

파형보간 코더에서 파라미터간 거리차를 이용한 가변비트율 기법

양희식(ICU), 정상배(ICU), 한민수(ICU)

<차 례>

- | | |
|------------------|----------------------------------|
| 1. 서론 | 3.2. 피치, 파워, SEW 및 REW의 거리
측정 |
| 2. 파형보간 | 4. 실험 및 결과 |
| 3. 제안된 가변 비트율 기법 | 5. 결론 |
| 3.1. LSF 거리 측정 | |

<Abstract>

A New Variable Bit Rate Scheme for Waveform Interpolative Coders

Heesik Yang, Sangbae Jeong, Minsoo Hahn

In this paper, we propose a new variable bit-rate speech coder based on the waveform interpolation concept. After the coder extracted all parameters, the amounts of the distortions between the current and the predicted parameters which are estimated by extrapolation using past two parameters are measured for all parameters. A parameter would not be transmitted unless the distortion exceeds the preset threshold. At the decoder side, the non-transmitted parameter is reconstructed by extrapolation with past two parameters used to synthesize signals. In this way, we can reduce 26% of the total bit rate while retaining the speech quality degradation below 0.1 PESQ score.

* Keywords: Waveform interpolation, Variable bit rate (VBR), Multi-mode.

1. 서 론

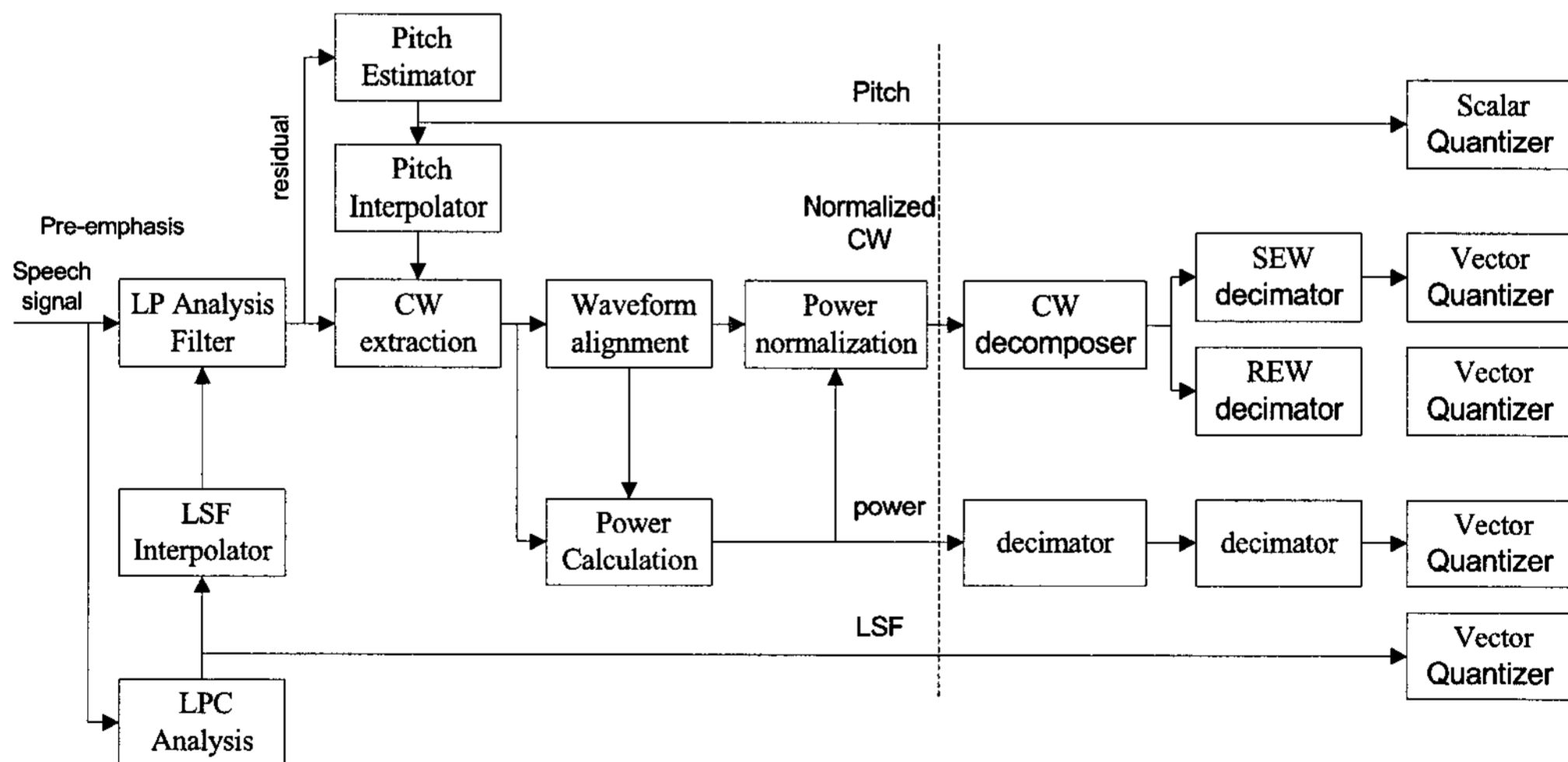
최근 이동통신, 화상회의, 음성 메시징, 인터넷 기반 통신 등의 시장이 전 세계적으로 비약적인 성장 추세에 있다[1]. 이에 따라 적절한 음성코더에 대한 요구 또한 증대하고 있다. 기술 발전 및 시장의 성장에 따라 서비스 네트워크의 용량 및 대역폭은 계속 증대되고 있으나 대부분의 경우 음성 코딩에 큰 대역폭 할당이 허락되지 않는 반면 음질에 대한 소비자의 요구는 증대하고 있다. 따라서 요구되는 음성 코더는 음질 및 전송률 양자를 모두 충족해야 하는 상황에 직면해 있다. 현재 가장 널리 사용되고 있는 CELP 기반 코더들은 이러한 요구들을 충분히 반영하고 있으나, 휴대용 단말기, 위성통신 등과 같이 대역폭이 극히 제한된 경우 좋은 음질을 제공하기 힘들다. CELP 기반 코더가 전송률 6 kbps 이하에서 급격한 음질 저하를 유발한다는 것은 잘 알려진 사실이다[2]. 파형보간(waveform interpolation) 코더는 5 kbps 이하의 전송률에서 CELP 기반 코더들에 비해 좋은 음질을 보이는 것으로 보고되었다[2]. 그럼에도 불구하고 제한된 대역폭과 메모리, 저비용 대비 고음질에 대한 소비자 욕구를 고려한다면 음질 저하를 최소화하고 비트 할당을 더욱 줄이는 연구는 여전히 의미있는 것이라 할 수 있다. 파형보간 코더에서 음질과 전송률은 추출된 파라미터의 양자화와 직접적인 연관이 있다. 따라서 저 전송률 대비 높은 음질을 내기위한 가장 효과적인 접근법은 적절한 양자화 기법을 사용하는 것이다. 다른 접근법 중 하나는 다른 많은 코더에서 사용된 가변 비트율(variable bit rate) 혹은 multi-mode 기법들을 사용하는 것이다[3].

음성 코더에서의 가변 비트율 기법은 채널 혹은 소스의 상황에 따라 비트 할당을 달리하여 부호화에 필요한 전체 비트율을 감소시키는 것이다. 채널 혹은 소스의 상황에 따라 비트 할당 모드를 달리하고 모드에 따라 중요하지 않은 정보에 비트 할당을 하지 않음으로써 전체 소요비트를 줄이는 것이다. 파형보간 코더에서의 가변 비트율 기법은 [4]에서 제안되었고 소스 제어 가변 비트율(source controlled variable bit rate: SC-VBR)로 명명되었다. SC-VBR은 입력된 음성 프레임을 voice activity detector (VAD), 당 프레임에서의 slowly evolving waveform (SEW) 과 rapidly evolving waveform (REW) 간의 에너지 비, 프레임 간 상호상관(cross correlation) 관계를 이용하여 묵음, 유성음, 무성음, 천이구간으로 구분하고, 각 구간은 구간 특성에 부합하게 달리 비트 할당을 함으로써 가변 비트율을 적용한다. SC-VBR 기법은 뛰어난 구간 분류 기법과 연산량 측면에서 장점이 있음에도 불구하고, 두 가지 단점이 있다. 첫째, 분류 성능은 문턱치 설정에 전적으로 의존하고, 문턱치 설정 오류에 따른 모드 분류 오류는 복원 음성의 열화를 초래한다. 특히 SEW와 REW 성분 분리(decomposition)가 완전치 않을 경우, 열화는 피할 수 없다. 둘째, SC-VBR은 기본적으로 개회로(open loop) 알고리즘이고 사전 설정된 문턱치는 발성자나 환경의 변화가 주는 특성의 변화에 유연히 대응할 수 없다.

본 논문에서는 파형보간 코더에서 파라미터 간 잉여정보를 최대한 제거하고, SC-VBR에 비해 입력 음성 및 채널 변화에 강인한 가변 비트율 기법을 제안한다. 2장에서는 파형보간 코덱에 대해서 설명하고 3장에서는 제안한 가변 비트율 기법을 적용한 파형보간 코더를 설명한다. 실험 및 결과는 4장에서 제시하고 마지막 장에서 결론을 도출한다.

2. 파형보간

파형보간 방식의 주요 목적은 극히 작은 비트율에서 부가적인 연산 복잡도를 감수하더라도 낮은 전송률에서 CELP 기반 코더 대비 음질을 높이는 것이다[3][5]. 잔차 신호에서 추출한 피치 주기의 특성 파형(characteristic waveform)을 REW 성분과 SEW 성분으로 성분 분해하고 잡음성분에 해당하는 REW와 유성음 성분에 해당하는 SEW를 각각 달리 양자화 함으로써 파형보간 코더는 낮은 전송률에도 좋은 음질을 유지하게 된다.



<그림 1> WI 부호화기의 흐름도

<그림 1>에 WI 부호화기를 도시하였다. 복호화기는 <그림 1>의 역 과정을 거쳐 음성을 복원한다. 본 논문의 실험에 기준이 되는 파형보간 코더는 광대역(wideband) 음성에 동작하고, 프레임 사이즈는 20 ms, 선형 예측 분석창의 크기는 30 ms를 가지도록 구성하였다. 추출한 22차 선형예측계수(LPC)는 line spectral

frequency (LSF)로 변환하고 LSF는 분할 벡터 양자화(split-VQ) 방법으로 양자화 되었다. 특성 파형은 선형 예측 필터링을 통해 얻어진 잔차 신호에서 추출 점에서의 피치 크기로 프레임 당 8회 추출하였다. 추출된 특성파형은 프레임 파워로 정규화하고 차단 주파수 25 Hz 시간 영역 FIR 저역 필터링을 통해 REW와 SEW로 성분 분해하였다. 이후 특성 파형은 2차원 신호로 변환하기위해 시간 축 정규화 및 피크 정렬이 수행된다. 추출 점에 따라서 달라지는 특성 파형의 길이는 4개의 구간으로 분류하고 대표 값으로 정규화하였고, 정규화된 특성 파형은 분할 벡터 양자화 기법을 이용하여 양자화하였다. 따라서 WI에서 복호화기로 전송되는 파라미터는 피치, LSF, pitch, power, SEW와 REW가 되며 각각의 비트 할당은 <표 1>에 도시하였다.

<표 1> 기준 WI 코더에서의 전송 파라미터별 비트할당

	LSF	pitch	power	SEW	REW	Total
Bit allocation (bits/frame)	54	8	10	40	12	124

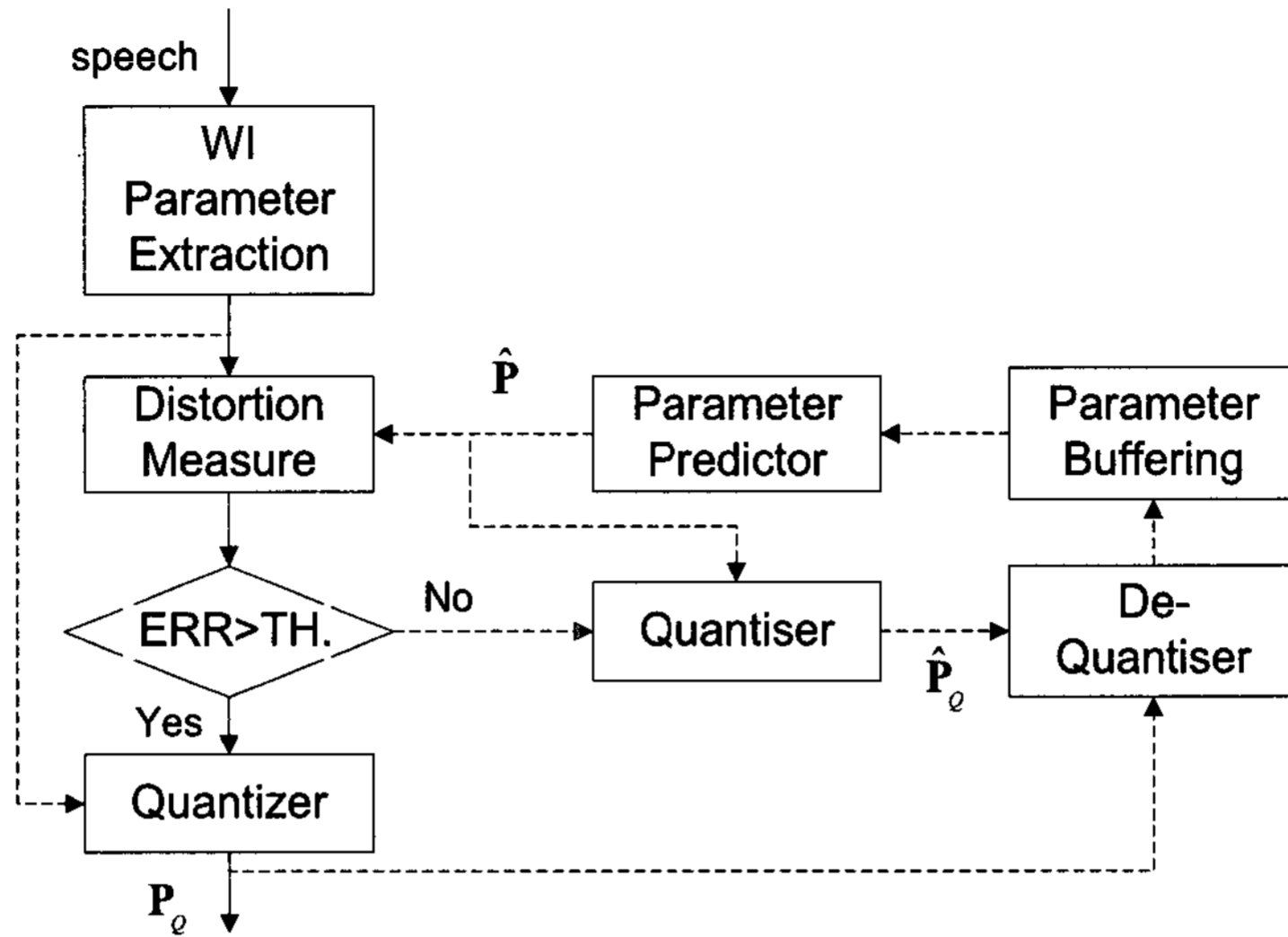
3. 제안된 가변 비트율 기법

음성신호는 시간 축을 따라 천천히 변화한다. 이는 유성음 구간에서 쉽게 관찰할 수 있다. 반면, 천이구간 혹은 무성음 구간에서 신호는 시간 축을 따라 급격히 변화하는데 이것은 프레임 간 상관관계를 이용하는 것을 어렵게 한다. 제안된 기법은 파형 보간 코더에서 추출된 파라미터 간의 상관관계를 찾아 이를 최대한 제거하는 것을 목표로 한다. 파형 보간 코더에서 추출된 각각의 파라미터들은 음성 신호의 포먼트(formant) 성분, 잔차 신호의 유성음 성분, 무성음 성분으로 각각 성분 분해가 된다. 만약 성분 분해가 완벽하다면, 파라미터 간의 상관관계는 더욱 커질 것으로 추정된다. 결과적으로 무성음이나 천이구간에서도 파라미터 간 잉여 정보가 존재할 것으로 기대된다.

<그림 2>는 제안된 가변 비트율 기법에서 단일 파라미터에 대한 양자화 과정을 도식화한 것이다. 파형보간 코더에서 LSF, 피치, 파워, SEW, REW의 파라미터를 추출하면 단일 파라미터간 거리 D_p 는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$D_p(n) = \frac{1}{L} \sum_{k=0}^{L-1} (p_k(n) - \hat{p}_k(n))^2 \quad (1)$$

여기서 $p_k(n)$ 는 n 번째 파라미터 벡터 $P(n)$ 의 k 번째 요소이고, $\hat{p}_k(n)$ 는 시간 n 에



<그림 2> 제안된 알고리즘의 단일 파라미터에 대한 양자화과정 (P : 현재파라미터, \hat{P} : 예측파라미터, \hat{P}_e : 양자화 된 예측파라미터)

서 예측한 값이다. L 은 파라미터 $P(n)$ 의 차원이다. 여기서 $\hat{P}(n)$ 은 이미 전송된 두 개의 과거 값으로부터 보외법으로 식 (2)와 같이 추정한다.

$$\hat{P}(n) = 2P(n-1) - P(n-2) \tag{2}$$

파형 보간 코더에서 단일 프레임에서 각각의 파라미터는 전송 횟수가 틀리다. 따라서 식 (2)의 n 은 프레임 n 을 의미할 수도 있고 부 프레임의 인덱스를 의미할 수도 있다. LSF, 피치의 경우 외삽은 프레임 기반의 외삽을 수행하고 파워, SEW, REW의 경우에는 부 프레임 기반 외삽을 수행한다.

각 파라미터가 가지는 음성학적 정보의 의미가 다르므로 거리측정은 개별 파라미터에 대해 여러 가지 거리 측정 방법들에 대한 실험이 필요하다. 현재 프레임의 단일 파라미터에 대해 측정된 거리가 사전에 정해놓은 문턱치보다 적으면 파라미터는 전송하지 않고 예측 버퍼에는 식 (2)로부터 추정된 값이 입력되게 된다. 전송되지 않는 파라미터는 복원 단에서 이미 수신된 두 개의 파라미터로부터 식 (2)을 이용하여 복원한다. <그림 2>의 과정은 모든 파라미터들에 대해 동일하게 반복 수행된다.

제안된 가변 비트율 기법을 요약하면, 입력 음성 프레임에서 LSF, 피치, 파워, SEW와 REW를 추출한다. 이후 각 파라미터 별로 <그림 2>의 과정으로 거쳐 현재 프레임의 파라미터의 전송 여부를 결정한다. 모든 파라미터들의 전송여부가 결정

되면 각 파라미터의 전송여부를 알려주는 플래그(flag) 정보가 얻어진다. 최종적으로 현재 프레임에서 복호화기로 전송되는 것은 플래그 정보와 전송하기로 결정된 파라미터들이 된다. 이와 같은 방식으로 프레임별 비트할당이 가변적으로 수행되고, 복호화기로 전송되지 않은 파라미터들의 복원은 부호화기와 동일한 예측방법을 이용하여 추정한다.

3.1. LSF 거리 측정

LSF는 입력 음성의 스펙트럼 포락선 정보를 나타낸다. 적절한 거리측정 방법을 선택하기 위해 로그 스펙트럼 거리(log spectral distance: LSD), LPC 켈스트럼 거리(LPC cepstral distance: LPCCD), Itakura-Saito 거리 및 LSF 파라미터의 유클리디안 거리를 고려하였다. LSD는 식 (3)과 같이 계산된다.

$$D_{LSD} = \frac{1}{N} \sum_k^{N-1} (\log(S_k) - \log(\hat{S}_k))^2 \quad (3)$$

여기서 S_k 과 \hat{S}_k 는 각각 현재 프레임의 LSF 파라미터와 예측된 LSF 파라미터로부터 얻어진 LP 파워 스펙트럼을 나타내고 N 은 FFT 분석창의 크기를 나타낸다[6].

LPC 켈스트럼 거리(LPCCD)는 LSF를 켈스트럼 재귀를 통해 LPC 계수로 변환한 후, 식 (4)를 이용하여 구한다[6].

$$D_{LPCCD} = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^L (C_k - \hat{C}_k)^2 \quad (4)$$

여기서 C_k 와 \hat{C}_k 는 각각 현재 프레임 LSF 파라미터와 예측된 LSF 파라미터의 켈스트럼 계수이며, L 은 켈스트럼 차수이다.

식 (5)는 Itakura-Saito 거리(ISD)를 구하기 위한 식이다.

$$D_{ISD} = \frac{1}{2} \left[\frac{\vec{a}^T \hat{\mathbf{R}} \vec{a}}{\hat{\sigma}} + \frac{\vec{\hat{a}}^T \hat{\mathbf{R}} \vec{\hat{a}}}{\sigma} \right] \quad (5)$$

여기서 \vec{a} , R , 및 σ 는 각각 LPC 벡터, 자기상관 행렬, 및 예측 오류를 나타내며, 각각의 예측된 값을 hat을 씌워 표기하였다. LSF 파라미터의 유클리디안 거리는 식 (6)에 의해 계산된다.

$$D_{LSFED} = \frac{1}{P} \sum_{k=1}^P (\omega_k - \hat{\omega}_k)^2 \quad (6)$$

여기서 P , ω_k 및 $\hat{\omega}_k$ 는 각각 LSF 차수, 현재 프레임에서 추출된 LSF 및 예측된 LSF를 각각 나타낸다.

3.2. 피치, 파워, SEW 및 REW의 거리 측정

피치 파라미터간의 거리는 식 (1)을 이용하여 구한다. 파형보간 코더에서 피치 정보 오류는 복원음질의 열화에 크게 영향을 미칠 수도 있다. 따라서 피치 파라미터는 측정된 거리가 영일 때만 전송하지 않는다.

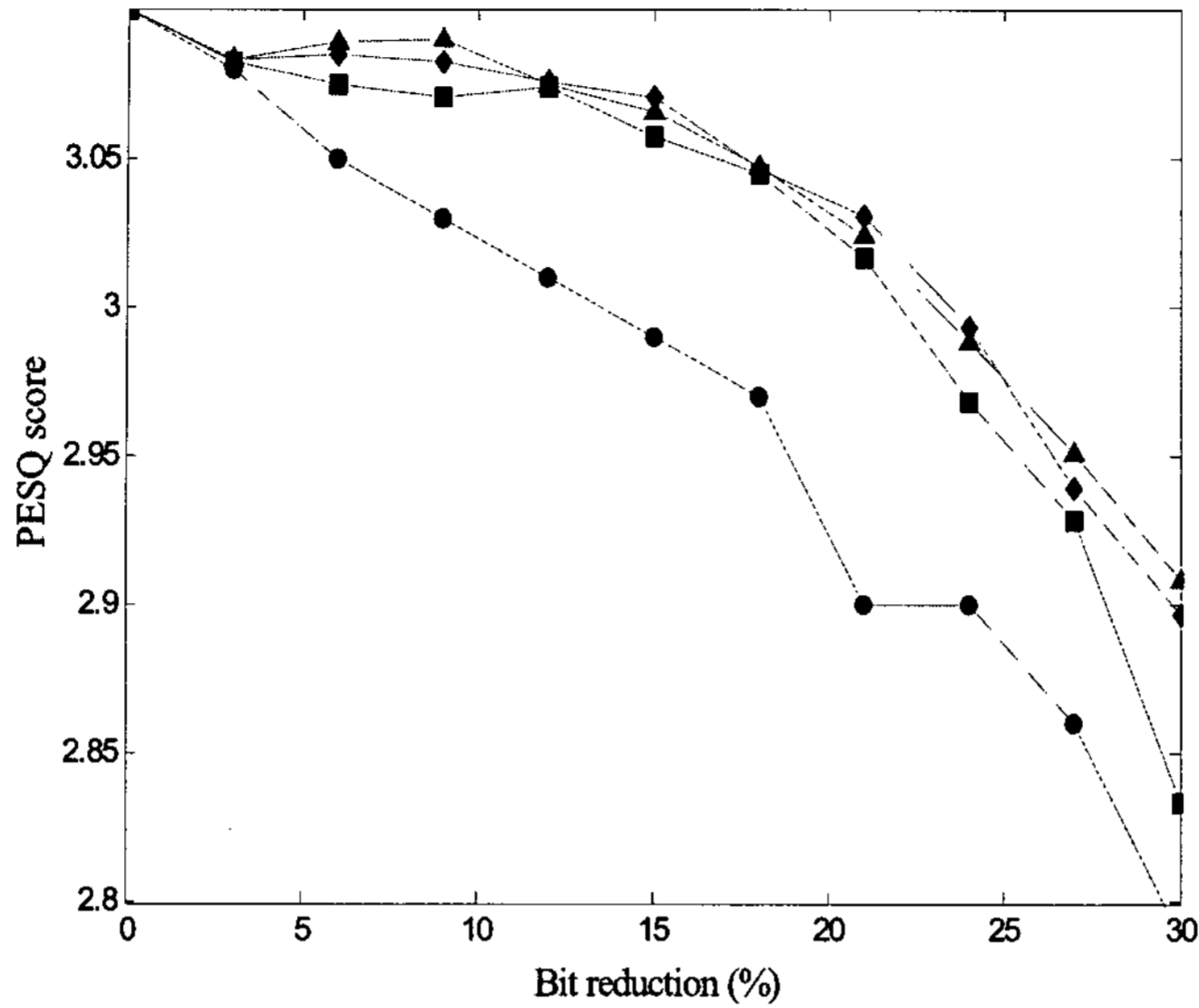
앞장에서 설명한 바와 같이 파워, SEW, REW는 부 프레임기반 처리과정을 거친다. 따라서 현재 부 프레임의 파라미터는 과거 전송된 부 프레임 파라미터를 이용하여 추정한다. 예를 들어 REW의 경우에는 프레임 당 8회 추출하고, 4회만 양자화 후 전송하게 되는데 각각의 서브프레임 REW는 이전에 전송된 서브프레임 파라미터들을 이용하여 현재 서브프레임의 예측 값을 추정한다.

파워와 특성파형의 거리측정은 각 값들의 로그 값으로 계산한다. 파워의 경우 식 (1)을 이용하여 계산하고, SEW와 REW 파라미터들의 거리는 식 (3)을 이용하여 측정한다. SEW와 REW는 잔차 신호의 discrete-time Fourier series (DTFS) 계수로 표현되기 때문에 신호의 스펙트럼 정보이며 따라서 연산량 측면에서 로그스펙트럼 거리를 측정하는 것이 유리하다.

특성 파형, 즉 REW 및 SEW 파라미터에 대해 제안된 알고리즘을 적용하는 것은 두 가지 문제점을 초래한다. 첫째, 잔차 신호로부터 특성 파형을 추출할 때 추출점의 피치 길이에 부합되게 추출하게 되므로 특성 파형의 차원은 시간 축을 따라 변화한다. 따라서 차수의 불일치로 인해 거리 측정이 용이하지 않게 되는데, 현재 부 프레임의 파라미터 차수가 과거 부 프레임의 차수와 일치하지 않을 경우 두 값은 상관관계가 작은 것으로 가정하고 거리 측정 없이 전송하였다. 둘째, 외삽법으로 파라미터를 예측할 경우, 예측 값은 오류 값을 가질 수 있다. 파라미터의 외삽은 동일 차수에 속하는 계수 별로 수행되기 때문에 외삽된 값은 나와서는 안 되는 음수 치를 가질 수 있다. 이 문제는 특성 파형 계수를 로그 척도로 변환하고 외삽을 수행한 후, 외삽된 수치를 다시 선형 척도로 변환하여 해결하였다.

4. 실험 및 결과

실험을 위하여 남, 여 각각 5명의 화자가 실험실 환경에서 10 문장씩 발성하게 하였으며, 문장의 길이는 10~12초로 하였다. 문장은 16 kHz으로 샘플링하고 16 bit 해상도를 가지도록 녹음하였다. 이 데이터베이스를 이용하여 각각의 파라미터에 대해 비트 감소율을 높여가면서 perceptual evaluation of speech quality (PESQ)를 측

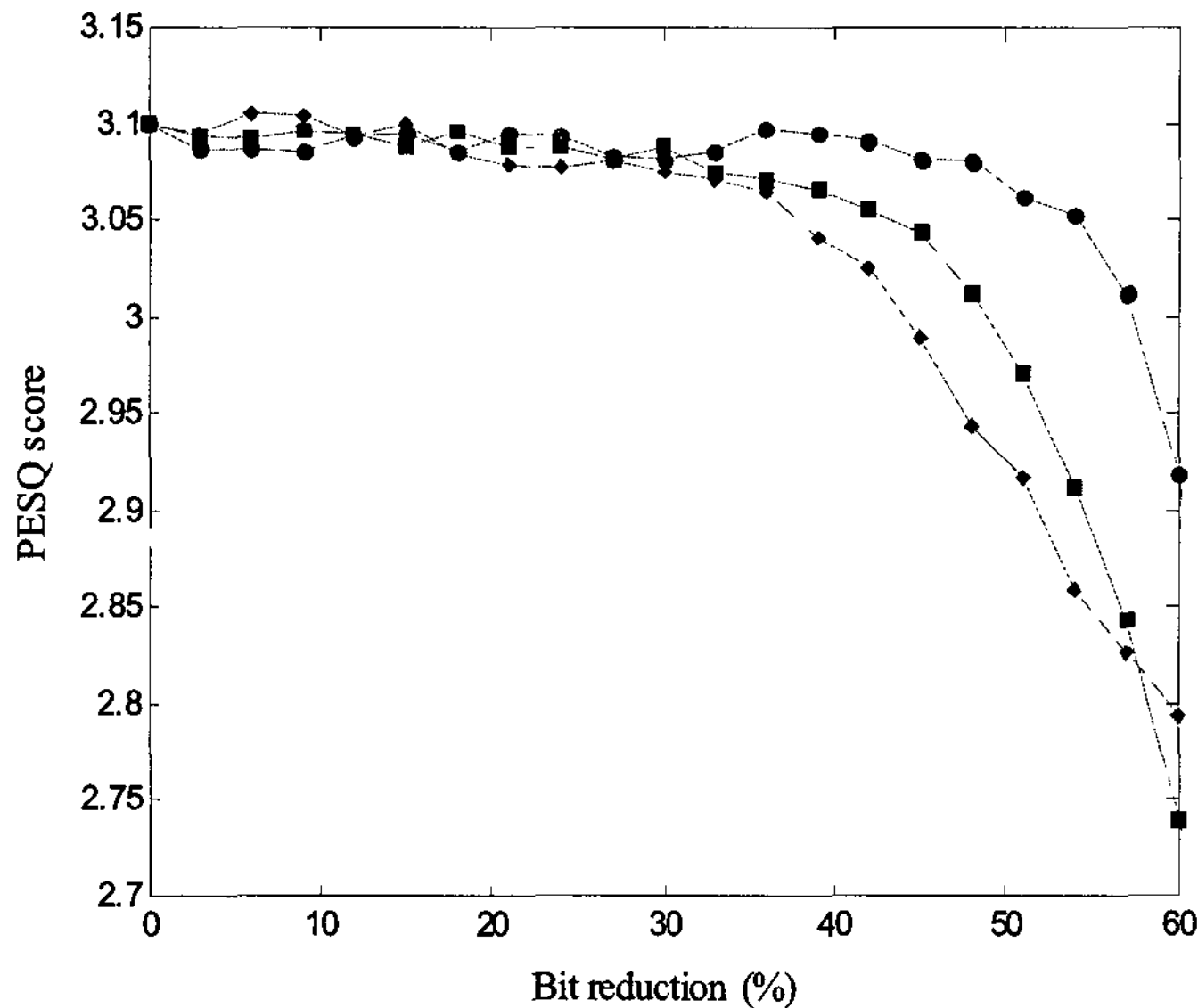


<그림 3> LSF 파라미터에 대한 거리측정 방법 별 비트감소율 대비 PESQ 스코어
(‘●’: LSFED, ‘■’: LPCCD, ‘◆’: ISD, ‘▲’: LSD)

정하였다. <그림 3>에 LSF 파라미터의 비트 감소율 대비 평균 PESQ 스코어 곡선을 도시하였다. 3장에서 언급한 바와 같이 여러 가지 거리 측정 방법을 사용하여 성능을 평가하였고, 각 측정치를 얻기 위해 분석창의 크기, 칩스트림 차수, LPC 차수 및 Bark scale의 필터 बैं크의 수는 각각 256, 25, 22, 22로 하였다.

<그림 3>에서 도시한 바와 같이 로그 스펙트럼(LSD), 로그 칩스트림(LPCCD), Itakura-Saito 거리(ISD)는 유사한 성능을 보인데 비해, LSF 간의 유클리디안 거리(LSFED)는 비교적 낮은 성능을 보였다. LSF는 각 계수에 약간의 수정을 가해도 입력 음성의 포맷의 위치나 대역폭을 대폭 수정하는 결과를 초래한다. 그러나 유클리디안 거리는 포맷 변화에 둔감하므로 위 실험 결과는 어느 정도 납득이 되는 결과이다.

<그림 4>는 파워, SEW 및 REW 파라미터의 비트 감소율 대비 PESQ 성능을 도시하였다. <그림 3>과 <그림 4>로부터, PESQ 스코어의 열화 0.1을 허용할 때, LSF, REW 및 SEW는 각각 25, 50, 45 퍼센트의 비트 감소를 얻을 수 있었다. 이 결과는 스펙트럼 포락선 정보를 나타내는 LSF가 잔차 신호의 정보를 나타내는 파워, SEW, REW보다 음질에 미치는 영향이 큰 것을 의미한다. REW의 경우 잡음 성분을 나타내므로 인접하는 파라미터 간 상관관계가 크지 않다. 따라서 REW의 감소율이 SEW의 감소율보다 큰 것은 예상치 못한 결과였다. 그러나 REW의 예측



<그림 4> 파워, SEW, 및 REW 파라미터에 대한 비트 감소율대비 PESQ 스코어 성능 (‘●’: Power, ‘■’: REW, ‘◆’: SEW)

은 이전 REW의 동일차수 간 외삽으로 얻어지며 이 외삽은 REW 변화가 빠른 특성으로 볼 때 이전 REW의 변화 추이를 반영하기 보다는 오히려 새로운 형태의 스펙트럼 구조를 만드는 등의 예측오류가 발생한다. 특히 이 REW의 예측오류가 연속되게 나타나면 백색 잡음과 같은 효과를 준다. REW 성분은 백색 잡음(white noise)으로 대체할 수 있으며 음질에 큰 영향을 미치지 않음[7]이 이미 보고되었으므로, 이 예상치 못한 실험 결과의 해명이 될 것이다.

개별 파라미터들에 대한 제안된 알고리즘을 모든 파라미터에 동시에 적용했을 때의 결과를 보기위해, 개별 파라미터들에 대한 실험 결과를 참조하여 문턱치를 결정하고 실험을 수행하였다. 모든 파라미터의 문턱치는 기준 시스템의 PESQ 스코어 3.1로부터 음질열화가 0.1 이하가 되도록 설정하였다. LSF 파라미터의 경우 앞선 실험에서 로그 스펙트럼, 로그 쉵스트럼 및 Itakura-Saito 거리가 유사한 성능을 보였으므로 통합 실험에서는 연산 효율이 우수한 로그 쉵스트럼거리를 사용하였다. <표 2>는 통합실험의 결과를 보여준다. 좌측 하단 데이터 열은 각 파라미터 별 비트 감소율을 나타내고, 각 행의 우측 열은 상응하는 PESQ 음질을 나타낸다. <표 2>로부터 각 파라미터의 비트 감소는 다른 파라미터의 비트감소와 상관관계가 크지 않다는 것을 추정할 수 있다. 실험 결과 전체 비트 감소율이 25% 이하일 때는 이 상관관계가 크지 않은 것으로 나타났다. <표 1>에서의 결과는 6.2 kbps의

기준시스템을 프레임 당 10 비트를 포함할 때 5.01 kbps가 되게 한다.

<표 2> 모든 파라미터를 동시에 적용했을 때 제안된 알고리즘의 성능

Bit reduction (%)						PESQ
LSF	pitch	power	SEW	REW	total	
22.9	40.5	50.0	19.79	38.73	26.8	3.02
22.9	40.5	42.2	22.78	35.74	26.8	3.04
25.5	40.5	42.2	14.46	30.1	24.7	3.02

5. 결 론

본 연구에서는 파형보간 코더에서 연속하는 파라미터들 사이의 파라미터 간 잉여 정보를 제거하는 새로운 형태의 소스 제어 가변 비트율 기법을 제안하였고 거리 기반 가변 비트율(distortion measure based variable bit rate) 기법이라 명명하였다. 실험 결과는 기준 시스템에서 PESQ 음질열화가 0.1 수준일 때, 평균 26 퍼센트의 비트율 감소를 얻을 수 있음을 보여준다. 이 수준의 비트 감소량은 벡터 양자화 코드북 크기를 최적화하거나 혹은 LSF 차수를 줄여서 얻을 수도 있을 것이다. 그럼에도 불구하고 LSF 차수를 줄이거나 벡터 양자화를 최적화하는 것은 부호화/복호화 전송률 변화에 따라 상응하는 벡터양자화 훈련과정이 있어야 하는 것에 비교해, 제안된 기법은 별도의 훈련 과정이 필요 없이 쉽게 가변 비트율 코더의 구현이 가능하다는 면에 있어 의미를 찾을 수 있다. 다른 강점은 제안된 기법은 일반적인 개회로(open loop) 기법들이 소스 변화에 취약한데 비해 폐회로(closed loop) 방식 만큼의 연산 복잡도는 증가하지 않으면서 소스 변화에 비교적 강인하다. 소스 독립성, 상대적으로 쉬운 가변 비트율 코더의 구현, 이 두 가지 장점으로 인해 제안된 기법은 낮은 비트율이 요구되는 단말기나 음성스토리지 목적의 기기에 사용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] M. Z. Markovic, "Speech compression - recent advances and standardization", *Proc. IEEE Conference on Telecommunication in Modern Satellite, Cable and Broadcasting Services*, pp. 235-244, 2001.
- [2] W. B. Kleijn, J. Haagen "Waveform interpolation for coding and synthesis", *Speech Coding and Synthesis*, W. B. Kleijn and K. K. Paliwal (2nd Ed.) pp. 175-205, Elsevier, 1998.
- [3] A. Das, E. Paksoy, A. Gersho, "Multimode and variable-rate coding of speech", *Speech*

Coding and Synthesis, W. B. Kleijn and K. K. Paliwal (2nd Ed.), pp. 257-288, Elsevier, 1998.

- [4] F. Plante, B. M. G. Cheetham, D. Marston, P. A. Barrett, "Source controlled variable bit-rate speech coder based on waveform interpolation", *Proc. ICSLP*, PAPER 0848, 1998.
- [5] E. L. T. Choy, *Waveform Interpolation Speech Coder at 4 kb/s*, McGill Univ., 1998.
- [6] L. Rabiner, B.-H. Juang, *Fundamentals of Speech Recognition*, Prentice Hall, pp. 242-317, 1993.
- [7] G. Kubin, B. S. Atal, W. B. Kleijn, "Performance of noise excitation for unvoiced speech", *Proc. IEEE Workshop on Speech Coding for Telecommunications*, pp. 35-36, 1993.

접수일자: 2007년 11월 10일

게재결정: 2007년 12월 31일

▶ 양희식(Heesik Yang) : 교신저자

주소: 305-732 대전광역시 유성구 문지로 119번지 한국정보통신대학교

소속: 한국정보통신대학원대학교(ICU) 음성/음향 정보 연구실

전화: 042) 866-6296

E-mail: sheik@icu.ac.kr

▶ 정상배(Sangbae Jeong)

주소: 305-732 대전광역시 유성구 문지로 119번지 한국정보통신대학교

소속: 한국정보통신대학원대학교(ICU) 음성/음향 정보 연구실

전화: 042) 866-6206

E-mail: shiskin@hotmail.com

▶ 한민수(Minsoo Hahn)

주소: 305-732 대전광역시 유성구 문지로 119번지 한국정보통신대학교

소속: 한국정보통신대학원대학교(ICU) 음성/음향 정보 연구실

전화: 042) 866-6123

E-mail: mshahn@icu.ac.kr