

TMS320C6413 DSP프로세서를 이용한 적응 음질개선 시스템의 구현에 관한 연구

이영일, 이순려, 신윤기, 최홍섭
대전대학교 전자공학과

Implementation of adaptive speech enhancement system using TMS320C6413 DSP processor

Young-Il Lee, Soon-Reyo Lee, Yoon-Ki Shin, Hong-Sub Choi
Dept. of Electronics, Daejin University
E-mail: hschoi@daejin.ac.kr

요약

본 논문에서는 보상기를 채용하여 안정성을 확보한 적응순환필터인 ACHARF(Adaptive Compensated Hyperstable Adaptive Recursive Filter)를 사용하여 잡음제거를 통한 음질의 음질개선을 DSP 프로세서를 통하여 구현하였다. 실험에서는 TI사의 최신 DSP 프로세서인 TMS320C6413와 스테레오 오디오 코덱인 TLV320AIC23을 탑재한 Evaluation board를 사용하였다. 2개의 입력마이크를 이용하여 음성신호와 기준 잡음신호를 별도로 수집하여 알고리즘을 수행하였으며, 실험결과로 음질개선 효과를 확인할 수 있었다. 본 연구를 통해서 시스템의 성능개선의 핵심은 입력으로 들어오는 음성신호와의 상관도가 가능한 적은 잡음신호를 수집하는 방법이라 생각되며 앞으로 이에 대한 연구가 필요하겠다.

1. 서론

주변 환경과 잡음에 강인한 음성신호처리 시스템을 상용화하기 위해 연구 및 개발이 지속적으로 진행되고

있는 가운데 빠른 수렴속도를 가지면서도 안정적으로 잡음을 제거하는 시스템 개발이 요구되고 있다.

음질개선의 한 방법인 적응잡음제거(ANC: Adaptive Noise Cancellation) 필터 중 적응순환필터인 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 위의 보상기를 채용한 초안정적 적응순환필터 알고리즘을 사용한 적응잡음제거기의 실시간 구현을 위하여, TI사의 범용 DSP 프로세서인 TMS320C6413와 같은 회사의 스테레오 오디오 코덱인 TLV320AIC23을 탑재한 Evaluation board를 사용하여 시스템을 구성하였다. 또한 실제 음성신호와 잡음신호를 획득하여 실제 잡음환경과 유사한 환경에서 실험을 진행하였다.

본 논문에서는 2장에서 ACHARF 알고리즘과 이를 이용한 적응잡음제거기를 서술하고, 3장에서 DSP 프로세서를 사용한 시스템에 관하여 설명한다. 4장에서 실험의 결과를 고찰하고, 끝으로 5장에서 최종 결론을 맺는다.

2. ACHARF 알고리즘을 적용한 ANC

2.1 ACHARF

HARF 알고리즘을 기초로 하는 ACHARF 알고리즘은 시스템의 변화에 따라 보상기 자체도 적응시키기 때문에 시스템이 항상 SPR(Strictly Positive Real)을 만족하게 되며, 또한 미지의 기준 시스템에 대한 사전 지식이 전혀 필요 없는 적응 알고리즘이다.

ACHARF 알고리즘은 다음과 같다. [1]

$$\left. \begin{aligned} a_i(k) &= a_i(k-1) + \frac{\mu_i}{1 + \hat{\Phi}_i^T(k) \Lambda_i \hat{\Phi}_i(k)} v^o(k) y(k-i), \quad 1 \leq i \leq N \\ b_j(k) &= b_j(k-1) + \frac{\rho_j}{1 + \hat{\Phi}_j^T(k) \Lambda_j \hat{\Phi}_j(k)} v^o(k) x(k-j), \quad 0 \leq j \leq M \\ c_l(k) &= c_l(k-1) + \frac{\gamma_l}{1 + \hat{\Phi}_l^T(k) \Lambda_l \hat{\Phi}_l(k)} v^o(k) e(k-l), \quad 1 \leq l \leq L \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

