วิทยานิพนธ์

การเชื่อมต่อระบบเครือข่ายผ่าน NAT-to-NAT ชนิดสมมาตรแบบต่อตรง

NAT-to-NAT Traversal with Direct Connection on Symmetric NAT

นายอมร ธาราวิวิต

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

พ.ศ. ๒๕๕๑

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

ปริญญา

วิศวกรรมคอมพิวเตอร์	วิศวกรรมคอมพิวเตอร์
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การเชื่อมต่อระบบเครือข่ายผ่าน NAT-to-NAT ชนิดสมมาตรแบบต่อตรง

NAT-to-NAT Traversal with Direct Connection on Symmetric NAT

นามผู้วิจัย นายอมร ธาราวิวิต

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(รองศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(อาจารย์ชัยพร ใจแก้ว, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์เขมะฑัต วิภาตะวนิช, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์วินัย อาจคงหาญ, M.A.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 3 เดือน ธันวาคม พ.ศ. 2551

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การเชื่อมต่อระบบเครือข่ายผ่าน NAT-to-NAT ชนิดสมมาตรแบบต่อตรง

NAT-to-NAT Traversal with Direct Connection on Symmetric NAT

โดย

นายอมร ธาราวิวิต

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์)

พ.ศ. 2551

อมร ธาราวิวิต 2551: การเชื่อมต่อระบบเครือข่ายผ่าน NAT-to-NAT ชนิดสมมาตรแบบต่อตรง ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมคอมพิวเตอร์) สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม, Ph.D. 59 หน้า

การเชื่อมต่อระบบเครือข่ายอินเทอร์เนตในปัจจุบันใช้หมายเลขไอพีแอเดรสจริงเป็นที่อยู่อ้างอิง ซึ่งไม่เพียงพอต่อปริมาณเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการเชื่อมต่อ จึงได้มีการแก้ปัญหาโดยการพัฒนาระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีที่เรียกว่า NAT อย่างไรก็ตามระบบ NAT ก็ได้ก่อให้เกิดการสูญเสียการเชื่อมต่อตรงจากระหว่างผู้ใช้งาน (End-to-end connectivity) ส่งผลให้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ด้านหลัง NAT ไม่สามารถให้บริการต่าง ๆ บนอินเทอร์เนตได้

งานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบ และพัฒนาระบบการเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถเชื่อมต่อตรงผ่านระบบ NAT แบบสมมาตรทั้งสองฝั่ง เนื่องจากระบบ NAT แบบสมมาตรนั้น หมายเลขไอพีแอดเดรสและหมายเลขพอร์ตอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา การทำงานของระบบจึงต้องอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่ง เพื่อระบุที่อยู่ของคอมพิวเตอร์ที่อยู่หลัง NAT ที่ต้องการเชื่อมต่อกัน งานวิจัยนี้ทำงานตามมาตราฐาน ทีซีพีไอพี และไม่มีการแก้ไขหรือเปลี่ยนแปลงอุปกรณ์ NAT การทำงานของระบบใช้หลักการการคาดเดาพอร์ตแบบเรียงลำดับ ซึ่งได้จากการสังเกตุพฤติกรรมของ NAT จากการทดลองพบว่า เครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่ด้านหลัง NAT สามารถเชื่อมต่อกันได้แบบสมมาตรทั้งสองฝั่ง ทำให้สามารถลดเวลาการถ่ายโอนข้อมูลเมื่อเทียบกับระบบ NAT แบบเดิมที่ต้องส่งผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์แบบรีเรย์

อมร ธาราวิวิต

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

17 / 03 / 2551

Amorn Tharawiwit 2008: NAT-to-NAT Traversal with Direct Connection on Symmetric NAT. Master of Engineering (Computer Engineering), Major Field: Computer Engineering, Department of Computer Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Anan Phonphoem, Ph.D. 59 pages

Currently, connecting a computer to the Internet requires a real IP address. The available IP addresses are not enough for the enormous number of the Internet users. Network Address Translation (NAT) has been proposed and becomes a crucial well-accepted solution. However, by implementing NAT, the system becomes lacking of end-to-end connectivity property which makes the computer stayed behind NAT cannot provide services over the Internet.

In this research, the NAT-to-NAT traversal with direct connection on the symmetric NAT has been proposed. Normally, in the symmetric NAT system, IP address and port number of the computer keeps changing over time. The proposed system will implement a pointer machine for identifying IP and port number of requested communication partners. The system is designed by neither modifying the regular TCP/IP protocol stack nor any NAT device. By monitoring the NAT characteristics, the system can successfully make a direct connection by using a new sequential port prediction technique. The results have been shown that there is no problem for the connection establishment and data transfer. The system can also reduce the data transfer time compare to the traditional relay NAT system.

อมร ธราวิวิทย์		19 / 03 / 2551
Student's signature	Thesis Advisor's signature	

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้จะไม่สามารถสำเร็จได้เลย ถ้าหากไม่ได้รับความอนุเคราะห์และความเมตตากรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาของข้าพเจ้า รศ.ดร.อนันต์ ผลเพิ่ม ที่คอยช่วยเหลือ และชี้แนะทางสว่างแก่ข้าพเจ้าให้สามารถผ่านขั้นตอนต่างๆ ของการดำเนินการวิทยานิพนธ์นี้ได้จนสำเร็จ ข้าพเจ้าคงจะไม่มีคำใดที่จะกล่าวนอกจากคำว่า กราบขอบพระคุณอาจารย์อนันต์ ผลเพิ่ม อีกครั้ง และขอให้อำนาจคุณพระศรีรัตนตรัย จงปกป้องและคุมครองอาจารย์ของข้าพเจ้าให้มีความสุข และมีสุขภาพพลานามัยที่แข็งแรงสมบูรณ์ตลอดไป

ข้าพเจ้าขอกราบของคุณครอบครับของข้าพเจ้า คุณพ่อ คุณแม่ และพี่น้อง ที่น่ารักของข้าพเจ้า รวมทั้งครอบครัวของข้าพเจ้าเอง ที่คอยเป็นกำลังใจ และเป็นเสมือนทุกสิ่งทุกอย่างของข้าพเจ้าที่ทำให้ข้าพเจ้ามีพลังและแรงใจต่อสู้กับปัญหา อุปสรรค ทั้งหลายทั้งปวง ขอขอบคุณที่ทำให้ข้าพเจ้ากลายเป็นคนที่เข้มแข็งและประสพความสำเร็จจนถึงทุกวันนี้

ข้าพเจ้าขอขอบคุณเพื่อนๆ ของข้าพเจ้า อนพัฒน์ , ศรัญยู และทุกๆ คนในห้องปฏิบัติการเครือข่ายไร้สายที่คอยรับฟังปัญหาและแนะนำที่มีประโยชน์ต่อข้าพเจ้า รวมทั้งคำพูดที่ให้กำลังใจที่ทำให้รู้สึกดีเสมอมา

อมร ธาราวิวิต

มีนาคม 2551

สารบัญ

หน้า

สารบัญ (1)

สารบัญตาราง (3)

สารบัญภาพ (4)

คำนำ 1

การตรวจเอกสาร 3

- เครือข่ายอินเตอร์เน็ต 3
- โปรโตคอลทีซีพี/ไอพี (TCP/IP) 4
- ซ๊อกเก็ตทีซีพี/ไอพี 5
- ไอพีรุ่นที่ 4 5
- รูปแบบการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต 8
- ระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรส (Network Address Translation: NAT) 10
- รูปแบบการสร้างการเชื่อมต่อ 16
- ภาพรวมของการเชื่อมต่อแบบต่อตรงผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตร 17

อุปกรณ์และวิธีการ 19

- อุปกรณ์ 19
  - เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เครือข่าย 19
  - ซอร์ฟแวร์ 19
- วิธีการ 19
  - การเชื่อมต่อแบบต่อตรงผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรโดยวิธีการเดาพอร์ต 19
  - ขั้นตอนการทำงานนของระบบการเชื่อมผ่านระบบสับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสมมาตรแบบต่อตรงในงานวิจัยนี้ 22
  - ขบวนการเชื่อมต่อ 32
  - เนื้อหาของโปรแกรม 34
  - การทดสอบการทำงาน 39

ผลการทดลองและวิจารณ์ 44

- การทดลองที่ 1 เพื่อทดสอบการทำงานของระบบเชื่อมต่อตรงผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสมมาตรด้วยวิธีการคาดเดาหมายเลขพอร์ต 44

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ผลและวิจารณ์การทดลองที่ 1 การทำงานของระบบเชื่อมต่อตรงผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสมมาตรด้วยวิธีการคาดเดาหมายเลขพอร์ต 48
การทดลองที่ 2 เพื่อหาค่าเวลาในการทำงานของระบบและการใช้งานจริงเมื่อทำการเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรด้วยวิธีคาดเดาพอร์ต 49
ผลและวิจารณ์การทดลองที่ 2 ค่าเวลาในการทำงานของระบบและการใช้งานจริง 50
การทดลองที่ 3 เพื่อทดสอบทางด้านเวลาในการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 ฝั่งผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสมมาตรในรูปแบบการเชื่อมต่อตรงและการเชื่อมต่อแบบผ่านเครื่องส่วนกลาง 51
ผลและวิจารณ์การทดลองที่ 3 การทดสอบทางด้านเวลาในการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 ฝั่งเทียบเคียงด้านเวลา 52
การทดลองที่ 4 เพื่อเปรียบเทียบเวลาในการรับส่งข้อมูลบนระบบเครือข่ายผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรเทียบกับการเชื่อมต่อด้วย IPv6 53
ผลและวิจารณ์การทดลองที่ 4 เปรียบเทียบเวลาในการรับส่งข้อมูลบนระบบเครือข่ายผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรเทียบกับการเชื่อมต่อด้วย IPv6 54
สรุป 56
เอกสารและสิ่งอ้างอิง 58

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	หมายเลขไอพีแอดเดรสในแต่ละคลาส	7
2	ความสามารถในการเชื่อมต่อเทียบกับระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดต่างๆ	17
3	รายละเอียดของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	40
4	หน้าที่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง	40
5	ซอร์ฟแวร์ที่ใช้ในการทดสอบและการตั้งค่าบนเครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลข 1	42
6	ซอร์ฟแวร์ที่ใช้ในการทดสอบและการตั้งค่าบนเครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลข 2และอุปกรณ์เชื่อมต่อระบบเครือข่าย	43
7	ซอร์ฟแวร์ที่ใช้ในการทดสอบและการตั้งค่าบนคอมพิวเตอร์หมายเลข 3	43

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ระดับชั้นของโปรโตคอลทีซีพี/ไอพี	4
2	ลีนุกส์โครงสร้างของโปรโตคอลแสตกบนระบบปฏิบัติการ	6
3	การกำหนดตำแหน่งหน้าที่ของแต่ละบิตไอพีแอดเดรส	7
4	การกำหนดตำแหน่งหน้าที่ของแต่ละบิตไอพีแอดเดรส	8
5	การเชื่อมต่อไอพีสาธารณะทั่งคู่	9
6	การเชื่อมต่อไอพีสงวนกับไอพีสาธารณะ	9
7	การเชื่อมต่อไอพีสาธารณะกับไอพีสงวน	9
8	การเชื่อมต่อไอพีสงวนทั้งคู่	9
9	การทำงานของระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรส	10
10	การเชื่อมต่อของ Full Cone NAT	11
11	การเชื่อมต่อของ Restricted Cone NAT	12
12	การเปลี่ยนหมายเลขพอร์ต ของ Port Restricted Cone NAT	13
12	การเชื่อมต่อของ Port restricted Cone NAT	14
14	การเชื่อมต่อของ Symmetric NAT (ระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตร)	15
15	การเชื่อมต่อแบบต่อตรง (Direct connection)	16
16	การเชื่อมต่อแบบส่งต่อ (Relay connection	17
17	การเชื่อมต่อแบบส่งต่อและแบบต่อตรงผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตร	18
18	การเปลี่ยนพอร์ตต้นทางของระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตร	20
19	การสร้างการเชื่อมต่อของงานวิจัยนี้	21
20	ภาพรวมการทำงานของระบบ	22
21	แพ็คเก็ตข้อมูลแจ้งที่อยู่	23
22	แพ็คเก็ตร้องขอการเชื่อมต่อ	23
23	การเปลี่ยนหมายเลขไอพีและหมายเลขพอร์ตต้นทางของแพ็คเก็ตข้อมูล	24
24	กลไกการทำงานของระบบที่ทำให้ทราบหมายเลขของพอร์ตเริ่มต้น	25
25	การทำงานของ Libnet ขนานกับโปรโตคอลแสตก	25
26	การส่งข้อมูลบนพอร์ตที่ทับซ้อนของ Libnet	26
27	การส่งข้อมูลพอร์ตเริ่มต้นให้ฝั่งตรงข้ามจากเครื่องชี้ตำแหน่ง	27
28	ปัญหาการยกเลิกการเชื่อมต่อ	27
29	ช่วงเวลาการรอส่งแพ็คเก็ต	28

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
30	การเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสมมาตรทั้ง 2 ฝั่งโดยการคาดเดาพอร์ต	29
31	การเริ่มสร้างแพ็คเก็ตการเชื่อมต่อ	30
32	ช่วงของการเหลื่อมของพอร์ตปลายทางกับพอร์ตต้นทางระหว่างอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีทั้ง 2 ฝั่ง	30
33	การทำการเชื่อมระหว่างอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสมมาตร ทั้ง 2 ฝั่งแบบต่อตรง	31
34	แผนผังการทำงานของระบบ	32
35	ส่วนประกอบโปรแกรมย่อยของวิทยานิพนธ์นี้	33
36	ขั้นตอนการทำงานของระบบรอรับการลงทะเบียน	34
37	ขั้นตอนการทำงานของรอรับการร้องขอการเชื่อมต่อ	35
38	ขั้นตอนการทำงานของรอรับการปรับปรุงข้อมูลและส่งกลับ	36
39	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมการลงทะเบียน	37
40	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมส่งพอร์ตเริ่มต้นของคอมพิวเตอร์ฝั่งรอรับการเชื่อมต่อ	38
41	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมส่งการร้องขอการเชื่อมต่อ	38
42	ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมส่งการเดาพอร์ตฝั่งร้องขอการเชื่อมต่อ	39
43	รายละเอียดโครงสร้างการเชื่อมต่อจำลองของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อ	40
44	รายละเอียดโครงสร้างการเชื่อมต่อเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อจริง	41
45	การลงทะเบียนที่อยู่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เปิดให้บริการ	44
46	เนื้อหาของแพ็คเก็ตที่ใช้ในการลงทะเบียน	44
47	การทดลองร้องขอที่อยู่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เปิดให้บริการ	45
48	เนื้อหาของแพ็คเก็ตที่ใช้ในการร้องขอที่อยู่	45
49	การร้องขอที่อยู่ใหม่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่จะเชื่อมต่อกันทั้ง 2 ฝั่ง ของเครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่ง	46
50	การเนื้อหาของแพ็คเก็ตที่ใช้ในการร้องขอที่อยู่ใหม่	46
51	การตอบรับการร้องขอที่อยู่ใหม่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่จะเชื่อมต่อกันทั้ง 2 ฝั่งของเครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่ง	47
52	เนื้อหาของแพ็คเก็ตที่ใช้ในการตอบรับการร้องขอที่อยู่ใหม่	47
53	การทดลองส่งแพ็คเก็ตการเดาหมายเลขพอร์ตทั้ง 2 ฝั่ง	48
54	ผลตอบรับการเชื่อมต่อจากการทดลองส่งแพ็คเก็ตการเดาหมายเลขพอร์ตทั้ง 2 ฝั่ง	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
55	แพ็คเก็ตที่สามารถเชื่อมต่อได้	48
56	การส่งกลับของหมายเลขไอพีและหมายเลขพอร์ตที่สามารถเชื่อมต่อแบบต่อตรงผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสามมาตรฝั่งรอรับการเชื่อมต่อในครั้งที่ 1	48
57	การส่งกลับของหมายเลขไอพีและหมายเลขพอร์ตที่สามารถเชื่อมต่อแบบต่อตรงผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสามมาตรฝั่งรอรับการเชื่อมต่อในครั้งที่ 2	49
58	ผลของเวลาในการทำงานของระบบเชื่อมต่อ	49
59	จำนวนครั้งในการเชื่อมต่อของโปรแกรมเมื่อมีการส่งแพ็คเก็ตรบกวน	50
60	สภาพแวดล้อมในการทดลองหาค่า Round-Trip-Time, การทดลองถ่ายโอนข้อมูล, การทดลองหาค่า arriving time	52
61	ผลการทดลองหาค่า arriving time	52
62	สภาพแวดล้อมในการทดลอง Round-Trip-Time ระหว่างโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 4 ที่มีระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีและโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6	53
63	ผลการทดลองระบบที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้เทียบกับโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6	54
64	ผลการทดลองในแต่ละช่วงของโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 4	54
65	ผลการทดลองในแต่ละช่วงของโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6	55

การเชื่อมต่อระบบเครือข่ายผ่าน NAT-to-NAT ชนิดสมมาตรแบบต่อตรง

NAT-to-NAT Traversal with Direct Connection on Symmetric NAT

คำนำ

การใช้งานระบบเครือข่ายในปัจจุบันนั้นมีแนวโน้มที่มีการใช้งานระบบเครือข่ายแบบไร้สายสูงขึ้น โดยสังเกตจากมหาวิทยาลัยต่างมีการพัฒนาระบบเครือข่ายไร้สายมากขึ้น และการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมของผู้ใช้นั้นคือมีการใช้งานที่ต่างสถานที่ออกไปไม่ว่าจะเป็นสถานศึกษาหรือที่ทำงานซึ่งใช้งานเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องเดิมในการเชื่อมต่อระบบเครือข่าย การเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายโดยใช้โปรโตคอลทีซีพี/ไอพีในปัจจุบัน โดยโปรโตคอลไอพีที่ใช้งานอยู่เป็นรุ่นที่ 4 ซึ่งมีปัญหาคือ ไม่สนับสนุนการใช้งานที่มีการเคลื่อนย้ายการใช้งานไปใช้งานนอกสถานที่ทำให้หมายเลขไอพีของเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องนั้นเปลี่ยนไป หรือ การจัดสรรหมายเลขไอพีของที่อยู่เครื่องในระบบนั้นอาจจะไม่ทั่วถึงหรือไม่เพียงพอในระยะยาวและขาดความยืดหยุ่นทั้งในด้านการใช้งานต่างๆ หรือการบำรุงรักษาระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ เป็นต้น จึงมีการแก้ปัญหาจำนวนไอพีแอดเดรสของโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 4 โดยการนำรูปแบบการสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสระหว่างหมายเลขไอพีที่สามารถเชื่อมต่อออกไปยังระบบเครือข่ายภายนอกได้ (เครือข่ายสาธารณะ) กับหมายเลขไอพีที่ใช้ได้เฉพาะเครือข่ายภายใน ทำให้สามารถเชื่อมต่อระบบเครือข่ายออกไปยังระบบเครือข่ายภายนอกได้และลดจำนวนหมายเลขไอพีแอดเดรสที่ใช้งานจริง แต่ปัญหาที่ตามนั้นคือเครื่องคอมพิวเตอร์ในระบบเครือข่ายที่ใช้หมายเลขไอพีแอดเดรสเป็นหมายเลขเฉพาะนั้นจะไม่สามารถให้บริการการต่างๆ เช่นการใช้โทรศัพท์ผ่านระบบเครือข่ายสาธารณะ (VoIP), บริการเวป, บริการทีเอฟทีพีเป็นต้น ปัญหาเรื่องการไม่สามารถให้บริการได้นั้นเริ่มจากเครื่องคอมพิวเตอร์ภายนอกระบบเครือข่ายนี้จะไม่สามารถขอเข้ามาใช้บริการเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่หลังระบบเครือข่ายที่ติดตั้งระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีได้เนื่องมาจากไม่ทราบที่อยู่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ให้บริการที่ชัดเจน เนื่องมาจากไม่สามารถระบุว่าหมายเลขไอพีแอดเดรสจริงที่ใช้อยู่ในขณะนี้นั้นเครื่องคอมพิวเตอร์ใดในระบบเครือข่ายที่อยู่หลังระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรสใช้งานอยู่รวมทั้งหมายเลขพอร์ตที่มีการใช้งานซึ่งไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นหมายเลขพอร์ตใดและมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องใดทำให้ไม่สามารถสร้างการเชื่อมต่อได้

การเชื่อมต่อระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตนั้นต้องใช้หมายเลขไอพีแอดเดรสจริงในการอ้างที่อยู่ของเครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องนั้นๆ แต่เมื่อได้ทำการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายตามสถานที่ต่างๆที่มีจุดให้บริการอินเตอร์เน็ตส่วนใหญ่พบว่าหมายเลขไอพีแอดเดรสที่เครื่องคอมพิวเตอร์ของตนได้รับนั้นเป็นหมายเลขไอพีแอดเดรสสงวน (หมายเลขไอพีแอดเดรสที่ไม่สามารถเชื่อมต่อระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้) ซึ่งจะมีระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสคอยทำหน้าที่เปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสจากหมายเลขไอพีสงวนเป็นหมายเลขไอพีจริงเพื่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องนั้นสามารถเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้ แต่ในบางกรณีที่ต้องการใช้งาน

ในรูปแบบของการสื่อสารที่มีข้อจำกัดกับระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีเช่น ระบบ VoIP ใช้งานได้กับงานระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสบางชนิดเท่านั้น ซึ่งเราไม่สามารถทราบได้ว่าจะเจอระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสชนิดใด ณ. จุดที่กำลังจะเชื่อมต่อระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตอยู่นี้ เช่น ร้านกาแฟ เป็นต้น โดยเฉพาะระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสแบบสมมาตรนั้นเราจะไม่สามารถใช้งานระบบ VoIP ได้เลย หากเราไม่ใช้การเชื่อมต่อแบบส่งต่อซึ่งใช้เวลารับส่งข้อมูลสูงและต้องอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนกลางทำหน้าที่รับส่งข้อมูลอีกทอดหนึ่ง และเมื่อทำการตรวจสอบปริมาณของระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรพบว่ามีปริมาณเท่ากับ 1 ใน 3 ของระบบทั้งหมดซึ่งคิดเป็น 33 เปอร์เซ็นต์ (Thom Levy , 2005) จากระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสทั้ง 4 ชนิด จึงได้มีแนวคิดที่จะสร้างรูปแบบการเชื่อมต่อผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสแบบสมมาตรขึ้นโดยใช้วิธีการเชื่อมต่อแบบต่อตรงขึ้นเพื่อรองรับการทำงานต่างๆที่ยังไม่สามารถเชื่อมต่อผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสแบบสมมาตรได้

การเชื่อมต่อระบบเครือข่ายเพื่อรับส่งข้อมูลทางด้านมัลติมีเดียนั้นควรจะลดปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการรับส่งข้อมูลที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการรับส่งต่างๆ เช่น ปัจจัยที่ทำให้เกิดความล่าช้าในการรับส่งข้อมูลที่เกิดจากการเชื่อมต่อแบบส่งผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนกลางที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 ฝั่งที่ต้องการเชื่อมต่อเข้าด้วยกัน หรือการแก้ไขต่างๆเพื่อลดเวลาในการรับส่งข้อมูลแต่ส่งผลให้เกิดความซับซ้อนและแพ็คเก็ตข้อมูลที่รับส่งไม่เป็นไปตามมาตรฐานที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ขอนำเสนอรูปแบบของระบบที่มีการแก้ไขปัญหาของการให้บริการของโปรแกรมประยุกต์ต่างๆที่มีหมายเลขไอพีของเครื่องคอมพิวเตอร์เป็นหมายเลขไอพีเฉพาะภายในระบบเครือข่ายที่ทำการติดตั้งระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสให้สามารถให้บริการการต่างๆโดยที่เครื่องคอมพิวเตอร์ภายนอกนั้นสามารถขอเข้ามาใช้บริการได้ โดยเน้นไปที่รูปแบบการเชื่อมต่อแบบเชื่อมต่อตรงผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสแบบสมมาตร โดยไม่มีการแก้ไขการทำงานของระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสและยังสามารถให้บริการโปรแกรมประยุกต์ที่ใช้งานทำงานบนระบบชั้นโปรโตคอลที่ 4 คือ ทีซีพี และ ยูดีพีได้ตามมาตรฐานในปัจจุบัน และการทดสอบทำให้ได้ผลทางด้านเวลาระหว่างการเชื่อมต่อตรงเทียบกับการเชื่อมต่อผ่านเครื่องส่วนกลางโดยการทดสอบนั้นสามารถทำงานได้บนโปรโตคอลทีซีพีและยูดีพี

การตรวจเอกสาร

1. เครือข่ายอินเตอร์เน็ต

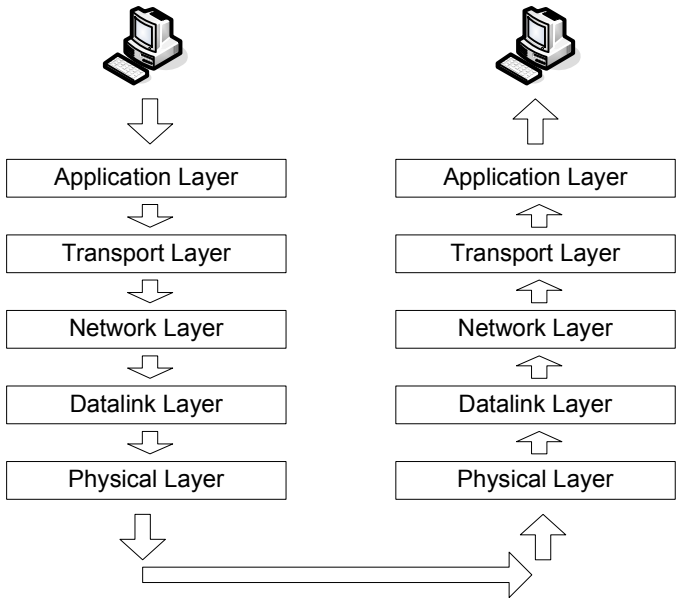
เครือข่ายอินเตอร์เน็ต (Internet) เป็นระบบเครือข่ายสาธารณะที่ใช้สื่อสารข้อมูลต่างๆ เช่น การรับส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์, การค้นหาข้อมูล เป็นต้น ซึ่งการใช้งานในปัจจุบันนั้นสะดวกมากขึ้นเนื่องจากมีการให้บริการจุดเชื่อมต่อระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตตามสถานที่ต่างๆ เพิ่มมากขึ้น เช่น ร้านอาหาร, สนามบิน, ร้านกาแฟ, และสถานที่อื่นๆ การเพิ่มขึ้นของจุดให้บริการการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตนั้นแสดงให้เห็นว่ามีความต้องการใช้บริการอินเตอร์เน็ตสูงขึ้นโดยมีรูปแบบการเข้าใช้งานในลักษณะต่างๆ แตกต่างกันไปตามสถานที่ให้บริการอินเตอร์เน็ตเช่น ระบบเครือข่ายมหาวิทยาลัยโดยการเชื่อมต่อแบบไร้สาย (Wireless LAN) ที่มีจำนวนของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ขอเชื่อมต่อระบบเครือข่ายไร้สายสูงขึ้นทุกๆปี เช่นระบบเครือข่ายไร้สาย KUWIN (Office of the Computer Services, 2003) ของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์เป็นต้น

