บทที่ 3

การออกแบบระบบเครือข่าย SIP/MIPv6

จากบทที่ 2 แสดงให้เห็นถึงความสามารถของโปรโตคอล SIP และ Mobile IP ในแง่ของการทำโมไบลิตี้ ซึ่งจะพบว่าแต่ละโปรโตคอลมีขอบเขตการทำงานและความสามารถแตกต่างกัน หากพิจารณาถึงการนำเอาทั้ง 2 โปรโตคอลมาใช้งานในระบบไอพีเทเลโฟนนี่หรือการส่งข้อมูลภาพและเสียงบนระบบเครือข่ายไอพีจะส่งผลให้ระบบที่ได้มีความสามารถในการติดต่อระหว่างทั้งผู้ใช้ที่เป็นโหนดไม่เคลื่อนที่และโหนดเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นงานวิจัยนี้จะเสนอระบบเครือข่ายใหม่ที่มีการใช้ทั้ง 2 โปรโตคอลทำงานร่วมกัน ซึ่งเรียกว่า ระบบเครือข่าย SIP/MIPv6 โดยมีการทำงานอยู่บนระบบเครือข่ายไอพีรุ่นที่ 6 ดังนั้นในบทนี้จะอธิบายโครงสร้างของระบบเครือข่าย SIP/MIPv6 ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อที่สำคัญด้วยกัน หัวข้อที่ 3.1 จะกล่าวถึงการนำโปรโตคอล SIP มาใช้งานในระบบเครือข่ายไอพีรุ่นที่ 6 หัวข้อที่ 3.2 อธิบายถึงการออกแบบโครงสร้างของระบบเครือข่าย SIP/MIPv6 และหัวข้อสุดท้ายอธิบายถึงรูปแบบของลำดับสัญญาณในกรณีต่างๆซึ่งทำงานบนระบบเครือข่าย SIP/MIPv6

3.1 โปรโตคอล SIP บนไอพีรุ่นที่ 6

เนื่องการโปรโตคอล MIPv6 มีการทำงานอยู่บนระบบเครือข่ายไอพีรุ่นที่ 6 ดังนั้นการนำโปรโตคอล SIP มาใช้งานร่วมกับโปรโตคอล MIPv6 จึงจำเป็นต้องนำโปรโตคอล SIP มาทำงานอยู่บนระบบเครือข่ายไอพีรุ่นที่ 6 ด้วย ซึ่งในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงส่วนที่เกี่ยวข้องหรือได้รับผลกระทบเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงจากการใช้งานโปรโตคอล SIP บนระบบเครือข่ายไอพีรุ่นที่ 4 ไปเป็นระบบเครือข่ายไอพีรุ่นที่ 6 โดยผลกระทบดังกล่าวสามารถสรุปได้ 2 ประการด้วยกัน คือ ผลกระทบต่อรูปแบบการอ้างอิงหมายเลขไอพีสำหรับชื่อ SIP URL และผลกระทบต่อรูปแบบการแลกเปลี่ยนข้อมูลหมายเลขไอพีสำหรับโปรโตคอล SDP

3.1.1 BNF (Backus-Naur Form) & ABNF (Augmented BNF)

BNF คือ มาตรฐานในการระบุรูปแบบหรือไวยากรณ์รูปแบบหนึ่ง ซึ่งถูกนำมาใช้

ในการสร้างสัญญาณของ SIP โดย ABNF เป็นมาตรฐานที่ได้เกิดจากการปรับปรุง BNF โดยในการ

กำหนดค่า URI (Uniform Resource Identifiers) เพื่อใช้ในการระบุหรืออ้างอิงผู้ใช้งานตามมาตรฐาน SIP ซึ่งมีการนิยามไว้ใน RFC 2396 ซึ่งมีการนิยามปรับปรุงดังนี้

```
uri =                ; defined in RFC 2396
multicast-address =   IP4-multicast | IP6-multicast
IP4-multicast =      m1 3*( "." decimal-uchar )
                              "/" ttl [ "/" integer ]
                              ; IPv4 multicast addresses may be in the
                              ; range 224.0.0.0 to 239.255.255.255
m1 =                ("22" ("4"|"5"|"6"|"7"|"8"|"9")) | ("23" DIGIT ))
IP6-multicast =      hexpart
                              ; IPv6 address starting with FF
addr =              FQDN | unicast-address
FQDN =               4*(alpha-numeric|"-"|".")
                              ; fully qualified domain name as specified


unicast-address =    IP4-address | IP6-address
```

```
IP6-address =  hexpart [":" IP4-address]
hexpart      =  hexseq | hexseq "::" [ hexseq ] | "::" [ hexseq ]
hexseq       =  hex4 *( ":" hex4)
hex4         = 1*4HEXDIG
```

ในที่นี้จะอธิบายในส่วนของ IP6-address ซึ่งเป็นการปรับปรุงเพื่อรองรับไอพีรุ่นที่ 6 ดังนี้

ส่วน IP6-address = hexpart [":" IP4-address]

- เป็นการนิยามครอบคลุมถึงการทำ IPv6 Address with Embedded IPv4 Address ซึ่งการอ้างอิง IPv6 โดยกำหนดจาก IPv4 นั้นสามารถทำได้โดยกำหนดให้ ค่า prefix 96 bits แรกมีค่าเป็น 0 ทั้งหมด แล้วต่อด้วยค่า IPv4 อีก 32 bits เพื่อให้ได้ 128 bits ตาม IPv6

hexpart = hexseq | hexseq "::" [hexseq] | "::" [hexseq]

hexseq = hex4 *(":" hex4)

hex4 = 1*4HEXDIG → 1 ชุดมีเลขฐานสิบหก 4 ตัว

- hexpart คือค่าเอดเดรสที่ประกอบด้วยเลขฐานสิบหกประกอบกันเป็นชุดๆ รวม 8 ชุด แต่ละชุดมีขนาด 2 bytes และต่อกันด้วยเครื่องหมาย : (Colon)

ตัวอย่างเช่น 3ffe:b80:1e99:1:208:74ff:fed4:c92d เป็นต้น

และในบางช่วงของเลขอาจถูกละไว้ได้ในกรณีที่เป็น 0 ด้วยสัญญาณ :: (Double-Colon)

ตัวอย่างเช่น 12AB:0000:0000:CD30:0000:0000:0000:0000 มีค่าเท่ากับ 12AB::CD30:0:0:0:0 เป็นต้น

3.1.2 SDP (Session Description Protocol) on IPv6

ในการส่งสัญญาณตามมาตรฐาน SIP มีการนิยามส่วนของสัญญาณควบคุมที่ถูกส่งเพื่อบอกค่าความสามารถของข้อมูลพหุสื่อที่จะส่ง (Media Capability) ด้วยโปรโตคอล SDP (Session Description Protocol) โดยค่าที่ถูกส่งไปด้วยสัญญาณของ SDP นั้นประกอบด้วย

1. ชนิดของข้อมูลพหุสื่อ (Media Type) ได้แก่ ข้อมูลเสียง (Audio), ข้อมูลภาพ (Video) เป็นต้น
2. มาตรฐานการเข้ารหัสข้อมูลของพหุสื่อ (Media Codec) ได้แก่ Audio Codec – G.711, G.723 Video Codec – JPEG, MPEG, H.263 เป็นต้น
3. หมายเลขไอพี (IP Address)
4. หมายเลขพอร์ท (Port)

เนื่องจากข้อมูลในส่วนของ SDP มีการระบุหมายเลขไอพีจึงเป็นผลให้มีการเปลี่ยนแปลงมาตรฐานของ SDP เพื่อให้รองรับไอพีรุ่นที่ 6 ซึ่งมีขนาดมากขึ้นจากไอพีรุ่นที่ 4

รูปที่ 16 แสดงค่า type form ของ SDP ทั้งหมด ซึ่งสามารถระบุเฉพาะ type form ที่เกี่ยวพันกับหมายเลขไอพีและได้รับผลกระทบจากไอพีรุ่นที่ 6 ดังนี้

Type Form: “o=” ใช้ในการบอกข้อมูลต่างๆของผู้สร้างหรือเจ้าของเซสชันซึ่งรวมถึงหมายเลขไอพี

Type Form: “c=” ใช้ในการบอกข้อมูลเกี่ยวกับการเชื่อมต่อของเซสชันนี้ซึ่งอาจกำหนดเป็นชื่อของเครื่องหรือหมายเลขไอพี

Session description
- v= (protocol version)
- o= (owner/creator and session identifier).
- s= (session name)
- i=* (session information)
- u=* (URI of description)
- e=* (email address)
- p=* (phone number)
- c=* (connection information - not required if included in all media)
- b=* (bandwidth information)
- One or more time descriptions (see below)
- z=* (time zone adjustments)
- k=* (encryption key)
- a=* (zero or more session attribute lines)

Time description
- t= (time the session is active)
- r=* (zero or more repeat times)

Media description
- m= (media name and transport address)
- i=* (media title)
- c=* (connection information - optional if included at session-level)
- b=* (bandwidth information)
- k=* (encryption key)
- a=* (zero or more media attribute lines)

รูปที่ 16 แสดงค่า type form ของ SDP ทั้งหมด

โดยทั้ง 2 Type Form สามารถใช้ BNF ในการอ้างอิงเพื่อกำหนดรูปแบบของไอพีรุ่นที่ 6 ได้ดังรูปที่ 17

```
v=0
o=nasa1 971731711378798081 0 IN IP6 2201:056D::112E:144A:1E24
s=(Almost) live video feed from Mars-II satellite
p=+1 713 555 1234
c=IN IP6 FF1E:03AD::7F2E:172A:1E24
t=3338481189 3370017201
m=audio 6000 RTP/AVP 2
a=rtpmap:2 G726-32/8000
m=video 6024 RTP/AVP 107
a=rtpmap:107 H263-1998/90000
```

รูปที่ 17 ตัวอย่าง SDP/IPv6

3.2 การออกแบบโครงสร้างของระบบเครือข่าย SIP/MIPv6

จากการศึกษาการทำงานของ MIPv6 และความสามารถของ SIP Mobility สามารถศึกษาประเด็นต่างๆที่สำคัญดังต่อไปนี้

1. การทำงานของ MIPv6 อยู่เพียงระดับชั้น Network ในขณะที่ SIP ทำงานในระดับชั้น Application

2. MIPv6 มีความสามารถในการทำ Hand Over สำหรับ Mobile Node โดยรองรับการรักษาการเชื่อมต่อของทุกๆโปรแกรมประยุกต์ ในขณะที่โปรโตคอล SIP สามารถรับผิดชอบการ Hand Over ในเซสชันของโปรโตคอล SIP เท่านั้น

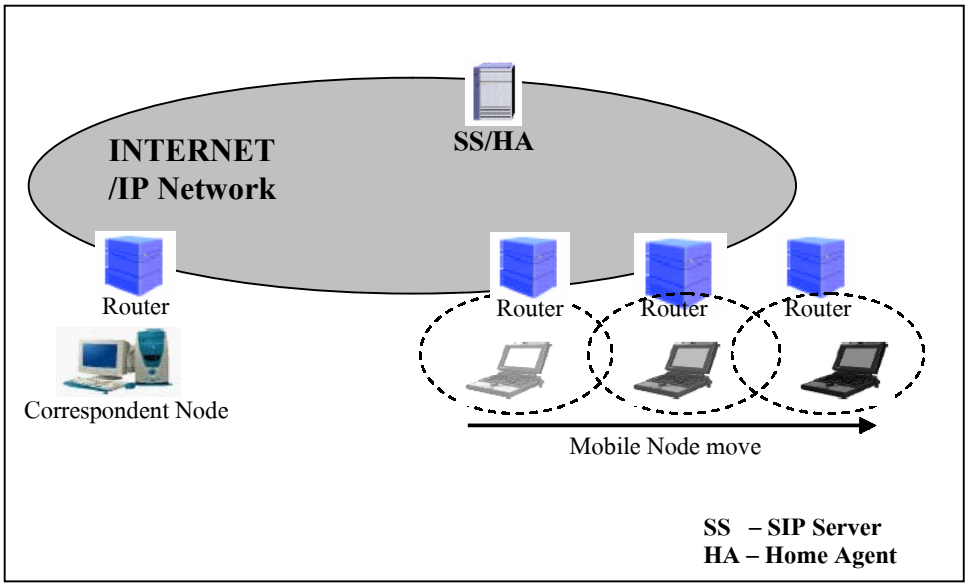
3. MIPv6 ทำให้หมายเลขไอพีที่เปลี่ยนแปลง เมื่อเปลี่ยนระบบเครือข่ายถูกซ่อนจากการทำงานของ Upper-Layer หรือ Application Layer

4. SIP สามารถให้ความสามารถโมไบลิตี้ได้หลายประเภท ได้แก่ Terminal Mobility, Personal Mobility (Multi-homing), Session Mobility, Terminal Mobility, Service Mobility

จากประเด็นดังกล่าวจึงได้ทำการออกแบบระบบโมไบลิตี้ใหม่ซึ่งสามารถทำโมไบลิตี้รูปแบบต่างๆ ด้วยโปรโตคอล SIP และรองรับการเคลื่อนย้ายข้ามระบบเครือข่ายด้วย MIPv6 ทำให้มีประสิทธิภาพและประโยชน์สูงสุดแก่ลูกข่ายภายในระบบโมไบลิตี้แบบใหม่ โดยมีลักษณะเด่นดังนี้

1. Multi-Layer Mobility System:ระบบเป็นการผสมผสานการทำงานระหว่าง MIPv6 และ SIP แม้ว่าจะมีการทำงานอยู่บนระดับชั้นต่างกัน
2. MIPv6 ถูกใช้สำหรับ Mobile Node เมื่อมีการเคลื่อนที่ข้ามระบบเครือข่าย (Hand Over) เท่านั้น
3. MIPv6 ช่วยให้การทำโมไบลิตี้ด้วย SIP ครอบคลุมการทำงานบน Mobile Node
4. ระบบมีการใช้งานโปรโตคอล SIP และ MIPv6 ร่วมกันทำให้สามารถทำ Personal Mobility กับทั้ง Fixed Node และ Mobile Node ได้
5. การทำ Terminal Mobility ด้วย SIP มีการทำงานร่วมกับ MIPv6 เพื่อให้สามารถทำ Hand Over ได้ประสิทธิภาพสูงสุด
6. การบริการและการทำงานของโปรโตคอล SIP ยังคงสามารถทำงานได้ดังเดิม (hold call, transfer call, forward call เป็นต้น)
7. Hierarchical Routing: ระบบมีการอ้างอิงตำแหน่งที่อยู่และการ route ข้อมูลแพ็กเกตเป็นไปตามลำดับชั้น ซึ่งเป็นผลจากการทำงานของระบบ SIP ที่มีการอ้างอิงที่อยู่ด้วย SIP URL เช่น a@psu.ac.th การติดต่อจะ route ไปยัง psu.ac.th ตามลำดับ เป็นต้น
8. สัญญาณของ SIP และ MIPv6 ที่ใช้ในระบบนี้เป็นไปตามมาตรฐาน ซึ่งช่วยให้โปรแกรมประยุกต์ที่มีการพัฒนาขึ้นด้วยโปรโตคอล SIP และ MIPv6 สามารถนำมาประยุกต์หรือปรับปรุงให้สามารถใช้งานในระบบนี้ได้

หมายเหตุ: ในที่นี้ Fixed Node อ้างอิงถึงโหนดที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้หรือโหนดที่ไม่มีการเคลื่อนที่ข้ามระบบเครือข่าย ณ ช่วงเวลาหนึ่ง



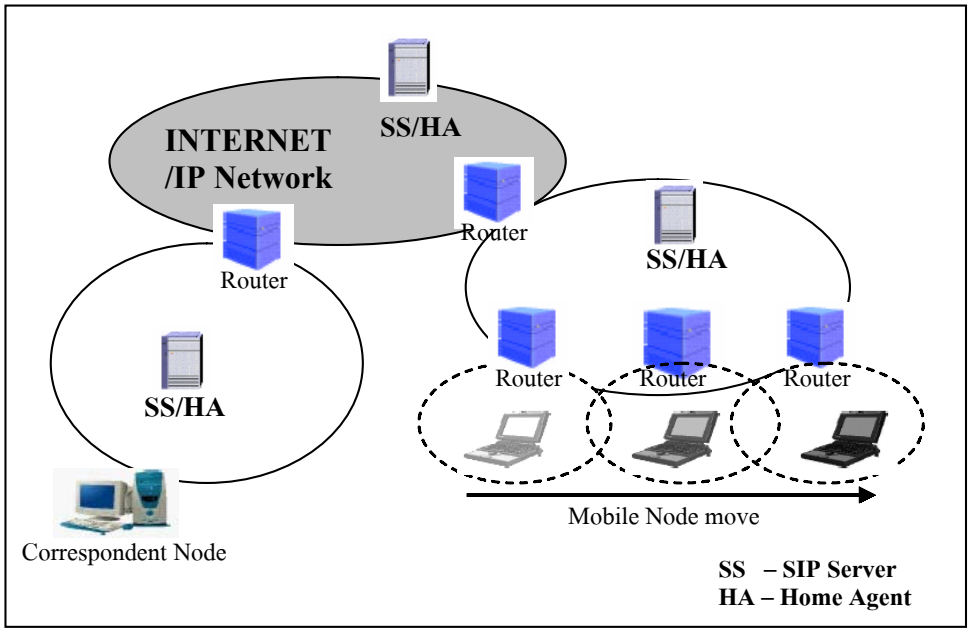
รูปที่ 18 แสดงโครงสร้างของระบบ SIP/MIPv6 Network

จากรูปที่ 18 แสดงโครงสร้างของระบบ SIP/MIPv6 Network เสนอการออกแบบโครงสร้างของระบบโมไบลิตี้ใหม่ ซึ่งมีการรวมการทำงานของ SIP และ MIPv6 เข้าด้วยกัน โหนดสำคัญของระบบนี้ คือ SS/HA หรือ SIP Server/Home Agent ซึ่งเป็นโหนดที่มีการทำงานร่วมกันระหว่าง SIP Server และ Home Agent

SIP Server/Home Agent เมื่อทำงานในระดับ Application มีหน้าที่เป็น SIP Server ที่สามารถทำงานในลักษณะทั้ง Proxy และ Redirect ขึ้นอยู่กับการทำโมไบลิตี้แต่ละประเภท ในการติดต่อระหว่างแต่ละคู่การติดต่อ จะต้องส่งสัญญาณ SIP control signaling ผ่าน SIP Server ทุกครั้งเมื่อเริ่มการติดต่อเพื่อให้ SIP Server สามารถควบคุม Call Flow ของแต่ละคู่การติดต่อได้ ในขณะเดียวกัน เมื่อ SIP Client ทำการเคลื่อนที่หรือทำ Hand Over ข้ามระบบเครือข่ายใดเครือข่ายหนึ่ง โหนด SS/HA จะทำงานเป็น Home Agent ช่วยในการเคลื่อนย้ายระบบเครือข่ายของ SIP Client นั้นๆได้ อย่างไรก็ตามโหนด SIP Server และ Home Agent สามารถทำงานแยกจากกันโดยแบ่งการทำงานออกเป็นโหนด SIP Server และโหนด Home Agent ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบและความเหมาะสมต่อระบบเครือข่ายหรือองค์กรนั้น แต่การแยกโหนด SIP Server และโหนด Home Agent ไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของ SIP/MIPv6

ในระบบ SIP/MIPv6 Network ทุกๆโหนดต้องสนับสนุนการทำงานของ MIPv6 เพื่อให้ Mobile Node สามารถทำ Hand Over โดยใช้ MIPv6 ได้ อย่างไรก็ตาม Correspondent Node ในระบบ SIP/MIPv6 Network อาจหมายถึง โหนดที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้ หรือโหนดที่ไม่มีการเคลื่อนที่ข้ามระบบเครือข่าย ณ ช่วงเวลาหนึ่ง ในขณะที่ Mobile Node ทำการเคลื่อนที่ข้ามระบบเครือข่ายและมีการ

เปลี่ยนแปลงหมายเลขไอพี สำหรับกรณีการเกิด Hand Over นี้ จำเป็นต้องมีการทดสอบเพื่อหาข้อสรุปถึงวิธีหรืออัลกอริทึมในการทำ Hand Over ด้วยโปรโตคอล SIP และ Mobile IP ซึ่งในส่วนนี้จะอธิบายในบทที่ 4 และบทที่ 5



รูปที่ 19 แสดงโครงสร้างของระบบ SIP/MIPv6 Multi-Domain Network

จากมาตรฐานของโปรโตคอล SIP โหนด SIP Server สามารถรองรับการทำ Authorization/Authentication เพื่อตรวจสอบสิทธิและการเข้าใช้งานในระบบเครือข่ายนั้นได้ ซึ่งการทำงานของ SIP Server เปรียบเสมือนผู้ดูแลระบบซึ่งรับผิดชอบการติดต่อมายังทุกโหนดในระบบเครือข่ายนั้น ดังนั้นหากพิจารณาถึงด้านระบบความปลอดภัย (Security) ให้สามารถควบคุมได้ง่ายขึ้นในแต่ละระบบเครือข่าย สามารถทำได้โดยกำหนดในแต่ละระบบเครือข่ายให้มี SIP Server/Home Agent เฉพาะสำหรับระบบนั้น ดังรูปที่ 19

3.3 รูปแบบลำดับสัญญาณในระบบเครือข่าย SIP/MIPv6

ขั้นตอนการทำงานของ SIP/MIPv6 ยังคงเหมือนกับขั้นตอนการทำงานตามมาตรฐานของ SIP ซึ่งประกอบด้วย 3 ขั้นตอนหลักดังนี้

1) Call Setup Session: เป็นช่วงเริ่มต้นการติดต่อด้วยการส่งสัญญาณร้องขอการติดต่อ โดยสัญญาณที่ใช้ในขั้นตอนการทำงานนี้ จะมีการระบุค่าข้อมูลเกี่ยวกับพหุสื่อของ

แต่ละฝ่ายด้วยโปรโตคอล SDP
ได้แก่ หมายเลขไอพี, พอร์ท, ชนิดของพหุสื่อ และรูปแบบการเข้ารหัสของพหุสื่อ เป็นต้น ดังนั้นในขั้นตอนนี้จะมีการแลกเปลี่ยนข้อมูลดังกล่าวระหว่างโหนดคู่การติดต่อ

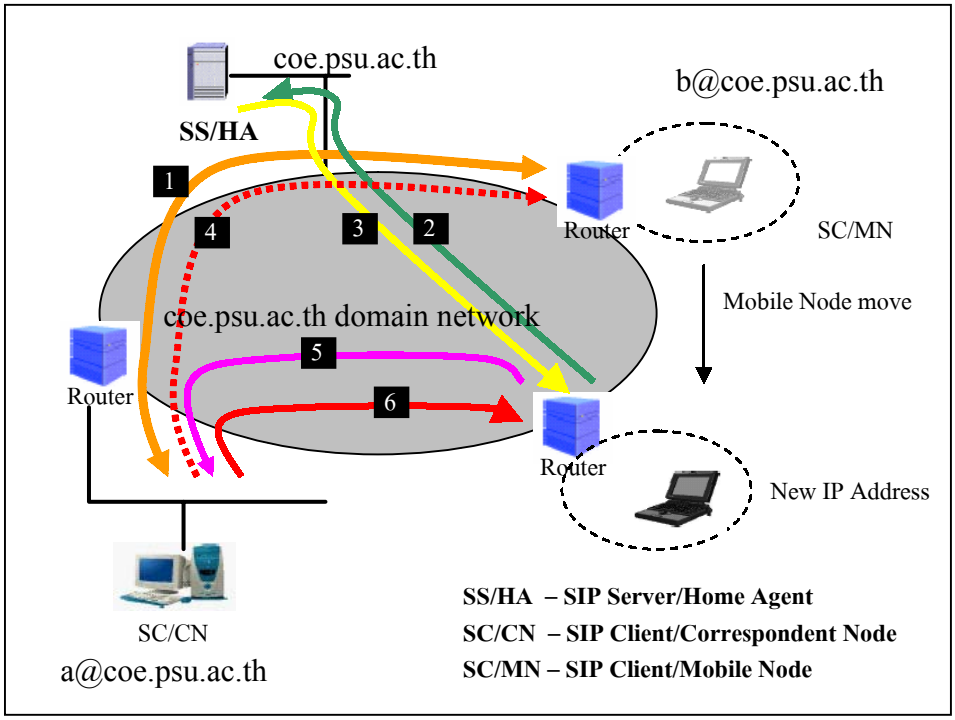
2) Media Stream Session: เป็นช่วงการส่งข้อมูลพหุสื่อตามที่ตกลงไว้ในขั้นตอน Call Setup
3) End Call Session: เป็นช่วงการส่งสัญญาณยกเลิกการส่งข้อมูลพหุสื่อและจบการติดต่อ

ลำดับสัญญาณพื้นฐานของระบบ SIP/MIPv6 ที่ได้ออกแบบนั้น สามารถสรุปได้ 2 กรณีด้วยกันดังต่อไปนี้

กรณีที่ 1: การเคลื่อนย้ายของ Mobile Node เกิดขึ้นหลังจากขั้นตอนการทำงานตามมาตรฐาน SIP

จากรูปที่ 20 แสดงขั้นตอนการส่งสัญญาณของโปรโตคอล SIP และ MIPv6 เมื่อโหนดปลายทางมีการเคลื่อนย้ายเครือข่ายหลังจากทำขั้นตอน Call Setup Session ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

1. SIP Client ชื่อ a ได้ทำการ register กับ SIP Server ชื่อ a@coe.psu.ac.th และ b ทำการ register ชื่อ b@coe.psu.ac.th จากนั้น a ทำการร้องขอการติดต่อไปยัง b จึงส่งสัญญาณตามลำดับขั้นตอนการทำ Call Setup ด้วยโปรโตคอล SIP เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอน Call Setup จึงเริ่มการส่งข้อมูลพหุสื่อจาก a ไปยัง b โดยไม่ผ่าน SS/HA



รูปที่ 20 แสดงขั้นตอนการส่งสัญญาณของ SIP/MIPv6 ในกรณีที่ 1

2. ในขณะที่ทำการส่งข้อมูลพหุสื่อระหว่าง a และ b นั้น โหนด b เกิดมีการเคลื่อนย้ายข้ามระบบเครือข่าย เมื่อ b เปลี่ยนระบบเครือข่ายเสร็จสิ้น จึงส่งสัญญาณ Binding Update ไปยัง SS/HA ด้วยโปรโตคอล MIPv6

3. จากนั้นโหนด SS/HA ส่งสัญญาณ Binding Acknowledgment กลับมายังโหนด b

4. ข้อมูล binding information ของโหนด a ยังคงไม่มีการ update จึงไม่ทราบว่าโหนด b มีการเปลี่ยนแปลงหมายเลขไอพี ดังนั้นข้อมูลพหุสื่อของโหนด a จึงระบุปลายทางไปยังหมายเลขไอพีเดิม ซึ่งเมื่อผ่าน SS/HA จึงทำการดักข้อมูลพหุสื่อแพ็กเกตนี้ไว้และทำการ tunneling ส่งต่อไปยังโหนด b ณ หมายเลขไอพีใหม่

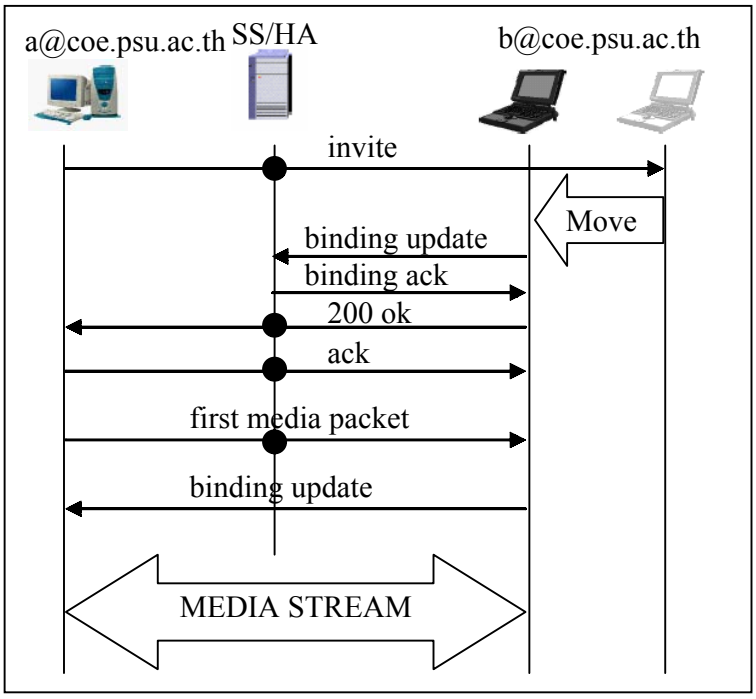
5. เมื่อโหนด b ได้รับข้อมูลพหุสื่อแพ็กเกตแรกนี้ จึงทราบว่าโหนด a ไม่ทราบการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง ดังนั้นโหนด b จึงส่งสัญญาณ Binding Update ไปยังโหนด a

6. เมื่อโหนด a ได้รับสัญญาณ Binding Update จากโหนด b ดังนั้นข้อมูลพหุสื่อ แพ็กเกตต่อมาจึงเป็นการส่งระหว่างโหนด a และโหนด b โดยตรง

จากกรณีที่ 1 นี้ พบว่าโปรโตคอล MIPv6 ถูกใช้ในขณะที่โหนด SIP Client มีการเคลื่อนย้ายข้ามระบบเครือข่ายโดยไม่มีผลกระทบต่อการทำงานของโปรโตคอล SIP และสามารถส่งข้อมูลพหุสื่อได้อย่างต่อเนื่อง

กรณีที่ 2: การเคลื่อนย้ายของ Mobile Node เกิดขึ้นในระหว่างขั้นตอนการทำงานตามมาตรฐาน SIP

สำหรับในกรณีที่ 2 เป็นการเคลื่อนย้ายของ SIP Client ที่เป็น Mobile Node โดยทำการเคลื่อนย้ายข้ามเปลี่ยนระบบเครือข่ายในขณะที่ขั้นตอนการทำงานของโปรโตคอล SIP ไม่เสร็จสิ้น เป็นผลให้สัญญาณของโปรโตคอล SIP ที่มีการส่งระหว่างโหนดคู่การติดต่อจำเป็นใช้ MIPv6 ช่วยเพื่อส่งสัญญาณของโปรโตคอล SIP เหล่านั้นถึงปลายทางได้อย่างถูกต้อง ซึ่งแตกต่างจากกรณีที่ 1 โดยกรณีที่ 1 การทำงานของ MIPv6 จะจัดการเฉพาะในส่วนของการส่งข้อมูลพหุสื่อเท่านั้น ในขณะที่กรณีที่ 2 การทำงานของ MIPv6 จะรับผิดชอบทั้งในส่วนการส่งสัญญาณของโปรโตคอล SIP และการส่งข้อมูลพหุสื่อ



รูปที่ 21 แสดงลำดับสัญญาณของ SIP/MIPv6 กรณีที่ 2

จากรูปที่ 21 แสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของระบบ SIP/MIPv6 ในกรณีที่โหนดปลายทางมีการเคลื่อนที่ขณะที่กระบวนการทำงานของโปรโตคอล SIP ยังไม่เสร็จสิ้น

1. โหนด SIP Client a และ b ทำการ register กับ SS/HA ด้วยชื่อ a@coe.psu.ac.th และ b@coe.psu.ac.th ตามลำดับ

2. โหนด SIP Client a ส่งสัญญาณร้องขอการติดต่อไปยังโหนด b ผ่าน SS/HA

3. เมื่อโหนด SIP Client b ได้รับสัญญาณ invite จาก SS/HA ซึ่งระบุต้นทางมาจากโหนด SIP Client a โดยในสัญญาณนี้มีข้อมูลหมายเลขไอพีของโหนด SIP Client a ติดมาโดยโปรโตคอล SDP จากนั้นโหนด SIP Client b มีการเคลื่อนย้ายระบบเครือข่าย

4. เมื่อ SIP Client b เคลื่อนย้านข้ามระบบเครือข่ายเรียบร้อยแล้ว จึงทำการส่งสัญญาณ Binding Update ไปยัง SS/HA

5. เมื่อ SS/HA ได้รับสัญญาณ Binding Update จึงส่งสัญญาณ binding acknowledgment กลับไปยังโหนด SIP Client b

6. เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอน Binding Update โหนด SIP Client จึงทำการส่งสัญญาณ OK ตามขั้นตอน Call Setup ของโปรโตคอล SIP ซึ่งมีระบุหมายเลขไอพีเดิมติดไปในส่วนของโปรโตคอล SDP เนื่องจากโปรโตคอล SIP ไม่ทราบการเปลี่ยนแปลงหมายเลขไอพี สัญญาณ ok นี้ถูกส่งผ่าน SS/HA ไปยังโหนด SIP Client a

7. เมื่อโหนด SIP Client ได้รับสัญญาณ ok จึงทำการส่งสัญญาณ ack ตอบกลับผ่านโหนด SS/HA ไปยังโหนด SIP Client b เป็นการเสร็จสิ้นขั้นตอนการทำ Call Setup

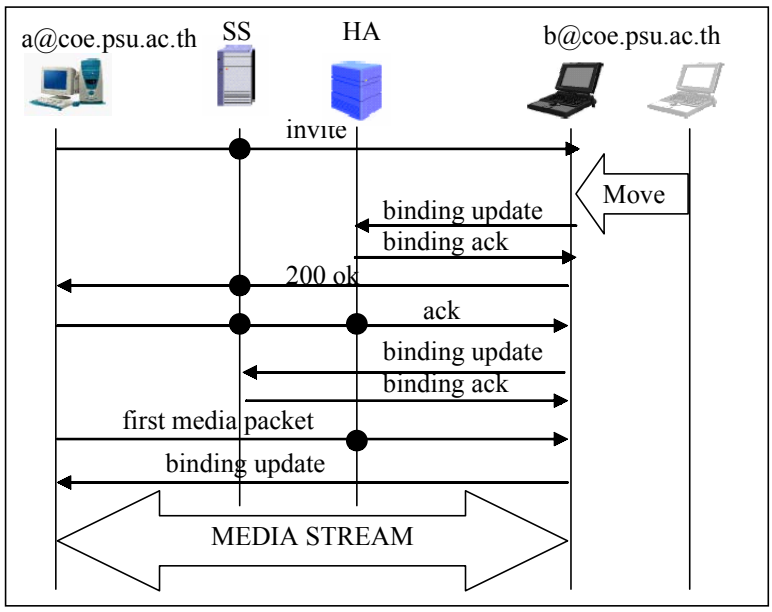
8. ข้อมูลพหุสื่อแพ็กเกตแรกออกจากโหนด SIP Client a โดยระบุหมายเลขไอพีปลายทางเป็นหมายเลขเดิมของโหนด SIP Client b ซึ่งจะถูกดักไว้โดยโหนด SS/HA และทำการ tunneling แพ็กเกตนี้ไปยังโหนด SIP Client b

9. เมื่อโหนด SIP Client b ได้รับข้อมูลพหุสื่อแพ็กเกตแรกนี้ จึงทำการส่งสัญญาณ Binding Update ไปยังโหนด SIP Client a โดยไม่ผ่าน SS/HA

10. เมื่อโหนด SIP Client a ได้รับสัญญาณ Binding Update ข้อมูลพหุสื่อแพ็กเกตต่อจากนี้จึงส่งระบุปลายทางไปยังหมายเลขไอพีของโหนด SIP Client b ปัจจุบัน

จากลำดับสัญญาณดังกล่าว พบว่าการทำงานของ SIP และ MIPv6 สามารถทำงานร่วมกันเพื่อให้สามารถทำงานเสร็จสิ้นในขั้นตอนการทำงานตามมาตรฐานของโปรโตคอล SIP และขั้น

ตอนการส่งข้อมูลพหุสื่อ แม้ว่าการเปลี่ยนหมายเลขไอพีของ Mobile Node จะถูกซ่อนจากการทำงานของโปรโตคอล SIP ก็ตาม



รูปที่ 22 แสดงลำดับสัญญาณของ SIP/MIPv6 กรณีที่ 2 เมื่อแยก SIP Server และ Home Agent

จากรูปที่ 22 แสดงลำดับสัญญาณของ SIP/MIPv6 กรณีที่ 2 เมื่อมีการแยกโหนด SS/HA ออกเป็น SIP Server และ Home Agent พบว่า การส่งสัญญาณ Binding Update จากโหนด SIP Client b หลังจากที่มีการเคลื่อนย้ายข้ามระบบเครือข่ายนั้นมีขั้นตอนของสัญญาณมากกว่าการรวมโหนด SIP Server และ Home Agent เข้าด้วยกัน

1. โหนด SIP Client a และ b ทำการ register กับ SS/HA ด้วยชื่อ a@coe.psu.ac.th และ b@coe.psu.ac.th ตามลำดับ

2. โหนด SIP Client a ส่งสัญญาณร้องขอการติดต่อไปยังโหนด SIP Client b ผ่าน SIP Server

3. โหนด SIP Client b ได้รับสัญญาณ invite จากโหนด SIP Client a จากนั้นเกิดการเคลื่อนย้ายข้ามระบบเครือข่าย เมื่อเคลื่อนย้ายเข้าสู่ระบบเครือข่ายใหม่เสร็จสิ้น จึงทำการส่งสัญญาณ Binding Update ไปยัง Home Agent

4. Home Agent จึงส่งสัญญาณ binding acknowledgment กลับไปยังโหนด SIP Client b พร้อมทำการ update binding information

5. โหนด SIP Client b ทำการส่งสัญญาณ ok ตามขั้นตอน Call Setup ไปยัง SIP Server ซึ่งมีส่วนของโปรโตคอล SDP ระบุหมายเลขไอพีเดิมของ SIP Client b ติดไปด้วย

6. SIP Server ทำการส่งสัญญาณ ok ต่อไปยังโหนด SIP Client a

7. โหนด SIP Client a ส่งสัญญาณ ack ตอบกลับไปยัง SIP Server

8. SIP Server ส่งสัญญาณ ack ต่อไปให้ SIP Client b โดยระบุหมายเลขไอพีเป็นหมายเลขเดิมของ SIP Client b ทำให้สัญญาณนี้ถูกดักไว้โดย Home Agent และถูกทำการ tunneling แพ็กเกตนี้แล้วส่งต่อไปยังโหนด SIP Client b

9. เมื่อโหนด SIP Client b ได้รับสัญญาณ ack จึงส่งสัญญาณ Binding Update ไปยัง SIP Server

10. SIP Server ส่งสัญญาณ binding acknowledgment ไปยัง SIP Client b พร้อม update binding information

11. ต่อมา เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการส่งข้อมูลพหุสื่อ ข้อมูลพหุสื่อถูกส่งออกจากโหนด SIP Client a ไปยังโหนด SIP Client b แต่ถูกดักไว้โดย Home Agent เนื่องจากระบุหมายเลขไอพีปลายทางเป็นหมายเลขไอพีเดิม ดังนั้น Home Agent จึงทำการ tunneling ข้อมูลพหุสื่อแพ็กเกตนี้แล้วส่งต่อไปยังโหนด SIP Client b

12. โหนด SIP Client b จึงทำการส่งสัญญาณ Binding Update ตรงไปยังโหนด SIP Client a

13. หลังจากนี้โหนด SIP Client a และ b จึงสามารถทำการส่งข้อมูลพหุสื่อโดยตรง

14. ในช่วงการส่งข้อมูลพหุสื่อนี้ หากโหนด SIP Client b มีการเคลื่อนย้ายข้ามระบบเครือข่าย โหนด SIP Client b จำเป็นต้องส่งสัญญาณ Binding Update ไปยังโหนด Home Agent และโหนด SIP Client a ใหม่ทุกครั้ง และส่งสัญญาณ Binding Update ไปยังโหนด SIP Server ใหม่เมื่อต้องการส่งสัญญาณด้วยโปรโตคอล SIP ผ่านโหนด SIP Server

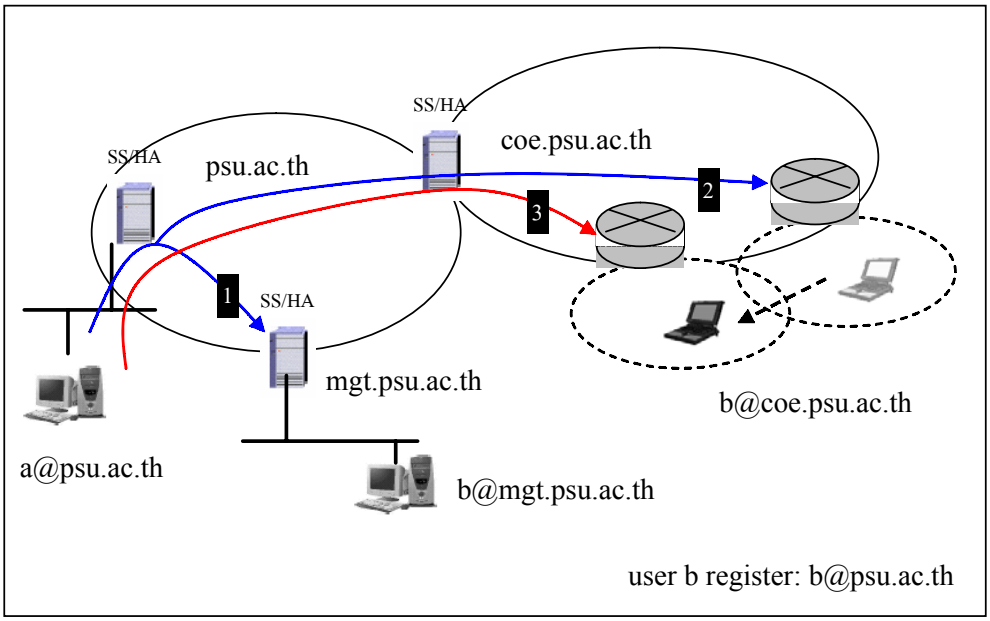
อย่างก็ตามในบางกรณีที่ต้องการเฉพาะการทำงานหรือหน้าที่เฉพาะอย่าง ระบบเครือข่ายนั้นสามารถแยกการทำงานของ SIP Server และ Home Agent ออกจากกันได้ แต่ต้องอาศัยความต้องการ

