การทดลองหาประสิทธิภาพด้านเวลาและการป้องกันการโจมตีของ RYU SDN Framework โดยใช้ Group table และ Proxy arp ในรูปแบบ Single Controller และ Multi Controllers

ณวสันต์ วิศิษฏ์ศิงขร

แขนงวิชาเทคโนโลยีเครือข่ายและความมั่นคงทางไซเบอร์
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

สารบัญ

1 ระเบียบวิธี

1.1 วัตถุประสงค์

Software-defined networking (ระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์) นั้นมีการใช้งานและการตั้งค่าที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเพื่อให้เหมาะกับ Network system (ระบบเครือข่าย) ขององค์กรหรือหน่วยงานของตน ยังต้องช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบเครือข่ายอีกด้วย นอกจากนั้น ระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ ยังถูกนำมาใช้เพื่อป้องกันการโจมตีผ่านระบบเครือข่าย ไม่ว่าจะเป็น Dos หรือ DDos อย่างไรก็ตามระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์นั้นก็คือ Software (ซอฟต์แวร์) รูปแบบหนึ่ง ดังนั้นก็จะมีซอฟต์แวร์หลายตัวที่ถูกพัฒนาขึ้นเป็น “ระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์” เช่น RYU OpenDaylight NOX POX ฯลฯ ดังนั้น วัตถุประสงค์ของการทดลองครั้งนี้ก็เพื่อหาประสิทธิภาพทั้งในด้านเวลาและการตรวจจับการโจมตีของ RYU SDN framework (RYU) ซึ่งเป็นระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ประเภทหนึ่ง ที่ถูกรันอยู่บน SDN Controller พร้อมกับการใช้งาน Group table หรือ Proxy ARP ทั้งในรูปแบบ Single Controller และ Multi Controllers

1.2 การตั้งค่าการจำลอง (Simulation setup)

เครื่องมือและอุปกร์ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

คอมพิวเตอร์วางตักรุ่น Lenovo IdeaPad 5 14IIL05 รันด้วยระบบปฏิบัติการ Arch Linux 6.7.4-arch1-1 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการรันซอฟต์แวร์ทดสอบทั้งหมด

GNOME Terminal Version 3.50.1 เป็นซอฟต์แวร์อยู่บนคอมพิวเตอร์วางตักที่จะใช้ในการ ssh เข้าไปใน server เพื่อทำการสั่งการทำงานต่างๆ

Oracle VM VirtualBox เวอร์ชั่น 7.0.14 ใช้สำหรับการจำลอง Server (เครื่องแม่ข่าย) ขึ้นมาเป็นอีกเครื่องหนึ่งบนคอมพิวเตอร์วางตักที่กล่าวไปข้างต้น ซึ่งจะทำให้เสมือนว่ามีเครื่องแม่ข่ายเพิ่มขึ้นมาอีกเครื่องหนึ่ง

ระบบปฏิบัติการ Ubuntu server 22.04.3 คือระบบปฏิบัติการที่ถูกรันอยู่บนเครื่องแม่ข่ายที่จำลองอยู่บน Oracle VM VirtualBox

Python version 3.9.18 และ 2.7.18 คือรันไทม์สำหรับรันสคริปต์ไฟล์ที่เขียนด้วยภาษา Python ซึ่งจะใช้ในการรัน RYU รวมไปถึงการจำลอง Topology ของ mininet

RYU version 4.34 คือ ระบบเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ ที่ได้กล่าวไปข้างต้น ซึ่งเป็นซอฟต์แวร์หลักตัวหนึ่ง ที่จะถูกใช้ในการรันเชื่อมต่อกับ Controllers (ตัวควบคุม) บน mininet

mininet version 2.3.1b4 คือซอฟต์แวร์ที่จะทำการจำลอง Topology ที่ใช้ในการทดสอบขึ้นมาภายในเครื่องจำลอง Ubuntu server ที่รันอยู่บน Oracle VM VirtualBox

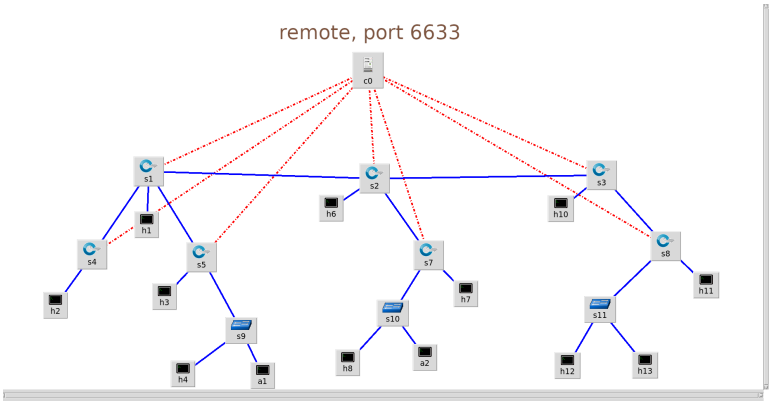
wireshark 3.6.2 คือซอฟต์แวร์ที่จะช่วยในการดักจับข้อมูลที่วิ่งผ่านระบบเครือข่าย ซึ่งจะเป็นซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพในด้านเวลาและการป้องกันการโจมตี

vim version 8.2.2121 คือซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการแก้ไขไฟล์ข้อความหรือไฟล์ข้อความต่างๆ บนระบบปฏิบัติการ Ubuntu server