แต่ปัจจุบันการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตทั่วไปนั้นส่วนมากเป็นการเชื่อมต่อผ่านระบบเครือข่ายไร้สายตามสถานที่ให้บริการตามจุดต่างๆ โดยลักษณะการใช้งานจะเป็นลักษณะที่ขอใช้บริการออกไปยังระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตเช่น การขอใช้บริการรับส่งจดหมายอิเล็กทรอนิกส์, การขอใช้งานบริการมัลติมีเดีย หรือการขอใช้งานการค้นหาข้อมูลเป็นต้น ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นรูปแบบการขอใช้บริการ ซึ่งเป็นไปได้ยากมากที่จะเปิดให้บริการบนระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตตามจุดให้บริการเช่น สนามบิน หรือร้านกาแฟ ซึ่งถ้าต้องการเปิดให้บริการจะเป็นลักษณะการเชื่อมต่อออกไปยังเครื่องส่วนกลางและเปิดให้บริการแทน ซึ่งเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนกลางเป็นตัวแทนการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการเชื่อมต่อกันแทนที่จะร้องขอเข้ามาใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่เปิดให้บริการแบบตรงไม่ผ่านเครื่องส่วนกลางนั้นจะทำให้สามารถลดเวลาในการรับส่งข้อมูลได้

การเชื่อมต่อของระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตในปัจจุบันใช้โปรโตคอลทีซีพี/ไอพี ซึ่งเป็นโปรโตคอลมาตรฐานโดยที่โปรโตคอลไอพีนั้นเป็นรุ่นที่ 4 และยังมีระบบเครือข่ายบางส่วนที่ปรับเปลี่ยนการทำงานไปใช้โปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6 โปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 4 การเชื่อมต่อระบบเครือข่ายนั้นมีหลายรูปแบบแตกต่างกันออกไปตามสถานที่ใช้งานซึ่งมีข้อจำกัดแตกต่างกันไป เช่น ร้านกาแฟมีบริการเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ต หมายเลขไอพีแอดเดรสที่ได้รับจะเป็นหมายเลขไอพีเฉพาะนั้นทำให้สามารถใช้งานระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้แต่ไม่สามารถเปิดบริการต่างๆ บนระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้โดยข้อจำกัดการทำงานของระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีที่ติดตั้งที่ร้านกาแฟ เป็นต้น

2. โปรโตคอลทีซีพี/ไอพี (TCP/IP)

โปรโตคอลทีซีพี/ไอพีเป็นโปรโตคอลที่ใช้งานบนระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตในปัจจุบัน โดยการทำงานของโปรโตคอลทีซีพี/ไอพีแบ่งออกเป็น 5 ชั้น ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ระดับชั้นของโปรโตคอลทีซีพี/ไอพี

2.1 ระดับชั้นแอพพริเคชั่น (Application Layer)

ลักษณะการทำงานของระดับชั้นแอพพริเคชั่นนี้เป็นการเชื่อมต่อของโปรแกรมประยุกต์โดยตรงเข้ากับโปรโตคอลทีซีพี/ไอพี เช่นโปรแกรมเทลเน็ต หรือเวปบราวเซอร์เป็นต้น

2.2 ระดับชั้นทรานสปอร์ต (Transport Layer)

ระดับชั้นทรานสปอร์ตเป็นระดับชั้นที่ทำหน้าที่ควบคุมการรับส่งข้อมูลต้นทางกับปลายทางให้สอดคล้องกันโดยมีการเชื่อมต่อกับระดับชั้นล่างคือ ระดับชั้นเน็ตเวิร์ค และระดับชั้นบนคือ ระดับชั้นแอพพริเคชั่น ซึ่งการเชื่อมต่อกับระดับชั้นบนนั้นจะแบ่งแยกแอพพริเคชั่นต่างๆด้วยหมายเลขที่อยู่ของระดับชั้นนี้คือหมายเลขพอร์ตทำให้สามารถใช้งานได้หลายแอพพริเคชั่นบนระดับชั้นทรานสปอร์ต

2.3 ระดับชั้นเน็ตเวิร์ค (Network Layer)

ระดับชั้นเน็ตเวิร์คนี้มีหน้าที่หลักคือการค้นหาเส้นทางระหว่างทางที่เรียกว่าเร้าติ้ง (Routing) โดยมีอัลกอริทึมต่างๆในการค้นหาเส้นทางเช่น โอเอพีเอฟ (OSPF) สิ่งที่ใช้ในการค้นหาเส้นทางคือหมายเลขไอพีแอดเดรสของอุปกรณ์ระหว่างต้นทางไปยังหมายเลขไอพีแอดเดรสปลายทางที่ต้องการติดต่อด้วย

2.4 ระดับชั้นดาต้าลิงค์ (Datalink Layer)

ระดับชั้นดาต้าลิงค์มีหน้าที่ควบคุมการส่งข้อมูลแบบจุดต่อจุดหรือระหว่างระดับชั้นเน็ตเวิร์คโดยมีอัลกอริทึมตรวจสอบความผิดพลาดของเช่น ซีอาร์ซี (CRC) ที่เกิดขึ้นบนสายสัญญาณที่นำส่งข้อมูล ซึ่งในระดับชั้นดาต้าลิงค์นี้มีหมายเลขแมคแอดเดรส (MAC address) เป็นแอดเดรสของระดับชั้นนี้ซึ่งใช้เพื่ออ้างอิงที่อยู่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่บนเน็ตเวิร์คเดียวกัน

3. ซ๊อกเก็ตทีซีพี/ไอพี

ซ๊อกเก็ตทีซีพี/ไอพีคือการจับคู่ของหมายเลขพอร์ตและหมายเลขไอพีเพื่อที่จะนำมาใช้กับโปรแกรมประยุกต์ต่างๆ หมายเลขของพอร์ตและหมายเลขไอพีจะไม่มีค่าซ้ำกันซึ่งทำให้สามารถใช้งานโปรแกรมประยุกต์ได้พร้อมๆกัน โดยโปรแกรมประยุกต์นั้นจะติดต่อสื่อสารไปยังระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตผ่านทางซ๊อกเก็ตทีซีพี/ไอพีของโปรโตคอลแสตก โดยอ้างอิงจากซ๊อกเก็ตไอดี (Socket ID) ซึ่งหมายเลขนี้จะได้รับการแจ้งกลับเมื่อโปรแกรมประยุกต์เปิดปริการการเชื่อมต่อผ่านโปรโตคอลแสตกและนำหมายเลขไปใช้งานในการส่งข้อมูลผ่านทางซ๊อกเก็ตทีซีพี/ไอพี โครงสร้างของโปรโตคอลแสตกแสดงดังภาพที่ 2

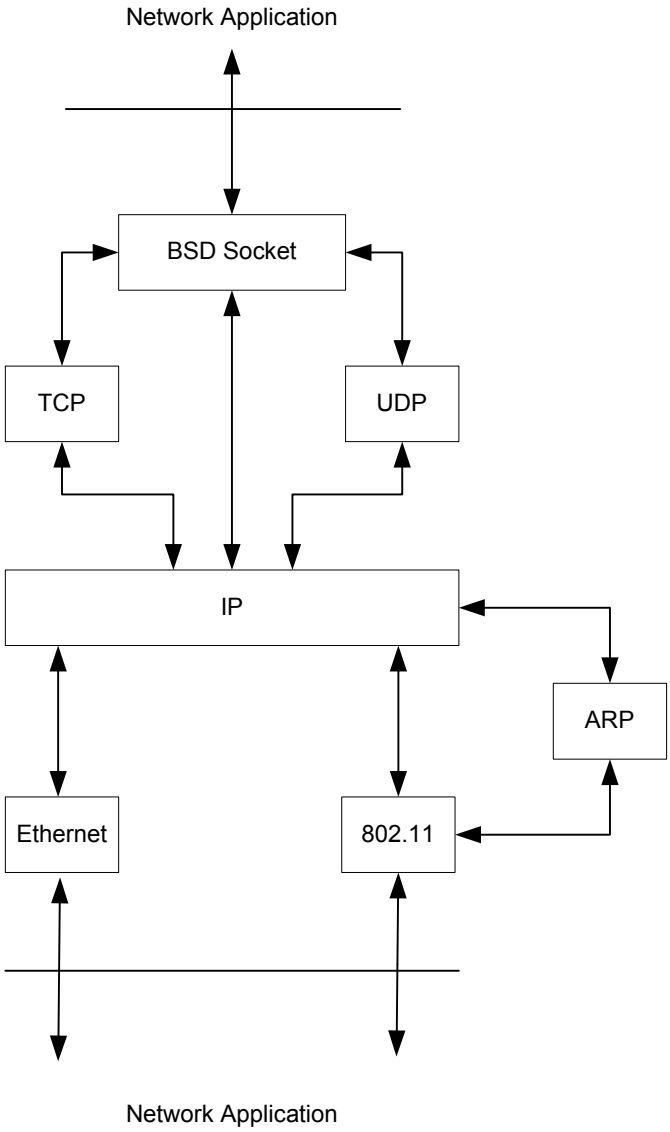
3.1 พอร์ต

หมายเลขพอร์ตเป็นตัวกำหนดส่วนที่แบ่งแยกการทำงานของโปรแกรมประยุกต์ต่างๆเพื่อไม่ให้เกิดความสับสนของโปรแกรมประยุกต์ในการรับส่งข้อมูลซึ่งหมายเลขพอร์ตเป็นแอดเดรสของระดับชั้น ทรานสปอร์ต

4. ไอพีรุ่นที่ 4

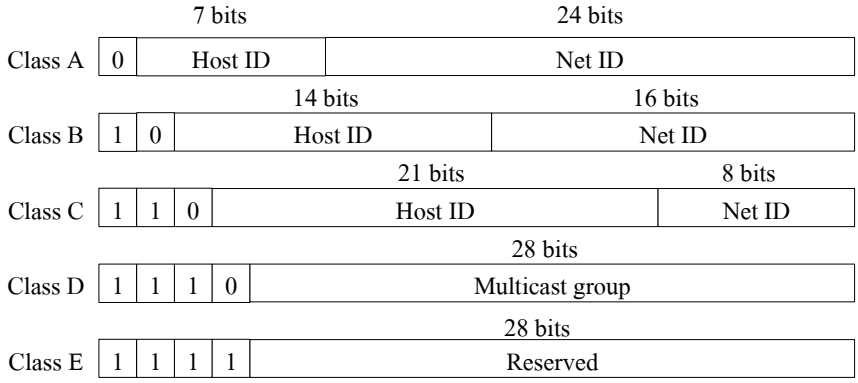
ในปัจจุบันระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตใช้ไอพีรุ่นที่ 4 ในการติอดต่อสื่อสารข้อมูล ซึ่งหมายเลขไอพีรุ่นที่ 4 นั้นประกอบด้วยเลขฐาน 2 จำนวน 32 บิตมีค่าเท่ากับ 4,294,967,296 ไอพี ในแต่ละชุดบิตได้ถูกแบ่งออกเป็น NetID (เน็ตไอดี: ที่อยู่ของระบบเครือข่ายนั้นๆ) และ HostID (โฮสท์ไอดี: ที่อยู่ของโฮสท์ในระบบเครือข่ายนั้นๆ) ซึ่งจะมีค่าไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับจำนวนของแอดเดสรที่มีอยู่ของเน็ตเวิร์คนั้นดังภาพที่ 3 ตัวอย่างเช่น Class A นั้นมี

netID เท่ากับ 7 บิตและ hostID เท่ากับ 24 บิต ฉะนั้นหมายเลขของ netID จะมีค่าตั้งแต่ 00000000 ถึง 01111111 (0-127) คือมี 128 netID และมี hostID เท่ากับ 2^{24} เป็นต้น



ภาพที่ 2 โครงสร้างของโปรโตคอลแสตกบนระบบปฏิบัติการลีนุกส์

ในแต่บิตที่แบ่งเป็นชุดๆนั้นได้ถูกแบ่งออกเป็น 5 คลาสและในแต่ละคลาสนั้นจะมีหมายเลขไอพีแอดเดรสที่ไม่สามารถใช้เชื่อมต่อสื่อสารบนระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตที่เราเรียกว่าไอพีสงวน (Private IP address) ดังตารางที่ 1 หมายเลขไอพีแอดเดรสในแต่ละคลาส



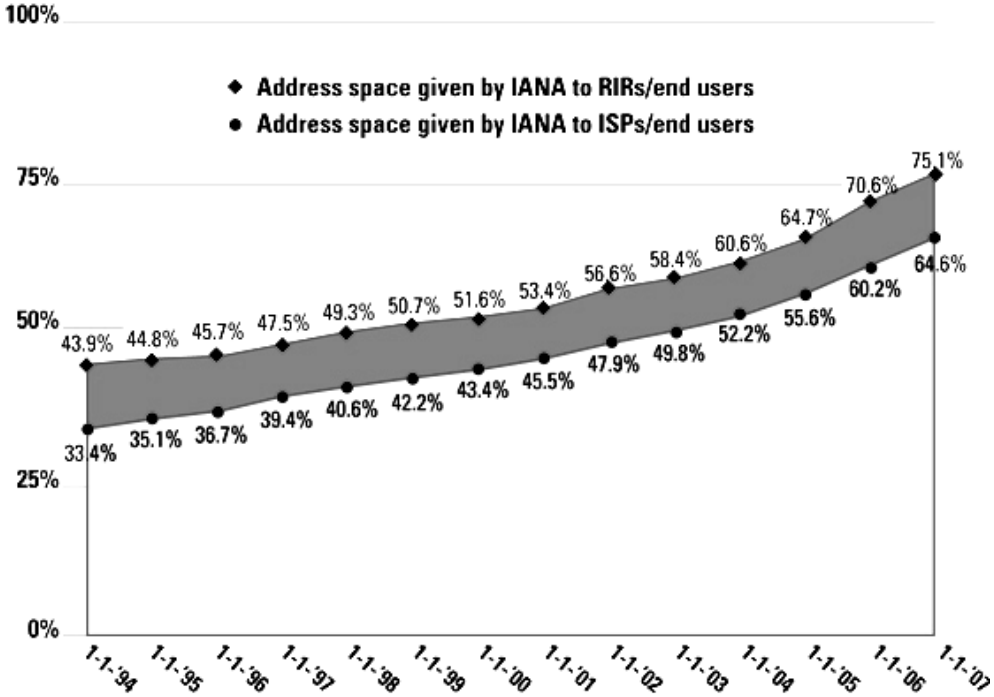
ภาพที่ 3 การกำหนดตำแหน่งหน้าที่ของแต่ละบิตไอพีแอดเดรส

ตารางที่ 1 หมายเลขไอพีแอดเดรสในแต่ละคลาส

Class	**Range IP address**	**Private IP address**
A (คลาสที่ 1)	0.0.0.0 - 127.255.255.255	10.0.0.0 – 10.255.255.255
B (คลาสที่ 2)	128.0.0.0 - 191.255.255.255	172.16.0.0 – 172.16.255.255
C (คลาสที่ 3)	192.0.0.0 - 223.255.255.255	192.168.0.0 – 192.168.0.255
D (คลาสที่ 4)	224.0.0.0 - 239.255.255.255	- (ใช้งานเพื่อการสื่อสารแบบมัลติแคส)
E (คลาสที่ 5)	240.0.0.0 - 255.255.255.255	- (จองไว้ใช้งานในอนาคต)

เนื่องจากที่ผ่านมาการใช้งานหมายเลขไอพีแอดเดรสนั้นจะต้องทำการอ้างอิงเป็นคลาสเช่น บริษัทแห่งหนึ่งมีเครื่องคอมพิวเตอร์ 32 เครื่องต้องการติดต่อสื่อสารบนระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตซึ่งต้องใช้หมายเลขไอพีแอดเดรสสาธารณะและคลาสของหมายเลขไอพีแอดเดรสที่เล็กที่สุดคือคลาส C มีจำนวนไอพีแอดเดรสเท่ากับ 256 ไอพีแอดเดรสซึ่งมากเกินไปจึงได้มีการกำหนดรูปแบบวิธีการลดจำนวนหรือการแบ่งกลุ่มของหมายเลขไอพีเป็นชุดเล็กเพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานวิธีการนี้เรียกว่า CIDR (Classless Inter-Domain Routing)

ในช่วงที่ผ่านมาหมายเลขไอพีแอดเดรสมีแนวโน้มการใช้งานที่สูงขึ้นซึ่งเป็นปัญหาหนึ่งที่สนับสนุนให้เกิดระบบการสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสขึ้น ในปัจจุบันมีการจัดสรรหมายเลขไอพีแอดเดรสไปแล้วกว่า 75 เปอร์เซ็นต์โดยหน่วยงาน IANA (Internet Assigned Numbers Authority, 1983) ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 จำนวนหมายเลขไอพีที่จัดสรรและใช้งานโดย IANA

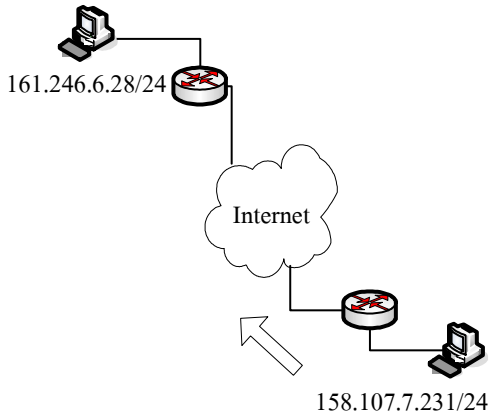
5. รูปแบบการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต

จากการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายตามสถานที่ต่างๆโดยทั่วไป ทั้งที่มีการใช้ระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพี แอดเดรสและไม่ได้ใช้ระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรส ทำให้เราสามารถแบ่งรูปแบบการเชื่อมต่อบนระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้ 4 รูปแบบ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้คือ

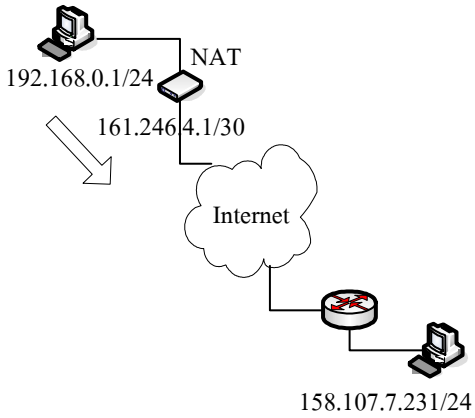
5.1 รูปแบบที่ 1 การเชื่อมต่อระหว่างไอพีสาธารณะกับไอพีสาธารณะโดยไม่มีการใช้งานการสลับเปลี่ยนไอพี คือจากเครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลขไอพี 158.107.7.231 ไปยังคอมพิวเตอร์หมายเลขไอพี 161.246.6.28 ซึ่งเป็นการสื่อสารตามปกติและไม่เกิดปัญหาอะไรเนื่องจากเป็นไอพีสาธารณะทั้งคู่ ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อในยุคเริ่มต้นที่ยังไม่มีระบบการสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรส เครื่องคอมพิวเตอร์ทุกเครื่องนั้นจะใช้หมายเลขไอพีที่เป็นหมายเลขสาธารณะและสามารถเชื่อมต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์อื่นๆได้โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเชื่อมต่อใดๆ ดังภาพที่ 5 ซึ่งไม่มีปัญหาการเชื่อมต่อ

5.2 รูปแบบที่ 2 การเชื่อมต่อระหว่างไอพีสงวนกับไอพีสาธารณะ เป็นการเชื่อมต่อจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานไอพีสงวนหมายเลข 192.168.0.1 ผ่านระบบการสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรสไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ 158.108.7.231 นั้นรูปแบบการเชื่อมต่อยังเป็นการใช้งานเหมือนปรกติเพราะการเชื่อมต่อเริ่มต้นจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้หมายเลขไอพีสงวนร้องขอการเชื่อมต่อและถูกเปลี่ยนหมายเลขไอพีจากหมายเลขไอพี

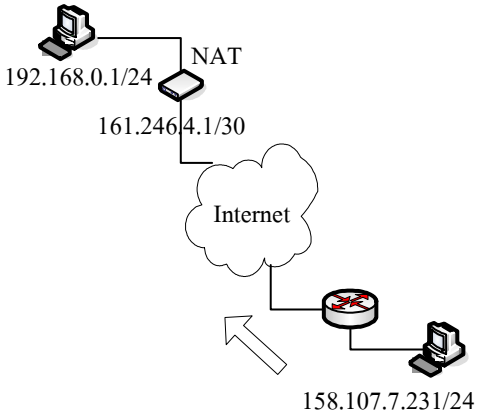
สงวนของตนเองไปเป็นไอพีสาธารณะของอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแทน ซึ่งเป็นหมายเลขไอพีสาธารณะที่ใช้งานได้บนระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตดังภาพที่ 6 ซึ่งไม่มีปัญหาการเชื่อมต่อ



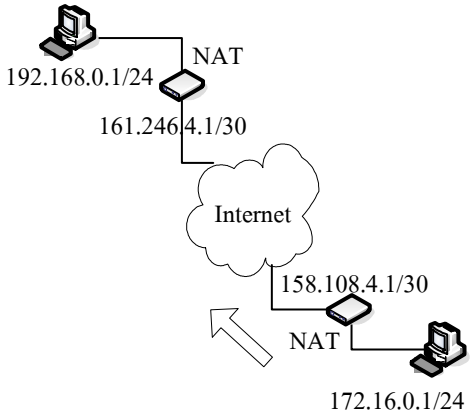
ภาพที่ 5 การเชื่อมต่อไอพีสาธารณะทั้งคู่



ภาพที่ 6 การเชื่อมต่อไอพีสงวน-ไอพีสาธารณะ



ภาพที่ 7 การเชื่อมต่อไอพีสาธารณะกับไอพีสงวน



ภาพที่ 8 การเชื่อมต่อไอพีสงวนทั้งคู่

5.3 รูปแบบที่ 3 การเชื่อมต่อระหว่างไอพีสาธารณะกับไอพีสงวน การเชื่อมต่อในรูปแบบนี้ไม่สามารถเชื่อมต่อจากคอมพิวเตอร์หมายเลขไอพี 158.108.7.237 ไปยังคอมพิวเตอร์หมายเลขไอพี 192.168.0.1 เนื่องจากไม่มีข้อมูลหมายเลขไอพีที่อยู่ที่แน่ชัดของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่หลังอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีซึ่งมีไอพีแอดเดรสเป็น 161.246.4.1 ซึ่งรูปแบบการเชื่อมต่อนี้ถูกเปลี่ยนแปลงการเชื่อมต่อโดยให้เครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลขไอพี 192.168.0.1 เชื่อมต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลขไอพี 158.108.7.231 แทนซึ่งจะเป็นการเชื่อมต่อในรูปแบบที่ 2 แทน ดังภาพที่ 7 ซึ่งไม่มีปัญหาการเชื่อมต่อ

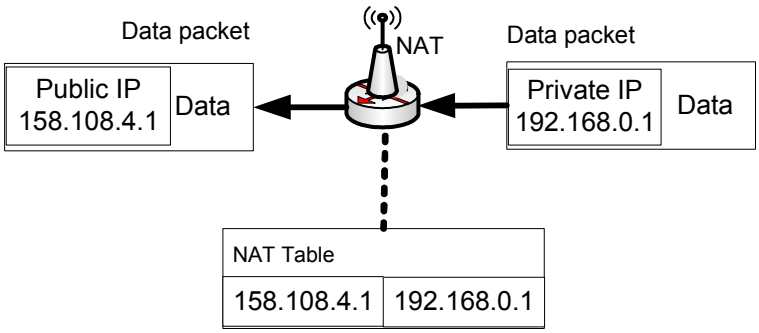
5.4 รูปแบบที่ 4 การเชื่อมต่อระหว่างไอพีสงวนกับไอพีสงวน การเชื่อมต่อในรูปแบบนี้จะไม่สามารถเชื่อมต่อได้เนื่องจากไม่มีที่อยู่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการเชื่อมต่อซึ่งต้องร้องขอข้อมูลที่อยู่จากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่บนระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตที่คอยเก็บข้อมูลที่อยู่ของคอมพิวเตอร์ที่อยู่หลังอุปกรณ์สลับ

เปลี่ยนหมายเลขไอพี หรือเชื่อมต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่บนระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตและใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่บนระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตเป็นทางผ่านแทนเป็นการเชื่อมต่อแบบส่งต่อ ซึ่งการสร้างการเชื่อมต่อแบบต่อตรงในปัจจุบันยังไม่สามารถสร้างการเชื่อมต่อขึ้นได้บนการเชื่อมต่อรูปแบบนี้ดังภาพที่ 8

6. ระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรส (Network Address Translation: NAT)

6.1 ลักษณะการทำงานของระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรส

จากหลักการทำงานของระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรสคือ การสลับเปลี่ยนหมายเลข ไอพีแอดเดรสสงวนให้เป็นไอพีแอดเดรสสาธารณะเพื่อที่สามารถใช้บริการระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตได้ โดยมีตารางระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรสเก็บข้อมูลของการแปลงค่าระหว่างไอพีแอดเดรสสงวนและไอพีแอดเดรสสาธารณะ (NAT Table) ดังภาพที่ 9

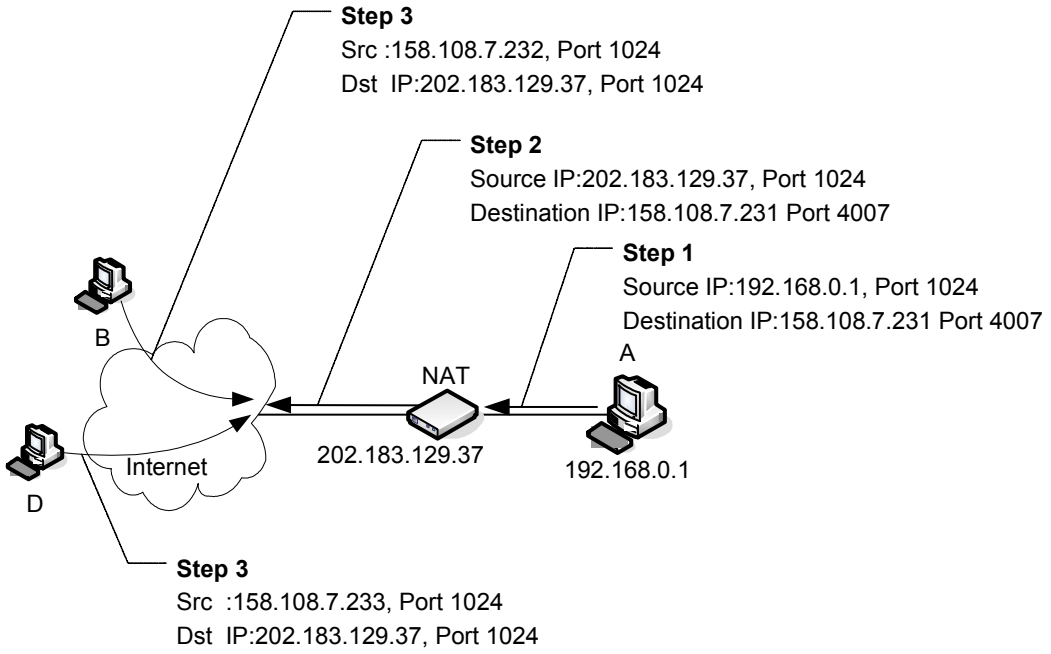


ภาพที่ 9 การทำงานของระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรส

ระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรสแบ่งออกเป็น 4 ประเภทดังนี้

