# บทที่ 3

## แนวคิด ผลงานที่ผ่านมาและวิธีการยืมช่องสัญญาณโดยการกำหนดช่องสัญญาณแบบยูนิฟอร์ม (BUCA)

### 3.1 ผลงานที่ผ่านมา

เทคนิคหลักที่ใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ถูกแบ่งเป็น 3 วิธีคือ วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบตายตัว (Fixed Channel Allocation หรือ FCA) วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบพลวัต (Dynamic Channel Allocation หรือ DCA) และวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณแบบยืมช่องสัญญาณ (Borrowing Channel Allocation หรือ BCA) ซึ่งรายละเอียดของแต่ละวิธีมีดังนี้

1. วิธี FCA นั้น จะมีการกำหนดเซตของช่องสัญญาณให้กับแต่ละเซลล์อย่างตายตัว และเซตของช่องสัญญาณเดียวกันสามารถที่จะนำมาใช้ใหม่ได้ใน Frequency Reuse Distance (W.C.Y. Lee, 1995: 57) เมื่อช่องสัญญาณทั้งหมดของแต่ละเซลล์ถูกใช้หมด การเรียกใหม่ที่เกิดขึ้นมาจะถูกบล็อก การจัดสรรช่องสัญญาณวิธีนี้เป็นวิธีแรกและเป็นแบบพื้นฐานที่มีการใช้งานทั่วไปของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ และมีโครงสร้างฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ไม่ซับซ้อน

2. วิธี DCA นี้เป็นแนวความคิดที่ปรับปรุงมาจากวิธี FCA ซึ่งช่องสัญญาณทั้งหมดจะถูกกำหนดไว้ที่ตัวควบคุมสถานีฐาน (Base Station Controller หรือ BSC) และจะไม่กำหนดเซตของช่องสัญญาณให้กับแต่ละเซลล์ไว้ล่วงหน้า ถ้าเซลล์ใดมีการเรียกเกิดขึ้นแล้วจะจัดสรรช่องสัญญาณรองรับการเรียกนั้น วิธีนี้มีข้อดีคือ หากเซลล์ใดมีทราฟฟิกที่เกิดขึ้นมาก ก็จะได้รับช่องสัญญาณจำนวนมาก ทำให้อัตราการบล็อกต่ำกว่าวิธี FCA แต่หากทราฟฟิกสูง ๆ อัตราการบล็อกจะสูงกว่าวิธี FCA (Okada and Kubota, 1991)

3. วิธี BCA นี้เป็นแนวความคิดที่ปรับปรุงมาจากวิธี FCA เช่นกัน ซึ่งจะมีการกำหนดเซตของช่องสัญญาณให้กับแต่ละเซลล์อย่างตายตัวเช่นเดียวกับวิธี FCA เมื่อช่องสัญญาณทั้งหมดของเซลล์หนึ่งถูกใช้หมด และมีการเรียกใหม่เกิดขึ้นมาในเซลล์นั้นอีก เซลล์นั้นสามารถยืมช่องสัญญาณที่ว่างจากเซลล์รอบข้างได้ ปัญหาหลักสำหรับ BCA นั้นคือการรักษาค่า C/I (Carrier to Inter ference Ratio หรือ ค่าที่รับประกันคุณภาพของสัญญาณที่โทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถติดต่อกันได้) ให้เกินกว่าค่าแทรชโฮสด์ (ระดับต่ำสุดของสัญญาณที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้รับ โดยระบบยังคงสามารถติดต่อกันได้และการเรียกดัง

กล่าวไม่ถูกบล็อก) การแก้ไขปัญหาดังกล่าวของวิธี BCA คือกำหนดให้ช่องสัญญาณที่ถูกยืมจะถูกบล็อกการใช้ช่องสัญญาณนั้นกับเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณเดียวกัน (Cochannel Cells) ทั้งหมดในระบบ (Maric, Alonso and Metivier, 1994)

S. M. Elnoubi และ R. Singh และ S. C. Gupta (1982) ได้เสนอวิธีการใหม่และปรับปรุงวิธี BCA เดิม คือ วิธีการยืมช่องสัญญาณโดยการจัดลำดับของช่องสัญญาณ (Borrowing with Channel Ordering หรือ BCO) โดยช่องสัญญาณที่ถูกยืมจะถูกบล็อกการใช้ช่องสัญญาณนั้นกับเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณเดียวกันภายในระยะ Frequency Reuse Distance ของเซลล์ที่ให้ยืมช่องสัญญาณเท่านั้น

งานวิจัยของ M. Zhang และ T. P. Yum (1989) ได้ปรับปรุงวิธี BCO คือวิธีการยืมช่องสัญญาณโดยการบล็อกช่องสัญญาณแบบมีทิศทาง (Borrowing with Directional Channel Locking หรือ BDCL) โดยช่องสัญญาณที่ถูกยืมจะถูกบล็อกการใช้ช่องสัญญาณนั้นกับเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณเดียวกันในบางทิศทางซึ่งถูกแทรกสอดหรือรบกวนจากการยืมช่องสัญญาณดังกล่าวเท่านั้น

S.V. Maric และ E. Alonso และ G. Metivier (1994) ได้ทำการศึกษาวิธี BCA ดังกล่าวและได้เสนอวิธีการยืมช่องสัญญาณแบบอะแดปตีฟโดยการจัดลำดับของช่องสัญญาณ (Adaptive Borrowing with Channel Ordering หรือ ABCO) โดยเซลล์หนึ่ง ๆ สามารถจะให้ยืมช่องสัญญาณที่จัดลำดับไว้ได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับทราฟฟิกของแต่ละเซลล์ และเซลล์ใด ๆ จะยืมช่องสัญญาณได้จากเซลล์ที่มีทราฟฟิกต่ำที่สุดในคลัสเตอร์เดียวกัน ผลจากการจำลองระบบคืออัตราการบล็อกการเรียกที่เกิดขึ้นของระบบต่ำกว่าการจัดสรรช่องสัญญาณแบบตายตัว วิธีนี้ได้นำการแฮนด์โอเวอร์ภายในเซลล์ (Intracell Handover) มาใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณ อีกทั้งพิจารณาการกระจายการเรียกเป็นแบบนอนยูนิฟอร์ม (Nonuniform Traffic Distribution)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอวิธีการยืมช่องสัญญาณตามสภาวะทราฟฟิกของเซลล์โดยการกำหนดช่องสัญญาณแบบยูนิฟอร์ม (Traffic-Based Channel Borrowing with Uniform Channel Assignment หรือ BUCA) ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีการที่ปรับปรุงจากวิธี ABCO และการจัดสรรช่องสัญญาณโดยการกำหนดช่องสัญญาณที่จัดอันดับไว้ถูกเปลี่ยนเป็นการกำหนดช่องสัญญาณแบบยูนิฟอร์ม และทุก ๆ ช่องสัญญาณที่ว่างจะถูกตรวจสอบค่า C/I ทั้งหมด จนกระทั่งแต่ละเซลล์ได้รับช่องสัญญาณที่ว่างและมีค่า C/I มากกว่าค่าเทรชโฮลด์

