

디지털 보청기를 위한 다중 마이크로폰을 이용한 잡음제거 성능 연구

A Study on the Performance of Noise Reduction using Multi-Microphones for Digital Hearing Aids

강 현 덕*, 송 영 록**, 이 상 민***
Hyun-Deok Kang*, Young-Rok Song**, Sangmin Lee***

Abstract

In this study, we analyzed the reduction of noise in a noise environment using 2, 3, 4 or 5 microphones in digital hearing aids. In order to be able to use this in actual digital hearing aids, we made the experiment microphone set similar to the behind-the-ear type (BTE) and then recorded the signal accordingly, with each situation. With the recorded signals, we reduced the noise in each signal by a noise reduction algorithm using multi-microphones. As a result, in the case of By comparing the SNR (Signal to Noise Ratio) and PESQ (Perceptual Evaluation of Speech) measurements, before and after the noise reduction, the results showed that the improvement in performance was highest when three or four microphones were used. Generally, when two or more microphones were used, we found that as the number of microphones increased there was an increase in performance.

요 약

본 연구에서는 잡음환경에서 디지털 보청기의 잡음제거를 위해 2,3,4,5개의 마이크로폰을 이용해 잡음제거를 하고 비교 분석 하였다. 실제 디지털 보청기에서 사용할 수 있게 하기 위해 귀걸이형 (behind-the-ear type, BTE) 보청기의 형태와 유사하게 마이크로폰을 배열한 실험 세트를 구성하여 각각의 조건에 따라 신호녹음을 하였고, 녹음된 각각의 신호들을 멀티 마이크로폰을 이용한 잡음제거 알고리즘으로 잡음 제거하였다. 평가 방법에 따라 잡음제거 전과 후의 SNR (Signal to Noise Ratio)과 PESQ (Perceptual Evaluation of Speech) 측정 분석 결과 마이크로폰 3개와 4개를 사용하였을 때 가장 높은 성능 향상을 보였으며 대부분의 경우에서 마이크로폰의 개수가 늘어남에 따라 성능이 향상된 것을 확인하였다.

Key words : Digital hearing Aid, Multi-Microphones, Noise Reduction

* 仁荷大學校 電子工學科
(School of Electrical Engineering, Inha University)

** 仁荷大學校 電子工學科 情報電子共同 研究所
(Institute for Information and Electronics Research)

★ 교신저자 (Corresponding author)

※ 감사의 글 (Acknowledgment)
이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한
국연구재단(한국과학재단)의 지원(R01-2007-000-10801
-0)을 받아 수행된 연구임

接受日:2010年 3月 3日, 修正完了日: 2010年 3月 23日

1. 서론

현대 사회에는 산업화와 도시화로 인한 환경 소음 그리고 휴대용 음향기기의 사용 등으로 인해 난청인이 지속적으로 증가하고 있다[1]. 그에 따라 보청기 사용이 증가되고 그 기능의 중요성이 대두되고 있다. 특히 디지털 보청기는 단순한 증폭 기능뿐 만 아니라 다양한 기능을 제공한다. Multi-channel WDRC, Acoustic directionality, Noise reduction, Feedback

cancellation등이 대표적인 디지털 보청기의 기능이라고 할 수 있다[2]. 그 중에서도 잡음제거기능은 보청기 사용자들의 가장 큰 목적이라고 할 수 있는 사람의 말소리를 잘 알아들을 수 있게 해주는데 있어서 매우 중요한 역할을 한다. 본 연구에서는 디지털 보청기의 잡음제거 기술에 초점을 맞추어 연구를 진행하고자 한다. 잡음제거 방법에는 여러 가지가 있다. 스펙트럼 차감법 (Spectral subtraction), 최대 우도 (Maximum likelihood), Wiener Filtering, 최소 평균 자승법 (Least mean square)등의 알고리즘을 사용하여 잡음제거 하는 방법[3]과 여러 개의 마이크로폰의 입력 신호를 이용해 잡음제거 하는 방법[4], 또는 이러한 것들을 혼합해 응용하는 방법[5]등이 있다. 본 논문에서는 여러 개의 마이크로폰을 이용해 입력신호를 받아 LMS를 응용한 알고리즘으로 잡음제거 하는 방법을 사용하고, 입력받는 마이크로폰의 개수를 다르게 함에 따른 잡음제거 성능을 분석하고자 한다. 또한 보청기라는 특수한 상황을 가정하고 실제 보청기를 착용할 때와 유사한 실험 세트를 구성해 입력 받은 신호를 다중 마이크로폰을 사용 했을 때의 보청기의 특성에 맞게 구현한 알고리즘으로 잡음제거를 하고자 한다.