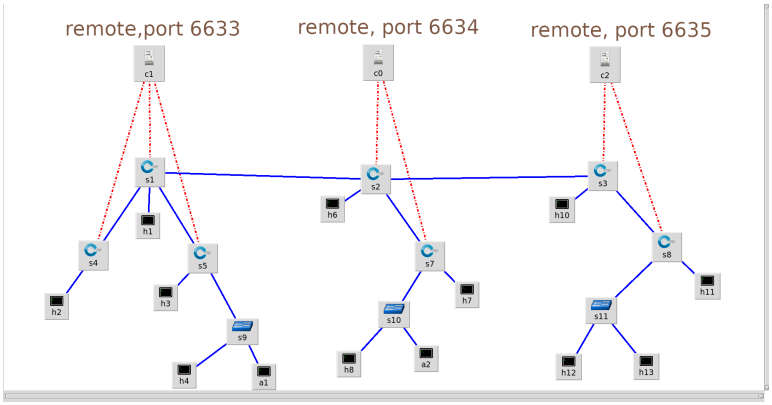
Vscode 1.86.1 เป็นซอฟต์แวร์อีกตัวหนึ่งที่ใช้ในการแก้ไขไฟล์ข้อความซึ่งมีส่วนเสริมที่ช่วยในการเขียน ซึ่งในการทดลองนี้จะนำมาใช้ในการแก้ไขไฟล์สคริปต์ของ Python ในกรณีที่ต้องการความแม่นยำหรือแก้ปัญหาที่ซับซ้อน

1.3 รูปแบบในการทดลอง

ในการจะทำการทดลองนั้นจำเป็นต้องมี python script ที่ใช้ในการสร้าง topology จำลองบน mininet ซึ่งต้องสร้างทั้งแบบ Single Controller และ Multi Controllers โดยสามารถใช้ mininet gui สร้างได้ ตามภาพด้านล่างนี้ หรือสามารถดาวน์โหลดไฟล์ scripts ได้ที่ http://projectcs.sci.ubu.ac.th/nawasan/sdn-topo-mininet



รูปภาพที่ 1: Topology แบบ Single Controller



รูปภาพที่ 2: Topology แบบ Multi Controllers

โดยรูปภาพที่ 1 คือ Topology แบบมี 1 ตัวควบคุม โดยจะทำการกำหนดให้ตัวควบคุมเป็นแบบ remote และรูปภาพที่ 2 คือ Topology แบบมีหลายตัวควบคุม โดยจะทำการกำหนดให้ตัวควบคุมเป็นแบบ remote ทั้งหมด และกำหนด port เป็น 6633 6634 และ 6635 นอกจากนั้น เมื่อสร้าง script python ขึ้นมาแล้ว หรือดาวน์โหลดไฟล์จากลิงก์ที่ให้ไว้ จะทำการตั้งชื่อไฟล์เป็นดังนี้ Topology ที่มี 1 ตัวควบคุม ดังรูปภาพที่ 1 จะทำการตั้งชื่อเป็น single-topo.py และ Topology ที่มีหลายตัวควบคุม ดังรูปภาพที่ 2 จะทำการตั้งชื่อเป็น multi-topo.py

ในการทดลองครั้งนี้ผู้ทำการทดลองได้ออกแบบการทดลองให้มีความเข้มงวดและรัดกุมมากที่สุด เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด โดยผู้ทำการทดลองจะออกแบบการทดลองโดยให้มี 2 รูปแบบ 4 เงื่อนไข ดังนี้

เงื่อนไขที่ 1. (A1) group table แบบ 1 ตัวควบคุม

โดยจะทำการรัน ryu-manager ด้วย script ไฟล์ที่ชื่อ ex7_group_tables.py และทำการรันไฟล์ชื่อ single-topo.py ด้วย python เพื่อจำลอง Topology แบบ 1 ตัวควบคุม

เงื่อนไขที่ 2. (A2) group table แบบหลายตัวควบคุม

โดยจะทำการรัน ryu-manager ด้วย script ไฟล์ที่ชื่อ ex7_group_tables.py และทำการรันไฟล์ชื่อ multi-topo.py ด้วย python เพื่อจำลอง Topology แบบหลายตัวควบคุม

เงื่อนไขที่ 3. (A3) proxy arp แบบ 1 ตัวควบคุม

โดยจะทำการรัน ryu-manager ด้วย script ไฟล์ที่ชื่อ ex8_arp_proxy.py และทำการรันไฟล์ชื่อ single-topo.py ด้วย python เพื่อจำลอง Topology แบบ 1 ตัวควบคุม

เงื่อนไขที่ 4. (A4) proxy arp แบบหลายตัวควบคุม

โดยจะทำการรัน ryu-manager ด้วย script ไฟล์ที่ชื่อ ex8_arp_proxy.py และทำการรันไฟล์ชื่อ multi-topo.py ด้วย

python เพื่อจำลอง Topology แบบหลายตัวควบคุม

รูปแบบที่ 1. คือ ทำการทดสอบโดยจับแพ็กเก็ตทีละจำนวน 100,000 250,000 500,000 750,000 และ 1,000,000 แพ็กเก็ต จากนั้นนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบหาประสิทธิภาพด้านเวลาและการตรวจจับการโจมตี

