

GSM 방식 단말기용 모뎀칩을 위한 GSM Full Rate 보코더 구현

이동원
삼성 전자, 통신 연구소

Implementation of GSM Full Rate vocoder for the GSM mobile modem chip

Dong-Won Lee
Telecommunication R&D center, Samsung electronics co., LTD.
E-mail) ldw93@samsung.co.kr

요 약

본 논문에서는 유럽 통신 표준화기구인 ETSI 의 SMG11 에
서 채택된 GSM Full Rate(FR) 보코더 알고리즘[1]을 Teak DSP
Core 를 이용하여 실시간 구현 하였다. GSM FR 보코더는 유럽
에서 사용하는 통신 시스템인 GSM 의 full-rate Traffic
Channel(TCH)의 표준 코덱[2]으로서 GSM HR, GSM EFR, GSM
AMR 과 더불어 모뎀칩 내에 장착되는 필수적인 음성 서비스이
다. 구현된 GSM FR 는 13.05kbps 의 비트율을 가지고 있으며,
인코더와 디코더 기능 외에 voice activity detection(VAD)[3]블록과
DTX[4]블록 등의 부가 기능도 구현되어 있다. 구현에 사용된
Teak[5]는 DSP Group 의 16bit 고정 소수점 DSP core 로서 최대
140MIPS 의 성능을 낼 수 있고 40bits ALU 와 두개의 MAC 이
장착되어 있어 음성 및 채널 부호화기의 실시간 처리에 최적화
되어있다. 구현된 GSM FR 은 인코더와 디코더 부분이 각각 약
235 MIPS 및 1.19MIPS 의 복잡도를 나타내며, 사용된 메모리는
프로그램 ROM 3.9K words, 데이터 ROM(table) 396 words 및
RAM 932 words 이다.

1. 서 론

오늘날의 이동통신은 발전을 거듭하여 ‘언제, 어디서, 누구와
도’ 통신이 가능한 ‘차세대 이동통신 서비스’, ‘꿈의 이동전화’,
‘무선통신의 극치’ 라고도 불리는 IMT-2000 의 상용화가 목전에
다다랐다.

이동통신에 의한 전화 서비스는 1946 년 미국의 South Bell 사
가 개발한 150MHz 대의 수동 접속 방식인 광역지역(Wide Zone)
방식을 St. Louis 에서 서비스 개시한 것이 최초이며 그 후 1946
년 AT&T 사가 자동교환방식으로 개선한 IMTS 를 내 놓았다 현
재와 같은 셀룰러 방식은 1979 년 미국의 시카고에서 최초로 시
험 운용되었으며, 일본에서는 1979 년 동경에서, 스웨덴은 1981
년 서비스가 개시되었다. 현재와 같은 본격적인 이동전화는
1984 년 미국의 AMPS 방식의 셀룰러 시스템을 도입, 서울 지역
에서부터 서비스를 개시하면서 시작되었다.

현재의 이동 통신 추세는 위성용 이용하여 기지국 간의 동기
를 맞추는 동기 방식과 각 기지국 마다 다른 기준 시간을 사용
하는 비동기 방식으로 나누어진다. 동기방식에 사용되는 보코더
로는 EVRC, 8k QCELP, 13k QCELP 등이 있고 비동기 방식은 FR,
HR, EFR 등이 있다.

본 논문의 구성은 2 장에서 GSM FR 보코더의 기본구조와
특성에 대하여 살펴보고, 3 장에서는 실시간 구현에 관해 논하며,
마지막으로 4 장에서 결론을 맺도록 하겠다.

