

論文2000-37TE-12-5

# CDMA 이동통신 망에서의 반향제거기 구현에 관한 연구

## (A Study on the Realization of Echo Canceller in CDMA Mobile Communication Networks)

劉泰勳\*, 朴光哲\*, 李允熙\*\*, 金基斗\*

(Tae-Hoon Yoo, Gwang-Chul Park, Youn-Hee Lee, and Ki-Doo Kim)

### 요약

CDMA 방식의 디지털 셀룰러 시스템은 아날로그 방식에 비해 깨끗한 음질을 제공하지만 음성코딩과 전송과정에서 지연이 발생하고 BSC 및 PSTN과의 인터페이스에 의해서 반향이 발생된다. 본 논문에서는 Block Update NLMS 알고리즘을 TMS320C54X DSP에 적용하여 실시간 구현함으로써 반향제거기의 성능개선을 도모하였다. 제안한 방식을 실제로 단말기 내부에 적용하여 다양한 형태의 반향(LE, ESE, AE)을 더욱 정확히 제거할 수 있도록 하였고, 또한 반향경로의 변화에도 반향제거기의 성능을 최대화하기 위하여 VAD를 이용한 지연의 변화 검출과 이 지연을 버퍼에 적용 할 수 있는 구조를 설계하였으며, 동시통화 검출기를 두어 동시통화나 반향경로가 변화하여도 이를 최소의 오차로 판단해낼 수 있게 하였다.

### Abstract

The CDMA digital cellular systems provide better voice quality than analog systems, however there exists inherent delays due to speech coding and transmission processing, which brings echoes returned by the BSC and PSTN interface. In this paper, we show the performance improvement of a proposed echo canceller by real time implementation, where Block Update NLMS algorithm is applied into the TMS320C54X DSP. By applying the proposed method into the practical mobile phone, we verify that various types of echoes (LE, ESE, AE) may be removed more precisely. We also cope with echo path change resulting from change of delay length after taking VAD to find echo path delay.

### I. 서론

정보화 사회의 발전과 더불어 빠르게 진행되고 있는 통신수단의 발전은 기존의 유선통신 개념으로부터 무

선통신 개념으로 발전하였다. 무선통신 중 AMPS 방식의 아날로그 핸드폰에서 현재는 CDMA 방식의 디지털 핸드폰으로 발전하였다. 현재 상용화되어 있는 CDMA 방식의 이동통신 시스템은 아날로그 방식에 비해 깨끗한 음질을 제공하지만 BSC와 PSTN 및 BSC간의 접속에서 반향이 발생되어 음질의 저하뿐만 아니라 CDMA 이동통신 시스템에서 사용되는 QCELP 방식이나 EVRC 방식의 가변 음성 부호기(vocoder) 성능에도 막대한 영향을 미친다. 이 가변 음성 부호기는 입력신호에 의하여 전송률(rate)을 조절하게 되는데 반향신호와 같은 불필요한 신호의 입력이 있을 경우 제대로된 가변 음성부호기의 성능을 낼 수 없으므로 CDMA 이동

\* 正會員, 國民大學校 電子工學部  
(Dept. of Electronic Engineering, Kook-Min Univ.)

\*\* 正會員, 金浦大學 電子情報系列  
(School of Electrical Engineering, Kimpo College)

※ 본 연구는 1997년도 한국학술진흥재단의 대학교수 해외파견 연구지원에 의하여 수행되었음  
接受日字:2000年9月28日, 수정완료일:2000年10月30日

통신 시스템에서 반향제거기는 꼭 필요하게 되었다. 또한 음성 부호화(vocoding)와 전송과정에서 55[ms] 이상의 지연이 발생하고 이로 인해 반향을 제거하기가 더욱 힘들어 졌다.<sup>[1]</sup> 반향을 제거하는 방법에는 여러 방법이 제시되어 있으나 본 논문에서는 적응 알고리즘을 이용한 필터링 방법과 버퍼를 이용한 지연시간 추정 방법의 방법으로 제거하고자 한다. 이는 반향경로를 매시간 추정하여 새로 생성된 반향 성분만을 없애주는 방법으로, 기존의 다른 방법들에서 발생하는 통화의 부자연성 또는 음질의 저하 등이 현저히 줄어들기 때문에 반향 문제를 해결할 수 있는 궁극적인 방법이다. 또한 VAD(Voice Activity Detector)를 이용하여 지연의 길이를 알아내어 지연의 길이가 변화하는 반향경로의 변화에도 대처가 가능하도록 하였다.

적응 알고리즘을 이용한 필터링 방식은 응용하고자 하는 주변환경에 대한 구체적인 정보 없이, 매순간 추정오차의 임의의 함수형태, 즉 비용함수가 최소화되도록 스스로 필터 계수를 조절하여 최적치를 찾아내는 방식이다. 이때 사용되는 적응 알고리즘은 비용함수의 선택에 따라 다양한 모습을 갖는데, 가장 널리 사용되는 적응 알고리즘은 적은 연산량으로 높은 효율을 나타내는 LMS(Least Mean Square) 알고리즘이 있다. 하지만 LMS 알고리즘은 동시통화가 발생할 경우는 계수가 발산하여 오히려 좋지 못한 결과를 초래할 수 있다. 그리고 음성신호의 전력은 넓은 범위를 갖기 때문에 LMS 알고리즘은 효율적이지 못하다.<sup>[2]</sup> 본 논문에서는 LMS, 그리고 LMS 알고리즘을 기본으로 하는 NLMS(Normalized LMS) 및 Block Update NLMS 알고리즘을 Texas Instrument사의 DSP(Digital Signal Processor)인 TMS320C54X에 적용하여 실시간 구현함으로써 각 적응 알고리즘의 성능을 비교하고, 또한 실제 CDMA 방식의 이동통신 시스템에 이용될 수 있도록 하였다. 제안한 반향제거기 시스템은 CDMA 셀룰러 시스템뿐만 아니라 PCS에도 마찬가지로 적용할 수 있으나, 편의상 용어를 CDMA 이동통신 시스템으로 통일하기로 한다. 그림 1은 CDMA 셀룰러 시스템에서의 반향 발생 경로와 TMS320C54X EVM 보드를 이용한 반향제거기의 블록도를 보여준다. 기존의 반향제거기는 통신 교환기 내부에 설치되어 있었으나, 본 논문에서 제안하는 방식은 실제로 단말기 내부에 적용함으로써 CDMA 이동통신 시스템에서 발생할 수 있는 LE(Line Echo) 및 ESE(Ear Seal Echo) 그리고 AE(Acoustic

Echo)도 더욱 정확히 제거할 수 있다는 장점을 가진다.

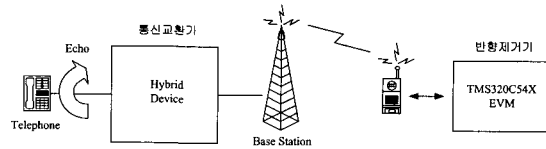


그림 1. 반향경로와 반향제거기  
Fig. 1. Echo path and echo canceller.

