บทที่ 3

การศึกษาผลกระทบของทราฟฟิกแบบเบิรสต์และนอนยูนิฟอร์มชนิดซิงเกิลฮอตสปอตที่มีต่อสมรรถนะของน็อกเอาต์สวิตช์ด้วยการจำลอง

ความนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาผลกระทบของทราฟฟิกแบบเบิรสต์และนอนยูนิฟอร์มชนิดซิงเกิลฮอตสปอตทราฟฟิกที่มีต่อสมรรถนะของน็อกเอาต์เอทีเอ็มสวิตช์ การเขียนโปรแกรมจากแบบจำลอง และการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

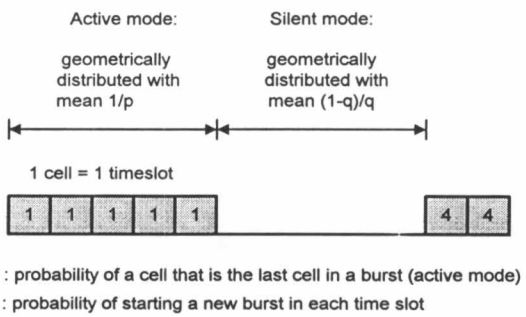
3.1 แบบจำลอง

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ

1. แบบจำลองของทราฟฟิกแบบเบิรสต์
2. แบบจำลองการทำงานของน็อกเอาต์สวิตช์

3.1.1 แบบจำลองของทราฟฟิกแบบเบิรสต์

ในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้แบบจำลองทราฟฟิกแบบเบิรสต์ในบทความของ Choa (1991) โดยกำหนดให้ทราฟฟิกที่เข้ามาที่อินพุตแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แบบจำลองทราฟฟิกแบบเบิรสต์

กำหนดให้ความยาวของช่วงเวลาแอกทีฟและไซเล็นต์ (active and silent period) มีการกระจายแบบเรขาคณิต (geometric distribution) และกลุ่มของเซลล์ที่เกิดขึ้นในช่วงแอกทีฟเป็นเซลล์ที่มีหมายเลขเอาต์พุตเดียวกัน ให้ช่วงเวลาแอกทีฟจะมีความยาวเฉลี่ยหรือมีความยาวเบิรสต์ (Mean Burst Length) เท่ากับ B และช่วงเวลาไซเล็นต์มีความยาวเฉลี่ยเป็น I และให้ p แทนความน่าจะเป็นที่เซลล์หนึ่งๆจะเป็นเซลล์สุดท้ายของเบิรสต์ในช่วงแอกทีฟโมด และให้ q แทนความน่าจะเป็นที่ในไทม์สล็อตนั้นๆจะเริ่มต้นเบิรสต์ใหม่หรือเป็นไทม์สล็อตสุดท้ายในช่วงไซเลนต์โมด ดังนั้นความน่าจะเป็นที่เบิรสต์จะมีเซลล์จำนวน i เซลล์ ($P(i)$) ในช่วงเวลาแอกทีฟจะเท่ากับ

$$P(i) = (1-p)^{(i-1)}p, \qquad i \geq 1. \tag{3.1}$$

และจะได้ความน่าจะเป็นที่จะเป็นช่วงเวลาไอเดิล (idle period) สุดท้ายสำหรับ j ไทม์สล็อต ($Q(i)$) ในช่วงเวลาไซเล็นต์เท่ากับ

$$Q(j) = (1-q)^{j}q, \qquad j \geq 0. \tag{3.2}$$

ดังนั้นจะได้จำนวนเซลล์เฉลี่ยของเบิรสต์และความยาวเฉลี่ยช่วงเวลาไอเดิลดังนี้

$$B = \sum_{i=1}^{\infty} i\,P(i) = \sum_{i=0}^{\infty}(1-p)^{i} = \frac{1}{p} \tag{3.3}$$

$$I = \sum_{j=0}^{\infty} j\,Q(j) = \sum_{j=1}^{\infty}(1-q)^{j} = \frac{(1-q)}{q}. \tag{3.4}$$

พิจารณาที่แต่ละอินพุตของสวิตช์ กำหนดให้ ρ แทนความหนาแน่นของเซลล์ที่อินพุตหรืออินพุตโหลดของแต่ละอินพุตเท่ากับ $\frac{B}{B+I}$ แทนค่า I ด้วย q จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง q กับ B และ ρ ดังนี้

$$q = \left[B\left(\frac{1}{\rho}-1\right)+1\right]^{-1} \tag{3.5}$$

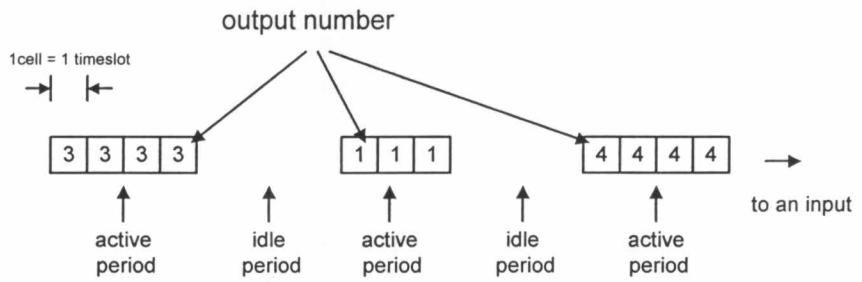
และความสัมพันธ์ของ p และ B

$$p = \frac{1}{B} \tag{3.6}$$

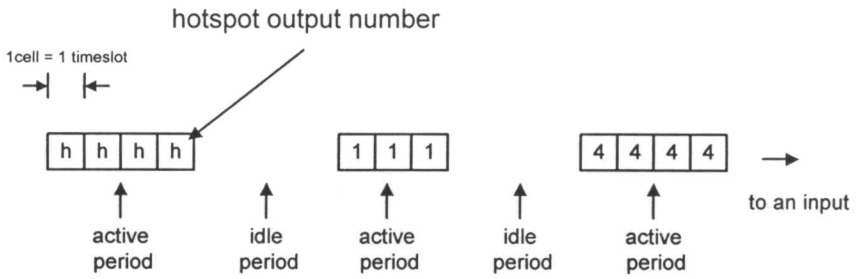
และกำหนดให้เบิรสต์แต่ละเบิรสต์ไม่มีสหสัมพันธ์ (correlation) ต่อกัน และหมายเลขเอาต์พุตของแต่ละเบิรสต์มีกระจาย 2 แบบคือ

