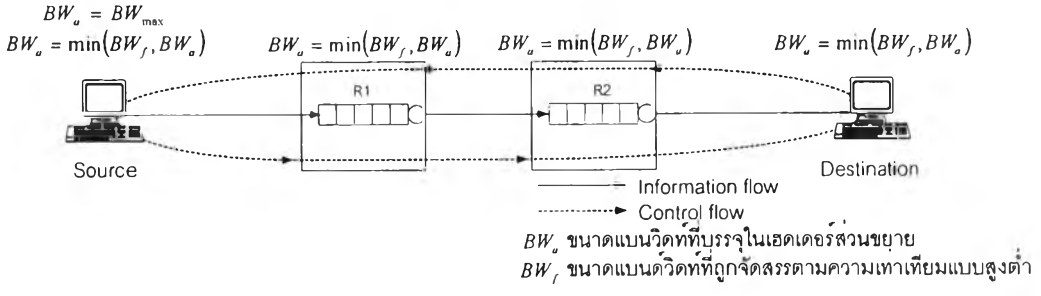
บทที่ 3

แบบแผนการควบคุมความแออัดในโครงข่ายที่ได้นำเสนอ

บทนี้อธิบายถึงหลักการทำงานของการควบคุมความแออัดในโครงข่ายของโพรโทคอล TCP ที่ได้นำเสนอ รวมทั้งกล่าวถึงหลักการและการทำงานของเทคนิคการส่งข้อมูลบนช่องสัญญาณไร้สายบนโครงข่าย TCP ของโพรโทคอลสนูปที่ได้นำเสนอ

3.1 หลักการทำงานและวิธีการควบคุม

โครงสร้างการทำงานของการควบคุมความแออัดและการจัดสรรแบนด์วิดท์จากปลายถึงปลายอย่างทัดเทียมแสดงดังรูปที่ 3.1 โดยอาศัยการป้อนกลับของแพ็กเกตที่มีเฮดเดอร์ส่วนขยายสำหรับบรรจุข้อมูลที่จำเป็นสำหรับการควบคุมความแออัดและการจัดสรรแบนด์วิดท์จากปลายถึงปลายอย่างทัดเทียมของโครงข่าย สามารถแบ่งการทำงานออกเป็น 2 ส่วน คือ การทำงานในส่วนของเราเตอร์ ที่สามารถเข้าถึงเฮดเดอร์ส่วนขยายเพื่อนำข้อมูลของผู้ใช้แต่ละรายมาประกอบการจัดสรรแบนด์วิดท์อย่างเท่าเทียมกันและการทำงานในส่วนของผู้ใช้ต้นทางและผู้ใช้ปลายทาง ที่ทำหน้าที่ในส่วนควบคุมและจัดการอัตราการส่งข้อมูลของผู้ใช้ต้นทาง



รูปที่ 3.1 โครงสร้างการทำงานของการควบคุมความแออัดและการจัดสรรแบนด์วิดท์จากปลายถึงปลาย

3.1.1 การทำงานในส่วนของเราเตอร์

การทำงานในส่วนของเราเตอร์จะอาศัยข้อมูลที่บรรจุมาในเฮดเดอร์ส่วนขยายที่ประกอบขึ้นมาจาก ฟิลด์ที่บ่งบอกขนาดของแบนด์วิดท์ซึ่งเป็นค่าแบนด์วิดท์ที่ร้องขอออกไปและจะถูกเปรียบเทียบค่าแบนวิดท์ของลิงค์ขาออกตลอดเส้นทางเพื่อหาค่าที่น้อยที่สุดสำหรับบรรจุลงไปและเป็นข้อมูลเพื่อให้ผู้ใช้ต้นทางประกอบการตัดสินใจในการกำหนดอัตราการส่งข้อมูล เมื่อมีแพ็กเกต

วิ่งผ่าน เราเตอร์จะทำการคำนวณขนาดแบนด์วิดท์ของทุกโฟลว์ที่ผ่านเราเตอร์เพื่อหาขนาดของแบนด์วิดท์ที่สามารถแจกจ่ายแต่ละโฟลว์ได้อย่างเท่าเทียมที่สุดในเส้นทางโดยไม่ก่อให้เกิดความแออัดเนื่องจากปัญหาที่เกิดมาจากลิงค์บริเวณคอขวด โดยเป็นไปตามค่าประกอบการถ่วงน้ำหนักของผู้ใช้แต่ละรายที่ผ่านเราเตอร์ตัวนั้น ๆ ตามหลักการของความเท่าเทียมแบบมากน้อย ซึ่งมีค่าแต่ละกรณีและมีพารามิเตอร์ดังนี้

กำหนด

BW_{total} แทน แบนด์วิดท์ขาออกของเราเตอร์ตัวใดๆ

$BW_{fair}(i)$ แทน แบนด์วิดท์ที่ถูกแบ่งให้แต่ละโฟลว์อย่างเท่าเทียม $\frac{BW_{total}}{I}$

$BW_{ul}(i)$ แทน แบนด์วิดท์ของโฟลว์ที่ต้องการแบนด์วิดท์น้อยกว่าค่า $BW_{fair}(i)$

$BW_f(i)$ แทน แบนด์วิดท์ที่ถูกจัดสรรตามความเท่าเทียมแบบสูง-ต่ำและถูกส่งต่อไปยังเราเตอร์ตัวต่อไปหรือป้อนกลับไปยังผู้ใช้ต้นทาง

I แทน จำนวนผู้ใช้ที่ผ่านเราเตอร์ในขณะนั้น

กรณีที่ 1 ทุก ๆ โฟลว์มีความต้องการขนาดแบนด์วิดท์มากกว่าหรือเท่ากับที่เราเตอร์แจกจ่ายให้

$$BW_f(i) = \frac{BW_{total}}{I} \tag{3.1.1}$$

กรณีที่ 2 โฟลว์ใดโฟลว์หนึ่งมีความต้องการขนาดแบนด์วิดท์น้อยกว่าที่เราเตอร์แจกจ่ายอย่างเท่าเทียมให้แต่ละโฟลว์

