

การจัดเส้นทางด้วยกลไกการคาดการณ์แบนด์วิดท์ในเครือข่ายเอสดีเอ็น

Routing Scheme based on Bandwidth Prediction Mechanism

in SDN Networks



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2563

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การจัดเส้นทางด้วยกลไกการคาดการณ์แบนด์วิดท์ในเครือข่ายเอสดีเอ็น

Routing Scheme based on Bandwidth Prediction Mechanism in SDN Networks

ผู้จัดทำ

1. นาย นราวิชญ์ ประทีปรัตน์ รหัสนักศึกษา 60010509
2. นาย กীরติธรรม์ ศิลาทรัพย์ รหัสนักศึกษา 60010089




อาจารย์ที่ปรึกษา
(รศ. ดร. ศักดิ์ชัย ทิพย์จักษ์รัตน์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การจัดเส้นทางด้วยกลไกการคาดการณ์แบบดัดวิดท์ในเครือข่ายเอสดีเอ็น

นาย นราวิษณุ ประทีปรัตน์ 60010509

นาย กิรติธรรม์ ศิลาทรัพย์ 60010089

รศ. ดร. ศักดิ์ชัย ทิพย์จักษ์รัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2563

บทคัดย่อ

เครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์เป็นเทคโนโลยีด้านเครือข่าย ที่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอุปกรณ์โดยการแยกส่วนการควบคุมไปรวมศูนย์ไว้ที่คอนโทรลเลอร์ ที่ซึ่งสามารถทำงานกับภาษาโปรแกรมมิ่ง ช่วยให้สามารถนำการเรียนรู้ของเครื่องมาประยุกต์ใช้งานในด้านเน็ตเวิร์ก

โครงการนี้ได้นำเสนอโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก “กลไกการคาดการณ์แบบดัดวิดท์ของลิงค์” ซึ่งนำโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับชนิด Long Short Term Memory (LSTM) มาใช้สร้างเน็ตเวิร์กแอปพลิเคชันที่จะทำงานอยู่บนรีวิเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ ซึ่งรีวิจะคอยเก็บรวบรวมข้อมูลสถิติของแพ็กเก็ตข้อมูล ส่งไปยังเน็ตเวิร์กแอปพลิเคชัน เพื่อนำไปใช้สำหรับการเรียนรู้และสร้างโมเดล LSTM แอปพลิเคชันดังกล่าวช่วยให้เราสามารถคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ล่วงหน้า และสามารถทำการกำหนดเส้นทางการส่งแพ็กเก็ตใหม่ได้ก่อนที่จะเกิดความคับคั่งของข้อมูลบนลิงค์ และลดอัตราการเกิดการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Routing Scheme based on Bandwidth Prediction Mechanism in SDN Networks

Mr. Naravith Pratepratana 60010509

Mr. Kiratitam Silasap 60010089

Assoc. Prof. Dr. Sakchai Thipchaksurat Advisor

Academic Year 2020

Abstract

Software-Defined Network technology is an approach which change the internal structure of network devices in which Control plane is separated from devices and centralized as Controller. SDN Controller can be programmed and control by common programming language. Therefore, intelligence and automatic management have been brought into Networking

In this paper, we propose a Deep Learning model for Software Defined Network called Link Bandwidth Utilization Prediction Application, work based on the Long-Short Term Memory (LSTM) Recurrent Neural Network. This proposed Network Application run within the RYU SDN Controller, Which can acquire the Network Traffic information from network devices and send to the Network Application for learning and modelling of LSTM neural network. The proposed Network Application could predict the Bandwidth Utilization of network links within the SDN Network in advance. This Network intelligence lead by SDN technology could make Re-routing before those specific links become congested and decrease the rate of packet loss.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการการจัดเส้นทางด้วยกลไกการคาดการณ์แบนด์วิดท์และพลังงานในเครือข่ายเอ็ดจีเอ็นนี้ ผู้จัดทำขอขอบพระคุณที่ปรึกษาปริญญาโท รัช. ดร. ศักดิ์ชัย ทิพย์จักรรัตน์ ที่กรุณาให้ความรู้และคำปรึกษาต่างๆ เกี่ยวกับแนวทางในการดำเนินโครงการ ตั้งแต่ริเริ่มออกแบบระบบจนกระทั่งพัฒนาเสร็จสมบูรณ์ พร้อมทั้งกรรมการปริญญาโททุกท่านที่ร่วมให้คำแนะนำในการทำปริญญาโทให้สัมฤทธิ์ผลได้ด้วยดี ตลอดจนคณาจารย์ที่ให้ความรู้มาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ที่ให้การอุปการะเลี้ยงดู พร้อมทั้งสนับสนุน ส่งเสริมการศึกษา ให้ได้รับการศึกษา และให้กำลังใจอันดีมาโดยตลอด ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าปริญญาโทนี้จะ เป็นประโยชน์กับท่านผู้สนใจและผู้เกี่ยวข้อง

นาย นราวิชญ์ ประทีปรัตน์ 60010509

นาย กิรติธรรม์ ศิลาทรัพย์ 60010089

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use^{III} only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูป	VIII
สารบัญตาราง	X
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมา และความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของ โครงการ	3
1.3 ขอบเขตการวิจัย	3
1.3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา	3
1.3.2 ขอบเขตด้านแหล่งข้อมูล	4
1.3.3 ขอบเขตด้านระยะเวลา	4
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ.....	4
1.5 แผนการดำเนินงาน	5
บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1.1 เครื่องข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์	9
2.1.2 การจัดเส้นทาง.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use^{IV} only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

2.1.4 อัลกอริทึมเส้นทางสั้นที่สุดของไดจ์สตรา.....	17
2.1.5 การเรียนรู้เชิงลึก และ โครงข่ายประสาทเทียม	17
2.1.6 Long-Short Term Memory (LSTM)	17
2.1.7 บัฟเฟอร์.....	17
2.1.8 การสูญหายของแพ็กเก็ต.....	18
2.1.9 แบบจำลอง และค่าการใช้ประโยชน์แบบจำลอง	18
2.1.10 ทฤษฎี	18
2.1.11 คิว.....	18
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	19
บทที่ 3 วิธีการนำเสนอ	22
3.1 องค์ประกอบของระบบ	24
3.1.1 ชั้นโครงสร้างพื้นฐานเครือข่าย (Infrastructure Layer)	24
3.1.2 วิวเสตติเอ็นคอน โทรลเลอร์.....	26
3.1.3 แอปพลิเคชันคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบบจำลอง LSTM.....	31
3.1.4 ขั้นตอนการสร้างแอปพลิเคชัน LSTM.....	32
3.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบ.....	36
3.2.1 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่	38
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	41
4.1 การพิจารณาอัลกอริทึมการเรียนรู้ที่เหมาะสม และการประเมินประสิทธิภาพของ อัลกอริทึมการเรียนรู้.....	41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ)

4.1.1 Root Mean Squared Error และ Mean Absolute Error	41
4.2 การประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่.....	47
4.2.1 ทฤษฎี	47
4.2.2 การคำนวณทฤษฎีภาพรวม	47
4.2.3 การคำนวณปริมาณกราฟฟิคที่เข้ามาในเครือข่าย	47
4.3 การเลือกค่าเทรชโฮลด์ที่เหมาะสมกับโครงงาน.....	48
4.3.1 ค่าเทรชโฮลด์ที่เหมาะสมกับระดับกราฟฟิคต่างๆ.....	48
4.3.2 ค่าเทรชโฮลด์ที่เหมาะสมกับโครงงาน.....	51
4.4 การประเมินประสิทธิภาพของโครงงาน	51
4.4.1 พารามิเตอร์การทดลอง.....	52
4.4.2 ภายหลังการทดลอง.....	53
4.4.3 ผลการทดลอง.....	53
4.4.4 การทดลองเพิ่มเติม	54
4.4.5 ผลการทดลองเพิ่มเติม	56
บทที่ 5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	58
5.1 สรุปผลที่ได้จากการทดลอง	58
5.2 ปัญหาที่พบ	59
5.2.1 การขาดแหล่งความรู้ทำให้เกิดความยากในการศึกษา	59
5.2.2 การลองผิดลองถูกกับอุปกรณ์หลายอย่างทำให้เริ่มต้นโครงงานได้ช้า.....	59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.3 แนวทางในการพัฒนาต่อ	60
บรรณานุกรม.....	61



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use^{vii} only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1	โครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายแบบเดิม	10
รูปที่ 2.2	โครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายเอสดีเอ็น	10
รูปที่ 2.3	Software-Defined Network Architecture ที่แบ่งโครงสร้างเป็น 3 Layer	11
รูปที่ 3.1	ภาพรวมของระบบงาน	22
รูปที่ 3.2	การเปรียบเทียบโครงสร้างระหว่าง SDN มาตรฐาน และ โครงสร้าง SDN ของโครงการ	23
รูปที่ 3.3	องค์ประกอบของระบบงานอย่างละเอียด	24
รูปที่ 3.4	โครงสร้างเครือข่ายที่สร้างโดยแอปพลิเคชัน SDN Flow Manager.....	25
รูปที่ 3.5	การตรวจสอบโทโพโลยี (Topology) ที่สร้างโดยมินิเน็ตด้วย SDN Flow Manager.....	25
รูปที่ 3.6	RYU SDN Framework มาตรฐาน.....	26
รูปที่ 3.7	RYU SDN Framework ที่ประยุกต์ใช้ในโครงการ.....	27
รูปที่ 3.8	โมดูลสังเกตการณ์กราฟฟิคแสดงข้อมูลของลิงค์ในแต่ละวินาที	28
รูปที่ 3.9	การทำงานของอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่	30
รูปที่ 3.10	ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ที่ตรวจจับและคาดการณ์ว่าจะเกินเทรชโฮลด์	31
รูปที่ 3.11	ภาพรวมของแอปพลิเคชันคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์.....	32
รูปที่ 3.12	การส่งข้อมูลค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์จากริวเอสดีเอ็นมาสู่ซูเปอร์	32
รูปที่ 3.13	สรุปกระบวนการสร้าง Dataset Matrix เริ่มตั้งแต่นำเข้าข้อมูล	34
รูปที่ 3.14	โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด LSTM ในโครงการ.....	35
รูปที่ 3.15	Block Diagram แสดงภาพรวมขั้นตอนการทำงานของระบบ	36
รูปที่ 3.16	Flow Chart แสดงขั้นตอนการทำงานโดยรวมของโครงการ	37
รูปที่ 3.17	Flowchart ของ Re-Routing Algorithm.....	38
รูปที่ 3.18	Block Path และ Switch Path	40
รูปที่ 3.19	ผลที่เกิดขึ้นหลังจากออกคำสั่งการเปลี่ยนเส้นทาง	40
รูปที่ 4.1	ผลการวัดความแม่นยำของ Linear Regression	43
รูปที่ 4.2	ผลการวัดความแม่นยำของ Decision Tree Regressor	44
รูปที่ 4.3	ผลการวัดความแม่นยำของ Random Forest Regressor.....	45

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ทางปัญญาของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นแต่เพื่อการศึกษา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 4.4 ผลการวัดความแม่นยำของ Multi-Layer Perceptron.....	46
รูปที่ 4.5 ผลการวัดความแม่นยำของ Long-Short Term Memory	46
รูปที่ 4.6 ฟิลด์ภายในแพ็กเก็ต FlowStatReplyMessage	48
รูปที่ 4.7 ค่าทรูพุดที่ระดับเทรชโฮลด์ต่างๆ ในกราฟพีกระดับต่ำ.....	49
รูปที่ 4.8 ค่าทรูพุดที่ระดับเทรชโฮลด์ต่างๆ ในกราฟพีกระดับกลาง.....	49
รูปที่ 4.9 ค่าทรูพุดที่ระดับเทรชโฮลด์ต่างๆ ในกราฟพีกระดับสูง.....	50
รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าทรูพุดเมื่อกำหนดค่าเทรชโฮลด์ที่ 60% 70% และ 80% ของแบนด์วิดท์	51
รูปที่ 4.11 ผลการเปรียบเทียบระหว่างอัลกอริทึมต่างๆ.....	53
รูปที่ 4.12 โทโพโลยีแบบเชื่อมต่อกันทั้งหมด	54
รูปที่ 4.13 โทโพโลยีอ้างอิงจากงานวิจัย Enhance Load Balanced.....	55
รูปที่ 4.14 ผลการทดลองบนโทโพโลยีแบบเชื่อมต่อกันทั้งหมด.....	56
รูปที่ 4.15 ผลการทดลองบนโทโพโลยีอ้างอิงจากงานวิจัย Enhance Load Balanced	57

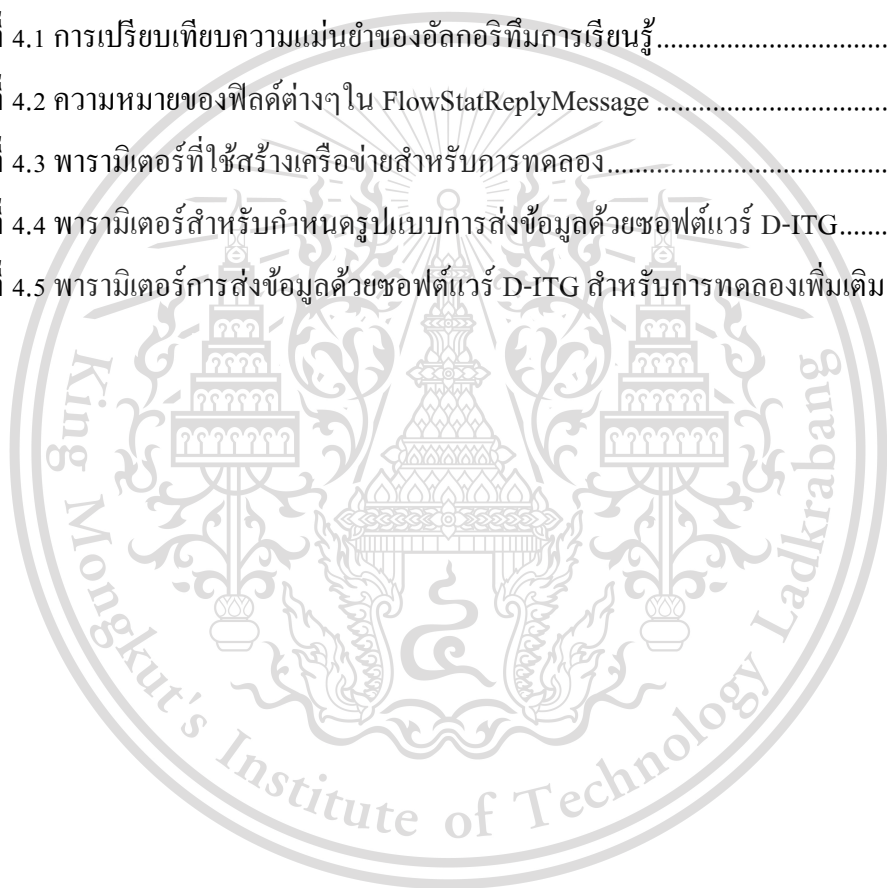
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use^{IX} only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	แผนการดำเนินงานในช่วงเทอม 1 ปีการศึกษา 2563	6
ตารางที่ 1.2	แผนการดำเนินงานในช่วงเทอม 2 ปีการศึกษา 2563	8
ตารางที่ 2.1	OFPPortStatusReply	16
ตารางที่ 3.1	ตัวอย่าง ชุดข้อมูลที่ได้คัดแปลงมาจาก OFPPortStatsReply	29
ตารางที่ 4.1	การเปรียบเทียบความแม่นยำของอัลกอริทึมการเรียนรู้	42
ตารางที่ 4.2	ความหมายของฟิลด์ต่างๆใน FlowStatReplyMessage	48
ตารางที่ 4.3	พารามิเตอร์ที่ใช้สร้างเครือข่ายสำหรับการทดลอง	52
ตารางที่ 4.4	พารามิเตอร์สำหรับกำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ D-ITG	52
ตารางที่ 4.5	พารามิเตอร์การส่งข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ D-ITG สำหรับการทดลองเพิ่มเติม	55



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญ

เครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ (Software Defined Network) หรือเอสดีเอ็น (SDN) เป็นแนวคิดในการบริหารจัดการเครือข่ายแบบใหม่ ที่จะเปลี่ยนแปลงสถาปัตยกรรมของเครือข่ายให้มีการบริหารจัดการแบบรวมศูนย์ นอกจากนี้จะช่วยแก้ปัญหาที่พบในเครือข่ายแบบเดิมซึ่งเราจะอธิบายต่อไป เอสดีเอ็นทำให้การบริหารจัดการมีประสิทธิภาพมากขึ้นในอนาคต

Vendor-specific Command [6] หรือชุดคำสั่งสำหรับการตั้งค่าอุปกรณ์เครือข่ายที่แตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับผู้ผลิต เป็นปัญหาของสถาปัตยกรรมเครือข่ายแบบดั้งเดิมที่ผู้ดูแลเครือข่ายต้องพบอยู่เป็นประจำ แต่ในปัจจุบันเครือข่ายมีขนาดขยายใหญ่ขึ้น นอกจากนี้เครือข่ายยังประกอบไปด้วยอุปกรณ์จากผู้ผลิตหลากหลายบริษัทที่ต้องสามารถทำงานร่วมกันให้ได้ [7] ซึ่งประเด็นนี้อาจนำไปสู่ความผิดพลาดในการตั้งค่าอุปกรณ์ได้เนื่องจากผู้ดูแลเครือข่ายนั้นต้องเข้าไปจัดการอุปกรณ์เครือข่ายทุกเครื่องโดยตรง

โพรโทคอลการจัดเส้นทาง (Routing Protocol) หมายถึง โพรโทคอลที่ใช้ติดต่อกันระหว่างอุปกรณ์ในชั้นการสื่อสารที่ 3 ของโมเดลไอเอสไอ สำหรับแลกเปลี่ยนตารางเส้นทาง (Routing Information) เพื่อสร้างตารางเส้นทาง (Routing Table) ซึ่งช่วยให้อุปกรณ์ส่งต้นทางรู้เส้นทาง และสามารถส่งข้อมูลหรือแพ็กเก็ต (Packet) ไปยังอุปกรณ์ปลายทางได้ถูกต้อง [14] โดยตารางเส้นทางจะถูกสร้างด้วยวิธีการค้นหา “เส้นทางที่สั้นที่สุด” [15] เส้นทางที่ถูกเลือกไว้โดยอัลกอริทึมการจัดเส้นทาง (Routing Algorithm) อาจถูกคำนวณใหม่ได้ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงของลิงค์ (Link) หรือกรณีโหนด (Node) ไม่สามารถทำงานได้ ความสามารถในการเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดใหม่นี้เรียกว่า Convergence [16] นอกจากนี้แล้วอุปกรณ์เช่น เราเตอร์ (Router) และสวิตช์ (Switch) สามารถพบปัญหาการสูญหายของแพ็กเก็ต (Packet Loss) ในสถานการณ์ที่ความสามารถในการส่งข้อมูลมีน้อยกว่าการรับข้อมูล เราเตอร์จำเป็นต้องหาพื้นที่ในการเก็บข้อมูลที่เข้ามาเพื่อรอการส่งต่อไป ทำให้เราเตอร์จำเป็นต้องทำ การจัดคิวแพ็กเก็ต (Packet Queuing) ด้วยบัฟเฟอร์ (Buffer) แต่ทั้งนี้ บัฟเฟอร์อาจถูกใช้งานจนเต็มความจุและทำให้เราเตอร์ต้องเลือกที่จะละทิ้งแพ็กเก็ตบางส่วนไป [17]

เครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ หรือเอสดีเอ็น (SDN) เป็นสถาปัตยกรรมเครือข่ายรูปแบบใหม่ ที่จะเข้ามาช่วยแก้ปัญหาของระบบเครือข่ายแบบดั้งเดิม โดยแนวคิดสำคัญของเอสดีเอ็นคือ “เครือข่ายที่ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถโปรแกรมได้” และ “การแยกส่วนควบคุม (Control Plane) ออกจากส่วนการส่งข้อมูล (Data Plane)” [7] ที่เดิมจะถูกรวมกันไว้ในอุปกรณ์เครือข่ายเครื่องเดียวกัน การแยกเอาส่วนควบคุมออกมา รวมไว้เป็นส่วนควบคุมศูนย์กลาง (Centralized Control) ที่จุดเดียวบนเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ (SDN Controller) จะช่วยให้สามารถควบคุมระบบเครือข่ายทั้งหมดได้ในจุดเดียว [6]

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) เป็นการเรียนรู้แบบอัตโนมัติ มีแนวความคิดจากโครงข่ายประสาทของมนุษย์ จำลองขึ้นเป็นโครงข่ายประสาทหรือที่เรียกว่า โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) ประกอบด้วยชั้นต่างๆจำนวนหลายชั้น เพื่อทำการเรียนรู้รูปแบบ หรือจัดหมวดหมู่ของข้อมูลที่รับเข้ามา [12] การเรียนรู้เชิงลึกจะทำการแบ่งแยกข้อมูลและรายละเอียดต่างๆที่ได้รับมาทั้งหมด แล้วนำมาประมวลผลหาลักษณะความสัมพันธ์ต่างๆในเชิงลึก คล้ายกับการกรองข้อมูลเป็นชั้นๆ แล้วสรุปผลข้อมูลออกมาเป็นผลลัพธ์ หรือผลการคาดการณ์ ซึ่งอาจจะผิดหรือถูก ใกล้เคียงหรือไม่ ใกล้เคียง หากโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกคาดการณ์ผิด จะเกิดการเรียนรู้และปรับเปลี่ยนการประมวลผล เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ออกมามีความถูกต้องมากขึ้น และยังเรียนรู้มาก โมเดลการเรียนรู้เชิงลึกก็จะคาดการณ์ได้แม่นยำ และมีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น [11]

ในเครือข่ายคอมพิวเตอร์ (Computer Networks) สามารถนำเอาหลักการของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และการเรียนรู้เชิงลึก มาประยุกต์ใช้เพื่อสร้างความชาญฉลาดให้กับเครือข่าย (Network Intelligence) เช่น การทำ Load Balanced Routing Algorithm ด้วย Reinforcement Learning [10], การทำ QoS Provisioning [3], Routing Optimization โดยการทำให้ Load Prediction [4], Deep-SDN สำหรับ Traffic Classification [13] เป็นต้น สำหรับโครงงานนี้เราได้นำโครงข่ายประสาทเทียมมาประยุกต์ใช้ในการจัดการเพิ่มประสิทธิภาพการเลือกเส้นทางของอุปกรณ์ในเครือข่าย โดยการคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ (Bandwidth Utilization) สำหรับอนาคตบนลิงค์แต่ละลิงค์ หากค่าที่คาดการณ์ออกมาสามารถแปลความหมายได้ว่าจะเกิดความคับคั่งของข้อมูลขึ้นได้เอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์จะทำการออกคำสั่งเพื่อ Re-Routing ปรับเปลี่ยนเส้นทางที่ดีที่สุดในการส่งแพ็กเก็ตใหม่ ดังนั้นการเรียนรู้เชิงลึกจึง สามารถเข้ามาช่วยในการเลือกเปลี่ยนเส้นทางใหม่สำหรับการสื่อสารโดยอัตโนมัติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1) เพื่อศึกษาการทำงานของเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ ซึ่งเป็นเทคโนโลยีใหม่ที่ใช้ในการบริหารจัดการเครือข่าย
- 2) เพื่อศึกษาทฤษฎีของการเรียนรู้เชิงลึกและการนำโครงข่ายประสาทเทียมเข้ามาประยุกต์ใช้กับงานด้านเครือข่ายคอมพิวเตอร์
- 3) เพื่อนำเสนออัลกอริทึมเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการจัดเส้นทางในเอสดีเอ็น โดย การประยุกต์ใช้ทฤษฎีการเรียนรู้เชิงลึก
- 4) เพื่อศึกษากระบวนการการทำวิจัยอย่างเป็นระบบ

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ขอบเขตการวิจัยในโครงการนี้ถูกแบ่งออกเป็น 3 ด้าน ได้แก่ ด้านเนื้อหา ด้านแหล่งข้อมูล และด้านระยะเวลา โดยมีรายละเอียดดังนี้

1.3.1 ขอบเขตด้านเนื้อหา

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการทำการจัดเส้นทางให้มีความฉลาดมากขึ้น โดยนำโครงข่ายประสาทเทียมมาใช้สำหรับการคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิธของลิงค์ เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญหายของแพ็กเก็ตที่บัพเฟอร์ของอุปกรณ์เนื่องจากการที่บัพเฟอร์ถูกใช้งานเต็มความจุ

- 1) มินิเน็ต (Mininet) ซึ่งเป็น โปรแกรมจำลองเครือข่าย (Network Emulator) ใช้สำหรับการจำลองระบบเครือข่ายขึ้นมา โดยรับหน้าที่จำลอง OpenFlow สวิตช์ (switch), โฮสต์ (host) และลิงค์ ขึ้นมา ซอฟต์แวร์มินิเน็ตในโครงการนี้ทำงานบนระบบปฏิบัติการอูบุนตุ (Ubuntu)
- 2) ริว (RYU) เป็นเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ที่ทำหน้าที่เป็นส่วนการตัดสินใจหรือระบบปฏิบัติการของเครือข่าย (Network Operating System) หรือ NOS สามารถสั่งงานด้วยภาษาไพทอน โดย RYU จะทำหน้าที่รวบรวมข้อมูล Network Traffic จากอุปกรณ์ OpenFlow สวิตช์ที่มินิเน็ตจำลองขึ้นมา ส่งให้กับเน็ตเวิร์กแอปพลิเคชันที่สร้างขึ้นโดยใช้โมเดล Long Short Term Memory (LSTM) ซึ่งเป็นโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกประเภทหนึ่ง ทำหน้าที่คาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิธในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 3) การเรียนรู้เชิงลึก และ โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับชนิด LSTM เป็นส่วนสำคัญที่ช่วยให้ระบบเครือข่ายมีความชาญฉลาด สามารถปรับเปลี่ยนการทำงานไปตามสถานการณ์ต่างๆ