ของระบบเป็นเกณฑ์ในการออกแบบระบบ ตัวอย่างเช่น ระบบเครือข่ายหนึ่งต้องการ Home Agent เพียงตัวเดียว ซึ่งสามารถรองรับการเคลื่อนย้ายของ Mobile Node ตลอดทั้งระบบเครือข่ายได้ ดังนั้นระบบเครือข่ายนี้จึงสามารถมี Home Agent เพียงตัวเดียว เป็นต้น ในขณะที่โหนด SIP Server สามารถมีมากกว่าหนึ่งตัว ขึ้นอยู่กับระบบเครือข่ายย่อย เป็นต้น

จากโครงสร้างระบบ SIP/MIPv6 ทำให้สามารถทำโมไบลิตี้แบบ Personal Mobility หรือ Hierarchical Routing โดยออกแบบลำดับสัญญาณได้ดังนี้

Personal Mobility Call Flow

เป็นการทำโมไบลิตี้โดยอาศัยการเข้าถึงตำแหน่งที่อยู่ปลายทางแบบ Hierarchical ด้วย SIP URL ของโหนด SIP Client ปลายทาง ผ่านโหนด SIP Server ของแต่ละ Domain Network ที่รับผิดชอบแต่ละโหนด SIP Client ปลายทางนั้น



รูปที่ 23 แสดง Personal Mobility

จากรูปที่ 23 แสดง Personal Mobility ซึ่งมีระบบเครือข่าย Domain หลักคือ psu.ac.th และมี 2 ระบบเครือข่าย Domain ย่อย ได้แก่ mgt.psu.ac.th และ coe.psu.ac.th โดยโหนด SIP Client a ได้ทำการ register กับโหนด SIP Server psu.ac.th ด้วยชื่อ a@psu.ac.th และโหนด SIP Client b ทำการ register กับโหนด SIP Server psu.ac.th ด้วยชื่อ b@psu.ac.th โดยระบุ SIP URL ปลายทางไปที่ b@coe.psu.ac.th และ b@mgt.psu.ac.th

1. โหนด SIP Client a ต้องการส่งสัญญาณร้องขอการติดต่อไปยังโหนด SIP Client b ที่ b@psu.ac.th ดังนั้นโหนด SIP Client a จึงทำการส่งสัญญาณ invite ไปยัง SIP Server ที่ psu.ac.th เพื่อร้องขอการติดต่อ เมื่อโหนด SIP Server ที่ psu.ac.th ทำการตรวจสอบค่า SIP URL ปลายทางพบว่ามีค่า SIP URL ปลายทางระบุไว้ 2 ค่าด้วยกัน คือ b@coe.psu.ac.th และ b@mgt.psu.ac.th ดังนั้นโหนด SIP Server จึงทำการ forking สัญญาณไปยังตำแหน่งปลายทางทั้ง 2 ปรากฏว่าสัญญาณแรกไปที่ b@mgt.psu.ac.th ผ่านโหนด SIP Server ที่ mgt.psu.ac.th ซึ่งไม่มีสัญญาณตอบกลับหรือได้รับสัญญาณ Expire ตอบกลับมาจากโหนด SIP Server ที่ mgt.psu.ac.th
2. ต่อมาสัญญาณ invite อีกสัญญาณที่ถูก forking ออกไปยัง coe.psu.ac.th มีการตอบกลับมาจากโหนด SIP Client b ดังนั้นจึงสามารถดำเนินสัญญาณตามขั้นตอน Call Setup ได้
3. ต่อมาโหนด SIP Client b มีการเคลื่อนย้ายข้ามระบบเครือข่ายภายใน Domain ของ coe.psu.ac.th ดังนั้นโหนด SIP Client จึงส่งสัญญาณด้วย MIPv6 ทำ Binding Update ไปยัง SS/HA ที่ coe.psu.ac.th ดังนั้นข้อมูลแพ็กเกตแรกที่มาจากโหนด SIP Client a จึงถูก tunneling ไปยังโหนด SIP Client b ณ ตำแหน่งใหม่ โหนด SIP Client b ทำการส่งสัญญาณ Binding Update ตรงไปยังโหนด SIP Client a เป็นผลให้ข้อมูลแพ็กเกตจากโหนด SIP Client a ถูกส่งโดยตรงไปยังโหนด SIP Client b

3.4 สรุป

จากรูปแบบการทำโมไบลิตี้ของระบบ SIP/MIPv6 ที่ได้ออกแบบนั้น แสดงให้เห็นถึงการทำงานร่วมกันระหว่างโปรโตคอล SIP และ MIPv6 โดยดึงเอาความสามารถของแต่ละโปรโตคอลมาใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งสามารถสรุปรูปแบบการทำงานหลักๆ ได้ดังนี้

1. เมื่อ Mobile Node มีการเคลื่อนที่เปลี่ยนระบบเครือข่ายหลังจากเสร็จสิ้นขั้นตอนการทำงานของโปรโตคอล SIP แล้ว ด้วยความสามารถของโปรโตคอล MIPv6 ทำให้การส่งและรับข้อมูลพหุสื่อทำได้อย่างต่อเนื่อง

2. เมื่อ Mobile Node มีการเคลื่อนที่เปลี่ยนระบบเครือข่ายในระหว่างขั้นตอนการทำงานของโปรโตคอล SIP ด้วยความสามารถของโปรโตคอล MIPv6 ทำให้การส่งสัญญาณของโปรโตคอล SIP และการรับส่งข้อมูลพหุสื่อทำได้อย่างต่อเนื่อง

3. การทำงานของโปรโตคอล SIP และ MIPv6 มีการทำในระดับชั้นต่างๆกัน ทำให้สามารถแยกการทำงานของโหนด SIP Server และ Home Agent ออกจากกันได้

4. การทำ Personal Mobility สามารถทำได้แม้ว่ามีการนำเอาโปรโตคอล MIPv6 มาใช้งานร่วมด้วย

ดังนั้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงความสามารถและการทำงานของระบบ SIP/MIPv6 จึงต้องมีการพัฒนาโปรแกรมประยุกต์และติดตั้งระบบเครือข่าย SIP/MIPv6 เพื่อใช้ในการทดสอบการทำงานของระบบ ซึ่งจะอธิบายการติดตั้งและการทดสอบระบบเครือข่าย SIP/MIPv6 ในหัวข้อถัดไป