

다채널 디지털 보청기에 적용 가능한 Adaptive Feedback Cancellation 알고리즘 구현

전신혁*, 지유나*, 박영철**

Implementation of Adaptive Feedback Cancellation Algorithm for Multichannel Digital Hearing Aid

Shin-Hyuk Jeon*, You-Na Ji*, Young-Cheol Park**

요약 본 논문에서는 다채널 디지털 보청기에 적용 가능한 적응 음향 케환 제거(Adaptive Feedback Cancellation : AFC) 알고리즘을 실시간으로 구현한다. 다채널 디지털 보청기는 일반적으로 난청 보상을 위해 FFT 필터뱅크 기반 광역 동범위압축(Wide Dynamic Range Compression) 알고리즘을 사용한다. 구현한 실시간 음향 케환 제거 알고리즘은 다채널 디지털 보청기와 동일한 FFT 필터뱅크를 사용하여 WDRC와 함께 하나의 통합된 구조를 가짐으로써 보청기 배터리 수명에 영향을 미치는 연산량 측면에서 이득을 볼 수 있었다. 구현된 음향 케환 제거 알고리즘은 고정 및 변화하는 음향 케환 경로를 실시간으로 추정하여 보청기 출력 신호의 품질을 향상시킴을 확인하였다. 또한 비선형적인 입, 출력에 의해 음향 케환 제거기가 정상적으로 작동하지 못해 출력 신호의 포화가 일어날 경우 감소 이득을 적용하여 시스템의 안정성을 높이고자 하였다. 결과적으로 다양한 실제 사용 환경에서 강건하게 동작하는 알고리즘을 구현할 수 있었다. 본 알고리즘은 추후 음질 개선 알고리즘 등 다양한 기능의 추가 구현이 용이하다.

Abstract In this paper, we have implemented a real-time adaptive feedback cancellation(AFC) algorithm that can be applied to multi-channel digital hearing aid. Multichannel digital hearing aid typically use the FFT filterbank based Wide Dynamic Range Compression(WDRC) algorithm to compensate for hearing loss. The implemented real-time acoustic feedback cancellation algorithm has one integrated structure using the same FFT filter bank with WDRC, which can be beneficial in terms of computation affecting the hearing aid battery life. In addition, when the AFC fails to operate due to nonlinear input and output, the reduction gain is applied to improve robustness in practical environment. The implemented algorithm can be further improved by adding various signal processing algorithm such as speech enhancement.

Key Words : Adaptive Feedback Cancellation, Digital Hearing Aids, Hearing Loss, Subband-Adaptive filter, WDRC

1. 서론

디지털 보청기는 필터뱅크를 이용한 다중 주파수 대역 분할 기술로 난청 환자의 난청 주파수 대역만을 선택적으로 증폭시켜 무분별한 증폭으로

인한 고막의 손상 없이 난청자의 음성 명료도를 높일 수 있다는 장점이 있다. 디지털 보청기는 난청 환자의 협소한 가청 음폭에 적합하도록 주파수 대역에 따라 변환하여 소리의 왜곡 발생을 차단할 수 있으며 음성 신호의 명료도를 향상시킬 수 있

This research was supported by the Ministry of Trade, Industry & Energy(MOTIE), Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) through the Encouragement Program for The Industries of Economic Cooperation Region.

*Division of Computer Science, Yonsei University

**Corresponding Author : Computer and Telecomm. Eng. Division Yonsei Univ.(young00@yonsei.ac.kr)

Received February 04, 2017

Revised February 16, 2017

Accepted February 16, 2017

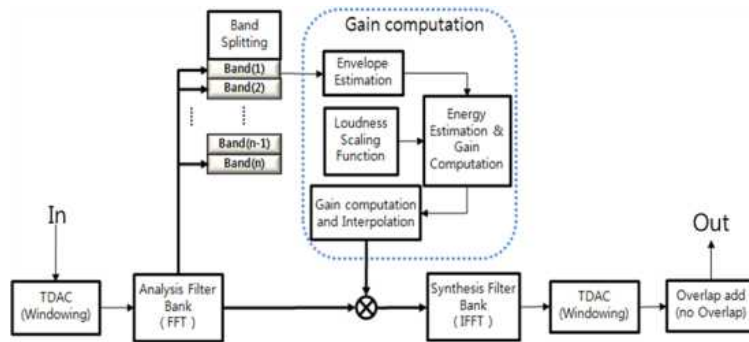


그림 1. 광역 동범위압축 알고리즘 블록 다이어그램
Fig. 1. Block diagram of WDRC

다.[1] 또한 마이크와 스피커가 작은 공간 안에 존재하는 보청기의 구조 특성상 스피커의 출력이 마이크로 되돌아가 비정상적으로 출력이 커지는 음향 케환 현상의 제거가 용이하다.

