กลไกควบคุมคุณภาพการให้บริการ โดยใช้ DiffServ-aware Traffic Engineering

Mechanism Control QoS Using DiffServ-aware Traffic Engineering.

วิรัช ชัยขุนพล กอบชัย เดชหาญ

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้ทำการศึกษาและทดสอบประสิทธิภาพคุณภาพของบริการ (Quality of Service) ในด้านการันตีคุณภาพของบริการตามข้อตกลงของระดับการให้บริการ (Service Level Agreement) โดยทำการทดสอบบริการแบบ Video ที่จำลอง Traffic Video ขณะที่เกิดความคับคั่งบนโครงข่าย MPLS บทความนี้นำเสนอกลไกควบคุม QoS ในด้าน ค่า Packet loss, ค่าหน่วงเวลา (Latency) และค่าหน่วงเวลาแปรผัน (Jitter) โดยใช้ DiffServ-aware Traffic Engineering (DS-TE)

คำสำคัญ: MPLS, QoS, SLA, DiffServ-aware Traffic Engineering

Abstract

This paper concerns about the studying and testing performance of QoS with guarantee service according to SLA, also and test of video service by using video traffic simulation within MPLS network when congested. This paper propose QoS control mechanism in term of packet loss, latency and Jitter by using DiffServ-aware Traffic Engineering.

Key words: MPLS , QoS, SLA, DiffServ-aware Traffic Engineering

1. บทนำ

MPLS Network เป็นโครงข่ายที่รองรับความหลากหลายของบริการ ในการถ่ายโอนข้อมูลบนโครงข่ายเดียวกัน ซึ่งโครงข่ายดังกล่าวควรต้องมีการจัดการความแตกต่างของ Quality of Service (QoS) เพื่อรองรับบริการที่แตกต่างตามข้อตกลงระดับบริการ (Service Level Agreement) ในด้านการควบคุมค่า Packet loss ค่าหน่วงเวลา (Latency) ค่าแปรผันหน่วงเวลา (Jitter) วัตถุประสงค์หลักของ QoS คือการจัดการข้อมูลที่รับประกันคุณภาพที่มีประเภทที่แตกต่างและความต้องการลำดับความสำคัญของข้อมูลแต่ละประเภท เช่น เสียง (Voice) ทีมีการควบคุมและรับประกันค่า Packet loss, Latency และ Jitter เช่นเดียวกับข้อมูลประเภทภาพ (Video) ส่วนข้อมูลทั่วๆไป อาจไม่ต้องเน้นการรับประกันข้อมูล ในขณะที่เกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความคับคั่งในโครงข่าย สิ่งสำคัญที่กลไก Qos คือไม่สามารถเพิ่มความจุ แต่รับรองการไหลของข้อมูลและจัดสรรความจุภายในได้ หรือการลดอัตราคับคั่งให้ลดลง ทำผู้ให้บริการ (Service Provider) มีการเพิ่มความสามารถในโครงข่ายให้รองรับกับหลายๆ บริการ (diff-serv) [1,2]

การรับประกันคุณภาพของข้อมูล (Assured Forwarding) แต่ละประเภทจะอาศัยการผสมผสานระหว่าง MPLS DiffServ กับ MPLS Traffic engineering (MPLS-TE) คือการรวมเอาข้อดีของสองเทคโนโลยี เป็นกลไก QoS เพื่อสามารถการันตีบริการแบบ end-to-end และสามารถกำหนด SLA บนโครงข่าย MPLS ได้ เรียกวิธีการนี้ว่า DiffServ-aware Traffic Engineering (DS-TE) ทำหน้าที่เป็นตัวสร้างท่อเสมือน (Tunnel) ที่มีการแบ่งชั้น (Class) ของแต่ละบริการให้วิ่งผ่านแต่ละ Tunnel และยังมีการจัดลำดับความสำคัญของแต่ละ Tunnel ตามลำดับความสำคัญของบริการ ทำให้สามารถรับประกันคุณภาพของบริการ ในขณะมีการคับคั่งในโครงข่ายเกิดขึ้น [5,6,7]