1.3.2 ขอบเขตด้านแหล่งข้อมูล

การวิจัยนี้เราใช้โปรแกรม Virtual Box สำหรับการใช้งานระบบปฏิบัติการอุบนตุ ซึ่ง เป็นระบบปฏิบัติการที่อุปกรณ์ทั้งริวเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ และ มินิเน็ตสามารถทำงานได้

1.3.3 ขอบเขตด้านระยะเวลา

ระยะเวลาที่ใช้ในการวิจัยคือช่วงเดือนสิงหาคม 2563 จนถึงเดือนพฤศจิกายน 2563

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ

ในปัจจุบันโทโพโลยี (Topology) ส่วนมากมีกระบวนการหาเส้นทางที่ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอรองรับปริมาณข้อมูลจำนวนมากที่ไหลอยู่ในเครือข่ายได้ เนื่องจากเส้นทางการไหลของข้อมูลจะถูกตัดสินใจด้วยอัลกอริทึม Shortest Path แบบหนึ่งอยู่ตลอดเวลา โดยไม่มีการคาดการณ์ล่วงหน้าว่าในจะมีกรณีบัพเพอร์ถูกใช้งานเต็มความจุหรือไม่ ผลที่ตามมาจากการเต็มของบัพเพอร์คือการที่อุปกรณ์เครือข่ายจะทำการละทิ้งแพ็กเก็ต (Drop) ที่เข้ามาหลังจากนั้นทั้งที่ทั้งหมดจนกว่าจะสามารถสร้างพื้นที่ว่างในบัพเพอร์ได้ เหตุดังกล่าวนี้ทำให้เกิดการสูญหายของแพ็กเก็ต

โครงการชิ้นนี้มุ่งเน้นที่จะแก้ปัญหาเครือข่ายดังกล่าวโดยการประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับชนิด LSTM มาสร้างเน็ตเวิร์กแอปพลิเคชันสำหรับการคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ ที่จะเกิดขึ้นบนลิงค์ในอนาคตอันใกล้ โดยแอปพลิเคชัน ดังกล่าวจะทำงานอยู่บน ริวเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ ที่จะเป็นตัวกลางการทำงานระหว่าง โครงสร้างพื้นฐานเครือข่าย (Network Infrastructure) และเน็ตเวิร์กแอปพลิเคชัน ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ที่ถูกคาดการณ์สำหรับใช้งานในอนาคตโดยโมเดล LSTM จะถูกนำมาใช้ในการตัดสินใจว่าลิงค์ใดที่จะเกิดความคับคั่งของข้อมูล (Congestion) แล้วจึงตัดสินใจเปลี่ยนเส้นทางการส่งแพ็กเก็ตด้วยการออกคำสั่งผ่านตัว ริวเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ ไปยังโครงสร้างพื้นฐานเครือข่ายต่อไป การเปลี่ยนเส้นทางส่งแพ็กเก็ตจะช่วยลดอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ตเนื่องจากเราได้ทำการเปลี่ยนเส้นทางการส่งข้อมูล ก่อนที่จะเกิดความคับคั่งขึ้นจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.5 แผนการดำเนินงาน

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	สิงหาคม					กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน				
		3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16	23	30
1	เริ่มศึกษาซอฟต์แวร์พื้นฐานที่ใช้สำหรับการทำงาน																		
2	ศึกษาทฤษฎีเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์																		
3	ศึกษาเอกสารที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ที่ใช้ภายในเครือข่ายเอสดีเอ็น																		
4	ออกแบบโครงสร้างเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์																		
5	ศึกษาการเรียนรู้เชิงลึกและโครงข่ายประสาทเทียม																		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	สิงหาคม					กันยายน				ตุลาคม				พฤศจิกายน				
		3	10	17	24	31	7	14	21	28	5	12	19	26	2	9	16	23	30
6	ออกแบบและสร้างโครงข่ายประสาทเทียม																		
7	จัดเตรียมรายงานและไฟล์การนำเสนอโครงการ																		

ตารางที่ 1.1 แผนการดำเนินงานในช่วงเทอม 1 ปีการศึกษา 2563



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ลำดับ	ขั้นตอนการดำเนินงาน	มกราคม					กุมภาพันธ์				มีนาคม				เมษายน				
		4	11	18	25	31	1	8	15	22	1	8	15	22	5	12	19	26	30
1	ปรับปรุงงานหลังสอบ โครงการ 1 และศึกษา ทฤษฎีเพิ่มเติม																		
2	เขียนฟังก์ชัน สำหรับการประเมิน ประสิทธิภาพ ของโครงการ ด้วยค่าทรูพุด																		
3	นำโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก ประเภท LSTM มาทำงานบน เอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์																		
4	เขียนโค้ดอัลกอริทึม งานวิจัยที่อ้างอิงเพื่อ นำมาใช้เปรียบเทียบ ประสิทธิภาพ																		
5	เตรียมนำเสนอ โครงการ 2																		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีกรนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ลำดับ	ขั้นตอนการ ดำเนินงาน	มกราคม					กุมภาพันธ์				มีนาคม				เมษายน				
		4	11	18	25	31	1	8	15	22	1	8	15	22	5	12	19	26	30
6	จัดทำ ปฏิญานิพนธ์																		

ตารางที่ 1.2 แผนการดำเนินงานในช่วงเทอม 2 ปีการศึกษา 2563

ตารางที่ 1.1 และตารางที่ 1.2 แสดงถึงแผนการดำเนินงานตลอดช่วงการทำโครงการ เริ่มตั้งแต่เดือนสิงหาคม 2563 ไปจนถึงเดือนเมษายน 2564



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ เราได้ทำการนำเสนอทฤษฎีของเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ (Software Defined Network) หรือเอสดีเอ็น (SDN) กระบวนการจัดเส้นทาง (Routing Process) การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) และตัวชี้วัดต่างๆ สำหรับวัดประสิทธิภาพของเครือข่าย (Performance Metrics) ตลอดจนงานวิจัยต่างๆ ที่ได้นำการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) และการเรียนรู้เชิงลึกเข้ามาประยุกต์ใช้เพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของเครือข่ายเอสดีเอ็น เช่น การคาดการณ์ Queue Utilization โดยใช้การเรียนรู้ของเครื่อง การใช้อัลกอริทึม SPFLR สำหรับการคาดการณ์ปริมาณโหลด (Load) ของเส้นทาง (Path) บนเครือข่ายขนาดใหญ่ เป็นต้น

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 เครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์

เครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ (Software-Defined Network) หรือเอสดีเอ็น (SDN) เป็นแนวคิดเกี่ยวกับสถาปัตยกรรมเครือข่ายที่จะเปลี่ยนแปลงเครือข่ายแบบดั้งเดิมให้กลายเป็น “Programmable Network” [19] หรือเครือข่ายที่สามารถควบคุมและออกคำสั่งอุปกรณ์ผ่านภาษาโปรแกรมต่างๆ ได้ เช่น ไพทอน (Python) และจาวา (Java) เป็นต้น ซึ่งแตกต่างจากการตั้งค่าอุปกรณ์แบบเดิมที่รูปแบบคำสั่งที่ใช้ในการจัดการอุปกรณ์ก็จะแตกต่างกันไปตามผู้ผลิต

ในอุปกรณ์เครือข่ายแบบเดิมจะประกอบขึ้นด้วย ส่วนควบคุม (Control plane) เป็นส่วนประมวลผลของอุปกรณ์ และส่วนการส่งข้อมูล (Data plane) ที่รับหน้าที่ส่งข้อมูลออกไปยังอุปกรณ์ ทั้งสองจะถูกรวมกันไว้ในอุปกรณ์เครื่องหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.1

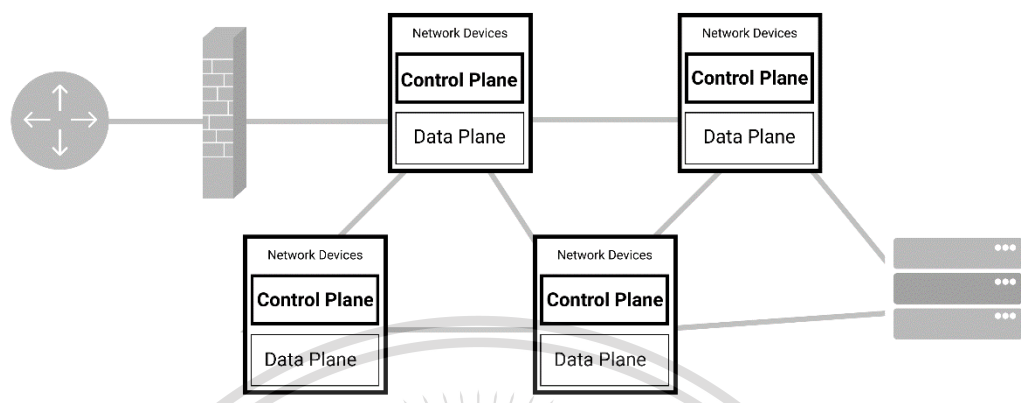
แนวคิดที่สำคัญของเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์อีกข้อหนึ่งคือ การแยกส่วนควบคุม (Control Plane) ออกจากส่วนการส่งข้อมูล (Data Plane) ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ให้อุปกรณ์เครือข่ายเครื่องหนึ่งมีเพียงส่วนการส่งข้อมูลเท่านั้น การแยกส่วนควบคุมของอุปกรณ์แล้วนำมารวมเป็น “Centralized Control Plane” ที่อุปกรณ์เครื่องหนึ่งที่เรียกว่าคอนโทรลเลอร์ (Controller) จะช่วยให้การตั้งค่าอุปกรณ์ในเครือข่ายทำได้ในทีเดียว คำสั่งต่างๆ จากคอนโทรลเลอร์จะถูกส่งมายังอุปกรณ์เครือข่ายผ่านโปรโตคอล (Protocol) กลางที่เรียกว่า โปรโตคอลโอเพนโฟลว์ (OpenFlow Protocol) [20]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่แบบเชิงพาณิชย์ด้านการค้า

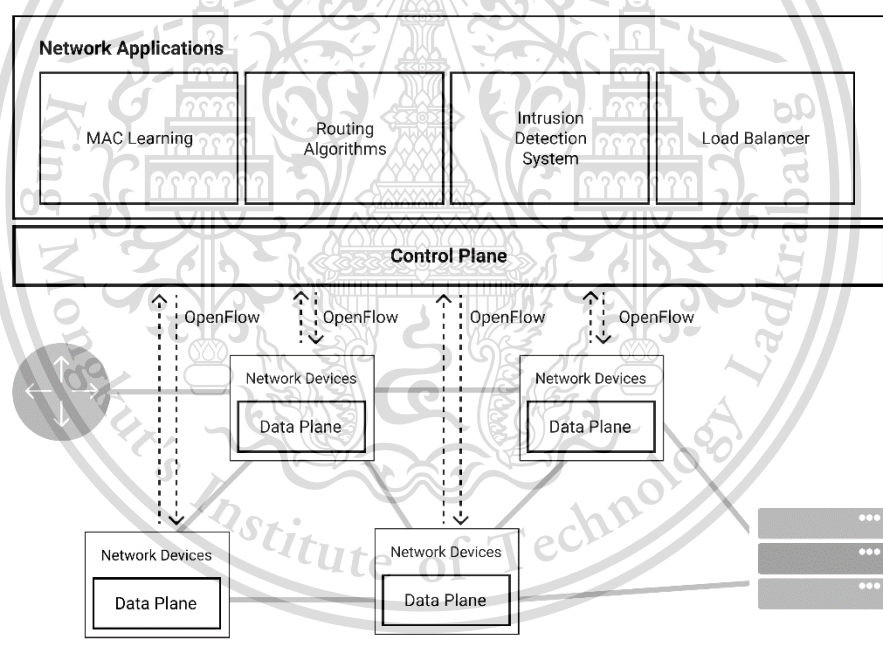
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.1 โครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายแบบเดิม



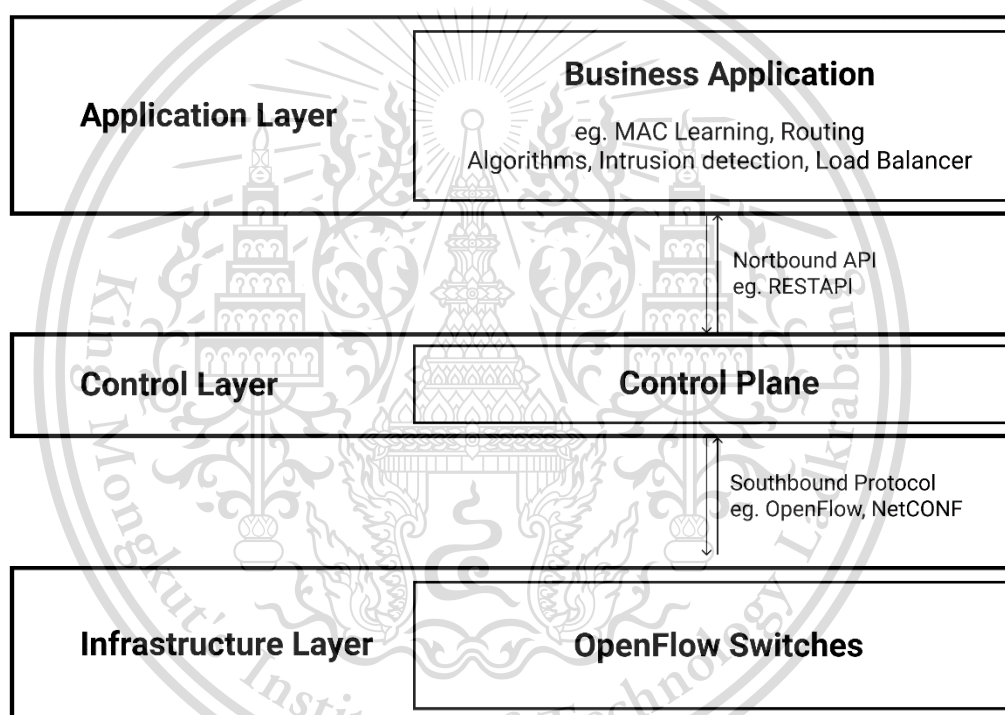
รูปที่ 2.2 โครงสร้างพื้นฐานของเครือข่ายเอสดีเอ็น

ด้วยเหตุผลที่อธิบายไปข้างต้นจึงทำให้เครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ มีความยืดหยุ่นในการบริหารจัดการระบบเครือข่าย เนื่องจากไม่ต้องคำนึงถึงผู้ผลิตอุปกรณ์ว่าจะเป็นบริษัทใดก็ตาม ยกเว้นแต่ผู้ขายเท่านั้น ไม่จำเป็นต้องซื้ออุปกรณ์จากผู้ผลิตที่แพงเกินไปเหมือนกับการค้าปลีกที่ซื้ออยู่เดิมหรือไม่ การขยายขนาดของเครือข่ายหรือการซื้ออุปกรณ์ใหม่เข้ามาติดตั้งเพิ่มทำได้ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีเหตุเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ง่ายขึ้น วางแผนง่ายขึ้น และยังประหยัดค่าใช้จ่าย [20] เนื่องจากไม่มีข้อผูกขาดเรื่องการเลือกใช้อุปกรณ์จากผู้ผลิตรายใดรายหนึ่ง เลือกอุปกรณ์ที่ถูกลงแต่มาจากอีกผู้ผลิตก็ไม่ต้องกังวล การตั้งค่าอุปกรณ์สามารถทำได้โดยใช้ภาษาโปรแกรมมิ่งภาษาเดียวกัน

2.1.1.1 สถาปัตยกรรมของเอสดีเอ็น (SDN Architecture)

สถาปัตยกรรมพื้นฐานของเครือข่ายกำหนดโดยซอฟต์แวร์ สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ชั้นเน็ตเวิร์กแอปพลิเคชัน ชั้นการควบคุม และชั้นโครงสร้างพื้นฐานเครือข่ายดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 Software-Defined Network Architecture ที่แบ่งโครงสร้างเป็น 3 Layer

- 1) ชั้นเน็ตเวิร์กแอปพลิเคชัน (Network Application Layer) เป็นชั้นของเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ ที่ประกอบไปด้วยแอปพลิเคชันที่สามารถทำหน้าที่แทนอุปกรณ์มิดเดิลแวร์ (Middleware) ของเครือข่ายแบบเดิมเช่นไฟร์วอลล์ (Firewall) หรือโหลดบาลานเซอร์ (Load

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Balancer) แต่ภายใต้เครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ เหล่านี้จะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปแบบของซอฟต์แวร์แทน [13]

- 2) ชั้นการควบคุม (Control Layer) เป็นส่วนสมองศูนย์กลางของเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ หน้าที่จัดการและควบคุมนโยบายเครือข่าย (Network Policy) และการไหลของข้อมูล (Traffic Flow) ภายในเครือข่าย เอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ (SDN Controller) มักทำงานอยู่บนเครื่องเซิร์ฟเวอร์ (Server) [25] โดยคอนโทรลเลอร์หนึ่งตัวสามารถควบคุมสวิตช์ได้พร้อมกันมากกว่าหนึ่งเครื่อง [21]
- 3) ชั้นโครงสร้างพื้นฐานเครือข่าย (Network Infrastructure Layer) คือส่วนที่ประกอบด้วยสวิตช์ในเครือข่าย ชั้นนี้มีหน้าที่หลัก 2 อย่างได้แก่
 - ทำการส่งข้อมูลตามที่โฟลว์ เทเบิล (Flow Table) ระบุ [21]
 - ติดต่อกับคอนโทรลเลอร์ผ่านโอเพนโฟลว์โพรโทคอล (OpenFlow Protocol) เพื่อรายงานข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของพอร์ต (Port changes) สถิติการไหลของข้อมูล (Flow Statistic) และสามารถส่งแพ็กเก็ต (Packet) ที่สวิตช์ยังไม่ทราบว่าจะจัดการส่งต่อไปอย่างไร [6]

2.1.1.2 คำศัพท์ที่สำคัญเกี่ยวกับเอสดีเอ็น

ในเครือข่ายเอสดีเอ็นมีคำศัพท์ที่สำคัญซึ่งสามารถอธิบายได้ดังนี้

- 1) อุปกรณ์รับส่งข้อมูล (Forwarding Device) หมายถึงอุปกรณ์เครือข่ายทั้งในรูปแบบของฮาร์ดแวร์ (hardware-based) และซอฟต์แวร์ (software-based) ที่ทำหน้าที่ส่งแพ็กเก็ตออกไปตามพอร์ต, ครอบแพ็กเก็ต (Drop) หรือ ส่งต่อแพ็กเก็ตไปยังเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ [6] เมื่อแพ็กเก็ตที่วิ่งเข้ามาในสวิตช์ไม่แมตช์ (match) กับโฟลว์เอนทรี (Flow Entry) ใดๆ ภายในโฟลว์เทเบิล [21]
- 2) ส่วนการส่งข้อมูล (Data Plane) เป็นชื่อเรียกแทนกลุ่มของอุปกรณ์รับส่งข้อมูลที่เชื่อมต่อกันไม่ว่าจะด้วยวิธีเชื่อมต่อแบบมีสาย (Wire) หรือเชื่อมต่อแบบไร้สาย (Wireless) กล่าวได้ว่าส่วนการส่งข้อมูลคือชั้นโครงสร้างพื้นฐานเครือข่ายนั่นเอง [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- 3) โพรโทคอลด้านใต้ (Southbound Protocol) เป็นโพรโทคอลกลางสำหรับการติดต่อระหว่างคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์รับส่งข้อมูล OpenFlow และ NETCONF ถือเป็นโพรโทคอลที่ใต้ที่ได้รับความนิยม [23]
- 4) โพรโทคอลด้านเหนือ (Northbound Protocol) เป็นโพรโทคอลที่เชื่อมต่อระหว่างเน็ตเวิร์กแอปพลิเคชัน และคอนโทรลเลอร์ เป็นช่องทางสำหรับให้คอนโทรลเลอร์ส่ง มุมมองเครือข่ายแบบแอบสแตรกต์ (Abstract Network View) ขึ้นไปยังชั้นแอปพลิเคชัน [23]
- 5) โอเพนโฟลว์โพรโทคอล (OpenFlow Protocol) เป็นโพรโทคอลที่ตอบสนองกับแนวคิดของ เครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ โดยคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์รับส่งข้อมูลจะใช้โพรโทคอลนี้ในการติดต่อสื่อสาร, รับคำสั่ง, เพิ่มกฎ (Rule) ไว้สำหรับรองรับแพ็กเก็ตที่กำลังจะเข้ามาที่อุปกรณ์รับส่งข้อมูล [24]
- 6) โฟลว์ เทเบิล (Flow Table) เป็นตารางที่จะถูกเก็บไว้บนอุปกรณ์รับส่งข้อมูลแต่ละเครื่องซึ่งจะเก็บโฟลว์เอนทรี หรือลิสต์ของกฎ ที่เป็นเหมือนชุดคำสั่งที่อุปกรณ์รับส่งข้อมูลต้องดำเนินการกับแพ็กเก็ตหนึ่งที่ได้รับเข้ามา [21] โดยแต่ละโฟลว์เอนทรีภายในโฟลว์เทเบิลจะระบุข้อมูลเกี่ยวกับการส่งแพ็กเก็ตต่อไป เช่น Match field, Flow priority, Counters, Packet processing instruction, flow timeouts [22] ทั้งนี้การแก้ไขข้อมูลในโฟลว์เอนทรีเป็นหน้าที่ของคอนโทรลเลอร์ [21]

2.1.2 การจัดเส้นทาง

การจัดเส้นทาง (Routing) หมายถึงโพรโทคอลที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข่าวสารเส้นทาง (Routing Information) ระหว่างอุปกรณ์เครือข่ายที่ทำงานในระดับการสื่อสารระดับชั้นที่ 3 (Layer 3) หรือชั้นการสื่อสารเครือข่าย (Network Layer) และสร้างตารางเส้นทาง (Routing Table) ขึ้นมา เพื่อให้อุปกรณ์สามารถส่งแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังเครื่องปลายทางได้อย่างถูกต้อง โพรโทคอลกำหนดเส้นทางถูกแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การจัดเส้นทางแบบคงที่ และการจัดเส้นทางแบบพลวัต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.2.1 การจัดเส้นทางแบบคงที่

การจัดเส้นทางแบบคงที่ (Static Routing Protocol) หมายถึง โพรโทคอลจัดเส้นทางชนิดที่ต้องกำหนดค่าเข้าไปในตัวเราเตอร์เองเพื่อที่จะบอกเราเตอร์ ว่าหากต้องการส่งแพ็กเก็ตออกไปยังปลายทางต่างๆแล้ว การออกไปยังฮอปตัวถัดไป (Next hop) หรือเราเตอร์ตัวถัดไปจำเป็นต้องส่งออกไปที่อินเตอร์เฟซ (Interface) ใด [27]

2.1.2.2 การจัดเส้นทางแบบพลวัต

การจัดเส้นทางแบบพลวัต (Dynamic Routing Protocol) หมายถึง โพรโทคอลจัดเส้นทางชนิดนี้จะทำการสร้างตารางเส้นทาง และติดต่อกับเราเตอร์เพื่อนบ้านเพื่อสร้างเส้นทางการส่งข้อมูลที่ดีที่สุดด้วยตัวเอง อธิบายเพิ่มเติมได้ว่าสามารถเรียนรู้เครื่องปลายทางได้เองโดยที่ไม่จำเป็นต้องให้มนุษย์ออกคำสั่งให้โดยตรง มีการปรับปรุงข้อมูลเส้นทางอยู่เสมอ สามารถหาเส้นทางใหม่ได้เมื่อเส้นทางเดิมเกิดปัญหาขึ้น [28] โพรโทคอลกำหนดเส้นทางแบบพลวัต ยังสามารถแบ่งออกเป็นอีก 2 ประเภทได้แก่ IGP และ EGP [14] โดย IGP (Interior Gateway Protocol) เป็นโพรโทคอลการจัดเส้นทางที่มีการแลกเปลี่ยนตารางเส้นทางอยู่ภายใน AS (Autonomous System) เดียวกัน ซึ่งตีความได้ว่าเป็นระบบเครือข่ายที่อยู่ภายใต้การบริหาร โดยผู้ดูแลเดียวกัน หรือข้อกำหนด (Policy) เดียวกัน และสำหรับ EGP (Exterior Gateway Protocol) เป็นโพรโทคอลการจัดเส้นทางที่มีการแลกเปลี่ยนตารางเส้นทางระหว่างหลากหลาย AS

2.1.3 โอเพนโฟลว์โพรโทคอล

โอเพนโฟลว์โพรโทคอล (OpenFlow Protocol) หมายถึง โพรโทคอลด้านใต้ที่ใช้ติดต่อสื่อสารกันระหว่างโอเพนโฟลว์สวิตช์ และโอเพนโฟลว์คอนโทรลเลอร์ ซึ่งหมายถึงเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ใดๆที่รองรับการทำงานร่วมกับโพรโทคอลโอเพนโฟลว์

2.1.3.1 โอเพนโฟลว์สวิตช์

โอเพนโฟลว์สวิตช์ (OpenFlow Switch) หมายถึงอุปกรณ์สวิตช์ที่รองรับการทำงานร่วมกับโอเพนโฟลว์โพรโทคอล สามารถอยู่ในรูปแบบของฮาร์ดแวร์ ซอฟต์แวร์ เช่น โอเพนวีสวิตช์ (Open V Switch) และอุปกรณ์จำลอง (Virtual Machine) เช่น มินิเน็ต ที่สามารถจำลองโอเพนวีสวิตช์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.3.2 โอเพนโฟลว์พอร์ต

โอเพนโฟลว์พอร์ต (OpenFlow Port) หมายถึงพอร์ตที่ใช้ติดต่อสื่อสารระหว่างสวิตช์ที่สื่อสารกันด้วยโอเพนโฟลว์โพรโทคอล ถูกแบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่

- 1) พอร์ตทางกายภาพ (Physical Port) คือพอร์ตที่เชื่อมโยงโดยตรงกับพอร์ตจริงของเครื่องสวิตช์ ผู้ใช้งานสามารถตั้งค่าเพื่อเลือกให้พอร์ตใดๆของสวิตช์รับหน้าที่เป็นโอเพนโฟลว์พอร์ตชนิดนี้
- 2) พอร์ตทางโลจิกัล (Logical Port) คือพอร์ตที่ไม่ได้มีอยู่จริงในทางกายภาพ เป็นพอร์ตที่สวิตช์ทำการจำลองขึ้นมา เช่น Link Aggregation groups, Tunnels และ Loop back
- 3) พอร์ตสำรอง (Reserved Port) คือพอร์ตที่ถูกจองไว้สำหรับการทำงานเฉพาะด้านที่สำคัญ เช่น การติดต่อกับคอนโทรลเลอร์ การทำ Flooding หรือการทำ Normal processing ซึ่งหมายถึงการส่งแพ็กเก็ตด้วยวิธีการทางเครือข่ายดั้งเดิม ก็สามารถทำได้เช่นกัน

2.1.3.3 โอเพนโฟลว์แชนเนล

โอเพนโฟลว์แชนเนล (OpenFlow Channel) หมายถึง อินเตอร์เฟซที่เชื่อมต่อระหว่างโอเพนโฟลว์สวิตช์แต่ละเครื่องกับเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ ด้วยช่องทางดังกล่าวคอนโทรลเลอร์สามารถทำงานร่วมกับสวิตช์เพียงหนึ่งเครื่อง หรือมากกว่าหนึ่งเครื่องก็ได้ โดยจะติดต่อสื่อสารกันโดยใช้ข้อความโอเพนโฟลว์ (OpenFlow Message)

2.1.3.4 ข้อความโอเพนโฟลว์

ข้อความโอเพนโฟลว์ (OpenFlow Message) หมายถึง ลักษณะของข้อความที่คอนโทรลเลอร์และโอเพนโฟลว์สวิตช์ใช้ติดต่อสื่อสารกัน แบ่งออกเป็น 3 ประเภทได้แก่

- 1) Controller-to-switch เป็นข้อความที่สร้างโดยคอนโทรลเลอร์เพื่อส่งไปยังสวิตช์ สวิตช์อาจตอบกลับหรือไม่ขึ้นอยู่กับประเภทของข้อความ ตัวอย่างเช่น Modify-state ที่ใช้เพื่อออกคำสั่งให้สวิตช์ทำการเปลี่ยนแปลงโฟลว์เอนทรี , Read-state ที่ใช้สำหรับรวบรวมข้อมูลสถิติต่างๆจากสวิตช์
- 2) Asynchronous เป็นข้อความที่ถูกส่งจากสวิตช์ไปยังคอนโทรลเลอร์ โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ภายในเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่าย การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Packet-in ที่ใช้เมื่อสวิตช์ต้องการถามคอนโทรลเลอร์ถึงการรับมือกับแพ็กเก็ตที่ไม่รู้จัก ,Flow-Removed ที่สวิตช์ใช้แจ้งไปยังคอนโทรลเลอร์ว่าได้ทำการลบโฟลว์เอนทรีแล้ว

- 3) Symmetric เป็นข้อความที่ทั้งสวิตช์ และคอนโทรลเลอร์สามารถส่งหากันได้อย่างไม่มีข้อบังคับใดๆ เช่น Hello ที่ใช้สำหรับเริ่มต้นการเชื่อมต่อ, Echo ที่ใช้เช็ค Liveness ของฝั่งตรงข้าม

2.1.3.5 OpenFlow Port Status Reply

OpenFlow Port Status Reply เป็นข้อความ โอเพนโฟลว์ที่สวิตช์ใช้ตอบกลับไปยังคอนโทรลเลอร์ เพื่อบอกถึงข้อมูลทางสถิติที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสาร เป็นข้อความที่โครงการนี้ได้นำมาดัดแปลงเป็นอินพุตสำหรับอัลกอริทึมการเรียนรู้ ประกอบด้วยฟิลด์ดังต่อไปนี้

Index	ฟิลด์	คำอธิบาย
1	port_no	หมายเลขพอร์ต
2	rx_packets	จำนวนแพ็กเก็ตที่ได้รับ
3	Tx_packets	จำนวนแพ็กเก็ตที่ส่ง
4	Rx_bytes	จำนวนไบต์ที่ได้รับ
5	Tx_bytes	จำนวนไบต์ที่ส่ง
6	Rx_dropped	จำนวนแพ็กเก็ตที่ถูกครอบโดย RX
7	Tx_dropped	จำนวนแพ็กเก็ตที่ถูกครอบโดย TX
8	Rx_errors	จำนวน error ที่ได้รับ
9	Tx_errors	จำนวน error ที่ส่ง
10	Rx_frame_err	จำนวน frame alignment error
11	Rx_over_err	จำนวนแพ็กเก็ตที่มี RX overrun
12	Rx_crc_err	จำนวน CRC error
13	collisions	จำนวนครั้งที่เกิด collision

ตารางที่ 2.1 OFPPortStatusReply

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.4 อัลกอริทึมเส้นทางสั้นที่สุดของไดค์สตรา

อัลกอริทึมเส้นทางสั้นที่สุดของไดค์สตรา (Dijkstra's Shortest Path Algorithm) ถูกคิดค้นขึ้นโดยนักวิทยาการคอมพิวเตอร์ชาวดัตช์ แอ็ดส์เคอร์ ไดค์สตรา (Edsger Dijkstra) ในปี 1959 เป็นอัลกอริทึมสำหรับการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างโหนดต้นทาง และโหนดปลายทางโดยใช้หลักการของกราฟ

2.1.5 การเรียนรู้เชิงลึก และโครงข่ายประสาทเทียม

การเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) หมายถึงซอฟต์แวร์ที่เลียนแบบการทำงานของโครงข่ายระบบประสาท (Nervous System) ของมนุษย์ โดยการเรียนรู้เชิงลึกถูกจัดว่าเป็นแขนงหนึ่งของการเรียนรู้ของเครื่อง (Machine Learning) กล่าวโดยทั่วไปแล้วอัลกอริทึมของการเรียนรู้เชิงลึกถูกสร้างอยู่ในรูปแบบของโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network) หลายชั้นเชื่อมต่อกัน ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่ ชั้นอินพุต (Input Layer), ชั้นซ่อนตัว (Hidden Layer) และชั้นเอาต์พุต (Output Layer) เมื่อประกอบไปด้วยชั้นซ่อนตัวอย่างน้อย 2 ชั้นก็จะถือว่าเป็นโครงข่ายประสาทเทียมเชิงลึก (Deep-Neural Network) [29]

2.1.6 Long-Short Term Memory (LSTM)

LSTM เป็นโครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ (Recurrent Neural Network หรือ RNN) ซึ่ง RNN มีลักษณะการทำงานที่นำเอาผลลัพธ์จากการคำนวณ (Output) ที่ผ่านมาแล้วนำมาใช้เป็นอินพุต (Input) อีกครั้งหนึ่ง ทำให้ RNN เหมาะที่จะใช้กับข้อมูลประเภทอนุกรมเวลา (Time Series) แต่ RNN ดั้งเดิมมีปัญหา Gradient Vanishing ซึ่งส่งผลให้ขนาดของ gradient ที่ถูกส่งค่าย้อนกลับ (Back Propagate) มีขนาดที่เล็กมาก จนทำให้น้ำหนัก (Weight) มีการเปลี่ยนแปลงที่ต่ำเกินไป ด้วยปัญหาดังกล่าวจึงมีการพัฒนา RNN ชนิด LSTM ที่สามารถแก้ปัญหาดังกล่าวได้ โดยภายใน โหนด LSTM (LSTM Node) จะประกอบไปด้วยฟังก์ชันพิเศษเช่น อ่าน-เขียน-อัปเดตข้อมูล และลืมข้อมูล [30]

2.1.7 บัฟเฟอร์

นอกเหนือจากการตัดสินใจการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังปลายทางที่ถูกต้องแล้ว เราเตอร์ยังต้องรับผิดชอบการบริหารจัดการความแออัดอีกด้วย เมื่อแพ็กเก็ตข้อมูลเข้ามาในอัตราที่สูงเกินกว่าที่เราเตอร์จะสามารถประมวลผลและส่งออกได้ เราเตอร์จำเป็นต้องมีพื้นที่สำหรับพักแพ็กเก็ตที่เข้ามาเอาไว้ พื้นที่ดังกล่าวคือบัฟเฟอร์ (Buffer) นั่นเอง [31] บัฟเฟอร์ทำการจัดเก็บแพ็กเก็ตอยู่ในลำดับแบบ

คิว (FIFO) ทั้งนี้บัฟเฟอร์เองก็สามารถถูกใช้งานจนเต็มความจุได้ ซึ่งส่งผลให้เกิดการสูญหายของแพ็กเก็ตตามมา เนื่องจากเราเตอร์ทำการละทิ้งแพ็กเก็ตที่เข้ามาใหม่นั้นเอง [17]

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8 การสูญหายของแพ็กเก็ต

การสูญหายของแพ็กเก็ต (Packet Loss) เกิดขึ้นเมื่อแพ็กเก็ตไม่สามารถถูกส่งไปยังปลายทางได้สำเร็จอันเนื่องมาจากสาเหตุหลายประการ เช่น อุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ที่รับหน้าที่ส่งข้อมูลได้รับความเสียหาย ข้อมูลปริมาณสูงถูกส่งอยู่ในเครือข่ายในเวลาเดียวกัน ปัญหาซอฟต์แวร์ การเชื่อมต่ออินเทอร์เน็ตที่มีปัญหา เป็นต้น [33] ตัวอย่างของผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการสูญหายของแพ็กเก็ตในชีวิตประจำวัน เช่น การประสบกับ Ping Spike หมายถึงอาการที่เราส่ง Ping ไปยังอุปกรณ์ปลายทางแล้วเกิดอาการแลค (Lag) ขึ้น จนทำให้ช่วงเวลานึงมีค่ากระโดดมากกว่าปกติ ซึ่งส่งผลให้วิดีโอสตรีมมิ่งที่กำลังรับชมอยู่เกิดการหยุดชั่วคราว [32]

2.1.9 แบนด์วิดท์ และค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์

แบนด์วิดท์ (Bandwidth) หมายถึง ความกว้างของแถบคลื่นความถี่ ยิ่งแบนด์วิดท์สูง การรับส่งข้อมูลเข้า-ออก ก็ยิ่งมีประสิทธิภาพสูงเช่นเดียวกัน ในความหมายทั่วไปแบนด์วิดท์เป็นคำที่ใช้วัดความเร็วในการส่งข้อมูลของอินเทอร์เน็ต หรือกล่าวได้ว่าเป็นสัดส่วนโดยตรงของจำนวนข้อมูลทั้งหมดที่สามารถส่งผ่านหรือรับต่อหน่วยเวลาในความหมายเชิงคุณภาพ [34] สำหรับค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ (Bandwidth Utilization) เป็นค่าเปอร์เซ็นต์ที่บ่งบอกถึงปริมาณแบนด์วิดท์ที่ถูกใช้งานอยู่เมื่อเทียบกับปริมาณแบนด์วิดท์สูงสุดที่มี

2.1.10 ทฤษฎี

ทฤษฎี (Throughput) หมายถึง ปริมาณข้อมูลที่สามารถรับ และส่งได้ในระยะเวลาหนึ่ง นิยมวัดโดยมีหน่วยเป็นเมกะบิตต่อวินาที (Megabit per Second หรือ Mbps) ตัวอย่างของค่าทฤษฎีที่เรามักพบในชีวิตประจำวัน เช่น ค่าความเร็วดาวน์โหลด (Download Speed) และความเร็วอัปโหลด (Upload Speed) ที่เห็นเมื่อทำการวัดค่าความเร็วของอินเทอร์เน็ตนั่นเอง

2.1.11 ดีเลย์

ดีเลย์ (Delay) หมายถึง ระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้สำหรับการส่งแพ็กเก็ตจากโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง การเกิดดีเลย์นั้นมาจากหลายปัจจัยด้วยกัน ได้แก่ กระบวนการทำงานภายในโหนด, การถูกพักข้อมูลไว้ที่บัฟเฟอร์, ดีเลย์ที่เป็นผลมาจากแบนด์วิดท์ที่มีค่าจำกัด และ Propagation Delay ที่หมายถึงระยะทางที่ข้อมูลสามารถวิ่งไปได้บนตัวกลางภายในระยะเวลา 1 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาที่เกี่ยวกับเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ การจัดเส้นทาง การเรียนรู้เชิงลึก และ โมเดลการเรียนรู้เชิงลึกแบบวนกลับชนิด LSTM เราได้ค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

S. Wilson Prakash and P. Deepalakshmi (2019) [1] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของการให้ทรัพยากร (Resource) ของการคำนวณแบบคลาวด์แก่ คอมพิวเตอร์เสมือน (Virtual Machine หรือ VM) เนื่องจาก ถ้า VM เกิดการโอเวอร์โหลด (overload) จะทำให้ประสิทธิภาพการทำงานลดลง แต่ถ้า อันเดอร์โหลด (underload) จะเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างไม่มีประสิทธิภาพ ซึ่งงานวิจัยนี้จะนำ Back Propagation Artificial balancing Neural Network (BPANN) มาคาดการณ์โหลดของ VM ที่จะเกิดขึ้น และทำการปรับสมดุลของการใช้งานทรัพยากร

Haipeng Yao , Xin Yuan , Peiying Zhang , Jingjing Wang , Chunxiao Jiang , and Mohsen Guizani (2019) [2] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของการกำหนดเส้นทาง (Routing) ด้วยกระบวนการ 3 ขั้นตอน คือ Dimension Reduction , The QU Prediction และ Routing Based On Queue Utilization ตามลำดับ โดยขั้นตอนแรกจะทำเพื่อลดความซับซ้อนของข้อมูลลงให้เป็นที่เข้าใจได้ง่ายขึ้น เหมือนการมองชุดข้อมูลด้วยมุมมองใหม่ และไม่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลดิบเลยแม้แต่ตัวเดียว ซึ่งจะช่วยให้หา Next hop ได้ดียิ่งขึ้น ต่อมาขั้นตอนที่ 2 จะเป็นการรวบรวมข้อมูลของทุกเส้นทางเพื่อพิจารณาและ หลีกเลี่ยงความคับคั่ง (congestion) ที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งจะเป็นปัญหาแบบ Non-linear ซึ่งทาง คณะวิจัยได้เลือกใช้โครงข่ายประสาทเทียมเข้ามาช่วยในการแก้ปัญหา ในส่วนของขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการนำการเรียนรู้ของเครื่อง และการเรียนรู้เชิงลึกมาช่วยในการพิจารณา Queue Utilization เพื่อที่จะ หลีกเลี่ยงการสูญหายของแพ็กเก็ตที่เกิดจากบัฟเฟอร์ที่มีไม่เพียงพอต่อการรองรับ แพ็กเก็ตที่เข้ามา จำนวนมาก ซึ่งทำให้แต่ละการกำหนดเส้นทางสามารถเลือก Next hop ที่อาจจะไม่ใช่เส้นทางที่ไปยัง ปลายทางได้เร็วที่สุด แต่เป็นเส้นทางที่มี Queue- Utilization ต่ำ ทำให้การใช้ทรัพยากรนั้นมี ประสิทธิภาพ

R. Dahlia Devapriya and S. Indira Gandhi (2020) [3] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มประสิทธิภาพของ การทำโหลดบาลานซ์ (Load Balancing) และให้ความสำคัญกับคุณภาพของการให้บริการ (Quality of Service หรือ QoS) มากขึ้น โดยพิจารณาว่าแพ็กเก็ตที่เข้ามาเป็น QoS หรือไม่ด้วยวิธีการ Differentiated Service Framework ซึ่งจะเป็นการแบ่งคลาสของข้อมูล ถ้าหากเป็นคลาสเดียวกันก็จะใช้วิธีส่งข้อมูล แบบเดียวกัน โดยงานวิจัยชุดนี้จะแบ่งออกเป็น 2 คลาสได้แก่ เป็น QoS และไม่เป็น QoS ซึ่งถ้าหากเป็น QoS ก็จะทำการเลือกเส้นทางที่มากการใช้งานน้อยที่สุด จากนั้นจะทำการลัดเส้นทางนั้นสำหรับ QoS

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ เป็นความผิดทางกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ เป็นความผิดทางกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันฯ เป็นความผิดทางกฎหมาย

ในโทโพโลยี (Topology) ก็จะมีการเช็คความคับคั่งอยู่ตลอดเวลา ซึ่งหากเกิดความคับคั่งขึ้น ก็จะทำให้การเปิดใช้งาน โหลดบาลานซ์เพื่อลดอัตราการสูญหายของแพ็กเก็ต

Manel Majdoub , Ali El Kamel , and Habib Youssef (2020) [4] ได้ศึกษาเกี่ยวกับอัลกอริทึมเดิมที่มีชื่อว่า Predicting of Future Load-based Routing (PFLR) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมการกำหนดเส้นทางที่ไม่เหมาะกับเน็ตเวิร์กขนาดใหญ่ เนื่องจากมีลิงค์จำนวนมากที่ต้องควบคุม ทำให้ผู้วิจัยของงานวิจัยชุดนี้คิดอัลกอริทึมใหม่ที่สามารถรองรับการทำงานกับเน็ตเวิร์กขนาดใหญ่ได้ มีชื่อว่า Scalable Predicting of Future Load-based Routing (SPFLR) เป็นอัลกอริทึมที่ได้นำเอาโครงข่ายประสาทเทียมแบบเพอร์เซปตรอนหลายชั้น (Multi-Layer Perceptron หรือ MLP) เข้ามาใช้คาดการณ์ค่าการใช้งานแบนด์วิดท์ (Bandwidth Utilization) ของเส้นทาง (path) ในอนาคต และนำไปใช้คำนวณเส้นทางที่ดีที่สุดใหม่ร่วมกับขั้นตอนวิธีของไดคัสตรา (Dijkstra's Algorithm) ผู้วิจัยได้เลือกใช้ MLP จำนวน 1 โมเดลต่อ 1 เส้นทาง ซึ่งต่างกับอัลกอริทึม PFLR ที่ได้เลือกใช้ MLP 1 โมเดลต่อ 1 link อธิบายอย่างกระชับได้ว่า SPFLR เลือกที่จะคาดการณ์ค่าการใช้งานแบนด์วิดท์ของ Path ต่างกับ PFLR ที่ได้เลือกคาดการณ์เพียงค่าการใช้งานแบนด์วิดท์ของลิงค์จึงทำให้ SPFLR สามารถจัดการกับปัญหา Scalability ที่ PFLR ประสบอยู่

Kuldeep Kurroliya , Sagarika Mohanty , Khushboo Kanodia , and Bibhudatta Sahoo (2020) [5] งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ Edge Weight Optimization Algorithm รูปแบบใหม่ในชื่อ Grey Wolf Aware Load balancing and Energy saving (GLE) ซึ่งสามารถปรับการใช้พลังงานและโหลดบาลานซ์ในเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ โดย GLE นั้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับกลไกในปัจจุบันที่ใช้แนวคิด Active / Inactive ได้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงานซึ่งจะไม่ส่งผลกระทบต่อการรับรู้ ปริมาณข้อมูล (Traffic) ที่กำลังวิ่งอยู่ในเครือข่าย

Truong Thu Huong ; Ngo Do Dang Khoa ; Nguyen Xuan Dung ; Nguyen Huu Thanh (2019) [10] งานวิจัยชิ้นนี้ ได้นำเสนอวิธีการทำ Multipath Load Balanced Routing Algorithm ที่ทำงานบนพื้นฐานของการเรียนรู้แบบเสริมกำลัง (Reinforcement Learning) ความสามารถในการมองเห็น “Global View” ของเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ ถูกนำมาใช้ประโยชน์เพื่อแก้ปัญหาดีเลย์และ การใช้งานทรัพยากรเน็ตเวิร์ก (Network Utilization) คอนโทรลเลอร์สามารถรับรู้ถึงค่าสถิติ เช่น rx_packets, tx_bytes, rx_dropped ของสวิตช์เบื้องล่างได้โดยใช้ OpenFlow แพ็กเก็ตชนิด OFPPortStatsRequest ส่งไปยังสวิตช์ และสวิตช์ที่ได้รับก็จะตอบกลับด้วย OFPPortStatsReply ค่าสถิติดังกล่าวจะถูกนำไปคำนวณและสร้างเป็นทราฟฟิกเมทริกซ์ (Traffic Matrix) สำหรับเป็นอินพุตของ โครงข่ายประสาทเทียมชื่อ “Policy Maker” ที่จะเรียนรู้และให้คำแนะนำของแต่ละลิงค์อันเป็นการทำโหลดบาลานซ์ นอกจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

แล้วยังมีโครงข่ายประสาทเทียมชื่อ “Estimator” ที่รับหน้าที่ประเมินผลและปรับเปลี่ยนน้ำหนักที่ Policy Maker ให้ค่าไว้ อันเป็นกระบวนการส่งค่าย้อนกลับ (Back Propagation) นั้นเอง

Yi-Ren Chen ; Amir Rezapour ; Wen-Guey Tzeng ; Shi-Chun Tsai (2020) [18] งานวิจัยชิ้นนี้ได้ นำเสนออัลกอริทึมการกำหนดเส้นทาง “RL-Routing” ที่ได้้นำการเรียนรู้แบบเสริมกำลังมาประยุกต์ใช้ โดยให้มีเอเจนต์ (Agent) จำนวนหนึ่งตัวต่อสวิตช์หนึ่งเครื่อง สำหรับโครงสร้างเครือข่ายกำหนดโดยซอฟต์แวร์ ในส่วนของชั้นเน็ตเวิร์กแอปพลิเคชันนั้นประกอบด้วย 2 แอปพลิเคชันได้แก่ OpenFlow Network Discovery สำหรับการมองเห็นโทโปโลยีของส่วนการส่งข้อมูลเบื้องล่าง และ RL-Routing Application ซึ่งเป็นโมดูลการทำงานหลัก ภายใน RL-Routing Application ยังถูกแบ่งออกเป็น “Network Monitoring Module” สำหรับรวบรวมข้อมูลเน็ตเวิร์ก (Network Information) และ “Action Module” สำหรับการส่ง Openflow Message เพื่อเปลี่ยนแปลงโพล์เทเบิลของสวิตช์ ข้อมูลเน็ตเวิร์กจะถูกนำไปคำนวณต่อสำหรับใช้เป็น “State” และใช้สร้างโมเดลการเรียนรู้ต่อไป งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการทดลองกับโทโปโลยี 3 แบบ ได้แก่ Fat-tree, NSFNet, ARPANET

ในโครงการของเรามุ่งเน้นในการใช้การเรียนรู้เชิงลึกประเภท โครงข่ายประสาทเทียมแบบวนกลับ ชนิด Long Short Term Memory (LSTM) มาประยุกต์ใช้กับเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์เพื่อคาดการณ์ค่าการใช้งานแบนด์วิดท์ในอนาคตของแต่ละลิงก์ภายในเน็ตเวิร์ก และจะทำการเปลี่ยนเส้นทางเพื่อหลีกเลี่ยงเหตุการณ์ที่อาจจะส่งผลกระทบต่ออัตราการใช้งานของแพ็กเก็ต และดีเลย์ของลิงก์เพิ่มสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

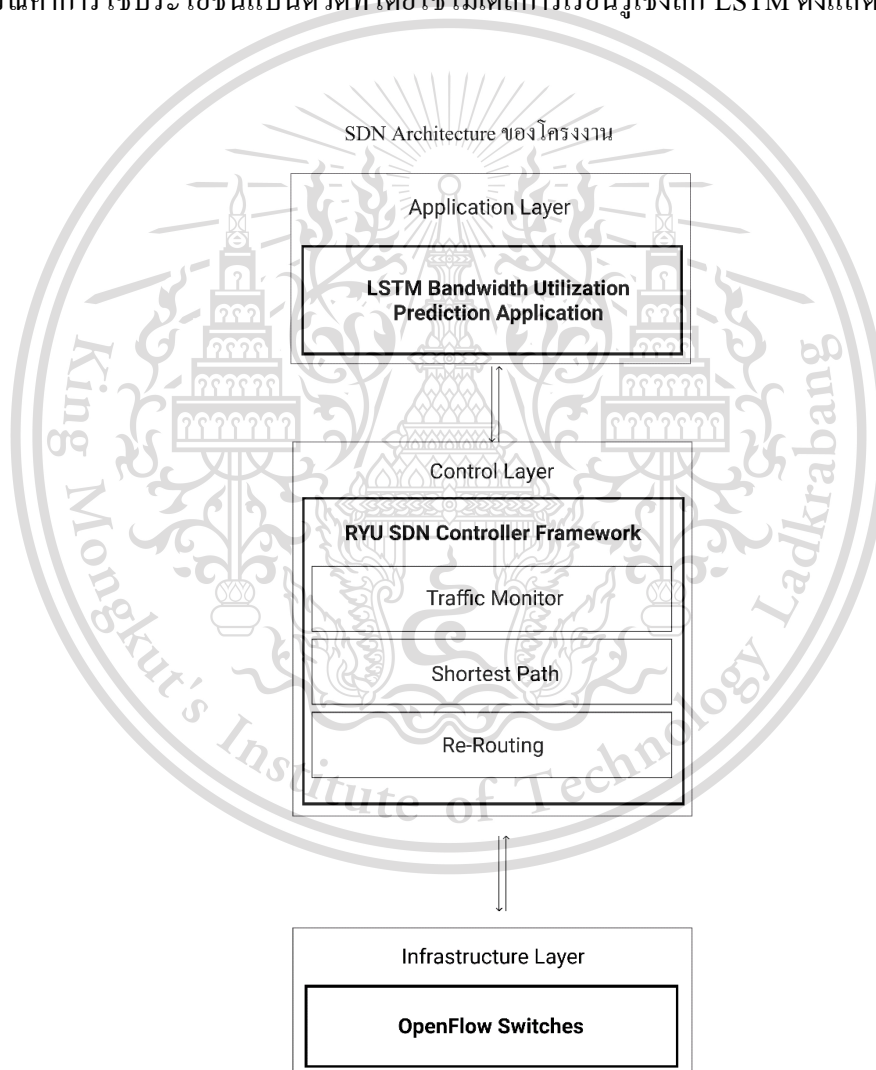
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3

