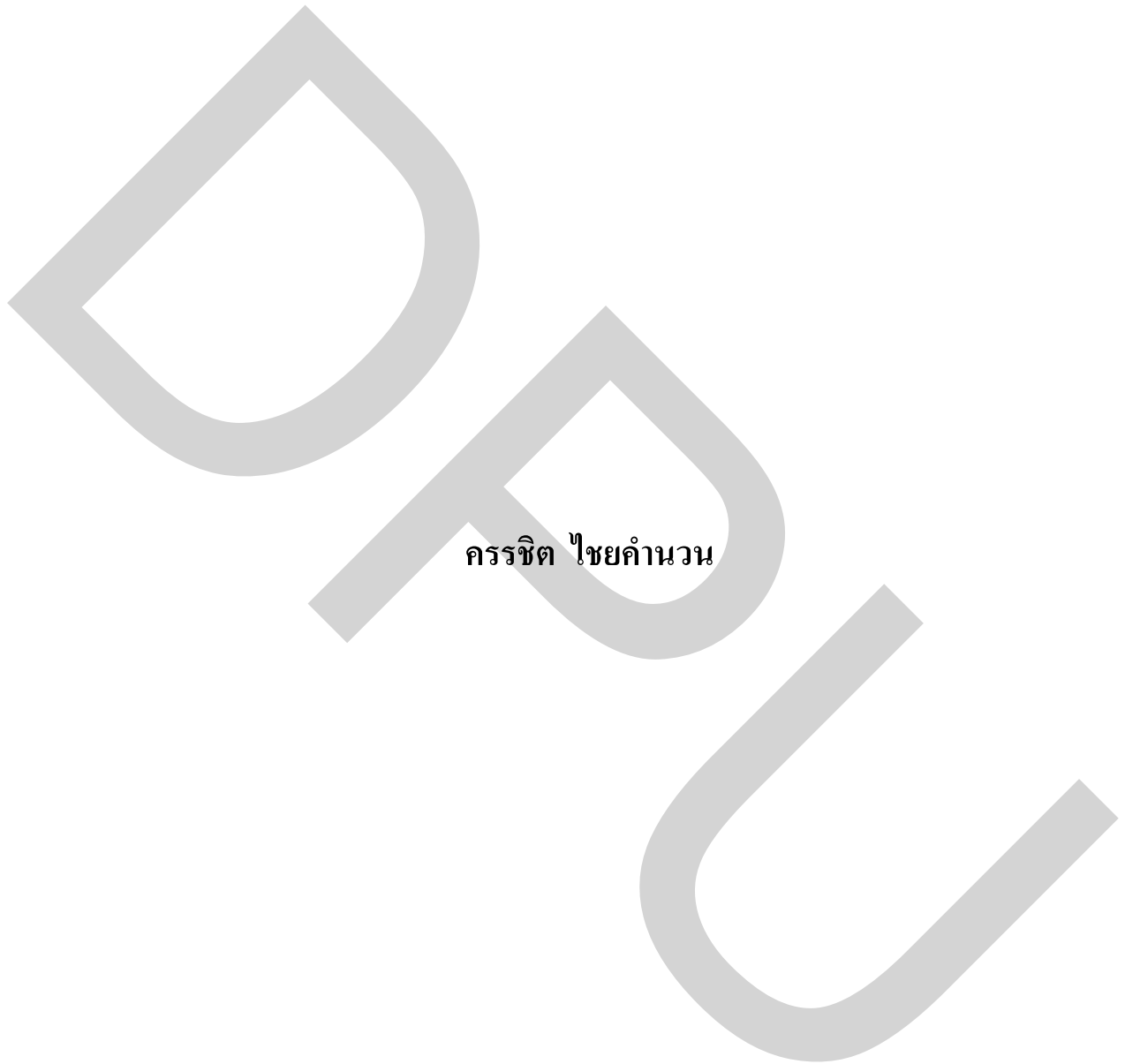


การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการเสนอข้อผิดพลาดแบบมัลติลิงก์สำหรับโครงข่าย  
NEMO และ 3G



ครรชิต ไชยคำนวน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

พ.ศ. 2556

**Performance Analysis of Multi-Link Handoff Scheme for  
NEMO and 3G Networks**



**Khanchit Chaikhamnuan**

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

**Department of Computer and Telecommunication Engineering**

**Faculty of Engineering, Dhurakij Pundit University**

**2013**

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความช่วยเหลือและการสนับสนุนจากคณาจารย์และนักวิชาการหลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์ ดร.ชัยพร เขมะภาคะพันธ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาได้ให้คำแนะนำในการศึกษาค้นคว้า ให้ความรู้ด้านวิชาการ ด้านเทคนิคและข้อคิดต่างๆ ที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้าในครั้งนี้ รวมทั้งคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้แก่ อาจารย์ ดร.ประศาสน์ จันทราทิพย์ อาจารย์ ดร.วรพล พงษ์เพชร และอาจารย์ ดร.พีรเดช ฌ น่าน ที่ให้คำแนะนำในการแก้ไขปรับปรุง ผู้ทำการศึกษาซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบคุณความกรุณาของคณาจารย์ทุกท่านและ อาจารย์ รศ.ปทุมวิฑูร์ จามจริกุล ที่เป็นผู้ชี้แนะแนวทางการศึกษาในตอนต้น รวมทั้งให้คำแนะนำในการประมวลผลข้อมูลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์และการทดสอบต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ ขอขอบคุณเพื่อนๆ สาขาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคมทุกคนที่ให้กำลังใจด้วยดีเสมอมา รวมทั้งเจ้าหน้าที่บริษัท ไมครอนเน็ตเวิร์ค เทคโนโลยี จำกัดทุกคน และท่านที่มีได้กล่าวนาม ณ ที่นี้ ที่มีส่วนช่วยเหลือและให้การสนับสนุน

ในท้ายที่สุดนี้ ขอระลึกถึงคุณพ่อแม่ ครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนเป็นอย่างดีจนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี

ครรชิต ไชยกำนาน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ฅ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ง
กิตติกรรมประกาศ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ซ
สารบัญภาพ.....	ฌ
รายการสัญลักษณ์.....	ฎ
ประมวลศัพท์และคำย่อ.....	ฏ
บทที่	
1. บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน .....	3
2. ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	5
2.1 บทนำ.....	5
2.2 Internet Protocol version 6(IPv6).....	5
2.3 การทำงานพื้นฐานของของ Mobile IPv6(MIPv6).....	10
2.4 กระบวนการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายเคลื่อนที่แบบ Network Mobility Basic Support Protocol(NEMO BSP).....	19
2.5 กระบวนการทำงานแบบ Multicast-based Mobility(M&M).....	23
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
3. ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน.....	41
3.1 บทนำ.....	41
3.2 วิธีการแฮนด์ออฟแบบมัลติลิงค์สำหรับระบบเครือข่าย 3G และ NEMO .....	41
3.3 การแฮนด์ออฟแบบ Horizontal ในระบบที่เสนอผ่านเครือข่าย 802.11g ร่วมกับ P-HoT.....	45

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3.4 การเสนอแนะแบบ Horizontal ในระบบที่เสนอผ่านเครือข่าย 3G ร่วมกับ P-HoT.....	46
3.5 การเสนอแนะแบบ Vertical ในระบบที่เสนอร่วมกับ P-HoT.....	47
3.6 สมการของการเสนอแนะแบบ Horizontal แบบเดิมและที่เสนอ.....	47
3.7 สมการของการเสนอแนะแบบ Vertical แบบเดิมและที่เสนอ.....	52
3.8 สมการของเวลาการร้องขอข้อมูลกลับมาใหม่(Retransmit time) ตามแบบที่เสนอ.....	53
3.9 หัวข้อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการเสนอแนะ.....	55
4. ผลการพัฒนาและทดสอบระบบ.....	56
4.1 บทนำ.....	56
4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	56
4.3 การนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาทดลองบน MATLAB R2012a .....	56
4.4 ผลการทดสอบ.....	58
5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ .....	63
5.1 สรุปผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์งานวิจัย .....	63
5.2 สรุปผลการทำงานตามขอบเขตงานวิจัย .....	64
5.3 สรุปผลการทดสอบ โปรแกรม .....	64
5.4 สรุปประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย .....	64
5.5 ข้อจำกัดของงานวิจัย.....	65
5.6 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา.....	65
บรรณานุกรม.....	66
ประวัติผู้เขียน.....	70

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 การดำเนินงาน.....	4
2.1 การกำหนดใช้ Prefix ของ IPv6.....	6
2.2 การบันทึกสถานะการแฮนด์ออฟ(Handoff Table) ของ Hui-Min Huang.....	40
3.1 ตารางบันทึกสถานะการทำงาน P-HoT(Pre Handoff Table).....	45
4.1 ผลต่างของเวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟระหว่าง NEMO BSP, 3G และแบบที่เสนอ.....	59

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 โครงสร้างพื้นฐานของ IPv6 ชนิด Global Unicast Address .....	7
2.2 โครงสร้างของ Link-Local Address .....	8
2.3 การใช้งานของ Link-Local Address ที่อยู่ต่างเครือข่าย .....	8
2.4 กระบวนการกำหนด Interface Identifier (EUI-64) .....	9
2.5 หลักการทำงานพื้นฐาน( Basic Operation)ของ MIPv6 .....	11
2.6 การทำงานของ Application และ IP stack ในระบบ Mobile IP .....	12
2.7 MN ส่งแพ็คเก็ตไปยัง CN โดยผ่าน Tunnel ไปที่ HA ก่อนถึง CN .....	14
2.8 CN ส่งแพ็คเก็ตไปยัง MN โดยส่งกลับไปที่ HA ก่อนถึง CN .....	14
2.9 การทำงานในโหมด Route Optimization .....	15
2.10 Frame Format ใน Routing Header .....	16
2.11 Home Agent Registration ของ MH .....	18
2.12 การส่งแพ็คเก็ตในลักษณะ Triangle Routing .....	19
2.13 การเชื่อมต่อของ MN , MR , CN และ HA .....	20
2.14 Message Driftage ของการแฮนด์ออฟในระบบเครือข่าย NEMO .....	21
2.15 Messages Driftage ของ MH เมื่อเคลื่อนย้าย (a) จาก NEMO เข้าไปยัง 3G และ(b) จาก 3G ไปยัง NEMO .....	22
2.16 Multicast-based Mobility : MN ส่ง Join และ Prune เมื่อ MN ท่องไปใน Tree แสดงในรูป (b) และ (c) .....	24
2.17 โครงสร้างระบบ Mobility Domain Network .....	25
2.18 ลำดับการเข้าสู่ Multicast-based Mobility (M&M) โดเมนของ MN .....	26
2.19 แพ็คเก็ตมีปลายทางมายัง RCOA ถูกดัก(Intercepts)ไว้ที่ BR และใช้ Algorithmic Mapping ที่บันทึกเส้นทาง RCOA ไปยัง MCOA ภายใน โดเมน .....	26
2.20 วิธี M&M Handoff Framework .....	28

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2.21 การส่งแพ็คเก็ตแบบ Bi-cast จาก CN .....	28
2.22 กระบวนวิธี CAR-set ในระบบ M&M System.....	29
2.23 วิธีที่นำเสนอของ Mariya Benamar และคณะ .....	31
2.24 MN และ CN เลือก HA ตัวที่อยู่ใกล้ตัวเองที่สุดเป็น Primary Home .....	32
2.25 การกำหนดค่าและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง .....	33
2.26 เวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟในขั้นตอนต่างๆ .....	34
2.27 วิธี FH-PMIPv6 โดยเพิ่ม LMA และ AAA .....	35
2.28 Signaling Flow ของระบบ FH-PMIPv6 พร้อมกับการ Authentication .....	36
2.29 กระบวนการทำงานของ Mobile IPv6 แบบพื้นฐาน .....	37
2.30 กระบวนการทำงานของ Mobile IPv6 ที่ปรับปรุงใหม่ .....	38
2.31 ผลการทดลองที่ได้จากแบบที่นำเสนอของ Shilpy Gupta .....	39
3.1 ภาพรวมวิธีการแฮนด์ออฟแบบมัลติลิงค์สำหรับการรวม NEMO BSP และ 3G .....	42
3.2 ภาพรวมวิธีการแฮนด์ออฟแบบมัลติลิงค์สำหรับการรวม 3G และ NEMO เข้าด้วยกัน.....	42
3.3 ส่งข้อมูลไปยัง MNN แบบ Round-robin .....	44
3.4 Horizontal Handoff ของแบบที่เสนอผ่านเครือข่าย 802.11g.....	46
3.5 การแฮนด์ออฟแบบ Horizontal ของระบบที่เสนอผ่านเครือข่าย 3G .....	46
3.6 การแฮนด์ออฟแบบ Vertical ของระบบที่เสนอ .....	47
4.1 การกำหนด Directory สำหรับเก็บบันทึก โปรแกรมทดลอง .....	57
4.2 การสร้างหรือแก้ไขโปรแกรมที่ใช้ทดลองด้วย Editor ของ MATLAB .....	57
4.3 เวลาการแฮนด์ออฟของวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับระบบ NEMO BSP และ 3G .....	59



สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.4 จำนวนของสัญญาณควบคุมเมื่อ MH เพิ่มขึ้น .....	60
4.5 Packet Retransmission Time ของวิธีที่นำเสนอกับ NEMO BSP .....	61
4.6 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ส่งข้อมูลเมื่อจำนวน Router และ Hop เพิ่มขึ้น.....	62

## รายการสัญลักษณ์

$T_{HANDOVER}$	เวลาการแฮนด์ออฟรวม	seconds
$T_{MD}$	เวลาการตรวจหาอาหารเคลื่อนที่ของเครื่องลูกข่าย	seconds
$T_{RS}$	เวลาของการส่งข้อความ Router Solicitations	seconds
$T_{CoA}$	เวลาของการได้รับ Care-of-Address ของเครื่องลูกข่าย	seconds
$T_{DAD}$	เวลาของการตรวจสอบ IPv6 ซ้ำกัน	seconds
$T_{BU\_HA}$	เวลาของการส่ง Biding Update ไปยัง HA	seconds
$T_{Back}$	เวลาของการตอบกลับ Biding Update จาก HA	seconds
$T_{BU\_CN}$	เวลาของการส่ง Biding Update ไปยัง CN	seconds
Time	เวลาในการส่งข้อมูล	seconds
$S_{CO}$	จำนวนของข้อมูลที่ส่งในเวลาแฮนด์ออฟ	bit
$B_{WR}$	ความเร็วของการส่งข้อมูลเครือข่ายไร้สาย Wi-Fi	Mbps
$t_{WR}$	เวลาแฝงในการเชื่อมโยงไร้สาย Wi-Fi	ms
$T_{HORI\_AP}$	เวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟในแบนนอนของเครือข่าย NEMO BSP เมื่อ MH เคลื่อนที่เข้าไปในเครือข่าย 802.11g	ms
$B_{LC}$	ความเร็วในเครือข่ายสาย	Mbps
$t_{LC}$	เวลาแฝง (Latency) ของการเชื่อมโยงใช้สาย	ms
$t_{RT}$	การประวิงเวลาที่เราเตอร์ในการค้นหาและกำหนดเส้นทาง	ms
$D_{IN}$	ค่าประวิงเวลาของ Packets ในโครงข่าย Internet โดยเฉลี่ย	ms
$N_H$	จำนวนฮอประหว่าง MH ไปยัง AP	Hop
$T_{HORI\_AP\_MH}$	เวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟในแบนนอนของเครือข่าย NEMO BSP เมื่อ MH เคลื่อนที่เข้าไปในเครือข่าย 802.11g โดยมี MH เป็นตัวแปรที่ได้จากการสุ่ม	ms
$T_{HP\_AP\_MH}$	เวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟในแบนนอนของแบบที่เสนอเคลื่อนที่เข้าไปในเครือข่าย 802.11g โดยมีจำนวน MH เป็นตัวแปรจากการสุ่ม พร้อมกับการใช้เทคนิค Pre Handoff Table(P-HoT)	ms
$T_{HORI\_3G}$	เวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟของ MH เมื่อเคลื่อนที่เข้าระบบเครือข่าย 3G	ms

## รายการสัญลักษณ์ (ต่อ)

$T_{\text{HORI\_AP\_MH}}$	เวลาการแฮนด์ออฟของ MH เมื่อเคลื่อนที่เข้าระบบเครือข่าย 3G โดยมีจำนวน MH เป็นตัวแปรที่ได้จากการสุ่ม	ms
$T_{\text{HP\_3G\_MH}}$	เวลาการแฮนด์ออฟของระบบที่เสนอสำหรับเครือข่าย 3G โดยมีจำนวน MH เป็นตัวแปรที่ได้จากการสุ่ม พร้อมกับใช้เทคนิค P-HoT ร่วมด้วย	ms
$T_{\text{VER\_NEMO\_3G}}$	เวลาการแฮนด์ออฟแบบ Vertical แบบเดิมสำหรับเครือข่าย 802.11g	ms
$T_{\text{VP\_NEMO\_3G}}$	เวลาการแฮนด์ออฟแบบ Vertical ของระบบที่เสนอสำหรับเครือข่าย 802.11g	ms
$T_{\text{RT\_BSP}}$	เวลาในการร้องขอข้อมูลของ MH ในระบบ NEMO BSP	ms
$T_{\text{RT\_3G}}$	เวลาในการร้องขอข้อมูลของ MH ในระบบ 3G	ms
$t_{\text{CN}}$	เวลาที่ใช้ในการเข้าถึง Internet ของ CN	ms
$t_{\text{L2}}$	เวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่าง MR1 หรือ MR2 กับ MH	ms
$t_{\text{HA}}$	เวลาที่ใช้ในการเข้าถึง Internet ของ HA	ms
$T_{\text{RT\_MR}}$	เวลาในการร้องขอข้อมูลของ MH ในระบบที่เสนอ	ms
$t_{\text{MR}}$	เวลาในการร้องขอข้อมูลของ MH ไปยัง MR1 หรือ MR2	ms

## ประมวลศัพท์และคำย่อ

IETF	Internet Engineering Task Force
NEMO	Network Mobility
MIPv6	Mobile Internet Protocol version 6
MIPv4	Mobile Internet Protocol version 4
M&M	Multicast-based Mobility
IPv6	Internet Protocol version 6
MR	Mobile Router
BS	Base Station
Ack	Acknowledged
3G	3rd Generation
P-HoT	Pre-Handoff Table
EUI-64	Extended Unique Identifier 64 bit
HA	Home Agent
UA	Unicast Address
AR	Access Router
NAR	New Access Router
MA	Multicast Address
BRs	Border Routers
RCOA	Region Care of Address
MCOA	Multicast Care of Address
MP	Mobility Proxy
CAR-set	Candidate Access Router Set
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access
3GPP	3rd Generation Partnership Project
FMIPv6	Fast Mobile Internet Protocol version 6
HMIPv6	Hierarchical Mobile Internet Protocol version 6
MNN	Mobile Network Node

## ประมวลศัพท์และคำย่อ (ต่อ)

MH	Mobile Host
MN	Mobile Node
CN	Correspondent Node
RADVD	Routing Advertisement Daemon
DAD	Duplicate Address Detection
NS-2	Network Simulator 2
LMA	Local Mobility Anchor
MAG	Mobile Access Gateway
PC	Personal Computer
AP	Access Point
HO	Handoff หรือ Handover
MATLAB	โปรแกรม MATLAB
VoIP	Voice over IP(Internet Protocol)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineer
MAC	Media Access Control
CoA	Care-of-Address
HoA	Home Address
BU	Binding Update
FN	Foreign Network
FA	Foreign Agent
RO	Route Optimization
RS	Router Solicitation
RA	Router Advertisement
SRC	Source
Dest	Destination
RRP	Return Route ability Procedure
RFC	Request for Comments
ID	Identification

## ประมวลศัพท์และคำย่อ (ต่อ)

DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
ICMP	Internet Control Message Protocol
PDA	Personal Digital Assistant
AAA	Authentication Authorization and Accounting
SNR	Signal-to-noise ratio

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการแฮนด์ออฟแบบมัลติลิงค์สำหรับ โครงข่าย NEMO และ 3G
ชื่อผู้เขียน	ครรชิต ไชยคำนวน
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.ชัยพร เขมะภาคะพันธ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์และโทรคมนาคม
ปีการศึกษา	2555

### บทคัดย่อ

กลไกการจัดการเครือข่ายเคลื่อนที่ NEMO ที่เสนอโดย IETF เพื่อสนับสนุนการทำงาน  
ของเครือข่ายเคลื่อนที่ โดยมี NEMO BSP เป็นโปรโตคอลที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย  
และสนับสนุนให้ NEMO ทำงานบนพื้นฐานของ MIPv6 แต่ยังไม่ตอบสนองความต้องการของ  
การทำงานแบบเวลาจริงและการโต้ตอบกับแอปพลิเคชันอื่น เนื่องจากยังมีปัญหาความล่าช้าใน  
การส่งสัญญาณ เวลาการตรวจจับการเคลื่อนไหวโดยเครื่องลูกข่าย รวมทั้งการสูญเสียแพ็คเก็ต  
ในระหว่างการแฮนด์ออฟ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการแฮนด์ออฟแบบมัลติลิงค์ระหว่างเครือข่าย NEMO กับ  
เครือข่ายสื่อสารไร้สายยุคที่ 3 เพื่อลดระยะเวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟและลดระยะเวลาที่ใช้ใน  
การส่งข้อมูลกลับมาใหม่ ท่ามกลางกลุ่มผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตพร้อมกันหลายๆผู้ใช้งาน เช่น ใน  
รถไฟหรือรถไฟฟ้า โดยจะนำเทคนิค Multicast-based Mobility (M&M) และการส่งตาราง  
บันทึกสถานะการแฮนด์ออฟล่วงหน้า (P-HoT: Pre-Handoff Table) มาใช้ร่วมกับการรับส่ง  
ข้อมูลแบบพื้นฐานของเครือข่าย NEMO BSP ผลจากการจำลองการทำงานพบว่า วิธีที่นำเสนอ  
สามารถลดเวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟได้ประมาณ 11 - 66 ms และลดเวลาที่ใช้ในการร้องขอให้  
ส่งข้อมูลกลับมาใหม่ได้ถึง 40 - 60% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีแฮนด์ออฟแบบ NEMO BSP

Thesis Title	Performance Analysis of Multi-Link Handoff Scheme for NEMO and 3G Networks
Author	Khanchit Chaikhamnuan
Thesis Advisor	Dr. Chaiyaporn Khemapatapan
Department	Computer and Telecommunication Engineering
Academic Year	2012

### **ABSTRACT**

NEMO is the protocol that is proposed by IETF to support a mobility management in mobile networks. The NEMO BSP is the most popular NEMO protocol operated on MIPv6. However, it does not satisfy the requirements about real time and interactive applications, due to long-time signaling, movement detection, and packet loss.

This thesis proposed a multi-link handoff scheme between NEMO and 3G networks in order to reduce handoff time and retransmitted packet in an environment having much internet users such as train or subway. Multicast-based mobility (M&M) and Pre-Handoff Table (P-HoT) are used in conjunction with NEMO BSP to overcome the handoff time and retransmitted packet problems. The simulation found that the proposed scheme can reduce the handoff time around 11-66 ms as well as retransmitted packet around 40-60% in comparison with NEMO BSP handoff protocol.



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันนี้ ความต้องการในการสื่อสารข้อมูลในระบบเครือข่ายอินเทอร์เน็ตได้เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในกลุ่มผู้ใช้งานอุปกรณ์ Smart Phone หรือ Tablet PC ทำให้เกิดปัญหาขาดแคลน IPv4 สำหรับการระบุที่อยู่ในการเชื่อมต่อของอุปกรณ์ ยิ่งไปกว่านั้น ความต้องการที่จะเชื่อมต่อกับโลกสังคมออนไลน์ผ่านเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็มีเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมากเช่นกัน โดยการใช้งานของผู้ใช้นั้นต้องการความสะดวกและคล่องตัวในการเข้าถึงข้อมูลและการติดต่อสื่อสารที่ไม่ขาดตอน ยกตัวอย่างเช่น ผู้ใช้งานจำนวนมากที่ต้องการเข้าถึงสังคมออนไลน์ต่างๆ และผู้ใช้งาน VoIP ที่ต้องการรับส่งข้อมูลกันแบบเวลาจริง

ดังนั้น การนำ IPv6<sup>1</sup> มาใช้งาน จึงเป็นแนวทางแก้ปัญหาดังกล่าวในขั้นต้น ด้วยคุณสมบัติของ IPv6 นอกจากจะสามารถรองรับอุปกรณ์เครื่องมือสื่อสารต่างๆ ได้จำนวนมาก รวมถึง SmartPhone และ Tablet PC แล้ว ยังมีคุณสมบัติหนึ่งที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก โดยจะนำไปใช้กับอุปกรณ์ระบบสื่อสารไร้สาย คือ ความสามารถในการเคลื่อนที่จากเครือข่ายหนึ่งไปยังอีกเครือข่ายหนึ่ง หรือจากจุดบริการหนึ่ง (Access Point หรือ AP) ไปยังอีกจุดบริการหนึ่งของอุปกรณ์ไร้สาย โดยยังคงสถานะภาพการเชื่อมต่อสื่อสาร หรือยังคงสามารถใช้ทรัพยากรร่วมกันระหว่างผู้ใช้ทั้งคู่อยู่ไม่ขาดตอน นั่นก็คือ การแฮนด์ออฟ (Handoff หรือ HO) ดังนั้นจึงเกิดแนวความคิดที่จะนำเทคนิค Multicast-based Mobility(M&M)<sup>2</sup> และตารางบันทึกสถานการณ์แฮนด์ออฟ(Handoff Table)<sup>3</sup> มาใช้งานร่วมกับการรับส่งข้อมูลแบบพื้นฐานของเครือข่าย Network Mobile Basic Support Protocol หรือ NEMO BSP เพื่อลด

---

<sup>1</sup> From “IPv6 Stateless Address Autoconfiguration,” by S. Thompson and T. Narten .(1998 November), RFC 2462.

<sup>2</sup> From “Multicast-based Mobility: A Novel Architecture forEfficient Micro-Mobility,” by Ahmed Helmy, Muhammad Jaseemuddin, and Ganesha Bhaskara.(2004 May), IEEE Journal on Selected Areas in Communication.

<sup>3</sup> From “Complete Handoff Tactics for the Integrated 3G and NEMO Network,” by Hui-Min Huang and Jia-Lin Chang.(2011), Biomedical Electronics & Communications, pp. 323-328.

ระยะเวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟและลดการสูญหายของแพคเกจที่ท่ามกลางกลุ่มผู้ใช้งานอินเทอร์เน็ตพร้อมกันหลายๆ คนในรถไฟ รถไฟฟ้า หรือในสถานที่ที่มีผู้ใช้งานจำนวนมาก

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาหลักการดำเนินงานพื้นฐานของวิธีการแฮนด์ออฟของ Mobile IPv6(MIPv6), RFC 6275 กับวิธีการแฮนด์ออฟระหว่าง NEMO BSP และเครือข่ายสื่อสารไร้สายยุคที่ 3 หรือ 3G เป็นพื้นฐาน แล้วทำการพัฒนาวิธีการแฮนด์ออฟแบบใหม่ขึ้นมา เรียกว่า Multi-Link Handoff Scheme โดยจะมุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงประสิทธิภาพในการแฮนด์ออฟได้แก่ การลดระยะเวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟและลดระยะเวลาในการร้องขอส่งข้อมูลใหม่ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีแฮนด์ออฟแบบพื้นฐานของ NEMO BSP<sup>4</sup>

ส่วนต่างๆของงานวิจัยนี้แบ่งเป็นทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 ซึ่งจะขยายความเข้าใจทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง อธิบายกระบวนการทำงานและการแฮนด์ออฟของ Mobile IPv6 และ NEMO BSP ร่วมกับ 3G รวมทั้งปัญหาที่เกิดขึ้นและแนวทางแก้ปัญหา ในบทที่ 3 จะเป็นรายละเอียดของวิธีการทดลอง สมการ พารามิเตอร์และค่าของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองโดยละเอียดต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. พัฒนาและออกแบบกระบวนการวิธีในการลดเวลาการแฮนด์ออฟด้วยการรวมระบบเครือข่าย MIPv6, NEMO BSP และ 3G
2. พัฒนาและออกแบบกระบวนการวิธีลดเวลาเรียกข้อมูลกลับมาใหม่(Retransmit Time) เมื่อมีข้อมูลสูญหาย(Packets Loss)
3. พัฒนาและออกแบบกระบวนการวิธีลดสัญญาณควบคุมระบบ(Control Messages Signaling) ที่เกิดขึ้นในกระบวนการแฮนด์ออฟ

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าหลักการดำเนินงานของระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ เทคนิคการแฮนด์ออฟและการทำงาน ของ MIPv6, NEMO BSP และ 3G
2. ศึกษาค้นคว้าหลักการดำเนินงานร่วมกันของระบบ MIPv6, NEMO BSP และ 3G
3. ศึกษาวิธีวิเคราะห์ประสิทธิภาพการแฮนด์ออฟ ของระบบเครือข่าย MIPv6 , NEMO BSP และ 3G

---

<sup>4</sup>From “Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol” by V. Devarapalli, R. Wakikawa , A. Petrescu and P. Thubert.(2005 January), RFC 3963.

4. ศึกษาการนำ MIPv6, NEMO BSP และ 3G มาประยุกต์ใช้กับเครือข่ายแบบเคลื่อนที่ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. การใช้งานแอปพลิเคชันประเภท Real Time เช่น VoIP หรือ Video Streaming บนอุปกรณ์สื่อสารเคลื่อนที่แบบไร้สาย มีความราบรื่นมากขึ้น เกิดการสะดุดขณะใช้งานน้อยลง
2. เพิ่มช่องสัญญาณในการสื่อสารบนระบบ MIPv6, NEMO BSP และ 3G<sup>5</sup> เนื่องจากการส่งสัญญาณควบคุมระบบลดลงและไม่ซ้ำซ้อน
3. สามารถนำระบบแบบที่เสนอนี้ ไปประยุกต์ใช้งานจริงกับระบบเครือข่ายเคลื่อนที่แบบไร้สายในปัจจุบัน ให้เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ
4. เพิ่มช่องทางการสื่อสารด้วยระบบเครือข่ายเคลื่อนที่ สำหรับช่วยเหลือผู้ประสบภัยในสถานการณ์ต่างๆ เช่น อุทกภัย ภัยพิบัติ แผ่นดินไหว ดินถล่ม สึนามิ และอื่นๆ

#### 1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

1. ศึกษาการแฮนด์ออฟ MIPv6<sup>6</sup> และ NEMO BSP ร่วมกับ 3G
2. ออกแบบและพัฒนาการแฮนด์ออฟแบบใหม่ MIPv6 และ NEMO BSP ร่วมกับ 3G
3. กำหนดตัวแปร พารามิเตอร์ ค่าของพารามิเตอร์และสมการที่ใช้ในการออกแบบการแฮนด์ออฟแบบ MIPv6 และ NEMO BSP ร่วมกับ 3G
4. วิเคราะห์และเปรียบเทียบผลเชิงตัวเลขของการแฮนด์ออฟ โดยคำนวณเวลาที่ใช้แฮนด์ออฟด้วยโปรแกรม MATLAB และแสดงผลด้วยกราฟ
5. สรุปและประเมินผลที่ได้
6. รวบรวมข้อมูลที่ได้จัดทำวิทยานิพนธ์

<sup>5</sup> From “Complete Handoff Tactics for the Integrated 3G and NEMO Network. *Biomedical Electronics & Communications*,” by Hui-Min Huang and Jia-Lin Chang. (2011), *Biomedical Electronics & Communications*, pp. 323-328.

