หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

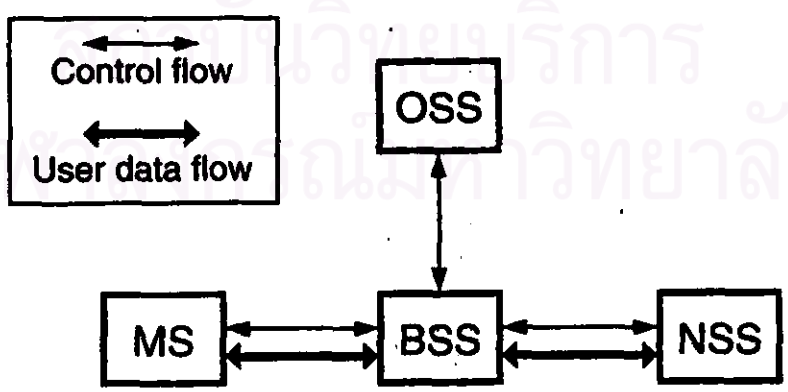
บทที่ 2
ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์จีเอสเอ็ม

2.1 กล่าวนำ

ปัจจุบันระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดิจิตอลมีหลายระบบ เช่น ระบบจีเอสเอ็ม (GSM), ระบบเอ็นเอทีดีเอ็มเอ (NA-TDMA), ระบบซีดีเอ็มเอ (CDMA), ระบบพีดีซี (PDC) ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาจากระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบแอนาลอก ในระบบแบบแอนาลอก การเข้าถึงหลายทาง (Multiple Access) ถูกจำกัดเฉพาะทางความถี่ (frequency-division-multiple-access, FDMA) ส่วนระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดิจิตอล การเข้าถึงหลายทางมีอยู่หลายรูปแบบซึ่งแล้วแต่ว่าเป็นระบบแบบใด เช่น การเข้าถึงหลายทางทางความถี่ (FDMA) การเข้าถึงหลายทางทางเวลา (time-division-multiple-access, TDMA) การเข้าถึงหลายทางทางการเข้ารหัส (code-division-multiple-access, CDMA) ในบทนี้จะกล่าวถึงระบบจีเอสเอ็ม (Global System for Mobile, GSM) เป็นระบบที่พัฒนามาจากทวีปยุโรป เริ่มตั้งแต่ปี 1982 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่เซลลูลาร์แบบดิจิตอลเป็นมาตรฐานในทวีปยุโรป (ระบบสามารถทำการ โรมมิงกันได้) และเชื่อมต่อกับระบบ integrated service digital network (ISDN) ที่รองรับการบริการระบบดิจิตอลต่างๆ ให้เกิดประโยชน์ได้ ซึ่งต่อมาระบบ GSM ก็เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย

2.2 โครงสร้างของระบบจีเอสเอ็ม

ประกอบด้วยระบบย่อยๆหลายส่วน เช่น โทรศัพท์เคลื่อนที่ (mobile station, MS), ส่วนสถานีฐาน (base station subsystem, BSS), โครงข่ายและชุมสาย (network & switching subsystem, NSS), และส่วนปฏิบัติการ (operation subsystem, OSS) ดังรูปที่ 2.1

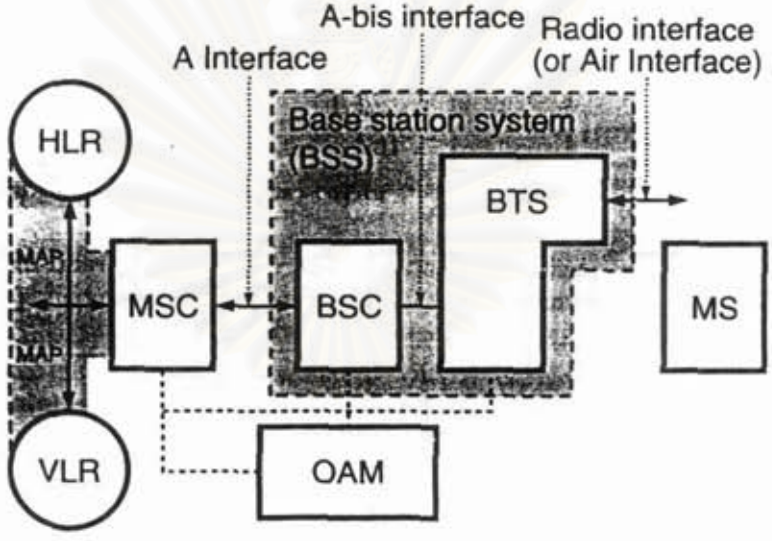


รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบภายนอกที่ติดต่อกับ BSS

2.2.1 **โทรศัพท์เคลื่อนที่** (MS) ประกอบด้วย ตัวเครื่องโทรศัพท์มือถือ (mobile equipment, ME) และการ์ดข้อมูลของผู้เช่า (subscriber identity module, SIM) ซึ่งเป็นที่เก็บข้อมูลต่างๆของผู้เช่า โทรศัพท์มือถือจะสามารถทำงานได้ SIM จะต้องสอดอยู่ใน ME ซึ่ง SIM สามารถใช้กับ ME เครื่องใดก็ได้ เพราะ ME เป็นเพียงอุปกรณ์ที่ใช้เท่านั้น ส่วนข้อมูลต่างๆที่ระบุผู้เช่าและใช้ทำการเรียกจะอยู่ภายใน SIM

2.2.2 **ส่วนสถานีฐาน** (BSS) ประกอบด้วย 1. สถานีฐาน (base transceiver station, BTS) เป็นส่วนที่ระบบโครงข่ายต่อกับโทรศัพท์เคลื่อนที่ทางอากาศ (Radio Interface) มีหน้าที่ต่างๆเหมือนกับที่โทรศัพท์เคลื่อนที่มี และ 2. ตัวควบคุมสถานีฐาน (base station controller, BSC) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุม BTS จำนวนหนึ่ง นอกจากนี้ transcoder / rate adaption unit (TRAU) มีหน้าที่ทำการเข้ารหัส, ถอดรหัส และปรับอัตราการส่งของ speech ส่วนมากจะอยู่ที่ชุมสายโทรศัพท์ รูปที่ 2.2 แสดงการต่อร่วม (interface) ของระบบ GSM ซึ่งเป็นแบบ open system interconnection (OSI) ดังนี้

1. ระหว่าง BTS กับ MS เป็น radio interface (air interface)
2. ระหว่าง BSC กับ BTS เป็น A-bis interface
3. ระหว่าง MSC กับ BSC เป็น A interface



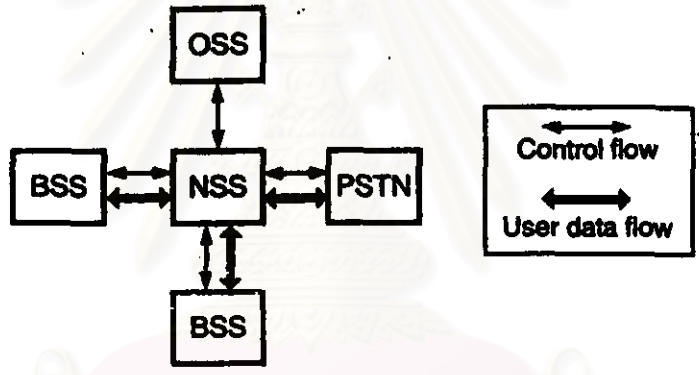
รูปที่ 2.2 สถาปัตยกรรมทางด้านหน้าที่และการต่อร่วมหลัก

2.2.3 โครงข่ายและชุมสาย (NSS) แสดงดังรูปที่ 2.3 ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

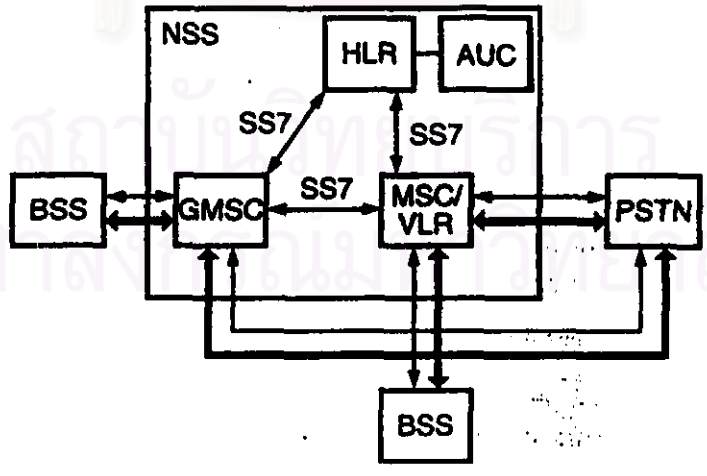
1. ชุมสายโทรศัพท์ (Mobile service switching center, MSC) ทำหน้าที่ควบคุม BSC และระบบ GSM ทั้งหมด

2. ส่วนติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก (Interworking function, IWF) เป็นส่วนที่ใช้สำหรับทำการติดต่อระหว่างจุดเชื่อมการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก (Gateway MSC, GMSC) กับระบบอื่นๆ เช่น PSTN, PSPDN, CSPDN

3. ฐานข้อมูลหลัก (Home location register, HLR) เป็นส่วนเก็บข้อมูลต่างๆของโทรศัพท์เคลื่อนที่ รวมทั้งตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ด้วย แต่ไม่ใช่ตำแหน่งจริงที่โทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ในขณะนั้น ส่วนประกอบย่อยของ HLR คือ 1) อุปกรณ์จัดการที่เกี่ยวกับความปลอดภัยของข้อมูล (authentication center, AUC) เป็นส่วนเก็บข้อมูลที่เกี่ยวกับการตรวจสอบโทรศัพท์เคลื่อนที่ว่าอยู่ในระบบหรือไม่ 2) อุปกรณ์ตรวจสอบการลงทะเบียนการใช้งานของ ME (Equipment identity register, EIR) เป็นส่วนที่เก็บข้อมูลของ ME



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.3 NSS และการติดต่อกับส่วนประกอบอื่น

(ก) ส่วนประกอบอื่นภายนอก

(ข) โครงสร้างภายใน

4. ฐานข้อมูลสำหรับตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (Visitor location register, VLR) เป็นส่วนที่เก็บข้อมูลตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่อยู่ปัจจุบัน และมีรายละเอียดมากกว่า HLR

5. จุดเชื่อมการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก (Gateway MSC, GMSC) เป็นส่วนที่ระบบ GSM ทำการติดต่อกับระบบอื่นๆ การส่งสัญญาณซิกแนลลิงใช้ระบบ signalling system 7 (SS7)

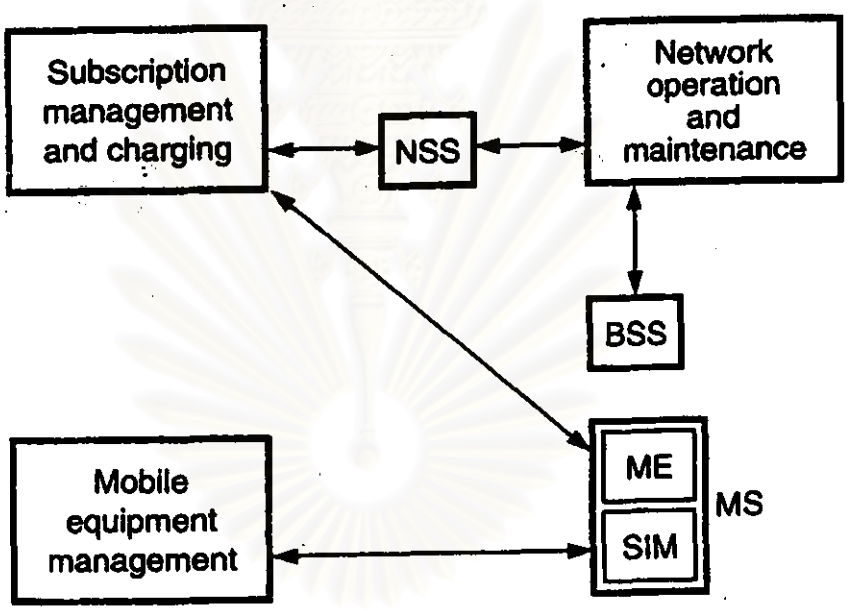
6. จุดส่งผ่านสัญญาณการติดต่อ (Signalling transfer point, STP) หมายถึงโนด (node) ต่างๆที่ใช้ในการส่งสัญญาณระหว่างกัน เช่น MSC, GMSC, BSC, HLR

2.2.4 ส่วนปฏิบัติการ (OSS) แสดงในรูปที่ 2.4 แบ่งออกเป็น

1. ฝ่ายปฏิบัติงานและดูแลระบบ (network operation and maintenance functions)

2. ฝ่ายดูแลการขอเปิดใช้บริการรวมทั้งการคิดค่าบริการ (subscription management, charging, billing)

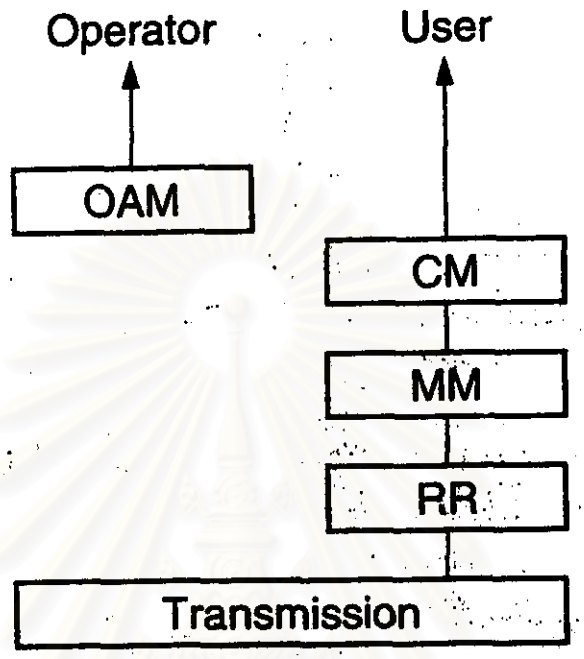
3. ฝ่ายจัดการลงทะเบียนของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (mobile equipment management)



รูปที่ 2.4 ตำแหน่งที่ใช้งาน OSS

2.3 แบบจำลอง OSI ของระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่

OSI (Open System Interconnection) แบ่งออกเป็น 5 ชั้น ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบในแบบจำลอง OSI ของระบบจีเอสเอ็ม

1. การรับส่งข้อมูล (transmission, TX) ทำหน้าที่เชตการต่อระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน

2. การจัดการด้าน Radio (radio resource management) RR) เป็นชั้นโปรโตคอลสำหรับ radio interface และทำหน้าที่เชตการต่อระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับตัวสถานีควบคุม หน้าที่ต่างๆในส่วนสถานีฐานจะเกี่ยวข้องกับชั้นนี้

3. การจัดการเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ (mobility management, MM) มีหน้าที่จัดการเกี่ยวกับข้อมูลต่างๆ รวมทั้งทำขั้นตอนการตรวจสอบเมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ขอใช้ระบบ

4. การจัดการเกี่ยวกับการสื่อสาร (communication management, CM) โครงข่ายและชุมสาย โดยเฉพาะชุมสายโทรศัพท์จะเกี่ยวข้องกับชั้นนี้ ซึ่งมีหน้าที่ต่างๆดังต่อไปนี้

- ควบคุมการเรียกต่างๆ เช่น เซตอัปการเรียก รักษาการเรียกและปลดการเรียก
- จัดการเกี่ยวกับบริการเสริมอื่นๆ เช่น การประชุมทางโทรศัพท์ การโอนสาย การเรียกสายซ้อน เป็นต้น
- บริการส่งข้อความ (short message service, SMS) มี 2 ฟังก์ชัน คือ
  1) โทรศัพท์เคลื่อนที่ส่งข้อความ (Mobile - originating short message)
  2) โทรศัพท์เคลื่อนที่รับข้อความ (Mobile - terminating short message)

5. การดูแลซ่อมแซมและตรวจสอบระบบ (administration & maintenance, OAM) ทุกส่วนในระบบจีเอสเอ็มมีความเกี่ยวข้องกับชั้นนี้

2.4 การรับส่งข้อมูล

เสียง (Speech) สัญญาณแอนาลอก 4 kHz ถูกเปลี่ยนเป็นสัญญาณดิจิตอล 64 kbps จากนั้นทำการลดอัตราการส่งข้อมูลเหลือ 13 kbps ก่อนที่จะทำการมอดูเลต (modulate) ทำให้การใช้ความถี่ในสเปกตรัมมีประสิทธิภาพมากขึ้น สัญญาณเสียงดิจิตอล (digital speech) ใช้

1. Regular pulse excitation (RPE) เป็นการสร้าง impulse noise แทนสัญญาณเสียง
2. Linear prediction coding (LPC) ใช้ฟิลเตอร์ทำจะได้ 260 บิต ใน 1 เฟรม (20 ms) มี 2 โมด คือ continuous (normal mode) และ discontinuous transmission (DTX)

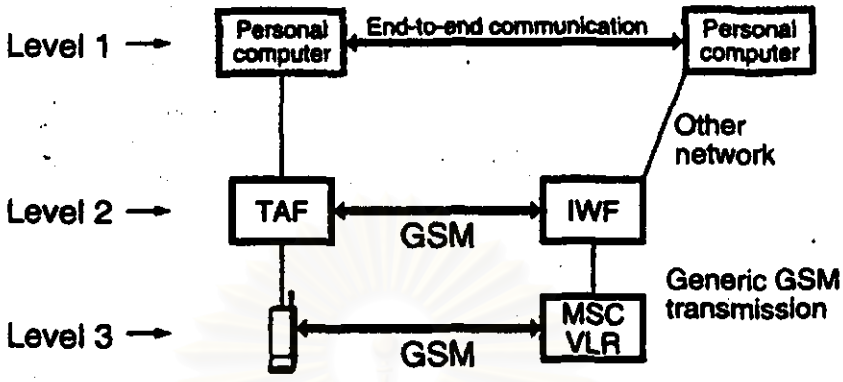
ในกรณีของโมด DTX จะใช้ voice activity device (VAD) ในการตรวจวัด (detect) โดยที่การส่งสัญญาณเสียงจะมีการเพิ่มบางบิตเข้าไป ซึ่งขึ้นอยู่กับอัลกอริทึมของ VAD

ข้อความ (Data service) สามารถส่งได้สูงสุดที่อัตรา 9,600 bps มี 2 โมด คือ โมด transparent (T) และโมด *nontransparent* (NT) หรืออาจเรียกว่า automatic repeat request (ARQ) เป็นการส่งข้อมูลซ้ำไปเรื่อยๆถ้ายังไม่มี acknowledge จากปลายทาง

1. T โมด มีอัตราการส่ง 3 อัตรา คือ 2400 , 4600 และ 9600 bps และเมื่อเพิ่มจำนวนบิตต่างๆแล้ว จะมีอัตราการส่งเท่ากับ 3.6 , 6.0 , 12.0 kbps ตามลำดับ
2. NT โมด อัตราการส่งมาตรฐานเท่ากับ 12 kbps (6 kbps ใน Half rate channel) โมดนี้จะมีการเกิดข้อผิดพลาดน้อยกว่า แต่ค่าทรูพุท (throughput) ก็น้อยกว่าด้วย ข้อมูลจะถูกแบ่งเป็นแพ็กเกต (packet) โดยที่แต่ละแพ็กเกตมี 200 บิต และเมื่อเพิ่มบิตอื่นๆแล้ว จะมีแพ็กเกตละ 240 บิต

รูปที่ 2.6 แสดงการส่งข้อมูล โดย TAF (terminal adapting function) มีหน้าที่ปรับอัตราการส่งให้เหมาะสม

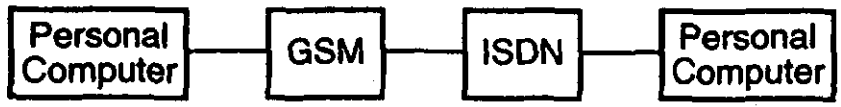
1. End - to - end	เป็นการส่งโดยตรง
2. TAF to IWF	เป็นการส่งผ่านโทรศัพท์เคลื่อนที่
3. GSM radio transmission	มีลักษณะเหมือนการส่งสัญญาณเสียงในอากาศ



รูปที่ 2.6 การรับส่งข้อมูลในระดับต่างๆ

รูปที่ 2.7 แสดงการต่อระบบ PSTN กับ ISDN และระบบ GSM กับ ISDN สำหรับอย่างหลังนี้ ต้องมี rate-adapted (RA) box เพื่อปรับอัตราการส่งของข้อมูลระหว่างระบบ ISDN 64 kbps/ช่องสัญญาณ กับระบบ GSM 13 kbps/ช่องสัญญาณ

(ก)



(ข)

