บทที่ 3
การออกแบบและพัฒนาเครื่องมือจัดลำดับนำส่งข้อมูล

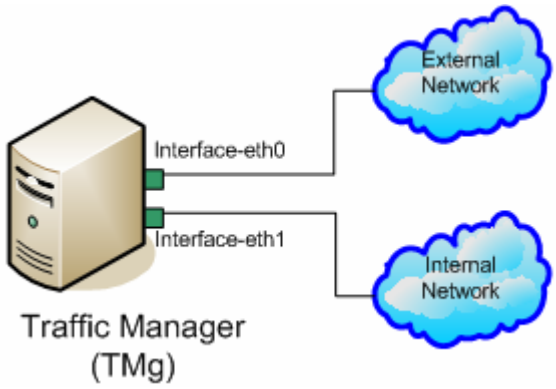
เนื้อหาในบทที่ 2 ได้อธิบายถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ซึ่งผู้วิจัยได้ใช้ความรู้และข้อมูลเหล่านี้เป็นแนวทางการออกแบบและพัฒนาเครื่องมือสำหรับจัดลำดับนำส่งข้อมูล และกำหนดนโยบายเพื่อใช้จำแนกกลุ่มหรือกำหนดระดับความสำคัญให้กับแพ็กเก็ตของ Application ซึ่งเป็นเนื้อหาที่ได้นำเสนอไว้ในบทนี้

3.1 การออกแบบเครื่องมือสำหรับจัดลำดับนำส่งข้อมูล

โดยปกติเครือข่ายภายในของหน่วยงานมักมีขนาด Bandwidth กว้างมาก เช่น 10 Mbps 100 Mbps หรือ 1000 Mbps ในขณะที่วงจรสื่อสารที่ใช้เชื่อมต่อกับเครือข่ายภายนอกนั้นมีขนาด Bandwidth น้อยกว่ามาก เนื่องจากข้อจำกัดของค่าใช้จ่าย และเทคโนโลยี เช่น การใช้โมเด็ม V.90 ที่มีความเร็ว 28.8 - 56 Kbps หรือใช้บริการวงจรเช่าแบบ ISDN ความเร็ว 64 - 128 Kbps เทคโนโลยี ADSL ความเร็ว 128/64 Kbps หรือ 256/128 Kbps หรือเป็นวงจรเช่า (Leased Line) ที่มีความเร็วสูงกว่านี้ แต่มีค่าใช้จ่ายสูงเช่นกัน หากความต้องการใช้เครือข่ายของผู้ใช้ภายในหน่วยงานมีมากอาจทำให้วงจรที่เชื่อมต่อไปยัง ISP เกิดความคับคั่งได้ ดังนั้น Bandwidth ที่มีอยู่จำกัดควรได้รับการใช้งานให้เกิดประโยชน์คุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายที่ได้เสียไป รวมถึงเครือข่ายของมหาวิทยาลัยด้วยก็เช่นกัน ผู้วิจัยจึงได้พิจารณานำเสนอให้มีวิธีการจัดลำดับการนำส่งแพ็กเก็ตข้อมูลก่อนที่จะได้รับการส่งออกสู่อินเทอร์เน็ต โดยอาศัยข้อกำหนด หรือนโยบายที่กำหนดไว้ เพื่อให้แน่ใจว่า Application สำคัญของหน่วยงานจะได้รับการจัดสรร Bandwidth ดีกว่า หรือได้รับการนำส่งออกสู่อินเทอร์เน็ตก่อนแพ็กเก็ตของ Application ประเภทอื่น ๆ ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้นำความรู้ที่ได้ศึกษาจากบทที่แล้วมาใช้ในการออกแบบโมเดลการจัดลำดับของแพ็กเก็ตข้อมูลก่อนส่งออกสู่เครือข่ายภายนอก เริ่มจากกระบวนการรับแพ็กเก็ตข้อมูลในเครือข่าย การอ่านข้อมูลส่วนหัวของแพ็กเก็ตตามมาตรฐานของ TCP/IP Model เพื่อให้ได้ข้อมูลที่จำเป็นที่จะใช้ในการเปรียบเทียบระดับความสำคัญตามนโยบาย เช่น หมายเลขไอพีของเครื่องต้นทาง หมายเลขไอพีของเครื่องปลายทาง หมายเลขพอร์ตต้นทาง และหมายเลขพอร์ตปลายทาง เป็นต้น เมื่อสามารถกำหนดระดับ

ความสำคัญให้กับแพ็กเก็ตหนึ่ง ๆ แล้วให้นำแพ็กเก็ตดังกล่าวเข้าสู่ระบบคิวเป็นอันดับสุดท้าย นั่นคือการนำแพ็กเก็ตเข้าสู่คิวที่เหมาะสมตามค่าระดับความสำคัญที่ได้รับ และกระบวนการเลือกและนำแพ็กเก็ตออกจากคิวเพื่อส่งออกสู่เครือข่ายในลำดับต่อไป

เครื่องมือจัดลำดับนำส่งข้อมูลที่ได้ออกแบบและพัฒนาขึ้นใช้ชื่อว่า Traffic Manager (TMg) ประกอบด้วยวิธีจัดคิว 3 วิธี คือ FIFO, PQ และ CBQ พัฒนาขึ้นโดยใช้ภาษาซี และทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลทั่วไปที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ มีการ์ดเครือข่ายจำนวน 2 ใบ สำหรับเชื่อมต่อเครือข่ายสองด้านเข้าด้วยกันดังรูปที่ 3.1 โดยที่คอมพิวเตอร์ในเครือข่ายทั้งสองด้านไม่ทราบว่ามีอุปกรณ์นี้ติดตั้งอยู่ ซึ่งเรียกการทำงานในลักษณะนี้ว่า Inline operation หรือ Bridge

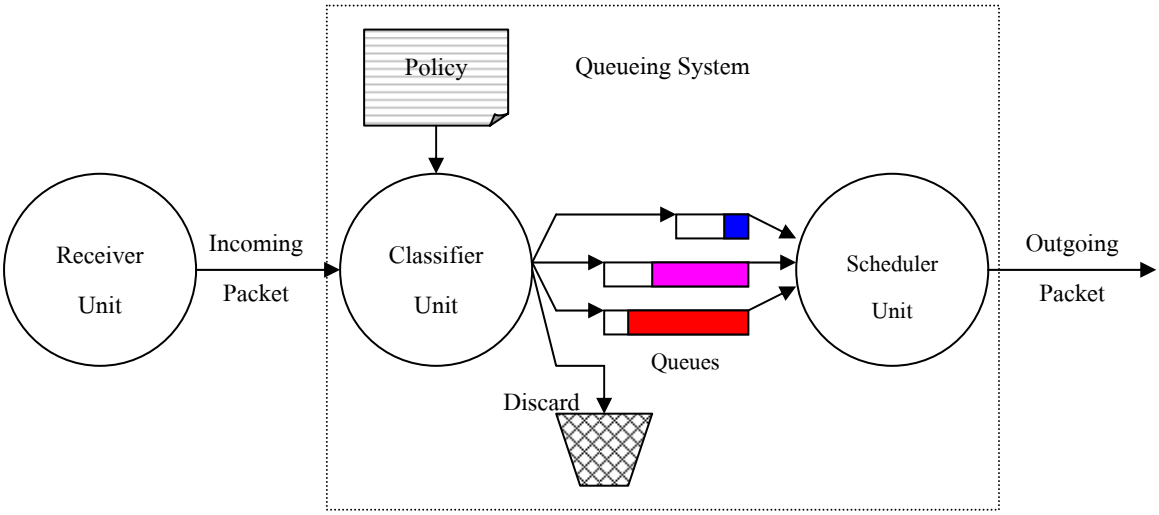


รูปที่ 3.1 แสดงเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับเป็น Traffic Manager

3.1.1 โครงสร้างพื้นฐานของเครื่องมือจัดลำดับนำส่งข้อมูล

วิธีการให้บริการที่มีคุณภาพแก่ Application (เอกสารบางแหล่งอาจเรียกว่าบริการหรืองาน) มีหลากหลายวิธี เช่น การจัดการคิว การจองทรัพยากร และ การควบคุมอัตราการส่งข้อมูล เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้ให้ความสนใจเฉพาะการจัดการคิวตามระดับความสำคัญที่ได้กำหนดไว้ในนโยบาย (Policy) ทั้งนี้เพราะเทคนิค QoS แบบอื่น เช่น InServ, DiffServ หรือ MPLS นั้นต้องได้รับความร่วมมือจากเครือข่ายอื่นที่เชื่อมต่อถึงกัน ซึ่งการดำเนินการในลักษณะนี้เป็นไปได้ยาก ในขณะที่เทคนิคที่ผู้วิจัยได้เลือกดำเนินการนั้นสามารถกระทำได้อย่างอิสระที่ทางเข้าออกของเครือข่ายเอง ถึงแม้จะไม่เกิด QoS ทั้งระบบแต่ผู้วิจัยคาดหวังว่า Application ที่จัดเป็นงานสำคัญของหน่วยงานจะได้รับบริการที่ดีขึ้น ผู้วิจัยได้เลือกวิธีการจัดคิวมาสามวิธีที่มีระดับความซับซ้อนที่

แตกต่างกัน คือ (1) FIFO จัดเป็นระบบคิวขั้นพื้นฐานสุดที่ให้บริการแพ็กเก็ตตามลำดับก่อนหลัง ไม่มีส่วนของการตัดสินใจเลือกนำส่งแพ็กเก็ต และทำงานได้เร็ว (2) PQ เป็นวิธีการจัดการคิวที่มีระดับความซับซ้อนของการทำงานสูงกว่า FIFO เพราะมีกระบวนการจำแนกระดับความสำคัญของแพ็กเก็ต และต้องคอยตรวจสอบคิวในระบบเพื่อให้แพ็กเก็ตในคิวที่มีความสำคัญสูงกว่าได้รับบริการก่อนเสมอ (3) CBQ เป็นวิธีการให้บริการแก่คิวในระบบทุกคิวแบบหมุนวนตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ จึงมีระดับความซับซ้อนมากกว่า PQ ได้ออกแบบให้โปรแกรมจัดลำดับนำส่งทั้งสามวิธีมีหน่วยทำงานหลักที่สำคัญสามหน่วย ดังรูปที่ 3.2 คือ หน่วยรับแพ็กเก็ต หน่วยจำแนกประเภทหรือจัดกลุ่มแพ็กเก็ต และหน่วยเลือกแพ็กเก็ตเพื่อการนำส่ง



รูปที่ 3.2 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องมือจัดลำดับนำส่งข้อมูล

3.1.2 หน่วยรับแพ็กเก็ต (Receiver unit)

หน่วยทำงานนี้มีหน้าที่รอรับหรืออ่านแพ็กเก็ตทั้งหมดที่ผ่านมาเข้าสู่ระบบทั้งจากเครือข่ายภายในและเครือข่ายภายนอก เนื่องจากงานวิจัยนี้ให้ความสนใจจัดลำดับนำส่งให้กับแพ็กเก็ตที่ต้องการออกสู่เครือข่ายภายนอกเท่านั้น หน่วยทำงานนี้จึงต้องตรวจสอบทิศทางของแพ็กเก็ตด้วย หากเป็นแพ็กเก็ตที่ต้องการออกสู่เครือข่ายภายนอก หน่วยรับแพ็กเก็ตจะส่งต่อแพ็กเก็ตให้กับหน่วยจำแนกประเภท ซึ่งจะกล่าวถึงในหัวข้อถัดไป ในกรณีที่เป็นแพ็กเก็ตที่มาจากเครือข่ายภายนอก หน่วยทำงานนี้จะส่งต่อไปยังเครือข่ายอีกด้านหนึ่งทันทีโดยไม่ต้องผ่านระบบคิว

3.1.3 หน่วยจำแนกประเภทหรือจัดกลุ่มแพ็กเก็ต (Classifier unit)

เมื่อหน่วยทำงานนี้ได้รับแพ็กเก็ตจาก Receiver unit หน่วยทำงานมีหน้าที่อ่านข้อมูลสำคัญในส่วนหัวของแพ็กเก็ต และนำไปเปรียบเทียบกับนโยบายการจัดระดับความสำคัญ/กลุ่มที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งรายละเอียดในส่วนนี้อ่านได้ในหัวข้อที่ 3.2 หลังจากนั้นจึงจัดเก็บแพ็กเก็ตในคิวที่สัมพันธ์กับระดับความสำคัญหรือค่ากลุ่มที่ได้รับ โดยเครื่องมือนี้ได้กำหนดให้มี 3 คิว สำหรับแพ็กเก็ตที่ระดับความสำคัญ/กลุ่มต่างกัน คือ

- แพ็กเก็ตที่มีความสำคัญสูง หรือกลุ่มที่ 1 (High priority/Class#1)
- แพ็กเก็ตที่มีความสำคัญปกติ หรือกลุ่มที่ 2 (Normal priority/Class#2) และ
- แพ็กเก็ตที่มีระดับความสำคัญต่ำ หรือกลุ่มที่ 3 (Low priority/Class#3)

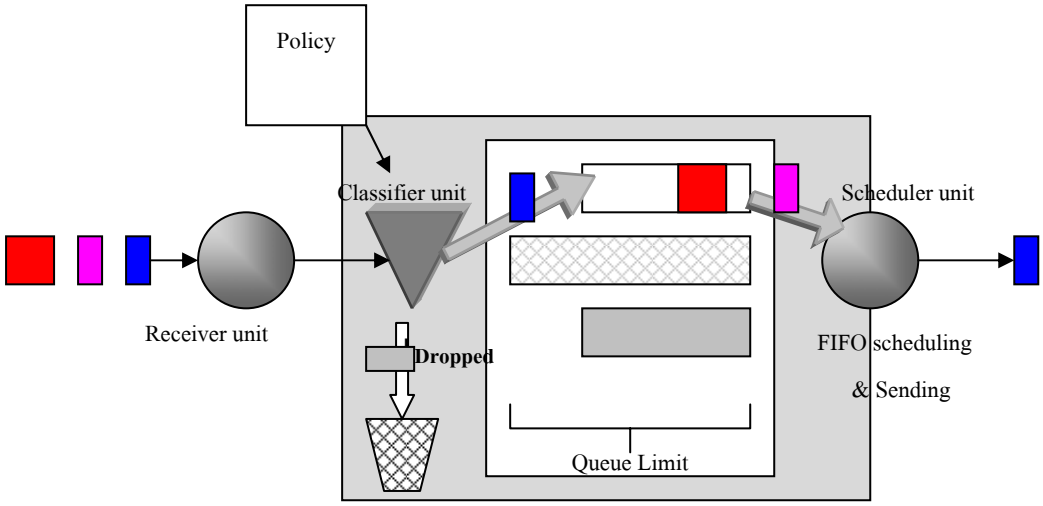
เนื่องจากคิวเป็นพื้นที่หน่วยความจำของเครื่อง และมีข้อจำกัดในเรื่องของขนาดคิวค่าหนึ่ง จึงมีความเป็นไปได้ที่คิวจะเต็ม เครื่องมือนี้กำหนดขนาดของคิวด้วยจำนวนของแพ็กเก็ต โดยขนาดหน่วยความจำมากที่สุดที่สำหรับเก็บข้อมูลหนึ่งแพ็กเก็ตทั้งข้อมูลของแพ็กเก็ตและข้อมูลประกอบที่ได้หลังจากผ่านกระบวนการกำหนดระดับความสำคัญ/กลุ่มเท่ากับ 1,640 ไบต์ ในขั้นตอนการนำแพ็กเก็ตเข้าสู่คิว หน่วยทำงานนี้ต้องมีความสามารถในการจัดการเมื่อคิวเต็มด้วย เพื่อไม่ให้แพ็กเก็ตที่มีความสำคัญสูงได้เปรียบแพ็กเก็ตที่มีความสำคัญต่ำกว่า ผู้วิจัยจึงกำหนดให้คิวทั้ง 3 ระดับความสำคัญ/กลุ่มมีพื้นที่สำหรับแพ็กเก็ตที่เป็นของตนเอง ดังนั้นการทิ้งแพ็กเก็ตเมื่อคิวเต็มจะใช้ Nonpreemptive discard algorithm ซึ่งได้กล่าวถึงแล้วในหัวข้อที่ 2.1.3.4 เทคนิคการจัดการคิว (Queuing Disciplines) หน้าที่ 17

3.1.4 หน่วยเลือกแพ็กเก็ตเพื่อการนำส่ง (Scheduler unit)

หน่วยทำงานนี้มีหน้าที่ตัดสินการเลือกแพ็กเก็ตจากคิวทั้งหมดของระบบเพื่อนำส่งออกสู่เครือข่ายอีกด้านหนึ่ง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวิธีการจัดคิวที่เลือกใช้ คือ FIFO, PQ และ CBQ ซึ่งขั้นตอนวิธี (Flowchart) ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ง.

- **FIFO Scheduling**

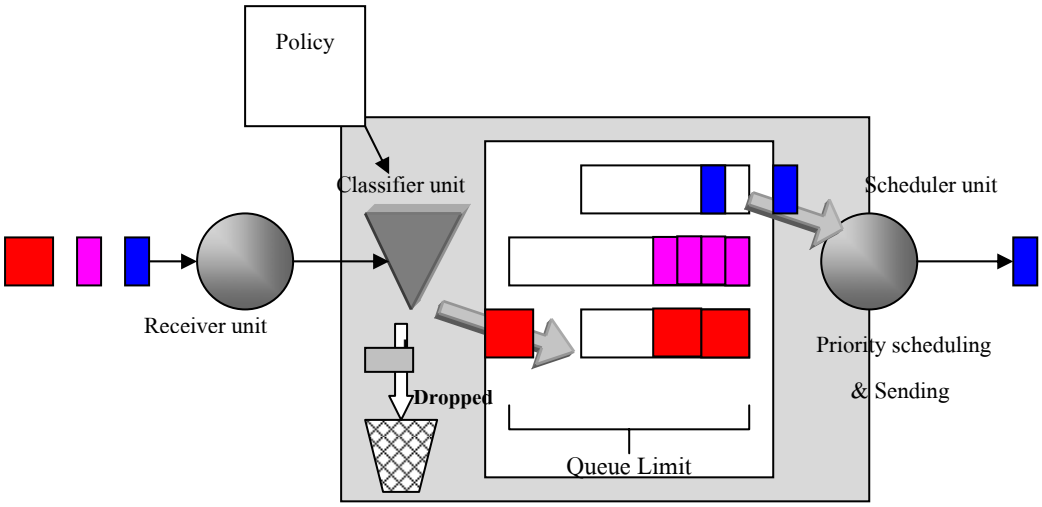
กรณีที่เลือกใช้ FIFO แพ็กเก็ตที่ผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขจาก Classifier unit แล้วจะถูกนำเข้าสู่คิว โดยออกแบบให้ใช้เฉพาะคิวแรกเท่านั้น ในขั้นตอนการนำส่ง Scheduler unit จะเลือกแพ็กเก็ตแรกของคิวแรกเท่านั้นเพื่อส่งออกสู่เครือข่ายอีกด้านหนึ่งดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 แสดงการทำงานของโปรแกรม FIFO ตามโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องมือจัดลำดับนำส่งข้อมูล

- **PQ Scheduling**

หากเลือกใช้วิธีจัดลำดับแบบ PQ หลังจากแพ็กเก็ตผ่านการตรวจสอบเงื่อนไขแล้ว Classifier unit จะจัดเก็บแพ็กเก็ตเข้าสู่คิวที่สัมพันธ์กับค่าความสำคัญที่ได้รับ ในการเลือกแพ็กเก็ตเพื่อส่งออกสู่เครือข่าย Scheduler unit ต้องตรวจสอบคิวระดับสูงสุดก่อนว่ามีแพ็กเก็ตอยู่หรือไม่ เพื่อให้แพ็กเก็ตในคิวที่ระดับความสำคัญสูงกว่าได้รับเลือกก่อนแพ็กเก็ตในคิวที่มีระดับความสำคัญต่ำกว่าจนกระทั่งไม่มีแพ็กเก็ตในคิวที่มีระดับความสำคัญสูงกว่าแล้วจึงเลือกแพ็กเก็ตจากคิวระดับความสำคัญต่ำถัดลงมาเป็นลำดับ ดังรูปที่ 3.4



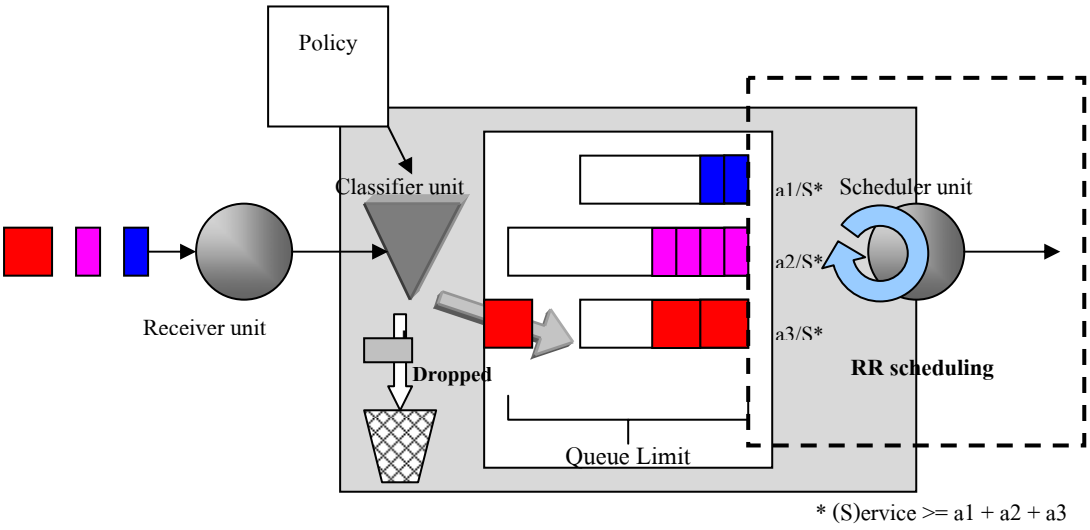
รูปที่ 3.4 แสดงการทำงานของโปรแกรม PQ ตามโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องมือจัดลำดับนำส่งข้อมูล

- **CBQ Scheduling**

สำหรับวิธีเลือกแพ็กเก็ตของ CBQ ได้ใช้รูปแบบการทำงานแบบหมุนวน (Round-Robin) หรือวนเลือกแพ็กเก็ตจากคิวทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบตามสัดส่วนที่ได้กำหนดไว้ดังรูปที่ 3.5 Scheduler unit ต้องตรวจสอบจำนวนแพ็กเก็ตคิว และคำนวณหาจำนวนแพ็กเก็ตที่ควรได้รับบริการของแต่ละคิวในระบบ หากคิวใดไม่มีแพ็กเก็ตหรือมีน้อยกว่าข้อกำหนดที่ตั้งไว้ จำนวนแพ็กเก็ตที่เหลือนี้สามารถนำไปให้คิวอื่นยืมใช้ได้โดยกำหนดให้คิวสำหรับแพ็กเก็ตกลุ่ม 1 มีสิทธิ์ยืมก่อนคิวกลุ่ม 2 และ 3 ตามลำดับ เมื่อจบกระบวนการนี้จะทำให้ทราบจำนวนแพ็กเก็ตของคิวที่จะได้รับเลือกนำส่งออกสู่เครือข่ายอีกด้านหนึ่งของรอบบริการนั้น โดยตัวแปรควบคุมของวิธีนี้ประกอบด้วย

1. Service คือ จำนวนแพ็กเก็ตมากที่สุดที่จะได้รับบริการใน 1 รอบบริการ
2. Borrow (i)คือ อนุญาตให้คิวที่ i ยืมจำนวนแพ็กเก็ตจากส่วนที่เหลือของคิวอื่นได้หรือไม่
3. Allot (i) คือ จำนวนแพ็กเก็ตมากที่สุดของคิวที่ i จะได้รับบริการ เนื่องจากระบบมีคิวจำนวน 3 คิว ดังนั้น

   Allot(Class#1) + Allot(Class#2) + Allot(Class#3) <= Service



รูปที่ 3.5 แสดงการทำงานของโปรแกรม CBQ ตามโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องมือจัดลำดับนำส่งข้อมูล

3.2 นโยบาย และการจำแนกระดับความสำคัญ/กลุ่มให้กับแพ็กเก็ต

การจำแนกระดับความสำคัญ/กลุ่มให้กับแพ็กเก็ตที่รับมาของ Classifier unit ต้องอาศัยข้อมูลที่อยู่ในส่วนหัวของแพ็กเก็ต คือ หมายเลขไอพีเครื่องต้นทาง (Source IP Address) หมายเลขไอพีเครื่องปลายทาง (Destination IP Address) และหมายเลขพอร์ต (Port Number) มาเปรียบเทียบกับเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้หรือนโยบาย เพื่อให้ได้ค่าระดับความสำคัญ หรือหมายเลขกลุ่ม ดังนั้นโครงสร้างของเงื่อนไขจึงประกอบด้วย 4 ส่วน คือ หมายเลขไอพีเครื่องต้นทาง หมายเลขไอพีเครื่องปลายทาง หมายเลขพอร์ต และ ระดับความสำคัญ/กลุ่ม (Priority/Class) ตามลำดับ เนื่องจากแพ็กเก็ตที่ออกจากเครือข่ายอาจเกิดจากเครื่องลูกข่าย เช่น แพ็กเก็ตร้องขอข้อมูลเว็บที่มีหมายเลขพอร์ตปลายทางเป็น 80 หรือเป็นแพ็กเก็ตที่เกิดจากเครื่องให้บริการ เช่น แพ็กเก็ตข้อมูลเว็บที่มีหมายเลขพอร์ตต้นทางเป็น 80 ดังนั้นการเลือกหมายเลขพอร์ตในแพ็กเก็ตมาเปรียบเทียบจึงเป็นได้ 3 ลักษณะผ่านตัวแปร Port คือ หากกำหนดให้ตัวแปร Port มีค่าเป็น 0 แสดงว่าให้อ่านค่าพอร์ตต้นทางในแพ็กเก็ตเท่านั้นมาเปรียบเทียบกับเงื่อนไขกำหนดไว้ หากมีค่าเป็น 1 ให้อ่านค่าพอร์ตต้นทางและพอร์ตปลายทางมาเปรียบเทียบ เมื่อตัวแปร Port มีค่าเป็น 2 ให้นำค่าพอร์ตปลายทางมาใช้ในการเปรียบเทียบ นอกจากเงื่อนไขที่ใช้สำหรับเปรียบเทียบแล้ว นโยบายต้องมีค่าระดับความสำคัญ/กลุ่มที่เป็นค่าปริยายสำหรับแพ็กเก็ตด้วยเพื่อใช้กำหนดค่าให้กับ แพ็กเก็ตที่ไม่ตรงกับเงื่อนไขใดในนโยบาย เนื่องจากแพ็กเก็ตในเครือข่ายมีทั้ง IP datagram และแพ็กเก็ตเฟรมประเภทอื่นด้วย (ดูรูปที่ 2.4 ประกอบ) ดังนั้นค่าปริยายจึงมี 2 ค่าสำหรับแพ็กเก็ตทั้ง 2 ประเภทและต้องกำหนดอยู่ใน 2 เงื่อนไขแรกในนโยบายสำหรับแพ็กเก็ตที่ไม่ใช่ IP datagram และแพ็กเก็ตที่เป็น IP datagram ตามลำดับ

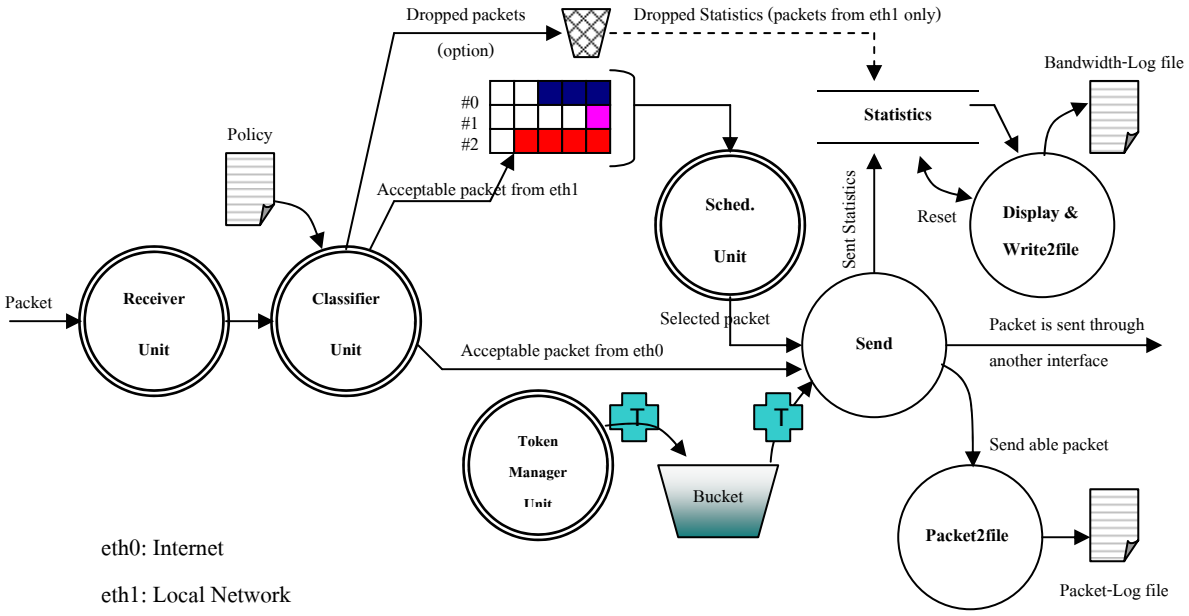
สำหรับวิธีการสร้างเงื่อนไขสำหรับมีหลักดังนี้ คือ ค่าหมายเลขไอพีให้ระบุด้วยหมายเลขไอพีตามมาตรฐาน IPv4 เช่น 192.168.114.13 หรือกำหนดด้วยเครื่องหมาย * เมื่อไม่ต้องการระบุหมายเลขไอพี ค่าหมายเลขพอร์ตให้ระบุด้วยตัวเลขฐานสิบตามมาตรฐาน และค่าระดับความสำคัญหรือค่ากลุ่ม ให้กำหนดด้วยตัวเลข โดยค่า 1 เมื่อต้องการให้แพ็กเก็ตที่ตรงตามเงื่อนไขมีระดับความสำคัญสูงสุดหรืออยู่กลุ่ม 1 กำหนดค่าเป็น 2 เมื่อกำหนดให้มีระดับความสำคัญปกติหรืออยู่กลุ่มที่ 2 กำหนดค่าเป็น 3 เมื่อกำหนดให้มีระดับความสำคัญต่ำหรืออยู่กลุ่มที่ 3 (เพิ่มเติม: หากกำหนดค่าในช่องระดับความสำคัญ/กลุ่มให้มีค่าเป็น 0 แพ็กเก็ตตรงตามเงื่อนไขนั้นจะถูกทิ้ง นั่นคือไม่นำส่งแพ็กเก็ตดังกล่าว) สำหรับข้อมูลในตารางที่ 3.1 ได้แสดงตัวอย่างการกำหนดค่าต่าง ๆ สำหรับเป็นโยบายที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

นโยบาย	คำอธิบาย
Port 1	- กำหนดให้ตรวจสอบทั้งพอร์ตต้นทาง และพอร์ตปลายทาง
* * 0 3	- แพ็กเก็ตที่ไม่ใช่ IP datagram กำหนดให้มีระดับความสำคัญต่ำ/กลุ่ม 3
* * 0 3	- IP datagram ที่ไม่ตรงกับเงื่อนไขด้านล่างกำหนดให้มีระดับความสำคัญต่ำ/กลุ่ม 3
* * 8080 2	- IP datagram ใดที่มีหมายเลขพอร์ต 8080 จะมีระดับความสำคัญปกติ/กลุ่ม 2
* * 20 0	- กำหนดให้ทิ้ง IP datagram ใดที่มีหมายเลขพอร์ต 20
172.28.80.56 * 8080 1	- IP datagram ที่มีหมายเลขต้นทางเป็น 172.28.80.56 และ มีหมายเลขพอร์ต 8080 กำหนดให้มีระดับความสำคัญสูง/กลุ่ม 1
* 172.28.80.211 0 1	- IP datagram ใดที่มีหมายเลขปลายทาง 172.28.80.211 (ไม่เจาะจงหมายเลขพอร์ต) กำหนดให้มีระดับความสำคัญสูง/กลุ่ม 1

ตารางที่ 3.1 แสดงตัวอย่างเงื่อนไขของนโยบายที่ใช้ในการจัดกลุ่ม

3.3 การพัฒนาเครื่องมือจัดลำดับนำส่งข้อมูล

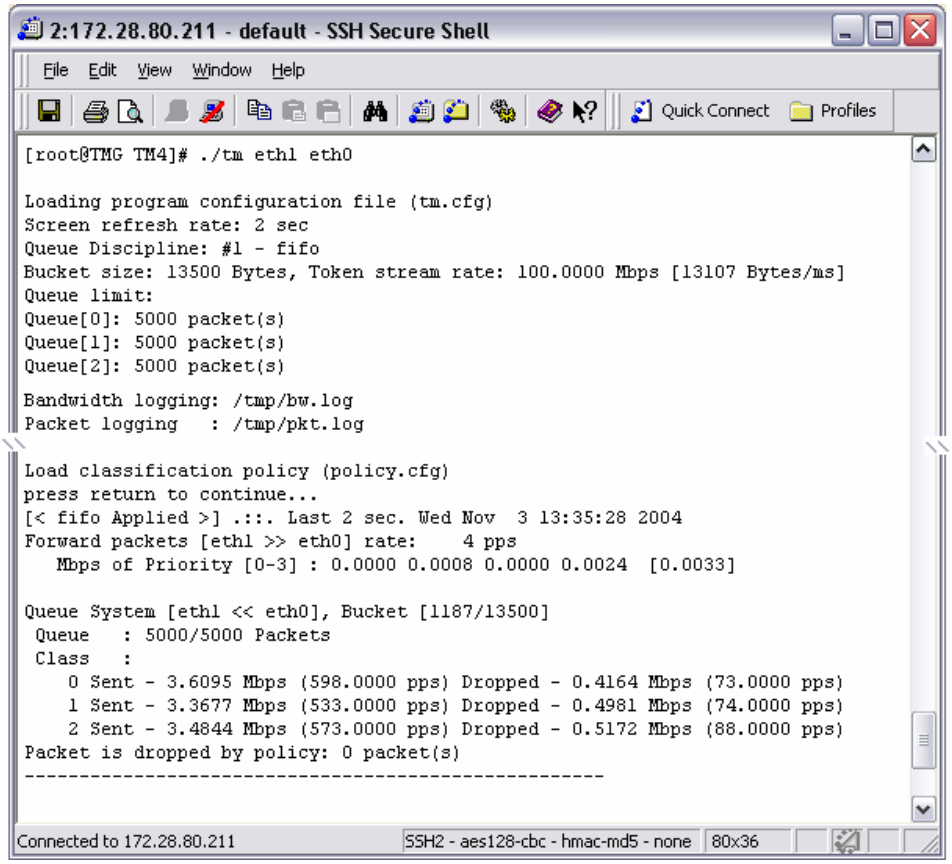
หลังจากที่ผู้วิจัยได้ออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของเครื่องมือจัดลำดับนำส่งข้อมูล ดังที่ได้เสนอในรูปที่ 3.2 ผู้วิจัยได้เพิ่มเติมความสามารถอื่นที่จำเป็นในกระบวนการทดสอบด้วย เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการจัดลำดับนำส่งข้อมูลจากเครือข่ายที่มีขนาด Bandwidth สูงไปยังเครือข่ายที่มี Bandwidth ต่ำกว่า ดังนั้นเครื่องมือนี้ต้องมีความสามารถของการควบคุมปริมาณการนำส่งข้อมูลได้เพื่อจำลองขนาด Bandwidth ของวงจรสื่อสารที่ใช้ออกสู่เครือข่ายอินเทอร์เน็ต เช่น 5 Mbps 10 Mbps 20 Mbps เป็นต้น ซึ่งการควบคุมขนาดของ Bandwidth ได้ใช้เทคนิคของ Token bucket นั่นคือหน่วยทำงานสำหรับบริหารโท็คเคน (Token Manager Unit) ต้องสร้าง Token เข้าสู่ตะกร้า (Bucket) ด้วยความเร็วที่สัมพันธ์กับค่า Bandwidth ที่ต้องการ นอกจากนี้เครื่องมือต้องสามารถแสดงผลการทำงานที่จอภาพ ต้องสามารถบันทึกผลการทำงานลงแฟ้มข้อมูลได้ และต้องสามารถบันทึกข้อมูลของแพ็กเก็ตได้ด้วย เมื่อเพิ่มความสามารถต่าง ๆ ให้กับเครื่องมือแล้วทำให้โครงสร้างของเครื่องมือเป็นไปดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงโครงสร้างโปรแกรมจัดลำดับนำส่งข้อมูล (TMg) ที่ได้พัฒนา

เพื่อให้หน่วยทำงานสามารถทำงานไปพร้อม ๆ กันได้ เช่น ขณะที่ Receiver unit กำลังรับข้อมูลจากเครือข่าย Scheduler unit ก็เลือกแพ็กเก็ตจากคิวและนำส่งได้พร้อมกันเป็นต้น ดังนั้นการพัฒนาเครื่องมือนี้จำเป็นต้องอาศัยเทคนิคการพัฒนาโปรแกรมแบบเทรด (Thread) โดยผู้วิจัยได้เลือกพัฒนาบนตัวแปลภาษาซีผ่าน Thread Libraries (pthread.h) ซึ่งการพัฒนาแบบ Thread นั้นผู้พัฒนาต้องมีความระมัดระวังในการเรียกใช้ข้อมูลที่ต้องใช้ร่วมกันระหว่าง Thread มิฉะนั้นอาจทำให้ข้อมูลเกิดความผิดพลาดได้ และอาจทำให้โปรแกรมหยุดทำงานได้ สำหรับโครงสร้างเครื่องมือในรูปที่ 3.6 ผู้วิจัยได้ออกแบบให้มี 3 Thread โดย Thread แรกประกอบด้วย Receiver unit และ Classifier unit เนื่องจากหน่วยทำงานทั้งสองมีภาระงานไม่มาก และยังทำให้การพัฒนาไม่ซับซ้อนมากนัก หากแยกหน่วยทำงานทั้งสองนี้ให้ต่าง Thread โปรแกรมต้องกันหน่วยความจำขึ้นมาอีกส่วนหนึ่งสำหรับสร้างเป็นคิวเพื่อให้ Receiver unit นำแพ็กเก็ตไปพักไว้ และขนาดของบัฟเฟอร์ที่ใช้เป็นคิวต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะไม่ทำให้แพ็กเก็ตถูกทิ้งก่อนเข้าสู่กระบวนการจำแนกระดับความสำคัญ Thread ที่ 2 และ 3 ต่างมีหน่วยทำงานเพียงหน่วยเดียวคือ Scheduler unit และ Token Manager unit ตามลำดับ

