บทที่ 3

การวิเคราะห์สมรรถนะการทำงาน
ของเอทีเอ็มมัลติคาสต์สวิตช์ภายใต้ทราฟฟิกแบบเบิรสต์

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงการกำหนดลักษณะของทราฟฟิกของเซลล์ข้อมูลแบบเบิรสต์ปะปนกับเซลล์ข้อมูลที่ไม่มีสหสัมพันธ์ระหว่างกัน ซึ่งจะได้เป็นเซลล์ข้อมูลขาเข้าของสวิตช์ และขั้นตอนในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแถวคอยด้านขาเข้าและเวลาที่เซลล์ข้อมูลใช้ในการเดินทางผ่านสวิตช์รวมทั้งอัตราการออกจากสวิตช์ของเซลล์ข้อมูลด้วย

3.1 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

ในบทที่ 2 นั้นได้บรรยายสรุปถึงสมรรถนะการทำงานต่างๆ ของเอทีเอ็มมัลติคาสต์สวิตช์ที่มีการให้บริการในการสร้างสำเนาเซลล์ข้อมูลด้วยวิธีการต่างๆ ซึ่งจะพบว่าวิธีการให้บริการแบบ FCFS HOL with WS นั้นจะให้สมรรถนะการทำงานโดยรวมดีที่สุด แต่จากผลการศึกษาวิจัยโดย J. Y. Hui และ T. Renner [5] นั้นเป็นการวิเคราะห์เมื่อเซลล์ข้อมูลขาเข้าแต่ละเซลล์นั้นไม่มีสหสัมพันธ์ต่อกัน ซึ่งทุกเซลล์ข้อมูลและสำเนาเซลล์ข้อมูลจะมีค่าความน่าจะเป็นที่จะออกไปยังปลายทางใดๆ เป็นการกระจายแบบเท่าเทียมกัน โดยจะกำหนดให้กระบวนการเข้ามาของเซลล์ข้อมูลเป็นกระบวนการแบบปัวส์ซอง และจะทำให้ได้วิธีการวิเคราะห์ตัวเอทีเอ็มมัลติคาสต์สวิตช์ในส่วนของการให้บริการหัวแถวคอยเป็นแบบ M/D/1 และมีผลการวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์โดยรวมเป็นแบบ M/G/1 ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้นั้นสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลในการศึกษา, พัฒนาและออกแบบตัวเอทีเอ็มสวิตช์ได้ในระดับหนึ่ง แต่ข้อมูลต่างๆ ที่ได้ยังไม่ครบถ้วนและเพียงพอ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าสภาพความเป็นจริงที่พบในปัจจุบันนั้นจะพบว่าข้อมูลที่มีการส่งผ่านโครงข่ายการสื่อสารเกือบแทบทุกประเภทจะมีความเป็นสหสัมพันธ์ต่อกัน (correlated) ไม่มากก็น้อยโดยเฉพาะเมื่อข้อมูลนั้นต้องทำการแบ่งเป็นเซลล์ข้อมูลในโครงข่ายแบบเอทีเอ็ม ซึ่งลักษณะของเซลล์ข้อมูลที่มีสหสัมพันธ์ต่อกันแบบหนึ่งที่น่าสนใจก็คือเมื่อเซลล์ข้อมูลนั้นมาติดๆ กัน โดยที่หนึ่งเซลล์ข้อมูลจะมาในหนึ่งรอบเวลาของการส่งผ่านข้อมูลในโครงข่ายและแต่ละเซลล์ข้อมูลมีอิสระต่อกันที่จะออกไปยังปลายทางใดๆ โดยไม่ขึ้นกับเซลล์ก่อนหน้า ซึ่งจะเป็นลักษณะของทราฟฟิกที่เป็นเบิรสต์ (burst) แบบหนึ่ง โดยจะเกิดกับการส่งเซลล์ข้อมูลระหว่างสวิตช์ด้วยกันตามรูปที่ 3.1 ขนาดความยาวของเบิรสต์นี้จะมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับลักษณะของข้อมูลที่เข้ามายังสวิตช์ต้นทางเป็นหลัก

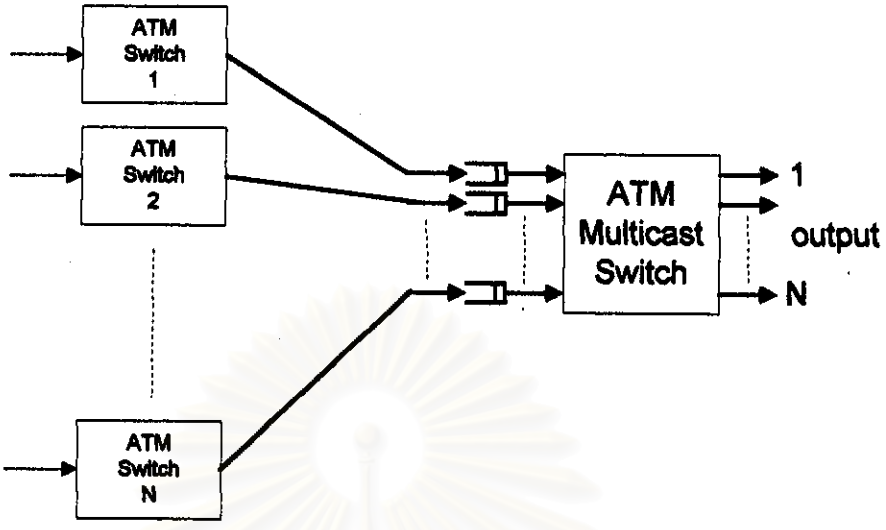
ดังนั้นในบทนี้จะได้กล่าวถึงวิธีการวิเคราะห์และการจำลองการทำงานเพื่อหาสมรรถนะการทำงานของเอทีเอ็มมัลติดาสต์สวิตช์ต่างๆ เมื่อเซลล์ข้อมูลขาเข้ามีทราฟฟิกเป็นแบบเบิรสต์ปะปนกับเซลล์ข้อมูลที่ไม่มีสหสัมพันธ์ระหว่างกันในสัดส่วนต่างๆ โดยที่เซลล์ข้อมูลแต่ละเซลล์จะออกไปยังปลายทางใดๆ โดยไม่ขึ้นกับเซลล์ก่อนหน้า และทุกๆ เซลล์ข้อมูลและสำเนาเซลล์ข้อมูลจะมีค่าความน่าจะเป็นที่จะออกไปยังปลายทางใดๆ ที่มีการกระจายแบบเท่าเทียมกัน ในการวิเคราะห์นั้นจะใช้กระบวนการแบบ MMPP ที่มี 2 สถานะจำลองกระบวนการเข้ามาของเซลล์ข้อมูลโดยสถานะหนึ่งจะแทนเซลล์ข้อมูลที่มีทราฟฟิกเป็นแบบเบิรสต์ ส่วนอีกสถานะหนึ่งจะใช้แทนเซลล์ข้อมูลที่เข้ามาเป็นแบบที่ไม่มีสหสัมพันธ์ต่อกัน

จากนั้นจะนำผลการวิเคราะห์แถวคอยแบบ G/D/1 มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หาจำนวนเฉลี่ยของหัวแถวคอยที่มีเซลล์ข้อมูลหรือสำเนาเซลล์ข้อมูลที่ต้องการจะออกไปยังปลายทางใดๆ สาเหตุที่นำมาใช้ได้เนื่องจากวิธีการวิเคราะห์แถวคอยแบบ G/D/1 นี้สามารถใช้ในการวิเคราะห์เมื่อค่าความน่าจะเป็นของระยะห่างทางเวลาระหว่างเซลล์ข้อมูลที่เข้ามามีการกระจายเป็นแบบใดก็ได้แต่ต้องมีกระบวนการเข้ามาของเซลล์ข้อมูลเป็นแบบเรเนวอล (renewal process) ในขณะที่มีอัตราในการให้บริการเซลล์ข้อมูลด้วยค่าคงที่ ซึ่งค่าที่ได้นี้จะนำไปหาค่าความน่าจะเป็นที่หัวแถวคอยใดๆ ได้รับการให้บริการต่อไปและทำให้ได้ผลการวิเคราะห์การให้บริการหัวแถวคอยเป็นแบบ MMPP/D/1 และมีผลการวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์โดยรวมเป็นแบบ MMPP/G/1 ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้นั้นจะใช้ได้ในบางกรณีเท่านั้นทั้งนี้เป็นเพราะกระบวนการแบบ MMPP นั้นจะเป็นกระบวนการแบบเรเนวอลเมื่อพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องมีค่าตามที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งจะได้อธิบายในภายหลัง แต่อย่างไรก็ตามผลของการวิเคราะห์เอทีเอ็มมัลติดาสต์สวิตช์ด้วยวิธีการนี้จะต้องให้ผลลัพธ์ที่ครอบคลุมผลการวิจัยที่ศึกษาโดย J. Y. Hui และ T. Renner [5] ด้วย

