

รายงานฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยงบประมาณปี 2546

โครงการวิจัยย่อยลำดับที่ 10 เรื่อง

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของข้อมูลสื่อสารบนเครือข่ายในประเทศไทย

(A Study of Mathematical Models for Existing Communication Traffics in Thailand's Networks)

1. ผู้รับผิดชอบโครงการ

อ.ดร. เขาวรรณดิศ อัสวกุล

การศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของข้อมูลสื่อสารบนเครือข่ายในประเทศไทย (กรณีศึกษาเครือข่ายโทรศัพท์มือถือ)

A Study of Mathematical Models for Existing Communication Traffics in Thailand's Networks (Case study : Mobile Communication Networks)

2. วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาการควบคุมการเรียก (call admission control, CAC) ในโครงข่ายเซลลูลาร์ โดยการใช้ค่าสถิติจากแบบจำลองสภาพเคลื่อนที่ของผู้ใช้ในกระบวนการตอบรับการเรียก และนำมาใช้ร่วมกับกระบวนการพิจารณาปรับจำนวนช่องสัญญาณที่สงวนไว้ (adaptive guard channel) สำหรับสัญญาณแฮนด์ออฟ ตามค่าความน่าจะเป็นที่การร้องขอแฮนด์ออฟถูกขัดขวาง (handoff blocking probability)

3. แนวคิดและเหตุผล

CAC เป็นกระบวนการตัดสินใจตอบรับการขอใช้ช่องสัญญาณในระบบเครือข่าย ที่ทำหน้าที่จัดสรรช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้บริการด้วยคุณภาพการให้บริการ (quality of service, QoS) ที่เป็นไปตามข้อตกลงระหว่างผู้ใช้บริการ และผู้ให้บริการ ในระบบเครือข่ายทั่วไป การตัดสินใจตอบรับสายเรียกเข้าจะพิจารณาจากทรัพยากรที่ยังว่างอยู่ (available resource) เมื่อผู้ใช้บริการทำการขอใช้ช่องสัญญาณกระบวนการ CAC จะทำการตรวจสอบจำนวนช่องสัญญาณที่ยังว่างอยู่ ถ้ามีช่องสัญญาณเพียงพอจะทำการตอบรับการขอใช้ช่องสัญญาณ ถ้ามีไม่เพียงพอจะทำการปฏิเสธ [1]

สำหรับระบบเครือข่ายเซลลูลาร์จะแตกต่างจากเครือข่ายอื่นตรงที่ผู้ใช้บริการในระบบสามารถเคลื่อนที่ระหว่างการใช้บริการ ซึ่งทำให้เกิดเหตุการณ์ที่ผู้ใช้บริการเดินทางข้ามเซลล์ที่อยู่ติดกันระหว่างการใช้บริการ ระบบจึงต้องสงวนช่องสัญญาณจากเซลล์เดิมไปสู่เซลล์ใหม่ซึ่งเรียกว่าการแฮนด์ออฟ (handoff) ในกรณีที่เซลล์ใหม่ที่ใช้บริการเคลื่อนที่เข้าไปไม่มีช่องสัญญาณว่าง สัญญาณนั้นจะถูกปฏิเสธการให้บริการซึ่งเรียกว่า handoff blocking โดยในมาตรฐานของ QoS จะให้ความสำคัญของการเคลื่อนที่มากกว่ากรณีที่การร้องขอใช้ช่องสัญญาณถูกปฏิเสธซึ่งเรียกว่า new call blocking เนื่องจากการที่สัญญาณขาดหายระหว่างการโทร ข้อมสร้างคามไม่พึงพอใจมากกว่าการโทรไม่ติด ดังนั้นในโครงการงานนี้จึงได้นำรูปแบบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ (user mobility) มาเป็นพารามิเตอร์ (parameter) สำคัญของ CAC โดยถ้าผู้ใช้บริการมีแนวโน้มที่จะเคลื่อนที่ไปสู่เซลล์ที่มีช่องสัญญาณไม่เพียงพอจะทำการปฏิเสธการขอใช้ช่องสัญญาณ ใน [2],[3],[4],[5] ได้เสนอกระบวนการ CAC ที่พิจารณาการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ไปยังเซลล์ข้างเคียงมาเป็นตัวแปรหนึ่งในการตัดสินใจตอบรับสายเรียกเข้า โดยพิจารณาจากค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ขอใช้บริการจะเคลื่อนที่ไปสู่

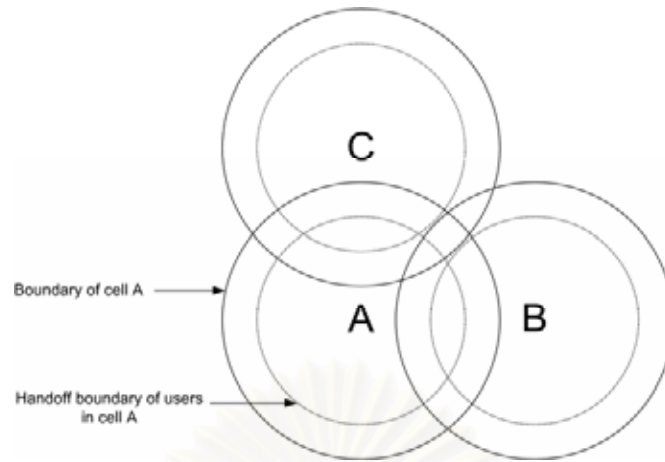
เซลล์รอบข้าง (neighbouring cell) ซึ่งงานที่นำเสนอในนั้นยังคงมีความซับซ้อนอยู่มาก ใน [13] ได้นำแผนที่จริงมาใช้ใช้ในการจำลองรูปแบบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ (map based mobility model) และนำไปประยุกต์กับกระบวนการ CAC รูปแบบต่างๆ จากงานวิจัยทั้งหมดที่กล่าวมาได้นำมาหารูปแบบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ (mobility pattern) เป็นพารามิเตอร์หนึ่งในกระบวนการ CAC ที่ต้องการ update ข้อมูลแบบ real time ทำให้กระบวนการ CAC มีความซับซ้อนมากขึ้น จึงเป็นแรงจูงใจในโครงการนี้ ที่จะออกแบบกระบวนการ CAC ที่ใช้ข้อมูลสถิติการเคลื่อนที่ของผู้ใช้ที่คำนวณมาจากแบบจำลองการเคลื่อนที่ (mobility model) เพื่อลดความซับซ้อนของกระบวนการ CAC ในส่วนที่เกี่ยวกับ mobility pattern

ในงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต ได้มีการหาสมการทางคณิตศาสตร์ ที่แสดงรูปแบบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้เรียกว่าแบบจำลองการเคลื่อนที่ ซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในงานหลายๆ ด้าน เช่น ใช้ในการออกแบบโปรแกรมจำลองสถานการณ์ (simulation program) สำหรับเครือข่ายเซลลูลาร์ หรือใช้ในการประเมินสมรรถนะของระบบ โดยจะต้องเลือกแบบจำลองการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมกับสถานการณ์หรือสอดคล้องกับ mobility pattern มากที่สุด สำหรับแบบจำลองการเคลื่อนที่ที่สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลักๆ คือ แบบจำลองการเคลื่อนที่แบบ 1 มิติ ใช้กับการเคลื่อนที่บนถนน [6] แบบจำลองการเคลื่อนที่แบบ 2 มิติ ใช้กับการเคลื่อนที่ในอาณาบริเวณ [7],[8],[9],[10],[11] และแบบจำลองการเคลื่อนที่แบบ 3 มิติ ใช้กับการเคลื่อนที่ในตึก [12] ในโครงการนี้ได้เลือกใช้แบบจำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการแบบ 2 มิติ ในการออกแบบ simulation program ที่จำลองการเคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการในเครือข่ายเซลลูลาร์

กระบวนการที่สามารถนำมาใช้ควบคู่กับกระบวนการ CAC เพื่อเพิ่มสมรรถนะของเครือข่ายคือ กระบวนการจัดการจำนวน guard channel เพื่อรองรับสัญญาณ handoff กระบวนการจัดการจำนวน guard channel ในเครือข่ายเซลลูลาร์ แบ่งเป็น 2 วิธีหลักๆ วิธีแรกคือ กำหนดจำนวน guard channel ที่แน่นอน (fixed guard channel) ให้กับแต่ละเซลล์ในเครือข่าย วิธีนี้มีความซับซ้อนน้อย แต่มีข้อเสียคือถ้าจำนวน guard channel ที่กำหนดไว้ในแต่ละเซลล์ไม่เหมาะสม จะทำให้ระบบมีสมรรถนะไม่ดี (ในโครงการนี้พิจารณาสมรรถนะจาก ความน่าจะเป็นที่สัญญาณเรียกเข้าถูกขัดขวาง (new call blocking probability), ความน่าจะเป็นที่สัญญาณแฮนด์ออฟถูกขัดขวาง (handoff call blocking probability) และเปอร์เซ็นต์การใช้ช่องสัญญาณ (channel utilization)) สำหรับวิธีที่ 2 คือ การปรับค่า guard channel ตามเวลาหรือสถานการณ์ (adaptive guard channel) วิธีนี้มีความซับซ้อนมากกว่า แต่จะมีความยืดหยุ่น (flexibility) เพิ่มขึ้น จากการศึกษาที่ผ่านมาในอดีต [1],[2] พบว่าโดยทั่วไปเครือข่ายที่ใช้กระบวนการ adaptive guard channel CAC จะมีสมรรถนะที่ดีกว่าเครือข่ายที่กำหนดจำนวน guard channel ไว้ล่วงหน้า CAC ในโครงการนี้ ได้เลือกกระบวนการ adaptive guard channel ที่ปรับค่า guard channel ตามค่าความน่าจะเป็นของ handoff blocking โดยถ้ามีค่าสูงกว่าค่าหนึ่งที่กำหนดไว้จะเพิ่มจำนวน guard channel เพื่อลดค่า handoff blocking และเมื่อค่าความน่าจะเป็นของ handoff blocking มีค่าต่ำกว่าค่าหนึ่งที่กำหนดไว้ CAC จะลดจำนวน guard channel เพื่อเพิ่มค่า channel utilization

4. ทฤษฎีและหลักการ

ในระบบเครือข่ายเซลลูลาร์ จะมีพื้นที่บางส่วนที่มีการซ้อนทับกันของเซลล์หลายๆเซลล์ (overlap area) ซึ่งเมื่อผู้ใช้เคลื่อนที่เข้ามาอยู่ในบริเวณนี้ระบบจะทำการตัดสินใจว่าจะให้ผู้ใช้ยังคงใช้บริการของเซลล์เดิม หรือให้ผู้ใช้เปลี่ยนไปใช้บริการในเซลล์ใหม่ โครงการนี้เลือกใช้กระบวนการตัดสินใจ handoff ดังรูปที่ 1

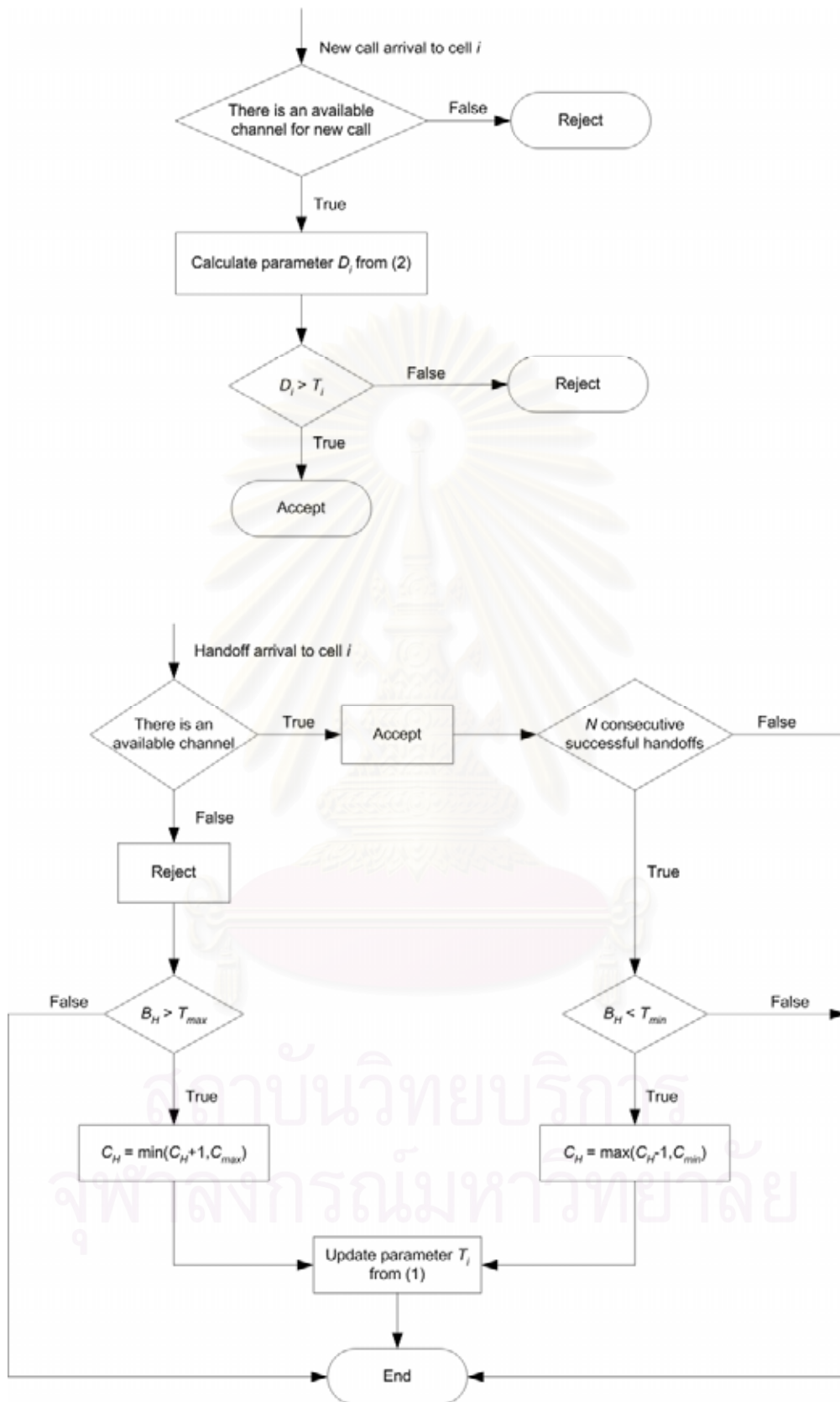


รูปที่ 1 ขอบเขตของเซลล์ และขอบเขตในการตัดสินใจ handoff

สมมุติให้ผู้ใช้บริการเริ่มต้นการโทรภายในขอบเขตของเซลล์ A (boundary of cell A) จากนั้นผู้ใช้บริการเคลื่อนที่ผ่านขอบเขตตัดสินใจ handoff ของผู้ใช้บริการในเซลล์ A (handoff boundary of users in cell A) เครือข่ายจะทำการตัดสินใจหาสถานีฐาน (base station) ใหม่ที่อยู่ใกล้กับผู้ใช้บริการมากที่สุด (ในกรณีนี้คือเซลล์ B หรือเซลล์ C) จากนั้นผู้ใช้บริการจะได้รับการโอนย้ายสัญญาณ และเปลี่ยนไปใช้ขอบเขตการตัดสินใจ handoff ของเซลล์ใหม่ วิธีการ handoff แบบนี้สามารถลดการเกิด handoff ที่มีสาเหตุมาจากผู้ใช้บริการเคลื่อนที่ไปมาระหว่างขอบเขตการ handoff เนื่องจากเซลล์ที่อยู่ติดกันใช้ขอบเขตการ handoff ไม่เหมือนกัน

ในโครงการนี้ได้ออกแบบกระบวนการ CAC ที่ตัดสินใจตอบรับสายเรียกเข้าจาก ข้อมูลทรัพยากรของเซลล์ที่เริ่มทำการโทร ข้อมูลทรัพยากรของเซลล์ข้างเคียง และข้อมูลการเคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการ ซึ่งนำแนวคิดที่เรียกว่า shadow cluster ใน [2],[3],[4],[5] มาลดความซับซ้อนลงโดยใช้ค่าสถิติการเคลื่อนที่ของผู้ใช้จาก mobility model มาประยุกต์รวมกับการปรับจำนวน guard channel ตามค่าความน่าจะเป็นของการเกิด handoff blocking [1] โดยมีแผนภูมิแสดงการทำงานดังรูปที่ 2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2 แผนภูมิการทำงานของ CAC

กระบวนการตัดสินใจในการตอบรับสายเรียกเข้าจะพิจารณาจากพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ D_i แสดงอัตราส่วนช่องสัญญาณที่ยังว่างอยู่ (available channel ratio) และ T_i แสดงอัตราส่วนช่องสัญญาณที่สงวนไว้สำหรับการ handoff (guard channel ratio) เมื่อค่า D_i มากกว่าค่า T_i จะตอบรับการขอใช้ช่องสัญญาณ ถ้าน้อยกว่าจะทำการปฏิเสธ โดยสามารถคำนวณค่า parameter ทั้ง 2 ได้ดังนี้

$$T_i = \frac{\text{number of guard channel in cell } i}{\text{number of all channel in cell } i} \quad (1)$$

$$D_i = \sum_{\forall j} \left(w_{ij} \frac{\text{number of available channels in cell } j}{\text{number of all channels in cell } j} \right) \quad (2)$$

โดยที่ w_{ij} คืออัตราส่วนของเวลาที่ผู้ใช้อยู่ในเซลล์ j เมื่อผู้ใช้เริ่มใช้บริการในเซลล์ i ถ้า w_{ij} มีค่ามากหมายความว่าผู้ใช้ที่เริ่มโทรในเซลล์ i จะใช้เวลาโทรในเซลล์ j มาก ถ้า w_{ij} มีค่าน้อยหมายความว่าผู้ใช้ที่เริ่มโทรในเซลล์ i จะใช้เวลาโทรในเซลล์ j น้อย ค่า w_{ij} คำนวณจากสมการ

$$w_{ij} = \frac{\text{mean time spent in cell } j \text{ by a user initiating his call in cell } i}{\text{mean holding time of that user}} \quad (3)$$

ในโครงงานนี้ประมาณค่าพารามิเตอร์ w_{ij} โดยใช้ข้อมูลการเคลื่อนที่ที่ได้จาก mobility model ใน [10],[11] ได้ทำการคำนวณสมรรถนะของเครือข่ายเซลลูลาร์ในกรุงเทพมหานคร โดยประมาณข้อมูลการเคลื่อนที่ของผู้ใช้จาก mobility model พบว่าค่าสมรรถนะที่ได้จากการคำนวณใกล้เคียงกับค่าสมรรถนะในเครือข่ายจริง

การปรับ guard channel จะเริ่มเมื่อมีการ handoff เกิดขึ้น โดยถ้าการ handoff ไม่สำเร็จ CAC จะทำการตรวจสอบค่า handoff blocking probability ถ้ามีค่าเกินกว่าค่าที่กำหนดไว้จะทำการเพิ่มจำนวน guard channel ในกรณีที่มีการ handoff เกิดขึ้นและสำเร็จ CAC จะทำการสะสมจำนวนครั้งที่สำเร็จติดกัน จนถึงค่าหนึ่งที่กำหนดไว้แล้วจึงตรวจสอบความน่าจะเป็นของการเกิด handoff blocking ถ้ามีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ CAC จะลดจำนวน guard channel ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ใน flow chart มีดังนี้

N = จำนวนครั้งในการ handoff สำเร็จติดต่อกันก่อนพิจารณาลดจำนวน guard channel

B_H = ความน่าจะเป็นของการเกิด handoff blocking

T_{\max} = ค่า threshold สูงสุดสำหรับความน่าจะเป็นของการเกิด handoff blocking

T_{\min} = ค่า threshold ต่ำสุดสำหรับความน่าจะเป็นของการเกิด handoff blocking

C_H = จำนวน guard channel

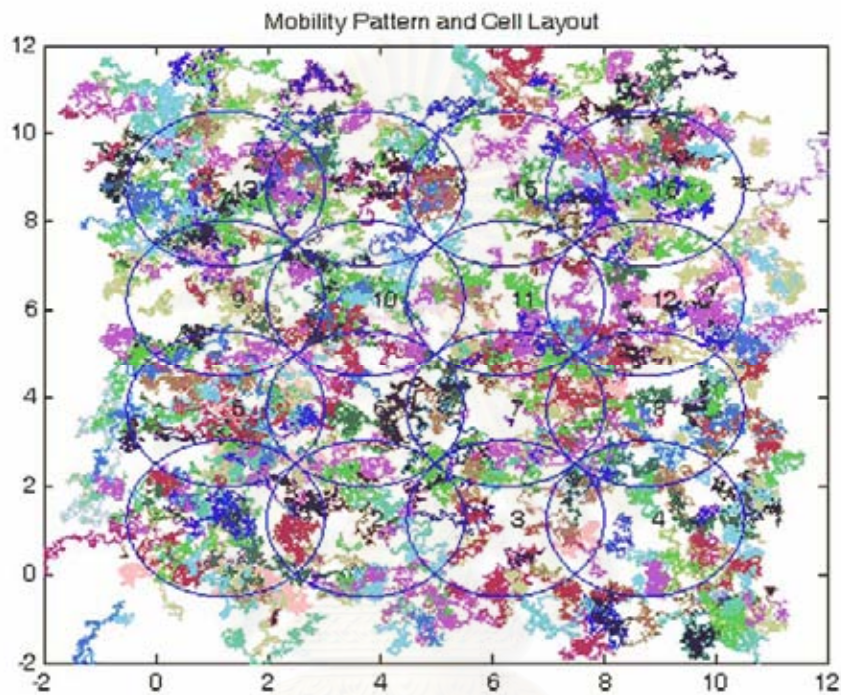
C_{\min} = จำนวน guard channel ต่ำสุด

C_{\max} = จำนวน guard channel สูงสุด

โดยที่จะทำการ update ค่า B_H แบบ real time โดยกำหนดช่วงเวลา τ สำหรับ update การวัด โดยที่ $B_H = D/H$ เมื่อ H คือจำนวน handoff call ทั้งหมดที่พยายามจะเข้ามาใน cell ที่พิจารณา ในช่วงเวลา τ ที่ผ่านมา และ D คือจำนวน handoff call ที่ถูกปฏิเสธ ในช่วงเวลา τ ที่ผ่านมา

5. ผลการจำลอง

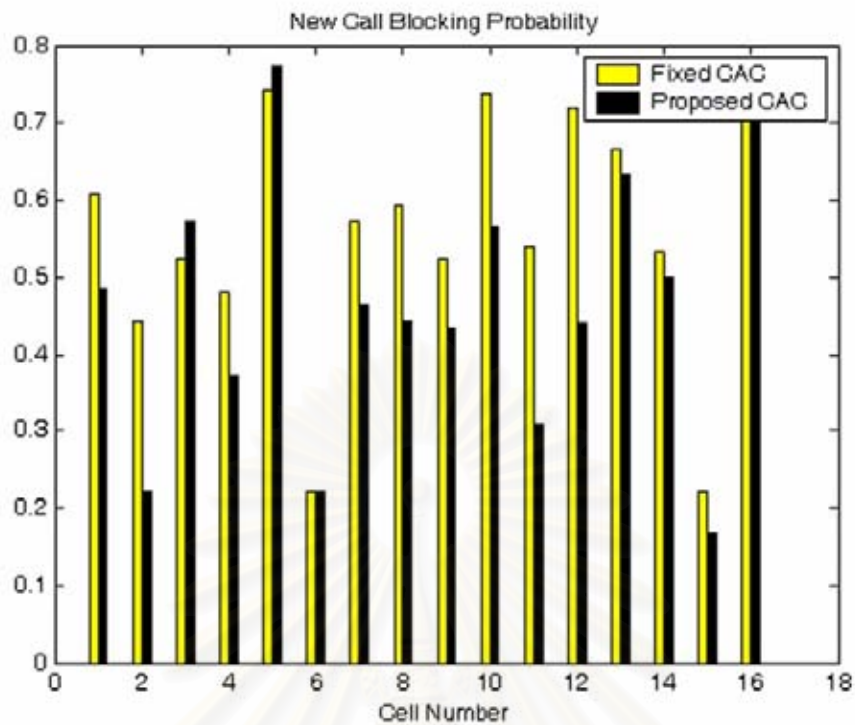
ในโครงการนี้ได้ออกแบบ simulation program เพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของ CAC ที่เสนอกับ fixed CAC โดยกำหนดให้เครือข่ายเซลลูลาร์มีทั้งหมด 16 เซลล์ แต่ละเซลล์มี 6 channel (จำนวน guard channel ของ fixed CAC คือ 1) มีผู้ใช้บริการ 5000 คน ในเครือข่าย อัตราการโทรคือ 1 ครั้งต่อชั่วโมง เวลาในการโทรโดยเฉลี่ยคือ 4 นาที ผู้ใช้แต่ละคนมีการเคลื่อนที่แบบสุ่ม (random walk) และใช้เวลาในการ simulation 12 นาที ได้ผลดังรูปที่ 3-6



รูปที่ 3 : รูปแบบการเคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการและการจัดวางเซลล์

รูปที่ 3 แสดงการเคลื่อนที่ของผู้ใช้บริการในเครือข่ายเซลลูลาร์ เมื่อผู้ใช้บริการในระบบมีการเคลื่อนที่แบบสุ่ม และรูปแบบการจัดวางเซลล์

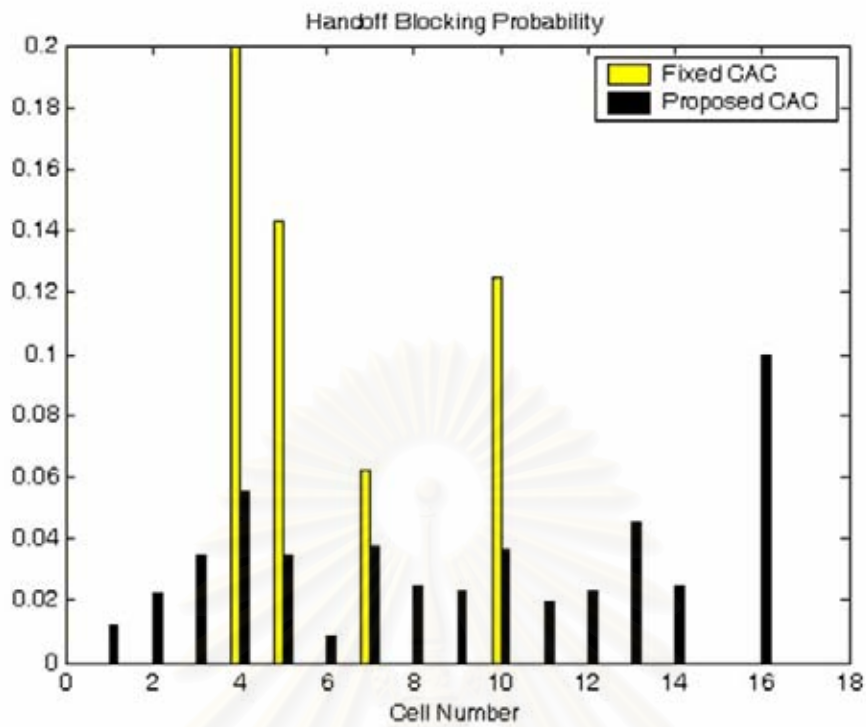
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4 : ค่าความน่าจะเป็นของ new call blocking ของแต่ละเซลล์

รูปที่ 4 แสดงกราฟค่าความน่าจะเป็นของ new call blocking จากวิธี fixed CAC เปรียบเทียบกับวิธี CAC ที่เสนอของแต่ละเซลล์ โดยวิธี fixed CAC มีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นของ new call blocking เท่ากับ 0.5554 ในขณะที่วิธี CAC ที่เสนอมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.45866

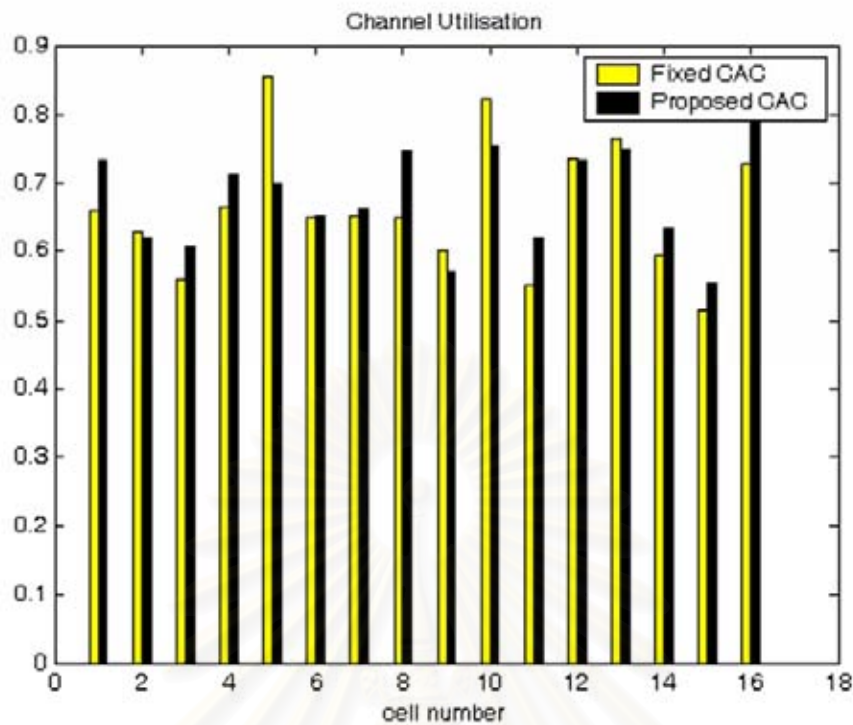
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5 : ค่าความน่าจะเป็นของ handoff blocking ของแต่ละเซลล์

รูปที่ 5 แสดงกราฟค่าความน่าจะเป็นของ handoff blocking จากวิธี fixed CAC เปรียบเทียบกับวิธี CAC ที่เสนอของแต่ละเซลล์ โดยวิธี fixed CAC มีค่าเฉลี่ยความน่าจะเป็นของ handoff blocking เท่ากับ 0.033147 ในขณะที่วิธี CAC ที่เสนอมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.031452

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6 : ค่า channel utilization ของแต่ละเซลล์

รูปที่ 6 แสดงกราฟค่า channel utilisation จากวิธี fixed CAC เปรียบเทียบกับวิธี CAC ที่เสนอของแต่ละเซลล์ โดยวิธี fixed CAC มีค่าเฉลี่ย channel utilisation เท่ากับ 0.66368 ในขณะที่วิธี CAC ที่เสนอมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.6766

6. วิเคราะห์ผลการจำลอง

จากผลการทดลองเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่าง CAC ที่เสนอ กับวิธี fixed CAC พบว่าวิธี CAC ที่เสนอช่วยลดค่าความน่าจะเป็นของ new call blocking และความน่าจะเป็นของ handoff blocking พร้อมทั้งเพิ่มค่า channel utilization เนื่องจากกระบวนการ adaptive guard channel จะลดจำนวน guard channel เมื่อไม่มีสัญญาณ handoff ทำให้ช่องสัญญาณสำหรับ new call เพิ่มขึ้น ค่าความน่าจะเป็นของ new call blocking จึงลดลง ในขณะที่กระบวนการตัดสินใจตอบรับสายเรียกเข้าที่พิจารณาการเคลื่อนที่ของผู้ใช้จะทำการปฏิเสธการร้องขอของผู้ใช้ที่มีการเคลื่อนที่ไปสู่เซลล์ที่ไม่มีช่องสัญญาณเพียงพอ ทำให้ค่าความน่าจะเป็นของ handoff blocking ลดลง จากการที่ความน่าจะเป็นของ new call blocking และ handoff call blocking ลดลง ทำให้ channel utilization เพิ่มขึ้น

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Yi Zhang and Derong Liu, "An Adaptive Algorithm for Call Admission Control in Wireless Networks," *Global Telecommunications Conference*. Vol.6, pp.3268-3632, Nov. 2001.
- [2] Y. Iraqi and R. Boutaba, "Performance Evaluation of a Distributed Call Admission Control for QoS-Sensitive Wireless Mobile Networks," *Sixth IEEE Symposium on Computers and Communications Proceedings*, pp.540-545, Jul. 2001.

- [3] Y. Iraqi and R. Boutaba, "An Adaptive Distributed Call Admission Control for QoS-Sensitive Wireless Mobile Networks," *Wireless Communications and Networking Conference*, vol.1, pp.449-453, Sept. 2000.
- [4] Y. Iraqi and R. Boutaba, "When is It Worth Involving Several Cells in the Call Admission Control Process for Multimedia Cellular Networks?," *IEEE International Conference on Communications*, vol.2, pp.336-340, June 2001.
- [5] D.A. Levine, I.F. Akyildiz and M. Naghshineh, "A Resource Estimation and Call Admission Algorithm for Wireless Multimedia Networks Using the Shadow Cluster Concept," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol.5 Issue1, pp.1-12, Feb. 1997.
- [6] G. Hernandez-Valdez, F. A. Cruz-Perez and D. Lara-Rodriguez, "Dynamic Channel Assignment Schemes Using Vehicular Mobility Information and Violation to the Reuse Pattern for Highway Microcellular Systems," *IEICE Transaction on Communications*, vol.E83-B, no.8, Aug. 2000.
- [7] P. Camarda, G. Schiraldi and F. Talucci, "Mobility Modeling in Cellular Communication Networks," *Proceeding 21st IEEE Conference*, pp.518-525, Oct. 1996.
- [8] Eun-Seon Cho, Go-Whan Jin and Cheol-Hye Cho, "Comparisons of Mobility Models in Cellular Systems," *Vehicular Technology Conference*, vol.1, pp.564-568, Sept. 1999.
- [9] H. Xie and D. J. Goodman, "Mobility Models and Biased Sampling Problem," *2nd International Conference*, vol.2, pp.803-807, Oct. 1993.
- [10] P. I. Bratanov and E. Bonek, "Mobility Model of Vehicle-Borne Terminals in Urban Cellular Systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol.52, no.4, July 2003.
- [11] P.I. Bratanov, "User Mobility Modeling in Cellular Communications Networks," *Ph.D. dissertation*, Vienna University of Technology, Austria, 1999.
- [12] T. S. Kim, J. K. Kwon and D. K. Sung, "Mobility Modeling and Traffic Analysis in Three-Dimensional High-Rise Building Environment," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol.49, no.5, Sept. 2000.
- [13] T. Tugcu and C. Ersoy, "Application of a Realistic Mobility Model to Call Admissions in DS-CDMA Cellular Systems," *Vehicular Technology Conference*, vol.2, pp.1047-1051, May 2001.