II. 잡음제거 알고리즘

본 논문에서 제안하는 잡음제거 시스템은 그림1과 같이 구성된다. 먼저 잡음이 섞인 신호를 입력받는다. 여기에서 입력 신호는 최대 5방향의 마이크로폰 중에서 정면마이크로 입력되는 신호이다. 이때 정면 마이크에서 입력 받은 신호는 잡음이 섞여있는 상태이며 잡음제거 대상이다. 이 신호를 잡음제거 하기 위해 각 방향의 마이크에서 입력받은 신호를 이용한다. 각 방향에서 입력받은 신호들과 정면마이크에서 입력 받은 신호와의 연산을 위한 값을 이용해 VAD (Voice Activity Detector)[6]를 통해 음성영역과 잡음영역으로 나누게 된다.

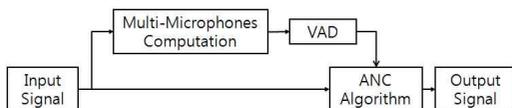


Fig. 1. Block diagram of noise reduction system
그림 1. 전체적인 잡음제거 시스템의 블록 다이어그램

이러한 결과 값을 이용한 ANC (Adaptive Noise Cancellation)[7] 알고리즘을 통해 정면 마이크의 입

력신호의 잡음제거를 한 신호가 최종 출력된다.

1. Multi-microphones computation

일반적으로 사람들 간의 대화에서 상대방이 정면에서 오는 경우가 많다. 따라서 잡음제거 시 고려해야 할 사항 중 중요한 것이 정면에서 들어오는 음성 신호를 최대한 손실하지 않고, 정면 이외의 방향에서 들어오는 잡음신호를 제거하는 것이다. 이론적으로 GSC (Generalized Sidelobe Cancellation) 알고리즘[8]에 의하면 마이크로폰 어레이의 인접한 두 마이크로폰 출력 값의 차 성분과 시간 딜레이에 가중치를 부여하여 이들의 합을 적응 신호처리에 이용하면 간섭 신호를 제거할 수 있다. 이러한 이론을 바탕으로 3개의 마이크로폰 어레이의 잡음제거 성능이 2개 보다 향상된 것을 시뮬레이션 한 선행 연구[9]가 있었다. 앞의 언급한 부분들을 참고하여 Multi-microphones computation 블록이 구현되었다. 이 블록의 목적은 VAD 판단에 위치하여 음성영역과 잡음영역을 확실하게 분리해 주는 것이다. 정면에서 입력되는 신호에 음성신호가 가장 많이 있다는 가정 하에, 정면신호를 기준으로 그 이외의 방향에서 들어오는 신호와 계산을 하게 된다. 계산하는 방법은 다음과 같다.

$$Out = \sum_{i=1}^{n-1} (Fs - a_i Os_i) \quad (1)$$

$$(Os_1 = Bs, Os_2 = Ss, Os_3 = Us, Os_4 = Ds)$$

여기에서, Out 은 출력신호, Fs 는 정면마이크에서 들어오는 신호, Os 는 정면이외의 다른 방향의 마이크로폰에서 들어오는 입력신호, n 은 잡음제거에 사용한 마이크로폰의 개수가 된다. 그리고 Bs 는 후면마이크에서 들어오는 신호, Ss 는 측면 마이크에서 들어오는 신호, Us 는 상면 마이크에서 들어오는 신호, Ds 는 하면 마이크에서 들어오는 신호를 말한다. a_i 는 정면마이크로부터의 거리와 시간차이를 고려해서 각 방향의 신호에 감쇠를 주기 위해 필요한 감쇠계수이다. 예를 들어 2개의 마이크로폰을 이용하여 잡음제거를 할 때에는 $n=2$ 즉, 정면 입력 신호와 후면 입력 신호를 사용하게 된다. 본 연구에서는 최소2개에서 최대 5개의 입력 마이크로폰을 사용하기 때문에 n 은 2에서 5까지의 값을 가질 수 있다.

2. VAD

VAD 블록은 입력신호를 음성영역과 잡음영역으로

나누어 주는 역할을 한다. VAD는 그림2와 같이 구성된다.

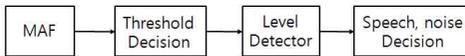


Fig. 2. Block diagram of a VAD system
그림 2. VAD 시스템의 블록 다이어그램

먼저 다중 마이크로폰 연산을 거쳐 모두 합해진 값이 MAF(Moving Average Filter)[10]를 거친 후 잡음과 음성을 구분하는 임계값을 결정하기 위해 신호의 처음 150ms 동안의 평균값을 구한다. 이 값이 잡음의 기준으로 사용된다. 그 임계값을 기준으로 입력신호 레벨이 높으면 음성으로, 낮으면 잡음으로 결정하게 된다.

3. ANC Algorithm

LMS 응용 알고리즘을 이용한 ANC블록은 VAD를 통해 음성영역과 잡음영역으로 구분된 후 후면 마이크를 잡음의 기준으로 삼아 잡음을 제거한다.

$$N(n) = w(n) * B_s(n) \tag{2}$$

$$S^*(n) = F_s(n) - N(n) \tag{3}$$

여기에서 N 은 잡음으로 추정되는 신호이고, w 는 가중치, S^* 는 잡음이 제거된 것으로 추정된 신호이다. 이 때 가중치 w 는 입력 신호가 VAD에서 음성으로 판단했을 때와 잡음으로 판단했을 때에 다른 값을 주기 위해 매 샘플 마다 업데이트를 하게 된다.

$$w(n+1) = w(n) * weighting \tag{4}$$

$$w(n+1) = w(n) + 2 * \mu * B_s(n) * N(n) \tag{5}$$

여기에서, $weighting$ 은 가중치 값을 바꿔주기 위한 상수 이고, μ 는 수렴상수이다. 식 (4)는 음성으로 판별했을 경우의 가중치를 업데이트하는 식이고, 식(5)는 잡음으로 판별했을 경우의 업데이트 식이다[11].

III 실험 및 평가

1. Data acquisition 실험

데이터 획득을 위해 보청기 착용 시와 유사한 환경을 제작한 실험 세트를 구성한다. 그림 3은 실험 세

트를 묘사한 그림이다.

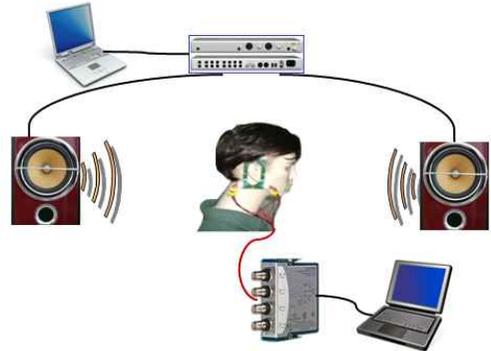


Fig. 3. Data acquisition
그림 3. 데이터 획득을 위한 실험 셋트 구성

사람과 비슷한 모양과 크기의 더미의 오른쪽 귀에 그림 4와 같은 멀티 마이크로폰 모듈을 설치한다. 그리고 미리 준비해 놓은 음성신호 파일과 잡음신호 파일이 컴퓨터에 연결된 신호분배기(Audiofire8)를 통해 마이크로폰 모듈에서 전방과 후방으로 각각 1m씩 떨어진 곳에서 전방과 후방스피커로 출력된다. 전방에서는 음성신호, 후방에서는 잡음이 출력되는데 각각 67dB의 동일한 크기로 출력된다. 음성파일은 2음절 단어 7개 ‘과자’, ‘구두’, ‘담배’, ‘도미’, ‘우유’, ‘유리’, ‘이마’와 남녀 4명이 각각 녹음한 4개의 문장을 사용하였다. 잡음의 종류는 SPIB (Signal processing information base)에서 제공하는 자동차 내부 잡음 (Car interior noise)을 사용하였다[12]. 스피커에서 출력된 신호는 마이크로폰 모듈의 5개의 마이크로폰을 통해 입력되고 입력된 신호는 DAQ(Data acquisition) 장치를 통해 컴퓨터에 저장된다.

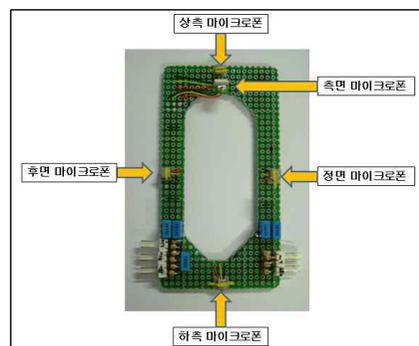


Fig. 4. Multi-microphones module
그림 4. 실험에 사용된 멀티마이크로폰 모듈

2. 알고리즘 평가

알고리즘을 평가하는 실험은 3가지로 나누어 진행한다. 잡음제거 기능과 음질의 향상 정도를 평가하기 위해 잡음제거하기 전과 후 신호의 SNR을 측정 및 비교하고 PESQ 프로그램을 이용해 PESQ-MOS점수를 비교한다. 그리고 평가의 객관적인 검증을 위하여 통계분석방법 중 하나인 ‘짝지은 t-검정’ 분석법을 통해 잡음제거 결과의 유효성에 대해 검증한다.

가. SNR 분석

데이터 획득 실험에서 정면 마이크를 통해 입력 받은 신호가 잡음제거 전 신호가 된다. 잡음제거 후의 신호는 마이크로폰 2,3,4,5개를 사용해서 잡음제거 한 경우의 신호이다. SNR 계산식은 다음과 같다[13].

$$SNR[dB] = 10 \log_{10} \frac{\sum_{nt=1}^L |S^*|^2}{\sum_{nt=1}^L ((|N+S|) - (|S^*|))^2} \quad (6)$$

여기에서 $N+S$ 는 잡음이 섞인 신호이고, S^* 는 잡음이 제거된 후의 신호이다. L 은 샘플의 전체 길이가 되고, 따라서 $\sum_{nt=1}^L$ 은 전체 샘플들의 합을 의미한다.

잡음제거 전 신호의 SNR과 마이크로폰 개수에 따라 잡음제거 후의 SNR값이 표1에 나타나있다. 잡음제거 전 신호의 SNR은 평균 -10.1969 ± 2.5012 [dB]였

으며 마이크로폰 2개(전방과 후방)를 사용한 잡음제거 후에는 평균 -5.0543 ± 1.8989 [dB], 3개(전방,후방,측방)를 사용한 경우는 평균 -3.1221 ± 3.1044 [dB], 4개(전,후,측,상방)를 사용한 경우는 평균 -1.0110 ± 4.1317 [dB], 5개(전,후,측,상,하방)를 사용한 경우는 평균 -2.3731 ± 3.4768 [dB]을 나타내었다. 이것을 그래프로 나타낸 것이 그림 5이다. 그림 6은 SNR 측정 결과를 토대로 SNR 향상도를 계산한 것이다. 즉, 잡음제거 후의 SNR에서 잡음제거 전의 SNR값을 뺀 값을 계산하였다. 마이크로폰 2개를 이용한 경우 평균 5.1426 ± 2.8455 [dB]의 향상을 나타내었고, 3개를 이용한 경우 평균 7.0747 ± 3.3094 [dB], 4개를 사용한 경우 9.1858 ± 4.1249 [dB], 5개를 사용한 경우 평균 7.8237 ± 3.6997 [dB]의 향상을 나타내었다.

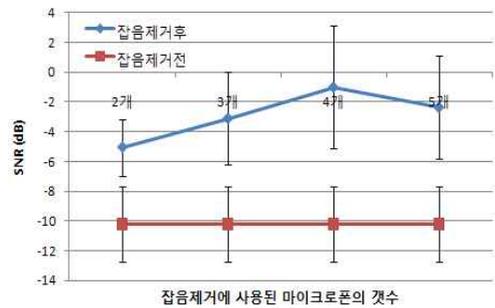


Fig. 5. The results of SNR measurement for words
그림 5. 단어에서 잡음제거 전후의 SNR 측정 결과

Table 1. SNR for words before and after noise reduction depending on the number of microphone

표 1. 단어에 대한 잡음제거 전과 마이크개수에 따른 잡음제거 후의 SNR

	잡음제거 전	2개	3개	4개	5개
평균(dB)	-10.1969	-5.0543	-3.1221	-1.0110	-2.3731
표준편차(dB)	2.5012	1.8989	3.1044	4.1317	3.4768

Table 2. SNR for words before and after noise reduction depending on the number of microphone

표 2. 문장에 대한 잡음제거 전과 마이크개수에 따른 잡음제거 후의 SNR

	잡음제거 전	2개	3개	4개	5개
평균(dB)	-3.8479	0.1734	7.4301	6.8669	4.5086
표준편차(dB)	2.7856	4.0754	3.3931	3.7517	2.8553

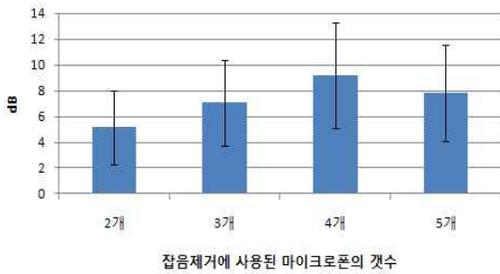


Fig. 6. Average improvement of SNR for words
그림 6. 단어에서 SNR의 평균 향상도

그리고 표2는 문장에 대한 SNR값을 나타낸다. 잡음 제거 전 SNR은 -3.8479 ± 2.7856 [dB]이고 마이크로폰 2개를 사용하여 잡음제거 한 후의 SNR은 0.1734 ± 4.0754 [dB], 3개를 사용한 경우는 7.4301 ± 3.3931 [dB], 4개를 사용한 경우는 6.8669 ± 3.7517 [dB], 5개를 사용한 경우는 4.5086 ± 2.8553 [dB]값을 나타내었다. 이것을 그래프로 표현한 것이 그림7이다. 그림8은 단어의 경우와 마찬가지로 문장에 대한 SNR값을 이용해 SNR 향상정도를 계산한 것이다. 계산결과 2개를 사용했을 때 에는 평균 0.9528 ± 0.2876 [dB]의 향상을 보였고 3개를 사용했을 경우는 평균 1.0347 ± 0.3740 [dB], 4개를 사용한 경우는 평균 0.9895 ± 0.3536 [dB], 5개를 사용한

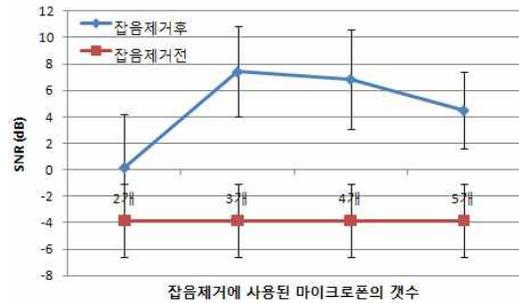


Fig. 7. The results of SNR measurement for sentences
그림 7. 문장에서 잡음제거 전후의 SNR 측정 결과

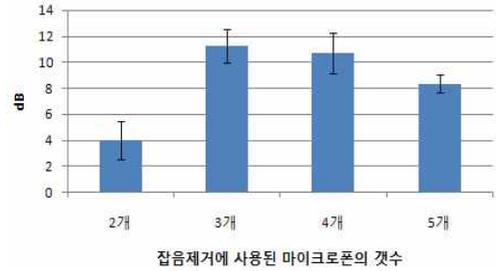


Fig. 8. Average improvement of SNR for sentences
그림 8. 문장에서 SNR의 평균 향상도

경우는 평균 1.0194 ± 0.3923 [dB]의 향상을 나타내었다. 단어와 문장의 SNR 향상도 결과를 보면 단어의 경우 마이크로폰 4개를 사용했을 때 가장 큰 향상도를 나타냈고, 문장의 경우 3개를 사용했을 때 가장 큰 향상도를 보였다. 경우에 따라 약간의 차이가 생기는데 그 이유는 단어나 문장의 특성에 따른 것으로 사료된다.

나. PESQ-MOS 분석

잡음제거 전과 후의 음질을 객관적으로 평가하기 위해 PESQ-MOS 평가법을 사용하였다. PESQ-MOS는 ITU-T P.862 표준 측정 방법이다[14].

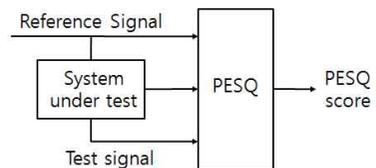


Fig. 9. Structure of PESQ measurement
그림 9. PESQ 측정의 구조

그림 9는 PESQ 측정 시스템의 블록 다이어그램을 나타낸다[15]. 어떠한 시스템을 통과하기 전과 후의 신호를 비교하는 것이라고 할 수 있다. 일반적으로

Table 3. PESQ score for words before and after noise reduction depending on the number of microphone

표 3. 단어에 대한 잡음제거 전과 마이크개수에 따른 잡음제거 후의 PESQ score

	잡음제거 전	2개	3개	4개	5개
평균	0.8094	1.7622	1.8441	1.799	1.8288
표준편차	0.1699	0.2754	0.3286	0.3139	0.3608

4.5에 가까운 점수가 나올수록 원래 음질에 가까움을 의미한다. 본 연구에서는 잡음이 섞이기 전의 음성 신호와 잡음제거 후의 신호를 비교해서 표3과 같은 평가 결과를 얻었다. 잡음제거 전의 PESQ-MOS값은 평균 0.8094 ± 0.1699 를 나타내었고, 마이크로폰 2개를 이용한 잡음제거 후에는 평균 1.7622 ± 0.2794 , 3개를 이용한 경우는 1.8441 ± 0.3286 를 나타냈다. 4개를 이용한 경우는 1.799 ± 0.3139 , 5개를 이용한 경우 1.8288 ± 0.3608 를 나타냈다. 그림 10은 이 결과를 그래프로 나타낸 것이다. 그림 11은 앞의 결과를 바탕으로 PESQ-MOS 점수의 향상도를 나타낸 것이다. 마이크로폰 2개를 사용해서 잡음제거를 했을 경우 평균 0.9528 ± 0.2876 점의 향상을 나타냈고, 3개를 사용했을 경우 평균 1.0347 ± 0.3740 점, 4개를 사용했을 경우 0.9895 ± 0.3536 점, 5개를 사용한 경우 평균 1.0194 ± 0.3923 점이 향상된 결과를 나타내었다. PESQ-MOS 점수 결과를 볼 때, 3개의 마이크로폰을 사용해 잡음제거 한 경우 평균적으로 가장 많은 음질의 향상이 이루어졌다고 할 수 있다.

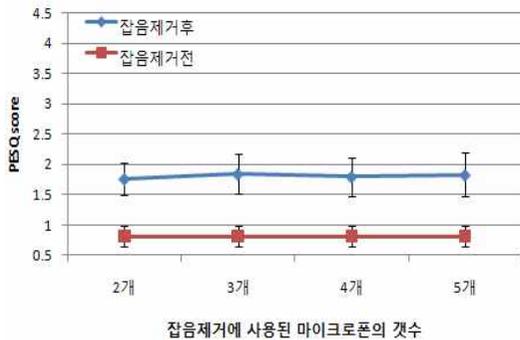


Fig. 10. The results of PESQ-MOS score measurement
 그림 10. 잡음제거 전후의 PESQ-MOS 점수 측정 결과

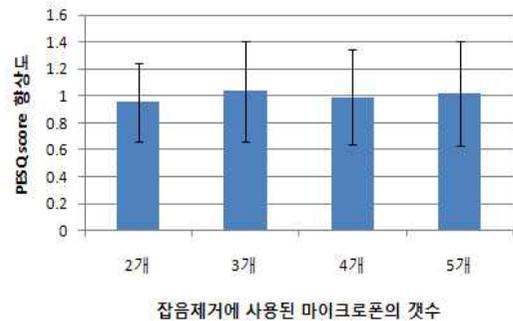


Fig. 11. Average improvement of PESQ-MOS score
 그림 11. PESQ-MOS score의 평균 향상도

다. 짝지은 t-검정 통계 분석

짝지은 t-검정법은 한 집단의 데이터를 대상으로 처리 전과 처리 후의 특성치를 관측하여 차이를 알아보는 경우 사용한다[16]. 처리 전과 후의 데이터간의 상관관계가 없다는 귀무가설을 놓고 유의수준 5%의 짝지은 t-검정 수행 결과 p값이 0.05 미만으로 나올 경우 귀무가설을 기각하게 된다. 본 연구에서는, ‘본 연구의 신호처리 과정이 잡음제거 효과가 없다’를 귀무가설로 하고 앞서 제시한 잡음제거 전과 후의 SNR과 PESQ-MOS 측정 데이터를 이용해 유의수준 5%의 짝지은 t-검정법을 수행하였다. MS-Office Excel 프로그램에서 T-test 통계분석방법을 지원하고 있어서 이 프로그램을 이용하였다. 그 결과, 표4에서 볼 수 있듯이 각각의 모든 경우에서 p값이 0.05 미만의 값을 나타내었다. 따라서 5% 유의 수준 하에서 귀무가설은 기각된다. 즉, 이 프로그램은 잡음제거 효과가 있다고 할 수 있다.

Table 4. p value of paired t-test depending on the results
 표 4. 평가 결과 데이터의 짝지은 t-검정 p값

잡음제거에 사용된 마이크 수	짝지은 t-test의 p값		
	단어의 SNR	문장의 SNR	단어의 PESQ
2개	0.0015	0.0056	0.00006
3개	0.0006	0.0001	0.0001
4개	0.0005	0.0003	0.0001
5개	0.0006	0.00007	0.0002

IV 결론

본 연구에서는 다중 마이크로폰을 이용하여 잡음제거를 하는 방법을 기술하고, 실제 보청기 착용환경과 유사한 환경을 제작하여 실험한 데이터로 잡음제거를 하고, 잡음제거에 사용한 마이크로폰의 개수에 따른 결과를 비교하고 분석하였다. SNR과 PESQ-MOS값의 전체적인 분석 결과 다중 마이크로폰을 사용하는 것은 잡음제거에 효과가 있는 것으로 나타내었다. 단어의 경우 4개의 마이크로폰을 사용했을 때 SNR 성능이 가장 많이 향상되었으며 문장의 경우 3개의 마이크로폰을 사용했을 때 가장 높은 SNR 향상도를 나타냈다. 또한 PESQ 결과는 3개의 마이크로폰을 사용

하였을 때 가장 높은 점수를 기록했다. 따라서 평균적으로 3개 또는 4개의 마이크로폰을 사용한 경우 높은 성능 향상을 보인다고 할 수 있다. 그리고 단어나 문장에 따라 약간씩의 차이는 있으나 대부분의 경우 마이크로폰의 개수가 늘어날수록 잡음제거 성능이 향상되는 것을 확인하였다. 실제 보청기에서 멀티 마이크로폰을 사용할 때에는 보청기의 사이즈나 Feed-back과 같은 주변 조건을 고려해야 한다. 현재 대부분의 보청기에서 마이크로폰을 한 개나 두개 사용하는 이유도 이와 같은 제약조건이 있기 때문이다. 하지만 본 연구의 실험과 같은 환경에서는 3개 이상의 마이크로폰을 썼을 때 잡음제거 성능이 더 향상되는 것을 확인하였다. 따라서 향후 계속 되는 연구에서 그러한 제약조건을 극복하고 멀티 마이크로폰을 사용해서 잡음제거의 성능을 높일 수 있는 연구가 활발히 진행되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

- [1] 대한청각학회, *청각검사지침*, 학지사, 2008
- [2] Schaub, *Digital Hearing Aids*, Thieme, 2008
- [3] A.M.Kondo, *Digital Speech Coding for Low Bit Rate Communication Systems Second Edition*, John Wiley & Sons, 2004
- [4] J. Chen, L. Shue, K. Phua, H. Sun, "Theoretical comparisons of dual microphone systems," Acoustics, Speech, and Signal Processing, Proceeding. (ICASSP '04). IEEE International Conference on., Vol. 4, pp. 63-75, May. 2004
- [5] J. Bernard Widrow, J. R. Glover, J. M. McCool, J. Kaunitz, C. S. Williams, R. H. Hearn, J. James R. Zeidler, E. Dong, and R. C. Goodlin, "Adaptive noise cancelling: principles applications," Proceeding of the IEEE., Vol. 63, No. 12, pp. 1692-1716, Dec. 1975.
- [6] L. Krasny, and S. Orintara, "Voice activity detector for microphone array processing in hand-free systems," Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop Proceedings., pp. 224-228, 4-6 Aug. 2002.
- [7] G. W. Elko, "Adaptive noise cancellation with directional microphones," Applications of Signal Processing to Audio and Acoustics, 1997 IEEE ASSP Workshop on, pp. 4, 19-22 Oct. 1997.
- [8] Lloyd J. Griffiths, Charles W. Jim, "An alternative approach to linearly constrained adaptive beamforming", IEEE Transactions on antennas and propagation, Vol. AP-30, No. 1, January 1982
- [9] Suck-Yoon Hwang, Sung-Kyu Choi, "The Study on Comparison of Deduction Effects for Rear Background Noise between Dual and Triple Microphone Array", Journal of Speech-Language & Hearing Disorders, Vol. 16, No. 1, pp. 165~174, 2007
- [10] Y. C. Lee, J. H. Kwak, S. S. Ahn, "Improved Speech Enhancement Algorithm employing Multi-band Power Subtraction and Wavelet Packets Decomposition," 통신학회논문지., Vol. 31, No. 6C, pp. 589-602, Jun. 2006.
- [11] Dong-hyeouck Bang, Se-kee Kil, Hyun-deok Kang, Gwang-sub Yoon, Sang-min Lee, "Noise cancellation using microphone array in digital hearing aids", Trans. KIEE, Vol 58, No 4, 2009
- [12] http://spib.rice.edu/spib/select_noise.html, Rice Univ. DSP group homepage.
- [13] Simon Dolco, Marc Moonen, "GSVD-Based Optimal Filtering for Single and Multimicrophone Speech Enhancement", IEEE Transactions on signal processing, Vol.50, No.9, September 2002
- [14] ITU-T P.862, "Perceptual evaluation of speech quality(PESQ), an objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs," 2001.
- [15] 정옥조, 강신각, "VoIP 통화품질 표준기술 동향", 정보통신기술협회(TTA) 저널, 제92호, 2004.
- [16] 박미라, 이재원, *EXCEL을 이용한 의학데이터의 통계분석*, 자유아카데미, 2002

저자소개

강현덕 (학생회원)



2007년 : 인하대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 2008년 8월~현재 : 인하대학교 대학원 전자공학과
 <주관심분야> 디지털 신호 처리, 잡음제거 알고리즘

송 영 록 (비회원)

2001년 : 인천대학교 정보통신공
학과 (공학사)

2003년 : 인천대학교 정보통신공
학과 (공학석사)

2009년 : 인천대학교 정보통신공
학과 (공학박사)

2009년 ~ 현재 : 인하대학교 정보
전자공동연구소 연구교수

<주관심분야> 시멘틱 웹, 인공지능, 신호처리

이 상 민 (정회원)

1987년 : 인하대학교 전자공학과 학사

1989년 : 인하대학교 전자공학과 석사

2000년 : 인하대학교 전자공학과 박사

1989년 1월 ~ 1994년 7월 : LG이노텍
선임연구원

1995년 1월-2002년 3월 : 삼성중
합기술원 책임연구원

2002년 4월-2005년 2월 : 한양대학교 의공학교실
연구교수

2005년 3월-2006년 8월 : 전북대학교 생체정보공학
부 조교수

2006년 9월-현재 : 인하대학교 전자전기공학부 부교수

<주관심분야> Healthcare system design,

Psychoacoustic, Brain-machine interface