

## CDMA 이동통신 시스템을 위한 개선된 QCELP 음성 부호화기(KQCELP)

正會員 李寅誠\*, 姜尙遠, 林明燮\*

## Improved QCELP(KQCELP) Algorithm for CDMA Digital Cellular System

In Sung Lee\*, Sang Won Kang, Myung Seob Lim\* Regular Members

## 要 約

본 논문에서는 QCELP 알고리즘을 근거하여 음질 개선 및 계산량 감소에 의해 개선된 새로운 가변 전송률 음성부호화 방식(KQCELP)을 제시한다. QCELP 알고리즘의 여러 구조중 개선된 부분들은 실제 음성 데이터에 학습화된 새로운 여기 코드북 변경, 개선된 LSP 양자화 방법, 코드북 이득 비트할당 변경, 계산량이 감소된 피치 및 코드북 파라미터 검색 루틴 등을 포함한다. 개선된 KQCELP 알고리즘은 기존의 QCELP보다 평균 1.1dB SNR과 0.8dB SEGSNR 증가를 얻을 수 있었고 계산량에 있어서도 약 20% 개선할 수 있었다.

## ABSTRACT

In this paper, an improved speech coder(KQCELP) based on the QCELP algorithm is proposed for the CDMA digital cellular network. The KQCELP algorithm is designed to improve the speech quality and to reduce the complexity of algorithm. The improved KQCELP algorithm includes the use of optimized excitation codebook by real speech data, the use of improved LSP quantization method, bit allocation change in LSP parameters and codebook gains, and complexity-reduced pitch and codebook search routines. The KQCELP algorithm showed the performance improvement of 0.8dB SEGSNR and 1.1 dB SNR and 20% complexity reduction over the conventional QCELP algorithm.

## 1. 서 론

현재 사용되고 있는 아날로그 이동통신 시스템의 가입자 용량의 제한성을 해결하기 위해 디지털 이동통신 시스템의 개발이 전세계적으로 활발히 이루어지

고 있다. 이런 디지털 이동통신 시스템에서 음성신호의 디지털 변환과 전송 데이터량을 줄이기 여러 음성 부호화 기술이 사용되어지고 있다.

디지털 이동통신 시스템에서 음성 부호화 방식은 주파수 사용 효율을 높이기 위해 낮은 전송률에서 고

\* 한국전자통신연구소 이동통신 기술연구단  
Mobile Communications Division, ETRI  
論文番號 : 94299  
接受日字 : 1994年 10月 28日

품질의 음성 서비스가 가능하여야 하며, 이동통신 채널 환경에 강인하여야 하고 적절한 복잡도를 갖추어 실시간 처리가 가능하여야 한다.

현재 TDMA(Time Division Multiple Access)에 근거한 방식으로 유럽의 13kbps 전송률을 갖는 RPE-LTP(Regular Pulse Excited Long Term Prediction)(1)와 북미와 일본에서 각각 채택된 8kbps와 6.7kbps에서 동작하는 VSELP(Vector Sum Excited Linear Prediction)(2)가 표준안으로 확정된 상황이다. 미국의 CDMA(Code Division Multiple Access)방식의 이동통신 시스템에서는 미국 Qualcomm사에 의해 제안된 QCELP(Qualcomm Code Excited Linear Prediction) 알고리즘을 사용하려 하고 있다.(3) 한국에서도 현재 CDMA 방식의 디지털 이동통신 시스템을 개발중에 있다. 본 논문에서는 QCELP 알고리즘을 근거하여 음질 개선 및 계산량 감소에 의해 개선된 부분들은 실제 음성 데이터에 학습화된 여기(Excitation) 코드북 사용, 개선된 LSP 양자화 방법, 코드북 이득 비트

할당 변경, 계산량이 감소된 피치 및 코드북 파라미터 검색등을 포함한다. 이러한 개선된 KQCELP 알고리즘은 기존의 QCELP보다 약 0.8dB SEGSNRR와 2dB 이상의 SNR 증가를 얻을 수 있었고 계산량에 있어서도 약 20% 정도 개선할 수 있었다.

## II. QCELP 알고리즘

QCELP 음성 부호화 방식의 가장 큰 특징은 음성신호의 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.(4)(5) 이는 CDMA 디지털 이동통신 시스템에서 채널 용량을 늘려주는 중요한 역할을 한다. 데이터 전송률은 한 프레임의 음성신호 에너지 값을 주변 잡음의 양에 따라 결정되는 3종류의 문턱값과 비교함

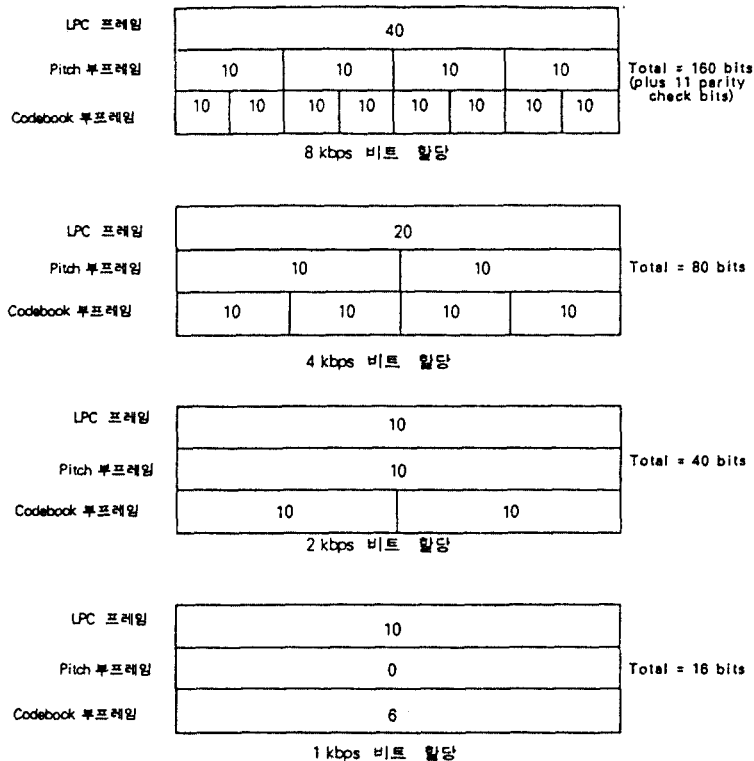


그림 1. 각 전송률에 따른 부프레임의 크기 및 비트할당

으로써 결정된다. 전송률에 따라 각 파라미터에 할당되는 비트수와 갱신률을 달리한다. 각 전송률에 따른 비트 할당은 그림 1에 나타낸다.

QCELP 알고리즘의 인코딩 과정은 그림 2에 나타나 있다. QCELP 음성 부호화 방식의 인코딩시 입력 신호는 8kHz로 샘플링한 다음 160 샘플을 갖는 20ms 프레임으로 나누어진다. 자기상관 함수 방법을 이용하여 10차 LPC 계수를 계산하고 이렇게 결정된 LPC계수는 LSP(Line Spectrum Pairs)값으로 변환 후 각 전송률에 할당된 비트로 양자화된다. 각 피치와 코드북 부프레임에서 LSP값은 현재와 바로 전 프레임의 LSP값들을 보간함으로써 얻어진다. QCELP 알고리즘은 분석/합성 부호화 방식으로 입력 음성신호와 합성 음성신호를 비교하여 그 오차를 줄이는 피치 파라미터와 코드북 파라미터를 검색하여 부호화한다.

### Ⅲ. 음성 데이터에 학습화된 여기 코드북

QCELP 알고리즘은 코드북 검색의 계산량과 코드북 저장 메모리량을 줄이기 위해 128개의 값을 갖는 겹쳐지는(Overlapped) Stochastic 코드북을 사용한다. [6] 코드북은 101개의 영의 값을 갖는 요소와 27개의 영이 아닌 요소로 구성된다. 현재 인덱스의 여

기 코드벡터는 바로 전 인덱스 코드벡터의 요소들을 한자리씩 이동하고 마지막 성분만 새로운 값으로 채워짐으로써 구성된다. 코드북 검색 과정은 그림 3에 보여진다.

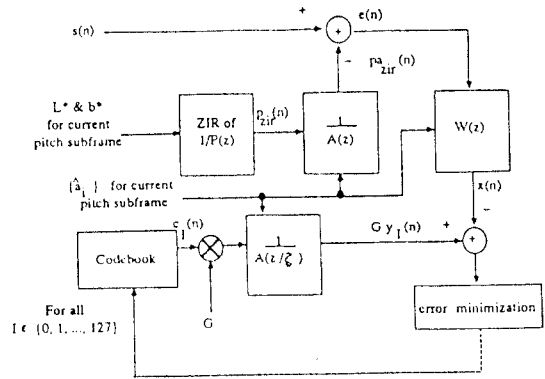


그림 3. 여기 코드북 검색 과정

QCELP 알고리즘은 가우시안 랜덤 발생기로부터 여기(Excitation) 코드북을 만들었기 때문에 실제 음성신호를 잘 표현하지 못하는 단점이 있다. 좀더 실제 음성에 잘 적응하기 위해 여기 코드북을 실제 한국어 음성 데이터에 학습화를 수행하였다. 여기 코드북 값들은 중복된 코드북 구조때문에 비선형 방정식을 최적화함으로써 코드북을 얻을 수 있다. 128개의 변수를 갖는 비선형 코스트 함수 F는 다음과 같이 주

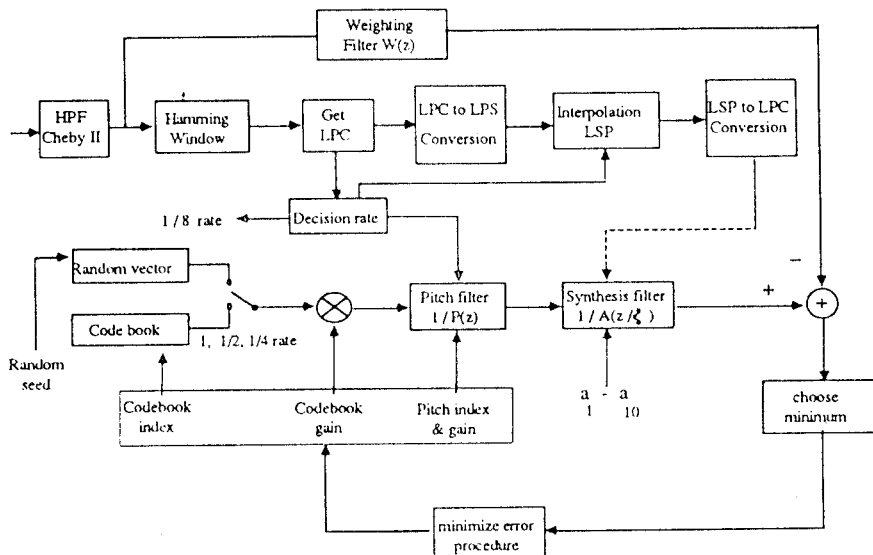


그림 2. QCELP 인코딩 과정

어진다.

$$F(c_1, c_2, \dots, c_{128}) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \|x(n) - G(n)y(n)\|^2$$

여기서  $G(n)$ 는 코드북 이득이고,  $y(n)$ 는 코드북 벡터를 합성필터에 통과한 합성음성 신호벡터이고  $x(n)$ 는 원하는 신호벡터를 나타낸다. 최적화 알고리즘은 코스트 함수  $F$ 를 최소로하는 코드북 변수  $c_1, c_2, \dots, c_{128}$ 를 반복적으로 찾음으로써 학습된 코드북을 얻을수 있다. 이를 위해 비선형 방정식 최적화 알고리즘으로 Quasi-Newton 방법이나 함수의 미분값을 구하지 않는 Powell 방법등을 사용할 수 있다. [7] 최적화하는 과정에서 코드북은 101개의 영의 성분을 갖는다는 제한을 두어 최적화를 수행하였다. 8kHz로 샘플링된 한국 음성 데이터를 사용하여 코드북 학습화 과정을 수행하였다.

학습화된 코드북과 본래의 QCELP 코드북의 사용시 가변 전송률에서 QCELP의 SNR과 SEGSNR의 값은 표 1에 나타나 있다. 학습화에 사용되지 않는 한국어 4문장, 영어 4문장을 사용하여 성능 비교를 수행하였다. 평균적으로 SNR과 SEGSNR이 한국어의 경우 1dB와 0.7dB 각각 개선되었다. 표 1에서 특히 주목되는 것은 비록 한국어에 코드북을 학습하였으나 영어에서도 좋은 음질을 갖는다는 것을 알 수 있는데 이는 비록 다른 언어로 학습될지라도 언어의 기본 요소는 서로 유사하기 때문에 이를 전혀 고려하지 않는 QCELP의 Stochastic 코드북보다는 좋은 성능을 보이는 것으로 생각되어진다. 당 연구실 내에서 8명의 참석자에 의해 이루어진 청취 테스트에서도 학습화된 코드북을 사용한 음성 부호화기가 훨씬 선명한 음질을 나타낸다는 결과를 보였다. 청취 테스트의 결과는 표 2에 나타나 있다. 또한 새로운 코드북은 실제 시험용 CDMA 이동통신 시스템(Roving Test System)에 적용하였다. 이 실험에서도 대부분의 사람들은 학습화된 코드북을 갖는 음성 부호화기가 나은 음질을 갖는다고 선택하였다.

표 1. 학습된 코드북과 Qualcomm 코드북의 SNR/SEGSNR

	Qualcomm 코드북		학습화된 코드북	
	SNR	SEGSNR	SNR	SEGSNR
한국어	15.60	12.87	15.99	13.56
영어	12.42	10.64	13.98	11.41

표 2. 두 코드북의 청취 테스트 결과

	Qualcomm 코드북	학습화된 코드북	같다
선호도	8.3%	47.2%	44.2%

#### IV. 개선된 LSP 양자화 방법 및 코드북 이득 비트 할당 변경

QCELP의 LSP 양자화하는 방법은 그림 4와 같이 프레임간 예측을 갖는 DPCM형태의 구조를 갖는 균일한 스칼라 양자화기를 사용한다. 다음 식들은 예측리를 갖는 QCELP의 DPCM 양자화기를 나타낸다.

$$B_i = \frac{0.5i}{11}$$

$$\tilde{\omega}_i(n) = \omega_i(n) - B_i$$

$$e_i(n) = \tilde{\omega}_i(n) - \omega_{p_i}(n)$$

$$\hat{e}_i(n) = Q^{-1}[Q_{\omega_i}[e_i(n)]]$$

$$\hat{\omega}_i(n) = \omega_{p_i}(n) + \hat{e}_i(n)$$

$$\omega_{p_i}(n) = 0.90625\hat{\omega}_i(n-1)$$

$$P_{\omega_i}(z) = 0.90625z^{-1}$$

$$i = 1, 2, \dots, p$$

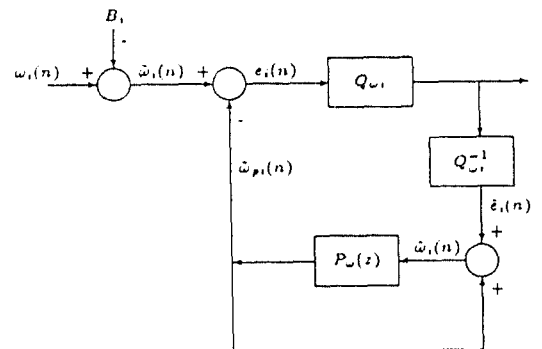


그림 4. LSP 양자화 인코딩 과정

본 연구에서는 LSP 파라미터는 포먼트(Formant) 필터의 안정성(Stability) 조건을 만족하기 위해서는 각 LSP 주파수는 순서적인 크기를 갖어야 한다는 LSP 파라미터의 순서화 특징을 이용한 양자화 방법을 사용한다. [8] 스칼라 양자화기에서 LSP 파라미터의 양자화는  $\omega_{10}$ 으로 시작하여 낮은 차수로 양자화된다.

이 방법을 DPCM-역방향 LSP 양자화기(DPCM-BW)라 정의한다.  $\omega_0$ 부터는 LSP 파라미터의 순서화 특징을 검사하여 최대 양자화 영역을 축소시킬 수 있는가를 확인한다. 다음과 같은 검사 변수를 정의한다.

$$x = \omega_{i+1}^y - [\omega_{\mu}(n) + B_i]$$

여기서  $\omega_{i+1}^y(n)$ 는 양자화된  $(i+1)$ 번째 차수의 LSP 파라미터 값을 나타내고  $\omega_{\mu}(n) + B_i$ 는 예측된  $i$ 번째 차수의 LSP 파라미터 값을 나타낸다. 양자화된  $i$ 번째 차수 LSP값  $\omega_{i+1}^y(n)$ 는 양자화된  $(i+1)$ 번째 차수 LSP값  $\omega_{\mu}(n)$ 보다 작아야 한다는 순서화 특징을 만족하기 위해서는 양자값  $e_i(n)$ 는  $x$ 값 보다 작아야 한다. 따라서 만약  $|x| < e_{i,max}$ ,  $e_i(n)$ 의 최대 양자화 영역은  $-e_{i,max}$ 에서  $+e_{i,max}$ 로 정하고 양자화할 필요가 없게 된다. 이런 경우 양자화 영역은  $-e_{i,max}$ 에서  $x$ 로 줄일 수 있다. 다음과 같은 스칼라 양자화 방법이 가능하다.

If  $|x| > e_{i,max}$ , 양자화 영역은  $-e_{i,max} \sim +e_{i,max}$   
Else, 양자화 영역은  $-e_{i,max} \sim x$ 로 주어진다.

이런 가변적 양자화 영역 설정은 고정된 양자화 영역을 갖는 스칼라 양자화기보다 양자화 오차를 줄일 수 있다. 같은 방법으로  $\omega_1$ 부터 시작하여 양자화하는 방법도 가능하며 이를 DPCM-순방향 LSP 양자화기(DPCM-FW)라 정의한다. 각 비트 할당에 따라 적응 스칼라 최대 양자화 방법을 이용하면 복잡도의 증가없이 양자화 오차를 크게 줄일 수 있다. 순서화 특성을 이용한 LSP 양자화 방법은 기존의 DPCM 구조의 LSP 양자화나 방법보다 많은 성능 개선을 이룰 수 있었다. 두 방식의 성능비교는 표3에 나타나 있다. 여기서 성능비교를 위해서 LSP 양자화기의 성능을 평가할 때 많이 사용되는 스펙트럴 왜곡(Spectral Distortion)을 사용하였다. [9] 음질 개선외에 새로운 양자화 방법의 부가적인 잇점으로 이런 적응 LSP 양자화기는 인코딩 과정에서 순서화 특성을 이미 고려하였기 때문에 양자화 후 안정성을 체크하는 루틴을 제거할 수 있다.

새로운 LSP 양자화 방법은 많은 시뮬레이션을 통해 32비트에서 1dB 평균 스펙트럴 왜곡을 갖는 명료한(Transparent) 음질을 보였기 때문에 LSP 파라미터 전송에 32비트를 할당하고 나머지 8비트는 코드북 이득 전송에 할당하였다. 코드북 이득 양자화를 위해 4비트 이득 양자화기를 설계하였다. 총 가중 오

표 3. 두 LSP 양자화기의 성능

비트/ 프레임	본래의 DPCM LSP 양자화기		DPCM-BW LSP 양자화기	
	평균 SD	>2%	평균 SD	>2%
29	1.56	13.0	1.14	2.4
31	1.28	2.8	0.99	1.7
33	1.14	1.9	0.90	1.6
36	0.96	1.2	0.75	1.4
40	0.71	0.9	0.61	1.0

차는 다음과 같이 코드북 이득의 함수로 표현할 수 있다.

$$D_i = \sum_{n=N_i} \|x(n) - \eta(n)G_i y(n)\|^2$$

최소의 가중 오차를 갖는 코드북 이득을 얻기 위해 미분을 수행하면

$$\frac{\partial D_i}{\partial G_i} = 0 \tag{1}$$

식 (1)을 정리하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$G_i = \frac{\sum_{n=N_i} \eta(n)x^T(n)y(n)}{\sum_{n=N_i} \|y(n)\|^2}, \quad i = 1, \dots, 8 \tag{2}$$

코드북 이득 양자화기는 식(2)를 일반화된 Lloyd 알고리즘(10)에 적용하여 반복적으로 한국 음성 데이터로 부터 계산되어진다. 여기서  $\eta(n)$ 는 코드북 이득의 부호이고  $N_i$ 는 각 양자화 영역 크러스터이다. 4비트 코드북 이득 양자화기는 영을 기준으로 대칭으로 구성되기 때문에 8개의 크러스터로 나눈다.

개선된 LSP 양자화 방법과 코드북 이득 비트 할당을 통한 음성 부호화기의 객관적 성능 개선은 표 4에 나타나 있다. 새로운 LSP 양자화기와 코드북 이득 비트수의 변경이 기존의 QCELP 보다 약 0.6dB SNR과 0.3dB SEGSNR 이상의 성능 개선을 이룰 수 있었다. 또한, LSP 양자화 방법과 코드북 이득 비트 할당 변경에 따른 두 음성 부호화기의 주관적 음질 시험 결과는 표 5에 나타나 있다. 주관적 음질 시험에서도 새로운 LSP 양자화 방법을 갖는 음성 부호화기가 좋은 음질을 갖음을 알 수 있다.

표 4. 본래의 음성 부호화기와 개선된 LSP 양자화 방법을 갖는 음성 부호화기의 SNR/SEGSNR

	본래의 부호화기		개선된 부호화기	
	SNR	SEGSNR	SNR	SEGSNR
한국어	14.96	12.04	15.34	12.20
영어	12.42	10.64	13.33	11.19

표 5. 두 LSP 양자화 방법의 주관적 음질 시험 결과

	본래의 DPCM LSP 양자화기	DPCM-BW LSP 양자화기	같다
선호도	7.3%	36.6%	56.1%

### V. 복잡도를 줄인 피치 및 여기 코드북 검색

QCELP 알고리즘과 같은 분석/합성 구조의 음성 부호화기에서 계산량의 대부분은 페루프 방식의 피치 및 코드북 파라미터 검색에 사용되어진다. QCELP 알고리즘도 코드북 검색의 계산량과 메모리량을 줄이기 위해 128개의 값을 갖는 겹쳐진(Overlapped) 코드북을 사용한다. 이런 구조의 코드북 사용은 합성된 음성 신호를 만들기 위한 곱셈(Convolution)과정에서의 복잡도를 줄일 수 있으나 아직도 합성 신호의 에너지값과 상호상관값을 계산하는데 많은 계산량이 요구된다. 현재의 QCELP 알고리즘 계산량의 80% 이상은 피치 및 코드북의 탐색시 에너지값과 상호상관값 계산하는데 사용된다. 따라서 피치 및 코드북 탐색시 합성필터 출력 신호의 에너지값 계산하는데 있어 합성필터 출력 신호의 순환적인(Recursive) 특성을 이용하여 복잡도를 줄였다. [11] 이러한 방식의 에너지값 계산은 알고리즘의 성능에는 아무런 영향을 주지 않고 각 전송률에 따라 표 6과 같이 계산량을 줄일 수 있었다. 1kbps 전송률에서는 페루프 방식의 피치 및 코드북 검색을 수행하지 않기 때문에 계산량이 감소되지 않았다.

표 6. 복잡도를 줄인 피치, 코드북 검색 알고리즘의 계산량 감소율

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

### VI. 성능평가 및 결과

개선된 QCELP 음성 부호화 방식(KQCELP)의 성능을 평가하기 위해 8kHz로 샘플링된 4개의 한국어 문장과 4개의 영어 문장을 사용하였고, 다음과 같다.

문장 1: 올림픽은 전 인류의 축제입니다. (여자)

문장 2: 말 한마디로 천냥빔을 갚는다. (여자)

문장 3: 어제 산 물건이 벌써 고장이 났다. (남자)

문장 4: 일에서 십까지의 합은 오십오입니다. (남자)

Sent 1: The pipe begin to rust while new. (Female)

Sent 2: Add the sum to the product fo these three. (Female)

Sent 3: Oak is strong an also gives shade. (Male)

Sent 4: Thieves who rob friends deserve jail. (Male)

이 문장들에 대한 가변 전송률에 본래의 QCELP와 개선된 KQCELP 알고리즘의 SNR(Signal to Noise Ratio)과 SEGSNR(Segmental SNR) 값들은 표 7에 나타나 있다. 개선된 KQCELP는 QCELP 출력음성, KQCELP 출력음성의 스펙트로그램은 그림 5에 나타나 있다. KQCELP 알고리즘의 출력음성의 스펙트로그램은 0.8kHz 이상에서 QCELP 알고리즘보다 본래의 음성 정보를 잘 유지하고 있음을 알 수 있다.

표 7. QCELP와 KQCELP의 객관적 평가

	QCELP SNR/SEGSNR	KQCELP SNR/SEGSNR
문장1	17.66/14.67	18.75/15.58
문장2	16.87/15.41	17.22/16.07
문장3	13.99/9.69	15.03/10.65
문장4	13.88/11.70	14.48/12.44
Sent1	13.17/10.94	14.82/11.71
Sent2	13.27/11.30	15.45/11.99
Sent3	11.03/8.79	12.10/9.56
Sent4	12.21/11.53	13.35/12.20
평균	14.01/11.75	15.15/12.53

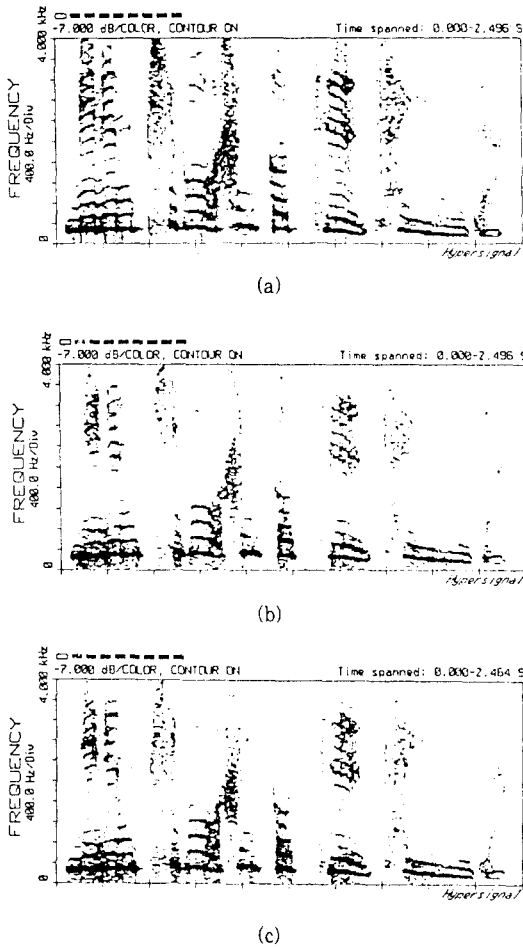


그림 5. QCELP, KQCELP 음성부호화기의 출력음성 스펙트로그램  
 (a) 원음 (b) QCELP 출력음성 (c) KQCELP 출력음성

### Ⅶ. 결 론

미국의 CDMA 방식의 이동통신 시스템에서 사용하고 있는 음성부호화 방식은 미국 Qualcomm사에 의해 제안된 QCELP 알고리즘이다. 한국에서도 현재 CDMA 방식의 디지털 이동통신 시스템을 개발중에 있다. 본 논문에서는 QCELP 알고리즘을 근거하여 음질 개선 및 계산량 감소에 의해 개선된 새로운 음성부호화 방식(KQCELP)을 제시하였다. 본래의 QCELP 알고리즘의 여러 구조중 개선된 부분들은 여기 코드북 변경, 개선된 LSP 양자화 방법, LSP 파라미터와 코드북 이득 비트할당 변경, 계산량이 감

소된 피치 및 코드북 파라미터 검색 루틴등이 포함된다. 개선된 QCELP 알고리즘은 기존의 QCELP보다 약 0.8dB SEGSNR와 1.1dB SNR의 증가를 얻을 수 있었고 계산량에 있어서도 약 20% 정도 개선할 수 있었다.

### 참고문헌

1. J.E. Natvig, "Evaluation of Six Medium Bit-Rate Codes for Pan-European Digital Mobile Radio System," IEEE Journal on Selected Area 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, April 6-9, 1990.
3. QUALCOMM Inc., TIA/EIA IS-96 Interim Standard, "Speech Service Option Standard for Wideband Spread Spectrum Digital Cellular System," April, 1993.
4. 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, April 27-30, 1993.
5. 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, April 27-30, 1993.
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, April 6-9, 1987.
7. M. Avriel, "Nonlinear Programming: Analysis and Methods", Prentice-Hall, pp. 344-354,

- 1976.
8. I. Lee, H. Woo, and S. Kang, "Efficient Coding of LPC Parameters Using the Ordering Property of Line Spectrum Pairs", submitted to IEEE Vehicular Technology Conference, Chicago, Illinois, USA, July 26-28, 1995.
  9. R. Laroia, N. Phamdo, and N. Farvardin, "Robust and Efficient Quantization of Speech LSP Parameters Using Structured Vector Quantizer," IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing, pp 641-644, Toronto, Ontario, Canada, May 14-17, 1991.
  10. M. Sabin and R. M. Gray, "Global Convergence and Empirical Consistency of the Generalized Lloyd Algorithm," IEEE Ttrans. on Information Theory, vol. IT-32, pp. 148-155, March 1986.
  11. 이인성, 윤병식, 강상원 한기철 "CDMA 디지털 셀룰라용 음성 부호화기의(QCELP)의 복잡도 감소 알고리즘 및 성능 연구", 제5회 신호처리합동학술대회, pp.20-23, 대전, 한국, 1993년 9월 25일.



李 寅 誠 (In Sung Lee)      정회원

1983년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (학사)  
 1985년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (석사)  
 1992년 12월 : Texas A&M 대학교 전기공학과(박사)

1986년 5월~1987년 7월 : 한국통신 연구개발단 전임연구원  
 1993년 2월~현재 : 한국전자통신연구소 이동통신 기술연구단  
 신호처리연구실 선임연구원

\* 관심분야 : 음성, 영상데이터 압축, 적응필터, 이동통신



姜 尙 遠 (Sang Won kang)      정회원

1976~1980 : 한양대학교 전자공학과 (학사)  
 1980~1982 : 서울대학교 전자공학과 (석사)  
 1985~1990 : Texas A&M 대학교 전기공학과(박사)

1982~1994. 2 : 한국전자통신연구소 신호처리연구실장  
 1994. 3~현재 : 한양대학교 제어계측공학과, 조교수

\* 관심분야 : 음성신호처리, 통신이론, 이동통신

林 明 雙 (Myung Seob Lim)

정회원

1980. 2 : 연세대학교 전자공학과(학사)  
 1982. 2 : 연세대학교 전자공학과(석사)  
 1990. 2 : 연세대학교 전자공학과(박사)  
 1984. 1~1985. 9 : 한국통신 연구개발단 전임연구원  
 1985. 9~현재 : 한국전자통신연구소 이동통신기술연구단 신호  
 처리연구실

\* 관심분야 : 디지털 변·복조기 설계 및 신호처리