รูปแบบที่ 2. คือ ทำการทดสอบโดยจำแพ็กเก็ตจำนวน 1,000,000 และ 2,000,000 แพ็กเก็ต จากนั้นนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบหาประสิทธิภาพด้านเวลาและการตรวจจับการโจมตี

สาเหตุที่มีการทดลองสองรูปแบบนั้นก็เพื่อให้สามารถตรวจสอบได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบมีความถูกต้องน่าเชื่อถือ เป็นต้นว่าหากผลการทดสองจากทั้งสองรูปแบบสอดคล้องกัน ก็สามารถเชื่อได้ว่าผลการทดลองนั้นถูกต้อง นอกจากนั้นผู้ทำการทดลองยังได้กำหนดให้ลำดับวิธีของทั้ง 2 รูปแบบการทดลองมีความต่างกันในบางขั้นตอน เพื่อเพิ่มความเชื่อมั่นและความถูกต้องมากขึ้นไปอีก

1.4 ขั้นตอนลำดับวิธีทดลอง

ในการทดลอง ขั้นตอนลำดับจะต่างกันในส่วนของรูปแบบการทดลองเท่านั้น โดยที่เงื่อนไขต่างๆ จะยังคงมีลำดับการทดลองที่เหมือนกัน กล่าวคือในเงื่อนไขการทดลองนั้นจะต่างกันก็เพียงแต่ไฟล์ที่ทำการรันเท่านั้น โดยที่ลำดับขั้นตอนจะยังคงเหมือนเดิม ในแต่ละเงื่อนไขการทดลองจะทำการรันทดสอบ 3 รอบ และเลือกค่ากลางมาทำการวิเคราะห์ กล่าวคือ เลือกค่าที่ไม่น้อยที่สุดและไม่มากที่สุดจากค่าที่ได้จากการทดสอบ

รูปแบบการทดลองที่ 1 บน 1 ตัวควบคุม

ในขั้นต้นผู้ทำการทดลองต้องทำการเปิด gnome terminal ขึ้นมาและเปิดหน้าต่างย่อยเป็นจำนวน 3 หน้าต่าง ทุกหน้าต่างจะต้องทำการเชื่อมต่อไปยังเครื่องแม่ข่ายด้วย ssh ให้เรียบร้อย โดย หน้าต่างที่ 1 จะทำการรัน ryu-manager หน้าต่างที่ 2 จะทำการรัน mininet และหน้าต่างที่ 3 จะทำการรัน wireshark โดยมีลำดับขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. หน้าต่างที่ 1 ทำการรันคำสั่ง $ ryu-manager learn-sdn-with-ryu/ryu-exercises/<python script>
โดย <python script> จะแทนด้วย ex7_group_tables.py หรือ ex8_arp_proxy.py ตามเงื่อนไขการทดลอง

2. หน่าต่างที่ 2 ทำการรันคำสั่ง $ sudo python3 single-topo.py
เพื่อทำการจำลอง topology แบบ 1 ตัวควบคุม ขึ้นมา

3. หน้าต่างที่ 3 ทำการรันคำสั่ง $ sudo wireshark โดยทำการจับแพ็กเก็ตที่ s4-eth1 (ที่เชื่อมกับ h2) และ s11-eth2 (ที่เชื่อมกับ h12) เป็นจำนวนที่เคยกล่าวไปข้างต้น

4. หลังจากที่ wireshark ทำการเริ่มจับแพ็กเก็ต หน้าต่างที่ 2 จะทำการรันคำสั่ง $ mininet> h2 hping3 h12 -S –flood -V โดยทันที เพื่อทำการให้ h2 โจมตีไปที่ h12

5. หลังจากทำการจับแพ็กเก็ตครบตามจำนวนที่กำหนด หน้าต่างที่ 2 ทำการหยุดการโจมตี จากนั้นทำการเก็บค่าสถิติและทำการปิดโปรแกรม wireshark หน้าต่างที่ 2 ทำการออกจาก mininet และรันคำสั่ง $ sudo mn -c หากมีการทดสอบรอบต่อไปต้องเริ่มจากขั้นตอนที่ 1 ใหม่เท่านั้น

รูปแบบการทดลองที่ 1 บนหลายตัวควบคุม

ในขั้นต้นผู้ทำการทดลองต้องทำการเปิด gnome terminal ขึ้นมาและเปิดหน้าต่างย่อยเป็นจำนวน 5 หน้าต่าง ทุกหน้าต่างจะต้องทำการเชื่อมต่อไปยังเครื่องแม่ข่ายด้วย ssh ให้เรียบร้อย โดย หน้าต่างที่ 1 2 และ 3 จะทำการรัน ryu-manager หน้าต่างที่ 4 จะทำการรัน mininet และหน้าต่างที่ 5 จะทำการรัน wireshark โดยมีลำดับขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. หน้าต่างที่ 1 ทำการรันคำสั่ง
$ ryu-manager learn-sdn-with-ryu/ryu-exercises/<python script> –ofp-tcp-listen-port 6633

หน้าต่างที่ 2 ทำการรันคำสั่ง

$ ryu-manager learn-sdn-with-ryu/ryu-exercises/<python script> –ofp-tcp-listen-port 6634

หน้าต่างที่ 3 ทำการรันคำสั่ง

$ ryu-manager learn-sdn-with-ryu/ryu-exercises/<python script> –ofp-tcp-listen-port 6635