กลุ่มที่ 1 เป็นกลุ่มที่ต้องการแบนด์วิดท์น้อยกว่าที่เราเตอร์แจกจ่ายอย่างเท่าเทียม

$$BW_f(i) = BW_{ul}(i) \tag{3.1.2}$$

กลุ่มที่ 2 เป็นกลุ่มที่ต้องการแบนด์วิดท์มากกว่าในกลุ่มที่ 1

$$BW_f(i) = \frac{\left(BW_{total} - \sum_{l=1}^{n} BW_{ul}(l)\right)}{I_n}; l \neq i, I_n = I - I_{ul} \tag{3.1.3}$$

ค่าที่ได้จากการคำนวณของแต่ละโฟลว์ตามสมการข้างต้นจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับค่าของแบนด์วิดท์ที่บรรจุในเฮดเดอร์ส่วนขยายเพื่อหาขนาดแบนด์วิดท์ที่น้อยที่สุดในเส้นทางที่เหมาะสมและให้ความเท่าเทียมแต่ทุกโฟลว์อย่างยุติธรรมที่สุดตามสภาพของเส้นทางและทรัพยากรที่โครงข่ายสามารถจะแจกจ่ายให้ได้ตลอดจากปลายถึงปลายและจะถูกบรรจุกลับลงในฟิลด์ที่บ่งบอกขนาดของแบนด์วิดท์เพื่อป้อนกลับไปยังผู้ใช้ต้นทางเพื่อนำไปคำนวณอัตราการส่งที่เหมาะสมของแต่ละโฟลว์โดยไม่ก่อให้เกิดความแออัดในโครงข่าย

3.1.2 การทำงานในส่วนของผู้ใช้ต้นทางและผู้ใช้ปลายทาง

การทำงานในส่วนของผู้ใช้ต้นทางสำหรับการคำนวณอัตราการส่งข้อมูล จะอาศัยข้อมูลในส่วนของเฮดเดอร์ส่วนขยายที่ถูกป้อนกลับระหว่างปลายถึงปลายสองส่วนคือ หนึ่ง ส่วนของฟิลด์ที่บ่งบอกขนาดแบนด์วิดท์น้อยที่สุดตามเส้นทางที่เราเตอร์สามารถแจกจ่ายแต่ละโฟลว์ได้อย่างเท่าเทียมและเหมาะสมกับสภาพของเส้นทางและทรัพยากรของโครงข่าย และ สองส่วนของฟิลด์ที่บรรจุค่าประวิงเวลาจริงในการเข้าถึงข้อมูล ในส่วนของค่าประวิงเวลาจริงในการเข้าถึงข้อมูลจะมีสองค่าคือ ค่าประวิงเวลาจริงในการเข้าถึงข้อมูลอ้างอิง (RTT_{base}) ซึ่งเป็นค่าประวิงเวลาจริงในการเข้าถึงข้อมูลเป็นการวัดช่วงเวลาในขณะที่ส่งและจนกระทั่งได้รับแพ็กเกตติดตั้ง (SYN packet) ซึ่งเป็นแพ็กเกตสำหรับสร้างการติดต่อระหว่างต้นทางและปลายทางก่อนเริ่มต้นทำการส่งข้อมูลทั้งหมด และ สอง ค่าประวิงเวลาจริงในการเข้าถึงข้อมูลปัจจุบัน $(RTT(t))$ เป็นค่าประวิงเวลาจริงในการเข้าถึงข้อมูลของแพ็กเกตที่ถูกตอบรับหลังจากส่งไปถึงผู้ใช้ปลายทาง ซึ่งเป็นค่าประวิงเวลาที่สามารถนำมาคาดคะเนสภาพความแออัดของในโครงข่ายเพื่อนำมาประกอบการตัดสินใจในการเพิ่มหรือลดอัตราการส่งข้อมูล โดยเป็นการคำนวณตามสมการ 3.1.4 ที่เป็นรูปแบบของสมการ exponential averaging filter ดังนี้

$$RTT_{avg}(t) = \beta * RTT_{avg}(t-n) + (1-\beta)\left(\frac{\sum_{i=t-n+1}^{t} RTT(i)}{n}\right) \qquad (3.1.4)$$

เมื่อ β คือ พารามิเตอร์การจูนเพื่อมีค่าอยู่ในช่วง [0,1] ในที่นี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.8 และค่าเริ่มต้นของ $RTT_{avg}(0) = RTT_{base}$ ซึ่งสมการ 3.1.4 เป็นสมการสำหรับการหาค่าประวิงเวลาจริงในการเข้าถึงข้อมูลเฉลี่ยโดยกรองค่าบางส่วนที่มีความเปลี่ยนแปลงค่อนข้างไวจากผลกระทบเนื่องจากการสูญหายอันเนื่องมาจากการสูญหายเนื่องจากความแออัดและการสูญหายในช่องสัญญาณไร้สาย ให้อยู่ในขอบเขตที่สามารถยอมรับได้เพื่อนำมาคำนวณประกอบการตัดสินใจ เมื่อได้ค่าประวิงเวลาจริงในการเข้าถึงข้อมูลเฉลี่ยตามสมการข้างต้นเป็นที่เรียบร้อยจะนำค่าที่ได้นั้นมาประกอบการตัดสินใจในการเพิ่มหรือลดอัตราการส่งข้อมูลตามกลไกการหลีกเลี่ยงความแออัดในโครงข่ายด้วยค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

$cavwnd_{lb}$ แทนขอบเขตล่างของหน้าต่างการส่งข้อมูลในกลไกการหลีกเลี่ยงความแออัด ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{BW}{RTT_{avg}}$

$cavwnd_{ub}$ แทนขอบเขตบนของหน้าต่างการส่งข้อมูลในกลไกการหลีกเลี่ยงความแออัดซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{\alpha * BW}{RTT_{avg}}$

โดยกำหนดให้ขีดจำกัดของการเริ่มต้นอย่างช้า ๆ $ssthresh$ มีค่าเท่ากับ $cavwnd_{lb}$ และสัมประสิทธิ์ α ของ $cavwnd_{ub}$ ในที่นี้มีค่าเท่ากับ 1.2 ซึ่งเป็นค่าที่ให้ประสิทธิผลของทรูพุทบริเวณคอขวดสูงสุดและเป็นค่าได้มาจากการทดลอง

เมื่อพิจารณาสถานะของระบบแถวคอยของเราเตอร์ในขณะที่แพ็กเกตถูกส่งออกสู่โครงข่ายในระดับที่ระบบแถวคอยของเราเตอร์ไม่สามารถทำการจัดส่งแพ็กเกตออกไปสู่ปลายทางได้ทันที แพ็กเกตที่เข้ามาสู่เราเตอร์จะถูกจัดเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ซึ่งจะส่งผลให้ค่า RTT ของแพ็กเกตในขณะนั้นมีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนแพ็กเกตและมีค่ามากกว่า RTT_{base} สามารถเขียนความสัมพันธ์ระหว่างค่า RTT และ RTT_{base} กับจำนวนของแพ็กเกตที่ถูกจัดเก็บในบัฟเฟอร์ได้ดังนี้

$$RTT = RTT_{base} + N/(cwnd/RTT) \tag{3.1.5}$$

โดยที่ N คือจำนวนแพ็กเกตทั้งหมดที่ถูกจัดเก็บอยู่ในบัฟเฟอร์ เมื่อจัดรูปใหม่จะมีค่าตามสมการ

$$N = \left(1 - \frac{RTT_{base}}{RTT}\right) * cwnd \tag{3.1.6}$$

จากสมการที่ 3.1.6 ค่า N ที่ได้มาจะเป็นค่าที่กำหนดเงื่อนไขการทำงานของกลไกหลีกเลี่ยงความแออัดในช่วง additive increase โดยมีค่าขีดจำกัดของระบบแถวคอย ϕ เป็นตัวกำหนดขอบเขตการทำงานให้อยู่ช่วงที่ไม่ก่อให้เกิดความแออัดและมีรายละเอียดดังนี้

ในกรณีที่ $N < \phi$ ซึ่งเป็นกรณีที่จำนวนแพ็กเกตในระบบแถวคอยมีค่าน้อยกว่าขีดจำกัดของระบบแถวคอยหรือขนาดหน้าต่างในการส่งข้อมูลยังมีค่าอยู่ในระดับที่เราเตอร์สามารถทำการส่งแพ็กเกตไปยังปลายทางได้ทัน ในกรณีนี้การเพิ่มขนาดหน้าต่างในการส่งข้อมูลเมื่อได้รับแพ็กเกตตอบรับจะมีค่าดังนี้

$$cwnd = cwnd + 1/cwnd \tag{3.1.7}$$

ในกรณีที่ $N > \phi$ หรือ $cwnd >= cavwnd_{ub}$ เป็นกรณีที่จำนวนแพ็กเกตในระบบแถวคอยมีค่ามากกว่าขีดจำกัด หรือขนาดหน้าต่างในการส่งข้อมูลมีค่ามากกว่าขอบเขตบนของหน้าต่างการส่งข้อมูลในกลไกการหลีกเลี่ยงความแออัด ซึ่งมีแนวโน้มก่อให้เกิดการพังทลายของโครงข่าย ดังนั้นจึงทำการกำหนดขนาดหน้าต่างการส่งข้อมูลเมื่อได้รับแพ็กเกตตอบรับให้มีค่าเท่ากับขอบเขตล่างของหน้าต่างการส่งข้อมูลในกลไกการหลีกเลี่ยงความแออัด หรือมีค่าตามสมการที่ 3.1.8

$$cwnd = cavwnd_{lb} \tag{3.1.8}$$

I32217013X

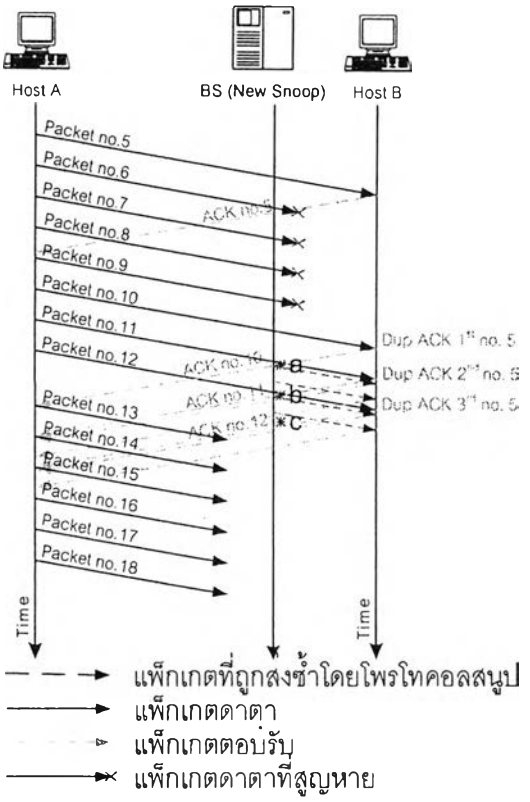
3.2 หลักการทำงานของโพรโทคอลสนูปที่เสนอ

หลักการทำงานของโพรโทคอลสนูปในการส่งข้อมูลจากผู้ใช้ต้นทางไปยังผู้ใช้ปลายทางที่ช่องสัญญาณสุดท้ายก่อนโหนดปลายทางเป็นช่องสัญญาณแบบไร้สาย เมื่อมีการส่งข้อมูลจากผู้ใช้ต้นทางผ่านสถานีฐาน โพรโทคอลสนูปจะตรวจจับและจัดเก็บข้อมูลทุก ๆ แพ็กเกตที่วิ่งเข้ามายังสถานีฐาน หลังจากนั้นจะส่งผ่านแพ็กเกตที่ได้รับการจัดเก็บเรียบร้อยไปยังผู้ใช้ปลายทางต่อไปตามหลักการทำงานของสนูปดาตาที่ได้กล่าวไว้ในหัวข้อที่ 2.5 และในส่วนของการจัดการในส่วนแพ็กเกตตอบรับและการส่งซ้ำแพ็กเกตที่สูญหาย จะกำหนดให้โพรโทคอลสนูปสามารถเข้าถึงในการอ่านออปชัน SACK ของแพ็กเกตตอบรับที่ผ่านเข้ามา เพื่อทำการตรวจสอบลำดับหมายเลขแพ็กเกตที่สูญหายตามที่ระบุมาในบล็อกของออปชัน SACK และทำการเปรียบเทียบลำดับหมายเลขของแพ็กเกตที่สูญหายกับลำดับหมายเลขแพ็กเกตที่ถูกเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ของสนูปซึ่งสามารถแบ่งการจัดการในส่วนของแพ็กเกตตอบรับออกเป็นสองกรณีซึ่งขึ้นอยู่กับประเภทของการสูญหายและลำดับหมายเลขแพ็กเกตที่ถูกจัดเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ของสนูปได้ดังนี้ คือ หนึ่ง เมื่อการสูญหายที่เกิดขึ้นเป็นการสูญหายเนื่องจากช่องสัญญาณไร้สายเท่านั้น และ สอง เมื่อการสูญหายที่เกิดขึ้นเป็นการสูญหายที่เกิดจากช่องสัญญาณไร้สายร่วมกับการสูญหายที่เกิดจากความแออัดของโครงข่าย โดยการทำงานเมื่อเกิดการสูญหายแต่ละรูปแบบมีลักษณะดังนี้

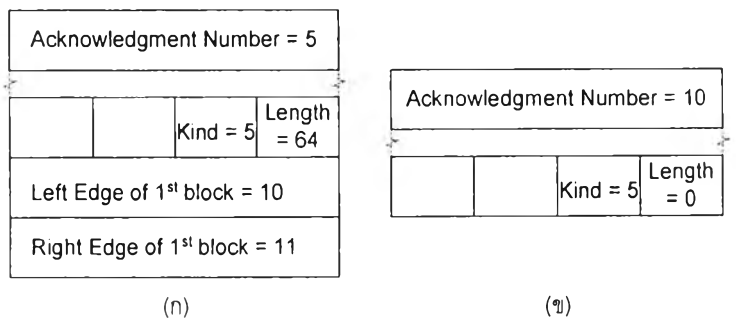
3.2.1 การทำงานในส่วนของการจัดการแพ็กเกตตอบรับเมื่อการสูญหายที่เกิดขึ้นเป็นการสูญหายเนื่องจากช่องสัญญาณไร้สายเท่านั้น

ในกรณีนี้เมื่อทำการทำการเปรียบเทียบลำดับหมายเลขของแพ็กเกตที่สูญหายจากออปชัน SACK กับลำดับหมายเลขแพ็กเกตที่ถูกเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ของสนูป ถ้ามีลำดับหมายเลขที่สูญหายนั้นอยู่ในบัฟเฟอร์ของสนูป ซึ่งหมายความว่าเป็นแพ็กเกตที่สูญหายมีสาเหตุเนื่องจากช่องสัญญาณไร้สาย หลังจากที่ทราบลำดับหมายเลขแพ็กเกตจะทำการกู้คืนทันทีโดยไม่มีการลบแพ็กเกตตอบรับที่จะส่งไปยังผู้ใช้ต้นทางพร้อมทั้งทำการลบบล็อกของออปชัน SACK และแทนที่ลำดับหมายเลขแพ็กเกตตอบรับสำเนาด้วยลำดับหมายเลขค่าที่แท้จริงของแพ็กเกตตอบรับสำเนาซึ่งมีค่าเช่นเดียวกันกับลำดับหมายเลขแพ็กเกตในกรณีที่ไม่มีการสูญหายเกิดขึ้น (ในกรณีที่มีการสูญหายส่วนนี้มีค่าเท่ากับค่าของบล็อกแรกทางขวาของออปชัน SACK ลบด้วยหนึ่ง) และทำการส่งแพ็กเกตตอบรับตัวนี้ผ่านไปยังผู้ใช้ต้นทาง ดังในรูปที่ 3.2 เป็นตัวอย่างแสดงรูปแบบการส่งแพ็กเกตและการจัดการแพ็กเกตตอบรับในกรณีนี้ ซึ่งในรูปเป็นการเริ่มต้นการส่งแพ็กเกตของผู้ใช้ต้นทางโดยเป็นการส่งแพ็กเกตลำดับหมายเลข 5 ถึงลำดับหมายเลข 12 ส่งไปยังผู้ใช้ปลายทาง และแพ็กเกตทั้งหมดนั้นผ่านสถานีฐานเป็นที่เรียบร้อยและแพ็กเกตลำดับหมายเลข 6 7 8 และ 9

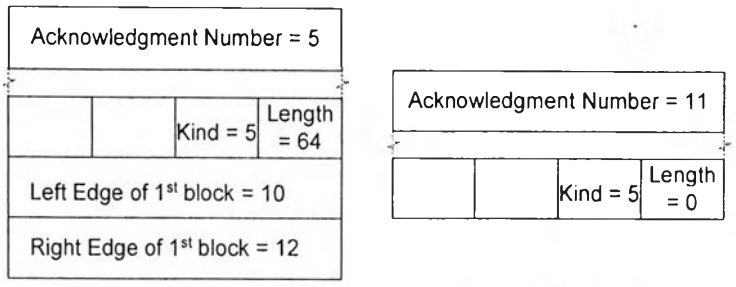
เกิดการสูญหายเนื่องจากช่องสัญญาณไร้สาย เมื่อแพ็กเกตลำดับหมายเลข 5 ถึงผู้ใช้ปลายทาง และได้รับการตอบรับอย่างปกติ แต่ทันทีที่แพ็กเกตลำดับหมายเลข 10 ไปถึงผู้ใช้ปลายทางโดยไม่ได้รับแพ็กเกตลำดับหมายเลขอื่น ๆ ก่อนหน้า ผู้ใช้ปลายทางจะส่งแพ็กเกตตอบรับสำเนาที่มีลำดับหมายเลข 5 ไปยังผู้ใช้ต้นทางเพื่อร้องขอให้ผู้ใช้ต้นทางส่งซ้ำแพ็กเกตที่มีลำดับหมายเลขดังกล่าวมาอีกครั้ง เช่นเดียวกันกับเมื่อผู้ใช้ปลายทางได้รับแพ็กเกตลำดับหมายเลข 10 11 และ 12 จะทำการส่งแพ็กเกตตอบรับสำเนาที่มีลำดับหมายเลข 5 เป็นฉบับที่หนึ่ง สองและสามไปยังผู้ใช้ต้นทางตามลำดับซึ่งมีข้อมูลในส่วนออปชัน SACK ของแพ็กเกตตอบรับสำเนาดังกล่าวมีลักษณะดังรูปที่ 3.3(ก) 3.4(ก) และ 3.5(ก) เมื่อแพ็กเกตตอบรับสำเนาไปถึงสถานีฐานโพรโทคอลสนูปจะทำการอ่านข้อมูลที่บรรจุในส่วนของออปชัน SACK เพื่อหาลำดับหมายเลขที่สูญหาย เมื่อทำการตรวจสอบพบว่าแพ็กเกตที่ผู้ใช้ปลายทางร้องขอเหล่านั้นถูกเก็บอยู่ในบัฟเฟอร์ของสนูปจะทำการส่งซ้ำแพ็กเกตที่สูญหายทั้งหมดทันทีดังรูปที่ 3.2 ตรงจุด $*a$ พร้อมทั้งทำการแก้ไขลำดับหมายเลขแพ็กเกตตอบรับและปรับเปลี่ยนขนาดและทำการแก้ไขข้อมูลในส่วนออปชัน SACK ของแพ็กเกตฉบับแรก ส่วนแพ็กเกตตอบรับฉบับที่สองและฉบับที่สามจะถูกแก้ไขข้อมูลในส่วนออปชัน SACK ที่จุด *b และจุด *c ตามลำดับ โดยลำดับหมายเลขแพ็กเกตตอบรับและออปชันของ SACK ที่ถูกแก้ไขจะมีค่าดังที่แสดงในรูปที่ 3.3(ข) 3.4(ข) และ 3.5(ข) หลังจากทำการแก้ไขเป็นที่เรียบร้อยแพ็กเกตตอบรับในส่วนจะถูกส่งจากสถานีฐานไปยังผู้ใช้ต้นทางทันทีเป็นลำดับต่อไป



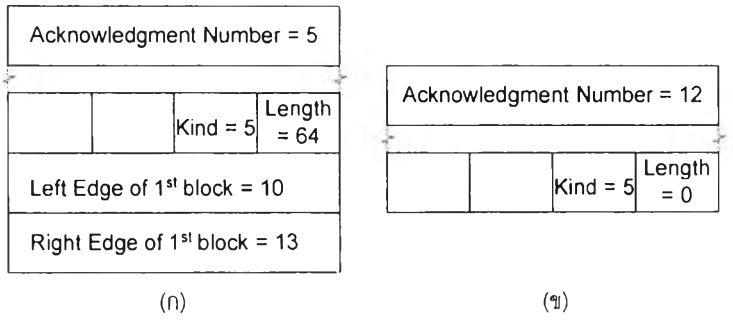
รูปที่ 3.2 ตัวอย่างลักษณะการทำงานในส่วนของการจัดการแพ็กเกตตอบรับเมื่อการสูญหายที่เกิดขึ้นเป็นการสูญหายเนื่องจากช่องสัญญาณไร้สายเท่านั้น



รูปที่ 3.3 ออปชัน SACK ของแพ็กเกตตอบรับสำเนาฉบับที่ 1 (ก) เป็นกรณีก่อนผ่านและถูกแก้ไขโดยโพรโทคอลสนูป (ข) เป็นกรณีหลังจากผ่านและแก้ไขโดยโพรโทคอลสนูป



รูปที่ 3.4 ออปชัน SACK ของแพ็กเกตตอบรับสำเนาฉบับที่ 2 (ก) เป็นกรณีก่อนผ่านและถูกแก้ไขโดยโพรโทคอลสนูป (ข) เป็นกรณีหลังจากผ่านและแก้ไขโดยโพรโทคอลสนูป



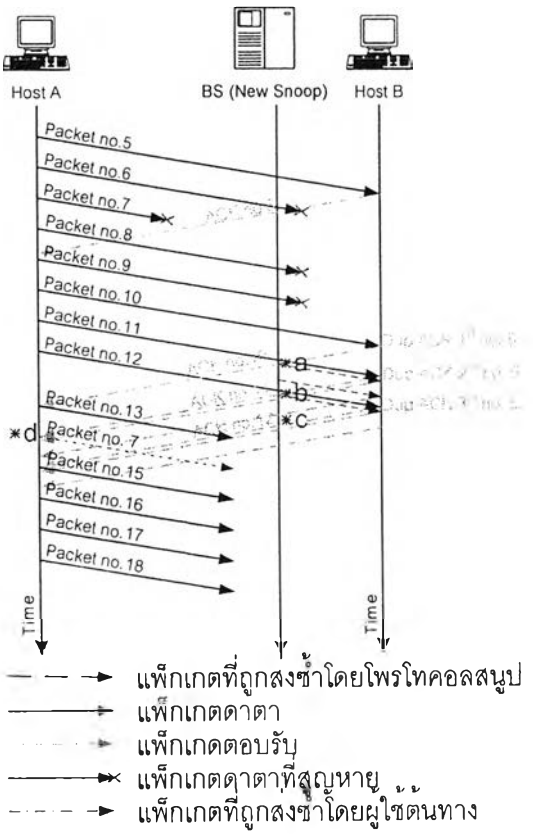
รูปที่ 3.5 ออปชัน SACK ของแพ็กเกตตอบรับสำเนาฉบับที่ 3 (ก) เป็นกรณีก่อนผ่านและถูกแก้ไขโดยโพรโทคอลสนูป (ข) เป็นกรณีหลังจากผ่านและแก้ไขโดยโพรโทคอลสนูป

3.2.2 การทำงานในส่วนของการจัดการแพ็กเกตตอบรับเมื่อการสูญหายที่เกิดขึ้นเป็นการสูญหายเนื่องจากช่องสัญญาณไร้สายร่วมกับการสูญหายเนื่องจากความแออัดของโครงข่าย

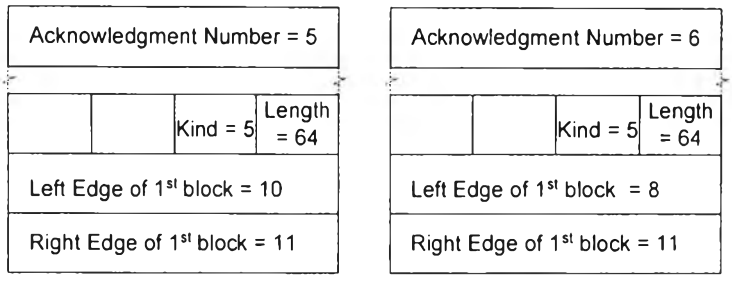
ในกรณีนี้หลังจากทำการอ่านออปชัน SACK และทำการทำการเปรียบเทียบลำดับหมายเลขของแพ็กเกตที่สูญหายกับลำดับหมายเลขแพ็กเกตที่ถูกเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ของสนูป ถ้าลำดับหมายเลขตามที่บล็อกของ SACK ระบุมาตัวใดตัวหนึ่งไม่ได้ถูกจัดเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ของสนูป เนื่องจากลำดับหมายเลขแพ็กเกตที่สูญหายดังกล่าวสูญหายระหว่างทางก่อนที่จะถูกส่งมาถึงสถานีฐานไม่ได้เป็นผลเนื่องมาจากลักษณะของช่องสัญญาณไร้สาย แทนที่จะรอจนกระทั่งการกู้คืนแพ็กเกตที่สูญหายเนื่องจากช่องสัญญาณไร้สายเป็นที่สำเร็จก่อนถึงจะทำการส่งแพ็กเกตตอบรับไปยังผู้ใช้ต้นทางกับบล็อกของออปชัน SACK แต่ในที่นี้วิธีที่ได้เสนอนี้จะนำลำดับหมายเลขของแพ็กเกตที่ไม่ได้ถูกจัดเก็บในบัฟเฟอร์หรือที่เกิดการสูญหายเนื่องจากความแออัดแยกออกมาจากลำดับหมายเลขที่สูญหายเนื่องจากช่องสัญญาณไร้สายพร้อมระบุลงในบล็อกของออปชัน SACK พร้อมทั้งกำหนดลำดับหมายเลขแพ็กเกตให้สอดคล้องการสูญหายที่เกิดขึ้นเขียนลงไปในบล็อก

ของออปชัน SACK ใหม่ทั้งหมดและไม่ขัดแย้งกับวิธีการส่งข้อมูลของ TCP ในทันทีที่แพ็กเกตตอบรับตัวนี้ไปถึงผู้ใช้ต้นทางและได้ส่งซ้ำแพ็กเกตที่ไม่ได้จัดเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ของสนูปหรือที่สูญหายเนื่องจากความแออัดตามที่ได้ระบุไว้ในออปชัน SACK ส่งไปยังสถานีฐาน หลังจากแพ็กเกตที่ส่งซ้ำถูกจัดเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ของสนูปเป็นที่เรียบร้อยเมื่อมีแพ็กเกตตอบรับที่จะต้องถูกส่งไปยังผู้ใช้ต้นทางแพ็กเกตตอบรับดังกล่าวจะถูกแก้ไขข้อมูลของออปชัน SACK ใหม่ โดยค่าที่ระบุลงในออปชัน SACK ครั้งนี้มีลักษณะเดียวกันกับในกรณีที่ได้รับแพ็กเกตตอบรับที่ส่งมาจากผู้ใช้ปลายทางเมื่อแพ็กเกตหมายเลขดังกล่าวนั้นโดยไม่มีการสูญหาย พร้อมทั้งกำหนดหมายเลขแพ็กเกตใหม่ให้สอดคล้องกับหมายเลขแพ็กเกตตัวอื่น ๆ ที่สูญหายและไม่ได้จัดเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ของสนูป หลังจากแพ็กเกตที่สูญหายเนื่องจากความแออัดถูกผู้ใช้ต้นทางทำการส่งซ้ำและได้รับการจัดเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ของสนูปแม้ว่าแพ็กเกตส่วนนี้จะสูญหายอีกครั้งเนื่องจากลักษณะของช่องสัญญาณไร้สาย หน้าที่ในการกู้คืนแพ็กเกตในส่วนนี้จะเป็นของโพรโทคอลสนูป โดยไม่ยุ่งหรือร้องขอให้ส่งแพ็กเกตดังกล่าวจากผู้ใช้ต้นทางอีก รูปที่ 3.6 เป็นตัวอย่างแสดงรูปแบบการส่งแพ็กเกตและการจัดการแพ็กเกตตอบรับในกรณีที่มีการสูญหายเนื่องจากความแออัดเกิดขึ้นร่วมกับการสูญหายในช่องสัญญาณไร้สาย ซึ่งในรูปเป็นการส่งแพ็กเกตที่มีลำดับหมายเลข 5 ถึงแพ็กเกตลำดับหมายเลข 12 โดยที่แพ็กเกตที่มีลำดับหมายเลข 6 7 8 และ 9 เกิดการสูญหาย แต่แพ็กเกตลำดับหมายเลข 7 เป็นแพ็กเกตเพียงแพ็กเกตเดียวที่เกิดการสูญหายเนื่องจากความแออัด ส่วนแพ็กเกตลำดับหมายเลขอื่นๆ เป็นแพ็กเกตที่สูญหายเนื่องจากลักษณะของช่องสัญญาณไร้สาย ดังนั้นเมื่อแพ็กเกตลำดับหมายเลข 5 ผ่านสถานีฐานและถูกจัดเก็บข้อมูลลงในบัฟเฟอร์ของสนูปจนกระทั่งเดินทางไปถึงผู้ใช้ปลายทาง ผู้ใช้ปลายทางจะทำการตอบรับแพ็กเกตนั้นโดยการส่งแพ็กเกตตอบรับที่มีลำดับหมายเลข 5 ตามปกติ จนกระทั่งแพ็กเกตลำดับหมายเลข 10 ถูกส่งไปถึงผู้ใช้ปลายทางแต่แพ็กเกตลำดับหมายเลขก่อนหน้านี้ยังไม่ถูกส่งมาถึงผู้ใช้ปลายทาง ดังนั้นผู้ใช้ต้นทางจะตอบรับแพ็กเกตดังกล่าวด้วยแพ็กเกตตอบรับสำเนาฉบับแรกที่มีลำดับหมายเลขแพ็กเกตเท่ากับ 5 พร้อมด้วยข้อมูลในส่วนออปชัน SACK เพื่อที่จะให้ผู้ใช้ต้นทางแพ็กเกตที่สูญหายใหม่อีกครั้งและทำการตอบรับแพ็กเกตลำดับหมายเลข 11 และ 12 ด้วยแพ็กเกตตอบรับสำเนาฉบับที่ 2 และ 3 พร้อมทั้งข้อมูลในส่วนออปชัน SACK ในรูปแบบลักษณะเช่นเดียวกันกับแพ็กเกตตอบรับสำเนาฉบับแรก เมื่อแพ็กเกตตอบรับสำเนาฉบับแรกถูกส่งไปถึงสถานีฐาน โพรโทคอลสนูปจะทำการอ่านข้อมูลในส่วนออปชัน SACK เพื่อเปรียบเทียบลำดับหมายเลขแพ็กเกตที่ถูกระบุมาในออปชันของ SACK กับลำดับหมายเลขแพ็กเกตที่ถูกจัดเก็บในบัฟเฟอร์ของสนูป จากการอ่านข้อมูลในส่วนออปชัน SACK ในแพ็กเกตตอบรับสำเนาฉบับที่ 1 2 และ 3 ที่มีลักษณะดังรูปที่ 3.7(ก) 3.8(ก) และ 3.9(ก) ตามลำดับ ซึ่งทำให้ทราบถึงลำดับหมายเลขที่สูญหายดังนี้คือ 6 7 8 และ 9 ตามลำดับ และเมื่อทำการเปรียบเทียบกับแพ็กเกตที่จัดเก็บอยู่ในบัฟเฟอร์ของสนูปจะพบว่าแพ็กเกตที่สูญ

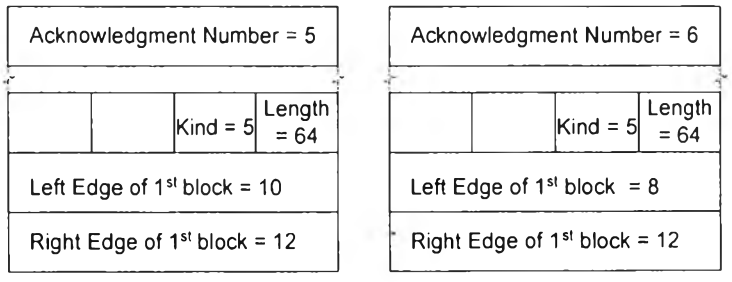
หายลำดับหมายเลขอื่น ๆ นอกจากหมายเลข 7 ถูกจัดเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ทั้งหมดดังนั้นโพรโทคอลสนูปจะทำการแก้ไขลำดับหมายเลขแพ็กเกตและข้อมูลในส่วนออปชัน SACK ของแพ็กเกตตอบรับสำเนาแต่ละฉบับก่อนจะส่งผ่านไปยังผู้ใช้ต้นทาง ซึ่งมีรายละเอียดดังรูปที่ 3.7(ข) 3.8(ข) และ 3.9(ข) จะเห็นได้ว่าลำดับแพ็กเกตตอบรับสำเนาฉบับที่1 2 และ 3 จะถูกเปลี่ยนเป็นลำดับหมายเลข 6 เมื่อแพ็กเกตตอบรับสำเนาฉบับที่สามถึงผู้ใช้ต้นทางส่งผลให้ผู้ใช้ต้นทางทำการส่งซ้ำแพ็กเกตลำดับหมายเลข 6 ออกไปทันที เมื่อถึงสถานีฐานจะถูกจัดเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ของสนูปและส่งผ่านไปยังผู้ใช้ปลายทางต่อไปดังนั้นถ้าแพ็กเกตลำดับหมายเลขที่ทำการส่งซ้ำจากผู้ใช้ปลายทางเกิดการสูญหายอีกในส่วนของช่องสัญญาณไร้สาย โพรโทคอลสนูปจะทำหน้าที่ในการกู้คืนแพ็กเกตส่วนนี้ไว้เอง



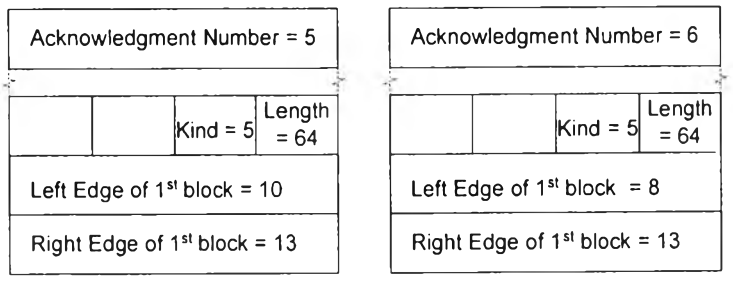
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างลักษณะการทำงานในส่วนของการจัดการแพ็กเกตตอบรับเมื่อการสูญหายที่เกิดขึ้นเป็นการสูญหายเนื่องจากช่องสัญญาณไร้สายร่วมกับการสูญหายเนื่องจากความแออัดของโครงข่าย



รูปที่ 3.7 ออปชัน SACK ของแพ็กเกตตอบรับสำเนาฉบับที่ 1 (ก) เป็นกรณีก่อนผ่านและถูกแก้ไขโดยโพรโทคอลสนูป (ข) เป็นกรณีหลังจากผ่านและแก้ไขโดยโพรโทคอลสนูป



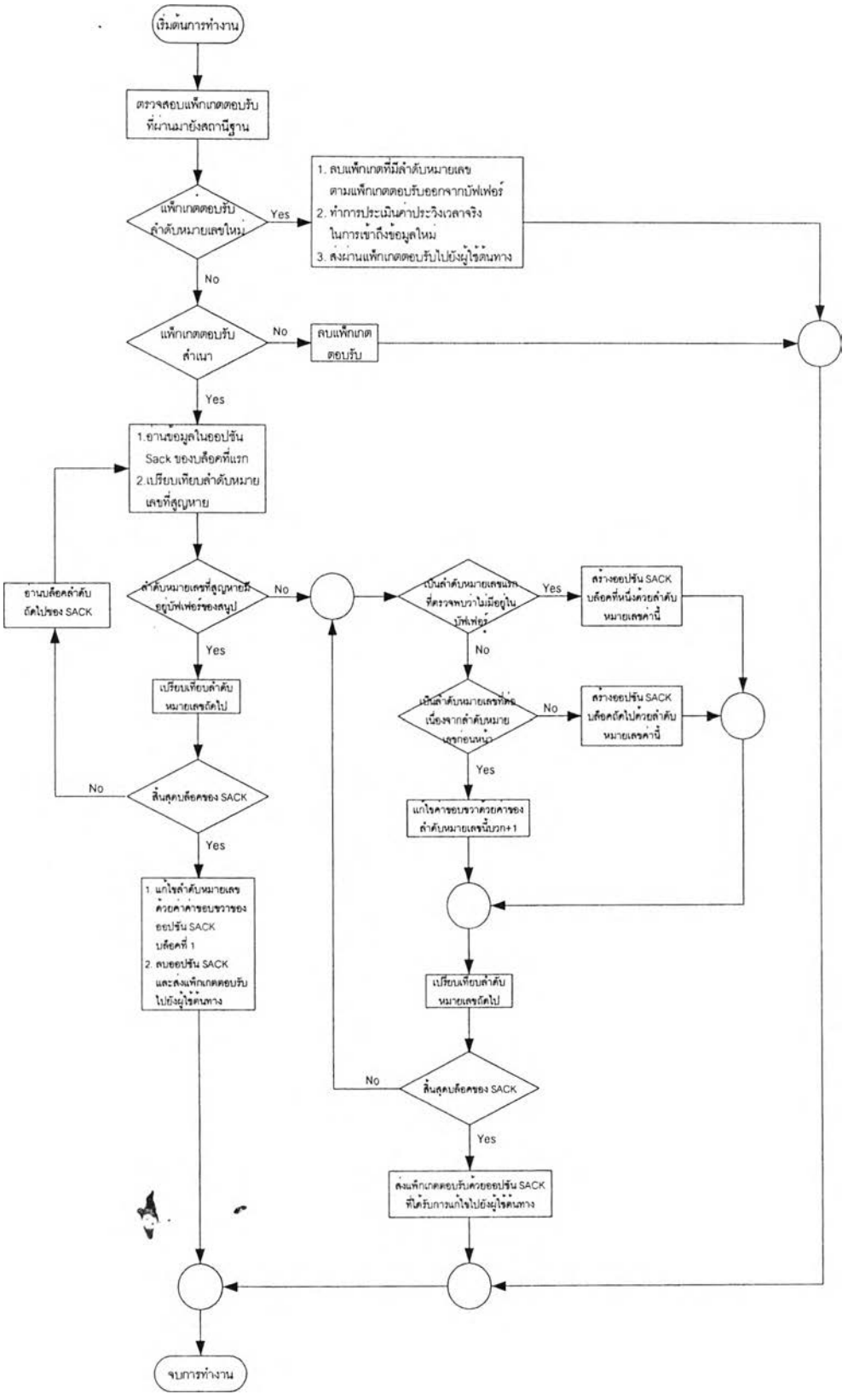
รูปที่ 3.8 ออปชัน SACK ของแพ็กเกตตอบรับสำเนาฉบับที่ 2 (ก) เป็นกรณีก่อนผ่านและถูกแก้ไขโดยโพรโทคอลสนูป (ข) เป็นกรณีหลังจากผ่านและแก้ไขโดยโพรโทคอลสนูป



รูปที่ 3.9 ออปชัน SACK ของแพ็กเกตตอบรับสำเนาฉบับที่ 3 (ก) เป็นกรณีก่อนผ่านและถูกแก้ไขโดยโพรโทคอลสนูป (ข) เป็นกรณีหลังจากผ่านและแก้ไขโดยโพรโทคอลสนูป

จากหลักการทำงานในส่วนของการจัดการแพ็กเกตตอบรับตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้นทั้งสองกรณี จะให้ได้ว่าสามารถทำให้ผู้ใช้ต้นทางทำการส่งแพ็กเกตได้อย่างมีความต่อเนื่อง โดยไม่มีการลบทิ้งแพ็กเกตตอบรับสำเนาที่สถานีฐาน และไม่ไปกระตุ้นการทำงานของการควบคุมความแออัดหรือลดขนาดหน้าต่างความแออัดลง ซึ่งอีกนัยหนึ่งคือการไปลดอัตราการส่งข้อมูล อย่างไม่จำเป็น

ทั้งที่การสูญหายเกิดเนื่องจากช่องสัญญาณไร้สาย และโดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่สองจะเห็นได้ว่าสามารถให้ผู้ใช้ต้นทางทำการส่งซ้ำแพ็กเกตที่สูญหายเนื่องความแออัดได้เร็วขึ้นโดยไม่ต้องรอให้โพรโทคอลสนูปทำการส่งซ้ำแพ็กเกตที่สูญหายในช่องสัญญาณไร้สายที่มีลำดับหมายเลขก่อนหน้าแพ็กเกตที่สูญหายเนื่องจากความอัดให้เรียบร้อยเสียก่อนถึงจะทำการส่งแพ็กเกตตอบรับสำเนาไปยังผู้ใช้ต้นทางเพื่อที่จะทำการกู้คืนแพ็กเกตที่สูญหายเนื่องจากความแออัดได้ ซึ่งขั้นตอนการทำงานในส่วนของการจัดการแพ็กเกตตอบรับทั้งสองกรณีดังที่กล่าวไว้ข้างต้นแสดงดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการทำงานในส่วนของการจัดการแพ็กเกตตอบรับที่เสนอ