การเปรียบเทียบการใช้ทรัพยากรเครือข่ายระหว่าง อัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์และอัลกอริทึมลิงค์สเทต

COMPARISON OF NETWORK RESOURCE USAGE BETWEEN DISTANCE VECTOR ALGORITHM AND LINK STATE ALGORITHM

พัฒนะ วรรณวิไล

PATTANA WANVILAI

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2545

ISBN 974-9546-63-6

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การเปรียบเทียบการใช้ทรัพยากรเครือข่ายระหว่าง อัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์และอัลกอริทึมลิงค์สเทต

COMPARISON OF NETWORK RESOURCE USAGE BETWEEN DISTANCE VECTOR ALGORITHM AND LINK STATE ALGORITHM

T064111

พัฒนะ วรรณวิไล

PATTANA WANVILAI

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 64111
วัน,เดือน,ปี - 4 ก.ย. 2549

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ
บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พ.ศ. 2545

ISBN 974-9546-63-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COMPARISON OF NETWORK RESOURCE USAGE BETWEEN DISTANCE VECTOR ALGORITHM AND LINK STATE ALGORITHM

PATTANA WANVILAI

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE PROGRAM IN INFORMATION TECHNOLOGY

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2002

ISBN 974-9546-63-6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2002

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบการใช้ทรัพยากรเครือข่ายระหว่างอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์และอัลกอริทึมลิงค์สเทต

COMPARISON OF NETWORK RESOURCE USAGE BETWEEN DISTANCE VECTOR ALGORITHM AND LINK STATE ALGORITHM

ชื่อนักศึกษา นายพัฒนะ วรรณวิไล

รหัสประจำตัว 39067030

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ

อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์ ดร.จันทร์บูรณ์ สถิตวิริยวงศ์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.จันทร์บูรณ์	สถิตวิริยวงศ์	
รศ.ดร.รัตติกร	วรากูลศิริพันธุ์	
รศ.ดร.วิเชียร	เปรมชัยสวัสดิ์	
อาจารย์อัครินทร์	คุณกิตติ	

วัน/เดือน/ปี ที่สอบ 20 พฤษภาคม 2545 **เวลา** 10.00 น. **เป็นต้นไป**

สถานที่สอบ ณ ห้อง M21 (ชั้นลอย) คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

บัณฑิตวิทยาลัยรับรองแล้ว

(รศ.ดร.บุญวิเชษ อิตชู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ 21 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบการใช้ทรัพยากรเครือข่ายระหว่างอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์และอัลกอริทึมลิงค์สเทต
นักศึกษา	นายพัฒนะ วรรณวิไล
รหัสประจำตัว	39067030
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
พ.ศ.	2545
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	ดร.จันทร์บูรณ์ สถิตวิริยวงศ์

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอเกี่ยวกับการประเมินประสิทธิการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายโดยประยุกต์ใช้อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง อัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้ง และอัลกอริทึมลิงค์เทต อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งสามารถกำจัดปัญหาพื้นฐานของอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์ได้ ส่วนอัลกอริทึมที่สองพัฒนาจากอัลกอริทึมแรกเพื่อกำจัดลูบในทุกกรณี การประเมินประสิทธิภาพใช้มาตรวัดประสิทธิภาพที่สำคัญได้แก่ ความหน่วงเวลาของการโอนย้ายแพ็กเก็ต ทรูพุทเครือข่าย โอกาสที่แพ็กเก็ตที่จะสูญหาย และ เปอร์เซ็นต์ของโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทาง เครือข่ายที่นำมาใช้ประเมิน คือ NSFNET-T1 และกำหนดค่าใช้จ่ายของเส้นทางในเครือข่ายด้วยฟังก์ชั่นหน่วงเวลาที่ใช้ฮ็อบเป็นบรรทัดฐาน

ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพของการค้นหาเส้นทางไม่ขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางเดินที่นำมาประยุกต์ใช้ซึ่งเป็นอัลกอริทึมคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด แต่ขึ้นอยู่กับคาบเวลาของการค้นหาเส้นทางเป็นหลัก โดยเฉพาะความหน่วงเวลาของการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Comparison of Network Resource Usage Between Distance Vector Algorithm and Link State Algorithm
Student	Mr. Pattana Wanvilai
Student ID.	39067030
Degree	Master of Science
Programme	Information Technology
Year	2002
Thesis Advisor	Dr. Chanboon Sathiwiriyawong

ABSTRACT

This thesis presents the evaluation of routing performance in network, which is implemented by the Path Finding Algorithm (PFA), the Loop Free Path Finding Algorithm (LPA) and the Link State Algorithm (LSA). PFA can be eliminated basic problem of the Distance Vector Algorithm. LPA, which is developed from PFA, achieves loop freedom at every instant. The routing performance evaluation uses the most important performance metrics such as the data packet transfer delay, the network throughput, the probability of packet loss and the percent of routing overhead. The network for the evaluation study is NSFNET-T1, whereas the function for determining the cost of routing is the Hop Normalized Delay Function.

The simulation results conclude that routing performance does not depending on the minimum cost path routing algorithm basis of routing. But it depends on routing period, especially data packet transfer delay.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดีด้วยเพราะบุคคลเหล่านี้ ผู้วิจัยจึงขอกราบขอบพระคุณและขอขอบคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณบิดาและมารดาอย่างสูงสุด ผู้ซึ่งให้ทุกสิ่งทุกอย่างทั้งกำลังกาย สติปัญญา และการอบรมเลี้ยงดูที่ดี ตลอดจนสนับสนุนกำลังทรัพย์มาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณพี่สาวทั้งสองคนของข้าพเจ้าเป็นอย่างสูง ผู้ซึ่งให้การดูแลเอาใจใส่ให้คำปรึกษา และเป็นกำลังใจเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ขอกราบขอบพระคุณ ดร. จันทร์บูรณ์ สถิตวิริยวงศ์ ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นอย่างสูง ผู้ซึ่งให้แนวทาง คำแนะนำ คำปรึกษา และการดูแลเอาใจใส่ที่ดีมากทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี

ขอขอบคุณ คุณ ยุวพร ชมภูนุชประภา ผู้ซึ่งให้คำปรึกษาและเป็นกำลังใจที่ดีมากจนทำให้วิทยานิพนธ์นี้สามารถดำเนินการจนสำเร็จลุล่วงได้

ขอขอบคุณเพื่อนทุกคนในรุ่น IS2 ทุกคนโดยเฉพาะ คุณวรางคณา เงินแก้ว ที่ให้คำปรึกษากำลังใจ และความช่วยเหลือที่ดีตลอดการทำวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้

สุดท้าย ขอขอบคุณพี่และเพื่อน ๆ ทุกคนที่ให้คำปรึกษา กำลังใจ และช่วยเหลือในการทำให้วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี

พัฒนะ วรรณวิไล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VI

สารบัญรูป VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 1

1.3 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย 2

1.4 ขั้นตอนของการวิจัย 3

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.6 เนื้อหาในวิทยานิพนธ์ 4

บทที่ 2 อัลกอริทึมค้นหาเส้นทาง 5

2.1 การพัฒนาของอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์ 5

2.2 การพัฒนาของอัลกอริทึมลิงค์สเทต 12

บทที่ 3 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางในเครือข่าย 14

3.1 ข้อสมมติและข้อกำหนดเกี่ยวกับการค้นหาเส้นทางในเครือข่าย 14

3.2 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง 16

3.2.1 การจัดเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง 18

3.2.2 รูปแบบ ประเภท และรายละเอียดของเมสเซจ 19

3.2.3 รายละเอียดของการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง 21

3.3 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้ง 26

3.3.1 การจัดเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง 26

3.3.2 รูปแบบ ประเภท และรายละเอียดของเมสเซจ 26

3.3.3 รายละเอียดของการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้ง 27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.4 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมลิงค์สเทต 31

3.3.1 การจัดเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง 32

3.3.2 รูปแบบ ประเภท และรายละเอียดของเมสเซจ 33

3.3.3 รายละเอียดของการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมลิงค์สเทต 34

บทที่ 4 การประเมินประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทาง 38

4.1 การวางกำหนดเป้าหมายและขอบเขตระบบ 38

4.2 การกำหนดรายการการให้บริการของระบบและความคาดหวังที่จะเกิดขึ้น 39

4.3 การเลือกมาตรวัดประสิทธิภาพ 39

4.4 การกำหนดรายการพารามิเตอร์ของระบบและภาระงาน 40

4.5 การเลือกเฟกเตอร์และค่าที่เป็นไปได้ 41

4.6 เทคนิคการประเมินประสิทธิภาพ 41

บทที่ 5 การออกแบบแบบจำลองเครือข่าย 42

5.1 องค์ประกอบแบบจำลองเครือข่าย 43

5.1.1 โหนด 43

5.1.2 เครือข่ายย่อย 45

5.1.3 เส้นทางเชื่อมโยง 46

5.1.4 อัลกอริทึมค้นหาเส้นทาง 47

5.1.5 แพ็กเก็ต 47

5.2 การเริ่มต้นการทำงานของเครือข่าย 48

5.3 การล้มเหลวและการคืนกลับขององค์ประกอบ 50

5.4 การจำลองแบบด้วย MODSIM III 50

บทที่ 6 ผลการจำลองแบบและวิเคราะห์ประสิทธิภาพ 52

6.1 การกำหนดรายละเอียดขอพารามิเตอร์ของภาระงาน 52

6.2 การออกแบบการทดลองและผลการจำลองแบบ 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 7 บทสรุป และข้อเสนอแนะ 64

เอกสารอ้างอิง 66

ภาคผนวก 68

ภาคผนวก ก. ตัวแบบจำลองสำหรับการประเมินประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทาง 69

ภาคผนวก ข. ฟังก์ชั่นหน่วงเวลาที่ใช้ฮิอบเป็นบรรทัดฐาน 71

ภาคผนวก ค. บทความและผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ 73

ประวัติผู้เขียน 83

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

5.1 องค์ประกอบ พารามิเตอร์ และค่าที่เป็นไปได้ภายในแบบจำลองเครือข่าย 48

6.1 พารามิเตอร์ของแบบจำลองเครือข่ายสำหรับการจำลองแบบ 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์เบื้องต้น 7

2.2 การเกิดปัญหาของอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์ 8

2.3 การเกิดลูบชั่วคราวของข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทาง 10

2.4 การป้องกันการเกิดลูบแบบชั่วคราวของข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทาง 11

2.5 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมลิงค์สเทตเบื้องต้น 13

3.1 การค้นหาเส้นทางของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งในกราฟเชื่อมโยง 17

3.2 การตรวจสอบเส้นทางของอัลกริทึมพาธไฟน์ดิ้ง 17

3.3 การค้นหาเส้นทางของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งภายในเครอข่าย 18

3.4 ตารางจัดเก็บข้อมูลของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง 19

3.5 รายละเอียดเมสเซจสำหรับการค้นหาเส้นทางของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง 20

3.6 รายละเอียดของการเริ่มต้นการค้นหาเส้นทางใหม่ของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง 21

3.7 การติดต่อแลกเปลี่ยนเมสเซจระหว่างโหนดที่เริ่มต้นทำงานกับโหนดข้างเคียงของ.....
อัลอริทึมค้นหาพาธไฟน์ดิ้ง 22

3.8 การทำงานตามคาบเวลาของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง 23

3.9 การปรับปรุงค่าใช้จ่ายของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง 23

3.10 การทำงานทุกวินาทีของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง 24

3.11 การทำงานตามเมสเซจของการค้นหาเส้นทางที่ได้รับของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง 25

3.12 การปรับปรุงค่าใช้จ่ายของอัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้ง 28

3.13 การทำงานทุกวินาที่ของอัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้ง 29

3.14 การทำงานตามเมเซจที่ได้รับของอัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้ง 31

3.15 ตารางจัดเก็บข้อมูลของอัลกอริทึมลิงค์สเทต 33

3.16 รายละเอียดเมสเซจของอัลกอริทึมลิงค์สเทต 34

3.17 รายละเอียดการเริ่มต้นการทำงานของอัลกอริทึมลิงค์สเทต 35

3.18 การทำงานตามคาบเวลาของอัลกอริทึมลิงค์สเทต 35

3.19 การทำงานทุกวินาทีของอัลกอริทึมลิงค์สเทต 36

3.20 การทำงานทุกวินาทีของอัลกอริทึมลิงค์สเทต 37

5.1 แบบจำลองเครือข่ายที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาเส้นทาง 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

5.2 สถาปัตยกรรมภายในของโหนด 44

5.3 การส่งเฟรมตอบรับของเส้นทางเชื่อมโยง 47

6.1 โทโปโลยี NSFNET-T1 54

6.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของกราฟค่าเฉลียกลางและช่วงค่าความเชื่อมั่น..... 55

6.3 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงคาบเวลค้นหาเส้นทางกับความหน่วงเวลา ..
ของการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูล 57

6.4 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงคาบเวลค้นหาเส้นทางกับทรูพุทเครือข่าย .. 57

6.5 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงคาบเวลค้นหาเส้นทางกับโอกาสการ .....
สูญหายของแพ็กเก็ต 58

6.6 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงคาบเวลค้นหาเส้นทางกับโอเวอร์เฮด.....
ของการค้นหาเส้นทาง 59

6.7 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงภาระงานของเครือข่ายย่อยปลายทางกับ ...
ความหน่วงวลาของการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูล 60

6.8 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงภาระงานของเครือข่ายย่อยปลายทางกับ ...
ทรูพุทเครือข่าย 61

6.9 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงภาระงานของเครือข่ายย่อยปลายทางกับ ...
โอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล 61

6.10 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงภาระงานของเครือข่ายย่อยปลายทางกับ .
โอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทาง 63

ก.1 หน้าจอเริ่มต้นของตัวแบบจำลอง 70

ก.2 หน้าจอตัวแบบจำลองขณะจำลองแบบ 70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การค้นหาเส้นทาง (Routing) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญมากอย่างหนึ่งในเครือข่ายโดยมีผลกระทบต่อเส้นทางที่ใช้สำหรับการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลจากเครือข่ายย่อยต้นทางไปยังเครือข่ายย่อยปลายทาง การค้นหาเส้นทางที่ดี นอกจากจะต้องกำหนดเส้นทางที่ดีสำหรับการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลซึ่งจะทำให้การส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลเป็นไปได้อย่างรวดเร็ว ส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลได้เป็นจำนวนมาก และมีโอกาสการสูญหายต่ำแล้ว การค้นหาเส้นทางซึ่งเป็นหน้าที่เพิ่มเติมในเครือข่ายจะต้องใช้ทรัพยากรเครือข่ายหรือเพิ่มภาระงานให้กับเครือข่ายให้น้อยที่สุดด้วย

อัลกอริทึมค้นหาเส้นทาง (Routing Algorithm) เป็นองค์ประกอบที่มีความสำคัญมากของการค้นหาเส้นทางซึ่งมีผลต่อทั้งเส้นทางที่ใช้ในการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลและการใช้ทรัพยากรเครือข่าย อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง (Path Finding Algorithm) และอัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้ง (Loop Free Path Finding Algorithm) เป็นสองอัลกอริทึมที่คิดค้นขึ้นใหม่โดยสามารถกำจัดปัญหาพื้นฐานของอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์ (Distance Vector Algorithm) อัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้งพัฒนาต่อมาจากอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งให้ปราศจากลูบในทุกกรณี ด้วยความแตกต่างของทั้งสองอัลกอริทึมการประยุกต์ใช้จึงน่าจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของการค้นหาเส้นทางที่แตกต่างกันด้วย

ด้วยประเด็นดังกล่าว ในวิทยานิพนธ์นี้จึงนำเสนอการประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางที่ประยุกต์ใช้อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งและอัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้งสำหรับการค้นหาเส้นทางแบบปรับตัวกระจาย (Distributed Adaptive Routing) ในเครือข่าย นอกจากนี้ยังได้เปรียบเทียบกับอัลกอริทึมลิงค์สเทต (Link State Algorithm) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมอีกประเภทหนึ่งที่มีรายละเอียดการค้นหาเส้นทางแตกต่างกันอย่างชัดเจน และอีกประเด็นหนึ่ง คือ การประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางเมื่อคาบเวลาค้นหาเส้นทางเปลี่ยนแปลงซึ่งคาบเวลานี้เป็นปัจจัยสำคัญของการค้นหาเส้นทางแบบกระจายการปรับตัวในเครือข่าย

1.2 วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์นี้มีดังนี้

1. เพื่อศึกษารายละเอียดและแนวทางการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง และอัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้งสำหรับค้นหาเส้นทางแบบกระจายการปรับตัวในเครือข่าย
2. เพื่อพัฒนาแบบจำลองของการค้นหาเส้นทางในเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. เพื่อประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายที่ประยุกต์ใช้อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง อัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้ง และอัลกอริทึมลิงค์สเทต ด้วยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น

4. เพื่อศึกษาและประเมินผลกระทบจากการปรับคาบเวลาของการค้นหาเส้นทางที่มีต่อประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทาง

1.3 ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับการวิจัย

แนวทางการประเมินประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางสามารถประเมินได้ 2 แนวทาง คือ การประเมินทางตรงและการประเมินทางอ้อม การประเมินประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางทางตรง คือ การประเมินประสิทธิภาพภาระงานที่เกิดจากการค้นหาเส้นทาง การคำนวณ หรือการใช้ทรัพยากรเครือข่ายในการค้นหาเส้นทาง มาตรวัดประสิทธิภาพในแนวทางนี้ ได้แก่ ปริมาณการคำนวณซึ่งอาจจะประเมินจากการนับจำนวนลูบหรือจำนวนการเปรียบเทียบ ปริมาณข้อมูลเส้นทางที่แลกเปลี่ยนระหว่างกัน จำนวนโหนดหรือเส้นทางที่มีผลกระทบ และระยะเวลาการรอคอยจนกระทั่งปรับปรุงเส้นทางเสร็จเรียบร้อย โดยปกติ การประเมินประสิทธิภาพในแนวทางนี้สามารถประเมินเมื่อมีเหตุการณ์เกิดขึ้นเพียงหนึ่งเหตุการณ์เท่านั้น ได้แก่ ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเปลี่ยนแปลง เส้นทางหรือโหนดล้มเหลว และเส้นทางหรือโหนดเริ่มต้นกลับมาทำงานใหม่ (Recovery)

ในส่วนการประเมินประสิทธิภาพทางอ้อมเป็นการประเมินประสิทธิภาพผลหรือเส้นทางที่ได้จากการค้นหาเส้นทาง การประเมินแนวทางนี้จะมีองค์ประกอบอื่น ๆ เข้ามาเกี่ยวข้องมากกว่าแนวทางตรง ตัวอย่างเช่น ค่าใช้จ่ายของเส้นทางที่ปรับตัวได้ ช่วงระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายหรือคาบเวลาค้นหาเส้นทาง เป็นต้น การประเมินสามารถประเมินได้จากคุณภาพของเส้นทางหรือประสิทธิภาพการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูลผ่านเส้นทางเดินซึ่งได้แก่ ความรวดเร็วในการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูล จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่เดินทางผ่านได้ และโอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูลในเส้นทาง ในแนวทางนี้ ผู้วิจัยมีความคิดเห็นว่าเหมาะสมมากกว่าการประเมินประสิทธิภาพทางตรง เนื่องจากเป็นประสิทธิภาพที่เกิดขึ้นใกล้เคียงกับการประยุกต์ใช้งานจริง

เทคนิควิธีการประเมินประสิทธิภาพแบ่งออกเป็นการทดลอง (Experiment) การจำลองแบบ (Simulation) และการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์ (Mathematical Analysis) การทดลองไม่เป็นนิยมใช้เนื่องจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นและผลที่ได้รับเป็นผลจากการทำงานจริงเท่านั้นซึ่งไม่ได้แสดงให้เห็นความสำคัญของปัจจัยต่าง ๆ การทดลองส่วนใหญ่จึงใช้เพื่อแสดงผลความแตกต่างที่เกิดขึ้นก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงบางองค์ประกอบ ตัวอย่างเช่น การเปลี่ยนแปลงวิธีการค้นหาเส้นทางใหม่ในเครือข่าย เป็นต้น การจำลองแบบเป็นวิธีการที่นิยมใช้เนื่องจากสามารถทดสอบในสิ่งที่สนใจหรือเงื่อนไขปัจจัยตามที่ต้องการได้ การจำลองแบบการค้นหาเส้นทางแบ่งออกเป็นแบบมีภาระงานเข้ามาเกี่ยวข้องและแบบไม่มีภาระงานเข้ามาเกี่ยวข้อง ตัวอย่างเช่น ใน [1] เป็นการจำลองการค้นหา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นทางในเครือข่ายโดยประยุกต์ใช้อัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์ อัลกอริทึมลิงค์สเทต และอัลกอริทึมเอ็กเท็นเบลล์แมน-ฟอร์ด (Extend Bellman-Ford Algorithm) โดยมีการสร้างภาระงานโดยใช้รูปแบบของคู่ Source-Sink มาตรวัดประสิทธิภาพ ได้แก่ ทรูพุท (Throughput) และความหน่วง (Delay) ของแพ็กเก็ตข้อมูลซึ่งเป็นการประเมินประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางทางอ้อม ส่วนใน [2] เป็นการจำลองแบบการค้นหาเส้นทางของอัลกอริทึมดิฟฟิวซิ่งอับเดต (Diffusing Update Algorithm) อัลอริทึมเบลล์แมน-ฟอร์ดแบบกระจาย (Distributed Bellman-Ford Algorithm) และอัลกอริทึมลิงค์สเทต และใน [3] เป็นการจำลองแบบการค้นหาเส้นทางของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง อัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้ง อัลกอริทึมดิฟฟิวซิ่งอับเดต และอัลกอริทึมลิงค์สเทต ทั้งสองบทความไม่มีภาระงานเข้ามาเกี่ยวข้อง ค่าใช้จ่ายของเส้นทางใช้วิธีการสุ่มค่าระหว่าง 0 กับ 1 การทดลองภายใต้เงื่อนไข คือ เมื่อมีค่าใช้จ่ายเปลี่ยนแปลงหรือมีโหนดหรือเส้นทางเชื่อมโยงล้มเหลวเกิดขึ้นเพียงหนึ่งตำแหน่งในเครือข่าย มาตรวัดประสิทธิภาพ ได้แก่ จำนวนแพ็กเก็ตที่เกิดขึ้น จำนวนเส้นทางที่มีผลกระทบ และเวลาการค้นหาเส้นทางใหม่ การประเมินในกรณีนี้เป็นการประเมินประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางโดยตรง ส่วนการวิเคราะห์เชิงคณิตศาสตร์โดยใช้แบบจำลองการไหล (Flow Model) [4] วิธีการนี้เหมาะสมกับเครือข่ายที่ไม่ซับซ้อนและเป็นการวิเคราะห์เบื้องต้น

1.5 ขั้นตอนของการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ดังนี้

1. ศึกษารายละเอียดของอัลกอริทึมที่เกี่ยวข้องและกำหนดวิธีการประยุกต์ใช้ในเครือข่าย อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางที่ศึกษา ได้แก่ อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง อัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้ง และอัลกอริทึมลิงค์สเทต

2. การประเมินประสิทธิภาพโดยใช้วิธีการจำลองแบบ รายละเอียดของการประยุกต์ใช้ที่ได้กำหนดไว้นำมาสร้างเป็นตัวแบบจำลอง จากนั้นทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ ผลจากการจำลองแบบนำมาแปลความหมายและวิเคราะห์ผล สุดท้าย คือ การสรุปผลการประเมินประสิทธิภาพ

3. สรุปผลการวิจัย

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้จากวิทยานิพนธ์มีดังนี้

1. แนวทางการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง และอัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้งในเครือข่ายจริง

2. แบบจำลองของการค้นหาเส้นทางในเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลจากการประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางระหว่างอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง อัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้ง และอัลกอริทึมลิงค์สเทต ซึ่งสามารถใช้สำหรับตัดสินเลือกอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมเพื่อที่จะนำไปพัฒนาประยุกต์ใช้เครือข่ายจริง

4. ความเข้าใจในพฤติกรรมของการค้นหาเส้นทางในเครือข่าย

5. แนวทางการปรับแต่งคาบเวลาเพื่อให้ประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางดีขึ้น

1.7 เนื้อหาในวิทยานิพนธ์

เนื้อหาในวิทยานิพนธ์นี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วนหลัก ๆ คือ ส่วนแนะนำ ส่วนการประเมินประสิทธิภาพ และส่วนบทสรุป ส่วนแนะนำประกอบด้วยบทที่ 1 –2 ซึ่งเป็นการอธิบายรายละเอียดกว้าง ๆ ของวิทยานิพนธ์รวมไปถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ส่วนที่สองเป็นรายละเอียดที่เกิดขึ้นจากการประเมินประสิทธิภาพทั้งวิธีการและขั้นตอนการประเมิน การกำหนดรายละเอียดต่าง ๆ การพัฒนาตัวแบบจำลองของการจำลองแบบ ผลลัพธ์ และบทสรุปที่ได้จากการจำลองแบบในส่วนนี้ได้แก่ บทที่ 3-6 ส่วนบทสรุป คือ บทที่ 7 เป็นการสรุปรายละเอียดทั้งหมดของวิทยานิพนธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
อัลกอริทึมค้นหาเส้นทาง

การค้นหาเส้นทาง (Routing) ของเครือข่ายแพ็กเก็ตสวิตชิ่ง (Packet Switching Network) [4] หรืออินเทอร์เน็ต (Internet) ในปัจจุบันเป็นการค้นหาเส้นทางแบบปรับตัวกระจาย (Distributed Adaptive Routing) ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยอัลกอริทึมค้นหาเส้นทาง (Routing Algorithm) สำหรับการค้นหา คำนวณ และกำหนดเส้นทาง (Route) ที่ดีเพื่อใช้สำหรับการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังเครือข่ายย่อยปลายทางได้ถูกต้อง อัลกอริทึมเหล่านี้มีพื้นฐานมาจากอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด (Minimum Cost Path Routing Algorithm) [4] ซึ่งแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ อัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์ (Distance Vector Algorithm) และอัลกอริทึมลิงค์สเทต (Link State Algorithm) อัลกอริทึมทั้งสองประเภทแตกต่างกันทั้งวิธีการและรายละเอียดของข้อมูลเส้นทางที่แลกเปลี่ยนระหว่างกัน และวิธีการคำนวณเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

2.1 การพัฒนาของอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์

อัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์หรือบางครั้งรู้จักในชื่อ "อัลกอริทึมเบลล์แมน-ฟอร์ดแบบกระจาย" (Distributed Bellman Ford Algorithm) [4] เป็นพื้นฐานของหลายโพรโทคอล ได้แก่ Routing Information Protocol (RIP) [5], Cisco's Interior Gateway Routing Protocol (Cisco's IGRP) [6], Gateway to Gateway Protocol (GGP) [7] และ Exterior Gateway Protocol (EGP) [8] เป็นต้น โดยรวมเรียกโพรโทคอลเหล่านี้ว่า "โพรโทคอลดิสแทนซ์เวกเตอร์" (Distance Vector protocol)

การทำงานของอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์นั้นโหนดต้องเรียนรู้ค่าใช้จ่าย (Cost) ของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดจากโหนดข้างเคียงไปยังโหนดปลายทางต่าง ๆ และค่าใช้จ่ายไปยังโหนดข้างเคียงนั้นแล้วนำข้อมูลทั้งสองคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดไปยังปลายทางต่าง ๆ โดยเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดเป็นเส้นทางเดินที่มีผลรวมน้อยที่สุดระหว่างค่าใช้จ่ายไปยังโหนดข้างเคียงและค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดจากโหนดข้างเคียงไปยังโหนดปลายทางต่าง ๆ ตามสมการของเบลล์แมน-ฟอร์ดแบบกระจาย (Distributed Bellman-Ford Equation) [4] ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

$$D_{ii} = 0$$
$$D_{ij} = \min_{k \in N(i)} (d_{ik} + D_{kj}) \qquad (2.1)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้

i, j,และ k เป็นโหนดในเครือข่ายที่มีเส้นทางเชื่อมโยงถึงกันได้โดย

โหนด i เป็นโหนดต้นทาง

โหนด j เป็นโหนดปลายทาง

โหนด k เป็นโหนดข้างเคียงของโหนด i และมีเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดไปยังโหนดปลายทาง j

N(i) เป็นเซตของโหนดข้างเคียงของโหนด I

D_{ii} เป็นค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดจากโหนดต้นทาง i ไปยังโหนดปลายทาง i

D_{ij} เป็นค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดจากโหนดต้นทาง i ไปยังโหนดปลายทาง j

D_{ki} เป็นค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดจากโหนดข้างเคียง k ไปยังโหนดปลายทาง j

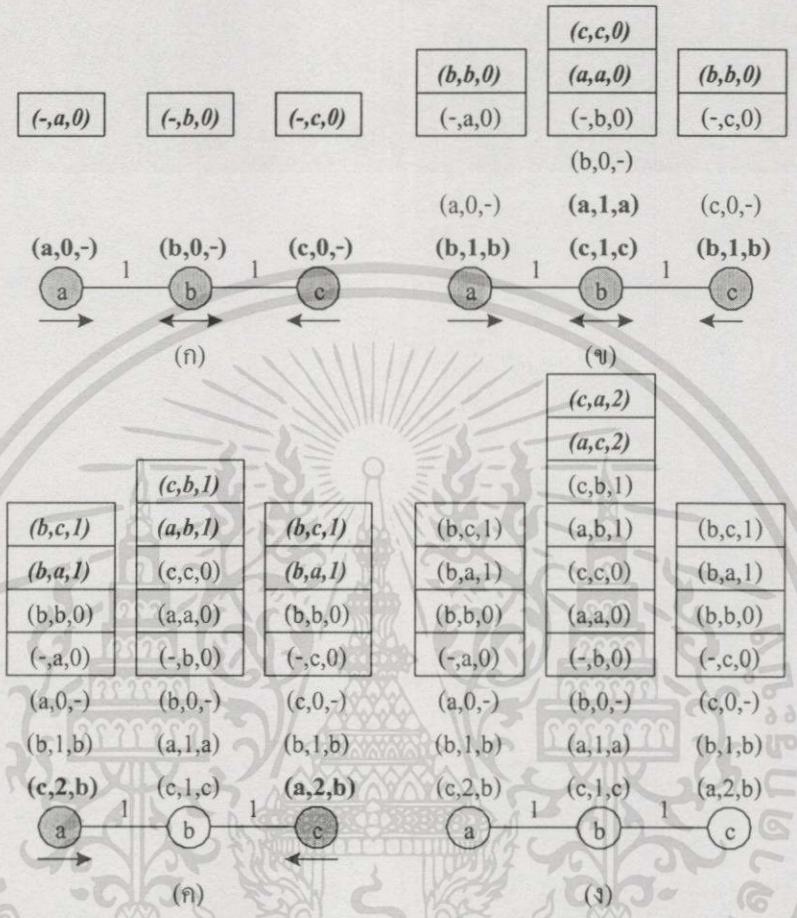
d_{ik} เป็นค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงจากโหนดต้นทาง i ไปยังโหนดข้างเคียง k

การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์เบื้องต้น [4,9] แสดงได้ดังรูปที่ 2.1 โดยสมมติให้โหนด a, b และ c เป็นโหนดเชื่อมโยงในเครือข่ายและมีอย่างน้อยหนึ่งเส้นทางเดินที่สามารถเชื่อมโยงถึงกันได้ แต่ละโหนดค้นหาเส้นทางไปยังทุกโหนดปลายทางในเครือข่าย ข้อมูลเส้นทางซึ่งแสดงอยู่ในวงเล็บประกอบด้วยโหนดปลายทาง ค่าใช้จ่าย และโหนดข้างเคียงในเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดหรือโหนดถัดไป (Next Node หรือ Next Hop) ข้อมูลค่าใช้จ่ายหรือข้อมูลที่นำมาใช้คำนวณเพื่อให้ได้เส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดเป็นข้อมูลที่มาจากโหนดข้างเคียงซึ่งแสดงอยู่ในตารางสี่เหลี่ยมประกอบด้วยโหนดข้างที่เคียงที่ส่งข้อมูลมาให้ โหนดปลายทาง และค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดจากโหนดข้างเคียงนั้นไปยังโหนดปลายทาง

เริ่มต้นค้นหาเส้นทาง โหนดเรียนรู้เพียงเส้นทางค่าใช้จ่ายไปยังโหนดตนเอง จากนั้นคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดไปยังโหนดตนเอง (D_{ii}) ซึ่งมีค่าใช้จ่ายเท่ากับศูนย์และโหนดข้างเคียงไม่มีดังรูปที่ 2.1 (ก) เมื่อรายการข้อมูลเส้นทางมีการเปลี่ยนแปลง โหนดจะต้องกระจายรายการข้อมูลเส้นทางที่มีการเปลี่ยนแปลงไปยังโหนดข้างเคียงซึ่งข้อมูลที่กระจายออกไปนี้ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายและโหนดปลายทาง เมื่อโหนดได้รับข้อมูลนี้จะเก็บไว้ในฐานข้อมูลค่าใช้จ่าย จากนั้นทำการคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดใหม่ตามสมการเบลล์แมน-ฟอร์ดแบบกระจาย หลังจากคำนวณเสร็จสิ้น ถ้าข้อมูลเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดมีการเปลี่ยนแปลงจะต้องส่งข้อมูลเส้นทางที่เปลี่ยนแปลงไปยังโหนดข้างเคียงดังรูปที่ 2.2 (ข) ในรูปที่ 2.2 (ค) ถึงแม้โหนด b ได้รับข้อมูลเส้นทางเดินจากโหนด a และ c แต่เมื่อคำนวณเส้นทางเดินใหม่แล้วไม่มีรายการข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นทางเปลี่ยนแปลง โหนด b จึงไม่ต้องกระจายข้อมูลเส้นทางไปยังโหนดข้างเคียง เช่นเดียวกับรูปที่ 2.2 (ง)



รูปที่ 2.1 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์เบื้องต้น

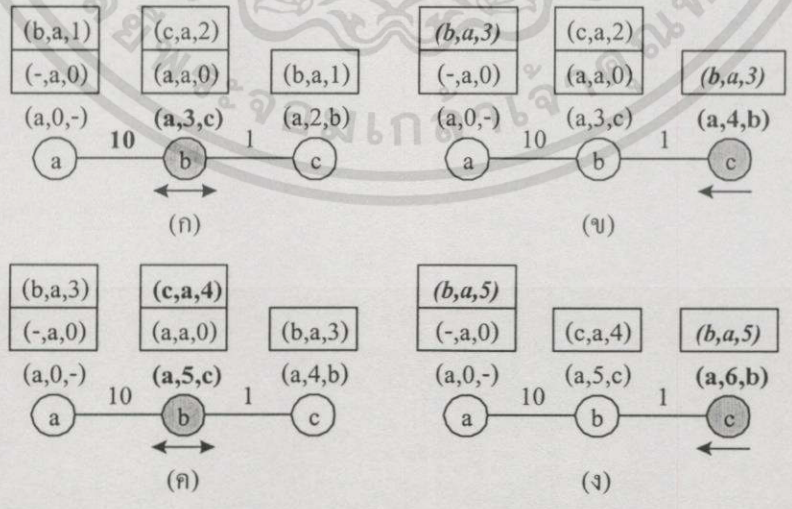
ปัญหาพื้นฐานที่สำคัญของอัลกอริทึมดินแทนซ์เวกเตอร์ [9] ได้แก่ ผลกระทบกระดอนกลับ (Bouncing Effect) และลูปของข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทาง (Routing Table Loop) ปัญหาผลกระทบกระดอนกลับเป็นการเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ของค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่โหนดต่าง ๆ ส่วนปัญหาอีกข้อหนึ่ง คือ เมื่อเดินทางไปตามข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทางเพื่อไปยังโหนดปลายทางที่กำหนดไว้จะต้องผ่านโหนดใดโหนดหนึ่งมากกว่าหนึ่งครั้งและอาจจะทำให้ไม่สามารถเดินทางไปถึงยังโหนดปลายทางนั้นได้ ปัญหาทั้งสองจะเกิดขึ้นเมื่อค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงไปยังโหนดข้างเคียงมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นดังรูปที่ 2.2 สมมติให้ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงระหว่างโหนด a และ b เพิ่มขึ้นจาก 1 เป็น 10 ในรูปที่ 2.2 (ก) โหนด b ตรวจสอบพบและทำการปรับปรุงข้อมูลเส้นทางไปยังโหนด a โดยนำข้อมูลค่าใช้จ่ายที่เคยได้รับจากโหนดข้างเคียงมาคำนวณตามสมการเบลล์เมน-ฟอร์ดแบบกระจาย ค่าใช้จ่ายใหม่ของเส้นทางเดินจากโหนด b ไปยังโหนด a โดยผ่านโหนดข้างเคียง a มีค่าเท่ากับ 10 และผ่านโหนดข้างเคียง c มีค่าเท่ากับ 3 ดังนั้นโหนด b จึงเลือกเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางโดยผ่านโหนดข้างเคียง c เพราะมีค่าใช้จ่ายน้อยกว่า จากนั้น ปรับปรุงข้อมูลเส้นทางที่มีอยู่แล้ว กระจายข้อมูลเส้นทางใหม่ไปยังโหนดข้างเคียง หลังจากที่โหนด b ปรับปรุงเส้นทางเสร็จแล้วจะทำให้เกิดลูบของข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทางซึ่งเส้นทางจากโหนด b และโหนด c ไม่สามารถเดินทางไปยังโหนดปลายทาง a โดยเส้นทางจากโหนด b จะผ่านไปยังโหนดข้างเคียง c และโหนด c จะผ่านโหนดข้างเคียง b ทำให้เกิดการหมุนวน

ในรูปที่ 2.2 (ข) เมื่อโหนด c ได้รับข้อมูลเส้นทางใหม่จากโหนดข้างเคียง b จะต้องทำการคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดไปยังโหนด a ใหม่และต้องปรับปรุงข้อมูลเส้นทางที่มีอยู่ จากนั้น กระจายข้อมูลเส้นทางใหม่ไปยังโหนดข้างเคียง ในรูปที่ 2.2 (ค) เมื่อโหนด b ได้รับข้อมูลเส้นทางจากโหนดข้างเคียง c แล้วจะต้องทำการคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดไปยังโหนด a ใหม่ตามค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น จากนั้นปรับปรุงข้อมูลเส้นทางที่มีอยู่และกระจายข้อมูลเส้นทางใหม่ไปยังโหนดข้างเคียง ในรูปที่ 2.2 (ง) เมื่อโหนด c ได้รับข้อมูลเส้นทางใหม่จากโหนด b จะต้องคำนวณเส้นทางใหม่อีกครั้งหนึ่งและกระจายข้อมูลเส้นทางกลับไปอีกครั้ง การปรับปรุงค่าใช้จ่ายระหว่างโหนด b และโหนด c เป็นปัญหาผลกระทบกระดอนกลับ

ปัญหาทั้งสองที่เกิดขึ้นจะสิ้นสุดเมื่อค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินทางไปยังโหนดปลายทาง a ที่โหนด b มีค่ามากกว่า 10 แต่ถ้าเส้นทางเชื่อมโยงระหว่างโหนด b กับโหนด a เกิดล้มเหลวหรือไม่สามารถสื่อสารระหว่างกันได้ ปัญหาทั้งสองจะสิ้นสุดเมื่อค่าใช้จ่ายของเส้นทางไปยังโหนดปลายทาง a ที่โหนด b มีค่าเท่ากับค่าไม่สิ้นสุดหรือค่าที่บ่งบอกว่าไม่สามารถเดินทางไปถึงยังโหนดปลายทางได้ซึ่งค่านี้จะถูกกำหนดขึ้นก่อนการเริ่มต้นค้นหาเส้นทาง ถ้าค่านี้มาก ผลจะทำให้การบรรจบกันของเส้นทางมีความล่าช้า แต่ถ้าค่านี้น้อยเกินไปจะทำให้บางโหนดไม่สามารถเดินทางไปถึงได้ เพราะค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินนั้นที่มีค่าน้อยที่สุดไปยังโหนดปลายทางมีค่ามากกว่าค่าไม่สิ้นสุด



รูปที่ 2.2 การเกิดปัญหาของอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

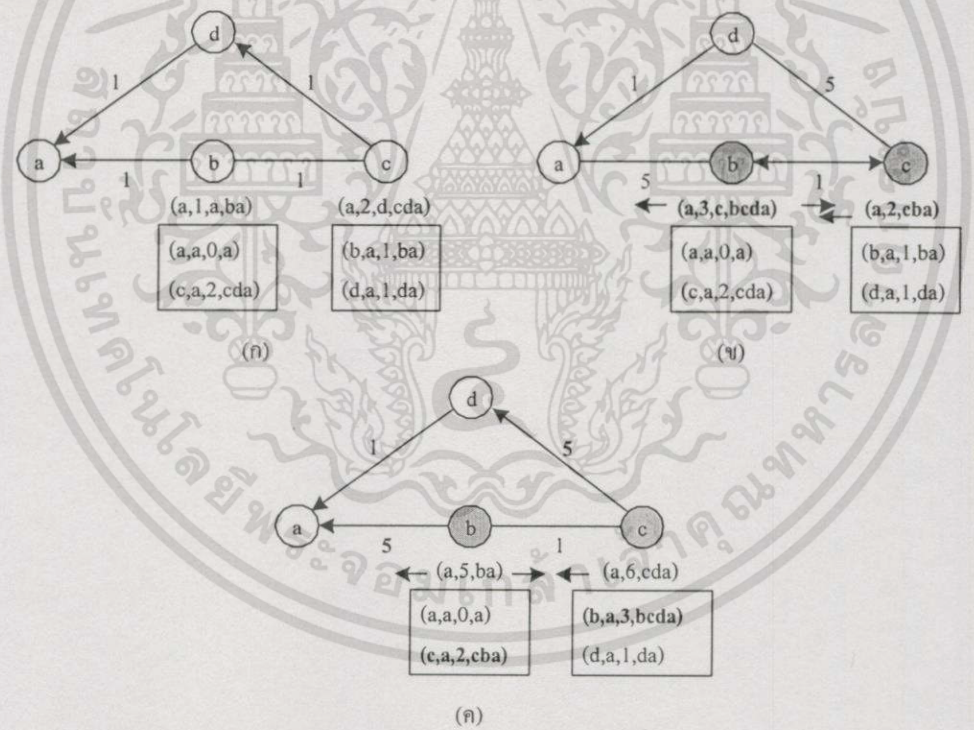
ปัญหาทั้งสองได้มีผู้นำเสนอเทคนิคเพิ่มเติมและวิธีกำจัดปัญหาไว้หลายวิธี ตัวอย่างเทคนิคเพิ่มเติม [9] ได้แก่ Split Horizon, Hold Down และ Poison Reverse เป็นต้น เทคนิค Split Horizon เป็นการส่งข้อมูลเส้นทางใหม่ไปยังโหนดข้างเคียงยกเว้นโหนดถัดไปในเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด เทคนิค Hold Down เป็นการรอคอยช่วงระยะเวลาหนึ่งหลังจากที่ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงไปยังโหนดข้างเคียงมีค่าเพิ่มขึ้น ส่วนเทคนิคสุดท้ายเป็นการส่งค่าใช้จ่ายสูงสุดหรือค่าไม่สิ้นสุดซึ่งหมายถึงค่าที่บ่งบอกว่าไม่สามารถเดินทางไปยังปลายทางนั้นได้กลับไปยังโหนดข้างเคียงถัดไป การประยุกต์ใช้เทคนิคเพิ่มเติมจำเป็นต้องใช้หลายเทคนิคร่วมกัน แต่ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ทุกกรณีหรืออาจจะเกิดปัญหาอื่น ๆ ตามมา ตัวอย่างเช่น ความล่าช้าของการบรรจบกัน (Convergence) ของเส้นทาง เป็นต้น วิธีการกำจัดปัญหาจึงเป็นทางเลือกที่ดีกว่าการใช้เทคนิคเพิ่มเติม วิธีการเหล่านี้ ได้แก่ อัลกอริทึมดิฟฟิวซิ่งอับเดท (Diffusing Update Algorithm) [10] อัลกอริทึมพาธเวกเตอร์ (Path Vector Algorithm) [9,11] และอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง (Path Finding Algorithm) [3,12] อัลกอริทึมทั้งหมดนี้ใช้ข้อมูลและกลไกเพื่อการตรวจสอบไม่ให้มีปัญหาเกิดขึ้น

อัลกอริทึมดิฟฟิวซิ่งอับเดทซึ่งประยุกต์ใช้ใน Cisco's Enhanced Interior Gateway Routing Protocol (Cisco's EIGRP) [13] ใช้การตรวจสอบความสอดคล้องของเส้นทางระหว่างโหนดข้างเคียงก่อนที่จะปรับปรุงเส้นทางจริงในกรณีที่ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้น้อยที่สุดมีค่าเพิ่มขึ้น อัลกอริทึมพาธเวกเตอร์เป็นอัลกอริทึมที่ประยุกต์ใช้ใน Border Gateway Protocol (BGP) [11] กำจัดปัญหาโดยใช้การระบุรายละเอียดข้อมูลเส้นทางเดินโดยสมบูรณ์และตรวจสอบก่อนที่จะมีการปรับปรุงเส้นทาง รายละเอียดเส้นทางเดินนี้เป็นป้ายชื่อ (Label) ของแต่ละโหนดในเส้นทางเดิน ดังนั้น แต่ละโหนดในเครือข่ายต้องมีป้ายชื่อที่ไม่ซ้ำกัน ข้อมูลเส้นทางที่จะไม่ทำให้เกิดปัญหา คือ ต้องมีข้อมูลเส้นทางเดินที่ไม่มีป้ายชื่อโหนดตนเองอยู่ภายในของรายละเอียดข้อมูลเส้นทางเดิน ส่วนการกำจัดปัญหาของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งใช้การระบุข้อมูลเส้นทางเดินแบบอ้างอิงกับโหนดข้างเคียงก่อนหน้า (Predecessor) และมีการตรวจสอบก่อนที่จะมีการปรับปรุงเส้นทางเช่นเดียวอัลกอริทึมพาธเวกเตอร์ ข้อมูลเส้นทางเดินที่ระบุเป็นป้ายชื่อของโหนดข้างเคียงก่อนหน้าเท่านั้นทำให้ข้อมูลเพิ่มเติมมีขนาดคงที่ซึ่งแตกต่างกับอัลกอริทึมพาธเวกเตอร์ที่มีขนาดไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับจำนวนโหนดในเส้นทางเดิน อัลกอริทึมนี้ได้รับการพัฒนาเพิ่มเติมให้สามารถปราศจากลูบในทุกกรณีเช่นเดียวกับอัลกอริทึมดิฟฟิวซิ่งอับเดตโดยใช้ชื่อว่า "อัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้ง" (Loop Free Path Finding Algorithm) [14]

อัลกอริทึมที่ปราศจากลูบในทุกกรณีเป็นอัลกอริทึมที่สามารถกำจัดปัญหาการเกิดลูบแบบชั่วคราวของข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทาง (Temporary Routing Table Loop) ได้นอกเหนือจากการกำจัดปัญหาพื้นฐาน ปัญหานี้จะเกิดขึ้นระหว่างการปรับปรุงข้อมูลเส้นทางที่โหนดต่าง ๆ ในเครือข่ายโดยเกิดจากการที่แต่ละโหนดปรับปรุงเส้นทางอิสระจากกันในกรณีที่ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินมีค่าเพิ่มขึ้นและส่งผลทำให้ต้องเลือกโหนดข้างเคียงต้นทางใหม่ดังรูปที่ 2.3 การค้นหาเส้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางในรูปใช้อัลกอริทึมพาธเวกเตอร์ซึ่งระบุรายละเอียดของเส้นทางเดินโดยสมบูรณ์ ข้อมูลในวงเล็บประกอบด้วย โหนดปลายทาง โหนดถัดไป ค่าใช้จ่าย และรายละเอียดเส้นทางเดิน สมมติให้โหนด a เป็นโหนดปลายทาง โหนด b และโหนด c ปรับปรุงค่าใช้จ่ายพร้อมกัน ในรูปที่ 2.3 (ก) เป็นรายละเอียดก่อนปรับปรุงเส้นทาง เส้นทางจากโหนด c ไปยังโหนด a โดยผ่านทางโหนดข้างเคียง d และเส้นทางเดินจากโหนด b ไปยังโหนด a โดยผ่านทางโหนดข้างเคียง a ในรูปที่ 2.3 (ข) เมื่อค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงจากโหนด b ไปยังโหนด a เปลี่ยนจาก 1 เป็น 5 และโหนด c ไปยังโหนด d เปลี่ยนจาก 1 เป็น 5 เช่นกัน โหนด b ปรับปรุงเส้นทางเดินไปยังโหนด a โดยผ่านทางโหนด c แทนโหนด a ซึ่งมีค่าใช้จ่ายใหม่เท่ากับ 3 และในขณะเดียวกันโหนด c ปรับปรุงเส้นทางเดินไปยังโหนด a โดยผ่านทางโหนด b แทนโหนด d ซึ่งมีค่าใช้จ่ายใหม่เท่ากับ 2 เมื่อสองโหนดปรับปรุงเส้นทางเดินเสร็จสิ้นจะทำให้เกิดลูบแบบชั่วคราวของข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทาง แต่หลังจากที่แลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางใหม่ระหว่างกันแล้วในรูปที่ 2.3 (ข) ซึ่งทำให้โหนดทั้งสองต้องปรับปรุงเส้นทางใหม่อีกครั้งหนึ่ง ลูบที่เกิดขึ้นจะหมดไปด้วยดังรูปที่ 2.3 (ค)

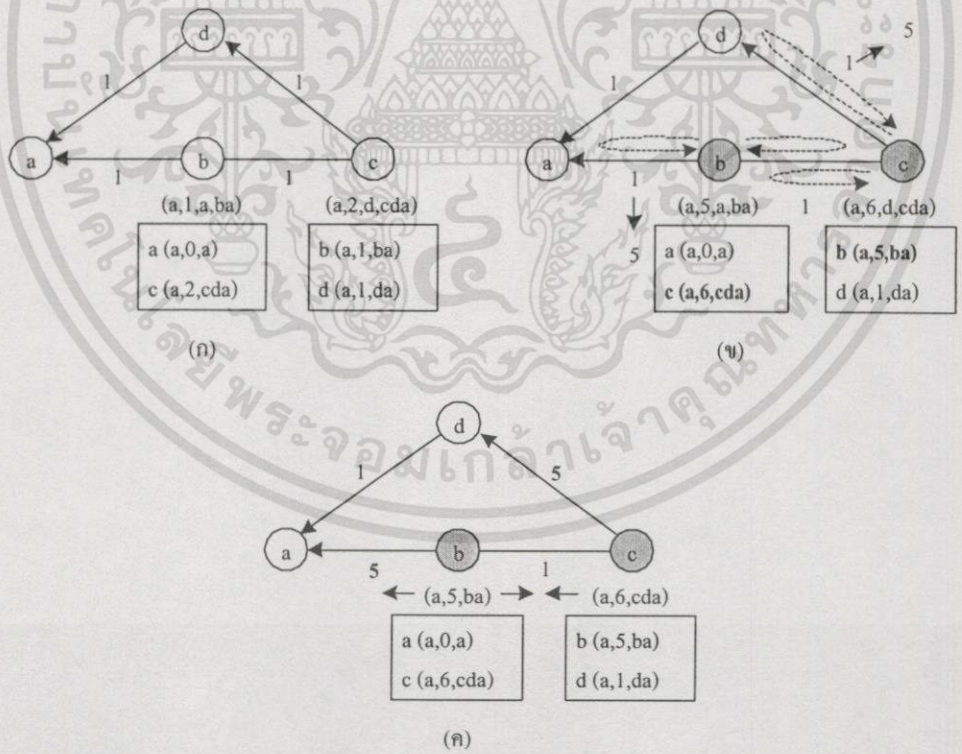


รูปที่ 2.3 การเกิดลูบชั่วคราวของข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทาง

วิธีการกำจัดปัญหาดังกล่าวทำได้โดยการตรวจสอบความสอดคล้องของเส้นทางก่อนที่จะมีการปรับปรุงเส้นทางใหม่จริงดังรูปที่ 2.4 โดยเมื่อค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย โหนดตรวจสอบความสอดคล้องของเส้นทางกับโหนดข้างเคียงโดยส่งค่าที่เพิ่มขึ้นไปยังโหนดข้างเคียง เมื่อโหนดที่ได้รับค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นจะตรวจสอบว่าเป็นโหนดข้างเคียงนั้นเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหนดข้างเคียงก่อนหน้าหรือไม่ ถ้าใช่ โหนดจะทำการปรับปรุงข้อมูลค่าใช้จ่ายและค่าใช้จ่ายของเส้นทางด้วยค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้นแล้วทำการตรวจสอบความสอดคล้องของเส้นทางกับโหนดข้างเคียงอื่น ๆ พร้อมด้วยการส่งค่าใช้จ่ายไม่สิ้นสุดกลับเพื่อบอกว่าขณะนี้โหนดกำลังตรวจสอบความสอดคล้องกับโหนดข้างเคียงอื่น ๆ แต่ถ้าไม่ใช่ โหนดจะปรับปรุงข้อมูลค่าใช้จ่ายและส่งข้อมูลเส้นทางเดินปัจจุบันกลับไป เมื่อโหนดได้รับข้อมูลตอบกลับจากโหนดข้างเคียงจะทำการปรับปรุงข้อมูลค่าใช้จ่าย และเมื่อได้รับการตอบกลับครบจากทุกโหนดข้างเคียงจึงปรับปรุงเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดจริง ในกรณีของรูปที่ 2.4 (ข) เมื่อค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่โหนด b และโหนด c มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1 เป็น 5 โหนดจะปรับปรุงค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด แล้วตรวจสอบความสอดคล้องของเส้นทางกับโหนดข้างเคียงซึ่งโหนด b และโหนด c ไม่ได้เป็นโหนดข้างเคียงก่อนหน้าของโหนด c และโหนด b ตามลำดับ ดังนั้น โหนด b และโหนด c จึงปรับปรุงข้อมูลค่าใช้จ่ายแล้วตอบกลับด้วยข้อมูลเส้นทางเดินปัจจุบัน เมื่อได้รับการตอบกลับจากโหนดข้างเคียงจะทำการปรับปรุงข้อมูลค่าใช้จ่ายและเมื่อได้รับการตอบกลับจากทุกโหนดข้างเคียงแล้วจึงปรับปรุงเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดใหม่ จากนั้นจะกระจายข้อมูลเส้นทางใหม่ไปยังทุกโหนดข้างเคียงดังรูปที่ 2.4 (ค)



รูปที่ 2.4 การป้องกันการเกิดลูบแบบชั่วคราวของข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 การพัฒนาของอัลกอริทึมลิงค์สเทต

อัลกอริทึมลิงค์สเทตหรือรู้จักในอีกชื่อว่า "อัลกอริทึมโทโปโลยีบรอดคาส" (Topology Broadcast Algorithm) เป็นอัลกอริทึมที่คิดขึ้นมาครั้งแรกเพื่อนำมาประยุกต์ใช้แทนอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์ในอาร์พาเน็ต (ARPANET) เนื่องมาจากปัญหาพื้นฐานของอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์ อัลกอริทึมนี้เป็นพื้นฐานของหลายโพรโทคอล ตัวอย่างเช่น Open Shortest Path First (OSPF) [15] และ OSI Intermediate System to Intermediate System Intra-Domain Routing Protocol (OSI IS-IS) [16] เป็นต้น โดยโพรโทคอลเหล่านี้รวมเรียกว่า "โพรโทคอลลิงค์สเทต" (Link State Protocol)

การทำงานของอัลกอริทึมลิงค์สเทตนั้น โหนดต้องเรียนรู้สถานะของเส้นทางเชื่อมโยงของโหนดในเครือข่ายทั้งหมดโดยสถานะของเส้นทางเชื่อมโยงของแต่ละโหนดประกอบด้วยโหนดข้างเคียงและค่าใช้จ่ายของการเชื่อมโยงไปยังโหนดข้างเคียงนั้น แล้วนำข้อมูลเหล่านี้มาคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดไปยังโหนดปลายทางต่าง ๆ โดยใช้อัลกอริทึมไดก์สตร้า (Dijkstra Algorithm) [4] ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

$$D_{ii} = 0$$
$$D_{ij} = \min_{k \in P, j \notin P} (D_{ik} + d_{kj}) \qquad (2.2)$$

กำหนดให้

i, j,และ k เป็นโหนดในเครือข่ายโดย

โหนด i เป็นโหนดต้นทาง

โหนด j เป็นโหนดปลายทาง

โหนด k เป็นโหนดในเครือข่ายและมีเส้นทางเชื่อมโยงโดยตรงไปยังโหนดปลายทาง j ได้

P เป็นเซตของโหนดในเครือข่ายที่มีเส้นทางเดินไปถึงแล้ว

D_{ii} เป็นค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดจากโหนดต้นทาง i ไปยังโหนดปลายทาง i

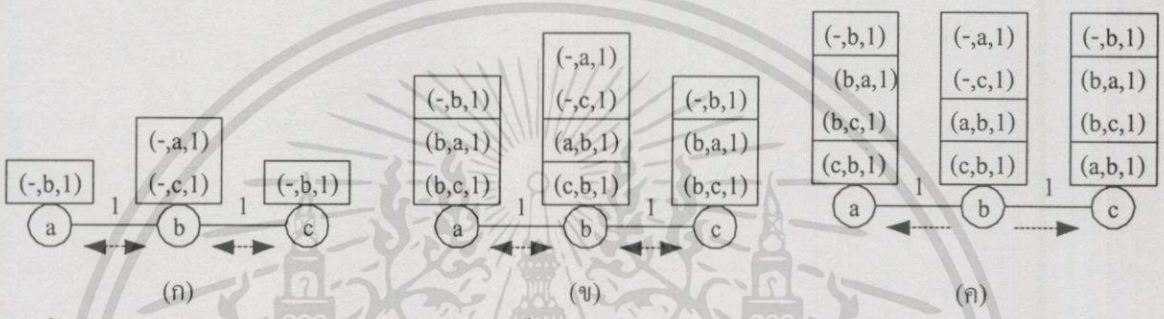
D_{ij} เป็นค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดจากโหนดต้นทาง i ไปยังโหนดปลายทาง j

D_{ik} เป็นค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดจากโหนดต้นทาง i ไปยังโหนด k

d_{kj} เป็นค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงจากโหนด k ไปยังโหนดข้างเคียง j

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมนี้เบื้องต้น [4,9] แสดงได้ดังรูปที่ 2.3 ซึ่งเหมือนกับการทำงานข้างต้นโดยที่แต่ละโหนดจะตรวจสอบสถานะเส้นทางเชื่อมโยงดังรูปที่ 2.3 (ก) จากนั้นกระจายข้อมูลสถานะเส้นทางเชื่อมโยงดังกล่าวไปยังทุกโหนดในเครือข่ายด้วยอัลกอริทึมฟลอดดิ้ง (Flooding Algorithm) [4] ดังรูปที่ 2.3 (ข) และ (ค) ข้อมูลในวงเล็บประกอบด้วยโหนดต้นทาง โหนดข้างเคียง และค่าใช้จ่ายของการเชื่อมโยงไปยังโหนดข้างเคียง เมื่อโหนดได้รับข้อมูลสถานะเส้นทางเชื่อมโยงใหม่จะต้องคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดไปยังโหนดปลายทางต่าง ๆ ใหม่ด้วยอัลกอริทึมไดก์สตร้า



รูปที่ 2.5 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมลิงค์สเทตเบื้องต้น

การพัฒนาอัลกอริทึมนี้เป็นการลดการใช้ทรัพยากรเครือข่ายในการเก็บข้อมูลสถานะเส้นทางเชื่อมโยงหรือโทโปโลยีเครือข่าย การกระจายข้อมูลเส้นทาง และการคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดใหม่ทุกครั้ง ปัญหาข้อแรก คือ ปริมาณข้อมูลสถานะเครือข่ายจำนวนมาก การลดปริมาณข้อมูลดังกล่าวใช้การแบ่งเครือข่ายออกเป็นพื้นที่ ข้อมูลสถานะเส้นทางเชื่อมโยงภายในแต่ละพื้นที่จะถูกปกปิดไว้หรือไม่กระจายไปยังพื้นอื่น ๆ ปัญหาต่อมา คือ ปริมาณการใช้เส้นทางเชื่อมโยงในเครือข่ายสำหรับการกระจายข้อมูลเส้นทาง แนวทางลดปัญหานี้โดยใช้การค้นหาเส้นทางแบบลำดับชั้นแทนการค้นหาเส้นทางแบบแบนราบ การแลกเปลี่ยนข้อมูลจะกระทำตามลำดับชั้น วิธีการแบ่งพื้นที่และการค้นหาเส้นทางแบบแบนราบมีการประยุกต์ใช้ใน OSPF และ OSI IS-IS ส่วนวิธีการคำนวณเส้นทางด้วยอัลกอริทึมไดก์สตร้าซึ่งต้องคำนวณเส้นทางใหม่ทั้งหมดที่ได้รับข้อมูลสถานะใหม่นั้นทำให้สิ้นเปลืองทรัพยากรของอุปกรณ์ค้นหาเส้นทาง แต่สามารถลดได้โดยใช้ Shortest Path Tree Algorithm [17] แทน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางในเครือข่าย

อัลกอริทึมค้นหาเส้นทาง (Routing Algorithm) เป็นลำดับขั้นตอนของการค้นหา คำนวณและกำหนดเส้นทาง (Route) ที่ดีสำหรับส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลจากเครือข่ายย่อยต้นทางไปยังเครือข่ายย่อยปลายทางที่ถูกต้อง อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางส่วนใหญ่มีพื้นฐานมาจากอัลกอริทึมคำนวณเส้นทางเดินที่ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด (Minimum Cost Path Algorithm) ดังนั้น อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางส่วนใหญ่จึงเป็นอัลกอริทึมประเภทอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด (Minimum Cost Path Routing Algorithm)

อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางที่ประยุกต์ใช้ในเครือข่ายแพ็กเก็ตสวิตชิ่ง (Packet Switching Network) ในปัจจุบันแบ่งออกได้เป็นสองประเภท คือ อัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์ (Distance Vector Algorithm) และอัลกอริทึมลิงค์สเทต (Link State Algorithm) รายละเอียดของอัลกอริทึมทั้งสองอธิบายไว้แล้วในหัวข้อ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางทั้งสองมีพื้นฐานมาจากอัลกอริทึมคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดที่ชื่อว่า "อัลกอริทึมเบลล์แมน-ฟอร์ดแบบกระจาย" (Distributed Bellman-Ford Algorithm) และ "อัลกอริทึมไดก์สตร้า" (Dijkstra Algorithm) ตามลำดับ เนื่องจากการค้นพบปัญหาของการค้นหาเส้นทางของอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์ทำให้มีการพัฒนาอัลกอริทึมใหม่ที่สามารถกำจัดปัญหาดังกล่าวได้ ได้แก่ อัลกอริทึมดิฟฟิวซิ่งอับเดต (Diffusing Update Algorithm) อัลกอริทึมพาธเวกเตอร์ (Path Vector Algorithm) และอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง (Path Finding Algorithm) ในรายละเอียดการค้นหาเส้นทางของทั้งสามอัลกอริทึม อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งเป็นอัลกอริทึมที่สามารถค้นหาเส้นทางได้อย่างรวดเร็วกว่าอัลกอริทึมดิฟฟิวซิ่งอับเดท [4] และมีข้อมูลเพิ่มเติมน้อยกว่าอัลกอริทึมพาธเวกเตอร์ [4] นอกจากนี้ อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งมีการพัฒนาต่อเป็นอัลกอริทึมลูปฟรีพาธไฟน์ดิ้งซึ่งสามารถกำจัดลูปได้ทุกกรณีเช่นเดียวกับอัลกอริทึมดิฟฟิวซิ่งอับเดต

3.1 ข้อสมมติและข้อกำหนดเกี่ยวกับการค้นหาเส้นทางในเครือข่าย

การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางในเครือข่ายต้องเป็นไปตามเป้าหมายของการค้นหาเส้นทางที่ได้วางไว้ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้กำหนดเป้าหมายไว้ดังนี้

1. การค้นหาเส้นทางแบบปรับตัวได้ (Adaptive Routing หรือ Dynamic Routing)
2. การค้นหาเส้นทางแบบกระจาย (Distributed Routing)
3. การค้นหาเส้นทางแบบเส้นทางเดินเดี่ยว (Single Path Routing)
4. การค้นหาเส้นทางแบบแบนราบ (Flat Routing)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. การค้นหาเส้นทางแบบโหนดถัดไป (Next Hop Routing)

การค้นหาเส้นทางแบบปรับตัวได้เป็นการค้นหาเส้นทางที่สามารถปรับปรุงเส้นทางได้ตามสถานะของเครือข่ายที่เปลี่ยนแปลงโดยสถานะของเครือข่ายขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงและโทโปโลยีเครือข่าย (Network Topology) การค้นหาเส้นทางแบบกระจายนั้นแต่ละโหนดในเครือข่ายจะมีส่วนร่วมในการค้นหาเส้นทางไปยังเครือข่ายย่อยปลายทางต่าง ๆ การค้นหาเส้นทางแบบเส้นทางเดินเดี่ยวเป็นการค้นหาเส้นทางที่กำหนดเส้นทางเดินเพียงหนึ่งเส้นทางที่สามารถเดินทางไปถึงแต่ละเครือข่ายย่อยปลายทางได้ การค้นหาเส้นทางแบบแบนราบเป็นการค้นหาเส้นทางที่ทุกโหนดมีความสำคัญเท่ากัน ดังนั้น แต่ละโหนดมีสิทธิเท่ากันที่จะเป็นโหนดในเส้นทางเดินไปยังเครือข่ายย่อยปลายทางต่าง ๆ ส่วนการค้นหาเส้นทางแบบโหนดถัดไปเป็นการกำหนดเส้นทางเดินไปยังปลายทางต่าง ๆ โดยการอ้างอิงโหนดข้างเคียงถัดไปในเส้นทางเดินที่ไปถึงยังเครือข่ายย่อยปลายทางนั้นได้

อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางที่นำมาประยุกต์ใช้ค้นหาเส้นทางในเครือข่าย ได้แก่ อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง อัลกอริทึมลูปฟรีพาธไฟน์ดิ้ง และอัลกอริทึมลิงค์สเทต สองอัลกอริทึมแรกเป็นอัลกอริทึมที่มีพื้นฐานมาจากอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์และยังไม่มีการประยุกต์ใช้จริงในเครือข่าย ส่วนอัลกอริทึมลิงค์สเทตเป็นอัลกอริทึมอีกประเภทหนึ่งและเป็นพื้นฐานของหลายโพรโทคอล

ข้อมูลภายในเครือข่ายที่จำเป็นต่อการค้นหาเส้นทางในเครือข่าย ได้แก่ ป้ายชื่ออ้างอิงโหนด (Node Label) และที่อยู่ของเครือข่ายย่อย (Subnet Address) โดยมีขนาดเท่ากับ 2 ไบต์และ 8 ไบต์ตามลำดับ ป้ายชื่อและที่อยู่นี้ต้องไม่ซ้ำกัน วิธีการกำหนดป้ายชื่อจะไม่รวมอยู่ในรายละเอียดของการประยุกต์ใช้การค้นหาเส้นทาง แต่สามารถกำหนดได้สองวิธี คือ การกำหนดด้วยมือ (Manual) และใช้โพรโทคอลเฉพาะสำหรับกำหนดป้ายชื่อ

การประยุกต์การค้นหาเส้นทางแบบปรับตัวกระจาย (Distributed Adaptive Routing) มีการทำงานที่สำคัญ 4 ส่วนหลัก คือ การเริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่ การจัดการเมสเซจที่ได้รับ การตรวจสอบค่าใช้จ่ายของเส้นทางที่เชื่อมโยงไปยังโหนดข้างเคียงและการคงอยู่ของโหนดข้างเคียง และการจัดการเมื่อค่าใช้จ่ายของเส้นทางเปลี่ยนแปลงหรือโหนดข้างเคียงล้มเหลว

การค้นหาเส้นทางของแต่ละโหนดเริ่มต้นเมื่อโหนดเริ่มต้นทำงานซึ่งสามารถเริ่มต้นได้ทุกเวลา และเมื่อเริ่มต้นแล้วจะต้องสามารถทำงานร่วมกันกับโหนดข้างเคียงที่ทำงานอยู่ก่อนได้ ในช่วงเริ่มต้นนี้ โหนดจะเรียนรู้เพียงข้อมูลเครือข่ายย่อยที่เชื่อมโยงโดยตรงเท่านั้น การตรวจสอบการคงอยู่ของโหนดข้างเคียงจะไม่สามารถตรวจสอบได้ด้วยฮาร์ดแวร์ของโหนด การติดต่อสื่อสารระหว่างโหนดจะทำได้โดยการส่งแพ็กเก็ตเท่านั้น ภายในเครือข่ายเดียวกันจะมีรายละเอียดเกี่ยวกับการค้นหาเส้นทางเหมือนกัน แต่แต่ละโหนดมีอิสระจากกันและมีสถานะของการค้นหาเส้นทางที่แตกต่างกันโดยขึ้นอยู่กับลำดับและเวลาที่เริ่มต้นทำงานที่ไม่พร้อมกันของแต่ละโหนด การได้รับเมสเซจจากโหนดข้างเคียง ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยง และข้อมูลสำหรับการคำนวณเส้นทางที่มีอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงไปยังโหนดข้างเคียงจะกระทำซ้ำ ๆ ทุกคาบเวลาที่กำหนดขึ้นโดยเรียกคาบเวลานี้ว่า "คาบเวลาค้นหาเส้นทาง" (Routing Period) การตรวจสอบค่าใช้จ่ายนี้จะไม่กระทำทุกครั้งที่มีการส่งต่อแพ็กเก็ตหรือกระทำตลอดเวลา เนื่องจากการกระทำดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรของอุปกรณ์ค้นหาเส้นทางเป็นจำนวนมากและตลอดเวลาซึ่งอาจส่งผลต่อหน้าที่หลัก คือ การส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูล ส่วนการตรวจสอบการล้มเหลวของโหนดจะใช้การลดเวลาการคงอยู่ของโหนดข้างเคียงโดยจะลดลงวินาทีละหนึ่งและตรวจสอบว่าเท่ากับศูนย์หรือไม่ ถ้าเท่ากับศูนย์แสดงว่าโหนดข้างเคียงนั้นล้มเหลว การเพิ่มหรือการปรับปรุงเวลาของการคงอยู่ของโหนดข้างเคียงจะกระทำเมื่อได้รับเมสเซจฮัลโลจากโหนดข้างเคียงนั้นซึ่งเมสเซจนี้จะใช้สำหรับบ่งบอกโหนดนั้นยังคงทำงานอยู่ การส่งเมสเซจนี้จะกระทำเป็นคาบเวลาโดยเรียกคาบเวลานี้ว่า "คาบเวลาฮัลโล" (Hello Period) โดยปกติ คาบเวลาฮัลโลจะมีค่าน้อยกว่าคาบเวลาค้นหาเส้นทาง เนื่องจากเมสเซจฮัลโลมีขนาดเล็กและการตรวจสอบการล้มเหลวหรือกลับมาเริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่ของโหนดข้างเคียงมีความสำคัญมากกว่าการเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่าย ส่วนการกำหนดค่าเวลาของการคงอยู่ของโหนดข้างเคียงเมื่อได้รับเมสเซจฮัลโลจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ คาบเวลาที่ส่งเมสเซจฮัลโล ระยะเวลาและความน่าเชื่อถือของการโอนย้ายข้อมูลระหว่างโหนด และการหน่วงเวลาอีกเล็กน้อยภายในอุปกรณ์ค้นหาเส้นทาง ดังนั้น เวลาการคงอยู่ของโหนดจึงมีค่าอย่างน้อยเป็นสองเท่าของคาบเวลาที่ส่งเมสเซจฮัลโลเสมอ เพราะเมสเซจไม่ได้มาตรงเวลา

3.2 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง

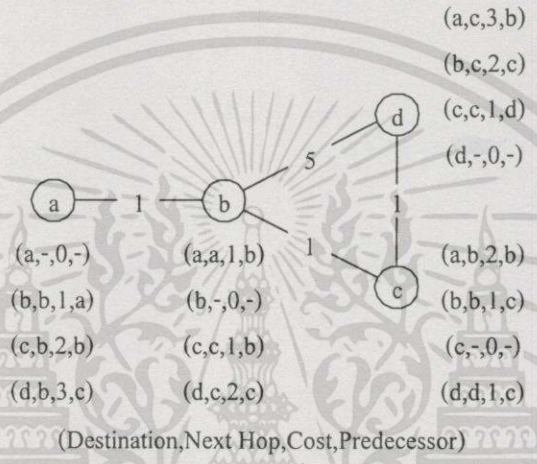
อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งพัฒนามาจากอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์โดยเพิ่มเติมรายละเอียดข้อมูลเส้นทางเดินซึ่งระบุโดยอ้างอิงโหนดข้างเคียงก่อนหน้า (Predecessor) รายละเอียดนี้ใช้สำหรับกำจัดปัญหาพื้นฐานของอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์ [12] คือ ผลกระทบกระดอนกลับ (Bouncing Effect) และลูปที่เกิดจากข้อมูลตารางเส้นทาง (Routing Table Loop) การคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดมีพื้นฐานมาอัลกอริทึมอัลกอริทึมเบลล์แมน-ฟอร์ดแบบกระจาย การแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางระหว่างกันจะเกิดขึ้นเมื่อเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดมีการเปลี่ยนแปลงโดยจะกระจายข้อมูลเส้นทางที่มีการเปลี่ยนแปลงไปยังทุกโหนดข้างเคียง

รายละเอียดข้อมูลของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งแสดงได้ดังรูปที่ 3.1 ซึ่งเป็นการค้นหาเส้นทางภายในกราฟเชื่อมโยง (Connected Graph) ข้อมูลในวงเล็บประกอบด้วยโหนดปลายทาง (Destination) โหนดถัดไป (Next Hop) ค่าใช้จ่าย (Cost) และโหนดข้างเคียงก่อนหน้า (Predecessor) ส่วนในรูปที่ 3.2 เป็นวิธีการตรวจสอบเส้นทางเดินว่าเส้นทางเดินใดสามารถทำให้เกิดลูปได้ ข้อมูลที่แสดงเป็นข้อมูลเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดของโหนด b แต่เป็นข้อมูลค่าใช้จ่ายสำหรับการปรับปรุงเส้นทางที่โหนด a, c และ d ซึ่งถ้าเส้นทางเดินใดผ่านโหนดตนเองแสดงว่าเส้นทางนั้นทำให้เกิดลูปได้ ดังนั้น จะไม่นำข้อมูลเส้นทางดังกล่าวมาใช้คำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

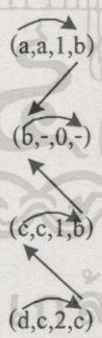
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ตัวอย่างเช่น ถ้าข้อมูลนี้อยู่ที่โหนด a เส้นทางไปโหนดปลายทาง a จะใช้ไม่ได้เนื่องจากต้องผ่านโหนดตนเอง ส่วนถ้าอยู่ที่โหนด c จะมีเส้นทางเดินไปยังโหนดปลายทาง c และ d ที่ใช้ไม่ได้ เนื่องจากต้องผ่านโหนด c ส่วนในรูปที่ 3.3 เป็นการค้นหาเส้นทางโดยปลายทางเป็นเครือข่ายย่อยปลายทางแทนโหนด ข้อมูลที่จำเป็นต่อการค้นหาเส้นหาเส้นทางประกอบด้วยเครือข่ายย่อยปลายทาง (Destination) โหนดปลายทาง (Last Hop) โหนดถัดไป (Next Hop) ค่าใช้จ่าย (Cost) และโหนดข้างเคียงก่อนหน้า (Predecessor)



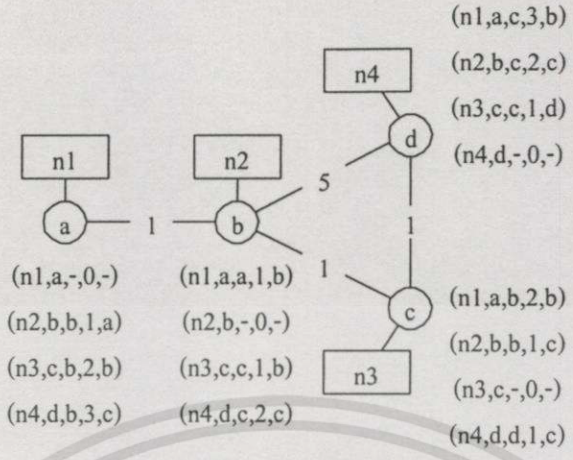
รูปที่ 3.1 การค้นหาเส้นทางของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งภายในกราฟเชื่อมโยง



รูปที่ 3.2 การตรวจสอบเส้นทางของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง

64111

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 การค้นหาเส้นทางของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งภายในเครือข่าย

3.2.1 การจัดเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

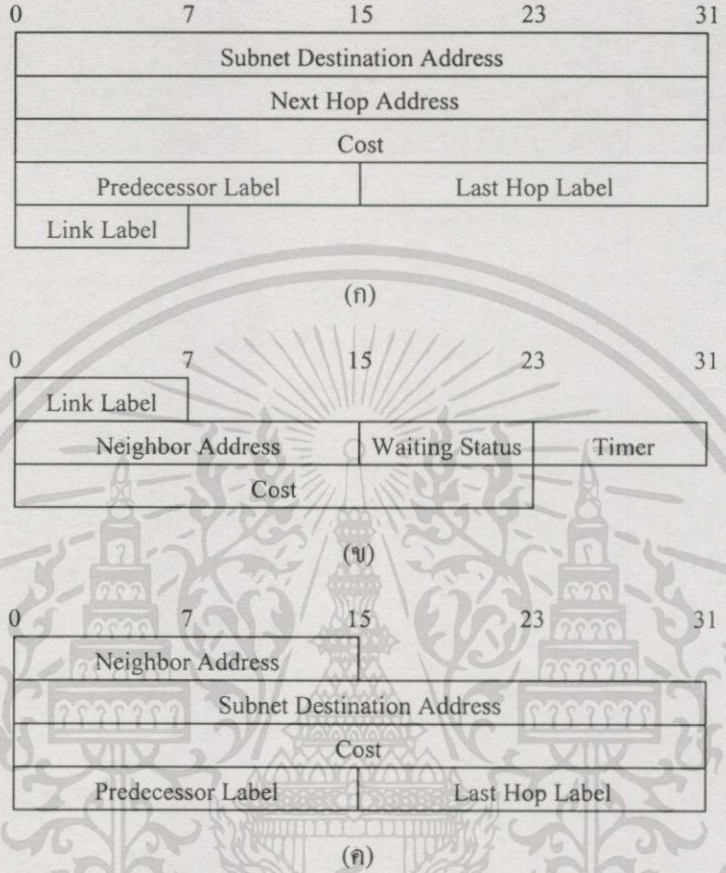
ข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาเส้นทางของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งจะจัดเก็บอยู่ในรูปของตารางทั้งหมดสามตารางดังรูปที่ 3.4 ได้แก่ ตารางเส้นทาง (Routing Table : RT) ตารางโหนดข้างเคียง (Neighbor Table : NT) และตารางค่าใช้จ่าย (Cost Table : CT) ตารางเส้นทางเป็นตารางเก็บข้อมูลเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดซึ่งได้จากการคำนวณ ข้อมูลดังกล่าวใช้สำหรับการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังเครือข่ายย่อยปลายทางและเมื่อรายการในตารางนี้มีการเปลี่ยนแปลงจะต้องส่งข้อมูลรายการที่เปลี่ยนแปลงไปยังทุกโหนดข้างเคียง รายละเอียดในตารางนี้แสดงได้ดังรูป 3.4 (ก) ได้แก่ ที่อยู่ของเครือข่ายย่อยปลายทาง (Subnet Destination Address) ชื่ออ้างอิงของเส้นทางเชื่อมโยง (Link Label) ที่อยู่ของโหนดต่อไปในเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด (Next Hop Adderss) ค่าใช้จ่าย (Cost) ป้ายชื่อของโหนดข้างเคียงก่อนหน้า (Predecessor Label) และป้ายชื่อของโหนดปลายทาง (Last Hop Label)

ตารางโหนดข้างเคียงเป็นตารางที่เก็บข้อมูลสถานะการเชื่อมโยงไปยังโหนดข้างเคียง ข้อมูลในตารางนี้แสดงได้ดังรูป 3.4 (ข) ได้แก่ ชื่ออ้างอิงเส้นทางเชื่อมโยง (Link Label) ที่อยู่ของโหนดข้างเคียงที่เชื่อมโยงกันด้วยเส้นทางเชื่อมโยงนี้ (Neighbor Address) ค่าใช้จ่ายของการเชื่อมโยงไปยังโหนดข้างเคียง (Cost) เวลาการคงอยู่ของโหนดข้างเคียง (Timer) และสถานะการรอคอยการตอบกลับ (Waiting Status) ในกรณีที่เส้นทางเชื่อมโยงเดียวกันเชื่อมโยงไปยังหลายโหนดข้างเคียง จำนวนของสี่รายการสุดท้ายจะมีจำนวนเท่ากับจำนวนของโหนดข้างเคียง

ส่วนตารางสุดท้ายเก็บค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดจากโหนดข้างเคียงไปยังปลายทางต่าง ๆ ข้อมูลในตารางนี้แสดงได้ดังรูป 3.4 (ค) ประกอบด้วย ที่อยู่ของโหนดข้างเคียง (Neighbor Address) และรายการข้อมูลเส้นทางอย่างน้อยหนึ่งรายการซึ่งแต่ละรายการประกอบด้วย ที่อยู่ของเครือข่ายย่อยปลายทาง (Subnet Destination Address) ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ่ายน้อยที่สุด (Cost) ป้ายชื่อโหนดข้างเคียงก่อนหน้า (Predecessor Label) และป้ายชื่อโหนดปลายทาง (Last Hop Label)

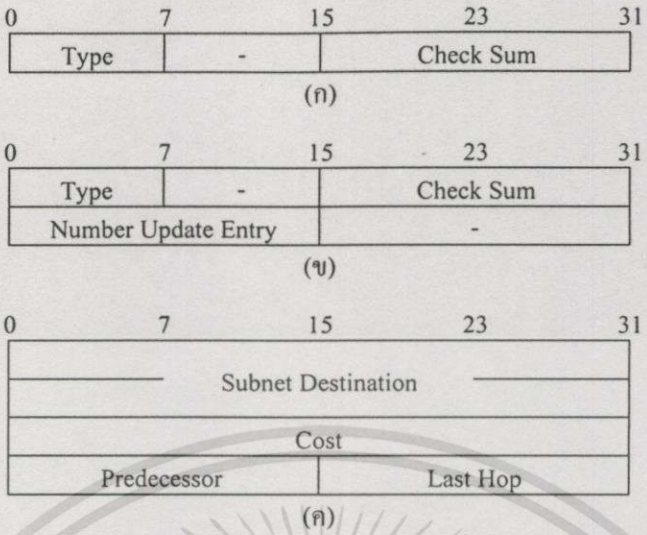


รูปที่ 3.4 ตารางจัดเก็บข้อมูลของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง

3.2.2 รูปแบบ ประเภท และรายละเอียดของเมสเซจ

รูปแบบของเมสเซจของการค้นหาเส้นทางประกอบด้วยส่วนหัวและรายการข้อมูลเส้นทางซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.5 ส่วนหัวของเมสเซจมีขนาด 4 หรือ 8 ไบต์ขึ้นอยู่กับประเภทของเมสเซจ ถ้าเป็นเมสเซจที่ไม่มีข้อมูลเส้นทางจะใช้ส่วนหัวเพียง 4 ไบต์ดังรูปที่ 3.5 (ก) ส่วนถ้าจำเป็นต้องส่งข้อมูลเส้นทางไปด้วยจะใช้ส่วนหัวขนาด 8 ไบต์ดังรูปที่ 3.5 (ข) รายการข้อมูลเส้นทางแสดงได้ดังรูปที่ 3.5 (ค) ประกอบด้วยที่อยู่ของเครือข่ายย่อยปลายทาง (Subnet Destination) ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด (Cost) ป้ายชื่อของโหนดข้างเคียงก่อนหน้า (Predecessor) และป้ายชื่อของโหนดปลายทาง (Last Hop)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 รายละเอียดของเมสเซจสำหรับการค้นหาเส้นทางของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง

ประเภทของเมสเซจของการค้นหาเส้นทางแบ่งได้เป็น 5 ประเภท ได้แก่ เมสเซจเริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่ (Recovery Message) เมสเซจฮัลโล (Hello Message) เมสเซจร้องขอ (Request Message) เมสเซจตอบกลับ (Response Message) และเมสเซจปรับปรุงเส้นทาง (Routing Update Message) แต่ละเมสเซจมีรายละเอียดดังนี้

- เมสเซจเริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่ ทำหน้าที่เป็นเมสเซจฮัลโล แต่ใช้เมื่อเริ่มต้นการค้นหาเส้นทางเพื่อป้องกันการล้มเหลวของของโหนดช่วงสั้น ๆ ซึ่งเวลาการคงอยู่ของโหนดที่โหนดข้างเคียงยังมีสถานะคงอยู่ การส่งเมสเซจนี้จะเป็นการบอกว่าโหนดพึ่งเริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่ และถ้ามีข้อมูลเก่าให้ลบทิ้งทั้งหมด
- เมสเซจฮัลโล ทำหน้าที่บ่งบอกการคงอยู่ของโหนด
- เมสเซจร้องขอ ทำหน้าที่ร้องขอข้อมูลเส้นทางทั้งหมดจากโหนดข้างเคียง
- เมสเซจตอบกลับ ทำหน้าที่ส่งข้อมูลเส้นทางทั้งหมดที่มีอยู่กลับไปยังโหนดข้างเคียงที่ส่งเมสเสจร้องขอมาถึง
- เมสเซจปรับปรุงเส้นทาง ทำหน้าที่บรรจุด้วยข้อมูลเส้นทางที่มีการเปลี่ยนแปลงหรือปรับปรุงล่าสุด

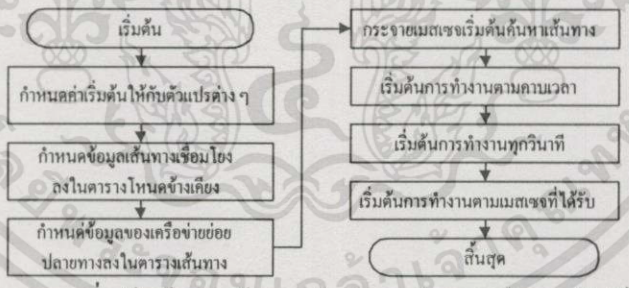
สามเมสเซจแรกประกอบด้วยส่วนหัวของเมสเซจขนาด 4 ไบต์ ส่วนสองเมสเซจหลังประกอบด้วยส่วนหัวขนาด 8 ไบต์และข้อมูลเส้นทางอย่างน้อยหนึ่งรายการเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 รายละเอียดของการประยุกต์ใช้พาธไฟน์ดิ้ง

การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งสำหรับการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายแบ่งการทำงานออกเป็นสี่ส่วน คือ การเริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่ (Recovery) การทำงานตามคาบเวลา การทำงานทุกวินาที และการทำงานตามเมสเซจที่ได้รับ การเริ่มต้นการค้นหาเส้นทางใหม่จะเป็นการทำงานหลังจากโหนดเริ่มต้นทำงานใหม่ การทำงานตามคาบเวลาจะแบ่งออกเป็นสองส่วนย่อย คือ การส่งเมสเซจฮัลโลไปยังโหนดข้างเคียง และการตรวจสอบการค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงไปยังโหนดข้างเคียง การทำงานทุกวินาทีเป็นการลดเวลาการคงอยู่ของโหนดข้างเคียง ส่วนการทำงานตามเมสเซจที่ได้รับ คือ การทำงานตามประเภทของเมสเซจที่มาถึง

ในรายละเอียดขั้นตอนการเริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่แสดงในรูปที่ 3.6 โดยเริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปรต่าง ๆ ตามด้วยการกำหนดข้อมูลเส้นทางเชื่อมโยงลงในตารางโหนดข้างเคียงซึ่งจะประกอบด้วยชื่อเส้นทางเชื่อมโยงเท่านั้น จากนั้นเป็นการกำหนดรายละเอียดของเครือข่ายย่อยปลายทางที่เชื่อมโยงโดยตรงลงในตารางเส้นทางโดยข้อมูลประกอบด้วยที่อยู่ของเครือข่ายย่อยปลายทาง ชื่ออ้างอิงเส้นทางเชื่อมโยง ที่อยู่ของโหนดข้างเคียงจะไม่มี ค่าใช้จ่ายเท่ากับศูนย์ ป้ายชื่อโหนดข้างเคียงก่อนหน้าจะไม่มี และป้ายชื่อของโหนดปลายทาง คือ ป้ายชื่อของโหนดตนเอง จากนั้นเป็นการกระจายเมสเซสเริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่ไปยังทุกโหนดข้างเคียง สุดท้ายเป็นการเริ่มต้นการทำงานตามคาบเวลา การทำงานทุกวินาที และการทำงานตามเมสเซจที่ได้รับ

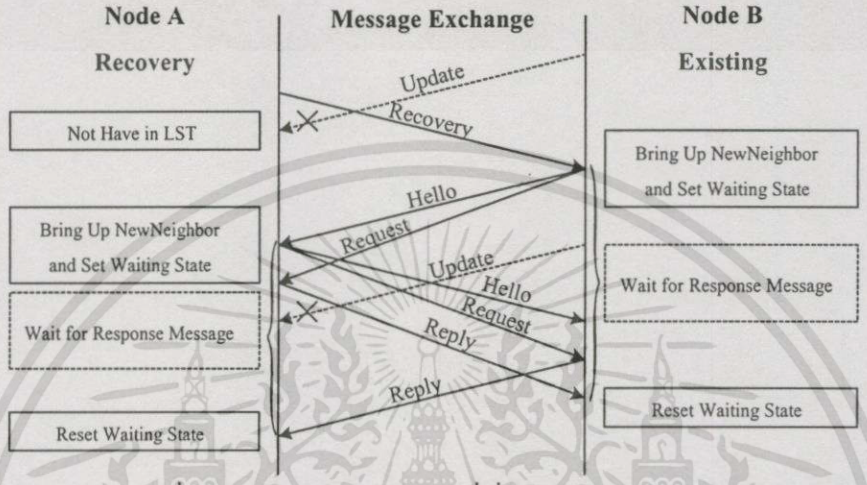


รูปที่ 3.6 รายละเอียดของการเริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่ของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง

การติดต่อและแลกเปลี่ยนเมสเซจกับโหนดข้างเคียงหลังจากที่ส่งเมสเซจเริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่แสดงได้ดังรูปที่ 3.7 โดยสมมติให้โหนด A เป็นโหนดเริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่ และโหนด B เป็นโหนดข้างเคียงที่ทำงานอยู่ก่อน หลังจากที่โหนด B ได้รับเมสเซจเริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่จากโหนด A แล้วจะทำการลบข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโหนด A ทั้งหมดและตั้งค่าเวลาการคงอยู่ของโหนดข้างเคียง A ใหม่ จากนั้นจึงส่งเมสเซจฮัลโลกลับไปตามด้วยเมสเซจร้องขอ เมื่อโหนด A ได้รับเมสเซจฮัลโลจะทำการตรวจสอบสถานะของโหนดข้างเคียง B ปรากฏว่าเป็นโหนดข้างเคียงใหม่จึงทำการส่งเมสเซจฮัลโลตามด้วยเมสเซจร้องขอกลับไป และต่อมาโหนด A ได้รับเมส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซจร้องขอจากโหนด B โหนด A จะต้องเมสเซจตอบกลับกลับไปยังโหนด B อีกฝั่งหนึ่งเมื่อโหนด B ได้รับเมสเซจฮัลโลอีกครั้งหนึ่ง แต่เมื่อตรวจสอบสถานะของโหนดข้างเคียงต้นทางปรากฏว่าเป็นโหนดข้างเคียงที่รู้จักแล้วจึงไม่ส่งเมสเซจฮัลโลกลับไป แต่เมื่อได้รับเมสเซจร้องขอจะทำการตอบกลับไปด้วยเมสเซจตอบกลับเช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.7 การติดต่อแลกเปลี่ยนเมสเซจระหว่างโหนดที่เริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่กับโหนดข้างเคียงที่ทำงานอยู่ก่อนของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง

รายละเอียดการทำงานตามคาบเวลาแสดงได้ดังรูปที่ 3.8 โดยแบ่งคาบเวลาออกเป็นสองส่วน ได้แก่ คาบเวลาฮัลโล และคาบเวลาค้นหาเส้นทางโดยคาบเวลาทั้งสองสัมพันธ์กันตามสมการ

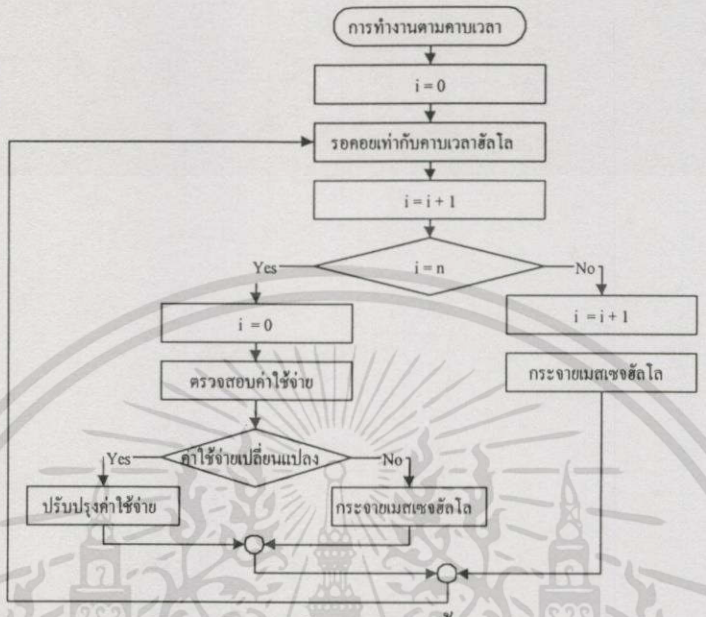
$$\text{คาบเวลาค้นหาเส้นทาง} = n \times \text{คาบเวลาฮัลโล} \qquad (3.1)$$

โดยที่ n เป็นค่าคงที่และมีค่าเป็นจำนวนเต็มบวก

การทำงานแต่ละคาบเวลาฮัลโลจะตรวจสอบว่าเท่ากับคาบเวลาค้นหาเส้นทาง (เท่ากับ n) หรือไม่ ถ้าไม่ใช่จะกระจายเมสเซจฮัลโลไปยังทุกโหนดข้างเคียงตามปกติ แต่ถ้าใช่จะต้องทำการตรวจสอบค่าใช้จ่ายของแต่ละเส้นทางเชื่อมโยง ถ้าค่าใช้จ่ายไม่เปลี่ยนแปลง อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางจะทำการส่งเมสเซจฮัลโลออกไปตามปกติ แต่ถ้าเปลี่ยนแปลงจะทำการการปรับปรุงค่าใช้จ่าย รายละเอียดการปรับปรุงค่าใช้จ่ายแสดงไว้ในรูปที่ 3.9 โดยจะทำการปรับปรุงค่าใช้จ่ายในตารางโหนดข้างเคียงและตารางเส้นทาง จากนั้น คำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดใหม่ ถ้าข้อมูลเส้นทางมีเปลี่ยนแปลง อัลกอริทึมจะทำการส่งรายการข้อมูลเส้นทางที่เปลี่ยนแปลงไปยังทุก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โหนดข้างเคียง แต่ถ้าไม่มีเปลี่ยนแปลง อัลกอริทึมจะทำการส่งเมสเซจฮัลโลออกไปแทน จากนั้นรอคอยเป็นระยะเวลาเท่ากับคาบเวลาฮัลโลแล้วจึงเริ่มต้นทำงานใหม่



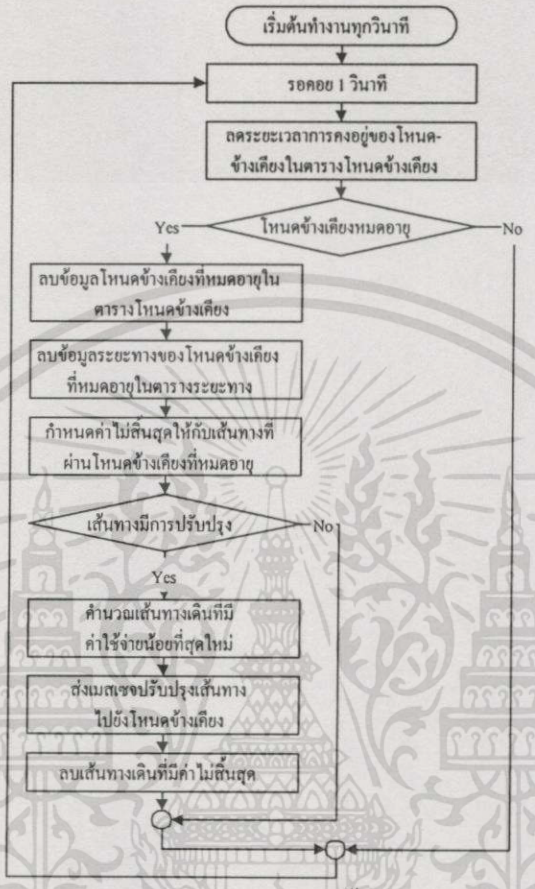
รูปที่ 3.8 การทำงานตามคาบเวลาของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง

รูปที่ 3.9 การปรับปรุงค่าใช้จ่ายของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง

การทำงานทุกวินาทีเป็นการลดระยะเวลาการคงอยู่ของโหนดข้างเคียงลงทีละหนึ่ง รายละเอียดการทำงานแสดงได้ดังรูปที่ 3.10 เมื่อลดระยะเวลาลงแล้วไม่ทำให้โหนดข้างเคียงหมดอายุหรือไม่เท่ากับศูนย์ การทำงานจะสิ้นสุดเพียงเท่านี้ แต่ถ้ามีโหนดข้างเคียงหมดอายุ สิ่งแรกที่ต้องทำ คือ ลบข้อมูลของโหนดข้างเคียงนั้นในตารางโหนดข้างเคียง จากนั้นลบข้อมูลค่าใช้จ่ายที่มาจากโหนดข้างเคียงนั้นในตารางค่าใช้จ่าย ตามด้วยการกำหนดค่าใช้จ่ายที่มีค่าไม่สิ้นสุดให้กับเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดที่ผ่านโหนดข้างเคียงนั้นในตารางเส้นทาง และถ้ามีกำหนดค่าดังกล่าวเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขึ้นจะต้องคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดใหม่แล้วกระจายเมสเซจปรับปรุงเส้นทางไปยังโหนดข้างเคียง สุดท้าย คือ ลบเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายเท่ากับค่าไม่สิ้นสุดออกจากตารางเส้นทาง



รูปที่ 3.10 การทำงานทุกวินาทีของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง

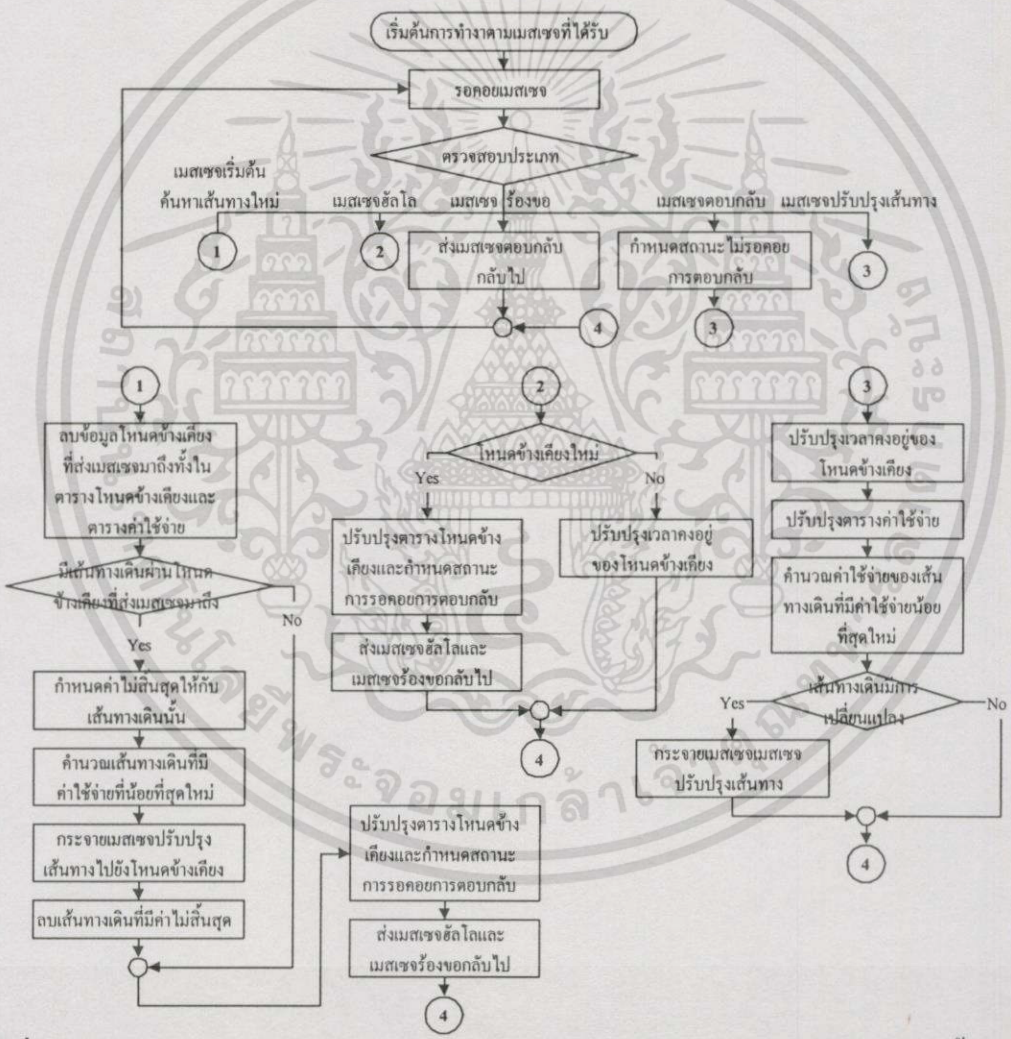
ส่วนการทำงานตามเมสเซจที่ได้รับแสดงรายละเอียดไว้ในรูปที่ 3.11 โดยเมื่อได้รับเมสเซจแล้วจะต้องตรวจสอบประเภทจากนั้นทำงานตามประเภทของเมสเซจซึ่งรายละเอียดการทำงานตามแต่ละประเภทของเมสเซจมีรายละเอียดดังนี้

- เมสเซจเริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่ : โหนดจะทำการลบข้อมูลเก่าของโหนดข้างเคียงที่ส่งเมสเซจมาถึงทั้งในตารางโหนดข้างเคียงและตารางค่าใช้จ่าย จากนั้นตรวจสอบในตารางเส้นทางว่ามีเส้นทางเดินผ่านโหนดข้างเคียงนั้นหรือไม่ ถ้ามีให้กำหนดค่าใช้จ่ายเท่ากับค่าไม่สิ้นสุดแล้วคำนวนเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดใหม่แล้วจึงทำการกระจายเมสเซจปรับปรุงเส้นทางไปยังทุกโหนดข้างเคียงในกรณีรายการข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทางมีการเปลี่ยนแปลง จากนั้นปรับปรุงข้อมูลในตารางโหนดข้างเคียงโดยเพิ่มรายการโหนดข้างเคียงใหม่ กำหนดค่าใช้จ่าย กำหนดเวลาการคงอยู่ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดสถานะการรอคอยการตอบกลับ สุดท้าย คือ การส่งเมสเซจฮัลโลและเมสเซจร้องขอกลับไป

- เมสเซสฮัลโล : ถ้าเป็นโหนดข้างเคียงใหม่จะทำการปรับปรุงข้อมูลในตารางโหนดข้างเคียงโดยเพิ่มรายการโหนดข้างเคียงใหม่ กำหนดค่าใช้จ่าย กำหนดเวลาการคงอยู่ และกำหนดสถานะรอคอยตอบกลับ จากนั้นทำการส่งฮัลโลเมสเซจและเมสเซสร้องขอกลับไป แต่ถ้าเป็นโหนดข้างเคียงที่รู้จักแล้วจะทำการปรับปรุงเวลาของการคงอยู่ของโหนดข้างเคียงนั้นในตารางโหนดข้างเคียง
- เมสเซจร้องขอ : จะจัดส่งเมสเซสตอบกลับกลับไป



รูปที่ 3.11 การทำงานตามเมสเซจของการค้นหาเส้นทางที่ได้รับของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมสเซจปรับปรุงเส้นทาง : เมื่อโหนดได้รับจะทำการปรับปรุงเวลาของการคงอยู่ของโหนดข้างเคียงที่ส่งเมสเซจนั้นมา ตามด้วยการปรับปรุงข้อมูลเส้นทางลงในตารางค่าใช้จ่าย จากนั้นคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายที่มีค่าน้อยที่สุดใหม่และปรับปรุงตารางเส้นทาง ถ้าตารางเส้นทางมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งเมสเซจปรับปรุงเส้นทางไปยังโหนดข้างเคียง
- เมสเซจตอบกลับ : เมื่อโหนดได้รับจะทำการยกเลิกการกำหนดสถานะรอคอยให้กับโหนดข้างเคียงที่ส่งเมสเซจนี้มา จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลเส้นทางภายในเมสเซจลงในตารางค่าใช้จ่ายแล้วทำการคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดใหม่และปรับปรุงตารางเส้นทาง ถ้ารายการเส้นทางในตารางเส้นทางมีการเปลี่ยนแปลงจะต้องส่งเมสเซสปรับปรุงเส้นทางไปยังทุกโหนดข้างเคียง

3.3 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมลูปฟรีพาธไฟน์ดิ้ง

อัลกอริทึมลูปฟรีพาธไฟน์ดิ้งที่มีพื้นฐานมาจากอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง ดังนั้นจึงมีการทำงานหลายส่วนที่เหมือนกัน ในส่วนที่แตกต่าง คือ เมื่อค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งจะต้องมีการตรวจสอบความสอดคล้องของเส้นทางเดินกับโหนดข้างเคียงก่อนเสมอเพื่อป้องกันการเกิดลูปแบบชั่วคราวของข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทาง (Temporary Routing Table Loop) เมื่อตรวจสอบเสร็จแล้วจึงทำการปรับปรุงค่าใช้จ่ายจริงซึ่งรายละเอียดอธิบายไว้แล้วในบทที่ 2

3.3.1 การจัดเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาเส้นทางของอัลกอริทึมลูปฟรีพาธไฟน์ดิ้งจะจัดเก็บอยู่ในรูปของตารางทั้งหมดสามตารางเช่นเดียวกับอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง ได้แก่ ตารางเส้นทาง ตารางโหนดข้างเคียง และตารางค่าใช้จ่าย ในตารางเส้นทางมีข้อมูลเพิ่มเติมในแต่ละรายการ ได้แก่ รายชื่อโหนดข้างเคียงที่ไม่สอดคล้อง การเพิ่มข้อมูลในส่วนนี้จะเกิดขึ้นเมื่อส่งเมสเซจค้นหาไปยังโหนดข้างเคียง และการลบข้อมูลในส่วนนี้เมื่อได้รับการตอบกลับจากโหนดข้างเคียงหรือโหนดข้างเคียงนั้นหมดอายุ

3.3.2 รูปแบบ ประเภท และรายละเอียดของเมสเซจ

รูปแบบของเมสเซจของการค้นหาเส้นทางประกอบด้วยส่วนหัวและรายการข้อมูลเช่นเดียวกับอัลกอรทึมพาธไฟน์ดิ้งดังรูปที่ 3.5 แต่มีประเภทของเมสเซจเพิ่มเติม คือ เมสเซสสอบถาม (Query Message) และเมสเซสคำตอบ (Answer Message) เมสเซจสอบถามเป็นการสอบถาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

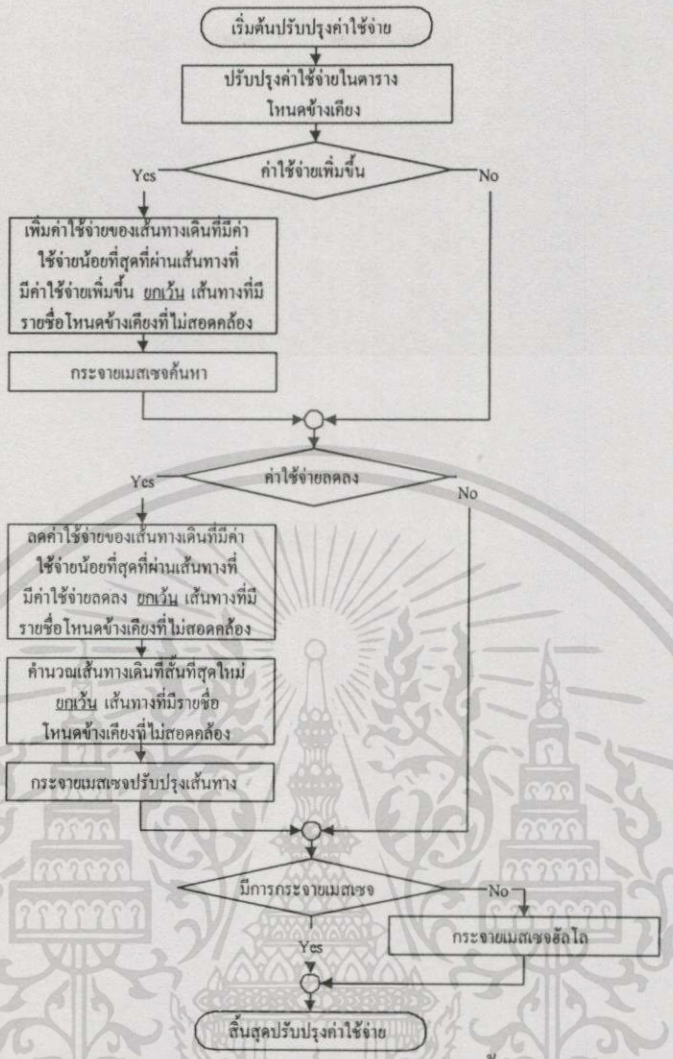
ข้อมูลเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดที่ต้องการปรับปรุงกับโหนดข้างเคียงเพื่อทำให้เกิดความสอดคล้องก่อนที่จะปรับปรุงจริง การสอบถามจะเกิดขึ้นเมื่อค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อสอบถามไปแล้วจะต้องรอคอยตอบกลับมาด้วยเมสเซจคำตอบเท่านั้น เมื่อได้รับคำตอบครบจากทุกโหนดข้างเคียงหรือไม่มีรายชื่อโหนดข้างเคียงที่ไม่สอดคล้องจึงจะทำการปรับปรุงข้อมูลเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดจริงในส่วนของรายการนั้น เมสเซจทั้งสองจะเป็นเมสเซจที่มีทั้งส่วนหัวและข้อมูลเส้นทางอย่างน้อยหนึ่งรายการเสมอ

3.3.3 รายละเอียดของการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมลูปฟรีพาธไฟน์ดิ้ง

การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมลูปฟรีพาธไฟน์ดิ้งสำหรับการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายสามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ส่วนเช่นเดียวกับอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง คือ การเริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่ การทำงานตามคาบเวลา การทำงานทุกวินาที และการทำงานตามเมสเซจที่ได้รับ และในรายละเอียดการทำงานส่วนใหญ่เหมือนกับอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งด้วย ยกเว้นในกรณีที่ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและการจัดการเมสเซจค้นหาและเมสเซจตอบกลับ

การเริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่เหมือนกับอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.6 ส่วนการทำงานตามคาบเวลามีรายละเอียดเช่นเดียวกันกับรูปที่ 3.8 แต่แตกต่างกันในส่วนของการปรับปรุงค่าใช้จ่าย การปรับปรุงค่าใช้จ่ายของอัลกอริทึมลูปฟรีพาธไฟน์ดิ้งมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.12 โดยเมื่อค่าใช้จ่ายของเส้นทางไปยังโหนดข้างเคียงในตารางเส้นทางมีค่าเพิ่มขึ้น ขั้นตอนแรก คือ การเพิ่มค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดที่ผ่านเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น ยกเว้นในกรณีเส้นทางนั้นมีรายชื่อโหนดข้างเคียงไม่สอดคล้อง ค่าที่เพิ่มขึ้นเท่ากับค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงที่เพิ่มขึ้น จากนั้นกระจายเมสเซจค้นหาไปยังทุกโหนดข้างเคียงที่รู้จักพร้อมกับเพิ่มรายชื่อโหนดข้างเคียงที่ไม่สอดคล้องลงในรายการเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นด้วย รายการนี้จะไม่มีปรับปรุงจนกว่าจะได้รับการตอบกลับมาจากทุกโหนดข้างเคียงหรือไม่มีรายชื่อโหนดข้างเคียงที่ไม่สอดคล้อง การส่งเมสเซจค้นหาจะประกอบด้วยที่อยู่เครือข่ายย่อยปลายทางและค่าใช้จ่ายที่เพิ่มขึ้น ต่อไปตรวจสอบว่ามีค่าใช้จ่ายไปยังโหนดข้างเคียงลดลงหรือไม่ ถ้ามีจะทำการปรับลดค่าใช้จ่ายของเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดในตารางเส้นทาง ยกเว้นเส้นทางที่มีรายชื่อโหนดข้างเคียงที่ไม่สอดคล้อง จากนั้นคำนวณเส้นทางเดินไปยังปลายต่าง ๆ ใหม่ ยกเว้นเส้นทางที่มีรายชื่อโหนดข้างเคียงที่ไม่สอดคล้อง จากนั้นถ้าเส้นทางมีการเปลี่ยนแปลงจะต้องกระจายเมสเซจปรับปรุงเส้นทางไปยังทุกโหนดข้างเคียง สุดท้ายเป็นการตรวจสอบว่ามีการกระจายเมสเซจค้นหาหรือเมสเซจปรับปรุงเส้นทางหรือไม่ ถ้าไม่มีให้กระจายให้กระจายเมสเซจฮัลโลไปยังทุกโหนดข้างเคียง

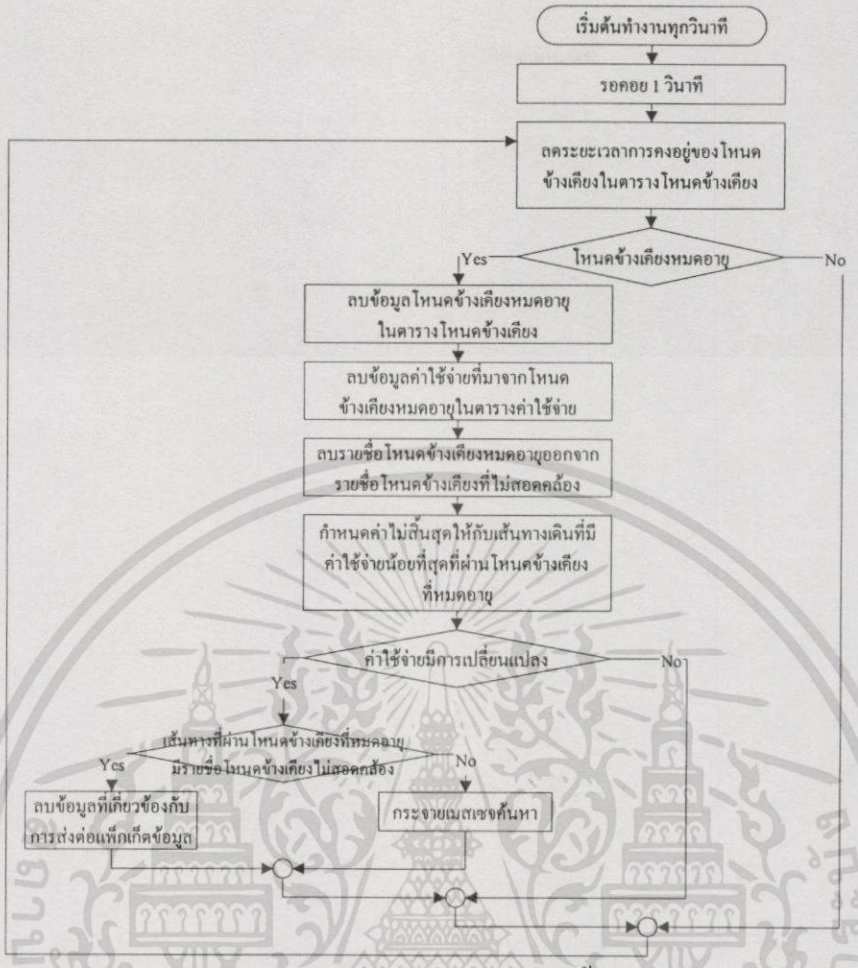
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 การปรับปรุงค่าใช้จ่ายของอัลกอริทึมลูปฟรีพาธไฟน์ดิ้ง

การทำงานทุกวินาทีเป็นอีกส่วนหนึ่งที่มีความแตกต่างกับอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง เมื่อการเชื่อมโยงไปยังโหนดข้างเคียงล้มเหลว หมายถึง ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงเพิ่มขึ้นโดยมีค่าเท่ากับค่าไม่สิ้นสุด รายละเอียดการทำงานทุกวินาทีแสดงไว้ในรูปที่ 3.13 โดยเมื่อลดเวลาการคงอยู่ของโหนดข้างเคียงในตารางโหนดข้างเคียงแล้วทำให้โหนดข้างเคียงหมดอายุ สิ่งแรกที่ต้องทำคือ การลบข้อมูลของโหนดข้างเคียงที่หมดอายุในตารางโหนดข้างเคียงและในตารางค่าใช้จ่ายแล้วลบรายชื่อโหนดข้างเคียงนี้ในรายชื่อโหนดข้างเคียงที่ไม่สอดคล้องในตารางเส้นทาง จากนั้นกำหนดค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดในตารางเส้นทางที่ผ่านโหนดข้างเคียงที่หมดอายุให้เท่ากับค่าไม่สิ้นสุด ถ้ารายการเส้นทางที่เปลี่ยนแปลงแต่มีรายชื่อโหนดข้างเคียงที่ไม่สอดคล้องให้ลบข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูล แต่ถ้าไม่มีรายชื่อโหนดข้างเคียงที่ไม่สอดคล้องให้ส่งเมสเซจค้นหาไปยังทุกโหนดข้างเคียงที่รู้จักพร้อมด้วยการเพิ่มรายชื่อโหนดข้างเคียงเหล่าที่ส่งเมสเซจไปถึงลงในรายชื่อโหนดข้างเคียงที่ไม่สอดคล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 การทำงานทุกวินาทีของอัลกอริทึมลูปฟรีพาธไฟน์ดิ้ง

การทำงานตามเมสเซจที่ได้รับมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.14 ซึ่งเมื่อได้รับเมสเซจอัลกอริทึมจะทำการตรวจประเภทแล้วทำงานตามประเภทเมสเซจนั้นซึ่งมีรายละเอียดดังนั้น

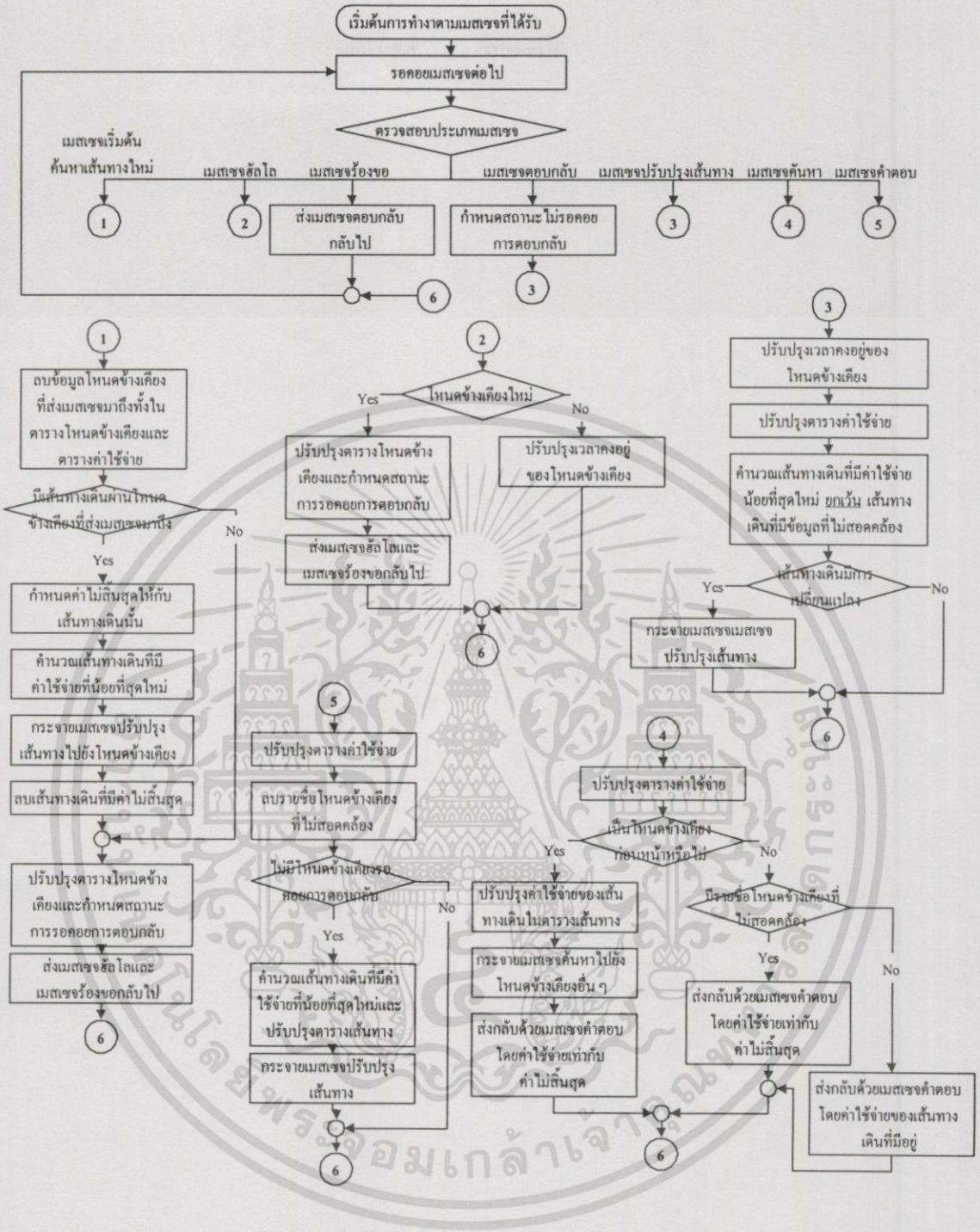
- เมสเซจเริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่ : โหนดจะทำการลบข้อมูลเก่าของโหนดข้างเคียงที่ส่งเมสเซจมาถึงทั้งในตารางโหนดข้างเคียงและตารางค่าใช้จ่าย จากนั้นตรวจสอบในตารางเส้นทางว่ามีเส้นทางเดินผ่านโหนดข้างเคียงนั้นหรือไม่ ถ้ามีให้กำหนดค่าใช้จ่ายเท่ากับค่าไม่สิ้นสุดแล้วคำนวนเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดใหม่แล้วจึงทำการกระจายเมสเซจปรับปรุงเส้นทางไปยังทุกโหนดข้างเคียงในกรณีรายการข้อมูลเส้นทางในตารางเส้นทางมีการเปลี่ยนแปลง จากนั้นปรับปรุงข้อมูลในตารางโหนดข้างเคียงโดยเพิ่มรายการโหนดข้างเคียงใหม่ กำหนดค่าใช้จ่าย กำหนดเวลาการคงอยู่ และกำหนดสถานะการรอคอยการตอบกลับ สุดท้าย คือ การส่งเมสเซจฮัลโลและเมสเซจร้องขอกลับไป
- เมสเซสฮัลโล : ถ้าเป็นโหนดข้างเคียงใหม่จะทำการปรับปรุงข้อมูลในตารางโหนดข้างเคียงโดยเพิ่มรายการโหนดข้างเคียงใหม่ กำหนดค่าใช้จ่าย กำหนดเวลาการคงอยู่ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดสถานะรอคอยตอบกลับ จากนั้นทำการส่งฮัลโลเมสเซจและเมสเซสร้องขอกลับไป แต่ถ้าเป็นโหนดข้างเคียงที่รู้จักแล้วจะทำการปรับปรุงเวลาของการคงอยู่ของโหนดข้างเคียงนั้นในตารางโหนดข้างเคียง

- เมสเซจร้องขอ : จะจัดส่งเมสเซสตอบกลับกลับไป
- เมสเซจตอบกลับ : เมื่อโหนดได้รับจะทำการยกเลิกการกำหนดสถานะรอคอยให้กับโหนดข้างเคียงที่ส่งเมสเซจนั้นมา จากนั้นทำการบันทึกข้อมูลเส้นทางภายในเมสเซจลงในตารางค่าใช้จ่ายแล้วทำการคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดใหม่และปรับปรุงตารางเส้นทาง ถ้ารายการเส้นทางในตารางเส้นทางมีการเปลี่ยนแปลงจะต้องส่งเมสเซสปรับปรุงเส้นทางไปยังทุกโหนดข้างเคียง
- เมสเซจปรับปรุงเส้นทาง : เมื่อโหนดได้รับจะทำการปรับปรุงเวลาของการคงอยู่ของโหนดข้างเคียงที่ส่งเมสเซจนั้นมา ตามด้วยการปรับปรุงข้อมูลเส้นทางลงในตารางค่าใช้จ่าย จากนั้นคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายที่มีค่าน้อยที่สุดใหม่และปรับปรุงตารางเส้นทาง ยกเว้นเส้นทางที่มีรายชื่อโหนดข้างเคียงไม่สอดคล้อง ถ้าตารางเส้นทางมีการเปลี่ยนแปลงจะส่งเมสเซจปรับปรุงเส้นทางไปยังโหนดข้างเคียง
- เมสเซจค้นหา : เมื่อโหนดได้รับเมสเซจนี้จะปรับปรุงตารางค่าใช้จ่ายด้วยข้อมูลภายในจากนั้นตรวจสอบเส้นทางไปยังเครือข่ายย่อยปลายทางตามที่ระบุในเมสเซจว่าผ่านโหนดข้างเคียงที่ส่งเมสเซจมาถึงหรือไม่ ถ้าผ่านให้ปรับปรุงค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดด้วยค่าใช้จ่ายที่มากับเมสเซจ แล้วส่งเมสเซจค้นหาไปยังโหนดข้างเคียงอื่น ๆ พร้อมกับส่งเมสเซจคำตอบกลับไปด้วยค่าใช้จ่ายไม่สิ้นสุด แต่ถ้าไม่ผ่านต้องตรวจสอบว่าเส้นทางเดินไปยังปลายทางนั้นมีข้อมูลโหนดข้างเคียงไม่สอดคล้องหรือไม่ ถ้ามีจะต้องส่งเมสเซจคำตอบกลับไปด้วยค่าใช้จ่ายไม่สิ้นสุด แต่ถ้าไม่มีให้ตอบกลับด้วยค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าน้อยที่สุดที่มีอยู่ในตารางเส้นทางพร้อมด้วยข้อมูลของโหนดข้างเคียงก่อนหน้าและโหนดปลายทาง
- เมสเซจคำตอบ : เมื่อได้รับเมสเซจตอบกลับจะทำการปรับปรุงค่าใช้จ่ายในตารางค่าใช้จ่าย ลบรายชื่อของโหนดข้างเคียงนั้นออกจากรายชื่อที่อยู่ของโหนดข้างเคียงที่รอคอยการตอบกลับในตารางเส้นทาง และถ้าไม่มีการรอคอยการตอบกลับจะทำการคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดใหม่พร้อมด้วยปรับปรุงตารางเส้นทาง จากนั้นส่งเมสเซจปรับปรุงเส้นทางไปยังทุกโหนดข้างเคียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.14 การทำงานตามเมสเซจที่ได้รับของอัลกอริทึมลูปฟรีพาธไฟน์ดิ้ง

3.4 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมลิงค์สเทต

การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมลิงค์สเทตในวิทยานิพนธ์นี้เป็นการประยุกต์อย่างง่ายซึ่งใกล้เคียงกับอัลกอริทึมลิงค์สเทตในอุดมคติ (Ideal Link State Algorithm) [4]

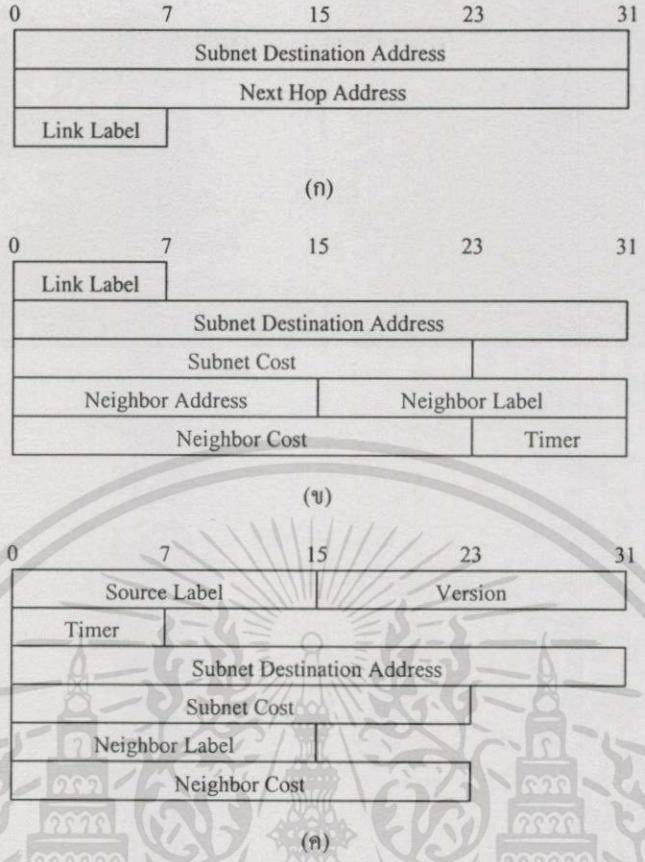
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 การจัดเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

ข้อมูลต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาเส้นทางจัดเก็บอยู่ในรูปของตารางทั้งหมด 3 ตาราง ได้แก่ ตารางเส้นทาง ตารางสถานะเส้นทางเชื่อมโยง และตารางโทโปโลยี (Topology Table) รายละเอียดของทั้งสามตารางแสดงได้ดังรูปที่ 3.15 ข้อมูลแต่ละรายการในตารางเส้นทางแสดงได้ดังรูป 3.15 (ก) ประกอบด้วย ที่อยู่เครือข่ายย่อยปลายทาง (Subnet Destination Address) ชื่ออ้างอิงเส้นทางเชื่อมโยง (Link Label) และที่อยู่ของโหนดต่อไป (Next Hop Address) ในเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ข้อมูลทั้งสามนี้ใช้สำหรับการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังเครือข่ายย่อยปลายทาง ตารางสถานะเส้นทางเชื่อมโยงเป็นตารางเก็บสถานะของเส้นทางเชื่อมโยงที่เชื่อมไปยังโหนดข้างเคียงหรือเครือข่ายย่อยปลายทาง ข้อมูลแต่ละรายการในตารางนี้แสดงได้ดังรูป 3.15 (ข) ประกอบด้วย ชื่ออ้างอิงเส้นทางเชื่อมโยง (Link Label) ข้อมูลการเชื่อมโยงไปยังเครือข่ายย่อยปลายทาง และข้อมูลการเชื่อมโยงไปยังโหนดข้างเคียง ข้อมูลการเชื่อมโยงไปยังเครือข่ายย่อยปลายทางประกอบด้วยที่อยู่ของเครือข่ายย่อยปลายทาง (Subnet Destination Address) และค่าใช้จ่าย (Subnet Cost) ส่วนข้อมูลการเชื่อมโยงไปยังโหนดข้างเคียงประกอบด้วย ที่อยู่ (Neighbor Address) และป้ายชื่อ(Neighbor Label) ของโหนดข้างเคียง ค่าใช้จ่าย (Neighbor Cost) และเวลาการคงอยู่ (Timer) ที่อยู่ของโหนดข้างเคียงในตารางเส้นทางเชื่อมโยงสำหรับใช้อ้างอิงเป็นโหนดถัดไปในเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ข้อมูลการเชื่อมโยงไปยังเครือข่ายย่อยปลายทางและข้อมูลการเชื่อมโยงไปยังโหนดข้างเคียงสามารถมีได้มากกว่าหนึ่งรายการ โดยขึ้นอยู่กับแต่ละเส้นทางเชื่อมโยง

ส่วนตารางโทโปโลยีเป็นตารางเก็บสถานะเส้นทางเชื่อมโยงที่กระจายมาจากโหนดต่าง ๆ ในเครือข่าย โดยข้อมูลในตารางนี้แสดงได้ดังรูปที่ 3.15 (ค) ประกอบป้ายชื่อของโหนดต้นทาง (Source Label) ที่กระจายข้อมูลสถานะเส้นทางเชื่อมโยงมาให้ เวอร์ชั่น (Version) เวลาการคงอยู่ของข้อมูลสถานะ (Timer) สถานะเส้นทางเชื่อมโยงที่เชื่อมโยงไปยังเครือข่ายย่อยปลายทาง และสถานะเส้นทางเชื่อมโยงที่เชื่อมโยงไปยังโหนดข้างเคียง สถานะเส้นทางเชื่อมโยงที่เชื่อมโยงไปยังเครือข่ายย่อยปลายทางประกอบด้วยที่อยู่ของเครือข่ายย่อยปลายทาง (Subnet Destination Address) และค่าใช้จ่ายของการเชื่อมโยง (Subnet Cost) ส่วนสถานะเส้นทางเชื่อมโยงที่เชื่อมโยงไปยังโหนดข้างเคียงซึ่งต้องมีอย่างน้อยสองรายการเสมอซึ่งแต่ละรายการประกอบป้ายชื่อโหนดข้างเคียง (Neighbor Label) และค่าใช้จ่ายของการเชื่อมโยงนั้น (Neighbor Cost)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



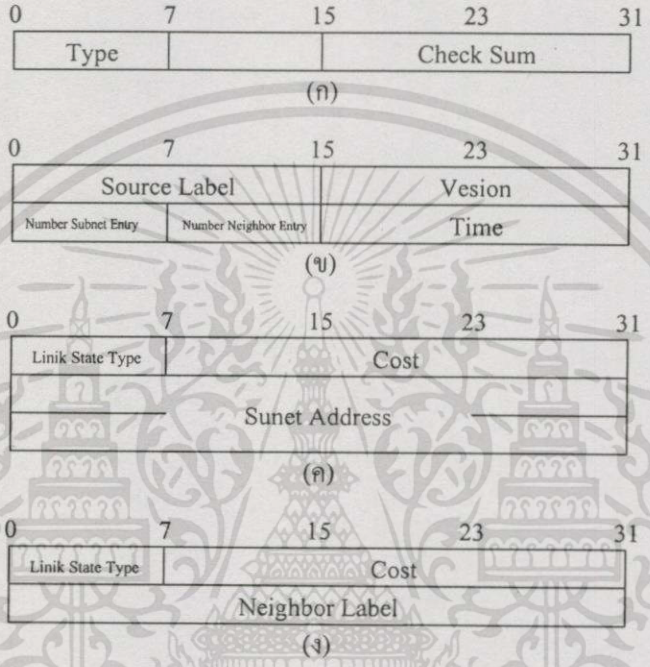
รูปที่ 3.15 ตารางจัดเก็บข้อมูลของอัลกอริทึมลิงค์สเทต

3.4.2 รูปแบบ ประเภท และรายละเอียดของเมสเซจ

รูปแบบของเมสเซจสำหรับการค้นหาเส้นทางของอัลกอริทึมลิงค์สเทตประกอบด้วยส่วนหัว ส่วนหัวย่อย และรายการข้อมูลสถานะเส้นทางเชื่อมโยงซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.16 ส่วนหัวของเมสเซจซึ่งแสดงในรูปที่ 3.16 (ก) มีขนาด 4 ไบต์ประกอบด้วยประเภท (Type) และข้อมูลการตรวจสอบความถูกต้อง (Check Sum) ในส่วนหัวย่อยจะใช้ในกรณีที่เป็นการกระจายข้อมูลสถานะเส้นทางเชื่อมโยงซึ่งส่วนนี้แสดงในรูปที่ 3.16 (ข) ประกอบด้วยป้ายชื่อของโหนดต้นทาง (Source Label) เวอร์ชั่นของสถานะเส้นทางเชื่อมโยง (Version) และเวลาการคงอยู่ (Time) จำนวนรายการข้อมูลสถานะเส้นทางที่เชื่อมโยงไปยังเครือข่ายย่อยปลายทาง (Number Subnet Entry) และจำนวนรายการสถานะเส้นทางที่เชื่อมโยงไปยังโหนดข้างเคียง (Number Neighbor Entry) ส่วนรายการข้อมูลสถานะเส้นทางเชื่อมโยงแบ่งย่อยออกเป็นสองประเภท คือ สำหรับเครือข่ายย่อยปลายทางซึ่งแสดงในรูปที่ 3.16 (ค) และสำหรับโหนดข้างเคียงซึ่งแสดงในรูปที่ 3.16 (ง) ในรายการข้อมูลประเภทแรกประกอบด้วยประเภทของรายการข้อมูลสถานะเส้นทาง (Link State Type) ค่าใช้จ่ายของการเชื่อมโยง (Cost) และที่อยู่ของเครือข่ายย่อยปลายทาง (Subnet Address) ส่วนรายการข้อมูลประเภทที่สองประกอบด้วยประเภทของรายการข้อมูลสถานะเส้นทาง (Link State Type) ค่าใช้จ่ายของการเชื่อมโยง (Cost) และป้ายชื่อของโหนดข้างเคียง (Neighbor Label)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมสเซจของอัลกอริทึมลิงค์สเทตแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ เมสเซจฮัลโล (Hello Message) และเมสเซจสถานะเส้นทางเชื่อมโยง (Link Sate Message) เมสเซจฮัลโลใช้บ่งบอกการคงอยู่ของโหนดซึ่งจะประกอบด้วยส่วนหัวเท่านั้น ส่วนเมสเซจสถานะเส้นทางเชื่อมโยงเป็นการกระจายสถานะเส้นทางเชื่อมโยงไปยังโหนดต่าง ๆ ในเครือข่าย เมสเซจนี้จะประกอบครบทั้งสี่ส่วน

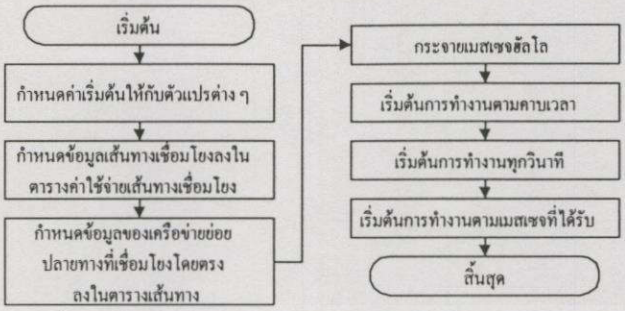


รูปที่ 3.16 รายละเอียดเมสเซจของอัลกอริทึมลิงค์สเทต

3.4.3 รายละเอียดของการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมลิงค์สเทต

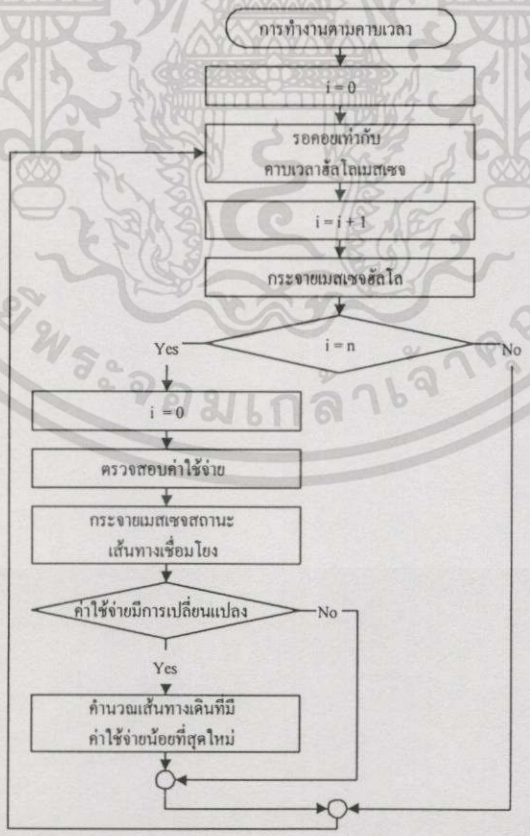
การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมลิงค์สเทตอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางในเครือข่ายแบ่งการทำงานออกเป็น 4 ส่วนเช่นเดียวกับการประยุกต์อัลกอริทึมอื่น ๆ ได้แก่ การเริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่ การทำงานตามคาบเวลา การทำงานทุกวินาที และการทำงานตามเมสเซจที่ได้รับ การเริ่มต้นค้นหาเส้นทางใหม่มีรายละเอียดขั้นตอนดังรูปที่ 3.17 ซึ่งเริ่มต้นด้วยการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปรต่าง ๆ จากนั้นกำหนดข้อมูลเส้นทางเชื่อมโยงลงในตารางสถานะเส้นทางเชื่อมโยงซึ่งประกอบด้วยชื่ออ้างอิงเส้นทางเชื่อมโยง ถ้าเส้นทางนี้เชื่อมโยงไปยังเครือข่ายย่อยปลายทางจะต้องระบุที่อยู่ของเครือข่ายย่อยปลายทางนั้นพร้อมด้วยค่าใช้จ่ายเท่ากับศูนย์ ต่อด้วยการกำหนดรายละเอียดของเครือข่ายย่อยปลายทางที่เชื่อมโยงโดยตรงลงในตารางเส้นทางซึ่งประกอบด้วย ที่อยู่ของเครือข่ายย่อยปลายทางและชื่ออ้างอิงเส้นทางเชื่อมโยง ส่วนที่อยู่ของโหนดข้างเคียงซึ่งจะไม่มี จากนั้นส่งเมสเซจฮัลโลไปยังทุกโหนดข้างเคียง และสุดท้ายเริ่มต้นการทำงานตามคาบเวลา การทำงานทุกวินาที และการทำงานตามเมสเซจที่ได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.17 รายละเอียดการเริ่มต้นการทำงานของอัลกอริทึมลิงค์สเทต

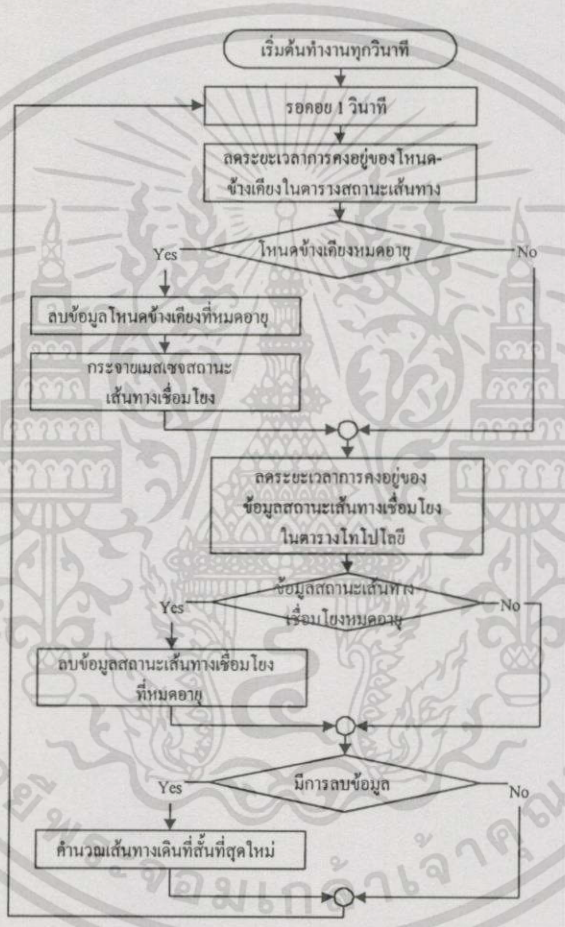
การทำงานตามคาบเวลาซึ่งแสดงรายละเอียดในรูปที่ 3.18 โดยแบ่งคาบเวลาออกเป็นสองส่วน ได้แก่ คาบเวลาการกระจายเมสเซจฮัลโล และคาบเวลาตรวจสอบค่าใช้จ่าย คาบเวลาทั้งสองสัมพันธ์กันตามสมการ 3.1 การทำงานแต่ละคาบเวลา อัลกอริทึมจะทำการกระจายเมสเซจฮัลโล และถ้าคาบเวลานั้นเท่ากับคาบเวลาตรวจสอบค่าใช้จ่าย อัลกอริทึมจะทำการตรวจสอบค่าใช้จ่ายแล้วกระจายเมสเซจสถานะเส้นทางเชื่อมโยงทุกโหนดในเครือข่ายและถ้าค่าใช้จ่ายมีการเปลี่ยนแปลงจะทำการคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดใหม่ด้วยอัลกอริทึมไดก์สตร้าและปรับปรุงตารางเส้นทาง



รูปที่ 3.18 การทำงานตามคาบเวลาของอัลกอริทึมลิงค์สเทต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานทุกวินาทีเป็นการลดระยะเวลาทั้งเวลาการคงอยู่ของโหนดข้างเคียงในตารางสถานะเส้นทางเชื่อมโยงและเวลาการคงอยู่ของข้อมูลสถานะเส้นทางเชื่อมโยงในตารางโทโปโลยี รายละเอียดแสดงในรูปที่ 3.19 ถ้าโหนดข้างเคียงหมดอายุจะต้องกระจายข้อมูลสถานะเส้นทางเชื่อมโยงและคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดใหม่พร้อมด้วยปรับปรุงตารางเส้นทาง แต่ถ้าข้อมูลสถานะเส้นทางเชื่อมโยงหมดอายุจะคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดใหม่และปรับปรุงตารางเส้นทางเท่านั้น

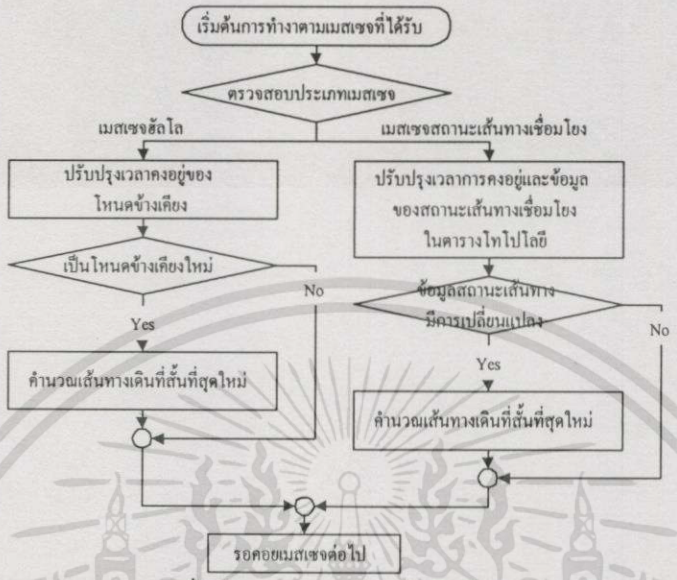


รูปที่ 3.19 การทำงานทุกวินาทีของอัลกอริทึมลิงค์สเทต

ส่วนสุดท้าย คือ การทำงานตามเมซเสจที่ได้รับซึ่งแสดงรายละเอียดในรูปที่ 3.20 เมสเซจในอัลกอริทึมนี้มีเพียงสองประเภท คือ เมสเซจฮัลโล และเมสเซจสถานะเส้นทางเชื่อมโยง เมื่อได้รับเมสเซจฮัลโลจะทำการปรับปรุงเวลาการคงอยู่ของโหนดข้างเคียง ถ้าเป็นโหนดข้างเคียงใหม่ให้ทำการคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดใหม่แล้วปรับปรุงตารางเส้นทาง ส่วนเมื่อได้รับเมสเซจสถานะเส้นทางเชื่อมโยงจะทำการปรับปรุงข้อมูลดังกล่าวในตารางโทโปโลยี รวมไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึงการปรับปรุงเวลาการคงอยู่ของข้อมูลดังกล่าวด้วย ถ้าสถานะเส้นทางเชื่อมโยงมีการเปลี่ยนแปลง ต้องคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดใหม่แล้วปรับปรุงตารางเส้นทาง



รูปที่ 3.20 การทำงานตามเมสเซจที่ได้รับของอัลกอริทึมลิงค์สเทต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
การประเมินประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทาง

วิธีการของการประเมินประสิทธิภาพสามารถแบ่งออกเป็น 10 ขั้นตอน [18] ได้แก่

1. การวางเป้าหมายและขอบเขตของระบบ
2. การกำหนดรายการการให้บริการและความคาดหวังที่จะให้เกิดขึ้น
3. การเลือกเกณฑ์หรือมาตรวัดประสิทธิภาพ
4. การกำหนดรายการพารามิเตอร์ (Parameter) ของระบบและภาระงาน (Workload)
5. การเลือกพารามิเตอร์ที่สนใจศึกษาหรือเฟกเตอร์ (Factor) และระดับค่าที่เป็นไปได้
6. การเลือกเทคนิคการประเมินประสิทธิภาพ
7. การเลือกรายละเอียดของพารามิเตอร์ภาระงาน
8. ออกแบบการทดลอง
9. วิเคราะห์และแปลผลการทดลอง
10. การนำเสนอ

รายละเอียดใน 6 ขั้นตอนแรกตั้งแต่การกำหนดเป้าหมายจนการกำหนดเทคนิคการประเมินประสิทธิภาพซึ่งเป็นส่วนของการออกแบบและวิเคราะห์ระบบจะอธิบายรายละเอียดไว้ในบทนี้ ส่วน 4 ขั้นตอนสุดท้ายซึ่งเป็นส่วนของการทดลองอธิบายไว้ในบทที่ 7

4.1 การวางเป้าหมายและขอบเขตของระบบ

เป้าหมายของวิทยานิพนธ์นี้ คือ การประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางที่ประยุกต์ใช้อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง (Path Finding Algorithm) อัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้ง (Loop Free Path Finding Algorithm) และอัลกอริทึมลิงค์สเทต (Link State Algorithm) เป็นพื้นฐานของการค้นหาเส้นทางแบบปรับตัวกระจาย (Distributed Adaptive Routing) ในเครือข่าย

การค้นหาเส้นทางจะทำให้เกิดเส้นทางที่ใช้ส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังเครือข่ายย่อยปลายทาง แต่ในขณะเดียวกันการค้นหาเส้นทางแบบปรับตัวกระจายจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรเครือข่ายบางส่วนเพื่อปรับปรุงเส้นทางให้เป็นปัจจุบันตามสถานะเครือข่ายที่เปลี่ยนแปลง ดังนั้น ในการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางทั้งสามซึ่งมีความแตกต่างกันในรายละเอียดการค้นหาเส้นทางจะส่งผลกระทบอย่างไรต่อประสิทธิภาพของเส้นทางที่ใช้ส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลและการใช้ทรัพยากรเครือข่ายของการค้นหาเส้นทางแบบปรับตัวกระจาย

ขอบเขตของระบบที่สนใจ คือ เครือข่าย และองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาเส้นทางในเครือข่าย เครือข่ายนี้ประกอบขึ้นด้วย โหนด เส้นทางเชื่อมโยง และเครือข่ายย่อย ส่วนองค์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาเส้นทาง ได้แก่ อัลกอริทึมค้นหาเส้นทาง ฟังก์ชั่นค่าใช้จ่าย และคาบเวลาค้นหาเส้นทาง เป็นต้น

4.2 การกำหนดรายการการให้บริการของระบบและความคาดหวังที่จะเกิดขึ้น

การให้บริการหรือหน้าที่หลักของการค้นหาเส้นทาง คือ การกำหนดเส้นทางที่ดีเพื่อใช้สำหรับส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังเครือข่ายย่อยปลายทาง ดังนั้น ความต้องการหรือความคาดหวังที่จะให้เกิดขึ้นต่อการค้นหาเส้นทางเพื่อให้ได้เส้นทางที่ดีแบ่งออกเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนของผลลัพธ์ คือ เส้นทางที่ดี และส่วนของผลกระทบหรือการทำงานเพื่อให้ได้มาซึ่งเส้นทางที่ดี คือ การใช้ทรัพยากรเครือข่ายให้น้อยที่สุด

4.3 การเลือกมาตรวัดประสิทธิภาพ

มาตรวัดประสิทธิภาพของเส้นทางที่มีสำคัญ ได้แก่ ความรวดเร็วของการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูล จำนวนแพ็กเก็ตที่ส่งต่อได้ และโอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล แต่เนื่องจากทุกโหนดมีเส้นทางสำหรับการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลไปยังทุกเครือข่ายย่อยปลายทาง เส้นทางเหล่านี้สามารถปรับตัวได้ตามสถานะเครือข่าย และมาตรวัดที่กำหนดขึ้นขึ้นอยู่กับแพ็กเก็ตข้อมูลที่มาถึงเป็นหลัก ซึ่งแต่ละโหนดแตกต่างกันในแต่ละช่วงเวลา นอกจากนี้ สมมติในกรณีที่เกิดลูบของเส้นทาง เส้นทางสามารถส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลได้อย่างรวดเร็วและส่งต่อได้เป็นจำนวนมาก แต่เส้นทางนั้นไม่ใช่เส้นทางที่ดี ดังนั้นมาตรวัดดังกล่าวจึงไม่ถูกต้อง

ความคาดหวังที่แท้จริงของเส้นทางที่ดี คือ การโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพจากเครือข่ายย่อยต้นทางไปยังเครือข่ายย่อยปลายทางซึ่งการโอนย้ายแพ็กเก็ตได้อย่างมีประสิทธิภาพเกิดจากเส้นทางเดินที่ดีและเส้นทางที่ดีเกิดจากเส้นทางที่ดี ดังนั้น มาตรวัดประสิทธิภาพของเส้นทางที่ดีจึงประเมินได้จากประสิทธภาพการโอนย้ายแพ็กเก็ตผ่านเส้นทางเดินจากเครือข่ายย่อยต้นทางไปยังเครือข่ายย่อย มาตรวัดประสิทธิภาพดังกล่าว ได้แก่ ความหน่วงเวลาของการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูล จำนวนแพ็กเก็ตที่โอนย้ายสำเร็จหรือทรูพุทเครือข่าย และโอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล

ส่วนมาตรวัดประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรเครือข่าย ได้แก่ โอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทาง (Routing Overhead)

สมการของมาตรวัดต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้

1. ความหน่วงเวลาของการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูล

   = เวลาที่แพ็กเก็ตข้อมูลเดินทางมาถึงเครือข่ายย่อยปลายทาง – เวลาที่แพ็กเก็ตข้อมูลเดินทางมาถึงเครือข่ายย่อยต้นทาง (4.1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ทรูพุทของเครือข่าย

= ปริมาณภาระงานหรือแพ็คเก็ตข้อมูลที่มาถึง – ปริมาณแพ็กเก็ตข้อมูลที่สูญหาย (4.2)

3. โอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล

= 100 x ปริมาณแพ็กเก็ตข้อมูลที่สูญหาย / ปริมาณแพ็กเก็ตข้อมูลที่มาถึง (4.3)

4. โอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทาง

= 100 x ปริมาณแพ็กเก็ตเส้นทาง / (ปริมาณแพ็กเก็ตเส้นทาง+ปริมาณแพ็กเก็ตข้อมูล) (4.4)

4.4 การกำหนดรายการพารามิเตอร์ของระบบและภาระงาน

รายการพารามิเตอร์ระบบแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ รายการพารามิเตอร์ของเครือข่าย และรายการพารามิเตอร์ของการค้นหาเส้นทาง รายการพารามิเตอร์ของเครือข่ายมีรายละเอียดดังนี้

1. โทโปโลยีเครือข่าย
2. คุณสมบัติของโหนด ได้แก่
   - ขนาดสูงสุดของบัฟเฟอร์แพ็กเก็ตข้อมูล
   - การจัดการบัฟเฟอร์ (Buffer Control)
   - การจัดการความแออัด (Congestion Control)
   - การจัดการการไหลของแพ็กเก็ต (Flow control)
3. คุณสมบัติของเส้นทางเชื่อมโยง ได้แก่
   - อัตราความเร็วผู้ใช้ (User Data Rate)
   - ระยะทางของเส้นทางเชื่อมโยง
   - คุณสมบัติของโพรโทคอลดาต้าลิงค์ ประกอบด้วย
     - ขนาดส่วนหัวของเฟรมข้อมูล (Data Frame Header)
     - ขนาดของเฟรมตอบรับ (Acknowledge Frame)
   - ฟังก์ชั่นค่าใช้จ่าย

รายการพารามิเตอร์ของการค้นหาเส้นทางมีรายละเอียดดังนี้

1. อัลกอริทึมค้นหาเส้นทาง
2. คาบเวลาค้นหาเส้นทาง
3. คาบเวลาฮัลโล

ส่วนรายการพารามิเตอร์ของภาระงานมีรายละเอียดดังนี้

1. ขนาดของแพ็กเก็ตข้อมูลและแพ็กเก็ตเส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. อัตราการมาถึงของแพ็กเก็ตข้อมูลและแพ็กเก็ตเส้นทาง
3. ต้นทางและปลายทางของแพ็กเก็ตข้อมูลและแพ็กเก็ตเส้นทาง

4.5 การเลือกเฟกเตอร์และระดับค่าที่เป็นไปได้

พารามิเตอร์ที่นำมาใช้เป็นเฟกเตอร์และค่าที่เป็นไปได้มีรายละเอียดดังนี้

1. อัลกอริทึมค้นหาเส้นทาง ได้แก่ อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง, อัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้ง และอัลกอริทึมลิงค์สเทต
2. คาบเวลาค้นหาเส้นทาง มีค่าเท่ากับ 1, 10, 20 และ 30 วินาที

4.6 เทคนิคการประเมินประสิทธิภาพ

เทคนิคที่ใช้ประเมินประสิทธิใช้การจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์ซึ่งรายละเอียดอธิบายไว้ในบทถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
การออกแบบแบบจำลองเครือข่าย

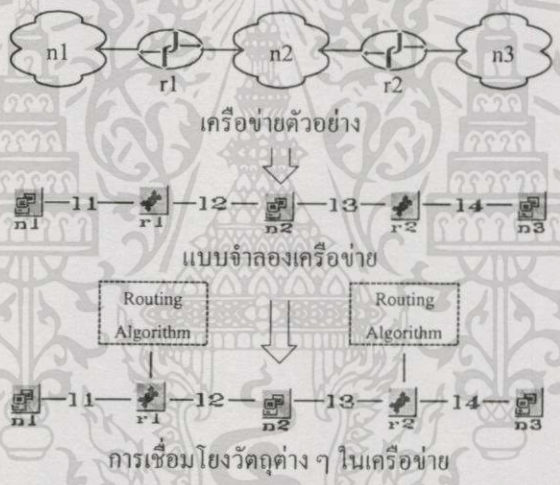
การจำลองแบบ (Simulation) เป็นกระบวนการออกแบบแบบจำลอง (Model) โดยเลียนแบบเหตุการณ์หรือระบบที่สนใจซึ่งอาจจะมีอยู่จริงหรือไม่มีอยู่จริงก็ได้แล้วนำแบบจำลองที่สร้างขึ้นตามที่ได้ออกแบบไปใช้ตามเป้าหมายที่วางไว้ แบบจำลองสามารถมีได้หลายลักษณะ ได้แก่ สมการคณิตศาสตร์ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ แบบจำลองการทำงาน และแบบจำลองกายภาพ เป็นต้น และในบางครั้งอาจจะใช้มากกว่าหนึ่งลักษณะร่วมกัน ด้วยเทคโนโลยีทางคอมพิวเตอร์ในปัจจุบันได้รับการพัฒนาทั้งประสิทธิภาพ เครื่องมือที่เกี่ยวข้อง และผู้รู้ผู้ชำนาญทางคอมพิวเตอร์ที่มีมากขึ้น ทำให้การจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) เป็นแนวทางการจำลองแบบที่นิยมใช้แพร่หลาย การจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์สามารถจำลองแบบระบบที่มีความซับซ้อนได้เป็นอย่างดี แบบจำลองของการจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์จะอยู่ในรูปของตัวแปรภายในโปรแกรมจำลองแบบหรือที่เรียกว่า "ตัวแบบจำลอง" (Simulator) ดังนั้นการจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์จึงเป็นการเลียนแบบเหตุการณ์ให้เป็นตัวแบบจำลองแล้วกำหนดค่าตัวแปรตามที่กำหนดไว้ อย่างไรก็ตาม ตัวแบบจำลองส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับแบบจำลองสมการคณิตศาสตร์ด้วยเสมอ ข้อเสียที่สำคัญของการจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์ คือ การกำหนดทรัพยากรทางคอมพิวเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการจำลองแบบซึ่งจะส่งผลต่อการพัฒนาตัวแบบจำลอง เวลาจริงของการทดลองด้วยตัวแบบจำลองที่สร้างขึ้น และเวลาทั้งหมดของการจำลองแบบโดยเฉพาะกับการจำลองระบบที่ซับซ้อน

การจำลองแบบเครือข่ายเป็นการจำลองแบบทางคอมพิวเตอร์โดยการออกแบบใช้แบบจำลองแบบเหตุการณ์ที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event Simulation Model) [19] และวิธีการเชิงโพรเซส (Process Oriented หรือ Process Schedule) [19] วิเคราะห์ลำดับเหตุการณ์และกระบวนการทำงานที่เกิดขึ้นภายในเครือข่าย ตัวแบบจำลองพัฒนาด้วยภาษา MODSIM III [20] ซึ่งเป็นภาษาสำหรับการจำลองทั่วไป (General Simulation Language) ของบริษัท CACI ภาษา MODSIM III สนับสนุนวิธีการเชิงวัตถุ (Object Oriented) ทำให้โครงสร้างของตัวแบบจำลองแบ่งออกเป็นวัตถุซึ่งมีความใกล้เคียงกับโลกความเป็นจริง (Real World) ผลที่ตามมา คือ การตรวจสอบความถูกต้องสามารถกระทำได้ง่าย ดังนั้น การทำงานของตัวแบบจำลองที่สร้างขึ้นจึงมีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของผลการจำลองแบบจากตัวแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1 องค์ประกอบแบบจำลองเครือข่าย

การออกแบบแบบจำลองเครือข่าย (Network Model) ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาเส้นทางสามารถแบ่งเครือข่ายออกเป็น 5 องค์ประกอบ ได้แก่ โหนด (Node) เครือข่ายย่อย (Subnet) เส้นทางเชื่อมโยง (Link) อัลกอริทึมค้นหาเส้นทาง (Routing Algorithm) และแพ็กเก็ต (Packet) การแบ่งออกเป็นองค์ประกอบทำให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ ออกแบบ ตรวจสอบความถูกต้อง และการพัฒนาตัวแบบจำลองโดยแต่ละองค์ประกอบจะมีคุณลักษณะ สถานะ และหน้าที่ที่แตกต่างกันและอิสระจากกัน แต่มีทำงานสัมพันธ์กัน การเชื่อมโยงของสามองค์ประกอบแรกซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มองเห็นนั้นเชื่อมโยงกันเป็นโทโปโลยีเครือข่ายดังรูปที่ 5.1 ภายในรูปประกอบด้วยสองโหนด คือ คือ r1 และ r2 และสามเครือข่ายย่อย ได้แก่ n1, n2 และ n3 อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางเป็นองค์ประกอบที่มองไม่เห็น แต่จะเชื่อมโยงอยู่กับทุกโหนดในเครือข่าย หน้าที่และรายละเอียดของแต่ละองค์ประกอบมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 5.1 แบบจำลองเครือข่ายที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาเส้นทาง

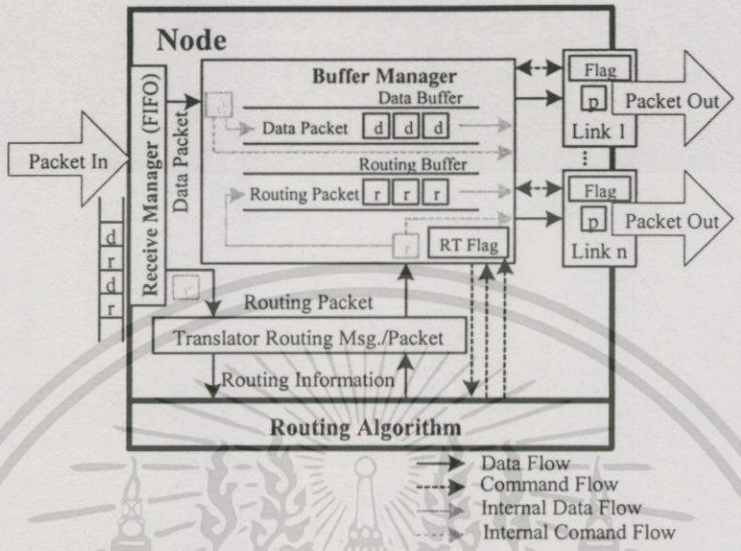
5.1.1 โหนด

โหนดใช้แทนอุปกรณ์ค้นหาเส้นทางในเครือข่ายโดยเชื่อมต่อกับอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางและเส้นทางเชื่อมโยง แต่ละโหนดจะต้องมีเส้นทางเชื่อมโยงที่เชื่อมโยงไปยังโหนดอื่น ๆ ในเครือข่ายอย่างน้อยสองโหนดและมีเส้นทางเดินที่สามารถเดินทางไปยังทุกโหนดในเครือข่ายอย่างน้อยโหนดละหนึ่งเส้นทาง

สถาปัตยกรรมภายในของโหนดแสดงดังรูปที่ 5.2 โดยโหนดจะทำการตรวจสอบทุกแพ็กเก็ตที่มาถึง ถ้าเป็นแพ็กเก็ตข้อมูลจะส่งไปพักไว้ในบัฟเฟอร์ข้อมูล แต่ถ้าเป็นแพ็กเก็ตเส้นทางจะนำข้อมูลเส้นทางภายในส่งต่อให้กับอัลกอริทึมค้นหาเส้นทาง และเมื่ออัลกอริทึมค้นหาเส้นทางจะส่งข้อมูลเส้นทางไปยังโหนดข้างเคียง อัลกอริทึมจะนำข้อมูลเส้นทางนั้นส่งมาให้โหนดเพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรจุลงในแพ็กเก็ตเส้นทางแล้วส่งไปพักไว้ในบัฟเฟอร์เส้นทางเพื่อรอคอยการส่งต่อไปยังโหนดข้างเคียง



รูปที่ 5.2 สถาปัตยกรรมภายในของโหนด

เมื่อแพ็กเก็ตมาถึงบัฟเฟอร์ ตัวจัดการบัฟเฟอร์จะตรวจสอบเส้นทางเชื่อมโยงที่จะส่งต่อแพ็กเก็ตนั้นออกไป ยกเว้นในกรณีแพ็กเก็ตข้อมูลที่มาถึงระหว่างการปรับปรุงเส้นทาง จากนั้นจะทำการตรวจสอบไปยังเส้นทางเชื่อมโยงนั้นว่าอยู่ระหว่างการทำงานหรือโอนย้ายเฟรมข้อมูลไปยังโหนดข้างเคียงหรือไม่ ถ้าไม่จะต้องส่งคำสั่งให้เส้นทางเชื่อมโยงเริ่มต้นการโอนย้ายเฟรมข้อมูล (Data Frame)

เมื่อเส้นทางเชื่อมโยงเริ่มต้นการโอนย้ายเฟรมข้อมูลหรือโอนย้ายเฟรมข้อมูลก่อนหน้าเสร็จเรียบร้อยจะส่งคำสั่งมายังตัวจัดการบัฟเฟอร์เพื่อให้ส่งแพ็กเก็ตที่ต้องการจะโอนย้ายต่อไปมาให้ เมื่อตัวจัดการบัฟเฟอร์ได้รับคำสั่งจะทำการค้นหาแพ็กเก็ตที่ต้องการส่งต่อไปยังเส้นทางเชื่อมโยงนั้น ในกรณีที่ค้นเจอแพ็กเก็ตข้อมูลจะต้องไม่อยู่ระหว่างการปรับปรุงเส้นทาง จากนั้นจะส่งแพ็กเก็ตไปให้เส้นทางเชื่อมโยงในรูปของเฟรมข้อมูล แต่ถ้าไม่มีหรือมีแพ็กเก็ตข้อมูลแต่อยู่ระหว่างการปรับปรุงปรุงตารางเส้นทาง ตัวจัดการบัฟเฟอร์จะส่งค่าว่างไปให้เส้นทางเชื่อมโยงเป็นการบอกว่าไม่มีแพ็กเก็ตที่จะส่งออกไปในขณะนั้น และเมื่อเส้นทางเชื่อมโยงได้รับค่าว่างจะหยุดการโอนย้ายเฟรมข้อมูล

ก่อนที่อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางจะทำการปรับปรุงตารางเส้นทางจะต้องส่งคำสั่งมายังโหนดเพื่อกำหนดค่าสถานะของตารางเส้นทางเป็นจริง (True) เพื่อบ่งบอกว่าอยู่ระหว่างการปรับปรุง จากนั้นเมื่อปรับปรุงเส้นทางเสร็จจะส่งคำสั่งมาอีกครั้งหนึ่งเพื่อให้ทุกเส้นทางเชื่อมโยงที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อยู่ในสถานะไม่มีการโอนย้ายข้อมูลให้เริ่มต้นการโอนย้ายข้อมูลพร้อมด้วยกำหนดสถานะของการปรับปรุงตารางให้เป็นเท็จ (False)

การส่งต่อแพ็กเก็ตของโหนดจะให้ความสำคัญกับแพ็กเก็ตเส้นทางก่อนเสมอ คือ ถ้าเส้นทางเชื่อมโยงว่างและมีทั้งแพ็กเก็ตเส้นทางและแพ็กเก็ตข้อมูลรอคอยอยู่ ถึงแม้ว่าแพ็กเก็ตข้อมูลจะมาถึงก่อน แต่แพ็กเก็ตเส้นทางจะต้องถูกส่งออกไปก่อนเสมอ นอกจากนี้ แพ็คเก็ตเส้นทางจะมีลำดับความสำคัญที่แตกต่างกันด้วยโดยขึ้นอยู่กับเมสเซจเส้นทางภายใน ดังนั้น การกำหนดลำดับความสำคัญของแพ็กเก็ตเส้นทางจึงขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมค้นหาเส้นทาง แพ็กเก็ตที่มีความสำคัญเท่ากัน แพ็กเก็ตที่มาถึงก่อนจะได้รับการบริการก่อน

ทุกโหนดในแบบจำลองเครือข่ายมีคุณสมบัติและการทำงานเหมือนกัน มีอิสระจากกันในการทำงาน และมีความสำคัญเท่ากัน แต่ละโหนดไม่สามารถตรวจสอบการยังคงทำงานอยู่ (Existing) ของโหนดข้างเคียงได้ด้วยฮาร์ดแวร์ในกรณีที่บัฟเฟอร์ของแพ็กเก็ตข้อมูลของโหนดมีขนาดจำกัด โหนดจะจัดการบัฟเฟอร์นั้นด้วยอัลกอริทึมถังน้ำรั่ว (Leaky Bucket Algorithm) [4] ซึ่งในขณะที่บัฟเฟอร์เต็ม แพ็กเก็ตที่มาถึงจะถูกละเลย

พารามิเตอร์ที่สำคัญของโหนด ได้แก่ ขนาดสูงสุดของบัฟเฟอร์ข้อมูลซึ่งมีค่าได้ตั้งแต่หนึ่งจนถึงอนันต์ (Infinity)

5.1.2 เครือข่ายย่อย

เครือข่ายย่อยในแบบจำลองเครือข่ายนี้แบ่งออกเป็นเครือข่ายย่อยปลายสุด (Stub Subnet) และเครือข่ายย่อยทางผ่าน (Transit Subnet) การเชื่อมโยงของเครือข่ายย่อยแต่ละประเภทแสดงดังรูปที่ 5.1 โดยเครือข่ายย่อยปลายสุด n1 และ n3 เชื่อมโยงกับโหนด r1 และ r2 ตามลำดับ ส่วนเครือข่ายย่อยทางผ่าน n2 เชื่อมโยงกับ r1 และ r2 ตามลำดับ

เครือข่ายย่อยปลายสุดเป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของแพ็กเก็ตข้อมูลโดยเชื่อมต่อกับเส้นทางเชื่อมโยงเพียงเส้นทางเดียวไปยังโหนดใดโหนดหนึ่งเท่านั้น เครือข่ายย่อยปลายสุดจึงถูกกำหนดให้เป็นเครือข่ายปลายทางสำหรับการค้นหาเส้นทางภายในเครือข่าย นอกจากนี้ เครือข่ายย่อยมีหน้าที่สร้างแพ็กเก็ตข้อมูลโดยแต่ละแพ็กเก็ตมีขนาดเท่ากับ 512 ไบต์ การมาถึงของแพ็กเก็ตข้อมูลใช้แบบจำลองตาม [21-22] โดยโอกาสการเกิดขึ้นมีการกระจายแบบปัวซอง (Poisson Distribution) และเวลาของการมาถึงมีการกระจายแบบเอ็กซ์โปแนนเชียล (Exponential Distribution) ส่วนการกำหนดปลายทางของแพ็กเก็ตข้อมูลใช้การกระจายแบบนอร์มอล (Normal Distribution) จำนวนแพ็กเก็ตข้อมูลที่สร้างขึ้นเฉลี่ยในแต่ละวินาทีสัมพันธ์กับอัตราความเร็วข้อมูลของผู้ใช้ (User Data Rate) สูงสุดของเส้นทางเชื่อมโยงใดเส้นทางเชื่อมโยงหนึ่งของโหนดที่เครือข่ายปลายสุดนั้นเชื่อมโยงอยู่โดยกำหนดให้มีค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ อัตราความเร็วของผู้ใช้เป็นแบนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิดธ์ (Bandwidth) ที่ผู้ใช้ได้รับซึ่งจะน้อยกว่าแบนด์วิดธ์ของเส้นทางเชื่อมโยง ค่าเปอร์เซ็นต์นี้เป็นพารามิเตอร์ของเครือข่ายย่อยปลายสุด

ส่วนเครือข่ายย่อยทางผ่านจะเชื่อมต่อเส้นทางเชื่อมโยงอย่างน้อยสองเส้นทางเสมอ โดยทำหน้าที่ควบคุมการสื่อสารข้อมูลของเส้นทางเชื่อมโยงเหล่านั้น พารามิเตอร์ของเครือข่ายทางผ่านแบ่งออกเป็นส่วน ๆ โดยส่วนแรกเป็นส่วนของการเชื่อมโยงทางกายภาพ ได้แก่ ระยะทางของการเชื่อมโยงระหว่างโหนดที่เชื่อมโยงผ่านเครือข่ายย่อยทางผ่านนั้น ส่วนที่สองเป็นส่วนของรูปแบบการส่งผ่านข้อมูลหรือโพรโตคอลดาต้าลิงค์ (Data Link Protocol) รายละเอียดของพารามิเตอร์ในส่วนนี้ ได้แก่ ขนาดส่วนหัวของเฟรมข้อมูล (Header Data Frame Size) ขนาดสูงสุดของเฟรมข้อมูล (Maximum Data Frame Size) และขนาดของเฟรมตอบรับ (Acknowledge Frame Size) ส่วนสุดท้ายเป็นการควบคุมการเชื่อมโยงทางตรรกะ (Logical Link Control) โดยในกรณีที่เชื่อมต่อกับเส้นทางเชื่อมโยงเพียงสองเส้นทางซึ่งเปรียบได้กับการเชื่อมโยงจุดต่อจุด (Point to Point) จะต้องกำหนดการสื่อสารข้อมูลเป็นแบบสื่อสารแบบสองทางตลอดเวลา (Full Duplex) หรือแบบทางเดียวคนละเวลา (Half Duplex) ถ้าเป็นแบบทางเดียวคนละเวลาจะต้องกำหนดโพรโตคอลมัลติเพิลเอ็กเซส (Multiple Access Protocol) ด้วย ตัวอย่างเช่น CSMA/CD เป็นต้น ส่วนในกรณีที่เชื่อมต่อมากกว่าสองเส้นทางขึ้นไปซึ่งเปรียบเสมือนกับการเชื่อมโยงแบบหลายจุด (Multi Point) จะต้องกำหนดการสื่อสารข้อมูลเป็นแบบยูนิคาสต์ (Unicast) หรือบรอดคาสต์ (Broadcast) และกำหนดโพรโตคอลมัลติเพิลเอ็กเซส

ตัวแบบจำลองของการจำลองแบบเครือข่ายในครั้งนี้จะประยุกต์ใช้พารามิเตอร์การควบคุมการเชื่อมโยงทางตรรกะเพียงการเชื่อมโยงแบบจุดต่อจุดและใช้การสื่อสารแบบสองทางตลอดเวลาเท่านั้น

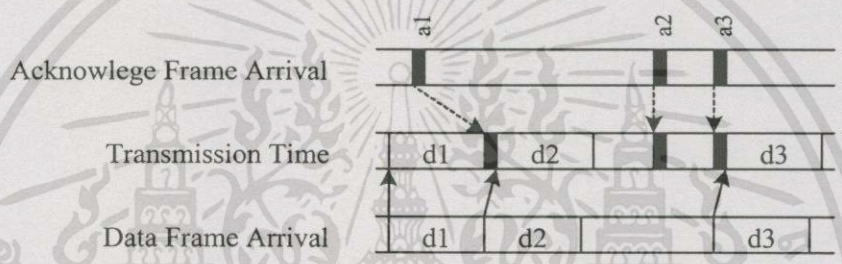
5.1.3 เส้นทางเชื่อมโยง

เส้นทางเชื่อมโยงเป็นเส้นทางที่เชื่อมระหว่างโหนดกับเครือข่ายย่อย โดยถ้าเชื่อมโยงกับเครือข่ายย่อยปลายทางจะทำหน้าที่โอนย้ายข้อมูลระห่างโหนดกับเครือข่ายย่อยปลายทาง ส่วนถ้าเชื่อมโยงกับเครือข่ายย่อยทางผ่านจะทำหน้าที่เป็นคิวส่ง (Transmission Queue) และคิวรับ แต่เนื่องจากสมมติฐานที่ว่าการโอนย้ายมีความถูกต้องเสมอจึงไม่ทำให้เกิดการส่งซ้ำของเฟรมที่เกิดข้อผิดพลาด ดังนั้น คิวส่งและคิวรับมีขนาดเท่ากับหนึ่งเสมอ

หน้าที่อีกอย่างหนึ่งของเส้นทางเชื่อมโยง คือ ถ้าโพรโตคอลดาต้าลิงค์กำหนดให้มีเฟรมตอบรับ เส้นทางเชื่อมโยงต้องสร้างภาระงานที่เกิดจากเฟรมตอบรับด้วย การส่งเฟรมตอบรับในบางโพรโตคอลด้าต้าลิงค์มีทั้งรวมการส่งเฟรมตอบรับรวมอยู่ในเฟรมข้อมูลและการส่งเฟรมตอบรับเฉพาะ ในกรณีที่ดีที่สุด คือ การส่งเฟรมตอบรับทุกครั้งรวมอยู่ในเฟรมข้อมูล แต่ในกรณีที่แย่ที่สุด คือ ต้องส่งเฟรมตอบรับแยกเฉพาะเสมอ ในแบบจำลองเครือข่ายจึงใช้การส่งเฟรมตอบรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกรณีที่แย่ที่สุดหรือมีภาระงานที่เกิดเฟรมตอบรับมากที่สุด เฟรมตอบรับมีขนาดเล็กมากเมื่อเปรียบเทียบกับเฟรมข้อมูลทั่วไปจึงใช้เวลาการโอนย้ายน้อยกว่ามากและมีผลต่อความหน่วงเวลา (Delay) ของแพ็กเก็ตข้อมูลน้อยมาก การส่งเฟรมตอบรับที่รวดเร็วจะทำให้จำนวนเฟรมที่รอคอยในหน้าต่าง (Window) ของอีกฝั่งหนึ่งลดลง ดังนั้น เฟรมตอบรับจึงถูกส่งออกไปทันทีเมื่อเส้นทางเชื่อมโยงว่างหรือถ้าอยู่ระหว่างโอนย้ายเฟรมข้อมูลจะทำการส่งหลังจากโอนย้ายเฟรมนั้นเสร็จซึ่งแสดงดังรูปที่ 5.3 เฟรมตอบรับ a1 มาถึงในขณะที่โอนย้ายเฟรมข้อมูล d1 อยู่ เฟรมตอบรับ a1 จะถูกส่งออกไปหลังจากโอนย้ายเฟรมข้อมูล d1 เสร็จสิ้น แม้ว่าจะมีเฟรมข้อมูล d2 มารอการโอนย้ายอยู่ก็ตาม ในอีกกรณีหนึ่ง เฟรมข้อมูล d3 และเฟรมตอบรับ a3 มาพร้อมกัน เฟรมตอบรับ a3 จะถูกส่งออกไปก่อนแล้วค่อยตามด้วยเฟรมตอบรับ d3



รูปที่ 5.3 การส่งเฟรมตอบรับของเส้นทางเชื่อมโยง

5.1.4 อัลกอริทึมค้นหาเส้นทาง

อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางเป็นตัวจักรสำคัญของการค้นหาเส้นทางโดยมีหน้าที่ค้นหา คำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และกำหนดเส้นทางสำหรับการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลของโหนดไปยังเครือข่ายย่อยปลายทางโดยข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ ที่อยู่ของเครือข่ายปลายทาง เส้นทางเชื่อมโยง และโหนดถัดไป ที่อยู่ของเครือข่ายปลายทางใช้สำหรับจับคู่กับเครือข่ายปลายทางภายในแพ็กเก็ตแล้วจะได้เส้นทางเชื่อมโยงและโหนดถัดไปซึ่งอยู่ในเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดที่สามารถเดินทางไปยังเครือข่ายปลายทางนั้นเป็นข้อมูลสำหรับการส่งต่อแพ็กเก็ตออกไป พารามิเตอร์ที่สำคัญของอัลกอริทึมค้นหาเส้นทาง ได้แก่ คาบเวลาค้นหาเส้นทางซึ่งมีหน่วยเป็นวินาที อัลกอริทึมที่ประยุกต์ใช้ในแบบจำลอง ได้แก่ อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง อัลกอริทึมลูปฟรีพาธไฟน์ดิ้ง และอัลกอริทึมลิงค์สเทต รายละเอียดการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมทั้งสามอธิบายไว้แล้วในบทที่ 3

5.1.5 แพ็กเก็ต

แพ็กเก็ตที่เกิดขึ้นในแบบจำลองเครือข่ายแบ่งออกเป็นแพ็กเก็ตเส้นทางและแพ็กเก็ตข้อมูล แพ็กเก็ตเส้นทางใช้สำหรับบรรจุข้อมูลเส้นทางเพื่อแลกเปลี่ยนกันระหว่างโหนดโดยมีขนาดเท่ากับขนาดของข้อมูลเส้นทางกับอีก 20 ไบต์ซึ่งเป็นขนาดของส่วนหัวแพ็กเก็ตไอพี (IP

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Packet Header) การเกิดขึ้นของแพ็กเก็ตเส้นทางขึ้นอยู่กับการค้นหาเส้นทาง ส่วนแพ็กเก็ตข้อมูลเป็นการจำลองการแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างกันของเครือข่ายย่อยปลายสุดและทำให้เกิดภาระงานในเส้นทางต่าง ๆ ที่แพ็กเก็ตข้อมูลเดินทางผ่าน แต่ละแพ็กเก็ตข้อมูลมีขนาดเท่ากับ 512 ไบท์และการเกิดขึ้นขึ้นอยู่กับพารามิเตอร์ของเครือข่ายย่อยปลายสุด แพ็กเก็ตสามารถสูญหายได้เมื่อเดินทางผ่านโหนด เส้นทางเชื่อมโยง หรือเครือข่ายย่อยทางผ่านที่ล้มเหลวและในกรณีของบัฟเฟอร์แพ็กเก็ตข้อมูลของโหนดเต็ม

ตารางที่ 5.1 องค์ประกอบ พารามิเตอร์ และค่าที่เป็นไปได้ภายในแบบจำลองเครือข่าย

ชื่อวัตถุ	ตัวแปรพารามิเตอร์	ค่าที่เป็นไปได้
โหนด	ขนาดสูงสุดของบัฟเฟอร์ข้อมูล	>0
เครือข่ายย่อยทางผ่าน	ระยะทางเชื่อมโยงระหว่างโหนด	≥ 0 กิโลเมตร
	แบนด์วิดธ์	> 0.0 Mbps
	ขนาดส่วนหัวของเฟรมข้อมูล	≥ 0 ไบต์
	ขนาดสูงสุดของเฟรมข้อมูล	> 0 ไบต์
	ขนาดของเฟรมตอบรับ	≥ 0 ไบต์
เครือข่ายย่อยปลายสุด	เปอร์เซ็นต์ภาระงาน	≥ 0 %
เส้นทางเชื่อมโยง	-	-
อัลกอริทึมค้นหาเส้นทาง	คาบเวลาค้นหาเส้นทาง	≥ 1 วินาที
แพ็กเก็ต	-	-

5.2 การเริ่มต้นการทำงานของเครือข่าย

ก่อนการเริ่มต้นการทำงานของตัวแบบจำลองเครือข่าย ทุกโหนดอยู่ในสถานะล้มเหลวและทุกองค์ประกอบอยู่ในสภาวะไม่ทำงาน การทำงานของเครือข่ายจะเริ่มต้นด้วยการคืนกลับ (Recovery) มาทำงานของโหนดซึ่งทำให้อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางเริ่มต้นทำงานด้วย แต่เนื่องจากอัลกอริทึมทำงานเป็นคาบเวลา สมมติให้คาบเวลาการค้นหาเส้นทางเท่ากับ 30 วินาที อัลกอริทึมเริ่มต้นทำงานที่วินาทีที่ 1, 31 หรือ 61 จะมีผลเหมือนกัน คือ เมื่อเริ่มต้นที่วินาทีที่ 1 การทำงานครั้งต่อไป คือ วินาที่ 31, 61, ... ตามลำดับ แต่การเริ่มต้นเร็ว คือ วินาทีที่ 1 ทำให้เกิดช่วงสถานะไม่คงที่ (Transient State) ของการจำลองแบบสั้นลงซึ่งส่งผลทำให้ระยะเวลาจริงของการจำลองแบบสั้นลงด้วย ดังนั้น การเริ่มต้นการทำงานของทุกโหนดจึงกำหนดให้อยู่ในช่วงคาบเวลาแรกของการจำลองแบบซึ่งเท่ากับคาบเวลาค้นหาเส้นทาง

การคืนกลับมาทำงานของโหนดเป็นการเริ่มต้นการค้นหาเส้นทางซึ่งส่งผลต่อการมาถึงของแพ็กเก็ตเส้นทางซึ่งทำให้เกิดภาระงานในเส้นทางเชื่อมโยงของเครือข่ายเช่นเดียวกับแพ็กเก็ตข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มูล การมาถึงของแพ็กเก็ตในเครือข่ายเป็นไปตามแบบจำลองของ [21] ดังนั้น การคืนกลับมาของโหนดจึงกำหนดตามแบบจำลองของ [21] โดยโอกาสการคืนกลับของโหนดมีการกระจายแบบปัว-ซองและเวลาของการคืนกลับมีการกระจายแบบเอ็กซ์โปแนนเชียล การกำหนดโหนดใดจะคืนกลับมาทำงานนั้นมีการกระจายแบบนอร์มอล

เมื่อผ่านคาบเวลาแรกของการจำลองแบบ ทุกโหนดเริ่มต้นทำงาน แต่การค้นหาเส้นทางจำเป็นต้องใช้อีกหนึ่งคาบเวลาเพื่อการเรียนรู้เส้นทางเดินไปยังทุกเครือข่ายย่อยปลายทางและให้เส้นทางมีความคงที่ การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมที่มีพื้นฐานมาจากดิสแทนซ์เวกเตอร์ในแบบจำลองเครือข่ายนั้น โหนดสามารถเรียนรู้เส้นทางเดินไปยังทุกเครือข่ายย่อยปลายทางหลังจากโหนดสุดท้ายเริ่มต้นทำงาน แต่เส้นทางเดินที่เรียนรู้จะยังไม่คงที่ ซึ่งเกิดจากการเริ่มต้นทำงาไม่พร้อมกันของแต่ละโหนด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้อีกหนึ่งคาบเพื่อการปรับตัวของเส้นทางเดินเพื่อให้เส้นทางมีความคงที่ ส่วนการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมลิงค์สเทตนั้น โหนดสามารถเรียนรู้ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินไปยังทุกเครือข่ายปลายทางได้หลังจากที่โหนดสุดท้ายเริ่มต้นทำงานกับอีกหนึ่งคาบเวลา เพราะต้องรอคอยการกระจายสถานะเส้นทางเชื่อมโยงของโหนด แต่เมื่อทุกโหนดเรียนรู้เส้นทางไปยังทุกเครือข่ายย่อยปลายทางแล้วสถานะเส้นทางจะคงที่ทันที

เมื่อโหนดสามารถเรียนรู้เส้นทางเดินไปยังทุกเครือข่ายย่อยปลางทางแล้วจึงเริ่มต้นสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลของเครือข่ายย่อยปลายสุด ถ้าสร้างแพ็กเก็ตก่อนหน้านี้ การจัดการแพ็กแก็ตที่เกิดขึ้นทำได้โดยโหนดจะเก็บแพ็กเก็ตดังกล่าวไว้ในบัฟเฟอร์ช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งทำให้ภาระงานที่คงค้างในเครือข่ายมีมาก เมื่อโหนดเรียนรู้เส้นทางเดินและสามารถส่งต่อแพ็กเก็ตเหล่านี้ไปยังเครือข่ายย่อยปลายทางได้ การเดินทางของแพ็กเก็ตเหล่านี้จะมีผลทำให้ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงที่แพ็กเก็ตเดินผ่านนั้นเพิ่มสูงขึ้นมากซึ่งจะมีผลต่อการค้นหาเส้นทางในคาบต่อไป ในอีกกรณีหนึ่ง คือ ถ้าละเลยแพ็กเก็ตที่ไม่สามารถส่งต่อได้ในช่วงระยะเวลาแรก แพ็กเก็ตข้อมูลที่เดินทางภายในเครือข่ายจะเป็นแพ็กเก็ตที่เดินทางไปยังบางเครือข่ายปลายทางเท่านั้นทำให้ค่าใช้จ่ายของบางเส้นทางเท่านั้นที่เพิ่มขึ้น การเพิ่มขึ้นจะน้อยกว่าในกรณีแรก แต่จะมีผลกระทบต่อการค้นหาเส้นทางในคาบเวลาต่อไปเช่นเดียวกัน ดังนั้น การสร้างแพ็กเก็ตจึงเกิดขึ้นหลังจากโหนดเรียนรู้เส้นทางเดินไปยังทุกเครือข่ายปลายทาง

การมาถึงของแพ็กเก็ตข้อมูลทำให้ภาระงานในเส้นทางเชื่อมโยงเปลี่ยนแปลงส่งผลให้ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงไปยังโหนดข้างเคียงเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย การเปลี่ยนแปลงนี้ทำให้เกิดการปรับตัวของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด และเมื่อเส้นทางเดินมีการปรับตัวแล้วจะทำให้ภาระงานของเส้นทางเชื่อมโยงเปลี่ยนแปลง ผลลูกโซ่ดังกล่าวทำให้เกิดการแกว่งของเส้นทางและเครือข่ายอยู่ในสถานะไม่คงที่ (Transient State) ความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตในช่วงนี้จะสูงกว่าปกติมาก การแกว่งของเส้นทางนี้จะค่อย ๆ ลดลงทำให้ความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตค่อย ๆ ลดลงเช่นเดียวกัน เมื่อเครือข่ายเข้าสู่สถานะคงที่ ความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูลจะขึ้นลงอยู่ในช่วง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำกัด จากการทดลองเบื้องต้น ระยะเวลาไม่คงที่ของเส้นทางนี้จะใช้เวลาประมาณ 7 คาบเวลาค้นหาเส้นทาง

5.3 การล้มเหลวและการคืนกลับขององค์ประกอบ

การล้มเหลวและการคืนกลับมาเริ่มต้นทำงานใหม่สามารถเกิดขึ้นได้กับโหนด เส้นทางเชื่อมโยง และเครือข่ายย่อยทางผ่านโดยเมื่อการล้มเหลวเกิดขึ้นจะทำให้องค์ประกอบนั้นหยุดทำงาน โหนดล้มเหลวจะไม่สามารถส่งผ่านแพ็กเก็ตข้อมูลได้ แพ็กเกตที่มาถึงจะสูญหาย รวมไปถึง อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางที่ทำงานอยู่กับโหนดนั้นจะหยุดทำงานไปด้วย เส้นทางเชื่อมโยงล้มเหลวจะไม่สามารถส่งข้อมูลผ่านได้ ข้อมูลที่มาถึงเส้นทางเชื่อมโยงนั้นจะสูญหาย ส่วนถ้าเครือข่ายย่อยทางผ่านล้มเหลวจะมีผลเหมือนกับเส้นทางเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อกับเครือข่ายย่อยทางผ่านนั้นล้มเหลวทั้งหมดหรือไม่สามารถโอนย้ายข้อมูลผ่านได้