รูปที่ 2.7 การเชื่อมโยงของระบบ ISDN กับระบบอื่นๆ

(ก) ผู้เช่าระบบ PSTN กับผู้เช่าระบบ ISDN

(ข) ผู้เช่าระบบ GSM กับผู้เช่าระบบ ISDN

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การมอดูเลต (Modulation) เป็นแบบ Gaussian minimum - shift keying (GMSK) ซึ่งจะทำให้ได้แบนด์วิดท์ของสเปกตรัม (spectrum bandwidth) ในการส่ง GSM carrier channel มีค่าน้อย : BT = 0.3 B คือ แบนด์วิดท์ของสัญญาณเบสแบนด์ (baseband bandwidth) 1/T คือ อัตราการส่งสัญญาณ B = 1/T x 0.3 = 270 kbps x 0.3 = 81 KHz อัตราการมอดูเลต (modulation rate) ของ GSM carrier channel = 270 kbps

2.5 ช่องสัญญาณในระบบจีเอสเอ็มและแบบวิธีของช่องสัญญาณ

โครงสร้างของช่องสัญญาณ

แบ่งออกเป็นช่องสัญญาณทางกายภาพ (Physical Channel) และช่องสัญญาณทางตรรก (Logical Channel)

ช่องสัญญาณทางกายภาพ เรียกอีกอย่างว่าช่องสัญญาณทราฟฟิก (traffic channel) แบ่งเป็น 3 ประเภท

1. TCH / F (Full rate) ส่งสัญญาณเสียงด้วยอัตรา 13 kbps ส่งสัญญาณข้อความด้วยอัตรา 12, 6, 3.6 kbps
2. TCH / H (Half rate) ส่งสัญญาณเสียงด้วยอัตรา 7 kbps ส่งสัญญาณข้อความด้วยอัตรา 6, 3.6 kbps
3. TCH / 8 (1/8 rate) ส่งสัญญาณข้อมูลด้วยอัตราต่ำ

ช่องสัญญาณทางตรรก

ช่องสัญญาณร่วม (Common Channel) ถูกแบ่งเป็นกลุ่มที่เหมือนกันในแต่ละรอบ (51 x 8 BPs) ซึ่ง 1 BP (burst period) = 0.577 ms

ช่องสัญญาณร่วมขาลง (Downlink Common Channel) มี 5 ประเภท

1. Frequency correction channel (FCCH) จะถูกส่งทุกๆ 51 x 8 BPs เพื่อให้โทรศัพท์เคลื่อนที่ตรวจการใช้ความถี่ให้ถูกต้อง
2. Synchronous channel (SCH) ถูกส่งตามหลัง FCCH ทุกๆ 8 BPs
3. Broadcast control channel (BCCH) ในแต่ละเซลล์ใช้ส่งข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวกับเซลล์ และโทรศัพท์เคลื่อนที่จะรับได้ในขณะที่ไม่มีการเรียก

4. Paging & access grant channel (PAGCH) ใช้เมื่อโทรศัพท์เคลื่อนที่ได้รับการเรียกเข้า Access Grant Channel จะส่งมาจากสถานีฐาน และจะจัดหาช่องสัญญาณให้ ระหว่างกระบวนการเซตอัปการเรียก
5. Call broadcast channel (CBCH) จะถูกส่งทุกๆ 2 วินาที ในแต่ละเซลล์ไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ในขณะที่ไม่มีการเรียก

โทรศัพท์เคลื่อนที่จะหา FCCH burst และหา SCH burst ที่ความถี่เดียวกันเพื่อการซิงโครไนซ์ จากนั้นโทรศัพท์เคลื่อนที่จะรับ BCCH และทำการเลือกเซลล์ที่เหมาะสม

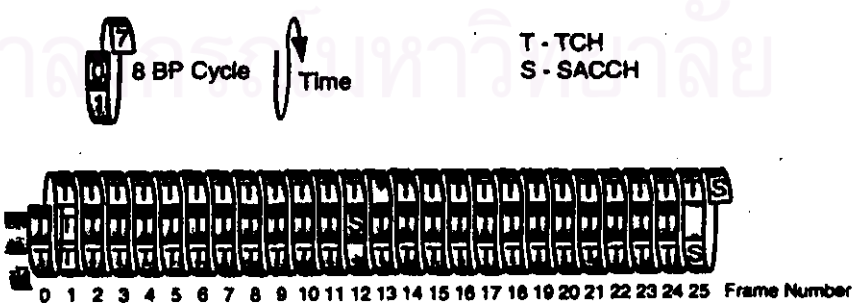
ช่องสัญญาณร่วมขาขึ้น (Uplink Common Channel) คือ Random access control channel (RACH) เป็นช่องสัญญาณที่โทรศัพท์เคลื่อนที่เลือกเพื่อใช้ติดต่อกับการเรียก ซึ่งมีอยู่ 2 อัตรา คือ

1. RACH / F full rate มี 1 ร่องเวลา (Time Slot) ทุกๆ 8 BPs
2. RACH /H half rate มี 23 ร่องเวลาทุกๆ 51*8 BPs

8 BPs เท่ากับ 1 เฟรมข้อมูลซึ่งใช้เวลา 4.615 ms

ช่องสัญญาณซิกแนลลิง (Signalling channel) ทุกช่องสัญญาณซิกแนลลิงจะเลือก 1 ช่องสัญญาณกายภาพ โดยชื่อของช่องสัญญาณทางตรรกจะขึ้นกับหน้าที่ เป็นแบบ 2 ทาง คือ มีทั้งขาขึ้น (uplink) และขาลง (down link)

1. Slow associated control channel (SACCH) ใช้สำหรับส่งสัญญาณซิกแนลลิงและใช้สำหรับกระบวนการที่ไม่ได้ทำเร่งด่วน โดยเฉพาะขั้นตอนการตัดสินใจแฮนด์โอเวอร์ซึ่งใช้ TCH/8 ปกติ TCH/F เองจะแบ่งให้ SACCH ใช้ได้นั่นคือรวม TCH และ SACCH เรียกว่า TACH/F SACCH จะใช้ 1 ร่องเวลา (0.577 ms) ในทุกๆ 26 เฟรม (4.615 ms * 26) รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างทางเวลาของ TACH/F



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างทางเวลาของ TACH/F

2. Fast associated control channel (FACCH) ใช้สำหรับการส่งสัญญาณแฮนด์โอเวอร์ (handover signalling) การตรวจสอบโทรศัพท์เคลื่อนที่ในระบบ เป็นต้น
3. Stand-alone dedicated control channel (SDCCH) ใช้สำหรับทำกระบวนการเซตอัปการเรียก จะไม่ใช้เพื่อการเรียก ทำงานที่อัตราการส่งข้อมูลต่ำ นั่นคือใช้ TCH/8

Voice / data channel แต่ละร่องเวลาของ ช่องสัญญาณเสียง (voice channel) มี 260 บิต/บล็อก เมื่อรวมกับบิต อื่นๆแล้วจะเท่ากับ 316 บิต/บล็อก สำหรับ ช่องสัญญาณข้อมูล (data channel) มี 120 หรือ 240 บิต/บล็อก

Channel mode เนื่องจากต้องใช้ความถี่ให้มีประสิทธิภาพ ดังนั้นผู้เช่าแต่ละคนจึงไม่มี TCH เป็นของตัวเองตลอดเวลา จึงมี 2 โมด คือ

1. โมด Dedicated ใช้ TCH ในระหว่างการเรียก หรือใช้ SACCH ในการอัปเดตตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (location update)
2. โมด Idle หมายถึง ช่วงที่ไม่มีการเรียกเกิดขึ้น ซึ่งช่วงนี้โทรศัพท์เคลื่อนที่จะรับช่องสัญญาณร่วมขาลง (common downlink channel) และใช้ SDCCH บอกตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ เพื่อให้ระบบรู้ว่าโทรศัพท์เคลื่อนที่อยู่ในสถานีฐานไหน

2.6 การเข้าถึงแบบหลายทาง

ระบบ GSM เป็นการประสานกันระหว่าง FDMA กับ TDMA มีจำนวนช่องสัญญาณทั้งหมดเท่ากับ 124 ในแต่ละช่องสัญญาณมีแบนด์วิดท์เท่ากับ 200 kHz ความถี่ขาขึ้น (uplink) คือ 890 - 915 MHz ความถี่ขาลง (downlink) คือ 935 - 960 MHz รวมแล้วใช้ความถี่เท่ากับ 50 MHz ความถี่ขาขึ้นและขาลง อยู่ห่างกัน 45 MHz ใน 1 ช่องสัญญาณถูกแบ่งออกเป็น 8 ร่องเวลา เรียกว่า 1 เฟรม โดยแต่ละเฟรมจะใช้เวลา 4.615 ms ดังนั้น 1 ร่องเวลา หรือ 1 BP (Burst Period) เท่ากับ 0.577 ms

ค่าคงที่ของการประวิงเวลา (time delay) ระหว่างขาขึ้นกับขาลง หมายเลขร่องเวลาของขาขึ้นจะถูกขยับไปอยู่หลังหมายเลขร่องเวลาของขาลงอยู่ 3 ร่องเวลา เพื่อไม่ให้โทรศัพท์เคลื่อนที่รับและส่งสัญญาณเสียงหรือสัญญาณซิกแนลลิงในเวลาเดียวกัน นอกจากนี้ ยังเกิดความล่าช้า (delay) ในระหว่างการส่งข้อมูลโทรศัพท์เคลื่อนที่กับสถานีฐาน เนื่องจากเกิด propagation delay สถานีฐานจะทำการคำนวณค่าเวลาล่วงหน้า (time advance) ซึ่งเป็นระยะเวลาที่โทรศัพท์เคลื่อนที่ต้องส่งข้อมูลออกมาก่อน และมี guard time เพื่อป้องกันการนับหมายเลขของร่องเวลาผิดพลาด

Frequency Hopping ในระบบจีเอสเอ็ม Frequency hopping จะเกิดขึ้นอย่างช้าๆ มีนิยามเป็น bit/hop โดยทั่วไปจะประมาณ 1,200 bit/hop (217 hop/s มีอัตราการส่ง 270 kbps) ช่องสัญญาณร่วม (common channel) ห้ามทำ Frequency hopping จะต้องใช้ที่ความถี่เดิมเท่านั้น

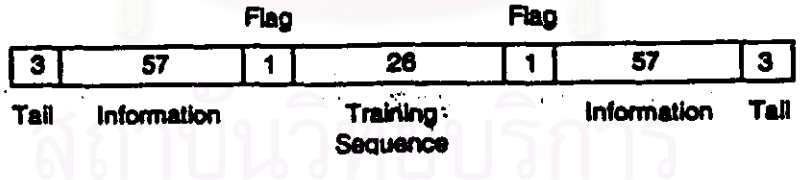
ชนิดต่างๆของร่องเวลา

ในแต่ละเฟรมมี 8 ร่องเวลา (TN0 - TN7) TN1 - TN7 เป็น TACH / F สำหรับ TN0 ใช้สำหรับทำการเซตอัปการเรียก มีลำดับในแต่ละรอบ ดังนี้ FCCH (1), SCH(1), BCCH (4), PAGCH (4), FCCH (1), SCH(1), PAGCH (8), FCCH (1), SCH(1), PAGCH (8), FCCH (1), SCH(1), PAGCH (8), FCCH (1), SCH(1), PAGCH (8)

Burst และ Training sequence ในระบบ TDMA การส่งสัญญาณต่างๆจะอยู่ในรูปชบวนข้อมูล (burst) ภายในชบวนข้อมูลจะมี tail bit (000) อยู่ที่ส่วนหัวและส่วนท้ายของชบวนข้อมูลเพื่อเป็น guard time และมี training sequence เพื่อลดการเกิด intersymbol interference ทางด้านรับจะรู้ training sequence นี้อยู่แล้ว และมีอีควอไลเซอร์ (equalizer) ปรับสภาพของช่องสัญญาณ ทำให้ข้อมูลที่ส่งมามีความถูกต้อง training sequence ที่อยู่ในร่องเวลา บางครั้งเรียกว่า midamber มี training sequence อยู่ทั้งหมด 8 ชนิดที่แตกต่างกัน

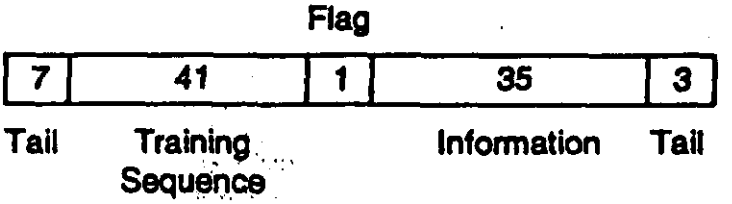
ประเภทต่างๆของชบวนข้อมูล (burst)

1. normal burst ใช้ใน TCH



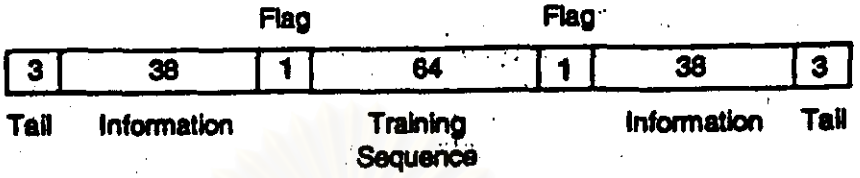
รูปที่ 2.9 normal burst ใช้ใน TCH

2. access burst ใช้ใน RACH



รูปที่ 2.10 access burst ใช้ใน RACH

3. *F* และ *S burst* ใช้ใน *FCCH* และมีรูปแบบที่ง่ายที่สุด 148 บิตซึ่งทั้งหมดเท่ากับ 0 เป็นการสร้าง pure sine wave , S burst จำนวน 5 burst ในแต่ละรอบ (51 x 8 BPs) ใช้ใน SCH รูปข้างล่างแสดงตัวอย่างของ S burst



รูปที่ 2.11 S burst ใช้ใน SCH

2.7 การเข้ารหัสช่องสัญญาณและการทำอินเตอร์ลีฟวิง

การเข้ารหัสช่องสัญญาณ (Channel Coding) ทำให้คุณภาพของข้อมูลในการส่งดีขึ้น ลดการเกิดข้อผิดพลาดต่างๆ แต่ก็ทำให้ค่าทรูพุท (throughput) ลดลงด้วย ในระบบจีเอสเอ็มมีการเข้ารหัสช่องสัญญาณ 4 ประเภท คือ

1. Convolutional codes (L , k) ใช้เพื่อแก้ random error , k หมายถึงจำนวน input block bit , L หมายถึงจำนวน output block bit ในระบบจีเอสเอ็มมี 3 อัตรา ดังนี้

   1.1 L / k = 2 (the one - half rate)

   1.2 L / k = 3 (the one - third rate)

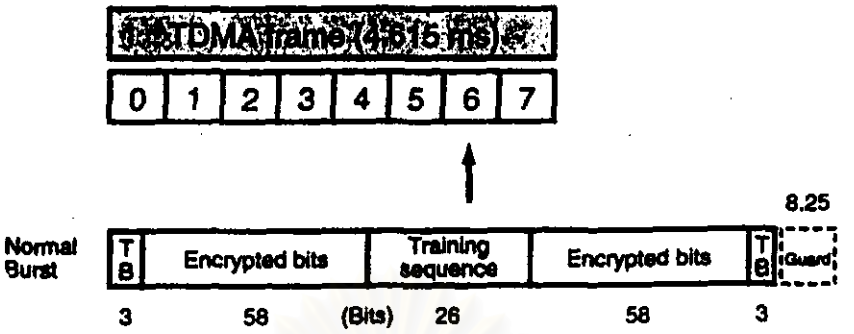
   1.3 L / k = 6 (the one - sixth rate)

2. Fire code (L , k) ใช้เพื่อ detect และแก้ single burst error , k หมายถึงจำนวนบิตของข้อมูล , L หมายถึงจำนวน coded bit

3. *Parity check code* (L , k) L หมายถึงจำนวนบิตในบล็อก , k หมายถึงจำนวนบิตข้อมูล , L - k หมายถึงจำนวน Parity check bit

4. Concatenation code ใช้ Convolutional codes เป็น inner code และ Fire code เป็น outer code ข้อดีของการเข้ารหัสแบบนี้ก็คือลดการสร้างที่ยุ่งยากเมื่อเทียบกับ single coding operator

การเข้ารหัสสัญญาณเสียง (speech code) มีอัตราการส่งเท่ากับ 13 kbps คือมี 260 บิตใน 20 ms หลังจากทำการเข้ารหัสช่องสัญญาณแล้ว จะมีอัตราการส่งเท่ากับ 22.8 kbps คือมี 456 บิตใน 20 ms หรือ 114 bit ใน 1 ร่องเวลา เมื่อทำการเพิ่ม overhead bit เข้าไปแล้ว ทำให้ TCH มีจำนวน 156 bit ในแต่ละร่องเวลา (0.577 ms) ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 TDMA เฟรม และ normal burst

การทำอินเตอร์ลีฟวิง (Interleaving) คือ การแบ่งลำดับของบิตก่อนที่จะทำการส่ง ตอนที่ส่งข้อมูลอาจจะเกิดความผิดพลาดขึ้น เนื่องจากเกิดเฟดดิง (fading) เมื่อทำอินเตอร์ลีฟวิง จะทำให้เกิดความผิดพลาดเพียงบางส่วนเท่านั้น จะไม่เกิดความผิดพลาดทั้งชุดข้อมูล (burst) ทางด้านรับจะนำลำดับของบิตมาเรียงให้ถูกต้องดังเดิม การทำอินเตอร์ลีฟวิงเป็นสาเหตุสำคัญที่ทำให้ระบบเกิดการประวิงเวลา (delay)

รูปแบบในการทำอินเตอร์ลีฟวิงเป็นดังนี้

1. Four full burst แบ่ง 456 บิตเป็น 4 ส่วน แต่ละส่วนเป็น 1 burst ดังนั้น รูปแบบนี้ใช้เวลา 4.615 ms x 4 = 18.46 ms

2. Eight half burst แบ่ง 456 บิตเป็น 8 ส่วน แต่ละส่วนเป็น 1/2 burst ดังนั้น รูปแบบนี้ใช้เวลา 4.615 ms x 8 = 36.92 ms โดย 4 ส่วนอยู่ใน burst เดียวกับก่อนหน้านี้ และอีก 4 ส่วนอยู่ใน burst เดียวกับที่มาใหม่

การทำอินเตอร์ลีฟวิงเหมาะสำหรับการส่งสัญญาณข้อมูล แต่ไม่เหมาะสำหรับการส่งสัญญาณเสียง เพราะสัญญาณเสียงต้องมีคุณสมบัติเป็นแบบ real time

ถ้าไม่มีการทำอินเตอร์ลีฟวิงและไม่มี overhead bit อัตราการส่งของ speech channel เท่ากับ 22.8 kbps, 114 บิต/ร่องเวลา และ 456 บิต/4 ร่องเวลา

2.8 การจัดการด้าน Radio (Radio Resource Management, RR)

มีอยู่ 3 หน้าที่หลัก คือ การอัปเดตตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (location) , การแฮนด์โอเวอร์ (handover) และ การโรมมิง (roaming) หน้าที่ของ RR ต้องอาศัยโปรโตคอลในการติดต่อสื่อสารระหว่างโทรศัพท์เคลื่อนที่กับโครงข่าย

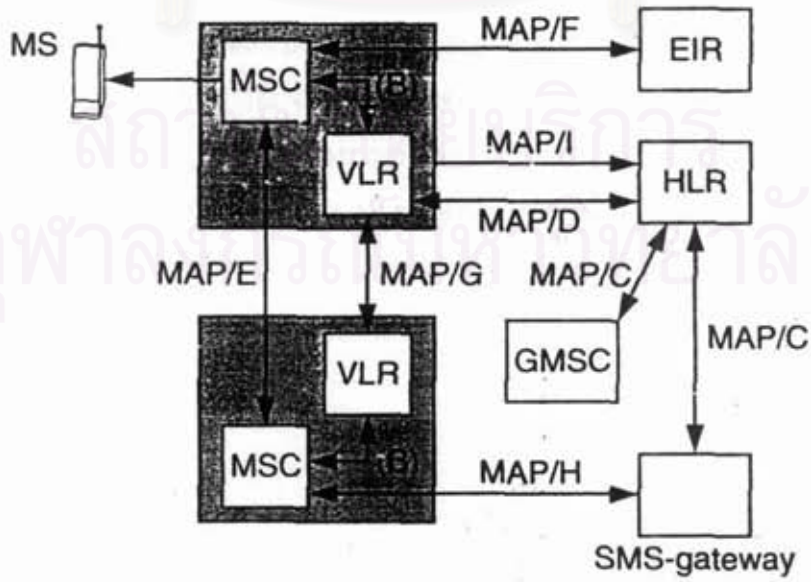
Link protocol แบ่งออกเป็น 3 ชนิดในการจัดหาข้อมูลให้กับชุมสายโทรศัพท์ (MSC)

1. Radio link protocol (RLP) อยู่ในส่วน Radio Link ที่เรียกว่า link access protocol on the D channel modified (LAPDm)
2. LAPD คือ Link Access Protocal (LAP) ที่พัฒนามาจากช่องสัญญาณ D ในโครงข่าย ISDN
3. Message transfer part (MTP) เป็นโปรโตคอลที่ใช้สำหรับสัญญาณซิกแนลลิงในโครงข่ายที่ใช้ระบบซิกแนลลิงหมายเลข 7 (SS7)

อัตราการส่งข้อมูลของ RLP เท่ากับ 22.8 kbps ส่วนโปรโตคอลอื่นใช้อัตรา 64 kbps

MAP คือ กลุ่มโปรโตคอล ที่ใช้ต่อกันระหว่างชุมสายโทรศัพท์กับส่วนต่างๆภายในโครงข่ายและชุมสาย ใช้สัญลักษณ์ MAP/X , X คือ B , C , D , ... ดังแสดงในรูปที่ 2.13

1.	MAP/B	protocol ระหว่าง BSC	กับ	relay MSC
2.	MAP/C	protocol ระหว่าง GMSC	กับ	HLR
3.	MAP/D	protocol ระหว่าง MSC/VLR	กับ	HLR
4	MAP/E	protocol ระหว่าง MSC	กับ	MSC



รูปที่ 2.13 โปรโตคอล MAP/X

2.9 การจัดการเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ (Mobility Management, MM)

ใช้สำหรับการอัปเดตตำแหน่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ (location) , การแฮนด์โอเวอร์ (handover) และการโรมมิง (roaming)

การจัดการอัปเดตตำแหน่ง (Location update management) ในกระบวนการเลือก PLMN (Public Land Mobile Network) MM จะกำหนดเซลล์ในระบบของตัวเองก่อน ถ้าระบบนั้นไม่สามารถให้บริการได้ ในการหา PLMN ของผู้ให้บริการรายอื่น ผู้เช่าสามารถเลือกกำหนดให้โครงข่ายจัดการเอง (automatic mode) หรือจะกำหนดเอง (manual mode) ก็ได้

การเลือกเซลล์ (Cell selection) การเลือกเซลล์ที่ดีที่สุด ขึ้นอยู่กับ 3 ปัจจัย ดังนี้

1. ระดับของสัญญาณที่รับได้โดยโทรศัพท์เคลื่อนที่
2. ค่ากำลังสูงสุดในการส่งของโทรศัพท์เคลื่อนที่ มีค่าอยู่ระหว่าง 26 - 43 dBm
3. ค่าพารามิเตอร์ p1 , p2 ซึ่งส่งมาจากเซลล์ เรียกว่า C1 criterion

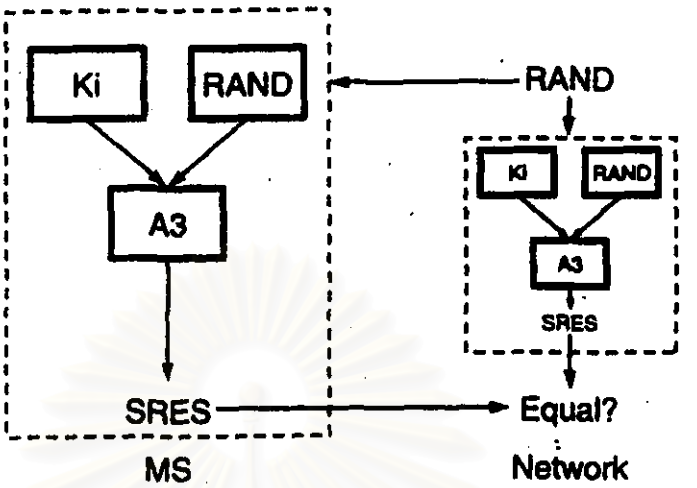
อัลกอริทึม (algorithm) ในการเลือกเซลล์ เป็นดังนี้

1. SIM ต้องสอดใน ME
2. C1 ของเซลล์ที่มีค่ามากที่สุดจะถูกเลือก , C1 ต้องมากกว่า 0
3. เซลล์ต้องสามารถให้บริการได้

การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล (Authentication) คือ การป้องกันไม่ให้เกิดการเข้าถึงจากภายนอกระบบ

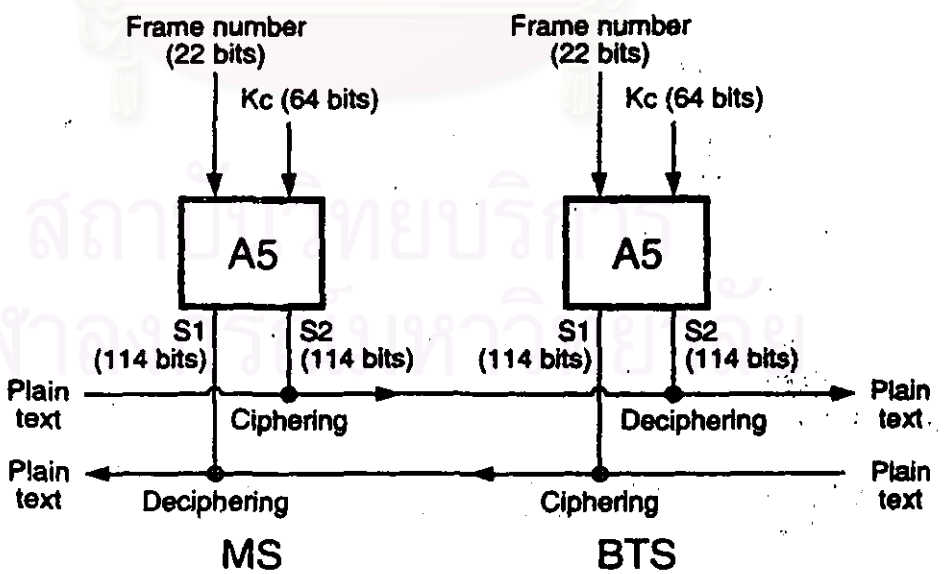
เฟสแรก รหัส PIN (Personal identification number) มีไว้สำหรับป้องกัน SIM , PIN จะถูกตรวจสอบโดย SIM ซึ่ง SIM จะไม่ถูกส่งทางคลื่นวิทยุ

เฟสที่สอง โครงข่ายของระบบจีเอสเอ็มส่ง Random number 128 บิต ไปยังโทรศัพท์เคลื่อนที่ และรวมกับพารามิเตอร์ Ki ใน A3 algorithm ทำให้ได้ 32 bit SRES (signal result) จากนั้นโทรศัพท์เคลื่อนที่ส่ง SRES กลับไปยังโครงข่าย เพื่อนำไปเปรียบเทียบว่าตรงกันหรือไม่ ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 การตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล

การเข้ารหัสลับ (Encryption) เป็นการป้องกันการดักฟัง เริ่มจากผลิตค่า Kc ซึ่งสร้างมาจาก RAND กับ Ki โดยผ่าน algorithm A8 จากนั้น นำ Kc กับ frame number ผ่าน ciphering algorithm A5 ซึ่งจะได้ S2 (114 บิต) และนำ S2 มาทำ executive-or กับ plain text 114 บิต ขั้นตอนต่างๆแสดงในรูปที่ 2.15

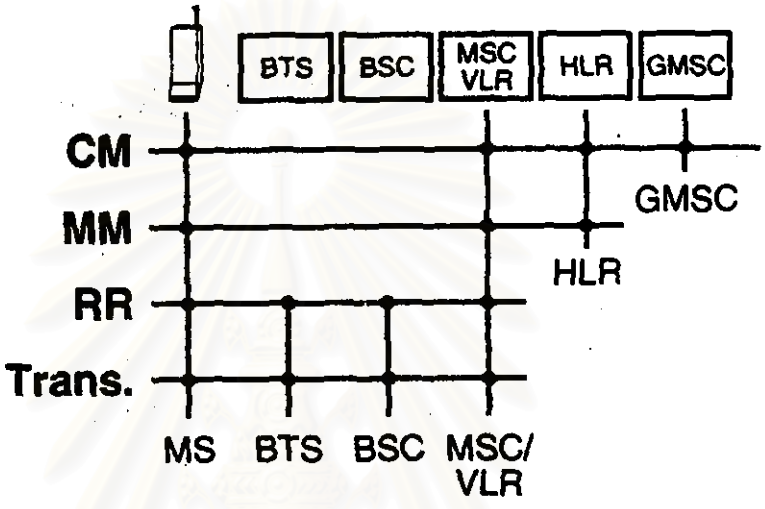


รูปที่ 2.15 กระบวนการเข้ารหัสลับ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.10 การจัดการเกี่ยวกับการสื่อสาร (Communication management, CM)

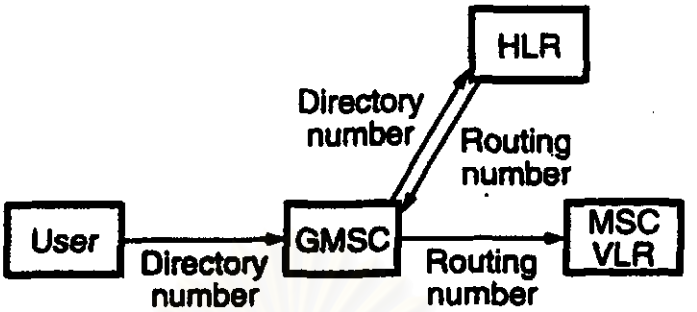
CM เป็นชั้นให้บริการการส่งข้อมูล เช่น เสียง, ข้อมูล เป็นต้น โดยผ่านทางชั้น RR และชั้น MM ดังแสดงในรูปที่ 2.16 หน้าที่ของ CM คือ จัดการควบคุมการเรียก (call control) การจัดการบริการ (service management) และบริการส่งข้อความ (short message service)



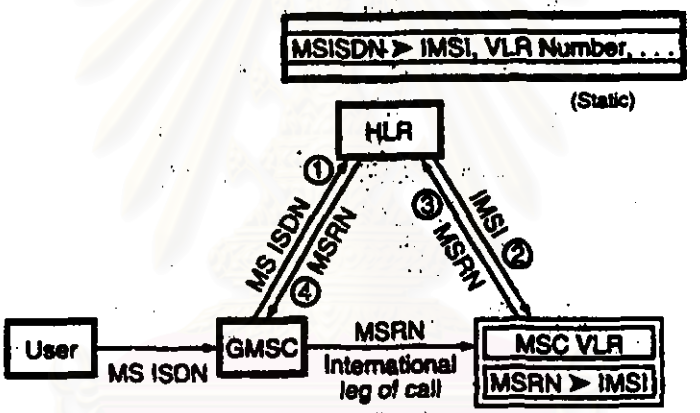
รูปที่ 2.16 สถาปัตยกรรมโปรโตคอลของระบบจีเอสเอ็ม

การควบคุมการเรียก มีหน้าที่เซตอัปการเรียก ดูแลการใช้วงจรระหว่างสนทนา และปลดปล่อยการเรียก เมื่อมีการเรียกเกิดขึ้น หมายเลขต่างๆของโทรศัพท์เคลื่อนที่ต้องถูกส่งเข้ามาในระบบ เช่น MS/ISDN, MSRN (MS roaming number) , IMSI (International Mobile Subscriber Identity) รูปที่ 2.17 แสดงการเรียกภายในประเทศ ส่วนรูปที่ 2.18 แสดงการเรียกระหว่างประเทศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 2.17 การเรียกภายในประเทศ



รูปที่ 2.18 การเรียกระหว่างประเทศ

แฮนด์โอเวอร์ (Handover) อัลกอริทึมในการทำแฮนด์โอเวอร์ ไม่ได้กำหนดไว้เป็นมาตรฐาน แต่มีลักษณะเป็นแบบ mobile assistance handover (MAHO) คือ โทรศัพท์เคลื่อนที่จะตรวจหา radio carrier จากสถานีฐานอื่นๆ และวัดระดับความแรงสัญญาณ (signal strength) ใน 1 time frame จากนั้นส่งผลการวัดกลับไปยังสถานีฐาน เพื่อใช้เป็นข้อมูลการทำแฮนด์โอเวอร์ ชุมสายโทรศัพท์ใช้ 2 ปัจจัยเพื่อตัดสินว่าจะมีการเกิดแฮนด์โอเวอร์ หรือไม่ ดังนี้

1. ระดับความแรงสัญญาณเฉลี่ยของโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่รับได้ที่สถานีฐานข้างเคียง
2. ระดับความแรงสัญญาณเฉลี่ยของสถานีฐานข้างเคียงที่รับได้ที่โทรศัพท์เคลื่อนที่

สำหรับรายละเอียดการแฮนด์โอเวอร์ในระบบจีเอสเอ็มสามารถดูได้ใน [1]

การจัดการบริการเสริม (Supplementary Service Management, SSM) หมายถึง การจัดการเกี่ยวกับบริการเสริมต่างๆ เช่น การเรียกสายซ้อน การโอนสาย เป็นต้น ศูนย์จัดการบริการเสริม (SSM service center, SSM-SC) สามารถต่อกับโครงข่ายระบบจีเอสเอ็มหลายๆระบบได้

การบริการส่งหรือฝากข้อความ (Short Message Service) ระบบจีเอสเอ็มจะต่อกับศูนย์บริการส่งข้อความ (short message service center) การส่งสัญญาณซิกแนลลิง จะใช้ digital audio tone multifrequency (DTMF) เพื่อควบคุมเครื่องรับฝากข้อความ (voice mailbox) เครื่องตอบรับอัตโนมัติ (answering machine) เป็นต้น

2.11 การจัดการโครงข่าย (Network management, NM)

มีหน้าที่ต่างๆ ดังนี้

1. จัดการเกี่ยวกับข้อมูลของผู้เช่า (Subscriber management)
2. การเก็บเงินและการทำบัญชี (Billing & Accounting)
3. การบำรุงรักษา
   3.1 เพื่อให้ระบบล่มน้อยที่สุด
   3.2 ตรวจสอบการทำงานและมีสัญญาณเตือนเมื่อระบบผิดปกติ
4. การตรวจสอบรหัสของ ME เรียกว่า IMEI (International Mobile Equipment Identity) มี 15 ดิจิต ประกอบด้วย type approval code (TAC) + final assembly code (FAC) + serial number ซึ่งเก็บไว้ที่ EIR
5. จัดการการสื่อสารภายในโครงข่าย โดยมีโปรโตคอล Q3 ทำหน้าที่ควบคุมให้ระบบทำงานตามคำสั่งและตรวจสอบความผิดพลาดของระบบ

จากที่กล่าวมาทั้งหมดนี้สามารถดูรายละเอียดได้ใน [2]

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย