

# 분산펄스와 랜덤 코드북을 이용한 CELP 음성 부호화기

황 윤 성, 문 인 섭\*, 이 행 우\*\*, 김 중 교  
전북대학교 전자정보공학부  
조선이공대학 정보통신과\*  
남서울대학교 전자정보통신공학부\*\*  
전화 : (063) 272-1177 / 팩스 : (063) 270-2400

## A CELP Speech Coder Using Dispersed-Pulse and Random Codebook

Yoon-Seong Hwang, In-Seob Moon\*, Haeng-Woo Lee\*\*, Chong-Kyo Kim  
Div. of Electronics and Information Engineering, Chonbuk National University  
Dept. of Information and Communication, Chosun College of Science & technology\*  
Div. of Electronics and Information Communication Engineering, NamSeoul University\*\*  
E-mail : yshwang@ssplab.chonbuk.ac.kr

### Abstract

This paper presents dispersed-pulse and random codebook for CELP coder. This coder operates on speech frames of 20ms and generates an excitation vector by convoluting dispersion vectors with signed pulses in an algebraic codevector. The improvement of pulse-based fixed codebook is performed at a low bit rate. A high performance fixed-codebook consists of a partial algebraic codebook and a random codebook in unvoiced and stationary noise regions. The proposed CELP coder is quantized with 4kb/s and is compared with G.729 (8kb/s CS-ACELP). Subjective testing shows better quality than reference coders under some background noise conditions.

### 1. 서론

저 전송률에서 높은 음질을 얻기 위한 음성부호화 연구는 무선통신 시스템에서 가장 중요한 분야 중에

하나이다. 지금까지 제안된 낮은 전송률 음성부호화기는 크게 CELP(code excited linear prediction)형의 분석-합성 방법(analysis-by-synthesis:AbS) 과 하모닉(harmonic) 부호화 방법으로 나눌 수 있다.[1] 보통 4.8kb/s 이상에서는 분석-합성 방법이 주로 적용되어 왔으며, 2.4kb/s 이하에서는 하모닉 부호화 방법이 주를 이루어 왔다.

CELP 부호화기는 LPC 분석, 피치(pitch) 탐색, 고정 코드북(fixed codebook) 탐색 과정으로 구성되는데, 고정 코드북 구조에 따라 여러 방식의 부호화기가 제안되었다.[2] 부호화기의 성능과 계산량은 고정 코드북의 구조에 따라 여러 형태로 나타나는데, 대수 코드북을 사용하는 경우를 ACELP(algebraic CELP)방식 부호화기라고 부른다.[3]

이는 코드북 검색 절차가 효과적이며, 코드벡터 저장을 위한 메모리를 요구하지 않는 특징이 있다. 그러나 4kb/s보다 낮은 전송률에서는 부호 펄스들의 수가 충분하지 않아 통화음질(toll-quality)을 얻기가 힘들다.

본 논문에서는 고정 코드북에 사용되는 대수 코드북의 탐색절차를 향상시키고자 1998년 Matsushita에서 제안한 MDP-CELP(multi-dispersed-pulse CELP)를 기본으로하여 특히, 무성음 및 고정잡음 환경하에서

음질개선을 위해 부분 분산펄스 코드북과 랜덤(random) 코드북을 혼합하는 방식을 제안했다.[4]

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 일반적인 대수적 코드북 검색법 및 분산펄스 코드북 구조를 살펴보고, 3장에서는 랜덤 코드북을 이용한 성능개선을 제시하고, 4장에서는 모의실험 및 주관적 음질에 대해서 언급한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 일반적인 대수적 코드북

### 2.1 일반적인 대수적 코드북 구조

대수적 코드북은 가중된 입력신호와 가중화 된 합성음 사이의 MSE(mean square error)를 최소로 하는 펄스위치를 선택한다. 코드북 벡터는 몇 개의 영이 아닌 펄스들로 구성되며, 크기는 +1 또는 -1을 가진다.

이 때 펄스의 위치는 코드북 구조에 의해 제한되며, 성능도 코드북 구조에 따라 달라진다. 일반적으로 펄스의 개수가 많을수록 성능은 향상되나 펄스의 위치를 정하기 위한 계산량이 크게 증가한다. 일반적인 대수적 코드북 탐색도는 그림 1과 같다.

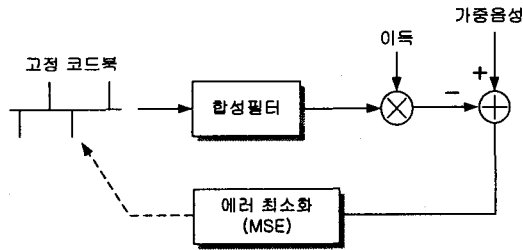


그림 1. 일반적인 대수적 코드북 탐색도

### 2.2 분산펄스 코드북 구조

분산펄스 코드북은 저 전송율에서 ACELP 부호화기의 고정 코드북을 향상시키기 위해 설계되었다. 일반적인 대수적 코드북 벡터는 몇 개의 영이 아닌 펄스들만을 포함한 반면, 분산펄스 코드북 벡터는 몇 개의 분산펄스들을 포함한다. 각각의 펄스들은 형태벡터(shape vector) 즉 분산벡터들로 구성된다.

기본적인 구조는 그림 2와 같다.

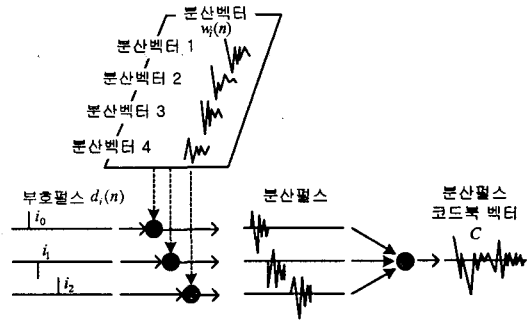


그림 2. 분산펄스 코드북 벡터

그림 2에서 대수적 코드북의 부호펄스들은 아래와 같이 표현된다.

$$d_i(n) = s_i \times \delta(n - p_i) \quad (1)$$

$$\begin{cases} n : \text{샘플 수,} & i : \text{트랙 수} \\ p_i : \text{펄스 위치,} & s_i : \text{부호(+1/-1)} \end{cases}$$

각각의 부호펄스들은 각 트랙에서 분산벡터  $w_i(n)$ 와 컨벌루션되고 고정코드북 벡터(여기벡터)  $C$ 를 만들기 위해 더해진다.

$$C = \sum_{i=1}^I W_i d_i \quad (2)$$

$$\begin{cases} W_i : w_i(n) \text{의 컨벌루션 매트릭스} \\ d_i : d_i(n) \text{의 벡터, } I : \text{트랙 수} \end{cases}$$

이러한 분산벡터들은 미리 훈련되어지고 저장되며 부호펄스들의 에너지를 분산시켜 ACELP 부호화기의 성능을 개선할 수 있다. 그림 3은 분산벡터의 한 예이다.

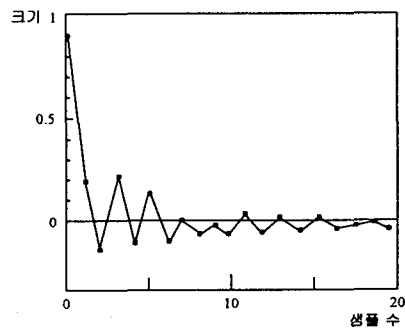


그림 3. 길이가 20인 훈련된 분산벡터

이러한 분산펄스 코드북 구조를 가진 대표적인 예로 MDP-CELP 부호화기를 들 수 있다. 20ms의 음성 프레임에서 동작되며 두 개의 부프레임으로 나뉘어진다. 매 부프레임마다 10차 선형예측(linear prediction:LP)

## 분산펄스와 랜덤 코드북을 이용한 CELP 음성 부호화기

분석이 수행되고 두 번째 부프레임에서 LP 계수들이 양자화 된다. 모드 결정은 유성음과 무성음에 따라 달라진다. 분산펄스 코드북과 적응 코드북으로부터 얻어진 여기벡터들은 분석-합성방법을 통해 MSE를 최소화 하는데 사용된다.

4개의 전송부호는 LPC(L), 적응코드북 인덱스(A), 분산펄스 코드북 인덱스(S) 그리고 이득 코드북 인덱스(G)이다.

기본적인 인코더 구조는 그림 4와 같으며, 비트할당은 표 1과 같다.

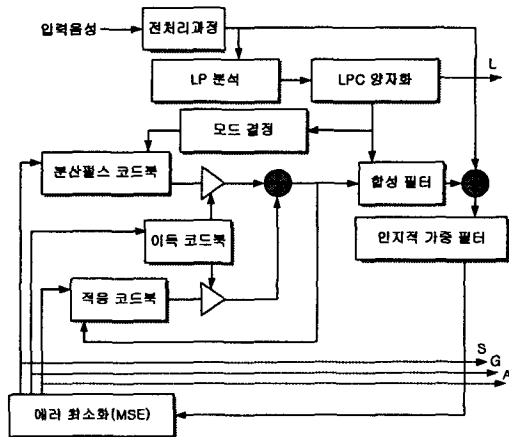


그림 4. MDP-CELP의 인코더 구조

표 1. MDP-CELP의 비트할당

파라미터	비트/프레임
LPC(LSF)	20
적용 코드북	14(8+6)
분산펄스 코드북	32(16+16)
이득 코드북	14(7+7)
합 계	80

### 3. 개선된 코드북 구조

#### 3.1 랜덤 코드북

랜덤 코드북은 16개의 영이 아닌 펄스들로 구성된 코드북 벡터를 생성한다. 펄스 크기는 +1 또는 -1이며, 각각의 펄스들은 결코 다른 펄스들과 겹치지 않는 특징 때문에 코드북 벡터의 에너지는 부프레임 전체에 걸쳐져 있다. 기본적인 구조는 그림 5와 같다.

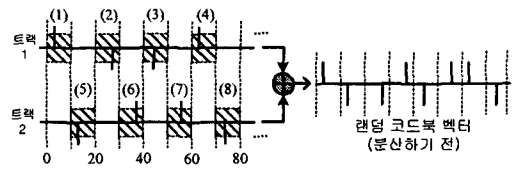
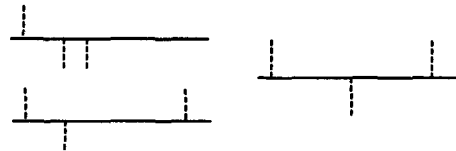


그림 5. 랜덤 코드북 구조(8개 펄스)

실험에 의하면 적어도 2개의 펄스가 서로 근접한 코드북 벡터들이 대수적 코드북에서 자주 선택되어진다는 것을 알 수 있다.[5] 이러한 제한이 유성음 영역의 대수적 코드북에 부과되면 그림 6(a)와 같은 벡터들만이 생성된다. 이러한 제한은 대수적 코드북에서 생성되는 엔트리(entry) 수를 줄이기 때문에 전체 대수적 코드북 엔트리 수는 일정하게 유지된다.

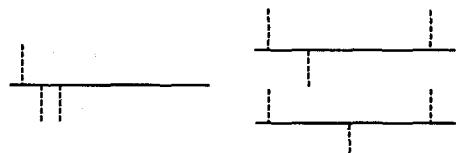
한편, 그림 6(b)와 같은 코드북 벡터들은 랜덤 코드북에서 생성된 벡터들로 대체된다.



(a) 가능한 벡터      (b) 불가능한 벡터

그림 6. 랜덤 코드북의 적용(유성음)

특히, 무성음이나 고정잡음 영역을 살펴보면 유성음 영역보다 랜덤 코드북 엔트리들이 증가하며, 더 많은 제한조건을 하면 그림 7(a)처럼 모든 3개의 펄스들이 서로 근접한 코드북 벡터들만을 생성한다.



(a) 가능한 벡터      (b) 불가능한 벡터

그림 7. 랜덤 코드북의 적용(무성음 또는 고정잡음)

#### 3.2 모드결정 방법

각 영역에 대한 랜덤 코드북의 비율은 모드결정 방법에 따라 달라진다. 양자화한 LSF(line-spectrum frequency)를 이용하여 고정잡음, 무성음 그리고 유성음 영역을 분별한다. 이러한 모드결정은 과거와 현재의 양자화 LSF값만을 이용하기 때문에 추가적인 모드 정보를 전송할 필요가 없다.

본 논문에서는 MDP-CELP의 성능 개선을 위해 부분 분산펄스 코드북과 랜덤 코드북을 혼합하는 방법을 제안한다. 기존의 방법은 분산펄스를 유성음/무성음 구분없이 적용한 반면 제안한 방법은 모드결정에 따라 유성음/무성음을 구별한 랜덤 코드북을 적용하는 방법을 사용하였다. 이를 통해 대수적 코드북의 엔트리를 줄이는 효과를 가져왔다.

#### 4. 실험 및 성능평가

본 논문에서는 4kb/s MDP-CELP의 주관적 음질검사를 위해 잡음이 없는 환경과 다양한 잡음이 있는 환경에서 실험을 하였다. 성능 평가는 합성음의 청취를 통해 주관적으로 평가하는 MOS(mean opinion score)를 사용하였다. 실험에 사용된 음성샘플들은 20대 남성 및 여성화자에 의해 발음된 아래와 같은 3개의 문장을 사용하였다.[6]

배경잡음으로는 ITU-T 4kb/s 음성 부호화기 요구 사항에 따라 차 잡음(15dB), 핏솔소리(20dB), 수다잡음(30dB) 3가지를 사용하였다.[7]

- ① /여기는 음성처리연구실입니다/
- ② /인터넷은 많은 정보를 준다/
- ③ /전주에는 전북대학교가 있습니다/

그림 8은 주관적 음질검사 결과이다. 랜덤 코드북을 이용한 MDP-CELP 부호화기가 MOS측면에서 약 1.08 향상되었음을 알 수 있었다.

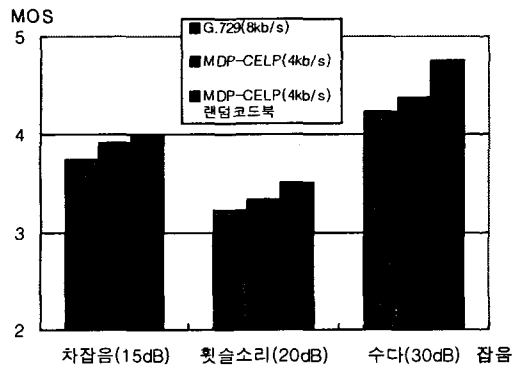


그림 8. 잡음별 MOS 결과

#### 5. 결론

본 논문에서는 분산펄스 코드북을 기반으로 랜덤 코드북을 이용한 4kb/s MDP-CELP의 성능향상에 관한

연구를 수행하였다. 적어도 2개의 펄스가 서로 근접한 코드북 벡터들이 대수적 코드북에서 자주 선택된다는 사실을 바탕으로 이를 랜덤 코드북으로 대체하는 방법을 시도하였다. 특히 무성음 또는 고정잡음 영역에서의 대체율이 높아 대수적 코드북의 엔트리를 줄일 수 있었다.

음질검사를 실시한 결과, 주관적 음질에서 약 1.08 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] M. R Schroeder, B. S. Atal, "Code-Excited Linear Prediction (CELP) High-Quality Speech at Very Low Bit Rates," *IEEE Proc. Int. Conf. Acoust. Speech and Signal Proc.*, pp937-940, 1985.
- [2] P. Kroon and E.F. Deprettere, "A class of analysis-by-synthesis predictive coder for high quality speech coding at rates between 4.8 and 16kb/s," *IEEE J. Select. Areas Commun.*, vol. 6, no. 2, pp.353-363, Feb. 1998.
- [3] J. P. Adoul, P. Mabilieu, M.Delpart, and S. Morissette, "Fast CELP Coding on Algebraic Codes," *IEEE Proc. ICASSP'87*, pp.1957-1960, Mar., 1987.
- [4] Matsushita Electric Industrial Co. Ltd., High Level Description of Proposed 4kb/s Speech Coder and the Qualification Test Results, Feb. 1998.
- [5] H. Ehara, K. Yasunaga, K. Yoshida, and T. Morii, "An improved low-bit-rate speech coding based on small number pulse excited CELP", Technical Report of IEICE, Vol. 99, No. 297, Sept. 1999, pp.15-21
- [6] 이행우, "잡음환경에서 CS-ACELP 음성부호화기의 음질개선에 관한 연구," 전북대학교 박사학위논문, 2001.
- [7] 윤대회, 최용수, "국내의 저전송률 음성부호화 연구 동향," 제 13회 음성통신 및 신호처리 워크샵, pp.362, 1996년 8월.