

특집논문-03-08-1-02

지각형 컨벌루션 잡음 제어를 통한 음질 개선 방법

김 헌 중*, 한 헌 수**, 홍 민 철**, 차 형 태**

Signal Quality Enhancement using Perceptual Convolutional Noise Suppression

Hunjoong Kim*, Hernsoo Hahn**, MinCheol Hong** and Hyungtai Cha**

요 약

본 논문에서는 잡음 에너지에 의한 지각적 간섭현상 해석을 통한 지각적 컨벌루션 잡음 제어에 의한 음질 개선 방법을 연구하였다. 지각적 컨벌루션 잡음은 잡음에 의한 신호의 지각적인 특성 변화 및 잡음 추정오차에 의한 잔여 잡음의 영향을 반영하는 것이다. 실험 결과 임계대역 여기 에너지를 통한 지각적 부가 잡음 제어 필터와 순음도 변화도를 통한 지각적 컨벌루션 잡음 제어 필터가 대등한 음질 개선 성능을 나타내었으며, 다양한 잡음 환경에서도 우수한 음질 개선을 나타냄을 확인 할 수 있었다.

논문 핵심 용어 : 지각적 간섭 현상, 지각적 컨벌루션 잡음, 오디오 신호 개선, 심리음향, 마스킹 현상

Abstract

In this paper, we introduce a novel signal quality enhancement algorithm with a perceptual interference analysis and perceptual convolutional noise suppression. A perceptual convolutional noise is reflected in the audible disturbance that can still be recognized after the additional noise suppression and tonality change which is caused by the noise energy excitation.

The enhancement system is organized with a perceptual additional noise suppression part and a perceptual convolutional noise suppression part.

Experimental results show that these two parts have an equivalent quality enhancement performance.

Keywords: Perceptual Interference, Perceptual Convolutional Noise, Audio Enhancement, Psychoacoustics, Masking Phenomenon

I. 서 론

최근 시스템 환경의 발전과 다양한 고품질의 음성 및 오디오 신호의 디지털 표현기술의 발전으로 인해 정확한 의미 전달의 관점에서의 신호의 명료도(intelligibility) 개선만으로는 음질 측면에서 늘어나는 사용자의 요구 조건을 충족시키기에 부족하게 되었다. 특히 오디오 신호의 경우

다양한 요인으로 인한 신호품질 개선은 SNR 측면의 개선뿐만 아니라 음질 측면의 개선은 중요한 관건이 된다. 그 결과 최근 잡음에 오염된 신호의 개선을 위해 높은 SNR비 개선과 더불어 신호에 대한 지각적인 측면에서도 무결성을 보장하기 위한 알고리즘들이 제안되었다^{[1][2][3][4]}.

본 논문에서는 인간의 청각적 지각 특성을 이용한 단일 채널 환경에서의 음질 개선 방법을 연구하였다. 이것은 신호와 잡음에너지에 대한 지각 패턴 해석에 기반을 둔 것이다. 음질 개선 과정은 임계대역의 여기에너지를 이용한 지각적 필터를 통해 지각적 부가 잡음 제어와 지각적 컨벌루션 잡음 제어 과정으로 수행된다. 여기서 지각적 컨벌루션 잡음은 지각 영역에서 잡음 에너지에 의한 간섭 현상의 영향을 나타내며, 신호의 지각적인 특성 변화 및 부가 잡음

* 숭실대학교 전자공학과 멀티미디어 시스템 연구실
Soongsil Univ., School of Electronic Engineering, Multimedia System Lab.

** 숭실대학교 전자통신전자공학부
Soongsil Univ., School of Electronic Engineering

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 RO1-2002-000-00073-0(2002) 지원으로 수행되었습니다.

(additional noise) 제어 후에 신호 내에 잔존하는 잔여 잡음을 반영하는 것이다. 이때, 지각적 컨벌루션 잡음 제어 필터는 잡음에 의한 순음도(tonality) 변화를 통해 잡음에 의한 지각적 간섭 영향을 반영한다.