1. ยูนิฟอร์ม คือ หมายเลขเอาต์พุตของเบิรสต์ในแต่ละเบิรสต์มีการกระจายจาก 1 ถึง N เท่าๆกัน ดังรูปที่ 3.2

2. นอนยูนิฟอร์มชนิดชิงเกิลฮอตสปอต หมายเลขเอาต์พุตของเบิรสต์ในแต่ละเบิรสต์มีการกระจายไม่เท่ากัน โดยมีหมายเลขเอาต์พุตของเบิรสต์ที่เป็นฮอตสปอตเอาต์พุตมากกว่าหมายเลขอื่นตามอัตราส่วนของฮอตสปอต (h) ดังรูปที่ 3.3 โดยจะแบ่งมาจาก ρ ซึ่งทำให้ $\rho = h\rho + (1-h)\rho \; ; \; 0 \le h \le 1$



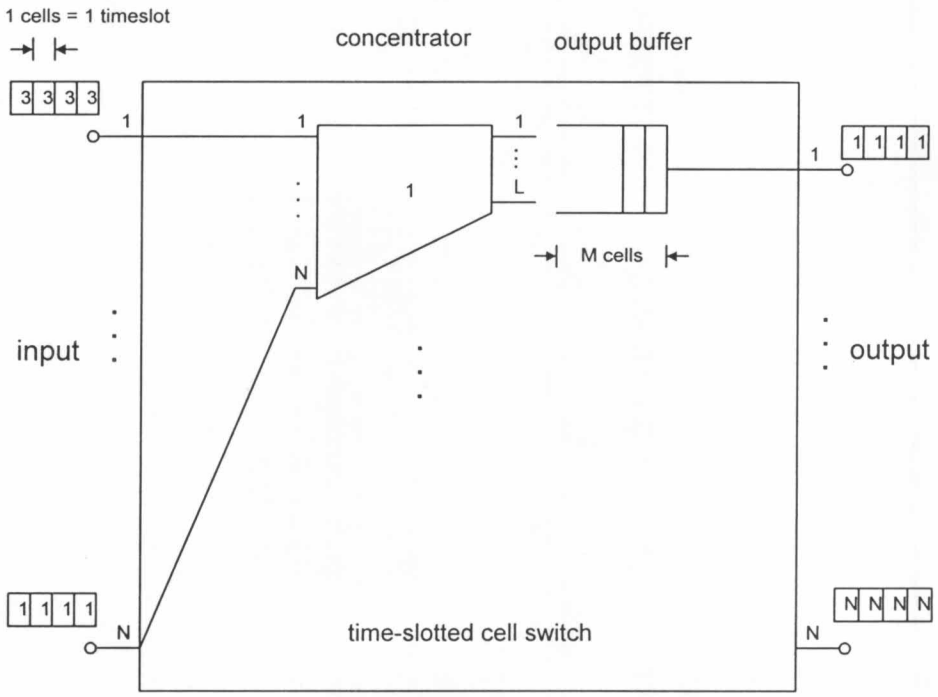
รูปที่ 3.2 แบบจำลองทราฟฟิกแบบเบิรสต์และการกระจายไปเอาต์พุตแบบยูนิฟอร์ม



รูปที่ 3.3 แบบจำลองทราฟฟิกแบบเบิรสต์และการกระจาย
ไปเอาต์พุตแบบนอนยูนิฟอร์มชนิดชิงเกิลฮอตสปอต

3.1.2 แบบจำลองการทำงานของน็อกเอาต์สวิตช์

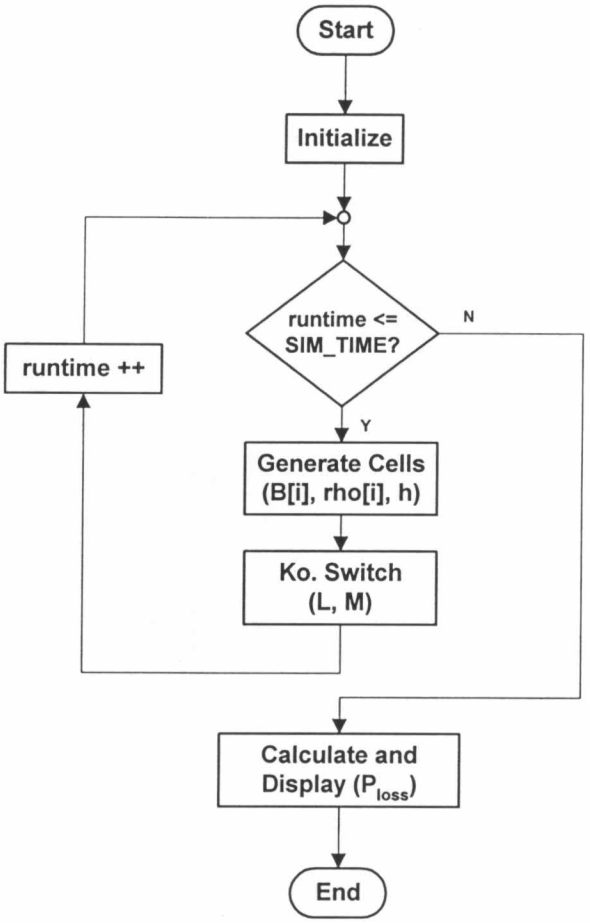
การทำงานของน็อกเอาต์สวิตช์มีส่วนคือการทำงานในส่วนของคอนเซ็นเทรเตอร์และส่วนของบัฟเฟอร์ แบบจำลองการทำงานของน็อกเอาต์สวิตช์แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แบบจำลองการทำงานของน็อกเอาต์สวิตช์

3.2 การเขียนโปรแกรมจากแบบจำลอง

จากแบบจำลองดังกล่าวนำมาเขียนโปรแกรมจำลองโดยใช้ภาษาซี (บอร์แลนด์ซีเวอร์ชั่น 3.1) และกำหนดลักษณะของการจำลองเป็นแบบ discrete event simulation ผังงานของโปรแกรมจำลองอธิบายได้ดังรูปที่ 3.5 โปรแกรมจะแบ่งการทำงานเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนของการกำเนิดทราฟฟิก (Generate Cells) ทำหน้าที่กำเนิดเซลล์ให้มีรูปแบบตามพารามิเตอร์อินพุต ส่วนการทำงานของน็อกเอาต์สวิตช์ (Knockout Sw. Operation) ทำหน้าที่กระทำกระบวนการภายในสวิตช์และสะสมค่าทางสถิติต่างๆ และส่วนคำนวณค่า cell loss probability และแสดงผล (Calulate and Display) คือส่วนที่นำค่าที่สะสมไปคำนวณค่าผลที่ต้องการและแสดงผล โดยเวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรมจำลองกำหนดได้ด้วยเวลาจำลอง (simulation time) รายละเอียดของแต่ละส่วนมีดังนี้



รูปที่ 3.5 ผังงานของโปรแกรมจำลอง

3.2.1 โปรแกรมในส่วนกำเนิดทราฟฟิกแบบเบิรสต์ตามแบบจำลอง

พารามิเตอร์อินพุตสำหรับในส่วนนี้คือ ความหนาแน่นของเซลล์ ($\rho[i]$) ความยาวเฉลี่ยของเบิรสต์ ($B[i]$) ของแต่ละอินพุต i ใดๆ และอัตราส่วนฮอตสปอต (h) สำหรับกำหนดการกระจายแบบนอนยูนิฟอร์มชนิดซิงเกิลฮอตสปอตของหมายเลขเอาต์พุตของเบิรสต์ เอาต์พุตพารามิเตอร์ของส่วนนี้คือหมายเลขเอาต์พุตของเซลล์ที่มีลักษณะตามพารามิเตอร์อินพุตที่กำหนดสำหรับนำไปเป็นอินพุตพารามิเตอร์ในส่วนการทำงานของน็อกเอาต์สวิตช์ต่อไป

จากอินพุตพารามิเตอร์ $\rho[i]$ และ $B[i]$ ใช้ความสัมพันธ์ในสมการที่ 3.5 และ 3.6 หา $p[i]$ และ $q[i]$ ของอินพุต i ใดๆ และนำไปใช้ในการกำเนิดทราฟฟิกหรือกำหนดหมายเลขเอาต์พุตให้มีลักษณะและการกระจายไปเอาต์พุตตามพารามิเตอร์อินพุตได้ ซึ่งในส่วนของโปรแกรมจะอาศัยฟังก์ชั่นกำเนิดค่าสุ่ม (random generator) เพื่อหาความน่าจะเป็นมาใช้ในการกำเนิดทราฟฟิก ในงานวิจัยนี้ใช้ฟังก์ชั่นกำเนิดค่าสุ่มแบบยูนิฟอร์มชนิด prime modulus multiplicative linear congruential generator (Law and Kelton ,1991) สำหรับกำเนิดค่าสุ่มจาก 0 ถึง 1 (rand(0_1)) และกำเนิดค่าสุ่มจาก 1 ถึง N (rand(1_N))

ขั้นตอนวิธีสำหรับการกำเนิดเซลล์แบบเบิรสต์ของแต่ละอินพุตในแต่ละไทม์สล็อตมีดังนี้

1. ตรวจสอบเซลล์ที่เกิดขึ้นในเบิรสต์ของไทม์สล็อตที่แล้วเพื่อกำหนดการเกิดเซลล์
2. กำหนดหมายเลขเอาต์พุตตามการกระจายไปเอาต์พุตที่กำหนดโดยการสุ่มค่า
3. เก็บหมายเลขเอาต์พุตไว้เป็นหมายเลขเอาต์พุตในไทม์สล็อตต่อไปกรณีเซลล์ในไทม์สล็อตนี้ไม่ใช่เซลล์สุดท้ายของเบิรสต์
4. สุ่มค่าเพื่อดูว่าเซลล์นี้เป็นเซลล์สุดท้ายของเบิรสต์หรือไม่ เพื่อนำไปใช้ในการกำหนดการเกิดของเซลล์ในไทม์สล็อตต่อไป

