

적응 지각 필터를 이용한 오디오 음질 개선 알고리즘

Audio Enhancement Algorithm Using Adaptive Perceptual Filter

엄혜영*, 한현수*, 홍민철*, 차형태*

(Hye-yeong Eom*, Hahn-soo Hahn*, Min-cheol Hong*, Hyung-tai Cha*)

* 숭실대학교 전자공학과

(접수일자: 2003년 7월 28일; 수정일자: 2003년 9월 9일; 채택일자: 2003년 10월 20일)

본 논문에서는 적응적인 방식으로 필터의 성능을 향상시킴으로써 잡음에 의해 열화된 오디오 신호의 음질을 개선하는 알고리즘을 제안한다. 주파수 영역으로 변환된 잡음에 의해 열화된 신호를 바크 대역으로 분할하여 청각 자극 에너지를 계산하고, 필터를 적응적으로 적용하여 잡음 에너지를 제거함으로써 본래의 신호를 획득하는 방식을 사용하였다. 기존의 방식에서는 묵음 구간에서 획득한 잡음 에너지를 사용하여 필터를 구성하여 사용하며, 이때 잡음의 에너지가 급격하게 변화한다면 음질의 개선률이 급격하게 감소함을 알 수 있다. 그러나 제안하는 방식에서는 잡음 에너지가 급격하게 변화하여도 음질 개선률에는 변화가 적음을 알 수 있었다. 기존 방식과의 비교를 위하여 신호대 잡음비와 잡음대 마스크비를 비교하였고 청각 테스트를 수행하여 그 결과로부터 향상된 음질 개선을 확인할 수 있었다.

핵심용어: 지각 필터, 오디오 음질 개선, 적응 신호 처리, 임계 대역 처리

투고분야: 음악음향 및 심리음향 분야 (8.7), 음향 신호처리 분야 (1.4)

In this paper, a new adaptive audio signal enhancement algorithm is proposed. In order to remove a broadband noise from a noisy signal, a filter is designed and applied adaptively to noisy audio signal. The noisy signal is first transformed to frequency domain and divided into bark domain to calculate excitation energy. A filter will be calculated to eliminate the noise by using the excitation energy and noisy energy which is obtained from a silent area. The filter is adaptively adjusted and continuously applied until the threshold point is met. The algorithm also works well even though the noise's energy change all of a sudden. SNR, NMR comparison and MOS Test are performed to show the effectiveness of the proposed algorithm.

Keywords: Perceptual filter, Audio enhancement, Adaptive signal processing, Bark domain processing

ASK subject classification: Musical acoustics and psychoacoustics (8.7), Acoustic signal processing (1.4)

I. 서론

음질 개선을 위한 음성 신호처리 분야에서는 수학적인 기법에 기초한 많은 연구가 있어 왔다. 근래에는 지각적인 분석 기법이 추가되어 좀더 다양한 방법으로 신호를 처리하는 방법들이 개발되고 있다. 오디오 및 음성처리에서는 귀의 특성을 모델링한 청각모델을 이용함으로써 많은 효율적인 결과들을 얻을 수 있었다. 이러한 지각적인 방법들을 이용하여 신호를 처리하거나 전송 또는 압축하는 과정에서 발생하는 잡음을 제거하기 위하여 많은 노력들이 있어 왔다.

잡음에 의해 열화된 오디오 신호를 개선하여 향상된 음질로 듣고자 하는 인간의 심리적 욕구를 충족시키기 위해 인간의 지각 특성을 모델링한 청각모델의 시간-주파수 영역의 특성을 이용한 방법[1], 청각모델을 기반으로 한 마스크 특성을 이용한 방법[2,3,5] 등 개선된 음질의 오디오 신호를 얻기 위한 연구가 이루어져 왔다.

본 논문에서는 인간의 청각 시스템에서 주파수 변별력을 나타내는 임계 대역에서의 청각 자극 에너지를 이용한 에너지 차감 형식의 필터를 잡음에 의해 열화된 오디오 신호에 적응적으로 적용함으로써 신호의 음질을 개선하는 방법을 제안하고 있다.

제안하는 알고리즘은 신호와 잡음의 에너지 비율이 주파수 구간에 따라 다르다는 것을 고려하여 임계 대역 에너지 영역에서 잡음을 처리하는 알고리즘을 개발하여 적용

책임저자: 엄혜영 (minterm@nate.com)
156-743 서울시 동작구 상도5동 숭실대학교 제1공대 303호
멀티미디어시스템 연구실
(전화: 02-826-9063; 팩스: 02-826-9063)

함으로써 잡음이 큰 주파수 구간에서 효과적인 성능을 보였다.

II. 청각 자극 에너지 차감 필터

신호의 전력 스펙트럼을 $X(\omega, i)$ 라고 할 때, 신호의 전력 스펙트럼으로부터 외이(外耳)에서 중이(中耳)까지 전송을 고려한 임계 대역에서의 전체 신호 에너지를 나타내는 임계 대역 에너지는 다음과 같이 표현할 수 있다 [2,5].

$$X_i(z, i) = a_0(z) \sum_{\omega=\omega_{kz}}^{\omega_{kz+1}} X(\omega, i), \quad 1 \leq z \leq Z \quad (1)$$

이때, z 는 바크 인덱스(Bark index)를 나타내며, $a_0(z)$ 는 외이로부터 중이까지의 다양한 전달 특성 요소(Transformation factor)들에 의한 주파수 의존 감쇠 특성을 나타내는 감쇠 성분이다. ω, i 는 주파수 축과 프레임 윈도우의 인덱스를, $\omega_{kz}, \omega_{kz+1}$ 는 임의의 임계 대역에서의 주파수 경계를 나타내며, 그리고 Z 는 전체 임계 대역의 수를 나타낸다. 이러한 임계 대역 에너지는 인접 대역을 비롯한 다른 대역에 마스킹 영향을 끼치게 되는데 이러한 마스킹 확산현상을 고려하기 위해 확산 함수, $SF(v, z)$ 를 통해 컨벌루션 연산을 수행함으로써 신호의 에너지에 대한 각각의 임계 대역에서의 청각 자극 에너지를 나타낼 수 있다[1,4].

$$X_e(z, i) = \sum_{v=0}^{z-1} [SF(v, z)X_i(v, i)], \quad 1 \leq z \leq Z \quad (2)$$

잡음에 의해 열화된 신호와 원 신호의 청각 자극 에너지를 $Y_e(z, i), X_e(z, i)$ 라고 할 때, 잡음에 의해 열화된 신호에 적용되어 원 신호에 가까운 개선된 신호를 얻을 지각 필터를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_e(z, i) = \frac{X_e(z, i)}{Y_e(z, i)}, \quad 1 \leq z \leq Z \quad (3)$$

오디오 신호를 열화시킨 잡음의 청각 자극 에너지를 $D_e(z, i)$ 라고 하고 신호와 잡음이 서로 상관관계가 없다고 할 때, 잡음에 의해 열화된 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_e(z, i) = X_e(z, i) + D_e(z, i), \quad 1 \leq z \leq Z \quad (4)$$

잡음에 의해 열화된 신호의 묵음 구간에서 추정된 잡음

신호를 $\hat{D}_e(z, i)$ 라고 하면 식 (3)과 (4)에 의해 지각 필터는 다음과 같이 다시 표현할 수 있다[1].

$$H_e(z, i) = 1 - \frac{\hat{D}_e(z, i)}{Y_e(z, i)}, \quad 1 \leq z \leq Z \quad (5)$$

$$0 \leq H_e(z, i) \leq 1$$

III. 적용 지각 필터

지각 필터의 잡음 에너지 차감 작용을 이용하여 잡음에 의해 열화된 신호에 지각 필터를 적용적으로 적용한다면 신호의 왜곡을 최소화하면서 잔여 잡음을 효과적으로 제어할 수 있다. 지각 필터의 적용 결과, 신호는 처음의 입력인 잡음에 의해 열화된 신호와는 동일하지 않은 잡음 에너지를 포함하고 있다. 이때 존재하는 잔여 잡음의 에너지를 제어하기 위해 적용적으로 적용되는 시점에서 얻어진 결과 신호에 의해 식 (5)의 잡음과 잡음에 의해 열화된 신호의 청각 자극 에너지의 관계를 적절하게 재조정할 수 있다.

그림 1은 식 (5)의 지각 필터를 구성하는 두 인자인, 묵음 구간의 추정 잡음과 잡음에 의해 열화된 신호의 청각 자극 에너지를 재조정하여 적용적으로 적용함으로써 개선된 신호를 얻기 위한 개념도를 나타낸 것이다. 즉, 지각 필터를 잡음에 의해 열화된 신호에 적용하면 신호를 열화시킨 잡음 에너지가 감소하게 된다. 그러므로 지각 필터를 적용할 때마다 지각 필터의 인자로 이용되는 추정

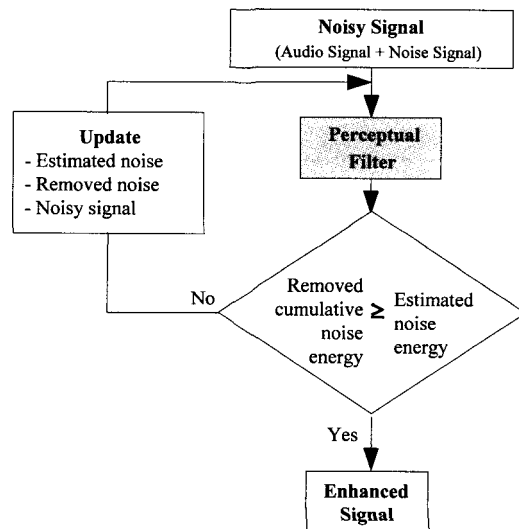


그림 1. 적용 지각 필터의 개념도
Fig. 1. Flow graph for adaptive perceptual filter.

잡음과 잡음에 의해 열화된 신호의 청각 자극 에너지, $\hat{D}_e(z, i)$, $Y_e(z, i)$ 를 재조정한다. 재조정되는 청각 자극 에너지를 이용하여 적응적으로 에너지를 차감하는 형식의 필터를 적응 지각 필터라고 하면, 적응 지각 필터를 구성하는 두 청각 자극 에너지, $\hat{D}_e(z, i)$, $Y_e(z, i)$ 가 재조정되는 과정은 다음과 같다.

잡음에 의해 열화된 신호 중에서 원 신호가 아주 미비하고 잡음이 대부분을 차지하는 신호의 청각 자극 에너지를 $Y_e^D(z, i)$ 라고 하면 식 (6)과 같은 관계를 생각할 수 있다.

$$Y_e^D(z, i) = X_e^D(z, i) + D_e^D(z, i) \quad (6)$$

where, $X_e^D(z, i) = X_e(z, i) \approx 0$

잡음이 대부분을 차지하는 이 신호가 적응 지각 필터를 거치게 되는 첫 번째 ($m=1$) 결과를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{X}_i^D(z, i) = H_e^A(z, i) Y_i^D(z, i) \quad (7)$$

$$= \left(1 - \frac{\hat{D}_e(z, i)}{Y_e(z, i)} \right) Y_i^D(z, i)$$

이때 묵음 구간의 추정 잡음 신호를 식 (7)의 결과로부터 식 (2)의 과정을 거쳐 얻은 $Y_e^D(z, i)$ 와 유사한 신호로 생각할 수 있으므로 식 (8)과 같이 적용할 수 있다.

$$\hat{D}_e(z, i) = Y_e^D(z, i) \quad (8)$$

재조정된 추정 잡음과 의해 열화된 신호의 청각 자극 에너지를 $\hat{D}_e(z, i)^{(m)}$, $Y_e^D(z, i)^{(m)}$ 라고 할 때, 적응 지각 필터가 처음 ($m=1$) 적용되는 경우는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{X}_i(z, i)^{(1)} = H_e^A(z, i)^{(0)} Y_i(z, i)^{(0)} \quad (9)$$

$$= \left(1 - \frac{\hat{D}_e(z, i)^{(0)}}{Y_e(z, i)^{(0)}} \right) Y_i(z, i)^{(0)}$$

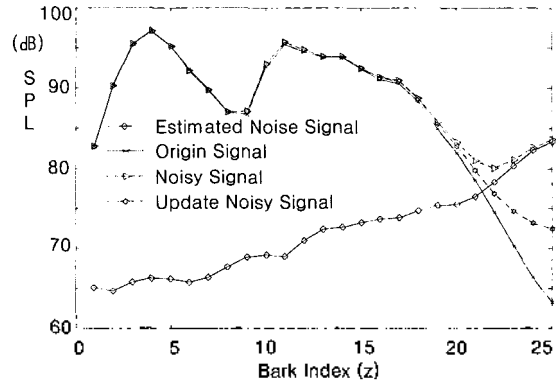
$$\hat{X}_i^D(z, i)^{(1)} = H_e^A(z, i)^{(0)} Y_i^D(z, i)^{(0)} \quad (10)$$

$$= \left(1 - \frac{\hat{D}_e(z, i)^{(0)}}{Y_e(z, i)^{(0)}} \right) Y_i^D(z, i)^{(0)}$$

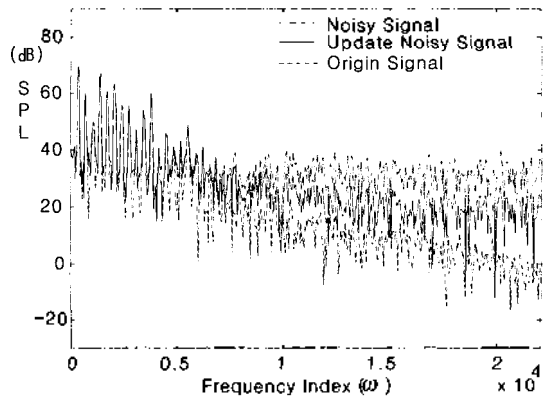
where, $Y_i^D(z, i)^{(0)} = \hat{D}_e(z, i)^{(0)}$

여기서, m 은 적응 지각 필터를 반복 적용하는 횟수로, $m=1$ 인 경우는 처음 입력으로 들어온 잡음에 의해 열화된 신호에 적응 지각 필터를 적용한 경우이므로, 초기의 묵음 구간에서 추정한 잡음과 잡음에 의해 열화된 신호의

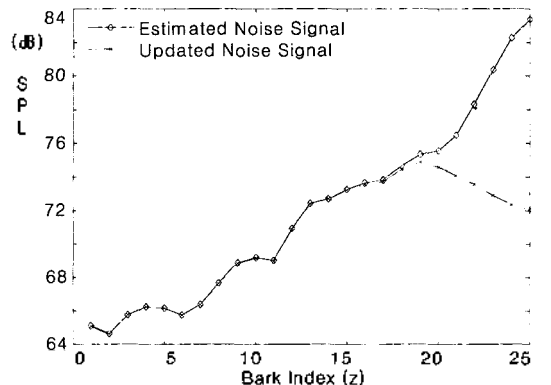
임계 대역 에너지를 이용하게 된다. 적응 지각 필터가 한번 적용된 결과는 다시 적응 지각 필터의 $m=2$ 의 입력으로 이용되기 때문에 식 (9)와 (10)의 결과는 식 (2)에 의해 청각 자극 에너지를 얻을 수 있고 이로부터 잡음에 의해 열화된 신호와 묵음 구간의 추정 잡음 신호가 재조정된 결과를 얻을 수 있다. 이때 얻어진 청각 자극 에너지의 변환을 그림으로 확인해 보면 그림 2와 같다.



