บทที่ 4

ผลทดสอบและการวิเคราะห์

บทนี้จะแสดงผลทดสอบและการวิเคราะห์วิธีต่าง ๆ ที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 รวมถึงการเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอกับวิธีที่เคยถูกเสนอ ผลการทดสอบที่นำมาแสดงจะเป็นผลที่ได้มาจากสมการทางคณิตศาสตร์ที่ได้วิเคราะห์ในบทที่แล้ว ผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Simulation) จะแสดงให้เห็นเพียงบางส่วน โดยจะแสดงเฉพาะในหัวข้อ 4.1 กรณีศึกษา เนื่องจากผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์จะให้ผลเช่นเดียวกับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในทุกกรณี

กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในรูปดังนี้

Analysis	แทนการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์
Simulation	แทนการจำลองทางคอมพิวเตอร์
Sum	แทนผลรวมความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในแต่ละกรณี ($\sum_{k=0}^{m} \Pr[k \mid m,n]$)
g	แทนจำนวนกลุ่ม (วิธี COP+SPL และ CFP+SPL)
G	แทนปริมาณโหลด หรือ จำนวนผู้ใช้บริการในระบบต่อจำนวนสล็อตการจอง
k	แทนจำนวนคนที่ประสบความสำเร็จ
M	แทนจำนวนผู้ใช้บริการ
N	แทนจำนวนสล็อตการจอง
p	แทนค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง
$\Pr[k \mid m,n]$	แทนความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ m คนจะประสบความสำเร็จในการจอง k คน เมื่อมีสล็อตการจอง n สล็อต

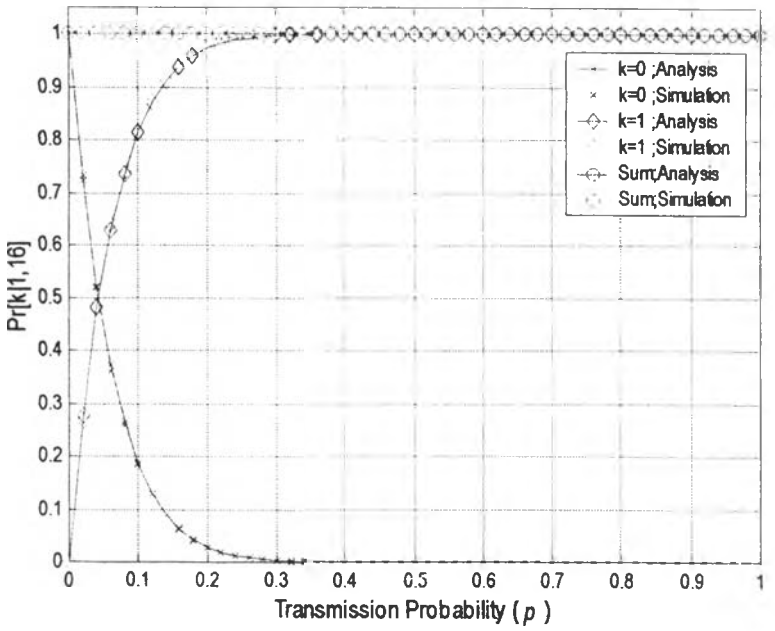
S	แทนค่าวิสัยสามารถ หรือจำนวนผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จต่อจำนวนสล็อตการจอง
T	แทนจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จในการจองช่องสัญญาณ
CFP	แทนวิธี Cascade Fixed Probability
CAP	แทนวิธี Cascade Adaptive Probability
COP	แทนวิธี Cascade Optimal Probability
COP + SPL	แทนวิธี Cascade Optimal Probability with Split
CFP + SPL	แทนวิธี Cascade Fixed Probability with Split
UNI	แทนวิธี Uniform
UNI + LA	แทนวิธี Uniform with Limited Access
APB	แทนวิธี Applied Pseudo Bayesian
AEB	แทนวิธี Applied Exponential Backoff

4.1 ผลทดสอบและการวิเคราะห์กรณีศึกษา

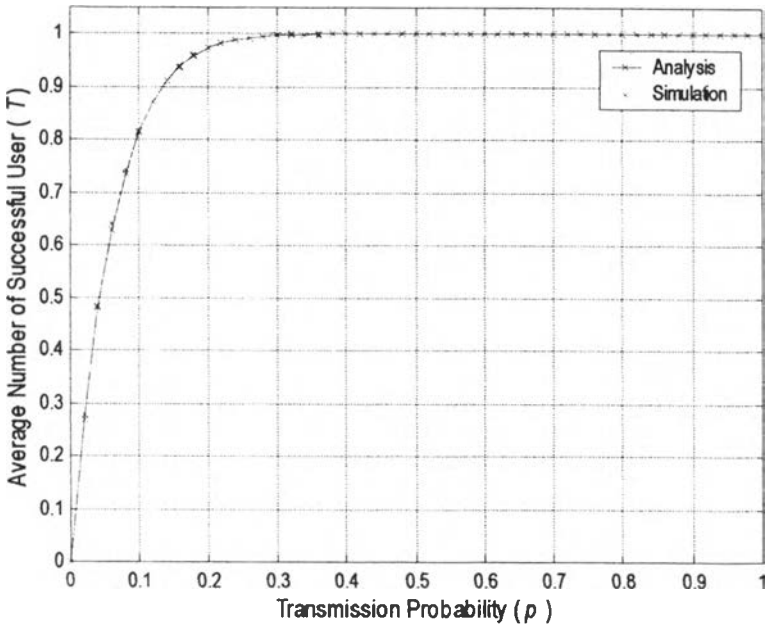
หัวข้อนี้จะแสดงผลที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในกรณีที่ระบบมีผู้ใช้บริการเพียง 1, 2, 3 และ 4 คน (หัวข้อ 3.2) และได้เปรียบเทียบผลที่ได้กับผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์ ในการจำลองทางคอมพิวเตอร์ผู้วิจัยได้ทดสอบโดยเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นการส่งแพ็กเกตการจองจาก 0 ถึง 1 ด้วยความละเอียด (Step Size) เท่ากับ 0.02 และทดสอบในช่วงการจองจำนวน 100,000 ครั้ง

ในกรณีที่ระบบมีผู้ใช้บริการเพียงคนเดียว ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการจะไม่ประสบความสำเร็จ ($\Pr[k=0]$) และประสบความสำเร็จจากการจอง ($\Pr[k=1]$) เป็นไปตามสมการ (3.1) และ (3.2) ตามลำดับ เมื่อพิจารณาระบบที่มีจำนวนสล็อตการจอง (n) 16 สล็อต ผลของค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองถูกแสดงในรูปที่ 4.1 เมื่อทำการพิจารณารูปที่ 4.1 (ก) จะเห็นว่า เมื่อค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองเพิ่มขึ้น $\Pr[k=1]$ มีค่ามากขึ้น แต่ $\Pr[k=0]$ มีค่าลดลง เพราะว่าในระบบมีผู้ใช้บริการเพียงคนเดียว การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองเป็นการเพิ่มโอกาสที่ผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จ และถ้าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองเท่ากับ 1 ผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จในการจองอย่างแน่นอน ในขณะที่ $\Pr[k=0]$ แสดงให้เห็นว่าที่ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองต่ำ ๆ ผู้ใช้บริการจะไม่ประสบความสำเร็จในการจองเป็นเพราะผู้ใช้บริการไม่ส่งแพ็กเกตการจองนั้นเอง

รูปที่ 4.1 (ข) แสดงจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ (T) จะเห็นว่าเมื่อความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองมีค่ามากจำนวนผู้ใช้โดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จจะมีค่ามาก และมากที่สุดเมื่อความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นไปตามที่ได้วิเคราะห์ไว้ในสมการ (3.5) สังเกตว่า T มีค่าเท่ากับ $\Pr[k=1]$ เพราะว่า T หาได้จาก $\sum_{k=0}^{1} k \cdot \Pr[k \mid 1,16]$ ซึ่งเท่ากับ $\Pr[k=1]$



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จ



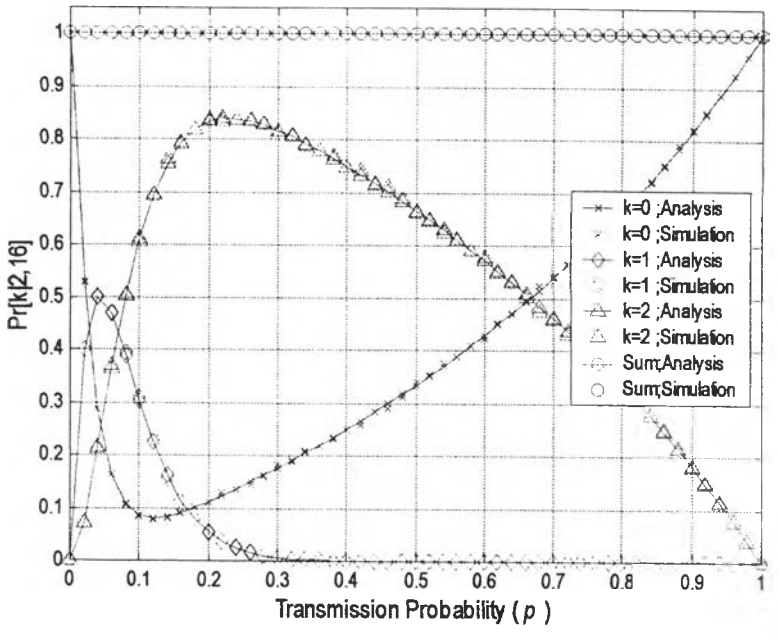
(ข) จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ

รูปที่ 4.1 ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการ 1 คน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต

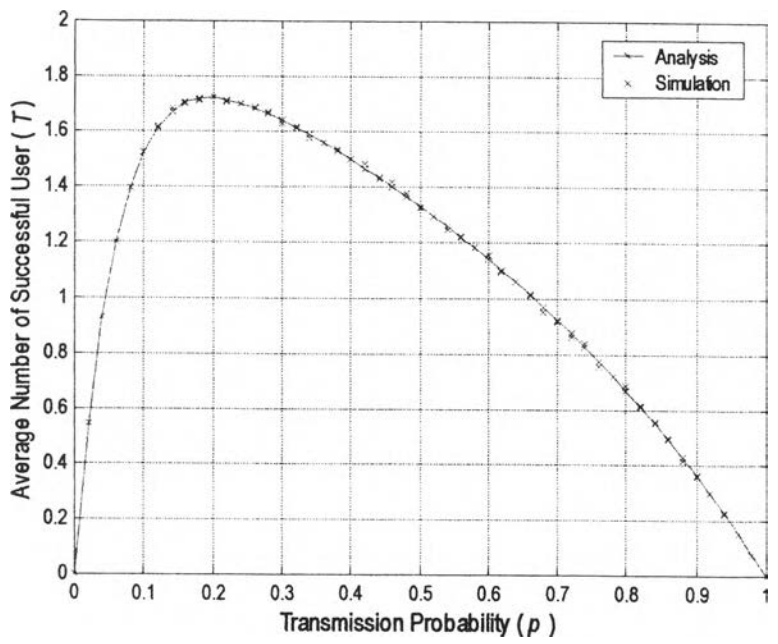
รูปที่ 4.2 แสดงผลของค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 2 คน และมีจำนวนสล็อตการจองเท่ากับ 16 สล็อต ซึ่งเป็นผลการทดสอบที่ได้จากสมการตามหัวข้อย่อย 3.2.2 โดยรูปที่ 4.2 (ก) จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จ ($\Pr[k > 0]$) จะมีลักษณะที่แตกต่างจากกรณีที่ระบบมีผู้ใช้บริการเพียงคนเดียว เมื่อค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง (p) มีค่ามาก $\Pr[k = 1]$ และ $\Pr[k = 2]$ จะมีค่าลดลงและเข้าใกล้ศูนย์ เพราะเมื่อ ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองมีค่ามาก โอกาสที่แพ็กเกตการจองจะชนกันเป็นไปได้สูง จึงทำให้ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการความสำเร็จมีค่าลดลง

ค่าสูงสุดของ $\Pr[k = 1]$ เกิดที่ค่า p ต่ำ ๆ เพราะเมื่อ p มากขึ้นจะทำให้ผู้ใช้บริการทั้งสองตัดสินใจเข้าจองซึ่งทำให้ผลที่ได้มีเพียงสองอย่างคือทั้งสองคนประสบความสำเร็จ หรือเกิดการชนกัน ในขณะที่ค่าสูงสุดของ $\Pr[k = 2]$ จะเกิดที่ค่า p ที่สูงกว่า เพราะในช่วงที่ p มีค่าน้อยโอกาสที่ผู้ใช้บริการทั้งสองจะส่งแพ็กเกตการจองมีค่าน้อย และเมื่อเพิ่ม p มากพอจะเริ่มทำให้โอกาสผู้ใช้บริการทั้งสองส่งแพ็กเกตการจองมีมากขึ้น ซึ่งทำให้ผู้ใช้บริการทั้งสองจะประสบความสำเร็จในการจองมากขึ้นด้วยเช่นกัน นอกจากนี้พบว่าค่าสูงสุดของ $\Pr[k = 2]$ มีค่ามากกว่า $\Pr[k = 1]$ เป็นเพราะโอกาสที่จะเกิด $\Pr[k = 2]$ เป็นได้มากกว่า $\Pr[k = 1]$

จากรูปที่ 4.2 (ข) พบว่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ (T) ในช่วงที่ p มีค่าน้อย จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่ม p แต่เมื่อเพิ่ม p ถึงจุดหนึ่งจะทำให้ T ลดลงแล้วเข้าสู่ศูนย์ เพราะว่าในช่วงแรกที่ p มีค่าน้อย การเพิ่มค่า p เป็นการเพิ่มโอกาสในการเข้าใช้ช่องสัญญาณ แต่เมื่อเพิ่ม p จนเกินจุด ๆ หนึ่ง ผลของการชนกันจะส่งผลมากกว่า ทำให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จมีค่าลดลง โดยจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยสูงสุดที่ประสบความสำเร็จเกิดที่ p มีค่าเท่ากับ 0.2 ซึ่งให้ค่าสูงสุดของ T เท่ากับ 1.72



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จ



(ข) จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ

รูปที่ 4.2 ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการ 2 คน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต

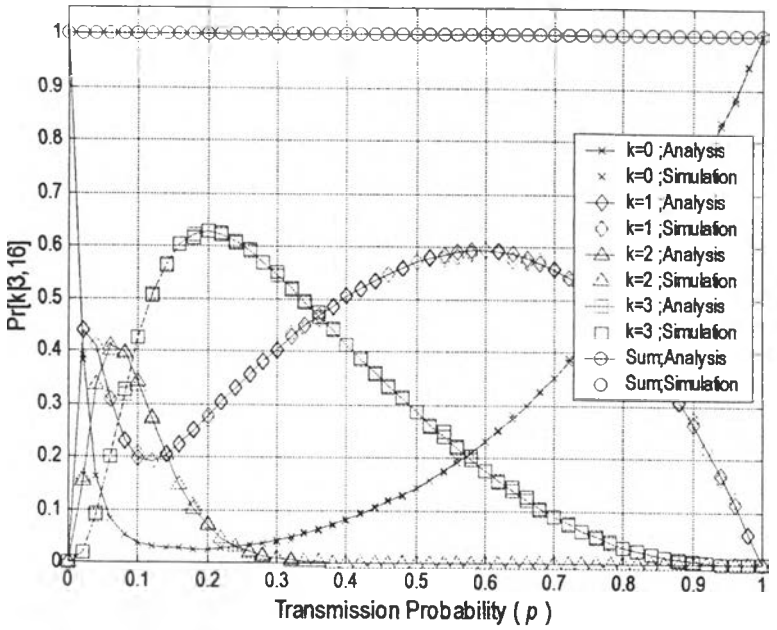
รูปที่ 4.3 แสดงผลของค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 3 คน และมีจำนวนสล็อตการจองเท่ากับ 16 สล็อต จากรูปที่ 4.3 (ก) พบว่าลักษณะของ $\Pr[k=2]$ และ $\Pr[k=3]$ จะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรก แล้วลดลงเมื่อ p มีค่ามากขึ้นด้วยเหตุผลเช่นกับที่ได้อธิบายในรูปที่ 4.2 (ก) แต่สำหรับ $\Pr[k=1]$ จะมีค่าสูงสุดสัมพัทธ์ 2 ครั้ง เพราะว่าค่าสูงสุดสัมพัทธ์ในครั้งแรกเกิดจากกรณีที่มีผู้ใช้บริการเพียงคนเดียวที่เข้าจองและประสบความสำเร็จ แต่ผู้ใช้บริการอีกสองไม่เข้าจอง ในขณะที่ค่าสูงสุดสัมพัทธ์ครั้งที่สองเกิดจากกรณีที่ผู้ใช้บริการทั้งสามเข้าจอง โดยมีผู้ใช้บริการเพียงคนเดียวที่ประสบความสำเร็จแต่อีกสองคนเกิดการชนกันจึงไม่ประสบความสำเร็จ

จากรูปที่ 4.3 (ข) พบว่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยสูงสุดที่ประสบความสำเร็จเกิดที่ p มีค่าเท่ากับ 0.16 ซึ่งให้ค่าสูงสุดของ T เท่ากับ 2.32 ซึ่งลักษณะของกราฟเป็นเช่นเดียวกับรูปที่ 4.2 (ข) ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกัน

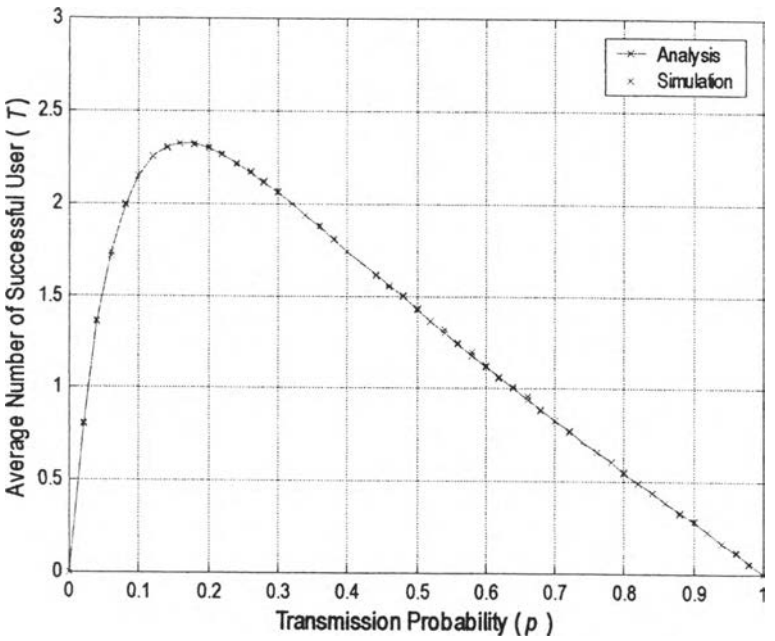
รูปที่ 4.4 แสดงผลของค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 4 คน และมีจำนวนสล็อตการจองเท่ากับ 16 สล็อต จากรูปที่ 4.4 (ก) พบว่าค่าสูงสุดสัมพัทธ์ของ $\Pr[k=1]$ และ $\Pr[k=2]$ มีสองค่า เพราะกรณีที่จะเกิดเหตุการณ์นี้ได้มีอย่างน้อย 2 เหตุการณ์ ในขณะที่ $\Pr[k=3]$ และ $\Pr[k=4]$ มีค่าสูงสุดสัมพัทธ์เพียงค่าเดียวเพราะกรณีที่จะเกิดเหตุการณ์นี้มีเพียงเหตุการณ์เดียว สำหรับรูปที่ 4.4 (ข) พบว่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยสูงสุดที่ประสบความสำเร็จเกิดที่ p มีค่าเท่ากับ 0.14 ซึ่งให้ค่าสูงสุดของ T เท่ากับ 2.83

จากรูปที่ 4.1 (ก), 4.2 (ก), 4.3 (ก) และ 4.4 (ก) ได้แสดงผลของ $\sum_{k=0}^{m} \Pr[k \mid m,n]$ (Sum) ซึ่งเท่ากับผลรวมของ $\Pr[k]$ ในทุกกรณี เพื่อที่จะแสดงให้เห็นว่าค่านี้จะต้องเท่ากับ 1 เพราะผลรวมของความน่าจะเป็นในทุกกรณีของเหตุการณ์ใด ๆ ต้องเท่ากับ 1 เสมอ ดังนั้นผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์จึงน่าจะถูกต้อง

จากรูปที่ 4.1 (ข), 4.2 (ข), 4.3 (ข) และ 4.4 (ข) สรุปได้ว่ามีค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมค่าหนึ่งในการส่งแพ็กเกตการจอง ซึ่งเป็นค่าที่ทำให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยมีค่ามากที่สุด และค่านี้ขึ้นกับจำนวนผู้ใช้บริการในระบบ

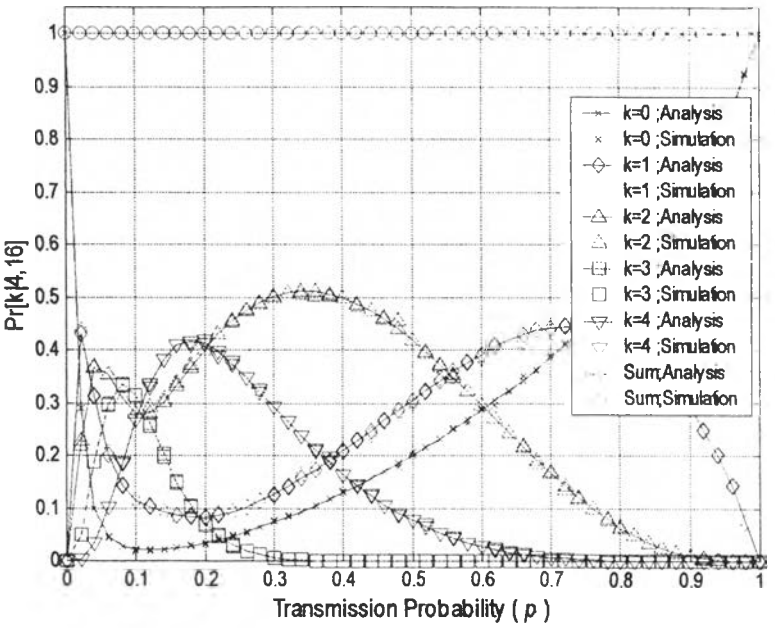


(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จ

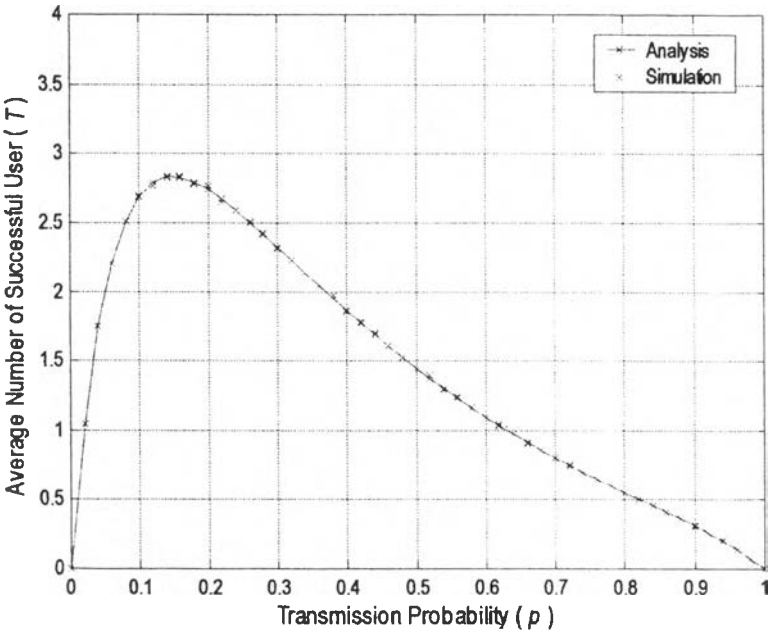


(ข) จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ

รูปที่ 4.3 ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการ 3 คน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต



(ก) ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จ



(ข) จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ

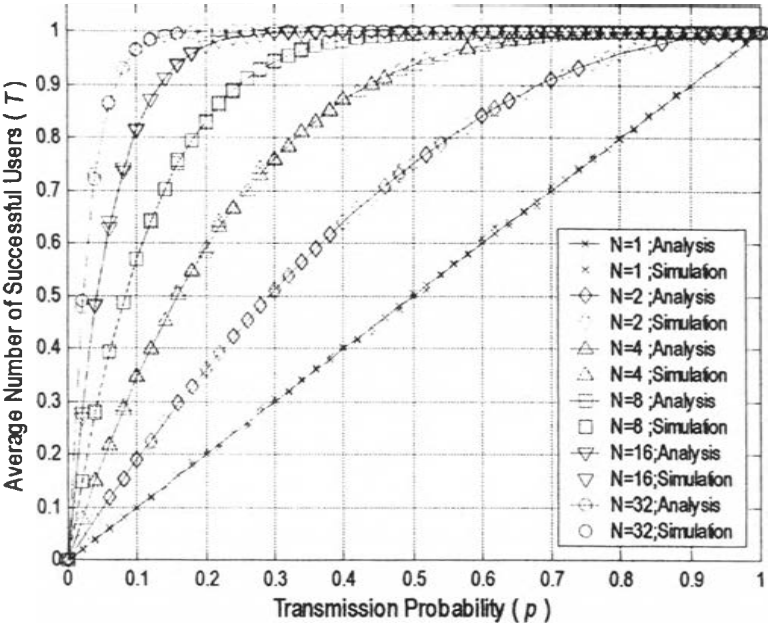
รูปที่ 4.4 ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง เมื่อมีผู้ใช้บริการ 4 คน และจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต

รูปที่ 4.5 แสดงจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ และค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง เมื่อมีจำนวนสล็อตการจอง 1, 2, 4, 8, 16, 32 สล็อต ผลทดสอบของกรณีที่ระบบมีผู้ใช้บริการคนเดียว (รูปที่ 4.5 (ก)) พบว่าจำนวนสล็อตการจอง มีผลต่อจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ โดยจะเห็นว่าเมื่อ N มีค่ามาก T จะลู่เข้าสู่หนึ่งเร็วกว่าเมื่อ N มีค่าน้อย เพราะการเพิ่มจำนวนสล็อตการจองเป็นการเพิ่มโอกาสให้ผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จ

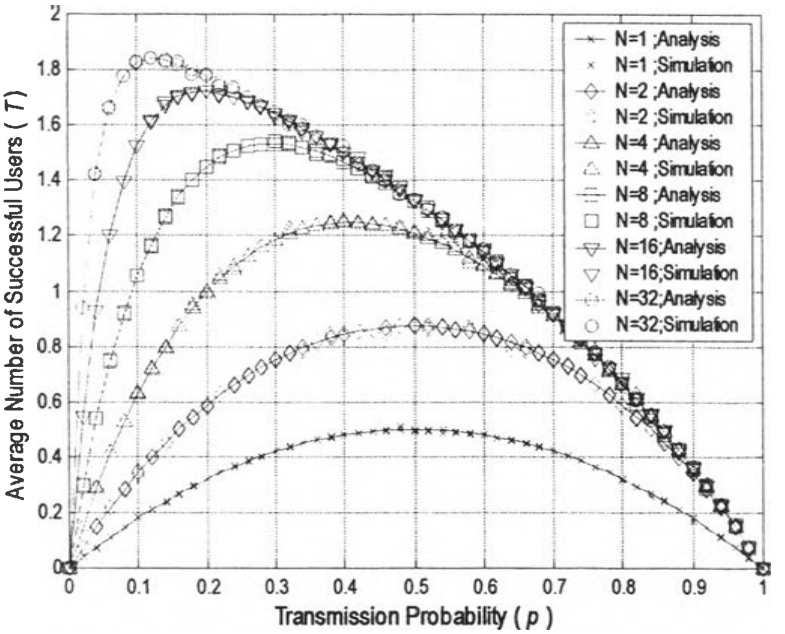
กรณีที่ระบบมีผู้ใช้บริการ 2 คน (รูปที่ 4.5 (ข)) พบว่าเมื่อมีจำนวนสล็อตการจองเพิ่มขึ้น จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จมีค่าเพิ่มขึ้น โดยเมื่อ N มีค่าเท่ากับ 1, 2, 4, 8, 16 และ 32 สล็อต จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 0.5, 0.875, 1.25, 1.53, 1.72 และ 1.84 ที่ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองเท่ากับ 0.5, 0.5, 0.4, 0.3, 0.2 และ 0.12 ตามลำดับ ดังนั้นค่าเหล่านี้จึงเป็นค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจอง ซึ่งขึ้นกับจำนวนสล็อตการจอง นอกจากนี้ยังสังเกตเห็นว่าค่าที่เหมาะสมจะมีค่าลดลงเมื่อจำนวนสล็อตการจองเพิ่มขึ้น เพราะการเพิ่มจำนวนสล็อตการจอง เป็นการเพิ่มโอกาสให้ผู้ใช้บริการที่จะตัดสินใจว่าจะเข้าจองในสล็อตใด ดังนั้นผู้ใช้บริการจึงไม่จำเป็นต้องรีบเข้าจองตั้งแต่สล็อตการจองแรก ๆ เพราะยังมีสล็อตการจองอีกมากที่ผู้ใช้บริการยังมีสิทธิที่จะเข้าจองได้ ด้วยเหตุนี้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองจึงมีค่าลดลงเมื่อจำนวนสล็อตการจองเพิ่มขึ้น สำหรับกรณีที่ระบบมีผู้ใช้บริการ 3 และ 4 คน (รูปที่ 4.5 (ค) และ (ง)) พบว่าให้ผลเช่นเดียวกันกับกรณีที่ระบบมีผู้ใช้บริการ 2 คน นั้นคือเมื่อจำนวนสล็อตการจองเพิ่มขึ้นจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จมีค่าเพิ่มขึ้น

จากรูปที่ 4.1 ถึง 4.5 พบว่าการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ให้ผลที่เท่ากันกับการจำลองทางคอมพิวเตอร์ในทุกกรณี จึงเป็นการยืนยันได้ว่าสมการที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในบทที่ 3 มีค่าถูกต้อง สำหรับผลการทดสอบของวิธีต่าง ๆ ในหัวข้อถัดไปเพื่อความสะดวกในการพิจารณากราฟจะแสดงเฉพาะผลที่ได้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์เท่านั้น เพราะผลการจำลองทางคอมพิวเตอร์จะให้ผลที่เท่ากันในทุกกรณี

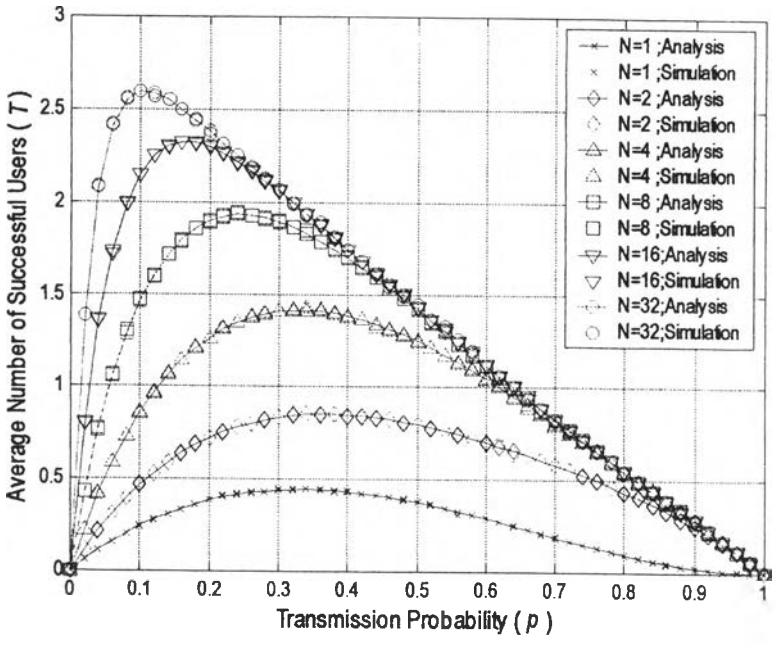
ดังนั้นจากที่กล่าวมาทั้งหมดในหัวข้อนี้ สามารถสรุปได้ว่าค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง มีผลต่อจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ และมีค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองที่เหมาะสมอยู่หนึ่งค่าซึ่งทำให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จมีค่าสูงสุด ในวิทยานิพนธ์นี้จึงเรียกค่านี้ว่า "*ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจอง*" ซึ่งค่านี้ขึ้นกับจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจอง



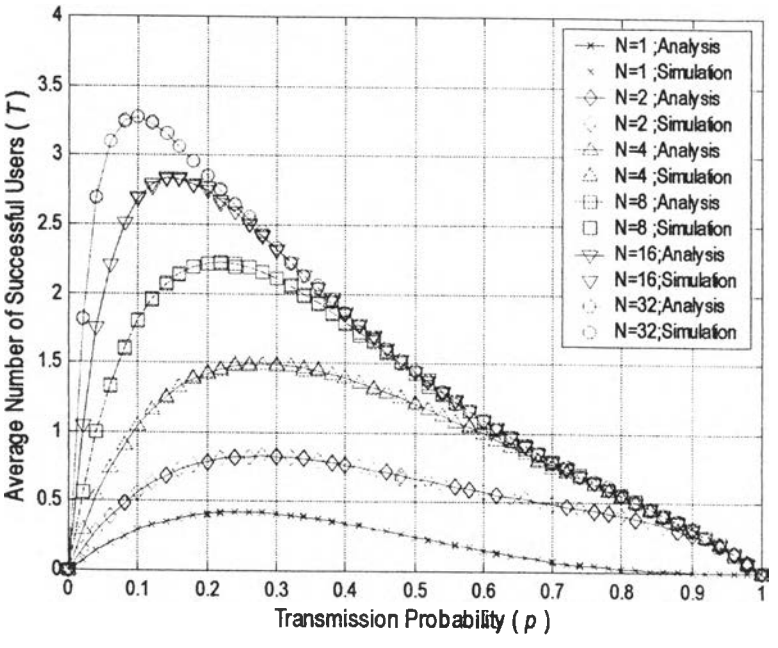
(ก) ระบบมีผู้ใช้บริการ 1 คน



(ข) ระบบมีผู้ใช้บริการ 2 คน



(ค) ระบบมีผู้ใช้บริการ 3 คน



(ง) ระบบมีผู้ใช้บริการ 4 คน

รูปที่ 4.5 **จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ และค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง เมื่อมีจำนวนสล็อตการจอง** 1, 2, 4, 8, 16, 32 **สล็อต**

4.2 ผลทดสอบและการวิเคราะห์วิธี CFP

จากหัวข้อที่ผ่านมาจะเห็นแล้วว่า ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองมีผลต่อจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ โดยในระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการและสล็อตการจองจำนวนหนึ่ง จะมีค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองอยู่หนึ่งค่าที่จะทำให้ได้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยสูงสุดที่ประสบความสำเร็จ

รูปที่ 4.6 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจอง (p) ของวิธี CFP เมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8 และ 16 คน และมีจำนวนสล็อตการจอง 1 ถึง 32 สล็อต พบว่ากรณีที่มีผู้ใช้บริการเพียงคนเดียว ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองมีค่าเท่ากับหนึ่งเสมอไม่ว่าจะมีจำนวนสล็อตการจองเท่าไรก็ตาม เพราะกรณีผู้ใช้เพียงคนเดียวผู้ใช้บริการไม่ต้องแข่งขันในการเข้าจองสล็อตกับผู้ใช้บริการคนอื่น กรณีที่มีผู้ใช้บริการ 2 คน ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองมีค่าลดลงเมื่อจำนวนสล็อตการจองเพิ่มขึ้น และกรณีที่มีผู้ใช้บริการมากกว่า 2 คน ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองจะมีค่าเพิ่มขึ้นในช่วงแรกแต่หลังจากนั้นจะมีค่าลดลง และเมื่อจำนวนสล็อตการจองมีค่ามาก ๆ ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองจะมีค่าเข้าใกล้ 0 เพราะว่าในช่วงแรก ($N < M$) การลดจำนวนสล็อตการจองจะทำให้ผู้ใช้บริการมีโอกาสชนกันมากขึ้น ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองมีค่าลดลงเมื่อจำนวนสล็อตการจองลดลงเพื่อไม่ให้เกิดการชนกันของผู้ใช้บริการ แต่ในช่วงหลัง ($N > M$) ผู้ใช้บริการไม่จำเป็นต้องรีบส่งแพ็กเกตการจองตั้งแต่สล็อตการจองแรก ๆ เนื่องจากผู้ใช้บริการยังมีโอกาสที่จะส่งแพ็กเกตการจองในสล็อตท้าย ๆ ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองมีค่าลดลงเมื่อจำนวนสล็อตการจองเพิ่มขึ้น

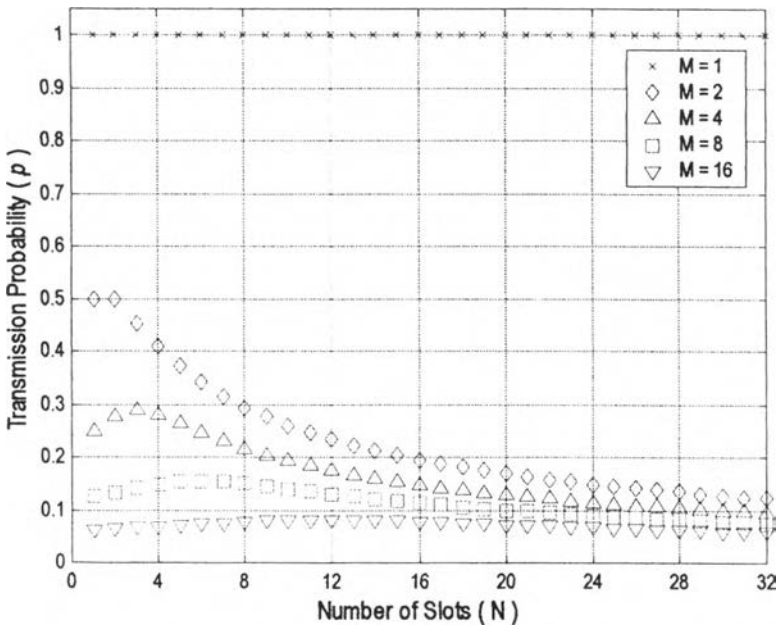
รูปที่ 4.7 แสดงจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CFP เมื่อใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองตามรูปที่ 4.6 พบว่ากรณีมีผู้ใช้บริการเพียงคนเดียว จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จจะมีค่าคงที่เท่ากับ 1 เสมอ เพราะกรณีนี้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองเป็น 1 เสมอ ดังนั้นการเพิ่มจำนวนสล็อตการจองให้แก่ระบบที่มีผู้ใช้บริการเพียงคนเดียวจึงไม่ผลต่อจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ แต่สำหรับกรณีที่มีผู้ใช้บริการตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป การเพิ่มจำนวนสล็อตการจองทำให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จเพิ่มขึ้น เพราะผู้ใช้บริการมีโอกาสที่จะประสบความสำเร็จได้มากขึ้น เมื่อพิจารณากรณีที่มีผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8, 16 คน และมีจำนวนสล็อตการจอง 32 สล็อต พบว่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จเท่ากับ 1, 1.84, 3.28,

5.48, 8.28 หรือคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จเท่ากับ 100, 92, 82, 68.5, 51.75 ตามลำดับ จะเห็นว่าแม้ว่าระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการมากจะมีจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จสูงกว่าในระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการน้อย แต่เปอร์เซ็นต์ของผู้ใช้บริการที่ประสบความสำเร็จมีค่าน้อยลงเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้น เพราะโอกาสที่แพ็กเกตการจองจะชนกันมีค่ามากขึ้น ทำให้โอกาสที่ผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จมีค่าน้อยลง

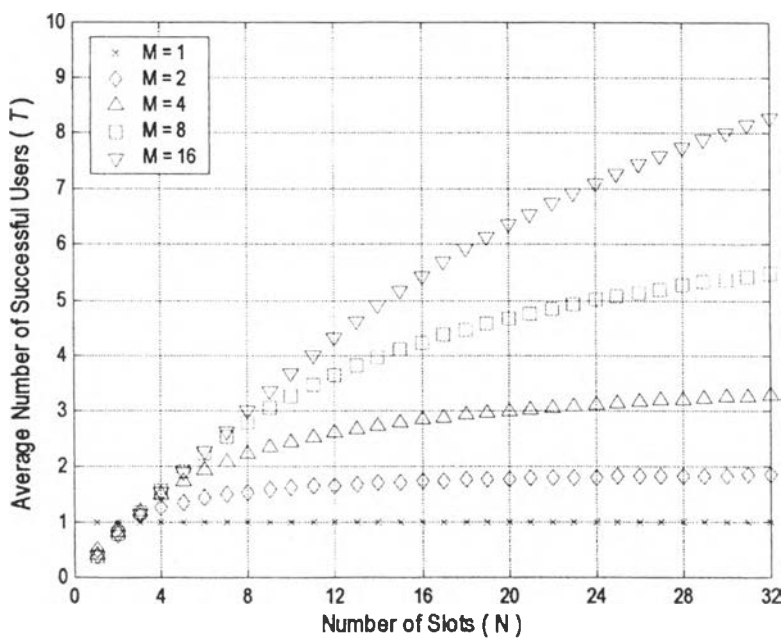
รูปที่ 4.8 แสดงค่าวิสัยสามารถ (S) ของวิธี CFP เมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คน และมีจำนวนสล็อตการจอง 1, 2, 4, 8, 16, 32 สล็อต พบว่าเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นมาก ๆ ค่าวิสัยสามารถของทุกกรณีจะมีค่าลู่เข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเท่ากับ 0.368 หรือ $1/e$ (โดยที่ $e \approx 2.718$) นั่นแสดงให้เห็นว่าในระบบที่มีผู้ใช้บริการอยู่จำนวนมากประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณด้วยวิธี CFP มีค่าเท่ากับ 36.8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นค่าที่เท่ากับค่าวิสัยสามารถสูงสุดของระบบที่ใช้วิธี Slotted Aloha [1,2] นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อจำนวนสล็อตการจองเพิ่มขึ้นค่าวิสัยสามารถมีค่าลดลง หรือประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณจะมีค่าน้อยลง เพราะวิธี CFP กำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองเป็นค่าคงที่ในทุกสล็อตการจอง ดังนั้นยิ่งมีจำนวนสล็อตการจองมาก ค่า ๆ นี้ยิ่งเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมในสล็อตการจองแต่ละสล็อต

รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถและปริมาณโหลด (จำนวนผู้ใช้บริการต่อจำนวนสล็อตการจอง, G) ของวิธี CFP เมื่อมีจำนวนสล็อตการจอง 1, 2, 4, 8, 16, 32 สล็อต ซึ่งที่ปริมาณโหลดน้อยกว่า เท่ากับ และมากกว่า 1 คือมีจำนวนผู้ใช้บริการน้อยกว่า เท่ากับ และมากกว่าจำนวนสล็อตการจองตามลำดับ พบว่าช่วงที่ปริมาณโหลดมีค่าน้อย เมื่อจำนวนสล็อตการจองเพิ่มขึ้นค่าวิสัยสามารถลดลง ดังนั้นระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองน้อยจะมีประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณมากกว่าระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองมาก เมื่อพิจารณาที่ปริมาณโหลดเท่ากับ 1 ค่าวิสัยสามารถเท่ากับ 1, 0.44, 0.37, 0.36, 0.33, 0.33 ตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามช่วงที่ปริมาณโหลดมีค่ามาก ค่าวิสัยสามารถจะให้ค่าเท่ากันไม่ขึ้นกับจำนวนสล็อตการจอง

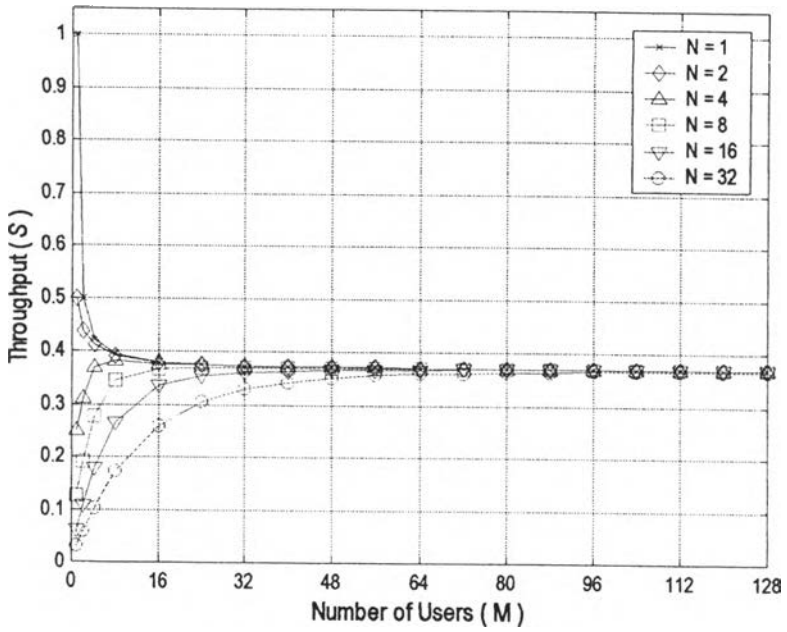
จากรูปที่ 4.6 ถึง 4.9 เป็นกราฟที่ได้จากการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ตามหัวข้อ 3.3.2 และ 3.3.3 ซึ่งให้ผลที่เท่ากัน โดยทั้งสองหัวข้อเป็นการวิเคราะห์หาค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการจองช่องสัญญาณของวิธี CFP แม้ว่าจะเป็นการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ด้วยแนวทางที่ไม่เหมือนกันแต่ให้ผลที่เท่ากัน กล่าวคือหัวข้อ 3.3.2 วิเคราะห์หาสมรรถนะในรูป Recursive Formula ของ Pr ดังสมการที่ (3.36) ส่วนหัวข้อ 3.3.3 เป็นการวิเคราะห์หาสมรรถนะในรูป Recursive Formula ของ T ดังสมการที่ (3.41)



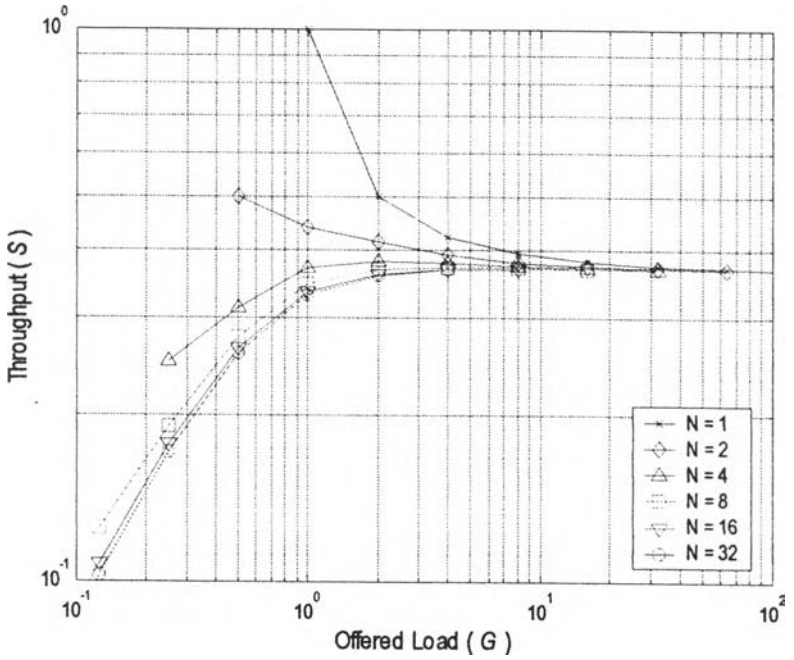
รูปที่ 4.6 ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี CFP เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8, 16 คน และสล็อตการจอง 1 ถึง 32 สล็อต



รูปที่ 4.7 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CFP เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8, 16 คน และสล็อตการจอง 1 ถึง 32 สล็อต



รูปที่ 4.8 ค่าวิสัยสามารถของวิธี CFP เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คน และสล็อตการจอง 1, 2, 4, 8, 16, 32 สล็อต



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถและปริมาณโหลดของวิธี CFP เมื่อมีจำนวนสล็อตการจอง 1, 2, 4, 8, 16, 32 สล็อต

4.3. ผลทดสอบและการวิเคราะห์วิธี CAP

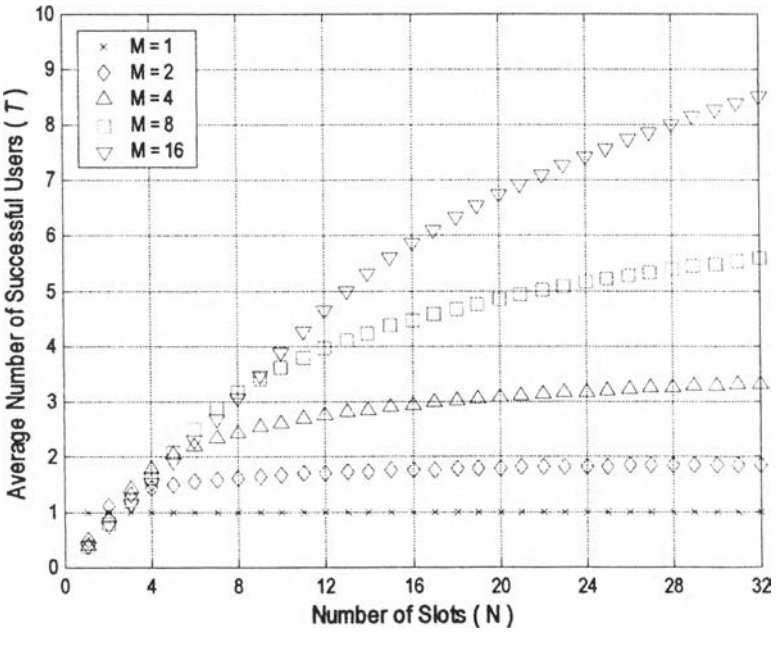
จากหัวข้อที่ 4.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่อกำหนดให้ผู้ใช้บริการทุกคนใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองเท่ากันในทุกสล็อตการจอง สามารถที่จะหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองค่าหนึ่งที่เหมาะสม ซึ่งขึ้นกับจำนวนผู้ใช้บริการและสล็อตการจองในระบบ ในหัวข้อนี้เป็นการแสดงผลเมื่อผู้ใช้บริการสามารถปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองได้ทุกสล็อตการจอง ตามข้อกำหนดของวิธี CAP โดยค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองได้จากค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี CFP

รูปที่ 4.10 แสดงจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CAP เมื่อระบบมีผู้ใช้จำนวน 1, 2, 4, 8, 16 คน และมีสล็อตการจอง 1 ถึง 32 สล็อต พบว่าผลที่ได้คล้ายกับวิธี CFP ในรูปที่ 4.7 ดังนั้นจึงทำการเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CFP และ CAP เพื่อให้เห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งได้เห็นได้ว่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จที่ได้ของวิธี CAP มีค่าใกล้เคียงกับวิธี CFP เป็นอย่างมาก เมื่อพิจารณาที่จำนวนสล็อตการจองเท่ากับ 32 สล็อตและผู้ใช้บริการ 2, 4, 8, 16 คน จะมีจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CAP เท่ากับ 1.86, 3.33, 5.59, 8.51 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับวิธี CFP พบว่าวิธี CAP มีจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จสูงกว่าคิดเป็น 1, 1.5, 2, 2.8 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

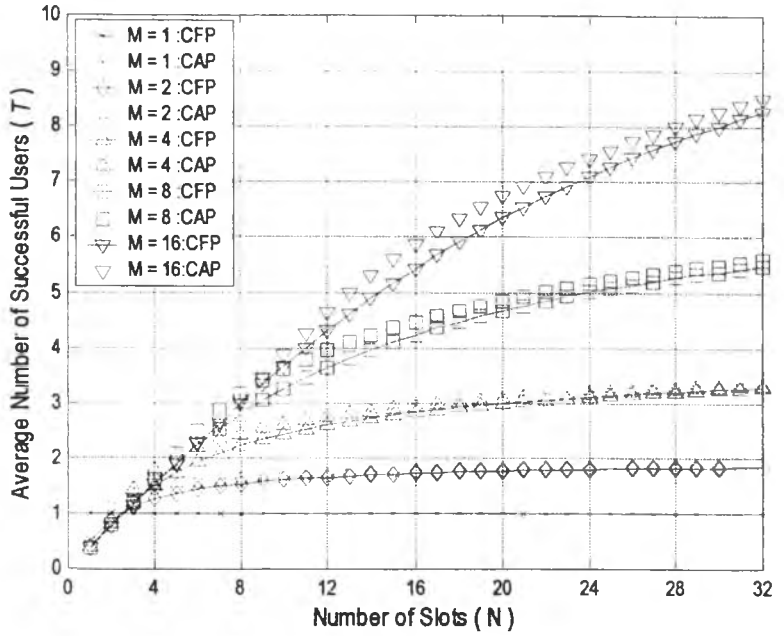
ดังนั้นแม้ว่าการปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี CAP จะส่งผลให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของระบบสูงขึ้นแต่ก็เพิ่มขึ้นไม่มาก ทั้ง ๆ ที่วิธีนี้ผู้ใช้บริการสามารถปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองได้ทุก ๆ สล็อตการจอง ในขณะที่วิธี CFP ผู้ใช้บริการปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองได้เพียงครั้งเดียวใน 1 เฟรม เพราะว่าการปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองในทุก ๆ สล็อตการจองของวิธี CAP เป็นการปรับด้วยค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองที่ได้มาจากวิธี CFP ซึ่งเป็นค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองที่เหมาะสมที่สุดโดยรวมสำหรับช่วงการจองหนึ่ง ๆ ดังนั้นค่านี้จึงไม่ใช่ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองที่เหมาะสมกับสล็อตการจองใดสล็อตการจองหนึ่ง เมื่อนำค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองที่ได้จากวิธี CFP มาใช้บนกลไกที่ระบบสามารถปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง จึงทำให้ระบบไม่ได้รับประสิทธิภาพอย่างเต็มที่จากการใช้เทคนิคการปรับค่าความน่าจะเป็นในทุกสล็อตการจอง

รูปที่ 4.12 แสดงค่าวิสัยสามารถของวิธี CAP เมื่อมีผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คน และสล็อตการจอง 1, 2, 4, 8, 16, 32 สล็อต พบว่าในทุกกรณีเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมีจำนวนมากจะให้ค่าวิสัยสามารถเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่งเท่ากับ $1/e$ หรือ 0.368 ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับวิธี CFP แต่ค่าวิสัยสามารถของวิธี CAP จะลู่เข้าสู่ค่า $1/e$ เร็วกว่าวิธี CFP เพราะผลของการปรับค่าความน่าจะเป็นในแต่ละสล็อตการจอง ดังนั้นประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณของวิธี CFP และ CAP มีค่าเท่ากันเมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการมาก และมีค่าแตกต่างเพียงเล็กน้อยเมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการอยู่น้อย

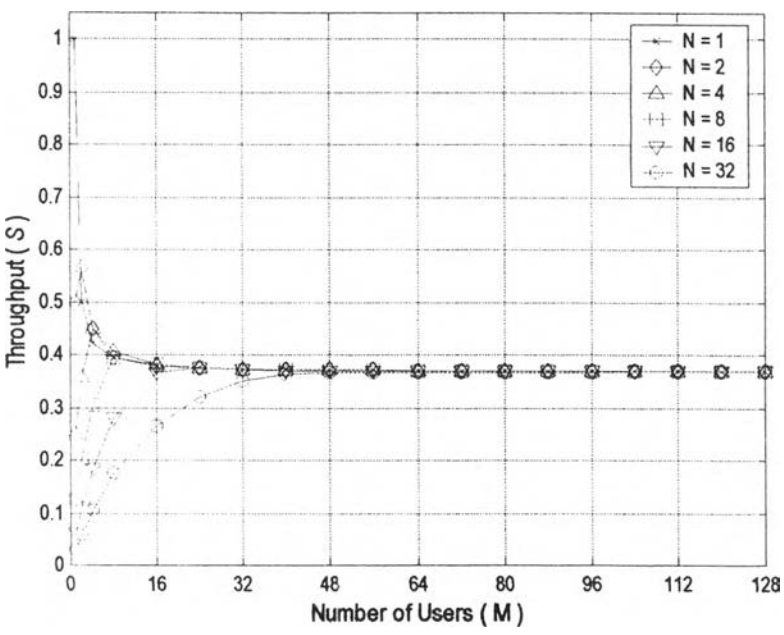
รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถและปริมาณโหลดของวิธี CAP เมื่อระบบมีจำนวนสล็อตการจอง 1, 2, 4, 8, 16, 32 สล็อต พบว่าระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองน้อยให้ค่าวิสัยสามารถสูงกว่าระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองมาก โดยเฉพาะกรณีที่มีจำนวนสล็อตการจองเพียงหนึ่งสล็อตจะให้ค่าวิสัยสามารถมากที่สุด จากกราฟที่ปริมาณโหลดเท่ากับหนึ่งซึ่งเป็นกรณีจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับจำนวนสล็อตการจอง จะให้ค่าวิสัยสามารถเท่ากับ 1, 0.56, 0.45, 0.40, 0.37, 0.35 ที่จำนวนสล็อตการจองเท่ากับ 1, 2, 4, 8, 16, 32 สล็อตตามลำดับ จะเห็นว่าค่าวิสัยสามารถส่วนใหญ่จะมากกว่า $1/e$



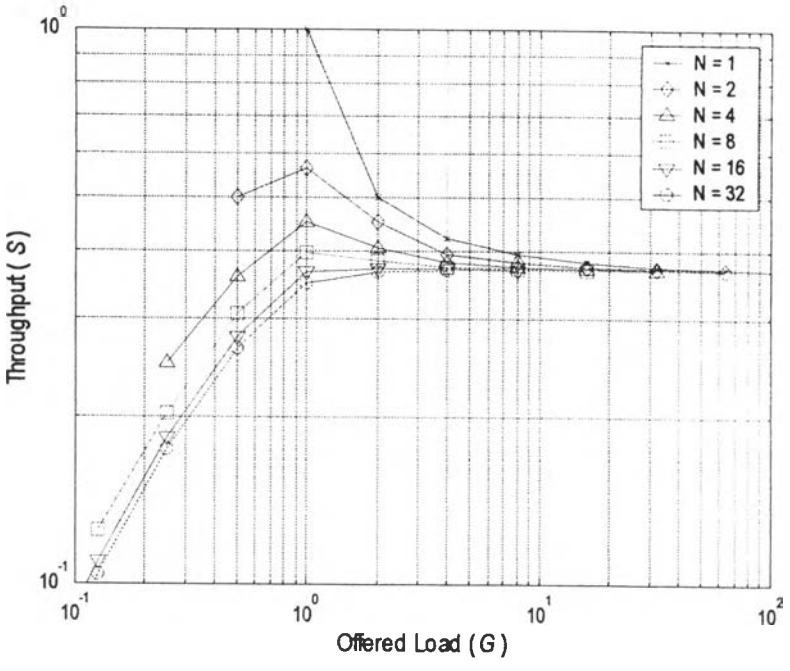
รูปที่ 4.10 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CAP เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8, 16 คน และสล็อตการจอง 1 ถึง 32 สล็อต



รูปที่ 4.11 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CFP กับ CAP เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8, 16 คน และสล็อตการจอง 1 ถึง 32 สล็อต



รูปที่ 4.12 ค่าวิสัยสามารถของวิธี CAP เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คน และสล็อตการจอง 1, 2, 4, 8, 16, 32 สล็อต



รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถและปริมาณโหลดของวิธี CAP เมื่อมีจำนวนสล็อตการจอง 1, 2, 4, 8, 16, 32 สล็อต

4.4 ผลทดสอบและการวิเคราะห์วิธี COP

จากผลทดสอบของวิธี CAP ซึ่งใช้เทคนิคการปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองในทุกสล็อตการจอง พบว่าประสิทธิภาพของระบบเพิ่มขึ้นน้อยมากเมื่อเทียบกับวิธี CFP ดังนั้นวิธี COP จึงถูกนำเสนอเพื่อให้ระบบใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองสำหรับระบบที่ปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตได้ ซึ่งได้ทำการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ในหัวข้อ 3.4.2

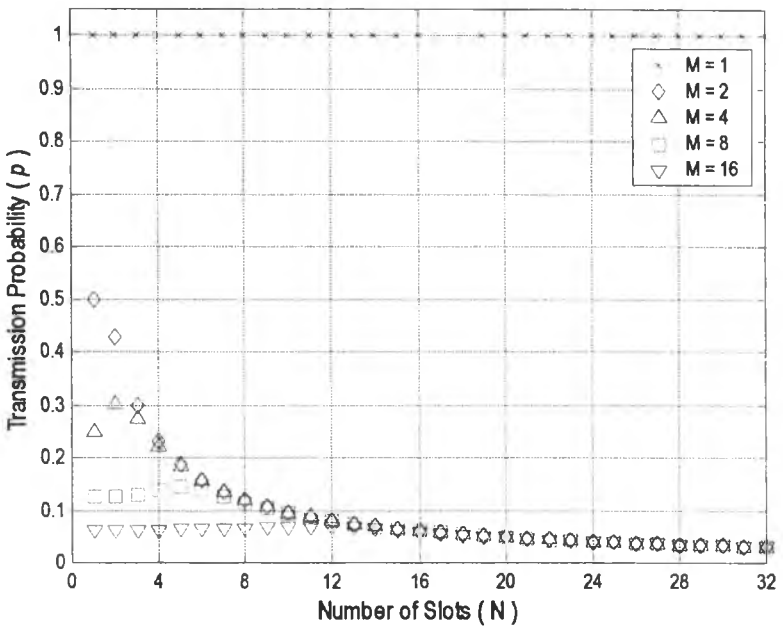
รูปที่ 4.14 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี COP เมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8, 16 คน และมีสล็อตการจอง 1 ถึง 32 สล็อต เมื่อเปรียบเทียบกับค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี CFP ในรูปที่ 4.6 พบว่าค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี COP มีค่าต่ำกว่าเป็นส่วนใหญ่ เพราะค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี COP จะเป็นค่าที่ใช้เฉพาะกับสล็อตการจองใดสล็อตการจองหนึ่ง ณ เวลาที่กำลังพิจารณาอยู่ ขึ้นกับว่าขณะนั้นมีจำนวนผู้ใช้บริการและสล็อตการจองเหลืออยู่เท่าใด ดังนั้นถ้าสล็อตการจองที่กำลังพิจารณามีผู้ใช้บริการส่งแพ็ตเกตการจอง ผู้ใช้บริการที่มีสิทธิส่งแพ็กเกตการจองในสล็อตการจองถัดไปจะมีจำนวนลดลง จึงต้องใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองที่เพิ่มขึ้น นั่นคือในช่วงการจองหนึ่ง ๆ วิธี COP จะต้องใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองหลายค่าโดยมีค่าน้อยในเริ่มแรกของช่วงการจองและมีค่าเพิ่มขึ้นในตอนท้ายของช่วงการจอง แต่วิธี CFP ใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองเพียงค่าเดียวตลอดช่วงการจอง จึงประมาณได้ว่าค่า ๆ นี้เป็นค่าในช่วงกลางของการทำงานของวิธี COP ซึ่งย่อมจะต้องมีค่ามากกว่าในช่วงต้นของการทำงาน ดังนั้นโดยรวมแล้วค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี CFP จึงมีค่าสูงกว่าวิธี COP

รูปที่ 4.15 แสดงจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี COP เมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8, 16 คน และมีสล็อตการจอง 1 ถึง 32 สล็อต พบว่าผลที่ได้มีลักษณะเดียวกับวิธี CAP ในรูปที่ 4.10 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CAP และ COP เพื่อให้เห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนดังแสดงในรูปที่ 4.16 เมื่อพิจารณาที่จำนวนสล็อตการจองเท่ากับ 32 สล็อตและผู้ใช้บริการ 2, 4, 8, 16 คน จะมีจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี COP เท่ากับ 1.94, 3.64, 6.42, 10.00 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับวิธี CAP พบว่าวิธี COP มีจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จสูงกว่าคิดเป็น 4.30, 9.31, 14.88, 17.51 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังนั้นการใช้ค่า

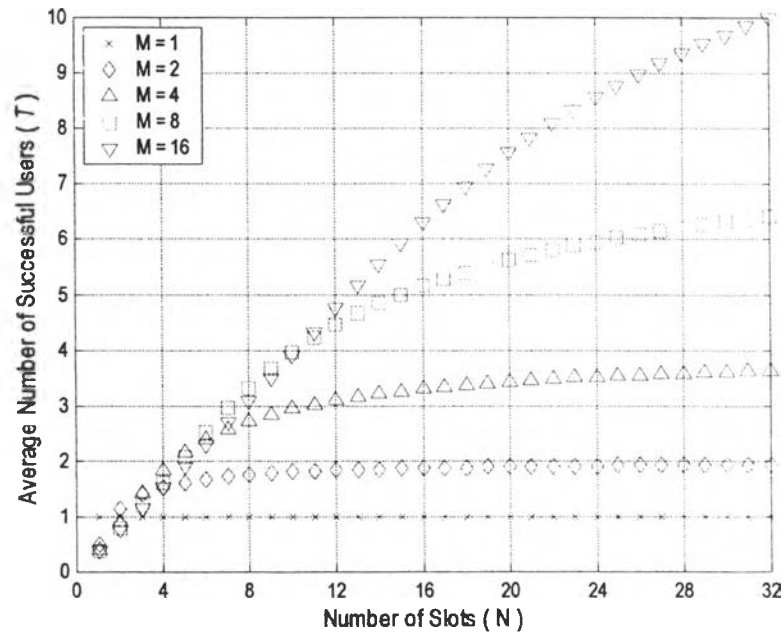
ความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี COP จะทำให้ประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณของระบบมีค่าสูงขึ้นพอสมควร

รูปที่ 4.17 แสดงค่าวิสัยสามารถของวิธี COP เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คน และสล็อตการจอง 1, 2, 4, 8, 16 32 สล็อต พบว่าเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นค่าวิสัยสามารถจะลู่เข้า $1/e$ อย่างรวดเร็ว เมื่อเทียบกับผลที่ได้ของวิธี CAP ในรูปที่ 4.12 จะเห็นว่าการลู่เข้าสู่ $1/e$ ของวิธี COP ลู่เข้าเร็วกว่าวิธี CAP เพราะวิธี COP เป็นวิธีที่ใช้ความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองสำหรับระบบที่ปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองได้

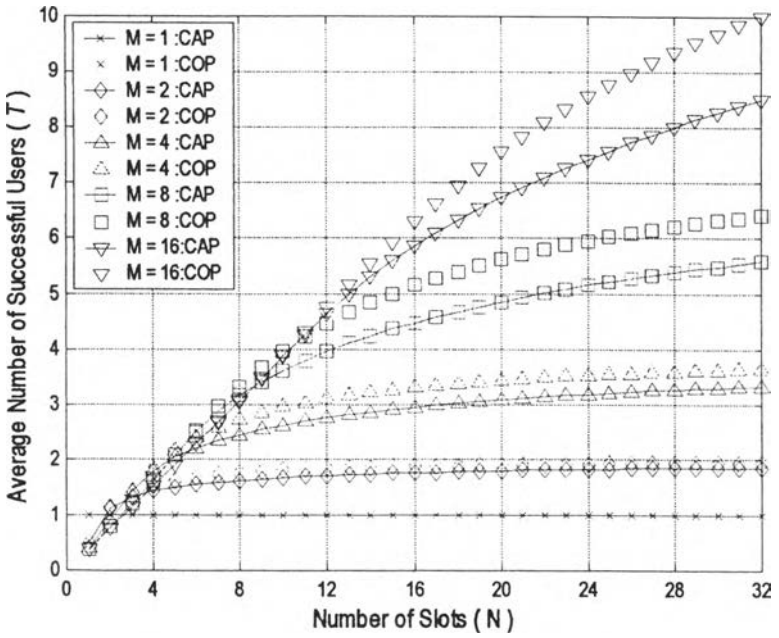
รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถและปริมาณโหลดของวิธี COP เมื่อระบบมีจำนวนสล็อตการจอง 1, 2, 4, 8, 16, 32 สล็อต พบว่าค่าวิสัยสามารถในช่วงแรกที่มีปริมาณโหลดน้อย ระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองมากจะให้ค่าวิสัยสามารถที่สูงกว่าระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองน้อย ซึ่งให้ผลที่ตรงข้ามกับวิธี CFP และ CAP ในรูปที่ 4.9 และ 4.13 แต่เมื่อมีปริมาณโหลดมากขึ้น (มากกว่า 1) ระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองน้อยกลับให้ค่าวิสัยสามารถที่สูงกว่าระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองมาก และให้ผลสอดคล้องกับวิธี CFP และ CAP เพราะช่วงที่มีปริมาณโหลดน้อย นั่นคือมีจำนวนผู้ใช้บริการน้อยกว่าจำนวนสล็อตการจอง ดังนั้นระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองมากกว่าผู้ใช้บริการย่อมมีทางเลือกในการส่งแพ็กเกตมากกว่าระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองน้อย นอกจากนี้การมีจำนวนสล็อตการจองมาก วิธี COP จะสามารถปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองได้บ่อยขึ้น ดังนั้นค่าวิสัยสามารถของวิธี COP ในช่วงที่ปริมาณโหลดน้อยจะมีค่าสูงขึ้นเมื่อจำนวนสล็อตการจองมากขึ้น แต่เมื่อปริมาณโหลดเพิ่มขึ้นจะเริ่มเกิดการชนกันของแพ็กเกตการจองระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าย่อมมีโอกาสเกิดการชนกันของแพ็กเกตการจองได้มากกว่า ทำให้ค่าวิสัยสามารถของระบบลดลงเมื่อเพิ่มจำนวนสล็อตการจอง นอกจากนี้สังเกตว่าที่ปริมาณโหลดเท่ากับหนึ่ง ซึ่งเป็นกรณีจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับจำนวนสล็อตการจอง จะให้ค่าวิสัยสามารถเท่ากับ 1, 0.57, 0.48, 0.41, 0.38, 0.37 ที่จำนวนสล็อตการจองเท่ากับ 1, 2, 4, 8, 16, 32 สล็อตตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่า $1/e$ ในทุกกรณี ดังนั้นวิธีนี้จึงมีประสิทธิภาพที่สูงกว่าระบบที่ใช้วิธี Slotted Aloha ณ จุดทำงานซึ่งปริมาณโหลดเท่ากับ 1 หรือมีจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากับจำนวนสล็อตการจอง



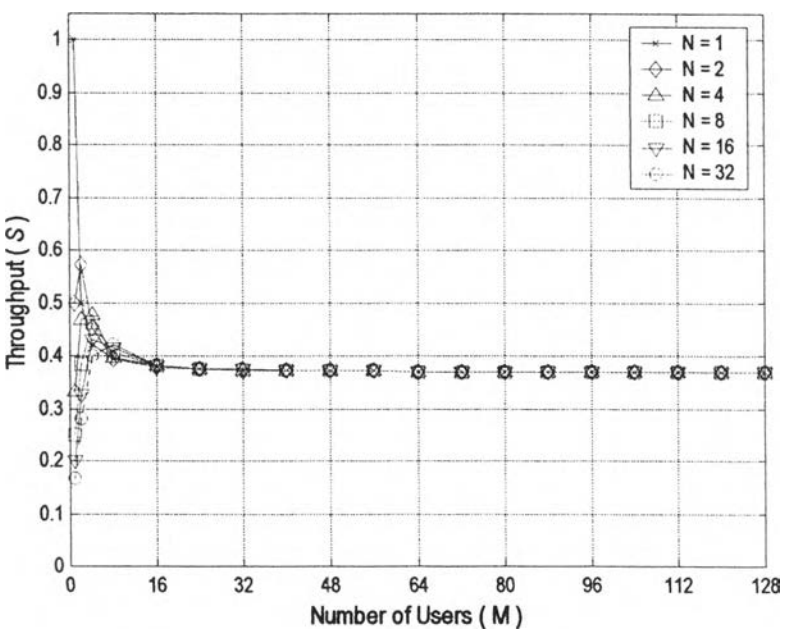
รูปที่ 4.14 ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี COP เมื่อมีผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8, 16 คน และสล็อตการจอง 1 ถึง 32 สล็อต



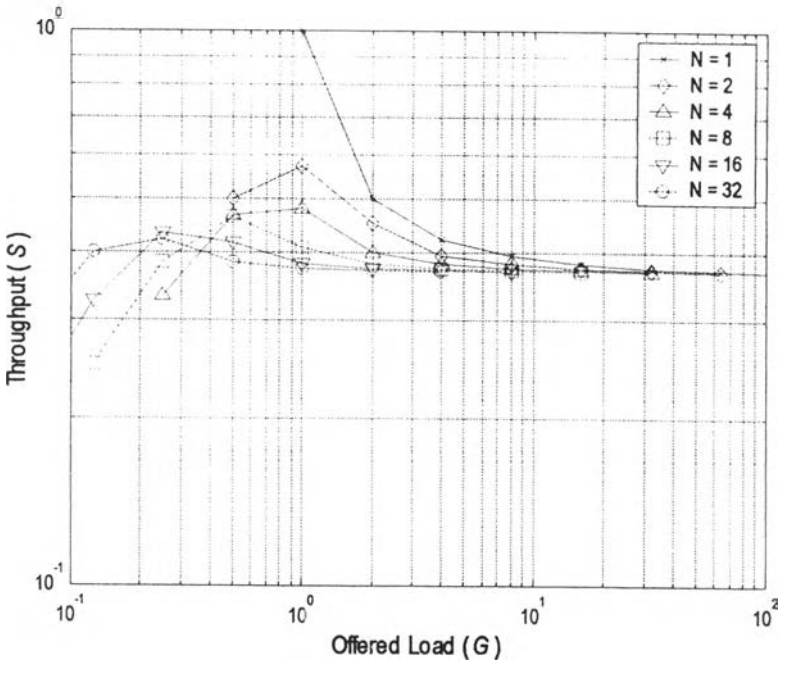
รูปที่ 4.15 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี COP เมื่อมีผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8, 16 คน และสล็อตการจอง 1 ถึง 32 สล็อต



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CAP กับ COP เมื่อมีผู้ใช้บริการ 1, 2, 4, 8, 16 คน และสล็อตการจอง 1 ถึง 32 สล็อต



รูปที่ 4.17 ค่าวิสัยสามารถของวิธี COP เมื่อมีผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คน และสล็อตการจอง 1, 2, 4, 8, 16, 32 สล็อต



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถและปริมาณโหลดของวิธี COP เมื่อมีจำนวนสล็อตการจอง 1, 2, 4, 8, 16, 32 สล็อต

4.5 ผลทดสอบและการวิเคราะห์วิธี COP+SPL

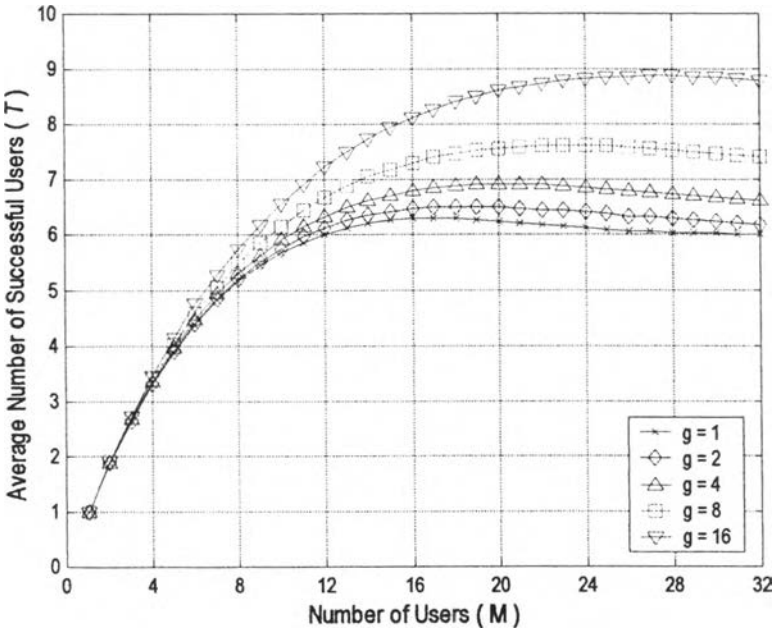
จากรูปที่ 4.9, 4.13 และ 4.18 ของวิธี CFP, CAP และ COP ตามลำดับ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถและปริมาณโหลด พบว่าที่อัตราส่วนจำนวนผู้ใช้บริการต่อจำนวนสล็อตเท่ากัน (ปริมาณโหลดเท่ากัน) กรณีที่มีจำนวนผู้ใช้บริการและสล็อตการจองน้อยจะให้ค่าวิสัยสามารถสูงกว่ากรณีที่มีจำนวนผู้ใช้บริการและสล็อตการจองมาก จึงเกิดแนวคิดที่จะแบ่งกลุ่มผู้ใช้บริการเป็นกลุ่มย่อย ๆ ดังที่ได้เสนอเทคนิคการแบ่งกลุ่มย่อยอย่างสุ่มในหัวข้อ 3.5

รูปที่ 4.19 แสดงจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี COP+SPL เมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 32 คน และมีสล็อตการจอง 16 สล็อต โดยแบ่งกลุ่มเป็น 1, 2, 4, 8, 16 กลุ่ม หมายความว่ากรณี 1 กลุ่มคือไม่มีการแบ่งเป็นกลุ่มย่อยจึงให้ผลเช่นเดียวกับวิธี COP, กรณี 2 กลุ่มคือผู้ใช้บริการแต่ละคนจะเลือกที่จะเข้าจองในกลุ่มแรกหรือกลุ่มที่สองอย่างสุ่ม, กรณี 4 กลุ่มคือผู้ใช้บริการแต่ละคนจะเลือกที่จะเข้าจองในกลุ่มที่ 1, 2, 3 หรือ 4 อย่างสุ่ม และในกรณีอื่น ๆ ก็ทำด้วยหลักการเช่นเดียวกัน จากกราฟพบว่าการแบ่งกลุ่มทำให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จมีค่ามากขึ้น เมื่อพิจารณาที่จำนวนผู้ใช้บริการ 32 คนและแบ่งกลุ่มเป็น 2, 4, 8, 16 กลุ่ม จะได้ว่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จเท่ากับ 6.20, 6.61, 7.41, 8.80 ตามลำดับ โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับกรณีที่มีเพียง 1 กลุ่ม (วิธี COP) จะได้ว่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จมีค่าสูงขึ้นคิดเป็น 2.99, 9.80, 23.09, 46.18 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังนั้นยิ่งแบ่งให้มีจำนวนกลุ่มมากเท่าไรยิ่งทำให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จเพิ่มขึ้น และการแบ่งกลุ่มให้จำนวนกลุ่มเท่ากับจำนวนสล็อตการจอง หรือจำนวนสล็อตการจองในแต่ละกลุ่มมีเพียงสล็อตเดียวจะให้ผลที่ดีที่สุด

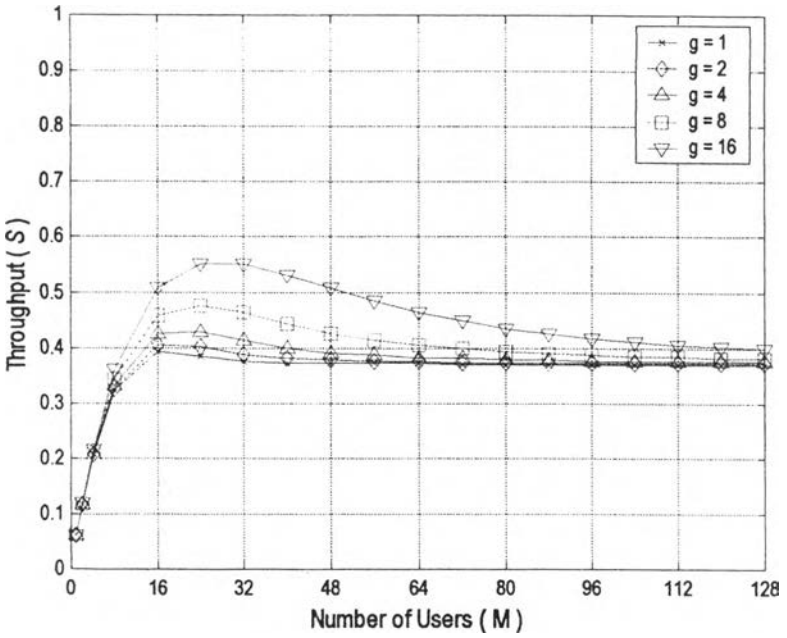
รูปที่ 4.20 แสดงค่าวิสัยสามารถของวิธี COP+SPL เมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 32 คน และมีสล็อตการจอง 16 สล็อต โดยแบ่งกลุ่มเป็น 1, 2, 4, 8, 16 กลุ่ม พบว่าการแบ่งกลุ่มย่อยอย่างสุ่มทำให้ค่าวิสัยสามารถสูงขึ้น หรือทำให้ประสิทธิภาพการเข้าใช้ช่องสัญญาณในช่วงการจองสูงขึ้นนั่นเอง จากกราฟเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นมากจนถึงระดับหนึ่ง ค่าวิสัยสามารถจะลู่เข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่งเท่ากับ $1/e$ ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับวิธี CFP, CAP และ COP แต่ว่าวิธีทั้งสามให้จะค่าลู่เข้าอย่างรวดเร็ว ในขณะที่วิธี COP+SPL จะลู่เข้าช้ากว่ามาก ดังนั้นช่วงการทำงานของวิธี COP+SPL ที่ให้ค่าวิสัยสามารถสูงกว่า $1/e$ มีช่วงที่กว้างกว่าวิธีทั้งสาม นอกจากนี้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดของวิธี COP+SPL ให้ค่าสูงถึง 0.55 ซึ่งมากกว่าค่าวิสัยสามารถสูงสุดของ Slotted-Aloha ที่ให้ค่าสูงสุดเพียง 0.368

รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถ และปริมาณโหลดของวิธี COP+SPL เมื่อระบบมีจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต โดยแบ่งกลุ่มเป็น 1, 2, 4, 8, 16 กลุ่ม พบว่าที่ปริมาณโหลดเท่ากับ 1 ค่าวิสัยสามารถของแต่ละกรณีเท่ากับ 0.39, 0.40, 0.42, 0.46, 0.50 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ที่ปริมาณโหลดมีค่ามากกว่า 10 หรือจำนวนผู้ใช้บริการมีมากกว่าจำนวนสล็อตการจองอยู่ 10 เท่า จะทำให้กลไกการแบ่งกลุ่มย่อยอย่างสุ่มจะไม่มีผลต่อค่าวิสัยสามารถของระบบ เพราะค่าวิสัยสามารถในทุกกรณีจะลู่เข้าสู่ค่า $1/e$

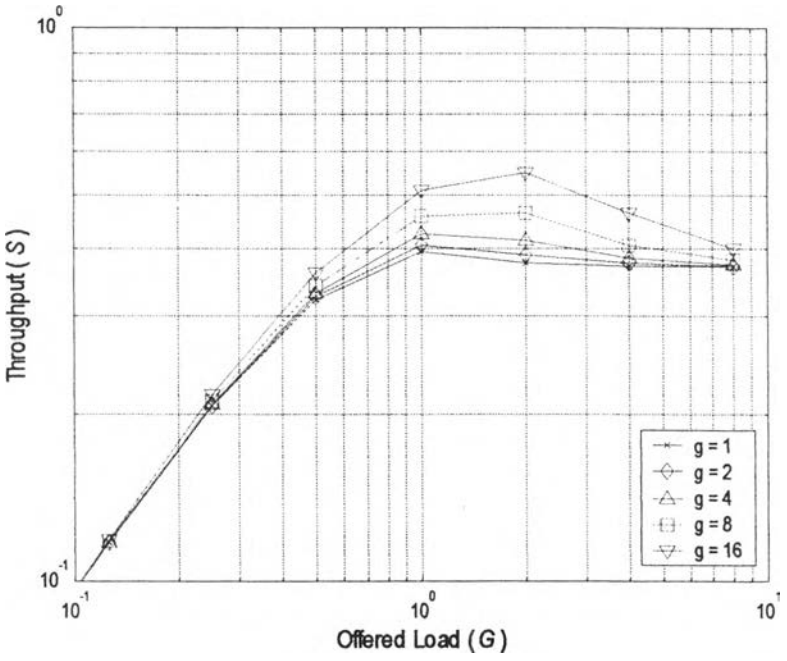
ดังนั้นเทคนิคการแบ่งกลุ่มย่อยอย่างสุ่มของวิธี COP+SPL เป็นเทคนิคที่ทำให้ค่าวิสัยสามารถในช่วงการจองสูงขึ้น และให้ค่ามากสุดเมื่อแบ่งให้มีจำนวนกลุ่มมากที่สุด หรือจำนวนกลุ่มเท่ากับจำนวนสล็อตการจอง หรือจำนวนสล็อตการจองในแต่ละกลุ่มเท่ากับหนึ่งนั่นเอง



รูปที่ 4.19 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี COP+SPL เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการจำนวน 1 ถึง 32 คน และสล็อตการจอง16 สล็อต โดยแบ่งกลุ่มเป็น 1, 2, 4, 8, 16 กลุ่ม



รูปที่ 4.20 ค่าวิสัยสามารถของวิธี COP+SPL เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการจำนวน 1 ถึง 128 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต โดยแบ่งกลุ่มเป็น 1, 2, 4, 8, 16 กลุ่ม



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถและปริมาณโหลดของวิธี COP+SPL เมื่อมีจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อต โดยแบ่งกลุ่มเป็น 1, 2, 4, 8, 16 กลุ่ม

4.6 ผลทดสอบและการวิเคราะห์วิธี CFP+SPL

จากผลการทดสอบของวิธี COP+SPL พบว่ากลไกการแบ่งกลุ่มย่อยอย่างสุ่มให้ผลที่ดีมากในการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณในช่วงการจอง อย่างไรก็ตาม วิธีนี้จะใช้ได้ก็ต่อเมื่อระบบสามารถทราบว่าในแต่ละกลุ่มมีผู้ใช้บริการตัดสินใจเข้าจองกี่คน ซึ่งเป็นไปได้ยากที่จะได้ข้อมูลชุดนี้ ดังนั้นวิธี CFP+SPL จึงถูกเสนอโดยใช้เทคนิคการแบ่งกลุ่มย่อยอย่างสุ่มบนวิธี CFP ซึ่งจะใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองเท่ากันทุกคน ทุกกลุ่ม และทุกสล็อตการจอง

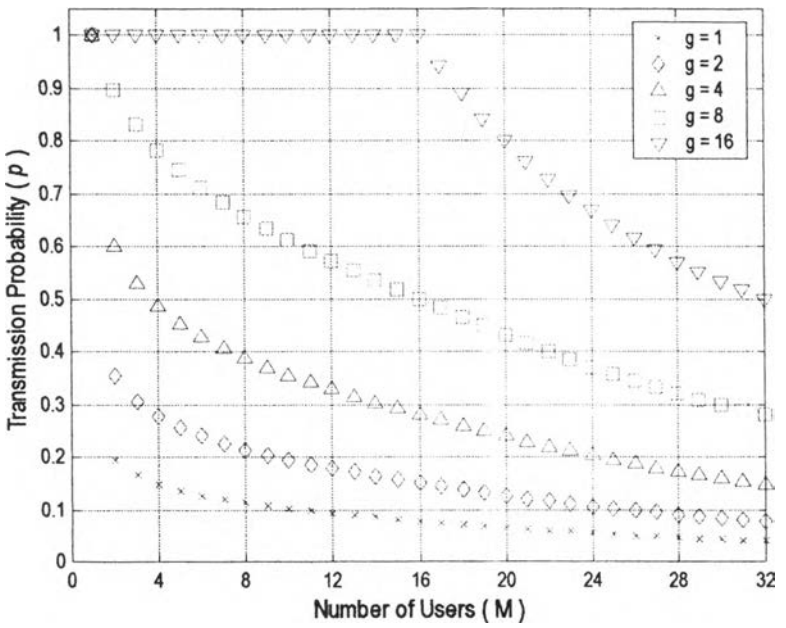
รูปที่ 4.22 แสดงค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี CFP+SPL เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 32 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต โดยแบ่งกลุ่มเป็น 1, 2, 4, 8,16 กลุ่ม พบว่าค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองมีค่าลดลงเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้น เพราะเพื่อลดโอกาสการชนกันของผู้ใช้บริการ จากกราฟพิจารณาที่จำนวนผู้ใช้บริการ 16 คน พบว่าเมื่อแบ่งกลุ่มเป็น 1, 2, 4, 8,16 กลุ่ม ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองเท่ากับ 0.08, 0.15, 0.28, 0.5, 1 ตามลำดับ นั่นคือค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อแบ่งให้มีจำนวนกลุ่มมากขึ้น เพราะเมื่อแบ่งให้มีกลุ่มมากจะทำให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยในแต่และกลุ่มมีน้อยลง จึงเกิดโอกาสที่จะชนในแต่ละกลุ่มน้อยลง ผู้ใช้บริการจึงมีสิทธิที่ใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองที่เพิ่มขึ้น เพื่อเพิ่มโอกาสที่จะประสบความสำเร็จ นอกจากนี้ยังเป็นที่น่าสังเกตว่ากรณีแบ่งเป็น 16 กลุ่ม (จำนวนกลุ่มเท่ากับจำนวนสล็อตการจอง) มีลักษณะของค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองแตกต่างจากกรณีอื่น กล่าวคือที่จำนวนผู้ใช้บริการน้อยกว่าหรือเท่ากับ 16 คน (น้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนสล็อตการจอง) ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองเป็นค่าคงที่และเท่ากับ 1 นั่นหมายความว่าผู้ใช้บริการจะส่งแพ็กเกตการจองแน่นอน ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในกรณีที่แบ่งเป็น 16 กลุ่มและจำนวนผู้ใช้บริการน้อยกว่า 16 คน โดยเฉลี่ยแล้วผู้ใช้บริการในแต่ละกลุ่มจะมีไม่เกิน 1 คน ดังนั้นผู้ใช้บริการจึงควรตัดสินใจส่งแพ็กเกตอย่างแน่นอน

รูปที่ 4.23 แสดงจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CFP+SPL เมื่อใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองตามรูปที่ 4.22 พบว่ากลไกการแบ่งกลุ่มย่อยอย่างสุ่มไม่ช่วยให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จมีค่าเพิ่มขึ้นเลยในกรณีที่แบ่งกลุ่มเป็น 2, 4, 8 กลุ่มโดยเทียบกับกรณี 1 กลุ่ม (วิธี CFP) ทั้งนี้เนื่องจากวิธี CFP+SPL กำหนดให้ผู้ใช้ทุกคนทุกกลุ่มทุกสล็อตใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองเท่ากัน แต่วิธี COP+SPL ค่านี้จะไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับจำนวนผู้ใช้บริการที่มีอยู่ในแต่ละกลุ่ม แม้ว่าการแบ่งกลุ่มจะพยายามทำให้เกิดการกระจายการแข่งขันเป็นกลุ่ม ๆ แต่ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกต

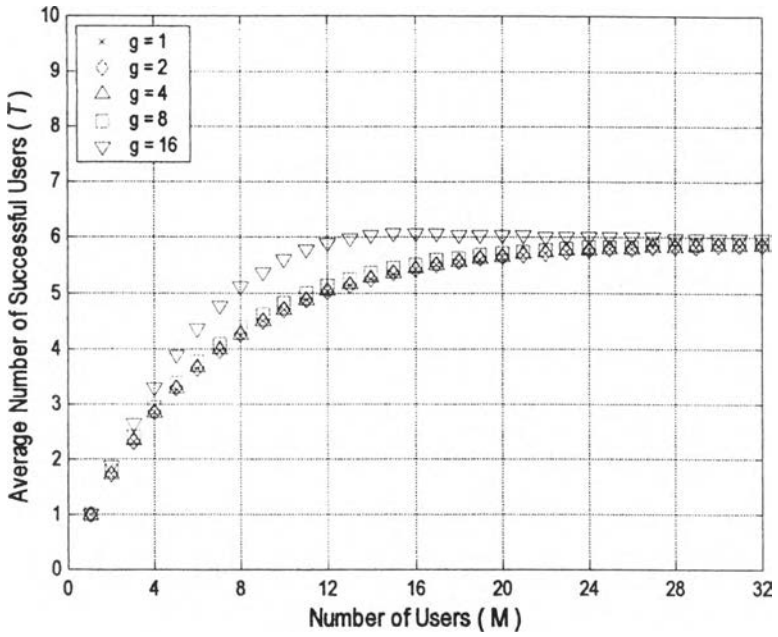
การจองที่ใช้ไม่ใช่ค่าที่ดีที่สุดในแต่ละกลุ่มเพราะกำหนดให้เป็นค่าที่ทำให้ผลรวมของทั้งระบบดีที่สุด แต่สำหรับกรณีที่แบ่งกลุ่มเป็น 16 กลุ่ม จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับกรณีอื่น ทั้งนี้เป็นเพราะว่ากรณีนี้จำนวนกลุ่มเท่ากับจำนวนสล็อตการจอง ($g = n$) ในแต่ละกลุ่มจึงมีจำนวนสล็อตเพียง 1 สล็อต ส่งผลให้กลไกการทำงานเสมือนกับว่าผู้ใช้บริการแต่ละคนเลือกสล็อตการจองแล้วตัดสินใจว่าจะส่งแพ็กเกตการจองหรือไม่ด้วยค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองค่าหนึ่ง ซึ่งจะเป็นกลไกที่ต่างจากกรณีอื่น ($g < n$)

รูปที่ 4.24 แสดงค่าวิสัยสามารถของวิธี CFP+SPL เมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คน และมีสล็อตการจอง 16 สล็อต โดยแบ่งกลุ่มเป็น 1, 2, 4, 8, 16 กลุ่ม จะเห็นว่ามีเพียงกรณีที่จำนวนกลุ่มเท่ากับ 16 กลุ่มเท่านั้นที่ให้ค่าวิสัยสามารถสูงขึ้น ซึ่งให้ค่าวิสัยสามารถสูงกว่ากรณีอื่นเพียงช่วงแรก ๆ ที่จำนวนผู้ใช้บริการมีน้อย แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมากขึ้น (มากกว่า 32 คน) ค่าวิสัยสามารถในทุกกรณีให้ผลที่เท่ากัน

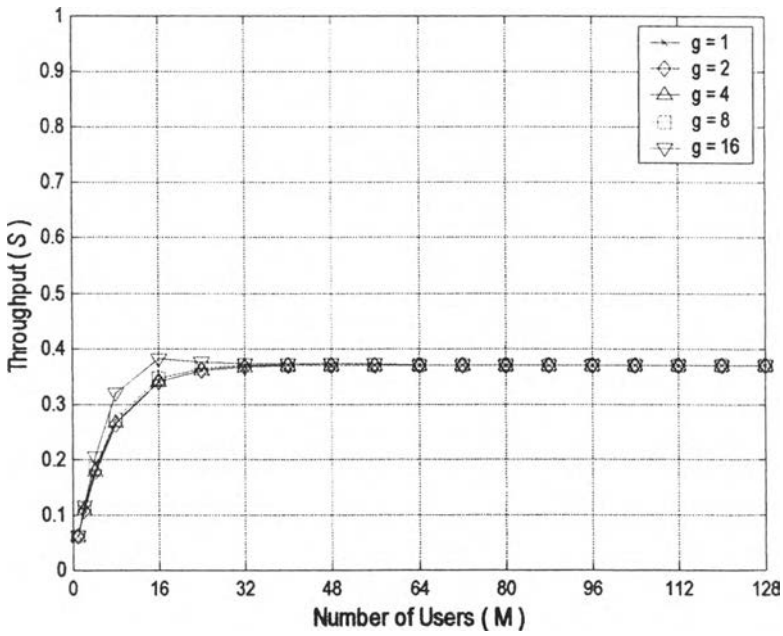
ดังนั้นเทคนิคการแบ่งกลุ่มของวิธี CFP+SPL จะทำให้ค่าวิสัยสามารถสูงขึ้น หรือประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณในช่วงการจองสูงขึ้น เฉพาะกรณีที่จำนวนกลุ่มเท่ากับจำนวนสล็อตการจอง โดยถ้ามีผู้ใช้บริการน้อยกว่าจำนวนสล็อตการจอง ผู้ใช้บริการทุกคนเลือกสล็อตการจองสล็อตใดสล็อตหนึ่งแล้วจะส่งแพ็กเกตการจองอย่างแน่นอน



รูปที่ 4.22 ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี CFP+SPL เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 32 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต โดยแบ่งกลุ่มเป็น 1, 2, 4, 8,16 กลุ่ม



รูปที่ 4.23 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี CFP+SPL เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการจำนวน 1 ถึง 32 คน และสล็อตการจอง16 สล็อต โดยแบ่งกลุ่มเป็น 1, 2, 4, 8, 16 กลุ่ม



รูปที่ 4.24 ค่าวิสัยสามารถของวิธี CFP+SPL เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการจำนวน 1 ถึง 128 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต โดยแบ่งกลุ่มเป็น 1, 2, 4, 8, 16 กลุ่ม

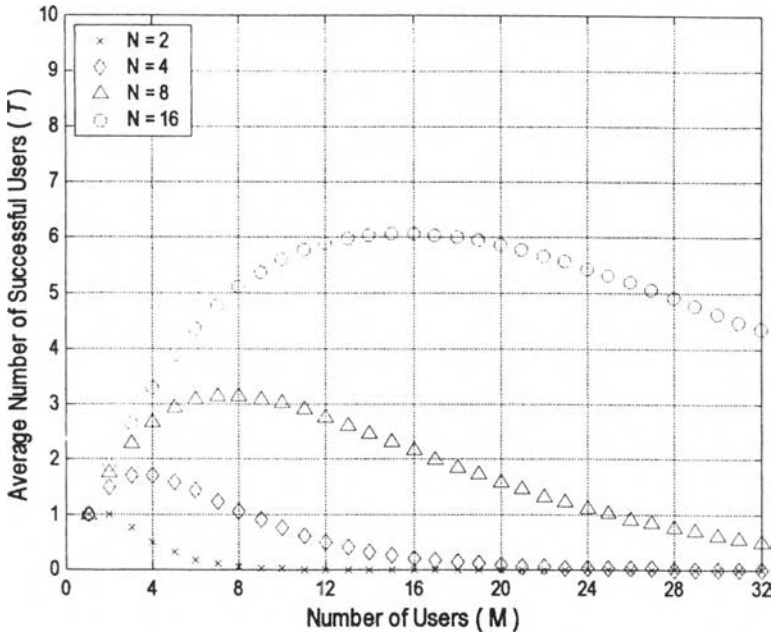
4.7 ผลทดสอบและการวิเคราะห์วิธี UNI

จากวิธีทั้งหมดที่ได้วิธีวิเคราะห์มาก่อนหน้านี้ ทุกวิธีต่างใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง ซึ่งคำนวณจากจำนวนผู้ใช้บริการและสล็อตการจอง และทุกวิธีกำหนดให้ผู้ใช้บริการจะต้องเข้าจองเรียงตามลำดับสล็อตการจอง ดังนั้นวิธี UNI จึงถูกเสนอโดยผู้ใช้บริการไม่ต้องใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง เพียงแต่ผู้ใช้บริการแต่ละคนจะเลือกว่าจะส่งแพ็กเกตการจองในสล็อตใด

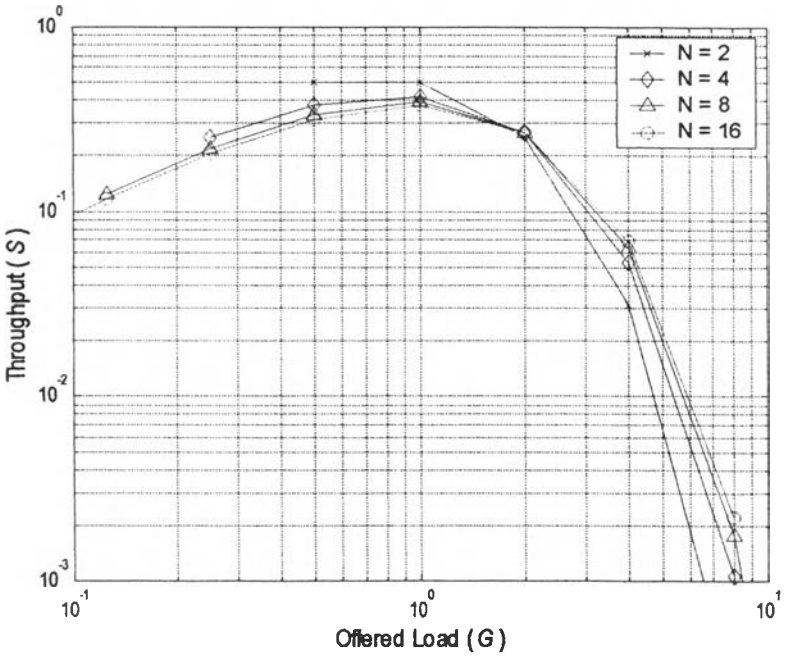
รูปที่ 4.25 แสดงจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี UNI เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 1 ถึง 32 คน และมีสล็อตการจอง 2, 4, 8, 16 สล็อต พบว่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จจะเพิ่มขึ้นในช่วงแรก ๆ ที่มีจำนวนผู้ใช้บริการน้อยกว่าจำนวนสล็อตการจอง ($M < N$) แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าสล็อตการจอง ($M > N$) จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จจะลดลงและมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ทั้งนี้เป็นเพราะว่าในช่วงแรกมีจำนวนสล็อตการจองเหลือเพียงพอกับจำนวนผู้ใช้บริการ โอกาสที่จะเกิดการชนกันของผู้ใช้บริการจึงมีไม่มาก แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนสล็อตการจอง ต้องเกิดการชนการอย่างแน่นอน และโอกาสที่จะเกิดการชนยิ่งมีค่ามากเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จจึงมีค่าลดลง

รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถและปริมาณโหลดของวิธี UNI เมื่อมีจำนวนสล็อตการจอง 2, 4, 8, 16 สล็อต พบทุกกรณีให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดที่ปริมาณโหลดเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นตำแหน่งที่จำนวนสล็อตการจองเท่ากับจำนวนผู้ใช้บริการ โดยมีค่าเท่ากับ 0.50, 0.42, 0.39, 0.38 ตามลำดับ สังเกตว่าที่ปริมาณโหลดน้อยกว่า 1 ระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองน้อยจะมีค่าวิสัยสามารถที่สูงกว่าระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองมาก แต่เมื่อปริมาณโหลดมากกว่า 1 ระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองน้อยกลับให้ค่าวิสัยสามารถที่ต่ำกว่าระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองมาก ทั้งนี้เป็นเพราะว่าช่วงที่ปริมาณโหลดน้อยกว่า 1 จำนวนผู้ใช้บริการจะมีน้อยจำนวนสล็อตการจอง ดังนั้นระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองน้อยซึ่งจะมีผู้ใช้บริการน้อยจึงมีโอกาสที่ผู้ใช้จะชนกันน้อยกว่าระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองมากซึ่งจะมีผู้ใช้บริการมาก แต่ช่วงที่ปริมาณโหลดมากกว่า 1 จำนวนผู้ใช้บริการจะมากกว่าจำนวนสล็อตการจอง ระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองน้อยจึงมีโอกาสเกิดการชนกันของผู้ใช้บริการมากกว่าระบบที่มีจำนวนสล็อตการจองมาก

ดังนั้นเทคนิคการเลือกสล็อตอย่างสุ่มของวิธี UNI จึงเป็นวิธีที่มีประสิทธิดีในระดับหนึ่งสำหรับสภาวะที่มีปริมาณโหลดไม่เกิน 1 หรือจำนวนผู้ใช้บริการน้อยกว่าจำนวนสล็อตการจอง



รูปที่ 4.25 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี UNI เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 32 คน และสล็อตการจอง 2, 4, 8, 16 สล็อต



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถและปริมาณโหลดของวิธี UNI เมื่อมีจำนวนสล็อตการจอง 2, 4, 8, 16 สล็อต

4.8 ผลทดสอบและการวิเคราะห์วิธี UNI+LA

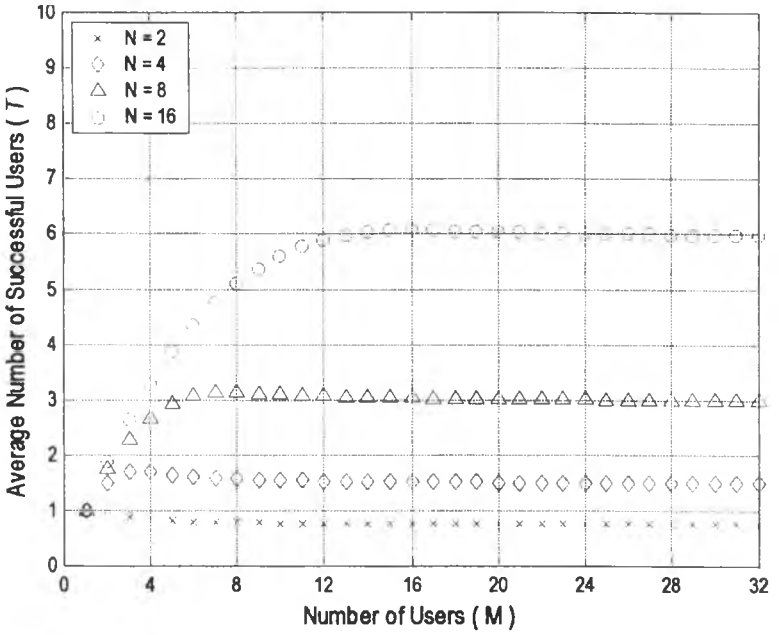
จากวิธี UNI จะเห็นได้ว่าค่าวิสัยสามารถจะลดลงเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนสล็อตการจอง ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหานี้จึงได้เสนอเทคนิคการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ ด้วยค่าความน่าจะเป็นในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ ซึ่งได้ตามสมการที่ 3.66

รูปที่ 4.27 แสดงจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี UNI+LA เมื่อระบบมีผู้ใช้บริการจำนวน 1 ถึง 32 คน และสล็อตการจอง 2, 4, 8, 16 สล็อต พบว่าในช่วงที่มีจำนวนผู้ใช้บริการมาก ๆ จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จมีค่าค่อนข้างคงที่ไม่ลดลง ในรูปที่ 4.28 แสดงการเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี UNI กับ UNI+LA เพื่อให้เห็นความแตกต่างของวิธีทั้งสองได้อย่างชัดเจน จากกราฟพบว่าในช่วงที่จำนวนผู้ใช้บริการน้อยกว่าจำนวนสล็อตการจอง จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี UNI+LA จะเท่ากับวิธี UNI แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนสล็อตการจอง จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี UNI+LA จะมีค่าค่อนข้างคงที่หรือลดลงน้อยมาก ในขณะวิธี UNI จะมีค่าลดลงอย่างรวดเร็วจนเข้าสู่ศูนย์ ดังนั้นเทคนิคการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ (Limited Access) จึงเป็นเทคนิคที่ช่วยให้ระบบยังมีเสถียรภาพแม้ว่าจะมีจำนวนผู้ใช้บริการในระบบเพิ่มขึ้นมากก็ตาม

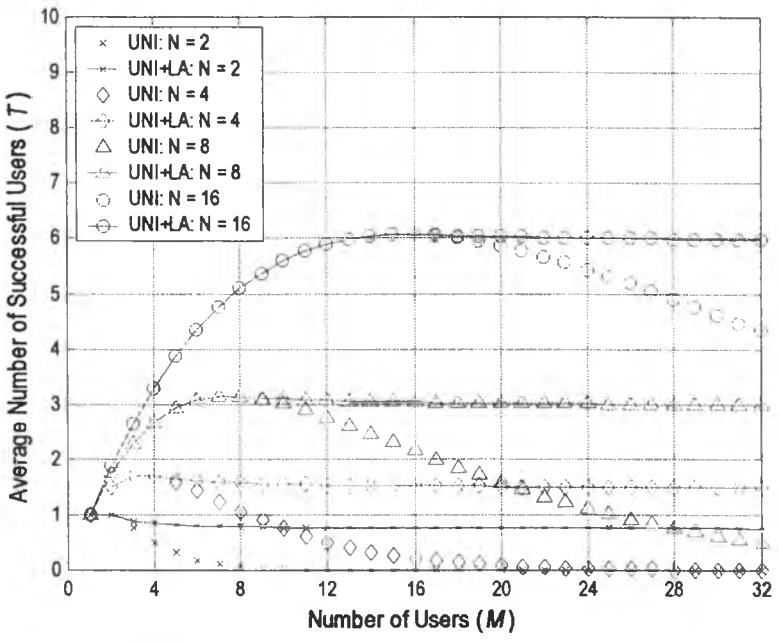
รูปที่ 4.29 แสดงค่าวิสัยสามารถของวิธี UNI+LA เมื่อระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 128 คน และ สล็อตการจอง 2, 4, 8, 16 สล็อต จะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าแม้จำนวนผู้ใช้บริการในระบบเพิ่มมากขึ้นเท่าใดก็ตามค่าวิสัยสามารถมีค่าค่อนข้างคงที่แทบจะไม่ลดลงเลย หรือกล่าวว่าที่จำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนสล็อตการจองประสิทธิภาพในการใช้ช่องสัญญาณในช่วงการจองจะมีค่าคงที่

รูปที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถและปริมาณโหลดของวิธี UNI+LA เมื่อมีจำนวนสล็อตการจอง 2, 4, 8, 16 สล็อต พบว่าที่ปริมาณโหลดเท่ากับหนึ่งจะให้ค่าวิสัยสามารถสูงสุดและเมื่อปริมาณโหลดเพิ่มมากขึ้น ค่าวิสัยสามารถลู่เข้าสู่ค่า $1/e$ ซึ่งให้ผลที่แตกต่างอย่างชัดเจนกับวิธี UNI ในรูปที่ 4.26

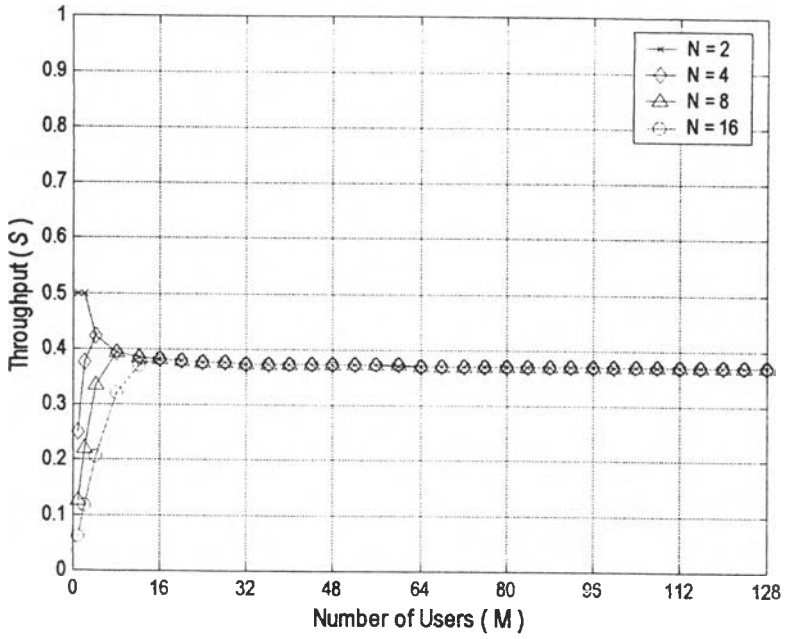
ดังนั้นกลไกการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการของวิธี UNI+LA เป็นกลไกที่มีประสิทธิภาพสำหรับช่วงที่มีปริมาณโหลดมากกว่า 1 หรือจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนสล็อตการจอง โดยจะยับยั้งไม่ให้เกิดการชนกันของผู้ใช้บริการ และให้ค่าวิสัยสามารถเท่ากับ $1/e$



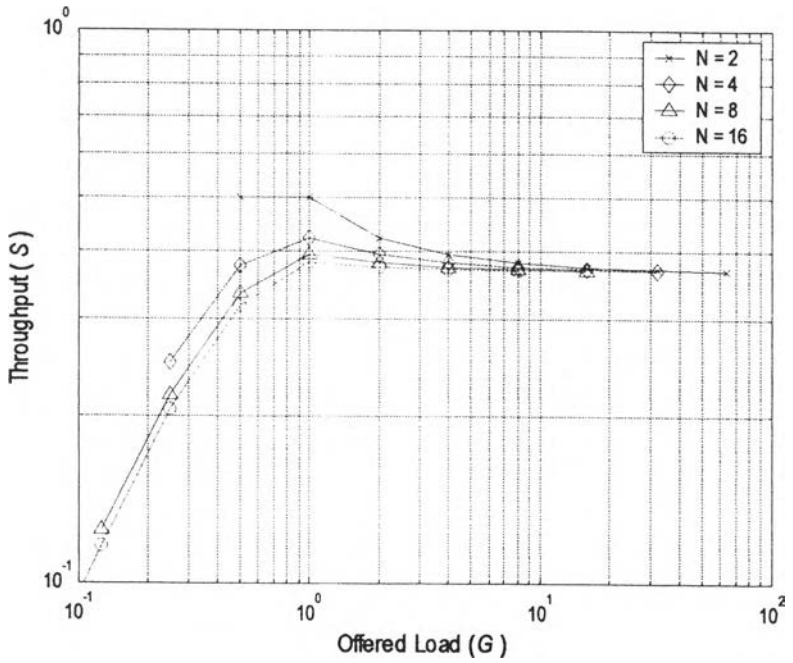
รูปที่ 4.27 จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี UNI+LA เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 32 คน และสล็อตการจอง 2, 4, 8, 16 สล็อต



รูปที่ 4.28 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธี UNI กับ UNI+LA เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 32 คน และสล็อตการจอง 2, 4, 8, 16 สล็อต



รูปที่ 4.29 ค่าวิสัยสามารถของวิธี UNI+LA เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการจำนวน 1 ถึง 128 คน และสล็อตการจอง 2, 4, 8, 16 สล็อต



รูปที่ 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าวิสัยสามารถและปริมาณโหลดของวิธี UNI+LA เมื่อมีจำนวนสล็อตการจอง 2, 4, 8, 16 สล็อต

4.9 การเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีที่นำเสนอกับวิธี APB และ AEB

หัวข้อที่ 4.2 ถึง 4.9 แสดงผลทดสอบและการวิเคราะห์วิธีต่าง ๆ ที่ได้นำเสนอ รวมถึงได้เปรียบเทียบแต่ละวิธีที่เกี่ยวข้องกันไปบางส่วน ในหัวข้อนี้ผู้วิจัยจึงเปรียบเทียบสมรรถนะของวิธีทั้งหมดที่นำเสนอทั้ง 7 วิธี คือ CFP, CAP, COP, COP+SPL, CFP+SPL, UNI และ UNI+LA กับวิธี APB และ AEB ซึ่งเป็นวิธีที่ได้การจากการประยุกต์ของวิธีที่เคยถูกนำเสนอ (Pseudo Bayseian และ Exponential Backoff)

เนื่องจากจำนวนวิธีทั้งหมดที่จะทำการเปรียบเทียบมี 9 วิธี ดังนั้นเพื่อความสะดวกในการพิจารณาจึงแบ่งกรณีพิจารณาเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่จำนวนผู้ใช้บริการน้อยกว่าจำนวนสล็อตการจอง และกรณีที่จำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนสล็อตการจอง สำหรับวิธี COP+SPL และ CFP+SPL ที่กล่าวถึงในหัวข้อนี้จะเป็นกรณีที่แบ่งจำนวนกลุ่มเท่ากับจำนวนสล็อตการจองเท่านั้น เพราะเป็นกรณีที่วิธีทั้งสองจะมีประสิทธิภาพมากที่สุด

4.9.1 กรณีที่จำนวนผู้ใช้บริการน้อยกว่าจำนวนสล็อตการจอง

กรณีที่ระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการน้อยกว่าจำนวนสล็อตการจองได้แสดงในรูปที่ 4.31 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธีที่นำเสนอกับวิธี APB และ AEB เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 16 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต พบว่าวิธี COP+SPL เป็นวิธีที่มีสมรรถนะสูงสุด เพราะวิธีที่นี้มีการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจอง โดยปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองในทุกสล็อตการจอง และวิธีนี้มีการแบ่งกลุ่มเพื่อกระจายจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละกลุ่ม ทำให้เกิดการแข่งขันภายในกลุ่มน้อยลง โอกาสที่จะประสบความสำเร็จมากขึ้น อีกทั้งยังช่วยให้ทุกสล็อตการจองรองรับจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยในแต่ละสล็อตการจองเท่ากัน ดังนั้นวิธี COP+SPL จึงมีสมรรถนะเหนือกว่าวิธีอื่นอย่างชัดเจน

ในขณะที่วิธีซึ่งมีสมรรถนะรองลงมาคือ วิธี COP เพราะวิธีนี้จะปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองในสล็อตการจองทุกสล็อตด้วยค่าที่เหมาะสมที่สุด แต่วิธีนี้กำหนดให้ผู้ใช้บริการทุกคนจะต้องเริ่มเข้าจองตามลำดับตั้งแต่สล็อตการจองแรกถึงสล็อตการจองสุดท้าย ทำให้ใน สล็อตการจองสล็อตแรก ๆ ย่อมมีจำนวนผู้ใช้บริการเข้าแข่งขันกันจองมากกว่าในสล็อตท้าย ๆ ซึ่งจะเหลือจำนวนผู้ใช้บริการอยู่ไม่กี่คน นั่นหมายความว่าแม้วิธี COP จะพยายามใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองที่เหมาะสม แต่ไม่สามารถแก้ปัญหาที่เกิดจาก

ความไม่เท่าเทียมกันในการรองรับจำนวนผู้ใช้บริการในแต่ละสล็อตการจอง ต่างกับวิธี COP+SPL ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้ว สล็อตการจองทุกสล็อตจะรองรับจำนวนผู้ใช้บริการเท่ากัน

เนื่องจากผลที่ได้ในรูปที่ 4.31 จะเห็นว่าวิธี COP, CFP+SPL, UNI และ UNI+LA มีค่าใกล้เคียงกันมาก จึงนำเสนอค่าที่แท้จริงในตารางที่ 4.1 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธีทั้งหมดที่กล่าวถึง เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 64 คน และ สล็อตการจอง 16 สล็อต เมื่อพิจารณาที่จำนวนผู้ใช้บริการน้อยกว่าจำนวนสล็อตการจอง จากตารางพบว่าวิธี COP จะมีสมรรถนะสูงกว่าวิธี CFP+SPL, UNI และ UNI+LA เพียงเล็กน้อย และเป็นที่น่าสังเกตว่าวิธี CFP+SPL, UNI และ UNI+LA ให้ผลที่เท่ากัน เพราะจากรูปที่ 4.22 ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี CFP+SPL ($g=16$) มีค่าเท่ากับ 1 ในช่วงที่จำนวนผู้ใช้บริการน้อยกว่าจำนวนสล็อตการจอง นั่นหมายความว่าเมื่อผู้ใช้บริการแต่ละคนสุ่มเลือกสล็อตการจองที่จะเข้าจองได้แล้ว จะส่งแพ็กเกตการจองแน่นอน จึงให้ผลที่เช่นเดียวกับกลไกของวิธี UNI ที่กำหนดให้ผู้ใช้บริการทุกคนส่งแพ็กเกตการจองโดยผู้ใช้บริการแต่ละคนจะเลือกสล็อตการจองอย่างสุ่ม ส่วนวิธี UNI+LA ให้ผลเท่ากับวิธี UNI ได้อธิบายในหัวข้อ 4.8 ดังนั้นกลไกการทำงานของวิธี CFP+SPL, UNI และ UNI+LA จึงเป็นกลไกเดียวกัน วิธีทั้งสามจึงมีสมรรถนะเท่ากัน สำหรับเหตุผลที่วิธีทั้งสามมีสมรรถนะด้อยกว่าวิธี COP เป็นเพราะกลไกการทำงานของวิธีทั้งสามจะทำโดยตัดสินใจว่าจะเลือกเข้าจองในสล็อตการจองใด ซึ่งเป็นกลไกการทำงานที่หยาบกว่ากลไกของวิธี COP ที่ทำการพิจารณาทีละสล็อตการจองว่าจะส่งแพ็กเกตการจองหรือไม่ด้วยค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามผลที่ได้ก็ไม่แตกต่างกันมาก เนื่องจากในแต่ละสล็อตการจองของวิธี COP ต้องรองรับจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยไม่เท่ากัน แต่วิธีทั้งสามสามารถทำให้สล็อตการจองแต่ละสล็อตรองรับจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยเท่ากัน จึงไม่ทำให้สล็อตการจองสล็อตใดสล็อตหนึ่งต้องรับโหลดมากเกินไป ด้วยเหตุนี้วิธี CFP+SPL, UNI และ UNI+LA จึงมีสมรรถนะด้อยกว่าวิธี COP เพียงเล็กน้อย

เมื่อพิจารณาสมรรถนะของวิธี CAP และ CFP พบว่าทั้งคู่มีสมรรถนะต่ำกว่าวิธี COP, CFP+SPL, UNI และ UNI+LA เพราะดังที่ได้กล่าวในหัวข้อ 4.4 แล้วว่า วิธี CAP เป็นวิธีที่ปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง แต่ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้เป็นค่าที่ยังไม่เหมาะสมที่สุด วิธี COP ซึ่งใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมจึงมีสมรรถนะสูงกว่า CAP ในขณะที่วิธี CFP ไม่มีการปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองสมรรถนะของวิธีนี้จึงต่ำกว่าวิธี CAP และ COP ส่วนเหตุผลที่วิธี CFP+SPL, UNI และ UNI+LA มีสมรรถนะสูงกว่าวิธี CAP และ CFP เพราะว่าวิธี CFP+SPL, UNI และ UNI+LA มีการกระจายจำนวนผู้ใช้บริการไปยังสล็อตการจองทุกสล็อตอย่างเท่าเทียมกัน แต่วิธี CAP ผู้ใช้บริการจะมีเป็นจำนวนมากในช่วงแรกของช่วงการจอง

และมีค่าจำนวนน้อยลงในช่วงท้ายของช่วงการจอง แม้วิธี CAP จะพยายามปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองในแต่ละสล็อตการจอง แต่ค่าที่ใช้เป็นค่าที่ยังไม่ดีที่สุด ดังนั้นวิธี CAP จึงมีสมรรถนะต่ำกว่าวิธี CFP+SPL, UNI และ UNI+LA และแน่นอนว่าวิธี CFP ย่อมจะต้องมีสมรรถนะต่ำกว่าวิธีทั้งสาม เพราะวิธี CFP มีประสิทธิต่ำกว่า CAP และวิธี CAP มีสมรรถนะต่ำกว่าวิธีทั้งสาม (ดังที่ได้อธิบายไปแล้ว)

เมื่อเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอทั้ง 7 วิธี กับวิธี APB และ AEB พบว่าโดยรวมแล้ววิธีที่นำเสนอทั้ง 7 มีสมรรถนะสูงกว่าวิธี APB และ AEB เพราะว่ากลไกการทำงานของวิธี APB กำหนดให้มีการปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง โดยค่านี้จะเท่ากับ $1/m$ เมื่อ m คือจำนวนผู้ใช้บริการที่เหลืออยู่ในสล็อตการจองที่กำลังพิจารณา นั่นคือค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี APB ขึ้นกับจำนวนผู้ใช้บริการเท่านั้น ไม่ได้คำนึงถึงจำนวนสล็อตการจองที่มีอยู่ในระบบ ดังนั้นถ้าระบบมีจำนวนสล็อตการจอง 16 สล็อตกับอีกระบบที่มีจำนวนสล็อตการจอง 32 สล็อต วิธี APB จะให้ค่าจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จเท่ากัน จำนวนสล็อตการจองที่เพิ่มขึ้นไม่ช่วยทำให้จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จเพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้วิธี CFP ซึ่งเป็นวิธีที่คำนึงถึงจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจองที่มีอยู่ในระบบ จึงมีสมรรถนะสูงกว่าวิธี APB แต่จากรูปที่ 4.31 เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่า 10 คน วิธี APB จะให้สมรรถนะสูงกว่าวิธี CFP เพราะจำนวนผู้ใช้บริการเริ่มใกล้เคียงกับจำนวนสล็อตการจอง ดังนั้นสล็อตการจองที่มีอยู่เริ่มจะไม่พอให้ผู้ใช้บริการทั้งหมดประสบความสำเร็จ อีกทั้งวิธี CFP ใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองเท่ากันในทุกสล็อตการ จึงไม่สามารถสู้วิธี APB ซึ่งมีการปรับค่านี้ในแต่ละสล็อตการจอง และเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่า 13 คน วิธี APB เริ่มมีสมรรถนะสูงกว่าวิธี CAP แต่ก็สูงกว่าไม่มากนัก เพราะว่าวิธี APB และ CAP ต่างก็มีการปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองในแต่ละสล็อตการจอง โดยค่าที่ได้ของวิธี CAP เป็นค่าที่ได้จากวิธี CFP ซึ่งเป็นค่าที่ไม่เหมาะสมกับระบบที่ใช้กลไกปรับค่าความน่าจะเป็นแม้จะเป็นค่าที่ได้จากการพิจารณาทั้งจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจอง แต่ค่าที่ใช้ในการปรับของวิธี APB เป็นค่าที่คิดจากจำนวนผู้ใช้บริการที่เหลืออยู่ในสล็อตที่กำลังพิจารณา แม้ค่านี้จะไม่ได้พิจารณาผลของจำนวนสล็อตการจอง แต่ค่านี้เป็นค่าที่ดีที่สุดถ้าพิจารณาเฉพาะสล็อตการที่กำลังแข่งขันโดยไม่สนใจสล็อตการจองอื่น (ความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการ m คน จะมีผู้ใช้บริการ 1 คนประสบความสำเร็จในสล็อตการจองที่กำลังพิจารณา เมื่อผู้ใช้บริการแต่ละคนตัดสินใจส่งแพ็กเกตการจองด้วยค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ p คือ $p\cdot(1-p)^{m-1}$ ค่านี้จะมีค่ามากที่สุดเมื่อ $\frac{\partial}{\partial p}p\cdot(1-p)^{m-1}=0$ ดังนั้น $p=1/m$) อย่างไรก็ตามวิธี APB มีสมรรถนะต่ำกว่าวิธี COP ในทุกกรณี แม้ว่าทั้งสองวิธีจะใช้กลไกปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่ง

แพ็กเกตการจอง แต่ค่าที่ใช้ของวิธี COP ได้จากการพิจารณาจำนวนผู้ใช้บริการและสล็อตการจองที่เหลืออยู่อย่างเหมาะสม

ส่วนเหตุผลที่วิธี AEB มีสมรรถนะต่ำสุดก็คือวิธี AEB มีการปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองโดยพิจารณาจากสถานะของสล็อตการจองที่ผ่านมา (สถานะว่าง, สถานะประสบความสำเร็จ และสถานการชน) กรณีที่เกิดการชนกันวิธีนี้จะไม่ได้คำนึงว่ามีผู้ใช้บริการกี่คนที่ชนกัน และจะเหลือจำนวนผู้ใช้บริการในสล็อตการจองถัดไปกี่คน ดังนั้นเมื่อเทียบกับวิธี CFP ซึ่งใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองที่ได้จากการพิจารณาทั้งจำนวนผู้ใช้บริการและจำนวนสล็อตการจอง วิธี AEB จึงมีสมรรถนะต่ำกว่าวิธี CFP และวิธีที่นำเสนอทั้งหมด การที่วิธี APB ซึ่งไม่คำนึงผลของจำนวนสล็อตการจองที่มีอยู่คำนึงถึงจำนวนผู้ใช้บริการที่เหลืออยู่ จึงทำให้วิธี APB มีสมรรถนะที่ดีกว่า AEB

สรุปได้ว่าในระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการน้อยกว่าจำนวนสล็อตการจองวิธีที่นำเสนอทั้งหมดมีสมรรถนะโดยรวมสูงกว่าวิธี APB และ AEB โดยเมื่อเรียงวิธีต่าง ๆ ตามสมรรถนะจากสูงสุดไปต่ำสุดสามารถเรียงได้ดังนี้ COP+SPL, COP, CFP+SPL (เท่ากับ UNI และ UNI+LA), CAP, CFP, APB, และ AEB

4.9.2 กรณีที่จำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนสล็อตการจอง

กรณีที่ระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนสล็อตการจองได้แสดงในรูปที่ 4.32 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธีที่นำเสนอกับวิธี APB และ AEB เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 16 ถึง 64 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต พบว่าวิธี COP+SPL ยังคงเป็นวิธีที่มีสมรรถนะสูงสุด ซึ่งดีกว่าวิธีอื่นอย่างชัดเจน เพราะเป็นวิธีที่ใช้ค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองอย่างเหมาะสมในแต่ละสล็อตการจอง อีกทั้งสล็อตการจองทุกสล็อตรองรับโหลดอย่างเท่าเทียมกัน

วิธีที่มีสมรรถนะรองจาก COP+SPL คือ วิธี COP และ APB จากตาราง 4.1 พบว่าทั้งสองวิธีมีค่าใกล้เคียงกันในช่วงที่มีจำนวนผู้ใช้บริการระหว่าง 16 ถึง 27 คน แต่เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่า 27 คน ทั้งสองวิธีให้สมรรถนะเท่ากัน เพราะเมื่อจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนสล็อตการจองมากพอ จะทำให้จำนวนสล็อตการจองไม่ส่งผลต่อค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี COP นั่นคือค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี COP จึงมีค่าใกล้เคียงหรือเท่ากันกับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี APB ซึ่งเท่ากับ $1/m$ ซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 4.33 ดังนั้นเมื่อค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง

ของวิธีทั้งสองเท่ากัน และทั้งคู่ต่างเป็นวิธีที่มีการปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองในทุกสล็อตการจอง ดังนั้นสมรรถนะที่ได้ของวิธีทั้งสองจึงไม่ต่างกัน

จากตาราง 4.1 จะเห็นได้ว่าวิธี CFP+SPL และ UNI+LA ให้ผลที่เท่ากันในทุกกรณีไม่ว่าจะมีจำนวนผู้ใช้บริการอยู่ในระบบเท่าใดก็ตาม เพราะว่ากลไกการทำงานของวิธี UNI+LA เริ่มจากการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการด้วยค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมค่าหนึ่งซึ่งเป็นการจำกัดจำนวนแพ็กเกตการจองที่จะส่ง จากนั้นผู้ใช้บริการที่เหลือจึงเลือกสล็อตการจองที่ต้องการส่งแพ็กเกต ส่วนกลไกการทำงานของวิธี CFP+SPL เริ่มจากผู้ใช้บริการแต่ละคนเลือก สล็อตการจองที่ต้องการส่งแพ็กเกต จากนั้นผู้ใช้บริการในแต่ละสล็อตการจองจะตัดสินใจว่าส่งแพ็กเกตการจองหรือไม่ด้วยค่าความน่าจะเป็นค่าหนึ่ง ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากลไกการทำงานของวิธีทั้งคู่คล้ายคลึงกันต่างกันเพียงลำดับก่อนหลังของขั้นตอนในการทำงาน วิธีทั้งคู่จึงคุณสมบัติที่เหมือนกันคือ สล็อตการจองทุกสล็อตจะรองรับโหลดอย่างเท่าเทียมกัน และมีการใช้ค่าความน่าจะเป็นที่เหมาะสมเพียงค่าเดียว แม้ว่าค่าความน่าจะเป็นของวิธี UNI+LA เป็นค่าความน่าจะเป็นในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการ ส่วนค่าความน่าจะเป็นของวิธี CFP+SPL เป็นค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง แต่ค่าความน่าจะเป็นทั้งคู่มีค่าเท่ากัน ดังจะเห็นได้จากรูปที่ 4.34

วิธี CFP+SPL และ UNI+LA เป็นวิธีที่มีสมรรถนะรองลงมาจากวิธี COP และ APB เพราะวิธี COP และ APB ต่างเป็นวิธีปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองด้วยค่าที่เหมาะสมในทุกสล็อตการจอง แต่วิธี CFP+SPL และ UNI+LA ใช้ค่าความน่าจะเป็นเพียงค่าเดียว อย่างไรก็ตามสมรรถนะของวิธี CFP+SPL และ UNI+LA ไม่ต่างกันมากกับวิธี COP และ APB เนื่องจากวิธี CFP+SPL และ UNI+LA ต่างมีข้อดีที่ทุกสล็อตการจองรองรับโหลดเท่าเทียมกัน แต่วิธี COP และ APB ไม่มีคุณสมบัติข้อนี้

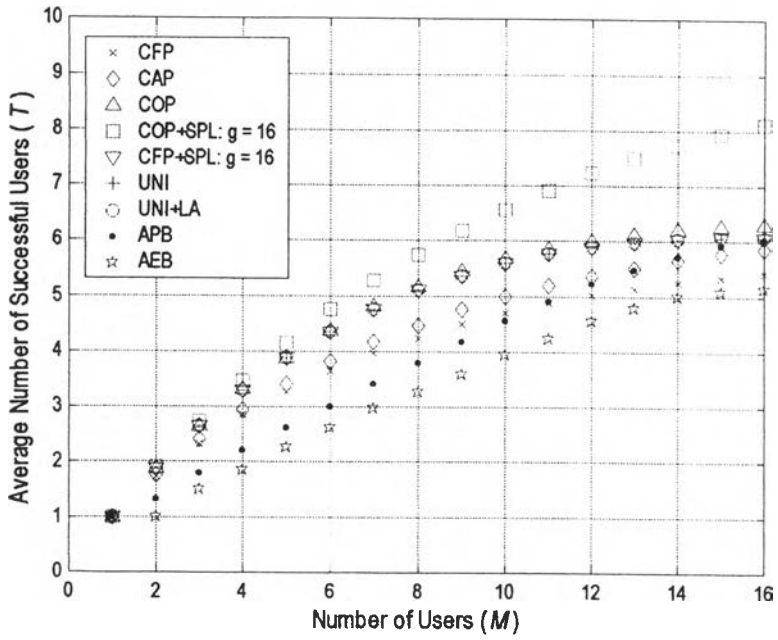
วิธีที่มีสมรรถนะรองจากวิธี CFP+SPL และ UNI+LA คือวิธี CAP และ CFP ตามลำดับ ด้วยเหตุผลเดียวกับกรณีที่ระบบมีจำนวนผู้ใช้บริการน้อยกว่าจำนวนสล็อตการจองในหัวข้อที่ 4.9.1 อย่างไรก็ดี วิธีสมรรถนะของวิธีทั้งสี่แทบจะไม่แตกต่างกัน โดยเฉพาะเมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการมาก ๆ เพราะจำนวนผู้ใช้บริการซึ่งมากกว่าจำนวนสล็อตการจองมากเกินไปทำให้โอกาสที่จะมีผู้ใช้บริการประสบความสำเร็จเป็นไปได้ยาก ซึ่งทั้งสี่วิธีต่างก็ประสบปัญหานี้รวมถึงวิธี COP และ APB ด้วย ดังนั้นสมรรถนะของวิธี CFP, CAP, CFP+SPL, UNI+LA, APB และ COP จึงมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{N}{e} = \frac{16}{2.718} = 5.90$ (จากหัวข้อ 4.2 ถึง 4.8 ได้วิเคราะห์มาแล้วว่า เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการมาก ๆ ทุกวิธียกเว้นวิธี UNI จะให้ค่าวิสัยสามารถเท่ากับ $1/e$ ดังนั้นระบบที่มี

จำนวนสล็อตการจอง N สล็อต จะมีจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จเท่ากับ N/e)

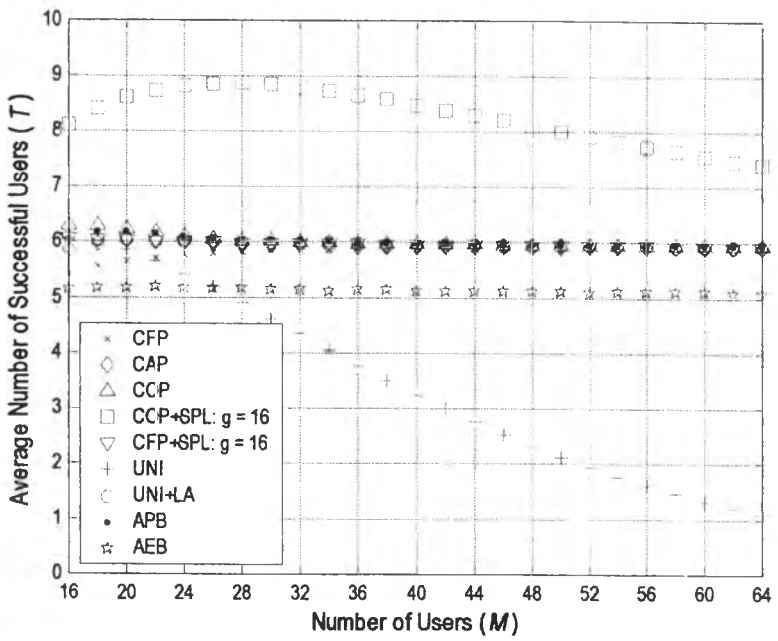
ส่วนวิธี AEB เป็นวิธีที่มีการปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจอง แต่เนื่องจากการปรับทำเพียงเพิ่มค่าความน่าจะเป็นขึ้น q, คงค่าความน่าจะเป็น หรือลดค่าความน่าจะเป็นลง q เท่า ซึ่งเป็นกลไกที่พยายามทำปรับค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองให้เข้าใกล้ค่าที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามวิธีนี้ไม่สามารถทำให้ค่าที่ปรับได้เป็นค่าความน่าจะเป็นที่ดีที่สุดในการส่งแพ็กเกตการจอง ดังนั้นวิธีนี้จึงมีสมรรถนะต่ำกว่าวิธี CFP, CAP, CFP+SPL, UNI+LA, APB, COP และ COP+SPL แม้ว่าวิธี AEB จะมีสมรรถนะสู้วิธีอื่น ๆ ไม่ได้แต่เมื่อจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นยังคงให้สมรรถนะเท่าเดิมหรือลดลงบ้างเพียงเล็กน้อย

จากกราฟจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าวิธี UNI มีสมรรถนะแย่ลงเรื่อย ๆ เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้น เพราะกลไกการทำงานของวิธีนี้ผู้ใช้บริการทุกคนจะต้องเข้าจองหรือส่งแพ็กเกตการจอง ดังนั้นการที่จำนวนผู้ใช้บริการเพิ่มขึ้นทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันเพิ่มขึ้นอย่างแน่นอน และทำให้โอกาสที่ผู้ใช้บริการจะประสบความสำเร็จเป็นไปได้ยาก ดังนั้นวิธี UNI จึงเป็นวิธีที่มีสมรรถนะต่ำที่สุดเมื่อเทียบกับวิธีอื่นทั้ง 8 วิธี

สรุปได้ว่าในระบบที่มีจำนวนผู้ใช้บริการมากกว่าจำนวนสล็อตการจองวิธีที่นำเสนอทั้งหมดยกเว้น UNI มีสมรรถนะโดยรวมสูงกว่าวิธี AEB สำหรับวิธี APB มีสมรรถนะเท่ากับวิธี COP, CFP+SPL, UNI+LA, CAP และ CFP โดยเมื่อเรียงวิธีต่าง ๆ ตามสมรรถนะจากสูงสุดไปต่ำสุดสามารถเรียงได้ดังนี้ COP+SPL, COP (เท่ากับ APB, CFP+SPL, UNI+LA, CAP, และ CFP), AEB และ UNI



รูปที่ 4.31 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธีที่นำเสนอกับวิธี APB และ AEB เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 16 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต



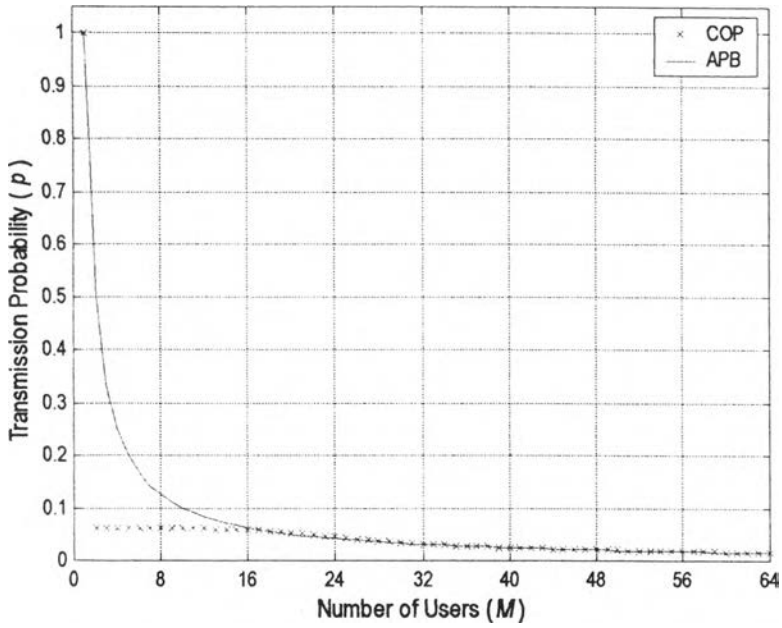
รูปที่ 4.32 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธีที่นำเสนอกับวิธี APB และ AEB เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 16 ถึง 64 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต

ตารางที่ 4.1 การเปรียบเทียบจำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จของวิธีที่นำเสนอกับวิธี APB และ AEB เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 64 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต

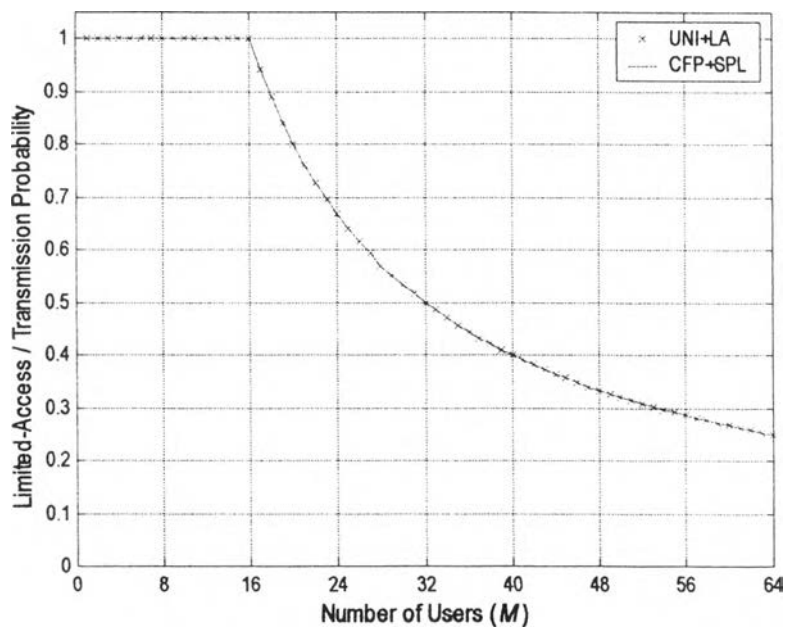
จำนวนผู้ใช้บริการ	จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ								
	CFP	CAP	COP	COP+SPL	CFP+SPL	UNI	UNI+LA	APB	AEB
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	1.72	1.76	1.88	1.91	1.88	1.88	1.88	1.33	1.00
3	2.33	2.40	2.64	2.73	2.64	2.64	2.64	1.79	1.50
4	2.84	2.94	3.31	3.47	3.30	3.30	3.30	2.20	1.85
5	3.27	3.41	3.88	4.14	3.86	3.86	3.86	2.61	2.26
6	3.64	3.81	4.38	4.74	4.35	4.35	4.35	3.01	2.62
7	3.96	4.16	4.80	5.28	4.75	4.75	4.75	3.40	2.95
8	4.24	4.47	5.15	5.76	5.09	5.09	5.09	3.79	3.25
9	4.47	4.74	5.44	6.20	5.37	5.37	5.37	4.17	3.59
10	4.68	4.97	5.68	6.58	5.59	5.59	5.59	4.54	3.93
11	4.85	5.18	5.87	6.93	5.77	5.77	5.77	4.89	4.24
12	5.01	5.36	6.02	7.23	5.90	5.90	5.90	5.21	4.54
13	5.14	5.52	6.13	7.50	5.99	5.99	5.99	5.50	4.79
14	5.25	5.66	6.21	7.73	6.05	6.05	6.05	5.73	4.98
15	5.35	5.77	6.26	7.94	6.08	6.08	6.08	5.92	5.07
16	5.43	5.86	6.29	8.12	6.08	6.08	6.08	6.05	5.12
17	5.50	5.94	6.30	8.27	6.07	6.05	6.07	6.13	5.15
18	5.56	5.99	6.29	8.40	6.06	6.01	6.06	6.18	5.17
19	5.61	6.03	6.27	8.52	6.05	5.95	6.05	6.19	5.17
20	5.66	6.05	6.25	8.61	6.04	5.87	6.04	6.19	5.17
21	5.69	6.06	6.21	8.68	6.03	5.78	6.03	6.17	5.17
22	5.72	6.05	6.18	8.75	6.02	5.67	6.02	6.15	5.18
23	5.75	6.04	6.15	8.79	6.02	5.56	6.02	6.13	5.18
24	5.77	6.03	6.12	8.83	6.01	5.44	6.01	6.11	5.16
25	5.79	6.01	6.10	8.85	6.01	5.31	6.01	6.09	5.17
26	5.81	5.99	6.08	8.87	6.00	5.18	6.00	6.08	5.16
27	5.82	5.98	6.07	8.87	6.00	5.04	6.00	6.06	5.16
28	5.83	5.97	6.05	8.87	5.99	4.90	5.99	6.05	5.15
29	5.85	5.96	6.04	8.86	5.99	4.76	5.99	6.04	5.14
30	5.85	5.95	6.03	8.85	5.99	4.62	5.99	6.03	5.14
31	5.86	5.94	6.02	8.83	5.98	4.47	5.98	6.02	5.13
32	5.87	5.94	6.02	8.80	5.98	4.33	5.98	6.02	5.14

ตารางที่ 4.1 (ต่อ)

จำนวนผู้ใช้บริการ	จำนวนผู้ใช้บริการโดยเฉลี่ยที่ประสบความสำเร็จ								
	CFP	CAP	COP	COP+SPL	CFP+SPL	UNI	UNI+LA	APB	AEB
33	5.87	5.94	6.01	8.77	5.98	4.18	5.98	6.01	5.13
34	5.88	5.94	6.01	8.74	5.97	4.04	5.97	6.01	5.12
35	5.88	5.93	6.00	8.70	5.97	3.90	5.97	6.00	5.12
36	5.89	5.94	6.00	8.66	5.97	3.76	5.97	6.00	5.12
37	5.89	5.93	5.99	8.62	5.97	3.62	5.97	5.99	5.13
38	5.89	5.93	5.99	8.58	5.96	3.49	5.96	5.99	5.12
39	5.90	5.93	5.98	8.53	5.96	3.36	5.96	5.98	5.12
40	5.90	5.93	5.98	8.49	5.96	3.23	5.96	5.98	5.12
41	5.90	5.93	5.98	8.44	5.96	3.10	5.96	5.98	5.11
42	5.90	5.93	5.98	8.39	5.96	2.98	5.96	5.98	5.11
43	5.90	5.93	5.97	8.34	5.96	2.86	5.96	5.97	5.11
44	5.90	5.93	5.97	8.30	5.95	2.74	5.95	5.97	5.11
45	5.90	5.93	5.97	8.25	5.95	2.63	5.95	5.97	5.11
46	5.91	5.93	5.97	8.20	5.95	2.52	5.95	5.97	5.10
47	5.91	5.93	5.96	8.15	5.95	2.41	5.95	5.96	5.12
48	5.91	5.93	5.96	8.10	5.95	2.31	5.95	5.96	5.10
49	5.91	5.93	5.96	8.05	5.95	2.21	5.95	5.96	5.10
50	5.91	5.93	5.96	8.00	5.95	2.12	5.95	5.96	5.11
51	5.91	5.93	5.96	7.96	5.94	2.02	5.94	5.96	5.10
52	5.91	5.93	5.95	7.91	5.94	1.93	5.94	5.95	5.09
53	5.91	5.93	5.95	7.86	5.94	1.85	5.94	5.95	5.09
54	5.91	5.93	5.95	7.82	5.94	1.77	5.94	5.95	5.09
55	5.91	5.93	5.95	7.78	5.94	1.69	5.94	5.95	5.10
56	5.91	5.92	5.95	7.73	5.94	1.61	5.94	5.95	5.09
57	5.91	5.92	5.95	7.69	5.94	1.54	5.94	5.95	5.10
58	5.91	5.92	5.95	7.65	5.94	1.46	5.94	5.95	5.09
59	5.91	5.92	5.94	7.61	5.94	1.40	5.94	5.94	5.09
60	5.91	5.92	5.94	7.57	5.94	1.33	5.94	5.94	5.09
61	5.91	5.92	5.94	7.53	5.93	1.27	5.93	5.94	5.09
62	5.91	5.92	5.94	7.49	5.93	1.21	5.93	5.94	5.08
63	5.91	5.92	5.94	7.45	5.93	1.15	5.93	5.94	5.08
64	5.91	5.92	5.94	7.42	5.93	1.10	5.93	5.94	5.08



รูปที่ 4.33 การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี COP และ APB เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 64 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต



รูปที่ 4.34 การเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นในการจำกัดจำนวนผู้ใช้บริการของวิธี UNI+LA และค่าความน่าจะเป็นในการส่งแพ็กเกตการจองของวิธี CFP+SPL เมื่อมีจำนวนผู้ใช้บริการ 1 ถึง 64 คน และสล็อตการจอง 16 สล็อต