본 논문은 I장 서론에 이어, II장에서는 신호의 지각 특성 기반의 표현에 대해서 살펴본다. III장에서는 Tsoukalas^[4]의 제안을 기반으로 한 지각적 부가 잡음 제어 필터를, IV장에서는 신호의 지각 패턴 해석에 기반을 둔 지각적 컨벌루션 잡음 제어 필터를 소개한다. V장에서는 다양한 잡음을 통한 음질 개선 비교와 결과에 대한 해석을 기술한다. 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 지각 특성 기반의 신호 표현

사람의 청각 시스템에서의 주파수 변별력(frequency selectivity)을 나타내는 임계대역(criticalband)에 대한 임의의 신호의 전력 스펙트럼 $F_s(\omega; t)$ 에 대한 임계대역 에너지(criticalband intensity)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_s^l(z; t) = a_0(z) \cdot \sum_{w=w_l}^{w_h} F_s(w; t) \quad (0 \leq z \leq Z-1) \quad (1)$$

이때, w_{lz} , w_{hz} 는 임의의 임계대역, z 에 대한 주파수 경계를 나타내며, Z 는 전체 임계대역의 수를 나타낸다. t 는 길이 N 을 갖는 임의의 윈도우를 통해 구분되어지는 시간 영역의 프레임 인덱스를 나타낸다. 또한 여기서 $a_0(z)$ 는 외이(外耳: outer ear)에서부터 중이(中耳: middle ear)까지의 다양한 전달 특성 요소(transmission factor)들에 의한 주파수 의존 감쇠특성을 나타내는 감쇠성분이다. 이때, 이러한 $F_s^l(z; t)$ 는 기저막(basilar membrane)에서 신호 에너지의 지각적인 확산현상을 나타내기 위해 확산함수(spreading function)를 통해 컨벌루션 된다. 이와 같이 기저막의 신호 에너지에 대한 지각적인 주파수 응답을 나타내는 여기(excitation) 에너지는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_s^e(z; t) = \sum_{v=0}^{z-1} s_2(v; z-v) F_s^l(v; t) + \sum_{v=z}^{Z-1} s_1(v; v-z) F_s^l(v; t) \quad (2)$$

이때, 역방향 확산현상(backward spreading)을 나타내는 $s_1(v; v-z)$ 과 순방향 확산현상(forward spreading)을 나타내는 $s_2(v; z-v)$ 을 다음과 같은 단일함수를 이용하여 표현하면

$$ss(v, z) = \begin{cases} s_2(v; z-v), & v < z \\ s_1(v; v-z), & v \geq z \end{cases} \quad (3)$$

임계대역 신호 에너지에 대한 지각 패턴을 나타내는 여기 에너지는 다음과 같이 표현 할 수 있다.

$$F_s^e(z; t) = \sum_{v=0}^{Z-1} [ss(v; z) F_s^l(v; t)] \quad (4)$$

또한, 이러한 임계대역의 여기 에너지는 시간 영역에서의 에너지 확산영향(post masking spreading)을 고려하여 이전 프레임들과 결합되어 진다. 이 과정을 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_s^{et}(z; t) = F_s^e(z; t) + \sum_{m=0}^{t-1} [T_f^{-m}(z) F_s^e(z; m)] \quad (5)$$

단, $0 \leq z \leq Z-1$

여기서 $T_f(z)$ 는 신호 에너지의 시간에 따른 마스크 확산의 영향을 표현하기 위한 함수이다^{[4][5][6]}.

III. 지각적 부가 잡음 제어

임의의 시간 프레임 인덱스 t 에서의 잡음에 오염된 신호와 순수 신호의 전력 스펙트럼을 각각 $F_y(\omega; t)$, $F_s(\omega; t)$ 라고 하면, 각각의 신호에 대한 청각 시스템에서의 지각 패턴에 대한 신호의 표현(psychoacoustical representation)은 식 (5)에 의해 각각 $F_y^{et}(z; t)$, $F_s^{et}(z; t)$ 로 표현할 수 있다. 이러한 두 신호의 여기 에너지의 차이는 지각적으로 인식하게 되는 잡음의 양을 나타내게 된다. 이때, 다음의 식 (6)에서와 같이 지각적 응답을 이용한 임의의 필터 $H(z; t)$ 가 $F_y^{et}(z; t)$ 로부터 가청 가능한 잡음 에너지의 영향을 제거하여 $F_s^{et}(z; t)$ 와 지각적으로 일치하는 개선된 신

호, $\widehat{F}_s^{rt}(z;t)$ 를 생성한다면,

$$\widehat{F}_s^{rt}(z;t) \approx \widehat{F}_s^{ct}(z;t) = H(z;t)F_y^{rt}(z;t) \quad (6)$$

다음과 같은 시간-주파수 지각 특성 의존적인 필터가 존재하게 된다.

$$H(z;t) = \frac{F_s^{rt}(z;t)}{F_y^{rt}(z;t)}, \quad 0 \leq z \leq Z-1 \quad (7)$$

단일 채널 환경에서 현재 프레임에 첨가된 잡음을 알 수 없으므로, 잡음에 오염된 신호와 묵음구간동안 추정된 잡음, $\widehat{F}_d^{rt}(z;t)$ 을 이용한 지각적 부가 잡음(perceptual additional noise) 제어 필터는 다음과 같이 나타낼 수 있다^[4].