โดยจะทำซ้ำกระบวนการไปจนครบ N อินพุต สำหรับในส่วนของโปรแกรมมีดังนี้

```
for ( i  = 1 ; i ≤ N ;  i ++ )
{
    if ( last_cell[ i ] = 1 )              /* ในไทม์สล็อตที่แล้วเป็นเซลล์สุดท้ายของเบิรสต์ */
    {
        if ( rand(0_1) ≤ q[i] )            /* สุ่มค่าเพื่อดูว่าจะเกิดเบิรสต์ใหม่หรือไม่     */
        {                                  /* กำหนดการกระจายออกไปยังเอาต์พุต              */
            if ( rand(0_1) ≤ h)
                output_no[i ]  =  hotspot no. ;
            else
                output_no[i ]  =  rand(1_N) ;
        }
        else                                        /* ไม่เกิดเบิรสต์ใหม่                  */
        {
                output_no[i ]  =  0 ;
                go next i
        }
    }
    else                                            /* ไม่ใช่เซลล์สุดท้าย                  */
        output_no[i ] = Oldoutput_no[i ] ;          /* ให้เป็นหมายเลขเดิม                  */

    Oldoutput_no[i ] = output_no[i ] ;              /* เก็บเป็นหมายเลขเก่า                 */
```

(มีต่อ)

(ต่อ)

```
        if ( rand(0_1) ≤ ρ[i]        )      /* สุ่มค่าดูว่าเป็นเซลล์สุดท้ายหรือไม่      */
        {
            last_cell[i ]  =  1 ;                    /* เป็นเซลล์สุดท้าย              */
            last_cell[i ]  =  0 ;
        }
    }
```

ในส่วนของการสุ่มเพื่อดูว่าเกิดเซลล์ใหม่หรือไม่ ถ้าผลที่ได้แสดงว่าไม่เกิดเซลล์จะกำหนดให้ในกรณีนี้แล้วจากโปรแกรมจะสังเกตุว่าเมื่อกำหนดให้ $B[i] = 1$ จะได้ $q[i] = \rho[i]$ และ $p[i] = 1$ นั่นคือเซลล์ที่กำเนิดขึ้นเป็นเซลล์สุดท้ายเสมอหรือเป็นเซลล์เดี่ยวๆและจะกำเนิดเซลล์ตาม $\rho[i]$ ซึ่งก็คือการกำเนิดเซลล์แบบไม่เป็นเบิรสต์นั่นเอง และในส่วนของการกระจายของหมายเลขเอาต์พุตจะเห็นว่าเมื่อเรากำหนดให้ $h = 0$ ก็คือการกระจายไปยังเอาต์พุตแบบยูนิฟอร์มนั่นเอง ดังนั้นจะเห็นว่าโปรแกรมจำลองในส่วนกำเนิดเซลล์ที่เขียนมาสามารถกำเนิดทราฟฟิกได้ทั้งแบบเบิรสต์และไม่เป็นเบิรสต์และการกระจายออกไปยังเอาต์พุตทั้งแบบยูนิฟอร์มและนอนยูนิฟอร์มชนิดซิงเกิลฮอตสปอตโดยการกำหนดค่าของ $B[i]$ และ h ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

Traffic Pattern	$<B[i]>$	$<h>$
Nonburst, Uniform	1	0
Nonburst, Nonu.(Single Hot.)	1	$<h>$
Burst, Uniform	$<B[i]>$	0
Burst, Nonu.(Single Hot.)	$<B[i]>$	$<h>$

ตารางที่ 3.1 ค่าของ $B[i]$ และ h ในการกำหนดรูปแบบทราฟฟิก

3.2.2 โปรแกรมในส่วนแบบจำลองการทำงานของน็อกเอาต์สวิตช์ ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

1. การทำงานในคอนเซนเทรเตอร์
2. การทำงานในเอาต์พุตบัฟเฟอร์

3.2.2.1 การทำงานในคอนเซนเทรเตอร์ จะทำการสะสมจำนวนเซลล์ที่เข้ามาที่แต่ละเอาต์พุตของคอนเซ็นเทรเตอร์ ต่อมาจะทำการตรวจสอบจำนวนเซลล์ที่สะสมว่ามีจำนวนเกินขนาดของเอาต์พุตของ

คอนเซ็นเทรเตอร์ (L) หรือไม่ ถ้าเกินจะทำการสะสมจำนวนเซลล์ที่สูญเสียที่คอนเซ็นเทรเตอร์เอาต์พุตนั้น โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. ตรวจสอบหมายเลขเซลล์ที่มาที่อินพุต
2. สะสมจำนวนเซลล์ที่มีหมายเลขเดียวกันกับเอาต์พุตของคอนเซ็นเทรเตอร์นั้น
3. ตรวจสอบจำนวนเซลล์ที่คอนเซ็นเทรเตอร์
4. สะสมจำนวนเซลล์ที่สูญเสีย

สำหรับในส่วนของโปรแกรมมีดังนี้

```
for ( i  = 1 ; i ≤ N  ;  i ++ )
{
    temp  =  output_no.[i ] ;          /* ตรวจสอบหมายเลขเซลล์ที่มาที่อินพุต        */
    cell_in_concen[temp]  +=  1 ;      /* สะสมเซลล์                                 */
    if (cell_in_concen[temp] > L)      /* เกินขนาดของเอาต์พุตคอนเซ็นเทรเตอร์หรือไม่ */
    {
            cell_in_concen[temp]     =  L ;
            cell_loss_concen[temp]  +=  1 ;     /* สะสมจำนวนเซลล์ที่สูญเสีย      */
    }
}
```

3.2.2.2 การทำงานในเอาต์พุตบัฟเฟอร์ เมื่อเซลล์ผ่านออกมาจากคอนเซ็นเทรเตอร์จะมาเข้าที่บัฟเฟอร์ การทำงานของบัฟเฟอร์จะเก็บจำนวนเซลล์ที่เข้ามาไว้และส่งออกไปเอาต์พุตทีละเซลล์ ถ้าจำนวนเซลล์ที่เข้ามามีมากเกินกว่าเนื้อที่ที่เหลืออยู่ของบัฟเฟอร์ จำนวนเซลล์ที่เกินจะเป็นเซลล์ที่สูญเสียเนื่องจากบัฟเฟอร์ล้น ในการเขียนโปรแกรมจำลองการทำงานจะเก็บสะสมจำนวนเซลล์ที่เข้ามาที่เอาต์บัฟเฟอร์แต่ละเอาต์พุตและจะนำขนาดของบัฟเฟอร์มาลบด้วยจำนวนเซลล์ที่อยู่ในบัฟเฟอร์ ถ้าค่าที่ออกมาเป็นลบแสดงว่าเซลล์ที่เข้ามาเกิน ก็จะทำการสะสมให้เป็นจำนวนเซลล์ที่สูญเสีย โดยมีขั้นตอนวิธีดังนี้

1. สะสมจำนวนเซลล์ที่มาจากเอาต์พุตของคอนเซนเทรเตอร์
2. นำออกไปเอาต์พุต 1 เซลล์
3. ตรวจสอบจำนวนเซลล์ที่สะสมในบัฟเฟอร์ว่าเกินขนาดของบัฟเฟอร์หรือไม่
4. สะสมจำนวนเซลล์ที่สูญเสีย

สำหรับส่วนของโปรแกรมมีดังนี้

```
for ( i  = 1 ; i ≤ N ;  i ++ )
{
        cell_in_buff[i ]  +=  cell_in_con[i ] ;
        cell_in_buff[i ]  -=  1 ;
        temp  =  M  - cell_in_buff[i ] ;
        if ( temp < 0 )                          /* ตรวจสอบเซลล์ในบัฟเฟอร์เกินหรือไม่  */
        {
            cell_in_buff[i ]     =  M ;
            cell_loss_buff[i ]  +=  -( temp ) ;    /* สะสมจำนวนเซลล์ที่สูญเสีย          */
        }
}
```

3.2.3 การคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์ (cell loss probability) เมื่อสิ้นสุดเวลาจำลอง จะนำจำนวนเซลล์ที่สะสมได้มาคำนวณเพื่อหาค่าความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์ที่เอาต์พุตที่เกิดขึ้นดังนี้คือ

3.2.3.1 ความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์ที่เกิดขึ้นที่คอนเซ็นเทรเตอร์เอาต์พุต i ใดๆ

$P_{loss}[con[i]]$ = (จำนวนเซลล์ทั้งหมดที่สูญเสียที่คอนเซ็นเทรเตอร์เอาต์พุต i) / (จำนวนเซลล์ทั้งหมดที่เข้ามาที่คอนเซ็นเทรเตอร์เอาต์พุต i)

3.2.3.2 ความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์ที่เกิดขึ้นที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์ i ใดๆ

$P_{loss}[buff[i]]$ = (จำนวนเซลล์ทั้งหมดที่สูญเสียที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์ i) / (จำนวนเซลล์ทั้งหมดที่เข้ามาที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์ i)

3.2.3.3 ความน่าจะเป็นในการสูญเสียของเซลล์ที่เกิดขึ้นเฉลี่ยรวมทั้งสวิตช์

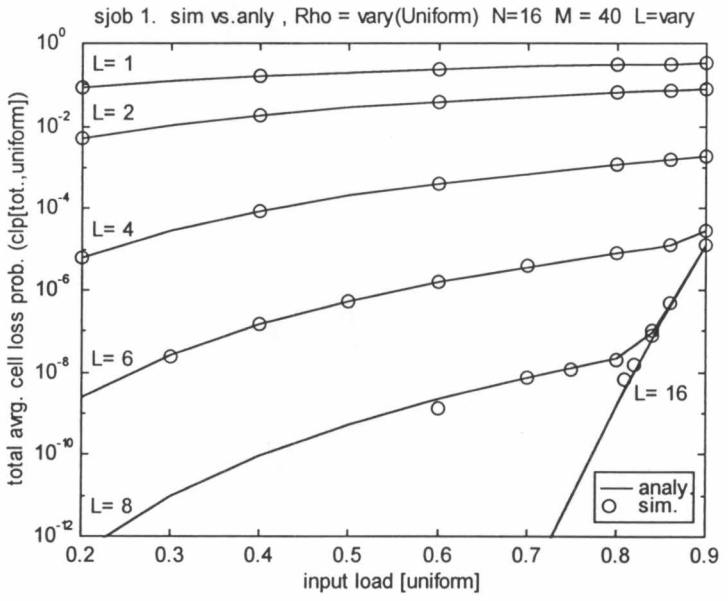
$P_{loss}[tot.]$ = (จำนวนเซลล์ทั้งหมดที่สูญเสียที่คอนเซ็นเทรเตอร์ทุกเอาต์พุต + จำนวนเซลล์ทั้งหมดที่สูญเสียที่เอาต์พุตบัฟเฟอร์ทุกเอาต์พุต) / (จำนวนเซลล์ทั้งหมดที่เข้ามาที่สวิตช์

I 17032246

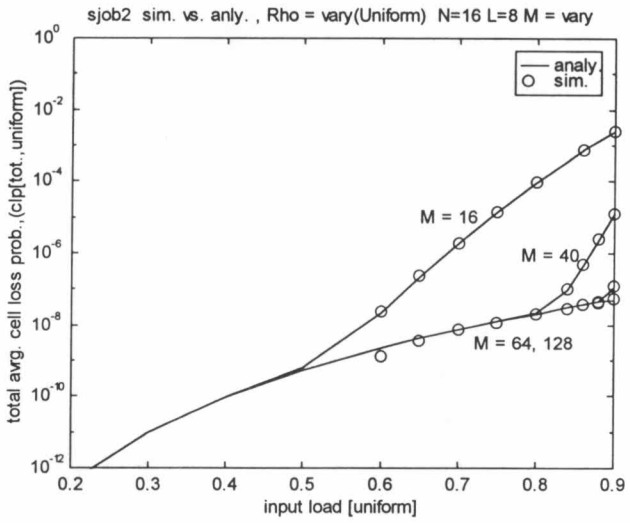
3.3 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

3.3.1 เปรียบเทียบกับผลจากการวิเคราะห์ สามารถเปรียบเทียบได้จากผลการวิเคราะห์ในบทที่ 2 กรณีกำหนดทราฟฟิกแบบไม่เป็นเบิรสต์และการกระจายไปยังเอาต์พุตแบบยูนิฟอร์มและนอนยูนิฟอร์มชนิดซิงเกิลฮอตสปอต (ในส่วนของโปรแกรม ทราฟฟิกแบบไม่เป็นเบิรสต์กำหนดได้โดยให้ $B[i] = 1$)

3.3.1.1 ทราฟฟิกแบบไม่เป็นเบิรสต์และการกระจายออกไปเอาต์พุตแบบยูนิฟอร์ม โดยการกำหนดพารามิเตอร์อินพุตในส่วนกำเนิดตามตารางที่ 3.1 ($B[i] = 1$, $h = 0$) และกำหนดเวลาของการจำลองเท่ากับ 6.25×10^8 ไทม์สล็อต ผลที่ได้จากการจำลองเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 3.6 และ 3.7

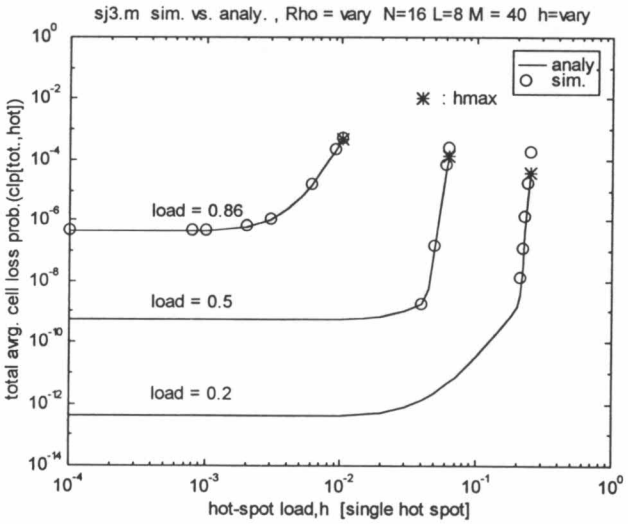


รูปที่ 3.6 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำลองโดยการเปรียบเทียบกับผลจากการวิเคราะห์เมื่อกำหนดทราฟฟิกแบบไม่เป็นเบิรสต์และการกระจายออกไปเอาต์พุตแบบยูนิฟอร์ม

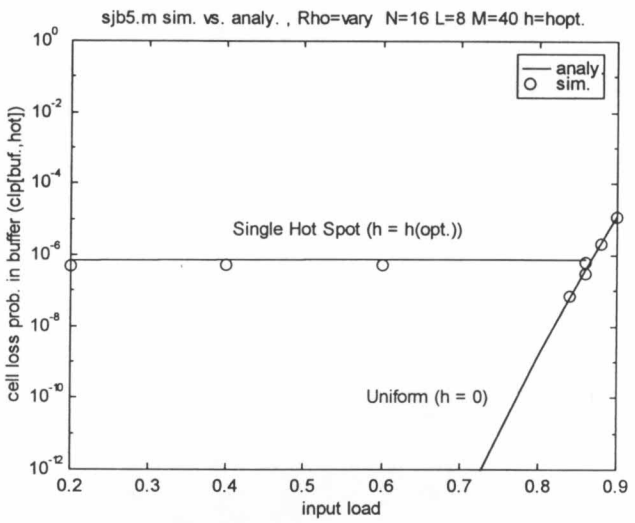


รูปที่ 3.7 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำลองโดยการเปรียบเทียบกับผลจากการวิเคราะห์เมื่อกำหนดทราฟฟิกแบบไม่เป็นเบิรสต์และการกระจายออกไปเอาต์พุตแบบยูนิฟอร์ม

3.3.1.2 ทราฟฟิกแบบไม่เป็นเบิรสต์และการกระจายออกไปเอาต์พุตแบบนอนยูนิฟอร์มชนิดซิงเกิลฮอตสปอต โดยกำหนดพารามิเตอร์อินพุตในส่วนกำเนิดตามตารางที่ 3.1 ($B[i]$ = 1, h ค่าต่างๆ) กำหนดขนาดของสวิตช์เท่ากับ 16 และเวลาของการจำลองเท่า 6.25×10^8 ไทม์สล็อต ผลที่ได้จากการจำลองเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์แสดงดังรูปที่ 3.8 และ 3.9



รูปที่ 3.8 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำลองโดยการเปรียบเทียบกับผลจากการวิเคราะห์เมื่อกำหนดทราฟฟิกแบบไม่เป็นเบิรสต์และการกระจายออกไปเอาต์พุตแบบนอนยูนิฟอร์มชนิดซิงเกิลฮอตสปอต



