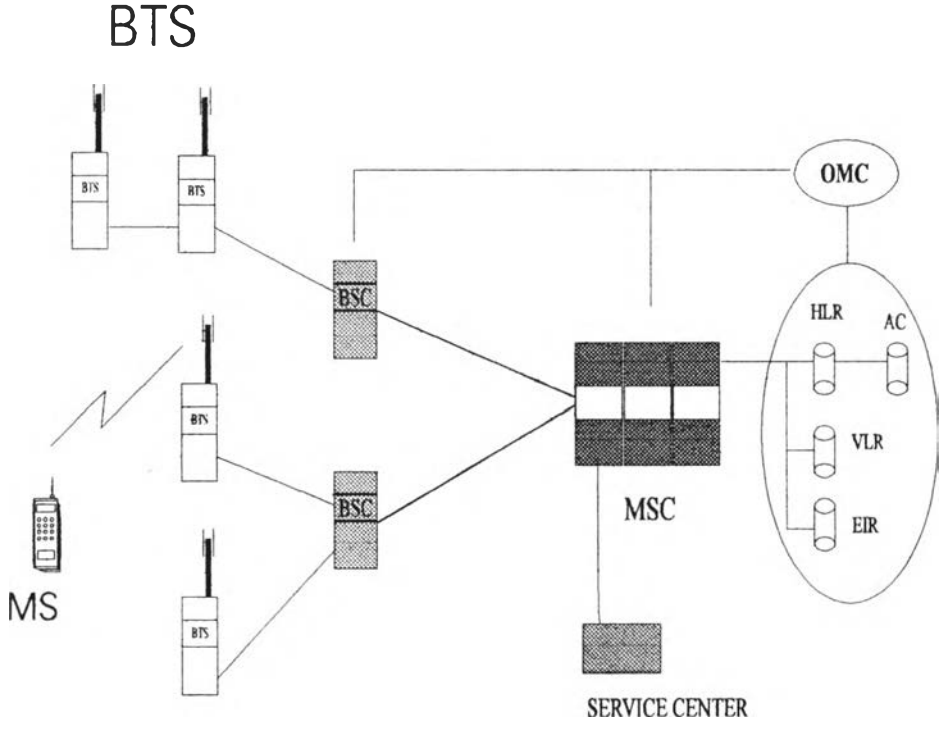
บทที่ 2
ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จีเอสเอ็ม

2.1 กล่าวนำ

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ทำการจำลองแบบโดยอ้างอิงกับระบบจีเอสเอ็ม ดังนั้นในบทนี้จะกล่าวถึงองค์ประกอบและการทำงานโดยรวมของระบบ โดยจะเน้นเฉพาะรายละเอียดในส่วนที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เท่านั้น



รูปที่ 2.1 องค์ประกอบของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จีเอสเอ็ม

2.2 องค์ประกอบของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่จีเอสเอ็ม

- Base station Sub System (BSS) ประกอบด้วย
  - สถานีฐาน (Base Station System)
  - ส่วนส่งสัญญาณ (Transmission System)
  - ตัวควบคุมสถานีฐาน (Base Station Controller)
- Network and Switching Subsystem (NSS) ประกอบด้วย
  - ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Service Switching Center, MSC)
  - Home Location Register (HLR)
  - Visitor Location Register (VLR)
  - Authentication Center (AC)
  - Equipment Identity Register (EIR)
- Operation and Maintenance Center (OMC) ประกอบด้วย
  - ชุดอุปกรณ์และคอมพิวเตอร์
- โทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Station, MS)

2.2.1 Base Station Subsystem (BSS)

2.2.1.1 สถานีฐาน (Base Station System)

สถานีฐานเป็นด่านแรกที่จะติดต่อกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ของผู้ใช้ โดยทำหน้าที่เกี่ยวกับส่วนการติดต่อทางคลื่นวิทยุและมีส่วนที่เป็นประมวลผลสัญญาณดิจิตอล

สถานีฐานจะติดต่อกับโทรศัพท์เคลื่อนที่โดยใช้การติดต่อทางอากาศ (Air Interface) ซึ่งจะต้องมีการส่งข่าวสารต่างๆโต้ตอบกันเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ต้องการใช้บริการ การที่โทรศัพท์เคลื่อนที่จะโทรได้นั้นจะต้องมีช่องสัญญาณรองรับ โดยในสถานีฐานจะมีส่วนที่เรียกว่า TRX unit (transmission and receive unit) ซึ่งเป็นอุปกรณ์รับ-ส่งสัญญาณวิทยุ ซึ่งจะรองรับทราฟฟิกได้จำนวนหนึ่ง

จำนวน TRX มีความสัมพันธ์กับจำนวนช่องสัญญาณทราฟฟิก(Traffic Channel, TCH) ซึ่งใช้เป็นช่องสัญญานที่ใช้สนทนา หากสถานีฐานมีจำนวน TRX มาก ก็จะสามารถรองรับทราฟฟิกได้มาก

ใน 1 TRX ใช้ 1 ความถี่ แบนด์วิดท์ 200kHz และแบ่งเป็น 8 ไทม์สล็อตและจะต้องใช้บางไทม์สล็อตเป็นช่องสัญญาณควบคุม และที่เหลือเป็นช่องสัญญาณทราฟฟิก(ดูรายละเอียดเพิ่มเติมในหัวข้อการจัดเฟรม)

ตัวสถานีฐานนอกจากจะมีส่วนเชื่อมโยงคลื่นวิทยุแล้ว ยังวัดความแรงสัญญาณ(Signal stength) และคุณภาพสัญญาณ แล้วส่งข้อมูลที่วัดได้ไปให้ตัวควบคุมสถานีฐานทำการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์

2.2.1.2 ตัวควบคุมสถานีฐาน (Base Station Controller)

เป็นส่วนที่ควบคุมการทำงานของสถานีฐาน โดยการติดต่อกับสถานีฐานจะเป็น Abis-interface และการติดต่อกับทางชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเป็น A-interface

ตัวควบคุมสถานีฐาน 1 ตัว สามารถควบคุมสถานีฐานได้หลายตัว ดังนั้นในการทำการวางแผนโครงข่าย(network planning) มักแบ่งพื้นที่ออกเป็นเขตต่าง ๆ และให้สถานีฐานที่อยู่ในเขตนั้นขึ้นอยู่กับตัวควบคุมสถานีฐานเดียวกัน

ตัวควบคุมสถานีฐานเองจะเป็นตัวที่ทำการตัดสินใจเกี่ยวกับโทรศัพท์เคลื่อนที่เช่น การแฮนด์โอเวอร์ ควบคุมการเซตอัปการเรียก การสิ้นสุดการเรียก กำหนดและควบคุมช่องสัญญาณต่างๆของสถานีฐาน จะเห็นได้ว่าข่าวสารที่ตัวควบคุมสถานีฐานจะต้องโต้ตอบกับสถานีฐานมีมากมาย หากตัวควบคุมสถานีฐานและสถานีฐานอยู่ไกลกัน โอกาสที่บางข่าวสารจะผิดพลาดจะมีมากขึ้น (เช่นใช้ส่วนส่งสัญญาณแบบไมโครเวฟ) ทำให้เกิดการดร็อปง่าย ดังนั้นผู้ผลิตระบบบางรายจึงนำบางส่วนของตัวควบคุมสถานีฐานมาใส่ไว้ในสถานีฐาน ทำให้ระบบมีเสถียรภาพมากขึ้น

ในตัวควบคุมสถานีฐานจะเก็บข้อมูลของสถานีฐานต่างๆไว้ ซึ่งผู้ให้บริการระบบสามารถเปลี่ยนแปลงข้อมูล ควบคุมสถานีฐาน และดูรายงานสถานะของสถานีฐานต่างๆได้

2.2.2 Network and Switching Subsystem (NSS)

2.2.2.1 ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Mobile Service Switching Center)

ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่เป็นตัววิเคราะห์เลขหมายและเลือกเส้นทางที่ต้องการ โดยชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะต้องทำงานประสานกับ HLR ซึ่งเก็บข้อมูลของลูกค้าไว้ และเก็บตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ไว้ VLR ซึ่งเก็บตำแหน่งใหม่ของการที่เคลื่อนที่ไป , AC ส่วนที่ควบคุมเกี่ยวกับการเข้ารหัสเพื่อความปลอดภัยของข้อมูลของลูกค้า , EIR ซึ่งเก็บข้อมูลระดับชั้นของลูกค้าไว้ เช่น เครื่องที่โดน black list จะไม่อนุญาตให้ทำการโทรได้

ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ระบบจีเอสเอ็มจะติดต่อกับชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนระบบจีเอสเอ็มด้วยกัน โดยใช้ระบบสัญญาณ CCITT No. 7 แต่ติดต่อกับชุมสายขององค์การโทรศัพท์โดยใช้โปรโตคอล R2

นอกจากนี้ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ยังต้องมีฟังก์ชั่นที่ใช้ตรวจสอบและควบคุมทรัพยากร รวมทั้งเป็นตัวตัดสินว่า การแฮนด์โอเวอร์สมควรจะเกิดขึ้นแล้วหรือไม่ และเป็นตัวติดต่อกรณีต้องทำการแฮนด์โอเวอร์ข้ามตัวควบคุมสถานีฐาน หรือข้ามชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่

สิ่งสำคัญอีกอย่างก็คือ เนื่องจากโทรศัพท์เคลื่อนที่จะมีการเคลื่อนที่อยู่ตลอดเวลาชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่จะต้องรีจิสเตอร์และปรับปรุงข้อมูลซึ่งถูกเก็บไว้ในหน่วยเก็บข้อมูลส่วนกลาง เมื่อชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ต้องการจะหาหรือติดต่อกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ มันจะต้องหาตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่จากข้อมูลที่ถูกเก็บไว้นี้ ข้อมูลเหล่านี้จะถูกเก็บไว้ใน VLR และ HLR

2.2.2.2 Home Location Register (HLR)

เป็นฐานข้อมูลกลาง ซึ่งจะเก็บเฉพาะข้อมูลของผู้ใช้ทุกคนอย่างเป็นการถาวร เก็บข้อมูลเกี่ยวกับบริการที่ผู้ใช้แต่ละคนต้องการใช้ , ตัวแปรต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการบริการนั้นๆ , ตำแหน่ง(location) ของผู้ใช้ หน้าที่ของ HLR มีดังนี้

- จัดการเกี่ยวกับข้อมูลของผู้ใช้
- รีจิสเตอร์ตำแหน่งของผู้ใช้
- ช่วยในการทำ encryption/decryption และ ตรวจสอบความถูกต้อง
- จัดการเกี่ยวกับบริการเสริม
- SMSC (Short Message Service)

2.2.2.3 Visitor Location Register (VLR)

เป็นฐานข้อมูลที่ใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวของแต่ละโทรศัพท์เคลื่อนที่ ซึ่งอยู่ภายในพื้นที่ที่ชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่ครอบคลุมอยู่ ข้อมูลใน VLR นี้ประกอบด้วยตัวแปร และฟังก์ชั่นซึ่งใช้สำหรับควบคุมการรับ-ส่งสัญญานควบคุม ขณะที่กำลังรีจิสเตอร์กับโทรศัพท์เคลื่อนที่ ข้อมูลเหล่านี้ประกอบด้วยข้อมูลส่วนตัวของโทรศัพท์เคลื่อนที่ ตำแหน่งปัจจุบันของโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมทั้งข้อมูลเกี่ยวกับบริการเสริม

ตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่เอง จะต้องมีการอัปเดตข้อมูลกับ VLR อยู่เสมอ โดยเฉพาะข้อมูลเกี่ยวกับตำแหน่ง หากโทรศัพท์เคลื่อนที่ไม่ส่งข้อมูลอัปเดตภายใน เวลาที่กำหนด เช่น ปิดเครื่อง ข้อมูลใน VLR จะถูกลบ เมื่อผู้ใช้เปิดเครื่องอีกครั้งหนึ่ง มันจะทำการอัปเดตตำแหน่งใหม่

2.2.2.4 Authentication Center (AC)

เป็นส่วนสำคัญที่ใช้ตรวจสอบความถูกต้องของผู้ใช้ เพื่อให้สามารถแน่ใจได้ว่า ไม่มีการขโมยใช้เครื่องได้และอุปกรณ์ที่ใช้ได้รับอนุญาตอย่างถูกต้อง

2.2.2.5 Equipment Identity Register (EIR)

EIR เป็นส่วนหนึ่งของชุมสายโทรศัพท์เคลื่อนที่โดย EIR จะเก็บข้อมูลไว้ว่าจะยอมให้ลูกค้าคนนี้ใช้บริการหรือไม่ โดยเก็บหมายเลข IMEI ไว้ในตาราง 3 ตาราง

- Whitelist ลูกค้าที่อยู่ในนี้สามารถใช้บริการตามปกติได้
- Gray list เก็บหมายเลข IMEIของลูกค้า ที่ถูกจับตามอง แต่ยังไม่ถึงกับถอนบริการ
- Black list ลูกค้าที่อยู่ในนี้ จะไม่อนุญาตให้ใช้บริการได้

โดยผู้ให้บริการระบบ จะเป็นผู้ป้อนข้อมูลเหล่านี้ เช่น เครื่องถูกขโมยและลูกค้ามาแจ้งให้ระงับการบริการชั่วคราว จะใส่ไว้ใน black list เป็นต้น

2.2.3 Operation and Maintenance Center (OMC)

OMC เป็นเป็นชุดอุปกรณ์และคอมพิวเตอร์ที่ควบคุมการทำงานของโครงข่ายทั้งหมด โดย OMC จะติดต่อกับอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านทาง x.25 ลิงค์ เราสามารถสั่งงานอุปกรณ์ต่าง ๆ ผ่านทาง OMC และผ่าน x.25 ลิงค์อีกที นอกจากนี้ที่ OMC ยังมีพอร์ตไว้ต่อเทอร์มินอลอีกหลายพอร์ต ทำให้ในขณะเดียวกันสามารถมีผู้ใช้ทำงานได้พร้อมกันหลายคน นอกจากนี้ OMC ยังสามารถเก็บรวบรวมทำสถิติข้อมูลที่สนใจได้ เช่น สถิติความผิดพลาดของระบบ, ทราฟฟิก เพื่อนำมาใช้ปรับปรุงระบบต่อไป

2.2.4 โทรศัพท์เคลื่อนที่ Mobile Station(MS)

โทรศัพท์เคลื่อนที่ประกอบด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วน

- Mobile Equipment (ME) ก็คือเครื่องโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ปราศจาก SIM นั่นเอง เมื่อปราศจาก SIM แล้วME ก็ไม่สามารถโทรออกไปไหนได้ ยกเว้นกรณีการโทรฉุกเฉิน
- SIM เป็นที่เก็บข้อมูลบางอย่าง เกี่ยวกับผู้ใช้แต่ละคนไว้ลักษณะเป็นการ์ดคล้ายบัตรเครดิต

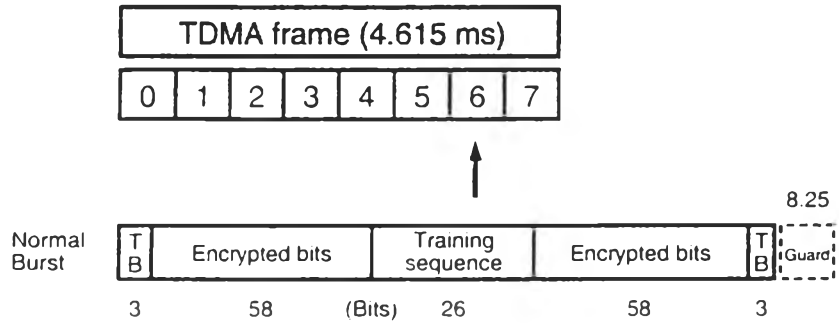
เมื่อใช้ SIM ที่ถูกต้องสอดเข้าไปใน ME แล้วจะกลายเป็น MS ทำให้สามารถโทรออกได้ สิ่งที่สำคัญอีกอย่างคือ ผู้ใช้สามารถพกพา SIM ติดตัวไปไหน ๆ ก็ได้ เมื่อต้องการ ใช้ โทรศัพท์ก็สอด SIM เข้าไปใน ME ของผู้อื่นได้

2.3 ระบบสัญญาณติดต่อทางอากาศ (Air-Interface)

ระบบสัญญาณติดต่อทางอากาศ เป็นระบบสัญญาณที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ติดต่อกับสถานีฐานด้วยคลื่นวิทยุ โดยแบ่งเป็นไทม์สล็อต และในแต่ละไทม์สล็อตในเวลาที่ต่างกันยังเป็นช่องสัญญาณที่ต่างกันด้วย โดยมีการจัดรูปแบบดังนี้

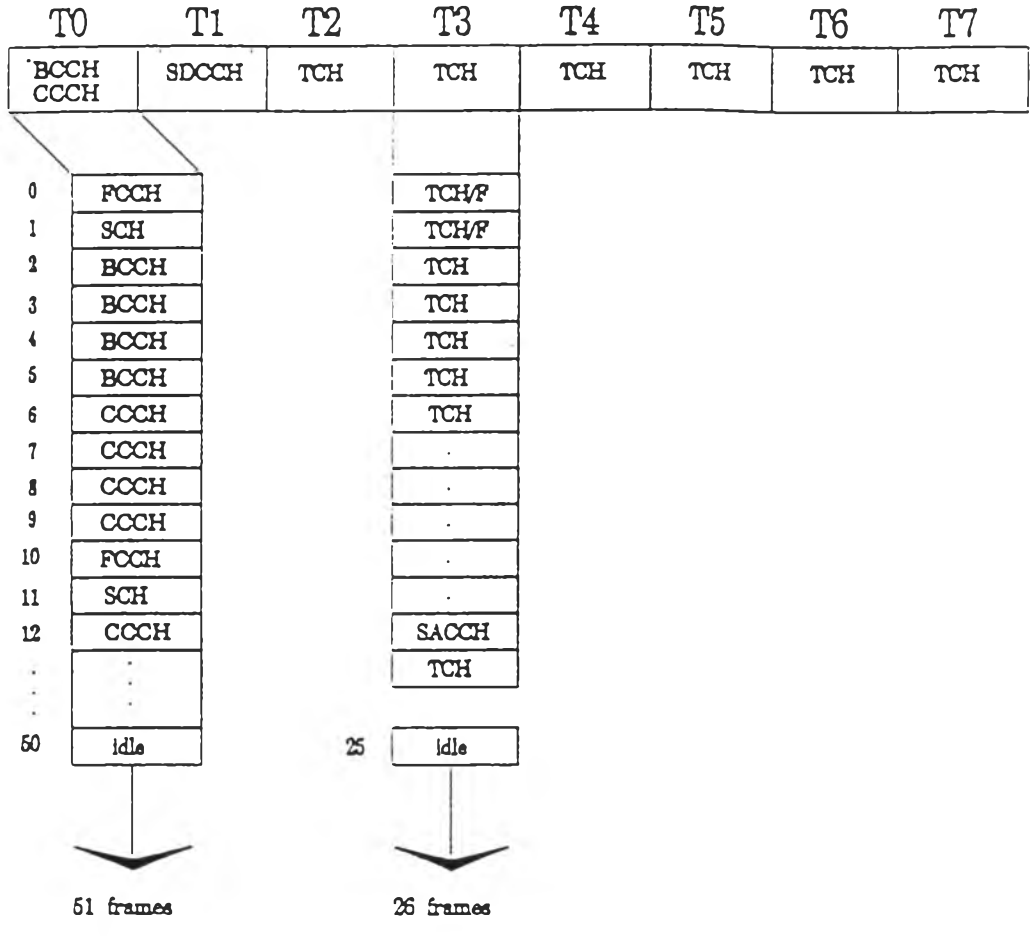
2.3.1 การจัดเฟรมของระบบจีเอสเอ็ม

ในแต่ละ TRX ของสถานีฐาน จะมีความถี่ประจำของแต่ละ TRX และยังเป็นระบบทีดีเอ็มเอ ซึ่งแบ่งเป็นไทม์สล็อต โดย 1 ทีดีเอ็มเอเฟรมประกอบด้วย 8 ไทม์สล็อต ดังรูป



รูปที่ 2.2 ทีดีเอ็มเอเฟรมและนอร์มัลเบิรสต์ (ที่มา W.C.Y Lee , 1995: 477)

แต่ละไทม์สล็อตมีคาบเวลา 0.577ms ดังนั้น 1เฟรมของทีดีเอ็มเอมีคาบเวลา 4.615ms ระบบสัญญาณการติดต่อทางอากาศมีการจัดรูปแบบเป็นมัลติเฟรมแบบพื้นฐาน 2 แบบคือแบบ51เฟรม-มัลติเฟรม และ26เฟรม-มัลติเฟรม ซึ่งมัลติเฟรมประกอบด้วย 51 เฟรมและ 26 เฟรมตามลำดับดังรูป



รูปที่ 2.3 โครงสร้าง 51 เฟรม-มัลติเฟรม และ 26 เฟรม-มัลติเฟรมแบบนอน-คอมบายล์ (ที่มา NOKIA Telecommunication Co., : "SYSTEM TRANNING", 1994: 8(10))

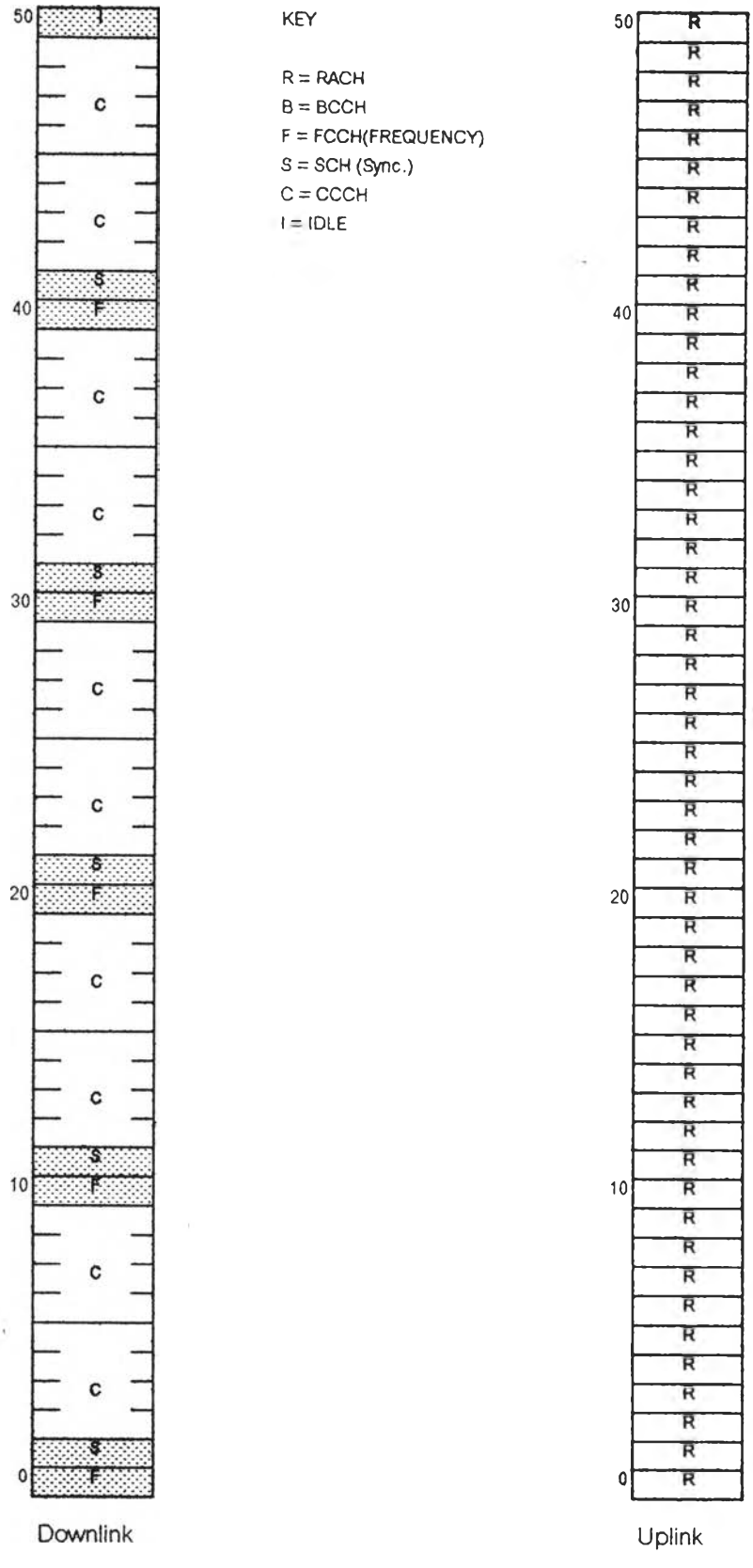
2.3.2 การจัดช่องสัญญาณ

แต่ละไทม์สล็อตจะเป็นช่องสัญญาณที่ใช้ส่งข่าวต่างๆ โดยระบบจีเอสเอ็มมีการจัดช่องสัญญาณ 2 แบบดังนี้

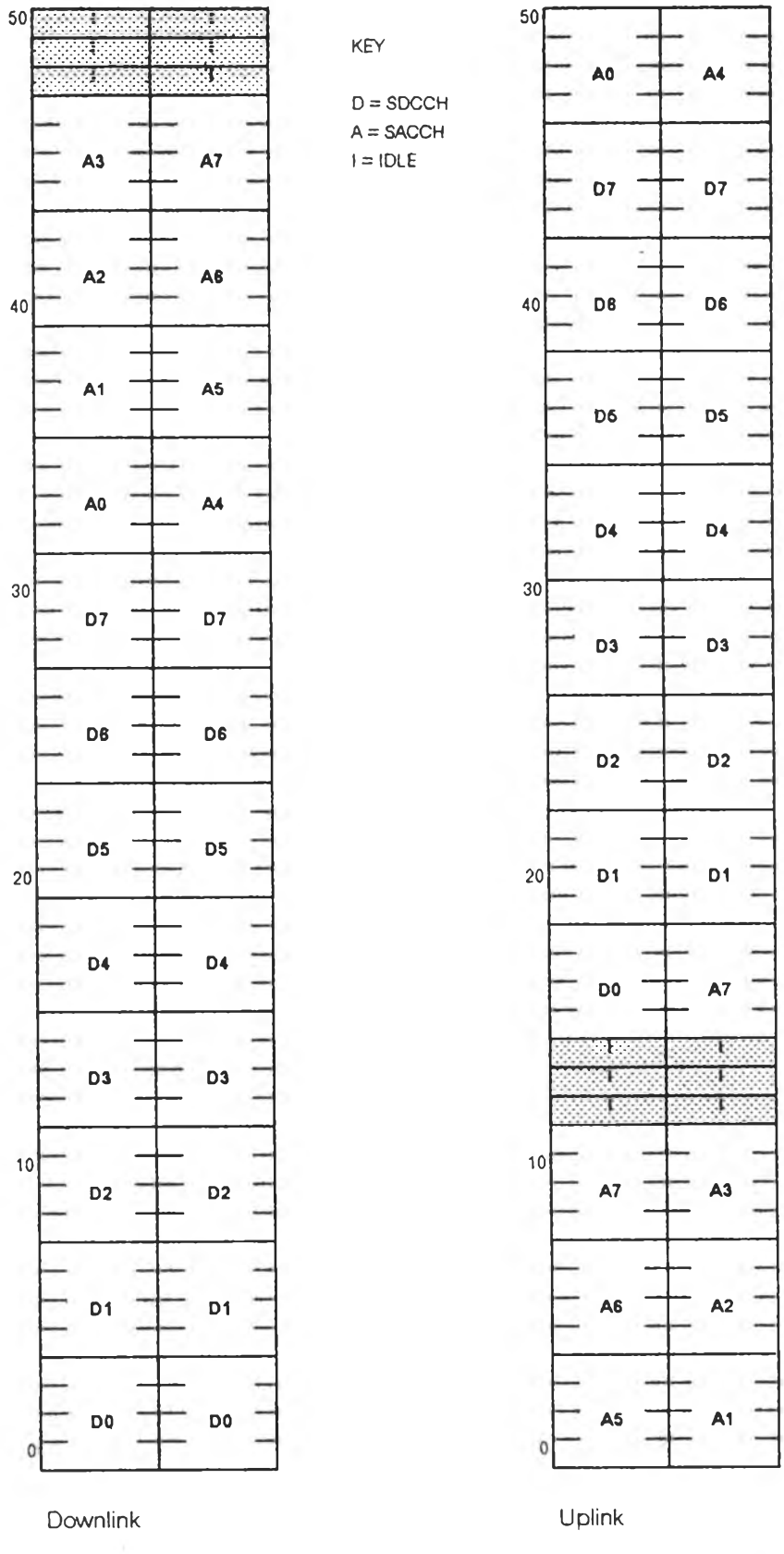
- แบบคอมบายล์ (combinde)แบบนี้เหมาะสำหรับสถานีฐานที่มีทราฟฟิกน้อย โดยในแต่ละเซกเตอร์ มีเพียงTRX เดียว
- แบบนอน-คอมบายล์ (non-combined) แบบนี้เหมาะสำหรับสถานีฐานที่มีทราฟฟิกสูง ในแต่ละเซกเตอร์ มี 2-3 TRX และเป็นแบบที่ใช้กันมาก และใช้ในการจำลองแบบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

2.3.3 การจัดช่องสัญญาณแบบนอน-คอมบายล์

การจัดช่องสัญญาณแบบนี้จะต้องเสียไทม์สล็อต 0 และ 1ของ TRX แรกเพื่อเป็นไทม์สล็อตที่ใช้เป็นสัญญาณควบคุมต่างๆและไทม์สล็อตที่ 2-7 ของ TRX แรกเป็นไทม์สล็อตที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ใช้สนทนาหรือช่องสัญญาณทราฟฟิก (Traffic Channel หรือ TCH) TRX ที่ 2 และ 3 สามารถใช้ทั้ง 8 ไทม์สล็อตเป็นช่องสัญญาณ TCH ได้เลย โดยช่องสัญญาณของไทม์สล็อต 0 และ 1 จะเป็นแบบ 51เฟรม-มัลติเฟรม และช่องสัญญาณของไทม์สล็อตที่เป็น TCH จะเป็นแบบ 26 เฟรม-มัลติเฟรม



รูปที่ 2.4 ช่องสัญญาณต่างๆในไทม์สล็อตที่ 0 (ที่มา MOTOROLA LTD., 1994: 21)



รูปที่ 2.5 ช่องสัญญาณต่างๆในไทม์สล็อตที่ 1 (ที่มา MOTOROLA LTD., 1994: 23)

2.3.3.1 ช่องสัญญาณของระบบเชื่อมโยงสัญญาณขาลงของไทม์สล็อต 0

- FCCH (Frequency Correction Channel) บอกข่าวสารเกี่ยวกับความถี่ของสถานีฐาน
- SCH (Synchronisation Channel) ใช้เพื่อให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการซิงโครไนซ์กับสถานีฐาน
- BCCH (Broadcast Control Channel) ใช้บอกข่าวสารเกี่ยวกับสถานีฐานนั้น
- CCCH (Common Control Channel) ใช้บอกข่าวสารที่ใช้ในการควบคุมซึ่งสามารถเป็น
  -AGCH (Access Grant Channel) ใช้บอกข่าวสารการตอบรับการขอใช้ช่องสัญญาณของโทรศัพท์เคลื่อนที่
  -PCH (Paqing Channel) ใช้เพจ(Page) หาโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่มีการโทรเข้า

2.3.3.2 ช่องสัญญาณของระบบเชื่อมโยงสัญญาณขาขึ้นของไทม์สล็อต 0

- RACH (Random Access Channel) โทรศัพท์เคลื่อนที่ใช้ส่งเมื่อต้องการร้องขอการจัดสรรช่องสัญญาณ

2.3.3.3 ช่องสัญญาณของระบบเชื่อมโยงสัญญาณขาลงของไทม์สล็อต 1

- SDCCH (Stand-alone Dedicate Control Channel) ใช้เพื่อให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ทำการยึดชั่วคราวเพื่อส่งข่าวสารเพื่อการเซตอัป
- SACCH (Slow Associated Control Channel) สำหรับการเชื่อมโยงสัญญาณขาลง เป็นช่องสัญญาณที่ใช้บอกข่าวสารร่วมกับ SDCCH

2.3.3.4 ช่องสัญญาณของระบบเชื่อมโยงสัญญาณขาขึ้นของไทม์สล็อต 1

- SDCCH (Stand-alone Dedicate Control Channel) โทรศัพท์เคลื่อนที่ใช้ส่งข่าวสารเพื่อใช้ในการเซตอัปการเรียก
- SACCH(Slow Associated Control Channel)เป็นช่องสัญญาณที่ใช้ร่วมกับ SDCCH เพื่อให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ส่งข่าวสารที่ใช้เซตอัปการเรียก

ไทม์สล็อตที่เป็นช่องสัญญาณ TCH จะเป็นแบบ 26 เฟรม-มัสติเฟรมซึ่งเฟรมหมายเลข 12 จะเป็น SACCH โทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการวัดความแรงสัญญาณของเซลล์ประชิด แล้วส่งผลการวัดผ่านทาง ช่องสัญญาณ SACCH โดยส่งข่าวสารที่สมบูรณ์ของ SACCH ประกอบด้วย SACCH 4 เบิรสต์ดังนั้น โทรศัพท์เคลื่อนที่จะส่งข่าวสารของ SACCH นี้ครบถ้วนทุกๆ 480 ms

นอกจากนี้เมื่อตัวควบคุมสถานีฐานรับรู้ข่าวสารความแรงและคุณภาพสัญญาณที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ส่งมา และตัวควบคุมสถานีฐานตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์ จะส่งสัญญาณให้สถานีฐานส่งข่าวสารเกี่ยวกับการแฮนด์โอเวอร์ผ่านช่องสัญญาณ FACCH (Fast Associatcd Control Channel) ซึ่งจะเป็นการยึมช่องสัญญาณ TCH ที่ใช้สนทนาอยู่ชั่วคราว เพื่อเป็นช่องสัญญาณ FACCH

2.3.4 ชนิดของการเซตอัปการเรียก

เมื่อมีการเรียกเกิดขึ้น โทรศัพท์เคลื่อนที่จะส่งการร้องของการจัดสรรช่องสัญญาณไปยังสถานีฐาน ซึ่งในระบบจีเอสเอ็ม ผู้ให้บริการระบบสามารถเลือกวิธีการเซตอัปการเรียก ได้ 3 ชนิด ดังนี้

2.3.4.1 การจัดสรรช่องสัญญาณแบบรีบด่วนมาก (Very Early Assignment)

วิธีนี้เมื่อสถานีฐานและตัวควบคุมสถานีฐานรับรับรู้การร้องขอการจัดสรรช่องสัญญาณ จะทำการกำหนดช่องสัญญาณ TCH ให้ทันที จากนั้นโทรศัพท์เคลื่อนที่จะเปลี่ยนมาใช้ช่องสัญญาณ TCH นี้ และทำการส่งสัญญาณต่างๆ เพื่อใช้ในการเซตอัปการเรียก รวมทั้งรอคอยการตอบกลับจากปลายทาง หากปลายทางตอบกลับมา ก็จะทำการเชื่อมต่อและทำการสนทนาผ่านช่องสัญญาณ TCH นี้ได้เลย

จะเห็นได้ว่าวิธีนี้ มีการใช้เวลาในช่องสัญญาณ TCH มาก ทั้งการเซตอัป, การรอการตอบกลับจากปลายทาง และเวลาที่ใช้ในการสนทนา ทำให้เป็นการเพิ่มทราฟฟิกให้กับระบบ และทำให้อัตราการบล็อกเพิ่มขึ้น แต่มีข้อดีที่หากขณะนั้นมีช่องสัญญาณ TCH ว่าง การร้องขอนั้นจะได้รับการจัดสรรทันที

2.3.4.2 การจัดสรรช่องสัญญาณแบบรีบด่วน (Early Assignment)

วิธีนี้ เมื่อมีการร้องของการจัดสรรช่องสัญญาณ ตัวควบคุมสถานีฐานะจะจัดสรรช่องสัญญาณ SDCCH ที่ว่างให้ หากขณะนั้นไม่มี SDCCH ว่าง การร้องขอนั้นจะไม่ได้รับการตอบสนอง หากมีช่องสัญญาณ SDCCH ว่าง โทรศัพท์เคลื่อนที่จะไปใช้ช่องสัญญาณ SDCCH นั้นเพื่อทำการส่งสัญญาณเพื่อเซตอัปการเรียก

เมื่อทำการเซตอัปการเรียกเสร็จ ตัวควบคุมสถานีจะหาช่องสัญญาณ TCH ที่ว่างให้ หากไม่มีช่องสัญญาณ TCH ที่ว่างการเรียกนั้นก็จะไม่ได้รับการตอบสนอง

เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ เปลี่ยนไปใช้ช่องสัญญาณ TCH แล้ว ก็จะรอคอยการตอบกลับจากปลายทาง หากปลายทางตอบกลับมา ก็จะทำการเชื่อมต่อและสนทนาได้ หากปลายทางไม่ตอบกลับ หรือไม่ว่างก็จะยกเลิกการติดต่อ (disconncet)

วิธีนี้ใช้เวลาในการใช้ช่องสัญญาณ TCH น้อยกว่าวิธีแรก ทำให้อัตราการบล็อกโดยรวมของระบบลดลง

2.3.4.3 การเซตอัปการเรียกทางอากาศ (Off Air Call Set Up, OCASU)

วิธีนี้เมื่อตัวควบคุมสถานีฐานรับรู้การร้องขอ จะทำการจัดสรรช่องสัญญาณ SDCCH ที่ว่างให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ จะเปลี่ยนมาช่องสัญญาณ SDCCH นี้ และทำการส่งสัญญาณเพื่อเซตอัป และรอคอยการตอบกลับจากปลายทาง เมื่อตัวควบคุมสถานีฐานรับรู้การตอบกลับจากปลายทางแล้ว จะทำการจัดสรรช่องสัญญาณ TCH ที่ว่างให้ แล้วแจ้งให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เปลี่ยนมาใช้ช่องสัญญาณ TCH ที่จัดสรรให้และทำการเชื่อมต่อกับ ปลายทาง

จะเห็นได้ว่า วิธีนี้เป็นการใช้ช่องสัญญาณ TCH อย่างมีประสิทธิภาพทำให้อัตราการบล็อก โดยรวมของระบบลดลง แต่มีข้อเสียคือ เมื่อทำการเซตอัปไปแล้วอาจไม่มีช่องสัญญาณ TCH ว่างก็ได้ อย่างไรก็ตาม วิธีนี้ เป็นวิธีที่นิยมใช้กันมาก และได้ใช้วิธนี้นี้ในการจำลองแบบในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ด้วย

2.3.5 การเซตอัปการเรียกชนิดการเซตอัปการเรียกทางอากาศ

2.3.5.1 การโทรออก

เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ต้องการโทรออก ตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่จะส่งการร้องขอการจัดสรรช่องสัญญาณ ผ่านทางช่องสัญญาณ Random Access Channnel (RACH) ซึ่งอยู่ที่ไทม์สล็อตที่ศูนย์ ของระบบเชื่อมโยงขาขึ้น ไปยังสถานีฐานด้วยความถี่ของระบบเชื่อมโยงขาขึ้นของสถานีฐานนั้น (ความถี่ของระบบเชื่อมโยงขึ้น และขาลงของสถานีฐานจะต่างกัน) โดยเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ต้องการส่ง RACH ตัวโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่จะทำการสุ่มเลข 5 บิตแล้วส่งออกไปด้วย

จากนั้น โทรศัพท์เคลื่อนที่จะตั้งเวลารอคอยคำตอบจากสถานีฐาน ซึ่งสถานีฐานจะตอบกลับการร้องขอผ่านช่องสัญญาณ Common Control Channel (CCCH) ผู้ให้บริการระบบสามารถตั้งค่าเวลารอคอยได้ตั้งแต่ 3 - 50 เฟรม ถ้าไม่มี SDCCH ว่างหรือสถานีฐานตรวจจับการชนกันของ RACH ได้ก็จะไม่ตอบกลับ หากไม่ได้รับคำตอบภายในเวลาที่กำหนด โทรศัพท์เคลื่อนที่จะสุ่มเวลารอคอยเพื่อจะส่ง RACH ซ้ำซึ่งผู้ให้บริการระบบสามารถตั้งค่าจำนวนการส่ง RACH ซ้ำสูงสุดได้ 1,2,4 หรือ 7 ครั้ง

จากรูปที่ 2.4 จะเห็นว่าข่าวสารของช่องสัญญาณ CCCH ประกอบด้วย 4 เบิรสต์ ซึ่งจะส่งมาในไทม์สล็อตที่ศูนย์ของระบบเชื่อมโยงขาลงของสถานีฐาน ดังนั้นจะต้องใช้เวลา 4 เฟรม จึงจะได้ข่าวสารของ CCCH ครบถ้วน

ข่าวสาร ของ CCCH สามารถแบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ

- Access Grant Channel (AGCH) ซึ่งจะมีข่าวสาร คำตอบการร้องของการจัดสรรช่องสัญญาณ ที่ถูกส่งมาใน RACH ประกอบด้วย หมายเลขสุ่มที่ RACH ส่งไป และหมายเลข SDCCH ที่จะให้ โทรศัพท์เคลื่อนที่ใช้ CCCH จะเป็นชนิด AGCH เมื่อเป็นการตอบรับการโทรออกของโทรศัพท์เคลื่อนที่
- Paging Channel (PCH) เมื่อมีการโทรเข้ามายังโทรศัพท์เคลื่อนที่ สถานีฐานจะทำการเรียกโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้น ผ่านช่องสัญญาณ CCCH ซึ่งจะเป็นชนิด PCH ประกอบด้วยข่าวสารเกี่ยวกับหมายเลขประจำตัวของโทรศัพท์เคลื่อนที่ และช่องสัญญาณ SDCCH ที่กำหนดให้

ดังนั้น RACH ที่ส่งไป จะได้รับคำตอบจาก CCCH ซึ่งจะตอบกลับมาเป็น AGCH ได้เร็ว ที่สุด คือ 4 เฟรมหลังจากที่ส่ง RACH

หลังจากโทรศัพท์เคลื่อนที่ เปลี่ยนไปใช้ช่องสัญญาณ SDCCH ที่กำหนดให้แล้ว ก็จะทำการส่งข่าวสารที่ใช้ในการเซตอัปผ่านทางช่องสัญญาณนี้ โดยในระบบเชื่อมโยงสัญญาณขาลง สถานีฐานจะส่งข่าวสารมาในช่องสัญญาณ SACCH ร่วมด้วย ซึ่งเป็นข่าวสารอื่นๆที่ใช้ในการเซตอัป เช่นข่าวสารเกี่ยวกับการควบคุมกำลังส่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่

เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ และสถานีฐานทำการส่งข่าวสารเพื่อเซตอัปเสร็จแล้วและปลายทางมีการตอบรับ ตัวควบคุมสถานีฐานก็จะสั่งให้สถานีฐานจัดหาช่องสัญญาณ TCH ที่ว่าง แล้วแจ้งให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ทราบ เพื่อให้โทรศัพท์เคลื่อนที่เปลี่ยนมาใช้ช่องสัญญาณ TCH นี้และทำการเชื่อมต่อ

หากปลายทางไม่มีการตอบรับเช่น ไม่ว่างหรือ ปิดเครื่องอยู่ จะทำการเชื่อมต่อสถานี เคลื่อนที่เข้ากับส่วนบริการเสียงให้ข้อความ (Announcement Service) ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของชุมสายโทรศัพท์ก็เคลื่อนที่แทน

2.3.5.2 การโทรเข้า

เมื่อมีการโทรเข้า สถานีฐานจะเรียกโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่ผ่านช่องสัญญาณ CCCH ซึ่งจะเป็น ชนิด PCH โดยจะถูกนำมาเข้าคิวเพื่อรอการเพจในช่องสัญญาณ CCCH โดยคิวของ PCH จะมีลำดับความสำคัญสูงกว่าคิวของ AGCH เนื่องจากข่าวสารของ PCH ได้ถูกเซตอัปมาบางส่วนแล้วจากปลายทาง

โทรศัพท์เคลื่อนที่จะคอยฟังการเรียกจากช่องสัญญาณ CCCH ซึ่งเป็นชนิด PCH นี้ แล้วจะเปลี่ยนไปใช้ช่องสัญญาณ SDCCH ที่กำหนดในข่าวสารของ PCH เพื่อทำการส่งข่าวสารที่ใช้ในการเซตอัปเช่นเดียวกับการโทรออก

2.4 การแฮนด์โอเวอร์

2.4.1 จุดประสงค์ของการแฮนด์โอเวอร์

จุดประสงค์หลักของการแฮนโอเวอร์คือเพื่อให้การเรียกนั้นยังคงต่อไปได้ เมื่อการเรียกนั้นเคลื่อนที่ออกจากขอบเขตบริการของสถานีฐาน หรือเมื่อคุณภาพสัญญาณต่ำกว่าค่าที่ยอมรับได้เพื่อให้ ขั้นการบริการของระบบมีค่าสูง

การแฮนด์โอเวอร์เมื่อเนื่องจากมีการแทรกสอดสูงเรียกว่า "confinement handover" (Michel Mouly and Marie-Bernadette, 1992: 328) ในกรณีนี้สถานีฐานจะวัดคุณภาพสัญญาณที่ โทรศัพท์เคลื่อนที่ส่งมา หากสัญญาณมีความผิดพลาดมากตัวควบคุมสถานีฐานก็จะเลือกสถานีฐานอื่นซึ่งใช้ความถี่ต่างกันแล้วส่งคำสั่งไปให้สถานีฐานสั่งให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ ทำการแฮนโอเวอร์

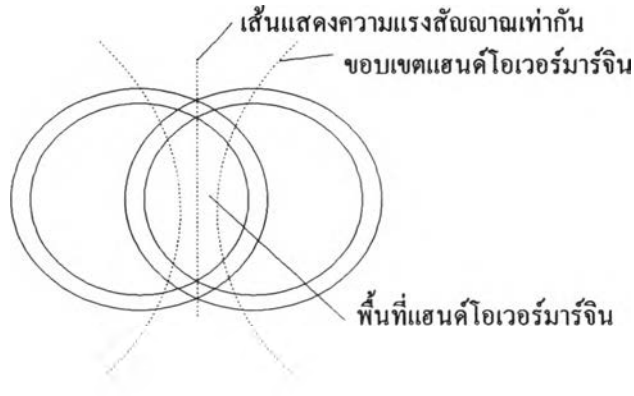
การแฮนโอเวอร์เมื่อกำลังสัญญาณที่โทรศัพท์เคลื่อนที่รับได้ต่ำกว่าค่าที่กำหนด หรือมีสถานีฐานอื่นที่โทรศัพท์เคลื่อนที่สามารถรับกำลังสัญญาณได้แรงกว่าเช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ได้เคลื่อนที่เข้าหาสถานีฐานใหม่ เรียกว่าการแฮนโอเวอร์เพื่อช่วยเหลือ(rescue handover) ปกติโทรศัพท์เคลื่อนที่ จะทำการวัดความแรงสัญญาณของเซลล์ที่ใช้บริการอยู่และเซลล์ประชิดซึ่งโทรศัพท์เคลื่อนที่ สามารถตรวจจับสัญญาณ โทรศัพท์เคลื่อนที่จะส่งผลการวัดไปให้สถานีฐาน ตัวควบคุมสถานีจะเปรียบเทียบค่าหากมีเซล์อื่นที่สามารถรับสัญญาณได้แรงกว่า ก็จะให้สถานีฐานสั่งแฮนด์โอเวอร์

2.4.2 การแฮนด์โอเวอร์เพื่อช่วยเหลือ (Rescue Handover)

รูปที่ 2.6 ขอบเขตการแฮนด์โอเวอร์

จากรูป 2.6 หากมีโทรศัพท์เคลื่อนที่ เคลื่อนที่จากสถานีฐาน A เข้าหาสถานีฐาน B เมื่อข้ามเส้นแบ่งขอบเขตซึ่งเป็นจุดที่กำลังสัญญาณของทั้ง 2 สถานีฐานเท่ากัน โทรศัพท์เคลื่อนที่ จะทำการ แฮนด์โอเวอร์ไปสถานีฐาน B แต่ในความเป็นจริงสภาวะแวดล้อมต่างๆ จะทำให้ค่ากำลังสัญญาณที่วัดได้ มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ใกล้กับเส้นแบ่งขอบเขตจะถูกแฮนด์โอเวอร์กลับไปกลับมาเรียกว่า ปรากฏการณ์ปิงปอง (Ping Pong Phenomenon)

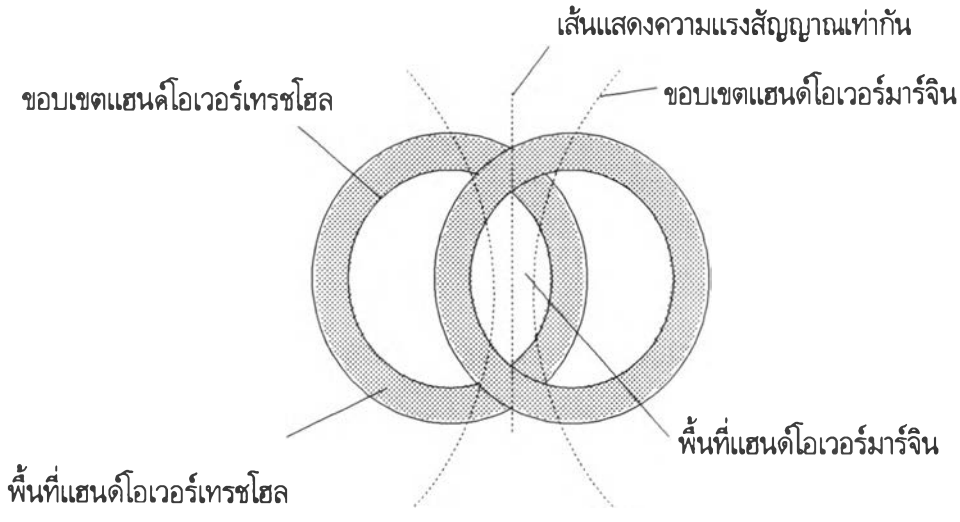
เพื่อหลีกเลี่ยงเหตุการณ์เช่นนี้จึงต้องกำหนดเงื่อนไขการแฮนด์โอเวอร์เสียใหม่ โดยกำหนด พื้นที่แฮนด์โอเวอร์มาร์จิน (จีเอสเอ็มเรียกว่า Cell Reselect Hysteresis) ขึ้นมาดังรูป



รูปที่ 2.7 แฮนด์โอเวอร์มาร์จิน

พื้นที่ระหว่างแฮนด์โอเวอร์มาร์จินเป็นพื้นที่ซึ่งโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ในพื้นที่ไม่ต้องการแฮนด์โอเวอร์ หากเคลื่อนที่ออกจากพื้นที่นี้จึงทำการแฮนด์โอเวอร์ได้ โดยกำหนดขอบเขตนี้จากกำลังสัญญาณของเซลล์ ที่ใช้บริการอยู่กับเซลล์ที่จะแฮนด์โอเวอร์ไปต้องต่างกัน มากกว่าค่าๆหนึ่ง ซึ่งปกติจะกำหนดไว้ 6 dB

อย่างไรก็ตามจะมีพื้นที่ส่วนซึ่งอยู่ในแฮนด์โอเวอร์มาร์จิน แต่อยู่ใกล้ขอบเขตให้บริการของเซลล์ซึ่งหากโทรศัพท์เคลื่อนที่เคลื่อนออกจากพื้นที่ตรงนี้แล้วไม่ได้รับการแฮนด์โอเวอร์ การเรียกนั้นจะดร็อป ดังนั้นจึงต้องมีขอบเขตที่ให้สถานีเคลื่อนที่เตรียมตัวแฮนด์โอเวอร์ก่อนจะออกนอกเขตบริการดังรูปที่ 2.8 ขอบเขตนี้ เรียกว่า แฮนด์โอเวอร์เทรชโฮลด์ (Handover threshold)



รูปที่ 2.8 แฮนด์โอเวอร์เทรชโฮลด์และแฮนด์โอเวอร์มาร์จิน

2.4.3 การแฮนด์โอเวอร์ของระบบจีเอสเอ็ม

ระบบจีเอสเอ็ม โทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการวัดความแรงสัญญาณของเซลล์ที่ใช้บริการอยู่ และ เซลล์อื่นที่สามารถตรวจจับได้ แล้วส่งผลการวัดไปให้สถานีฐานผ่านช่องสัญญาณ SACCH (อยู่ในช่องสัญญาณ TCH) ดังนั้น สถานีฐานจะได้รับข่าวสารนี้ทุก ๆ 480 ms

ในการวัดแต่ละครั้ง โทรศัพท์เคลื่อนที่จะทำการสุ่มวัดหลายๆครั้งมาเฉลี่ยกันเพื่อลดผลของ Fast Fading แล้วเลือกสถานีฐานที่รับกำลังสัญญาณได้แรงที่สุด 6 อันดับ เพื่อส่งข้อมูลไปให้สถานีฐาน สถานีฐานเมื่อได้รับข่าวสารนี้แล้วจะเก็บไว้หลายๆครั้ง แล้วนำมาเฉลี่ยกันอีกที โดยผู้ให้บริการระบบสามารถเลือกจำนวนครั้งในการเฉลี่ย เป็น 1,2,3, หรือ 4 ครั้ง

ผลที่ได้จากการเฉลี่ยทั้ง 6 อันดับ จะถูกส่งให้ตัวควบคุมสถานีฐาน ตัวควบคุมสถานีฐานจะพิจารณาเลือกเฉพาะเซลล์ 3 อันดับแรกที่รับสัญญาณได้แรงที่สุด เพื่อใช้ตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์

2.4.3.1 เงื่อนไขการแฮนด์โอเวอร์

เนื่องจากระบบจีเอสเอ็มสามารถควบคุมกำลังส่งของสถานีฐานและโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้ ดังนั้นจึงกำหนดเงื่อนไขการตัดสินใจดังนี้ (NOKIA Telecommunication , "BSS Parameter" , 1994: 39)

AV_RXLEV_NCELL(n) > rxLevMinCell (n) + Max (0,A) (2.1)

โดย A = msTxPwrMax(n) - msTxPwrMax (2.2)

Power Budget > handover margin (2.3)

โดย Power Budget = (msTxPwrMax - AV_RXLEV_DL_ HO - (btsTxPwrMax - BTS_TXPWR) - (msTx PwrMax(n) - AV_RXLEV_NEELL(n)) (2.4)

ซึ่ง

AV_RXLEV_NCELL(n) (average receiving levls of adijacent cell) เป็นค่ากำลังสัญญาณเฉลี่ยของเซลล์ประชิดที่ n ที่รับได้

AV_RXLEV_DL_HO (average reciving level of the seving cell) เป็นค่า กำลังสัญญาณเฉลี่ย ที่รับได้ของเซลล์ที่ใช้ บริการอยู่

BTS_TX_PWR (transmitting power level of serving cell) ค่ากำลังส่งของเซลล์ที่ใช้บริการอยู่

msTxPwrMax กำลังสูงสุดของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในสถานีฐานที่ใช้บริการอยู่

btsTxPwrMax กำลังสูงสุดของสถานีฐาน

rxlevMin Cell (n) ค่ากำลังสัญญาณต่ำสุดที่ยอมรับได้ของเซลล์ประชิดที่ n

msTxPwrMax (n) ค่ากำลังส่งสูงสุดของโทรศัพท์เคลื่อนที่ในเซลล์ประชิดที่ n

ตัวอย่าง

ตารางที่ 2.1 ตัวอย่างการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์

เซลล์ ที่ใช้บริการอยู่		เซลล์ประชิดที่ n	
AV_RXLEL_DL_HO = -90 dBm		AV_RXLEV_NCELL(n) = -80 dBm	
msTxPwrMax	= 33 dBm (2w)	rxLevMinCell(n)	= - 99 dBm
btsTxPwrMax	= 42 dBm (16 w)	btsTxPwrMax	= 42 dBm (16 w)
hoMargin	= 6 dB	BTS_TX_PWR	= 42 dBm (16 w)

จากสมการที่ 2.1

-80 dBm > - 99 dBm + (33 dBm -33dBm) = 99 dBm

จากสมการที่ 2.4

Power Budjet = (33 dBm -- 90 dBm - (41 dBm-42 dBm) - (33 dBm 80 dBm)

= 10 dB

สมการที่ 2.1 และ 2.4 เป็นจริง เพราะฉะนั้นแฮนด์โอเวอร์ไปเซลล์ประชิดที่ n ได้

ในระบบจีเอสเอ็มสามารถกำหนดค่ากำลังส่งของสถานีฐานได้ตั้งแต่ -110 ถึง -47 dBm ระบบจีเอสเอ็มและ พีซีเอ็น 1800 ของโนเกีย กำหนดค่ากำลังสัญญาณต่ำสุดที่ยอมรับได้ไว้ที่ - 110 dBm แฮนด์โอเวอร์เทรชโอล -105 dBm และ แฮนด์โอเวอร์มาร์จินไว้ที่ 6 dB