보청기는 난청 환자들에게 항상 필수적이므로 장시간 동작하기 위해서는 저전력 프로세스와 난청 환자들의 특성에 따라 밴드별 증폭을 달리할 수 있는 적합한 알고리즘이 요구된다. 밴드별 증폭을 달리하기 위해 전 대역 신호를 다채널로 분석하고 증폭한 뒤 전 대역 신호로 합성하는 과정에서 상당한 연산량이 요구되기 때문에 효율적인 필터뱅크 사용이 필수적이다. 필터뱅크의 종류로는 시간 영역에서의 FIR(Finite Impulse Response) 필터뱅크와 주파수 영역에서의 MDCT(Modified Discrete Cosine Transform), DFT(Discrete Fourier Transform) 필터뱅크가 있다. 이 중 대역간 에일리어징을 최소화하고 주파수 대역 분할 성능이 높은 DFT 필터뱅크를 fast 알고리즘(Fast Fourier Transform : FFT)을 통하여 DFT의 연산량 복잡도를 극복하여 사용하였다.[2]

다채널 디지털 보청기는 난청자의 주파수에 따른 청력 역치를 고려하여 적절하게 증폭하기 위해 일반적으로 광역 동범위압축(Wide Dynamic Range Compression : WDRC) 알고리즘을 사용한다. 광역 동범위압축 알고리즘은 필터뱅크를 통과한 주파수 도메인에서의 신호를 인간의 청각 특성을 고려하여 몇 개의 밴드로 나누어 증폭한다. 본

논문에서는 상대적으로 민감한 저주파대역에 높은 해상도를 적용하여 총 8밴드 광역 동범위압축 알고리즘을 구현하였다. 단 채널 알고리즘에 비해 서브밴드별 증폭은 난청자의 청력 손실 커브(Hearing loss curve)를 세밀하게 보정하여 필요한 대역만 보상 할 수 있다는 장점이 있다.

본 논문에서는 광역 동범위압축 알고리즘 기반 디지털 보청기에 적용 가능한 음향 케환 제거기를 실시간으로 구현하였다. 음향 케환은 디지털 보청기를 사용하는 난청자들에게 불편함을 주고 대역별 증폭 범위를 제한시켜 난청자의 가청 음폭에 도달하지 못하는 문제점을 야기시킨다. 이를 보완하기 위해 기존 연구로 협대역 필터를 사용한 음향 케환 제거 알고리즘이 사용되었으나 음질 저하와 음향 케환 경로 추정을 정확히 하지 못하는 단점이 있다.

능동 음향 케환 제거 알고리즘은 시간 영역의 NLMS(Normalized least Mean Square)와 AP(Affine Projection), 주파수 영역의 FDADF(Frequency Domain Adaptive Digital Filter)[3], SAF(Subband- Adaptive Filter)[3] 알고리즘 등이 있다. NLMS 알고리즘과 AP 알고리즘은 시간 영역에서 연산되기 때문에 높은 연산량이 요구되므로 실시간 구현에 적합하지 않다.[4] 주파수 영역의 FDADF 알고리즘은 시간 영역의 컨벌루션 연산을 고속 컨벌루션으로 대체해 연산을 최소화 할 수 있는 장점이 있고 수렴 속도도 빠르지

만 디지털 보청기 알고리즘에 적용할 경우 심한 에일리어징을 초래할 수 있는 스펙트럼 중첩 정도가 크다.[4] 따라서 본 논문에서는 추가적인 큰 연산량 없이 적은 스펙트럼 중첩을 갖는 SAF 알고리즘을 적용하였다. 구현한 실시간 음향 제한 제거기는 기존의 디지털 보청기 알고리즘의 광역 동범위압축 알고리즘에서 사용한 블록 기반 연산 구조에 적용이 가능하다. 따라서 디지털 보청기의 성능을 향상시켜 난청자들의 수요에 대응할 수 있다.

2. 디지털 보청기 시스템 알고리즘

2.1 광역 동범위압축을 이용한 다채널 난청 보상 알고리즘

그림 1은 디지털 보청기의 광역 동범위압축 알고리즘의 블록 다이어그램을 나타낸다. 블록 단위 신호 처리시 발생하는 에일리어징을 최소화하기 위해 Time Domain Aliasing Cancellation(TDAC) 과정을 거치게 된다. 이 과정에서 50% Overlap-add 사인 정현파 윈도우 함수를 사용하였다. Overlap-add에 의해 블록 사이즈만큼의 지연 시간이 발생한다.

입력 신호의 주파수 대역별 분석을 위해 필터뱅크가 요구된다. 필터뱅크의 종류로는 시간 영역의 FIR 필터뱅크와 주파수 영역의 MDCT, DFT 필터뱅크 등이 있다. FIR 필터뱅크는 여러 대역의 분할에는 제한적이고 연산량이 많이 요구된다.[4] MDCT 필터뱅크는 DFT 필터뱅크 절반의 연산량으로 대역을 분할할 수 있지만 에일리어징이 상대적으로 크게 발생한다. 따라서 본 논문에서는 대역 분할 성능이 높고 에일리어징이 적게 발생하는 주파수 영역 DFT 필터뱅크를 fast 알고리즘으로 구현한 FFT(Fast Fourier Transform) 필터뱅크를 사용하였다.[5]

필터뱅크를 통과한 신호는 포락선 추정(Envelope estimation) 블록을 통해 밴드별 입력 신호의 크기를 계산한다. 포락선 추정은 IIR(Infinite Impulse Response) 필터를 사용하여 평균을 구하고 다음 식(1)을 통해 이루어진다.

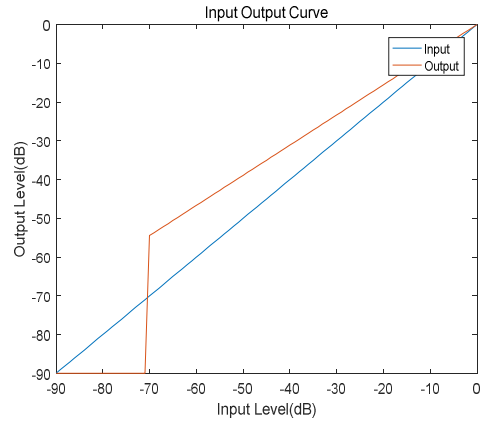


그림 2. 입출력 곡선
Fig. 2. Input output curve

$$P_i(n) = \lambda P_i(n-1) + (1-\lambda)Q_i(n) \quad (1)$$

$$Q_i(n) = \sum_{k \in i} |X_k(n)|^2 \quad (2)$$

위의 수식에서 i 는 밴드 인덱스이다, 추정 시정수 λ 는 두 개의 매개변수를 사용하며 입력 신호의 크기에 따라 사용하는 값이 달라진다. 신호가 커지는 경우 에너지를 빠르게 추정하기 위해 낮은 값의 매개변수를 사용하며 이를 attack time 이라 한다. 신호가 작아지는 경우 높은 값의 매개변수를 사용하여 에너지의 급격한 감소를 방지한다. 이 때 사용하는 매개변수를 release time이라 한다. Q_i 는 밴드별 입력 신호의 세기이며 자승의 합으로 계산한다. 추정된 포락선의 크기에 따라 난청자의 입출력 커브를 기반으로 증폭 이득을 계산하고 적용한다. 따라서 신호의 에너지가 급격하게 감소하는 상황에서 증폭 이득의 큰 변화를 방지한다. 그림 2는 난청환자의 손실 커브를 보상할 수 있는 이득을 취해 주기 위한 입출력 곡선의 예이다. 주파수 대역에 따라 각기 다른 입출력 곡선이 적용된다. 추정된 포락선으로부터 입출력 곡선에 따른 이득을 계산하고 밴드 간 에일리어징을 최소화하기 위해 이득을 선형 보간법을 이용하여 적용시킨다. 증폭된 신호를 전대역 신호로 합성하고 신호의 완벽 복원(Perfect reconstruction)을 위해 이전 프레임의 반절과 Overlap-add 하여 출력으로 내보낸다.[6]

2.2 음향 궤환 제거 알고리즘

2.2.1. 서브 밴드 기반 능동 궤환 제거기

음향 궤환 신호는 보청기 사용자들에게 불편함을 주고 보청기 증폭 이득을 제한하는 문제점이 있다. 음향 궤환은 작은 공간에 마이크와 스피커가 위치하게 되는 보청기의 공간적 특성에 의해 발생하는 것으로 보청기의 스피커에서 나온 출력이 음향의 누출로 인하여 다시 마이크로 입력되는 신호를 말한다. 감쇠가 적은 공진 주파수에 해당하는 신호가 증폭기에 의해 공진함으로써 귀에 거슬리는 소리를 발생시키게 된다.[7] 원활한 음성 청취를 위해서는 입력된 디지털 신호에서 음성을 제외한 궤환 및 잡음 신호는 적절히 제거되어야 한다.