## II. 반향경로와 반향제거 알고리즘

### 1. 반향의 종류

반향은 다양한 경로를 통해 발생할 수 있으나 본 논문에서는 CDMA 이동통신 시스템 환경에서 발생할 수 있는 반향들에 대해서만 고려하도록 하였다. CDMA 이동통신 시스템 환경에서 발생할 수 있는 반향은 크게 LE, ESE, AE의 세 가지로 나눌 수 있으며 이 세 가지 반향 신호에 대한 각각의 특징과 발생경로는 다음과 같다.

#### 1) LE(Line Echo)

LE는 일반적으로 BSC와 PSTN 및 BSC간의 접속에서 발생하는 반향으로서 하이브리드 접속으로 인한 임피던스 부정합에 의하여 발생한다. 임피던스 부정합은 상대방으로부터 들어오는 음성을 왜곡, 지연시키고 음성신호를 원단화자에게 다시 반향 시킴으로써 통화 품질 저하의 원인이 된다. 물론 전송경로의 지연이 짧은 경우 반향된 음성신호는 문제가 되지 않는다. 그러나 CDMA 이동통신 시스템에서는 음성 코딩과 전송과정에서 55[ms] 이상의 지연이 발생함에 따라 반향은 더욱 제거하기 어려워졌다.

#### 2) ESE(Ear Seal Echo)

ESE는 근단화자측 단말기 내부 경로를 통해 원단화자가 말한 음성을 다시 듣게 되는 것을 말한다. 이는 단말기 내부의 전원부 등을 통하여 스피커 단에서 마이크로폰 단으로 음성신호가 흘러 들어가서 생기는 현상으로 단말기 제조 기술에 따라 많은 차이를 보인다.

#### 3) AE(Acoustic Echo)

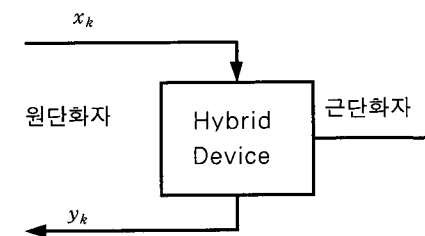
AE는 차안이나 집안 같은 좁은 공간에서 통화시에 원단화자의 음성이 근단화자의 수화기를 통하여 나올 때 근단화자의 환경으로 인하여, 예를 들면 벽면 등에 부딪힌 후 다시 원단화자로 돌아와 원단화자가 자신의

음성을 다시 수화기를 통해 듣게 되는 반향으로서 특히 차량용 핸드프리(스피커폰) 이용시 통화품질의 심각한 저하를 초래한다. 반향의 발생경로는 ESE와 거의 유사하지만 벽면을 부딪혀 돌아오는 음성신호를 다시 듣는 것이기 때문에 지연되는 시간이 길어 더욱 제거하기 힘들어진다.

2. 반향제거의 원리와 알고리즘

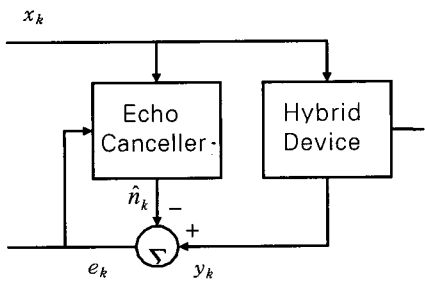
1) 반향제거의 원리

반향제거의 일반적인 개념은 반향신호와 반향된 신호를 추정한 추정신호의 차이가 최소가 되도록 만드는 것이다. 그림 2(a)는 원단화자로부터 신호  $x_k$ 를 수신하고, 하이브리드에서 발생한  $x_k$ 의 반향신호  $y_k$ 가 원단화자로 전송되어 반향이 발생됨을 보여준다. 따라서 원단화자에서 보면 반향으로 인하여 시간 지연이 된 자신의 소리를 듣게 되는 것이다. 이러한 반향은 일 반잡음 이상으로 통화품질을 떨어뜨리게 되고 가변 음성부호기의 성능에 막대한 영향을 주므로 그림 2(b)와 같이 반향제거기를 사용해 추정된 반향신호로써 반향신호를 제거하면 된다. 즉 반향신호  $y_k$ 에서 추정반향신호  $\hat{n}_k$ 를 빼면 오차신호  $e_k$ 가 남게 되고, 반향제거기는



(a) 반향발생

(a) Echo generation



(b) 반향제거기

(b) Echo canceller

그림 2. 반향발생과 반향제거기  
Fig. 2. Echo generation and echo canceller.

$e_k$ 를 이용하여 적응필터의 계수를 그때의 상황에 맞게 수정하여 반향을 제거시킨다. 이때 만약 근단화자신호와 원단화자신호가 동시에 존재하는 동시통화가 발생한다면, 근단화자신호가 추정오차에 포함되어 존재하므로 필터계수를 발산시킨다. 그러므로 필터계수의 적용은 동시통화 순간에는 중단되어야 하고, 오직 원단화자신호만 존재하고 근단화자신호가 존재하지 않는 동안에만 이루어져야만 하는데, 이는 곧 빠르고 정확한 동시통화 검출기가 반드시 필요함을 의미한다.<sup>[3]</sup>

2) Normalized LMS 알고리즘<sup>[4]</sup>

LMS 알고리즘의 수렴속도는 스텝 사이즈(step size)라 불리는 수렴상수  $\mu$ 값에 의해 많은 영향을 받으며, 또한  $\mu$ 값은 시스템의 안정도와도 직접적인 관련을 가지고 있다. 그리고 입력 음성신호가 동적 범위가 큰 파워를 가질 경우 수렴상수  $\mu$ 값을 고정시키는 것은 시스템의 성능을 저하시키는 요인이 될 수 있다. 따라서 이를 극복하기 위한 방법으로 NLMS 알고리즘이 자주 사용된다. 식 (1)은 NLMS 알고리즘의 수렴상수  $\mu_N$ 을 나타낸다.

$$\mu_N = \frac{\mu}{p_k} \tag{1}$$

여기서,  $p_k$ 는  $k$ 번째 입력 신호의 파워이다. 입력신호의 파워는 식 (2)에 따라 반복적으로 계산된다.

$$p_{k+1} = (1 + a)p_k + \alpha x_k^2 \tag{2}$$

여기서  $a$ 는 1보다 작은 양의 상수로서 망각인자(forgetting factor)라고 한다.