โดย <python script> จะแทนด้วย ex7_group_tables.py หรือ ex8_arp_proxy.py ตามเงื่อนไขการทดลอง

2. หน่าต่างที่ 4 ทำการรันคำสั่ง $ sudo python3 multi-topo.py

เพื่อทำการจำลอง topology แบบหลายตัวควบคุม ขึ้นมา

3. หน้าต่างที่ 5 ทำการรันคำสั่ง $ sudo wireshark โดยทำการจับแพ็กเก็ตที่ s4-eth1 (ที่เชื่อมกับ h2) และ s11-eth2 (ที่เชื่อมกับ h12) เป็นจำนวนที่เคยกล่าวไปข้างต้น

4. หลังจากที่ wireshark ทำการเริ่มจับแพ็กเก็ต หน้าต่างที่ 4 จะทำการรันคำสั่ง $ mininet> h2 hping3 h12 -S –flood -V โดยทันที เพื่อทำการให้ h2 โจมตีไปที่ h12

5. หลังจากทำการจับแพ็กเก็ตครบตามจำนวนที่กำหนด หน้าต่างที่ 4 ทำการหยุดการโจมตี จากนั้นทำการเก็บค่าสถิติ และทำการปิดโปรแกรม wireshark หน้าต่างที่ 2 ทำการออกจาก mininet และรันคำสั่ง $ sudo mn -c หากมีการทดสอบรอบต่อไปต้องเริ่มจากขั้นตอนที่ 1 ใหม่เท่านั้น

รูปแบบการทดลองที่ 2 บน 1 ตัวควบคุม

ในขั้นต้นผู้ทำการทดลองต้องทำการเปิด gnome terminal ขึ้นมาและเปิดหน้าต่างย่อยเป็นจำนวน 3 หน้าต่าง ทุกหน้าต่างจะต้องทำการเชื่อมต่อไปยังเครื่องแม่ข่ายด้วย ssh ให้เรียบร้อย โดย หน้าต่างที่ 1 จะทำการรัน ryu-manager หน้าต่างที่ 2 จะทำการรัน mininet และหน้าต่างที่ 3 จะทำการรัน wireshark โดยมีลำดับขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. หน้าต่างที่ 1 ทำการรันคำสั่ง $ ryu-manager learn-sdn-with-ryu/ryu-exercises/<python script>

โดย <python script> จะแทนด้วย ex7_group_tables.py หรือ ex8_arp_proxy.py ตามเงื่อนไขการทดลอง

2. หน่าต่างที่ 2 ทำการรันคำสั่ง $ sudo python3 single-topo.py

เพื่อทำการจำลอง topology แบบ 1 ตัวควบคุม ขึ้นมา

3. หน้าต่างที่ 2 จะทำการรันคำสั่ง $ mininet> h2 hping3 h12 -S –flood -V เพื่อทำการให้ h2 โจมตีไปที่ h12

4. หน้าต่างที่ 3 ทำการรันคำสั่ง $ sudo wireshark จากนั้นจะทำการเริ่มจับแพ็กเก็ตหลังจากเริ่มการโจมตีแล้ว 30 วินาที โดยทำการจับแพ็กเก็ตที่ s4-eth1 (ที่เชื่อมกับ h2) และ s11-eth2 (ที่เชื่อมกับ h12) เป็นจำนวนที่เคยกล่าวไปข้างต้น

5. หลังจากทำการจับแพ็กเก็ตครบตามจำนวนที่กำหนด หน้าต่างที่ 2 ทำการหยุดการโจมตี จากนั้นทำการเก็บค่าสถิติ และทำการปิดโปรแกรม wireshark หน้าต่างที่ 2 ทำการออกจาก mininet และรันคำสั่ง $ sudo mn -c หากมีการทดสอบรอบต่อไปต้องเริ่มจากขั้นตอนที่ 1 ใหม่เท่านั้น

รูปแบบการทดลองที่ 2 บนหลายตัวควบคุม

ในขั้นต้นผู้ทำการทดลองต้องทำการเปิด gnome terminal ขึ้นมาและเปิดหน้าต่างย่อยเป็นจำนวน 5 หน้าต่าง ทุกหน้าต่างจะต้องทำการเชื่อมต่อไปยังเครื่องแม่ข่ายด้วย ssh ให้เรียบร้อย โดย หน้าต่างที่ 1 2 และ 3 จะทำการรัน ryu-manager หน้าต่างที่ 4 จะทำการรัน mininet และหน้าต่างที่ 5 จะทำการรัน wireshark โดยมีลำดับขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. หน้าต่างที่ 1 ทำการรันคำสั่ง

$ ryu-manager learn-sdn-with-ryu/ryu-exercises/<python script> –ofp-tcp-listen-port 6633

หน้าต่างที่ 2 ทำการรันคำสั่ง

$ ryu-manager learn-sdn-with-ryu/ryu-exercises/<python script> –ofp-tcp-listen-port 6634

หน้าต่างที่ 3 ทำการรันคำสั่ง

$ ryu-manager learn-sdn-with-ryu/ryu-exercises/<python script> –ofp-tcp-listen-port 6635

โดย <python script> จะแทนด้วย ex7_group_tables.py หรือ ex8_arp_proxy.py ตามเงื่อนไขการทดลอง

2. หน่าต่างที่ 4 ทำการรันคำสั่ง $ sudo python3 multi-topo.py เพื่อทำการจำลอง topology แบบหลายตัวควบคุม ขึ้นมา

4. หน้าต่างที่ 4 จะทำการรันคำสั่ง $ mininet> h2 hping3 h12 -S –flood -V เพื่อทำการให้ h2 โจมตีไปที่ h12

3. หน้าต่างที่ 5 ทำการรันคำสั่ง $ sudo wireshark จากนั้นจะทำการเริ่มจับแพ็กเก็ตหลังจากเริ่มการโจมตีแล้ว 30 วินาที โดยทำการจับแพ็กเก็ตที่ s4-eth1 (ที่เชื่อมกับ h2) และ s11-eth2 (ที่เชื่อมกับ h12) เป็นจำนวนที่เคยกล่าวไปข้างต้น

5. หลังจากทำการจับแพ็กเก็ตครบตามจำนวนที่กำหนด หน้าต่างที่ 4 ทำการหยุดการโจมตี จากนั้นทำการเก็บค่าสถิติและทำการปิดโปรแกรม wireshark หน้าต่างที่ 2 ทำการออกจาก mininet และรันคำสั่ง $ sudo mn -c หากมีการทดสอบรอบต่อไปต้องเริ่มจากขั้นตอนที่ 1 ใหม่เท่านั้น

2 ผลลัพธ์และการอภิปราย (Results and discussion)

เหตุผลที่ต้องทำการรัน 3 รอบ ในแต่ละเงื่อนไข เนื่องมาจากในขั้นตอนการเตรียมเครื่องมือและซอฟต์แวร์นั้นได้มีการรันทดสอบ และพบว่าค่ามีความแกว่งในบางครั้ง โดยในการรันครั้งแรกดรอปแพ็กเกจได้ 8% ในการรันครั้งที่ 2 อาจจะเพิ่มเป็น 30% หรือ 35% ดังนั้นจึงได้มีการออกแบบขั้นตอนการทดลองที่เหมือนกันมากที่สุดเพื่อลดปัจจัยที่อาจจะกระทบและทำให้ผลลัพธ์เปลี่ยนไปอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนั้นจึงได้มีการรันทดสอบ 3 รอบของแต่ละรูปแบบเพื่อลดโอกาสที่ค่าจะออกมาคลาดเคลื่อนหรือผิดไปจากที่ควรจะเป็น และในการรันทดสอบนั้นมีการจับแพ็กเก็ตด้วย wireshark ที่ s4-eth1 และ s11-eth2 ซึ่งทำให้มี 2 ค่าที่เกิดขึ้นจากทั้ง 2 ขาของการจับแพ็กเกจ ทางผู้ทดลองต้องการทำให้เป็นค่าเพียงหนึ่งค่า จึงจะทำการรวมค่าจาก s4-eth1 และ s11-eth2 ให้เป็นค่าหนึ่งโดยการบวก และในการรันทดสอบ 3 ครั้งนั้น ผู้ทำการทดลองพิจารณาแล้วว่าจะเลือกค่าอัตราการดรอบแพ็กเก็ตที่เป็นค่ากลางมาใช้ในการวิเคราะห์

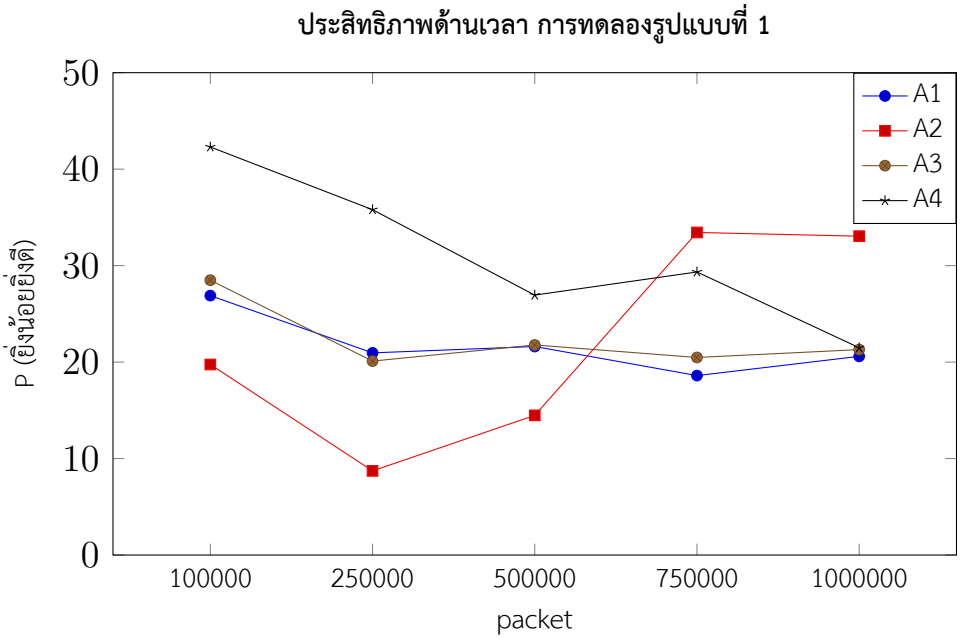
2.1 ผลลัพธ์การทดลอง

ผลลัพธ์ด้านเวลา

ในการทดสอบทั้ง 2 รูปแบบมีการจับแพ็กเก็ตหลายระดับ จึงอาจจะทำให้แพ็กเก็จจำนวนมากกว่าจะใช้เวลามากกว่า จึงได้ใช้สูตรคำนวนเพื่อให้สามารถเทียบวัดได้ โดยใช้สูตร

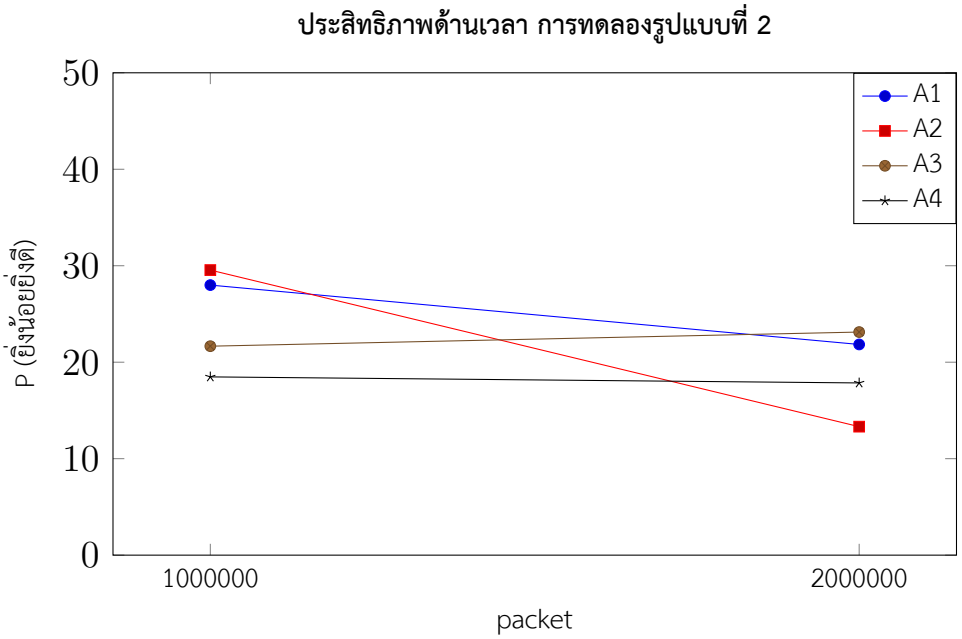
$$P = t \times \frac{m}{d}$$

โดยที่ P คือค่าคะแนน t คือเวลาที่ได้จากการวัด m คือจำนวนแพ็กเก็ตมากที่สุดที่ทำการวัด d คือจำนวนแพ็กเก็ตที่วัดในรอบนั้น



รูปภาพที่ 3: แผนภูมิแสดงผลลัพธ์ประสิทธิภาพด้านเวลาของการทดลองรูปแบบที่ 1

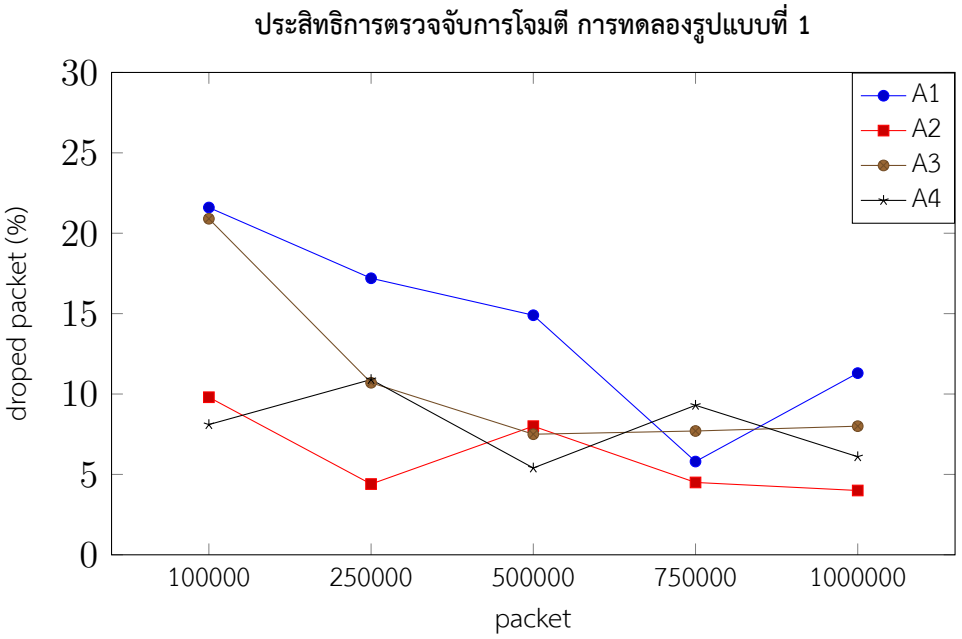
จากรูปภาพที่ 3 (A1) มีประสิทธิภาพไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเมื่อแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้น แต่มีแนวโน้มดีขึ้นเมื่อแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้น (A2) มีแนวโน้มมีประสิทธิภาพน้อยลงเมื่อแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้น แต่ไม่สม่ำเสมอ (A3) ประสิทธิภาพดีขึ้นเล็กน้อยอย่างไม่มีนัยสำคัญเมื่อแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้น (A4) มีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มประสิทธิภาพจะดีขึ้นอีก เมื่อแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้น



รูปภาพที่ 4: แผนภูมิแสดงผลลัพธ์ประสิทธิภาพด้านเวลาของการทดลองรูปแบบที่ 2

จากรูปภาพที่ 4 (A1) มีประสิทธิภาพดีขึ้นเมื่อแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้น (A2) มีประสิทธิภาพดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัดเมื่อแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้น (A3) ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไม่มีนัยสำคัญ (A4) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด อาจกล่าวได้ว่าประสิทธิภาพเท่าเดิม

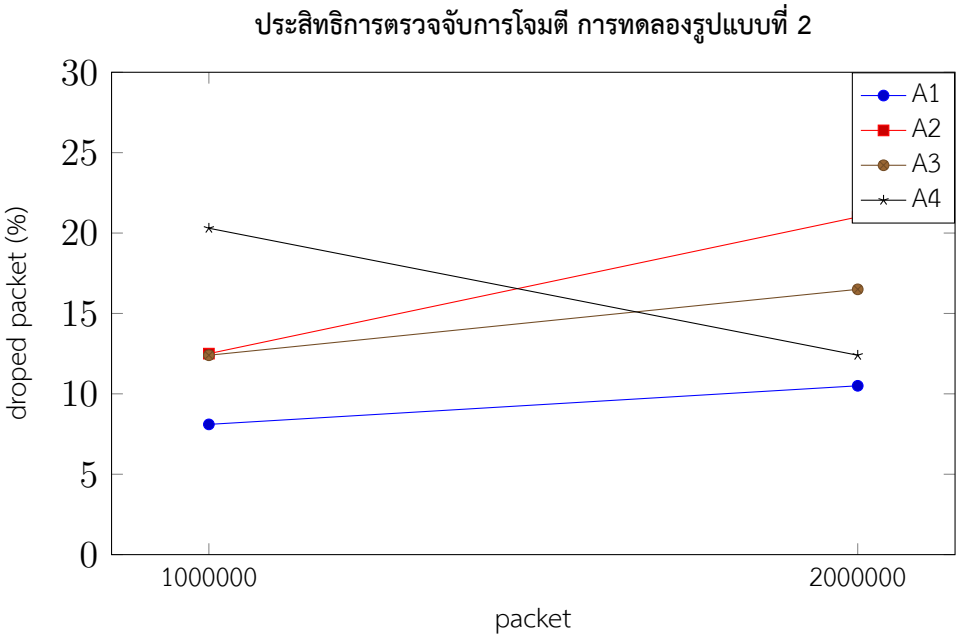
ผลลัพธ์ประสิทธิภาพด้านการตรวจจับการโจมตี



รูปภาพที่ 5: แผนภูมิแสดงผลลัพธ์ประสิทธิภาพด้านการตรวจจับการโจมตีของการทดลองรูปแบบที่ 1

จากรูปที่ 5 จะเห็นว่า (A1) มีประสิทธิภาพการตรวจจับที่น้อยลงเมื่อแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้น (A2) มีประสิทธิภาพไม่คงที่ใน

แต่ละจำนวนแพ็กเก็ต และไม่มีความต่างอย่างมีนัยสำคัญ (A3) มีประสิทธิภาพน้อยลงเมื่อแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้น แต่เมื่อถึงจุดหนึ่งประสิทธิภาพจะไม่ลดลงอีก (A4) มีประสิทธิภาพไม่คงที่ และไม่มีแนวโน้มจะลดลงหรือเพิ่มขึ้น



รูปภาพที่ 6: แผนภูมิแสดงผลลัพธ์ประสิทธิภาพด้านการตรวจจับการโจมตีของการทดลองรูปแบบที่ 2

จากรูปภาพที่ 6 (A1) มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น (A2) ประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และมีแนวโน้มอย่างสูงว่าประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นอีกหากแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้น (A3) มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเมื่อแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้น มีแนวโน้มเล็กน้อยว่าประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นอีก (A4) มีประสิทธิภาพลดลงเมื่อแพ็กเก็ตเพิ่มขึ้น ซึ่งสวนทางกับเงื่อนไขอื่นอย่างเห็นได้ชัด

2.2 ผลลัพธ์การทดลองด้านสถิติ

สถิติผลการทดลองรูปแบบที่ 1

ประเภท	100 000	250 000	500 000	750 000	1 000 000	Mean	Median	S.D.	C.V.
(A1) ด้านตรวจจับ	21.6	17.2	14.9	5.8	11.3	14.16	14.9	5.983	0.401
(A1) ด้านเวลา	26.89	20.956	21.614	18.6	20.5	21.7	20.9	3.094	0.147
(A2) ด้านตรวจจับ	9.8	4.4	8	4.5	4	6.14	4.5	2.605	0.578
(A2) ด้านเวลา	19.7	8.7	14.4	33.4	33	21.8	19.75	11.076	0.560
(A3) ด้านตรวจจับ	20.9	10.7	7.5	7.7	8	10.96	8	5.705	0.713
(A3) ด้านเวลา	28.4	20.1	21.7	20.4	21.2	22.4	21.2	3.451	0.162
(A4) ด้านตรวจจับ	8.1	10.9	5.4	9.3	6.1	7.96	8.1	2.262	0.279
(A4) ด้านเวลา	42.3	35.8	26.9	29.3	21.4	31.1	29.3	8.065	0.274

