บทที่ 2
วิธีการควบคุมทราฟฟิกภายในโครงข่ายเอทีเอ็มแบบต่างๆในงานวิจัยอื่นๆ การจำลองการทำงาน และผลการจำลองการทำงาน

ความนำ

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการควบคุมทราฟฟิกภายในโครงข่ายเอทีเอ็มแบบต่างๆในทางทฤษฎีที่จะนำมาใช้ประกอบการวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ เพื่อเป็นพื้นฐานในการทำความเข้าใจงานวิจัย โดยได้นำเสนอรายละเอียดของวิธีการควบคุมทราฟฟิกในงานวิจัยพัฒนาวิธีการควบคุมทราฟฟิกที่ผ่านมาตามลำดับอันได้แก่

- การควบคุมทราฟฟิกแบบมีการรับรอง
- การควบคุมทราฟฟิกแบบบีอีซีเอ็น
- การควบคุมทราฟฟิกแบบบีพีซีเอ็นที่ใช้อัลกอริทึมอาร์แอลเอส

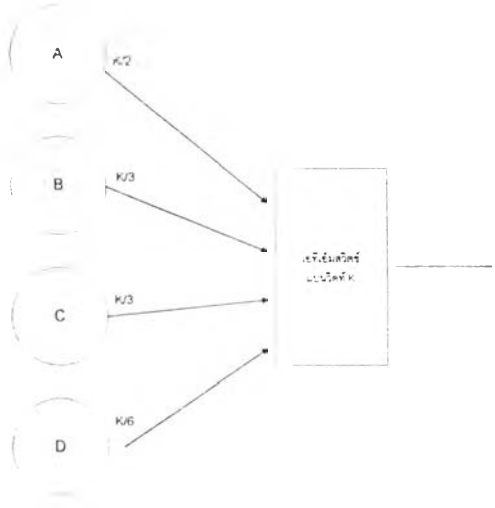
ช่วงต่อมาได้นำเสนอการสร้างแบบจำลองการทำงานของโครงข่ายเอทีเอ็มที่ใช้ศึกษาในงานวิจัยนี้ และในช่วงสุดท้ายได้นำเอาวิธีการควบคุมทราฟฟิกที่ได้นำเสนอในช่วงต้นของบทนี้ มาควบคุมทราฟฟิกในแบบจำลองการทำงานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบบีพีซีเอ็นด้วยอัลกอริทึมนิวรอลเนตเวิร์กซึ่งจะนำเสนอในบทต่อไป และเพื่อเป็นการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่เขียนขึ้น

2.1 การควบคุมทราฟฟิกแบบมีการรับรอง

ในช่วงยุคแรกๆในการพัฒนาโครงข่ายเอทีเอ็มนั้น โครงข่ายเอทีเอ็มได้ถูกกำหนดให้มีบทบาทในการเชื่อมโยงข่ายสื่อสารหลักเดิมคือโครงข่ายโทรศัพท์พื้นฐานให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ดังนั้นลักษณะทราฟฟิกในโครงข่ายเอทีเอ็มยุคแรกๆจะมีลักษณะเป็นข้อมูลประเภทเสียงเป็นส่วนใหญ่ และมีคุณลักษณะของทราฟฟิกที่ค่อนข้างชัดเจน เช่นอัตราการส่งข้อมูลเฉลี่ยและอัตราการส่งข้อมูลสูงสุด เป็นต้น ซึ่งในการศึกษาแบบจำลองของทราฟฟิกเราเรียกแหล่งกำเนิดทราฟฟิกประเภทดังกล่าวนี้ว่าแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบซีบีอาร์ (Chen, et. al.,1996)

จากการที่เราสามารถทราบคุณลักษณะดังกล่าวนี้ได้ตั้งแต่เริ่มต้นการใช้บริการ ดังนั้นวิธีการควบคุมทราฟฟิกประเภทนี้จึงสามารถกระทำได้โดยการจองแบนด์วิดท์ของช่องสัญญาณไว้ที่ค่าอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดของบริการนั้นๆตั้งแต่ในช่วงเริ่มใช้งาน แบนด์วิดท์ที่ถูกจองไว้นั้นจะถูกสำรองไว้ตลอดเวลาจนกระทั่งสิ้นสุดการใช้บริการ แต่ถ้าหากระบบโครงข่ายมีแบนด์วิดท์เหลือไม่เพียงพอแก่การให้บริการนั้นๆก็จะไม่อนุญาตให้บริการนั้นใช้งานในระบบได้ตั้งแต่ช่วงเริ่มต้นการติดต่อขอใช้บริการ วิธีการที่ใช้การควบคุมในลักษณะนี้ได้แก่ CAC (Call Admission Control) เป็นต้น

พิจารณาระบบเอทีเอ็มอย่างง่ายที่ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดทราฟฟิกของแต่ละบริการ A, B, C, D ซึ่งต้องการแบนด์วิดท์ในการบริการ K/2, K/3, K/3 และ K/6 ตามลำดับ และเอทีเอ็มสวิตช์ ซึ่งรองรับแบนด์วิดท์ได้ K ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 การควบคุมทราฟฟิกแบบมีการรับรองในระบบเอทีเอ็มอย่างง่าย

ในกรณีที่บริการ A และบริการ B เข้าใช้งานอยู่ในระบบ ด้วยวิธีการควบคุมทราฟฟิกแบบมีการรับรองจะทำให้ระบบเหลือแบนด์วิทด์ใช้งานอยู่ที่ K/6 ซึ่งถ้าหากบริการ C ต้องการเข้าใช้บริการของระบบก็ไม่สามารถทำได้ เนื่องจากระบบเหลือแบนด์วิดท์ไม่เพียงพอต่อการให้บริการ C บริการ C จะถูกยกเลิกตั้งแต่การเริ่มต้นขอใช้บริการ แต่บริการ D ยังคงสามารถเข้าใช้บริการระบบได้เนื่องจากแบนด์วิดท์ที่เหลือในระบบยังคงเพียงพอกับความต้องการของบริการ D

เมื่อพิจารณาในแง่การตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้บริการซึ่งต้องการความต่อเนื่องในการใช้บริการสูงและมีการประวิงเวลาต่ำ วิธีการควบคุมนี้จะตอบสนองความต้องการดังกล่าวได้ดีเนื่องจากแต่ละบริการที่ใช้งานอยู่ในระบบแล้วจะไม่ถูกรบกวนจากบริการอื่นๆในระบบเดียวกันเลย แต่เมื่อพิจารณาในแง่การบริหารทรัพยากรในระบบ การสำรองแบนด์วิดท์ไว้โดยที่ในบางเวลาบริการนั้นก็ไม่ได้ส่งข้อมูลที่อัตราการส่งข้อมูลสูงสุดตาม แบนด์วิดท์ที่ได้สำรองไว้ และไม่เปิดโอกาสให้บริการอื่นๆได้ใช้งานเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรในระบบเป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตามเมื่อบริการในโครงข่ายสื่อสารพัฒนาขึ้นและเริ่มมีการส่งข้อมูลประเภทภาพเคลื่อนไหว เช่นสัญญาณโทรศัพท์แบบมีภาพ หรือสัญญาณที่มีลักษณะแบบจำลองทราฟฟิกเป็นแบบวีบีอาร์ (Maglaris, et. al, 1998) การควบคุมทราฟฟิกแบบมีการรับรองก็ยังคงเป็นที่นิยมใช้งาน ถึงแม้ว่าการจัดสรรแบนด์วิดท์จะเป็นไปอย่างไม่ค่อยมีประสิทธิภาพดังเหตุผลที่ได้กล่าวมา

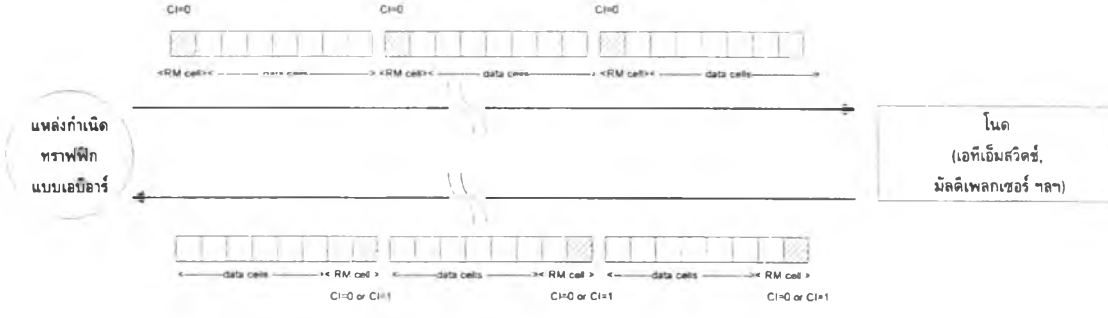
2.2 การควบคุมทราฟฟิกแบบบีอีซีเอ็น

จากที่ได้กล่าวมาในหัวข้อที่ 2.1 ว่าทราฟฟิกในยุคแรกในโครงข่ายเอทีเอ็มเกิดจากทราฟฟิกประเภทเสียงและภาพเป็นส่วนใหญ่ อย่างไรก็ตามในช่วง 20 ปีที่ผ่านมานี้ แนวโน้มการเชื่อมโยงระบบคอมพิวเตอร์ขึ้นเป็นโครงข่ายขนาดใหญ่ในระดับภูมิภาคหรือระหว่างประเทศ เช่น ระบบ WAN หรือ โครงข่ายอินเตอร์เนต เพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก จนส่งผลให้การศึกษาวิจัยทางด้านการควบคุมทราฟฟิกภายในโครงข่ายเอทีเอ็มหันมาสนใจศึกษาการควบคุมทราฟฟิกที่เกิดจากการส่งข้อมูลในลักษณะดังกล่าวผ่านโครงข่ายเอทีเอ็มมากขึ้น

จากรูปที่ 1.2 ได้แสดงให้เห็นถึงค่าแบนด์วิดท์ในระบบที่ถูกใช้งานโดยการควบคุมทราฟฟิกแบบมีการรับรอง ซึ่งถึงแม้ว่าในการควบคุมทราฟฟิกแบบมีการรับรองจะทำการสำรองแบนด์วิดท์ทั้งหมดในระบบไว้แล้วก็ตาม จะเห็นได้ว่ามีแบนด์วิดท์ของระบบอยู่ปริมาณหนึ่งซึ่งแทบจะไม่ถูกใช้งานใดๆเลย ดังนั้นในงานวิจัยที่ผ่านมา (Roberto, et. al, 1996) จึงได้เกิดแนวคิดที่จะนำแบนด์วิดท์ส่วนดังกล่าวมาใช้งาน อย่างไรก็ตามเนื่องจากแบนด์วิดท์ส่วนที่สนใจนำมาใช้งานนั้นมีปริมาณเปลี่ยนแปลงได้ตามเวลา จึงส่งผลให้ข้อมูลที่ถูกส่งผ่านระบบโดยใช้แบนด์วิดท์ดังกล่าวมีการประวิงที่ไม่แน่นอนด้วย แบนด์วิดท์ดังกล่าวนี้จึงเหมาะสมสำหรับการให้บริการบางประเภทที่ไม่ต้องการความเป็นเวลาจริงเท่านั้น เช่นไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์หรือการถ่ายโอนแฟ้มข้อมูล เป็นต้น ทราฟฟิกประเภทนี้เรียกว่าทราฟฟิกประเภทเอบีอาร์ (Available Bit Rate - ABR)

การควบคุมแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์แบบพื้นฐานแบบหนึ่ง คือการควบคุมทราฟฟิกแบบบีอีซีเอ็น (Roberto, et. al, 1996) ซึ่งประกอบด้วยส่วนสำคัญสองส่วนคือ