การจำลองการทำงานนั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบและเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ได้ โดยการจำลองการทำงานนี้จะใช้โปรแกรม Matlab ในการเขียนโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานของเอทีเอ็มมัลติดาสต์สวิตช์โดยมีกระบวนการเข้ามาของเซลล์ข้อมูลตามที่ได้กำหนดไว้

สำหรับแบบจำลองที่จะใช้ในการศึกษาวิจัยนั้นจะแสดงดังรูปที่ 3.1 โดยที่ตัวเอทีเอ็มมัลติดาสต์สวิตช์และลักษณะการเข้ามาของเซลล์ข้อมูลจะมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

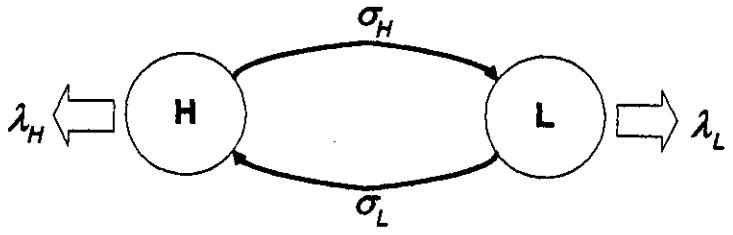
1. สวิตช์มีขนาดใหญ่มากจนเป็นอนันต์
2. บัฟเฟอร์หรือแถวคอยด้านขาเข้ามีขนาดใหญ่มากจนเป็นอนันต์
3. มีวิธีการให้บริการเซลล์ข้อมูลแบบ FCFS HOL with WS
4. ไม่มีการสูญหายของเซลล์ข้อมูลและสำเนาเซลล์ข้อมูลทั้งในแถวคอยด้านขาเข้าและในระหว่างการส่งผ่านจากหัวแถวคอยของพอร์ตด้านขาเข้าออกไปยังพอร์ตปลายทาง
5. เซลล์ข้อมูลที่เข้ามายังสวิตช์ มีความต้องการที่จะออกไปยังปลายทางใดๆ โดยไม่ขึ้นกับเซลล์ก่อนหน้า และโอกาสที่แต่ละเซลล์ข้อมูลและสำเนาเซลล์ข้อมูลจะออกไปยังปลายทางใดๆ มีค่าการกระจายแบบเท่าเทียมกัน



รูปที่ 3.1 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

3.2 <u>กระบวนการเข้ามาของเซลล์ข้อมูลตามกระบวนการแบบ MMPP ที่มี 2 สถานะ</u>

เนื่องจากเซลล์ข้อมูลขาเข้านั้นมีลักษณะมีทราฟฟิกที่เป็นแบบเบิรสต์ปะปนกับเซลล์ข้อมูลแบบที่ไม่มีสหสัมพันธ์ต่อกันและเป็นแบบมัลติคาสต์ ดังนั้นเราจึงใช้กระบวนการกำเนิดเซลล์ข้อมูลแบบ MMPP [6] ถึง [8] มาอธิบาย โดยในการศึกษาวิจัยนี้จะใช้กระบวนการแบบ MMPP ที่มี 2 สถานะสำหรับการกำเนิดเซลล์ข้อมูลที่มีทราฟฟิกทั้งสองแบบ ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยใช้ Markov chain ที่มี 2 สถานะตามรูปที่ 3.2 โดยที่สถานะแรกจะเรียกว่าสถานะ H จะทำการแทนเซลล์ข้อมูลที่กำลังจะเข้าไปยังหัวแถวคอยของสวิตช์ที่มีอัตราเฉลี่ยเป็น λ_H ต่อหนึ่งพอร์ตต่อหนึ่งรอบเวลา และสถานะที่สองเรียกว่าสถานะ L จะทำการแทนเซลล์ข้อมูลที่กำลังจะเข้าไปยังหัวแถวคอยของสวิตช์ที่มีอัตราเฉลี่ยเป็น λ_L ต่อหนึ่งพอร์ตต่อหนึ่งรอบเวลาเช่นเดียวกัน ความน่าจะเป็นของการเปลี่ยนสถานะจาก H เป็น L คือ σ_H และจากสถานะ L เป็น H คือ σ_L โดยที่ $\sigma_H \leq 1$ และ $\sigma_L \leq 1$ ซึ่งจะทำให้ได้ค่าเวลาเฉลี่ยที่ Markov chain จะอยู่ในสถานะ H และ L เป็น σ_H^{-1} และ σ_L^{-1} ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 Markov chain ที่แสดงกระบวนการของ MMPP ที่มี 2 สถานะ

แต่เนื่องจากเป็นเซลล์ข้อมูลแบบมัลติคาสต์ที่มีค่าเฉลี่ยของค่าแฟนเอาต์เป็น $E[F]$ และมีอัตราที่จะมีเซลล์ข้อมูลเข้าไปยังสวิตช์ในสถานะ H และ L เป็น $\lambda_{input\,H}$ และ $\lambda_{input\,L}$ ตามลำดับ ดังนั้นอัตราเฉลี่ยที่จะมีเซลล์ข้อมูลเข้าไปยังหัวแถวคอยในแต่ละสถานะเป็น λ_H และ λ_L จะมีค่าดังนี้

$$\lambda_H = E[F]\lambda_{input\,H}, \qquad \lambda_L = E[F]\lambda_{input\,L} \qquad ;E[F] = \sum_{f=0}^{\infty} f r_f \tag{3-1}$$

สำหรับ f คือจำนวนปลายทางของเซลล์ข้อมูลที่ต้องการออกไปยังปลายทาง ส่วน r_f คือค่าความน่าจะเป็นที่แฟนเอาต์มีค่าเท่ากับ f และค่าความน่าจะเป็นที่กระบวนการของ Markov chain นี้จะอยู่ในสถานะหนึ่งๆ [10] คือ

$$\pi = [\pi_H \;\; \pi_L] \tag{3-2}$$

$$= \left[\frac{\sigma_L}{\sigma_H + \sigma_L} \quad \frac{\sigma_H}{\sigma_H + \sigma_L} \right]$$

โดยที่

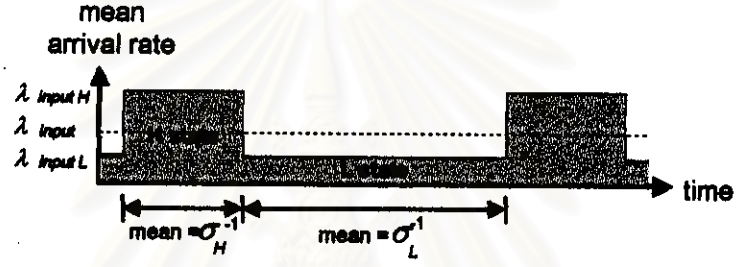
$$\pi_H + \pi_L = 1 \tag{3-3}$$

ดังนั้นค่าเฉลี่ยของอัตราที่เซลล์ข้อมูลเข้าไปยังหัวแถวคอยของสวิตช์ต่อหนึ่งพอร์ตต่อรอบเวลารวมจะมีค่าเป็น

$$\lambda = E[F].\frac{\lambda_{inputH}\sigma_L + \lambda_{inputL}\sigma_H}{\sigma_H + \sigma_L} \tag{3-4}$$

$$= E[F].\lambda_{input}$$

รูปที่ 3.3 จะแสดงลักษณะของข้อมูลที่เกิดจากกระบวนการแบบ MMPP ที่มี 2 สถานะ โดยที่ในแต่ละสถานะจะมีกระบวนการกำเนิดเซลล์ข้อมูลเป็นแบบที่ไม่มีสหสัมพันธ์ต่อกันที่มีอัตราการกำเนิดข้อมูลเฉลี่ยต่อรอบเวลาต่อพอร์ตในสถานะ H และ L เป็น $\lambda_{input\ H}$ และ $\lambda_{input\ L}$ ตามลำดับ และถ้าเราแทนค่า $\lambda_{input\ H} = \lambda_{input\ L} = \lambda_{input}$ ก็จะเปรียบได้กับกระบวนการกำเนิดเซลล์ข้อมูลเป็นแบบที่ไม่มีสหสัมพันธ์ต่อกันจากแหล่งกำเนิดเดียวที่มีอัตราการกำเนิดเซลล์ข้อมูลเฉลี่ยเป็น λ_{input} แต่ถ้าเรากำหนดให้ $\lambda_{input\ H} = 1$ และ $\lambda_{input\ L} < 1$ (หรือกลับกัน) ก็จะได้กระบวนการกำเนิดเซลล์ข้อมูลเป็นแบบเบิรสต์ปะปนกับกระบวนการกำเนิดเซลล์ข้อมูลแบบที่ไม่มีสหสัมพันธ์ต่อกัน