$$H(z;t) = 1 - \frac{\widehat{F}_d^{rt}(z;t)}{F_y^{rt}(z;t)} \quad (8)$$

단 이때, 잡음 에너지에 의한 시간 영역의 에너지 확산영향은 지각적으로 무관하다고 가정한다. 이것은 현재 처리되고 있는 프레임에 대해 신호의 지각적 응답을 이용한 임의의 필터에 의해 잡음 에너지의 영향을 제거한다면, 개선된 신호, $\widehat{F}_s^{rt}(z;t)$ 는 지각적으로 순수 신호와 일치한다고 해석할 수 있기 때문이다. 또한 이와 같은 $\widehat{F}_d^{rt}(z;t)$ 에 의한 시간 영역에서의 마스킹 확산영향은 $F_s^{rt}(z;t)$ 와 같다고 할 수 있으므로, 음질 개선 과정에서 $T_f(z) \approx 0$ 이라 가정할 수 있다.

IV. 지각적 컨벌루션 잡음 제어

잡음 추정에 있어, 해당 프레임에 첨가된 잡음 에너지를 정확히 추정할 수 있다면, 개선된 신호의 경우 식 (8)의 필터를 통해 지각적으로 원신호와 같은 결과를 얻을 수 있을 것이다. 그러나, 일반적으로 잡음 특성에 따라 각 주파수 대역마다 잡음 에너지를 정확하게 추정하는 일은 어려운 일이므로, 추정오차가 존재하게 된다. 그러므로 잡음에 오염된 신호 내에서의 이러한 추정오차의 영향을 보상시켜줄 필요가 있다.

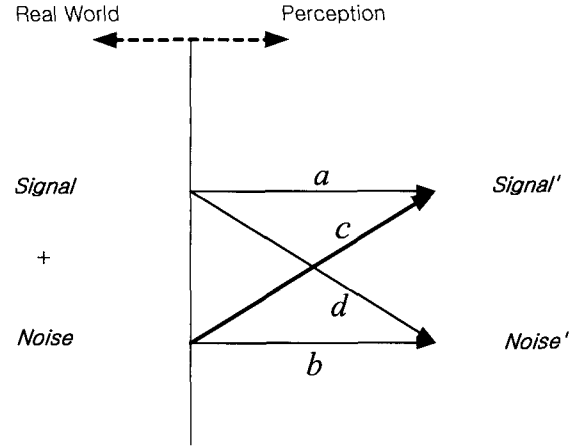


그림 1. 잡음의 지각 패턴 해석을 위한 개념도
Fig. 1. The Conceptual Diagram to Analysis the Perceptual Relationship of Noise

그림 1은 이러한 지각적인 영역에서의 신호 상호간의 영향을 해석하기 위한 개념도이다. 그림에서 a와 b는 지각적인 영역에서의 잡음과 신호에 대한 부가 에너지 표현을 나타낸다. c와 d는 신호 상호간 지각적인 간섭현상의 영향으로 해석할 수 있다. 이때, d는 신호 에너지에 의한 잡음에 대한 간섭, 즉 신호 에너지에 의한 잡음의 마스킹 현상으로 해석할 수 있다. c는 잡음 에너지에 의한 신호 에너지에 대한 영향을 반영하는 것으로, 부가 잡음 에너지 제거 후 존재하게 되는 추정오차에 의한 잔여 잡음과 지각적으로 느끼는 잡음 에너지에 의한 신호의 순음(tonal)성분과 비순음(non-tonal)성분의 변화 등을 나타내는 컨벌루션 잡음의 영향으로 해석할 수 있다.

본 논문에서는 이러한 지각적 컨벌루션 잡음의 영향을 잡음 에너지에 의한 순음도(tonality) 변화를 통해 반영하였다. 다음은 이러한 잡음에 오염된 신호에 대해서 잡음에 의한 순음도 변화를 측정하기 위한 예측지수 계산을 나타낸다. 이때, 잡음예측지수(noise unpredictability measure), $C(w;t)$ 는 0(높은 예측도)에서 1(낮은 예측도)의 범위의 값을 갖는다.

$$C(w;t) = \frac{|S_y(w;t)e^{j\hat{\omega}_y(w;t)} - \hat{S}_d(w;t)e^{j\hat{\omega}_d(w;t)}|}{|S_y(w;t)| + |\hat{S}_d(w;t)|} \quad (9)$$

단, $0 \leq C(w;t) \leq 1$

여기서 $S_y(w;t)$, $\hat{S}_d(w;t)$ 는 각각 잡음에 오염된 신호와 묵음구간을 통해 획득한 추정잡음의 진폭 스펙트럼을,

$\varphi_y(w;t)$ 과 $\widehat{\varphi}_d(w;t)$ 각각에 대한 위상 스펙트럼을 나타낸다. 이때, 이러한 추정잡음은 검출된 묵음구간과 이전 묵음구간의 평균을 통해 획득하였다. 이렇게 계산된 잡음예측지수는 다음과 같이 지각적인 영역에서의 그 영향을 반영하기 위해 잡음에 오염된 신호에 가중치로써 적용된다.

$$F_y^d(z;t) = a_0(z) \cdot \sum_{w=w_{lz}}^{w_{hz}} C(w;t)F_y(w;t) \quad (10)$$

단, $0 \leq z < Z-1$

이와 같이 잡음예측지수를 통해 계산된 잡음 에너지에 의한 신호 에너지 특성 변화를 반영한 임계대역 여기 에너지, $F_y^{ex}(z;t)$ 는 식 (10)의 $F_y^d(w;t)$ 을 통해 다음과 같이 계산된다.

$$F_y^{ex}(z;t) = \sum_{v=0}^{Z-1} [ss(v,z)F_y^{dl}(v;t)] \quad (11)$$

이때, 잡음 에너지로 인한 잡음에 오염된 신호의 임계대역 내에서 지각적인 특성 변화 응답은 다음과 같이 $F_y^{ex}(z;t)$ 를 $F_y^e(z;t)$ 으로 정규화 함으로써 구해지게 된다.

$$G(z;t) = \frac{F_y^{ex}(z;t)}{F_y^e(z;t)} \quad (12)$$

단, $0 \leq G(z;t) \leq 1$

이와 같이 잡음에 오염된 신호에 대한 사람의 청각 시스템에서의 지각 패턴 제어를 통한 부가 잡음과 컨벌루션 잡음에 대한 음질 개선 시스템은 다음과 같이 구성할 수 있다.

$$\widehat{F}_s^l(w;t) = G(z;t) \cdot H_p(z;t) \cdot F_y^l(w;t), \quad (13)$$

단, $w_{lz} \leq w \leq w_{hz}, 0 \leq z \leq Z-1$

여기서 $H_p(z;t)$ 는 musical tone 잡음 제어를 고려한 지각적 부가 잡음 제어 필터이다. musical tone 잡음 제어는 $H_p(z;t)$ 의 응답을 통해 수행되며, 각각의 필터 응답을 통한 외삽법(extrapolation)을 취하는 프레임간 예측기법(intra-frame prediction)을 적용하였다. 이와 같이 정의된 지각적 부가 잡음 제어 필터, $H_p(z;t)$ 는 다음과 같다.

$$H_p(z;t) = \begin{cases} \left(1 - \frac{\widehat{F}_d^c(z;t)}{F_y^e(z;t)}\right), \\ \text{if } \widehat{F}_d^c(z;t) < F_y^e(z;t) \\ 2 * H_p(z;t-1) - H_p(z;t-2), \\ \text{otherwise} \end{cases} \quad (14)$$

단, $0 \leq H_p(z;t) \leq 1, 0 \leq z \leq Z-1$

오디오 신호의 경우에서처럼 인접 프레임간 변이(variance)가 높고, 상대적으로 긴 신호 구간으로 인한 에너지 변화율이 높은 경우, 직접적인 임계대역 내의 신호 에너지를 통한 제어 보다, 잡음에 오염된 신호내의 잡음의 영향 변화를 반영하는 것이 효율적이다. 여기서 식 (13)은 다양한 잡음환경에 적합하도록 일반적인 스펙트럼 차감방식의 필터와 같이 과차감 파라미터 k 와 필터응답을 나타내는 잡음 제어곡선의 천이도를 결정하는 지수 α 를 통해 다음과 같이 구성할 수 있다.

$$\widehat{F}_s(w;t) = F_y(w;t) * 10^{\frac{10 \log_{10} \frac{\widehat{F}_s(z;t)}{F_y(z;t)}}{20}} \quad (15)$$

$$= F_y(w;t) \cdot \sqrt{\frac{F_y^{ex}(z;t)}{F_y^e(z;t)}}^\alpha \cdot \sqrt{1 - k \frac{\widehat{F}_d^c(z;t)}{F_y^e(z;t)}}^\alpha$$

V. 실험 결과

실험에 사용된 신호들은 일반 오디오 CD로부터 획득한 44.1kHz의 샘플링율을 갖고, 16bit/sample의 정밀도를 갖는 다양한 장르의 오디오 신호들을 이용하였다. 이때, 사용된 프레임은 1024 크기의 중첩-가산 해닝 윈도우(overlap-add hanning window)를 적용한 프레임이며, 실험은 잡음에 의해 SNR=20dB로 열화 시킨 오디오 신호를 사용하여 프레임 구간 신호대 잡음비(SNR_{SEG})와 MOS 테스트 결과를 통해 비교하였다. 그림 3은 그림 2와 같은 가우시안 랜덤 잡음(GRN)을 통해 열화 시킨 오디오 신호에 대한 식 (14)에 정의된 부가 잡음 제어 필터(H-filter)와 식 (12)에 정의된 컨벌루션 잡음 제어 필터(G-filter)의 개선 결과를 비교하기 위한 개선 처리 구간 500 프레임에 대한 평균 SNR_{SEG}를 나타낸다.

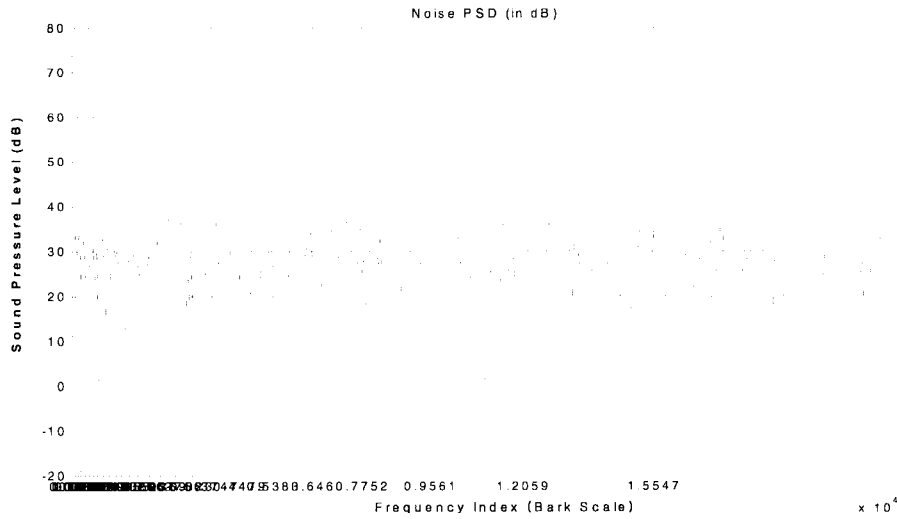


그림 2. 가우시안 랜덤 잡음의 전력 스펙트럼
Fig. 2. The Power Spectrum Density of Gaussian Random Noise

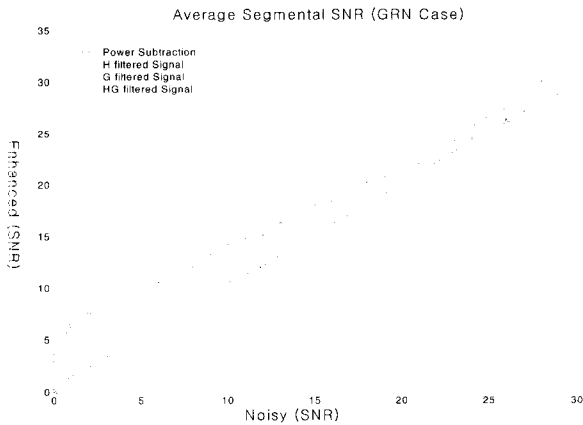


그림 3. 평균 프레임구간 신호대 잡음비 (가우시안 랜덤 잡음)
Fig. 3. Average Segmental SNR (GRN Case)

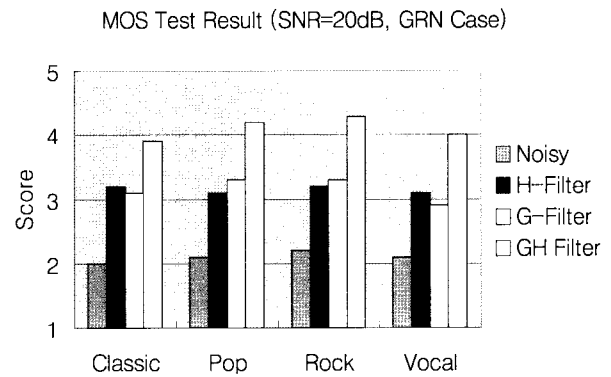


그림 4. MOS 실험 결과 (가우시안 랜덤 잡음)
Fig. 4. MOS Test Results (GRN Case)

그림 3에서 살펴 볼 수 있듯이 지각적인 영역에서의 잡음 제어 필터인 H필터와 G필터가 동일 조건($k = 1, \alpha = 5$)의 전력 스펙트럼 차감방식의 필터에 비해 SNR_{SEG} 가 10dB 미만인 구간에서 평균 3dB 이상의 개선 결과를 나타내었으며, H필터와 G필터가 대등한 개선 성능을 나타냄을 알 수 있었다. 또한 두 필터를 모두 적용할 경우 개선 성능을 배가 할 수 있음을 알 수 있다. 일반적으로 음성 및 오디오 신호 개선에 있어 SNR 개선 결과가 절대적인 평가 기준이 되지 못하므로 청감 테스트를 위해 MOS 테스트를 실시하였다. MOS 테스트는 음성 및 오디오 신호처리 분야 종사자 10명

을 대상으로 수행되어졌으며, 주변 잡음으로부터 차음성 확보를 위해 에티모틱사의 ER4S를 통해 수행되어졌다. 이때, $SNR = 0dB$ 를 $MOS = 1$, 순수신호를 $MOS = 5$ 의 조건으로 수행되어졌다. 다음 그림 4는 이러한 MOS 테스트를 통한 다양한 장르의 오디오 신호에 대한 각각의 개선결과와 두 필터를 모두 적용시켰을 경우에 대한 실험 결과이다. 실험 결과에서 확인할 수 있듯이 지각적 부가 잡음 제어 필터와 지각적 컨벌루션 잡음 제어 필터가 듣는 사람이 느끼는 주관적인 음질 개선 결과에서도 대등한 성능을 나타내었다.

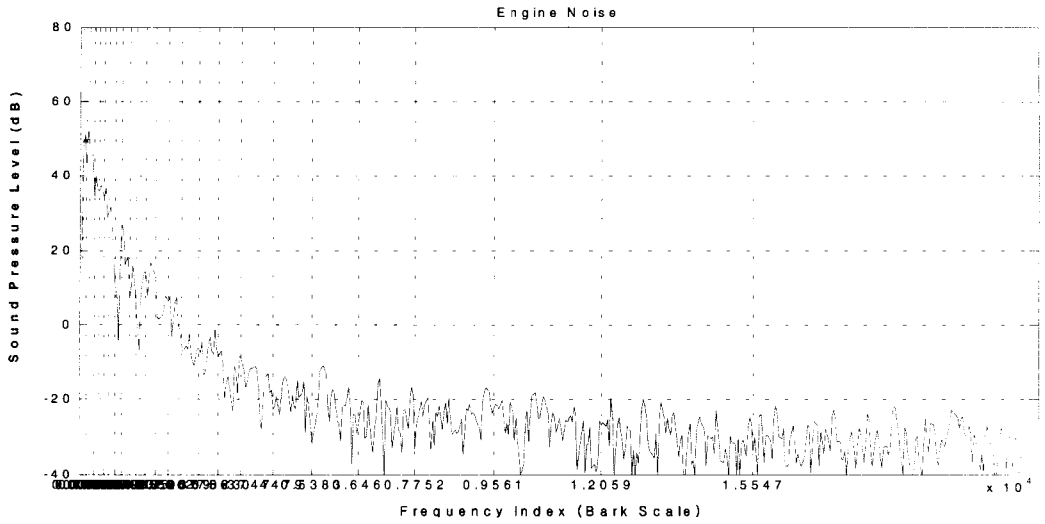


그림 5. 엔진 잡음의 전력 스펙트럼
Fig. 5 The Power Spectrum Density of Engine Noise

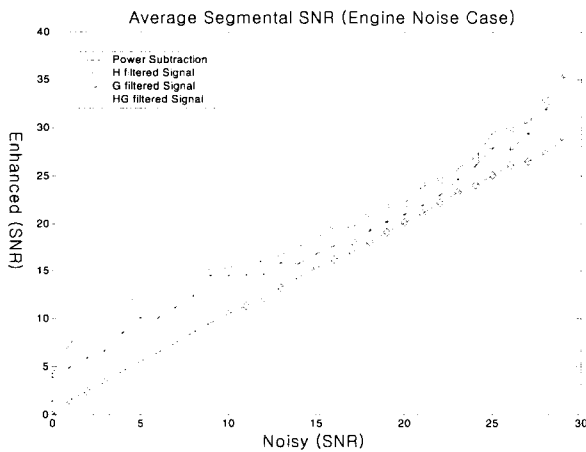


그림 6. 평균 프레임구간 신호대 잡음비 (엔진잡음)
Fig. 6. Average Segmental SNR (Engine Noise Case)

다음 그림 5는 다양한 잡음 환경에서의 개선 결과를 비교하기 위해 추가된 엔진 잡음의 주파수 특성을 나타내며, 그림 6은 각각의 잡음 제어 필터에 대한 평균 SNRSEG를 나타낸다.

그러나 실험 결과에서 확인할 수 있듯이 엔진 잡음의 경우 백색 잡음의 경우와 다른 결과를 나타내었다. 다음 그림 7은 이러한 결과에 대한 다양한 장르의 오디오 신호의 개선 결과에 대한 MOS 테스트 결과이다. 실험 결과 그림 6의 평균 SNRSEG 결과와는 달리 실제 지각적으로 느끼는 청감 테스트에서는 백색 잡음을 통한 그림 4의 결과에서와

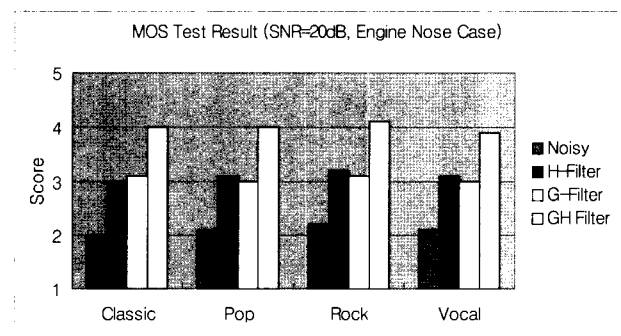


그림 7. MOS 실험 결과 (엔진 잡음)
Fig. 7. MOS Test Results (Engine Noise Case)

같이 H필터와 G필터가 대등한 개선 성능을 나타내었으며, 두 필터를 모두 적용할 경우 G필터가 잡음 추정오차에 의한 잔여 잡음의 영향을 제어함으로써 성능개선을 배가할 수 있음을 알 수 있다.

다음 그림 8은 임의의 프레임에서의 엔진 잡음에 대한 각각의 필터를 통한 개선 결과이다. 그림에서 확인할 수 있듯이 지각적 부가 잡음 제어 필터, H필터의 응답은 식 (8)에서와 같이 각각의 임계대역에서의 여기 에너지를 통해 잡음 에너지의 영향을 제어하고 있어 높은 잡음 에너지 제어를 보이고 있다. 그러나 지각적 컨벌루션 잡음 제어 필터, G필터의 응답은 이 경우 H필터의 경우보다 낮은 잡음 에너지 제어를 보이고 있다. 이것은 G필터의 경우 에너지 중심의 H필터와는 달리 식 (9)에서와 같이 잡음 에너지에 의한

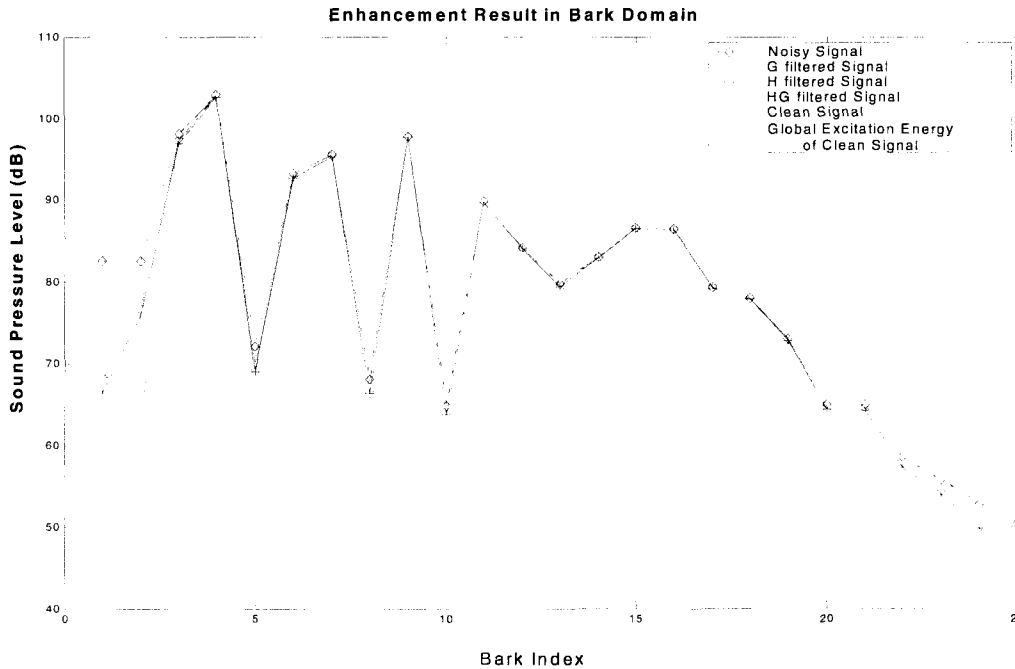


그림 8. 바크 영역에서의 잡음 제어 필터를 통한 개선 결과 (엔진 잡음)
 Fig. 8. Enhancement Results with G-filter and H-filter (Bark Domain, Engine Noise Case)

순음도 변화율을 통해 잡음에 오염된 신호 내의 잡음에 의한 여기에너지 변화도를 반영한 것이기 때문이다. 그 결과 그림 6에서와 같은 SNR_{SEG} 특성을 나타내게 되었다.

그러나 그림 7의 MOS 테스트의 경우 그림 6의 결과와 상이한 특성을 나타내는 것은 이러한 임계대역 여기 에너지를 통해 신호를 개선시키는 지각적 특성을 이용한 필터의 경우, 신호의 에너지가 아닌 각 임계대역 에너지에 대한 지각적인 응답인 여기 에너지를 통해 신호를 개선시키기 때문이다. 즉, $F_y^e(z;t) - F_s^e(z;t) \leq 0$ 인 조건을 만족시킴으로써 잡음에 의한 지각적인 무결성을 보장할 수 있기 때문이다.

VI. 결론

본 논문에서는 사람의 청각 시스템에서의 신호 에너지에 대한 지각 패턴을 나타내는 임계대역 여기 에너지와 이러한 신호 에너지 사이의 지각적인 간섭효과를 나타내는 마스킹 특성을 이용하여 지각적 컨벌루션 잡음해석을 통한 잡음 제어 기법을 연구하였다. 실험 결과 잡음의 종류에 따라 지각적인 부가 잡음 제어 필터와 지각적인 컨벌루션

잡음 제어 필터가 각기 다른 SNR_{SEG} 특성을 나타내었으나, 이것은 본 논문에서 적용된 컨벌루션 잡음 제어 필터의 경우 잡음 에너지에 의한 순음도 변화를 통해 잡음에 의한 지각적인 간섭의 영향을 반영하기 때문이다. 그러나 MOS 실험 결과 두 필터가 별도의 부가적인 왜곡 현상 없이 대등한 개선 성능을 나타내었으며, 두 필터를 같이 적용시킴으로써 높은 음질 개선 효과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 또한 잡음 추정 알고리즘 및 순음도 측정 알고리즘의 개선과 최적 파라미터 설정을 통한 성능 개선을 기대할 수 있다.

참고 문헌

- [1] J. Johnston, "Transform Coding of Audio Signals Using Perceptual Noise Criteria," *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Vol. 6, No. 2, Feb. 1988.
- [2] A. Czyzewski and R. Królkowski, "Noise Reduction in Audio Signals Based on the Perceptual Coding Approach," *Proceedings of the IEEE Workshop on Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics*, 17-20,10, pp. 147-150, USA, NY, Oct. 1999.
- [3] N. Virag "Single Channel Speech Enhancement Based on Masking

- Properties of the Human Auditory System," *IEEE Trans. Acoustic, Speech, Signal Processing*, Vol. 7 No. 2, Mar. 1999.
- [4] D. E. Tsoukalas and J. Mourjopoulos, G. Kokkinakis, "Perceptual Filter for Audio Signal Enhancement," *J. Audio Eng. Soc.* Vol. 45 No.1/2, Jan. 1997.
- [5] E. Zwicker and H. Fastl, *Psychoacoustics : Facts and Models*, Springer 2nd Edition, 1999.
- [6] C. J. Moore, *Hearing*, Academic Press, 1995.

저 자 소 개



김 헌 중

- 1997년 : 관동대학교 전자통신공학과 (공학사)
- 1999년 : 송실대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1999년~현재 : 송실대학교 전자공학과 박사과정수료
- 주관심분야 : Audio and Speech Coding, Psychoacoustics, ASIC Design, Embedded System, Mathematical Morphology.



한 헌 수

- 1991년 : University of Southern California (공학박사)
- 1992년~현재 : 송실대학교 정보통신전자공학부 부교수
- 1994년 : 일본기계기술 연구소 객원연구원
- 1998년 : 송실대학교 어학원장
- 1999년 : 송실대학교 이부 부장
- 2002년 : 송실대학교 정보통신전자공학부 학부장
- 주관심분야 : 비전을 이용한 로봇제어, 얼굴 영상처리 기술, 센서 융합



홍 민 철

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



차 형 태

- 1993년 : The University of Pittsburgh (공학박사)
- 1993년~1996년 : 삼성전자 신호처리 연구소 선임연구원
- 1996년~현재 : 송실대학교 정보통신전자공학부 조교수
- 2001년~2002년 : 한국방송공학회 방송공학회지 편집위원장
- 2001년~현재 : 신호및시스템학회 상임이사
- 주관심분야 : Multimedia Systems and Applications, Audio and Video Signal Processing
ASIC Implementation of Digital System, Source and Channel Coding, Communication System