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

$$v(k) = e(k) - \sum_{l=1}^L c_l(k) e(k-l) \quad (2)$$

$$v^o(k) = e^o(k) - \sum_{l=1}^L c_l(k-1) e(k-l) \quad (3)$$

단,

$$\hat{\Phi}_i(k) = [x(k) \Lambda \ x(k-M) \ y(k-1) \Lambda \ y(k-N) \ e(k-1) \Lambda \ e(k-L)]^T \quad (4)$$

$$\Lambda_i = \text{diag} [\mu_i \Lambda \ \mu_N \ \rho_i \Lambda \ \rho_M \ \gamma_i \Lambda \ \gamma_L] \quad (5)$$

μ_i, ρ_j, γ_l 은 모두 상수이며 보편적으로 다음과 같이 정한다.

$$\left. \begin{aligned} \mu_1 &= \Lambda = \mu_N = \mu \\ \rho_0 &= \Lambda = \rho_M = \rho \\ \gamma_1 &= \Lambda = \gamma_L = \gamma \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

2.1 ANC의 구성

두 입력센서를 가진 적응잡음제거기의 구조는 그림 1과 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 2는 적응순환필터인 ACHARF 알고리즘을 적용한 잡음제거기의 구조이다. 그림 1과 비교하면 영점과 극점을 동시에 사용할 뿐만 아니라 적응보상기를 사용함으로써 시스템이 발산하는 것을 방지한다.

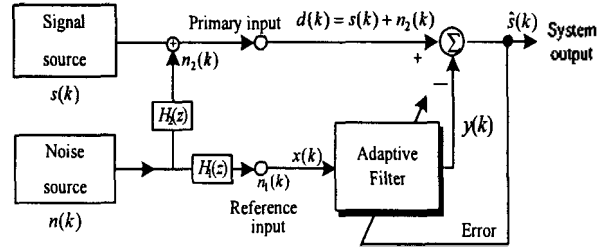


그림 1. 적응잡음제거기의 구조

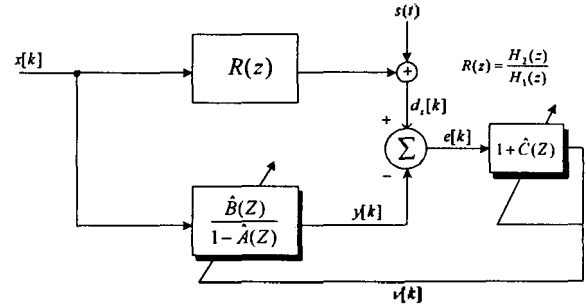


그림 2. 적응보상기를 갖는 적응순환필터의 잡음제거기의 구조

3. DSP 프로세서를 이용한 시스템 구성

2.1의 잡음제거기를 실제로 구현하기 위해 TI사의 TMS320C6413 DSP 프로세서[3]와 스테레오 코덱인 TLV320AIC23[4]을 사용하여 그림 3과 같은 시스템을 구성하였다.

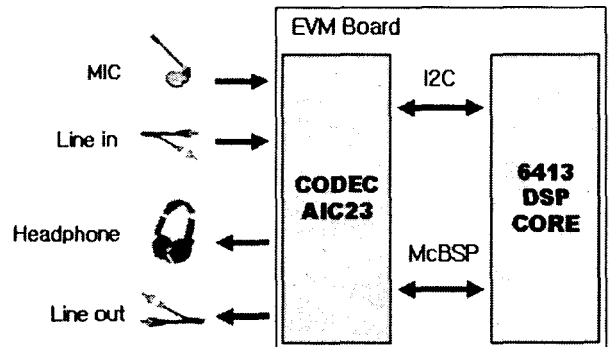


그림 3. ANC 시스템의 구성

EVM 보드는 마이크 입력과 Line 입력, 헤드폰 출력과 Line 출력으로 구성된다. 주 입력신호는 음성과 잡음을 마이크를 통하여 입력 받았고, 기준입력신호는 녹음한 잡음을 Line 입력을 통하여 받아 실험하였다. 입력 받은 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 8.021KHz, 데이터 해상도는 16bit로 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 1과 같은 조건으로 실험하였다. 입력신호는 표 2와 같은 조건으로 구성하여 실험을 하였다.

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

표 1. 실험조건

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

표 2. 입력신호

4.1 백색잡음 실험

기준입력신호로 백색잡음을 사용하고, 음성신호에 백색잡음을 첨부하여 0dB, -5dB, -10dB, -20dB의 SNR을 갖는 음성신호를 만들었다. 깨끗한 음성신호 $s(k)$ 는 그림 4이고, -10dB로 백색잡음이 첨가된 주 입력신호 $d(k)$ 는 그림 5이다. 잡음제거기를 사용한 결과 그림 6과 같이 잡음이 제거되었다.

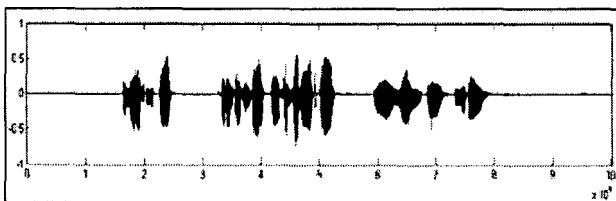


그림 4. 주 입력신호인 음성신호

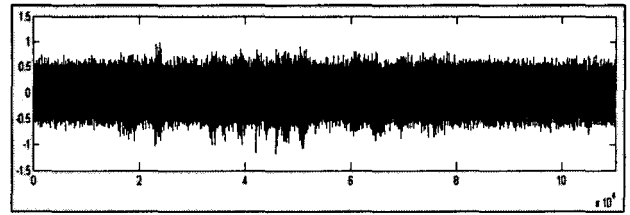


그림 5. 백색잡음에 손상된 음성신호

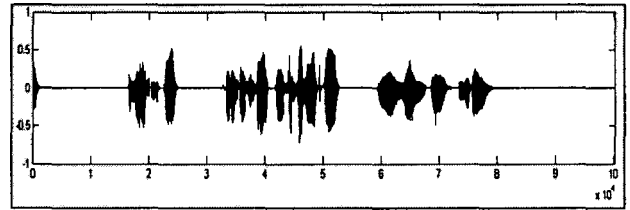


그림 6. 잡음제거기를 사용한 출력신호

백색잡음으로 실험한 결과는 표 3과 같다. 결과 신호의 SNR은 근사화한 값이며 계산식은 식(7)와 같다. $s(n)$ 은 원 신호, $\hat{s}(n)$ 은 잡음제거 처리된 신호이다.

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{E_s}{E_e} = 10 \log_{10} \frac{\sum_{n=-\infty}^{\infty} s^2(n)}{\sum_{n=-\infty}^{\infty} [s(n) - \hat{s}(n)]^2} \quad (7)$$

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

표 3. 백색잡음을 사용한 실험결과

4.2 실제 잡음 실험

입력신호 $s(k)$ 는 4.1에서 사용한 동일한 음성신호를 사용하였고, 기준입력신호는 자동차소리를 녹음한 실제 잡음을 사용하여 실험하였다. 기준입력신호인 잡음의 파형은 그림 7이고, 그림 4와 같은 음성신호에 -5dB로 실제 잡음이 첨가된 신호 $d(k)$ 는 그림 8이다. 잡음제거기를 사용한 결과 그림 9와 같이 잡음이 제거되었다.

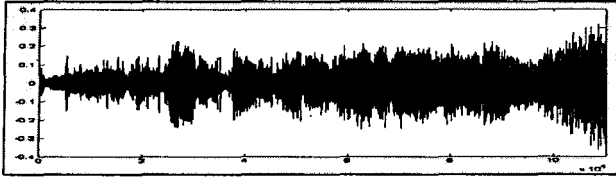


그림 7. 자동차 소음인 기준입력신호

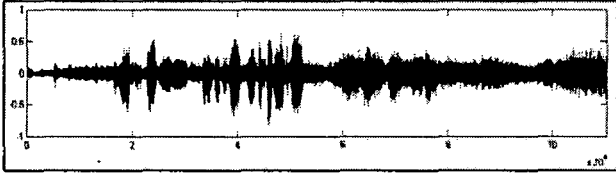


그림 8. 잡음에 손상된 음성신호 (-5dB)

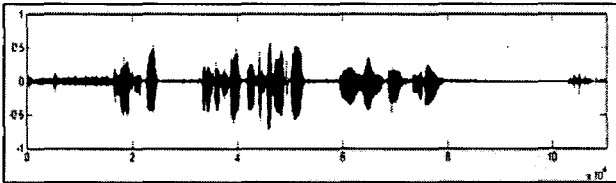


그림 9. 잡음제거기를 사용한 출력신호

잡음이 심한 환경에서의 성능을 검토하기 위해 잡음을 -15dB로 첨가하여 실험하였다. 그림 10이 잡음이 첨가된 신호이고, 그림 11이 잡음제거기의 출력신호이다.

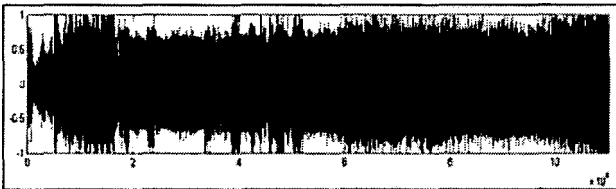


그림 10. 잡음에 손상된 음성신호 (-15dB)

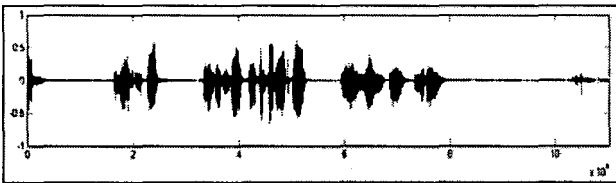


그림 11. 잡음제거기를 사용한 출력신호

실제잡음으로 실험한 결과는 아래의 표 4 과 같다.

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

표4. 실제잡음을 사용한 실험결과

4.3 실험결과

주 입력신호로 실제 음성신호와 백색잡음을 사용한 실험에서 18dB 이상의 잡음제거 효과를 확인할 수 있으며, 평균 25dB의 잡음제거 효과를 보였다. 또한 백색잡음이 아닌 특정 주파수의 실제 잡음을 사용한 실험에서도 약 20dB 이상의 성능을 확인할 수 있었으며, 평균 23.8dB의 잡음제거 효과를 보였다. SNR이 높은 신호일수록 잡음제거 효과가 뛰어났으며, 반면에 SNR이 낮을수록 적응필터의 수렴속도가 빨라짐을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 적응보상기를 갖는 적응순환필터인 ACHARF 알고리즘을 채용하여 잡음제거기의 실제 하드웨어로의 구현 가능성을 DSP 프로세서를 사용하여 검토해 보았다. 실험결과 백색잡음에서 평균 25dB, 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 실제 환경에서 두 가지 입력신호를 구분하여 받을 수 있는 기술에 관한 연구를 진행하고 있다.

참고문헌

- [1] 윤병우, 신윤기, "적응 보상기를 채용한 초안정성 적응순환 필터," 전자공학회 논문지, 제 27권, 제 3호, 1990. 3.
- [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.
- [4] Texas Instrument Inc., "TLV320AIC23B Stereo Audio CODEC," Data Manual, SLWS106H, 2004. 2.
- [5] Texas Instrument Inc., "TMS320C6000 DSP Inter-Integrated Circuit(I2C) Module," Reference Guide, SPRU175A, 2002. 10.