รูปภาพที่ 7: ตารางแสดงสถิติผลการทดลองรูปแบบที่ 1

สถิติผลการทดลองรูปแบบที่ 2

ประเภท	1 000 000	2 000 000	Mean	Median	S.D.	C.V.
(A1) ด้านตรวจจับ	8.1	10.5	9.3	9.3	1.697	0.182
(A1) ด้านเวลา	27.9	21.8	24.9	24.9	4.351	0.174
(A2) ด้านตรวจจับ	12.5	21	16.75	16.75	6.010	0.358
(A2) ด้านเวลา	29.5	13.3	21.4	21.4	11.477	0.535
(A3) ด้านตรวจจับ	12.4	16.5	14.4	14.4	2.899	0.200
(A3) ด้านเวลา	21.6	23.1	22.3	22.3	1.035	0.046
(A4) ด้านตรวจจับ	20.3	12.4	16.35	16.35	5.586	0.341
(A4) ด้านเวลา	18.4	17.8	18.1	18.1645	0.443	0.0244

รูปภาพที่ 8: ตารางแสดงสถิติผลการทดลองรูปแบบที่ 2

2.3 สรุปผลการทดลอง

จากที่ได้กล่าวไปว่า ผู้ทดลองทำการออกแบบการทดลองให้มี 2 รูปแบบ เพื่อที่ว่าจะได้นำมาเปรียบเทียบ ทั้งแนวโน้มความสัมพันธ์ ความขัดแย้ง หรือความต่อเนื่องเองก็ตาม เพื่อให้มั่นใจได้ว่าค่าที่ออกมาจะมีความถูกต้องมากที่สุด นอกจากนั้นยังเป็นการสามารถดูประสิทธิภาพในช่วงละเอียดและช่วงหยาบได้ไหนจำนวนแพ็กเก็ตต่างๆ ตั้งแต่ 100,000 แพ็กเก็ต ไปจนถึง 2,000,000 แพ็กเก็ต

โดยในประสิทธิภาพด้านเวลานั้น จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า (A2) นั้นผลออกมาขัดแย้งกันอย่างชัดเจน แต่หากพิจารณาความต่อเนื่องแล้วก็สามารถบอกได้ว่า ประสิทธิภาพของ (A2) นั้นลดลงในช่วงหนึ่งแสนไปจนถึงหนึ่งล้าน จากนั้นประสิทธิภาพก็จะดีขึ้น ในส่วน (A4) นั้นมีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นเรื่อยๆ ในช่วงระหว่างหนึ่งแสนถึงหนึ่งล้าน แต่ประสิทธิภาพไม่เปลี่ยนแปลงในระหว่างหนึ่งล้านถึงสองล้าน ในส่วน (A1) และ (A4) นั้น ไม่ได้มีความเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพอย่างชัดเจน ทั้งในการทดลองรูปแบบที่หนึ่งและสอง เมื่อพิจารณาได้ดังนั้น ก็สามารถสรุปได้ว่า การรันแบบหลายตัวควบคุม (A2, A4) ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าการรันแบบหนึ่งตัวควบคุม และเมื่อพิจารณาระหว่าง group table และ proxy arp บนหลายตัวควบคุม จะพบว่า group table ให้ประสิทธิภาพด้านเวลาที่ดีกว่า proxy arp

ในด้านประสิทธิภาพการตรวจจับการโจมตีนั้น จะเห็นได้ว่า (A2) ผลจากทั้งสองรูปแบบออกมาขัดแย้งกัน แต่หากพิจารณาถึงความต่อเนื่องแล้วก็จะเห็นได้ว่า ค่ายังมีความน่าเชื่อถืออยู่ โดยประสิทธิภาพจะเริ่มเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อจำนวนแพ็กเก็ตถึงหนึ่งล้านไปจนถึงสองล้าน และโดยส่วนใหญ่นั้น ประสิทธิภาพก็จะเพิ่มขึ้นในช่วงหนึ่งล้านถึงสองล้าน มีเพียง (A4) เท่านั้นที่ประสิทธิภาพลดลง นอกจากนั้นผลลัพธ์ (A4) จากทั้งสองรูปแบบยังไม่มีความต่อเนื่องกัน เมื่อพิจารณาตามผลลัพธ์ จะเห็นได้ว่าค่าจากทั้งสองรูปแบบไม่ได้ชี้อย่างชัดเจนว่ารูปแบบไหนดีที่สุด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องดูค่าสถิติประกอบ โดยจะพบว่าผลการทดลองรูปแบบที่สองมีความน่าเชื่อถือมากกว่ารูปแบบที่หนึ่ง เมื่ออิงตามผลการทดลองรูปแบบที่สองจะพบว่า การรันแบบหลายตัวควบคุมให้ประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีกว่า นอกจากนั้น group table ยังให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า proxy arp

2.4 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองนี้ ผู้อ่านจะนำไปใช้ได้ดีเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าสถิติ นอกจากนั้นจะเป็นการดีกว่าหากผู้อ่านได้ทำการทดลองซ้ำเพื่อตรวจสอบความถูกต้องแม่นยำ นอกจากนี้ผู้อ่านต้องมีความระมัดระวังในการนำไปใช้ เนื่องจากว่าการทดลองนี้ถูกทำอยู่บนเครื่องจำลอง ทั้งที่เป็นเครื่องแม่ข่าย ตัวควบคุม หรืออื่นใดก็ตาม ดังนั้นผลลัพธ์อาจจะคลาดเคลื่อนจากการนำไปใช้บนอุปกรณ์จริงได้