2. ทฤษฎีที่ใช้ในการทดสอบ

2.1. QoS

Quality of Service (QoS) เป็นการจัดลำดับความสำคัญของข้อมูล Application โดยการทำงานของเทคโนโลยี Quality of Service (QoS) จะเป็นการจัดแบ่งประเภทของข้อมูล Application ออกเป็นหมวดหมู่ และมีการจัดลำดับความสำคัญของข้อมูลในแต่ละหมวดหมู่นั้นๆ ซึ่งทำให้สามารถควบคุม Bandwidth ในระบบเครือข่ายของให้ใช้ประโยชน์ได้สูงสุดตาม วัตถุประสงค์พื้นฐานของกลไก Qos คือ การการันตีแพ็คเก็ตที่จะไม่เกิดการคับคั่งมากเกินไปแน่นอน การแบ่งแยกระบบ QoS ที่ใช้งานจึงแบ่งแยกออกเป็น Best-Effort (BE), IntServ: Integrated Service และ DiffServ : Differentiated Service

Best-Effort (BE) จะเป็นการไม่ใช้งาน QoS ในโครงข่าย เมื่อโครงข่ายเกิดความคับคั่ง บริการต่างๆ ที่ส่งผ่านในโครงข่าย อาจจะมีการเสียหายหรือคุณภาพแย่ได้

Integrate Service เป็นขบวนการทำงานที่ได้รับการนามาประยุกต์ใช้ตั้งแต่เริ่มต้น โดยการแบ่งการเชื่อมโยงหรือการไหลเป็นลำดับชั้น และแบ่งแยกตามลาดับการให้บริการในระบบนี้ จะใช้โปรโตคอล ReSource reserVation Protocol (RSVP) ในการควบคุม QoS

Difference Service คือ การแบ่งแยกรูปแบบของข้อมูลออกจากกันให้บริการ โดยการเพิ่มแท็ก (tag) ในแต่ละแพ็กเก็ตเพื่อแบ่งแยกระดับการให้บริการ [4,5,6]

2.2 MPLS Support DiffServ

MPLS Support DiffServ โครงข่าย MPLS ที่ต้องรองรับความต้องการของ คุณภาพการให้บริการ หลายๆ รูปแบบ โดยโครงข่ายควรจะพิจารณาเฉพาะค่า Per-Hop Behavior (PHB) ซึ่งจะเป็นกำหนดความต้องการของคุณภาพการให้บริการได้ [6]

MPLS ที่รองรับบริการที่แตกต่างกัน จะใช้ Label Switch Path (LSP) ที่พิจารณา คุณลักษณะและการทำงานอยู่ 2 แบบคือ แบบที่ 1 EXP-inferred-class LSP (E-LSP) จะลำเลียงข้อมูลหลายๆชั้นได้ ส่วนแบบที่ 2 Label-inferred-class LSP (L-LSP) จะลำเลียงข้อมูลได้ชั้นเดียว [5]

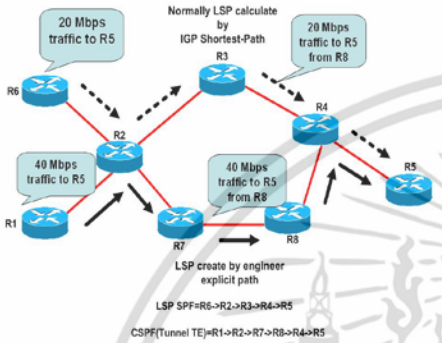
2.3 MPLS Traffic Engineering (TE)

Traffic Engineering เป็นการควบคุมการไหลของข้อมูลผ่านโครงข่าย MPLS ตามอัตราส่วนที่เหมาะสมของทรัพยากรโครงข่าย โดยการสร้างเส้นทาง Label Switch Path (LSP) ของ MPLS TE จะกำหนดเส้นทางเอง ปกติการสร้างเส้นทางของ Packet IP จะสร้างตาม Routing Protocol แบบ Interior Gateway Protocol (IGP) ซึ่งจะคำนวณเส้นทางที่ดีที่สุดตาม Shortest Path First (SPF) ตาม routing table ของ edge router ส่วน MPLS TE จะคำนึงข้อจำกัด เช่น BW และการจำกัดข้อมูลให้เหมาะสม เมื่อคำนวณเส้นทางได้แล้วจะทำการเปลี่ยน SPF และใช้เส้นทางใหม่ Constrained SPF (CSPF) ซึ่งวิธีการสร้าง CSPF จะใช้โปรโตคอลที่ใช้คำนวณเส้นทางใหม่โดยใช้ RSVP เป็นโปรโตรคอลส่ง Label ตั้งแต่การไหลตาม LSP และจอง BW ตลอดทั้งเส้นทาง ดังแสดงในรูปที่ 2 [3]

กลไกการทำงานของ QoS ภายในโครงข่าย MPLS ที่อุปกรณ์ Provider Edge (PE) จะทำการ คัดแยกประเภทข้อมูล (Classification), กำหนดประเภท (Marking), การจัดการความคับคั่ง (Congestion Management), แก้ไข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความคับคั่ง (Congestion Avoidance) และควบคุมการไหลของข้อมูล (Policing and Shaping) ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยการคัดแยกประเภทข้อมูลและกำหนดประเภทข้อมูล (Classification and Marking) ที่อุปกรณ์ PE จะคัดแยกตามค่า DiffServ Code Point (DSCP) หรือค่า IP Precedence ซึ่งค่าดังกล่าวจะถูกกำหนดจากอุปกรณ์ลูกค้า Customer Edge (CE) ที่แยกประเภทแต่ละ Application [2,4]



รูปที่ 2 การสร้าง TE Tunnel ของ Traffic Engineering

2.4. DIFFSERV-AWARE TRAFFIC ENGINEERING

DiffServ-aware Traffic Engineering (DS-TE) คือ การควบคุมและการันตี traffic เพื่อสามารถจัดสรรแบนวิดสำหรับ traffic ที่ต่างชนิดกัน ในการจำกัด BW ของแต่ละ traffic จะเรียกว่า sub-pool และมี global pool เป็น BW รวมของ TE tunnel โดย sub-pool จะเป็นการจัดลำดับความสำคัญของ traffic แต่ละประเภทให้มีการส่งข้อมูลบนคลาสที่เหมาะสม

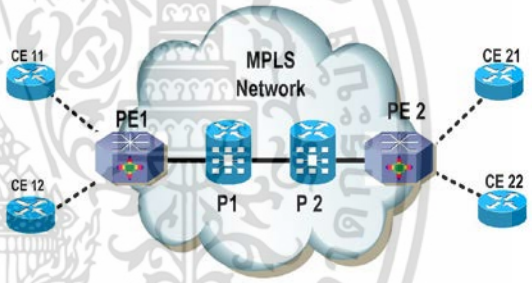
การแบ่งคลาส Class Type (CT) คือ การจัดลำดับความสำคัญของ traffic ของ sub-pool ที่ส่งผ่านในท่อเสมือน (Tunnel) เพื่อจัดสรรแบนวิดภายใน tunnel ที่จำกัดบนเส้นทางที่กำหนด ส่วนหนึ่งของ CT ที่จำกัด BW ในการแบ่งของ CT จะมีการแบ่งตั้งแต่ CT0 ถึง CT7 ลักษณะที่สำคัญที่สุดของการคำนวณแบนวิดที่เหมาะสม การแบ่งของแบนวิดระหว่าง CT เรียกว่า Bandwidth Constraint (BC) มี 2 BC อยู่ 2 แบบ คือ

- Maximum Allocation Model (MAM) แต่ละคลาสทำหน้าที่เฉพาะปริมาณของแบนวิดและคลาสอื่นไม่สามารถได้ประโยชน์จากการไม่ใช้แบนวิด

- Russian Dolls Model (RDM) แต่ละคลาสรับปริมาณของแบนวิดแต่สิทธิต่ำกว่าคลาสสามารถใช้แบนวิดของสิทธิที่สูงกว่าคลาส เมื่อ แบนวิดเหมาะสม [5,6]

3. การทดสอบการทำงาน

บทความนี้จะทดสอบประสิทธิภาพของการทำงานบนโครงข่าย MPLS ที่ใช้กลไกควบคุมคุณภาพของบริการ (QoS) ที่มีวิธีการทำงานของกลไกควบคุม QoS ที่แตกต่างกัน ทำการทดสอบการให้บริการข้อมูลประเภท video ซึ่งทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของ QoS ขณะโครงข่าย MPLS เกิดความคับคั่ง โดยใช้ IP Traffic Generator ทำให้เกิดความคับคั่ง

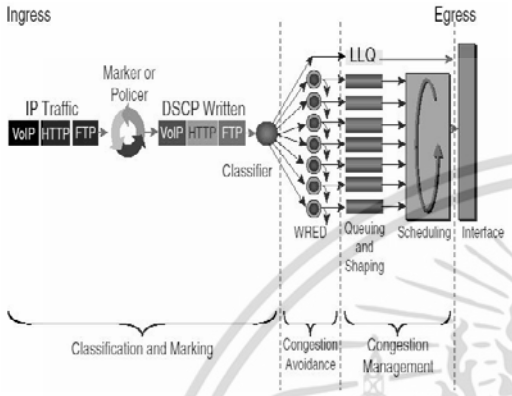


รูปที่ 3 แบบจำลองโครงข่าย MPLS ที่ใช้ทดสอบ

จากรูปที่ 3 แสดงแบบจำลองโครงข่าย MPLS ที่ใช้ในการทดสอบ ประกอบไปด้วย P Router (P1, P2) และ Provider Edge Router (PE1, PE2) เชื่อมต่อด้วยความเร็ว 1 Gigabit Ethernet Interface อุปกรณ์ router ทั้งหมด ถูก configure เป็น MPLS เพื่อจัดสร้างเป็นโครงข่าย MPLS และมีการสร้างกลไกควบคุม QoS แบบ Per-Hop Behavior (PHB), Traffic Engineering (TE) และ DiffServ-aware Traffic Engineering (DS-TE) ในการทดสอบบริการ video ได้มีการกำหนดค่า Service Level Agreement (SLA) ของบริการ video แบ่งออกเป็น 3 ช่อง คือ Gold, Silver และ Bronze การออกแบบการทำงานของ กลไกควบคุม QoS แบบ PHB และแบบ DS-TE จะคำนึงถึงคุณภาพของบริการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประเภท Video คือ ค่า Packet loss ไม่เกิน 5 % ค่าหน่วงเวลา (Latency) ไม่เกิน 150 ms ค่าแปรผันหน่วงเวลา (Jitter) ไม่เกิน 30 ms ในส่วน Video Stream สามารถ Burst Bandwidth 20 % โดยการทำงานของกลไกควบุม QoS ทั้งสองรูปแบบจะมีการทำงานดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลำดับการทำงานกลไกควบคุม QoS ทั้งสองรูปแบบ

การกำหนดนโยบาย (Policy) ของ PHB จะแบ่งประเภทข้อมูล โดยใช้ค่า Diff-Serv Code Point (DSCP) ที่กำหนดมาจากอุปกรณ์ลูกค้า Customer Edge (CE) มาเข้าเงื่อนไขของ PHB ซึ่งใช้แบบ การส่งที่มีการการันตี (Assured Forwarding PHB) ในการการันตี bandwidth จะใช้บิท 5-7 ของค่า DSCP จัดลำดับความสำคัญของช่อง Video คือ 001 (มาก), 010 (ปานกลาง), 011 (น้อย) โดยจะกำหนดค่า DSCP ของแต่ละช่องเป็น Gold (AF31), Silver (AF32) และ Bronze (AF33) โดยแบ่งตามการกำหนดค่า SLA ตามตารางที่ 1

การสร้าง Tunnel ใน DS-TE จะมีการกำนดค่า sub-pool เป็น 150 Mbps และค่า global pool เป็น 400 Mbps ที่ Interface Output ของอุปกรณ์ PE1, P1, P2 และ PE2 ในการแบ่ง CT จะใช้วิธีแบ่งแบบ MAM และมีการสร้าง tunnel สำหรับ traffic ของแต่ละช่อง Video คือ ช่อง Gold (Tun10), ช่อง Silver (Tun20) และช่อง Bronze (Tun30) ซึ่งถูกจัดลำดับความสำคัญของแต่ละช่อง Video จากค่า Experimental (exp) ดังแสดงในตารางที่ 2 ในการจำลองอุปกรณ์ CE11 ที่ใช้จำลอง Traffic ประเภท Video จะใช้ IP Traffic Generator ส่ง Traffic 100 Mbps ของอุปกรณ์ CE11 โดยจะจำลองเป็นช่อง Video 3 ช่อง

Chanel Video	Guarantees	BW
Gold	Bandwidth, packet loss น้อย, Delay ต่ำ,Jitter ต่ำ	50M
Silver	Bandwidth, packet loss ปานกลาง Delay ปานกลาง, Jitter ปานกลาง	35M
Bronze	ไม่รับประกัน	15M

ตารางที่ 1 กำหนดค่า SLA ของแต่ละช่อง Video ของ CE11

ในการทดสอบการทำงานของ กลไกควบคุม QoS แบบ PHB และแบบ DS-TE จะใช้เส้นทางในการส่งข้อมูลเส้นทางเดียวกันคือ PE1->P1->P2->PE2 ส่วนการทดสอบประสิทธิภาพของการควบคุมคุณภาพของบริการ แบบ PHB และแบบ DS-TE ทำการทดสอบที่ช่อง Gold ของบริการประเภท Video เพื่อแสดงประสิทธิภาพความสามารถในการการันตีบริการตาม SLA ในเรื่องค่า Packet loss ค่า Latency และค่า Jitter โดยมีการกำหนดนโยบายของช่อง Gold ในการ Classify และ Marking ทั้งสองแบบ จะใช้วิธีการเดียวกัน ส่วน Congestion Avoidance จะใช้ Weighted Random Early Detection (WRED) ในการจำกัด BW แต่ละบริการตามการคัดเลือกข้อมูล ของช่องขาเข้าของอุปกรณ์ PE1 คือInterface Gi3/0/4 มีรายละเอียดการกำหนด Policy ตาม ตารางที่ 2

Mechanism	Policy Conditions
PHB	Class video-gold police cir 50000000 bc 1562500 conform-action transmit exceed-action drop
DS-TE	Class sla-1-class police cir 50000000 bc 1562500 conform-action set-mpls-exp-transmit 5 exceed-action drop

ตารางที่ 2 การกำหนด Policy ขาเข้าของช่อง Gold

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดนโยบายของ Congestion Management PHB จะใช้แบบ Class-Based Weight Fair Queuing (CBWFQ) ส่วน DS-TE จะใช้แบบ Priority Queuing (PQ) นำมาใช้กับขาออกของอุปกรณ์ PE1 ที่ Interface Gi3/0/0

3.1 ทดสอบประสิทธิภาพ ความน่าเชื่อถือของบริการ (Reliability of Service)

การทดสอบประสิทธิภาพด้านคุณภาพการบริการ (Quality of Service) เป็นการทดสอบความสามารถในการให้บริการข้อมูลประเภท Video บนโครงข่าย MPLS โดยจัดลำดับความสำคัญของช่อง Gold ให้สามารถใช้งานได้โดยไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพ ตามข้อกำหนด SLA ในตารางที่ 1 ขณะโครงข่าย MPLS เกิดความคับคั่ง

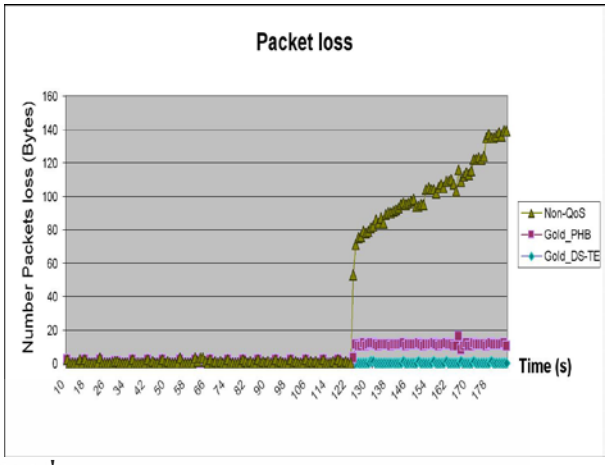
ในการจำลองให้โครงข่าย MPLS ตามรูปที่ 3 เกิดความคับคั่ง จะใช้ IP Traffic Generator ส่ง traffic แบบ Best-Effort (BE) เข้ามาที่ Interface Gi1/0/4 ของ Router P1 โดยจะเพิ่ม BW ของ traffic ที่ส่งเข้า Interface Gi1/0/4 เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงเวลา 0 – 60 s ส่ง traffic 200 Mbps, ช่วงเวลา 61 – 130 s ส่ง traffic 500 Mbps และช่วงเวลา 131 – 190 s ส่ง traffic 980 Mbps ซึ่งจะทำให้โครงข่าย MPLS เกิดความคับคั่ง

3.1.1 Packet Loss

ค่า Packet Loss ที่วัดหลังจาก QoS ทำงานของและใช้กลไก QoS แบบ PHB และแบบ DS-TE ผลที่ได้จากรูปที่ 6 และตารางที่ 3 แสดงให้เห็นผลการเปรียบเทียบจำนวน Packet loss ในช่วงเวลาที่ QoS ทำงาน จะมีการ Drop ของ Packet เกิดขึ้น

Mechanism	Tx Packet	Rx Packet	Packet loss	%Packet loss
PHB	50 Mbps	49.85 Mbps	0.15 Mbps	0.3 %
DS-TE	50 Mbps	49.98 Mbps	0.02 Mbps	0.04 %

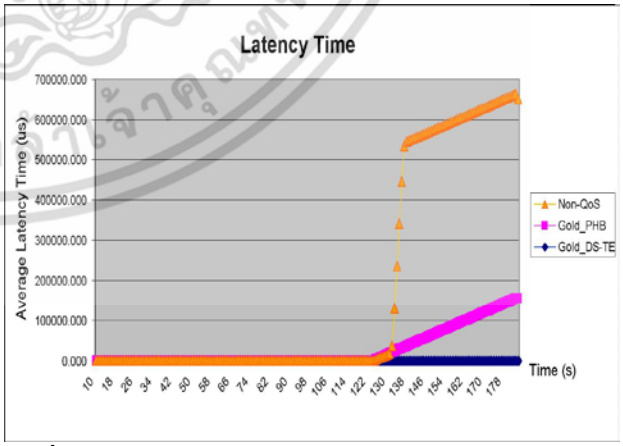
ตารางที่ 3 เปอร์เซ็นต์ Packet loss ของ Video ช่อง Gold



รูปที่ 6 ค่า Packet Loss ในขณะที่โครงข่าย เกิดเหตุการณ์การจราจรคับคั่ง

3.1.3 Latency

เมื่อพิจารณาค่า latency ของบริการของ Video ช่อง Gold .ในการควบคุมคุณภาพของบริการ ค่า latency จะมีผลต่อคุณภาพของบริการแบบ Video ถ้าค่า Latency ของบริการ Video เพิ่มขึ้น การดูภาพที่ปลายทางมีความผิดเพี้ยน มีภาพกระตุก หรือค้างได้ โดยทั่วไปการควบคุมค่า Latency ของ Video ควรมีค่า 150 ms ซึ่งเป็นค่าเดียวกับของบริการแบบ Voice ซึ่งเป็นบริการแบบ Real Time เหมือนกัน จากรูปที่ 7 แสดงให้เห็นการการันตีค่า Latency ของช่อง Gold ขณะที่เกิดความคับคั่ง (Congestion) ในโครงข่าย MPLS

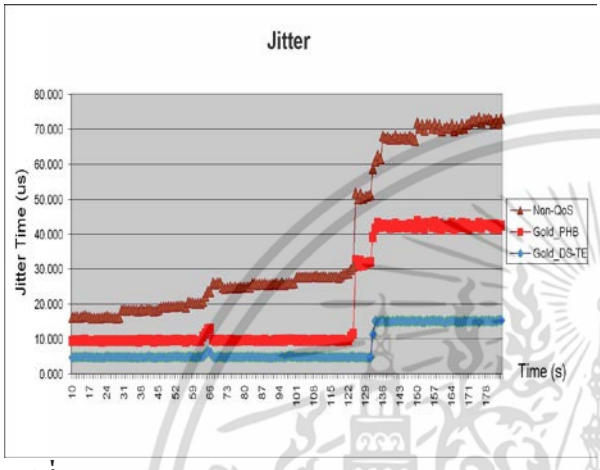


รูปที่ 7 ค่า latency time ของช่อง Gold เปรียบเทียบ กลไก QoS แบบ DS-TE และ PHB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 Jitter

ค่าแปรผันหน่วงเวลา (Latency Variation) หรือ Jitter เป็นค่าที่สำคัญเหมือนกับค่า Latency สำหรับการให้บริการแบบ Real Time ซึ่งจะมีผลกับคุณภาพในการบริการ รูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่า ขณะที่เกิดความคับคั่งของโครงข่าย MPLS ค่า Jitter มีค่าเพิ่มขึ้น



รูปที่ 8 แสดงประสิทธิภาพของ กลไกควบคุม QoS แบบ DS-TE ในการการันตี Application ต่างๆของ CE

4. สรุปผล

บทความนี้เสนอการศึกษาและผลการทดสอบประสิทธิภาพในด้านคุณภาพของบริการ (Quality of Service) โดยจำลอง Traffic แบบ Video ของช่อง Gold ที่มีการรับประกันคุณภาพตามข้อตกลงระดับบริการ (Service Level Agreement) แบบ end-to-end โดยใช้กลไกของ QoS แบบ Per-Hop Behavior (PHB) และแบบ DiffServ-aware Traffic Engineering (DS-TE) ควบคุม QoS ผลที่ได้จากการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การนำกลไก QoS แบบ DS-TE ใช้บนโครงข่าย MPLS เพื่อควบคุม QoS ของช่อง Gold ค่า Packet loss ที่ได้เป็น 0.04% ค่าหน่วงเวลา (Latency) เป็น 685 µs และค่าหน่วงเวลาแปรผัน (Latency Variation) 15 µs ในขณะโครงข่ายเกิดความคับคั่ง กลไก QoS แบบ PHB จะมีค่าจำนวณ Packet loss เพิ่มขึ้น ค่าหน่วงเวลาเพิ่มขึ้น และ ค่า Jitter เพิ่มขึ้น ทำให้ไม่สามารถควบคุมคุณภาพของบริการตามข้อตกลงระดับบริการได้

5. เอกสารอ้างอิง

[1] T. Szigeti and C. Hattingh, “End-to-End QoS Network Design,” Indianapolis, Indiana : Cisco Press, 2005.

[2] S. Alvarez, “QoS for IP/MPLS Networks,” Indianapolis, Indiana : Cisco Press, 2006.

[3] E. Osborne and A. J. Simha, “Traffic Engineering with MPLS,” Indianapolis, Indiana : Cisco Press, 2002.

[4] Student Guide “Implementing Cisco Quality of Service (QoS),” Indianapolis, Indiana : Cisco Press, 2004.

[5] D.L. Zhang and D. Inescu, “QoS Performance Analysis in Deployment of DiffServ-aware MPLS Traffic Engineering,” IEE Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking, and Parallel/Distributed Computing, 2007. SNPD 2007. Eight ACIS International Conference, July 30 2007-Aug. 1 2007

[6] F. L. Faucheur and W. Lai, “Requirements for Support of Differentiated Services-aware MPLS Traffic Engineering,” RFC 3564, July 2003.

[7] J. Heinanen, F. Baker, W. Weiss, and J. Wroclawski, “Assured Forwarding PHB Group,” RFC 2597 (Proposed Standard), June 1999, updated by RFC 3260.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้