2.2.1 ส่วนส่งและรับข้อมูลป้อนกลับภาวะคับคั่งของทราฟฟิก



ภายในหนึ่งช่องสัญญาณเสมือน

รูปที่ 2.2 การทำงานของระบบควบคุมแบบบีอีซีเอ็น

ในระหว่างการส่งเซลล์ข้อมูล แหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์จะทำการส่งอาร์เอ็มเซลล์ (RM cell - Resource Management cell) แทรกเข้าไปในชุดเซลล์ข้อมูล ซึ่งภายในอาร์เอ็มเซลล์นี้จะประกอบด้วยฟิลด์คำสั่งที่ควบคุมหรือเป็นข้อมูลเพื่อการทำงานของระบบโครงข่ายจำนวนหลายฟิลด์ (Chen, et. al, 1996) หนึ่งในฟิลด์เหล่านั้นคือซีไอฟิลด์ (CI field - Congestion Indication) ซึ่งทำหน้าที่แจ้งข้อมูลความคับคั่งของทราฟฟิกให้ส่วนต่างๆของระบบทราบ ในระบบบีอีซีเอ็นค่าของซีไอฟิลด์ที่ออกจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์จะถูกตั้งค่าไว้ที่ "0" เมื่ออาร์เอ็มเซลล์ผ่านไปยังโนดที่ไม่มีการคับคั่งค่าของซีไอฟิลด์ในอาร์เอ็มเซลล์ก็จะยังคงเป็น "0" และอาร์เอ็มเซลล์ก็จะยังคงเดินทางไปยังปลายทางพร้อมกับกลุ่มข้อมูลเดิมและส่งอาร์เอ็มเซลล์ที่มีซีไอฟิลด์เป็น "0" กลับไปยังแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบ เอบีอาร์ต่อไป แต่ถ้าหากอาร์เอ็มเซลล์ผ่านไปยังโนดที่ทราฟฟิกเกิดความคับคั่งขึ้น (ค่าตัดสินใจว่าทราฟฟิกคับคั่งหรือไม่ ขึ้นกับการกำหนดของระบบ สำหรับรายละเอียดของระบบที่ศึกษาจะกล่าวต่อไปภายหลัง)

ค่าของซีไอฟิลด์ในอาร์เอ็มเซลล์ก็จะถูกกำหนดให้เป็น "1" และทำการส่งอาร์เอ็มเซลล์นั้นกลับไปยังแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ทันที การส่งอาร์เอ็มเซลล์กลับไปยังแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์นี้สามารถทำได้โดยการนำเอาเฮดเดอร์ ของชุดข้อมูลดังกล่าว ซึ่งมีส่วนของวีพีไอ (VPI - Virtual Path Indentification) และวีซีไอ (VCI - Virtual Channel Indentification) ซึ่งระบุเส้นทางของข้อมูลไว้ มาเป็นเฮดเดอร์ของอาร์เอ็มเซลล์และส่งกลับไปยังทิศทางตรงข้ามกับทิศทางที่ข้อมูลเดินทางมา อาร์เอ็มเซลล์ก็ถูกส่งไปยังแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์เพื่อนำข้อมูลในซีไอฟิลด์ไปทำการปรับอัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ต่อไป

2.2.2 ส่วนควบคุมอัตราการส่งข้อมูล

จะทำหน้าที่ปรับอัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ ในกรณีต่างๆดังนี้

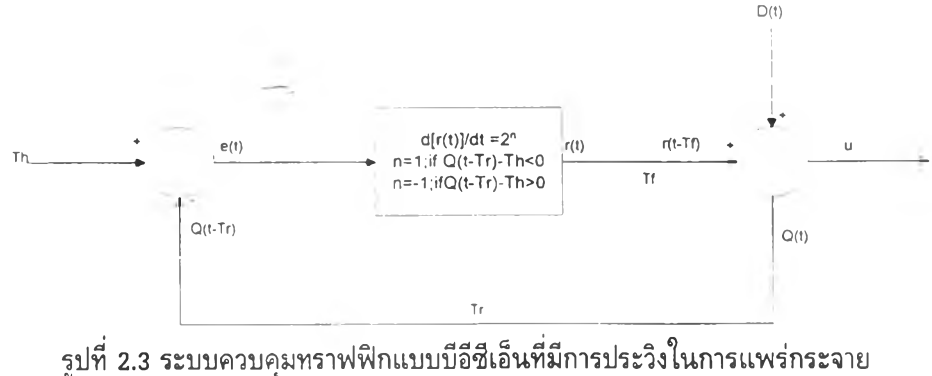
- กำหนดให้ค่าเอซีอาร์ (ACR - Allowed Cell Rate) อยู่ที่ค่าตั้งเริ่มต้น (default value) ที่ค่าอัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์นั้นๆ

- เมื่อแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ได้รับอาร์เอ็มเซลล์ที่ค่าของซีไอฟิลด์เป็น "1" จะปรับลดค่าอัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกข้อมูลแบบเอบีอาร์ลง 1 ระดับ ตามลำดับดังนี้ 100%ACR, 50%ACR, 25%ACR, 12%ACR, 6%ACR และ 0%ACR ถ้าหากอัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบ เอบีอาร์เป็น 0%ACR แล้วก็จะไม่มีการปรับลดอัตราการส่งข้อมูลอีก

- เมื่อแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ได้รับอาร์เอ็มเซลล์ที่ค่าของซีไอฟิลด์เป็น "0" จะปรับเพิ่มค่าอัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกข้อมูลแบบเอบีอาร์ขึ้น 1 ระดับ ตามลำดับดังนี้ 0%ACR, 6%ACR, 12%ACR, 25%ACR, 50%ACR และ 100%ACR ถ้าหากอัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์เป็น 100%ACR แล้วก็จะไม่มีการปรับเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลอีก

- เมื่อแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ไม่ได้รับอาร์เอ็มเซลล์ภายในช่วงเวลาที่กำหนดก็จะลดอัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ลง 1 ระดับในทุกๆช่วงเวลาที่กำหนดจนกระทั่งถึงค่าต่ำสุด

อย่างไรก็ตาม ในการควบคุมทราฟฟิกแบบบีอีซีเอ็นในทางปฏิบัติจะไม่สามารถทำงานควบคุมทราฟฟิกได้อย่างมีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องจากเกิดการประวิงในการแพร่กระจาย ทำให้การแจ้งภาวะคับคั่งของทราฟฟิกทั้งในช่วงการส่งข้อมูลไปยังปลายทางและการส่งข้อมูลป้อนกลับมายังส่วนควบคุมอัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ไม่เป็นไปตามภาวะจริง ผลดังกล่าวสามารถวิเคราะห์ในทางทฤษฎีได้ดังนี้



รูปที่ 2.3 ระบบควบคุมทราฟฟิกแบบบีอีซีเอ็นที่มีการประวิงในการแพร่กระจาย

ในแบบจำลองที่แสดงนี้เป็นแบบจำลองระบบควบคุมแบบบีอีซีเอ็น ซึ่งมีลักษณะเป็นระบบควบคุมวงปิดอย่างง่ายเพื่อให้สะดวกในการวิเคราะห์ผลจากการประวิงในการแพร่กระจายต่อการควบคุมแบบบีอีซีเอ็น โดยที่การปรับอัตราการส่งข้อมูลของส่วนควบคุมอัตราการส่งข้อมูลได้จากข้อมูลที่หัวข้อที่ 2.2.2 ทั้งนี้ได้ประมาณให้หน่วยเวลาที่ใช้ในการจำลองและเวลาในการปรับเปลี่ยนค่าอัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์มีค่าสั้นมากเมื่อเทียบกับค่าการประวิงเวลาในการเดินทางของข้อมูล (Tf, Tr) ในระบบ

กำหนดตัวแปรต่างๆดังนี้

Q(t) คือ ค่าความยาวคิวในเอทีเอ็มสวิตช์ที่เวลา t ใดๆ

r(t) คือ อัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ที่เวลา t

Tf, Tr คือ ค่าการประวิงเวลาในการแพร่กระจายในช่วงขาไปและช่วงขากลับ

D(t) คือ อัตราการส่งข้อมูลซึ่งเป็นผลรวมจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบซีบีอาร์และแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบวีบีอาร์ที่เวลา t

Th คือ ค่าตัดสินใจของระบบว่าทราฟฟิกคับคั่งหรือไม่

u คือ อัตราการส่งข้อมูลออกจากบัฟเฟอร์ขาออกของเอทีเอ็มสวิตช์

จากรายละเอียดที่แสดงในแบบจำลองการทำงาน จะได้ความสัมพันธ์ในเชิงเวลาดังสมการต่อไปนี้

เนื่องจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของ Q(t) เกิดจากผลรวมของอัตราการส่งข้อมูลที่เข้าสู่เอทีเอ็มสวิตช์ลบด้วยอัตราการส่งข้อมูลออกจากบัฟเฟอร์ขาออกของเอทีเอ็มสวิตช์ดังแสดงในสมการที่ (2.1)

$$\frac{d[Q(t)]}{dt} = r(t - Tf) + D(t) - u \qquad (2.1)$$

จากแบบแผนการควบคุมแบบบีอีซีเอ็น ค่า r(t) จะมีการเปลี่ยนแปลงได้ใน 2 กรณี ดังแสดงในสมการที่ (2.2)

$$\frac{d[r(t)]}{dt} = 2^n \quad ; \text{n=1 if } Q(t - Tr) - Th < 0 \qquad (2.2)$$

$$; \text{ n = - 1 if } Q(t - Tr) - Th > 0$$

จากสมการที่ (2.1) จะได้ว่า $\frac{d^2[Q(t)]}{dt^2} = \frac{d[r(t - Tf)]}{dt} + \frac{d[D(t)]}{dt} - \frac{d[u]}{dt}$ (2.3)

จากสมการที่ (2.2) จะได้ว่า $\frac{d[r(t - Tf)]}{dt} = 2$ เมื่อ $Q(t - Tr - Tf) - Th < 0$ (2.4.1)

และ $\frac{d[r(t - Tf)]}{dt} = 2^{-1}$ เมื่อ $Q(t - Tr - Tf) - Th > 0$ (2.4.2)

เนื่องจาก u มีค่าคงที่ ดังนั้น $\frac{d[u]}{dt} = 0$ (2.5)

กำหนดให้ การประวิงในการแพร่กระจายในทั้งวงรอบ T = Tr + Tf (2.6)

จากสมการที่ (2.4.1), (2.5), (2.6) จะได้ว่า

$$\frac{d^2[Q(t)]}{dt^2} = 2 + \frac{d[D(t)]}{dt} \qquad \text{เมื่อ} \quad Q(t-T) - Th < 0 \tag{2.7}$$

แก้สมการได้ผลเฉลยคือ $Q(t) = t^2 + t(D(t) + C_1) + C_2$ เมื่อ C_1 และ C_2 เป็นค่าคงที่ (2.8)

เมื่อแทนเงื่อนไขในสมการที่ (2.7) ลงในสมการที่ (2.8) จะได้ว่า

$$Q(t-T) - Th = (t-T)^2 + (t-T)(D(t) + C_1) + C_2 - Th < 0 \tag{2.9}$$

เนื่องจาก $Q(t-T) - Th$ คือ ค่าความผิดพลาดในการควบคุมที่เวลา t-T

ดังนั้นในกรณีที่ ค่าความผิดพลาดในการควบคุม (Error) มีค่าน้อยกว่าศูนย์

$$Error = (t-T)^2 + (t-T)(D(t) + C_1) + C_2 - Th \tag{2.10}$$

ในทำนองเดียวกัน จากสมการที่ (2.4.2), (2.5), (2.6) ได้ผลสุดท้ายว่า

ในกรณีที่ ค่าความผิดพลาดในการควบคุม (Error) มีค่ามากกว่าศูนย์

$$Error = \frac{(t-T)^2}{4} + (t-T)(D(t) + C_1) + C_2 - Th \tag{2.11}$$

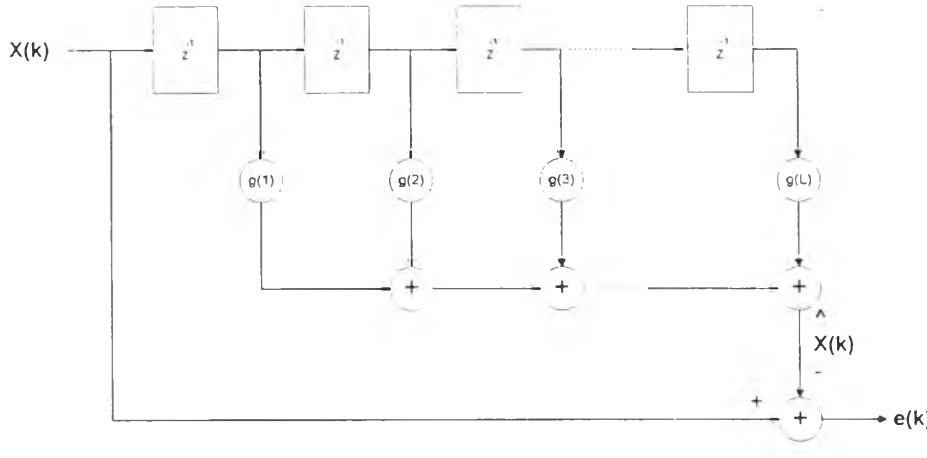
จะเห็นได้ว่าผลจากทั้งสองกรณีค่าความผิดพลาดในการควบคุมของระบบวงปิดมีความสัมพันธ์กับค่ากำลังสองของการประวิงในการแพร่กระจายทั้งวงรอบ ซึ่งความผิดพลาดในการควบคุมนี้อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการสูญเสียเซลล์ข้อมูลเนื่องจากภาวะบัฟเฟอร์ล้นในเอทีเอ็มสวิตช์หรือที่อื่นๆในโครงข่ายเอทีเอ็มได้ ที่กล่าวมานี้คือเหตุผลหนึ่งซึ่งเป็นแรงจูงใจให้เกิดการศึกษาวิจัยถึงวิธีการควบคุมทราฟฟิกที่มีความทนทานต่อการประวิงในการแพร่กระจายและลดผลกระทบดังกล่าวนี้ในงานวิจัยต่อๆมา

2.3 การควบคุมทราฟฟิกแบบบีพีซีเอ็นโดยใช้อัลกอริทึมแบบอาร์แอลเอส (Recursive Least Square)

จากหัวข้อที่ 2.2 ได้แสดงให้เห็นว่าการประวิงในการแพร่กระจายมีผลต่อประสิทธิภาพในการควบคุมด้วยระบบบีอีซีเอ็น เพราะการประวิงในการแพร่กระจายทำให้การป้อนกลับอัตราการส่งข้อมูลเกิดผลที่ควรจะเป็นในการควบคุมช้าออกไปกว่าเวลาปัจจุบัน ดังนั้นถ้าหากสามารถทำนายค่าของตัวแปรที่ถูกสังเกตเพื่อป้อนกลับ และทำการป้อนค่าดังกล่าวไปยังส่วนควบคุมอัตราการส่งข้อมูลแทนค่าตัวแปรที่ถูกสังเกตได้จริง ก็จะทำให้เสมือนว่าตัวแปรที่ถูกควบคุมนั้นถูกควบคุมด้วยค่าตัวแปรที่ถูกสังเกตที่ภาวะจริงของระบบในขณะนั้นโดยไม่มีผลจากการประวิงในการแพร่กระจาย แนวคิดดังกล่าวนี้ได้ปรากฏในงานวิจัย (Hu, et. al, 1995) ซึ่งได้นำเสนอการป้อนกลับข้อมูลที่ได้จากตัวทำนายค่าแบบอาร์แอลเอสไปยังส่วนควบคุมอัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ โดยที่แบบแผนการควบคุมในส่วนอื่นๆยังคงเป็นแบบบีอีซีเอ็น และให้ชื่อวิธีการนี้ว่าวิธีการควบคุมแบบบีพีซีเอ็น

อัลกอริทึมอาร์แอลเอสในงานวิจัยของ Hu นั้นเป็นอัลกอริทึมอาร์แอลเอส ซึ่งได้ถูกนำมาใช้ทำนายค่าความยาวคิวในเอทีเอ็มสวิตช์ และค่าดังกล่าวจะถูกป้อนกลับมายังส่วนควบคุมอัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ โดยอัลกอริทึมอาร์แอลเอสที่ใช้นั้นเป็นอัลกอริทึมอาร์แอลเอสที่อาศัยพื้นฐานของการแจกแจงรอบค่าเฉลี่ย ดังแสดงในเอกสารอ้างอิง (Pandit, et al, 1983) อย่างไรก็ตามในงานวิจัยของ Hu ไม่ได้นำเสนอรายละเอียดค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึมอาร์แอลเอส ดังนั้นในการทำงานวิจัยชิ้นนี้จึงต้องทำการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์ต่างๆของอัลกอริทึมอาร์แอลเอสก่อน เพื่อนำไปใช้ในงานวิจัยส่วนอื่นๆต่อไปดังนี้

การทำนายค่าโดยใช้อัลกอริทึมอาร์แอลเอสสามารถอธิบายความสัมพันธ์ในการทำนายค่า ได้ด้วยความสัมพันธ์ระหว่างค่าประมาณของ X(k) (แทนด้วยสัญลักษณ์ $\hat{X}(k)$) ณ เวลา k และค่า X(p) ณ เวลาในอดีตที่ p<k ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แบบจำลองการทำนายค่าโดยอัลกอริทึมอาร์แอลเอส

โดยที่ Z^{-1} คือ การประวิงหนึ่งหน่วยเวลา

g(l) คือ ค่าสัมประสิทธิ์ตัวที่ l ของตัวทำนายค่า

นั่นคือ ค่าประมาณของ X(k) สามารถแสดงในรูปผลรวมแบบเชิงเส้นของค่า X ในอดีตจำนวน l ค่าดังสมการที่ (2.12)

$$\hat{X}(k) = \sum_{l=1}^{L} g(l) * X(k-l) \qquad (2.12)$$

และค่าความผิดพลาดในการประมาณค่า e(k) เป็นดังสมการที่ (2.13)

$$e(k) = X(k) - \hat{X}(k) \qquad (2.13)$$

ค่า $g(l)$ ซึ่งทำให้ค่า $e(k)$ มีค่าต่ำที่สุด สามารถคำนวณได้จากอัลกอริทึมอาร์แอลเอสแบบที่ศึกษาโดย Yule-Walker (Makhoul, 1975) และเมื่อใช้วิธีการเลือกใช้ค่า L ที่เหมาะที่สุด ตามวิธีการของ Akaike

(Makhoul, 1975) เข้าร่วมในการคำนวณ จะส่งผลให้ความผิดพลาดในการประมาณสุดท้าย Ql (Final prediction error) ตามสมการที่ (2.14) มีค่าต่ำที่สุด

$$Ql = E\{X(k) - \sum_{i=1}^{l} g(l) * X(l-i)\} \qquad (2.14)$$

นั่นคือ สามารถทำนายค่า X ในอนาคตหนึ่งหน่วยเวลาได้โดยใช้ข้อมูลจากค่า X ในอดีตจำนวน L ค่า

เมื่อต้องการทำนายค่า $X(t+T)$ (เมื่อ T คือผลรวมจากค่าการประวิงในการเดินทางของข้อมูลในหนึ่งวงรอบการเดินทางของข้อมูลไปกลับ) จากข้อมูลที่มีอยู่คือ ค่า X ในอดีต $X(t), X(t-1), X(t-2), ..., X(t-L)$ สามารถทำได้โดยประมาณให้

$$X(t+i) \approx \hat{X}(t+i) \quad \text{เมื่อ} \quad i \in \{1,2,3,..\} \qquad (2.15)$$

แล้วทำการคำนวณ

$$\hat{X}(t+1) = \sum_{l=1}^{L} g(l) * X(t+1-l)$$

$$\hat{X}(t+2) = \sum_{l=1}^{L} g(l) * X(t+2-l)$$

$$\hat{X}(t+3) = \sum_{l=1}^{L} g(l) * X(t+3-l)$$

.....

$$\hat{X}(t+T) = \sum_{l=1}^{L} g(l) * X(t+T-l) \qquad (2.16)$$

2.4 แบบจำลองแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบต่างๆ

2.4.1 แหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบซีบีอาร์

แหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบซีบีอาร์ในการศึกษานี้ใช้แบบจำลองแหล่งกำเนิดแบบเปิดปิด (On - Off source) โดยช่วงเวลาในการส่งข้อมูลและไม่ส่งข้อมูล มีการแจกแจงด้วยกระบวนการแบบปัวส์ซง (Schwartz, 1996)

ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์ K เหตุการณ์ ในเวลา T ที่มีการแจกแจงด้วยกระบวนการแบบปัวส์ซง สามารถแสดงได้ว่า

$$P(K,T) = \frac{(\lambda T)^K e^{-\lambda T}}{K!} \qquad (2.17)$$

โดยที่ $\frac{1}{\lambda}$ คือ ค่าเฉลี่ยของ T

เมื่อต้องการที่จะสร้างเวลา T ที่มีการแจกแจงด้วยกระบวนการแบบปัวส์ซงหรืออีกนัยหนึ่งต้องการทราบว่าเวลาที่จะเกิดเหตุการณ์หนึ่งเหตุการณ์ที่สนใจจะห่างกันเป็นเวลาเท่าไร สามารถทำได้โดยแทนค่า K=1 สมการจะกลายเป็น

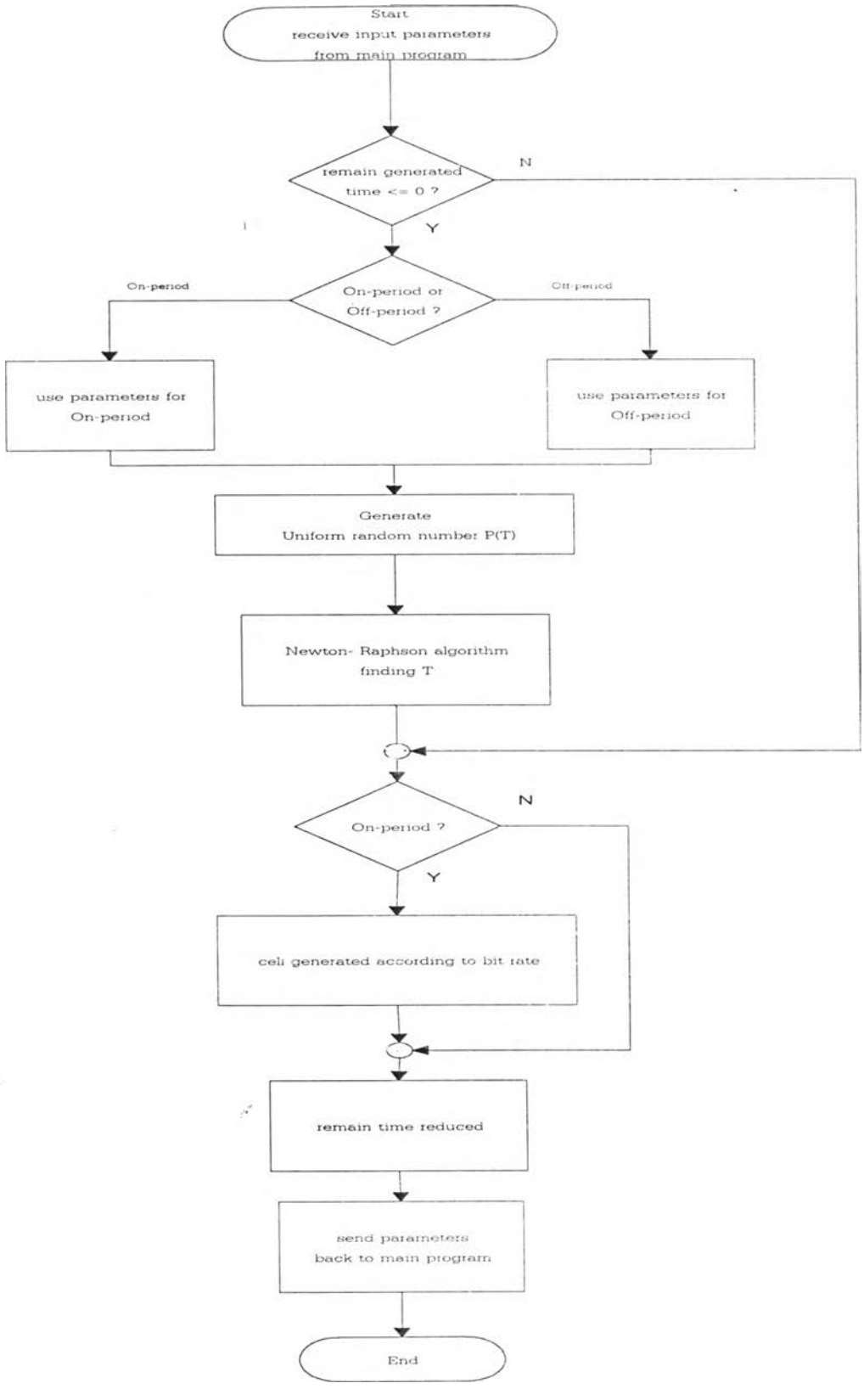
$$P(T) = (\lambda T)e^{-\lambda T} \qquad (2.18)$$

- ค่าของ P(T) สามารถหาได้จากการสร้างตัวแปรสุ่มแบบยูนิฟอร์มแทนค่าลงไปใน P(T) ตามวิธีการในเอกสารอ้างอิง (Hagan, et. al, 1996)

- ค่าของ λ สามารถทราบได้จากค่าเฉลี่ยของเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลและไม่ส่งข้อมูล จากเอกสารอ้างอิง (Shuang ,1995) ซึ่งค่าดังกล่าวเกิดจากงานวิจัยแบบจำลองของการส่งข้อมูลประเภทเสียง

จากที่กล่าวมาจึงสามารถหาค่า T ที่ต้องการได้ อย่างไรก็ตามสมการที่ (2.18) ไม่สามารถใช้วิธีการเชิงพีชคณิตแก้สมการได้โดยตรงจึงต้องใช้วิธีการเชิงเลขมาคำนวณ ในการศึกษานี้ใช้วิธีการนิวตัน-เรปสัน (Burden, et. al, 1993) มาช่วยคำนวณ

