หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

น็อกเอาต์เอทีเอ็มสวิตช์และการศึกษาสมรรถนะ

ความนำ

ในโครงข่ายเอทีเอ็มแพ็กเก็ตจะถูกแบ่งออกให้มีขนาดเท่ากันเรียกว่าเซลล์ การทำงานของเอทีเอ็มสวิตช์เป็นลักษณะไทม์สล็อตเซลล์สวิตช์ (time-slotted cell switch) กล่าวคือ ขนาดของหนึ่งเซลล์เท่ากับหนึ่งไทม์สล็อต เวลาทำงานของสวิตช์ในการนำเซลล์จาก N อินพุตไปยัง N เอาต์พุตจะเท่ากับหนึ่งไทม์สล็อต แสดงดังรูปที่ 2.1 ในบทนี้จะกล่าวถึงน็อกเอาต์สวิตช์และการศึกษาผลกระทบของทราฟฟิกที่มีต่อสมรรถนะของน็อกเอาต์สวิตช์

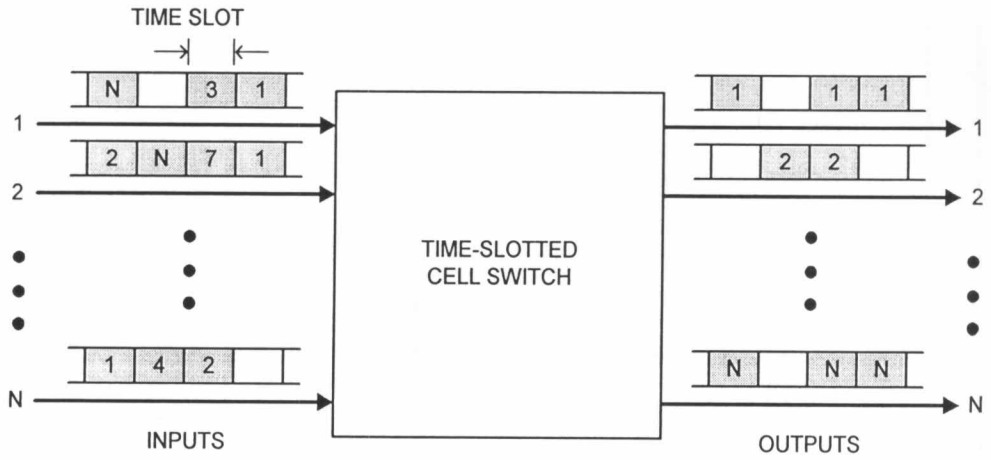
2.1 น็อกเอาต์สวิตช์

น็อกเอาต์สวิตช์เป็นสวิตช์ชนิด space division (Yeh,et al. ,1987) ที่มีเส้นทางภายในแบบ N^2 disjoint path อินพุตมีลักษณะเป็นบรอดคาสต์บัส (N inputs separate broadcast buses) และเป็นบัสทิศทางเดียว เซลล์จากอินพุตบัสผ่านออกไปยังเอาต์พุตโดยการเชื่อมต่อ N อินพุตบัสด้วย N บัสของบัสอินเตอร์เฟส (bus interface) ของแต่ละเอาต์พุต ดังรูปที่ 2.2 ภายในบัสอินเตอร์เฟส ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนคือเซลล์ฟิลเตอร์ (cell filter) คอนเซ็นเทรเตอร์ ($N:L$ concentrator) และเอาต์พุตแชร์บัฟเฟอร์ (shared buffer) ดังรูปที่ 2.3 เซลล์ฟิลเตอร์ทำหน้าที่กรองเฉพาะเซลล์ที่ต้องการไปออกยังเอาต์พุตนั้นผ่านเข้ามายังบัสอินเตอร์เฟสได้ คอนเซ็นเทรเตอร์มีหน้าที่จำกัดจำนวนเซลล์ที่มาจากเอาต์พุตของเซลล์ฟิลเตอร์ไม่ให้เกิน L เซลล์ และเอาต์พุตแชร์บัฟเฟอร์ทำหน้าที่รับเซลล์ที่ออกมาจากคอนเซ็นเทรเตอร์และทยอยส่งออกไปยังเอาต์พุต รายละเอียดของทั้ง 3 ส่วนอธิบายได้ดังนี้

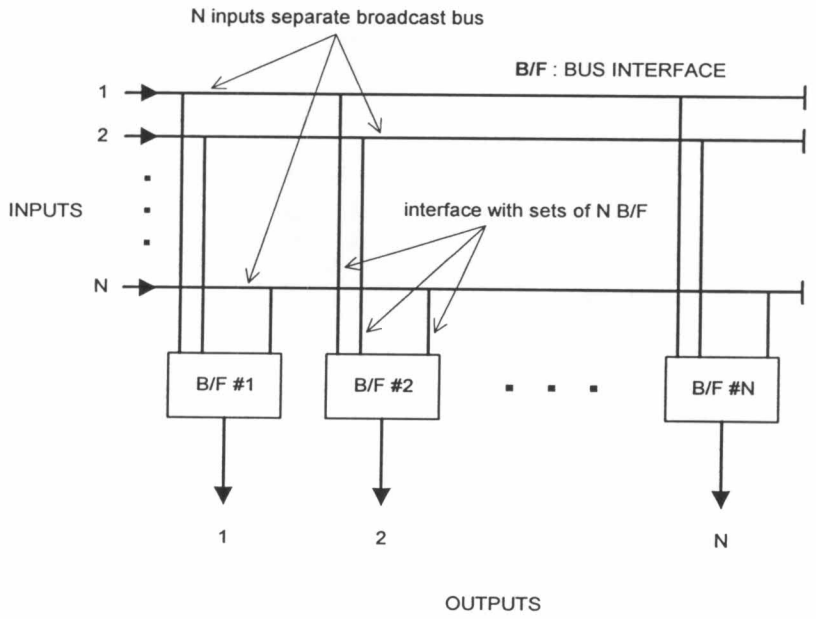
2.1.1 เซลล์ฟิลเตอร์

รูปแบบของเซลล์ที่เข้ามายังอินพุตของบัสอินเตอร์เฟส ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วนคือ ส่วนหัว (header) และส่วนข่าวสาร (information) ส่วนหัวประกอบด้วยหมายเลขเอาต์พุต (output number) และแอกติวิติบิต (activity bit) ดังรูปที่ 2.4 โดยหมายเลขเอาต์พุตจะแสดงหมายเลขเอาต์พุตของบัสอินเตอร์เฟสที่เซลล์ต้องการออกไป และแอกติวิติบิตจะแสดงสถานะของเซลล์ในไทม์สล็อตนั้นๆ ในรูปศูนย์หรือหนึ่ง ถ้าเป็นหนึ่งจะแสดงว่ามีเซลล์ในไทม์สล็อตนั้นๆ ในช่วงเริ่มต้นของทุกๆไทม์สล็อต เซลล์ที่อินพุตของ

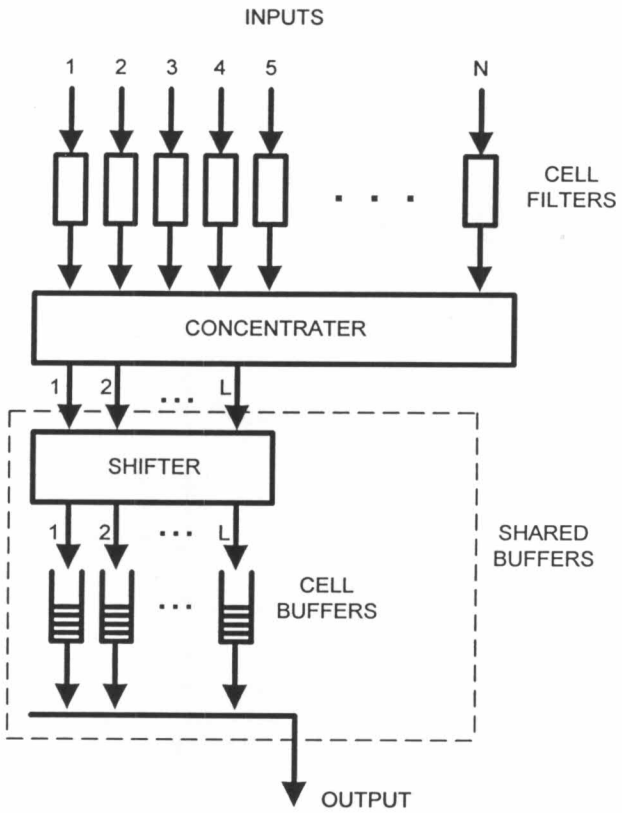
เซลล์ฟิลเตอร์ของบัสอินเตอร์เฟสใดๆจะผ่านเข้ามาในเซลล์ฟิลเตอร์ได้และเซลล์ฟิลเตอร์จะทำการเปรียบเทียบหมายเลขเอาต์พุตของเซลล์แต่ละอินพุตกับหมายเลขเอาต์พุตของบัสอินเตอร์เฟสนั้นๆ ถ้าเซลล์ที่อินพุตใดมี