รูปที่ 3.3 ลักษณะของข้อมูลที่เกิดจากกระบวนการแบบ MMPP ที่มี 2 สถานะ

สำหรับค่าของ continuous time transition rate matrix ของ Markov chain นั้นจะมีค่าดังนี้ [9-10]

$$Q = \begin{bmatrix} -q_1 & q_{12} & \cdots & q_{1m} \\ q_{21} & -q_2 & \cdots & q_{2m} \\ q_{m1} & & & -q_m \end{bmatrix} \qquad (3\text{-}5)$$

โดยที่ $q_i = \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{m} q_{ij}$ และ $\pi Q = 0$ เมื่อ m คือจำนวนของสถานะของ Markov chain ดังนั้นเราจะได้ continuous time transition rate matrix ของ MMPP ที่มี 2 สถานะดังนี้

$$Q = \begin{bmatrix} -\sigma_H & \sigma_H \\ \sigma_L & -\sigma_L \end{bmatrix} \qquad (3\text{-}6)$$

กำหนดเวคเตอร์เมตริกซ์ของการอัตราเฉลี่ยที่เซลล์ข้อมูลจะเข้าไปยังหัวแถวคอยของแถวคอยด้านขาเข้าคือ $\Lambda = \text{diag}(\lambda_1, \lambda_2, ..., \lambda_m)$ เพราะฉะนั้นจะได้เวคเตอร์ Λ สำหรับกระบวนการแบบ MMPP ที่มี 2 สถานะดังนี้

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \lambda_H & 0 \\ 0 & \lambda_L \end{bmatrix} = E[F] \begin{bmatrix} \lambda_{inputH} & 0 \\ 0 & \lambda_{inputL} \end{bmatrix} \tag{3-7}$$

เราจะได้ฟังก์ชั่นความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของระยะห่างระหว่างเซลล์ข้อมูลของกระบวนการที่เซลล์ข้อมูลจะเข้าไปยังหัวแถวคอยตามกระบวนการแบบ MMPP ที่มี 2 สถานะที่อยู่ในรูปของ Laplace transform ตามสมการที่ (3-8) ดังนี้ (รายละเอียดดูได้จากภาคผนวก)

$$A^*(s) = \frac{(\sigma_L\lambda_H^2 + \sigma_H\lambda_L^2)s + (\sigma_L\lambda_H + \sigma_H\lambda_L)(\sigma_L\lambda_H + \sigma_H\lambda_L + \lambda_H\lambda_L)}{(\sigma_L\lambda_H + \sigma_H\lambda_L)(s + \lambda_L)(s + \sigma_H + \sigma_L + \lambda_H)} \tag{3-8}$$

มีค่าโมเมนต์ที่หนึ่ง, สอง และค่าความแปรปรวนตามสมการที่ (3-9) ,(3-10) และ (3-11) ตามลำดับ ซึ่งถ้ากำหนดให้ $\lambda_H = \lambda_L = \lambda$ จะทำให้ได้ค่าโมเมนต์ที่หนึ่งหรือค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของระยะห่างระหว่างเซลล์ข้อมูลมีค่าเท่ากับ $1/\lambda$ และ $1/\lambda^2$ ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับฟังก์ชั่นที่มีการกระจายที่เป็นแบบเอ็กโปเนนเชียล นั่นหมายความว่ากระบวนการที่เซลล์ข้อมูลจะเข้าไปยังหัวแถวคอยตามกระบวนการแบบ MMPP นั้นสามารถใช้แทนกระบวนการที่เซลล์ข้อมูลจะเข้าไปยังหัวแถวคอยด้วยกระบวนการแบบปัวส์ซองได้นั่นเอง

$$E[A] = -\frac{d}{ds}A^*(s)\Big|_{s=0} = \frac{\sigma_L\lambda_H(\sigma_H + \sigma_L + \lambda_L) + \sigma_H\lambda_L(\sigma_H + \sigma_L + \lambda_H)}{(\sigma_L\lambda_H + \sigma_H\lambda_L)(\sigma_L\lambda_H + \sigma_H\lambda_L + \lambda_H\lambda_L)} \tag{3-9}$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อโมเมนต์ที่สองคือ

$$E[A^2] = \frac{d^2}{ds^2} A^*(s)\Big|_{s=0}$$

$$= \frac{2((\sigma_H + \sigma_L)^2 + (\sigma_L\lambda_L + \sigma_H\lambda_H))}{(\sigma_L\lambda_H + \sigma_H\lambda_L)(\sigma_L\lambda_H + \sigma_H\lambda_L + \lambda_L\lambda_H)} \quad (3\text{-}10)$$

และมีค่าความแปรปรวนดังนี้

$$\text{var}(A) = E[A^2] - (E[A])^2$$

$$= \frac{2((\sigma_H + \sigma_L)^2 + (\sigma_L\lambda_L + \sigma_H\lambda_H))}{(\sigma_L\lambda_H + \sigma_H\lambda_L)(\sigma_L\lambda_H + \sigma_H\lambda_L + \lambda_L\lambda_H)} \quad (3\text{-}11)$$

$$- \frac{(\sigma_L\lambda_H(\sigma_H + \sigma_L + \lambda_L) + \sigma_H\lambda_L(\sigma_H + \sigma_L + \lambda_H))^2}{(\sigma_L\lambda_H + \sigma_H\lambda_L)^2(\sigma_L\lambda_H + \sigma_H\lambda_L + \lambda_H\lambda_L)^2}$$

นอกจากนี้สมการที่แสดงถึงกระบวนการของการเข้ามายังหัวแถวคอยของเซลล์ข้อมูลตามกระบวนการแบบ MMPP ที่อยู่ในรูปของ Z transform สามารถแสดงได้ดังนี้ [6]

$$g(z) = \pi \exp[Q + (z-1)\Lambda]\bullet \quad (3\text{-}12)$$

เมื่อ $\bullet = [1\ 1\ 1\ \ldots\ 1]^T$ โดยมีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนของจำนวนเซลล์ข้อมูลที่จะเข้าไปยังหัวแถวคอยของบัฟเฟอร์ด้านขาเข้าของเอทีเอ็มมัลติคาสต์สวิตช์ตามกระบวนการแบบ MMPP ที่มี 2 สถานะ ตามสมการที่ (3-13) และ (3-14) ตามลำดับ

$$E[g] = \frac{d}{dz} g(z)\Big|_{z=1}$$

$$= \frac{\lambda_H\sigma_L + \lambda_L\sigma_H}{\sigma_H + \sigma_L}$$

$$= E[F].\frac{\lambda_{\text{input}H}\sigma_L + \lambda_{\text{input}L}\sigma_H}{\sigma_H + \sigma_L} \quad (3\text{-}13)$$

$$= \lambda$$

และ

$$\mathrm{var}(g) = E[g^2] - (E[g])^2 \qquad (3-14)$$

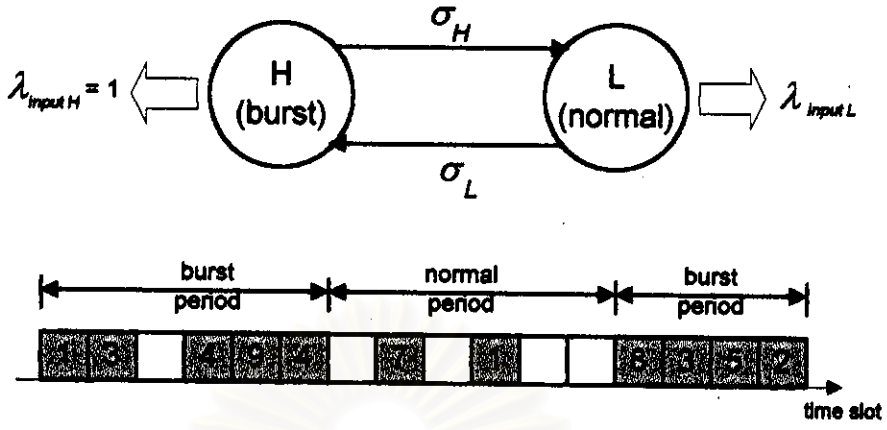
$$= \frac{d^2}{dz^2} g(z)\Big|_{z=1} + \frac{d}{dz} g(z)\Big|_{z=1} - \left(\frac{d}{dz} g(z)\Big|_{z=1}\right)^2$$

$$= \frac{\lambda_H \sigma_L + \lambda_L \sigma_H}{\sigma_H + \sigma_L} + \frac{2(\lambda_H - \lambda_L)^2 \sigma_H \sigma_L}{(\sigma_H + \sigma_L)^3} - \frac{2(\lambda_H - \lambda_L)^2 \sigma_H \sigma_L}{(\sigma_H + \sigma_L)^4}.(1 - e^{-\sigma_H - \sigma_L})$$

