

# 필터 계수 확장을 이용한 적응 지각 필터의 속도 개선

구교식, 차형태, 유일현  
승실대학교 전자공학과

## A Speed Enhancement of Adaptive Perceptual Filter using Extension of the Filter Coefficients

Kyo-sik Koo, Hyung-tai Cha, Il-hyun Ryu  
School of Electronic engineering, Soong-Sil University

### 요 약

본 논문에서는 백색 잡음이 첨가된 오디오 신호로부터 잡음을 추정하고 이에 따른 지각 필터 보정을 통한 적응적 지각 필터의 속도 개선 알고리즘을 제안한다. 제안된 잡음 추정 알고리즘은 고주파 구간에서 획득한 잡음 에너지를 사용하여 지각필터를 구성하고 일정 대역에서 추정된 기울기를 고주파 영역에 적용함으로써 전 대역의 잡음 에너지를 효과적으로 제거할 수 있게 되며 필터의 속도 향상에도 크게 기여하게 된다. 이는 기존의 적응지각필터와의 비교를 위하여 수행속도 및 SSNR, NMR 비교를 수행하였고 그 결과를 통하여 성능 개선을 확인할 수 있었다.

### I. 서 론

나날이 발전하는 기술로 인하여 디지털 시대가 도래한 현재, 멀티미디어 기술은 우리 사회의 커다란 이슈로 자리매김 하였다. 이중에서도 저장용량의 확대, 전송망의 개선, 처리속도의 증가로 인하여 고음질에 대한 청자들의 요구가 급증하게 되었다.

잡음은 청자에게 불쾌감을 주고 피로감을 안겨주며 심하면 청력을 떨어뜨리기도 한다.[1] 이에 잡음의 제거 방법에 관한 연구가 음질 개선의 첫 번째 과제로 제시되고 있다. 일반적으로 사람의 청각적 특성 및 신호들의 주파수적인 특성을 이용하는 주파수 차감 기법을 기반으로 하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. [8][11][12]

따라서 본 논문에서는 잡음에 열화 된 신호에서 잡음이 신호에 비해 큰 에너지를 갖는다는 특성을 이용하여 잡음을 추정하고 적응적으로 제거하는 방법을 사용한다.[6] 더불어 후처리 방법으로 기울기를 이용하여 지각 필터를 보정해주는 방법을 추가함으로써, 필터 적용 속도의 개선 방법을 제안한다.

### II. 본 론

#### 1. 지각 필터

인간의 청각적인 특성을 이용하여 각 임계 대역(Critical Band)에서 주파수 변별력을 고려하여 각 대역에 해당하는 신호들에 대한 임계 대역 에너지와 마스킹 특성을 고려한 청각 자극 에너지를 계산할 수 있다. 이를 바탕으로 잡음의 열화도가 심하게 나타나는 고주파 영역에서는 신호의 에너지보다 잡음의 에너지가 더 크게 나타난다는 특성을 이용하여 잡음을 추정하는 필터를 설계할 수 있다. [5]

원래의 오디오 신호와 잡음 신호를  $x(n)$ ,  $d(n)$ 이라 할 때, 잡음에 열화 된 신호  $y(n)$ 의 표현은 식 (1)과 같다.

$$y(n) = x(n) + d(n) \quad (1)$$

이 때 어떤 임계 대역에 대한  $x(n)$ 과  $y(n)$ 의 전력 스펙트럼을  $X(\omega, i)$ ,  $Y(\omega, i)$ 라고 정의할 때, 신호와 잡음이 서로 상관관계가 없다고 한다면 신호와 잡음의 자극 에너지는 식 (2)와 같은 관계를 가지게 된다.

$$Y(\omega, i) = X(\omega, i) + D(\omega, i) \quad (2)$$

이 때  $i$ 는 시간 프레임에서의 인덱스를 의미하며  $X(\omega, i)$ 로 인한 기저막에서의 임계 대역 에너지는 식 (3)으로 표현 가능하다.

$$X_a(z, i) = a_0(z)X_i(z, i) = a_0(z)\sum_{\omega=1}^{\omega_{zh}} X(\omega, i) \quad (3)$$

where,  $0 \leq z \leq Z - 1$

여기서  $\omega_{zh}$ 와  $\omega_{zl}$ 은 전체 임계 대역  $Z$ 에서의 임의의 임계대역  $z$ 의 주파수 경계를 나타낸다.

더불어 임계 대역에 대한 청각 자극 에너지는 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$X_e(z, i) = \sum_{v=0}^{z-1} [SF(z, v)X_a(v, i)] \quad (4)$$

where,  $0 \leq z \leq Z - 1$

이런 특성을 이용하여 잡음에 열화 된 신호에서 잡음을 추정 한 후 이를 통해 신호를 개선시키는 방법들이 많이 제안되고 있는데, 특히 신호의 자극 에너지를 이용하는 주파수 차감 방법이 그 대표적인 예이다. 주파수 차감 방식은 추정된 잡음의 주파수 스펙트럼을 잡음에 열화 된 주파수 스펙트럼에서 차감하는 방식으로 음질 개선 지각 필터  $H_c(z, i)$ 를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.[8]

$$\begin{aligned} \hat{X}_e(z, i) &= H_c(z, i)Y_i(z, i) \\ &= (1 - \frac{\hat{D}_e(z, i)}{Y_e(z, i)})Y_i(z, i) \quad \text{for } 0 \leq z \leq Z - 1 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $\hat{D}(\omega, i)$ 는 추정된 잡음의 청각 자극 에너지로써 추정된 잡음이 잡음에 의해 열화 된 신호보다 크지 않은 경우에만 고려하기로 한다. 식을 볼 때, 추정 잡음의 오차에 따라서 필터의 성능에 많은 차이가 생김을 알 수 있으며 만약에 인지 가능한 잡음의 에너지를  $H_c(z, i)$ 를 이용하여  $Y(z, i)$ 로부터 제거했다면 식과 같이 개선된 신호의 자극 에너지는 순수 신호의 에너지와 같게 될 것이다.

$$\hat{X}_e(z, i) = X_e(z, i) \quad (6)$$

## 2. 잡음 추정 및 지각 필터 적용

주파수 차감 방식에서 잡음이 첨가된 신호의 목음 구간에서 세 프레임의 평균값을 잡음으로 추정하였다.

$$D(\omega, i) = \text{mean}\{Y(\omega, i)\}, \quad \text{for } 1 \leq i \leq 3 \quad (7)$$

그러나 식 (7)에서 구한 잡음은 목음 구간에서만 이뤄지기 때문에 잡음에 의해 열화 된 신호에 적용할 때 많

은 오차를 포함하게 되며 모두 다른 SNR값을 가지고 있는 각 프레임마다 동일한 값으로 적용되므로 최적화된 성능을 내기가 어려워져 잡음 제거의 효율성이 떨어지게 된다. 또한 적응 지각 필터의 동작에도 많은 반복 수행을 요구하게 되는 요인이 되기도 한다.

이에 따라 본 논문에서 사용된 잡음 추정 방식은 처리되는 각 다윈마다 고주파 영역에서 잡음을 추정함으로써 좀 더 정확하고 가변적인 값을 획득할 수 있게 되고 이를 통해 지각 필터의 성능을 최대한으로 극대화 시킬 수 있다.[9]

식 (1)에서 알 수 있듯이 잡음에 의해 열화 된 신호는 원 신호와 잡음 신호의 합으로 나타내어지는데 여기서 잡음 신호가 원 신호에 비해서 열세한 대역을  $N_{y\_low}(\omega)$ 이라 할 때 다음과 같은 관계를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} N_{d\_low}(\omega) &= [D(\omega, i)]_0^{5kHz} \\ N_{y\_low}(\omega) &= [Y(\omega, i)]_0^{5kHz} \neq N_{d\_low}(\omega) \end{aligned} \quad (8)$$

또한 이 관계를 잡음의 에너지가 주를 이루고 있는 고주파 대역을  $N_{y\_high}(\omega)$ 이라 하면 다음과 같은 관계가 정의되어 진다.

$$\begin{aligned} N_{d\_high}(\omega) &= [D(\omega, i)]_{10kHz}^{f_s/2}, \quad \text{where } f_s = 44.1kHz \\ N_{y\_high}(\omega) &= [Y(\omega, i)]_{10kHz}^{f_s/2} \approx N_{d\_high}(\omega) \end{aligned} \quad (9)$$

잡음이 원 신호보다 우세한 대역에서는 열화 된 신호의 스펙트럼과 잡음의 스펙트럼은 거의 비슷하다는 특성을 이용하여 볼 때 잡음에 열화 된 대역에서 잡음을 추정하는 방법을 그림 1과 같이 적용한다.

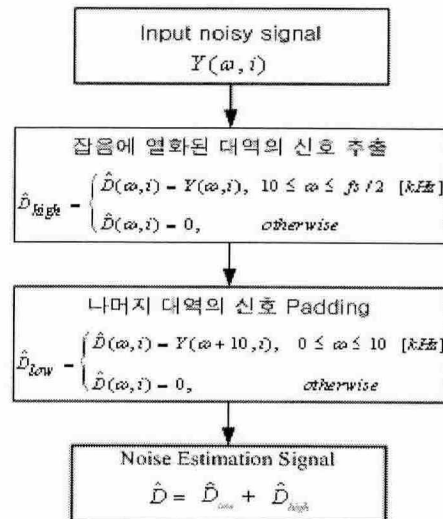


그림 1. 잡음 추정 순서

주어진 방법에 따른 추정 결과는 그림 2와 같다.

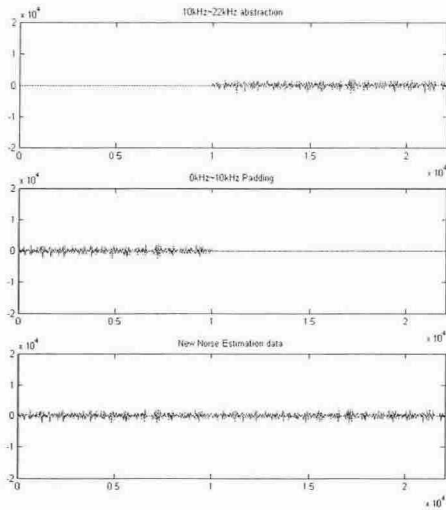


그림 2. 잡음 추정 결과

적용된 방법으로 추정된 인지 가능한 잡음은 청각 자극 에너지로 변환되어 잡음에 열화 된 신호의 청각 자극 에너지와 같이 필터에 적용된다.

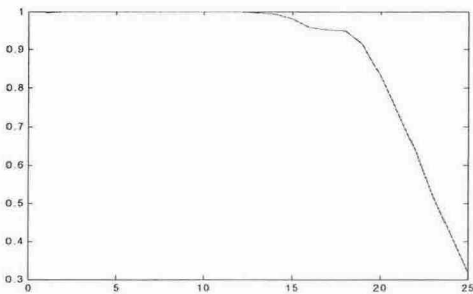


그림 3. Bark 대역에 따른 지각 필터 응답

### III. 제안한 알고리즘

지각 필터를 통해 나온 개선된 신호의 스펙트럼은 원 신호와 유사하지만 각 임계대역(Critical band)의 경계면에 해당하는 부분에서 계단 형식으로 나타나는 모습을 볼 수 있다. 이 현상은 잡음이 우세한 고주파 대역에서 심하게 보이게 되는데 기울기를 이용하여 이 부분을 완화시켜 줌으로써 효과적인 필터 개선을 이룰 수 있다. 각 임계 대역에서 나타나는 필터 응답은 그 대역 내에 해당하는 주파수 영역내의 샘플들에 대한 평균을 의미한다. 따라서 이를 이용하여 각 밴드의 기울기를 계산하고 그 밴드가 차지하고 있는 샘플들의 수를 적용하여 보간법을 수행할 수 있다.

$$g = \{X(Z_{n+1}, i) - X(Z_n, i)\} / K$$

$$X(\omega, i) = X(Z_n, i) + g * k * c$$

for  $-K/2 \leq k \leq K/2, 1 \leq n \leq 25$

n은 각 임계 대역의 index를 나타내며, K는 각 임계 대역에 해당하는 샘플의 수, g는 계산된 기울기를 의미하며, 필터 계수 c는 각 잡음마다 특성이 다르므로 잡음의 종류마다 변경해 주어야 한다.

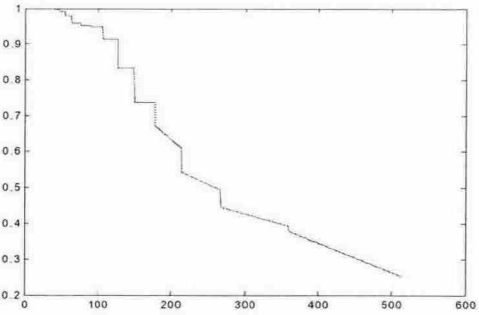


그림 4. 확장된 지각 필터 응답

### IV. 실험 및 결과

실험에서 사용된 잡음은 백색 가우시안 잡음(AWGN)으로 전 주파수 영역에 걸쳐서 같은 크기의 에너지를 가지는 특성이 있다. 원 신호로는 일반 오디오 CD로부터 추출한 44.1kHz, 16bit 오디오 신호를 사용하였으며 각각의 오디오 신호를 백색 잡음에 20dB 열화시켜 사용하였다.

잡음에 열화 된 신호를 적응지각 필터 (Adaptive Perceptual Filter) 및 보정된 필터 (Proposed Adaptive Perceptual Filter)를 적용시킨 후 NMR(Noise-to-mask Ratio), SSNR(Segmental Signal-to-mask Ratio), 적응 지각 필터의 적용 횟수 등을 이용하여 객관적인 방법으로 성능을 비교하였다.

	Classic	Rock	Vocal
APF	1441	2880	884
PAPF	926	1501	784

표 3. 적응 지각필터 알고리즘의 적용횟수 비교

표 1은 제안된 적응지각필터 PAPF (Proposed Adaptive Perceptual Filter)의 적용 횟수를 나타내며 기존의 필터보다 제안된 방법의 필터의 적용 횟수가 감소하였음을 확인할 수 있다.

Input wave	Filter	SSNR	NMR
Classic	APF	24.4483	-25.8892
	PAPF	24.9351	-26.6291
Rock	APF	21.2015	-19.9644
	PAPF	22.4147	-19.8998
Vocal	APF	27.4771	-17.3263
	PAPF	27.2972	-16.4623

표 4. SSNR 및 NMR 비교

표 2는 각 오디오 신호마다 20dB의 잡음을 첨가한 후 개선시킨 결과를 나타내는 표이다. 동일 환경에서 PAPF의 성능이 APF의 성능에 매우 근접함으로써 속도 향상에 따른 잡음 제어 효과가 크게 차이가 나지 않음을 확인할 수 있다.

또한 개선 효과를 확인하기 위하여 청각 테스트를 실시하여 비교한 결과는 표 3과 같다.

	Classic	Rock	Vocal
APF	3.5	3.6	3.3
PAPF	3.7	3.9	3.2

표 5. MOS 테스트 결과

MOS 테스트는 20세 이상 오디오 전문분야에 종사하지 않는 남녀 10명을 대상으로 잡음에 의해 열화 된 신호를 1이라고 하고 원음의 음질을 5라고 할 때 원음에 가까운 음질 정도를 기준으로 1과 5사이에 값으로 표현하도록 하였다.

## V. 결 론

본 논문은 고주파 대역에서 추정된 잡음을 적응 지각 필터에 적용하여 필터를 보정해 줌으로써 필터의 속도를 향상시키는 알고리즘을 제안하였다. 단순히 필터만을 적용시키는 것이 아니라 후처리를 해줌으로써 필터의 속도를 증가시킬 수 있었다.

일반적인 적응 지각 필터 알고리즘과 비교하기 위하여 SSNR, NMR, MOS, 필터 적용 횟수 비교를 수행하였으며 제안된 알고리즘을 적용하는 과정에서 기존의 필터 결과보다 백색 잡음에서 최대 50%의 속도 개선 효과를 확인할 수 있었다.

향후 연구 과제로는 특별한 환경 잡음에 대하여 효과적인 필터계수의 다양한 연구가 필요하겠으며 잡음의 특성에 따른 연구도 동반되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] S.F. Boll, "Suppression of acoustic noise speech using spectral subtraction", IEEE Trans, vol ASSP-27, 1979.
- [2] B.J. MacAuly "Speech enhancement using a soft-decision noise suppression filter", IEEE Trans, vol 28, 1980.
- [3] Y. Ephraim and D. Malah, "Speech enhancement using a MMS error short-time spectral amplitude estimator" IEEE Trans, vol 32, 1984.
- [4] Y. Ephraim, "A Bayesian Estimation Approach for Speech Enhancement using HMM", IEEE Trans, vol 40, 1992.
- [5] N. Virag, "Single Channel Speech Enhancement based on Masking property of the Human Auditory System," IEEE Trans, vol. 7, 1999.
- [6] Junpri Yamauchi, "Noise Estimation using Frequency Region for Speech enhancement in low SNR environments," IEEE Workshop on Speech Coding, 2002.
- [7] D. Tsoukalas, M. Paraskevas and J. Mourjopoulos, "Speech enhancement using Psychoacoustic Criteria," proc. IEEE ICASSP, 1994.
- [8] 엄혜영, 한현수, 홍민철, 차형태, "적응 지각 필터를 이용한 오디오 음질 개선 알고리즘", 한국음향학회 논문지, Vol. 22, No.8, pp. 687-693, Nov(2003).
- [9] 서정국, 차혁근, 차형태, "잡음에 열화된 대역에서의 잡음 추정을 이용한 오디오 음질 개선", 한국음향학회 논문지, Vol. 22, No.2, pp. 297-300, Nov(2003).
- [10] 김현중, 차형태, 잡음 신호의 지각 패턴 제어를 통한 음질 개선 알고리즘 개발에 관한 연구", 한국음향학회 학회 학술대회 논문집 Vol 21, No. 1(s), pp. 199-202, July. 2002
- [11] 유일현, 서정국, 차형태 "잡음 추정을 이용한 적응 지각필터 속도 향상을 위한 전처리 알고리즘", 한국음향학회, 추계, 2004
- [12] 구교식, 유일현, 차형태 "잡음 추정 및 지각필터 보정을 통한 오디오 음질 개선", 한국음향학회, 추계, 2005