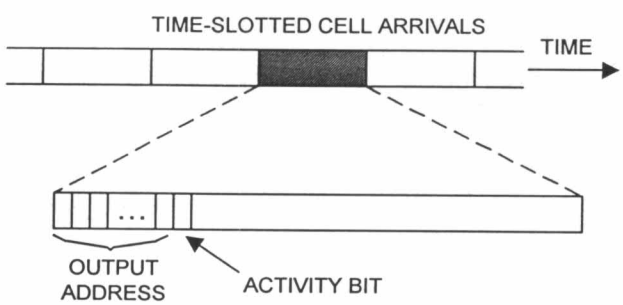
รูปที่ 2.1 ไทม์สล็อตเซลล์สวิตช์



รูปที่ 2.2 น็อกเอาต์สวิตช์



รูปที่ 2.3 ภายในบัสอินเตอร์เฟส



รูปที่ 2.4 รูปแบบเซลล์

หมายเลขเอาต์พุตเท่ากับหมายเลขเอาต์พุตของบัสอินเตอร์เฟสนั้น เซลล์ดังกล่าวสามารถผ่านเซลล์ฟิลเตอร์ออกไปสู่อินพุตของคอนเซ็นเทรเตอร์และแอกติวิติบิตจะยังคงเป็นหนึ่ง ในทางกลับกันถ้าเซลล์มีหมายเลขเอาต์พุตไม่ตรงกับหมายเลขเอาต์พุตของบัสอินเตอร์เฟสนั้น เซลล์จะถูกเซลล์ฟิลเตอร์กั้นไว้ที่อินพุตและเซ็ตแอกติวิติบิตเป็นศูนย์ ดังนั้นจึงมีเพียงแต่เซลล์ที่มีหมายเลขเอาต์พุตตรงกับหมายเลขเอาต์พุตของบัสอินเตอร์เฟสนั้นจะสามารถผ่านเซลล์ฟิลเตอร์ออกไปได้

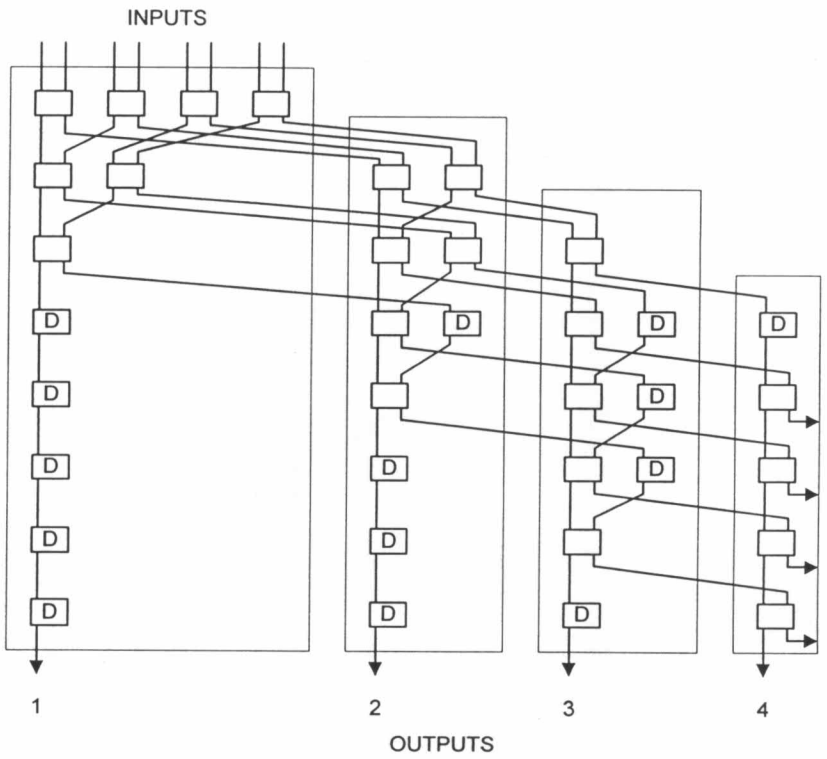
2.1.2 คอนเซ็นเทรเตอร์

เมื่อเซลล์ผ่านเซลล์ฟิลเตอร์เข้ามาที่อินพุตของคอนเซ็นเทรเตอร์ คอนเซ็นเทรเตอร์จะกำหนดให้เซลล์สามารถผ่านออกไปยังเอาต์พุตได้ไม่เกินขนาดของเอาต์พุตของ คอนเซ็นเทรเตอร์นั้นๆ รูปที่ 2.5 แสดงคอนเซ็นเทรเตอร์ขนาด 8 อินพุต 4 เอาต์พุต ในคอนเซ็นเทรเตอร์ประกอบด้วยสวิตช์ขนาด 2 อินพุต 2 เอาต์พุต (2X2) ที่ต่อกันเพื่อทำการคัดเลือกเซลล์ที่เข้ามาที่อินพุตให้ออกไปยังเอาต์พุตต่างๆของคอนเซ็นเทรเตอร์ และมีหนึ่งบิตดีเลย์อิลิเม็นต์ทำหน้าที่หน่วงเวลาเซลล์ให้เป็นไปตามลำดับ จากรูปที่ 2.5 ภายในคอนเซ็นเทรเตอร์จะแบ่งออกเป็นส่วนๆ ตามขนาดของเอาต์พุตในที่นี้มี 4 เอาต์พุต ส่วนแรกหรือเอาต์พุตที่ 1ของอินพุตทั้ง 8 จะถูกแบ่งคู่เข้าไปยังอินพุตของสวิตช์ขนาด 2X2 แถวแรก สวิตช์แต่ละสวิตช์ทำงานโดยมีหลักการว่าเซลล์ที่เข้ามาที่อินพุตทั้งสองต้องต่อสู้กันมีเพียงหนึ่งที่ชนะตามสถานะของแอกติวิติบิตและเซลล์ที่ชนะจะผ่านออกไปเอาต์พุตด้านซ้าย ส่วนที่แพ้ผ่านออกไปเอาต์พุตด้านขวา ตัวอย่างเช่น มีเซลล์เข้ามาที่สวิตช์เพียงอินพุตเดียวซึ่งดูได้จากแอกติวิติบิตเป็น 1 จะผ่านออกไปเอาต์พุตของผู้ชนะคือเอาต์พุตด้านซ้าย แต่ถ้ามีเซลล์เข้ามาทั้งสองอินพุตเซลล์ที่เข้ามาที่อินพุตด้านซ้ายจะผ่านออกไปเอาต์พุตผู้ชนะหรือเอาต์พุตด้านซ้ายและเซลล์ที่อินพุตด้านขวาจะผ่านออกไปยังเอาต์พุตผู้แพ้หรือเอาต์พุตด้านขวาดังรูปที่ 2.6 จากรูปที่ 2.5 สวิตช์ขนาด 2X2 ต่อกันในลักษณะของการแข่งขันกันระหว่างเซลล์ที่เข้ามาเพื่อหาผู้ชนะออกไปยังเอาต์พุตต่างๆ โดยใช้ระบบแพ้คัดออก (knockout) ซึ่งถูกตั้งให้เป็นชื่อของสวิตช์นั่นเอง ผู้ชนะของสวิตช์ขนาด 2X2 แต่ละสวิตช์แถวแรกจะทำการแข่งขันกันในแถวต่อๆไปเพื่อหาผู้ชนะเพียงหนึ่งเดียวออกไปเอาต์พุตที่ 1 ของคอนเซ็นเทรเตอร์ ส่วนผู้แพ้ก็จะไปแข่งขันเพื่อจะเป็นผู้ชนะเพียงหนึ่งเดียวออกไปเอาต์พุตที่ 2, 3 และ 4 ของคอนเซ็นเทรเตอร์ต่อไปตามลำดับ ดีเลย์อิลิเม็นต์ทำหน้าที่หน่วงเวลาเซลล์ให้รอจนกว่าจะมีคู่แข่งขันในแต่ละรอบและรักษาลำดับการออกไปที่เอาต์พุต ในเอาต์พุตที่สี่ของคอนเซ็นเทรเตอร์เซลล์ที่เป็นผู้แพ้ไม่สามารถผ่านออกไปเอาต์พุตคอนเซ็นเทรเตอร์ใดๆ ได้ก็จะเป็นเซลล์ที่สูญเสีย (lost cell)

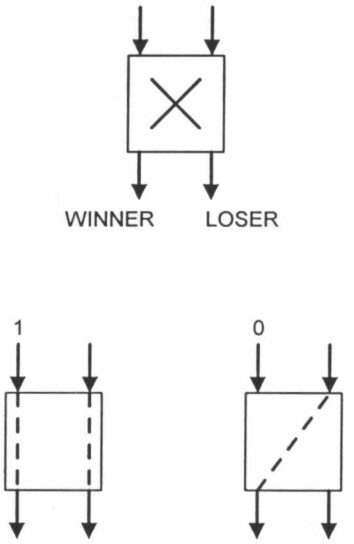
2.13 เอาต์พุตแชร์บัฟเฟอร์

เซลล์ที่ออกมาจากคอนเซ็นเทรเตอร์ จะถูกเก็บในบัฟเฟอร์และส่งออกไปยังเอาต์พุตในลักษณะของการแชร์กัน มีชิฟเตอร์ (shifter) ทำหน้าที่กำหนดการเข้ามาของเซลล์ไปยังบัฟเฟอร์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ

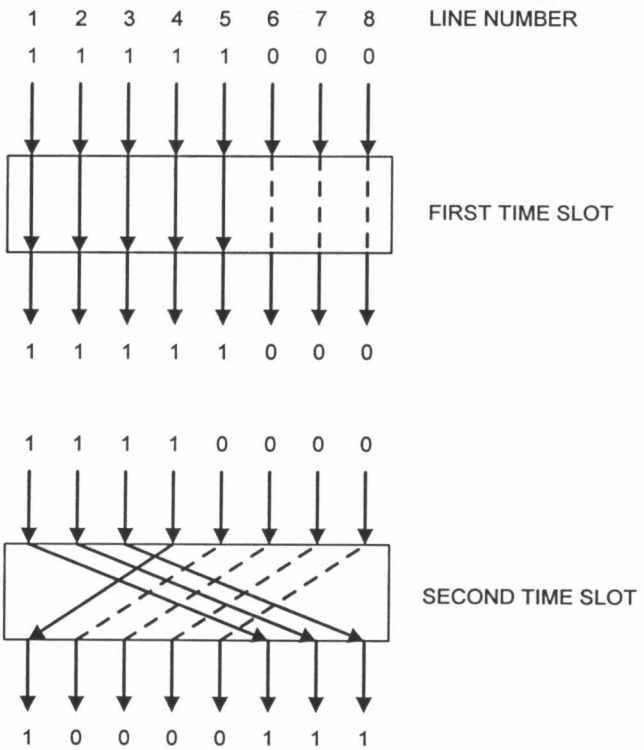
ให้แต่ละบัฟเฟอร์ถูกใช้อย่างเสมอภาคกัน และใช้โทเคน (token) กำหนดการนำเซลล์ในบัฟเฟอร์ออกไปยังเอาต์พุต รายละเอียดการทำงานของแชร์บัฟเฟอร์อธิบายได้ดังนี้คือ ย้อนกลับไปที่รูป 2.3 เซลล์ที่ออกมาจากเอาต์พุตของคอนเซ็นเทรเตอร์ใดๆจะเข้ามาที่อินพุตของชิพเตอร์ ชิพเตอร์ทำหน้าที่เลื่อน อินพุตให้เซลล์ที่เข้ามาออกไปยังเอาต์พุตอื่นในลักษณะการเลื่อนแบบหมุนเวียน (circular shift) ทำให้เซลล์ถูกส่งจากชิฟเตอร์ไปที่อินพุตของบัฟเฟอร์ในลักษณะเลื่อนวน (cyclic) การทำงานของชิฟเตอร์แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.5 ภายในคอนเซ็นเทรเตอร์ขนาด 8 อินพุต 4 เอาต์พุต



รูปที่ 2.6 สวิตช์ขนาด 2X2 ภายในคอนเซ็นเทรเตอร์และการทำงาน



รูปที่ 2.7 การทำงานภายในชิฟเตอร์

วิธีการทำงานของชิฟเตอร์และการใช้โทเคนกำหนดการเก็บและออกของเซลล์ในบัฟเฟอร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะให้มีการทำงานของบัฟเฟอร์ในลักษณะของแชร์บัฟเฟอร์ ที่มีคิวแบบเข้าก่อนออกก่อน (First In First Out : FIFO) กล่าวคือ

1. เซลล์ถูกนำไปเก็บในบัฟเฟอร์และนำออกไปยังเอาต์พุตในลักษณะการเลื่อนวน นั่นคือในช่วงเวลาใดๆจำนวนเซลล์ที่อยู่ในแต่ละบัฟเฟอร์จะแตกต่างกันไม่เกินหนึ่งเซลล์หรือกล่าวได้ว่าทั้ง L บัฟเฟอร์ได้ถูกใช้อย่างเสมอภาคกัน ส่วนในกรณีบัฟเฟอร์ล้น (buffer overflow) จะเกิดในกรณีเดียวคือทั้ง L บัฟเฟอร์นั้นเต็ม ซึ่งจากการทำงานดังกล่าวเปรียบเสมือนกับเป็นบัฟเฟอร์เดี่ยวที่มีการแชร์กันของคอนเซ็นเทรเตอร์ทั้ง L คอนเซ็นเทรเตอร์

2. การกำหนดให้บัฟเฟอร์ที่มีจำนวนเซลล์เก็บอยู่มากที่สุดมีสิทธิ์ได้รับโทเคนก่อนและการกำหนดให้เซลล์ที่รอคอยนานที่สุดได้ออกไปยังเอาต์พุตก่อนเปรียบเสมือนมี L อินพุตรอคอยการรับบริการให้ไปออกยังเอาต์พุตลักษณะของคิวแบบเข้าก่อนออกก่อนที่มีผู้บริการเดียว (single server)

จากที่กล่าวมาเซลล์ที่เข้าที่อินพุตของสวิตช์ผ่านไปออกยังเอาต์พุตจะสูญเสียที่ภายในสวิตช์ได้ 2 แห่ง คือที่คอนเซ็นเทรเตอร์เนื่องจากจำนวนเซลล์ที่เข้ามาที่อินพุตในไทม์สล็อตหนึ่งๆ มีค่ามากกว่าจำนวนเอาต์พุตของคอนเซ็นเทรเตอร์และการสูญเสียของเซลล์ที่เอาต์พุตแชร์บัฟเฟอร์เนื่องจากบัฟเฟอร์ล้น ดังนั้นสมรรถนะของน็อกเอาต์สวิตช์จึงขึ้นอยู่กับการสูญเสียที่เกิดขึ้นทั้งสองแห่งดังกล่าว

2.2 การศึกษาผลกระทบของทราฟฟิกที่มีต่อสมรรถนะของน็อกเอาต์สวิตช์

2.1.1 ลักษณะรูปแบบของทราฟฟิกที่ใช้ในการศึกษา

2.1.1.1 ลักษณะการเข้ามาของเซลล์ที่อินพุตของสวิตช์ ได้แก่การเข้ามาแบบไม่เป็นกลุ่มหรือไม่เป็นเบิรสต์ (non burst) และการเข้ามาแบบเป็นกลุ่มของเซลล์หรือเบิรสต์

2.1.1.2 การกระจายของเซลล์จากอินพุตออกไปยังเอาต์พุตของสวิตช์ ถ้าเซลล์ที่อินพุตมีโอกาสกระจายออกไปยังทุกเอาต์พุตเท่าๆกันจะเรียกว่า บาลานซ์หรือยูนิฟอร์มทราฟฟิก (uniform) แต่ถ้าไม่เท่ากันเรียกว่าอิมบาลานซ์หรือนอนยูนิฟอร์มทราฟฟิก (nonuniform) ตัวอย่างชนิดของนอนยูนิฟอร์มทราฟฟิกที่มีผลกระทบต่อสมรรถนะของสวิตช์ได้แก่ชนิดชิงเกิลฮอตสปอต ที่มีการกระจายของเซลล์จากอินพุตแบ่งเป็นสองส่วน เซลล์จำนวนหนึ่งจะวิ่งตรงไปยังเอาต์พุตหนึ่งที่เป็นฮอตสปอตเอาต์พุต และส่วนที่เหลือจะกระจายไปออกยังเอาต์พุตทุกเอาต์พุตเท่าๆกัน ดังนั้นเมื่อพิจารณาที่ทุกเอาต์พุตจะเห็นว่าที่ฮอตสปอตเอาต์พุตจะมีการคับคั่งของเซลล์มากกว่าที่เอาต์พุตอื่น ซึ่งถ้าอัตราส่วนของเซลล์ที่วิ่งไปยังฮอตสปอตเอาต์พุตนั้นมีมากทำให้การทำงานของสวิตช์ที่เอาต์พุตนั้นมีมากกว่าที่เอาต์พุตอื่น จากสภาพดังกล่าวทำให้สมรรถนะการทำงานของสวิตช์โดยรวมด้อยลง ตัวอย่างการเกิดฮอตสปอตทราฟฟิก ได้แก่การเข้าถึงของโหนดลูกหลายๆโหนดที่ใช้งานทรัพยากรร่วมกันเช่นหน่วยความจำในช่วงเวลาหนึ่งพร้อมกัน เป็นต้น

2.1.2 วิธีที่ใช้ในการศึกษาสมรรถนะของน็อกเอาต์สวิตช์

2.1.2.1 วิธีการวิเคราะห์ (analysis) คือการศึกษาโดยการกำหนดโมเดลทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการวิเคราะห์สิ่งที่ต้องการจะศึกษา วิธีนี้มีข้อดีคือผลที่ได้มีความแม่นยำสูง แต่มีข้อเสียคือยากต่อการกำหนดหรือไม่สามารถใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์อธิบายสิ่งที่ต้องการศึกษาที่มีความซับซ้อนมากๆ

2.1.2.2 วิธีการจำลอง (simulation) คือการจำลองการทำงานจริงของสิ่งที่จะศึกษา มีข้อดีคือมีความยืดหยุ่นในการประยุกต์ใช้กับสิ่งที่ต้องการศึกษามีมากกว่าวิธีแรก ส่วนข้อเสียคือเรื่องความแม่นยำของผลมีไม่สูงเท่ากับวิธีแรก

2.1.3 สมรรถนะของสวิตช์

จะอยู่ในรูปของความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์ (cell loss probability)

2.1.3.1 ความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์ที่เกิดขึ้นที่เอาต์พุตของคอนเซ็นเทรเตอร์

2.1.3.1 ความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์ที่เกิดขึ้นที่เอาต์พุตแชร์บัฟเฟอร์

2.1.3.2 ความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์ที่เกิดขึ้นเฉลี่ยรวมทั้งสวิตช์

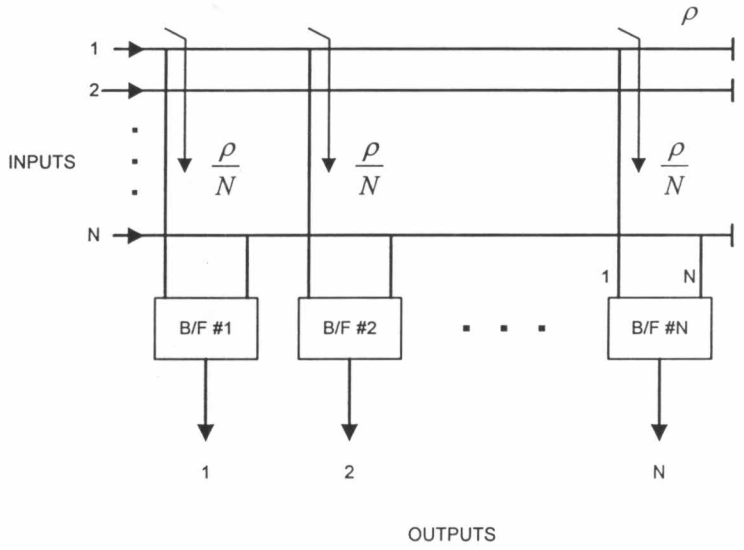
ในวิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาผลกระทบของทราฟฟิกที่มีต่อน็อกเอาต์ด้วยวิธีการจำลองด้วยโปรแกรมจำลอง โดยสามารถกำหนดทราฟฟิกให้มีลักษณะการเข้ามาได้ทั้งแบบเบิรสต์และไม่เป็นเบิรสต์และการกระจายของเซลล์จากอินพุตไปเอาต์พุตได้แบบยูนิฟอร์มและแบบนอนยูนิฟอร์มชนิดซิงเกิลฮอตสปอต ซึ่งจากการวิจัยที่ผ่านมาการศึกษาน็อกเอาต์สวิตช์ด้วยการวิเคราะห์จะกำหนดลักษณะการเข้ามาของเซลล์เฉพาะแบบที่ไม่เป็นเบิรสต์และการกระจายของเซลล์ทั้งแบบยูนิฟอร์ม (Yeh,et al. ,1987) และแบบนอนยูนิฟอร์มชนิดซิงเกิลฮอตสปอต (Yoon,et al. ,1995) ดังนั้นต่อไปจะศึกษาถึงการวิเคราะห์ดังกล่าวและศึกษาผลที่ได้จากการกำหนดทราฟฟิกแบบไม่เป็นเบิรสต์และการกระจายไปเอาต์พุตทั้งสองแบบเพื่อนำไปอ้างอิงและเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการศึกษาสมรรถนะของน็อกเอาต์ด้วยการจำลองเมื่อกำหนดทราฟฟิกแบบเป็นเบิรสต์และการกระจายของเซลล์ไปเอาต์พุตทั้งแบบยูนิฟอร์มและแบบนอนยูนิฟอร์มชนิดซิงเกิลฮอตสปอต

2.3 การวิเคราะห์สมรรถนะของน็อกเอาต์สวิตช์เมื่อกำหนดทราฟฟิกแบบไม่เป็นเบิรสต์

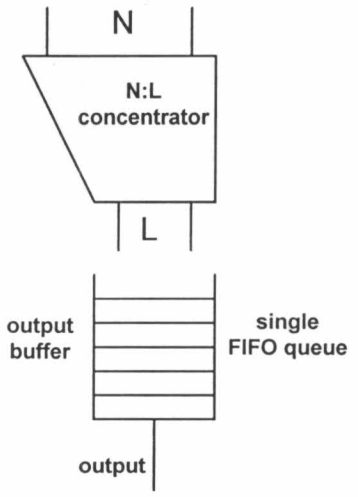
2.3.1 การวิเคราะห์สมรรถนะของน็อกเอาต์สวิตช์เมื่อกำหนดทราฟฟิกที่ไม่เป็นเบิรสต์แลกระจายออกไปยังเอาต์พุตแบบยูนิฟอร์ม

โมเดลที่ใช้สำหรับวิเคราะห์ (Yeh,et al. ,1987) แสดงดังรูปที่ 2.8 พิจารณาที่ เอาต์พุตใดเอาต์พุตหนึ่งที่สนใจ (tagged output) จากอินพุตของสวิตช์กำหนดให้ ρ แทนอินพุตโหลดหรือความน่าจะเป็นที่จะมีเซลล์เข้ามาที่อินพุตใดอินพุตหนึ่งของ N อินพุตบรอดคาสต์บัสในไทม์สล็อตหนึ่งๆ ดังนั้นแต่ละ

ไทม์สล็อตเซลล์ที่เข้ามาที่อินพุตใดอินพุตหนึ่งของ N อินพุตบรอดคาสต์บัสจะกระจายออกไปที่แต่ละอินพุตของคอนเซนเทรเตอร์ด้วยความน่าจะเป็น $\frac{\rho}{N}$ เซลล์ที่จะออกไปยังเอาต์พุตจะต้องผ่านคอนเซ็นเทรเตอร์และบัฟเฟอร์แสดงดังรูปที่ 2.9 พิจารณาที่คอนเซนเทรเตอร์ กำหนดให้ P_k แทนความน่าจะเป็นที่จะมีเซลล์ k เซลล์ต้องการออกไปที่แต่ละเอาต์พุตของคอนเซนเทรเตอร์ในแต่ละไทม์สล็อต เราจะได้ความสัมพันธ์อยู่ในรูปของความน่าจะเป็นแบบไบโนเมียล (binomial probability) ดังนี้



รูปที่ 2.8 การวิเคราะห์น็อกเอาต์สวิตช์กรณีทราฟฟิกแบบไม่เป็นเบิรสต์และกระจายออกไปยังเอาต์พุตเป็นแบบยูนิฟอร์ม



รูปที่ 2.9 ภายในสวิตช์แต่ละเอาต์พุต

$$P_k = \binom{N}{k}\left(\frac{\rho}{N}\right)^k\left(1-\frac{\rho}{N}\right)^{N-k}$$
$$k = 0,1,...,N. \quad (2.1)$$

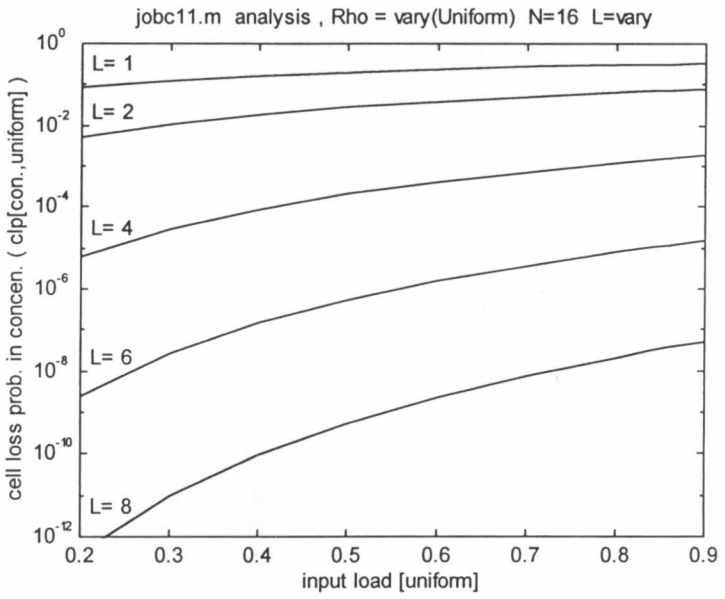
ในไทม์สล็อตหนึ่งๆเซลล์สามารถออกไปที่เอาต์พุตของคอนเซนเทรเตอร์โดยไม่สูญเสียจะต้องมีจำนวนไม่เกินขนาดของเอาต์พุตคอนเซนเทรเตอร์ (ตั้งแต่ 0 ถึง L) จำนวนเซลล์ที่มากกว่า L จะกลายเป็นเซลล์ที่สูญเสีย ดังนั้นจะได้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์ (cell loss probability) ที่เกิดขึ้นที่เอาต์พุตของคอนเซนเทรเตอร์ของแต่ละเอาต์พุตเมื่อกำหนดทราฟฟิกแบบไม่เป็นเบิรสต์และกระจายออกไปยังเอาต์พุตเป็นแบบยูนิฟอร์มเท่ากับ

$$P_{loss}[con.,uniform] = \frac{1}{\rho}\sum_{k=L+1}^{N}(k-L)P_k$$
$$= \frac{1}{\rho}\sum_{k=L+1}^{N}(k-L)\binom{N}{k}\left(\frac{\rho}{N}\right)^k\left(1-\frac{\rho}{N}\right)^{N-k} \quad (2.2)$$

ในกรณีที่ $N \to \infty$ จะได้

$$P_{loss}[con.,uniform] = \left[1-\frac{L}{\rho}\right]\left[1-\sum_{k=o}^{L}\frac{\rho^k e^{-\rho}}{k!}\right]+\frac{\rho^L e^{-\rho}}{L!} \quad (2.3)$$