<sup>6</sup> From “Handover Management for Mobile Nodes in IPv6 Networks,” by Nicolas Montavont and Thomas Noel. (2002), *Communications Magazine, IEEE* 2002. Volume: 40 , Issue: 8 , pp. 38-43.



## บทที่ 2

### ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 บทนำ

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้รวบรวมทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับ IPv6 และ Mobile IPv6 พร้อมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งเป็นวิธีการเสนอข้อเสนองานวิจัยในรูปแบบต่างๆ จำแนกไว้เป็น 3 กลุ่มคือ (1) IPv6 และ Mobile IPv6 (2) NEMO BSP (3) Multicast-based micro Mobility และ (4) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งได้เรียบเรียงไว้ดังต่อไปนี้

#### 2.2 Internet Protocol version 6 (IPv6)

##### 2.2.1 รูปแบบพื้นฐาน IPv6

IPv6<sup>1</sup> จะแสดงอยู่ในรูปเลขฐานสิบหกคือ 0-F จำนวน 8 필ด์(field) แต่ละฟิลด์มี 16 บิต (bit) คือเลขฐานสิบหก 4 ตัว ถูกขึ้นด้วยเครื่องหมายโคลอน (:) ตามมาตรฐาน RFC3513

ยกตัวอย่าง 2001:0000:1234:0000:0000:C1C0:ABCD:0876 ซึ่งสามารถประยุกต์เขียนให้อยู่ในรูปแบบต่างๆ โดยถูกต้องตามข้อบังคับดังนี้

- ตัวอักษรเล็กหรือใหญ่นั้น มีค่าเท่ากัน เช่น 'ABCD' เท่ากับ 'abcd'
- ในฟิลด์ที่มีเลขศูนย์นำหน้า เช่น '00C1' เท่ากับ 'C1'
- ในฟิลด์ที่มีเลข '0' ทั้งหมด หรือต่อกันหลายฟิลด์ สามารถเขียนแทนด้วยโคลอนสองตัว '::' แต่ทำได้ครั้งเดียว

ตัวอย่าง

2001:0000:1234:0000:0000:C1C0:ABCD:0876

เขียนใหม่ตามข้อ (a) ดังนี้

2001:0000:1234:0000:0000:c1c0:abcd:0876

---

<sup>1</sup> From "Mobile Inter-Networking with IPv6" by Rajeev S. Koodli and Charles E. Perkins. (2007), John Wiley & Son, Ltd., ISBN 978-0-471-68165-6.

เขียนใหม่ตามข้อ (b) ดังนี้

2001:0:1234:0:0:c1c0:abcd:876

เขียนใหม่ตามข้อ (c) ดังนี้

2001:0:1234::c1c0:abcd:0876

### 2.2.2 การแสดงแอดเดรสพร้อมพรีฟิกซ์(Prefix)

การเขียนพรีฟิกซ์เพื่อกำหนดช่วงของแอดเดรสนั้นต้องเขียนด้วยรูปแบบ ดังนี้ <address>/<prefix length> โดยขนาดพรีฟิกซ์(Prefix Length)จะเป็นตัวกำหนดการแยก Subnet ของ Address ซึ่งคล้ายกับการแบ่ง Subnet ใน IPv4 เช่นกัน ตัวอย่างเช่น IP Address ของโฮสต์ คือ 3ffe:b00:c18:1::1/64 ได้ระบุ 64 บิตแรก (จาก /64) หมายถึง Network Number (3ffe:b00:c18:1 หรือ 3ffe:0b00:0c18:0001) และที่เหลืออีก 64 บิต (128-64 = 64) คือส่วนของโฮสต์ (0000:0000:0000:0001) แต่ถ้าเป็น 3ffe:b00:c18:1::1/124 ส่วนของ Network Number เป็น 124 บิต และโฮสต์จะเหลือเพียง 4 บิต (128-124 = 4) ในกรณีเขียนเพื่อระบุขนาดของ Network และจำนวนแอดเดรส เช่น 3ffe:b00:c18:1::/48 ก็จะทำให้ทราบจำนวนช่วงและขนาดของ Networks และจำนวนโฮสต์ ดังแสดงเพิ่มเติมในตารางที่ 1

#### ตารางที่ 2.1 การกำหนดใช้ Prefix ของ IPv6

Prefix	Left Part Right Part
3ffe:b00:c18:1::1/64	<u>3ffe:0b00:0c18:0001</u> :0000:0000:0000:0001
3ffe:b00:c18:1::1/124	<u>3ffe:0b00:0c18:0001</u> :0000:0000:0000:0001
3ffe:b00:c18:1::1/40	<u>3ffe:0b00:0c18:0001</u> :0000:0000:0000:0001

ที่มา: Mare Blanchet. (2006). *Migrating to IPv6 A Practical Guide to Implementing IPv6 in Mobile and Fixed Networks*. p. 63.

### 2.2.3 โครงสร้างพื้นฐานของ IPv6 ชนิด Global Unicast Address

โครงสร้างพื้นฐานของ IPv6 ชนิด Global Unicast Address นั้น กำหนดออกเป็นสองส่วนหลักคือ ส่วนของหมายเลขระบบเครือข่าย(Network Prefix) กำหนดโดยใช้ 64 บิต จากทางด้านซ้ายและ

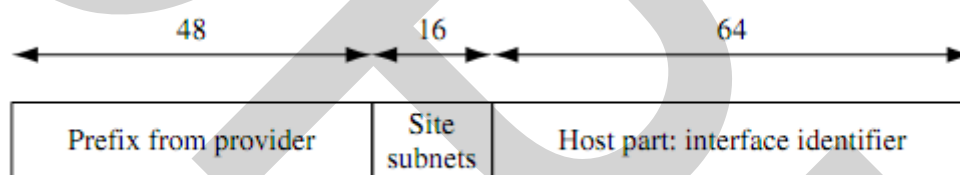
ส่วนของเครื่องคอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์ระบบเครือข่าย(Host) กำหนดโดยใช้ 64 บิต จากทางด้านขวา ซึ่งในส่วนของ Network Prefix จำนวน 64 บิต จากทางด้านซ้ายนั้น สามารถแบ่งมาใช้เป็นหมายเลขระบบเครือข่ายย่อย (Subnets) ได้อีก 16 บิต ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ดังนี้

a) จากทางด้านซ้ายจำนวน 48 บิต เป็นพรีฟิกส์ที่ถูกกำหนดมาจากผู้ให้บริการสำหรับใช้ในองค์กร

b) ส่วนตรงกลาง 16 บิต จะถูกนำไปใช้แบ่ง Subnet ใช้ในหน่วยงานย่อยขององค์กรนั้นๆ ซึ่งสามารถแบ่งได้จำนวน  $2^{16}$  Subnet

c) ส่วนที่เหลือคือ 64 บิต ด้านขวา จะใช้เป็นส่วนของโฮสต์(Host) เมื่อนำไปใช้งานแล้วสามารถรองรับได้ถึง  $2^{64}$  โฮสต์

โดยปกติ เมื่อองค์กรใดๆ ได้รับ IPv6 จากผู้ให้บริการ ผู้ให้บริการนั้นจะกำหนด Subnet mask เป็น /48 และองค์กรนั้นจะนำพรีฟิกส์ไปใช้แบ่ง Subnet ให้กับหน่วยงานย่อยของตนเองโดยใช้ Subnet mask เป็น /64



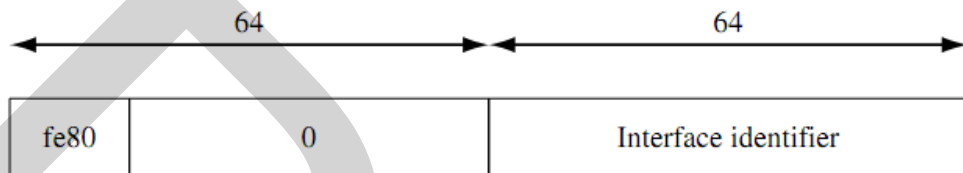
ภาพที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของ IPv6 ชนิด Global Unicast Address

ที่มา: Mare Blanchet. (2006). *Migrating to IPv6 A Practical Guide to Implementing IPv6 in Mobile and Fixed Networks*. p. 65.

#### 2.2.4 โครงสร้างของ Link-Local Address

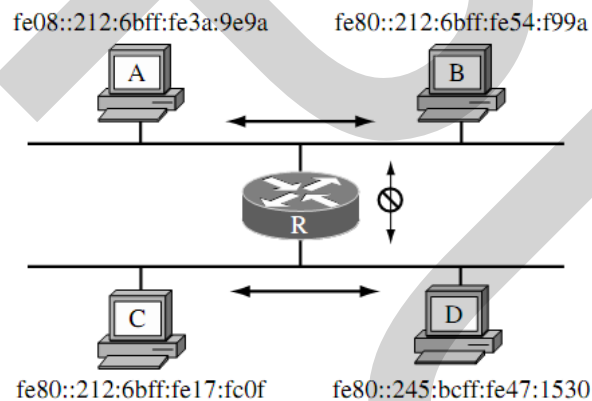
Link-Local Address เป็นอีกหนึ่งชนิดของ IPv6 ใช้ระบุการเชื่อมต่อของ พอร์ตสื่อสาร (Interface) สามารถรับส่งข้อมูลระหว่างสองเครื่อง(Node) แต่จะไม่ถูกส่งต่อ(Forward) ด้วยเราเตอร์(ภาพที่ 2.3) โครงสร้างของ Link-Local Address คือ 'fe80:0:0:0:<interface identifier>' ซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 2.2 มีความสำคัญอย่างมาก เมื่อนำไปใช้ในลักษณะ Autoconfiguration ตามมาตรฐาน IEEE EUI-64 ซึ่งเป็นการกำหนด IPv6 ที่เรียกว่า Stateless Address Autoconfiguration โดยทั่วไป Link-Local Address จะถูกนำไปใช้กับการเชื่อมต่อแบบ Ad Hoc หรือการเชื่อมต่อที่อยู่ภายใน LAN ของ IPv6 เดียวกัน เช่น ในภาพที่ 2.3 เครื่อง A และ B สามารถสื่อสารกันได้

เช่นเดียวกับเครื่อง C และ D แต่เราเตอร์ R จะไม่สามารถส่งต่อ(Forward) ข้อมูล(Datagram) ที่บรรจุอยู่ใน Link-Local Address ของเครื่อง A หรือ B สื่อสารกับเครื่อง C และ D ได้



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างของ Link-Local Address

ที่มา: Mare Blanchet. (2006). *Migrating to IPv6 A Practical Guide to Implementing IPv6 in Mobile and Fixed Networks*. p. 66.



ภาพที่ 2.3 การใช้งานของ Link-Local Address ที่อยู่ต่างเครือข่าย

ที่มา : Mare Blanchet. (2006). *Migrating to IPv6 A Practical Guide to Implementing IPv6 in Mobile and Fixed Networks*. p. 67.

### 2.2.5 กระบวนการกำหนด Interface Identifier (EUI-64)

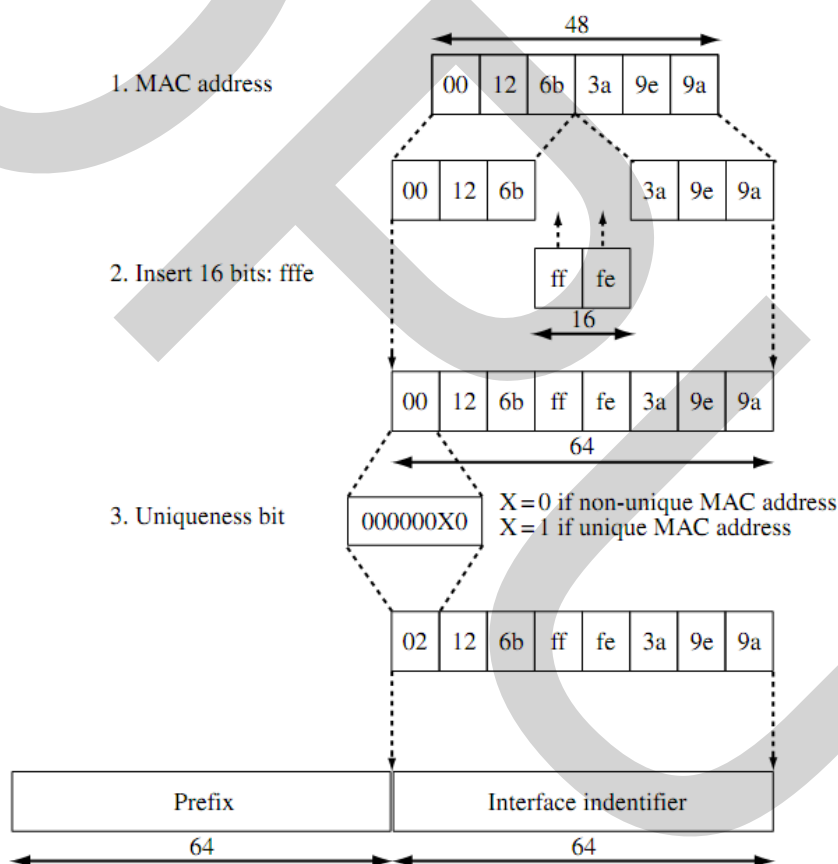
การกำหนด Interface Identifier ตามมาตรฐาน IEEE EUI-64 แสดงไว้ในภาพที่ 2.4 ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้



a) Link-Layer Address หรือ MAC Address ถูกสกัดออกมาจากพอร์ตสื่อสาร(Interface) ตัวอย่างเช่น 48 บิต Ethernet Address = 00:12:6b:3a:9e:9a แทรกตัวอักษร 16 บิต คือ 'fffe' เข้าไปตรงกลางของ 48 บิต ซึ่งจะได้จำนวนบิตครบ 64 บิต โดย 'fffe' เป็นค่าสงวน(reserved) ในข้อกำหนดของ IEEE ว่าด้วยการแปลง Address จาก 48 บิต ไปเป็น 64 บิต

b) หลังจากนั้น เปลี่ยนบิตที่ 2 ของ octet ด้านซ้ายสุด ให้เป็น 1 สำหรับ MAC address ที่เป็นแบบ Unique หรือไม่เปลี่ยนเลยสำหรับ MAC address ที่ไม่เป็น Unique

c) 64 บิต Address อันใหม่ที่ได้จะถูกเรียกว่า Interface Identifier ซึ่งจะถูกใช้เป็นส่วนของ Host ใน IPv6 Address ส่วน 64 บิต ของทางด้านซ้ายจะเป็นส่วนของ Network Prefix



ภาพที่ 2.4 กระบวนการกำหนด Interface Identifier (EUI-64)

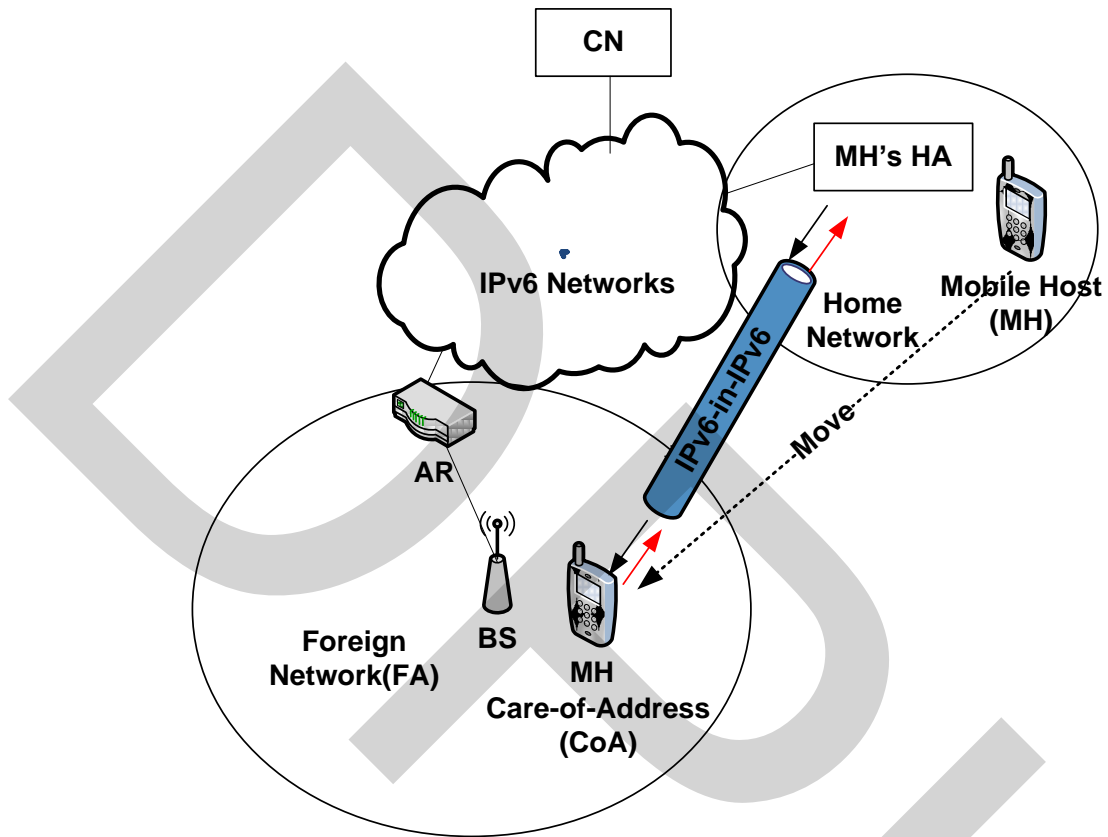
ที่มา: Mare Blanchet. (2006). *Migrating to IPv6 A Practical Guide to Implementing IPv6 in Mobile and Fixed Networks*, p. 80.

### 2.3 การทำงานพื้นฐานของ Mobile IPv6 (MIPv6)

MIPv6 เป็นกระบวนการทำงานที่สนับสนุนการเชื่อมต่อแบบเคลื่อนที่ มีส่วนประกอบหลักอยู่ 3 ส่วน คือ Correspondent Node (CN), Mobile Host (MH) และ Home Agent (HA) ซึ่งเป็นหัวใจของระบบ ในขณะที่ MH ยังอยู่ที่ Home Network จะใช้ Home Address (HoA) ในการติดต่อสื่อสารกับ CN จนกระทั่ง MH ได้เคลื่อนที่ไปเกาะ(Attached) กับเครือข่ายอื่น(Foreign Network : FN) ซึ่งจะได้ IP Address จาก FN นั้นเรียกว่า Care-of-Address (CoA) และใช้สื่อสารกับ CN ในเวลาต่อมา แต่ CN ก็ยังใช้ HoA สื่อสารกับ MH ที่ถือเป็น Permanent Address ของ MH ทั่วๆไปที่ MH ไม่ได้อยู่ที่ Home Network แล้ว ดังแสดงในภาพที่ 2.5 ซึ่งจะได้อธิบายรายละเอียดในต่อไป

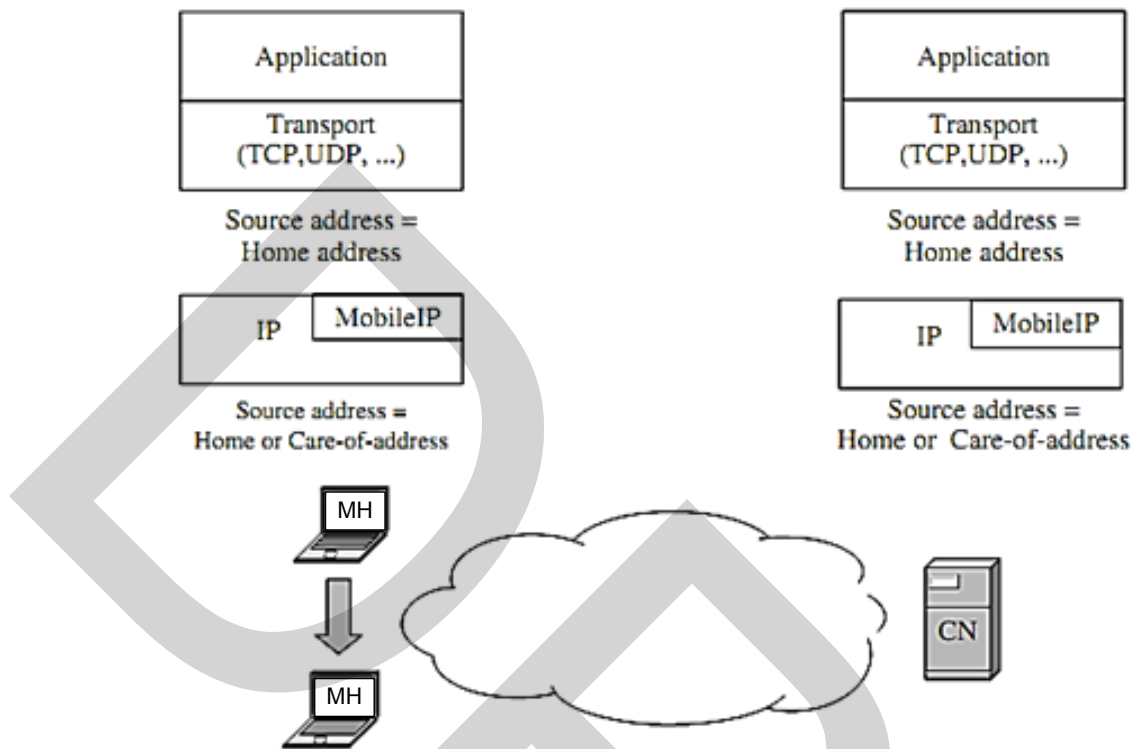
จากภาพที่ 2.5 เมื่อ MH เคลื่อนย้ายไปเกาะที่ FN และจะได้ Care-of-Address (CoA) หรือ IP Address ซึ่งจะใช้แบบ Stateless Auto-configuration หรือ Stateful Configuration ก็ได้แต่ FN นั้นได้กำหนดไว้ หลังจากนั้น MH จะส่ง Binding Update(BU)ไปยังHAเพื่อแจ้งCoAให้ HA ทราบและ HA ตอบ Binding Acknowledgement(BA) กลับมาเพื่อยืนยันการใช้ CoA ของ MH สำหรับการเชื่อมต่อรับส่งข้อมูลกับ CN ต่อไป และความหมายของส่วนต่าง มีดังนี้

- a) CN : Correspondent Node คือ ผู้ที่ต้องการติดต่อสื่อสารกับเครื่อง MH
- b) MH : Mobile Host คือ ตัวแทนของเครื่องหรืออุปกรณ์ที่รองรับการเคลื่อนที่บนเครือข่าย IPv6
- c) HA : Home Agent คือ เครื่องที่ทำหน้าที่หลักของระบบ Mobile IPv6 โดยจะทำหน้าที่ บันทึก CoA ของ MH เมื่อเคลื่อนที่ออกจาก Home Network รวมทั้งสร้าง Tunnel เชื่อมต่อรับส่งข้อมูลกับ MH
- d) Home Network คือ เครือข่ายที่อยู่ของ HA และ MH
- e) Foreign Network คือ เครือข่ายที่ MH เคลื่อนที่ไปเกาะ
- f) Binding Update และ Binding Acknowledgement เป็นการรับส่งข้อมูล CoA ของ MH กับ HA



ภาพที่ 2.5 หลักการทำงานพื้นฐาน (Basic Operation) ของ MIPv6

ที่มา: Mare Blanchet. (2006). *Migrating to IPv6 A Practical Guide to Implementing IPv6 in Mobile and Fixed Networks*, p. 198.



ภาพที่ 2.6 การทำงานของ Application และ IP stack ในระบบ Mobile IP

ที่มา: Mare Blanchet. (2006). *Migrating to IPv6 A Practical Guide to Implementing IPv6 in Mobile and Fixed Networks*. p. 202.

ในการพัฒนาโปรแกรม(Applications) นั้น ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงการใช้งานด้าน Mobile IP ของอุปกรณ์ เพราะเมื่อ MH เคลื่อนที่และมีการรับส่งข้อมูลกับ CN นั้น จากภาพที่ 2.6 ในชั้นของ IP stack จะทำหน้าที่ด้านการเคลื่อนที่ โดยนำ Home Address ที่เป็น Permanent Address ของ MH มาแทนที่ CoA ของ MH ก่อนส่งให้กับชั้น Application ในระบบ MIPv6 นั้น MH มีอิสระมากในการเคลื่อนย้ายตำแหน่งที่อยู่และการเชื่อมต่อกับ HA ของมัน แสดงให้เห็นชัดเจนแล้วดังภาพที่ 2.5 เมื่อ packets ที่จะส่งถึง MH นั้น ต้องมาผ่าน HA ก่อนเสมอในโหมด Basic Operation Mode และเป็นปัญหาเรื่องใช้เวลานานในการแฮนด์ออฟ เมื่อเคลื่อนที่ไปจุดบริการใหม่ หรือเคลื่อนไถลออกไปจาก HA แต่ปัญหานี้ก็ได้ถูกแก้ไขด้วยวิธีการ Route Optimization (RO) จากข้อจำกัดหลายประการของ MIPv4 จึงทำให้ได้มีการออกแบบ MIPv6 เพื่อแก้ปัญหาและเพิ่มประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูล รวมถึงลดเวลาการแฮนด์ออฟ ซึ่งได้สรุปเฉพาะใจความสำคัญหลักๆ มีดังนี้

- a) MIPv6 ไม่จำเป็นต้องมี “Foreign Agents” เหมือนใน MIPv4 ซึ่งมี MIPv6 สามารถดำเนินการระบุที่อยู่ของ MH ได้โดยไม่ต้องมีการสนับสนุนที่พิเศษจาก Router ของ Foreign Network
- b) รองรับการทำ RO ที่ดีกว่า MIPv4 ซึ่งเป็นหน้าที่หลักส่วนหนึ่งของโพรโตคอล
- c) มีความปลอดภัยในการทำ RO ระหว่าง MH และ CN
- d) MIPv6 สามารถทำ “ingress filtering” ที่ Router เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการทำ RO
- e) รองรับการกำหนด IP Address แบบ Stateless Autoconfiguration หรือ Stateful Configuration ก็ได้ ซึ่ง MIPv4 รองรับแบบเดียวคือ Stateful Configuration

เพื่อการรองรับกับโครงสร้างของระบบเครือข่ายที่หลากหลายจึงได้มีการกำหนดโหมดการทำงานของ MIPv6 มี 2 โหมด คือ

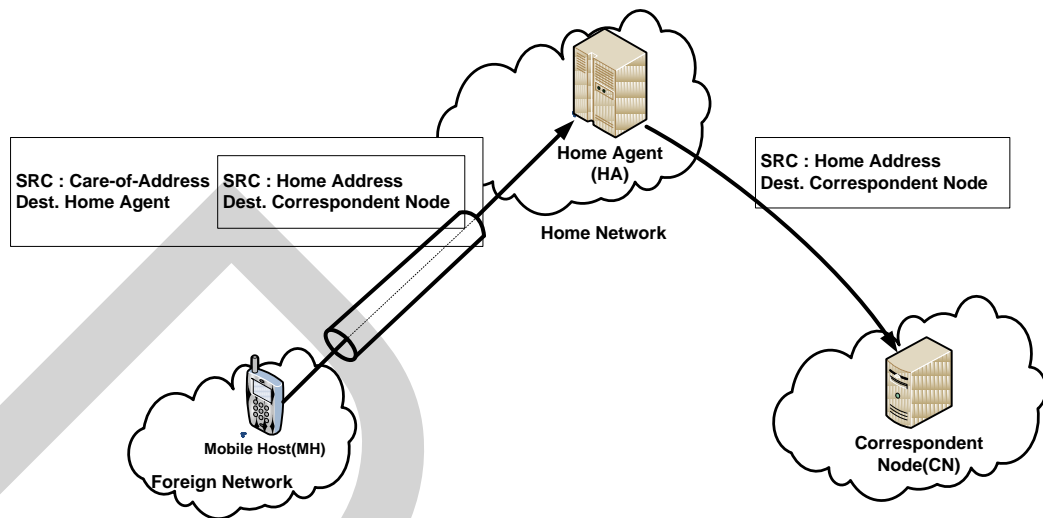
- a) Bi-directional Tunneling
- b) Route Optimization

