

論文96-33B-3-15

CDMA 디지털 셀룰라용 음성 부호화기(QCELP)의 복잡도 감소 알고리즘

(Complexity-Reduction Algorithm of Speech Coder (QCELP) for CDMA Digital Cellular System)

李寅誠 *

(Insung Lee)

요약

본 논문에서는 CDMA 디지털 이동통신 시스템에서 사용하고 있는 음성 부호화기(QCELP)에서 아무런 음질 저하없이 계산량을 줄이는 방법을 제시한다. 많은 계산량이 요구되는 피치 파라미터와 코드북 파라미터 검색과정에서 적응 코드북과 여기 코드북의 순환적인 구조 특성을 이용하여 회귀적으로 에너지값을 계산함으로써 많은 계산량을 줄일 수 있었다. 또한 여기 코드북은 많은 영의 성분으로 구성되어 있는데 이러한 특징을 이용하여 에너지값 계산시 복잡도를 줄일 수 있었다. 4.2,1 kbps와 같이 낮은 전송률에서 부프레임의 크기가 증가할수록 계산량 감소율은 더욱 증가한다.

Abstract

In this paper, the complexity reduction method for QCELP speech coder(IS-96) without any performance degradation is proposed for the vocoder of CDMA digital cellular system. The energy terms in pitch parameter search and codebook search routines that require large computations are calculated recursively by utilizing the overlapped structure of code vectors in adaptive codebook and excitation codebook. The additional complexity reduction in the codebook search routine can be achieved by using a simple form in calculation of the energy term when the initial codebook value is zero. In the case of lower transmission rates such as 4.2,1 kbps, the complexity reduction by recursive calculations of energy term is increased.

I. 서론

현재 사용되고 있는 아날로그 이동통신 시스템의 가입자 용량의 제한성을 해결하기 위해 디지털 이동통신 시스템의 개발이 전세계적으로 활발히 이루어지고 있다. 이런 디지털 이동통신 시스템에서 음성신호의 디지털 변환과 전송 데이터량을 줄이기 위해 여러 음성 부호화 기술이 사용되어지고 있다. 디지털 이동통신 시

템에서 음성 부호화 방식은 주파수 사용 효율을 높이기 위해 낮은 전송률에서 고품질의 음성 서비스가 가능하여야 하며, 이동통신 채널 환경에 강인하여야 하고 적절한 복잡도를 갖어 실시간 처리가 가능하여야 한다. 현재 TDMA에 근거한 방식으로 유럽의 13 kbps 전송률을 갖는 RPE-LTP(Regular Pulse Excited Long Term Prediction)^[1]와 북미와 일본에서 각각 채택된 8 kbps와 6.7 kbps에서 동작하는 VSELP^[2]가 표준안으로 확정된 상황이다. ITU-T에서도 8 kbps에서 toll quality 음질을 보이는 음성 부호화기의 표준화 과정을 진행중인데 거의 마지막 단계에 이르고 있어 곧 발표될 예정이다^[3]. 본 논문에서는 미국

* 正會員, 忠北大學校 電波工學科

(Dept. of Radio Engineering, Chungbuk National University)

接受日字: 1994年10月26日, 수정완료일: 1996年2月9日

QUALCOMM에 의해 제안되어 현재 한국, 미국의 CDMA 디지털 이동통신 시스템에서 사용하고 있는 QCELP 음성 부호화기^[4]의 성능을 분석하고 코드북 및 피치 탐색시 복잡도를 줄이는 알고리즘을 제시한다.

QCELP 알고리즘은 CDMA방식에 적합하도록 음성 신호의 에너지에 따라 4개의 전송률(8 kbps, 4 kbps, 2 kbps, 1 kbps)로 변하는 가변전송률을 갖는 CELP (Code Excited Linear Prediction)형태의 부호화 방식이다^[5]. 즉 전송률에 따라 각 파라미터에 할당되는 비트수와 갱신률을 달리한다. CELP 형태의 부호화기는 4.8 kbps 이상의 전송률에서는 좋은 음질을 제공하지만 많은 계산량을 요구한다. 특히 이러한 계산량의 대부분은 분석/합성(Analysis-by-Synthesis) 구조에 기인한 피치 및 여기 코드북 파라미터의 페루프 검색에 사용되어진다. 실제로 QCELP 알고리즘을 AT&T사의 DSP1616나 TI사의 TMS320C50 DSP칩을 사용하여 수행시에도 계산량의 80% 이상은 페루프 방식의 피치 및 코드북 파라미터 검색에 사용되어진다. QCELP 알고리즘은 코드북 탐색의 계산량과 코드북 저장 메모리량을 줄이기 위해 128개의 값을 갖는 중복된 stochastic 코드북을 사용한다^[6]. 코드북은 101개의 영의 값을 갖는 요소와 27개의 영이 아닌 요소로 구성된다. 이런 코드북의 사용은 합성필터의 출력신호를 얻을때 길쌈(convolution)과정에서 여기(excitation) 코드벡터의 순환적인(recursive) 성질과 77% 영의 값을 갖는 코드벡터의 특성을 이용하여 계산량을 줄일 수 있다.

피치 파라미터 및 코드북 검색 과정에서 최적의 코드북 인덱스나 피치 지연을 찾기 위해 길쌈된 출력 신호의 에너지값과 상호 상관값을 계산이 필요하다. QCELP 알고리즘(TIA IS-96)은 이러한 값들의 계산을 단순히 부프레임의 길이만큼 곱하기 합을 반복하여 수행하였기 때문에 이 부분의 계산이 코드북 및 피치 탐색시 계산량의 대부분을 차지하고 있다. 따라서 본 논문에서는 피치 및 코드북 파라미터 검색시 합성필터 출력신호의 에너지값을 계산하는데 있어 합성필터 출력신호의 순환적인 성질을 이용하여 에너지값을 회귀적으로 계산함으로써 계산량을 줄이는 방법을 제시한다. 또한 코드북 파라미터 검색시에는 코드북의 영의 성분을 이용하여 간략한 에너지값 계산 방법을 사용함으로써 계산량을 줄이는 방법을 보여준다. 계산량이 줄어진 검색 방법은 종전의 방법과 곱하기 수를 비교하

여 성능 개선을 비교하였다.

II. QCELP 알고리즘

QCELP 음성 부호화 방식의 가장 큰 특징은 음성 신호의 에너지량에 따라 전송률이 변하는 가변 전송률 부호화 방식이다. 이 방식은 양방향 통신방식인 통화 시스템에서 묵음시간이 전체 통화시간의 60-70% 정도를 차지한다는 점을 이용하여 음성 품질의 저하없이 낮은 전송률로써 음성신호를 부호화할 수 있다는 장점이 있다^{[7][8]}. 이는 CDMA 디지털 이동통신 시스템에서 채널 용량을 약 1.7배 늘려주는 중요한 역할을 한다. 데이터 전송률은 한 프레임의 음성신호 에너지 값을 주변 잡음의 양에 따라 결정되는 3종류의 문턱값과 비교함으로써 결정된다. 전송률에 따라 각 파라미터에 할당되는 비트수와 갱신률을 달리한다. 각 전송률에 따른 비트 할당은 그림 1에 나타낸다.

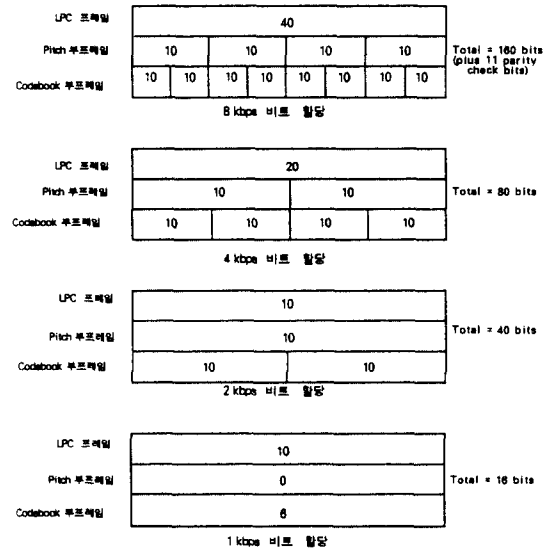


그림 1. 각 전송률에 따른 부프레임의 크기 및 비트 할당

Fig. 1. Frame Length and Bit Allocation of QCELP Coder at Each Rate.

QCELP 음성 부호화 방식의 인코딩시 구조는 그림 2와 같이 입력 신호는 8 kHz로 샘플링한 다음 160 샘플을 갖는 20 ms 프레임으로 나누어진다. 자기상관 함수 방법을 이용하여 10차 LPC 계수를 계산하고 이렇게 결정된 LPC 계수는 LSP(Line Spectrum Pairs) 값으로 변환 후 각 전송률에 할당된 비트로 양

자화된다. 각 피치와 코드북 부프레임에서 LSP 값은 현재와 바로 전 프레임의 LSP 값들을 보간함으로써 얻어진다. QCELP 알고리즘은 분석/합성 부호화 방식으로 입력 음성신호와 합성 음성신호를 비교하여 그 오차를 줄이는 방향으로 음성신호를 부호화한다.

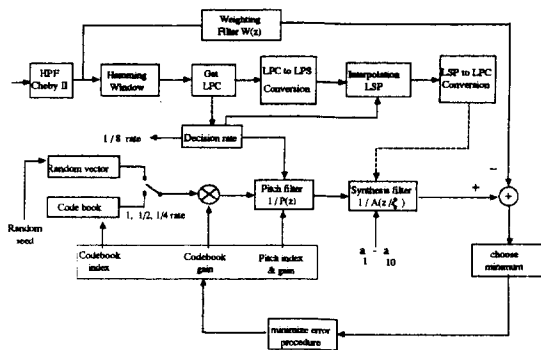


그림 2. QCELP 부호화 방식의 인코딩 과정
Fig. 2. Encoding Procedure of QCELP Co-der.

III. 복잡도를 줄인 피치 파라미터 검색

음성신호의 피치 주기마다 존재하는 상관성을 모델링하기 위해 피치 합성필터를 사용하는데 일반적으로 1-3개의 탭을 사용한다. 순방향 적응(forward adaptation) 부호화 방식은 3개의 탭 계수를 전송하는데 많은 부정확이 필요하기 때문에 일반적으로 하나의 탭을 갖는 합성 필터를 사용한다. 하나의 탭을 갖는 피치 합성필터는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\frac{1}{P(z)} = \frac{1}{1 - b_2 z^{-1}} \quad (1)$$

여기서 QCELP 부호화 방식은 피치 지연 L 은 17에서 143까지의 값을 갖도록 정의하였고 피치이득 b 는 0에서 2 사이의 값을 갖도록 정의하였다. 피치 파라미터 값들을 검색하기 위한 과정은 그림 3에 나타나 있다. 합성 필터의 입력 신호 벡터는 각 부프레임마다 예측한 다른 피치주기를 사용하여 코드 벡터가 적응적으로 변하기 때문에 피치 파라미터 검색을 적응 코드북 검색이라고도 부른다. 입력 벡터 $x(n)$ 는 입력 음성벡터에서 단기(short-term) 합성필터의 ZIR(Zero Input Response)값을 뺀 신호를 가중필터(weighting filter)에 통과한 벡터이다. 가중필터는 양자화 잡음을 줄이기 위해 사용되며 다음과 같이 주어진다.

$$W(z) = \frac{A(z)}{A(z/\delta)} \quad (2)$$

여기서 $A(z)$ 는 포만트 예측필터이고 δ 는 가중 정도를 결정하는 계수로서 0.8로 주어진다.

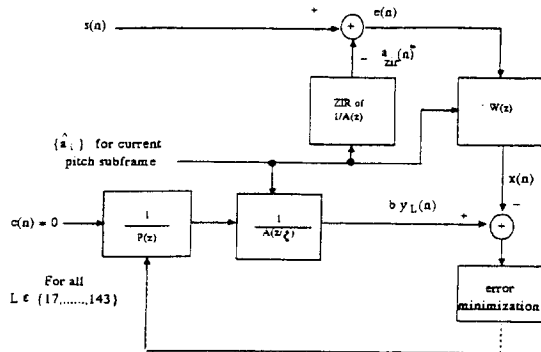


그림 3. 분석-합성 피치 파라미터 검색 과정
Fig. 3. Analysis-by-synthesis Procedure for Pitch Parameters Search.

각 피치 부프레임에서 피치 파라미터 검색(적응 코드북 검색)은 128개의 후보 피치 지연과 8개의 후보 피치 이득을 사용하여 합성된 출력신호를 만들어 내고 다음의 오차 값을 최소화하는 피치 지연과 피치 이득을 검색함으로써 이루어진다.

$$E_L = \sum_{n=0}^{L-1} (x(n) - by_L(n))^2 \quad (3)$$

식(3)을 최소화하는 과정은 다음 식을 최소화하는 것과 같다.

$$-2bE_{xyL} + b^2 E_{yyL} \quad (4)$$

식(4)에서 $E_{xyL} = \sum_{n=0}^{L-1} x(n)y_L(n)$, $E_{yyL} = \sum_{n=0}^{L-1} y_L(n)y_L(n)$ 과 같이 정의되어진다. 에너지값 E_{xyL} 과 상호상관값 E_{yyL} 을 계산하기 위해 합성음성 신호 $y_L(n)$ 이 필요한데, 이 값을 예측된 피치 지연 L 을 갖는 피치 합성필터 출력값 $b_L(n)$ 을 가중 포만트 합성필터를 통해 얻을 수 있다. 무한 임펄스 반응을 갖는 가중 포만트 합성필터는 보통 20 샘플을 초과하면 매우 작은 값을 갖기 때문에 길쌈과정에서 계산량을 줄이기 위해 임펄스 응답 길이 N_b 를 20 샘플로 정한다. 이 합성음성을 얻는데 소요되는 계산량은 가중 합성필터의 임펄스 응답을 20 샘플로 하고, 필터 입력신호에서 $b_L(n) = b_{L-1}(n-1)$ 특성을 이용하여 줄일 수 있다.

가중 합성필터 출력은 다음과 같이 주어진다.

$$y_L(n) = \begin{cases} h(0)p(-L) & n = 0 \\ y_{L-1}(n-1) + h(n)p(-L) & 1 \leq n < N_h \\ y_{L-1}(n-1) & N_h \leq n < L_p \end{cases} \quad (5)$$

합성신호 계산후 에너지값 E_{yyL} 과 상호상관값 E_{xyL} 을 계산하여야 하는데 많은 계산량이 요구된다. 종전의 에너지값 E_{yyL} 계산시 직접적인 계산 방법을 사용하여 많은 계산량을 사용하였으나 본 논문에서는 에너지 계산시에도 가중 합성필터 출력의 순환적인(recursive) 특성을 이용하여 계산하여 계산량을 줄일 수 있다. 에너지값은 다음과 같이 구하여질 수 있다.

$$E_{yyL} = \sum_n^{N_h-1} y_L^2(n) + S_L(n) \quad (6)$$

여기서 $S_L = S_{L-1} + y_L^2(N_h) - y_{L-1}^2(L_p - 1)$ 과 같다. 피치 부프레임의 샘플수 L_p 는 각 8 kbps, 4 kbps, 2 kbps 1 kbps 전송률에서 40, 80, 160, 160 샘플이므로 가중 합성필터 임펄스 응답의 길이 N_h 를 20으로 하였을때 계산량은 상당히 줄어들 수 있다. 이러한 방식의 에너지값 계산은 음질에는 아무런 영향을 주지않고 기존의 에너지값 계산시보다 8 kbps에서 45%, 4 kbps에서 70%, 2 kbps에서 85% 가량의 계산량을 줄일 수 있다. 이와같은 에너지값 계산 방법을 사용시 전체적 계산 감소율은 표1에 나타나 있다.

표 1. 복잡도를 줄인 피치, 코드북 검색 알고리즘의 계산량 감소율

Table 1. Complexity Reduction Ratio By Using Complexity-Reduced Pitch and Codebook Search Method

전송률	피치 검색시 감소율	코드북 검색시 감소율	전체적 감소율
8 kbps	22%	32%	23%
4 kbps	35%	40%	32%
2 kbps	42%	45%	37%

IV. 복잡도를 줄인 여기(Excitation) 코드북 검색

여기 코드북은 음성 신호에서 피치 성분을 제거한 후 잔차 신호를 모델링하기 위해 사용되는데 검색시 계산량을 줄이고 코드북 저장을 위한 메모리를 줄이기

위해 여러 구조로 구성되어질 수 있다. 여기 신호 코드는 기본 벡터의 합으로 표현될 수 있고^[2] 일정한 간격으로 구성된 펄스열로 코드를 구성할 수도 있다^{[11][13]}. QCELP 알고리즘은 코드북 검색의 계산량과 코드북 저장 메모리량을 줄이기 위해 128개의 값을 갖는 중복된 stochastic 코드북을 사용한다. QCELP 부호화기의 코드북은 101개의 영의 값을 갖는 요소와 27개의 영이 아닌 요소로 구성된다. 128개의 값을 갖는 코드북에서 각 전송률에 따라 벡터 크기가 다른 128개의 여기 코드벡터가 만들어진다. 현재 인덱스의 여기 코드벡터는 바로 전 인덱스 코드벡터의 요소들을 한자리씩 이동하고 마지막 성분만 새로운 값으로 채워짐으로써 구성된다. 여기 코드북 검색 과정은 그림 4에 보여진다.

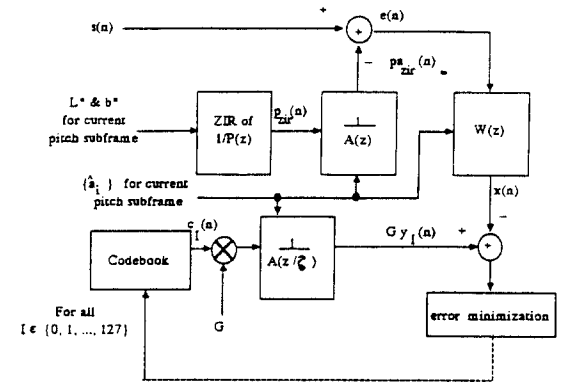


그림 4. 분석-합성 코드북 파라미터 검색 과정
Fig. 4. Analysis-by-synthesis Procedure for Codebook Parameters Search.

코드북의 순환적인 특성때문에 가중 합성필터 출력은 다음과 같이 간단하게 얻을 수 있다.

$$y_L(n) = \begin{cases} h(0)c((-L) \bmod 128) & n = 0 \\ y_{L-1}(n-1) + h(n)c((-1) \bmod 128) & 1 \leq n < N_h \\ y_{L-1}(n-1) & N_h \leq n < L_p \end{cases}$$

또한 $c((-L) \bmod 128) = 0$ 일때 합성필터 출력은 더욱 간단하다.

$$y_L(n) = \begin{cases} 0 & n = 0 \\ y_{L-1}(n-1) & 1 \leq n < L_c \end{cases}$$

코드북 파라미터 검색시에도 피치 파라미터 검색시와 같이 합성필터 출력의 에너지값과 상호상관값을 계산하여야 한다. 에너지값 E_{yyL} 의 계산은 적응 코드북

검색시와 같이 순환적으로 계산되어질 수 있다. 코드북 부프레임 크기 L_c 가 합성 필터의 임펄스 응답 샘플수 N_k 보다 클때 복잡도는 감소될 수 있다. N_k 를 20으로 하였을때 코드북 부프레임 크기가 각각 40, 80 160 샘플인 4 kbps, 2 kbps, 1 kbps의 전송률일때 에너지값 계산량을 줄일 수 있다.

$$E_{yyl} = \sum_{n=0}^{N_k-1} y_l^2(n) + S_l(n)$$

여기서 $S_l = S_{l-1} + y_l^2(N_k) - y_{l-1}^2(L_c - 1)$ 과 같다. 피치 부프레임의 샘플수 L_c 는 각 4 kbps, 2 kbps, 1 kbps 전송률에서 40, 80, 160 샘플이므로 가중 합성 필터 임펄스 응답의 길이 N_k 를 20으로 하였을때 계산량은 상당히 줄어들 수 있다. 또한, 여기 코드북은 영의 성분을 77%(총 128 샘플중 101 샘플) 갖고 있는데 이와 같은 성질을 이용하면 많은 계산량을 줄일 수 있다. $c((-1) \bmod 128) = 0$ 일때 E_{yyl} 의 계산은 다음과 같이 간단한 형태로 된다.

$$E_{yyl} = E_{yyl-1} - Y_{l-1}^2(L_c - 1)$$

부프레임 샘플수 만큼의 곱하기 계산 대신에 한번의 곱하기만을 사용하여 에너지 값을 계산할 수 있다. 이 두가지 에너지값의 순환적인 계산은 직접적인 에너지값 E_{yyl} 의 계산시 보다 8 kbps에서 65%, 4 kbps에서 80%, 2 kbps에서 90%의 1 kbps에서 95%의 곱하기 계산량을 줄일 수 있다. 이와같은 에너지값 계산 방법을 사용시 전체적 계산 감소율은 표1에 나타나 있다.

V. QCELP 부호화기의 성능평가

QCELP 음성 부호화 방식의 성능을 평가하기 위해 8 kHz로 샘플링된 3개의 한국어 문장과 3개의 영어 문장을 사용하였고, 다음과 같다.

- 문장 1: 지금 거신 전화는 국번이 없거나 결번이오니 다시 확인후 걸어 주십시오. (여자)
- 문장 2: 올림픽은 전 인류의 축제입니다. (남자)
- 문장 3: 과학 기술은 경제 발전의 원동력이다. (남자)
- Sent 1: The pipe began to rust while new. (Female)

Sent 2: Oak is strong and also gives shade. (Male)

Sent 3: Thieves who rob friends deserve jail. (Male)

이 문장들에 대한 8 kbps 및 가변 전송률에서 SNR (Signal to Noise Ratio)과 SEGSNR(Segmental SNR)값과 가변 전송률 QCELP시 각 문장의 평균 전송률이 표2에 나타나 있다. 가변 전송률 QCELP시 평균 전송률은 7.1 kbps이었고 가변 전송률 QCELP의 SNR은 8 kbps 전송률에서의 값과 큰 차이가 없었고 SEGSNR은 약간 떨어짐을 볼 수 있다. 그러나, 청음 테스트에서는 두 전송률에서의 음질 차이를 거의 구별할 수 없었다.

표 2. QCELP 부호화기의 객관적 평가

Table 2. Objective Performances of QCELP Coder

	8 kbps QCELP SNR/ SEGSNR	Var. Rate QCELP SNR/ SEGSNR (전송률)
문장 1	15.38/ 12.04	15.41/ 11.13 (6.82 kbps)
문장 2	17.59/ 15.34	17.66/ 14.67 (6.96 kbps)
문장 3	13.57/ 12.72	13.76/ 12.37 (6.97 kbps)
Sent 1	13.93/ 12.52	13.17/ 10.94 (6.91 kbps)
Sent 2	10.88/ 9.52	11.02/ 8.79 (7.63 kbps)
Sent 3	12.88/ 12.45	12.05/ 11.47 (7.32 kbps)
평균	14.04/ 12.43	13.85/ 11.56 (7.10 kbps)

원음, 가변전송률 QCELP 음성 부호화기의 출력음성의 스펙트로그램은 그림5에 나타나 있다. QCELP 부호화기의 출력 음성은 원음을 충실히 잘 복원됨을 볼 수 있다 고 주파수 영역에서 약간의 왜곡을 발견할 수 있고 청음시에는 약간의 히스 잡음을 들을 수 있었다. QCELP 음성 부호화기의 출력 음성은 비교적 좋은 음질을 나타냈고, 6비트와 7비트 사이의 μ -law PCM 음질과 거의 비슷하였다.

IV. 결 론

QCELP 알고리즘을 수행시 계산량의 80% 이상은 피치 파라미터 검색과 코드북 파라미터 검색에 사용되어지고 있어 실시간 구현에 큰 어려움으로 나타나고 있다. CDMA 이동통신 시스템 음성 서비스 음성 표준안(IS-96)과 DSP 1616칩으로 실제 구현된 소스 프로

그램을 보더라도 계산량이 가장 많이 요구되는 피치 및 코드북 파라미터 검색 부분에서 계산량 감소 알고리즘이 적용되고 있지 않고 있다.

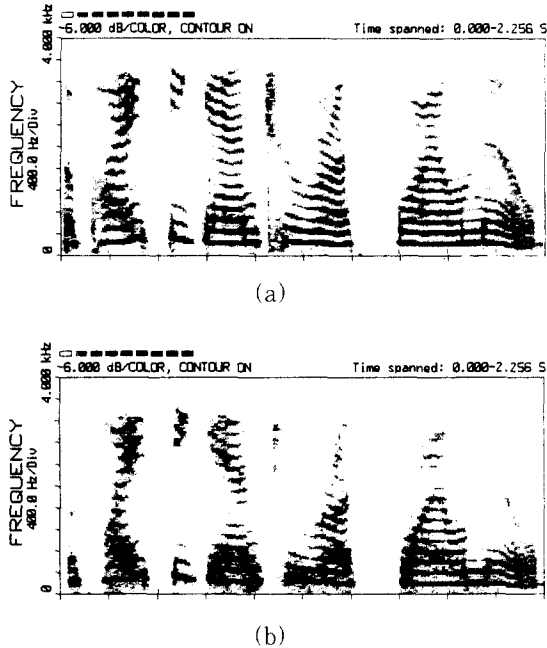


그림 5. QCELP 부호화기의 출력 음성 스펙트럼
 (a) 원음, (b) QCELP 부호화기 출력 음성

Fig. 5. Spectrograms of Reconstructed Output Signal by QCELP Coder
 (a) Original Speech (b) Reconstructed Output Speech of QCELP Coder.