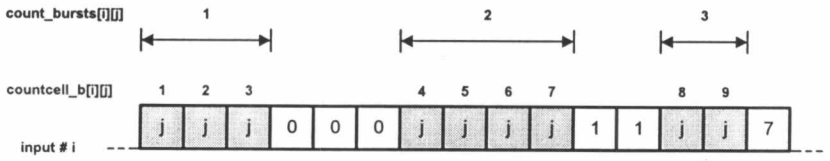
รูปที่ 3.9 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำลองโดยการเปรียบเทียบกับผลจากการวิเคราะห์เมื่อกำหนดทราฟฟิกแบบไม่เป็นเบิรสต์และการกระจายออกไปเอาต์พุตแบบนอนยูนิฟอร์มชนิดซิงเกิลฮอตสปอต

จากรูปที่ 3.6 ถึง 3.8 จะเห็นว่าผลของการจำลองเมื่อเทียบกับผลจากการวิเคราะห์เมื่อกำหนดทราฟฟิกไม่เป็นเบิรสต์และการกระจายออกไปเอาต์พุตแบบยูนิฟอร์มและนอนยูนิฟอร์มชนิดซิงเกิลฮอตสปอตมีจะไกล้เคียงกัน และจะมีค่าสู่ออก ที่ P_{loss} ต่ำกว่า $1x10^{-8}$ เป็นผลมาจากเวลาของการจำลองที่กำหนดคือ $6.25x10^{8}$ ไทม์สล็อต

3.3.2 การตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมในส่วนกำเนิดทราฟฟิกแบบเบิรสต์ จากการตรวจสอบความถูกต้องในหัวข้อที่ 3.3.1 ทำให้พิสูจน์ได้ว่าส่วนกำเนิดทราฟฟิกที่แบบไม่เป็นเบิรสต์ ส่วนการทำงานของสวิตช์และการคำนวณของโปรแกรมจำลองนั้นถูกต้อง ดังนั้นจึงเหลือแต่การตรวจสอบในส่วนของทราฟฟิกแบบเบิรสต์ที่มีการกระจายออกไปยังเอาต์พุตแบบยูนิฟอร์มและนอนยูนิฟอร์ม ในการตรวจสอบเฉพาะในส่วนนี้ได้ทำการเขียนโปรแกรมขึ้นมาตรวจสอบเซลล์ที่ออกมาจากส่วนกำเนิด โดยวิธีการนับจำนวนเซลล์ที่หมายเลขเอาต์พุตต่าง ๆ ของเบิรสต์ต่างๆที่ออกมาจากส่วนกำเนิดและจะเข้าไปที่แต่ละอินพุตของสวิตช์ และนำค่าที่นับได้ไปคำนวณหาค่าที่ต้องการได้แก่ ขนาดความยาวเฉลี่ยของเบิรสต์ ($B[i]$) ความหนาแน่นของเซลล์หรืออินพุตโหลด ($\rho[i]$) ที่อินพุต i ใดๆ และอัตราส่วนฮอตสปอต (h) มาเปรียบเทียบความถูกต้องกับพารามิเตอร์อินพุตที่กำหนด

3.3.1.1 การตรวจสอบความยาวเฉลี่ยของเบิรสต์ ความยาวเฉลี่ยของเบิรสต์ที่อินพุต i ใดๆ ($B[i]$) จะได้จากค่าเฉลี่ยของความยาวเฉลี่ยของเบิรสต์แต่ละเบิรสต์ที่มีหมายเลขเอาต์พุตตั้งแต่ 1 ถึง N ที่อินพุต i นั้น โดยความยาวเฉลี่ยของเบิรสต์แต่ละเบิรสต์ได้จากนับจำนวนครั้งที่เกิดเบิรสต์นั้นและนับจำนวนของเซลล์ที่อยู่ในเบิรสต์นั้น กำหนดให้ $B[i][j]$ แทนความยาวเฉลี่ยของเบิรสต์ที่มีหมายเลขเอาต์พุต

หมายเลข j ที่มาที่อินพุต i ของสวิตช์ กำหนดให้ count_burst[i][j] แทนจำนวนครั้งที่นับได้ที่เกิดเบิรสต์ที่มีหมายเลขเอาต์พุตหมายเลข j และกำนดให้ countcell_b[i][j] แทนจำนวนเซลล์ที่นับได้ในเบิรสต์หมายเลขนั้น ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 การนับเซลล์และเบิรสต์เพื่อนำไปคำนวณค่า $B[i]$

จากรูปสามารถคำนวณ $B[i][j]$ ได้ดังนี้

$$B[i][j] = \text{countcell_b}[i][j] \,/\, \text{count_burst}[i][j] \tag{3.7}$$

และคำนวณหา $B[i]$ จากสมการที่ 3.7

$$B[i] = (\sum_{j=1}^{N} B[i][j]) \,/\, N \tag{3.8}$$

ตารางที่ 3.2 แสดงค่า $B[i]$ ที่คำนวณได้จากการวัด เปรียบเทียบกับค่าอินพุตพารามิเตอร์ เมื่อกำหนดทราฟฟิกเป็นเบิรสต์และกระจายไปเอาต์พุตแบบยูนิฟอร์มและกำหนด $\rho[i]$ = 0.5, h = 0 เวลาการจำลองเท่ากับ 6.25x10^{8} ไทม์สล็อตและ N = 16

$\rho[i]$ = 0.5, h = 0, sim_time = 6.25x10^{8}, N = 16			
อินพุตที่	เปรียบเทียบค่า $B[i]$ จากการวัด กับค่าอินพุตพารามิเตอร์ที่กำหนด		
(i)	$B[i]$ = 2	$B[i]$ = 10	$B[i]$ = 30
1	2.011	10.067	30.310
5	2.010	10.051	30.290
10	2.014	10.056	30.331

ตารางที่ 3.2 ค่า $B[i]$ จากการวัดที่อินพุตต่าง ๆ เปรียบเทียบกับค่าอินพุตพารามิเตอร์ของทราฟฟิกแบบเบิรสต์และกระจายไปเอาต์พุตแบบยูนิฟอร์ม

3.3.1.2 การตรวจสอบความหนาแน่นของเซลล์ จากโปรแกรมจำลองในส่วนกำเนิดเซลล์ กำหนดให้การไม่เกิดเซลล์ในไทม์สล็อตใดๆแทนได้ด้วยหมายเลขเอาต์พุตหมายเลข 0 กำหนดให้ count_cell$[i][j]$ คือจำนวนเซลล์ที่นับได้ในเบิรสต์ที่มีหมายเลขเอาต์พุตหมายเลข j ที่อินพุต i ใดๆ ให้ count_cell$[i][1_N]$ แทนจำนวนเซลล์ที่นับได้ใบเบิรสต์ที่มีหมายเลขเอาต์พุตตั้งแต่ 1 ถึง N ที่อินพุต i ใดๆ จะได้

$$\text{count_cell}[i][1_N] = \sum_{j=1}^{N} \text{count_cell}[i][j] \tag{3.9}$$

ดังนั้นสามารถหาความหนาแน่นของเซลล์ที่อินพุต i ใดๆ $\rho[i]$ ได้ดังนี้

$$\rho[i] = \text{count_cell}[i][1_N] \,/\, (\,\text{count_cell}[i][0] + \text{count_cell}[i][1_N]) \tag{3.10}$$

ตารางที่ 3.3 แสดงค่า $\rho[i]$ ที่คำนวณได้จากการวัด เปรียบเทียบกับค่าอินพุตพารามิเตอร์ เมื่อกำหนดทราฟฟิกเป็นเบิรสต์และกระจายไปเอาต์พุตแบบยูนิฟอร์มและกำหนด $B[i] = 10$, $h = 0$ เวลาการจำลองเท่ากับ 6.25×10^8 ไทม์สล็อต และ $N = 16$

$B[i] = 10$, $h = 0$, sim_time = 6.25×10^8, $N = 16$			
อินพุตที่ (i)	เปรียบเทียบค่า $\rho[i]$ จากการวัด กับค่าอินพุตพารามิเตอร์ที่กำหนด		
	$\rho[i]$ = 0.2	$\rho[i]$ = 0.5	$\rho[i]$ = 0.86
2	0.200	0.500	0.860
4	0.200	0.501	0.860
9	0.201	0.500	0.860

ตารางที่ 3.3 ค่า $\rho[i]$ จากการวัดที่อินพุตต่าง ๆ เปรียบเทียบกับค่าอินพุตพารามิเตอร์ของทราฟฟิกแบบเบิรสต์และกระจายไปเอาต์พุตแบบยูนิฟอร์ม

3.3.1.3 การตรวจสอบอัตราส่วนฮอตสปอตของเบิรสต์ จากการตรวจสอบในข้อ 3.3.1.1 ทำให้สามารถพิสูจน์ได้ว่าความยาวเฉลี่ยของเบิรสต์แต่ละเบิรสต์ซึ่งรวมทั้งฮอตสปอตเบิรสต์มีค่าตามตรงตาม

พารามิเตอร์อินพุตที่กำหนด สามารถหาอัตราส่วนฮอตสปอตของเบิรสต์ที่แต่ละอินพุต ($h[i]$) หรือ h ได้โดยการนับการเกิดของฮอตสปอตที่อินพุต i ใดๆ (count_h[i]) หารด้วยจำนวนทั้งหมดที่เข้ามาที่อินพุตนั้นแล้วคูณด้วยความยาวเฉลี่ยของเบิรสต์ที่วัดได้ที่อินพุตนั้น ดังนี้

$$h[i] = (\text{count_h}[i] * B[i]) / \text{count_cell}[i][1_N] \quad (3.11)$$

ตารางที่ 3.4 แสดงค่า $h[i]$ ที่คำนวณได้จากการวัด เปรียบเทียบกับค่าอินพุตพารามิเตอร์ เมื่อกำหนดทราฟฟิกเป็นเบิรสต์และกระจายไปเอาต์พุตแบบยูนิฟอร์มและกำหนด $B[i] = 2$, $\rho[i] = 0.5$ เวลาการจำลองเท่ากับ 6.25×10^8 และ $N = 16$

$B[i] = 2$, $\rho[i] = 0.5$, sim_time = 6.25×10^8, $N = 16$	
อินพุตที่ (i)	เปรียบเทียบค่า $h[i]$ จากการวัด กับค่าอินพุตพารามิเตอร์ที่กำหนด $h[i] = 6.25 \times 10^{-2}$
1	6.394×10^{-2}
5	6.288×10^{-2}
14	6.267×10^{-2}

ตารางที่ 3.4 ค่า $h[i]$ ที่คำนวณได้จากการวัดเปรียบเทียบกับค่าอินพุตพารามิเตอร์ของทราฟฟิกแบบเบิรสต์และกระจายไปเอาต์พุตแบบนอนยูนิฟอร์มชนิดซิงเกิลฮอตสปอต

จากการตรวจสอบความถูกต้องที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้พิสูจน์ได้ว่าโมเดลของการจำลองที่กำหนดขึ้นมีความถูกต้อง และสามารถนำไปใช้เพื่อกำหนดทราฟฟิกแบบเบิรสต์และการกระจายออกไปยังเอาต์พุตแบบยูนิฟอร์มและนอนยูนิฟอร์มชนิดซิงเกิลฮอตสปอตสำหรับศึกษาผลกระทบที่มีต่อน็อกเอาต์สวิตช์ได้