เมื่อเริ่มต้นใช้งานเครื่องมือจัดลำดับนำส่งข้อมูลจะอ่านค่าข้อกำหนดต่าง ๆ จากที่ระบุไว้ในแฟ้มควบคุมการทำงาน เช่น ขนาดของคิว วิธีการจัดคิวที่ใช้ ขนาดของ Bandwidth เป็นต้น และอ่านเงื่อนไขที่ใช้ในการเปรียบเทียบจากแฟ้มนโยบาย หลังจากนั้นเครื่องมือจะรอรับแพ็กเก็ตจากเครือข่ายทั้ง 2 ด้านซึ่งในรูปที่ 3.6 ได้ระบุว่าเป็น eth0 และ eth1 หลังจากนั้นส่งแพ็กเก็ตเข้าสู่กระบวนการจำแนกระดับความสำคัญ หรือจัดกลุ่มตามนโยบายที่ได้กำหนดไว้ ผลการจัดกลุ่มแบ่งออกได้ 3 แบบกว้าง ๆ คือ แพ็กเก็ตได้รับการตรวจสอบว่าไม่อนุญาตให้ส่งข้ามเครือข่าย หรือมีค่าระดับความสำคัญเป็น 0 ให้ทิ้งแพ็กเก็ตดังกล่าวไป ถัดมาคือแพ็กเก็ตที่มาจาก eth1 หรือเครือข่ายด้านที่ต้องการจัดลำดับนำส่งข้อมูล เมื่อผ่านการจัดระดับความสำคัญแล้วให้นำแพ็กเก็ตไปพักในคิวที่สัมพันธ์กัน แบบสุดท้ายคือ แพ็กเก็ตที่มาจาก eth0 หรือเครือข่ายด้านที่ไม่ต้องการจัดลำดับนำส่งข้อมูล เมื่ออนุญาตให้แพ็กเก็ตผ่านไปได้ให้นำส่งข้ามเครือข่ายทันที ในขณะเดียวกันเครื่องมือต้องเลือกแพ็กเก็ตจากคิวเพื่อนำส่งออกสู่เครือข่ายอีกด้านหนึ่งนั่นคือเครือข่ายที่เชื่อมอยู่กับ eth0 สำหรับวิธีการเลือกแพ็กเก็ตนั้นขึ้นอยู่ข้อกำหนดที่ได้ระบุไว้ในแฟ้มควบคุมการทำงาน ซึ่งมีอยู่ 3 ค่าคือ FIFO, PQ และ CBQ ก่อนที่แพ็กเก็ตจากคิวจะได้รับการนำส่งนั้นต้องตรวจสอบกับ Token ใน Bucket ว่ามีขนาดเพียงพอหรือไม่ เช่น ต้องการนำส่งแพ็กเก็ตขนาด 500 KB ใน Bucket ต้องมี Token อยู่ 500 KB ด้วยเช่นกันจึงจะสามารถนำส่งได้ มิฉะนั้นกระบวนการนำส่งต้องรอให้มีหน่วยที่ดูแลการเพิ่ม Token ได้เติม Token ลงใน Bucket ให้มีปริมาณมากเพียงพอสำหรับการใช้งาน ในระหว่างที่โปรแกรมกำลังทำงานนั้นจะมีการเก็บค่าสถิติของจำนวน และปริมาณทั้งแพ็กเก็ตที่ถูกทิ้งและแพ็กเก็ตที่ได้รับการนำส่ง ซึ่งค่าสถิติดังกล่าวจะนำมาใช้ในการแสดงผลที่จอภาพ และบันทึกลงแฟ้ม Bandwidth-Log file (ชื่อแฟ้มขึ้นอยู่กับค่าที่กำหนดในแฟ้มควบคุมการทำงาน) หากกำหนดให้โปรแกรมต้องบันทึกข้อมูลในแพ็กเก็ตด้วย ข้อมูลเหล่านั้นจะได้รับการบันทึกลงแฟ้ม Packet-Log file (ชื่อแฟ้มขึ้นอยู่กับค่าที่กำหนดในแฟ้มควบคุมการทำงาน) โดยรูปที่ 3.7 เป็นตัวอย่างแสดงการทำงานของ TMg และสามารถติดตามกระบวนการวิธีอย่างละเอียดได้ในภาคผนวก ง.



รูปที่ 3.7 แสดงที่ได้จากการใช้เครื่องมือจัดลำดับนำส่งข้อมูล

3.4 สรุป

เครื่องมือสำหรับจัดลำดับนำส่งข้อมูลที่ผู้วิจัยได้ออกแบบมาใช้งานบนเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีการ์ดเครือข่าย 2 ใบที่ติดตั้งระบบปฏิบัติการ Linux Red Hat 9.0 ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการทำงานได้แบ่งออกเป็นหน่วยทำงานหลายส่วนที่สามารถทำงานพร้อมกันได้ คือ Receiver unit และ Classifier unit สำหรับรับแพ็กเก็ตจากเครือข่าย พร้อมกำหนดระดับความสำคัญ/กลุ่ม และนำแพ็กเก็ตเข้าสู่คิวที่เหมาะสม ซึ่งการจำแนกจัดกลุ่มนี้จะเลือกทำเฉพาะกับแพ็กเก็ตที่มาจากเครือข่ายด้านที่ต้องการจัดลำดับนำส่งก่อนเท่านั้น Scheduler unit มีหน้าที่สำหรับเลือกนำส่งแพ็กเก็ตตามวิธีการที่กำหนด (FIFO, PQ และ CBQ) และ Token Manager unit สำหรับควบคุมความเร็วในการนำส่งข้อมูลแต่ในที่นี้ถูกใช้ประโยชน์เพื่อจำลองขนาด Bandwidth ของวงจรสื่อสารที่เชื่อมต่ออินเทอร์เน็ต นอกจากนี้ยังมีฟังก์ชั่นสำหรับแสดงผลการทำงานบนจอภาพ และบันทึกผลการทำงานลงแฟ้มข้อมูลด้วย สำหรับจำนวนของคิวในระบบได้กำหนดให้มี 3 คิวตามค่าระดับ

ความสำคัญ หรือกลุ่มของแพ็กเก็ต คือ ความสำคัญสูง/กลุ่มที่ 1 ความสำคัญปกติ/กลุ่มที่ 2 และความสำคัญต่ำ/กลุ่มที่ 3 และใช้เทคนิค Nonpreemptive discard algorithm ในการจัดการกับแพ็กเก็ตเมื่อคิวเต็ม

ในบทต่อไปผู้วิจัยได้นำเสนอผลการทดสอบการทำงานของวิธีการจัดการคิวแบบต่าง ๆ ของเครื่องมือจัดลำดับนำส่งข้อมูลที่ได้พัฒนาขึ้นซึ่งต่อไปจะเรียกแทนด้วย TMg (Traffic Manager) บนเครือข่ายที่ได้สร้างขึ้น โดยอาศัยการจำลองเหตุการณ์ตามสภาวะต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นจริงได้บนเครือข่ายมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์