วิธีการนำเสนอ

ในบทนี้ เราได้ทำการนำเสนอ โครงสร้าง องค์ประกอบ และลำดับการทำงานทั้งหมดของ โครงงาน อันประกอบขึ้นจากองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ โอเพนโฟลว์สวิตช์ (OpenFlow Switches) ที่ถูกจำลองขึ้น วิวเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ (RYU SDN Controller) และ แอปพลิเคชันสำหรับ การคาดการณ์การใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์โดยใช้โมเดลการเรียนรู้เชิงลึก LSTM ดังแสดงในรูปที่ 3.1



Infrastructure Layer

OpenFlow Switches

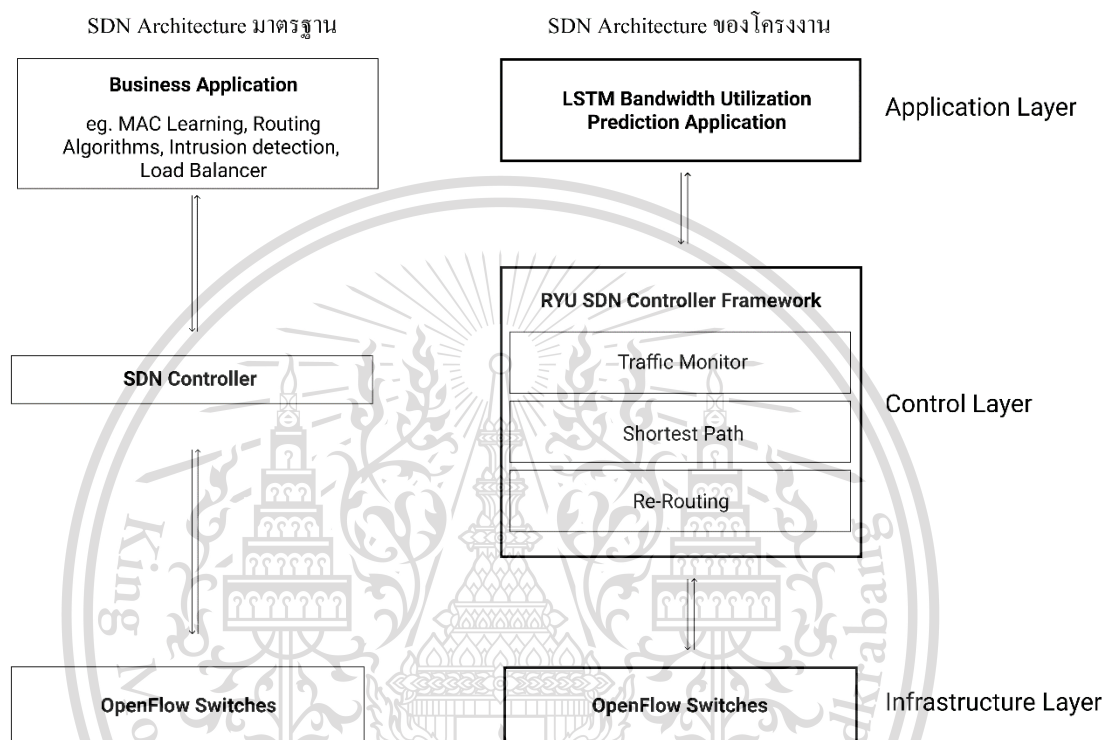
รูปที่ 3.1 ภาพรวมของระบบงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 3.1 แสดงให้เห็นถึงภาพรวมและการทำงานร่วมกันขององค์ประกอบหลัก 3 ส่วนของระบบ และในรูปที่ 3.2 เราได้แสดงการเปรียบเทียบระหว่างโครงสร้างเอสดีเอ็นมาตรฐาน กับ โครงสร้างของโครงการที่ได้ประยุกต์มาจากโครงสร้างมาตรฐาน



รูปที่ 3.2 การเปรียบเทียบโครงสร้างระหว่าง SDN มาตรฐาน และโครงสร้าง SDN ของโครงการ

เราได้สร้างแอปพลิเคชันสำหรับการคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ในชั้นแอปพลิเคชัน (Application Layer) เลือกใช้ริ้วเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ในชั้นการควบคุม (Control Layer) และจำลองโอเพนโฟลว์สวิตช์ขึ้นมาด้วยซอฟต์แวร์มินิเน็ต (Mininet) ในชั้นโครงสร้างพื้นฐานเครือข่าย

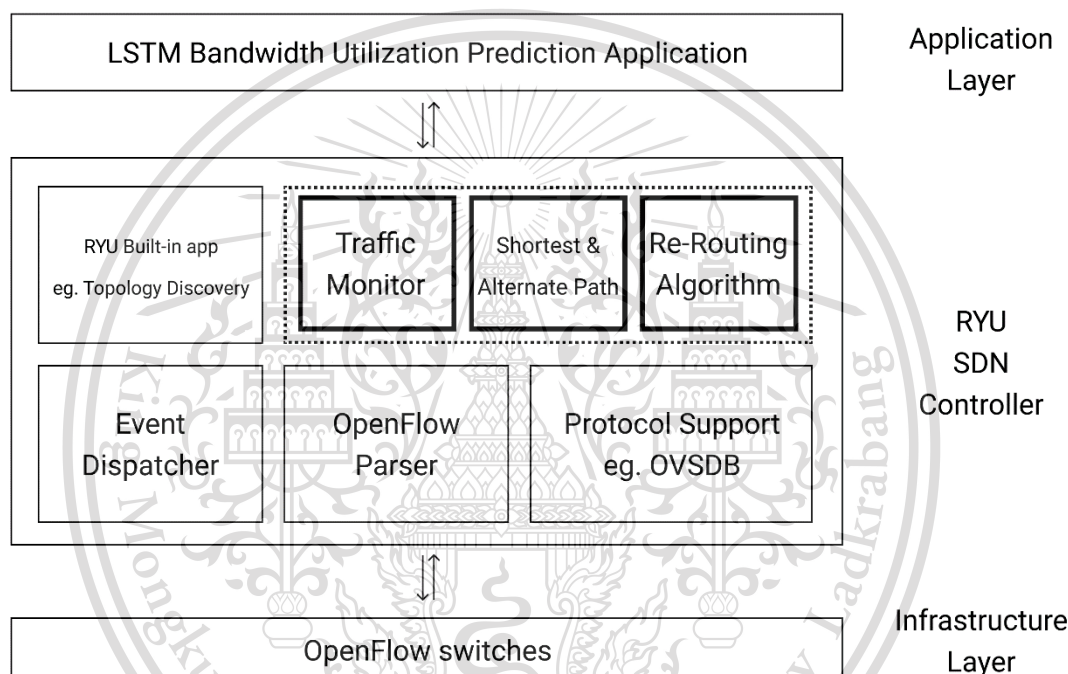
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1 องค์ประกอบของระบบ

ระบบของโครงการนี้มีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วนได้แก่ กลุ่มของโอเพนโพล์สวิตช์และโฮสต์ในชั้นโครงสร้างพื้นฐานเครือข่าย วิวเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ และแอปพลิเคชันคาดการณ์การใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ที่ใช้งาน โมเดลการเรียนรู้เชิงลึกประเภท Long-Short Term Memory (LSTM) ดังแสดงในรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 องค์ประกอบของระบบงานอย่างละเอียด

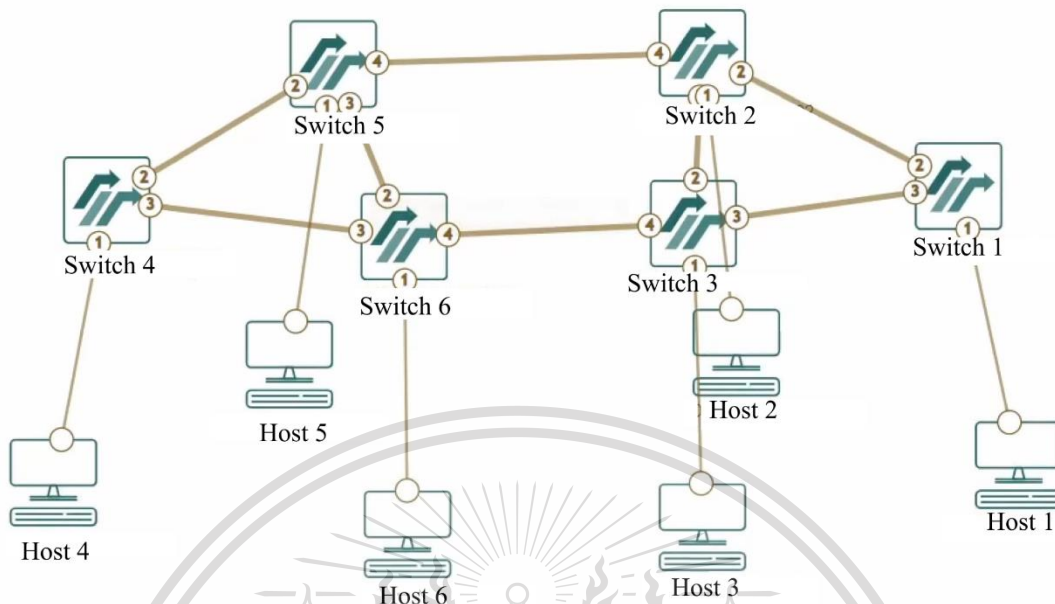
3.1.1 ชั้นโครงสร้างพื้นฐานเครือข่าย (Infrastructure Layer)

เครือข่ายของอุปกรณ์โอเพนโพล์สวิตช์ 6 เครื่องและโฮสต์ (host) 6 เครื่องเชื่อมต่อกันดังแสดงในรูปที่ 3.4 โอเพนโพล์สวิตช์และโฮสต์ทั้งหมดถูกจำลองขึ้นด้วยซอฟต์แวร์มินิเน็ต (Mininet) ซึ่งทำงานอยู่บนระบบปฏิบัติการอูบุนตุ (Ubuntu)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

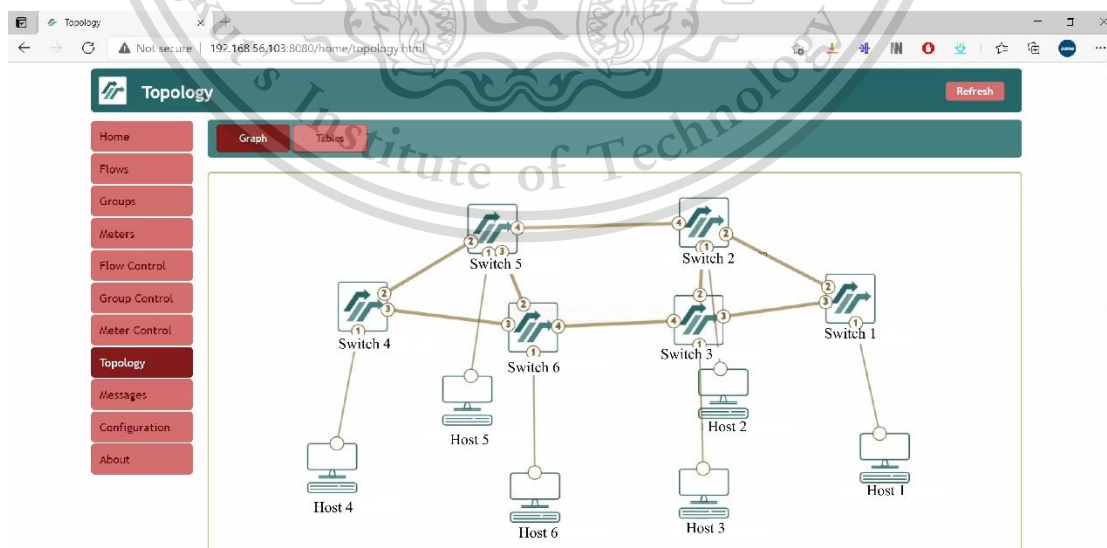
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.4 โครงสร้างเครือข่ายที่สร้างโดยแอปพลิเคชัน SDN Flow Manager

ชั้นโครงสร้างพื้นฐานเครือข่ายจะเชื่อมต่อกับริวคอนโทรลเลอร์ด้วยโอเพนโฟลว์โปรโตคอล (OpenFlow Protocol) ในโครงงานของเราได้กำหนดให้มีการสื่อสารระหว่างโฮสต์ต้นทาง 3 เครื่อง ได้แก่ Host 1, Host 2 และ Host 3 ส่งข้อมูลไปยังโฮสต์ปลายทาง 3 เครื่อง ได้แก่ Host 4, Host 5 และ Host 6



เอกสารนี้เป็นเอกสารรูปที่ 3.5 การตรวจสอบโทโพโลยี (Topology) ที่สร้างโดยมินิเน็ตด้วย SDN Flow Manager

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

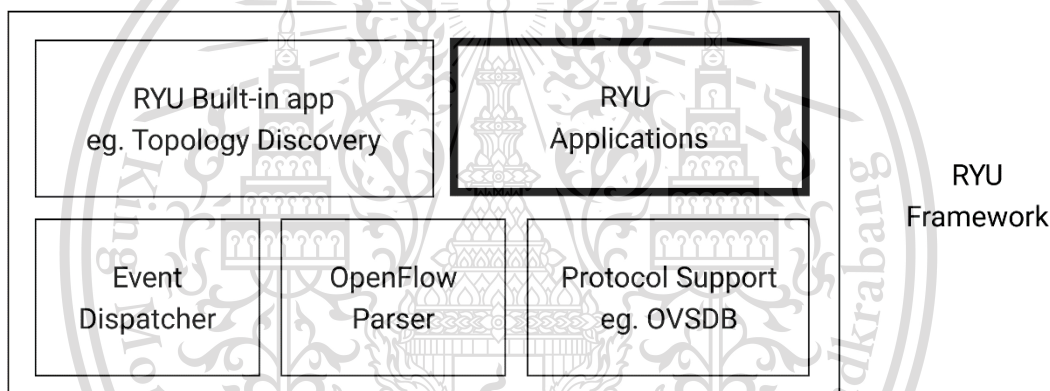
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เราสามารถตรวจสอบโครงสร้างเครือข่าย โฟลว์เทเบิลของสวิตช์แต่ละเครื่อง และข้อมูลอื่นๆ ของเครือข่ายเอสดีเอ็นได้โดยใช้แอปพลิเคชัน โฟลว์เมนเจอร์ (Flow Manager) ดังแสดงในรูปที่ 3.5 หลังจากที่เราเชื่อมต่อมินิเน็ตกับริวเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์เรียบร้อยแล้ว

3.1.2 ริวเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์

ริวเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ (RYU SDN Controller) เป็นส่วนสมองของเครือข่ายที่กำหนดโดยซอฟต์แวร์ เป็นตัวกลางการสื่อสารระหว่างชั้นแอปพลิเคชันและชั้นโครงสร้างพื้นฐานเครือข่าย ภายในริวเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์จะประกอบไปด้วยโมดูลพื้นฐานสำหรับการทำงานร่วมกับโอเพนโฟลว์โพรโทคอล (OpenFlow Protocol) เช่น RYU Built-in app, Event Dispatcher, OpenFlow Parser, Protocol Support ดังแสดงในรูปที่ 3.5



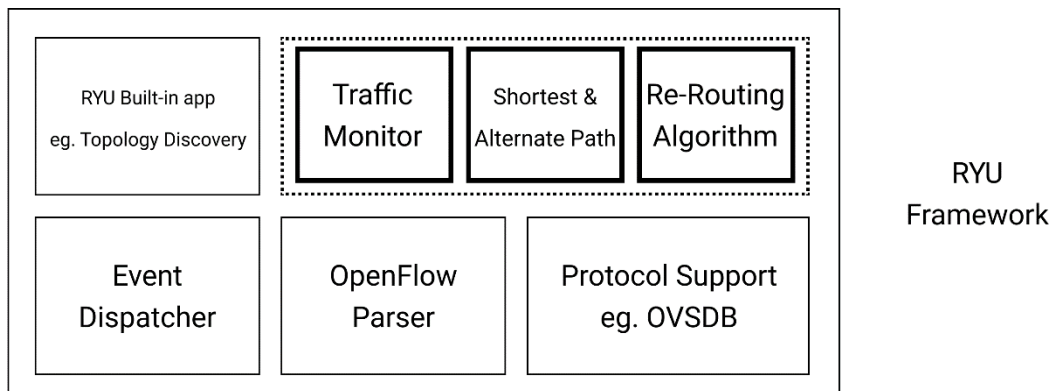
รูปที่ 3.6 RYU SDN Framework มาตรฐาน

จากรูปที่ 3.6 ในส่วนของริวแอปพลิเคชัน (RYU Applications) จะเป็นโมดูลที่นักพัฒนาต้องเขียนแอปพลิเคชันด้านในเพื่อตอบสนองโจทย์ ความต้องการ หรือการทำงานรูปแบบต่างๆด้วยตนเอง โดยงานของเราได้สร้างโมดูลไว้ภายในริวแอปพลิเคชันทั้งหมด 3 โมดูล ซึ่งจะอธิบายเพิ่มเติมต่อจากนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.7 RYU SDN Framework ที่ประยุกต์ใช้ในโครงงาน

โครงงานของเราได้ติดตั้งวิวกอนโทรลเลอร์ให้ทำงานบนระบบปฏิบัติการอุนนุเช่นเดียวกับมินิเน็ต เราได้สร้างวิวแอปพลิเคชันสำหรับการจัดการเครือข่ายรวม 3 โมดูลได้แก่ โมดูลสังเกตการณ์ข้อมูลในเครือข่าย (Traffic Monitor) โมดูลการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด และเส้นทางทางเลือก (Shortest Path & Alternate Path Finder) และ โมดูลการเลือกเส้นทางใหม่ (Re-Routing Module) ดังแสดงในรูปที่

3.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2.1 โมดูลสังเกตการณ์ข้อมูลในเครือข่าย

โมดูลสังเกตการณ์ข้อมูลในเครือข่าย (Traffic Monitor Module) เป็นโมดูลสำหรับการเก็บรวบรวมข้อมูลในเครือข่ายจากอุปกรณ์โอเพนโพล์สวิตช์ จำนวนค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ และนำมาแสดงผลเพื่อใช้วิเคราะห์สถานการณ์ของลิงก์แบบเรียลไทม์ ดังแสดงในรูปที่ 3.8

```

root@ryu: /home/ryu/Desktop/Project/RYU
BW Utilization (10 Mbps) : 0.00 %
+++++
Switch : 4 || Port : 2
Tx : 1 packets | Rx:187 packets
BW Utilization (10 Mbps) : 7.70 %
+++++
Switch : 4 || Port : 3
Tx : 1 packets | Rx:591 packets
BW Utilization (10 Mbps) : 55.23 %
+++++
Switch : 3 || Port : 4
Tx : 591 packets | Rx:0 packets
BW Utilization (10 Mbps) : 55.22 %
+++++
Switch : 1 || Port : 2
Tx : 1 packets | Rx:1 packets
BW Utilization (10 Mbps) : 0.01 %
+++++
Switch : 1 || Port : 3
Tx : 404 packets | Rx:1 packets
BW Utilization (10 Mbps) : 47.53 %
+++++
Switch : 2 || Port : 3
Tx : 1 packets | Rx:186 packets
BW Utilization (10 Mbps) : 7.66 %
+++++
Switch : 2 || Port : 4
Tx : 557 packets | Rx:1 packets
BW Utilization (10 Mbps) : 57.00 %

```

รูปที่ 3.8 โมดูลสังเกตการณ์กราฟฟิคแสดงข้อมูลของลิงก์ในแต่ละวินาที

ข้อมูลที่โมดูลสังเกตการณ์ข้อมูลในเครือข่ายจะประกอบไปด้วยหมายเลขสวิตช์ (Switch) หมายเลขพอร์ตของสวิตช์ (Port) เวลาที่เก็บข้อมูล (Time) จำนวนแพ็คเกจที่ถูกส่งออกจากพอร์ต (Tx) จำนวนแพ็คเกจที่รับเข้ามาทางพอร์ต (Rx) และค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ของลิงก์นั้น (BW_Utilization)

3.1.2.2 การคำนวณค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์

เราได้ใช้ฟิลด์ข้อมูลในแพ็คเกจชนิด OFPPortStatsReply ของโอเพนโพล์สวิตช์ โพรโทคอลเป็นแหล่งข้อมูลที่สำคัญ ที่นำไปสู่การคำนวณค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์

OFPPortStatsReply เป็นแพ็คเกจที่โอเพนโพล์สวิตช์ใช้ตอบกลับมายังริวเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์หลังจากที่ได้รับ OFPPortStatsRequest โดยภายในแพ็คเกจ OFPPortStatsReply ประกอบไปด้วยฟิลด์ข้อมูลสถิติของอุปกรณ์โอเพนโพล์สวิตช์ เช่น จำนวนแพ็คเกจที่รับ-ส่ง

(rx_packets, tx_packets) จำนวนไบนารีที่รับ-ส่ง (rx_bytes, tx_bytes) จำนวนแพ็คเกจที่ถูกละทิ้งไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับการใช้งานในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือใช้เพื่อวัตถุประสงค์อื่นใด

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

(rx_dropped, tx_dropped) โดยเราได้นำฟิลด์ Tx_Bytes และ Rx_Bytes ในแพ็คเกจ OFPPortStatsReply มาใช้คำนวณค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ด้วยสูตรคำนวณดังนี้

$$Bw_Utilization = \frac{(Tx\ Bytes + Rx\ Bytes)}{1,310,720\ Bytes}$$

ค่า 1,310,720 Bytes มีค่าเท่ากับ 10 Megabits ซึ่งตรงกับค่าแบนด์วิดท์ของลิงก์ที่เรากำหนดผ่านซอฟต์แวร์มินิเน็ต ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ หรือ Bw_Utilization ที่คำนวณออกมาจะมีค่าอยู่ในช่วง [0,1] โดยที่ 1 หมายถึงค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ที่ 100% หลังจากหาคำนวณค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ของลิงก์ ณ เวลาต่างๆ ก็จะนำมาประกอบเป็นตารางสำหรับนำไปใช้เป็นชุดข้อมูล ดังแสดงในตารางที่ 3.1

Timestamp	Tx_Packets	Rx_Packets	BW_Utilization
2020-10-27 11:47:18	1381	579	0.39374526977539065
2020-10-27 11:47:19	1241	549	0.3672716522216797
2020-10-27 11:47:20	1865	949	0.5010334777832032
2020-10-27 11:47:21	2880	1596	0.6822846984863281
2020-10-27 11:47:22	3132	1728	0.7208555603027343
2020-10-27 11:47:23	2872	1849	0.7225883483886719
2020-10-27 11:47:24	3087	1662	0.7452517700195312
2020-10-27 11:47:25	3076	1869	0.7375452423095703
2020-10-27 11:47:26	3070	1677	0.7493332672119141
2020-10-27 11:47:27	2887	1874	0.6503284454345704

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่าง ชุดข้อมูลที่ได้อัดแปลงมาจาก OFPPortStatsReply

ชุดข้อมูลที่ได้อัดแปลงในตารางที่ 3.1 นี้จะนำไปใช้สำหรับให้โมเดลการเรียนรู้เชิงลึก LSTM เพื่อทำการเรียนรู้ และใช้เป็นอินพุตสำหรับแอปพลิเคชันคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ LSTM เพื่อคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์แบบเรียลไทม์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2.3 โมดูลการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด และเส้นทางทางเลือก

โมดูลการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดและเส้นทางทางเลือก (Shortest Path Algorithm and Alternate Path Finder) เป็นโมดูลสำหรับการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง และเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมดระหว่างสองโหนดเพื่อเลือกใช้เป็นเส้นทางสำรองในการเลือกเส้นทางใหม่

3.1.2.4 โมดูลการเลือกเส้นทางใหม่

โมดูลการเลือกเส้นทางใหม่ (Re-Routing Module) จะรับค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ที่ถูกคาดการณ์จากแอปพลิเคชันคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ LSTM มาพิจารณาว่า หากได้ค่าที่มากเกินกว่าค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) ที่กำหนดไว้ เอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ก็จะสั่งการให้อุปกรณ์โอเพนโฟลว์สวิตช์เปลี่ยนเส้นทางการส่งข้อมูล เพื่อป้องกันการเกินความคับคั่งของข้อมูล

เมื่ออัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่ทำงาน เราจะพบข้อความบนหน้าจอเทอร์มินัล (Terminal) ของเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์เกี่ยวกับการเลือกเส้นทางใหม่สำหรับการส่งข้อมูลระหว่างสวิตช์ดังแสดงในรูปที่ 3.9 รวมไปถึงค่าแบนด์วิดท์ที่ตรวจจับ และค่าที่คาดการณ์ว่าจะสูงกว่าเทรชโฮลด์ที่กำหนดดังแสดงในรูปที่ 3.10

```

Re-Routing Process :
Banned Link Between Switch : 3 and Switch : 6
rerouting_effect :
{'1': {'1->6': [[1, 3, 6]]}, '2': {'2->6': [[2, 3, 6]]}, '3': {'3->4': [[3, 6, 4]], '3->6': [[3, 6]]}, '4': {}, '6': {}}
1->2 [1, 2]
1->3 [1, 3]
1->4 [1, 2, 5, 4]
1->5 [1, 2, 5]
1->6 [1, 3, 6]
2->1 [2, 1]
2->3 [2, 3]
2->4 [2, 5, 4]
2->5 [2, 5]
2->6 [2, 3, 6]
3->1 [3, 1]
3->2 [3, 2]
3->4 [3, 6, 4]
3->5 [3, 2, 5]
3->6 [3, 2, 5, 6]
4->1 [4, 5, 2, 1]

```

รูปที่ 3.9 การทำงานของอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

```

3->5 [3, 2, 5]
3->6 [3, 2, 5, 6]
4->1 [4, 5, 2, 1]
4->2 [4, 5, 2]
4->3 [4, 6, 3]
4->5 [4, 5]
4->6 [4, 6]
5->1 [5, 2, 1]
5->2 [5, 2]
5->3 [5, 2, 3]
5->4 [5, 4]
5->6 [5, 6]
6->1 [6, 3, 1]
6->2 [6, 3, 2]
6->3 [6, 3]
6->4 [6, 4]
6->5 [6, 5]
Re-Routing Success !!!
+++++
#####
Link between switch 3 - switch 6
    Detected Bandwidth Utilization : 0.86 %
    Predicted Bandwidth Utilization : 0.90 %

#####
Switch : 1 || Port : 2
Tx : 275 packets | Rx:219 packets
BW Utilization (10 Mbps) : 29.15 %

```

รูปที่ 3.10 ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ที่ตรวจจับและคาดการณ์ว่าจะเกินทรานซิสต์

เราได้กำหนดให้อัลกอริทึมการจัดเส้นทางใหม่มีดีเลย์การทำงานอยู่ที่ 30 วินาที กล่าวคือหลังจากที่ริวคอนโทรลเลอร์สั่งการให้เปลี่ยนเส้นทางแล้ว จะไม่มีการคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์และการทำงานของอัลกอริทึมการจัดเส้นทางใหม่เป็นเวลา 30 วินาที ทั้งนี้เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเส้นทางการส่งข้อมูลอย่างต่อเนื่อง

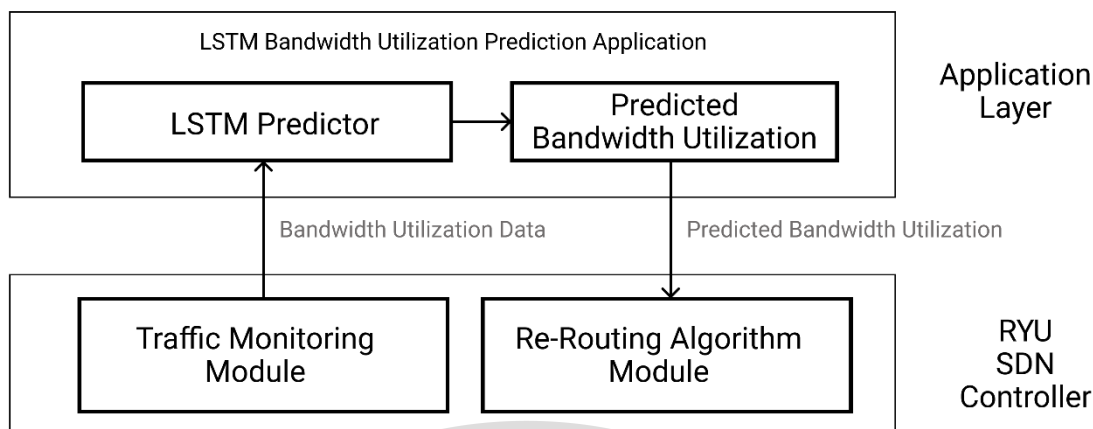
3.1.3 แอปพลิเคชันคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ LSTM

แอปพลิเคชันคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ LSTM (LSTM Bandwidth Utilization Prediction Application) เป็นส่วนประกอบของชั้นแอปพลิเคชัน จะทำการคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์หลังจากที่รับอินพุตค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์แบบเรียลไทม์มาจากริวเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ และจะส่งค่าที่คาดการณ์กลับไปยังโมดูลการเลือกเส้นทางใหม่ที่อยู่ภายในริวเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ดังแสดงในรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



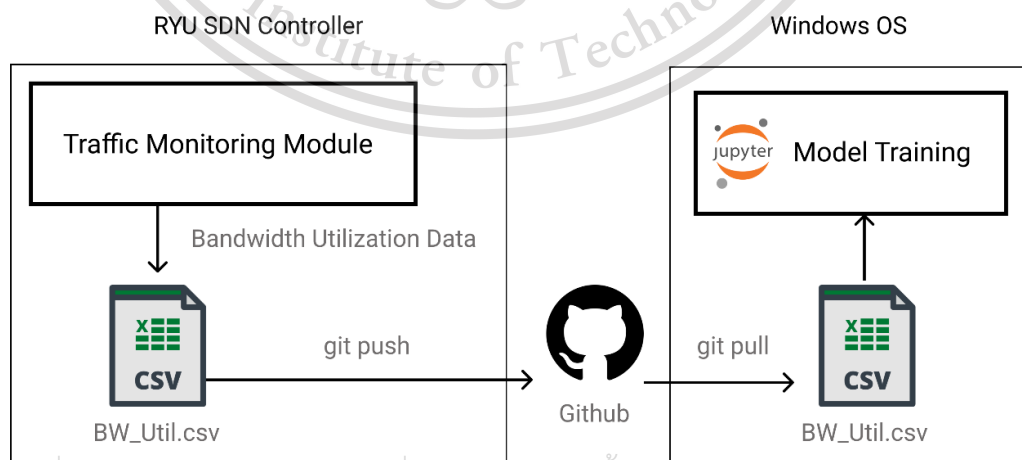
รูปที่ 3.11 ภาพรวมของแอปพลิเคชันคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์

3.1.4 ขั้นตอนการสร้างแอปพลิเคชันคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ LSTM

โมเดลการเรียนรู้เชิงลึกประเภท Long-short Term Memory (LSTM) ถูกเขียนขึ้นโดยใช้แพลตฟอร์มจูปีเตอร์ (Jupyter Notebook) บนระบบปฏิบัติการวินโดวส์ (Windows)

3.1.4.1 การรวบรวมข้อมูล

เราเริ่มจากการรวบรวมข้อมูล (Data Gathering) สำหรับนำไปให้โมเดล LSTM เรียนรู้ โดยนำเอาข้อมูลที่โมดูลสังเกตการณ์ทราฟฟิกแสดงผลออกมา นำไปสร้างเป็นไฟล์ชนิด .csv เก็บเอาไว้ในวีเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ และนำออกไฟล์มาสู่ระบบปฏิบัติการวินโดวส์โดยใช้ Git ดังแสดงในรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การส่งข้อมูลค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์จากวีเอสดีเอ็นมาสู่จูปีเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นแต่ได้ขออนุญาตจากเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.4.2 กระบวนการเตรียมข้อมูล

หลังจากที่ได้ข้อมูลค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิธที่มาจากอยู่ในแพลตฟอร์มจูปิเตอร์ สิ่งถัดมาที่ต้องทำคือการเตรียมข้อมูล (Data Pre-Processing) เพื่อให้ข้อมูลอยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมกับการเรียนรู้ของการเรียนรู้เชิงลึก กระบวนการที่จำเป็นต้องใช้คือ Normalization ซึ่งเป็นกระบวนการแปลงข้อมูลตัวเลขให้มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 0-1 ซึ่งจะช่วยให้โมเดลการเรียนรู้เชิงลึก LSTM เรียนรู้ได้ดี

3.1.4.3 Train-Test Split

ชุดข้อมูลจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลสอน(Training Data) และชุดทดสอบ (Testing Data) โดยแบ่งออกเป็นสัดส่วน ข้อมูลสอน 65% และ ชุดทดสอบ 35% หลังจากสร้างโมเดลการเรียนรู้ด้วยข้อมูลสอนเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จะทำการทดสอบด้วยข้อมูลชุดทดสอบว่าโมเดลของเรานั้นมีความแม่นยำสูงเพียงใดโดยทดสอบโมเดลกับชุดทดสอบ

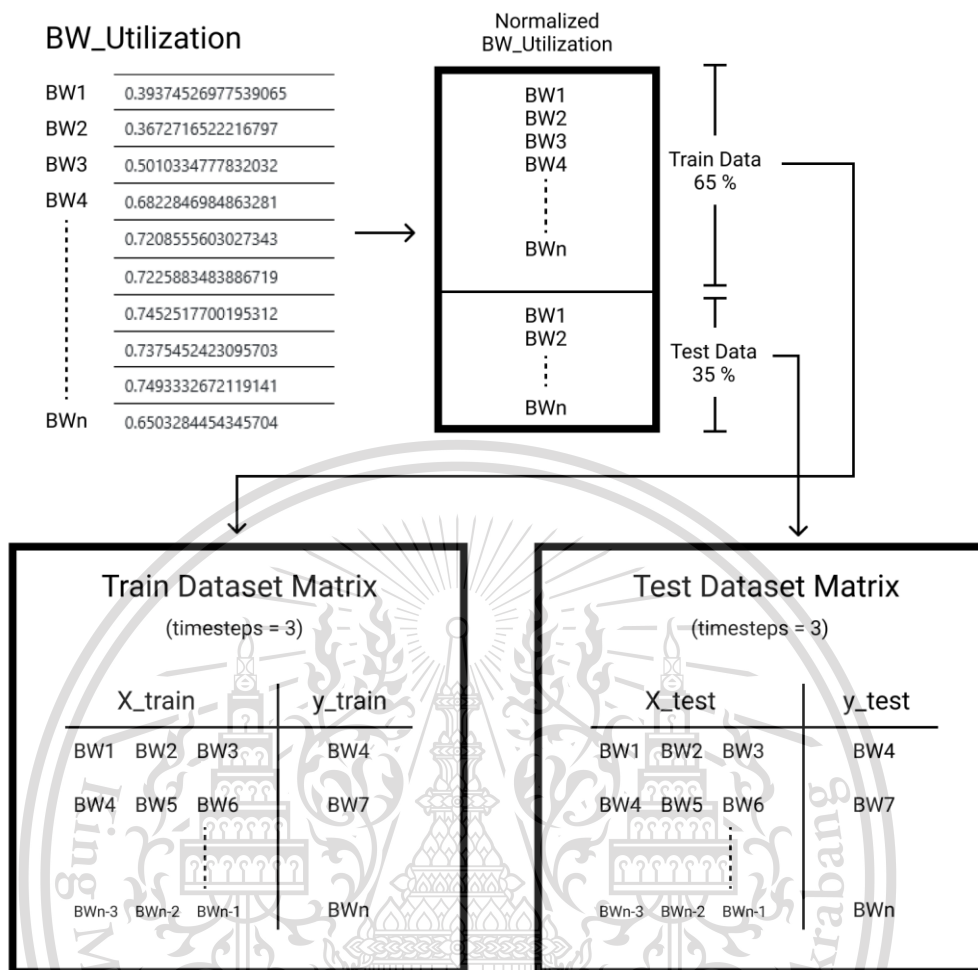
3.1.4.4 Dataset Matrix

เมทริกซ์ (Matrix) ในที่นี้หมายถึงรูปแบบอินพุตสุดท้ายสำหรับนำไปใช้ฝึกสอนโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก LSTM ชุดข้อมูลที่ถูกแบ่งออกเป็น Train Data และ Test Data จะถูกแปลงเป็น Train Dataset Matrix และ Test Dataset Matrix ดังแสดงในรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



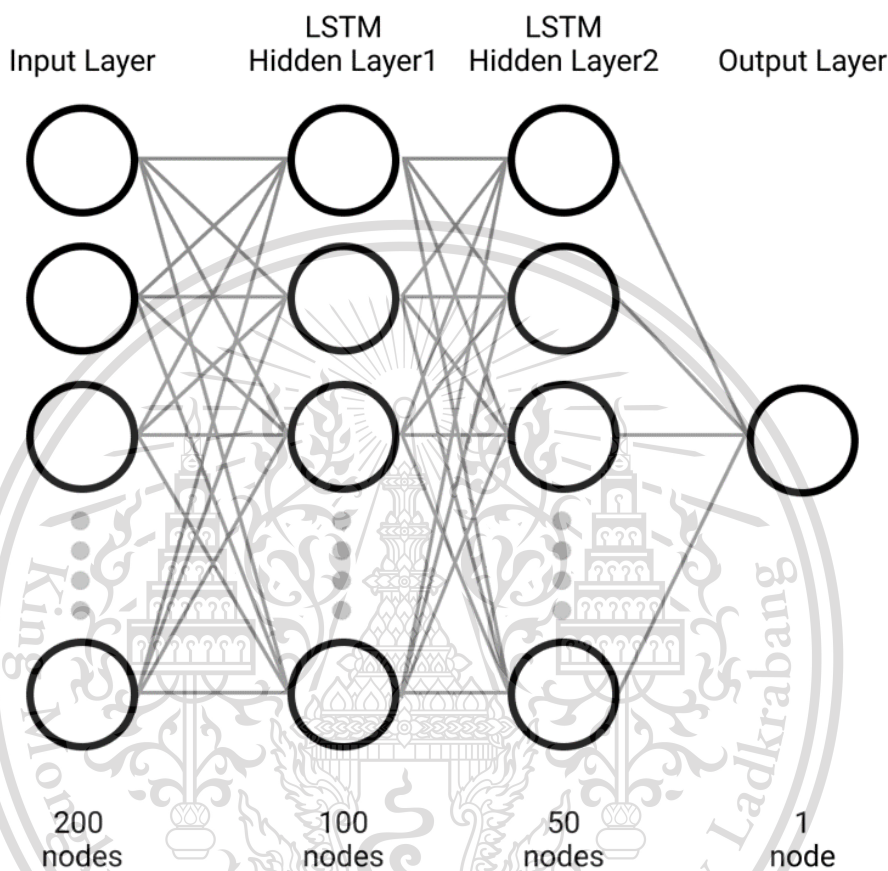
รูปที่ 3.13 สรุปกระบวนการสร้าง Dataset Matrix เริ่มตั้งแต่นำเข้าข้อมูล

Timesteps เป็นตัวแปรที่กำหนดถึงความกว้างของ x_{train} และจำนวน โหนด อินพุตของโครงข่าย LSTM เช่นหากกำหนดให้ timesteps = 3, X_{train} ของ Dataset Matrix ที่ได้จะมีจำนวนคอลัมน์เป็น 3 คอลัมน์ ส่วนค่าของ y_{train} จะมีขนาดเป็น 1 คอลัมน์เสมอ และอินพุตของ LSTM จะมีจำนวนเท่ากับ 3 โหนด สำหรับโครงงานนี้ได้ทำการกำหนดค่า timesteps = 200 ซึ่งส่งผลให้ ชั้นอินพุตของ LSTM มีจำนวน 200 โหนด

3.1.4.5 โครงสร้างโมเดล LSTM

หลังจากที่จัดเตรียมข้อมูลสำหรับการฝึกสอนแล้ว ขั้นตอนถัดมาคือการสร้าง โมเดลการเรียนรู้เชิงลึกประเภท Long-Short Term Memory และปรับจูนพารามิเตอร์ต่างๆก่อนที่จะเริ่ม การเรียนรู้ โมเดล LSTM ที่ใช้ในโครงงานประกอบด้วยชั้นอินพุตจำนวน 200 โหนด เชื่อมต่อกับชั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์ การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซ่อนตัว (Hidden Layer) ชั้น 2 ชั้น ชั้นละ 100 โหนด และ 50 โหนดตามลำดับ และต่อไปยังชั้นเอาต์พุต 1 โหนดดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 โครงสร้างของโครงข่ายประสาทเทียมชนิด LSTM ในโครงการ

ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์จะเป็นเอาต์พุต (output) ที่โมเดลทำการคาดการณ์ออกมา และจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับ Label หรือค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ในชุดข้อมูลจริง เพื่อวัดประสิทธิภาพโมเดล ว่าสามารถคาดการณ์ค่าในอนาคตออกมาได้แม่นยำเพียงใด

หลังจากที่ได้โมเดล LSTM ที่ผ่านการเรียนรู้ และปรับจนให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความแม่นยำแล้ว จึงจะนำไปทำงานบนริวเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์เพื่อคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์แบบเรียลไทม์

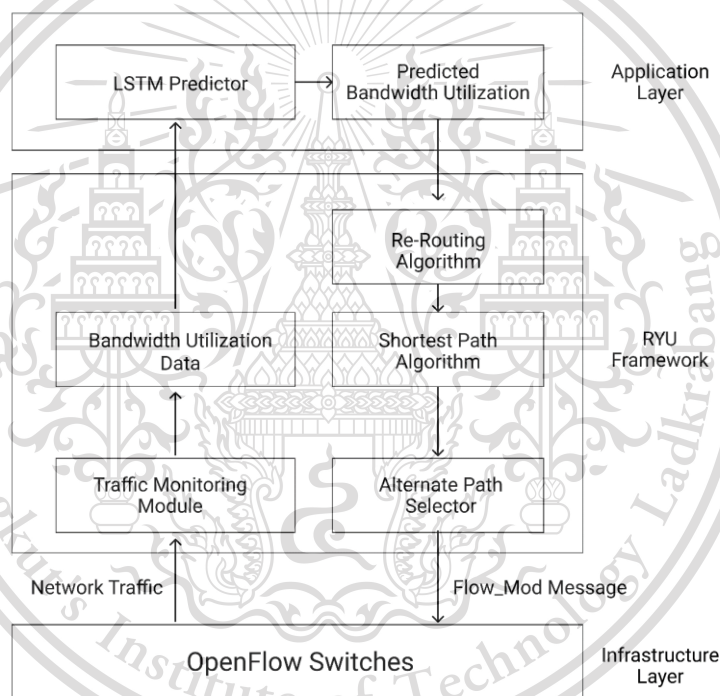
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.2 ขั้นตอนการทำงานของระบบ

กระบวนการทำงานเริ่มต้นจากรีเวสต์ดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลในเครือข่าย (Network Traffic) จากโครงสร้างพื้นฐานเครือข่าย (Network Infrastructure) อย่างต่อเนื่อง และส่งไปยังชั้นแอปพลิเคชันที่ประกอบด้วยโมเดลการเรียนรู้เชิงลึก LSTM ซึ่งทำหน้าที่คาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ (Bandwidth Utilization) จากนั้น โมเดลจะส่งค่าที่คาดการณ์กลับมายังรีเวสต์ดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ เพื่อวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ที่จะเกิดความคับคั่งบนลิงก์ (Link) และส่งข้อความคำสั่ง (Flow_mod Message) ให้สวิตช์ทำการเปลี่ยนเส้นทางการส่งข้อมูล หากคาดว่ามียังลิงก์ที่จะเกิดความคับคั่งของข้อมูล ภาพรวมขั้นตอนการทำงานของระบบเป็นดังแสดงในรูปที่ 3.2



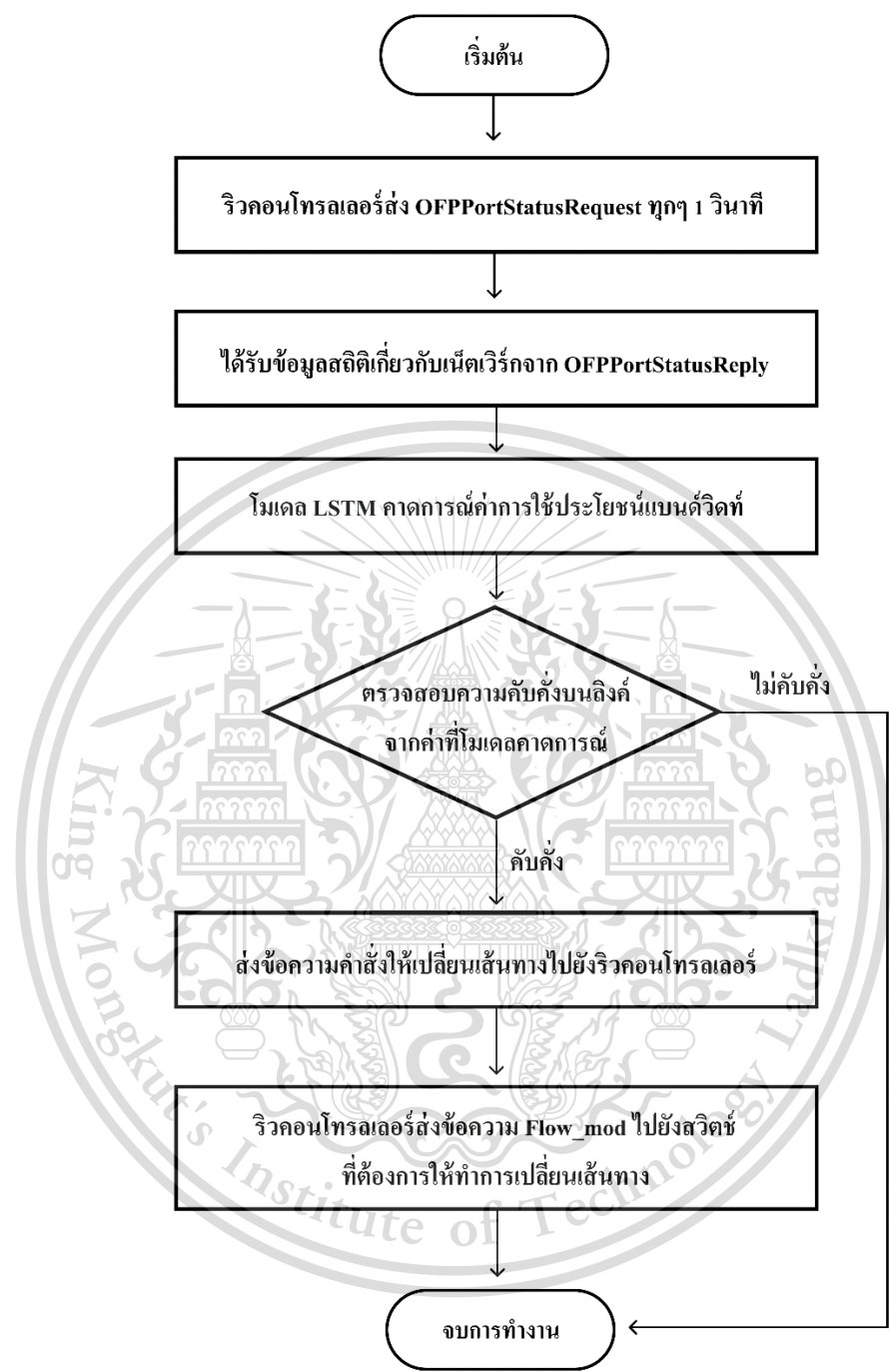
รูปที่ 3.15 Block Diagram แสดงภาพรวมขั้นตอนการทำงานของระบบ

เราสามารถโฟลว์การทำงานของระบบทั้งหมดผ่านโฟลว์ชาร์ท ดังแสดงในรูปที่ 3.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

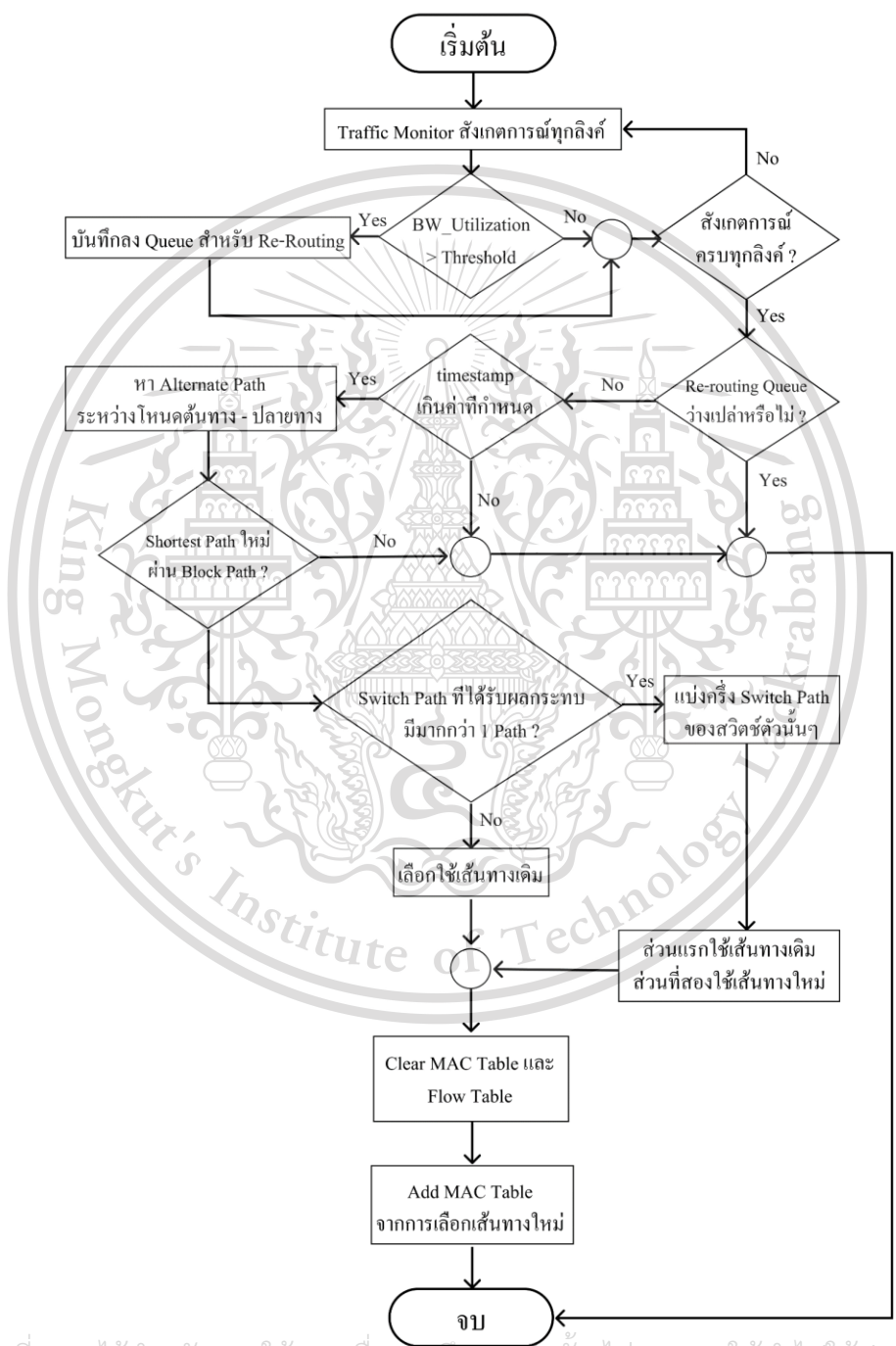


รูปที่ 3.16 Flow Chart แสดงขั้นตอนการทำงานโดยรวมของโครงการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่