ส่วนในขณะที่โหนดคืนกลับมาเริ่มต้นมาทำงานใหม่จะทำให้อัลกอริทึมจะเริ่มต้นค้นหาเส้นทาง แพ็กเก็ตข้อมูลมาถึงในขณะนี้ซึ่งยังไม่มีเส้นทางเดินไปยังทุกเครือข่ายปลายทาง แพ็กเก็ตที่ไม่สามารถส่งต่อได้จะถูกละเลย ส่วนองค์ประกอบอื่น ๆ เมื่อเริ่มต้นมาทำงานใหม่ก็จะทำงานเป็นปกติทันที

5.4 การจำลองแบบด้วย MODSIM III

MODSIM III เป็นภาษาทางคอมพิวเตอร์สำหรับการจำลองแบบทั่วไปซึ่งสนับสนุนการจำลองแบบเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่องและวิธีวิเคราะห์ระบบด้วยวิธีเชิงโพรเซส รูปแบบการโปรแกรมสนับสนุนวิธีการเชิงวัตถุซึ่งแต่ละวัตถุประกอบด้วยคุณสมบัติ (Attribute) และวิธีการ (Method)

ในส่วนของไลบรารี (Library) พื้นฐานของ MODSIM III มีให้ดังนี้

1. การสร้างตัวเลขแบบสุ่ม (Random Number Generation) ในทางด้านการจำลองแบบเป็นการสร้างตัวเลขที่มีการกระจายทางด้วยข้อมูลทางด้านสถิติ (Statistical Distribution) ตัวอย่างเช่น การกระจายยูนิฟอร์ม (Uniform Ditribution), การกระจายแบบเอ็กโปแนนเชียล (Exponential Distribution) และการกระจายแบบปัวซอง (Poisson Distribution)

2. การติดต่อผู้ใช้ทางกราฟิค (Graphic User Interface) เป็นการแสดงหรือติดต่อกับผู้ใช้ในรูปแบบของหน้าต่าง (Window), แถบเมนู (Menu bar), กล่องข้อความ (Box Message), ภาพนิ่ง (Picture), ภาพเคลื่อนไหว (Animation) และเสียงต่าง ๆ ซึ่งทำให้ผู้ใช้ใช้งานได้ง่ายและสามารถแสดงรายละเอียดของการจำลองแบบได้อย่างดี

3. การจัดลำดับเหตุการณ์ (Event Scheduling) และกลไกจัดการเวลาล่วงหน้า (Time Advancing Mechanism) ในการจำลองแบบจะต้องมีการจัดการเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นซึ่งเหตุการณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล่านี้มีทั้งที่เป็นลำดับต่อเนื่อง, ทำงานพร้อมกัน ทำงานเหลื่อมล้ำกัน และขัดจังหวะ (Interrupt) การทำงาน รวมไปถึงการสร้างเหตุการณ์การทำงานอื่น ๆ การทำงานเหล่านี้ต้องอาศัยทั้งการจัดลำดับเหตุการณ์และกลไกการจัดการเวลาล่วงหน้าเพื่อให้ลำดังการทำงานเช่นเดียวกับระบบงานจริงแต่อยู่บนการทำงานตามลำดับ (Sequential) ของคอมพิวเตอร์ การจัดเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นเป็นสิ่งสำคัญของการจำลองแบบซึ่งทำให้ตัวแบบจำลองและผลการจำลองแบบที่ได้มีความน่าเชื่อถือเพิ่มมากขึ้น

4. ตัวแปรมอนิเตอร์ (Monitor Variable) เป็นตัวแปรทางสำหรับเก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผลทางสถิติเบื้องต้น เช่น ผลรวม (Sum), ค่าเฉลี่ยกลาง (Mean) และค่าความแปรปรวน (Variance) เป็นต้น ตัวแปรเหล่านี้จะทำให้สะดวกและง่ายขึ้นในสร้างแบบจำลอง เก็บรวบรวมข้อมูล และการวิเคราะห์ผล

ในการสร้างตัวแบบจำลอง รายละเอียดหรือฟังก์ชั่นการทำงานของวัตถุหรือองค์ประกอบภายในระบบเป็นส่วนที่ผู้สร้างตัวแบบจำลองขึ้นเองทั้งหมดซึ่งไลบรารีเหล่านี้มีส่วนช่วยให้การสร้างง่ายและสะดวกขึ้นในระดับหนึ่งเท่านั้น

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
ผลการจำลองแบบและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพ

เป้าหมายของการจำลองแบบ คือ การประเมินประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายโดยกำหนดมาตรวัดการค้นหาเส้นทาง ได้แก่ ความหน่วงเวลาของการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูล (Data Packet Transfer Delay) ทรูพุทของเครือข่าย (Network Throughput) โอกาสของการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล (Probability of Data Packet Loss) โอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทาง รายละเอียดทั้งหมดอธิบายไว้แล้วในบทที่ 4

ในบทนี้เป็นการกำหนดภาระงานของระบบที่เกิดขึ้น การออกแบบการทดลอง แล้วนำผลลัพธ์ที่ได้วิเคราะห์และแปลผล

6.1 การกำหนดรายละเอียดของพารามิเตอร์ของภาระงาน

รายละเอียดของพารามิเตอร์ภาระงานมีดังนี้

1. ขนาดของแพ็กเก็ตข้อมูล มีขนาดคงที่เท่ากับ 512 ไบต์ซึ่งเท่ากับขนาดแพ็กเก็ตไอพีโดยเฉลี่ย [1]

2. ขนาดของแพ็กเก็ตเส้นทาง มีขนาดขึ้นอยู่กับเมสเซจค้นหาเส้นทางและบวกเพิ่มอีก 20 ไบต์ซึ่งเป็นส่วนหัวของไอพีแพ็กเก็ต

3. อัตราการมาถึงแพ็กเก็ตข้อมูล สัมพันธ์กับแบบจำลองที่ใช้ซึ่งกำหนดตาม [21-22] โดยโอกาสการเกิดขึ้นของแพ็กเก็ตมีการกระจายแบบปัวซอง (Poisson Distribution) และเวลาของการมาถึงมีการกระจายแบบเอ็กซ์โปแนนเชียล (Exponential Distribution)

4. อัตราการมาถึงของแพ็กเก็ตเส้นทาง ขึ้นอยู่กับการทำงานของอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางที่ทำงานอยู่ที่แต่ละโหนดในเครือข่าย แต่โดยปกติจะมีการแลกเปลี่ยนเมสเซจฮัลโลจตามคาบเวลาที่กำหนดเพื่อบ่งบอกการคงอยู่ของโหนดข้างเคียง

5. ต้นทางและปลายทางของแพ็กเก็ตข้อมูล กำหนดด้วยการกระจายแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Distribution)

6. ต้นทางและปลายทางของแพ็กเก็ตเส้นทาง ขึ้นอยู่กับการทำงานของอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางที่ทำงานอยู่ที่แต่ละโหนดในเครือข่าย โดยต้นทาง คือ โหนดที่อัลกอริทึมทำงานอยู่ และปลายทางเหล่านี้ คือ โหนดข้างเคียงเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 การออกแบบการทดลองและผลการจำลองแบบ

การทดลองแบ่งออกเป็นสองกรณี คือ เมื่อคาบเวลาค้นหาเส้นทางเปลี่ยนแปลง และเมื่อภาระงานเปลี่ยนแปลง รายละเอียดของพารามิเตอร์ที่ใช้ทดลองทั้งสองกรณีมีรายละเอียดดังนี้

พารามิเตอร์ของเครือข่าย

1. โทโปโลยีเครือข่าย ได้แก่ NSFNET – T1 โดยพิจารณาเฉพาะโหนดที่มีเส้นทางเชื่อมโยงมากกว่าหนึ่งเส้นทางซึ่งประกอบด้วย 13 โหนด และ 19 เส้นทางเชื่อมโยงแสดงได้ดังรูปที่ 6.1 โทโปโลยีนี้เป็นที่นำนิยมใช้ทดสอบประสิทธิภาพเครือข่ายและอัลกอริทึมค้นหาเส้นทาง ค่าเฉลี่ยดีกรีของโหนด (Average Node Degree) มีค่าเท่ากับ 3 ภายในเครือข่ายมีโหนดที่มีดีกรีเท่ากับ 3 มีจำนวน 12 โหนดและมีเพียงหนึ่งโหนดเท่านั้นที่มีดีกรีเท่ากับ 2

3. คุณสมบัติของโหนด

- ขนาดสูงสุดของบัฟเฟอร์แพ็กเก็ตข้อมูล เท่ากับ 500 แพ็กเก็ตซึ่งเป็นขนาดที่เข้าสู่อนันต์
- การจัดการบัฟเฟอร์ เข้าก่อนออกก่อน (First In First Out : FIFO)
- การจัดการความแออัด ใช้อัลกอริทึมถังน้ำรั่ว (Leaky Bucket Algorithm) [4]
- การจัดการการไหลของแพ็กเก็ต แพ็กเก็ตเส้นสำคัญกว่าแพ็กเก็ตข้อมูล ส่วนแพ็กเก็ตประเภทเดียวกันขึ้นอยู่กับเส้นทางที่ใช้ส่งต่อและลำดับในบัฟเฟอร์

3. คุณสมบัติของเส้นทางเชื่อมโยง ได้แก่

- อัตราความเร็วผู้ใช้ของ T1 เท่ากับ 1.520 Mbps
- ระยะทางของเส้นทางเชื่อมโยง เท่ากับ 300 กิโลเมตร
- คุณสมบัติของโพรโทคอลดาต้าลิงค์ ประกอบด้วย
  - ขนาดส่วนหัวของเฟรมข้อมูล เท่ากับ 10 ไบต์
  - ขนาดของเฟรมตอบรับ เท่ากับ 10 ไบต์
- ฟังก์ชั่นค่าใช้จ่าย ใช้ฟังก์ชั่นหน่วงเวลาที่ใช้ฮ็อบเป็นบรรทัดฐาน (Hop Normalized Delay Function) [24] ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นค่าใช้จ่าย (Cost Function) ที่คิดค้นขึ้นสำหรับใช้กับ NSFNET-T1 ฟังก์ชั่นนี้สัมพันธ์กับความหน่วงเวลาเฉลี่ยของแพ็กเก็ตข้อมูล (Average Data Packet Delay) และเวลาการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูลผ่านเส้นทางเชื่อมโยง (Data Packet Transmission Time) ความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูลเป็นผลรวมของเวลารอคอยในบัฟเฟอร์และเวลาการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูลผ่านเส้นทางทาง ดังนั้นฟังก์ชั่นค่าใช้จ่ายนี้จึงเป็นค่าใช้จ่ายแบบไม่คงที่ (Dynamic Cost) รายละเอียดของฟังก์ชั่นนี้อธิบายในภาคผนวก ข.

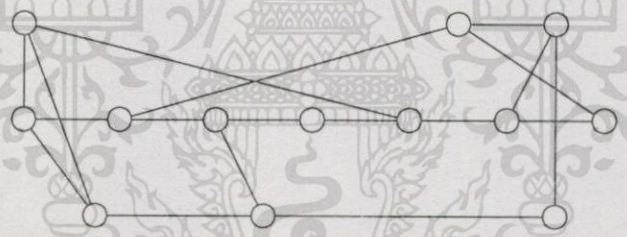
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พารามิเตอร์ของการค้นหาเส้นทาง

- คาบเวลาฮัลโล เท่ากับ 1 วินาที

ตารางที่ 6.1 พารามิเตอร์ของการทดลอง

ชื่อพารามิเตอร์	ค่าที่เป็นไปได้
โทโปโลยีเครือข่าย	NSFNET-T1
ขนาดสูงสุดของบัฟเฟอร์แพ็กเก็ตข้อมูล	500 แพ็กเก็ต
การจัดการความแออัด	อัลกอริทึมถังน้ำรั่ว
การจัดการบัฟเฟอร์	FIFO
การจัดการไหลของแพ็กเก็ต	ขึ้นอยู่กับประเภทของแพ็กเก็ต เส้นทางที่จะส่งต่อ และลำดับในบัฟเฟอร์
อัตราความเร็วผู้ใช้	T1 (1.520 Mbps)
ระยะทางของเส้นทางเชื่อมโยง	300 km.
ขนาดส่วนหัวของเฟรมข้อมูล	10 ไบต์
ขนาดเฟรมตอบรับ	10 ไบต์
ฟังก์ชั่นค่าใช้จ่าย	ฟังก์ชั่นหน่วงเวลาที่ใช้ฮ็อบเป็นบรรทัดฐาน
คาบเวลาฮัลโล	1 วินาที

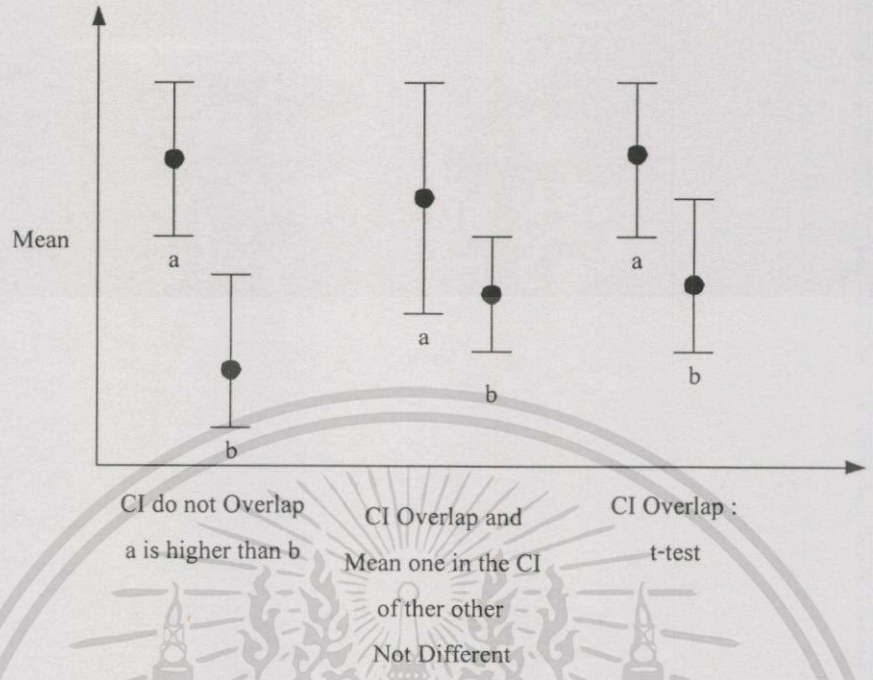


รูปที่ 6.1 โทโปโลยี NSFNET-T1

ผลจากการจำลองแบบเก็บรวบรวมในช่วง Steady State แล้วนำมาวิเคราะห์ผลทางด้านสถิติโดยใช้ค่ากลางมาตรฐาน (Mean) และระดับค่าความเชื่อมั่นที่ 95% (Confidence Level 95%) ซึ่งจะให้ความถูกต้องของข้อมูลที่สูงมาก [18]

การพิจารณาความแตกต่างจากกราฟ [18] ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 6.2 เมื่อพิจารณาค่ากลางมาตรฐานซึ่งแสดงเป็นจุดดำและช่วงค่าความเชื่อมั่น (Confidence Interval) ในกรณีแรกดังในกราฟด้านซ้ายมือสุด คือ ค่ากลางและช่วงค่าความเชื่อมมั่นของไม่เหลื่อมล้ำกัน หมายถึง สองระบบแตกต่างกัน ระบบ a มีค่าสูงหรือมากกว่าระบบ b ในกรณีที่สองดังรูปกลาง คือ ค่ากลาง b อยู่ในช่วงค่าความเชื่อมมั่นของ a ซึ่งหมายถึง b ไม่แตกต่างจาก a ส่วนในกรณีสุดท้าย คือ มีเฉพาะช่วงค่าระดับเชื่อมั่นแตกต่างกัน ในกรณีนี้จะต้องทดสอบ t-test [18] เพื่อทดสอบหาความแตกต่างทางด้านนัยสำคัญ (Significant)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.2 การวิเคราะห์ความแตกต่างของกราฟค่าเฉลี่ยกลางและช่วงค่าความเชื่อมั่น

การประเมินประสิทธิภาพแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนแรกเป็นการประเมินเมื่อคาบเวลาค้นหาเส้นทางเปลี่ยนแปลง และส่วนที่สองเป็นการประเมินเมื่อภาระงานของเครือข่ายย่อยปลายทางเปลี่ยนแปลง

ในส่วนแรกกำหนดให้คาบเวลาค้นหาเส้นทางเท่ากับ 1, 10, 20 และ 30 วินาที ภาระงานที่สร้างจากแต่ละเครือข่ายย่อยปลายทางเท่ากับ 60% ของอัตราข้อมูลของผู้ใช้ของ T1 (1.520 Mpbs) และใช้เวลาจำลองแบบของแต่ละการทดลองเท่ากับ 20 นาที ผลที่ได้จากการจำลองแบบนำมาวิเคราะห์ผลทางด้านสถิติและวาดเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 6.3 – 6.6 ซึ่งจะแสดงตามมาตรวัดประสิทธิภาพซึ่งได้แก่ ความหน่วงเวลาของการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูล ทรูพุทของเครือข่าย โอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล และโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทาง ตามลำดับ

ในกราฟรูปที่ 6.3 เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงคาบเวลาค้นหาเส้นทางกับความหน่วงเวลาของการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูลที่เกิดขึ้น นอกจากนี้ในกราฟนี้แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางกับความหน่วงเวลาอีกด้วย เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์แรก คือ คาบเวลากับความหน่วงเวลาจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่า เมื่อคาบเวลาค้นหาเส้นทางเพิ่มขึ้น ความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูลจะเพิ่มขึ้นด้วย การเพิ่มขึ้นดังกล่าวเนื่องมาจาก เมื่อคาบเวลาค้นหาเส้นทางมีค่าน้อยจะทำให้โอกาสการปรับตัวของเส้นทางเกิดขึ้นได้บ่อย เส้นทางที่ได้จึงเป็นเส้นทางที่ดีที่สุดใกล้เคียงกับสถานะเครือข่ายปัจจุบัน การส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลไปบนเส้นทางดังกล่าวจึงทำให้เกิดความหน่วงเวลาน้อย นอกจากนี้ เมื่อคาบเวลาค้นหาเส้นทางน้อย การเปลี่ยนแปลงค่าใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

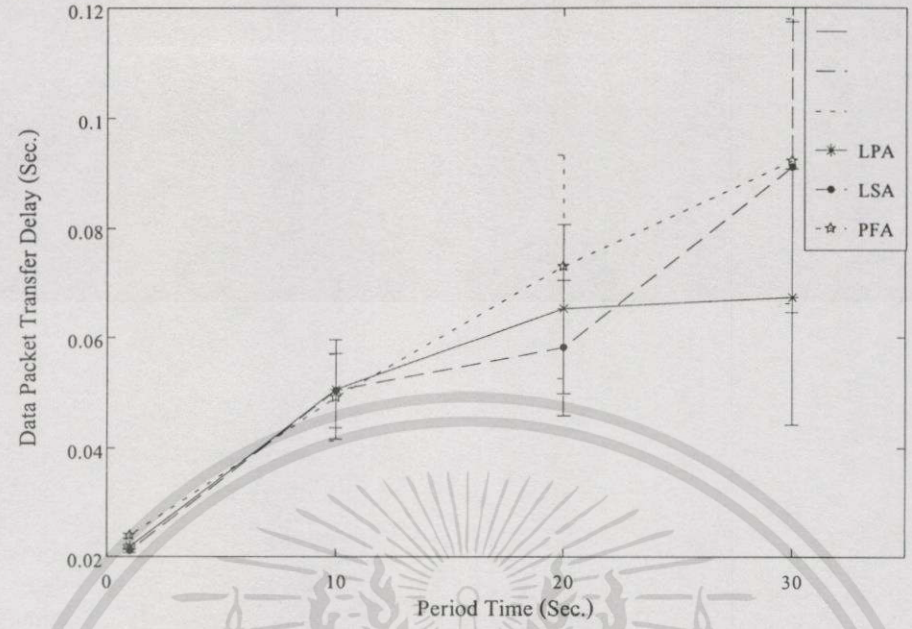
จ่ายของเส้นทางซึ่งสัมพันธ์กับระยะเวลาการรอคอยในบัฟเฟอร์จะมีโอกาสเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นในช่วงแคบ ๆ เมื่อค่าใช้จ่ายเพิ่มสูงขึ้นเพียงเล็กน้อย เส้นทางจะปรับตัวไปใช้เส้นทางอื่นที่มีค่าใช้จ่ายต่ำกว่า หมายถึง ระยะเวลาการรอคอยในบัฟเฟอร์จะลดลงซึ่งส่งผลทำให้ความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูลลดลงได้ ในอีกกรณีหนึ่ง เมื่อค่าใช้จ่ายลดลงเพียงเล็กน้อย เส้นทางไปยังเครือข่ายปลายทางอื่น ๆ ปรับตัวมาใช้เส้นทางนี้ให้มากขึ้น ทำให้การกระจายภาระงานในเครือข่ายไปยังเส้นทางต่าง ๆ ทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูลจึงลดลงเช่นเดียวกัน

ในทางตรงกันข้าม เมื่อคาบเวลามีระยะเวลาที่ยาวนานขึ้น การเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายของแต่ละคาบมีช่วงที่กว้างมากขึ้น สมมติที่คาบเวลา P0 ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเพิ่มสูงขึ้น เส้นทางเดินที่ผ่านเส้นทางนี้มีค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น ดังนั้น เส้นทางเดินส่วนหนึ่งจึงปรับตัวไปใช้เส้นทางอื่นที่มีค่าใช้จ่ายน้อยกว่า ความหนาแน่นของแพ็กเก็ตข้อมูลที่มาถึงจึงลดลง ระยะเวลาการรอคอยในบัฟเฟอร์ลดลง ทำให้คาบเวลาต่อมา คือ P1 ค่าใช้จ่ายจะลดลงเมื่อเทียบกับที่คาบเวลา P0 ทำให้เส้นทางเดินต่าง ๆ ปรับตัวมาใช้เส้นทางนี้อีกครั้งเนื่องจากค่าใช้จ่ายน้อย ผลที่เกิดขึ้น คือ ความหนาแน่นของแพ็กเก็ตข้อมูลเพิ่มขึ้นอีกครั้งหนึ่ง ระยะเวลาการรอคอยในบัฟเฟอร์เพิ่มมากขึ้น และอาจจะมีแพ็กเก็ตสูญหายเกิดขึ้นได้ คาบเวลาต่อมา คือ P2 ค่าใช้จ่ายจะเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ P0 สลับขึ้นลงอย่างนี้ ถ้าคาบเวลายิ่งยาวนานมากขึ้นค่าความแตกต่างของแต่ละคาบเวลายิ่งเพิ่มมาก ผลที่ได้ คือ ความแตกต่างระหว่างความหน่วงเวลาของแต่ละแพ็กเก็ตจะมีมากขึ้น นอกเหนือจากความหน่วงเวลาเฉลี่ยของการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูลที่มีค่าเพิ่มขึ้น

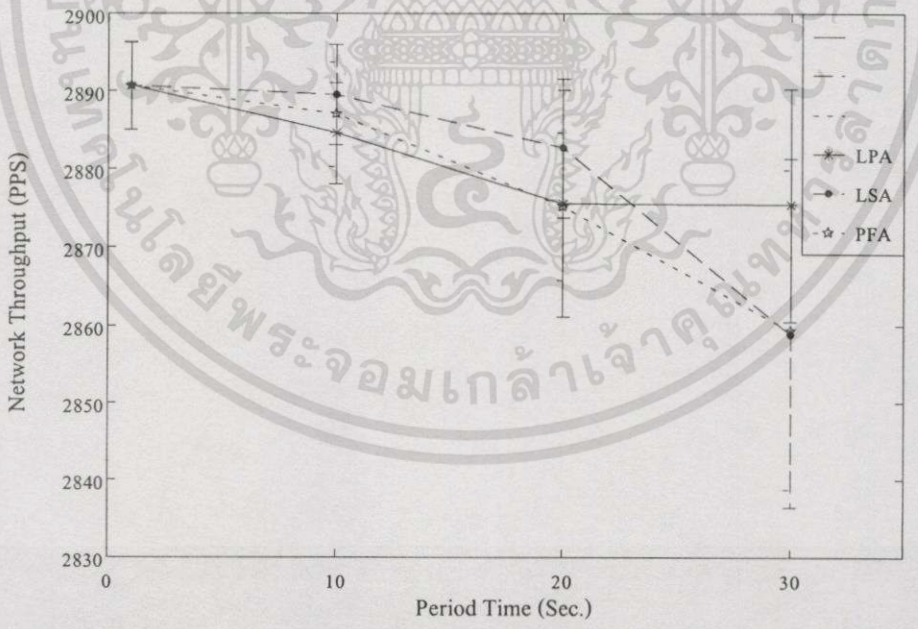
ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างอัลกอริทึมกับความหน่วงเวลาของการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูล เมื่อเปรียบเทียบที่ช่วงความเชื่อมั่นที่ 95 % จะให้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางด้านสถิติซึ่งอัลกอริทึมทั้งสามที่ประยุกต์ใช้มีพื้นฐานอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดเช่นเดียวกัน

กราฟรูปที่ 6.4 นำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาค้นหาเส้นทางและทรูพุทของเครือข่าย นอกจากนี้ยังนำเสนอความสัมพันธ์ระหว่างอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางกับทรูพุทของเครือข่ายด้วย ในความสัมพันธ์แรก คือ คาบเวลาค้นหาเส้นทางกับทรูพุทของเครือข่าย เมื่อคาบเวลาเพิ่มขึ้นทรูพุทของเครือข่ายลดลง การลดลงนี้เกิดจากการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูลซึ่งเกิดมาจากบัฟเฟอร์แพ็กเก็ตข้อมูลเต็ม ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางกับทรูพุทของเครือข่ายให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



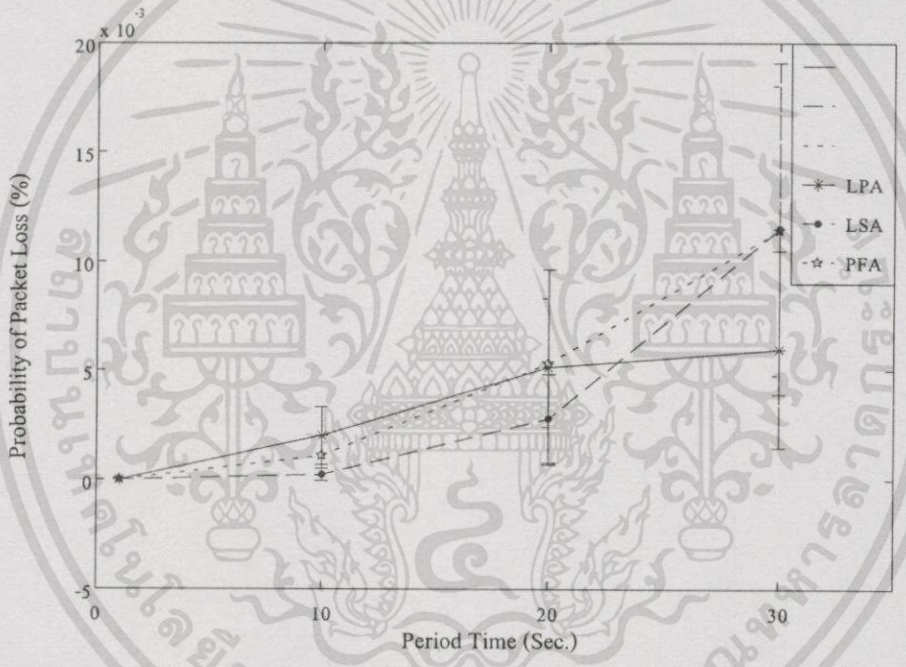
รูปที่ 6.3 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดจากเปลี่ยนแปลงคาบเวลาค้นหาเส้นทางกับความหน่วงเวลาของการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูล



รูปที่ 6.4 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดจากเปลี่ยนแปลงคาบเวลาค้นหาเส้นทางกับทรูพุทของเครือข่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กราฟรูปที่ 6.5 แสดงให้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาค้นหาเส้นทางกับโอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูลในเครือข่าย และความสัมพันธ์ระหว่างอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางกับโอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูลด้วย จากกราฟจะเห็นได้ว่าเมื่อคาบเวลาค้นหาเส้นทางเท่ากับหนึ่ง โอกาสการสูญหายเท่ากับศูนย์หรือไม่มีแพ็กเก็ตสูญหาย แต่เมื่อคาบเวลาค้นหาเส้นทางเพิ่มมากขึ้น โอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูลเพิ่มมากขึ้นด้วย การที่แพ็กเก็ตจะสูญหายได้เกิดจากบัฟเฟอร์แพ็กเก็ตข้อมูลของโหนดเต็ม และการเต็มเกิดขึ้นจากอัตราการส่งต่อหรืออัตราการให้บริการมีค่าน้อยกว่าอัตราการมาถึง ดังนั้น การปรับตัวของเส้นทางที่รวดเร็วเมื่อคาบเวลาค้นหาเส้นทางน้อย ๆ จะทำให้อัตราการส่งต่อเพิ่มมากขึ้นได้ ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางกับโอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูลไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

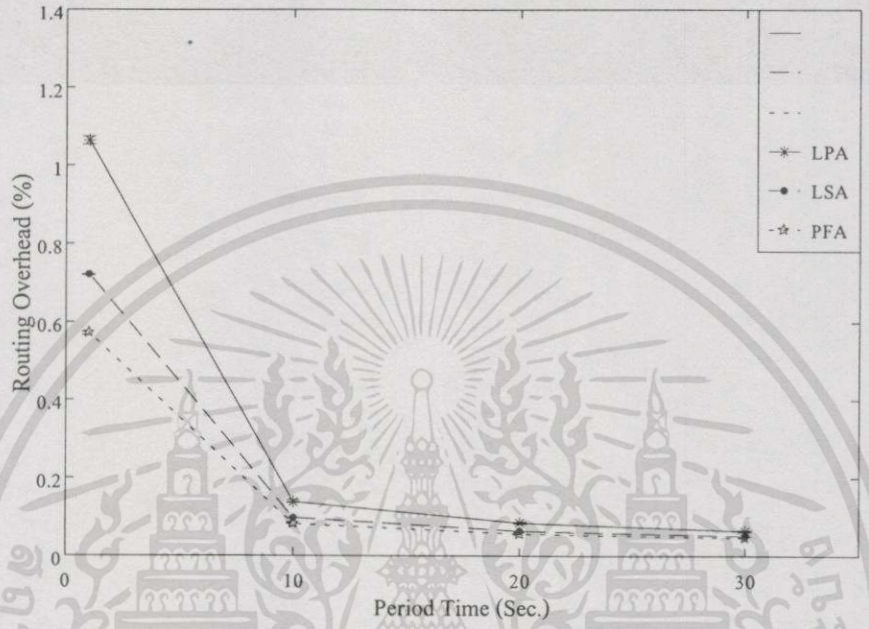


รูปที่ 6.5 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดจากเปลี่ยนแปลงคาบเวลาค้นหาเส้นทางกับโอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล

กราฟสุดท้ายของการทดลองการเปลี่ยนแปลงคาบเวลาเป็นความสัมพันธ์ระหว่างคาบเวลาค้นหาเส้นทางกับโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 6.6 นอกจากนี้ ในกราฟนี้ยังแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางกับโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางด้วย จากกราฟ เมื่อคาบเวลาค้นหาเส้นทางลดลง โอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางเพิ่มมากขึ้นโดยเฉพาะเมื่อคาบเวลาค้นหาเส้นทางน้อยกว่า 10 วินาที การเพิ่มขึ้นมีความชัดมาก อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับภาระงานในเครือข่ายแล้ว โอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางเป็นส่วนที่น้อยมากจึงไม่มีผลต่อประสิทธภาพการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูล แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอัลกอริทึมจะเห็นได้ว่าอัลกอริทึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พาธไฟน์ดิ้งเป็นอัลกอริทึมที่ทำให้เกิดโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางน้อยที่สุด ตามด้วยอัลกอริทึมลิงค์สเทต และสุดท้ายที่มากที่สุด คือ อัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้งและมากกว่าอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งเกือบหนึ่งเท่าตัว



รูปที่ 6.6 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดจากเปลี่ยนแปลงคาบเวลาค้นหาเส้นทางกับโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทาง

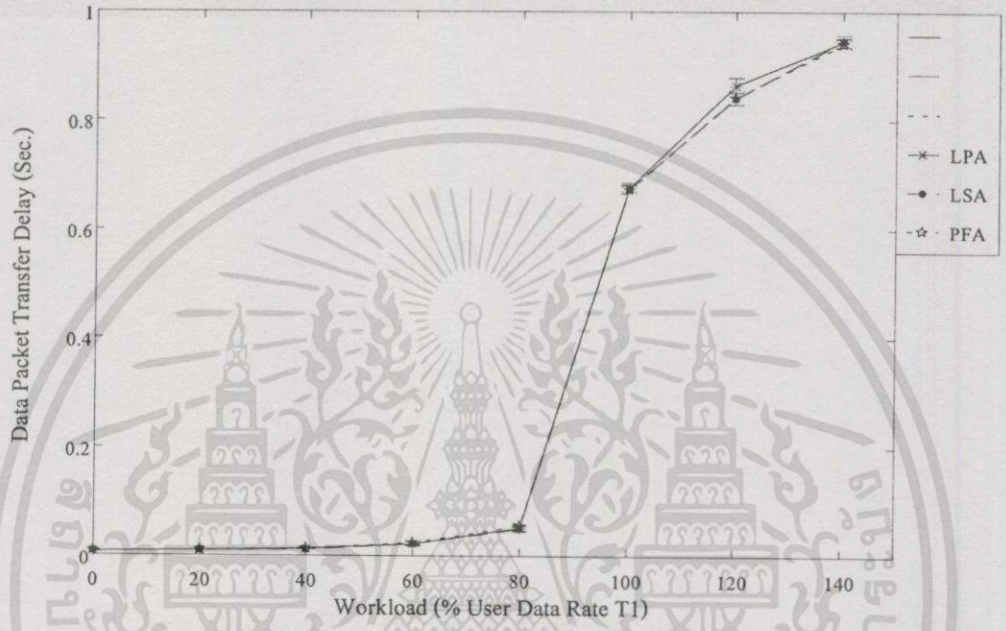
ส่วนที่สองเป็นการทดลองเมื่อภาระงานของเครือข่ายย่อยปลายทางเปลี่ยนแปลง โดยกำหนดให้ภาระของแต่ละเครือข่ายย่อยปลายทางเท่ากับ 0.01%, 20%, 40%, 60%, 80%, 100%, 120% และ 140 % ขนาดบัฟเฟอร์ของแพ็กเก็ตข้อมูลสูงสุดเท่ากับ 500 แพ็กเก็ต และคาบเวลาค้นหาเส้นทางเท่ากับ 1 วินาที ระยะเวลาการจำลองของแต่ละการทดลองเท่ากับ 40 วินาที

ผลจากการเก็บรวบรวมข้อมูลในช่วง Steady State นำมาวิเคราะห์ทางสถิติแล้ววาดเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 6.7 – 6.10 ซึ่งจะแสดงตามมาตรวัดประสิทธิภาพ ได้แก่ ความหน่วงเวลาของการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูล ทรูพุทของเครือข่าย โอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล และโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทาง ตามลำดับ

ในกราฟรูปที่ 6.7 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระงานที่เพิ่มขึ้นกับความหน่วงเวลาของการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูลและอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางกับความหน่วงเวลา ในช่วงภาระงานที่ต่ำกว่า 80 % ความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูลมีความแตกต่างกันน้อยมากซึ่งช่วงนี้อัตราการมาถึงของแพ็กเก็ตข้อมูลมีค่าน้อยกว่าอัตราการส่งต่อหรืออัตราให้การให้บริการของโหนด แต่เมื่อภาระงานที่มากกว่า 80 % อัตราการส่งต่อมีค่าน้อยกว่าอัตราการมาถึง ระยะเวลาการรอคอยในบัฟเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แพ็กเก็ตข้อมูลมีค่าเพิ่มมากขึ้นส่งผลทำให้ความหน่วงเวลาเพิ่มมากขึ้นมาก ๆ ถ้าบัฟเฟอร์แพ็กเก็ตข้อมูลยิ่งมีขนาดใหญ่ขึ้น ความหน่วงเวลาจะยิ่งเพิ่มมากขึ้น ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางกับความหน่วงเวลา แต่ละอัลกอริทึมไม่ได้ทำให้ความหน่วงเวลาแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ



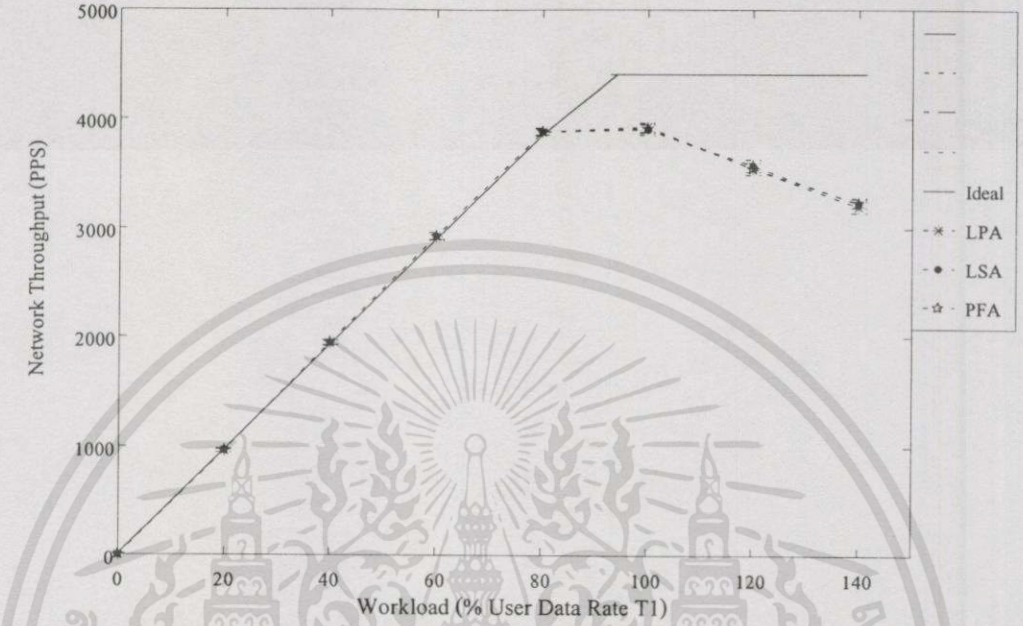
รูปที่ 6.7 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงภาระงานของเครือข่ายย่อยปลายทางกับความหน่วงเวลาของการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูล

ในกราฟรูปที่ 6.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างภาระงานกับทรูพุทเครือข่ายและอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางกับทรูพุทเครือข่าย ในช่วงที่ภาระงานที่ต่ำกว่า 80 % อัตราการส่งต่อหรืออัตราการให้บริการมากกว่าอัตราการมาถึง ดังนั้น แพ็กเก็ตที่มาถึงทั้งหมดจึงถูกส่งออกไปโดยไม่มีการสูญหาย ทรูพุทในช่วงนี้เท่ากับค่าในทางอุดมคติ แต่เมื่อมากกว่า 80 % ทรูพุทเครือข่ายจะค่อย ๆ ลดลง เนื่องจากอัตราการมาถึงมีมากกว่าอัตราการส่งต่อทำให้แพ็กเก็ตสูญหายเกิดขึ้นจึงทำให้ทรูพุทของเครือข่ายลดลง ส่วนทรูพุทของแต่ละอัลกอริทึมไม่แตกต่างกัน

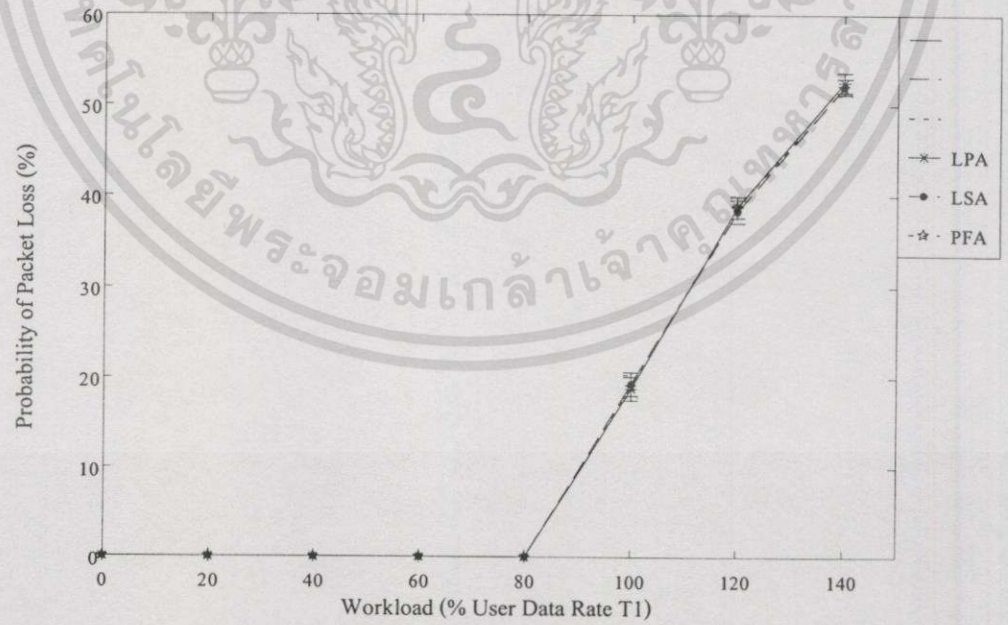
ในกราฟรูปที่ 6.9 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างภาระงานที่เพิ่มมากขึ้นและโอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล พร้อมด้วยความสัมพันธ์ระหว่างอัลกอริทึมกับโอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล เมื่อภาระงานต่ำกว่า 80 % โอกาสการสูญหายเท่ากับศูนย์ซึ่งเป็นการยืนยันว่าอัตราการส่งต่อหรือการให้บริการแพ็กเก็ตข้อมูลมีมากกว่าอัตราการมาถึงของแพ็กเก็ตข้อมูล แพ็กเก็ตที่มาถึงจะถูกส่งต่อออกไปได้ทั้งหมด แต่เมื่อภาระงานมากกว่า 80 % โอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตจะสูงขึ้นตาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจะมีค่ามากกว่าเปอร์เซ็นต์ภาระงานที่มาถึงลบด้วย 80 อยู่เล็กน้อย ด้วยเหตุนี้จึงทำให้เมื่อภาระงานยิ่งสูงขึ้น ทรูพุทของเครือข่ายยิ่งลดลง



รูปที่ 6.8 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงภาระงานของเครือข่ายย่อยปลายทางกับทรูพุทของเครือข่าย



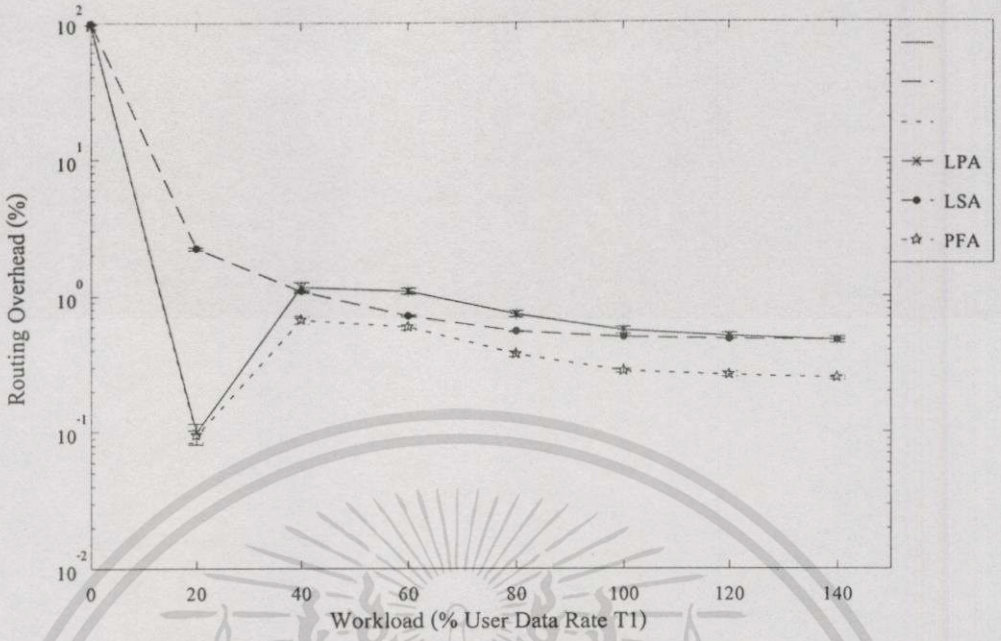
รูปที่ 6.9 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงภาระงานของเครือข่ายกับโอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในกราฟสุดท้ายซึ่งแสดงในรูป 6.10 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างภาระงานกับโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทาง และอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางกับโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทาง ความสัมพันธ์ระหว่างภาระงานกับโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางในกราฟนี้ อัลกอริทึมลิงค์สเทตซึ่งกระจายเมสเซจสถานะเส้นทางเชื่อมโยงตามคาบเวลาที่กำหนดไม่ว่าค่าใช้จ่ายของเส้นทางเปลี่ยนแปลงหรือไม่ก็ตาม ดังนั้นกราฟของอัลกอริทึมจึงค่อย ๆ ลดลงเมื่อภาระงานเพิ่มมากขึ้น ส่วนอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง และอัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้งซึ่งการแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางจะเกิดขึ้นเมื่อค่าใช้จ่ายของเส้นทางเปลี่ยนแปลงนั้น ในช่วงเริ่มต้นของกราฟ แพ็กเก็ตภายในเครือข่ายมีเพียงแพ็กเก็ตเส้นทางที่แลกเปลี่ยนระหว่างกัน แพ็กเก็ตนี้บรรจุเมสเซจฮัลโลเพื่อบอกว่าโหนดยังคงทำงานอยู่เท่านั้น เมื่อภาระงานเพิ่มมากขึ้นไม่เกิด 20 % ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงบ้าง แต่เป็นการเปลี่ยนแปลงช่วงค่าน้อย ๆ เพราะความหน่วงเวลาในบัฟเฟอร์มีน้อย การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจึงทำให้แพ็กเก็ตเส้นทางที่แลกเปลี่ยนระหว่างกันจึงเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับแพ็กเก็ตข้อมูลที่มาถึงซึ่งแต่ละแพ็กเก็ตมีขนาด 512 ไบต์เป็นผลทำให้โอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางลดลงอย่างรวดเร็ว แต่หลังจากช่วง 20 % ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเปลี่ยนแปลงมากขึ้น และช่วงค่าการเปลี่ยนแปลงเพิ่มมากขึ้นด้วย เส้นทางจึงต้องมีการปรับตัวได้บ่อย แพ็กเก็ตเส้นทางที่แลกเปลี่ยนกันจึงมีมากขึ้น โอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางจึงเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ปริมาณแพ็กเก็ตเส้นทางของอัลกอริทึมที่มีพื้นฐานจากอัลกอริทึมดิสแทนซเวกเตอร์จะเพิ่มขึ้นได้ถึงระดับหนึ่งเท่านั้น คือ เมื่อทุกเส้นทางมีการเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่าย เมื่อภาระงานของเครือข่ายเพิ่มมากขึ้นอีก ค่าใช้จ่ายของเส้นทางส่วนใหญ่จะอยู่ใกล้ค่าสูงสุดที่เป็นไปได้ ทำให้ช่วงค่าการเปลี่ยนแปลงน้อยลง ดังนั้น โอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางจึงลดลงเช่นเดียวกับเมื่อภาระงานสูงขึ้นเกินกว่า 60 % โอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางจึงค่อย ๆ ลดลง

ส่วนความสัมพันธ์ระหว่างอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางกับโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางในกราฟแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจน อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งเป็นอัลกอริทึมที่มีโอเวอร์เฮดน้อยที่สุดในทุกกรณี ส่วนอัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้งมีโอเวอร์เฮดมากกว่าอัลกอริทึมลิงค์สเทตเมื่อค่าใช้จ่ายเปลี่ยแปลงในระดับหนึ่ง คือ เมื่อภาระงานมากว่าหรือเท่ากับ 40 % แต่ในขณะที่ค่าใช้จ่ายเปลี่ยนแปลงน้อย ๆ อัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้งจะใกล้เคียงกับอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง คือ เมื่อภาระงานต่ำกว่า 40% อัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้งจะมีโอเวอร์เฮดมากกว่าอัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้งในกรณีที่ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินมีค่าเพิ่มมากขึ้นเท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.10 กราฟแสดงผลกระทบที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงภาระงานของเครือข่ายย่อยปลายทางกับโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
บทสรุป และข้อเสนอแนะ

ในวิทยานิพนธ์นี้นำเสนอประเด็นการประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายโดยประยุกต์ใช้อัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์และอัลกอริทึมลิงค์สเทตเป็นพื้นฐาน ตัวแทนของอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์ที่นำมาใช้ ได้แก่ อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง และอัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้ง อัลกอริทึมทั้งสองสามารถกำจัดปัญหาพื้นฐานของดิสแทนซ์เวกเตอร์ได้และยังไม่มีการประยุกต์ใช้งานจริงหรือเป็นพื้นฐานของโพรโทคอลค้นหาเส้นทางในปัจจุบัน ดังนั้น การประยุกต์อัลกอริทึมดังกล่าวในวิทยานิพนธ์นี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางการประยุกต์ใช้งานในเครือข่ายจริงได้ด้วย ส่วนอัลกอริทึมลิงค์สเทตนำมาประยุกต์ใช้ในแบบจำลองได้โดยตรง

ความแตกต่างของแต่ละอัลกอริทึม คือ อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งกำจัดปัญหาพื้นฐานของอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์ได้โดยการระบุข้อมูลเส้นทางเดินซึ่งอ้างอิงกับโหนดข้างเคียงก่อนหน้า การแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางระหว่างกันจะเกิดขึ้นเมื่อเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดมีการเปลี่ยนแปลง และใช้อัลกอริทึมเบลล์แมน-ฟอร์ดแบบกระจายคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด ส่วนอัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้งพัฒนาต่อมาจากอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งให้ปราศจากลูบในทุกกรณี โดยแตกต่างกับอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งเมื่อค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดมีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งจะต้องตรวจสอบความสอดคล้องของเส้นทางกับโหนดข้างเคียงก่อนปรับปรุงข้อมูลเส้นทางจริง ส่วนอัลกอริทึมลิงค์สเทตเป็นอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางอีกประเภทหนึ่งที่แลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางตามคาบเวลาที่กำหนด และเมื่อได้ข้อมูลเส้นทางใหม่จะทำการคำนวณเส้นทางเดินที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดด้วยอัลกอริทึมไดก์สตร้า

การประเมินประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางประเมินจากตัวแบบจำลองที่สร้างขึ้นโดยการค้นหาเส้นทางในแบบจำลองเครือข่ายเป็นไปตามนโยบายของการค้นหาเส้นทาง ได้แก่ การค้นหาเส้นทางแบบปรับตัวกระจาย แบบแบนราบ และแบบเส้นทางเดี่ยว มาตรวัดประสิทธิภาพที่สำคัญ ได้แก่ ความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูล ทรูพุทเครือข่าย โอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูล และโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทาง

จากการประเมินประสิทธิภาพด้วยตัวแบบจำลองที่สร้างขึ้นทำให้สรุปผลได้ว่า อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งมีประสิทธิภาพการทำงานดีที่สุด เนื่องจากทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางหรือโอเวอร์เฮดของการทำงานน้อยที่สุด ส่วนอัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้งซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่สามารถกำจัดลูบได้ทุกกรณีมีประสิทธิภาพการทำงานด้อยที่สุดโดยมีโอเวอร์เฮดมากกว่าอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งประมาณหนึ่งเท่าตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เมื่อนำอัลกอริทึมทั้งสามประยุกต์ใช้ค้นหาเส้นทางตามเป้าหมายที่วางไว้ในเครือข่าย ประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางของทั้งสามอัลกอริทึมไม่แตกต่างกัน เนื่องจากปริมาณแพ็กเก็ตเส้นทางเกิดขึ้นมีไม่เกิน 1 % เมื่อเปรียบเทียบแพ็กเก็ตข้อมูลภายในเครือข่าย ปัจจัยที่สำคัญ คือ คาบเวลาค้นหาเส้นทาง การเพิ่มคาบเวลาของการค้นหาเส้นทางจะทำให้ความหน่วงเวลาและช่วงความแตกต่างของการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูลเพิ่มมากขึ้นอย่างชัดเจน ส่วนทรูพุทเครือข่าย และโอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูลเพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกัน แต่แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย คือ ไม่เกิน 1% อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างของความหน่วงเวลาและช่วงความแตกต่างของการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูล ทรูพุทเครือข่าย และโอกาสการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูลขึ้นอยู่กับบัฟเฟอร์แพ็กเก็ตข้อมูลของโหนดด้วย นอกจากนี้ การลดคาบเวลาค้นหาเส้นทางจะทำประสิทธิภาพของการค้นหาเส้นทางเพิ่มมากขึ้น แต่โอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางเพิ่มมากขึ้นเช่นกัน ดังนั้น การปรับลดคาบเวลาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางสามารถลดลงได้ถึงระดับหนึ่งเท่านั้น

การปรับปรุงประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางในเครือข่าย นอกจากอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางที่เป็นพื้นฐานและคาบเวลาค้นหาเส้นทางแล้ว ค่าใช้จ่ายเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่สำคัญของการค้นหาเส้นทางไม่แพ้ปัจจัยอื่น ๆ ซึ่งจะมีผลต่อคุณภาพของเส้นทางในการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูล และการแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทางของอัลกอริทึมที่มีพื้นฐานมาจากอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์ด้วย ค่าใช้จ่ายที่ดีควรเปลี่ยนแปลงอย่างช้า ๆ และสะท้อนประสิทธิภาพที่แท้จริงของเส้นทางเชื่อมโยงในคาบเวลาถัดไป การกำหนดค่าใช้จ่ายที่ดีขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของเครือข่ายและคุณลักษณะของโหนด ดังนั้น แต่ละโหนดอาจจะต้องมีการกำหนดค่าใช้จ่ายที่แตกต่างกัน

ส่วนสำคัญของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งและอัลกอริทึมลูบฟรีพาธไฟน์ดิ้งในการนำประยุกต์ใช้งานจริง คือ การอ้างอิงรายละเอียดข้อมูลเส้นทางเดินด้วยโหนดข้างเคียงก่อนหน้าซึ่งเป็นการอ้างอิงแบบสัมพันธ์กันเป็นทอด ๆ ถ้ามีส่วนข้อมูลอ้างอิงในรายการใดรายการหนึ่งผิดพลาดจะส่งผลต่อรายการอื่น ๆ ผิดพลาดตามไปด้วย ดังนั้น ในการนำไปประยุกต์ใช้งานต้องเพิ่มการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในส่วนนี้ และวิธีการจัดการเมื่อมีข้อผิดพลาดเกิดขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] Shankar, A. U. et. al. "Performance Comparison of Routing Protocols using MaRS: Distance-Vector versus Link-State." Proc. ACM SIGMETRICS/PERFRORMANCE, 1992. pp. 181-192.

[2] Zaumen, W. T. and Garcia-Luna-Aceves, J.J. "Dynamic of Distributed Shortest-Path Routing Algorithm." Proc. ACM SIGCOMM, 1995. pp. 31-42.

[3] Garcia-Luna-Aceves, J.J. and Murthy, S. "A Loop-Free Path-Finding Algorithm: Specification, Verification and Complexity." Proc. IEEE INFOCOM, vol. 3, 1995. pp. 1197-1205

[4] Bertsekas, D. and Gallager, R. **Data Networks.** 2nd ed. New Jersey : Prentice-Hall Inc. 1987.

[5] Hedric, C. "Routing Information Protocol." RFC 1058, 1988.

[6] Hedric, C. **An Introduction to IGRP.** NewJersey : Rutgers University, 1991.

[7] Hinden, R. and Sheltzer A. "DARPA Internet Gateway." RFC 823, 1982.

[8] Mills, D. L. "Exterior Gateway protocol." RFC 904, 1983.

[9] Huitema, C. **Routing in the Internet.** New Jersey : Prentice-Hall Inc. 1995.

[10] Garcia-Luna-Aceves, J.J. "Loop-Free Routing Using Diffusing Computations." IEEE/ACM Trans. on Networking., vol. 1, no.1, Feb, 1993. pp. 130-141.

[11] Rekhter, Y. and March, T. Li. "A Border Gateway Protocol (BGP-4)." RFC1771, 1995.

[12] Murthy, S. and Garcia-Luna-Aceves, J. J. "A More Efficient Path-Finding Algorithm." Proc. 28th Asilomar , California, vol. 1, 1994. pp. 229-233.

[13] Albrighson, B. et. al. "EIGRP-A Fast Routing Protocol Based on Distance Vectors." Proc. Netwold/Interop, California, 1994.

[14] Garcia-Luna-Aceves, J. J. and Murthy, S. "A Path Finding Algorithm for Loop-Free Routing." IEEE/ACM Transactions on Networking, vol. 5, no.1, Feb, 1997. pp. 148-160.

[15] Moy, J. "OSPF Version 2." RFC1247, 1991.

[16] Oran, D. "OSI IS-IS Intra-Domain routing protocol." RFC 1142, 1990.

[17] Narvaez, P. et. al. "New Dynamic SPT Algorithm based on a Ball-and-String Model." IEEE/ACM Trans. on Network, vol. 9, no. 6, Dec, 2001. pp.706-718.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[18] Jain, R. **The Art of Computer Systems Performance Analysis.** New York : John Wiley & Sons Inc., 1991.

[19] Law, A. M. and Kelton, W. David. **Simulation Modeling and Analysis.** 2nd New York : McGraw-Hill., 1991.

[20] Johnson G. D. "Networked Simulation with HLA and MODSIM III." Proc. Winter Simulation, vol. 2, 1999. pp.1065-1070.

[21] Frost V. and Melamed B. "Traffic Modeling for Telecommunication Networks." IEEE Communications Magazine, vol. 32, no 3. 1994. pp.70-80.

[22] Paxson, V "Growth Trends in Wide-Area TCP Connections." IEEE Network, vol. 8, no. 4, July-Aug, 1994. pp. 8-17.

[23] Zegura E. W. et. al. "A Quantitative Comparison of Graph-Based Models for Internet Topology." IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol. 5, No.6, Dec, 1997. pp. 770-783.

[24] Khanna, A. and Zinky, J. "The Revised ARPANET Routing Metric." Proc. ACM SIGCOMM, 1989.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ตัวแบบจำลองสำหรับการประเมินประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทาง

ตัวแบบจำลองสำหรับการประเมินประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางที่ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นมีหน้าจอแสดงการทำงานในลักษณะกราฟฟิค (Graphic) ดังรูปที่ ก.1 การสั่งงานให้ตัวแบบจำลองนี้จำลองแบบสามารถทำได้โดยใส่พารามิเตอร์ตามหลังคำสั่งโดยรายละเอียดดังนี้

ตัวอย่างเช่น simrouting nsfnet 0 0 10 512 20 LPA 10 5

simrouting = ชื่อโปรแกรม

nsfnet = แฟ้มโทโปโลยีเครือข่าย

0 0 10 = ระยะเวลาการจำลองแบบแบ่งออกเป็นชั่วโมง นาที วินาที

512 = ขนาดแพ็กเก็ตข้อมูล

20 = เปอร์เซ็นภาระงานที่เกิดขึ้น

LPA = อัลอริทึมค้นเส้นทาง

10 = คาบเวลาค้นหาเส้นทางเป็นวินาที

5 = ขนาดบัฟเฟอร์แพ็กเก็ตข้อมูล

ข้อดีของการสั่งงานแบบนี้ คือ สามารถกำหนดให้เครื่องคอมพิวเตอร์จำลองแบบต่อเนื่องกันไปได้ทำให้ง่ายในการจำลองแบบเป็นชุด และเมื่อสั่งงานแล้วการทำงานที่ปรากฏแสดงได้ดังรูปที่ ก.2 ผลจากการจำลองแบบของแต่ละการทดลองจะเก็บอยู่ซับไดเรกทอรี่ (Subdirectory) 1, 2, 3 ตามลำดับ ตัวแบบจำลองนี้จะสิ้นสุดการทำงานตามเวลาจำลองแบบที่กำหนด

เมื่อจำลองเสร็จ นำผลลัพธ์ของแต่ละการทดลองซึ่งเป็นข้อมูลที่เก็บรวบรวมตามมาตรที่ต้องในแต่ละคาบเวลามาวิเคราะห์ด้วยวิธีการแบบของค่าเฉลี่ยแบตช์ (Batch Mean) โดยหาค่าเฉลี่ยกลาง (Mean, $\overline{X}$) และช่วงแห่งความเชื่อมั่นที่ 95 % ซึ่งมีสมการดังนี้

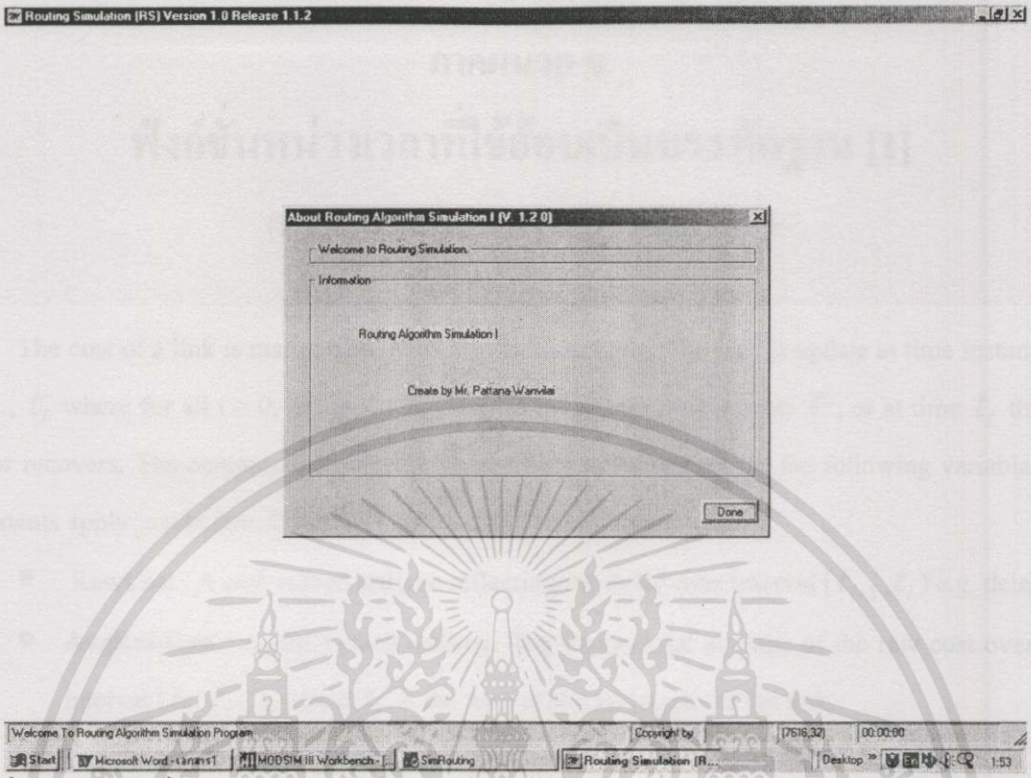
$$\overline{X} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_i$$

$$\text{ช่วงค่าความเชื่อมั่น} = \overline{X} \pm t_{[t-\alpha/2;\nu]} stdev / \sqrt{n}$$

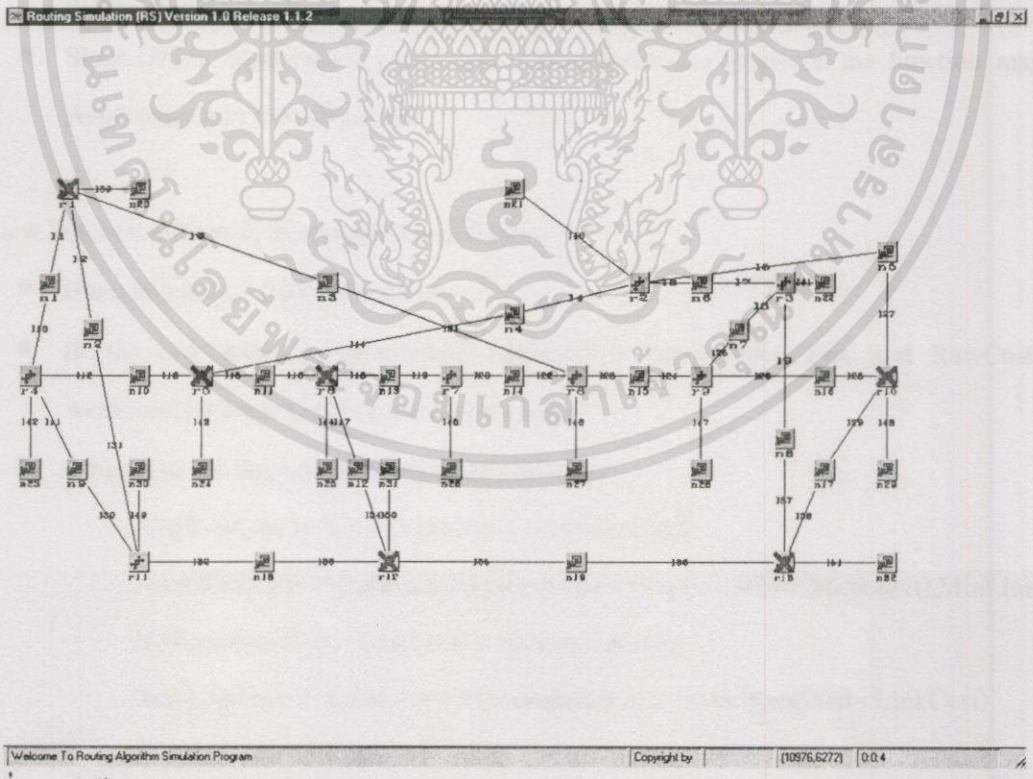
โดย *stdev* คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard devation)

สุดท้าย เมื่อได้ค่าเฉลี่ยกลาง และช่วงค่าระดับความเชื่อมั่นที่ 95 % แล้วจึงนำไปวาดเป็นกราฟต่อไปเพื่อวิเคราะห์ผลต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ก.1 หน้าจอเริ่มต้นของตัวแบบจำลอง



รูปที่ ก.2 หน้าจอตัวแบบจำลองขณะจำลองแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข.

ฟังก์ชั่นหน่วงเวลาที่ใช้ฮ๊อบเป็นบรรทัดฐาน [1]

(Hop Normalized Delay Function)

The cost of a link is maintained by its transmitting node. The cost is update at time instants t_0, t_1,..., t_i where for all i > 0, either t_i - t_{i-1} equals an update interval size T, or at time t_i the link fail or recovers. The compute the cost, the transmitting node maintanins the following variables (the comments apply just before t_i):

- RawCost : A real-valued statistic reflecting the delay over interval $[t_{i-1}, t_i)$ e.g. delay etc.
- AvgRawCost : A real valued statistic. The exponential average of the raw cost over time interval $[t_k, t_{i-1})$, where t_k is the time of the last repair of the link.
- LinkCost : {MinLimit,...,MaxLimit} U $\{\infty\}$, Link cost calculated at time t_{i-1}
- MovementLimit : An integer-valued parameter. Maximum possible change of the link-cost in one update period.
- Slope,Offset: Real-valued parameters. Characterize the shape of the function mapping AvgRawCost to NormRawCost.

The new link cost at time t_i is computed as follows :

- If the link fails, LinkCost is set ∞
- IF the link becomes operational, LinkCost is set to MinLimit, and RawCost and AvgRawCost are set to their minimum values.
- Otherwise, the link cost is calculated as follows :

  AvgRawCost := 0.5 x (RawCost + AvgRawCost)

  NormRawCost := max(min(AvgRawCost x Slope + Offset, MaxLimit),MinLimit)

  If |NormRawCost - LinkCost| > MovementLimit

  then LawCost := LinkCost + MovementLimit x (NormRawCost - LinkCost)

  else LinkCost := NormRawCost

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The first line does exponential averaging, the second line bounds the cost, and the remaining link bound the change in the cost.

The difference between different link cost functions lies is how the compute the RawCost. In this paper, we use hop normalized delay function of ARPANET. Here the transmitting node monitors the average packet delay (queueing and transmission) and the average packet transmission time for the link duration the last update period. From these, assuming an M/M/1 model, it calculates the utilization, which it uses as the raw cost. That is :

$$\text{RawCost} = 1 - \frac{\text{Average Packet Transmission Time}}{\text{Average Packet Delay}}$$

The hop-normalized delay function is used with Offset = 0, Slope = 10, MinLimit = 1, MaxLimit = 10, and Movement Limit = 1.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค.

บทความและผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

1. พัฒนะ วรรณวิไล และดร. จันทร์บูรณ์ สถิตวิริยวงศ์. "ผลกระทบของคาบเวลาของการค้นหาเส้นทางแบบปรับตัวได้ต่อประสิทธิภาพเครือข่าย (Timing Impact of Dynamic Routing on Network Performance)." สารเนคเทค, ฉบับที่ 47, ก.ค. – ส.ค. 2545.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ECTI-21 NECTEC
National Electronics and Computer Technology Center
National Science and Technology Development Agency
112 Thailand Science Park, Pathumthani 12120, THAILAND.
Tel. (+66) 0 2564 6900 Fax. (+66) 0 2564 6901-5
http://www.nectec.or.th/ e-mail: info@nectec.or.th

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ
สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ
112 อุทยานวิทยาศาสตร์แห่งประเทศไทย จังหวัดปทุมธานี 12120
โทรศัพท์ 0 2564 6900 โทรสาร 0 2564 6901-5
http://www.nectec.or.th/ e-mail: info@nectec.or.th

ที่ วว. 5204.0104/125

17 เมษายน 2545

เรื่อง การตอบรับบทความ

เรียน คุณ พัฒนะ วรรณวิไล

เนื่องด้วย งานประชาสัมพันธ์และมัลติมีเดีย ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ได้จัดทำวารสาร "สารเนคเทค" ซึ่งมีกำหนดออกทุกๆ 2 เดือน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นเวทีในการนำข้อมูลเชิงวิชาการและข่าวสารด้านคอมพิวเตอร์ เทคโนโลยีสารสนเทศ ออกเผยแพร่ให้บุคคลที่สนใจได้รับทราบ

ในการนี้ ทางกองบรรณาธิการได้พิจารณาเห็นสมควรนำบทความเรื่อง "Timing Impact of Dynamic Routing on Network Performance : ผลกระทบของคาบเวลาของการค้นหาเส้นทางแบบปรับตัวได้ต่อประสิทธิภาพเครือข่าย" ของ นักศึกษาปริญญาโท คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารฉบับที่ 47 เดือนกรกฎาคม-สิงหาคม 2545 นี้

จึงเรียนมาเพื่อทราบ

ขอแสดงความนับถือ

(ลัญจนา นิตยพัฒน์)

หัวหน้างานประชาสัมพันธ์และมัลติมีเดีย

งานประชาสัมพันธ์และมัลติมีเดีย
โทรศัพท์ 0 2564 6900
โทรสาร 0 2564 6901-5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของคาบเวลาของการค้นหาเส้นทางแบบปรับตัวได้ต่อประสิทธิภาพเครือข่าย

Timing Impact of Dynamic Routing on Network Performance

พัฒนะ วรรณวิไล [1] และ ดร. จันทร์บูรณ์ สถิตวิริยวงศ์ [2]

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเกี่ยวกับการกำหนดคาบเวลาของการค้นหาเส้นทางที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเครือข่ายโดยใช้มาตรวัดประสิทธิภาพที่สำคัญ ได้แก่ ค่าความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูล ค่าเปอร์เซ็นต์ของแพ็กเก็ตข้อมูลที่สูญหาย และค่าเปอร์เซ็นต์ของโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทาง อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางที่ประยุกต์ใช้ในเครือข่าย ได้แก่ อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่สามารถกำจัดปัญหาพื้นฐานของ DVA ได้ และเครือข่ายที่นำมาใช้ในการประเมินคือ NSFNET-T1 การกำหนดค่าใช้จ่ายของเส้นทางในเครือข่ายใช้ฟังก์ชันหน่วงเวลาที่ใช้ฮ็อบเป็นบรรทัดฐาน ผลลัพธ์ที่ได้จากการประเมินสรุปได้ว่า การลดของคาบเวลาของการค้นหาเส้นทางจะช่วยลดความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูลได้ระดับหนึ่ง การจำกัดขนาดบัฟเฟอร์เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยลดความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูลลงได้อีก แต่ต้องแลกกับการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูลด้วย

Abstract

This paper presents the impact of routing timing on the network performance using the most important performance metric such as the data packet delay, the percentage of data packet loss, and the percentage of routing overhead. The routing algorithm employed in the experimental network is the Path Finding Algorithm that can eliminate the basic problem of the Distance Vector Algorithm. The network for the evaluation study is NSFNET-T1, whereas the function for determining the cost of routing is Hop Normalized Delay Function. The simulation results conclude that the reduction of routing timing can reduce data packet delay, and the use of fixed-size buffer can also reduce data packet delay. However, it can be the major cause of packet loss.

[1] นักศึกษาปริญญาโทคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล.

[2] อาจารย์คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ และนักวิจัยสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ สจล.

