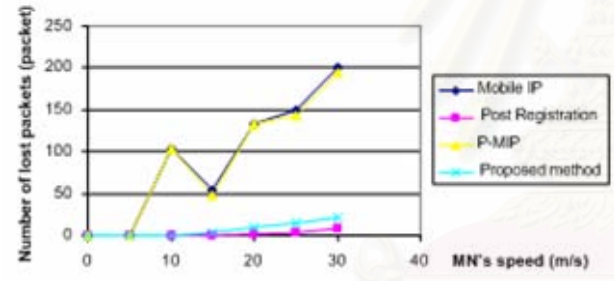


Fig. 7: *Number of lost packets as a function of MN speed.*

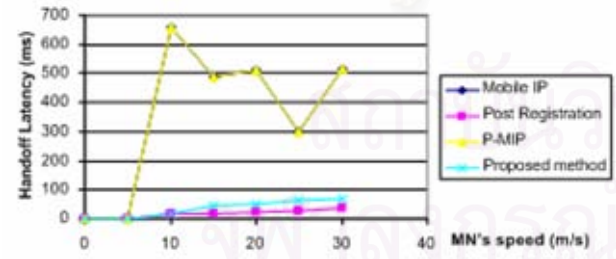


Fig. 8: *Average handoff latency as a function of MN speed.*

We vary the number of routers in core network to compare the buffering requirement in registered FA between P-MIP and the proposed method. We determine the number of cells in simulation scenario to be 24 cells, and there are two paging areas, where the number of cells are 12 cells in each paging area. The MN travels straight with the speed of 20 m/s. There is only one active interval. The duration of simulation is 139.150 s from the first FA's center to the terminal FA's center. When we measure the buffer requirement when there are packets destined for idle MN, the proposed method uses maximum number of buffered packets much less than P-MIP because P-MIP needs buffering until registration, which waste real time services with HA crossing wide network, is finished as shown in Fig. 9. The proposed method, which defers registration, can obtain the data packets and buffering packets through BET. Consequently, the proposed method can reduce buffering requirement and MN waiting time for the data packets and the buffering data packets.

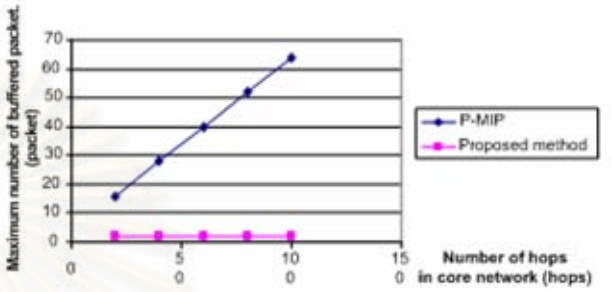


Fig. 9: *Effect of the number of hops in core network on the maximum number of buffered packets for two paging methods, P-MIP and the proposed methods.*

5. CONCLUSION

It is shown in this paper that the proposed method can decrease handoff latency, lost packets and buffering requirement with slightly higher signalling cost of the proposed method than that of P-MIP method, but less than those of Mobile IP and Post Registration very much. In the future, we will study how to use the proposed method in an adaptive paging area which can change the number of cells automatically.

6. ACKNOWLEDGEMENT

The authors wish to thank Thesis Supporting Fund of Chulalongkorn University for support on this research work.

7. REFERENCE

[1] J. D. Solomon, "Mobile IP The Internet Unplugged," New Jersy: Prentice Hall, 1998.
[2] C. E. Perkins, "IP Mobility Support for IPv4," Request for Comments (RFC) 3220, January 2002.
[3] A. Campbell, J. Gomez, C. Y. Wan, Z. Turanyi, and A. Valko, "Cellular IP," Internet Draft, IETF (1999).
[4] X. Zhang, J. G. Castellanos, and A. T. Campbell, "P-MIP: Paging Extensions for Mobile IP," ACM Mobile Networks and Applications (MONET), vol. 7, no. 2, pp. 127-141, April 2002.
[5] E. Malki, "Low Latency Handoff in Mobile IPv4," draft-ietf-mobileip-lowlatency-handoffs-v4-03.txt, IETF, October 2003.
[6] Kimtho Po , "Performance of Low Latency Handoff Schemes in Mobile IP Communication System," ECTI Conference 2004, pp. 368-371, May 2204.

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายก่อทอง จิรธนา เกิดวันที่ 30 ตุลาคม พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร เข้าศึกษาในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในปีการศึกษา 2539 หลังจากสำเร็จการศึกษา ได้ทำงานระยะหนึ่ง และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ณ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย