บทที่ 3

เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญ

ในบทนี้จะกล่าวถึงเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการที่แตกต่างกัน 2 คลาส โดยขยายการทำงานมาจากเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT (Fixed Probability Technique) ที่ออกแบบมาสำหรับผู้ใช้บริการโดยทั่วไป ซึ่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอทั้งสิ้น 5 เทคนิคคือ

1. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MP (Fixed Probability Technique with Multiple Probability)
2. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MLT (Fixed Probability Technique with Multiple Limited Token)
3. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+PCP (Fixed Probability Technique with Partitioned Contention Period)
4. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+SCS (Fixed Probability Technique with Shifted Contention Slot)
5. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+HFF (Fixed Probability Technique with High priority Finished First)

สำหรับการนำเสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญเพื่อให้สามารถรบผู้ใช้บริการที่แตกต่างกัน 2 คลาสโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ทราบว่าเทคนิคใดสามารถควบคุมค่า QoS metric (γ) ตามที่ต้องการได้ (มีหลายค่าที่ให้สามารถเลือกใช้งานได้) อีกทั้งยังมีการใช้ประโยชน์จากแบนด์วิดท์สูงสุดด้วย (maximum bandwidth utilization) การวัดประสิทธิภาพของเทคนิคที่ถูกนำเสนอทั้งหมดจะพิจารณาจากจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ย (average number of successes) ของผู้ใช้บริการในแต่ละคลาสและผู้ใช้บริการทั้งหมดในระบบ โดยจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณเป็นฟังก์ชั่นของจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนช่องสัญญาณที่สามารถทำการจองได้ทั้งหมดในระบบ ทั้งนี้การนำเสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณในแต่ละเทคนิคจะทำการวิเคราะห์สมรรถนะของระบบโดยแสดงอยู่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์และเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการซิมมูเลชั่นโดยใช้คอมพิวเตอร์เพื่อยืนยันความถูกต้อง สำหรับเงื่อนไขของระบบที่นำมาคำนวณในวิทยานิพนธ์นี้คือเงื่อนไขอิ่มตัว (saturation condition) โดยเงื่อนไขนี้บ่งบอกว่าภายในพื้นที่ให้บริการหนึ่ง ๆ จะมีจำนวนผู้ใช้บริการในระบบเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนถือได้ว่ามีค่าคงที่และผู้ใช้บริการแต่ละรายมีข้อมูลพร้อมที่จะส่งอยู่ตลอดเวลา สาเหตุที่

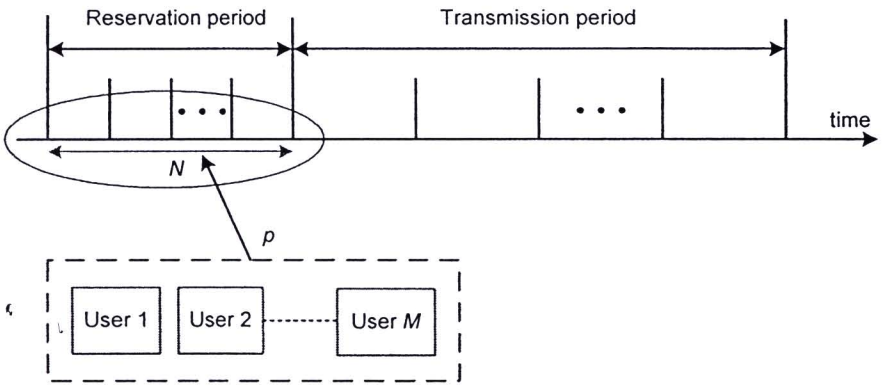
เงื่อนไขนี้ถูกนำมาใช้ในการคำนวณหาสมรรถนะของระบบการจองช่องสัญญาณอย่างแพร่หลาย เนื่องจากการวิเคราะห์สมรรถนะด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ภายใต้เงื่อนไขอิ่มตัวสามารถทำได้สะดวกและสามารถนำมาใช้ร่วมกับการคำนวณหาค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณ

3.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT (Fixed Probability Technique)

สำหรับกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณ FPT จะกำหนดให้ผู้ใช้บริการแต่ละรายที่มีแพ็กเกตข้อมูลพร้อมที่จะส่ง จะพยายามทำการจองในแต่ละสล็อตการจองตามลำดับโดยเริ่มต้นจากสล็อตแรกถึงสล็อตสุดท้าย ในแต่ละสล็อตการจองผู้ใช้บริการจะตัดสินใจว่าจะเข้าจองหรือไม่โดยการสุ่มเลือกค่าความน่าจะเป็นมาค่าหนึ่ง (p_{random}) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นคงที่ค่าหนึ่งที่ถูกกำหนดขึ้นโดยสถานีฐานซึ่งถูกเรียกว่าค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเกตการจองหรือ permission probability (p) หากตัวเลขที่สุ่มได้มีค่าน้อยกว่าค่า p ผู้ใช้บริการรายนี้จะได้รับการอนุญาตให้สามารถทำการจองได้ แต่ในทางตรงกันข้ามหากตัวเลขที่สุ่มได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า p ผู้ใช้บริการรานนี้จะไม่ถูกอนุญาตให้ทำการจอง ผู้ใช้บริการแต่ละรายจะทราบผลการจองของตนเองเมื่อสิ้นสุดสล็อตการจองนั้นๆ ซึ่งในแต่ละสล็อตการจองจะมีเหตุการณ์ใดเหตุการณ์หนึ่งที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งสิ้น 3 เหตุการณ์คือ 1) สล็อตว่าง (idle) เกิดขึ้นเมื่อไม่มีผู้ใช้บริการรายใดเลยเข้าจอง 2) การเข้าจองสำเร็จ (success) เกิดขึ้นเมื่อมีผู้ใช้บริการเพียงรายเดียวเท่านั้นที่ทำการจอง และ 3) การชนกันของแพ็กเกตการจอง (collision) เกิดขึ้นเนื่องจากมีผู้ใช้บริการตั้งแต่สองรายขึ้นไปทำการส่งแพ็กเกตการจองในสล็อตเดียวกัน หากผู้ใช้บริการรายทำการจองสำเร็จจะหยุดทำการเข้าจองในเฟรมนั้นทันที แต่หากทำการจองไม่สำเร็จจะสามารถเข้าจองได้ใหม่ในสล็อตการจองถัดไปโดยทำเช่นนี้ต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะสามารถทำการจองได้สำเร็จหรือสิ้นสุดช่วงการจอง (reservation period) ในแต่ละเฟรม เมื่อสิ้นสุดในแต่ละช่วงการจองสถานีฐานจะจัดสรรช่องสัญญาณในช่วงการส่งข่าวสาร (transmission period) ให้ผู้ใช้บริการที่สามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้สำเร็จเพื่อใช้ส่งข้อมูลของตนเองต่อไป ซึ่งกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.1

จากที่ได้กล่าวมาในข้างต้นทำให้ทราบว่าค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเกตการจอง (p) เป็นตัวแปรหลักที่มีความสำคัญต่อสมรรถนะของระบบโดยตรง ดังนั้นการเลือกค่าความน่าจะเป็นนี้จึงต้องเลือกให้สอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจองทั้งหมดในระบบ ซึ่งหากกำหนดให้ p มีค่ามากเกินไปจะทำให้มีผู้ใช้บริการจำนวนมากเข้าทำการจอง ซึ่งอาจทำให้แพ็กเกตการจองเกิดการชน ส่งผลให้จำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จในการจองมีจำนวนน้อย แต่ในทางตรงกันข้ามหากกำหนดให้ p มีค่าน้อยเกินไปจะทำให้มีจำนวนผู้ใช้บริการ

ตัดสินใจเข้าจองน้อยส่งผลให้ประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณลดลง อีกทั้งจำนวนเฉลี่ยของความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณลดลงตามไปด้วย ค่าความน่าจะเป็นที่สอดคล้องกับจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจองทั้งหมดในระบบที่ทำให้ได้ค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณสูงสุดจะถูกเรียกว่า appropriate permission probability ($p_{optimal}$)



รูปที่ 3.1 กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT

โดยพารามิเตอร์ที่ถูกใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT มีดังนี้

$S[M,N]$ แทนจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน M ราย และมีจำนวนสล็อตการจอง N สล็อต

$p[M,N]$ แทนค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการจำนวน M ราย และมีจำนวนสล็อตการจอง N สล็อต

$b[M,i,p]$ แทนความน่าจะเป็นแบบไบโนเมียล (binomial probability) ที่มีผู้ใช้บริการ i ราย จากทั้งหมด M ราย ตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p

เหตุการณ์ทั้งหมดที่สามารถเกิดขึ้นได้เหตุการณ์หนึ่งจากการส่งแพ็กเกตการจองในแต่ละสล็อตมีทั้งสิ้น 3 เหตุการณ์คือ

1. *เหตุการณ์ที่* $i=0$

หมายถึงเหตุการณ์ที่ไม่มีผู้ใช้บริการรายใดเลยส่งแพ็กเกตการจอง สล็อตการจองจะอยู่ในสถานะว่าง (idle) เนื่องจากไม่ถูกใช้งาน ซึ่งในสล็อตการจองถัดไปจะมีจำนวนผู้ใช้บริการเหลืออยู่เท่าเดิมคือ M ราย ดังนั้นจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณของกรณีนี้หาได้จาก ผลคูณของความน่าจะเป็นที่เกิดเหตุการณ์นี้ ($b[M,0,p]$) กับจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองในสล็อตการจองถัดไปคือ ($S[M,N-1]$) ดังแสดงในสมการ 3.1

$$b[M,0,p]\cdot S[M,N-1] \tag{3.1}$$

2. *เหตุการณ์ที่* $i=1$

หมายถึงเหตุการณ์ที่มีผู้ใช้บริการเพียงรายเดียวส่งแพ็กเกตการจอง ดังนั้นผู้ใช้บริการรายนี้จะประสบความสำเร็จในการจอง (success) เมื่อพิจารณาในสล็อตการจองถัดไปมีจึงจำนวนผู้ใช้บริการเหลืออยู่ $M-1$ ราย ดังนั้นจำนวนเฉลี่ยของความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณของกรณีนี้ หาได้จากผลคูณของความน่าจะเป็นที่เกิดเหตุการณ์นี้ $(b[M,1,p])$ กับจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองในสล็อตการจองถัดไปและผลรวมของ 1 $(1+S[M-1,N-1])$ เมื่อ 1 คือจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองของสล็อตก่อนหน้า ดังแสดงในสมการ 3.2

$$b[M,1,p]\cdot\left(1+S\left[M-1,N-1\right]\right) \tag{3.2}$$

3. *เหตุการณ์ที่* $i>1$

หมายถึงเหตุการณ์ที่มีผู้ใช้บริการตั้งแต่สองรายขึ้นไปส่งแพ็กเกตการจองในสล็อตการจองเดียวกันจึงเกิดการชนขึ้น (collision) ส่งผลให้ผู้ใช้บริการทั้ง i ราย ไม่ประสบความสำเร็จในการจอง เมื่อพิจารณาในสล็อตการจองถัดไปจะมีจำนวนผู้ใช้บริการเหลืออยู่ M ราย เนื่องจากเทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT นี้ผู้ใช้บริการสามารถเข้าจองได้ใหม่หากทำการจองไม่สำเร็จ จึงทำให้มีจำนวนผู้ใช้บริการเท่าเดิม ดังนั้นจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณของกรณีนี้ หาได้จากผลคูณของความน่าจะเป็นที่เกิดเหตุการณ์นี้ $(b[M,i,p])$ กับจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณในสล็อตการจองถัดไป $(S[M,N-1])$ ดังแสดงในสมการ 3.3

$$b[M,i,p]\cdot S\left[M,N-1,p\right] \tag{3.3}$$

เมื่อพิจารณาจากเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นได้ทั้งหมดในแต่ละสล็อตการจองสำหรับระบบที่มีผู้ใช้บริการ M ราย มีจำนวนสล็อตการจอง N สล็อต และผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p จะสามารถคำนวณหาค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณในรูป $S[M,N]$ ได้เป็น

$$\begin{aligned} S[M,N] &= b[M,0,p]S[M,N-1] \\ &\quad + b[M,1,p]\left(1+S[M-1,N-1]\right) \\ &\quad + \sum_{i=2}^{M} b[M,i,p]S[M,N-1] \end{aligned} \tag{3.4}$$

โดยที่ความน่าจะเป็นแบบไบโนเมียลมีการกำหนดเป็นดังนี้

$$b[M,i,p]=\binom{M}{i}p^{i}(1-p)^{M-i} \tag{3.5}$$

ในขณะที่ $\binom{M}{i} = \frac{M!}{i!(M-i)!}$

เมื่อเงื่อนไขขอบเขตของสมการ (3.4) คือ

$$S[a,0] = S[0,b] = 0,\ a = 0,1,...,M,\ b = 0,1,...,N \qquad (3.6)$$

ค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเกตการจองที่เหมาะสม $(p[M,N])$ ในแต่ละเฟรม ก็คือค่า p ที่ทำให้อนุพันธ์ของสมการ (3.5) เทียบกับ p มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งค่า $p[M,N]$ ที่ได้นี้จะทำให้ได้จำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณสูงสุด

3.2 เทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการ

จากที่ได้กล่าวถึงกลไกการทำงานของเทคนิค FPT หรับระบบที่ไม่มีการกำหนดลำดับความสำคัญให้กับผู้ใช้บริการมีผู้ใช้บริการมาแล้ว ดังนั้นเราจึงมีความสนใจที่จะนำเสนอเทคนิคที่มีการกำหนดลำดับความสำคัญเพื่อรองรับคุณภาพการให้บริการทราฟฟิกมัลติมีเดีย เช่น ทราฟฟิกเสียง (voice) และทราฟฟิกข้อมูล (data) เป็นต้น โดยตัวอย่างความต้องการใช้บริการในลักษณะนี้ เช่น บริการเชื่อมต่อแบบมีการเปลี่ยนแปลงอัตราบิต (variable bit rate: VBR) หรือบริการแฮนด์โอเวอร์ (handover) สำหรับการส่งแบบเวลาจริง ซึ่งการควบคุมการส่งแพ็กเกตเหล่านี้มีความไวต่อเวลาหน่วงในการส่งหรือสามารถกล่าวได้ว่าทราฟฟิกเสียงมีลำดับความสำคัญสูงกว่าทราฟฟิกข้อมูล ด้วยเหตุผลดังกล่าววิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้เสนอเทคนิคการจองช่องสัญญาณที่มีการแบ่งระดับความสำคัญของผู้ใช้บริการออกเป็น 2 คลาสมีทั้งสิ้น 5 เทคนิคคือ 1. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MP 2. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MLT 3. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+PCP 4. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+SCS และ 5. เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+HFF

ในการกำหนดสัญลักษณ์สำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์ของเทคนิคที่นำเสนอทั้งหมดได้กำหนดให้ "1" แทนผู้ใช้บริการคลาส 1 และ "2" แทนผู้ใช้บริการคลาส 2 เมื่อผู้ใช้บริการคลาส 1 มีลำดับความสำคัญสูงกว่าผู้ใช้บริการคลาส 2

พารามิเตอร์ที่ถูกใช้ในการคำนวณหาค่าสมรรถนะของเทคนิคที่นำเสนอมีดังต่อไปนี้

S_1 แทนจำนวนเฉลี่ยของความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1

S_2 แทนจำนวนเฉลี่ยของความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 2

S_T แทนจำนวนเฉลี่ยของความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการทั้งหมดในระบบ โดยที่ $S_T = S_1 + S_2$

M_1 แทนจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1

M_2 แทนจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2

M แทนจำนวนผู้ใช้บริการทั้งหมดของระบบ โดยที่ $M = M_1 + M_2$

N_1 แทนจำนวนสล็อตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1

N_2 แทนจำนวนสล็อตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 2

N แทนจำนวนสล็อตการจองทั้งหมดในแต่ละเฟรม โดยที่ $N = N_1 + N_2$

p_1 แทนความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเกตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1

p_2 แทนความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเกตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 2

T_1 แทนจำนวนโทเค็นของผู้ใช้บริการคลาส 1

T_2 แทนจำนวนโทเค็นของผู้ใช้บริการคลาส 2

$b[M_1, i_1, p_1]$ แทนความน่าจะเป็นแบบไบโนเมียลที่มีผู้ใช้บริการ i_1 รายจากทั้งหมด M_1 ราย ตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p_1

$b[M_2, i_2, p_2]$ แทนความน่าจะเป็นแบบไบโนเมียลที่มีผู้ใช้บริการ i_2 รายจากทั้งหมด M_2 ราย ตัดสินใจเข้าจองด้วยค่าความน่าจะเป็น p_2

โดยที่น่าจะเป็นแบบไบโนเมียลถูกกำหนดให้มีค่าเป็น $b[M, i, p] = \binom{M}{i} p^i (1-p)^{M-i}$

เมื่อ $\binom{M}{i} = \frac{M!}{i!(M-i)!}$

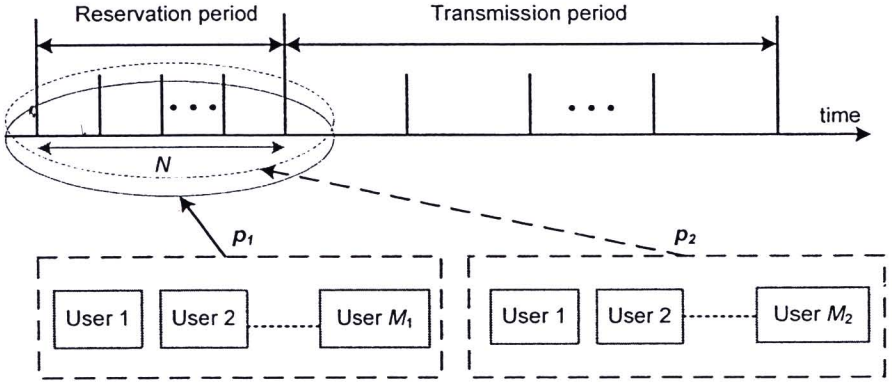
γ หรือ QoS matric คือดัชนีชี้วัดระดับคุณภาพการให้บริการซึ่งเป็นอัตราส่วนของจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองหารด้วยจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 ต่อจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองหารด้วยจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 2 โดยค่า γ สามารถคำนวณได้จากสมการ 3.7

$$\gamma = \frac{(S_1/M_1)}{(S_2/M_2)} \tag{3.7}$$

3.2.1 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MP (Fixed Probability Technique with Multiple Probability)

กลไกการเข้าถึงช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+MP เป็นการขยายการทำงานมาจากเทคนิค FPT โดยผู้ใช้บริการในแต่ละคลาสจะมีกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณเช่นเดียวกับเทคนิค FPT คือผู้ใช้บริการแต่ละรายพยายามเข้าจองในแต่ละสล็อตการจองตามลำดับ โดยเริ่มจากสล็อตแรกถึงสล็อตสุดท้าย ในแต่ละสล็อตการจองผู้ใช้บริการจะตัดสินใจว่าจะเข้าจองหรือไม่โดยการสุ่มเลือกค่าความน่าจะเป็นมาค่าหนึ่ง (p_{random}) โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 แล้วนำไปเปรียบ เทียบกับค่าความน่าจะเป็นคงที่ค่าหนึ่งที่ถูกกำหนดขึ้นโดยสถานีฐานซึ่งถูกเรียกว่าค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเกตการจองหรือ permission probability (p) หากตัวเลขที่สุ่มได้มีค่าน้อยกว่าค่า p

ผู้ใช้บริการรายนี้จะได้รับการอนุญาตให้สามารถทำการจองได้ แต่ในทางตรงกันข้ามหากตัวเลขที่สุ่มได้มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับค่า p ผู้ใช้บริการรานนี้จะไม่ถูกอนุญาตให้ทำการจอง ผู้ใช้ บริการแต่ละรายจะทราบผลการจองของตนเองเมื่อสิ้นสุดสล็อตนั้นๆ หากทำการจองสำเร็จจะหยุดทำการเข้าจองในเฟรมนั้นทันที แต่หากเข้าจองไม่สำเร็จจะสามารถเข้าจองได้ใหม่ในสล็อตการจองถัดไป ทำเช่นนี้ต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะสามารถเข้าจองได้สำเร็จหรือไม่ก็สิ้นสุดสล็อตการจองในแต่เฟรมจึงจะหยุดทำการจอง เมื่อสิ้นสุดในแต่ละช่วงการจองสถานีฐานจะทำการจัดสรรช่องสัญญาณในช่วงการส่งข่าวสารให้ผู้ใช้บริการที่สามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้สำเร็จเพื่อใช้ส่งข้อมูลข่าวสารของตนเองต่อไป ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+MP

อย่างไรก็ตามเมื่อเริ่มต้นเข้าสู่เฟรมใหม่ก็จะคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเกตการจองที่เหมาะสมนี้ใหม่โดยใช้กลไกเดิม แต่เนื่องจากเป็นเทคนิคที่สามารถรองรับผู้ใช้บริการที่มีลำดับความสำคัญแตกต่างกันสองคลาส ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นในการเข้าจองช่องสัญญาณจะมีค่าแตกต่างกันในแต่ละคลาสส่งผลให้โอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณแตกต่างกัน เพราะฉะนั้นจึงต้องมีการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมสำหรับทั้งสองคลาสเพื่อให้ระบบสามารถรองรับคุณภาพการบริการตามที่ต้องการอีกทั้งยังทำให้ระบบมีสมรรถนะสูงสุดด้วย

การวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิค FPT+MP ได้กำหนดให้ $P[k_1,k_2 \mid M_1,M_2,p_1,p_2,N]$ คือความน่าจะเป็นที่มีผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน k_1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน k_2 ทำการจองช่องสัญญาณได้สำเร็จโดยมีผู้ใช้บริการทั้งหมดจำนวน M_1 และ M_2 รายตามลำดับ ทำการแข่งขันเพื่อเข้าจองช่องสัญญาณในเฟรมหนึ่งที่มีสล็อตการจองเท่ากับ N สล็อตและใช้ความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเกตการจองช่องสัญญาณเป็น p_1 และ p_2

ตามลำดับ ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่อง สัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 ได้จากสมการ 3.8 และ 3.9 ตามลำดับ

$$S_1[M_1,M_2,N]=\sum_{k_1=0}^{M_1}\sum_{k_2=0}^{M_2}k_1\,P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,p_1,p_2,N] \tag{3.8}$$

และ

$$S_2[M_1,M_2,N]=\sum_{k_1=0}^{M_1}\sum_{k_2=0}^{M_2}k_2\,P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,p_1,p_2,N] \tag{3.9}$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
&P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,p_1,p_2,N]\\
&\quad=P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,N]\\
&\quad=b[M_1,0,p_1]b[M_2,0,p_2]P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,N-1]\\
&\qquad+b[M_1,1,p_1]b[M_2,0,p_2]P[k_1-1,k_2\mid M_1-1,M_2,N-1]\\
&\qquad+b[M_1,0,p_1]b[M_2,1,p_2]P[k_1,k_2-1\mid M_1,M_2-1,N-1]\\
&\qquad+b[M_1,0,p_1]\sum_{i_2=2}^{M_2}b[M_2,i_2,p_2]P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,N-1]\\
&\qquad+b[M_2,0,p_2]\sum_{i_1=2}^{M_1}b[M_1,i_1,p_1]P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,N-1]\\
&\qquad+\sum_{i_1=1}^{M_1}\sum_{i_2=1}^{M_2}b[M_1,i_1,p_1]b[M_2,i_2,p_2]P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,N-1]
\end{aligned} \tag{3.10}$$

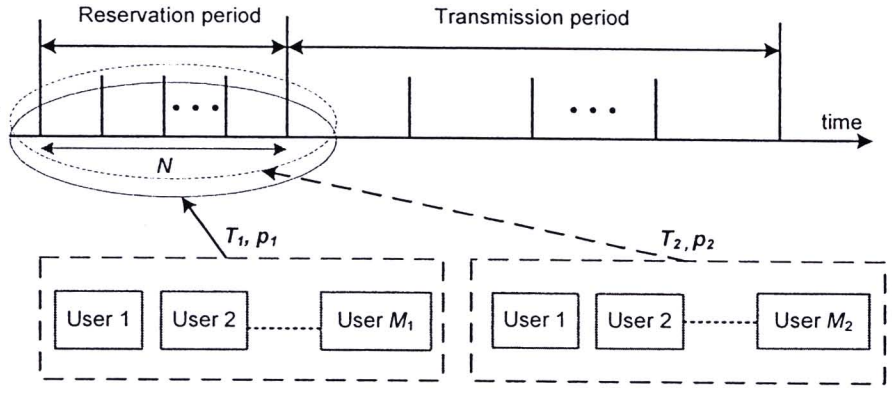
โดยมีเงื่อนไขขอบเขตคือ

$$P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,p_1,p_2,N]=\begin{cases}
0, & k_1<0 \text{ or } k_2<0, M_1+M_2\ge 0, N\ge 0\\
0, & k_1+k_2>N, M_1+M_2\ge 0, N\ge 0\\
0, & k_1>M_1 \text{ or } k_2>M_2, M_1+M_2\ge 0, N\ge 0\\
1, & k_1+k_2=0, M_1+M_2>0, N=0\\
1, & k_1+k_2=0, M_1+M_2=0, N>0\\
1, & k_1+k_2=0, M_1+M_2=0, N=0
\end{cases} \tag{3.11}$$

3.2.2 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+MLT (Fixed Probability Technique with Multiple Limited Token)

จากรูปที่ 3.3 แสดงกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+MLT ซึ่งมีความคล้ายคลึงกับกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+MP แต่แตกต่างกันตรงที่ผู้ใช้บริการของเทคนิค FPT+MLT นั้นจะถูกอนุญาตให้ทำการจองช่องสัญญาณได้ตามจำนวนครั้งของความพยายามที่มีค่าจำกัดอยู่ค่าค่าหนึ่งในแต่เฟรมโดยสถานีฐานเป็นผู้กำหนดให้กับผู้ใช้บริการซึ่งในที่นี้

จะเรียกว่าโทเค็นหรือ Token (T) จำนวนโทเค็นนี้จะถูกกำหนดให้มีค่าแตกต่างในแต่ละคลาสและจะมีจำนวนเท่ากันเมื่อเป็นผู้ใช้บริการที่อยู่ในคลาสเดียวกัน โดยทั่วไปจะกำหนดให้ผู้ใช้บริการที่มีลำดับความสำคัญสูงกว่ามีจำนวนโทเค็นมากกว่าผู้ใช้ที่มีลำดับความสำคัญต่ำซึ่งข้อจำกัดที่นำมาพิจารณานี้จะมีผลกระทบในทางลบต่อสมรรถนะของระบบ เนื่องจากผู้ใช้บริการแต่ละรายจะมีโอกาสในการเข้าจองช่องสัญญาณลดลงจากเดิมที่ได้รับอนุญาตให้สามารถส่งแพ็กเกตการจองได้ในทุกๆ สล็อต อย่างไรก็ตามการที่ผู้ใช้บริการถูกจำกัดสิทธิ์ในการเข้าจองก็ยังเป็นสิ่งที่น่าศึกษาค้นคว้าและทำความเข้าใจให้ทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นต่อค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณ การที่ผู้ใช้บริการถูกจำกัดสิทธิ์ในการเข้าจองซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากหลายปัจจัย เช่นในบางสถานการณ์อาจเกิดความผิดพลาดในส่วนของการติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับสถานีผู้ใช้บริการ หรือบางสถานการณ์เกิดจากความต้องการของผู้ใช้บริการหรือผู้ประกอบการเองที่ต้องการให้เกิดผลอย่างใดอย่างหนึ่ง เป็นต้น ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าจำนวนโทเค็นเป็นพารามิเตอร์หนึ่งที่มีความสำคัญต่อการปรับปรุงสมมรรถนะของระบบ



รูปที่ 3.3 กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+MLT

การวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิค FPT+MLT ได้กำหนดให้ $P[k_1,k_2 \mid M_1,M_2,p_1,p_2,T_{1,1}=T_1,T_{1,2}=T_1,...,T_{1,M_1}=T_1,T_{2,1}=T_2,T_{2,2}=T_2,...,T_{2,M_2}=T_2,N]$ คือความน่าจะที่มีผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน k_1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน k_2 ทำการจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ เมื่อกำหนดให้มีผู้ใช้บริการจำนวน M_1 รายซึ่งมีจำนวนโทเค็นเป็น T_1 และมีความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเกตการจองช่องสัญญาณเป็น p_1 และมีผู้ใช้บริการจำนวน M_2 ราย ซึ่งมีจำนวนโทเค็นเป็น T_2 และมีความน่าจะเป็นการอนุญาตส่งแพ็กเกตการจองช่องสัญญาณเป็น p_2 ทำการแข่งขันเพื่อเข้าจองช่องสัญญาณในเฟรมหนึ่งที่มีสล็อตการจองเท่ากับ N สล็อต ดังนั้นจะสามารถ

คำนวณหาค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 ได้จากสมการ 3.12 และ 3.13 ตามลำดับ

$$S_1[M_1,M_2,N]=\sum_{k_1=0}^{M_1}\sum_{k_2=0}^{M_2}k_1\,P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,p_1,p_2,\\ T_{1,1}=T_1,T_{1,2}=T_1,\ldots,T_{1,M_1}=T_1,\\ T_{2,1}=T_2,T_{2,2}=T_2,\ldots,T_{2,M_2}=T_2,N] \tag{3.12}$$

และ

$$S_2[M_1,M_2,N]=\sum_{k_1=0}^{M_1}\sum_{k_2=0}^{M_2}k_2\,P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,p_1,p_2,\\ T_{1,1}=T_1,T_{1,2}=T_1,\ldots,T_{1,M_1}=T_1,\\ T_{2,1}=T_2,T_{2,2}=T_2,\ldots,T_{2,M_2}=T_2,N] \tag{3.13}$$

เมื่อ

$$\begin{aligned}
&P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,p_1,p_2,T_{1,1}=T_1,T_{1,2}=T_1,\ldots,T_{1,M_1}=T_1,T_{2,1}=T_2,T_{2,2}=T_2,\ldots,T_{2,M_2}=T_2,N]\\
&\quad=b[M_1,0,p_1]b[M_2,0,p_2]P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,T_{1,1},\ldots,T_{1,M_1},T_{2,1},\ldots,T_{2,M_2},N-1]\\
&\qquad+b[M_1,1,p_1]b[M_2,0,p_2]\;P[k_1-\delta(T_{1,a}),k_2\mid M_1-1,M_2,\\
&\qquad\quad T_{1,1},\ldots,T_{1,a-1},0,T_{1,a+1},\ldots,T_{1,M_1},T_{2,1},\ldots,T_{2,M_2},N-1]\\
&\qquad+b[M_1,0,p_1]b[M_2,1,p_2]P[k_1,k_2-\delta(T_{2,b})\mid M_1,M_2-1,\\
&\qquad\quad T_{1,1},\ldots T_{1,M_1},T_{2,1},\ldots,T_{2,b-1},0,T_{2,b+1},\ldots,T_{2,M_2},N-1]\\
&\qquad+\sum_{i_1=2}^{M_1}b[M_1,i_1,p_1]b[M_2,0,p_2]P(i_1)\\
&\qquad+b[M_1,0,p_1]\sum_{i_2=2}^{M_2}b[M_2,i_2,p_2]P(i_2)\\
&\qquad+\sum_{i_1=1}^{M_1}\sum_{i_2=1}^{M_2}b[M_1,i_1,p_1]b[M_2,i_2,p_2]P(i_1,i_2),
\end{aligned} \tag{3.14}$$

โดยที่ $T_{1,a}$ คือจำนวนโทเค็นสำหรับผู้ใช้บริการ a ที่อยู่ในคลาส 1 $(\mathrm{a}\in 1,2,\ldots,M_1)$ และ $T_{2,b}$ คือจำนวนโทเค็นสำหรับผู้ใช้บริการ b ที่อยู่ในคลาส 2 $(\mathrm{b}\in 1,2,\ldots,M_2)$

นอกจากนี้แล้วยังมีเงื่อนไข $\delta(x)=\begin{cases}1 & ;x\neq 0\\ 0 & ;x=0,\end{cases}$ ซึ่งหมายถึงเมื่อมีผู้ใช้บริการรายหนึ่งสามารถทำการจองช่องสัญญาณได้สำเร็จที่สล็อตหนึ่งในแต่ละเฟรม จำนวนโทเค็นของผู้ใช้บริการรายนี้จะถูกรีเซตให้มีค่าเป็นศูนย์ทันที (ไม่อนุญาตให้ทำการจองได้อีก) ถึงแม้ว่าจะมีโทเค็นเหลืออยู่ก็ตามซึ่งเป็นการป้องกันการนับความสำเร็จซ้ำซ้อน

จากสมการที่ 3.13 จะสามารถคำนวณหาค่า $P(i_1)$ $P(i_2)$ และ $P(i_1,i_2)$ ได้จากสมการ 3.15 3.16 และ 3.17 ตามลำดับ

$$P(i_1)=\sum_{\substack{j_1(1)<j_1(2)<\cdots<j_1(i_1)\\ T_{1,j(1)},T_{1,j(2)},\ldots,T_{1,j(i_1)}\neq 0}} P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,T_{1,1},\ldots,T_{1,j_1(1)}-1,\ldots,$$

$$T_{1,j_1(2)}-1,\ldots,T_{1,j_1(i_1)}-1,\ldots,T_{1,M_1},T_{2,1},\ldots,T_{2,M_2},N-1] \qquad (3.15)$$

$$P(i_2)=\sum_{\substack{j_2(1)<j_2(2)<\cdots<j_2(i_2)\\ T_{2,j_2(1)},T_{2,j_2(2)},\ldots,T_{2,j_2(i_2)}\neq 0}} P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,T_{1,1},\ldots,T_{1,M_1},$$

$$T_{2,1},\ldots,T_{2,j_2(1)}-1,\ldots,T_{2,j_2(2)}-1,\ldots,T_{2,j_2(i_2)}-1,\ldots,T_{2,M_2},N-1] \qquad (3.16)$$

$$P(i_1,i_2)=\sum_{\substack{j_1(1)<\cdots<j_1(i_1),j_2(1)<\cdots<j_2(i_2)\\ T_{1,j_1(1)},\ldots,T_{1,j_1(i_1)},T_{2,j_2(1)},\ldots,T_{2,j_2(i_2)}\neq 0}} P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,T_{1,1},\ldots,$$

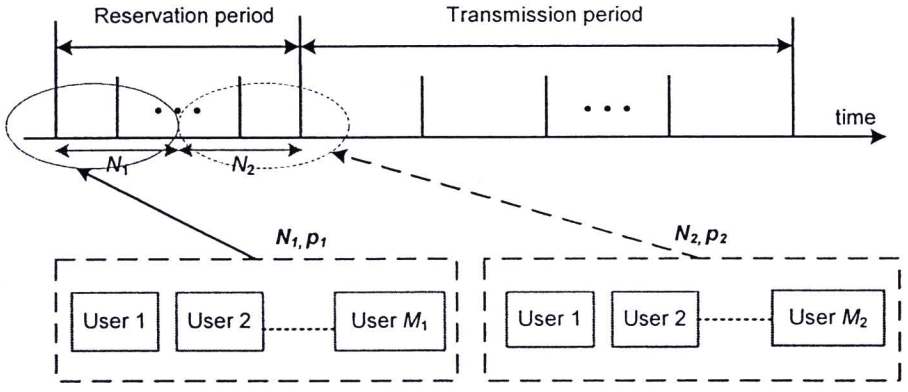
$$T_{1,j_1(1)}-1\ldots,T_{1,j_1(2)}-1,\ldots,T_{1,j_1(i_1)}-1,\ldots,T_{1,M_1},T_{2,1},\ldots,$$
$$T_{2,j_2(1)}-1,\ldots,T_{2,j_2(2)}-1,\ldots,T_{2,j_2(i_2)}-1,\ldots,T_{2,M_2},N-1] \qquad (3.17)$$

3.2.3 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+PCP (Fixed Probability Technique with Partitioned Contention Period)

สำหรับกลไกการจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+PCP สามารถรองรับผู้ใช้บริการที่มีลำดับความสำคัญแตกต่างกัน 2 คลาส โดยการกำหนดความแตกต่างของค่าความน่าจะเป็นการอนุญาตการจองและจำนวนสล็อตการจองช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการในแต่ละคลาส ในขณะที่ผู้ใช้บริการที่อยู่คลาสเดียวกันค่าทั้งสองนี้จะถูกกำหนดให้มีค่าเท่ากันทั้งหมด กลไกการจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+PCP จะมีความคล้ายคลึงกับกลไกของเทคนิค FPT+MP ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.4 แต่มีความแตกต่างกันตรงที่ผู้ใช้บริการในแต่ละคลาสจะได้รับการจัดสรรสล็อตการจองเป็นสัดส่วนที่แตกต่างกันเพื่อให้สอดคล้องกับค่า QoS ที่ต้องการ อีกทั้งยังคำนึงถึงสมรรถนะของระบบด้วย สำหรับผู้ใช้บริการในแต่ละคลาสจะทำการแข่งขันเพื่อเข้าใช้ช่องสัญญาณในสล็อตการจองที่ได้รับการจัดสรรให้เท่านั้น ในขณะที่ผู้ใช้บริการที่อยู่ในคลาสอื่นๆ จะไม่ได้รับการอนุญาตให้เข้ามาทำการจองในสล็อตเหล่านี้ได้ จากเหตุผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าสัดส่วนของจำนวนสล็อตการจองของผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญดังนั้นจึงต้องเลือกให้มีค่าสอดคล้องกับพารามิเตอร์อื่นๆ

การวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิค FPT+PCP กำหนดให้ $S_1[M_1,N_1]$ และ $S_2[M_2,N_2]$ แทนจำนวนเฉลี่ยของความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 ตามลำดับ โดยมีผู้ใช้บริการจำนวน M_1 และ M_2 ราย มีจำนวนสล็อตการจองเป็น N_1

และ N_2 สล็อตตามลำดับ ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 ได้จากสมการ 3.18 และ 3.19 ตามลำดับ



รูปที่ 3.4 กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+PCP

$$\begin{aligned} S_1[M_1,N_1] &= b[M_1,0,p_1]S_1[M_1,N_1-1] \\ &\quad +b[M_1,1,p_1]\left(1+S_1[M_1-1,N_1-1]\right) \\ &\quad +\sum_{i_1=2}^{M_1} b[M_1,i_1,p_1]S_1[M_1,N_1-1] \end{aligned} \tag{3.18}$$

และ

$$\begin{aligned} S_2[M_2,N_2] &= b[M_2,0,p_2]S_2[M_2,N_2-1] \\ &\quad +b[M_2,1,p_2]\left(1+S_2[M_2-1,N_2-1]\right) \\ &\quad +\sum_{i_2=2}^{M_2} b[M_2,i_2,p_2]S_2[M_2,N_2-1] \end{aligned} \tag{3.19}$$

โดยมีเงื่อนไขขอบเขตคือ

$$S_1[a_1,0]=S_1[0,b_1]=0,\ a_1=0,1,\ldots,M_1,\ b_1=0,1,\ldots,N_1$$

และ

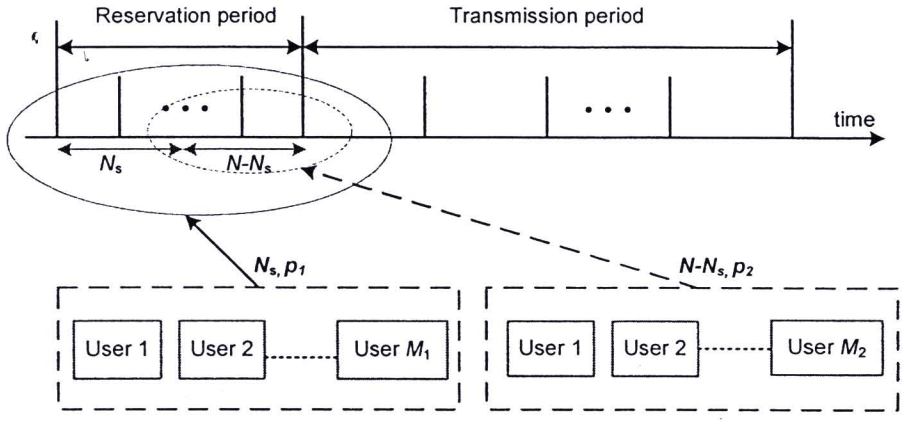
$$S_2[a_2,0]=S_2[0,b_2]=0,\ a_2=0,1,\ldots,M_2,\ b_2=0,1,\ldots,N_2 \tag{3.20}$$

สำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 ตามลำดับ

3.2.4 เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ FPT+SCS (Fixed Probability Technique with Shifted Contention Slot)

กลไกการเข้าถึงช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+PCP นั้นผู้ใช้บริการแต่ละรายจะมีสล็อตสำหรับใช้ทำการจองช่องสัญญาณเป็นของตนเองโดยมีค่าสอดคล้องกับค่า QoS ตามที่ต้องการ

กลไกการเข้าถึงช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+PCP จะมีความคล้ายคลึงกับกลไกของเทคนิค FPT+SRS แต่มีความแตกต่างกันตรงที่จำนวนของสล็อตการจองส่วนแรกจะถูกกำหนดให้สำหรับเฉพาะผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่านั้นสามารถทำการจองช่องสัญญาณได้ ในขณะที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 จะไม่ได้รับการอนุญาตให้ทำการช่องสัญญาณในส่วนนี้ จำนวนสล็อตการจองนี้จะถูกเรียกในที่นี้ว่าจำนวนสล็อตการจองช่องสัญญาณที่ถูกประวิงหรือเลื่อนไป (shifted) ดังนั้นสล็อตแรกหลังจากสิ้นสุดการเลื่อนสล็อตการจอง ผู้ใช้บริการคลาส 2 จึงจะได้รับการอนุญาตให้สามารถเข้าทำการจองได้ ในขณะที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 ที่เหลืออยู่ซึ่งยังทำการจองไม่สำเร็จในสล็อตการจองในส่วนแรกยังคงสามารถทำการจองช่องสัญญาณได้ต่อไป ซึ่งกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+SRS สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+SRS

สำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิค FPT+SCS ได้กำหนดให้ $P[k_1,k_2 \mid M_1,M_2,j=N]$ คือความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จในการจองเมื่อมีผู้ใช้บริการคลาส 1 จำนวน k_1 และผู้ใช้บริการคลาส 2 จำนวน k_2 ทำการจองช่องสัญญาณได้สำเร็จ โดยมีผู้ใช้บริการจำนวน M_1 และ M_2 ราย โดยที่ $j=N$ ซึ่งเป็นการเริ่มพิจารณาจากเวลาที่ถูกหน่วงมากที่สุดจนถึงน้อยที่สุด เมื่อกำหนดให้ j คือสล็อตสุดท้ายที่หน่วงเวลาสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 2 หรืออาจกล่าวได้ว่าผู้ใช้บริการคลาส 2 ได้รับอนุญาตให้เริ่มทำการจองได้ในสล็อตที่ $j+1$ ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยในการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 ได้จากสมการ 3.21 และ 3.22 ตามลำดับ

$$S_1[M_1,M_2,j=N]=\sum_{k_1=0}^{M_1}\sum_{k_2=0}^{M_2}k_1\,P[k_1,k_2 \mid M_1,M_2,j=N] \qquad (3.21)$$

และ

$$S_2[M_1,M_2,j=N]=\sum_{k_1=0}^{M_1}\sum_{k_2=0}^{M_2}k_2\,P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,j=N] \tag{3.22}$$

เมื่อ $j>N-N_s$ จะได้ว่า

$$P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,p_1,p_2,j]= \begin{cases} b[M_1,0,p_1]P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,j-1] \\ \quad +b[M_1,1,p_1]P[k_1-1,k_2\mid M_1-1,M_2,j-1] \\ \quad +\sum_{i_1=2}^{M_1}b[M_1,i_1,p_1]P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,j-1],\ M_1>0, \\ \\ P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,j-1],\quad M_1=0, \end{cases} \tag{3.23}$$

และเมื่อ $j\le N-N_s$ จะได้ว่า

$$\begin{aligned} &P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,p_1,p_2,j] \\ &\quad =b[M_1,0,p_1]b[M_2,0,p_2]P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,j-1] \\ &\qquad +b[M_1,1,p_1]b[M_2,0,p_2]P[k_1-1,k_2\mid M_1-1,M_2,j-1] \\ &\qquad +b[M_1,0,p_1]b[M_2,1,p_2]P[k_1,k_2-1\mid M_1,M_2-1,j-1] \\ &\qquad +b[M_1,0,p_1]\sum_{i_2=2}^{M_2}b[M_2,i_2,p_2]P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,j-1] \\ &\qquad +b[M_2,0,p_2]\sum_{i_1=2}^{M_1}b[M_1,i_1,p_1]P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,j-1] \\ &\qquad +\sum_{i_1=1}^{M_1}\sum_{i_2=1}^{M_2}b[M_1,i_1,p_1]b[M_2,i_2,p_2]P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,j-1]. \end{aligned} \tag{3.24}$$

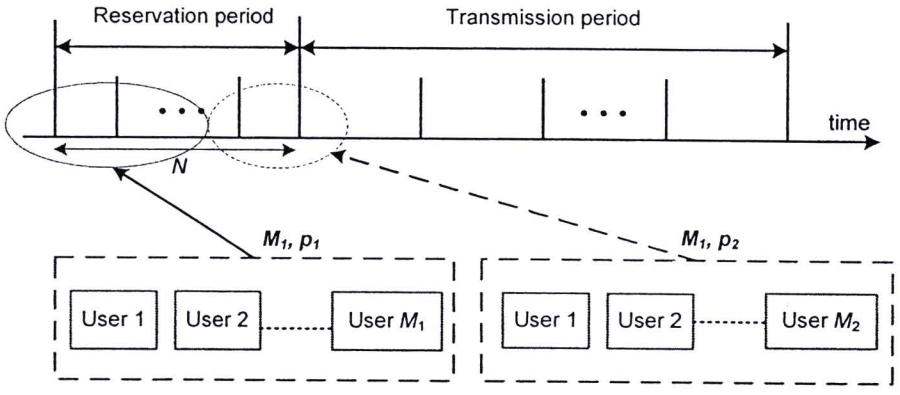
โดยมีเงื่อนไขขอบเขตคือ

$$P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,N]= \begin{cases} 0, & k_1<0 \text{ or } k_2<0, M_1+M_2\ge 0, N\ge 0 \\ 0, & k_1+k_2>N, M_1+M_2\ge 0, N\ge 0 \\ 0, & k_1>M_1 \text{ or } k_2>M_2, M_1+M_2\ge 0, N\ge 0 \\ 1, & k_1+k_2=0, M_1+M_2>0, N=0 \\ 1, & k_1+k_2=0, M_1+M_2=0, N>0 \\ 1, & k_1+k_2=0, M_1+M_2=0, N=0 \end{cases} \tag{3.25}$$

ในขณะที่ N_s คือจำนวนสล็อตการจองที่ผู้ใช้บริการคลาส 2 ต้องหน่วงเวลาออกไปเพื่อทำการจอง การคำนวณของ $P[k_1,k_2\mid M_1,M_2,j]$ จะถูกแยกพิจารณาออกเป็นสองส่วนคือสมการ 3.23 จะเป็นความพยายามในการเข้าจองช่องสัญญาณสำหรับผู้ใช้บริการคลาส 1 โดยไม่มีผู้ใช้บริการคลาส 2 เข้าร่วมในการแข่งขัน และสมการ 3.24 จะเป็นการแข่งขันระหว่างผู้ใช้บริการคลาส 2 และผู้ใช้บริการคลาส 1 ผู้ซึ่งยังทำการจองช่องสัญญาณไม่สำเร็จ

3.2.5 **เทคนิคการจองช่องสัญญาณแบบ** FPT+HFF (Fixed Probability Technique with High priority Finished First)

จากกลไกการจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+SCS นั้นผู้ใช้บริการคลาส 2 จะได้รับอนุญาตให้ทำการจองได้ในสล็อตส่วนที่สอง ในขณะที่ผู้ใช้บริการคลาส 1 สามารถเข้าจองช่องสัญญาณได้ทุกๆ สล็อต จากขั้นตอนการจองช่องสัญญาณนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการศึกษากรณีขอบเขตสูงสุดสำหรับการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการคลาส 1 จึงได้เสนอกลไกการจองช่องสัญญาณที่เรียกว่าเทคนิค FPT+HFF ซึ่งกลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+HFF สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.6 ผู้ใช้บริการคลาส 1 เท่านั้นที่ได้รับอนุญาตให้ทำการจองช่องสัญญาณได้จนกระทั่งผู้ใช้บริการคลาส 1 ทุกรายทำการจองสำเร็จซึ่งกระบวนการจองนี้จะหยุดทำงานทันทีหรือไม่ก็สล็อตที่สามารถทำการจองได้ในแต่ละเฟรมหมดลง หลังจากนั้นผู้ใช้บริการคลาส 2 จึงจะได้รับอนุญาตให้สามรถทำการจองได้ในสล็อตการจองถัดไป อย่างไรก็ตามในบางสถานการณ์ผู้ใช้บริการคลาส 2 อาจไม่ได้รับอนุญาตให้ทำการจองเลยเนื่องจากมีผู้ใช้บริการคลาส 1 อย่างน้อย 1 รายที่ยังทำการจองไม่สำเร็จถึงแม้ว่าจะพยายามทำการจองจนกระทั่งถึงสล็อตสุดท้ายในเฟรมก็ตาม



รูปที่ 3.6 กลไกการเข้าจองช่องสัญญาณของเทคนิค FPT+HFF

สำหรับการวิเคราะห์สมรรถนะทางคณิตศาสตร์สำหรับเทคนิค FPT+HFF กำหนดให้ $S_1[M_1,N]$ และ $S_2[M_1,M_2,N]$ แทนจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 ตามลำดับ โดยมีจำนวนผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 เป็น M_1 และ M_2 รายตามลำดับ และมีจำนวนสล็อตการจองทั้งหมดเป็น N ดังนั้นจะสามารถคำนวณหาค่าจำนวนความสำเร็จโดยเฉลี่ยการจองช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการคลาส 1 และคลาส 2 ได้จากสมการ 3.26 และ 3.27 ตามลำดับ

$$S_1[M_1,N]=b[M_1,0,p_1]S_1[M_1,N-1] + b[M_1,1,p_1]\left(1+S_1[M_1-1,N-1]\right) + \sum_{i_1=2}^{M_1} b[M_1,i_1,p_1]S_1[M_1,N-1] \quad (3.26)$$

และ

$$S_2[M_1,M_2,N]=\sum_{i=M_1-1}^{N-2} P_{FPT}[M_1-1\,|\,M_1,i,p_1]p_1\cdot S_{FPT}[M_2,N-i-1,p_2] \quad (3.27)$$

เมื่อ

$$S_{FPT}[m,n,p]=b[m,0,p]S_{FPT}[m,n-1,p] + b[m,1,p]\left(1+S_{FPT}[m-1,n-1,p]\right) + \sum_{i=2}^{m} b[m,i,p]S_{FPT}[m,n-1,p] \quad (3.28)$$

และ

$$P_{FPT}[k\,|\,m,n,p]=b[m,0,p]P_{FPT}[k\,|\,m,n-1,p] + b[m,1,p]P_{FPT}[k-1\,|\,m-1,n-1,p] + \sum_{i=2}^{M} b[m,i,p]P_{FPT}[k\,|\,m,n-1,p] \quad (3.29)$$

โดยมีเงื่อนไขขอบเขตคือ

$$S_{FPT}[a,0,p]=S_{FPT}[0,b,p]=0,\ a=0,1,...,M,\ b=0,1,...,N \quad (3.30)$$

และ

$$P_{FPP}[k\,|\,m,n,p]=\begin{cases}0, & k<0,m\geq 0,n\geq 0\\ 1, & k=0,m\geq 0,n=0\\ 0, & k>0,m\geq 0,n=0\\ 1, & k=0,m=0,n\geq 0\\ 0, & k>0,m=0,n\geq 0\end{cases} \quad (3.31)$$