식 (1)에서 볼 수 있는 바와 같이 수렴상수  $\mu_N$ 은 매 샘플마다 그 값이 적절한 값으로 바뀌게 된다. 따라서 NLMS 알고리즘은 식 (3)과 같이 표현된다.

$$W_{k+1} = W_k + 2\mu_N e_k X_k \tag{3}$$

3) Block Update NLMS 알고리즘<sup>[5]</sup>

Block Update NLMS 알고리즘은 NLMS 알고리즘에 기반을 둔 알고리즘으로 NLMS 알고리즘보다 초기수렴속도가 빠르다는 장점을 가지고 있다. Block Update NLMS 알고리즘은 식 (4)로 나타낼 수 있다.

$$W_{k+1+M} = W_k + 2\mu_N \sum_{m=0}^{M-1} e_{k+M-m} X_{k+M-m} \tag{4}$$

식 (3)의 NLMS 알고리즘식과 식 (4)의 Block Update NLMS 알고리즘식을 비교해 보면 NLMS 알고리즘식은 다음에 갱신할 필터 계수를 현재 샘플의 입력값과 오차값을 이용해 계산하는 방식인 반면에 Block Update NLMS 알고리즘은 Block Size를 M이라 할 때 다음에 갱신할 필터계수를 현재 샘플부터 이전 M-1개까지의 입력값과 오차신호로써 추정하여 계산하는 방식이다. 이는 적응필터의 수렴속도 향상을 가져오고 입력값의 변화가 큰 경우에서 좋은 수렴성능을 보여준다. 그러나 상대적으로 연산량이 많고 메모리의 용량이 더 많이 필요하다.

### III. 반향제거기의 설계

기존의 반향제거기는 입력신호를 기준으로 반향을 추정하는 방식이나, 본 논문에서는 버퍼를 입력에 두어 입력신호와 반향신호의 입력시간 차이를 줄이는 방식으로 반향을 제거하도록 하였다. 또한 적응필터와 고정필터 2개의 필터를 두어 적응필터가 발산할 위험이 발생할 경우에는 고정필터를 사용함으로써 개선된 성능의 반향제거기를 설계하였다. 그림 3은 제안한 반향제거기의 구조를 보여준다.

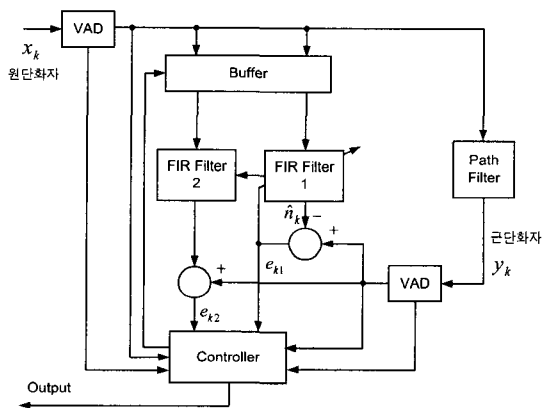


그림 3. 제안한 반향제거기의 구조  
Fig. 3. The structure of proposed echo canceller.

본 논문에서 제안한 반향제거기는 FIR 필터 1(적응필터)과 FIR 필터 2(고정 필터)를 포함하며, 컨트롤러로써 FIR 필터 1과 FIR 필터 2 사이의 계수 갱신 및 버퍼를 제어하도록 한다. 그리고 입력단에 버퍼를 두어 원단화자 입력신호와 근단화자에서 들어오는 반향신호

의 지연 길이를 줄여 반향을 제거하는 역할을 하도록 하며, VAD를 이용하여 원단화자 입력단과 근단화자로부터 들어오는 반향신호 입력단과의 지연길이를 찾아내어 이를 버퍼에 적용함으로써 지연의 길이가 변화하는 반향경로의 변화에도 대처하도록 하였다.

#### 1. FIR 필터 1

FIR 필터 1은 적응 알고리즘을 이용하여 계수를 갱신하는 역할을 하게 된다. 구조가 간단하고 구현이 용이한 트랜스버설형 FIR 필터를 사용하여 DSP에 적용시 메모리 용량이 격자형 구조에 비해 상대적으로 적으므로 굳이 외부 메모리를 사용하지 않더라도 구현이 용이하도록 한다. 또한 TMS320C54X를 이용할 경우 FIR 필터에 대한 전용 명령어가 있어 적은 연산량으로 구현할 수 있다. FIR 필터 1에 LMS 알고리즘, NLMS 알고리즘, 그리고 Block Update NLMS 알고리즘을 각각 적용하여 그 결과를 비교 분석한다.

#### 2. FIR 필터 2

FIR 필터 2는 고정필터로서 동시통화나 반향경로의 변화가 발생할 경우 FIR 필터 1의 계수를 받아서 연산하고 그 결과인  $e_{k2}$ 가 컨트롤러를 통해 출력된다. FIR 필터 1과 FIR 필터 2는 일반적인 경우, 반향경로의 변화가 발생하였을 경우, 그리고 동시통화가 발생하였을 경우에 대해 각각 다르게 작동한다. 일반적인 경우는 항상 FIR 필터 1의 반향 추정신호와 반향신호를 뺀  $e_{k1}$ 이 컨트롤러를 통해 출력된다. 동시통화의 경우는 적응필터의 필터계수가 발산할 위험이 있기 때문에 항상 FIR 필터 2의  $e_{k2}$ 로 출력을 내보낸다. 그러나 반향경로의 변화가 발생할 경우는 FIR 필터 1과 FIR 필터 2중에 ERLE(Echo Return Loss Enhancement) 값이 높게 나오는 필터를 출력 필터로 사용한다. FIR 필터 2에도 FIR 필터 1과 마찬가지로 트랜스버설형 구조가 사용된다. 표 1은 FIR 필터 1과 FIR 필터 2의 각 경우에 따른 동작 여부를 보여준다.

표 1. FIR 필터 1과 FIR 필터 2의 동작 여부  
Table 1. The operation of FIR filter 1 and FIR filter 2.

	일반적인 경우	동시통화	반향경로의 변화	동시통화 & 반향경로의 변화
FIR 필터 1	○	×	○	×
FIR 필터 2	×	○	○	○

### 3. 컨트롤러(Controllor)

컨트롤러는 FIR 필터 1과 FIR 필터 2의 출력에 대한 각각의 ERLE 값을 계산한다. FIR 필터 1의 ERLE 계산과 VAD의 결과를 통해 동시통화의 여부를 판별할 수 있는 동시통화 검출기를 컨트롤러 내부에 두어 동시통화가 발생하였을 경우 동시통화가 발생하기 전의 FIR 필터 1 필터 계수를 FIR 필터 2로 갱신할 수 있도록 하는 역할을 한다. 또한 반향경로가 변화하였을 경우는 VAD에서 검출해낸 지연만큼 버퍼의 메모리를 조절한다. 동시통화시와 마찬가지로 정상상태일 때의 FIR 필터 1 계수값을 FIR 필터 2에 넘겨주어 반향경로의 변화시에도 ERLE 값이 계속 정상상태를 유지할 수 있도록 한다. 다음 그림 4는 동시통화 검출기의 동작 순서도를 보여준다.

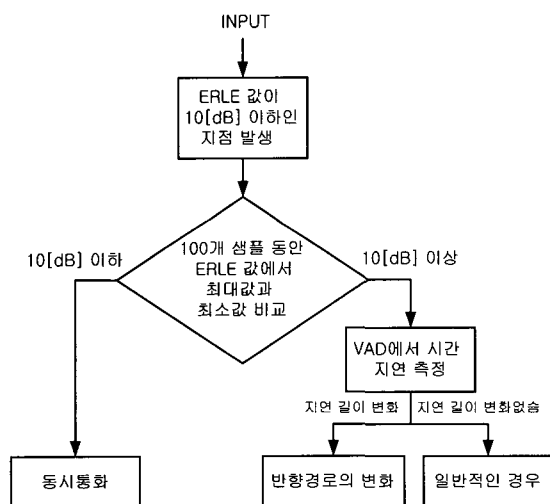


그림 4. 동시통화 검출기의 동작 순서도  
Fig. 4. The operation flow-diagram of double-talk detector.

본 논문에서는 ERLE값을 이용한 동시통화 검출기를 제안하였다. ERLE 값을 이용한 동시통화 구분 방법은 적응필터가 오차가 작은 수렴상태에서, 적절한 ERLE 값을 유지하다가 동시통화일 경우에 급격히 떨어진 값을 동시통화가 끝날 때까지 유지하는 동시통화의 특성을 이용하며 ERLE 값이 10[dB] 이하로 떨어지는 지점에서 최초의 값에서 100개 샘플 동안의 최소값과 최대값의 차이가 10[dB]이내가 되면 동시통화로 간주하고 그 외의 경우는 VAD의 값과 비교하여 지연의 변화가 있으면 반향경로의 경우로 간주하며, 나머지 경우는 일

반적인 경우로 구분한다. 이 방법은 단순히 ERLE 값만으로 동시통화와 반향경로의 변화를 판단하는 방법보다 더 정확한 판단이 가능하지만 VAD가 오차가 발생할 경우는 오판을 할 가능성이 있다.

### 4. 경로 필터(Path Filter)

경로 필터는 FIR 필터를 이용하여 반향경로를 모델링한 것이다. 반향경로의 변화를 시뮬레이션하기 위하여 식 (5)와 (6)의 임펄스 응답 두 가지를 사용하였다. 반향경로가 변화할 경우 임펄스 응답  $h_1(i)$ 을  $h_2(i)$ 로 바꾸어 준다.

$$h_1(i) = \begin{cases} r(i) \times 0.4 \times e^{(-0.027 \times i)} & , 1 \leq i \leq 150 \\ 0 & , \text{그 외} \end{cases} \quad (5)$$

$$h_2(i) = \begin{cases} r(i) \times 0.2 \times e^{(-0.023 \times i)} & , 1 \leq i \leq 150 \\ 0 & , \text{그 외} \end{cases} \quad (6)$$

여기서  $r(i)$ 는 평균이 1, 표준편차가 0.13인 가우시안 노이즈이다.

### 5. 버퍼(Buffer)

버퍼는 입력신호와 반향신호의 지연 차이를 줄여 반향제거기의 성능을 개선하고자 한 부분이다. 따라서 반향신호의 지연 길이를 만큼 버퍼의 메모리 크기를 설정하여 입력신호와 반향신호의 지연 차이를 줄여 반향신호를 제거하도록 하였다. 이때 초기 설정한 버퍼의 메모리 크기는 400 샘플이다. Block Update NLMS 알고리즘의 경우 실험결과 약 250 샘플에서 적응필터의 수렴이 끝나고 반향신호는 55[ms]<sup>[1]</sup>(440 샘플)의 지연이 발생하므로 본 논문에서는 400 샘플로 하였다. 반향경로의 변화시에는 반향의 지연 길이가 변하므로 이때는 VAD를 이용하여 지연 길이를 측정하고 이를 버퍼에 적용함으로써 메모리의 크기를 가변 시켜 입력신호와 반향신호의 지연 차이를 최소화하도록 하였다. 버퍼에는 입력신호의 샘플 값과 각 샘플에 대한 FIR 필터 1의 계수와 ERLE 값을 가지게 된다. 이때 필터의 계수와 ERLE 값은 반향경로의 변화와 동시통화 시에도 제안한 반향제거기의 성능을 유지하기 위해 사용된다.

### 6. VAD (Voice Activity Detector)

VAD는 해당 프레임에 음성이 포함되어 있는지의 여부를 판단하는 역할을 한다. 입력신호의 단구간 에너지(short-time energy)를 이용하여 기준 값을 알아내고 이 기준 값보다 큰 부분은 음성 구간이고, 작은 부분은

목음 구간으로 판단한다. VAD를 원단화자의 입력단과 근단화자로부터 들어오는 반향신호 입력단에 둠으로써 원단화자에서 들어오는 원신호와 근단화자로부터 들어오는 반향신호의 차이를 계산하여 그 길이를 버퍼에 적용한다. 시간에 따른 프레임의 에너지 변화를 관찰하기 위해 한 프레임의 길이는 10~20[ms]의 범위인 16[ms]로 하였으며 16[ms]에 해당하는 샘플의 개수는 128이다.<sup>[6]</sup> 따라서 한 프레임인 128 샘플 이내의 오차가 발생할 경우는 지연 길이가 변화하지 않는 것으로 판단한다. VAD에서 음성신호와 반향신호의 시작 부분을 구하는 과정은 다음 그림 5와 같다.

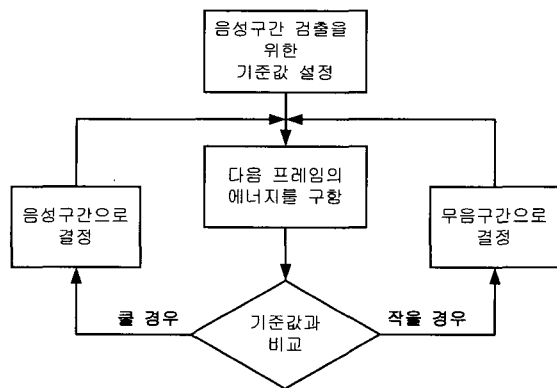


그림 5. VAD의 음성 시작점 검출 과정  
Fig. 5. The detection procedure of voice starting point in VAD.

VAD는 그림 5와 같은 과정을 반복하면서 입력을 음성 구간, 목음 구간으로 판별한다. VAD는 동시통화시에는 작동하지 않는데 근단화자로부터 들어오는 신호에 음성성분이 합쳐져서 들어오기 때문에 반향성분과 구별할 수 없기 때문이다. 원단화자의 VAD에서 음성의 시작점을 검출 후에 근단화자로부터 들어오는 반향신호에서 지연이 200[ms]가 지나도록 반향신호의 시작점을 찾지 못할 경우에는 반향신호가 없는 것으로 간주한다.

#### IV. 실시간 반향제거기의 구현

1. TMS320C54X DSP를 이용한 실시간 반향제거기의 구현

최적의 실시간 반향제거기를 구현하기 위해서는 다음의 두 가지 조건을 만족하도록 설계하여야한다. 첫째,

반향 성분이 길게 존재하는 환경에서도 동작하기 위해서는 많은 필터 탭 수를 사용해야 하므로 실시간 처리가 가능하도록 연산량이 적은 적응 알고리즘을 채택해야 한다. 둘째, 시간에 따라 빠르게 변하는 반향경로를 추적하기 위해서는 빠른 수렴특성을 갖는 알고리즘을 택해야 한다.

