บทที่ 4

การทดสอบระบบเครือข่าย SIP/MIPv6

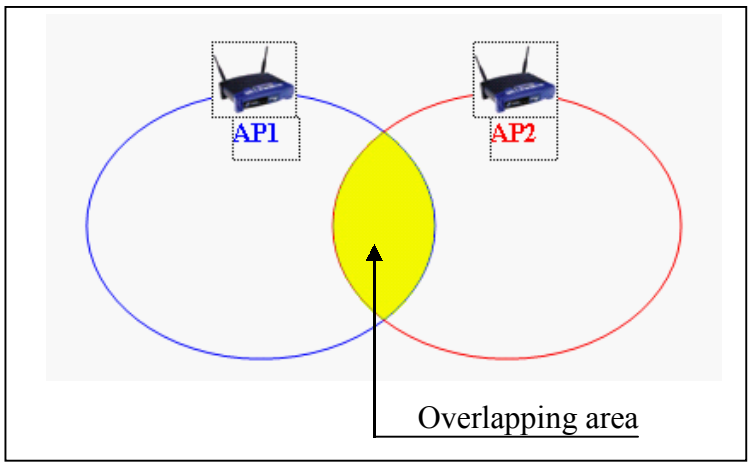
ในบทนี้จะอธิบายถึงการติดตั้งระบบเครือข่าย SIP/MIPv6 และการทดสอบการทำงานของระบบเครือข่ายนี้ โดยเน้นถึงประเด็นการเคลื่อนย้ายเปลี่ยนระบบเครือข่ายของโหนดเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อหลักด้วยกัน ได้แก่ หัวข้อที่ 4.1 อธิบายถึงการติดตั้งระบบเครือข่ายไร้สายและการทำงานของระบบเครือข่ายไร้สายเมื่อมีการเปลี่ยนระบบเครือข่าย และหัวข้อที่ 4.2 แสดงถึงระบบเครือข่าย SIP/MIPv6 ที่ใช้ในการทดสอบ พร้อมกับการทดสอบในแต่ละกรณี โดยได้ทำการพัฒนาโปรแกรมไอพีเทเลโฟนนี่ที่มีความสามารถในการรับและส่งข้อมูลภาพและเสียงพร้อมบริการกระดานสนทนา และทำการติดตั้งระบบ SIP/MIPv6 ขึ้น โดยสำหรับการออกแบบและพัฒนาโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้งานในการทดสอบสามารถศึกษารายละเอียดได้ในภาคผนวก

4.1 การติดตั้งระบบเครือข่ายไร้สาย

การติดตั้งระบบเครือข่ายไร้สายเพื่อใช้ในการทดสอบระบบ SIP/MIPv6 เป็นไปตามมาตรฐาน IEEE 802.11 โดยมาตรฐานนี้ถูกออกแบบและนำมาใช้งานตั้งแต่ปี 1997 เพื่อทำหน้าที่ในการควบคุมการทำงานในระดับชั้น Physical และ Data link ของมาตรฐาน OSI มาตรฐาน IEEE 802.11 ถูกออกแบบขึ้นในหลายรุ่นด้วยกันโดยแต่ละรุ่นมีความสามารถและขอบเขตการทำงานแตกต่างกัน เพื่อให้ได้มาซึ่งการ

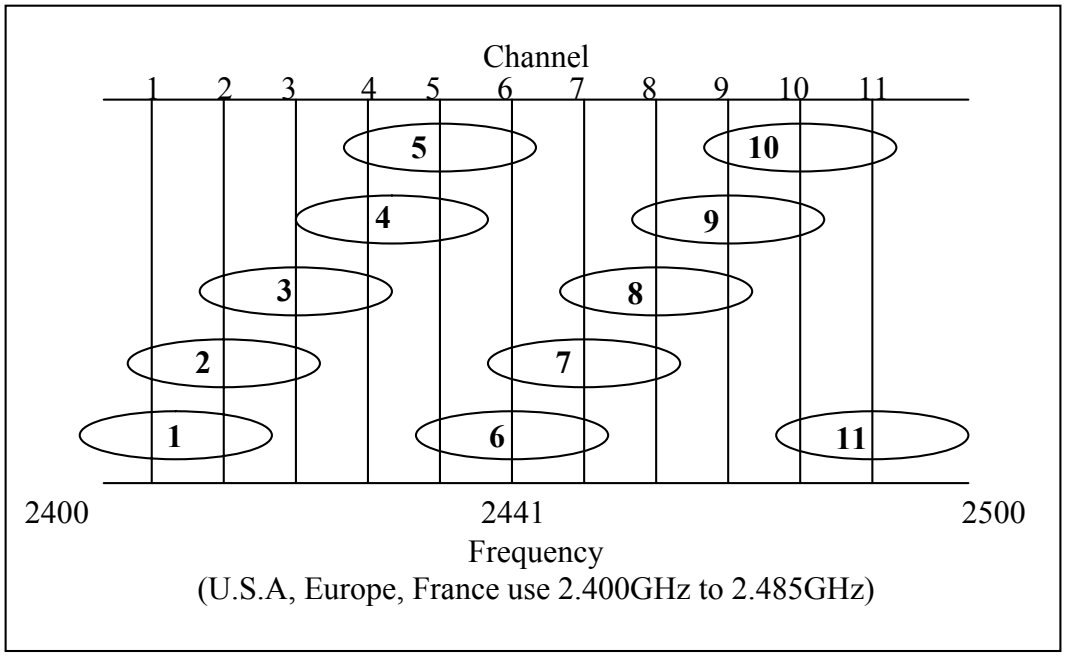
เปลี่ยนแปลงอัตราการส่งข้อมูลที่เหมาะสมหรือเทคนิค rate-shifting ซึ่งจะทำการลดหรือเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลง ระยะทาง (distance), ระดับสัญญาณ (signal quality) และความเข้มของสัญญาณ (strength)

สำหรับในการทดสอบ SIP/MIPv6 นี้จะใช้มาตรฐาน IEEE 802.11b ซึ่งใช้ความถี่ 2.4 GHz และส่งข้อมูลด้วยอัตราการส่งข้อมูล 11 Mbps ซึ่งปัจจุบันถูกเลือกใช้งานและเป็นที่นิยมในระบบ WLAN อย่างกว้างขวาง ในการกระจายสัญญาณวิทยุในแต่ละพื้นที่ในระบบเครือข่ายไร้สายจะมี AP (Access Point) ทำหน้าที่เป็นสถานีในการกระจายสัญญาณวิทยุในพื้นที่ระยะหนึ่งๆ



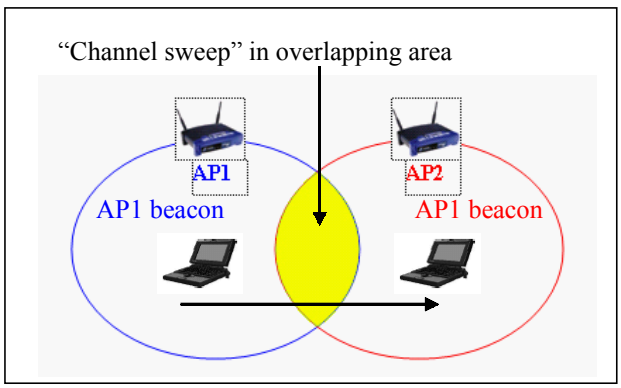
รูปที่ 24 แสดงส่วน Overlapping area

เนื่องจากในการส่งข้อมูลด้วยคลื่นสัญญาณวิทยุ (Radio Signal) ในช่วงพื้นที่ของ AP ที่มีส่วนซ้อนทับกัน (Overlapping Area) การวางระบบเครือข่ายไร้สายให้มีส่วนทับซ้อนกันเป็นประโยชน์เพื่อให้ข้อมูลสามารถถูกส่งได้อย่างต่อเนื่องเมื่อมีการเคลื่อนย้ายเปลี่ยนระหว่างพื้นที่ของ AP ดังรูปที่ 24 ซึ่งหากแต่ละ AP ที่อยู่ติดกันมีการใช้งานช่องสัญญาณเดียวกันทำให้ช่วงของความถี่ใกล้เคียงกันเป็นผลให้ในช่วงพื้นที่ซ้อนทับกันนั้นอาจเกิดการชนกันของข้อมูลขึ้นทำให้ข้อมูลที่ได้ผิดพลาดได้ ดังนั้นตามมาตรฐาน IEEE 802.11 ได้มีการกำหนดช่องสัญญาณ (Channel) ที่สามารถใช้งานได้แตกต่างกันเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว สำหรับ IEEE 802.11 ที่ใช้อ้างอิงตาม United States คือ 11 ช่องสัญญาณแตกต่างกัน ดังรูปที่ 25



รูปที่ 25 แสดง 11 ช่องสัญญาณ (radio channel) ตาม IEEE 802.11

จากรูปที่ 25 แสดง 11 ช่องสัญญาณซึ่งสามารถนำมาใช้ในระบบเครือข่ายไร้สาย โดยรองรับการวาง AP ต่อเนื่องกันโดยไม่เกิดการชนกันของสัญญาณด้วยช่องสัญญาณสูงสุด 3 ช่องสัญญาณด้วยกัน ซึ่งสังเกตจากรูปช่องสัญญาณที่ไม่มีส่วนทับซ้อนกันจะสามารถนำมาใช้งานต่อเนื่องกันได้ เช่น ช่องสัญญาณ 1, 6 และ 11 สามารถถูกนำมาใช้สำหรับการวาง AP ต่อเนื่องกันได้ เป็นต้น



รูปที่ 26 แสดงการเกิด Hand Over

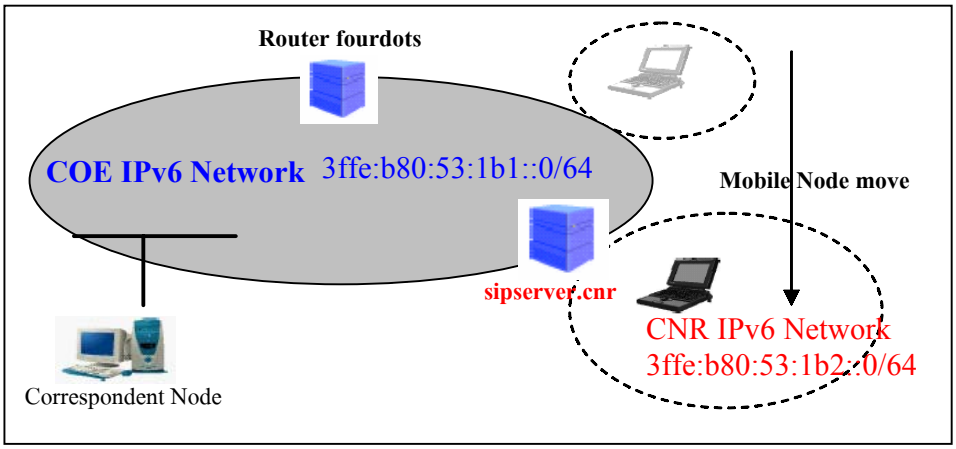
จากรูปที่ 26 แสดงการเกิด Hand Over ในการข้ามหรือเปลี่ยน AP ซึ่งตามมาตรฐาน 802.11 รองรับการเคลื่อนที่ของ Mobile Node ข้ามผ่าน AP หลายตัวได้ เมื่อ Mobile Node ทำการเคลื่อนที่จากพื้นที่ของ AP1 (AP1 beacon) เข้าสู่พื้นที่ซ้อนทับกัน ตัว Mobile Node จะทำการตรวจสอบหาช่องสัญญาณทั้งหมดที่สามารถรับได้ ขั้นตอนนี้ถูกเรียกว่า Channel Sweep จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบค่า radio quality

เพื่อเลือกช่องสัญญาณที่เหมาะสมซึ่งหมายถึง AP ที่ถูกต้อง โดยช่องสัญญาณที่ใช้สำหรับ AP1 และ AP2 จะต้องไม่เป็นช่องสัญญาณเดียวกัน

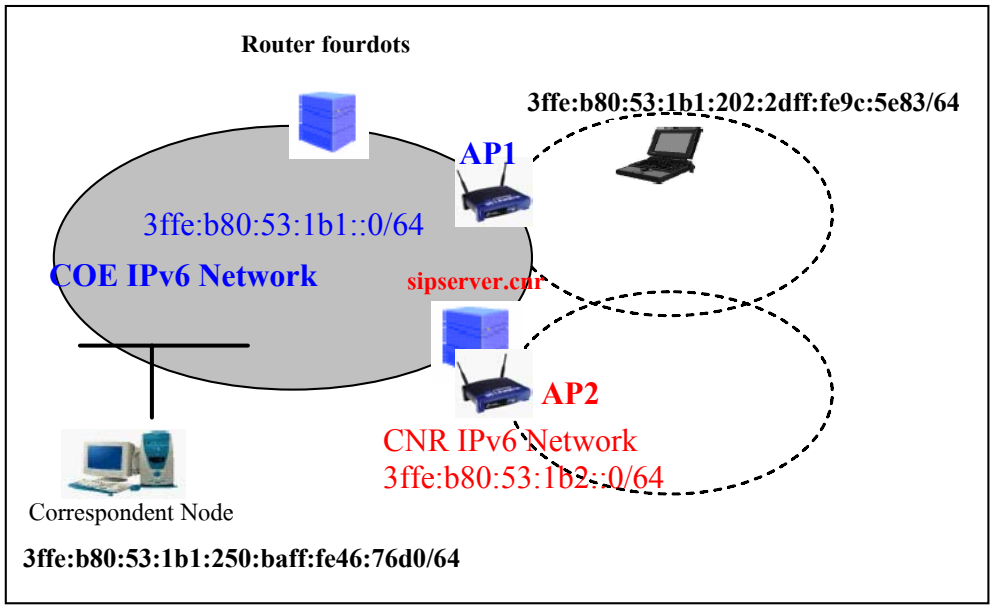
4.2 การทดสอบระบบ

รูปที่ 27 แสดงโครงสร้างระบบเครือข่ายที่ถูกออกแบบขึ้นเพื่อใช้ในการทดสอบระบบ SIP/MIPv6 ซึ่งประกอบด้วยระบบเครือข่าย COE IPv6 และ CNR IPv6 โดยภายในระบบเครือข่าย COE IPv6 มี router ชื่อ fourdots ทำหน้าที่ในการให้ค่า prefix 3ffe:b80:53:1b1::0/64 แก่ทุกๆ client ภายในระบบเครือข่าย COE IPv6 ในขณะเดียวกันภายในระบบเครือข่าย CNR IPv6 มี router ชื่อ sipserver.cnr ทำหน้าที่ในการให้ค่า prefix 3ffe:b80:53:1b2::0/64 อีกทั้งยังทำหน้าที่เป็น SIP Server สำหรับการให้บริการในระบบ IP Telephony และทำหน้าที่เป็น home agent สำหรับการให้บริการ Mobile IPv6 ร่วมด้วย โดยในการทดสอบจะทำการเคลื่อนย้าย Mobile Node ในขณะที่ทำการเชื่อมต่อกับ Correspondent Node จากระบบเครือข่าย COE IPv6 ไปยังระบบเครือข่าย CNR IPv6

โครงสร้างของระบบเครือข่ายที่ใช้ในการทดสอบระบบ SIP/MIPv6 เป็นไปดังรูป



รูปที่ 27 แสดงโครงสร้างระบบเครือข่ายที่ใช้ในการทดสอบ



รูปที่ 28 แสดงระบบ SIP/MIPv6 ที่ใช้ในการทดสอบ

จากรูปที่ 28 แสดงโครงสร้างระบบ SIP/MIPv6 ที่ใช้ในการทดสอบ โดยประกอบด้วยโหนดต่างๆดังต่อไปนี้