และได้แสดงรายละเอียดไว้แล้วในหัวข้อถัดไป

#### 2.3.1 Bi-directional Tunneling

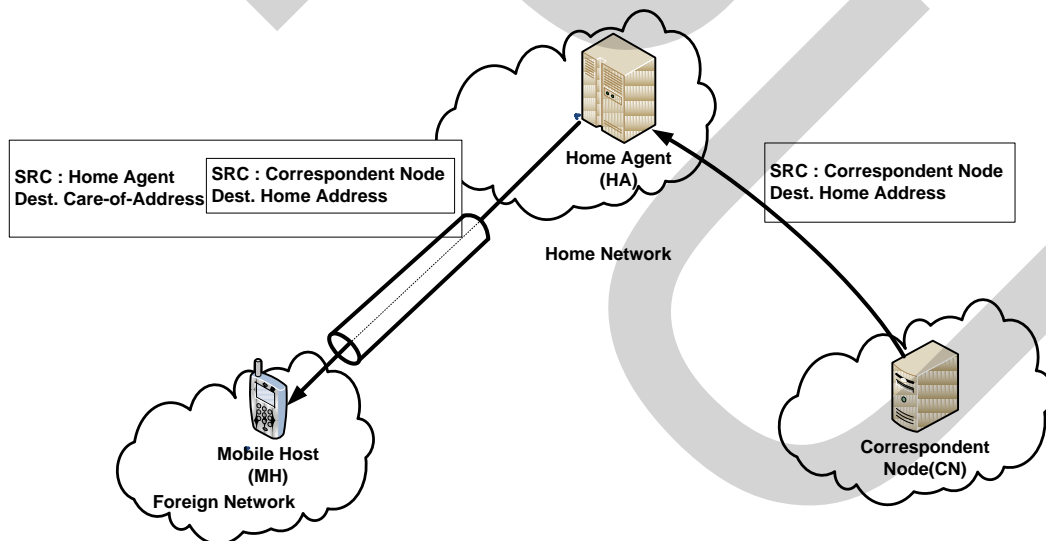
การทำงานในโหมด Bi-directional นั้นแพ็กเก็ต (packets) ที่ CN ส่งถึง MH นั้น จะต้องผ่าน HA ก่อน โดย HA จะทำการดัก (intercept) แพ็กเก็ตที่มีปลายทางส่งไปยัง MH แล้วทำ IP encapsulation บน IPv6 (IPv6-in-IPv6) ซึ่งส่วนของ IP Header ใหม่ นั้นจะระบุ Source Address (SA) เป็น HA และ Destination Address (DA) เป็น CoA ของ MH แต่มีส่วน Header เพิ่มเติมคือ มี SA เป็น Home Address (HoA) ของ MH และ DA เป็น CN แล้วจึงส่งต่อไปยัง MH ดังแสดงในภาพที่ 7 เมื่อ MH ได้รับข้อมูลแพ็กเก็ต ก่อนจะส่งต่อถึงชั้น Application ในโพรโตคอลสแต็ค (Protocol Stack) SA จะถูกแทนที่ด้วย Address ของ HoA และ DA จะถูกแทนที่ด้วย address ของ CN

เมื่อ MH จะส่งแพ็กเก็ตไปยัง CN ก็ต้องส่งกลับไปยัง HA ก่อน โดยทำ IP encapsulation ซึ่งมีส่วนของ IP Header ระบุ DS เป็น HA แล้ว HA ทำการ De-capsulation จะได้ DS เป็น CN ค่อยส่งต่อไปยัง CN ในที่สุด ดังแสดงในภาพที่ 2.7 - 2.9 สังเกตได้ว่า การส่งแพ็กเก็ตระหว่าง MH กับ HA จะมีการสร้าง Tunnel สำหรับ รับส่งข้อมูลทั้งไปและกลับระหว่าง HA กับ MH นั่นก็คือการเข้ารหัสข้อมูลตามมาตรฐาน RFC 2473



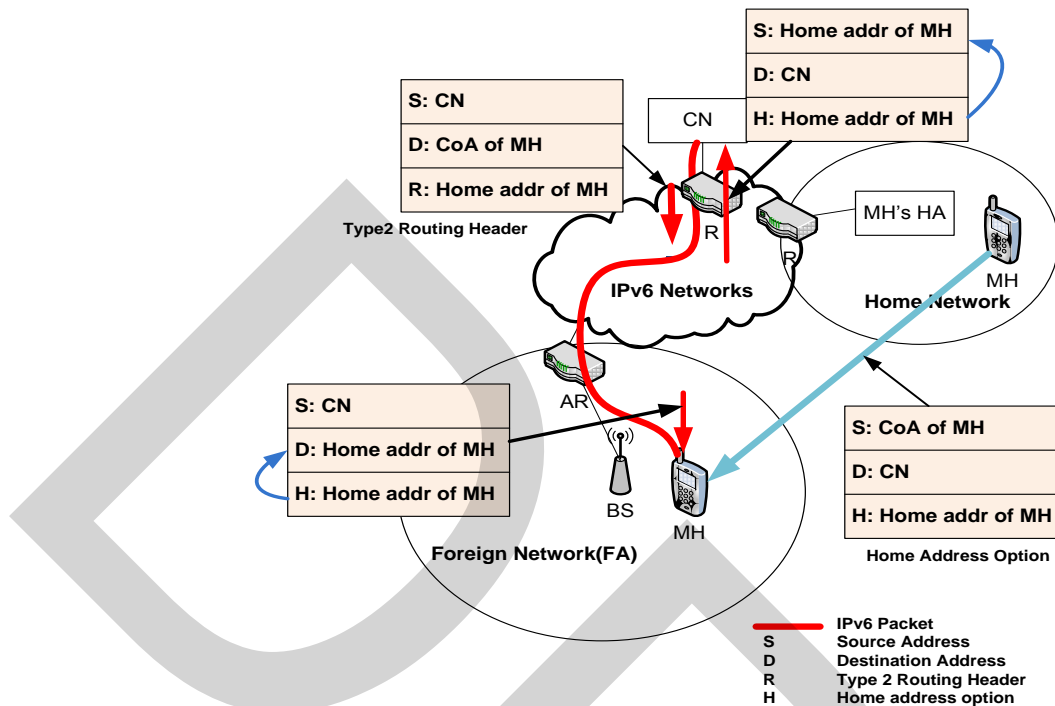
ภาพที่ 2.7 MH ส่งแพ็คเก็ตไปยัง CN โดยผ่าน Tunnel ไปที่ HA ก่อนถึง CN

ที่มา: Mare Blanchet. (2006). *Migrating to IPv6 A Practical Guide to Implementing IPv6 in Mobile and Fixed Networks*, p. 210.



ภาพที่ 2.8 CN ส่งแพ็คเก็ตไปยัง MH โดยส่งกลับไปที่ HA ก่อนถึง CN

ที่มา: Mare Blanchet. (2006). *Migrating to IPv6 A Practical Guide to Implementing IPv6 in Mobile and Fixed Networks*, p. 210.



ภาพที่ 2.9 การทำงานในโหมด Route Optimization ของ MIPv6

ที่มา: Chun-Hsin Wu, Ann-Tzung Cheng, Shao-Ting Lee, Jan-Ming Ho and Der-Tsai Lee.

(2002). "BI-direction route optimization in mobile IP over wireless LAN". *Proceedings VTC 2002 IEEE 56<sup>th</sup> vol. 2*, pp. 1168-1172.

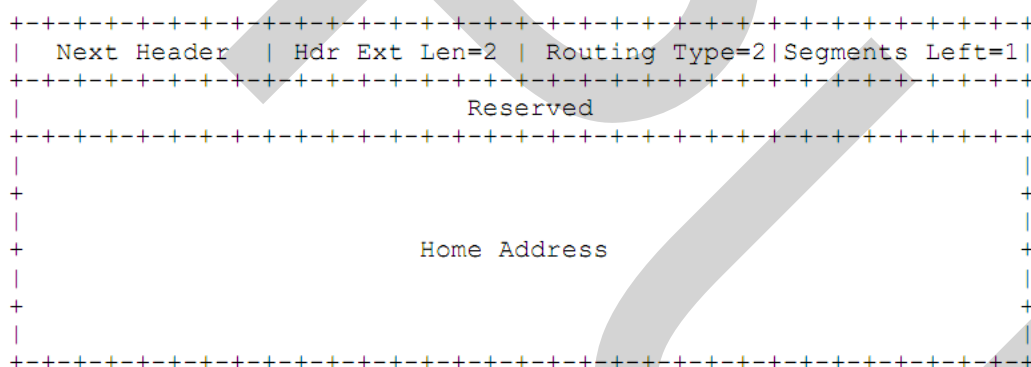
### 2.3.2 Route Optimization<sup>2</sup>

MIPv6 ในโหมดนี้ CN สามารถติดต่อสื่อสารกับ MH ได้ทันที ซึ่งในกรณีนี้ CN ต้องรองรับการทำงาน Mobile IP ด้วย จากภาพที่ 2.9 CN จะตรวจสอบ Binding Cache Entry ก่อนทำการเชื่อมต่อไปยัง MH ถ้ามีข้อมูลของ MH อยู่และยังไม่หมดเวลาของข้อมูล Cache Entry นั้น แสดงว่า MH ยังไม่เคลื่อนที่ไปเกาะกับเครือข่ายอื่นและยังคงใช้ Address เดิม โดยกระบวนการตรวจสอบ Cache Entry นี้ CN จะใช้ข้อมูลจาก Routing Header ร่วมด้วยดังแสดงในภาพที่ 2.10 ซึ่งเป็นข้อมูลที่ได้จากกระบวนการทำงานของ Return Route ability Procedure(RRP) เป็นการช่วยลดความคับคั่งของข้อมูลที่เครื่อง HA ลง การส่งข้อมูลในการทำ Route Optimization นี้ยังช่วยลดเวลาของการ

<sup>2</sup> เป็นกระบวนการวิธีในการเชื่อมต่อสื่อสาร โดยตรงระหว่าง CN กับ MH

สูญเสียเวลาของแพ็คเก็ตได้ด้วย แต่ถ้าตรวจสอบ Binding Cache Entry แล้วไม่มีข้อมูลของ MH แสดงว่า MH ได้ย้ายไปอยู่ที่ใหม่ CN ก็จะส่ง packets เพื่อติดต่อกับ MH ไปยัง HA ตามเดิมจากภาพที่ 2.9 จะเห็นว่าเมื่อ MH เคลื่อนที่ออกจาก HN แล้วนั้น MH จะใช้ Home Address Option เก็บข้อมูลที่สำคัญในการเชื่อมส่งกลับไปยัง HA ซึ่งจะใช้ค่า Address นี้เป็นตัวรับข้อมูลจาก CN แต่การเชื่อมต่อกับ MH นั้นยังคงใช้ Home Address ของ MH เป็นหลัก

ในหลักการสื่อสาร MIPv6 นั้นได้ปรับ Routing Header ใหม่ โดยกำหนดให้เมื่อ Routing Header มี Type = 2 แสดงว่าระบบ MIPv6 อนุญาตให้ CN สามารถติดต่อโดยตรงกับ MH ที่ Care-of-Address(CoA) ของ MH ซึ่ง CoA นี้ถูกบรรจุอยู่ใน Destination Address ของ IPv6 Field ของ ดังแสดงในภาพที่ 2.10 ในกรณีนี้ เมื่อ Routing Header ได้ถูกกำหนดเป็น Type = 2 แล้ว จะจำกัดให้ดำเนินการได้เพียง 1 Address เท่านั้นและถูกตรวจสอบควบคู่กับ Home Address ที่เป็นของ MH ด้วย ทั้งนี้ก็เพื่อป้องกันการส่งข้อมูลมาจากที่อื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้องไปยัง MH และ Routing Table นี้ต้องเป็นแบบ Unicast เท่านั้น



ภาพที่ 2.10 Frame Format ใน Routing Header

ที่มา: C. Perkins, D. Johnson and J. Arkko. (2011). Mobility Support in IPv6. Retrieved September 2011, from <http://tools.ietf.org/rfc/rfc6275.txt>.

### 2.3.3 กลไกอื่นๆ ที่สำคัญของ MIPv6

จากข้อกำหนดตามมาตรฐาน RFC 6275 ผู้วิจัยจะยกประเด็นที่เป็นกลไกหลักที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยชิ้นนี้ มาแสดงเป็นข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อความเข้าใจของผู้อ่าน ดังนี้



### 2.3.3.1 Movement Detection

กระบวนการนี้ จะใช้ในการตรวจสอบ MH ว่าได้เปลี่ยนจุดบริการหรือว่าย้ายตำแหน่งหรือไม่ ซึ่งมี 2 วิธี ดังนี้

#### a) ตรวจสอบจากค่า Lifetime ของ ICMP Packet

โดยปกติแล้ว HA จะทำการ Broadcast ICMP Router Advertisement message ออกไป ซึ่งจะมี Field maximum registration lifetime อยู่ นั่น MH จะบันทึกค่า lifetime สำหรับแต่ละ message ที่ Agent ส่ง Advertise มาให้ และ HA ก็จะคอยส่ง message นี้มาเพื่อ update ค่า lifetime อยู่เรื่อยๆ ซึ่งถ้าค่า lifetime ของ MH มีค่าเป็น 0 นั่นก็แสดงว่า MH ขาดการติดต่อ หรือได้ย้ายไปยัง Network อื่นเรียบร้อยแล้ว

#### b) เปรียบเทียบค่า Network Prefix จาก Routing Advertisement

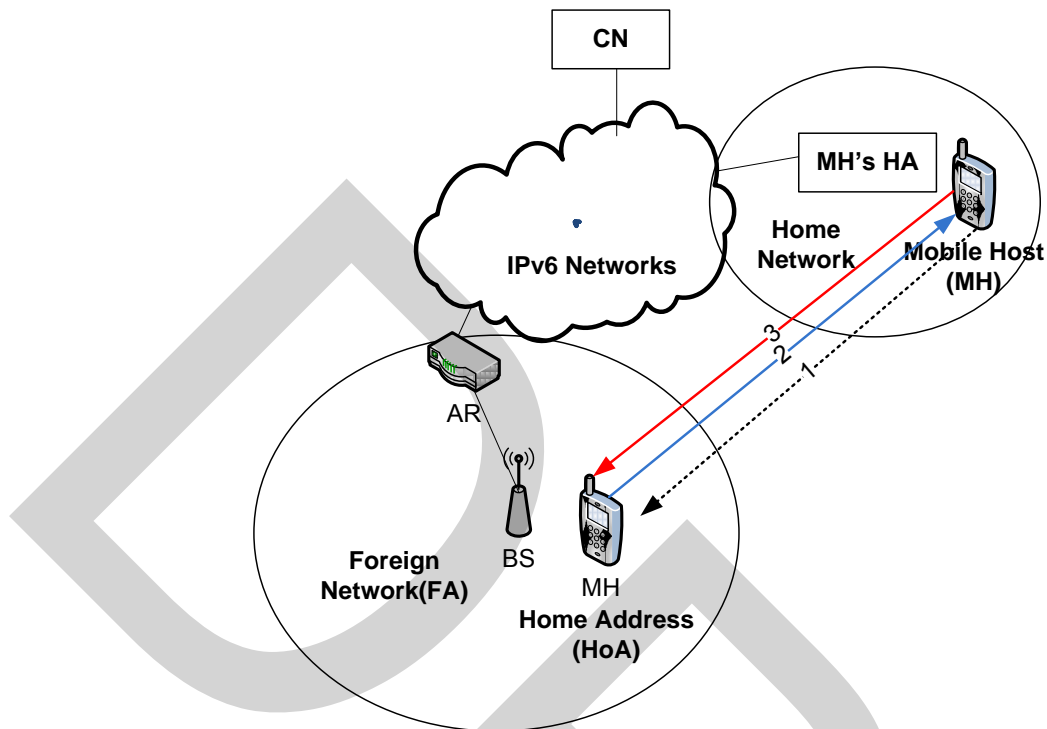
Routing Advertisement จะมีข้อมูลของ Network Prefix แสดงอยู่ MH สามารถนำค่า Prefix ที่มีอยู่เดิมเปรียบเทียบกับค่า Prefix ใหม่ ถ้าพบว่าค่า Prefix นั้นเปลี่ยนแปลง ก็แสดงว่า MH ได้ย้ายไปยัง Network อื่นแล้วเมื่อ MH ตรวจสอบทราบแล้วว่า ตัวเองได้ย้ายไปยังอีก Network หนึ่ง MH นั้นจำเป็นต้องหา Router ใหม่ เพื่อดำเนินการกำหนดไอพีแอดเดรสใหม่ใน Network เดียวกันกับ Router ใหม่ นั่นๆ ซึ่งในกรณีของ IPv6 สามารถใช้ได้สองวิธีคือ Stateless Address Auto-configuration และ Stateful Address Auto-configuration ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

Stateless Address Auto-configuration หมายถึง วิธีการที่อุปกรณ์เครือข่ายสามารถกำหนด IP Address แบบอัตโนมัติให้กับตัวเอง โดยใช้วิธีอ่านค่า Network Prefix จาก Router Advertisement message ที่ถูกส่งมาจาก Router ในเครือข่ายนั้น แล้วนำมารวมกันกับ Interface ID ซึ่งหาค่าได้จาก MAC Address นั้นเอง แล้วแปลงตามมาตรฐาน EUI-64 กลายเป็น IPv6 Address

Stateful Address Auto-configuration หมายถึง การกำหนดค่า IP Address ผ่านทาง Dynamic Host Configuration Protocol(DHCP) Server ซึ่งอาจจะเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่าย หรือ อุปกรณ์ Router ก็ได้

### 2.3.3.2 กระบวนการลงทะเบียนกับ Home Agent ของ MH

หลังจากที่ MH ได้ย้ายไปยัง Network อื่น และได้จัดการกำหนด IP Address ของตัวเองเสร็จเรียบร้อยแล้วนั้น MH จะติดต่อกับ HA เพื่อบอกตำแหน่งที่อยู่ใหม่ของตัวเอง ซึ่งก็คือ Care-of Address (CoA) นั้นเอง เพื่อให้ HA สามารถส่งแพ็คเก็ตที่มีปลายทางมายัง MH ส่งมาถึง MH ได้ ดังภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 Home Agent Registration ของ MH

ที่มา: C. Perkins, D. Johnson and J. Arkko. (2011). Mobility Support in IPv6. Retrieved September 2011, from <http://tools.ietf.org/rfc/rfc6275.txt>.

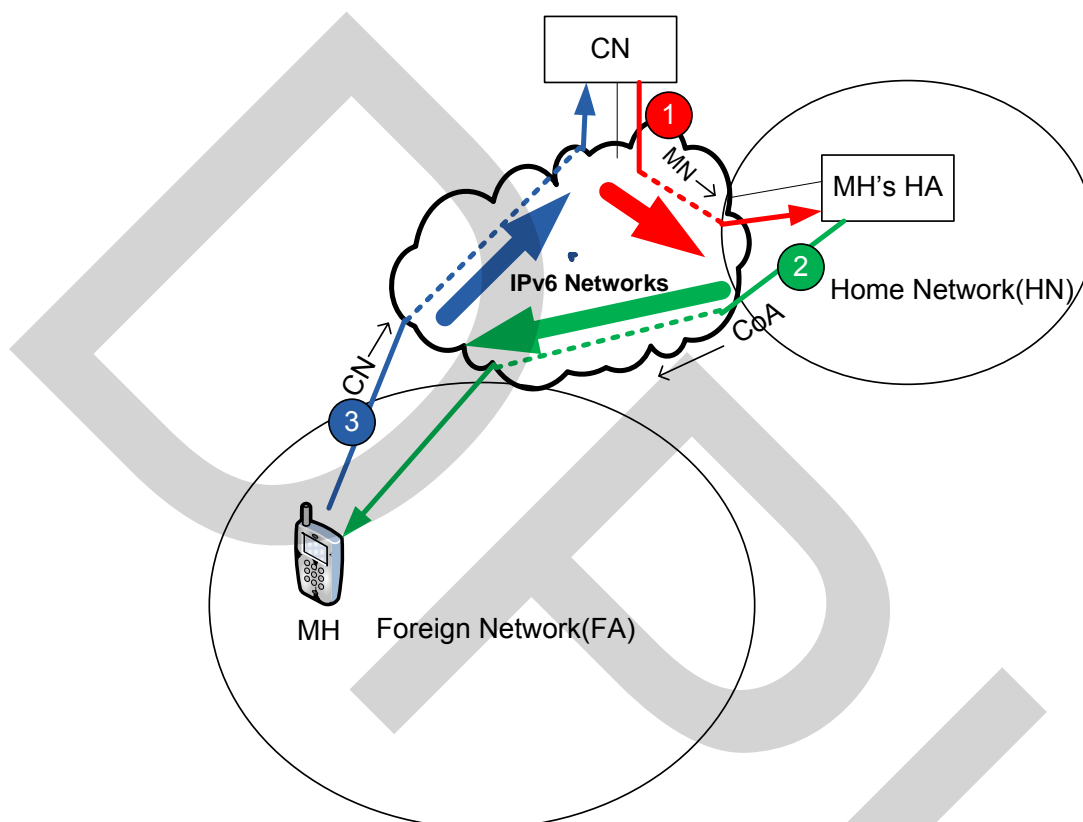
จากภาพที่ 2.11 จัดลำดับเหตุการณ์ได้ดังนี้

- a) MH เคลื่อนที่ไปยัง Network ใหม่และได้ IP Address ใหม่คือ CoA แสดงเส้นที่ 1
- b) MH ส่ง Binding Update (BU) ไปให้ HA แสดงเส้นที่ 2
- c) HA ทำการ Register BU เพื่อให้ทราบว่า MH อยู่ที่ไหนและ CoA อะไร
- d) HA ส่ง Binding Acknowledgement (BA) ตอบกลับไปยัง MH แสดงเส้นที่ 3

#### 2.3.3.3 Triangle Routing

กรณีที่ MH ย้ายไปยัง Foreign Network หรือ Visited Network แล้วมีแพ็คเก็ตเกิดจาก CN จะส่งไปยัง MH CN ยังไม่รู้ว่า MH ได้เคลื่อนย้ายออกไปจาก Home Network แล้วนั้น CN จะต้องส่งแพ็คเก็ตไปยัง HoA ของ MH (เส้นที่ 1) HA จะคอยดักจับ (intercept) แพ็คเก็ตที่จะส่งให้ MH แล้วนำไป encapsulation แพ็คเก็ตใหม่ ซึ่งในนั้นจะมี IP Address ของ CN อยู่ด้วย แล้วส่งไปยัง MH

ตามที่อยู่ CoA (เส้นที่ 2) และหลังจากนั้น CN กับ MH ก็จะทราบ IP Address ของกันและกัน และสามารถรับส่งแพ็คเก็ตกันได้โดยไม่ผ่าน HA ซึ่งแสดงไว้ในภาพที่ 2.13



ภาพที่ 2.12 การส่งแพ็คเก็ตเกิดในลักษณะ Triangle Routing

ที่มา: C. Perkins, D. Johnson and J. Arkko. (2011). Mobility Support in IPv6. Retrieved September 2011, from <http://tools.ietf.org/rfc/rfc6275.txt>.

#### 2.4 กระบวนการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายเคลื่อนที่แบบ Network Mobility Basic Support Protocol (NEMO BSP)

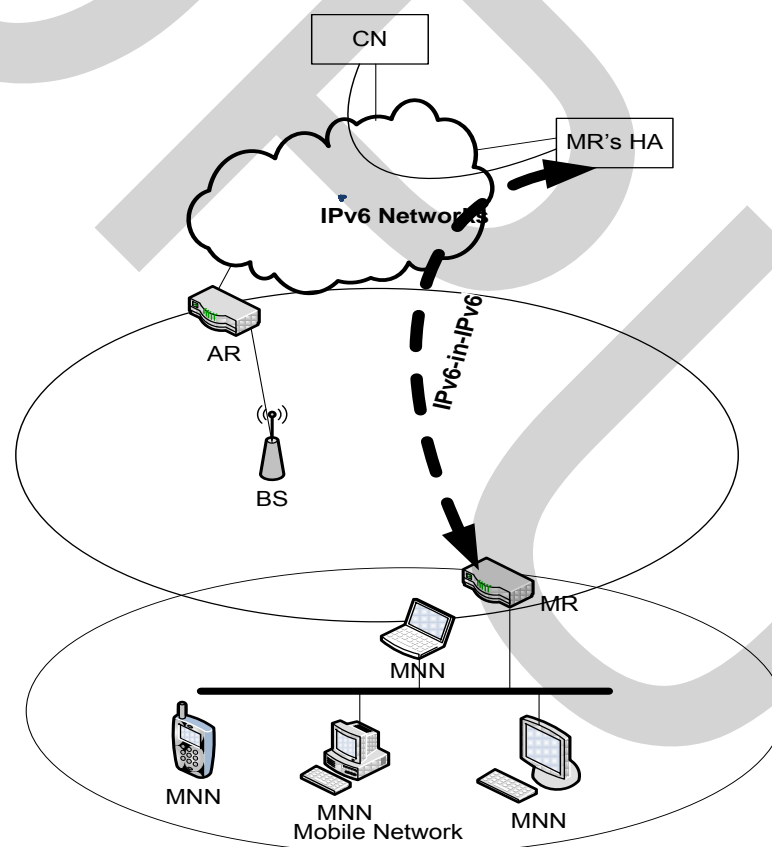
NEMO BSP เป็นกระบวนการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายที่พัฒนามาเพื่อใช้กับระบบเครือข่ายแบบเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นกลุ่มอุปกรณ์เครือข่ายนั่นเอง โดยมี Mobile Router (MR) เป็นตัวติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ HA ซึ่ง HA จะทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลเพื่อใช้เชื่อมต่อกับ MH ทำให้ Correspondent Node (CN) สามารถเชื่อมต่อกับ MH ได้โดยง่าย ผ่านทาง HA จากภาพที่ 2.13 ภาพรวมของระบบประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

a) Home Network เป็นที่อยู่ของ HA และ MH ก่อนที่จะเคลื่อนที่ไปยังระบบเครือข่ายอื่น

b) Mobile Network(MH) เป็นกลุ่มอุปกรณ์ระบบเครือข่าย ประกอบด้วย Mobile Router (MR) เป็นตัวหลักในการเชื่อมโยงเครือข่าย หรือเป็น Default Gateway ของ MH กับ HA , คอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก , โทรศัพท์ Smart Phone , PDA , Tablet PC และอื่นๆ แล้วแต่ความเหมาะสม โดยสามารถบรรทุกได้ง่ายอยู่ในรถประเภทต่างๆเช่น รถตู้ซีพ , รถสายตรวจของตำรวจ , รถช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติ และหรือ รถอำนวยการอื่นๆ เป็นต้น

c) Visited Network เป็นเครือข่ายที่ MH เคลื่อนย้ายไปและใช้เชื่อมต่ออยู่ ณ ขณะนั้น ประกอบด้วย Access Router(AR) เป็นตัวบริการเชื่อมต่อให้กับ MH

d) Correspondent Node(CN) เป็นเครื่องที่เชื่อมต่อสื่อสารกับ MH



ภาพที่ 2.13 การเชื่อมต่อของ MH , MR , CN และ HA

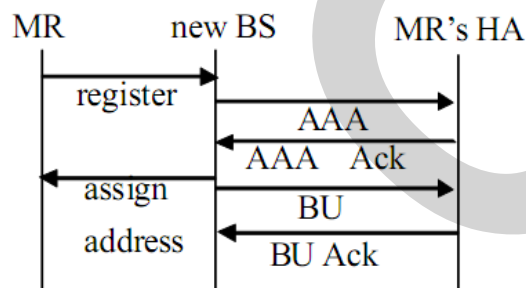
ที่มา: V. Devarapalli, R. Wakikawa , A. Petrescu and P. Thubert. (2005 January). “ *Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol*”, RFC 3963.

เมื่อ MH อยู่ใน HN นั้น HA จะส่ง Router Advertisement (RA) ซึ่งเป็น Prefix ของ IPv6 ที่ใช้อยู่นั้นออกไป เมื่อ MR ได้รับ Prefix ดังกล่าว ก็สามารถกำหนด IP Address ของตัวเองและใช้ลงทะเบียนการใช้งานกับ HA แต่เมื่อ MH โดเคลื่อนที่ออกจาก HN ไปเชื่อมต่อกับ Access Point ของเครือข่ายอื่น (Visited Network) MR จะทำหน้าที่ติดต่อสื่อสารกับ HA โดยอาศัย CoA (Care of Address) ที่ได้รับจาก Access Router(AR) ในเครือข่ายที่เกาะอยู่ ณ ขณะนั้น โดยปกติ Access Router จะส่ง Router Advertisement ออกไปในเครือข่ายตัวเองอยู่แล้ว และ MR ก็ได้กำหนด IP Address ให้กับตัวเองด้วย RA นี้เอง จากนั้น MR จะส่ง Binding Update (BU) ไปยัง Home Agent เพื่อแจ้งที่อยู่ใหม่โดยอาศัย CoA ในการอ้างอิง เมื่อ HA ได้รับ BU แล้ว ก็จะส่ง Binding Acknowledgement ตอบกลับมายัง MR พร้อมกับสร้าง tunnel ในการรับส่งข้อมูลกันระหว่าง HA กับ MH

ดังนั้น เมื่อ CN ต้องการติดต่อมายัง MH นี้ ก็จะต้องติดต่อไปที่ HA ก่อน แล้วรับส่งข้อมูลกันผ่านทาง tunnel ที่ได้สร้างไว้ระหว่าง HA กับ MH ซึ่งในทางกลับกัน เมื่ออุปกรณ์ใดๆใน MH ต้องการติดต่อกับ CN ใดๆ อุปกรณ์นั้นก็จะส่งแพ็คเก็ตผ่าน tunnel มายัง HA ก่อน แล้ว HA ค่อยส่งต่อแพ็คเก็ตนั้นไปยัง CN ต่อไป ซึ่งก็ถือได้ว่า MR ได้ทำหน้าที่เป็น Default Gateway ของอุปกรณ์ทั้งหมดใน Mobile Network นั้นๆ

#### 2.4.1 กระบวนการแฮนด์ออฟแบบ Horizontal ของ NEMO BSP

กระบวนการแฮนด์ออฟแบบ Horizontal ของ NEMO BSP นั้น จะมีอุปกรณ์ Mobile Router(MR) เป็นอุปกรณ์หลักที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารกับอุปกรณ์ HA ซึ่ง HA จะทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลที่อยู่เพื่อใช้เชื่อมต่อด้วยทันเนล(Tunnel) กับ MH ทำให้ Correspondent Node(CN) สามารถเชื่อมต่อกับ MH ได้ผ่านทาง HA ไปยัง MR ดังแสดงขั้นตอนในภาพที่ 2.14



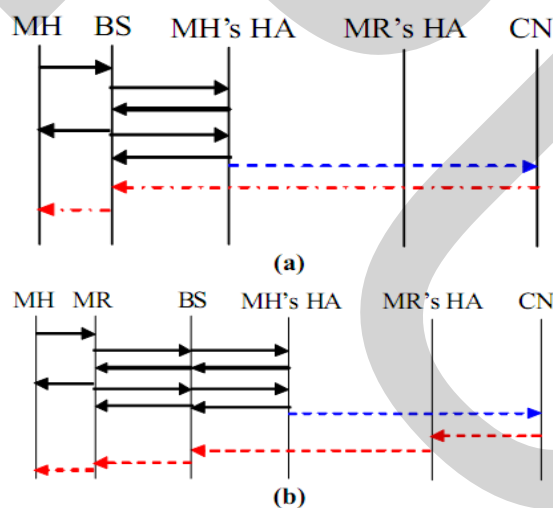
ภาพที่ 2.14 Message Driftage ของการแฮนด์ออฟในระบบเครือข่าย NEMO

ที่มา: Hui-Min Huang and Jia-Lin Chang. (2011). "Complete Handoff Tactics for the Integrated 3G and NEMO Network", *Biomedical Electronics & Communications*. pp. 323-328.

จากภาพที่ 2.14 แสดงให้เห็นถึงลำดับการไหลของกระแสข้อความหรือสัญญาณควบคุมระบบ ดังนี้ เมื่อ MR เคลื่อนย้ายเข้าไปใน BS ใหม่ มันจะลงทะเบียนการเข้าใช้งานกับ BS ใหม่ ด้วยตัวเอง เมื่อ BS ใหม่ ยืนยันการลงทะเบียนกลับมา พร้อมกันกับ HA ของ MR ซึ่งใน Messages ของการลงทะเบียนนั้น จะบรรจุ Authentication, Authorization และ Accounting (AAA) แนบมาด้วย หลังจากนั้น BS จะกำหนด CoA ให้กับ MR เมื่อเรียบร้อย MR ก็จะใช้ CoA นั้น ส่ง BU ให้กับ HA ของตัวเอง และใช้ CoA ที่ได้นั้น รับส่งข้อมูล เมื่อ CN มีการร้องขอการเชื่อมต่อเข้ามา

#### 2.4.2 กระบวนการแฮนด์ออฟแบบ Vertical ที่รวมระบบของ NEMO BSP และ 3G

การแฮนด์ออฟในระบบนี้มี 2 กรณี คือ หนึ่ง กรณีที่ MH เคลื่อนย้ายจาก NEMO เข้าไปใน 3G และ สอง กรณีที่ MH เคลื่อนย้ายจาก 3G เข้าไปใน NEMO จากภาพที่ 2.15 แสดงให้เห็นลำดับของ Messages คือ MH จะเตรียม Messages สำหรับลงทะเบียนไว้ให้ BS, เมื่อ MH เคลื่อนย้ายออกจาก NEMO เข้าไปในระยะบริการของ BS (เส้นสีดำ ภาพที่ 2.15 (a)) BS จะยืนยันการลงทะเบียนใช้บริการกับ HA ของ MH นั่นคือ BS ได้กลายเป็น Foreign Agent (FA) ของ MH หลังจากนั้น BS จะกำหนด CoA และ Bandwidth ให้กับ MH แล้ว BS ก็จะส่ง BU อัดเคตไปยัง HA ของ MH, HA จะแจ้ง CoA ให้กับ CN (เส้นสีน้ำเงิน ภาพที่ 2.15 (a)) CN สร้าง tunnels สื่อสารกับ MH โดยระบุเส้นทางมายัง MH ผ่านทาง BS เมื่อ BS ได้รับแพ็คเกจของ MH จะส่งต่อให้กับ MH ทันที



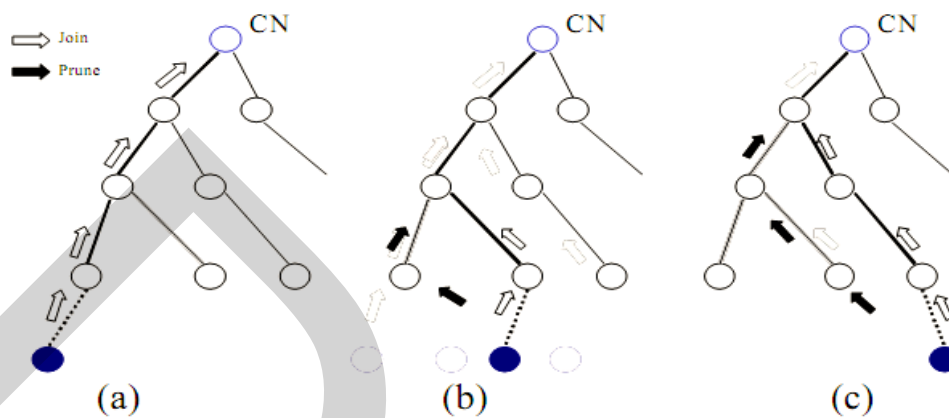
ภาพที่ 2.15 Messages Driftage ของ MH เมื่อเคลื่อนย้าย (a) จาก NEMO เข้าไปยัง 3G และ (b) จาก 3G ไปยัง NEMO

ที่มา : Hui-Min Huang and Jia-Lin Chang. (2011). "Complete Handoff Tactics for the Integrated 3G and NEMO Network", *Biomedical Electronics & Communications*, pp. 323-328.

ในกรณีที่ สอง เมื่อ MH เคลื่อนย้ายออกจาก 3G เข้าไปยัง NEMO (เส้นสีดำภาพที่ 2.15(b)) MR จะยื่นขออนุญาตลงทะเบียนใช้บริการกับ HA ของ MH ผ่านทาง BS แล้ว MR ก็จะกลายเป็น New Access Router (NAR) ของ MH จากนั้น MR ได้กำหนด CoA และ Bandwidth ให้กับ MH แล้ว MR ก็ส่ง BU อัปเดตไปยัง HA ของ MH จากนั้น HA ของ MH แจ้งข่าวสารให้ CN ใช้ Address ของ MR's HA ในการสื่อสารกับ MH (เส้นสีน้ำเงินภาพที่ 2.15(b)) จากนั้น CN ทำ Tunnel ส่งแพ็คเก็ตมายัง MR's HA แล้วส่งต่อไปให้กับ MR และสุดท้ายแพ็คเก็ตจะถูกส่งต่อจาก MR ให้กับ MH

## 2.5 กระบวนการทำงานแบบ Multicast-based Mobility (M&M)

กระบวนการทำงานแบบ M&M เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ลดเวลาและการสูญเสียข้อมูลในระหว่างที่มีการแฮนด์ออฟเกิดขึ้น โดยแต่ละ MH จะถูกกำหนดให้ใช้ Multicast Address(MA) เมื่อ MH เคลื่อนที่เข้าไปเกาะในพื้นที่ที่มีการใช้ MA แล้ว CN ต้องการสื่อสารกับ MH แพ็คเก็ตจะถูกส่งไปยัง MA แทน Unicast Address(UA) เนื่องจาก MH มีการเคลื่อนที่เข้าไปยังพื้นที่บริการใหม่อยู่บ่อยครั้ง ในแต่ละครั้งที่ MH เกาะกับ AP ตัวใหม่นั้น เส้นทางของแพ็คเก็ตระหว่าง MH กับ CN จะอยู่ในลักษณะ Multicast Distribution Tree โดย Hop ที่เกิดขึ้นจะมีการเปลี่ยนแปลงไม่มากนักดังแสดงในภาพที่ 2.16 เมื่อ MH เคลื่อนที่เข้าไปในพื้นที่ให้บริการ Multicast-based Mobility มันจะถูกกำหนดให้เข้าใช้(Join) Multicast Address ของพื้นที่นั้น จากนั้นจะได้รับแพ็คเก็ตจาก AR ใหม่ พร้อมกับส่งแพ็คเก็ต(Prune) แจ้งไปยัง AR เก่า เพื่อหยุดการส่งแพ็คเก็ตมาให้มัน และเมื่อ MH เข้าไปเกาะกับ AR ซึ่งยังเป็นพื้นที่ให้บริการ Multicast-based Mobility เดิม Multicast Address ของ MH จะยังไม่เปลี่ยนไป ยังคงใช้รับส่งแพ็คเก็ตได้ภายในโดเมนนี้(Intra-Domain) จนกว่าจะเคลื่อนที่ไปยังโดเมนใหม่(Inter-Domain Handoff) หรือพื้นที่บริการ Multicast-based Mobility อื่น จึงจะเปลี่ยน Multicast Address

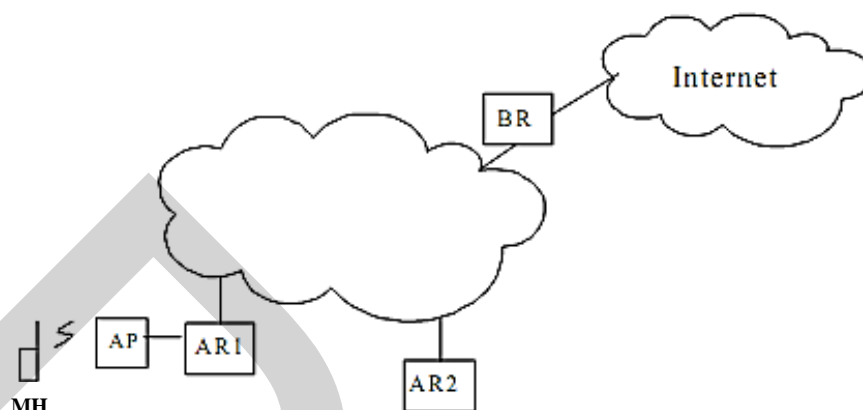


ภาพที่ 2.16 Multicast-based Mobility : MH ส่ง Join และ Prune เมื่อ MH ท่องไปใน Tree แสดงในรูป (b) และ (c)

ที่มา: Ahmed Helmy, Muhammad Jaseemuddin, and Ganesha Bhaskara. (2004). "Multicast-based Mobility: A Novel Architecture for Efficient Micro-Mobility", *IEEE Journal on Selected Areas in Communication* May 2004, 22(4). pp. 677-690.

ในโครงสร้างระบบของ Multicast-based Mobility แบบ Single Domain ที่แสดงในภาพที่ 2.17 นั้น จะมีอุปกรณ์ Border Routers(BRs) เป็นเกตเวย์สำหรับเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต อุปกรณ์ Access Point(AP) เป็นจุดบริการเชื่อมต่อสัญญาณวิทยุกับ MH และ Access Router(AR) ใช้กำหนด Subnet ให้กับ AP ที่อยู่ภายใต้โดเมนของ AR นั้นๆ ซึ่งแต่ละ AR จะมี Subnet ที่แตกต่างกัน เมื่อ MH เคลื่อนที่ไปใน AP ที่อยู่ภายใต้โดเมนของ AR เดียวกันจะเรียกการแฮนด์ออฟนี้ว่า Intra-Domain Handoff แต่ถ้า MH เคลื่อนที่ไปเกาะกับ AP ที่อยู่ต่างโดเมน การแฮนด์ออฟนั้นเรียกว่า Inter-Domain Handoff ซึ่ง Address ของ MH ย่อมจะเปลี่ยนตาม Subnet ของแต่ละ AR



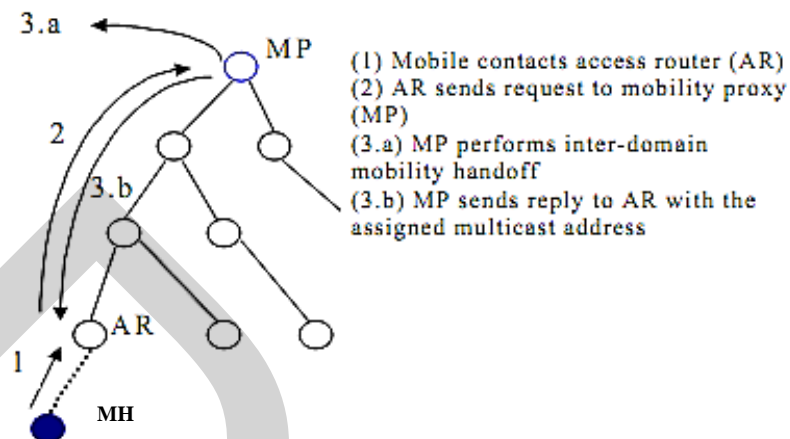


ภาพที่ 2.17 โครงสร้างระบบ Mobility Domain Network

ที่มา: Ahmed Helmy, Muhammad Jaseemuddin, and Ganesha Bhaskara. (2004). “Multicast-based Mobility: A Novel Architecture for Efficient Micro-Mobility”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communication* May 2004, 22(4). pp. 677-690.

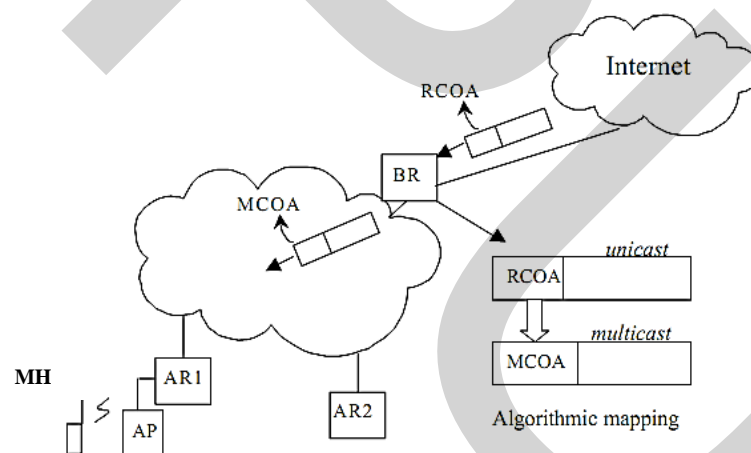
การกำหนด Address ให้กับ MH นั้น ในระบบ Multicast-based Mobility โดเมนจะกำหนด Address ใช้สื่อสารกับ MH มี 2 Address คือ Unicast Care of Address หรือเรียกว่า Regional Care of Address(RCOA) สำหรับใช้ภายในโดเมนและสื่อสารกับอินเทอร์เน็ตและใช้ Register กับ HA อีกหนึ่ง Address คือ Multicast Care of Address(MCOA) มีหน้าที่ส่งแพ็คเก็ตไปมาในเฉพาะโดเมนเท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 2.18

จากภาพที่ 2.18 เมื่อ MH เคลื่อนที่เข้ามายัง M&M โดเมนและสื่อสารกับ AR เพื่อลงทะเบียนเข้าระบบเป็นที่เรียบร้อยแล้วนั้น AR จะกำหนด RCOA ให้กับ MH จากนั้น AR จะส่ง Request Messages ไปยัง Mobility Proxy(MP) เพื่อกำหนด MCOA ให้กับ MH ที่เข้ามาใหม่ ซึ่ง MP จะทำอีกสองขั้นตอนคือ หนึ่ง)นำ RCOA ของ MH ลงทะเบียนกับ HA ของ MH และ สอง)กำหนด MCOA ให้กับ MH จากนั้น MP จะส่ง Reply Message ไปยัง AR และเก็บบันทึกไว้(Mapping Record) ซึ่งจะนำ Mapping Record นี้มาใช้ทำ Packet Encapsulation สำหรับรับส่งข้อมูลกับ MH ในภายหลัง



ภาพที่ 2.18 ลำดับการเข้าสู่ Multicast-based Mobility (M&M) โดเมนของ MH

ที่มา: Ahmed Helmy, Muhammad Jaseemuddin, and Ganesha Bhaskara. (2004). "Multicast-based Mobility: A Novel Architecture for Efficient Micro-Mobility", *IEEE Journal on Selected Areas in Communication* May 2004, 22(4). pp. 677-690.



ภาพที่ 2.19 แพ็คเก็ตมีปลายทางมายัง RCOA ถูกดัก(Intercepts)ไว้ที่ BR และใช้ Algorithmic Mapping ที่บันทึกเส้นทาง RCOA ไปยัง MCOA ภายในโดเมน

ที่มา: Ahmed Helmy, Muhammad Jaseemuddin, and Ganesha Bhaskara. (2004). "Multicast-based Mobility: A Novel Architecture for Efficient Micro-Mobility", *IEEE Journal on Selected Areas in Communication* May 2004, 22(4). pp. 677-690.

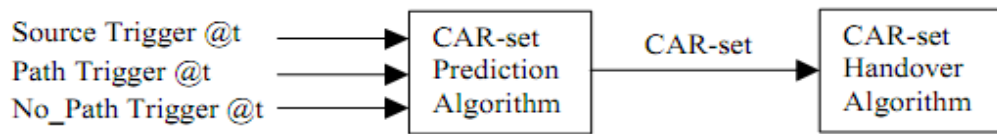
จากภาพที่ 2.19 เมื่อมีแพ็คเก็ตส่งถึง MH ซึ่งใช้ RCOA อยู่ BR จะคัดและตรวจสอบกับ Mapping Record ด้วยวิธี Algorithmic Mapping เป็นการเก็บบันทึกแบบ one-to-one Mapping ระหว่าง RCOA กับ MCOA ทำให้ทราบที่อยู่ของ MH และส่งแพ็คเก็ตลงไปตามลำดับของ Tree ใน Subnet ของ AR ที่ MH เกาะอยู่

#### 2.5.1 กระบวนการวิธีการแฮนด์ออฟแบบ M&M Handoff Framework

การเคลื่อนที่ของ MH จาก AR หนึ่งไปยัง AR ตัวอื่นๆ ในชั้นของ Network-Level มีกระบวนการทำงานเกิดขึ้นดังนี้ 1) การตรวจสอบ Subnet ของเราเตอร์ 2) การส่งข้อมูลช่วยเหลือจาก new AR และ 3) route repair หรือการสร้างเส้นทางข้อมูลขาเข้ามายัง MH จาก new AR ซึ่งการแฮนด์ออฟที่มีประสิทธิภาพดีนั้น ต้องใช้เวลาน้อยและมีอัตราของการสูญเสียข้อมูลต่ำด้วย ในกระบวนการ route repair นั้น สามารถทำให้ MH ใช้เส้นทางของสองเส้นทางคือ old AR กับ new AR ในการรับข้อมูลจาก CN หรือเรียกว่าวิธี Bi-cast ในระบบ Cellular IP(CIP) นั้นยังไม่มีประสิทธิภาพดีเท่าใดนัก แต่เมื่อนำมาใช้ร่วมกับ M&M และผ่านกระบวนการของ M&M Handoff Framework ที่มี Candidate Access Router Set(CAR-set)<sup>1</sup> Prediction Algorithm ช่วยตรวจสอบเส้นทางของ MH ว่ากำลังจะไปเกาะกับ AR ตัวใด ทำให้สามารถเตรียมการล่วงหน้าสำหรับการแฮนด์ออฟ และ MH รับข้อมูลได้รวดเร็วขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในสภาพการแฮนด์ออฟของ MH ที่มีทิศทางหรือเส้นทางการเคลื่อนที่ที่แน่นอนและคาดเดาได้

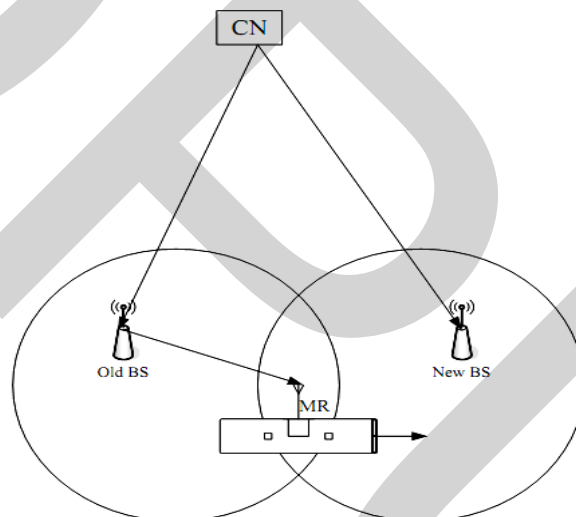
จากภาพที่ 2.20 แสดงองค์ประกอบของกระบวนการแฮนด์ออฟด้วย CAR-set ซึ่งได้กำหนด Signaling และ Block Diagram อธิบายขั้นตอนการทำงานได้ดังนี้

- a) Source Trigger คือ ข้อมูลที่ถูกสร้างขึ้นและส่งมาจาก old AR แสดงการยกเลิกการเชื่อมต่อเข้าใช้บริการของ MH
- b) Path Trigger คือ ข้อมูลจาก old AR แจ้งเวลาที่เหลือในการเชื่อมต่อของ MH กับ old AR พร้อมทั้งแจ้ง AR ตัวใหม่ที่ MH จะเข้าใช้บริการเชื่อมต่อในช่วงเวลาต่อจากนั้น เช่น การเคลื่อนที่ของ MH ในพาหนะที่อยู่บนถนน ทำให้สามารถคาดเดาได้อย่างแม่นยำ
- c) No-Path Trigger คือ ข้อมูลจาก old AR แจ้งเวลาที่เหลือในการเชื่อมต่อของ MH กับ old AR แต่ไม่มีการแจ้ง AR ตัวใหม่ที่ MH จะไปเข้าใช้บริการ



ภาพที่ 2.20 กระบวนการวิธีการแฮนด์ออฟแบบ M&M Handoff Framework

ที่มา: Ahmed Helmy, Muhammad Jaseemuddin, and Ganesha Bhaskara. (2004). “Multicast-based Mobility: A Novel Architecture for Efficient Micro-Mobility”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communication* May 2004, 22(4). pp. 677-690.



ภาพที่ 2.21 การส่งแพ็คเกจแบบ Bi-cast จาก CN

ที่มา: Hui-Min Huang and Jia-Lin Chang. (2011). “Complete Handoff Tactics for the Integrated 3G and NEMO Network”, *Biomedical Electronics & Communications*, pp. 323-328.

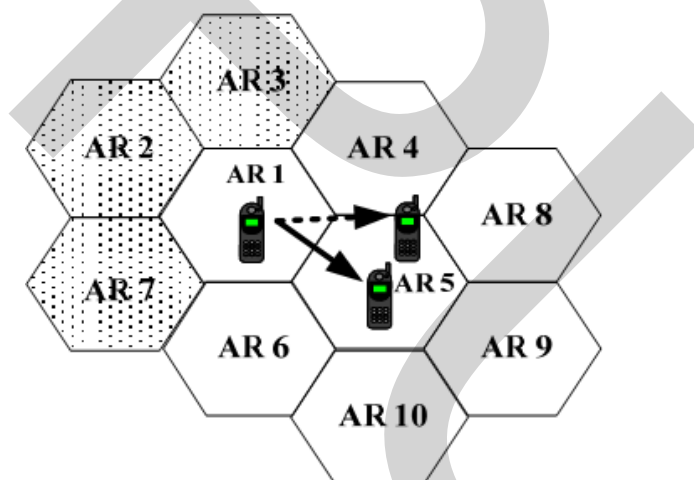
2.5.2 กระบวนการวิธี CAR-set ในระบบ M&M ในสถานการณ์ที่กำหนดเส้นทางแน่นอน (Fixed Routes)

ในกรณีนี้จะเหมาะกับการใช้งานของผู้ใช้ ที่มีลักษณะทิศทางเคลื่อนที่ ที่ถูกกำหนดไว้ เช่น ผู้ใช้ในรถไฟฟ้า หรือ การขนส่งที่ใช้ราง ซึ่งมีทิศทางเคลื่อนที่ที่สามารถคาดเดาได้ การที่มีผู้ใช้ หรือ MH จำนวนมาก ที่อยู่ในรถไฟฟ้า หรือ รถไฟความเร็วสูงนั้น ทำให้เป็นสาเหตุเกิด

ความคับคั่งของ Messages ที่ New BS ในระหว่างการแฮนด์ออฟ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดความล้มเหลวในขั้นตอนนี้ได้ เกิดความชะงักงัน ในการติดต่อสื่อสารของผู้ใช้ ส่งผลในด้านลบกับผู้ใช้บริการ การนำ NEMO เข้ามาใช้ จะสามารถแก้ปัญหานี้ไปได้ จากภาพที่ 2.22 แสดงให้เห็นได้ว่า เมื่อ MR เคลื่อนที่ออกจาก Old BS กำลังจะเข้าไปยังระยะบริการของ New BS , CN สามารถทำการส่งแพ็คเก็ตล่วงหน้าไปยัง New BS ได้ด้วยวิธี Bi-cast<sup>1</sup> ทันทีที่การลงทะเบียนเสร็จสิ้น MR และ MH ก็ สามารถรับข้อมูลจาก New BS ได้ทันที ซึ่งจะเป็นการลดเวลาของการแฮนด์ออฟได้

### 2.5.3 วิธี CAR-set ในระบบ M&M ในสถานการณ์ที่มีเส้นทางที่ไม่แน่นอน (Unfixed Routes)

ในกรณีที่ไม่สามารถคาดเดาทิศทางเคลื่อนที่ได้ นั่น เราสามารถใช้วิธี CAR-set ได้ เช่นกันกับหัวข้อที่ผ่านมา ซึ่งจากภาพที่ 2.22 แสดงให้เห็นการทำงาน เมื่อระบบสามารถคำนวณทิศทางของ MH ได้โดยเคลื่อนที่จากสถานี AR1 ไปยัง AR5, CN จะเริ่มการส่งแบบ Bi-cast ไปยัง AR1 และ AR5 (เส้นทึบ) แต่ไม่สามารถคาดเดาทิศทางเคลื่อนที่ได้นั้น CN จะเริ่มการส่ง Multicast ไปยัง AR1 ,AR4 , AR5, AR6, AR8 , AR9 และ AR10 วิธีนี้เหมาะกับระบบขนส่งสาธารณะที่มีผู้ใช้บริการไม่มาก



ภาพที่ 2.22 กระจบวนวิธี CAR-set ในระบบ M&M System

ที่มา: Hui-Min Huang and Jia-Lin Chang. (2011). “Complete Handoff Tactics for the Integrated 3G and NEMO Network”, *Biomedical Electronics & Communications*, pp. 323-328.

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

MIPv6 นั้นมีหลายงานวิจัยที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษา ซึ่งมุ่งเน้นไปที่การลดเวลาในการ แสند้ออฟเป็นหลัก โดยในแต่ละผลงานนั้นได้มีการวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ระหว่างโมเดลที่ผู้วิจัยท่านนั้นพัฒนาคิดค้นขึ้นมา กับผลงานของนักวิจัยท่านอื่นๆ และมาตรฐานที่ ได้รับการยอมรับจากนานาชาติ ซึ่งก็คือมาตรฐาน RFC ของ IETF

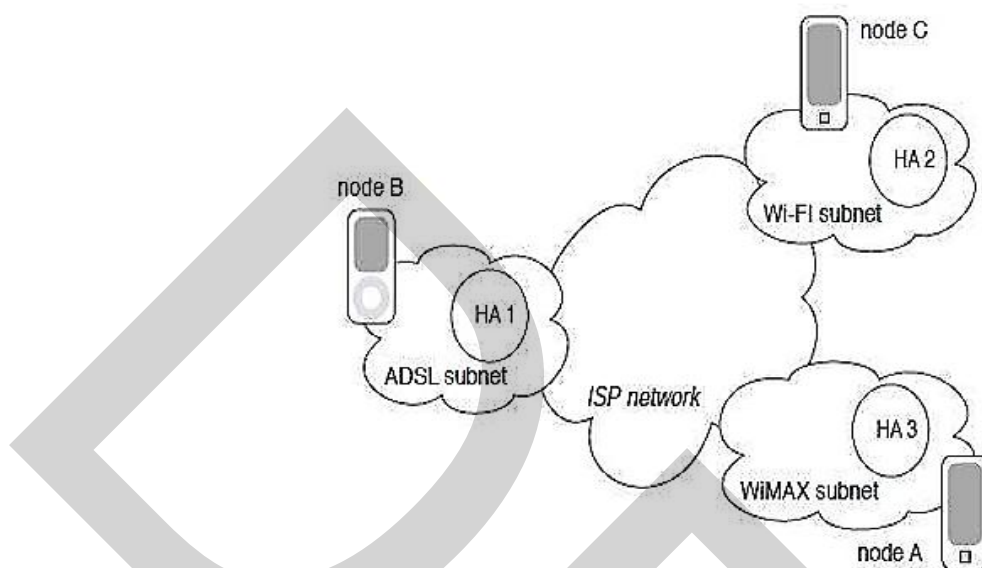
การลดเวลาของการแสند้ออฟนั้น มีหลายหัวข้อที่น่าสนใจเช่น การพัฒนาเทคนิคการทำ Route Optimization การทำ Binding Update การคิดค้นวิธีแสند้ออฟแบบ Fast Handoff MIPv6(FMIPv6), Proxy MIPv6(PMIPv6), Hierarchical MIPv6(HMIPv6) และ MIPv6 ในรูปแบบอื่นๆ ซึ่งจะสรุปและได้ เรียงการทำงานและการนำไปใช้แก้ปัญหา ดังนี้

Mariya Benamar<sup>3</sup> และคณะ ได้นำเสนอวิธีการกระจาย HA พร้อมกับพัฒนาอัลกอริทึม สำหรับ MH และ CN เพื่อใช้เลือก HA ตัวที่อยู่ใกล้ที่สุดสำหรับการ Register ซึ่งเมื่อนำโมเดลไป ทดสอบกับ โปรแกรม Simulator คือ NS-2 นั้น วิธีการที่พวกเขาแนะนำเสนอนี้ จะเป็นประโยชน์สำหรับ ผู้ให้บริการ WiMAX และ 3GPP ได้ในอนาคต โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบ Mobile WiMAX(IEEE 802.16e) ที่มีความเร็วการรับส่งข้อมูลสูงถึง 20 Mbps และครอบคลุมพื้นที่ให้บริการถึง 20 km สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเพื่อใช้ใน โครงข่ายที่ให้บริการด้านวีดิโอสตรีมมิ่ง(Video Streaming) และ VoIP ได้

จากภาพที่ 2.23 เป็นภาพที่แสดงวิธีที่นำเสนอและภาพที่ 2.24 ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า MH และ CN เลือก HA ตัวที่อยู่ใกล้ตัวเองที่สุดเป็น Primary Home Agent และการดึงแพ็คเก็ตที่ไปยัง MH ของ HA นั้นสามารถทำงานได้ถูกต้องตามโมเดลที่ออกแบบไว้ สามารถช่วย แก้ปัญหาที่เกิดจากการกระจาย HA ออกไปอยู่ในหลายๆเครือข่าย และเทคนิคที่ใช้ในการตัดสินใจ เลือก Primary HA ของ MH และ CN ก็ทำได้ถูกต้อง

---

<sup>3</sup> From “Reducing dogleg routing in Mobile IPv6 by the enhancement of Home Agent deployment,” by Mariya Benamar , Meknes Morocco, Mohammed El Koutbi and Abdelatif Mezrioui. (2010, 19-21 May). ECTI-CON 2010, pp. 904 – 908.

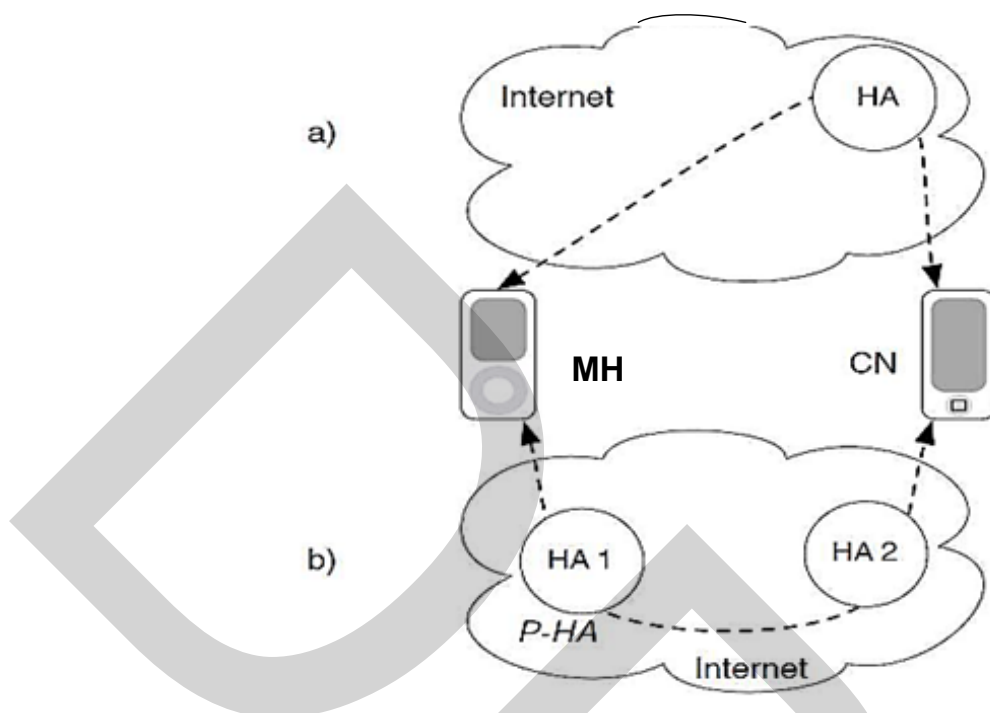


ภาพที่ 2.23 วิธีที่นำเสนอของ Mariya Benamar และคณะ

**ที่มา:** Mariya Benamar , Meknes Morocco, Mohammed El Koutbi and Abdelatif Mezrioui. (2010, May). “Reducing dogleg routing in Mobile IPv6 by the enhancement of Home Agent deployment”, *ECTI-CON 2010*, pp. 904 – 908.

Chun-Hsin Wu<sup>4</sup> และคณะ ได้ทำการศึกษาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ Mobile IPv6 for Linux (MIPL) โดยทดลองติดตั้งโปรแกรม Routing Advertisement Daemon (RADVD) บนระบบปฏิบัติการลินุกซ์ Redhat 8.0 ใช้เป็นเครื่อง Home Agent (HA) ซึ่งถือได้ว่า HA เป็นหัวใจของระบบ Mobile IPv6 (MIPv6) และใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้ง IPv6 ใช้เป็น CN แล้วใช้ ping6 ส่งแพ็คเก็ตให้กับ MH ที่ Home Network จากนั้นได้ย้าย MH ไปที่ Foreign Network ซึ่งก็คือ IPv6 อีก Subnet ปรากฏว่า เครื่อง MH สามารถกำหนด IPv6 แบบ Autoconfiguration ตามมาตรฐาน EUI-64 ซึ่งเป็นการกำหนด IPv6 ร่วมกับการใช้ MAC Address ของเครื่องนั้น และเครื่อง CN สามารถ ping6

<sup>4</sup> From “BI-direction route optimization in mobile IP over wireless LAN,” by Chun-Hsin Wu, Ann-Tzung Cheng, Shao-Ting Lee, Jan-Ming Ho and Der-Tsai Lee. (2002). Proceedings VTC 2002 IEEE 56<sup>th</sup> vol. 2, pp. 1168-1172.



ภาพที่ 2.24 MH และ CN เลือก HA ตัวที่อยู่ใกล้ตัวเองที่สุดเป็น Primary Home

ที่มา: Mariya Benamar , Meknes Morocco , Mohammed El Koutbi and Abdelatif Mezrioui. (2010, May). “Reducing dogleg routing in Mobile IPv6 by the enhancement of Home Agent deployment”. *ECTI-CON 2010*, pp. 904 – 908.

ไปยังเครื่อง MH ได้โดยต่อเนื่องไม่ขาดตอน โดยคณะวิจัยได้ทดลองปรับเปลี่ยนอัตราของ Router Advertisement rate ที่ถูกส่งโดย HA และปรับลดค่า Router Solicitation (RS) Interval ที่ถูกส่งโดย MH ทำให้ลดเวลาของการแฮนด์ออฟได้ และได้พบว่าเมื่อลดอัตรา RADVD ให้น้อยลง ส่งผลกระทบกับแบนด์วิธของระบบโดยรวม ในกรณีที่มี HA หลายเครื่อง เนื่องจากทำให้รอบของการส่ง RA และ RS มาถึงเร็วขึ้นทำให้ Signaling Messages ที่ส่งออกไปในระบบเครือข่ายนั้นมีจำนวนมากกว่าปกติ ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการชนกันของแพ็คเก็ต (Collision) ในระบบเครือข่ายเพิ่มขึ้น ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการใช้งานของระบบเครือข่ายโดยรวม

ในการทดลองนี้ยังพบอีกว่า IPv6 Header ที่เกิดในเวลาสื่อสารระหว่าง MH ไปยัง HA และจาก HA ไปยัง MH นั้น ในช่วงที่มีการแฮนด์ออฟนั้นมีขนาด 134 Byte และ 144 Byte ตามลำดับ ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าในการส่ง Binding Request จาก CN ไปยัง HA , HA ไปยัง MH คือ 44 Byte และ 68 Byte ตามลำดับ สาเหตุเนื่องมาจาก IPv6 Header ในขณะที่แฮนด์ออฟนั้น ได้เพิ่ม Authentication Header และ ICMPv6 Router Advertisement เข้าไปด้วย



Vasos Vassiliou<sup>5</sup> และ Zinon Zinonos ได้ทำการทดลอง MIPv6 โดยการ implement wireless testbed บนระบบ IEEE 802.11b เพื่อศึกษาการทำงานของอุปกรณ์ในระบบ MIPv6 ในขณะที่มีการเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ไปมาระหว่างจุดบริการระบบสื่อสารไร้สาย, การประวิงเวลาที่เกิดขึ้น, วัดความถูกต้องของเวลาที่ใช้และศึกษาคุณลักษณะการทำงานซึ่งบางอย่างที่โปรแกรม Simulation กระทำไม่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งศึกษาการแฮนด์ออฟในส่วนของการ L3 registration และได้เห็นจุดที่ทำให้เกิด “Choking Point” ทำให้ได้เห็นและเข้าใจกระบวนการทำงานที่สำคัญ ได้แก่ Duplicate Address Detection (DAD), Movement Detection, Router Advertisement Interval, Router Solicitations และ Wireless Beacon Interval ซึ่งเป็นกระบวนการทำงานที่สำคัญ ของการแฮนด์ออฟ ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างมากในการสร้าง แก้ไข พัฒนาและปรับปรุง โปรโตคอลบริหารจัดการ รวมถึงการ Simulations , Emulations และ Equations อันจะนำไปสู่การพัฒนาและงานวิจัยในอนาคต

Parameter	Value
mtu	1500 bytes
autoconf	1
forwarding	1 (MN=0)
Home / Co Test Init	1
BU	1.5
RetransTimer	1s
Router Solicitations	3

Beacon Interval	50-100 ms (100)
MinRouterAdvInterval	0.03 - 0.5s (0.5)
MaxRouterAdvInterval	0.07 - 1.5s (1.5)
DAD	On / Off (On)
Router Solicitation Delay	0 / 1s (1)
Router Solicitation Interval	1 / 4s (4)
MinDelayBetweenRAs	0.03 / 3s (3)

ภาพที่ 2.25 การกำหนดค่าและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

ที่มา: Vasos Vassiliou and Zinon Zinonos. (2009, December). “An Analysis of the Handover Latency Components in Mobile IPv6”. *Journal of Internet Engineering*, 3(1). pp. 230-240.

<sup>5</sup> From “An Analysis of the Handover Latency Components in Mobile IPv6,” by Vasos Vassiliou and Zinon Zinonos. (2009, Decmber). *Journal of Internet Engineering*, 3(1). pp. 230-240.

การทดลองในงานวิจัยนี้ พวกเขาได้ทำการทดลองจากอุปกรณ์จริง ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์ ยี่ห้อ Acer, IBM และ Dell ใช้ Wireless Network Card ยี่ห้อ Atheros และ D-Link(ใช้ Chipset Atheros) ส่วนระบบปฏิบัติการนั้นใช้ Linux Fedora Core 5 kernel 2.6.16 ติดตั้งโปรแกรม Mobile IPv6 Linux(MIPL) และผลการทดลองที่เป็นไปตามภาพที่ 2.26 ซึ่งเป็นเวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟในขั้นตอนต่างๆ การกำหนดค่าและพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองเป็นไปตามภาพที่ 2.25

Delay Component	Mean(s)	Std. Deviation
$D_{L2+RD}$ (L2 probe + RA reception)	0,648477	0,234283018
$D_{DAD}$ (IPv6 DAD)	1,413679	0,216024101
$D_{REGHA}$ (registration with HA)	1,003168	0,001591049
$D_{REGCN}$ (registration with CN)	0,612352	0,116414246
<b>Total</b>	<b>3.677676</b>	<b>0,284333078</b>

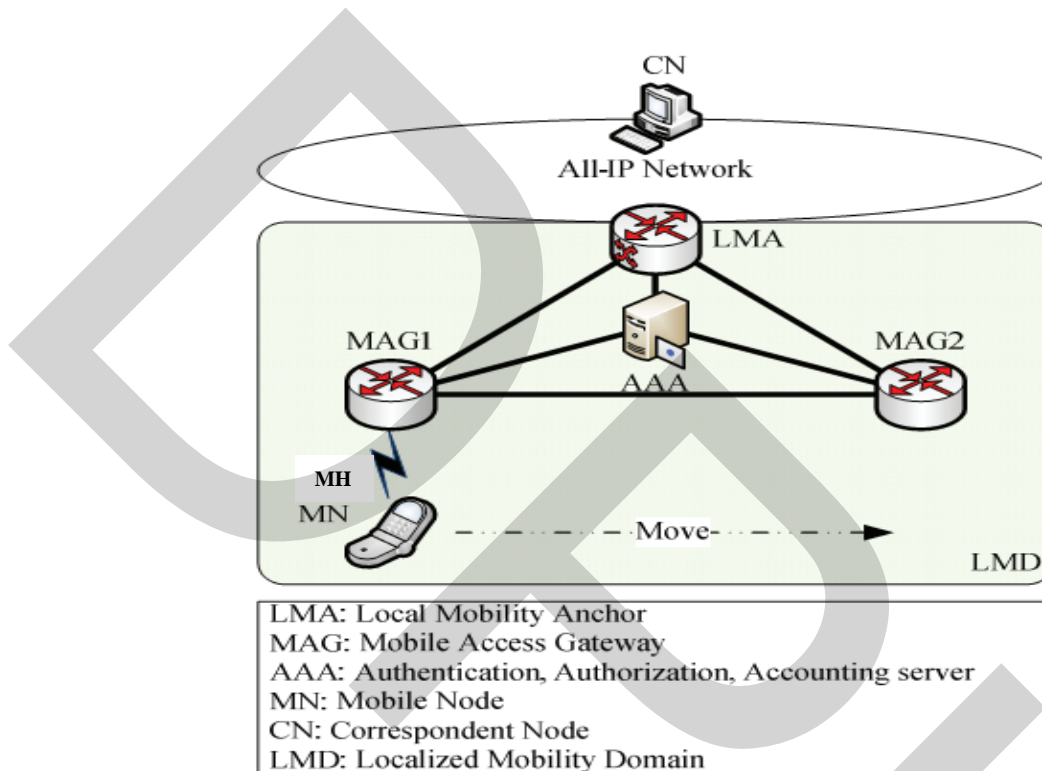
ภาพที่ 2.26 เวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟในขั้นตอนต่างๆ

ที่มา: Vasos Vassiliou and Zinon Zinonos. (2009, December). "An Analysis of the Handover Latency Components in Mobile IPv6", *Journal of Internet Engineering*, 3(1). pp. 230-240.

Ming-Chin Chuang และ Jeng-Farn Lee ได้ศึกษาวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ Proxy Mobile IPv6 (PMIPv6 (RFC 5213)) ได้พบปัญหาการใช้เวลาในการแฮนด์ออฟมาก มาเพาะแก่การใช้แอปพลิเคชัน (Applications) ประเภทใช้งานตามเวลาจริง (Real Time) จึงคิดค้นวิธีการแฮนด์ออฟแบบใหม่ชื่อว่า Fast Handoff scheme in Proxy MIPv6 (FH-PMIPv6) เพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าว โดยการเพิ่มอุปกรณ์ LMA และ AAA เข้ามาในระบบ เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการแฮนด์ออฟและการตอบสนองการลงทะเบียน (Registration) ที่รวดเร็ว ซึ่งในแบบเดิมนั้นจะใช้ MAG เป็นตัวหลัก และเป็นหัวใจของระบบ PMIPv6 ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.27 และภาพที่ 2.28 ได้แสดงลำดับการส่ง Signaling ของระบบ FH-PMIPv6

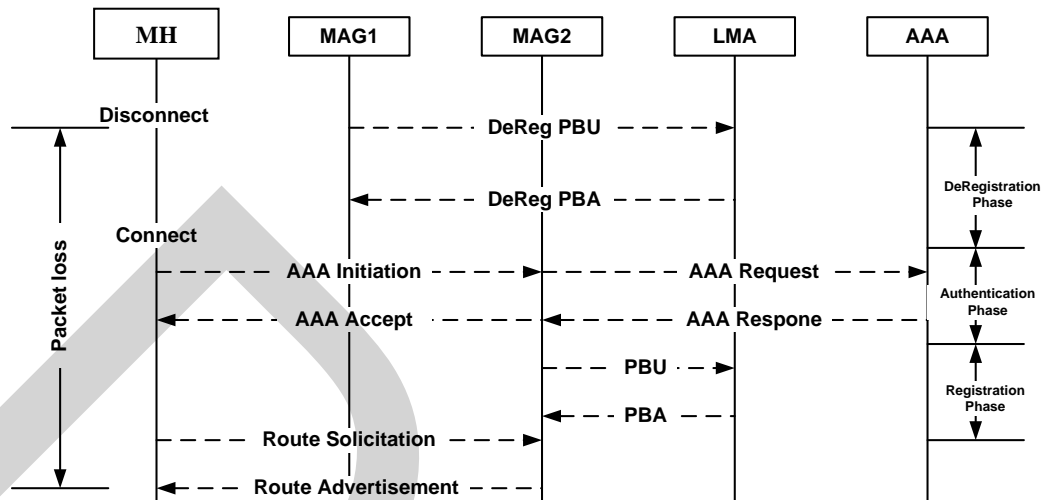
ผลการทดลองทางตัวเลขนั้น เมื่อนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับ PMIPv6 นั้น วิธีที่พวกเขาเสนอใช้นั้นใช้เวลาในการแฮนด์ออฟน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งในรายละเอียดจะเป็นการ

ปรับปรุงประสิทธิภาพการสูญเสียข้อมูล(Packet Loss)ในขั้นตอนการ Authentication ระหว่างอุปกรณ์ทั้งสาม ได้แก่ MAG , LMA และ AAA นอกจากนี้ยังช่วยลดการส่ง Signaling ของทั้งสามอุปกรณ์นี้ด้วย ซึ่งจะเป็ประโยชน์แก่การพัฒนาใช้ร่วมกับ Real Time Protocol ในอนาคตต่อไป



ภาพที่ 2.27 วิธี FH-PMIPv6 โดยเพิ่ม LMA และ AAA

ที่มา: Ming-Chin Chuang and Jeng-Farn Lee. (2011). "FH-PMIPv6 : A Fast Handoff Scheme in Proxy Mobile IPv6 Networks", *Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), IEEE 2011*, pp. 1297–1300.

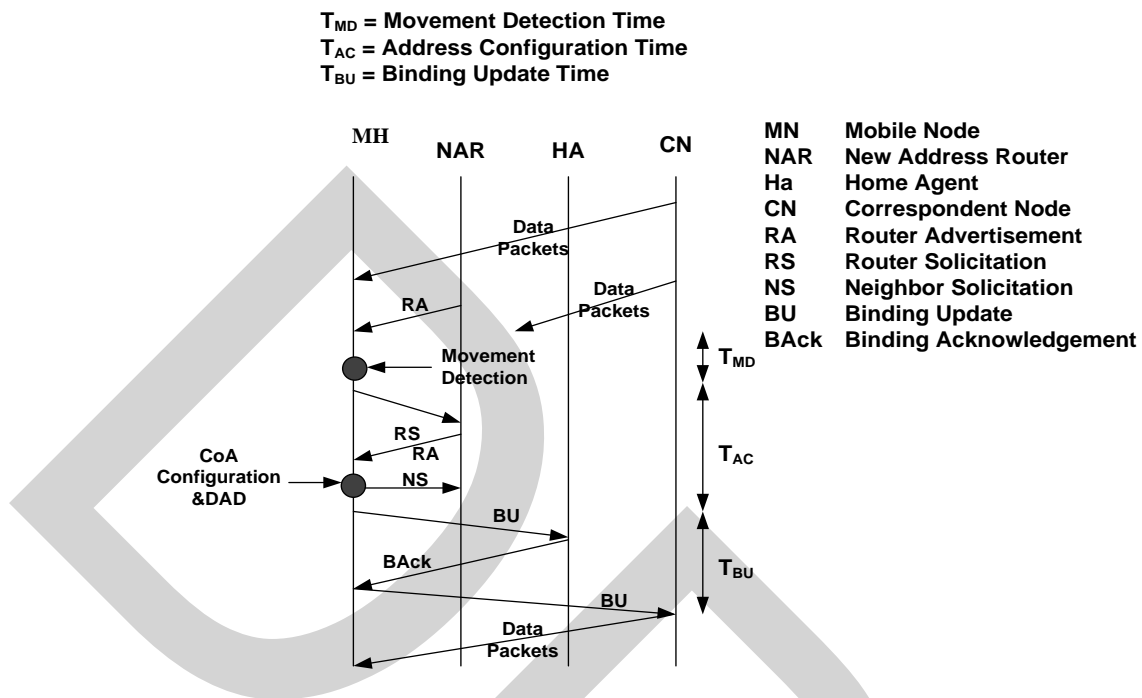


ภาพที่ 2.28 Signaling Flow ของระบบ FH-PMIPv6 พร้อมกับการ Authentication

ที่มา: Ming-Chin Chuang and Jeng-Farn Lee. (2011). “*FH-PMIPv6 : A Fast Handoff Scheme in Proxy Mobile IPv6 Networks*”, *Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), IEEE 2011*. pp. 1297–1300.

Shilpy Gupta<sup>6</sup> และ Sapna Gambhir ได้นำเสนอสถาปัตยกรรม Mobile IPv6 (MIPv6) ที่ได้ปรับปรุงใหม่โดยจุดที่เป็นประเด็นสำคัญคือ การลดกระบวนการตรวจสอบการซ้ำกันของ IP Address นั่นคือ Duplicate Address Detection (DAD) ออกไป ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.29 และลำดับการทำงานใหม่ แสดงไว้ในภาพที่ 2.30 เมื่อวิเคราะห์และออกแบบสมการในกรณีที่มีการเคลื่อนย้ายจุดบริการ (Access Point) ของ MH ทั้งแบบ L2 Handover (link-layer connection) และ L3 Handover (on-link network prefix) ดังภาพที่ 2.31 นั้น ได้ผลการทดลองที่ได้ดังรูป 2.32 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ใช้เวลาของการแฮนด์ออฟลดลงได้ถึง 30% เมื่อเทียบกับแบบเดิม ซึ่งเพิ่มความน่าเชื่อถือและประสิทธิภาพของ Mobile IPv6 ได้และเป็นแบบพื้นฐานสำหรับศึกษาวิจัยในอนาคต

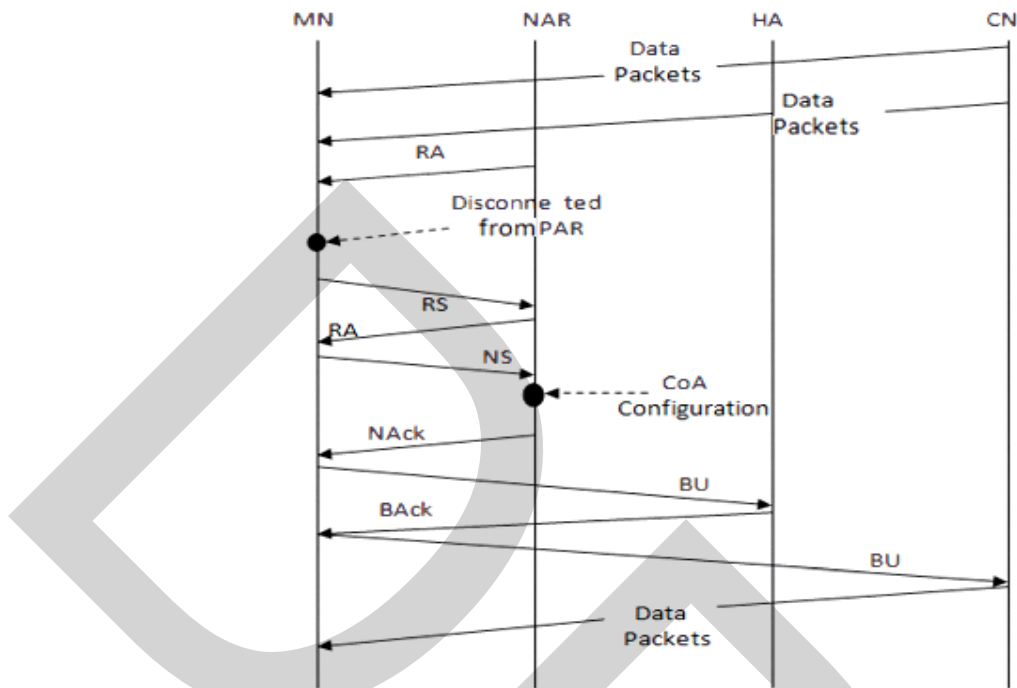
<sup>6</sup> From “*An Improved Architecture for Minimizing Handover Latency in MIPv6*,” by Shilpy Gupta and Sapna Gambhir. (2010, December). *Methods and Models in Computer Science (ICM2CS)*. pp. 106 – 111.



ภาพที่ 2.29 กระบวนการทำงานของ Mobile IPv6 แบบพื้นฐาน

ที่มา: Shilpy Gupta and Sapna Gambhir. (2010, December). "An Improved Architecture for Minimizing Handover Latency in MIPv6", *Methods and Models in Computer Science (ICM2CS)*. pp. 106 – 111.

จากภาพที่ 2.29 กระบวนการทำงานของ Mobile IPv6 แบบพื้นฐาน ซึ่งจะมีลำดับการทำงานที่รวมกระบวนการตรวจสอบการซ้ำกันของ IPv6 หรือ DAD อยู่ด้วย ส่วนในภาพที่ 2.30 ทางผู้วิจัยได้ยกเลิกกระบวนการ DAD ซึ่งใช้กระบวนการกำหนด IPv6 แบบ Stateless Auto-configuration ตามมาตรฐาน EUI-64 แทนนั้น ทำให้สามารถกำหนด CoA ให้กับ MH ได้เร็วขึ้น



ภาพที่ 2.30 กระบวนการทำงานของ Mobile IPv6 ที่ปรับปรุงใหม่

ที่มา: Shilpy Gupta and Sapna Gambhir. (2010, December). "An Improved Architecture for Minimizing Handover Latency in MIPv6", *Methods and Models in Computer Science (ICM2CS)*. pp. 106 – 111.

$$T_{HANDOVER} = T_{MD} + T_{RS} + T_{CoA} + T_{DAD} + T_{BU\_HA} + T_{BACK} + T_{BU\_CN} \quad (2-1)$$

$$T_{HANDOVER} = T_{MD} + T_{RS} + T_{CoA} + T_{NA} + T_{BU\_HA} + T_{BAck} + T_{BU\_CN} \quad (2-2)$$

จากสมการ (2-1) สร้างสมการได้จากกระบวนการทำงานของ Mobile IPv6 ในแบบเดิม โดยใช้การกำหนด IPv6 Address ด้วย DHCP Server ซึ่งจะมีขั้นตอนตรวจสอบการซ้ำของ IPv6 ที่ได้กับที่ถูุกำหนดใช้ไปแล้ว ทำให้เกิดพจน์  $T_{DAD}$  ซึ่งจะแตกต่างจากสมการที่ (2-2) จะเห็นว่าผู้วิจัยได้ตัด  $T_{DAD}$  ออกไป โดยกระบวนการกำหนด IPv6 Address นั้นเป็นแบบ Stateless Auto-configuration ตามมาตรฐาน EUI-64 ดังกล่าวข้างต้น

**Table II : Delays in MIPv6 Handover**

$T_{MD}$	$T_{RS}$	$T_{CoA}$	$T_{DAD}$	$T_{NA}$	$T_{BU\_HA}$	$T_{Back}$	$T_{BU\_CN}$
.075	.083	.091	1.245	.082	.909	.819	.884

Here Handover latency in basic MIPv6 architecture From equation (2-1) comes to be:

$$T_{HANDOVER\_MIPv6} = 4.188 \text{ seconds} \quad (2-3)$$

Handover latency in Improved MIPv6 architecture comes to be:

$$T_{HANDOVER\_ImprovedMIPv6} = 2.943 \text{ seconds} \quad (2-4)$$

ภาพที่ 2.31 ผลการทดลองที่ได้จากแบบที่นำเสนอของ Shilpy Gupta

ที่มา: Shilpy Gupta and Sapna Gambhir. (2010, December). "An Improved Architecture for Minimizing Handover Latency in MIPv6", *Methods and Models in Computer Science (ICM2CS)*. pp. 106 – 111.

Hui-Min Huang<sup>7</sup> และ Jia-Lin Chang ได้นำเสนอ วิธีการรวม NEMO และ 3G System เข้าด้วยกัน เพื่อให้ MH สามารถเข้าใช้งานได้ไม่ขาดตอน ในงานวิจัยนี้ ได้ออกแบบ Handoff Table ดังแสดงในภาพที่ 2.33 เข้ามาใช้ เพื่อให้ MR และ BS แลกเปลี่ยนข้อมูลของ MH และช่วยให้ MH สามารถ register กับ MH's HA ได้รวดเร็วยิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังมีการนำ Multicast-based Mobility (M&M) เข้ามาใช้ ทำให้ลดการสูญเสียของแพ็คเกจ (Packets loss) ของ MH เพราะช่วยให้ MH สามารถรับ packet ได้ทันที จาก MR และหรือ BS หลังจากเสร็จสิ้นการ Register และยังสามารถเรียกข้อมูลใหม่เนื่องจากเกิด Packet Loss ได้รวดเร็วกว่าแบบเดิมเพราะมีส่วนที่เก็บไว้ในบัฟเฟอร์

<sup>7</sup> From "A Novel Handoff Method for Integrated 3G and NEMO Network," by Hui-Min Huang and Jia-Lin Chang. (2009, December). *Pervasive Computing (JCPC)*. pp. 793 – 798.

ของ AP หรือ BS ยิ่งไปกว่านั้น ผู้วิจัยได้นำงานวิจัยนี้เป็นต้นแบบในการพัฒนาการแฮนด์ออฟใน รูปแบบ “Multi-Link Handoff Scheme between NEMO and 3G Networks” ซึ่งจะได้อธิบายโดยละเอียดต่อไป

ตารางที่ 2.2 การบันทึกสถานะการแฮนด์ออฟ(Handoff Table) ของ Hui-Min Huang

	MH's			Performing Application		
	AAA	HoA	State	Type of	QoS	Time
MH A	AAA data	IPv6 address	Active	1. TCP/IP:Audio 2. UDP: message	1. Good 2. Basic	1.00:20:30 2.00:10:00

ที่มา: Hui-Min Huang and Jia-Lin Chang. (2009, December). “A Novel Handoff Method for Integrated 3G and NEMO Network”. *Pervasive 2009 Joint Conferences on Computing (JCPC)*. pp. 793-798.