1. บทนำ

การค้นหาเส้นทาง (Routing) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อการส่งต่อข้อมูลไปยังปลายทางในเครือข่ายข้อมูลหรือเครือข่ายแพ็กเก็ตสวิทชิ่ง (Packet Switching Network) การค้นหาเส้นทางที่ดี นอกจากจะต้องค้นหาและกำหนดเส้นทางที่ดีสำหรับการส่งต่อไปยังปลายทางได้อย่างรวดเร็วและถูกต้องแล้วยังต้องสามารถกระจายความคับคั่งของจราจรไปยังเส้นทางต่าง ๆ ได้อย่างเหมาะสมเพื่อให้เครือข่ายรองรับปริมาณการจราจรได้มากและสูญหายน้อย ตลอดจนการควบคุมและจัดการการแกว่งของเส้นทางได้อย่างรวดเร็วและเหมาะสมเมื่อมีปริมาณการจราจรหรือคุณลักษณะเครือข่ายเปลี่ยนแปลงซึ่งมีผลทำให้เครือข่ายมีเสถียรภาพ

อัลกอริทึมค้นหาเส้นทาง (Routing Algorithm) ที่ประยุกต์ใช้ในเครือข่ายเป็นอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางเดินที่สั้นที่สุด (Shortest Path Routing Algorithm) ซึ่งแบ่งออกเป็นสองประเภท ได้แก่ อัลกอริทึมดีสแทนซ์เวกเตอร์ (Distance Vector Algorithm) และอัลกอริทึมลิงค์สเทต (Link State Algorithm) กรณีของอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์ โหนดเรียนรู้ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่สั้นที่สุดของโหนดข้างเคียงไปยังโหนดปลายทางและค่าใช้จ่ายไปยังโหนดข้างเคียงนั้นแล้วนำข้อมูลเหล่านี้คำนวณเส้นทางเดินที่สั้นที่สุดไปยังโหนดปลายทางต่าง ๆ โดยสมการของ Bellman-Ford [1] ส่วนลิงค์สเทตอัลกอริทึม โหนดเรียนรู้ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงของโหนดในเครือข่ายแล้วใช้ข้อมูลเหล่านี้คำนวณเส้นทางที่สั้นที่สุดโดยใช้ Dijkstra's Algorithm [1]

ปัญหาหลักของลิงค์สเทตอัลกอริทึม คือ การใช้ทรัพยากรเครือข่ายจำนวนมากสำหรับการแลกเปลี่ยนข้อมูลเส้นทาง การเก็บข้อมูล และการคำนวณเส้นทาง แนวทางลดปัญหาดังกล่าวโดยการแบ่งเครือข่ายออกเป็นพื้นที่ที่เชื่อมโยงกันด้วยพื้นที่กระดูกสันหลัง (Backbone Area) ซึ่งประยุกต์ใช้ใน OSPF [2] และการปรับปรุงอัลกอริทึมกระจายข้อมูลเส้นทาง [3]

ปัญหาหลักของอัลกอริทึมดีสแทนซ์เวกเตอร์ คือ การนับจนถึงค่าไม่สิ้นสุด (Counting to Infinite) และข้อมูลตารางเส้นทางทำให้เกิดลูป (Routing Table Loop) ปัญหาทั้งสองได้มีผู้นำเสนอเทคนิคเพิ่มเติมสำหรับแก้ปัญหาและวิธีการกำจัดปัญหาไว้หลายวิธี ตัวอย่างเทคนิคเพิ่มเติม ได้แก่ Split Horizon, Hold

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

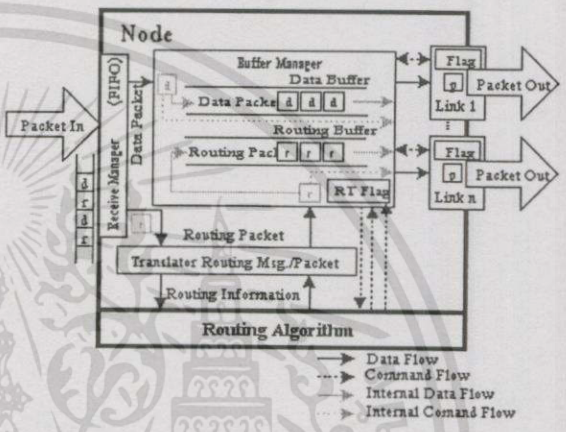
Down และ Poisoned Reverse [4] ซึ่งต้องใช้หลายเทคนิคร่วมกัน แต่ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ทั้งหมดหรืออาจจะเกิดปัญหาอื่น ๆ ตามมา [4] วิธีการกำจัดปัญหาจึงเป็นทางเลือกที่ดีกว่า วิธีเหล่านี้ได้แก่ อัลกอริทึมดิฟฟิวซิ่งอัพเดท (Diffusing Update Algorithm) [5] ซึ่งประยุกต์ใช้ใน Cisco's EIGRP [6], อัลกอริทึมพาธเวกเตอร์ (Path Vector Algorithm) ซึ่งประยุกต์ใช้ใน BGP [7] และอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง (Path Finding Algorithm) [8] การกำจัดปัญหาของอัลกอริทึมทั้งสามต้องอาศัยข้อมูลและการทำงานเพิ่มเติมจากพื้นฐานอัลกอริทึมดีสแทนซ์เวกเตอร์ทำให้ประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางแตกต่างกัน อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งเป็นอัลกอริทึมที่สามารถค้นหาเส้นทางได้รวดเร็วที่สุดและทำให้เกิดโอเวอร์เฮด (Overhead) น้อยที่สุด [8]

การค้นหาเส้นทางที่ดีที่สุดในเครือข่าย อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางเป็นองค์ประกอบหนึ่งเท่านั้น คาบเวลาของการค้นหาเส้นทางเป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพการค้นหาเส้นทางเปลี่ยนแปลงได้ ความสำคัญ คือ การปรับเปลี่ยนคาบเวลาให้เหมาะสมกับเครือข่ายนั้นไม่จำเป็นต้องปรับปรุงทรัพยากรเครือข่าย ดังนั้น บทความนี้จึงนำเสนอการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งในเครือข่ายและการประเมินผลกระทบของคาบเวลาของการค้นหาเส้นทางต่อประสิทธิภาพเครือข่ายด้วยการจำลองแบบ

2. การออกแบบการจำลองแบบ (Simulation Design)

การจำลองแบบเพื่อการประเมินประสิทธิภาพเครือข่ายเป็นการจำลองแบบเหตุการณ์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Event Simulation) โดยใช้วิธีการวิเคราะห์เชิงโพรเซส (Process Oriented หรือ Process Schedule) การพัฒนาตัวแบบจำลอง (Simulator) ใช้ภาษา MODSIM III ซึ่งเป็นภาษาสำหรับการจำลองแบบทั่วไป (General Simulation Language) โดยรูปแบบการโปรแกรมเป็นการโปรแกรมเชิงวัตถุ (Object Oriented Programming) ดังนั้น องค์ประกอบภายในเครือข่ายจึงถูกแบ่งออกเป็นวัตถุต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

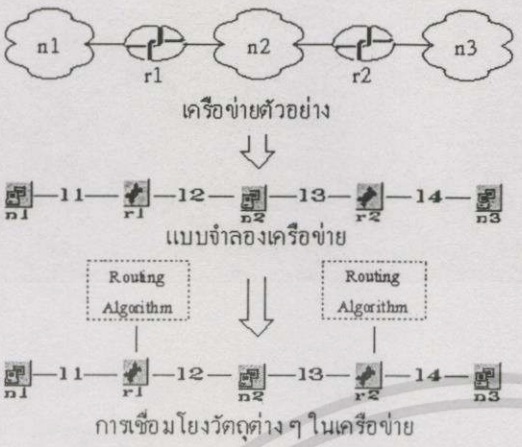
- โหนด (Node) ใช้แทนเราเตอร์ (Router) ในเครือข่าย โดยเชื่อมต่อกับอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางและเส้นทางเชื่อมโยง สถาปัตยกรรมภายในของโหนดแสดงดังรูปที่ 1 โหนดจะทำการตรวจสอบทุกแพ็กเก็ตที่ได้รับ ถ้าเป็นแพ็กเก็ตข้อมูลจะถูกส่งไปเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ข้อมูล แต่ถ้าเป็นแพ็กเก็ตเส้นทางจะนำข้อมูลเส้นทางภายในส่งต่อให้กับอัลกอริทึมค้นหาเส้นทางและเมื่ออัลกอริทึมค้นหาเส้นทางจะส่งข้อมูลเส้นทางไปยังโหนดข้างเคียง อัลกอริทึมจะส่งข้อมูลนั้นมายังโหนดเพื่อบรรจุลงแพ็กเก็ตเส้นทางแล้วส่งไปเก็บไว้ในบัฟเฟอร์เส้นทาง เมื่อแพ็กเก็ตมาถึงบัฟเฟอร์ตัวจัดการบัฟเฟอร์จะทำหน้าที่ตรวจสอบปลายทางและส่งต่อแพ็กเก็ตนั้นออกไปยังเส้นทางเชื่อมโยงเพื่อเดินทางไปยังโหนดข้างเคียงหรือเครือข่ายปลายทาง ในกรณีบัฟเฟอร์จำกัด โหนดจะจัดการบัฟเฟอร์ด้วยอัลกอริทึมถังน้ำรั่ว (Leaky Bucket Algorithm) [9] ในการส่งต่อ แพ็กเก็ตเส้นทางจะมีความสำคัญมากกว่าแพ็กเก็ตข้อมูลในการส่งต่อ และถ้ามีการปรับปรุงเส้นทางเกิดขึ้น การส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลจะต้องรอจนกว่าการปรับปรับเส้นทางครั้งนั้นเสร็จสิ้น



รูปที่ 1 สถาปัตยกรรมภายในของโหนด

- เครือข่ายย่อย (Subnet) แบ่งออกเป็นเครือข่ายย่อยทางผ่าน (Transit Subnet) และเครือข่ายย่อยปลายสุด (Stub Subnet) เครือข่ายทางผ่านจะเชื่อมต่อกับเส้นทางเชื่อมโยงมากกว่าหนึ่งเส้นทางโดยทำหน้าที่เป็นทางผ่านของแพ็กเก็ตจากโหนดหนึ่งไปยังอีกโหนดหนึ่ง ส่วนเครือข่ายย่อยปลายสุดเป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของแพ็กเก็ตข้อมูลโดยเชื่อมต่อกับเส้นทางเชื่อมโยงเพียงเส้นทางเดียวเท่านั้น แบบจำลองเครือข่ายที่แสดงดังรูปที่ 2 มีเครือข่ายย่อยปลายสุด n1 และ n3 เชื่อมโยงกับโหนด r1 และ r2 ตามลำดับ ส่วนเครือข่ายทางผ่าน n2 เชื่อมโยงกับโหนด r1 และ r2 ตามลำดับ
- เส้นทางเชื่อมโยง (Link) เป็นเส้นทางเชื่อมโยงระหว่างโหนดกับเครือข่ายย่อย
- อัลกอริทึมค้นหาเส้นทาง (Routing Algorithm) เป็นตัวจักรสำหรับการค้นหา คำนวณ และกำหนดเส้นทางสำหรับการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูล
- แพ็กเก็ต (Packet) แบ่งออกได้เป็นแพ็กเก็ตเส้นทางและแพ็กเก็ตข้อมูล แพ็กเก็ตเส้นทางจะบรรจุข้อมูลเส้นทางเพื่อแลกเปลี่ยนระหว่างโหนด ส่วนแพ็กเก็ตข้อมูลจะบรรจุข้อมูลเพื่อแลกเปลี่ยนระหว่างเครือข่ายย่อยปลายสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2 แบบจำลองเครือข่าย (Network Model)

การกำหนดชื่ออ้างอิงโหนด เส้นทางเชื่อมโยงและเครือข่ายย่อยต้องมีชื่อที่ไม่ซ้ำกัน แต่ละโหนดเป็นอิสระจากกันและมีความสำคัญเท่ากัน เส้นทางเชื่อมโยงใช้การสื่อสารสองทางเต็มอัตรา (Full Duplex) การโอนย้ายข้อมูลจะไม่มีการสูญหายยกเว้นกรณีผ่านโหนด เส้นทางเชื่อมโยง หรือเครือข่ายย่อยทางผ่านที่ล้มเหลว เวลาของการโอนย้ายข้อมูลผ่านเส้นทางเชื่อมโยงขึ้นอยู่กับแบนวิดท์ (Bandwidth) ระยะทาง และดาต้าลิงค์โพรโทคอล (Data Link Protocol) ของเส้นทางเชื่อมโยง ขนาดของหน้าต่าง (Window Size) ของดาต้าลิงค์โพรโทคอลมีขนาดสูงสุดเท่ากับ Bandwidth Delay Product [8] เพื่อทำให้เกิดการใช้ประโยชน์ (Utilization) เส้นทางเชื่อมโยงสูงสุด

การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมค้นหาเส้นทางสำหรับการค้นหาเส้นทางต้องเป็นการค้นหาเส้นทางแบบปรับตัวได้ (Dynamic Routing) การค้นหาเส้นทางแบบเส้นทางเดี่ยว (Single Path Routing) การค้นหาเส้นทางแบบก้าวถัดไป (Next Hop Routing) การค้นหาเส้นทางแบบราบ (Flat Routing) และการค้นหาเส้นทางแบบกระจาย (Distributed Routing) เส้นทางเดินที่สั้นที่สุดเป็นเส้นทางเดินที่มีผลรวมของค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงในเส้นทางเดินน้อยที่สุดโดยกำหนดให้ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินเป็นบวกเสมอ ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่สั้นที่สุดที่เป็นจำนวนจริงจะใช้วิธีการปัดเศษให้เป็นจำนวนเต็มเพื่อประหยัดพื้นที่การเก็บข้อมูล

การสร้างแพ็กเก็ตข้อมูลโดยแต่ละแพ็กเก็ตข้อมูลมีขนาด 512 ไบต์โอกาสการเกิดขึ้นใช้การกระจายแบบปัวซอง (Poisson Distribution) เวลาการมาถึงใช้การกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Distribution) และการกำหนดปลายทางใช้การกระจายแบบนอร์มอล (Normal Distribution)

3. การประยุกต์อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง

วิธีการกำจัดปัญหาของของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งใช้การระบุรายละเอียดเส้นทางโดยอ้างอิงกับโหนดข้างเคียงก่อนหน้า (Predecessor) ทำให้ข้อมูลเส้นทางที่แลกเปลี่ยนระหว่างกันมีขนาดเล็กกว่าอัลกอริทึมพาธเวกเตอร์ซึ่งระบุรายละเอียดเส้นทางอย่างสมบูรณ์ การคำนวณเส้นทางเดินที่สั้นที่สุดเช่นเดียวกับอัลกอริทึมดิสแทนซ์เวกเตอร์ แต่ก่อนการคำนวณทุกครั้งต้องตรวจสอบข้อมูลเส้นทางเดินที่สั้นที่สุดจากโหนดข้างเคียงต้องไม่ทำให้เกิดลูปและต้องเป็นเส้นทางที่สามารถไปถึงยังปลายทางได้เพื่อกำจัดปัญหาที่จะเกิดขึ้น ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการค้นหาเส้นทางจะเก็บไว้ในรูปแบบของตารางทั้งหมดสามตาราง ได้แก่ ตารางเส้นทาง (Routing Table) ตารางสถานะเส้นทางเชื่อมโยง (Link State Table) และตารางระยะทาง (Distance Table) ตารางเส้นทางเป็นตารางผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณเส้นทางเดินที่สั้นที่สุดซึ่งข้อมูลในตารางนี้ใช้สำหรับการส่งต่อข้อมูล ตารางสถานะเส้นทางเชื่อมโยงเป็นตารางที่เก็บสถานะและค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงไปยังโหนดข้างเคียง รวมไปถึงสถานะของโหนดข้างเคียงด้วย ส่วนตารางระยะทางเป็นตารางที่เก็บค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่สั้นที่สุดจากโหนดข้างเคียงไปยังเครือข่ายย่อยปลายทางต่าง ๆ

การประยุกต์อัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้งในเครือข่ายมีรายละเอียดการทำงานคร่าว ๆ ตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 3 เมื่อโหนดเริ่มต้นทำงานจะใส่ข้อมูลเส้นทางเดินของเครือข่ายย่อยที่เชื่อมโยงโดยตรง จากนั้นก็จะกระจายข้อมูลเส้นทางเดินทั้งหมดไปยังโหนดข้างเคียง เมื่อโหนดได้รับข้อมูลเส้นทางเดินใหม่ก็จะปรับปรุงสถานะของโหนดข้างเคียงและปรับปรุงข้อมูลเดิมในตารางระยะทางจากนั้นคำนวณเส้นทางเดินที่สั้นที่สุดใหม่ ถ้าเส้นทางเดินที่สั้นที่สุดได้รับการปรับปรุงจะต้องส่งต่อเส้นทางที่ปรับปปรุงนั้นไปยังโหนดข้างเคียง ถ้าโหนดข้างเคียงที่ส่งข้อมูลนั้นมาเป็นโหนดข้างเคียงใหม่ที่ยังไม่รู้จักและไม่มีข้อมูลในตารางสถานะเส้นทางเชื่อมโยงจะต้องทำการส่งข้อมูลเส้นทั้งหมดในตารางเส้นทางกลับไป

การตรวจสอบค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงจะตรวจสอบตามคาบเวลาที่กำหนดขึ้นเฉพาะเส้นทางที่เชื่อมโยงไปยังเครือข่ายย่อยทางผ่าน ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงจะทำการปรับปรุงตารางเส้นทางและส่งข้อมูลเส้นทางที่ได้ปรับปรุงนั้นไปยังโหนดข้างเคียง แต่ถ้าคาบเวลานั้นไม่มีการปรับปรุงจะทำการส่งเมสเซจฮัลโล (Hello Message) ไปยังโหนดข้างเคียงเพื่อบอกว่าโหนดข้างเคียงนั้นยังคงอยู่แต่ไม่มีการปรับปรุงเส้นทาง

การกำหนดการคงอยู่ของโหนดข้างเคียง โดยปกติจะกำหนดเป็นจำนวนเท่าของคาบเวลา ทุก ๆ วินาทีจะลดเวลาการคงอยู่ลงทีละหนึ่ง ดังนั้นถ้าไม่ได้รับการปรับปรุงในระยะเวลาที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดจะต้องหมดอายุหรือไม่สามารถเชื่อมโยงไปถึงได้ การหมดอายุของโหนดข้างเคียงอาจจะส่งผลให้เส้นทางเดินสั้นที่สุดในตารางเส้นทางมีการปรับปรุงได้

การทำงานเริ่มต้น
- กำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตารางเส้นทาง ตารางสถานะเส้นทางเชื่อมโยง และตารางระยะทาง
- ใส่ข้อมูลเส้นทางที่เชื่อมโยงไปยังเครือข่ายที่เชื่อมโยงโดยตรงลงในตารางเส้นทาง
- ส่งกระจายข้อมูลเส้นทางเดินที่สั้นที่สุดทั้งหมดไปยังโหนดข้างเคียง

การทำงานตามคาบเวลา
- ตรวจสอบค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงที่เชื่อมโยงไปยังเครือข่ายย่อยทางผ่าน
- ถ้ามีการเปลี่ยนแปลง
  - ปรับปรุงตารางสถานะเส้นทางเชื่อมโยง
  - ปรับปรุงค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่สั้นที่สุด
  - คำนวณเส้นทางเดินที่สั้นที่สุดใหม่
  - ถ้ามีการปรับปรุงเส้นทางเดินที่สั้นที่สุด
    - กระจายข้อมูลเส้นทางเดินที่สั้นที่สุดที่ได้รับการปรับปรุงนั้นไปยังโหนดข้างเคียง
  - ถ้าไม่มีการปรับปรุงเส้นทางเดินที่สั้นที่สุด
    - กระจายเมสเซสฮัลโล

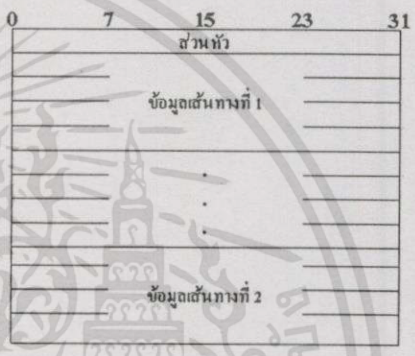
การทำงานเมื่อได้รับข้อมูลเส้นทาง
- ปรับปรุงเวลาการคงอยู่ของโหนดข้างเคียงในตารางเส้นทางเชื่อมโยง
- ปรับปรุงค่าใช้จ่ายในตารางระยะทาง
- ตรวจสอบดูปและเส้นทางที่ไม่สามารถเดินทางไปถึงปลายทางได้ในตารางระยะทาง
- ปรับปรุงค่าใช้จ่ายของเส้นทางเดินที่สั้นที่สุดในตารางเส้นทาง
- คำนวณเส้นทางเดินที่สั้นที่สุดใหม่
- เพิ่มเครือข่ายย่อยปลายทางใหม่ (ถ้ามี)
- ถ้าโหนดที่ส่งข้อมูลนั้นเป็นโหนดข้างเคียงใหม่
  - ส่งข้อมูลเส้นทางทั้งหมดในตารางเส้นทางกลับไป
  - ถ้ามีการปรับปรุงเส้นทางเดินที่สั้นที่สุด
    - ส่งข้อมูลเส้นทางที่สั้นที่สุดที่ได้รับปรับปรุงนั้นไปยังโหนดข้างเคียงอื่น ๆ
- ถ้าโหนดที่ส่งข้อมูลมานั้นไม่เป็นโหนดข้างเคียงใหม่และตารางเส้นทางมีการปรับปรุง
  - ส่งข้อมูลเส้นทางที่สั้นที่สุดที่ได้รับปรับปรุงนั้นไปยังโหนดข้างเคียง

เมื่อโหนดได้รับเมสเซจฮัลโล
- ปรับปรุงเวลาการคงอยู่ของโหนดข้างเคียงในตารางสถานะเส้นทางเชื่อมโยง

การทำงานทุก ๆ วินาที
- ลดเวลาการคงอยู่ของโหนดข้างเคียงในตารางสถานะเส้นทางเชื่อมโยง
- ถ้าโหนดข้างเคียงหมดอายุ
  - ลบข้อมูลในตารางสถานะเส้นทางเชื่อมโยง
  - ลบข้อมูลระยะทางของโหนดข้างเคียงนั้นในตารางระยะทาง
  - ค้นหาและกำหนดค่าระยะทางที่ไม่สิ้นสุดให้กับเส้นทางที่ผ่านโหนดข้างเคียงนั้น
- ถ้ามีการปรับปรุงเส้นทางเดินที่สั้นที่สุด
  - คำนวณเส้นทางเดินใหม่
  - ส่งข้อมูลเส้นทางที่มีการปรับปรุงไปยังโหนดข้างเคียง
- ลบข้อมูลเส้นทางที่มีไม่สามารถเดินทางไปถึงยังปลายทางได้

รูปที่ 3 รายละเอียดการทำงานคร่าว ๆ ของอัลกอริทึมพาธไฟน์ดิ้ง

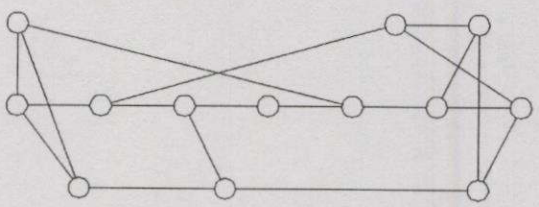
รูปแบบของเมสเซจของการค้นหาเส้นทาง (Routing Message) ประกอบด้วยส่วนหัว (Header) 4 ไบต์และส่วนข้อมูลเส้นทาง (ถ้ามี) ส่วนหัวประกอบด้วยประเภทของเมสเซจ จำนวนรายการข้อมูลเส้นทาง และการตรวจสอบความถูกต้อง แต่ละรายการข้อมูลเส้นทางจะมีขนาด 16 ไบต์ ซึ่งประกอบด้วยที่อยู่ปลายทาง ค่าใช้จ่าย โหนดข้างเคียงก่อนหน้า และโหนดต้นทางดังแสดงในรูปที่ 4 เมสเซจฮัลโลประกอบด้วยเพียงส่วนหัวเท่านั้น ส่วนเมสเซจอัพเดท (Update Message) ประกอบด้วยส่วนหัวและข้อมูลเส้นทางอย่างน้อยหนึ่งรายการ เมื่อนำเมสเซจบรรจุในแพ็กเก็ตจะต้องเพิ่มส่วนหัวของแพ็กเก็ตอีก 20 ไบต์ ซึ่งเป็นขนาดของส่วนหัวของแพ็กเก็ตไอพี (IP Packet Header)



รูปที่ 4 รายละเอียดเมสเซสของการค้นหาเส้นทาง

4. พารามิเตอร์การจำลองแบบ

เครือข่ายตัวอย่างที่นำมาใช้ในการประเมิน คือ NSFNET-T1 ดังแสดงในรูปที่ 5 โดยพิจารณาเฉพาะโหนดที่เชื่อมโยงมากกว่าหนึ่งเส้นทางซึ่งประกอบด้วย 13 โหนด 19 เส้นทางเชื่อมโยง และมีดีกรีของโหนด (Node Degree) เฉลี่ยเท่ากับสาม โดยสมมติว่าการเชื่อมโยงระดับดาต้าลิงค์ใช้โพรโทคอล HDLC และเฟรมมาตรฐาน (Standard Frame) [9] ซึ่งมีส่วนหัวของเฟรมมีขนาดเท่ากับ 6 ไบต์ เนื่องจากไม่สามารถหาความยาวเส้นทางเชื่อมโยงที่แท้จริงได้จึงกำหนดให้เท่ากับศูนย์ซึ่งมีผลต่อการค้นหาเส้นทางน้อยมากและไม่มีผลในเชิงเปรียบเทียบประสิทธิภาพ



รูปที่ 5 โทโปโลยี NSFNET-T1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยงกำหนดด้วยฟังก์ชันหน่วงเวลาที่ใช้ฮ็อบเป็นบรรทัดฐาน (Hop Normalized Delay Function) [10] ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายแบบไม่คงที่ (Dynamic Cost) โดยสัมพันธ์กับค่าความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูล (Data Packet Delay) และเวลาการโอนย้ายแพ็กเก็ตข้อมูล (Data Packet Transmission Time) ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของฟังก์ชันกำหนดตาม [11] การสร้างแพ็กเก็ตของเครือข่ายย่อยปลายทางกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของ User Data Rate T1

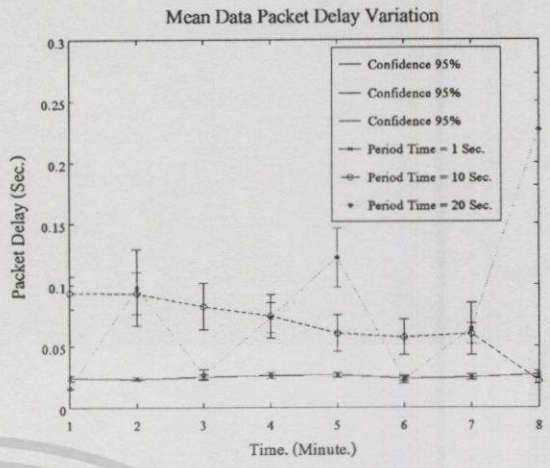
5. ผลการประเมินประสิทธิภาพเครือข่าย

มาตรวัดประสิทธิภาพเครือข่ายประเมินได้จาก

- ค่าความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูล (Data Packet Delay) : เป็นค่าเวลาตั้งแต่แพ็กเก็ตข้อมูลเดินทางจากเครือข่ายย่อยต้นทางไปสิ้นสุดที่เครือข่ายย่อยปลายทาง
- ค่าเปอร์เซ็นต์ของแพ็กเก็ตข้อมูลที่สูญหาย (Packet Loss) : เป็นการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนแพ็กเก็ตที่สูญหายระหว่างการเดินทางไปยังปลายทางกับภาระงานที่เข้ามาทั้งหมดเมื่อขนาดของบัฟเฟอร์จำกัด
- โอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทาง (Routing Overhead) : เป็นการเปรียบเทียบระหว่างผลรวมภาระงานในเครือข่ายที่เกิดจากการค้นหาเส้นทางและการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลไปเครือข่ายย่อยปลายทาง

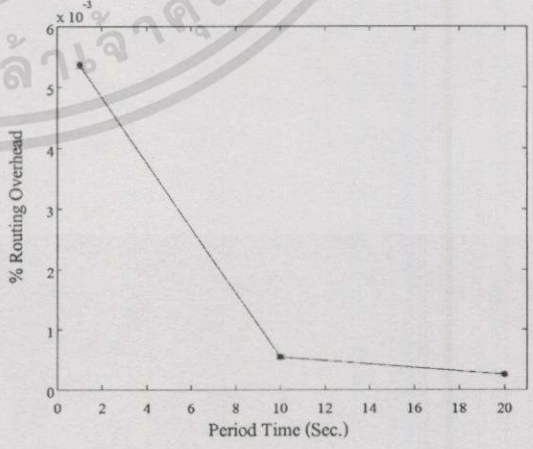
ค่าสถิติที่รวบรวมในช่วงเวลาสถานะคงที่ (Steady State) ของการจำลองแบบนำเสนอด้วยค่าเฉลี่ยรวมและวิเคราะห์ช่วงค่าความเชื่อมั่น (Confidence Interval) ที่ 95% การทดลองเพื่อวัดประสิทธิภาพแบ่งออกเป็นกรณีต่าง ๆ ดังนี้

- <u>เมื่อคาบเวลาเปลี่ยนแปลง</u> : คาบเวลาของการค้นหาเส้นทางเป็นช่วงระยะห่างของการตรวจสอบค่าใช้จ่ายของเส้นทางแต่ละครั้งโดยกำหนดมีค่าเท่ากับ 1, 10 และ 20 วินาที มีภาระงานเท่ากับ 60% และขนาดบัฟเฟอร์ไม่จำกัด ระยะเวลาของสถานะคงที่เท่ากับ 8 นาที ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองแสดงด้วยการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูลในแต่ละนาทีและค่าเฉลี่ยรวมของค่าความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 6 และ 7 ตามลำดับ ส่วนปริมาณของโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 6 ค่าเฉลี่ยแต่ละนาทีของค่าความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูล เมื่อคาบเวลาเปลี่ยนแปลง

รูปที่ 7 ค่าเฉลี่ยรวมของค่าความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูล เมื่อคาบเวลาเปลี่ยนแปลง



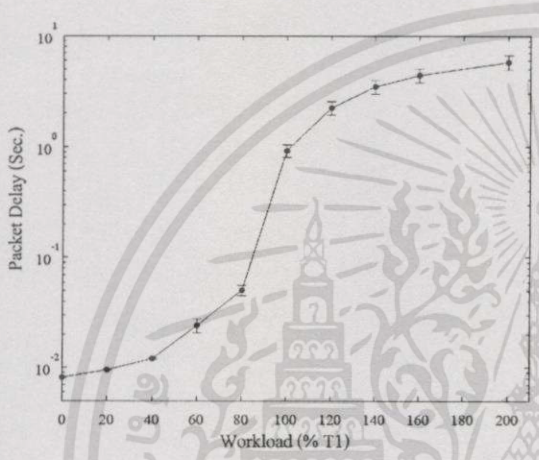
รูปที่ 8 ค่าเฉลี่ยรวมของปริมาณของโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทาง เมื่อคาบเวลาเปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

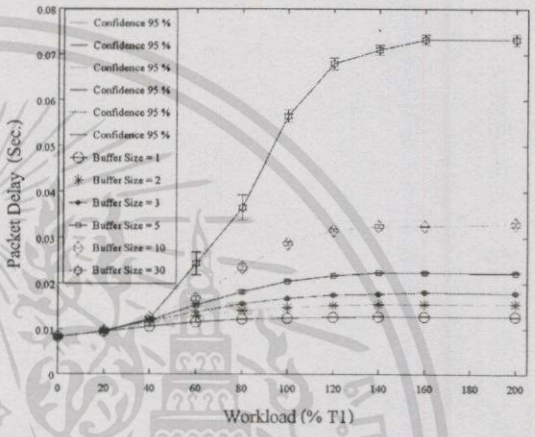
- <u>เมื่อภาระงานเปลี่ยนแปลง</u> : ภาระงานเป็นปริมาณของแพ็กเก็ตข้อมูลที่เดินทางมาถึงโหนดของเครือข่ายในแต่ละวินาทีโดยกำหนดให้เท่ากับ 0.01% 20% 40% 60% 80% 120% 160% และ 200% คาบเวลาของการค้นหาเส้นทางเท่ากับหนึ่งและขนาดบัฟเฟอร์ไม่จำกัด การทดลองใช้ระยะเวลาของสถานะคงที่เท่ากับ 20 วินาที ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองแสดงด้วยค่าเฉลี่ยรวมของค่าความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูลและปริมาณของโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางแสดงได้ดังรูปที่ 9 และ 10 ตามลำดับ

- <u>เมื่อขนาดบัฟเฟอร์เปลี่ยนแปลง</u> : บัฟเฟอร์เป็นพื้นที่เก็บข้อมูลของโหนดโดยกำหนดให้มีขนาดเท่ากับ 1, 2, 3, 5, 10 และ 30 คาบเวลาของการค้นหาเส้นทางเท่ากับ 1 วินาทีและระยะเวลาของสถานะคงที่เท่ากับ 20 วินาที ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลองแสดงด้วยค่าเฉลี่ยรวมของค่าความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูล ปริมาณของแพ็คเก็ตที่สูญหาย และปริมาณของโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางแสดงได้ดังรูปที่ 11-13 ตามลำดับ

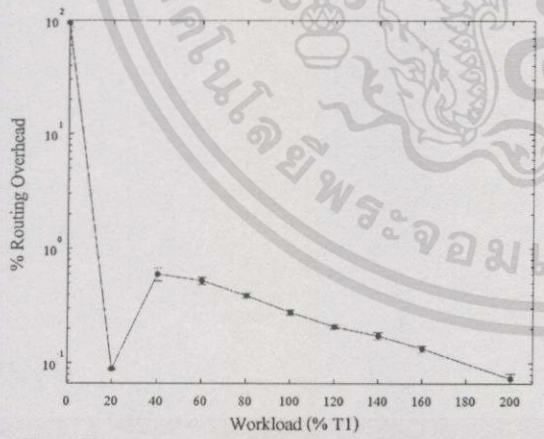
-



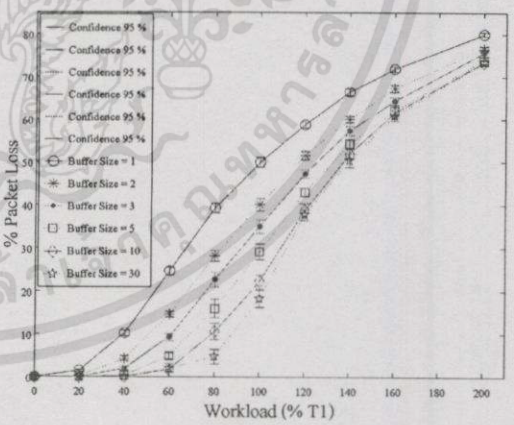
รูปที่ 9 ค่าเฉลี่ยรวมของค่าความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูล เมื่อภาระงานเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 11 ค่าเฉลี่ยรวมของค่าความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูล เมื่อขนาดของบัฟเฟอร์เปลี่ยนแปลง

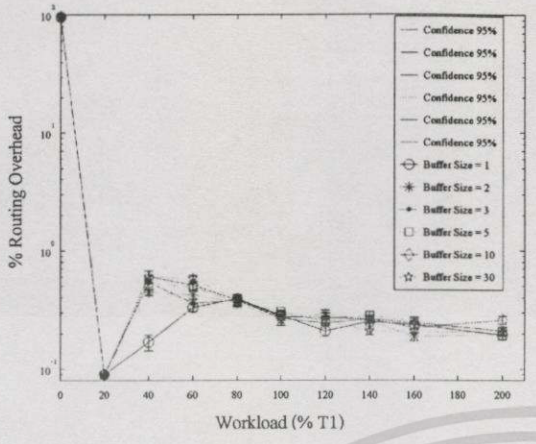


รูปที่ 10 ค่าเฉลี่ยรวมของโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทาง เมื่อภาระงานเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 12 ค่าเฉลี่ยรวมของเปอร์เซ็นต์ของแพ็กเก็ตข้อมูลที่สูญหาย เมื่อขนาดของบัฟเฟอร์เปลี่ยนแปลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 13 ค่าเฉลี่ยรวมของโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทาง เมื่อขนาดบัฟเฟอร์เปลี่ยนแปลง

จากการทดลอง การลดคาบเวลาของการค้นหาเส้นทางจะช่วยลดการแกว่งและค่าของความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูล แต่ในเครือข่ายจะมีโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางเพิ่มขึ้น ในกรณีบัฟเฟอรไม่จำกัด แม้ว่าจะลดคาบเวลาให้น้อยที่สุด คือ เท่ากับหนึ่ง แต่ยากที่จะควบคุมช่วงระยะห่างระหว่างค่าหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตที่น้อยที่สุดและมากที่สุดได้ วิธีการหนึ่งที่นำมาใช้แก้ปัญหาดังกล่าว คือ การกำหนดขนาดของบัฟเฟอร์ซึ่งผลที่ได้จะช่วยลดความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูลลงได้อีก และความแตกต่างของความหน่วงเวลาที่ภาระงานต่าง ๆ แต่อย่างไรก็ตาม ผลที่ตามมาจะต้องมีแพ็กเก็ตสูญหายจำนวนหนึ่ง

การเกิดขึ้นของโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางในเครือข่ายเกิดขึ้นจากเมสเซจฮัลโลและเมสเซจปรับปรุงเส้นทาง ในขณะที่เครือข่ายมีภาระงานที่เกิดจากการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลต่ำ ทำให้ภาระงานในเครือข่ายส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการค้นหาเส้นทางเป็นหลัก แต่เมื่อภาระงานที่เกิดจากส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลมีเพิ่มสูงขึ้นทำให้ปริมาณภาระงานที่เกิดขึ้นจากการค้นหาเส้นทางเมื่อเปรียบเทียบกันจะมีค่าเพียงเล็กน้อย คือ ไม่ถึงหนึ่งเปอร์เซ็นต์ สาเหตุเนื่องมาจากแพ็กเก็ตเส้นทางจะส่งระหว่างโหนดกับโหนดซึ่งมีระยะทางไม่เกินเพียงหนึ่งฮ็อบ ส่วนการส่งต่อแพ็กเก็ตข้อมูลจะต้องส่งมีระยะทางโดยเฉลี่ยประมาณสามฮ็อบกว่า ภาระงานที่เกิดจากการส่งแพ็กเก็ตข้อมูลหนึ่งแพคเกทจึงทวีคูณเป็นสามเท่า

การค้นหาเส้นทางในเครือข่ายจะปรับตัวได้ดีในช่วงหนึ่งของภาระงาน เนื่องจากการกำหนดค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายของเส้นทางเชื่อมโยง เมื่อมีภาระงานน้อยหรือมากกว่าช่วงดังกล่าวจะทำให้การปรับตัวของเส้นทางจะลดลงและมีโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางลดลงด้วย

บทสรุปและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

การลดลงของคาบเวลาของการค้นหาเส้นทางจะช่วยลดค่าความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตได้ในระดับหนึ่ง แต่ต้องแลกกับโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางที่เพิ่มมากขึ้น การจำกัดขนาดของบัฟเฟอร์เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ช่วงลดทั้งค่าความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตและโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทางที่เกิดขึ้น แต่ต้องแลกกับการสูญหายของแพ็กเก็ตข้อมูลบางส่วน

บัฟเฟอร์ที่เหมาะสมมีขนาดประมาณ 30 แพ็กเก็ต เนื่องจากมีเปอร์เซ็นต์แพ็กเก็ตสูญหายต่ำในช่วงภาระงานไม่เกิน 100 % และค่าของความหน่วงเวลาที่เกิดขึ้นไม่แตกต่างจนทำให้รู้สึกว่าการส่งข้อมูลล่าช้า

นอกจากนี้ การกำหนดค่าใช้จ่ายของเส้นทางที่เหมาะสมและเปลี่ยนแปลงอย่างช้าเป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ช่วยลดโอเวอร์เฮดของการค้นหาเส้นทาง เนื่องจากสามารถกำหนดคาบเวลาของการค้นหาเส้นทางที่กว้างขึ้นและอาจจะทำให้ความหน่วงเวลาของแพ็กเก็ตข้อมูลลดลงด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] D. Bertsekas and R. Gallager, Data Networks, 2nd, Prentice-Hall, 1992.

[2] J. Moy, "OSP Version2", RFC 1142, Feb 1990.

[3] J. Behrens and J. J. Garcia-Luna-Aceves, "Hierarchical Routing Using Link Vector", Proc. IEEE INFOCOM 98, San Francisco, California, March 29-April 2, 1998.

[4] C. Hedric, "Routing Information Protocol", RFC 1058, June 1988.

[5] J.J. Garcia-Luna-Aceves, "Loop-Free Routing Using Diffusing Computations", IEEE/ACM Transaction on Networking, Vol. 1, No. 1, Feb. 1993.

[6] R. Albrighson, J.J. Garcia-Luna-Aceves and J. Boyle, "EIGRP-A Fast Routing Protocol Based on Distance Vectors", Proc. Netwold/Interop, Las Vegas, Nevada, May 1994.

[7] Y. Rekhter and T. Li, "Border Gateway Protocol 4 (BGP-4)", RFC 1297, March 1995.

[8] S. Murthy and J.J. Garcia-Luna-Aceves, "A more efficient path-finding algorithm", Proc 28th Asilomar Conference, Pacific Grove, California, Nov 1994.

[9] A. S. Tanenbaum, Computer Network, 3rd, Prentice-Hall, 1992.

[10] K. Atul and Z. John, "The Revised ARPANET Routing Metric", ACM SIGCOMM'89, page45-56, Sept 1989.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[11] A. U. Shankar, C. Alaetinoglu, I. Matta, and K. Dussa-Zieger, "Performance Comparison of Routing Protocols using MaRS: Distance-Vector versus Link-State", ACM SIGMETRICS/PERFRORMANCE'92, June 1992.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อผู้เขียน	นาย พัฒนะ วรรณวิไล
วัน/เดือน/ปี เกิด	30 พฤศจิกายน พ.ศ. 2516
วุฒิการศึกษาระดับปริญญาตรี	วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ.)
	สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์
	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
	ปีการศึกษา 2539

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้