

디지털 보청기에서 마이크로폰 어레이를 이용한 잡음제거

논 문
58-4-28

Noise Cancellation using Microphone Array in Digital Hearing Aids

방 동 혁* · 길 세 기** · 강 현 덕* · 윤 광 섭** · 이 상 민†

(Dong-hyeouck Bang · Se-kee Kil · Hyun-deok Kang · Gwang-sub Yoon · Sang-min Lee)

Abstract - In this paper, a noise cancellation-method using microphone array for digital hearing aids is proposed. The microphone array is located around the ear of a dummy. Speech sound is generated from the forward speaker positioned in the front of the dummy and noise sound is generated from the backward speaker. The speech and noise are mixed in the air space and entered into the microphones. VAD(voice activity detector) and ANC(adaptive noise cancellation) methods were used to eliminate noise in the sound of the microphones. 10 two-syllable words and 4 sentences were used for speech signals. Babble and car interior noise were used for noise signals. The performance of the proposed algorithm was evaluated by SNR(signal-to-noise ratio) and PESQ-MOS(perceptual evaluation of speech quality-mean opinion score). In babble noise condition, SNR was improved as much as 7.963 ± 1.3620 dB and 3.968 ± 0.6659 dB for words and sentences respectively. In the case of car interior noise, SNR was improved as 10.512 ± 2.0665 dB and 6.000 ± 1.7642 dB for words and sentences respectively. PESQ-MOS of the babble noise was improved as much as 0.1722 ± 0.0861 score for words and 0.083 ± 0.0417 score for sentences. And PESQ-MOS of the car interior noise was improved as 0.2661 ± 0.0335 score and 0.040 ± 0.0201 score for words and sentences respectively. It is verified that the proposed algorithm has a good performance in noise cancellation of microphone array for digital hearing aids.

Key Words : Digital hearing aids, Microphone array, Adaptive noise cancellation

1. 서 론

잡음제거방법은 하드웨어적인 방법과 소프트웨어적인 방법으로 구분하여 설명할 수 있다. 하드웨어적으로 잡음을 제거하는 방법에는 방향성 마이크로폰을 사용하는 방법 [1-2]과 마이크로폰 어레이를 이용하여 빔포밍(beam-forming)을 형성하는 방법 [3] 등이 있다. 방향성 마이크로폰을 이용하는 방법은 마이크로폰으로 입력되는 소리의 입력 방향에 따라서 신호감쇄의 크기가 다른 특징을 이용하여 마이크로폰의 전방향의 소리는 손실 없이 입력받고 전방향 이외의 다른 방향에서 들어오는 소리는 감쇄되는 특성을 이용하여 잡음을 제거하는 방법이다. 마이크로폰 어레이를 이용하는 방법은 마이크로폰 여러 개를 이용하여 전방향을 향하도록 빔 (beam)을 형성하여 전방향에서 입력되는 신호는 동위상으로 만들어 신호를 향상시켜주고 측방향에서 들어오는 신호는 소리의 지연시간을 이용하여 잡음을 상쇄시켜 잡음을 제거하는 방법이다. 마이크로폰 어레이를 병렬로 배열하는 방법은 보청기 응용에서 공간적 배치라는 관점에서 비현

실적이다.

소프트웨어적으로 잡음을 제거하는 방법은 시간영역에서 잡음을 제거하는 방법과 주파수영역에서 잡음을 제거하는 방법이 있다. 시간영역에서의 잡음제거 방법에는 ANC (adaptive noise cancellation) 방법 [4]을 이용하여 잡음을 제거하는 방법과 VAD(voice activity detector) [5]를 이용하여 음성은 출력하고 잡음은 제거하는 방법을 사용한다. ANC는 적응적으로 잡음을 제거하는 방법인데 여러 가지 방법 중 가장 많이 사용되는 방법이 LMS (least mean square)를 이용하는 잡음제거 방법이다. LMS 응용 방법은 수렴상수를 고정하여 잡음을 제거하는 방법을 사용하게 되는데 이렇게 고정된 수렴상수를 크게 하여 잡음을 제거하면 잡음의 양은 많이 줄어들지만 음성부분의 에너지도 손실되는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 마이크로폰 어레이의 배열 관점에서 보청기에 마이크로폰 어레이를 전방, 우측방, 후방을 향하도록 마이크로폰을 설치하고 신호처리 관점에서 VAD로 구분된 음성영역과 잡음영역을 가중치를 달리하는 방법을 제안한다.

* 준 회원 : 인하대학교 전자공학과

** 정 회원 : 인하대학교 전자공학과 정보전자공동연구소

† 교신저자, 정회원 : 인하대학교 전자공학과 정보전자공동연구소

E-mail : sanglee@inha.ac.kr

접수일자 : 2009년 1월 6일

최종완료 : 2009년 2월 19일

2. 디지털 보청기용 마이크로폰 어레이 배열

2.1 마이크로폰의 특징

마이크로폰은 SONION사의 모델인 마이크로폰 9846/6을 이용하였고 ECM (electret condenser microphone)의 방법으

로 구성된 마이크로폰이다. ECM의 동작원리는 영구 전하 분리를 갖는 폴리머 멤브레인(polymer membrane)이다. ECM 마이크로폰은 마이크로폰 내부에 FET가 내장되어 있어 전압의 공급이 필요하다. 마이크로폰 9846/6은 무방향성 특성을 갖고 보청기에서 사용되는 마이크로폰이다. 마이크로폰은 일반적으로 1.3V에서 동작하며 약 4KHz에서 가장 큰 이득 특성을 가지며 사용주파수 범위는 100Hz~10KHz이다.

2.2 마이크로폰 어레이의 구성

그림 1은 마이크로폰 어레이의 구성을 보여주고 있다. 마이크로폰 어레이는 무방향성 마이크로폰 3개를 이용하여 구성하였다. 마이크로폰의 위치는 전방, 우측방, 후방으로 향하도록 하여 구성하였고 귀의 모양을 고려하여 구성하였다. 전방과 후방의 수평위치는 동일하고 두 개 마이크로폰의 거리는 56mm이다. 전후방의 수평위치에서 우측방의 마이크로폰의 높이는 40mm이고 전방 마이크로폰과의 수평거리는 28mm로 구성하여 마이크로폰 어레이를 구현하였다.

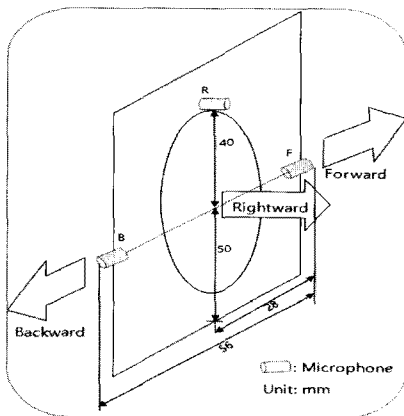


그림 1 마이크로폰 어레이의 구성
Fig. 1 The configuration of microphone array

3. 제안 알고리즘

그림 2는 시간영역에서의 잡음제거 블록도를 나타내고 있다. F(forward microphone), R(rightward microphone),

B(backward microphone)를 통하여 들어온 신호는 A/D (analog to digital converter)를 통해서 디지털 신호로 변환된다. 디지털로 변환된 신호를 이용하여 잡음을 제거하는 방법은 LMS를 응용한 ANC 방법과 마이크로폰에서 들어오는 입력신호의 입력 레벨을 비교한 VAD를 이용하여 잡음을 제거하였다. VAD의 출력신호를 이용하여 음성구간은 적응잡음제거의 가중치를 작게하여 처리하고 잡음구간은 적응잡음제거의 가중치를 크게하여 잡음을 제거하였다. ANC의 가중치가 크면 잡음과 음성에너지가 많이 제거되고 가중치가 작으면 음성에너지와 잡음에너지가 적게 제거된다.

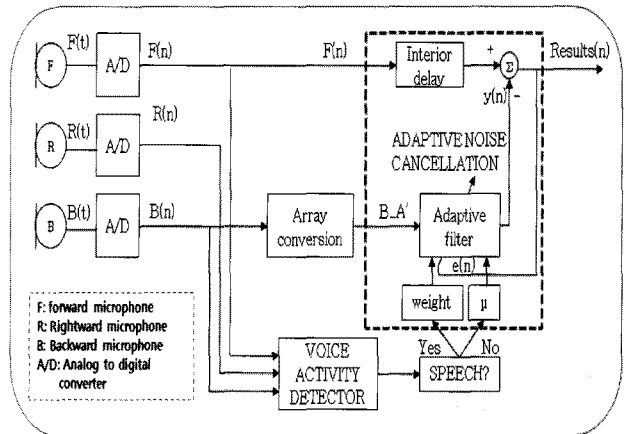


그림 2 제안 알고리즘
Fig. 2 The proposed algorithm

3.1 마이크로폰 입력신호 검출을 이용한 제안 알고리즘의 VAD

전방, 우측방, 후방에 설치된 무방향성 마이크로폰으로 들어오는 입력신호크기를 이용하여 전방에서 발생하는 음성과 후방에서 발생하는 잡음의 크기를 비교하여 음성구간과 잡음구간을 구분하게 된다. VAD의 블록도는 그림 3과 같다. 전방(F(n)), 우측방(R(n)), 후방(B(n))에 설치된 무방향성 마이크로폰을 통하여 들어오는 신호를 이용하여 절대 값으로 바꾸어주고 전방과 후방의 차이와 전방과 측방의 차이를 더한다. 식 (1)은 전방과 후방의 차이의 값을 구한 식이고 식 (2)는 전방과 측방의 차이의 값을 구하는 식이다. 식에서 w1(weight1)은 0.5570의 값을 사용하였고 w2(weight2)는

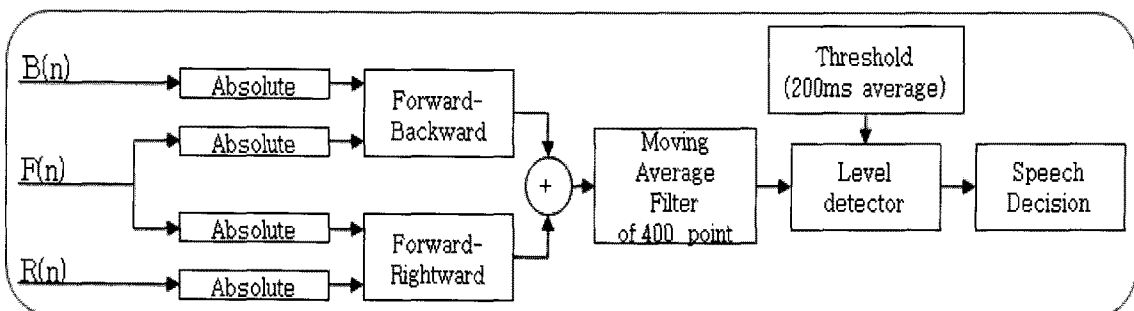


그림 3 제안 알고리즘의 VAD
Fig. 3 The VAD of the proposed algorithm

0.6275의 값을 사용하였다. w1의 값은 전방향 스피커에서 음성을 발생한 다음 전방향 마이크로폰과 후방향 마이크로폰에 입력되어진 음성 에너지의 크기비율의 값을 구한다. w2의 값은 전방향 스피커에서 음성을 발생한 다음 전방향 마이크로폰과 후측방향 마이크로폰에 입력되어진 음성 에너지의 크기비율을 비교하여 값을 구한다. 마이크로폰에 입력되는 마이크로폰 간의 에너지 차이를 이용한 VAD의 수식은 아래와 같다. 각 신호는 마이크로폰의 방향에 따라서 가중치와 지연시간을 다르게 주어서 계산하였다. 지연시간의 계산은 마이크로폰 간의 거리와 음성의 속도를 이용하여 지연시간을 주었다.

$$difference_a(n) = ((|F(n)| - |B(n+2)*w1| - |R(n+1)*u2|) - (|B(n)| - |F(n+2)*w1| - |R(n+1)*u2|)) \quad (1)$$

$$difference_b(n) = ((|F(n)| - |B(n+2)*w1| - |R(n+1)*u2|) - (|R(n)| - |F(n+1)*w1| - |B(n+1)*u2|)) \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)의 값의 신호를 더한 신호의 합을 구한다. 이 값을 MAV(moving average filter)의 입력으로 주어진다. 더해진 결과를 MAV로 신호를 평탄하게 만들어준 다음 레벨 검출기에서 VAD의 문턱값(threshold)과 비교하게 된다. 여기에서 MAV는 회귀 공식을 이용하여 실행하였다. 식 (3)은 MAV 식을 보여주고 LMAF(length of MAV)는 400을 이용하였고 지연시간 400은 경험적으로 획득한 값이다. MAV(moving average value)는 MAV를 통과한 출력신호이다.

$$MAV[n] = MAV[n-1] + \left(\frac{1}{LMAF}\right) * (difference_s[n] - difference_s[n-LMAF]) \quad (3)$$

MAF의 출력신호를 이용하여 고정 문턱값을 구한다[6]. MAV의 출력 값을 이용하여 평균값과 표준편차를 구하였다. 16KHz 샘플링으로 입력신호를 받아서 약 200ms의 시간을 잡음이 존재하는 영역이라는 가정에서 평균값을 구하게 된다. 200ms의 시간은 샘플수로 3200개의 샘플을 사용하여 표준편차를 구하였다. 문턱값은 전통적인 고정 문턱값 방법을 응용하여 사용하였다. 식 (4)는 표준편차를 이용하여 문턱값을 구하는 식이다. 식에서 N은 문턱값에 사용된 샘플의 개수를 말하고 σ 는 표준편차를 의미한다. 여기에서 N은 3200개를 이용하였다.

$$\lambda_1 = \sigma \sqrt{2 \log_{10}(N \log_2 N)} \quad (4)$$

식 (5)는 2차 문턱값을 구하는 식이다. 식의 α 값은 0.3을 사용하였고 이 값은 경험적으로 가장 좋은 결과를 나타내는 값을 사용하였다.

$$\lambda_2 = \lambda_1 * \alpha \quad (5)$$

λ_1 은 슈미트 트리거(Schmitt trigger)의 UTP(upper trigger point) 값으로 이용하였고 λ_2 는 LTP (lower trigger

point) 값으로 이용하였다. UTP와 LTP의 값을 이용하여 히스테리시스(hysteresis) 특성을 갖는 비교기인 슈미트 트리거 방법을 응용하여 음성을 판단하였다.

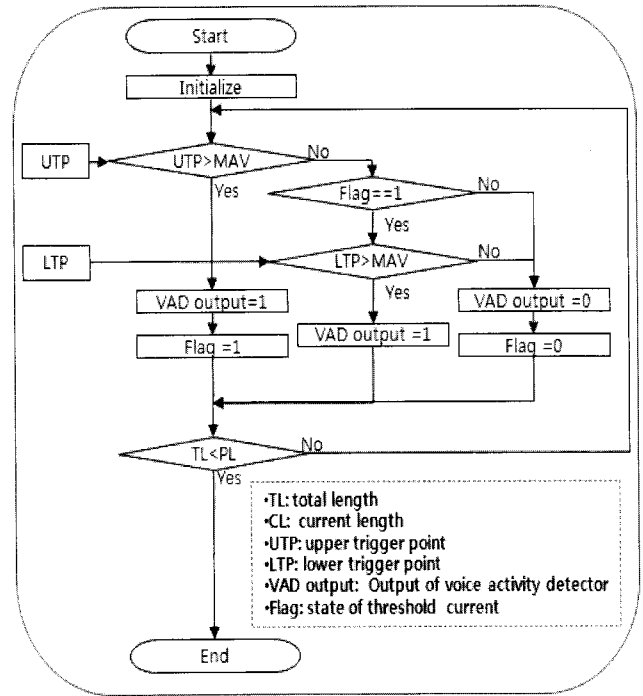


그림 4 슈미트 트리거 방법을 응용한 음성과 잡음의 판단 흐름도

Fig. 4 The flowchart of decision process for speech and noise using Schmitt trigger method

그림 4는 히스테리시스 특성을 갖는 슈미트 트리거의 방법을 응용한 흐름도이다. 하나의 문턱값을 이용하여 이동평균 필터의 출력 값과 비교하여 음성과 잡음을 구분할 때 이동평균 필터의 출력 값이 문턱값 주위의 값에서 변할 경우 VAD의 출력이 급변하게 된다. 이렇게 급변하는 VAD의 출력신호는 VAD의 값을 이용하여 사용되는 ANC부분에도 영향을 주게 되어 잡음이 제거된 음성출력이 불안정하게 출력된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 히스테리시스 특성을 갖는 슈미트 트리거의 방법을 응용하여 문제를 해결하였다. 슈미트 트리거 방법의 동작을 살펴보면 MAV 값을 이용하여 UTP 값 보다 큰 값을 검출하면 VAD의 출력을 1로 출력되고 flag의 값도 1로 설정된다. flag가 0으로 설정될 경우에 MAV의 값이 UTP보다 작다면 VAD의 출력을 0으로 출력하게 된다. flag의 값이 1로 설정된 다음에는 UTP의 값보다 낮지만 LTP의 값보다 큰 경우에도 VAD의 출력이 1로 출력하게 된다. flag의 값이 1로 설정된 다음 0으로 변경이 되는 경우는 LTP 값보다 낮을 경우에만 flag의 값이 0으로 변경되어지고 VAD의 출력도 0이 되어 진다. 문턱값을 판단하는 방법은 식 (6)과 같다.

$$T\{\omega, \lambda_1, \lambda_2\} = \begin{cases} 1, & \omega \geq \lambda_1 \text{의 경우} \\ 1, & \text{flag} = 1 \text{ 와 } \omega \geq \lambda_2 \text{의 경우} \\ 0, & \text{위와 다른 경우} \end{cases} \quad (6)$$

ω 와 $T()$ 는 MAV의 출력 값과 변환함수이다. 식 (6)에서 $\omega \geq \lambda_1$ 일 때의 flag는 1로 설정되고 출력도 1로 출력한다. 전통적인 고정 문턱값 방법은 MAV의 출력 값이 고정 문턱 값 보다 클 경우에 입력 값을 그대로 출력하지만 본 논문에서는 이 값을 응용하여 사용하기위해서 1로 출력하도록 구현하였다. 1과 0으로 구분된 값은 음성과 잡음이 동시에 있는 영역과 잡음만 존재하는 영역을 구분하게 된다. 음성과 잡음으로 검출된 출력신호 0과 1 값을 사용하여 ANC의 가중치를 변화시킨다.

3.2 제안 알고리즘의 ANC

제안 알고리즘의 ANC는 전방과 후방의 무방향성 마이크로폰 입력신호를 이용하여 잡음을 제거하였다. 무방향성 마이크로폰은 방향에 따라서 입력되는 신호의 미세한 차이가 발생하는데 이 신호의 크기차이를 이용하여 잡음제거에 이용하였다. 전통적인 ANC는 수렴속도가 고정되어 있어서 수렴속도가 크면 잡음은 많이 줄어들지만 음성도 동시에 줄어드는 결과를 가져오고 수렴속도를 작게 하면 음성은 원 신호와 동일하게 되지만 잡음은 조금 줄어드는 결과를 나타내게 된다. ANC는 LMS를 응용하였고 VAD의 신호를 받아서 음성일 경우에는 ANC의 가중치를 작게 설정해주고 잡음일 경우에는 ANC의 가중치를 크게 하여 잡음에 빠르게 수렴되도록 구현하였다. 이렇게 가중치를 변화시켜 ANC를 동작하게 함으로써 음성구간일 경우에는 음성이 손실되는 문제를 해결하고 잡음구간일 경우에는 잡음을 많이 제거되도록 동작되는 특성을 갖도록 하였다. 식 (7)은 후방 마이크로폰 어레이의 신호에 가중치 $w(n)$ 을 더하여 추정된 잡음 $y(n)$ 을 구하는 식이다. 식에서 B_A' 는 배열의 값을 나타내고 B_A' 의 배열길이는 128개의 샘플(sample)을 사용하였다.

$$y(n) = w(n) * B_A'(n) \tag{7}$$

식 (8)은 잡음이 제거된 ANC의 출력신호 $e(n)$ 을 구하는 식이다. $d(n)$ 은 음성과 잡음이 포함되어진 신호이고 $y(n)$ 은 잡음으로 추정된 신호이다.

$$e(n) = d(n) - y(n) \tag{8}$$

식 (9)와 식 (10)은 음성과 잡음이 동시에 존재할 때와 잡음만 존재할 때 VAD의 출력신호를 이용하여 가중치를 업데이트 하는 식이다. 식 (9)는 음성구간일 경우의 식이다.

$$w(n+1) = w(n) * weighting1 \tag{9}$$

식 (10)은 잡음구간일 때 가중치 값을 갱신하는 식이다. μ 는 수렴속도와 관계된 상수이다.

$$w(n+1) = w(n) + 2 * \mu * B_A'(n) * e(n) \tag{10}$$

위의 식 (9)와 (10)은 제안 알고리즘 중 ANC의 응용부분을 나타내고 있다. 응용되어진 부분은 음성이 포함된 구간일 때 가중치 업데이트 계수에 weighting1을 주어서 가중치를 줄여주는 방법을 사용하여 신호가 최소한으로 손실되도록 구현 하였다. 여기에서 weighting1은 0.01의 값을 주어 처리하였다. 잡음구간일 때는 수렴속도를 크게 하여 수렴시간이 빠르게 변화하게 하여 잡음이 잘 제거되도록 하였다. 수렴속도 μ 는 0.28로 하여 실행하였다. 이렇게 수렴속도를 바꾸어 줌으로써 음성부분이 손실되는 문제를 해결하였다.

4. 실험 구성 및 실험 환경

4.1 실험의 구상 및 실험의 구성

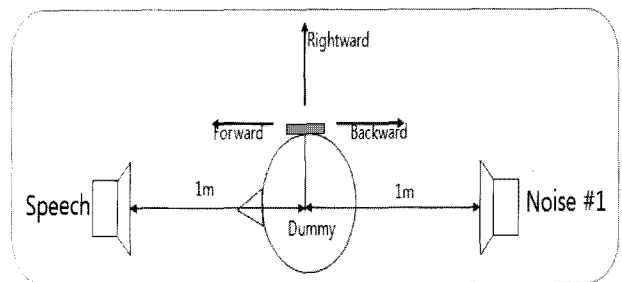


그림 5 데이터음성과 잡음 실험의 실험 환경
Fig. 5 Experimental setup of speech and noise experiment

그림 5는 데이터 수집을 위한 마이크로폰 어레이의 방향에 대한 정의와 speech와 잡음(noise#1)발생의 공간적 관계를 나타내고 있다. Speech는 Dummy의 전방에서 발생하였고 후방에서는 잡음을 발생하여 마이크로폰 어레이를 통해 입력되는 신호를 녹음하였다. Dummy 귀의 높이와 스피커들의 높이는 125cm이고 전방과 후방의 스피커와 Dummy의 거리는 1m로 구성하여 실험을 구성하였다. Dummy의 전방에 설치된 스피커와의 각도는 0°에 설치하였고 Dummy의 후방에 설치된 스피커는 180°에 설치되었다. 마이크로폰 어레이는 Dummy 귀에 설치하였고 스피커 방향으로 마이크로폰을 향하도록 구성하였다. 마이크로폰 어레이의 구성은 마이크로폰 세 개를 이용하여 전방, 후방 우측방으로 향하도록 마이크로폰 어레이를 구성하였다.

그림 6은 데이터 수집을 위한 실험 셋업 개념도를 보여주고 있다. 스피커를 Dummy의 전방과 후방에 설치하고 Dummy의 귀에 마이크로폰 어레이를 설치한 다음 신호 발생과 신호 검출을 담당할 장비를 설치한다. 음성신호와 잡음신호는 동시 재생 프로그램과 신호 분배기(Audiofire8)를 이용하여 각각의 스피커로 분배된다. 스피커를 통하여 발생한 신호는 마이크로폰 어레이를 통하여 전기에너지로 변환되고 신호는 DAQ(Data acquisition)장치인 NI(National Instruments)-9233 모듈을 이용하여 디지털 신호로 획득 및 저장하게 된다.

4.2 실험 재료 및 실험 환경

실험에 사용된 어음은 한국어 2음절 단어(10개)와 1 개의 문장을 이용하였다. 10개의 2음절 단어는 개별로 분리하여 RMS(root mean square)로 평균값을 맞추어서 에너지가 동일하게 만들어 주었다. 실험에 사용된 문장의 내용은 “무방 향성과 방향성 마이크로폰을 사용하여 입력레벨 검출기를 구현한 다음 음성영역을 검출한다.”로 하여 남성 2명과 여성 2명이 동일한 문장을 읽게 하여 녹음하여 실험에 사용하였다. 잡음은 베블잡음(babble noise)과 자동차 내부잡음(car interior noise) 등을 이용하였다. 두 가지의 잡음은 SPIB (signal processing information base)에서 제공하는 잡음을 이용하였다[7]. 표 1은 10개의 2음절 단어를 보여준다.

표 1 실험에 사용된 2음절 단어들

Table 1 2-syllable words used in the experiment

순번	단어	순번	단어
1	과자	6	연기
2	구두	7	오리
3	담배	8	우유
4	도미	9	유리
5	모래	10	이마

실험장소는 가로길이 20m, 세로길이 30m, 높이 5m 크기의 공간을 이용하였고 잡음환경은 27.1dBA의 환경에서 실험하였다. 실험의 실험구성은 연단의 정중앙에 마네킹을 설치하고 마이크로폰 어레이를 마네킹에 설치한 다음 마네킹의 전방과 후방에 스피커를 설치하여 실험하였다. 넓은 공간에서 67dBA의 소리를 이용하였고 반향은 고려하지 않고 실험하였다.

4.3 신호의 발생 및 데이터의 획득

신호의 발생에 사용된 장비들은 스피커, 신호분배기, 노트북, 응용프로그램 등이 사용되어진다. 스피커는 ESI사 nEar 05 eXperience를 사용하였고 신호분배기는 Echo사 Audiofire8을 사용하였다. 노트북은 응용프로그램을 실행시키는데 사용되고 응용프로그램은 Cubase SX3를 이용하여 실행하였다. 신호의 발생은 설치된 스피커와 신호 분배기를 차폐 케이블(shield cable)로 연결하고 신호분배기와 노트북을 데이터 케이블로 연결한다. 신호발생은 노트북에서 응용프로그램을 이용하여 각 스피커를 실행하였다. 음성과 잡음 데이터는 44.1KHz의 샘플링과 샘플 당 16bit의 데이터로 소리를 발생하였다.

신호의 크기 측정은 Bruel & Kjaer사의 사운드 레벨 메타(sound level meter) 장비 handheld analyzer type 2250을 이용하여 측정하였다. Dummy의 머리 정중앙에서 스피커가 향하는 방향으로 사운드 레벨 메타를 위치시키고 음성과 잡음을 모두 67dBA의 크기로 측정하여 실험하였다.

신호의 획득은 더미의 오른쪽 귀에 설치된 마이크로폰 어

레이와 DAQ 모듈은 차폐 케이블을 이용하여 연결하였고 DAQ와 노트북을 데이터 케이블을 이용하여 연결하여 구성하였다. DAQ NI-9233에서는 신호입력단자에서 2mA의 전류가 출력되는데 이 전류원을 이용하여 ECM이 구동되도록 전압으로 변환회로를 구성하여 마이크로폰을 구동하였다. 신호획득 응용프로그램은 NI사의 SVAS(Sound and Vibration Assistant Software)를 이용하였다. SVAS는 소리와 진동을 실시간으로 확인, 분석, 저장할 수 있는 응용프로그램이다. 신호의 획득은 샘플 당 24bit의 크기와 16KHz로 샘플링하여 신호를 획득하였다.

5. 실험결과

5.1 알고리즘 분석 및 평가 방법

알고리즘의 평가는 시각적인 분석 방법과 객관적인 평가 방법을 사용하여 평가하였다. 시각적 분석 방법에는 두 가지 방법으로 분석하였다. 첫 번째 방법은 잡음이 제거되기 전과 후의 신호들을 시간영역에서 보여주었다. 두 번째는 기존 ANC와 비교하여 제안 알고리즘이 결과가 향상되어짐을 시각적으로 확인이 가능하도록 하였다. 기존 ANC는 마이크로폰 두 개를 전방과 후방에 설치하여 획득된 데이터를 이용하여 LMS를 응용하여 잡음을 제거하는 방법이다. 객관적 평가 방법에는 두 가지 방법으로 평가하였다. 첫 번째 방법은 제안 알고리즘 방법을 이용하여 잡음을 제거하기 전과 후의 SNR을 비교하였다. 두 번째 방법은 기존 ANC 방법과 제안 알고리즘을 SNR과 PESQ-MOS(perceptual evaluation of speech quality-mean opinion score)를 비교하였다[8]. PESQ-MOS는 기준신호와 잡음제거 된 신호를 자동으로 비교하여 명료도를 정량적으로 평가하는 ITU-T의 표준 측정방법이다. 원음성 신호를 기준신호로 사용하고 전방향 마이크로폰에서 획득된 신호, 기존 ANC를 이용하여 잡음제거 된 신호, 제안 알고리즘을 통하여 잡음제거 된 신호를 각각 비교하여 결과를 획득한다. 결과는 -0.5점에서 4.5점까지의 결과가 출력되고 4.5점에 가까울수록 좋은 결과를 출력한다.

5.2 잡음제거 된 신호의 시각적 분석

5.2.1 제안 알고리즘의 결과

그림 7은 제안 알고리즘의 중간결과들을 보여주고 있다. (a) 녹색실선은 전방향 마이크로폰을 통하여 입력되는 신호를 보여주고 있다. (b) 흑색실선은 MAF의 출력신호를 보여주고 있다. (c) 적색 점선은 VAD의 출력신호를 보여주고 있다. 이 신호는 하드 문턱값을 응용하여 문턱값을 결정하였고 문턱값 부근에서 불안정한 특성을 감소시키기 위하여 슈미트 트리거 방법을 응용하였다. (c) 파란색 실선은 제안 알고리즘의 출력신호이다. VAD의 출력 신호 중 잡음구간에서는 잡음이 최대한 제거되도록 구현하였고 VAD의 음성구간에서는 음성의 손실이 최소화되도록 구현하였다.

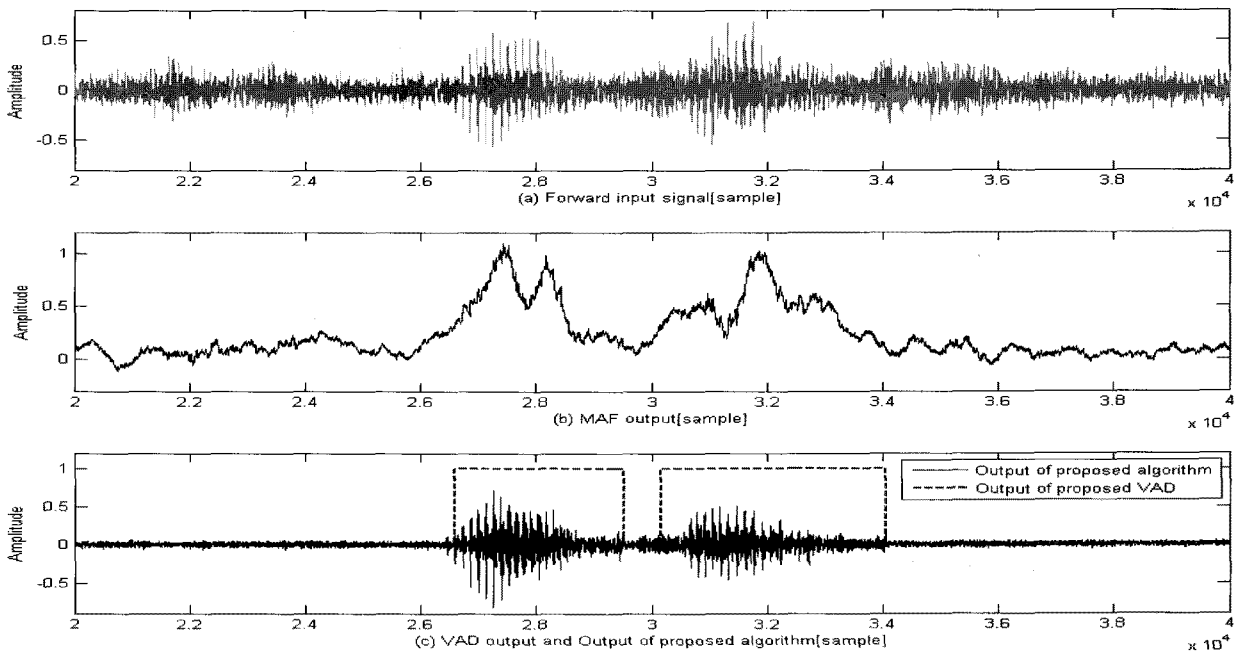


그림 7 마이크론의 입력과 출력 신호들
 Fig. 7 The input and output signals of microphone

5.2.2 제안 알고리즘과 기존 ANC의 결과 비교

제안 알고리즘과 기존 ANC와 비교는 시간영역에서의 결과와 스펙트로그램을 통한 결과를 통하여 시각적으로 보여 주었다. 그림 8은 기존 ANC와 제안 알고리즘의 결과를 보여주고 있다. (a)는 제안 알고리즘의 결과를 보여주고 있고 흑색 네모안의 a1은 잡음이 제거된 상태에서의 결과를 보여주고 있다. (b)는 기존 ANC의 결과를 보여주고 있고 흑색 네모안의 b1은 잡음이 제거된 상태에서의 결과를 보여주고 있다. 제안 알고리즘과 기존 ANC의 결과를 보면 잡음영역

에서의 잡음제거는 동일하게 제거되어진 반면 적색점선안의 결과는 제안 알고리즘이 음성의 손실이 적음이 육안으로 확인 가능하다.

그림 9는 잡음제거 결과를 스펙트로그램으로 보여준다. 단어는 2음절 단어로서 '과자'를 사용하였다. (a)는 전방향에 설치된 마이크론을 통하여 입력되어지는 입력신호를 보여주고 있고 흑색 점선안의 a1부분이 음성신호가 존재하는 부분이다. (b)는 제안 알고리즘을 통하여 출력되는 신호이다. (c)는 기존 ANC를 통하여 출력되어진 신호이다.

b1과 c1의 차이점은 원신호의 손실차이를 육안으로 확인

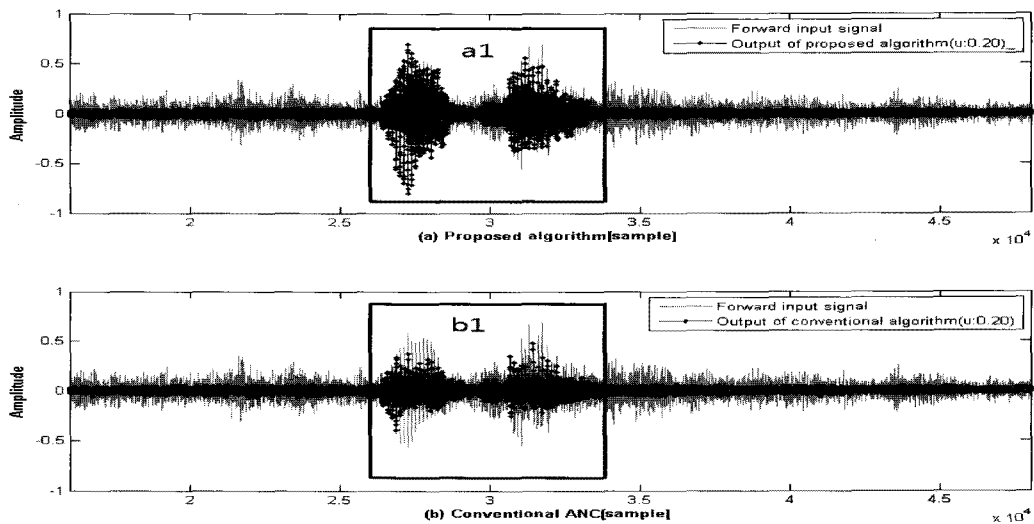


그림 8 잡음제거 결과
 Fig. 8 The results of noise cancellation

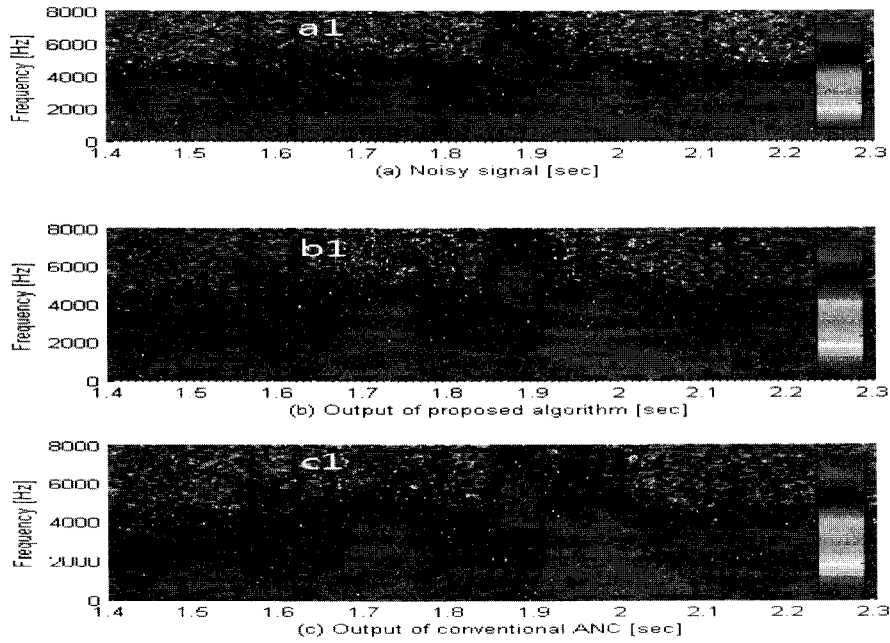


그림 9 스펙트로그램에서 잡음제거의 결과
 Fig. 9 The results of noise cancellation in spectrogram

가능하고 b1의 음성의 에너지가 c1보다 더 강하게 남아 있음이 확인 가능하다.

5.3 잡음제거 된 신호의 객관적 분석

5.3.1 제안 알고리즘을 이용한 잡음제거 전과 후의 SNR 비교

식 (11)은 SNR을 구하는 식이다. 추정되어진 신호 \hat{S} 과 음성과 잡음이 포함된 신호 $N+S$ 를 이용하여 신호 대 잡음 비를 구한다음 SNR을 획득하게 된다.

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{\left(\sum_{nt=1}^L |\hat{S}^n|^2 \right)}{\left(\sum_{nt=1}^L (|N+S|^2) - \left(\sum_{nt=1}^L |\hat{S}^n|^2 \right) \right)} [dB] \quad (11)$$

표 2는 시간영역에서의 잡음제거 전과 후의 SNR의 결과를 보여주고 있다. N(개수)는 통계분석에 사용된 단어 또는 문장의 개수를 나타낸다. 시간영역 잡음제거 전과 후의 SNR 결과는 배블잡음의 단어와 문장에서 각각 7.963 ± 1.3620 dB와 3.968 ± 0.6659 dB가 향상되었다. 자동차 내부 잡음제거 SNR은 단어와 문장에서 각각 10.512 ± 2.0665 dB와 6.000 ± 1.7647 dB가 향상되었다. 단어와 문장에서 SNR이 차이가 나는 이유는 음성에너지의 점유율이 단어보다 문장이 크기 때문에 문장에서의 SNR이 단어보다 낮게 된다. 단어의 경우는 10개 단어를 사용하였고 문장은 1개의 문장의 내용을 남겨 각 2명씩 녹음하여 4개의 녹음파일을 음성의 음원으로 이용하였다. 배블잡음의 실험 중 문장에서 N의 개수가 3개의 문장이 녹음되어진 이유는 1개의 문장이 녹음 오류가 발생되어서 3개의 문장이 녹음되어졌고 자동차 잡음의 실험 중 단어에서 N의 개수가 9개의 단어가 녹음되어진 경우에도 녹음되어질 때 녹음 오류가 발생되었기 때문이다.

표 2 제안 알고리즘을 이용한 잡음제거 전과 후의 SNR

Table 2 SNR before and after noise cancellation using the proposed algorithm

잡음환경	구분	SNR dB			N (개수)
		잡음제거 전	잡음제거 후	잡음제거 전과 후의 차이	
배블잡음 (babble noise)	단어	-7.246±2.0500	0.718±0.6879	7.963±1.3620	10
	문장	-1.868±0.7483	2.100±0.1350	3.968±0.6659	3
자동차 내부잡음 (car interior noise)	단어	-10.137±1.7596	0.375±0.9721	10.512±2.0665	9
	문장	-3.848±1.9773	2.152±0.2956	6.000±1.7647	4

5.3.2 기존 ANC와 제안 알고리즘의 SNR

표 3은 기존 ANC와 제안 알고리즘의 SNR을 비교한 결과이다. 배블잡음에서 단어와 문장은 각각 3.750 ± 1.8754 dB와 1.389 ± 0.6946 dB가 기존 ANC보다 SNR이 향상되었다. 자동차 내부잡음 제거에서는 단어와 문장에서 각각 2.675 ± 1.3374 dB와 1.5930 ± 0.7965 dB가 기존 ANC보다 SNR이 향상되었다. 표에서 N은 녹음되어진 단어와 문장의 개수를 나타낸다.

5.3.3 제안 알고리즘을 이용한 잡음제거 전과 후의 PESQ-MOS 점수

표 4는 PESQ-MOS를 통하여 제안 알고리즘의 잡음제거 전과 후의 PESQ-MOS 점수를 획득하였다. 제안 알고리즘을 이용하여 잡음제거 전과 후를 비교해보면 배블잡음의 단어에서는 0.1722 ± 0.0861 점이 향상되었고 문장에서는 0.083 ± 0.0417 점이 향상되었다. 자동차 내부잡음의 비교에서는 단어에서 0.2661 ± 0.0335 점이 향상되었고 문장에서는 0.040 ± 0.0201 점이 향상되었다.

표 3 기존 ANC와 제안 알고리즘의 SNR

Table 3 SNR of the conventional ANC and the proposed algorithm

종류	구분	SNR dB			N (개수)
		Conventional ANC의 SNR 향상	Proposed ANC의 SNR 향상	Proposed ANC- Conventional ANC	
배블잡음 (babble noise)	단어	4.212±2.2431	7.963±1.3620	3.750±1.8754	10
	문장	2.579±0.5870	3.968±0.6659	1.389±0.6946	3
자동차 내부잡음 (car interior noise)	단어	7.837±1.3138	10.512±2.0665	2.675±1.3374	9
	문장	4.407±1.3199	6.000±1.7647	1.5930±0.7965	4

표 4 제안 알고리즘을 이용한 잡음제거 전과 후의 PESQ-MOS 점수

Table 4 PESQ-MOS score before and after noise cancellation using the proposed algorithm

종류	구분	PESQ-MOS(-0.5~4.5점)			N (개수)
		Before ANC	Proposed ANC	Proposed ANC Before ANC	
배블잡음 (babble noise)	단어	1.693±0.2312	1.865±0.2777	0.1722±0.0861	10
	문장	1.080±0.5798	1.163±0.5140	0.083±0.0417	3
자동차 내부잡음 (car interior noise)	단어	1.865±0.0968	1.932±0.2274	0.2661±0.0335	9
	문장	0.971±0.4565	1.011±0.4873	0.040±0.0201	4

표 5 기존 ANC와 제안 알고리즘의 PESQ-MOS 점수

Table 5 PESQ-MOS score of the conventional ANC and the proposed algorithm

종류	구분	PESQ-MOS(-0.5~4.5점)			N (개수)
		Conventional ANC	Proposed ANC	Proposed ANC -Conventional ANC	
배블잡음 (babble noise)	단어	1.732±0.2882	1.865±0.2777	0.133±0.0666	10
	문장	1.320±0.4940	1.163±0.5140	-0.157±0.0785	3
자동차 내부잡음 (car interior noise)	단어	1.976±0.1131	1.932±0.2274	0.222±0.1108	9
	문장	1.138±0.5532	1.011±0.4873	-0.127±0.0633	4

5.3.4 기존 ANC와 제안 알고리즘의 PESQ-MOS 점수

표 5는 기존 ANC 방법과 제안 알고리즘을 PESQ-MOS 점수를 이용하여 비교하였다. 기존 ANC와 제안 알고리즘을 비교하면 배블잡음의 경우 기존 ANC 보다 단어에서는 향상되어진 결과를 보였으나 문장에서는 기존 방법보다 조금 낮게 향상되어진 결과를 보여주었다. 문장의 파일을 분석해 본 결과 2음절 단어에서는 일정하게 소리를 발생하여 입력 SNR이 비슷한 반면 문장에서는 입력 SNR이 잡음보다 낮은 상태가 되어 가중치를 변화시키는 부분에서 급격하게 변하여 음성이 손실되기 때문인 것으로 분석되어진다.

6. 결론

제안 알고리즘은 LMS를 응용한 방법을 사용하였고 VAD와 결합하여 잡음을 제거하였다. VAD의 동작은 마이크로폰 간의 입력되는 신호의 크기차이를 이용하여 음성구간과 잡음구간을 획득하였다. 제안 알고리즘의 동작은 VAD의 출력이 음성구간일 경우에는 가중치를 작게 하여 음성이 손실되는 문제를 해결하였고 VAD의 출력이 잡음구간일 경

우에는 제안 알고리즘의 ANC의 가중치를 최대로 처리하여 잡음을 제거하였다.

제안 잡음제거 알고리즘은 배플잡음과 자동차 내부잡음을 이용하여 음성과 동시에 녹음하여 잡음을 제거하였다. 제안 알고리즘의 ANC와 VAD를 이용하여 배플잡음을 제거한 결과 SNR이 단어에서는 7.963 ± 1.3620 dB가 향상되었고 문장에서는 3.968 ± 0.6659 dB가 향상되었다. 자동차 내부잡음의 SNR의 결과는 단어에서는 10.512 ± 2.0665 dB가 향상되었고 문장에서는 6.000 ± 1.7647 dB가 향상되었다. 기존 ANC 방법과 제안 알고리즘의 SNR을 획득한 결과 배플잡음의 제거에서 단어는 3.750 ± 2.3591 dB가 문장에서는 1.389 ± 0.7960 dB가 향상되어졌고 자동차 내부잡음의 제거에서 단어는 2.675 ± 1.9917 dB가 문장에서는 1.5930 ± 1.7382 dB가 향상되어졌다. 배플잡음의 PESQ-MOS의 결과는 단어에서 0.1722 ± 0.0861 점과 문장에서 0.083 ± 0.0417 점이 향상되었다. 자동차 내부잡음의 PESQ-MOS의 결과는 단어에서 0.2661 ± 0.0335 점과 문장에서 0.040 ± 0.0201 점이 향상되었다. SNR과 PESQ-MOS에서 양호하게 향상되어진 결과를 보여주었다. 본 논문에서의 제안 알고리즘을 이용하여 보청기의 잡음제거에 사용하게 된다면 청력장애인이 듣는데 도움이 될 수 있으리라 사료된다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원 (R01-2007-000-10801-0)과 2007년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2007-331-D00592)을 받아 수행된 연구임.

참 고 문 헌

[1] 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.

[2] 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.

[3] L. Griffiths, and C. Jim, "An alternative approach to linearly constrained adaptive beamforming," *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on.*, Vol. 30, No. 1, pp. 27-34. Jan. 1982.

[4] 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.

[5] L. Krasny, and S. Orantara, "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.

[6] 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.

[7] http://spib.rice.edu/spib/select_noise.html, Rice Univ. DSP group homepage.

[8] 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.

저 자 소 개



방 동 혁 (房東赫)

1997년 광주기능대학교 졸업
 1999년 5월 - 2003년 6월 (주)에이스 테크놀로지 근무
 2007년 광주대학교 전자공학과 학사
 2009년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업
 관심분야 : 디지털 보청기, 디지털 신호 처리, 적응잡음제거 알고리즘



길 세 기 (吉世基)

1998년 인하대학교 전자공학과 학사
 2000년 인하대학교 전자공학과 석사
 2006년 인하대학교 전자공학과 박사
 2006.9~2007.9 일본 와세다대학교 대학원 초청연구원
 2007.10~현재 인하대학교 전자공학과 정보전자공동연구소 연구교수
 관심 분야 : 생체신호처리, 음성신호처리, 유비쿼터스 헬스케어, 의용영상처리



강 현 덕 (姜現憲)

2007년 8월 인하대학교 전자공학과 학사
 2008년 9월~ 현재 인하대학교 전자공학과 석사과정 재학 중
 관심분야 : 음성 신호 처리, 잡음제거 알고리즘



윤 광 섭 (尹 廣 燮)

1982년 인하대학교 전자공학과 학사
1983년 Georgia Institute of Technology
전자공학 석사
1989년 Georgia Institute of Technology
박사
1989년 3월~1992년 2월 Silicon Systems
Inc, Tustin Calif. U.S.A Senior Design Engineer
1992년 3월 ~ 현재 인하대학교 전자공학과 교수
관심분야 : 음성신호처리 집적회로 설계, 설계 자동화 및
소자/회로/시스템 모델링 등



이 상 민 (李 相 冕)

1987년 인하대학교 전자공학과 학사
1989년 인하대학교 전자공학과 석사
2000년 인하대학교 전자공학과 박사
1989년 1월 - 1994년 7월 LG이노텍 선
임연구원
1995년 1월-2002년 3월 삼성종합기술원
책임연구원
2002년 4월-2005년 2월 한양대학교 의공학교실 연구교수
2005년 3월-2006년 8월 전북대학교 생체정보공학부 조교수
2006년 9월-현재 인하대학교 전자전기공학부 조교수
관심분야 : Healthcare system design, Psychoacoustic,
Brain-machine interface