- CN (Correspondent Node) เป็นคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ มีหมายเลขไอพี คือ 3ffe:b80:53:1b1:250:baff:fe46:76d0/64
- MN (Mobile Node) เป็นคอมพิวเตอร์แบบพกพามีหมายเลขไอพี คือ 3ffe:b80:53:1b1:202:2dff:fe9c:5e83/64
- HA (Home Agent) & SIP Server เป็นคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ ชื่อเครื่อง sipserver.cnr มี 2 interface ได้แก่
    - Interface eth0 เชื่อมต่อไปยังระบบเครือข่าย COE IPv6 มีหมายเลขไอพี คือ 3ffe:b80:53:1b1:2d0:b7ff:fea6:64a/64
    - Interface eth1 เชื่อมต่อไปยังระบบเครือข่าย CNR IPv6 มีหมายเลขไอพี คือ 3ffe:b80:53:1b2:205:5dff:fe8b:4354/64
- AP (Access Point) มี 2 ตัว ได้แก่
    - AP1 มี MAC Address คือ 00:06:25:56:A5:7B
    - AP2 มี MAC Address คือ 00:06:25:24:2D:7B

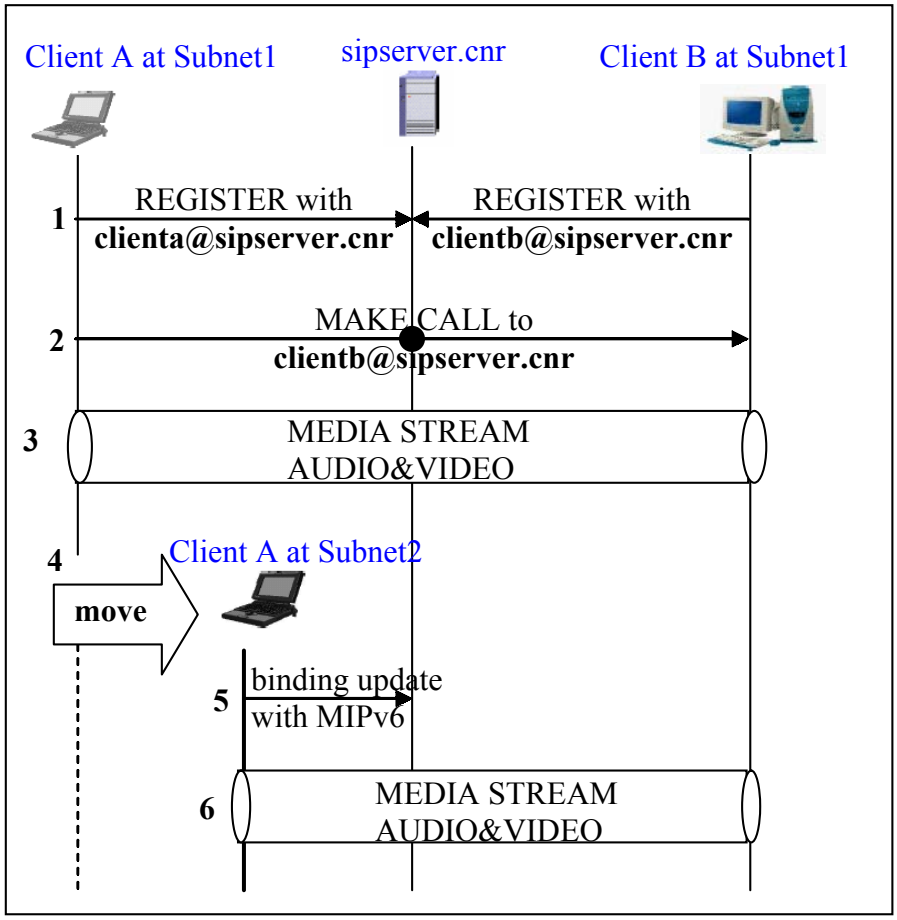
ข้อกำหนดในการทดสอบ

- เครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องที่ใช้ในการทดสอบถูกกำหนดให้ใช้งานเฉพาะค่า Prefix ที่ได้รับจากเครื่อง fourdots และเครื่อง sipserver.cnr เท่านั้น นั่นคือ 3ffe:b80:53:1b1::/64 และ 3ffe:b80:53:1b2::/64 ตามลำดับ
- ระบบปฏิบัติการณ์ที่ใช้บนเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้งหมดเป็นระบบปฏิบัติการ Linux
- ระยะห่างระหว่าง AP1 ถึง AP2 มีค่าเท่ากับ 10 เมตรและไม่มีสิ่งกีดขวาง
- ไม่มีการติดตั้งและใช้งาน DNSv6 ในการทดสอบนี้ แต่ใช้การกำหนดค่า host name ของแต่ละเครื่องคอมพิวเตอร์ให้รู้จักชื่อ sipserver.cnr เพื่อใช้ในการติดต่อไปยังเครื่อง SIP Server ได้
- ในที่นี้จะเรียกพื้นที่ในระบบเครือข่าย COE IPv6 ว่า “Subnet 1” และเรียกพื้นที่ในระบบเครือข่าย CNR IPv6 ว่า “Subnet 2”
- ในที่นี้กำหนดให้ค่าโหลดหรือค่าหน่วงเวลาภายในระบบเครือข่ายทั้งหมดมีค่าน้อยมากหรือเป็นศูนย์ หมายถึง ระบบไม่คับคั่ง (Not Congested)
- เครื่อง MN ถูกกำหนดให้ใช้ค่าหมายเลขไอพี 3ffe:b80:53:1b1:202:2dff:fe9c:5e83/64 เป็น Home Address ตลอดการทดสอบทุกกรณี

Scenario 1: ทำโมไบลิตี้ขณะเกิด Hand Over ด้วย SIP/MIPv6 โดยเคลื่อนที่เริ่มต้นจาก Subnet 1 ไปยัง Subnet 2

วัตถุประสงค์: เพื่อทำการทดสอบการทำ Hand Over โดยใช้ SIP/MIPv6 โดยเริ่มเคลื่อนที่จาก Home Network (Subnet 1) ไปยัง Foreign Network (Subnet 2)

สรุปขั้นตอนการทดสอบ Scenario 1



รูปที่ 29 แสดงขั้นตอนการทดสอบ Scenario 1

จากรูปที่ 29 แสดงขั้นตอนการทดสอบ Scenario 1 เป็นไปดังนี้

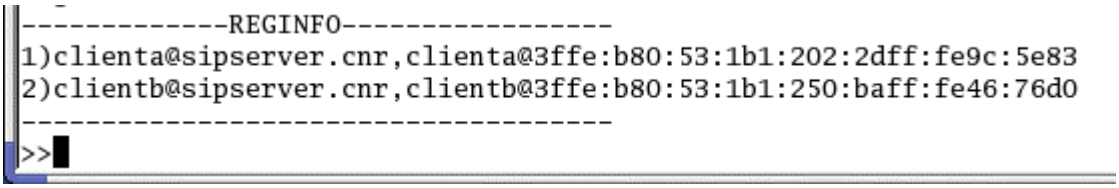
1) เครื่อง Client A และเครื่อง Client B ทำการลงทะเบียนไปยังเครื่อง sipserver.cnr ด้วยชื่อ clienta@sipserver.cnr และ clientb@sipserver.cnr ตามลำดับ
2) เครื่อง Client A ทำการโทรไปยังเครื่อง Client Bเมื่อ Client B ตอบรับการติดต่อเสร็จสิ้นจึงเริ่มทำการส่งข้อมูลพหุสื่อ
3) เครื่อง Client A และ Client B ทำการส่งข้อมูลทั้งภาพและเสียง
4) เครื่อง Client A ทำการเคลื่อนที่ย้ายจาก Subnet 1 ไปยัง Subnet 2 สังเกตได้จาก การได้รับค่า prefix ใหม่คือ 3ffe:b80:53:1b2::/64
5) เครื่อง Client A ทำการส่งสัญญาณ Binding Update ด้วย MIPv6 ไปยังเครื่อง sipserver.cnr เพื่อทำการ update ค่าหมายเลขไอพีค่าใหม่

6) ข้อมูลพหุสื่อจากเครื่อง Client A ยังคงถูกส่งต่อไปยังเครื่อง Client B ได้

รายละเอียดในการทดสอบเป็นไปดังนี้

เริ่มต้นทำการรัน radvd ที่เครื่อง sipserver.cnr เพื่อทำหน้าที่ในการให้ prefix 3ffe:b80:53:1b2::0/64 แก่ client ภายในเครือข่าย CNR IPv6 จากนั้นทำการรันโปรแกรม SIP Server และทำการรันโปรแกรม sipclient ที่เครื่อง MN และ CN ตามลำดับ

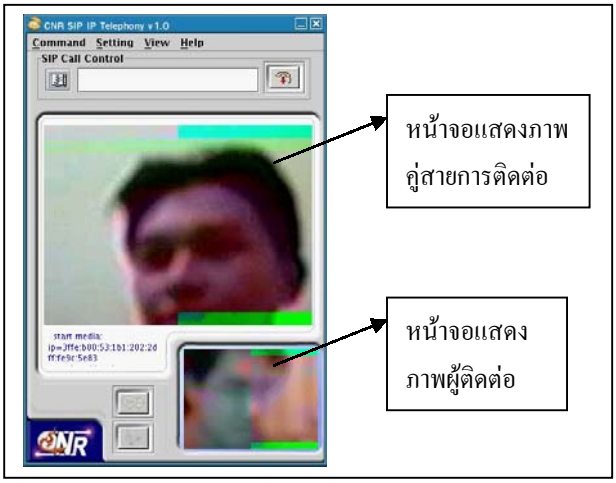
ทำการตรวจสอบการได้รับหมายเลขไอพี ด้วยคำสั่ง ifconfig ที่เครื่อง MN และ CN แล้วทำการ register ไปยังเครื่อง SIP Server



รูปที่ 30 แสดงข้อมูลการลงทะเบียนของ MN และ CN

จากรูปที่ 30 ทำการลงทะเบียนด้วยชื่อ clienta@sipserver.cnr สำหรับเครื่อง MN และ clientb@sipserver.cnr สำหรับเครื่อง CN ซึ่งมีการเก็บ list ข้อมูลของผู้ใช้ที่ทำการลงทะเบียนไว้ ณ เครื่อง SIP Server

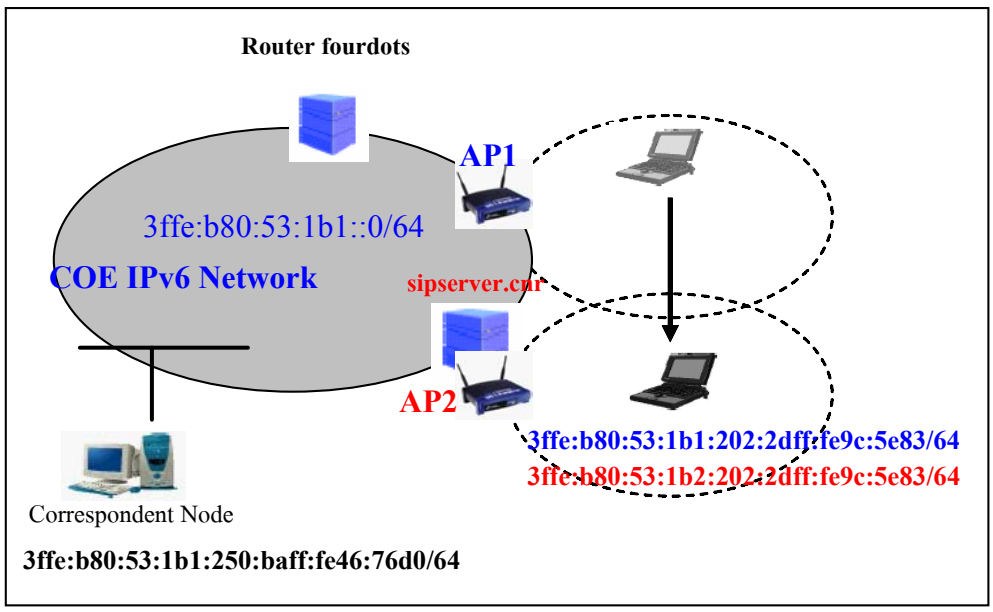
เริ่มการเชื่อมต่อโดย clienta ทำการโทรไปยัง clientb โดยส่งสัญญาณ SIP ผ่านตัว SIP Server ทั้งหมด เมื่อ clientb ตอบรับการติดต่อ สัญญาณ SIP จะถูกส่งติดต่อกันระหว่าง clienta และ clientb เพื่อทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลเกี่ยวกับพหุสื่อที่ต้องการรับและส่ง ซึ่งในที่นี้ทำการทดสอบด้วยข้อมูลเสียงแบบ G.723 และข้อมูลภาพแบบ JPEG



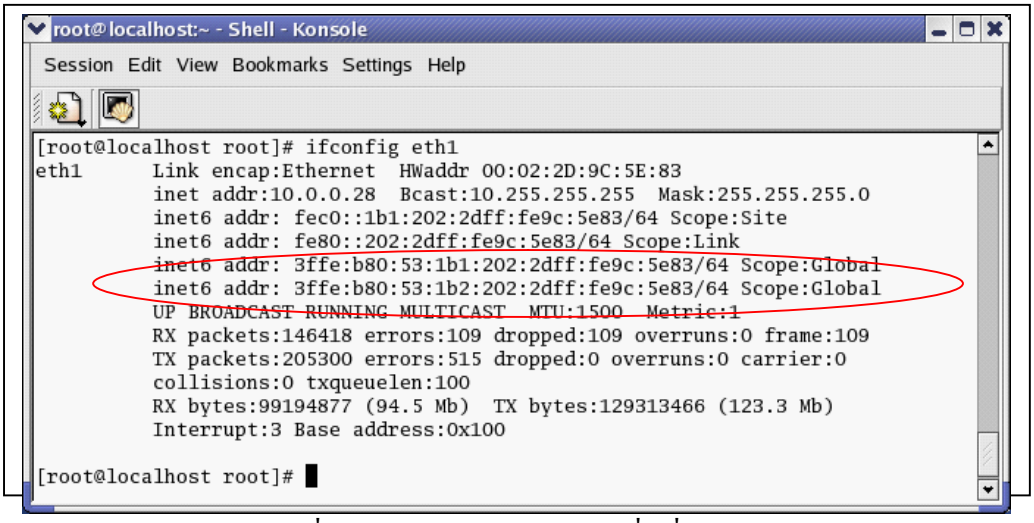
รูปที่ 31 แสดงหน้าจอโปรแกรม sipclient ที่ใช้ในการทดสอบ

จากรูปที่ 31 แสดงหน้าจอโปรแกรม sipclient ที่เครื่อง MN ซึ่งทำการเชื่อมต่อไปยังเครื่อง CN เป็นผลสำเร็จ โปรแกรมจะทำการส่ง-รับข้อมูลทั้งภาพและเสียงด้วยโปรโตคอล RTP จากนั้นทำการเคลื่อนที่ clienta เข้าสู่ subnet ใหม่ เมื่อ clienta สามารถตรวบสอบได้ว่าเข้าสู่ subnet ใหม่โดยการตรวจสอบพบ AP2 และได้รับค่า prefix ใหม่คือ 3ffe:b80:53:1b2::0/64 แล้ว เมื่อทำการตรวจสอบค่าหมายเลขไอพี จะพบว่าเครื่อง clienta มีหมายเลขไอพีใช้งาน 2 หมายเลขด้วยกันเป็นไปดังรูปที่ 32 และ

รูปที่ 33

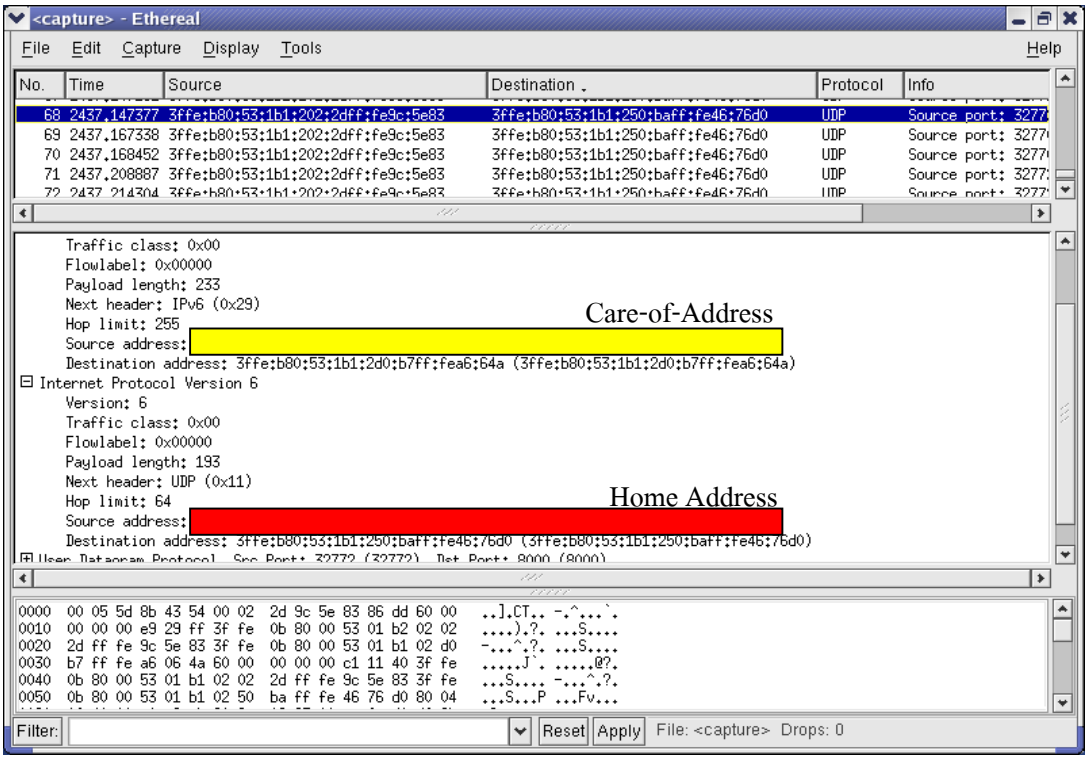


รูปที่ 32 แสดงการเคลื่อนที่ของ MN



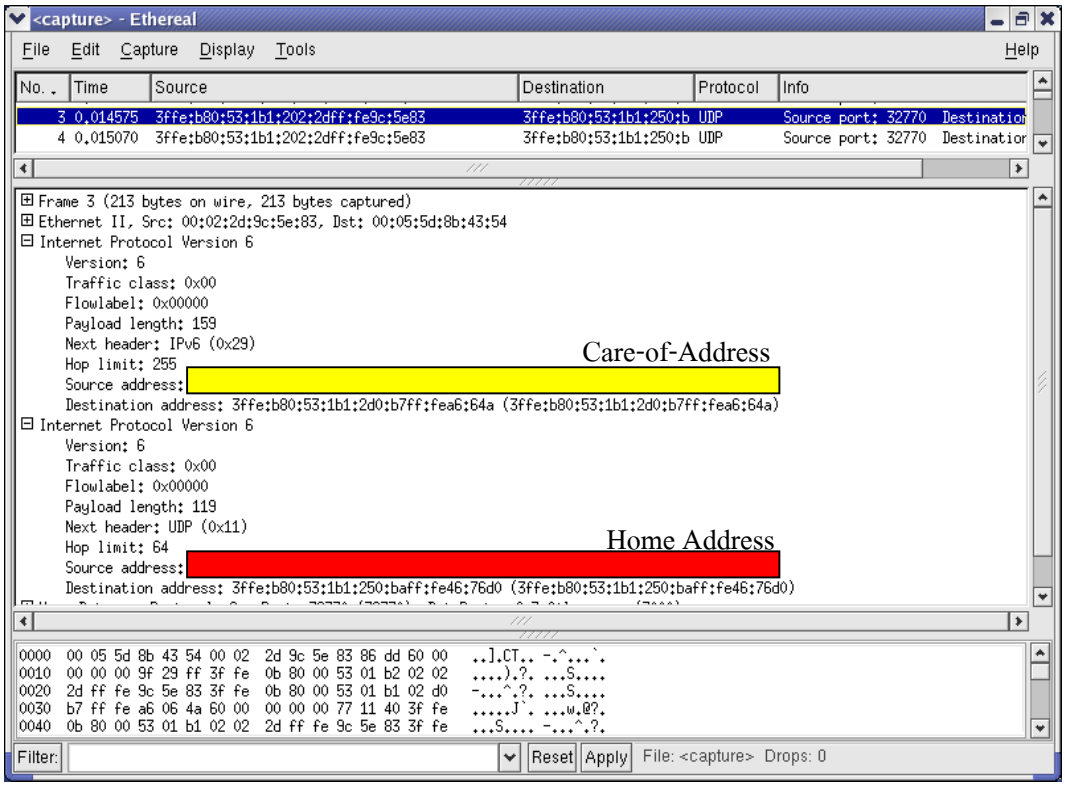
รูปที่ 33 แสดงค่าหมายเลขไอพี ที่เครื่อง MN

จากช่วงเวลาที่เครื่อง clienta ทำการตรวจสอบการเคลื่อนที่เมื่อเข้าสู่ระบบใหม่จะใช้เวลาประมาณ 500 msec และเมื่อเลือก AP2 แทน AP1 เสร็จสิ้น เครื่อง clienta จะทำการส่งสัญญาณ Binding Update ด้วย MIPv6 เพื่อ update ค่าหมายเลขไอพี จากนั้นข้อมูลพหุสื่อที่ทำการส่งและรับระหว่างเครื่อง MN และ CN จะถูกทำ Encapsulation และ Decapsulation ที่เครื่อง MN และเครื่อง HA ซึ่งสามารถตรวจดูข้อมูลพหุสื่อเหล่านี้ได้ด้วยโปรแกรม Ethereal



รูปที่ 34 แสดงการตรวจจับข้อมูลพหุสื่อที่ถูกส่งต่อโดยเครื่อง HA

จากรูปที่ 34 แสดงข้อมูลการตรวจจับ Packet ที่เครื่อง HA โดยจากรูปเป็นข้อมูลพหุสื่อจากเครื่อง MN (3ffe:b80:53:1b2:202:2dff:fe9c:5e83) ถูกส่งออกไปทางเครื่อง HA (3ffe:b80:53:1b1:2d0:b7ff:fea6:64a) เพื่อส่งต่อไปยังเครื่อง CN (3ffe:b80:53:1b1:250:baff:fe46:76d0) โดยแต่ละข้อมูลพหุสื่อเครื่อง HA ได้รับจากเครื่อง MN จะถูกทำ Encapsulation ที่เครื่อง HA ทั้งหมด เพื่อให้ข้อมูลพหุสื่อจากเครื่อง MN สามารถถูกส่งต่อไปยังเครื่อง CN ได้อย่างถูกต้อง แม้ว่า หมายเลขไอพีของเครื่อง MN เปลี่ยนจาก 3ffe:b80:53:1b1:202:2dff:fe9c:5e83 ไปเป็น 3ffe:b80:53:1b2:202:2dff:fe9c:5e83 แล้ว



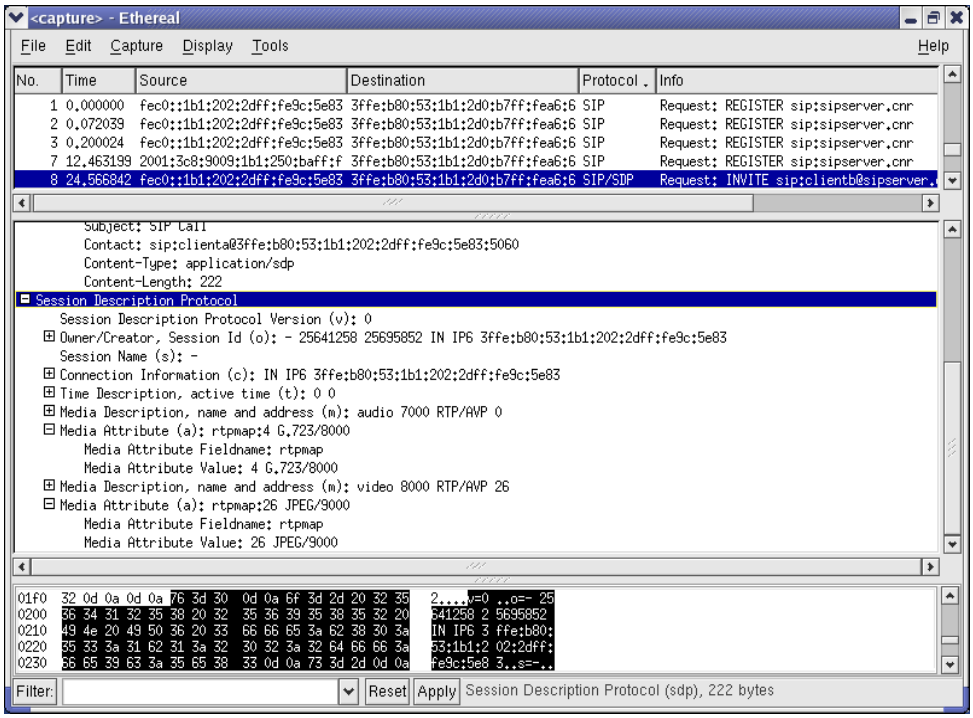
รูปที่ 35 แสดงการตรวจจับข้อมูลพหุสื่อที่ส่งออกจากเครื่อง MN

จากรูปที่ 35 แสดงข้อมูลการตรวจจับ Packet ที่เครื่อง MN โดยจากรูปเป็นข้อมูลพหุสื่อที่เครื่อง MN ส่งไปยังเครื่อง CN ซึ่งถูก Encapsulations ด้วยหมายเลขไอพี คือ 3ffe:b80:53:1b1:202:2dff:fe9c:5e83 แม้ว่าขณะนี้หมายเลขไอพี จะถูกเปลี่ยนเป็น 3ffe:b80:53:1b2:202:2dff:fe9c:5e83 แล้วก็ตาม

เมื่อพิจารณาแต่ละแพ็กเกตของข้อมูลพหุสื่อที่ส่งจากเครื่อง MN ไปยัง CN ผ่านเครื่อง HA นั้น ทำให้พบว่า ด้วยความสามารถของ Route Option Header ของโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6 ซึ่งเป็น Header เพิ่มเติมจาก Header หลักของโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6 ทำให้สามารถระบุปลายทางของแต่ละแพ็กเกตได้

มากกว่า 1 หมายเลขไอพีปลายทาง นั่นคือ สามารถระบุปลายทางด้วยหมายเลขไอพีของ Home Address ใน Header หลักของโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6 พร้อมกับการระบุปลายทางด้วยหมายเลขไอพีของ Care-of-Address ใน Route Option Header ในส่วน Header พิเศษต่อท้ายจาก Header หลัก

เนื่องจากมีการระบุหมายเลขไอพีของ Care-of-Address ใน Route Option Header จึงเป็นผลให้แต่ละแพ็กเกตสามารถถูก Router ดึงข้อมูลในส่วน Route Option Header เพื่อตรวจสอบหมายเลขไอพีปลายทางที่ถูกต้องได้ และทำการ route แต่ละแพ็กเกตไปยังปลายทางได้อย่างถูกต้อง



รูปที่ 36 แสดงการตรวจจับสัญญาณ SIP

จากรูปที่ 36 แสดงข้อมูล Packet ที่ตรวจจับได้ที่เครื่อง SIP Server ซึ่งแสดงสัญญาณ INVITE ที่ได้รับจาก MN หรือ clienta@sipserver.cnr โดยจะถูกส่งต่อไปยัง CN หรือ clientb@sipserver.cnr จากรูปจะพบว่าสัญญาณ SIP รวมถึงในส่วนของ SDP มีการทำงานอยู่บนโปรโตคอล ไอพีรุ่นที่ 6 ทั้งหมด

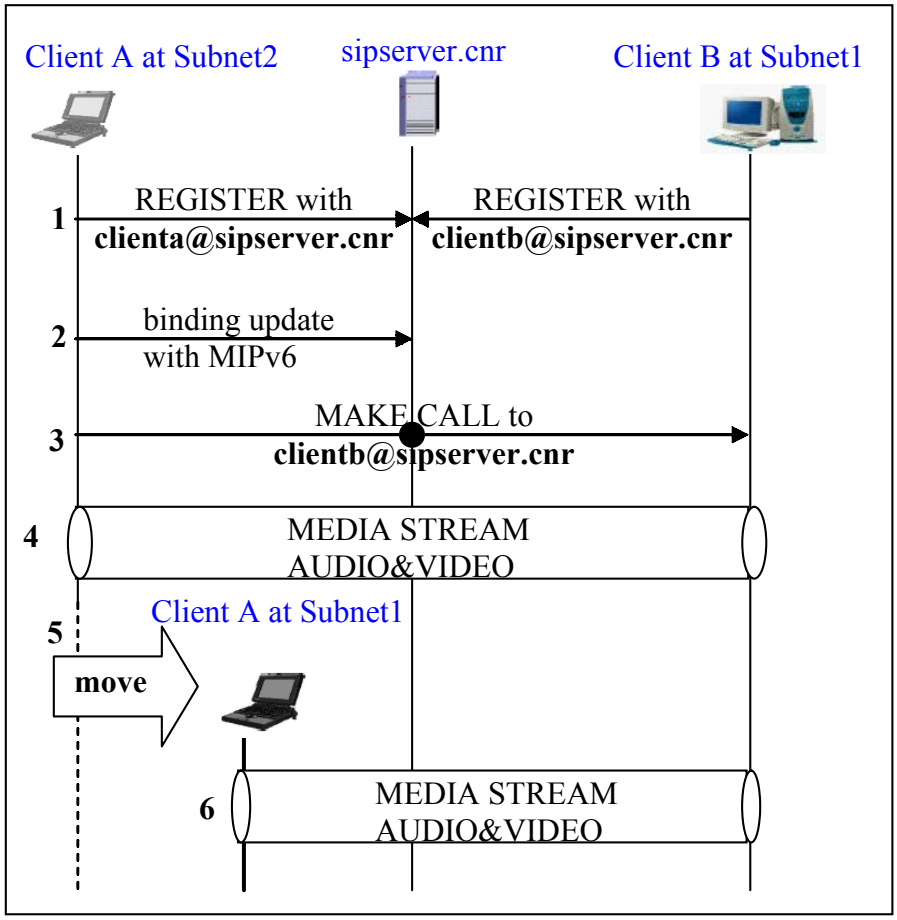
Scenario 2: ทำโมไบลิตี้ขณะเกิด Hand Over ด้วย SIP/MIPv6 โดยเคลื่อนที่เริ่มต้นจาก Subnet 2ไปยัง Subnet 1

วัตถุประสงค์: เพื่อทำการทดสอบการทำ Hand Over โดยใช้ SIP/MIPv6 โดยเคลื่อนที่จาก Foreign Network (Subnet 2) ไปยัง Home Network (Subnet 1) โดยต้องการทดสอบประเด็น

เมื่อ Mobile Node เริ่มต้นทำงานใน Foreign Network หมายเลข Home Address ซึ่งปกติจะใช้งานภายใน Home Network จะสามารถใช้งานได้หรือไม่

ดังนั้นการทำงานของ MIPv6 ควรจะมีการเริ่มต้นทันที เมื่อหมายเลขไอพีที่ MN ได้รับใน Foreing Network มีค่าแตกต่างจากหมายเลขไอพีที่เป็น Home Address แม้ว่า MN ไม่ได้มีการเคลื่อนที่ข้าม Subnet หรือเกิดเหตุการณ์ Hand Over ขึ้น

สรุปขั้นตอนการทดสอบ Scenario 2



รูปที่ 37 แสดงขั้นตอนการทดสอบ Scenario 2

จากรูปที่ 37 แสดงขั้นตอนการทดสอบ Scenario 2 เป็นไปดังนี้

1) เครื่อง Client A และเครื่อง Client B ทำการลงทะเบียนไปยังเครื่อง sipserver.cnr ด้วยชื่อ clienta@sipserver.cnr และ clientb@sipserver.cnr ตามลำดับ
2) เครื่อง Client A ณ พื้นที่ Subnet 2 เมื่อทำการตรวจสอบหมายเลขไอพีพบว่า มี 2 ค่าด้วยกัน คือ ค่าไอพีจากค่า prefix 3ffe:b80:53:1b2::/64 และ 3ffe:b80:53:1b1::/64 และทำการส่งสัญญาณ Binding Update ไปยังเครื่อง sipserver.cnr เพื่อทำการ update ค่าหมายเลขไอพีด้วยค่า prefix 3ffe:b80:53:1b2::/64
3) จากนั้นทำการโทรไปยังเครื่อง Client B ณ พื้นที่ Subnet 1 เมื่อ Client B ตอบรับการติดต่อเสร็จสิ้นจึงเริ่มทำการส่งข้อมูลพหุสื่อ

4) เครื่อง Client A และ Client B ทำการส่งข้อมูลทั้งภาพและเสียง
5) เครื่อง Client A ทำการเคลื่อนที่ย้ายจาก Subnet 2 ไปยัง Subnet 1
6) ข้อมูลพหุสื่อจากเครื่อง Client A ยังคงถูกส่งต่อไปยังเครื่อง Client B ได้

รายละเอียดในการทดสอบเป็นไปดังนี้

สำหรับการทดสอบใน Scenario 2 นี้มีลำดับการทดสอบเป็นไปเช่นเดียวกับการทดสอบใน Scenario 1 เพียงแต่เปลี่ยนจากการเคลื่อนที่ของเครื่อง Client A เริ่มต้นจาก Subnet 1 ไปยัง Subnet 2 ไป เป็นเริ่มต้นเคลื่อนที่จาก Subnet 2 ไป Subnet 1 แทน ข้อแตกต่างที่พบคือ เริ่มต้นเมื่อทำการรัน MIPv6 สำหรับ Mobile Node จะปรากฏว่า ค่าหมายเลขไอพี ณ เครื่อง Client A จะมี 2 หมายเลขไอพีที่ใช้งานได้ นั่นคือ ด้วยค่า prefix 3ffe:b80:53:1b1::/64 และ 3ffe:b80:53:1b2::/64 โดยที่ไม่ได้ทำการ Hand Over เปลี่ยน subnet แต่อย่างใด ซึ่งนั่นหมายความว่าตัว MIPv6 จะยังคงทำการจองหมายเลขไอพีด้วยค่าของ Home Address ไว้ใช้งานเสมอ แม้ว่าจะเริ่มต้นการทำงานในระบบเครือข่ายใดก็ตาม

ดังนั้นในขณะที่เครื่อง Client A อยู่ในพื้นที่ Subnet 2 เมื่อทำการตรวจสอบข้อมูล Packet ด้วยโปรแกรม Ethereal พบว่าข้อมูลถูกทำ Encapsulation ทันที แม้ยังไม่มีการทำ Hand Over เกิดขึ้น ซึ่งจากการทดสอบนี้แสดงให้เห็นว่าเครื่อง Client A ไม่จำเป็นต้องเริ่มต้นการทำงาน ณ พื้นที่ที่เป็น Home Network เสมอไป แต่ยังคงสามารถทำงานได้

Scenario 3: ทำโมไบลิตี้ขณะเกิด Hand Over ด้วยโปรโตคอล SIP/MIPv6 เคลื่อนที่กลับไปกลับมาระหว่าง Subnet 1 และ Subnet 2

วัตถุประสงค์: เพื่อทดสอบความเร็วในการเชื่อมต่อของช่องสัญญาณเมื่อมีการเปลี่ยน Subnet อย่างต่อเนื่อง ซึ่งแตกต่างจาก Scenario 1 และ 2 ตรงที่ค่าหมายเลขไอพีมีการเปลี่ยนแปลงอย่างต่อเนื่อง โดยปกติหากความสามารถในการเปลี่ยนระบบเครือข่ายไม่เร็วเพียงพอ จะเป็นผลให้การเชื่อมต่อทั้งหมดถูกตัดขาด

รายละเอียดในการทดสอบเป็นไปดังนี้

สำหรับการทดสอบใน Scenario 3 นี้มีลำดับขั้นตอนเป็นไปเหมือนในการทดสอบใน Scenario 1 แต่แตกต่างกันตรงที่เมื่อเครื่อง Client A ทำการเคลื่อนที่ย้ายไปสู่พื้นที่ Subnet 2 แล้วให้ทำการเคลื่อนย้ายกลับมายังพื้นที่ Subnet 1 อีกครั้ง จากนั้นจึงทำการเคลื่อนย้ายกลับไปยังพื้นที่ Subnet 2 อีก ผลปรากฏว่าข้อมูลทั้งภาพและเสียงสามารถส่งข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง ทั้งนี้เนื่องจากเครื่อง Client A ทำการจองการ

ใช้งานหมายเลขไอพีไว้แล้วพร้อมๆกัน ทั้ง 2 ค่า prefix 3ffe:b80:53:1b1::/64 และ 3ffe:b80:53:1b2::/64 ทำให้ไม่ว่าจะเข้าสู่พื้นที่ใด เครื่อง Client A ยังคงสามารถส่งข้อมูลไปยังเครื่อง Client B ได้อย่างถูกต้อง

ข้อสังเกตที่พบคือในขณะที่เครื่อง Client A ทำงานอยู่ในพื้นที่ Subnet 1 หรือ Home Network ข้อมูลพหุสื่อจะไม่ถูก Encapsulation แต่เมื่อเครื่อง Client A เข้าสู่พื้นที่ Subnet 2 ข้อมูลพหุสื่อจะถูก Encapsulation และส่งต่อไปยังเครื่อง sipserver.cnr ที่ทำหน้าที่เป็น Home Agent ส่งข้อมูลต่อไปยังเครื่อง Client B สำหรับในประเด็นของเวลาที่ใช้ในการจัดการหรือขั้นตอนต่างๆที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาการเกิด Hand Over นั้นจะมีการวิเคราะห์และออกแบบอัลกอริทึมที่ช่วยให้ค่าเวลาหน่วงน้อยที่สุด ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

4.3 วิเคราะห์ผลการทดสอบ

จากการทดสอบการทำงานของระบบเครือข่าย SIP/MIPv6 แสดงให้เห็นถึงการติดต่อระหว่างโหนดเคลื่อนที่และโหนดไม่เคลื่อนที่ที่สามารถสื่อสารกันได้ แม้ว่าโหนดเคลื่อนที่มีการเคลื่อนย้ายเปลี่ยนระบบเครือข่าย พร้อมกันนี้แสดงให้เห็นถึงความยืดหยุ่นในการจัดการเหตุการณ์การเคลื่อนย้ายเปลี่ยนระบบเครือข่ายซึ่งทำให้โหนดเคลื่อนที่สามารถอยู่ ณ ตำแหน่งใดก็ได้โดยไม่ต้องคำนึงถึงตำแหน่งที่อยู่เริ่มต้น ซึ่งสามารถสรุปความสามารถของแต่ละหน่วยการทำงานที่ได้จากการทดสอบได้ดังนี้

การทดสอบความสามารถของ HA

จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า เมื่อเกิด Hand Over ขึ้นโดย Mobile Node ทำการเคลื่อนที่จาก Home Network ไปยัง Foreign Network เครื่อง HA จะได้รับสัญญาณ Binding Update โดย HA จะทำการตรวจสอบว่า ค่า Care-of-Address ที่ Mobile Node ต้องการจะ Update นั้นมีค่าเท่ากับ Home Address หรือไม่ หากค่า COA ที่ได้รับมีค่าไม่เท่ากับ Home Address แล้ว เครื่อง HA จะทำการเก็บค่าข้อมูลเอดเดรสทั้ง Home Address และ Care-of-Address เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการทำ Tunneling แต่หากค่า COA มีค่าเท่ากับ Home Address แล้ว เครื่อง HA จะทำการลบข้อมูลหมายเลขไอพีของ Mobile Node นี้ทั้งหมด

อย่างไรก็ตาม HA ที่นำมาใช้ในการทดสอบนี้มีส่วนที่ไม่มีการพัฒนาขึ้น ได้แก่ การรับการทำ Binding Update จาก Mobile Node ของ HA อื่นที่ไม่เกี่ยวข้องหรืออยู่ในเครือข่ายที่ HA รับผิดชอบ ดัง

นั้นเป็นผลให้ไม่มีการทำ Encapsulation และ Decapsulation สำหรับ Mobile Node ดังกล่าว โดยความสามารถทั้งหมดสามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3 แสดงการทดสอบความสามารถของ HA

โหนด	การทำงาน	ตรวจสอบ
Home Agent	- update COA when COA != Home Address	
	- remove COA when COA = Home Address	
	- update COA for Home Address of the other Home Agent	
	- Encapsulation Packet of the registration Mobile Node	
	- Decapsulation Packet of the registration Mobile Node	
	- Encapsulation Packet of the other Mobile Node	
	- Decapsulation Packet of the other Mobile Node	

การทดสอบความสามารถของ MN

จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ไม่ว่าเครื่อง MN จะเริ่มต้นการทำงาน ณ ที่ใด จะมีการตรวจสอบค่าหมายเลขไอพีทันทีว่าเป็น Home Address หรือไม่ หากค่าหมายเลขไอพีที่ใช้งานในระบบเครือข่ายนั้นเป็นค่า Home Address แล้วเครื่อง MN จะไม่ทำการส่งสัญญาณ Binding Update ไปยังเครื่อง HA แต่หากค่าหมายเลขไอพีที่ได้รับมีค่าไม่เท่ากับ Home Address แล้วเครื่อง MN จะทำการส่งสัญญาณ Binding Update ไปยังเครื่อง HA ทันที เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการทำ Binding Update แล้ว เครื่อง MN สามารถทำ Encapsulation และ Decapsulation ได้อย่างถูกต้องซึ่งสังเกตได้จากข้อมูลภาพและเสียงที่ได้รับอย่างต่อเนื่องจากการทดสอบ

อย่างไรก็ตามการทำงานในส่วนการใช้ Home Address ของ Mobile Node กับ HA ที่มีค่า Prefix ไม่ตรงกันยังคงไม่สามารถใช้งานได้ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4 แสดงการทดสอบความสามารถของ MN

โหนด	การทำงาน	ตรวจสอบ
Mobile Node	- Send Binding Update when it receives new prefix.	
	- Send Binding Update when it lives in the foreign network.	
	- Send Binding Update for the other Home Address of the other Home Agent.	
	- Encapsulation Packet of the current Home Address.	
	- Decapsulation Packet of the current Home Address.	
	- Encapsulation Packet of the other Home Address.	
	- Decapsulation Packet of the other Home Address.	

การทดสอบความสามารถของ SIP Server

จากการทดสอบการทำงานของ SIP Server พบว่าสามารถรับการลงทะเบียนจาก SIP Client บนระบบเครือข่ายไอพีรุ่นที่ 6 ได้ โดยไม่คำนึงถึงรูปแบบการเชื่อมต่อมีสายหรือไร้สาย โดยในการส่งสัญญาณด้วยโปรโตคอล SIP ทั้งหมด เครื่อง SIP Server จะเป็นตัวกลางในการติดต่อทั้งหมดในลักษณะของ Proxy Server และยอมรับการเชื่อมต่อของ SIP Client ได้ทั้งในรูปแบบของโปรโตคอล UDP และ TCP แต่ในส่วนการเชื่อมต่อระหว่าง SIP Client ที่ทำงานบนระบบเครือข่ายไอพีรุ่นที่ 4 กับระบบเครือข่ายไอพีรุ่นที่ 6 ยังไม่มีการพัฒนาขึ้น ซึ่งสามารถสรุปได้ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 5 แสดงการทดสอบความสามารถของ SIP Server

โหนด	การทำงาน	ตรวจสอบ
SIP Server	- Update the all registration of the sip client.	✓
	- Act as the proxy sip server.	✓
	- Support the client transaction between IPv4 and IPv6.	✓
	- Support the client on UDP or TCP.	✓
	- Support the client on IPv6.	✓

การทดสอบความสามารถของ SIP Client

จากการทดสอบความสามารถของ SIP Client พบว่า สามารถทำการส่งข้อมูลภาพและเสียงได้อย่างต่อเนื่อง แม้เกิด Hand Over ขึ้น โดยสามารถทำการโทรหรือสร้างการเชื่อมต่อผ่านเครื่อง SIP Server ได้ด้วยโปรโตคอล UDP หรือโปรโตคอล TCP และเช่นเดียวกันกับโปรแกรม SIP Server ซึ่งไม่มีส่วนการเชื่อมต่อระหว่างระบบเครือข่ายไอพีรุ่นที่ 4 และระบบเครือข่ายไอพีรุ่นที่ 6

ตารางที่ 6 แสดงการทดสอบความสามารถของ SIP Client

โหนด	การทำงาน	ตรวจสอบ
SIP Client	- Call via the proxy sip server.	✓
	- Support the transaction between IPv4 and IPv6.	✓
	- Support the client on UDP or TCP.	✓
	- Support the transaction on IPv6.	✓
	- Support the media transmission with RTP.	✓

4.4 สรุป

จากการทดสอบระบบเครือข่าย SIP/MIPv6 ในกรณีต่างๆ ทำให้เห็นถึงความสามารถของระบบเครือข่าย SIP/MIPv6 และเป็นการตรวจสอบการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ที่ทำการพัฒนาขึ้นรวมถึงทดสอบการทำงานของแต่ละโหนดในระบบนี้ โดยเน้นประเด็นในการรับและส่งข้อมูลภาพและเสียงระหว่างโหนดเคลื่อนที่และไม่เคลื่อนที่ ประกอบกับการเกิด Hand Over ขึ้นในขณะที่มีการเชื่อมต่อของช่องสัญญาณพหุสื่อ เพื่อสังเกตและวิเคราะห์ความสามารถของระบบเครือข่าย SIP/MIPv6

นอกจากนี้จากการทดสอบยังสามารถทดสอบผลกระทบต่างๆที่อาจเกิดขึ้นในการทำงานของทั้งโปรโตคอล SIP และ MIPv6 ที่มีการทำงานร่วมกันในช่วงเวลาที่เกิด Hand Over ขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในขั้นตอนการทำ Hand Over นั้น ยังไม่สามารถสรุปได้ชัดเจนว่าการใช้โปรโตคอล Mobile IP หรือโปรโตคอล SIP ในการทำ Hand Over จะทำให้เกิดค่าเวลาหน่วงแตกต่างกันอย่างไร เนื่องจากค่าเวลาหน่วงดังกล่าวนั้นมีผลต่อความล่าช้าในการได้รับและส่งข้อมูลภาพและเสียง ดังนั้นเพื่อให้ได้อัลกอริทึมการทำ Hand Over ที่เหมาะสมที่สุด จำเป็นต้องมีการทดสอบและออกแบบอัลกอริทึมในการจัดการซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป