หอสมุดกลาง ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้อง

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสนอแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกในโครงข่ายไร้สายที่รองรับทราฟฟิกสื่อประสมเพื่อสนับสนุนการเรียกที่เกิดจากการประยุกต์ใช้งานประเภทสื่อประสมที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยพิจารณาให้ลำดับความสำคัญของการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟสูงกว่าการเรียกใหม่และจัดสรรแบนด์วิดท์อย่างยุติธรรมสำหรับการเรียกภายในระดับการให้บริการเดียวกัน ดังนั้นในบทนี้ซึ่งว่าด้วยทฤษฎีและแนวคิดที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยจะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับลักษณะและการทำงานของโครงข่ายไร้สาย การวัดสมรรถนะของการให้บริการ รวมไปถึงวิธีในการจัดสรรคุณภาพของการให้บริการ แบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกที่พิจารณารายได้สุทธิของระบบ และสุดท้ายกล่าวถึงปัญหาที่พบจากงานวิจัยในอดีต

2.1 โครงข่ายไร้สาย

โครงข่ายไร้สายประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลักๆ คือ สถานีฐาน (base station) ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณและควบคุมการทำงานของเครื่องลูกข่าย ศูนย์กลางหน่วยสวิตชิ่งหน่วยเคลื่อนที่ (mobile switching center) ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของสถานีฐานและอาจเชื่อมโยงไปยังโครงข่ายอื่นและเครื่องลูกข่าย (mobile unit) ทำหน้าที่สร้างและรับทราฟฟิกโดยสามารถติดต่อถึงกันผ่านข่ายเชื่อมโยงวิทยุจากสถานีฐาน เช่น โทรศัพท์มือถือ คอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค ผู้ช่วยดิจิทัลส่วนบุคคล เทอร์มินัลเคลื่อนที่ยุคที่สาม เป็นต้น ทราฟฟิกในโครงข่ายไร้สายจึงสามารถมีทั้งทราฟฟิกเสียง วิดีโอและข้อมูล ซึ่งเกิดขึ้นจากการประยุกต์ใช้งานสื่อประสมที่มีความต้องการคุณภาพของการให้บริการที่แตกต่างกัน เนื่องจากคุณลักษณะของทราฟฟิกสื่อประสมที่ปรับเปลี่ยนได้นี่เองประกอบกับการนำเทคนิคการเข้ารหัสเลเยอร์ด้วยการเข้ารหัสเป็นลำดับขั้น (adjustable rate codec/hierarchical coding) [11],[12] มาใช้ทำให้โครงข่ายสามารถดึงแบนด์วิดท์ส่วนหนึ่งจากการเรียกที่ใช้งานอยู่มารองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการ โดยที่คุณภาพของการให้บริการไม่ต่ำกว่าระดับที่รับประกัน ดังนั้นโครงข่ายไร้สายที่รองรับทราฟฟิกสื่อประสมจึงต้องสามารถจัดสรรทรัพยากรและทำการควบคุมการตอบรับแบบพลวัตได้ การแบ่งชั้นประเภททราฟฟิกเป็นระดับการให้บริการโดยการจัดสรรจำนวนช่องสัญญาณและใช้นโยบายการบริหารจัดการทรัพยากรที่แตกต่างกันจึงเกิดขึ้น สำหรับระบบที่รองรับการใช้หลายช่องสัญญาณต่อการเรียก ได้แก่ มาตรฐาน HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) และ GPRS (General Packet Radio Service) สำหรับระบบ

GSM เป็นต้น อย่างไรก็ตาม GPRS กำหนดเพียงจำนวนช่องสัญญาณสูงสุดสำหรับแต่ละระดับการให้บริการเท่านั้นและยังไม่กำหนดชัดเจนว่า เมื่อมีการเรียกใหม่ร้องขอการบริการในขณะระบบมีแบนด์วิดท์เหลือไม่พอ ระบบจะสามารถลดช่องสัญญาณจากการเรียกอื่นมาใช้รองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการ หรือจะบล็อกการเรียกที่ร้องขอการบริการ และแม้ว่าระบบทำการตอบรับการเรียกใหม่นั้นเข้ามาก็ตามระบบจะลดจำนวนช่องสัญญาณจากการเรียกที่ใช้งานอยู่อย่างไรและการเรียกใหม่ไหนที่ระบบควรตอบรับเข้ามา ซึ่งสิ่งเหล่านี้ยังคงเป็นปัญหาสำหรับระบบ GPRS และยังคงเป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาสำหรับโครงข่ายไร้สายในยุคถัดไปอื่นๆอย่าง UMTS ด้วยเช่นกัน [1]

ดังนั้นเพื่อให้ระบบสามารถรองรับผู้ใช้บริการได้มากขึ้นสำหรับโครงข่ายไร้สายที่รองรับการเรียกสื่อประสม อัลกอริทึมการปรับเปลี่ยนแบนด์วิดท์จึงถูกพัฒนาขึ้น

2.2 การวัดสมรรถนะของการให้บริการ

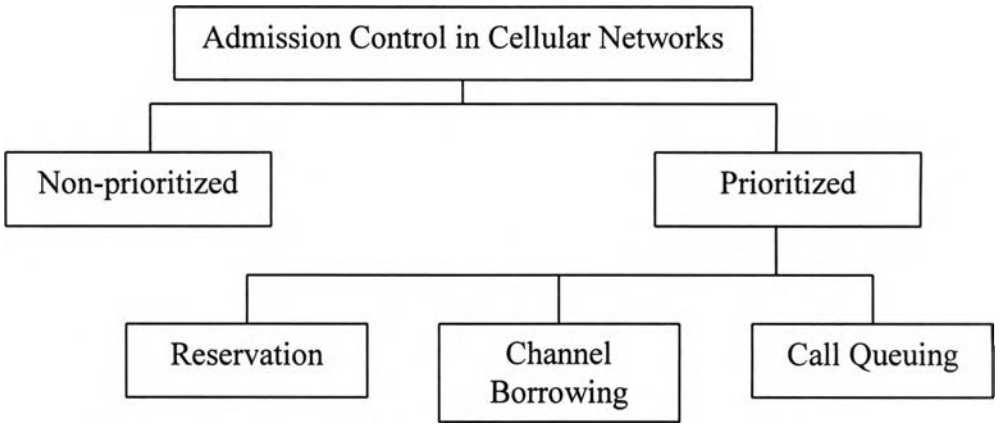
สมรรถนะของการให้บริการสำหรับโครงข่ายไร้สายเซลลูลาร์สามารถบ่งบอกได้จากคุณภาพของการให้บริการ ซึ่งเป็นข้อตกลงกันระหว่างผู้ให้บริการและผู้ใช้บริการ โดยคุณภาพของการให้บริการในระดับการเรียก (call-level QoS) ได้แก่

- ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่ (new call blocking probability) หมายถึง สัดส่วนของจำนวนการเรียกใหม่ที่ถูกบล็อกเนื่องมาจากระบบไม่มีทรัพยากรเพียงพอที่จะให้บริการการเรียกใหม่เทียบกับจำนวนการเรียกใหม่ทั้งหมดที่เข้ามายังระบบ
- ความน่าจะเป็นการดรอปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ (handoff call dropping probability) หมายถึง สัดส่วนของจำนวนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟที่ถูกดรอปเนื่องจากระบบไม่มีทรัพยากรเพียงพอที่จะรองรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟได้เทียบกับจำนวนการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟทั้งหมดที่เกิดขึ้นในระบบ

2.3 วิธีการจัดสรรคุณภาพของการให้บริการ

เนื่องจากคุณสมบัติของทราฟฟิกสื่อประสมที่ปรับตัวได้ การจัดสรรคุณภาพของการให้บริการที่ต้องใช้ควบคู่ไปกับกระบวนการควบคุมการตอบรับการเรียก คือ อัลกอริทึมการปรับเปลี่ยนแบนด์วิดท์ จากงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา สามารถแบ่งประเภทของแบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก [13] และอัลกอริทึมการปรับลดแบนด์วิดท์ในโครงข่ายเซลลูลาร์ ดังนี้

2.3.1 แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียก



รูปที่ 2.1 แบบแผนการควบคุมการตอบรับการเรียกในโครงข่ายเซลลูลาร์

การควบคุมการตอบรับการเรียกเป็นเทคนิคอย่างหนึ่งในการจัดสรรคุณภาพของการให้บริการด้วยการจำกัดการเข้าใช้ทรัพยากรในระบบ เพื่อให้ระบบสามารถรับประกันคุณภาพของการให้บริการของการเรียกตามที่ตกลงไว้กับผู้ใช้ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นแบบแผนที่ให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟและแบบที่ไม่ให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ ส่วนใหญ่แล้วแบบแผนการตอบรับการเรียกจะให้ความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเนื่องจากการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟส่งผลต่อความพอใจในการใช้งานของผู้ใช้มากกว่าการบล็อกการเรียกใหม่ โดยแบบแผนการตอบรับการเรียกที่ให้ลำดับความสำคัญกับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟสามารถแบ่งออกเป็น

-แบบแผนการจองช่องสัญญาณ เป็นแบบแผนที่มีการจองช่องสัญญาณส่วนหนึ่งไว้สำหรับการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเท่านั้น โดยจำนวนช่องสัญญาณที่จองอาจเป็นแบบคงที่หรือแบบปรับเปลี่ยนได้

-แบบแผนการยืมช่องสัญญาณ เป็นแบบแผนที่พิจารณาการยืมช่องสัญญาณจากเซลล์ข้างเคียงเมื่อเซลล์ไม่มีช่องสัญญาณเหลือ โดยช่องสัญญาณที่ยืมมาจะต้องไม่กวนช่องสัญญาณที่ใช้งานอยู่และจะไม่ถูกนำมาใช้อีกโดยเซลล์อื่น

-แบบแผนการเข้าคิวการเรียก เป็นแบบแผนที่ทำการเข้าคิวการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟเมื่อเซลล์ไม่มีช่องสัญญาณเหลือ เพื่อรอการตอบรับเมื่อมีช่องสัญญาณว่าง ซึ่งแบบแผนนี้สามารถลดความน่าจะเป็นการดร็อปการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟลงได้ในขณะที่ความน่าจะเป็นการบล็อกการเรียกใหม่จะมีค่าสูงขึ้น

