

전송에러가 있는 채널에서 LSP 순서화 특성을 이용한 선형예측계수(LPC)의 양자화 방법

이인성*, 우용재**

* 한국전자통신연구소 신호처리연구실, ** 대구대학교 전자공학과

Coding of LPC Parameters Using the Ordering Property of LSP in the Presence of Channel Errors

Insung Lee*, Hong Chae Woo**

* Signal Processing Section, ETRI, ** Electronic Eng., Taegu Univ.

요약

본 논문은 Differential Pulse Code Modulation(DPCM) 구조의 Line Spectrum Pairs(LSP) 양자화에 높은 차수 LSP 파라미터 값은 낮은 차수 LSP 파라미터 값보다 커야한다는 LSP 파라미터의 순서화 특성을 이용하여 양자화하는 방법을 제시한다. 31 비트/프레임에서 1 dB이하의 스펙트럼 왜곡을 갖는 명료한(Transparent) 음질을 보였다. 또한 LSP 주파수의 순서화 특성은 벡터-스칼라 결합 양자화에 적용하였다. 벡터-스칼라 양자화기에서는 26 비트/프레임에서 명료한 음질을 보였다. 새로운 LSP 양자화 방법들은 전송 에러 발생시 성능을 시험하고 전송 에러에 강인하도록 프레임간 예측을 위해 Moving Average(MA) 예측기를 사용한다.

1. 서론

대부분의 저전송률 음성 부호화기는 음성신호의 단구간 스펙트럼 엔벨로프(Spectral Envelope) 정보를 전송하기 위해 선형예측계수(LPC)를 사용하고 있다. 이러한 LPC 계수는 양자화와 보간 과정에서 좋은 특성을 갖는 Line Spectrum Pairs(LSP)로 변환 가능하다. 최근에 24-28바이트에서 1 dB 스펙트럼 왜곡(Spectral Distortion (SD))을 갖는 LSP 벡터 양자화 방법들이 많이 발표되고 있다[1][2]. 그러나 벡터 양자화 방법들은 많은 메모리와 계산량을 요구하기 때문에 실제 음성 부호화기에 적용하기에는 많은 제한을 갖게 된다. 스칼라 양자화 방법은 계산이 간단하고 적은 메모리를 요구하기 때문에 현재 이동 통신 시스템에서 많이 사용되고 있으나 34 비트/프레임 이하에서는 만족할만한 성능을 내지 못하고 있다. 본 논문에서는 프레임간

예측을 갖는 DPCM 구조의 스칼라 양자화 방법을 제시한다. LSP 주파수는 포먼트(Formant) 합성필터의 안정성(Stability) 조건을 만족하기 위해서 각 LSP 주파수는 각 차수에 따라 순서적인 크기를 갖어야 한다는 순서화 특성을 갖고 있다. DPCM 구조의 양자화기에 순서화 특성에 따라 양자화의 최대 양자화 영역을 가변적으로 변화하며 양자화하는 방법을 제시한다.

또한 본 논문에서는 순서화 특성을 이용한 벡터-스칼라 결합(VQ-SQ) 양자화 방법도 제시된다. 본래의 LSP 파라미터값은 VQ의 출력을 빼고난 다음 잉여신호를 간단한 균일 스칼라 양자화기에 의해 양자화한다. 스칼라 양자화기에서 스칼라 양자화의 최대 양자화 영역은 바로 위 차수의 LSP 파라미터의 양자화된 값에 따라 변화하며 양자화한다. 새로운 방법은 기존의 방법과 객관적 성능 평가 방법으로 평가한다.

LSP 양자화 방법들을 채널 품질이 좋지않은 이동통신 시스템의 음성 부호화기에 적용하기 위해서는 전송 에러 발생시 양자화기의 성능을 확인하여야 한다. 따라서 새로운 LSP 양자화 방법들을 전송 에러 발생시 성능을 시험한다. 전송 에러에 강인한 양자화 방법을 갖기 위해 채널 에러에 강인한 예측기의 구조로 변경한다. 변경된 구조를 갖는 LSP 양자화기의 전송 에러에 대한 영향은 시뮬레이션을 통해 보여진다.

II. LSP분석

이동통신 시스템등에서 사용되는 순방향 음성 부호화기는 매 20ms 정도마다 음성의 포먼트 성분을 나타내는 단구간(Short-term) 예측기(STP)의 계수를 전송하여야 한다. 단구간 예측기와 계수는 직류값이 제거된 음성신호로부터 자기상관(Autocorrelation)

알고리즘을 통해 얻어진다. 단구간 합성필터의 전달함수는 다음과 같이 주어진다.

$$H(z) = \frac{1}{A(z)} = \frac{1}{1 + a_1 z^{-1} + \dots + a_p z^{-p}}$$

여기서 $a_i, i=1, \dots, p$, 는 단구간 예측기의 계수이고 p 는 필터의 차수이다. 이러한 단구간 예측기의 계수의 전송을 위해서는 양자화 특성이 좋고 합성필터의 안정성의 조건을 검사하기 쉬운 LSP(Line Spectrum Pairs) 파라미터로 변환한다. STP 계수로부터 LSP 파라미터를 얻기 위해 두개의 다항식을 만들어낸다.

$$P(z) = A(z) - z^{-(p+1)} A(z^{-1}) = (1 - z^{-1}) \prod_{i=2,4,\dots,p} (1 - 2z^{-1} \cos \omega_i + z^{-2})$$

$$Q(z) = A(z) + z^{-(p+1)} A(z^{-1}) = (1 + z^{-1}) \prod_{i=1,3,\dots,p-1} (1 - 2z^{-1} \cos \omega_i + z^{-2})$$

$e^{j\omega}$ 는 $P(z)$ 와 $Q(z)$ 의 근이 되고 ω_i 는 LSP 파라미터의 값이 된다. $P(z)$ 와 $Q(z)$ 다항식은 다음과 같은 매우 중요한 성질을 갖고 있다. 처음에 $P(z)$ 와 $Q(z)$ 의 모든 근들은 단위원(Uni Circle)에 놓이게된다. 두번째로 $P(z)$ 와 $Q(z)$ 의 근들은 단위원에서 서로 엇갈려 놓이게 된다. 다음과 같은 LSP 파라미터간에 특별한 관계를 얻을수 있다.

$$0 = \omega_0 < \omega_1 < \dots < \omega_p < \omega_{p+1} = \pi \quad (1)$$

만약 (1)의 순서화 특징을 만족한다면 단구간 합성 필터의 안정성은 보장될 수 있다. 또한 이 순서화 특징은 LSP 효율적인 파라미터의 양자화를 위해 사용될 수 있다.

III. 순서화 특성을 이용한 스칼라 LSP 양자화기

프레임간의 상관성(Correlation)을 이용하여 효율적으로 양자화하는 방법은 CDMA 디지털 이동통신 시스템의 음성 부호화 방법인 QCELP 알고리즘[3]에서 사용되고 있다. LSP 양자화하는 방법은 그림1에 나타나 있다. 프레임간 예측을 갖는 DPCM형태의 구조를 갖고 균일한 스칼라 양자화기를 사용한다. 다음 식들은 예측기를 갖는 DPCM 구조의 양자화기를 나타낸다.

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

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

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

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

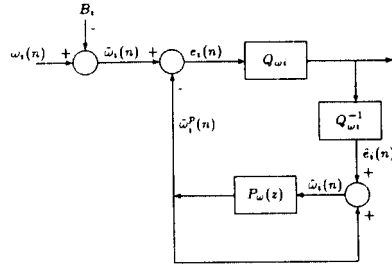


그림 1. LSP 양자화 인코딩 과정

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

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

$$P_{\omega_i}(z) = 0.90625 z^{-1} \quad i = 1, 2, \dots, p$$

DPCM 구조의 양자화기는 LSP 파라미터 값의 프레임간 상관성을 이용하여 어느 정도 성능 개선을 이룰 수 있었으나 LSP 파라미터의 순서화 특성을 이용하지 않았다. 본연구에서는 LSP 파라미터는 포먼트(Formant) 필터의 안정성(Stability) 조건을 만족하기 위해서는 각 LSP 주파수는 순서적인 크기를 갖어야 한다는 LSP파라미터의 순서화 특징을 이용한 양자화 방법을 제안한다. 스칼라 양자화기에서 LSP 파라미터의 양자화는 ω_{10} 으로 시작하여 낮은 차수로 양자화된다. 이방법을 DPCM-역방향 LSP 양자화기(DPCM-BW)라 정의한다. ω_{10} 은 보통의 최대 양자화 영역을 가지고 양자화한다. ω_9 부터는 LSP 파라미터의 순서화 특징을 검사하여 최대 양자화 영역을 축소시킬 수 있는기를 확인한다. 다음과 같은 검사 변수를 정의한다.

$$x = \omega_{i,1}^q - [\omega_{p_i}(n) + B_i]$$

여기서 $\omega_{i,1}^q(n)$ 는 양자화된 $(i+1)$ 번째 차수의 LSP 파라미터값을 나타내고 $\omega_{p_i}(n) + B_i$ 는 예측된 i 번째 차수의 LSP 파라미터값을 나타낸다. 양자화된 i 번째 차수 LSP 값 $\omega_{i,1}^q(n)$ 는 양자화된 $(i+1)$ 번째 차수 LSP 값 $\omega_{p_i}^q(n)$ 보다 작아야 한다는 순서화 특징을 만족하기 위해서는 잉여값 $e_i(n)$ 는 x 값보다 작아야 한다. 따라서 만약 $|x| < e_{max}$, $e_i(n)$ 의 최대 양자화 영역을 $-e_{max}$ 에서 $+e_{max}$ 로 정하고 양자화할 필요가 없게 된다. 이런 경우 양자화 영역은 $-e_{max}$ 에서 x 로 줄일 수 있다. 이런 줄어진 양자화 영역은 그림2에 나타나 있다. 다음과 같은 스칼라 양자화 방법이 가능하다.

$$\text{If } |x| > e_{max}, \text{ 양자화 영역은 } -e_{max} \sim +e_{max}$$

$$\text{Else, 양자화 영역은 } -e_{max} \sim x \text{로 주어진다.}$$

이런 가변적 양자화 영역 설정은 고정된 양자화 영역을 갖는 스칼라 양자화기보다 양자화 오차를 크게 줄일 수 있다. 같은 방법으로 ω_c 부터 시작하여 양자화하는 방법도 가능하며 이를 DPCM-순방향 LSP 양자화기(DPCM-FW)라 정의한다. 각 비트 할당에 따라 작은 스칼라 최대 양자화 영역을 바로 위차수 LSP 파라미터 값에 따라 가변적으로 변하는 적응 양자화 방법을 이용하면 복잡도의 증가없이 양자화 오차를 크게 줄일 수 있다.

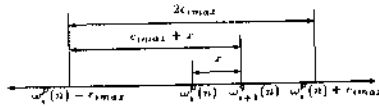


그림 2 줄어든 최대 양자화 영역

순서화 특성을 이용한 LSP 양자화 방법은 기존의 DPCM LSP 양자화 방법보다 많은 성능 개선용이 있을 수 있었다. 두 방식과 AQBW 방식[4]의 성능 비교는 표1에 나타나 있다. 여기서 성능 비교를 위해서 LSP 양자화기의 성능을 평가할때 많이 사용되는 스펙트럴 왜곡(Spectral Distortion)을 사용하였다[1]. 스펙트럴 왜곡(Spectral Distortion)은 다음과 같이 정의된다.

$$SD(dB) = \frac{1}{NF} \sum_{m=1}^{NF} \left[\frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} \left[10 \log_{10} |A_n(e^{j\omega})|^2 - 10 \log_{10} |\hat{A}_n(e^{j\omega})|^2 \right]^2 d\omega \right]^{\frac{1}{2}}$$

여기서 $|A_n(e^{j\omega})|^2$ 와 $|\hat{A}_n(e^{j\omega})|^2$ 는 각 프레임에서 본래의 LPC 파워위 스펙트럼(Power Spectra)와 양자화된 LPC 파워위 스펙트럼을 나타낸다. 성능평가를 위해 약 3분간 30초간의 9명 남성과 9명 여성으로 구성된 한국어, 영어 음성 데이터를 사용하였다. 시험 음성 데이터는 FM 방송에서 녹음된 음성 데이터와 2곳의 다른 스튜디오에서 녹음된 음성 데이터로 구성된다.

새로운 양자화 방법은 기존의 DPCM 방식보다 약 3비트를 절약할 수 있었다. 양자화된후 LPC 파라미터가 명료한 음질을 갖기 위해서는 평균 스펙트럴 왜곡이 1dB 이하가 되어야 하고 스펙트럴 왜곡이 2 dB 이상을 넘는 프레임의 비율이 2% 이하가 되어야 한다. DPCM-BW 양자화기는 31 비트/프레임에서 1 dB 이하의 명료한 음질을 얻을 수 있었다. 또한, 부수적인 이점으로 적응 LSP 양자화기는 인코딩 과정에서 순서화 특성을 이미 고려하였기 때문에 양자화후 안정성을 체크하는 루틴을 제거할 수 있다.

표 1. 3종류 LSP 양자화기의 성능

| 비트/프레임 | AQBW 양자화기 | | DPCM 양자화기 | | DPCM-BW 양자화기 | |
|--------|-----------|-----|-----------|------|--------------|-----|
| | SD | >2% | SD | >2% | SD | >2% |
| 27 | 1.45 | 4.6 | 1.59 | 12.6 | 1.32 | 2.6 |
| 29 | 1.26 | 2.4 | 1.42 | 6.3 | 1.17 | 1.7 |
| 31 | 1.18 | 2.0 | 1.21 | 2.0 | 1.02 | 1.0 |
| 33 | 1.06 | 1.8 | 1.07 | 1.4 | 0.92 | 0.8 |
| 36 | 0.86 | 1.6 | 0.89 | 1.1 | 0.77 | 0.7 |
| 40 | 0.69 | 1.5 | 0.72 | 0.7 | 0.61 | 0.6 |

IV. 적응 벡터-스칼라 결합 LSP 양자화기

계산량과 코드북 저장 메모리를 줄이기 위해 다단(Multistage) 벡터 양자화기를 사용하여 LSP 파라미터를 양자화하는 방법들이 발표되었다[2]. 그러나 아직 실제 음성 부호화기에 적용하기에는 계산량과 메모리량이 많이 요구되므로 벡터-벡터 양자화기보다 벡터-스칼라 양자화기가 저전송률 부호화기에 실제 적용 가능하다[5][6].

LSP 파라미터값은 처음에 벡터 양자화기의 코드북에 의해 양자화된다. 진단에서 양자화된후 각 잉여값들은 스칼라 양자화기를 이용하여 양자화된다. 인코더는 벡터 양자화기의 인덱스값과 스칼라 양자화기의 인덱스값을 디코더에 전송한다. 디코더에서는 전송된 벡터, 스칼라 양자화기 인덱스로부터 벡터 양자화기의 출력값과 스칼라 양자화기의 출력값을 합하여 최종 양자화된 LSP 파라미터값을 얻게된다. 벡터 양자화기의 코드북은 Linde Buzo Gray (LBG) 알고리즘[7]을 통해 실제 음성신호 데이터로부터 설계되어진다. 학습화에 사용된 음성 데이터는 FM 방송에서 녹음된 음성파 마이크로폰으로부터 녹음된 약 10000개의 한국어, 영어 음성 프레임으로 구성된다. LSP 잉여값을 양자화하는 스칼라 양자화기는 단일 양자화기를 사용한다. 비교적 적은 메모리와 계산량을 갖기 위해 벡터 양자화기에는 8 비트(256개의 코드북)를 사용한다. 스칼라 양자화기에는 총 할당 비트수에 따라 총 마트수에서 VQ의 할당된 비트수만큼 비트수가 할당된다.

벡터 양자화기에서 하나의 최적 벡터를 찾지 않고 여러개의 후보벡터를 가지고 스칼라 양자화를 수행한후 선제적으로 본래의 LSP 파라미터에 가장 가까운 벡터 양자화기와 스칼라 양자화기의 인덱스를 결합함으로써 양자화기의 성능을 개선할 수 있다. 후보 벡터의 수가

증가함에 따라 양자화기의 성능은 증가하여 후보 벡터의 수가 20정도에서 포화된다. 본 논문에서는 적당한 계산량을 갖으면서 좋은 성능을 보이는 후보 벡터수를 16으로 사용한다. 예측기를 포함한 벡터-스칼라 양자화기의 블록도는 그림 3에 나타나 있다.

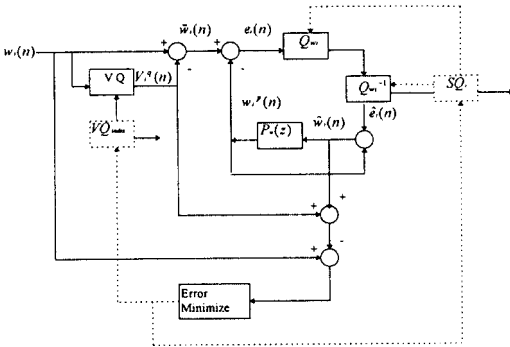


그림 3. 벡터-스칼라 결합 LSP 양자화기

다음 식들은 예측기를 갖는 벡터-스칼라 양자화기를 나타낸다.

$$\begin{aligned}
 V_i^s(n) &= V_i(\text{index}_i, n) \\
 \hat{\omega}_i(n) &= \omega_i(n) - V_i^s(n) \\
 e_i(n) &= \hat{\omega}_i(n) - \omega_p(n) \\
 \hat{e}_i(n) &= Q^{-1}[Q_{\omega_i} e_i(n)] \\
 \hat{\omega}_i(n) &= \omega_p(n) + \hat{e}_i(n) \\
 \omega_p(n) &= 0.3625\hat{\omega}_i(n-1) \\
 F_i(z) &= 0.3625z^{-1} \\
 i &= 1, 2, \dots, p
 \end{aligned}$$

DPCM구조의 벡터-스칼라 양자화기에서 스칼라 양자화기에서와 같이 LSP의 순서화 특성을 이용하여 효율적으로 양자화 하는 방법을 사용한다. 스칼라 양자화기에서 LSP 파라미터의 양자화는 ω_{10} 으로 시작하여 낮은 차수로 양자화된다. 이방법을 벡터-스칼라-역방향 LSP 양자화기(VQ-SQ-BW)라 정의한다. ω_{10} 은 보통의 최대 양자화 영역을 가지고 양자화한다. ω_8 부터는 LSP 파라미터의 순서화 특성을 검사하여 최대 양자화 영역을 축소시킬 수 있는가를 확인한다. 다음과 같은 검사 변수를 정의한다.

$$x = \omega_{i+1}^s - [\omega_p(n) + V_i(\text{index}_i, n)]$$

$\omega_{i+1}^s(n)$ 는 양자화된 (i+1)번째 차수 LSP 파라미터값을 나타내고 $\omega_p(n) + V_i(\text{index}_i, n)$ 는 예측된 i 번째 차수의

LSP 파라미터값을 나타낸다. 다음과 같은 스칼라 양자화 방법이 가능하다.

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

각 비트 할당에 따라 적응 벡터-스칼라 양자화기와 보통의 벡터-스칼라 양자화기의 성능 비교는 표2에 나타나 있다. 순서화 특성을 이용함으로써 약 0.1 dB정도의 개선을 이룰 수 있었다.

표 2. 적응 벡터-스칼라 양자화기 성능

| 비트수 | VQ-SQ | | VQ-SQ-BW | |
|-----|----------|-----------|----------|-----------|
| | S.D.(dB) | > 2dB (%) | S.D.(dB) | > 2dB (%) |
| 24 | 1.25 | 3.0 | 1.15 | 1.0 |
| 25 | 1.20 | 2.8 | 1.10 | 0.5 |
| 26 | 1.10 | 1.5 | 1.00 | 0.4 |
| 27 | 1.05 | 1.2 | 0.95 | 0.3 |
| 28 | 0.98 | 1.0 | 0.88 | 0.2 |

새로운 벡터-스칼라 LSP 양자화기는 26비트에서 명료한 음질을 얻을 수 있었다. 특히 S.D.가 2 dB를 넘는 빈도수가 무척 낮아졌기 때문에 크릭(Click) 잡음 같은 것은 거의 볼 수 없음을 알 수 있었다. 비록 24비트에서 명료함을 얻은 분할 벡터 양자화 방법(Split Vector Quantization)보다는 성능 저하를 보이긴 코드북 메모리는 1/32로 줄일 수 있고 계산량도 상당히 줄일 수 있다.

V. 전송 에러가 있는 채널에서의 LSP 양자화기의 성능

LSP 양자화 방법들을 이동통신 시스템들의 무선 통신 시스템의 음성 부호화기에 적용하기 위해서는 전송 에러 발생시에도 가능한 적은 성능 저하를 갖어야 한다. 따라서 앞절에서의 제안한 새로운 LSP 양자화 방법들을 전송 에러 발생시 성능을 시험하고 전송 에러에 강인한 구조로 변경한다. 앞절에서 제안된 DPCM 구조의 양자화기에서 AR 구조의 예측기는 전송에러의 영향이 많은 프레임으로 전달된다. 따라서 AR 구조보다는 MA 구조의 예측기를 사용하는 것이 전송 에러에 더욱 강인하다. MA 예측기의 차수는 3으로 주어진다.

MA 예측기를 갖는 LSP 양자화기, AR 예측기를 갖는 양자화기의 각 전송 에러를 BER(Bit Error Rate)에

표 3. 전송에러시 32비트 DPCM-BW 양자화기의 성능

| BER | DPCM-BW-AR | | DPCM-BW-MA | |
|--------------------|------------|-----------|------------|-----------|
| | S.D.(dB) | > 2dB (%) | S.D.(dB) | > 2dB (%) |
| 0 | 0.96 | 0.9 | 0.98 | 0.8 |
| 10 ⁻⁴ | 0.99 | 1.7 | 0.99 | 1.2 |
| 5×10 ⁻⁴ | 1.18 | 6.8 | 1.05 | 3.0 |
| 10 ⁻³ | 1.35 | 12.0 | 1.13 | 5.6 |
| 5×10 ⁻³ | 2.74 | 48.0 | 1.66 | 22.0 |
| 10 ⁻² | 4.14 | 73.4 | 2.28 | 40.1 |

다른 성능 비교는 표 3에 나타나 있다. MA 예측기를 갖는 양자화 방법이 전송 에러에 더욱 강함을 볼 수 있다. BER 10⁻³에서 약 0.2 dB 개선할 수 있었다. 10⁻²이상의 BER에서는 명료한 음질을 얻을 수 없었다. 따라서 높은 BER을 갖는 전송모에서 사용하기 위해서는 오류 수정 코드를 사용하여야 한다.

예측기를 갖는 벡터-스칼라 결합 양자화기와 예측기를 갖지 않는 벡터-스칼라 결합 양자화기의 전송 에러시 성능은 표4에 나타나 있다. 벡터-스칼라 결합 양자화기는 벡터 양자화기와 스칼라 양자화기가 결합되어 있는 구조 때문에 전송 에러시 상호 보완적이다. 따라서 표4에 나타난 바와같이 예측기에 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 10⁻³의 BER에서도 비교적 명료한 음질을 유지하고 있음을 알 수 있다.

표 4. 전송에러시 27비트 VQ-SQ-BW 양자화기의 성능

| BER | VQ-SQ-BW-AR | | VQ-SQ-BW-NP | |
|--------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | S.D.(dB) | > 2dB (%) | S.D.(dB) | > 2dB (%) |
| 0 | 0.97 | 0.3 | 1.00 | 0.7 |
| 10 ⁻⁴ | 0.98 | 0.4 | 1.01 | 0.8 |
| 5×10 ⁻⁴ | 1.01 | 1.0 | 1.04 | 1.4 |
| 10 ⁻³ | 1.05 | 1.8 | 1.07 | 2.2 |
| 5×10 ⁻³ | 1.36 | 8.1 | 1.37 | 8.4 |
| 10 ⁻² | 1.71 | 15.4 | 1.70 | 15.4 |

VI. 결론

본 논문에서는 프레임간 예측을 갖는 DPCM 구조의 스칼라 양자화 방법을 제시하였다. DPCM 구조의 양자화기에 순서와 특성에 따라 양자화기의 최대 양자화 영역을 가변적으로 변화하며 양자화(DPCM-BW)를 수행한다. 이런 가변적 양자화 영이 실성은 고성능

양자화 영역을 갖는 스칼라 양자화기보다 양자화 오차를 크게 줄일 수 있다. DPCM-BW 양자화 방법은 실제 음성 데이터를 사용한 시뮬레이션결과 통해 DPCM 구조의 양자화 방법보다 약 3 비트를 절약할 수 있음을 확인하였다. 또한 31 비트/프레임에서 1 dB 스펙트럼 왜곡(Spectral Distortion)을 갖는 명료한(Transparent) 음질을 얻을 수 있었다.

순서와 특성을 이용한 양자화 방법을 벡터 양자화기와 스칼라 양자화기 순서적으로 연결한 Vector quantizer-Scalar Quantizer(VQ-SQ) 양자화기에 적용하였다. 시뮬레이션결과 통해 26 비트/프레임에서 1 dB 스펙트럼 왜곡을 성취할 수 있었다. 새로운 VQ-SQ LSP 양자화 방법은 많은 계산량과 메모리량을 요구하지 않기 때문에 현재 실제 사용하고 있는 음성 부호화기에도 적용 가능하다.

이동통신 시스템의 음성 부호화기에 적용하기 위해서 전송 에러 발생시 LSP 양자화 방법의 성능을 확인하였다. 전송 에러에 강인하게 하기 위해 프레임간 예측을 Moving Average(MA) 과정을 근거하여 수행하였다. 이러한 MA 예측을 갖는 양자화기는 전송 에러가 없는 상태에서는 AR 예측을 사용한 방법과 거의 같은 성능을 보였고 10⁻³의 Bit Error Rate(BER)에서 0.2dB 이상의 성능 개선을 이룰 수 있었다.

참고문헌

- [1] K. K. Paliwal and B. S. Atal, "Efficient vector quantization of LPC parameters at 24 bits/frame," IEEE Trans Speech and Audio Proc., vol. 1, no. 1, pp. 3-14, Jan. 1993.
- [2] W. LeBlanc, B. Bhattacharya, S. Mahmoud, and V. Cuperman, "Efficient search and design procedures for robust multi-stage VQ of LPC parameters for 4 kb/s speech coding," IEEE Trans. Speech and Audio Proc., vol. 1, no. 4, pp. 373-385, Oct. 1993.
- [3] QUALCOMM Inc., TIA/EIA IS-96 Interim Standard, "Speech service option standard for wideband spread spectrum digital cellular system, April, 1993.
- [4] N. Sugamura and N. Farvardin, "Quantizer deging in LSP speech analysis-synthesis," IEEE J. on Selected Area in Commun., Vol. 6, No. 2, pp. 432-440, Feb. 1988.
- [5] T. Miyano, M. Serizawa, J. Takizawa, S. Ikeda, and K. Ozawa, "Improved 4.8 kb/s CELP coding using two-stage vector quantization with multiple candidates (LCELP)," in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Sig. Processing, pp. 1-321-1-324, 1992.
- [6] J. Grass and P. Kabal, "Methods of improving vector-scalar quantization of LPC coefficients," in Proc. IEEE Int. Conf. Acoust., Speech, Sig. Processing, pp. 657 - 660, April 1991.