สำหรับการเขียนโปรแกรมจำลองแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบซีบีอาร์ แสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ผังงานแสดงการจำลองของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบซีบีอาร์

กำหนดให้ $cbr(i)$ คือ ปริมาณทราฟฟิกที่ส่งออกจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบซีบีอาร์ ณ หน่วยเวลา i

$rand_1$ คือ ตัวกำหนดเริ่มต้นการสุ่ม (Initial random seed) ของเวลาเริ่มต้นส่งข้อมูลจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบซีบีอาร์แต่ละแหล่ง ซึ่งค่าของ $rand_1$ เกิดจากตัวแปรสุ่มแบบยูนิฟอร์มระหว่าง [0,100] และมีค่าคงที่ตลอดการจำลอง

ซึ่งเมื่อพิจารณาเทอม $cbr(i)$ ในเชิงรายละเอียดของการจำลองการทำงาน จะเป็นดังสมการที่ (2.19)

$$cbr(i) = 1 \quad ; \text{ ถ้า } rem(t, \frac{(t + rand_1)}{round(\mu / Rc(i))}) = 0$$

$$cbr(i) = 0 \quad ; \text{ ถ้า } rem(t, \frac{(t + rand_1)}{round(\mu / Rc(i))}) \neq 0 \qquad (2.19)$$

และ $rem(x, y)$ คือ เศษจำนวนเต็ม ที่เกิดจากการหาร x ด้วย y

$round(x)$ คือ จำนวนเต็มบวกที่ใกล้ที่สุดของ x และ $round(\infty) = 10^5$

$Rc(i)$ คือ ค่าคงที่ ; ถ้า $t < (t + T_{on}(m))$; $m \in \{1,2,3,..\}$

และ $Rc(i) = 0$; ถ้า $t < (t + T_{off}(m))$ (2.20)

และ $T_{on}(m)$ และ $T_{off}(m)$ จะถูกสร้างขึ้นสลับกัน ด้วยการกระจายด้วยกระบวนการแบบปัวส์ซง ดังผลเฉลยของสมการที่ (2.21)

$$randn = \lambda_{on} * T_{on}(m) * e^{(-\lambda_{on} * T_{on}(m))} \quad (\text{ในกรณีของ } T_{on}(m))$$

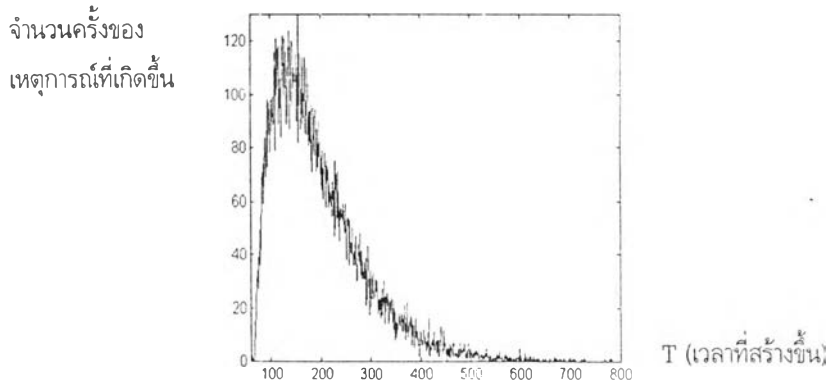
$$randn = \lambda_{off} * T_{off}(m) * e^{(-\lambda_{off} * T_{off}(m))} \quad (\text{ในกรณีของ } T_{off}(m)) \qquad (2.21)$$

โดยที่ $randn$ คือ ตัวแปรสุ่มแบบยูนิฟอร์ม ระหว่าง [0,1]

$\lambda_{on}, \lambda_{off}$ คือ พารามิเตอร์สำหรับกรณี $T_{on}(m)$ และ $T_{off}(m)$ ตามลำดับ

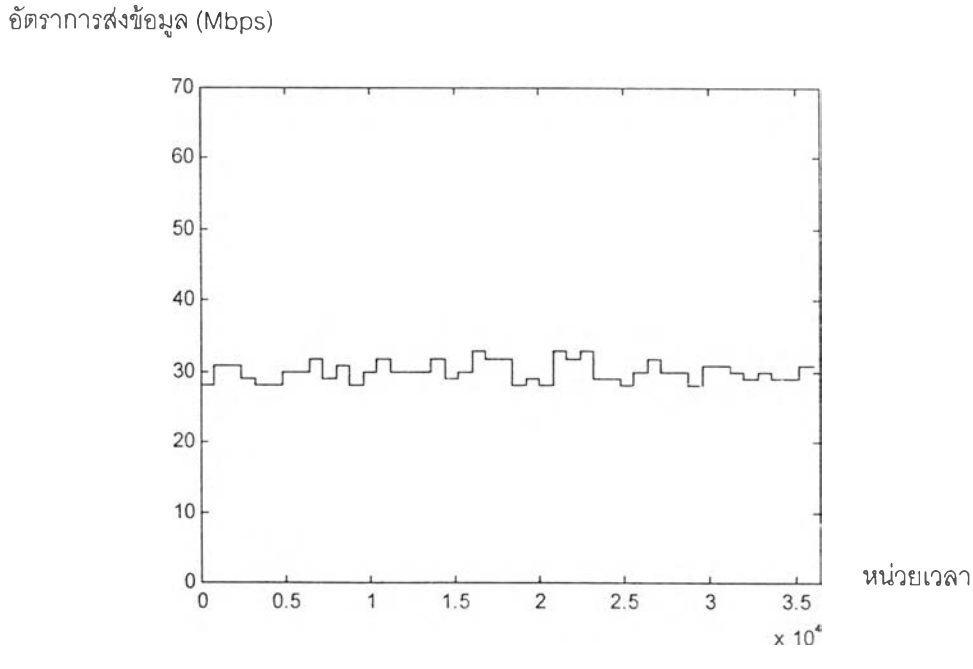
จากสมการที่ (2.19) ถึงสมการที่ (2.21) แสดงให้เห็นว่าลักษณะทราฟฟิกจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบซีบีอาร์มีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น ซึ่งจะมีผลต่อการทำนายค่าด้วยวิธีการต่างๆในการควบคุมทราฟฟิกแบบบีพีซีเอ็น ดังจะได้แสดงในหัวข้อต่อๆไป

ค่า T ซึ่งเป็นผลจากการจำลองถูกนำมาหาการแจกแจงเชิงสถิติได้ มีลักษณะใกล้เคียงการแจกแจงด้วยกระบวนการแบบปัวส์ซง ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การแจกแจงความน่าจะเป็นของเวลาที่สร้างขึ้นจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผลการจำลองรวมแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบซีบีอาร์ จำนวน 14 แหล่ง แต่ละแหล่งมีอัตราการส่งข้อมูลในช่วงเปิด (On period) เป็น 2.5 Mbps (รวมเป็น 35 Mbps) ได้ผลรวมดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 ลักษณะข้อมูลจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบซีบีอาร์รวม 14 แหล่งที่สร้างขึ้น

2.4.2 แหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบวีบีอาร์

แหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบวีบีอาร์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ ใช้แบบจำลองมาร์คอฟชนิดวนซ้ำโดยตัวเองแบบสถานะต่อเนื่อง (Continuous-State Autoregressive Markov Model) สร้างข้อมูลสัญญาณภาพ ตามเอกสาร

อ้างอิง (Maglaris, et. al, 1988) ข้อมูลดังกล่าวได้จากการศึกษาสัญญาณภาพจากระบบโทรศัพท์มีภาพ ซึ่งภาพดังกล่าวไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว สมการแสดงแบบจำลองมาร์คอฟชนิดวนซ้ำโดยตัวเองแบบสถานะต่อเนื่องสามารถแสดงได้ดังนี้

$$\lambda(n) = a\lambda(n-1) + b\varpi(n) \qquad (2.22)$$

โดยที่ $\lambda(n)$ คือค่าอัตราการส่งข้อมูลมีหน่วยเป็นบิตต่อจุดภาพ (bit/pixel)

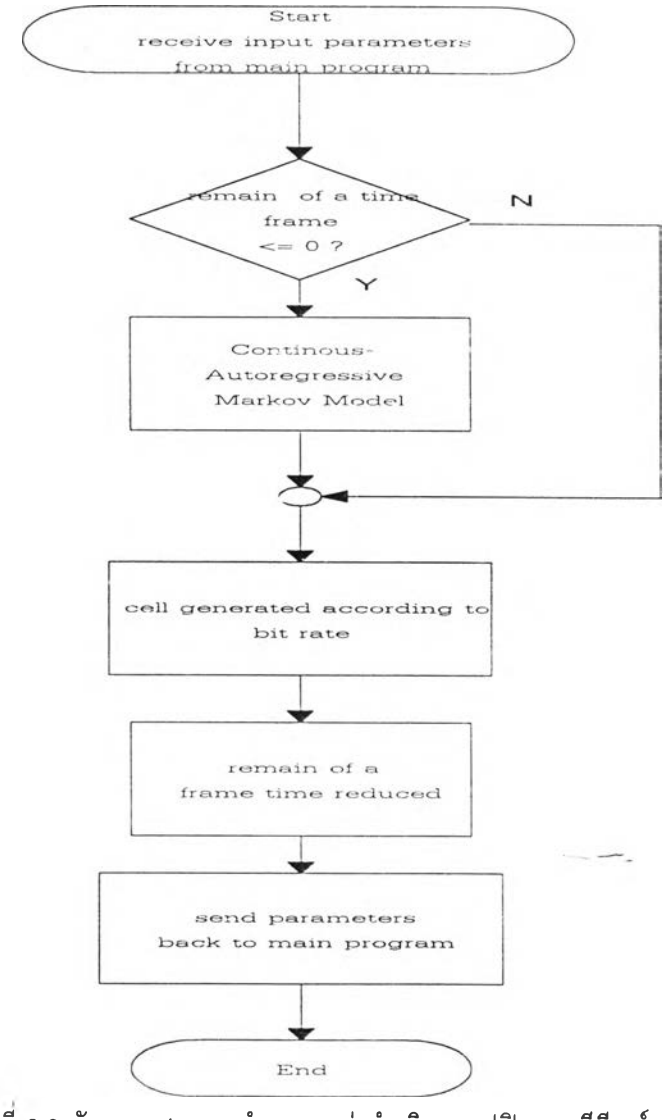
n คือตัวเลขชี้บอกหมายเลขเฟรม

a คือ ค่าสัมประสิทธิ์มีค่าประมาณ 0.8781

b คือค่าสัมประสิทธิ์มีค่าประมาณ 0.1108

$\varpi(n)$ คือตัวแปรสุ่มอิสระแบบเกาส์ ที่มีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.572 และมีความแปรปรวนเป็น 1

สำหรับการเขียนโปรแกรมจำลองแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบวีบีอาร์ สามารถแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ผังงานแสดงการจำลองแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบวีบีอาร์

กำหนดให้ $vbr(i)$ คือ ปริมาณทราฟฟิกที่ส่งออกจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบวีบีอาร์ ณ หน่วยเวลา i

$rand_2$ คือ ตัวกำหนดเริ่มต้นการสุ่ม (Initial random seed) ของเวลาเริ่มต้นส่งข้อมูลจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบวีบีอาร์แต่ละแหล่ง ซึ่งค่าของ $rand_2$ เกิดจากตัวแปรสุ่มแบบยูนิฟอร์มระหว่าง [0,100] และมีค่าคงที่ตลอดการจำลองการทำงาน

ซึ่งเมื่อพิจารณาเทอม $vbr(i)$ ในเชิงรายละเอียดของการจำลองการทำงาน จะเป็นดังสมการที่ (2.23)

$$vbr(i) = 1 \quad ; \text{ ถ้า } \quad rem(t, \frac{(t + rand_2)}{round(\mu / Rv(i))}) = 0$$

$$vbr(i) = 0 \quad ; \text{ ถ้า } \quad rem(t, \frac{(t + rand_2)}{round(\mu / Rv(i))}) \neq 0 \qquad (2.23)$$

และ $round(x)$ คือ จำนวนเต็มบวกที่ใกล้ที่สุดของ x และ $round(\infty) = 10^5$

$Rv(i)$ ถูกสร้างขึ้นด้วยแบบจำลองมาร์คอฟชนิดวนซ้ำโดยตัวเอง แบบสถานะต่อเนื่อง ดังสมการที่ (2.24)

$$Rv(i) = g * (a * \lambda(q-1) + b * \varpi(q)) \qquad (2.24)$$

$$; \text{เมื่อ } \quad (q-1) * T_{frame} < t < (q * T_{frame}) \quad ; \quad q \in \{1,2,3,..\}$$

