นโยบายการจองทรังค์อย่างยุติธรรมในการควบคุมการตอบรับการเรียกโดยใช้ทฤษฎีเกมความร่วมมือ
Fair Trunk Reservation Policy in Call Admission Control Using Cooperative Game Theory

กลิกา สุขสมบูรณ์ เชาวน์ดิศ อัศวกุล ลัญฉกร วุฒิสิทธิกุลกิจ และ ศักดิ์ เสกขุนทด
ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร 0-2218-6915 โทรสาร 0-2218-6912 E-mail: kmitmink@yahoo.com

บทคัดย่อ

ในบทความนี้ได้เสนอ วิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่ให้ความยุติธรรมในการจัดสรรแบนด์วิดท์กับทราฟฟิกแต่ละชนิด โดยพิจารณาจากเงื่อนไขการตัดสินใจในทฤษฎีเกมความร่วมมือ ซึ่งมี 3 แบบ คือ Nash, Raiffa และ Modified Thomson ระบบที่พิจารณาได้แก่ ระบบของข่ายเชื่อมโยงเดี่ยวที่ใช้เทคนิกการแบ่งแยกการให้บริการทราฟฟิก (service separation) ซึ่งทำให้การจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับทราฟฟิกแต่ละชนิดสามารถทำได้ในทางปฏิบัติโดยใช้ฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล (equivalent bandwidth) เมื่อวิเคราะห์ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงโหลดในระบบผลปรากฏว่าเมื่อในระบบมีปริมาณโหลดมาก การใช้วิธี Blocking Equalization แบบ Fixed Trunk Reservation [3] จะให้ผลที่ได้ใกล้เคียงกับ วิธีเลือกค่าพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขการตัดสินใจของ Nash และ ค่า utilization รวมที่ได้ มีค่ามากกว่ากรณีของ Raiffa และ มีค่าต่ำกว่ากรณีของ Modified Thomson เสมอ ในขณะเดียวกันก็มีความซับซ้อนในการใช้งานต่ำ ทำให้เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ

คำสำคัญ : การจัดสรรแบนด์วิดท์, การควบคุมการตอบรับการเรียก, เกมความร่วมมือ, ความยุติธรรม, การจองทรังค์

Abstract

In this paper, a selection of trunk reservation parameters has been proposed to provide fair accesses to each traffic by considering three game theoretic decision criteria of Nash, Raiffa and Modified Thomson. The considered system is based on the single link that employs the service separation technique, which allows the practical bandwidth allocation according to the notion of equivalent bandwidth. The reported numerical experiments show that, at high loading, the results from the blocking equalization by fixed trunk reservation [3] are very close to that of Nash. Their total link utilization is always greater than that of Raiffa and less than that of Modified Thomson. Meanwhile, the blocking equalization by fixed trunk reservation requires the least implementation complexity and hence its suitability in practical usages.

Keywords: bandwidth allocation, call admission control, cooperative game, fairness, trunk reservation

1. บทนำ

การควบคุมการตอบรับการเรียก (Call Admission Control: CAC) เป็นกลไกสำคัญที่ใช้แก้ปัญหาความคับคั่งภายในโครงข่าย โดยที่การควบคุมทราฟฟิกในโครงข่ายจะขึ้นอยู่กับวิธีการตัดสินใจที่เลือกใช้ใน CAC ซึ่งมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น วิธี Complete Sharing (CS), วิธี Complete Partitioning (CP) วิธี Guaranteed Minimum (GM) [1-2] และวิธี Trunk Reservation (TR) [3]

เนื่องจากวิธี TR เป็นวิธีที่ง่ายต่อการนำมาใช้ในทางปฏิบัติ และสามารถควบคุมปริมาณทราฟฟิกในโครงข่าย ด้วยการปรับค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์สำหรับแต่ละทราฟฟิก ดังนั้นในบทความนี้จึงนำวิธี TR มาประยุกต์ และปรับปรุงให้เหมาะสมกับลักษณะการใช้งานในทางปฏิบัติ โดยเสนอวิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ ที่สามารถให้ความยุติธรรมกับทราฟฟิกแต่ละชนิด โดยพิจารณาได้จากเงื่อนไขการตัดสินใจในทฤษฎีเกมความร่วมมือ ซึ่งมี 3 แบบ คือ Nash, Raiffa และ Modified Thomson [4-6] และเลือกให้จุดทำงานของระบบอยู่บน Pareto boundary ซึ่งจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด [4-6] ระบบที่พิจารณาได้แก่ ระบบของการจองทรังค์ในข่ายเชื่อมโยงเดี่ยว (single link) ที่ใช้เทคนิคการแบ่งแยกการให้บริการทราฟฟิก (service separation) [3] ทำให้การจัดสรรแบนด์วิดท์สำหรับทราฟฟิกแต่ละชนิดสามารถทำได้ในทางปฏิบัติ โดยใช้ฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล (equivalent bandwidth) [7] ในการประมาณค่าแบนด์วิดท์ที่ระบบต้องการ

