

## CDMA와 GSM의 기술 비교

柳枝萬, 黃仁泰  
金星通信 研究所

### I. 서론

지난 '84년부터 우리나라에서 시작된 아날로그 셀룰라서비스는 그 수요가 급증하여 '91년 10월말 현재 15만가입자가 서비스를 받고 있다. 이런 추세로 나간다면 가까운 시일내에 채널 수용용량이 포화되어 기존의 아날로그 셀룰라 시스템으로는 처리하기 힘든 과부하 상태에 도달하게 될 것이다. 이에 급증하는 셀룰라 시스템 가입자들을 수용하기 위해서는 디지털 셀룰라 시스템 개발의 욕성이 필요한 상태이다.

디지털 셀룰라 시스템은 현재 유럽의 GSM과 북미의 TDMA, CDMA 방식으로 크게 구별된다. 기존의 유럽 아날로그 방식의 셀룰라 시스템은 나라마다 사용주파수 대역 및 기술방식 등에서 큰 차이를 보여 상호간의 접속에 상당한 어려움을 겪고 있던바 이를 개선하고 가입자 급증으로 인한 용량포화를 해결하기 위해 '82년 CEPT(Committee of European Post and Telecommunication) 산하의 GSM(Group Special Mobile)에서 디지털 셀룰라 시스템의 범유럽 공동규격을 개발하기 시작했다. 현재 GSM 시스템은 시범서비스 수준의 기본적인 시험을 계속하고 있으며 몇몇 국가에서만 상용서비스를 제공하고 있는 실정이다. 그 이유로는 GSM 방식은 현존 아날로그 셀룰라 시스템과는 호환성이 없고 표준안의 계속적인 수정으로 설계기준의 결정이 지연되어 관련 부품들의 개발이 지지부진한 상태이기 때문이다. 또한 각 국가 및 제조업체간에 지적소유권 등의 문제로 인해 마찰을 일으키고 있는 점도 GSM 셀룰라 시스템 서비스를 지연시키고 있는 원인이기도 하다.

유럽과는 달리 디지털 셀룰라 시스템과 현존 아날

로그 셀룰라 시스템의 호환성을 원칙으로 하는 북미에서는 TIA(Telecommunication Industries Association)가 '88년 디지털 셀룰라 시스템의 규격 제정을 위해 산하의 TR 45 기술분과위원회를 구성하여 표준화 작업에 착수하였으며 '89년 1월에 디지털 셀룰라 시스템으로 TDMA 방식을 결정, IS-54라는 잠정 규격안이 발간되었다. 또한 Spread Spectrum 방식의 CDMA 디지털 셀룰라시스템을 Qualcomm사가 제안하여 기존의 아날로그 셀룰라 시스템보다도 무려 20배에 달하는 용량증대와 광대역 신호라는 점을 이용한 Rake 수신기, PN Code와 Walsh Code를 이용한 통화비밀유지 등의 강점을 내세워 '93년 7월 IS-95라는 잠정 규격안을 내놓고 현재 Field Test 중에 있다.

이에 본논문에서는 현재 차세대 디지털셀룰라 시스템으로 주목받고 있는 유럽의 GSM과 북미의 CDMA 방식을 위주로 하여 두 디지털 셀룰라 시스템의 기술 개발 동향을 살펴보기로 한다.

### II CDMA와 GSM 방식의 기술 비교

항목 \ 셀룰라 방식	CDMA	GSM	비고
용량증가	10 ~ 20배	1.5배	
1회선 점유 대역폭	1.25MHz	200KHz	
수신신 간격	45MHz	45MHz	
상행 주파수대	809.04 ~ 893.97MHz	905 ~ 960MHz	
하행 주파수대	824.04 ~ 848.97MHz	890 ~ 915MHz	
최대 반송파수	18	16	
주파수제사용률	약 0.65	N/A	
셀반경	0.5 ~ 30km	0.5 ~ 35km	
Handoff 종류	Hard, Soft, Softer	Handover	
용성 Codec	Variable Rate CELP	rPE-LPT	
변복조방식	상행 : QPSK 하행 : OQPSK	03 GMSK	
개발회사	Qualcomm Motorola, AT&T	Siemens Analog Device, TTP	

