บทที่ 3
แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับที่เสนอ

ในบทที่ผ่านมาได้กล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่นำฟังก์ชันรายได้สุทธิของระบบมาพิจารณาหาผลต่างระหว่างรายได้ที่ได้จากการควบคุมตอบรับการเรียกและรายได้สูญเสียที่เกิดจากการปรับลดแบนด์วิดท์ เพื่อรองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการได้มากขึ้นในขณะที่ระบบไม่มีแบนด์วิดท์เหลือพอด้วยการลดแบนด์วิดท์จากการเรียกในระบบ อย่างไรก็ตามระดับการให้บริการของการเรียกสามารถเปลี่ยนแปลงตามระดับแบนด์วิดท์ที่ได้รับ ดังนั้นการเรียกที่ร้องขอในระดับการให้บริการหนึ่งๆ จึงมีระดับการให้บริการได้หลายระดับซึ่งไม่สอดคล้องกับอรรถประโยชน์ผู้ใช้ที่ต้องการอย่างแท้จริงและมีข้อจำกัดดังที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ผ่านมา

จากการคำนึงถึงมุมมองของผู้ใช้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่พิจารณาอรรถประโยชน์ผู้ใช้ตามคุณภาพของการให้บริการของการเรียกตามระดับการให้บริการที่ร้องขอโดยสัมพันธ์กับจำนวนช่องสัญญาณที่คาดหวังว่าจะได้รับและอัตราการบล็อกแพ็กเกตสูงสุดที่ยอมรับได้ นอกจากนี้ยังให้ความสำคัญกับการเรียกแบบแฮนด์ออฟและมีการจัดสรรแบนด์วิดท์อย่างยุติธรรมภายในระดับการให้บริการสำหรับการเรียกที่ร้องขอการบริการและการเรียกที่ใช้งานอยู่ในระบบ โดยเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่เสนอ การควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอ การแก้ไขปัญหาการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธี simulated annealing และสุดท้ายจะสรุปขั้นตอนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอ

3.1 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

ทำการพิจารณาในระบบ TDMA อย่าง GPRS ซึ่งในทางปฏิบัติ ระบบไร้สายจะกำหนดปริมาณแบนด์วิดท์เป็นจำนวนเท่าของขนาดช่องสัญญาณหนึ่งช่องสัญญาณที่มีขนาดคงตัว ดังนั้นในที่นี้ แบนด์วิดท์จึงหมายถึงช่องสัญญาณ โดยพิจารณาระบบที่ให้ลำดับความสำคัญของการเรียกแบบเวลาจริงสูงกว่าการเรียกแบบไม่ใช่เวลาจริง ซึ่งสามารถดึงช่องสัญญาณ (preemption) จากการเรียกแบบไม่ใช่เวลาจริงมาใช้ได้ถ้าไม่มีช่องสัญญาณเหลืออยู่ในระบบเลยโดยไม่ต้องพิจารณาถึงความพึงพอใจของผู้ใช้ เนื่องจากการเรียกแบบไม่ใช่เวลาจริงไม่มีการรับประกันจำนวนช่องสัญญาณ ส่วนการเรียกแบบเวลาจริงจะมีระดับจำนวนช่องสัญญาณที่ระบบรับประกันว่าต้องให้ไม่ต่ำกว่าระดับที่กำหนด ฉะนั้นเราจึงสนใจการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับการเรียกแบบเวลาจริงเป็นหลัก

พิจารณาระบบที่สามารถรองรับการเรียกได้หลายระดับการให้บริการและแบ่งระดับการให้บริการของการเรียกแบบเวลาจริงออกเป็นจำนวน K ระดับการให้บริการตามลักษณะทราฟฟิกและจำนวนช่องสัญญาณที่ร้องขอหรือคาดหวัง โดยการให้บริการแต่ละระดับการให้บริการบ่งบอกถึงแบนด์วิดท์สูงสุด แบนด์วิดท์ที่รับประกันและคุณภาพของการให้บริการ (อัตราการบล็อกแพ็กเก็ตสูงสุดที่สามารถยอมรับได้) สอดคล้องกับอรรถประโยชน์ผู้ใช้ของการเรียก และการเรียกในระดับการให้บริการที่ i สำหรับ $1 \le i \le K$ ในภาวะปกติหรือภาวะที่ไม่ถูกลดช่องสัญญาณใช้จำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ i ช่องสัญญาณ โดยการเรียกที่อยู่ในระดับการให้บริการ $2 \le i \le K$ สามารถแบ่งเป็นการเรียกที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณหรือการเรียกที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ ซึ่งการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ มีฟังก์ชันอรรถประโยชน์ผู้ใช้ ซึ่งบ่งบอกความพึงพอใจผู้ใช้ของการเรียกในแต่ละระดับการให้บริการที่มีความต้องการคุณภาพของการให้บริการ คือ อัตราการบล็อกแพ็กเกตสูงสุดที่ยอมรับได้ ณ ระดับจำนวนช่องสัญญาณที่คาดหวัง (expected number of channels) เดียวกัน

ในการพิจารณานโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณแต่ละครั้ง การเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณสามารถถูกปรับลดช่องสัญญาณได้ทีละ 1 ช่องสัญญาณหรือมากกว่าโดยไม่เกินระดับที่รับประกันไปให้กับส่วนกลางเพื่อที่ระบบจะนำไปใช้ในการรองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการ ดังนั้นระดับจำนวนช่องสัญญาณของการเรียกที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณที่เป็นไปได้ คือ $(i, i-1, ..., i-L_{th,i})$ โดย $i-l$ คือ จำนวนช่องสัญญาณของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่ได้รับ ซึ่ง l คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกลด และ $L_{th,i}$ คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกลดได้มากสุดสำหรับระดับการให้บริการที่ i ซึ่ง $i-L_{th,i}$ คือ ระดับจำนวนช่องสัญญาณที่ระบบรับประกันคุณภาพของการให้บริการ (จำนวนช่องสัญญาณที่รับประกัน) ที่ไม่ต่ำไปกว่าระดับนี้ และให้ $(x_{id,0}, x_{id,1}, ..., x_{id,L_{th,i}})$ คือ จำนวนการเรียกที่ทำงานในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณในแต่ละระดับจำนวนช่องสัญญาณของระดับการให้บริการที่ i ที่มีอยู่ในระบบขณะนั้น โดย $x_{id,l}$ คือ จำนวนการเรียกที่ทำงานในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณของระดับการให้บริการที่ i ที่มีอยู่ในระบบขณะนั้นที่มีระดับจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ

ส่วนการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่อยู่ในภาวะไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณจะไม่ถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ รวมถึงการเรียกในระดับการให้บริการที่ 1 ด้วย และมีระดับจำนวนสัญญาณเพียงระดับเดียว คือ i ช่องสัญญาณ และ x_{in} คือ จำนวนการเรียกที่ทำงานในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดช่องสัญญาณของระดับการให้บริการที่ i ที่มีอยู่ในระบบขณะนั้น

หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2 การคำนวณหารายได้สูญเสียจากการลดจำนวนช่องสัญญาณ

รายได้สูญเสียเนื่องจากการลดจำนวนช่องสัญญาณ $C_d(i)$ สามารถคำนวณหาได้ในทำนองเดียวกับบทที่ 2 เรื่องการประมาณรายได้สูญเสียจากการลดจำนวนช่องสัญญาณ จากปัญหาของงานวิจัยในอดีตที่คำนวณรายได้สูญเสียที่เกิดจากการลดจำนวนช่องสัญญาณของแต่ละระดับการให้บริการตามช่องสัญญาณที่การเรียกนั้นได้รับ ซึ่งไม่สอดคล้องกับอรรถประโยชน์ผู้ใช้และคุณภาพของการให้บริการที่การเรียกนั้นๆต้องการ โดยในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้กำหนดให้แบบจำลองอรรถประโยชน์ผู้ใช้สำหรับการเรียกในระดับการให้บริการเดียวกันมีลักษณะทราฟฟิก ระดับจำนวนช่องสัญญาณที่คาดหวัง และความต้องการคุณภาพของการให้บริการเดียวกัน คือ อัตราการบล็อกแพ็กเกตสูงสุดที่ยอมรับได้ โดยสามารถคำนวณหาจำนวนผู้ใช้ที่ไม่พึงพอใจสำหรับการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ดังสมการ

$$C_{us,i} = H_i \int_{\tau_i}^{b_i^{\max}} f_i(x)dx \tag{3.1}$$

H_i คือ จำนวนการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่เข้ามาในระบบระหว่างชั่วโมงเร่งด่วน

$b_i^{\max}$ คือ อัตราการบล็อกแพ็กเกตสูงสุดของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ได้รับ

τ_i คือ ค่าจุดเริ่มเปลี่ยนของอัตราการบล็อกแพ็กเกตที่ทำให้ผู้ใช้ไม่พึงพอใจหรืออัตราการบล็อกแพ็กเกตสูงสุดที่สามารถยอมรับได้ของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i

$f_i(x)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่ถูกตอบรับกับอัตราการบล็อกแพ็กเกตที่ได้รับ

ดังนั้นรายได้สูญเสียโดยเฉลี่ยที่เกิดจากการลดจำนวนช่องสัญญาณจากการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่ได้รับจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ แสดงดังสมการ (3.2)

$$C_{d,l}(i) = \frac{\theta_{i,l} \cdot C_{ch,i,l}}{C_{us,i} \cdot E \cdot M} \tag{3.2}$$

E คือ จำนวนชั่วโมงเร่งด่วนต่อวัน

M คือ จำนวนวันในแต่ละเดือน

$\theta_{i,l}$ คือ จำนวนผู้ใช้ในระดับการให้บริการที่ i ที่ได้รับจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณโดยเฉลี่ยที่ออกจากระบบในแต่ละเดือน

$C_{ch,i,l}$ คือ รายได้ที่ระบบสูญเสียเนื่องจากพฤติกรรมของผู้ใช้ที่ตอบสนองต่อการถูกลดจำนวนช่องสัญญาณต่อผู้ใช้ในระดับการให้บริการที่ i ที่ได้รับจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ

ดังนั้นจะเห็นว่าฟังก์ชันอรรถประโยชน์ผู้ใช้สำหรับระดับการให้บริการที่ i จะใช้กับการเรียกที่มีความต้องการคุณภาพของการให้บริการเดียวกันเท่านั้น เนื่องจากการเรียกในแต่ละระดับการให้บริการย่อมมีคุณลักษณะและความต้องการคุณภาพของการให้บริการเช่นเดิม ถึงแม้จะถูกลดช่องสัญญาณที่ใช้งานอยู่ก็ตาม

3.3 ระบบแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่เสนอ

เราสามารถแบ่งการพิจารณาตามลักษณะของระบบออกเป็น 2 ระบบ คือ

3.3.1 ระบบแบบสถิต

เป็นระบบที่มีสัดส่วนของการเรียกที่ร้องขอการบริการในแต่ละระดับการให้บริการด้วยอัตราคงที่ จึงพิจารณาเพียงนโยบายการลดช่องสัญญาณเท่านั้น เนื่องจากข้อสมมติระบบแบบสถิตสัดส่วนของการเรียกที่จะตอบรับในแต่ละระดับการให้บริการเราทราบแล้ว โดยกำหนดให้สัดส่วนของการเรียกใหม่ในแต่ละระดับการให้บริการที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณเป็น $(\alpha_{1n}^{nw},\alpha_{2n}^{nw},...,\alpha_{Kn}^{nw})$ และการเรียกที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณเป็น $(\alpha_{2d}^{nw},\alpha_{3d}^{nw},...,\alpha_{Kd}^{nw})$ และให้สัดส่วนของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในแต่ละระดับการให้บริการที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณเป็น $(\alpha_{1n}^{h},\alpha_{2n}^{h},...,\alpha_{Kn}^{h})$ และการเรียกที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณเป็น $(\alpha_{2d}^{h},\alpha_{3d}^{h},...,\alpha_{Kd}^{h})$

- กรณีระบบมีเฉพาะการเรียกที่สามารถถูกลดช่องสัญญาณได้ทุกการเรียก

เมื่อระบบไม่มีช่องสัญญาณเหลือที่จะรองรับการเรียกทั้งหมดที่ร้องขอการบริการ และการเรียกตั้งแต่ระดับการให้บริการที่ 2 สามารถทำงานในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณได้ทุกการเรียก เราสามารถหาจำนวนการเรียกที่ถูกตอบรับได้สำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟและการเรียกใหม่ ในทำนองเดียวกับสมการ (2.2) แสดงดังสมการ (3.3) และ (3.4) ตามลำดับ

$$N_a^h(\alpha_1^h + \sum_{i=2}^{K}(i-z_i)\alpha_i^h) = \sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1} y_{i,l}^h$$

$$N_a^h = \frac{\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1} y_{i,l}^h}{\alpha_1^h + \sum_{i=2}^{K}(i-z_i)\alpha_i^h} \tag{3.3}$$

$$N_a^{nw}(\alpha_1^{nw} + \sum_{i=2}^{K}(i-z_i)\alpha_i^{nw}) = \sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1} y_{i,l}^{nw}$$

$$N_a^{nw} = \frac{\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1} y_{i,l}^{nw}}{\alpha_1^{nw} + \sum_{i=2}^{K}(i-z_i)\alpha_i^{nw}} \tag{3.4}$$

$y_{i,l}^h$ คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกลดมาจากการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่มีจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ ซึ่งถูกใช้โดยการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ

$y_{i,l}^{nw}$ คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกลดมาจากการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่มีจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ ซึ่งถูกใช้โดยการเรียกใหม่

z_i คือ จำนวนช่องสัญญาณสูงสุดที่ถูกลด ณ ปัจจุบันของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ซึ่งสามารถหาได้ ดังสมการ

$$z_i = \max\{l : x_{id,l} \neq 0\}; 0 \le l \le L_{th,i} \tag{3.5}$$

- กรณีระบบมีทั้งการเรียกที่สามารถถูกลดช่องสัญญาณได้และไม่สามารถถูกลดช่องสัญญาณได้

เมื่อระบบไม่มีช่องสัญญาณเหลือที่จะรองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการและการเรียกตั้งแต่ระดับการให้บริการที่ 2 สามารถเลือกทำงานในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณหรือภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ ดังนั้นเราสามารถหาจำนวนการเรียกที่ถูกตอบรับและทำงานในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ N_{an} ได้ ดังนี้

$$N_{an}^h \sum_{i=1}^{K} i\alpha_{in}^h = \sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1} y_{in,l}^h$$

$$N_{an}^h = \frac{\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1} y_{in,l}^h}{\sum_{i=1}^{K} i\alpha_{in}^h} \tag{3.6}$$

$$N_{an}^{nw} \sum_{i=1}^{K} i\alpha_{in}^{nw} = \sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1} y_{in,l}^{nw}$$

$$N_{an}^{nw} = \frac{\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1} y_{in,l}^{nw}}{\sum_{i=1}^{K} i\alpha_{in}^{nw}} \tag{3.7}$$

$$N_{an} = N_{an}^h + N_{an}^{nw} \tag{3.8}$$

$y_{in,l}^{h}$ คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกลดจากการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่มีระดับช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ ซึ่งถูกใช้โดยการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ

$y_{in,l}^{nw}$ คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกลดจากการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่มีระดับช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ ซึ่งถูกใช้โดยการเรียกใหม่ที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ

ส่วนจำนวนการเรียกที่ถูกตอบรับและอยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ N_{ad} แสดงดังสมการ

$$N_{ad}^{h}\sum_{i=2}^{K}(i-z_i)\alpha_{id}^{h}=\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}y_{id,l}^{h}$$
$$N_{ad}^{h}=\frac{\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}y_{id,l}^{h}}{\sum_{i=2}^{K}(i-z_i)\alpha_{id}^{h}} \tag{3.9}$$

$$N_{ad}^{nw}\sum_{i=2}^{K}(i-z_i)\alpha_{id}^{nw}=\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}y_{id,l}^{nw}$$
$$N_{ad}^{nw}=\frac{\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}y_{id,l}^{nw}}{\sum_{i=2}^{K}(i-z_i)\alpha_{id}^{nw}} \tag{3.10}$$

$$N_{ad}=N_{ad}^{h}+N_{ad}^{nw} \tag{3.11}$$

$y_{id,l}^{h}$ คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกลดจากการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่มีระดับช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ ซึ่งถูกใช้โดยการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ

$y_{id,l}^{nw}$ คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกลดจากการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่มีระดับช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ ซึ่งถูกใช้โดยการเรียกใหม่ที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ

ในทำนองเดียวกับสมการ (2.4) เราสามารถหาจำนวนการเรียกของระดับการให้บริการที่ i ทั้งหมดที่อยู่ในภาวะไม่สามารถถูกลดช่องสัญญาณและสามารถถูกลดช่องสัญญาณในระบบและที่ตอบรับเข้ามา ดังสมการ

$$N_{in}(X_{in};Y_{in}) = x_{in} + \alpha_{in}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1} y_{jn,l}^{h}}{\sum_{j=1}^{K} j\alpha_{jn}^{h}}\right) + \alpha_{in}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1} y_{jn,l}^{nw}}{\sum_{j=1}^{K} j\alpha_{jn}^{nw}}\right); 1 \le i \le K \quad (3.12)$$

$$N_{id}(X_{id};Y_{id}) = \sum_{l=0}^{L_{th,i}} x_{id,l} + \alpha_{id}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1} y_{jd,l}^{h}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_j)\alpha_{jd}^{h}}\right) + \alpha_{id}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1} y_{jd,l}^{nw}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_j)\alpha_{jd}^{nw}}\right); 2 \le i \le K \quad (3.13)$$

และจำนวนการเรียกของระดับการให้บริการที่ i ทั้งหมดในระบบและการเรียกที่ถูกตอบรับที่ถูกลดจำนวนช่องสัญญาณเป็นดังสมการ

$$N_i'(Y_{id};Y_{in}) = y_{id} + y_{in} + \alpha_{id}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1} y_{jd,l}^{h}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_j)\alpha_{jd}^{h}}\right) + \alpha_{id}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1} y_{jd,l}^{nw}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_j)\alpha_{jd}^{nw}}\right); 2 \le i \le K \quad (3.14)$$

จากสมการ (3.5), (3.6) แทนลงในสมการ (3.7) ฉะนั้นรายได้สุทธิที่ระบบได้รับจากการใช้นโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณสามารถหาได้ แสดงดังสมการ

$$\Phi\left(Y_{id}^{h};Y_{id}^{nw};Y_{in}^{h};Y_{in}^{nw}\right)=\sum_{i=1}^{K}C_{gn}(i)\left(x_{in}+\alpha_{in}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jn,l}^{h}}{\sum_{j=1}^{K}j\alpha_{jn}^{h}}\right)+\alpha_{in}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jn,l}^{nw}}{\sum_{j=1}^{K}j\alpha_{jn}^{nw}}\right)\right)$$

$$+\sum_{i=2}^{K}C_{gd}(i)\left(\sum_{l=0}^{L_{th,i}}x_{id,l}+\alpha_{id}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{h}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_j)\alpha_{jd}^{h}}\right)+\alpha_{id}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{nw}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_j)\alpha_{jd}^{nw}}\right)\right)$$

$$-\frac{1}{2}\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}C_{d,l}(i)\left(y_{id,l}+y_{in,l}+\alpha_{id}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{h}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_j)\alpha_{jd}^{h}}\right)+\alpha_{id}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{nw}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_j)\alpha_{jd}^{nw}}\right)\right)$$

$$\times\left(1+y_{id,l}+y_{in,l}+\alpha_{id}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{h}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_j)\alpha_{jd}^{h}}\right)+\alpha_{id}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{nw}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_j)\alpha_{jd}^{nw}}\right)\right) \quad (3.15)$$

ภายใต้เงื่อนไขค่าไม่เป็นลบและข้อจำกัด สำหรับ $2\le i\le K$ และ $0\le l\le L_{th,i}-1$ คือ

1) $y_{id,l}=y_{id,l}^{h}+y_{id,l}^{nw}$

2) $y_{in,l}=y_{in,l}^{h}+y_{in,l}^{nw}$

3) $y_{in,l}+y_{id,l}\le x_{id,l}$

4) $\sum_{i=1}^{K}ix_{in}+\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}}(i-l)x_{ia,l}-\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}y_{in,l}\le C$

$C_{gn}(i)$ คือ รายได้ที่ได้รับจากแต่ละการเรียกในระดับการเรียกที่ i ที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ

$C_{gd}(i)$ คือ รายได้ที่ได้รับจากแต่ละการเรียกในระดับการเรียกที่ i ที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ

$C_{d,l}(i)$ คือ รายได้ที่สูญเสียไปเนื่องจากการลดจำนวนช่องสัญญาณแต่ละการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่มีจำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ $i-l$ ช่องสัญญาณ

3.3.2 ระบบแบบพลวัต

เป็นระบบที่มีสัดส่วนของการเรียกที่ร้องขอการบริการในแต่ละระดับการให้บริการเป็นแบบไม่คงที่ ดังนั้นระบบจึงต้องทำการพิจารณาการควบคุมการตอบรับการเรียกและการปรับลดแบนด์วิดท์ร่วมกัน โดยให้ r_{in}^{h},r_{id}^{h} คือ จำนวนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในระดับการให้บริการที่ i ที่ร้องขอการบริการที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณและภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณตามลำดับ และ r_{in}^{nw}, r_{id}^{nw} คือ จำนวนการเรียกใหม่ในระดับการให้บริการที่ i ที่ร้องขอการบริการที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณและภาวะที่

สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณตามลำดับ ส่วน a_{in}^{h}, a_{id}^{h} คือ จำนวนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในระดับการให้บริการที่ i ที่ถูกตอบรับในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณและภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณตามลำดับ และ a_{in}^{nw}, a_{id}^{nw} คือ จำนวนการเรียกใหม่ในระดับการให้บริการที่ i ที่ถูกตอบรับในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณและภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณตามลำดับ ซึ่งรายได้สุทธิที่ระบบได้รับจากการใช้นโยบายการควบคุมการตอบรับการเรียกร่วมกับการลดจำนวนช่องสัญญาณสามารถคำนวณหาได้ ดังสมการ

$$\Phi(A_{id}^{h};A_{id}^{nw};A_{in}^{h};A_{in}^{nw};Y)=\sum_{i=1}^{K}C_{gn}(i)\left(x_{in}+a_{in}^{h}+a_{in}^{nw}\right)+\sum_{i=2}^{K}C_{gd}(i)\left(\sum_{l=0}^{L_{th,i}}x_{id,l}+a_{id}^{h}+a_{id}^{nw}\right)$$

$$-\frac{1}{2}\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}C_{d,l}(i)\left(y_{i,l}+a_{id}^{h}+a_{id}^{nw}\right)\left(y_{i,l}+a_{id}^{h}+a_{id}^{nw}+1\right) \tag{3.16}$$

ภายใต้เงื่อนไขค่าไม่เป็นลบและข้อจำกัด คือ

1) $y_{i,l}\le x_{id,l}(\forall i,l\mid 2\le i\le K,0\le l\le L_{th,i}-1)$

2) $\sum_{i=2}^{K}(a_{id}^{h}+a_{id}^{nw})(i-z_i)+\sum_{i=1}^{K}(a_{in}^{h}+a_{in}^{nw})i\le C-\sum_{i=1}^{K}ix_{in}-\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}}(i-l)x_{id,l}+\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}y_{i,l}$

3) $a_{id}^{h}\le r_{id}^{h};2\le i\le K$

4) $a_{in}^{h}\le r_{in}^{h};1\le i\le K$

5) $a_{id}^{nw}\le r_{id}^{nw};2\le i\le K$

6) $a_{in}^{nw}\le r_{in}^{nw};1\le i\le K$

3.4 การควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอ

3.4.1 การให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟโดยการถ่วงน้ำหนัก

เนื่องจากเราให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟมีความสำคัญสูงกว่าการเรียกที่เกิดขึ้นใหม่ จึงกำหนดพารามิเตอร์ เพื่อบ่งบอกความสำคัญของการเรียกเข้าที่แตกต่างกัน โดยกำหนด w^{h},w^{nw} คือ ลำดับความสำคัญถ่วงน้ำหนัก (weighted priority) สำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟและสำหรับการเรียกใหม่ [8] ตามลำดับ ดังนั้นรายได้สุทธิเสมือน (virtual net revenue) ที่ระบบได้รับเป็นดังสมการ

- กรณีระบบแบบสถิต

$$\Phi\left(Y_{id}^{h};Y_{id}^{nw};Y_{in}^{h};Y_{in}^{nw}\right)=\sum_{i=1}^{K}C_{gn}(i)\left(x_{in}+w^{h}\alpha_{in}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jn,l}^{h}}{\sum_{j=1}^{K}j\alpha_{jn}^{h}}\right)+w^{nw}\alpha_{in}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jn,l}^{nw}}{\sum_{j=1}^{K}j\alpha_{jn}^{nw}}\right)\right)$$

$$+\sum_{i=2}^{K}C_{gd}(i)\left(\sum_{l=0}^{L_{th,i}}x_{id,l}+w^{h}\alpha_{id}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{h}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{h}}\right)+w^{nw}\alpha_{id}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{nw}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{nw}}\right)\right)$$

$$-\frac{1}{2}\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}C_{d,l}(i)\left(y_{id,l}+y_{in,l}+w^{h}\alpha_{id}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{h}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{h}}\right)+w^{nw}\alpha_{id}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{nw}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{nw}}\right)\right)$$

$$\times\left(1+y_{id,l}+y_{in,l}+w^{h}\alpha_{id}^{h}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{h}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{h}}\right)+w^{nw}\alpha_{id}^{nw}\left(\frac{\sum_{j=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,j}-1}y_{jd,l}^{nw}}{\sum_{j=2}^{K}(j-z_{j})\alpha_{jd}^{nw}}\right)\right) \quad (3.17)$$

ภายใต้เงื่อนไขค่าไม่เป็นลบและข้อจำกัดสำหรับ $2\le i\le K$ และ $0\le l\le L_{th,i}-1$ คือ

1) $y_{id,l}=y_{id,l}^{h}+y_{id,l}^{nw}$

2) $y_{in,l}=y_{in,l}^{h}+y_{in,l}^{nw}$

3) $y_{in,l}+y_{id,l}\le x_{id,l}$

4) $\sum_{i=1}^{K}ix_{in}+\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}}(i-l)x_{id,l}-\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}y_{in,l}\le C$

- กรณีระบบพลวัต

จากสมการ (3.16) เราสามารถหา

1) เวคเตอร์การตอบรับสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ

$A_{n}^{h}=[a_{1n}^{h},a_{2n}^{h},...,a_{Kn}^{h}]$ และ $A_{d}^{h}=[a_{2d}^{h},a_{3d}^{h},...,a_{Kd}^{h}]$

2) เวคเตอร์การตอบรับสำหรับการเรียกใหม่

$A_{n}^{nw}=[a_{1n}^{nw},a_{2n}^{nw},...,a_{Kn}^{nw}]$ และ $A_{d}^{nw}=[a_{2d}^{nw},a_{3d}^{nw},...,a_{Kd}^{nw}]$

3) จำนวนการเรียกที่ถูกลดจำนวนช่องสัญญาณในแต่ละระดับของการให้บริการ

$Y=[y_{2,0},y_{2,L_{th,2}-1},y_{3,0},y_{3,1},...,y_{3,L_{th,3}-1},...,y_{K,L_{th,K}-1}]$

ดังนั้นในการหานโยบายการตอบรับและนโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณที่เหมาะสมที่สุด คือ การหาผลเฉลยปัญหา $S=\{A_{n}^{h},A_{d}^{h},A_{n}^{nw},A_{d}^{nw},Y\}$ ที่ให้ค่าฟังก์ชันรายได้สุทธิเสมือนของระบบมากที่สุดที่ให้ความสำคัญระหว่างการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับการเรียกใหม่แตกต่างกัน โดยฟังก์ชันรายได้สุทธิเสมือนของระบบแสดงดังสมการ

$$\Phi\left(A_{id}^{h};A_{id}^{nw};A_{in}^{h};A_{in}^{nw};Y\right)=\sum_{i=1}^{K}C_{gn}(i)\left(x_{in}+w^{h}a_{in}^{h}+w^{nw}a_{in}^{nw}\right)$$
$$+\sum_{i=2}^{K}C_{gd}(i)\left(\sum_{l=0}^{L_{th,i}}x_{id,l}+w^{h}a_{id}^{h}+w^{nw}a_{id}^{nw}\right)$$
$$-\frac{1}{2}\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}C_{d,l}(i)\left(y_{i,l}+w^{h}a_{id}^{h}+w^{nw}a_{id}^{nw}\right)\left(y_{i,l}+w^{h}a_{id}^{h}+w^{nw}a_{id}^{nw}+1\right) \quad (3.18)$$

ภายใต้เงื่อนไขค่าไม่เป็นลบและข้อจำกัด คือ

1) $y_{i,l}\le x_{id,l}(\forall i,l\mid 2\le i\le K,0\le l\le L_{th,i}-1)$

2) $\sum_{i=2}^{K}(a_{id}^{h}+a_{id}^{nw})(i-z_i)+\sum_{i=1}^{K}(a_{in}^{h}+a_{in}^{nw})i\le C-\sum_{i=1}^{K}ix_{in}-\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}}(i-l)x_{id,l}+\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}-1}y_{i,l}$

3) $a_{id}^{h}\le r_{id}^{h};2\le i\le K$

4) $a_{in}^{h}\le r_{in}^{h};1\le i\le K$

5) $a_{id}^{nw}\le r_{id}^{nw};2\le i\le K$

6) $a_{in}^{nw}\le r_{in}^{nw};1\le i\le K$

3.4.2 การพิจารณานโยบายการตอบรับและการลดจำนวนช่องสัญญาณด้วยอุปสงค์ผู้ใช้เป็นช่วงเวลาที่แตกต่างกันระหว่างการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟกับการเรียกใหม่

เงื่อนไขที่ทำให้นโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณเกิดขึ้น คือ จำนวนช่องสัญญาณของการเรียกที่ร้องขอการบริการมากกว่าจำนวนช่องสัญญาณที่เหลืออยู่ในระบบ แสดงดังสมการ

$$C-\sum_{i=1}^{K}ix_{in}+\sum_{i=2}^{K}\sum_{l=0}^{L_{th,i}}(i-l)x_{id,l}<\sum_{i=1}^{K}ir_i \quad (3.19)$$

$R=(r_1,r_2,...,r_K)$ คือ จำนวนการเรียกในแต่ละระดับการให้บริการที่ร้องขอการบริการ

เมื่อไม่มีช่องสัญญาณเหลืออยู่ในระบบพอที่จะรองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการได้ สถานีฐานจะต้องทำการลดจำนวนช่องสัญญาณจากการเชื่อมต่อที่มีอยู่ในระบบ โดยการเรียกที่เข้ามาในระบบ ณ เวลา t ใดๆจะถูกเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ ซึ่งแยกบัฟเฟอร์เป็น 2 บัฟเฟอร์สำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟและการเรียกใหม่ เพื่อพิจารณานโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณเป็นช่วงเวลาในการรอคอย (waiting time) สำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่ากับ T_h หน่วยเวลา เพื่อลดผลกระทบที่อาจเกิดจากผู้ใช้ที่เคลื่อนที่กลับเซลล์เดิม ซึ่งมีผลต่อจำนวนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ (ping pong effect) และพิจารณาการตอบรับการเรียกร่วมกับการลดแบนด์วิดท์ที่

ทำให้ระบบได้รับรายได้สุทธิสูงสุด โดยพิจารณาช่วงเวลาในการรอคอยสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่สั้น ส่วนช่วงเวลาในการเข้าแถวคอยสำหรับการเรียกใหม่ T_{nw} หน่วยเวลาจะถูกพิจารณานโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณด้วยช่วงเวลาในการรอคอยที่นานกว่า โดยให้ความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟมากกว่า ซึ่งเราสามารถแบ่งเหตุการณ์ในการพิจารณาออกเป็น 2 กรณี ดังนี้

- ช่วงเวลา $[t, t+T_h]$ หรือ $[t, t+T_{nw}]$

เมื่อครบระยะเวลาในการรอคอยของแต่ละเหตุการณ์ ระบบจะต้องพิจารณานโยบายการตอบรับสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟหรือการเรียกใหม่ และนโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณ เพื่อหาจำนวนการเรียกที่ถูกตอบรับในแต่ละระดับการให้บริการที่เหมาะสมที่สุด ไปพร้อมๆกับการหาจำนวนการเชื่อมต่อในแต่ระดับการให้บริการที่ต้องถูกลดช่องสัญญาณว่าเป็นเท่าใดจึงทำให้ระบบได้รับรายได้สุทธิสูงสุด โดยการหาค่าสูงสุดของสมการ (3.18)

- ช่วงเวลา $[t, t+T_h]$ ซ้อนทับกับ $[t', t'+T_{nw}]$

ระยะเวลาสิ้นสุดในการรอคอยของแต่ละเหตุการณ์ในทั้งสองบัฟเฟอร์เกิดขึ้นพร้อมกัน กรณีนี้ระบบจะต้องพิจารณานโยบายการตอบรับที่ให้ความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟด้วยวิธีการถ่วงน้ำหนัก [8] ที่มากกว่าการเรียกใหม่และนโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณร่วมกัน เพื่อหาจำนวนการเรียกที่ถูกตอบรับในแต่ละระดับการให้บริการที่เหมาะสมที่สุดไปพร้อมๆกับการหาจำนวนการเชื่อมต่อในแต่ระดับการให้บริการที่ต้องถูกลดจำนวนช่องสัญญาณว่าเป็นเท่าใดจึงทำให้ระบบได้รับรายได้สุทธิสูงสุด โดยการหาค่าสูงสุดของสมการ (3.18)

3.5 การแก้ไขปัญหาการหาค่าเหมาะสม

จากฟังก์ชันรายได้สุทธิที่แสดงในหัวข้อที่ผ่านมา เราสามารถแสดงความซับซ้อนของปัญหาในรูปแบบของจำนวนของตัวแปรผลเฉลยที่ต้องการหาและจำนวนข้อจำกัดที่ใช้ในการแก้ปัญหา ดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ความซับซ้อนของปัญหา

ลักษณะระบบ	ผลเฉลยปัญหาที่ต้องการหา	จำนวนตัวแปร	จำนวนข้อจำกัด	หมายเหตุ
แบบสถิต	การเรียกที่ถูกลดช่องสัญญาณและถูกใช้โดยการเรียกใหม่	$2(K-1)$	$3K-2$	ระบบทำการลดช่องสัญญาณทีละ 1 ช่องสัญญาณต่อการพิจารณานโยบาย
	การเรียกที่ถูกลดช่องสัญญาณและถูกใช้โดยการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟและการเรียกใหม่ (ที่เสนอ)	$4\sum_{i=2}^{K} L_{th,i}$	$5\sum_{i=2}^{K} L_{th,i}+1$	ระบบทำการลดช่องสัญญาณทีละมากกว่า 1 ช่องสัญญาณต่อการพิจารณานโยบาย
		$2K(K-1)$	$\frac{5K}{2}(K-1)+1$	และเมื่อกำหนดระดับจำนวนช่องสัญญาณที่สามารถลดได้สูงสุดเท่ากับ $i-1$ สำหรับระดับการให้บริการที่ 2 ขึ้นไป
แบบพลวัต	การเรียกใหม่และการเรียกที่ถูกลดช่องสัญญาณ	$3K-2$	$6K-3$	ระบบทำการลดช่องสัญญาณทีละ 1 ช่องสัญญาณต่อการพิจารณานโยบาย
	การเรียกใหม่การเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟและการเรียกที่ถูกลดช่องสัญญาณ(ที่เสนอ)	$4K-2+\sum_{i=2}^{K} L_{th,i}$	$8K-4+2\sum_{i=2}^{K} L_{th,i}+1$	ระบบทำการลดช่องสัญญาณทีละมากกว่า 1 ช่องสัญญาณต่อการพิจารณานโยบาย
		$\frac{K}{2}(K+7)-2$	$K(K+7)-3$	และเมื่อกำหนดระดับจำนวนช่องสัญญาณที่สามารถลดได้สูงสุดเท่ากับ $i-1$ สำหรับระดับการให้บริการที่ 2 ขึ้นไป

K คือ จำนวนของระดับการให้บริการ

$L_{th,i}$ คือ จำนวนของระดับการลดแบนด์วิดท์ของระดับการให้บริการที่ i ใดๆ

จากตารางที่ 3.1 จะเห็นว่าระดับความซับซ้อนของปัญหาเพิ่มจากเชิงเส้นเป็นกำลังสองของจำนวนระดับการให้บริการ ซึ่งในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่มีความซับซ้อนของปัญหาประกอบกับความไม่เป็นอิสระต่อกันของสมการข้อจำกัดนั้นวิธีการที่เป็นไปได้ คือ วิธีการแก้ไขปัญหาการหาค่าเหมาะสมแบบฮิวริสติก (heuristic) โดยเลือกใช้แนวคิดการแก้ไขปัญหาการหาค่าความเหมาะสมด้วยวิธี simulated annealing [8], [10] มาใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสม

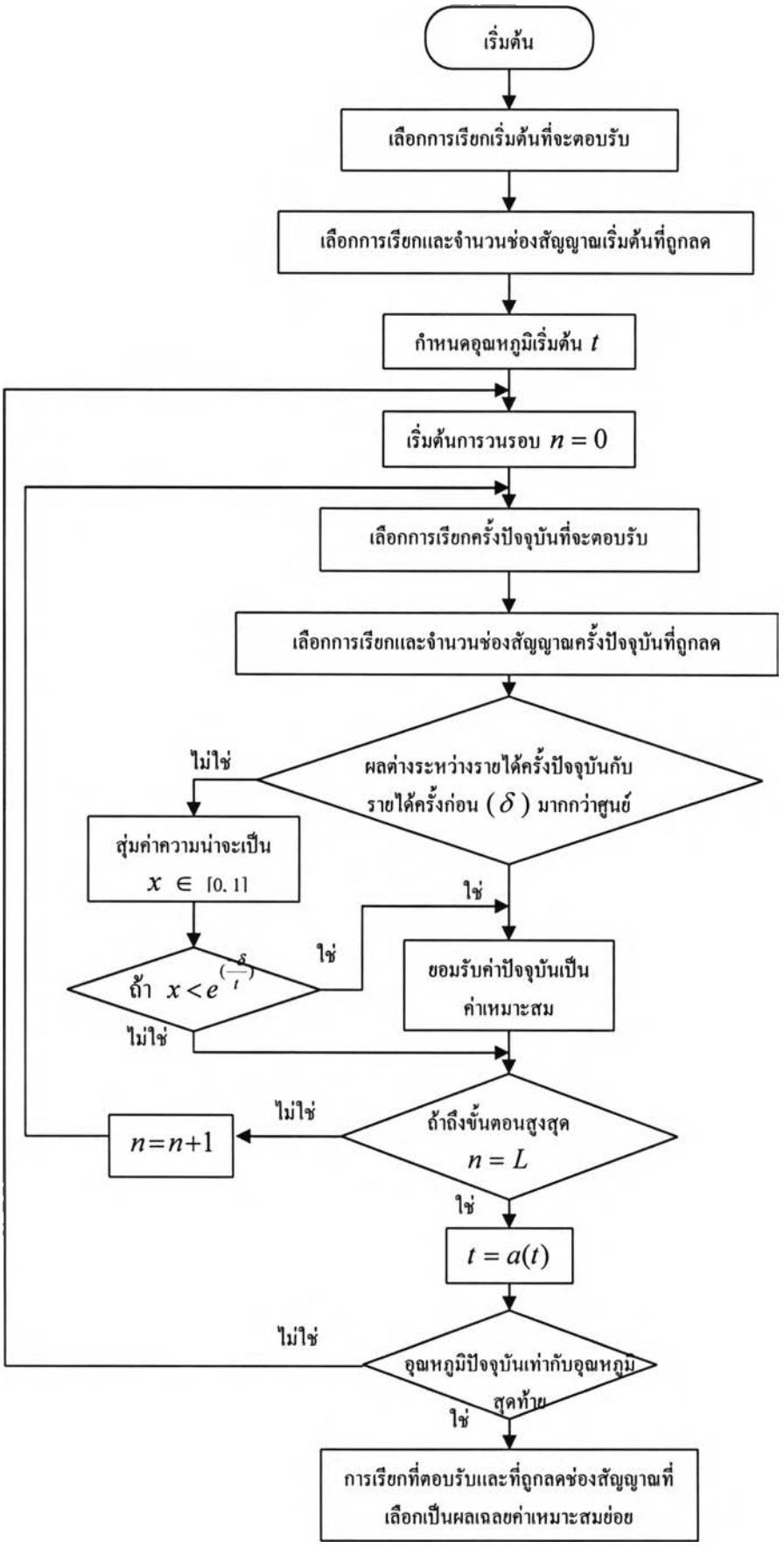
แนวคิดหลักของวิธีนี้มาจากการจำลองการเย็นตัวลงของวัสดุในอ่างความร้อนซึ่งหลักการนี้ถูกนำมาใช้ในการการหาค่าความเหมาะสมสำหรับฟังก์ชันไม่ต่อเนื่อง พารามิเตอร์หลักที่ใช้ คือ อุณหภูมิ และปัจจัยการเย็นตัว (cooling factor)โดยขณะที่ทำการหาค่าอัลกอริทึม พารามิเตอร์อุณหภูมิจะถูกลดค่าลงเป็นช่วงๆด้วยค่าปัจจัยการเย็นตัวจนกระทั่งถึงอุณหภูมิสุดท้าย (final temperature) ในแต่ละช่วง ตัวแปรจะถูกเลือกโดยการสุ่มและเปลี่ยนค่าไปเรื่อยๆ ในขณะที่ตัวแปรที่สุ่มเลือกมานั้นจะต้องอยู่ภายใต้ข้อจำกัดและเงื่อนไข (constraint) ถ้าตัวแปรที่เลือกให้ผลเฉลยปัญหาที่ดีกว่าครั้งก่อนหน้า อัลกอริทึมจะยอมรับค่านี้แต่ถ้าไม่ใช่จะทำการสุ่มค่าในการยอมรับด้วยความน่าจะเป็นค่าหนึ่ง ณ อุณหภูมิปัจจุบันที่ทำการพิจารณา

การแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธี simulated annealing สามารถสรุปเป็นขั้นตอน ดังรูปที่ 3.1 โดยเริ่มต้นจากทำการกำหนดการเรียกเริ่มต้นที่จะถูกตอบรับ และหาการเรียกในระบบรวมถึงจำนวนแบนด์วิดท์ที่ต้องถูกลดสอดคล้องกับจำนวนแบนด์วิดท์ที่ต้องใช้ในการตอบรับการเรียก แล้วคำนวณหารายได้สุทธิและกำหนดอุณหภูมิเริ่มต้น t

เริ่มต้นการวนรอบ $n = 0$ ในแต่ละรอบจะเลือกการเรียกที่จะตอบรับและการเรียกที่ถูกลดแบนด์วิดท์โดยการสุ่มเทียมหรือกึ่งสุ่ม (pseudo-random or semi-random) เนื่องจากความพึ่งพิงกันหรือความไม่เป็นอิสระของตัวแปร ดังนี้

- ตอบรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ และลดแบนด์วิดท์จากการเรียกในระบบโดยการสุ่ม
- ตอบรับการเรียกใหม่ และลดแบนด์วิดท์จากการเรียกในระบบโดยการสุ่ม
- ยกเลิกการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่เพิ่งตอบรับมาจากการสุ่มตอบรับ
- ยกเลิกการเรียกใหม่ที่เพิ่งตอบรับมาจากการสุ่มตอบรับ
- ปรับเปลี่ยนการเรียกในระบบที่ถูกลดแบนด์วิดท์โดยสอดคล้องกับแบนด์วิดท์ที่ต้องใช้

เมื่อทำการสุ่มเลือกเสร็จ ทำการคำนวณหารายได้สุทธิครั้งปัจจุบันเทียบกับรายได้สุทธิครั้งก่อนหน้า ถ้าผลต่าง δ ที่ได้มากกว่าศูนย์ ทำการยอมรับค่าปัจจุบันเป็นค่าเหมาะสม แต่ถ้าผลต่างน้อยกว่าศูนย์ ให้ทำการสุ่มค่าความน่าจะเป็นตั้งแต่ 0 ถึง 1 เทียบกับ $e^{-\delta/t}$ ถ้าค่าที่สุ่มน้อยกว่าจึงยอมรับเป็นค่าเหมาะสม จากนั้นทำการวนรอบเพิ่มเป็น $n+1$ จนกระทั่งครบ L รอบ จึงลดอุณหภูมิ t ลงตามสมการ $a(t)$ ซึ่งอาจเป็นฟังก์ชันลดแบบเชิงเส้น $(t \leftarrow (t-\alpha); 0 < \alpha < t)$ หรือ



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธี simulated annealing

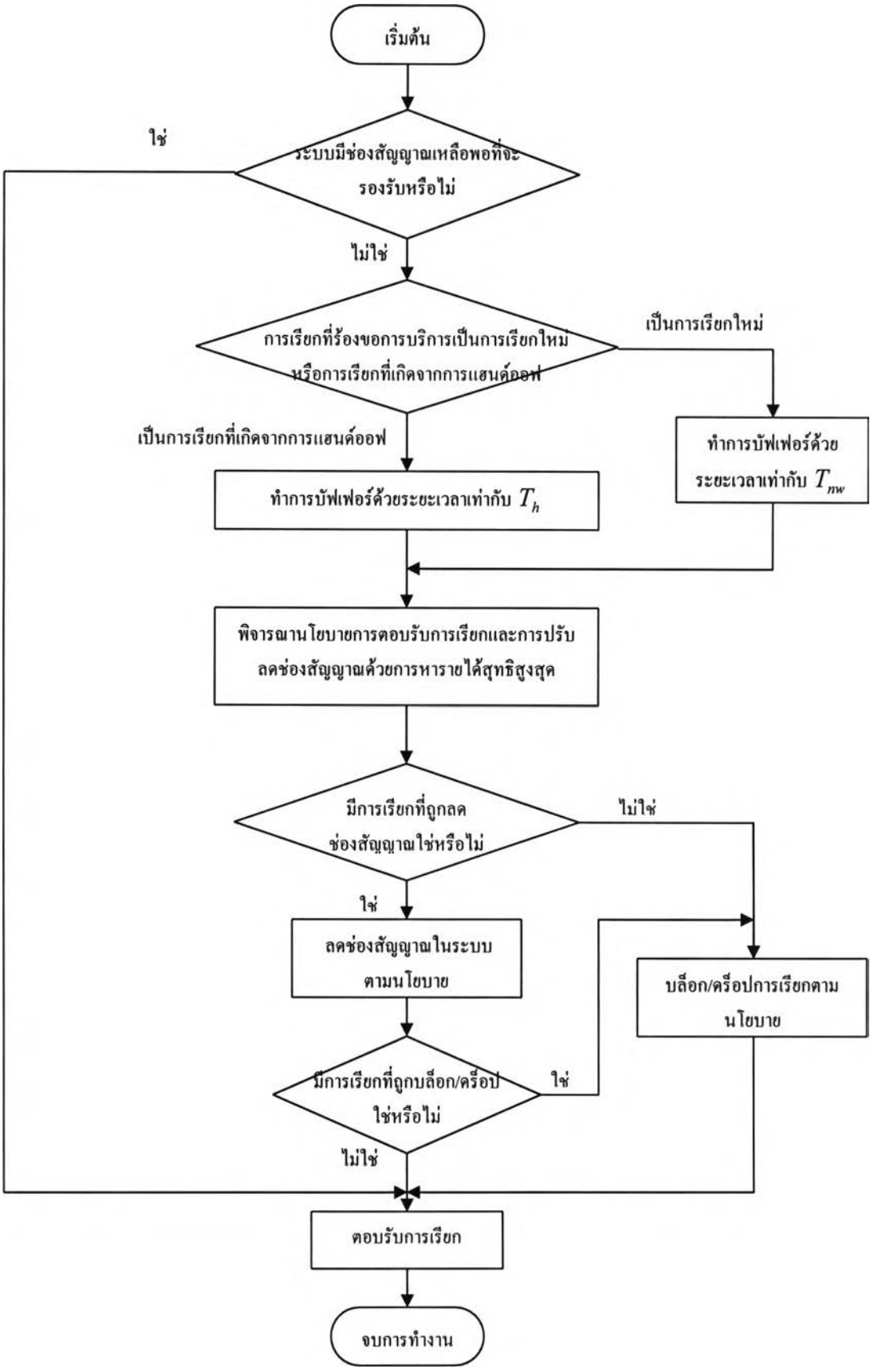
แบบเรขาคณิต ($t \leftarrow \alpha t; 0 < \alpha < t$) แล้วเริ่มตั้งต้นการวนรอบ $n = 0$ จนกระทั่งถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่กำหนด T_f ซึ่งค่าสุดท้ายที่ได้ คือ ผลเฉลยค่าเหมาะสมย่อย (sub-optimal solution)

3.6 ขั้นตอนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอ

แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอสามารถสรุปเป็นขั้นตอนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก ดังรูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทำงานเริ่มต้นเมื่อมีการเรียกที่ร้องขอการบริการ ถ้าระบบมีช่องสัญญาณเหลือพอที่จะรองรับการเรียกนั้น ระบบจะทำการตอบรับการเรียกแต่ถ้าระบบไม่มีช่องสัญญาณเหลือพอ ระบบจะต้องพิจารณานโยบายการปรับลดแบนด์วิดท์ในระบบเพื่อทำการตอบรับการเรียกที่ร้องขอการบริการ ซึ่งการเรียกจะต้องรอคอยในบัฟเฟอร์ด้วยระยะเวลาหนึ่ง โดยระบบจะแยกบัฟเฟอร์ในการรอคอยสำหรับการเรียกใหม่และการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟออกจากกันด้วยระยะเวลาในการรอคอยของทั้งสองบัฟเฟอร์แตกต่างกันจนกระทั่งครบระยะเวลาการรอคอย T_{nw} หน่วยเวลาสำหรับการเรียกใหม่และ T_h หน่วยเวลาสำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ

โดยในช่วงเวลาที่มีการบัฟเฟอร์การเรียก ระบบจะต้องเก็บค่าจำนวนการเรียกใหม่และการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟในแต่ละระดับการให้บริการ และเมื่อครบระยะเวลาการรอคอยในบัฟเฟอร์ระบบจะต้องหาจำนวนการเรียกในแต่ละระดับการให้บริการและในแต่ละระดับช่องสัญญาณที่มีอยู่ในระบบ เพื่อหาจำนวนช่องสัญญาณที่สามารถปรับลดได้และระดับช่องสัญญาณปัจจุบันที่การเรียกในแต่ละระดับการให้บริการได้รับ จากนั้นระบบจะพิจารณากระบวนการการควบคุมการตอบรับด้วยการเลือกการเรียกจากการเรียกที่ร้องขอการบริการทั้งหมดในบัฟเฟอร์ที่ครบระยะเวลาการรอคอยที่ทำให้ผลต่างระหว่างรายได้และรายได้สูญเสียจากการพิจารณาการปรับลดแบนด์วิดท์จากการเรียกที่ทำให้ระบบได้รับค่ารายได้สุทธิสูงสุด

เมื่อระบบคำนวณหานโยบายการปรับลดแบนด์วิดท์และการตอบรับการเรียกได้แล้ว จะทำการปรับลดแบนด์วิดท์จากการเรียกในระบบตามนโยบายการปรับลดแบนด์วิดท์ และทำการตอบรับการเรียกที่ร้องขอการบริการตามนโยบายการตอบรับการเรียกด้วยการจัดสรรแบนด์วิดท์ตามระดับจำนวนช่องสัญญาณที่เท่ากับการเรียกในระดับการให้บริการเดียวกันในระบบ ซึ่งได้แบนด์วิดท์ส่วนนี้มาจากนโยบายการปรับลดแบนด์วิดท์



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่เสนอ

I22965890