

특집논문-06-11-2-05

MPEG 오디오 부호화기를 위한 향상된 프리 에코 컨트롤 알고리즘

이창준^{a)}, 이재성^{a)}, 박영철^{b)†}

Enhanced Pre echo Control Algorithm for MPEG Audio Coders

Chang-Joon Lee^{a)}, Jae-Seong Lee^{a)} and Young-Cheol Park^{b)†}

요 약

본 논문은 심리음향 모델 II(PAM II)를 기반으로 한 MPEG 오디오 코더에 대해서 효율적으로 프리 에코(pre echo)를 제어하는 알고리즘을 제안한다. 프리 에코 제어는 PAM II에서 마스크 임계값 계산의 마지막 단계로써, 현재 프레임에 대해서 발생하는 양자화 오차를 최소화시키는 역할을 한다. 기존에 부호화기에서 프리 에코는 추정되는 마스크 임계치가 이전 프레임에서 얻어진 값을 넘지 않도록 제한함으로써 결정된다. 기존의 방법에서 사용되는 프리 에코 제어는 단구간 블록(short block)은 물론 장구간 블록(long block)에 대해서도 사용되는데, 이는 마스크 임계값을 불필요하게 떨어뜨려 전체적인 양자화 잡음 레벨을 높이는 문제를 발생시킨다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결할 수 있는 효율적인 프리 에코 제어 과정을 제안하였다. 음질 테스트 결과에서 변화가 심한 오디오 신호에 대해서 ITU R 테스트를 시행한 결과 제안된 방법이 평균적으로 0.4점 이상 개선된 결과를 보였다.

Abstract

This paper presents an efficient pre echo control scheme for MPEG Audio coders based on the psychoacoustic model II (PAM-II). Pre echo control is the final step for the calculation of masking threshold in the PAM II. It is to minimize the spread of quantization error over the processing frame. In the conventional encoders, pre echo is reduced by restricting the estimated masking threshold not to exceed the one obtained in the previous frame. The conventional method performs pre echo control not only for short blocks but also for long blocks, which lowers the masking threshold in long blocks and, in turn, increases the quantization noise level of corresponding blocks. This paper proposes an efficient pre echo control process. The test result shows a mean enhancement of more than 0.4 especially for complex signals on the ITU R 5 point audio impairment scale.

Keyword : pre-echo, PAM, MPEG Audio

I. 서 론

MPEG 오디오는 합성된 오디오신호가 지각적으로 원본

과 구별되지 않는 음질을 제공하는 것을 목표로 하고 있다. 즉, 복호화된 신호는 원음과 구별되지 않아야 한다. 비록 부호화기의 과정은 MPEG 표준의 권고안이지만, MPEG은 두 가지 오디오 코딩 시에 허용 가능한 노이즈 레벨을 계산하는 두 가지 심리음향 모델을 제공한다^[1]. 두 모델 모두 MPEG 1 오디오 알고리즘의 모든 계층에서 적용될 수 있지만 일반적으로 모델 1은 MPEG 1/2의 계층 I과 계층 II에

a) 연세대학교 전기전자공학부
Dept. of Electrical & Electronic Eng., Yonsei University
b) 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부
Computer and Telecommunications Eng. Division, Yonsei University
† 교신저자 : 박영철(young00@dragon.yonsei.ac.kr)

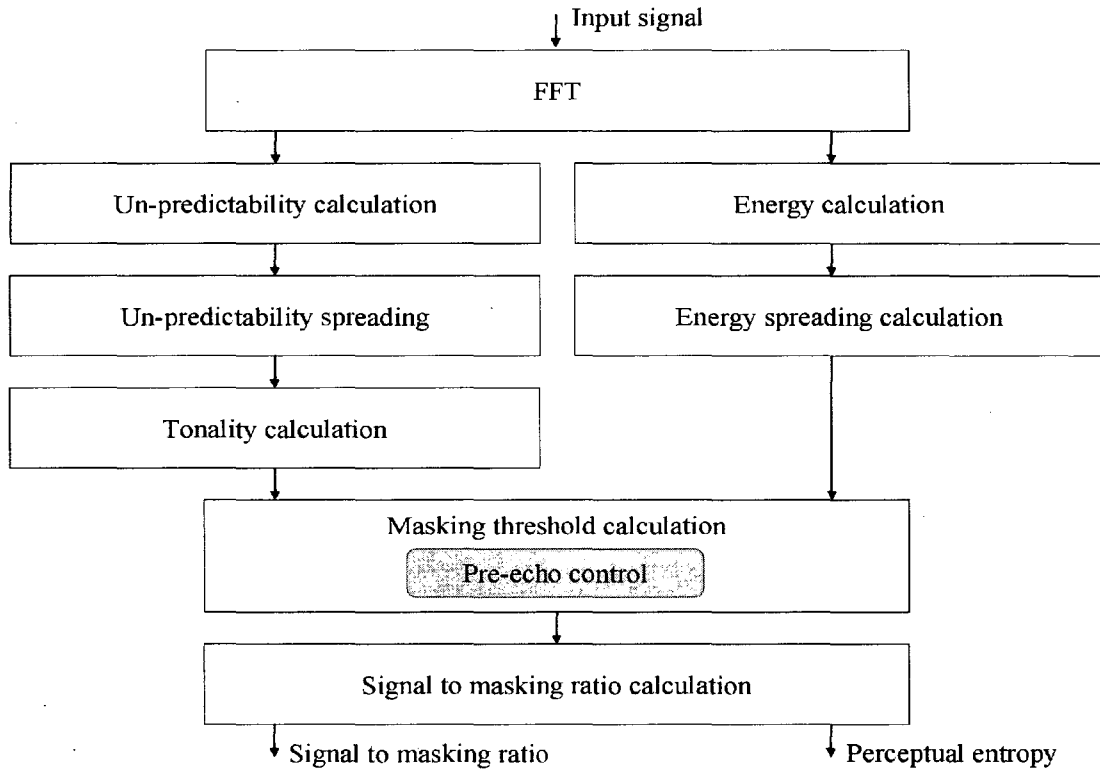


그림 1. MPEG PAM II의 블록도.
Fig. 1. Block diagram of the MPEG PAM-II

적용되며 모델 2는 MPEG 1/2의 계층-III과와 MPEG 2/4 AAC에 적용된다. 두 모델 모두 각 임계 대역에서 신호 대 마스크 비율(SMR)을 계산하는 알고리즘이다.

그림 I에 나타난 것처럼 프리 에코 제어는 MPEG 심리 음향 모델(PAM) II에서 마스크 임계값 계산의 마지막 단계이다. 프리 에코 제어는 현재 프레임에서 추정된 마스크 임계값이 이전 프레임에서 얻어진 값을 넘지 않도록 제한함으로써 프리 에코 효과를 완화시키는 방법이다. 오디오 신호를 코딩시에 입력으로부터 급격히 변화하는 스펙트럼 성분이 검출되면 MDCT를 하기 전에 입력 신호에 단구간 윈도우를 씌운다. 즉, 그 프레임에 단구간 윈도우를 사용하여 프리 에코 구간을 짧은 구간으로 제한한다. 이와 더불어 프리 에코 제어를 사용하여 프리 에코 현상을 완화시킨다. 결과적으로 단구간 블록에서 이러한 방법은 부호화기가 실제로 필요로 하는 비트보다 더 많은 양의 비트를 할당할 수 있도록 하여 프리 에코

현상을 막는다.

그러나 장구간 블록에서는 에너지의 변화가 심한 구간을 포함하지 않기 때문에 프리 에코 제어를 사용하더라도 성능의 향상을 얻을 수 없다. 오히려 장구간 블록에서 단구간 블록과 같이 부호화기가 실제로 필요한 비트보다 더 많은 양의 비트를 할당하게 한다. 그러므로 비트가 충분하지 않을 때 SMR이 상대적으로 낮은 밴드에 대해서는 비트가 할당되지 않는 문제가 발생하여 부호화기의 성능을 급격하게 저하시키는 원인이 된다. 특히 낮은 비트율에서 음질의 열화가 심하게 발생하게 된다.

본 논문에서 이러한 문제를 해결할 수 있는 효율적인 프리 에코 제어 알고리즘을 제안한다. 논문의 구성은 다음과 같다. 2장과 3장에서는 지각적 엔트로피(PE)와 비트율/왜곡 제어 과정을 설명하고 제안된 효율적인 프리 에코 제어 과정을 설명한다. 제안된 프리 에코 제어 과정은 객관적 테스트는 물론 주관적 테스트도 수행되었다.

II. MPEG 오디오 부호화기의 지각적 엔트로피

지각적 엔트로피 PE는 e_b / thr_b 의 비율로부터 계산된다^[1].

$$PE = - \sum_{b=0}^{b_{max}-1} ((w_high_b - w_low_b) \cdot \log_{10}(thr_b / (e_b + 1))) \quad (1)$$

b 는 임계 구간(Critical Band)의 인덱스이며, w_low_b 와 w_high_b 는 밴드 b 에서 각각 가장 낮은 크기의 주파수 성분과 가장 높은 크기의 주파수의 성분이다. 그리고 thr_b 는 최종 계산된 마스킹 임계치이고 e_b 는 각 밴드에서의 에너지의 합이다.

부호화과정에서 현재 프레임이 장구간인지 혹은 단구간인지를 결정하는데 PE값을 사용한다. 만약 PE가 미리 정의된 임계 SWITCH_PE 보다 크면 이에 따른 프레임은 단구간 MDCT 블록으로 전환됨으로서 시간상의 해상도가 증가되어 프리 에코 현상이 완화된다. 천이가 심한 신호의 프레임에서 양자화 잡음이 해당 프레임에 전체적으로 발생되어 천이가 심한 신호가 들리기 전에 양자화 잡음이 들리게 된다.

이러한 현상은 프레임 안에서 신호의 에너지가 갑자기 증가될 때 발생한다. 프리 에코 제어의 수행 여부를 결정하기 위해 추정된 현재 프레임의 마스킹 임계값이 이전 프레임의 마스킹 임계값을 넘지 않도록 제한하기 위해 마스킹 임계값을 이전 프레임과 비교한다. 최종 임계값은

$$thr_b = \max(absthr_b, \min(nb_{l_b}, rpelev \cdot nb_{l_b}, rpelev2 \cdot nb_{l_b})) \quad (2)$$

로 계산되며 $absthr_b$ 은 절대 임계치이며, nb_{l_b} 와 nb_{ll_b} 는 각각 현재 프레임의 임계치와 이전 프레임의 임계치를 나타낸다. $rpelev$ 와 $rpelev2$ 는 각각 2와 16을 나타낸다. 이와 같이 마스킹 임계치를 구함으로써 프리 에코를 줄일 수 있다. 이처럼 마스킹 임계치를 낮게 유지함으로써 프리 에코가 발생하는 프레임에서도 높은 지각적 엔트로피

(PE)를 얻을 수 있다^{[2][3]}. 일반적으로 천이 신호에서 발생하는 프리 에코 효과를 줄이기 위해 단구간 윈도우를 사용한다.

기존의 PE는 장구간 블록에 대해서도 같은 프리 에코 제어를 사용한다. 그러므로, 장구간 블록의 경우 각 대역에서 최종으로 구해진 마스킹 임계치는 그림 2에 나타난 것처럼 현재 프레임에서 구한 임계치와 같거나 낮게 결정된다.

만약 마지막 SMR이 추정된 임계치보다 낮아지면 부호화기는 양자화 잡음이 수정된 마스킹 낮게 분포되기 위해 실제 필요로 하는 비트보다 더 많은 양의 비트를 할당해야 한다. 따라서, 낮은 비트율에서 비트수는 항상 불충분하므로 상대적으로 낮은 SMR을 갖는 몇몇 대역에 대해서는 비트가 할당되지 않게 된다. 이는 부호화기의 비트율/왜곡 제어 과정에서 발생한다.

III. 비트율/왜곡 제어 과정

비트율/왜곡 제어 과정에서 스펙트럼 데이터의 입력 벡터는 제한된 비트에 한해서 양자화 잡음이 추정된 임계치 아래에 분포되도록 반복적으로 양자화를 하게 된다^[4]. 양자화는 대개 비선형 양자화기를 사용하며 양자화된 출력 값은 허프만 코딩을 사용하여 코딩 된다.

MPEG 2/4 AAC 양자화기에 사용되는 수식은 다음과 같다^[5].

$$x_quant = \text{int} \left(\left(|x| 2^{-\frac{1}{4}(\text{scalefactor} - \text{common_scalefactor})} \right)^{\frac{3}{4}} + \text{MAGIC_NUMBER} \right) \quad (3)$$

위 식에서 x 는 MDCT 스펙트럼 계수이며, x_quant 는 양자화된 스펙트럼 계수이고, $scalefactor$ 는 각 스케일팩터 대역에 대해서 크기를 조절해주는 인덱스이며 $common_scalefactor$ 는 프레임에서 모든 스케일팩터 대역에 대해서 크기를 조절해주는 인덱스이다. $common_scalefactor$ 는 각 프레임에 대해서 총 필요로 하는 비트수를 제어한다. MAGIC NUMBER 는 0.4054로 정의된다.

최적의 *scalefactor* 값과 *common_scalefactor* 값을 찾기 위해 내부와 외부 반복 루프로 구성된 중첩 반복 루프를 사용하여 비트수를 조절한다. 내부 반복 루프는 현재의 *common_scalefactor*와 *scalefactor* 값으로 스펙트럼 계수를 양자화한다. 그 다음, 양자화 계수와 부가 정보를 부호화하는데 필요한 비트 수를 계산하며, 만약 요구되는 비트수가 목표하는 비트 수를 초과하면 *common_scalefactor*를 조절하여 양자화의 스텝 사이즈를 증가시킨다. 이 과정은 전체 사용된 비트수가 목표하는 비트 수보다 적어질 때까지 반복된다. 조건이 만족되면 내부 루프를 빠져 나와 외부 루프로 들어간다. 외부 루프에서는 스케일팩터를 조절하여 각 대역에서의 양자화 잡음이 마스킹 임계치 아래에 분포되도록 양자화한다.

만약 어떤 대역에서 양자화 잡음이 마스킹 임계치를 넘을 경우 그 대역의 *scalefactor*를 증가시켜 양자화 스텝 사이즈를 줄여서 발생하는 왜곡을 감소시킨다. 만약 왜곡이 여전히 마스킹 임계치보다 크면 이 과정은 반복된다.

모든 대역에서의 왜곡이 마스킹 임계치 아래에 있게 되면 비트율/왜곡 제어 과정을 끝낸다. 그러나 언제나 이 조건이 만족되는 비트 할당 상태에 도달할 수 없기 때문에 몇 개의 탈출 조건이 있다^[4]. 이 밖에도 여러 가지 비트/왜곡 제어 알고리즘이 있지만, 대개 이 알고리즘이 비트/왜곡 제어에 대한 기준으로 사용된다.

비트율/왜곡 제어 과정에서는 전 주파수 대역에 대해서 양자화 잡음이 고르게 분포되도록 양자화한다. 그러나 낮은 비트율에서 이것은 만족하기 매우 힘든 조건이며 특히 마스킹 임계치가 낮은 대역의 경우에는 더욱 만족하기 힘들다. 이 경우 왜곡을 줄이기 위해 *scalefactor*를 증가시켜 마스킹 임계치가 낮은 대역들에 대해서 많은 비트를 할당하여 상대적으로 마스킹 임계치 높은 대역에 대해서 사용되는 비트가 불충분하거나 할당되지 않는다.

만약 프리 에코 제어가 장구간 블록에서 사용되면 최종 구해진 임계치는 그림 2에 나타난 것처럼 추정된 임계치보다 많이 낮아질 것이다. 실제 양자화 잡음이 이 수정된 임

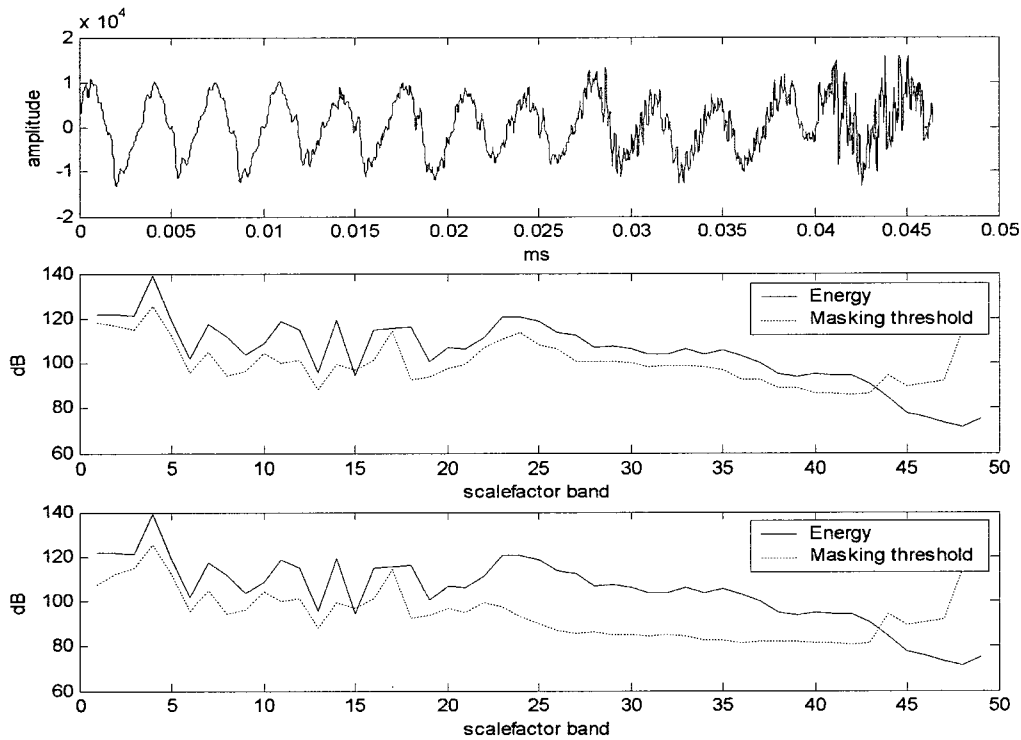


그림 2. 시간축의 신호 (위), 추정된 임계치 (중간), 프리 에코 제어에 의해 수정된 임계치 (아래).
 Fig. 2. Time signal (top), estimated threshold (middle) and modified threshold by pre-echo control (bottom).

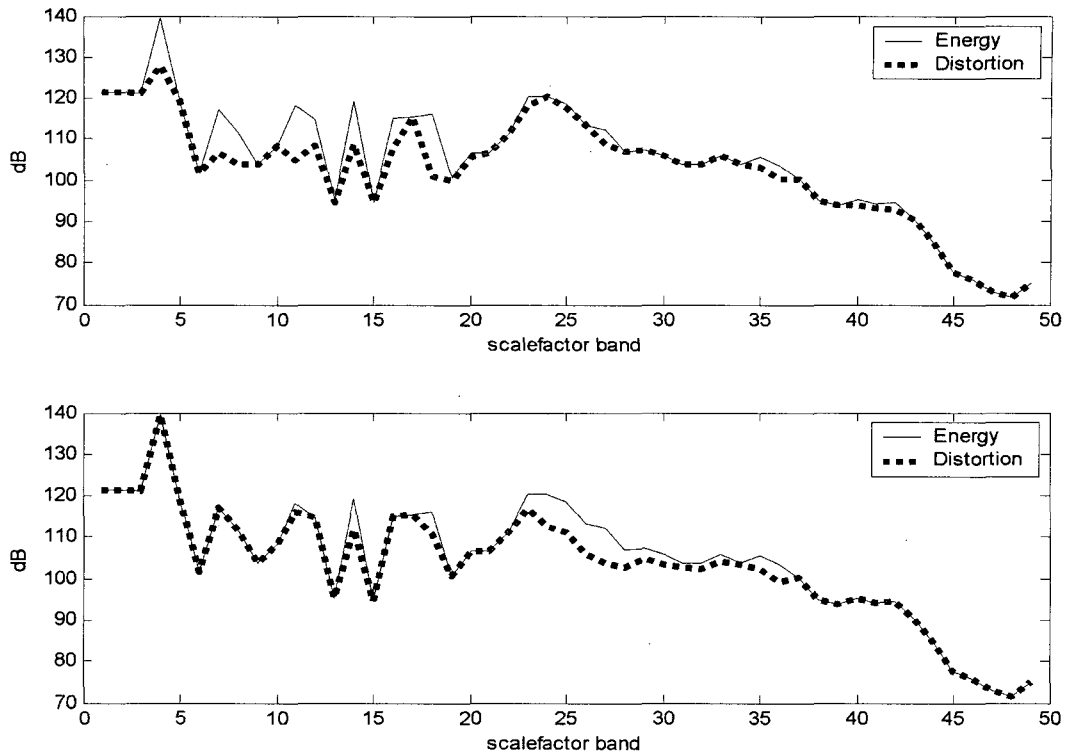


그림 3. 장구간 블록에서 프리 에코 제어를 사용하지 않은 신호(위)와 사용한 신호(아래)에 대한 스펙트럼왜곡 64 kbits/sec, stereo
 Fig. 3. Spectral distortion of encoded signal without pre-echo control (above) and with pre-echo control (below) in long block - 64 kbits/sec, stereo

계치 아래 있도록 유지하기 위해 비트가 추가적으로 사용된다. 그러나 낮은 비트율에서 비트는 불충분하므로 수정된 임계치의 SMR이 낮은 대역에 대해서는 비트가 할당되지 못한다. 그림 3은 그 예를 설명하고 있다. 프리 에코를 사용하여 부호화된 신호의 경우 대다수의 대역에 대해서 비트가 할당되지 않으므로 왜곡의 정도는 그 대역의 에너지에 비해 한다. 반면에, 프리 에코 제어를 사용하지 않았을 때 대다수의 낮은 주파수 대역의 왜곡은 작아진다. 이런 이유로 장구간 블록에서의 프리 에코 제어는 특히 낮은 비트율에서 성능 저하를 발생하게 된다.

IV. 효율적인 프리 에코 제어 알고리즘

다음의 두 가지 관점에서 프리 에코 제어 과정을 수정하면 지각적으로 성능을 향상시킬 수 있다. 첫 번째, 큰 변화

가 없는 안정적인 신호에 대해서는 프리 에코 제어 과정이 필요 없다. 오직 천이 신호에 대해서 양자화 잡음이 시간 영역에서 분포되지 않도록 프리 에코 제어 과정이 요구된다. 두 번째, 프리 에코 제어를 사용하여 그 대역에서 구한 추정된 마스킹 임계치를 낮아지게 하여 최종 임계치가 결정된다. 그러므로, 앞 절에서 설명한 바와 같이 낮은 비트율에서의 프리 에코 제어는 지각적으로 성능을 저하시킬 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 수정된 프리 에코 제어 과정을 제안한다. 제안된 알고리즘은 다음과 같이 요약된다.

가. 장구간 블록에 대해서 프리 에코 제어를 수행하지 않으며 마스킹 임계치를 계산한다.

$$est_thr_b = \max(absthr_b, nb_b) \tag{4}$$

나. 단구간에 대해서 프리 에코 제어를 사용하여 마스킹 임계치를 계산한다.

$$mdf_thr_b = \max(absthr_b, \min(nb_b, rpelev \cdot nb_l_b, rpelev2 \cdot nb_ll_b)) \quad (5)$$

다. mdf_thr_b 를 사용하여 창 전환을 위해 사용될 장구간 블록에 대해서 지각적 엔트로피 PE_W 를 계산한다.

$$PE_W = - \sum_{b=0}^{b_{max}-1} (cbwidth_b \cdot \log(mdf_thr_b / (e_b + 1))) \quad (6)$$

라. 만약 PE_W 가 $SWITCH_PE$ 보다 높다면 창의 길이는 장구간 창에서 단구간 창으로 전환된다.

마. 지각적 엔트로피와 최종 임계치를 계산한다.

A. 만약 장구간 윈도우를 사용할 경우 비트 할당에 사용될 est_thr_b 를 사용하여 지각적 엔트로피 PE_LQ 를 계산한다.

$$PE_LQ = - \sum_{b=0}^{b_{max}-1} (cbwidth_b \cdot \log(est_thr_b / (e_b + 1))) \quad (7)$$

B. 장구간 블록에 대해서 est_thr_b 를 사용하여 각 스케일 팩터 대역의 최종 임계치를 계산한다 .

C. 만약 창의 길이가 단구간이면 비트 할당에 사용될 단구간 블록에 대해서 mdf_thr_b 를 사용하여 지각적 엔트로피 PE_SQ 를 계산한다.

$$PE_SQ = - \sum_{b=0}^{b_{max}-1} (cbwidth_b \cdot \log(mdf_thr_b / (e_b + 1))) \quad (8)$$

D. 단구간 블록에 대해서 mdf_thr_b 를 사용하여 각 스케일 팩터 대역의 최종 마스킹 임계치를 계산한다.

바. 효율적인 블록 전환을 위해 여러 가지 방법이 제안되었다^{[6][7]}. 만약 창 전환을 위해 다 단계로부터 다른 방법이 사용된다면 PE_W 는 블록 전환을 하는데 필요 없으므로 다 단계와 라 단계는 건너뛴다.

그림 4는 제안된 프리 에코 제어 과정을 나타내고 있다

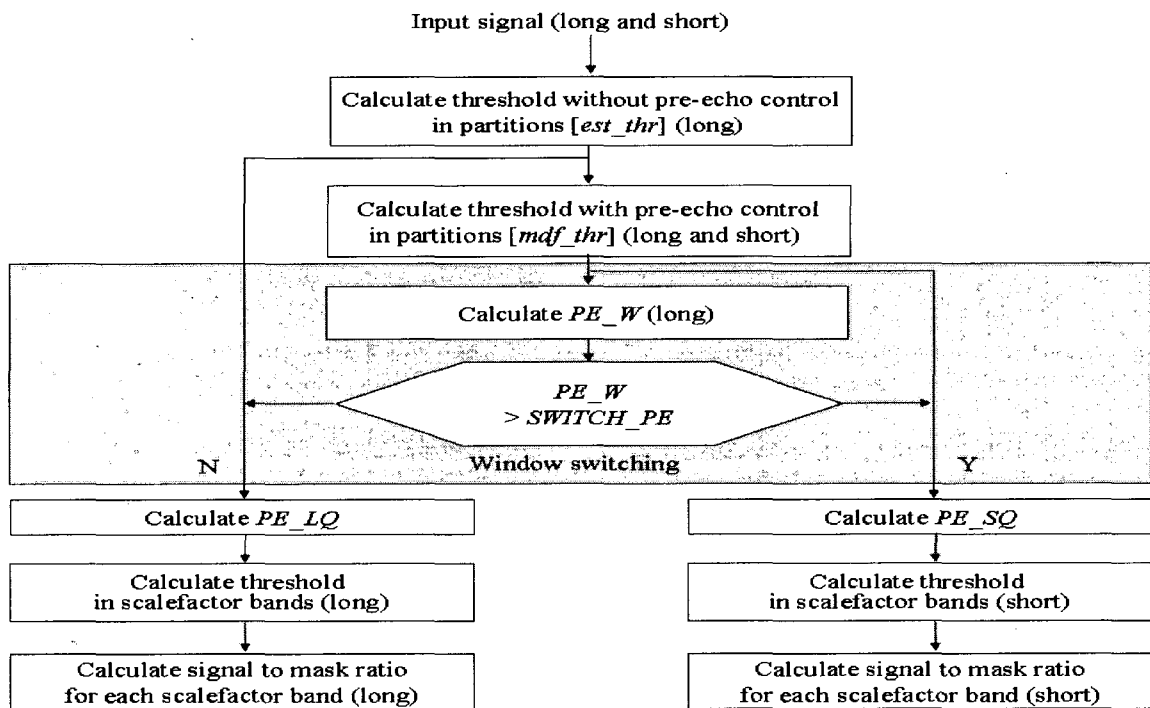


그림 4. 제안된 프리 에코 제어의 블록도
Fig. 4. Block diagram of proposed pre-echo control

V. 음질 테스트

청취 실험은 표 1에 정리된 여러 음원을 사용하여 수행

표 1. 청취 실험에 사용된 실험 자료
Table 1. Test material in the listening test

Test Item	Description	Duration (seconds)
Es01	Vocal (Suzan Vega)	10
Es02	German speech	Speech signal
Es03	English speech	
Si01	Harpichord	Single instruments
Si02	Castanets	
Si03	Bagpipes	Simple sound mixtures
Si04	Glockenspiel	
Sc01	The Cardigans "Iron Man Lyrics"	Complex Sound mixtures
Sc02	The Beautiful South track "Blackbird On The Wire"	
Sc03	Sarah McLachlan's "Elsewhere"	

되었다. 객관적 음질 평가를 위해 ITU R BS.111에서 제안된 double blind triple stimulus with hidden reference 방법이 사용되었으며^[8]. 실험 참가자로는 실험 환경에 익숙한 숙련된 12명의 청취자가 수행하였다. 각 청취자는 ITU R 5 impairment scale로 헤드폰을 통해 들리는 실험 자료를 평가했다. 실험 시료들은 44.1Khz로 샘플링된 음원으로 AAC 코덱을 사용하여 각각 기존의 프리 에코 제어 과정과 제안된 프리 에코 제어 과정을 사용하여 부호화 되었다. 사용된 AAC 코덱에는 프리에코 제어만의 효과를 관찰하기 위해 TNS 및 PNS 등은 사용되지 않았다. 대부분 심각한 음질 저하 문제는 비트가 충분하지 않을 때 발생하므로 목표 비트율은 64kbit/sec 스테레오로 설정되었다. 같은 비트율에서 대역 제한된 자료들을 사용하여 선호도 실험 또한 함께 수행되었다. 이 실험의 목적은 잡음이 섞인 전대역 신호와 전대역의 경우보다 적은 잡음이 섞인 대역 제한된 신호 사이에서 청취자의 선호도를 판별하는 것이다. 실험 결과 많은 사람들이 전대역의 왜곡된 소리보다는 대역이 제한된 소리를 선호한다는 결과를 보였다. 그림 5에 나타났듯이 전대역, 전대역의 절반일때와 1/4 대역 일때에 대해서 각각 약 25%, 45%와 30%의 평균 선호도가 나타났다.

청취 실험결과에는 그림 6에 나타나있다. 그림 6에서 제안된 프리 에코 제어 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 성능

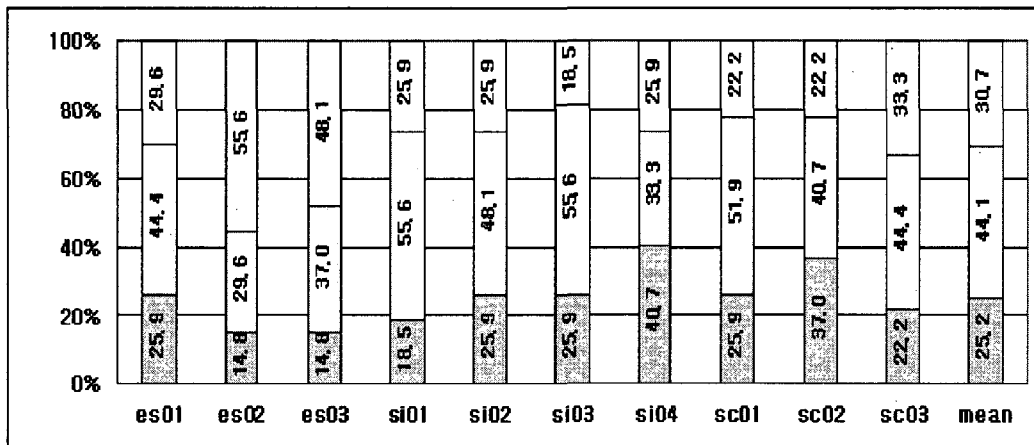


그림 5. 평균 선호도 순서[전대역의 1/4일 때 (위), 전대역의 절반 일때 (중간) 와 전대역 일 때 (아래)]
Fig. 5. Averaged preference orderings [quarter (top), half (middle) and full (bottom) bandwidth]

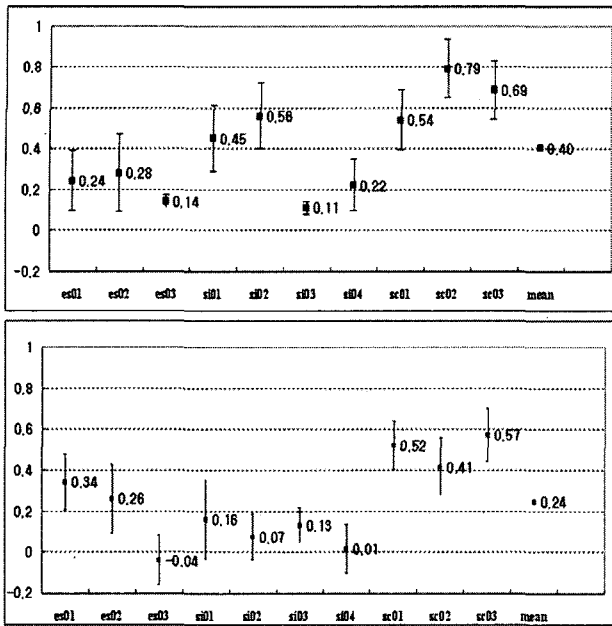


그림 6. 청취 실험 결과: 전대역(위)과 절반대역(아래)에 대해서 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘의 상대적인 비교 (평균과 95%의 신뢰 구간) 64 kbits/sec, stereo
 Fig. 6. Listening test results: the proposed process relative to the conventional process, full bandwidth (above) and half bandwidth (below) (Average and 95% confidence interval) - 64 kbits/sec, stereo

이 향상된 것을 뚜렷하게 볼 수 있다. 입력 신호의 에너지가 역동적으로 변하는 경우 마스킹 임계치 또한 그에 따라서 역동적으로 변하며, 이러한 경우 마스킹 임계치는 기존의 과정에서 구한 실제 임계치보다 낮아지게 한다. 이러한 이유로 제안된 과정을 사용함으로써 음성 신호보다는 팝 음악에 대해 더욱 개선된 결과를 보인다.

기존의 프리 에코 제어 과정과 제안된 프리 에코 제어 과정을 사용하여 얻어진 신호의 에너지를 그림 7에 나타내었다. 청취자의 선호도가 가장 높은 절반 대역의 음원으로 실험을 진행하였다. 그림에서 실선은 원래 신호의 에너지를 나타낸다. 기존의 알고리즘이 사용될 경우 비트는 주로 고주파 대역에 할당되어 지각적으로 중요한 낮은 주파수 성분과 중간 주파수 성분들에 대해서는 비트가 적절하게 할당되지 않는 반면에, 제안된 과정은 이런 문제들이 보완되어 대부분의 지각적으로 중요한 스펙트럼 성분들이 잘

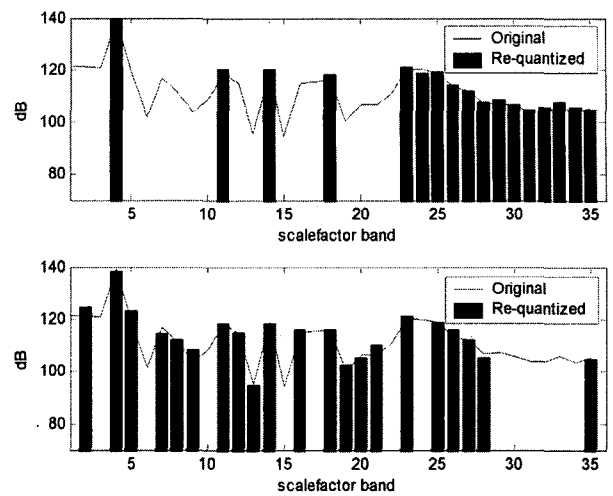


그림 7. 절반 대역에서 기존의 과정으로 합성된 신호(위)와 제안된 과정으로 합성된 신호(아래)의 에너지 64 kbits/sec, stereo
 Fig. 7. Energy of re-quantized signal encoded with a conventional process (above) and a proposed process (below) - 64 kbits/sec, stereo, half bandwidth

보존된다. 이는 제안된 프리 에코 과정의 향상된 성능을 뒷받침한다.

VI. 결론

이 논문에서는 낮은 비트율에서 MPEG 심리음향모델 2에서 사용된 기존의 프리 에코 제어보다 효율적인 프리 에코 제어를 사용하여 더 나은 음질을 제공하는 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 프레임의 길이와 상관 없이 프리 에코 콘트롤을 시행하는 기존 알고리즘과 달리 단구간 프레임에 대해서만 선택적으로 프리 에코 제어를 수행하도록 함으로써 낮은 비트율에서 비트 할당 효율을 현저히 향상시킨다. 오디오 트랙을 사용하여 실험했고 개선된 음질은 ITU R의 객관적 청취 실험을 통해서 확인되었으며 실험 결과는 제안된 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 좋은 성능을 보였다.

참 고 문 헌

[1] ISO/IEC 11172 3, Coding of Moving Pictures and Associated Audio for Digital Storage Media at up to about 1.5 Mb/s (Part 3: MPEG Audio), August 1993.

[2] Karlheinz Brandenburg, Gerhard Stoll, et al, "ISO MPEG 1 Audio : A generic standard for coding of high quality digital audio," J. Audio Eng. Soc., Vol. 42, No. 10, pp. 780 792, Oct 1994

[3] Karlheinz Brandenburg, Marina Bosi, "Overview of MPEG audio : current and future standards for low bit rate audio coding," J. Audio Eng. Soc., Vol. 45, No. 1/2, pp. 4 21, Jan./Feb 1997

[4] ISO/IEC 14496 3, Information technology - Coding of audio visual objects - Part 3: Audio, December 2001.

[5] ISO/IEC 13818 7, MPEG 2 Advanced Audio Coding, AAC, April 1997.

[6] Chi Min Liu, et al., "Design of MPEG 4 AAC Encoder," In Proc. 117th Convention of AES. Preprint No.6201, 2004.

[7] Michael J. Smithers and Matt C. Fellers, "Increased Efficiency MPEG 2 AAC Encoding," In Proc. 111th Convention of AES. Preprint No.5490, 2001.

[8] ITU R, Methods for the subjective assessment of small impairments in audio systems including multichannel sound systems. ITU R Recommendation BS. 1116, 1994.

저 자 소 개



이 창 준 (Chang-Joon Lee)

- 2004년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업
- 2006년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사
- 2006년 3월~현재 : 삼성전자 정보통신총괄 통신연구소
- 주관심분야 : 디지털신호처리, 오디오 신호처리



이 재 성 (Jae-seong Lee)

- 2003년 2월 : 건국대학교 전자공학과 졸업
- 2005년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사
- 2005년 3월~현재 : 연세대학교 전자공학과 박사과정
- 주관심분야 : 디지털신호처리, 오디오 신호처리



박 영 철 (Young-Cheol Park)

- 1986년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업
- 1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사
- 1993년 2월 : 연세대학교 전자공학과 박사
- 현재 : 컴퓨터정보통신공학부 교수
- 주관심분야 : 디지털 신호처리, 오디오 신호처리, 음성 신호처리, 적응 신호처리