2. GSM Full Rate 보코더

2.1 GSM FR 인코더

GSM FR 보코더는 multi-pulse(MP) LPC 와 residual
excited(RE) LPC 의 혼합형[6]인 regular-pulse excited(RPE) LPC
알고리즘으로서 LPC 분석으로 추출된 잔여신호와 과거 잔여신
호로 예측한 신호의 차이를 일정한 간격의 펄스로 표현하는 방

식으로 전체 부호화 과정의 기본 개념도는 그림 1 과 같다. 입력된 신호는 8kHz 로 샘플링 되어 20ms, 160 샘플의 한 프레임과 40 샘플의 4 개의 부프레임으로 구성되고 진처리 과정을 통하여 DC 성분이 제거된 후 8 차 LPC 분석[7]이 이루어 진다. Schur recursion 알고리즘으로 추출된 8 개의 반사계수(reflection coefficients)들은 log area ratios(LAR)로 전환되어 스칼라 양자화된 후 234 번째 부프레임의 LPC 분석필터에 사용되고 1 번째 부프레임은 이전 프레임의 LAR 계수들을 보간하여 사용한다.

표 1. GSMFR 비트 할당표

Parameter	bits
LAR	6,6,5,5,4,4,3,3
pitch lag	7*subframes
pitch gain	2*subframes
RPE grid	2*subframes
RPE gain	6*subframes
RPE pulse	13*3*subframes
SP	1
Total	260

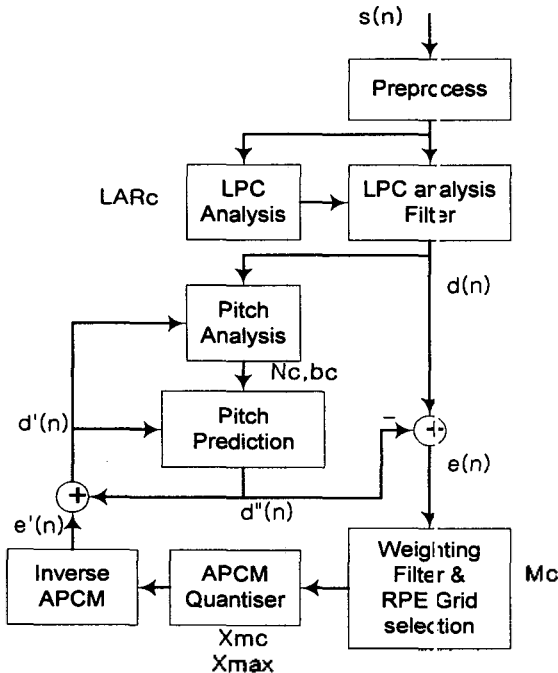


그림 1. GSMFR 인코더의 기본구조

Lattice 구조를 가지는 LPC 분석필터를 통과한 잔여 신호 $d(n)$ 은 부프레임 단위로 이루어 지는 피치 분석에 사용된다. 현재 프레임에서 추출한 $d(n), (n=0, \dots, 39)$ 과 과거 프레임에서 추정되어 재 합성된 $d'(n), (n=-120, \dots, -1)$ 과의 상관도(식(1))를 이용하여 피치 지연값(τ)과 이득값을 구하고 각각 7bit(N_c)와 2bit(bc)로 스칼라 양자화한다.

$$R(\tau) = \sum_{i=0}^{i=39} d(i) \cdot d'(i-\tau), \quad \tau = 40, \dots, 120 \quad (1)$$

분석된 피치 지연값과 이득값을 이용하여 식(2)에서처럼 $d'(n)$ 으로부터 예측값 $d''(n)$ 을 만들고 식(3)으로 $d(n)$ 와 차이값인 $e(n)$ 을 계산한다.

$$d''(n) = b \cdot d'(n-\tau) \quad (2)$$

$$e(n) = d(n) - d''(n) \quad (3)$$

$e(n)$ 은 13 개 샘플길이를 갖는 4 셋의 시퀀스로 down-sample 되고 이들 중에서 에너지가 가장 큰 셋을 정하여 adaptive pulse code modulation(APCM)방식으로 양자화 된다. 물론 $e(n)$ 은 down-sample 되기전에 11-tap 으로 된 저대역 가중필터를 통과한다. 최적의 시퀀스 셋을 찾으려면 각 셋을 이용하여 합성한 신호 중에 목표 신호와 왜곡이 가장 적은 것을 선택해야 하는데 GSM FR 보코더의 경우 이 과정을 줄이는 방법으로 에너지가 가장 큰 셋으로 결정하게 된다[1].

양자화된 $e(n)$ 은 $e'(n)$ 으로 디코딩 되고, $d'(n)$ 은 다음의 부프레임 분석을 위해 식(4)를 이용하여 계산된 후 과거값으로 밀려 진다.

$$d'(n) = e'(n) + d''(n) \quad n = 0, \dots, 39 \quad (4)$$

인코딩이 된 파라미터들은 총 261bitstream 으로 압축되어 채널 인코딩 task 로 보내지게 된다. 표 1 에 각 파라미터 별 비트 할당을 나타내었다.

2.2 GSMFR 디코더

디코더는 크게 regular pulse excitation(RPE) 디코딩, pitch 예측, 단구간 합성, 후처리 과정으로 나뉜다. 단구간 합성과 후처리 과정을 제외한 전 과정은 부호화기에도 있고 전체 블록도는 그림 2와 같다.

채널로 전송된 RPE 관련 파라미터 M_c, X_{mc}, X_{max} 를 이용하여 13 개의 RPE 의 위치를 정렬하고 gain 을 곱해서 $e'(n)$ 을 만든다. 식 (2)를 이용하여 장구간 성분을 예측하고 식 (4)를 통해 여기 신호를 만든다. LAR 계수로 구성된 단구간 합성필터를 통과시키고 후처리 과정을 거쳐 최종 디코더 출력 $s'(n)$ 을 만든다. 후처리 과정에서는 인코딩 전에 pre-emphasis 되었던 것을 반대로 de-emphasis 시키고 PCM 신호의 하위 3bit 를 'zero' 로 만들어 버린다. 이는 GSM 의 spec.에서 정한 13 bits 형태를 맞춰주기 위함이다.

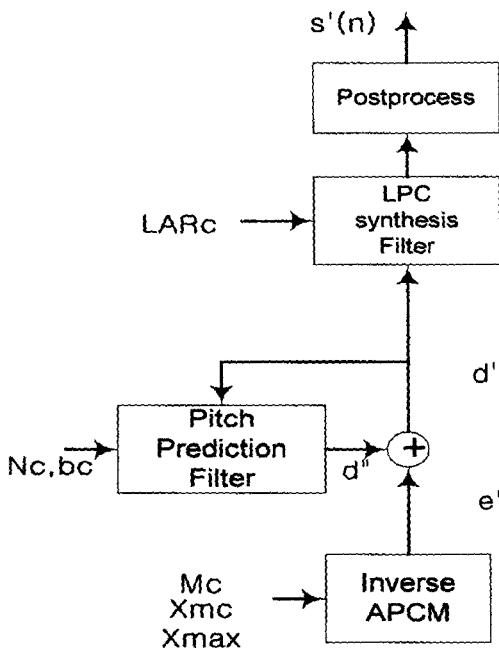


그림 2. GSM FR 디코더의 기본구조

3. 실시간 구현

GSM FR 보코더의 실시간 구현에 사용된 Teak 는 DSP Group 의 16bit 고정 소수점 DSP core 로서 최대 140MIPS 의 성능을 낼 수 있고 40bits ALU 와 두개의 MAC 이 장착되어 있어 음성 및 채널 부호화기의 실시간 처리에 최적화 되어있다. 특히 코드북 탐색에 용이한 명령어 셋과 correlation 이나 convolution 에서 두 배의 성능을 내는 MAC, viterbi 알고리즘을 소프트웨어적으로 처리하는 명령어, 그리고 fixed codebook 탐색 시 내변제 루프 안에서 이루어지는 6 가지 작업을 1cycle 에 해내는 명령어들은 다른 DSP 에서는 찾아보기 힘든 Teak 만의 장점이라 하겠다. 개발 환경은 Teak SDT version 8.3 을 사용하였다. 전체적인 개발 과정의 블록도는 그림 3 에 나타내었다.

개발 과정은 먼저, 알고리즘을 분석하고 C 소스를 검토하여 encoder 및 decoder 에 필요한 모듈을 파악하고 call tree 를 작성하였다. 사용된 메모리는 특성에 따라 Xram, Yram 으로 나누어지고, 용도에 따라 stack, 정적, 임시 메모리로 구분 짓는다. EncStore, DecStore, VadStore 세개의 구조체는 보코더가 동작 되는 동안 값이 유지되어야 하므로 정적 메모리에 할당하고 필터 구현에 사용한 dual MAC 를 위해 임시 메모리를 할당해서 사용했다. 지역 함수의 local 변수는 모두 stack 에서 자동으로 할당 되도록 하였다.

프로그램의 전체 구성을 살펴 보면, main body 는 디버깅의 편리성을 위해 C 를 compile 하여 사용하였고, 이하의 함수들은

고속 연산을 위해 어셈블리로 코딩하는 mixed coding 방식을 하였다. Mixed coding 방식을 사용하면 C 로 코딩 된 부분을 디버깅할 때 visual C++ 과 똑 같은 환경의 디버깅이 가능하므로 코딩 시간을 줄일 수 있다. Mixed coding 방식을 사용하기 위해서는 static 변수, local 변수, 함수 호출, argument 의 전달 방식을 정확히 알아야 한다. 어셈블리 코딩 시에 가장 고려할 사항은 basic operation 의 처리인데, DSP 에서 자체적으로 제공하는 intrinsic 을 사용하는 방법과 모든 연산자를 직접 코딩하는 방법이 있다. 어떤 방법을 사용할 지는 시간과 계산량을 절충해서 선택한다.

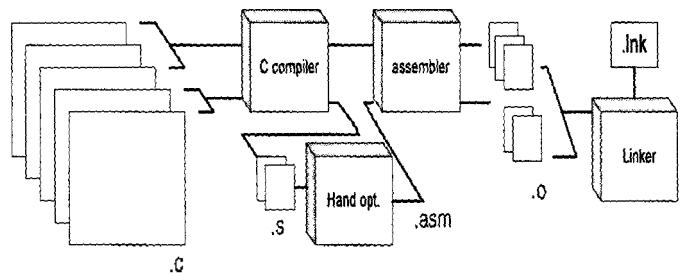


그림 3. GSM FR 개발 과정

프로그램된 각각의 모듈은 ETSI 에서 제공된 test vectors 를 이용한 검증을 통해 확정되었다. GSM FR 은 $d'(n)$ 의 update 로 인해 한 개의 frame 에서 문제가 발생하면 그 후의 모든 frame 이 틀려 버리는 특성이 있으므로 특정 모듈에 대한 확실한 검증이 없는 모듈 간 연결이 불가능하기 때문이다. 또한 최종적으로 모듈을 연결 시 메모리의 정확한 위치와 그것이 내포하는 알고리즘상의 의미, 그리고 전반적인 프로그램을 정확히 이해해야 한다. ETSI 에서 제공하는 test vectors 는 총 25 개로서, encoder 와 decoder 에 공통으로 사용하는 4 개의 벡터와 decoder 에만 사용하는 1 개의 벡터, 그리고 Vad / Dtx 검증을 위한 20 개의 벡터로 이루어 진다. 관련된 블록도는 그림 4 에 보여진다.

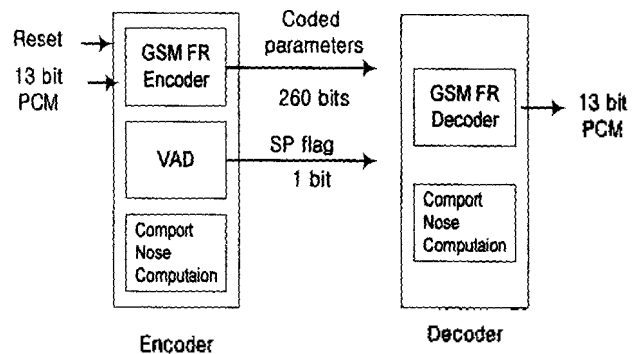


그림 4. GSM FR Bit-Exactness test

구현된 GSM FR 프로그램은 test vectors 와 bit-exact 하게 일치 하였다. 최대 복잡도 및 메모리 사용을 표 2 에 나타내었다.

표 2. GSM FR 의 MIPS 및 메모리(words)

	Func.	MIPS	PROM	RAM
GSM FR	Encoder	2.35		650
	Decoder	1.19		282
	Full	3.54	3915	932

표 3 은 같은 계열의 Oak 칩을 이용하여 Ensigna 사에서 구현한 결과와 본 논문에서 구현한 결과의 복잡도 비교를 나타내고 있다. Teak 가 Oak 보다 약 30%정도 성능이 낮지만 Mixed coding 방식의 특성상 C 부분의 MIPS 증가는 불가피하다. GSM FR 의 경우 특정 모듈에서는 Oak 에 비해서 50%이상 계산량이 감소하지만 전체 MIPS 가 워낙 작아서 C 부분에 의한 영향이 크게 된다. 더욱 최적화 하려면 C 로 된 부분은 어셈블리어으로 바꿔주면 된다.

표 3. Oak 칩과의 복잡도 비교

	PROM	DROM	DRAM	Max MIPS
본 논문	3915	396	932	3.54
Ensigna	4184	262	984	3.7

4. 결 론

본 논문에서는 유럽 통신 표준화기구인 ETSI 의 SMG11 에서 채택된 GSM FR 보코더 알고리즘을 Teak DSP Core 를 이용하여 실시간 구현 하였다. ETSI 에서 제공된 25 개 test vectors 의 검증 을 통하여 C 시뮬레이션의 결과와 bit-exact 함을 확인 하였다.

구현된 GSM FR 은 인코더와 디코더 부분이 각각 약 2.35 MIPS 및 1.19 MIPS 의 복잡도를 나타내며, 사용된 메모리는 프 로그램 ROM 3.9K words, 데이터 ROM(table) 356 words 및 RAM 932 words 이다.

본 논문에서 구현된 GSM FR 은 Teak 의 저전력 소비, ASIC 구현의 용이함 및 편리한 debugging 환경 덕분에 GSM 방식 단 말기용의 모뎀 칩에 적합한 solution 이라 생각한다.

[참 고 문 헌]

- [1] Peter kroon, ED F. Deprettere, Rob J. Sluyter, "Regular-Pulse Excitation—a novel approach to effective and efficient multipuse coding of speech, " *IEEE Trans. speech and audio proc.* vol 5 Oct.,1986.
- [2] ETSI GSM 06.10 version 7.1.0 Release 1993: "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Full rate speech; Transcoding ".
- [3] ETSI GSM 06.32 version 7.0.1 Release 1998: "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Full rate speech; Voice Activity Detector (VAD) for full rate speech traffic channels ".
- [4] ETSI GSM 06.32 version 7.0.1 Release 1998: "Digital cellular telecommunications system(Phase 2+); Full rate speech; Discontinuous Transmission(DTX) for full rate speech traffic channels ".
- [5] "Teak@DSP Core Architecture Specifications, " DSP Group Inc., Revision 1.4, February 1998.
- [6] A.M. Kondoz, *Digital Speech coding for low bit rate communication system*, JOHN WILEY & SONS, chap5.
- [7] J. D. Markel and A. H. Gray, *Linear Prediction of Speech*, Berlin,Germany : Springer-Verlag, 1976.