
IMT-2000 Test-bed 상에서 CS-ACELP 음성부호화기 실시간 구현

김형중*, 최송인*, 김재원*, 윤병식*

Real-time Implementation of CS-ACELP Speech Coder for
IMT-2000 Test-bed

Hyung-Jung Kim*, Song-In Choi*, Jae-Won Kim*, Byung-Sik Yoon*

요약

본 논문에서는 CS-ACELP(Conjugate Structure Algebraic Code Excited Linear Prediction) 음성부호화기의 실시간 구현에 관하여 논한다. CS-ACELP 알고리즘은 ITU-T에서 G.729로 표준화되었다. CS-ACELP 음성부호화 알고리즘의 실시간 구현은 16비트 정수형 DSP 칩을 사용하였다. 16비트 정수형 DSP 칩상에 구현하기 위하여, CS-ACELP 알고리즘의 정수형 시뮬레이션을 사용하였다. CS-ACELP 음성부호화기에 포함된 입출력 기능과 통신 기능을 설명한다. DSP Evaluation board를 사용하여 CS-ACELP 음성부호화기를 개발하였고 IMT-2000 Test-bed를 사용하여 검증하였다.

Abstract

In this paper, we present a real time implementation of CS-ACELP(Conjugate Structure Algebraic Code Excited Linear Prediction) speech coder. ITU-T has standardized the CS-ACELP algorithm as G.729. A real-time implementation of CS-ACELP speech coder algorithm is achieved using 16 bit fixed-point DSP chip. To implement in fixed-point DSP Chip, integer simulation of CS-ACELP algorithm is used. Furthermore, input/output function and communication function included in CS-ACELP speech coder is described. We develope CS-ACELP speech coder in DSP evaluation board and evaluate in IMT-2000 Test-bed.

* 한국전자통신연구원 무선방송기술연구소 이동멀티미디어연구부 부호화기술연구팀
접수일자 : 1998년 8월 20일

I. 서 론

이동통신시스템은 제한된 주파수자원 환경하에서 대용량의가입자수용능력을 가져야 한다. 이로 인하여 낮은 전송율에서 높은 음성 품질을 갖는 음성부호화기 개발이 필수적이다.

CS-ACELP 알고리즘은 CELP(Code Excited Linear Prediction)를 기본으로, 프랑스의 France Telecom, 캐나다의 Univ. of Schebrook, 일본의 NTT에 의해 공동 제안된 음성부호화 알고리즘으로, 1996년 ITU-T (International Telecommunications Union- Telecommunication Standardization Sector)에서 G.729로 표준화되었다[1]. CS-ACELP 음성부호화 알고리즘은 IMT-2000(International Mobile Telecommunications 2000)과 UPT (Universal Personal Telecommunication) 같은 개인통신시스템을 목적으로 개발되었다[2].

CS-ACELP 음성부호화기는 채널에러가 없는 환경에서 Toll-quality의 성능을 얻을 수 있으며, 이동통신환경에서 채널에러에 강인한 특성을 가지고 있다 [3]. CS-ACELP 알고리즘은 낮은 전송율에 비하여 높은 성능을 지니고 있어, 미래의 개인통신이나 멀티미디어통신에서 중요한 역할을 하리라 예측된다.

우리는 CS-ACELP 음성부호화 알고리즘의 실시간 구현을 보여준다. 16비트의 정수형 DSP칩인 TI사의 TMS320C542 상에서 TMS320C54x 어셈블리언어로 구현하였으며, finite wordlength effect을 최소화하기 위하여 C-언어 정수형 프로그램을 사용하였다[4][5]. 어셈블리 언어로 구현한 CS-ACELP 음성부호화기의 성능은 C-언어 정수형 프로그램의 성능과 같았다.

본 논문은 구성은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 CS-ACELP 알고리즘의 구조와 특성을 간단히 설명하고, III장에서는 CS-ACELP 음성부호화기의 실시간 구현에 대하여 설명하고, 마지막으로 IV장에서 결론을 맺는다.

II. CS-ACELP 알고리즘

CS-ACELP 알고리즘은 Univ. of Schebrook에서 개발된 ACELP 알고리즘과 일본의 NTT에서 개발

된 CS-CELP 알고리즘의 장점을 결합한 음성부호화 알고리즘이다. 8Kbps급 음성부호화 알고리즘으로 Toll-quality의 성능을 가진다고 알려져 있다.

CS-ACELP 음성부호화 알고리즘에서 한 프레임(Frame)의 크기는 10ms이며, 이는 음성을 8KHz로 샘플링시 80개 음성 데이터에 해당한다. CS-ACELP 음성부호화기의 전체 알고리즘 딜레이는 look-ahead 5ms를 포함하여 15ms이다.

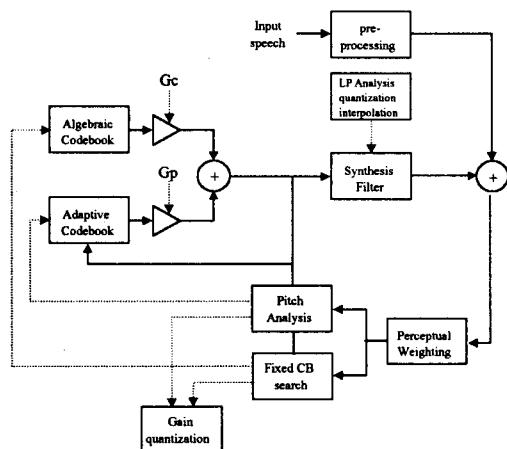


그림 1. CS-ACELP 음성부호화기의 인코더
Fig. 1 Encoder of CS-ACELP speech coder

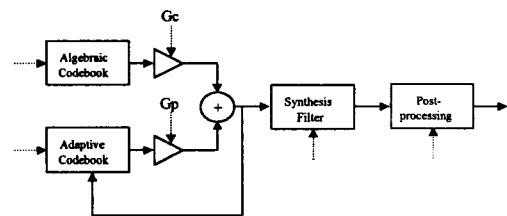


그림 2. CS-ACELP 음성부호화기의 디코더
Fig. 2 Decoder of CS-ACELP speech coder

CS-ACELP 알고리즘은 입력음성신호에서 음성파라미터를 구하는 인코더(Encoder)와 음성파라미터에서 출력음성신호를 만드는 디코더(Decoder)로 구성된다. CS-ACELP 인코더의 구성은 그림 1과 같으며 디코더의 구성은 그림 2와 같다[6].

인코더는 입력음성신호로부터 매 10ms 프레임마다 LPC(Linear Prediction Coefficient) 계수를 추출하기 위한 선형예측분석(Linear Prediction Analysis)을 수행한다. 추출된 LPC 계수는 LSP(Line Spectrum Pair)로 변환된 다음, 2단 예측 벡터 양자화(Predictive Two-Stage Vector Quantization) 방법으로 양자화된다.

여기신호를 추출하기 위하여 분석/합성 방법(Analysis-by-Synthesis)을 사용하는데, 이 방법은 입력음성신호와 재생음성신호의 심리가중차(Perceptual Weighting Error)가 최소가 되는 신호인 여기벡터를 구하는 것이다. 한 프레임은 두개의 부프레임(Sub Frame)으로 구성되어, 한 부프레임의 크기는 5ms이 된다. 여기신호는 매 부프레임마다 추출한다.

피치여기벡터(Pitch Excitation Vector)는 이전 프레임의 적응코드북(Adaptive Codebook)으로부터 구한다. 최적의 피치여기벡터를 찾는데는 많은 계산량이 필요하나, CS-ACELP 알고리즘은 개루프 분석(Open-Loop Analysis)과 폐루프 분석(Close-Loop Analysis)의 2단 분석방법을 사용하여 계산량을 감소시켰다.

정수코드북(Algebraic codebook)은 매 서브프레임마다 17비트로 양자화되며, 13비트는 위치정보를 4비트는 사인정보를 나타낸다. 정수 코드북도 분석/합성 방법에 의해 심리가중차가 최소가 되는 여기벡터가 추출된다. CS-ACELP에서는 정수코드북의 특성을 활용하여 효율적인 고속탐색이 가능하다.

적응코드북과 정수코드북의 크기(Gain) 양자화는 4차 MA(Moving Average) 예측 방법과 conjugate structure 코드북을 동시에 사용하여 효율적인 양자화가 가능하다.

인코더에서 합성 및 분석에 사용되는 필터의 계수로는 선형예측분석에서 구한 10차 LPC 계수가 사용된다. 첫번째 부프레임에서는 전프레임과 보간(Interpolation)된 LPC 계수를 사용하나, 두번째 부프레임은 양자화된 LPC 계수를 그대로 사용한다. CS-ACELP 알고리즘의 음성파라미터와 비트할당은 표 1에 있다.

디코더는 음성파라미터를 입력으로 하여 음성신호를 재생한다. 그러므로, CS-ACELP 알고리즘을 음성부호화기로 사용하기 위해서는 수신된 데이터 패킷에서 음성파라미터를 구해내는 과정이 추가적

으로 필요하다.

표 1. CS-ACELP 비트 할당

Table 1. Bits allocation of CS-ACELP

Parameter	Subframe1	Subframe2	Total
LSP			18
Pitch Delay	8	5	13
Pitch Parity	1		1
Codebook Index	13	13	26
Codebook Sign	4	4	8
Codebook gain1	3	3	6
Codebook gain2	4	4	8
Total			80

디코더에서 LSP 계수는 보간되고 변화되어 매 부프레임마다 선형예측필터의 계수로 사용된다. 여기신호는 5ms 부프레임마다 적응코드북과 정수코드북에 각각의 크기를 곱한 다음 더하여 구한다. 매 부프레임마다 선형예측필터에 여기신호를 입력으로 하여 음성신호를 재생한다. 음성의 품질(Quality)을 향상시키기 위하여 후단필터(Postfilter)를 선택적으로 사용한다. 재생된 음성신호를 스피커 등을 통하여 사람이 들을 수 있다.

CS-ACELP 알고리즘의 주요한 특성은 conjugate 코드북 구조와 algebraic 코드북의 사용이다. 이런 특성은 음성 분석시 메모리와 계산량을 감소시켰으며, 이동통신환경에서 채널에러에 강인한 장점을 가져왔다.

III. CS-ACELP 실시간 구현

16비트 정수형 DSP 칩을 사용하였기 때문에, 정수형 구현으로 인하여 발생하는 finite word-length effect을 최소화하기 위하여 많은 노력이 필요하다. 어셈블리 언어로 실시간 구현 전에, 먼저 C-언어 정수형 시뮬레이션을 통하여 finite word-length effect을 검사하였다. CS-ACELP 알고리즘의 정수형 시뮬레이션을 통하여 변수들의 최적 정밀도(Optimum precision)을 구하였고, 양자화 에러도 분석하였다.

실시간으로 동작하는 CS-ACELP 음성부호화기

프로그램은 모두 TMS320C54x 어셈블리 언어로 구현되었다. G.729 알고리즘과 더불어 음성의 입출력 기능과 통신 기능도 구현하였다.

CS-ACELP 알고리즘을 TMS320C542 칩상에 구현하고 검증하기 위하여, Tiger 542/PC DSP Evaluation 보드를 사용하였다. Tiger DSP 보드는 40MIPS의 TMS320C542 칩, 10nsec의 액세스 타임을 가진 128K 워드 외부 SRAM, 14비트 정밀도를 가지는 CS4216 코덱(Codec) 등으로 구성되어 있다.

마이크 등을 통한 아날로그 음성 입력은 코덱을 통하여 14비트의 PCM 데이터로 변환된다. PCM 데이터는 DSP의 직렬 포트(Serial Port)를 통하여 DSP에 실장된 CS-ACELP 알고리즘으로 전달된다. 인코더는 PCM 데이터들로부터 데이터 패킷을 생성한다. 디코더는 수신된 데이터 패킷으로부터 출력 PCM 데이터를 생성한다. 재생된 PCM 데이터를 DSP의 직렬포트를 통하여 코덱으로 전송한다. 코덱을 통하여 아날로그 음성을 재생한 다음 스피커 같은 출력장치를 통하여 듣는다.

Tiger DSP 보드상에서 CS-ACELP 음성부호화 알고리즘은 패킷 루프백 방법(Packet Loopback Mode)으로 동작한다. 패킷 루프백 방법은 DSP Evaluation 보드상에서 음성부호화기의 개발 및 검증에 유용한 방법으로, 인코더에서 생성한 데이터 패킷을 디코더로 전송하고 음성을 재생하여 검증하는 방법이다. 이 경우, 인코더와 디코더는 완전히 독립되어 운용된다.

구현된 CS-ACELP 음성부호화 알고리즘은 Tiger 542/PC DSP Evaluation 보드상에서 입출력 기능을 포함하여 실시간으로 운용되며, 자세한 결과는 표 2에 있다.

구현된 CS-ACELP 음성부호화기의 소프트웨어 구조는 그림 3과 같이 인코더부, 디코더부, 인터럽트 처리부 3개의 기능으로 나눌 수 있다. 인코더부와 디코더부는 CS-ACELP 알고리즘의 인코더와 디코더로 음성신호를 압축하고, 압축된 음성신호를 재생한다. 인터럽트 처리부는 다시 직렬포트 처리부와 외부명령 처리부로 나눌 수 있다. 직렬포트 처리부는 PCM 데이터의 입출력, 인코더와 디코더의 동작을 제어한다. 외부명령 처리부는 외부 CPU와 명령 및 데이터의 송수신을 담당한다.

표 2. 구현 성능

Table 2. Result of Implementation

항 목	성 능
프로그램 크기	11K 워드
데이터 크기	7.5K 워드
계산량	28MIPS

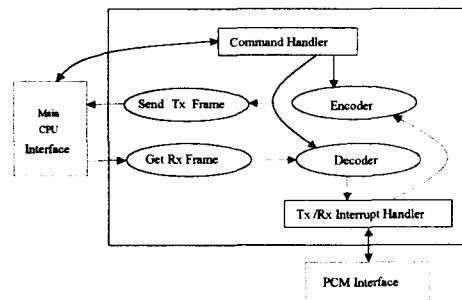


그림 3. 소프트웨어 구조

Fig. 3 Structure of software

ETRI에서 제안한 IMT-2000 Test-bed 시스템에서는 음성부호화기로 CS-ACELP 알고리즘을 사용한다. CS-ACELP 음성부호화기를 실장한 보코더 보드는 IMT-2000 서브시스템 중 BSC(Base Station Controller)의 TSBA(Transcoder and Selection Bank Assembly)에 장착된다.

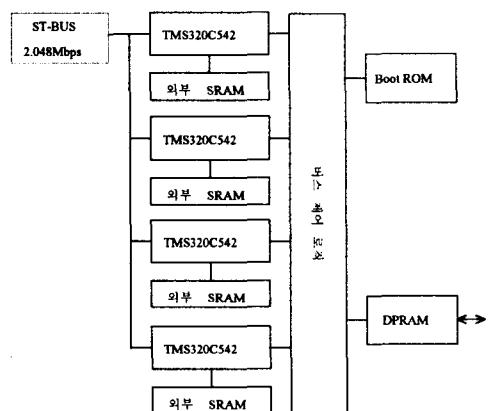


그림 4. 보코더 보드 블록도

Fig. 4 Block diagram of vocoder board

보코더 보드의 블록도는 그림 4에 나타나 있다. 4개의 TMS320C542 칩, 버스 제어 로직, Boot ROM, SRAM, DPRAM(Dual Port RAM) 등으로 보코더 보드는 구성된다. TMS320C542 칩은 CS-ACELP 음성부호화 알고리즘을 실행하며, SRAM은 CS-ACELP 프로그램을 다운로드하며, 버스제어로직은 4채널 통신을 제어하며, DPRAM은 외부 CPU와 명령 및 음성 패킷 송수용으로 사용된다. 구현된 CS-ACELP 음성부호화기의 데이터 영역은 칩의 내부 데이터영역만을 사용하므로, 데이터 용의 외부 SRAM은 필요없다.

보코더 보드에 전원을 공급하면, Boot ROM으로부터 각각의 외부 프로그램 SRAM으로 CS-ACELP 음성부호화기 프로그램은 다운로딩된다. CS-ACELP 음성부호화기를 실행하기 전에, TMS320C542 내부의 데이터 메모리, 레지스터, 직렬 포트가 먼저 초기화 된다. 초기화가 수행된 후 인코더와 디코더는 서로 독립적으로 동작한다. 인코더와 디코더의 시작 시간은 TSBA의 CPU가 관장하며, DPRAM을 통한 통신으로 인터럽트 처리부가 이를 수행한다. 인코더와 디코더도 DPRAM을 통하여 TSBA의 CPU와 데이터를 송수신한다.

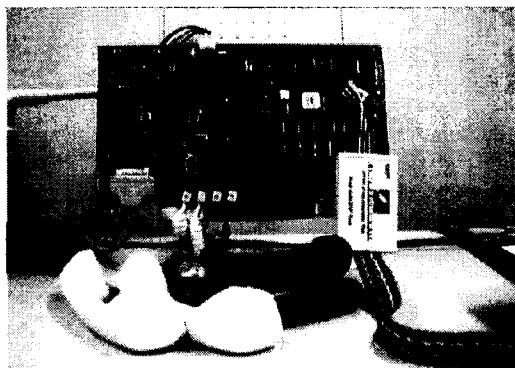


그림 5. 보코더 테스트 보드
Fig. 5 Vocoder test-zig

그림 5는 IMT-2000 시스템에 실장되는 보코더 보드의 테스트 보드 실제 모습이다. 테스트 보드는 기지국 보코더 보드와 겸종회로로 구성되어 있다. 이 테스트 보드만으로 자체 통화시험이 가능하다.

실제 음성을 샘플링한 음성신호의 파형은 그림 6-1에 나타나 있으며, CS-ACELP 음성부호화기를 통과한 음성신호의 파형은 그림 6-2에 나타 있다.

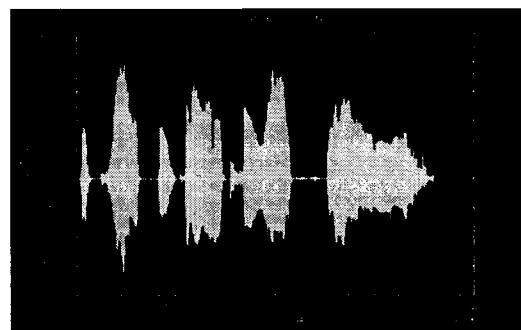


그림 6-1. CS-ACELP 음성부호화기 통과전
Fig. 6-1 Before Processing of CS-ACELP

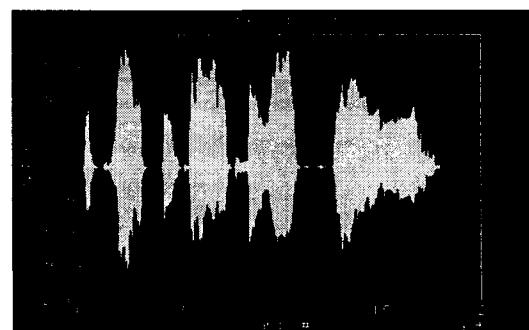


그림 6-2. CS-ACELP 음성부호화기 통과후
Fig. 6-2 After Processing of CS-ACELP

이동통신에서는 3가지의 통화(call) 방법이 가능하다. 이동국에서 이동국으로의 통화, 이동국에서 공중망(PSTN, Public Switched Telephone Network)으로의 통화, 공중망에서의 이동국으로의 통화이다. 이동국에서 이동국으로 통화시에는 2가지 방법이 존재 한다. 첫번째 방법은 이중 보코딩(Double Vocoding) 방법으로 이동국의 음성부호화기와 BSC에 실장된 보코더 보드의 음성부호화기에서 인코더와 디코더를 각각 수행하는 것이다. 두번째 방법은 Bypass 방법으로, 이동국에서 BSC로 수신된 음성 데이터패킷을

BSC에 실장된 보코더 보드를 거치지 않고 바로 이동국으로 보내는 것으로, 이동국에서만 인코더와 디코더를 수행하는 것이다. 두번째 방법이 첫번째 방법에 비해 음질면에서 우월하며, IMT-2000 Test-bed 시스템에서도 두번째 방법을 사용한다.

V. 결 론

본 논문에서는 실시간으로 구현된 CS-ACELP 음성부호화기에 대하여 논하였다. CS-ACELP 알고리즘은 ITU-T에 의하여 G.729 표준으로 채택된 8Kpbs 음성부호화 방식으로 Toll-quality의 음질을 지닌다.

CS-ACELP 음성부호화기는 TMS320C54x 어셈블리 언어로 구현되었으며, 16비트 정수형 DSP 칩인 TMS320C542 칩상에서 동작한다. DSP Evaluation 보드을 사용하여 음성 출력 기능을 포함한 실시간 동작을 검증하였다. CS-ACELP 음성부호화기를 실장한 보코더 보드는 IMT-2000 Test-bed의 BSC에 장착되어 운용된다.

구현된 CS-ACELP 음성부호화기의 전체 계산량은 28MIPS이며, 프로그램 크기는 11K 워드이다. 추후에 프로그램 크기 감소, 계산량 감소를 위한 노력이 필요하다.

참고문헌

- [1] A. Kataoka, J-P. Adoul, P. Combescure and P. Kroon, "ITU-T 8-kpbs Standard Speech Codec for Personal Communication Service", *Proceeding of Int. Conf. On Universal Personal Communications*, pp.818-822, 1995.
- [2] P. Uuai, P. Coverdate, D. Pascal, G. Schroeder, J. Sotscheck and A. Takahashi, "subjective performance of the proposed ITU-T 8-kpbs Standard", *Proceeding of IEEE Speech Coding workshop*, pp.5-6, 1995.

- [3] Redwan Salami, Claude Laflamme, Jean-Pierre Adoul, Dominique Massaloux, "A Toll Quality 8Kb/s Speech Codec for the Personal Communications System", *IEEE Trans. On Vehicular Technology*, Vol. 43, No. 3, Aug 1994.
- [4] M. H. Sunwoo, S. Park, "Real-time implementation of the VESLP on a 16bit DSP Chip", *IEEE Trans. Consumer Electronics*, pp.772-782, Vol.37, No.4 Nov. 1991.
- [5] B. S. Yoon, J. W. Kim, W. M. Lee, S. J. Jang, S. I. Choi, M. S. Lim, "Fixed Point Implementation of the QCELP speech coder", *ETRI Journal*, pp.242-258, Vol.19, No.3, Oct. 1997.
- [6] ITU-T G.729, "Coding of speech at 8 kbytes/s using conjugate-structure algebraic-code-excited linear-prediction", May. 1996.



김 형 중(Hyung-Jung Kim)

1970년 9월 25일 생

1993년 2월 : 한양대학교 전자
공학과 졸업(공학학사)

1995년 8월 : 한양대학원 전자
공학과 졸업(공학석사)

1995년 8월~현재 : 한국전자통신연구원 부호화기
술연구팀 연구원

주관심분야 : 이동통신, 음성신호처리, 적응신호처리



윤 병 식(Byung-Sik Yoon)

1967년 10월 31일 생

1990년 2월 : 경북대학교 전자
공학과 졸업(공학학사)

1992년 2월 : 경북대학원 전자
공학과 졸업(공학석사)

1992년 1월~현재 : 한국전자통신연구원 부호화기
술연구팀 선임연구원

주관심분야 : 이동통신, 음성신호처리, 영상신호처리



최 송 인(Song-In choi)
1957년 1월 26일 생
1982년 2월 : 광운대학교 응용
전자공학과 졸업(공학학사)
1987년 2월 : 광운대학원 전자계
산기공학과 졸업(공학석사)
1982년 7월~현재 : 한국전자통신연구원 부호화기술
연구팀 책임연구원
주관심분야 : 이동통신, 음성신호처리, 영상신호처리



김 재 원(Jae-Won Kim)
1986년 2월 : 경북대학교 전자
공학과 졸업(공학학사)
1988년 2월 : 경북대학교 대학원
전자공학과 졸업(공학석사)
1991년 3월~현재 : 한국전자통신
연구원 부호화기술연구팀 선임연구원
1996년 3월~현재 : 충북대학교 정보통신공학 박사과정
*주관심분야 : 디지털신호처리, 음성처리, 디지털 이동통신