### III. CDMA(Code Division Multiple Access) 방식의 기술 동향

#### 1. CDMA 기술의 개략

현재 개발중인 CDMA 방식의 디지털 셀룰라 시스템은 FH(Frequency Hoping)와 DS(Direct Sequence) 방식으로 대별되는 Spread Spectrum 방식 중 사용자에 고유하게 할당된 PN Code를 이용한 DS 방식을 사용하여 신호를 높은 대역으로 확산 및 기저대역으로 역확산 하게 된다. 이 과정에서 약 21dB의 Processing Gain을 얻게되고 또한 0.8 ~ 8kbps의 가변 음성 데이터 전송율을 통하여 음성신호가 없을시 데이터의 전송율을 낮추어 적은 전력으로 송신하여도 원하는 음질을 얻을 수 있는 전송율 조정 이득, PN Code를 이용하여 얻은 인접 채널 및 동일 채널 간섭 극복 특성을 통한 주파수 재사용 효율, 안테나 방사 패턴의 조절을 통한 셀분할 이득 등의 파라미터로 인해 시스템의 가입자 용량을 증가시키게 된다. 이를 식으로 나타내면 아래와 같다.

$$N = \frac{W}{R} * \frac{1}{(Eb/No)} * \frac{1}{d} * F * G$$

- N : Calls per Cell
- W : Bandwidth(가정치 : 1.25MHz)
- R : Data Rate(가정치 : 9.6kbps)
- Eb/No : SNR(가정치 : 7dB)
- d : Voice Duty Cycle(가정치 : 40%)
- F : Frequency Re-use Efficiency(가정치 : 60%)
- G : Sectorization Gain(가정치 : 2.55)

Qualcomm에서 제안한 CDMA 시스템은 GPS(Global Position System) 수신기를 통해 시스템 타임을 설정하여 전체 동기를 맞추게 된다. CDMA 기지국의 시작 시간은 Long Code Mask의 연속적인 41개의 0와 I, Q PN Code의 연속적인 15개의 0가 일치하는 시점을 기준으로 1980년 1월 6일 0시를 기준으로 시작한것으로 정해져 있다.

음성 데이터는 먼저 QCELP를 사용하는 Vocoder를 거쳐게 되는데 Qualcomm이 제안한 QCELP는 음성의 유무에 따라 데이터 전송율을 가변하여 전력면에서 이득을 가져다준다. 그러나 이 QCELP의 특징인 가변 데이터 전송율의 처리 문제가 아직도 미흡한 점이 있어 그의 완벽한 개발이 시급한 실정이다. Vocoder에서 나온 데이터는 그 후 오류 정정을 위한 길쌈부호기와 다발오류 방지를 위한 Interleaver 등의 채널 Codec을 거

쳐 PN Code를 이용 높은 대역으로 확산시킨후 사상이 상변조기를 통해 RF단으로 간 후 최종 송신하게 되며 수신단의 과정은 송신과정의 반대로 행해지게 된다. 그러던 각 과정에서의 자세한 기술들을 설명하기로 한다.

#### 2. QCELP Vocoder

Qualcomm이 제안한 QCELP Vocoder는 0.8~8kbps의 가변 데이터 전송율을 가진다는 점이 13kbps RPE-LTP의 고정된 데이터 전송율을 사용한 GSM과 8kbps의 고정 데이터 전송율을 가진 TDMA의 VCELP와는 다르다고 할 수 있겠다. 현재 Qualcomm사에서는 QCELP Vocoder로 AT&T사에서 제작한 DSP1616을 사용해 Qualcomm사에서 개발한 QCELP 알고리즘을 실어 구현하고 있다.

QCELP Vocoder는 입력되는 음성신호의 에너지 크기에 따라 전송율을 변화시킬 수 있다. 20msec 단위로 음성 신호의 존재 여부를 검출하여 음성 구간에서는 8kbps, 잠음만 존재하는 경우에는 800bps로 전송하며 갑작스런 변화를 방지하기 위해 4kbps, 2kbps의 전송속도도 사용하게 된다. 실제적으로 통화중 음성 신호의 존재율은 50% 미만이므로 평균 전송 속도는 4kbps 이하로 감소될 수 있게 되어 신호 대 잠음 전력비를 더욱 낮출 수 있고 따라서 셀내의 다른 이동국에 대한 간섭전력을 줄일 수 있게 되어 수용 가능한 가입자의 수를 증가시키게 된다.

8kbps의 데이터는 160개의 정보 bit와 11개의 parity check bit로구성되는데 음성신호가 없을시의 전송율인 800bps의 데이터는 가우시안 랜덤 발생기를 이용하여 얻어진 랜덤 Codebook 사용하여 음성 데이터가 존재하지 않을 경우에도 Codebook Seed를 전송하게 되는데 그 이유는 송신측과 수신측 피치 필터의 동기 때문이고 포맷 필터의 계수들은 LSP로 변환하여 전송하는데 그 이유는 LSP가 LAR보다 좋은 양자화 특징을 가지고 있기 때문이다.

그러나 이런 내용은 '93년 7월에 출간된 IS-95라는 잠정 규격안에서 삭제되어 QCELP Vocoder에 어떤 문제점이 있는 것으로 추측된다.

#### 3. Channel Codec

CDMA에서 사용되는 Channel Codec은 길쌈부호기(Convolutional Encoder)와 비터비 복호기(Viterbi Decoder)로 상행용과 하행용 Channel Codec은 서로 다른 구조를 가지고 있다. QCELP Vocoder에서 출력

된 데이터에는 8bit의 0가 tail bit로 추가되는데 이 tail bit들은 Encoder 초기화를 위해 사용되게 된다.

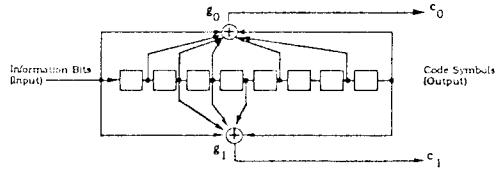


그림 1.  $K = 9, R = 1/2$ 의 상행용 Convolutional Encoder

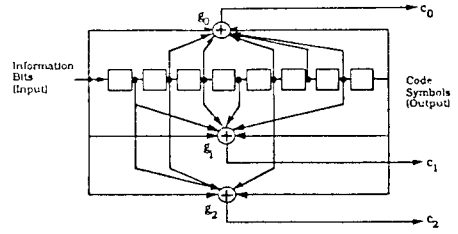


그림 2.  $K = 9, R = 1/3$ 의 하행용 Convolutional Encoder

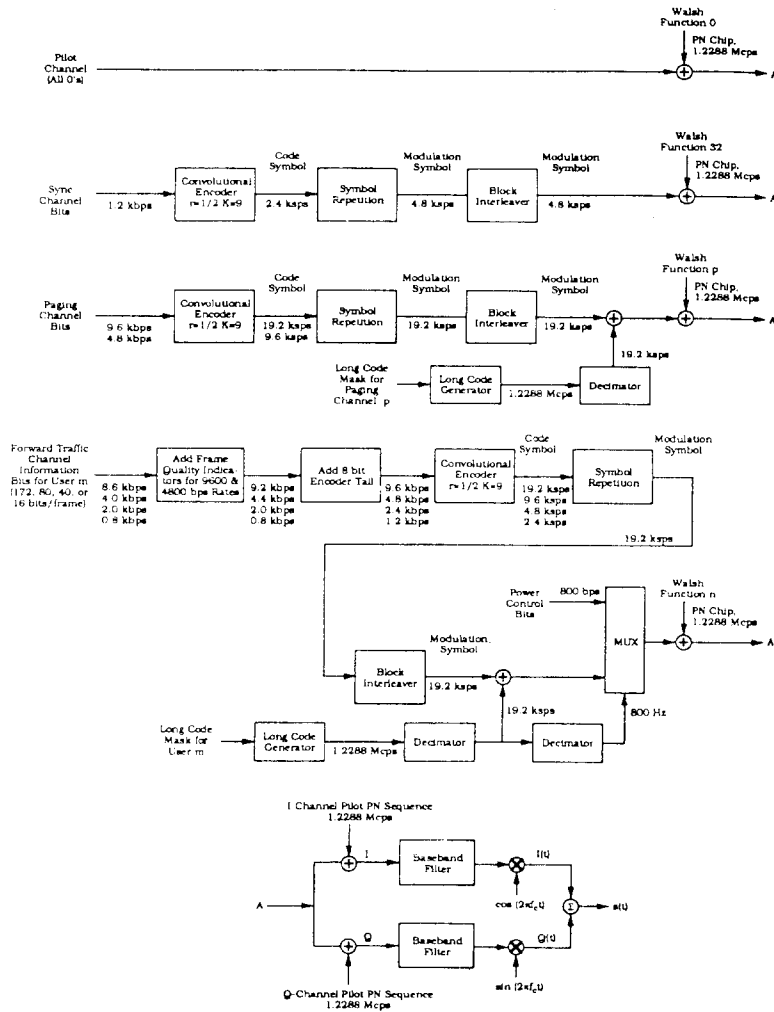


그림 3. CDMA 상행 Channel의 구조

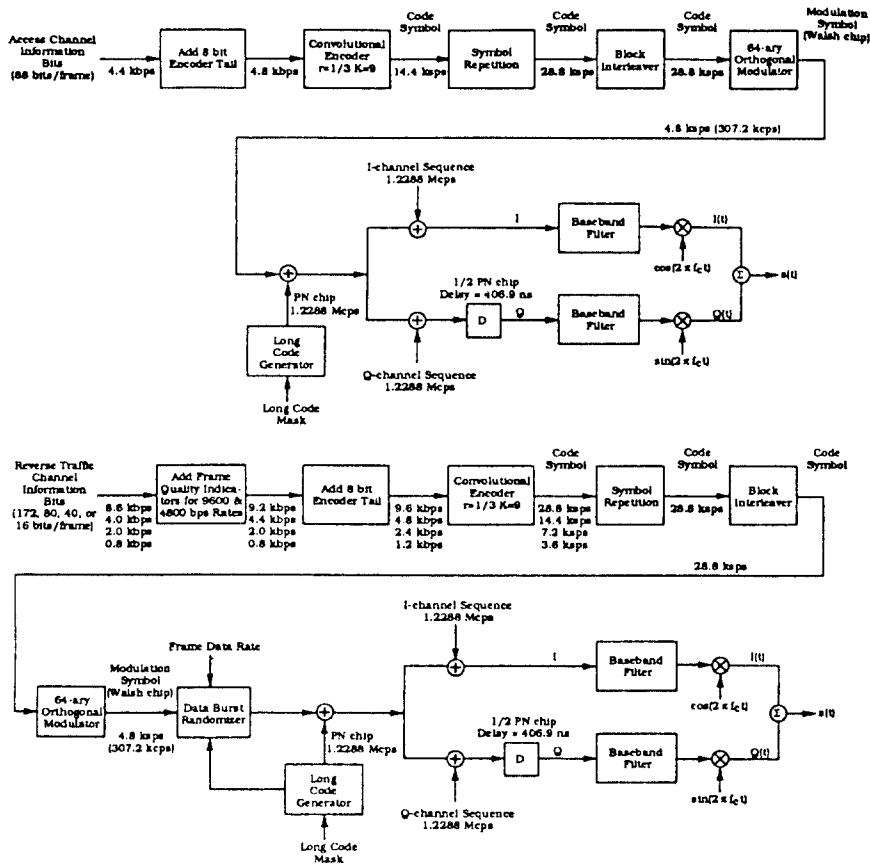


그림 4. CDMA 하행 Channel의 구조

이 길쌈부호기와 비터버 복호기는 Channel을 통과할 때 발생한 오류를 정정하기 위해 사용된다. 그리고 Interleaver와 Deinterleaver를 통해 Channel을 통과할 때 발생할 수 있는 다발오류(Burst Error)를 방지하게 된다.

#### 4. CDMA Channel Structure

CDMA Channel은 기지국이 사용하는 Pilot Channel, Sync Channel, Paging Channel, Forward Traffic Channel과 이동국이 사용하는 Access Channel, Reverse Traffic Channel로 구분된다. 기지국이 사용하는 Pilot Channel, Sync Channel, Paging Channel, Forward Traffic Channel들은 각기 다른 Walsh Code를 사용한 Orthogonal Covering을 통해 구별된다. 또한 이동국이 사용하는 Access Channel, Reverse Traffic

Channel은 이동국마다 다른 User Long Code를 통해 구별될 수 있다.

CDMA 방식에서 사용하는 주파수 확산 방식은 1.2288MHz의 PN Code를 사용하게 되는데 각 기지국은 다른 PN Sequence Offset을 통해 구별되게 된다. 여기서 PN Sequence Offset은 64bit 단위로 512개로 구분될 수 있는데 이는 기지국에서 Cell 주변까지 신호의 최대 지연이 약 50가sec일때를 가정한다. 또한 CDMA에서 사용한 PN Code는 여분의 0 bit를 추가했으므로 엄밀히 말해 PN Code라고 할수는 없지만 0 bit의 추가를 통해 좋은 Autocorrelation을 얻게 되는 특징이 있다.

#### 5. 변복조 방식

CDMA 방식에서 사용하는 변복조 방식은 상행 채널과 하행 채널이 각기 다른 구조로 되어 있다. 상행

채널에서는 QPSK를 사용하지만 하행채널에서는 QPSK에 비해 정진폭 특성을 갖는 OQPSK를 사용한다. 그리고 CDMA에서 사용한 QPSK 방식은 동일한 I, Q 신호가 들어가므로 정확하게는 QPSK라고 할 수 없고 두 개의 BPSK 변복조 방식이라고 볼 수 있다. CDMA에서 정확한 QPSK를 사용하지 않고 두 개의 BPSK를 사용한 이유는 BPSK가 QPSK에 비해 위상오류에 덜 민감하기 때문이다.

표 1. BPSK와 QPSK에서의 Phase Error에 대한 성능 감소

Phase Error(°)	Performance Loss(dB)	
	BPSK	QPSK
0	0.00	0.00
1	0.00	-0.01
2	-0.01	-0.06
5	-0.03	-0.35
10	-0.13	-1.28
20	-0.54	-3.91
45	-3.01	-10.80

CDMA 방식의 디지털 셀룰라 시스템에서는 Rake Receiver를 사용하는데 그 이유는 CDMA가 광대역 신호(1.23MHz)를 사용하므로 다른 협대역 신호에 비해 Path Diversity에 유리하기 때문이다.

### 6. Power Control

CDMA 방식에서는 Cell내의 이동국들이 동일한 반송파와 대역폭을 사용하기때문에 어느 한 이동국이 송신전력을 필요 이상 크게 했을 경우 이 송신 전력은 다른 이동국에서 간섭 및 방해전파로 작용하여 통화 품질을 저하시키게 된다. 그렇기 때문에 가입자 수용 용량을 최대로 유지하기 위해서는 모든 가입자가 통화에 필요한 최소한의 전력만을 사용해야 된다.

CDMA 상향 채널의 전력은 파일럿 채널, 싱크 채널, 페이징 채널, 트래픽 채널로 나누어서 사용하는데 트래픽 채널은 이동국의 위치에 따라서 각 채널에 할당된 전력의 크기가 3dB~4dB 정도 차이가 나며 나머지 채널의 전력의 크기는 어느정도 일정한 크기를 갖는다. 일반적으로 파일럿 채널은 송신 전력을 일반 트래픽 채널보다 약 2배 정도 크게하므로써 셀 내의 모든 이동국이 쉽게 이 채널을 수신할 수 있도

록 한다.

#### 1) 상향 트래픽 채널 전력 제어

이동국이 수신한 프레임 중 불량 프레임의 수를 주기적으로 기지국으로 전송하며 기지국은 이를 기준으로 트래픽 채널의 송신 전력을 제어하며 제어의 속도가 빠를 필요가 없으며 정도도 그다지 강력하지 않아도 된다. 이 제어는 단지 핸드오프 영역에서만 유용하다.

#### 2) 하향 트래픽 채널 전력 제어

동일 기지국을 사용하는 모든 이동국에서 송신하는 전력이 기지국에서 일정 크기로 수신될 수 있도록 개방 루프 전력 제어와 폐쇄 루프 전력 제어 수행하며 하향트래픽 채널 전력 제어는 셀내의 Near Far 문제로 인해 약 80dB 이상의 전력 차이가 발생하는 특징을 가지고 있어 이의 제어와 제어 속도도 수신 전력의 변동율을 보상할 수 있을 정도로 빨라야 한다.

① 개방 루프 전력제어 - 이동국이 단독으로 수신 전력 전계강도 측정치와 보정치를 이용하여 추정 송신전력을 결정

② 폐쇄 루프 전력제어 - 기지국이 일정 주기로 수신전계 강도를 측정하여 임계치와 비교한후 이동국으로 송신전력의 증감을 지시하는 전력제어 비트를 트래픽채널을 통하여 전송하면 이를 이동국이 복조하여 송신전력을 미세 조정

### 7. Soft Handoff

전체 호중에서 대략 25%가30%가 Soft Handoff 영역에 존재하므로 각 셀은 25%가30%의 부가적인 채널을 소유한 셈이 된다. Soft Handoff시 일반적으로 두 셀이 동시에 이동국으로부터 음성 프레임을 수신하는데 Vocoder/Selector는 음성 프레임(20msec) 단위로 품질이 좋은 음성프레임을 선택하여 디코딩하게 되며 Softer Handoff는 셀내의 섹터 사이에서 일어나며 두 섹터로부터 수신한 데이터들 음성프레임 단위가 아닌 심볼단위로 선택하여 Vocoder/Selector에 전송하게 된다.

## IV. GSM(Global System for Mobile Communications) 방식의 기술 동향

### 1. GSM 기술의 개략

GSM 방식의 디지털 셀룰라 시스템의 주요특징으

로 Multiple Access는 TDMA(Time-Division Multiple Access)와 FDMA(Frequency-Division Multiple Access)방식을 도입하고, 음성데이터는 Speech coding인 RPE-LTP(Regular Pulse Excited Long Term Prediction)방식을 거쳐, 오류 정정을 위한 길쌈부호기와 다발오류 방지를 위한 Interleaver 통한다.

그 후 데이터는 Spread Spectrum 방식중 FH(Frequency Hopping)방식을 채택해 확산시킨후 GMSK변조를 통해 RF단으로 간 후 최종 송신하게 되며 수신단의 과정은 송신과정의 반대로 행해지게 된다. 그러면 각 과정에서의 자세한 기술들을 설명하기로 한다.

### 2. GSM TDMA Structure

GSM은 TDMA(Time-Division Multiple Access)와 FDMA(Frequency-Division Multiple Access)방식의 특징을 갖고 있는데, RF단에서 기본 전송 요소는 Time Slot이며 이것은 Hyperframe에서, 120ms Multiframe으로, 4.615ms의 TDMA frame으로, 0.577ms Time Slot으로 규정되며 TDMA timing organization은 <그림 5>와 같다.

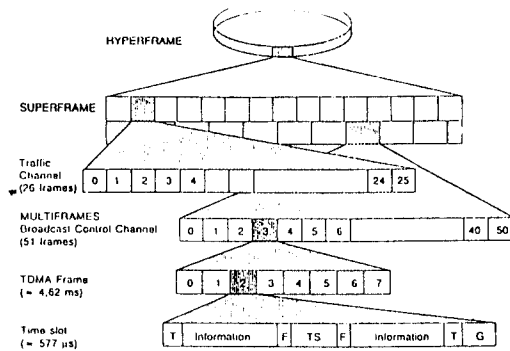


그림 5. TDMA timing organization

### 3. GSM Channel Structure

GSM의 physical channel과 logical channel로 크게 구분된다. physical channel은 base station과 mobile 사이의 통신에서 time slot의 sequence를 기술하며 logical channel은 physical channel 내에서 명확한 multiple scheme에 따라 조합되는 특별한 기능을 갖는 channel로서 Traffic channel

과 Control channel로 세분되며 특징은 다음 아래와 같다.

<p><b>Traffic Channel (TCH)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Full-rate or half-rate speech channels (TCH/FS, TCH/HS)</li> <li>• Full-rate or half-rate data channels with 2.4/9/6 kbits (TCH/H2.4, TCH/F9.6)</li> </ul>
<p><b>Control Channel (CCH)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Broadcast channels (BCH)                     <ul style="list-style-type: none"> <li>Frequency-Correction channel (FCCH)</li> <li>Synchronization channel (SCH)</li> <li>Broadcast control channel (BCCH)</li> </ul> </li> <li>• Common Control Channels (CCCH)                     <ul style="list-style-type: none"> <li>Paging channel (PCH)</li> <li>Random-Access channel (RACH)</li> <li>Access-Grant channel (AGCH)</li> </ul> </li> <li>• Dedicated Control Channels (DCCH)                     <ul style="list-style-type: none"> <li>Slow Associated control channel (SACCH)</li> <li>Fast Associated control channel (FACCH)</li> <li>Stand-alone Dedicated control channel (SDCCH)</li> </ul> </li> </ul>

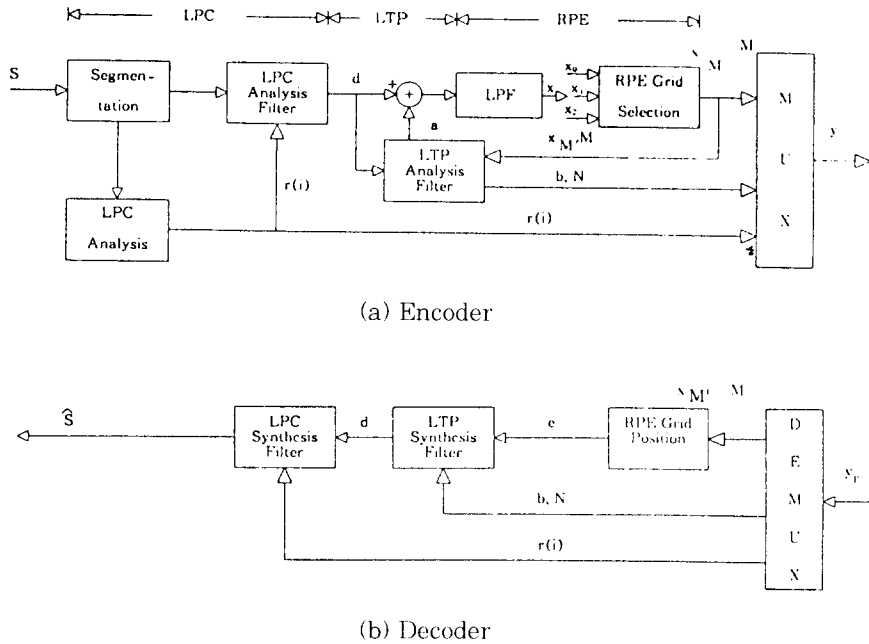
### 4. RPE-LTP 음성 부호화기

GSM은 디지털 시스템으로서, 낮은 전송속도로 효율적인 디지털 음성 부호화를 필요로 한다. 일반 전화망의 64Kbps는 제한된 주파수 할당 측면에서 볼때 GSM 서비스를 하기에는 너무 많은 대역폭을 필요로 할 것이다. 따라서 GSM은 8Kbps로 시스템이 적절하다고 판단했으나, 차세대 관점에서 16Kbps를 정규속도로 규정하였다.

음성 부호화 방식은 LTP(Long Term Prediction)를 위해 RPE(Regular Pulse Excited) LPC (Linear Predictive Coding)로서 알려진 방식을 채택하였다. 이 방식의 특징은 낮은속도의 부호화 방식이 지연을 유발하기 때문에 품질과 지연이라는 측면을 모두 고려한 것으로 음성 Codec에 사용된 순수한 전송속도는 13.0Kbps이다.

RPE-LTP 음성 부호화기의 원리적인 불릿도는 <그림 6>과 같다.

음성신호는 그 특성상 두가지 상관관계를 지니고 있는데 하나는 인접 샘플간의 상관관계(Short Term Correlation)이고 또 하나는 피치간의 상관관계(Long Term Correlation)이다. RPE-LTP 방식의



(a) Encoder

(b) Decoder

그림 6. PE-LTP 음성 부호화기의 원리적인 블록도

원리는 LPC분석 부분에서 음성 신호의 인접 샘플간의 상관관계를 제거하고 LTP분석 부분에서 피치 샘플간의 관계를 다시 제거하여 백색 잡음에 가까운 잔여(residual)신호를 얻어 이들 펄스 중 원래 음성과의 차를 최소로 하는 일정간격의 펄스열(Regular Pulse sequence)을 송신하여 수신측에서는 이의 역과정을 거쳐 원래 음성 신호를 재생하는 방법이다. RPE-LTP 음성 부호화기 Encoder와 Decoder의 구성은 아래와 같다.

Encoder
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pre-Processing(Preemphasis)</li> <li>• LPC 분석과 Short-Term 필터링</li> <li>• Long Term Prediction</li> <li>• RPE Encoding</li> </ul>
Decoder
<ul style="list-style-type: none"> <li>• PRE Decoding</li> <li>• LTP</li> <li>• ST 합성필터</li> <li>• Post Processing (Deemphasis)</li> </ul>

### 5. Channel Codec

GSM에서 사용되는 channel codec은 길쌈부호기(Convolutional Encoder : K=5, R=1/2)와 비터비 복호기(Viterbi Decoder)가 사용되며, Burst error를 방지하기 위해 block interleaving를 행한다.

### 6. 변복조 방식

GSM 방식에서 사용되는 변복조방식은 differential encoder를 거친후 Gaussian Filter(BT=0.3, B=3dB bandwidth for the filter, T= 1 input data bit의 duration)를 거친후 MSK(Minimum-shift-keying) 변조 방식으로 Data를 전달하는 방식을 사용한다.

### 7. GSM Handover

GSM시스템은 수신전계강도(RSSI), 신호품질(BER), 이동국-기지국간의 거리를 Handover결정 변수로 제안한다. GSM은 각 Time Slot에 고정된 training sequence가 포함되어 있어 수신기에서 BER(Bit Error Rate)를 추정할 수 있다. 또한 망 운영자가 핸드 오버 알고리즘을 자체적으로 개발할 수 있도록 하기 위해 어느 특별한 알고리즘을 표준안

으로 지정하지는 않았으나, GSM권고안에 따르면 핸드오버 전체의 프로세서는 이동국, 기지국, 이동통신교환기에서 분산수행된다.

1) 측정 변수

이동국과 기지국에서는 핸드오버와 RF전력제어를 목적으로 수신신호세기와 신호품질을 측정한다.

① 신호세기

수신기 입력단에서 실효 수신신호 레벨을 -110dBm 가 -48dBm의 범위에서 상대정확도 +/-1dB(20dB), 절대정확도 +/-4dB(-110dBm ~ 70dBm, 정상조건) 또는 +/-6dB(-110dBm ~ 48dBm, 극한조건)를 갖도록 측정한다.

② 신호품질

수신 신호품질은 이동국과 기지국에서 채널부호화 이전에 측정되고 0가7사이의 RXQUAL값으

로 대표된다.

◆ 이동국에서의 측정

◦ serving셀의 수신신호세기(RXLEV\_D)와 품질(RXQUAL\_D)를 측정하고 인접기지국의 하향링크 신호레벨과 기지국고유번호(BSIC : Base Station Identification Code)를 감시한다.

◆ 기지국에서의 측정

◦ 기지국은 상향링크에 대해서 수신신호세기(RXLEV\_U)와 신호품질(RXQUAL\_D)를 측정하고, 유희 트래픽채널의 간섭신호 레벨을 감시한다.

2) 핸드오버 결정

핸드오버가 필요한 경우는 “최소 경로손실, 최대 신호세기, 저 트래픽 셀”등과 같은 알고리즘중에서 어느 하나에 의거 최적의 셀을 선택한다. 이후 트래픽 채널이 할당되고 실질적인 핸드오버 신호가 발생한다. 📡

筆者紹介



柳 枝 萬

1954年 8月 7日生

1977年 2月 한양대학교 전자공학과 (학사)

1979年 2月 서울대학원 전자공학과 (석사)

1986年 5月 University of Texas at Austin 전기공학과 (박사)

1986年 11월 ~ 현재 금성통신 연구소 (연구위원)

주관심 분야 : Image Processing, Infrared Imaging, Artificial Neural Network  
Digital Mobile Communications



黃 仁 泰

1990年 2月 전남대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1992年 8月 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1992年 9월 ~ 현재 금성통신 연구소 CP1팀(연구원)

주관심 분야 : 디지털 이동통신