6.1.1 Full Cone NAT

ลักษณะการทำงานจะเป็นการแปลงหมายเลขไอพีแอดเดรสสงวนกับหมายเลขไอพีแอดเดรสสาธารณะของระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรส เมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์สร้างการเชื่อมต่อจากระบบเครือข่ายภายใน (private IP) ออกไปบนระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต เครื่องคอมพิวเตอร์อื่นๆที่อยู่บนระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตสามารถใช้ที่อยู่ของการเชื่อมต่อนี้ที่อยู่บนระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรสเพื่อติดต่อเข้ามาหาเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่หลังอุปกรณ์ระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรสได้โดยไม่มีการตรวจสอบการเชื่อมต่อว่ามีหมายเลขไอพีแอดเดรสและหมายเลขพอร์ตต้นทางของเครื่องที่เชื่อมต่อเข้ามานั้นตรงกับการเชื่อมต่อที่สร้างในตอนแรกหรือไม่ (Satyanarayanan and Shankar, 2005) ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 การเชื่อมต่อของ Full Cone NAT

จากภาพที่ 10 มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เครื่องคอมพิวเตอร์ A หมายเลขไอพีแอดเดรส 192.168.0.1 สร้างการเชื่อมต่อออกไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลขไอพี 158.108.7.231

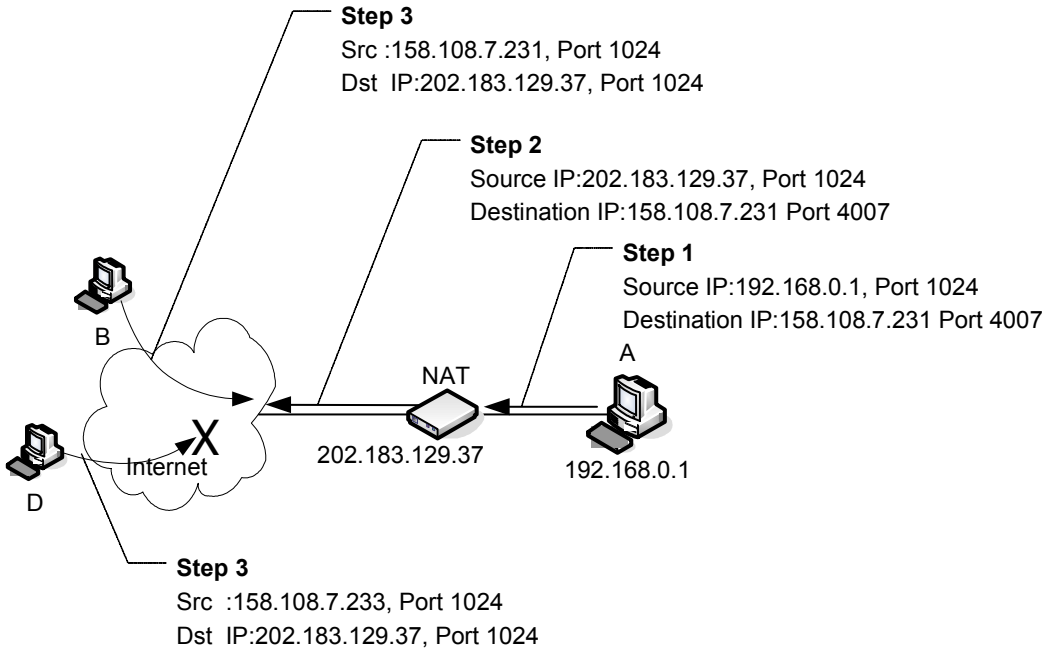
ขั้นตอนที่ 2 แพ็คเก็ตจะถูกเปลี่ยนหมายเลขไอพี 192.168.0.1 เป็นหมายเลขไอพีสาธารณะ หมายเลข 202.183.129.37

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อแพ็คเก็ตผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีและถูกเปลี่ยนหมายเลขไอพีแล้วหมายเลขที่ถูกเปลี่ยนนั้นสามารถสร้างการเชื่อมต่อจากภายนอกเข้ามาได้เช่น หมายเลขไอพี 158.108.7.232 และ 158.108.7.233 สามารถส่งแพ็คเก็ตข้อมูลไปหาไอพีหมายเลข 192.168.0.1 โดยการส่งแพ็คเก็ตไปยังไอพีแอดเดรส 202.183.129.37 แทน

6.1.2 Restricted Cone NAT

การทำงานจะคล้ายกับ Full cone NAT สิ่งที่แตกต่างคือ จะมีการตรวจสอบ หมายเลขไอพีของเครื่องที่เชื่อมต่อเข้ามาเทียบกับการเชื่อมต่อที่สร้างขึ้นในตอนแรกหรือไม่ โดยยกเว้นการตรวจสอบหมายเลขพอร์ต ซึ่งจะตรวจสอบเฉพาะหมายเลขไอพีแอดเดรสต้นทางและปลายทางเท่านั้น โดยผลของการตรวจสอบถ้าไม่

ตรงการเชื่อมต่อออกไปจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่หลังอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีในตอนแรกจะถูกยกเลิกไป (Huang *et al*., 2005) ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การเชื่อมต่อของ Restricted Cone NAT

จากภาพที่ 11 มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

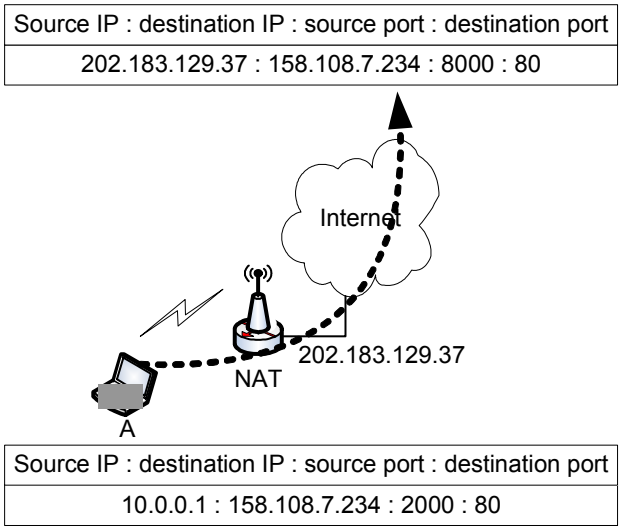
ขั้นตอนที่ 1 เครื่องคอมพิวเตอร์ A หมายเลขไอพีแอดเดรส 192.168.0.1 สร้างการเชื่อมต่อออกไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลขไอพี 158.108.7.231

ขั้นตอนที่ 2 แพ็คเก็ตจะถูกเปลี่ยนหมายเลขไอพี 192.168.0.1 เป็นหมายเลขไอพีสาธารณะหมายเลข 202.183.129.37

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อแพ็คเก็ตผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีและถูกเปลี่ยนหมายเลขไอพีแล้วหมายเลขที่ถูกเปลี่ยนนั้นสามารถสร้างการเชื่อมต่อจากภายนอกเข้ามาได้เฉพาะไอพีแอดเดรสที่สร้างขึ้นในตอนแรกเช่น การสร้างการเชื่อมต่อจะสามารถสร้างได้เฉพาะไอพี 158.108.7.231 เท่านั้น หมายเลขไอพี 158.108.7.232 และ 158.108.7.233 ไม่สามารถส่งแพ็คเก็ตข้อมูลไปหาไอพีหมายเลข 192.168.0.1 ได้หรือการส่งแพ็คเก็ตไปยังไอพีแอดเดรส 202.183.129.37 ก็ไม่สามารถทำได้เช่นกัน

6.1.3 Port Restricted Cone NAT

การทำงานของ ระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรส ชนิดนี้หมายเลขพอร์ตต้นทางของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่หลังอุปกรณ์ระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรส จะถูกเปลี่ยนเป็นหมายเลขพอร์ตต้นทางของระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแทน (Holdrege *et al*., 2001) ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 การเปลี่ยนหมายเลขพอร์ต ของ Port Restricted Cone NAT

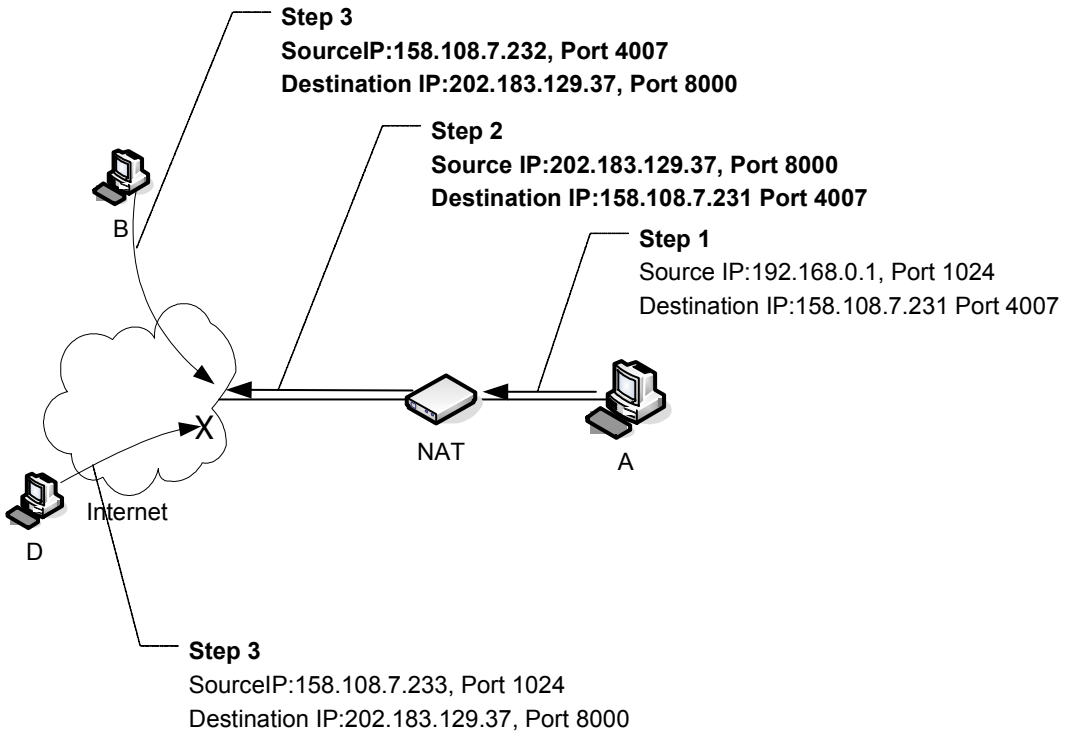
เมื่อมีการส่งแพ็คเก็จข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลขไอพี 10.0.0.1 พอร์ต 2000 ไปยังหมายเลขไอพี 202.183.129.37 พอร์ต 80 เมื่อแพ็คเก็ตผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพี หมายเลขไอพีและหมายเลขพอร์ตของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ส่งแพ็คเก็ตออกมาจะถูกเปลี่ยนเป็น 202.183.129.37 พอร์ต 8000 ซึ่งเป็นหมายเลขพอร์ตและหมายเลขไอพีของอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีและการสร้างการเชื่อมต่อออกจากระบบเครือข่ายภายใน (Private IP) ไปยังระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ต การเชื่อมต่อลักษณะนี้จะทำการตรวจสอบในส่วนของพอร์ตต้นทางและพอร์ตปลายทางว่าตรงกับการเชื่อมต่อในตอนแรกหรือไม่ ถ้าไม่ตรงการเชื่อมเข้ามานี้จะถูกยกเลิกไปดังภาพที่ 13

จากภาพที่ 13 มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เครื่องคอมพิวเตอร์ A ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากหมายเลขไอพีแอดเดรส 192.168.0.1 พอร์ต 1024 ออกไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลขไอพี 158.108.7.231 ที่หมายเลขพอร์ต 4007

ขั้นตอนที่ 2 แพ็คเก็ตจะถูกเปลี่ยนหมายเลขไอพี 192.168.0.1 และพอร์ต 1024 เป็นหมายเลขไอพีสาธารณะหมายเลข 202.183.129.37 พอร์ต 8000

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อแพ็คเก็ตผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีและถูกเปลี่ยนหมายเลขไอพีและพอร์ตแล้วหมายเลขไอพี 203.183.129.37 และพอร์ต 8000 ที่ถูกเปลี่ยนนั้นสามารถสร้างการเชื่อมต่อจากภายนอกเข้ามาได้เฉพาะหมายเลขพอร์ตต้นทางและหมายเลขพอร์ตปลายทางที่ถูกสร้างขึ้นในตอนแรก คือจะสามารถสร้างการเชื่อมต่อได้ทุกหมายเลขไอพีที่กำหนดหมายเลขพอร์ตต้นทางและหมายเลขพอร์ตปลายทางที่ตรงกันจากภาพหมายเลขพอร์ตต้นทางคือ 4007 และหมายเลขพอร์ตปลายทางคือ 8000



ภาพที่ 13 การเชื่อมต่อของ Port restricted Cone NAT

6.1.4 Symmetric NAT (ระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตร)

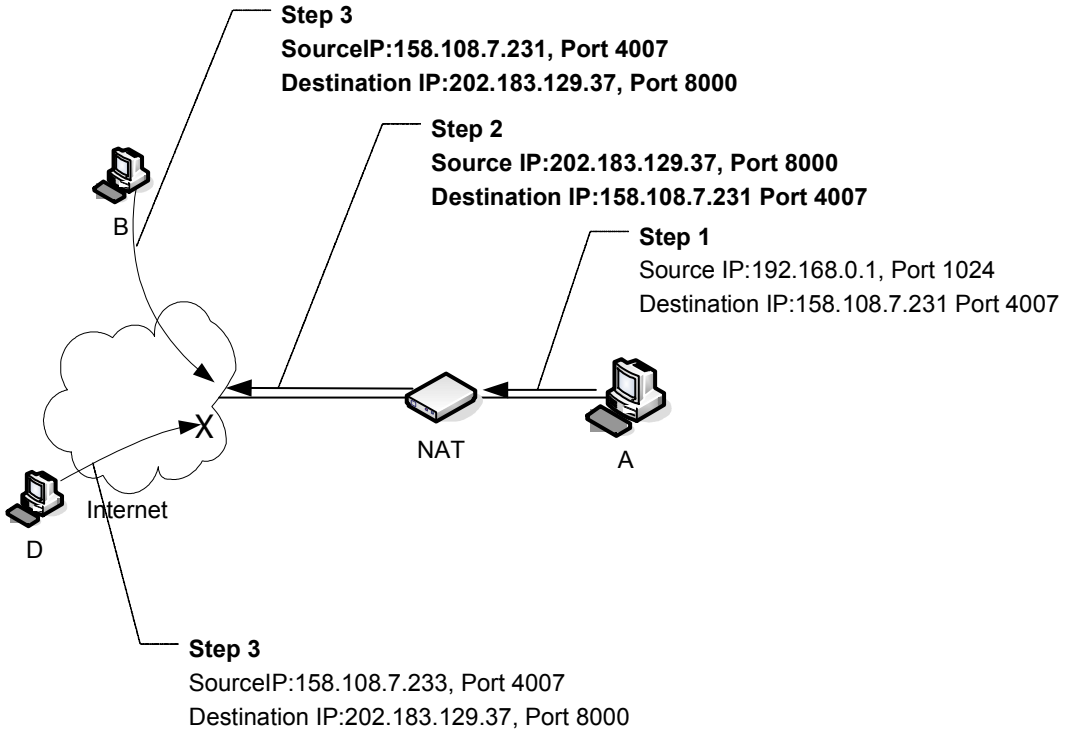
การทำงานของ ระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรส ชนิดนี้จะเพิ่มเติมจาก Port restrict cone คือจะมีนำหมายเลขไอพี, พอร์ตต้นทาง และ พอร์ตปลายทางของเครื่องที่ต้องการเชื่อมต่อเข้ามายังอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีมาจะตรวจสอบว่าตรงกับการเชื่อมต่อในตอนแรกหรือไม่ ซึ่งการเชื่อมต่อจะสำเร็จได้ก็ต่อเมื่อมีค่าหมายเลขไอพีและหมายเลขพอร์ตที่ตรงกับการเชื่อมต่อในตอนแรกเท่านั้น (Srisuresh and Egevang, 2001) ดังภาพที่ 14

จากภาพที่ 14 มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เครื่องคอมพิวเตอร์ A ส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจากหมายเลขไอพีแอดเดรส 192.168.0.1 พอร์ต 1024 ออกไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลขไอพี 158.108.7.231 ที่หมายเลขพอร์ต 4007

ขั้นตอนที่ 2 แพ็คเก็ตจะถูกเปลี่ยนหมายเลขไอพี 192.168.0.1 และพอร์ต 1024 เป็นหมายเลขไอพีสาธารณะหมายเลข 202.183.129.37 พอร์ต 8000

ขั้นตอนที่ 3 เมื่อแพ็คเก็ตผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีและถูกเปลี่ยนหมายเลขไอพีและหมายเลขพอร์ตแล้วหมายเลขไอพี 203.183.129.37 พอร์ต 8000 ที่ถูกเปลี่ยนนั้นสามารถสร้างการเชื่อมต่อจากภายนอกเข้ามาได้เฉพาะไอพีแอดเดรสและหมายเลขพอร์ตที่ตรงกับแพ็คเก็ตที่สร้างขึ้นในตอนแรกเท่านั้น คือจะสามารถสร้างการเชื่อมต่อเข้ามาได้เฉพาะไอพี 158.108.7.231 ต้องกำหนดหมายเลขพอร์ตต้นทางเป็น 4007 และพอร์ตปลายทางเป็น 8000 เท่านั้น จึงจะสามารถเชื่อมต่อได้



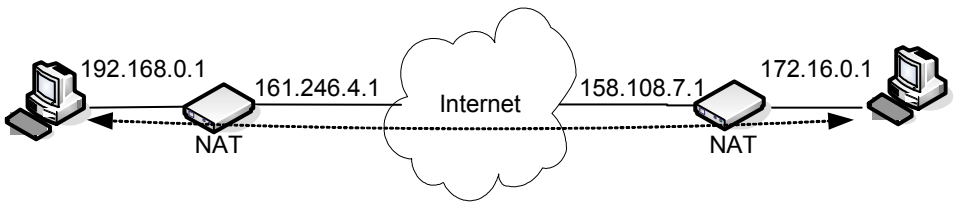
ภาพที่ 14 การเชื่อมต่อของ Symmetric NAT (ระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตร)

7. รูปแบบการสร้างการเชื่อมต่อ

การติดตั้งระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสนั้นทำให้เกิดปัญหาในการเชื่อมต่อสื่อสารข้อมูลจากภายนอกระบบเครือข่าย ในปัจจุบันได้มีการแก้ไขปัญหาการเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีซึ่งสามารถแบ่งรูปแบบการสร้างการเชื่อมต่อผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรส ออกเป็น 2 ชนิดหลักด้วยกันคือ

7.1 การสร้างการเชื่อมต่อแบบต่อตรง

การสร้างการเชื่อมต่อแบบต่อตรง (Ford *et al*., 2005) นั้นต้องอาศัยเครื่องเซอร์เวอร์ ที่ทำหน้าที่ชี้ตำแหน่งที่อยู่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้งานไอพีสงวนหลังระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรส เพื่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์เครื่องอื่นที่อยู่บนระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตสามารถเชื่อมต่อไปหาคอมพิวเตอร์ที่อยู่หลังระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรสได้ ซึ่งการเชื่อมต่อในรูปแบบนี้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่หลังระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรสต้องมีการแจ้งที่อยู่ของตนเองทุกๆช่วงเวลาเพื่อที่จะมีข้อมูลที่ถูกต้องตลอดเวลาที่เครื่องนั้นใช้งานระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตอยู่ โดยระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรสจะทำการแก้ไขหมายเลขไอพีจากไอพีสงวนเป็นไอพีสาธารณะของอุปกรณ์ระบบสลับเปลี่ยนไอพีทำให้เครื่องเซอร์เวอร์ชี้ที่อยู่ไปที่อุปกรณ์ระบบสลับเปลี่ยนไอพีซึ่งเป็นไอพีสาธารณะและอุปกรณ์ระบบสลับเปลี่ยนไอพีจะส่งข้อมูลนี้ไปหาเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่หลังระบบสลับเปลี่ยนไอพีเมื่อมีข้อมูลส่งเข้ามายังที่อยู่นี้โดยขึ้นกับชนิดต่างๆของระบบได้ดังภาพที่ 15

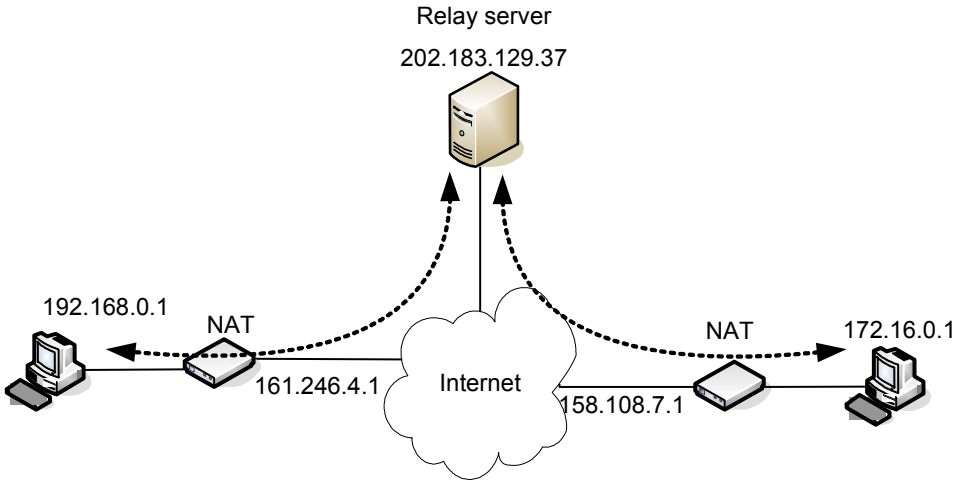


ภาพที่ 15 การเชื่อมต่อแบบต่อตรง (Direct connection)

7.2 การสร้างการเชื่อมต่อแบบส่งต่อ

การสร้างการเชื่อมต่อแบบส่งต่อ (Eun-Sang *et al*., 1999) ผ่านระบบสลับเปลี่ยนไอพีนั้นอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่บนเครือข่ายอินเตอร์เน็ตและมีหมายเลขไอพีเป็นไอพีสาธารณะคอยเชื่อมต่อระหว่างคอมพิวเตอร์ที่ต้องการสื่อสารกัน ซึ่งคอมพิวเตอร์ที่อยู่หลังระบบสลับเปลี่ยนไอพีทั้ง 2 ฝั่งจะเชื่อมต่อเข้ามาที่เครื่องเซอร์เวอร์นี้ที่ทำหน้าที่เป็นตัวกลางสื่อสารข้อมูลก่อนเพื่อที่จะสามารถสื่อสารกับเครื่องอื่นๆได้

ในการเชื่อมต่อรูปแบบนี้จะใช้เวลาตอบสนองในการสื่อสารข้อมูลสูงเนื่องจากมีการแก้ไขแพ็คเก็ตข้อมูลบนเครื่องเซอร์เวอร์ก่อนส่งออกไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่รอรับข้อมูลดังภาพที่ 16 การเชื่อมต่อแบบต่อตรงและแบบเชื่อมต่อแบบส่งต่อสามารถสรุปผลความสามารถในการเชื่อมต่อเทียบกับระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดต่างๆได้ดังตารางที่ 2



ภาพที่ 16 การเชื่อมต่อแบบส่งต่อ (Relay connection)

ตารางที่ 2 ความสามารถในการเชื่อมต่อเทียบกับระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดต่างๆ

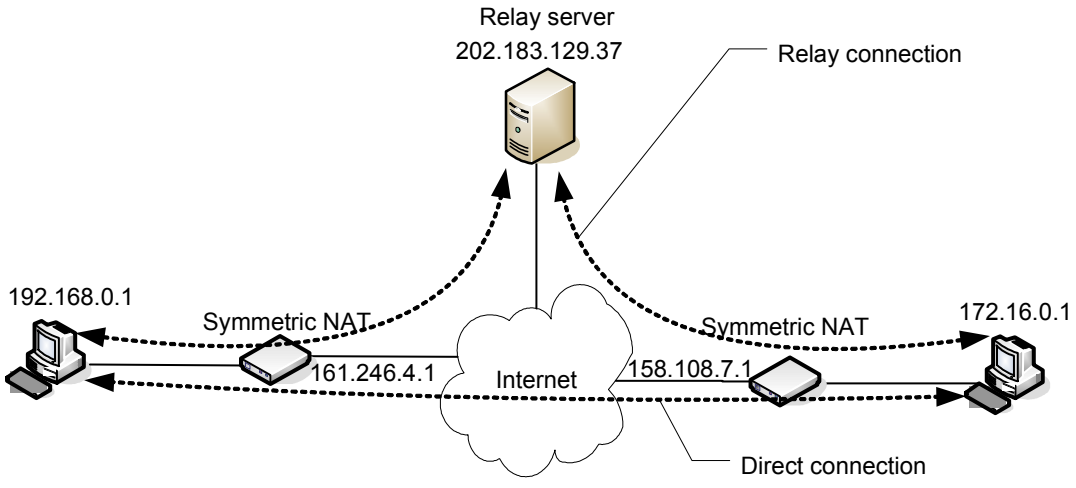
รูปแบบการสร้างการเชื่อมต่อ	Full Cone NAT	Restricted Cone NAT	Port Restricted Cone NAT	Symmetric NAT
การสร้างการเชื่อมต่อแบบต่อตรง	ได้	ได้	ได้	ไม่ได้
การสร้างการเชื่อมต่อแบบส่งต่อ	ได้	ได้	ได้	ได้

8. ภาพรวมของการเชื่อมต่อแบบต่อตรงผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตร

การเชื่อมต่อแบบต่อตรงผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสแบบสมมาตรนั้นในปัจจุบันยังไม่สามารถเชื่อมต่อได้ (Yong and Junzhong, 2006) และยังคงใช้การเชื่อมต่อแบบส่งต่อผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนกลางที่ตั้งอยู่บนระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตซึ่งการรับส่งข้อมูลต่างๆนั้นจะใช้เวลาในการรับส่งสูงเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงแก้ไขส่วนต่างๆของข้อมูลเพื่อทำให้เห็นว่าเป็นแพ็คเก็ตข้อมูลที่มาจากเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนกลางตามภาพที่ 17

การเชื่อมต่อในปัจจุบันนั้นมีรูปแบบที่แตกต่างกันออกไปซึ่งไม่สามารถกำหนดรูปแบบที่ตายตัวของระบบเครือข่ายที่ตนใช้งานอยู่ได้เช่น การเชื่อมต่อระบบเครือข่ายจากร้านกาแฟนั้นไม่สามารถบอกได้ว่าการเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนไอพีเป็นแบบสมมาตรหรือไม่ หรือการเชื่อมต่อจากสนามบินจะผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรหรือไม่ การเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบต่างๆ ยกเว้นแบบสมมาตรนั้นสามารถสร้างการเชื่อมต่อแบบต่อตรงได้แต่เมื่อไรที่มีการเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนไอพีแบบสมมาตรการเชื่อมต่อต่างๆ ที่ต้องการใช้งานจะถูกปรับเปลี่ยนการเชื่อมต่อเป็นแบบส่งต่อ ฉะนั้นการสร้างการเชื่อมต่อแบบต่อตรงผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรขึ้นมาได้นั้นจะทำให้การเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีทุกชนิดเป็นแบบต่อตรงทั้งหมด

การสร้างการเชื่อมต่อแบบต่อตรงในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการเชื่อมต่อโดยรับข้อมูลของอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีฝั่งตรงข้ามจากเครื่องแม่ข่ายชี้ตำแหน่งโดยเน้นไปที่การเชื่อมต่อแบบต่อตรงผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรทั้ง 2 ฝั่ง (Amorn and Anan, 2007) ซึ่งการเชื่อมต่อแบบต่อตรงผ่านระบบสลับเปลี่ยนไอพีแบบสมมาตร ข้อดีคือจะลดระยะทางที่ข้อมูลเดินทางในระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตคือจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ร้องขอการเชื่อมต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่รอรับการเชื่อมต่อโดยไม่ส่งข้อมูลไปยังเครื่องส่วนกลางที่ทำหน้าที่ส่งข้อมูลต่ออีกทอดและยังลดขบวนการทำงานในส่วนของการแก้ไขข้อมูลในแพ็คเก็ตข้อมูลเพื่อที่จะส่งไปยังปลายทางบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง ทำให้ระบบการเชื่อมต่อตรงนั้นมีประสิทธิภาพด้านเวลาดีกว่าการเชื่อมต่อแบบส่งต่อตามภาพที่ 17



ภาพที่ 17 การเชื่อมต่อแบบส่งต่อและแบบต่อตรงผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตร

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์และอุปกรณ์เครือข่าย

1.1 เครื่องคอมพิวเตอร์จำนวน 3 เครื่อง

1.2 สวิตชิ่งฮับจำนวน 1 ตัว

1.3 แอคเซสพอยต์ 2 ตัว

2. ซอฟต์แวร์

2.1 ซอฟต์แวร์ Free LINUX รุ่น 6.0

2.2 ซอฟต์แวร์ Redhat Fedora core รุ่น 6

2.3 ซอฟต์แวร์ GCC, GPP รุ่น 4.0

2.4 ซอฟต์แวร์ libnet รุ่น 1.1.2.1

2.5 ซอฟต์แวร์ IP Table รุ่น 1.2.4

2.6 ซอฟต์แวร์ IP Firewall รุ่น 1.26

2.7 ซอฟต์แวร์ VM ware รุ่น 5.5.0.1

2.8 ซอฟต์แวร์ Windows XP รุ่น 5.1

วิธีการ

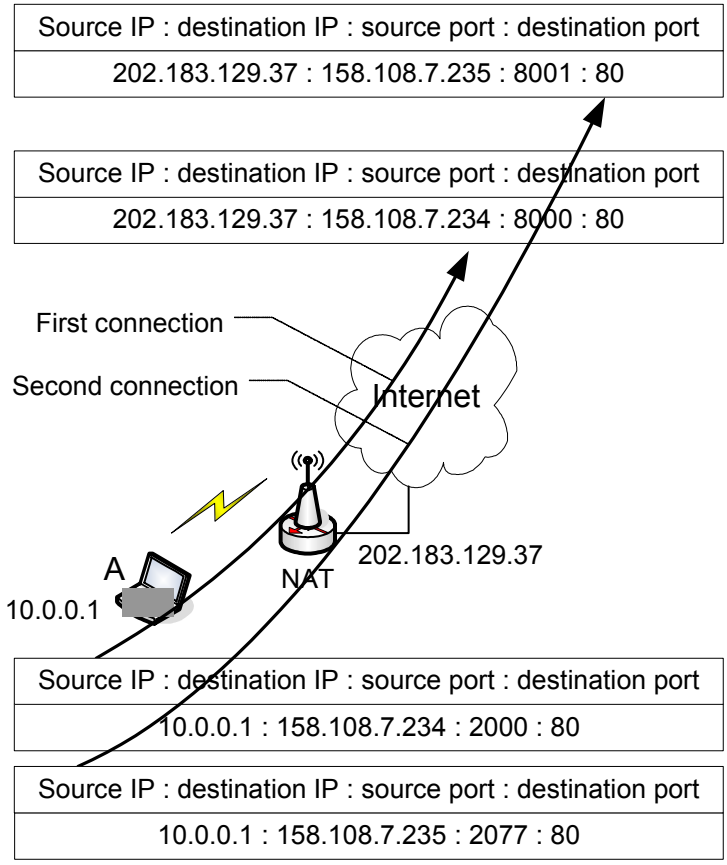
1. การเชื่อมต่อแบบต่อตรงผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรโดยวิธีการเดาพอร์ต

จากปัญหาทางด้านเวลาของการเชื่อมต่อผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรที่พบในวิทยานิพนธ์นี้ก่อนหน้านี้ ที่มีการเชื่อมต่อแบบส่งต่อ (Rosenberg *et al*., 2005) ซึ่งมีค่าหน่วงเวลาสูงและการเชื่อมต่อแบบต่อตรง (Rosenberg and Weinberger, 2003) ไม่สามารถใช้ได้กับระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสมมาตร

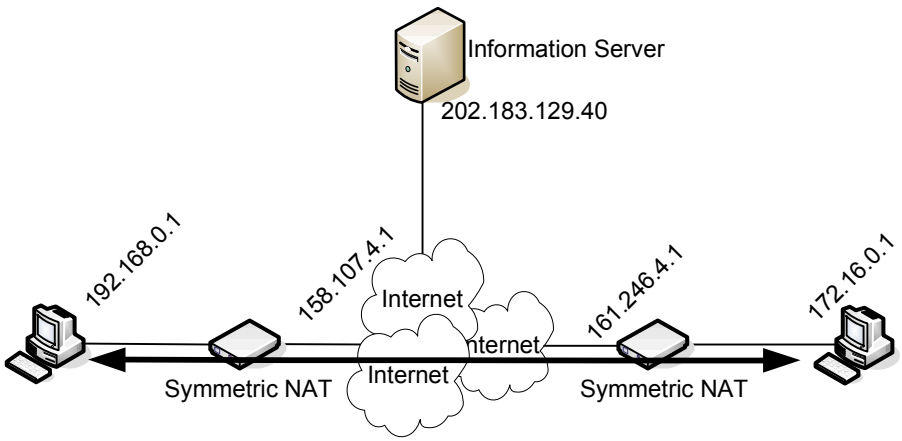
วิทยานิพนธ์นี้จึงได้ออกแบบและสร้างระบบการเชื่อมต่อแบบต่อตรงผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตร โดยมีเครื่องคอมพิวเตอร์แม่ข่ายส่วนกลางคอยให้ข้อมูลของอุปกรณ์สลับเปลี่ยนทั้ง 2 ฝั่ง

จากข้อเท็จจริงที่ว่าการปรับแต่งอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีที่ใช้งานอยู่นั้นเป็นไปไม่ได้ เช่นการที่เราไปใช้งานเครือข่ายไร้สายที่ร้านกาแฟ หรือสนามบิน ซึ่งต้องเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีดังกล่าวจะไม่สามารถทำการแก้ไขเปลี่ยนแปลงได้จากผู้ใช้งาน เป็นต้น

ระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรนั้นหมายเลขพอร์ตที่ใช้งานมีความสำคัญมาก ผู้วิจัยได้ทำการเฝ้าสังเกตพฤติกรรมของอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตร และพบว่าการใช้งานหมายเลขพอร์ตจะมีลักษณะเป็นแบบเรียงลำดับ (Sequential) คือถ้าหมายเลขพอร์ตที่ถูกใช้งานจากอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีล่าสุดเป็นหมายเลข 8000 การเชื่อมต่อที่เกิดขึ้นหลังจากนี้จากคอมพิวเตอร์หลังอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพี ซึ่งค่าพอร์ตต้นทางจะถูกอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีจะเรียกใช้งานจะเพิ่มขึ้นอย่างเป็นระเบียบคือ 8001, 8002, 8003, … ตามลำดับดังภาพที่ 18 เครื่องคอมพิวเตอร์ A ส่งแพ็คเก็ตข้อมูล (First connection) โดยมีไอพีต้นทางคือ 10.0.0.1 และพอร์ตต้นทางคือพอร์ต 2000 และเมื่อแพ็คเก็ตมาถึงอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีจะถูกเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสต้นทางเป็นไอพีแอดเดรสของอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีเองคือ 202.183.129.37 และหมายเลขพอร์ตต้นทางถูกเปลี่ยนเป็นพอร์ต 8000 จากนั้นแพ็คเก็ตจะถูกส่งไปยังปลายทาง เมื่อมีการส่งแพ็คเก็ตที่ 2 (Second connection) ออกไปจากเครื่องคอมพิวเตอร์โดยมีหมายเลขไอพีต้นทางคือ 10.0.0.1 และหมายเลขพอร์ตต้นทางคือ 2077 เมื่อแพ็คเก็ตมาถึงอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีหมายเลขไอพีจะถูกเปลี่ยนเป็นหมายเลข 202.183.129.37 และหมายเลขพอร์ตจะถูกเปลี่ยนเป็น 8001 ซึ่งจะเห็นว่าการเปลี่ยนหมายเลขพอร์ตต้นทางของระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรเป็นแบบเรียงลำดับ (Sequential)



ภาพที่ 18 การเปลี่ยนพอร์ตต้นทางของระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตร



ภาพที่ 19 การสร้างการเชื่อมต่อของงานวิจัยนี้

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้ออกแบบและสร้างระบบการเชื่อมต่อแบบต่อตรงผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรตามภาพที่ 19 โดยมีเครื่องแม่ข่ายส่วนกลางคอยให้ข้อมูลของอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพี (Information Server) ทั้ง 2 ฝั่ง ซึ่งสามารถสรุปส่วนต่างๆ ที่ทำงานสอดคล้องกันในการสร้างการเชื่อมต่อได้ดังนี้

1.1 ระบบสร้างการเชื่อมต่อฝั่งให้บริการการเชื่อมต่อ

1.1.1 ระบบลงทะเบียนและแจ้งที่อยู่ของเครื่องที่เปิดให้บริการการเชื่อมต่อ

1.1.2 ระบบส่งข้อมูลเริ่มต้นการเชื่อมต่อโดยการเดาพอร์ต

1.1.3 ระบบควบคุมการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมย่อยและโปรโตคอลแสตก

1.2 ระบบสร้างการเชื่อมต่อฝั่งร้องขอการเชื่อมต่อ

1.2.1 ระบบร้องขอการเชื่อมต่อ

1.2.2 ระบบส่งข้อมูลเริ่มต้นการเชื่อมต่อโดยการเดาพอร์ต

1.2.3 ระบบควบคุมการเชื่อมต่อระหว่างโปรแกรมย่อยและโปรโตคอลแสตก

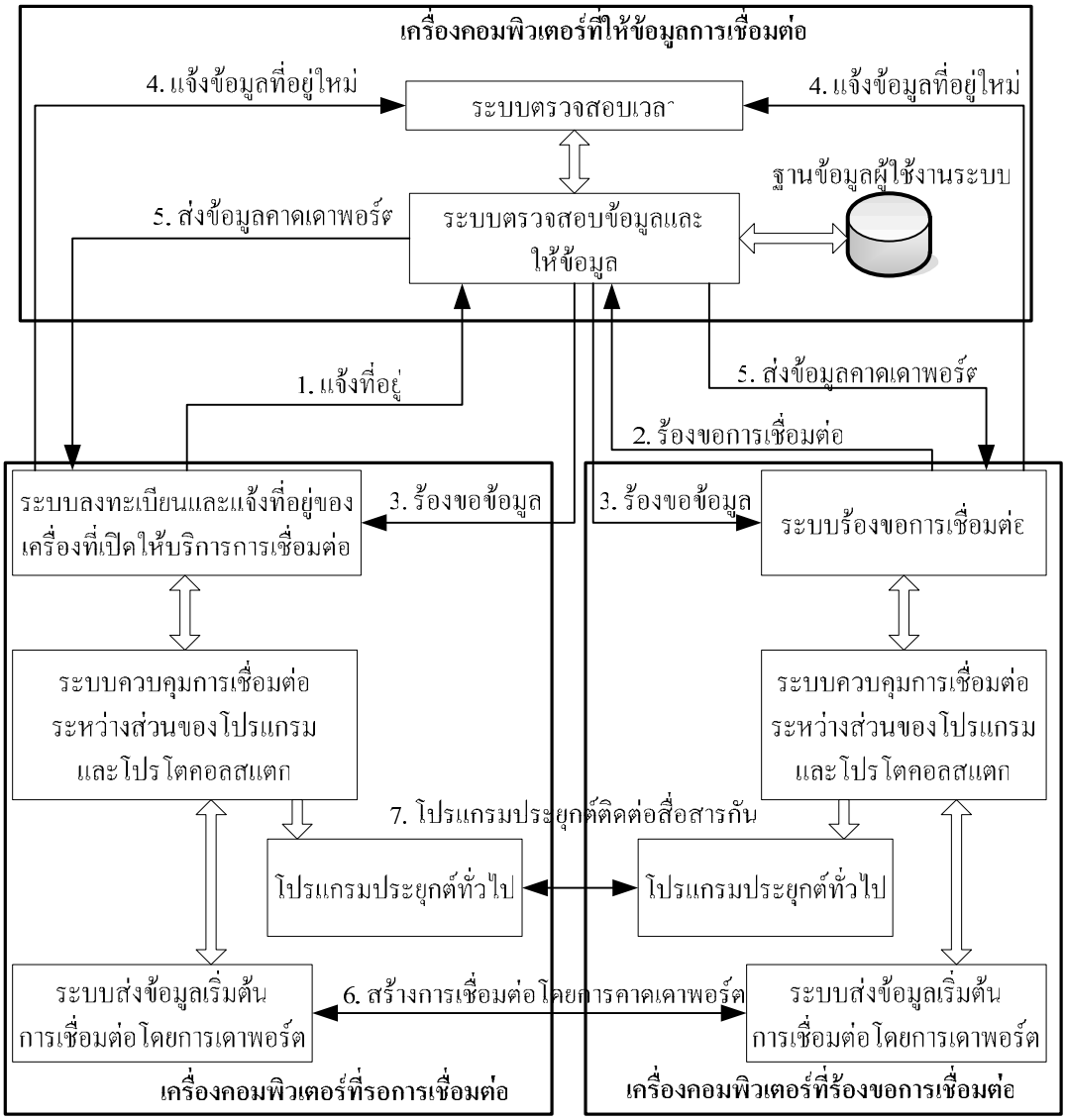
1.3 ระบบให้ข้อมูลส่วนกลาง

1.3.1 ระบบตรวจสอบที่อยู่และให้ข้อมูล

1.3.2 ระบบตรวจสอบเวลาการรับส่งข้อมูล

2. ขั้นตอนการทำงานนของระบบการเชื่อมผ่านระบบสับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสมมาตรแบบต่อตรงในงานวิจัยนี้

ขั้นตอนการทำงานของระบบนั้นอ้างอิงจากภาพที่ 20 ซึ่งแต่ละส่วนของโปรแกรมนั้นถูกควบคุมการทำงานโดยโปรแกรมควบคุมซึ่งทำหน้าที่ประสานงานระหว่างส่วนต่างๆของโปรแกรมโปรโตคอลแสตก และโปรแกรมประยุกต์ทั่วไปซึ่งขั้นตอนการทำงานทั้งหมดเป็นดังนี้



ภาพที่ 20 ภาพรวมการทำงานของระบบ

2.1 ขั้นตอนการแจ้งที่อยู่

การทำงานของขั้นตอนการแจ้งที่อยู่ ในขั้นตอนนี้จะเป็นการส่งข้อมูลที่บรรจุชื่อของเครื่องตนเองแล้วส่งไปยังเครื่องส่วนกลางที่คอยชี้ตำแหน่ง การส่งแพ็คเก็ตแจ้งที่อยู่นั้นจะทำการส่งทุกๆช่วงเวลา 5 นาที เนื่องจากหมายเลขไอพีนั้นมีการเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลาเช่น เมื่อระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีเชื่อมต่อไปยังระบบเครือข่ายอินเตอร์เน็ตและได้รับหมายเลขไอพีสาธารณะหมายเลขหนึ่งและเมื่อการเชื่อมต่อเกิดปัญหาและมีการเชื่อมต่อครั้งใหม่ซึ่งหมายเลขไอพีจะเปลี่ยนไปเป็นหมายเลขไอพีหมายเลขใหม่จึงต้องมีการแจ้งที่อยู่ตลอดเวลา

ภาพที่ 21 แพ็คเก็ตข้อมูลแจ้งที่อยู่

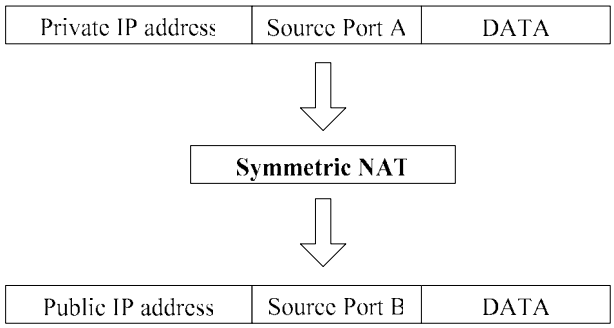
2.2 ขั้นตอนการร้องขอการเชื่อมต่อ

การร้องขอการเชื่อมต่อในขบวนการนี้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ร้องขอเชื่อมต่อจะส่งแพ็คเก็ตร้องขอการเชื่อมต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนกลางที่คอยชี้ตำแหน่งโดยบรรจุชื่อของคอมพิวเตอร์ที่ร้องขอเชื่อมต่อและรอการตอบกลับของเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนกลางโดยยังไม่มีการส่งแพ็คเก็ตการคาดเดาพอร์ตเนื่องจากยังไม่มีข้อมูลพอร์ตของอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีของฝั่งตรงข้าม

ภาพที่ 22 แพ็คเก็ตร้องขอการเชื่อมต่อ

แพ็คเก็ตต่างๆนั้นจะไม่มีการระบุหมายเลขไอพีในส่วนของข้อมูลที่นำส่งออกไปแต่จะอาศัยกลไกของโปรโตคอลทีซีพี/ไอพีและระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพี แพ็คเก็ตของการแจ้งที่อยู่หรือการร้องขอการเชื่อมต่อจะมีส่วนของข้อมูลหมายเลขไอพีและหมายเลขพอร์ตที่อยู่ในส่วนหัวของข้อมูลตามหลักการทำงานของระดับชั้นเน็ตเวิร์คและระดับชั้นทรานสปอร์ต ซึ่งแพ็คเก็ตที่ส่งออกไปจากคอมพิวเตอร์ที่อยู่หลังระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีก่อนที่จะผ่านระบบนี้แพ็คเก็ตจะมีค่าหมายเลขไอพีเป็นหมายเลขไอพีสงวนของเครื่องคอมพิวเตอร์

ตนเองและเมื่อแพ็คเก็ตผ่านระสลับเปลี่ยนไอพีข้อมูลหมายเลขไอพีจะถูกเปลี่ยนเป็นหมายเลขไอพีสาธารณะของอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีอัตโนมัติตามกลไกการทำงานของระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพี ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่งบันทึกหมายเลขไอพีของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ทำการแจ้งที่อยู่และร้องขอการเชื่อมต่อข้อมูลได้ถูกต้อง



ภาพที่ 23 การเปลี่ยนหมายเลขไอพีและหมายเลขพอร์ตต้นทางของแพ็คเก็ตข้อมูล

2.3 การร้องขอข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการเชื่อมต่อ

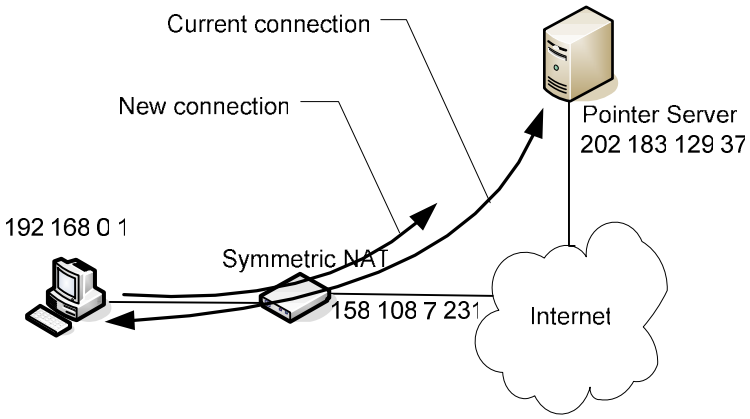
การร้องขอข้อมูลจากเครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการเชื่อมต่อทั่ง 2 ฝั่งนี้เพื่อที่ต้องการทราบหมายเลขเริ่มต้นของพอร์ตที่ใช้งาน ณ. ปัจจุบันของอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีทั้ง 2 ฝั่งตามกลไกการทำงานของระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรที่มีการเปิดใช้หมายเลขแบบเรียงลำดับทำให้เราสามารถหาหมายเลขพอร์ตที่จะถูกใช้งานหมายเลขถัดไปบนอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสได้ตามภาพที่ 24 การเชื่อมต่อจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ร้องขอการเชื่อมต่อหรือการแจ้งเปิดบริการการเชื่อมต่อนั้นจะสร้างการเชื่อมต่อค้างไว้ 1 การเชื่อมต่อ (Current connection)เพื่อรับส่งข้อมูลและจะทำการสร้างการเชื่อมต่อใหม่ (New connection)เพื่อให้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ชี้ตำแหน่งที่อยู่ทราบหมายเลขพอร์ต ณ. ปัจจุบัน

ซึ่งการทราบหมายเลขเริ่มต้นที่ใช้งาน ณ. ปัจจุบันของอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีทำให้เราสามารถกำหนดช่วงของหมายเลขพอร์ตที่จะถูกใช้งานต่อไปและส่งแพ็คเก็จสร้างการเชื่อมต่อเข้าไปหาเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่หลังระบบสลับเปลี่ยนไอพีแอดเดรสแบบสมมาตรได้

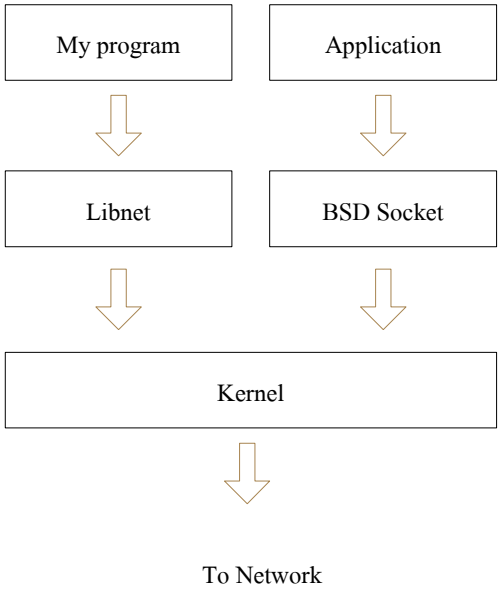
2.4 การแจ้งที่อยู่เพื่อปรับปรุงข้อมูลพอร์ต

การแจ้งที่อยู่เพื่อปรับปรุงข้อมูลพอร์ตนั้นจะเป็นการแจ้งข้อมูลโดยรูปแบบการส่งข้อมูลปรกติแต่จะสร้างการเชื่อมต่อใหม่เสมือนว่าเป็นการใช้งานของโปรแกรมประยุกต์อื่นเพื่ออุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอ

พีจะใช้หมายเลขพอร์ตใหม่ที่ได้จากโดยแก้ไขในส่วนหัวของข้อมูลก่อนนำส่งออกไปของระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสทำให้เราทราบพอร์ตของการใช้งาน ณ. ปัจจุบัน ในขั้นตอนนี้จะเริ่มใช้ลักษณะพิเศษของการเขียนโปรแกรมติดต่อกับอินเทอร์เฟสระบบส่วนล่างสุดของระบบปฏิบัติการ (Kernel) ผ่านทางไลบรารี่ Libnet ดังแสดงในภาพที่ 25 โดย Libnet คือไลบรารี่ที่สามารถสร้างแพ็คเก็ตข้อมูลส่งออกไปจากเครื่องคอมพิวเตอร์โดยไม่ต้องพึงกลไกการทำงานของ BSD Socket ซึ่งจะเป็นการส่งข้อมูลออกไปโดยไม่ต้องสร้างการเชื่อมต่อบนโปรโตคอลแสตกตามขบวนการสถาปนาการเชื่อมต่อของโปรโตคอลแสตกบนเครื่องคอมพิวเตอร์แสดงดังภาพที่ 25

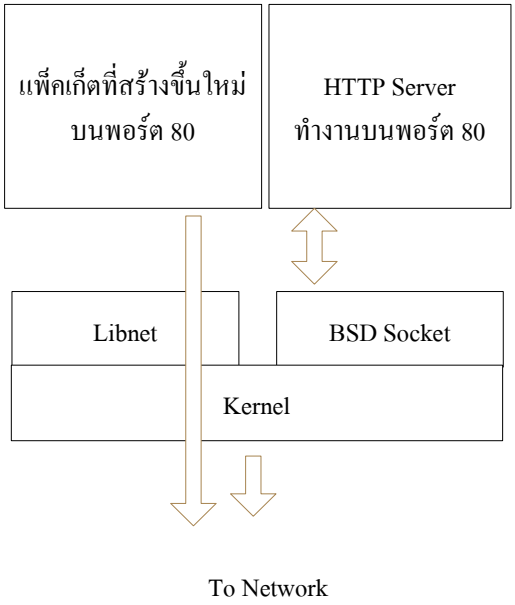


ภาพที่ 24 การทำงานของระบบที่ทำให้ทราบหมายเลขของพอร์ตเริ่มต้น

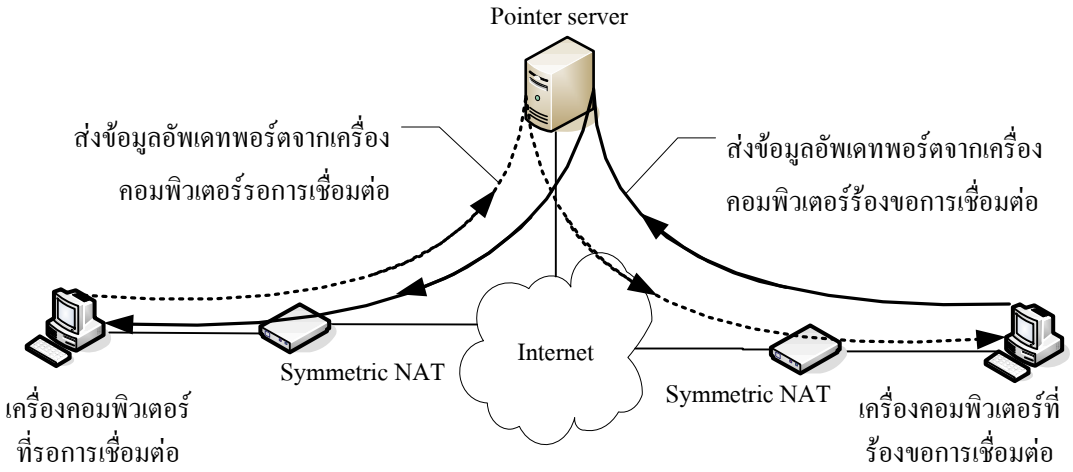


ภาพที่ 25 การทำงานของ Libnet ขนานกับโปรโตคอลแสตก

ซึ่งการเขียนโปรแกรมควบคู่กับ Libnet ทำให้เราสามารถส่งข้อมูลบนหมายเลขพอร์ตที่ซ้ำกันได้บน LINUX/BSD Socket และ Libnet ตัวอย่างเช่น เครื่องคอมพิวเตอร์เปิดบริการเวปเซอร์เวอร์ที่หมายเลขพอร์ต 80 เราสามารถส่งข้อมูลออกไปจากหมายเลขพอร์ต 80 โดยใช้ไลบรารี่ Libnet โดยไม่อ้างอิงการทำงานของขบวนการทีซีพี ดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 การส่งข้อมูลบนพอร์ตที่ทับซ้อนของ Libnet