### 3.2 แบบจำลองระบบที่ใช้ในวิธี ABCO

แบบจำลองระบบที่เกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณวิธีต่าง ๆ ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ในงานวิจัยที่ผ่านมา จะไม่มีการพิจารณาการเคลื่อนที่ของตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพราะถือว่าตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการเคลื่อนที่มีจำนวนที่น้อยกว่าตัวเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ไม่มีการเคลื่อนที่อยู่มาก ซึ่งตามสภาพการใช้งานจริงของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ ผู้ใช้เครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ก็มีการเคลื่อนที่น้อยมากเช่นกัน ดังนั้นแบบจำลองระบบที่เกี่ยวกับการจัดสรรช่องสัญญาณวิธีต่าง ๆ ของงานวิจัยที่ผ่านมาจะไม่พิจารณาการแฮนด์โอเวอร์ระหว่างเซลล์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานวิจัยต่าง ๆ ของวิธี BCA จะไม่มีการพิจารณาการแฮนด์โอเวอร์ระหว่างเซลล์ เนื่องจากวิธี BCA เป็นวิธีที่นำมาใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้สเปกตรัมความถี่ (ช่องสัญญาณ) และจะไม่มีผลต่ออัตราการแฮนด์โอเวอร์เลย แต่จะนำการแฮนด์โอเวอร์ภายในเซลล์มาใช้เพื่อช่วยให้การจัดสรรช่องสัญญาณของเซลล์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อาทิเช่น วิธี ABCO (Maric, Alonso and Metivier, 1994) และวิธี BUCA ที่นำเสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

แบบจำลองระบบที่ใช้ในงานวิจัยของ S.V. Maric และ E. Alonso และ G. Metivier (1994) จะพิจารณารูปแบบของเซลล์ทั่ว ๆ ไป ซึ่งมีสถานีฐานของโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ที่ศูนย์กลางของแต่ละเซลล์ โดยที่แต่ละเซลล์จะมีรัศมีคือ R และพิจารณาจำนวนของเซลล์ที่มากที่สุดที่จะเกิดสัญญาณรบกวนกันเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกัน (Possible Active Interferers) ของแต่ละเซลล์ในระบบเท่ากับ 6 ซึ่งเป็นการพิจารณาเฉพาะวงแหวนวงแรก (First Tier) เท่านั้น เนื่องจากผลกระทบที่เกิดจากการแทรกสอดกันเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกันของวงแหวนวงอื่น ๆ (Second Tier และ Higher Tier) จะมีผลต่อคลัสเตอร์ศูนย์กลางน้อยมาก (W.C.Y. Lee, 1995: 59) ดังนั้นแบบจำลองระบบของ S.V. Maric และ E. Alonso และ G. Metivier (1994) จะประกอบไปด้วย 7 คลัสเตอร์ (คลัสเตอร์ศูนย์กลางและ 6 คลัสเตอร์รอบข้าง) และใช้ค่า K = 7 (7-Cell Reuse Pattern) โดยค่า K คือรูปแบบของการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ (Frequency Reuse Pattern) เพราะฉะนั้นแบบจำลองระบบจะมี 49 เซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 3.4 โดยที่แต่ละเซลล์จะมีช่องสัญญาณใช้งาน เท่ากับ 40 ช่องสัญญาณ (5 GSM Carriers)

แต่ละตัวควบคุมสถานีฐานของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จะควบคุม 1 คลัสเตอร์ (7 เซลล์) และแต่ละตัวควบคุมสถานีฐานจะมี 1 ตารางข้อมูล ซึ่งแสดงจำนวนช่องสัญญาณของแต่ละเซลล์หรือสถานีฐาน

(ที่ถูกควบคุมด้วยตัวควบคุมสถานีฐานนั้น ๆ) ที่สามารถให้ยืมแก่สถานีฐานอื่น ๆ ในคลัสเตอร์เดียวกันได้ตามสภาวะทราฟฟิกของแต่ละเซลล์

### 3.3 วิธีการยืมช่องสัญญาณแบบอะแดปตีฟโดยการจัดลำดับของช่องสัญญาณ (วิธี ABCO)

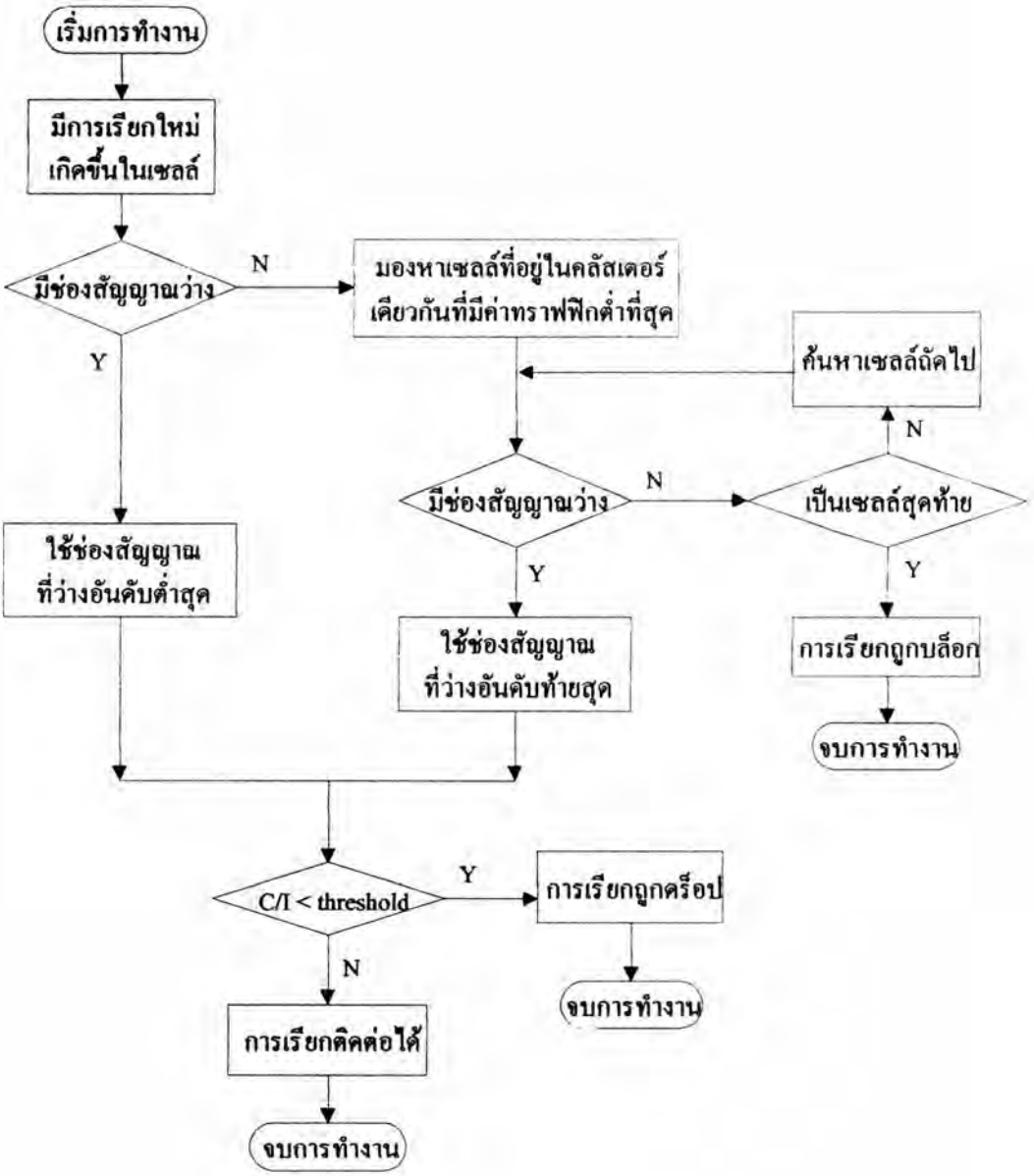
Maric และ Alonso และ Metivier (1994) ได้นำเสนอวิธีการยืมช่องสัญญาณแบบอะแดปตีฟโดยการจัดลำดับของช่องสัญญาณ (Adaptive Borrowing with Channel Ordering หรือ ABCO) วิธีการนี้จะกำหนดให้เซลล์หนึ่ง ๆ สามารถให้ยืมช่องสัญญาณตามการจัดลำดับของช่องสัญญาณได้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับทราฟฟิกของแต่ละเซลล์ และเซลล์ใด ๆ สามารถจะยืมช่องสัญญาณได้จากเซลล์ที่มีทราฟฟิกต่ำที่สุดในคลัสเตอร์เดียวกัน วิธีการนี้ได้นำการแฮนด์โอเวอร์ภายในเซลล์ (Intracell Handover) มาใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณภายในเซลล์ตัวเองด้วย และได้พิจารณาการกระจายทราฟฟิกของระบบเป็นแบบนอนยูนิฟอร์ม (Nonuniform Traffic Distribution) ซึ่งจะกล่าวถึงการกระจายทราฟฟิกของระบบในหัวข้อที่ 4.3

อัลกอริทึมของวิธี ABCO นี้แสดงในรูปที่ 3.1 ซึ่งจากรูปจะพบว่าวิธีนี้จะมีการพิจารณาการใช้ช่องสัญญาณเป็น 2 กรณี ดังนี้

- กรณีที่ 1 เมื่อมีการเรียกเกิดขึ้นในเซลล์ใด ๆ และเซลล์นั้นมีช่องสัญญาณว่าง ก็จะเลือกช่องสัญญาณที่ว่างอันดับต่ำสุดของเซลล์นั้น แล้วตรวจสอบค่า C/I ของช่องสัญญาณนั้นว่ามีค่าที่มากกว่าค่าเทรชโฮลด์หรือไม่ ถ้าค่า C/I ของช่องสัญญาณมีค่าน้อยกว่าค่าเทรชโฮลด์ การเรียกก็จะถูกดรอป (อัตราการดรอปการเรียกที่เกิดขึ้นเนื่องจากค่า C/I ของช่องสัญญาณต่ำกว่าค่าเทรชโฮลด์ คือค่า call drop rate) แต่ถ้าค่า C/I ของช่องสัญญาณมีค่ามากกว่าค่าเทรชโฮลด์ การเรียกก็จะติดต่อได้

- กรณีที่ 2 เมื่อมีการเรียกเกิดขึ้นในเซลล์ใด ๆ แต่เซลล์นั้นไม่มีช่องสัญญาณที่ว่าง เซลล์นั้นจะทำการยืมช่องสัญญาณที่ว่างจากเซลล์ที่มีค่าทราฟฟิกต่ำที่สุดในคลัสเตอร์เดียวกัน แล้วพิจารณาว่าเซลล์ดังกล่าวมีช่องสัญญาณว่างหรือไม่ ถ้าไม่มีช่องสัญญาณว่าง ก็จะทำการยืมช่องสัญญาณจากเซลล์รอบข้างที่มีทราฟฟิกต่ำรองลงไปที่สามารถให้ยืมช่องสัญญาณได้ในคลัสเตอร์เดียวกัน ถ้าเซลล์นั้นเป็นเซลล์สุดท้ายในคลัสเตอร์เดียวกันที่ไม่มีช่องสัญญาณว่าง การเรียกดังกล่าวก็จะถูกบล็อก แต่ถ้าพบเซลล์ใดที่มีช่องสัญญาณว่างแล้ว จะยืมช่องสัญญาณที่ว่างโดยเลือกช่องสัญญาณอันดับท้ายสุดของเซลล์นั้น จากนั้นช่องสัญญาณที่ยืมมาจะถูกตรวจสอบค่า C/I ว่ามีค่ามากกว่าค่าเทรชโฮลด์หรือไม่ ถ้าค่า C/I ของช่องสัญญาณที่

ยืมมามีค่าน้อยกว่าค่าเทรชโฮลด์ การเรียกก็จะถูก ดร็อปไป แต่ถ้าค่า C/I ของช่องสัญญาณที่ยืมมามีค่ามากกว่าค่าเทรชโฮลด์ การเรียกก็จะติดต่อได้




**รูปที่ 3.1 แสดงอัลกอริทึมของวิธี ABCO**

ทั้งกรณีแรกและกรณีที่ 2 ของวิธี ABCO นั้น ถ้าแต่ละเซลล์พบช่องสัญญาณที่ว่างแล้วนำมาตรวจสอบค่า C/I เพียงครั้งเดียว ถ้าค่า C/I ของช่องสัญญาณนั้นมีค่าต่ำกว่าค่าเทรชโฮลด์ การเรียกก็จะถูกดรอป แต่ถ้าค่า C/I มีค่าสูงกว่าค่าเทรชโฮลด์ การเรียกก็จะติดต่อได้

ในการทดสอบแบบจำลองระบบของวิธี ABCO จะใช้ค่าเทรชโฮลด์ของค่า C/I เท่ากับ 6 dB ซึ่งค่านี้เป็นค่าที่พิจารณาว่าเป็นค่าที่เทียบเท่ากับค่าเทรชโฮลด์ของค่า C/I ตาม GSM Recommendations ที่กำหนดไว้มีค่าเท่ากับ 9 dB เนื่องจากการจำลองระบบพิจารณาว่าการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงอย่างรวดเร็วของเฟดดิ้ง (Rapid Fading Fluctuations) ในระบบจะไม่เกิดขึ้นมากนักหรือค่อนข้างจะราบเรียบ (smooth)

ตารางที่ 3.1 แสดงถึงการกำหนดจำนวนช่องสัญญาณที่แต่ละเซลล์จะให้เซลล์อื่น ๆ ในคลัสเตอร์เดียวกันยืมได้ โดยขึ้นอยู่กับสภาวะทราฟฟิกของเซลล์นั้น ๆ ของวิธี ABCO

**ตารางที่ 3.1 จำนวนช่องสัญญาณที่จะให้ยืมตามสภาวะทราฟฟิกเซลล์ ของวิธี ABCO**

| ปริมาณทราฟฟิก (%) | 0 | 20 | 40 | 60 | 80 | 100 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| จำนวนช่องสัญญาณที่ให้ยืม | 9 | 4 | 2 | 1 | 0 | 0 |

จากตารางที่ 3.1 ปริมาณทราฟฟิกจะเริ่มต้นที่ 0 % ซึ่งคิดเป็นค่าทราฟฟิกเริ่มต้นของระบบเท่ากับ 31 เออร์แลง ซึ่งค่าทราฟฟิกนี้ถูกพิจารณาจากอัตราการบล็อกการเรียกที่เกิดขึ้นกับทั้งระบบเท่ากับ 2 % และจำนวนช่องสัญญาณของแต่ละเซลล์เท่ากับ 40 ช่องสัญญาณ แล้วทราฟฟิกจะเพิ่มขึ้นครั้งละ 20 % ของค่าทราฟฟิกเริ่มต้นของระบบ โดยพิจารณาเพิ่มจาก 0% ไปจนถึง 100% ดังนั้นแต่ละเซลล์จะมีค่าทราฟฟิกเพิ่มขึ้นจาก 31 เออร์แลง เป็น 37.2, 43.4, 49.6, 55.8 และ 62 เออร์แลง ตามลำดับ

ผลจากการจำลองระบบพบว่าเปอร์เซ็นต์ของการเรียกที่ใช้งานอยู่ แล้วการเรียกนั้นถูกดรอปไปอันเนื่องมาจากค่า C/I ต่ำกว่าค่าเทรชโฮลด์นั้นน้อยมาก ดังนั้นช่องสัญญาณที่ถูกยืมไปให้อีกเซลล์หนึ่งใช้งาน ก็ไม่จำเป็นที่จะต้องถูกบล็อกในเซลล์ที่มีเซตของช่องสัญญาณเดียวกัน (Cochannel Cells) ในระบบ และพบว่าวิธี ABCO นี้ให้อัตราการบล็อกการเรียกที่เกิดขึ้นกับทั้งระบบต่ำกว่าวิธี FCA

**3.4 วิธีการยืมช่องสัญญาณโดยการกำหนดช่องสัญญาณแบบยูนิฟอร์ม (วิธี BUCA)**

วิธีการยืมช่องสัญญาณตามสภาวะทราฟฟิกของเซลล์โดยการกำหนดช่องสัญญาณแบบยูนิฟอร์ม (Traffic-Based Channel Borrowing with Uniform Channel Assignment, BUCA) เป็นวิธีที่เสนอในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีการที่ได้ปรับปรุงจากวิธี ABCO และได้เปลี่ยนแปลงการจัดสรรช่องสัญญาณของระบบจากการกำหนดช่องสัญญาณที่จัดอันดับไปเป็นการกำหนดช่องสัญญาณแบบยูนิฟอร์ม และทุก ๆ ช่องสัญญาณที่ว่างจะถูกตรวจสอบค่า C/I ทั้งหมด จนกระทั่งแต่ละเซลล์ได้รับช่องสัญญาณที่ว่างและมีค่า C/I มากกว่าค่าเทรชโฮลด์ ทำให้การเรียกสามารถติดต่อได้

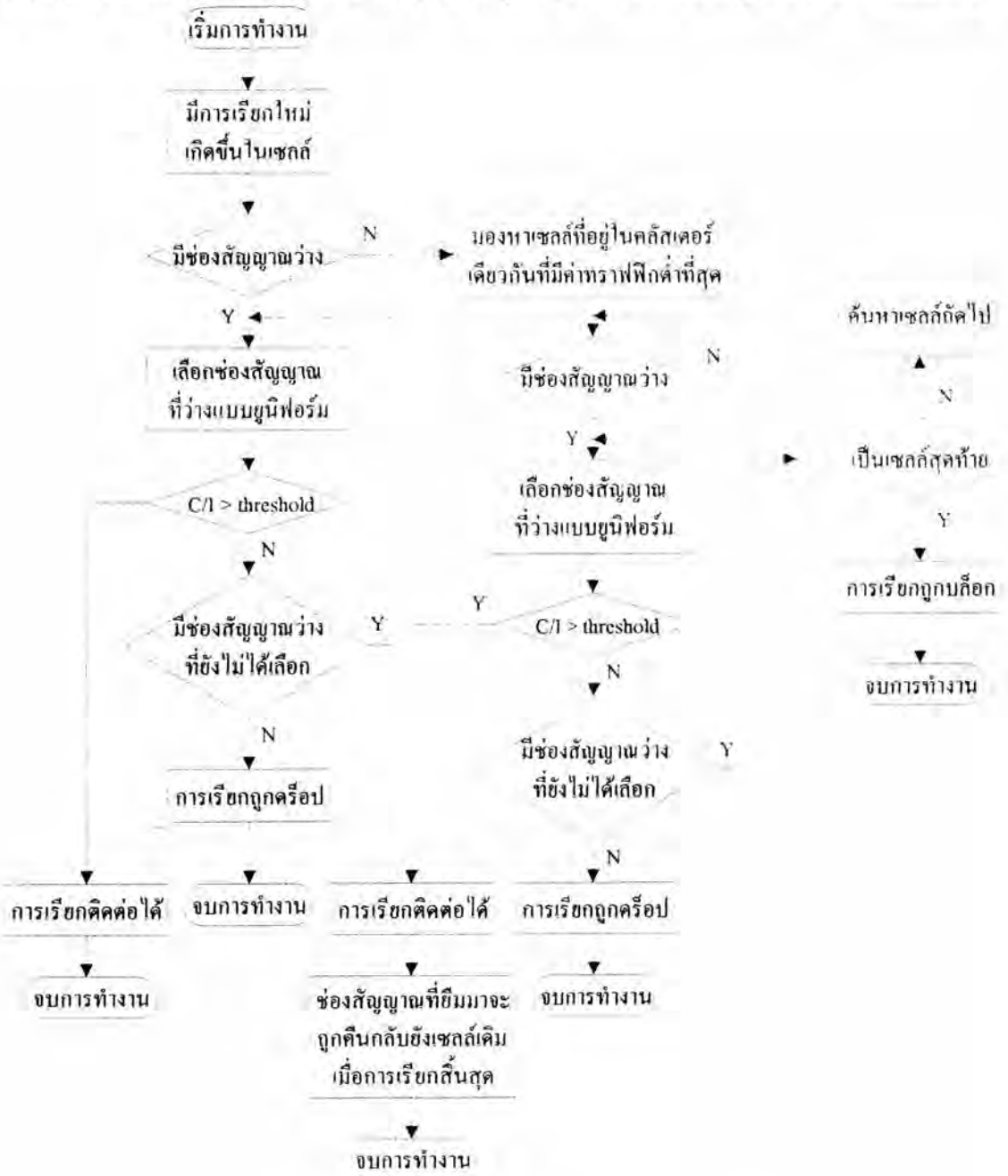
ดังนั้นวิธีการนี้จะตรวจสอบค่า C/I ของช่องสัญญาณมากกว่าหนึ่งครั้ง เพื่อให้การใช้ช่องสัญญาณและการตรวจสอบค่า C/I ของช่องสัญญาณของระบบเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพและสามารถเพิ่มความจุของระบบได้มากขึ้น วิธี BUCA นี้กำหนดให้แต่ละเซลล์สามารถจะให้ยืมช่องสัญญาณได้ตามสภาวะทราฟฟิกของเซลล์นั้น ๆ แต่ทั้งนี้จำนวนช่องสัญญาณมากที่สุดที่ทุก ๆ เซลล์ในระบบสามารถจะให้ยืมได้เท่ากับ 25 ช่องสัญญาณเท่านั้น

รูปที่ 3.2 แสดงถึงอัลกอริทึมของวิธี BUCA ซึ่งจะมีการพิจารณาการใช้ช่องสัญญาณแบ่งออกเป็น 2 กรณี เช่นเดียวกับวิธี ABCO ดังนี้

- กรณีที่ 1 เมื่อมีการเรียกเกิดขึ้นในเซลล์ใด ๆ และเซลล์นั้นมีช่องสัญญาณว่าง เซลล์นั้นจะเลือกช่องสัญญาณที่ว่างแบบยูนิฟอร์ม แล้วตรวจสอบค่า C/I ของช่องสัญญาณดังกล่าวว่ามีค่าที่มากกว่าค่าเทรชโฮลด์หรือไม่ ถ้าค่า C/I ของช่องสัญญาณมีค่าน้อยกว่าค่าเทรชโฮลด์ การเรียกก็จะถูกดรอป แต่ถ้าค่า C/I ของช่องสัญญาณมีค่ามากกว่าค่าเทรชโฮลด์ การเรียกก็จะติดต่อได้

- กรณีที่ 2 เมื่อมีการเรียกเกิดขึ้นในเซลล์ใด ๆ แต่เซลล์นั้นไม่มีช่องสัญญาณที่ว่าง เซลล์นั้นจะทำการยืมช่องสัญญาณที่ว่างจากเซลล์ที่มีค่าทราฟฟิกต่ำที่สุดในคลัสเตอร์เดียวกัน แล้วพิจารณาว่าเซลล์ดังกล่าวมีช่องสัญญาณว่างหรือไม่ ถ้าไม่มีช่องสัญญาณว่าง ก็จะทำการยืมช่องสัญญาณจากเซลล์รอบข้างที่มีทราฟฟิกต่ำรองลงไปที่สามารถให้ยืมช่องสัญญาณได้ในคลัสเตอร์เดียวกัน ถ้าเซลล์นั้นเป็นเซลล์สุดท้ายในคลัสเตอร์เดียวกันที่ไม่มีช่องสัญญาณว่าง การเรียกดังกล่าวก็จะถูกบล็อก แต่ถ้าพบเซลล์ใดที่มีช่องสัญญาณว่างแล้ว จะยืมช่องสัญญาณที่ว่างโดยการเลือกช่องสัญญาณแบบยูนิฟอร์มของเซลล์นั้น จากนั้น

ช่องสัญญาณที่ยืมมาจะถูกตรวจสอบค่า C/I ว่ามีค่ามากกว่าค่าเทรชโฮลด์หรือไม่ ถ้าค่า C/I ของช่องสัญญาณดังกล่าวมีค่าน้อยกว่าค่าเทรชโฮลด์ ก็จะเลือกช่องสัญญาณว่างที่เหลือในเซลล์นั้นทั้งหมดแบบยูนิฟอร์มต่อไป ถ้าไม่มีช่องสัญญาณว่างใดเลยในเซลล์นั้นที่มีค่า C/I ที่มากกว่าค่าเทรชโฮลด์ การเรียกก็จะถูกดรอปไป แต่ถ้าพบว่ามีช่องสัญญาณว่างในเซลล์นั้นที่มีค่า C/I ที่มีค่ามากกว่าค่าเทรชโฮลด์ การเรียกก็จะติดต่อได้ เมื่อการเรียกสิ้นสุดลง ช่องสัญญาณที่ถูกยืมมาจากเซลล์อื่นจะถูกส่งกลับไปยังเซลล์เดิม




**รูปที่ 3.2 แสดงอัลกอริทึมของวิธี BUCA (วิธีที่เสนอ)**

## 3.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับวิธี BUCA

### 3.5.1 ตัวประกอบการลดสัญญาณแทรกสอดในช่องสัญญาณร่วม (Cochannel Interference Reduction Factor )

การนำความถี่หรือช่องสัญญาณเดียวกันกลับมาใช้ใหม่ในเซลล์ต่างกันจะถูกจำกัดโดยการแทรกสอดเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกัน (Cochannel Interference) ของเซลล์ และการแทรกสอดเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกันสามารถจะกลายเป็นปัญหาหลักของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ได้ ดังนั้นจึงต้องมีการหาค่าระยะทางที่ต่ำที่สุดในการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่ (Minimum Reuse Distance) เพื่อที่จะลดการแทรกสอดเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกันลง

สมมติว่าแต่ละเซลล์มีขนาดเท่ากันทั้งหมด ขนาดของเซลล์จะถูกหาค่าได้จากพื้นที่ครอบคลุมของความแรงสัญญาณในแต่ละเซลล์ ถ้าขนาดของแต่ละเซลล์ตายตัว การแทรกสอดเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกันจะไม่ขึ้นอยู่กับค่ากำลังส่งของแต่ละเซลล์ นั่นคือระดับเทรชโฮลด์ที่ได้รับที่ตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่จะถูกปรับค่าได้ตามขนาดของเซลล์ ซึ่งการแทรกสอดเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกันเป็นฟังก์ชันของค่าตัวประกอบการลดสัญญาณแทรกสอดในช่องสัญญาณร่วม (ค่า q) โดยมีนิยามว่า

$$q = \frac{D}{R} \tag{3.1}$$

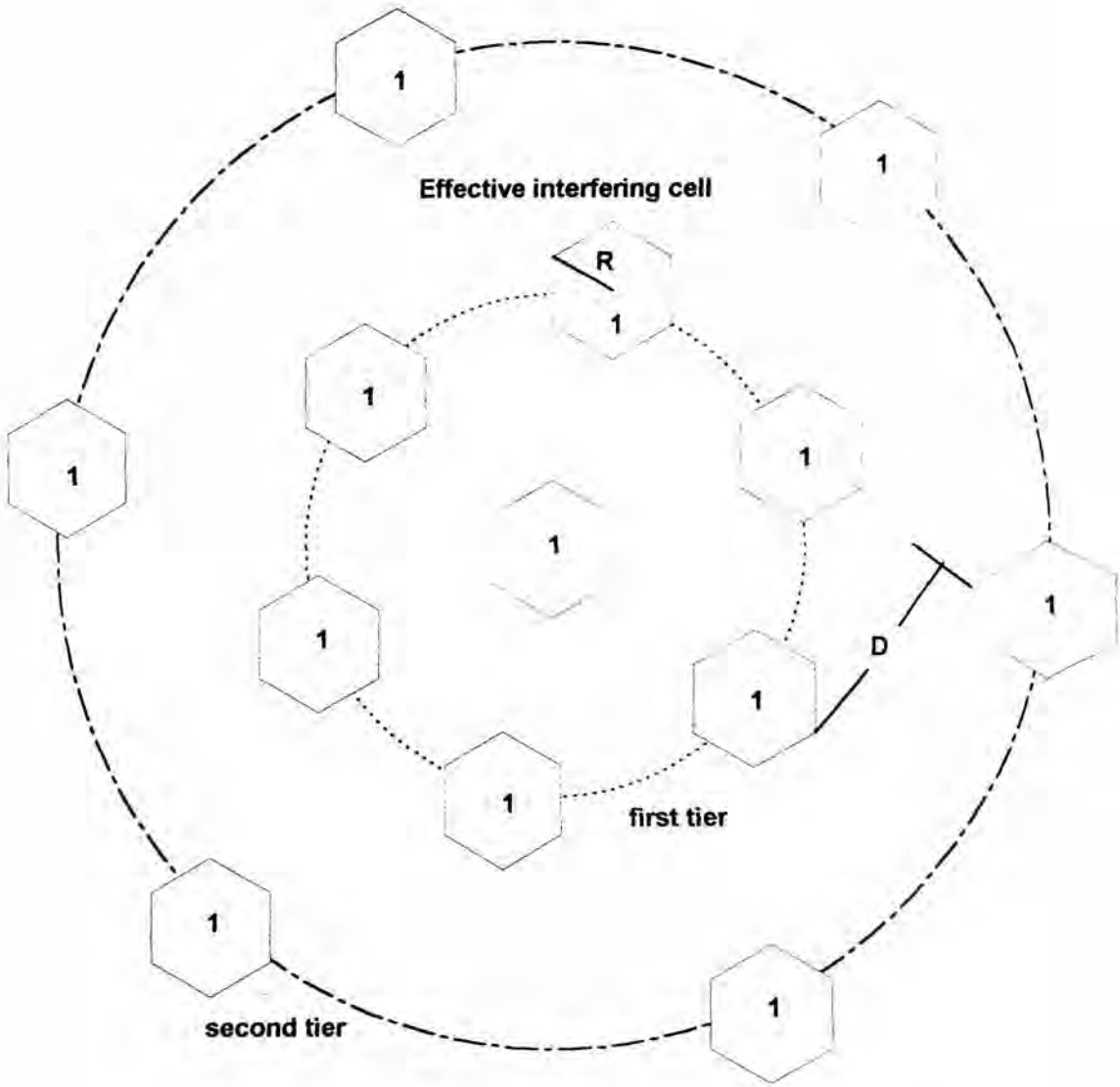
โดย D คือ ระยะห่างของเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณเดียวกัน และ R คือ รัศมีของเซลล์ เมื่อค่า q เพิ่มขึ้น การแทรกสอดเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกันจะลดลง ซึ่งทั้งนี้ระยะห่าง D ในสมการที่ (3.1) นี้เป็นฟังก์ชันของ $K_I$ และ C/I

$$D = f(K_I, C/I) \tag{3.2}$$

โดย $K_I$ คือ จำนวนของเซลล์ที่แทรกสอดเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกัน (Cochannel Interference Cells) ในวงแหวนวงแรก (First Tier)

C/I คือ อัตราส่วน Carrier-to-Interference ที่เครื่องรับของตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ต้องการ

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{k=1}^{KI} I_k} \tag{3.3}$$




**รูปที่ 3.3 เซลล์แทรกสอดประสิทธิผล 6 เซลล์ของเซลล์ที่ 1 (W.C.Y. Lee, 1995: 61)**

ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์มีเซลล์เป็นรูป 6 เหลี่ยม (Hexagonal-Shaped) ลักษณะคล้ายกับรวงผึ้ง จะมีเซลล์ที่แทรกสอดเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกันเท่ากับ 6 เซลล์ในวงแหวนวงแรกเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 นั่นคือค่า $K_I = 6$ (นั่นคือ $2\pi D/D \approx 6$)

การแทรกสอดเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกันสามารถเกิดขึ้นได้ทั้งที่ตัวเซลล์ไซต์และที่ตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่ในเซลล์ตรงกลาง ถ้าสัญญาณเกิดการแทรกสอดกันมากแล้ว ค่า C/I ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณเดียวกันทั้ง 6 เซลล์ ที่ตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่ ณ เซลล์ตรงกลางได้รับจะมีค่าโดยเฉลี่ยเท่ากับค่า C/I ซึ่งเกิดขึ้นโดยตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่ในเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณเดียวกันทั้ง 6 เซลล์ ที่เซลล์ตรงกลางได้รับ ถ้าใช้ทฤษฎีบทภาวะย้อนกลับ (Reciprocity Theorem) และการรวมค่าทางสถิติของการแพร่กระจายคลื่นวิทยุ ค่า C/I ทั้งสองค่าก็จะใกล้เคียงกันมาก ทั้งนี้สมมติว่า สัญญาณรบกวนท้องถิ่น (Local Noise) จะมีค่าที่น้อยกว่าระดับสัญญาณที่เกิดการแทรกสอดกันมากและไม่นำมาคิดได้ ยิ่งทั้งในสภาวะการติดต่อผ่านคลื่นวิทยุของโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้น จะพบว่าค่า C แปรผกผันกับรัศมีของเซลล์ยกกำลังค่า Propagation Path- Loss Slope ( $C \propto R^{-\gamma} = \beta R^{-\gamma}$ ) ดังนั้นค่า C/I จะถูกนิยามดังนี้

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-\gamma}}{\sum_{k=1}^{K_I} D_k^{-\gamma}} \qquad (3.4)$$

โดย $\gamma$ คือ ค่า Propagation Path-Loss Slope ซึ่งหาค่าได้จากสภาวะจริงทางภาคพื้นภูมิประเทศโดยทั่วไปในตัวกลางการติดต่อผ่านทางคลื่นวิทยุของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ค่า $\gamma$ จะมีค่าเท่ากับ 4 (W.C.Y. Lee, 1995: 11) และ $K_I$ เป็นจำนวนของเซลล์ที่แทรกสอดเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกัน (Effective Interfering Cells) และมีค่าเท่ากับ 6 เท่านั้น ซึ่งเป็นการพิจารณาผลกระทบจากวงแหวนวงแรกเท่านั้น ในระบบที่ถูกพัฒนาอย่างเต็มที่ เนื่องจากผลกระทบที่เกิดจากการแทรกสอดกันเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกันของวงแหวนวงอื่น ๆ (Second Tier และ Higher Tier) จะมีผลต่อคลัสเตอร์ศูนย์กลางน้อยมาก (W.C.Y. Lee, 1995: 61) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ดังนั้นการแทรกสอดเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกันจากวงแหวนวงที่สองของเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณเดียวกันก็จะไม่นำมาพิจารณา จากนั้นนำสมการที่ (3.1) ไปแทนในสมการที่ (3.4) จะได้ว่า

$$\frac{C}{I} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{K_I} \left(\frac{D_k}{R}\right)^{-\gamma}} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{K_I} (q_k)^{-\gamma}} \qquad (3.5)$$

โดย $q_k$ คือ ค่าตัวประกอบการลดสัญญาณแทรกสอดในช่องสัญญาณร่วม ซึ่งมีเซลล์ที่แทรกสอดกันเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกันเท่ากับ k ตัว นั่นคือ $q_k = D_k / R$

### 3.5.2 ค่า C/I ที่ต้องการจากกรณีทั่วไปในระบบสายอากาศส่งสัญญาณรอบทิศทาง

ในการหาค่า C/I สำหรับระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ ซึ่งใช้สายอากาศส่งสัญญาณรอบทิศทาง (Omnidirectional Antenna) นั้น จะพิจารณาทั้งการวิเคราะห์และการจำลองระบบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ผลที่ได้รับจากการวิเคราะห์และการจำลองระบบนั้นแสดงให้เห็นว่า ค่า q ซึ่งเป็นค่าที่บ่งบอกถึงการแทรกสอดกันของสัญญาณเนื่องจากเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณเดียวกันนั้น มีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก รายละเอียดของทั้ง 2 กรณี มีดังต่อไปนี้

#### 3.5.2.1 การวิเคราะห์หาค่า C/I (Analytic Solution)

ในการวิเคราะห์หาค่า C/I นั้นจะมีการพิจารณา 2 กรณี ดังนี้

1. สัญญาณและสัญญาณที่ถูกแทรกสอดเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกัน (Signal and Cochannel Interference) ที่เซลล์ไซต์ได้รับ
2. สัญญาณและสัญญาณที่ถูกแทรกสอดเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกัน (Signal and Cochannel Interference) ที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้รับ

การพิจารณาสัญญาณที่ถูกแทรกสอดเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกันจาก 6 interferers และสัญญาณรบกวนท้องถิ่นที่เกิดขึ้นที่ตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่และเซลล์ไซต์ของทั้งสองกรณีนี้ พบว่าสัญญาณรบกวนท้องถิ่นที่เกิดขึ้นที่ตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่และเซลล์ไซต์มีค่าน้อยมากและไม่นำมาคิดได้ เมื่อเปรียบเทียบกับระดับสัญญาณที่ถูกแทรกสอดเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกัน และค่า C/I ที่ได้รับ ณ โทรศัพท์เคลื่อนที่และเซลล์ไซต์จะมีค่าเท่ากัน ระบบดังกล่าวจะถูกเรียกว่า Balanced System ในระบบดังกล่าว เราสามารถจะเลือกกรณีใดกรณีหนึ่งเพื่อที่จะนำมาวิเคราะห์ได้ ผลที่ได้รับจากกรณีนั้นจะเหมือนกับอีกกรณีหนึ่ง

สมมติว่า ค่าระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณเดียวกันของเซลล์ทั้ง k ตัว มีค่าเท่ากันทั้งหมดดังแสดงในรูปที่ 3.3 ดังนั้นเราจะกำหนดให้ D มีค่าเท่ากับ $D_k$ ทั้งหมด และ q มีค่าเท่ากับ $q_k$ ทั้งหมด และพิจารณาว่า

$$\frac{C}{I}=\frac{R^{-\gamma}}{6D^{-\gamma}}=\frac{q^{\gamma}}{6} \tag{3.6}$$

ดังนั้นจะได้สมการดังนี้

$$q^{\gamma}=6\frac{C}{I} \tag{3.7}$$

และได้สมการ

$$q=\left(6\frac{C}{I}\right)^{1/\gamma} \tag{3.8}$$

ในสมการที่ (3.8) จะพบว่า ค่าของ C/I ขึ้นอยู่กับสมรรถนะของระบบที่กำหนดและค่าของ $\gamma$ นี้จะขึ้นอยู่กับสภาวะทางพื้นภูมิประเทศ ถ้าเรากำหนดค่าของ C/I และ $\gamma$ แล้ว ก็จะสามารถหาค่าของ q ได้ โดยทั่วไปในทางปฏิบัติของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์จะกำหนดให้ใช้ค่า C/I เท่ากับหรือมากกว่า 18 dB เนื่องจากค่า C/I ที่มีค่าเท่ากับ 18 dB นั้นจะถูกวัดได้โดยพิจารณาคุณภาพของเสียงจากเครื่องรับโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์นั้นยอมรับได้ ดังนั้นทั้ง Mobile Radio Multipath Fading และ Cochannel Interference จะไม่มีผลต่อระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ ในสภาวะการติดต่อผ่านทางคลื่นวิทยุโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Radio Environment) จะใช้ค่า $\gamma$ (Propagation Path-Loss Slope) มีค่าเท่ากับ 4 ดังนั้นจะได้ว่า

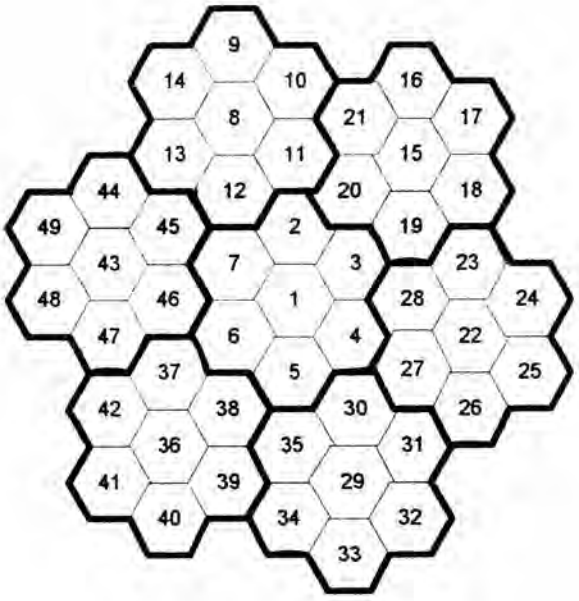
$$q=\frac{D}{R}=(6*63.1)^{1/4}=4.41 \tag{3.9}$$

เปอร์เซนไตล์ที่ 90 ของพื้นที่ที่ถูกสัญญาณครอบคลุมทั้งหมดนั้นจะทำได้โดยการเพิ่มกำลังส่งที่แต่ละเซลล์ไซต์ การเพิ่มกำลังส่งให้สูงขึ้นเหมือนกันในแต่ละเซลล์จะไม่มีผลต่อค่า q เนื่องจากค่า q นั้นไม่ได้เป็นฟังก์ชันของกำลังส่ง อีกทั้งการจำลองระบบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะอธิบายต่อไปในหัวข้อ 3.5.2.2 ก็ได้รับค่า q เท่ากับ 4.6 ซึ่งค่านี้ก็ใกล้เคียงกับค่าในสมการที่ (3.9) มาก และค่า q นี้จะสัมพันธ์

กับเซตจำกัดของ K เซลล์ (K คือรูปแบบของการนำความถี่กลับมาใช้ใหม่) ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลู ลาร์ (Hexagonal-Shaped Cellular System) ดังนี้

$$q = \cong \sqrt{3K} \tag{3.10}$$

แทนค่า q จากสมการที่ (3.9) ลงในสมการที่ (3.10) จะได้ค่า K = 7 แสดงให้เห็นว่าค่า K = 7 นี้จะทำให้ระบบมีค่า C/I เท่ากับ 18 dB การใช้ค่า K = 7 ในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.4




**รูปที่ 3.4 แบบรูปการใช้ความถี่ซ้ำของกลุ่มเซลล์ 7 เซลล์ (W.C.Y. Lee, 1995: 58)**

ค่า D (ระยะห่างระหว่างเซลล์ที่ใช้ช่องสัญญาณเดียวกัน) สามารถจะหาค่าได้โดยกำหนดค่า R ของแต่ละเซลล์ โดยทั่วไปจะใช้ค่า q ที่มากกว่าค่า q ที่ได้จากสมการที่ (3.9) ในการออกแบบระบบยิ่งใช้ค่า q มากขึ้นเท่าใด ค่าของสัญญาณที่เกิดการแทรกสอดกันเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกันจะต่ำลงมากขึ้นเท่านั้น ในสภาวะการใช้งานจริงของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้น สมการที่ (3.10) จะเกิดขึ้นจริงเสมอ แต่สมการที่ (3.6) จะไม่จริงเสมอไป เนื่องจากสมการที่ (3.9) นั้นมาจากสมการที่ (3.6) ค่า q อาจจะมีค่าไม่มากพอที่จะให้ค่า C/I มีค่าเท่ากับ 18 dB สิ่งนี้เกิดขึ้นจริงในกรณีที่เลวร้ายที่สุดในการออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ที่ใช้สายอากาศแบบส่งสัญญาณรอบทิศทาง ซึ่งจะศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้จาก W.C.Y. Lee (1995: 194)

**3.5.2.2 การจำลองระบบหาค่า C/I ด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (Solution Obtained from Simulation)**

ค่า q นี้สามารถที่จะหาค่าได้จากการจำลองระบบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ได้ด้วย ซึ่งระบบจะประกอบไปด้วย เซลล์ไซต์หลักตรงกลางและเซลล์ไซต์ที่จะแทรกสอดกันเนื่องจากการใช้ช่องสัญญาณเดียวกันที่เป็นไปได้ทั้งหมด 6 เซลล์ (Possible Cochannel Interferers) ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ซึ่งค่า D จะเป็นตัวแปรและจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ในแต่ละครั้ง โดยข้อมูลที่ได้จากการจำลองระบบจะถูกเก็บทุก ๆ ค่าของ D ที่เพิ่มขึ้น

ตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่หรือการเรียกที่เกิดขึ้นในแต่ละเซลล์จะเกิดขึ้นอย่างสุ่มและอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นเราจะหาค่าของ $D_k$ ซึ่งเป็นระยะทางจากเซลล์ไซต์ตรงกลางไปยัง Interfering Mobile Units 6 ตัวได้ (สมมติว่า $K_I = 6$) ทั้งนี้สัญญาณที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้รับและระดับสัญญาณการแทรกสอดที่ได้รับ ณ เซลล์ไซต์ตรงกลางจะถูกสร้างขึ้นอย่างสุ่ม โดยใช้ค่า $\gamma$ (Propagation Path-Loss Slope) มีค่าเท่ากับ 40 dB/dec [หรือ $\gamma = 4$] และใช้ค่า Log-Normal Standard Deviation มีค่าเท่ากับ 8 dB ที่ค่าเฉลี่ยของสัญญาณ จากนั้นก็จะทำการรวมข้อมูลทั้งหมดจาก 6 Simulated Interferences นั่นคือ

$$I = \sum_{k=1}^{KI=6} I_k \qquad (3.11)$$

จากนั้นก็จะหารค่าดังกล่าวด้วย Simulated Main Carrier [หรือ ค่า C] ดังนั้นระบบก็จะหาค่าของ C/I ได้ ทั้งนี้ค่า D แต่ละค่าจะให้ค่า C/I ออกมาค่าหนึ่ง การทดสอบแบบจำลองระบบจะกระทำซ้ำทั้งหมด 1000 ครั้ง โดยการเปลี่ยนค่า D ทั้งนี้พิจารณาว่าระบบได้รับคุณภาพเสียงพูดของผู้ใช้โทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ดีคิดเป็น 75 % หรือพื้นที่ครอบคลุมของสัญญาณทั้งหมดยอดเยี่ยม คิดเป็น 90 %

การหาค่า C/I ของระบบที่มีค่าเท่ากับ 18 dB นั้น จะทำได้โดยการใช้ค่า D ที่เหมาะสม การที่จะหาค่า D ที่เหมาะสมได้นั้น ตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่จะต้องสัมพันธ์กับค่า C/I ที่ได้รับ บางค่า C/I มีค่าสูงและบางค่าก็มีค่าต่ำ นั่นคือค่า C/I ที่มีค่าต่ำที่สุดจำนวน 100 ค่าจะถูกตัดทิ้ง และค่า C/I หลักที่ต้องการจะมาจากค่า C/I จำนวน 900 ค่าที่เหลือ ซึ่งปรากฏว่าค่า D ที่ทำให้ระบบมีค่า C/I เท่ากับ 18 dB ได้นั้นคือ ค่า D มีค่าเท่ากับ 4.6R ดังนั้นจะได้ว่า

$$q = \frac{D}{R} = 4.6 \tag{3.12}$$

ซึ่งค่า q ที่ได้รับจากการวิเคราะห์หาค่า C/I ดังสมการที่ 3.9 และค่า q ที่ได้รับจากการจำลองระบบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังสมการที่ 3.12 จะมีค่าที่ใกล้เคียงกัน

ความสัมพันธ์ระหว่างค่า q, ค่า D, ค่า R, ค่า C/I และค่า $\gamma$ ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์สามารถที่จะสรุปเป็นความสัมพันธ์ในการนำไปใช้งานได้ ดังนี้

$$q = \frac{D}{R} = \left(6\frac{C}{I}\right)^{\frac{1}{\gamma}} \tag{3.13}$$

เพราะฉะนั้นจะพบว่าค่า q ที่มีความสัมพันธ์กับค่า C/I นั้นสามารถหาค่าได้ทั้งจากการวิเคราะห์และการจำลองระบบด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ให้ผลที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากสมการที่ (3.1) และสมการที่ (3.8) สามารถนำมาใช้งานจริงในการออกแบบระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์ทั้งแบบดิจิตอลและแบบแอนะลอกได้ ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำมาประยุกต์ใช้งานในการคำนวณหาค่า D (พิจารณาค่า C/I ของระบบเท่ากับ 18 dB ตามมาตรฐานในการออกแบบระบบ) และนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าเทรชโฮลด์ของค่า C/I ( พิจารณาค่าเทรชโฮลด์ของค่า C/I [Carrier-to-Interference Protection Ratio] เท่ากับ 6 dB เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Maric, Alonso และ Metivier (1994) )