

DSP프로세서를 이용한 실시간 ANC 시스템 구현에 관한 연구

이영일(대전대), 최홍섭(대전대)

<차 례>

- | | |
|-------------------------|--------------|
| 1. 서 론 | 4. 실험 및 결과 |
| 2. ACHARF 알고리즘을 적용한 ANC | 4.1. 백색잡음 실험 |
| 2.1. ANC의 구성 | 4.2. 실제잡음 실험 |
| 2.2. ACHARF 알고리즘 | 4.3 실험결과 |
| 3. DSP 프로세서를 이용한 시스템 구성 | 5. 결론 |

<Abstract>

Implementation of Real-Time Adaptive Noise Cancellation System Using DSP Processor

Young Il Lee, Hong Sub Choi

This paper is aiming at real-time implementation of adaptive noise cancellation system using DSP processor. ACHARF algorithm, which guarantees stability and fast convergence by adaptive compensator, is used on this DSP system. For the experiments, TLV320AIC23 stereo CODEC of TI Inc. is used with TMS320C6413 DSP processor. Signals of primary input and reference input are obtained by two microphones. The primary input is the voice plus noise signal and the reference input is white noise or real noise. The experimental results show that ANC system using DSP processor with ACHARF is verified to be an effective speech enhancement method for various speech processing units.

* Keywords: Adaptive noise cancellation, DSP

1. 서 론

음성처리 시스템을 상용화하기 위해서는 입력으로 들어오는 주변 잡음에 대한 음질개선을 통해 시스템의 성능을 향상시키는 방법이 가장 효과적인 접근방법으로 인식되고 있으며, 이를 위해 주변 환경과 잡음에 강인한 연구 및 개발이 지속적으로 진행되고 있다. 특히 적응신호처리를 이용한 적응잡음제거 (ANC: adaptive noise cancellation) 필터에서는 빠른 수렴속도를 가지면서도 안정적으로 잡음을 제거하는 필터 개발이 요구되고 있다. 일반적으로 많이 사용하는 비순환필터(FIR)의 경우에는 안정성이 보장되는 장점이 있지만, 잡음경로의 모델링을 위한 전달함수의 구현에서는 매우 높은 차수를 요구하게 되어 수렴속도의 저하를 가져오는 단점이 있다. 그러나 순환필터(IIR) 구조에서는 모델링에 필요한 전달함수의 차수가 작고, 수렴속도 또한 빨라서 실시간 ANC 시스템을 구축하는 방법으로 고려되어 왔지만 안정성을 보장할 수 없는 문제로 사용이 제한되어 왔다. 그러나 보상기를 채용한 초안정적 적응순환필터(ACHARF: adaptive compensated hyperstable adaptive recursive filter)는 앞선 연구에서 이미 그 안정성과 성능을 확인한 바 있다[1,2].

본 연구에서는 적응잡음제거기의 구현 가능성을 검토하기 위한 알고리즘으로 적응순환필터인 보상기를 채용한 초안정적 적응순환필터를 사용하고, TI사의 DSP 프로세서인 TMS320C6413과 스테레오 오디오 코덱인 TLV320AIC23을 탑재한 evaluation 보드를 사용하여 시스템을 구성하였다. 또한 실제 음성신호와 잡음신호를 획득하여 실제 잡음환경과 유사한 환경에서 실험을 진행하였다.

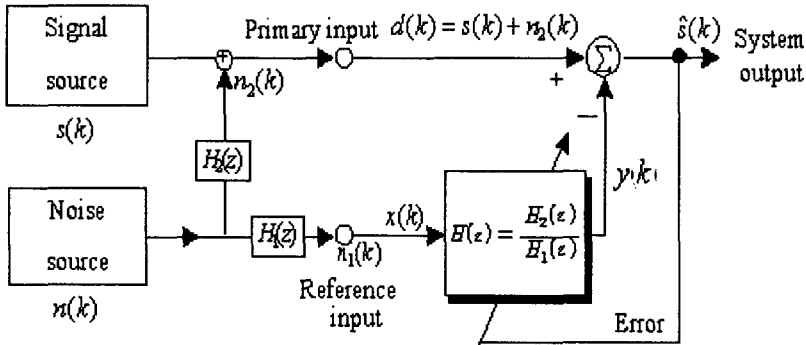
본 논문의 구성은 2장에서 ACHARF 알고리즘과 이를 이용한 적응잡음제거기 구조를 서술하고, 3장에서 DSP 프로세서를 사용한 시스템에 관하여 설명한다. 그리고 4장에서는 실험과정과 그 결과를 고찰하고, 끝으로 5장에서 최종 결론을 맺는다.

2. ACHARF 알고리즘을 적용한 ANC

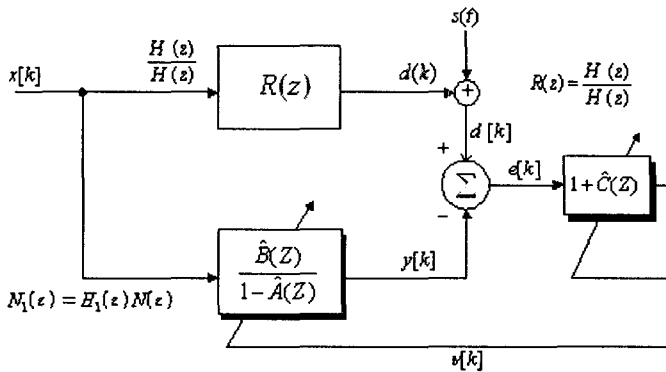
2.1 ANC의 구성

두 입력센서를 가진 적응잡음제거기의 구조는 <그림 1>과 같다. 잡음전달 경로 $H_1(z)$ 를 통과한 잡음은 적응필터의 기준입력신호로 입력되고, 잡음전달 경로 $H_2(z)$ 를 지난 잡음은 음성신호와 합쳐서 주 입력신호 $d(k)$ 로 입력된다. 이때 주 입력신호와 적응필터의 출력신호 $y(k)$ 의 차가 ANC의 출력이다. <그림 2>는 적응순환필터인 ACHARF 알고리즘을 적용한 잡음제거기의 구조이다. <그림 1>과 비교하면 영점과 극점을 동시에 사용할 뿐만 아니라 적응보상기를 사용함으로써 시스템이

발산하는 것을 방지하여 안정성을 갖게 한다.



<그림 1> 적응잡음제거기의 구조



<그림 2> 적응보상기를 갖는 적응순환필터의 잡음제거기의 구조

2.2 ACHARF 알고리즘

HARF 알고리즘을 기초로 하는 ACHARF 알고리즘은 시스템의 변화에 따라 보상기 자체도 적응시키기 때문에 시스템이 항상 SPR(strictly positive real) 조건을 만족하게 되며, 또한 미지의 기준 시스템에 대한 사전 지식이 전혀 필요 없는 적응 알고리즘이다[1].

ACHARF 알고리즘은 다음과 같다. 잡음 $n_1(k)$ 와 $n_2(k)$ 는 동일한 잡음원 $n(k)$ 로부터 발생한다. 주 입력신호로 원하는 신호 $s(k)$ 와 잡음 $n_2(k)$ 가 동시에 입력되지만 기준 입력신호에는 잡음 $n_1(k)$ 만 입력되고 원하는 신호는 입력되지 않게 한다. <그

림 1>에서 잡음원과 두 개의 센서 사이의 경로의 전달함수는 알 수 없으며 이들을 각각 $H_1(z)$, $H_2(z)$ 로 하면 식(1, 2) 이므로 식(3)과 같은 관계가 성립된다. 따라서 잡음제거기는 <그림 2>같은 구조로 모델링할 수 있게 되는 것이다. <그림 2>에서 적응 필터가 $\widehat{B}(z) \rightarrow H_1(z)$ 및 $1 - \widehat{A}(z) \rightarrow H_2(z)$ 로 수렴하면 $y(k) \rightarrow d(k)$ 가 되어 $e(k) \rightarrow s(k)$ 로 수렴함으로써 잡음이 제거된 신호를 얻을 수 있는 것이다. 그러나 적응 순환 필터가 $e(k)$ 의 자승이 0으로 수렴하도록 적응되는 과정에서 극점인 $1 - \widehat{A}(z)$ 의 근이 단위원 밖으로 나갈 수 있으므로 이를 막기 위해 <그림 2>와 같이 적응 보상기 $1 + \widehat{C}(z)$ 를 채용함으로써 항상 초안정성을 만족하도록 한다.

$$N_1(z) = H_1(z)N(z) \quad (1)$$

$$N_2(z) = H_2(z)N(z) \quad (2)$$

$$Y(z) = H(z)X(z) = \frac{H_2(z)}{H_1(z)} \cdot N_1(z) = N_2(z) \quad (3)$$

<그림 2>의 적응순환필터를 이용한 잡음제거기의 적응필터와 보상기의 차수에 대한 적응알고리즘은 다음과 같다.

$$\left. \begin{aligned} a_i(k) &= a_i(k-1) + \frac{\mu_i}{1 + \widehat{\Phi}_e^T(k) \Lambda_e \widehat{\Phi}_e(k)} v^o(k) y(k-i), \quad 1 \leq i \leq N \\ b_j(k) &= b_j(k-1) + \frac{\rho_j}{1 + \widehat{\Phi}_e^T(k) \Lambda_e \widehat{\Phi}_e(k)} v^o(k) x(k-j), \quad 0 \leq j \leq M \\ c_l(k) &= c_l(k-1) + \frac{\gamma_l}{1 + \widehat{\Phi}_e^T(k) \Lambda_e \widehat{\Phi}_e(k)} v^o(k) e(k-l), \quad 1 \leq l \leq L \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

여기서, 적응보상기에 의한 사후 처리 오차 $v(k)$ 및 사전 처리 오차 $v^o(k)$ 는 다음과 같다.

$$v(k) = e(k) - \sum_{l=1}^L c_l(k) e(k-l) \quad (5)$$

$$v^o(k) = e^o(k) - \sum_{l=1}^L c_l(k-1) e(k-l) \quad (6)$$

그리고 각각의 변수에 대한 정의는 아래와 같이 주어지며,

$$\widehat{\Phi}_e(k) = [x(k) \cdots x(k-M), y(k-1) \cdots y(k-N), e(k-1) \cdots e(k-L)]^T \quad (7)$$

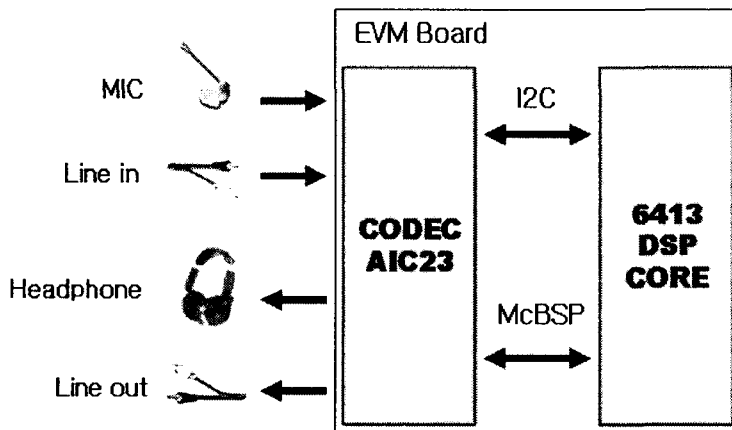
$$\Lambda_e = \text{diag} [\mu_1 \cdots \mu_N, \rho_0 \cdots \rho_M, \gamma_1 \cdots \gamma_L] \quad (8)$$

i, j, l 은 모두 상수이며 보편적으로 다음과 같이 정한다.

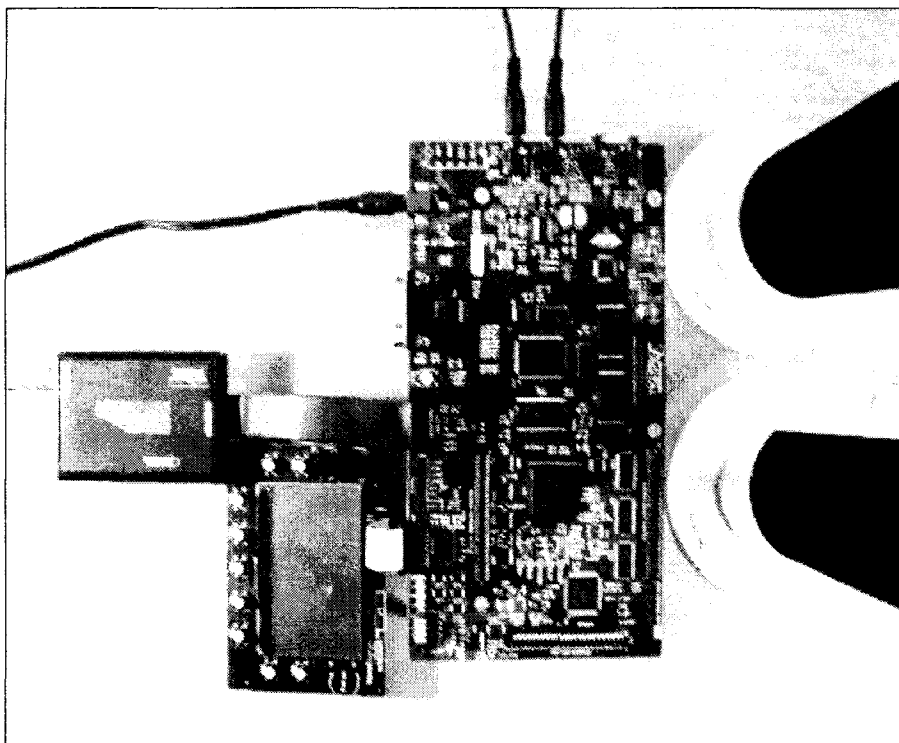
$$\left. \begin{aligned} \mu_1 &= \cdots = \mu_N = \mu \\ \rho_0 &= \cdots = \rho_M = \rho \\ \gamma_1 &= \cdots = \gamma_L = \gamma \end{aligned} \right\} \quad (9)$$

3. DSP 프로세서를 이용한 시스템 구성

2.1에서 정리한 ANC 구성을 실제로 구현하기 위해 TI사의 TMS320C6413 DSP 프로세서[3]와 스테레오 코덱인 TLV320AIC23[4]을 사용하여 <그림 3>과 같은 시스템을 구성하였다. <그림 4>는 TMS320C6413 DSP 프로세서와 TLV320AIC23 코덱이 탑재된 실제 실험에서 사용된 보드로서 JTAG emulator, 출력 스피커 그리고 LCD가 연결되어있다. 위쪽의 연결 단자들은 전원과 두 가지 입력을 받아들이기 위한 것이다.



<그림 3> ANC 시스템의 구성



<그림 4> ANC 시스템의 구성

EVM 보드는 마이크 입력과 line 입력, 헤드폰 출력과 line 출력으로 구성된다. 주 입력신호는 음성과 잡음을 마이크를 통하여 입력 받았고, 기준 입력신호는 녹음한 잡음을 line 입력을 통하여 받아 실험하였다. 입력받은 신호는 코덱을 사용하여 A/D(analog-to digital) 변환과 D/A(digital-to-analog) 변환을 하였으며, Philips사에서 제안한 I2C(Inter-IC bus) 방식[5]과 TI사의 McBSP(multichannel buffered serial port)를 사용하여 통신하였다. 샘플링 주파수는 8.021 kHz, 데이터 해상도는 16 bit로 하였다. 개발 소프트웨어로는 code composer studio를 사용하였고, JTAG emulator의 사용으로 개발시간을 단축하였다.

4. 실험 및 결과

본 논문에서는 DSP 프로세서를 사용한 적응 잡음제거기의 구현을 위해 2장에서 설명한 잡음제거기를 사용하고, <표 1>과 같은 조건으로 실험하였다. 입력신호는 <표 2>와 같은 조건으로 제작하여 실험을 하였다.

<표 1> 실험조건

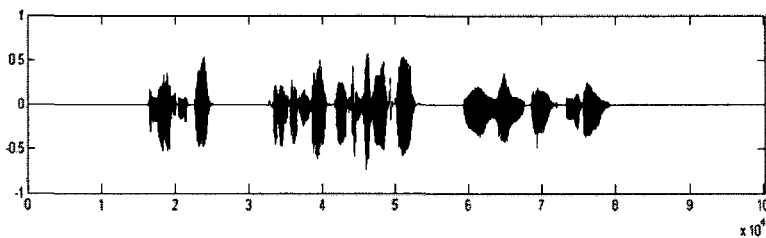
ACHARF 적응순환필터	B(z)의 차수	2차 ($p=0.1$)
	A(z)의 차수	2차 ($\mu=0.1$)
	C(z)의 차수	15차 ($\gamma=0.1$)

<표 2> 입력신호

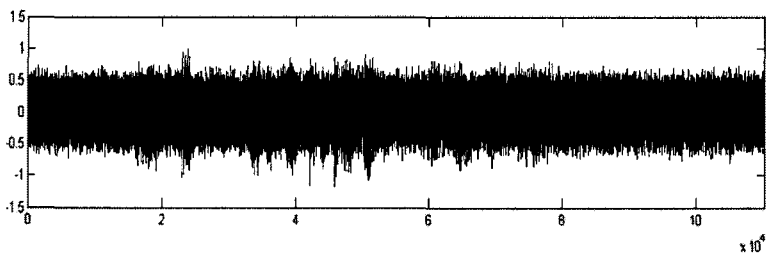
s(k)		음성신호
n(k)		백색잡음, 실제잡음
SNR	백색잡음	0dB, -5dB, -10dB, -20dB
	실제잡음	0dB, -5dB, -15dB

4.1 백색잡음 실험

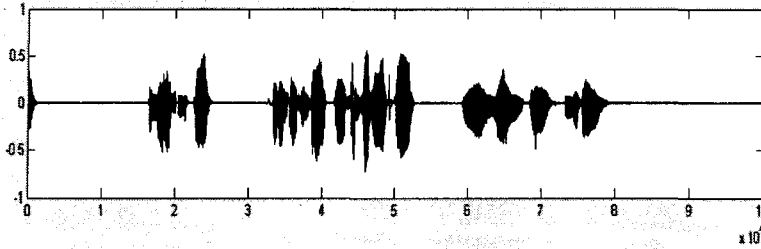
기준입력신호로 백색잡음을 사용하고, 음성신호에 백색잡음을 첨부하여 0dB, -5dB, -10dB, -20dB의 SNR을 갖는 음성신호를 만들었다. 깨끗한 음성신호 s(k)는 <그림 5>이고, -10dB로 백색잡음이 첨가된 주 입력신호 d(k)는 <그림 6>이다. 잡음 제거기를 사용한 결과 <그림 7>과 같이 잡음이 제거되었다.



<그림 5> 주입력신호인 음성신호



<그림 6> 백색잡음에 손상된 음성신호



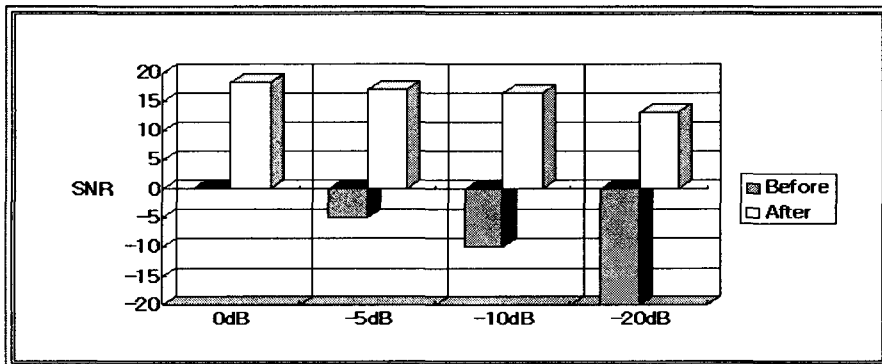
<그림 7> 잡음제거기를 사용한 출력신호

백색잡음으로 실험한 결과는 <표 3>과 같다. 잡음제거한 신호의 출력 SNR은 근사화한 값으로 계산식은 식(10)와 같다. 이때 $s(n)$ 은 원신호, $\hat{s}(n)$ 은 잡음제거 처리된 신호이며, 이 둘의 차이를 출력단에 존재하는 잡음으로 가정하여 아래와 같은 식을 사용하였다.

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{E_s}{E_e} = 10 \log_{10} \frac{\sum_{n=-\infty}^{\infty} s^2(n)}{\sum_{n=-\infty}^{\infty} [s(n) - \hat{s}(n)]^2} \quad (10)$$

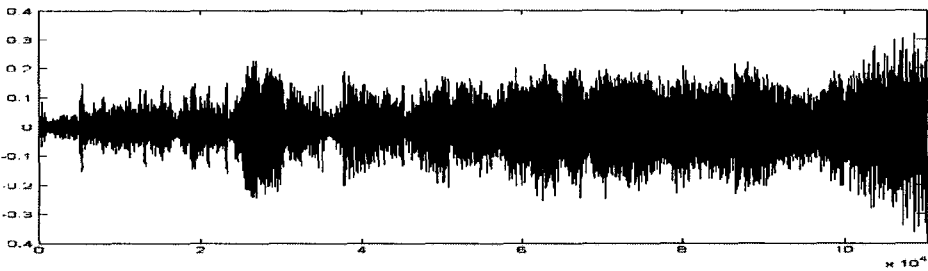
<표 3> 백색잡음을 사용한 실험결과

잡음제거 전 신호의 SNR	잡음제거 후 신호의 SNR
0dB	18.3dB
-5dB	17.1dB
-10dB	16.5dB
-20dB	13.2dB

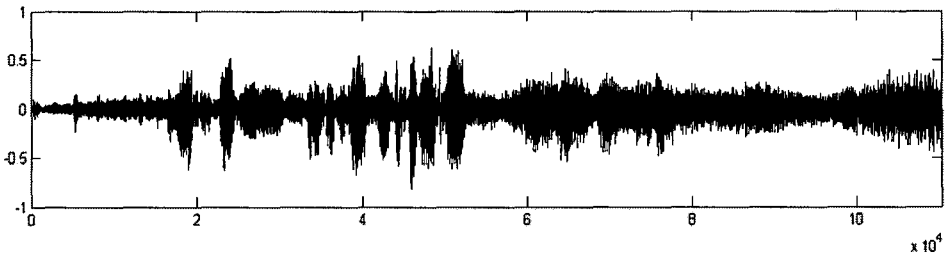


4.2 실제 잡음 실험

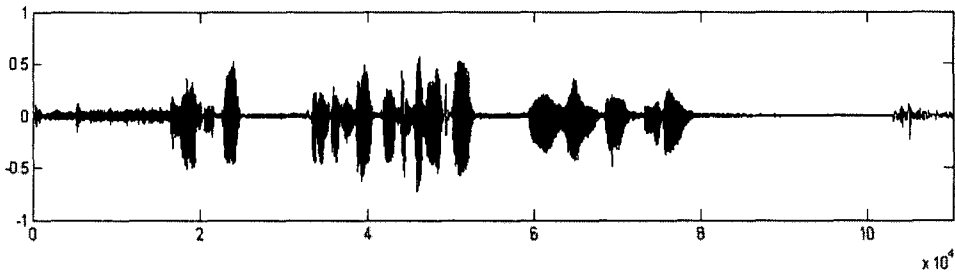
입력신호 $s(k)$ 는 4.1에서 사용한 동일한 음성신호를 사용하였고, 기준 입력신호는 자동차소리를 녹음한 실제 잡음을 사용하여 실험하였다. 기준 입력신호인 잡음의 파형은 <그림 8>이고, <그림 5>와 같은 음성신호에 -5dB로 실제 잡음이 첨가된 신호 $d(k)$ 는 <그림 9>이다. 잡음제거기를 사용한 결과 <그림 10>과 같이 잡음이 제거되었다.



<그림 8> 자동차 소음인 기준입력신호

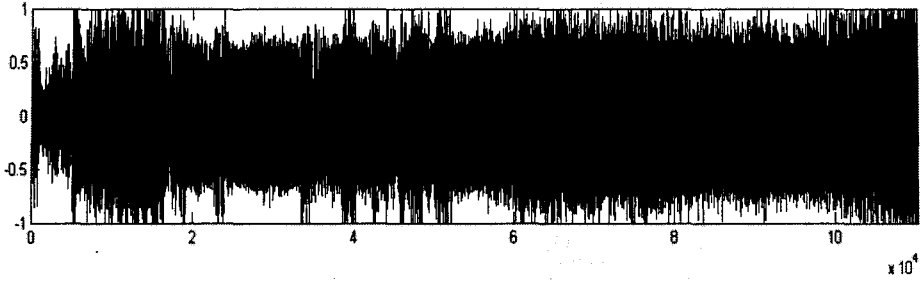


<그림 9> 잡음에 손상된 음성신호 (-5dB)

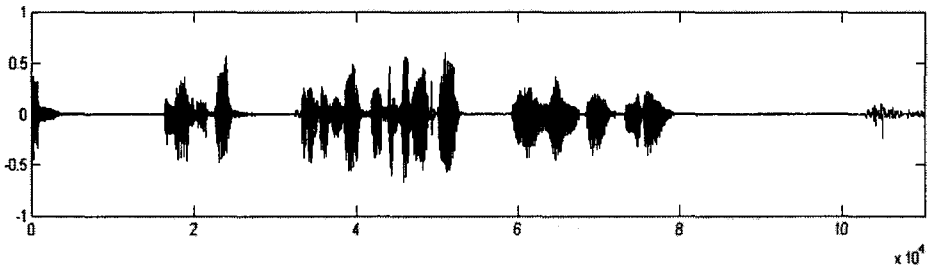


<그림 10> 잡음제거기를 사용한 출력신호

잡음이 심한 환경에서의 성능을 검토하기 위해 잡음을 -15dB로 첨가하여 실험하였다. <그림 11>은 잡음이 첨가된 신호이고, <그림 12>는 잡음제거기의 출력 신호이다.



<그림 11> 잡음에 손상된 음성신호 (-15dB)

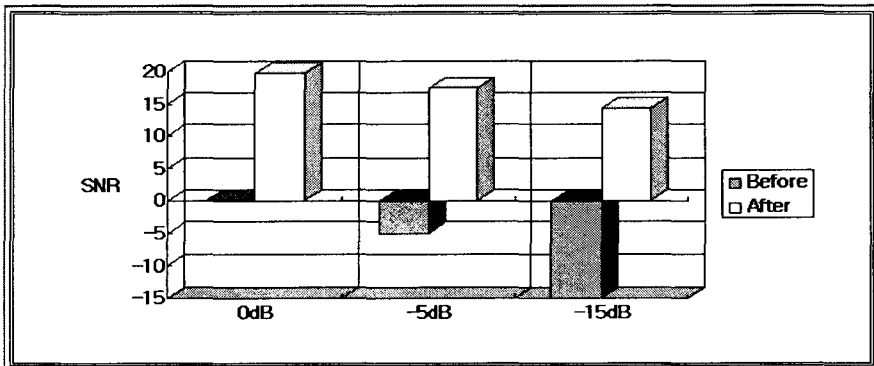


<그림 12> 잡음제거기를 사용한 출력신호

실제잡음으로 실험한 결과는 아래의 <표 4>와 같다.

<표 4> 실제잡음을 사용한 실험결과

잡음제거 전 신호의 SNR	잡음제거 후 신호의 SNR
0dB	19.7dB
-5dB	17.4dB
-15dB	14.3dB



4.3 실험결과

주 입력신호로 실제 음성신호와 백색잡음을 사용한 실험에서 <표 3>과 같이 18dB 이상의 잡음제거 효과를 확인할 수 있으며, 평균 25dB의 잡음제거 효과를 보였다. 또한 백색잡음이 아닌 특정 주파수의 실제 잡음을 사용한 실험에서도 <표 4>와 같이 약 20dB 이상의 성능을 확인할 수 있었으며, 전체적으로 평균 23.8dB의 잡음제거 효과를 보였다. 실험결과 SNR이 높은 신호일수록 잡음제거 효과가 뛰어나며, 반면에 SNR이 낮을수록 수렴속도가 빨라짐을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 적응보상기를 갖는 적응순환필터인 ACHARF 알고리즘을 채용하여 잡음제거기의 실제 하드웨어로의 구현 가능성을 DSP 프로세서를 사용하여 검토해 보았다. 실험결과 백색잡음에서 평균 23dB, 실제 잡음환경에서 평균 23.8dB의 우수한 잡음제거 효과를 보여주었으며, 빠르고 정확한 수렴속도를 확인할 수 있었다. 이번 연구를 통하여 잡음제거기의 차후 상용화 가능성을 확인할 수 있었고, 이를 위해 실제환경에서 음성신호와 상관도가 없는 기준잡음신호를 어떤 방법으로 보다 효과적으로 구분하여 입력받을 수 있는 방법에 관한 연구를 진행하고 있다. 이번 논문에서는 기준 입력신호를 마이크로 먼저 녹음한 다음 이를 Line-in을 통하여 입력하였다. 따라서 보다 실제적인 상황에서의 실험을 위해서 기준 입력신호 역시 마이크로 입력 받게 하고, 특히 기준 입력신호가 주 입력신호의 음성성분과 상관도가 없도록 하는 것이 음질향상의 관건이며, 일단 지향성 마이크의 사용으로 음장의 중첩을 최대한 피할 수 있는 다양한 연구를 진행하고 있다.

참 고 문 헌

- [1] 윤병우, 신윤기, “적응 보상기를 채용한 초안정성 적응순환 필터”, 전자공학회 논문지, 제 27권, 제 3호, 1990.
- [2] 오창환, 최홍섭, 신윤기, “적응보상기를 갖는 HARF 알고리즘을 이용한 음질 개선”, 한국음향학회 학술발표대회 논문집, 제 20권, 제 1(s)호, 2001.
- [3] Texas Instrument Inc., “TMS320C6413, TMS320C6410 Fixed-point Digital Signal Processors”, Data Manual, SPRS247A, 2004.
- [4] Texas Instrument Inc., “TLV320AIC23B Stereo Audio CODEC”, Data Manual, SLWS106H, 2004.
- [5] Texas Instrument Inc., “TMS320C6000 DSP Inter-Integrated Circuit(I2C) Module”, Reference

Guide, SPRU175A, 2002.

접수일자 : 2004년 11월 15일

게재결정 : 2004년 12월 10일

▶ 이영일(Young Il Lee)

주소: 487-711 경기도 포천시 선단동 대진대학교 공과대학 전자공학과

소속: 대진대학교 공과대학 전자공학과

전화: +82-31-539-1900, Fax: +82-31-539-1900

E-mail: crash201@hanmail.net

▶ 최홍섭(Hong Sub Choi)

주소: 487-711 경기도 포천시 선단동 대진대학교 공과대학 전자공학과

소속: 대진대학교 공과대학 전자공학과

전화: +82-31-539-1903, Fax: +82-31-539-1900

E-mail: hschoi@daejin.ac.kr