본 논문에서는 LMS 계열의 NLMS 알고리즘과 Block Update NLMS 알고리즘을 적용함으로써 반향경로의 변화시에도 빠른 수렴특성을 얻을 수 있었다. 입력력은 8[KHz]로 샘플링된 신호를 사용하였으며 필터의 탭 수는 NLMS 알고리즘과 Block Update NLMS 알고리즘을 각각 적용하였을 경우 동일한 환경 내에서 수렴특성 및 성능을 비교하기 위해 모두 256으로 정하였다.

##### 1) 실시간 반향제거기의 구성

제한한 알고리즘을 직접 TMS320C54X DSP를 이용하여 구현하기 전에 Texas Instrument사에서 제공하는 PC에서의 TMS32054X용 Code Composer를 이용하여 어셈블리어로 코딩 후 시뮬레이션하여 반향제거기의 동작을 예측하였고, 이 시뮬레이션을 바탕으로 TMS 32C54X EVM(Evaluation Module) 보드를 사용하여 실제로 개발환경을 구축하였다. TMS320C54X의 EVM 보드는 ADC, DAC인 TCL320AC01C가 탑재되어 있으며, ADC와 DAC 모두 14비트 양자화 레벨을 가진다. 출력 데이터의 포맷은 2의 보수(complement)이며, 입력력 단에는 LPF가 내장되어 있다.<sup>[7]</sup>

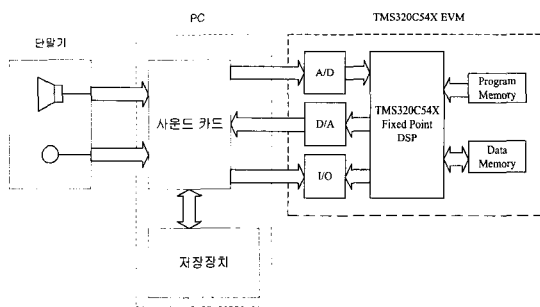


그림 6. DSP를 이용한 실시간 반향제거기의 블록도  
Fig. 6. The block diagram of real-time echo canceller using DSP.

그림 6은 TMS320C54X 고정소수점 DSP를 이용한 실시간 반향제거기의 블록도이다. 전체적인 실험과정은 PC에 단말기로부터 원단화자신호와 반향신호에 근단화

자신호가 더해진 신호를 사운드 카드를 통하여 저장장치에 PCM 방식으로 녹음하고, 이 신호가 TMS 320C54X EVM 보드의 ADC로 입력되어 디지털신호로 변환된다. 변환된 디지털신호를 DSP에서는 제안한 반향제거기의 구조를 이용해 반향을 제거하게 된다. 반향을 제거한 후의 오차신호는 다시 EVM 보드의 DAC를 통해 아날로그 신호로 변환된 뒤 PC의 사운드카드를 통하여 PCM 방식으로 녹음되어 저장된다. 또한 반향제거 과정에서 DSP에서 계산되어진 ERLE 값은 I/O 인터페이스부로 PC에 저장하여 반향제거기의 성능을 확인할 수 있도록 하였다.

## V. 실험 및 결과

본 논문에서는 실험 방법을 세가지로 하였다. 먼저 알고리즘에 대한 실험(5.1절)과 구조에 대한 실험(5.2절), 그리고 실제 CDMA 환경에서 음성 샘플을 이용한 실험(5.3절)은 CDMA 단말기를 통해 나온 샘플을 이용해 앞에서 거친 알고리즘 및 구조에 대한 실험결과를 바탕으로 실시간 구현을 한 것이다. 실험은 모두 동일한 조건인 8[KHz]로 샘플링된 입력신호와 필터의 탭수는 256으로 하였다.

본 논문에서는 정상상태와 다르게 반향경로의 변화와 동시통화 같은 다른 조건이 발생하여도 적은 연산량으로 좋은 성능의 반향제거기를 구현하도록 하였으며, 이때 반향경로의 변화가 발생하였을 경우 적은 필터의 탭 수로도 좋은 성능을 보이도록 지연을 검출할 수 있는 VAD와 이를 적용할 수 있는 버퍼를 사용하였다.

VAD는 지연 검출시에 최대 128 샘플(16[ms])의 오차를 발생시킬 수 있으며, 이때 필터의 탭 수를 256탭으로 정하면 32[ms]까지의 오차가 생기더라도 반향을 제거할 수 있으므로 VAD 오차를 고려하여 가장 적게 사용할 수 있는 필터의 탭 수를 256으로 정하였다.

### 1. 알고리즘에 대한 시뮬레이션 결과

최적의 실시간 반향제거기를 실현하기 위해서는 다음의 두 가지 조건을 만족하도록 설계하여야 한다. 첫째, 실시간 처리가 가능하기 위해서는 연산량이 적은 적응 알고리즘을 사용해야 한다. 둘째, 시간에 따라 빠르게 변하는 반향경로를 추적하기 위해서는 빠른 수렴특성을 갖는 알고리즘을 택해야 한다.

본 논문에서는 LMS 알고리즘, NLMS 알고리즘과 Block Update NLMS 알고리즘을 적용하여 각 알고리즘의 수렴특성을 비교 분석하였다.<sup>[8, 9]</sup>

### 1) LMS 알고리즘을 적용한 경우

그림 7은 반향제거기가 적응 필터에서 LMS 알고리즘을 사용하였을 경우 입력을 통해 들어온 반향 신호와 적응필터의 출력신호의 차, 즉 오차 신호를 보여준다. 적응 필터의 계수가 시간이 지남에 따라 점차 오차 신호가 감소하여 2000 샘플 포인트 전에서 수렴하는 것을 볼 수 있다. 이는 적응 필터인 FIR 필터 1의 오차 신호를 보인 것이다.

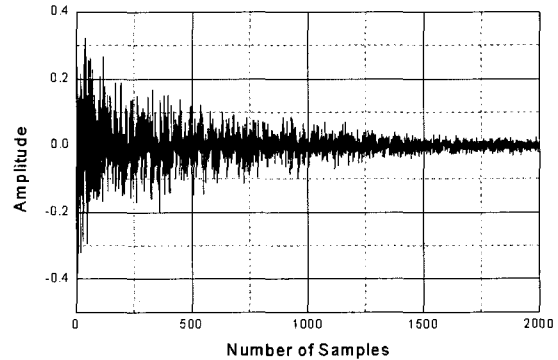


그림 7. LMS 알고리즘의 경우 오차신호  
Fig. 7. The error signal in LMS algorithm.

### 2) NLMS 알고리즘을 적용한 경우

그림 8은 NLMS 알고리즘을 사용하였을 경우의 오차 신호를 보여준다. LMS 알고리즘을 사용하였을 경우와 비교하여 보면 NLMS 알고리즘의 경우는 수렴시간이 약 500 샘플 정도로 LMS 알고리즘에 비하여 1500

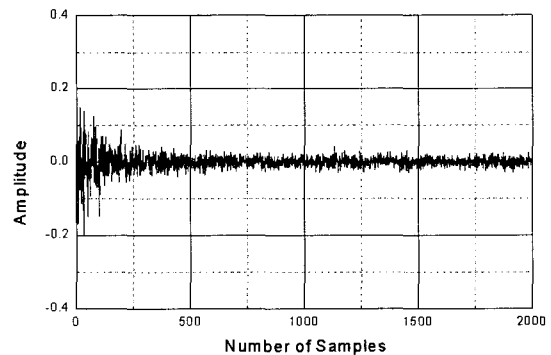


그림 8. NLMS 알고리즘의 경우 오차신호  
Fig. 8. The error signal in NLMS algorithm.

샘플 정도 짧아진 것을 볼 수 있다. NLMS 알고리즘을 사용한 경우에는 스텝사이즈의 변화로 인하여 수렴시간이 더욱 단축된 것이다.

3) Block Update NLMS 알고리즘을 적용한 경우

그림 9는 Block Update NLMS 알고리즘을 적용한 경우의 오차 신호를 보여주며, 이때 블록 사이즈는 8 샘플로 하였다. 오차 신호가 NLMS 알고리즘을 적용한 경우의 약 1/2에 해당하는 250 샘플 포인트 근처에서 정상상태에 도달하는 것을 알 수 있다.

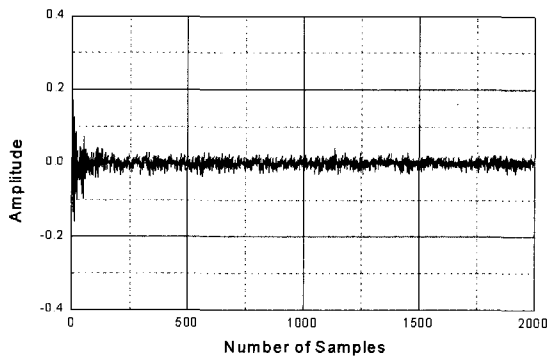


그림 9. Block Update NLMS 알고리즘의 경우 오차 신호

Fig. 9. The error signal in Block Update NLMS algorithm.

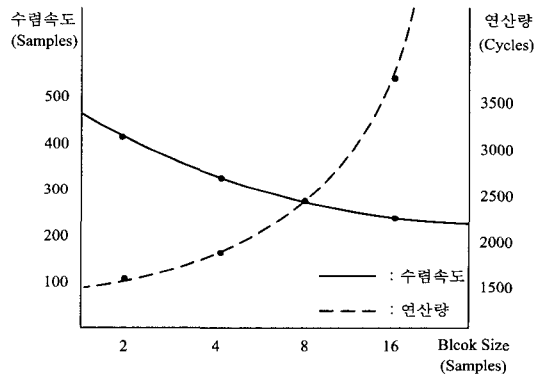


그림 10. Block Update NLMS 알고리즘의 블록사이즈 변화에 따른 수렴속도와 연산량의 비교

Fig. 10. The comparison of convergence speed and computation complexity by variation of block size of Block Update NLMS algorithm.

Block Update NLMS 알고리즘의 경우 블록 사이즈를 크게 잡으면 더욱 좋은 수렴성능을 보이지만 반면에 연산량이 증가하므로 본 논문에서는 실험결과 적정

수준인 8 샘플로 설정하였다. 그림 10은 Block Update NLMS 알고리즘의 블록 사이즈의 증가에 따른 수렴속도와 연산량을 보여준다. 표 2는 Block Update NLMS 알고리즘을 이용하여 반향제거기를 구현할 때 필요한 메모리 사이즈와 연산량을 나타낸다.<sup>[5]</sup> 여기서 N은 필터의 탭 수이고, M은 Block Update NLMS 알고리즘의 경우 블록 사이즈이다. 코드 사이즈(code size)의 단위는 바이트(byte)이고, 워드 사이즈(word size)는 메모리 사이즈를 나타내며 단위는 워드(2 바이트)이다.

Block Update NLMS 알고리즘은 FIR 필터링 처리부분과 알고리즘 처리부분, 두개의 모듈로 나누었고, LMS와 NLMS 알고리즘의 경우에는 같은 모듈 안에 코딩하였다.

표 2. 반향제거기 구현에 필요한 메모리 사이즈 및 연산량

Table 2. Memory size and computation complexity needed to implement echo canceller.

	Module	Description	Code Size	Cycle	Word Size
Block Update NLMS	FIR	convolution	17	M+25	N
	Block Update NLMS	adaptation	60	2M+N/2(M+10)+15	N/M
NLMS	FIR & NLMS	convolution & adaptation	60	2N+70	N
LMS	FIR & LMS	convolution & adaptation	48	2N+32	N

2. 구조에 대한 시뮬레이션 결과

반향제거기의 성능을 평가하는데는 일반적으로 ERLE(Echo Return Loss Enhancement)를 이용하며,<sup>[10]</sup> 본 논문에서도 ERLE를 이용하여 제안한 반향제거기의 성능을 평가하였으며, 또한 ERLE 값을 이용하여 동시통화 및 반향경로의 변화를 검출하는데 사용하였다. 다음 식 (7)은 ERLE의 계산식을 나타낸다.

$$ERLE(n) = 10 \log_{10} \left[ \frac{\sum_{i=0}^{L-1} y^2(n-i)}{\sum_{i=0}^{L-1} \{y(n-i) - \hat{n}(n-i)\}^2} \right] \quad (7)$$

여기서 y는 반향신호,  $\hat{n}$ 은 반향 추정신호를 나타낸다.

구조에 대한 실험은 일반적인 경우, 반향경로의 변화가 발생했을 경우, 동시통화가 발생했을 경우, 반향경로



의 변화와 동시통화가 동시에 발생한 경우의 4가지 경우에 대하여 실험하였으며, 구조는 그림 2(b)의 전형적인 반향제거기의 구조와 그림 3의 제안한 반향제거기 구조의 성능을 비교하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션에서 사용된 입력신호는 평균이 0이고 표준편차가 100인 화이트 가우시안 노이즈(white Gaussian noise)와 근단화자측의 잡음으로 평균은 100이고 신호대 잡음비(SNR)가 -40[dB]인 신호를 사용하였다.<sup>[2]</sup>

1) 일반적인 경우

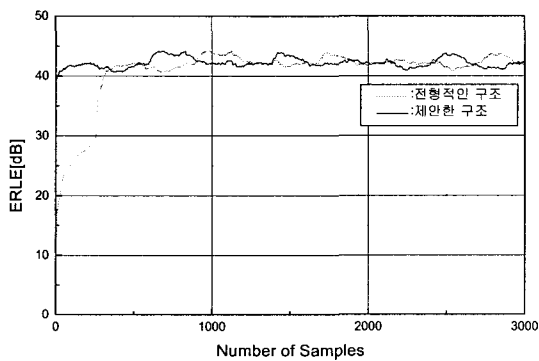


그림 11. 일반적인 경우의 ERLE  
Fig. 11. The ERLE in the general case.

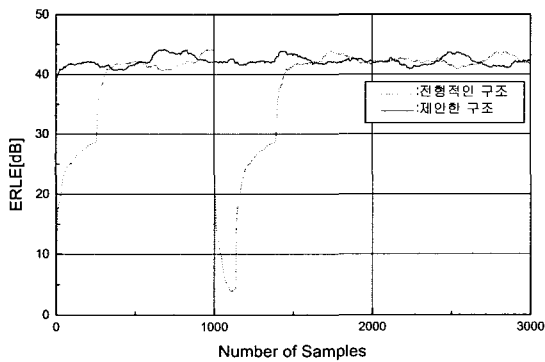


그림 12. 반향경로가 변화하였을 경우 ERLE  
Fig. 12. The ERLE when echo path has changed.

그림 11은 반향경로의 변화도 동시통화도 발생하지 않는 일반적인 경우에 대한 ERLE 값을 보여준다. 이때 Block Update LMS 알고리즘이 적용되었다. 제안한 구조의 경우, 초기 수렴과정이 보이지 않는 이유는 CDMA 환경에서 발생하는 고정적인 지연을 감안하여 버퍼를 두었기 때문에 반향신호가 들어오는 시점 이전에 이미 필터가 수렴하여 반향신호를 제거해 주기 때문이다.

2) 반향경로가 변화하는 경우

반향경로의 변화를 시뮬레이션하기 위하여 FIR 필터를 이용하여 식 (5)와 식 (6)과 같이 반향경로를 모델링하였다. 그림 12는 반향경로가 변화하였을 경우 ERLE 값을 그래프로 나타낸 것이다. 반향경로는 1000 샘플 포인트에서 변화가 발생하도록 시뮬레이션 하였으며, 이때 적응필터만 사용한 구조의 ERLE 값은 10[dB] 이하로 떨어졌다가 다시 초기수렴과정과 동일하게 변화하는 것을 알 수 있다. 그러나 제안한 구조의 경우에 ERLE 값을 보면 초기에도 버퍼로 인해 5.1.1절의 일반적인 경우와 마찬가지로 수렴구간이 보이지 않으며, 또한 반향경로가 변화하는 1000 샘플 포인트에서의 재 수렴구간도 역시 계속 약 40[dB] 정도를 유지하는 것을 볼 수 있다. 반향경로가 변화하면 VAD에서 변화된 지연을 정확히 계산하여 변화된 지연의 길이 동안 FIR 필터 2가 정상상태일 때의 FIR 필터 1의 계수 값으로 필터링을 하기 때문에 최종 출력의 ERLE 값은 급격한 변화 없이 정상상태 수준을 유지한다. 100[ms]의 지연을 주어 100회 반복하여 VAD를 이용한 지연 검출결과를 보면 VAD의 한 프레임의 샘플 수를 128 샘플(16[ms])로 하였으므로 오차의 정도가 불규칙하지만 이론적으로는 128 샘플을 넘어가지는 않는다.<sup>[6]</sup> 표 3은 반향경로의 변화로 인해 발생하는 지연길이를 100[ms]라 했을 때 100회 반복하여 VAD에서 찾아낸

표 3. 100회 반복한 VAD 검출 오차  
Table 3. The detection error of VAD in 100 trials.

회수	오차	회수	오차	회수	오차	회수	오차
1	53	21	82	41	59	61	79
2	81	22	29	42	72	62	49
3	15	23	7	43	9	63	22
4	2	24	119	44	37	64	54
5	33	25	24	45	56	65	67
6	20	26	68	46	28	66	38
7	28	27	38	47	34	67	30
8	103	28	37	48	61	68	59
9	0	29	11	49	67	69	60
10	121	30	90	50	99	70	47
11	98	31	49	51	127	71	102
12	31	32	16	52	186	72	67
13	44	33	75	53	31	73	33
14	71	34	59	54	79	74	122
15	82	35	53	55	64	75	96
16	96	36	107	56	12	76	7
17	41	37	10	57	84	77	61
18	29	38	26	58	89	78	29
19	101	39	6	59	51	79	43
20	30	40	73	60	208	80	81

지연길이의 오차를 표로 나타낸 것이다. 표의 결과를 보면 오차가 0 샘플에서 127 샘플 이내에 드는 확률이 97[%]가 되는 것을 볼 수 있다. 음성신호는 크게 유성음과 무성음으로 시작하는 경우 2가지로 나눌 수 있다. VAD는 음성신호의 에너지에 의해 음성 시작점을 찾게 되는데, 유성음으로 시작하는 음성신호는 에너지가 크지만 무성음으로 시작하는 음성신호는 전자에 비하여 에너지가 작다. 따라서 무성음으로 시작하는 음성의 경우에 VAD는 오차를 발생할 수 있고, 그 결과로 표 3에서 3[%]의 오차를 보여준다.

3) 동시통화시

그림 13은 동시통화시에 대한 ERLE값을 그래프로 나타낸 것이다. 1000 샘플 포인트에서 동시통화가 시작되어 2000 샘플 포인트에서 끝난 것으로 시뮬레이션 하였다. 제한한 구조로 시뮬레이션 하였을 경우에도 적응필터만 사용하였을 경우와 마찬가지로 동시통화 효

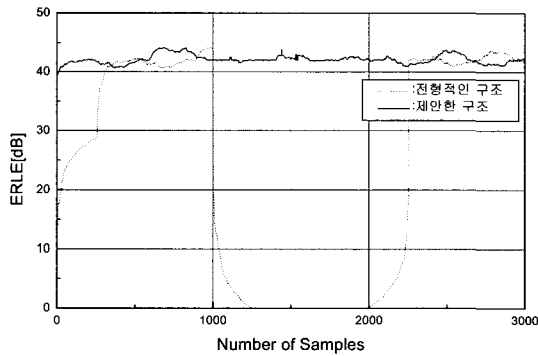


그림 13. 동시통화시의 ERLE  
Fig. 13. The ERLE in case of double-talk,

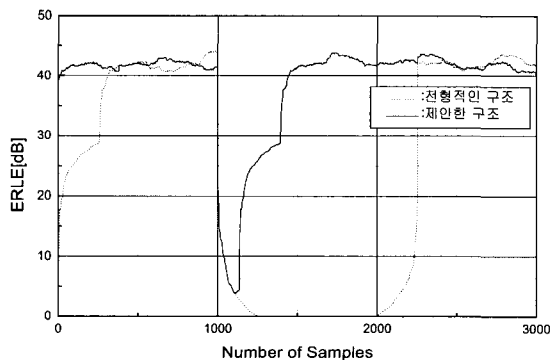


그림 14. 반향경로의 변화와 동시통화가 동시에 발생할 경우  
Fig. 14. The ERLE when echo path change and double-talk are generated at the same time.