2. แบบจำลองที่ใช้ในการพิจารณา

พิจารณาระบบของข่ายเชื่อมโยงเดี่ยว ดังรูปที่ 1 กำหนดให้ข่ายเชื่อมโยงมีค่าความจุคงที่ และมีทราฟฟิกเข้ามาเพียง 2 ชนิด การเข้ามาของทราฟฟิกทั้งสองชนิดเป็นไปตามกระบวนการปัวส์ซงที่เป็นอิสระต่อกัน (independent Possion process) และมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้

λ_i คือ อัตราเฉลี่ยของการเรียกเข้าของทราฟฟิกชนิดที่ i

$1/\mu_i$ คือ ระยะเวลาในการครอบครองทรังค์โดยเฉลี่ยต่อหนึ่งการเรียกของทราฟฟิกชนิดที่ i (ในบทความนี้กำหนดให้มีค่าคงที่เท่ากับ 1 หน่วยเวลา)

CM40

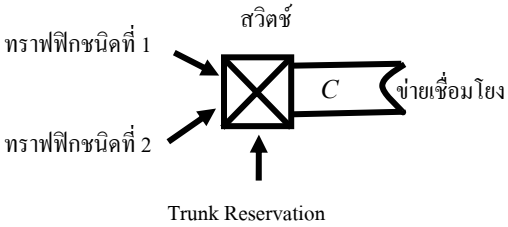
ρ_i คือ โหลดของทราฟฟิกชนิดที่ i มีค่าเท่ากับ λ_i / μ_i

C คือ ค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง

$G_i(n_i)$ คือ ค่าแบนด์วิดท์ที่ทราฟฟิกชนิดที่ i ต้องการเมื่อมีการเชื่อมต่อเป็นจำนวน n_i ซึ่งเป็นไปตามฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล [7] ดังสมการ

$$G_i(n_i) = \alpha_i n_i + \beta_i \sqrt{n_i} \qquad (1)$$

เมื่อ α_i และ β_i เป็นค่าพารามิเตอร์แสดงความเป็นเชิงเส้น และไม่เป็นเชิงเส้นของการมัลติเพล็กซ์เชิงสถิติ (statistical multiplexing) ตามลำดับ



รูปที่ 1 แบบจำลองข่ายเชื่อมโยงเดี่ยว

3. นโยบายการจองทรังค์ (Trunk Reservation Policy: TR)

CAC แบบ TR จะตัดสินใจปฏิเสธการเรียกหนึ่ง ๆ ก็ต่อเมื่อ

$$C - \sum_i G_i(n_i) < TR_i \qquad (2)$$

โดยที่ TR_i แทนค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ของทราฟฟิกชนิดที่ i จากสมมติฐานของระบบในหัวข้อที่ 2 สมรรถนะของระบบสามารถคำนวณได้จากแบบจำลอง 2-dimentional birth-death process และการวิเคราะห์เชิงตัวเลข (numerical analysis) ด้วยวิธี Gaussian elimination [8] ผลจากการคำนวณจะได้ค่าการกระจายของสถานะอยู่ตัว (steady state distribution) สำหรับจำนวนการเชื่อมต่อของทราฟฟิกชนิดที่ i $P(N_i = n_i)$ ซึ่งสามารถนำไปใช้คำนวณค่า utilization ของทราฟฟิกชนิดที่ i ได้ตามสมการ

$$u_i = \frac{E[G_i(N_i)]}{C} \qquad (3)$$

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ในการเลือกค่าพารามิเตอร์ TR_i ที่เหมาะสม เพื่อให้การเลือกปฏิเสธการเข้าใช้ของทราฟฟิกแต่ละชนิดเป็นไปอย่างยุติธรรม และมีประสิทธิภาพ โดยจะประยุกต์ทฤษฎีเกมความร่วมมือมาช่วยในการตัดสินใจ

4. ทฤษฎีเกมความร่วมมือ (Cooperative Game Theory)

พิจารณาระบบข่ายเชื่อมโยงในรูปของปัญหาการต่อรอง (bargaining problem) ซึ่งประกอบไปด้วยผู้เล่น 2 ฝ่าย โดยที่แต่ละฝ่ายต่างพยายามต่อรองเพื่ออรรถประโยชน์ (utility) ของตนเอง ซึ่งในบทความนี้กำหนดให้เป็นค่า utilization u_i สำหรับผู้เล่น หรือทราฟฟิกชนิดที่ i (i =1,2) และมีค่าคำนวณได้จากสมการ (3) กำหนดให้ปริภูมิอรรถประโยชน์ (utility space: $\mathcal{S}$) คือเซตของค่าผลประโยชน์ที่เป็นไปได้ที่ผู้เล่นแต่ละฝ่ายจะได้รับ ให้ $s_0 = (u_1^0, u_2^0) \in \mathcal{S}$ แทนค่าเริ่มต้นในการต่อรอง และ (u_1^*, u_2^*) แทนค่าสุดท้ายที่ได้จากการต่อรอง โดยที่ $u_1^* \geq u_1^0$ และ $u_2^* \geq u_2^0$ และกำหนดให้ผู้เล่นมีความพอใจกับผลประโยชน์ที่ผู้เล่นแต่ละฝ่ายจะได้รับโดยเปรียบเทียบกับผลประโยชน์ที่ผู้เล่นอีกฝ่ายจะได้รับมีค่าเป็นดังฟังก์ชัน $v_i(\cdot)$ ให้ γ คือ weighting factor โดยที่ค่า $\gamma = 0,1,-1$ สำหรับการหาผลเฉลยตามเงื่อนไขของ Nash, Raiffa และ Modified Thomson ตามลำดับ [6] ในบทความนี้สมมติให้ $s_0 = (u_1^0, u_2^0) = (0,0)$ ดังนั้นสามารถหา (u_1^*, u_2^*) ได้จาก

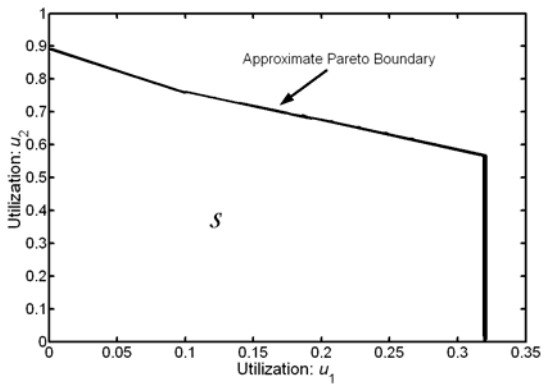
$$v_1 = u_1 - \gamma u_2 + |\gamma| \text{ และ } v_2 = u_2 - \gamma u_1 + |\gamma| \qquad (5)$$

$$(u_1^*, u_2^*) = \arg\{\max_{u_1, u_2}[v_1 \cdot v_2]\} \qquad (4)$$

5. ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์

บทความนี้เลือกใช้วิธี Fixed Trunk Reservation ซึ่งสะดวกต่อการประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ [3] และทำการปรับค่าคงที่ (TR_1, TR_2) ซึ่งจะปรับตามปริภูมิควบคุม τ โดยที่

$$\tau = \{(TR_1, TR_2) \in \Re_+^2 \mid G_i(1) \leq TR_i \leq C \text{ สำหรับ } i = 1,2\} \qquad (6)$$



รูปที่ 2 ปริภูมิอรรถประโยชน์ $\mathcal{S}$ และ Pareto boundary เมื่อทราฟฟิกชนิด narrow band ($\alpha_1 = 0.64$ Mbps และ $\beta_1 = 0$ Mbps) และ ทราฟฟิกชนิด wide band ($\alpha_2 = 6$ Mbps และ $\beta_2 = 10$ Mbps) เมื่อโหลด $\rho_1 = \rho_2 = 50$ Erlang และ ความจุของข่ายเชื่อมโยง $C = 150$ Mbps

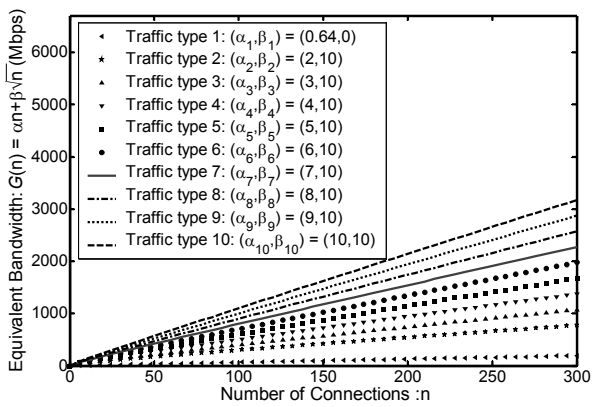
ขั้นตอนการหาค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ (TR_1, TR_2) ตามเงื่อนไขที่ได้จากทฤษฎีเกมความร่วมมือสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1. หา $\mathcal{S}$ ซึ่งเป็นเซตของ utilization (u_1, u_2) ที่เป็นไปได้ทั้งหมด สำหรับค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ (TR_1, TR_2) ใด ๆ ในปริภูมิควบคุม τ
2. จากปริภูมิอรรถประโยชน์ $\mathcal{S}$ ในขั้นตอนที่ 1 ค้นหา Pareto boundary ซึ่งประกอบไปด้วยจุด (u_1, u_2) ที่ขอบด้านนอกของปริภูมิอรรถประโยชน์ $\mathcal{S}$ ดังแสดงในรูปที่ 2
3. คำนวณหาค่า (u_1^*, u_2^*) จากจุดบน Pareto boundary ที่สอดคล้องกับเงื่อนไขของ Nash, Raiffa หรือ Modified Thomson ตามสมการ (4) ถึง (5)
4. จากจุด (u_1^*, u_2^*) จะย้อนกลับไปหาค่าพารามิเตอร์การจอง TR_1 และ TR_2 ที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานได้

6. ผลการวิเคราะห์

6.1 กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้พิจารณา

พิจารณาตามแบบจำลองในรูปที่ 1 ลักษณะของทราฟฟิกถูกกำหนดด้วยฟังก์ชันแบนด์วิดท์สมมูล และให้ทราฟฟิกชนิดที่ 1 แทนด้วย (α_1, β_1) และทราฟฟิกชนิดที่ 2 เปลี่ยนแปลงไปตามค่า (α_2, β_2) จนถึง $(\alpha_{10}, \beta_{10})$ ดังรูปที่ 3 และให้แบนด์วิดท์ของข่ายเชื่อมโยงมีค่าคงที่เท่ากับ 150 Mbps

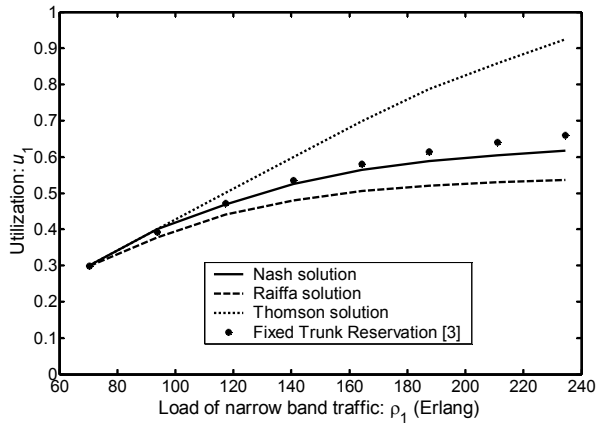


รูปที่ 3 แบนด์วิดท์สมมูลของทราฟฟิกแต่ละประเภทตามสมการ (1) ซึ่งมีค่าเปลี่ยนแปลงตามพารามิเตอร์ (α, β)

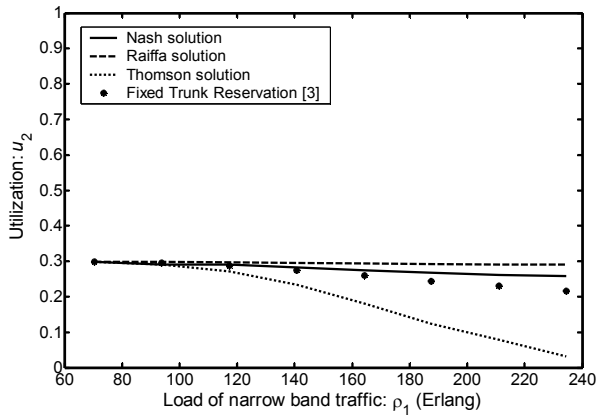
การศึกษาสมรรถนะของระบบที่ได้จากการเลือกค่าการจองทรังค์ตามเงื่อนไขการตัดสินใจของ Nash, Raiffa และ Modified Thomson จะพิจารณาเปรียบเทียบกับวิธี Blocking Equalization แบบ Fixed Trunk Reservation [3] โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกเพื่อพิจารณาผลกระทบของการเปลี่ยนค่าโหลด และส่วนที่ 2 เพื่อพิจารณาผลกระทบจากการเปลี่ยนค่าแบนด์วิดท์ที่ทราฟฟิกต้องการ

6.2 ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงโหลดในระบบ

เมื่อเพิ่มโหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (ρ_1) โดยให้ทราฟฟิกชนิดที่ 1 ต้องการแบนด์วิดท์โดยเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 30 % ถึง 100% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง และให้โหลดของทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีค่าเท่ากับ 30% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง ค่าของ utilization จะเป็นดังรูปที่ 4 ถึง 6



รูปที่ 4 ค่า utilization ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1) เมื่อ $\alpha_1 = 0.64$, $\beta_1 = 0$, $\alpha_2 = 6$ และ $\beta_2 = 10$

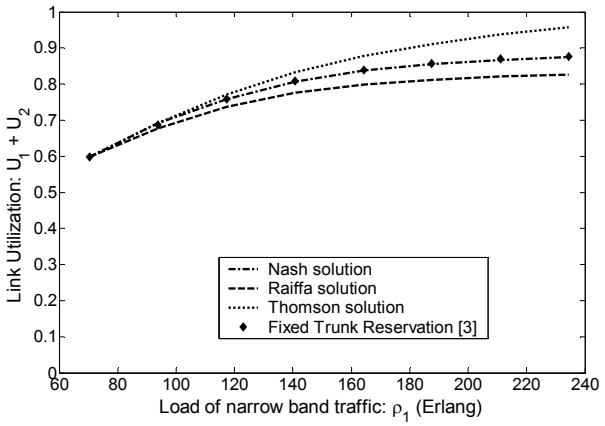


รูปที่ 5 ค่า utilization ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2) เมื่อ $\alpha_1 = 0.64$, $\beta_1 = 0$, $\alpha_2 = 6$ และ $\beta_2 = 10$

รูปที่ 4 ถึง 6 แสดงให้เห็นว่า ค่า utilization ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 , 2 และ utilization รวมมีค่าใกล้เคียงกันทุกวิธีในกรณีโหลดรวมของระบบมีค่าไม่เกิน 70% ของค่าความจุของข่ายเชื่อมโยง และจะมีค่าแตกต่างกันเพิ่มขึ้นเมื่อโหลดในระบบสูงขึ้น ในรูปที่ 6 แสดงว่าเมื่อใช้วิธี Blocking Equalization แบบ Fixed Trunk Reservation [3] จะให้ค่า utilization รวมของระบบใกล้เคียงกับ วิธีเลือกค่าพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขการตัดสินใจ

CM40

ของ Nash ถึงแม้ว่าจุดทำงานตามวิธี Blocking Equalization แบบ Fixed Trunk Reservation [3] จะไม่อยู่บน Pareto boundary ก็ตาม



รูปที่ 6 ค่า utilization รวมของทราฟฟิกทั้งสองชนิด เมื่อ $\alpha_1 = 0.64$, $\beta_1 = 0$, $\alpha_2 = 6$ และ $\beta_2 = 10$

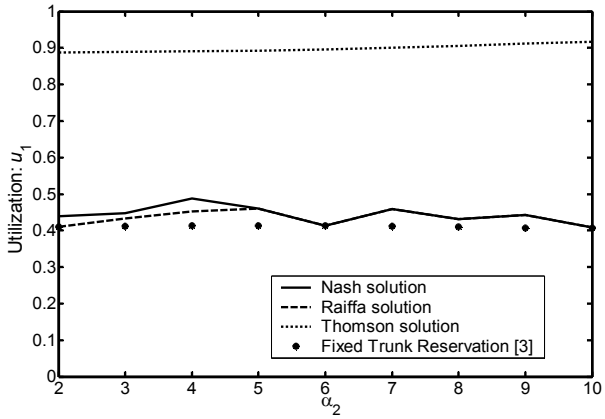
รูปที่ 6 แสดงว่าค่า utilization รวมที่ได้จากวิธี Blocking Equalization แบบ Fixed Trunk Reservation [3] มีค่ามากกว่า วิธีเลือกค่าพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขการตัดสินใจของ Raiffa และ มีค่าต่ำกว่าวิธีเลือกค่าพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขการตัดสินใจของ Modified Thomson ซึ่งอธิบายได้ดังนี้

วิธีเลือกค่าพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขการตัดสินใจของ Raiffa เป็นวิธีที่พยายามลดความแตกต่างของค่า utilization ระหว่างทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด เมื่อแทนค่า $\gamma = 1$ ในตามสมการ (4) และ (5) แล้วจะได้ว่าค่า $(u_1^*, u_2^*) = \arg\min_{(u_1,u_2)}(|u_1 - u_2|)$ จึงทำให้ค่า utilization ของทราฟฟิก 2 ชนิด ไม่แตกต่างกันมาก

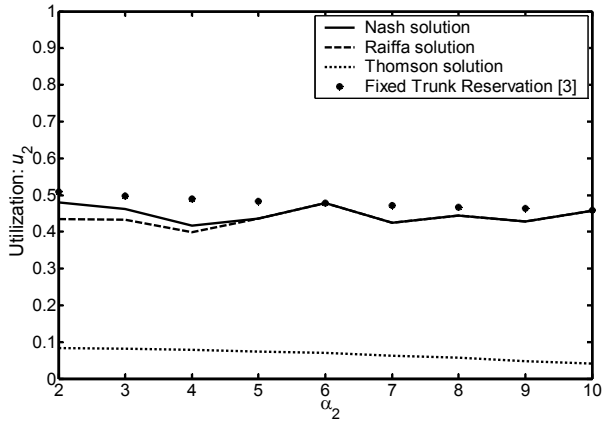
วิธีเลือกค่าพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขการตัดสินใจของ Modifeid Thomson เป็นวิธีที่พยายามเพิ่มค่า utilization รวม ตามสมการ (4) และ (5) เมื่อแทนค่า $\gamma = -1$ ในตามสมการ (4) และ (5) แล้วจะได้ว่าค่า $(u_1^*, u_2^*) = \arg\max_{(u_1,u_2)}(u_1 + u_2)$ จึงทำให้ค่า utilization รวมของทราฟฟิก 2 ชนิดสูงสุด

6.3 ผลกระทบจากการเปลี่ยนค่าแบนด์วิดท์ของทราฟฟิก

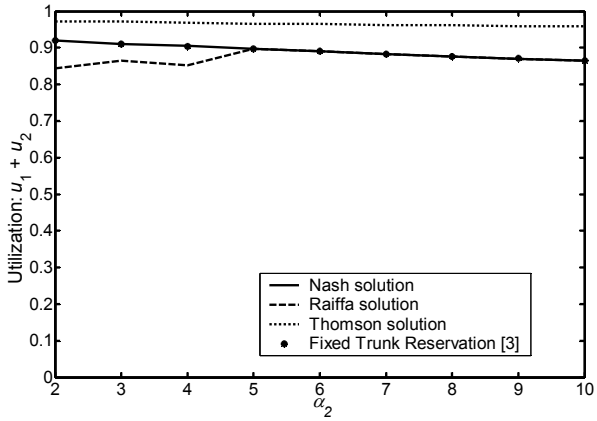
เมื่อแบนด์วิดท์สมมูลของทราฟฟิกชนิดที่ 2 มีค่าเปลี่ยนแปลง โดย α_2 มีค่าในช่วง 2 ถึง 10 และ $\beta_2 = 10$ ให้ทราฟฟิกชนิดที่ 1 มีค่า $\alpha_1 = 0.64$ และ $\beta_1 = 0$ และปริมาณแบนด์วิดท์ที่ต้องการโดยเฉลี่ยของทราฟฟิกทั้งสองมีค่าคงที่เท่ากับ 150 Mbps นั่นคือ ระบบอยู่ในสถานะโอเวอร์โหลดอย่างมาก



รูปที่ 7 ค่า utilization ของทราฟฟิกชนิดที่ 1 (u_1) เมื่อ $\alpha_1 = 0.64$, $\beta_1 = 0$, $\alpha_2 \in \{2,3,\ldots,10\}$ และ $\beta_2 = 10$



รูปที่ 8 ค่า utilization ของทราฟฟิกชนิดที่ 2 (u_2) เมื่อ $\alpha_1 = 0.64$, $\beta_1 = 0$, $\alpha_2 \in \{2,3,\ldots,10\}$ และ $\beta_2 = 10$



รูปที่ 9 ค่า utilization รวมของทราฟฟิกทั้ง 2 ชนิด เมื่อ $\alpha_1 = 0.64$, $\beta_1 = 0$, $\alpha_2 \in \{2,3,\ldots,10\}$ และ $\beta_2 = 10$

ผลการทดสอบในรูปที่ 7 ถึง 9 แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงค่า α_2 ไม่ส่งผลกับค่า utilization ของทราฟฟิก ดังนั้นถ้าค่า α_2 ที่ใช้ทดสอบในหัวข้อที่ 6.2 เปลี่ยนไปเป็นค่าอื่น ๆ เช่น $\alpha_2 \in \{2,3,\ldots,10\}$ จะยังคงให้ผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงโหลดในระบบในลักษณะเดียวกันกับผลที่ได้จากการทดสอบในหัวข้อที่ 6.2

7. สรุป

ในบทความฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์การจองทรังค์ที่เหมาะสมตามเงื่อนไขที่ให้ความยุติธรรมในรูปแบบการตัดสินใจของ Nash, Raiffa และ Thomson โดยทำการเปรียบเทียบกับวิธี Blocking Equalization แบบ Fixed Trunk Reservation [3] จากการทดสอบผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงโหลดในระบบ และผลกระทบจากการเปลี่ยนค่าแบนด์วิดท์ของทราฟฟิก สามารถสรุปได้ว่าการใช้วิธี Blocking Equalization แบบ Fixed Trunk Reservation [3] จะให้ผลที่ได้ใกล้เคียงกับ วิธีเลือกค่าพารามิเตอร์ตามเงื่อนไขการตัดสินใจของ Nash และ ค่า utilization รวมที่ได้ มีค่ามากกว่ากรณีของ Raiffa และ มีค่าต่ำกว่ากรณีของ Modified Thomson เสมอ อย่างไรก็ตามวิธี Blocking Equalization แบบ Fixed Trunk Reservation [3] จะมีความซับซ้อนในการคำนวณน้อยกว่าวิธีการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมตามเงื่อนไขของ Nash, Raiffa และ Modified Thomson

จากวิธี และหลักการที่เสนอในบทความนี้ สามารถพัฒนาต่อไปได้ในอนาคต โดยการนำไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ ในข่ายเชื่อมโยงที่ทราฟฟิกแต่ละชนิดมีลำดับความสำคัญแตกต่างกัน และ ในข่ายเชื่อมโยงที่ให้บริการทราฟฟิกมากกว่า 2 ชนิด

8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสถาบันบัณฑิตวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีไทย สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ที่ให้เงินทุนสนับสนุนในการทำวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] C. Beard and V. Frost, "Dynamic agent-based prioritized connection admission for stressed networks," *IEEE International Conference on Communications*, vol.2, pp.1398 -1402, 1999.

[2] G. L. Choudhury, K. K. Leung, and W. Whitt, "Efficiently providing multiple grades of service with protection against overloads in shared resources," *AT&T Technical Journal*, pp.50-63, July/August 1995.

[3] C. Aswakul and J. Barria, "Analysis of dynamic service separation with trunk reservation policy," *IEE Proceedings - Communications*, Vol. 149, No. 1, February 2002, pp. 23-28.

[4] Z. Dziong and L. Mason, "Fair-efficient call admission control policies for broadband networks-a game theoretic framework," *IEEE Transaction on Network,* vol. 4, no. 1, pp. 123-136, February 1996.

[5] X. Cao and H. Shen, "Internet pricing with a game theoretical approach: concepts and examples*," IEEE/ACM Transaction on Networking*, vol. 10, no. 2, April 2002.

[6] D. Luce and H. Raiffa, *Game and decisions*. New York: Wiley, 1957.

[7] R. Gúerin, H. Ahmadi and M. Naghshineh, "Equivalent capacity and its application to bandwidth allocation in high-speed networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. SAC- 9, pp. 968-981, September 1991.

[8] R. L. Burden and J. D. Faires, *Nummerical Analysis*, 5th ed., Boston. PWSKENT Publishing Company 1993.

CM40