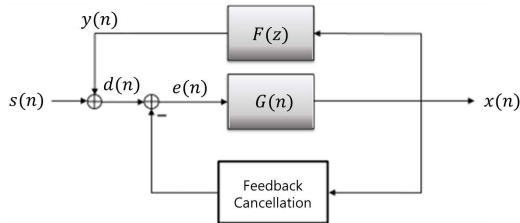


그림 3. 음향 궤환 제거 알고리즘 블록 다이어그램
Fig. 3. Block diagram of feedback cancellation algorithm

그림 3은 보청기에 적용된 음향 궤환 제거 알고리즘의 기본 구조를 나타낸다. $s(n)$ 은 보청기 마이크에 입력되는 음성 신호, $x(n)$ 은 보청기 스피커의 출력이다. 출력 $x(n)$ 이 음향 궤환 경로 $F(z)$ 를 통과한 $y(n)$ 은 음성 신호 $s(n)$ 과 합쳐져 $d(n)$ 신호로 보청기에 입력된다. 음향 궤환 알고리즘의 목적은 이 $y(n)$ 을 제거하는 것이다. 따라서 음향 궤환 제거기는 스피커 출력 신호 $x(n)$ 을 참조 신호로, $d(n)$ 을 목적 신호로 하여 음향 궤환 경로 $F(z)$ 을 추정하여 차이($e(n)$)를 출력하는 형태로 동작한다. 그림 4는 SAF 알고리즘을 적용한 음향 궤환 제거기의 블록도이다. 디지털 아날로그 변환 버퍼의 출력과 디지털 보청기의 입력으로 들어온 신호의 상관관계를 분석하여 적응 필터를 구현하고 적응 필터의 계수가 궤환 경로 $F(z)$ 를 추정한다. 적응 필터의 출력과 보청기 입력 신호의 오차의 자승 평균을 최소화 하도록 적응 필터의 계수가 수렴하며 적응 필터가 충분히 수렴하면 마이크 입력 성분 중 보청기 출력 $x(n)$ 가 음향 궤환 경로 $F(z)$ 를 통과한 음향 궤환 신호 $y(n)$ 을 제거할 수 있다. 음향 궤환 신호가 제거된 음성 신호는 WDRC 입력으로 들어가 적절한 증폭 이득 $G(k)$ 이 적용되어 난청이 보상된 음성

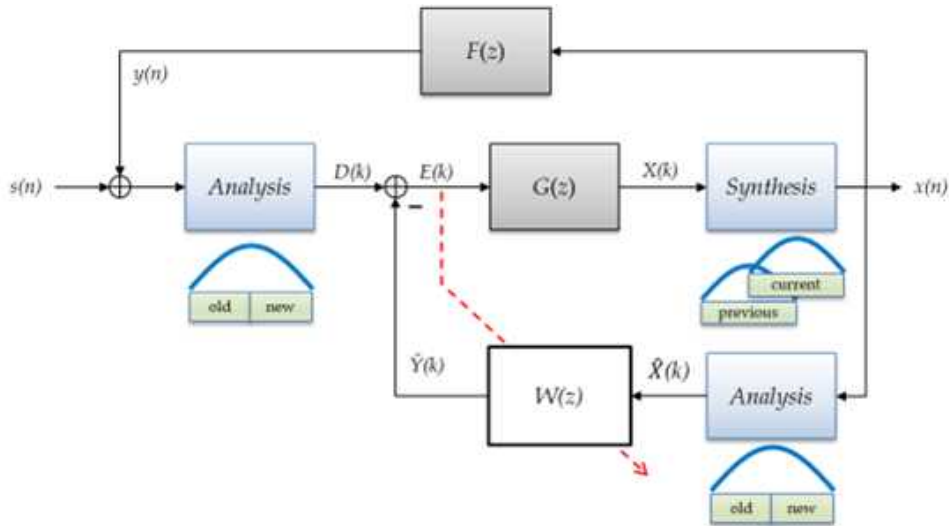


그림 4. SAF 기반 음향 궤환 제거 알고리즘 블록 다이어그램
Fig. 4. Block diagram of SAF based feedback cancellation

신호를 보청기 출력으로 내보낸다. 구현한 실시간 음향 제한 제거 알고리즘은 광역 동범위압축과 동일한 FFT 필터뱅크를 공유함으로써 기존의 디지털 보청기 알고리즘 구조에 추가적으로 많은 연산량을 요구하지 않고 적용이 가능한 장점이 있다. FDADF와 비교하였을 때 SAF 기반의 음향 제한 제거 알고리즘이 더욱 간단한 구조를 지니게 되며 추가적인 FFT 연산이 요구되지 않는다. 따라서 실시간 보청기 난청보상 알고리즘에 적용하기 위해서는 SAF 알고리즘 기반 음향 제한 제거 알고리즘을 사용하는 것이 적합하다. 또한 협대역 필터를 사용한 알고리즘에 비해 음향 제한 경로 $F(z)$ 의 실시간 변화에 강인하며 음질이 우수하다. 다음은 필터 계수를 갱신하는 수식이다.[9]

$$\hat{Y}(k) = \hat{X}(k)W(k) \quad (3)$$

$$E(k) = D(k) - \hat{Y}(k) \quad (4)$$

$$P(k) = E\{|\hat{X}(k)|^2\} \quad (5)$$

$$W(k+1) = W(k) + \mu \hat{X}^*(k)E(k)P^{-1}(k) \quad (6)$$

위 수식에서 $X(k) = FT[x(n)]$, $D(k) = FT[d(n)]$ 로 각각 참조 신호 $x(n)$ 과 목적 신호 $d(n)$ 의 주파수 도메인 표현이다. $E(k)$ 는 주파수 영역 목적 신호 $D(k)$ 와 필터 출력신호 $\hat{Y}(k)$ 의 차이이다. 사인 정현파 윈도우가 씌워진 $D(k)$ 을 목적 신호로, 출력신호 $x(n)$ 으로부터 블록 단위로 Overlap-add 하고 사인 정현파 윈도우를 씌운 $\hat{X}(k)$ 를 참조 신호로 사용한다. 필터 계수 $W(k)$ 는 $E(k)$ 의 자승 평균을 최소화 하도록 수렴하게 된다. $\hat{X}^*(k)$ 는 $\hat{X}(k)$ 의 켈레 복소수이고 $P^{-1}(k)$ 는 참조 신호 $\hat{X}(k)$ 의 파워의 역수이다. μ 는 필터 계수의 갱신 가중치를 결정하는 변수이다. $W(k)$ 가 음향 제한 경로 $F(z)$ 를 완벽하게 추정할 경우 음향 제한 신호 $y(n)$ 은 모두 제거되고 음성신호 $s(n)$ 만 스피커로 출력된다.

표 1. 알고리즘 연산량

Table 1. Complexity of algorithm

| Algorithm | ADD | MULTIPLY |
|-----------|-------------------|-------------------|
| NLMS | $M(3L-1)$ | $M(3L+2)$ |
| AP | $M(2L+25P)$ | $M(2L+24P-1)$ |
| FDADF | $M(4+18\log_2 M)$ | $M(10+9\log_2 M)$ |
| SAF | $M(3+6\log_2 M)$ | $M(8+3\log_2 M)$ |

표 1은 각 알고리즘에 대한 연산량 그래프이다. ADD는 덧셈 연산, MULTIPLY는 곱셈 연산의 횟수를 나타낸다. M은 블록의 절반크기를 나타내며 L은 필터 차수, P는 AP의 투영 차수(Projection Order)이다. 주파수 영역 알고리즘이 시간 영역 알고리즘에 비해 연산량이 훨씬 적은 것을 확인할 수 있으며 또한 SAF는 FDADF에 비해서도 적은 연산량이 요구되는 것을 확인할 수 있다.

2.2.2 음향 제한 검출 및 감소 이득 적용 블록

만약 음향 제한 제거기가 충분히 수렴하기 전 음향 제한 경로가 바뀌거나 적용 필터가 정확히 동작하지 못할 경우 보청기의 출력이 출력 가능한 최댓값보다 크게 되어 스피커의 비선형적인 특성 때문에 음향 제한을 제거하지 못하는 경우가 있다. 이러한 현상을 보완하기 위해 스피커 출력이 특정 대역에서 일정 시간 이상 높은 에너지를 갖는다면 해당 대역의 출력 이득을 낮추어 주는 방식으로 음향 제한 제거기가 동작할 수 있도록 하였다.

$$\hat{X}(k) = X(k) \cdot G_h(k) \quad (7)$$

$$G_h(k) = \begin{cases} \delta_0, & |X(k,l)|^2 \geq \delta \text{ for 1 sec} \\ 1, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (8)$$

수식 (7)에서 스피커 출력 $X(k)$ 와 이득 상수 $G_h(k)$ 로 감소 이득을 적용한 출력 $\hat{X}(k)$ 를 계산한다. 감소 이득 $G_h(k)$ 는 스피커 출력의 자승이 1초 이상 δ 값 보다 큰 경우 음향 제한 제거가 충분히 되지 못한 비정상적인 출력으로 인식하여 보

청기 출력 신호의 크기를 감소시킨다. δ 값은 음향
 케환 제거기가 동작하지 못하는 임계값으로 실험
 에서는 0.001 으로 설정하였다. 본 논문에서는 디
 지털 보청기 알고리즘의 구조에 적용할 수 있는
 음향 케환 제거 알고리즘을 실시간으로 실험하고
 그 성능을 확인하였다.

3. 실험

3.1 하드웨어 성능 및 실험 환경 설계

표 2. 실험 파라미터
 Table 2. Parameter setting

| Parameters | | Value |
|------------------------|--------------------|--------|
| Sampling Frequency(Hz) | | 16000 |
| FFT size(samples) | | 128 |
| Stepsize | Low Freq(< 2KHz) | 0.0001 |
| | High Freq(> 2KHz) | 0.01 |
| Filter order | | 128 |

표 3. 하드웨어 성능
 Table 3. Hardware specification

| Hardware | Feedback Cancellation off | Feedback Cancellation on |
|------------|---------------------------|--------------------------|
| Microphone | Transmission range(Hz) | 20 ~ 20,000 |
| | Sensitivity(mV/Pa) | 10 |
| | Impedance at 1000Hz(Hz) | 200 |
| | Diameter(mm) | 57 |
| Speaker | Thickness(mm) | 9.2 |
| | Resonant Frequency(Hz) | 18 |
| | Sound Pressure Level(dB) | 550 |
| | Weight(g) | 85 |

표 2는 알고리즘 구현에 사용한 파라미터를 나
 타낸다. 보청기는 실시간으로 입력신호를 처리할
 필요가 있기 때문에 시간 지연을 최소화하기 위해
 FFT size를 128 샘플로 설정하였다. 또한 저주파
 대역보다 고주파대역에서 음향 케환 신호가 발생
 할 확률이 높다는 사실을 기반으로 고주파 대역에

서는 큰 step size를 사용하여 적응 필터의 수렴속
 도를 높이고 저주파대역에서는 작은 step size를
 사용하여 음질 왜곡을 최소화 하였다. 입력신호는
 TIMIT 데이터베이스의 음성 신호를 사용하였으며
 STFT(Short Time Fourier Transform) 50%
 overlap-add의 사인 정현파 윈도우를 적용하였다.
 표 3은 실시간 실험에 사용한 하드웨어 정보를 나
 타내고 있다. 다양한 상황 연출을 위해 소형 마이
 크와 스피커를 DSP 보드에 연결하여 사용하였으
 며 충분한 증폭을 위해 아날로그 마이크 프리앰프
 로 behringer 사의 TUBE ULTRAGAIN MIC100
 을 연결하였다. 실험에 사용된 DSP 보드는 TI 사
 의 OMAP-L137/C6747이다.

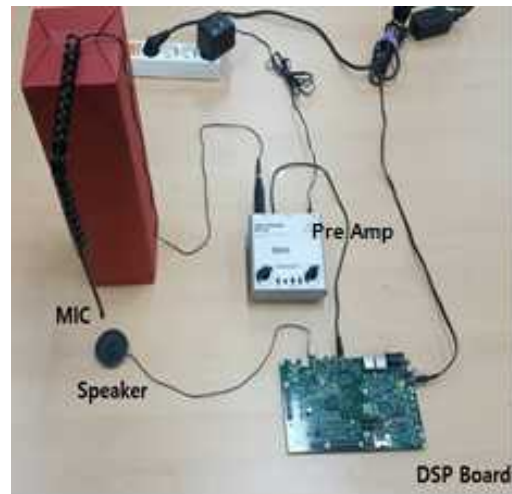


Fig. 5. The experimental setup for real time
 그림 5. 실시간 실험 환경

실시간 실험 환경은 그림 5와 같다. 마이크 입
 력이 보드의 입력으로 들어가 음향 케환 제거기의
 목적 신호로, 보청기 알고리즘 출력 신호가 참조
 신호로 사용되었다. 음향 케환 제거기의 계수는 음
 향 케환 경로를 추정하고 그 차이를 스피커의 출
 력으로 설정하였다. 디지털 보청기의 마이크와 스피
 커의 위치에 따라 음향 케환 경로가 변경되고
 이로 인해 음향 케환의 발생 여부가 결정된다.

3.2 다채널 보청기 난청 보상 알고리즘에 적용한 실시간 음향 궤환 제거 실험

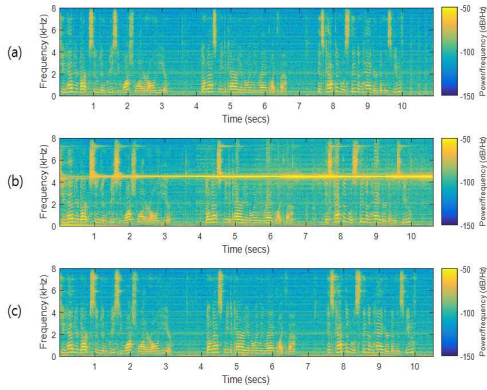


Fig. 6. Output of the system shown in Fig. 5. (a) general situation, (b) howling occurrence, (c) AFC on

다음 실험은 음향 궤환 제거기의 성능을 측정하기 위해 수행되었다. 본 실험에서는 WDRC를 간단하게 적용하기 위해 전 대역에 3dB 증폭 이득을 적용시켰다. 그림 6.(a)는 음향 궤환이 발생하지 않는 상황에서 음성 신호가 마이크 입력으로 주어진 상황을 나타낸다. 그림 6.(b)는 AFC가 동작하지 않는 상황에서 음향 궤환 신호가 발생하는 상황 그리고 그림 6.(c)는 음향 궤환이 발생하는 상황에서 AFC가 동작하여 음향 궤환 신호를 제거한 상황을 나타낸다. 그림 6.(b)와 그림 6.(c)를 비교해보면 4kHz 대역에서 발생했던 음향 궤환 신호가 제거되었음을 확인할 수 있다. 구현된 알고리즘의 성능을 객관적으로 평가하기 위해 PESQ(Perceptual Evaluation of Speech Quality)를 측정하였다. PESQ란 ITU-T 표준 평가 파라미터로 음성 품질의 객관적인 평가를 할 수 있으며 왜곡이 없는 원본 신호일 때 4.5로 표현되며 왜곡이 심할수록 낮은 값을 갖는다.[10]

표 4. 음질 변화
Table 4. Sound Quality

| | Feedback Cancellation off | Feedback Cancellation on |
|------|---------------------------|--------------------------|
| PESQ | 3.252 | 3.983 |

표 4는 그림 6의 결과에서 그림 6.(a)를 대조군으로 설정하고 그림 6.(b)와 그림 6.(c)를 실험군으로 설정한 PESQ 측정 값을 나타낸다. 음향 궤환을 제거한 경우 3.983의 값으로 음향 궤환이 발생한 경우인 3.252에 비해 0.7 이상의 음성 품질 향상을 확인할 수 있다.

3.3 비선형 출력 신호에 대한 실시간 음향 궤환 제거 실험

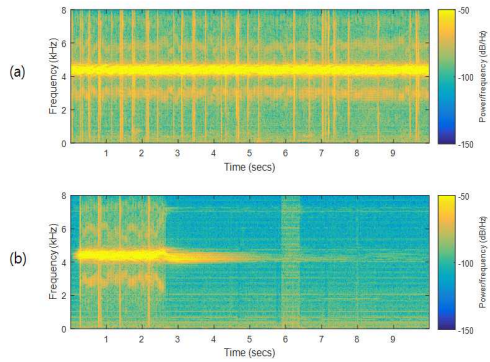


그림 7. 그림 5 시스템의 출력. (a) 기존 AFC, (b) 제안 AFC
Fig. 7. Output of the system shown in Fig. 5. (a) traditional AFC, (b) proposed AFC

다음 실험은 본문의 2.2.2절에서 설명한 하울링 검출 및 출력 감소 이득을 적용한 시스템의 실시간 실험 결과의 스펙트로그램을 보이고 있다. 음향 궤환 신호의 반복된 증폭으로 인해 스피커와 마이크의 신호에 포화가 발생하면 비선형적인 입, 출력 신호로 인해 적응 필터의 성능이 저하되어 수렴하지 못하는 문제가 발생한다. 이때 앞 절에서 설명한 감소 이득 δ_0 을 0.5로 설정하여 보청기 출력을 일시적으로 줄여주어 음향 궤환 제거기가 동작할 수 있는 환경을 만들어준 결과이다. 그림 7.(a)는

음향 케환 제거기가 정상 작동하지 않는 경우, 그림 7.(b)는 수식(7)을 적용하여 출력을 일시적으로 줄여주어 음향 케환이 제거된 상황을 나타낸다. 일반적인 적응 필터는 비선형적인 시스템을 모델링할 수 없다. 따라서 적응 필터에 추가적인 알고리즘이 요구되어야 하나 연산량 증가가 발생한다. 때문에 일시적으로 출력을 줄여주는 방법으로 추가적인 연산량 증가 없이 시스템을 모델링하였다.

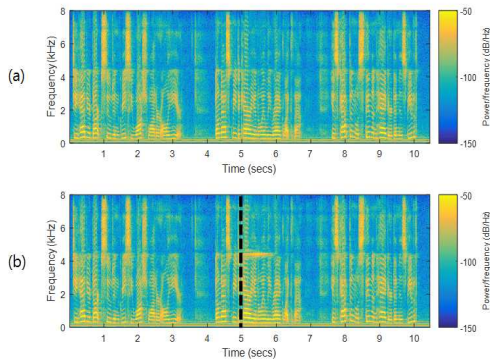


그림 8. 음향 케환 경로가 변경되는 상황에서의 시스템 출력 (a) 일정한 경로 (b) 5초에 변경된 경로
 Fig. 8. Output signals when feedback path is (a) unchanged and (b) changed at 5 seconds

그림 8은 음향 케환 경로가 변경된 상황에서 음향 케환 제거기의 성능을 판단하기 위해 수행되었다. 동일한 음향 케환 경로에서 수행하고 음성 신호가 마이크 입력으로 주어진 상황에서 그림 8의(a), (b)가 진행되었고, 그림 8.(b)는 5초에 케환 경로가 변경되었다. 경로 변경으로 인해 일시적으로 케환신호가 발생하였지만 적응 필터가 변경된 경로를 추정하여 그림 8.(a)와 같이 음향 케환이 발생하지 않는 동일한 결과를 얻음으로써 능동 음향 케환 제거기는 케환 경로가 바뀌더라도 강건하게 동작하는 것을 확인하였다,

4. 결론

본 논문에서는 다채널 디지털 보청기에 적용 가능한 적응 음향 케환 제거 알고리즘을 실시간으로

구현하였다. 구현 된 실시간 음향 케환 제거기는 다채널 난청 보상 알고리즘과 동일한 FFT 필터뱅크를 사용함으로써 보청기 시스템이 하나의 통합 구조를 갖도록 하였다. 따라서 기존의 다른 필터뱅크 기반의 AFC를 적용한 경우보다 연산량이 적게 필요하다. 객관적인 성능 평가를 위해 구현된 알고리즘의 출력 음성의 PESQ 값을 측정된 결과 3.252에서 3.983로 향상했음을 확인할 수 있었다. 또한 스피커와 마이크의 비선형적인 입, 출력에 의해 음향 케환 제거기가 정상적으로 작동하지 못하는 경우 보청기 출력에 감소 이득을 적용시켜 음향 케환 제거기가 다양한 환경에서 강건하게 동작할 수 있도록 하였다. 본 알고리즘은 추후 음질 개선 알고리즘 등 다양한 기능의 추가 구현이 용이하다.

REFERENCES

[1] Haeng-Woo Lee, "A Feedback and Noise Cancellation Algorithm of Hearing Aids Using Dual Microphones," J. KICS, vol. 36, no. 7, pp. 413-420, Jun. 2011.

[2] Haeng-Woo Lee, "A Feedback and Noise Cancellation Algorithm of Hearing Aids Using Adaptive Beamforming Method," J. KICS, vol. 35, no. 1, pp. 96-102, Jan. 2010.

[3] Hyun-Chool Shin, "Variable Step-Size NLM S and Affine Projection Algorithms," IEEE SIGNAL PROCESSING LETTERS, vol.11, no.2, Feb. 2004.

[4] JOHN J. SHYNK, "Frequency-Domain and multirate Adaptive Filtering," IEEE SP MAGAZINE, Jan. 1992.

[5] Simon Haykin, "Adaptive Filter Theory," Prentice Hall, Nov. 2002.

[6] Jun-Byun, "Implementation of Multichannel Digital Hearing Aid Algorithm Development Platform using Simulink," JKIICT, vol. 9, no. 2, pp. 205-212, Apr. 2016.

[7] Haeng-Woo Lee, "A Combined Acoustic Feedback and Noise Cancellation Algorithm for Digital Hearing Aids," J. KICS, vol. 35, no. 11, pp. 991-996, Nov. 2010.

[8] Sung-Sue Hwang, "NLMS Adaptive Filter Based Acoustic Echo Canceller," J. KICS, vol. 35, no. 4, pp. 343-349, Apr. 2010.

[9] Princen. J. and Bradley. A., "Analysis/Synthesis filter bank design based on time domain aliasing cancellation," IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing, vol. 34, no. 5, Oct. 1986

[10] Beerends, John G. and Stemerdink, Jan A., "A Perceptual Speech-Quality Measure Based on a Psychoacoustic Sound Representation," Audio Engineering Society, vol. 42, no. 3, pp. 115-123, Mar. 1994.

저자약력

전 신 혁(Shin-Hyuk Jeon) [학생회원]



- 2016년 : 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부 (학사)
- 2016년~현재 : 연세대학교 전산학과 (석사 과정)

<관심분야> 디지털 신호처리, 능동 소음 제어

지 유 나(Youna Ji) [정회원]



- 2011년 : 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부 (학사)
- 2011년~현재 : 연세대학교 전산학과 (석박통합 과정)

<관심분야> 디지털 신호처리, 음질 개선, 음성 신호처리, 적응 신호처리

박 영 철(Young-Cheol Park) [종신회원]



- 1986년 : 연세대학교 전기전자공학과 (학사)
 - 1988년 : 연세대학교 전기전자공학과 (석사)
 - 1993년 : 연세대학교 전기전자공학과 (박사)
 - 2002년~현재 : 연세대학교 컴퓨터정보통신공학부 교수
- 디지털 신호처리, 오디오 신호처리, 음성 신호처리, 적응 신호처리

<관심분야>