การบันทึกค่าสถานะของการแฮนด์ออฟ(Handoff Table) ของ Hui-Min Huang นี้มีประโยชน์มากในการตัดสินใจการแฮนด์ออฟและการลงทะเบียนของ MH รวมไปถึงอุปกรณ์เครือข่ายอื่นๆที่เกาะอยู่ในระบบเครือข่ายเคลื่อนที่เดียวกัน นอกจากจะช่วยลดความซ้ำซ้อนของระบบสัญญาณและเวลาในการแฮนด์ออฟแล้วนั้น ยังช่วยลดการสูญเสียของแพ็กเก็ตในระหว่างแฮนด์ออฟได้อีกด้วย



## บทที่ 3

### ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน

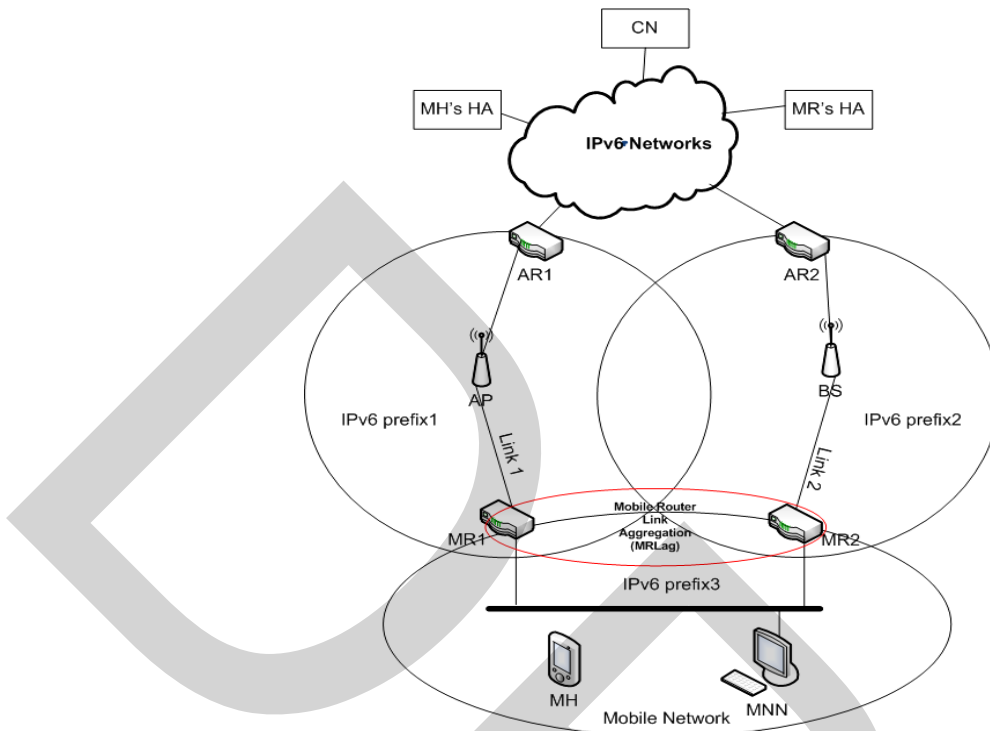
#### 3.1 บทนำ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นไปที่การแฮนด์ออฟของ MIPv6 และ NEMO BSP โดยเฉพาะอย่างยิ่งในส่วนที่เป็นการผสมผสานระหว่าง NEMO BSP และ 3G เข้าด้วยกัน ส่วนการทดลองและวัดประสิทธิภาพนั้น จะใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB พร้อมทั้งเปรียบเทียบการประวิงเวลา(Latency)ของการแฮนด์ออฟกับระบบ NEMO เดิม ผู้วิจัยมีความตั้งใจที่จะนำผลทางด้านเลขการทดลองของการแฮนด์ออฟในแบบ NEMO BSP เดิมมาวิเคราะห์ประสิทธิภาพ แล้วพัฒนาการแฮนด์ออฟในรูปแบบใหม่ที่ผู้วิจัยได้พัฒนาต่อออกจากผลงานวิจัยที่ผ่านมา ให้สามารถลดการประวิงเวลาในการการแฮนด์ออฟและลดเวลาของการร้องขอแพ็คเก็ตใหม่ที่สูญหายไปบนขั้นตอนแฮนด์ออฟ ซึ่งผลการของงานวิจัยนี้ คงเป็นประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจและใช้ในการพัฒนาวิธีการแฮนด์ออฟให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นในงานวิจัยครั้งต่อไปได้พอสมควร

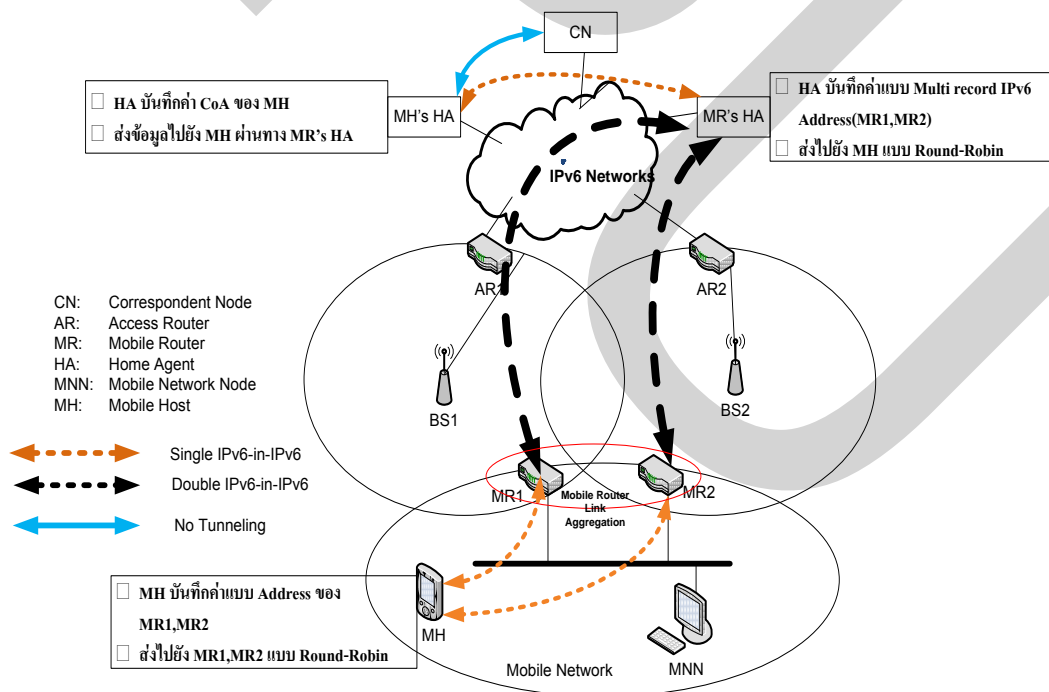
#### 3.2 วิธีการแฮนด์ออฟแบบมัลติลิงค์สำหรับระบบเครือข่าย 3G และ NEMO

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาออกแบบการแฮนด์ออฟแบบใหม่ ซึ่งเป็นการขยายขีดความสามารถของ NEMO ด้วยการเชื่อมต่อกับระบบ 802.11 System และหรือ 3G System โดยมี Mobile Router 1 (MR1) และ Mobile Router 2 (MR2) เป็นตัวช่วยในการเชื่อมต่อ ซึ่งสามารถเพิ่มช่องทางการเชื่อมต่อให้มีความหลากหลายและมีเสถียรภาพสูง ทั้งนี้ก็เพื่อเพิ่มความสามารถในการรองรับอุปกรณ์เคลื่อนที่ MH ที่อยู่ใน Mobile Network ให้สามารถติดต่อสื่อสารกับ CN ได้อย่างมีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น

จากภาพที่ 3.1 จะเห็นว่า MH สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางและระยะทางที่เพิ่มขึ้น โดยไม่ขาดการติดต่อกับ CN และความสามารถของ NEMO ไม่เพียงแต่รองรับการเข้าใช้งานของ MH ได้จำนวนมากขึ้นเท่านั้น เรายังสามารถที่จะขยายระบบ NEMO ออกไปได้อีก เพื่อเพิ่มช่องทางสื่อสารของผู้ใช้งานอุปกรณ์เคลื่อนที่ไร้สายให้มีความหลากหลายยิ่งขึ้น และพร้อมรองรับการทำงานร่วมกับระบบโครงข่ายของผู้ให้บริการในอนาคต



ภาพที่ 3.1 ภาพรวมวิธีการแฮนด์ออฟแบบมัลติลิงค์สำหรับการรวม NEMO BSP และ 3G



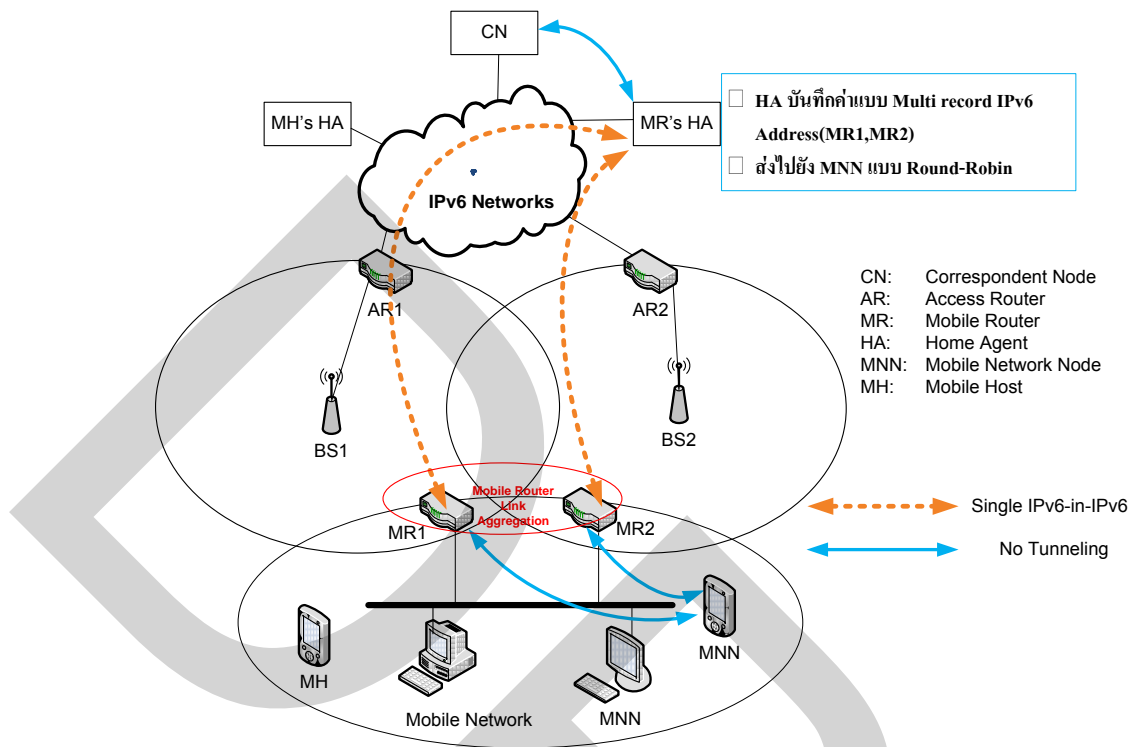
ภาพที่ 3.2 ภาพรวมวิธีการแฮนด์ออฟแบบมัลติลิงค์สำหรับการรวม 3G และ NEMO เข้าด้วยกัน

การเชื่อมต่อของแบบที่เสนอนั้น เป็นการเชื่อมต่อแบบ Tunnel (NEMO BSP , RFC 3963) พร้อมกันสอง Tunnel โดยมี MR1 และ MR2 เป็นตัวสร้าง Tunnel เชื่อมต่อไปยัง HA ของ MR1 และ MR2 ซึ่งดูจากภาพที่ 3.2 นั้นจะเห็นว่าทั้งคู่ใช้ HA ตัวเดียวกัน โดยที่ HA จะทำการบันทึกค่าแบบหลายค่าแอดเดรสด้วยคุณสมบัติ Multi Address ของ DNS IPv6 (RFC 3596) ซึ่งจะทำให้การรับส่งข้อมูลระหว่าง MR1,MR2 และ HA เป็นแบบ Round-Robin ประสิทธิภาพในการรับส่งข้อมูลเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก เมื่อเทียบกับการรับส่งข้อมูลของ NEMO BSP ทำให้เวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟโหลดและผลการทดลองได้แสดงไว้แล้วในบทที่ 4

นอกจากนี้ คุณสมบัติการส่งของมุลแบบ Round-Robin นั้น มีความจำเป็นอย่างย่งที่ MH จะต้องรองรับการบันทึกค่า MR1 และ MR2 แบบ Multi Address ด้วย เพื่อให้สามารถรับและส่งข้อมูลได้ทั้งสองทางคือ MR1 และ MR2 โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อ MR ตัวใดก็ตามกำลังทำการแฮนด์ออฟ หรือเกิดเหตุขัดข้องในการเชื่อมต่อกับ HA เครื่องผู้ใช้ MH ก็ยังสามารถรับส่งข้อมูลได้จาก MR อีกตัว นั้นก็หมายถึง ผู้ใช้สามารถเชื่อมต่อสื่อสารโดยไม่ขาดตอน

การรับส่งข้อมูลของ MH กับ CN นั้น เริ่มจาก CN ส่งข้อมูลไปยัง MH ผ่านทาง MH's HA เป็นแบบปกติทั่วไป แต่เมื่อผ่าน MH's HA ไปยัง MR's HA นั้นเป็น Tunnel แบบ Single IPv6-in-IPv6 แล้วจาก MR's HA ไปยัง MR จะเป็น Tunnel แบบ Double IPv6-in-IPv6 และสุดท้าย MR ส่งต่อไปยัง MH ดังภาพที่ 3.2

ในกรณีที่อุปกรณ์สื่อสารภายใน Mobile Network(MN) เป็นชนิด Mobile Network Node(MNN) ทั้งแบบสื่อสารไร้สายและไม่รองรับการสื่อสารไร้สายนั้น จะแตกต่างจากภาพที่ 3.2 คือ จะมีการสร้าง Tunnel เพื่อรับส่งข้อมูลเฉพาะอุปกรณ์ MR's HA กับ MR เท่านั้น ส่วนที่เหลือจะเป็นการสื่อสารแบบปกติที่ไม่ได้ใช้ Tunnel ดังแสดงในภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ส่งข้อมูลไปยัง MNN แบบ Round-robin

ในกรณีที่มีผู้ใช้ไม่มีอุปกรณ์เคลื่อนที่แบบไร้สาย ก็สามารถใช้งานในแบบจำลองที่เสนอได้ ด้วยการเชื่อมต่อแบบ Local Area Network (LAN) กับ MR ทั้งสองในลักษณะ Mobile Network Node(MNN) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ให้บริการสามารถนำเครื่องหรืออุปกรณ์สื่อสารเช่นกันนี้ ติดตั้งเป็นจุดบริการแก่ผู้ใช้ หรือสำหรับสื่อสารระหว่างผู้ให้บริการกับผู้ให้บริการ

นอกจากการรับส่งข้อมูลด้วย Tunnel แบบมัลติลิงก์แล้วนั้น ผู้วิจัยได้ปรับและเพิ่มตาราง Handoff Table(HO-Table) ในงานวิจัยของ Hui-Min Huang และ Jia-Lin Chang โดยเพิ่มตาราง Pre-Handoff Table (P-HoT) ออกไปอีกสามส่วนตามตารางที่ 3.1 ดังนี้

1. SNR(0-9) เป็นส่วนของแสดงสัญญาณที่ได้รับจาก New BS มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 9 เพื่อให้ MR ใช้เลือกใน BS ในการแฮนด์ออฟ
2. Next BS Handoff เป็นส่วนแสดงข้อมูลความพร้อมของ New BS ก่อนการแฮนด์ออฟของ MR
3. M&M Trigger Type(1-3) เป็นส่วนแสดงข้อมูลที่ได้จากเทคนิค M&M (Multicast-based Mobility) ในงานวิจัยของ Ahmed Helmy, Muhammad Jaseemuddin และ Ganesha Bhaskara

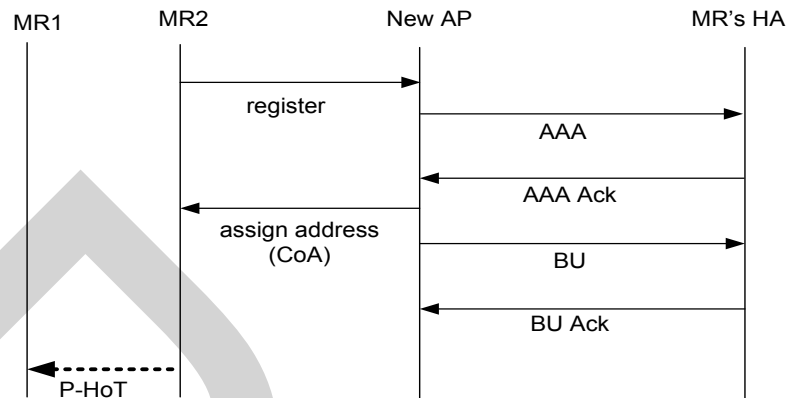
ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกสถานะการทำงาน P-HoT(Pre Handoff Table)

NO.	AAA of MH	The HoA of MH	Status	Type of performing application	QoS of performing application	Time of performing application	SNR (0-9)	Next BS Handoff (Idle or No)	M&M Trigger Type (1-3)
MH A	AAA data	IPv6 address	Active	1. TCP/IP:Audio 2. UDP: message	1. Good 2. Basic	1.00:20:30 2.00:10:00	6	Idle	1

ข้อมูลสามส่วนที่เพิ่มมาในตาราง P-HoT(Pre-Handoff Table) นั้น MR จะนำไปใช้ในการแฮนด์ออฟดังนี้ SNR(0-9) = 6 หมายถึง ความแรงของสัญญาณ SNR จาก New BS มีไม่น้อยกว่า 60% , Next BS Handoff = Idle หมายถึง New BS มีความพร้อมในการแฮนด์ออฟ , M&M trigger Type = 1 หมายถึง Old BS แจ้งการยกเลิกการเชื่อมต่อกับ MR ดังนั้น MR ตัวที่เคลื่อนที่เข้าหา New BS จึงต้องทำการแฮนด์ออฟได้แล้ว จากนั้นเมื่อแฮนด์ออฟเสร็จสิ้น MR จะส่งข้อมูลใน P-HoT ให้กับ MR ที่อยู่ใน MN เดียวกันนี้ด้วย และเมื่อ MR ตัวถัดไปเคลื่อนที่มาอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้เคียงกับจุดแฮนด์ออฟของ MR ตัวก่อนหน้านี้ ก็สามารถทำการแฮนด์ออฟได้เลยโดยไม่ต้องรอขั้นตอนตัดสินใจหรือเปรียบเทียบข้อมูลสัญญาณ เป็นการลดขั้นตอนที่ซับซ้อนและเวลาในการแฮนด์ออฟ

### 3.3 การแฮนด์ออฟแบบ Horizontal ในระบบที่เสนอผ่านเครือข่าย 802.11g ร่วมกับ P-HoT

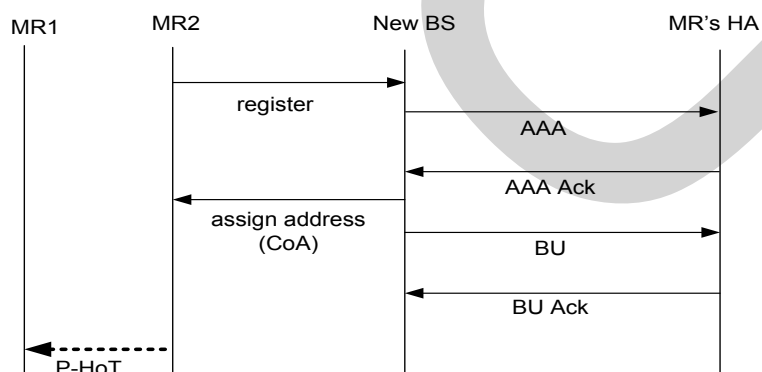
เมื่อ MR2(ถึงก่อน) เคลื่อนที่เข้าไปใน New AP นั้น MR จะ register ด้วยตัวมันเองกับ New AP ดังภาพที่ 3.4 หลังจากนั้น New AP จะยื่นยันการลงทะเบียนไปยัง HA ของ MR2 ซึ่งเป็น HA ของ MR1 ด้วยเช่นเดียวกัน โดยใน messages นั้นจะเป็นข้อมูล Authentication , Authorization และ Accounting (AAA) แล้ว New AP จะกำหนด address ให้กับ MR2 นั่นก็คือ Care-of-Address (CoA) จากนั้น MR2 จะใช้ส่ง Binding Update เพื่อแจ้ง CoA ของตัวเองให้ HA บันทึกไว้ใน HA และ HA จะใช้ CoA นี้สร้าง Tunnel ติดต่อกับ MR2 หลังจากนั้น MR2 จะส่งข้อมูล P-HoT ให้กับ MR1 เพื่อใช้ในการแฮนด์ออฟเมื่อ MR1 เข้าใกล้พื้นที่เดิมที่ MR2 เริ่มแฮนด์ออฟ



ภาพที่ 3.4 Horizontal Handoff ของแบบที่เสนอผ่านเครือข่าย 802.11g

### 3.4 การแฮนด์ออฟแบบ Horizontal ในระบบที่เสนอผ่านเครือข่าย 3G ร่วมกับ P-HoT

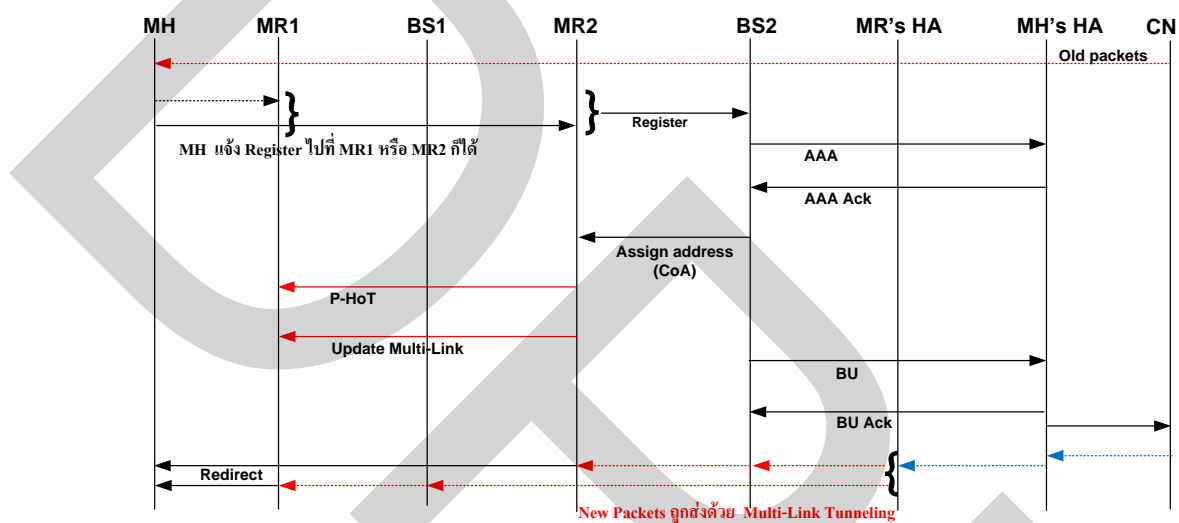
ในลักษณะคล้ายกันกับหัวข้อที่แล้ว เมื่อ MR2 (ถึงก่อน) เคลื่อนที่เข้าไปใน New BS นั้น MR จะ register ด้วยตัวมันเองกับ New BS ดังภาพที่ 3.5 หลังจากนั้น New BS จะยื่นขอร้องลงทะเบียนไปยัง HA ของ MR2 ซึ่งเป็น HA ของ MR1 ด้วยเช่นเดียวกัน โดยใน messages นั้นจะเป็นข้อมูล Authentication , Authorization และ Accounting (AAA) แล้ว New BS จะกำหนด address ให้กับ MR2 นั่นก็คือ Care-of-Address (CoA) จากนั้น MR2 จะใช้ส่ง Binding Update เพื่อแจ้ง CoA ของตัวเองให้ HA บันทึกไว้ใน HA และ HA จะใช้ CoA นี้สร้าง Tunnel ติดต่อกับ MR2 หลังจากนั้น MR2 จะส่งข้อมูล P-HoT ให้กับ MR1 เพื่อใช้ในการแฮนด์ออฟเมื่อ MR1 เข้าใกล้พื้นที่เดิมที่ MR2 เริ่มแฮนด์ออฟ



ภาพที่ 3.5 การแฮนด์ออฟแบบ Horizontal ของระบบที่เสนอผ่านเครือข่าย 3G

### 3.5 การเสนอต่อฟแบบ Vertical ในระบบที่เสนอร่วมกับ P-HoT

เมื่อ MH เคลื่อนที่เข้ามาในพื้นที่บริการของ NEMO นี้ MH สามารถ Register เข้าใช้งานกับ MR1 หรือ MR2 ตัวใดตัวหนึ่งก็ได้ จากนั้น MR จะส่งต่อ AAA ไปยัง MH's HA ให้ เมื่อเสร็จการ Register ให้กับ MH อุปกรณ์ MR จะอัปเดต P-HoT และ Multi Link พร้อมกับส่ง BU ไปยัง CN เสร็จแล้ว MR ทั้งคู่ก็สามารถ Redirect แพ็คเก็ตให้กับ MH ทันที ดังแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 การเสนอต่อฟแบบ Vertical ของระบบที่เสนอ

ส่วนการส่งแพ็คเก็ตของ CN ในระหว่างการเสนอต่อฟด้วย P-HoT นั้น จากภาพที่ 3.6 จะเห็นว่า CN ได้ส่ง data packets แบบ Bi-cast มายัง MR ทั้งสองล่วงหน้าก่อนแล้ว เมื่อ MH ทำการ register เสร็จสิ้น ก็จะได้รับแพ็คเก็ตทันที เนื่องจากจาก MR ทั้งสองได้แลกเปลี่ยนข้อมูล P-HoT และอัปเดต Multi Link กันเมื่อมี MH หรือผู้ใช้ Register เข้ามาในระบบ

### 3.6 สมการของการเสนอต่อฟแบบ Horizontal แบบเดิมและที่เสนอ

การคำนวณเวลาการเสนอต่อฟแบบ Horizontal แบบเดิมนั้น สามารถคำนวณได้จากการทำงานในภาพที่ 2.14 เมื่อ MR ส่ง register message ไปยัง new BS โดยให้  $S_{Co}$  คือข้อมูล register message ซึ่งมีข่าวสารควบคุมเฉลี่ยรวมถึง AAA, BU และการร้องขอการลงทะเบียน

ประมาณ 400 บิต<sup>1</sup> เมื่อเทียบกับ  $B_{WR}$  คือความเร็วของการเชื่อมโยงไร้สาย โดยกำหนดให้ตามมาตรฐาน IEEE 802.11g อยู่ที่ 54Mbps แต่ในการทดลองจะทำการสุ่มจากความเร็วที่สามารถเป็นไปได้คือ 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps การสุ่มค่าของ  $B_{WR}$  นี้กำหนดให้โอกาสความน่าจะเป็นของทุกความเท่ากันทั้งหมด ได้เวลาในการส่งข้อมูลช่วงนี้เป็น  $S_{CO}/B_{WR}$  แต่ข้อมูลส่วนนี้จะมีทั้งไปและกลับ เท่ากับส่ง 2 ครั้งจะได้เป็น  $2(S_{CO}/B_{WR})$  จากนั้น new BS ได้ส่งต่อ  $S_{CO}$  ไปยัง MR's HA โดยจะใช้ความเร็วในการส่งข้อมูลไปบนระบบไร้สายคือ  $B_{LC}$  เท่ากับ 100Mbps เฉพาะในงานวิจัยนี้ ซึ่งในการใช้งานจริงอาจจะมีความเร็วสูงกว่านี้ ดังนั้น จึงได้เวลาที่ใช้ทั้งไปและกลับเป็น  $2(S_{CO}/B_{LC})$  แต่หลังจากนั้น new BS ได้ส่ง BU messages ด้วยจึงทำให้ได้เวลาในการส่งข้อมูลเป็น  $4(S_{CO}/B_{LC})$  เมื่อส่งข้อมูลเข้าไปในระบบเครือข่าย ซึ่งในที่นี้เปรียบเสมือนเป็นระบบอินเทอร์เน็ต จะมีค่าประวิงเวลาของ Packets ในโครงข่ายคือ  $D_{IN}$ <sup>1</sup> ซึ่งค่า  $D_{IN}$  นี้เป็นค่าประวิงเวลาที่เกิดจากแพ็คเก็ตเดินทางไปใน การเชื่อมต่อของ WAN Link ต่างๆในระบบอินเทอร์เน็ต โดยผ่านระบบสายสัญญาณต่างๆทำให้เกิดการประวิงเวลาการแผ่กระจายคลื่นในสายสัญญาณ (Propagation Latency) และการดำเนินการของอุปกรณ์เราเตอร์ โดยมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 25ms ซึ่งในระบบจริงอาจจะมีมากกว่านี้ และได้ใช้ค่านี้ในการทดลองแบบจำลองที่เสนอ วิธีการคำนวณเวลาของการรับส่งข้อมูลสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (3-1) ดังนี้

$$\text{Time} = \text{Size} / \text{Theoretical Bandwidth} \quad (3-1)$$

เมื่อ  $\text{Time}^2$  = เวลาในการรับส่งข้อมูลมีหน่วยเป็นวินาที  
 $\text{Size}$  = ขนาดของข้อมูล มีหน่วยเป็นบิต  
 $\text{Theoretical Bandwidth}$  = ค่าความจุของช่องสัญญาณตามทฤษฎี มีหน่วยเป็นบิตต่อวินาที  
 จะได้

$$\text{Time} = \text{Size} / \text{Theoretical Bandwidth} = S_{CO}/B_{WR} \quad (3-2)$$

เมื่อ

$S_{CO}$  คือข้อมูล register message ซึ่งมีข่าวสารควบคุมเฉลี่ยรวมถึง AAA, BU และการ

<sup>1</sup> Antonie Stephane and A. H. Aghvami. (2001). "Fast Handover Scheme for Future Wireless IP Networks: A Proposal and Analysis", IEEE VTC. pp. 2046-2050.

<sup>2</sup> การคำนวณความเร็วระบบเครือข่ายเบื้องต้น <http://learn-networking.com/network-design/a-guide-to-bandwidth-and-throughput>



ร้องขอการลงทะเบียน

$B_{WR}$  คือความเร็วของการเชื่อมโยงไร้สายโดยกำหนดให้ตามมาตรฐาน IEEE 802.11g อยู่ที่ 54Mbps

นอกจากนี้ยังมี  $t_{WR}$  คือ เวลาแฝงในการเชื่อมโยงไร้สาย<sup>3</sup> เนื่องมาจากการประวิงเวลาของการแพ็คเก็ตและรวมถึงการตรวจสอบบิตผิดพลาดในการเชื่อมโยง ประมาณ 2ms ค่าการประวิงเวลาที่เร้าท์เตอร์<sup>1</sup> ในการค้นหาและกำหนดเส้นทางรวมถึงการประวิงเวลาในการประมวลผลแพ็คเกจ คือ  $t_{RT}$  กำหนดให้มีค่าประมาณ  $10^{-6}$  s  $t_{LC}$  คือ เวลาแฝง (Latency) ของการเชื่อมโยงไร้สาย ใช้การคำนวณตัวเลขด้วยหลักการ Propagation delay<sup>3</sup> และ Link layer delay รวมทั้ง  $N_H$  คือ จำนวนของฮอป(Hop) ระหว่าง MR ตำแหน่งใหม่กับ MR's HA กำหนดใช้ในการทดลองที่จำนวน 4 Hop ซึ่งโดยสรุปแล้วเป็นไปตามสมการที่ (3-3) คือ

$$T_{HORI\_AP} = 2(S_{CO}/B_{WR}) + 2t_{WR} + 4(S_{CO}/B_{LC})(N_H) + 4(t_{LC})(N_H) + t_{RT}(N_H) + D_{IN} \quad (3-3)$$

กำหนดให้  $T_{HORI\_AP}$  คือ เวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟในแบนนอนของเครือข่าย NEMO BSP เมื่อ MH เคลื่อนที่เข้าไปในเครือข่าย 802.11g

โดยที่

- $S_{CO}/B_{WR}$  = เวลาที่ใช้ส่ง Register Messages ผ่านระบบไร้สาย
- $S_{CO}/B_{LC}$  = เวลาที่ใช้ส่ง Register Messages ผ่านระบบใช้สาย
- $t_{WR}$  = เวลาแฝงในการเชื่อมโยงไร้สาย
- $N_H$  = จำนวนฮอประหว่าง MH ไปยัง AP จำนวน 4 Hop
- $t_{LC}$  = เวลาแฝง (Latency) ของการเชื่อมโยงไร้สาย
- $t_{RT}$  = การประวิงเวลาที่เร้าท์เตอร์ในการค้นหาและกำหนดเส้นทาง
- $D_{IN}$  = ค่าประวิงเวลาของ Packets ในโครงข่าย Internet โดยเฉลี่ย

<sup>3</sup>Antonie Stephane and A. H. Aghvami. (2001). "Fast Handover Scheme for Future Wireless IP Networks: A Proposal and Analysis", IEEE VTC. pp. 2046-2050.

เวลาของการแสด์ออฟแบบ Horizontal ของ NEMO BSP แบบเดิมนั้น เมื่อนำจำนวนของผู้ใช้งานหรือ MH มาคำนวณเวลาของการแสด์ออฟรวมด้วย ซึ่ง MH นี้ได้จากการสุ่มจากจำนวน 1-100 MH โดยใช้ฟังก์ชัน randi() ในโปรแกรม MATLAB ซึ่งเป็นการสุ่มแบบ Uniform Distribution และได้ค่าเป็นชนิด Integer และ  $B_{WR}$  ก็ใช้การสุ่มแบบเดียวกัน และ  $S_{CO}$  ได้จากการสุ่มแบบ Uniform Distribution เช่นกัน แต่มีข้อแตกต่างคือ  $S_{CO}$  จะใช้ฟังก์ชัน rand() และได้ค่าเป็นชนิด Double และเมื่อส่งข้อมูลออกไปนั้น ได้เพิ่มสัญญาณรบกวนแบบ AWGN(Additive White Gaussian Noise) ซึ่งได้จากการสุ่มแบบ Normal Distribution หรือ Gaussian Distribution โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานมากกว่า 0 (Standard Deviation > 0 ) และความแปรปรวนเท่ากับ 1 สามารถเขียนเป็นสมการที่ (3-4) ดังนี้

$$T_{HORI\_AP\_MH} = MH \{ 2(S_{CO}/B_{WR}) + 2t_{WR} + 4(S_{CO}/B_{WR})(N_H) + 4(t_{LC})(N_H) + t_{RT}(N_H) + D_{IN} \} \quad (3-4)$$

เมื่อ  $T_{HORI\_AP\_MH}$  คือ เวลาที่ใช้ในการแสด์ออฟในแวนอนของเครือข่าย NEMO BSP แบบเดิม ในเครือข่าย 802.11g

เวลาการแสด์ออฟของ NEMO BSP แบบเดิมสำหรับเครือข่าย 802.11g นั้น เมื่อนำจำนวนของผู้ใช้งานหรือ MH มาคำนวณเวลาของการแสด์ออฟรวมด้วย สามารถเขียนเป็นสมการที่ (3-5) โดยอาศัยความสัมพันธ์ของ Signaling จากภาพที่ 3.4 จะเห็นว่าในพจน์ของสมการที่ (3-3) จะมี MH เป็นตัวคูณเฉพาะในส่วนของ Signaling ของระบบไร้สาย ส่วนที่เป็นระบบใช้สายจะไม่มี MH เป็นตัวคูณ เนื่องจากการนำเทคนิค P-HoT มาใช้ ทำให้ลด Signaling ของฝั่ง MR กับ BS , BS กับ MH's HA และรวมไปถึง Signaling ระหว่าง MH กับ CN ด้วย และผลการทดลองที่ปรากฏในบทที่ 4 นั้น ได้แสดงให้เห็นได้ชัดว่าระบบที่เสนอนี้ ได้ช่วยลดเวลาในการแสด์ออฟได้จริงเมื่อเทียบกับแบบเดิม

ดังนั้น เวลาการแสด์ออฟของ NEMO BSP แบบที่เสนอสำหรับเครือข่าย 802.11g เป็นไปตามสมการที่ (3-5) ดังนี้

$$T_{HP\_AP\_MH} = MH \{ 2(S_{CO}/B_{WR}) + 2t_{WR} + 4(S_{CO}/B_{WR})(N_H) + 4(t_{LC})(N_H) + t_{RT}(N_H) + D_{IN} \} \quad (3-5)$$

เมื่อ  $T_{HP\_AP\_MH}$  คือ เวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟในแนวนอนของแบบที่เสนอเคลื่อนที่เข้าไปในเครือข่าย 802.11g โดยมีจำนวน MH เป็นตัวแปรจากการสุม พร้อมกับการใช้เทคนิค Pre Handoff Table(P-HoT)

เวลาการแฮนด์ออฟของ MH เมื่อเคลื่อนที่เข้าระบบเครือข่าย 3G สามารถเขียนเป็นสมการที่ (3-6) ได้โดยอาศัยความสัมพันธ์จากภาพที่ 2.14 เช่นเดียวกับสมการที่ (3-4) โดยกำหนดให้  $T_{HORI\_3G}$  คือเวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟในแนวนอน (Horizontal Handoff) ของ MH เคลื่อนที่เข้าไปในระบบเครือข่าย 3G โดยลำดับของการ Signaling และการกำหนดค่าต่าง ๆ นั้น ก็เป็นเช่นเดียวกับสมการที่ (3-6) ซึ่งจะมีข้อแตกต่างกันอย่างเดี๋ยวกคือ ค่าความเร็วของการเชื่อมโยงไร้สาย 3G เท่านั้น โดย  $B_{3G}$  คือ ความเร็วของการเชื่อมโยงไร้สาย 3G<sup>4</sup> มีด้วยกัน 3 ค่าคือ 384kbps , 7.2Mbps และ 42Mbps และในการทดลองใช้ค่าเดี๋ยวกคือ 7.2Mbps

ดังนั้น เวลาการแฮนด์ออฟของ MH เมื่อเคลื่อนที่เข้าระบบเครือข่าย 3G เป็นไปตามสมการที่ (3-6) ดังนี้

$$T_{HORI\_3G} = 2(S_{CO}/B_{3G}) + 2t_{WR} + 4(S_{CO}/B_{LC})(N_H) + 4(t_{LC})(N_H) + t_{RT}(N_H) + D_{IN} \quad (3-6)$$

เมื่อ  $T_{HORI\_3G}$  คือ เวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟของ MH เมื่อเคลื่อนที่เข้าระบบเครือข่าย 3G

จำนวนของ MH เป็นตัวแปรในเวลาต่างๆ ซึ่งจำนวนของ MH นั้นแตกต่างกันไปเวลาการแฮนด์ออฟของ MH เมื่อเคลื่อนที่เข้าระบบเครือข่าย 3G สามารถเขียนเป็นสมการที่ (3-7) ได้ เช่นเดียวกับสมการที่ (3-5) และข้อแตกต่างมีเฉพาะในส่วนของจำนวน MH

$$T_{HORI\_3G\_MH} = MH \{ 2(S_{CO}/B_{3G}) + 2t_{WR} + 4(S_{CO}/B_{LC})(N_H) + 4(t_{LC})(N_H) + t_{RT}(N_H) + D_{IN} \} \quad (3-7)$$

<sup>4</sup> ประกาศการให้บริการเครือข่าย Truemove 3G “[http://www.truemove-h.com/en/3gwifi\\_network.aspx](http://www.truemove-h.com/en/3gwifi_network.aspx)”

เมื่อ  $T_{HORI\_3G\_MH}$  คือ เวลาการแฮนด์ออฟของ MH เมื่อเคลื่อนที่เข้าระบบเครือข่าย 3G โดยมีจำนวน MH เป็นตัวแปรที่ได้จากการสุ่ม

เวลาการแฮนด์ออฟของ MH เมื่อเคลื่อนที่เข้าระบบเครือข่าย 3G ในแบบที่เสนอนั้น เมื่อนำจำนวนของผู้ใช้งานหรือ MH มาคำนวณเวลาของการแฮนด์ออฟรวมด้วย สามารถเขียนเป็นสมการที่ (3-8) โดยอาศัยความสัมพันธ์ของ Signaling จากภาพที่ 3.5 จะเห็นว่าในพจน์ของสมการที่ (3-8) จะมี MH เป็นตัวคูณเฉพาะในส่วนของ Signaling ของระบบไร้สาย ส่วนที่เป็นระบบใช้สายจะไม่มี MH เป็นตัวคูณ เนื่องจากการนำเทคนิค P-HoT มาใช้ ทำให้ลด Signaling ซึ่งสมการที่ได้นั้นเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับสมการที่ (3-6) และผลการทดลองได้แสดงไว้แล้วในบทที่ 4

ดังนั้น เวลาการแฮนด์ออฟของ MH เมื่อเคลื่อนที่เข้าระบบเครือข่าย 3G ในแบบที่เสนอเป็นไปตามสมการที่ (3-8) ดังนี้

$$T_{HP\_3G\_MH} = MH \{ 2(S_{CO}/B_{3G}) + 2t_{WR} + 4(S_{CO}/B_{LC})(N_H) \} + 4(t_{LC})(N_H) + t_{RT}(N_H) + D_{IN} \quad (3-8)$$

เมื่อ  $T_{HP\_3G\_MH}$  คือ เวลาการแฮนด์ออฟของระบบที่เสนอสำหรับเครือข่าย 3G โดยมีจำนวน MH จากการสุ่ม พร้อมกับใช้เทคนิค P-HoT ร่วมด้วย

### 3.7 สมการของการแฮนด์ออฟแบบ Vertical แบบเดิมและที่เสนอ

เวลาการแฮนด์ออฟแบบ Vertical แบบเดิมสำหรับเครือข่าย 802.11g สามารถเขียนเป็นสมการที่ (3-9) ได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ของ Signaling จากภาพที่ 2.15 กำหนดให้  $T_{VER\_NEMO\_3G}$  คือเวลาในการแฮนด์ออฟแบบ Vertical ของ MH ระหว่างเครือข่าย 3G กับระบบที่เสนอ ซึ่งจำนวนของ MH นั้นจะเป็นตัวแปรหลักของผลการทดลอง นั่นคือ เมื่อจำนวน MH เพิ่มขึ้นหรือเคลื่อนที่เข้าออกไปมาจากระบบเครือข่าย 3G และระบบที่เสนอ จำนวนของ Signaling ของการแฮนด์ออฟก็มีมากขึ้นตาม และเวลาที่ใช้ในการแฮนด์ก็เพิ่มสูงด้วย

$$T_{VER\_NEMO\_3G} = MH \{ 2(S_{CO}/B_{WR}) + 2(S_{CO}/B_{3G}) + 4(t_{WL}) + 4(S_{CO}/B_{LC})(N_H) + 4(t_{LC})(N_H) + t_{RT}(N_H) + D_{IN} \} \quad (3-9)$$

เมื่อ  $T_{VER\_NEMO\_3G}$  คือ เวลาการแฮนด์ออฟแบบ Vertical แบบเดิมสำหรับเครือข่าย 802.11g โดยมีจำนวน MH จากการสุ่ม

เมื่อนำเทคนิค P-HoT มาปรับใช้ร่วมกับระบบตามแบบที่เสนอ จะทำให้จำนวนของ Signaling ที่มีมากนั้นลดลง โดยเฉพาะ Signaling ที่ถูกส่งไปยัง MH's HA และ CN ดังภาพที่ 3.6 จึงเป็นไปตามสมการที่ (3-10) ดังนี้

$$T_{VP\_NEMO\_3G} = MH \{ 2(S_{CO}/B_{WR}) + 2(S_{CO}/B_{3G}) + 4(t_{WL}) \} + 4(S_{CO}/B_{LC})(N_H) + 4(t_{LC})(N_H) + t_{RT}(N_H) + D_{IN} \quad (3-10)$$

เมื่อ  $T_{VP\_NEMO\_3G}$  คือ เวลาการเสนอข้อมูลแบบ Vertical ของระบบที่เสนอสำหรับเครือข่าย 802.11g โดยมีจำนวน MH จากการสุ่ม พร้อมกับใช้เทคนิค P-HoT ร่วมด้วย

### 3.8 สมการของเวลาการร้องขอข้อมูลกลับมาใหม่(Retransmit time) ตามแบบที่เสนอ

นอกจากนี้ เมื่อกำหนดให้  $T_{RT\_BSP}$  คือ เวลาที่ใช้ในการร้องขอให้มีการส่งข้อมูลกลับมาใหม่ (Retransmit time) ของระบบเครือข่าย NEMO BSP ดังภาพที่ 2.13 เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่แพ็คเก็ตสูญหาย เราจะได้ความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ (3-11) จะเห็นว่าการร้องขอนั้นมี Signaling มากมาย ตั้งแต่ MH ไปยัง MR จาก MR ไปยัง MH's HA และไปจนถึง CN และการคำนวณตัวเลขก็คิดเป็นสองเท่า นั่นคือขาไปและกลับ จึงทำให้ใช้เวลามากในการร้องขอในแต่ละครั้งและในแต่ละ MH ด้วย

$$T_{RT\_BSP} = 2 \{ t_{CN} + t_{HA} + t_{RT} + t_{BS} + t_{WR} + t_{MR} + t_{L2} + D_{IN} \} \quad (3-11)$$

กำหนดให้  $T_{RT\_BSP}$  คือ เวลาในการร้องขอข้อมูลของ MH ในระบบ NEMO BSP

โดยที่

- $t_{CN}$  = เวลาที่ใช้ในการเข้าถึง Internet ของ CN ประมาณค่าเท่ากับ  $D_{IN}$
- $t_{HA}$  = เวลาที่ใช้ในการเข้าถึง Internet ของ HA ประมาณค่าเท่ากับ  $D_{IN}$
- $t_{RT}$  = การประวิงเวลาที่เราเตอร์ในการค้นหาและกำหนดเส้นทาง
- $t_{BS}$  = เวลาในการร้องขอข้อมูลของ MH ไปยัง BS
- $t_{WR}$  = เวลาแฝงในการเชื่อมโยงไร้สาย
- $t_{L2}$  = เวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่าง MR1 หรือ MR2 กับ MH
- $D_{IN}$  = ค่าประวิงเวลาของ Packets ในโครงข่าย Internet โดยเฉลี่ย

นอกสมการที่ (3-11) นี้แล้ว ในระบบเครือข่าย 3G สามารถเขียนสมการได้ในลักษณะเดียวกันคือสมการที่ (3-12) แต่จะแตกต่างกันกับสมการที่ (3-11) ตรงที่พจน์ของ  $t_{MR}$  ซึ่งในสมการที่ (3-12) จะไม่มี เนื่องจากการใช้งานระบบเครือข่าย 3G ไม่ได้ผ่าน MR เมื่อกำหนดให้  $T_{RT\_3G}$  คือ เวลาที่ใช้ในการร้องขอให้มีการส่งข้อมูลกลับมาใหม่ (Retransmit time) ของระบบเครือข่าย 3G ดังภาพที่ 2.11 สามารถเขียนสมการที่ (3-12) ดังนี้

$$T_{RT\_3G} = 2\{t_{CN} + t_{HA} + t_{RT} + t_{BS} + t_{WR} + t_{L2} + D_{IN}\} \quad (3-12)$$

เมื่อ  $T_{RT\_3G}$  คือ เวลาในการร้องขอข้อมูลของ MH ในระบบ 3G

ระหว่างสมการที่ (3-11) และ (3-12) นี้ เมื่อสังเกตที่พจน์ของสมการทั้งสองแล้ว ดูเหมือนว่า สมการที่ (3-12) มีจำนวนพจน์ในสมการน้อยกว่า ค่าของ  $T_{RT\_3G}$  น่าจะน้อยกว่าค่าของ  $T_{RT\_BSP}$  ด้วย แต่เมื่อทำการทดลองแล้วปรากฏว่า เวลาที่ได้ นั่นคือ ค่าของ  $T_{RT\_3G}$  มากกว่าค่าของ  $T_{RT\_BSP}$  อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งข้อนี้เกิดจากความเร็วของระบบ NEMO BSP นั้นมากกว่าความเร็วของระบบ 3G มาก และผลการทดลองได้แสดงไว้แล้วในบทที่ 4

จากการประยุกต์ใช้ CAR-Set ของวิธี M&M ดังภาพที่ 2.23 และการใช้เทคนิค P-HoT ในระบบที่เสนอ เมื่อเกิดเหตุการณ์ที่แพ็คเก็ตสูญหาย เวลาที่ใช้ในการร้องขอข้อมูลกลับมาใหม่จะเป็นไปตามสมการที่ (3-11) โดยกำหนดให้  $T_{RT\_MR}$  คือ เวลาในการร้องขอข้อมูลของ MH ให้ CN ส่งกลับมาใหม่ เมื่อเกิดเหตุการณ์ข้อมูลสูญหาย เมื่อเทียบกับสมการที่ (3-11) และ (3-12) แล้วนั้น จะเห็นได้ชัดว่ามีความแตกต่างในการใช้เวลาเป็นอย่างมาก โดยแบบที่เสนอนั้นใช้เวลาน้อยกว่าแบบที่เดิมอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเทียบกับระบบ 3G

ดังนั้น เวลาในการร้องขอข้อมูลของ MH ให้ CN ส่งกลับมาใหม่ เป็นไปตามสมการที่(3-13) ดังนี้

$$T_{RT\_MR} = t_{MR} + 4t_{WR} + 2t_{L2} \quad (3-13)$$

เมื่อ  $T_{RT\_MR}$  คือ เวลาในการร้องขอข้อมูลของ MH ในระบบที่เสนอ

โดยที่  $t_{MR}$  = เวลาในการร้องขอข้อมูลของ MH ไปยัง MR1 หรือ MR2  
 $t_{WR}$  = เวลาแฝงในการเชื่อมโยงไร้สาย  
 $t_{L2}$  = เวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่าง MR1 หรือ MR2 กับ MH

### 3.9 หัวข้อการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการแฮนด์ออฟ

จากการพิจารณาสมการที่ (3-3) - (3-13) ในเบื้องต้น เราจะพบว่าเมื่อเครือข่ายสื่อสารไร้สายมีจำนวนของ MH เพิ่มขึ้นเท่าใด จะทำให้ความแตกต่างของสมรรถนะของวิธีที่นำเสนอกับวิธี NEMO BSP นั้นแตกต่างกันมากขึ้นเท่านั้น ซึ่งจะแสดงผลการคำนวณและผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของแบบที่เสนอกับแบบเดิม ดังนี้

- 1) เวลาของการแฮนด์ออฟ แบบที่เสนอกับ NEMO BSP และ 3G แบบเดิม
- 2) ปริมาณของการส่งสัญญาณควบคุมแบบที่เสนอกับ NEMO BSP และ 3G แบบเดิม
- 3) เวลาของการร้องขอข้อมูล(Retransmit time) แบบที่เสนอกับ NEMO BSP และ 3G แบบเดิม
- 4) เวลาการแฮนด์ออฟเมื่อจำนวน Router เพิ่มขึ้น แบบที่เสนอกับ NEMO BSP และ 3G

แบบเดิม

ผลการทดลอง การเปรียบเทียบและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการแฮนด์ออฟในแบบที่เสนอกับระบบเครือข่าย NEMO BSP และ 3G ทั้งหมดนั้น ได้แสดงไว้ในในบทที่ 4

## บทที่ 4

### ผลการพัฒนาและทดสอบระบบ

#### 4.1 บทนำ

เนื้อหาในบทที่ 4 นี้ จะกล่าวถึงการทดลองและผลที่ได้ โดยจัดเรียงเนื้อหาตามลำดับ ได้แก่ เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง การนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาทดลองบน MATLAB R2012a เบื้องต้น การทดลองระบบและผลการทดลองที่ได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง จะเน้นคำสั่งและฟังก์ชันต่างๆที่ใช้ใน โปรแกรม MATLAB และอธิบายผลการทดลองที่ได้โดยละเอียดต่อไป

#### 4.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองมีสองส่วนหลักคือ Hardware และ Software เนื่องจากเป็นการจำลองระบบขึ้นมาทดลอง(Simulation) อุปกรณ์ที่ใช้จึงไม่ซับซ้อน ดังนี้

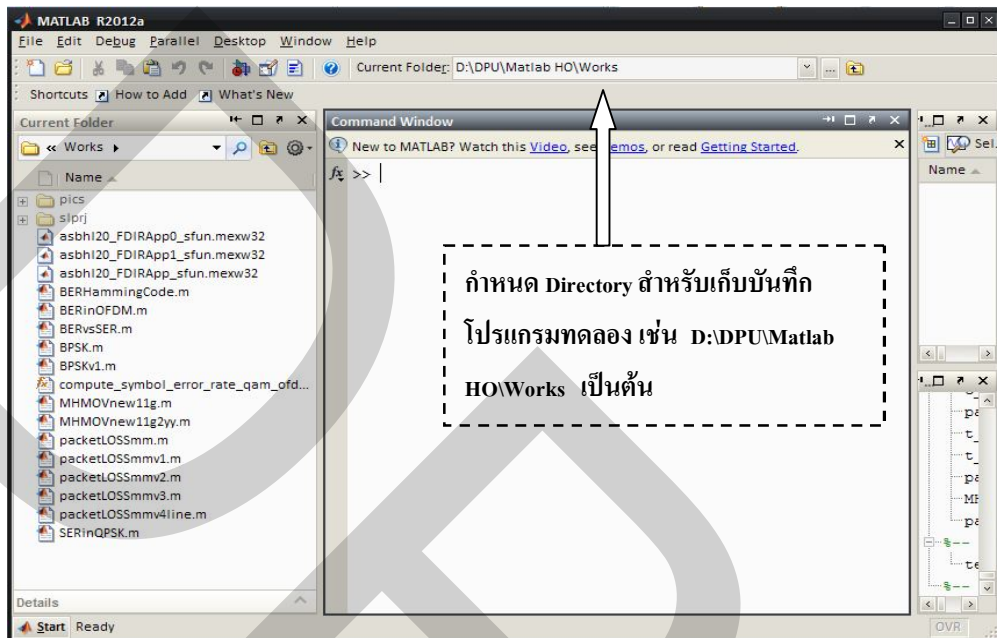
1. เครื่องคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก HP Pavilion dv6500 มีคุณสมบัติดังนี้
  - Windows XP Professional Service Pack 3
  - CPU Intel Core 2 DUO T7300 2.00GHz
  - Memory 2.5GByte DDR2
  - HDD 320GByte SATA 3Gbps
  - Display Card NVIDIA GeForce 8400M GS
  - Intel PRO/Wireless 3945BG , Realtek PCIe FE Family Controller
2. โปรแกรม MATLAB R2012a

#### 4.3 การนำโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาทดลองบน MATLAB R2012a

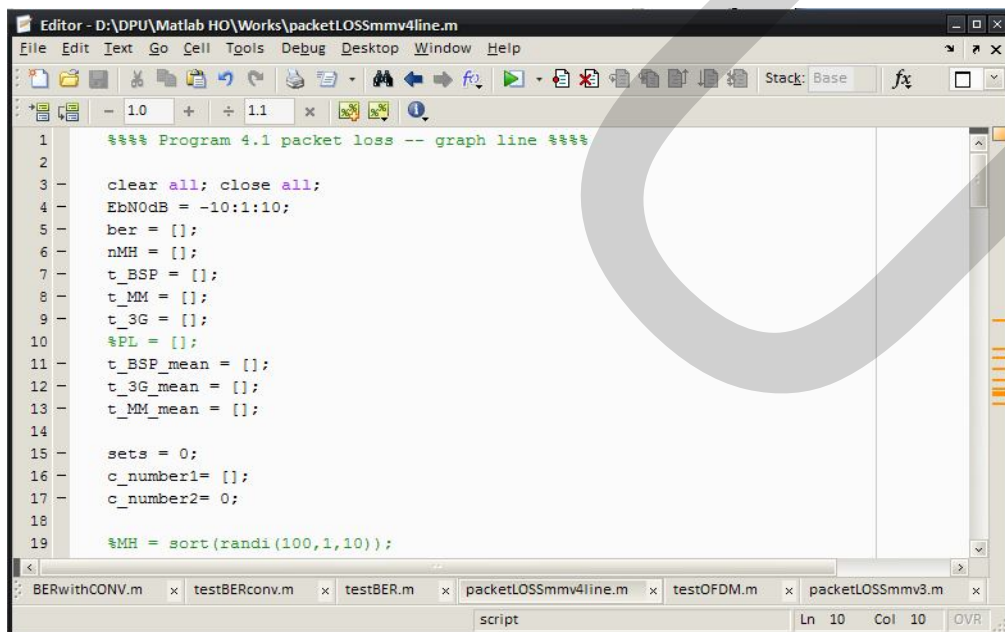
โปรแกรมที่ใช้ในการทดลองนั้น ได้พัฒนาขึ้นมาและทดลองกับ โปรแกรม MATLAB R2012a (การติดตั้งและการใช้งานอื่นๆของโปรแกรม MATLAB จะไม่กล่าวถึงในงานวิจัยนี้)ตามรูปแบบที่ออกแบบไว้ในบทที่ 3 โดยได้กำหนดตัวแปร และตั้งค่าของพารามิเตอร์ต่างๆตามตารางที่ 3.2 และ 3.3 ตามที่ได้กำหนดไว้แล้วในบทที่ 3 เช่นกัน ซึ่งการสร้างและแก้ไข โปรแกรมทั้งหมดนั้น



ผ่านทางโปรแกรม Editor ของ MATLAB ดังแสดงไว้ในภาพที่ 4.2 และการกำหนดพื้นที่สำหรับเก็บบันทึกโปรแกรมนั้นแสดงไว้ในภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 การกำหนด Directory สำหรับเก็บบันทึก โปรแกรมทดลอง



ภาพที่ 4.2 การสร้างหรือแก้ไขโปรแกรมที่ใช้ทดลองด้วย Editor ของ MATLAB

#### 4.4 ผลการทดสอบ

ผลของการทดลองตามแบบจำลองที่เสนอที่ได้นั้น ผู้วิจัยได้นำไปวิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเสนอคือแบบที่เสนอกับแบบเดิม ได้แสดงเป็นกราฟเส้นตามลำดับดังนี้

- 1) เวลาของการเสนอแบบที่เสนอกับ NEMO BSP และ 3G แบบเดิม
- 2) ปริมาณของการส่งสัญญาณควบคุม(Control Packets) แบบที่เสนอกับ NEMO BSP และ 3G แบบเดิม
- 3) เวลาของการร้องขอข้อมูล(Retransmit time)แบบที่เสนอกับ NEMO BSP และ 3G แบบเดิม
- 4) เวลาการเสนอเมื่อจำนวน Router เพิ่มขึ้น แบบที่เสนอกับ NEMO BSP และ 3G แบบเดิม

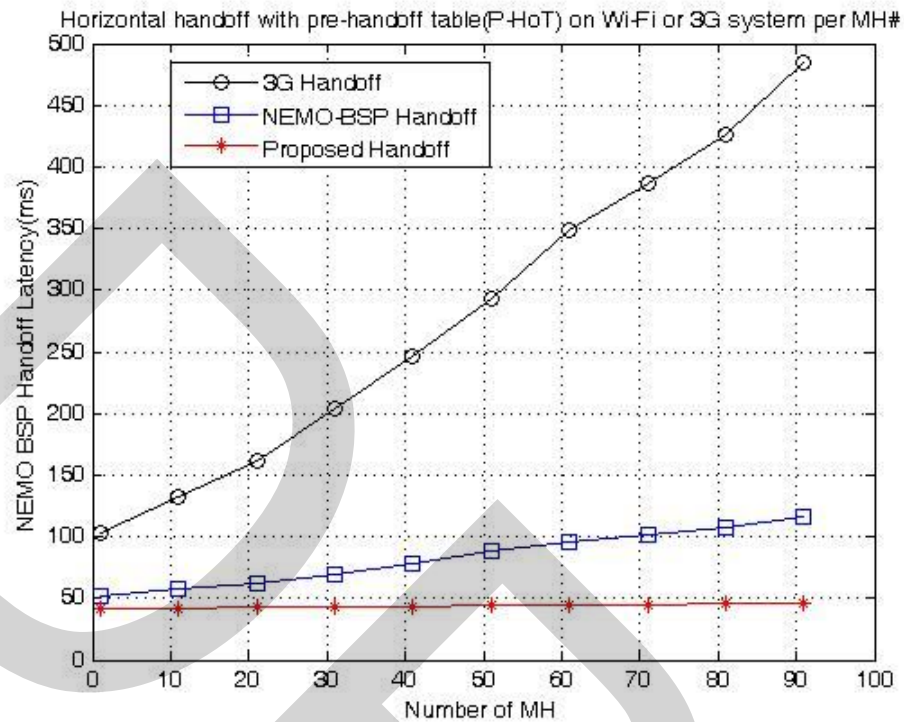
##### 4.4.1 เวลาของการเสนอแบบที่เสนอกับ NEMO BSP และ 3G แบบเดิม

การทดลองนี้เริ่มจากการสุ่มเลือกความเร็ว(Bandwidth) ของ MH ที่ใช้เชื่อมต่อเข้าระบบเครือข่าย NEMO BSP ได้แก่ ความเร็ว 54,48,36,24,18,12,9 และ 6 Mbps พร้อมทั้งความเร็วของระบบเครือข่าย 3G ระหว่าง 1-7.2 Mbps ด้วย ซึ่งในแต่ละ MH จะเชื่อมต่อด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับบริเวณที่อยู่และสภาพแวดล้อมของพื้นที่บริการในขณะนั้น จากนั้นแทนค่าด้วยพารามิเตอร์ตามตารางที่ 3.2 และตารางที่ 3.3 ลงในสมการที่ได้กำหนดไว้แล้วในบทที่ 3

ผลการทดลองที่ได้คือ เวลาที่ใช้ในการเสนอแบบ Horizontal ของ NEMO BSP ที่ไม่ใช่เทคนิคแบบ P-HoT นั้น ใช้เวลาในการเสนอประมาณต่ำสุด<sup>1</sup> ที่ 50 ms และสูงสุด<sup>2</sup> ที่ 120 ms เวลาที่ใช้ในการเสนอแบบ Horizontal ของ 3G ที่ไม่ใช่เทคนิคแบบ P-HoT นั้นต่ำสุดที่ 100 ms และสูงสุดที่ 490 ms ตามลำดับ ส่วนการเสนอของวิธีที่นำเสนอ(P-HoT)ใช้เวลาในการเสนอประมาณค่าต่ำสุดที่ 47 ms และสูงสุดที่ประมาณ 50 ms เท่านั้น เมื่อพิจารณาสุ่มจากจำนวนของผู้ใช้งาน (MH) ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าระหว่าง 10 ถึง 100 คน ดังภาพที่ 4.3 และตารางที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า วิธีที่นำเสนอสามารถลดเวลาที่ใช้ในการเสนอได้ดีกว่าประมาณ 11 - 66 ms และ 17 - 178 ms ตามลำดับเมื่อเปรียบเทียบผลต่างกับวิธีการเสนอของ NEMO BSP และ 3G ที่ไม่ใช่เทคนิค P-HoT

<sup>1</sup> ค่าที่ได้จากจำนวนผู้ใช้น้อยที่สุดในการสุ่มตัวอย่าง

<sup>2</sup> ค่าที่ได้จากจำนวนผู้ใช้งานมากที่สุดในการสุ่มตัวอย่าง



ภาพที่ 4.3 เวลาการแฮนด์ออฟของวิธีที่นำเสนอเปรียบเทียบกับระบบ NEMO BSP และ 3G

ตารางที่ 4.1 ผลต่างของเวลาที่ใช้ในการแฮนด์ออฟระหว่าง NEMO BSP , 3G และแบบที่เสนอ

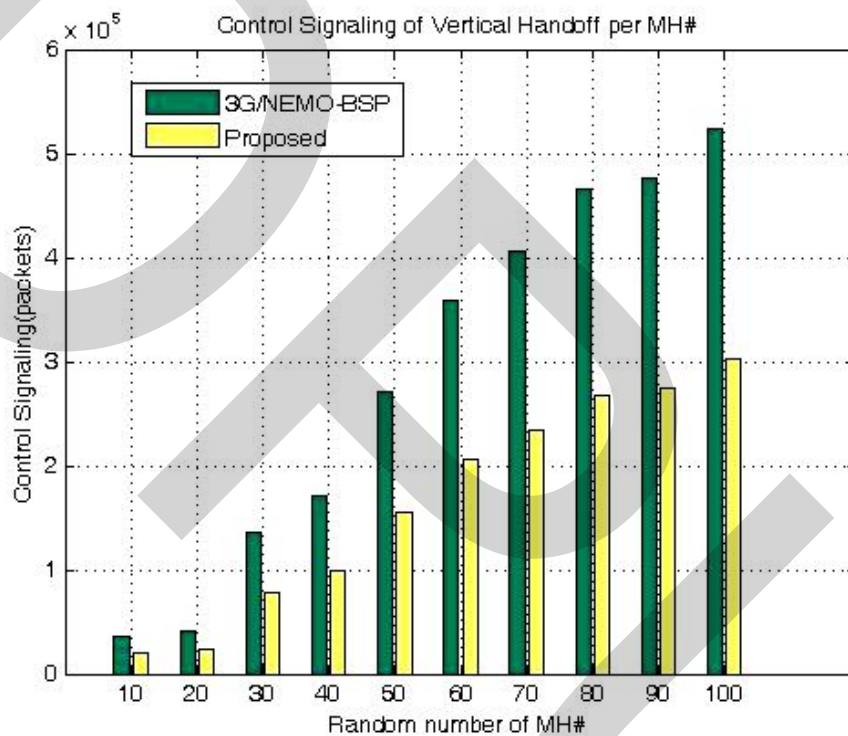
จำนวนผู้ใช้ MH	เวลาที่ใช้แฮนด์ออฟของแต่ละระบบเครือข่าย(ms)			ผลต่างของเวลาแบบที่เสนอ ใช้เวลาน้อยกว่า(ms)	
	NEMO BSP	3G	แบบที่เสนอ	NEMO BSP	3G
ต่ำสุด	50	100	47	3	53
สูงสุด	120	490	53	70	440

#### 4.4.2 ปริมาณของการส่งสัญญาณควบคุมแบบที่เสนอกับ NEMO BSP และ 3G แบบเดิม

การแฮนด์ออฟในแต่ละครั้ง จะมีสัญญาณควบคุม(Signaling)ที่เกิดขึ้นมีจำนวนมาก ตามจำนวนของ MH ที่เพิ่มขึ้น การนำเทคนิค M&M(Multicast-base Mobility) และ P-HoT(Pre Handoff Table) มาใช้งานนั้น สามารถลดจำนวนของสัญญาณควบคุมได้มาก เนื่องจาก MR1 และ MR2 ในแบบที่เสนอนั้น สามารถส่งข้อมูลเหล่านั้นออกไปได้ทั้งสองเส้นทางพร้อมๆกัน(Multi Link) จึงทำให้ความเร็ว

ในการส่งสัญญาณควบคุมเพิ่มขึ้นและส่งได้ปริมาณมากขึ้น ทำให้ลดเวลาในการแฮนด์ออฟได้มากเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองในหัวข้อก่อนหน้านี้

ในการทดลองนี้ ใช้การแฮนด์ออฟแบบ Vertical เพื่อวิเคราะห์ผลของจำนวน MH โดยการสุ่มเข้ามาในระบบแบบที่เสนอ เปรียบเทียบกับ NEMO BSP และ 3G จากนั้น นำปริมาณของสัญญาณควบคุมที่เกิดขึ้นมาคำนวณและเปรียบเทียบทั้งสามแบบ ซึ่งผลเป็นดังภาพที่ 4.4



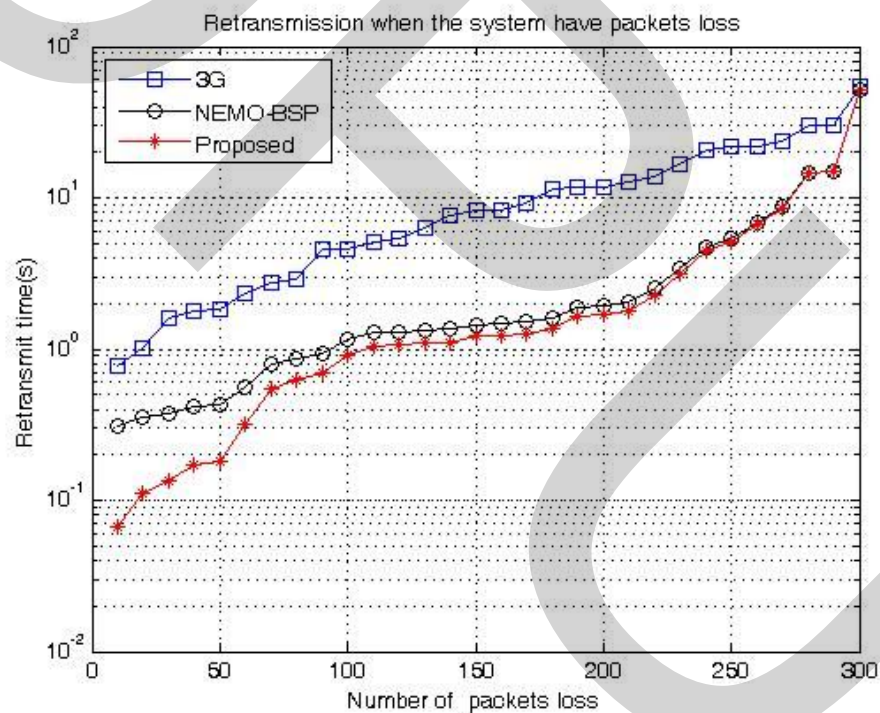
ภาพที่ 4.4 จำนวนของสัญญาณควบคุมเมื่อ MH เพิ่มขึ้น

จากภาพที่ 4.4 จะเห็นว่า เมื่อ MH เพิ่มจำนวนขึ้น ระบบเครือข่าย NEMO BSP และ 3G นั้น มีจำนวนของสัญญาณควบคุมมากกว่าแบบที่เสนอประมาณ 35% เนื่องจากแบบที่เสนอได้นำ P-HoT มาใช้ในการทดลอง จำนวนของสัญญาณควบคุมถูกลดจำนวนลงในขั้นตอนการแฮนด์ออฟ ซึ่งได้แสดงไว้แล้วในภาพที่ 3.6 ดังนั้น เมื่อขั้นตอนลดลง เวลาในการแฮนด์ออฟก็ลดลงด้วย ซึ่งส่งผลโดยตรงกับจำนวนของสัญญาณควบคุมอย่างแน่นอน และระบบในแบบที่เสนอ แสดงให้เห็นว่า มีประสิทธิภาพจริง

#### 4.4.3 เวลาของการร้องขอข้อมูล(Retransmit time) แบบที่เสนอกับ NEMO BSP และ 3G แบบเดิม

ในกรณีที่ CN ส่งข้อมูลไปยัง AP, BS และ MR ด้วยหลักการของวิธี Bi-cast และ Multicast ร่วมกับ P-HoT นั้น MH ทำการรับข้อมูลแบบขาลง (Down Link) ในกรณีนี้ได้ทำการทดลองโดยสุ่ม

การเปลี่ยนแปลงของจำนวนแพ็คเก็ตที่สูญหาย(Packet Loss)ในระหว่างการแฮนด์ออฟมีจำนวนระหว่าง 1 – 300 แพ็คเก็ต ทำการทดลองเป็นจำนวนกว่า 30 รอบ พบว่า เมื่อเกิดแพ็คเก็ตที่สูญหายในจำนวน 100 แพ็คเก็ตแรกนั้น แบบที่เสนอสามารถลดเวลาที่ใช้ในการร้องขอข้อมูลกลับมาใหม่ (Retransmit time) ของ MH ได้มากถึง 20% เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีแฮนด์ออฟแบบพื้นฐานของ NEMO BSP แต่เมื่อเทียบกับระบบ 3G สามารถลดเวลาในการแฮนด์ออฟได้ถึง 40% - 60% ดังในภาพที่ 4.5 หลังจากนั้น เมื่อจำนวนแพ็คเก็ตที่สูญหายเพิ่มขึ้นระหว่างจำนวน 100-300 แพ็คเก็ต เวลาที่ใช้ส่งข้อมูลกลับมาใหม่นั้น แบบที่เสนอกับ NEMO BSP ใช้เวลาใกล้เคียงกันและเส้นกราฟมีแนวโน้มเข้าหากันและคู่เข้าหากันทั้ง 3 เส้น เมื่อมีแพ็คเก็ตที่สูญหายเพิ่มขึ้นถึง 300 แพ็คเก็ต ทั้งนี้ MR1 และ MR2 ในแบบที่เสนอต้องสามารถสำรองข้อมูลเพื่อรองรับการร้องขอแพ็คเก็ตที่สูญหายของ MH ที่ส่งมาจาก AP หรือ BS ได้ แม้ว่าจำนวนของ BER(bit error rate) และจำนวนของ MH เพิ่มขึ้นก็ตาม

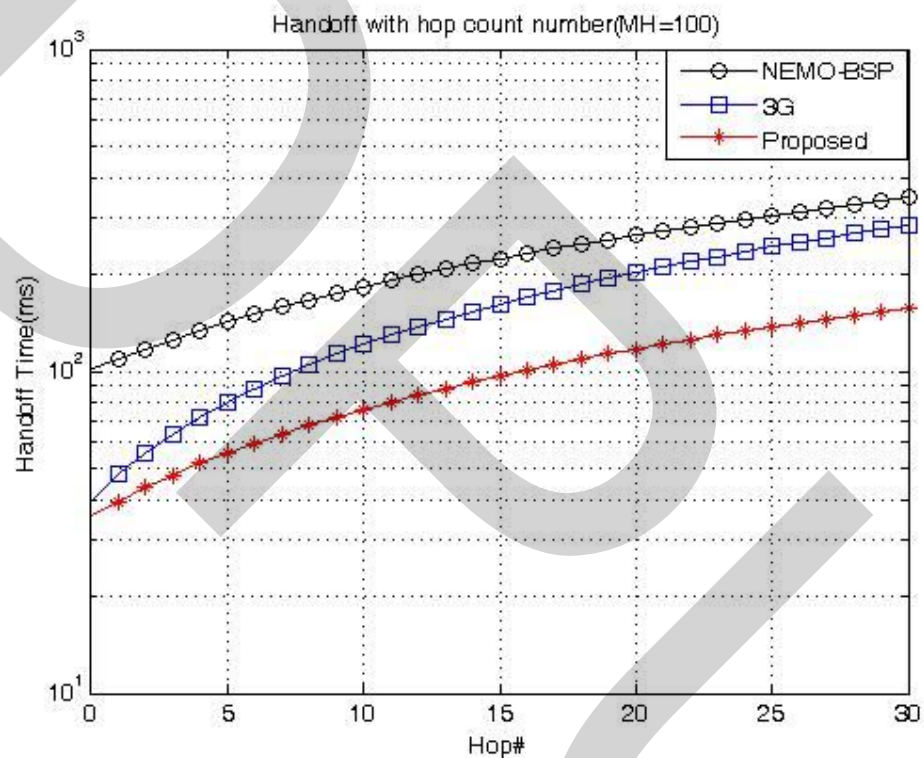


ภาพที่ 4.5 Packet Retransmission Time ของวิธีที่นำเสนอเทียบกับ NEMO BSP

#### 4.4.4 เวลาการแฮนด์ออฟ เมื่อจำนวน Router เพิ่มขึ้น แบบที่เสนอกับ NEMO BSP และ 3G แบบเดิม

การเคลื่อนที่ของ NEMO BSP ไปเกาะกับ AP หรือ BS ในที่ต่าง ๆ นั้น เมื่ออยู่ต่างโดเมน (Inter-Domain Handoff) จะทำให้จำนวนของอาจจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงก็ได้ ซึ่งจะมีผลกับเวลาในการแฮนด์ออฟอย่างแน่นอน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าจำนวนของ Hop ที่เพิ่มขึ้นนั้น หมายถึงการเพิ่ม

จุดผ่านที่อุปกรณ์เราท์เตอร์เพิ่มขึ้นด้วย ทำให้เสียเวลาในการโปรเซสแพ็คเก็ตที่วิ่งผ่านเราท์เตอร์ จากผลการทดลองในภาพที่ 4.6 ในการทดลองนี้ได้เพิ่มจำนวน Hop ขึ้นทีละ 1 Hop ไปจนถึง 30 Hop ในแบบ NEMO BSP และแบบ 3G ใช้เวลา 180 ms และ 230 ms ตามลำดับ ซึ่งแบบที่เสนอใช้เวลา 106 ms ที่จำนวน 30 Hop ผลคือในแบบที่เสนอสามารถใช้เวลาได้น้อยกว่าในแบบเดิมถึง 46 - 58 เปอร์เซ็นต์



ภาพที่ 4.6 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้แฮนด์ออฟเมื่อจำนวน Router และ Hop เพิ่มขึ้น

นอกจากอุปกรณ์เราท์เตอร์ที่เพิ่มขึ้นแล้ว ถ้าเป็นการทำงานจริงของระบบเครือข่าย โดยทั่วไป สิ่งที่ต้องคำนึงถึงอีกอย่างคือ Latency ที่เกิดขึ้นที่สายสัญญาณและจุดต่อต่างๆนั้น ก็มีส่วนสำคัญที่จะทำให้เกิดความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลและสูญเสียเวลาในการโปรเซสแพ็คเก็ตเดินทางผ่านจุดนั้นๆ ซึ่งในการทดลองนี้ไม่ได้นำเวลาในส่วนนี้มาคำนวณด้วย อย่างไรก็ตาม เพียงตัวแปรและพารามิเตอร์ที่ได้นำเสนอนี้ ก็เพียงพอที่จะแสดงให้เห็นแล้วว่า ระบบที่นำเสนอนี้มีประสิทธิภาพทำงานดีกว่า ทั้งด้านการรองรับจำนวน MH ที่เพิ่มขึ้นและใช้เวลาในการแฮนด์ออฟกว่าระบบ NEMO BSP และ 3G ในแบบเดิม

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการศึกษาตามวัตถุประสงค์งานวิจัย

จากการศึกษาและพัฒนางานวิจัยนี้ตามวัตถุประสงค์ที่ได้กำหนดไว้ในเบื้องต้นนั้น สรุปได้ดังนี้

1. ทำให้ผู้วิจัยได้ศึกษาการแฮนด์ออฟของระบบเครือข่ายไร้สาย Mobile IPv6 และ NEMO BSP ทำให้เกิดความเข้าใจเป็นในหลักการทำงานการแฮนด์ออฟของระบบเครือข่ายไร้สาย เป็นอย่างดี อีกทั้งยังเกิดความเข้าใจในหลักการทำงานของระบบ IPv6 การนำไปใช้งานในโครงข่ายที่มีขนาดใหญ่ ยิ่งไปกว่านั้น ผู้วิจัยได้นำความรู้ความเข้าใจและประสบการณ์จากการศึกษางานวิจัยถ่ายทอดให้กับผู้ที่มีความสนใจใฝ่รู้ทั่วไปได้เป็นอย่างดี

2. ผู้วิจัยได้พัฒนาและออกแบบกระบวนการวิธีในการลดเวลาการแฮนด์ออฟ ด้วยการเสนอการรวมระบบเครือข่าย NEMO BSP และ 3G โดยใช้เทคนิค Multicast-based , Bi-cast และการบันทึกสถานะการทำงานของผู้ใช้ในระบบ(P-HoT:Pre Handoff Table) ทำให้มีความยืดหยุ่นสูงในการรองรับกลุ่มผู้ใช้งานจำนวนมากๆในสถานที่ต่าง ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับหน่วยงานที่สำคัญๆ ทั้งหน่วยงานของรัฐและเอกชนได้ตามความเหมาะสม

3. ด้านการพัฒนาและออกแบบกระบวนการวิธีลดเวลาเรียกข้อมูลกลับมาใหม่(Retransmits Time) เมื่อมีข้อมูลสูญหาย(Packets Loss) นั้น ผู้วิจัยก็ได้เสนอแนวคิดและทดลองการเพิ่มจำนวน Buffer ที่อุปกรณ์หลักของระบบ เช่น MR , BTS และ AP เป็น *ประการแรก* เพื่อสำรองข้อมูลในช่วงเวลาหนึ่งๆ ทำให้เครื่องของผู้ใช้(MH)สามารถร้องขอข้อมูลสำรองนั้นกลับมาใหม่เมื่อเกิดความผิดพลาดในการรับส่งข้อมูลของ MH กับ CN เช่น Bit Error หรือ Symbol Error เป็นต้น *ประการที่สอง* คือ เสนอการเข้ารหัสข้อมูลในระหว่างการรับส่ง เช่น Convolution Code และ Hamming Code เพื่อลดอัตราของ Bit Error Rate และ Symbol Error Rate ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการรับส่งข้อมูลเป็นอย่างมาก

## 5.2 สรุปผลการทำงานตามขอบเขตงานวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเทคนิคการแฮนด์ออฟและหลักการทำงานของระบบการสื่อสารเคลื่อนที่ คือ MIPv6 , NEMO BSP และ 3G เป็นหลัก พร้อมทั้งศึกษาวิธีการนำระบบเครือข่ายทั้งหลายเหล่านั้นมาพัฒนาออกแบบและผสมผสานการทำงานในรูปแบบใหม่ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ โดยเฉพาะการลดเวลาของการแฮนด์ออฟ ซึ่งระบบจำลองที่ผู้วิจัยเสนอได้วิเคราะห์และเปรียบเทียบประสิทธิภาพไว้แล้วในบทที่ 4 และเป็นไปตามขอบเขตที่กำหนดไว้

ยิ่งไปกว่านั้น งานวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับระบบเครือข่ายสื่อสารเคลื่อนที่ในปัจจุบันได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพราะผลการทดลองได้ชี้ให้เห็นแล้วว่าแบบจำลองที่นำเสนอได้ผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ ทั้งการลดลงของเวลาในการแฮนด์ออฟและการร้องขอข้อมูลใหม่ ซึ่งจะเป็นประโยชน์แก่การนำไปประยุกต์ใช้ในอนาคตอันใกล้นี้อย่างแน่นอน

## 5.3 สรุปผลการทดสอบโปรแกรม

การทดลองในงานวิจัยนี้ ได้ศึกษาและค้นคว้าจากวารสารที่ตีพิมพ์ทั้งในและต่างประเทศ พร้อมทั้งศึกษาจากตำราของต่างประเทศ ซึ่งได้นำตัวอย่างของโปรแกรม MATLAB มาทดลองและพัฒนาต่อยอด ซึ่งต้นฉบับเดิมนั้นเป็นโปรแกรมในเวอร์ชันเก่า เมื่อนำมาทดลองจึงทำให้เกิดข้อผิดพลาดและผลการทดลองคลาดเคลื่อนไปจากที่ตั้งสมมุติฐานไว้ แต่หลังจากที่ได้นำมาปรับปรุงใหม่และใช้รูปแบบของโปรแกรมเวอร์ชันใหม่ ก็สามารถทำงานได้ตามที่ตั้งสมมุติฐานไว้ พร้อมกับแหล่งข้อมูลที่ค้นคว้ามาจากเครือข่ายอินเทอร์เน็ตนั้น ยังมีนักวิชาการปรับปรุงเนื้อหาให้ทันสมัยและได้คำแนะนำจากอาจารย์ที่ปรึกษา จึงทำให้การทดลองเป็นไปด้วยดี

## 5.4 สรุปประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

ผลจากการศึกษางานวิจัยนี้ สามารถสรุปได้ประโยชน์รับ ดังต่อไปนี้

1. ทำให้ผู้วิจัยมีความเข้าใจการแฮนด์ออฟของ MIPv6 และการทำงานร่วมกันของระบบ NEMO BSP และ 3G
2. แบบจำลองที่เสนอในงานวิจัยนี้ สามารถลดความล่าช้าในกระบวนการการแฮนด์ออฟของระบบ NEMO BSP และ 3G ได้ ซึ่งเป็นผลมาจากการรวมเทคนิค Multicast-based , Bi-cast และ Handoff Table พร้อมทั้งการเพิ่ม Buffer ในอุปกรณ์หลักของระบบ
3. ทำให้ผู้วิจัยมีความรู้ในการนำระบบ NEMO BSP และ 3G ไปประยุกต์ใช้งานจริงกับระบบเครือข่ายแบบเคลื่อนที่ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง แบบจำลองที่เสนอนี้ สามารถประยุกต์ใช้เพื่อตอบสนองการใช้งานของกลุ่มผู้ใช้(MH)เป็นจำนวนมากได้



4. แบบจำลองที่เสนอนี้ สามารถเพิ่มช่องทางการสื่อสารด้วยระบบเครือข่ายเคลื่อนที่ สำหรับช่วยเหลือผู้ประสบภัยในสถานการณ์ต่างๆ เช่น อุทกภัย ภัยพิบัติ แผ่นดินไหว ดินถล่ม สึนามิ และอื่นๆได้ เนื่องแบบจำลองที่เสนอสามารถเพิ่มอุปกรณ์ที่มีเทคโนโลยีใหม่ๆและรองรับเชื่อมต่อกับโครงข่ายของผู้ให้บริการที่หลากหลายในอนาคตได้

### 5.5 ข้อจำกัดของงานวิจัย

เนื่องจากงานวิจัยนี้ เป็นการพัฒนาแบบจำลองการสื่อสารเคลื่อนที่ ซึ่งทดลองกับโปรแกรม MATLAB ไม่ได้ทดลองกับระบบและอุปกรณ์จริง จึงเป็นข้อจำกัดที่สำคัญยิ่งของงานวิจัยนี้ แต่สิ่งที่ทำให้งานวิจัยนี้มีความน่าเชื่อถือและมีความเป็นไปได้ในการนำไปประยุกต์ใช้งาน คือ การสร้างเหตุการณ์ที่ใกล้เคียงกับสภาพการทำงานจริงของระบบสื่อสารเคลื่อนที่ในปัจจุบันให้มากที่สุด เช่น การจำลองจำนวนผู้ใช้แบบสุ่ม การสร้างสัญญาณรบกวนแบบ AWGN การใช้ฟังก์ชัน Rayleigh Fading , Doppler Shift เป็นต้น

### 5.6 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

แนวทางการพัฒนาต่อจากงานวิจัยนี้ สามารถพัฒนาเทคนิคการส่งข้อมูลของผู้ใช้ในอุปกรณ์หลักของระบบ เช่น Mobile Router , Access Router และ Base Station หรือ Access Point เพื่อลดเวลาในการแฮนด์ออฟและลดการสูญเสียแพ็คเก็ตเกิดในระหว่างการแฮนด์ออฟ อีกทั้ง การทดสอบประสิทธิภาพในระบบสื่อสาร 4G และ 5G ซึ่งจะเป็นประโยชน์อย่างสูงในการสื่อสารข้อมูลด้านมัลติมีเดียแบบเรียลไทม์(Real time)ในอนาคต

กรม  
การ  
การ  
การ

บรรณานุกรม

## ภาษาไทย

## บทความ

บงการ หอมนาน. (2546). “การเปรียบเทียบคุณลักษณะแฮนด์ออฟระหว่างวิธี BRS และ PDS สำหรับโครงข่ายไอพีไร้สาย”. *การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 26 (EECON-26) 6-7 พฤศจิกายน 2546*. หน้า 1512-1517.

สุพิชญา จันทร์พ่อง และ กัญญาณัฐ เหล่าถาวร. (2552). “Mobile Network on Router”. *งานประชุมวิชาการ ECTI-CARD May 2009 Bangkok Thailand*. หน้า 237-240.

## ภาษาต่างประเทศ

## BOOKS

Hiroshi Harada and Ramjee Prasad. (2003). “*Simulation and Software Radio for Mobile Communications*”, Artech House Universal Personal Communications, ISBN 1-58053-044-3.

Mare Blanchet. (2006). “*Migrating to IPv6 A Practical Guide to Implementing IPv6 in Mobile and Fixed Networks*”, John Wiley & Son, Ltd. , ISBN 0-471-49892-0.

Rajeev S. Koodli and Charles E. Perkins. (2007). “*Mobile Inter-Networking with IPv6*”. John Wiley & Son, Ltd., ISBN 978-0-471-68165-6.

William H. Tranter K. Sam Shanmugan Theodore S. Rappaport and Kurt L. Kosbar. (2004). “*Principles of Communication System Simulation with Wireless Application*”. Prentice Hall, ISBN-10: 0-13-494790-8.

## ARTICLES

Ahmed Helmy, Muhammad Jaseemuddin, and Ganesha Bhaskara. (2004, May). “Multicast-based Mobility: A Novel Architecture for Efficient Micro-Mobility”. *IEEE Journal on Selected Areas in Communication*. 22(4), pp. 677-690.

- Ahmed A. Mosa, Alisha Hassan and Othaman O. Khalifa. (2011, May). "Evaluation of NEMO-Based Approches for Route Optimization". *4<sup>th</sup> International Conference on Mechatronics (ICOM), Kuala Lumpur Malaysia*, pp. 1-7.
- Antonie Stephane and A. H. Aghvami. (2001). "Fast Handover Scheme for Future Wireless IP Networks: A Proposal and Analysis". *Vehicular Technology Conference 2001 IEEE VTS 53<sup>rd</sup>*, pp. 2046-2050.
- Bongkan Homnan. (2003). "The Comparison of Handoffs Characteristics between BRS and PDS Schemes for Wireless IP Networks". *26<sup>th</sup> Electrical Engineering Conference 2003 (EECON-26)*, pp.1512-1517.
- Chun-Hsin Wu, Ann-Tzung Cheng, Shao-Ting Lee, Jan-Ming Ho and Der-Tsai Lee. (2002). "Bi-direction route optimization in mobile IP over wireless LAN". *Proceedings VTC 2002 IEEE 56<sup>th</sup> vol. 2*, pp. 1168-1172.
- H. C. B. Chan, H. M. Alnuweiri and V. C. M. Leung. (1999, June). "A Framework for Optimizing the Cost and Performance of Next-Generation IP Routers". *IEEE Journal on Selected areas of communications*, 17(6), pp. 1013-1029.
- Hui-Min Huang and Jia-Lin Chang. (2009, December). "A Novel Handoff Method for Integrated 3G and NEMO Network". *Joint Conferences on Pervasive Computing (JCPC)*. pp. 793-798.
- Hui-Min Huang and Jia-Lin Chang. (2011). "Complete Handoff Tactics for the Integrated 3G and NEMO Network". *Biomedical Electronics & Communications*, pp. 323-328.
- Mariya Benamar , Meknes Morocco , Mohammed El Koutbi and Abdelatif Mezrioui. (2010, May). "Reducing dogleg routing in Mobile IPv6 by the enhancement of Home Agent deployment". *ECTI-CON 2010*, pp. 904-908.
- Ming-Chin Chuang and Jeng-Farn Lee. (2011). "FH-PMIPv6 : A Fast Handoff Scheme in Proxy Mobile IPv6 Networks". *Consumer Electronics Communications and Networks (CECNet) IEEE 2011*, pp. 1297-1300.
- Nicolas Montavont and Thomas Noel. (2002). "Handover Management for Mobile Nodes in IPv6 Networks". *Communications Magazine, IEEE 2002*, 40(8), pp. 38-43.

Shilpy Gupta and Sapna Gambhir. (2010, December). “An Improved Architecture for Minimizing Handover Latency in MIPv6”. *Methods and Models in Computer Science (ICM2CS)*, pp. 106-111.

Vasos Vassiliou and Zinon Zinonos. (2009, December). “An Analysis of the Handover Latency Components in Mobile IPv6”. *Journal of Internet Engineering*. 3(1), pp. 230-240.

### ELECTRONIC SOURCES

Conta, A. and S. Deering. (1998). Generic Packet Tunneling in IPv6 Specification. Retrieved September 2011,  
from <http://tools.ietf.org/pdf/rfc2473.pdf>.

C. Perkins, D. Johnson and J. Arkko. (2011). Mobility Support in IPv6. Retrieved September 2011,  
from <http://tools.ietf.org/rfc/rfc6275.txt>.

S. Gundavelli, K. Leung, V. Devarapalli, K. Chowdhury, and B. Patil. (2008). Proxy Mobile IPv6. Retrieved December 2011,  
from <http://www.hjp.at/doc/rfc/rfc5779.html>.

S. Thompson and T. Narten. (1998). IPv6 Stateless Address Autoconfiguration. Retrieved December 2011,  
from <http://tools.ietf.org/pdf/rfc2462.pdf>.

S. Thomson , T. Narten and T. Jinmei. (2007). IPv6 Stateless Address Autoconfiguration. Retrieved November 2011,  
from <http://tools.ietf.org/html/rfc4862.html>.

Srinivasan Seshan. (1995). “Low-Latency Handoff for Cellular Data Networks”, Retrieved March 2013,  
from <http://www.eecs.berkeley.edu/Pubs/TechRpts/1996/CSD-96-899.pdf>.

V. Devarapalli, R. Wakikawa , A. Petrescu and P. Thubert. (2005). Network Mobility (NEMO) Basic Support Protocol. Retrieved September 2011,  
from <http://tools.ietf.org/html/rfc4862.html>.

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล

ครรชิต ไชยคำนวน

ประวัติการศึกษา

ปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต ปีการศึกษา 2542

สาขาเทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์คอมพิวเตอร์

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม

สถานที่ทำงานปัจจุบัน

หัวหน้าฝ่ายระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์

บริษัท ไมครอน เน็ตเวิร์ค เทคโนโลยี จำกัด

เลขที่ 78/145 ซอยพระยาสุเรนทร์ 19 ถนนพระยาสุเรนทร์

แขวงบางชัน เขตคลองสามวา กรุงเทพฯ 10510