2.3.2 อัลกอริทึมการปรับเปลี่ยนแบนด์วิดท์

- การปรับเปลี่ยนแบนด์วิดท์ของการเรียกแบบถาวร

อัลกอริทึมนี้จะทำการลดแบนด์วิดท์จากการเรียกที่มีอยู่ระบบ เมื่อไม่มีแบนด์วิดท์เหลือพอเพื่อใช้รองรับการเรียกที่เข้ามาใหม่ในระบบ ถึงแม้การเรียกที่ใช้แบนด์วิดท์จากการลดแบนด์วิดท์ของการเรียกอื่นจะสิ้นสุดการใช้งานแล้วก็ตามแบนด์วิดท์ส่วนนี้ก็จะไม่ถูกจัดสรรคืนให้กับการเรียกที่ถูกลดแบนด์วิดท์มา แต่จะเก็บแบนด์วิดท์นี้ไว้เป็นส่วนกลางเพื่อรองรับการเรียกอื่นต่อไป อัลกอริทึมนี้จึงมีข้อดีตรงที่ไม่ใช้โอเวอร์เฮดในการติดต่อสื่อสาร (signaling overhead) ระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่ายมากนัก แต่การลดแบนด์วิดท์ของการเรียกในระบบลงอาจทำให้เกิดการสูญเสียแพ็กเกต (packet loss) หรือค่าประวิงเวลา (end-to-end delay) สูงขึ้นจนผู้ใช้อาจยอมรับไม่ได้

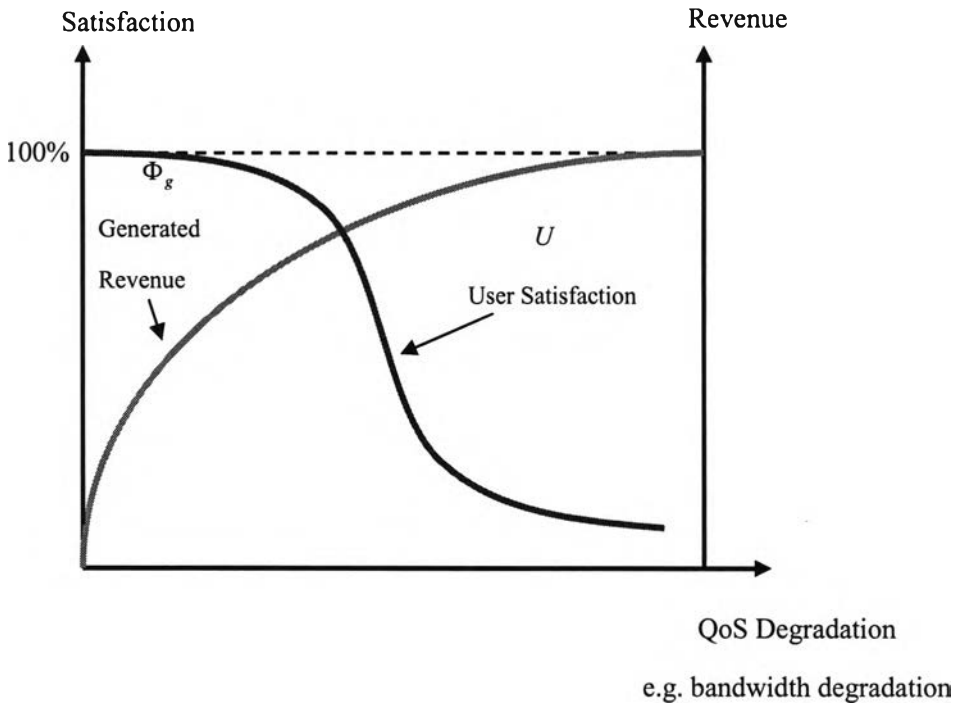
- การปรับเปลี่ยนแบนด์วิดท์ของการเรียกแบบชั่วคราว

อัลกอริทึมนี้ต่างจากอัลกอริทึมแรกตรงที่เมื่อการเรียกที่ใช้แบนด์วิดท์จากการลดแบนด์วิดท์ของการเรียกอื่นสิ้นสุดการใช้งานแล้วแบนด์วิดท์ส่วนนี้ก็จะถูกจัดสรรคืนให้กับการเรียกที่ถูกลดแบนด์วิดท์มา ดังนั้นอัลกอริทึมนี้จึงต้องใช้โอเวอร์เฮดในการติดต่อสื่อสารระหว่างสถานีฐานกับเครื่องลูกข่ายมากกว่าอัลกอริทึมแรก แต่สามารถให้คุณภาพการให้บริการที่ดีกว่าอัลกอริทึมแรกถ้าระยะเวลาในการถูกลดแบนด์วิดท์และปริมาณแบนด์วิดท์ที่ถูกลดไม่มากเกินจนทำให้การสูญเสียแพ็กเกตหรือค่าประวิงเวลาสูงขึ้นจนผู้ใช้ยอมรับไม่ได้

2.4 แบบแผนการลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกด้วยการพิจารณารายได้สุทธิของระบบ