โดยที่ g, a, b, T_{frame} คือ พารามิเตอร์ที่มีค่าคงที่

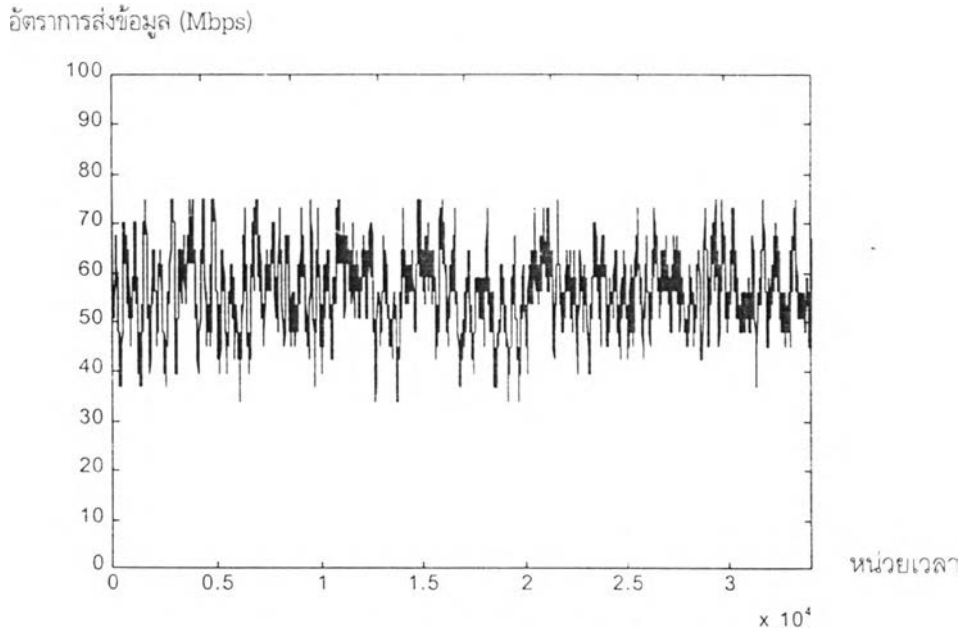
q คือ หมายเลขชี้เฟรมที่ถูกสร้างขึ้น

t คือ เวลาจริงของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น ขณะจำลองการทำงาน

$\varpi(q)$ คือ ตัวแปรสุ่มอิสระแบบเกาส์ ที่มีค่าเฉลี่ยเป็น 0.572 และความแปรปรวนเป็น 1 (Maglaris, et. al, 1988)

จากสมการที่ (2.23), (2.24) แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนและไม่เป็นเชิงเส้นซึ่งเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้การทำนายค่าด้วยอัลกอริทึมแบบอาร์แอลเอสซึ่งใช้การประมาณแบบเชิงเส้น ให้ผลในการทำนายค่าได้ไม่แม่นยำเท่าที่ควร ดังจะได้แสดงต่อไป

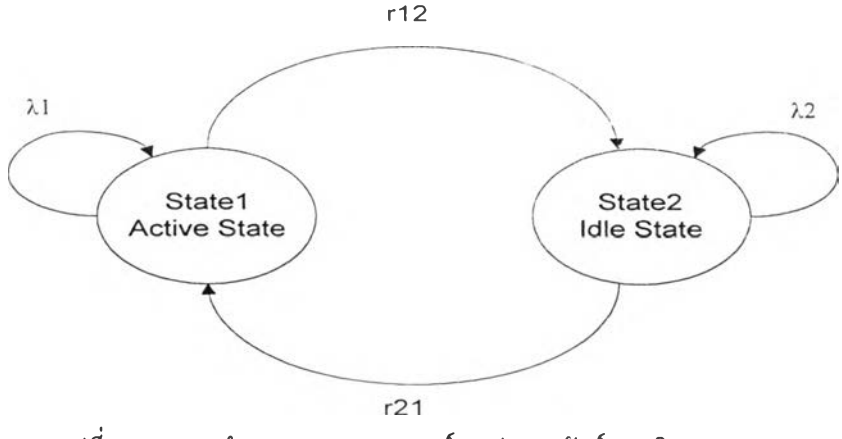
ผลการจำลองรวมแหล่งกำเนิดวีบีอาร์ จำนวน 26 แหล่ง แต่ละแหล่งมีอัตราการส่งข้อมูลเฉลี่ยเป็น 2.5 Mbps (รวมเป็น 65 Mbps) ได้ผลรวมดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะข้อมูลจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบวีบีอาร์รวม 26 แหล่งที่สร้างขึ้น

2.4.3 แหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์

แหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ในการวิจัยนี้ ใช้แบบจำลองแบบกระบวนการมาร์คอฟผสมปัวส์ซงชนิด 2 สถานะ (2-state Markov Modulated Poisson Process -MMPP) ตามเอกสารอ้างอิง (Sang, et. al, 1995) สร้างสัญญาณการส่งข้อมูลในระบบเอทีเอ็มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แบบจำลองกระบวนการมาร์คอฟ ผสมปัวส์ซงชนิด 2 สถานะ

โดยที่ λ คือ อัตราการมาถึงของแพ็กเกต (Packet arrival rate)

และ r คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงสถานะ (Transition rate)

กำหนดให้

-ในสถานะไวงาน (Active state) จะส่งข้อมูลที่อัตราที่กำหนดในการจำลองนี้กำหนดไว้ที่อัตราข้อมูลเฉลี่ย 2.5 Mbps

-ในสถานะเฉื่อยงาน (Idle state) จะส่งข้อมูลในอัตราที่ต่ำกว่าสถานะไวงานมาก ในการจำลองนี้กำหนดไว้ที่ 1 kbps

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

-ความยาวของกลุ่มข้อมูลกำหนดไว้เป็นตัวแปรสุ่มสม่ำเสมอค่าระหว่าง 50-150 เซลล์

-ค่าเฉลี่ยของเวลาการมาถึงระหว่างเซลล์เป็น 1.25 มิลลิวินาที

ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดดังกล่าวนี้ กำหนดตามเอกสารอ้างอิง (Hu, et. al, 1995) เพื่อความสะดวกในการนำผลการจำลองมาเปรียบเทียบกันต่อไป

สมการแสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของระยะเวลาการมาถึงระหว่างแพ็กเกต (Interarrival time of packets) มีการแจกแจงแบบไฮเปอร์เอกซ์โพเนนเชียลลำดับที่ 2 ตามสมการที่ (2.25) (Sang, et. al, 1995)

$$F(T) = qe^{-u_1 T} + (1-q)e^{-u_2 T} \qquad (2.25)$$

โดยที่ $$u_1 = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + r_{12} + r_{21} - \delta}{2}$$

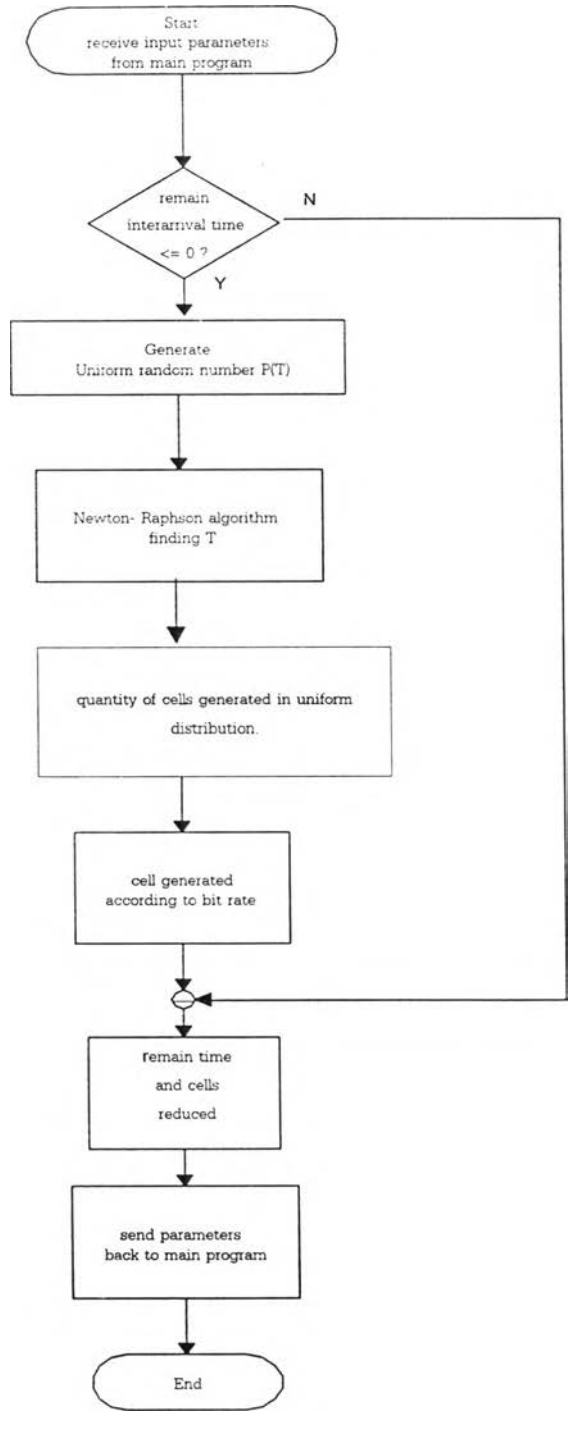
$$u_2 = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + r_{12} + r_{21} + \delta}{2}$$

$$q = \frac{\lambda_2^2 r_{12} + \lambda_1^2 r_{21}}{(\lambda_2 r_{12} + \lambda_1 r_{21})(u_1 - u_2)} - \frac{u_2}{u_1 - u_2}$$

$$\delta = \sqrt{(\lambda_1 - \lambda_2 + r_{12} - r_{21})^2 + 4 r_{12} r_{21}} \qquad (2.26)$$

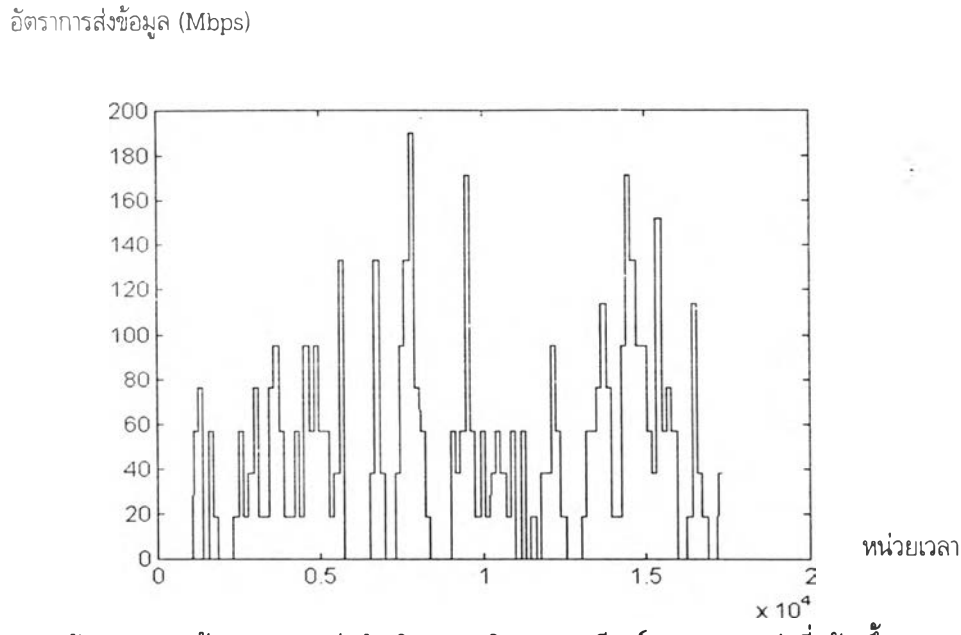
จากข้อมูลที่กำหนดขึ้นสามารถคำนวณค่าของ $\lambda_1, \lambda_2, r_{12}$ และ r_{21} ได้ และจากสมการที่ (2.26) สามารถคำนวณค่าพารามิเตอร์ u_1, u_2, q และ δ ได้ตามลำดับ เมื่อนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวแทนลงในสมการที่ (2.25) แล้ว จะสามารถแก้สมการหาค่า T ได้ด้วยวิธีการทำนองเดียวกับหัวข้อที่ 2.4.1

การเขียนโปรแกรมจำลองแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ สามารถแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ผังงานแสดงการจำลองของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์

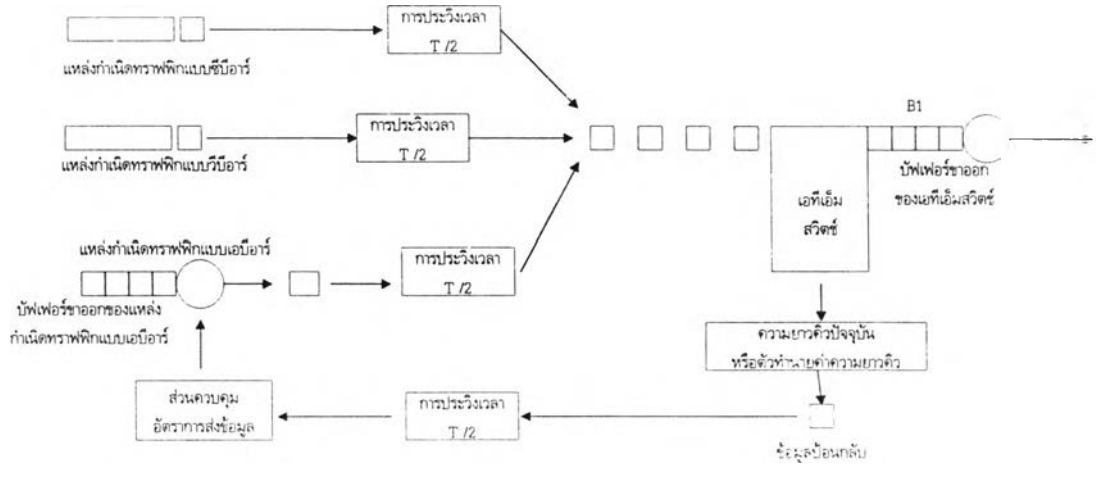
ผลการจำลองรวมแหล่งกำเนิดทราฟฟิกเอบีอาร์ จำนวน 22 แหล่ง แต่ละแหล่งมีอัตราการส่งข้อมูลเฉลี่ยเป็น 2.5 Mbps (รวมเป็น 55 Mbps) ได้ผลรวมดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ลักษณะของข้อมูลจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์รวม 22 แหล่งที่สร้างขึ้น

2.5 แบบจำลองโครงข่ายเอทีเอ็มที่ใช้ในงานวิจัย

ในระบบเอทีเอ็มที่ทำการศึกษานี้ประกอบด้วย แหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบซีบีอาร์ แหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบวีบีอาร์ แหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์และเอทีเอ็มสวิตช์ จุดที่จะเกิดการคับคั่งของข้อมูลได้คือ ที่บัฟเฟอร์ขาออกของเอทีเอ็มสวิตช์ ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แบบจำลองโครงข่ายเอทีเอ็มในงานวิจัย

โดยได้กำหนดปริมาณทราฟฟิกเฉลี่ยจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกทั้งสามประเภทให้คงที่ตลอดเวลาที่ทำการจำลองการทำงาน โดยมี อัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบซีบีอาร์ (R_CBR) อัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบวีบีอาร์ (R_VBR) และอัตราการส่งข้อมูลของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์

(R_ABR) เป็น 35 Mbps, 65 Mbps และ 55 Mbps ตามลำดับ เพื่อให้ค่าความเข้มทราฟฟิกที่เข้าสู่ระบบมีค่าสูงพอที่จะก่อให้เกิดผลที่สังเกตได้ชัดเจนเมื่อสมรรถนะในการควบคุมทราฟฟิกมีการเปลี่ยนแปลง ค่าพารามิเตอร์ที่สนใจศึกษาได้แก่ การประวิงในการส่งข้อมูลจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบซีบีอาร์ (Dt_CBR), การประวิงในการส่งข้อมูลจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบวีบีอาร์ (Dt_VBR), การประวิงในการส่งข้อมูลจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ (Dt_ABR), อัตราส่วนการสูญเสียที่เกิดจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบซีบีอาร์ (L_CBR), อัตราส่วนการสูญเสียที่เกิดจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบวีบีอาร์ (L_VBR), อัตราส่วนการสูญเสียที่เกิดจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ (L_ABR), ความยาวคิวในเอทีเอ็มสวิตช์ที่เวลาใดๆ (Qsw) และ ความยาวคิวเฉลี่ยในเอทีเอ็มสวิตช์ตลอดช่วงเวลาที่กำหนด (Qav) เมื่อค่าการประวิงในการแพร่กระจาย (Dp) มีค่าเปลี่ยนแปลงสูงขึ้น

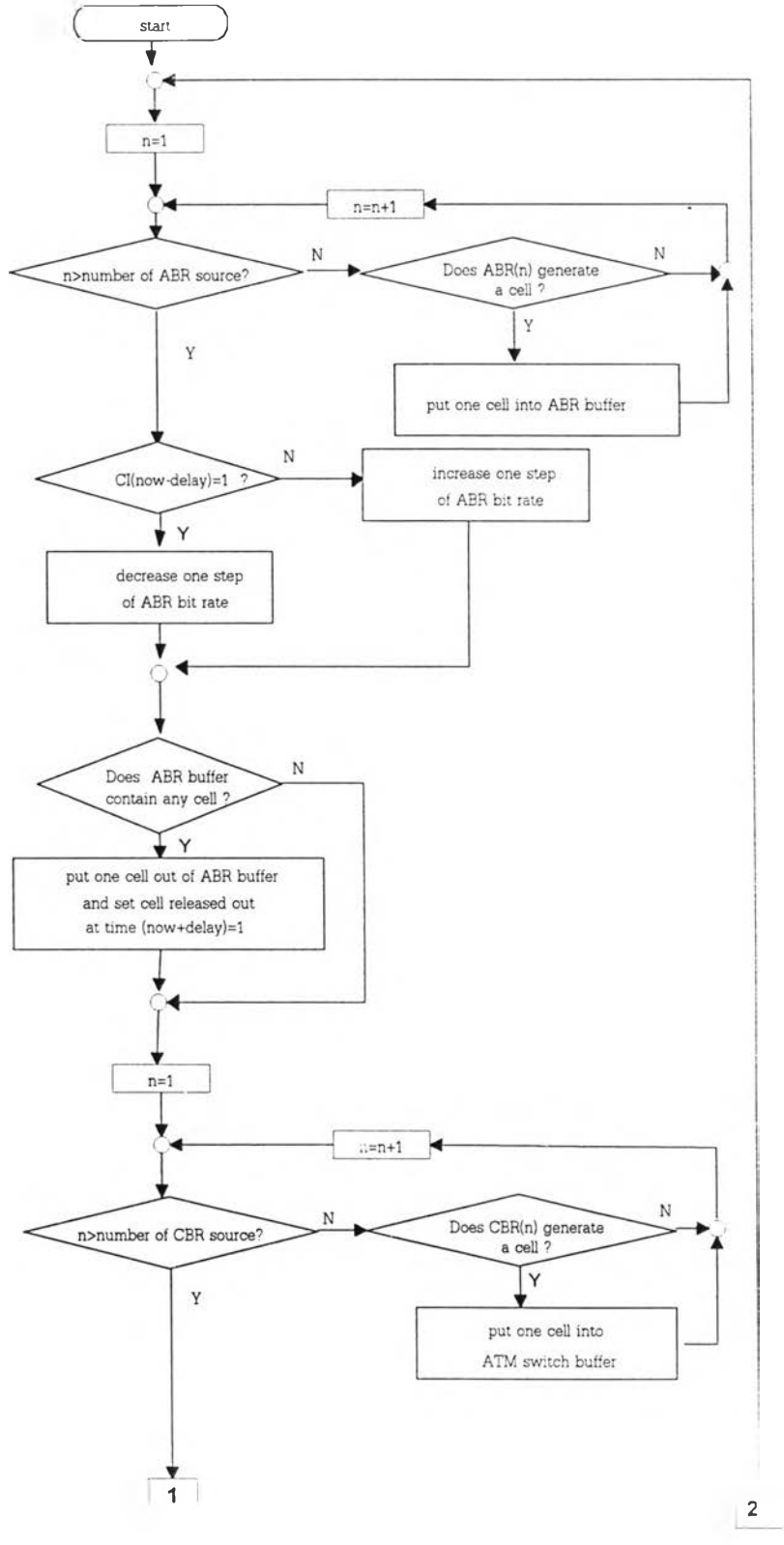
เนื่องจากระบบที่ทำการจำลองมีจุดที่เกิดการคับคั่งของข้อมูลได้ คือที่บัฟเฟอร์ขาออกของเอทีเอ็มสวิตช์ ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกค่าความยาวคิวในเอทีเอ็มสวิตช์เป็นตัวแปรที่ใช้ในการตัดสินการคับคั่งของทราฟฟิกข้อมูล ค่าตัดสินใจของการคับคั่งนี้เป็นเสมือนค่ากำหนดในการควบคุม (set point value) ของตัวควบคุม นั่นคือ ตัวควบคุมจะพยายามควบคุมค่าความยาวคิวไม่ให้มีค่าเกินกว่าค่าตัดสินใจ เมื่อใดที่ค่าความยาวคิวมีค่าเกินกว่าค่าตัดสินใจ กลไกการควบคุมแบบวงปิดจะทำการลดอัตราการส่งข้อมูลจากบัฟเฟอร์ของแหล่งกำเนิด ทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ลง

สำหรับข้อมูลป้อนกลับนั้น จะได้จากค่าความยาวคิวในเอทีเอ็มสวิตช์ที่เวลาปัจจุบันในกรณีของการควบคุมทราฟฟิกแบบบีอีซีเอ็น หรือได้จากตัวทำนายค่าด้วยอัลกอริทึมอาร์แอลเอสในกรณีการควบคุมทราฟฟิกแบบบีพีซีเอ็นด้วยอัลกอริทึมอาร์แอลเอส

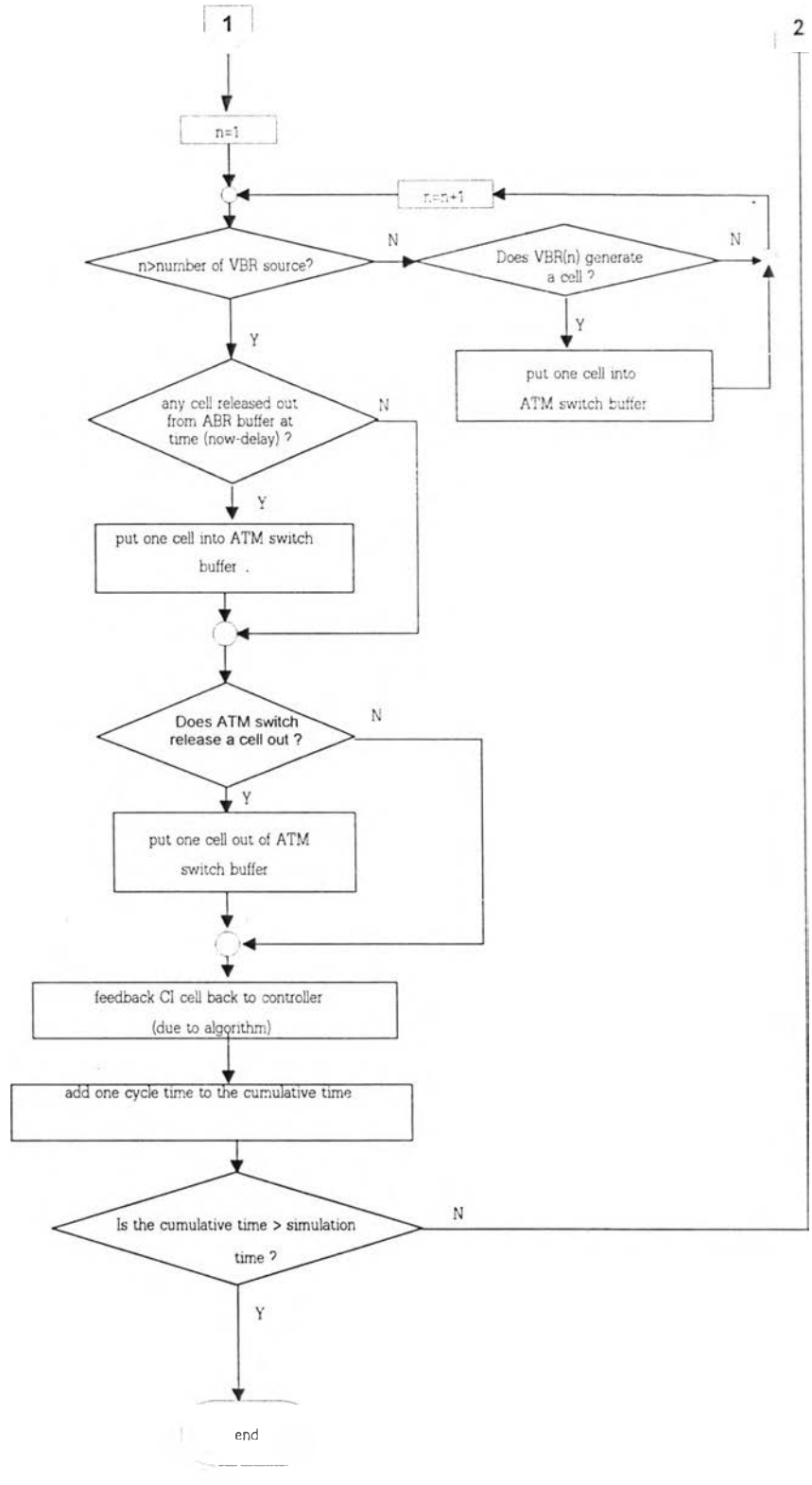
ค่าพารามิเตอร์อื่นๆที่สำคัญของระบบเป็นดังนี้