โมดูลการเลือกเส้นทางใหม่ (Re-Routing Module) มีลำดับการทำงานดังแสดงในรูปแบบของโพล์ชาร์ทในรูปที่ 3.17



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.17 Flowchart ของ Re-Routing Algorithm
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1.1 ตรวจสอบ Re-routing Queue

การทำงานของโมดูลการเลือกเส้นทางใหม่ (Re-Routing Module) จะเริ่มขึ้นเมื่อ Re-routing Queue ไม่ได้มีค่าที่ว่างเปล่า เราจะทำการศึกษาเกี่ยวกับกลไกที่ถูกคาดการณ์ว่าจะมีการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์เกินกว่าค่าเทรชโฮลด์ เพื่อใช้ดำเนินการต่อไป

แต่ก่อนที่จะดำเนินการเปลี่ยนเส้นทางส่งข้อมูลต่อไป จะมีการตรวจสอบก่อนว่า timestamp เกินค่าที่กำหนดหรือยังเพื่อไม่ให้มีการเปลี่ยนเส้นทางแบบเกิดขึ้นถี่ โดยในงานของเรา กำหนด timestamp ไว้ที่ 30 วินาที ซึ่งหมายความว่าระบบจะไม่มีทำการเปลี่ยนเส้นทางอีกครั้งจนกว่าจะเลยเวลา 30 วินาที

3.2.1.2 ค้นหาและเลือกเส้นทางใหม่

โมดูลการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุด และเส้นทางทางเลือกจะค้นหาและเก็บข้อมูลเส้นทางทั้งหมดระหว่างโฮสต์แต่ละตัวเอาไว้ตั้งแต่เริ่มต้นจำลองเครือข่าย ระบบจะทำการค้นหาว่าหากจะยกเลิกการใช้งานลิงค์ๆหนึ่ง จำเป็นต้องให้สวิตช์ตัวใดทำการเปลี่ยนเส้นทางการส่งข้อมูลบ้าง ซึ่งเส้นทางที่จะยกเลิกไม่ให้ใช้งานจะถูกเรียกว่าเป็นเส้นทางที่ถูกสกัดกั้น (Block Path)

3.2.1.3 Block Path และ Switch Path

Block Path หมายถึงลิงค์ที่ห้ามไม่ให้ข้อมูลในเครือข่ายวิ่งผ่าน เนื่องจากถูกคาดการณ์ว่าค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ของลิงค์ดังกล่าวจะมากกว่าค่าเทรชโฮลด์ที่กำหนด แพ็กเก็ตข้อมูลที่จะส่งผ่าน Path ดังกล่าวจะต้องเปลี่ยนเส้นทาง โดยการ Re-Routing ของสวิตช์นั่นเอง ส่วน Switch Path หมายถึงเส้นทางของการส่งข้อมูลของสวิตช์ที่ได้รับผลกระทบจาก Block Path ดังอธิบายในรูปแบบที่ 3.18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.18 Block Path และ Switch Path

หลังจากทำการกำหนด Block Path เป็นที่เรียบร้อย จึงจะทำการออกคำสั่งเพื่อทำการเปลี่ยนเส้นทาง ดังแสดงในรูปที่ 3.19

Before Re-Routing	After Re-Routing
1->2 [1, 2]	1->2 [1, 2]
1->3 [1, 3]	1->3 [1, 3]
1->4 [1, 2, 5, 4]	1->4 [1, 2, 5, 4]
1->5 [1, 2, 5]	1->5 [1, 3, 6, 5]
1->6 [1, 3, 6]	1->6 [1, 3, 6]
5->1 [5, 2, 1]	5->1 [5, 6, 3, 1]
5->2 [5, 2]	5->2 [5, 6, 3, 2]
5->3 [5, 2, 3]	5->3 [5, 2, 3]
5->4 [5, 4]	5->4 [5, 4]
5->6 [5, 6]	5->6 [5, 6]

รูปที่ 3.19 ผลที่เกิดขึ้นหลังจากออกคำสั่งการเปลี่ยนเส้นทาง

สำหรับกรณี Switch Path ของสวิตช์ตัวหนึ่งมีแค่เพียง 1 เส้นทาง อัลกอริทึม จะทำการรวมกลุ่ม Switch Path ของสวิตช์ทุกตัวที่มีเพียง 1 เส้นทางเช่นเดียวกัน และแบ่งครึ่งกลุ่มของ Switch Path นี้่อีกครั้งดังที่แสดงในรูป 3.18 เป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการเลือกเส้นทางใหม่

บทที่ 4

ผลการทดลอง

ในบทนี้ เราได้ทำการนำเสนอกระบวนการทดลอง และผลการทดลอง โดยเริ่มจากการเปรียบเทียบอัลกอริทึมการเรียนรู้หลายชนิด นำมาคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ และเปรียบเทียบความแม่นยำในการคาดการณ์ เพื่อเลือกใช้เป็นอัลกอริทึมที่จะนำไปใช้ในโครงการ จากนั้น เราได้ทำการทดลองเพื่อเลือกค่าเทรซโอสต์ที่เหมาะสมกับการใช้งาน และตามด้วยนำเสนอกราฟของการวัดค่าทรูพุด เทียบกับปริมาณกราฟฟิค โดยเฉลี่ยที่เข้ามาในเครือข่าย

4.1 การพิจารณาอัลกอริทึมการเรียนรู้ที่เหมาะสม และการประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเรียนรู้

โครงการนี้ ได้ทดลองเลือกใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ของเครื่อง และการเรียนรู้เชิงลึกหลายชนิดเข้ามาทำการคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ เพื่อวิเคราะห์และพิจารณาว่าจะเลือกใช้อัลกอริทึมที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง

เราได้เลือกใช้อัลกอริทึมทั้งหมด 5 ชนิดมาเปรียบเทียบความแม่นยำ ได้แก่ Regression, Decision Tree Regressor, Random Forest, Multi-Layer Perceptron และ Long-Short Term Memory โดยได้เลือกค่า Root Mean Squared Error (RMSE) และ Mean Absolute Error (MAE) เป็นค่าเมตริกซ์เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของอัลกอริทึม

4.1.1 Root Mean Squared Error และ Mean Absolute Error

Root Mean Squared Error และ Mean Absolute Error เป็นเมตริกซ์ที่นิยมใช้สำหรับวัดความถูกต้องของโมเดลที่ทำนายค่าออกมาเป็นค่าตัวเลข (Numerical Value) คำนวณโดยสูตร

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - Y_i)^2} \quad (1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งาน $\sum_{i=1}^n |\hat{Y}_i - Y_i|$ เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 $MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{Y}_i - Y_i|}{n}$ (2)
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\hat{Y}_i - Y_i$ แสดงถึงการคำนวณความผิดพลาด (Error) หรือ Loss ของการทำนายค่า โดยที่ \hat{Y}_i หมายถึงค่าที่โมเดลคาดการณ์ (Predict) และ Y_i หมายถึงค่าจริง (Actual)

ค่า Root Mean Squared Error (RMSE) และ Mean Absolute Error (MAE) วัดได้ดังแสดงในตารางที่ 4.1 แนวโน้มของการคาดการณ์ค่าของอัลกอริทึม Linear Regression, Decision Tree Regressor, Random Forest, Multi-Layer Perceptron และ Long-Short Term Memory เป็นไปตามกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.1 4.2 4.3 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

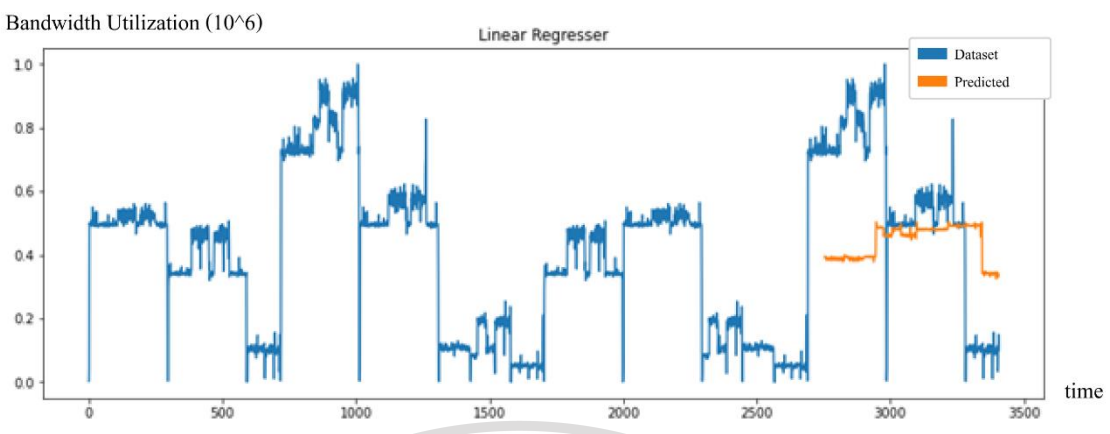
อัลกอริทึมการเรียนรู้	Root Mean Squared Error	Mean Absolute Error
Linear Regression	0.2778	0.2334
Decision Tree Regressor	0.3486	0.2823
Random Forest	0.3389	0.2723
Multi-Layer Perceptron	0.2741	0.2293
Long-Short Term Memory	0.0654	0.0318

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบความแม่นยำของอัลกอริทึมการเรียนรู้

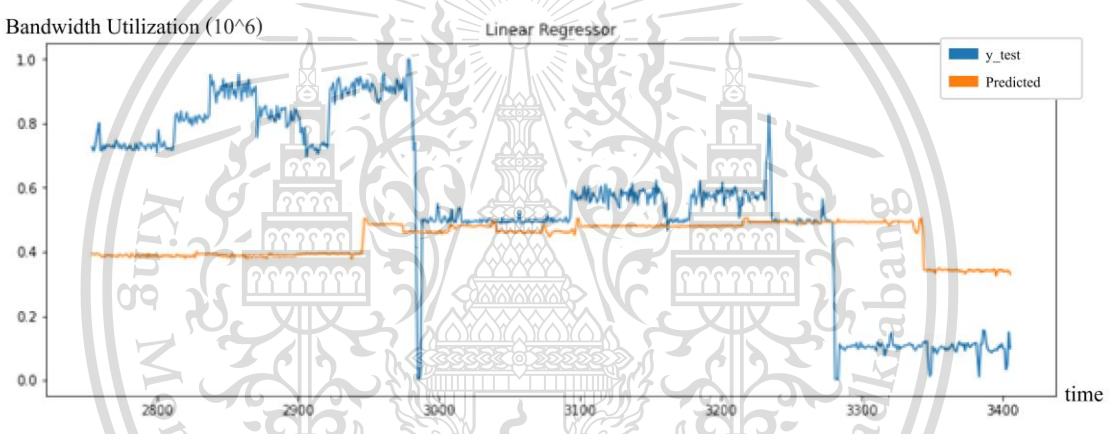
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(a) กราฟเปรียบเทียบค่าชุดข้อมูลทั้งหมด กับค่าที่ Linear Regressor คาดการณ์



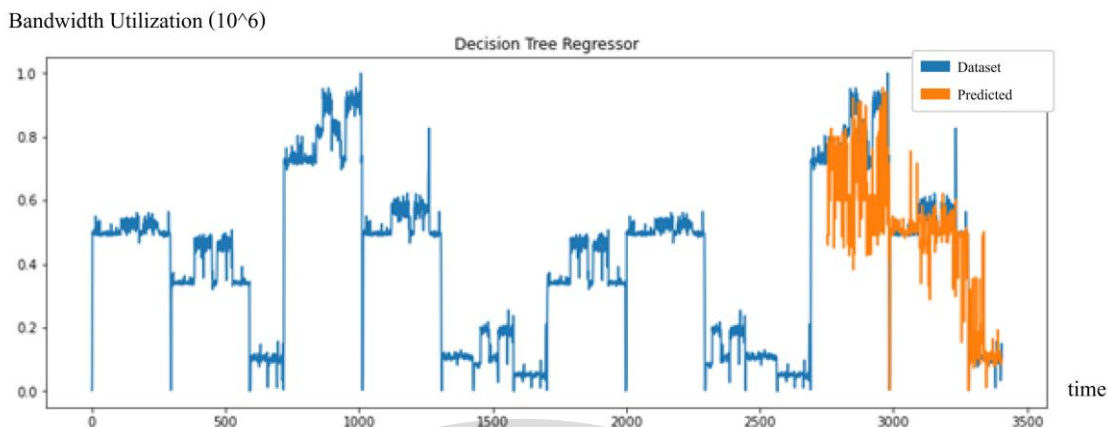
(b) กราฟเปรียบเทียบค่าชุดข้อมูลเฉพาะส่วน y_test กับค่าที่ Linear Regressor คาดการณ์

รูปที่ 4.1 ผลการวัดความแม่นยำของ Linear Regression

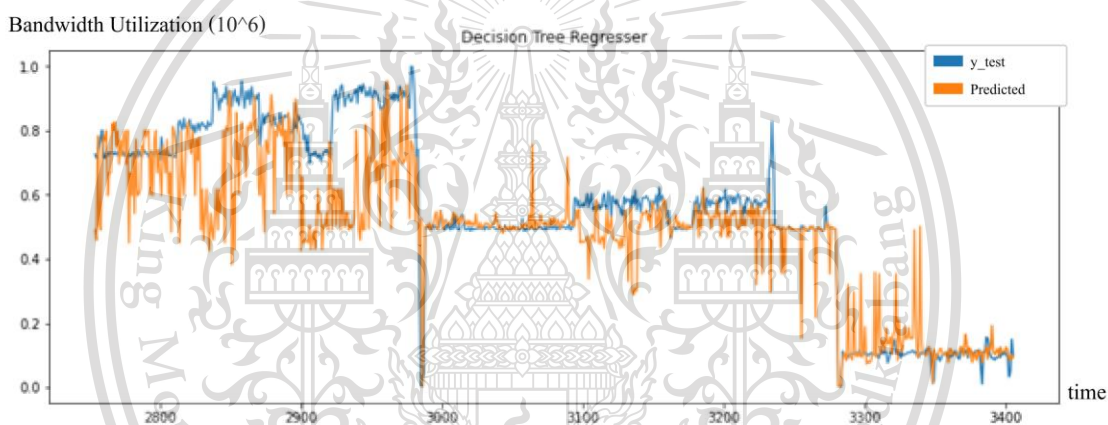
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(a) กราฟเปรียบเทียบค่าชุดข้อมูลทั้งหมด กับค่าที่ Decision Tree Regressor คาดการณ์



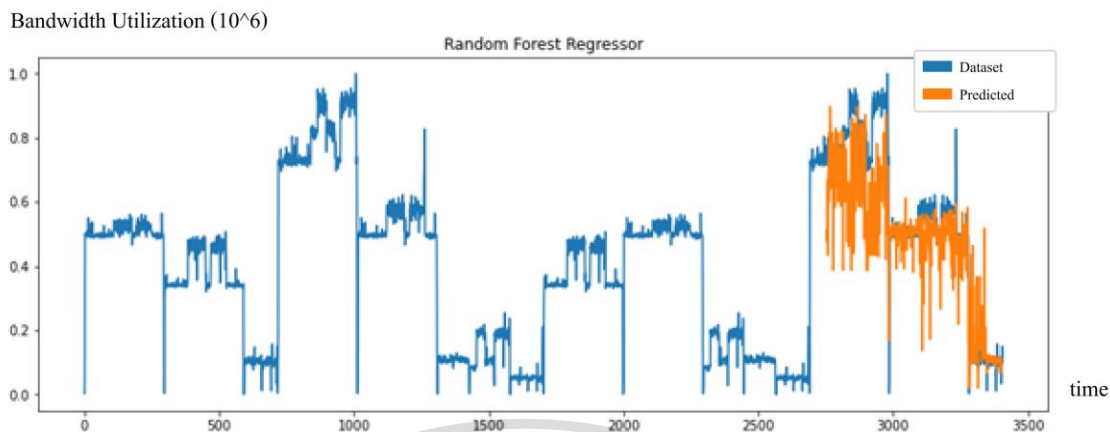
(b) กราฟเปรียบเทียบค่าชุดข้อมูลเฉพาะส่วน y_{test} กับค่าที่ Decision Tree Regressor คาดการณ์

รูปที่ 4.2 ผลการวัดความแม่นยำของ Decision Tree Regressor

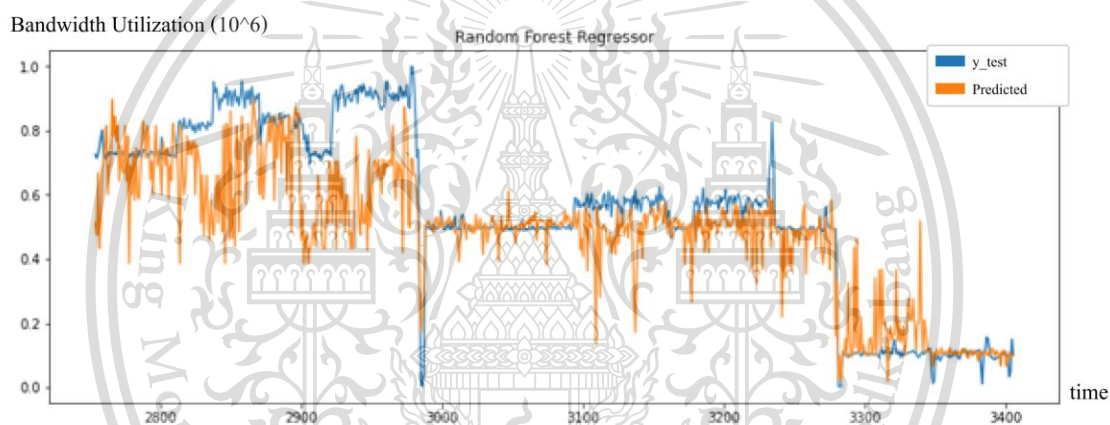
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(a) กราฟเปรียบเทียบค่าชุดข้อมูลทั้งหมด กับค่าที่ Random Forest Regressor คาดการณ์



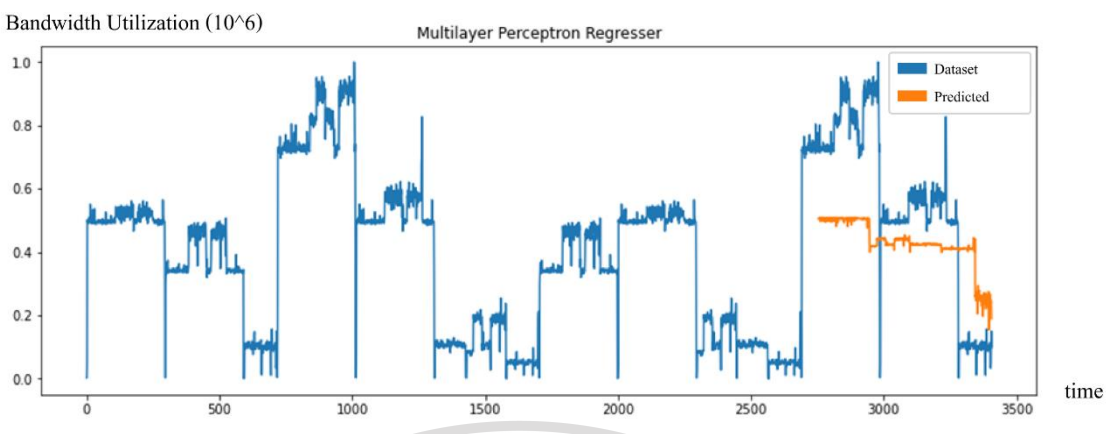
(b) กราฟเปรียบเทียบค่าชุดข้อมูลเฉพาะส่วน y_{test} กับค่าที่ Linear Regressor คาดการณ์

รูปที่ 4.3 ผลการวัดความแม่นยำของ Random Forest Regressor

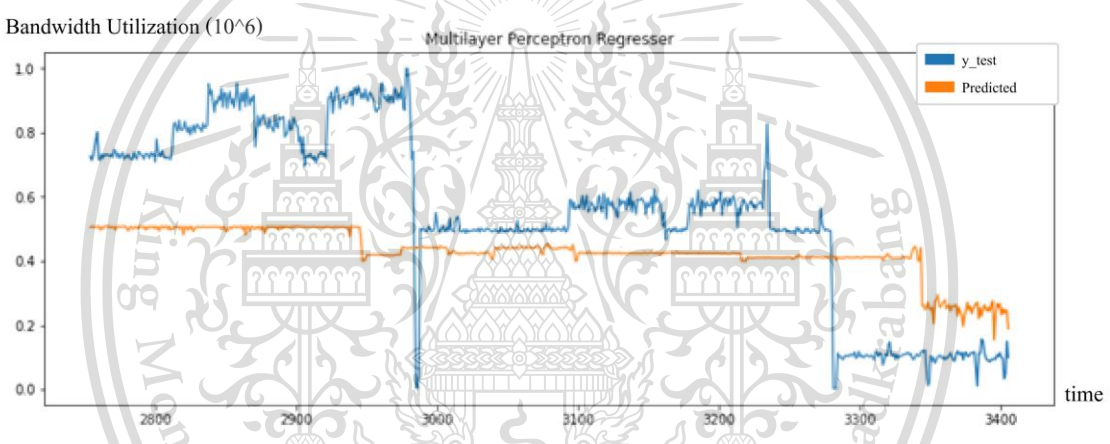
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

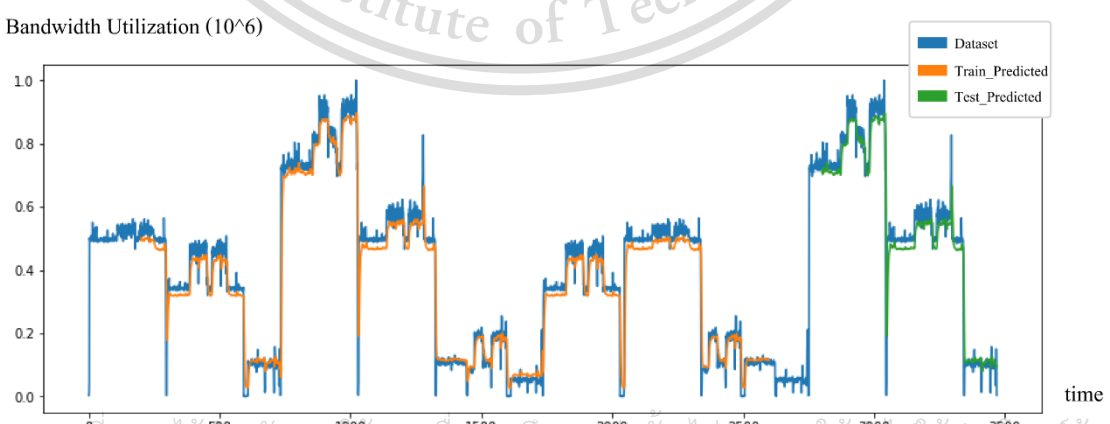


(a) กราฟเปรียบเทียบค่าชุดข้อมูลทั้งหมด กับค่าที่ MLP Regressor คาดการณ์



(a) กราฟเปรียบเทียบค่าชุดข้อมูลเฉพาะส่วน y_test กับค่าที่ MLP Regressor คาดการณ์

รูปที่ 4.4 ผลการวัดความแม่นยำของ Multi-Layer Perceptron



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีมติเด็ดขาดของสภา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5 ผลการวัดความแม่นยำของ Long-Short Term Memory

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลจากการทดลองเปรียบเทียบความแม่นยำในการคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ โดยเลือกใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้ชนิดต่างๆ ดังที่ได้แสดงไปในตารางที่ 4.1 และกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.1 จนถึง 4.5 ช่วยให้เราตัดสินใจเลือกใช้อัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึกประเภท Long-Short Term Memory มาใช้ในโครงการ เนื่องจากมีค่า Root Mean Square Error, Mean Absolute Error ที่ต่ำกว่าอัลกอริทึมชนิดอื่นๆ มีความแม่นยำในการคาดการณ์ที่สูงกว่าอัลกอริทึมชนิดอื่นๆ

4.2 การประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่

โครงการนี้เราใช้ทราฟฟิค (Throughput) เป็นตัวชี้วัดสำหรับวัดประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่ โดยทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างทราฟฟิคเทียบกับปริมาณทราฟฟิคที่เข้ามาในเครือข่ายในหน่วย แพ็กเก็ตต่อวินาที (pkt/s)

4.2.1 ทราฟฟิค

ทราฟฟิค (Throughput) หมายถึง ปริมาณข้อมูลที่สามารถส่งได้ในระยะเวลาหนึ่ง วัดในหน่วยบิตต่อวินาที (bps) โดยเราจะวัดค่าทราฟฟิคระหว่างโฮสต์ต้นทาง $Host_i$ และโฮสต์ปลายทาง $Host_j$ หนึ่งคู่ โครงการนี้ได้คำนวณทราฟฟิคให้ออกมาในรูปแบบของ ทราฟฟิคภาพรวม ซึ่งขยายความได้ว่าเป็นการคำนวณทราฟฟิคเฉลี่ยของการส่งข้อมูลทั้ง 3 คู่ในเครือข่าย

4.2.2 การคำนวณทราฟฟิคภาพรวม

เราได้นำแพ็กเก็ต FlowStatReplyMessage ของ โอเพน โฟลว์ โพร โทคอลมาใช้เป็นส่วนหนึ่งสำหรับการคำนวณทราฟฟิค โดยเราสามารถทราบค่าปริมาณข้อมูลที่เข้ามาในแต่ละพอร์ตของสวิตช์ในหน่วยไบต์ได้จากฟิลด์ Bytes ที่อยู่ใน FlowStatReplyMessage ดังแสดงในรูปที่ 4.6

จากนั้นคำนวณปริมาณข้อมูลเฉลี่ย แปลงหน่วยปริมาณข้อมูลเฉลี่ยที่เข้ามาจากหน่วยไบต์ให้เป็นหน่วยบิตและนำไปหารเวลาทั้งหมดที่มีการส่งข้อมูล

4.2.3 การคำนวณปริมาณทราฟฟิคที่เข้ามาในเครือข่าย

เราได้ใช้แพ็กเก็ต FlowStatReplyMessage มาใช้คำนวณปริมาณทราฟฟิคที่เข้ามาในเครือข่ายเช่นกัน โดยเราสามารถดึงค่าจากฟิลด์ Pkts ที่บ่งบอกถึงจำนวนแพ็กเก็ตที่เข้ามาในแต่ละพอร์ตของสวิตช์มาใช้ได้ ดังแสดงในรูปที่ 4.6 จากนั้นนำไปหารเวลาทั้งหมดที่มีการส่งข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

datapath	in-port	destination	out-port	pkts	Bytes
----------	---------	-------------	----------	------	-------

รูปที่ 4.6 ฟิลด์ภายในแพ็กเก็ต FlowStatReplyMessage

ความหมายของฟิลด์ต่างๆภายในแพ็กเก็ต FlowStatReplyMessage เป็นไปตามที่ระบุในตารางที่ 4.2

Datapath	หมายเลขสวิตช์
In-port	หมายเลขพอร์ตขาเข้าของสวิตช์ที่รับแพ็กเก็ตเข้ามา
Destination	MAC Address ของเครื่องปลายทาง
Out-port	หมายเลขพอร์ตขาออกของสวิตช์ที่แพ็กเก็ตถูกส่งออกไป
pkts	จำนวนแพ็กเก็ตที่รับเข้ามา
Bytes	ปริมาณข้อมูลรวมทุกแพ็กเก็ตที่เข้ามา

ตารางที่ 4.2 ความหมายของฟิลด์ต่างๆใน FlowStatReplyMessage

4.3 การเลือกค่าเทรซโฮลด์ที่เหมาะสมกับโครงการ

ค่าเทรซโฮลด์เป็นพารามิเตอร์ที่มีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการเริ่มทำงานของอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่ เพื่อให้ได้ค่าเทรซโฮลด์ที่เหมาะสมกับการทำงานมากที่สุด เราได้ทำการทดลองดังต่อไปนี้

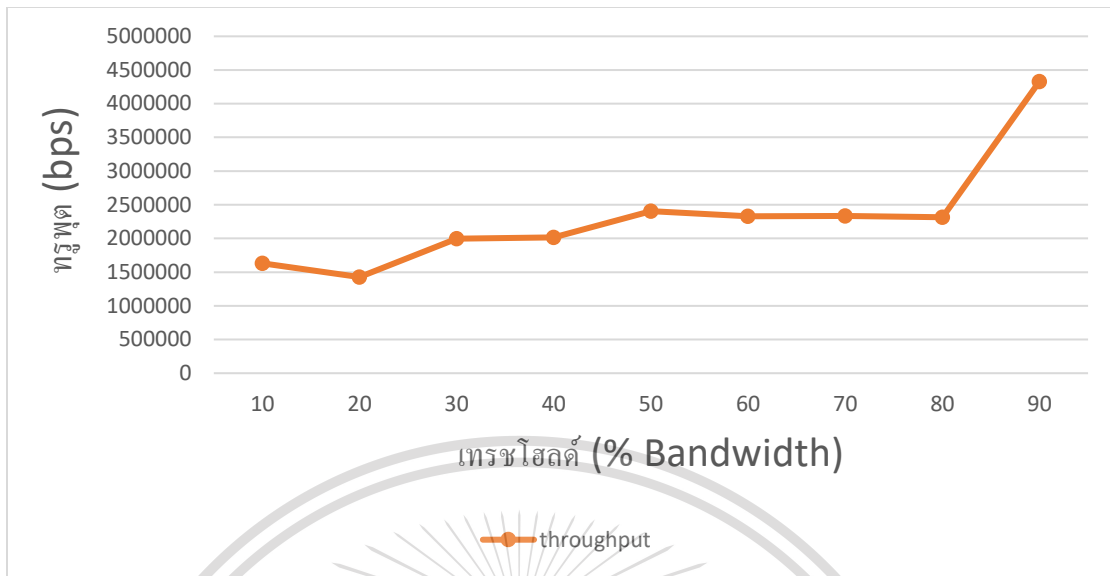
4.3.1 ค่าเทรซโฮลด์ที่เหมาะสมกับระดับทราฟฟิกต่างๆ

เราได้ทำการทดลองปรับจูนค่าเทรซโฮลด์ที่ระดับทราฟฟิกต่ำ กลาง และสูง โดยทำการทดลองกำหนดค่าเทรซโฮลด์เริ่มต้นจาก 10% ของแบนด์วิดท์ หรือ 1 Mbps เพิ่มขึ้นไปจนถึง 90% ของแบนด์วิดท์ หรือ 9 Mbps ผลการทดลองสำหรับระดับทราฟฟิกต่ำเป็นไปตามรูปที่ 4.7 ระดับกลางเป็นไปตามรูปที่ 4.8 และระดับสูงเป็นไปตามรูปที่ 4.9

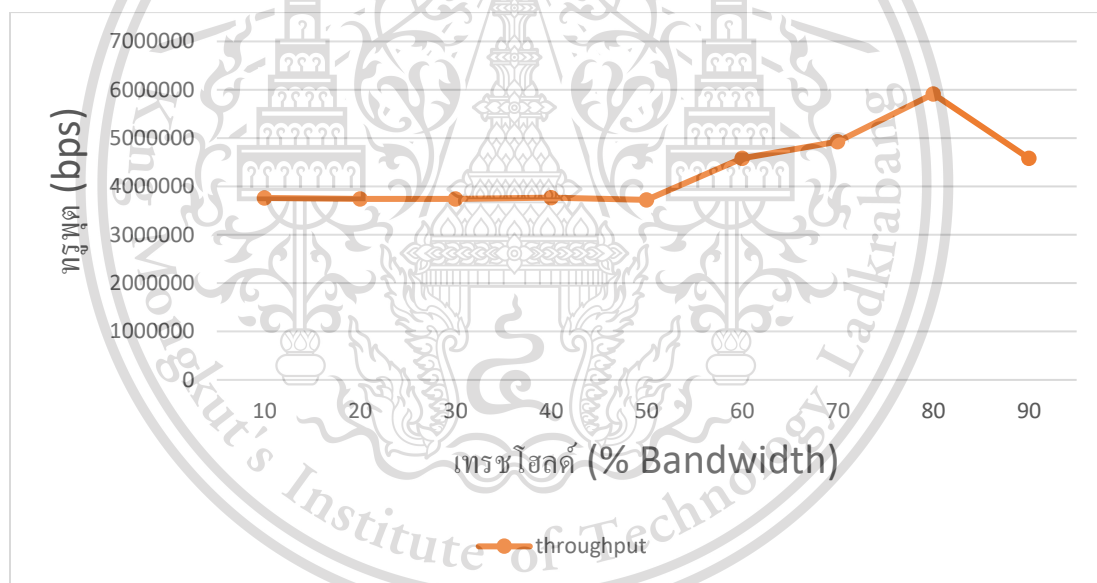
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

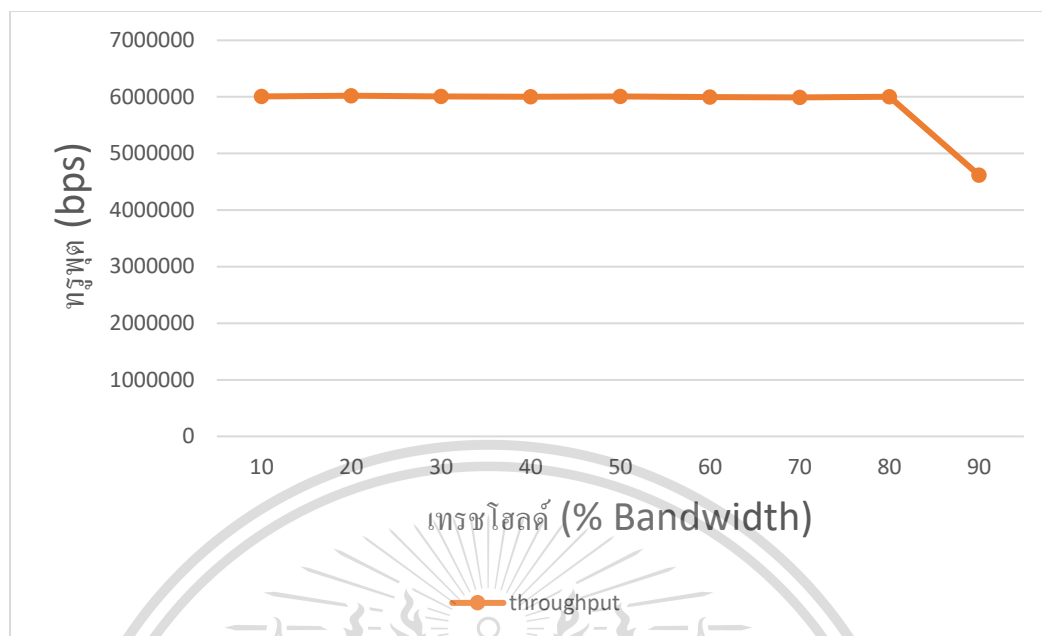


รูปที่ 4.7 ค่าทรูพุตที่ระดับเทรชโฮลด์ต่างๆ ในกราฟฟิกระดับต่ำ



รูปที่ 4.8 ค่าทรูพุตที่ระดับเทรชโฮลด์ต่างๆ ในกราฟฟิกระดับกลาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ค่าทรูพุดที่ระดับเทรชโฮลด์ต่างๆ ในกราฟิกระดับสูง

จากกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.7 4.8 และ 4.9 เราได้วิเคราะห์ว่าค่าเทรชโฮลด์ที่เหมาะสมกับการนำมาใช้ในโครงงาน 3 อันดับแรกได้แก่ ค่าเทรชโฮลด์ที่ 60% 70% และ 80% ของแบนด์วิดท์ โดยเราได้พิจารณาว่าเมื่อกำหนดค่าเทรชโฮลด์ไว้ที่ค่าดังกล่าว ค่าทรูพุดที่วัดได้ในเครือข่ายมีค่าที่สูงในทุกๆระดับกราฟิก

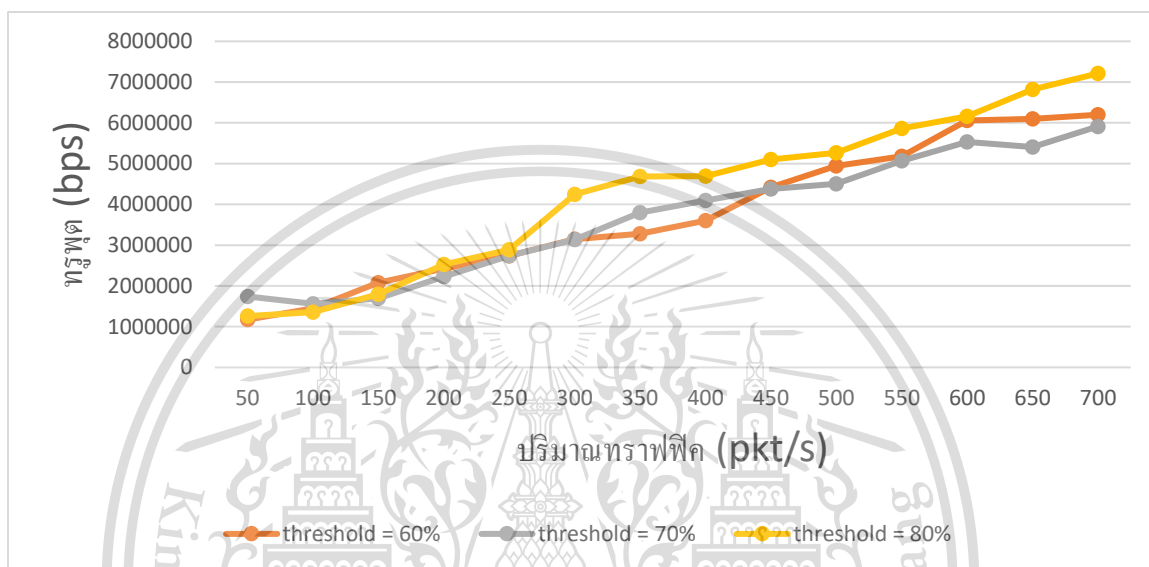
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3.2 ค่าเทรชโฮลด์ที่เหมาะสมกับโครงการงาน

จากค่าเทรชโฮลด์ทั้ง 3 ค่าที่ได้มาจากหัวข้อที่แล้ว เรานำค่าดังกล่าวมาใช้กำหนดค่าเทรชโฮลด์สำหรับการทดลองเพื่อดูประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่เรานำเสนอ และได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบค่าทราฟฟิคเมื่อกำหนดค่าเทรชโฮลด์ที่ 60% 70% และ 80% ของแบนด์วิดท์

จากผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4.10 เราได้เลือกใช้ค่าเทรชโฮลด์ที่ 80% สำหรับการทดลองเนื่องจากสามารถทำให้ค่าทราฟฟิคนั้นขึ้นไปได้สูงกว่าการเลือกเทรชโฮลด์ที่ 60% และ 70% เกือบตลอดช่วงการทดลอง จะเห็นได้ว่ามีจุดที่ค้อยกว่าในช่วงต้นของการทดลองที่ยังมีปริมาณทราฟฟิคในเครือข่ายต่ำเท่านั้น

4.4 การประเมินประสิทธิภาพของโครงการงาน

โครงการงานนี้ได้เลือกใช้ทราฟฟิคสำหรับประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่ โดยเป็นการวัดทราฟฟิครวมของเครือข่าย (bps) เทียบกับปริมาณทราฟฟิคที่เข้ามาในเครือข่าย (pkt/s) หลังจากที่เราได้ทำการวัดประสิทธิภาพของเครือข่ายที่ใช้งานอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่ เราได้นำไปเปรียบเทียบกับเครือข่ายแบบดั้งเดิมที่ไม่มีการใช้งานอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่ และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

อัลกอริทึมจากงานวิจัย “Enhanced Load Balancing and QoS Provisioning Algorithm for a Software Defined Network”

4.4.1 พารามิเตอร์การทดลอง

โครงการนี้ได้ทำการจำลองเครือข่ายสำหรับการส่งข้อมูลตามพารามิเตอร์การทดลอง ดังที่แสดงในตารางที่ 4.2

เอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์	ริวเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ (RYU SDN Controller)
เน็ตเวิร์คฮิวเมเตอร์	มินิเน็ต (Mininet)
จำนวนสวิตช์	6 เครื่อง
จำนวนโฮสต์	6 เครื่อง
แบนด์วิดท์ของลิงก์	10 Mbps
เทรซโฮลด์	8 Mbps (เทียบเท่า 80% Bandwidth)
โอเพนโฟลว์	V1.3
โพรโทคอล	TCP

ตารางที่ 4.3 พารามิเตอร์ที่ใช้สร้างเครือข่ายสำหรับการทดลอง

สำหรับการส่งข้อมูลของโฮสต์ 3 เครื่องอื่น ได้แก่ Host1, Host2 และ Host3 เราได้ทำการกำหนดพารามิเตอร์การส่งข้อมูลในซอฟต์แวร์ D-ITG ตามที่แสดงในตารางที่ 4.4

เครื่องต้นทาง	เครื่องปลายทาง	Inter-Departure time	ขนาดแพ็กเก็ต	โพรโทคอลการสื่อสาร	ระยะเวลา
Host 1	Host 4,5,6	-O ∞	-c 1500	-T TCP	1 นาที
Host 2	Host 4,5,6	-O 200	-c 1500	-T TCP	15 นาที
Host 3	Host 4,5,6	-O 200	-c 1500	-T TCP	15 นาที

ตารางที่ 4.4 พารามิเตอร์สำหรับกำหนดรูปแบบการส่งข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ D-ITG

Host1, Host2 และ Host3 จะสลับเปลี่ยนปลายทางของการส่งข้อมูลไประหว่าง Host4, Host5 และ Host6 ตลอดการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

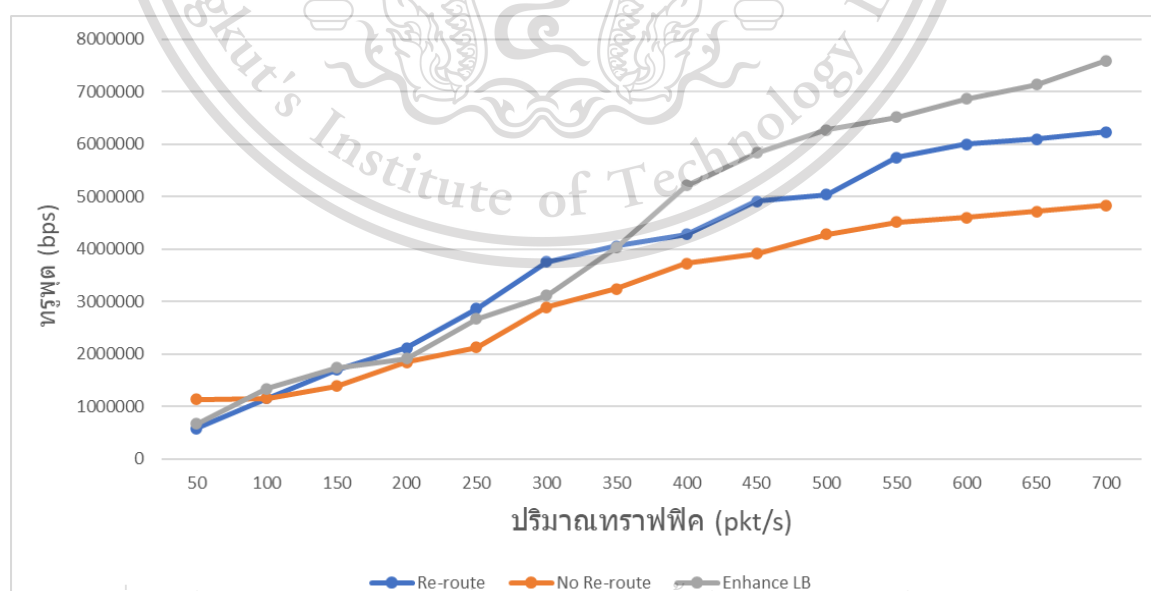
พารามิเตอร์ Inter-Departure Time ของ Host1 มีการกำหนดให้ปรับเปลี่ยนได้ขณะทำการทดลอง โดยค่าของ X จะเริ่มที่ 50 เพิ่มขึ้นทีละ 50 ไปสิ้นสุดที่ 700 เหตุผลที่เราต้องทำการปรับเปลี่ยนค่า Inter-Departure time ของ Host1 ระหว่างการทดลองก็เนื่องมาจากการที่ค่า Inter-Departure time นั้นมีลักษณะที่แปรผันตรงกับปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามาในเครือข่าย ซึ่งเป็นค่าที่เรานำไปใช้สำหรับการวาดกราฟร่วมกับค่าทราฟฟิคเพื่อประเมินประสิทธิภาพของอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่

4.4.2 ภายหลังการทดลอง

ค่าทราฟฟิคและปริมาณทราฟฟิกที่เข้ามาในเครือข่ายจะถูกจัดบันทึกไว้ระหว่างการทดลอง โดยเราได้ใช้รีวิเวสตีเอ็นคอนโทลเลอร์ในการบันทึกค่าดังกล่าวไว้ในไฟล์นามสกุล .csv เก็บเอาไว้ และใช้ git เป็นตัวกลางเพื่อนำออกไฟล์บันทึกผลการทดลองไปสู่ระบบปฏิบัติการวินโดวส์สำหรับการวาดกราฟนำเสนอผลการทดลองต่อไป

4.4.3 ผลการทดลอง

ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของเครือข่ายที่เปิดใช้งานอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่ กับเครือข่ายแบบเดียวกันที่ไม่มีการเปิดใช้งานอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่ และอัลกอริทึมจากงานวิจัย “Enhanced Load Balancing and QoS Provisioning Algorithm for a Software Defined Network” เป็นไปตามกราฟดังแสดงในรูปที่ 4.11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับครูใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 4.11 ผลการเปรียบเทียบระหว่างอัลกอริทึมต่างๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

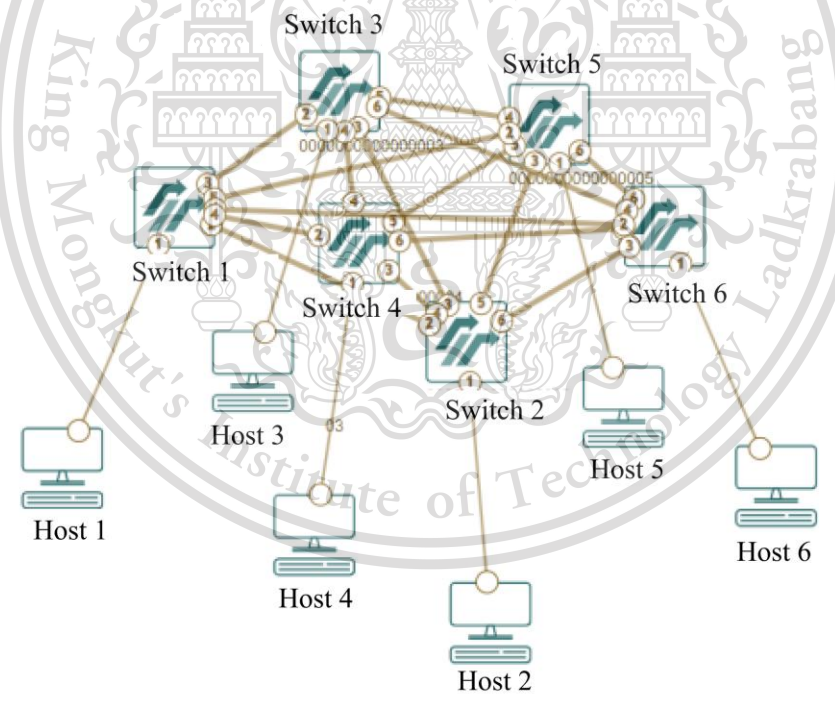
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากกราฟ อธิบายได้ว่าการเปิดใช้งานอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่สามารถช่วยให้ค่าทราฟฟิคโดยรวมในเครือข่ายมีค่าสูงกว่าในกรณีเครือข่ายธรรมดาที่ไม่มีการใช้งานอัลกอริทึมตลอดช่วงการทดลอง แต่เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมจากงานวิจัย “Enhanced Load Balancing and QoS Provisioning Algorithm for a Software Defined Network” แล้ว โดยรวมจะเห็นได้ว่าอัลกอริทึมของเรามีประสิทธิภาพด้านทราฟฟิคที่ดียิ่งกว่า ถึงแม้ว่าจะเหนือกว่าได้เป็นบางจุดในช่วงที่ปริมาณทราฟฟิคในเครือข่ายยังอยู่ในระดับต่ำ

4.4.4 การทดลองเพิ่มเติม

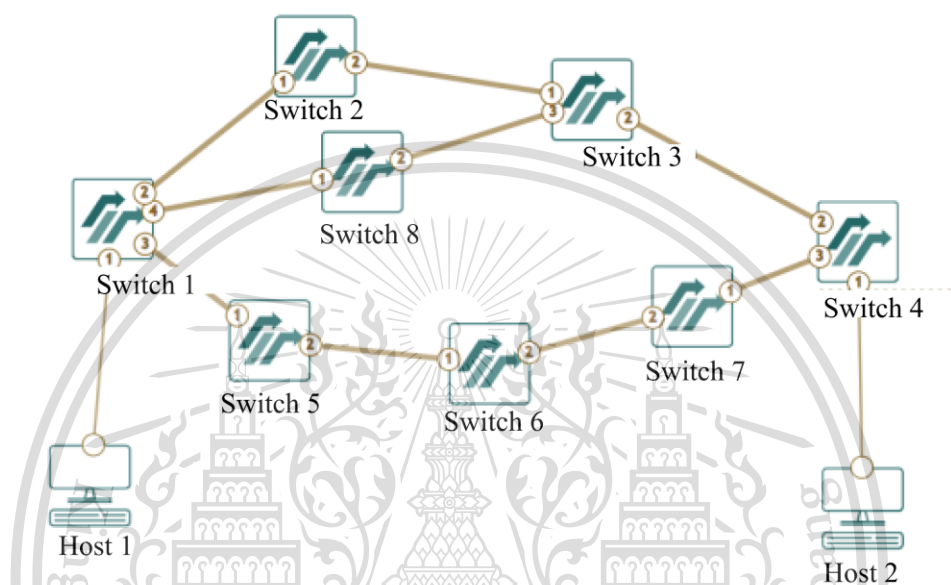
เราได้ทำการทดลองเพิ่มเติม โดยนำอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่ของเราไปทำงานและวัดประสิทธิภาพด้านทราฟฟิคบนโทโพโลยีที่มีลักษณะเชื่อมต่อกันทั้งหมด (Fully-Connected) ดังแสดงในรูปที่ 4.12 และโทโพโลยีที่งานวิจัย “Enhanced Load Balancing and QoS Provisioning Algorithm for a Software Defined Network” ใช้ดังแสดงในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 โทโพโลยีแบบเชื่อมต่อกันทั้งหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการทดลองบนโทโพลยีแบบเชื่อมต่อกันทั้งหมด เรายังคงใช้กระบวนการทดลองแบบเดิม กล่าวคือ Host 1 Host 2 และ Host 3 ทำหน้าที่เป็นเครื่องส่งข้อมูลเช่นเดิม และส่งด้วยพารามิเตอร์การส่งข้อมูลด้วย D-ITG เช่นเดิม



รูปที่ 4.13 โทโพลยีอ้างอิงจากงานวิจัย Enhance Load Balanced

การทดลองบนโทโพลยีที่อ้างอิงจากงานวิจัยตามที่แสดงในรูปที่ 4.13 นั้น เราได้กำหนดให้ Host 2 เป็น โฮสต์สำหรับส่งข้อมูล และ Host 1 เป็น โฮสต์สำหรับรับข้อมูล ซึ่งเราได้อ้างอิงรูปแบบการสื่อสารดังกล่าวตามงานวิจัยต้นฉบับ

เครื่องต้นทาง	เครื่องปลายทาง	Inter-Departure time	ขนาดแพ็กเก็ต	โพรโทคอลการสื่อสาร	ระยะเวลา
Host 2	Host 1	-O X	-c 1500	-T TCP	1 นาที

ตารางที่ 4.5 พารามิเตอร์การส่งข้อมูลด้วยซอฟต์แวร์ D-ITG สำหรับการทดลองเพิ่มเติม

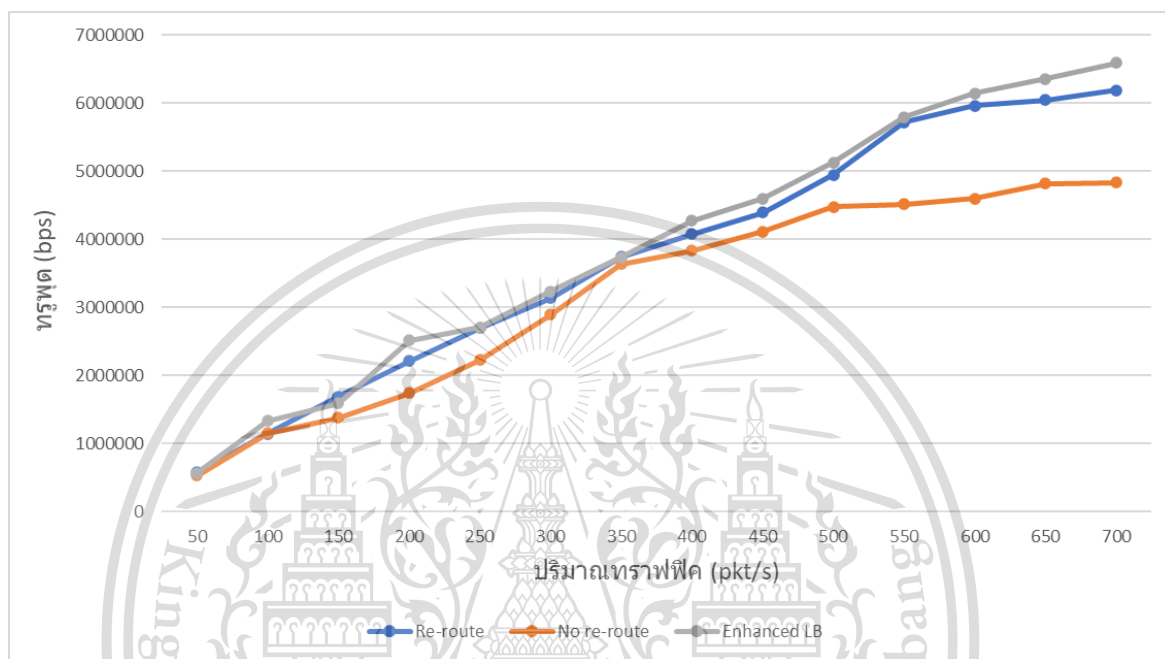
ในการทดลอง เราได้กำหนดค่าของ x ไว้เช่นเดียวกันกับการทดลองก่อนหน้านี้ กล่าวคือ เริ่มต้นที่ 50 เพิ่มขึ้นทีละ 50 ไปสิ้นสุดที่ 700 เช่นเดิม
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4.5 ผลการทดลองเพิ่มเติม

ผลจากการทดลองวัดประสิทธิภาพอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่ บน โทโพโลยีที่มีลักษณะเชื่อมต่อกันหมด ได้ผลดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ผลการทดลองบนโทโพโลยีแบบเชื่อมต่อกันหมด

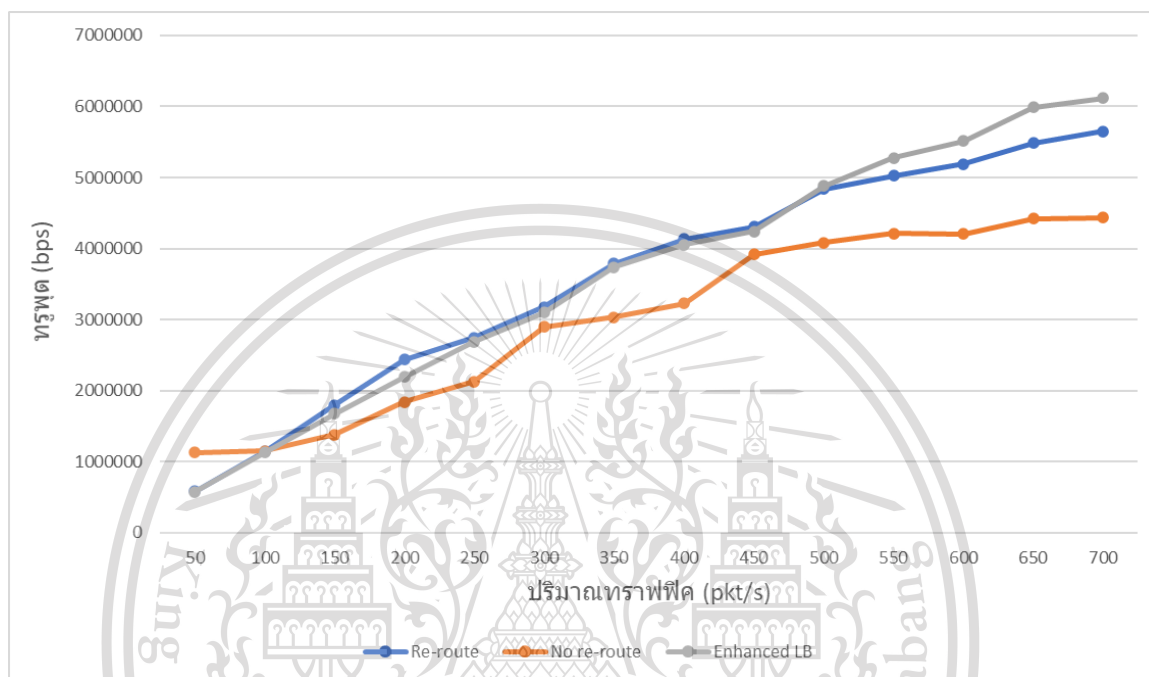
จากกราฟ อธิบายได้ว่าเมื่อปรับโทโพโลยีการทดลองให้มีลักษณะเป็นแบบเชื่อมต่อกันหมด อัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่ของเรายังคงทำงานได้ดีกว่า เครือข่ายแบบธรรมดาที่ไม่มีการใช้งานอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่เช่นเดิม แต่สิ่งที่สังเกตได้เพิ่มเติมคือ อัลกอริทึมของเรามีประสิทธิภาพการทำงานที่ใกล้เคียงกับอัลกอริทึมจากงานวิจัย “Enhanced Load Balancing and QoS Provisioning Algorithm for a Software Defined Network” มากขึ้นกว่าเดิม เราวิเคราะห์ผลได้ว่าเหตุที่อัลกอริทึมของเรามีประสิทธิภาพสูงขึ้น เนื่องมาจากการมีเส้นทางสำรองสำหรับเป็นตัวเลือกในการเปลี่ยนเส้นทางเพิ่มมากขึ้น เมื่อโทโพโลยีมีลักษณะเป็นแบบเชื่อมต่อกันหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ผลจากการทดลองวัดประสิทธิภาพอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่ บน โทโพลยีที่อ้างอิงจากงานวิจัย “Enhanced Load Balancing and QoS Provisioning Algorithm for a Software Defined Network” ได้ผลดังกราฟที่แสดงในรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 ผลการทดลองบนโทโพลยีอ้างอิงจากงานวิจัย Enhance Load Balanced

จากกราฟ สามารถอธิบายได้ว่าเมื่อปรับ โทโพลยีการทดลองให้มีลักษณะอ้างอิงตาม ที่งานวิจัย “Enhanced Load Balancing and QoS Provisioning Algorithm for a Software Defined Network” ได้ใช้ อัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่ของเรายังคงทำงานได้ดีกว่า เครือข่ายแบบธรรมดาที่ไม่มีการใช้งานอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่เช่นเดียวกันกับการทดลองทั้งหมดก่อนหน้านี้ แต่สิ่งที่สังเกตได้เพิ่มเติมคือ อัลกอริทึมของเรามีประสิทธิภาพการทำงานที่ทัดเทียมและเหนือกว่าเล็กน้อย ในช่วงที่ในเครือข่ายมีปริมาณทราฟฟิกระดับต่ำและระดับกลาง แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อในเครือข่ายมีปริมาณทราฟฟิกในระดับสูง อัลกอริทึมของเราที่มีประสิทธิภาพด้านทราฟฟิคที่ค้อยกว่าเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้ เราได้นำเสนอการสรุปผลของการทดลอง การจัดเส้นทางด้วยกลไกการคาดการณ์แบนด์วิดท์ในเครือข่ายเอสดีเอ็น ซึ่งแจ้งถึงปัญหาหลากหลายด้านที่ได้พบตลอดการทำโครงการ และเสนอแนะแนวทางในการพัฒนาโครงการนี้ให้ดียิ่งขึ้นต่อไปในอนาคต

5.1 สรุปผลที่ได้จากการทดลอง

โครงการนี้ได้นำเสนออัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่ (Re-Routing Algorithm) ด้วยกลไกการคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ (Bandwidth Utilization) ในเครือข่ายเอสดีเอ็น (SDN) เราได้นำอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึกประเภท Long-short Term Memory (LSTM) มาใช้ในการคาดการณ์ค่าการใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ของลิงก์ หากค่าที่คาดการณ์นั้นสูงกว่าค่าเทรชโฮลด์ (Threshold) ที่กำหนด วิศวกรคอนโทรลเลอร์ (RYU Controller) จะทำการออกคำสั่งไปยังสวิตช์ให้เปลี่ยนเส้นทางการส่งข้อมูล

จากการทดลองแสดงให้เห็นถึงความสามารถของเทคโนโลยีเอสดีเอ็น ผสมกับอัลกอริทึมการเรียนรู้เชิงลึก (Deep Learning) ที่สามารถช่วยพัฒนาระบบเครือข่ายแบบดั้งเดิม (Traditional Network) ให้มีความสามารถในการส่งข้อมูลที่สูงขึ้น โดยเราได้แสดงให้เห็นผ่านการทดลองส่งข้อมูล และวัดค่าทราฟฟิครวม (Throughput) ของเครือข่าย ซึ่งได้ผลออกมาว่า เมื่อเพิ่มปริมาณทราฟฟิคที่เข้ามาในเครือข่ายอย่างต่อเนื่อง เครือข่ายที่มีการเปิดใช้งานอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่จะมีค่าทราฟฟิคที่สูงกว่าเครือข่ายที่ไม่มีการเปิดใช้งานอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางใหม่ ดังแสดงในรูปที่ 4.11 แต่อย่างไรก็ตามโดยรวมแล้วอัลกอริทึมการจัดเส้นทางด้วยกลไกการคาดการณ์แบนด์วิดท์ของเรายังด้อยกว่าอัลกอริทึมจากงานวิจัย “Enhanced Load Balancing and QoS Provisioning Algorithm for a Software Defined Network” แต่จากการทดลองกับโทโพโลยีรูปแบบอื่นๆเพิ่มเติม เราสามารถแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมการเลือกเส้นทางของเรา มีประสิทธิภาพด้านทราฟฟิคที่ใกล้เคียงกับอัลกอริทึมจากงานวิจัยที่เราอ้างอิงมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.2 ปัญหาที่พบ

5.2.1 การขาดแหล่งความรู้ทำให้เกิดความยากในการศึกษา

ด้วยเทคโนโลยีเอสดีเอ็นเป็นเทคโนโลยีที่ค่อนข้างใหม่ และยังอยู่ในช่วงของการศึกษาและพัฒนา ยังไม่มีการนำไปใช้งานจริงเป็นวงกว้าง มีการใช้งานจริงอยู่แค่ภายในวงแคบๆของบริษัท ระดับโลกขนาดใหญ่เท่านั้น ทำให้การค้นคว้าหาความรู้ของเอสดีเอ็นในเชิงปฏิบัติและการทดลอง เป็นไปด้วยความยากลำบาก การหาความรู้บนโลกอินเทอร์เน็ตมักพบแต่เพียงทฤษฎีต่างๆของเอสดีเอ็น การเข้าถึงความรู้ด้านการทดลองการใช้งานเอสดีเอ็นมักหาได้เพียงเฉพาะจากการศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และคู่มือการใช้อุปกรณ์เบื้องต้น (Document) ที่จัดทำขึ้นโดยผู้พัฒนา

5.2.2 การลองผิดลองถูกกับอุปกรณ์หลายอย่างทำให้เริ่มต้นโครงการได้ช้า

สืบเนื่องจากปัญหาในข้อที่ 5.2.1 ในช่วงต้นของการทำโครงการนี้ เราได้ทดลองใช้อุปกรณ์ไปหลากหลายตัว เนื่องจากเราไม่รู้ว่าจะงานในลักษณะต่างๆ ควรที่จะใช้อุปกรณ์ หรือซอฟต์แวร์ ตัวไหนจึงจะดีกว่ากัน และด้วยปัญหาที่ว่าขาดแหล่งข้อมูลที่แพร่หลาย ทำให้เราจำเป็นต้องลองผิดลองถูกกับซอฟต์แวร์ไปหลายตัว เช่น ในช่วงต้นของการศึกษาโครงการ เราได้ใช้ซอฟต์แวร์ GNS3 สำหรับการสร้างเครือข่ายจำลองขึ้นมา ด้วยเหตุที่ว่าเป็นซอฟต์แวร์ที่ได้รับความนิยม และสามารถใช้งานร่วมกับซอฟต์แวร์อย่างเอสดีเอ็นคอนโทรลเลอร์ (SDN Controller) มินิเน็ต (Mininet) อย่างที่เราใช้ในโครงการนี้ แต่ก็พบปัญหาที่ GNS3 มีการใช้ทรัพยากรเครื่องที่สูงมาก ทำให้ต้องเปลี่ยนวิธีการทำโครงการไป

5.2.3 ข้อจำกัด และขีดจำกัดของทราฟฟิกเจเนเรเตอร์

ซอฟต์แวร์ D-ITG ซึ่งเป็นทราฟฟิกเจเนเรเตอร์ (Traffic Generator) ที่เราใช้มีขีดความสามารถในการส่งข้อมูลที่น้อยเกินไป ในตอนแรกโครงการของเราได้ตั้งค่าแบนด์วิดท์ของลิงค์ให้อยู่ที่ 100 Mbps ซึ่งสอดคล้องกับเทคโนโลยีฟาสท์อีเทอร์เน็ต (Fast Ethernet) แต่ D-ITG ไม่สามารถส่งการให้โหนดส่งข้อมูลมากในระดับที่จะทำให้การใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์ (Bandwidth Utilization) สูงขึ้นไปถึงระดับเทรชโฮลด์ (Threshold) ที่เรากำหนด ส่งผลให้เราต้องปรับลดแบนด์วิดท์ของลิงค์ลงมาเหลือเพียง 10 Mbps แต่ทั้งนี้เราเข้าใจได้ว่าหากซอฟต์แวร์ D-ITG ไม่จำกัดขีดความสามารถเอาไว้ ก็อาจทำให้คอมพิวเตอร์ของเรามีการทำงานที่หนักเกินไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

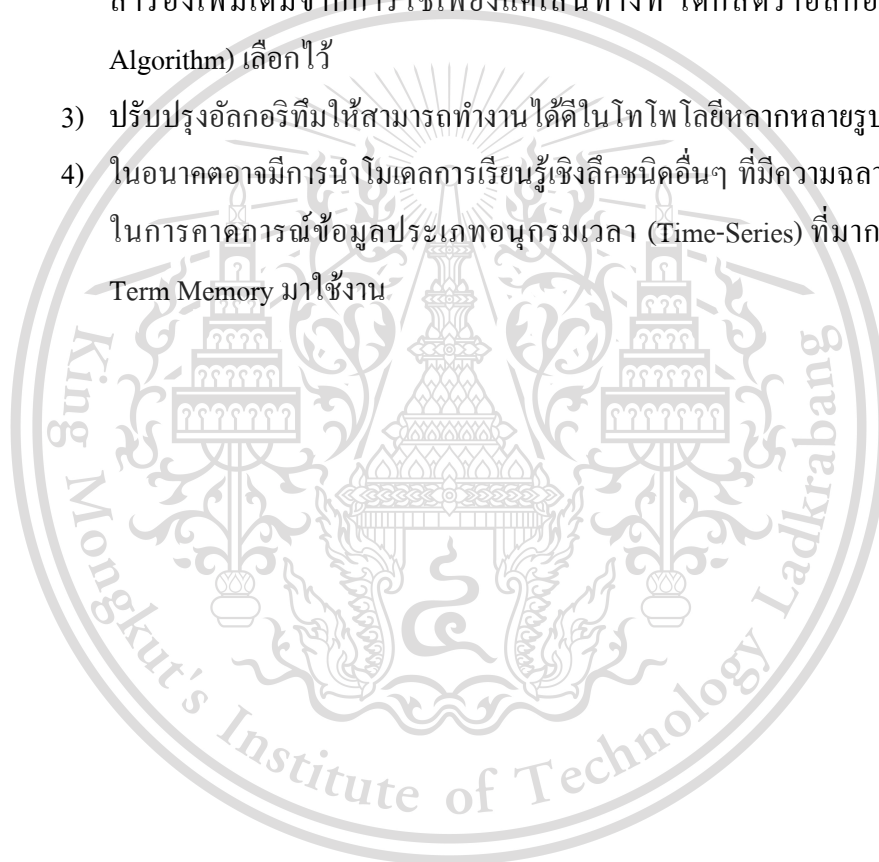
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

5.3 แนวทางการพัฒนาต่อ

จากการทำโครงการ การจัดเส้นทางด้วยกลไกการคาดการณ์แบนด์วิดท์ในเครือข่ายเอสดีเอ็น เราได้เรียนรู้จากข้อผิดพลาด และวางแผนถึงการพัฒนาต่อไปดังนี้

- 1) นำอัลกอริทึมการจัดเส้นทางด้วยกลไกการคาดการณ์แบนด์วิดท์ไปใช้กับอุปกรณ์เครือข่ายจริง ที่ไม่ได้เป็นเพียงอุปกรณ์จำลอง
- 2) ในการเลือกเส้นทางใหม่ อาจมีการพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเครือข่าย เช่น บัฟเฟอร์ ค่าการใช้ประโยชน์คิว (Queue Utilization) เป็นปัจจัยการเลือกเส้นทางสำรองเพิ่มเติมจากการใช้เพียงแค่เส้นทางที่ โดijkstra อัลกอริทึม (Dijkstra's Algorithm) เลือกไว้
- 3) ปรับปรุงอัลกอริทึมให้สามารถทำงานได้ดีในโทโพลยีหลากหลายรูปแบบ
- 4) ในอนาคตอาจมีการนำโมเดลการเรียนรู้เชิงลึกชนิดอื่นๆ ที่มีความฉลาด มีความแม่นยำในการคาดการณ์ข้อมูลประเภทอนุกรมเวลา (Time-Series) ที่มากกว่า Long-Short Term Memory มาใช้งาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

- [1] Artificial Neural Network Based Load Balancing On Software Defined Networking <https://ieeexplore.ieee.org/document/8951365>
- [2] Haipeng Yao ; Xin Yuan ; Peiying Zhang ; Jingjing Wang ; Chunxiao Jiang ; Mohsen Guizani “Machine Learning Aided Load Balance Routing Scheme Considering Queue Utilization”, IEEE, 2019 <https://ieeexplore.ieee.org/document/8733872>
- [3] R. Dahlia Devapriya ; S. Indira Gandhi “Enhanced Load Balancing and QoS Provisioning Algorithm for a Software Defined Network”,IEEE,2020 <https://ieeexplore.ieee.org/document/9077801>
- [4] Manel Majdoub ; Ali El Kamel ; Habib Youssef “Routing Optimization in SDN using Scalable Load Prediction”, IEEE, 2020 <https://ieeexplore.ieee.org/document/9044960>
- [5] Kuldeep Kurroliya ; Sagarika Mohanty ; Khushboo Kanodia ; Bibhudatta Sahoo “Grey Wolf Aware Energy-saving and Load-balancing in Software Defined Networks Considering Real Time Traffic”, IEEE, 2020 <https://ieeexplore.ieee.org/document/9112569>
- [6] Diego Kreutz, Member, IEEE, Fernando M. V. Ramos, Member, IEEE, Paulo Verissimo, Fellow, IEEE, Christian Esteve Rothenberg, Member, IEEE, Siamak Azodolmolky, Senior Member, IEEE, and Steve Uhlig, Member, IEEE, “Software-Defined Networking: A Comprehensive Survey” ,IEEE, 2014
- [7] รู้จักกับ Software-defined Network(SDN) <https://www.blognone.com/node/56144>
- [8] Tony Bourke, “Server Load Balancing” , 1st Edition, United States of America: O’Reilly, 2001
- [9] Cloud Computing – Load Balancing <https://www.youtube.com/watch?v=zaLJ6SIHztk>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [10] Truong Thu Huong ; Ngo Do Dang Khoa ; Nguyen Xuan Dung ; Nguyen Huu Thanh, “A global multipath load-balanced routing algorithm based on Reinforcement Learning in SDN” , IEEE, 2019
- [11] สร้าง AI ให้รู้ลึก รู้จริง ! ทำความรู้จักว่า Deep Learning คืออะไร <https://blog.pttexpresso.com/get-to-know-deep-learning/>
- [12] Deep Learning คืออะไร? <https://new.abb.com/news/detail/58004/deep-learning>
- [13] Ali Malik ; Ruairi de Fréin ; Mohammed Al-Zeyadi ; Javier Andreu-Perez “Intelligent SDN Traffic Classification Using Deep Learning: Deep-SDN”, 2020 2nd International Conference on Computer Communication and the Internet (ICCCI)
- [14] Routing Protocol by Mr.Jodoi <http://www.jodoi.org>
- [15] Routing คืออะไร <http://prapapron2131.blogspot.com/2009/08/routing.html>
- [16] แนวทางการเลือกใช้ routing protocol ภายในองค์กร (IGP) ในมุมมองของ โกะ-ชัยวัฒน์ <https://www.bloggang.com/viewdiary.php?id=likecisco&month=08-2015&date=31&group=3&gblog=52>
- [17] Packet Queuing and Dropping in Routers <https://www.geeksforgeeks.org/packet-queuing-and-dropping-in-routers/>
- [18] Yi-Ren Chen ; Amir Rezapour ; Wen-Guey Tzeng ; Shi-Chun Tsai “RL-Routing: An SDN Routing Algorithm Based on Deep Reinforcement Learning”, IEEE, 2020
- [19] Siamak Azodolmolky, “Software Defined Networking with OpenFlow” 1st Edition, Birmingham : PACKT Publishing, 2013
- [20] Leonardo de Carvalho Freitas Padilha Aguilar, “Analysis of the use of SDN for load balancing” , Sao Paolo, 2018

เอกสารนี้เป็น [21] OpenFlow/SDN คืออะไร <https://krisachai.wordpress.com/2013/11/25/openflowsdn-คืออะไร/> การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- [22] The basics of SDN and the OpenFlow Network Architecture <https://noviflow.com/the-basics-of-sdn-and-the-openflow-network-architecture/>
- [23] Iman Akbari, “SDN part 1: What is Software-defined Networking (SDN) and why should I know about it?” <https://medium.com/@blackvine/sdn-part-1-what-is-software-defined-networking-sdn-and-why-should-i-know-about-it-e73a250ceccd>
- [24] “Software-defined network” แนวคิดของ network แบบใหม่ ใจโลจริงเปล่าา <https://medium.com/oeufhp/software-defined-network-แนวคิดของ-network-แบบใหม่-ใจโลจริงเปล่าา-805c7046ae9>
- [25] Mindaugas Rimavičius, “Software Defined Network” <https://medium.com/noia/software-defined-network-572b1deeabb>
- [26] Routing Protocol https://th.wikipedia.org/wiki/Routing_Protocol
- [27] บทที่ 16 Lab Static Route https://www.jodoi.com/book/Static_Route_lab_jodoi.pdf
- [28] การจัดเส้นทางแบบพลวัต Dynamic Routing <http://blog.bru.ac.th/wp-content/uploads/bp-attachments/12690/CH11-Dynamic-Routing.pdf>
- [29] Deep Learning คืออะไร? <https://www.thaiprogrammer.org/2018/12/deep-learning-%E0%B8%84%E0%B8%B7%E0%B8%AD%E0%B8%AD%E0%B8%B0%E0%B9%84%E0%B8%A3/>
- [30] [ML] LSTMs แบบ (เกือบ) ละเอียดยิบๆ <https://medium.com/@tongkornkitt/ml-lstms-แบบ-เกือบ-ละเอียดยิบๆ-a3a55cd37883>
- [31] เราเตอร์ <https://th.wikipedia.org/wiki/เราเตอร์>
- [32] การสูญเสียแพ็กเก็ต: การตรวจสอบและแก้ไข <https://th.geekmarkt.com/packet-loss-checking-it>
- [33] How to fix Packet Loss for good <https://www.comparitech.com/net-admin/how-to-fix-packet-loss/>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 [34] Bandwidth <https://www.nstda.or.th/th/nstda-knowledge/3020-bandwidth>
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.