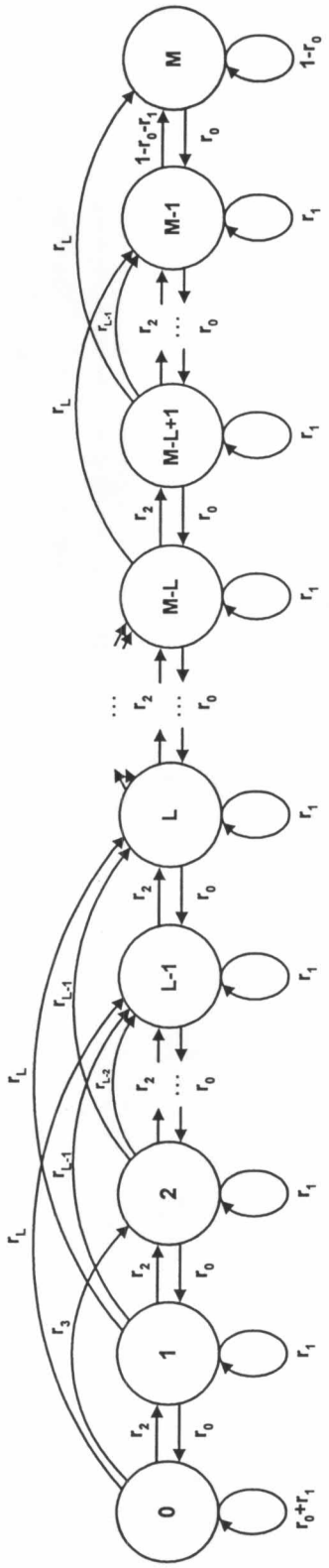
จากสมการที่ 2.2 สามารถนำไปพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการสูญเสียเซลล์ภายในคอนเซ็นเทรเตอร์กับขนาดของคอนเซนเทรเตอร์เอาต์พุต (L) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ค่า $P_{loss}[con.,uniform]$ จากการวิเคราะห์ที่ L ค่าต่างๆ (N = 16)

จากรูปแสดงค่าของ $P_{ross}[con.,uniform]$ ที่มี ρ และ L ค่าต่างๆ โดยมีขนาดของสวิตช์เท่ากับ 16 อินพุต 16 เอาต์พุต (N = 16) จะเห็นว่าค่า $P_{loss}[con.,uniform]$ สามารถควบคุมได้ด้วยขนาดของเอาต์พุตคอนเซนเทรเตอร์ (L) พบว่าเมื่อ L = 8 จะสามารถทำให้ $P_{loss}[con.,uniform]$ น้อยกว่า 10^{-6} (ในทางทฤษฎีสำหรับระบบสื่อสารจะกำหนดค่า $clp.$ = 10^{-6} เป็นค่าอ้างอิงในการพิจารณาค่าที่ยอมรับได้)

ในส่วนของเอาต์พุตแชร์บัฟเฟอร์ กระบวนการทำงานของบัฟเฟอร์สามารถอธิบายได้ด้วยระบบของคิว (queueing system) แบบ single FIFO พิจารณาเฉพาะเอาต์พุตใดเอาต์พุตหนึ่ง การวิเคราะห์ในส่วนของบัฟเฟอร์ โมเดลสำหรับที่ใช้ในการวิเคราะห์ใน (Yeh,et al. ,1987) จะกำหนดโมเดลของคิว (queueing model) เป็นแบบ M/D/1 กล่าวคือมีกระบวนการเข้ามาของเซลล์เป็นแบบพัวส์ซอง (poisson arrival process) เวลาของการบริการ (service time) นำเซลล์จากอินพุตไปยังเอาต์พุตมีค่าคงที่ มีเซิรฟเวอร์จำนวนหนึ่งเซิร์ฟเวอร์และมีขนาดของบัฟเฟอร์ไม่จำกัด (infinite buffer) ในวิทยานิพนธ์จะศึกษาในกรณีบัฟเฟอร์ที่มีขนาดคงที่ ซึ่งการวิเคราะห์ใน (Yoon,et al. ,1995) กำหนดให้บัฟเฟอร์มีขนาดคงที่เช่นกันแต่ไม่ได้กล่าวถึงรายละเอียดของการวิเคราะห์ ดังนั้นจึงวิเคราะห์เพิ่มเติมในส่วนของบัฟเฟอร์โดยจะกำหนดให้ขนาดของบัฟเฟอร์มีจำกัดเท่ากับ M เซลล์ (โมเดลของการวิเคราะห์เป็น M/D/1/M) และสามารถตรวจสอบความถูกต้องได้จากผลของการวิเคราะห์ใน (Yoon,et al. ,1995) ได้ แสดงในภาคผนวก ก การทำงานของบัฟเฟอร์สามารถอธิบายด้วย discrete-state markov chain และเขียนแทนด้วยแผนภาพการเปลี่ยนสเตต (state transition diagram) ของแต่ละเอาต์พุตได้ดังรูปที่ 2.11 กำหนดให้วงกลมในแผนภาพแสดงถึงสเตตและตัวเลขในวงกลมแสดงจำนวนเซลล์ในบัฟเฟอร์ขณะอยู่ในสเตตนั้น ส่วนลูกศรที่โยงระหว่างวงกลมแสดงการ



รูปที่ 2.11 แผนภาพการเปลี่ยนสเตตของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ขนาด M เซลล์

เปลี่ยนสเตตและตัวอักษร r_k แสดงความน่าจะเป็นจำนวนเซลล์ k เซลล์ที่ออกมาจากเอาต์พุตของคอนเซนเทรเตอร์เข้าไปยังบัฟเฟอร์ โดยเซลล์ที่ออกมาที่เอาต์พุตของคอนเซนเทรเตอร์จะถูกจำกัดด้วยขนาดของเอาต์พุตของคอนเซนเทรเตอร์ (L) ดังนั้น r_k จึงมีความสัมพันธ์กับ P_k ดังนี้คือ

$$\begin{aligned} r_k &= P_k && ; 0 \le k \le L-1 \\ &= \sum_{k=L}^{N} P_k && ; k = L \\ &= 0 && ; L < k \le N \end{aligned} \tag{2.4}$$

จากแผนภาพการเปลี่ยนสเตตพิจารณาใน steady state กำหนดให้ p_M คือความน่าจะเป็นที่จะมีเซลล์ M เซลล์อยู่ในบัฟเฟอร์ในช่วงไทม์สล็อตนั้นๆที่ steady state สามารถเขียน steady state balance equation ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} p_0 &= r_0 p_1 + (r_0 + r_1) p_0 \\ p_1 &= r_0 p_2 + r_1 p_1 + r_2 p_0 \\ p_2 &= r_0 p_3 + r_1 p_2 + r_2 p_1 + r_3 p_0 \\ p_3 &= r_0 p_4 + r_1 p_3 + r_2 p_2 + r_3 p_1 + r_4 p_0 \\ &\vdots \qquad\qquad \vdots \qquad\qquad \vdots \\ p_L &= r_0 p_{L+1} + r_1 p_L + \ \dots \ + r_{L+1} p_0 \\ &\vdots \qquad\qquad \vdots \qquad\qquad \vdots \\ p_{M-1} &= r_0 p_M + r_1 p_{M-1} + \ \dots \ + r_N p_{M-N} \\ p_M &= (1-r_0) p_M + (1-r_0-r_1) p_{M-1} + \ \dots \ + r_N p_{M-N+1} \end{aligned} \tag{2.5}$$

และจาก conservation of probability จะได้

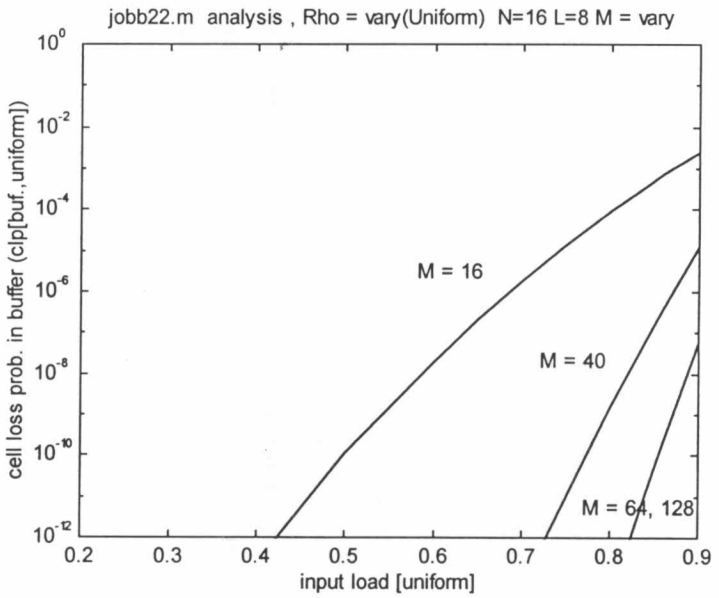
$$p_0 + p_1 + p_2 + p_3 + ___ + p_M = \sum_{i=0}^{M} p_i = 1 \tag{2.6}$$

จากสมการที่ 2.5 และ 2.6 นำไปแก้สมการเพื่อหาค่า p_0 ถึง p_M และจะได้ความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์ที่เกิดขึ้นเนื่องจากบัฟเฟอร์ล้นที่เอาต์พุตที่สนใจ ($P_{loss}[buff., uniform]$) ดังนี้

$$P_{loss}[buff.,uniform] = \frac{1}{\rho}[(r_2+2r_3+3r_4+...+(N-1)r_N)p_M + (r_3+2r_4+3r_5+...+(N-2)r_N)p_{M-1} + ... + (r_N p_{M-N+2})] \quad (2.7)$$

$$= \frac{1}{\rho}\sum_{i=M-N+2}^{M}(p_i \sum_{j=M-i+2}^{N}[(j-(M-i+2)+1)\, r_j]\,) \quad (2.8)$$

จากสมการที่ 2.8 สามารถนำไปพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์ที่เกิดขึ้นที่บัฟเฟอร์กับขนาดของบัฟเฟอร์ได้ดังรูปที่ 2.12 จากรูปแสดง $P_{loss}[buff.,uniform]$ ที่ ρ และ M ค่าต่างๆ โดยมีขนาดของสวิตช์เท่ากับ 16 อินพุต 16 เอาต์พุต (N = 16) และขนาดของเอาต์พุตของคอนเซนเทรเตอร์เท่ากับ 8



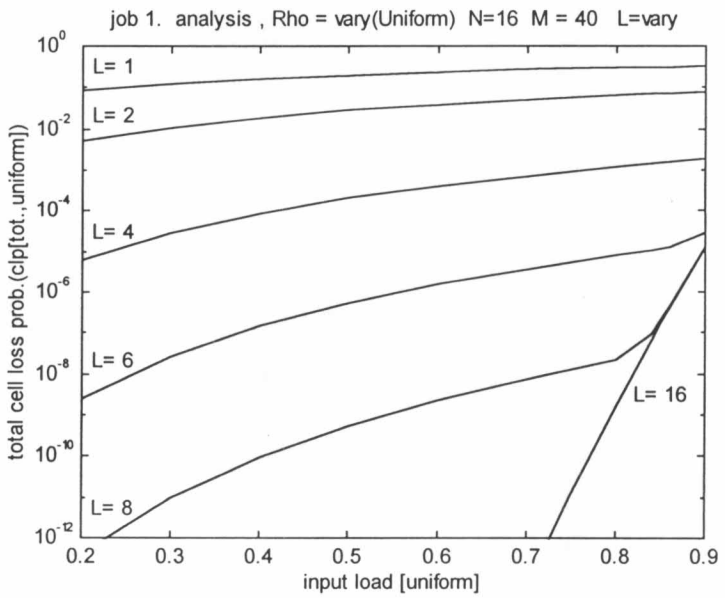
รูปที่ 2.12 ค่า $P_{loss}[buff.,uniform]$ จากการวิเคราะห์ที่ M ค่าต่างๆ (N = 16, L = 8)

จากรูป จะเห็นว่าค่า $P_{loss}[buff.,uniform]$ สามารถควบคุมได้ด้วยขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ (M) พบว่าบัฟเฟอร์มีขนาดเท่ากับ 40 เซลล์จะสามารถทำให้ $P_{loss}[buff.,uniform]$ น้อยกว่า 10^{-6} ที่ ρ ไม่เกิน 0.86 และขนาดของเอาต์พุตคอนเซ็นเทรเตอร์เท่ากับ 8

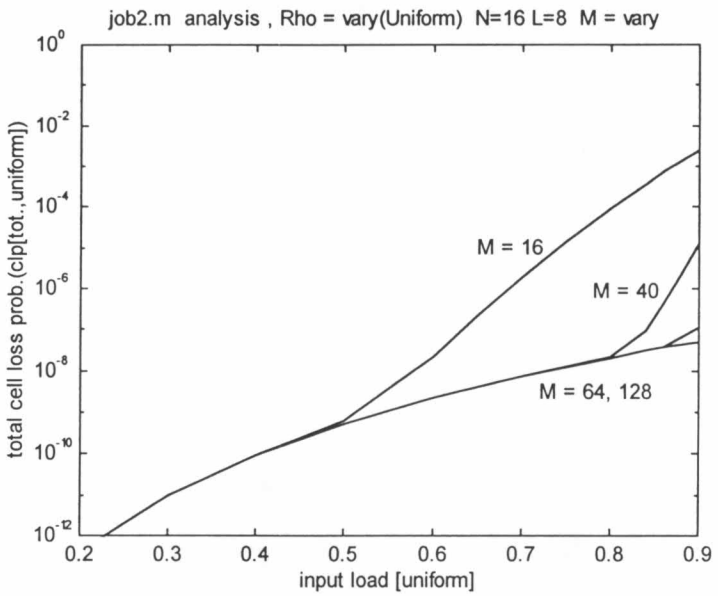
จากการวิเคราะห์ในส่วนของคอนเซนเทรเตอร์และบัฟเฟอร์เฉพาะเอาต์พุตที่สนใจ สามารถนำมาหาความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์ที่เกิดขึ้นเฉลี่ยรวมทั้งสวิตช์ (total average cell loss prob.) ที่เกิดขึ้น ($P_{loss}[tot.,uniform]$) ได้ดังนี้

$$P_{loss}[tot.,uniform] = \frac{1}{N}\{ (P_{loss}[con.,uniform,tagged\ output] + P_{loss}[buff.,uniform,tagged\ output]) + (P_{loss}[con.,uniform,(N-1)\ outputs] + P_{loss}[buff.,uniform,(N-1)\ outputs]) \} \quad (2.9)$$

จากสมการที่ 2.9 แสดงความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์ที่เกิดขึ้นเฉลี่ยรวมทั้งสวิตช์ สามารถนำไปพล็อตกับอินพุตโหลด ที่ขนาดของเอาต์พุตของคอนเซ็นเทรเตอร์และขนาดของบัฟเฟอร์ค่าต่างๆ ได้ดังรูปที่ 2.13 และ 2.14 รูปที่ 2.13 แสดงค่าของ $P_{loss}[tot.,uniform]$ ที่มี ρ และ L ค่าต่างๆ โดยมีขนาดของสวิตช์เท่ากับ N=16 และมีขนาดของบัฟเฟอร์ (M) เท่ากับ 40 เซลล์ รูปที่ 2.14 แสดงค่าของ $P_{loss}[tot.,uniform]$ ที่ ρ และ M ค่าต่างๆ ที่ N = 16 และ L = 8



รูปที่ 2.13 ค่า $P_{loss}[tot.,uniform]$ จากการวิเคราะห์ที่ L ค่าต่างๆ (N = 16, M = 40)



รูปที่ 2.14 ค่า $P_{loss}[tot.,uniform]$ จากการวิเคราะห์ที่ M ค่าต่างๆ (N = 16, L = 8)

2.3.2 การวิเคราะห์สมรรถนะของน็อกเอาต์สวิตช์เมื่อกำหนดทราฟฟิกแบบไม่เป็นเบิรสต์และกระจายออกไปยังเอาต์พุตแบบนอนยูนิฟอร์มชนิดชิงเกิลฮอตสปอต

Yoon,et al. (1995) ได้กำหนดโมเดลในการวิเคราะห์ที่ครอบคลุมทราฟฟิกที่ไม่เป็นเบิรสต์ทั้งแบบ ยูนิฟอร์มและนอนยูนิฟอร์ม ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยทราฟฟิกโหลดเมตริกซ์ $I = \{\rho_{ij}\}$

$$I = \begin{bmatrix} \rho_{11} & \rho_{12} & \cdots & \rho_{1N} \\ \rho_{21} & \cdots & & \vdots \\ \vdots & & \rho_{ij} & \vdots \\ \rho_{N1} & \rho_{N2} & \cdots & \rho_{NN} \end{bmatrix} ; \quad 1 \le i, j \le N \qquad (2.10)$$

ρ_{ij} คือความน่าจะเป็นที่เซลล์เข้ามาที่อินพุต i และออกไปที่เอาต์พุต j จากทราฟฟิกโหลดเมตริกซ์การกระจายของทราฟฟิกโหลดออกไปยังเอาต์พุตแบบนอนยูนิฟอร์มก็คือค่า ρ_{ij} ที่แถวและหลักต่างๆ มีค่าไม่เท่ากันแล้วแต่ชนิดของทราฟฟิก จะเห็นว่าการกระจายของทราฟฟิกโหลดแบบยูนิฟอร์มเป็นกรณีย่อยของแบบนอนยูนิฟอร์มกล่าวคือที่คอลัมน์ใดๆของเมตริกซ์ ρ มีค่าเท่ากันหมด

ในการวิเคราะห์จะพิจารณาที่เอาต์พุตใดเอาต์พุตหนึ่งที่สนใจ นั่นคือจะพิจารณาที่คอลัมน์ใดคอลัมน์หนึ่งของทราฟฟิกโหลดเมตริกซ์เท่านั้น ดังนั้นความน่าจะเป็นที่จะมีเซลล์ k มาที่เอาต์พุตของคอนเซนเทรเตอร์ที่สนใจเท่ากับ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$$P_k = \sum_{|S|=k} \prod_{i \in S} \rho_i \prod_{i \in \bar{S}} (1-\rho_i) \quad ; \quad 1 \le k \le N \tag{2.11}$$

ซึ่งก็คือผลรวมของความน่าจะเป็นในทุกกรณี เมื่อมี k อินพุตที่มีเซลล์ต้องการไปออกยังเอาต์พุตที่สนใจใดๆ และ $(N-k)$ อินพุตไม่มี

ในการกระจายออกไปยังเอาต์พุตแบบยูนิฟอร์มเมื่อพิจารณาจากโหลดเมตริกซ์จะได้ ρ_i ที่คอลัมน์หรือเอาต์พุตที่สนใจมีค่าเท่ากันหมด (i ตั้งแต่ 1 ถึง N) ดังนั้นกำหนดให้ ρ คือผลรวมของโหลดอินพุตทุกอินพุต เมื่อพิจารณาเฉพาะเอาต์พุตที่สนใจจะได้

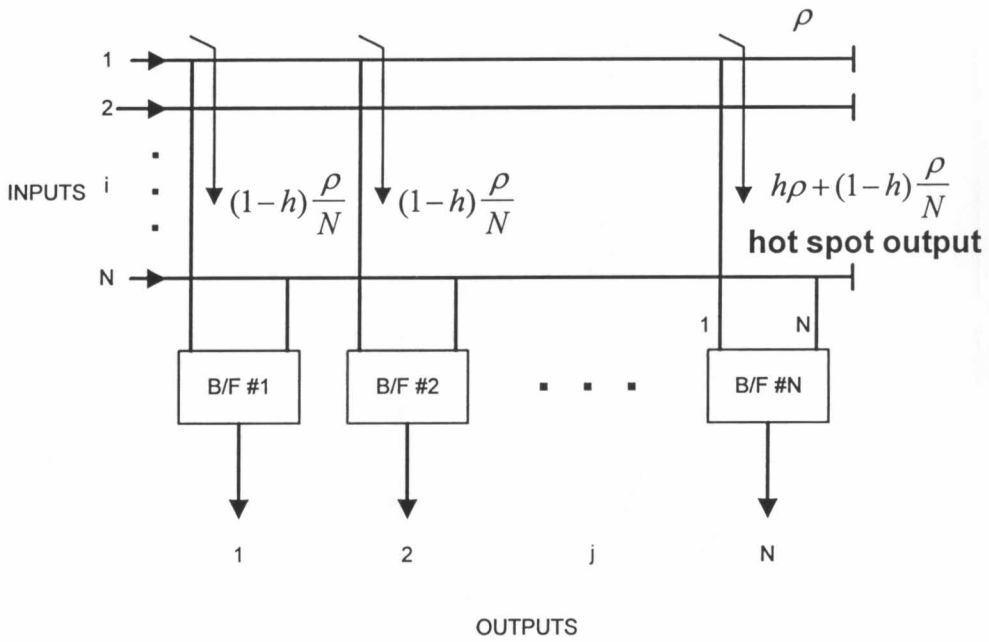
$$\rho_i = \frac{\rho}{N} \tag{2.12}$$

แทนสมการ 2.12 ลงในสมการที่ 2.11 จะได้

$$P_k = \binom{N}{k} \left(\frac{\rho}{N}\right)^k \left(1-\frac{\rho}{N}\right)^{N-k} \tag{2.13}$$

ซึ่งจะตรงกับสมการที่ 2.1 ของการวิเคราะห์ใน (Yeh,et al. ,1987) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโมเดลการวิเคราะห์ใน (Yoon,et al. ,1995) ครอบคลุมไปถึงการกระจายไปยังเอาต์พุตแบบยูนิฟอร์มด้วยเช่นกัน

สำหรับลักษณะของการกระจายออกไปยังเอาต์พุตชนิดซิงเกิลฮอตสปอตนั้นก็เป็นชนิดหนึ่งการกระจายไปยังเอาต์พุตแบบนอนยูนิฟอร์มเช่นกัน ในการวิเคราะห์จะพิจารณาเอาต์พุตที่สนใจคือที่ฮอตสปอตเอาต์พุตหรือที่คอลัมน์หนึ่งที่เป็นฮอตสปอตของทราฟฟิกโหลดเมตริกซ์นั่นคือ $\rho = h\rho + (1-h)\rho$ โดย h คืออัตราส่วนฮอตสปอต ซึ่งหมายความว่าทราฟฟิกโหลดจะถูกแบ่งไปยังฮอตสปอตเอาต์พุตโดยตรงจำนวน $h\rho$ เซลล์และส่วนที่เหลือ $(1-h)\rho$ จะกระจายไปยังทั้ง N เอาต์พุตแบบยูนิฟอร์มดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 แสดงการวิเคราะห์น็อกเอาต์สวิตช์กรณีทราฟฟิกแบบไม่เป็นเบิรสต์และกระจายออกไปเอาต์พุตเป็นแบบนอนยูนิฟอร์มชนิดชิงเกิลฮอตสปอต

พิจารณาที่ฮอตสปอตเอาต์พุตจะได้ความน่าจะเป็นที่จะมี k เซลล์ออกไปยังเอาต์พุตของคอนเซนเทรเตอร์ที่เป็นฮอตสปอตเอาต์พุตเป็น

$$P_k(hot) = \binom{N}{k}\left[h\rho+\frac{(1-h)\rho}{N}\right]^k\left[1-h\rho-\frac{(1-h)\rho}{N}\right]^{N-k} \quad (2.14)$$

จากสมการที่ 2.14 เมื่อ h เท่ากับ 0 จะได้ P_k ในกรณียูนิฟอร์มนั่นเอง และสามารถนำ $P_k(hot)$ ไปแทนในสมการที่ 2.2 เพื่อหาความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์ที่เอาต์พุตของคอนเซ็นเทรเตอร์ที่เป็นฮอตสปอต $P_{loss}[con.,hot]$ และแทน $P_k(hot)$ ในส่วนที่วิเคราะห์เพิ่มเติมในสมการที่ 2.4 เพื่อหาความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์ที่บัฟเฟอร์ที่ฮอตปอตเอาต์พุต $P_{loss}[buff.,hot]$ ได้เช่นเดียวกัน

ค่า h จะมีค่าสูงสุด ($h_{\max}$) ที่จะไม่ทำให้ทราฟฟิกโหลดเกิน 1.0 เท่ากับ

$$\{(1-h)\rho+Nh\rho\} \cong \{\rho+Nh\rho\} \leq 1 \quad (2.15)$$

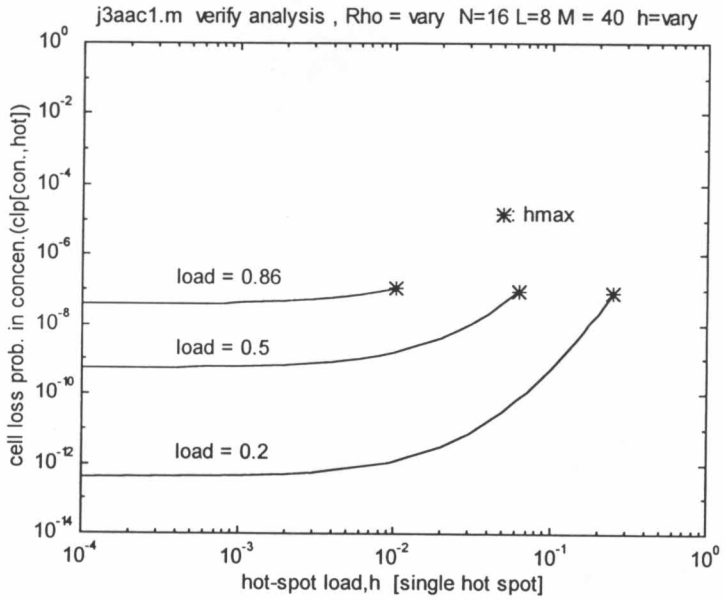
$$h_{\max} \cong \frac{1-\rho}{N\rho} \quad (2.16)$$

จากสมการที่ 2.16 ค่า $h_{\max}$ จะแปรเปลี่ยนตามขนาดของสวิตช์และอินพุตโหลด ตารางที่ 2.1 แสดงค่า $h_{\max}$ ที่ ρ ค่าต่างๆ สำหรับสวิตช์ขนาดเท่ากับ 16 อินพุต 16 เอาต์พุต

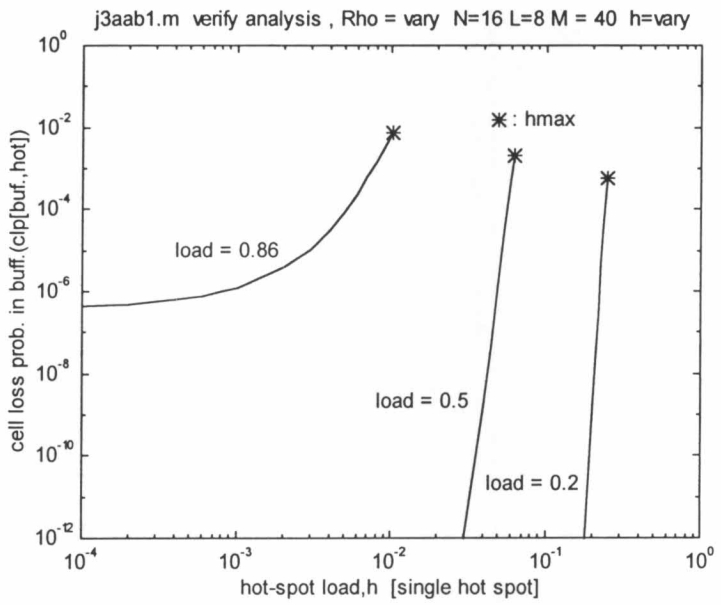
input load (ρ)	$h_{\max}$ (N = 16)
0.2	$2.5\text{x}10^{-1}$
0.5	$6.25\text{x}10^{-2}$
0.7	$2.6786\text{x}10^{-2}$
0.86	$1.0174\text{x}10^{-2}$
0.9	$6.944\text{x}10^{-3}$

ตารางที่ 2.1 ค่า $h_{\max}$ ที่ ρ ค่าต่างๆ (N = 16)

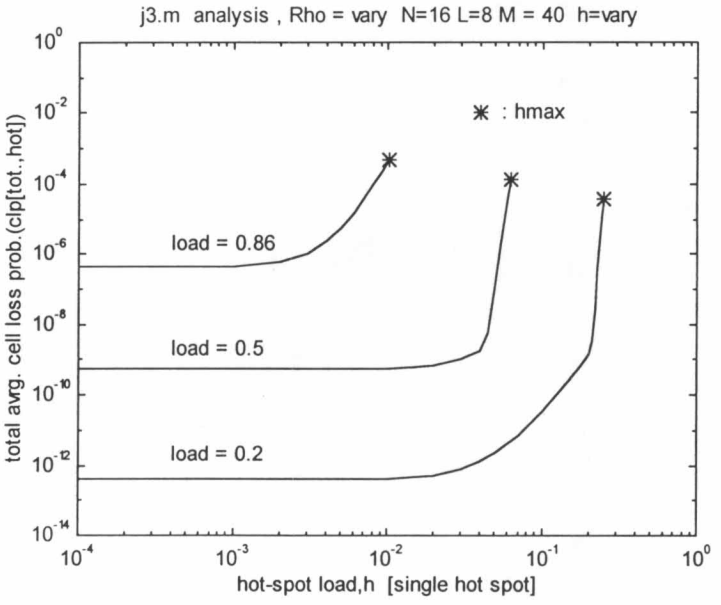
จากสมการที่ 2.14 และตารางที่ 2.1 สามารถนำไปพล็อตกราฟเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์ที่เอาต์พุตคอนเซ็นเทรเตอร์ บัฟเฟอร์และรวมทั้งสวิตช์ได้ดังรูปที่ 2.16 , 2.17 และรูปที่ 2.18 รูปที่ 2.16, 2.17 และ 2.18 แสดง $P_{loss}[con.,hot]$, $P_{loss}[buff.,hot]$ และ $P_{loss}[tot.,hot]$ ที่ h และ ρ ค่าต่างๆ สำหรับ N = 16 , M = 40 และ L = 8



รูปที่ 2.16 ค่า $P_{loss}[con.,hot]$ ที่ h และ ρ ค่าต่างๆ (N = 16, L = 8, M = 40)



รูปที่ 2.17 ค่า $P_{loss}[buff.,hot]$ ที่ h และ ρ ค่าต่างๆ (N = 16, L = 8, M = 40)



รูปที่ 2.18 ค่า $P_{loss}[tot.,hot]$ที่ h และ ρ ค่าต่างๆ (N = 16, L = 8, M = 40)

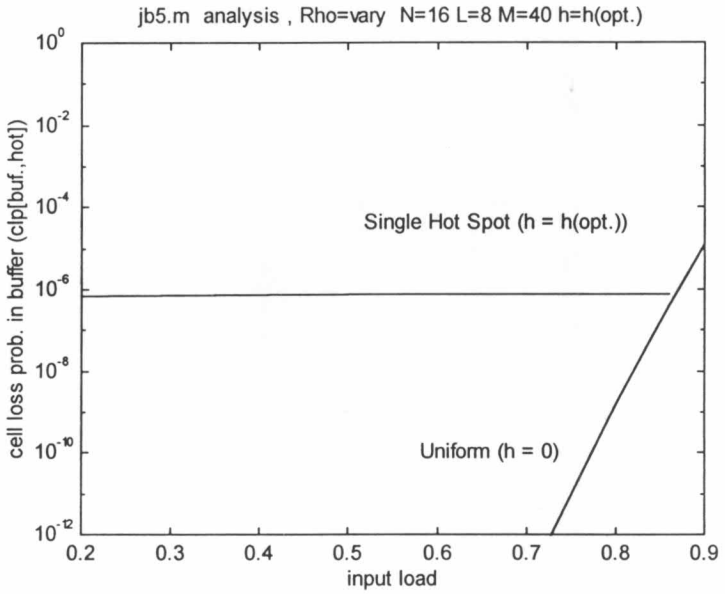
จากรูปที่ 2.16 เมื่อ h มีค่าใกล้ $h_{\max}$ ค่า $P_{loss}[con.,hot]$ ยังอยู่ในค่าที่ยอมรับได้หรือน้อยกว่า 10^{-6} และในรูปที่ 2.17 และ 2.18 ค่า $P_{loss}[buff.,hot]$ และ $P_{loss}[tot.,hot]$ จะสูงขึ้นกว่า 10^{-6} มาก เมื่อ h มีค่าเข้าใกล้ $h_{\max}$ ดังนั้น h จึงเป็นพารามิเตอร์สำคัญที่ทำให้ $P_{loss}[buff.,hot]$ เปลี่ยนแปลงไป

ในทางที่สูงขึ้นและมีผลทำให้ $P_{loss}[tot.,hot]$ สูงขึ้นด้วย ค่า h ที่มากที่สุด (h_{opt}) ที่จะไม่ทำให้ $P_{loss}[buff.,hot]$ สูงกว่าค่าที่ยอมรับได้ (10^{-6}) แสดงดังตารางที่ 2.2

input load(ρ)	h_{opt} (N = 16 M = 40) [$P_{loss}[buff.,hot] \leq 10^{-6}$]
0.2	$2.22\text{x}10^{-1}$
0.5	$4.9\text{x}10^{-2}$
0.86	$6.1\text{x}10^{-4}$

ตารางที่ 2.2 ค่า h_{opt} ที่ ρ ค่าต่างๆ ที่ (N = 16, M = 40)

จากตารางที่ 2.2 สามารถนำไปพล็อตเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่าง $P_{loss}[buff.,hot]$ ที่ ρ ค่าต่างๆ เมื่อ h มีค่าเท่ากับ h_{opt} ได้ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ค่า $P_{loss}[buff.,hot]$ ที่ $h = h_{opt}$ และ ρ ค่าต่างๆ (N = 16, L = 8, M = 40)

2.4 การศึกษาผลที่ได้จากการวิเคราะห์เมื่อกำหนดทราฟฟิกแบบไม่เป็นเบิรสต์

2.4.1 การกระจายออกไปเอาต์พุตแบบยูนิฟอร์ม

ในการควบคุมค่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์ให้มีค่าน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ (10^{-6}) สามารถทำได้โดยการปรับขนาดของเอาต์พุตของคอนเซ็นเทรเตอร์และขนาดของเอาต์พุตบัฟเฟอร์ จะเห็นว่าการปรับขนาดของเอาต์พุตคอนเซ็นเทรเตอร์และขนาดของบัฟเฟอร์จะต้องมีความสัมพันธ์กันเพื่อหลีกเลี่ยงการเกิด bottle neck เช่นจากรูปที่ 2.13 จะเห็นว่าที่อินพุตโหลดสูงกว่า 0.86 การเพิ่มขนาดของเอาต์พุตของคอนเซ็นเทรเตอร์ให้มีค่ามากกว่า 8 ก็ไม่มีผลที่จะควบคุมให้ค่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์เฉลี่ยรวมทั้งสวิตช์น้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้เมื่อกำหนดขนาดของบัฟเฟอร์ M = 40 จะต้องปรับขนาดของบัฟเฟอร์ให้เพิ่มมากขึ้นตามถึงจะทำให้ค่าความน่าจะเป็นของการสูญเสียของเซลล์เฉลี่ยรวมทั้งสวิตช์น้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้

2.4.2 การกระจายออกไปเอาต์พุตแบบนอนยูนิฟอร์มชนิดซิงเกิลฮอตสปอต

จะเห็นว่าเมื่ออัตราส่วนฮอตสปอตมีค่าเข้าใกล้ $h_{\max}$ ที่ทำให้ค่าความน่าจะเป็นของการสูญเสียของเซลล์ที่เกิดขึ้นที่บัฟเฟอร์ของฮอตสปอตเอาต์พุตและค่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์เฉลี่ยรวมทั้งสวิตช์มีค่ามากกว่าค่าที่ยอมรับได้อย่างมาก และสามารถทำให้ค่าความน่าจะเป็นของการสูญเสียของเซลล์ที่เกิดขึ้นที่บัฟเฟอร์ของฮอตสปอตเอาต์พุตและค่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์เฉลี่ยรวมทั้งสวิตช์มีค่าน้อยกว่าค่าที่ยอมรับได้ โดยการควบคุมค่าของอัตราส่วนฮอตสปอตไม่ให้เกินค่า h_{opt}

จากผลการศึกษาที่ได้จากการวิเคราะห์เมื่อกำหนดทราฟฟิกแบบไม่เป็นเบิรสต์จะนำไปใช้ในการศึกษาเชิงวิเคราะห์ผลจากการศึกษาสมรรถนะของน็อกเอาต์สวิตช์ด้วยวิธีจำลอง ต่อไปในบทที่ 3 จะกล่าวถึงโปรแกรมจำลองสำหรับศึกษาผลกระทบของทราฟฟิกที่มีต่อสมรรถนะของน็อกเอาต์สวิตช์