따라서 본 논문은 피치 파라미터 검색과 코드북 파라미터 검색시 적응 코드북과 여기 코드북의 순환적인 구조 특성을 이용하여 효율적으로 에너지값 계산함으로써 계산량을 줄이는 방법을 제시하였다. 또한 여기 코드북에서 77%의 영의 성분을 갖는 특징을 이용하여 에너지값을 계산함으로써 곱하기량을 상당히 줄일 수 있었다. 이런 방법들은 직접적인 에너지값 계산보다 약 50% 이상의 곱하기량을 줄일 수 있었고 부프레임의 크기가 증가할수록 더욱 큰 계산량을 줄일 수 있었다. 이런 음성 부호화기의 복잡도 감소는 하나의 DSP 칩으로 음성의 인코딩/디코딩 뿐만 아니라 전송로에서 생기는 전송지연 때문에 발생하는 음성 잔향 제거 기능을 함께 통합하여 구현하는데 크게 기여할 수 있다. j소요되는 계산량의 감소는 휴대용 단말기의 전력 소모 감소에도 큰 도움이 되리라 생각되어진다.

참 고 문 헌

- [1] J. E. Natvig, "Evaluation of Six Medium Bit-Rate Codecs for Pan-European Digital Mobile Radio System," IEEE Journal on Selected Areas in Commun., vol-6, pp. 346-352, June 1988.
- [2] I. Gerson and M. A. Jasiuk, "Vector Sum Excited Linear Prediction (VSELP) Speech Coding at 8 kbps", in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Sig. Processing, pp. 461-464, Albuquerque, New Mexico, USA, Apr., 1990.
- [3] R. Salami, L. Adoul, S. Hayasi, P. Kroon, and Y. Shoham, "Description of the proposed ITU-T 8 KB/S speech coding standard", in Proc. IEEE Workshop on Speech Coding for Telecommunication, pp. 3-4, Annapolis, Maryland, USA, Sep., 1995.
- [4] QUALCOMM Inc., TIA/EIA IS-96 Interim Standard, "Speech service option standard for wideband spread spectrum digital cellular system, April, 1993.
- [5] M. R. Schroeder and B. S. Atal, "Code-Excited Linear Prediction (CELP): High-Quality at Low Bit Rates," in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Sig. Processing, pp. 937-940, Tampa, Florida, USA, Mar., 1985.
- [6] D. Lin, "Speech Coding using Efficient Pseudo-Stochastic Block Codes," in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Sig. Processing, pp. 1354-1357, Dallas, Texas, USA, Apr., 1987.
- [7] E. Paksoy, K. Srinivasan, and A. Gersho, "Variable Rate Speech Coding with Phonetic Segmentation," in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Sig. Processing, pp. II.155-II.158, Minneapolis, Minnesota, USA, Apr., 1993.
- [8] S. Wang, and A. Gersho, "Phonetically-based Vector Excitation Coding of Speech at 3.6 kbps," in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Sig. Processing, pp. 49-52, Minneapolis, Minnesota,

USA, April 27-30, 1993.

저 자 소 개



李寅誠(正會員)

1960년 6월 8일생. 1983년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1985년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학석사). 1992년 12월 Texas A&M University 전자공학과 졸업(Ph.D.). 1986년 5월 ~ 1987년 7월 한국통신 연구개발단 전임연구원. 1989년 9월 ~ 1992년 8월 Texas A&M University 연구조교. 1993년 5월 ~ 1995년 9월 한국전자통신연구소 이동통신기술연구단 선임연구원. 1995년 10월 ~ 현재 충북대학교 전자공학과 조교수. 주관심분야는 음성 및 영상 신호 압축, 이동통신, 적응 필터