จากสมการที่ (3-13) และ (3-14) นั้นถ้ากำหนดให้ $\lambda_H = \lambda_L = \lambda$ จะทำให้ได้ค่าโมเมนต์ที่หนึ่งหรือค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของจำนวนเซลล์ข้อมูลที่จะเข้าไปยังหัวแถวคอยของสวิตช์ด้วยกระบวนการแบบ MMPP มีค่าเท่ากับ λ ทั้งคู่ หรือในกรณีที่ค่า $\sigma_L^{-1}/\sigma_H^{-1} \approx 0$ หรือ $\sigma_H^{-1}/\sigma_L^{-1} \approx 0$ แล้วจะทำให้ได้ค่าโมเมนต์ที่หนึ่งหรือค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนของจำนวนเซลล์ข้อมูลที่จะเข้าไปยังหัวแถวคอยของสวิตช์มีค่าเป็น λ_H ทั้งคู่หรือ λ_L ทั้งคู่ตามลำดับ ซึ่งก็จะเป็นการแทนกระบวนการแบบปัวส์ซองเช่นเดียวกัน

3.3 ทราฟฟิกของเซลล์ข้อมูลที่เป็นแบบเบิรสต์ปะปนกับแบบที่ไม่มีสหสัมพันธ์ต่อกัน

จากกระบวนการแบบ MMPP ที่มี 2 สถานะนั้นเราสามารถนำมาใช้แทนกระบวนการกำเนิดเซลล์ข้อมูลที่มีทราฟฟิกแบบเบิรสต์ปะปนกับเซลล์ข้อมูลแบบที่ไม่มีสหสัมพันธ์ต่อกันได้ กล่าวคือถ้าเรากำหนดให้ $\lambda_{input\ H} = 1$ และ $\lambda_{input\ L} < 1$ (หรือกลับกัน) เราก็จะได้กระบวนการกำเนิดเซลล์ข้อมูลที่มีทราฟฟิกเป็นแบบเบิรสต์ที่เกิดจากกระบวนการแบบ MMPP ที่อยู่ในสถานะ H โดยมีความยาวของเบิรสต์เฉลี่ยเป็น σ_H^{-1} เซลล์ข้อมูลหรือรอบเวลา ในขณะที่สถานะ L จะให้กำเนิดเซลล์ข้อมูลตามกระบวนการแบบปัวส์ซองที่มีอัตราการเกิดเฉลี่ยเป็น $\lambda_{input\ L}$ และมีระยะเวลาเฉลี่ยเป็น σ_L^{-1} รอบเวลา ในรูปที่ 3.4 แสดงลักษณะการเข้ามาของเซลล์ข้อมูลที่เข้ามาโดยมีทราฟฟิกดังกล่าว



รูปที่ 3.4 ลักษณะของทราฟฟิกของเซลล์ข้อมูลที่เป็น
แบบเบิรสต์ปะปนกับแบบที่ไม่มีสหสัมพันธ์ต่อกัน

สำหรับอัตราเฉลี่ยและค่าความแปรปรวนโดยรวมที่จะมีเซลล์ข้อมูลเข้ามายังแถวคอยนั้นยังคงเป็นไปตามสมการที่ (3-13) และ (3-14) ตามลำดับ เพียงแต่แทนค่า $\lambda_{input\ H} = 1$ และ $\lambda_{input\ L} < 1$ เท่านั้น สำหรับในกรณีของเซลล์ข้อมูลที่เข้ามาที่มีทราฟฟิกแบบเบิรสต์สลับกับช่วงที่ไม่มีเซลล์ข้อมูลเลย (idle period) นั้นก็สามารถทำได้โดยการแทนค่า $\lambda_{input\ L} = 0$ ซึ่งจะทำให้สถานะ L เปรียบเสมือนกับไม่มีการกำเนิดเซลล์ข้อมูลออกมา และระยะเวลาเฉลี่ยของการเกิดช่วงว่างก็คือ σ_L^{-1} รอบเวลาเช่นเดิม

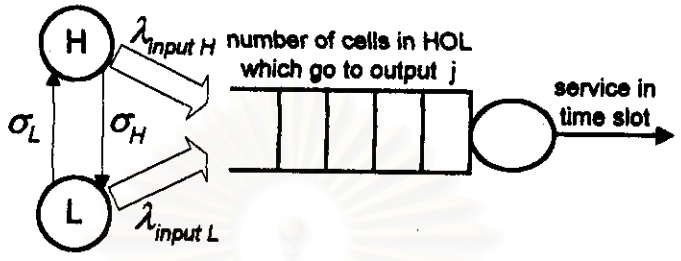
3.4 การวิเคราะห์การทำงานของสวิตช์

เนื่องจากการศึกษาวิจัยนี้จะเป็นการวิเคราะห์แถวคอยโดยการแทนกระบวนการเข้ามาของเซลล์ข้อมูลเป็นแบบ MMPP ที่มี 2 สถานะ โดยที่สวิตช์มีอัตราในการให้บริการที่คงที่เพราะเป็นสวิตช์แบบเอทีเอ็ม ทำให้เราสามารถนำวิธีการวิเคราะห์แถวคอยแบบ G/D/1 มาประยุกต์ใช้ ซึ่งผลจากการวิเคราะห์แถวคอยแบบ G/D/1 ที่ศึกษาโดย Konheim และ Meister (หน้า 239 ถึง 247 ของ [11]) นั้นพบว่าจำนวนสิ่งของใดๆ เฉลี่ยที่รออยู่ในแถวคอยใดๆ มีค่าดังนี้

$$\overline{N} = E[N] = \frac{\mathrm{var}(g)}{2(1-\lambda)} + \frac{\lambda}{2} \qquad (3\text{-}15)$$

เมื่อ var(g) คือค่าความแปรปรวนของจำนวนสิ่งของที่เข้ามายังแถวคอยและอัตราเฉลี่ยที่สิ่งของเข้ามายังแถวคอยคือ λ ดังนั้นเราสามารถหาจำนวนเฉลี่ยของเซลล์ข้อมูลที่รออยู่ในหัวแถวคอยในบัฟเฟอร์

ด้านขาเข้าของเอทีเอ็มมัลติคาสต์สวิตช์ได้โดยการแทนสมการที่ (3-13) และ (3-14) ลงในสมการที่ (3-15) จะทำให้ได้ผลการวิเคราะห์เป็นแบบ MMPP/D/1 ตามรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การวิเคราะห์หาจำนวนของเซลล์ข้อมูลที่อยู่ในหัวแถวคอย
และต้องการออกไปยังปลายทางใดๆ เป็นแบบ MMPP/D/1

เนื่องจากการวิเคราะห์แบบ G/D/1 นั้นใช้สำหรับกระบวนการของสิ่งของใดๆ ที่เข้ามาตามกระบวนการแบบเรเนวอล ซึ่งกระบวนการแบบ MMPP ที่มี 2 สถานะนี้จะมีกระบวนการเป็นไปตามกระบวนการแบบเรเนวอลก็ต่อเมื่ออัตราการเข้ามาของเซลล์ข้อมูลมีค่าเท่ากันทั้งสองสถานะ, เมื่อกระบวนการแบบ MMPP นี้อยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่งนานมากเมื่อเทียบกับอีกสถานะหนึ่ง และเมื่ออัตราการเข้ามาของเซลล์ข้อมูลในสถานะใดสถานะหนึ่งมีค่าน้อยมากๆ ซึ่งสามารถสรุปได้ดังนี้ [12]

1. $\lambda_H = \lambda_L$

หรือ 2. $\sigma_H^{-1}/\sigma_L^{-1} \rightarrow 0$ หรือกลับกัน

หรือ 3. $\lambda_L = 0$ แล้ว λ_H มีค่าใดๆ หรือกลับกัน

ซึ่งถ้ากระบวนการแบบ MMPP เป็นไปตามข้อที่ 3 นี้ก็จะทำให้กระบวนการนี้มีคุณสมบัติเป็นกระบวนการแบบ H_2 ที่มีระยะห่างทางเวลาที่แต่ละเซลล์จะเข้ามามีค่าการกระจายเป็นแบบไฮเปอร์เอ็กโปเนนเชียล ดังนั้นเราสามารถหาจำนวนเฉลี่ยของเซลล์ข้อมูลที่อยู่ในหัวแถวคอยของบัฟเฟอร์ด้านขาเข้าที่มีการสร้างสำเนาเซลล์ข้อมูลและต้องการออกไปยังปลายทาง j ใดๆ ตามข้อกำหนดข้างบนแล้วจะมีค่าดังนี้

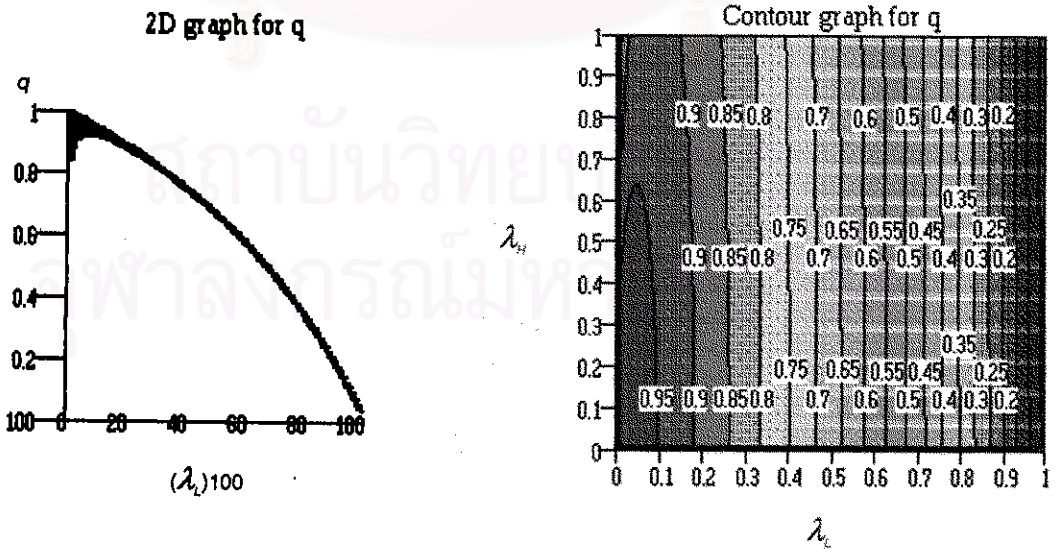
$$E[N_j] = \frac{\mathrm{var}(g)}{2(1-E[g])} + \frac{E[g]}{2} \qquad (3\text{-}16)$$

จากการวิเคราะห์การทำงานของเอทีเอ็มมัลติคาสต์สวิตช์โดย J. Y. Hui และ T. Renner [5] ทำให้เราสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่หัวแถวคอยใดๆ ได้รับการให้บริการมีค่าดังนี้

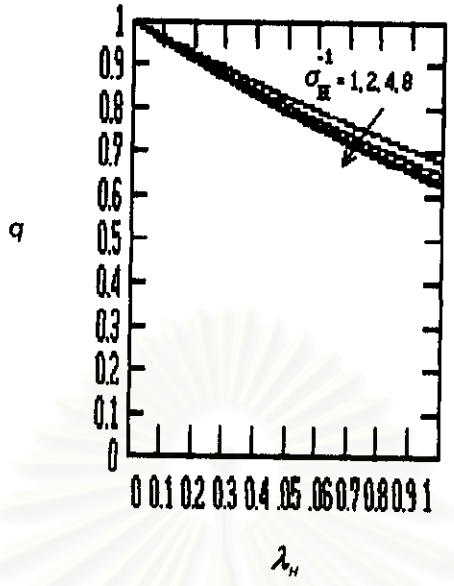
$$q = \frac{E[\mathcal{E}(N_j)]}{E[N_j]} = \frac{E[g]}{E[N_j]} \tag{3-17}$$

โดยที่ $N \rightarrow \infty$ และ $E[\mathcal{E}(N_j)]$ คือจำนวนที่หัวแถวคอยที่จะได้รับการให้บริการในแต่ละรอบเวลาหรืออัตราเฉลี่ยที่จะมีเซลล์ข้อมูลออกจากสวิตช์มีค่าเท่ากับอัตราเฉลี่ยที่จะมีเซลล์ข้อมูลเข้าไปยังหัวแถวคอยในบัฟเฟอร์ด้านขาเข้าของสวิตช์เป็น $E[g]$ ต่อพอร์ตต่อรอบเวลา

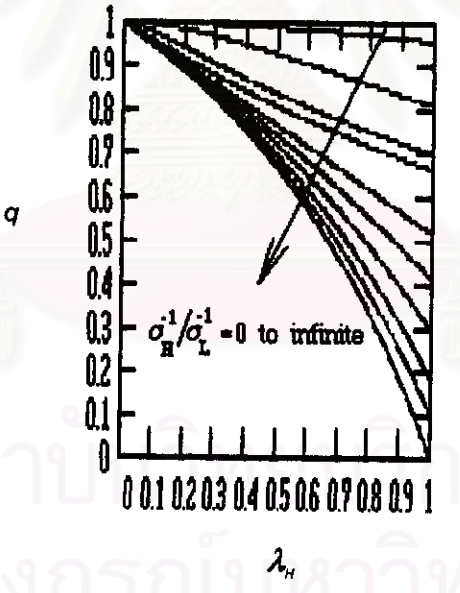
จากค่า q ที่ได้จากสมการที่ (3-17) ถ้าแทนความสัมพันธ์ตามข้อที่ 1 นั้นจะทำให้เราได้สมการที่มีค่าเท่ากับสมการที่ (2-8) สำหรับข้อที่ 2 นั้นจะแสดงได้ดังกราฟตามรูปที่ 3.6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่า q นี้จะมีค่าเข้าใกล้ค่า q ที่ศึกษาโดย J. Y. Hui และ T. Renner [5] สำหรับกราฟรูปที่ 3.7 นั้นแสดงผลกระทบของ σ_H^{-1} ที่มีต่อค่า q เมื่อ $\sigma_H^{-1}/\sigma_L^{-1}$ มีค่าคงที่ และอัตราการเข้ามาของเซลล์ข้อมูลในสถานะหนึ่งๆ มีค่าเป็นศูนย์ตามข้อที่ 2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อ σ_H^{-1} มีค่าเพิ่มมากขึ้นก็จะไม่มีผลกระทบต่อค่า q มากนัก ส่วนรูปที่ 3.8 นั้นแสดงค่า q ที่ได้ตามข้อที่ 3 โดย $\sigma_H^{-1}/\sigma_L^{-1}$ มีค่าต่างๆ



รูปที่ 3.6 ค่า q เมื่อ $\sigma_H^{-1}/\sigma_L^{-1} = 0.01$ และ $\sigma_H^{-1} = 1$ รอบเวลา



รูปที่ 3.7 ผลกระทบของค่า σ_H^{-1} ต่อ q เมื่อ $\sigma_H^{-1}/\sigma_L^{-1} = 0.25$, $\lambda_L = 0$



รูปที่ 3.8 ค่า q เมื่อ $\sigma_H^{-1}/\sigma_L^{-1}$ มีค่าต่างๆ โดย $\lambda_L = 0$

จากรูปที่ 3.6 ถึง 3.8 นี้เป็นจริงสำหรับทุกๆ ค่าของแฟนเอาต์ โดยสวิตช์ต้องมีขนาดใหญ่มาก สำหรับการเปรียบเทียบค่า q ที่ได้นี้กับค่า q ที่ได้จากการวิเคราะห์ของ J. Y. Hui และ T. Renner [5] นั้นจะต้องทำการเปรียบเทียบที่ค่า $\lambda_H = \lambda_L = \lambda$ นอกจากนี้เมื่อค่า $\sigma_H^{-1}/\sigma_L^{-1}$ มีค่าน้อยๆ ก็จะทำให้ Markov chain เปรียบเสมือนอยู่ในสถานะ L เพียงสถานะเดียวเท่านั้น ซึ่งจะทำให้ได้เซลล์ข้อมูลที่เกิดจากสถานะ

เดียวของกระบวนการแบบ MMPP ที่มี 2 สถานะเท่านั้น จะทำให้ q ที่ได้มีค่าแปรเปลี่ยนไปตามค่า λ_L มากกว่าที่จะแปรตามค่า λ_H ดังรูปที่ได้แสดงไว้ และจะมีค่าเข้าใกล้ค่า q ที่ได้จากการวิเคราะห์ของ J. Y. Hui และ T. Renner [5] เช่นกันดังรูปที่ 3.6 สำหรับผลกระทบจากระยะเวลาเฉลี่ยของรอบเวลาที่กระบวนการอยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่งเมื่อ $\sigma_H^{-1}/\sigma_L^{-1}$ (หรือ $\sigma_L^{-1}/\sigma_H^{-1}$) มีค่าคงที่นั้นจากกราฟรูปที่ 3.7 และ 3.8 นั้นจะพบว่าเมื่อ σ_H^{-1} มีค่าน้อย (จากกราฟเมื่อไม่เกิน 10 รอบเวลา) จะมีผลต่อ q บ้างเล็กน้อย แต่เมื่อ σ_H^{-1} มีค่ามากๆ จะทำให้ q มีค่าเปลี่ยนไปไม่มากนัก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าระยะเวลาเฉลี่ยที่กระบวนการแบบ MMPP จะอยู่ในสถานะใดสถานะหนึ่งจะมีผลกระทบต่อค่า q น้อยมากเมื่อเราคิดว่าอัตราส่วนระหว่าง $\sigma_H^{-1}/\sigma_L^{-1}$ มีค่าคงที่แล้ว

เมื่อเราได้ค่าความน่าจะเป็นที่หัวแถวคอยจะได้รับการให้บริการแล้ว ก็สามารถนำไปหาพารามิเตอร์อื่นๆ ได้ตามที่ศึกษาโดย J. Y. Hui และ T. Renner [5] เนื่องจากสวิตช์มีการทำงานที่เหมือนกัน ดังนั้นค่าเฉลี่ยทางเวลาที่เซลล์ข้อมูลใช้เวลาในการเดินทางผ่านสวิตช์คือ

$$E[T] = E[U] + \frac{\lambda_{input} E[X(X-1)]}{2(1-\lambda_{input} E[X])} \qquad (3\text{-}18)$$

ซึ่งค่าเฉลี่ยการรอคอยที่หัวแถวคอยก่อนได้รับการให้บริการคือ $E[U] = 1/q$ สำหรับ λ_{input} มีค่าตามสมการที่ (3-4) และ (3-13) โดยที่ $E[X]$ คือค่าเฉลี่ยของเวลาของการให้บริการหัวแถวคอยใดๆ จนครบทุกสำเนาและมีค่ากำลังสองอยู่ในรูป $E[X(X-1)]$ ซึ่งทั้งสองมีค่าดังนี้

$$E[X] = \sum_f r_f \sum_{k=1}^{f} \binom{f}{k} \frac{(-1)^{k+1}}{1-(1-q)^k} \qquad (3\text{-}19)$$

และ

$$E[X(X-1)] = \sum_f r_f \sum_{k=1}^{f} \binom{f}{k} (-1)^{k+1} \frac{2(1-q)^k}{(1-(1-q)^k)^2} \qquad (3\text{-}20)$$

ในการหาอัตราที่เซลล์ข้อมูลออกมามีค่าสูงสุดนั้นจะกำหนดให้ค่าเฉลี่ยของการหน่วงเวลาในการส่งเซลล์ข้อมูลผ่านสวิตช์มีค่าเป็นอนันต์และจากสมการที่ (3-18) จะได้

$$1 = \lambda_{input} \cdot E[X] \qquad (3\text{-}21)$$

โดยการแทน λ_{input} ด้วยสมการที่ (3-4) และ (3-13) ,แทน $E[X]$ ด้วยสมการที่ (3-19) และแทน $E[F] = f$ จะได้

$$f = E[g].\ E[X] = E[g].\sum_{k=1}^{f}\binom{f}{k}\frac{(-1)^{k+1}}{1-(1-q)^{k}} \qquad (3\text{-}22)$$

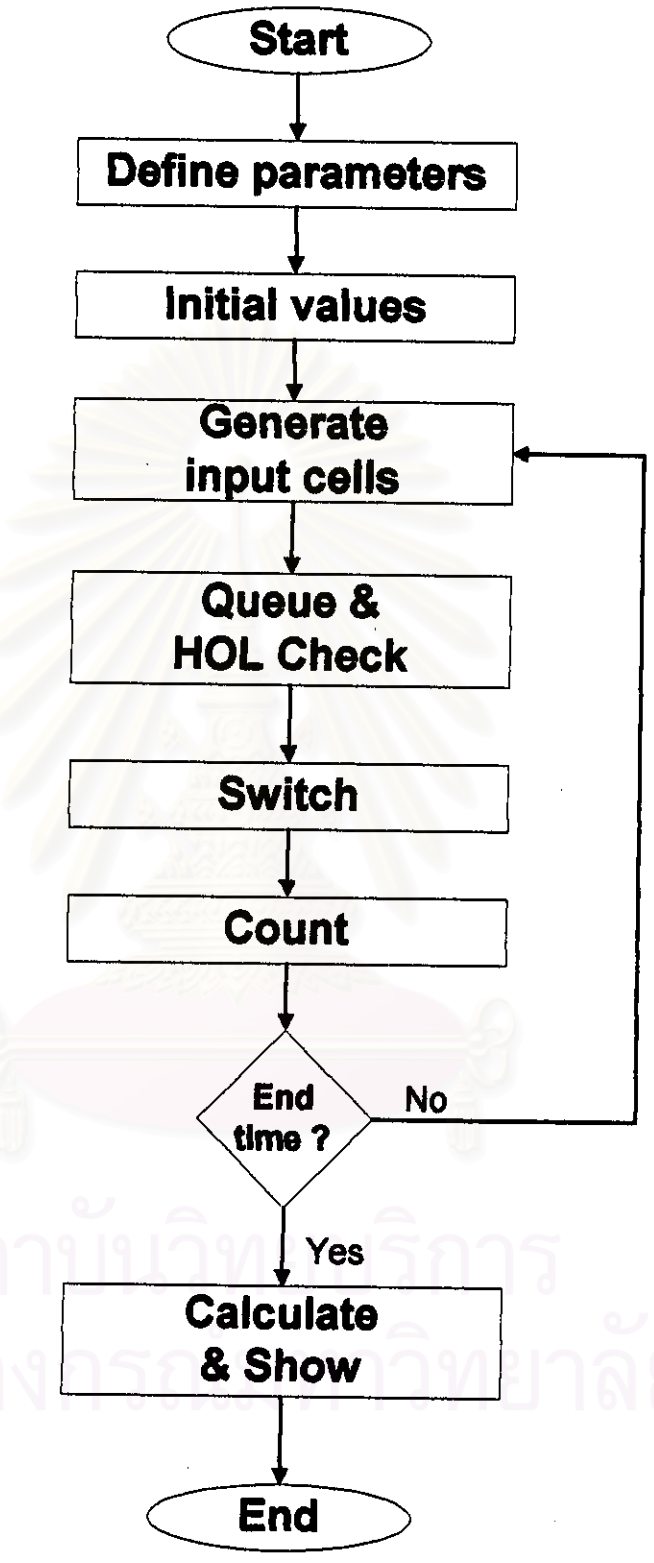
จากสมการที่ (3-18) และ (3-22) ที่ได้นั้นทำให้เราสามารถหาค่าเฉลี่ยของเซลล์ข้อมูลที่เดินทางผ่านสวิตช์และอัตราสูงสุดที่จะมีเซลล์ข้อมูลออกจากสวิตช์ได้ตามลำดับ โดยการแทนค่า q ในสมการที่ (3-17) ด้วยสมการที่ (3-13), (3-14) และ (3-16) และใช้วิธีการคำนวณแบบ numerical เพื่อหาค่าออกมาได้ในที่สุด

3.5 การจำลองการทำงาน

ในการจำลองการทำงานจะใช้โปรแกรม Matlab ในการพัฒนาโปรแกรมและจำลองการทำงานของตัวเอทีเอ็มมัลติคาสต์สวิตช์ที่มีทราฟฟิกของเซลล์ข้อมูลที่เข้ามาที่สวิตช์ตามที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งโปรแกรมการจำลองนี้จะประกอบด้วยโปรแกรมย่อยจำนวน 4 โปรแกรมคือ โปรแกรมที่ชื่อ ATM_M.m ทำหน้าที่รับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่กำหนดให้โปรแกรมทำงานและยังเป็นโปรแกรมหลักที่เรียกโปรแกรมย่อยอื่นๆ ทำงาน ซึ่งจะมีค่าพารามิเตอร์ในการกำหนดให้โปรแกรมจะเป็นดังนี้

- N คือขนาดของสวิตช์
- F คือจำนวนแฟนเอาต์ปลายทาง
- MeanH คือเวลาเฉลี่ยที่กระบวนการแบบ MMPP จะอยู่ในสถานะ H
- IpLoadH คืออัตราเฉลี่ยที่จะมีเซลล์ข้อมูลเข้ามาที่สวิตช์เมื่อกระบวนการแบบ MMPP อยู่ในสถานะ H
- MeanL คือเวลาเฉลี่ยที่กระบวนการแบบ MMPP จะอยู่ในสถานะ L
- IpLoadL คืออัตราเฉลี่ยที่จะมีเซลล์ข้อมูลเข้ามาที่สวิตช์เมื่อกระบวนการแบบ MMPP อยู่ในสถานะ L
- Time slot คือระยะเวลาที่ใช้ในการจำลองการทำงาน

จากรูปที่ 3.9 จะแสดงขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ATM_M.m โดยโปรแกรมจะรอรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามที่กล่าวไปแล้วจากผู้ใช้งาน



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการทำงานโดยรวมของโปรแกรม
ที่ใช้จำลองการทำงานเอทีเอ็มมัลติคาสต์สวิตช์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อผู้ใช้งานทำการป้อนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เรียบร้อยแล้วโปรแกรมจะทำการตั้งค่าตัวแปรเริ่มต้นที่จำเป็นในการทำงาน หลังจากนั้นจะเข้าสู่การวนรอบการทำงานตามระยะเวลาที่เราได้กำหนด ซึ่งจะไปเรียกโปรแกรมที่ใช้ในการกำเนิดเซลล์ข้อมูลขึ้นมาก่อน หลังจากนั้นจะเรียกโปรแกรมที่ทำหน้าที่จัดแถวคอยหรือบัฟเฟอร์ขาเข้าของสวิตช์และตรวจสอบหัวแถวคอยว่าว่างหรือไม่ ซึ่งโปรแกรมย่อยนี้จะทำการนำเซลล์ข้อมูลที่สร้างขึ้นมานำไปต่อท้ายแถวคอยและคอยเลื่อนเซลล์ข้อมูลที่อยู่ในแถวคอยนี้เมื่อหัวแถวคอยว่าง และจะไปทำการเรียกโปรแกรมที่ทำหน้าที่สวิตช์เซลล์ข้อมูลและสำเนาเซลล์ข้อมูลไปยังปลายทาง หลังจากที่ทำการสวิตช์เสร็จในรอบเวลานั้นแล้วโปรแกรมก็จะทำการนับจำนวนเซลล์ที่สามารถออกไปยังปลายทางได้ในแต่ละรอบเวลา และหาเวลาที่แต่ละเซลล์ข้อมูลใช้ในการเดินทางจนผ่านออกมายังปลายทาง เมื่อโปรแกรมทำงานจนครบตามเวลาที่กำหนดไว้แล้วก็จะทำการคำนวณค่าอัตราที่จะมีเซลล์ข้อมูลออกมายังปลายทาง และเวลาเฉลี่ยที่เซลล์ข้อมูลใช้ในการเดินทางผ่านสวิตช์ อนึ่งในโปรแกรมนี้ได้ตั้งค่าให้เริ่มนับจำนวนเซลล์ข้อมูลและจับเวลาที่แต่ละเซลล์ข้อมูลใช้ในการเดินทางผ่านสวิตช์หลังจากที่โปรแกรมทำงานไปแล้ว 500 รอบเวลา ทั้งนี้เพื่อให้มั่นใจว่าโปรแกรมที่เราได้จำลองการทำงานนั้นได้ทำงานจนถึงจุดสภาวะคงตัวแล้ว

สำหรับตัวอย่างในการเรียกใช้งานโปรแกรมย่อยนี้หลังจากที่ปรากฏเครื่องหมายรอรับคำสั่ง "ป" บนหน้าต่างของโปรแกรม Matlab จะมีดังนี้

```
ป ATM_M
[N F MeanH IpLoadH MeanL IpLoadL Timeslot]=>[64 2 5 1 20 0.5 1500]

ป ATM_M
[N F MeanH IpLoadH MeanL IpLoadL Timeslot]=>[64 4 10 1 25 1 1500]
```

โปรแกรม gen_cell.m เป็นโปรแกรมที่กำเนิดเซลล์ข้อมูลที่จะเข้ามายังสวิตช์นั้นสามารถแสดงตัวอย่างของโปรแกรมได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้ ซึ่งตัวโปรแกรมจะเริ่มทำการสุ่มค่าเพื่อหาสถานะว่าจะอยู่ในสถานะ H หรือ L ซึ่งค่าที่สุ่มนี้จะสุ่มในตอนตั้งค่าเริ่มต้นของโปรแกรม ATM_M.m ซึ่งจะทำการสุ่มค่าขึ้นมาครั้งแรกเท่ากับ N x Timeslot ในทีเดียว และโปรแกรมนี้จะเรียกใช้ค่าเหล่านี้ทีละค่าเพื่อตรวจสอบสถานะและสร้างเซลล์ข้อมูลโดยจะมีอัตราการสร้างเซลล์ขึ้นอยู่กับสถานะและอัตราเฉลี่ยที่เราได้กำหนดไว้ในแต่ละสถานะ ซึ่งโปรแกรมนี้ก็จะทำการสุ่มค่าขึ้นมาอีกชุดหนึ่งเพื่อใช้ในการตรวจสอบว่า ณ รอบเวลานี้จะมีเซลล์ที่จะเข้าไปยังสวิตช์หรือไม่ ซึ่งโปรแกรมจะทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนครบทุกพอร์ตในแต่ละรอบเวลา

```
for input = 1:N                          (วนรอบการทำงานจนครบทุกพอร์ตอินพุต)
    if check1(input) == 1,               (ตรวจสอบว่ารอบเวลาก่อนหน้านี้อยู่ในสถานะใด)
        if i(input,t) >= 1/meanH,        (ตรวจสอบค่าที่สุ่มว่ามีจะอยู่ในสถานะใด)
            a(input,t) = 1;              (กำหนดให้รอบเวลานี้อยู่ในสถานะ H)
        else
            check1(input) = 0;           (กำหนดให้รอบเวลาถัดไปอยู่ในสถานะ L)
        end
    else
        if  i(input,t) < 1/meanL,
            check1(input) = 1;           (กำหนดให้รอบเวลาถัดไปอยู่ในสถานะ H)
            a(input,t) = 1;
        end
    end
    j = rand(1);                 (สุ่มค่าเพื่อใช้บอกว่า ณ รอบเวลานี้จะมีเซลล์ข้อมูลหรือไม่)
    if a(input,t) == 1,                  (ตรวจดูว่ารอบเวลานี้อยู่ในสถานะ H หรือไม่)
        if j <= ipH,
            IP(input) = t;               (ณ รอบเวลานี้มีเซลล์ข้อมูลที่อยู่ในสถานะ H)
        else
            IP(input) = 0;               (ณ รอบเวลานี้ไม่มีเซลล์ข้อมูลที่อยู่ในสถานะ H)
        end
    else
        if j <= ipL,
            IP(input) = t;               (ณ รอบเวลานี้มีเซลล์ข้อมูลที่อยู่ในสถานะ L)
        else
            IP(input) = 0;               (ณ รอบเวลานี้ไม่มีเซลล์ข้อมูลที่อยู่ในสถานะ L)
        end
    end
end
```

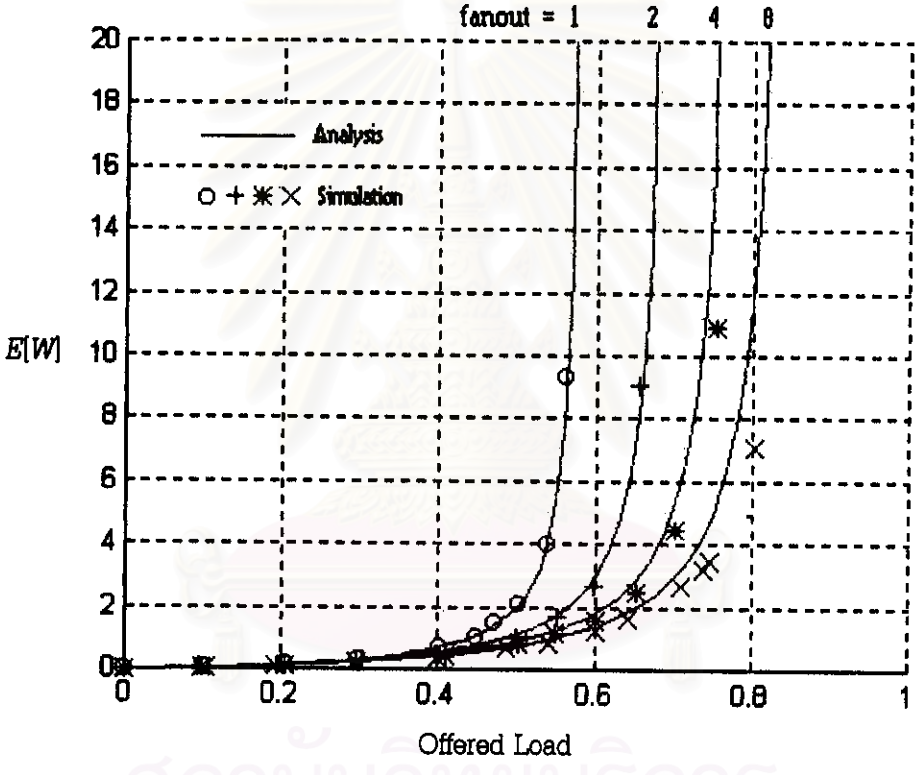
สำหรับการทำงานในส่วนของโปรแกรมที่ใช้เลื่อนเซลล์ข้อมูลนั้นจะใช้โปรแกรม queue.m ซึ่งในขั้นตอนการทำงานที่สำคัญจะมีเพียงแต่การตรวจสอบหัวแถวคอยว่าว่างหรือไม่ ซึ่งถ้าว่างก็จะทำการเลื่อนเซลล์ข้อมูลที่อยู่ในตำแหน่งถัดไปเข้ามา ซึ่งจะวนรอบทำจนครบทุกพอร์ตอินพุต สุดท้ายเป็นโปรแกรม switch.m นั้นใช้สำหรับการส่งผ่านเซลล์ข้อมูลและสำเนาเซลล์ข้อมูลผ่านไปยังพอร์ตปลายทาง โดยมีขั้นตอนการทำงานดังตัวอย่างต่อไปนี้

```
For output = 1:N
    For input = 1:N
        1 ตรวจดูว่ามีเซลล์ข้อมูลในหัวแถวคอยใดที่มีความต้องการออกไปยังปลายทางนี้
        2 ตรวจดูว่าเซลล์ข้อมูลใดเข้ามายังหัวแถวคอยก่อน)
        3 ถ้าเป็นไปตาม 1 และ 2 ให้ทำการกำหนดให้หัวแถวคอยนั้นว่างและนับเซลล์ข้อมูล
          และหาเวลาที่เซลล์ข้อมูลนั้นใช้ในการเดินทางผ่านสวิตช์
    End
End
```

สุดท้ายโปรแกรมจะทำการนับรวบรวมจำนวนเซลล์ข้อมูลทั้งหมดที่สามารถผ่านออกมายังพอร์ตปลายทางได้ และทำการหาเวลาเฉลี่ยที่เซลล์ข้อมูลแต่ละเซลล์ใช้ในการเดินทางผ่านสวิตช์ นอกจากนี้ในตัวโปรแกรมเองยังได้ทำการตรวจนับและหาเวลาเฉลี่ยที่กระบวนการแบบ MMPP อยู่ในสถานะ H และ L ด้วย สำหรับขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องในการทำงานของโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นมานั้น ในขั้นแรกจะทำการจำลองการทำงานของเอทีเอ็มมัลติคาสต์สวิตช์เมื่อแฟนเอาต์มีค่าต่างๆ กันตามรูปที่ 3.10 โดยที่กำหนดให้ $\lambda_{input\ H} = \lambda_{input\ L} = \lambda_{input}$ ซึ่งจะทำให้กระบวนการแบบ MMPP เป็นไปตามข้อกำหนดที่ 1 และจะมีกระบวนการเป็นแบบปัวส์ซองที่อัตราการเข้ามาของเซลล์ข้อมูลเป็น λ_{input} และได้กำหนดให้ $\sigma_H^{-1}/\sigma_L^{-1}$ มีค่าเท่ากับ 0.1 ซึ่งค่า $\sigma_H^{-1}/\sigma_L^{-1}$ ที่ได้จากการจำลองการทำงานจะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.1009 ซึ่งผิดพลาดไป 0.9 % โดยที่เวลาเฉลี่ยที่กระบวนการอยู่ในสถานะ H จะมีค่าประมาณเท่ากับ 2 รอบเวลา ดังนั้นเราสามารถหาอัตราที่จะมีเซลล์ข้อมูลออกจากสวิตช์มีค่าสูงสุดได้โดยกำหนดให้ $\lambda_{input\ H} = \lambda_{input\ L} = 1$ และสามารถวัดค่าดังกล่าวได้ดังต่อไปนี้เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ดังตารางที่ 3.1 เมื่อกำหนดให้สวิตช์ที่จำลองการทำงานมีขนาดเท่ากับ 64 x 64 พอร์ต และใช้เวลาในการจำลองการทำงานทั้งสิ้น 1500 รอบเวลา โดยนำค่าที่วัดได้ใน 1000 รอบเวลาสุดท้ายในการคำนวณค่าออกมา ส่วนเวลาเฉลี่ยที่เซลล์ข้อมูลต้องรอคอยก่อนออกจากสวิตช์นั้นจะเป็นไปตามรูปที่ 3.10

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบอัตราสูงสุดที่จะมีเซลล์ข้อมูลออกจากสวิตช์ระหว่างผลการวิเคราะห์กับการจำลองการทำงาน เมื่อ N = 64 ที่ 1000 รอบเวลา

แฟนเอาต์	1	2	4	8
ผลการวิเคราะห์	0.5858	0.6946	0.7790	0.8489
การจำลองการทำงาน (เฉลี่ย)	0.5858	0.6980	0.7829	0.8600



รูปที่ 3.10 เปรียบค่า $E[W]$ ระหว่างผลการวิเคราะห์กับการจำลองการทำงาน เมื่อ N = 64 และที่ 1000 รอบเวลา

จากผลการเปรียบเทียบที่ได้จะเห็นว่าจะมีค่าผิดพลาดบ้างเล็กน้อย ทั้งนี้เป็นเพราะขนาดของสวิตช์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานมีค่าเท่ากับ 64 x 64 พอร์ต ในขณะที่การวิเคราะห์จะกำหนดให้ขนาดของสวิตช์มีขนาดเป็นอนันต์ และจะสังเกตเห็นได้ว่าเมื่อแฟนเอาต์มีค่าเพิ่มขึ้นก็จะทำให้ผลการเปรียบเทียบมีความแตกต่างมากขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะอัตราส่วนระหว่างแฟนเอาต์ต่อขนาดของสวิตช์มีค่าไม่เข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งต่างจากข้อกำหนดที่ใช้ในการวิเคราะห์ว่าอัตราส่วนดังกล่าวจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ อัตราส่วนดังกล่าวนี้จะบอกให้เราทราบ

ว่าเมื่อสวิตช์มีขนาดที่ใหญ่มากเมื่อเทียบกับค่าแฟนเอาต์แล้ว จะทำให้อัตราที่จะมีเซลล์ข้อมูลแย่งกันออกที่ปลายทางใดๆ มีค่ามากขึ้น แต่ถ้าขนาดของสวิตช์มีขนาดไม่ใหญ่มากเมื่อเทียบกับค่าแฟนเอาต์แล้วจะทำให้อัตราการแย่งกันออกมีค่าลดลง ซึ่งจะทำให้มีอัตราที่จะมีเซลล์ข้อมูลออกจากสวิตช์มีค่าสูงขึ้นและเวลาเฉลี่ยที่เซลล์ข้อมูลใช้ในการรอคอยก็จะมีค่าลดลงด้วย

ในบทต่อไปเราจะได้กล่าวถึงผลการวิเคราะห์สมรรถนะการทำงานของเอทีเอ็มมัลติคาสต์สวิตช์ที่ได้จากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลจากการจำลองการทำงาน โดยกำหนดลักษณะการเข้ามาของเซลล์ข้อมูลให้มีพารามิเตอร์ค่าต่างๆ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย