บทที่ 4

เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS

บทนี้กล่าวถึงเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ประเภทแรก คือ เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่ไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ ประกอบด้วย 1. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI และ 2. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA ประเภทที่ 2 คือเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ ประกอบด้วย 1. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS 2. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA 3. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA และ 4. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA ทั้งนี้การนำเสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณในแต่ละแบบจะนำเสนอในรูปการวิเคราะห์เป็นสมการคณิตศาสตร์

4.1 ที่มาของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Random Slot Selection (RSS)

เมื่อพิจารณาการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP ที่นำเสนอในบทที่ 3 พบว่ายังมีปัญหาดังนี้

1. การเข้าจองช่องสัญญาณของของผู้ใช้บริการนั้นจะต้องกระทำเรียงลำดับจากช่องสัญญาณจองต้นเฟรมไปยังช่องสัญญาณจองท้ายเฟรม ทำให้ช่องสัญญาณจองที่อยู่ต้นเฟรมมีโอกาสที่จะรองรับปริมาณโหลดมากกว่าช่องสัญญาณจองที่อยู่ท้ายเฟรม นอกจากนี้การที่ผู้ใช้บริการมีโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณได้เพียงครั้งเดียวในแต่ละเฟรม การเข้าจองช่องสัญญาณเรียงตามลำดับของช่องสัญญาณจองอาจไม่ใช่เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่เหมาะสม
2. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ CFP ยังไม่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการได้

จากปัญหาของเทคนิคการเข้าจองช่องสัญญาณแบบ CFP ดังกล่าว วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS โดยมีหลักการคือผู้ใช้บริการที่สามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณ จะสุ่มเลือกเข้าจองในช่องสัญญาณจองช่องใดช่องหนึ่งอย่างอิสระ (Random Slot Selection) ไม่ขึ้นกับผู้ใช้บริการรายอื่น ๆ ดังนั้นจะทำให้เกิดการกระจายการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการออกไปอย่างทั่วถึงตลอดเฟรม นอกจากนี้ยังได้ทำการพัฒนาเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ดังกล่าวเพื่อให้สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่อง

สัญญาณให้กับผู้ใช้บริการได้ ดังนั้นเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS 2 ที่นำเสนอในบทนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่ไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ ได้แก่
   1.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI
   1.2 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA
2. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่สามารถกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ ได้แก่
   2.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS
   2.2 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA
   2.3 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA
   2.4 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA

กำหนดตัวแปรที่แสดงในสมการในบทนี้ไว้ ดังนี้

กรณีไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ

k จำนวนผู้ใช้บริการที่จองช่องสัญญาณสำเร็จ

M จำนวนผู้ใช้บริการ

N จำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรม

p ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณ

กรณีมีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ

C จำนวนคลาส (ระดับ) ของผู้ใช้บริการที่ระบบรองรับ

k_i จำนวนผู้ใช้บริการคลาสที่ i ที่จองช่องสัญญาณสำเร็จ

m_i จำนวนผู้ใช้บริการคลาสที่ i

n_i จำนวนช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาสที่ i

p_i ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาสที่ i

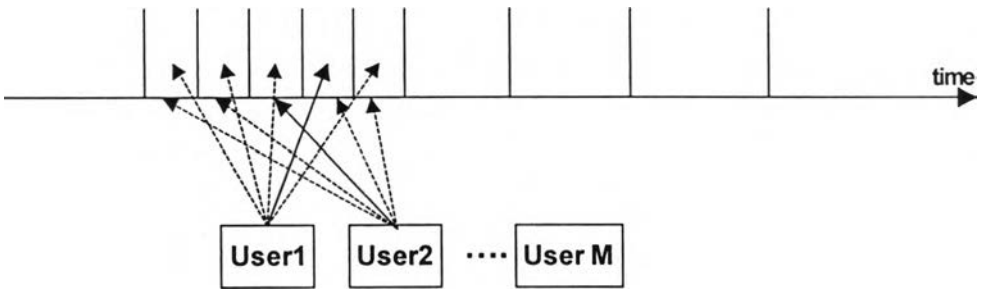
N จำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรม

4.2 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS

4.2.1 เมื่อไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ

4.2.1.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Uniform (UNI)

ในเทคนิคนี้ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะสุ่มเลือกช่องสัญญาณจองขึ้นมา 1 ช่องจากช่องสัญญาณทั้งหมด N ช่อง ดังนั้นเมื่อพิจารณาระบบที่มีช่องสัญญาณจองจำนวน N ช่อง โอกาสที่ช่องสัญญาณแต่ละช่องจะถูกเลือกจะมีค่าเท่ากับ $1/N$ รูปที่ 4.1 แสดงตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI เมื่อระบบประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวน M ราย ช่องสัญญาณจองจำนวน N ช่อง



รูปที่ 4.1 การทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI

เมื่อพิจารณาระบบที่มีผู้ใช้บริการที่เข้าจองช่องสัญญาณจำนวน M รายและช่องสัญญาณจองจำนวน N ช่อง พบว่าเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นเมื่อพิจารณาช่องสัญญาณจองช่องใด ๆ เป็นไปได้ 3 กรณีคือ

- การว่าง เกิดเนื่องจากไม่มีผู้ใช้บริการรายใดในระบบเข้าจองช่องสัญญาณ โดยความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะเกิดการว่าง $= b[M,0,1/N]$
- การสำเร็จ เกิดเนื่องจากมีผู้ใช้บริการเพียงรายเดียวในระบบเข้าจองช่องสัญญาณ โดยความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะเกิดการสำเร็จ $= b[M,1,1/N]$
- การชน เกิดเนื่องจากมีผู้ใช้บริการตั้งแต่ 2 รายขึ้นไปเข้าจองช่องสัญญาณพร้อมกัน โดยความน่าจะเป็นที่ช่องสัญญาณจะเกิดการชน $= \sum_{i=2}^{M} b[M,i,1/N]$

จากค่าความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นในช่องสัญญาณจองช่องใด ๆ จะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นรวมตลอดเฟรมที่จะมีผู้ใช้บริการจำนวน k ราย จองช่องสัญญาณได้สำเร็จ ($P_{UNI}[k|M,N]$) โดยอาศัยหลักการรีเคอร์ซีฟได้ดังสมการ

$$\begin{aligned} P_{UNI}[k|M,N] &= b[M,0,1/N]\ P_{UNI}[k|M,N-1] \\ &\quad + b[M,1,1/N]\ P_{UNI}[k-1|M-1,N-1] \\ &\quad + \sum_{i=2}^{M} b[M,i,1/N]\ P_{UNI}[k|M-i,N-1] \end{aligned} \tag{4.1}$$

และกำหนดค่าเริ่มต้นของสมการ (4.1) ดังนี้

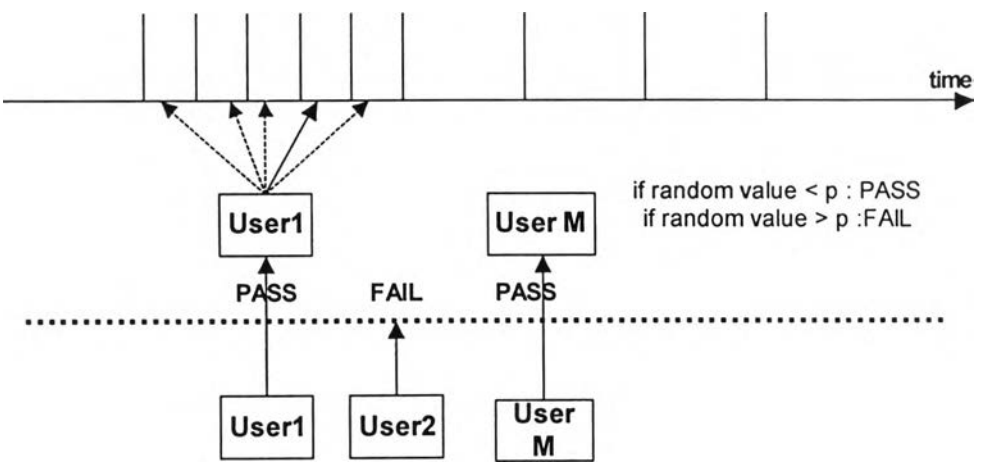
$$P_{UNI}[k|M,N] = \begin{cases} 0 & if\ k<0, M\geq 0, N\geq 0 \\ 1 & if\ k=0, M\geq 0, N=0 \\ 0 & if\ k>0, M\geq 0, N=0 \\ 1 & if\ k=0, M\geq 2, N=1 \\ 0 & if\ k>0, M\geq 2, N=1 \\ 1 & if\ k=0, M=0, N\geq 1 \\ 0 & if\ k=0, M=1, N\geq 1 \\ 1 & if\ k=1, M=1, N\geq 1 \end{cases}$$

จากค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณในกรณีต่าง ๆ สามารถหาค่าวิสัยสามารถของระบบซึ่งนิยามว่าเป็นจำนวนผู้ใช้บริการเฉลี่ยที่สามารถจองช่องสัญญาณสำเร็จ ($T_{UNI}[M,N]$) ได้จากสมการ

$$T_{UNI}[M,N] = \sum_{j=0}^{M} \left(j \times P_{UNI}[j|M,N] \right) \tag{4.2}$$

4.2.1.2 **เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ** Uniform + Limited Access (UNI+LA)

เมื่อพิจารณาระบบในข้างต้นพบว่า การทำงานดังกล่าวจะประสบปัญหาในสภาวะทราฟฟิกสูง เพราะถ้าจำนวนผู้ใช้บริการมีมากกว่าจำนวนช่องสัญญาณจอง จะทำให้ช่องสัญญาณจองบางช่องมีผู้ใช้บริการเข้าจองมากกว่าหนึ่งราย ซึ่งทำให้เกิดปัญหาการชนกันและส่งผลให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดต่ำลง ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหานี้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เสนอวิธีในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่สามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้ในแต่ละเฟรมผ่านทางการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณ โดยผู้ใช้บริการทุกรายจะต้องทำการสุ่มค่าระหว่าง 0-1 ขึ้นมา และหากค่าที่สุ่มขึ้นดังกล่าวต่ำกว่าค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่กำหนด ผู้ใช้บริการรายนั้นจะสามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณได้ โดยหลังจากผ่านขั้นตอนการสุ่มค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเพื่อจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการที่จะสามารถผ่านเข้าไปจองช่องสัญญาณแล้ว ระบบจะมีการทำงานเช่นเดียวกับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA เมื่อระบบประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวน M ราย ช่องสัญญาณจองจำนวน N ช่อง และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเท่ากับ p



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA

จากหลักการดังกล่าว เมื่อพิจารณาระบบที่ประกอบด้วยผู้ใช้บริการจำนวน M ราย ช่องสัญญาณจองจำนวน N ช่อง และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณเท่ากับ p จะสามารถวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการ k รายสามารถจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ ($P_{UNI+LA}[k \mid M,N]$) เป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$P_{UNI+LA}[k \mid M,N] = \sum_{i=0}^{M} \left(b[M,i,p]\, P_{UNI}[k \mid i,N] \right) \tag{4.3}$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+LA}[M,N]$) หาได้จากสมการ

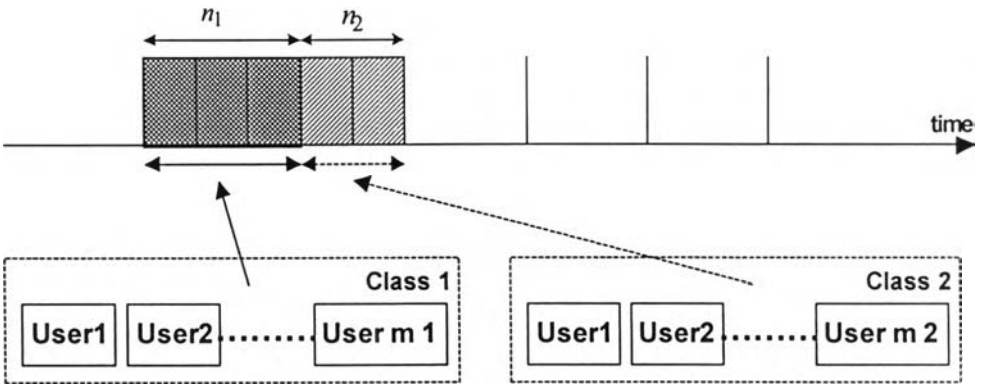
$$T_{UNI+LA}[M,N] = \sum_{j=0}^{M} \left(j \times P_{UNI+LA}[j \mid M,N] \right) \tag{4.4}$$

ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการ คือค่า p ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.4) เทียบกับ p เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2 เมื่อมีการกำหนดลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการ

4.2.2.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Uniform + Divided Slot (UNI+DS)

เทคนิคการจองช่องสัญญาณวิธีนี้มีพื้นฐานมาจากเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI โดยทำการแบ่งส่วนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาส หลังจากนั้นผู้ใช้บริการในแต่ละคลาสจะสุ่มเลือกช่องสัญญาณจองในกลุ่มของตนเช่นเดียวกับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS ในกรณีที่มีผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน m_1 และ m_2 ราย ช่องสัญญาณที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน n_1 และ n_2 ช่อง



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS

4.2.2.1.1 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาส

จากการแบ่งผู้ใช้บริการและช่องสัญญาณจองออกเป็น 2 ส่วน ทำให้ค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการแต่ละคลาสจะสามารถจองช่องสัญญาณสำเร็จเป็นอิสระกัน ดังนั้นจะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จองช่องสัญญาณสำเร็จจำนวน k_1 และ k_2 ราย จากผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 ที่เข้าจองช่องสัญญาณจำนวน m_1 และ m_2 ราย ช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน n_1 และ n_2 ช่อง โดยที่ $n_1 + n_2 = N$ ($P_{UNI+DS}[k_1,k_2|m_1,m_2,n_1,n_2]$) ได้จากสมการ

$$\begin{aligned} &P_{UNI+DS}[k_1,k_2|m_1,m_2,n_1,n_2] \\ &= P_{UNI}[k_1|m_1,n_1] \times P_{UNI}[k_2|m_2,n_2] \end{aligned} \tag{4.5}$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+DS}[m_1,m_2,n_1,n_2]$) หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} &T_{UNI+DS}[m_1,m_2,n_1,n_2] \\ &= \sum_{j_1=0}^{m_1} \left(j_1 \times P_{UNI+DS}[j_1|m_1,m_2,n_1,n_2] \right) \\ &+ \sum_{j_2=0}^{m_2} \left(j_2 \times P_{UNI+DS}[j_2|m_1,m_2,n_1,n_2] \right) \end{aligned} \tag{4.6}$$

โดยที่

$$P_{UNI+DS}[j_1 \mid m_1, m_2, n_1, n_2] = \sum_{k_1=j_1}^{j_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} P_{UNI+DS}[k_1, k_2 \mid m_1, m_2, n_1, n_2]$$
$$P_{UNI+DS}[j_2 \mid m_1, m_2, n_1, n_2] = \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=j_2}^{j_2} P_{UNI+DS}[k_1, k_2 \mid m_1, m_2, n_1, n_2] \quad (4.7)$$

จำนวนช่องสัญญาณจองที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 คือค่า n_1 และ n_2 ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.6) เทียบกับ n_1 และ n_2 เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.1.2 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส

เมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส จะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จองช่องสัญญาณสำเร็จจำนวน k_1 k_2 และ k_3 รายตามลำดับ จากผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จำนวน m_1 m_2 และ m_3 ราย ช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จำนวน n_1 n_2 และ n_3 ช่อง โดยที่ $n_1 + n_2 + n_3 = N$ ($P_{UNI+DS}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3]$) ได้จากสมการ

$$P_{UNI+DS}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] = P_{UNI}[k_1 \mid m_1, n_1] \times P_{UNI}[k_2 \mid m_2, n_2] \times P_{UNI}[k_3 \mid m_3, n_3] \quad (4.8)$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+DS}[m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3]$) หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} T_{UNI+DS}[m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] &= \sum_{j_1=0}^{m_1} \left(j_1 \times P_{UNI+DS}[j_1 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \right) \\ &+ \sum_{j_2=0}^{m_2} \left(j_2 \times P_{UNI+DS}[j_2 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \right) \\ &+ \sum_{j_3=0}^{m_3} \left(j_3 \times P_{UNI+DS}[j_3 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \right) \end{aligned} \quad (4.9)$$

โดยที่

$$
\begin{aligned}
&P_{UNI+DS}[j_1 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&= \sum_{k_1=j_1}^{j_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \sum_{k_3=0}^{m_3} P_{UNI+DS}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&P_{UNI+DS}[j_2 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=j_2}^{j_2} \sum_{k_3=0}^{m_3} P_{UNI+DS}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&P_{UNI+DS}[j_3 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \sum_{k_3=j_3}^{j_3} P_{UNI+DS}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3]
\end{aligned}
\tag{4.10}
$$

จำนวนช่องสัญญาณจองที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 คือค่า n_1 n_2 และ n_3 ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.9) เทียบกับ n_1 n_2 และ n_3 เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.1.3 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ C คลาส

จากหลักการดังกล่าวข้างต้นสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน k_i ราย สามารถจองช่องสัญญาณสำเร็จ จากจำนวนผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน m_i ราย และช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน n_i ช่อง โดยที่ $\sum_{i=1}^{C} n_i = N$ ($P_{UNI+DS}[k_1, k_2, ..., k_C \mid m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C]$) ได้จากสมการ

$$
\begin{aligned}
&P_{UNI+DS}[k_1, k_2, .., k_C \mid m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C] \\
&= \prod_{i=1}^{C} P_{UNI}[k_i \mid m_i, n_i]
\end{aligned}
\tag{4.11}
$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+DS}[m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C]$) หาได้จากสมการ

$$
\begin{aligned}
&T_{UNI+DS}[m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C] \\
&= \sum_{i=1}^{C} \sum_{j_i=0}^{m_i} \left(j_i \times P_{UNI+DS}[j_i \mid m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, .., n_C] \right)
\end{aligned}
\tag{4.12}
$$

I20473618

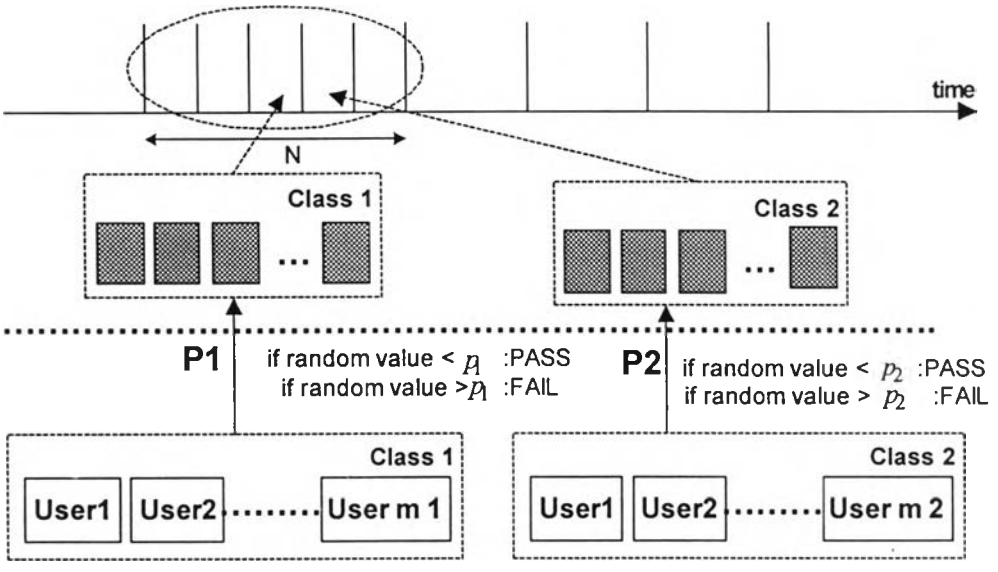
โดยที่

$$P_{UNI+DS}[j_i \mid m_1, m_2, .., m_C, n_1, n_2, ..., n_C] \tag{4.13}$$
$$= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \cdots \sum_{k_i=j_i}^{j_i} \cdots \sum_{k_C=0}^{m_C} P_{UNI+DS}[k_1, k_2, ..., k_i, ..., k_C \mid m_1, m_2, ..., m_i, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_i, ..., n_C]$$

จำนวนช่องสัญญาณจองที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาสที่ i คือค่า n_i ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.12) เทียบกับ n_i เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.2 **เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ** Uniform + Multiple Limited Access (UNI+MLA)

เทคนิคการจองช่องสัญญาณวิธีนี้มีพื้นฐานมาจากเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+LA จากการที่ผู้ใช้บริการแต่ละคลาสมีคุณภาพการบริการที่ต้องการที่แตกต่างกัน ดังนั้นจึงเกิดแนวคิดในการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการแต่ละคลาสให้มีค่าต่างกัน โดยจะพบว่าการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาสที่มีลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณมากกว่าให้มีค่าสูงกว่าจะช่วยเพิ่มโอกาสที่ผู้ใช้บริการคลาสนั้นจะจองช่องสัญญาณสำเร็จ รูปที่ 4.4 แสดงตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA ในกรณีที่มีผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน m_1 และ m_2 ราย ช่องสัญญาณจอง N ช่องและกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 เท่ากับ p_1 และ p_2



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA

4.2.2.2.1 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาส

ค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จองช่องสัญญาณสำเร็จจำนวน k_1 และ k_2 ราย เมื่อกำหนดจำนวนช่องสัญญาณจองในเฟรมเท่ากับ N ช่อง กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 เป็น p_1 และ p_2 ตามลำดับ ($P_{UNI+MLA}[k_1,k_2 \mid m_1,m_2,N]$) สามารถหาได้จากสมการ

$$P_{UNI+MLA}[k_1,k_2 \mid m_1,m_2,N] = \sum_{a_1=0}^{m_1}\sum_{a_2=0}^{m_2}\left(b[m_1,a_1,p_1]b[m_2,a_2,p_2]P[k_1,k_2 \mid a_1,a_2,N]\right) \quad (4.14)$$

โดยที่

$$
\begin{aligned}
P[k_1,k_2|a_1,a_2,N] &= b[a_1,0,1/N]b[a_2,0,1/N]P[k_1,k_2|a_1,a_2,N-1] \\
&+ b[a_1,0,1/N]b[a_2,1,1/N]P[k_1,k_2-1|a_1,a_2-1,N-1] \\
&+ b[a_1,0,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2} b[a_2,i_2,1/N]P[k_1,k_2|a_1,a_2-i_2,N-1] \\
&+ b[a_1,1,1/N]b[a_2,0,1/N]P[k_1-1,k_2|a_1-1,a_2,N-1] \\
&+ b[a_1,1,1/N]b[a_2,1,1/N]P[k_1,k_2|a_1-1,a_2-1,N-1] \\
&+ b[a_1,1,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2} b[a_2,i_2,1/N]P[k_1,k_2|a_1-1,a_2-i_2,N-1] \\
&+ \sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]b[a_2,0,1/N]P[k_1,k_2|a_1-i_1,a_2,N-1] \\
&+ \sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]b[a_2,1,1/N]P[k_1,k_2|a_1-i_1,a_2-1,N-1] \\
&+ \sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2} b[a_2,i_2,1/N]P[k_1,k_2|a_1-i_1,a_2-i_2,N-1]
\end{aligned}
\tag{4.15}
$$

และกำหนดค่าเริ่มต้นของสมการ (4.15) ไว้ดังนี้

$$
P[k_1,k_2|a_1,a_2,N]=\begin{cases}
0 & if\ k_1<0\ or\ k_2<0, a_1+a_2\geq 0, N\geq 0 \\
0 & if\ k_1+k_2>N, a_1+a_2\geq 0, N\geq 0 \\
0 & if\ k_1>a_1\ or\ k_2>a_2, a_1+a_2\geq 0, N\geq 0 \\
1 & if\ k_1+k_2=0, a_1+a_2\geq 0, N=0 \\
1 & if\ k_1+k_2=0, a_1+a_2=0, N\geq 0 \\
1 & if\ k_1+k_2=0, a_1+a_2>1, N=1 \\
0 & if\ k_1+k_2>0, a_1+a_2>1, N=1 \\
0 & if\ k_1+k_2=0, a_1+a_2=1, N\geq 1 \\
1 & if\ k_1+k_2=1, a_1+a_2=1, N\geq 1
\end{cases}
$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+MLA}[m_1,m_2,N]$) หาได้จากสมการ

$$
\begin{aligned}
&T_{UNI+MLA}[m_1,m_2,N] \\
&=\sum_{j_1=0}^{m_1}\left(j_1\times P_{UNI+MLA}[j_1|m_1,m_2,N]\right) \\
&+\sum_{j_2=0}^{m_2}\left(j_2\times P_{UNI+MLA}[j_2|m_1,m_2,N]\right)
\end{aligned}
\tag{4.16}
$$

โดยที่

$$P_{UNI+MLA}[j_1 \mid m_1, m_2, N] = \sum_{k_1=j_1}^{j_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} P_{UNI+MLA}[k_1, k_2 \mid m_1, m_2, N]$$
$$P_{UNI+MLA}[j_2 \mid m_1, m_2, N] = \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=j_2}^{j_2} P_{UNI+MLA}[k_1, k_2 \mid m_1, m_2, N] \quad (4.17)$$

ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 คือค่า p_1 และ p_2 ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.16) เทียบกับ p_1 และ p_2 เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.2.2 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส

เมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส จะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จองช่องสัญญาณสำเร็จจำนวน k_1 k_2 และ k_3 รายตามลำดับ จากผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จำนวน m_1 m_2 และ m_3 ราย ช่องสัญญาณจองจำนวน N ช่อง และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 เท่ากับ p_1 p_2 และ p_3 ($P_{UNI+MLA}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, N]$) ได้จากสมการ

$$P_{UNI+MLA}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, N] \quad (4.18)$$
$$= \sum_{a_1=0}^{m_1} \sum_{a_2=0}^{m_2} \sum_{a_3=0}^{m_3} \left(b[m_1, a_1, p_1] b[m_2, a_2, p_2] b[m_3, a_3, p_3] P[k_1, k_2, k_3 \mid a_1, a_2, a_3, N] \right)$$

โดยที่

$$
\begin{aligned}
&P[k_1,k_2,k_3 \mid a_1,a_2,a_3,N] \qquad (4.19)\\
&= b[a_1,0,1/N]b[a_2,0,1/N]b[a_3,0,1/N]P[k_1,k_2,k_3 \mid a_1,a_2,a_3,N-1]\\
&+ b[a_1,0,1/N]b[a_2,0,1/N]b[a_3,1,1/N]P[k_1,k_2,k_3-1 \mid a_1,a_2,a_3-1,N-1]\\
&+ b[a_1,0,1/N]b[a_2,0,1/N]\sum_{i_3=2}^{a_3} b[a_3,i_3,1/N]P[k_1,k_2,k_3 \mid a_1,a_2,a_3-i_3,N-1]\\
&+ b[a_1,0,1/N]b[a_2,1,1/N]b[a_3,0,1/N]P[k_1,k_2-1,k_3 \mid a_1,a_2-1,a_3,N-1]\\
&+ b[a_1,0,1/N]b[a_2,1,1/N]b[a_3,1,1/N]P[k_1,k_2,k_3 \mid a_1,a_2-1,a_3-1,N-1]\\
&+ b[a_1,0,1/N]b[a_2,1,1/N]\sum_{i_3=2}^{a_3} b[a_3,i_3,1/N]P[k_1,k_2,k_3 \mid a_1,a_2-1,a_3-i_3,N-1]\\
&+ b[a_1,0,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2} b[a_2,i_2,1/N]b[a_3,0,1/N]P[k_1,k_2,k_3 \mid a_1,a_2-i_2,a_3,N-1]\\
&+ b[a_1,0,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2} b[a_2,i_2,1/N]b[a_3,1,1/N]P[k_1,k_2,k_3 \mid a_1,a_2-i_2,a_3-1,N-1]\\
&+ b[a_1,0,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2} b[a_2,i_2,1/N]\sum_{i_3=2}^{a_3} b[a_3,i_3,1/N]P[k_1,k_2,k_3 \mid a_1,a_2-i_2,a_3-i_3,N-1]\\
&+ b[a_1,1,1/N]b[a_2,0,1/N]b[a_3,0,1/N]P[k_1-1,k_2,k_3 \mid a_1-1,a_2,a_3,N-1]\\
&+ b[a_1,1,1/N]b[a_2,0,1/N]b[a_3,1,1/N]P[k_1,k_2,k_3 \mid a_1-1,a_2,a_3-1,N-1]\\
&+ b[a_1,1,1/N]b[a_2,0,1/N]\sum_{i_3=2}^{a_3} b[a_3,i_3,1/N]P[k_1,k_2,k_3 \mid a_1-1,a_2,a_3-i_3,N-1]\\
&+ b[a_1,1,1/N]b[a_2,1,1/N]b[a_3,0,1/N]P[k_1,k_2,k_3 \mid a_1-1,a_2-1,a_3,N-1]\\
&+ b[a_1,1,1/N]b[a_2,1,1/N]b[a_3,1,1/N]P[k_1,k_2,k_3 \mid a_1-1,a_2-1,a_3-1,N-1]\\
&+ b[a_1,1,1/N]b[a_2,1,1/N]\sum_{i_3=2}^{a_3} b[a_3,i_3,1/N]P[k_1,k_2,k_3 \mid a_1-1,a_2-1,a_3-i_3,N-1]\\
&+ b[a_1,1,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2} b[a_2,i_2,1/N]b[a_3,0,1/N]P[k_1,k_2,k_3 \mid a_1-1,a_2-i_2,a_3,N-1]\\
&+ b[a_1,1,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2} b[a_2,i_2,1/N]b[a_3,1,1/N]P[k_1,k_2,k_3 \mid a_1-1,a_2-i_2,a_3-1,N-1]\\
&+ b[a_1,1,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2} b[a_2,i_2,1/N]\sum_{i_3=2}^{a_3} b[a_3,i_3,1/N]P[k_1,k_2,k_3 \mid a_1-1,a_2-i_2,a_3-i_3,N-1]
\end{aligned}
$$

$$+\sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\,b[a_2,0,1/N]\,b[a_3,0,1/N]\,P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-i_1,a_2,a_3,N-1]$$

$$+\sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\,b[a_2,0,1/N]\,b[a_3,1,1/N]\,P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-i_1,a_2,a_3-1,N-1]$$

$$+\sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\,b[a_2,0,1/N]\sum_{i_3=2}^{a_3} b[a_3,i_3,1/N]\,P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-i_1,a_2,a_3-i_3,N-1]$$

$$+\sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\,b[a_2,1,1/N]\,b[a_3,0,1/N]\,P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-i_1,a_2-1,a_3,N-1]$$

$$+\sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\,b[a_2,1,1/N]\,b[a_3,1,1/N]\,P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-i_1,a_2-1,a_3-1,N-1]$$

$$+\sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\,b[a_2,1,1/N]\sum_{i_3=2}^{a_3} b[a_3,i_3,1/N]\,P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-i_1,a_2,a_3-i_3,N-1]$$

$$+\sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2} b[a_2,i_2,1/N]\,b[a_3,0,1/N]\,P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-i_1,a_2-i_2,a_3,N-1]$$

$$+\sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2} b[a_2,i_2,1/N]\,b[a_3,1,1/N]\,P\{k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-i_1,a_2-i_2,a_3-1,N-1]$$

$$+\sum_{i_1=2}^{a_1} b[a_1,i_1,1/N]\sum_{i_2=2}^{a_2} b[a_2,i_2,1/N]\sum_{i_3=2}^{a_3} b[a_3,i_3,1/N]\,P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1-i_1,a_2-i_2,a_3-i_3,N-1]$$

โดยกำหนดค่าเริ่มต้นของสมการ (4.19) ไว้ดังนี้

$$P[k_1,k_2,k_3\,|\,a_1,a_2,a_3,N]$$

$$=\begin{vmatrix}
0 & if\ k_1<0\ or\ k_2<0,\ or\ k_3<0, a_1+a_2+a_3\geq 0, N\geq 0\\
0 & if\ k_1+k_2+k_3>N, a_1+a_2+a_3\geq 0, N\geq 0\\
0 & if\ k_1>a_1\ or\ k_2>a_2\ \ or\ k_3>a_3, a_1+a_2+a_3\geq 0, N\geq 0\\
1 & if\ k_1+k_2+k_3=0, a_1+a_2+a_3\geq 0, N=0\\
1 & if\ k_1+k_2+k_3=0, a_1+a_2+a_3=0, N\geq 0\\
1 & if\ k_1+k_2+k_3=0, a_1+a_2+a_3>1, N=1\\
0 & if\ k_1+k_2+k_3>0, a_1+a_2+a_3>1, N=1\\
0 & if\ k_1+k_2+k_3=0, a_1+a_2+a_3=1, N\geq 1\\
1 & if\ k_1+k_2+k_3=1, a_1+a_2+a_3=1, N\geq 1
\end{vmatrix}$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+MLA}[m_1,m_2,m_3,N]$)หาได้จากสมการ

$$
\begin{aligned}
&T_{UNI+MLA}[m_1,m_2,m_3,N] \\
&=\sum_{j_1=0}^{m_1}\left(j_1\times P_{UNI+MLA}[j_1|m_1,m_2,m_3,N]\right) \\
&+\sum_{j_2=0}^{m_2}\left(j_2\times P_{UNI+MLA}[j_2|m_1,m_2,m_3,N]\right) \\
&+\sum_{j_3=0}^{m_3}\left(j_3\times P_{UNI+MLA}[j_3|m_1,m_2,m_3,N]\right)
\end{aligned}
\qquad (4.20)
$$

โดยที่

$$
\begin{aligned}
&P_{UNI+MLA}\ [j_1|m_1,m_2,m_3,N] \\
&=\sum_{k_1=j_1}^{j_1}\sum_{k_2=0}^{m_2}\sum_{k_3=0}^{m_3} P_{UNI+MLA}\ [k_1,k_2,k_3|m_1,m_2,m_3,N] \\
&P_{UNI+MLA}\ [j_2|m_1,m_2,m_3,N] \\
&=\sum_{k_1=0}^{m_1}\sum_{k_2=j_2}^{j_2}\sum_{k_3=0}^{m_3} P_{UNI+MLA}\ [k_1,k_2,k_3|m_1,m_2,m_3,N] \\
&P_{UNI+MLA}\ [j_3|m_1,m_2,m_3,N] \\
&=\sum_{k_1=0}^{m_1}\sum_{k_2=0}^{m_2}\sum_{k_3=j_3}^{j_3} P_{UNI+MLA}\ [k_1,k_2,k_3|m_1,m_2,m_3,N]
\end{aligned}
\qquad (4.21)
$$

ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 คือค่า p_1 p_2 และ p_3 ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.20) เทียบกับ p_1 p_2 และ p_3 เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.2.3 กรณีระบบรองรับผู้ใช้บริการ C คลาส

จากหลักการดังกล่าวข้างต้นสามารถวิเคราะห์หาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน k_i ราย จองช่องสัญญาณสำเร็จจากจำนวนผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน m_i ราย และช่องสัญญาณจองจำนวน N ช่อง และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาสที่ i เท่ากับ p_i ($P_{UNI+MLA}[k_1,k_2,...,k_C|m_1,m_2,...,m_C,N]$) ได้จากสมการ

$$P_{UNI+MLA}[k_1,k_2,..,k_C|m_1,m_2,...,m_C,N]$$
$$=\sum_{a_1=0}^{m_1}\sum_{a_2=0}^{m_2}...\sum_{a_C=0}^{m_C}\left(\left(\prod_{i=1}^{C}b[m_i,a_i,p_i]\right)P[k_1,k_2,...,k_C\mid a_1,a_2,...,a_C,N]\right) \quad (4.22)$$

โดยที่

$$P[k_1,k_2,...,k_C|a_1,a_2,...,a_C,N] \quad (4.23)$$
$$=\sum_{i_1=0}^{a_1}\sum_{i_2=0}^{a_2}...\sum_{i_C=0}^{a_C}\left(\left(\prod_{j=1}^{C}b[a_j,i_j,1/N]\right)P[k_1,k_2,...,k_C|a_1-i_1,a_2-i_2,...,a_C-i_C,N-1]\right)$$

except :

$i_1=1,i_2=0,...,i_C=0$ *or*

$i_1=0,i_2=1,...,i_C=0$ *or*

$\vdots$

$i_1=0,i_2=0,...,i_C=1$

$$+\sum_{i=1}^{C}\left(b[a_i,1,1/N]\left(\prod_{\substack{j=1\\j\neq i}}^{C}b[a_j,0,1/N]\right)P[k_1,k_2,...,k_i-1,...,k_C|a_1,a_2,...,a_i-1,...,a_C,N-1]\right)$$

กำหนดค่าเริ่มต้นของสมการที่ (4.23) ไว้ดังนี้

$$P[k_1,k_2,...,k_C\mid a_1,a_2,...,a_C,N]$$
$$=\begin{cases}0 & \text{if } k_1<0 \text{ or } k_2<0,..., \text{ or } k_C<0, a_1+a_2+...+a_C\geq 0, N\geq 0\\ 0 & \text{if } k_1+k_2+...+k_C>N, a_1+a_2+...+a_C\geq 0, N\geq 0\\ 0 & \text{if } k_1>a_1 \text{ or } k_2>a_2,..., \text{ or } k_C>a_C, a_1+a_2+...+a_C\geq 0, N\geq 0\\ 1 & \text{if } k_1+k_2+...+k_C=0, a_1+a_2+...+a_C\geq 0, N=0\\ 1 & \text{if } k_1+k_2+...+k_C=0, a_1+a_2+...+a_C=0, N\geq 0\\ 0 & \text{if } k_1+k_2+...+k_C>0, a_1+a_2+...+a_C>1, N=1\\ 1 & \text{if } k_1+k_2+...+k_C=0, a_1+a_2+...+a_C>1, N=1\\ 0 & \text{if } k_1+k_2+...+k_C=0, a_1+a_2+...+a_C=1, N\geq 1\\ 1 & \text{if } k_1+k_2+...+k_C=1, a_1+a_2+...+a_C=1, N\geq 1\end{cases}$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+MLA}[m_1, m_2, ..., m_C, N]$) หาได้จากสมการ

$$T_{UNI+MLA}[m_1, m_2, ..., m_C, N] = \sum_{i=1}^{C} \sum_{j_i=0}^{m_i} \left(j_i \times P_{UNI+MLA}[j_i \mid m_1, m_2, ..., m_C, N] \right) \quad (4.24)$$

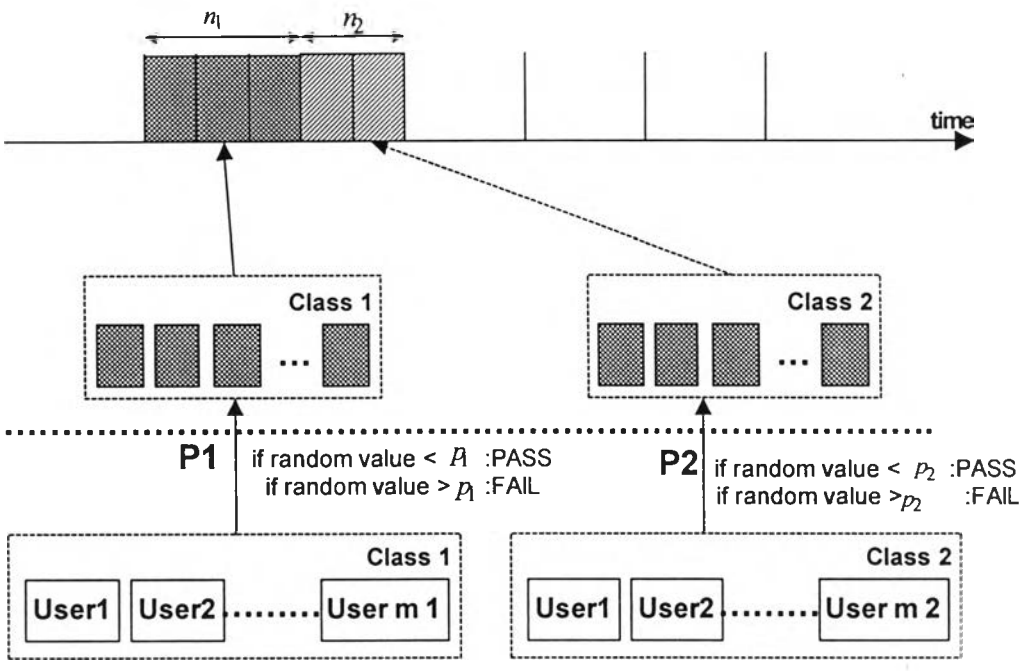
โดยที่

$$P_{UNI+MLA}[j_i \mid m_1, m_2, ..., m_C, N] = \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \cdots \sum_{k_i=j_i}^{j_i} \cdots \sum_{k_C=0}^{m_C} P_{UNI+MLA}[k_1, k_2, .., k_i, .., k_C \mid m_1, m_2, .., m_i, ..., m_C, N] \quad (4.25)$$

ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาสที่ i คือค่า p_i ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.24) เทียบกับ p_i เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.3 **เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ** Uniform + Divided Slot + Multiple Limited Access (UNI+DS+MLA)

เทคนิคการจองช่องสัญญาณนี้จะมีการแบ่งส่วนของช่องสัญญาณจองร่วมกับการกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่แตกต่างกันให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาส รูปที่ 4.5 แสดงตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA ในกรณีที่ระบบรองรับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน m_1 และ m_2 ราย ช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน n_1 และ n_2 ช่อง และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 เท่ากับ p_1 และ p_2



รูปที่ 4.5 ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA

4.2.2.3.1 **เมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาส**

เนื่องจากผู้ใช้บริการแต่ละคลาสจะมีช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณในกลุ่มของตน ดังนั้นจะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน k_1 และ k_2 ราย จองช่องสัญญาณสำเร็จ จากผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน m_1 และ m_2 ราย ช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน n_1 และ n_2 ช่อง โดยที่ $n_1 + n_2 = N$ ค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 เท่ากับ p_1 และ p_2 ($P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2 | m_1, m_2, n_1, n_2]$) ได้จากสมการ

$$P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2 | m_1, m_2, n_1, n_2] = P_{UNI+LA}[k_1 | m_1, n_1] \times P_{UNI+LA}[k_2 | m_1, n_2] \quad (4.26)$$

โดยที่

$$P_{UNI+LA}[k_1 \mid m_1, n_1] = \sum_{a_1=0}^{\bar{m}_1} \left(b[m_1, a_1, p_1] P_{UNI}[k_1 \mid a_1, n_1] \right)$$
$$P_{UNI+LA}[k_2 \mid m_2, n_2] = \sum_{a_2=0}^{\bar{m}_2} \left(b[m_2, a_2, p_2] P_{UNI}[k_2 \mid a_2, n_2] \right) \quad (4.27)$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+DS+MLA}[m_1, m_2, n_1, n_2]$) หาได้จากสมการ

$$T_{UNI+DS+MLA}[m_1, m_2, n_1, n_2]$$
$$= \sum_{j_1=0}^{m_1} \left(j_1 \times P_{UNI+DS+MLA}[j_1 \mid m_1, m_2, n_1, n_2] \right) \quad (4.28)$$
$$+ \sum_{j_2=0}^{\bar{m}_2} \left(j_2 \times P_{UNI+DS+MLA}[j_2 \mid m_1, m_2, n_1, n_2] \right)$$

โดยที่

$$P_{UNI+DS+MLA}[j_1 \mid m_1, m_2, n_1, n_2]$$
$$= \sum_{k_1=j_1}^{j_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2 \mid m_1, m_2, n_1, n_2]$$
$$P_{UNI+DS+MLA}[j_2 \mid m_1, m_2, n_1, n_2] \quad (4.29)$$
$$= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=j_2}^{j_2} P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2 \mid m_1, m_2, n_1, n_2]$$

จำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 คือค่า n_1 n_2 p_1 และ p_2 ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.28) เทียบกับ n_1 n_2 p_1 และ p_2 เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.3.2 เมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส

เมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาสจะสามารถหาค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จองช่องสัญญาณสำเร็จจำนวน k_1 k_2 และ k_3 รายตามลำดับ จากผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จำนวน m_1 m_2 และ m_3 ราย ช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จำนวน n_1 n_2 และ n_3 ช่อง โดยที่ $n_1+n_2+n_3=N$ และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 เท่ากับ p_1 p_2 และ p_3 ($P_{UNI+DS+MLA}[k_1,k_2,k_3|m_1,m_2,m_3,n_1,n_2,n_3]$) จะสามารถหาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} P_{UNI+DS+MLA}[k_1,k_2,k_3|m_1,m_2,m_3,n_1,n_2,n_3] &= P_{UNI+LA}[k_1|m_1,n_1] \\ &\times P_{UNI+LA}[k_2|m_2,n_2] \\ &\times P_{UNI+LA}[k_3|m_3,n_3] \end{aligned} \quad (4.30)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} P_{UNI+LA}[k_1|m_1,n_1] &= \sum_{a_1=0}^{m_1}\left(b[m_1,a_1,p_1]P_{UNI}[k_1|a_1,n_1]\right) \\ P_{UNI+LA}[k_2|m_2,n_2] &= \sum_{a_2=0}^{m_2}\left(b[m_2,a_2,p_2]P_{UNI}[k_2|a_2,n_2]\right) \\ P_{UNI+LA}[k_3|m_3,n_3] &= \sum_{a_3=0}^{m_3}\left(b[m_3,a_3,p_3]P_{UNI}[k_3|a_3,n_3]\right) \end{aligned} \quad (4.31)$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+DS+MLA}[m_1,m_2,m_3,n_1,n_2,n_3]$) หาได้จากสมการ

$$\begin{aligned} &T_{UNI+DS+MLA}[m_1,m_2,m_3,n_1,n_2,n_3] \\ &= \sum_{j_1=0}^{m_1}\left(j_1\times P_{UNI+DS+MLA}[j_1|m_1,m_2,m_3,n_1,n_2,n_3]\right) \\ &+ \sum_{j_2=0}^{m_2}\left(j_2\times P_{UNI+DS+MLA}[j_2|m_1,m_2,m_3,n_1,n_2,n_3]\right) \\ &+ \sum_{j_3=0}^{m_3}\left(j_3\times P_{UNI+DS+MLA}[j_3|m_1,m_2,m_3,n_1,n_2,n_3]\right) \end{aligned} \quad (4.32)$$

โดยที่

$$
\begin{aligned}
&P_{UNI+DS+MLA}[j_1 | m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&= \sum_{k_1=j_1}^{j_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \sum_{k_3=0}^{m_3} P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2, k_3 | m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&P_{UNI+DS+MLA}[j_2 | m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=j_2}^{j_2} \sum_{k_3=0}^{m_3} P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2, k_3 | m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&P_{UNI+DS+MLA}[j_3 | m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3] \\
&= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \sum_{k_3=j_3}^{j_3} P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2, k_3 | m_1, m_2, m_3, n_1, n_2, n_3]
\end{aligned}
\tag{4.33}
$$

จำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 คือค่า $n_1\ n_2\ n_3\ p_1\ p_2$ และ p_3 ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.32) เทียบกับ $n_1\ n_2\ n_3\ p_1\ p_2$ และ p_3 เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.3.2 เมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการ C คลาส

จากหลักการดังกล่าวข้างต้นสามารถวิเคราะห์หาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน k_i ราย จองช่องสัญญาณสำเร็จ จากจำนวนผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน m_i รายและช่องสัญญาณจองที่กำหนดให้กับผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน n_i ช่อง โดยที่ $\sum_{i=1}^{C} n_i = N$ และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาสที่ i เท่ากับ p_i ($P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2, ..., k_C | m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C]$) ได้จากสมการ

$$
\begin{aligned}
&P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2, ..., k_C | m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C] \\
&= \prod_{i=1}^{C} P_{UNI+LA}[k_i | m_i, n_i]
\end{aligned}
\tag{4.34}
$$

โดยที่

$$P_{UNI+LA}[k_i \mid m_i, n_i] = \sum_{a_i=0}^{m_i} b[m_i, a_i, p_i] P_{UNI}[k_i \mid a_i, n_i] \quad (4.35)$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{UNI+DS+MLA}[m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C]$) หาได้จากสมการ

$$T_{UNI+DS+MLA}[m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C] = \sum_{i=1}^{C} \sum_{j_i=0}^{m_i} \left(j_i \times P_{UNI+DS+MLA}[j_i \mid m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C] \right) \quad (4.36)$$

โดยที่

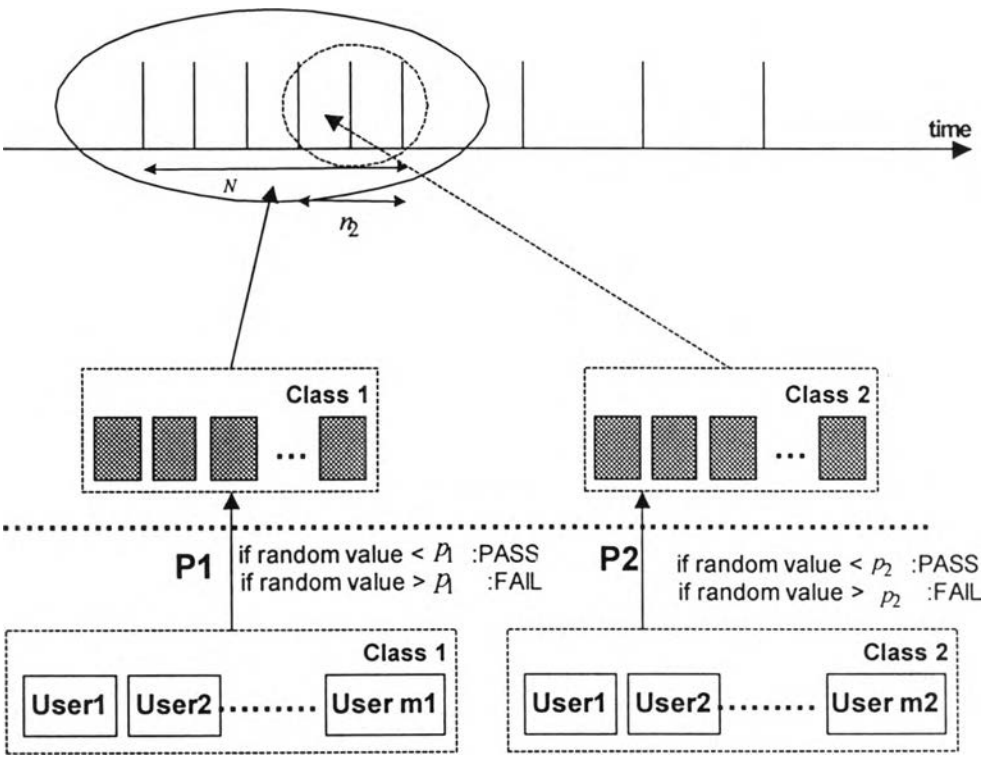
$$P_{UNI+DS+MLA}[j_i \mid m_1, m_2, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_C] = \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \cdots \sum_{k_i=j_i} \cdots \sum_{k_C=0}^{m_C} P_{UNI+DS+MLA}[k_1, k_2, ..., k_i, ..., k_C \mid m_1, m_2, ..., m_i, ..., m_C, n_1, n_2, ..., n_i, ..., n_C] \quad (4.37)$$

จำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาสที่ i คือค่า n_i และ p_i ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.36) เทียบกับ n_i และ p_i เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.4 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial Uniform + Multiple Limited Access (Partial UNI+MLA)

เทคนิคนี้จะเป็นการปรับปรุงจากเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+MLA ในด้านของการจำกัดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการแต่ละคลาสจะสามารถเข้าจองได้ โดยค่าพารามิเตอร์ที่สามารถกำหนดได้ในวิธีนี้จะเหมือนกับในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA แต่จะแตกต่างกันในแง่ของวิธีการจำกัดจำนวนช่องสัญญาณจอง กล่าวคือในเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ UNI+DS+MLA นั้น จะทำการแบ่งจำนวนช่องสัญญาณจองให้กับผู้ใช้บริการแต่ละคลาสอย่างชัดเจน ในขณะที่เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA นั้น จะทำการจำกัดจำนวนช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการแต่ละคลาสจะสามารถเข้าจองได้ อย่างไรก็ดีช่องสัญญาณจองดังกล่าวนั้นจะยังคงถูกใช้ร่วมกับผู้ใช้บริการคลาสอื่น ๆ ด้วย โดยผู้ใช้บริการคลาสที่มีลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณต่ำที่สุดจะสามารถเข้าจอง

ช่องสัญญาณได้ในจำนวนต่ำที่สุดและผู้ใช้บริการคลาสที่มีลำดับความสำคัญในการเข้าจองช่องสัญญาณสูงกว่าจะสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ในจำนวนเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ และผู้ใช้บริการคลาสที่มีลำดับความสำคัญสูงสุดจะสามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ทั้งหมด รูปที่ 4.6 แสดงตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA ในกรณีที่ระบบรองรับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน m_1 และ m_2 ราย ช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้เท่ากับ N และ n_2 ช่อง กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 เท่ากับ p_1 และ p_2



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการทำงานของเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ Partial UNI+MLA

4.2.2.3.1 **เมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการ 2 คลาส**

ค่าความน่าจะเป็นรวมตลอดเฟรมที่จะมีผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน k_1 และ k_2 รายสามารถจองช่องสัญญาณสำเร็จ จากจำนวนช่องสัญญาณที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จะสามารถเข้าจองได้จำนวน N และ n_2 ช่อง กำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 เท่ากับ p_1 และ p_2 ($P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1,k_2 \mid m_1,m_2,N,n_2]$) สามารถหาได้จากสมการ

$$P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1,k_2 \mid m_1,m_2,N,n_2] = \sum_{a_1=0}^{m_1}\sum_{a_2=0}^{m_2}\left(b[m_1,a_1,p_1]\,b[m_2,a_2,p_2]\,P[k_1,k_2 \mid a_1,a_2,N,n_2]\right) \quad (4.38)$$

โดยที่

$$P[k_1,k_2 \mid a_1,a_2,N,n_2] = \sum_{i_1=0}^{a_1}\sum_{j_1=0}^{k_1}\left(b[a_1,i_1,{}^{n_2}\!/_{N}]\,P[j_1,k_2,i_1,a_2,n_2]\,P_{UNI}[k_1-j_1,a_1-i_1,N-n_2]\right) \quad (4.39)$$

และ $P[j_1,k_2,i_1,a_2,n_2]$ หาได้จากสมการ (4.15)

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{Partial\ UNI+MLA}[m_1,m_2,N,n_2]$) หาได้จากสมการ

$$T_{Partial\ UNI+MLA}[m_1,m_2,N,n_2] = \sum_{j_1=0}^{m_1}\left(j_1 \times P_{Partial\ UNI+MLA}[j_1 \mid m_1,m_2,N,n_2]\right) + \sum_{j_2=0}^{m_2}\left(j_2 \times P_{Partial\ UNI+MLA}[j_2 \mid m_1,m_2,N,n_2]\right) \quad (4.40)$$

โดยที่

$$
\begin{aligned}
&P_{Partial\ UNI\ +\ MLA}[j_1 \mid m_1, m_2, N, n_2] \\
&= \sum_{k_1=j_1}^{j_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2 \mid m_1, m_2, N, n_2] \\
&P_{Partial\ UNI\ +\ MLA}[j_2 \mid m_1, m_2, N, n_2] \\
&= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=j_2}^{j_2} P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2 \mid m_1, m_2, N, n_2]
\end{aligned}
\qquad (4.41)
$$

จำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 คือค่า $n_2\ p_1$ และ p_2 ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.40) เทียบกับ $n_2\ p_1$ และ p_2 เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.4.2 เมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการ 3 คลาส

ค่าความน่าจะเป็นที่จะมีผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จองช่องสัญญาณสำเร็จจำนวน $k_1\ k_2$ และ k_3 รายตามลำดับจากผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จำนวน $m_1\ m_2$ และ m_3 ราย ช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 จะสามารถเข้าจองได้จำนวน $N\ n_2$ และ n_3 ช่อง และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 เท่ากับ $p_1\ p_2$ และ p_3 ($P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, N, n_2, n_3]$) จะสามารถหาได้จากสมการ

$$
\begin{aligned}
&P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, N, n_2, n_3] \\
&= \sum_{a_1=0}^{m_1} \sum_{a_2=0}^{m_2} \sum_{a_3=0}^{m_3} \Big(b[m_1, a_1, p_1] b[m_2, a_2, p_2] b[m_3, a_3, p_3] P[k_1, k_2, k_3 \mid a_1, a_2, a_3, N, n_2, n_3] \Big)
\end{aligned}
\qquad (4.42)
$$

โดยที่

$$
\begin{aligned}
&P[k_1,k_2,k_3 \mid a_1,a_2,a_3,N,n_2,n_3] \\
&= \left(\sum_{i11=0}^{a1} \sum_{i12=0}^{a2} \sum_{i13=a3}^{a3} \right) \left(\sum_{j11=0}^{k1} \sum_{j12=0}^{k2} \sum_{j13=k3}^{k3} \right) \left(\sum_{i21=0}^{a1-i11} \sum_{i22=a2-i12}^{a2-i12} \right) \left(\sum_{j21=0}^{k1-j11} \sum_{j22=k2-j12}^{k2-j12} \right) \\
&\left(\begin{array}{l} (b[a_1,i_{11},{}^{n_3}\!/_{N}]b[a_2,i_{12},{}^{n_3}\!/_{N}]P[j_{11},j_{12},j_{13} \mid i_{11},i_{12},i_{13},n_3]) \\ \times (b[a_1-i_{11},i_{21},{}^{n_2-n_3}\!/_{N}]\ P[j_{21},j_{22} \mid i_{21},i_{22},n_2-n_3]) \\ \times P_{UNI}[k_1-j_{11}-j_{21} \mid a_1-i_{11}-i_{21},N-n_2] \end{array} \right)
\end{aligned}
\tag{4.43}
$$

$P[j_{21},j_{22} \mid i_{21},i_{22},n_2-n_3]$ และ $P[j_{11},j_{12},j_{13} \mid i_{11},i_{12},i_{13},n_3]$ หาได้จากสมการ (4.15) และ (4.19) ตามลำดับ

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{Partial\ \ UNI\ +\ MLA}[m_1,m_2,m_3,N,n_2,n_3]$) หาได้จากสมการ

$$
\begin{aligned}
&T_{Partial\ UNI+MLA}[m_1,m_2,m_3,N,n_2,n_3] \\
&= \sum_{j_1=0}^{m_1} \left(j_1 \times P_{PartialUNI+MLA}[j_1 \mid m_1,m_2,m_3,N,n_2,n_3] \right) \\
&+ \sum_{j_2=0}^{m_2} \left(j_2 \times P_{PartialUNI+MLA}[j_2 \mid m_1,m_2,m_3,N,n_2,n_3] \right) \\
&+ \sum_{j_3=0}^{m_3} \left(j_3 \times P_{PartialUNI+MLA}[j_3 \mid m_1,m_2,m_3,N,n_2,n_3] \right)
\end{aligned}
\tag{4.44}
$$

โดยที่

$$
\begin{aligned}
&P_{Partial\ UNI+MLA}[j_1 \mid m_1, m_2, m_3, N, n_2, n_3] \\
&= \sum_{k_1=j_1}^{j_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \sum_{k_3=0}^{m_3} P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, N, n_2, n_3] \\
&P_{Partial\ UNI+MLA}[j_2 \mid m_1, m_2, m_3, N, n_2, n_3] \\
&= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=j_2}^{j_2} \sum_{k_3=0}^{m_3} P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, N, n_2, n_3] \\
&P_{Partial\ UNI+MLA}[j_3 \mid m_1, m_2, m_3, N, n_2, n_3] \\
&= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \sum_{k_3=j_3}^{j_3} P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2, k_3 \mid m_1, m_2, m_3, N, n_2, n_3]
\end{aligned}
\qquad (4.45)
$$

จำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 3 คือค่า n_2 n_3 p_1 p_2 และ p_3 ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.44) เทียบกับ n_2 n_3 p_1 p_2 และ p_3 เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

4.2.2.4.3 เมื่อระบบรองรับผู้ใช้บริการ C คลาส

จากหลักการดังกล่าวข้างต้นสามารถวิเคราะห์หาค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน k_i รายจะจองช่องสัญญาณสำเร็จ จากจำนวนผู้ใช้บริการคลาสที่ i จำนวน m_i ราย ช่องสัญญาณจองที่ผู้ใช้บริการคลาสที่ i จะสามารถเข้าจองได้จำนวน n_i ช่อง (โดยที่ $n_1 = N$) และกำหนดค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาสที่ i เท่ากับ p_i ($P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2, ..., k_C \mid m_1, m_2, ..., m_C, N, n_2, ..., n_C]$) ได้จากสมการ

$$
\begin{aligned}
&P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2, ..., k_C \mid m_1, m_2, ..., m_C, N, n_2, ..., n_C] \\
&= \sum_{a_1=0}^{m_1} \sum_{a_2=0}^{m_2} ... \sum_{a_C=0}^{m_C} \left(\left(\prod_{i=1}^{C} [m_i, a_i, p_i] \right) P[k_1, k_2, ..., k_C \mid a_1, a_2, ..., a_C, N, n_2, ..., n_C] \right)
\end{aligned}
\qquad (4.46)
$$

โดยที่

$$P[k_1,k_2,...,k_C \mid a_1,a_2,...,a_C,N,n_2,...,n_C]= \tag{4.47}$$

$$\left(\begin{array}{l}
\left(\sum_{i11=0}^{a1}\sum_{i12=0}^{a2}\cdots\sum_{i1(C-1)=0}^{aC-1}\sum_{i1C=aC}^{aC}\right)\left(\sum_{j11=0}^{k1}\sum_{j12=0}^{k2}\cdots\sum_{j1(C-1)=0}^{kC-1}\sum_{j1C=kC}^{kC}\right)\\
\left(\sum_{i21=0}^{a1-i11}\sum_{i22=0}^{a2-i12}\cdots\sum_{i2(C-2)=0}^{aC-2-i1(C-2)}\sum_{i2(C-1)=aC-1-i1(C-1)}^{aC-1-i1(C-1)}\right)\left(\sum_{j21=0}^{k1-j11}\sum_{j22=0}^{k2-j12}\cdots\sum_{j2(C-2)=0}^{kC-2-j1(C-2)}\sum_{j2(C-1)=kC-1-j1(C-1)}^{kC-1-j1(C-1)}\right)\\
\vdots\\
\left(\sum_{i(C-1)1=0}^{a1-i11-i21\cdots-i(C-2)1}\sum_{i(C-1)2=a2-i12-i22\cdots-i(C-2)2}^{a2-i12-i22\cdots-i(C-2)2}\right)\left(\sum_{j(C-1)1=0}^{k1-j11-j21\cdots-j(C-2)1}\sum_{j(C-1)2=k2-j12-j22\cdots-j(C-2)2}^{k2-j12-j22\cdots-j(C-2)2}\right)\\
\left(\sum_{iC1=a1-i11-i21\cdots-i(C-1)1}^{a1-i11-i21\cdots-i(C-1)1}\sum_{jC1=k1-j11-j21\cdots-j(C-1)1}^{k1-j11-j21\cdots-j(C-1)1}\right)
\end{array}\right)$$

$$\left(\begin{array}{l}
\left(\prod_{a=1}^{C-1} b[m_{1a},i_{1a},{}^{n_C}/_{N}]\right)P[j_{11},j_{12},...,j_{1C} \mid i_{11},i_{12},...,i_{1C},n_C]\\
\times\left(\prod_{a=1}^{C-2} b[m_{2a},i_{2a},{}^{(n_{C-1}-n_C)}/_{N}]\right)P[j_{21},j_{22},...,j_{2(C-1)} \mid i_{21},i_{22},...,i_{2(C-1)},(n_{C-1}-n_C)]\\
\vdots\\
\times\left(b[m_{(C-1)1},i_{(C-1)1},{}^{(n_2-n_3)}/_{N}]\right)P[j_{(C-1)1},j_{(C-2)2} \mid i_{(C-1)1},i_{(C-2)2},(n_2-n_3)]\\
\times P_{UNI}[j_{C1} \mid i_{C1},N-n_2]
\end{array}\right)$$

โดยที่

$$m_{yz}=m_z-\sum_{x=1}^{y-1} i_{xz}$$

สำหรับค่าวิสัยสามารถของระบบ ($T_{Partial\ UNI+MLA}[m_1,m_2,...,m_C,N,n_2,...,n_C]$) หาได้จากสมการ

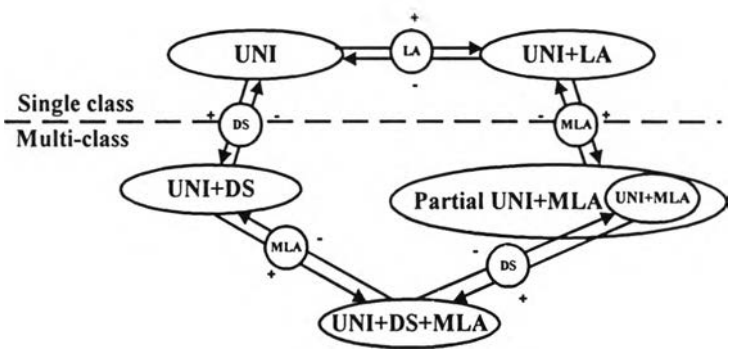
$$T_{Partial\ UNI+MLA}[m_1,m_2,...,m_C,N,n_2,...,n_C] = \sum_{i=1}^{C}\sum_{j_i=0}^{m_i}\left(j_i \times P_{Partial\ UNI+MLA}[j_i \mid m_1,m_2,...,m_C,N,n_2,...,n_C]\right) \tag{4.48}$$

โดยที่

$$P_{Partial\ UNI+MLA}[j_i \mid m_1, m_2, \ldots, m_C, N, n_2, \ldots, n_C] \qquad (4.49)$$
$$= \sum_{k_1=0}^{m_1} \sum_{k_2=0}^{m_2} \cdots \sum_{k_i=j_i}^{j_i} \cdots \sum_{k_C=0}^{m_C} P_{Partial\ UNI+MLA}[k_1, k_2, \ldots, k_i, \ldots, k_C \mid m_1, m_2, \ldots, m_i, \ldots, m_C, N, n_2, \ldots, n_i, \ldots, n_C]$$

จำนวนช่องสัญญาณจองและค่าโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณที่เหมาะสมสำหรับผู้ใช้บริการคลาสที่ i คือค่า n_i และ p_i ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (4.48) เทียบกับ n_i และ p_i เป็นศูนย์และทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบสูงสุด

จากเทคนิคที่นำเสนอในบทนี้ทั้งหมด สามารถแสดงความสัมพันธ์กันได้ดังแสดงในรูปที่ 4.7



LA : Limiting number of accessing users through the use of single limiting probability for every service class

DS : Dividing request slots to each service class

MLA : Limiting number of accessing users through the use of multiple limiting probability for each service class

รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ RSS ที่นำเสนอ