

การปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟในโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่โดยการเริ่มแฮนด์ออฟก่อน  
โนดเคลื่อนที่เดินทางถึงขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมของตัวแทน



นางสาววิภาดา สามะบุตร

สถาบันวิทยบริการ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

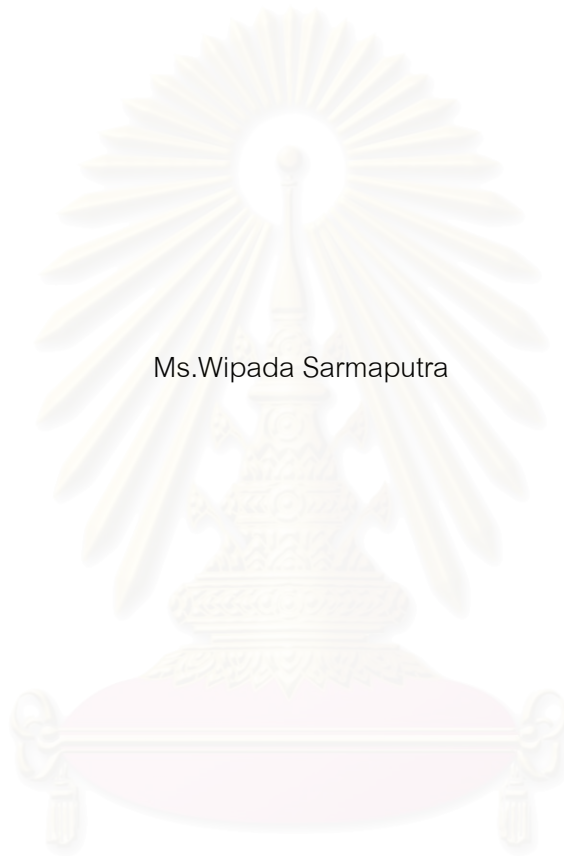
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4852-3

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

IMPROVEMENT OF MOBILE IP HANDOFF PERFORMANCE BY INITIATING HANDOFF  
BEFORE MOBILE NODE REACHES AGENT'S COVERAGE BOUNDARY



Ms.Wipada Sarmaputra

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

Department of Electrical Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4852-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟในโพรโทคอลอินเทอร์เน็ต  
เคลื่อนที่โดยการเริ่มแฮนด์ออฟก่อนโนดเคลื่อนที่เดินทางถึงขอบ  
เขตพื้นที่ครอบคลุมของตัวแทน

โดย

นางสาววิภาดา สามะบุตร

สาขาวิชา

วิศวกรรมไฟฟ้า

อาจารย์ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.วาทิต เบญจพลกุล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ประพัฒน์มงคล)

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

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ลัญจกร วุฒิสวัสดิ์กุลกิจ)

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

วิภาดา สามะบุตร : การปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟในโครงข่ายโครงข่ายอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่  
โดยการเริ่มแฮนด์ออฟก่อนโนดเคลื่อนที่เดินทางถึงขอบเขตพื้นที่ครอบคลุมของตัวแทน.

(IMPROVEMENT OF MOBILE IP HANDOFF PERFORMANCE BY INITIATING  
HANDOFF BEFORE MOBILE NODE REACHES AGENT'S COVERAGE BOUNDARY)

อ.ที่ปรึกษา : รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล, 106 หน้า. ISBN 974-17-4852-3.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟในโครงข่ายโครงข่ายอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ โดยกลยุทธ์การเริ่มแฮนด์ออฟอาศัยการประมาณช่วงเวลาที่ต้องใช้ในการแฮนด์ออฟในชั้นโครงข่าย และเริ่มแฮนด์ออฟก่อนโนดเคลื่อนที่พ้นขอบเขตของตัวแทนเดิม วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอให้แฮนด์ออฟก่อนโนดเคลื่อนที่พ้นขอบเขตเป็นเวลาเท่ากับค่าการประวิงเวลาการแฮนด์ออฟ (handoff delay) ที่ได้จากการจำลองแบบในสภาวะแวดล้อมเดียวกัน และการแฮนด์ออฟก่อนถึงพ้นขอบเขตเป็นเวลาเท่ากับคาบเวลาของการประกาศ Agent Advertisement รวมกับค่าเวลาการเดินทางครบรอบ (round trip time) ของการลงทะเบียนครั้งล่าสุดกับตัวแทนตัวเดิม

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ใช้แบบจำลองแบบไม่มีขอบเขตซ้อนทับกันระหว่างตัวแทนสองตัว กำหนดให้ตัวแทนสองตัวอยู่ในโครงข่ายย่อยต่างโครงข่ายกัน เราเตอร์หนึ่งตัวต่ออยู่ระหว่างตัวแทนสองตัวนั้น แบบตวิติในสายส่งมีค่าตั้งแต่ 50 กิโลบิตถึง 2 เมกกะบิตต่อวินาที การประวิงในสายส่งไม่มากกว่า 256 มิลลิวินาที แพ็กเก็ตข้อมูลส่งด้วยยูดีพีทีราฟฟิก คาบในการส่งเท่ากับ 0.0124 วินาทีต่อแพ็กเก็ตหนึ่งแพ็กเก็ต คาบการประกาศ Agent Advertisement ของตัวแทนเท่ากับ 1 วินาทีต่อแพ็กเก็ตหนึ่งแพ็กเก็ต จากผลการจำลองแบบทุกแบบจำลองพบว่า การเริ่มแฮนด์ออฟก่อนโนดเคลื่อนที่พ้นขอบเขตเป็นเวลาเท่ากับการประวิงเวลาการแฮนด์ออฟ และการเริ่มแฮนด์ออฟก่อนโนดถึงพ้นขอบเขตเป็นเวลาเท่ากับคาบการประกาศ Agent Advertisement รวมกับ ค่าเวลาการเดินทางครบรอบของการลงทะเบียนครั้งล่าสุด มีค่าการประวิงเวลาการแฮนด์ออฟต่ำที่สุด มีแพ็กเก็ตสูญหายน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีการเริ่มแฮนด์ออฟแบบ Eager Cell Switching และแบบ Lazy Cell Switching โดยที่วิธีที่เสนอทั้งสองวิธียังส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนเป็นจำนวนเท่า ๆ กับกรณีการแฮนด์ออฟแบบ Eager Cell Switching และ Lazy Cell Switching

ภาควิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมไฟฟ้า..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา.....2546.....

## 4470539021 : MAJOR ELECTRICAL ENGINEERING

KEY WORD: MOBILE IP / HANDOFF PROCEDURE /

WIPADA SARMAPUTRA : IMPROVEMENT OF MOBILE IP HANDOFF  
 PERFORMANCE BY INITIATING HANDOFF BEFORE MOBILE NODE REACHES  
 AGENT'S COVERAGE BOUNDARY. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. WATIT  
 BENJAPOLAKUL. Ph.D. pp. 106 ISBN 974-17-4852-3.

The purpose of this thesis is to improve handoff performance in Mobile Internet Protocol. This thesis proposes improvement by initiating handoff before reaching boundary using two kinds of estimated handoff delay. The first estimated handoff delay is average handoff delay from pre-simulation on the same environment. The second estimated handoff delay can be calculated from the sum of Agent Advertisement period and previous registration round trip time. Mobile node initiates handoff before reaching cell boundary by the estimated handoff delay.

The simulation model used for performance comparison consists of two of FAs without overlapping between network ranges, Agent Advertisement period of 1 second and correspondent node sends UDP packets with constant interval of 0.0124 second. It can be observed that the two proposed methods show excellent performances. The two proposed methods give less packet loss and they keep the number of registration requests close to one packet which is approximately the same as the two existing methods.

สถาบันวิทยบริการ  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Electrical Engineering

Student's Signature.....

Field of Study Electrical Engineering

Advisor's Signature.....

Academic Year .....2003.....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ. ดร.วาทิต เบญจพลกุล ซึ่งได้ให้คำแนะนำ ข้อคิดเห็นต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ในการวิจัยด้วยดีเสมอมา และชี้แนวทางในการปรับปรุงให้งานวิจัยมีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น รวมทั้งได้จัดหาคอมพิวเตอร์ และหนังสือที่เกี่ยวข้อง ขอขอบคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ คุณบิดามารดาที่ให้ความรักและเอื้ออาทร คุณครูอาจารย์ทุก ๆ ท่านในอดีตและปัจจุบันที่เคยได้อบรมสั่งสอนวิชาความรู้อันมีค่าแก่ผู้วิจัย พี่ชายที่สนับสนุนทุนการศึกษามาโดยตลอด รุ่นพี่ รุ่นน้อง เพื่อน ๆ ที่เป็นกำลังใจ และให้คำปรึกษา ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและห้องวิจัยระบบโทรคมนาคมที่เอื้อเฟื้อสถานที่และสิ่งอำนวยความสะดวกในการทำวิจัย ขอขอบพระคุณทบวงมหาวิทยาลัยที่ได้เอื้อเฟื้อทุนสนับสนุนงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

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

### บทที่

1	บทนำ .....	1
	1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
	1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์.....	1
	1.3 แนวทางของวิทยานิพนธ์นี้.....	2
	1.4 เป้าหมายและขอบเขตงานวิจัย.....	4
	1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน .....	5
2	โพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่.....	7
	2.1 การแก้ปัญหาบนโครงข่ายของ Mobile IP.....	7
	2.2 ขอบเขตการแก้ปัญหาของ Mobile IP .....	8
	2.3 ข้อกำหนดของ Mobile IP.....	8
	2.4 เป้าหมายในการออกแบบ Mobile IP .....	9
	2.5 สมมติฐานของ Mobile IP.....	10
	2.6 การทำงานของ Mobile IP.....	10
	2.7 สถาปัตยกรรมตามแบบของ Mobile IP .....	11
	2.8 การทำงานเบื้องต้นของ Mobile IP.....	12
	2.9 กระบวนการค้นหาตัวแทน (Agent Discovery).....	14
	2.10 การตรวจสอบการเคลื่อนที่ของโนด.....	18
	2.11 การลงทะเบียน (Registration).....	19
	2.12 การจัดเส้นทางรับส่งแพ็กเก็ตให้กับ MN.....	26
	2.13 กระบวนการจัดส่งแพ็กเก็ตจาก MN.....	27



สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3	การปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟฟี่ที่มีผู้เสนอไว้และวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์.....29
3.1	การปรับปรุงสมรรถนะของ Mobile IP ที่มีผู้เสนอไว้.....29
3.1.1	Extensions of IETF Mobile IPv4 .....29
3.1.2	IETF Mobile IPv6 .....30
3.1.3	Hierarchical Mobile IP .....31
3.1.4	Mosquito Net Extension of Mobile IP .....32
3.1.5	Reverse Address Translation (RAT).....33
3.1.6	Handoff Aware Wireless Access Internet Infrastructure (HAWAII).....35
3.1.7	Cellular IP .....38
3.1.8	ส่วนขยายสนับสนุนการเคลื่อนที่ SIP (Extended SIP Mobility) .....39
3.2	งานวิจัยที่มีผู้เสนอไว้เกี่ยวกับการปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟฟี่ในโครงข่าย Mobile IP .....40
3.3	โครงข่ายการแฮนด์ออฟฟี่ในโครงข่ายเคลื่อนที่ระบบเซลลูลาร์.....42
3.3.1	Network-Controlled Handoff.....42
3.3.2	Mobile-Assisted Handoff.....43
3.3.3	Mobile-Controlled Handoff.....43
3.4	อัลกอริทึมในการแฮนด์ออฟฟี่ (handoff algorithms).....44
3.4.1	การแฮนด์ออฟฟี่ที่ขึ้นกับความแรงของสัญญาณ (Signal strength based hard handoff algorithms) .....44
3.4.2	การแฮนด์ออฟฟี่ที่ขึ้นกับคุณภาพและระดับของสัญญาณ (Quality and signal level based handoff algorithms).....44
3.4.3	การแฮนด์ออฟฟี่ที่ขึ้นกับงบประมาณของกำลัง (Power budget based handoffs).....44
3.4.4	การแฮนด์ออฟฟี่ที่ปรับตัวตามความเร็วสถานะเคลื่อนที่ (Velocity adaptive handoff algorithms).....44
3.4.5	การแฮนด์ออฟฟี่ที่ขึ้นกับอัตราส่วนของกำลังสัญญาณนำร่องต่อกำลังสัญญาณ แทรกสอด(Pilot-to-interference based handoff algorithms) .....44
3.5	การปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟฟี่ในโครงข่าย Mobile IP ที่เสนอในวิทยานิพนธ์ .....44



สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
4	แบบจำลองและวิธีการจำลองแบบ.....52
	4.1 ข้อกำหนดในการจำลองแบบ .....52
	4.2 การจำลองแบบ .....55
	4.3 การนำเสนอผลการจำลองแบบ.....57
5	ผลการจำลองแบบ.....60
	5.1 แบบจำลองที่ขอบเขตให้บริการในตัวแทนทั้งสองตัวซ้อนทับกัน 30 เมตร.....60
	5.2 แบบจำลองที่ขอบเขตให้บริการในตัวแทนทั้งสองตัวไม่ซ้อนทับกัน.....61
	5.2.1 ผลการจำลองแบบเทียบกับอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN.....62
	5.2.2 ผลจากการจำลองแบบเทียบกับค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 .....70
	5.2.3 ผลจากการจำลองแบบเทียบกับแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงข้อมูล.....77
	5.2.4 จำนวนครั้งในการส่งข้อความร้องขอลงทะเบียนต่อการแฮนด์ออฟหนึ่งครั้ง....85
	5.2.5 จำนวนแพ็กเก็ตสูญหายในระหว่างแฮนด์ออฟ.....87
6	สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....91
	6.1 สรุปผลการวิจัย.....91
	6.2 ข้อเสนอแนะ.....93
	รายการอ้างอิง.....95
	ภาคผนวก ก.....97
	บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่.....101
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....106

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

ตารางที่ 2.1 ตารางการจัดเส้นทางของ MN ขณะที่ MN อยู่ที่ข่ายเชื่อมโยงต่างบ้าน.....28



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญรูป

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 1.1 ช่วงเวลาระหว่างการมาถึงของข่าวสารประกาศ และค่า lifetime.....	5
รูปที่ 2.1 ข่าวสารร้องขอตัวแทน (Agent Solicitation).....	15
รูปที่ 2.2 ข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement Message).....	16
รูปที่ 2.3 การลงทะเบียนบนข่ายเชื่อมโยงข้อมูลต่างบ้าน โดยใช้ COA ของ FA.....	20
รูปที่ 2.4 การลงทะเบียนที่ทำบนข่ายเชื่อมโยงข้อมูลต่างบ้าน โดยใช้ co-locate care of address กรณีที่ข่ายเชื่อมโยงนั้นไม่มี FA.....	21
รูปที่ 2.5 MN ถอนการลงทะเบียนเมื่อเคลื่อนที่กลับมาที่ข่ายเชื่อมโยงบ้าน.....	21
รูปที่ 2.6 ข่าวสารร้องขอลงทะเบียน.....	23
รูปที่ 2.7 ส่วนความยาวคงที่ (fix – length portion) ของข้อความตอบรับการลงทะเบียน.....	24
รูปที่ 2.8 แสดงการจัดเส้นทางเพื่อส่งแพ็กเก็ตให้กับ MN ที่อยู่บนข่ายเชื่อมโยงต่างบ้าน .....	27
รูปที่ 3.1 Binding update ใน Mobile IPv6 .....	31
รูปที่ 3.2 สถาปัตยกรรมโครงข่าย Hierarchical Mobile IP.....	32
รูปที่ 3.3 โครงข่าย RAT .....	34
รูปที่ 3.4 สถาปัตยกรรมโครงข่าย HAWAII .....	36
รูปที่ 3.5 สถาปัตยกรรมโครงข่าย Cellular IP .....	39
รูปที่ 3.6 สถาปัตยกรรมโครงข่าย SIP .....	40
รูปที่ 3.7 ไตอะแกรมทางเวลาของการตรวจวัดการแฮนด์ออฟ .....	41
รูปที่ 3.8 ไตอะแกรมทางเวลาแสดงการหยุดส่งแพ็กเก็ตชั่วคราวระหว่างการแฮนด์ออฟ.....	42
รูปที่ 3.9 แบบจำลองโครงข่ายที่มีขอบเขตการให้บริการระหว่าง FA สองตัวซ้อนทับกัน 30 เมตร .....	46
รูปที่ 3.10 แบบจำลองโครงข่ายที่ไม่มีขอบเขตให้บริการที่ซ้อนทับกันระหว่าง FA สองตัว.....	47
รูปที่ 3.11 Handoff latency.....	48
รูปที่ 3.12 Movement Detection Period และ Registration Period.....	48
รูปที่ 3.13 แพ็กเก็ตที่ใช้ในการลงทะเบียน.....	49
รูปที่ 3.14 ค่า handoff delay ที่ได้จากการจำลองแบบ เทียบกับ $\alpha$ .....	51
รูปที่ 4.1 โครงสร้างการทำงานของโนดเคลื่อนที่ตามกลไกที่สร้างในโปรแกรมจำลองแบบ NS....	52
รูปที่ 4.2 ทอพอโลยีสำหรับกรณีตัวแทนทั้งสองตัวมีขอบเขตการให้บริการไม่ซ้อนทับกัน.....	56
รูปที่ 4.3 ทอพอโลยีสำหรับกรณีตัวแทนทั้งสองตัวมีขอบเขตการให้บริการซ้อนทับกัน 30 เมตร...	56
รูปที่ 4.4 การลงทะเบียนกับ FA.....	57

**สารบัญญรูป (ต่อ)**

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 4.5 การจำลองแบบทดสอบที่ข่ายเชื่อมโยงข้อมูลจาก crossover router ไปยัง FA1 และ FA2 มี delay ต่างกัน.....	58
รูปที่ 5.1 ลำดับของแพ็กเก็ตข้อมูลที่ MN ได้รับในระหว่างเกิดการแฮนด์ออฟแบบ ECS โดย กำหนดขอบเขตให้บริการในตัวแทนสองตัวซ้อนทับกัน 30 เมตร.....	60
รูปที่ 5.2 ลำดับของแพ็กเก็ตข้อมูลที่ MN ได้รับในระหว่างเกิดการแฮนด์ออฟแบบ LCS โดย กำหนดขอบเขตให้บริการในตัวแทนสองตัวซ้อนทับกัน 30 เมตร.....	61
รูปที่ 5.3 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ LCS ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที.....	62
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ LCS ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 18 เมตรต่อวินาที.....	63
รูปที่ 5.5 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ LCS ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 26 เมตรต่อวินาที .....	63
รูปที่ 5.6 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ ECS ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที.....	64
รูปที่ 5.7 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ ECS ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 18 เมตรต่อวินาที.....	65
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ ECS ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 26 เมตรต่อวินาที.....	65
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟแบบ P1 ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที.....	66
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟแบบ P1 ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 18 เมตรต่อวินาที.....	67
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟแบบ P1 ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 26 เมตรต่อวินาที.....	67
รูปที่ 5.12 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟแบบ P2 ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที.....	68
รูปที่ 5.13 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟแบบ P2 ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 18 เมตรต่อวินาที.....	68
รูปที่ 5.14 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟแบบ P2 ด้วยอัตราเร็วของ	

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปประกอบ	หน้า
MN เท่ากับ 26 เมตรต่อวินาที.....	69
รูปที่ 5.15 กราฟแสดงค่า handoff delay ที่ได้จากการแฮนด์ออฟทั้ง 4 แบบเทียบกับอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN .....	70
รูปที่ 5.16 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ LCS กำหนดค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 2 มิลลิวินาที .....	71
รูปที่ 5.17 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ LCS กำหนดค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 128 มิลลิวินาที.....	71
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ LCS กำหนดค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 256 มิลลิวินาที.....	72
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ ECS กำหนดค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 2 มิลลิวินาที.....	72
รูปที่ 5.20 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ ECS กำหนดค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 128 มิลลิวินาที.....	73
รูปที่ 5.21 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ ECS กำหนดค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 256 มิลลิวินาที.....	73
รูปที่ 5.22 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P1 กำหนดค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 2 มิลลิวินาที .....	74
รูปที่ 5.23 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P1 กำหนดค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 128 มิลลิวินาที .....	74

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 5.24 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P1 กำหนดค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 256 มิลลิวินาที	75
รูปที่ 5.25 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P2 กำหนดค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 2 มิลลิวินาที	75
รูปที่ 5.26 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P2 กำหนดค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 128 มิลลิวินาที	76
รูปที่ 5.27 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P2 กำหนดค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 256 มิลลิวินาที	76
รูปที่ 5.28 กราฟแสดง handoff delay เทียบกับค่า delay ในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง FA2 และ crossover router ในวิธีที่ได้มีผู้เสนอไว้ และวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์	77
รูปที่ 5.29 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ LCS กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 50 กิโลบิตต่อวินาที	78
รูปที่ 5.30 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ LCS กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 2 เมกกะบิตต่อวินาที	78
รูปที่ 5.31 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ LCS กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 10 เมกกะบิตต่อวินาที	79
รูปที่ 5.32 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ ECS กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 50 กิโลบิตต่อวินาที	79
รูปที่ 5.33 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ ECS กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 2 เมกกะบิตต่อวินาที	80
รูปที่ 5.34 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ ECS กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 10 เมกกะบิตต่อวินาที	80
รูปที่ 5.35 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P1 กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 50 กิโลบิตต่อวินาที	81



## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ 5.36 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P1 กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 2 เมกกะบิตต่อวินาที.....	81
รูปที่ 5.37 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P1 กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 10 เมกกะบิตต่อวินาที.....	82
รูปที่ 5.38 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P2 กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 50 กิโลบิตต่อวินาที.....	82
รูปที่ 5.39 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P2 กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 2 เมกกะบิตต่อวินาที.....	83
รูปที่ 5.40 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P2 กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 10 เมกกะบิตต่อวินาที.....	83
รูปที่ 5.41 กราฟแสดงค่า handoff delay เทียบกับแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลในวิธีที่ได้มีผู้เสนอไว้และวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์.....	84
รูปที่ 5.42 ค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเลเบียนต่อการแฮนด์ออฟหนึ่งครั้ง เทียบกับอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN.....	86
รูปที่ 5.43 จำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเลเบียนต่อการแฮนด์ออฟหนึ่งครั้ง เทียบกับค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2.....	86
รูปที่ 5.44 ค่าเฉลี่ยของจำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเลเบียนต่อการแฮนด์ออฟหนึ่งครั้ง เทียบกับแบนด์วิดท์ในสายส่ง.....	87
รูปที่ 5.45 ค่าเฉลี่ยของจำนวนแพ็กเก็ตที่สูญหายในระหว่างแฮนด์ออฟเทียบกับอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN .....	88
รูปที่ 5.46 จำนวนแพ็กเก็ตสูญหายในระหว่างแฮนด์ออฟหนึ่งครั้ง เทียบกับค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 .....	88
รูปที่ 5.47 ค่าเฉลี่ยของจำนวนแพ็กเก็ตที่สูญหายในระหว่างแฮนด์ออฟเทียบกับแบนด์วิดท์ในสายส่ง .....	89
รูปที่ ก.1 กราฟแสดงค่า handoff delay, movement detection period และ ช่วงเวลาที่จำเป็นต้องใช้ในการลงทะเลเบียน เทียบกับอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN ในวิธี LCS.....	98
รูปที่ ก.2 กราฟแสดงค่า handoff delay, movement detection period และ ช่วงเวลาที่จำเป็นต้องใช้ในการลงทะเลเบียน เทียบกับอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN ในวิธี ECS.....	99



**สารบัญญรูป (ต่อ)**

รูปประกอบ	หน้า
รูปที่ ก.3 กราฟแสดงค่า handoff delay, movement detection period และ ช่วงเวลาที่จำเป็น ต้องใช้ในการลงทะเบียน เทียบกับ delay ในข่ายเชื่อมต่อโยงข้อมูลในวิธี LCS.....	99
รูปที่ ก.4 กราฟแสดงค่า handoff delay, movement detection period และ ช่วงเวลาที่จำเป็น ต้องใช้ในการลงทะเบียน เทียบกับ delay ในข่ายเชื่อมต่อโยงข้อมูลในวิธี ECS.....	100



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 1

### บทนำ

การสื่อสารไร้สายในปัจจุบันได้เจริญก้าวหน้าทั้งด้านเทคโนโลยี และความต้องการของผู้บริโภค เช่นเดียวกับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ดังนั้นจึงได้มีแนวคิดในการรวมโครงข่ายอินเทอร์เน็ตให้สามารถรองรับการเคลื่อนที่ขณะใช้งานได้ด้วย และได้ถูกกำหนดเป็นมาตรฐาน Mobile IP [1] ในปี 1996

เทคโนโลยีสื่อสารไร้สายในอนาคตมีเป้าหมายของการบริการที่สนับสนุนให้ลูกค้าสามารถเคลื่อนที่อิสระขณะสื่อสาร ทุกที่ ทุกเวลา ในลักษณะที่ดีเลิศเท่าที่เทคโนโลยีจะพัฒนาไปถึง นอกจากนี้ยังคำนึงถึงการใช้ทรัพยากรของระบบอย่างคุ้มค่า หนึ่งในการพัฒนาที่เป็นที่นิยมคือ การทำเซลล์ให้เล็กลงเพื่อใช้ความถี่ซ้ำให้ได้มากขึ้น ด้วยเซลล์ที่เล็กลงจะทำให้สถานีเคลื่อนที่ที่ต้องแฮนด์ออฟบ่อยขึ้น เกิดการวิจัยและพัฒนาอย่างแพร่หลายด้านเทคนิคการแฮนด์ออฟ ซึ่งเป็นหัวข้อของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตไม่ได้รับการออกแบบมาเพื่อส่งข้อมูลแบบไร้สาย ปัญหาที่พบจากการจำลองการทำงาน [2] เช่น ปัญหาอันเกิดจากอัตราบิตผิดพลาดที่มีมากเกินไปของโครงข่ายไร้สายเมื่อเทียบกับโครงข่ายมีสาย ปัญหาการจัดเส้นทางใหม่เมื่อสถานีเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่ง ในการทดสอบให้สถานีเคลื่อนที่เกิดการแฮนด์ออฟ [3] พบว่าแพ็กเก็ตสูญหาย ส่งผิดลำดับ และช่วงเวลาขาดการติดต่อกันเกินไป ทีซีพีทำงานผิดพลาด

#### 1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. เสนอวิธีการเริ่มแฮนด์ออฟแบบปรับตัวได้ ในโพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่ (Mobile IP) เพื่อลดแพ็กเก็ตสูญหาย และลดช่วงเวลาที่ไม่สามารถรับส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้ อันเนื่องมาจากการแฮนด์ออฟ (handoff delay)
2. เสนอวิธีประมาณเวลาที่สถานีเคลื่อนที่ควรเริ่มการแฮนด์ออฟ โดยพิจารณาจากระยะเวลาที่จำเป็นต้องใช้ในกระบวนการแฮนด์ออฟ และคาบเวลาที่โนดเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารประกาศจากตัวแทน

### 1.3 แนวทางของวิทยานิพนธ์นี้

ข้อควรคำนึง เพื่อการปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟใน Mobile IP มีดังนี้

1. ในงานวิจัยที่ได้มีผู้เสนอไว้แล้วเกี่ยวกับการปรับปรุงเพื่อลด handoff latency พบว่าสามารถย่นระยะเวลาแฮนด์ออฟให้เหลือน้อยลงได้ แต่สถานีเคลื่อนที่ก็ยังพบช่วงเวลาขาดการติดต่อในขณะที่แฮนด์ออฟ และมีแพ็กเก็ตควบคุมพิเศษเพิ่มขึ้นมาเป็นจำนวนมากในงานวิจัยเหล่านั้น นอกจากนี้ยังต้องอาศัยการเปลี่ยนแปลงความสามารถในการแยกแยะชนิดของแพ็กเก็ตของเราเตอร์ และตัวแทน เพื่อให้รองรับการทำงานกับแพ็กเก็ตพิเศษเหล่านี้
2. จุดอ่อนในงานวิจัยด้าน Mobile IP ส่วนใหญ่เกิดจากการพยายามแก้ปัญหาโดยยึดหลักทฤษฎีด้านโครงข่ายแบบดั้งเดิม ซึ่งเหมาะกับโครงข่ายมีสาย เช่น การตัดสินใจเริ่มการแฮนด์ออฟเมื่อรอการมาถึงของแพ็กเก็ตจนวนครบไทม์เอาต์ การเสนอแพ็กเก็ตควบคุมการแฮนด์ออฟ การแก้ไขที่ส่วนหัวของแพ็กเก็ต การวิเคราะห์เพื่อแก้ปัญหาส่วนใหญ่แยกตัวออกจากข้อมูลทางกายภาพของสถานีเคลื่อนที่ แต่โครงข่ายมีสายกับโครงข่ายไร้สายมีคุณสมบัติต่างกันหลายด้าน เช่น อัตราบิตผิดพลาดสูงกว่า และคาดเดาไม่ได้ การเคลื่อนที่ของสถานีเคลื่อนที่ที่ไม่มีความแน่นอน ความเชื่อถือได้ของโครงข่ายไร้สายมีน้อยกว่า การปรับแก้ที่มีพื้นฐานแบบเดียวกับที่ใช้กับโครงข่ายมีสายเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอแก่การแก้ปัญหาในดเคลื่อนที่ที่ใช้ค่า Lifetime จาก ICMP Router Advertisement ในการตัดสินใจเริ่มการแฮนด์ออฟ [1]
3. วิทยานิพนธ์นี้ เสนอการเริ่มแฮนด์ออฟก่อนที่โนดจะเคลื่อนที่ออกจากขอบเขตให้บริการของตัวแทนเดิม และเคลื่อนที่เข้าหาบริเวณให้บริการของตัวแทนใหม่ ซึ่งตั้งอยู่ในโครงข่ายย่อยคนละแห่งกับตัวแทนเดิม
4. ช่วงเวลาที่ต้องใช้ในการตรวจวัดเพื่อตัดสินใจว่าสถานีเคลื่อนที่ที่ต้องเริ่มแฮนด์ออฟแล้วหรือยัง และเวลาที่ใช้สำหรับการขอลงทะเบียนกับสถานีฐานสถานีใหม่ ช่วงเวลาที่สถานีเคลื่อนที่ขาดการรับส่งแพ็กเก็ตข้อมูล ตั้งแต่เวลาที่ได้รับที่ซีพีเซกเมนต์สุดท้ายจากสถานีฐานสถานีเดิม จนถึงเวลาที่ได้รับที่ซีพีเซกเมนต์ตัวแรกจากสถานีฐานสถานีใหม่ (เรียกช่วงเวลานี้ว่า handoff latency [1]) อธิบายได้ตามสมการที่ (1.1)

$$\text{Handoff latency} = t_{\text{md}} + t_{\text{reg req}} \quad (1.1)$$

ในที่นี้  $t_{md}$  คือ ช่วงเวลาที่จำเป็นต้องใช้ในการตรวจการเคลื่อนที่เพื่อตัดสินใจเริ่มแฮนด์ออฟ

$t_{reg req}$  คือ ช่วงเวลาที่จำเป็นต้องใช้ตั้งแต่สถานีเคลื่อนที่เริ่มส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนแพ็กเก็ตแรกจนถึงเวลาที่สถานีเคลื่อนที่ที่ได้รับแพ็กเก็ตตอบรับการลงทะเบียน

ผลจำลองการแฮนด์ออฟเบื้องต้นพบว่า handoff latency ส่วนใหญ่เป็นเวลาที่ใช้ในการส่งแพ็กเก็ตขอลงทะเบียนจากสถานีเคลื่อนที่ไปยังสถานีฐานสถานีใหม่ แต่สถานีฐานสถานีใหม่ไม่สามารถรับแพ็กเก็ตขอลงทะเบียนจากสถานีเคลื่อนที่ได้ เนื่องจากไม่มีเส้นทางระหว่างสถานีฐานสถานีใหม่และสถานีเคลื่อนที่

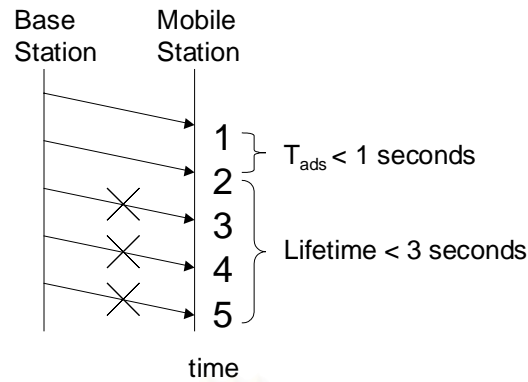
5. เนื่องจาก ช่วงเวลาที่สถานีเคลื่อนที่ขาดการรับส่งแพ็กเก็ตข้อมูล ตั้งแต่เวลาที่ได้รับที่ซีพีเซกเมนต์สุดท้ายจากสถานีฐานสถานีเดิม จนถึงเวลาที่ได้รับที่ซีพีเซกเมนต์ตัวแรกจากสถานีฐานสถานีใหม่ (เรียกช่วงเวลานี้ว่า handoff latency) ประกอบด้วยเวลาที่จำเป็นต้องใช้ในการตรวจวัดเพื่อหาว่าเมื่อไรควรเริ่มการแฮนด์ออฟ และเวลาที่เกิดขึ้นจากการส่งแพ็กเก็ตขอลงทะเบียนกับตัวแทนใหม่ที่สถานีเคลื่อนที่วิ่งเข้าไปหา ดังนั้นการปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟใน Mobile IP จึงแบ่งออกเป็น 2 แนวทางคือ ปรับปรุงวิธีการเริ่มแฮนด์ออฟ (Handoff trigger) และ ปรับปรุงเพื่อให้ส่งแพ็กเก็ตร้องขอ และตอบรับการลงทะเบียนได้สะดวกรวดเร็วขึ้น

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สนใจการตรวจวัดเพื่อหาเวลาที่เหมาะที่สุดที่สถานีเคลื่อนที่ควรเริ่มแฮนด์ออฟ ปัญหาที่พบเมื่อจำลองการแฮนด์ออฟ คือ เมื่อสถานีเคลื่อนที่วิ่งเข้าใกล้สถานีฐานสถานีใหม่ สถานีเคลื่อนที่ที่ได้รับแพ็กเก็ตประกาศจากสถานีฐานสถานีใหม่ สถานีเคลื่อนที่ส่งแพ็กเก็ตร้องขอการลงทะเบียนไปให้สถานีฐานสถานีใหม่ แต่พบว่า แพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนถูกตีทิ้ง เพราะไม่มีเส้นทางที่จะส่งไปให้สถานีฐานสถานีใหม่ วิทยานิพนธ์นี้จึงเสนอให้เริ่มแฮนด์ออฟเร็วขึ้น โดยใช้ข้อมูลของความเร็วและตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ เพื่อให้มีเวลาจัดเส้นทางจากสถานีเคลื่อนที่ถึงสถานีฐานสถานีใหม่ เมื่อสถานีเคลื่อนที่ขาดการติดต่อกับสถานีฐานสถานีเดิม เส้นทางจากสถานีฐานสถานีใหม่ กับสถานีเคลื่อนที่ก็จะถูกจัดไว้แล้วและพร้อมส่งแพ็กเก็ตได้ทันทีที่สถานีเคลื่อนที่มาถึงสถานีฐานสถานีใหม่ วิธีการเริ่มแฮนด์ออฟที่เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เลือกที่จะปรับปรุงการแฮนด์ออฟใน Mobile IPv4 แทนที่จะเป็นโพรโทคอลอื่น ๆ เนื่องจาก Mobile IPv4 ได้รับการกำหนดเป็นมาตรฐานแล้ว แต่โพรโทคอลอื่น ๆ ยังไม่ได้รับการกำหนดเป็นมาตรฐาน โดยโพรโทคอลเหล่านั้นเสนอการปรับปรุงเพื่อลดระยะเวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟ หลังจากที่ได้ตัดสินใจเริ่มแฮนด์

ออฟไปแล้ว การปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟที่เสนอในวิทยานิพนธ์นี้ จึงสนใจการเริ่มต้นสนใจแฮนด์ออฟที่เหมาะสม ซึ่งสามารถนำไปปรับเปลี่ยนให้ใช้กับโพรโทคอลอื่น ๆ นอกเหนือไปจาก Mobile IPv4 ได้ เนื่องจากโพรโทคอลเหล่านี้ได้กำหนดขอบเขตที่สนใจไว้เฉพาะกระบวนการที่เกิดขึ้นภายหลังเริ่มต้นแฮนด์ออฟ ดังนั้น ผลที่ได้จากการทดสอบตามวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์ จะนำไปเปรียบเทียบกับ งานวิจัยที่ได้มีผู้เสนอไว้เกี่ยวกับการปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟ ด้วยวิธีการเริ่มแฮนด์ออฟบน Mobile IPv4

#### 1.4 เป้าหมายและขอบเขตงานวิจัย

1. เสนอวิธีการแฮนด์ออฟใน Mobile IPv4 เพื่อรับรองแพ็กเก็ตสูญหายระหว่างการต่อช่วงเวลาขาดการส่งแพ็กเก็ตข้อมูล (handoff latency) โดยใช้เงื่อนไขการเริ่มแฮนด์ออฟตามคาบเวลาที่ตัวแทนใช้ในการประกาศข่าวสาร ขอบเขตการให้บริการของสถานีฐาน และความเร็วของสถานีเคลื่อนที่
2. ปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟใน Mobile IPv4 ด้วยการเริ่มแฮนด์ออฟให้เหมาะสมกับเวลาที่จำเป็นต้องใช้ในการขอลงทะเบียนกับสถานีฐานสถานีใหม่ และเวลาการมาถึงสถานีฐานสถานีใหม่ของสถานีเคลื่อนที่ วัดประสิทธิภาพด้วย จำนวนของแพ็กเก็ตที่สูญหายระหว่างการแฮนด์ออฟ ช่วงเวลาที่ขาดการติดต่อระหว่างการแฮนด์ออฟ และจำนวนครั้งที่สถานีเคลื่อนที่ส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนไปยังสถานีฐานสถานีใหม่ ในช่วงการแฮนด์ออฟหนึ่งครั้ง
3. ผลจำลองการทำงานของวิธีปรับปรุงการแฮนด์ออฟที่เสนอในวิทยานิพนธ์ จะนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการเริ่มแฮนด์ออฟที่ได้มีผู้เสนอไว้ก่อนหน้านี้ โดยอ้างอิงตามมาตรฐานการจัดเส้นทางแบบ Mobile IPv4 ได้แก่
  - Lazy cell switching คือ การตัดสินใจเริ่มแฮนด์ออฟ เมื่อโหนดเคลื่อนที่ไม่ได้รับข้อความประกาศจากสถานีฐานติดต่อกัน 3 แพ็กเก็ต ช่วงเวลาที่จะตัดสินใจว่าสถานีเคลื่อนที่ได้ขาดการติดต่อแล้ว เท่ากับค่า lifetime ในส่วนขยายของ ICMP Router Advertisement นั่นคือ เมื่อสถานีเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารประกาศจากสถานีฐาน โดยที่  $T_{ads}$  หมายถึง ช่วงเวลาที่สถานีเคลื่อนที่จะได้รับข่าวสารถัดไป จะเป็นหนึ่งในสามของค่า lifetime ใน ICMP Router Advertisement ดังแสดงในรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 ช่วงเวลาระหว่างการมาถึงของข่าวสารประกาศ และค่า lifetime

- Early cell switching หรือ Prefix matching คือ การเริ่มตัดสินใจแฮนด์ออฟ เมื่อ โหนดเคลื่อนที่ได้รับข่าวสารประกาศจากสถานีฐานสถานีใหม่ ที่มีสับเน็ตเวิร์กซ์แตกต่างจากข่าวสารประกาศที่สถานีเคลื่อนที่เคยได้รับแต่เดิม
  - Eager cell switching คือ การเริ่มตัดสินใจแฮนด์ออฟ เมื่อได้รับข่าวสารประกาศที่มีสับเน็ตเวิร์กซ์แตกต่างจากข่าวสารประกาศที่เคยได้รับ Eager cell switching ต่างจาก Early cell switching ตรงที่ Eager cell switching ห้ามร้องขอลงทะเบียนเกินหนึ่งในหนึ่งวินาที เพื่อป้องกันการร้องขอลงทะเบียนซ้ำซ้อนในกรณีที่โหนดเคลื่อนที่ได้รับความประกาศจากสถานีฐานสองสถานี นั่นคือ เมื่อสถานีเคลื่อนที่ยังอยู่ในขอบเขตให้บริการของสถานีฐานทั้งสองสถานี
  - การตัดสินใจแฮนด์ออฟตามงานวิจัย [4] โดยประมาณช่วงเวลาที่นานที่สุด ที่สถานีเคลื่อนที่ควรจะได้รับข่าวสารประกาศ ถ้าครบช่วงเวลานี้แล้ว สถานีเคลื่อนที่จะอนุมานว่า ได้เคลื่อนที่ออกจากขอบเขตให้บริการของสถานีฐานเดิม และเริ่มกระบวนการแฮนด์ออฟ
4. ขอบเขตให้บริการของสถานีฐาน มีรัศมี 250 เมตร แบบขอบเขตให้บริการไม่ซ้อนทับกับสถานีฐานอื่น และแบบขอบเขตให้บริการซ้อนทับกับสถานีฐานอื่น 30 เมตร ทดสอบให้สถานีเคลื่อนที่ด้วยความเร็วอยู่ในช่วง 2 ถึง 20 เมตรต่อวินาที
  5. สถานีเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ไม่เกิน 26 เมตรต่อวินาที
  6. สถานีฐานมีขอบเขตให้บริการในรัศมีเท่ากันทุกสถานี
  7. การรับส่งข้อมูลในโครงข่ายไร้สายมีความถูกต้องมากกว่า 95% (BER = 0.05)

## 1.5 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินงาน



1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และโพรโทคอลในการแฮนด์ออฟของ Mobile IP
2. ศึกษาอัลกอริทึมการเริ่มแฮนด์ออฟของโทรศัพท์เคลื่อนที่ และ Mobile IP
3. ศึกษาการจำลองการทำงานของโครงข่ายและระบบที่ใช้ในการทดสอบ
4. จำลองการทำงานของโครงข่ายด้วยการเขียนโปรแกรมภาษาซี บนระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ เพราะโปรแกรมที่เขียนด้วยภาษาซี และระบบปฏิบัติการยูนิกซ์ใช้ระยะเวลาในการประมวลผลน้อย เหมาะสำหรับการจำลองการทำงานของโครงข่ายสื่อสารข้อมูลซึ่งมีจำนวนครั้งในการประมวลผลเป็นจำนวนมาก และผลิตเพิ่มข้อมูลของผลจำลองการทำงานขนาดใหญ่
5. ออกแบบอัลกอริทึมเพื่อหาเวลาที่เหมาะที่สุดที่สถานีเคลื่อนที่ควรเริ่มแฮนด์ออฟ โดยอาศัยข้อมูลของความเร็วสถานีเคลื่อนที่ ค่าเวลาหน่วงในข่ายเชื่อมต่อโยงข้อมูล และคาบเวลาของการประกาศ Agent Advertisement
6. ทดสอบการทำงานของวิธีเริ่มแฮนด์ออฟเพื่อปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟที่ได้มีผู้เสนอไว้แล้ว กับที่เสนอในวิทยานิพนธ์
7. เปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างแบบที่มีผู้เสนอไว้ กับที่เสนอในวิทยานิพนธ์
8. สรุปและวิเคราะห์ผล
9. จัดพิมพ์วิทยานิพนธ์



## บทที่ 2

### โพรโทคอลอินเทอร์เน็ตเคลื่อนที่

อินเทอร์เน็ตโพรโทคอล เวอร์ชัน 4 อนุমানไว้ว่า โหนดจะต้องมีที่อยู่ไอพีเพียงที่อยู่เดียว ซึ่งเป็นที่อยู่ตามตำแหน่งของโหนดในโครงข่าย ดังนั้น ตำแหน่งบนโครงข่ายของโหนดต้องสอดคล้องกับหมายเลขไอพี เพื่อให้โหนดรับแพ็กเก็ตที่มีปลายทางถึงมันได้ อย่างไรก็ตาม อาจมีปัจจัยบางประการส่งผลให้ไม่สามารถส่งดาตาแกรมถึงโหนดปลายทางได้ กรณีที่โหนดมีการเคลื่อนที่และต้องการรักษาประสิทธิภาพในการสื่อสาร กลไกในการส่งก็จะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขสองประการนี้คือ

- ก. โหนดต้องเปลี่ยนหมายเลขไอพี เมื่อเปลี่ยนตำแหน่ง หรือ
- ข. เส้นทางพิเศษที่ไปยังโฮสต์จะต้องสามารถกระจายข่าวสารไปทุกเส้นทาง ตลอดจนอุปกรณ์บนโครงข่ายอินเทอร์เน็ต เงื่อนไขสองประการข้างต้นนั้น ปกติแล้วเป็นสิ่งที่ยอมรับได้ยาก ข้อแรกนั้น เมื่อโหนดเปลี่ยนตำแหน่งโหนดจะไม่สามารถการทำงานได้อย่างปกติในชั้นสื่อสารข้อมูล และชั้นที่สูงขึ้นไป อีกประการหนึ่ง ถ้าโหนดใช้หมายเลขไอพีจะทำให้มีจำนวนหมายเลขไอพีไม่เพียงพอที่จะจัดสรรให้โหนด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อมีผู้ใช้มากขึ้นในอนาคต

โหนดที่มีการเคลื่อนที่บนโครงข่ายอินเทอร์เน็ตจึงต้องอาศัยกลไกใหม่ ๆ เพื่อให้คงการสื่อสารไว้ให้ได้ เมื่อมีการเปลี่ยนตำแหน่ง เอกสาร [1] ได้อธิบายกลไกที่ทำให้โหนดเปลี่ยนตำแหน่งได้ ขณะเดียวกันก็สามารถใช้อินเทอร์เน็ตโพรโทคอลได้ปกติ และโหนดไม่ต้องเปลี่ยนหมายเลขไอพี

#### 2.1 การแก้ปัญหาบนโครงข่ายของ Mobile IP

การจัดเส้นทางแบบ host specific routing อนุমানว่าทุก ๆ โหนดที่ต่ออยู่บนข่ายเชื่อมโยงข้อมูลเดียวกัน ใช้หมายเลขไอพีที่มี network prefix เหมือนกัน ถ้าโหนดเปลี่ยนตำแหน่งจากข่ายเชื่อมโยงหนึ่งไปยังข่ายเชื่อมโยงอื่น ดังนั้น network prefix ของที่อยู่ไอพีของโหนดบนข่ายเชื่อมโยงใหม่ จะแตกต่างจาก network prefix ของโหนดเคลื่อนที่ที่ย้ายตำแหน่งเข้ามาใหม่ โหนดที่อาศัยการจัดเส้นทางแบบ network-prefix routing จึงไม่สามารถส่งแพ็กเก็ตให้กับโหนดที่ย้ายตำแหน่งไปยังข่ายเชื่อมโยงใหม่ได้

Mobile IP เป็นกลไกที่ถูกแบบมาเพื่อแก้ปัญหาให้กับโหนดที่เคลื่อนที่ ซึ่งได้คำนึงถึงคุณภาพ ปริมาณของโหนดที่รองรับได้ ความทนทาน ความปลอดภัย และคงการสื่อสารไว้เมื่อโหนดเคลื่อนที่เปลี่ยนข่ายเชื่อมโยงข้อมูล โหนดยังคงสื่อสารกับโหนดที่อยู่ต่างข่ายเชื่อมโยงได้ โดยไม่ต้องเปลี่ยนหมายเลขไอพี

## 2.2 ขอบเขตการแก้ปัญหาของ Mobile IP

การทำงานในชั้นโครงข่ายไม่ได้พิจารณาตำแหน่งปลายทางในการต่อ แต่จะรับผิดชอบส่งแพ็กเก็ตให้ถึงผู้รับ โดยเลือกเส้นทางจากต้นทางถึงปลายทางในชั้นโครงข่าย อินเทอร์เน็ตโพรโทคอล (IP) ก็เป็นโพรโทคอลที่ทำงานในชั้นโครงข่าย

อินเทอร์เน็ตโพรโทคอลมีการทำงานด้วยตัวของมันเองน้อยมาก การส่งแพ็กเก็ตไปตามโครงข่ายอาศัยการจัดเส้นทางจากโพรโทคอลจัดเส้นทาง (Routing Protocol) เพื่อแลกเปลี่ยนข่าวสารที่แสดงตำแหน่งของโหนดและข่ายเชื่อมโยงต่าง ๆ ในโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ตัวอย่างของ Routing Protocol ได้แก่ Open Shortest Path First (OSPF), Routing Information Protocol (RIP) และ Border Gateway Protocol (BGP)

Mobile IP แก้ปัญหาการทำงานในชั้นโครงข่ายให้กับโหนดที่เคลื่อนที่ในโครงข่ายอินเทอร์เน็ต นั่นคือทำให้โหนดที่เคลื่อนที่สามารถรับส่งไอพีแพ็กเก็ตได้

Mobile IP เป็นโพรโทคอลชั้นโครงข่ายที่มีการทำงานเป็นเอกเทศจากตัวกลางส่งข้อมูล ดังนั้น โหนดเคลื่อนที่ซึ่งทำงานตาม Mobile IP สามารถเคลื่อนย้ายและเปลี่ยนไปใช้ตัวกลางในการสื่อสารชนิดอื่นได้ โดยยังคงสามารถสื่อสารได้อย่างต่อเนื่อง เช่น คอมพิวเตอร์แบบพกพาที่ยกเลิกการติดต่อจากโครงข่ายอินเทอร์เน็ตไร้สาย แล้วกลับไปใช้โครงข่ายท้องถิ่นไร้สาย (wireless LAN) เรียกการเคลื่อนที่ในลักษณะนี้ว่า การเคลื่อนที่แบบเฮเทอโรจีนัส (heterogeneous mobility) หมายถึงความสามารถในการทำงานที่ทำให้โหนดเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่างชนิดกันโดยไม่ขาดการติดต่อ

กรณีโหนดเคลื่อนที่ย้ายตำแหน่งจากข่ายเชื่อมโยงข้อมูลหนึ่งไปยังข่ายเชื่อมโยงข้อมูลอื่น แต่ยังใช้ตัวกลางชนิดเดิม การเคลื่อนที่ในลักษณะนี้เรียกว่า การเคลื่อนที่แบบโฮโมจีนัส (homogeneous mobility)

Mobile IP แก้ปัญหาเบื้องต้นในการจัดเส้นทางรับส่งแพ็กเก็ตให้กับโหนดเคลื่อนที่ แต่การแก้ปัญหาก็จะเสร็จสมบูรณ์ได้ก็ต่อเมื่อได้ปรับปรุงการทำงานในชั้น (layer) อื่นด้วย เช่น การปรับปรุงการทำงานของโพรโทคอลทีซีพี (TCP) ในชั้นสื่อสารข้อมูล

ดังนั้น ขอบเขตการทำงานของ Mobile IP คือ กลไกที่จำเป็นสำหรับการจัดเส้นทางให้แพ็กเก็ตส่งถึงโหนดเคลื่อนที่ได้ การปรับปรุงด้านอื่นนอกเหนือจากนี้ ถือว่านอกขอบเขตของ Mobile IP

## 2.3 ข้อกำหนดของ Mobile IP

โนดเคลื่อนที่ (Mobile Node) จะต้องสามารถสื่อสารกับโนดอื่น ๆ ได้ หลังจากที่โนดเปลี่ยนแปลงตำแหน่งในชั้นข่ายเชื่อมโยงข้อมูล (link layer) โดยที่โนดไม่ต้องเปลี่ยนที่อยู่ไอพี (IP address) โนดอื่น ๆ ไม่ต้องเปลี่ยนแปลงการทำงาน เมื่อสื่อสารกับโนดเคลื่อนที่นี้ โฮสต์และเราเตอร์อื่น ๆ ไม่มีความจำเป็นต้องเปลี่ยนแปลงโครงสร้างการทำงานให้เป็นไปตามลักษณะเฉพาะของ Mobile IP

ข้อกำหนดเพื่อการออกแบบ Mobile IP มีดังนี้

1. โนดเคลื่อนที่จะต้องสามารถสื่อสารกับโนดอื่น ๆ ในโครงข่ายอินเทอร์เน็ตได้ภายหลังจากที่เปลี่ยนตำแหน่งเข้าถึงข่ายเชื่อมโยงข้อมูล
2. โนดเคลื่อนที่จะต้องสามารถสื่อสารกับโนดอื่นด้วยการใช้หมายเลขไอพีเพียงหมายเลขเดียว นั่นคือ หมายเลขไอพีบ้าน (home address) โดยจะใช้หมายเลขไอพีเพียงหมายเลขเดียวเป็นการถาวร ไม่ว่าโนดจะเคลื่อนไปที่ส่วนใดของข่ายเชื่อมโยงข้อมูลก็ตาม
3. โนดเคลื่อนที่จะต้องสามารถสื่อสารกับคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นที่ไม่ได้มีการทำงานแบบ Mobile IP
4. โนดเคลื่อนที่จะต้องมีกระบวนการรักษาความปลอดภัยจากการเข้าถึงในลักษณะต่างๆ

ในข้อแรก Mobile IP ได้ออกแบบมาโดยเฉพาะเพื่อให้โนดสื่อสารกับข่ายเชื่อมโยงข้อมูลใดก็ได้ที่อยู่ใกล้กับโนด

ในข้อที่สอง เนื่องจาก ถ้าโนดเปลี่ยนหมายเลขไอพีตามตำแหน่งที่โนดเคลื่อนที่ไปถึง จะทำให้โนดอื่น ๆ ไม่สามารถส่งแพ็กเก็ตให้กับโนดเคลื่อนที่ได้ นอกจากนี้การเปลี่ยนหมายเลขไอพียังมีผลกระทบต่อสิทธิการเข้าใช้โครงข่ายของโนดด้วย

ข้อที่สาม Mobile IP กำหนดว่าต้องไม่มีการเปลี่ยนแปลงโพรโทคอลของโนดอื่น ๆ ที่ไม่ได้เคลื่อนที่ เช่น เราเตอร์ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงการทำงานของอุปกรณ์ทั้งหมดภายในโครงข่ายนั้นแทบจะเป็นไปไม่ได้เลย ดังนั้น จะมีเพียงโนดเคลื่อนที่กับโนดอื่นเพียงสองสามโนดเท่านั้นที่มีการทำงานแบบ Mobile IP

ข้อสุดท้าย Mobile IP ถูกออกแบบมาเพื่อป้องกันการโจมตีจากภายนอกด้วย ดังนั้น การแจ้งตำแหน่งของโนดเคลื่อนที่จำเป็นต้องมีกลยุทธ์ในการป้องกันข่าวสาร

## 2.4 เป้าหมายในการออกแบบ Mobile IP

โนดเคลื่อนที่มักใช้ข่ายเชื่อมโยงไร้สายในการสื่อสารกับโครงข่ายอินเทอร์เน็ต ข่ายเชื่อมโยงนี้อาจจะมีแบนด์วิดท์ต่ำกว่า และมีอัตราผิดพลาดบิตสูงกว่าข่ายเชื่อมโยงแบบมีสายทั่วไป ยิ่งไปกว่านั้น โหนดเคลื่อนที่ที่ใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งพลังงาน ดังนั้น การประหยัดพลังงานจึงมีความสำคัญ จำนวนแพ็กเก็ตควบคุมที่ส่งในข่ายเชื่อมโยงจะต้องมีจำนวนน้อยที่สุด และขนาดของแพ็กเก็ตควบคุมก็ควรจะมีขนาดเล็กที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ การใช้คอมพิวเตอร์กับการสื่อสารไร้สายได้ถูกนำมาใช้รวมกัน โดยทั่วไปผู้ใช้สามารถนำคอมพิวเตอร์แบบพกพาไปใช้ยังที่ต่าง ๆ ได้โดยสะดวก แต่ก็ต้องต่อสายเพื่อสื่อสารข้อมูล โครงข่ายไร้สายบางโครงข่ายยอมให้มีการสื่อสารได้ทุกที่ทุกเวลา อย่างไรก็ตาม โครงข่ายเหล่านี้ค่าบริการแพง และการรับส่งข้อมูลก็ทำได้ช้า

เพื่อให้การสื่อสารด้วยข่ายเชื่อมโยงไร้สายของ Mobile IP ทำได้สะดวกและกว้างขวางขึ้น เป้าหมายหนึ่งสำหรับการออกแบบก็คือทำให้ขนาดของแพ็กเก็ตเล็กที่สุดและจำนวนครั้งที่จำเป็นต้องใช้ในการแจ้งตำแหน่งปัจจุบันมีจำนวนน้อยที่สุด มีการทำงานง่ายที่สุดเท่าที่จะเป็นได้ ซึ่งจะส่งผลให้ Mobile IP รองรับการใช้งานบนโนดเคลื่อนที่ได้จำนวนมาก เช่น วิทยุติดตามตัว โทรศัพท์เคลื่อนที่ฉลาด (smart cellular phone) และ คอมพิวเตอร์แบบพกพา การออกแบบจะต้องหลีกเลี่ยงกระบวนการที่จะทำให้โนดเคลื่อนที่ที่ต้องใช้หมายเลขไอพีหลายหมายเลขพร้อม ๆ กัน เนื่องจากจะทำให้จำนวนหมายเลขไอพีไม่เพียงพอสำหรับรองรับโนดเคลื่อนที่จำนวนมาก

## 2.5 สมมติฐานของ Mobile IP

1. Mobile IP ยังมิได้เพิ่มเติมการจัดการหาหมายเลขไอพี ดังนั้น โหนดเคลื่อนที่ยังสามารถที่จะรับหมายเลขไอพี โดยการทำงานภายในตนเอง
2. โหนดเคลื่อนที่จะไม่เปลี่ยนตำแหน่งมากกว่า 1 ตำแหน่ง ใน 1 วินาที
3. การส่งดาตาแกรมแบบไอพียูนิคาสต์ (IP unicast) จะมีที่หมายปลายทางขึ้นอยู่กับที่อยู่ปลายทางที่อยู่บนส่วนหัวของแพ็กเก็ต
4. แพ็กเก็ตที่ส่งจะถูกส่งแบบ unicast ซึ่งมีปลายทางเพียงที่อยู่เดียว การจัดเส้นทางไม่ขึ้นกับหมายเลขไอพีต้นทาง แต่ขึ้นกับส่วน network-prefix ของหมายเลขไอพีปลายทาง และสามารถส่งแพ็กเก็ตระหว่างโนดคู่ใดก็ได้ภายในโครงข่าย Mobile IP โดยที่ไม่ได้สนใจว่าจะใช้ dynamic routing protocol ชนิดใด หรือ มีขนาดของโครงข่ายเป็นอย่างไร และไม่ขึ้นกับจำนวนของโนดหรือเราเตอร์

## 2.6 การทำงานของ Mobile IP

Mobile IP มีจุดมุ่งหมายที่จะให้โนดสามารถเคลื่อนที่จากโครงข่ายย่อยหนึ่ง ไปยังโครงข่ายย่อยโครงข่ายอื่นได้ เพื่อให้โนดสามารถเคลื่อนที่ผ่านตัวกลางที่แตกต่างกัน (homogenous) ได้ นั่นคือ กลไกของ Mobile IP ที่ช่วยให้โนดเคลื่อนที่จากส่วนหนึ่งบนโครงข่ายอีเทอร์เน็ต (Ethernet) ไปยังข่ายเชื่อมโยงท้องถิ่นไร้สายได้ トラバドที่หมายเลขไอพีของโนดเคลื่อนที่ยังคงเป็นหมายเลขเดียวกันกับที่ใช้ก่อนที่โนดจะย้ายข่ายเชื่อมโยงข้อมูล

บางครั้งอาจดูเหมือนว่า Mobile IP มีลักษณะคล้ายกับการแก้ปัญหาหรือการบริหารการเคลื่อนที่ในระดับมหภาค Mobile IP ไม่เหมาะแก่การนำไปแก้ปัญหาในการใช้งานแบบจุลภาค ยกตัวอย่างเช่น การแฮนด์ออฟ (handoff) ระหว่างเครื่องรับส่งสัญญาณวิทยุ (transceivers) โดยที่เครื่องรับแต่ละตัวมีขอบเขตการใช้บริการขนาดเล็ก ถ้าโนดไม่ได้เคลื่อนข้ามโครงข่ายย่อย (sub-net) ก็อาจจะเสนอวิธีแฮนด์ออฟที่ทำได้เร็วขึ้นสำหรับการเคลื่อนที่ไปยังข่ายเชื่อมโยงข้อมูลอื่น ซึ่งอาจจะใช้แพ็กเก็ตควบคุมจำนวนน้อยกว่า ขนาดเล็กกว่า Mobile IP

## 2.7 สถาปัตยกรรมตามแบบของ Mobile IP

Mobile IP ได้กำหนดหน้าที่ของส่วนประกอบต่าง ๆ บนโครงข่ายที่มีการทำงานแบบ Mobile IP ไว้ดังนี้

1. โหนดเคลื่อนที่ (Mobile Node : MN) หมายถึง โหนดที่สามารถเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งที่ติดต่อกับข่ายเชื่อมโยงข้อมูลหนึ่งไปต่อกับข่ายเชื่อมโยงข้อมูลใหม่ ขณะที่ยังรักษาความต่อเนื่องของการสื่อสารไว้ได้ และยังใช้หมายเลขไอพีหมายเลขเดิม หมายเลขไอพีนี้มีชื่อว่า ที่อยู่บ้าน (home address) โหนดเคลื่อนที่ จะได้รับหมายเลขไอพีที่เป็นหมายเลขไอพีที่ใช้ถาวรบนโครงข่ายบ้าน (home network) โฮสต์อยู่กับที่สามารถติดต่อกับโนดเคลื่อนที่โดยอ้างอิงจากหมายเลขไอพีถาวร กรณีที่โนดเคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายบ้าน โหนดจะได้รับหมายเลขไอพีอีกหมายเลขหนึ่ง ซึ่งเป็นหมายเลขไอพีที่แสดงตำแหน่งของโนดในโครงข่ายต่างบ้าน (Foreign network) หมายเลขไอพีนี้ เรียกว่า ที่อยู่ต่างบ้าน (care-of address : COA) โหนดใช้ที่อยู่บ้านเป็นที่อยู่แรกที่คอยรับแพ็กเก็ตทุก ๆ แพ็กเก็ตที่ส่งถึงโนดเคลื่อนที่
2. ตัวแทนบ้าน (Home Agent) หมายถึง เราเตอร์ที่ต่ออยู่กับข่ายเชื่อมโยงข้อมูลที่บ้าน (home link) ซึ่งโนดเคลื่อนที่ที่จะคอยแจ้งตำแหน่งปัจจุบันให้กับตัวแทนบ้านโดยการแจ้งหมายเลขไอพีที่โนดเคลื่อนที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน (care-of address) ภายหลังการเคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่งไปยังข่ายเชื่อมโยงข้อมูลแห่งใหม่ แพ็กเก็ตที่มีปลายทางถึง



โนดเคลื่อนที่ก็จะถูกมายัง Home Agent จากนั้น Home Agent จะถอดแพ็กเกต (decapsulate) นั้นและส่งให้โนดเคลื่อนที่ตามที่อยู่ care-of address

3. ตัวแทนต่างบ้าน (Foreign Agent) หมายถึง เราเตอร์ที่สื่อสารกับโนดเคลื่อนที่ เมื่อโนดได้เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายบ้านแล้ว Foreign Agent จะจัดเส้นทางให้โนดเคลื่อนที่ที่เข้ามาลงทะเบียนกับตัวแทนต่างบ้าน เมื่อ Home Agent ส่งแพ็กเกตมาตามที่อยู่ care-of address ตัวแทนต่างบ้านนี้จะถอดแพ็กเกต และส่งให้กับโนดเคลื่อนที่ สำหรับแพ็กเกตที่โนดเคลื่อนที่ต้องการส่งออกไปยังที่อื่น Foreign Agent นี้ก็อาจจะให้บริการเป็นดีฟอลต์เราเตอร์ให้แก่โนดเคลื่อนที่ที่มาลงทะเบียนไว้กับ Foreign Agent

## 2.8 การทำงานเบื้องต้นของ Mobile IP

1. Home Agent และ Foreign Agent ประกาศข่าวสารออกไปเป็นระยะ ๆ ตามคาบเวลาที่กำหนดไว้ เพื่อแจ้งให้โนดทราบว่า มีตัวแทนอยู่ในบริเวณนั้น ข่าวสารพิเศษนี้มีชื่อว่า ข่าวสารประกาศของตัวแทน (Agent Advertisement messages)
2. MN คอยรับข่าวสารประกาศจากตัวแทน โนดอ่านพบที่อยู่ต้นทางของข่าวสารแล้วจะพิจารณาว่าข่าวสารที่รับได้นั้นมาจากชายเชื่อมโยงข้อมูลแห่งใหม่หรือไม่ ถ้าใช่ หมายความว่าขณะนี้โนดได้ย้ายตำแหน่งไปอยู่บริเวณชายเชื่อมโยงข้อมูลแห่งใหม่แล้ว
3. เมื่อ MN ได้รับข้อความประกาศของตัวแทน (Agent Advertisement messages) แล้วสามารถส่งข้อความร้องขอให้กับตัวแทน เพื่อรับบริการต่าง ๆ จากตัวแทน
4. เมื่อ MN ตรวจสอบได้ว่า MN กำลังอยู่ในโครงข่ายบ้าน MN จะไม่ใช้กลไกที่รองรับการเคลื่อนที่ กรณีที่โนดได้ลงทะเบียนไว้กับโครงข่ายต่างบ้าน แต่โนดเคลื่อนที่กลับเข้ามายังโครงข่ายบ้านอีกครั้งหนึ่ง มันจะลงทะเบียนกับตัวแทนบ้านอีกครั้ง โดยการส่งข้อความร้องขอการลงทะเบียน และรอรับข้อความตอบรับการลงทะเบียนจากตัวแทนบ้าน
5. เมื่อ MN พบว่าตัวมันเองอยู่ในโครงข่ายต่างบ้าน โนดจะได้รับหมายเลขไอพีชั่วคราว COA หมายเลข COA นี้จะทราบได้จากข้อความที่ประกาศโดยตัวแทนต่างบ้าน หรืออาจจะได้รับจากกลไกการจัดหาอื่น ๆ เช่น DHCP (ในที่นี้หมายเลขไอพีที่ได้จะเรียกว่า co-locate COA)

6. MN จะลงทะเบียนที่อยู่ COA เป็นการแจ้งที่อยู่ใหม่ให้กับตัวแทนบ้าน โดยการส่งข้อความร้องขอการลงทะเบียนไปยังตัวแทนบ้าน และจะได้รับข้อความตอบรับการลงทะเบียนจากตัวแทนบ้าน โดยจะส่งผ่านตัวแทนต่างบ้าน
7. ดาตาแกรมที่มีปลายทางถึง MN จะถูกส่งมาให้ที่ตัวแทนบ้านก่อน จากนั้น ตัวแทนบ้านจะส่งดาตาแกรมต่อไปยังตัวแทนต่างบ้าน เพื่อส่งไปให้ MN (ถ้า MN อยู่ภายในโครงข่ายบ้าน ดาตาแกรมก็จะถูกส่งโดยตรงให้กับ MN)
8. การส่งในทิศทางตรงกันข้าม ดาตาแกรมที่ถูกส่งจาก MN จะถูกส่งไปยังปลายทางโดยผ่านกลไกการจัดเส้นทางแบบปกติ โดยไม่จำเป็นต้องผ่านตัวแทนบ้าน
9. Mobile IP ได้กำหนดที่อยู่ COA ไว้ สองแบบ นั่นคือ ที่อยู่ COA ที่ได้จากตัวแทนต่างบ้าน (Foreign Agent care - of address) เป็นที่อยู่ที่ได้รับจากการอ่านข้อความที่ประกาศโดยตัวแทน ในกรณีนี้ COA จะเป็นหมายเลขไอพีของตัวแทนต่างบ้าน ตัวแทนต่างบ้านจะถูกกำหนดให้เป็นที่อยู่ปลายทางที่ดาตาแกรมจะส่งถึง โดยการส่งจะอาศัยการจัดเส้นทางของไอพีทั่ว ๆ ไป ตัวแทนต่างบ้านนี้จะรับดาตาแกรม แล้วส่งต่อไปยัง MN โหนดที่ลงทะเบียนไว้กับตัวแทนต่างบ้านนี้ทุกโหนด จะมีหมายเลขไอพีหมายเลขเดียวกัน คือ COA ซึ่งเป็นที่อยู่ของตัวแทนต่างบ้าน ในกรณีเช่นนี้จะทำให้มีหมายเลขไอพีเพียงพอสำหรับการใช้งานบนอินเทอร์เน็ตโพรโทคอล เวอร์ชัน 4 (IP v4) สำหรับ COA แบบที่สองคือ ที่อยู่ COA ตามตำแหน่ง (co-locate care-of address) หมายถึง COA ที่ MN จะได้รับในลักษณะเดียวกับที่โหนดท้องถิ่นตัวอื่น ๆ ในโครงข่ายต่างบ้านที่โหนดได้เข้าไปลงทะเบียนไว้ COA ประเภทนี้จะถูกแจกจ่ายให้กับโหนดโดยใช้โพรโทคอล DHCP ที่อยู่ที่ได้รับจะเป็นหมายเลขไอพีชั่วคราว สิ่งที่แตกต่างกันไปจาก COA แบบแรก คือ ดาตาแกรมจะมีปลายทางที่หมายเลขไอพีของ MN โดยไม่ผ่าน FA ถ้าโครงข่ายที่โหนดอยู่นั้น ไม่มีการทำงานสำหรับรองรับการเคลื่อนที่ เราเตอร์ก็จะไม่สามารถทำงานเป็นตัวแทนต่างบ้านให้โหนดได้ โหนดก็จะได้รับที่อยู่แบบ co-locate COA ข้อดีคือยอมให้โหนดติดต่อสื่อสารได้ โดยไม่ต้องมีตัวแทนต่างบ้าน อย่างไรก็ตาม ข้อเสียคือ จำนวนของหมายเลขไอพีในโครงข่ายย่อยแต่ละโครงข่ายอาจไม่เพียงพอต่อจำนวนของ MN ในโครงข่ายย่อย

สรุป หมายเลขไอพีที่ถูกจัดสรรให้แก่ MN ถ้าเป็น COA จะหมายถึงหมายเลขไอพีของตัวแทนต่างบ้าน ซึ่งการส่งดาตาแกรมให้ MN ก็จะมีปลายทางอยู่ที่ตัวแทนต่างบ้าน หมายเลขไอพีที่ MN จะได้รับอีกประเภทหนึ่ง นั่นคือ co-located COA ซึ่งเป็นหมายเลขไอพีชั่วคราวของ MN ดาตาแกรมที่มีปลายทางถึง MN ก็จะถูกส่งไปยังปลายทางเป็น co-located COA โดยตรงไม่ต้องส่งผ่านตัวแทนบ้าน



อย่างไรก็ดี การทำงานร่วมกันระหว่าง ตัวแทนบ้าน ตัวแทนต่างบ้าน และ MN การรับส่งดาตาแกรม อาจมีการทำงานแตกต่างกันไป ตามที่กำหนดในเอกสาร [1]

หมายเลขไอพีแบบ co-located COA ที่ MN ได้รับจะต้องมีสับเน็ตเวิร์กที่ตรงกับโครงข่ายย่อยที่ MN อยู่ มิฉะนั้นดาตาแกรมจะไม่สามารถส่งถึง MN นั้นได้เลย

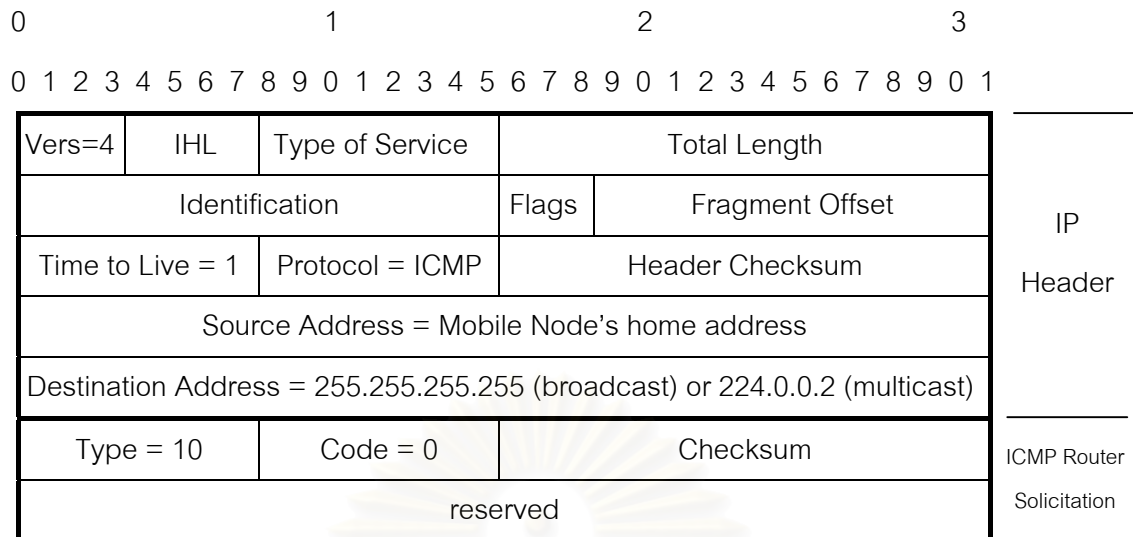
## 2.9 กระบวนการค้นหาตัวแทน (Agent Discovery)

กระบวนการค้นหาตัวแทนอาศัยข่าวสาร 2 ชนิด ชนิดแรกคือ ข่าวสารประกาศจากตัวแทน หรือ Agent Advertisement เป็นข่าวสารที่ตัวแทน อาจจะหมายถึง FA หรือ HA ก็ได้ ใช้สำหรับประกาศเพื่อแจ้งให้ MN ทราบว่ามีตัวแทนอยู่ในบริเวณที่ MN สามารถสื่อสารด้วยได้ ข่าวสารชนิดที่สองเรียกว่า ข่าวสารร้องขอตัวแทน หรือ Agent Solicitation เป็นข่าวสารที่ MN ส่งถึงตัวแทนเพื่อขอให้ตัวแทนส่ง Agent Advertisement มาให้กับ MN เมื่อตัวแทนใด ๆ ก็ตามได้รับ Agent Solicitation นี้ก็จะส่ง Agent Advertisement ทันทีโดยกำหนดปลายทางในการส่งไปยัง MN ที่เป็นโนดต้นทางของข่าวสาร Agent Solicitation ข่าวสารทั้งสองประเภทนี้ไม่ต้องการการตรวจสอบความปลอดภัยใด ๆ เนื่องจากการค้นหาตัวแทนจะต้องดำเนินการอย่างรวดเร็ว การตรวจสอบความปลอดภัยจะทำให้การค้นหาตัวแทนทำได้ช้า

### รูปแบบของข่าวสารค้นหาตัวแทน

ข่าวสารที่ใช้สำหรับร้องขอตัวแทน หรือ Agent Solicitation ตามที่กำหนดในโพรโทคอล Mobile IP เป็นข่าวสารชนิดเดียวกับข่าวสารร้องขอเราเตอร์ หรือ ICMP Router Solicitation ซึ่งมีเพียงบางส่วนเท่านั้นที่มีความแตกต่างกันระหว่างข่าวสารสองประเภทนี้ เช่น Agent Solicitation จะกำหนดค่า Time To Live : TTL ให้เป็น 1 รูปแบบของข่าวสาร Agent Solicitation แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 ถ้าตัวแทนใด ๆ ก็ตามได้รับข่าวสาร Agent Solicitation ตัวแทนนั้นจะส่ง Agent Advertisement ให้แก่โนดที่ส่งข้อความร้องขอทันที ส่วนของ Type สำหรับข้อความร้องตัวแทน หรือ Agent / Router Solicitation จะมีค่าเป็น 10

ข่าวสารประกาศจากตัวแทน หรือ Agent Advertisement เป็นข่าวสารที่ได้จากการแบ่งส่วนขยายเข้ากับข่าวสาร ICMP Router Advertisement ตัวแทนจะแบ่งส่วนขยายที่มีชื่อว่า Mobility Agent Advertisement Extension ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.2 สำหรับส่วนขยาย Prefix – Length Extension อาจจะมีรวมไว้ในข้อความ หรืออาจไม่มีก็ได้ ส่วนขยายส่วนนี้จะถูกใช้สำหรับตรวจสอบการเคลื่อนที่ว่า MN ได้เคลื่อนที่ไปยังโครงข่ายย่อยโครงข่ายอื่นแล้ว



รูปที่ 2.1 ข่าวสารร้องขอตัวแทน (Agent Solicitation)

0	1	2	3																												
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0	1										
Vers = 4				IHL				Type of Service				Total Length																			
Identification										Flags				Fragment Offset																	
Time to Live = 1						Protocol = ICMP						Header Checksum																			
Source Address = Mobile Node's home address																															
Destination Address = 255.255.255.255 (broadcast) or 224.0.0.2 (multicast)																															
Type = 9				Code				Checksum																							
Num Adrs				Addr Entry Size				Lifetime (of this Advertisement)																							
Router Address [1]																															
Preference Level [1]																															
Router Address [2]																															
Preference Level [2]																															
...																															
Type = 16				Length				Sequence Number																							
(maximum) Registration Lifetime								R	B	H	F	M	G	V	reserved																
Care-of Address [1]																															
Care-of Address [2]																															
...																															
Type = 19				Length				Prefix-Length [1]								Prefix-Length [2]															
...																															

รูปที่ 2.2 ข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement Message)

**ส่วนหัวของไอพี (IP header)**

MN จะใช้ส่วนหัวของไอพีภายในข่าวสาร Agent Advertisement เพื่อหาว่า MN กำลังติดต่ออยู่กับ HA หรือ FA

1. ถ้าส่วน network – prefix ของที่อยู่ต้นทางไอพี (IP Source Address) ตรงกันกับ network – prefix ในที่อยู่บ้าน (home address) ของ MN โดยเฉพาะอย่างยิ่งถ้าหมายเลขไอพีของที่อยู่ต้นทางตรงกันกับที่อยู่ของ HA เช่นนี้หมายความว่า MN กำลังต่ออยู่กับข่ายเชื่อมโยงบ้าน ถ้า MN เคลื่อนที่กลับมายังข่ายเชื่อมโยงบ้าน (ถ้าเคลื่อนที่มาจากข่ายเชื่อมโยงบานต่างบ้าน) ดังนั้น MN ไม่จำเป็นต้องใช้กระบวนการสนับสนุนการเคลื่อนที่ และจะถอนการลงทะเบียนการเคลื่อนที่กับ HA

- กรณีนอกเหนือจากข้อที่หนึ่ง หมายถึง MN ไม่ได้ต่ออยู่กับชายเชื่อมโยงบ้าน และควรดำเนินการตรวจสอบการเคลื่อนที่ เพื่อตรวจสอบว่า MN ได้เคลื่อนที่เปลี่ยนชายเชื่อมโยงหรือไม่ นับจากที่ได้รับ Agent Advertisement ครั้งล่าสุด ถ้า MN เคลื่อนที่ไปยังชายเชื่อมโยงใหม่ MN ก็จะทำ COA หมายเลขใหม่ แล้วลงทะเบียน COA หมายเลขใหม่เพื่อแจ้งตำแหน่งปัจจุบันของ MN ให้ HA รับทราบ

### ส่วนของข่าวสารประกาศจากเราเตอร์ (ICMP Router Advertisement Fields)

ข่าวสาร ICMP ที่กำหนดให้เป็นข่าวสารประกาศจะมีค่าในส่วน Type เป็น 9 กระบวนการค้นหาเราเตอร์ ICMP (ICMP Router Discovery) จะใช้ข่าวสารประกาศที่มีค่าในส่วน Code เท่ากับศูนย์เท่านั้น และจะไม่ดำเนินการใด ๆ ถ้าข้อความประกาศมีค่าในส่วน Code เป็นหมายเลขอื่น ดังนั้น FA และ HA สามารถประกาศข่าวสารโดยให้ส่วนของ Code มีค่าเป็นหมายเลขอื่นที่ไม่ใช่ศูนย์ เพื่อไม่ให้โนดอื่นมาใช้ตัวแทนเป็นเราเตอร์ และเราเตอร์ก็จะกำหนดค่าในส่วน Code ให้เป็นศูนย์เพื่อประกาศให้โนดอื่นทราบว่าขณะนี้โนดทำหน้าที่เป็นเราเตอร์

ชุดตัวเลขตรวจสอบความถูกต้อง หรือ Checksum มักจะใช้เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของข้อความที่โนดได้รับ สำหรับค่าในส่วนของ Lifetime เป็นค่าที่บอกความถี่ในการส่งข่าวสารประกาศ นอกจากนี้ MN ยังสามารถใช้ค่านี้อันเพื่อตรวจสอบการเคลื่อนที่ของ MN ด้วย

### ส่วนขยายข่าวสารประกาศสนับสนุนการเคลื่อนที่ (Mobility Agent Advertisement Extension Fields)

ส่วนขยายนี้มีส่วนของ Type และ Length เพื่อใช้บอกชนิดของส่วนขยาย และความยาวของข้อมูลในส่วนขยาย ถ้า Type มีค่าเท่ากับ 16 หมายถึงว่า ส่วนขยายนี้เป็น Mobility Agent Advertisement ค่าในส่วน Length หมายถึงความยาวเป็นจำนวนไบนารีของข้อมูล ซึ่งไม่ได้นับจำนวนไบนารีของส่วน Type และ Length รวมเข้าไปด้วย

เมื่อตัวแทนเปิดเครื่องใหม่ (reboot) ตัวแทนจะล้างข้อมูลในส่วนของ ค่าเลขลำดับ (Sequence Number) ให้เป็นศูนย์ทั้งหมด ถ้า MN ได้รับข่าวสารที่มี Sequence Number เป็นศูนย์ทั้งหมด แปลว่า ตัวแทนเพิ่งจะเปิดเครื่องใหม่ และไม่มีข้อมูลของ MN อยู่เลย ดังนั้น MN จะต้องลงทะเบียนใหม่กับตัวแทนนั้น ๆ

ค่าแสดงอายุของการลงทะเบียน (Registration Lifetime) ค่าแสดงอายุนี้เป็นคนละค่ากันกับค่าแสดงอายุของข่าวสารประกาศ (Router Advertisement Lifetime) และบิต R บิต M บิต G และ บิต V จะถูกกำหนดค่าเพื่อให้สัมพันธ์กับการลงทะเบียน และการจัดเส้นทาง

ค่าแสดงอายุของการลงทะเบียน (Registration Lifetime) ค่าแสดงอายุนี้เป็นคนละค่ากันกับค่าแสดงอายุของข่าวสารประกาศ (Router Advertisement Lifetime) และบิต R บิต M บิต G และ บิต V จะถูกกำหนดค่าเพื่อให้สัมพันธ์กับการลงทะเบียน และการจัดเส้นทาง

บิต F และ บิต H เป็นค่าที่กำหนดขึ้นเพื่อบอกให้ทราบว่าข่าวสารนี้ถูกส่งมาจากตัวแทน FA หรือ HA ถ้าข่าวสารนี้ถูกส่งมาจาก FA บิต F จะถูกตั้งค่าให้เป็น 1 ถ้าข่าวสารนี้ถูกส่งมาจากตัวแทนที่ทำหน้าที่เป็น HA ก็จะถูกกำหนดบิต H ให้เป็นหนึ่ง ถ้าข่าวสารนี้ส่งมาจากตัวแทนที่ทำหน้าที่เป็นทั้ง FA และ HA ดังนั้น บิต F และบิต H จะถูกกำหนดค่าให้เป็น 1 ทั้งคู่ บิต B จะถูกตั้งค่าให้เป็น 1 เพื่อเป็นการแจ้งว่า ตัวแทนยุ่งเกินกว่าจะให้บริการชนิดอื่นได้อีก และ MN ที่ได้รับข่าวสารนี้ควรจะมองหาตัวแทนอื่นเพื่อขอลงทะเบียนด้วย

### ส่วนขยายความยาวพรีฟิกซ์ (Prefix – Length Extension Fields)

ส่วนขยายนี้มีส่วนของ Type และ Length ไว้เพื่อบอกชนิดและความยาวส่วนข้อมูลของส่วนขยายนี้ เช่นเดียวกันกับที่มีในส่วนขยายอื่น ๆ ส่วนขยายความยาวพรีฟิกซ์จะใช้สำหรับ MN เพื่อตรวจสอบว่า MN เคลื่อนที่ไปยังโครงข่ายย่อยใหม่แล้วหรือยัง กระบวนการตรวจสอบการเคลื่อนที่จะได้อธิบายในส่วนต่อ ๆ ไป

## 2.10 การตรวจสอบการเคลื่อนที่ของโนด

MN สามารถตรวจสอบว่าได้เคลื่อนที่ย้ายย้ายเชื่อมโยงข้อมูลไปที่อื่นหรือไม่ นับจากที่ได้รับข่าวสารประกาศครั้งล่าสุด การตรวจสอบการเคลื่อนที่ของ MN สามารถกระทำได้สองทางคือ การใช้ค่า Lifetimes และการใช้เน็ตเวิร์คพรีฟิกซ์

### ตรวจสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ส่วน Lifetime

วิธีนี้จะใช้ข้อมูลในส่วนของ Lifetimes ของข่าวสารประกาศจากเราเตอร์ (ICMP Router Advertisement) ในข่าวสารประกาศจากตัวแทน (Agent Advertisement) ค่า Lifetimes จะช่วยบอกให้ MN ทราบว่าเมื่อไรที่ควรจะได้รับข่าวสารประกาศในแพ็กเก็ตถัดไป จากตัวแทนตัวเดิม เนื่องจากข่าวสารประกาศอาจเกิดการสูญหายได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อส่งผ่านตัวกลางไร้สายซึ่งมีโอกาสเกิดความผิดพลาดในการส่งได้มากกว่าการส่งผ่านตัวกลางมีสาย ตัวแทนจะประกาศข่าวสารนี้ด้วยคาบเวลาล้นกว่าค่า Lifetime นั่นคือ คาบในการประกาศ Agent Advertisement จะมีค่าประมาณหนึ่งในสามของค่า Lifetime

รับ Agent Advertisement จากตัวแทนใด ๆ เลย MN จะส่ง Agent Solicitation เพื่อขอให้ตัวแทนใดก็ตามที่รับข้อความร้องขอนี้ให้ส่ง Agent Advertisement กลับมาให้ยัง MN

กรณีที่ MN ส่ง Agent Solicitation ออกไปแล้ว แต่ไม่ได้ Agent Advertisement เลย MN จะพยายามดำเนินการในส่วนอื่นเพื่อให้ดำเนินการสื่อสารต่อไปได้ สิ่งแรกที่ MN จะทำก่อนคือ MN จะสมมติว่ากำลังอยู่ในข่ายเชื่อมต่อโยงบ้าน และ HA ไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ เนื่องจาก MN ไม่ได้รับ Agent Advertisement เลย MN จะส่งข่าวสาร Echo Request message ไปยังดีฟอลต์เราเตอร์ที่ MN เคยใช้บริการเมื่อ MN อยู่ในข่ายเชื่อมต่อโยงบ้าน และจะดำเนินการสื่อสารอื่น ๆ เสมือน MN กำลังอยู่ในข่ายเชื่อมต่อโยงบ้าน การเริ่มแฮนด์ออฟลักษณะนี้เรียกว่า Lazy Cell Switching หรือ LCS

### ตรวจสอบการเคลื่อนที่โดยใช้ Network-Prefixes

เมื่อ MN ได้รับข้อความประกาศจากตัวแทน และที่อยู่ต้นทางไอพี (IP Source Address) แตกต่างจากที่เคยได้รับ ข้อความประกาศอาจมาจากตัวแทนต่างบ้านตัวอื่น ๆ ที่อยู่ภายในโครงข่ายย่อยเดียวกัน ในการแยกแยะที่มาของข่าวสารประกาศนี้จะตรวจสอบ Network Prefix ในข่าวสารนั้น ๆ กระบวนการตรวจสอบนี้จะทำได้ก็ต่อเมื่อ ข่าวสารทั้งที่ ได้รับเดิม กับที่ได้รับใหม่ ต้องมี Prefix Length Extension เพื่อตรวจสอบโครงข่ายย่อยของโนดต้นทางที่ส่งข่าวสารประกาศ

ถ้าการตรวจสอบพบว่า ข่าวสารประกาศที่ได้รับมาใหม่มี Network Prefix ต่างจากข่าวสารเดิมที่เคยได้รับ MN จะสรุปว่าได้เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายย่อยเดิมแล้ว และจะเริ่มกระบวนการแฮนด์ออฟ แต่ถ้าข่าวสารประกาศทั้งสองมี Network Prefix เหมือนกันก็จะถือว่า MN ไม่ได้เคลื่อนที่ออกจากโครงข่ายย่อยเดิม และไม่ต้องเริ่มการแฮนด์ออฟแบบ Mobile IP เนื่องจากคุณลักษณะของหมายเลขไอพีตามปกติ สามารถใช้บอกตำแหน่งของโนด ถ้าสถานีเคลื่อนที่ไม่ได้ย้ายตำแหน่งไปยังโครงข่ายย่อยใหม่ สถานีเคลื่อนที่ที่ยังสามารถใช้หมายเลขไอพีหมายเลขเดิมได้ จึงไม่ต้องเริ่มการแฮนด์ออฟใน Mobile IP การเริ่มแฮนด์ออฟลักษณะนี้เรียกว่า Eager Cell Switching หรือ ECS

## 2.11 การลงทะเบียน (Registration)

MN จะลงทะเบียนกับตัวแทนเมื่อ MN พบว่าได้เคลื่อนที่เปลี่ยนโครงข่ายย่อย การลงทะเบียนในแต่ละครั้งจะได้กำหนดอายุของการลงทะเบียนไว้ ถ้าการลงทะเบียนหมดอายุ MN จะลงทะเบียนใหม่อีกครั้งกับตัวแทนเดิม แม้ว่าจะไม่ได้เคลื่อนที่เปลี่ยนโครงข่ายย่อย การลงทะเบียนรายละเอียดดังต่อไปนี้



MN จะลงทะเบียนกับตัวแทนเมื่อ MN พบว่าได้เคลื่อนที่เปลี่ยนโครงข่ายย่อย การลงทะเบียนในแต่ละครั้งจะได้กำหนดอายุของการลงทะเบียนไว้ ถ้าการลงทะเบียนหมดอายุ MN จะลงทะเบียนใหม่อีกครั้งกับตัวแทนเดิม แม้ว่าจะไม่ได้เคลื่อนที่เปลี่ยนโครงข่ายย่อย การลงทะเบียนรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ร้องขอการจัดเส้นทางจาก FA บนข่ายเชื่อมโยงต่างบ้าน
2. เมื่อได้รับ COA แล้วก็จะแจ้งให้กับ MN ทราบ
3. ลงทะเบียนใหม่อีกครั้งถ้าการลงทะเบียนในครั้งล่าสุดหมดอายุแล้ว
4. ยกเลิกการลงทะเบียน (สำหรับการรับบริการสนับสนุนการเคลื่อนที่) เมื่อเคลื่อนที่กลับมายังข่ายเชื่อมโยงบ้าน
5. เมื่อ MN ได้แจ้งการลงทะเบียนกับ COA ให้ HA รับทราบแล้ว ถ้า HA ได้รับแพ็กเก็ตที่มีปลายทางส่งถึง MN แล้ว HA จะสำเนาแพ็กเก็ตนั้นแล้วส่งให้กับ MN โดยกำหนดให้มีปลายทางถึง COA แต่ละตัวของ MN
6. เมื่อพบว่า MN เคลื่อนที่กลับมายังข่ายเชื่อมโยงบ้าน MN จะถอนการลงทะเบียนที่ HA และทำงานเหมือนเป็นโหนดอยู่กับที่ตัวหนึ่ง โดยไม่ได้ใช้บริการสนับสนุนการเคลื่อนที่

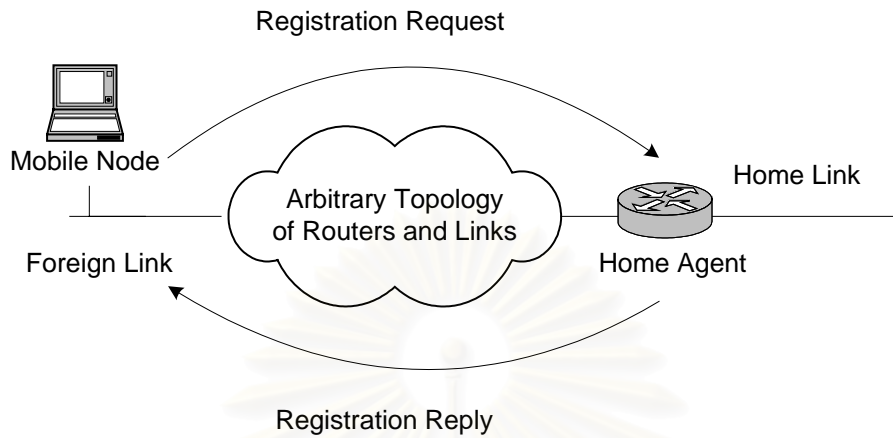
การลงทะเบียนตามโพรโทคอล Mobile IP เกิดขึ้นโดยการแลกเปลี่ยนของข่าวสาร 2 ชนิด คือ ข่าวสารร้องขอการลงทะเบียน และ ข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน ข่าวสารร้องขอการลงทะเบียนจะส่งด้วยโพรโทคอลยูดีพี (UDP : User Datagram Protocol) ข่าวสารนี้จะถูกนำไปแปะ payload ให้เป็นไอพีแพ็กเก็ต

ขั้นตอนการลงทะเบียน ประกอบด้วย การส่งข่าวสารร้องขอลงทะเบียน และการได้รับข่าวสารตอบรับการลงทะเบียน ระหว่าง MN กับตัวแทน ซึ่งหมายถึง HA หรือ FA ก็ได้ การลงทะเบียนสามารถทำได้ 3 ลักษณะคือ

1. การลงทะเบียนบนข่ายเชื่อมโยงข้อมูลต่างบ้าน โดยใช้ COA ที่ได้จากข่าวสารประกาศของ FA

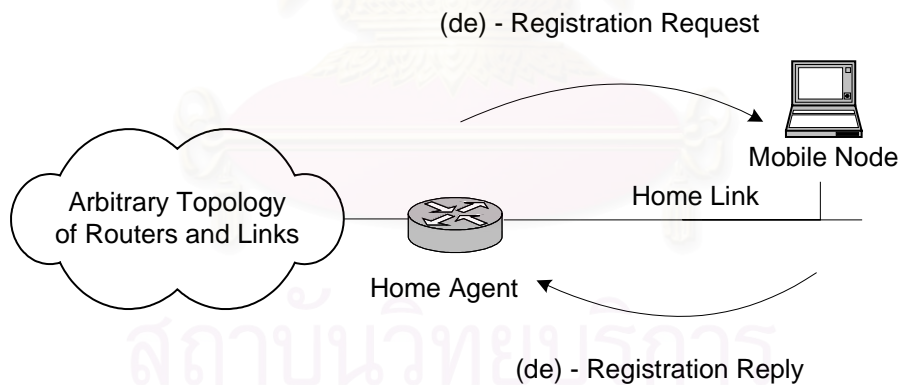


- การลงทะเบียนที่ทำบนข่ายเชื่อมต่อโยงข้อมูลต่างบ้าน โดยใช้ co-locate care of address กรณีที่ข่ายเชื่อมต่อโยงนั้นไม่มี FA



รูปที่ 2.4 การลงทะเบียนที่ทำบนข่ายเชื่อมต่อโยงข้อมูลต่างบ้าน โดยใช้ co-locate care of address กรณีที่ข่ายเชื่อมต่อโยงนั้นไม่มี FA

- MN ถอนการลงทะเบียนเมื่อเคลื่อนที่กลับมาที่ข่ายเชื่อมต่อโยงบ้าน



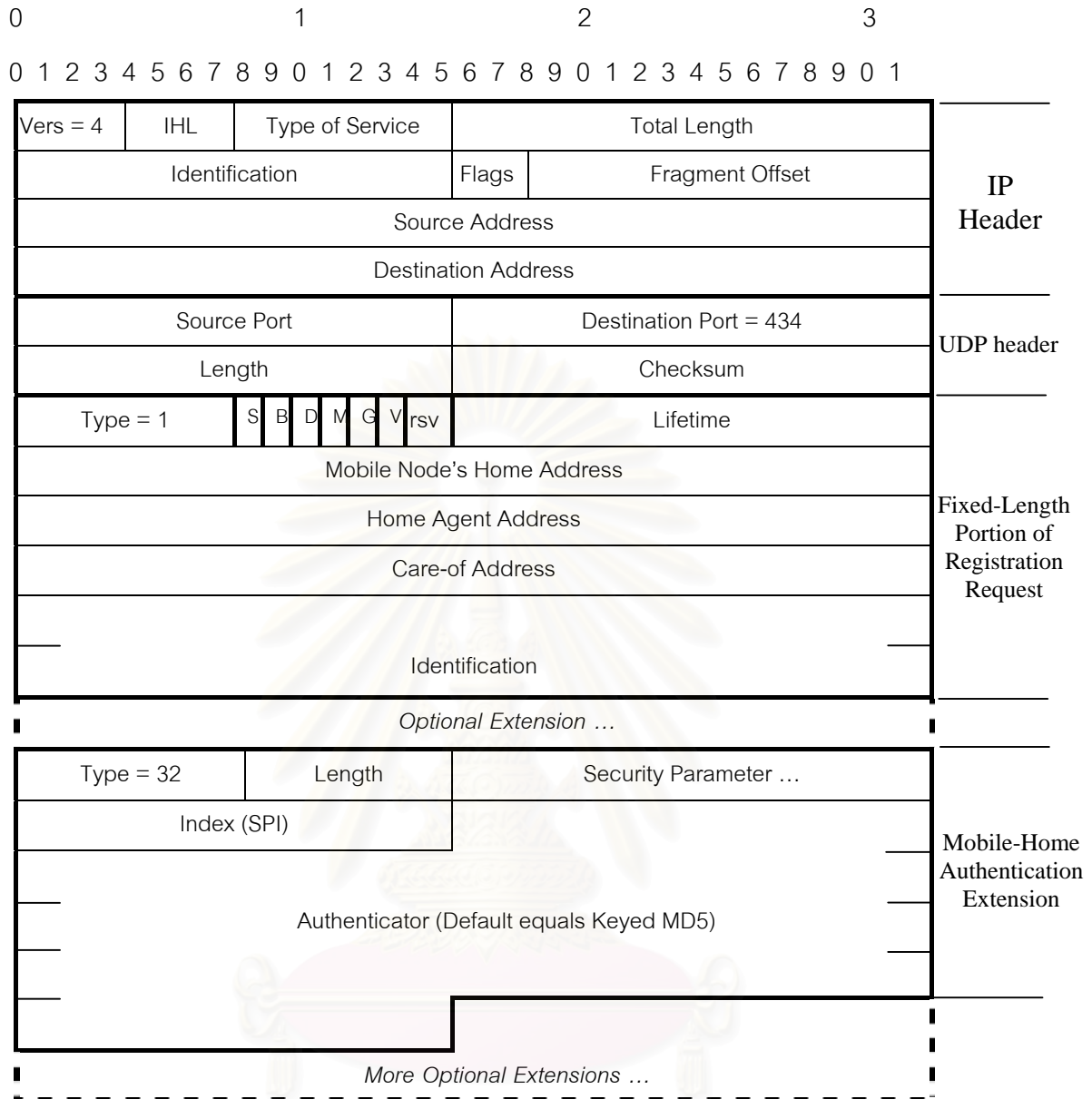
รูปที่ 2.5 MN ถอนการลงทะเบียนเมื่อเคลื่อนที่กลับมาที่ข่ายเชื่อมต่อโยงบ้าน

ขั้นตอนการลงทะเบียนของ MN จะเริ่มขึ้นเมื่อ MN ส่งข่าวสารร้องขอลงทะเบียน ให้กับ HA ในกรณีที่ MN ยังไม่มี HA เลย ถ้า MN เคลื่อนที่เปลี่ยนโครงข่ายย่อยก็จะส่งข้อความขอลงทะเบียนให้กับ FA จากนั้น FA จะพิจารณาว่าข้อความร้องขอลงทะเบียนมีข้อผิดพลาดหรือไม่ ถ้าไม่มีข้อผิดพลาดใด ๆ FA จะส่งข้อความร้องขอการลงทะเบียนให้แก่ HA จากนั้น HA จะส่งข้อความตอบรับการลงทะเบียนนั้นกลับมายัง FA โดยมีปลายทางถึง MN โดยเส้นทางของการส่ง

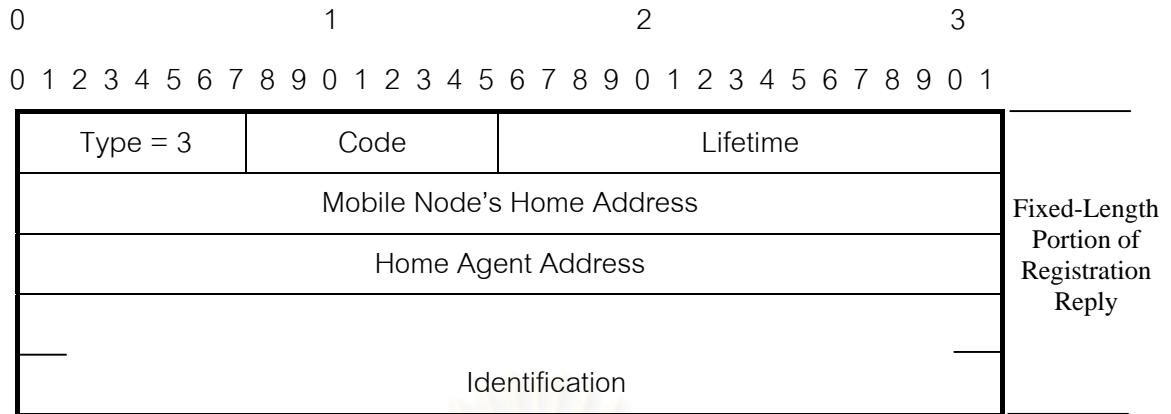
ข้อความตอบรับการลงทะเบียนจะส่งในเส้นทางเดียวกันกับเส้นทางที่ใช้ส่งข้อความร้องขอลงทะเบียนแต่ส่งในทิศทางย้อนกลับ

ถ้า MN ไม่ได้รับข้อความตอบรับการลงทะเบียนภายในระยะเวลาที่เหมาะสมแล้ว MN จะส่งข้อความร้องขอลงทะเบียนอีกครั้งหนึ่ง จนกว่าจะได้รับข้อความตอบรับการลงทะเบียน การเว้นช่วงเวลาระหว่างการส่งข้อความร้องขอลงทะเบียนตามที่ได้กำหนดไว้ในโพรโทคอล คือ ช่วงเวลาที่น้อยกว่าหรือเท่ากับช่วงเวลาระหว่างการส่งข้อความร้องขอลงทะเบียนที่เคยใช้ส่งในครั้งก่อนหน้า

**รูปแบบของข้อความร้องขอลงทะเบียน** รูปที่ 2.6 แสดงข้อความร้องขอลงทะเบียน มีส่วนหัวของไอพี ส่วนหัวของยูดีพี และส่วนขยาย รูปที่ 2.7 แสดงเฉพาะส่วนที่มีความยาวคงที่ (fixed – length portion) ของข้อความร้องขอลงทะเบียน ส่วนความยาวคงที่นี้ เป็นส่วนเดียวที่ทำให้ข้อความร้องขอลงทะเบียนแตกต่างไปจากข้อความตอบรับการลงทะเบียน ข้อความที่ใช้สำหรับการลงทะเบียนจะต้องมีส่วนตรวจสอบสิทธิ์ในการเข้าถึงบ้านของโนดเคลื่อนที่ (Mobile Home Authentication Extension) ด้วย เพื่อป้องกันไม่ให้โนดอื่นปลอมแปลงข้อมูลแล้วนำมาขอลงทะเบียนกับตัวแทน



รูปที่ 2.6 ขาวสารร้องขอลงทะเบียน



รูปที่ 2.7 ส่วนความยาวคงที่ (fix – length portion) ของข้อความตอบรับการลงทะเบียน

**การจับคู่ (Bindings)** เป้าหมายสำหรับการลงทะเบียนคือ เพื่อแจ้งที่อยู่ COA ที่ MN ได้รับในปัจจุบันให้ HA รับทราบ เพื่อให้ HA สามารถทำอุโมงค์ส่งแพ็กเก็ตให้กับ MN ดังนั้น HA จะมีตารางสำหรับจับคู่ที่อยู่บ้านของ HA เข้ากับ COA ของ MN ตารางนี้มีชื่อว่า binding entry เป้าหมายหลักในการลงทะเบียนนั้นคือการแก้ไข หรือลบ ข้อมูลใน binding entry ให้สอดคล้องกับ COA ที่ MN ใช้อยู่ในปัจจุบัน ข้อมูลใน binding entry และการลงทะเบียนในแต่ละครั้งจะใช้งานได้จนกว่าจะหมดอายุตามเวลาที่กำหนดไว้ใน Registration Lifetime ซึ่ง MN จะขอลงทะเบียนใหม่เมื่อการลงทะเบียนเดิมใกล้จะหมดอายุ

**ส่วนหัวไอพี (IP Header Fields)** ส่วนหัวของไอพีสำหรับข้อความที่ใช้ในการลงทะเบียนจะมีข้อมูลของที่อยู่ต้นทางไอพี และที่อยู่ปลายทางไอพี

**ส่วนหัวยูดีพี (UDP Header Fields)** ในส่วนหัวของยูดีพี MN จะเลือกพอร์ตต้นทางการส่ง มักจะกำหนดค่าของพอร์ตปลายทางให้เป็น 434 ค่านี้จะถูกกำหนดไว้ใช้เฉพาะกับข้อความลงทะเบียนที่ได้กำหนดไว้ในโพรโทคอล Mobile IP โดยทั่วไป FA และ HA จะกลับหมายเลขพอร์ตของต้นทางที่ใช้ส่งข้อความร้องขอลงทะเบียน ให้เป็นพอร์ตของปลายทางสำหรับส่งข้อความตอบรับการลงทะเบียนกลับไปให้ MN ในส่วนบอกความยาวของยูดีพี (UDP Length field) มีไว้สำหรับแจ้งขนาดของ UPD payload โดยค่าที่บอกนี้มีหน่วยเป็นไบนารี และมีส่วนที่บอกค่า Checksum เพื่อใช้ตรวจสอบความถูกต้องเมื่อในปลายทางได้รับแพ็กเก็ตนี้

**ส่วนของ Mobile IP (Mobile IP Field)** ส่วน Type จะแสดงหมายเลขเพื่อแจ้งว่าข้อความนี้เป็นข้อความร้องขอลงทะเบียน หรือข้อความตอบรับการลงทะเบียน ถ้าเป็นข้อความร้อง

ขอลงทะเบียน MN จะกำหนดบิต S ให้มีค่าเป็น 1 เพื่อขอให้ HA สร้าง หรือแก้ไขการจับคู่ COA ใน เฉพาะคู่ที่ MN แจ้งไว้ MN สามารถลงทะเบียนเพื่อทำการจับคู่ใน binding entry ได้มากกว่า หนึ่งคู่

บิต B บิต D บิต M บิต G และบิต V ใช้สำหรับการจัดเส้นทางมากกว่าที่ใช้กับการลงทะเบียน MN จะกำหนดบิต B ให้เป็น 1 เพื่อขอให้ HA ส่งสำเนาแพ็กเก็ตที่ HA ประกาศเป็นปกติ มาให้กับ MN บิต D เป็นบิตที่บอกให้ HA ทราบว่าที่อยู่ของ MN เป็นที่อยู่ชนิดใด ถ้าบิต D เป็น 1 หมายความว่า MN ใช้ที่อยู่แบบ co-locate COA ถ้าบิต D เป็นศูนย์หมายความว่า MN ใช้ที่อยู่ COA ที่ได้จากที่อยู่ของ FA (Foreign Agent COA)

บิต M ใช้สำหรับร้องขอให้ HA ใช้ Minimal Encapsulation บิต G ใช้สำหรับร้องขอให้ HA ทำ Generic Routing Encapsulation บิต V ถูกกำหนดเป็น 1 เพื่อบอกให้ MN และ FA บีบอัดข้อมูลส่วนหัว (header compression) เมื่อส่งข่าวสารผ่านสายเชื่อมโยงต่างบ้าน

ส่วน Code ในข้อความตอบรับการลงทะเบียน ใช้สำหรับแจ้งให้ MN ทราบว่าตัวแทนรับการลงทะเบียนหรือปฏิเสธการลงทะเบียน ค่าใน Code นี้จะถูกกำหนดว่ามีเฉพาะค่าเดียวเท่านั้นที่จะแปลความหมายได้ว่าตัวแทนตอบรับการลงทะเบียน ถ้าเป็นค่าอื่นนอกเหนือจากค่าเฉพาะ นี้จะถือว่าตัวแทนปฏิเสธการลงทะเบียน พร้อมกับแจ้งเหตุผลที่ปฏิเสธการลงทะเบียนด้วย ยกตัวอย่าง ข้อความร้องขอลงทะเบียนไม่ผ่านการตรวจสอบสิทธิการเข้าใช้ตัวแทน ถูกห้ามจากผู้ดูแลระบบ MN ขอลงทะเบียนด้วยค่า lifetime ในช่วงเวลานานเกินไป MN ไม่สามารถเข้าถึงตัวแทนบ้านได้ ค่าที่ MN กำหนดไว้ในข้อความร้องขอลงทะเบียนจะมีหน่วยเป็นวินาที ถ้าค่า lifetime มีค่าเท่ากับศูนย์หมายถึง MN ขอลงทะเบียนกรณีที่ได้เคลื่อนที่กลับสู่สายเชื่อมโยงบ้านและไม่ต้องการใช้บริการสนับสนุนการเคลื่อนที่แล้ว กรณีที่ค่า lifetime มีค่าเป็น FFFF หมายถึง MN ขอลงทะเบียนกับตัวแทนโดยขออายุการลงทะเบียนเป็นอนันต์

ส่วนที่อยู่บ้านของ MN (Home Address) และส่วนที่อยู่ของ HA (HA address field) นั้น มีความหมายตรงกับชื่อ นั่นคือ ใช้สำหรับแจ้งที่อยู่ของ HA ให้แก่ MN ส่วนแสดง COA ใช้สำหรับแจ้งที่อยู่ COA ที่ MN ขอลงทะเบียน หรืออาจใช้แสดง COA ที่ได้รับการตอบรับการลงทะเบียน ในกรณีพิเศษ เมื่อ MN ต้องการลงทะเบียนของ COA ทุก ๆ ตัวใน binding entry ซึ่งเป็นกรณีที่ MN เคลื่อนที่กลับมายังสายเชื่อมโยงบ้านและไม่ต้องการใช้บริการสนับสนุนการเคลื่อนที่แล้ว MN จะกำหนดค่าในส่วนของ COA ให้เป็นที่อยู่ที่บ้าน (home address) และกำหนดค่า lifetime เท่ากับศูนย์

MN จะเลือกค่าในส่วน Identification เพื่อให้การลงทะเบียนแต่ละครั้งมีความเป็นหนึ่งเดียวไม่ซ้ำกับโนดอื่นหรือไม่ซ้ำกับการลงทะเบียนในครั้งอื่น ส่วนของ Identification จะใช้งานได้ 2 แบบ การใช้งานแบบแรกคือ ใช้เพื่อจับคู่ระหว่างข้อความที่ตอบรับการลงทะเบียนที่ตรงกันกับ

ข้อความที่ร้องขอลงทะเบียน การใช้งานแบบที่สองคือ ใช้เพื่อป้องกันไม่ให้โนดอื่นปลอมแปลงข้อความร้องขอลงทะเบียนแล้วนำกลับมาใช้โดยอ้างการลงทะเบียนจากโนดที่ถูกปลอมแปลง ค่า Identification จะใช้ร่วมกับข้อมูลในส่วน Mobile Home Authentication Extension เพื่อช่วยป้องกันการจารกรรมข้อมูล

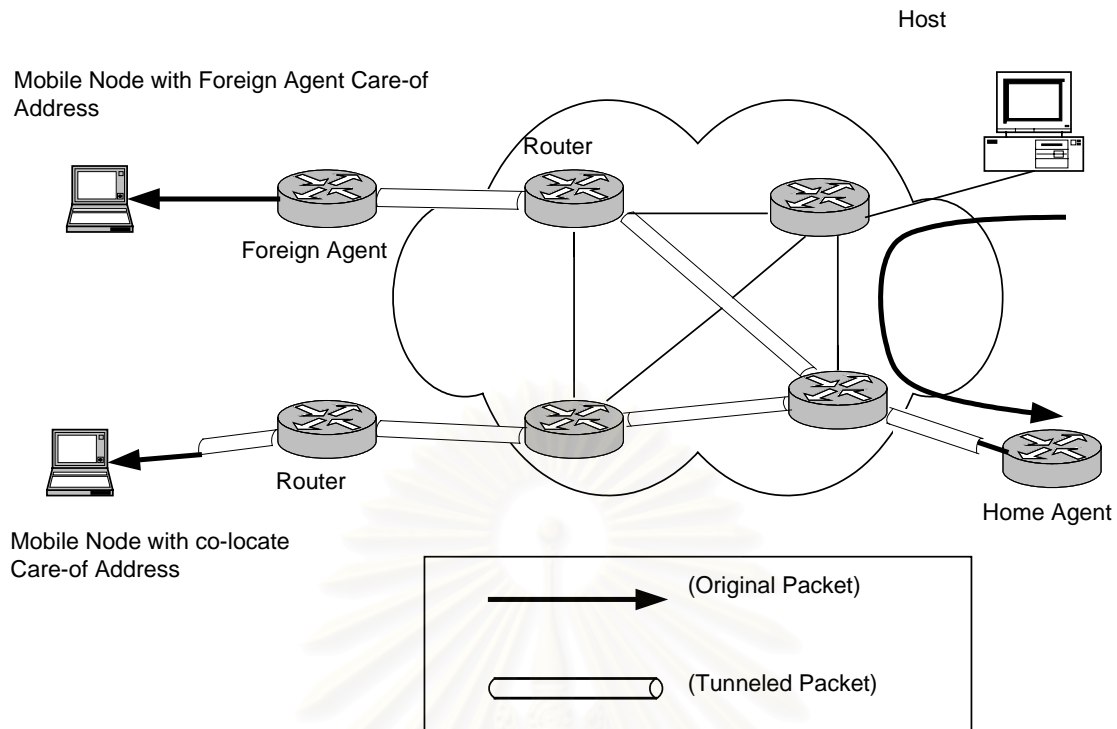
## 2.12 การจัดเส้นทางรับส่งแพ็กเก็ตให้กับ MN

การจัดเส้นทางรับส่งแพ็กเก็ตให้กับ MN ขณะที่ MN อยู่ในข่ายเชื่อมต่อโยงบ้านนั้นจะเหมือนกับการจัดเส้นทางแบบ network – prefix routing และไม่ต้องอาศัยกระบวนการพิเศษใด ๆ ในการส่งแพ็กเก็ตให้กับ MN ที่อยู่ในข่ายเชื่อมต่อโยงบ้าน

การจัดเส้นทางรับส่งแพ็กเก็ตให้กับ MN ที่อยู่ในข่ายเชื่อมต่อโยงต่างบ้านจะมีขั้นตอนดังนี้

1. เราเตอร์ที่ต่ออยู่กับข่ายเชื่อมต่อโยงบ้าน อาจหมายถึง HA มีการประกาศข่าวสารของเราเตอร์ซึ่งแสดง network – prefix ที่ตรงกันกับที่อยู่บ้านของ MN (MN's home address)
2. แพ็กเก็ตที่มีปลายทางส่งถึงที่อยู่บ้านของ MN จะถูกจัดเส้นทางเพื่อส่งมาที่ข่ายเชื่อมต่อโยงบ้านของ MN และมีปลายทางส่งถึง HA ของ MN
3. HA รับแพ็กเก็ตแล้วส่งให้กับ MN ตามที่อยู่ COA ที่ปรากฏใน binding entry
4. แพ็กเก็ตถูกส่งมาให้ MN ผ่านทาง FA





รูปที่ 2.8 แสดงการจัดเส้นทางเพื่อส่งแพ็กเก็ตให้กับ MN ที่อยู่บนข่ายเชื่อมโยงต่างบ้าน

### 2.13 กระบวนการจัดส่งแพ็กเก็ตจาก MN

การเลือกเราเตอร์บนข่ายเชื่อมโยงบ้าน MN ที่ต่ออยู่บนข่ายเชื่อมโยงบ้านจะทำงานเหมือนกับโฮสต์ที่อยู่กับที่ หรือเราเตอร์อื่นที่ต้องการส่งแพ็กเก็ต MN บนข่ายเชื่อมโยงบ้านจะมีตารางการจัดเส้นทางเหมือนกับโนดอื่น ๆ ที่ต่ออยู่บนข่ายเชื่อมโยงบ้าน ซึ่งตารางการจัดเส้นทางเหล่านี้จะถูกสร้างขึ้นเหมือนกับตารางจัดเส้นทางของโนดอื่นทั่วไป สามารถใช้วิธีทั่วไป เช่น การกำหนดด้วยตัวผู้ใช้งาน (manual configuration) กระบวนการ DHCP และ PPP's IPCP เป็นต้น

กรณีที่ MN ต่ออยู่กับข่ายเชื่อมโยงต่างบ้าน MN จะต้องมีกระบวนการพิจารณาหาเราเตอร์ที่สามารถส่งแพ็กเก็ตที่มาจาก MN ได้ วิธีที่ MN ใช้สำหรับเลือกเราเตอร์เพื่อส่งแพ็กเก็ตออกจาก MN จะทำได้ 2 กรณี คือ

1. ใช้ FA เป็นเราเตอร์ MN ส่งแพ็กเก็ตโดยกำหนดหมายเลขไอพีต้นทางโดยใช้หมายเลขไอพีของตัวแทน MN ได้หมายเลขของ FA จาก Agent Advertisement ของ FA
2. MN ใช้หมายเลขไอพีต้นทางที่ได้จากข่าวสารที่เรเตอร์ที่ประกาศ ICMP Router Advertisement และให้เราเตอร์นั้น ๆ ช่วยส่งแพ็กเก็ตที่ออกจาก MN

การเลือกเราเตอร์ในกรณีแรก เกิดขึ้นเมื่อ MN ได้ลงทะเบียนไว้กับ FA แล้วและต้องการใช้ FA เป็นเราเตอร์สำหรับการจัดส่งแพ็กเก็ตที่ออกจาก MN ได้ ในกรณีที่สอง หมายถึง MN สามารถเลือกเราเตอร์ตัวใดก็ได้ที่มีรายชื่อปรากฏอยู่ใน Router Address Field ใน Agent Advertisement ที่ FA ประกาศ นอกจากนี้ MN สามารถเลือกเราเตอร์ตัวใดก็ได้ที่ MN ได้รับ Router Advertisement ของเราเตอร์นั้น ภายหลังจากที่ MN เลือกเราเตอร์ได้แล้ว ตารางจัดเส้นทางจาก MN จะมีลักษณะตามตารางที่ 2.1 ถ้า MN เพิ่งจะเคลื่อนที่ออกจากชายเชื่อมโยงบ้านไปยังชายเชื่อมโยงบ้าน MN จะทำสำเนาตารางจัดเส้นทางที่ MN ใช้บนชายเชื่อมโยงบ้าน ซึ่งตารางจัดเส้นทางนี้จะเก็บไว้ใช้ได้ก็เมื่อ MN เคลื่อนที่กลับมายังชายเชื่อมโยงบ้าน

สำหรับ MN ที่ไม่ได้ลงทะเบียนไว้กับ FA ใด ๆ เลย แต่อาศัยการใช้ที่อยู่แบบ co-locate COA ในกรณีนี้ MN จะใช้โพรโทคอล DHCP ช่วยหาที่อยู่ของเราเตอร์ที่สามารถส่งแพ็กเก็ตออกจาก MN ได้ MN นอกจากนี้ MN ยังสามารถใช้โพรโทคอล PPP's IPCP ในการช่วยหาที่อยู่ของเราเตอร์ ถ้า MN ไม่สามารถใช้โพรโทคอลข้างต้น ก็สามารถหาที่อยู่ของเราเตอร์ได้จากการค้นหาโดยผู้ใช้ (manual configuration)

ตารางที่ 2.1 ตารางการจัดเส้นทางของ MN ขณะที่ MN อยู่ที่ชายเชื่อมโยงบ้าน

Target / Prefix-Length	Next Hop	Interface
0.0.0.0 / 0 (default)	(the selected router address)	(the interface through which the Mobile Node connects to the foreign link)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### บทที่ 3

## การปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟที่ให้มีผู้เสนอไว้ และวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์

ปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นกับการทำงานของ Mobile IPv4 ได้แก่

1. การที่ผู้ใช้แต่ละคนต้องการหมายเลขไอพีบ้าน และ COA แต่ IPv4 มีจำนวนบิตแสดงหมายเลขไอพีอยู่น้อย อาจไม่เพียงพอแก่การจัดสรรหมายเลขไอพี หากมีผู้ใช้จำนวนมากขึ้น
2. การจัดเส้นทางแบบสามเหลี่ยม (triangle routing) เป็นการเพิ่มโหนดให้ระบบ และทำให้เปลืองโอเวอร์เฮดในแพ็กเกต
3. การจัดเส้นทางแบบสามเหลี่ยม เพิ่มระยะเวลาส่งโดยไม่จำเป็น ทำให้ไม่เหมาะสมกับปริมาณการใช้วงจรสื่อสารแบบโต้ตอบ
4. สัญญาณซิกแนลลิงใน Mobile IP เพิ่มภาระให้กับระบบมาก เนื่องจากต้องส่งการลงทะเบียน COA (binding update) ให้กับ HA ถ้าสถานีเคลื่อนที่ข้ามสถานีฐานหลายครั้ง ก็ต้องลงทะเบียน COA เป็นจำนวนครั้งมากขึ้น
5. การแฮนด์ออฟใน Mobile IP ไม่ได้แบ่งแยกระหว่างสถานีเคลื่อนที่ที่รับส่งแพ็กเกตข้อมูล กับสถานีเคลื่อนที่ที่ไม่ได้รับส่งแพ็กเกตข้อมูล การแฮนด์ออฟในผู้ใช้ที่ไม่ได้รับส่งข้อมูล ยังคงสร้างสัญญาณซิกแนลลิงมากเท่ากับในผู้ใช้ที่กำลังรับส่งแพ็กเกตข้อมูล เป็นการใช้ทรัพยากรไม่คุ้มค่า สถานีเคลื่อนที่ที่ไม่ได้อยู่ในระหว่างรับส่งแพ็กเกตข้อมูล ควรใช้การเพจเพื่อหาตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่
6. ปัญหาเบื้องต้นที่ได้รับการแก้ไขบางส่วน ได้แก่ กระบวนการจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด (route optimization) เพื่อแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจากการจัดเส้นทางแบบสามเหลี่ยม โดยแจ้งการลงทะเบียน COA (binding update) ไปยังผู้ส่งต้นทาง จุดด้อยของการแก้ปัญหานี้คือ ต้องเปลี่ยนแปลงการทำงานของไอพีโพรโทคอลที่ผู้ส่งต้นทางด้วย

### 3.1 การปรับปรุงสมรรถนะของ Mobile IP ที่ให้มีผู้เสนอไว้

#### 3.1.1 Extensions of IETF Mobile IPv4 [5]

วิธีนี้มีแนวคิดในการแก้ปัญหา Mobile IP โดยใช้ความเข้าใจว่าระยะทางระหว่างผู้ส่งต้นทางกับสถานีเคลื่อนที่ไกลมาก ดังนั้นจึงใช้เวลานานในการส่งสัญญาณแจ้งการลงทะเบียน COA

งานวิจัย [2] จึงเสนอให้จัดโครงข่ายเป็นลำดับชั้น (Hierarchical Foreign Agents) เหมือนโครงสร้างต้นไม้ ประกอบด้วย FA ที่อยู่ลำดับชั้นบนสุด FA ที่อยู่ลำดับชั้นล่างสุด และ FA ที่อยู่ระหว่างทาง สำหรับ FA ระหว่างทางที่ติดต่อกับ FA ระดับชั้นบน 2 ตัวขึ้นไปจะเรียกว่า สวิตชิง FA (switching FA) เมื่อ FA ต้องการแจ้งการลงทะเบียน COA ตัวใหม่ ก็แจ้งกับสวิตชิง FA ระหว่างทางที่มีตำแหน่งคาบเกี่ยวระหว่างเส้นทางเก่าและเส้นทางใหม่ ไม่ต้องส่งการลงทะเบียน COA ไปถึง HA หรือผู้ส่งต้นทาง การแฮนด์ออฟจึงทำได้เร็วขึ้น

การจัดเส้นทางใหม่ทำได้เร็วขึ้นเพราะเส้นทางจะถูกเปลี่ยนในเส้นทางตั้งแต่สวิตชิง FA ระหว่างทาง ไปถึงสถานีเคลื่อนที่ ส่งผลให้แพ็กเก็ตสูญหายระหว่างการแฮนด์ออฟลดลงด้วยการแจ้งการลงทะเบียนไปยังสวิตชิง FA ระหว่างทาง ทำให้ลดสัญญาณที่ต้องส่งเข้าไปในระบบ เป็นการใช้ทรัพยากรคุ้มค่าขึ้น

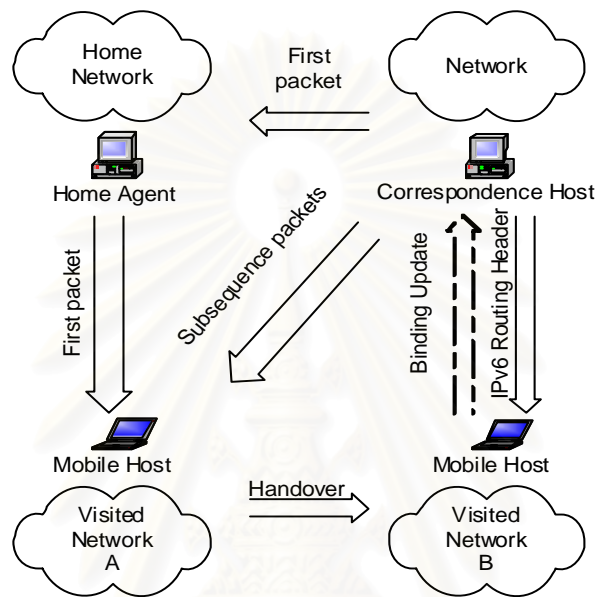
### 3.1.2 IETF Mobile IPv6 [6]

ส่วนรองรับการเคลื่อนที่ทั่วไปของ Mobile IPv6 มีพื้นฐานหลักเดียวกับใน Mobile IPv4 สิ่ง que เพิ่มขึ้นก็คือ ยอมให้สถานีเคลื่อนที่สร้าง COA ขึ้นมาเองจาก COA ตัวเดิม และการใช้กระบวนการสรรหาเลขที่อยู่อัตโนมัติ (automatic address configuration) โดยการใช้สับเน็ตพรีฟิกซ์ (subnet prefix) ที่จุดเข้าถึง (access point) คอยประกาศให้แก่สถานีฐาน มารวมกับเลขที่อยู่ของอุปกรณ์ผู้ใช้ปลายทาง (hardware address) Mobile IPv6 เพิ่มส่วนหัวของแพ็กเก็ตในส่วนปลายทาง และ ออปชัน (Destination Option Header) ประกอบด้วยส่วนการแจ้งลงทะเบียน COA ตัวใหม่ (binding update) และ ส่วนตอบรับการลงทะเบียน (Binding Acknowledgement) การเพิ่มส่วนหัวนี้ จะใช้กับโนดปลายทางของการเชื่อมต่อเท่านั้น สถานีเคลื่อนที่ที่สามารถแจ้งการลงทะเบียน COA (binding update) กับข่าวสารอื่นรวมไว้ภายในแพ็กเก็ตเดียวกัน และส่งไปยัง HA หรือคู่สายปลายทางอีกด้านหนึ่ง ผลของกระบวนการนี้คือ เมื่อตัวแทนได้รับแพ็กเก็ต ตัวแทนต้องตรวจสอบว่า มีการแจ้งข่าวสารการลงทะเบียนมากับแพ็กเก็ตข้อมูลหรือไม่ ในการแจ้งการลงทะเบียนหมายเลขไอพีตัวใหม่นี้ สถานีเคลื่อนที่ปลายทางสามารถส่งหมายเลขไอพีตัวใหม่ไปยัง HA เพื่อให้ HA ส่งแพ็กเก็ตที่รับได้จากผู้ส่งต้นทางมาให้สถานีเคลื่อนที่ได้ถูกตำแหน่ง ในขณะที่เดียวกันสถานีเคลื่อนที่ สามารถแจ้งหมายเลขไอพีตัวใหม่ไปยังคู่สายปลายทางอีกด้านหนึ่งเพื่อให้ส่งแพ็กเก็ตมายังสถานีเคลื่อนที่โดยตรง ไม่ต้องผ่าน HA การจัดเส้นทางแบบนี้เรียกว่า การจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุด (route optimization) เป็นทางเลือกของ Mobile IPv4

ถ้าพบว่าการแจ้งลงทะเบียน COA ตัวใหม่ (binding update) ต้นทางจะส่งแพ็กเก็ตไปยังที่อยู่ตามหมายเลขไอพีตัวใหม่ที่แจ้งมา โดยหัวของที่อยู่ที่เพิ่มขึ้นนี้ (extension header) จะบังคับให้ต้นทางต้องส่งแพ็กเก็ตไปสองฮอป (hop) คือส่งไปตามที่อยู่ตามหมายเลขไอพีใหม่ของ

สถานีเคลื่อนที่ เมื่อสถานีเคลื่อนที่ได้รับแล้วก็จะส่ง หอปัดไป ซึ่งเป็นหอปสุดท้าย คือที่ HA และ แพ็กเกตจะวนกลับมาที่สถานีเคลื่อนที่ เช่นนี้แพ็กเกตก็จะมีเส้นทางเหมือนกับสถานีเคลื่อนที่ที่อยู่ใน โครงข่ายบ้าน (แพ็กเกตถูกส่งมาจาก HA)

ถ้าไม่พบการแจ้งลงทะเบียน COA ใหม่ ผู้ส่งต้นทางจะส่งแพ็กเกตมาให้ที่ HA ปัจจุบัน จาก นั้น HA ส่งแพ็กเกตไปยังที่อยู่ตามเลขที่อยู่ COA (ดูรูปที่ 3.1)



รูปที่ 3.1 Binding update ใน Mobile IPv6 [6]

ข้อได้เปรียบของ Mobile IPv6 เมื่อเปรียบเทียบกับ Mobile IPv4 ได้แก่

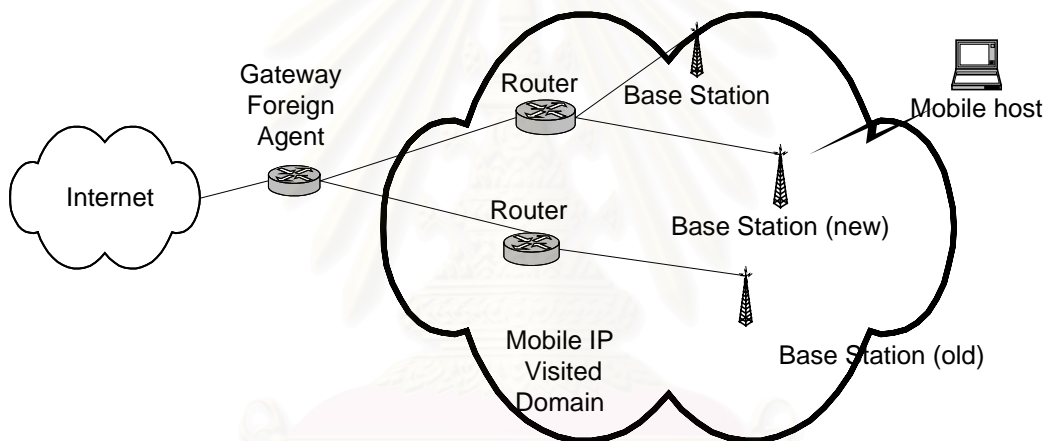
1. IPv6 สามารถจัดสรรหมายเลขไอพีได้มากกว่า IPv4
2. ไม่ต้องมี FA นอกจากนี้ยังปรับปรุงการแจ้ง COA โดยตรงกับโฮสต์ที่มีหน้าที่ส่งแพ็กเกตให้สถานีเคลื่อนที่ ทำให้ส่งแพ็กเกตได้เร็วขึ้น เพราะไม่จำเป็นต้องส่งแพ็กเกตอ้อมไปที่ HA ก่อน

3.1.3 Hierarchical Mobile IP [7] ได้เพิ่มส่วนของ Hierarchical foreign agent เพื่อแก้ ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำงานของ Mobile IP ในกรณีที่โครงข่ายมี FA และ HA อยู่ใกล้กันมาก แพ็กเกตจึงต้องใช้เวลาในการส่งซึ่งทำให้การลงทะเบียนทำได้ช้า ทำให้การส่งข้อมูลไม่ต่อเนื่องและมีแพ็กเกตสูญหาย ดังนั้นจึงกระจายการทำงานของ FA ไปยังเราเตอร์ตัวอื่นด้วย โดยที่ FA ตัวอื่นจะถูกจัดใหม่ให้มีโครงสร้างรูปต้นไม้ เราเตอร์ชั้นสูงสุดเรียกว่า Highest Foreign Agent (HFA) และกำหนดให้ตัวแทนที่อยู่ระหว่าง MN และ HA ซึ่งตัวแทนนี้อยู่ใกล้กับ MN มากที่สุด ให้เป็น Lowest Foreign Agent (LFA) กำหนดให้ตัวแทนที่อยู่ในเส้นทางระหว่าง HFA และ



LFA เป็น Intermediate Foreign Agent กำหนดให้ FA ที่มีตำแหน่งคาบเกี่ยวในเส้นทางเก่าและเส้นทางใหม่ระหว่าง HA และ MN เป็น Switching Foreign Agent

การจัดหน้าที่ของตัวแทนขึ้นในลักษณะนี้จะทำในส่วนของหลักการเท่านั้น (ไม่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเราเตอร์) ถ้าตัวแทนในลำดับชั้นอาจมีเพียง FA ตัวเดียวก็จะทำงานแบบ Mobile IP ดั้งเดิม หน้าที่ของตัวแทนต่าง ๆ คือ LFA คอยประกาศข่าวสารต่าง ๆ รวมทั้งที่อยู่ของ LFA และ ที่อยู่ของตัวแทนอื่นที่อยู่ในลำดับชั้นสูงขึ้นไป เมื่อ MN วิ่งเข้าโดเมนเป็นครั้งแรก MN ก็ส่งข้อความร้องขอลงทะเบียนให้กับ LFA จากนั้น LFA จะส่ง unacknowledge binding update และส่งข้อความร้องขอลงทะเบียนขึ้นไปยัง FA ที่ลำดับชั้นถัดไป ในการลงทะเบียนจะสร้างคู่ Binding ใน FA ทุกตัวที่อยู่บนเส้นทางระหว่าง MN ถึง HA (ทำ binding update ที่ HA ด้วย)



รูปที่ 3.2 สถาปัตยกรรมโครงข่าย Hierarchical Mobile IP [7]

เมื่อ MN แชนด์ออฟและส่งข้อความร้องขอลงทะเบียนโดยผ่านทาง LFA เมื่อ Switching FA ได้รับข้อความร้องขอลงทะเบียน และ LFA ตรวจสอบคู่ Binding Entry ของ MN ถ้าข้อความร้องขอลงทะเบียนนั้นถูกส่งมาจาก LFA ตัวอื่นก็จะตัดสินใจว่าการลงทะเบียนครั้งนี้เป็นส่วนหนึ่งของการแชนด์ออฟในท้องถิ่น (Local Handoff) ดังนั้นข้อความตอบรับการร้องขอลงทะเบียนจะถูกจ่ายออกโดย Switching FA และส่งกลับมาให้ FA

3.1.4 Mosquito Net Extension of Mobile IP [8] ได้เพิ่มส่วนขยายแก่ Mobile IP เพื่อสนับสนุนการเคลื่อนที่ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด และเพิ่มความยืดหยุ่นในการทำงานของ Mobile IP ส่วนขยาย Mosquito Net มีรายละเอียดดังนี้

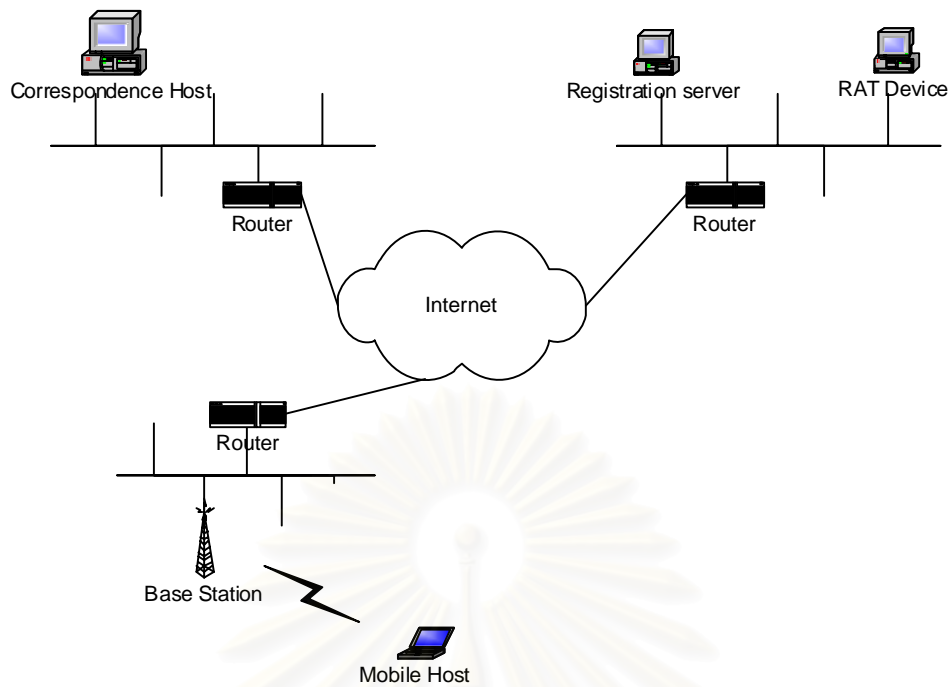


- เพิ่มตารางการจัดเส้นทางโดยทั่วไปด้วยตารางการจัดเส้นทาง Mobile IP แบบจำเพาะ (Mobile IP Specific Routing Table)
- กำหนดให้มีตัวแทนชั้นล่างสุดของ Mobile IP (Mobile IP Lowest Agent) ที่สามารถจัดสรร COA หลาย ๆ ตัวให้กับ MN ตัวเดียว และการจัดสรรนี้จะดำเนินการได้อย่างรวดเร็ว
- เพิ่มส่วนขยายโพรโตคอลสนับสนุนการลงทะเบียนระหว่าง MN และ HA

จากรายละเอียดข้างต้น ข้อแรก แพ็กเก็ตที่ใช้ใน Mobile IP มีส่วนหัวที่เพิ่มขึ้นโดยไม่จำเป็น เนื่องจากการส่งแพ็กเก็ตแบบเส้นทางอ้อมของ Mobile IP ในข้อที่สอง สามารถเลือกได้ว่าจะใช้การจัดเส้นทางแบบสามเหลี่ยม หรือการจัดเส้นทางแบบสองทิศทาง (bi-directional routing) เนื่องจากการจัดเส้นทางแบบ route optimization ของ Mobile IP จะใช้การไม่ได้กับตัวกรองในเราเตอร์ (router ingress filtering) นั่นคือ แพ็กเก็ตจะถูกดรอปปิ้ง ถ้าหมายเลขไอพีของที่อยู่ต้นทางไม่ตรงกันกับโทโปโลยี ถ้า MN สามารถเปลี่ยนไปใช้การทำอุโมงค์แบบ bi-directional ก็จะช่วยแก้ปัญหานี้ได้ แม้ว่าจะต้องเพิ่มส่วนหัวของแพ็กเก็ตก็ตาม

**3.1.5 Reverse Address Translation (RAT) [9]** แนวคิดของ RAT คือแก้ไขข้อจำกัดที่มีใน Mobile IP โดยมีเป้าหมายที่การแก้ปัญหาแบบลูกโซ่ของ Mobile IP ที่เกิดขึ้นเนื่องจากขาดแคลนการทำงานที่สนับสนุนการเคลื่อนที่ และการทำงานที่มีประสิทธิภาพไม่ดีนักของ Mobile IP การแก้ปัญหาของ RAT จะพิจารณาความเหมาะสมในแง่ของข้อดีข้อเสียสองข้อให้มีความสมดุลกัน ข้อแรก นั่นคือ การรักษาการต่อสำหรับการทำงานของที่ซีพี ข้อที่สองคือ จะต้องสามารถลดความยาวส่วนหัวของแพ็กเก็ตโดยที่แพ็กเก็ตยังคงถูกจัดส่งได้โดยตรง นอกจากนี้ผู้สร้าง RAT ยังอ้างว่าการทำงานของ Mobile IP นั้นขึ้นกับระบบปฏิบัติการ (เช่น การลงทะเบียน, การทำอุโมงค์ และอื่นๆ) ขณะที่การแก้ปัญหาของ RAT ไม่ได้ขึ้นกับระบบปฏิบัติการ

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



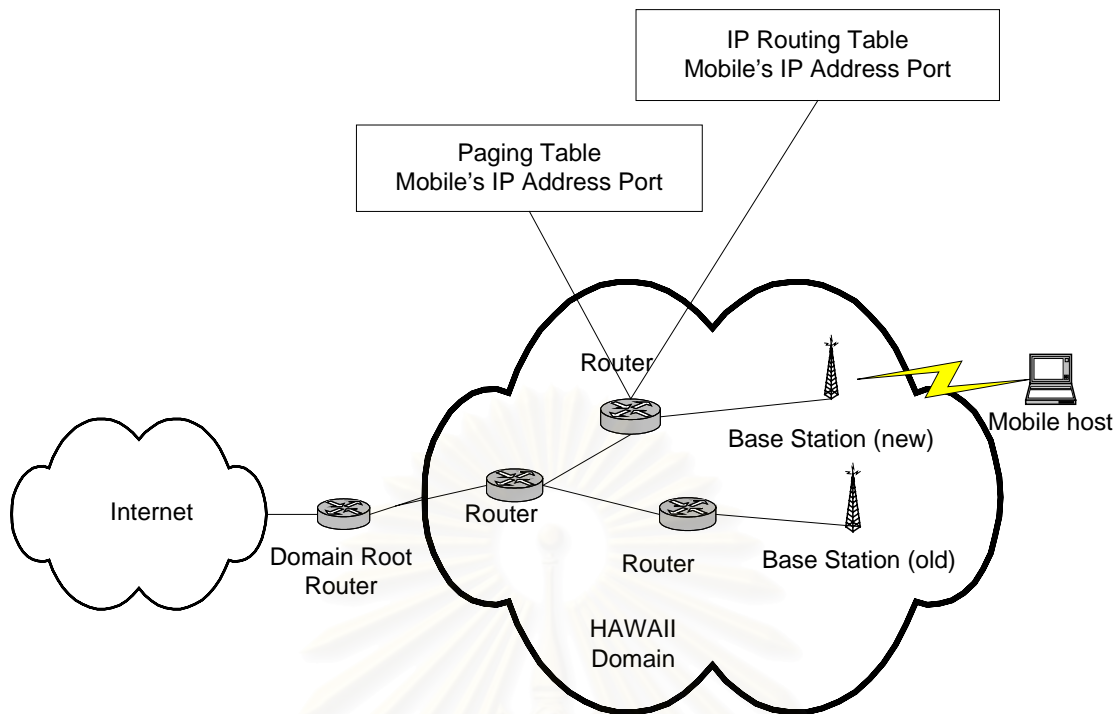
รูปที่ 3.3 โครงข่าย RAT [9]

RAT เสนอให้ MN มีที่อยู่ไอพีที่โครงข่ายบ้าน (IP home address) และจะได้รับที่อยู่ไอพีชั่วคราวเมื่ออยู่ในโครงข่ายต่างบ้าน มีการเพิ่มอุปกรณ์ของ RAT ไว้ที่โครงข่ายบ้านของ MN เพื่อทำหน้าที่สนับสนุนการลงทะเบียน โดยที่ไม่ต้องเปลี่ยนแปลงโครงข่ายเดิม ไม่จำเป็นต้องมี FA สิ่งที่เพิ่มขึ้นของ RAT คือ Network Address Translation (NAT) คือ อุปกรณ์โครงข่ายทั่ว ๆ ไป มิใช่กันแพร่หลายในปัจจุบัน ใช้แปลงที่อยู่ให้ตรงกับที่อยู่ปัจจุบันของ MN แล้วแปะที่อยู่นั้น ๆ เป็นส่วนขยายในที่อยู่ไอพี แต่ยังคงสนับสนุนด้านความปลอดภัยเมื่อมีการใช้ Firewall

การทำงานของ RAT มีรายละเอียดดังนี้ คือ สมมติว่ามี Correspondent Host ที่ต้องการส่งแพ็กเก็ตให้กับ MN ตามที่อยู่บ้านของ MN อุปกรณ์ของ RAT มีหน้าที่คอยรับแพ็กเก็ต และแปลงที่อยู่ของ MN ภายใน Home Network นั่นคือ กำหนดที่อยู่ปลายทางของแพ็กเก็ตให้เป็นที่อยู่ชั่วคราวของ MN และกำหนดที่อยู่ต้นทางให้เป็นที่อยู่ของอุปกรณ์ RAT ดังนั้นแพ็กเก็ตถูกส่งไปยัง MN ได้โดยตรงไม่ต้องทำอุโมงค์ การส่งแพ็กเก็ตในทิศทางกลับกัน MN จะส่งแพ็กเก็ตไปยังอุปกรณ์ RAT ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวแปลงที่อยู่และส่งแพ็กเก็ตให้กับผู้รับปลายทาง (Correspondent Host) ซึ่งกระบวนการนี้จะเรียกว่า Reverse Address Translation ข้อดีที่เห็นได้ชัดคือแก้ปัญหาการส่งเส้นทางอ้อมของ Mobile IP การส่งแพ็กเก็ตก็ไม่ต้องผ่าน HA (ดูรูปที่ 9) อย่างไรก็ตาม RAT ไม่ได้ระบุนำการทำแฮนด์ออฟระหว่างสถานีฐานสองสถานีที่มีขอบเขตการให้บริการ

ไม่เท่ากัน (vertical handoff) ข้อเสียคือการใช้งาน RAT จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์ของ RAT เพิ่มเติม

**3.1.6 Handoff Aware Wireless Access Internet Infrastructure (HAWAII) [10]** ถูกเสนอเพื่อแก้ปัญหาของ Mobile IP ที่มีการเพิ่มส่วนหัวสำหรับการควบคุมเพิ่มมากขึ้น (High Control Overhead) และการเคลื่อนที่ในท้องถิ่นมีเวลาหน่วงค่อนข้างนาน HAWAII จึงเสนอการปรับปรุงโพรโตคอลของทรัพยากร (เช่น RSVP) เมื่อ MN ได้รับ COA ใหม่ในแต่ละครั้งที่มีการแฮนด์ออฟก็ต้องการจองทรัพยากร HAWAII ได้เสนอให้มีการขยายการทำงานของ Mobile IP ออกไป และได้กำหนดนิยามของโดเมนขึ้น ให้ล้อมกรอบในส่วนของการเข้าถึงโครงข่ายไร้สายภายใต้สิทธิการเข้าถึงแบบเดี่ยว ภายในโดเมนจะประกอบไปด้วยเราเตอร์และจุดเข้าถึง (Access Point) ทุกส่วนจะถูกกำหนดให้สามารถรองรับการเคลื่อนที่ได้โดยการสนับสนุนของสัญญาณควบคุมพิเศษของ HAWAII (HAWAII Specific Signaling) เพื่อปรับปรุงการจัดเส้นทางและการส่งแพ็กเก็ต เราเตอร์ที่อยู่ระหว่างโดเมนของ HAWAII กับโครงข่ายหลักจะมีชื่อว่า Foreign Domain Root Router ใน Access Point แต่ละจุดสามารถทำหน้าที่เป็น FA ของ Mobile IP ได้ ลักษณะเด่นของ HAWAII คือการแบ่งแยกการแฮนด์ออฟภายในโดเมน กับการแฮนด์ออฟระหว่างโดเมน ให้เป็นคนละกรณีกัน มีกระบวนการทำงานที่ต่างกัน กรณีแรกจะถูกสนับสนุนโดย HAWAII และกรณีที่สองจะทำงานแบบ Mobile IP



รูป 3.4 สถาปัตยกรรมโครงข่าย HAWAII [10]

การแก้ปัญหาแบบ HAWAII คือ MN จะมีโดเมนบ้าน (Home Domain) ไว้ 1 แห่ง (เช่นเดียวกับโครงข่ายบ้านใน Mobile IP) และ MN มีที่อยู่ไอพีชั่วคราวแบบยูนิคาสต์ในโดเมนบ้าน ซึ่ง HA นี้ก็จะมีการทำงานแบบ HAWAII หรือไม่ก็ได้ เมื่อ MN เคลื่อนที่ไปอยู่ในโครงข่ายต่างบ้านภายในโดเมน HAWAII แล้ว MN จะได้รับที่อยู่ไอพีหมายเลขหนึ่งและใช้ที่อยู่นี้ติดต่อกับที่ MN ยังอยู่ในโดเมนเดิม ไม่ต้องอาศัยกรรมวิธีแปลงที่อยู่ใด ๆ และตัวแทนบ้านของ Mobile IP ก็ไม่จำเป็นต้องรับรู้ที่ MN เคลื่อนที่ไปที่ใด การสื่อสารกับ MN จะอาศัยการค้นหาเส้นทางแบบพลวัตขึ้นโดเมนต่างบ้านของ HAWAII การเข้าถึงโครงข่าย HAWAII จึงไม่ขึ้นอยู่กับการจัดเส้นทางของไอพี สำหรับการสื่อสารภายในโดเมนต่างบ้านของ HAWAII จะจัดเส้นทางโดยใช้ตารางจัดเส้นทางของเราเตอร์ที่เลือกใช้อยู่ในขณะนั้น ดังนั้นการเข้าถึงโครงข่ายของ HAWAII จะไม่ขึ้นกับการจัดเส้นทางตามสับเน็ตของที่อยู่ไอพี แต่จะใช้ที่อยู่ไอพีเป็นเหมือนหมายเลขประจำตัวของโนด แต่ไม่ได้ใช้สำหรับบอกตำแหน่งของโนด

จากรายละเอียดข้างต้น กลไกสนับสนุนการเคลื่อนที่แบบโกลบอลของ HAWAII จะกลับไปใช้การทำงานของ Mobile IP ในขั้นตอนแรกจะพิจารณาก่อนว่า MN อยู่ที่ตำแหน่งใดภายในโดเมนบ้านของ HAWAII ที่ MN จะใช้ที่อยู่ไอพีแบบยูนิคาสต์ (unicast IP address) อยู่หมายเลขหนึ่ง เมื่อเริ่มเปิดเครื่อง MN จะส่งข้อความร้องขอลงทะเบียนในแบบของ Mobile IP ไปยังจุดเข้าถึง เมื่อจุดเข้าถึงได้รับข้อความร้องขอนี้ ก็จะส่งข้อความสร้างเส้นทางของ HAWAII

(HAWAII path setup message) ไปยังเราเตอร์รากของโดเมน (domain root router) ซึ่งเราเตอร์ตัวนี้ถูกกำหนดให้เป็นดีฟอลต์เราเตอร์ไว้ก่อนหน้าแล้ว เราเตอร์แต่ละตัวที่อยู่ในเส้นทางระหว่าง MN และเพิ่มรายการของเส้นทางจัดส่งแพ็กเกต (forwarding entry) ถึง MN ไว้ที่เราเตอร์รากของโดเมน สุดท้ายเราเตอร์รากของโดเมนจะส่งข้อความตอบรับไปยังจุดเข้าถึง และจุดเข้าถึงจะส่งข้อความตอบรับการลงทะเบียนในแบบของ Mobile IP ให้กับ MN แพ็กเกตที่มีปลายทางส่งถึง MN จะถูกส่งไปให้ที่เราเตอร์รากของโดเมนตามหมายเลขสับเน็ตที่ปรากฏในที่อยู่ไอพีของ MN เมื่อแพ็กเกตมาถึงจุดเข้าถึงของโดเมนแล้ว ก็จะถูกจัดส่งให้ถึง MN โดยอาศัยการเลือกเส้นทางจาก forwarding entry ที่ถูกบันทึกไว้ในเราเตอร์ที่อยู่ระหว่างจุดเข้าถึงกับตัว MN

ขณะที่ MN เคลื่อนที่อยู่ในโดเมนของ HAWAII และได้เคลื่อนที่ไปยังจุดเข้าถึงแห่งใหม่ MN จะลงทะเบียนกับจุดเข้าถึง ด้วยการส่งข้อความขอลงทะเบียนไปยังจุดเข้าถึงที่ใหม่ จากนั้นจุดเข้าถึงที่ใหม่จะส่งข้อความแจ้งเส้นทางใหม่ของ HAWAII (HAWAII path setup update) เพื่อสั่งให้จุดเข้าถึงที่เดิมหาเส้นทางไปยังจุดเข้าถึงที่ใหม่ และเพิ่ม forwarding entry ของที่อยู่ไอพีของ MN ไว้ที่จุดเข้าถึงที่ใหม่ จากนั้นข้อความ path setup update จะถูกส่งไปให้กับเราเตอร์ที่อยู่ระหว่างทางตัวถัดไป เราเตอร์ตัวนี้จะทำงานตามปกติ ถ้าเราเตอร์ที่รับข้อความ path setup update เป็นเราเตอร์ที่มีตำแหน่งคาบเกี่ยวกันระหว่างเส้นทางเก่ากับเส้นทางใหม่ (crossover router) มันก็จะแก้ไข forwarding entry ให้มีปลายทางในการส่งแพ็กเกตให้กับ MN ไปที่จุดเข้าถึงที่ใหม่ และเส้นทางเก่าก็จะหมดอายุไป กระบวนการแจ้งเส้นทางใหม่นี้มีชื่อว่า “forwarding path setup” เนื่องจากข้อความ path setup update ของ HAWAII ถูกส่งจากจุดเข้าถึงที่ใหม่ไปยังจุดเข้าถึงที่เก่าแล้ว จุดเข้าถึงที่เก่าจะส่งแพ็กเกตให้กับจุดเข้าถึงที่ใหม่ในช่วงเวลาหนึ่งเท่านั้นก่อนที่แพ็กเกตจะส่งมาที่จุดเข้าถึงที่ใหม่ โดยไม่ต้องผ่านจุดเข้าถึงที่เก่า วิธีนี้จะเหมาะสมในกรณีที่ MN สื่อสารกับโนดอื่นเพียงโนดเดียว วิธีอื่นนอกจากนี้ได้แก่ วิธีที่ชื่อว่า “non-forwarding” ซึ่งจะเหมาะสมกับ MN ที่สื่อสารกับโนดอื่น มากกว่าหนึ่งโนดในคราวเดียวกัน วิธี non-forwarding จะส่งข้อความ path setup update จากจุดเข้าถึงที่ใหม่ ไปยังจุดเข้าถึงที่เก่าโดยผ่าน crossover router จากนั้นแพ็กเกต จะถูกส่งถึง MN โดยผ่าน crossover router แต่ไม่ต้องผ่านจุดเข้าถึงที่เก่า

เพื่อให้ MN สามารถทำงานได้ต่อกับ Mobile IP ได้ ดังนั้น MN จะได้รับ co-locate CoA จากโดเมนต่างบ้านของ HAWAII (HAWAII Foreign Domain) มากขึ้น โหนดที่กำลังสื่อสารกับ MN (Corresponding Host : CH) จะส่งแพ็กเกตมายังที่อยู่บ้าน (ในโพรโทคอล Mobile IP) ของ MN โดยตรง เมื่อ HA รับแพ็กเกตแล้วจะทำอุโมงค์ส่งแพ็กเกตมาให้ MN ที่เราเตอร์รากในโดเมนต่างบ้านของ HAWAII เมื่อแพ็กเกตถูกส่งเข้าไปในโดเมนแล้วก็จะถูกจัดเส้นทางตาม forwarding entry ไปถึงตัว MN



การทำงานของ HAWAII จะแยกแยะสถานะของผู้ใช้ออกเป็นสองประเภท คือสถานะตื่นตัว (active) กับสถานะอยู่นิ่ง (idle) ตามสภาพของ MN สำหรับผู้ใช้สถานะตื่นตัว ระบบจะทราบจุดเข้าถึงตัว MN สำหรับ MN ในสถานะอยู่นิ่งระบบจะทราบเพียงกลุ่มของจุดเข้าถึงเท่านั้น เมื่อมีแพ็กเก็ตที่ส่งให้ MN ที่อยู่ในสถานะอยู่นิ่ง โดเมนจะเพจเรียก MN เพื่อหาตำแหน่งของจุดเข้าถึง MN

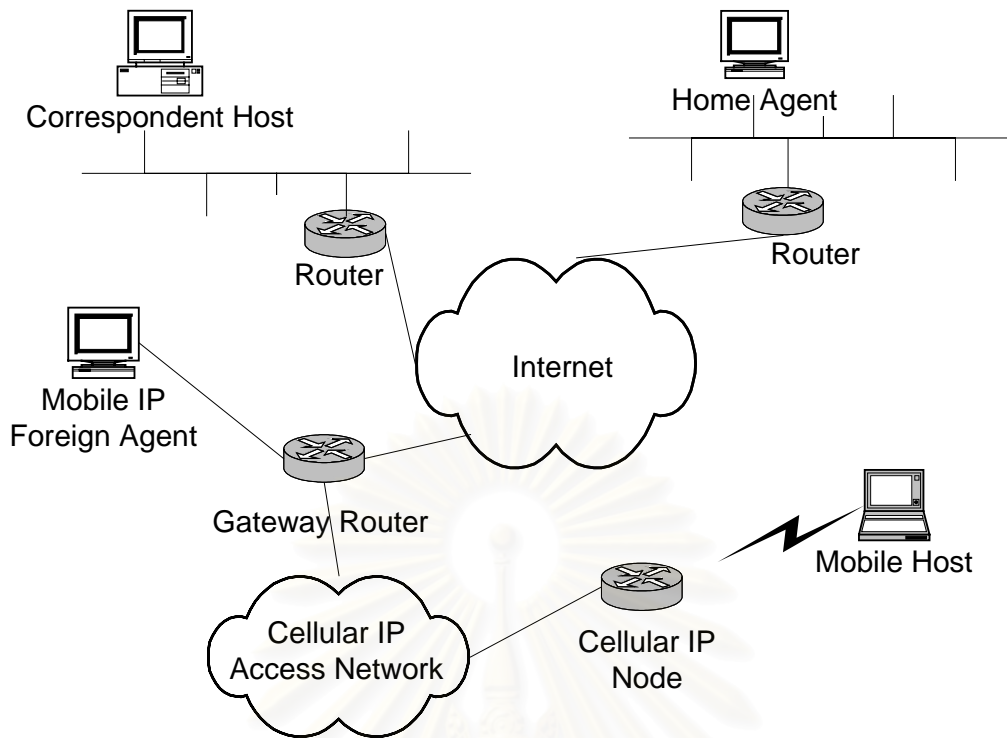
**3.1.7 Cellular IP [11]** เสนอการแก้ปัญหาโดยคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมของโครงข่ายทั่วไป ที่ต้องมีการรับส่งข้อมูลมากมาย และผู้ใช้ไม่ปรารถนาให้การสื่อสารถูกรบกวน ผู้สร้าง Cellular IP อ้างว่า Mobile IP ไม่ใช่ทางแก้ปัญหาที่ดีที่สุด เนื่องจาก Mobile IP เหมาะกับการเคลื่อนที่ในระดับมาโครเท่านั้น Mobile IP เหมาะกับสภาพแวดล้อมที่โนดเคลื่อนที่ช้า ๆ Mobile IP ไม่ได้ออกแบบมาเพื่อรองรับ MN จำนวนมาก เพราะว่าทุก ๆ ครั้งที่เกิดการแฮนด์ออฟ FA ของ Mobile IP จะสร้าง binding update ซึ่งไม่ได้แยกแยะว่า MN อยู่ในสถานะใด ซึ่งเป็นการใช้ทรัพยากรไม่คุ้มค่า

การแก้ปัญหาที่ Cellular IP เสนอคือ แยกประเภทของการเคลื่อนที่ให้เป็นลำดับชั้น (Hierarchical Mobility) โดยแบ่งออกเป็นโกลบอล (Global) กับ โลคอล (Local) ถ้าเป็นการแฮนด์ออฟแบบโกลบอล จะใช้ Mobile IP เพื่อสนับสนุนการแฮนด์ออฟ ในการแฮนด์ออฟแบบโลคอลจะทำงานตามที่ได้เสนอใน Cellular

สำหรับโครงข่ายแบบ Cellular IP โนดเคลื่อนที่จะถูกกำหนดหมายเลขเฉพาะตัว (Unique Identifier) ซึ่งจะใช้สำหรับจัดเส้นทางแพ็กเก็ตโดยไม่จำเป็นต้องมีที่อยู่ไอพีแบบ CoA นั่นคือให้ IP Address เป็น Unique Identifier ของ MN เช่น Home Address ซึ่งจะช่วยให้ MN แฮนด์ออฟในแบบของ Mobile IP ได้ อย่างไรก็ตาม MN อาจไม่จำเป็นต้องทำงานร่วมกับ Mobile IP เลยเพราะการทำงานของ Cellular IP ไม่ได้ใช้การจัดเส้นทางแบบไอพีตามปกติ

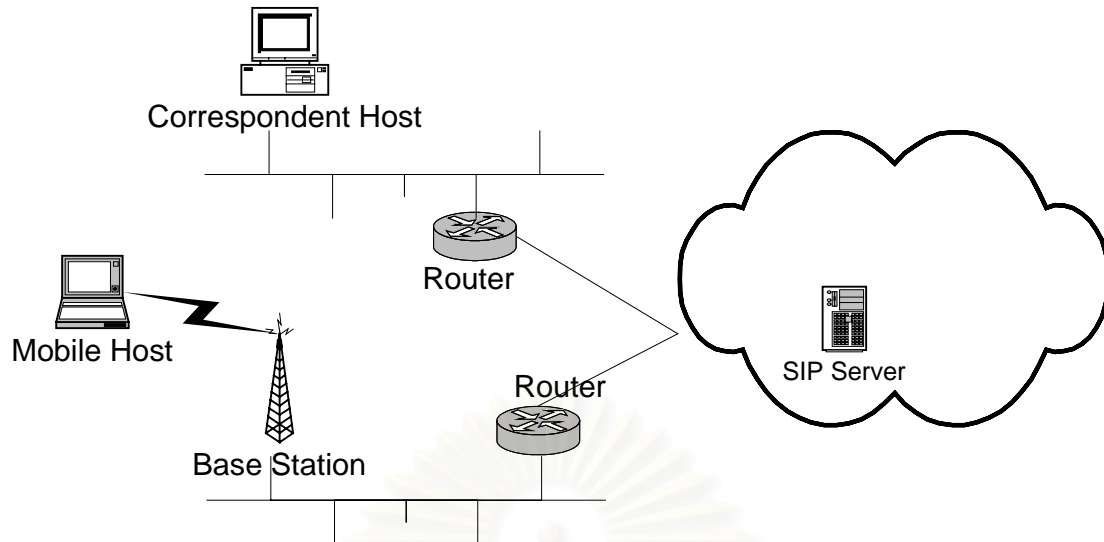
การสนับสนุนการเคลื่อนที่ของ Cellular IP ได้เพิ่มเกตเวย์เราเตอร์ (Gateway Router) และ โนดพิเศษของ Cellular IP เข้าไปในอุปกรณ์โครงข่าย Gateway Router ต่อกับใจกลางของโครงข่ายอินเทอร์เน็ต (internet backbone) และโครงข่ายของ Cellular IP โนดของ Cellular IP จะตั้งอยู่ภายในโครงข่ายเข้าถึง Cellular IP (Cellular IP Access Network Node) และสามารถใช้นัดนี้เป็นจุดเข้าถึงในชั้นโครงข่าย ซึ่งคอยทำงานตามที่ Cellular IP กำหนด ไม่จำเป็นต้องทำงานกับอุปกรณ์เหล่านั้นจะต้องทำงานกับอุปกรณ์ไร้สายได้





รูป 3.5 สถาปัตยกรรมโครงข่าย Cellular IP [11]

3.1.8 ส่วนขยายสนับสนุนการเคลื่อนที่ SIP (Extended SIP Mobility) [12] ส่วนขยาย SIP เสนอการปรับปรุงส่วนสนับสนุนการเคลื่อนที่ด้วยสัญญาณควบคุมในชั้นประยุกต์ (Application Layer) ใน Session Invitation Protocol (SIP) [9] ผู้สร้าง SIP อ้างว่าการทำงานของ Mobile IP ในการสื่อสารด้วยทราฟฟิกแบบเวลาจริง (real time traffic) ซึ่งส่วนใหญ่จะส่งบนโพรโทคอลยูดีพี การแฮนด์ออฟควรจะใช้เวลาน้อย ใช้เวลาในการส่งแพ็กเกตน้อย และใช้แบนด์วิดท์สูง แต่ Mobile IP มีการจัดเส้นทางแบบสามเหลี่ยม จึงมีเวลาหน่วงสูง และมีส่วนหัวของแพ็กเกตเพิ่มขึ้นจากการทำอุโมงค์ ทำให้ใช้แบนด์วิดท์สิ้นเปลือง SIP ตั้งสมมติฐานให้โนดเคลื่อนที่สามารถแสดงตัวได้ด้วยที่อยู่ของผู้ใช้ (เช่น user @ sip) ที่อยู่เฉพาะนี้จะถูกจับคู่กับที่อยู่ไอพีของ MN ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องใช้ที่อยู่บ้านแบบที่ Mobile IP ต้องใช้ โดยที่ SIP จะมีตัวแทนอยู่ใกล้กับผู้ใช้ และมีอุปกรณ์ให้บริการของ SIP (SIP server หรือ SIP proxy server) อยู่ในโครงข่าย



รูปที่ 3.6 สถาปัตยกรรมโครงข่าย SIP [12]

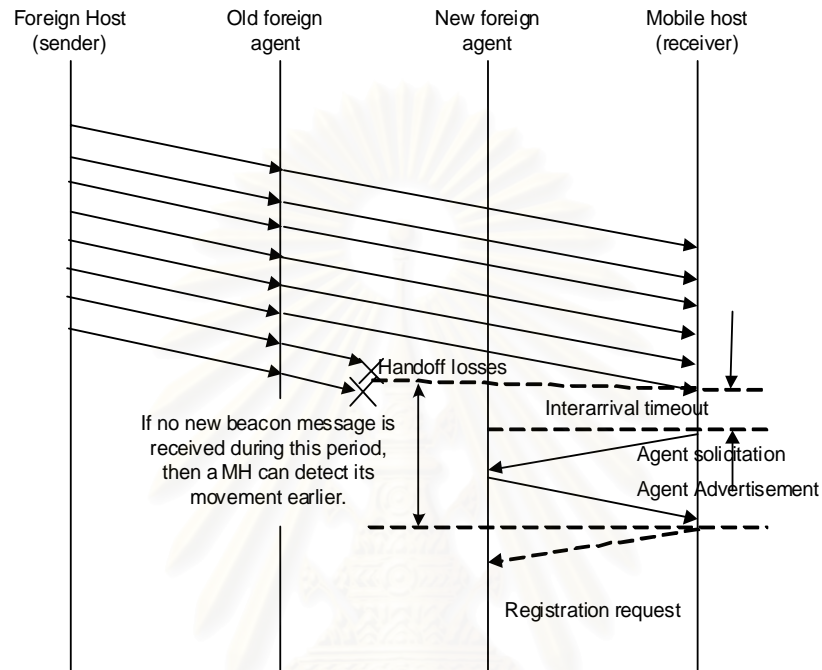
โพรโทคอล SIP จะสนับสนุนการเคลื่อนที่ของผู้ใช้โดย ให้ผู้ใช้ที่ต้องการเริ่มการสื่อสาร ส่งข้อความเชิญไปยัง SIP server ซึ่ง server นี้จะถามหาที่อยู่ไอพีของโหนดที่ส่งคำเชิญ โดยจะถามไปยังเซิร์ฟเวอร์บอกตำแหน่ง (location server) และจะส่งคำเชิญให้กับโหนดที่ถูกเรียก คำเชิญจะแจ้งที่อยู่ไอพีของโหนดที่เชิญมาด้วย และเริ่มสื่อสารกับหมายเลขไอพีนั้น ๆ ถ้าผู้ใช้เคลื่อนที่เปลี่ยนตำแหน่ง ก็แจ้งตำแหน่งใหม่ที่ location server

อย่างไรก็ตาม SIP ไม่ได้รองรับการใช้โพรโทคอลที่ซีพี ดังนั้นส่วนขยาย SIP นี้จะใช้งานกับโพรโทคอลยูดีพีได้ ดังนั้นผู้สร้าง SIP จึงแนะนำให้ใช้ Mobile IP ในกรณีที่ใช้โพรโทคอลที่ซีพี

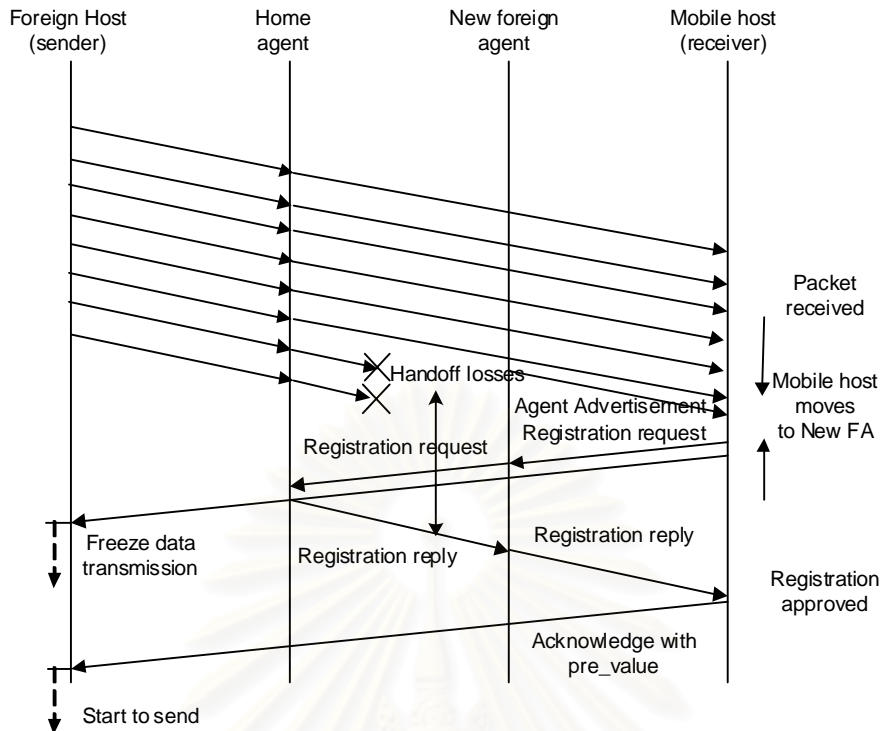
### 3.2 งานวิจัยที่มีผู้เสนอไว้เกี่ยวกับการปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟในโพรโทคอล Mobile IP

งานวิจัย [4] ได้เสนอให้มีการส่งแพ็กเก็ตไปไว้ที่สถานีฐานสถานีใหม่ เมื่อสถานีเคลื่อนที่ไม่ได้รับแพ็กเก็ตเป็นเวลานาน โดยระยะเวลาที่ใช้ในการรอแพ็กเก็ตนี้อาศัยการคำนวณที่มีพื้นฐานมาจากการหาค่า retransmission timeout (เวลาในการรอจนกว่าจะมีการส่งซ้ำเมื่อผู้รับปลายทางไม่ได้รับแพ็กเก็ตที่ส่งไปครั้งแรก) หากสถานีเคลื่อนที่รอจนหมดเวลานี้แล้ว ก็จะต้องตัดสินใจทันทีว่าต้องเริ่มแฮนด์ออฟแล้ว จึงส่งสัญญาณซิกแนลลิงเพื่อร้องขอการต่อใหม่ไปยังสถานีฐานที่สถานีเคลื่อนที่วิ่งเข้าไป นอกจากนี้ในขณะที่ขาดการติดต่อกับสถานีฐานเดิม แต่การต่อทางโครงข่ายกับสถานีฐานสถานีใหม่ยังไม่เสร็จสิ้น (การต่อในชั้นโครงข่ายจะใช้เวลานานกว่า การต่อในชั้นเชื่อมโยงข้อมูล) การทำงานของโพรโทคอลชั้นเคลื่อนย้าย (TCP) จะมีปัญหา ดังนั้นในงานวิจัย [4] จึงเสนอให้หยุด

การสื่อสารทั้งหมดไว้ชั่วคราวจนกว่าการต่อทางโครงข่ายกับสถานีฐานสถานีใหม่จะเสร็จสิ้น จากผลจำลองการทำงานพบว่าสามารถลดจำนวนแพ็กเก็ตสูญหาย และลด handoff latency ได้ (ช่วงเวลานับจากที่ได้รับแพ็กเก็ตสุดท้ายจากสถานีฐานสถานีเดิม จนถึงเวลาที่ได้รับแพ็กเก็ตตัวแรกจากสถานีฐานสถานีใหม่) รายละเอียดการทำงานแสดงดังรูปที่ 3.7 และ 3.8



รูปที่ 3.7 ไตอะแกรมทางเวลาของการตรวจวัดการแฮนด์ออฟ [4]



รูปที่ 3.8 โดอะแกรมทางเวลาแสดงการหยุดส่งแพ็กเก็ตชั่วคราวระหว่างการแฮนด์ออฟ [4]

### 3.3 โพรโทคอลการแฮนด์ออฟในโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบเซลลูลาร์ [13]

ยกตัวอย่างโพรโทคอลที่ใช้สำหรับแฮนด์ออฟพื้นฐานในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบเซลลูลาร์ 3 แบบ ได้แก่ การแฮนด์ออฟที่ควบคุมโดยโครงข่าย (network-controlled handoff : NCHO) การแฮนด์ออฟด้วยความช่วยเหลือของสถานีเคลื่อนที่ (mobile-assisted handoff : MAHO) และ การแฮนด์ออฟที่ควบคุมโดยสถานีเคลื่อนที่ (mobile-controlled handoff : MCHO)

#### 3.3.1 Network-Controlled Handoff

โพรโทคอล NCHO โครงข่ายจะทำหน้าที่ตัดสินใจโดยประเมินจากการวัดความแรงของสัญญาณที่สถานีเคลื่อนที่ไปยังสถานีฐานข้างเคียง บางครั้งโครงข่ายจะสร้างการต่อโดยตรงระหว่างสถานีฐานสถานีเดิมกับสถานีฐานสถานีใหม่ และลดระยะเวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟให้น้อยที่สุด โดยทั่วไป กระบวนการแฮนด์ออฟ (ในที่นี้หมายถึง การส่งสัญญาณซิกแนลลิง การสลับช่องสัญญาณ และการสวิตชิงทางโครงข่าย) จะใช้เวลาประมาณ 100 - 200 มิลลิวินาที ซึ่งจะทำให้เกิดเสียงคลิกที่ผู้สนทนา แม้จะเป็นสัญญาณรบกวนรูปแบบหนึ่ง แต่ก็ยังนับได้ว่าอยู่ในคุณภาพที่ยอมรับได้ ข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพสัญญาณสำหรับผู้ใช้นั้นจะเก็บไว้ที่ศูนย์สวิตชิงในระบบ

โทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Switching Center) ข้อมูลเหล่านี้ใช้สำหรับการจัดสรรทรัพยากร (resource allocation) อย่างไรก็ตาม เวลาประวิงที่เกิดจากการแฮนด์ออฟโดยรวมของระบบทั้งหมดอาจสูงราว 5 - 10 วินาที ดังนั้นการแฮนด์ออฟชนิดนี้จึงไม่เหมาะกับสิ่งแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงเร็ว และมีผู้ใช้จำนวนมาก

NCHO ใช้ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคที่หนึ่ง เช่น ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ AMPS ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ TACS และ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ NMT

### 3.3.2 Mobile-Assisted Handoff

โพรโทคอล MAHO มีการแบ่งการควบคุมออกเป็นสองส่วน โดยสถานีเคลื่อนที่มีหน้าที่ในการวัดสัญญาณ และตัว MSC มีหน้าที่ตัดสินใจ ระยะเวลาประวิงโดยรวมคือ 1 วินาทีโดยประมาณ ตัวอย่างของการแฮนด์ออฟแบบ MAHO ได้แก่ ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จีเอสเอ็ม

### 3.3.3 Mobile-Controlled Handoff

ในโพรโทคอล MCHO การควบคุมทั้งหมดเป็นหน้าที่ของสถานีเคลื่อนที่ การแฮนด์ออฟชนิดนี้ใช้เวลาเพียงเล็กน้อย ใช้เวลาโดยรวม 0.1 วินาที เหมาะกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบไมโครเซลลูลาร์ (microcellular systems) สถานีเคลื่อนที่ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับคุณภาพสัญญาณของผู้ใช้คนอื่น แต่การแฮนด์ออฟจะก่อสร้างสัญญาณรบกวนให้กับผู้ใช้อื่น สถานีเคลื่อนที่จะวัดความแรงสัญญาณจากสถานีฐานรอบข้าง วัดระดับสัญญาณรบกวนในช่องสัญญาณทุกช่อง การแฮนด์ออฟจะเริ่มขึ้นถ้าความแรงสัญญาณที่สถานีฐานปัจจุบันต่ำกว่าสถานีฐานอื่นในระดับที่กำหนดไว้ สถานีเคลื่อนที่จะส่งสัญญาณร้องขอไปยังสถานีฐานสถานีใหม่เพื่อขอต่อ

MCHO เป็นการแฮนด์ออฟที่มีรูปแบบกระจายศูนย์มากที่สุด ซึ่งจะทำให้การตัดสินใจแฮนด์ออฟกระทำได้รวดเร็วที่สุด ลดภาระของ MSC เพราะไม่ต้องดำเนินการแฮนด์ออฟให้กับสถานีเคลื่อนที่ทุกตัวที่รับผิดชอบอยู่

MCHO ใช้กับระบบโทรศัพท์ไร้สายมาตรฐานยุโรป (European standard for cordless telephones : DECT) โดย สถานีเคลื่อนที่และสถานีฐานคอยดูช่องสัญญาณปัจจุบัน และสถานีฐานจะรายงานผลการวัด ได้แก่ ความแรงสัญญาณ และอัตราบิดเบือนผลาด ให้กับสถานีเคลื่อนที่ รวมทั้งแจ้งอัตราส่วนกำลังสัญญาณคลื่นพาห์ต่อกำลังสัญญาณแทรกสอด (C/I) ในช่องสัญญาณว่างให้กับสถานีเคลื่อนที่ด้วย และตัดสินใจแฮนด์ออฟโดยสถานีเคลื่อนที่ ทั้งการแฮนด์ออฟในสถานีฐานเดียวกัน และการแฮนด์ออฟข้ามสถานีฐานใช้ระยะเวลาการแฮนด์ออฟ 100 มิลลิวินาทีโดยประมาณ

### 3.4 อัลกอริทึมในการแฮนด์ออฟ (handoff algorithms)

#### 3.4.1 การแฮนด์ออฟที่ขึ้นกับความแรงของสัญญาณ (Signal strength based hard handoff algorithms)

- การแฮนด์ออฟชนิดนี้สถานีเคลื่อนที่ติดต่อกับสถานีฐานเพียงสถานีเดียว
- การแฮนด์ออฟแบบพื้นฐานทำได้ง่ายและไม่สิ้นเปลืองทรัพยากร การตัดสินใจขึ้นอยู่กับค่าฮิสเตอร์เรซิสเท่านั้น
- การแฮนด์ออฟทั่วไปใช้พารามิเตอร์ในการตัดสินใจแฮนด์ออฟเพียง 2 ค่า คือ ค่าฮิสเตอร์เรซิส หรือ การแฮนด์ออฟมาร์จิน (handoff margin) และ ขนาดของหน้าต่างชั่วคราว หรือ ช่วงของข้อมูลที่นำมาเฉลี่ย
- ขนาดของหน้าต่างชั่วคราวที่เหมาะสมที่สุดคำนวณได้จาก ทฤษฎีค่าเฉลี่ยแอนะล็อก

#### 3.4.2 การแฮนด์ออฟที่ขึ้นกับคุณภาพและระดับของสัญญาณ (Quality and signal level based handoff algorithms)

- ตัดสินใจแฮนด์ออฟเมื่อระดับสัญญาณวิทยุในข่ายเชื่อมโยงขาขึ้น หรือระดับสัญญาณวิทยุในข่ายเชื่อมโยงขาลงที่รับได้จากสถานีฐานเป้าหมาย มีค่าสูงเกินจุดเริ่มเปลี่ยน (threshold)
- ค่าเฉลี่ยการวัดของคุณภาพหรือระดับสัญญาณ จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับชุดของจุดเริ่มเปลี่ยนซึ่งเป็นตัวกำหนดการตัดสินใจแฮนด์ออฟ
- ผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยการวัดกับค่าจุดเริ่มเปลี่ยนจะถูกนำมาใช้ในการคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนค่าใหม่

#### 3.4.3 การแฮนด์ออฟที่ขึ้นกับงบประมาณของกำลัง (Power budget based handoffs)

การแฮนด์ออฟที่ขึ้นกับงบประมาณของกำลัง จะพิจารณาว่าสถานีฐานสถานีใหม่ที่จะแฮนด์ออฟเข้าไปหาจะต้องมีความสูญเสียในวิถี (path loss) น้อยที่สุด รวมทั้งคุณภาพและระดับสัญญาณมีค่าสูงกว่าค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่กำหนดไว้ด้วย

#### 3.4.4 การแฮนด์ออฟที่ปรับตัวตามความเร็วสถานีเคลื่อนที่ (Velocity adaptive handoff algorithms)

- เมื่ออัลกอริทึมทั่วไปยังคงให้สมรรถนะต่ำเมื่อสถานีเคลื่อนที่ด้วยความเร็วไม่แน่นอน สถานการณ์เช่นนี้ทำให้ยากที่จะคำนวณค่าจุดเริ่มเปลี่ยนที่เหมาะสมที่สุดได้



- การคำนวณหาจุดเริ่มเปลี่ยนจากสัญญาณที่รับมาเป็นระยะ เลือกขนาดช่วงในการรับสัญญาณมาคำนวณตัดเป็นช่วงสั้น ๆ โดยให้สอดคล้องกับความเร็วของสถานีเคลื่อนที่จะทำให้การหาค่าเหมาะสมที่สุดของค่าจุดเริ่มเปลี่ยน กระทำได้ดีขึ้น
- ลำดับวิธีในการประมาณความเร็วของสถานีเคลื่อนที่เป็นสิ่งที่ต้องกระทำเพื่อให้ช่วงเวลาที่ใช้สำหรับการแฮนด์ออฟอยู่ในค่าที่รับได้ (ถ้าสถานีเคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูง การแฮนด์ออฟก็ควรจะเร็วสอดคล้องกัน)
- การทำนายความเร็วสถานีเคลื่อนที่ เช่น อัลกอริทึมอัตราข้าม (Crossing rate algorithm) มีพื้นฐานบนการคำนวณอัตราที่สัญญาณข้ามค่าเฉลี่ยของระดับสัญญาณในช่วงที่เกิดเฟดดิ้งแบบเร็ว (fast fading)
- การทำนายความเร็วสถานีเคลื่อนที่ยังสามารถทำได้โดยหาค่าอัตสหสัมพันธ์ (autocorrelation) เมื่อสามารถทำนายความเร็วสถานีเคลื่อนที่ได้แล้วก็จะนำมาปรับขนาดของชุดค่าความแรงสัญญาณที่จะนำมาเฉลี่ย นั่นคือ สถานีเคลื่อนที่เร็ว ก็ปรับขนาดหน้าต่างให้เล็กลง
- การแฮนด์ออฟแบบปรับตัวตามความเร็วสถานีเคลื่อนที่นี้ใช้สำหรับโครงข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่บริเวณที่มีปริมาณการใช้วงจรสื่อสารสูง และใช้ได้กับบริเวณที่ประกอบด้วยสถานีฐานขนาดต่างกัน เนื่องจากขนาดของสถานีฐานมีผลกระทบกับการเปลี่ยนแปลงขนาดสัญญาณด้วย ยิ่งสถานีฐานเล็ก ขนาดของสัญญาณจะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงเร็วขึ้น อีกนัยหนึ่ง สถานีเคลื่อนที่ที่เคลื่อนที่เร็วในสถานีฐานขนาดเล็กจะทำให้ต้องเพิ่มสัญญาณชிகแนลลิ่ง และทำให้จำนวนคู่สายที่ใช้งานอยู่ถูกรอปรามากขึ้น

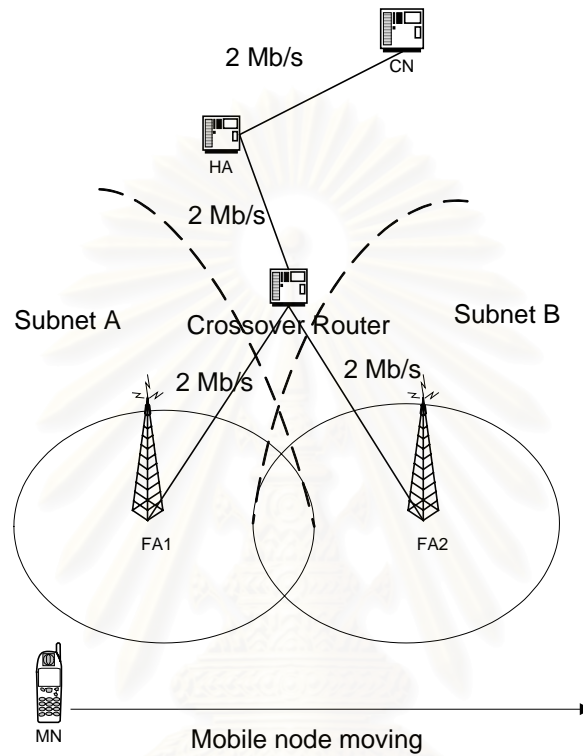
#### 3.4.5 การแฮนด์ออฟที่ขึ้นกับอัตราส่วนของกำลังสัญญาณนำร่องต่อกำลังสัญญาณแทรกสอด (Pilot-to-interference based handoff algorithms)

ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่มาตรฐานซีดีเอ็มเอ (CDMA) ใช้อัตราส่วนของกำลังสัญญาณนำร่องต่อกำลังสัญญาณแทรกสอด จากสถานีฐานหลาย ๆ สถานี เพื่อใช้ในการตัดสินใจแฮนด์ออฟ

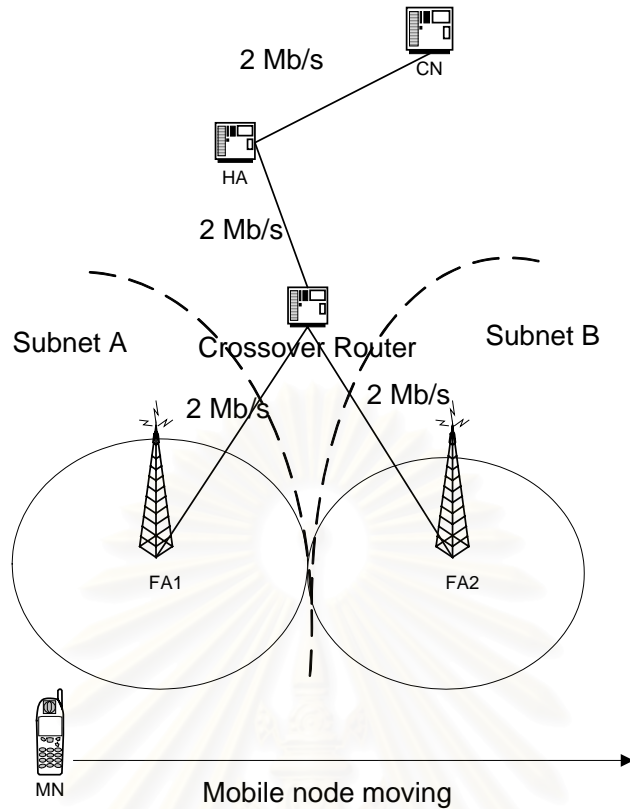
### 3.5 การปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟในโพรโทคอล Mobile IP ที่เสนอในวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้เสนอวิธีปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟด้วยการเริ่มแฮนด์ออฟแบบปรับตัวได้ แนวคิดได้แรงบันดาลใจมาจากผลการทดสอบเบื้องต้น โดยจำลองการทำงานของ Mobile IPv4 บนคอมพิวเตอร์ ผู้วิจัยได้เลือกใช้โปรแกรม Network Simulator หรือ NS2 [14] ซึ่ง

เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในงานวิจัยด้านโครงข่ายสื่อสารข้อมูล ในการทดสอบได้กำหนดขอบเขตการให้บริการของ FA ทั้งสองตัวซ้อนทับกันเป็นระยะทาง 30 เมตร MN เริ่มเปิดเครื่องที่บริเวณใกล้เคียงกับ HA และลงทะเบียนที่อยู่กับบ้านกับ HA สังเกตผลที่ได้จากการแฮนด์ออฟระหว่าง FA สองตัว พบว่า สามารถสื่อสารได้อย่างต่อเนื่องในระหว่างแฮนด์ออฟ และแพ็กเก็ตไม่สูญหาย



รูปที่ 3.9 แบบจำลองโครงข่ายที่มีขอบเขตการให้บริการระหว่าง FA สองตัวซ้อนทับกัน 30 เมตร

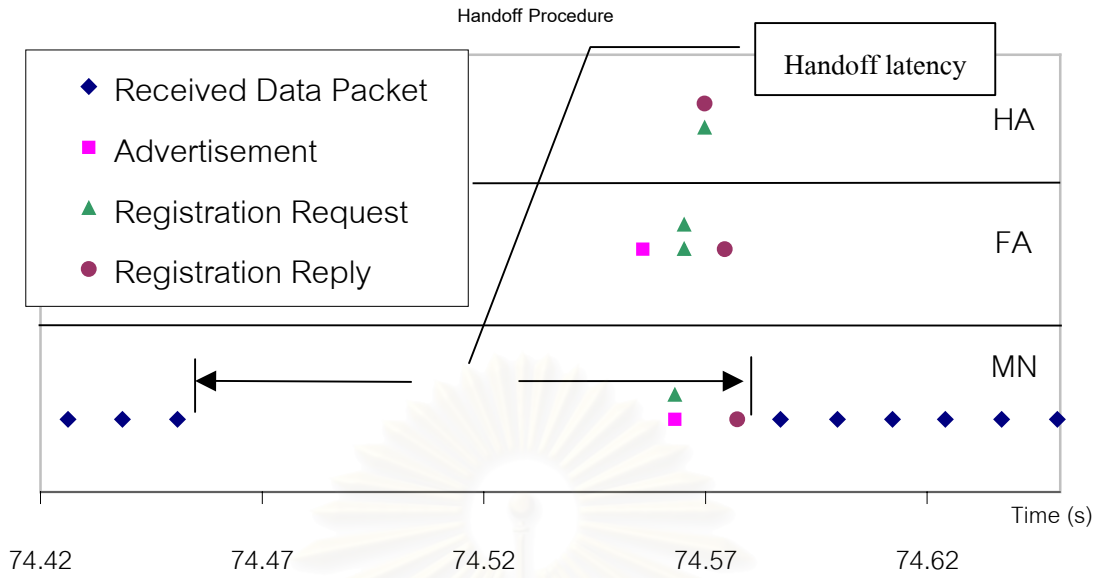


รูปที่ 3.10 แบบจำลองโครงข่ายที่ไม่มีขอบเขตให้บริการที่ซ้อนทับกันระหว่าง FA สองตัว

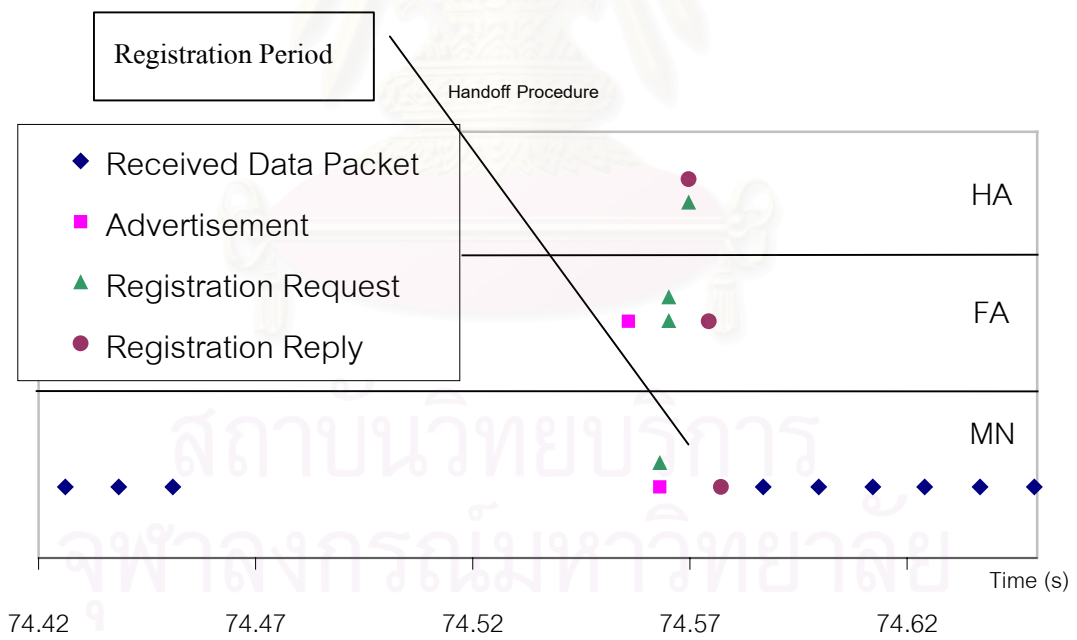
เมื่อทดสอบกับแบบจำลองที่มีขอบเขตให้บริการใน FA ทั้งสองตัวไม่ซ้อนทับกัน พบว่า MN มีแพ็กเก็ตสูญหายเป็นจำนวนมากในขณะที่ MN ไม่สามารถสื่อสารกับตัวแทนได้

ถ้า MN สามารถเริ่มส่งข้อความขอลงทะเบียนในเวลาที่เหมาะสม จะทำให้ MN สามารถรับส่งข้อมูลได้ต่อเนื่องในระหว่างแฮนด์ออฟ การปรับปรุงสมรรถนะจึงจำเป็นต้องทำนายช่วงเวลาที่ต้องใช้ลงทะเบียนเพื่อการแฮนด์ออฟด้วย ช่วงเวลาที่ต้องใช้ในการลงทะเบียนแบ่งออกเป็นสองส่วนด้วยกันคือ ช่วงเวลาที่ต้องใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ว่า MN ได้เคลื่อนที่ออกจากตัวแทนตัวเดิมแล้วหรือไม่ และช่วงเวลาที่ต้องใช้ในการลงทะเบียนกับตัวแทนแห่งใหม่ Handoff latency เป็นไปตามสมการที่ (1.1) ในเนื้อหาบทที่ 1

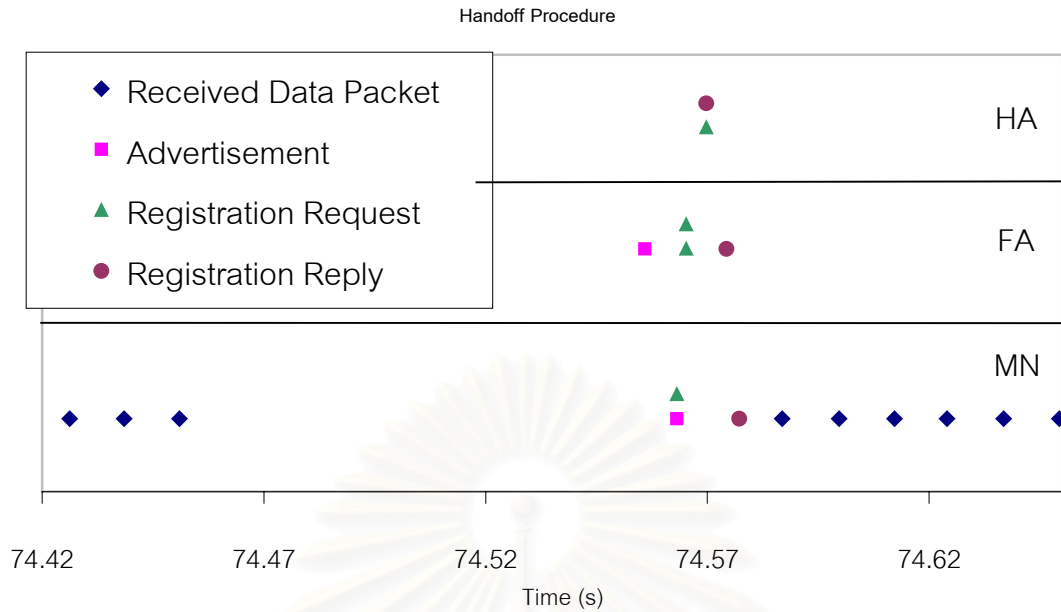
$$\text{Handoff latency} = t_{\text{md}} + t_{\text{reg req}} \quad (1.1)$$



รูปที่ 3.11 Handoff latency



รูปที่ 3.12 Movement Detection Period และ Registration Period



รูปที่ 3.13 แพ็กเก็ตที่ใช้ในการลงทะเบียน

วิทยานิพนธ์นี้จึงได้เสนอการเริ่มแฮนด์ออฟในเวลาที่เหมาะสม นั่นคือ ให้ MN ส่งข้อความร้องขอลงทะเบียนก่อนที่ MN จะวิ่งผ่านขอบเซลล์ของ FA ตัวเดิม เป็นเวลาเท่ากับช่วงเวลา Handoff latency ดังนั้น จึงต้องมีการทำนายค่า Handoff latency เพื่อให้สามารถกำหนดเวลาที่เหมาะสมกับการเริ่มส่งข้อความร้องขอลงทะเบียนของ MN ถ้า Handoff latency ที่ทำนายได้มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการจำลองแบบก็จะทำให้เริ่มแฮนด์ออฟเร็วเกินไป เป็นการใช้ทรัพยากรไม่คุ้มค่า ถ้าค่าที่ทำนายได้มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการจำลองแบบ จะทำให้เริ่มแฮนด์ออฟช้าเกินไป ส่งผลให้ขาดการติดต่อไปชั่วขณะ และมีแพ็กเก็ตสูญหายในขณะที่ขาดการติดต่อ อย่างไรก็ตาม สิ่งที่ต้องคำนึงถึงเกี่ยวกับการทำนายค่า Handoff latency คือ ค่าคลาดเคลื่อนจากการทำนาย และความซับซ้อนของกระบวนการที่ใช้ทำนาย ถ้าผลจากการทำนายมีความคลาดเคลื่อนสูงก็จะทำให้การปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟทำได้ไม่ดีเท่าที่ควร แต่ถ้าต้องการความแม่นยำมากขึ้นในการทำนายค่า กลไกที่ใช้ก็ต้องมีความซับซ้อนขึ้น บางครั้งอาจจะต้องมีการวัดค่าเพิ่มเติม หรือเพิ่มอุปกรณ์พิเศษเข้าไปในโครงข่าย ทำให้การนำไปใช้งานจริงเป็นไปได้ยาก สิ้นเปลืองทรัพยากร และไม่คุ้มค่าแก่การลงทุน ดังนั้น วิทยานิพนธ์นี้เสนอวิธีการทำนายค่า Handoff latency ที่มีความซับซ้อนน้อย ไม่ต้องการอุปกรณ์พิเศษ ไม่ต้องวัดค่าเพิ่มเติม แต่สามารถปรับปรุงสมรรถนะของการแฮนด์ออฟได้จริง การแฮนด์ออฟในวิธีที่เสนอทั้งสองวิธีเป็นการแฮนด์ออฟที่ถูกระตุ้นด้วย Agent Advertisement เช่นเดียวกับวิธีที่เปรียบเทียบทั้งสองวิธีคือ ECS และ LCS

**การทำนายค่า Handoff latency วิธีที่ 1** จากรูปที่ 3.12 และ 3.13 จะเห็นได้ว่าช่วงเวลา  
 ที่ MN ไม่สามารถรับส่งแพ็กเก็ตข้อมูลได้นั้นส่วนใหญ่เป็นช่วงเวลาที่ MN เสียไปกับการรอ Agent  
 Advertisement จาก FA ตัวใหม่ (หรือที่เรียกว่า Movement Detection Period) ดังนั้น ในการ  
 ทำนายค่า Handoff latency วิธีที่ 2 นี้ จึงเสนอให้เริ่มแฮนด์ออฟก่อนที่ MN วิ่งพ้นขอบเซลล์เป็น  
 เวลาเท่ากับคาบเวลาในการประกาศ agent advertisement บวกกับช่วงเวลาที่ใช้ในสำหรับส่ง  
 แพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนจนได้รับแพ็กเก็ตตอบรับลงทะเบียนในครั้งล่าสุดกับ FA ตัวเดิมก่อนที่  
 จะเริ่มแฮนด์ออฟเข้าหา FA ตัวใหม่ เหตุที่เลือกค่าทำนายเช่นนี้เนื่องจากช่วงเวลาที่ต้องใช้ในการ  
 ตรวจสอบการเคลื่อนที่ของ MN นั้นมีค่ามากที่สุดเท่ากับคาบเวลาที่ใช้ในการประกาศ agent  
 advertisement การประมาณช่วงเวลาที่ใช้สำหรับการลงทะเบียนซึ่งเลือกเอาช่วงเวลาที่ MN เคย  
 ใช้ลงทะเบียนในครั้งล่าสุดนั้น เป็นการลดภาระที่ต้องหาช่วงเวลาในการส่งแพ็กเก็ตไปกลับ (round  
 trip time : rtt) เนื่องจาก การส่งแพ็กเก็ตพิเศษเข้าไปในโครงข่ายเพื่อวัด rtt ระหว่าง MN กับ FA ตัว  
 ใหม่ นั้นเป็นการเพิ่มโหนดให้กับโครงข่าย และเพิ่มภาระให้กับ MN ในการส่งแพ็กเก็ตพิเศษ การ  
 ประมาณค่า rtt ในการลงทะเบียนกับ FA ตัวใหม่ด้วยค่า rtt ที่ได้จากการลงทะเบียนกับ FA ตัวเดิม  
 แม้ว่าการประมาณค่าในลักษณะนี้จะมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง แต่ก็ก็เป็นค่าที่ได้จากการลง  
 ทะเบียนครั้งล่าสุด และสามารถนำมาใช้เพื่อปรับปรุงสมรรถนะในการแฮนด์ออฟให้ดีขึ้นได้ ในผล  
 การทดสอบได้ลองเปลี่ยนค่า rtt ในเส้นทางไปยัง FA ตัวเดิมมีค่าแตกต่างกับค่า rtt ในเส้นทางส่ง  
 แพ็กเก็ตไปยัง FA ตัวใหม่ แต่ยังคงให้สมรรถนะของการแฮนด์ออฟที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี  
 อื่นที่ได้มีผู้เสนอไว้

**การทำนายค่า Handoff latency วิธีที่ 2** เสนอการเริ่มทดสอบกับโครงข่ายที่ต้องการ  
 ปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟ โดยการทดสอบให้ MN วิ่งข้ามเซลล์จาก FA ตัวหนึ่งไปยัง FA  
 อีกตัวหนึ่ง ทำการทดสอบซ้ำหลาย ๆ ครั้ง ในการทดสอบจะเปลี่ยนคุณลักษณะบางประการของ  
 โครงข่าย เช่น ความเร็วของโหนดที่กำลังเคลื่อนที่ขณะเกิดการแฮนด์ออฟ เวลาประวิงในข่ายเชื่อมโยง  
 ข้อมูล เพื่อเก็บค่า Handoff latency ที่สอดคล้องกับค่าคุณลักษณะของสิ่งแวดล้อมภายใน  
 โครงข่ายที่กำหนดไว้ เพื่อเก็บค่าเฉลี่ยของ handoff latency ไว้ เมื่อ MN เคลื่อนที่อยู่ภายในเซลล์  
 FA จะทราบตำแหน่ง ทิศทาง และความเร็วของ MN ได้จากกระบวนการหาตำแหน่งของ MN ซึ่งได้  
 จากงานวิจัยอื่นที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นในปัจจุบัน ข้อมูลด้านตำแหน่ง ทิศทาง และความเร็วของ MN จะ  
 ถูกนำมาหาค่าทำนายของ Handoff latency ในตาราง ทำให้ทราบว่า MN ควรจะเริ่มแฮนด์ออฟ  
 เมื่อไร MN จะเริ่มส่งข้อความร้องขอลงทะเบียนก่อนจะพ้นขอบเซลล์เป็นเวลาเท่ากับค่าเฉลี่ยของ  
 Handoff latency ที่ได้ทดสอบไว้ก่อน รวมกับเศษหนึ่งส่วนสองของคาบการประกาศ Agent



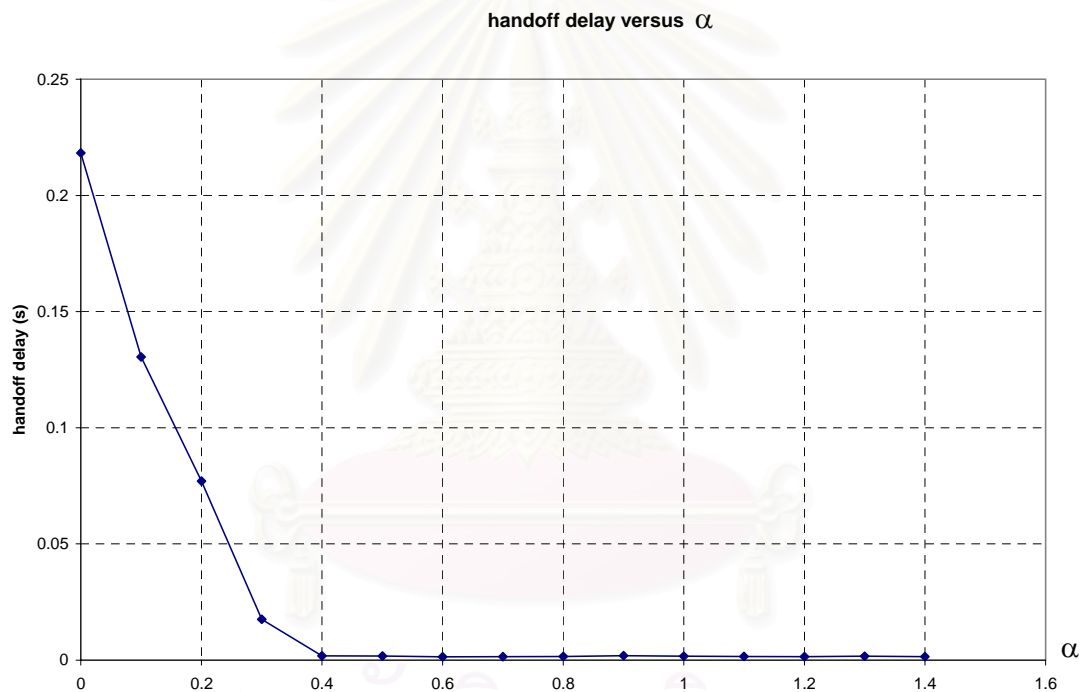
Advertisement ช่วงเวลาที่ MN เริ่มแฮนด์ออฟก่อนวิ่งผ่านขอบเขตการให้บริการของตัวแทนเป็นไปตามสมการที่ 3.1

$$T_{\text{regist}} = \overline{T}_{\text{handoff latency}} + \alpha * T_{\text{adv}} \quad 3.1$$

ในที่นี้  $T_{\text{regist}}$  แทนช่วงเวลาเริ่มจาก MN เริ่มส่งข้อความร้องขอลงทะเบียนจนถึงเวลาที่ MN ได้รับข้อความตอบรับการลงทะเบียน

$\overline{T}_{\text{handoff latency}}$  แทนค่าเฉลี่ยของ handoff latency ที่ได้จากการเก็บค่าไว้ก่อนการใช้งาน เพื่อเป็นข้อมูลในการเริ่มแฮนด์ออฟในเวลาที่เหมาะสม

$T_{\text{adv}}$  แทนคาบในการประกาศ Agent Advertisement



รูปที่ 3.14 ค่า handoff delay ที่ได้จากการจำลองแบบ เทียบกับ  $\alpha$

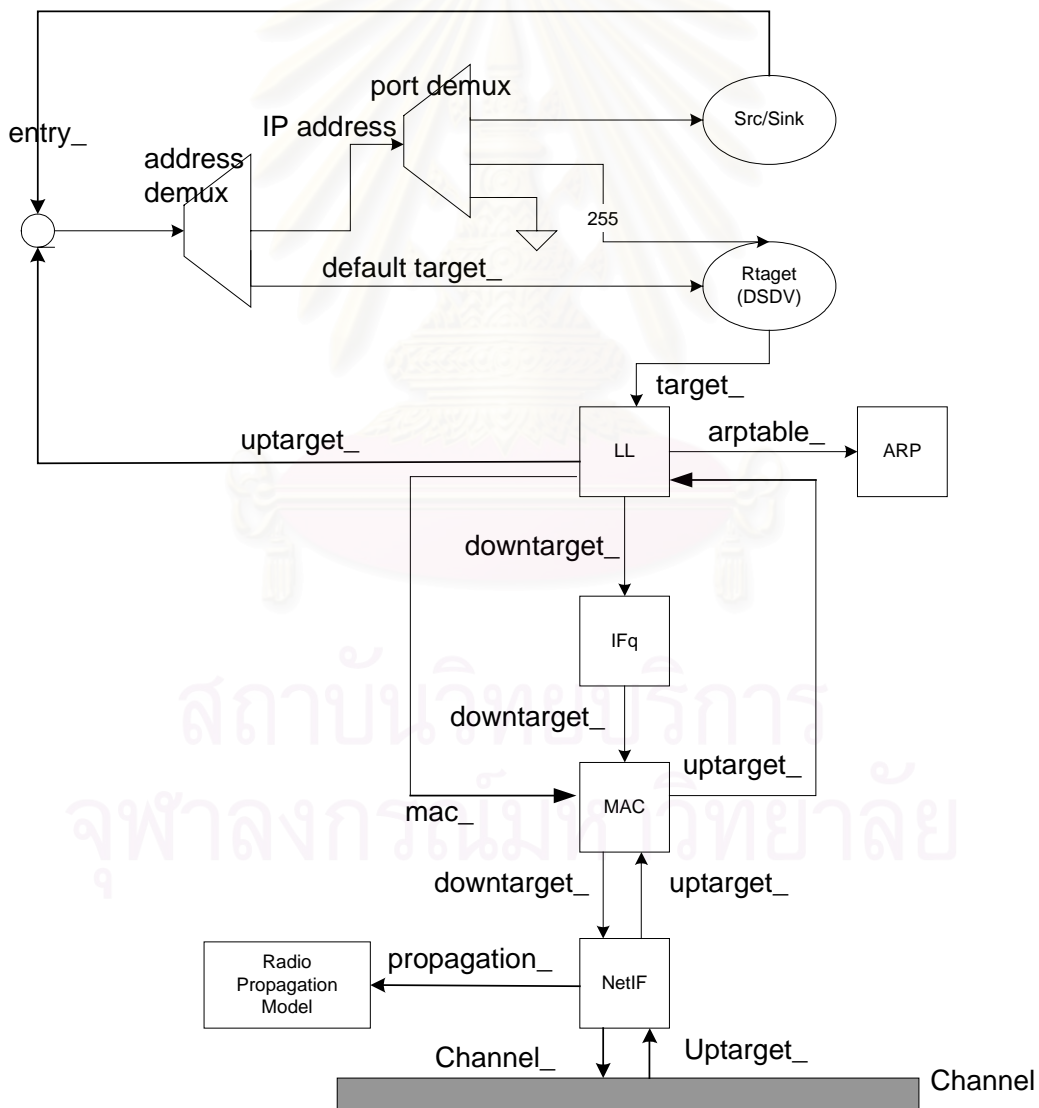
จากรูปที่ 3.14 พบว่าเมื่อจำลองแบบโดยกำหนดให้  $\alpha$  มีค่ามากกว่าเท่ากับ 0.4 จะทำให้ได้ค่า handoff delay คงที่ และเป็นค่าที่ต่ำสุด ดังนั้น วิทยานิพนธ์จึงเลือกใช้ค่า  $\alpha$  เท่ากับ 0.5

## บทที่ 4

### แบบจำลองและวิธีการจำลองแบบ

#### 4.1 ข้อกำหนดในการจำลองแบบ

- องค์ประกอบในการจำลองการทำงานภายใน MN ประกอบด้วย ส่วนที่ทำงานในชั้นเชื่อมโยงข้อมูล ซึ่งใช้โพรโทคอล ARP ส่วนของ Interface Queue (IFQ) การทำงานในชั้นแมค (Mac Layer : MAC) ที่ส่งแพ็กเก็ตต่อไปในชั้นข่ายเชื่อมโยงข้อมูลโครงสร้างของกลไกภายในโนดเคลื่อนที่แสดงตามรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 โครงสร้างการทำงานของโนดเคลื่อนที่ตามกลไกที่สร้างในโปรแกรมจำลองแบบ NS [12]

2. แบบจำลองที่ใช้ประมาณกำลังของสัญญาณวิทยุที่สถานีเคลื่อนที่รับได้ แปรผกผันกับระยะห่างระหว่างสถานีฐานกับสถานีเคลื่อนที่ ถ้าระยะห่างนี้น้อยกว่า Cross over distance จะใช้แบบจำลอง Friss free space propagation ถ้าระยะห่างมากกว่า Cross over distance จะใช้แบบจำลอง two ray ground ถ้าระยะห่างเท่ากับ Cross over distance การแทนค่าในแบบจำลอง Friss free space กับการแทนค่าในแบบจำลอง two ray ground จะได้ผลการคำนวณเท่ากัน การคำนวณค่า cross over distance อธิบายได้ดังสมการที่ (4.1)

$$\text{Cross over distance} = \frac{4\pi \cdot h_t \cdot h_r}{\lambda} \quad (4.1)$$

โดยที่  $\pi = 3.14159265359$

$h_t$  คือความสูงของสายอากาศแพร่กระจายสัญญาณวิทยุ

$h_r$  คือความสูงของสายอากาศรับสัญญาณวิทยุ

$\lambda$  คือความยาวคลื่นวิทยุ

- Friss free space propagation model เป็นแบบจำลองการแพร่กระจายที่สมมติว่าไม่มีสิ่งกีดขวางในเส้นทางระหว่างสถานีฐานที่ส่ง และสถานีเคลื่อนที่ที่รับสัญญาณวิทยุ การประมาณค่ากำลังสัญญาณที่สถานีเคลื่อนที่ที่รับสัญญาณวิทยุได้ เมื่ออยู่ห่างจากสถานีฐานเป็นระยะ  $d$  เป็นไปตามสมการที่ (4.2)

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (4.2)$$

โดยที่  $P_r$  คือกำลังของสัญญาณวิทยุที่สถานีเคลื่อนที่รับได้ มีหน่วยเป็นวัตต์

$P_t$  คือกำลังส่งคลื่นวิทยุจากสถานีฐาน มีหน่วยเป็นวัตต์

$G_t$  คืออัตราขยายของสายอากาศส่งสัญญาณวิทยุ

$G_r$  คืออัตราขยายของสายอากาศรับสัญญาณวิทยุ

$\lambda$  คือความยาวคลื่นวิทยุ

$d$  คือระยะระหว่างสถานีเคลื่อนที่กับสถานีฐาน

$L$  คือการสูญเสียในระบบ อื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวกับการแพร่กระจายสัญญาณ

- Two ray ground propagation model เป็นแบบจำลองกำลังสัญญาณที่รับได้ในสถานีเคลื่อนที่ โดยพิจารณาการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุระหว่างสถานีฐานกับสถานีเคลื่อนที่ ในวิถีตรง และวิถีสะท้อนพื้นดิน การประมาณค่ากำลังสัญญาณที่สถานีเคลื่อนที่ที่รับสัญญาณวิทยุได้ เมื่ออยู่ห่างจากสถานีฐานเป็นระยะ  $d$  เป็นไปตามสมการที่ (4.3)

$$P_r(d) = P_t G_t G_r \frac{h_t^2 h_r^2}{d^4} \quad (4.3)$$

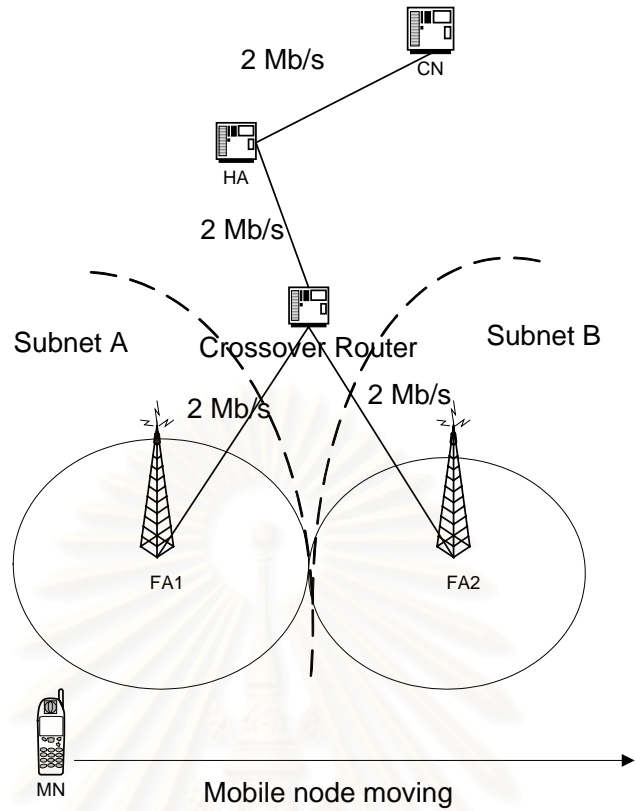
3. กำลังส่งในการแพร่กระจายสัญญาณวิทยุจากสถานีฐานเท่ากับ 24.5 dBm
4. ค่าอัตราขยายของสายอากาศส่งสัญญาณวิทยุ  $G_t$  เท่ากับ 1.0
5. ค่าอัตราขยายของสายอากาศรับสัญญาณวิทยุ  $G_r$  เท่ากับ 1.0
6. ค่าการสูญเสียในระบบ  $L$  เท่ากับ 1.0
7. ค่าเริ่มเปลี่ยนของกำลังที่ระบบสามารถตรวจพบสัญญาณได้ (Carrier Sense threshold) เท่ากับ  $-78.07$  dBm
8. ค่าเริ่มเปลี่ยนของกำลังที่ตัดสินว่าระบบรับสัญญาณได้ถูกต้อง (Receive power threshold) เท่ากับ  $-64.37$  dBm
9. ความถี่สัญญาณวิทยุเท่ากับ 914.0 MHz
10. แบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณเท่ากับ 2 MHz
11. กรณีของ two-ray ground model กำหนดให้ สายอากาศส่ง และสายอากาศรับ สัญญาณสูง 1.5 เมตร
12. โพรโทคอลในชั้น MAC ใช้ MAC 802.11 ตามมาตรฐานโครงข่ายพื้นที่ท้องถิ่นไร้สาย
13. ใช้โพรโทคอลยูดีพีในการรับส่งแพ็กเก็ตข้อมูลและแพ็กเก็ตควบคุมในชั้นเคลีออนย้าย
14. สับเน็ตเวิร์กที่มีรายละเอียดอยู่ในส่วนของ Prefix Length Extension ในข่าวสารประกาศ จากเราเตอร์ (ICMP Router Advertisement)
15. เราเตอร์จะต้องไม่ประกาศ Agent Advertisement พร้อมกัน (synchronize) เพื่อให้ ข่าวสารที่ประกาศไม่ชนกัน
16. ค่า Lifetime ในข่าวสารประกาศจากเราเตอร์ มีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 3 วินาที เมื่อ สถานีเคลื่อนที่ไม่ได้รับข่าวสารประกาศนานถึง 3 วินาทีจะอนุมานว่าต้องเริ่มแฮนด์ออฟ
17. เราเตอร์ที่ทำหน้าที่เป็น FA และ HA ใช้โพรโทคอลจัดเส้นทางแบบ Destination Sequence Distance Vector (DSDV) ซึ่งเป็นโพรโทคอลที่ปรับเปลี่ยนตารางการจัด เส้นทางเป็นระยะ ๆ การปรับเปลี่ยนนี้จะอ้างอิงตามข้อมูลที่ได้จากโหนดข้างเคียง ในกรณี โหนดยังไม่มีเส้นทางที่ส่งแพ็กเก็ตใด โหนดจะบัพเฟอร์แพ็กเกตนั้นในเวลาเดียวกันและส่ง แพ็กเก็ตตามเส้นทางไปพร้อม ๆ กัน แพ็กเก็ตจะถูกบัพเฟอร์ไว้จนกว่าเราเตอร์จะได้เส้นทางจัดส่งแพ็กเก็ต แพ็กเก็ตจะถูกครอบงำบัพเฟอร์เต็ม
18. แพ็กเก็ตข้อมูลจะถูกส่งด้วยโพรโทคอล UDP โดยให้ระยะห่างระหว่างการส่งแต่ละแพ็กเก็ตเท่ากับ 0.0124 วินาที
19. ค่า Processing Delay ที่สวิตช์ มีค่าเป็น 0

20. ค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลจะรวมค่าของเวลาหน่วงที่เกิดจากการพักแพ็กเก็ตด้วย (Queing delay)
21. ข้อกำหนดอื่นๆ
- ส่งข้อมูลในทิศทางเดียว (Unidirectional) ไม่มีข้อมูลใด ๆ ที่ส่งในทิศทางย้อนกลับ ยกเว้น Acknowledgement
  - ไม่พิจารณาในส่วนการ Setup โครงข่าย โดยถือว่าโครงข่ายมีการ Setup เรียบร้อยแล้ว พร้อมที่จะส่งข้อมูลได้ทันที
  - แหล่งกำเนิดทุกแหล่งเริ่มส่งข้อมูลพร้อมกัน
  - ปลายทางสามารถส่งข้อมูลไปยังโพรโทคอลในชั้นที่สูงกว่าได้ โดยไม่เกิดการสูญเสีย หรือ การประวิงเวลา
  - ทดสอบด้วยแบบจำลองเป็นเวลา 318 วินาที
22. ไม่คิดผลจากการถูกบัง (shadowing)
23. ผลที่นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ยที่ได้จากผลจำลองการแฮนด์ออฟมากกว่า 90 ครั้ง
24. สถานีฐานและสถานีเคลื่อนที่ทุกเครื่องใช้สายอากาศส่งสัญญาณแบบรอบทิศทาง (Omnidirectional Antenna)

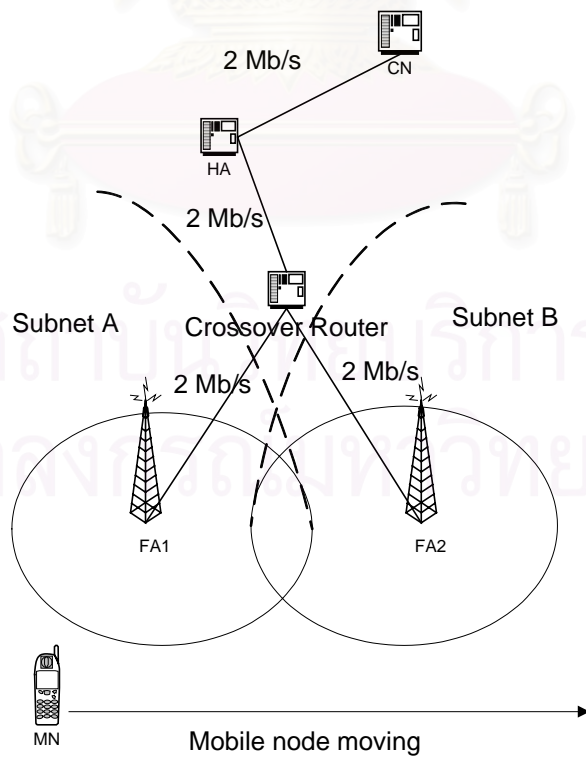
#### 4.2 การจำลองแบบ

ทอพอโลยีในการจำลองแบบมีด้วยกัน 2 ลักษณะคือ แบบที่มีขอบเขตให้บริการซ้อนทับกันระหว่าง FA สองตัว กับแบบที่ FA สองตัวไม่มีขอบเขตให้บริการที่ซ้อนทับกัน การแฮนด์ออฟจะเกิดขึ้นเมื่อ MN เคลื่อนที่ข้ามขอบเขตให้บริการของ FA1 ไปยัง FA2 และเคลื่อนที่จาก FA2 กลับมายัง FA1 รายละเอียดของโทโปโลยีมีดังนี้ (ดูรูปที่ 4.2 และ 4.3)

1. โฮสต์ด้านผู้ส่งปลายทางที่สื่อสารกับ MN เรียกว่า Correspondent Host (CH)
2. FA มีระยะครอบคลุมการให้บริการในรัศมี 250 เมตร กำหนดให้ FA สองตัว ได้แก่ FA1 และ FA2 สำหรับทอพอโลยีที่ไม่มีขอบเขตให้บริการที่ซ้อนทับกันระหว่างตัวแทนสองตัวแทน ให้ตัวแทนทั้งสองตัวตั้งอยู่ห่างกัน 500 เมตร สำหรับทอพอโลยีที่ขอบเขตให้บริการซ้อนทับกัน 30 เมตร ได้กำหนดให้ตัวแทนทั้งสองตัวตั้งอยู่ห่างกัน 470 เมตร



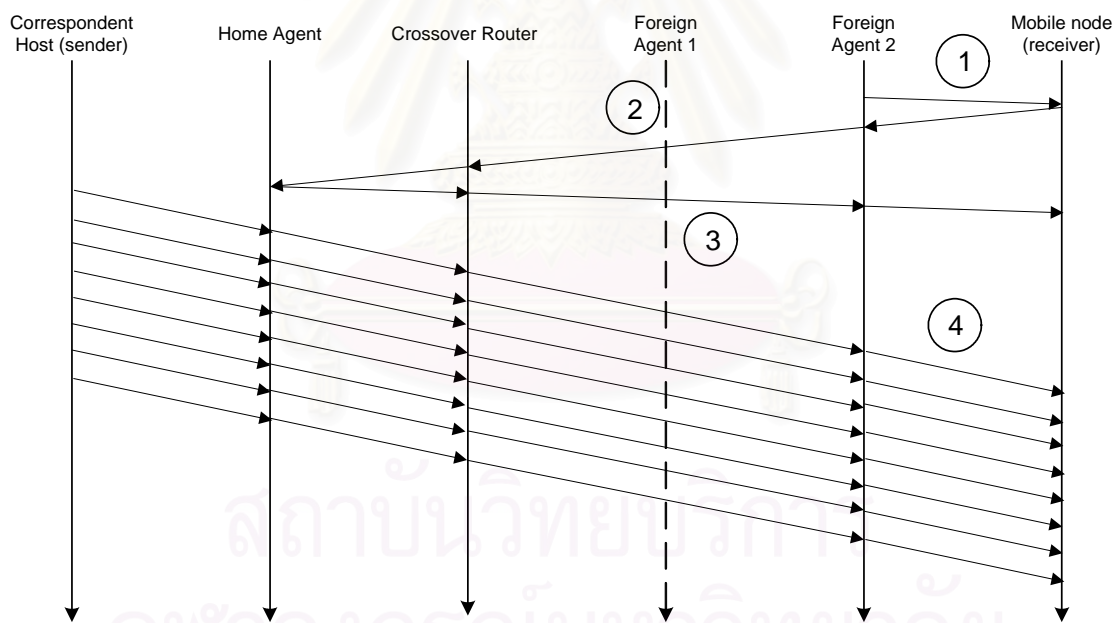
รูปที่ 4.2 ทอพอโลยีสำหรับกรณีตัวแทนทั้งสองตัวมีขอบเขตการให้บริการไม่ซ้อนทับกัน



รูปที่ 4.3 ทอพอโลยีสำหรับกรณีตัวแทนทั้งสองตัวมีขอบเขตการให้บริการซ้อนทับกัน 30 เมตร



3. ตัวแทนที่อยู่ใกล้ MN ที่สุดในขณะที่เปิดใช้งาน MN ครั้งแรก MN จะลงทะเบียนให้ตัวแทนนี้เป็น HA ของ MN กำหนดให้ HA
4. FA1 และ FA2 สื่อสารกันผ่านเราเตอร์กลางทาง (crossover router)
5. FA1 และ FA2 เป็นเราเตอร์ที่อยู่ในโครงข่ายย่อยต่างโครงข่ายกัน
6. ตัวแทนและเราเตอร์ทั้งหมดที่ตั้งอยู่กับที่จะรับส่งข้อมูลผ่านข่ายเชื่อมโยงมีสาย
7. MN สื่อสารกับตัวแทนด้วยข่ายเชื่อมโยงไร้สายเท่านั้น
8. MN จะส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนไปยัง FA ผ่าน crossover router ไปถึง HA และแพ็กเก็ตตอบรับการลงทะเบียนจะส่งจาก HA ผ่านเส้นทางเดิมมาถึง MN (ดูรูปที่ 4.4) ลำดับที่ 1 MN ได้รับ Agent Advertisement จาก FA2 แล้ว MN ส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนไปยัง FA2 ลำดับที่ 2 แพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนถูกส่งผ่าน crossover router และมีปลายทางที่ HA ลำดับที่ 3 แพ็กเก็ตตอบรับการลงทะเบียนถูกส่งจาก HA ไปยัง MN โดยผ่านทาง crossover router และ FA2 ลำดับที่ 4 แพ็กเก็ตข้อมูลจาก CN ถูกส่งให้ MN โดยผ่านทาง HA และ FA2



รูปที่ 4.4 การลงทะเบียนกับ FA

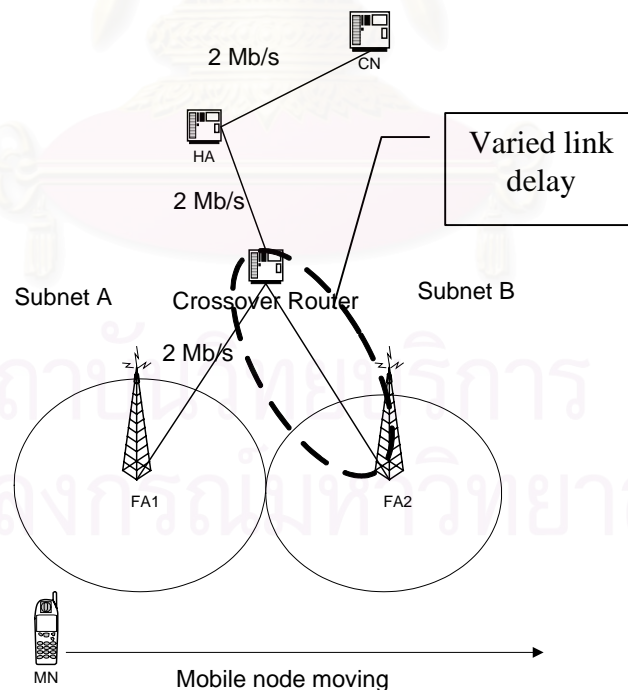
#### 4.3 การนำเสนอผลการจำลองแบบ

ผลการจำลองแบบจะถูกนำเสนอในรูปแบบของกราฟและวิเคราะห์ผล ดังที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 5 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1. นิยามค่า handoff delay เพื่อใช้แสดงว่า MN ขาดการติดต่อกานเพียงไร ถ้า handoff delay เท่ากับศูนย์ แสดงว่าสามารถสื่อสารได้ต่อเนื่อง ค่า handoff delay แสดงดังสมการที่ 4.4

$$\text{handoff delay} = \text{handoff latency} - \text{packet interarrival time} \quad (4.4)$$

2. กราฟแสดง handoff delay เทียบกับการประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลจาก FA ตัวใหม่ถึง crossover router ซึ่งเป็นผลจากการจำลองแบบตามรูปที่ 4.5 แบบจำลองนี้ใช้ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะที่ได้จากการเริ่มแฮนด์ออฟที่อาศัยค่าเวลาที่ข้อความที่ใช้ในการลงทะเบียนเดินทางครบรอบซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการลงทะเบียนในครั้งล่าสุดก่อนที่ MN จะเกิดการแฮนด์ออฟ เพื่อใช้ทดสอบว่า ถ้าการลงทะเบียนได้เปลี่ยนไปใช้ข่ายเชื่อมโยงข้อมูลที่มี delay ต่างกันมาก ๆ แล้วผลการปรับปรุงสมรรถนะเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร การจำลองแบบได้กำหนดให้ข่ายเชื่อมโยงข้อมูลจาก crossover router ถึง FA1 มี delay เท่ากับ 2 มิลลิวินาที แล้วเปลี่ยนค่า delay ในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลจาก crossover router ถึง FA2 ให้มี delay ตั้งแต่ 2 มิลลิวินาทีไปจนถึง 256 มิลลิวินาที ซึ่งหมายถึงกรณีเลวร้ายที่สุดที่ถือว่าข่ายเชื่อมโยงข้อมูลในสับเน็ตที่ FA ตัวใหม่ตั้งอยู่มีความคับคั่งสูงมาก เราเตอร์มีความจำเป็นจะต้องพักแพ็กเก็ตไว้ก่อนส่ง MN มีอัตราเร็ว 20 เมตรต่อวินาที



รูปที่ 4.5 การจำลองแบบทดสอบที่ข่ายเชื่อมโยงข้อมูลจาก crossover router ไปยัง FA1 และ FA2 มี delay ต่างกัน

แบนด์วิดท์ในสายส่งเท่ากับ 2 เมกกะบิตต่อวินาที

3. กราฟแสดง handoff delay เทียบกับ Bandwidth ของสายส่งในแบบจำลองโครงข่าย เป็นผลจากการจำลองแบบโดยแปรค่า Bandwidth ทั้งหมดในสายส่งของโครงข่ายที่จำลองแบบ โดยกำหนดให้ Bandwidth มีค่าตั้งแต่ 50 กิโลบิตต่อวินาที ถึง 10 เมกกะบิตต่อวินาที
4. กราฟแสดง handoff delay เทียบกับอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN ทดสอบที่อัตราเร็วเท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที ถึง 20 เมตรต่อวินาที
5. จำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนเพื่อให้สามารถลงทะเบียนกับ FA ตัวใหม่ได้สำเร็จ เทียบกับการประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลจาก FA ตัวใหม่ถึง crossover router
6. จำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนเพื่อให้สามารถลงทะเบียนกับ FA ตัวใหม่ได้สำเร็จเทียบกับ Bandwidth ของข่ายเชื่อมโยงข้อมูลมีสาย
7. จำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนเพื่อให้สามารถลงทะเบียนกับ FA ตัวใหม่ได้สำเร็จเทียบกับอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN

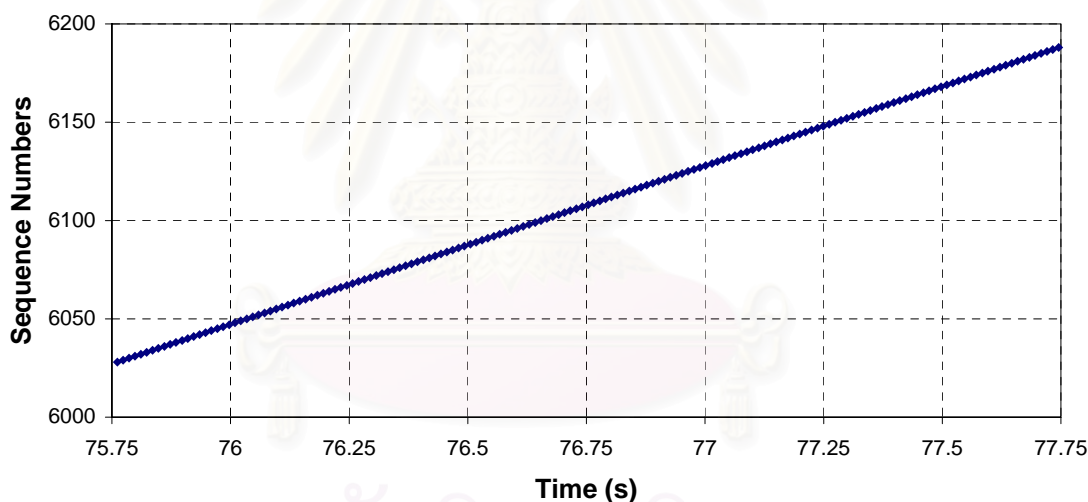
## บทที่ 5

### ผลการจำลองแบบ

#### 5.1 แบบจำลองที่ขอบเขตให้บริการในตัวแทนทั้งสองตัวซ้อนทับกัน 30 เมตร

ในแบบจำลองที่ให้ขอบเขตให้บริการซ้อนทับกัน 30 เมตรนี้ ได้จำลองแบบเพื่อทำการทดสอบเบื้องต้น ผลที่ได้จากการจำลองจะช่วยทำให้เห็นภาพชัดเจนขึ้นว่าบริเวณที่ซ้อนทับกันนี้จะช่วยให้ MN ยังคงส่งข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องในขณะที่เกิดการแฮนด์ออฟ แบบจำลองกำหนดให้ MN เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 20 เมตรต่อชั่วโมง และข้ามเชื่อมโยงข้อมูลมี delay 2 มิลลิวินาที แบนด์วิดท์ 2 เมกะบิตต่อวินาที ข้อกำหนดในการจำลองแบบอื่น ๆ ได้แสดงรายละเอียดไว้ในเนื้อหาบทที่ 4

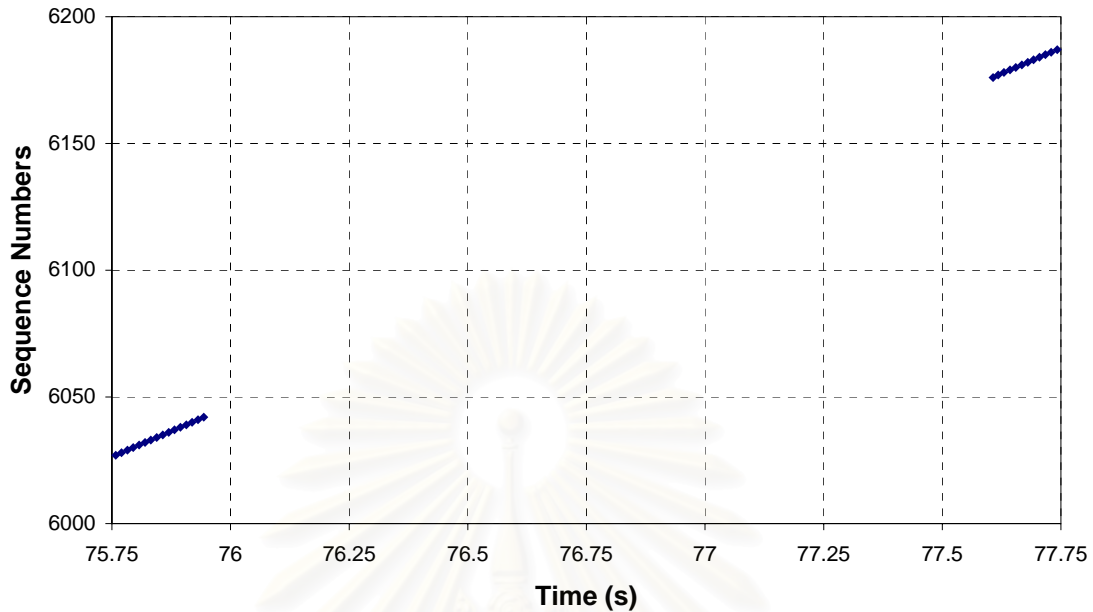
ECS : overlap 30 m.



รูปที่ 5.1 ลำดับของแพ็กเก็ตข้อมูลที่ MN ได้รับในระหว่างเกิดการแฮนด์ออฟแบบ ECS โดยกำหนดขอบเขตให้บริการในตัวแทนสองตัวซ้อนทับกัน 30 เมตร

ผลการจำลองแบบเบื้องต้น ตามรูปที่ 5.1 พบว่า MN ยังคงรับแพ็กเก็ตข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องในขณะที่ MN แฮนด์ออฟในกรณี ECS เนื่องจาก ECS จะเริ่มแฮนด์ออฟทันทีที่ได้รับ Agent Advertisement จาก FA ตัวใหม่ ซึ่งถ้ากำหนดแบบจำลองให้มีบริเวณให้บริการซ้อนทับกันระหว่าง FA สองตัวมากเพียงพอ ก็จะทำให้ MN ได้รับ Agent Advertisement ก่อนที่จะเคลื่อนที่ออกนอกเซลล์ของ FA ตัวเดิม

**LCS : topology overlap 30 m.**



รูปที่ 5.2 ลำดับของแพ็กเก็ตข้อมูลที่ MN ได้รับในระหว่างเกิดการแฮนด์ออฟแบบ LCS โดย กำหนดขอบเขตให้บริการในตัวแทนสองตัวซ้อนทับกัน 30 เมตร

จากรูปที่ 5.2 MN ไม่สามารถรับแพ็กเก็ตข้อมูลได้ต่อเนื่องเมื่อเกิดการแฮนด์ออฟแบบ LCS เนื่องจากการเริ่มแฮนด์ออฟแบบ LCS นั้นจะต้องรอให้ MN ไม่ได้รับ Agent Advertisement จากตัวแทนเดิม ติดต่อกันถึง 3 แพ็กเก็ตจึงจะเริ่มการแฮนด์ออฟเข้าหา FA ตัวใหม่ได้ ดังนั้น แม้ว่า ทอพอโลยีที่จำลองจะเป็นแบบซ้อนทับกันถึง 30 เมตร แต่ก็ยังไม่สามารถส่งข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง ในระหว่างการแฮนด์ออฟ

## 5.2 แบบจำลองที่ขอบเขตให้บริการในตัวแทนทั้งสองตัวไม่ซ้อนทับกัน

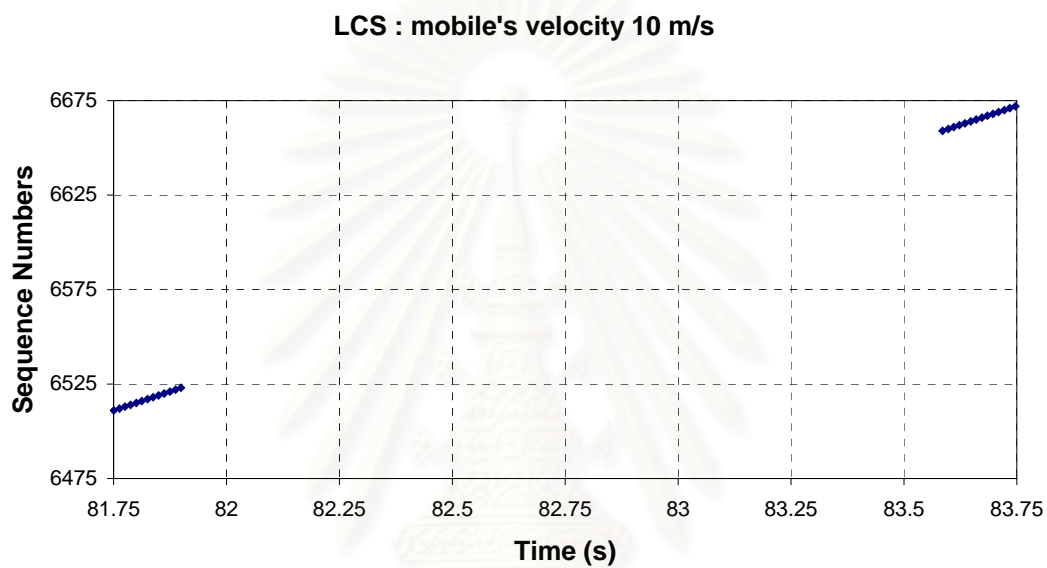
การนำเสนอผลการจำลองแบบในกรณีของการแฮนด์ออฟแบบ LCS แบบ ECS และการแฮนด์ออฟตามวิธีที่ได้เสนอในวิทยานิพนธ์ทั้งสองวิธี ผลที่ได้จากการจำลองแบบในหัวข้อนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนด้วยกันคือ

1. ผลจากการจำลองแบบเทียบกับอัตราเร็วของ MN
2. ผลจากการจำลองแบบเทียบกับค่าประวิงเวลาในชายเชื่อมต่อโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2

### 3. ผลจากการจำลองแบบเทียบกับแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงข้อมูล

ในการนำเสนอกราฟของผลจำลองแบบจะใช้ตัวย่อ ECS สำหรับการจำลองแบบทดสอบการแฮนด์ออฟกรณี ECS ใช้ตัวย่อ LCS สำหรับผลจำลองการแฮนด์ออฟกรณี LCS และใช้ตัวย่อ P1 กับ P2 สำหรับผลจำลองการแฮนด์ออฟด้วยวิธีที่เสนอวิธีที่ 1 และวิธีที่ 2

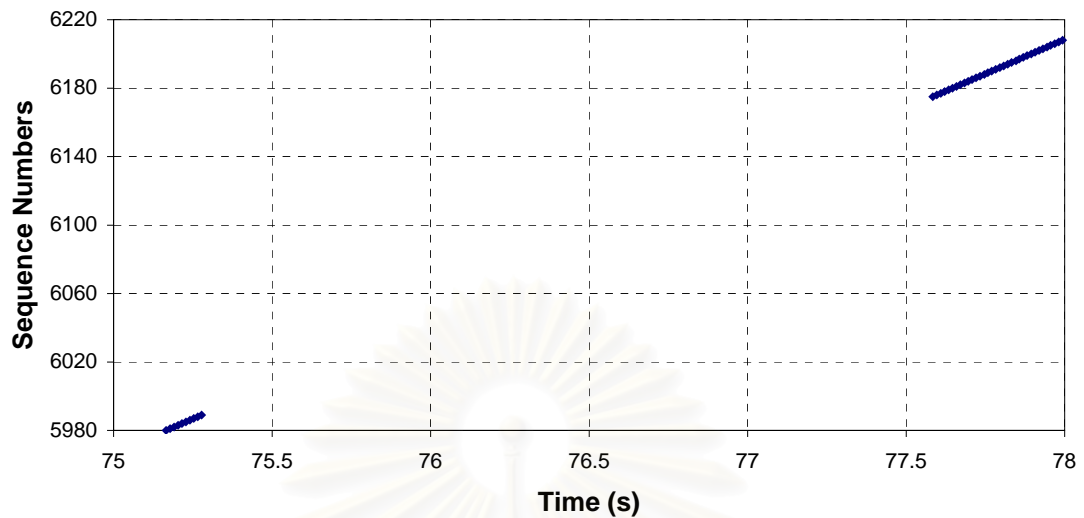
#### 5.2.1 ผลการจำลองแบบเทียบกับอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ LCS ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที

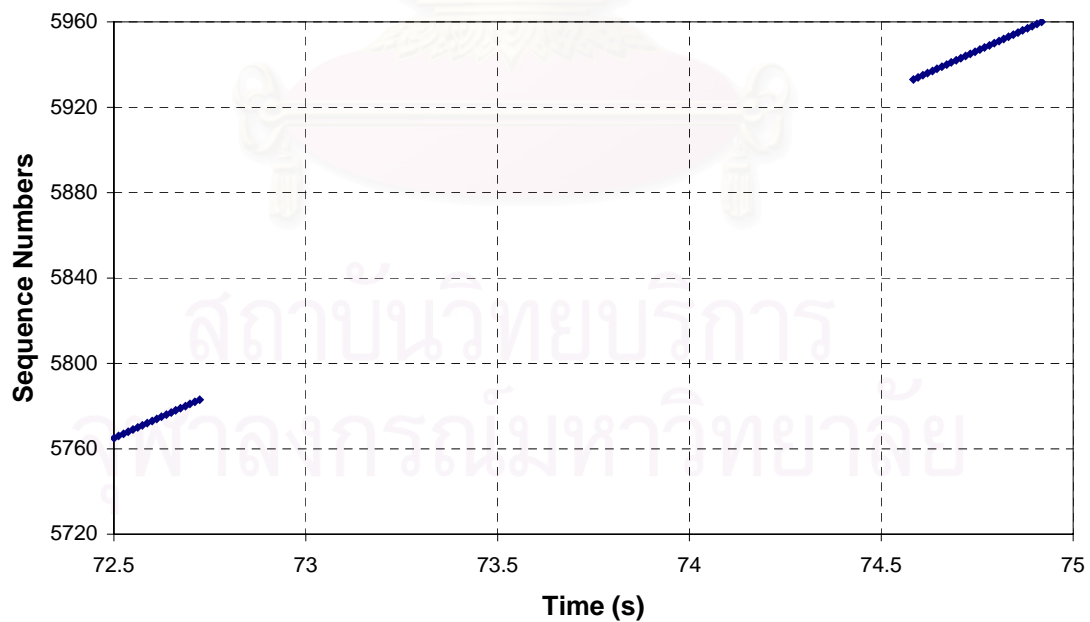


LCS : mobile's velocity 18 m/s



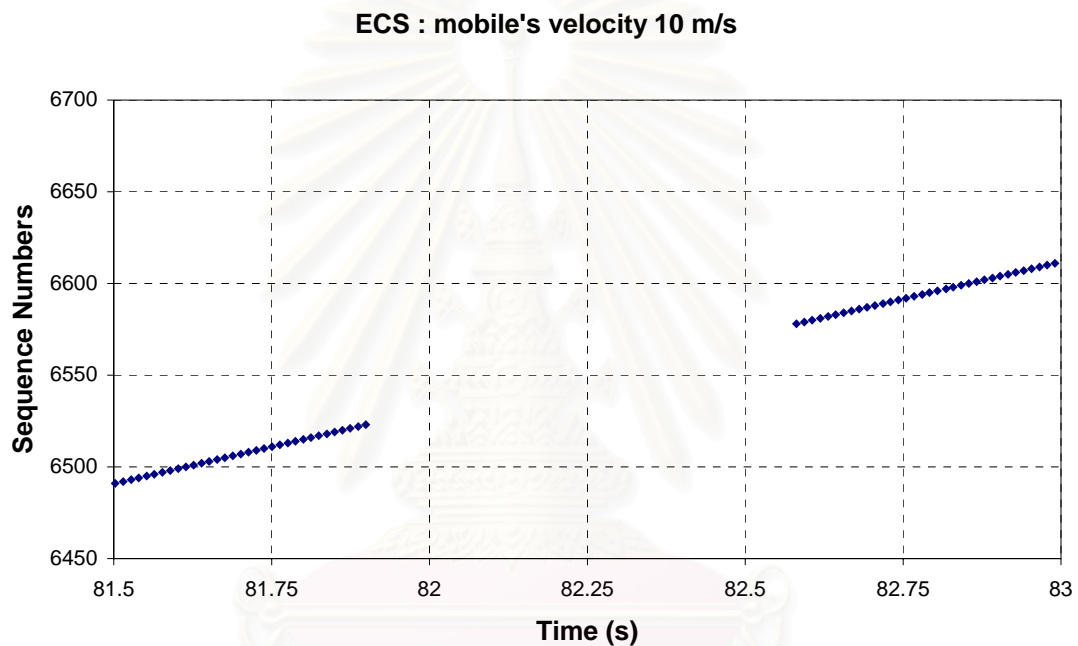
รูปที่ 5.4 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ LCS ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 18 เมตรต่อวินาที

LCS : mobile's velocity 26 m/s

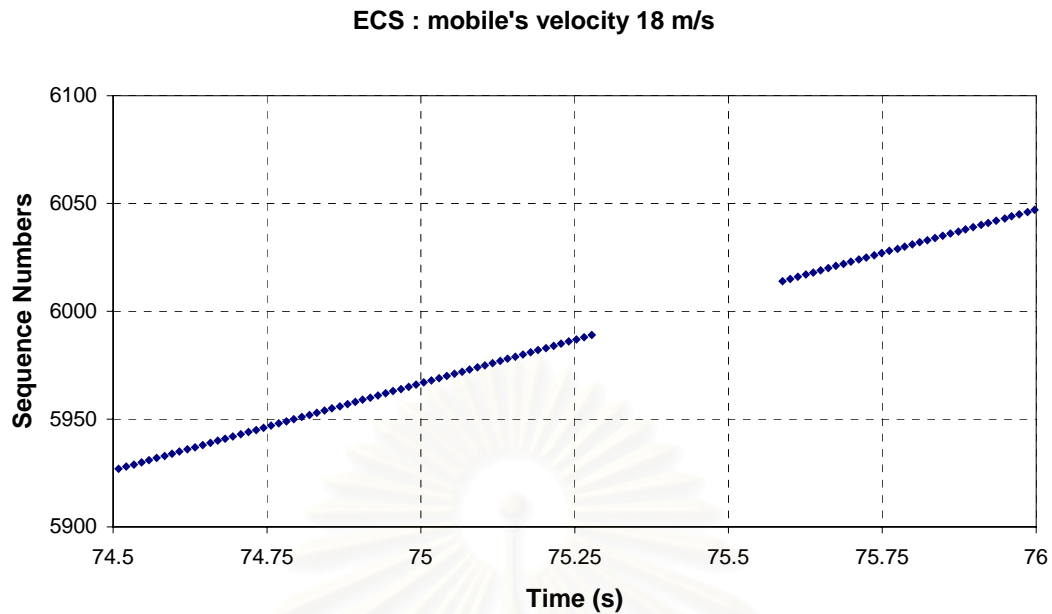


รูปที่ 5.5 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ LCS ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 26 เมตรต่อวินาที

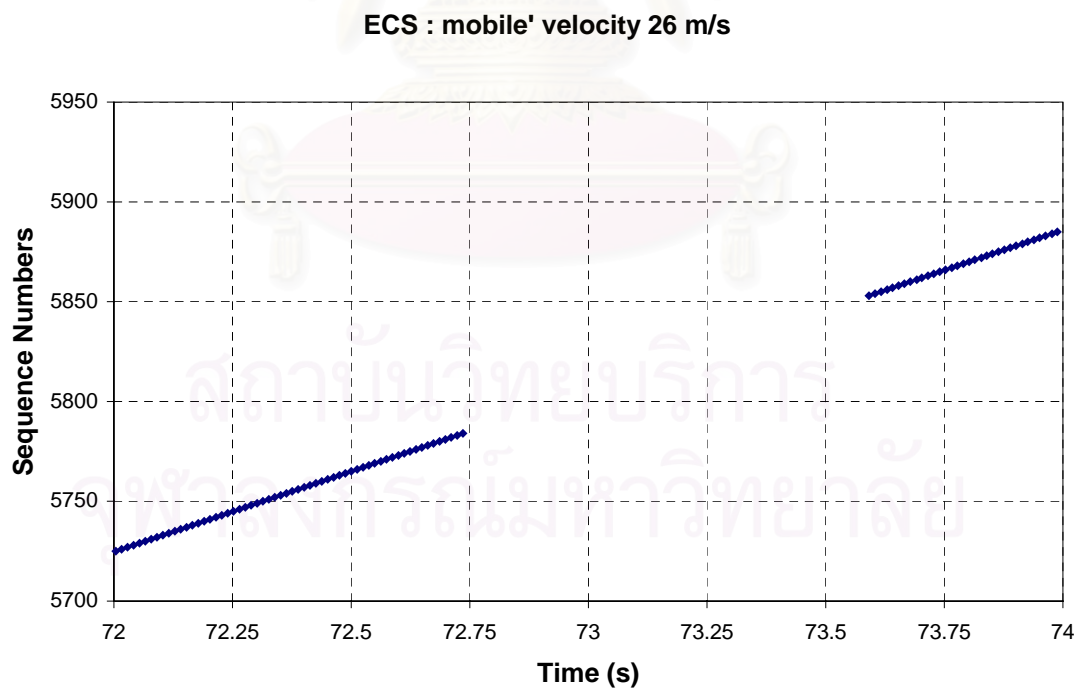
จากรูปที่ 5.3 รูปที่ 5.4 และ รูปที่ 5.5 สังเกตได้ว่าช่วงเวลาที่ยาวของการติดต่อเนื่องจากการแฮนด์ออฟของ MN มีแนวโน้มลดลงเมื่อจำลองแบบโดยกำหนดให้ MN เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ 10 เมตรต่อวินาที ไปจนถึง 26 เมตรต่อวินาที สาเหตุที่ handoff latency มีแนวโน้มลดลงเมื่ออัตราเร็วของ MN เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วขึ้น ทำให้ MN วิ่งพ้นจากเซลล์เดิมเร็วขึ้น และไม่ได้รับ Agent Advertisement จาก FA เดิม MN จึงเริ่มตั้งเวลาในการรอแพ็กเก็ตได้เร็วขึ้น นอกจากนี้ MN ที่เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วสูงขึ้นก็จะวิ่งเข้าหาขอบเซลล์ของ FA ตัวใหม่ (ดูรูปที่ 5.5) ได้เร็วขึ้นจึงทำให้ MN เริ่มแฮนด์ออฟได้เร็วขึ้น



รูปที่ 5.6 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ ECS ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที

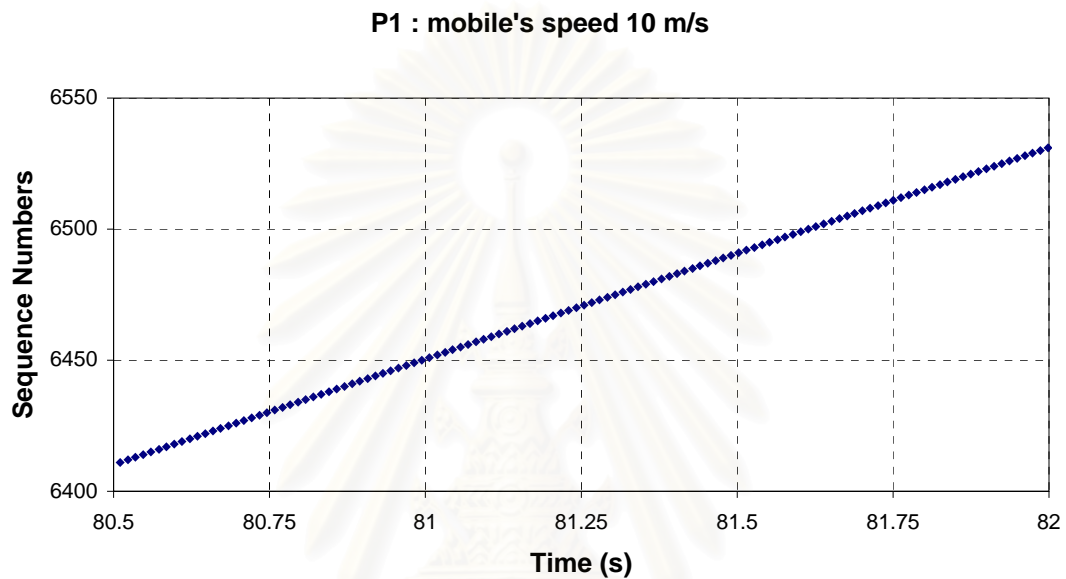


รูปที่ 5.7 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ ECS ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 18 เมตรต่อวินาที



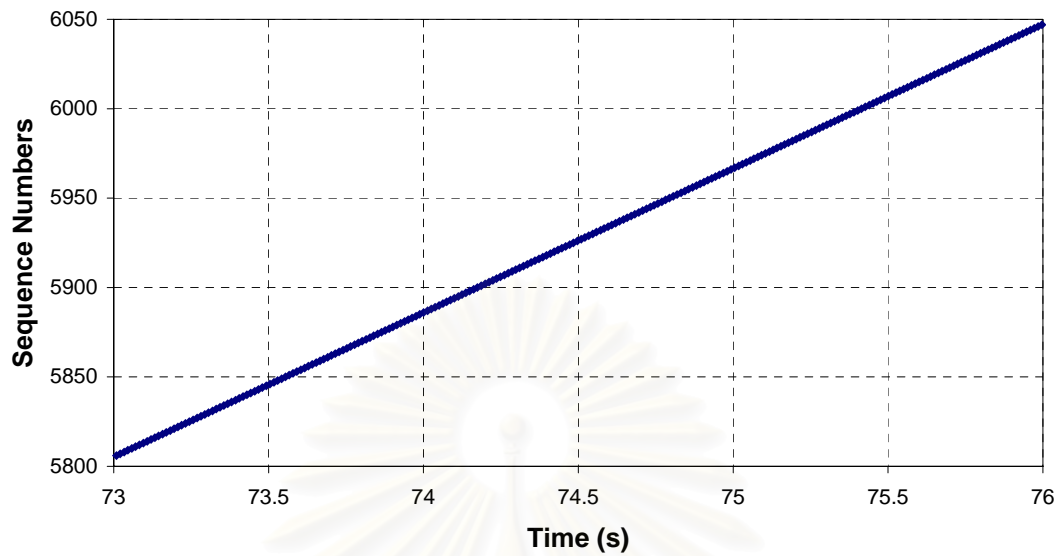
รูปที่ 5.8 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ ECS ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 26 เมตรต่อวินาที

จากรูปที่ 5.6 ถึง 5.8 สังเกตได้ว่าช่วงเวลาที่ขาดการติดต่อระหว่างเกิดการแฮนด์ออฟของ MN มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อทดสอบให้ MN เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ 10 เมตรต่อวินาที ถึง 26 เมตรต่อวินาที นอกจากนี้ยังพบว่า วิธีของ ECS ให้ handoff latency ต่ำกว่าวิธีของ LCS เนื่องจาก ECS เริ่มการแฮนด์ออฟทันทีที่ได้รับ Agent Advertisement จากตัวแทนที่มีหมายเลข ไอพีที่มีสับเน็ตเวิร์กซ์ต่างจากตัวแทนเดิม ECS เริ่มการแฮนด์ออฟได้เร็วกว่ากรณี LCS



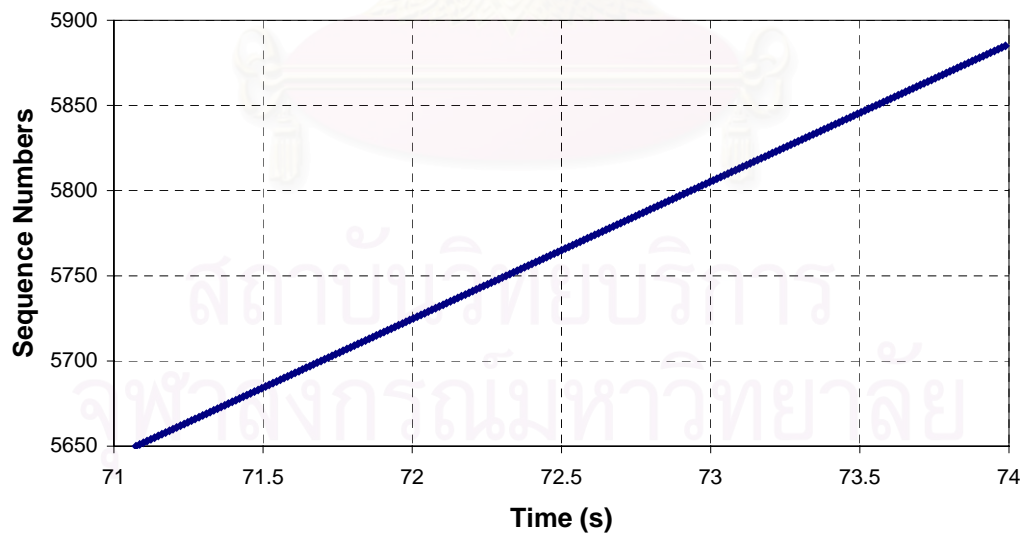
รูปที่ 5.9 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟแบบ P1 ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที

P1 : mobile's velocity 18 m/s



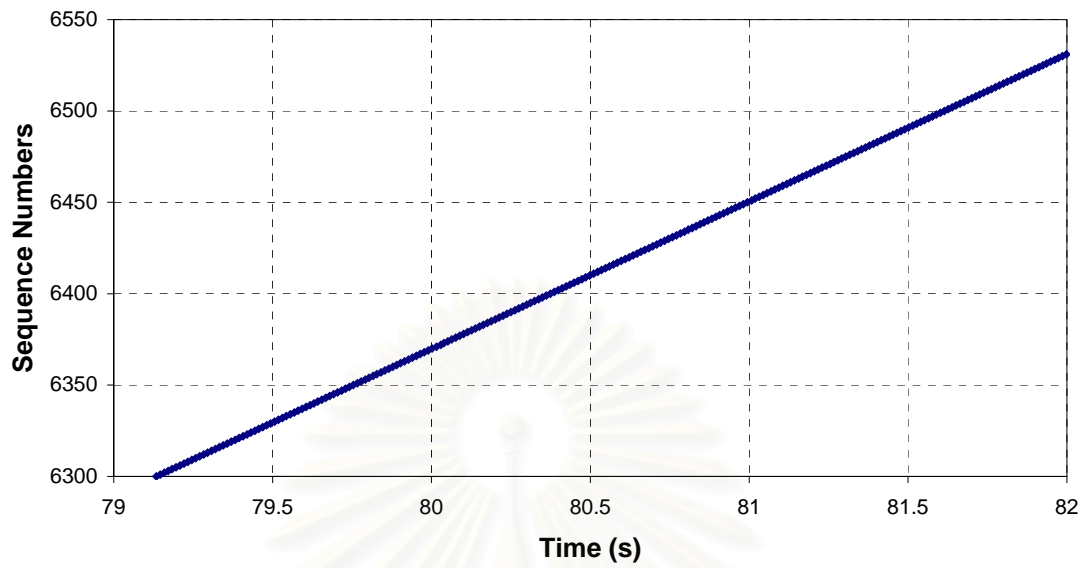
รูปที่ 5.10 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P1 ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 18 เมตรต่อวินาที

P1 : mobile's velocity 26 m/s



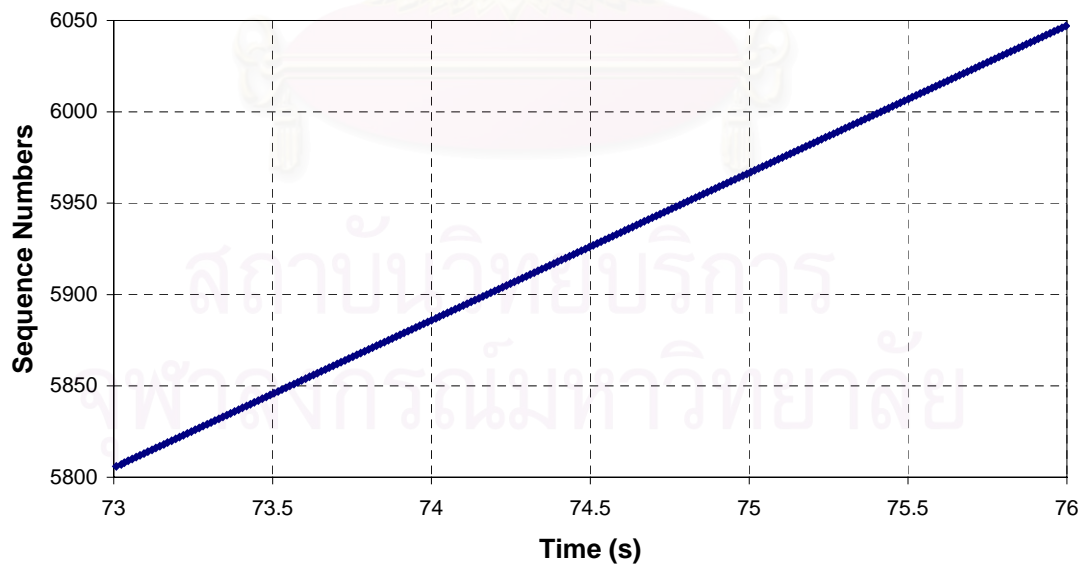
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P1 ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 26 เมตรต่อวินาที

P2 : mobile's velocity 10 m/s



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P2 ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 10 เมตรต่อวินาที

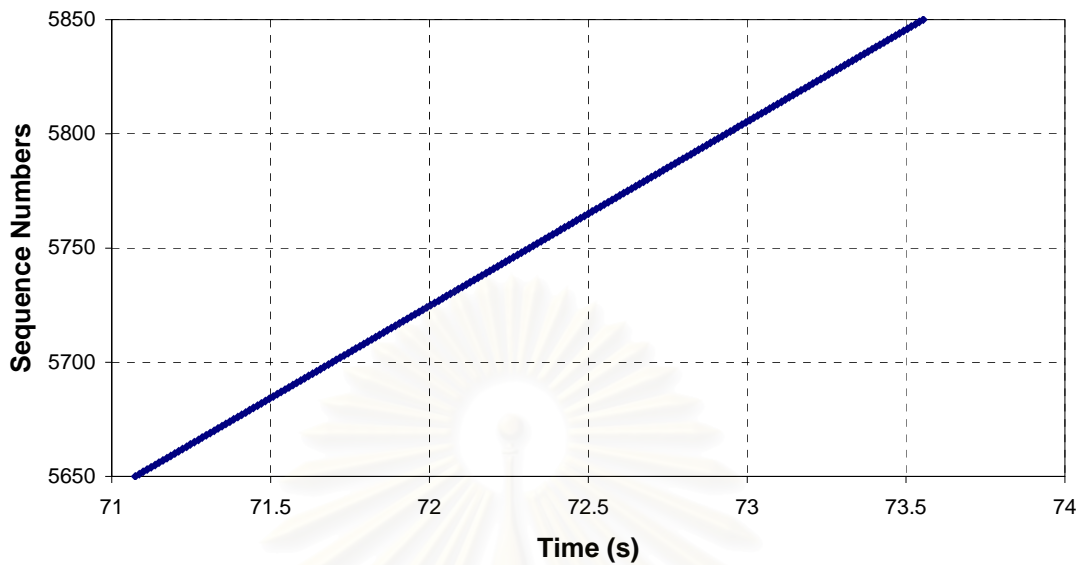
P2 : mobile's velocity 18 m/s



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P2 ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 18 เมตรต่อวินาที

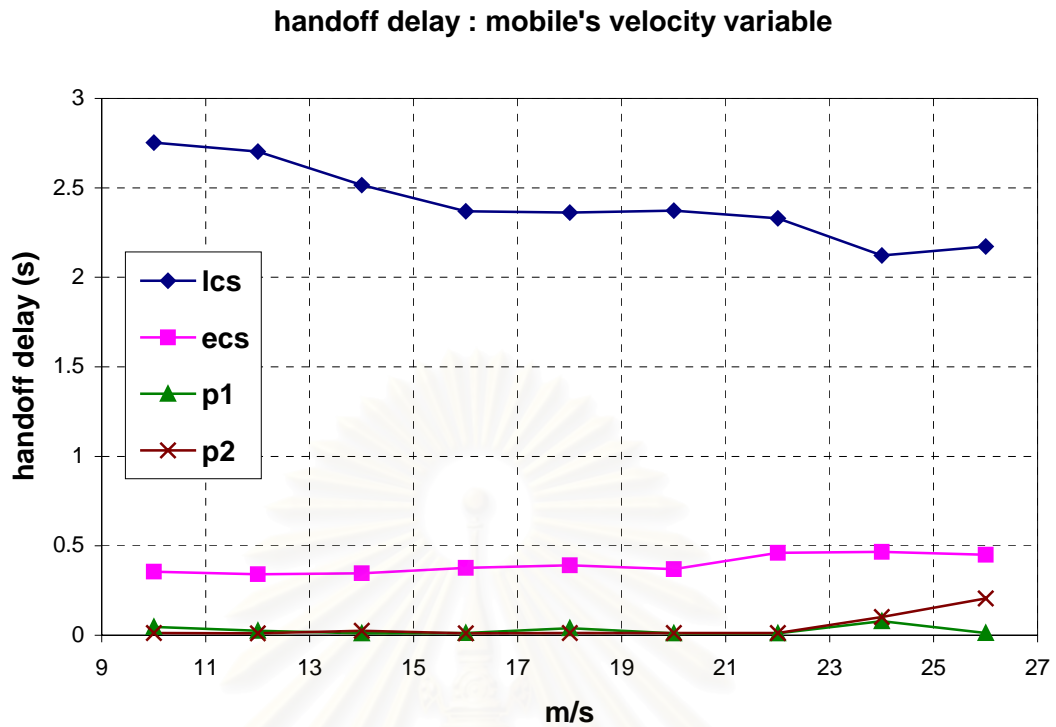


P2 : mobile's velocity 26 m/s



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P2 ด้วยอัตราเร็วของ MN เท่ากับ 26 เมตรต่อวินาที

จากรูปที่ 5.9 ถึง 5.11 วิธีเสนอลำดับที่ 1 เมื่อทดลองให้ MN เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วเพิ่มขึ้น ตั้งแต่ 10 เมตรต่อวินาที ถึง 26 เมตรต่อวินาที แล้วพิจารณาช่วงเวลาที่เกิดการติดต่อกันระหว่างการแฮนด์ออฟของ MN มีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย สาเหตุที่มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักเนื่องจากการเริ่มการแฮนด์ออฟในวิธีที่เสนอนี้ 1 ได้เริ่มแฮนด์ออฟก่อนที่ MN จะวิ่งพ้นขอบเซลล์เป็นเวลาเท่ากับคาบการประกาศ Agent Advertisement บวกกับค่า rtt ของการลงทะเบียนครั้งล่าสุด ในวิธีเสนอนี้ 2 พบว่า handoff delay มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อจำลองแบบให้ MN เคลื่อนที่เร็วขึ้นที่ความเร็วมากกว่า 22 เมตรต่อวินาที เนื่องจากเมื่อ MN เคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วมากกว่า 22 เมตรต่อวินาที จะทำให้ MN วิ่งพ้นขอบเขตการให้บริการของตัวแทนเดิมก่อนที่จะลงทะเบียนได้เสร็จสิ้น



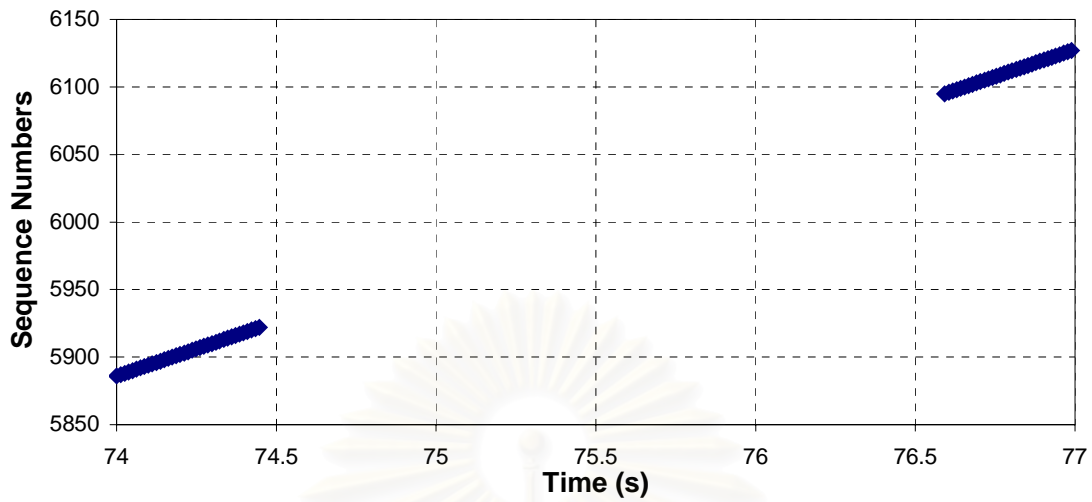
รูปที่ 5.15 กราฟแสดงค่า handoff delay ที่ได้จากการแฮนด์ออฟทั้ง 4 แบบเทียบกับอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN

ผลที่ได้จากกราฟที่ 5.3 ถึง 5.5 พบว่าค่า handoff delay ในวิธีที่เสนอทั้งสองวิธีให้ค่า handoff delay น้อยกว่าค่า handoff delay จากการทดสอบในวิธีที่มีผู้เสนอไว้ ได้แก่ ECS และ LCS

5.2.2 ผลจากการจำลองแบบเทียบกับค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2

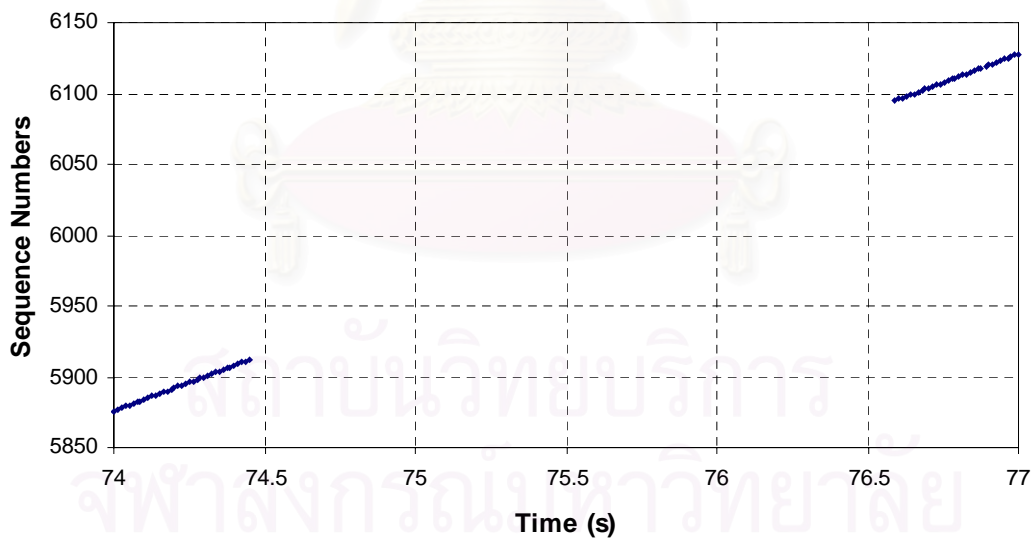
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LCS : link delay 2 ms



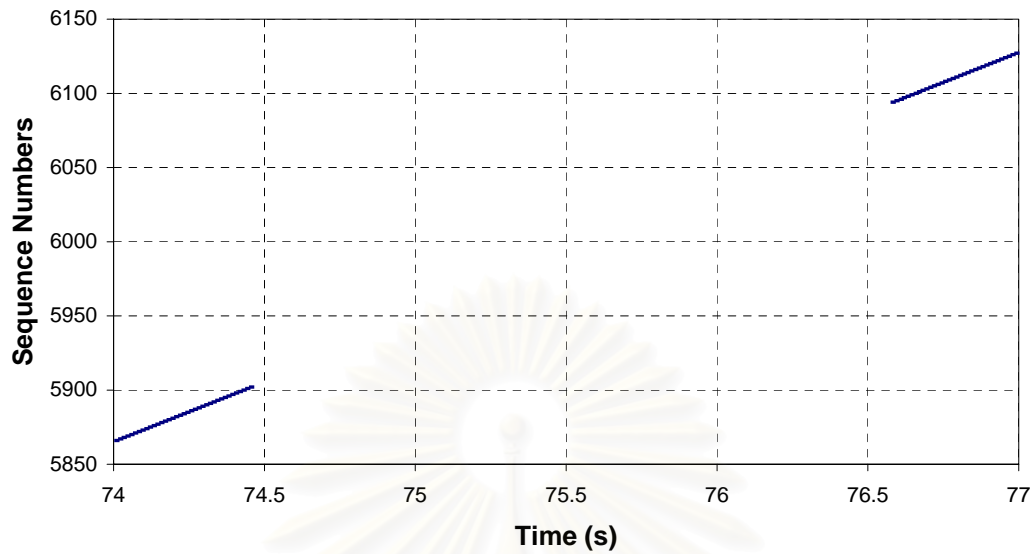
รูปที่ 5.16 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ LCS กำหนดค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมต่อโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 2 มิลลิวินาที

LCS : link delay 128 ms



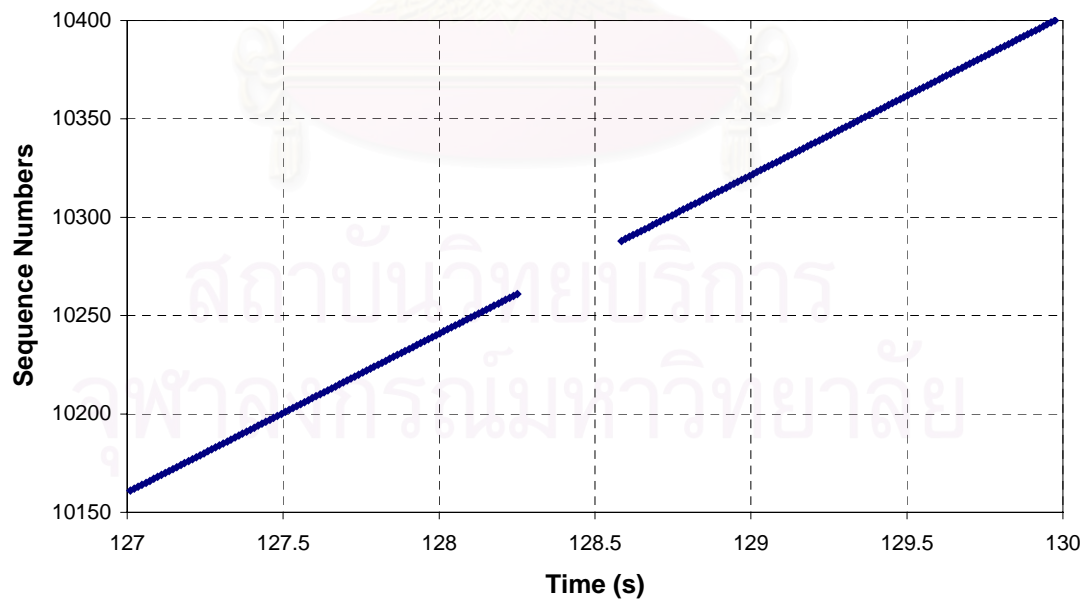
รูปที่ 5.17 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ LCS กำหนดค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมต่อโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 128 มิลลิวินาที

LCS : link delay 256 ms



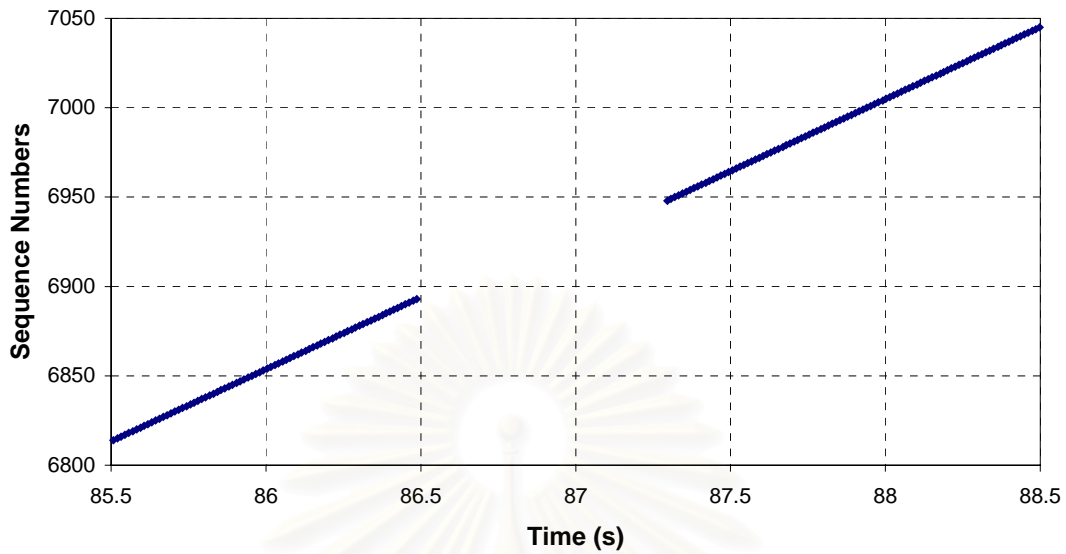
รูปที่ 5.18 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ LCS กำหนดค่า  
 ระยะเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 256 มิลลิวินาที

ECS : link delay 2 ms



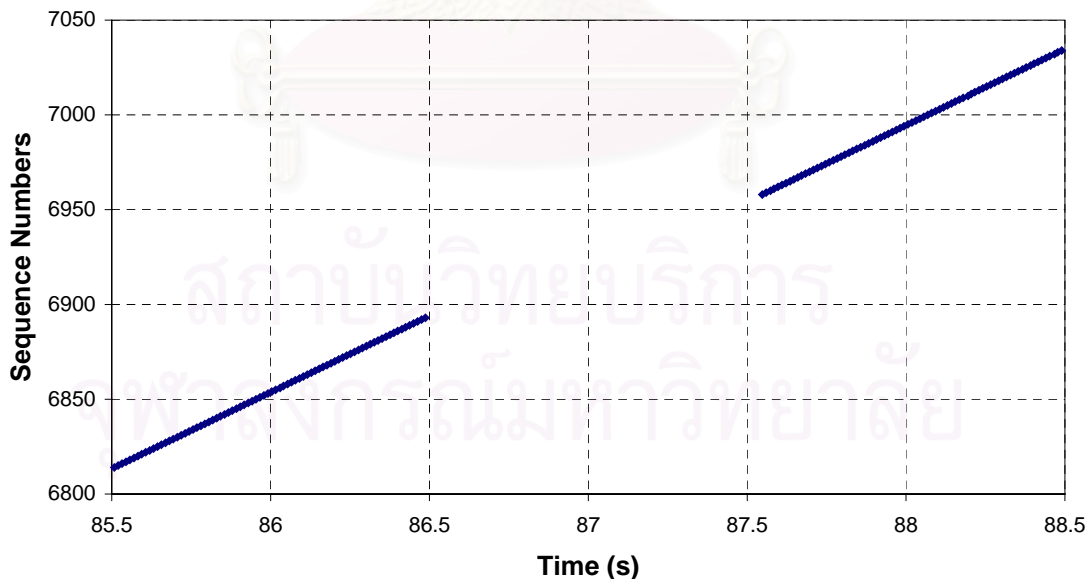
รูปที่ 5.19 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ ECS กำหนดค่า  
 ระยะเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 2 มิลลิวินาที

ECS : link delay 128 ms



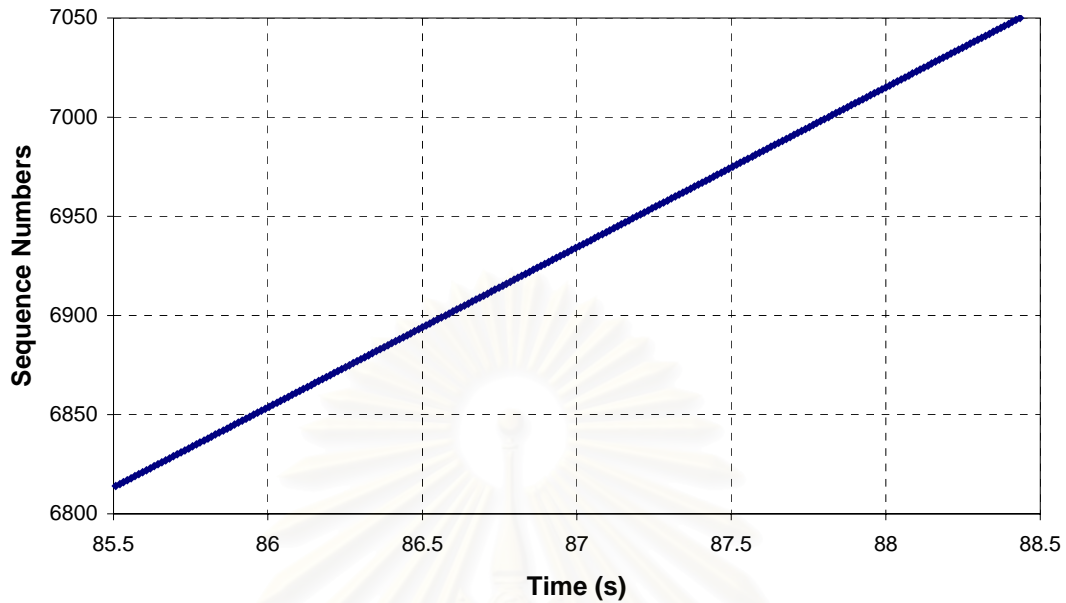
รูปที่ 5.20 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ ECS กำหนดค่า  
 ระยะเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 128 มิลลิวินาที

ECS : link delay 256 ms



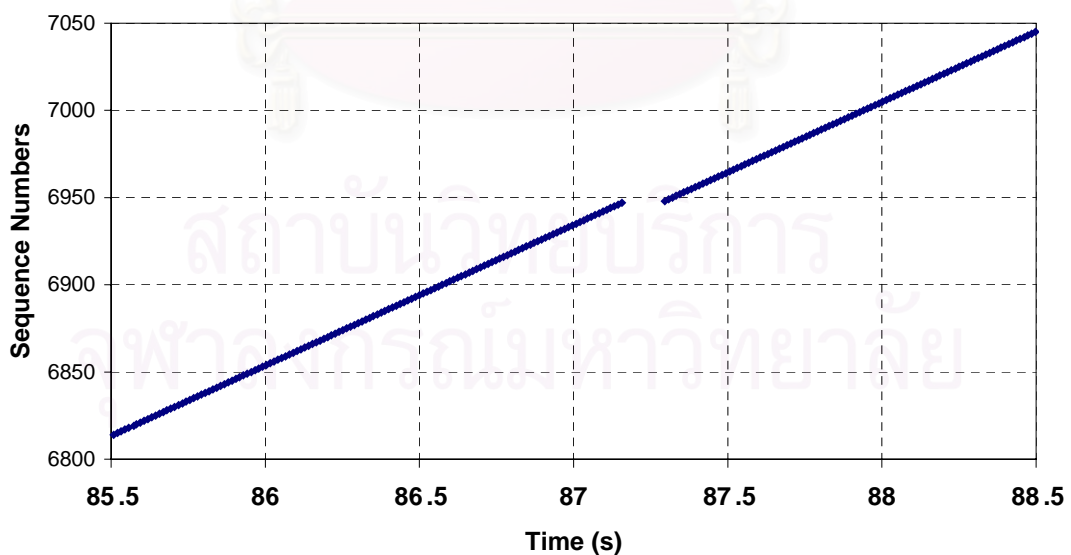
รูปที่ 5.21 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ ECS กำหนดค่า  
 ระยะเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 256 มิลลิวินาที

P1 : link delay 2 ms



รูปที่ 5.22 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P1 กำหนดค่าประวิง เวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 2 มิลลิวินาที

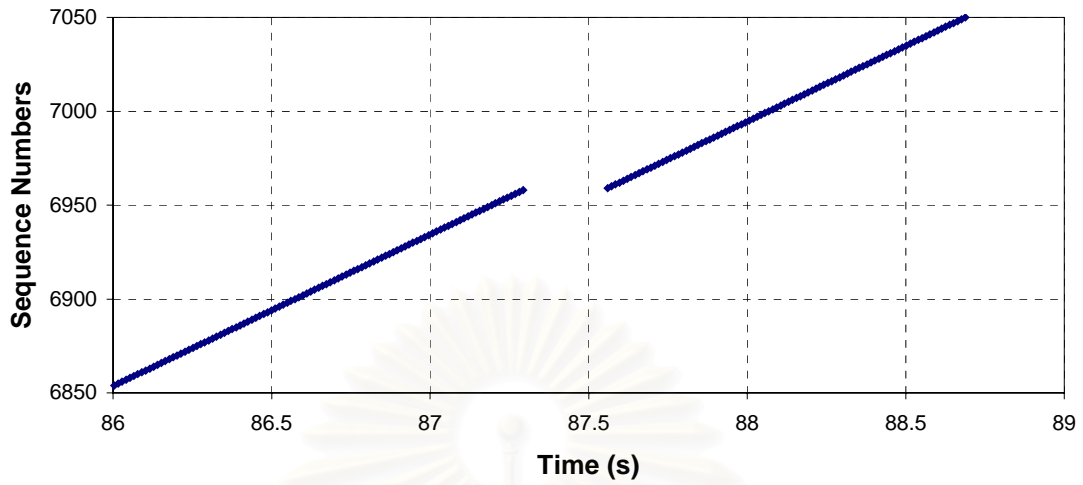
P1 : link delay 128 ms



รูปที่ 5.23 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P1 กำหนดค่าประวิง เวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 128 มิลลิวินาที

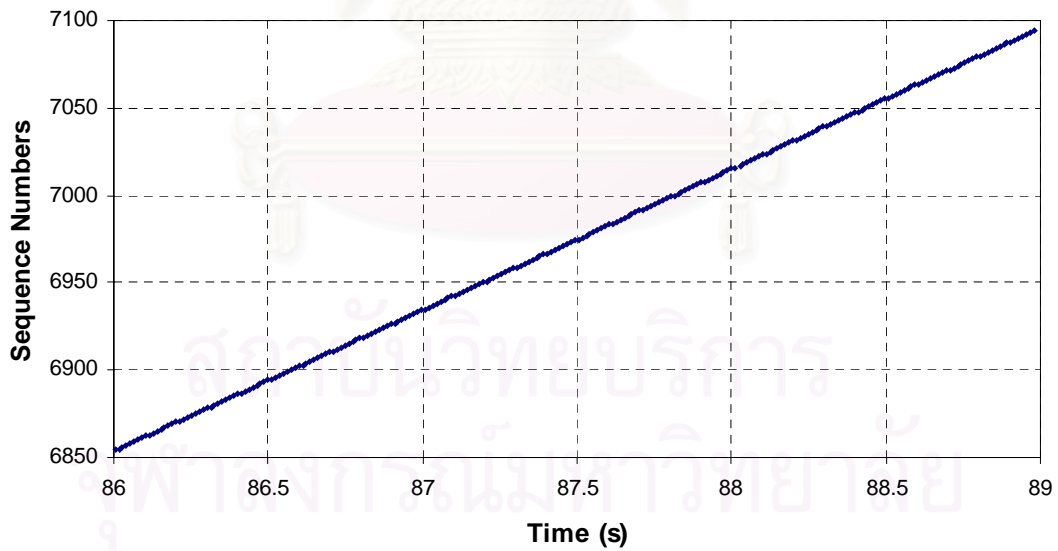


P1 : link delay 256 ms



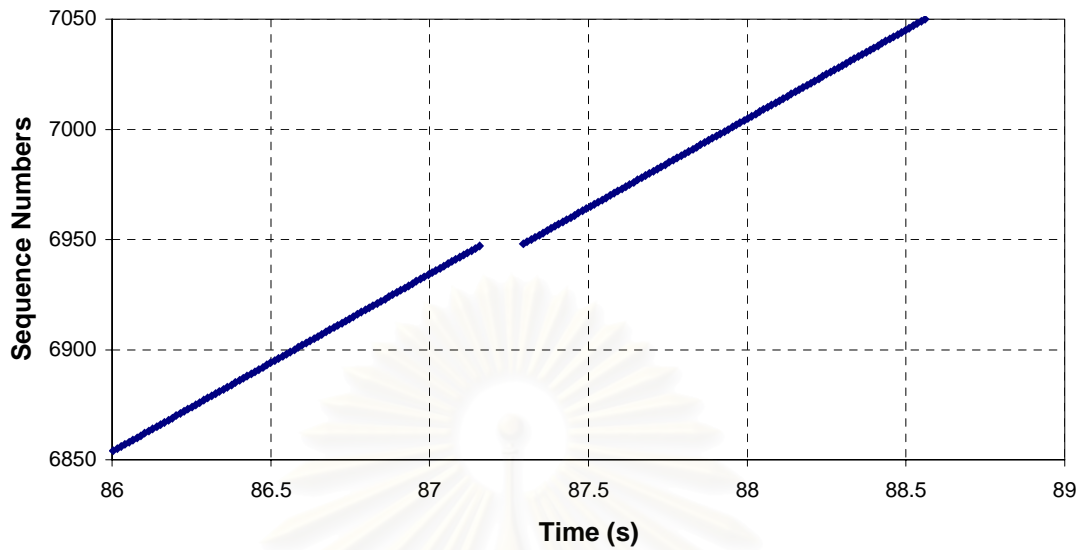
รูปที่ 5.24 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P1 กำหนดค่าประวิง  
เวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 256 มิลลิวินาที

P2 : link delay 2 ms



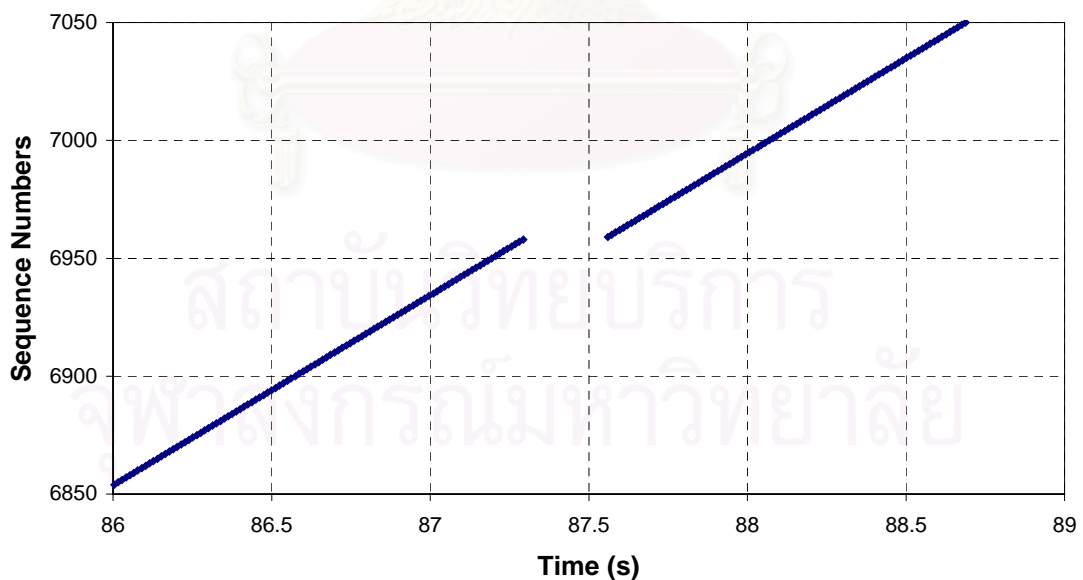
รูปที่ 5.25 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P2 กำหนดค่าประวิง  
เวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 2 มิลลิวินาที

P2 : link delay 128 ms

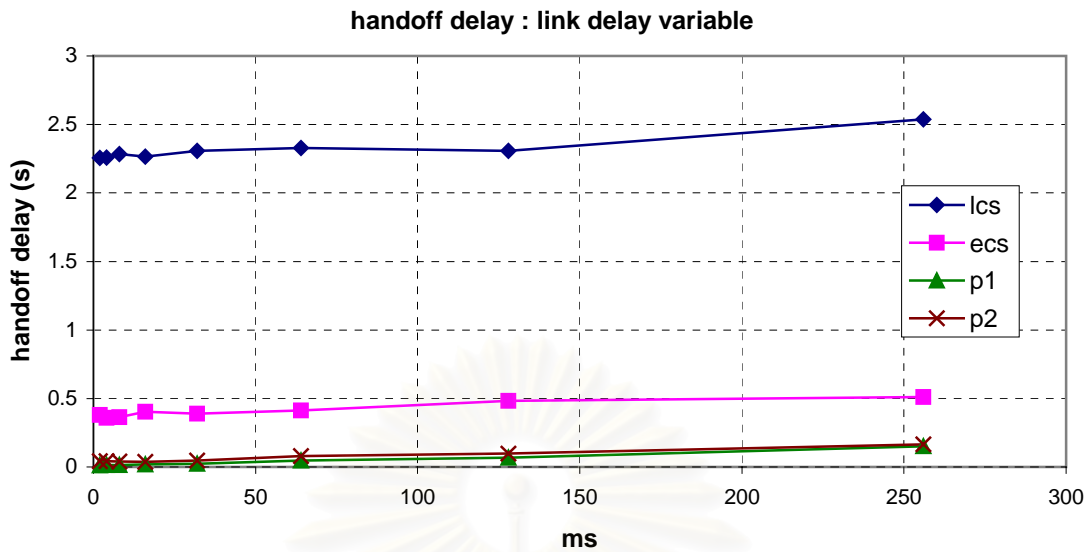


รูปที่ 5.26 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P2 กำหนดค่าประวิง  
เวลาในข่ายเชื่อมต่อโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 128 มิลลิวินาที

P2 : link delay 256 ms



รูปที่ 5.27 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P2 กำหนดค่าประวิง  
เวลาในข่ายเชื่อมต่อโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2 เท่ากับ 256 มิลลิวินาที



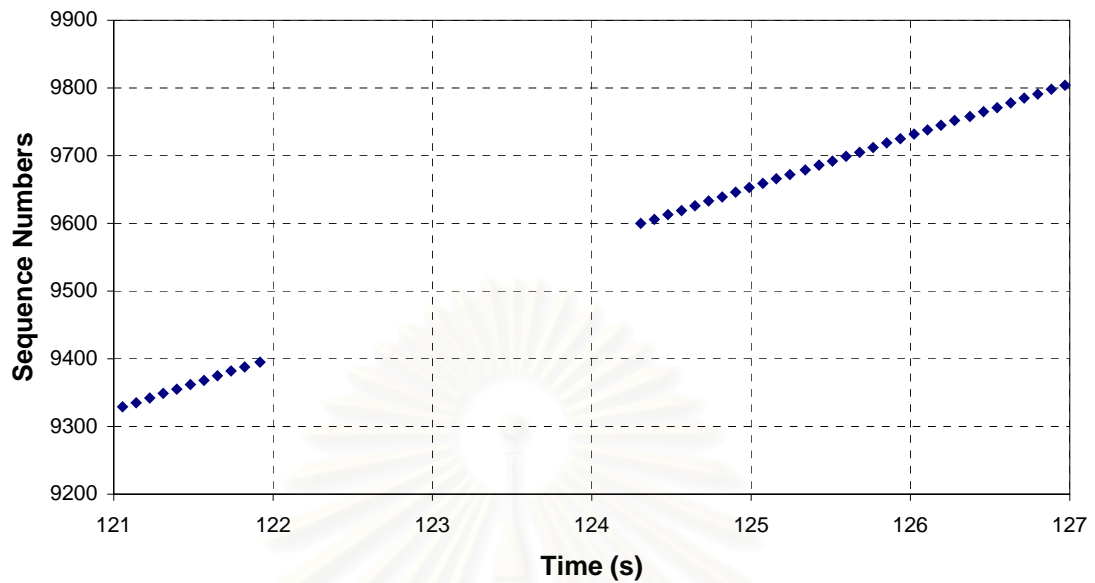
รูปที่ 5.28 กราฟแสดงค่า handoff delay เทียบกับค่า delay ในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง FA2 และ crossover router ในวิธีที่ได้มีผู้เสนอไว้ และวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์

รูปที่ 5.16 ถึง 5.27 เมื่อทดลองให้ข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง FA2 กับ crossover router มี delay ต่างจากในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง FA1 กับ crossover router พบว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบและวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์มี handoff delay สูงขึ้นเมื่อจำลองแบบให้ข่ายเชื่อมโยงข้อมูลมี delay สูงขึ้น เนื่องจาก delay ในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลที่สูงขึ้นทำให้ต้องใช้เวลาในการส่งและรับแพ็กเก็ตเกิดลงทะเบียนนานขึ้น อย่างไรก็ตาม การแฮนด์ออฟในวิธีที่เสนอนี้ก็ยังคงให้สมรรถนะที่ดีกว่าวิธี ECS และ LCS (ดูรูปที่ 5.28)

### 5.2.3 ผลจากการจำลองแบบเทียบกับแบนด์วิดท์ในข่ายเชื่อมโยงข้อมูล

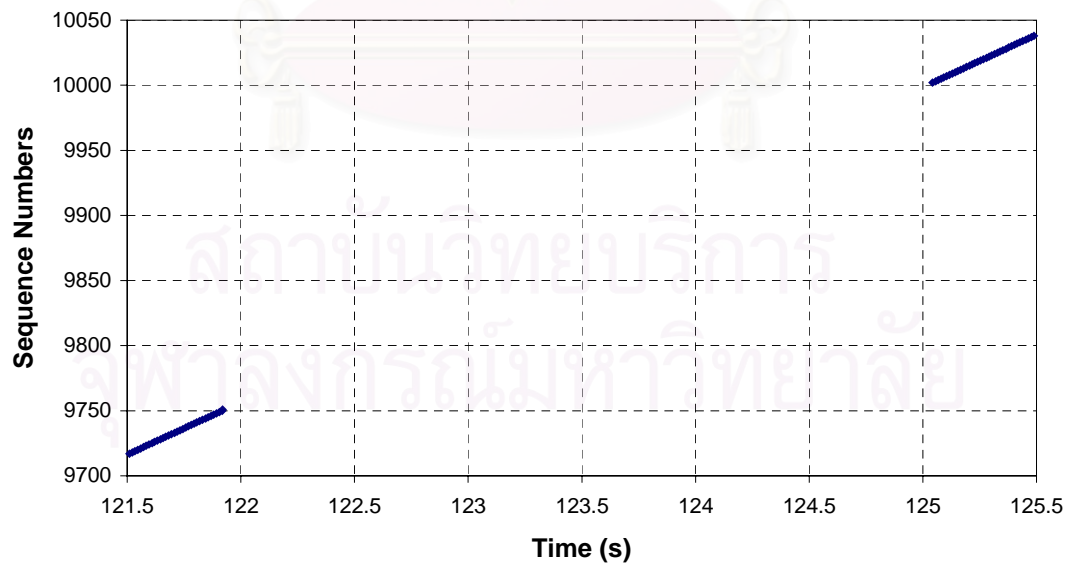
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

LCS : Bandwidth 50 kb

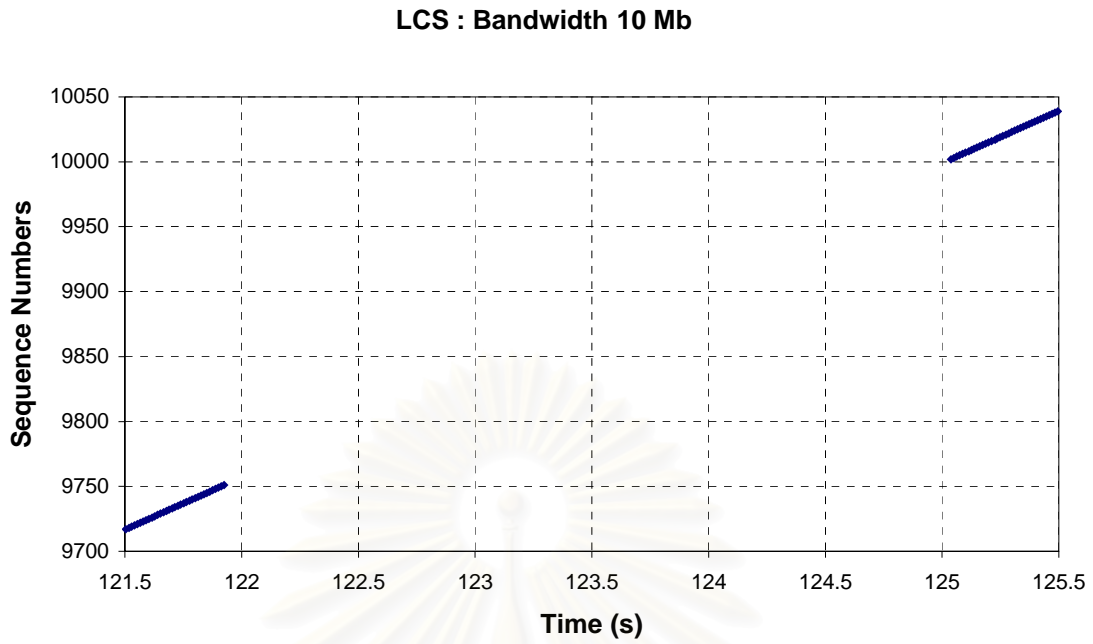


รูปที่ 5.29 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ LCS กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 50 กิโลบิตต่อวินาที

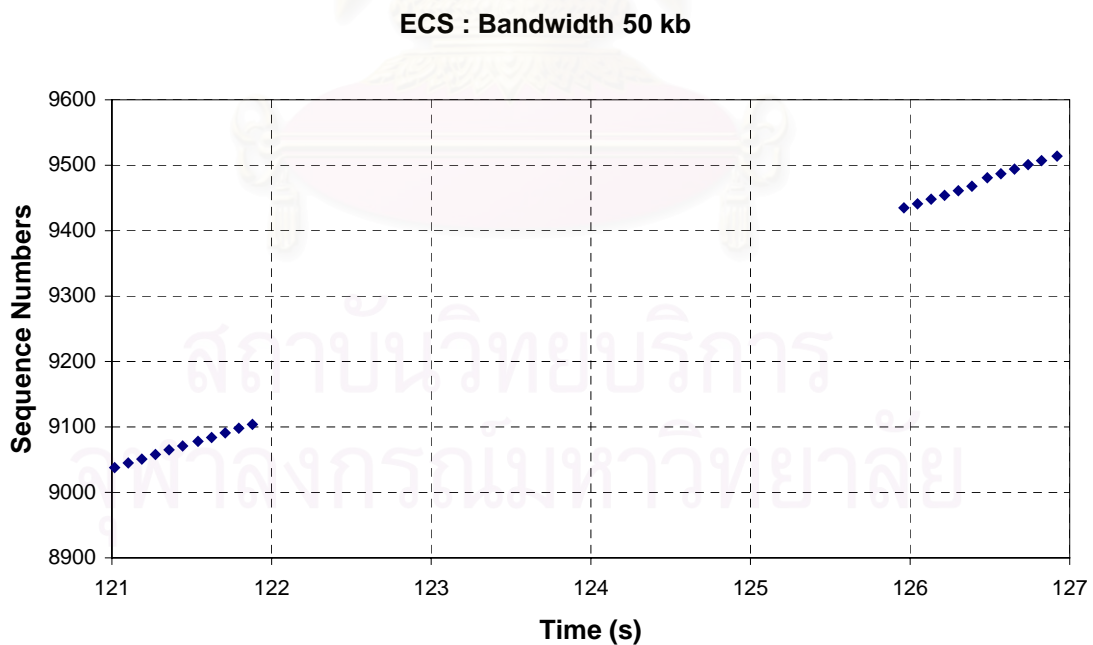
LCS : Bandwidth 2 Mb



รูปที่ 5.30 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ LCS กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 2 เมกกะบิตต่อวินาที

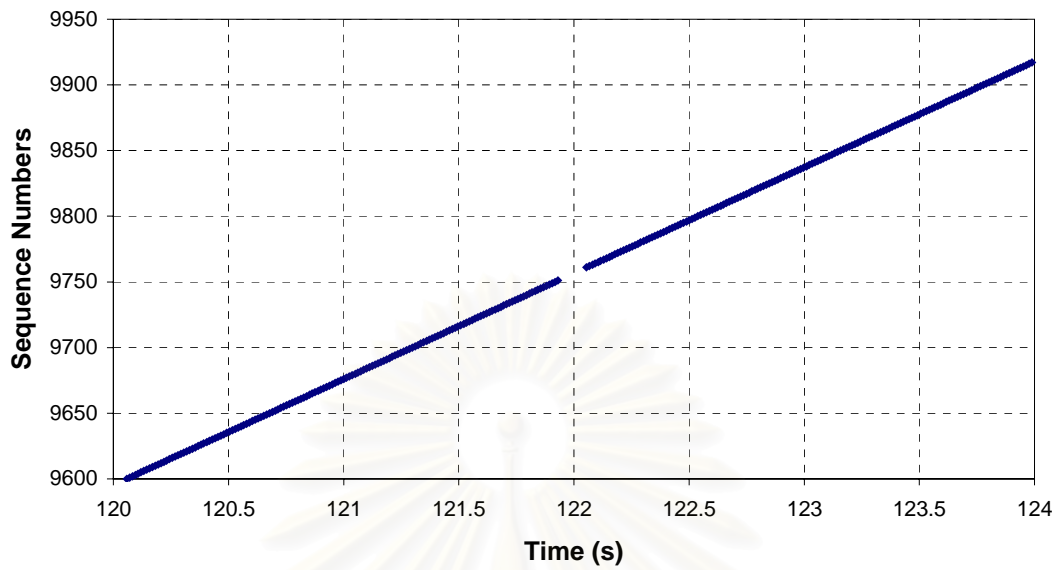


รูปที่ 5.31 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ LCS กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 10 เมกกะบิตต่อวินาที



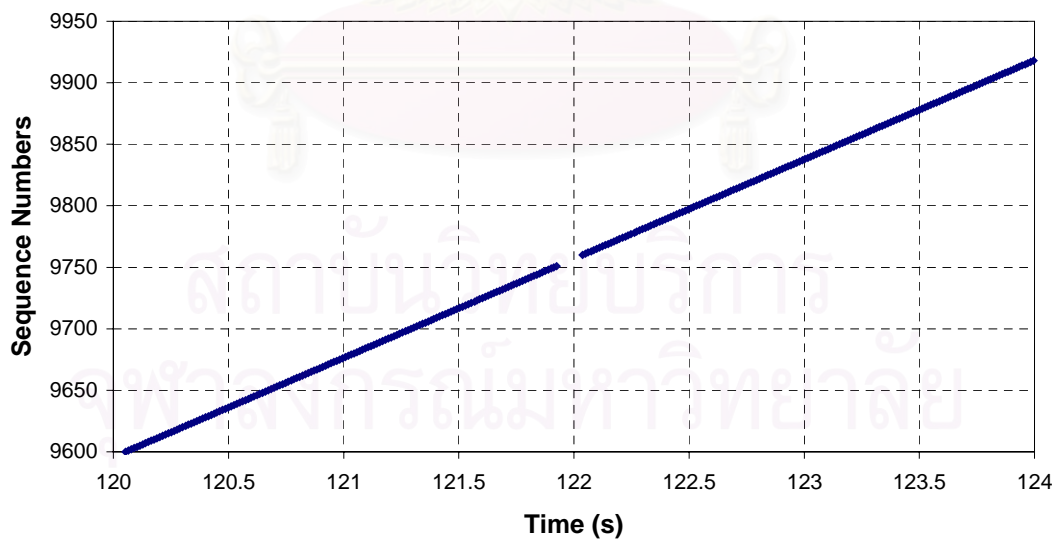
รูปที่ 5.32 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ ECS กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 50 กิโลบิตต่อวินาที

ECS : Bandwidth 2 Mb



รูปที่ 5.33 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ ECS กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 2 เมกกะบิตต่อวินาที

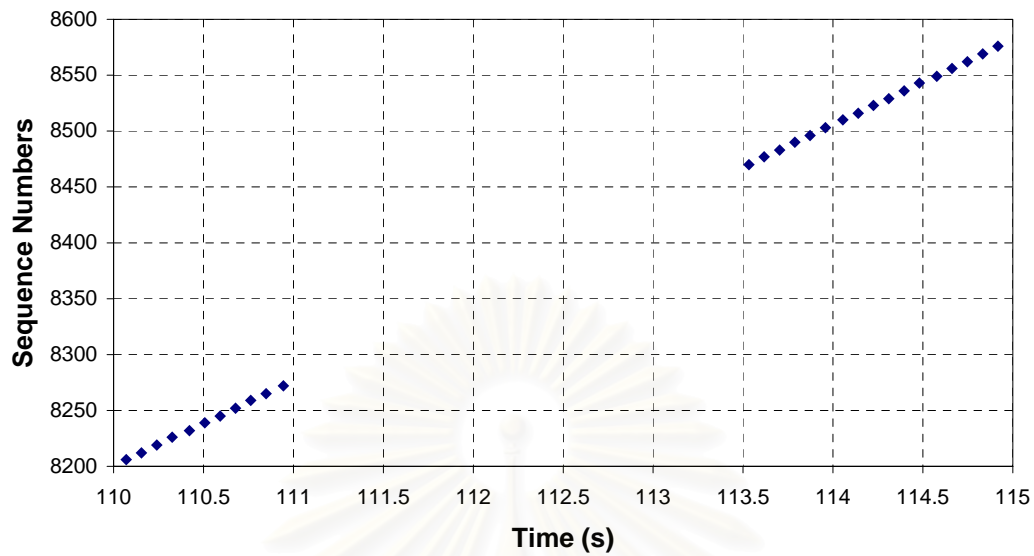
ECS : Bandwidth 10 Mb



รูปที่ 5.34 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ ECS กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 10 เมกกะบิตต่อวินาที

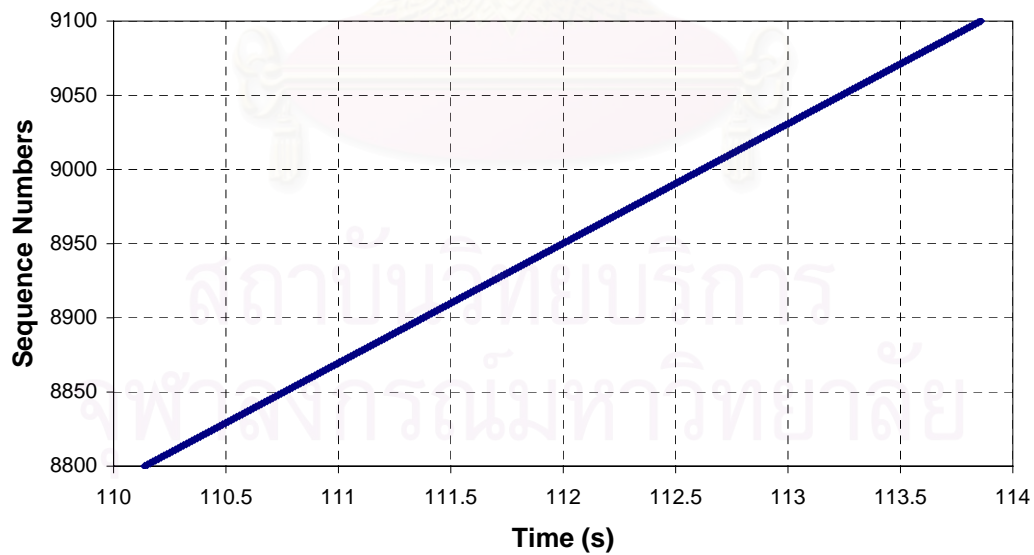


P1 : Bandwidth 50 kb

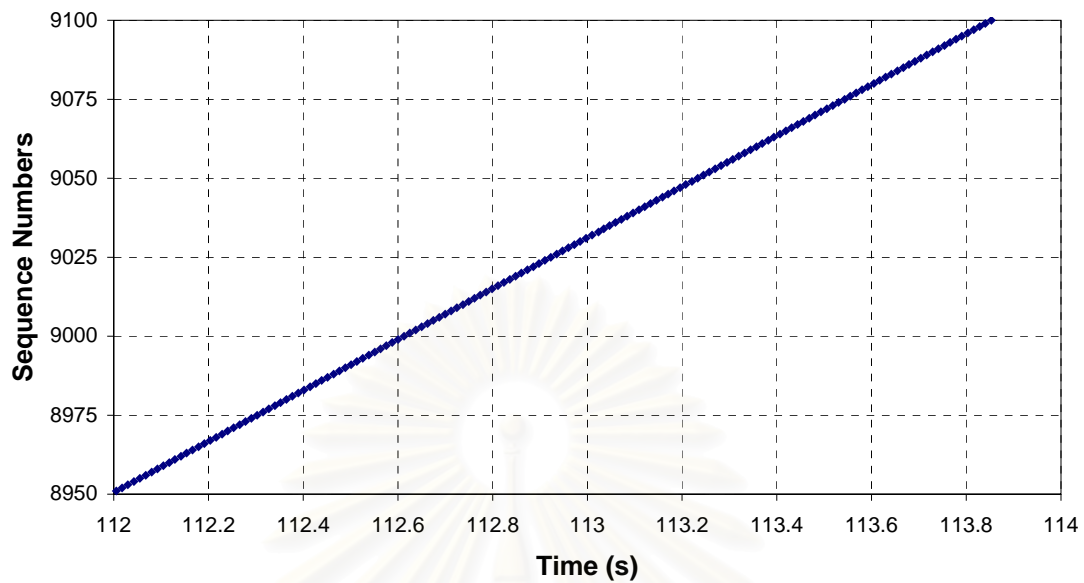


รูปที่ 5.35 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P1 กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 50 กิโลบิตต่อวินาที

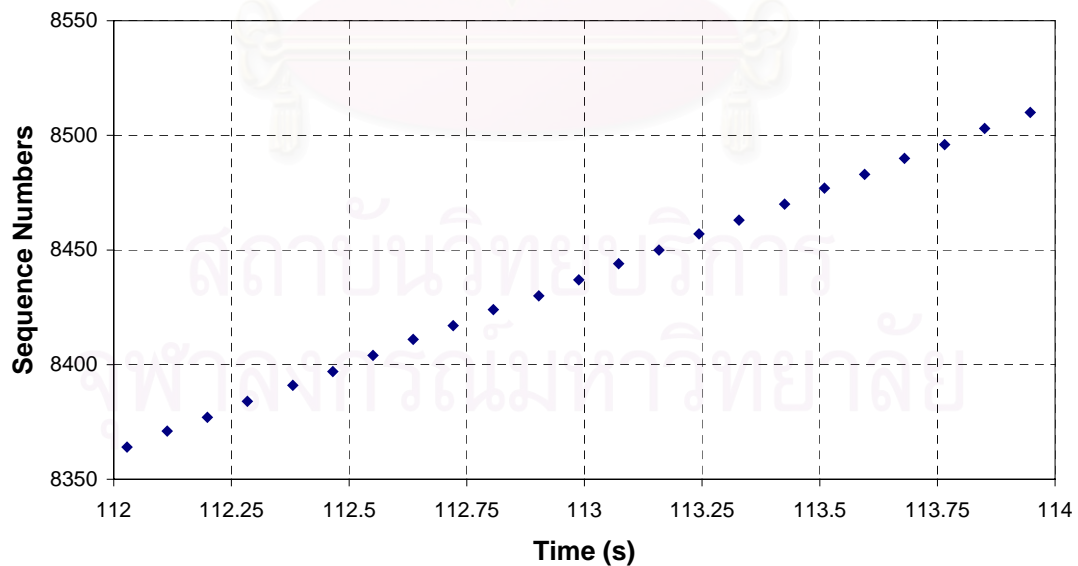
P1 : Bandwidth 2 Mb



รูปที่ 5.36 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P1 กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 2 เมกกะบิตต่อวินาที

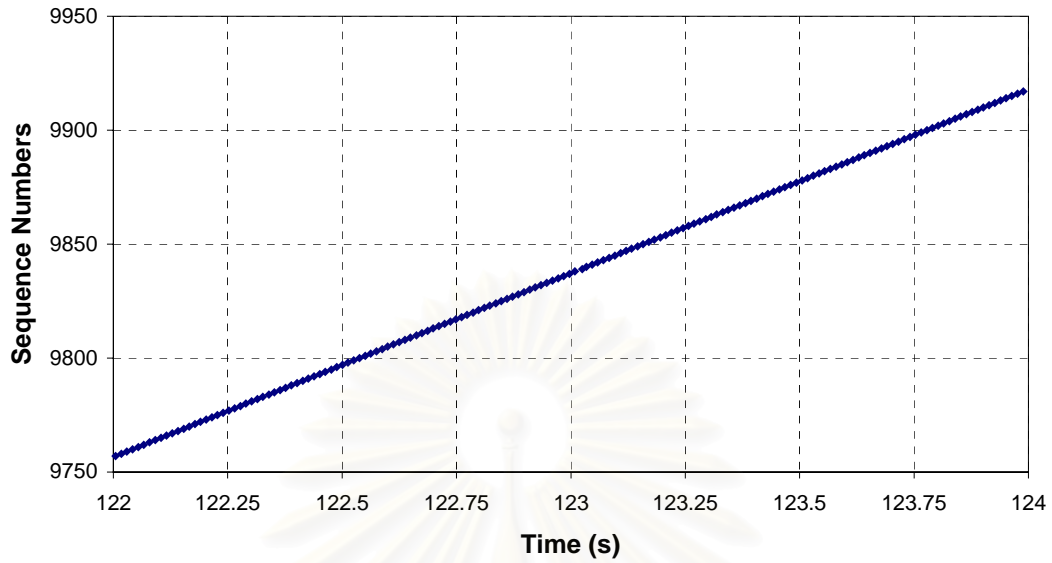
**P1 : Bandwidth 10 Mb**

รูปที่ 5.37 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P1 กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 10 เมกะบิตต่อวินาที

**P2 : Bandwidth 50 kb**

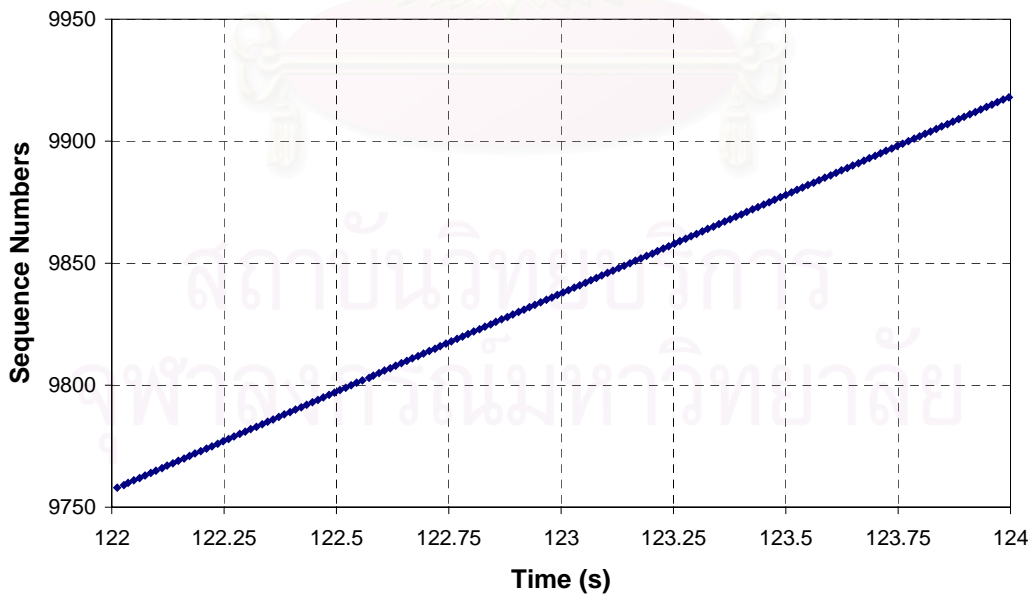
รูปที่ 5.38 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P2 กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 50 กิโลบิตต่อวินาที

P2 : Bandwidth 2 Mb



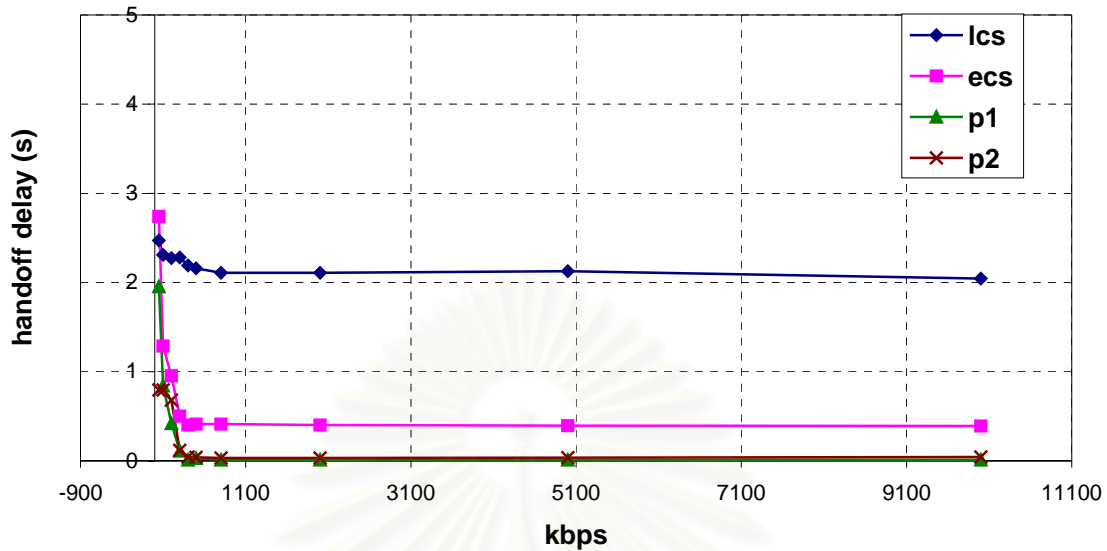
รูปที่ 5.39 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P2 กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 2 เมกกะบิตต่อวินาที

P2 : Bandwidth 10 Mb



รูปที่ 5.40 กราฟแสดงลำดับของแพ็กเก็ตที่ MN ได้รับเมื่อแฮนด์ออฟในแบบ P2 กำหนดให้สายส่งมีแบนด์วิดท์ 10 เมกกะบิตต่อวินาที

handoff delay : bandwidth variable



รูปที่ 5.41 กราฟแสดงค่า handoff delay เทียบกับค่าแบนด์วิดท์ในสายเชื่อมโยงข้อมูล ในวิธีที่ได้มีผู้เสนอไว้ และวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์

จากรูปที่ 5.29 ถึง 5.31 เมื่อกำหนดให้แบนด์วิดท์ในสายส่งมีค่าตั้งแต่ 50 กิโลบิตต่อวินาที ถึง 10 เมกกะบิตต่อวินาที พบว่า ถ้าสายส่งมีแบนด์วิดท์ต่ำมาก ๆ จะทำให้ส่งข้อมูลขาดไปบ้างในบางแพ็กเก็ต แม้ว่าอาจจะไม่ได้เกิดการแฮนด์ออฟ ในการแฮนด์ออฟแบบ LCS ค่าของแบนด์วิดท์ในสายส่งนั้นมีผลต่อค่า handoff delay ไม่มากนักเนื่องจากสมรรถนะของการแฮนด์ออฟนั้นได้รับผลกระทบจากการรอให้หมดเวลา timeout กล่าวคือ ต้องรอให้ไม่ได้รับแพ็กเก็ตติดต่อกันสามแพ็กเก็ตเสียก่อนจึงจะเริ่มแฮนด์ออฟเข้าหา FA ตัวใหม่ได้ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า แบนด์วิดท์ที่สูงกว่าจะทำให้สมรรถนะของการแฮนด์ออฟใน LCS ดีขึ้นได้แต่ไม่มากนัก เนื่องจากค่า handoff delay ได้รับผลกระทบจากกระบวนการเริ่มแฮนด์ออฟของ LCS เอง

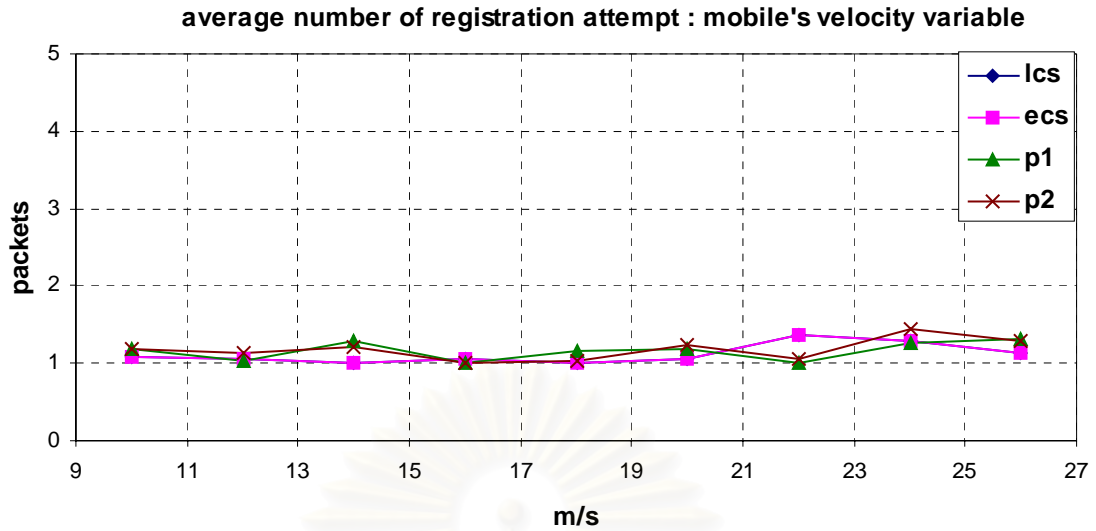
จากรูปที่ 5.32 ถึง 5.34 เมื่อกำหนดให้แบนด์วิดท์ในสายส่งมีค่าเท่ากับ 50 กิโลบิตต่อวินาที ทำให้แพ็กเก็ตส่งได้บ้างไม่ได้บ้าง เนื่องจากแบนด์วิดท์ต่ำกว่าอัตราบิตที่ใช้ส่งแพ็กเก็ตข้อมูลในการแฮนด์ออฟ แม้ว่า ECS จะเริ่มแฮนด์ออฟได้ทันทีที่ได้รับ Agent Advertisement จาก FA ตัวใหม่ แต่เนื่องจากสายส่งมีแบนด์วิดท์ต่ำเกินไปทำให้ข้อความร้องขอลงทะเบียนที่ส่งให้กับ FA ตัวใหม่ถูกรอรับทิ้ง จึงต้องรอให้หมดเวลา timeout ของการรอแพ็กเก็ตตอบรับลงทะเบียน ดังนั้น ถ้าใช้สายส่งที่มีแบนด์วิดท์ต่ำ ๆ จะส่งผลให้การรับส่งแพ็กเก็ตรวมทั้งการแฮนด์ออฟสมรรถนะต่ำ

จากรูปที่ 5.35 ถึง 5.40 กราฟแสดงลำดับแพ็กเก็ตข้อมูลที่ MN ได้รับเทียบกับเวลา ในวิธี เสนอที่ 1 และ 2 ในวิธีแรกนั้นจะเริ่มแฮนด์ออฟก่อนถึงพื้นขอบเซลล์เป็นเวลาเท่ากับค่าเฉลี่ยของ handoff delay ที่เก็บค่าไว้ก่อนใช้งาน รวมกับ ช่วงเวลาครึ่งคาบของการประกาศ Agent Advertisement จากผลการจำลองแบบพบว่า แบนด์วิดท์ในสายส่งที่มีค่าเท่ากับ 50 กิโลบิต ซึ่งต่ำกว่าอัตราส่งแพ็กเก็ตข้อมูล การจำลองแบบได้กำหนดให้แพ็กเก็ตข้อมูลมีขนาด 512 ไบต์ คาบในการส่งเท่ากับ 0.0124 วินาที ดังนั้นอัตราส่งแพ็กเก็ตข้อมูลเท่ากับ 330.32 กิโลบิตต่อวินาที MN จะไม่สามารถรับแพ็กเก็ตข้อมูลได้อย่างต่อเนื่องในระหว่างที่เกิดการแฮนด์ออฟ แม้ว่าจะเริ่มแฮนด์ออฟไปก่อน แต่ข้อความร้องขอลงทะเบียนถูกครอบไป ก็จะมีเวลาหน่วงเพิ่มขึ้นเนื่องจาก MN ต้องส่งข้อความร้องขอลงทะเบียนอีกครั้ง หลังจาก MN รอข้อความตอบรับลงทะเบียนจนหมดเวลา timeout อย่งไรก็ดี ถ้าแพ็กเก็ตขอลงทะเบียนไม่ถูกครอบไปเสียก่อน ก็ยังคงสามารถรับแพ็กเก็ตด้วยอัตราเร็วเท่ากับในช่วงเวลาที่ไม่ได้แฮนด์ออฟ เมื่อทดสอบด้วยแบนด์วิดท์สูงขึ้น คือ 2 และ 10 เมกะบิตต่อวินาที พบว่าสามารถรับแพ็กเก็ตข้อมูลได้ต่อเนื่อง สำหรับวิธีเสนอที่ 2 นั้นได้เริ่มแฮนด์ออฟก่อนเป็นเวลาเท่ากับหนึ่งคาบของการประกาศ Agent Advertisement บวกกับค่า rtt ในการส่งและรับแพ็กเก็ตลงทะเบียน นอกจากนี้การครอบแพ็กเก็ตเป็นเหตุการณ์สุ่ม จากกราฟผลการจำลองแบบพบว่า ถ้าแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนไม่ได้ถูกครอบ ประกอบกับ MN ได้เริ่มแฮนด์ออฟ ณ เวลาที่เหมาะสม จะทำให้ MN สามารถรับแพ็กเก็ตข้อมูลได้เหมือนกับช่วงเวลาที่ไม่ได้แฮนด์ออฟ ในกรณีที่สายส่งมีแบนด์วิดท์ไม่ต่ำมากนัก การแฮนด์ออฟยังคงสมรรถนะที่ดี นั่นคือ MN ยังคงสื่อสารได้อย่างต่อเนื่อง

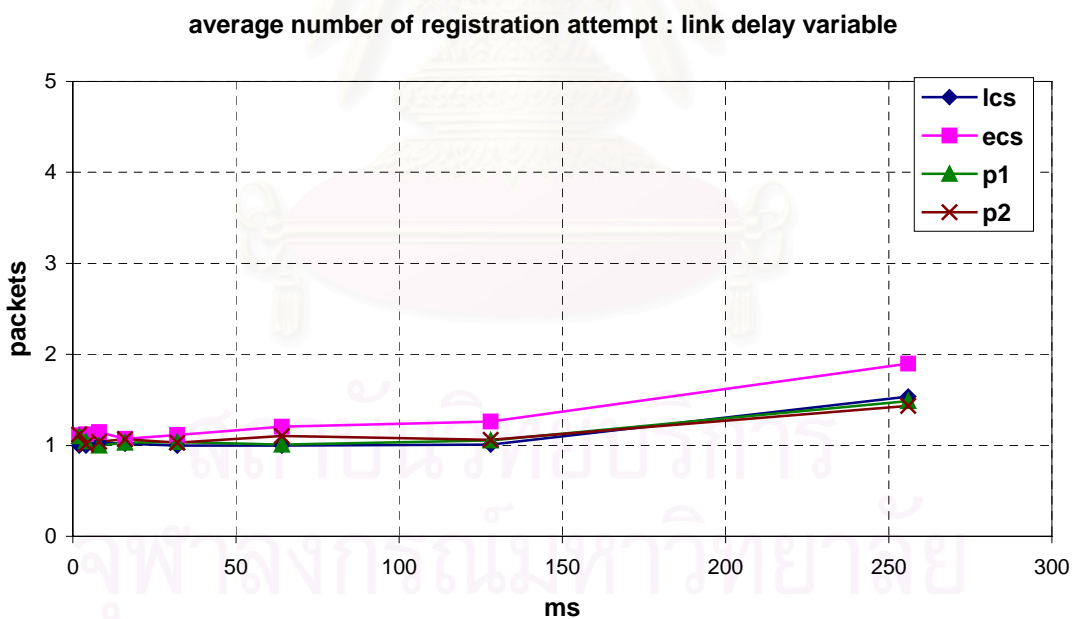
จากรูปที่ 5.41 การแฮนด์ออฟของวิธีที่เสนอทั้งสองวิธีนั้นให้สมรรถนะที่ดีใกล้เคียงกันในแบนด์วิดท์ที่เหมาะสม ซึ่งดีกว่าแบบ ECS และ LCS

#### 5.2.4 จำนวนครั้งในการส่งข้อความร้องขอลงทะเบียนต่อการแฮนด์ออฟหนึ่งครั้ง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

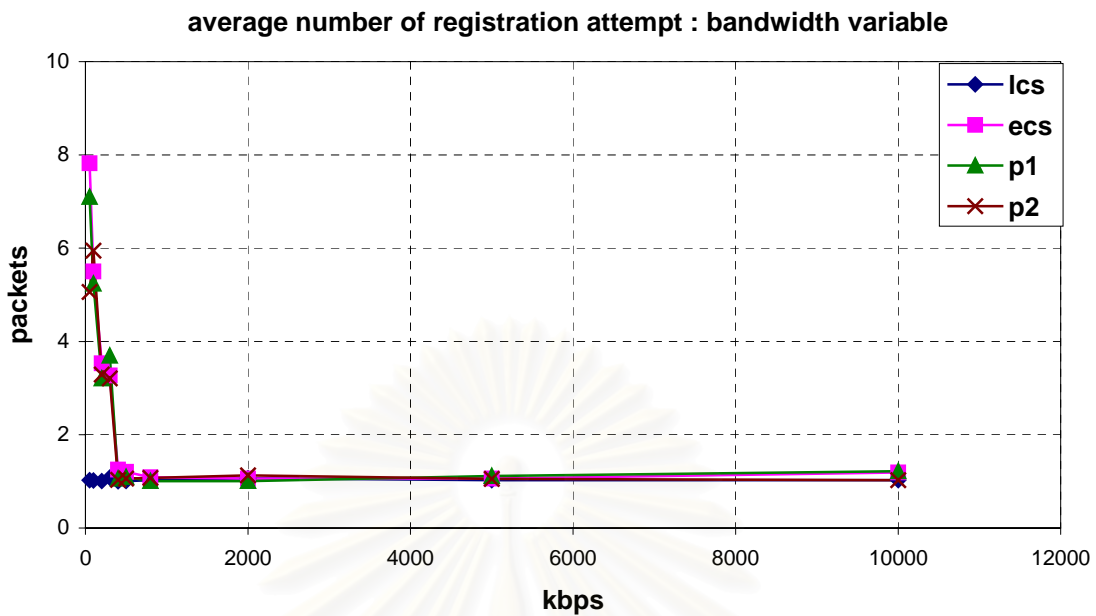


รูปที่ 5.42 จำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตกระตุ้นของลงทะเลเบียดต่อการแฮนด์ออฟหนึ่งครั้ง เทียบกับอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN



รูปที่ 5.43 จำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตกระตุ้นของลงทะเลเบียดต่อการแฮนด์ออฟหนึ่งครั้ง เทียบกับค่ากัประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2



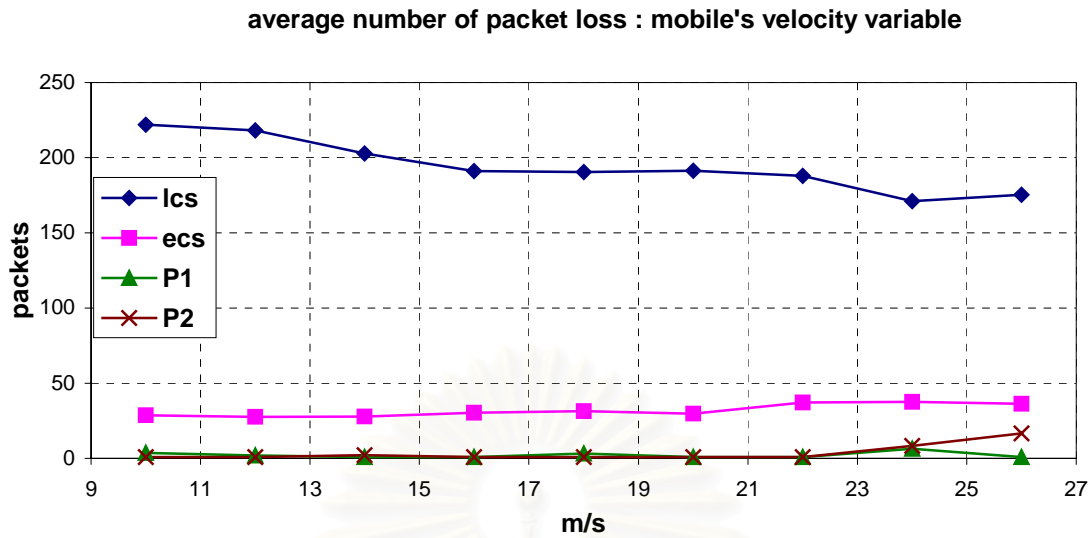


รูปที่ 5.44 จำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตที่ก่อให้เกิดร้องขอลงทะเบียนต่อการแฮนด์ออฟหนึ่งครั้งเทียบกับแบนด์วิดท์ในสายส่ง

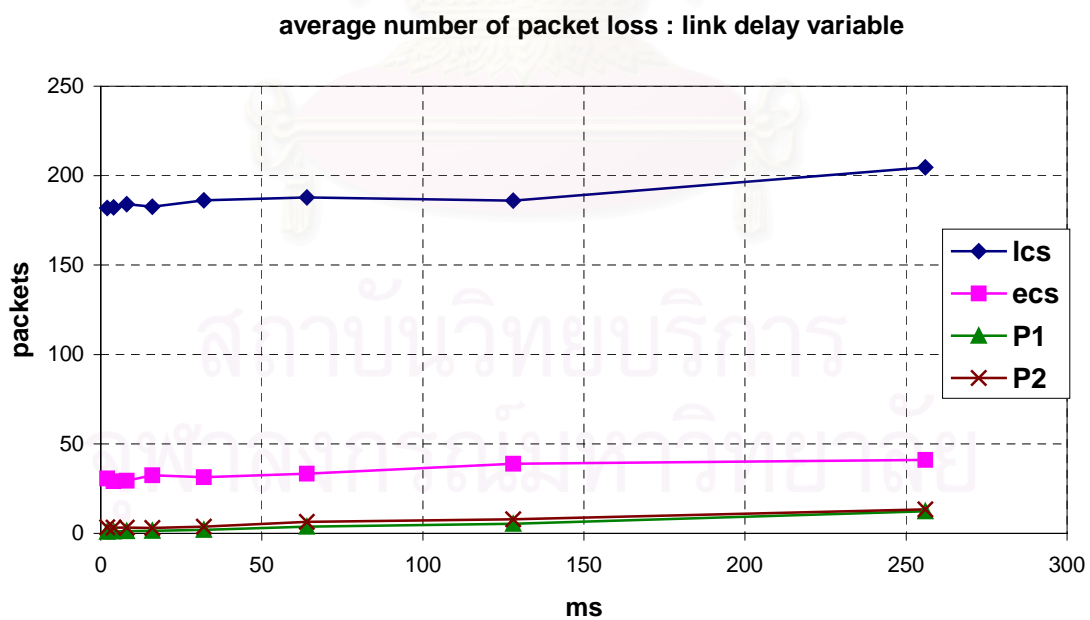
รูปที่ 5.42 ถึง 5.44 เปรียบเทียบจำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตที่ก่อให้เกิดร้องขอลงทะเบียนต่อการแฮนด์ออฟหนึ่งครั้งของวิธีที่เสนอทั้งสองวิธี กับวิธีที่ได้มีผู้เสนอไว้ พบว่า ใช้จำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตที่ก่อให้เกิดร้องขอลงทะเบียนเท่ากัน ทั้งในการจำลองแบบเทียบกับอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN และ การจำลองแบบเทียบกับแบนด์วิดท์ของสายส่ง เว้นแต่กรณีของการจำลองแบบเทียบกับค่า delay ในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลของ FA ตัวใหม่ พบว่าวิธีที่เสนอมีจำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตที่ก่อให้เกิดร้องขอลงทะเบียนเท่ากับแบบ LCS และน้อยกว่าแบบ ECS ซึ่งถึงว่าการส่งแพ็กเก็ตที่ก่อให้เกิดร้องขอลงทะเบียนที่น้อยกว่า ทำให้ไม่เป็นภาระให้กับโครงข่าย และสิ้นเปลืองน้อยกว่า

#### 5.2.5 จำนวนแพ็กเก็ตสูญหายในระหว่างการแฮนด์ออฟหนึ่งครั้ง

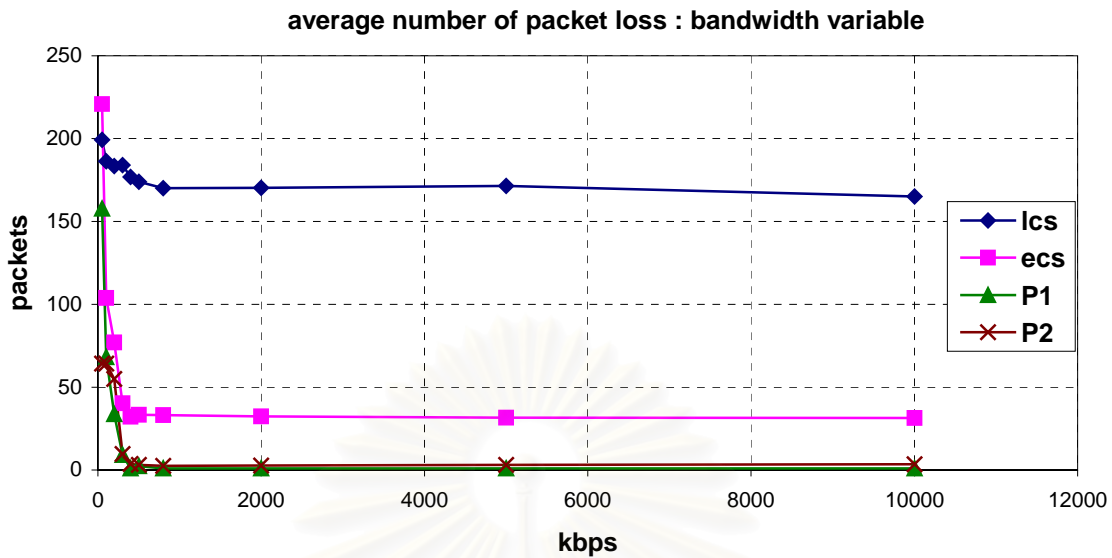
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.45 จำนวนแพ็กเก็ตสูญหายในระหว่างแฮนด์ออฟหนึ่งครั้ง เทียบกับอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN



รูปที่ 5.46 จำนวนแพ็กเก็ตสูญหายในระหว่างแฮนด์ออฟหนึ่งครั้ง เทียบกับค่าประวิงเวลาในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง crossover router และ FA2



รูปที่ 5.47 จำนวนแพ็กเก็ตสูญหายในระหว่างแฮนด์ออฟหนึ่งครั้ง เทียบกับแบนด์วิดท์ในสายส่ง

รูปที่ 5.45 ถึง 5.47 แสดงจำนวนแพ็กเก็ตที่สูญหายระหว่างแฮนด์ออฟ ซึ่งแปรผันตามช่วง handoff delay แพ็กเก็ตข้อมูลส่งด้วยอัตราคงที่ เมื่อ MN ขาดการติดต่อกับ FA แพ็กเก็ตที่ส่งมายัง FA ตัวเดิมไม่สามารถส่งให้กับ MN ได้จึงครอบแพ็กเก็ตทิ้งไปจนกว่า MN จะลงทะเบียนเสร็จและเริ่มรับแพ็กเก็ตข้อมูลจากตัวแทนตัวใหม่ handoff delay ในวิธีที่เสนอนั้นเป็นช่วงเวลาที่ยาวกว่า handoff delay ในวิธีที่ได้มีผู้เสนอไว้ ดังนั้นจำนวนแพ็กเก็ตสูญหายในวิธีที่เสนอจึงน้อยกว่า จากรูปที่ 5.45 แพ็กเก็ตสูญหายในวิธีที่เสนอทั้งสองวิธีและ ECS มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อโนดเคลื่อนที่เร็วขึ้น ต่างกับ LCS ซึ่งเริ่มการแฮนด์ออฟด้วยค่า Lifetimes ดังนั้นโนดที่เคลื่อนที่ช้าจะเริ่มนับเวลาช้ากว่า ทำให้แฮนด์ออฟล่าช้า มี handoff delay สูงกว่า ส่งผลให้โนดที่เคลื่อนที่ช้าลง จะมีแพ็กเก็ตสูญหายมากขึ้น นั่นคือ เมื่อจำลองให้โนดเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็ว 10 เมตรต่อวินาที พบแพ็กเก็ตสูญหายเฉลี่ย 222 แพ็กเก็ต เมื่อให้โนดเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 26 เมตรต่อวินาที พบแพ็กเก็ตสูญหายเฉลี่ย 175 แพ็กเก็ต

เมื่อพิจารณาการจำลองแบบที่มี delay เป็นตัวแปรค่า จากรูปที่ 5.46 พบว่า delay ในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลระหว่าง FA2 กับ crossover router มีผลกับจำนวนแพ็กเก็ตสูญหายระหว่างการแฮนด์ออฟ ข่ายเชื่อมโยงที่มี delay สูงขึ้น จะพบแพ็กเก็ตสูญหายมากขึ้น ในแบบจำลองที่โครงข่ายคับคั่งมาก delay เท่ากับ 256 มิลลิวินาทีนั้นพบแพ็กเก็ตสูญหายมากกว่า ผลที่ได้จากแบบจำลองที่ข่ายเชื่อมโยงมี delay เท่ากับ 2 มิลลิวินาที ประมาณ 10 แพ็กเก็ต ทั้งในวิธีที่เสนอ และวิธีที่ได้มีผู้เสนอไว้

เมื่อพิจารณาการจำลองแบบที่กำหนดให้แบนด์วิดท์เป็นตัวแปรค่า จากรูปที่ 5.47 พบว่า เมื่อกำหนดให้แบนด์วิดท์มีค่าต่ำสุดเท่ากับ 50 กิโลบิตต่อวินาที ซึ่งต่ำกว่าอัตราส่งแพ็กเก็ตข้อมูล 330.32 กิโลบิตต่อวินาที ทำให้เราเตอร์ต้องครอบแพ็กเก็ตทิ้งแม้ว่าจะไม่เกิดการแฮนด์ออฟก็ตาม ถ้ากำหนดให้ตัวกลางมีแบนด์วิดท์ต่ำแพ็กเก็ตก็จะสูญหายมากขึ้น ที่แบนด์วิดท์ต่ำกว่า 300 กิโลบิตต่อวินาทีนั้น แบนด์วิดท์จะมีผลต่อจำนวนแพ็กเก็ตที่สูญหายเป็นอย่างมาก เพราะนอกจากเราเตอร์จะต้องครอบแพ็กเก็ตข้อมูลแล้ว แพ็กเก็ตที่ใช้ในการลงทะเบียนทุกประเภทก็จะถูกรอบด้วย ทำให้มี handoff delay สูงขึ้น ส่งผลให้มีแพ็กเก็ตสูญหายเป็นจำนวนมากขึ้น ที่แบนด์วิดท์ตั้งแต่ 300 กิโลบิตต่อวินาทีไปจนถึง 10 เมกะบิตต่อวินาทีนั้น แพ็กเก็ตสูญหายมีค่าที่แตกต่างกันไม่มากนัก เนื่องจากแพ็กเก็ตที่ใช้ในการลงทะเบียนไม่ถูกรอบนั่นเอง ยกเว้นการเริ่มแฮนด์ออฟด้วย LCS ที่จำนวนแพ็กเก็ตสูญหายไม่แตกต่างกันมากนักเพราะ LCS เริ่มแฮนด์ออฟช้า แม้ว่าแพ็กเก็ตที่ใช้ในการลงทะเบียนจะไม่ได้ถูกรอบเนื่องจากแบนด์วิดท์ต่ำเกินไป แต่การเริ่มแฮนด์ออฟช้าทำให้มี handoff delay สูงขึ้น และแพ็กเก็ตสูญหายมากขึ้น

## บทที่ 6

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟด้วยกลยุทธ์การเริ่มแฮนด์ออฟแบบปรับตัวได้ สามารถสรุปผลการจำลองแบบได้ดังนี้

1. ค่า handoff delay ที่ได้จากการจำลองแบบทั้ง 3 กรณี นั่นคือ กำหนดให้อัตราเร็วของ MN เป็นตัวแปรค่า กำหนดให้ delay ในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลจาก FA2 ถึง crossover router เป็นตัวแปรค่า และ กำหนดให้แบนด์วิดท์ในตัวกลางเป็นตัวแปรค่า พบว่า ในการแฮนด์ออฟแบบ LCS จะได้ handoff delay ขึ้นกับอัตราเร็วของ MN ในขณะที่เกิดการแฮนด์ออฟ นั่นคือ MN เคลื่อนที่เร็วขึ้นจะทำให้ handoff delay ลดลง สำหรับ delay และ แบนด์วิดท์ในตัวกลางนั้นมีผลต่อ handoff delay น้อยกว่าผลที่ได้จากความเร็วของ MN ที่เปลี่ยนไป เนื่องจาก LCS เริ่มแฮนด์ออฟหลังจากหมดเวลา timeout ประมาณ 3 วินาทีจึงให้ผลต่อค่า handoff delay ได้มากกว่า ในการแฮนด์ออฟด้วยวิธี ECS และวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์ P1 กับ P2 พบว่าแนวโน้มของ handoff delay เป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือ handoff delay เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN เพิ่มขึ้น และพบว่า handoff delay เพิ่มขึ้นเมื่อทดสอบให้ค่า delay ในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลสูงขึ้น เมื่อกำหนดให้แบนด์วิดท์ต่ำกว่า อัตราส่งแพ็กเก็ตข้อมูล ประมาณ 300 กิโลบิตต่อวินาทีจะให้ handoff delay ในแบนด์วิดท์ที่สูงกว่า 300 กิโลบิตต่อวินาทีพบว่าได้ handoff delay ลดลงเล็กน้อยตามแบนด์วิดท์ที่สูงขึ้น
2. จำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนที่ได้จากการจำลองแบบทั้ง 3 กรณี เมื่อกำหนดให้อัตราเร็วของ MN เป็นตัวแปรค่า กำหนดให้ delay ในข่ายเชื่อมโยง
3. ข้อมูลจาก FA2 ถึง crossover router เป็นตัวแปรค่า และ กำหนดให้แบนด์วิดท์ในตัวกลางเป็นตัวแปรค่า พบว่าอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN ไม่มีผลต่อจำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียน เนื่องจากทั้งวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ และวิธีที่เสนอ จะเริ่มส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนได้ก็ต่อเมื่อ MN ได้รับ agent advertisement เท่านั้น ดังนั้น อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN จึงไม่ส่งผลต่อจำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียน เมื่อกำหนดให้ delay เป็นตัวแปรค่า พบว่า ทั้งวิธีที่เสนอและวิธีที่นำมาเปรียบเทียบมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือ

เมื่อกำหนดให้ delay เท่ากับ 256 มิลลิวินาที จำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตร้องขอลง ทะเบียนจะเพิ่มขึ้น เนื่องจาก ค่า delay ที่ยาวนานถึง 256 มิลลิวินาที ทำให้แพ็กเก็ตตอบรับการลงทะเบียนมาถึงช้ากว่าค่า timeout ที่ได้กำหนดไว้ให้ MN รอรับแพ็กเก็ตตอบรับลงทะเบียน เมื่อ MN รอจนหมดเวลา timeout จึงส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนซ้ำอีกครั้งหนึ่ง เมื่อจำลองแบบโดยให้แบนด์วิดท์เป็นตัวแปรค่า พบว่า ในการแฮนด์ออฟด้วย LCS ค่าแบนด์วิดท์ในตัวกลางนั้นไม่มีผลต่อจำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียน เนื่องจาก LCS เริ่มแฮนด์ออฟหลังจากหมดเวลา Lifetime ไปแล้ว นั่นคือ ประมาณ 3 วินาทีหลังจากได้รับ Agent Advertisement แพ็กเก็ตล่าสุดเมื่อรอจนหมดเวลา Lifetime แพ็กเก็ตข้อมูลจะถูกบัพเฟอร์ไว้ก่อนแล้ว ช่องสัญญาณจึงว่าง ทำให้แพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนไม่ถูกรอรับ แม้ว่าแบนด์วิดท์จะต่ำก็ยังไม่ส่งผลใด ๆ กับจำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียน ต่างกับการแฮนด์ออฟด้วย ECS และวิธีที่เสนอทั้งสองวิธี ซึ่งส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนในขณะเดียวกับที่รับแพ็กเก็ตข้อมูล เมื่อกำหนดให้แบนด์วิดท์ต่ำแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนจะถูกบัพเฟอร์และถูกรอรับไปเช่นเดียวกับแพ็กเก็ตข้อมูล ดังนั้น ที่แบนด์วิดท์ต่ำกว่าอัตราส่งแพ็กเก็ตข้อมูล จะทำให้การส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเบียนมีจำนวนครั้งเพิ่มขึ้นด้วย

4. จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่สูญหายในระหว่างการแฮนด์ออฟเป็นผลสืบเนื่องมาจาก MN ขาดการติดต่อกับตัวแทนเมื่อเคลื่อนที่ออกพ้นขอบเซลล์ จำนวนแพ็กเก็ตที่สูญหายแปรผันตาม handoff delay ดังนั้น แนวโน้มของจำนวนแพ็กเก็ตที่สูญหายจึงเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับค่า handoff delay นั่นคือ ในการแฮนด์ออฟแบบ LCS จำนวนแพ็กเก็ตสูญหายจะลดลงเมื่ออัตราเร็วของ MN เพิ่มขึ้น ผลกระทบจากความเร็วของ MN ที่เปลี่ยนไปนั้น พบว่า LCS เริ่มแฮนด์ออฟหลังจากหมดเวลา timeout ประมาณ 3 วินาทีจึงมี handoff delay สูงกว่า ส่งผลให้มีแพ็กเก็ตสูญหายมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ ECS และวิธีที่เสนอทั้งสองวิธี ในการแฮนด์ออฟด้วยวิธี ECS และวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์ P1 กับ P2 พบว่าแนวโน้มของจำนวนแพ็กเก็ตที่สูญหายเป็นไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือ แพ็กเก็ตสูญหายมากขึ้นอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN สูงขึ้น และแพ็กเก็ตสูญหายเพิ่มขึ้นเมื่อทดสอบให้ค่า delay สูงขึ้น เมื่อกำหนดให้แบนด์วิดท์ต่ำกว่าอัตราส่งแพ็กเก็ตข้อมูล ประมาณ 300 กิโลบิตต่อวินาทีพบว่าจำนวนแพ็กเก็ตสูญหายเพิ่มขึ้น ในแบนด์วิดท์ที่สูงกว่า 300 กิโลบิตต่อวินาทีพบว่าจำนวนแพ็กเก็ตสูญหายลดลงเล็กน้อยตามแบนด์วิดท์ที่สูงขึ้น อย่างไรก็ตาม จำนวนแพ็กเก็ตสูญหายระหว่างการแฮนด์ออฟจะมากขึ้นกับอัตราบิตที่ส่งแพ็กเก็ตด้วย



ถ้าพิจารณาช่วงเวลาขาดการติดต่อเป็นเวลาเท่า ๆ กัน ข้อมูลเสียงที่มีส่งด้วยอัตราบิตต่ำจะมีแพ็กเก็ตสูญหายน้อยกว่า ข้อมูลภาพ และข้อมูลวิดีโอ ที่ส่งด้วยอัตราบิตสูงกว่าข้อมูลเสียง

4. จากผลการจำลองแบบในตัวแปรค่าทั้ง 3 ตัวแปร นั่นคือ อัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN ค่า delay ในข่ายเชื่อมโยงข้อมูล และแบนด์วิดท์ของตัวกลาง พบว่า วิธีที่เสนอทั้งสองวิธีให้ค่า handoff delay ต่ำกว่า มีจำนวนแพ็กเก็ตสูญหายน้อยกว่า วิธีที่นำมาเปรียบเทียบทั้งสองวิธี แต่ยังคงมีจำนวนครั้งในการส่งแพ็กเก็ตร้องขอลงทะเลเป็นปกติเคียงกับวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ แสดงให้เห็นว่า วิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์สามารถปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟให้ดีขึ้นได้ โดยไม่สร้างภาระให้กับระบบ นอกจากนี้วิธีที่เสนอยังมีเงื่อนไขที่เป็นไปตามข้อกำหนดของ Mobile IP (รายละเอียดในบทที่ 2 หัวข้อ 2.3 ข้อกำหนดของ Mobile IP) อย่างไรก็ดี ในวิธีที่เสนอต้องอาศัยกระบวนการค้นหาตำแหน่งเพื่อเป็นข้อมูลประกอบกับวิธีที่เสนอ ดังนั้นวิธีที่เสนอยังต้องใช้สัญญาณควบคุมเพิ่มขึ้นสำหรับการค้นหาตำแหน่งด้วย

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการทำวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ คือ การทดสอบสมรรถนะการแฮนด์ออฟด้วยโปรแกรมจำลอง NS จำลองการทำงานพื้นฐานของโครงข่ายด้วยภาษาซีและทำงานบนระบบปฏิบัติการ Linux จึงใช้เวลาประมวลผลน้อย นอกจากนี้การกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ บนโครงข่ายที่จำลองแบบจะเขียนด้วยภาษา TCL ที่ง่ายต่อการแก้ไข การจำลองแบบอาศัยการรับส่งค่าของตัวแปร และการเรียกฟังก์ชันจากคำสั่งในภาษา TCL ไปยังภาษาซี การแก้ไขโครงสร้างประกอบต่าง ๆ ภายในโครงข่ายที่จำลองไว้ใน NS ทำงานตามที่ได้ออกแบบไว้จะทำได้ยากในส่วนของการทำงานจับคู่แปรและฟังก์ชันที่ได้เพิ่มเติมเข้าไปใหม่ และ NS เป็นโปรแกรมขนาดใหญ่ การแก้ไขชุดคำสั่งในส่วนเล็ก ๆ จะมีผลให้ต้องแก้ไขชุดคำสั่งในส่วนอื่น ๆ ด้วย

ข้อดีของ NS คือ เนื่องจาก NS เป็นโปรแกรมที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในงานวิจัยด้านโครงข่ายสื่อสารข้อมูล การหาทางแก้ปัญหาจึงต้องอาศัยการสอบถามจากผู้ใช้อื่นทั้งในและนอกประเทศ ทำให้ได้รับผลพลอยได้เป็นคำแนะนำเกี่ยวกับการวิจัยนอกเหนือจากตัวโปรแกรม นอกจากนี้ยังทำให้ผู้วิจัยได้เรียนรู้การเขียนโปรแกรมหลายภาษา ให้ผลดีทางอ้อมคือได้พัฒนาทักษะในการเขียนโปรแกรม ข้อดีอีกประการหนึ่งคือการจำลองแบบด้วย NS มีความถูกต้องและเชื่อถือได้ช่วยให้ร่นระยะเวลาในการแก้ปัญหาเนื่องจากผลการจำลองแบบไม่ถูกต้อง นอกจากนี้การทำวิจัยเป็นกลุ่มจะช่วยแก้ปัญหาทั้งในส่วนของการจำลองแบบ และปัญหาด้านอื่น อย่างไรก็ดี

การแก้ปัญหาด้วยตนเองก่อนจะทำให้ได้ความรู้มากกว่า กว้างขวางกว่าการสอบถามจากผู้อื่น และยังเป็นการแก้ปัญหาที่ตรงจุด ไม่ก่อให้เกิดปัญหาในระยะยาว เพราะปัญหาหลัก และปัญหา ระยะยาวนั้นผู้วิจัยจะต้องแก้ปัญหาด้วยตนเอง

แฟ้มบันทึกเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในโครงข่ายที่ได้จำลองแบบด้วย NS จะมีคอลัมน์จำนวนมาก ถ้าใช้เวลาจำลองเหตุการณ์นานกว่า 50 หรือ 60 วินาที แฟ้มบันทึกผลมีจำนวนบรรทัดมากเกินไปจนจะบรรจุในแผ่นงานเมื่อเปิดแฟ้มด้วยโปรแกรมเอกเซล ผู้วิจัยขอแนะนำให้ตัดคอลัมน์ และ บรรทัดที่ไม่จำเป็นออกก่อน ด้วยการเขียนคำสั่งเชลล์สคริปต์ของยูนิกซ์ซึ่งประมวลผลได้รวดเร็ว และเขียนชุดคำสั่งง่ายกว่า การเขียนด้วยภาษาเพิร์ล หรือภาษาซี การวิเคราะห์แฟ้มบันทึกเหตุการณ์ด้วยโปรแกรมเอกเซลมีข้อดีคือ มีโมดูลสำเร็จรูปมากมาย ทำให้เขียนชุดคำสั่งได้เร็วขึ้น เหมาะกับการวิเคราะห์ที่ได้จากการจำลองแบบซ้ำหลาย ๆ ครั้ง

ในการวิเคราะห์ผลการจำลองแบบพบว่า การเขียนชุดคำสั่งบนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ (Unix Shell Script) ใช้เวลาประมวลผลน้อยกว่า 1 ส่วนในสิบส่วนของระยะเวลาที่ใช้ในการประมวลผลด้วยโปรแกรมเอกเซลบนระบบปฏิบัติการวินโดวส์

งานวิจัยที่ควรได้รับการศึกษาและพัฒนาต่อไปในอนาคต คือ การแฮนด์ออฟใน Mobile IP ที่เกิดขึ้นในสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน มีทรัพยากร และการให้บริการแตกต่างกัน รวมถึง การแฮนด์ออฟที่เกิดขึ้นระหว่าง FA ที่ใช้ความถี่วิทยุต่างกัน จากผลการจำลองแบบพบว่าถ้าโครงข่าย คับคั่ง หรือแบนด์วิดท์ที่ต่ำเกินไปก็จะทำให้การปรับปรุงสมรรถนะด้วยการเริ่มแฮนด์ออฟนั้นได้ผลไม่ดีเท่าที่ควร ดังนั้นงานที่สามารถจะทำวิจัยต่อไปได้อีก คือ การปรับปรุงสมรรถนะการแฮนด์ออฟใน โครงข่ายที่แบนด์วิดท์ต่ำกว่าอัตราส่งข้อมูล และโครงข่ายที่มีความคับคั่ง มี delay สูง

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## รายการอ้างอิง

- 1 C. Perkins, "IP Mobility Support for IPv4," RFC 2002, Oct. 1996.
- 2 H. Balakrishnan, V.N. Padmanabhan, S. Seshan, and R.H. Katz, "A Comparison of Mechanisms for Improving TCP Performance Over Wireless Links," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol.5, no.6, pp.756-769, Dec. 1997.
- 3 M. Ronquist, "TCP Reaction to Rapid Changes of the Link Characteristics due to Handover in a Mobile Environment," M.S. thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, August 1999.
- 4 J.-W. Kwon, H.-D. Park and Y.-Z. Cho, "An Efficient TCP Mechanism for Mobile IP Handoffs," *IEEE Region 10 International Conference*, vol. 1, pp. 278-281, 2001.
- 5 D. Forsberg, J.T. Malinen, T. Weckstroem, and M. Tiisanen. Distributing Mobility Agents Hierarchically under Frequent Location Update. In *Proc. of Sixth IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications (MOMUC'99)*, SanDiego, CA, USA, 1999.  
[http://www.cs.hut.fi/Research/Dynamics/publications/dynamics\\_momuc99\\_papers](http://www.cs.hut.fi/Research/Dynamics/publications/dynamics_momuc99_papers)
- 6 D. Johnson and C. Perkins. Mobility Support in IPv6. INTERNET DRAFT work in progress, April 2000. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mobileip-aaa-key-01.txt>
- 7 E. Gustavsson, A. Jonsson, and E.C. Perkins. Mobile IP Regional Registration. INTERNET DRAFT work in progress, July 2000. <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mobileip-reg-tunnel-03.txt>
- 8 X. Zhao, C. Castelluccia, and M. Baker. Flexible Network Support for Mobile Hosts. In *To appear in MONET Special Issue on Management of Mobility in Distributed Systems*, 1999. <http://mosquitonet.stanford.edu/publications.html>
- 9 R. Singh, Y.C. Tay, W.T. Teo, and S.W. Yeow. RAT: A Quick (And Dirty?) Push for Mobility Support. In *Proceedings of the Second IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, New Orleans, LA, USA, February 1999.

- <http://www.research.att.com/conf/wmcsa99/papers/singh.ps.gz> Copyright at Technical University Berlin. All rights reserved. TKN-00-007 Page 34 TU BERLIN.
- 10 R. Ramjee, T. LaPorta, S. Thuel, and K. Varadhan. IP micro-mobility support using HAWAII. INTERNET DRAFT work in progress, July 2000.  
<http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-mobileip-hawaii-01.txt>
  - 11 A. Valko. Cellular IP - A New Approach to Internet Host Mobility. *ACM Computer Communication Review*, January 1999 (to appear). [publications/proc.html](#)
  - 12 M. Handley, H. Schulzrinne, E. Schooler, and J. Rosenberger. SIP: session initiation protocol. IETF Request for Comments (Proposed Standard) 2543, May 1999.  
Copyright at Technical University Berlin. All rights reserved. TKN-00-007 Page 33 TU BERLIN
  - 13 N.D. Tripathi, J.H. Reed and H.F. VanLandingham, "Handoff in Cellular Systems," *IEEE personal Communications*, pp. 26-37, Dec. 1998.
  - 14 S. McCanne and S. Floyd, "Network simulator ns (version2)," <http://www.isi.edu/nsnm/ns/>
  - 15 T.S. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.

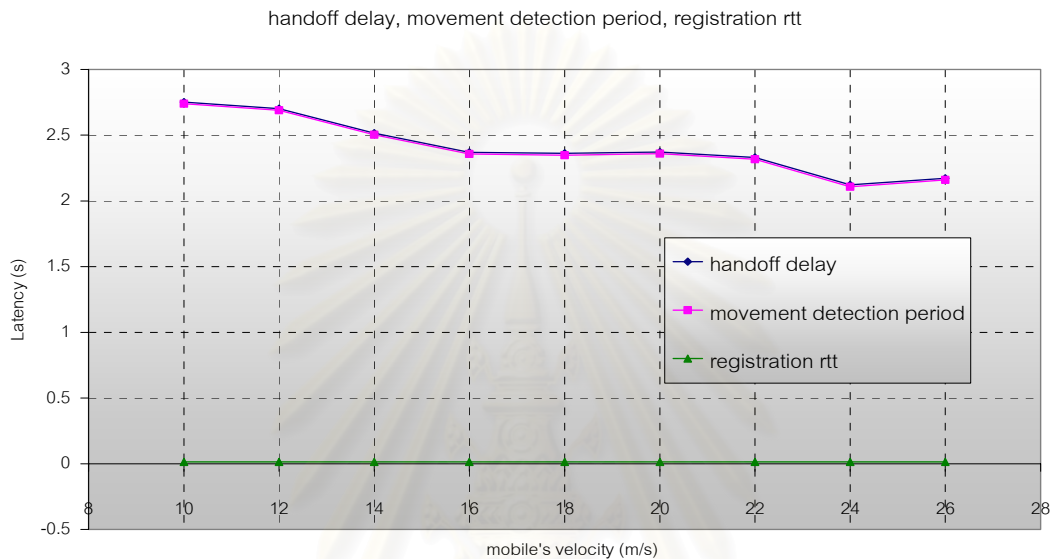


ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบสมรรถนะการแฮนด์ออฟในโพรโทคอล Mobile IPv4 เปรียบเทียบช่วงเวลา  
ที่จำเป็นต้องใช้ในการตรวจสอบการเคลื่อนที่ และช่วงเวลาที่จำเป็นต้องใช้ในการลงทะเบียน



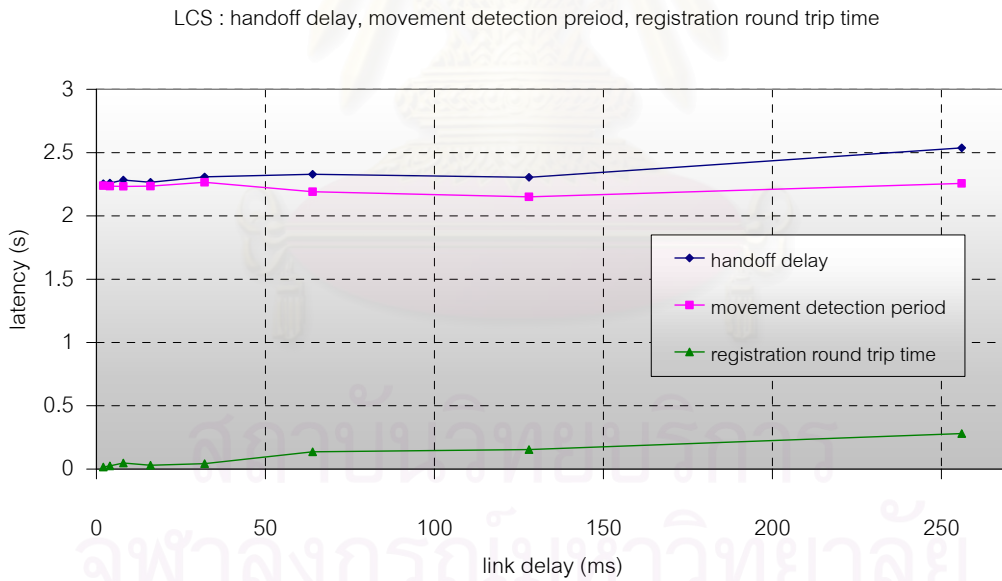
รูปที่ ก.1 กราฟแสดงค่า handoff delay, movement detection period และ ช่วงเวลาที่จำเป็นต้องใช้ในการลงทะเบียน เทียบกับอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN ในวิธี LCS

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

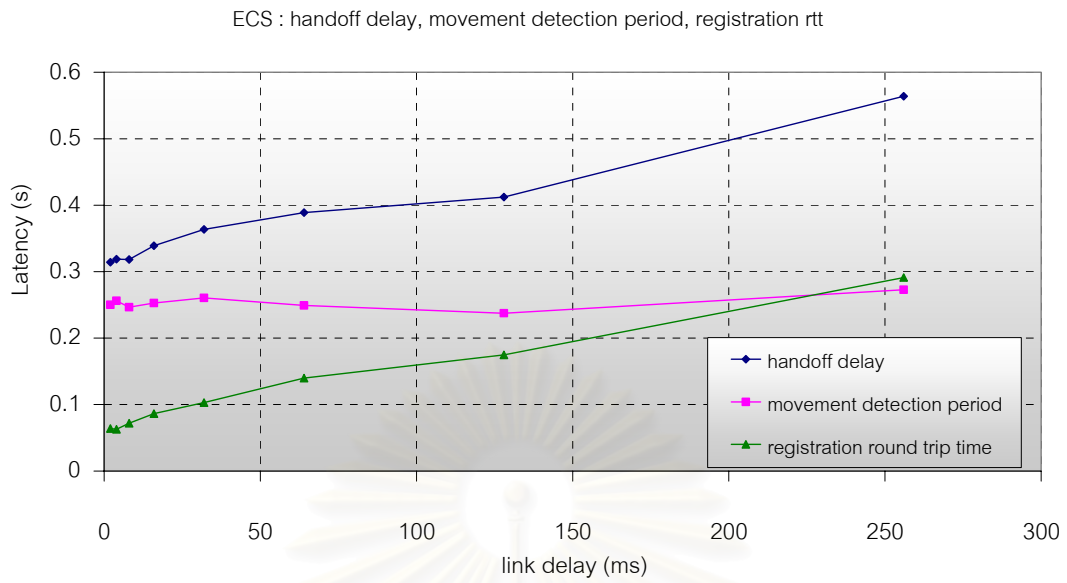




รูปที่ ก.2 กราฟแสดงค่า handoff delay, movement detection period และ ช่วงเวลาที่จำเป็น  
 ต้องใช้ในการลงทะเบียน เทียบกับอัตราเร็วในการเคลื่อนที่ของ MN ในวิธี ECS



รูปที่ ก.3 กราฟแสดงค่า handoff delay, movement detection period และ ช่วงเวลาที่จำเป็น  
 ต้องใช้ในการลงทะเบียน เทียบกับ delay ในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลในวิธี LCS



รูปที่ ก.4 กราฟแสดงค่า handoff delay, movement detection period และ ช่วงเวลาที่จำเป็น  
 ต้องใช้ในการลงทะเบียน เทียบกับ delay ในข่ายเชื่อมโยงข้อมูลในวิธี ECS

## บทความทางวิชาการที่ได้รับการเผยแพร่

บทความทางวิชาการจากงานประชุมทางวิชาการ The First ECTI Annual Conference (ECTI-CON 2004) ซึ่งจัดขึ้นในวันที่ 13-14 พฤษภาคม พ.ศ. 2547 ที่ Amari Orchid Resort Hotel, พัทยา ประเทศไทย



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

# Improvement of Mobile IP Handoff Performance by an Adaptive Handoff Initiation Strategy

Wipada Sarmaputra and Watit Benjapolakul

Department of Electrical Engineering, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand  
Email: [wi\\_pada@chula.com](mailto:wi_pada@chula.com), [watit.b@chula.ac.th](mailto:watit.b@chula.ac.th)

## ABSTRACT

The most significant problem is the interruption of data transfer during mobile IP handoff. This occurs because a mobile node cannot receive the data packet from the current base station while the connection to a new base station is not completed.

We propose an adaptive handoff initiation algorithm. The algorithm functions to make decision before mobile node is not able to receive data from the current base station. With this method, handoff decision depends on the period of time taken for registration with a new base station and the arrival of mobile node to a new base station. Mobile will initiate handoff in advance by using knowledge of registration period. Thus, when mobile node cannot receive data packet from the current base station, it can suddenly switch to the new base station because mobile node is already connected to the new base station. Simulation shown results of the proposed idea show the smoothness of data transfer during handoff and no packet loss.

**Keywords:** Mobile IP, Handoff initiation

## 1. INTRODUCTION

Telecommunication networks grow rapidly towards all-IP architecture. Mobile IP[1] protocol has been designed to support data transfer over wireless media. It is an accepted standard in the Internet Engineering Task Force (IETF) community.

The main problem of handoff in Mobile IP is packet loss and disruption time during handoff because handoff in network layer spends more time than traditional cellular network handoff. While Mobile Node (MN) move out of previous Foreign Agent (FA) range and FA cannot send data to MN so packets are dropped [2]. TCP will misunderstand that drop packet is resulted from congestion in network and start unnecessary congestion control [3]. The disconnect period during handoff, called handoff latency represents the period of time measured between the time when last packet from current FA is received to that when the first packet from new FA is received. Handoff latency depends upon how long it takes for the registration procedure.

Many solutions have been proposed to deal with the packet loss and to shorten handoff latency. For example, [4] proposed to arrange hierarchical network and use special registration request message. Advantage of hierarchical network is that when MN handoff there is no

need to change all paths. Because network is well arranged MN can obtain packet data from higher hierarchy. [5] proposed to buffer the packet at new FA when MN does not receive packet from previous FA for a long time. The latency that MN has to wait for another packet based on specific timeout. If MN has been waiting long time than the specific timeout then MN will initiate handoff. Simulation results show that, with the proposed solution handoff latency is minimized.

This paper proposes an idea to initiate handoff at the right time. The proposed idea is to find suitable initiation time based on the arrival time of MN, velocity of MN and the latency needed for Care-of-Address (CoA) registration. MN has to finish CoA registration before or at the time the MN disconnects from the current network and reaches the new network region. We proposed two strategies to find the most suitable time to initiate handoff. The main idea of the strategies is to investigate the period of time MN needs for registration procedure. The better estimated registration latency makes disruption time shorter during handoff.

The first proposed strategy will collect period of time MN needed for registration procedure in various environment. The environment varies upon different link delays, velocities of MN and beacon message inter-arrival time from FA. We collect registration period during simulation. One configuration of network environment match identical registration period. When MN moves across different subnets, the algorithm will investigate the parameters of network environment and look for proper needed registration latency from pre-collection table. Obtaining proper registration period, MN has to initiate handoff by sending registration request in order to get registration reply before or in time it reaches new subnet region.

In the second strategy, we assume that delays in the previous FA to cross over router and in the new FA to cross over router are not different. So this strategy proposes MN to keep information about the latest registration period that it has registered to the previous FA. MN will initiate handoff before it reaches new FA boundary for Agent Advertisement period plus round trip time in the previous registration

## 2. MOBILE IP [1]

Mobile IP provides user mobility by creating agent at home network called home agent (HA). HA functions like a relay between MN and correspondent node (CN). CN has to know only IP address where HA locates. All

packets destined to MN will send to be decapsulated at HA and are passed to MN. This kind of routing is called triangle routing (Fig. 1).

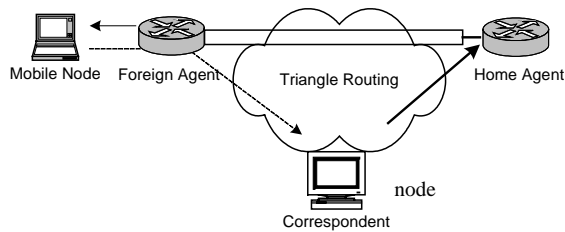


Fig.1: triangle routing

Mobile IP will initiate handoff after it has found itself move out of the previous FA boundary. There are two movement detection algorithms in Mobile IP.

The first method uses the lifetime field within the Internet Control Message Protocol (ICMP) Router Advertisement of an Agent Advertisement. This field effectively tells the MN how soon it should expect to hear another advertisement from the same agent. If a MN is registered to a foreign agent, and fails to hear an advertisement from that agent within a specified Lifetime, then the MN can assume that it has moved to a different link. This method is called Lazy Cell Switching or LCS.

The second method for movement detection uses network-prefixes. We assume that the MN is registered to a foreign agent on some link and has recorded the Agent Advertisement by which it discovered that foreign agent. It is possible to have multiple foreign agents on the same link. To determine whether two advertisements are received on the same link, the MN computes the network-prefix(es) of the respective advertisements. This computation can be performed only if both Agent Advertisements contain the Prefix-Lengths Extension. This method is called Eager Cell Switching or ECS.

### 3. THE PROPOSED HANDOFF INITIATION SCHEME

Our scheme deals with handoff problem by initiating handoff at the right time. The goal of the scheme is to guarantee no packet loss and smooth handoff. The scheme does not need any modified signaling format.

Handoff procedure period ( $T_{ho\_laten}$ ) contains movement detection period ( $T_{md}$ ) and registration period ( $T_{reg}$ ).

$$T_{ho\_laten} = T_{md} + T_{reg} \quad (1)$$

$T_{md}$  is the movement detection latency or latency starting from MN breaks from the previous FA until it receives new FA Agent Advertisement.  $T_{reg}$  depends on link delay on the path between HA and requested FA.  $T_{md}$  spans over  $[0, T_{adv}]$ , where  $T_{adv}$  is Agent

Advertisement packet interarrival time. It is hard to predict exactly how long it takes for movement detection.

#### 3.1 First proposed method

The first proposed method predicts the registration period needed by handoff.

$$T_{regist} = t_{reply} - t_{req} = \frac{d}{v_{MN}} \quad (2)$$

where  $T_{regist}$  is latency from sending registration request until MN receives registration reply from a new FA;  $t_{req}$  is the time when MN sends registration request;  $t_{reply}$  is the time when MN receives registration reply;  $d$  is the distance between the new FA boundary and the position of MN when it sends a registration request;  $v_{MN}$  is velocity of MN while it is initiating handoff.

Information about registration is gathered from pre-experiment. The disconnection period and configuration of the experiment will summarize in table. Expected registration period corresponding to expected network scenario is used by current FA to decide optimal initiating handoff time. MN should initiate handoff before moving across the boundary. When  $T_{previous\_reg}$  represents latency needed by MN after registered with current FA. MN will initiate handoff before it reaches a new FA boundary for  $T_{regist}$ .

$$T_{exp\_regist} = \frac{d}{v_{MN}} \quad (3)$$

Current FA will sense MN position and velocity, when MN moves into outer radius (30 meters before leaving current service coverage area). Then, current FA determine target FA from prior knowledge of network configuration and send target IP address to MN. MN initiates handoff when it receives new IP address (which belongs to new FA) from current FA. Then, registration request will be passed through crossover router destined to new FA. Registration reply from new FA will be sent to MN when it reaches new boundary.

#### 3.2 Second proposed method

From equation (1)  $T_{handoff}$  period consists of movement detection and registration period.  $T_{md}$  takes majority part of  $T_{handoff}$  in scale of second but  $T_{reg}$  is in scale of millisecond according to registration round trip time. In the worst case, the delay is equal to the beacon period. This method assumes that MN initiates handoff about  $T_{adv} + T_{previous\_reg}$  before disconnecting from current FA.

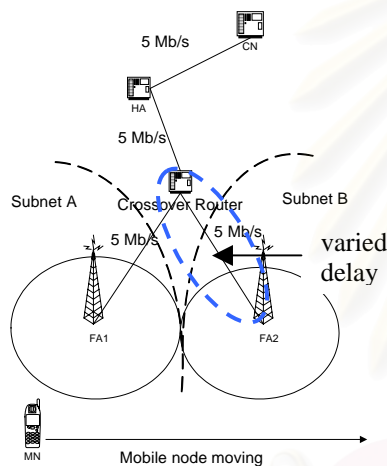


$$T_{exp\_regist} = T_{adv} + T_{previous\_reg} \quad (4)$$

$$T_{exp\_regist} = \frac{d}{v_{MN}} \quad (5)$$

When MN moves into outer radius area, current FA senses MN's position and velocity and determines proper time it should send new IP address to MN. By this method, MN will receive new IP address about  $T_{adv} + T_{previous\_reg}$  before it disconnects from current FA. After current FA determines possible target FA from prior knowledge, it sends the new IP address to MN. When MN receives new IP address, it sends registration request through current FA and passes to crossover router destined to new FA. Registration reply from new FA will be sent to MN when it reaches new boundary.

#### 4. SIMULATION SCENARIO



**Fig.2:** Topology with non-overlap network coverage scenario

The simulations are run using *ns2* (v2.26) [6], which is widely used in the networking community to study IP networks. Simulation environment consists of CN streaming data over User Datagram Protocol (UDP) to MN. The CN acts as a Constant Bit Rate (CBR) source. Each of the three wired hops from CN to FAs has delay of 2 ms, bandwidth of 5 Mb/s. FA provides service coverage area with radius of 250 meter. The MN moves at 72 km/hr. Sending packet data interval is 0.0124 second. Agent advertisement is broadcast at 1 pkt/s with lifetime of 3 second.

#### 5. SIMULATION RESULTS

Simulation is conducted to investigate three performance issues, i.e. packet loss during handoff, handoff delay and the number of registration attempts for a registration reply, the more the number of registration requests, the more the networks loaded. Handoff delay is the latency measured last UDP packet from previous FA is received to the time the first packet is received from the

new FA minus the packet inter-arrival time, which MN should receive data in normal situation.

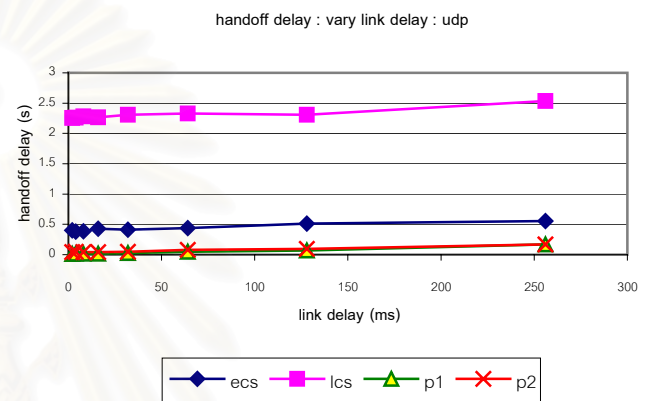
$$T_{ho\_delay} = T_{ho\_laten} - T_{packet\_interarrival} \quad (6)$$

$T_{ho\_delay}$  denotes handoff delay period

$T_{ho\_laten}$  denotes handoff latency

$T_{packet\_interarrival}$  denotes packet inter-arrival period

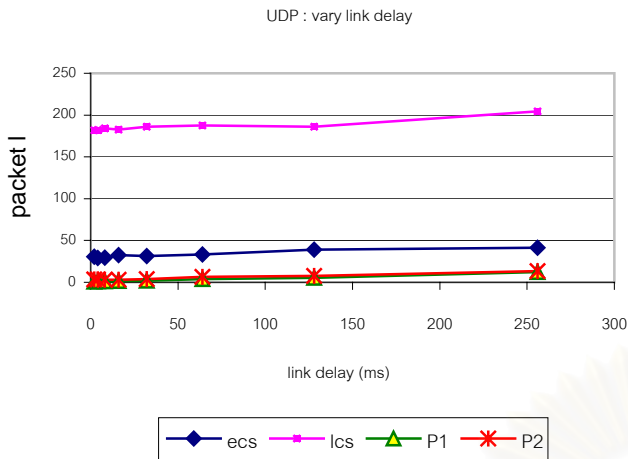
#### 5. 1 Performance by varying the link delay in crossover router and FA2 link.



**Fig.3:** Handoff delay versus link delay sending UDP traffic

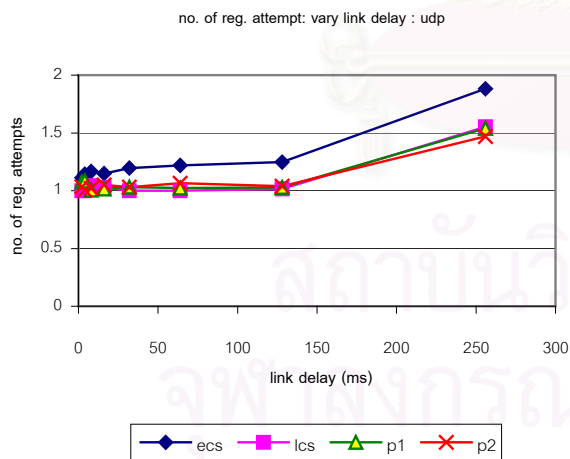
According to the simulation result plot, P1 represents the first proposed method outcome and P2 represent the second proposed method outcome. The purpose of simulation varying link delay is to demonstrate outcome of the two proposed methods which assume that the link delay in path route from crossover router to current FA has period close to delay in path route from crossover router to new FA. From the above assumption, the simulation tries to vary delay in new path of registration and see outcome of the proposed methods. Regarding to the handoff delay analysis, handoff delay in LCS has not change much according to the bandwidth variation. The other methods (ECS, P1 and P2), handoff delay are slightly increased according to higher link delay. Fig.3 shows the simulation results of LCS, the maximum handoff delay is 2.514 s. The minimum handoff delay is 2.181s. In ECS, the maximum handoff delay is 0.554 s. The minimum handoff delay is 0.382 s. In P1 result maximum handoff delay by 0.158 s and minimum handoff delay by 0.012 s. In P2 result maximum handoff delay by 0.156 s. and minimum handoff delay by 0.029 s. The results indicate the tolerant of the two proposed methods that they have no need to know the registration round trip time when MN wants to register to a new FA. Thus, there is no need to increase complexity to estimate round trip time of the new route.





**Fig.4:** The number of packet loss versus link delay sending UDP traffic

The number of packet loss is slightly changed by increasing link delay from the crossover router to FA2 link. LCS simulation result shows the maximum packet loss of 191.84 packets, minimum packet loss of 160.38 packets. The maximum packet loss in ECS simulation is 15.42 packets and the minimum packet loss is 10.13 packets. P1 gives the maximum packet loss of 2.13 packets and minimum loss of zero packet. P2 gives the maximum packet loss of 1.39 packets and minimum loss of zero packet. As can be seen, packet loss increases according to handoff delay. From this plot, increase of round trip time takes only little effect to packet loss.



**Fig.5:** The number of registration attempts versus link delay sending UDP traffic

There is a significant change in the number of registration attempts found from simulation varying link delay in crossover router and FA2 link. Every methods obtain the number of registration attempts which is 1 registration attempt when link delays 2 ms. ECS obtains the biggest number of registration attempts in the longer link delay. The other methods such as LCS, P1 and P2

have approximately the same number of registration attempts according to increased link delay. The maximum number of registration attempts for ECS is 1.88 times, 1.5 times for LCS, 1.54 times for P1 and 1.47 times for P2. Round trip time gives significant effect to number of registrations because every registration request packet has its timeout. When MN sends registration request, it waits for registration reply. If MN does not receive reply after timeout, it will send another request. MN will find timeout before registration reply reaches MN due to longer round trip time, so MN has to send another register request coming the higher number of registration requests for the longer round trip time.

## 6. CONCLUSION

Both of the proposed handoff strategies by registration period estimation gives good result compared with that of the existing handoff initiation triggered by agent advertisement methods of LCS and ECS. The proposed methods give good performance in bandwidth higher than 400 kbits/s without increasing network load. The proposed methods need only one time registration request like the existing methods but gives the better performance. The result also shows better performance by the less number of loss packets in every configuration. The proposed method has an upper bound of handoff delay lower than 200 ms – the maximum tolerable level of jitter for voice if use reasonable bandwidth (not lower than 400 kbits/s). Cost of the proposed methods is to change the function of FA which has boundary contact with the other FA which has different subnet prefixes. However, the proposed methods need not to change any network equipment except FA which has boundary contact to different subnet boundary. Another advantage is that the proposed methods have less complexity of functionality. Future work is simulation using TCP traffic.

## 7. REFERENCES

- [1] C. Perkins, "IP Mobility Support for IPv4," RFC 2002, Oct. 1996.
- [2] H. Balakrishnan, V.N. Padmanabhan, S. Seshan, and R.H. Katz, "A Comparison of Mechanisms for Improving TCP Performance Over Wireless Links," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol.5, no.6, pp.756-769, Dec. 1997.
- [3] M. Ronquist, "TCP Reaction to Rapid Changes of the Link Characteristics due to Handoff in a Mobile Environment," M.S. thesis, Royal Institute of Technology, Stockholm, August 1999.
- [4] D.-Y. Shin, K.-S. Chang, "A Efficient Handoff Method to Support Real-time Services in Mobile IP Environment," *Proceedings. ICII 2001 - Beijing. 2001 International Conferences*, vol. 2, no. 2, pp. 615-620, 2001.
- [5] J.-W. Kwon, H.-D. Park and Y.-Z. Cho, "An Efficient TCP Mechanism for Mobile IP Handoffs," *IEEE Region 10 International Conference*, vol. 1, pp. 278-281, 2001.
- [6] Network Research Group, Lawrence Berkelay National Laboratory, ns – Network Simulator. URL: <http://www.isi.edu/ns/nam>.

### ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาววิภาดา สามะบุตร เกิดวันที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2521 ที่จังหวัดเชียงใหม่ สำเร็จ การศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนปรีณสรอยแฉลวิทยาลัย แผนกวิทย์ - คณิต เข้าศึกษาต่อที่ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จนสำเร็จหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขา วิศวกรรมไฟฟ้า และ เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่ห้องปฏิบัติการวิจัย ระบบโทรคมนาคม ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2544



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย