

향상된 잡음 추정을 이용한 적응 지각필터의 연산량 개선 알고리즘

서보국, 차형태, 유일현, 구교식
승실대학교 정보통신전자공학부

Reduction of Computation Algorithm for Adaptive Perceptual Filter Using Enhanced Noise Estimation

Bo-kug Seo, Il-hyun Ryu, Hyung-tai Cha, Kyo-sik Koo
School of electronic engineering, college of engineering, Soongsil university

요 약

본 논문에서는 매 프레임 단위로 노이즈를 추정하는 방법을 적용하는 전처리 기법을 이용하여 적응 지각필터의 연산량을 개선하는 알고리즘을 제안한다.

제안된 전처리 잡음 추정 알고리즘은 잡음에 열화 된 대역으로부터 잡음을 추정하여 적응 지각필터에 적용함으로써 연산량 개선과 동시에 오디오 신호의 음질을 개선하는 알고리즘이다. 이는 처리되는 신호 구간에 따라 잡음에 열화 된 대역으로부터 잡음을 추정함으로써 초기 추정 잡음에 보다 가까운 추정 잡음을 얻을 수 있다. 결과적으로 적응 지각필터의 연산량을 효과적으로 줄일 수 있다.

성능 평가를 위하여 지각필터의 적용 결과와 제안한 알고리즘의 적용 결과로 얻어진 개선 신호의 SSNR, NMR의 비교와 적응 지각필터 적용 횟수, 동작 시간 등을 이용하여 성능의 개선을 확인한다.

I. 서 론

오디오 신호는 전송(Transmission), 압축(Compression) 과정에서 예기치 않은 잡음에 의해 열화(Degradation)되거나, 청취 환경의 환경 잡음에 의해 음질의 열화를 일으키게 된다. 이러한 여러 요인에 의해 열화 된 신호의 음질을 원 신호에 가깝게 개선하고자 인간의 청각특성을 모델링(Modeling)[2]하여 이용하였다. 오디오 신호의 음질 개선을 위해 청각 모델의 마스킹특성을 이용한 연구 [1]를 비롯하여 청각 모델을 음성 신호에 이용하여 음질 개선한 연구, 네트워크에서의 전송을 위한 코덱에 이용되어 압축효율을 높이기 위한 연구[3] 등이 진행되어져왔다.

본 논문에서는 청각 특성 분석을 통한 지각필터를 이용하여 적응적으로 잡음을 제어[4]함에 있어서 효율적인 잡음 추정[5]을 통해서 필터 연산량의 개선 방법을

제안한다. 이때, 전처리 과정을 통해 잡음에 의해 매 구간마다 신호가 크게 열화 된 부분을 분석하여 구간 전체의 잡음을 추정하는 효율적인 잡음 추정 방법을 사용한다.

II. 본 론

1. 적응적 지각 필터

청각 특성의 분석을 통하여 임계 대역(Critical band)[3][6]에서의 주파수 변별력을 고려하여 각 대역별로 존재하는 신호를 에너지로 표현한 임계 대역 에너지와 마스킹 특성을 고려한 청각 자극 에너지를 계산할 수 있다. 잡음에 의해 열화 된 신호와 묵음 구간으로부터 추정한 잡음의 청각 자극 에너지에 의해 지각 필터를 표현하게 된다.

1) 청각 자극 에너지

임계 대역 에너지는 인접 대역 및 다른 대역에 대하여 마스킹 영향을 미치게 되는데 이를 고려해준 청각 자극 에너지는 마스킹 확산 함수[4]의 컨벌루션 연산에 의해 나타낼 수 있다.

$$Y_c(z) = \sum_{v=1}^Z [SF(v, z) Y_i(v)] \quad (1)$$

where, $1 \leq z \leq Z$

이때, SF 는 마스킹 확산 함수를 나타낸다.

2) 적응 지각 필터

원래의 오디오 신호의 청각 자극 에너지를 $X_c(z)$ 라고 하면 잡음에 의해 열화 된 신호로부터 지각적으로 원신호에 가까운 개선된 신호 에너지를 얻을 수 있는 지각 필터[1]를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_c(z) = \frac{X_c(z)}{Y_c(z)} \approx 1 - \frac{\hat{D}_c(z)}{Y_c(z)} \quad (2)$$

where, $1 \leq z \leq Z, 0 < H_c(z) \leq 1$

이때, $\hat{D}_c(z)$ 는 잡음에 의해 열화 된 신호의 묵음 구간으로부터 추정된 잡음의 청각 자극 에너지를 나타내고 추정된 잡음이 잡음에 의해 열화 된 신호보다 크지 않은 경우에만 고려하기로 한다.

2. 잔여 잡음의 적응적 제어

잡음에 의해 열화 된 신호로부터 식 (2)의 지각 필터에 의한 잡음 에너지의 차감 작용을 이용하여 지각 필터를 구성하는 묵음 구간의 추정 잡음, $\hat{D}_c(z)$ 와 잡음에 의해 열화 된 신호, $Y_c(z)$ 을 재조정하면, 잡음에 의해 열화 된 신호로부터 잔여 잡음을 적응적으로 제어하여 개선된 신호를 얻을 수 있다[1]. 초기의 지각 필터 입력인 잡음에 의해 열화 된 신호에 영향을 주는 잡음의 에너지와 지각 필터에 의해 얻어진 결과 신호에 영향을 주는 잔여 잡음의 에너지는 동일하지 않다.

식 [2]에서 지각 필터에 의해 얻은 결과 신호에서 잡음에 의해 열화 된 신호보다 잡음 에너지의 영향이 적지만 잔여 잡음이 존재함을 확인할 수 있다.

결과 신호에 영향을 미치는 잔여 잡음을 제어하기 위해 잔여 잡음 에너지를 검출한 시점에서 잡음에 의해 열화 된 신호와 잡음의 청각 자극 에너지의 관계에 재조정을 필요로 한다.

1) 청각 자극 에너지의 재조정

지각 필터의 첫 번째 구성 요소인 재조정된 청각 자극

에너지를 얻기 위해, 잡음에 의해 열화 된 신호를 재조정 하여야 한다. 그 과정은 다음의 두 식을 통해 나타낼 수 있다.

$$\hat{X}_i^{(m)}(z) = H_c^{(m-1)} Y_i^{(m-1)} = \left(1 - \frac{\hat{D}_c^{(m-1)}(z)}{Y_c^{(m-1)}(z)} \right) Y_i^{(m-1)} \quad (3)$$

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

이때, m 은 재조정 과정을 통해 신호에 적용된 횟수를 나타낸다. 식 (3)에서 얻어진 재조정된 임계 대역 에너지와 마스킹 특성을 고려하기 위한 식 (1)의 확산 함수를 이용하여 재조정된 청각 자극 에너지 식 (4)를 얻는다.

$$Y_c^{(m)}(z) = \sum_{v=1}^Z [SF(v, z) Y_i^{(m)}(v)] \quad (4)$$

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

2) 묵음 구간의 추정 잡음의 재조정

묵음 구간의 추정 잡음은 신호 성분이 거의 없이 잡음이 대부분을 차지하는 신호로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{D}_c(z) \approx Y_c^D(z) = X_c^D(z) + D_c^D(z) \quad (5)$$

where, $X_c^D(z) \approx 0, 1 \leq z \leq Z$

식[5]의 묵음 구간 추정 잡음은 지각 필터의 두 번째 구성 요소이며 재조정하는 과정은 다음과 같다.

$$\hat{X}_i^{D(m)}(z) = H_c^{D(m-1)} Y_i^{D(m-1)} = \left(1 - \frac{\hat{D}_c^{D(m-1)}(z)}{Y_c^{D(m-1)}(z)} \right) Y_i^{D(m-1)} \quad (6)$$

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

$\hat{D}_c^{D(m-1)}(z) = Y_c^{D(m-1)}(z), 1 \leq z \leq Z$

식 (6)에 의해 재조정된 묵음 구간의 추정 잡음의 임계 대역 에너지를 식 (5)와 같은 과정을 거쳐 마스킹 특성이 고려된 재조정된 추정 잡음의 청각 자극 에너지, $\hat{D}_c^{(m)}(z)$ 을 얻을 수 있게 된다.

잡음에 의해 열화 된 신호와 묵음 구간 추정 잡음의 재조정 과정을 거치면서 잔여 잡음의 제어에 의해 지각적으로 원 신호에 가까운 개선된 신호를 얻을 수 있게 된다.

이때, 적응적으로 재조정하는 시점에서 얻어지는 제거된 잡음의 누적 에너지와 묵음 구간의 추정 잡음과의 비를 임계값으로 이용하여 효율적인 잔여 잡음 제어를 통한 개선 신호를 얻을 수 있다.

III. 제안한 알고리즘

기존의 일반적인 지각 필터에서는 잡음에 의해 열화 된 신호의 세 프레임을 묶음 구간에서 추출하여 그 평균을 추정 잡음으로 사용하였다.

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

그러나 이 추정 잡음은 묶음 구간에서만 이루어지기 때문에 잡음에 의해 열화 된 신호에 적용할 때 많은 오차를 포함하게 된다. 지각 필터에서 이 오차는 잡음 제어의 효율성을 떨어뜨리게 된다. 또한 적응 잡음 필터의 동작에도 많은 연산량을 요구하는 주요한 요인이 된다.

제안된 방법은 이러한 고정적인 추정 잡음을 사용하지 않고, 처리되는 프레임 단위로 잡음에 열화 된 대역에서 잡음을 추정하여 가변적인 추정 잡음을 지각 필터에 적용하는 방법이다.

원신호를 $x(n)$ 이라고 하면, 첨가잡음, $d(n)$ 에 의해 열화 된 신호는 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$y(n) = x(n) + d(n) \text{ for } 0 \leq n \leq N-1 \quad (8)$$

여기서, 잡음에 의해 열화 된 신호, $y(n)$ 에서 원신호가 대부분을 차지하고, 잡음이 열세한 대역을 $NL_{y-low}(\omega)$ 이라면 다음과 같은 관계를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} NL_{d-low}(\omega) &= [D(w, i)]_0^{5kHz} \\ NL_{y-low}(\omega) &= [Y(w, i)]_0^{5kHz} \neq NL_{d-low}(\omega) \end{aligned} \quad (9)$$

원신호가 열세하고, 잡음이 대부분을 차지하는 대역 즉, 잡음에 열화 된 대역을 $NL_{y-high}(\omega)$ 라고 하면, 다음과 같은 관계도 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} N_{d-high}(\omega) &= [D(w, i)]_{15kHz}^{f_s/2} \\ N_{y-high}(\omega) &= [Y(w, i)]_{15kHz}^{f_s/2} \\ &\approx N_{d-high}(\omega) \end{aligned} \quad (10)$$

where, $f_s = 44.1kHz$

이는 잡음에 열화 된 대역에서는 잡음에 의해 열화 된 진폭 스펙트럼과 실제 잡음 신호의 진폭 스펙트럼은 거의 유사함을 알 수 있다. 이러한 특성을 이용하여 잡음에 열화 된 대역에서 잡음을 추정하여 지각 필터에 적용되는 추정 잡음을 생성시키는 방법은 다음과 같다.

$$\hat{D}_{high} = \begin{cases} D(w, i) = Y(w, i) & 15 \leq \omega \leq f_s/2 [kHz] \\ \hat{D}(w, i) = 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

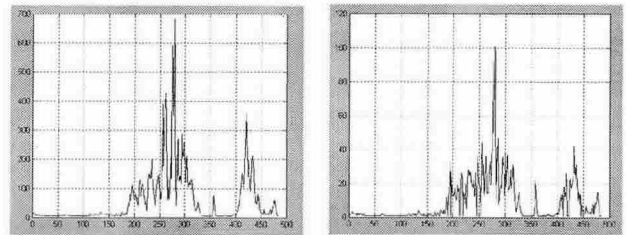
$$\hat{D}_{low} = \begin{cases} \hat{D}(w, i) = Y(w+15, i) & 0 \leq \omega \leq 15 [kHz] \\ \hat{D}(w, i) = 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

$$\hat{D}_c = \hat{D}_{low} + \hat{D}_{high} \quad (13)$$

IV. 실험 및 결과

44.1kHz, 16bit/sample의 일반 오디오 CD로부터 획득한 오디오 신호를 원신호로 하여 이용하였고, 잡음에 의해 열화 된 신호는 가우시안 잡음(Gaussian noise)을 신호 대 잡음비 15dB, 20dB, 25dB, 30dB로 원신호를 열화 시켜 얻은 신호를 사용하였다.

잡음에 의해 열화 된 신호를 적응 지각 필터에 적용하여 얻은 개선 신호 (Adaptive Perceptual Filter, APF), 전처리를 통하여 얻은 추정 잡음을 이용한 적응 지각 필터를 적용하여 얻은 개선 신호 (Preprocessing Adaptive Perceptual Filter, PAPF)의 SSNR(Segmental signal-to-noise ratio), NMR(Noise-to-mask ratio), 적응 지각 필터의 적용 횟수와 필터 수행 시간 등을 이용하여 객관적인 방법으로 성능을 비교하였다.



(a) APF의 연산량 (b) PAPF의 연산량
그림 1. 30dB 에서 APF, PAPF의 연산량 비교

SNR	APF	PAPF	감소율(%)
15 dB	3683	821	77.7
20 dB	5372	1324	75.4
25 dB	10902	2644	75.7
30 dB	28481	4377	84

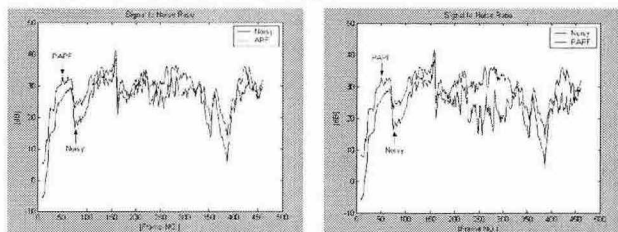
표 1. 적응 지각필터 알고리즘 적용 횟수 비교

표 1은 APF (Adaptive Perceptual Filter)와 제안된 PAPF (Proposed Adaptive Perceptual Filter)의 적용 횟수를 나타낸다. 표 1에 나타난 것과 같이 약 70% 이상의 필터 적용 횟수의 감소를 확인 할 수 있다. 특히30dB 환경에서는 80% 이상의 적용 횟수 감소를 확인 할 수 있다.

SNR	APF	PAPF	감소율(%)
15 dB	134.734	60.797	54.8
20 dB	152.766	88.969	41.7
25 dB	214.719	108.750	49.3
30 dB	415.344	122.812	70.4

표 2. 적응 지각필터 적용에 따른 수행 시간 비교(sec)

표 2는 적응 지각 필터의 적용 시간을 측정된 것이다. 매 프레임 적용되는 전처리 과정이 포함된 시간이다. 15dB에서 50% 이상의 시간 단축을 보였으며 30dB에서 70% 정도의 시간이 단축되었다.

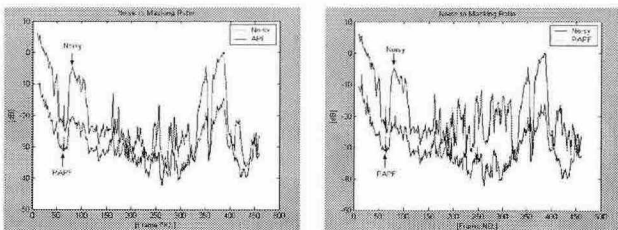


(a) APF의 SSNR (b) PAPF의 SSNR

그림 2. 30dB 에서 APF, PAPF의 SSNR 비교

SNR	APF	PAPF
15 dB	19.3266	19.2923
20 dB	23.0972	22.9023
25 dB	26.6191	26.0458
30 dB	29.9172	29.2902

표 3. SSNR(dB)



(a) APF의 NMR (b) PAPF의 NMR

그림 3. 30dB 에서 APF, PAPF의 NMR 비교

SNR	APF	PAPF
15 dB	-14.1371	-15.2278
20 dB	-16.9693	-18.1181
25 dB	-19.7499	-19.9078
30 dB	-22.4980	-20.7028

표 4. NMR(dB)

표 3과 4는 15dB 에서 30dB 사이의 잡음을 첨가한 잡음에 대하여 SSNR과 NMR을 평가를 나타낸 것이다. 동일 환경에서 기존의 APF(Adaptive Perceptual Filter)의 성능 사이에 제안된 PAPF(Proposed Adaptive Perceptual Filter)의 성능이 나타남을 알 수 있다. PAPF 결과가 APF의 결과에 매우 근접함으로써 속도 향상에 따른 잡음 제어 효과가 크게 차이 나지 않음을 보여주고

있다.

잡음에 의해 음질이 열화 된 오디오 신호를 전처리 과정을 통해 추정된 잡음을 기반으로 잔여 잡음의 적응적인 제어 방법을 통해 음질을 개선하는 알고리즘을 제안 하였다.

기존의 묵음 구간에서 추정된 잡음을 적응적인 제어 방법을 통하여 개선하는 알고리즘과 비교하기 위하여 SSNR, NMR, 필터 적용 횟수와 시간측정 등을 수행하였다. 제안된 알고리즘을 적용하는 과정에서 SSNR이 낮아 지는 면도 있었지만, 묵음 구간에서 추정하여 적용한 결과보다 약 75% 정도의 연산량 감소와 최소 약 40%, 최대 약 70% 정도의 속도 개선 효과를 나타낼 수 있었다. 향후 과제로 다양한 첨가 잡음에 대한 성능의 변화 및 개선에 관한 연구가 필요 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] D. Tsoukalas, J. Mourjopoulos, and G. Lollinakis, "Perceptual Filters for Audio Signal Enhancement", Journal of Audio Eng. Soc, vol. 45, no. 1/2, 1997
- [2] N. Jayant, J. Johnston, and R. Safranek, "Signal Compression Based on Models of Human Perception", Proc. of the IEEE, vol.8, no 10, 1993
- [3] J. john, "Transform Coding fo Audio Signals Using Perceptual Noise Criteria", IEEE Jour. on Select. Areas in Communications, vol. 6, no. 2, 1988
- [4] 임혜영, 서정국, 차형태 "잔여 잡음의 적응적 제어를 통한 오디오 음질 개선", 한국음향학회, 추계, 2003
- [5] 서정국, 차혁근, 차형태, "잡음에 열화 된 대역에서의 잡음 추정을 이용한 오디오 음질개선, 한국 음향학회, 추계, 2003
- [6] E. Zwicker, H. Fastl, "Psychoacoustics : fact and models, Springer, 2ng Ediion, 1999