

TMS320C31 DSP를 이용한 음향반향제거기의 실시간 구현

Real-Time Implementation of an Acoustic Echo Canceller Using TMS320C31 DSP

장 병 옥* · 김 시 호** · 권 홍 석** · 배 건 성**

Byung Wook Jang · Si Ho Kim · Hong Seok Kwon · Keun Sung Bae

ABSTRACT

The goal of this research is the real-time implementation of an AEC (Acoustic Echo Canceller) using the floating-point digital signal processor of TMS320C31. We employ an FIR-type adaptive filter with the conventional NLMS (Normalized Least Mean Square) algorithm for the adaptation of filter coefficients. We program and optimize the system in the assembler level to make it run in real-time. With 8 kHz sampling rate, the implemented AEC requires 46 μ sec and 77 μ sec computational time per sample for 128- and 256-tap filter, respectively. It corresponds to 37% and 62% of maximum computational ability of TMS320C31 DSP.

Keywords: Acoustic Echo Canceller, AEC, Echo, DSP, TMS320C31

1. 서 론

반향이란 전송된 신호가 지연 및 왜곡 과정을 거쳐 전송단으로 되돌아오는 것을 말한다. 반향 신호의 지연시간이 일반 전화 교환망처럼 수 msec 이내인 경우에는 반향신호가 통화자의 측음(sidetone)처럼 들리므로 통화품질에 영향을 미치지 않지만 전체 지연시간이 약 36 msec보다 큰 경우에는 통화품질을 급격하게 떨어뜨리게 된다[1]. 최근에는 이동통신 단말기의 크기가 점차 소형화됨에 따라 수화기와 송화기간의 거리가 짧아짐으로써 수화기를 통한 음성이 직접 혹은 사용자의 얼굴 등에 반사되어 송화기로 되돌아가는 경우가 발생하는데, 이는 이동통신 단말기의 통화품질을 저하시키는 요인이 된다. 따라서 전송지연이 큰 통신시스템에서는 반향신호의 제거가 통화품질을 개선하기 위하여 필수적이다.

디지털 이동통신 시스템에서는 음성신호의 부호화 과정에서 생기는 지연으로 인하여 단말기 등에서 발생하는 음향반향이 통화품질을 저해하는 요인이 될 수 있다. 본 논문에서는 이동통신 단말기 등에서의 음성통화시에 발생할 수 있는 음향반향을 제거하는 음향반향제거기를 TMS320C31이 탑재된 DSP 보드(ELF SDK)상에서 구현하였다. 적응알고리즘으로는 입력신호의 전력을 반영함으로써 입력신호의 크기에 무관한 성능과 적은 계산량으로 인하여

* 삼성전자, Telecommunication Network 총괄, 통신연구소

** 경북대학교 공과대학 전자·전기공학부

실시간 구현에 널리 이용되는 NLMS 알고리즘을 사용하였으며, 동시통화(double-talk) 구간을 검출하기 위하여 주입력신호(primary input signal)와 잔차오차 신호(residual error signal)의 상호상관계수(cross-correlation coefficient)를 이용하였다. DSP 실시간 구현을 위해서 C언어를 이용하여 음향반향제거기를 구현한 후, 이를 TMS320C31 어셈블리 언어로 프로그래밍하고 최적화하는 과정이 수행되었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 NLMS 알고리즘과 음향반향제거기의 구조에 대하여 알아보고 구현된 음향반향제거기의 특징에 대하여 설명한다. 그리고 TMS320C31에서의 최적화 과정에 대해 설명을 하고 실험조건과 결과를 제시한 후 마지막으로 결론을 맺는다.

2. NLMS 알고리즘과 음향반향제거기

적용필터의 수렴속도, 계산량 등은 적응알고리즘에 의해 많이 좌우되며 일반적으로 적응필터의 성능이 우수하면 계산량도 증가한다. 따라서, 실시간 동작을 위한 응용분야에서는 입력신호의 크기에 무관한 성능을 가지면서도 계산량이 적은 NLMS 알고리즘이 적응 알고리즘으로 주로 사용된다. NLMS 알고리즘은 주입력신호와 적응필터의 출력신호 사이의 평균상승오차가 최소가 되도록 하는 LMS 알고리즘의 보완된 형태로서, LMS 알고리즘에서 수렴상수를 입력신호의 전력으로 정규화하여 입력신호의 통계적인 상관관계에 따라 수렴속도 및 수렴오차가 변하는 LMS 알고리즘의 문제점을 해결하였다. NLMS 알고리즘은 식 (1)과 같이 주어진다.

$$\widehat{\mathbf{w}}(k+1) = \widehat{\mathbf{w}}(k) + \frac{\beta e(k) \mathbf{x}(k)}{\|\mathbf{x}(k)\|^2} \quad (1)$$

여기서, $\widehat{\mathbf{w}}(k)$ 는 k 번째 샘플의 적응필터 계수, $\mathbf{x}(k)$ 는 기준입력신호, $e(k)$ 는 오차신호를 나타낸다. $\|\cdot\|_2$ 는 Euclidean norm을 의미한다. 또한 β 는 수렴속도와 수렴후의 오차를 결정하는 수렴상수로서 입력신호에 의존하지 않으며 수렴하기 위해서는 $0 < \beta < 2$ 의 범위 내에 있어야 한다[2].

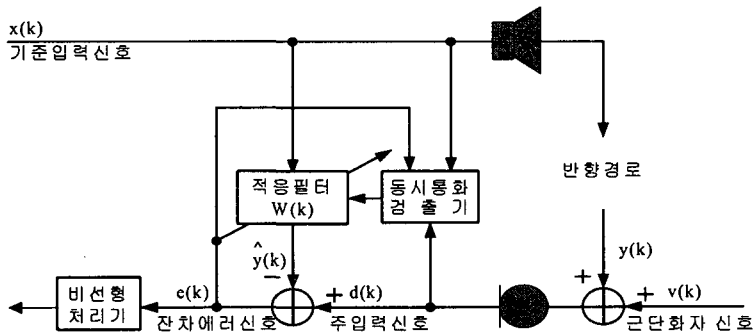


그림 1. 음향반향제거기의 구조도

그림 1은 음향반향제거기의 구조도를 나타내고 있다. 적응필터는 잔차에러신호가 최소가 되도록 기준입력신호로 반향신호를 추정하여 반복적으로 필터계수를 갱신한다. 입력신호에 근단화자 신호가 포함될 경우에는 적응필터가 반향을 제대로 추정하지 못하고 발산하므로 동시통화 검출기를 두어서 동시통화구간에서는 필터적용을 멈추게 한다. 그리고 비선형처리기(nonlinear processor)를 두어 적응필터에서 제거하지 못한 잔향(residual error)을 제거한다.

3. 구현된 음향반향제거기

그림 2는 구현된 반향제거기의 흐름도를 나타낸 것이다. 적응필터는 FIR 필터를, 적응알고리즘은 NLMS 알고리즘을 사용하였다. 비선형처리기는 잔향을 제거하기 위하여 잔차에러신호의 크기가 임의의 문턱값보다 작으면 0으로 만들고 문턱값보다 크면 문턱값만큼 차감시키는 center-clipping 방법[3]을 사용하였다.

동시통화구간의 검출을 위하여 주입력신호와 잔차에러신호의 상호상관계수를 이용하였으며, 상호상관계수의 계산에 사용되는 전력을 추정하기 위하여 그 값들을 메모리에 저장시켜야 한다. 그러나 본 논문에서는 DSP에서 사용하는 메모리의 크기를 줄이기 위하여 식 (2)와 같이 망각지수를 이용하여 매 샘플마다 전력을 추정하는 방법을 이용하였다.

$$P(k) = (1 - \alpha)P(k-1) + \alpha x^2(k) \quad (2)$$

여기서, $P(k)$ 는 신호의 전력, α 는 망각지수를 나타낸다. 본 연구에서는 α 값으로 필터계수가 128인 경우와 256인 경우에 대해 각각 1/128과 1/256을 사용하였다.

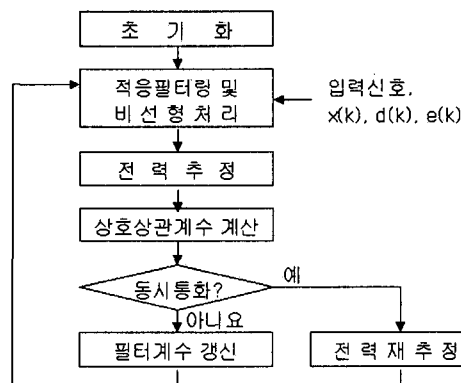


그림 2. 구현된 반향제거기의 흐름도

적응필터는 동시통화구간이 아니면 매 샘플마다 필터계수를 갱신하고 동시통화구간에서는 적응필터의 발산을 막기 위하여 필터계수의 갱신을 중단한다. 그러나 망각지수를 사용하여 신호의 전력을 추정하는 경우에는 동시통화구간의 끝점검출 지연을 초래한다. 이런 끝점

검출 지연이 이동통신 단말기와 같이 환경이 자주 변하는 경우에는 정확한 동시 통화구간의 끝점검출이 요구된다. 따라서 본 논문에서는 동시통화구간이라고 판단되면 신호의 전력을 재추정함으로써 동시통화구간의 끝점검출 지연으로 인한 성능저하를 해결하였다[4].

4. TMS320C31에서의 최적화 과정

TMS320C31은 32 비트 부동소수점 DSP로서 33.3 MFLOPS의 연산능력을 가지며 32 비트 명령어 워드와 24 비트 어드레스 버스를 제공한다. 2 개의 1k 워드 내부 RAM을 가지고 있으며 ALU 계산과 곱셈계산을 병렬로 한 사이클에 처리할 수 있다[5]. 본 연구에서는 적은 연산량으로도 동일한 결과를 얻고자 TMS320C31의 특징에 맞게 적당한 명령어들을 사용하여 크게 세 가지의 최적화 작업을 수행하였다[6].

첫 번째는 필터백업의 최적화이다. 동시통화가 시작된 후 동시통화 검출기가 시작점을 검출하기 직전에는 필터 계수가 수렴상태에서 약간 벗어난다. 따라서 수렴상태라고 판단되는 구간에서 주기적으로 활성필터(active filter)의 계수를 백업필터(backup filter)에 저장하고 동시통화구간에서는 활성필터의 계수를 백업필터의 계수에서 복원하여 사용하고 있다. 이때 활성필터의 계수를 저장시키고 복원시키기 위해서 부가적인 사이클이 사용된다. 이런 부가적인 계산량을 줄이기 위하여 포인터 변수를 사용하였다. 즉 활성필터의 계수를 백업필터에 저장하고 계수 갱신을 동시에 해야 할 경우에는 먼저 활성필터의 계수를 사용하여 갱신한 다음 갱신된 계수를 백업필터가 가리키는 주소에 저장을 한다. 그리고 활성필터와 백업필터가 가리키는 메모리의 주소를 서로 교환한 후 새로운 활성필터로 필터링을 수행하게 된다. 구현한 음향반향제거기에서 필터 백업은 512 샘플마다 수행된다. 두 번째 최적화 과정은 병렬수행 명령어를 사용함으로써 이루어진다. TMS320C31은 단일 사이클에 ALU와 곱셈기를 병렬로 처리할 수 있다. 구현된 적응 반향제거기에서 연산량의 대부분을 차지하고 있는 필터계수의 백업과 갱신 과정, 적응필터의 필터링 과정 등에 이러한 병렬수행 명령어를 사용하여 연산량을 크게 줄였다. 그리고 필터링에 사용되는 명령의 연산량을 줄이기 위하여 피연산자인 적응필터계수와 기준입력신호를 서로 다른 메모리 공간에 저장시켰다. 즉 적응필터계수는 RAM 0에 위치시키고, 기준신호입력은 RAM 1에 저장시켜서 동시에 두 개의 메모리에 접근이 가능하게 하여 단일 사이클에 명령이 수행되도록 하였다.

5. 실험 결과

5.1 구현된 음향반향제거기의 성능 평가

구현한 반향제거기의 성능을 평가하기 위하여 아래와 같이 실제 상황에서 발생할 수 있는 3 가지의 실험 조건을 정의하여 사용하였다. 사용한 음성신호는 8 kHz로 샘플링하고 16 비트로 양자화하였으며, 실험에 사용된 반향제거기에서는 128-tap의 적응필터를 사용하였다. 동시통화 검출에 사용되는 상호상관계수의 문턱값으로 0.7을 사용하였다.

- A. 동시통화구간이 존재하지 않으며 반향신호만 있는 경우
- B. 동시통화구간이 존재하지 않으며 반향신호의 경로가 바뀌는 경우
- C. 반향신호와 동시통화구간이 같이 존재하는 경우

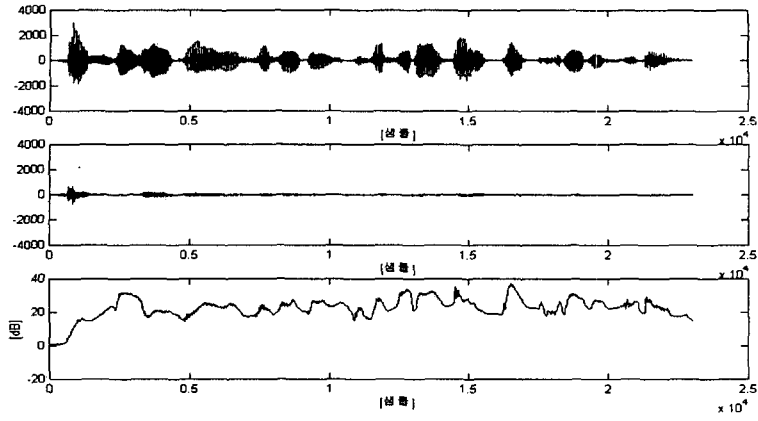
실험 A, B, C에 대한 결과를 그림 3에 나타내었다. 각 그림의 상단은 반향 신호가 있는 주입력신호를 나타내며 가운데는 반향이 제거된 잔차에러신호, 하단은 ERLE(Echo Return Loss Enhancement)를 dB로 나타내었다. 그림 3(b)의 세로줄은 반향경로가 바뀌는 지점을, 3(c)의 가로줄은 검출된 동시통화구간을 나타낸다. A의 실험 결과를 보면 알 수 있듯이 시작하는 부분에서는 적응필터가 수렴하기 이전이기 때문에 반향성분이 많이 남아있지만 수렴을 해감에 따라 점차 반향이 제거되고 ERLE도 점차적으로 증가함을 볼 수 있다. B의 경우는 반향경로가 바뀌는 지점에서는 잠시 동안 수렴상태에서 벗어나므로 반향이 다시 생기고 ERLE도 감소하지만 시간이 지남에 따라 적응필터가 바뀐 반향경로에 수렴하여 반향도 제거 되고 ERLE도 다시 증가함을 볼 수 있다. 마지막으로 동시통화구간이 있는 C의 경우에는 동시통화 구간이 끝난 직후에 ERLE가 증가하는 것을 볼 수 있으며, 청취 실험을 통해 근단화자 음성의 왜곡 없이 반향이 잘 제거됨을 확인할 수 있었다.

5.2 실시간 구현의 성능 평가

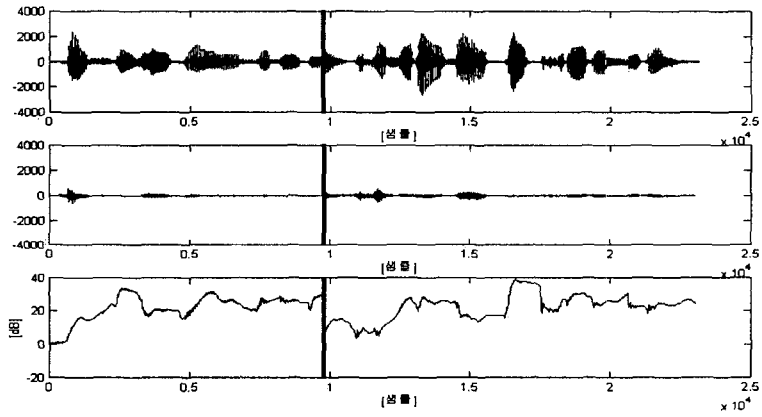
반향제거기의 실시간 동작을 확인하기 위하여 알고리즘 수행에 필요한 최대 연산량을 조사하였다. 표 1은 적응필터의 차수를 128과 256으로 하였을 경우에 대한 최대 연산량을 조사한 결과이다. 표에서 보면 알 수 있듯이 적응필터의 차수가 128인 경우에는 한 샘플당 최대 771 사이클(약 46 μsec)의 연산량이 필요하며 적응필터의 차수가 256인 경우에는 한 샘플당 최대 1,283 사이클(약 77 μsec)의 연산량이 필요함을 알 수 있다. 이때 초기화 과정은 최초에 한 번만 수행되기 때문에 최대 요구 사이클에 포함시키지 않았다. 그리고 동시통화구간의 전력 재추정 과정도 동시통화구간에서만 수행되기 때문에 최대 사이클에 포함시키지 않았다. 음신신호를 8 kHz로 샘플링할 때에 한 샘플당 125 μsec 의 처리시간이 주어지므로 실시간으로 처리됨을 확인할 수 있다.

표 1. 반향제거기에 필요한 연산량[cycles](초기화 과정 제외)

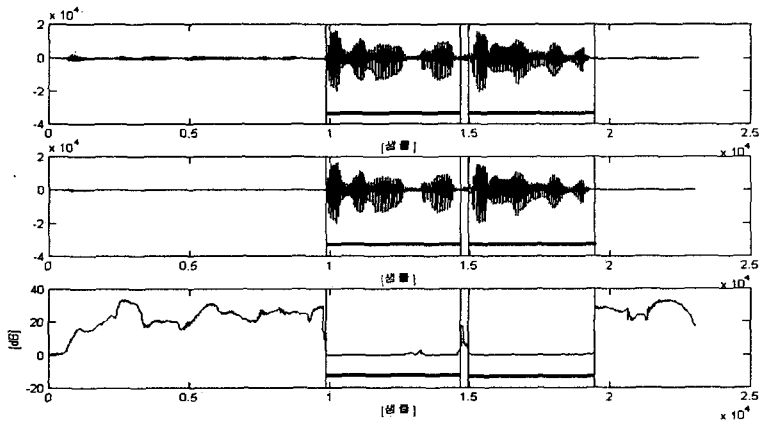
구분	128차	256차
적용필터의 필터링 과정	136	264
비선형 처리과정	18	18
전력 추정 과정	83	83
상호 상관계수 계산 과정	14	14
동시통화 구간의 전력 재추정 과정	40	40
적용필터의 갱신 과정	391	775
기타 과정	129	129
최대 사이클	771	1,283
1 샘플 처리 시간 [μsec]	46.306	77.057



(a) 실험 A에 대한 결과



(b) 실험 B에 대한 결과



(c) 실험 C에 대한 결과

그림 3. 반향제거 실험결과

6. 결 론

본 논문에서는 음향반향제거기를 TMS320C31이 탑재된 DSP 보드(ELF SDK)를 이용하여 실시간으로 구현하였다. 적응 알고리즘으로는 NLMS 알고리즘을 사용하였고 적응필터는 FIR 필터 형태를 가지며 차수는 128과 256의 두 가지를 사용하였다. 또한 주입력신호와 잔차에러신호의 상호상관계수를 이용하여 동시통화 구간을 검출하였으며, 동시통화 구간의 정확한 끝점검출을 위하여 동시통화 구간에서는 전력을 재추정하였다. 128 개의 적응필터 계수를 사용한 것은 한 샘플당 약 46 μsec 가 소요되었고 필터계수의 차수가 256인 경우에는 약 77 μsec 가 소요되었다. 8 kHz로 샘플링된 음성신호를 처리하는데 있어서, 한 샘플당 최대 125 μsec 가 주어지므로 충분히 실시간으로 동작함을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Messershmitt, David G. 1982. "Echo Cancellation in Speech and Data Transmission." *IEEE J. Selected Areas in Comm.*, Vol. SAC-2, No. 2, 283-297.
- [2] Haykin, S. 1996. *Adaptive Filter Theory*. 3rd Edition, Prentice-Hall.
- [3] ITU-T Recommendation G. 165, Echo Cancellers.
- [4] 김시호, 권홍석, 배건성. 2000. "음향반향제거기에서의 동시통화 검출 알고리즘 성능 개선." *제9회 한국음성과학회 학술발표대회 논문집*, 81-86.
- [5] Texas Instruments. 1997. *TMS320C3x User's Guide*.
- [6] Texas Instruments. 1997. *TMS320C3x/4x Assembly Language Tools User's Guide*.
- [7] Atlanta Signal Processors Inc. 1996. *Elf Software Development's Kit User's Guide*.

접수일자: 2002. 7. 19.

게재결정: 2002. 8. 30.

▲ 장병욱

경기도 수원시 팔달구 매탄3동 416번지 삼성전자주식회사 (우: 442-742)
 삼성전자, Telecommunication Network 총괄, 통신연구소
 Tel: +82-31-279-5539
 E-mail: bw.jang@samsung.com

▲ 김시호

대구광역시 북구 산격3동 1370번지 (우: 702-701)
 경북대학교 전자·전기공학부
 Tel: +82-53-940-8627
 E-mail: si5@mir.knu.ac.kr

▲ 권홍석

대구광역시 북구 산격3동 1370번지 (우: 702-701)

경북대학교 전자·전기공학부
Tel: +82-53-940-8627
E-mail: hskwon@mir.knu.ac.kr

- ▲ 배진성
대구광역시 북구 산격3동 1370번지 (우: 702-701)
경북대학교 전자·전기공학부
Tel: +82-53-950-5527
E-mail: ksbae@ee.knu.ac.kr