- ความเข้มทราฟฟิกมีค่าเป็น 1.0
- อาร์เอ็มเซลล์ถูกส่งกลับมาที่แหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์อย่างสม่ำเสมอโดยไม่สูญเสียระหว่างทาง
- ค่าตัดสินใจของการคับคั่งกำหนดไว้ที่ 70 เซลล์ของระดับค่าบัฟเฟอร์ในเอทีเอ็มสวิตช์ที่ 100 เซลล์
- บัฟเฟอร์ของแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์มีขนาด 3000 เซลล์
- การประวิงในการแพร่กระจายทั้งวงรอบระบบ (Dp) มีค่าตั้งแต่ 2-40 หน่วยเวลา

ขั้นตอนในการจำลองการทำงานสามารถแสดงได้โดยผังงานในรูปที่ 2.14 และ 2.15

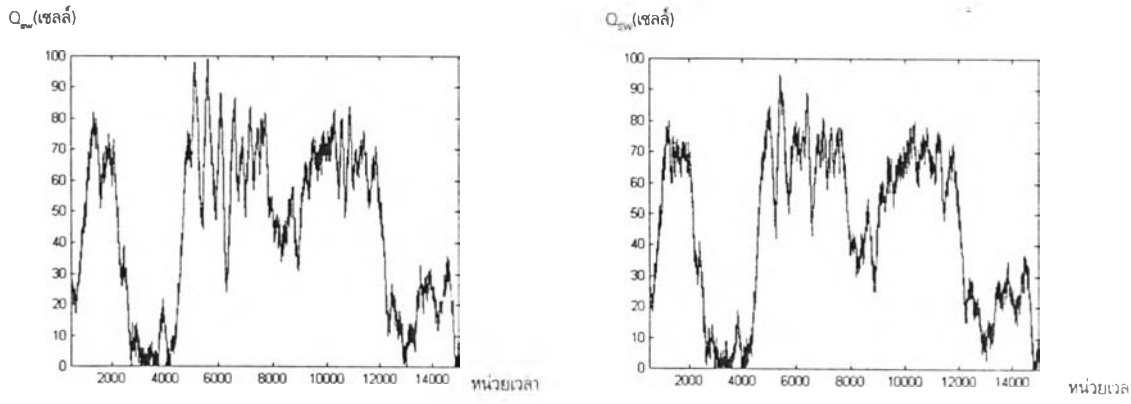


รูปที่ 2.14 ผังงานการจำลองการทำงานของโครงข่ายเอทีเอ็ม และการควบคุมทราฟฟิก



รูปที่ 2.15 ผังงานการจำลองการทำงานของโครงข่ายเอทีเอ็ม และการควบคุมทราฟฟิก (ต่อจากรูปที่ 2.14)

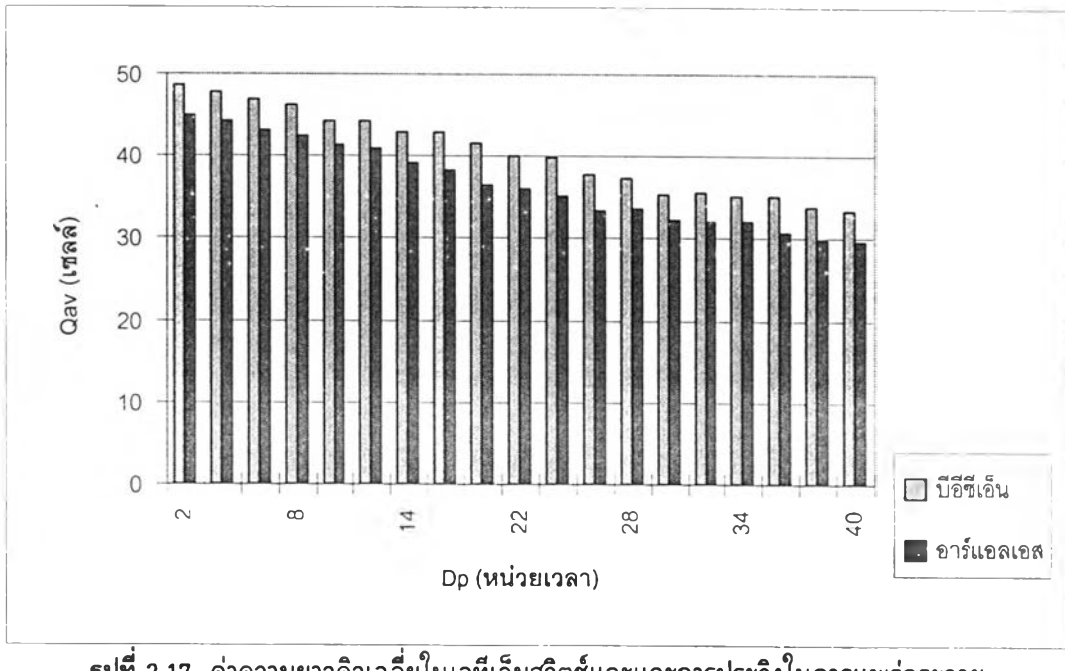
2.6 ผลการจำลองการทำงานของการควบคุมแบบบีอีซีเอ็น เปรียบเทียบกับการควบคุมแบบบีพีซีเอ็นด้วยอัลกอริทึมแบบอาร์แอลเอส



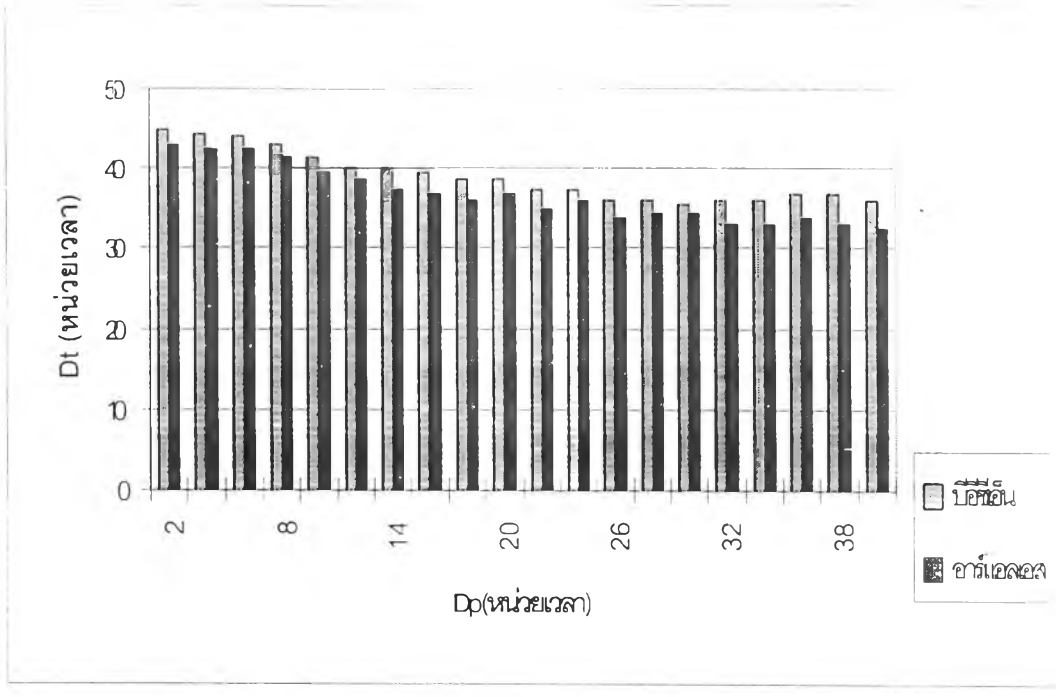
การควบคุมแบบบีอีซีเอ็น

การควบคุมแบบบีพีซีเอ็นด้วยอัลกอริทึมอาร์แอลเอส

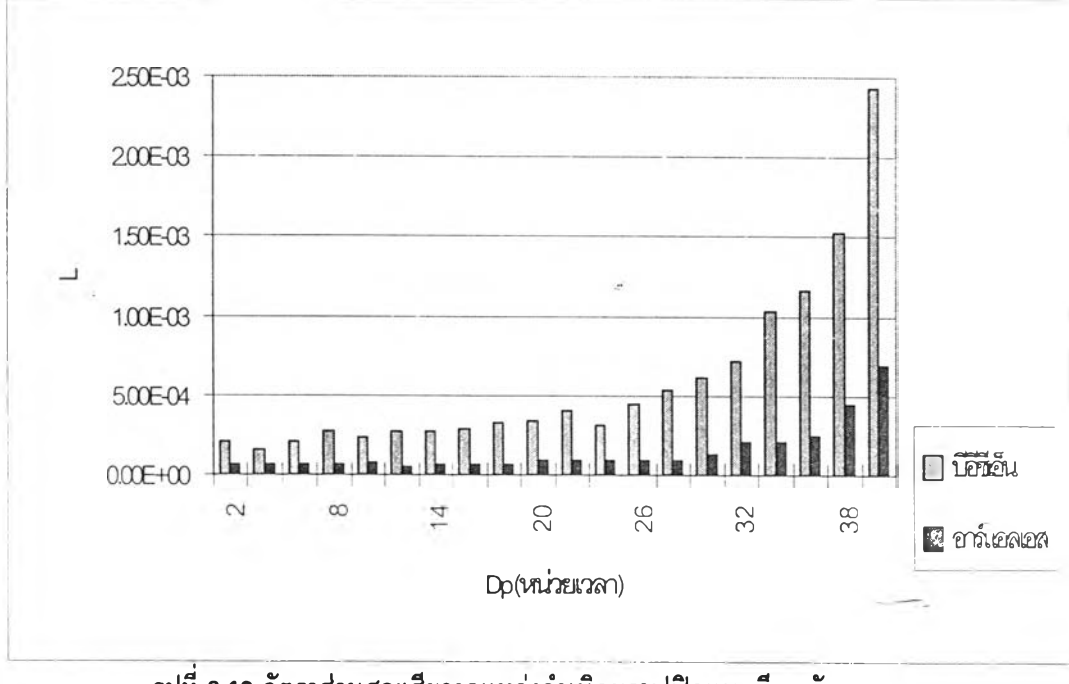
รูปที่ 2.16 ความยาวคิวในเอทีเอ็มสวิตช์ที่เวลาใดๆ (Qsw) ที่ค่าการประวิงในการแพร่กระจาย (Dp) 15 หน่วยเวลา



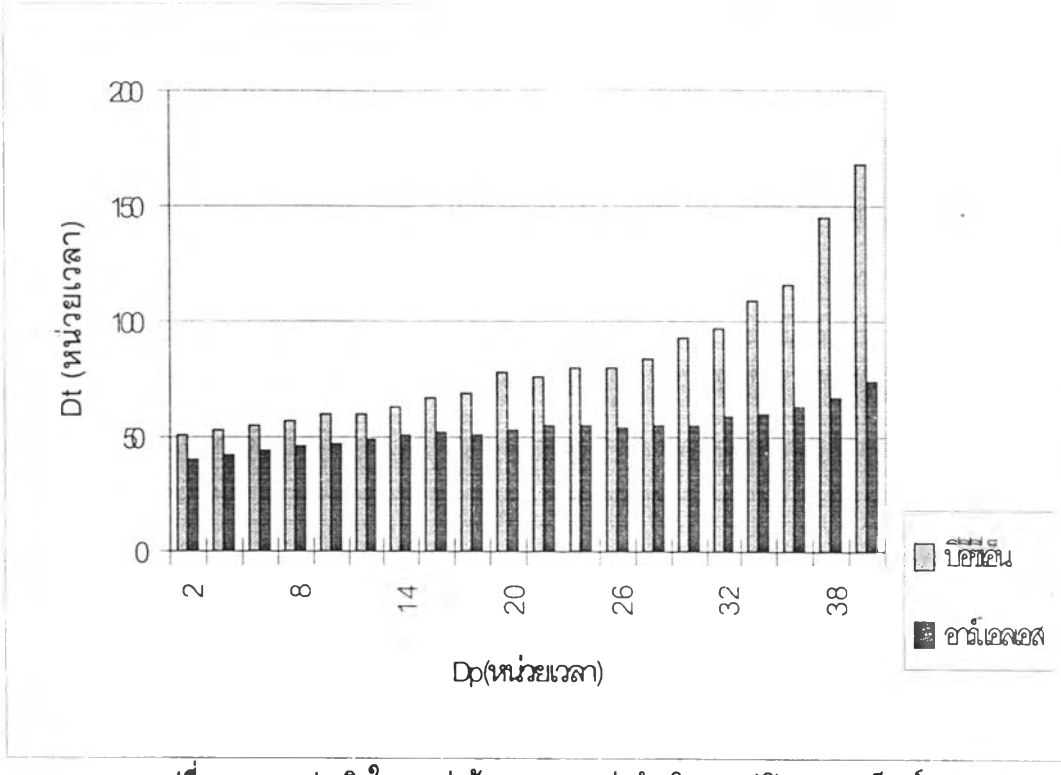
รูปที่ 2.17 ค่าความยาวคิวเฉลี่ยในเอทีเอ็มสวิตช์และและการประวิงในการแพร่กระจาย



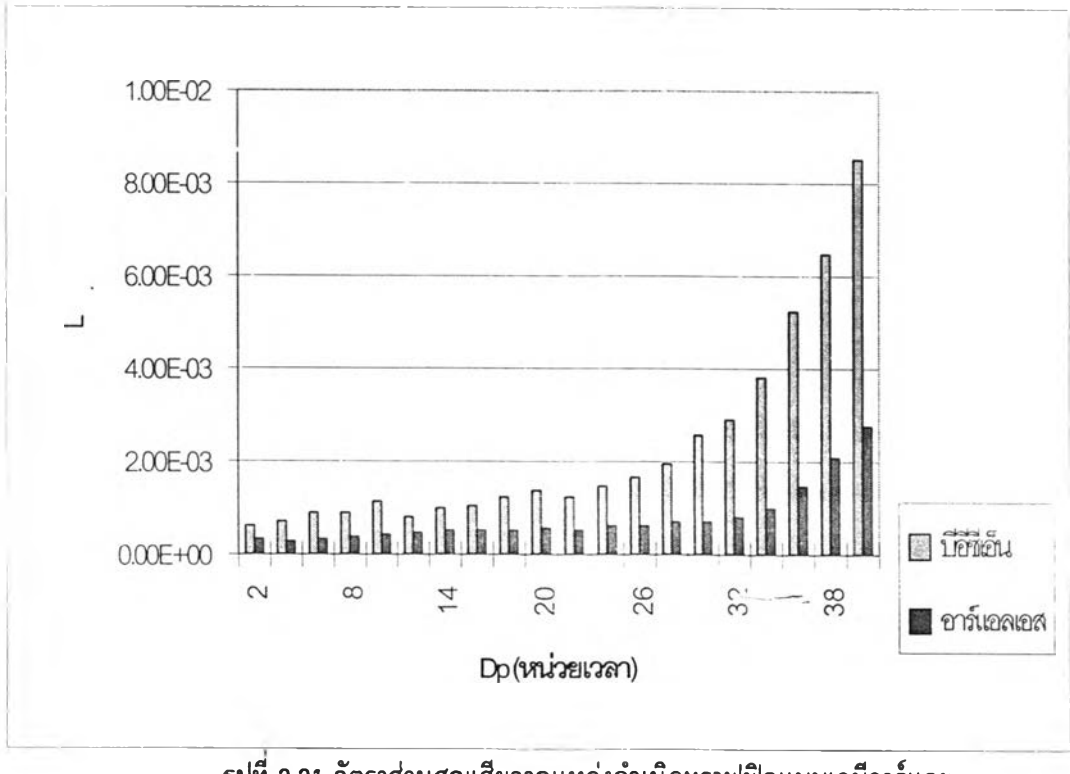
รูปที่ 2.18 การประวิงเวลาในการส่งข้อมูลจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบมีการรับรอง และการประวิงในการแพร่กระจาย



รูปที่ 2.19 อัตราส่วนสูญเสียจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบมีการรับรองและการประวิงในการแพร่กระจาย

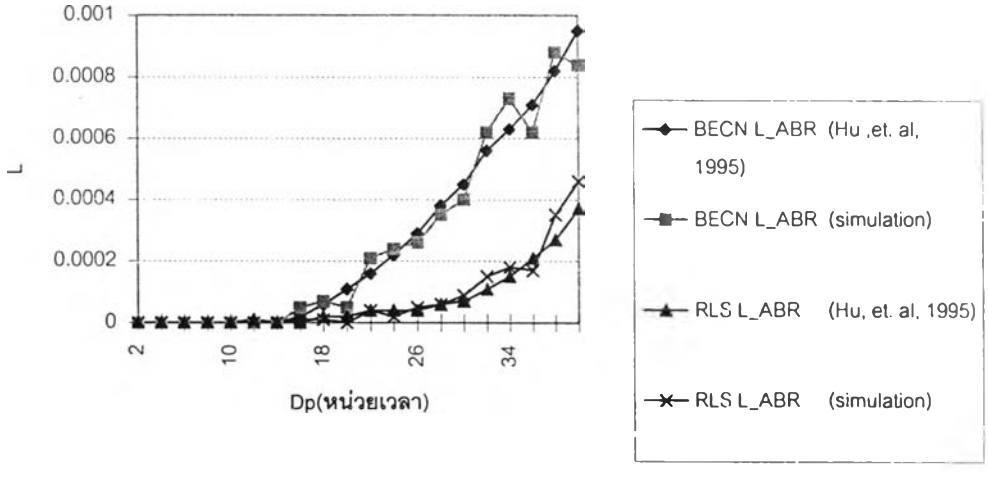


รูปที่ 2.20 การประวิงในการส่งข้อมูลจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ และการประวิงในการแพร่กระจาย



รูปที่ 2.21 อัตราส่วนสูญเสียจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์และ
การประวิงในการแพร่กระจาย

จากผลการจำลองการทำงานจากกราฟรูปที่ 2.16 ถึงรูปที่ 2.21 แสดงให้เห็นถึงผลจากการประวิงในการแพร่กระจายต่อประสิทธิภาพของการควบคุมทราฟฟิกทั้งแบบบีอีซีเอ็นและแบบบีพีซีเอ็น โดยจะส่งผลให้ประสิทธิภาพในการควบคุมทราฟฟิกลดลง ดังสังเกตได้จากค่า Dt และ L ทั้งในส่วนของทราฟฟิกแบบรับรองผลและทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ ที่มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ Dp ค่าเพิ่มขึ้น และนอกจากนี้ผลการจำลองการทำงานยังชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการควบคุมแบบบีพีซีเอ็นโดยใช้อัลกอริทึมอาร์แอลเอสซึ่งสามารถควบคุมทราฟฟิกจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการควบคุมแบบบีอีซีเอ็น ผลดังกล่าวแสดงให้เห็นได้จากรูปที่ 2.16 ซึ่ง ค่า Qsw มีการแกว่งตัวจากค่าตัดสินใจลดลงเมื่อเปรียบเทียบที่ค่า Dp เดียวกัน นอกจากนี้ค่า Dt และค่า L ของทราฟฟิกทุกประเภทในระบบยังมีค่าลดลงอีกด้วย และเมื่อนำแบบจำลองนี้มาทำการจำลองการทำงานที่ค่าความเข้มทราฟฟิกเป็น 0.9 เพื่อเปรียบเทียบผลกับงานวิจัยที่นำมาอ้างอิง (Hu, et. al, 1995) ผลการเปรียบเทียบแสดงไว้ในรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ผลเปรียบเทียบอัตราส่วนการสูญเสียจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์และการประวิงในการแพร่กระจาย ที่ได้จากผลการจำลองการทำงานและจากเอกสารอ้างอิง (ที่ค่าความเข้มทราฟฟิกเท่ากับ 0.9)

จากรูปที่ 2.22 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนการสูญเสียจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์และการประวิงในการแพร่กระจาย นำผลดังกล่าวมาคำนวณค่าความผิดพลาดและเปอร์เซนต์ความผิดพลาด ในกรณีของการควบคุมทราฟฟิกแบบบีอีซีเอ็นและการควบคุมทราฟฟิกแบบบีพีซีเอ็นด้วยอัลกอริทึมอาร์แอลเอสได้ดังตารางที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.1 ค่าความผิดพลาดระหว่างอัตราส่วนการสูญเสียจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์และการประวิงในการแพร่กระจาย ที่ได้จากผลการจำลองการทำงานและจากเอกสารอ้างอิงในกรณีการควบคุมทราฟฟิกแบบบีอีซีเอ็น

Dp (หน่วยเวลา)	อัตราส่วนการสูญเสียที่ได้จากงานวิจัยของ Hu, et. al, 1995	อัตราส่วนการสูญเสียที่ได้จากผลการจำลองการทำงาน	ความผิดพลาด	เปอร์เซนต์ความผิดพลาด
2	0	0	0	0
4	0	0	0	0
6	0	0	0	0
8	0	0	0	0
10	0	0	0	0
12	0	0	0	0
14	0	0	0	0
16	4.14E-05	4.51E-05	-3.70E-06	-8.937%
18	6.03E-05	6.58E-05	-5.50E-06	-9.121%
20	6.10E-05	5.74E-05	3.60E-06	5.902%
22	1.81E-04	1.93E-04	-1.20E-05	-6.630%
24	2.22E-04	2.41E-04	-1.90E-05	-8.559%
26	2.94E-04	2.64E-04	3.00E-05	10.204%
28	3.81E-04	3.53E-04	2.80E-05	7.349%
30	4.54E-04	4.44E-04	1.00E-05	2.203%
32	5.64E-04	6.18E-04	-5.40E-05	-9.574%
34	6.29E-04	6.69E-04	-4.00E-05	-6.359%
36	7.09E-04	6.31E-04	7.80E-05	11.001%
38	8.20E-04	8.78E-04	-5.80E-05	-7.073%
40	9.53E-04	8.54E-04	9.90E-05	10.388%
ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (MSE)			2.093e-4	
ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซนต์ความผิดพลาด			5.165%	

ตารางที่ 2.2 ค่าความผิดพลาดระหว่างอัตราส่วนการสูญเสียจากแหล่งกำเนิดทราฟฟิกแบบเอบีอาร์ และการประวิงในการแพร่กระจายที่ได้จากผลการจำลองและจากเอกสารอ้างอิงในกรณีการควบคุมทราฟฟิกแบบบีพีซีเอ็นด้วยอัลกอริทึมอาร์แอลเอส

Dp (หน่วยเวลา)	อัตราส่วนการสูญเสียที่ได้จากงานวิจัยของHu, et. al, 1995	อัตราส่วนการสูญเสียที่ได้จากผลการจำลองการทำงาน	ความผิดพลาด	เปอร์เซนต์ความผิดพลาด
2	0	0	0	0
4	0	0	0	0
6	0	0	0	0
8	0	0	0	0
10	0	0	0	0
12	0	0	0	0
14	0	0	0	0
16	0	0	0	0
18	2.04E-05	1.87E-05	1.70E-06	8.333%
20	2.08E-05	2.24E-05	-1.60E-06	-7.692%
22	4.00E-05	4.30E-05	-3.00E-06	-7.500%
24	4.17E-05	4.25E-05	-8.00E-07	-1.918%
26	4.89E-05	5.18E-05	-2.90E-06	-5.930%
28	6.00E-05	5.98E-05	2.00E-07	0.333%
30	7.07E-05	8.11E-05	-1.04E-05	-14.767%
32	1.13E-04	1.27E-04	-1.40E-05	-12.389%
34	1.56E-04	1.75E-04	-1.90E-05	-12.179%
36	2.11E-04	1.86E-04	2.50E-05	11.848%
38	2.78E-04	3.11E-04	-3.30E-05	-11.871%
40	3.70E-04	4.18E-04	-4.80E-05	-12.973%
ค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ย (MSE)			2.826e-9	
ค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซนต์ความผิดพลาด			5.387%	

เมื่อพิจารณาตารางที่ 2.1 และ 2.2 พบว่าผลที่ได้จากการจำลองการทำงานมีค่าความผิดพลาดกำลังสองเฉลี่ยค่อนข้างต่ำ และมีค่าเฉลี่ยของค่าสัมบูรณ์ของเปอร์เซนต์ความผิดพลาดไม่เกิน 6% เมื่อเทียบกับงานวิจัยที่นำมาอ้างอิง เมื่อพิจารณาถึงความจริงที่ว่าเราไม่ทราบค่าพารามิเตอร์บางอย่างที่เอกสารอ้างอิง (Hu, et. al,1995) ใช้แล้ว ผลดังกล่าวนี้แสดงถึงการทำงานที่ถูกต้องของแบบจำลองการทำงานที่สร้างขึ้นในระดับหนึ่งเพื่อนำไปใช้ในงานวิจัยส่วนอื่นๆต่อไป