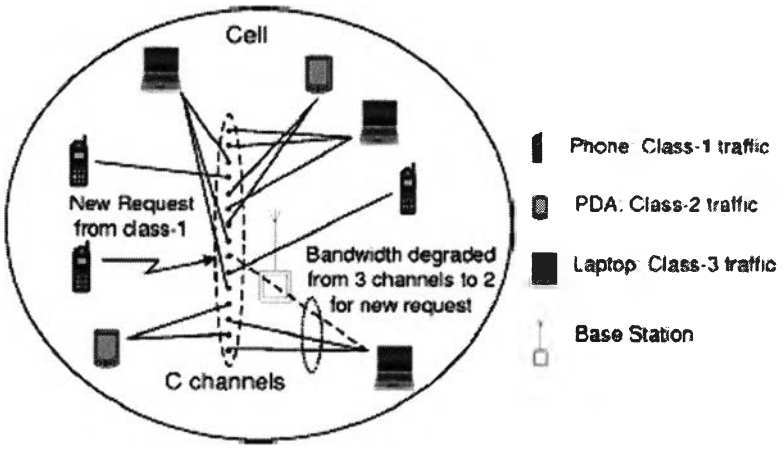
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่พิจารณารายได้สุทธิสูงสุดของระบบมาใช้ในการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียก ซึ่งเป็นแบบแผนที่นำมาใช้ในการพัฒนาแบบแผนการลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบที่เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ โดย S.K.Das และคณะ [1]ได้เสนอแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ร่วมกับการควบคุมการตอบรับการเรียกที่พิจารณาผลกระทบจากพฤติกรรมของผู้ใช้ที่เกิดจากการถูกลดแบนด์วิดท์ ด้วยการคำนวณหารายได้ที่ผู้ให้บริการต้องสูญเสียไปเนื่องจากพฤติกรรมของผู้ใช้ที่ตอบสนองต่อการถูกปรับลดแบนด์วิดท์ หลักการของงานวิจัยนี้ คือ เนื่องจากการปรับลดแบนด์วิดท์ย่อมส่งผลต่อคุณภาพของการให้บริการ

และความพึงพอใจของผู้ใช้ในบริการแสดงดังรูปที่ 2.2 ดังนั้นการพิจารณาถึงความพึงพอใจของผู้ใช้ซึ่งสัมพันธ์กับคุณภาพของการให้บริการจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควรคำนึงถึงในการปรับลดแบนด์วิดท์



รูปที่ 2.2 ข้อแลกเปลี่ยน (tradeoff) ระหว่างการลดคุณภาพของการให้บริการกับความพึงพอใจผู้ใช้

เมื่อพิจารณาระบบที่สามารถรองรับระดับการให้บริการของการเรียกแบบเวลาจริงจำนวน K ระดับการให้บริการ ในภาวะปกติ (normal mode) การเรียกในระดับการให้บริการที่ i สำหรับ $1 \le i \le K$ ใช้จำนวนช่องสัญญาณเท่ากับ i ช่องสัญญาณ และการเรียกที่อยู่ในระดับการให้บริการ $2 \le i \le K$ สามารถเลือกทำงานในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณได้ (degradable mode) หรือไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ (non-degradable mode) โดยการเรียกที่ทำงานในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณจะถูกลดจำนวนช่องสัญญาณทีละ 1 ช่องสัญญาณ เมื่อระบบไม่มีช่องสัญญาณเหลือพอที่จะรองรับการเรียกที่เข้ามาใหม่ และระดับการให้บริการของการเรียกนี้จะถูกเปลี่ยนระดับการให้บริการเป็นระดับการให้บริการที่ $i-1$ ตามจำนวนช่องสัญญาณที่ได้รับ ณ ปัจจุบัน แสดงตัวอย่างในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการถูกลดแบนด์วิดท์ของการเรียกภายในเซลล์

เมื่อไม่มีช่องสัญญาณเหลืออยู่ในระบบพอที่จะรองรับการเรียกได้ สถานีฐานจะต้องทำการลดจำนวนช่องสัญญาณจากการเรียกที่กำลังใช้งานอยู่ในระบบ โดยทำการพิจารณานโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณ $D_{bw} = [y_2, y_3, ..., y_K]$ เป็นช่วงเวลาในการลดจำนวนช่องสัญญาณเพื่อรองรับการเรียกใหม่ที่ร้องขอการบริการ

2.5 การคำนวณหารายได้ของระบบ

2.5.1 ระบบแบบสถิต

สมมติให้สัดส่วนของการเรียกแบบเวลาจริง $(\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_K)$ ที่มีในระบบขณะอิ่มตัวหรือขณะที่ไม่มีช่องสัญญาณเหลืออยู่เลย (saturated system) เป็นลักษณะสถิต (static) เนื่องจากนโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณเกิดขึ้นภายในช่วงเวลาสั้นๆขณะหนึ่ง (ในระดับวินาที) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการเรียกไม่ว่าจะเป็นการเรียกที่เข้ามาใหม่หรือการเรียกที่เสร็จสิ้นการใช้งานจะเกิดขึ้นในระยะเวลาที่ยาวนานกว่า (ในระดับนาที) จึงกล่าวได้ว่าสัดส่วนของการเรียกที่มีอยู่ในระบบไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือเป็นแบบสถิตนั่นเอง

จากสัดส่วนของการเรียกแบบเวลาจริง $(\alpha_1, \alpha_2, ..., \alpha_K)$ สามารถหาจำนวนของการเรียกในระดับการให้การบริการที่ i ขณะระบบอิ่มตัวหรือภาวะก่อนเกิดการลดช่องสัญญาณ ดังสมการ

$$X_i = \frac{\alpha_i C}{\sum_{j=1}^{K} j\alpha_j} \tag{2.1}$$

สมมติให้สัดส่วนของการเรียกที่เข้ามาใหม่ที่ถูกตอบรับและใช้ช่องสัญญาณจากนโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณในระบบเป็น $(\alpha_1,\alpha_2,...,\alpha_K)$ เป็นแบบสถิตที่มีสัดส่วนเดียวกับสัดส่วนของการเรียกที่มีในระบบขณะอิ่มตัว ในที่นี้จะแสดงการหาจำนวนการเรียกในกรณีที่ระบบอิ่มตัวและมีเฉพาะการเรียกในภาวะที่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณเท่านั้นยกเว้นระดับการให้บริการที่ 1 ซึ่งเราสามารถหาจำนวนการเรียกที่เพิ่งถูกตอบรับสำหรับระดับการให้บริการที่ i ได้ดังสมการ (2.3)

$$N_a\alpha_1+\sum_{j=2}^{K}N_a\alpha_j(j-1)=\sum_{j=2}^{K}y_j \tag{2.2}$$

$$\alpha_i N_a=\alpha_i\left[\frac{\sum_{j=2}^{K}y_j}{\alpha_1+\sum_{j=2}^{K}(j-1)\alpha_j}\right];1\le i\le K \tag{2.3}$$

จากสมการ (2.3) สามารถหาจำนวนการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ทั้งหมดที่ถูกตอบรับเข้ามาในระบบ ดังสมการ

$$N_i\left(X_i;y_2,y_3,...,y_K\right)=X_i+\frac{\alpha_i\sum_{j=2}^{K}y_j}{\alpha_1+\sum_{j=2}^{K}(j-1)\alpha_j};1\le i\le K \tag{2.4}$$

X_i คือ จำนวนการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ขณะระบบอิ่มตัว

ดังนั้นรายได้ทั้งหมดที่ได้จากการเรียกที่มีอยู่ในระบบที่มีการใช้นโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณ Φ_g แสดงดังสมการ

$$\Phi_g=\sum_{i=1}^{K}C_g(i)N_i(X_i;y_2,y_3,...,y_K) \tag{2.5}$$

$C_g(i)$ คือ รายได้ที่ได้จากการเรียกแต่ละการเรียกในระดับการให้บริการที่ i

ส่วนจำนวนการเรียกของระดับการให้บริการที่ i ทั้งหมดที่ถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ เป็นดังนี้

$$N_{d,i}\left(y_2,y_3,...,y_K\right)=y_i+\frac{\alpha_i\sum_{j=2}^{K}y_j}{\alpha_1+\sum_{j=2}^{K}(j-1)\alpha_j};2\le i\le K \tag{2.6}$$

y_i คือ จำนวนการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่ถูกลดจำนวนช่องสัญญาณตามนโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณ D_{bw} เพื่อรองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการ

ในที่นี้สมมติว่าการเรียกแต่ละการเรียกภายในระดับการให้บริการเดียวกันเป็นอิสระต่อกัน ดังนั้นรายได้สูญเสียจากการลดจำนวนช่องสัญญาณจึงเท่ากันทุกการเรียกที่อยู่ในระดับการให้บริการเดียวกัน และคำนวณรายได้สูญเสียจากการลดจำนวนช่องสัญญาณของการเรียกระดับการให้บริการที่ i เป็นค่าโดยเฉลี่ย ดังนั้นรายได้ทั้งหมดที่สูญเสียไปเนื่องจากการลดจำนวนช่องสัญญาณ Φ_d สามารถแสดงดังสมการ

$$\Phi_d = \sum_{i=2}^{K} \left(\frac{C_d(i)}{2} \right) N_{d,i}(y_2, y_3, ..., y_K)(N_{d,i}(y_2, y_3, ..., y_K) + 1) \tag{2.7}$$

$C_d(i)$ คือ รายได้ที่ระบบสูญเสียไปเนื่องจากการลดจำนวนช่องสัญญาณของแต่ละการเรียกในระดับการให้บริการที่ i

ฉะนั้นรายได้สุทธิที่ระบบได้รับจากการใช้นโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณ คือ

$$\Phi(y_2, y_3, ..., y_K) = \Phi_g - \Phi_d \tag{2.8}$$

แทนสมการ (2.4), (2.5), (2.6) และ (2.7) ลงในสมการ (2.8) จะได้

$$\begin{aligned} \Phi = & \sum_{i=1}^{K} (X_i + \frac{\alpha_i \sum_{j=2}^{K} y_j}{\alpha_1 + \sum_{j=2}^{K} (j-1)\alpha_j}) C_g(i) \\ & - \sum_{i=2}^{K} \frac{C_d(i)}{2} (y_i + \frac{\alpha_i \sum_{j=2}^{K} y_j}{\alpha_1 + \sum_{j=2}^{K} (j-1)\alpha_j})(y_i + \frac{\alpha_i \sum_{j=2}^{K} y_j}{\alpha_1 + \sum_{j=2}^{K} (j-1)\alpha_j} + 1) \end{aligned} \tag{2.9}$$

ภายใต้เงื่อนไขค่าไม่เป็นลบและข้อจำกัด คือ

$y_i \le X_i; 2 \le i \le K$

ในการหานโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณที่เหมาะสมที่สุด $D_{bw}^{*} = [y_2, y_3, ..., y_K]$ ที่ทำให้ระบบได้รับรายได้สุทธิ $\Phi(y_2, y_3, ..., y_K)$ สูงสุดภายใต้ข้อจำกัดที่ $y_i \le X_i; 2 \le i \le K$ ซึ่งเป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมใน $K-1$ มิติ

หรือกรณีระบบมีทั้งการเรียกที่ทำงานในภาวะที่สามารถถูกลดและไม่สามารถถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ ฟังก์ชันรายได้สุทธิแสดงดังสมการ (2.10) และจะเห็นว่าเป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมใน $2(K-1)$ มิติ

$$\Phi = \left(X_1 + \frac{\alpha_1 \sum_{j=2}^{K} y_{jn}}{\sum_{j=1}^{K} j\alpha_j} \right) C_g(1)$$
$$+ \sum_{i=2}^{K} \left(X_i + \frac{\alpha_i \sum_{j=2}^{K} y_{jn}}{\sum_{j=1}^{K} j\alpha_j} + \frac{\alpha'_i \sum_{j=2}^{K} y_{jd}}{\sum_{j=2}^{K} (j-1)\alpha'_j} \right) C_g(i)$$
$$- \sum_{i=2}^{K} \frac{C_d(i)}{2} \left(y_i + \frac{\alpha'_i \sum_{j=2}^{K} y_{jd}}{\sum_{j=2}^{K} (j-1)\alpha'_j} \right) \left(y_i + \frac{\alpha'_i \sum_{j=2}^{K} y_{jd}}{\sum_{j=2}^{K} (j-1)\alpha'_j} + 1 \right) \quad (2.10)$$

ภายใต้เงื่อนไขค่าไม่เป็นลบและข้อจำกัด คือ

1) $y_i = y_{in} + y_{id}$

2) $y_i \le \delta_i X_i; 2 \le i \le K$

δ_i คือ สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่อยู่ในภาวะที่สามารถถูกลดช่องสัญญาณ

α_i, α'_i คือ สัดส่วนของจำนวนการเรียกที่ถูกตอบรับที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดช่องสัญญาณและภาวะที่สามารถถูกลดช่องสัญญาณตามลำดับ

y_{in}, y_{id} คือ จำนวนช่องสัญญาณที่ถูกลดมาจากการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ซึ่งถูกใช้โดยการเรียกที่เพิ่งถูกตอบรับที่อยู่ในภาวะที่ไม่สามารถถูกลดช่องสัญญาณและภาวะที่สามารถถูกลดช่องสัญญาณตามลำดับ

2.5.2 ระบบแบบพลวัต

จากหัวข้อที่แล้วที่สมมติให้สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการต่างๆมีสัดส่วนแบบสถิตเดียวกับสัดส่วนของการเรียกที่เข้ามาใหม่ ในหัวข้อนี้จะลดหย่อนข้อสมมติที่กล่าวมา ด้วยการพิจารณาการเรียกทั้งหมดที่เข้ามาภายในช่วงเวลารวมกันเป็นกลุ่ม เรียก เวคเตอร์อุปสงค์ (demand vector) เพื่อพิจารณาหานโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณและนโยบายการตอบรับเข้าสู่ระบบด้วยฟังก์ชันรายได้สุทธิสูงสุด

กำหนดให้ $D = [n_1, n_2, ..., n_K]$ คือ เวคเตอร์อุปสงค์ โดย n_i แทนจำนวนการเรียกที่เข้ามาใหม่ในระดับการให้บริการที่ i ที่ร้องขอการบริการ ซึ่งการลดจำนวนช่องสัญญาณจะไม่เกิดขึ้น

เมื่อจำนวนช่องสัญญาณที่เหลืออยู่ในระบบมีเพียงพอที่จะรองรับการเรียกที่ร้องขอการบริการ ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้

$$C - \sum_{i=1}^{K} iX_i \geq \sum_{i=1}^{K} in_i \tag{2.14}$$

C คือ จำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดในระบบ

ถ้าการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับการเรียกที่ร้องขอการบริการทั้งหมดจะต้องทำการลดจำนวนช่องสัญญาณจากการเรียกที่มีอยู่ในระบบร่วมด้วย ระบบจึงต้องหา 1) เวคเตอร์การตอบรับ $A = [a_1, a_2, ..., a_K]$ โดย a_i แทนจำนวนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่จะถูกตอบรับเข้ามาในระบบ 2) เวคเตอร์ $\Gamma = [\gamma_2, \gamma_3, ..., \gamma_K]$ โดย γ_i แทน สัดส่วนของการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ที่เข้ามาใหม่และจะถูกตอบรับในภาวะถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ และ 3) จำนวนการเรียกในระบบที่ถูกลดจำนวนช่องสัญญาณในแต่ละระดับการให้บริการ $D_{bw} = [y_2, y_3, ..., y_K]$ ดังนั้นในการหานโยบายการตอบรับและการลดจำนวนช่องสัญญาณที่เหมาะสมที่สุด คือ การหาผลเฉลยปัญหา $S = \{A, D_{bw}, \Gamma\}$ ที่ให้ค่าฟังก์ชันรายได้สุทธิที่มากที่สุด โดยฟังก์ชันรายได้สุทธิแสดงดังสมการ

$$\Phi = \sum_{i=1}^{K} a_i C_g(i) - \sum_{i=2}^{K} \frac{C_d(i)}{2}(y_i + a_i\gamma_i)(y_i + a_i\gamma_i + 1) \tag{2.15}$$

ภายใต้เงื่อนไขค่าไม่เป็นลบและข้อจำกัด คือ

1) $a_1 + \sum_{i=2}^{K} \{a_i\gamma_i(i-1) + a_i(1-\gamma_i)i\} \leq C - \sum_{i=1}^{K} iX_i + \sum_{i=2}^{K} y_i$

2) $y_i \leq X_i$

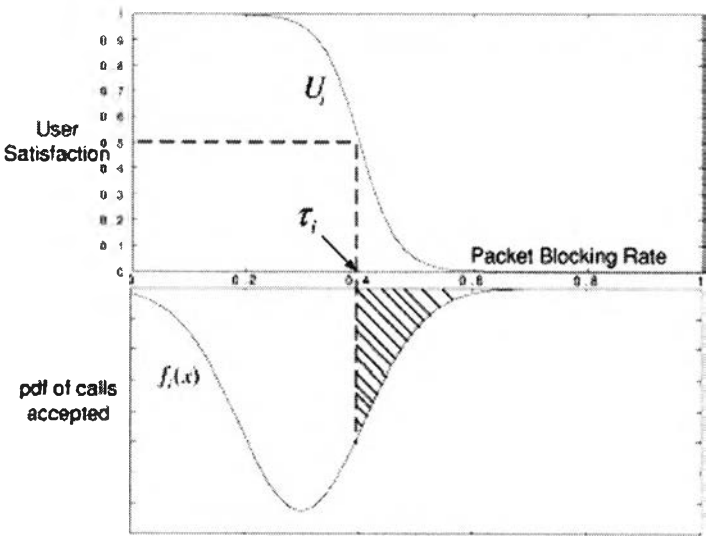
3) $a_i \leq n_i$

4) $\gamma_i \leq 1$

จะเห็นว่าสมการ (2.15) เป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดภายใต้ข้อจำกัดที่มี $3K - 2$ มิติ โดยเวคเตอร์ของผลเฉลยปัญหา S ประกอบไปด้วยนโยบายการตอบรับและนโยบายการลดจำนวนช่องสัญญาณที่ใช้ประโยชน์แบนด์วิดท์อย่างสูงสุดในส่วนของรายได้สุทธิที่ระบบได้รับ

2.6 การประมาณรายได้สูญเสียที่เกิดจากการลดจำนวนช่องสัญญาณ

จากมุมมองในด้านผู้ให้บริการ รายได้ที่สูญเสียจากการลดจำนวนช่องสัญญาณเกิดขึ้นจากพฤติกรรมของผู้ใช้ที่ตอบสนองต่อการถูกลดจำนวนช่องสัญญาณ โดยผู้ใช้อาจเลือกที่จะออกจากระบบของผู้ให้บริการ (churning) ดังนั้นผู้ให้บริการจะต้องสูญเสียรายได้ส่วนหนึ่งเพื่อที่จะดึงผู้ใช้รายใหม่ให้เข้ามาในระบบ จากข้อสมมติที่กล่าวมา การคำนวณหารายได้สูญเสียจากการลดจำนวนช่องสัญญาณ $C_d(i)$ ด้วยวิธีการหาแบบออฟไลน์ (off-line) ทำได้ ดังนี้



รูปที่ 2.4 แบบจำลองฟังก์ชันอรรถประโยชน์ผู้ใช้ (ภาพบน)
ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (ภาพล่าง)

ฟังก์ชันอรรถประโยชน์ผู้ใช้ (user utility function) ในระดับการให้บริการที่ i แสดงดังรูปที่ 2.4 ซึ่งเป็นฟังก์ชันที่แทนพารามิเตอร์คุณภาพของการให้บริการเพียง 1 พารามิเตอร์ คือ อัตราการบล็อกแพ็กเกตโดยเฉลี่ย เป็นดังสมการ

$$U_i(B_i) = \frac{1}{1 + e^{-\omega_i(\varphi_i - B_i)}} \tag{2.11}$$

B_i คือ อัตราการบล็อกแพ็กเกตโดยเฉลี่ย

ω_i, φ_i คือ พารามิเตอร์ในการกำหนดศูนย์กลางและรูปร่างของกราฟอรรถประโยชน์ผู้ใช้ตามลำดับ

สำหรับการเรียกในระดับการให้บริการที่ i กำหนดให้ผู้ใช้จะไม่พึงพอใจเมื่อค่าอรรถประโยชน์ผู้ใช้ต่ำกว่า 0.5 ดังนั้นจึงสามารถหาอัตราการบล็อกแพ็กเกตโดยเฉลี่ยที่ระดับเปลี่ยนแปลง (threshold) หรือระดับสูงสุดที่ผู้ใช้สามารถยอมรับได้ (τ_i) ได้ จากนั้นจะคำนวณหาจำนวนการเรียกที่ไม่พึงพอใจ $C_{us,i}$ ดังสมการ (2.12) โดยกำหนด $f_i(x)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็น (probability density function,pdf) ของการเรียกที่ถูกตอบรับในระดับการให้บริการที่ i ณ อัตราการบล็อกแพ็กเกตโดยเฉลี่ยใดๆที่มีการแจกแจงแบบปกติ (normal distribution) แสดงดังรูปที่ 2.4

$$C_{us,i} = H \int_{\tau_i}^{b_i^{\max}} f_i(x)dx \tag{2.12}$$

H คือ จำนวนการเรียกเข้าระหว่างชั่วโมงเร่งด่วน

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

$f_i(x)$ คือ ฟังก์ชันความหนาแน่นความน่าจะเป็นของการเรียกที่ถูกตอบรับในระดับการให้บริการที่ i ณ ระดับอัตราการบล็อกแพ็กเกตต่างๆ

ดังนั้นสามารถหารายได้ที่ต้องสูญเสียโดยเฉลี่ยต่อการเรียกในระดับการให้บริการที่ i ซึ่งเกิดจากการลดจำนวนช่องสัญญาณลงได้จาก

$$C_d(i) = \frac{\theta_i \cdot C_{ch,i}}{C_{us,i} \cdot E \cdot M} \tag{2.13}$$

E คือ จำนวนชั่วโมงเร่งด่วนต่อวัน

M คือ จำนวนวันในแต่ละเดือน

θ_i คือ จำนวนผู้ใช้ในระดับการให้บริการ i โดยเฉลี่ยที่ออกจากระบบเนื่องจากการถูกลดจำนวนช่องสัญญาณในแต่ละเดือน

$C_{ch,i}$ คือ รายได้ที่ผู้ให้บริการสูญเสียไป เนื่องจากระบบต้องเสียรายจ่ายส่วนหนึ่งเพื่อดึงผู้ใช้รายใหม่ในระดับการให้บริการที่ i ต่อผู้ใช้จำนวน 1 รายกลับสู่ระบบ

2.7 ปัญหาที่พบจากงานวิจัยในอดีต

จากงานวิจัยในอดีตที่กล่าวถึงในหัวข้อที่ผ่านมา จะเห็นว่ากระบวนการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับทำการพิจารณาผลต่างของรายได้ที่ได้รับจากการตอบรับการเรียกและรายได้สูญเสียที่เกิดจากการลดแบนด์วิดท์โดยคำนวณจากฟังก์ชันอรรถประโยชน์ผู้ใช้ของการเรียกในแต่ละระดับการให้บริการและระดับการให้บริการเปลี่ยนแปลงตามจำนวนแบนด์วิดท์ที่ได้รับ ดังนั้นภายในระดับการให้บริการเดียวกัน สามารถมีการเรียกหลายลักษณะทราฟฟิกและหลายความต้องการคุณภาพของการให้บริการ (อัตราการบล็อกแพ็กเกตสูงสุดที่ยอมรับได้ จำนวนช่องสัญญาณที่ร้องขอ) ในขณะที่ใช้ฟังก์ชันอรรถประโยชน์แบบเดียวกัน ซึ่งไม่สอดคล้องกับความต้องการคุณภาพของการให้บริการของการเรียกที่ต้องการแท้จริงในแต่ละระดับการให้บริการ และเป็นการให้ความสำคัญในด้านผู้ให้บริการเป็นหลัก อีกทั้งไม่ได้พิจารณาการเรียกที่เกิดจากการแฮนด์ออฟ รวมถึงความยุติธรรมในการจัดสรรแบนด์วิดท์ภายในระดับการให้บริการเดียวกันระหว่างการเรียกที่ร้องขอการบริการกับการเรียกในระบบและข้อจำกัดของแบบแผนการปรับลดแบนด์วิดท์ที่ทำได้สูงสุดเพียง 1 ช่องสัญญาณต่อการพิจารณาปรับลดแต่ละครั้ง

2.8 สรุป

ในบทนี้ได้แสดงถึงทฤษฎีและแนวคิดพื้นฐานโดยเริ่มจากลักษณะของโครงข่ายไร้สายที่รองรับทราฟฟิกสื่อประสม วิธีวัดสมรรถนะโครงข่ายไร้สายที่นิยมใช้ วิธีการจัดสรรคุณภาพของการให้บริการ อันได้แก่ การควบคุมการตอบรับการเรียกและอัลกอริทึมการปรับเปลี่ยนแบนด์วิดท์ จากนั้นได้กล่าวถึงงานวิจัยในอดีตที่พิจารณารายได้สุทธิสูงสุดของระบบในการปรับลดแบนด์วิดท์และการควบคุมการตอบรับการเรียกพร้อมทั้งกล่าวถึงปัญหาของงานวิจัยที่ผ่านมา