

고속 적응 지각 필터에서 잡음 과추정 방지를 위한 지능적 제어 알고리즘

Algorithm for Intelligent Control to Prevent Over Estimation in Fast Adaptive Perceptual Filter

유일현, 구교식, 차형태
 송실대학교 전자공학과

Il-Hyun Ryu, Kyo-Sik Koo, Hyung-Tai Cha
 Dept. of Electronics
 Soong-Sil University
 E-mail : fbdifgus@mms.ssu.ac.kr

요 약

본 논문에서는 고속의 적응 지각 필터에서 잡음 과추정으로 인해서 발생하는 불필요한 반복 계산 및 결과 신호의 SNR 성능 저하를 개선시키는 방법을 제안한다. 적응 지각 필터를 고속 연산이 가능하도록 개선하는 과정에서 시간적인 측면에서는 많은 성능의 개선이 있었지만 음질 개선 과정에서 과추정된 잡음의 적응에 의한 성능 저하가 발생하였다. 제안하는 시스템에서는 적응 지각 필터의 임계값을 조정하고, 임계값이외에 발생하는 잡음 과추정에 대해서 실험적으로 필터 반복 연산량 제한을 통해 향상된 결과를 얻었다. 이 시스템에서 필터 반복 연산량은 입력 구간의 신호에 따라 적응적으로 제한된다. 제안된 알고리즘의 개선 확인을 위해서 감소된 반복 연산량과 SNR 개선량을 측정하여 기존의 방법과 비교하였다.

1. 서론

음성 및 오디오 신호는 전송, 압축 과정에서 예기치 않은 잡음에 의해 열화 되거나, 청취 또는 녹음 환경의 환경 잡음에 의해 음질의 열화를 일으키게 된다. 이러한 여러 요인에 의해 잡음에 열화된 신호의 음질을 개선하고자 인간의 청각 특성을 이용하였다.[1-8] 오디오 신호의 음질 개선을 위해 청각 특성 모델에서의 마스킹특성을 이용한 연구를 비롯하여 청각 특성 모델을 음성 신호에 이용하여 음질 개선한 연구, 네트워크에서의 전송을 위한 코덱에 이용되어 압축효율을 높이기 위한 연구 등이 진행되어져 왔다.

이 논문에서는 청각 특성을 분석하여 잡음을 제거하는 고속 적응 지각 필터에서 나타나는 잡음 과추정으로 인한 연산량 증가를 제거함으로써 연산 속도 증가와 함께, 음질 향상 알고리즘을

제안한다. 여기서의 효율적인 과추정 방지 기법은 실험적으로 과추정 되는 부분을 분석하고 입력 신호에 따라 필터 반복 연산량을 제한하는 기법을 사용한다.

2. 고속 적응 지각 필터

시간 영역에서 신호를 $x(t)$ 라고 할 때, 주파수 영역으로 변환된 스펙트럼은 $X(w)$ 가 된다. $X(w)$ 는 귀의 전달 특성을 기반으로 임계대역 에너지로 나타낼 수 있다.[2]

$$X_i(z, i) = a_0(z) \sum_{w=w_{l_1}}^{w_{l_2}} Z(w, i), 1 \leq z \leq Z \quad (1)$$

식 (1)은 a_0 는 귀의 전달 특성을 나타내며 w_{l_1} 와 w_{l_2} 는 임의의 임계대역 z 에 대한 경계이다. 임계대역 에너지는 인접 대역을 비롯한 주변 대

역에 마스킹 영향을 미치게 된다. 이것을 식으로 나타내면 다음과 같다. [1]

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

식 (2)는 임계대역 에너지에 확산함수 SF를 컨볼루션한 결과로써 청각 자극 에너지이다. 잡음에 열화된 신호 Y(w)를 원신호 X(w)와 잡음 D(w)의 자극 에너지로 표현하면 다음 식과 같다.

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

식 (4)에서 나타난 Y_e(z, i)에서 X_e(z, i)를 얻기 위한 지각 필터 H_e(z, i)는 다음 식과 같이 표현할 수 있다. [1]

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

식 (5)에서 $\hat{D}_e(z, i)$ 는 추정 잡음을 나타낸다. 식 (5)의 지각 필터를 매 프레임마다 적응적으로 적용하는 적응 지각 필터 $H_e^A(z, i)$ 식과 개선된 신호와의 관계식은 식 (6)과 같다. [2]

$$\begin{aligned} \hat{X}_i^A(z, i)^{(m)} &= H_e^A(z, i)^{(m-1)} Y_i^D(z, i)^{(m-1)} \\ &= \left(1 - \frac{\hat{D}_e(z, i)^{(m-1)}}{Y_e(z, i)^{(m-1)}} \right) Y_i^D(z, i)^{(m-1)} \end{aligned} \quad (6)$$

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

$$\begin{aligned} \hat{X}_i^D(z, i)^{(m)} &= H_e^A(z, i)^{(m-1)} Y_i^D(z, i)^{(m-1)} \\ &= \left(1 - \frac{\hat{D}_e(z, i)^{(m-1)}}{Y_e(z, i)^{(m-1)}} \right) Y_i^D(z, i)^{(m-1)} \end{aligned} \quad (7)$$

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

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

식 (10)은 추정된 잡음에 대하여 적응 지각 필터를 적용한 식이다. 식 (9)와 (10)을 통하여 적응 지각 필터는 추정된 잡음 에너지에서 일정량을 제거할 때까지 반복 동작한다.

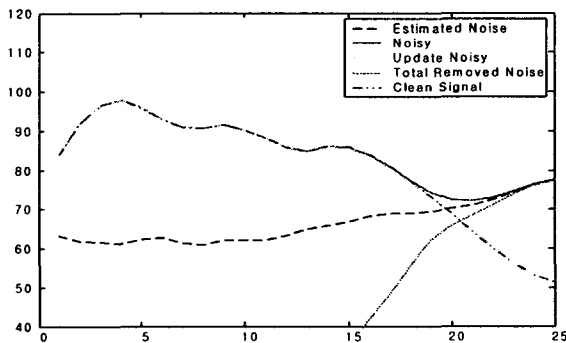


그림 1. m번 수행 후, 열화 된 신호, 잡음, 개선된 신호, 제거된 총 잡음 에너지, 원신호

그림 1은 적응 지각 필터를 m번 적용하였을 때, 나타나는 잡음 제어 결과를 바크영역에서 나타낸 것이다.

고속 적응 지각 필터는 향상된 잡음 추정 기법을 사용하여 첨가된 잡음에 가까운 추정 잡음을 사용함으로써 제거량을 증가시키는 것이다. 고속 적응 지각 필터에 사용하는 잡음 추정은 다음과 같다. [3]

$$\begin{aligned} \bar{D}_{high}(w, i) &= \begin{cases} Y(w, i) & 10 < w \leq f_s/2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\ \bar{D}_{low}(w, i) &= \begin{cases} Y(w, i) & 0 < w \leq 10 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \\ \hat{D}_e(w, i) &= \bar{D}_{low}(w, i) + \bar{D}_{high}(w, i) \end{aligned} \quad (8)$$

식 (8)에서 w의 단위는 kHz이다. 식 (8)의 추정 기법은 고대역에서의 잡음에 열화된 신호 Y(w, i)가 잡음 D(w, i)와 유사한 특성과 백색 잡음이 전대역에 걸쳐 일정한 크기의 잡음을 가진다는 특성을 이용하여 결정된 것이다.

3. 잡음 과추정 개선 알고리즘

20 dB의 백색 가우시안 잡음에 열화된 신호를 고속 적응 지각 필터에 의해 개선할 때, 반복 적용된 횟수와 SNR 테스트 결과를 그림 2와 3에 각각 나타내었다.

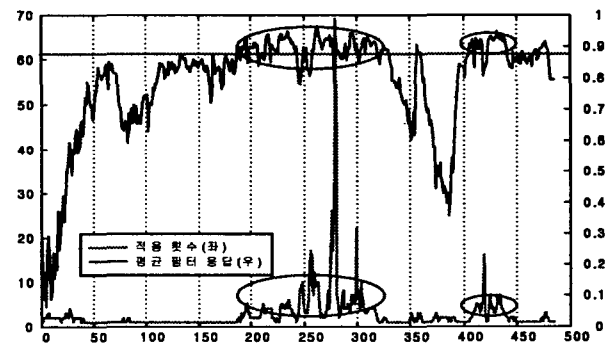


그림 2. 지각 필터 응답과 필터 반복 횟수

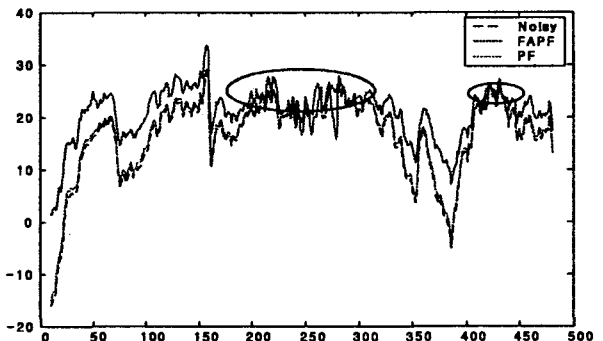


그림 3. 잡음에 열화된 신호, 지각 필터 결과, 고속 적응 지각 필터 결과 SNR 비교
그림 2에서 지각 필터의 평균 응답 계수와 필

터 반복 적용 횟수를 비교 한 것이다. 그림 2에서 아래쪽 타원으로 표시한 영역은 필터 적응 횟수가 기존 프레임에서 보다 많은 경우이다. 이 영역의 프레임들은 지각 필터 응답이 0.88보다 큰 경우의 프레임 영역과 일치함을 볼 수 있다.

그림 3에서 타원으로 표시한 지역은 그림 2에서 필터 반복 적용 횟수가 증가한 지역이다. 동일 지역 내에서 개선된 신호의 SNR이 감소한 구간이 존재함을 알 수 있다. 따라서 필터 응답이 0.88 이상인 구간에서의 필터 연산량을 강제적으로 제한하는 방법을 사용한다.

$$\alpha = \begin{cases} const - \beta & \text{where, } 2 > const \geq 1 \\ 0.99 & \text{where, } \alpha \geq 1 \end{cases} \quad (9)$$

$$\frac{\max(\hat{D}_e^{(m)}(z, i))}{\max(\hat{D}_e(z, i))} \leq \alpha, \quad 1 \leq z \leq Z \quad (10)$$

식 (9)는 현재 프레임에서 평균 지각 필터 응답 β 를 통해 적응 지각 필터 임계값 α 을 계산하는 식이다. $const$ 는 최소 임계값을 결정한다. 식 (10)은 추정된 잡음 $\hat{D}_e(z, i)$ 과 제거된 잡음의 누적량 $\hat{D}_e^{(m)}(w, i)$ 의 비교를 통하여 적응 지각 필터의 반복 여부를 결정하는 식이다.

그림 2와 3의 분석 내용을 토대로 새로운 임계값을 적용한 식이 식 (11)과 같다.

$$\alpha = \begin{cases} 0.001 & \text{for, } \beta > 0.88 \\ 1.6 - \beta & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

식 (11)에서 $const$ 1.6은 실험적으로 결정한 상수이다. 식 (11)과 같이 새로운 적응 지각 필터의 임계값을 실험하여 그림 4와 5의 결과를 얻을 수 있다.

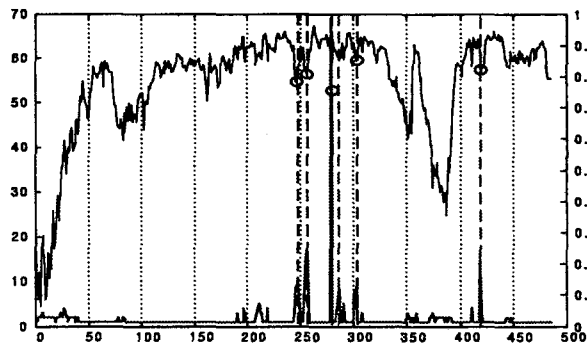


그림 4. 임계값 제한을 통해 얻은 개선 신호의 지각 필터 응답과 반복 횟수

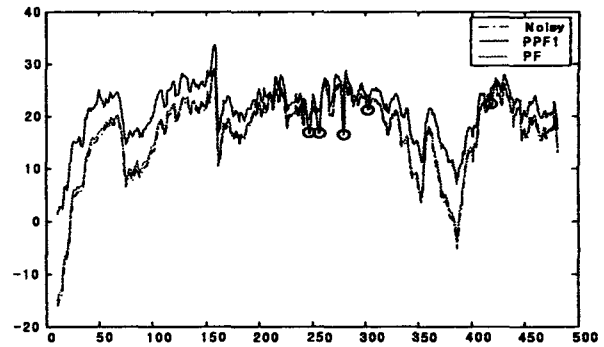


그림 5. 임계값 제한을 통해 얻은 결과의 SNR

그림 4와 5는 임계값 제한을 사용하는 적응 지각 필터에서 얻어진 결과이다. 그림 2와 4를 비교해 보면 많은 부분에서 반복 횟수 감소를 알 수 있다. 그 불필요한 횟수의 제거로 인해 그림 5에서 그림 3보다 결과 SNR의 성능 저하를 막을 수 있었다. 하지만 그림 4의 갈색 원으로 체크되어 있는 부분에서 여전히 필터 반복 연산이 과다하게 일어나고 있음을 5의 SNR 결과로 알 수 있다. 그것은 앞에서 제안한 임계값으로 제거되지 않는 잡음 과추정이 존재한다는 의미이다. 이 예측되지 못한 구간에서의 반복 연산은 지각 필터 응답 β 가 0.75에 해당하는 구간까지 일어났다. 따라서 이러한 필터의 반복 동작을 실험적으로 제한하도록 하였다. 유사한 지각 필터 응답을 가지는 구간의 반복 연산 횟수를 최대 결정하여 다음과 같이 적용하였다.

$$\alpha = 0.001 \quad \text{for, } \beta > 0.75 \text{ and } m \geq 3 \text{ or } \beta < 0.75 \text{ and } m \geq 4 \quad (12)$$

식 (12)는 지각 필터 응답에 따라 최대 반복 적용 횟수를 제한하도록 하였다.

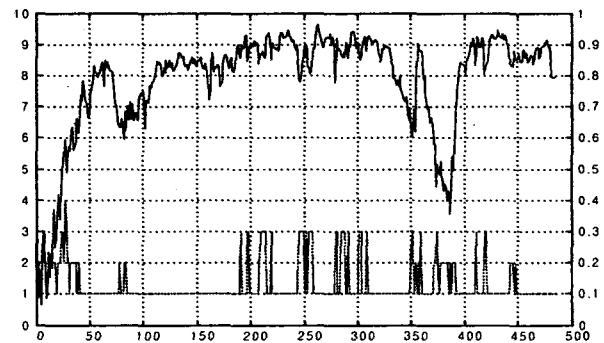


그림 6. 임계값 제한과 입력에 따른 필터 적용 횟수 강제 제한 기법을 적용했을 때의 반복 횟수

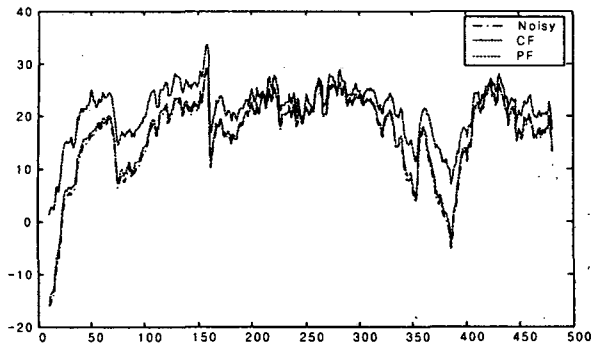


그림 7. 임계값 제한과 입력에 따른 필터 적용 횟수 강제 제한 기법을 적용한 결과의 SNR

그림 6과 7은 임계값 제한과 함께 입력에 따른 필터 적용 횟수 강제 제한 기법을 적용한 결과를 나타낸 것이다. 연산의 감소는 물론이고 SNR 저하를 예방하는 성능을 보여주고 있다.

4. 평가

제안된 알고리즘의 개선 사항을 비교하기 위해서 기존의 지각 필터, 적응 지각 필터와 제안된 알고리즘을 적용한 적응 지각 필터의 SNR과, 필터 반복 수행 횟수를 비교하였다.

실험은 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 10dB, 15dB, 20dB, 25dB, 30dB로 원신호를 열화 시켜 얻은 신호를 사용하였고, 시뮬레이션은 Matlab을 이용하여 수행되었다.

잡음환경	원형	임계값 제한	제안된 기법
10dB	1441	1429	1307
15dB	1742	1504	1194
20dB	2863	1663	969
25dB	5517	1782	844
30dB	9136	1743	731

표 1. 잡음 환경에 따른 적응 지각 필터 적용 횟수

잡음환경	원형	임계값 제한	제안된 기법
10dB	13.3762	13.3731	13.3869
15dB	17.1674	17.1314	17.2208
20dB	20.7004	20.8511	21.1071
25dB	23.6069	24.7113	25.0895
30dB	25.9876	28.6226	29.0791

표 2. 잡음 환경에 따른 SNR 결과

표 1과 2는 개선된 필터의 결과를 나타낸 것이다. 표 1에서 10dB 환경에서 122회의 연산 감소를 시작으로 30dB에서 1000회 이상의 연산 감소를

가 나타났다. 이와 함께 표 2의 SNR 테스트에서 과추정 제거로 인한 SNR 향상을 볼 수 있다.

5. 결론 및 향후과제

제안하는 알고리즘은 고속 적응 지각 필터에서 임계값 제한 과정 이후에 발생하는 잡음 과추정에 대한 분석을 통하여 효율적인 제어를 하였다. 이를 통해 임계값 제한 기법에 비해 약 10% 이상의 연산량 감소를 바탕으로 0.5dB까지의 SNR 개선율을 확인하였다. 이것은 필터 동작특성의 분석을 통해 이루어진 것이다. 하지만 좀 더 효과적인 잡음 추정을 통해서 이러한 문제점을 보완할 수 있는 기법과 함께 연산량의 추가 감소를 위한 알고리즘이 개발되어야 할 것이며, 음질 개선율을 높일 수 있는 기법들이 연구되어야 할 것이다.

6. 참고문헌

- [1] D. Tsoukalas, . Mourjopoulos, and G. Lollinakis, "Perceptual Filter for Audio Signal Enhancement", Journal of Audio Eng. Soc, vol. 45, no. 1/2, 1997
- [2] 엄혜영, 서정국, 차형태 " 잔여 잡음의 적응적 제어를 통한 오디오 음질 개선" ; 한국음향학회, 추계. 2003
- [3] 유일현, 서정국, 차형태 " 잡음 추정을 이용한 적응 지각필터 속도 향상을 위한 전처리 알고리즘" , 한국 음향학회, 추계. 2004
- [4] N. Virag, "Single Channel Speech Enhancement Based on Masking Properties of Human Auditory System", IEEE Trans. Speech and audio processing, vol. 7, no. 2, 1999
- [5] J. John, "Transform Coding of Audio Signals Using Perceptual Noise Criteria", IEEE Jour. on Select. Areas in Communications, vol. 6, no. 2, 1988
- [6] E. Zwicker, H. Fastl, "Psychoacoustics : fact and models, Springer, 2nd Edition, 1999
- [7] 서정국 차혁근, 차형태, " 잡음에 열화 된 대역에서의 잡음 추정을 이용한 음질개선" , 한국 음향학회, 추계, 2003
- [8] 유일현, 차혁근, 차형태 " 임계값 제한을 통한 적응 지각 필터 속도 향상 알고리즘" , 신호처리 시스템학회 2004 추계 학술발표 논문집 5권 제 2호, 2004