

ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่แบบ CDMA

Soft Handoffs in CDMA Mobile Systems



* บงการ หอมนาน
กิตติศักดิ์ ลำดี

บทคัดย่อ

บทความนี้สรุปแนวคิดพื้นฐานของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ (Soft Handoff) ซึ่งเป็นสิ่งที่สำคัญมากอย่างหนึ่งเนื่องจากการใช้มาตรฐานโทรศัพท์แบบเซลลูลาร์ที่ใช้การเข้าถึงแบบหลายทางด้วยการแบ่งรหัส (code-division multiple access : CDMA) ในที่นี้ได้กล่าวถึงข้อดีและข้อเสียของการใช้ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟเมื่อเปรียบเทียบกับฮาร์ดแฮนด์ออฟ (Hard Handoff) โดยรวบรวมจากผลการวิจัยที่มีอยู่ ข้อดีที่เป็นที่รู้จักของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟคือ การปรับปรุงค่าเฟดมาร์จิน (fade margin) และเพิ่มความสำเร็จในการเชื่อมโยงขาขึ้น แต่ข้อเสียคือ การเพิ่มสัญญาณแทรกสอด (interference) ในการเชื่อมโยงขาลง และมีการสร้างที่ซับซ้อนกว่า การออปติไมเซชัน (optimization) พารามิเตอร์ของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟเป็นสิ่งที่สำคัญมาก ดังนั้นจึงมี

การศึกษาและวิจัยหลากหลายในการเลือกและกำหนดพารามิเตอร์เหล่านี้โดยพิจารณาทั้งคุณภาพของการเชื่อมโยงและการจัดสรรทรัพยากร ส่วนสุดท้ายของบทความจะกล่าวถึงทิศทางในการวิจัยในอนาคต

คำสำคัญ CDMA, แฮนด์ออฟ

1. บทนำ

แฮนด์ออฟเป็นส่วนประกอบสำคัญอย่างหนึ่งของระบบสื่อสารโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ การเคลื่อนที่ของสถานีเคลื่อนที่ทำให้เกิดความเปลี่ยนแปลงต่อคุณภาพของการเชื่อมโยงและระดับสัญญาณแทรกสอดในระบบเซลลูลาร์ บางครั้งจำเป็นต้องเปลี่ยนสถานีฐานที่ให้บริการ การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวเรียกว่า “แฮนด์ออฟ” ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ยุคแรก (first-generation) วิธีแฮนด์ออฟเป็นแบบง่ายๆ ส่วนใน

* อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิต : วศ. ม. ไฟฟ้า (โทรคมนาคม)
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ยุคที่ 2 (second-generation) ได้พัฒนาการ
แฮนด์ออฟจากยุคแรกหลาย ๆ ด้าน

จุดประสงค์ในการเสนอบทความเรื่อง
ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟเพื่อศึกษาข้อดีในการปรับปรุง
สมรรถนะและแนวทางในการเลือกพารามิเตอร์
ของระบบ

2. แนวคิด / วิธีการที่นำเสนอ

งานวิจัยได้แบ่งออกเป็น 2 หมวด
ใหญ่ ๆ โดยเน้นที่การปรับปรุงเฟดมาร์จิน และ
การเพิ่มความจุในการเชื่อมโยงขาขึ้น

การปรับปรุงเฟดมาร์จิน

กำหนดให้ outage probability เป็น
ความน่าจะเป็นที่จะเกิดการดรอปของการเรียก
ก่อนการสิ้นสุดการสนทนาแสดงด้วย P_{out} ซึ่งเป็น
ฟังก์ชันของระยะห่างจากสถานีฐาน r ระดับความ
แรงสัญญาณต่ำสุดที่สามารถรับได้ $S_{r,min}$ ส่วน
ประกอบการสูญเสียที่ส่งผ่าน μ ส่วนประกอบขา
โด้ว์เฟดดิ้ง (shadow fading) ζ ไดเวอร์ซิตีแบบ
แมคโครสโกปิก (macroscopic diversity) และ
กำลังสัญญาณที่ส่งออก S_t ปกติค่า $P_{out}(r_0) \leq$

$P_{out,max}$ โดยที่ r_0 คือรัศมีของพื้นที่ให้บริการ ค่า S_t
ต่ำที่สุดสำหรับ P_{out} ที่ต้องการเป็นสิ่งที่สนใจใน
การวิเคราะห์ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟในกรณีที่เน้นที่
เฟดดิ้ง

การแทรกสอดและความจุของ
การเชื่อมโยงขาขึ้น

ข้อดีในการใช้ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟในกรณี
ที่พิจารณาถึงการแทรกสอดคือ ไม่มีการใช้ฮิสเต
อริซิสมาร์จินดังที่ใช้ในฮาร์ดแฮนด์ออฟซึ่งเป็น
สาเหตุทำให้มีความหน่วงมากขึ้นในกระบวนการ
แฮนด์ออฟและในขณะดังกล่าวมีการแทรกสอดสูง
ผลคือในซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟจะมีการแทรกสอดน้อย
กว่าในฮาร์ดแฮนด์ออฟ อย่างไรก็ตามใน
ซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟจะมีการแทรกสอดเพิ่มขึ้นอีก
อย่างคือ การแทรกสอดการเชื่อมโยงขาของอันเนื่อง
มาจากการส่งสัญญาณขาของพร้อมกันของหลาย
สถานีฐาน ดังนั้นการแทรกสอดรวมของการเชื่อมโยง
ขาของยังไม่ชัดเจนนักและค่อนข้างจะไวต่อการ
เปลี่ยนค่าพารามิเตอร์หลายตัว

พิจารณาการเชื่อมโยงขาขึ้น ให้ S_t เป็น
กำลังที่ใช้ในการส่งของผู้ใช้ดังแสดงในสมการ

$$S_t = \text{กำลังสูญเสียในการส่งผ่าน} = 10\mu \log(r_1) + \zeta_1 \quad (1)$$

โดยที่ r_1 เป็นระยะห่างจากสถานีฐานที่ได้รับบริการ ให้ r_2 เป็นระยะห่างจากอีกสถานีฐาน
หนึ่งซึ่งส่งสัญญาณแทรกสอดแก่โทรศัพท์เคลื่อนที่ และให้ I แสดงเป็นการแทรกสอดจะได้

$$\begin{aligned} I &= S_t - \text{กำลังสูญเสียในการส่งผ่านไปยังสถานีฐานอื่น} \\ &= 10\mu \log(r_1) + \zeta_1 - 10\mu \log(r_2) + \zeta_2 \end{aligned} \quad (2)$$

จะได้ว่าการแทรกสอดทั้งหมดเป็น

$$\Sigma 10^{1/10}$$

(3)

โดย I เป็นการแทรกสอดจากเซลล์อื่น ๆ สมการนี้ใช้ได้กับทั้งซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ ความแตกต่างระหว่างซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์อื่นหนึ่งอยู่ที่การกำหนดตำแหน่งของแหล่งกำเนิดสิ่งแทรกสอด ปกติแล้วซอฟต์แวร์จะเพิ่มความจุของการเชื่อมโยงขาขึ้นประมาณ 2 - 2.5 เท่า

เป็นการยากที่จะหาวิธีการวิเคราะห์แบบง่ายและดีสำหรับการแทรกสอดระหว่างเซลล์ในการเชื่อมโยงขาขึ้น นั่นคือจะมีการสมมูลระหว่างความซับซ้อนและความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง จากข้างต้นจะเห็นว่าการแทรกสอดข้างล่างมีความซับซ้อน ถ้าข้อสัญญาของการเชื่อมโยงทั้งขาขึ้นและข้างล่างใช้แถบความถี่เดียวกัน การแทรกสอดดังกล่าวจะส่งผลถึงการเชื่อมโยงขาขึ้นด้วย ระดับของการแทรกสอดมีผลกับการเลือกพารามิเตอร์ซอฟต์แวร์ ดังนั้นการออกแบบเซชันค่าพารามิเตอร์จึงเป็นสิ่งจำเป็น

การออกแบบเซชันพารามิเตอร์

กล่าวถึงพารามิเตอร์ที่มีผลต่อสมรรถนะของซอฟต์แวร์และกล่าวถึงพารามิเตอร์เหล่านี้สัมพันธ์อย่างไรต่อตัวชี้สมรรถนะบางตัว

พารามิเตอร์

1. แอดเทอร์ชโฮลด์ (add threshold) เป็นค่าเทอร์ชโฮลด์สำหรับการเป็นสมาชิกในแอคทีฟเซต (active set)
2. ดรอพเทอร์ชโฮลด์ (drop threshold) เป็นค่าเทอร์ชโฮลด์สำหรับการหยุดการเป็นสมาชิกในแอคทีฟเซต
3. T_{drop} ช่วงเวลาที่ระดับสัญญาณของสมาชิกในแอคทีฟเซตต่ำกว่าดรอพเทอร์ชโฮลด์เป็นเวลาอย่างน้อยเท่ากับ T_{drop} ก่อนที่จะหยุดการเป็นสมาชิกในแอคทีฟเซต
4. วินโดว์ของซอฟต์แวร์ (soft handoff window) ความแตกต่างระหว่างแอดเทอร์ชโฮลด์และดรอพเทอร์ชโฮลด์ จะเห็นได้ว่ายังวินโดว์มีขนาดกว้างเท่าไร เวลาในการเฉลี่ยของซอฟต์แวร์จะนานขึ้น
5. อัตราส่วน a = พื้นที่ของบริเวณซอฟต์แวร์ / บริเวณพื้นที่ครอบคลุมของเซลล์ ซึ่งสามารถเปลี่ยนแปลงได้ เช่น ปรับระยะระหว่างสถานีฐาน

ตัวชี้สมรรถนะ

1. คุณภาพของการเชื่อมโยง
 - 1.1 E_c/I_0 ของการเชื่อมโยงข้างล่างเฉลี่ยสำหรับโหลดที่กำหนดให้ในระบบ

1.2 E_C/I_0 ของการเชื่อมโยงขาขึ้นเฉลี่ย
สำหรับโหลดที่กำหนดให้ในระบบ

2. การจัดสรรทรัพยากร

2.1 T_C ทราฟฟิกที่รองรับ

2.2 P_B ความน่าจะเป็นของการบล็อกการ
เรียกใหม่

2.3 P_{CB} ความน่าจะเป็นที่ทุกช่องสัญญาณใน
เซลล์เป้าหมายถูกใช้หมด

2.4 NO_{BS} จำนวนของสถานีฐานที่คาดไว้ใน
แอดทีฟเซต

2.5 TRE ประสิทธิภาพการใช้ทังก์ (trunk)

2.6 NO_{update} จำนวนของสถานีฐานที่คาดว่าจะมี
การเปลี่ยนแปลงในแอดทีฟเซต

3. วิเคราะห์ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบการศึกษาการ Simulation ของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ

	Asawa. Stark	Chopra. Et al	Seite	Su Chen	Wang Wang
Power control	-	-	ไม่สมบูรณ์	-	สมบูรณ์
Voice activity detection	-	-	มี	-	มี
Antenna sectorization	ไม่มี	ไม่มี	สมบูรณ์	ไม่มี	ไม่สมบูรณ์
Softer handoff	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	มี
Active, candidate, neighbor, remainder sets	ไม่มี	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี
Add/drop thresholds	ไม่มี	มี	มี	-	มี
More than two base stations in system	มี	มี	มี	มี	ไม่มี
More than two base stations possible for soft handoff	มี	มี	มี	ไม่มี	ไม่มี
Network resources considered	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	มี	ไม่มี
Propagation environment	เซลล์ลาร์	เซลล์ลาร์	ไมโครเซลล์ลาร์	เซลล์ลาร์	เซลล์ลาร์
Path loss exponent	3	3.6 และ 4	2-4	-	4
Shadow fading variance	6	6.8 และ 8	8	-	8
Small-scale fading	ไม่มี	มี	มี	-	ไม่มี

ข้อสังเกต วิธีการตัดสินใจของ Asawa. Stark แตกต่างจากการใช้ Add/drop thresholds ที่มีใน IS-95 และ มีผลที่
ดีกว่า

งานวิจัยของ Wang Wang แสดงให้เห็นว่าแทบจะไม่มีโอเวอร์เฮดเหลืออยู่สำหรับซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ (softer handoff) Seite ใช้แบบจำลอง large-scale propagation สำหรับไมโครเซลล์ลาร์ของ Berg Brown and Lotse ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายแบบ lognormal ค่อนข้างสูงคือ 8 dB นอกจากนี้ยังทดสอบอัตราความผิดพลาดของบิต มีขั้นตอนในการซิงโครไนซ์ที่สมบูรณ์ระหว่างลำดับข้อมูลที่สเปรด (spread) แล้วในตัวรับแบบ Rake Su และ Chen วิเคราะห์การจัดสรรทรัพยากรโดยให้แต่ละเซลล์มีจำนวนช่องสัญญาณ C แต่สำรองไว้สำหรับการแฮนด์ออฟ C_h ช่องสัญญาณสมรรถนะของระบบได้มีการวิเคราะห์โดยใช้กระบวนการเบิร์ท-เดธ (birth-death process) มาร์คอฟเชน (Markov chains) และมีการเข้าคิวในการวิจัยของ Zhang และ Holtzmann มีสิ่งที่แตกต่างจาก IS-95 คือการใช้ระดับความแรงสัญญาณของสัญญาณนำร่อง (pilot) แทนค่า E_c/I_0 มีการใช้แอคทีฟเซตและคอมพลีเมนต์ของแอคทีฟเซต Asawa และ Stark เพิ่มการออปติไมเซชันพารามิเตอร์ใหม่ที่กำหนดขึ้นเนื่องจากมีแนวคิดที่ว่าแอคทีฟเซตและทรอปเทรซโฮลด์ไม่เพียงพอในการตัดสินใจแฮนด์ออฟคุณภาพของการเชื่อมโยง การเพิ่มวินโดว์ของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ จะทำให้เพิ่มการแทรกสอดในการเชื่อมโยงขาลงเนื่องจากช่วงเวลาในการส่งสัญญาณของสถานีฐานต่างๆ นานขึ้น แต่ว่าการลดวินโดว์ทำให้การแทรกสอดในการเชื่อมโยงขาขึ้นเพิ่มขึ้นเนื่องจากคุณสมบัติของการลดลงของการแทรกสอดขาขึ้น

ลดลง แบบจำลองของ Asawa และ Stark แสดงให้เห็นว่าวิธีออปติไมเซชันแบบสตอคาสติกของพารามิเตอร์ที่เพิ่มเข้ามามีสมรรถนะเหนือกว่าการใช้แอคทีฟเซตและทรอปเทรซโฮลด์

การจัดสรรทรัพยากร หัวข้อนี้ประเด็นอยู่ที่การใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพและการปรับปรุงสมรรถนะในเทอมของตัวชี้ต่างๆ เช่น P_B เมื่อ a เพิ่มขึ้นจะได้ค่า P_{CB} , P_B และ NO_{update} มีการปรับปรุงไปในทางที่ดีขึ้นคือลดลง แต่ว่า NO_{BS} และ TRE เลวลงโดยมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงตามลำดับ ดังนั้นจึงแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ

1. N_C (จำนวนของช่องสัญญาณที่มีในหนึ่งเซลล์) จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อ a เพิ่มขึ้นเป็นผลจากการเพิ่มความจุของการเชื่อมโยงขาขึ้น

2. N_C มีค่าคงที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามค่า a ทั้ง 2 กรณีแสดงให้เห็นได้ว่าการเพิ่ม a จะให้ P_{CB} และ P_B ต่ำกว่าจะเห็นชัดเจนเมื่อ N_C เพิ่มขึ้นตาม a สำหรับ T_C ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าเมื่อ N_C มีค่าคงที่ T_C จะลดลงเมื่อเพิ่ม a สะท้อนให้เห็นถึงการใช้อำนาจสัญญาณลดลงในกระบวนการซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟ ค่าที่แท้จริงของ a ไม่สามารถทราบได้ ผลของ T_{drop} ก็มีการศึกษาเช่นกันโดยค่าที่มากจะให้ผลเหมือนกับวินโดว์ของซอฟต์แวร์แฮนด์ออฟมีขนาดใหญ่หรือ a มีขนาดใหญ่

วิธีออปติไมเซชันแบบสตอคาสติกเป็นแบบจำลองที่มีความยืดหยุ่นสำหรับทั้งคุณภาพการเชื่อมโยงและตัวประกอบการจัดสรรทรัพยากร

4. บทสรุป

ซอฟต์แวร์ฮาร์ดแวร์เป็นเทคโนโลยีที่ลึกลับซับซ้อน แต่มีสมรรถนะที่ดีกว่าฮาร์ดแวร์ฮาร์ดแวร์เนื่องจากมีการใช้ไดเวอร์ซิตีแบบแมโครสโกปิก (macroscopic) และไม่ใช่ฮิสเตอร์ิซิสมาร์จิน นอกจากนี้ยังมีเฟดมาร์จินเกินมากกว่าฮาร์ดแวร์ฮาร์ดแวร์ มีการเพิ่มความจุในการเชื่อมโยงขาขึ้นในระบบที่มีการควบคุมกำลังในการส่ง (power control) แต่เนื่องจากความซับซ้อนของซอฟต์แวร์ฮาร์ดแวร์จึงมีการวิจัยหลักด้านหนึ่งในการกำหนดพารามิเตอร์ของซอฟต์แวร์ฮาร์ดแวร์ มีตัวแปรหลายตัวที่เกี่ยวข้องแต่การอุปติไมซ์ก็ยังไม่ชัดเจนสำหรับสำหรับระบบใดระบบหนึ่ง การเข้าใจอย่างถ่องแท้ในการอุปติไมซ์พารามิเตอร์จะเป็นสิ่งสำคัญในการใช้ซอฟต์แวร์ฮาร์ดแวร์

5. ทิศทางในอนาคต

หลายอย่างเกี่ยวกับซอฟต์แวร์ฮาร์ดแวร์ยังไม่กระจ่างชัดเจน ข้อดี และข้อเสียของซอฟต์แวร์ฮาร์ดแวร์ยังคงเป็นหัวข้อที่ศึกษาต่อไป เช่นเดียวกับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ ในอนาคตจะมีการศึกษาถึงรูปแบบของการรวมกันของสัญญาณโดยใช้ไดเวอร์ซิตีแบบแมโครสโกปิกมากกว่าการรวมกันแบบซีเลคชัน (selection combining)

การศึกษาในอนาคตควรจะมีระดับข้อสมมติ เช่น การสุ่มสัญญาณควรใช้การสุ่มตามช่วงระยะที่กวาดได้มากกว่าการกำหนดช่วงเวลาในการสุ่มซึ่งในหัวข้อนี้มีแบบจำลองจากการวิจัยออกมาได้ แก่ แบบจำลองฮิดเดนมาร์ค คอฟของ Kennemann และวิธีการสุ่มแบบปรับตัวได้ของ Austin และ Stuber ♦♦

บรรณานุกรม

- Gilhousen, K.S. and others. "On the capacity of a cellular CDMA system," **IEEE Transactions on Vehicular Technology**. 40,2, May 1991, pp. 303-312.
- Lee, William C.Y. "Overview of cellular CDMA," **IEEE Transactions on Vehicular Technology**. 40,2, May 1991, pp. 291-302.
- Viterbi, A.J. and others. "Soft Handoff extends CDMA cell coverage and increases reverselink capacity," **IEEE Journal on Selected Areas in Communications**. 12, 8, October 1994, pp. 1281-1288.
- Wong, Danial and Lim, Teng Joon. "Soft Handoff in CDMA Mobile Systems," **IEEE Personal communications**. 4, 12, December 1997, pp. 6-17.
- Zhang, N. and Holtzman, J.M. "Analysis of a CDMA Soft-Handoff Algorithm," **IEEE Transactions on Vehicular Technology**. 47, 2, May 1998, pp. 710-714.