(a) 바크영역에서의 청각 자극 에너지 결과
(a) Data in Bark Domain



(b) 주파수 영역에서의 전력 스펙트럼 결과
(b) Data in power spectrum



(c) 바크 영역에서의 잡음 신호에 대한 청각 자극 에너지 결과
(c) Noise data in bark domain

그림 2. 적응 지각 필터가 1회 적용된 결과
Fig 2. The result when adaptive perceptual filter is applied once.

그림 2(a)에서 재조정된 신호는 잡음에 의해 열화된 신호보다 청각 자극 에너지가 감소하였지만 원 신호의 청각 자극 에너지와 비교할 때 잔여 잡음의 에너지가 포함되어 있음을 확인할 수 있다. 잡음에 의해 열화된 신호의 묵음 구간으로부터 추정된 잡음의 청각 자극 에너지가 재조정되는 과정을 살펴보기 위해 그림 2(c)에서 추정된 잡음이 적응 지각 필터를 거치면서 재조정된 결과를 나타내었다. 그림 2(a)와 그림 2(c)에서 적응 지각 필터의 적용으로 잡음에 의해 열화된 신호와 잡음 신호로부터 잡음의 청각 자극 에너지의 감소를 확인할 수 있다. 또한, 그림 2(b)에서 주파수 영역에서의 전력 스펙트럼의 비교 결과에서도 개선 신호의 전력 스펙트럼은 잡음에 의해 열화된 신호보다 잡음의 영향이 감소됨을 확인할 수 있다.

식 (9)과 (10)에서 얻은 결과는 잡음 에너지의 영향이 남아 있기 때문에 다시 적응 지각 필터를 적용할 입력으로 사용되고, 동시에 적응 지각 필터를 재조정하게 된다. 입력과 재조정된 적응 지각 필터를 이용하여 개선된 신호를 얻는 과정은 $m=2$ 인 경우로 다음과 같다.

$$\hat{X}_i(z, i)^{(2)} = H_e^A(z, i)^{(1)} Y_i(z, i)^{(1)} \quad (11)$$

$$= \left(1 - \frac{\hat{D}_e(z, i)^{(1)}}{Y_e(z, i)^{(1)}} \right) Y_i(z, i)^{(1)}$$

where, $Y_i(z, i)^{(1)} = \hat{X}_i(z, i)^{(1)}$

$$\hat{X}_i^D(z, i)^{(2)} = H_e^A(z, i)^{(1)} Y_i^D(z, i)^{(1)} \quad (12)$$

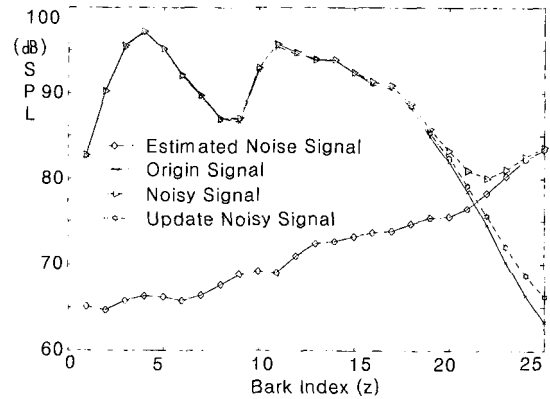
$$= \left(1 - \frac{\hat{D}_e(z, i)^{(1)}}{Y_e(z, i)^{(1)}} \right) Y_i^D(z, i)^{(1)}$$

where, $\hat{D}_i(z, i)^{(1)} = Y_i^D(z, i)^{(1)} = \hat{X}_i^D(z, i)^{(1)}$

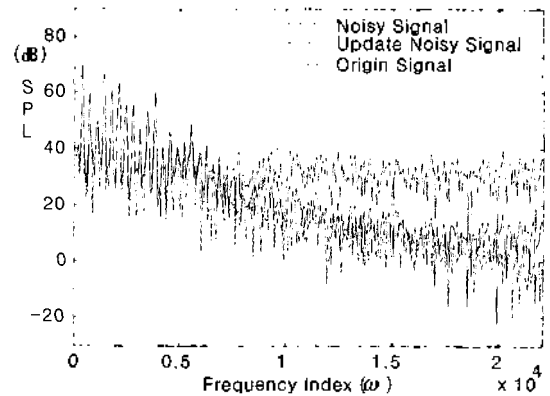
식 (11)과 (12)는 적응 지각 필터를 두 번 적용적으로 적용하여 얻은 잡음에 의해 열화된 신호와 묵음 구간의 추정 잡음 신호의 재조정된 임계 대역 에너지를 나타낸다. 식 (2)에 의해 청각 자극 에너지의 재조정된 결과를 그림으로 표현하였을 때의 변화를 그림 3에서 확인할 수 있다.

적응 지각 필터를 두 번 적용한 그림 3의 결과로부터 한 번 적용된 그림 2의 결과와 비교할 때, 재조정된 잡음에 의해 열화된 신호와 잡음 신호 에너지의 그림 2의 결과보다 더 많은 감소를 확인할 수 있다. 하지만 그림 3(a)에서 재조정된 신호의 에너지가 원 신호의 에너지보다 높게 나타남으로써 아직 잔여 잡음이 남아 있음을 확인할 수 있다. 이렇게 얻어진 결과에서 잔여 잡음이 존재하는 경우는 입력과 적응 지각 필터를 재조정하여 다시 적용하게 된다. 이와 같은 과정을 반복적으로 거치면서 지각적으

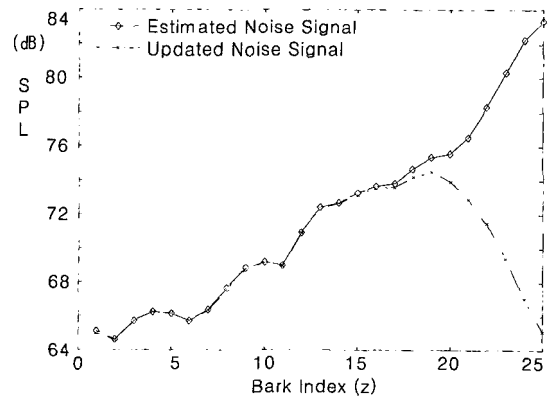
로 잡음 에너지의 영향이 없는 개선 신호를 얻는데 적응 지각 필터가 m 번 적용된다고 할 때 잡음에 의해 열화된 신호와 잡음 신호의 재조정된 값은 다음과 같이 일반화된 식으로 나타낼 수 있다.



(a) 바크 영역에서의 청각 자극 에너지 결과
(a) Data in Bark Domain



(b) 주파수 영역에서의 전력 스펙트럼 결과
(b) Data in power spectrum



(c) 바크 영역에서의 잡음 신호에 대한 청각 자극 에너지 결과
(c) Noise data in bark domain

그림 3. 적응 지각 필터가 2회 적용된 결과

Fig. 3. The result when adaptive perceptual filter is applied twice.

$$\hat{X}_i(z, i)^{(m)} = H_e^A(z, i)^{(m-1)} Y_i(z, i)^{(m-1)} \quad (13)$$

$$= \left(1 - \frac{\hat{D}_e(z, i)^{(m-1)}}{Y_e(z, i)^{(m-1)}} \right) Y_i(z, i)^{(m-1)}$$

where, $Y_i(z, i)^{(m-1)} = \hat{X}_i(z, i)^{(m-1)}$

$$\hat{X}_i^D(z, i)^{(m)} = H_e^A(z, i)^{(m-1)} Y_i^D(z, i)^{(m-1)} \quad (14)$$

$$= \left(1 - \frac{\hat{D}_e(z, i)^{(m-1)}}{Y_e(z, i)^{(m-1)}} \right) Y_i^D(z, i)^{(m-1)}$$

where, $\hat{D}_e(z, i)^{(m-1)} = Y_i^D(z, i)^{(m-1)} = \hat{X}_i^D(z, i)^{(m-1)}$

$m \geq 1, 1 \leq z \leq Z, 0 \leq H_e^A(z, i) \leq 1$

식 (13)과 (14)에서 임계값에 만족하는 결과로 원 신호와 청각적으로 일치하는 개선 신호를 얻었을 때, 식 (2)의 과정으로부터 얻은 잡음에 의해 열화된 신호와 잡음 신호의 청각 자극 에너지를 얻어진 개선 신호와 개선 신호에 존재하는 잔여 잡음의 변화를 비교하면 그림 4와 같다.

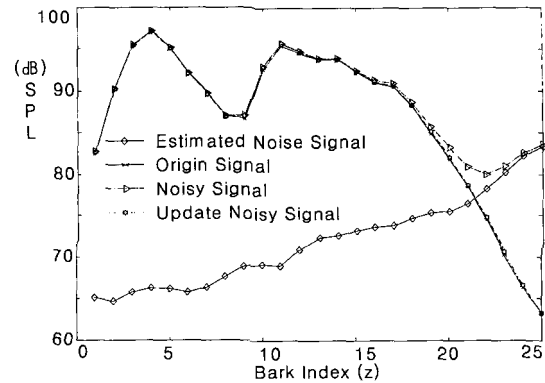
그림 4(a)에서 지각적으로 원 신호와 같은 개선 신호를 얻은 결과 청각 자극 에너지가 원 신호와 거의 동일하고 그림 4(b)로부터 원 신호와 거의 동일한 전력 스펙트럼을 얻을 수 있음을 확인할 수 있다. 그림 4(c)에서는 묵음 구간의 추정된 잡음에서 적용 지각 필터를 적용하는 동안 잡음 에너지의 감소 정도를 확인할 수 있다.

식 (13)과 (14)에서의 결과를 입력 표현식으로 생각할 때, 식 (2)에 의해 재조정된 추정 잡음과 잡음 신호의 청각 자극 에너지, $\hat{D}_e(z, i)^{(m)}$, $Y_e(z, i)^{(m)}$ 을 얻을 수 있다. 이 결과를 이용하여 묵음 구간 추정 잡음 정보를 재조정하고, 식 (5)의 분자, 분모 텀이 재조정되는 두 인자로 구성되므로 적용 지각 필터, $H_e^A(z, i)$ 역시 재조정된 식으로 다음과 같이 일반화시킬 수 있다.

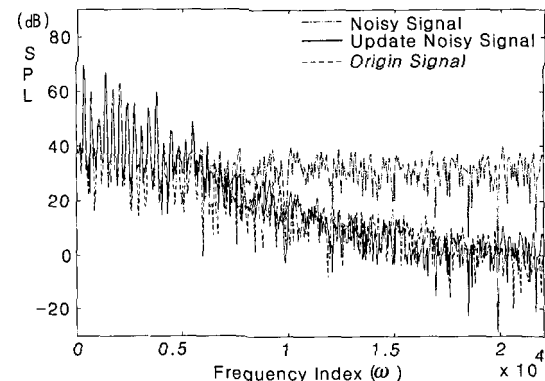
$$H_e^A(z, i)^{(m)} = 1 - \frac{\hat{D}_e(z, i)^{(m)}}{Y_e(z, i)^{(m)}}, \quad 1 \leq z \leq Z, m \geq 1 \quad (15)$$

이때, $\hat{D}_e(z, i)^{(m)}$ 와 $Y_e(z, i)^{(m)}$ 는 재조정된 묵음 구간 추정 잡음과 잡음 신호의 청각 자극 에너지를 나타내고, $H_e^A(z, i)^{(m)}$ 는 적응적인 방법의 자극 에너지를 이용한 에너지 차감 형식의 적용 지각 필터를 나타낸다. 그리고 m 은 잡음에 의해 열화된 신호에 적용 지각 필터가 적용되는 횟수를 나타낸다. 잡음에 의해 열화된 신호로부터 제거된 잡음으로 이루어진 신호는 잡음의 성분만이 아닌 신호의 성분이 포함되어지게 된다. 그래서 제거된 잡음을 얻을 때 묵음 구간 잡음을 이용하면 신호 성분이 거의 없이 신호를 열화시킨 잡음의 에너지를 추정할 수 있게 된다. 추정 잡음에 해당하는 에너지만큼 잡음을 제

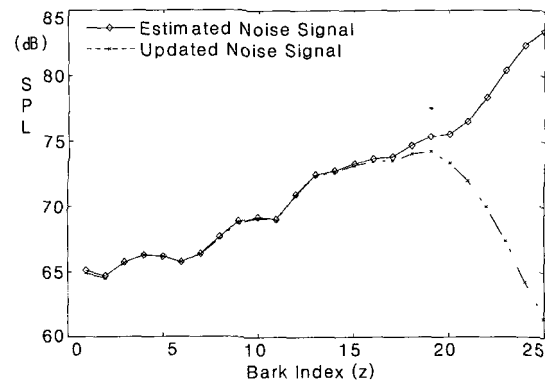
거하게 되면 원 신호에 가까운 개선된 신호를 얻는데 이 때 제거된 잡음의 에너지를 측정하기 위해 신호성분의 영향을 피하기 위해 묵음 구간의 추정 잡음 에너지를 기준으로 이용할 수 있다. 그러므로 잡음에 의해 열화된 신호에 적용 지각 필터의 적용으로 제거된 누적 잡음 에너지와 묵음 구간에서 추정된 잡음 에너지가 같아진다면



(a) 바크 영역에서의 청각 자극 에너지 결과
(a) Data in Bark Domain



(b) 주파수 영역에서의 전력 스펙트럼 결과
(b) Data in power spectrum



(c) 바크 영역에서의 잡음 신호에 대한 청각 자극 에너지 결과
(c) Noise data in bark domain

그림 4. 적응 지각 필터의 m 회 적용된 결과
Fig. 4. The result when adaptive perceptual filter is applied m times.

지각적으로 원 신호와 같은 개선된 신호를 얻을 수 있다.

IV. 실험 결과

실험에 사용된 신호들은 일반 오디오 CD로부터 획득한 44.1 kHz의 샘플링 율과 16 bit/sample의 정밀도를 갖는 다양한 장르의 오디오 신호들을 이용하였다. 신호를 열화시키기 위해 백색 가우시안(Gaussian) 잡음을 첨가시켜 신호대 잡음비(Signal-to-noise ratio, SNR) 20 dB로 잡음에 의해 열화된 신호를 입력 신호로 실험에 이용하였고, 해닝 윈도우(Hann type window) 함수와 오버랩 애드(Overlap add)방식을 주파수축 변환에 사용하였다.

그림 5의 잡음에 의해 열화된 신호를 입력 신호로 처리 부분(Processing)에 대해서 음질 개선을 위해 신호대 잡음비 20 dB의 신호에 지각 필터(Perceptual filter, PF)와 적응 지각 필터(Adaptive perceptual filter, APF)를 적용하여 얻은 개선 결과에 대한 비교를 위하여 그림 6에서 SSNR(Segmental Signal-to-noise ratio)과 NMR(Noise-to-mask ratio)을 비교하였다.

그림 6에서 PF(0 dB)는 추정오차가 0 dB인 지각 필터에 대한 성능을 나타내고 동일하게 APF(-3 dB)는 추정오차가 -3 dB인 적응 지각 필터에 대한 성능을 나타낸다. 즉 괄호 안에 dB는 추정오차를 나타내며 추정오차에 따른 지각 필터와 적응 지각 필터의 성능을 비교할 수 있다. 그림 6의 SSNR을 비교한 결과에서 알 수 있듯이 성능이 낮은 장르(Rock)도 있었지만 비교적 적응 지각 필터에 대해서는 -3 dB의 추정오차가 존재함에도 성능의 변화가 없는 반면 지각 필터는 -3 dB의 추정오차가 존재할 경우 SSNR의 2 dB정도 성능이 저하됨을 확인하였다. 또

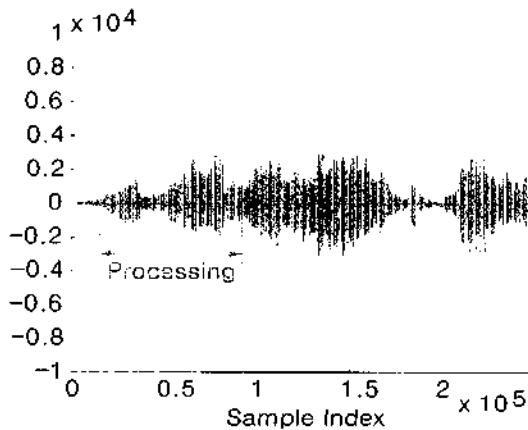
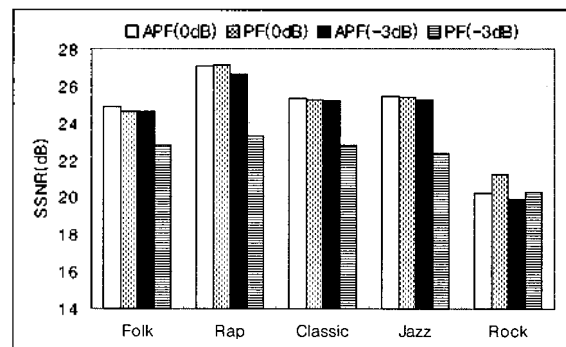


그림 5. 입력신호
Fig. 5. Input audio signal.

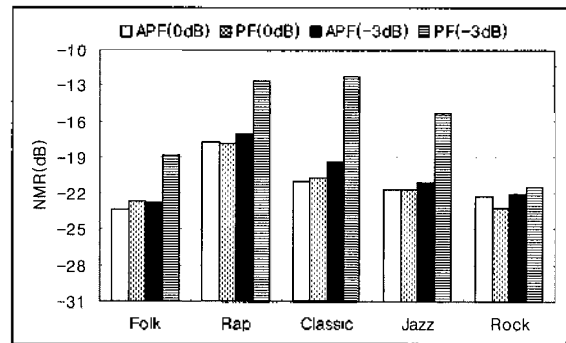
한 NMR을 비교한 결과에서도 추정오차가 없을 경우는 적응 지각 필터와 지각 필터의 성능 차이가 크지 않은 반면 추정오차 -3 dB의 경우에는 크게 차이가 남을 확인하였다.

위의 SSNR과 NMR의 결과에서 확인한 개선의 효과를 지각적으로 느낄 때의 결과를 확인해 보기 위해 청각 테스트(MOS Test: Mean opinion score Test)에서 비교하여 보면 다음과 같다.

그림 7의 청각 테스트 결과는 20세 이상의 남녀 30인을 대상으로 추정오차가 -3 dB인 경우와 추정오차가 0 dB인



(a) 프레임 구간 신호대 잡음비
(a) Segmental signal-to-noise ratio (SSNR)



(b) 잡음대 마스크링비
(b) Noise-to-mask ratio (NMR)

그림 6. 지각 필터와 적응 지각 필터의 성능 비교
Fig. 6. Perceptual filter vs Adaptive perceptual filter.

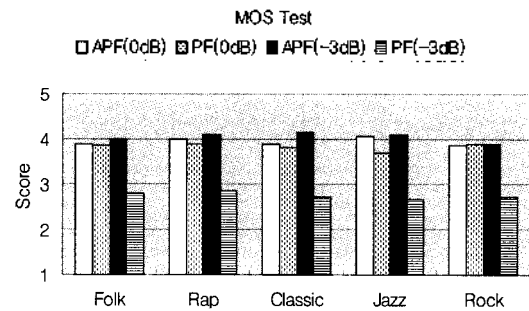


그림 7. 청각 테스트 결과
Fig. 7. MOS test result.

경우에 대하여 각각 지각 필터를 이용한 경우와 적응 지각 필터를 이용하여 얻은 개선 신호에 대하여 잡음에 의해 열화된 신호를 1이라고 하고 원 신호를 5라고 하였을 때 원 신호에 가까운 음질을 주관점으로 1에서 5사이의 값으로 나타내도록 실시하였다. 그림 7의 결과에서도 알 수 있듯이 지각 필터는 추정오차에 민감하게 반응하여 추정오차가 -3 dB 있는 경우 성능이 저하되는 반면 적응 지각 필터는 추정오차가 있는 상황에서도 강인한 성능을 보이고 있음을 알 수 있었다.

V. 결론

지금까지 잡음에 의해 열화된 오디오 신호를 청각 자극 에너지를 이용한 에너지 차감 형식의 필터에 의해 잡음 에너지를 줄임으로써 음질을 개선하기 위해 적응적인 적용 방식을 제안하였다.

적응적인 방식에 의해 효과적으로 잔여 잡음을 제거하여 지각적으로 원 신호에 가까운 개선 신호를 얻을 수 있었다. 또한 신호대 잡음비 비교와 청각 테스트 결과에서 잡음 에너지의 추정시 실제 상황과 같이 잡음 에너지의 크기 변화에 따른 추정 오차가 발생하는 경우에도 적응적인 연산으로 계산량이 증가하는 부분은 있으나 좋은 성능의 음질의 개선을 확인할 수 있었다. 향후 신호 구간에 따라 적절한 임계값을 적용한다면 좀더 음질 개선의 효과를 볼 수 있을 것이다. 그리고 다양한 참가 잡음에 따른 성능의 변화에 대한 연구가 진행될 예정이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 (R01-2002-000-00073-0) 지원으로 수행되었습니다.

참고 문헌

1. D. Tsoukalas, J. Mourjopoulos, and G. Kokkinakis, "Perceptual filters for audio signal enhancement," *Journal of Audio Eng. Soc.*, 45 (1/2), 22-35, 1997.
2. N. Virag, "Single channel speech enhancement based on masking properties of the Human Auditory System," *IEEE Trans. Speech and Audio Processing*, 7 (2), 126-137, 1999.

3. I. Kauppinen and K. Roth, "An adaptive psychoacoustic filter for broadband noise reduction in audio signals," *DSP 2002, 14th International Conference*, 2, 963-966, 1-3 July 2002.
4. A. Czyewski and R. Krlikowski, "Noise reduction in audio signals based on the perceptual coding approach," *Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, IEEE Workshop on*, 147-150, 17-20, 1999.
5. J. Johnston, "Transform coding of audio signal using perceptual noise criteria," *Selected Areas in Communications, IEEE Journal on*, 6 (2), 314-323, 1988.

저자 약력

• 엄혜영 (Hye-Yeong Eom)



2002년 2월: 숭실대학교 정보통신전자공학부 (공학사)
2002년 3월~현재: 숭실대학교 전자공학과 석사 과정 재학
※ 주관심분야: 오디오 및 음성 신호처리, 통신 신호 처리

• 한현수 (Hern-Soo Hahn)



1991년: University of Southern California (공학 박사)
1992년~현재: 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수
1994년: 일본기계기술 연구소 객원 연구원
1998년: 숭실대학교 어학원장
1999년: 숭실대학교 이무 부장
2002년: 숭실대학교 정보통신 전자공학부 학부장
※ 주관심분야: 비전을 이용한 로봇제어, 얼굴 영상 처리 기술, 센서 융합

• 홍민철 (Min-Cheol Hong)



1988년: 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
1990년: 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)
1990~1991년: LG 정보통신 연구소 연구원
1997년: Northwestern University (공학박사)
1997년~1998년: Northwestern University Post Doctoral Research Fellow
1998년~2000년: LG 전자 DM연구소 (선임연구원)
2000년~현재: 숭실대학교 조교수
※ 주관심분야: Image Restoration and Enhancement, Non-linear Video Processing / Filtering, Advanced Video Coding, Motion Modeling and Analysis, Image Blind Deconvolution

• 차형태 (Hyung-Tai Cha)



1993년: The University of Pittsburgh (공학박사)
1993년~1996년: 삼성전자 신호처리 연구소 선임연구원
1996년~현재: 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수
2001년~현재: 신호및시스템학회 상임이사
2001년~현재: 한국 방송공학회 편집위원장
※ 주관심분야: Multimedia Systems and Applications, Audio and Video Signal Processing, ASIC Implementation of Digital System, Source and Channel Coding, Communication System