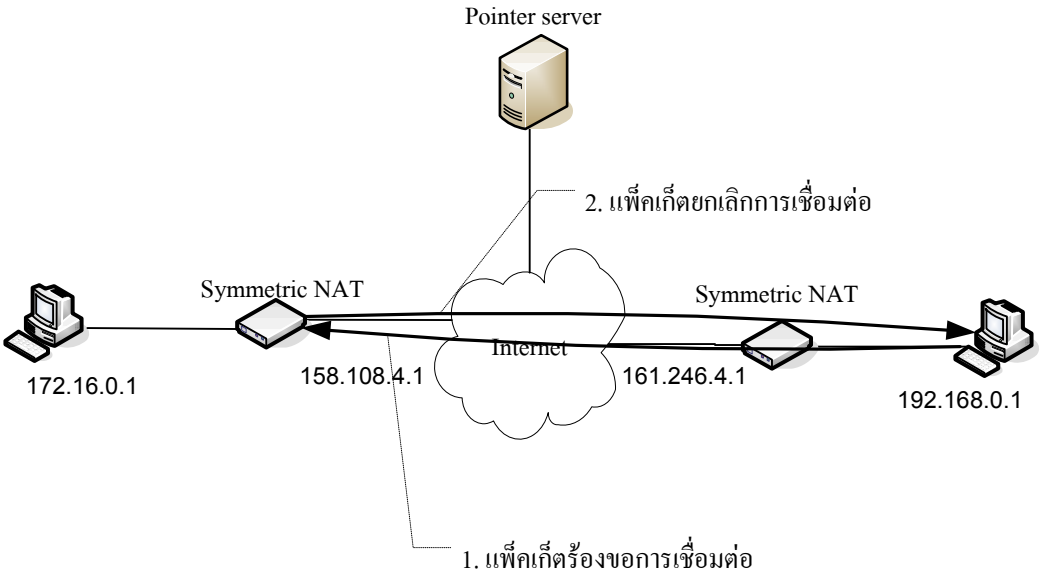
ภาพที่ 27 การส่งข้อมูลพอร์ตเริ่มต้นให้ฝั่งตรงข้ามจากเครื่องชี้ตำแหน่ง

2.5 การส่งข้อมูลพอร์ตเริ่มต้นให้ฝั่งตรงข้ามจากเครื่องชี้ตำแหน่ง

การส่งข้อมูลพอร์ตเริ่มต้นให้ฝั่งตรงข้ามจากเครื่องชี้ตำแหน่งเมื่อได้รับการตอบกลับจากเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 ฝั่งทำให้เครื่องส่วนกลางทราบหมายเลขพอร์ตที่จะเปิดใช้งานของอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสถัดไปทั้ง 2 ฝั่ง การส่งข้อมูลกลับจากเครื่องชี้ตำแหน่งไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 ฝั่งตามภาพที่ 27 จะมีหลักการด้านเวลาเข้ามาเกี่ยวข้องเนื่องจากการป้องกันปัญหาการยกเลิกการเชื่อมต่อที่หมายเลขพอร์ตนั้นๆ ของอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรส

2.5.1 ปัญหาการยกเลิกการเชื่อมต่อ

การยกเลิกการเชื่อมต่อนั้นจะเกิดขึ้นตามกลไกการทำงานของโปรโตคอลทีซีพี/ไอพีคือ เมื่อมีการเชื่อมต่อเข้ามาที่หมายเลขพอร์ตที่ไม่ได้เปิดใช้งานหมายเลขพอร์ตนั้นจะถูกนำไปใช้โดยระบบปฏิบัติการเพื่อใช้ในการส่งข้อมูลยกเลิกการเชื่อมต่อกลับไปหาเครื่องที่ร้องขอการเชื่อมต่อเข้ามาทำให้ไม่สามารถใช้งานที่พอร์ตนั้นได้ชั่วคราว แต่ในกรณีนี้เมื่อมีการร้องขอการเชื่อมต่อเข้ามาที่หมายเลขพอร์ตใดพอร์ตหนึ่งบนอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีจะนำทำการเช็คว่ามีข้อมูลการสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีจากตารางที่ทำการจับคู่ไว้หรือไม่ ซึ่งถ้าไม่มีข้อมูลระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีจะนำหมายเลขพอร์ตนั้นไปใช้งานในการตอบยกเลิกการเชื่อมต่อกลับไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ร้องขอการเชื่อมต่อทำให้หมายเลขพอร์ตนั้นไม่สามารถใช้งานได้ชั่วคราว



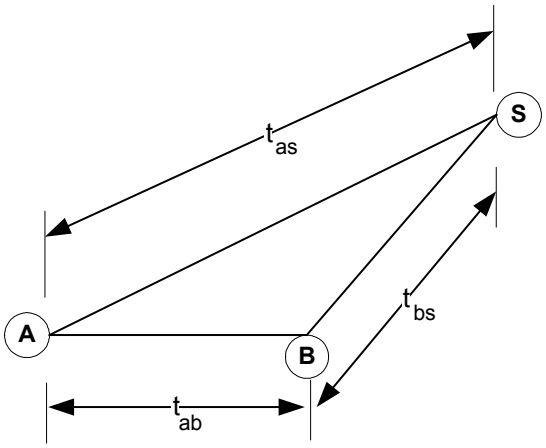
ภาพที่ 28 ปัญหาการยกเลิกการเชื่อมต่อ

ตามภาพที่ 28 เครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลขไอพี 192.168.0.1 ส่งแพ็คเก็ตร้องขอการเชื่อมต่อไปยัง 158.108.4.1 และได้รับการตอบรับเป็นการส่งแพ็คเก็ตแจ้งว่ายกเลิกการเชื่อมต่อเนื่องจากอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแอดเดรสเนื่องจากไม่มีหมายเลขพอร์ตที่เปิดใช้งานในตารางข้อมูลของตัวอุปกรณ์

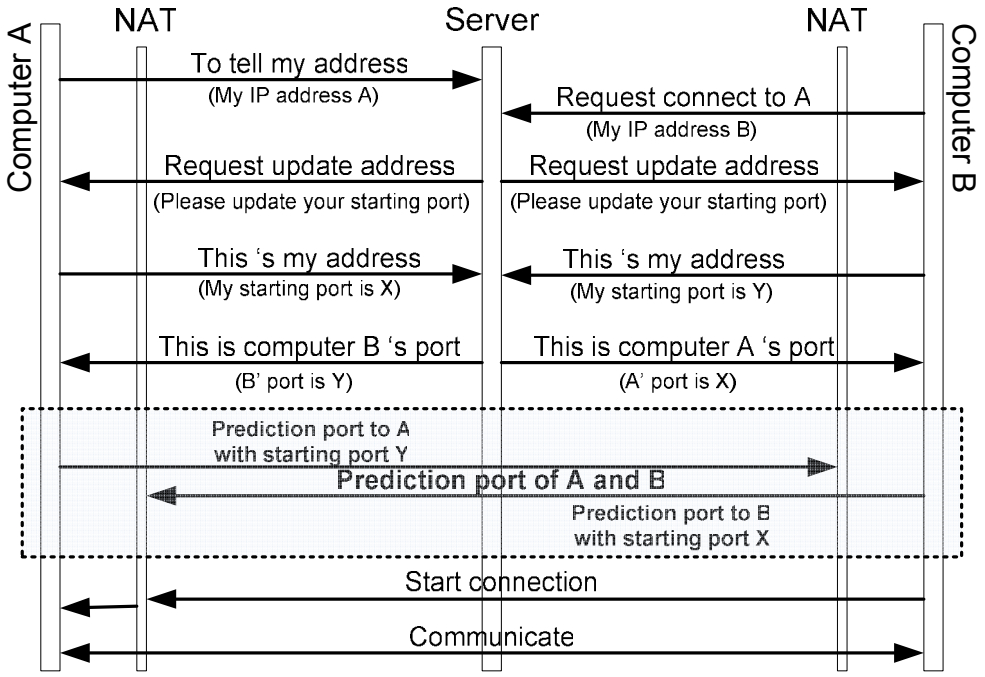
2.5.2 หลักการด้านเวลา

ทางผู้วิจัยได้เสนอหลักการด้านเวลาเข้ามาช่วยในการป้องกันการขอยกเลิกการเชื่อมต่อนี้ ดังนั้นแพ็คเก็ตแจ้งพอร์ตเริ่มต้นควรไปถึงเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการเชื่อมต่อทั้ง 2 ฝั่งพร้อมกัน ซึ่งจะทำให้แพ็คเก็ตคาดเดาพอร์ตของการเชื่อมต่อของทั้งสองฝั่งเดินทางถึงอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีได้พร้อมกัน หรือใกล้เคียงกันมากที่สุด

จากภาพที่ 29 โหนด S คือเครื่องเซอร์เวอร์ชี้ตำแหน่ง โหนด A คือเครื่องคอมพิวเตอร์ที่รอรับการเชื่อมต่อ โหนด B คือเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ร้องขอเชื่อมต่อ จากการตรวจสอบค่าหน่วงเวลาระหว่างโหนดต่างๆมายังเครื่องเซอร์เวอร์ชี้ตำแหน่ง ได้ค่าเป็น t_{as} คือช่วงเวลาที่แพ็คเก็ตเดินทางจากโหนด A มาที่โหนด S, t_{bs} คือช่วงเวลาที่แพ็คเก็ตเดินทางจากโหนด B มาที่โหนด S และ t_{ab} คือช่วงเวลาที่แพ็คเก็ตเดินทางจาก โหนด A มายังโหนด B สมมติว่าเวลา $t_{as} = 8$ หน่วยเวลา $t_{bs} = 3$ หน่วยเวลา ถ้าเซอร์เวอร์ S ทำการส่งแพ็คเก็ตแจ้งพอร์ตไปยังโหนด A และโหนด B พร้อมกัน จะทำให้แพ็คเก็ตคาดเดาพอร์ตจากโหนด B เดินทางถึงโหนด A ก่อน เป็นเวลา $t_{as} - t_{bs}$ เท่ากับ 5 หน่วยเวลา ดังนั้นเพื่อให้แพ็คเก็ตคาดเดาพอร์ตจากโหนด A เดินทางไปถึงโหนด B พร้อมกันกับแพ็คเก็ตคาดเดา port จากโหนด B เดินทางไปถึงโหนด A เซอร์เวอร์ S จะต้องทำการหน่วงเวลาที่จะส่งแพ็คเก็ตไปยังโหนด B = $t_{as} - t_{bs}$ นั่นเอง



ภาพที่ 29 ช่วงเวลาการรอส่งแพ็คเก็ต



ภาพที่ 30 การเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสมมาตรทั้ง 2 ฝั่งโดยการคาดเดาพอร์ต

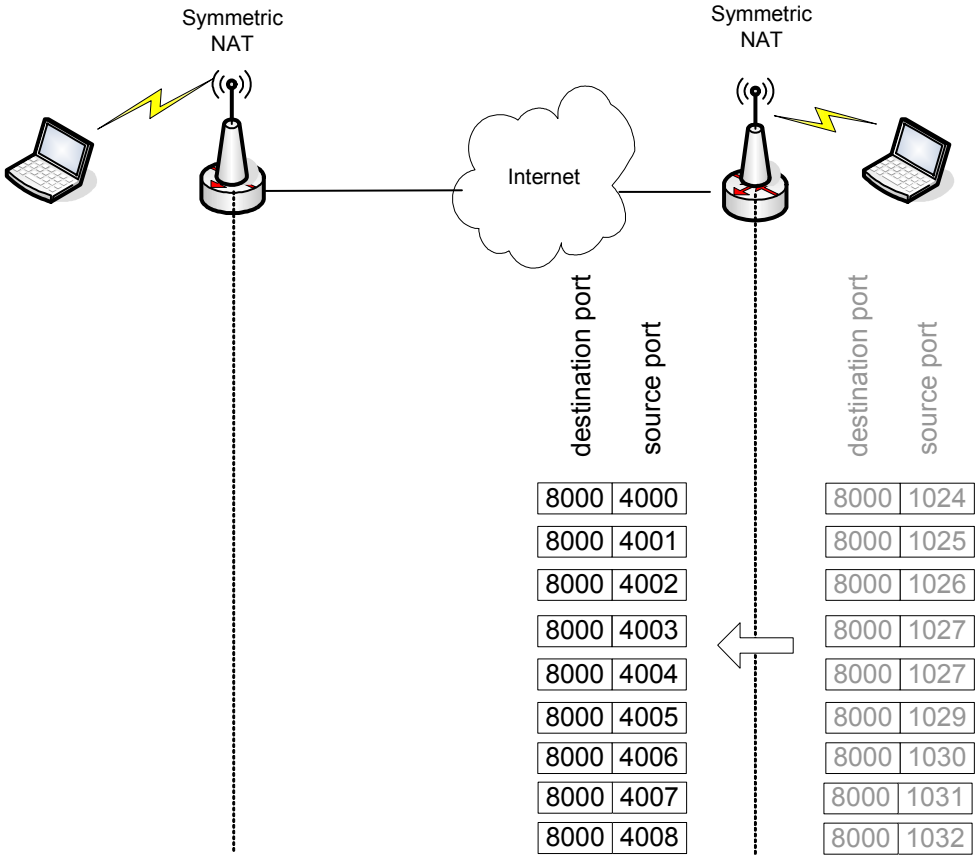
2.6 การสร้างการเชื่อมต่อโดยการคาดเดาพอร์ต

การเชื่อมต่อแบบสมมาตรนี้ ต้องมีการออกแบบให้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่หลังอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีทั้ง 2 ฝั่งสามารถคาดเดาพอร์ตของอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีฝั่งตรงข้ามได้ วิธีการคาดเดาพอร์ตแสดงดังภาพที่ 30 โดยจะใช้ค่าเริ่มต้นจากหมายเลขพอร์ตที่ได้รับจากเครื่องเซอร์เวอร์ชี้ตำแหน่ง สมมุติว่าเครื่องคอมพิวเตอร์ B ทำการร้องขอการเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ A การเชื่อมต่อของทั้ง 2 ฝั่งเป็นอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตร ซึ่งต้องอาศัยการส่งแพ็คเก็ตในการ คาดเดาพอร์ตของเครื่องคอมพิวเตอร์ A และ B

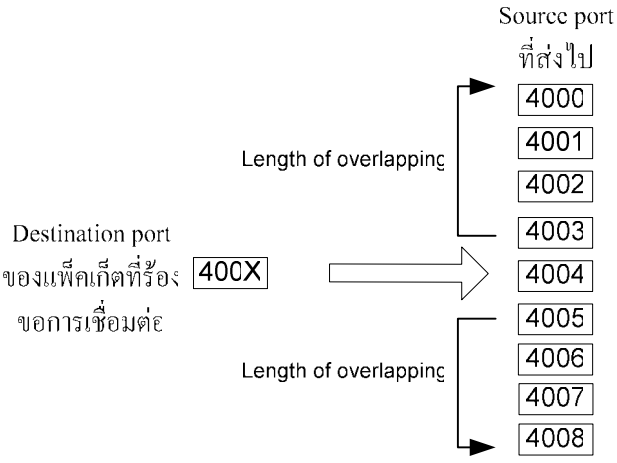
2.6.1 การส่งแพ็คเก็ตคาดเดาพอร์ต

เมื่อได้รับหมายเลขพอร์ตจากเครื่องเซอร์เวอร์ชี้ตำแหน่ง การเริ่มต้นสร้างการเชื่อมต่อจากการเดาพอร์ตของทั้ง 2 ฝั่งจะเป็นลักษณะคงที่คือจะใส่ข้อมูลพอร์ตปลายทางจากค่ากลางเมื่อได้รับพอร์ตเริ่มต้นที่เครื่องเซอร์เวอร์ชี้ตำแหน่งส่งมา ตัวอย่างเช่นเครื่องเซอร์เวอร์ชี้ตำแหน่งส่งค่าพอร์ตเริ่มต้นมาให้คือ 4000 จากการทดลองส่งแพ็คเก็ตจำนวน 9 แพ็คเก็ตที่ใช้ในการคาดเดาพอร์ตดังนั้นค่ากลางควรเป็นครึ่งหนึ่งซึ่งมีค่าเท่ากับ 4004

จากนั้นเมื่อส่งแพ็คเก็ตออกไปยังฝั่งตรงข้ามโดยผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีฝั่งที่ส่งออก ซึ่งอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีจะทำการกำหนดหมายเลขพอร์ตต้นทางใหม่โดยที่มีลักษณะเรียงลำดับ ดังภาพที่ 31

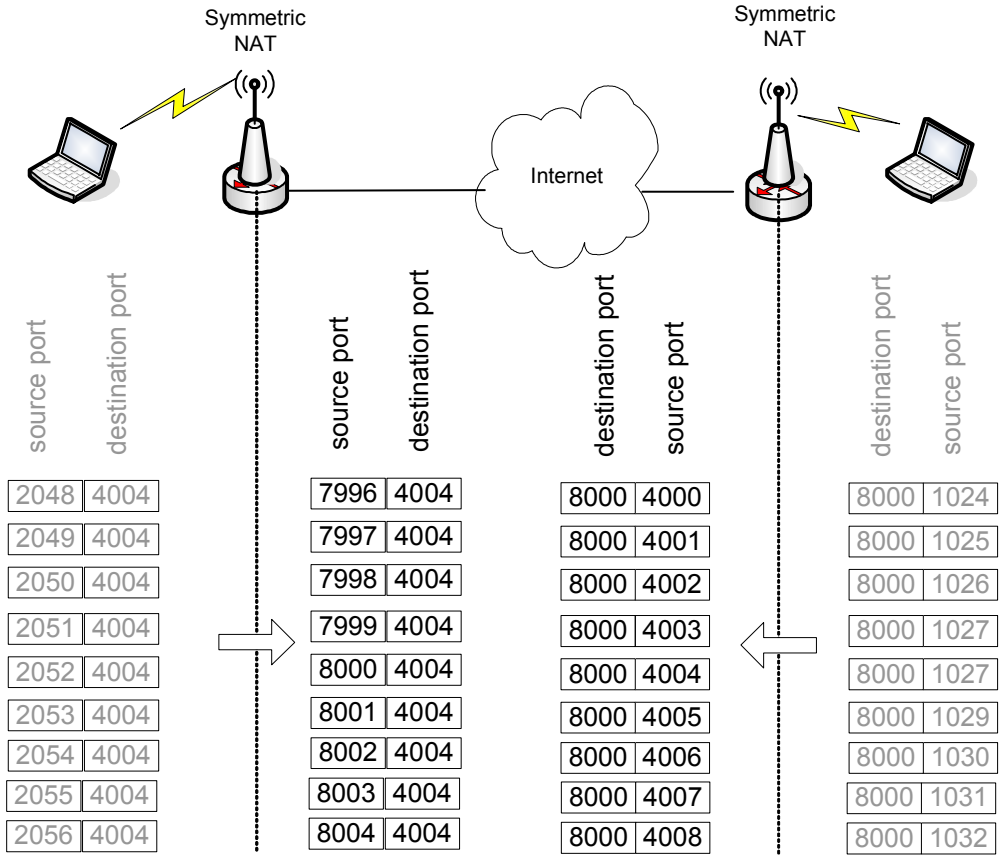


ภาพที่ 31 การเริ่มสร้างแพ็คเก็ตการเชื่อมต่อ



ภาพที่ 32 ช่วงของการเหลื่อมของพอร์ตปลายทางกับพอร์ตต้นทางระหว่างอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีทั้ง 2 ฝั่ง

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากช่วงของการเหลื่อมของพอร์ตที่ส่งออกมาผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีนั้นสามารถเหลื่อมได้เท่ากับครึ่งหนึ่งของจำนวนแพ็คเก็ตคาดเดาพอร์ตดังภาพที่ 32 ตัวอย่างเช่นถ้าพอร์ตเริ่มต้นเปลี่ยนไปเป็น 4002 (จากเดิมคือ 4000) เนื่องจากมีการใช้งานโปรแกรมประยุกต์อื่นเชื่อมต่ออินเตอร์เน็ตผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีออกไป ซึ่งการส่งแพ็คเก็ตคาดเดาพอร์ตยังสามารถเชื่อมต่อได้อยู่โดยช่วงของการเหลื่อมเท่ากับ 2 มีค่าเท่ากับ 4006 ซึ่งถ้าไม่มีการเปลี่ยนของหมายเลขพอร์ตเริ่มต้นพอร์ตที่จะเชื่อมต่อได้คือ 4004 จากการสร้างการเชื่อมต่อด้วยการเดาพอร์ตของอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีทั้ง 2 ฝั่งทำให้ได้ภาพรวมของการทำงานดังภาพที่ 33 ซึ่งจะเห็นว่าวิทยานิพนธ์นี้สามารถทำการเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสมมาตร แบบต่อตรงทั้ง 2 ฝั่งได้



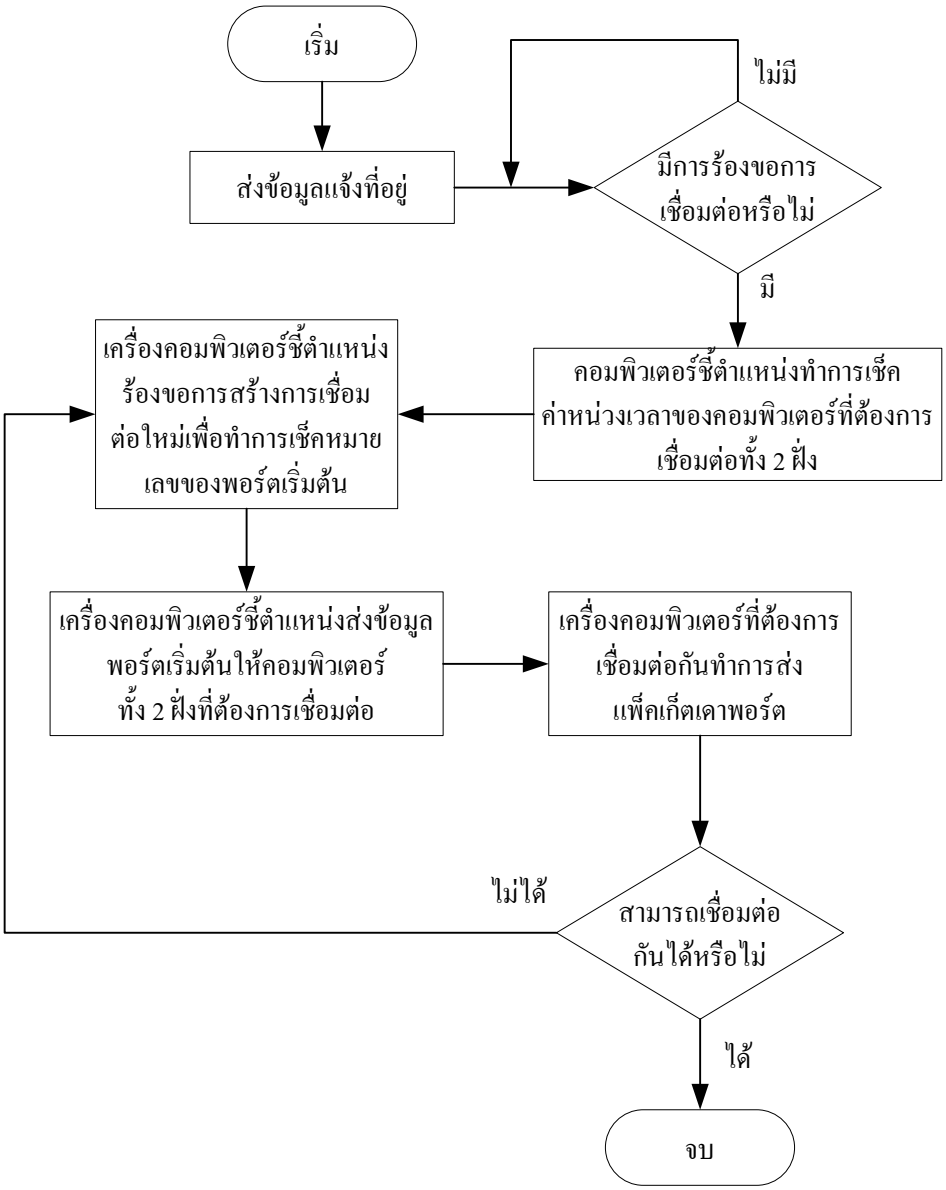
ภาพที่ 33 การทำการเชื่อมระหว่างอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสมมาตร ทั้ง 2 ฝั่งแบบต่อตรง

2.7 โปรแกรมประยุกต์ติดต่อสื่อสารกัน

เมื่อทำการเชื่อมต่อสำเร็จจะทำการส่งค่าหมายเลขซ๊อกเก็ต (LINUX Socket) ให้กับโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสื่อกัน ในการรับส่งข้อมูลที่ยังรับ-ส่งของโปรแกรมประยุกต์ทำให้การเชื่อมผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรคงอยู่ตลอดการใช้งาน

3. ขบวนการเชื่อมต่อ

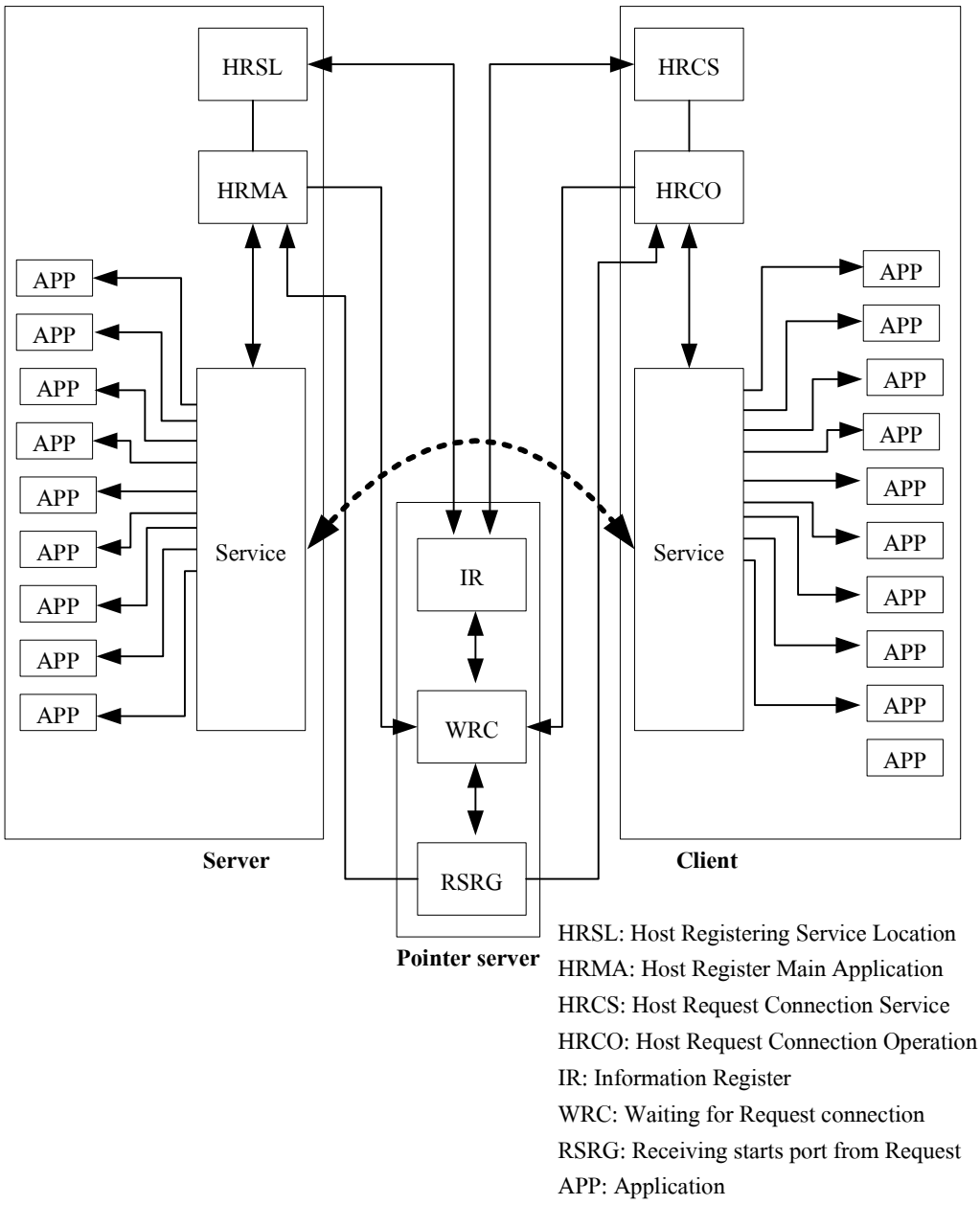
ขบวนการทำงานทั้งหมดนี้เริ่มต้นจากเครื่องคอมพิวเตอร์ทำการลงทะเบียนมายังเครื่องเซอร์เวอร์ชี้ตำแหน่งแล้วจะเข้าสู่ขบวนการรอการเชื่อมต่อ



ภาพที่ 34 แผนผังการทำงานของระบบ

เมื่อมีการร้องขอการเชื่อมต่อเข้ามาเครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่งโดยเครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่งจะตรวจสอบค่าหน่วงเวลาตามขบวนการ เพื่อป้องกันปัญหาการยกเลิกการเชื่อมต่อ ต่อมาเครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่งจะร้องขอการเชื่อมต่อใหม่ เพื่อเก็บข้อมูลหมายเลขไอพีและพอร์ตเริ่มต้นของทั้ง 2 ฝั่งแล้วส่งหมายเลขไอ

พีและพอร์ตเริ่มต้นกลับไปยังฝั่งตรงข้ามของเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 ฝั่งที่ต้องการติดต่อกัน เมื่อเครื่องคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 ฝั่งได้รับข้อมูลหมายเลขไอพีและพอร์ตเริ่มต้นของฝั่งตรงข้ามแล้ว ก็จะเริ่มขบวนการสร้างการเชื่อมต่อโดยเริ่มทำการเดาพอร์ตไปหาฝั่งตรงข้าม สุดท้ายคอมพิวเตอร์จะทำการตรวจสอบว่าสามารถเชื่อมต่อได้หรือไม่ ถ้าไม่ได้ก็จะเพิ่มจำนวนของการเดาพอร์ตบนเครื่องคอมพิวเตอร์ ตามหัวข้อที่ 2.3 แล้วเริ่มขบวนการร้องขอการเชื่อมต่อใหม่และใช้ค่าหน่วงเวลา ตามที่คำนวณไว้ก่อนหน้านี้ ถ้าสามารถเชื่อมต่อได้สำเร็จ การสื่อสารระหว่างโหนดที่อยู่หลังอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีทั้งสองฝั่งก็จะใช้งานได้ ขั้นตอนทั้งหมดสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 34



ภาพที่ 35 ส่วนประกอบโปรแกรมย่อยของวิทยานิพนธ์นี้

4. เนื้อหาของโปรแกรม

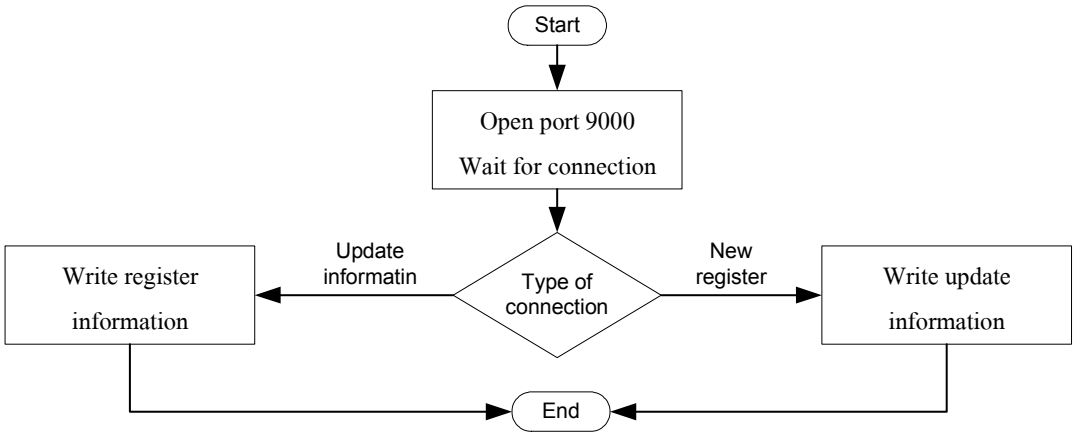
โปรแกรมได้แบ่งการทำงานออกเป็นส่วนต่างๆ ดังภาพที่ 35

4.1 ส่วนประกอบโปรแกรมแต่ละส่วนของวิทยานิพนธ์นี้

4.1.1 โปรแกรมย่อยของเครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่ง

เครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่ง IR (Information Register): ทำหน้าที่รอรับการแจ้งที่อยู่และทำการเก็บเป็นข้อมูลที่อยู่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เปิดให้บริการของโปรแกรมประยุกต์โดยพอร์ตที่ให้บริการคือพอร์ต 9000 ขบวนการทำงานตามภาพที่ 36 การทำงานมีโค๊ดเทียมดังนี้

```
open port 9000
wait for connection;
    if new register then
    {       write information;
            reply "Register success"
    }else if update information then
    {       write update information
            reply "Update success"
    }
```



ภาพที่ 36 ขั้นตอนการทำงานของระบบรอรับการลงทะเบียน

WRC (Waiting for Request connection): ทำหน้าที่รอรับการร้องขอการเชื่อมต่อโดยให้บริการที่พอร์ต 9003 เพื่อเก็บข้อมูลหมายเลขพอร์ตเริ่มต้นที่ส่งมาจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการเชื่อมต่อกันของทั้ง 2 ฝั่งแล้วส่งไปให้กับโปรแกรมย่อย RSRG ขบวนการทำงานตามภาพที่ 37 การทำงานมีโค๊ดเทียมดังนี้

open port 9003

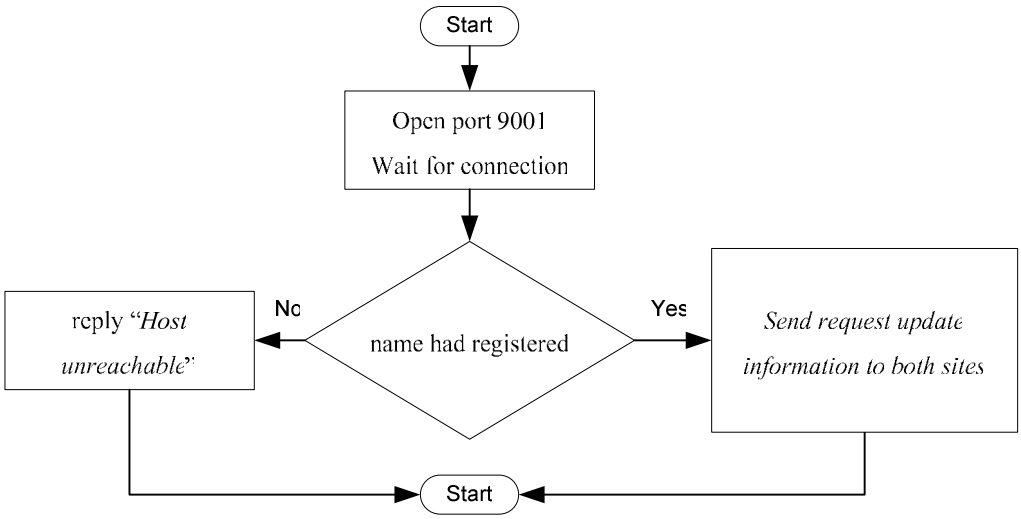
if *name was registered* **then**

{ *Send request update to both sites*

}**else if** *name was not registered* **then**

{ *reply "Host unreachable"*

}



ภาพที่ 37 ขั้นตอนการทำงานส่วนโปรแกรมย่อยของการรอรับการร้องขอเชื่อมต่อ

RSRG (Receiving starts port from Request):โปรแกรมส่วนนี้จะทำหน้าที่รอรับการปรับปรุงข้อมูลระหว่างผู้ร้องขอการเชื่อมต่อและผู้ให้บริการการเชื่อมต่อ และทำการส่งกลับไปยังอีกฝั่งหนึ่งเพื่อเป็นข้อมูลในการคาดเดาพอร์ตของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการเชื่อมต่อกันทั้ง 2 ฝั่ง โดยโปรแกรมจะทำงานที่พอร์ตหมายเลข 9002 ขบวนการทำงานตามภาพที่ 38 การทำงานมีโค๊ดเทียมดังนี้

open port 9002

wait for connection

if *first connection* **then**

{ *wait for second connection*

time counter

if second connection **then**

{ *exchange data between first and second packet*

check timer

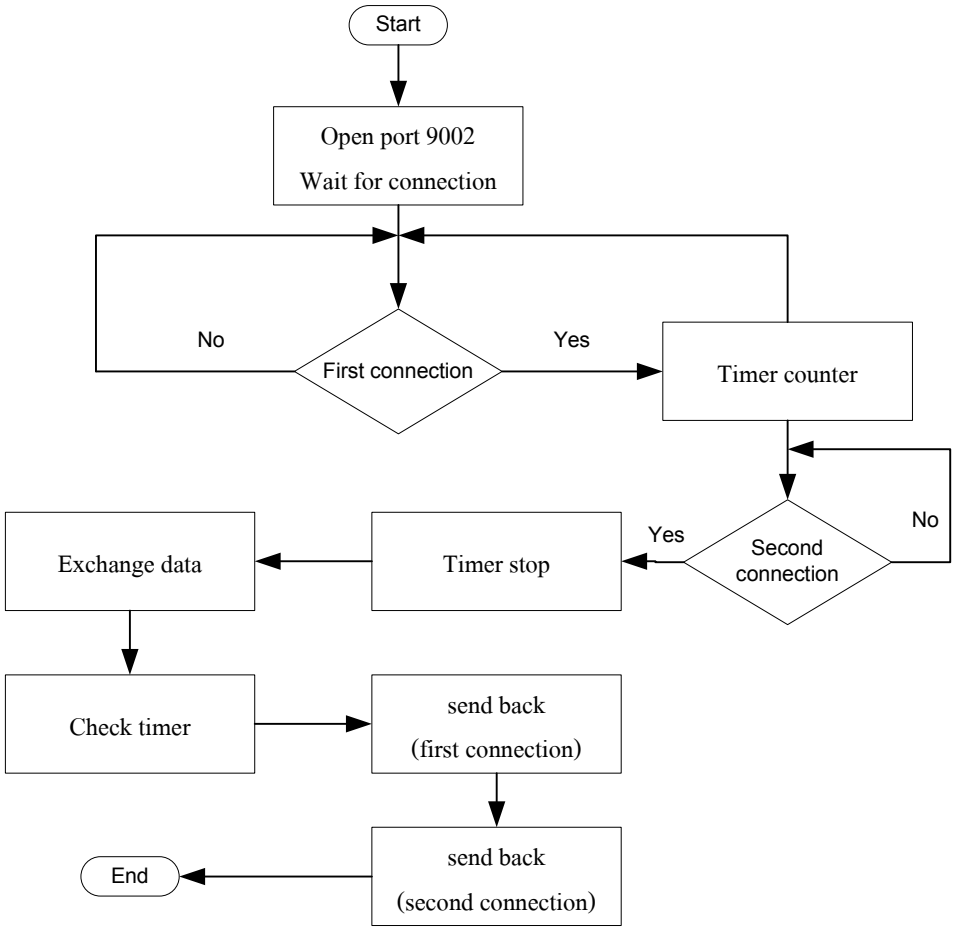
send back (first packet)

check timer

send back (second packet)

}**else** {…}

}**else**{…}



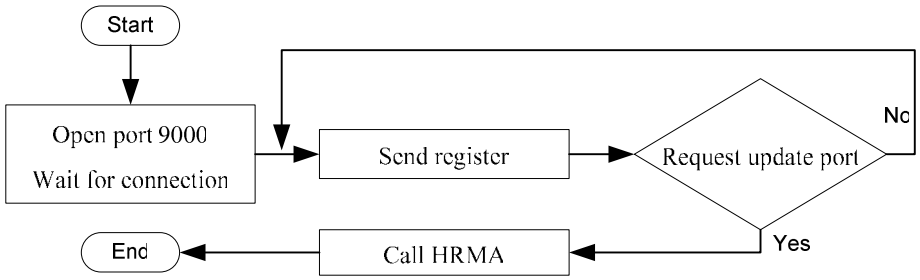
ภาพที่ 38 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อยรอรับการปรับปรุงข้อมูลและส่งกลับ

4.1.2โปรแกรมส่วนของคอมพิวเตอร์ให้บริการ

HRSL (Host Registering Service Location): โปรแกรมในส่วนนี้จะทำหน้าส่งข้อมูลเพื่อทำการลงทะเบียนและปรับปรุงที่อยู่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เปิดให้บริการโดยการส่งข้อมูลไปยังคอมพิวเตอร์

ส่วนกลางที่ชี้ตำแหน่งของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เปิดบริการอยู่ ซึ่งการทำงานจะเป็นไปอย่างอัตโนมัติตามเวลาที่กำหนด ซึ่งจะใช้หมายเลขพอร์ต 9000 ในการทำการส่งข้อมูล และรอรับการร้องขอการเชื่อมต่อ เมื่อมีการร้องขอการเชื่อมต่อจากเครื่องคอมพิวเตอร์อื่นๆที่ต้องการใช้บริการ โดยโปรแกรมย่อยนี้จะส่งสัญญาณไปยัง HRAM เพื่อการปรับปรุงข้อมูลและแจ้งพอร์ตเริ่มต้น ขบวนการทำงานตามภาพที่ 39 การทำงานมีโค๊ดเทียมดังนี้

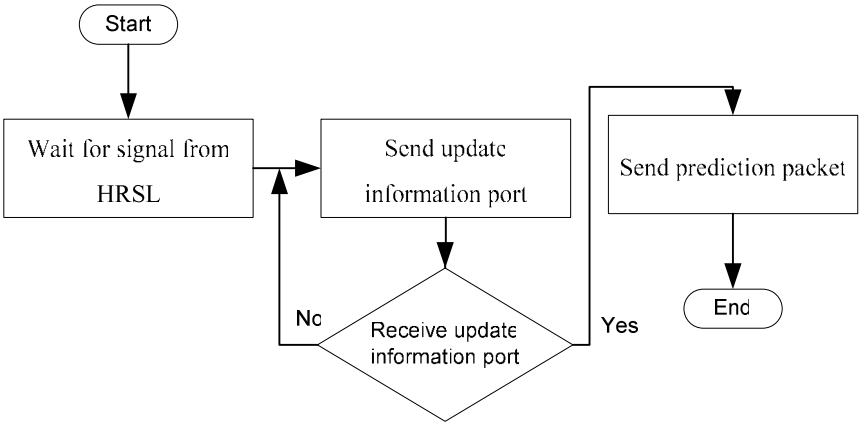
```
open port 9000
        repeat:
                wait for activate time
                send register packet to pointer server
                if request update port  then
                        call HRMA
        until
```



ภาพที่ 39 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อยการลงทะเบียน

HRMA (Host Register Main Application): โปรแกรมในส่วนนี้จะทำหน้าที่ส่งข้อมูลพอร์ตเริ่มต้นเมื่อมีการร้องขอจากเครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่งและทำหน้าที่ส่งแพ็คเก็ตคาดเดาพอร์ตไปยังปลายทาง ซึ่งในส่วนนี้จะทำหน้าที่ประสานงานระหว่าง HRSL และส่วนควบคุมการเปิดบริการของโปรแกรมประยุกต์ที่รอการเชื่อมต่อจากฝั่งตรงข้ามตามภาพที่ 40 การทำงานมีโค๊ดเทียมดังนี้

```
wait for signal from HRSL
        open port 4000
        send update port
        wait for connection update port
If  information update port  then
{       Send prediction packet
}
```



ภาพที่ 40 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมย่อยส่งพอร์ตเริ่มต้นของคอมพิวเตอร์ฝั่งรอรับการเชื่อมต่อ

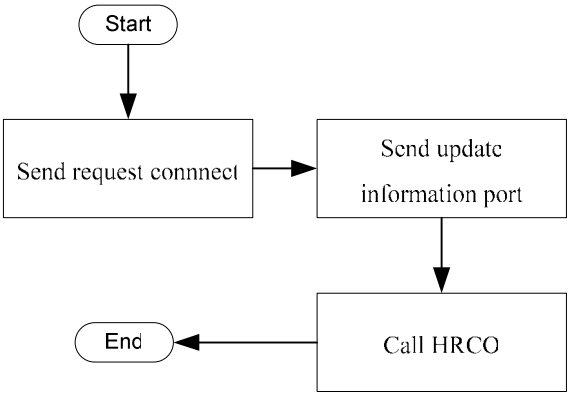
4.1.3 โปรแกรมส่วนของคอมพิวเตอร์ร้องขอการเชื่อมต่อ

HRCS (Host Request Connection Service): โปรแกรมในส่วนนี้ทำหน้าที่ร้องขอการเชื่อมต่อ ซึ่งการเชื่อมต่อนี้จะร้องขอไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่งโดยการส่งชื่อของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการเชื่อมต่อด้วยไปยังส่วนของโปรแกรม WRC บนเครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่งและเรียกส่วนโปรแกรมย่อย HRCO ขึ้นมาทำงานเพื่อรอรับการตอบกลับจากเครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ส่วนกลางชี้ตำแหน่งเพื่อทำการปรับเปลี่ยนข้อมูลพอร์ตเริ่มต้นของอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีเครื่องตนเองตามภาพที่ 41 การทำงานมีโค๊ดเทียมดังนี้

open port 9003

send packet (request connect)

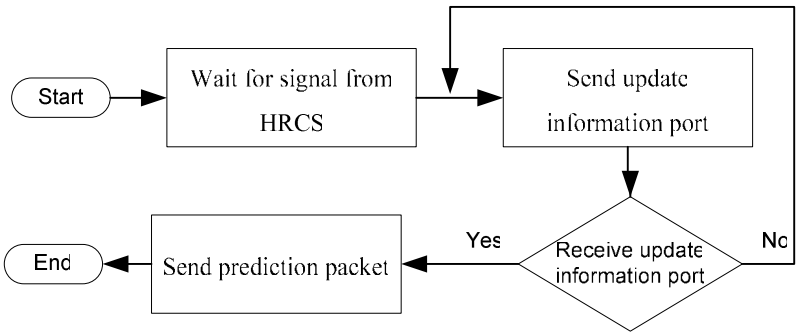
call HRCO



ภาพที่ 41 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมส่งการร้องขอการเชื่อมต่อไปยังคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่ง

HRCO (Host Request Connection Operation): การทำงานของของโปรแกรมในส่วนนี้จะทำการรอรับการร้องขอการปรับปรุงข้อมูลจาก HRCS เพื่อส่งขอมูลใหม่ที่ทำให้เครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่งทราบพอร์ตเริ่มต้น และโปรแกรมในส่วนนี้จะรอรับข้อมูลของฝั่งตรงข้ามเพื่อเริ่มการทำงานของการคาดเดาพอร์ตขบวนการทำงานตามภาพที่ 42 การทำงานมีโค๊ดเทียมดังนี้

```
wait for signal from HRCS
        open port 4000
        send update port
        wait for connection update port
If  have request information update port  then
{       Send prediction packet
}
```

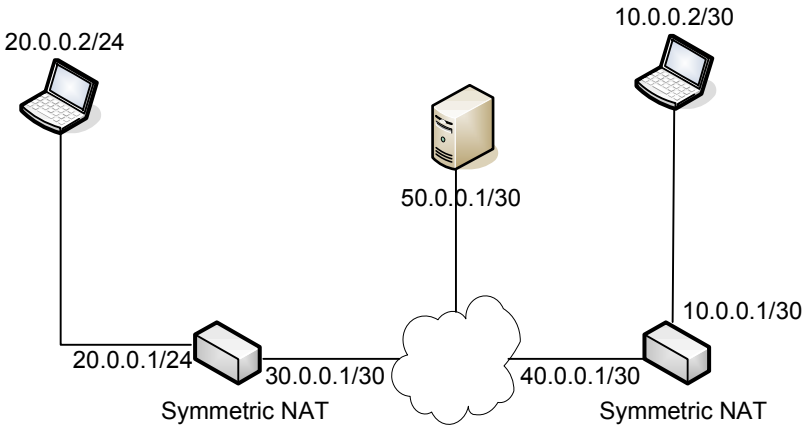


ภาพที่ 42 ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมส่งแพ็คเก็ตคาดเดาพอร์ตฝั่งร้องขอการเชื่อมต่อ

ในส่วนของโปรแกรมย่อยต่างๆ จะทำงานเป็นอิสระจากกันและจะสิ้นสุดการทำงานเมื่อได้รับแพ็คเก็ตข้อมูลของการเชื่อมต่อจากเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ต้องการเชื่อมต่อด้วย การเชื่อมต่อนี้จะเป็นส่วนของโปรแกรมประยุกต์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำงานเฉพาะในส่วนของการเชื่อมต่อและหาช่องทางการเชื่อมต่อเมื่อการเชื่อมต่อประสบความสำเร็จจะส่งค่าซ๊อกเก็ตไอดีกลับไปให้กับโปรแกรมประยุกต์ทำงานต่อ ซึ่งจะเห็นว่างานวิจัยนี้ไม่ได้มีการแก้ไขเปลี่ยนแปลงการทำงานของโปรโตคอลทีซีพี/ไอพีและแพ็คเก็ตข้อมูลที่ใช้ในการรับส่งฉะนั้นงานวิจับนี้สามารถทำงานร่วมกับโปรโตคอลทีซีพี/ไอพีโดยไม่ต้องแก้ไขเปลี่ยนแปลงใดๆ

5. การทดสอบการทำงาน

การทดสอบการทำงานของระบบการเชื่อมต่อตรงผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสมมาตรที่ได้พัฒนาขึ้นของวิทยานิพนธ์นี้จะทำการทดสอบตามวัตถุประสงค์ที่ได้ออกแบบไว้คือ



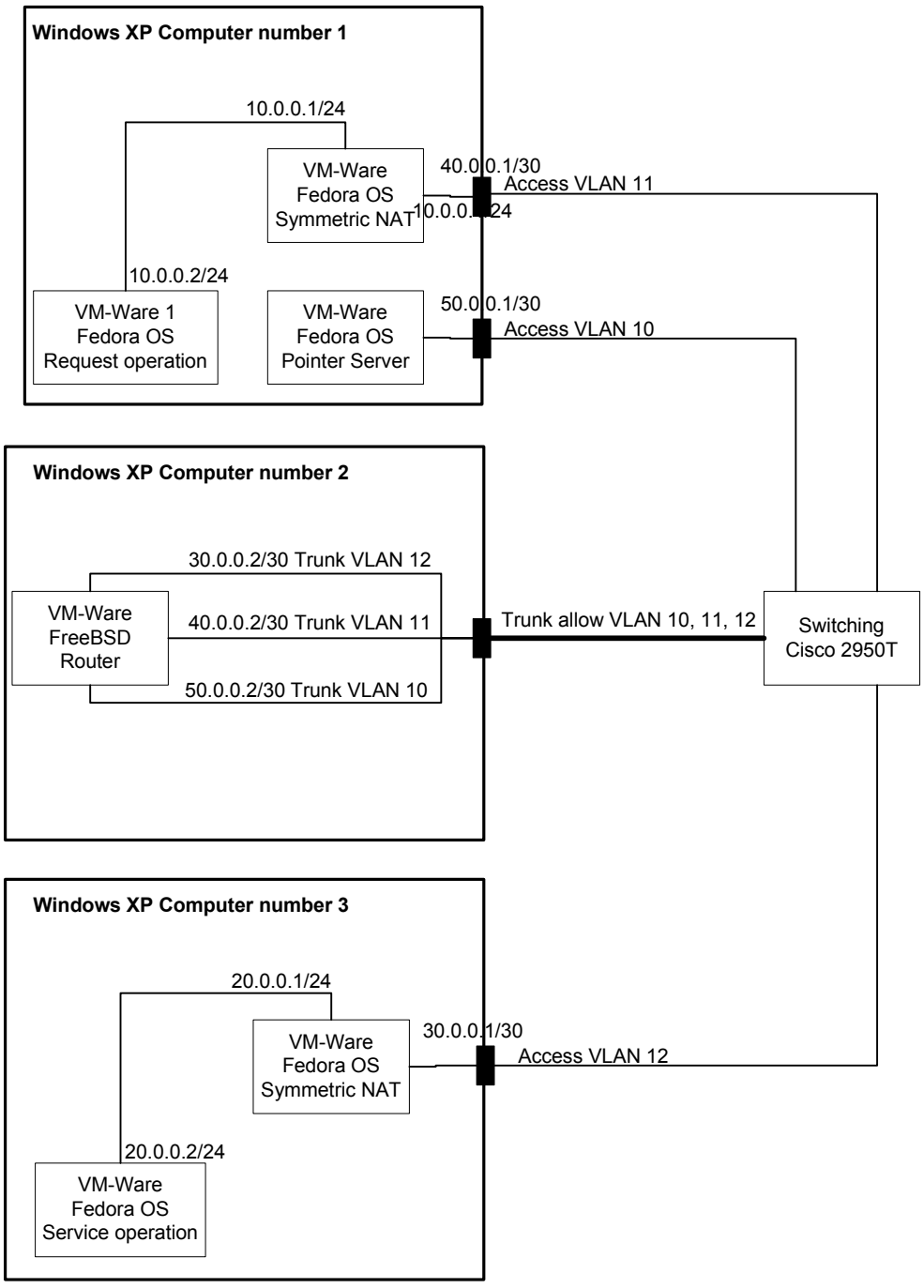
ภาพที่ 43 รายละเอียดโครงสร้างการเชื่อมต่อจำลองของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อ

ตารางที่ 3 รายละเอียดของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลข 1	**เครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลข 2**	**เครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลข 3**
CPU Intel Pentium 4 (3.0 GHz)	CPU Intel Celeron (2.2 GHz)	CPU Intel Cetrino (1.4 GHz)
RRDRAM 1.5 GB	SDRAM 512 MB	RRDRAM 1.0 GB
Hard disk 80 GB	Hard disk 40 GB	Hard disk 60 GB
Main board HP DC7300	Main board Acer 380	Main board Acer 3800
LAN Card Boardcom 5782	LAN Card Acer	LAN Card Acer
LAN Card Boardcom 5751		

ตารางที่ 4 หน้าที่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลข 1	**เครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลข 2**	**เครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลข 3**
เครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่ง	อุปกรณ์ค้นหาเส้นทาง	ระบบสลับเปลี่ยนไอพีชนิดสมมาตรฝั่งรอรับเชื่อมต่อ
เครื่องคอมพิวเตอร์ร้องขอการเชื่อมต่อ		เครื่องคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่รอรับการเชื่อมต่อ
ระบบสลับเปลี่ยนไอพีชนิดสมมาตรฝั่งร้องขอการเชื่อมต่อ		



ภาพที่ 44 รายละเอียดโครงสร้างการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อจริง

1. เพื่อทดสอบความสามารถในการเชื่อมต่อตรงผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสมมาตรทั้ง 2 ฝั่งโดยวิธีการคาดเดาหมายเลขพอร์ต

2. เพื่อหาค่าเวลาในการทำงานของระบบและการใช้งานจริงเมื่อทำการเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรด้วยวิธีคาดเดาพอร์ต

3. เพื่อทดสอบทางด้านเวลาในการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 ฝั่งผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสมมาตรในรูปแบบการเชื่อมต่อตรงและการเชื่อมต่อแบบผ่านเครื่องส่วนกลาง

4. เพื่อทดสอบความสามารถในการทำงานของระบบการเชื่อมต่อตรงผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสมมาตรเทียบกับการเชื่อมต่อโดยใช้โปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6

รายละเอียดของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดลองมีดังตารางที่ 3 และหน้าที่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 5 ซอร์ฟแวร์ที่ใช้ในการทดสอบและการตั้งค่าบนเครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลข 1

เครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่ง	**เครื่องคอมพิวเตอร์ร้องขอการเชื่อมต่อ**	**ระบบสลับเปลี่ยนไอพีชนิดสมมาตรฝั่งร้องขอการเชื่อมต่อ**
ระบบปฏิบัติการ Windows XP ซอร์ฟแวร์ VM-Ware Server 1.3 ระบบปฏิบัติการลีนุกส์ Fedora Core 6	ระบบปฏิบัติการ Windows XP ซอร์ฟแวร์ VM-Ware Server 1.3 ระบบปฏิบัติการลีนุกส์ Fedora Core 6	ระบบปฏิบัติการ Windows XP ซอร์ฟแวร์ VM-Ware Server 1.3 ระบบปฏิบัติการลีนุกส์ Fedora Core 6
Libnet library ซอร์ฟแวร์คอมไพเลอร์ภาษาซี รุ่น 5.2.1	Libnet library ซอร์ฟแวร์คอมไพเลอร์ภาษาซี รุ่น 5.2.1	Libnet library ซอร์ฟแวร์คอมไพเลอร์ภาษาซี รุ่น 5.2.1
ซอร์ฟแวร์ตรวจจับข้อมูล Ethereal รุ่น 0.99		ซอร์ฟแวร์ IP Table รุ่น 1.2.4
การตั้งค่าในการทดสอบมีดังนี้ หมายเลขไอพี 50.0.0.1/30	การตั้งค่าในการทดสอบมีดังนี้ หมายเลขไอพี 10.0.0.2/24	การตั้งค่าในการทดสอบมีดังนี้ หมายเลขไอพี 10.0.0.1/24 หมายเลขไอพี 40.0.0.1/30

ตารางที่ 6 ซอร์ฟแวร์ที่ใช้ในการทดสอบและการตั้งค่าบนเครื่องคอมพิวเตอร์หมายเลข 2 และอุปกรณ์เชื่อมต่อระบบเครือข่าย

อุปกรณ์ค้นหาเส้นทาง	**รายละเอียดอุปกรณ์เชื่อมต่อระบบเครือข่าย**
ระบบปฏิบัติการ Windows XP	อุปกรณ์เชื่อมต่อระบบเครือข่ายยี่ห้อ Cisco ร่น 2950 T
ซอร์ฟแวร์ VM-Ware Server รุ่น 1.3	ซอร์ฟแวร์ที่ใช้ในการทดสอบมีดังนี้
ระบบปฏิบัติการ FreeBDS รุ่น 6	ระบบปฏิบัติการ Cisco IOS รุ่น 12.2(8)
Libnet library	
ซอร์ฟแวร์คอมไพเลอร์ภาษาซี รุ่น 5.2.1	
การตั้งค่าในการทดสอบมีดังนี้	
หมายเลขไอพี 40.0.0.2/30	
หมายเลขไอพี 30.0.0.2/30	
หมายเลขไอพี 50.0.0.2/30	

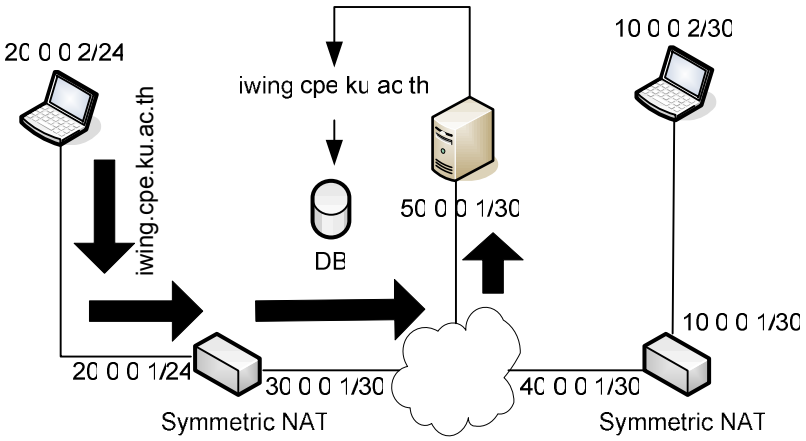
ตารางที่ 7 ซอร์ฟแวร์ที่ใช้ในการทดสอบและการตั้งค่าบนคอมพิวเตอร์หมายเลข 3

ระบบสลับเปลี่ยนไอพีชนิดสมมาตรฝั่งรอรับเชื่อมต่อ	**เครื่องคอมพิวเตอร์ทำหน้าที่รอรับเชื่อมต่อ**
ระบบปฏิบัติการ Windows XP	ระบบปฏิบัติการ Windows XP
ซอร์ฟแวร์ VM-Ware Server 1.3	ซอร์ฟแวร์ VM-Ware Server 1.3
ระบบปฏิบัติการลีนุกส์ Fedora Core 6	ระบบปฏิบัติการลีนุกส์ Fedora Core 6
Libnet library	Libnet library
ซอร์ฟแวร์คอมไพเลอร์ภาษาซี รุ่น 5.2.1	ซอร์ฟแวร์คอมไพเลอร์ภาษาซี รุ่น 5.2.1
ซอร์ฟแวร์ IP Table รุ่น 1.2.4	ซอร์ฟแวร์ IP Table รุ่น 1.2.4
การตั้งค่าในการทดสอบมีดังนี้	การตั้งค่าในการทดสอบมีดังนี้
หมายเลขไอพี 30.0.0.1/30	หมายเลขไอพี 20.0.0.1/24
หมายเลขไอพี 20.0.0.1/24	

การทดลองในวิทยานิพนธ์นี้ ได้สร้างสภาพแวดล้อมของการทำงานจริงบนระบบเครือข่าย ซึ่งจะใช้โปรโตคอลทีซีพี และโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 4 และ 6 ตามลำดับการทดสอบโดยมีรายละเอียดของคอมพิวเตอร์, ซอร์ฟแวร์, และ อุปกรณ์เชื่อมต่อระบบเครือข่ายดังภาพที่ 43 โครงสร้างการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อจริงภาพที่ 44 ตารางที่ 5, 6, 7 คือซอร์ฟแวร์ที่ใช้ในการทดสอบของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ 1, 2, 3 และรายละเอียดของอุปกรณ์เชื่อมต่อระบบเครือข่ายตามลำดับ

ผลการทดลองและวิจารณ์

การทดลองที่ 1 เพื่อทดสอบการทำงานของระบบเชื่อมต่อตรงผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสมมาตรด้วยวิธีการคาดเดาหมายเลขพอร์ตตามที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้



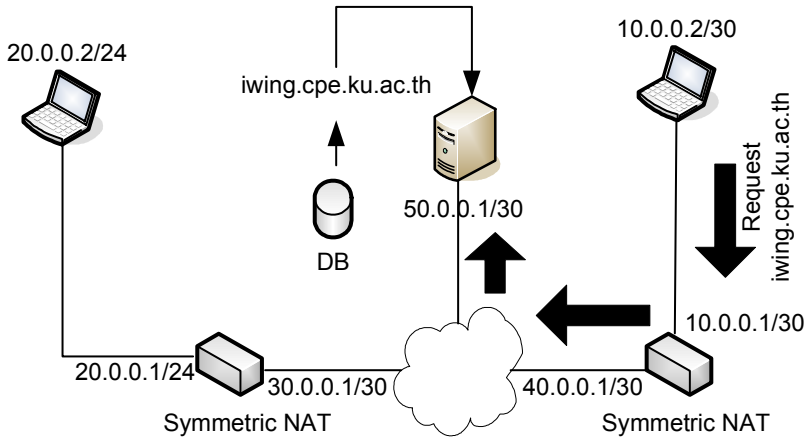
ภาพที่ 45 การลงทะเบียนที่อยู่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เปิดให้บริการ

```
    4 0.487541    30.0.0.1              50.0.0.1              OICQ    OICQ Pr
Frame 4 (71 bytes on wire, 71 bytes captured)
Ethernet II, Src: Vmware_fe:3f:0e (00:0c:29:fe:3f:0e), Dst: Vmware_c3
802.1Q Virtual LAN
Internet Protocol, Src: 30.0.0.1 (30.0.0.1), Dst: 50.0.0.1 (50.0.0.1)
User Datagram Protocol, Src Port: 8000 (8000), Dst Port: 9000 (9000)
OICQ - IM software, which is popular in China
  Flag: Unknown (0x61)
  Sender: Unknown (28015)
  Command: Unknown (29294)
  Data: .iwing.cpe.ku.ac.th+
```

ภาพที่ 46 เนื้อหาของแพ็คเก็ตที่ใช้ในการลงทะเบียน

ขั้นตอนที่ 1.1 เริ่มการทดลองโดยลงทะเบียนที่อยู่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เปิดให้บริการโดยลงทะเบียนในชื่อของ iwing.cpe.ku.ac.th ซึ่งได้ผลดังภาพที่ 45 และเนื้อหาของแพ็คเก็ตข้อมูลในภาพที่ 46 แพ็คเก็ตข้อมูลที่ตรวจจับได้นั้นจะเห็นข้อมูลการลงทะเบียนคือ iwing.cpe.ku.ac.th และหมายเลขพอร์ตต้นทางเป็นหมายเลข 8000 ซึ่งเป็นหมายเลขพอร์ตที่อุปกรณ์สลับเปลี่ยนไอพีสร้างขึ้นมาใหม่ โดยส่งแพ็คเก็ตข้อมูลไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ชี้ตำแหน่ง

ขั้นตอนที่ 1.2 ทดลองร้องขอที่อยู่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เปิดให้บริการที่ลงทะเบียนในชื่อของ iwing.cpe.ku.ac.th ซึ่งได้ผลดังภาพที่ 47 และเนื้อหาของแพ็คเก็ตข้อมูลในภาพที่ 48

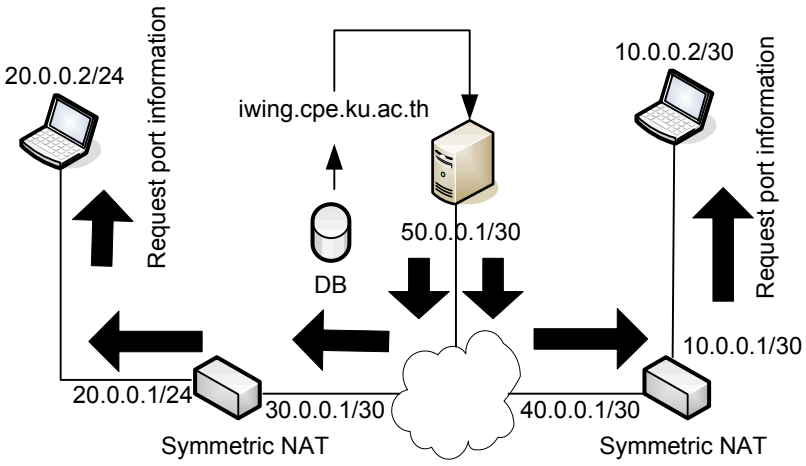


ภาพที่ 47 การทดลองร้องขอที่อยู่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่เปิดให้บริการ

```
   11 6.347086    40.0.0.1          50.0.0.1          OICQ    OICQ Prd
Frame 11 (71 bytes on wire, 71 bytes captured)
Ethernet II, Src: Vmware_6a:a2:13 (00:0c:29:6a:a2:13), Dst: Vmware_c3
802.1Q Virtual LAN
Internet Protocol, Src: 40.0.0.1 (40.0.0.1), Dst: 50.0.0.1 (50.0.0.1)
User Datagram Protocol, Src Port: 8000 (8000), Dst Port: 9003 (9003)
OICQ - IM software, which is popular in China
  Flag: Unknown (0x61)
  Sender: Unknown (28015)
  Command: Unknown (29294)
  Data: .iwing.cpe.ku.ac.th+
```

ภาพที่ 48 เนื้อหาของแพ็คเก็ตที่ใช้ในการร้องขอที่อยู่

แพ็คเก็ตข้อมูลที่ตรวจจับได้นั้นจะเห็นข้อมูลการร้องขอคือ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่ชื่อ iwing.cpe.ku.ac.th และหมายเลขพอร์ตต้นทางเป็นหมายเลข 8000 ซึ่งเป็นหมายเลขพอร์ตที่อุปกรณ์สลับเปลี่ยนไอพีสร้างขึ้นมาใหม่ร้องขอการเชื่อมต่อไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่งที่หมายเลขพอร์ต 9003 ซึ่งเป็นการทำงานของโปรแกรมย่อย WRC



ภาพที่ 49 การร้องขอที่อยู่ใหม่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่จะเชื่อมต่อกันทั้ง 2 ฝั่งของเครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่ง

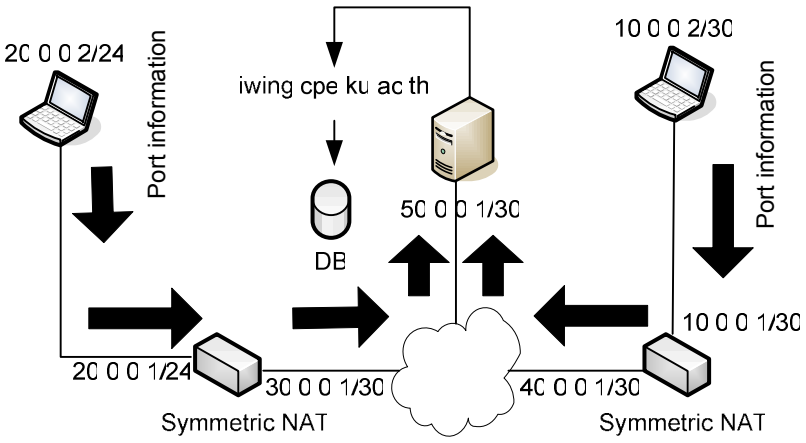
```
  15 6.358214    50.0.0.1          30.0.0.1          OICQ   OICQ Protocol
  16 6.358246    50.0.0.1          40.0.0.1          OICQ   OICQ Protocol

Frame 15 (64 bytes on wire, 64 bytes captured)
Ethernet II, Src: Vmware_3d:5b:80 (00:0c:29:3d:5b:80), Dst: Vmware_c3:6d:90
802.1Q Virtual LAN
Internet Protocol, Src: 50.0.0.1 (50.0.0.1), Dst: 30.0.0.1 (30.0.0.1)
User Datagram Protocol, Src Port: 9000 (9000), Dst Port: 8000 (8000)
OICQ - IM software, which is popular in China
  Flag: Unknown (0x34)
  Sender: Unknown (12334)
  Command: Unknown (12334)
  Data: 0.1:8000+R
```

ภาพที่ 50 เนื้อหาของแพ็คเก็ตที่ใช้ในการร้องขอที่อยู่ใหม่

ขั้นตอนที่ 1.3 ทดลองตามลำดับขั้นการทดลองร้องขอที่อยู่ใหม่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่จะเชื่อมต่อกันทั้ง 2 ฝั่ง ซึ่งได้ผลดังภาพที่ 49 เนื้อหาของแพ็คเก็ตข้อมูลในภาพที่ 50 การตอบกลับของการร้องขอพอร์ตเริ่มต้น ตามภาพที่ 51 โดยเนื้อหาของแพ็คเก็ตข้อมูลในภาพที่ 52

แพ็คเก็ตข้อมูลที่ตรวจจับได้นั้นส่งกลับไปยังอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีและหมายเลขพอร์ตของอุปกรณ์สลับเปลี่ยนไอพี โดยบรรจุค่าของหมายเลขพอร์ตต้นทางของฝั่งตนเองและค่าแฟล็ก R (Request: เพื่อระบุว่าเป็นการร้องขอที่อยู่ใหม่) โดยเป็นการทำงานของโปรแกรมย่อย RSRG บนเครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่ง



ภาพที่ 51 การตอบรับการร้องขอที่อยู่ใหม่ของเครื่องคอมพิวเตอร์ที่จะเชื่อมต่อกันทั้ง 2 ฝั่งของเครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่ง

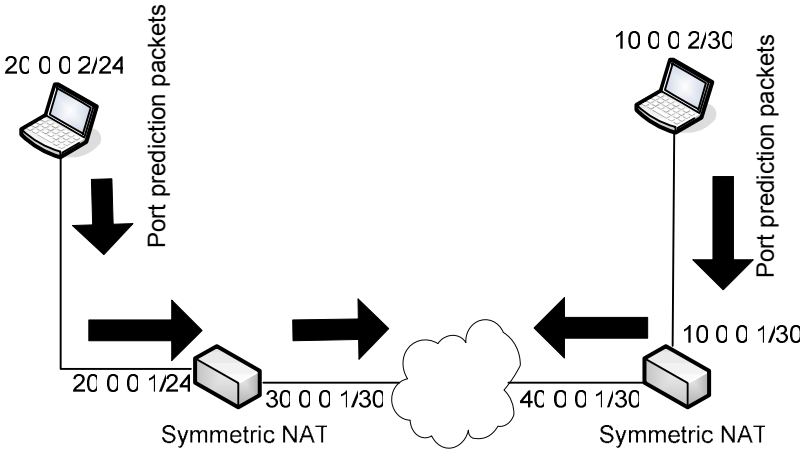
แพ็คเก็ตข้อมูลที่ตรวจจับได้นั้นคือแพ็คเก็ตข้อมูลที่ส่งกลับไปยังเครื่องคอมพิวเตอร์ชี้ตำแหน่งเพื่อแจ้งที่อยู่ของอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีใหม่ในกรณีที่หมายเลขมีการเปลี่ยนแปลง โดยหมายเลขพอร์ตเริ่มต้นใช้งานคือ 8000 ซึ่งดูจากข้อมูลในส่วนของ SRC Port : 8000 ในภาพที่ 52 เนื่องจากการเชื่อมต่อในครั้งแรกถูกยกเลิกไปทำให้สามารถใช้หมายเลขของพอร์ตต้นทางหมายเลข 8000 ที่อุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีได้

```
  20 6.388297  30.0.0.1   50.0.0.1    OICQ   OICQ Protocol
  21 6.395552  40.0.0.1   50.0.0.1    OICQ   OICQ Protocol

Frame 21 (64 bytes on wire, 64 bytes captured)
Ethernet II, Src: Vmware_6a:a2:13 (00:0c:29:6a:a2:13), Dst: Vmware_c3
802.1Q Virtual LAN
Internet Protocol, Src: 40.0.0.1 (40.0.0.1), Dst: 50.0.0.1 (50.0.0.1)
User Datagram Protocol, Src Port: 8000 (8000), Dst Port: 9002 (9002)
OICQ - IM software, which is popular in China
  Flag: Unknown (0x33)
  Sender: Unknown (12334)
  Command: Unknown (12334)
  Data: 0.1:8000+
```

ภาพที่ 52 เนื้อหาของแพ็คเก็ตที่ใช้ในการตอบรับการร้องขอที่อยู่ใหม่

ขั้นตอนที่ 1.4 ทดลองตามลำดับขั้นการทดลองของการส่งแพ็คเก็ตการเดาหมายเลขพอร์ตทั้ง 2 ฝั่ง ซึ่งได้ผลดังภาพที่ 53

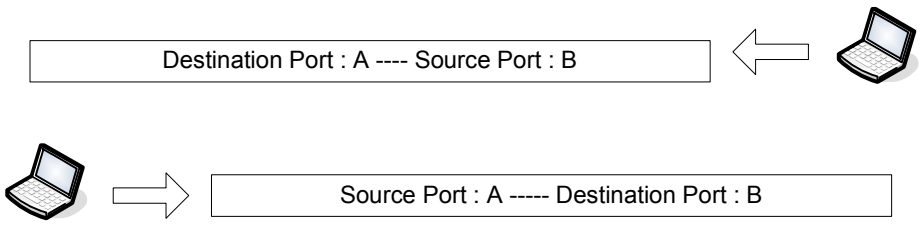


ภาพที่ 53 การทดลองส่งแพ็คเก็ตการเดาหมายเลขพอร์ตทั้ง 2 ฝั่ง

```
29 6.640898  30.0.0.1   40.0.0.1    UDP    Source port: 8002  Destination port: 8002
32 6.670233  40.0.0.1   30.0.0.1    UDP    Source port: 8002  Destination port: 8002
```

ภาพที่ 54 ผลตอบรับการเชื่อมต่อจากการทดลองส่งแพ็คเก็ตการเดาหมายเลขพอร์ตทั้ง 2 ฝั่ง

จะเห็นว่าแพ็คเก็ตที่ตรวจจับได้นั้นมีหมายเลขพอร์ตตรงกันซึ่งจะทำให้สามารถเชื่อมต่อได้ตามหลักการตามภาพที่ 54



ภาพที่ 55 แพ็คเก็ตที่สามารถเชื่อมต่อได้

จากการทดลองตามลำดับขั้นการทดลองของการส่งแพ็คเก็ตการเดาหมายเลขพอร์ตทั้ง 2 ฝั่ง ซึ่งสามารถทำงานได้โดยให้ผลลัพธ์ดังภาพที่ 56 และ 57

```
Socket pair  source IP 20 0 0 2 port 3003   destination IP 40 0 0 1 port 8002
```

ภาพที่ 56 การส่งกลับของหมายเลขไอพีและหมายเลขพอร์ตที่สามารถเชื่อมต่อแบบต่อตรงผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสามมาตรฝั่งรอรับการเชื่อมต่อในครั้งที่ 1

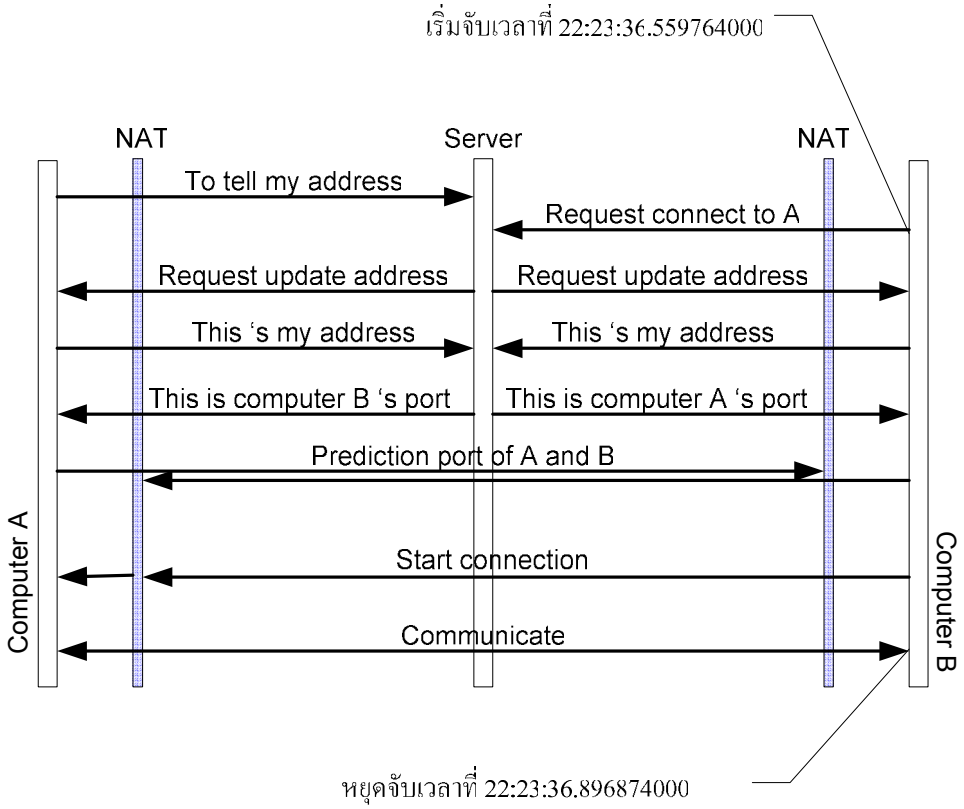
Socket pair source IP 20 0 0 2 port 3003 destination IP 40 0 0 1 port 8066

ภาพที่ 57 การส่งกลับของหมายเลขไอพีและหมายเลขพอร์ตที่สามารถเชื่อมต่อแบบต่อตรงผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสามมาตรฝั่งรอรับการเชื่อมต่อในครั้งที่ 2

จากผลการทดลองที่ 1 นั้นแสดงให้เห็นว่าสามารถเปิดการเชื่อมต่อผ่านทางซ๊อกเก็ตที่ในวิทยานิพนธ์นี้สร้างขึ้นมาโดยไม่ขึ้นกับซ๊อกเก็ตของโปรแกรมระบบปฏิบัติการซึ่งเป็นลักษณะการทำงานที่ขนานกันอยู่และหยุดทำงานเมื่อเชื่อมต่อสำเร็จโดยไม่มีการปรับเปลี่ยนระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพี ซึ่งได้ผลลัพธ์ออกมาคือสามารถเชื่อมต่อได้

การทดลองที่ 2 เพื่อหาค่าเวลาในการทำงานของระบบและการใช้งานจริงเมื่อทำการเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรด้วยวิธีคาดเดาพอร์ต

การทดลองที่ 2.1 ทดลองในการหาค่าของเวลาในการเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรกับสภาพแวดล้อมจำลองตามภาพที่ 53

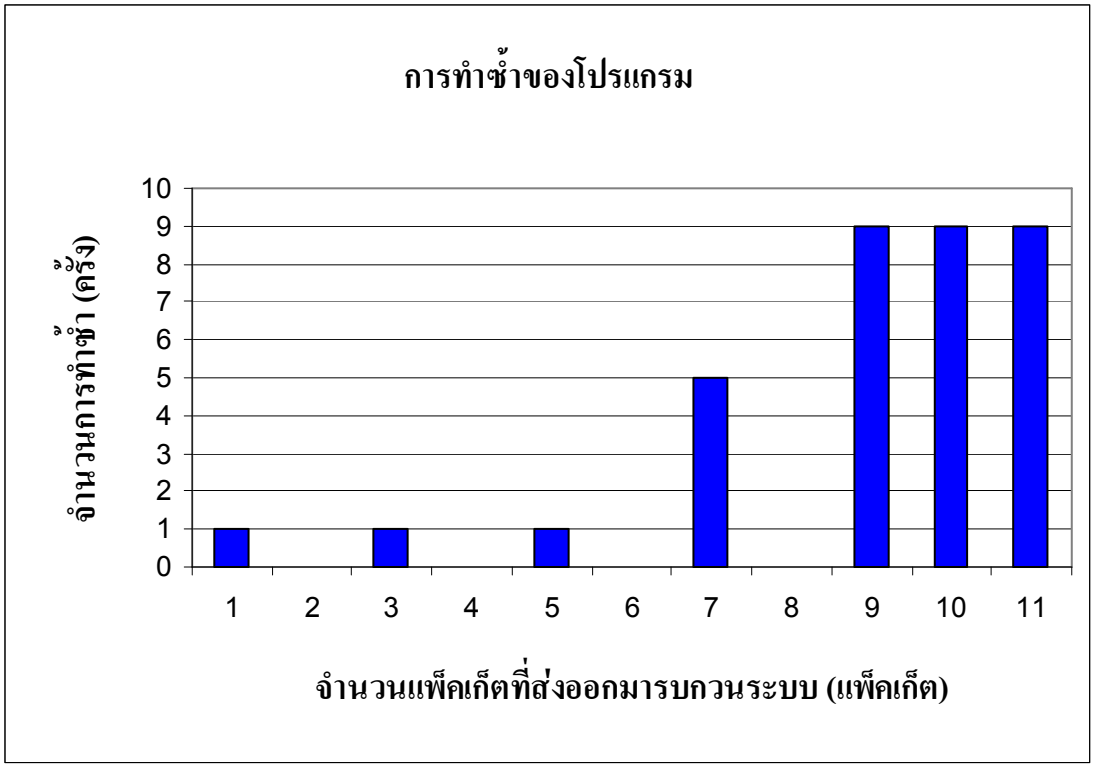


ภาพที่ 58 แสดงเวลาในการทำงานของระบบเชื่อมต่อ

การทดลองนี้เป็นการหาค่าของการเชื่อมต่อของระบบซึ่งครอบคลุมการทำงานหลักในการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์ผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรแบบต่อตรง ซึ่งการทดสอบนี้จะคำนวณเวลาจากโปรแกรมตรวจจับข้อมูลโดยเริ่มตรวจสอบจากเวลาที่แพ็คเก็ตแรกของการทำงานของระบบถูกส่งออกไปจะถึงแพ็คเก็ตสุดท้ายที่ระบบรับเข้ามาที่ทำให้ระบบสามารถเชื่อมต่อได้ ซึ่งได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 58

ผลของการตรวจสอบทางด้านเวลาในการเชื่อมต่อจะเห็นว่าค่าของเวลาที่ระบบต้องการใช้งานจริงจากการทดลองนี้อ่านค่าเวลาจากการรับส่งข้อมูลทำได้เวลาในการทำงานของระบบซึ่งมีค่าเท่ากับ 33.71ms ต่อ 1 การเชื่อมต่อ

การทดลองที่ 2.2 ทดลองกับสภาพแวดล้อมในการทำงานจริงของระบบการเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตรเพื่อหาจำนวนครั้งในการทำซ้ำของโปรแกรมโดยมีการส่งแพ็คเก็ตรบกวนการทำงานของโปรแกรมซึ่งได้ผลดังภาพที่ 59



ภาพที่ 59 จำนวนครั้งในการเชื่อมต่อของโปรแกรมเมื่อมีการส่งแพ็คเก็ตรบกวน

จากภาพที่ 59 จำนวนครั้งที่โปรแกรมทำซ้ำสูงสุดกำหนดไว้คือ 9 ครั้ง เมื่อเริ่มทำการส่งแพ็คเก็ตรบกวนระบบออกมาโดยเริ่มที่ 1 แพ็คเก็ตต่อ 1 วินาทีและเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เมื่อแพ็คเก็ตที่ส่งออกมารบกวนระบบนั้นมีค่าเท่ากับ 5 ระบบการเชื่อมต่อนี้ยังคงสามารถทำงานได้ปรกติโดยอาศัยหลักการของการเหลื่อมของพอร์ต และเมื่อ

ทำการส่งแพ็คเก็ตออกมามากขึ้นจะเห็นว่าระบบการเชื่อมต่อนี้เริ่มเกิดการทำซ้ำของโปรแกรม ในที่สุดระบบจะไม่สามารถทำการเชื่อมต่อได้เมื่อจำนวนการส่งแพ็คเก็ตรบกวนมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับจำนวนแพ็คเก็ตที่ใช้ในการเดาพอร์ต

การทดลองในหัวข้อนี้แสดงให้เห็นว่าจำนวนการใช้งานของผู้ใช้งานในระบบนั้นไม่ได้มีค่ากำหนดไว้ แต่จำนวนผู้ใช้งานในระบบนี้ขึ้นกับความสามารถในการเชื่อมต่อของระบบของแต่ละผู้ใช้งานเองไม่สามารถกำหนดได้ว่าผู้ใช้งานคนที่เท่าไหร่จะไม่สามารถใช้งานระบบได้ ซึ่งการที่จะสามารถเชื่อมต่อระบบนี้ได้นั้นขึ้นกับการรบกวนของแพ็คเก็ตที่นำส่งจากโปรแกรมอื่นเข้ามารบกวนขั้นตอนการเดาหมายเลขพอร์ตของโปรแกรมซึ่งจะต้องมีค่าไม่เกินจำนวนของแพ็คเก็ตที่ใช้ในการคาดเดาพอร์ตในช่วงเวลาที่ใช้ในการทำงานของโปรแกรมในที่นี้คือ 33.71ms จึงจะสามารถเชื่อมต่อได้

การทดลองที่ 3 ทดสอบทางด้านเวลาในการติดต่อสื่อสารระหว่างคอมพิวเตอร์ทั้ง 2 ฝั่งผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสมมาตรในรูปแบบการเชื่อมต่อตรงและการเชื่อมต่อแบบผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนกลาง

การทดลองที่ 3.1 การเปรียบเทียบค่า Round-Trip-Time ระหว่างการเชื่อมต่อแบบส่งต่อผ่านเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนกลางกับวิธีที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้

การทดลองนี้เป็นการหาค่า Round-Trip-Time ระหว่างการเชื่อมต่อแบบส่งต่อที่พบในวิทยานิพนธ์อื่นเทียบกับรูปแบบการทำงานที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้เนื่องมาจากเป็นวิธีการเชื่อมต่อระบบเครือข่ายผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตร 2 ฝั่งได้ โดยมีสภาพแวดล้อมในการทดลองดังภาพที่ 60

ในการหาค่า Round-Trip-Time ระหว่างการเชื่อมต่อแบบส่งต่อ เทียบกับรูปแบบการทำงานที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ได้ผลการทดลองคือ

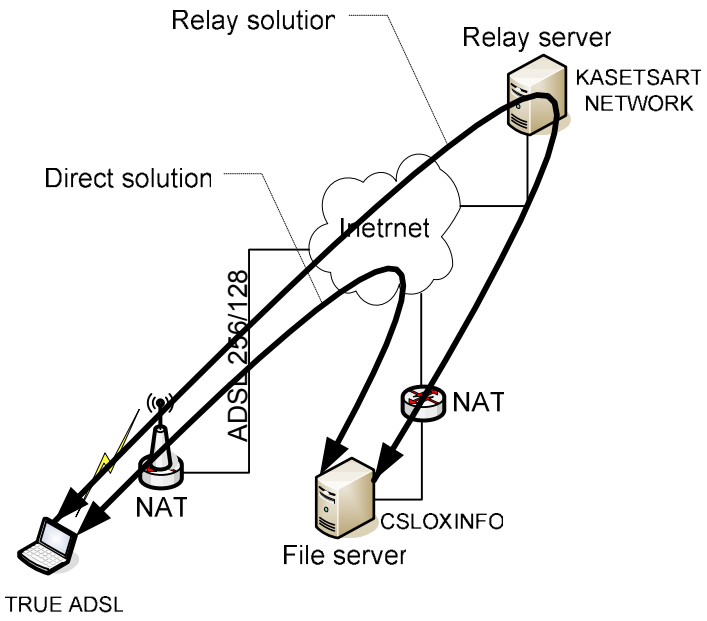
Average Round-Trip-Time of direct = 40.40 ms

Average Round-Trip-Time of relay = 44.46 ms

ซึ่งพบว่าค่า Round-Trip-Time จากระบบที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ดีกว่า แบบส่งต่อ 4.06 ms

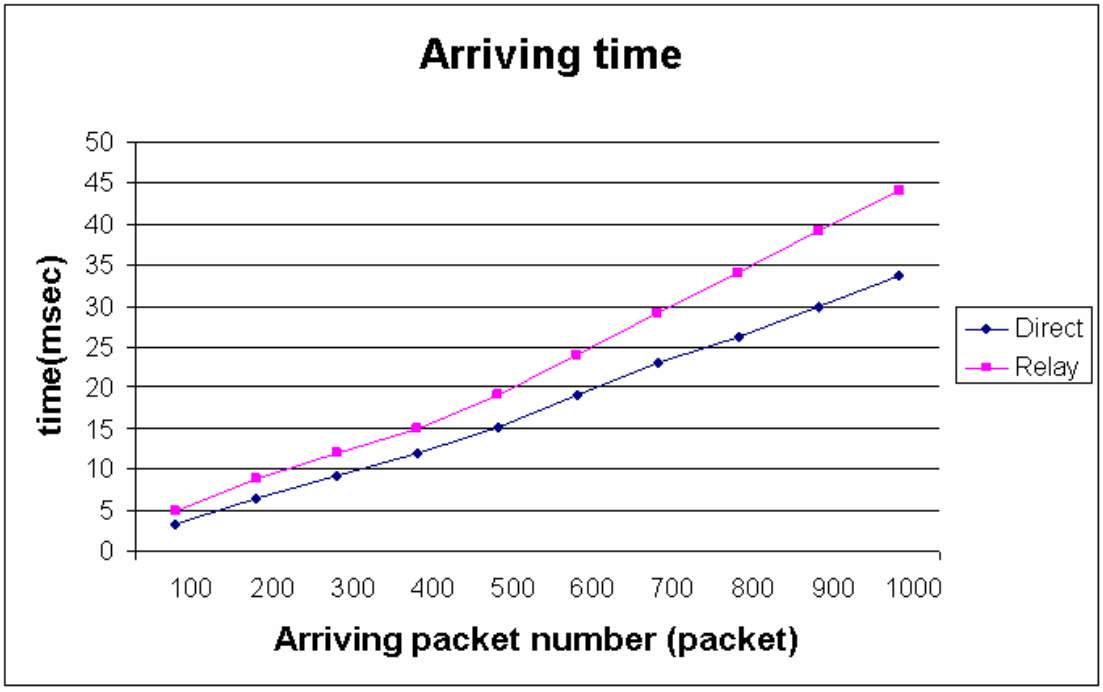
การทดลองที่ 3.2 การหาค่า arriving time

การทดลองในหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นถึงระยะเวลาในการรับส่งแพ็คเก็ตข้อมูลจำนวน 1,000 แพ็คเก็ต เทียบกันระหว่าง 2 ระบบคือ การเชื่อมต่อแบบส่งต่อ เทียบกับรูปแบบการทำงานที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ โดยมีสภาพแวดล้อมในการทดลองดังภาพที่ 61



ภาพที่ 60 สภาพแวดล้อมในการทดลองหาค่า Round-Trip-Time, การทดลองถ่ายโอนข้อมูล, การทดลองหาค่า arriving time

ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 61

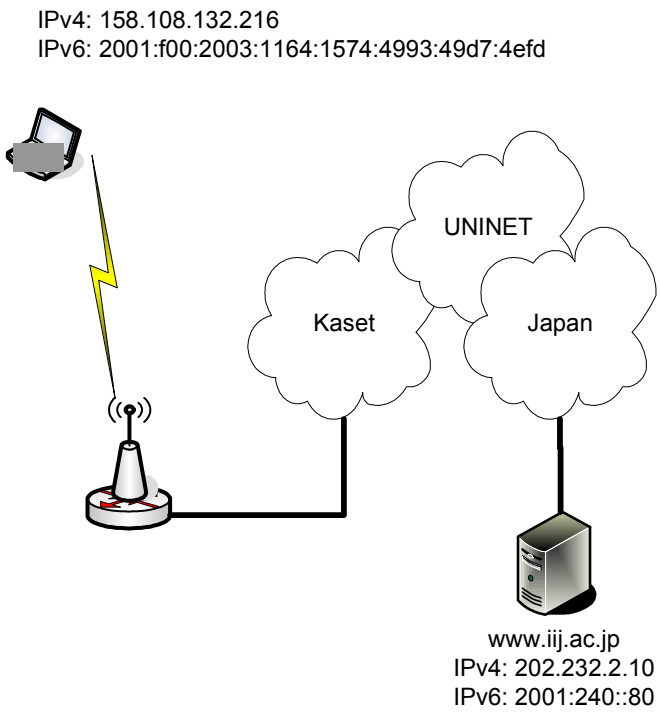


ภาพที่ 61 ผลการทดลองหาค่า arriving time

จากผลการทดลองในหัวข้อที่ 3 นั้นแสดงให้เห็นถึงเวลาที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลระหว่างการเชื่อมต่อทั้ง 2 รูปแบบที่สามารถเชื่อมต่อผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสามาตรได้ผลที่ได้ออกมาคือระบบจากวิทยานิพนธ์นี้ (แบบต่อตรง)ให้เวลาตอบสนองในการรับส่งข้อมูลดีกว่าระบบที่ถูกออกแบบมาก่อนหน้านี้(แบบส่งต่อ) ซึ่ง ณ. จุดนี้สามารถแสดงให้เห็นว่าการเชื่อมต่อชนิดเชื่อมต่อตรงสามารถเชื่อมต่อผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีได้ทุกชนิดโดยรวบรวมวิทยานิพนธ์นี้เข้ากับระบบที่มีอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งทำให้ปัญหาการเชื่อมต่อผ่านระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีหมดไป

การทดลองที่ 4 เป็นการทดลองเพื่อเปรียบเทียบระบบที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้กับโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6

การทดลองที่ 4 ทดสอบความสามารถในการทำงานของระบบการเชื่อมต่อตรงผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีชนิดสมมาตรเทียบกับการเชื่อมต่อโดยใช้โปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6



ภาพที่ 62 สภาพแวดล้อมในการทดลอง Round-Trip-Time ระหว่างโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 4 ที่มีระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีและโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6

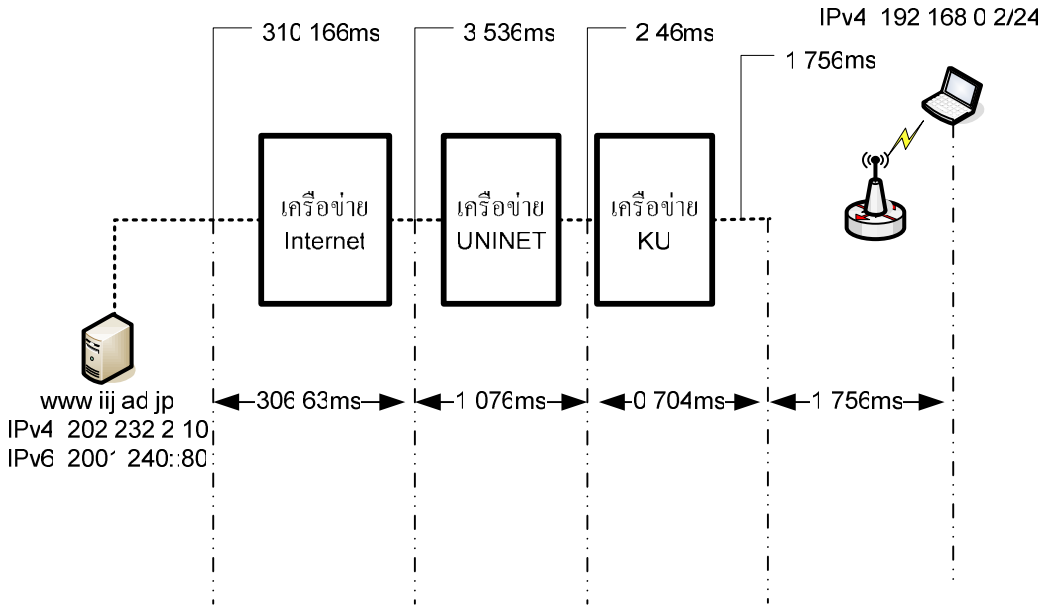
การทดลองที่ 4.1 การทดลองระบบเทียบกับโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6 เพื่อเปรียบเทียบค่า Round-Trip-Time

เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้เป็นลักษณะการเชื่อมต่อแบบต่อตรง โดยการใช้งานโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 4 ทางผู้วิจัยจึงได้ทำการทดลองวัดค่าเปรียบเทียบ กับการทำงานของโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6 ที่เป็นการเชื่อมต่อตรงที่ไม่มีการใช้งานระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพี เพื่อเปรียบเทียบเวลาตอบสนองการใช้งานโดยใช้สภาพแวดล้อมตามภาพที่ 62

ค่า Round-Trip-Time ของการใช้บนโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6 ที่ไม่มีระบบ ระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพี กับ การใช้งาน ระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีบนโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 4 เป็นการเชื่อมต่อแบบต่อตรงได้ผลลัพธ์ตามภาพที่ 63

IPv6: Average Round-Trip-Time of direct = 220 ms
IPv4: Average Round-Trip-Time of relay = 340 ms

ภาพที่ 63 ผลการทดลองระบบที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้เทียบกับโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6

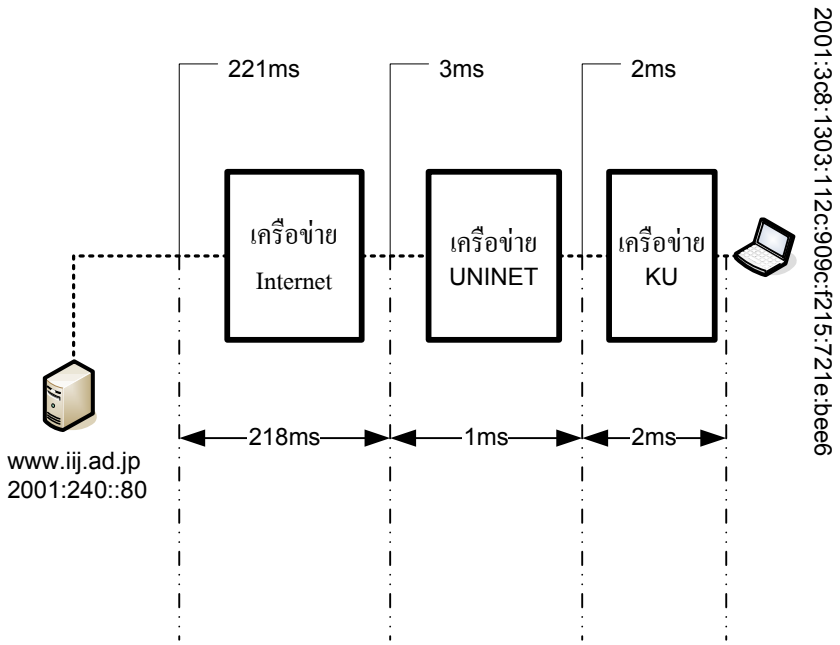


ภาพที่ 64 ผลการทดลองในแต่ละช่วงของโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 4

การทดลองที่ 4.2 ทดลองในแต่ละช่วงของระบบเครือข่ายระหว่างโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 4 ที่ใช้ระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพี และโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6

การทดลองในหัวข้อนี้แสดงให้เห็นว่าเวลาในการตอบสนองแต่ละช่วงของระบบเครือข่ายที่ทำการเปรียบเทียบนั้นมีข้อแตกต่างอย่างไร โดยใช้สภาพแวดล้อมในการทดลองตามภาพที่ 64

ผลการทดลองในหัวข้อนี้แสดงถึงเวลาในการตอบสนองแต่ละช่วงของระบบเครือข่ายที่ทำการทดลองตามภาพที่ 64 และ 65 ซึ่งเห็นว่ามีเวลาบางส่วนสูญเสียไปกับขบวนการของระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพี



ภาพที่ 65 ผลการทดลองในแต่ละช่วงของโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6

สรุป

วิทยานิพนธ์นี้ได้นำเสนอการออกแบบและพัฒนาระบบสร้างการเชื่อมต่อชนิดต่อตรงผ่านอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตร เพื่อแก้ปัญหาการเชื่อมต่อแบบเดิมที่เป็นแบบส่งต่อที่ใช้เวลาในการรับส่งข้อมูลสูง ซึ่งในการทดสอบการทำงานของวิทยานิพนธ์นี้ที่นำเสนอนี้แสดงให้เห็นว่าประสิทธิภาพด้านเวลาตอบสนองในการทำงานดีกว่าการเชื่อมต่อที่เป็นแบบส่งต่อ โดยพิจารณาจากการทดลองที่ 2 และ 3 ในการทดลองหัวข้อ 2.2 นั้นเมื่อมีการรับส่งแพ็คเก็ตข้อมูลมากขึ้นจะส่งผลให้ความแตกต่างทางด้านเวลาการตอบสนองการทำงานเพิ่มขึ้นตามด้วย วิธีการที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์นี้ที่ใช้เวลาน้อยกว่าการเชื่อมต่อแบบส่งต่อ การเชื่อมต่อทั้งหมดจะทำงานโดยใช้โปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 4 ผ่านอุปกรณ์ ระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพี แบบต่อตรง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6 ในการทดลองที่ 3 ที่เป็นการเชื่อมต่อตรงไม่ผ่านอุปกรณ์ระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีพบว่า ค่าตอบสนองทางด้านเวลาของระบบที่นำเสนอให้ผลมากกว่าการทำงานของโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6 ทำให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบด้อยกว่าการทำงานของโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6 เนื่องจากสูญเสียเวลาบางส่วนในขบวนการทำงานของระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพี ตามข้อจำกัดของโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 4

วิธีการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องคอมพิวเตอร์ที่ใช้หมายเลขไอพีเฉพาะ จากการทดลองที่ 1 โดยสภาพแวดล้อมแสดงถึงเครื่องคอมพิวเตอร์ที่อยู่หลังระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีทั้ง 2 ฝั่งสามารถเชื่อมต่อกันโดยไม่ผ่านเครื่องส่วนกลาง และเป็นการเชื่อมผ่านอุปกรณ์ระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพี ชนิดสมมาตร (Symmetric NAT) โดยมีการสร้างการเชื่อมต่อเป็นแบบต่อตรง (Direct Connection) โดยใช้เทคนิคการคาดเดาพอร์ตซึ่งได้มาจากการสังเกตพฤติกรรมการทำงานของระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีแบบสมมาตร ที่สามารถทำงานได้โดยไม่มีการปรับแต่งอุปกรณ์สลับเปลี่ยนหมายเลขไอพี ซึ่งการทำงานนั้นมีปัจจัยจ่างที่มีค่าไม่คงที่อยู่ตลอดเวลาเช่นค่าหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นในการร้องขอการเชื่อมต่อแต่ละครั้งทำให้บางครั้งไม่สามารถเชื่อมต่อระบบเครือข่ายได้ในครั้งเดียวรวมทั้งปัญหาเรื่องความหนาแน่นของการใช้งานระบบเครือข่ายในช่วงเวลาที่ต่างกันไปมีผลทำให้การสร้างการเชื่อมต่อในแต่ละครั้งใช้จำนวนการเชื่อมต่อไม่เท่ากันแม้ว่าจะเป็นระบบเครือข่ายเดิม ซึ่งจากภาพโดยรวมกับผลการทดสอบกับการใช้งานจริง พบว่าเวลาในการตอบสนองในการใช้งานดีกว่าการทำงานแบบส่งต่อ (Relay Connection)

จากวิทยานิพนธ์นี้ชิ้นนี้ยังพบว่า แม้สามารถจะแก้ปัญหาการสูญเสียการเชื่อมต่อแบบ End-to-End ของการนำระบบสลับเปลี่ยนหมายเลขไอพีมาใช้งานบนโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 4 แต่ประสิทธิภาพโดยรวมก็ยังด้อยกว่าการนำโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6 มาใช้งานในลักษณะเดียวกัน

สำหรับงานวิจัยต่อไปในอนาคต จะเป็นการพัฒนาขีดความสามารถของการรับส่งข้อมูลโดยใช้โปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6 ไม่ว่าจะเป็นการค้นหาเส้นทางที่รวดเร็วขึ้น การจัดลำดับความสำคัญของข้อมูลหรืออื่นๆ เนื่องจากประสิทธิภาพโดยรวมนั้นดีกว่า การรับส่งข้อมูลของระบบเดิมที่ใช้โปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 4 นั้นแสดงให้

เห็นว่าแม้จะมีการแก้ไขการทำงานหรือการพัฒนาส่วนอื่นขึ้นมานั้นยังคงให้ผลลัพธ์ด้านประสิทธิภาพด้อยกว่าการใช้งานโปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 6 ซึ่งจะเป็นระบบที่มาแทนที่โปรโตคอลไอพีรุ่นที่ 4 ในอนาคต

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

Amorn Tharawiwit, Anan Phonphoem. 2007. **NAT-to-NAT Traversal with Direct Connection on Symmetric NAT.** The 11th National Computer Science and Engineering Conference, Thailand, pp. 354-362.

Bryan Ford, Pyda Srisuresh and Dan Kegel. **Peer-to-Peer Communication Across Network Address Translator.** Proceedings of the 2005 USENIX Technical Conference, massachusetts institute of technology, Massachusetts, USA

Eun-Sang Lee, Hyun-Seok Chae, Byoung-Soo Park and Myung-Ryul Choi. 1999. **An expanded NAT with server connection ability.** Proceedings of the IEEE Region 10 Conference, TENCON 99. pp. 1391-1394.

Internet Assigned Numbers Authority. 1983. **Number Resources.** Internet Corporation for Assigned Names and Numbers, http://iana.org.

J. Rosenberg, C. Huitema and R.Mahy. 2005. **Traversal Using Relay NAT – TURN.** Internet-Draft, The Internet Engineering Task Force (IETF), California.

J. Rosenberg and J. Weinberger Dynamicsoft. 2003. **STUN-Simple traversal of User Datagram Protocol Though Network Address Translators.** The Internet Society (RFC 3489), The Internet Engineering Task Force (IETF), California.

M. Holdrege and P. Srisuresh. 2001. **Protocol complication with the IP network address translators.** The Internet Society (RFC 3027), The Internet Engineering Task Force (IETF), California.

Office of the Computer Services. 2003. **KUWIN.** Kasetsart University, Thailand.

P. Srisuresh Jasmine Networks and K. Egevang Intel Corpporation. 2001. **Traditional IP Network Address Translator.** The Internet Society (RFC 3022), The Internet Engineering Task Force (IETF), California.

Satyanarayanan and Shankar. 2005. **Management of NAT-based private networks.** Integrated Network Management, 9th IFIP/IEEE International Symposium. pp. 573-586.

Thom Levy. 2005. **NAT Survey.** Forums GeekZone, France.

Tzu-Chi Huang, Ce-Kuen Shieh, Wen-Huang Lai and Yu-Ben Miao. 2005. **Smart Tunnel Union for NAT Traversal.** Network Computing and Applications, Fourth IEEE International Symposium. pp. 227-231.

Yong Wang, Zhao Lu and Junzhong Gu. 2006. **Research on Symmetric NAT Traversal in P2P applications.** Proceedings of the International Multi-Conference on Computing in the Global Information Technology. pp. 59-59.