과를 주었으나 컨트롤러 내의 동시통화 검출기가 동시통화의 여부를 판별하여 동시통화 시간동안 FIR 필터 2가 정상상태일 때의 FIR 필터 1의 계수 값으로 필터링을 하기 때문에 동시통화가 발생하는 1000 샘플 포인트에서 2000 샘플 포인트 사이에 ERLE 값이 약 40[dB] 수준을 유지하는 것을 볼 수 있다.

2.4 반향경로의 변화와 동시통화가 동시에 발생할 경우

그림 14는 반향경로의 변화와 동시통화가 동시에 발생한 경우에 대한 실험이다. 반향경로의 변화가 1000 샘플 포인트에서 발생하고 동시에 동시통화가 1000 샘플 포인트에서 2000 샘플 포인트까지 발생하였을 경우의 ERLE 값을 그래프로 나타내었다. 반향경로의 변화나 동시통화 한 가지만 발생할 경우와는 달리 두 가지가 동시에 발생할 경우는 동시통화 검출기에서 동시통화로 간주하기 때문에 VAD는 작동하지 못한다. 따라서 반향경로가 중간에 변화하여 지연의 길이가 달라져도 적절한 대처가 불가능하다.

3. 실제 CDMA 환경에서 음성샘플을 사용한 실험 결과

다음 실험은 국내에서 상용화되어 있는 HansolM Com의 주파수 (RX: 1855MHz, TX: 1765MHz)의 환경에서 샘플링한 신호를 이용하여 수행하였다.

그림 15는 일반적인 경우에 20대 남성이 “일”이라는 발음을 두 번 말한 것을 시간축(단위: 샘플)에서 나타낸 것이다. 이 신호를 원단화자의 신호로 사용하여 반향경로를 거쳐 되돌아온 반향신호가 그림 16에 나타나

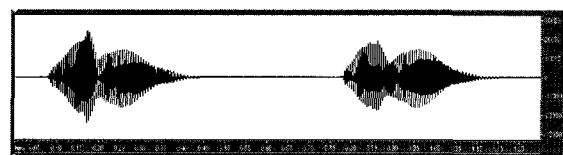


그림 15. 원단화자의 원신호  
Fig. 15. The source signal of far-end speaker.

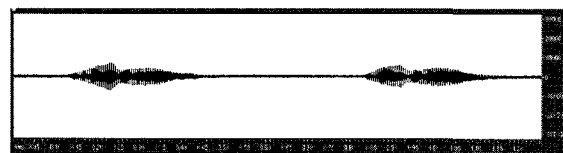


그림 16. 일반적인 경우 반향신호 + 근단화자의 배경 잡음  
Fig. 16. Echo signal in general case + Background noise of near-end speaker.

있다. 반향신호는 근단화자의 마이크로폰에서 입력된 배경잡음(background noise)과 반향 신호가 첨가되어 그림 16과 같은 형태가 된다. 그림 17은 본 연구에서 제안한 구조와 Block Update NLMS 알고리즘을 적용하여 반향을 제거한 후의 신호를 보여준다.

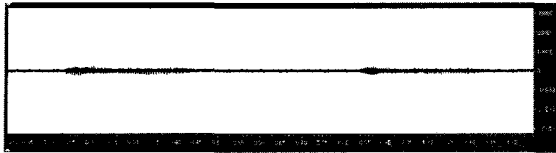


그림 17. 일반적인 경우 반향을 제거한 후의 신호  
Fig. 17. The echo cancelled signal in general case.

그림 18은 반향경로의 변화시 반향신호와 근단화자의 배경잡음을 보여준다. 일반적인 경우와 같은 원신호를 사용하였고 반향경로 변화의 효과를 주기 위하여 5000 샘플 포인트에서 30[ms]의 지연을 주었다. 그림 19는 반향을 제거한 후의 결과 신호를 보여준다. 반향경로가 변화하여도 VAD에서 변한 지연의 길이를 찾아내어 반향이 제거된 모습을 볼 수 있다.

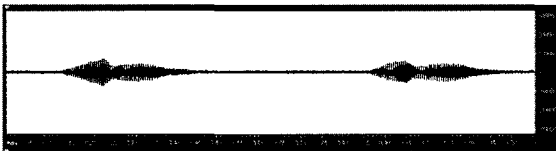


그림 18. 반향경로의 변화시 반향신호 + 근단화자의 배경잡음  
Fig. 18. Echo signal in case of echo path change + Background noise of near-end speaker.

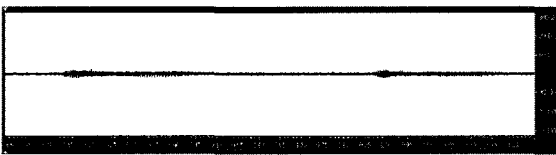


그림 19. 반향경로의 변화시 반향을 제거한 후의 신호  
Fig. 19. The echo cancelled signal in case of echo path is change.

그림 20은 동시통화 효과를 준 반향신호를 보여준다. 두 번째 말한 “일”이라는 발음에 동시통화 효과를 만들어 내기 위해서 역시 비슷한 음역을 갖는 20대 성인 남자가 “영”이라는 발음을 한 것과 합쳐진 형태이다. 그림 21은 반향을 제거한 후의 신호를 보여준다. 따라

서 다음과 같이 음성신호를 사용하여 현재 상용화되어 있는 CDMA 이동통신 환경 하의 실험에서 일반적인 경우, 반향경로가 변화하는 경우, 동시통화가 발생하는 경우의 3가지 조건에 의해 실험해 보았을 때에도 반향이 제거되는 것을 확인할 수 있다.



그림 20. 동시통화시 반향신호 + 근단화자의 음성 + 근단화자의 배경잡음  
Fig. 20. Echo signal in case of double-talk + Voice of near-end speaker + Background noise of near-end speaker.



그림 21. 동시통화시 반향을 제거한 후의 신호  
Fig. 21. The echo cancelled signal in case of double-talk.

## VI. 결 론

본 논문에서는 CDMA 이동통신 시스템에서 발생할 수 있는 반향 성분을 제거하기 위한 반향제거기의 새로운 구조를 제안하였다. 제안한 구조에 적용한 적응 알고리즘은 LMS, NLMS, 그리고 Block Update NLMS 알고리즘이다. 수렴특성은 Block Update NLMS 알고리즘을 적용하였을 경우가 가장 좋게 나왔지만 LMS 알고리즘이나 NLMS 알고리즘에 비하여 연산량이 상대적으로 많으므로 이를 보완하기 위해서 TMS320C54X의 LMS 알고리즘과 FIR 필터링 전용 명령어인 LMS, FIRs를 이용하여 Block Update NLMS 알고리즘도 충분히 실시간 처리가 가능하도록 하였다. 또한 반향경로의 변화에도 반향제거기의 성능을 최대화하기 위하여 VAD를 이용한 지연의 변화 검출과 이 지연을 버퍼에 적용 할 수 있는 구조를 설계하였으며, 동시통화 검출기를 두어 동시통화나 반향경로가 변화하여도 이를 최소의 오차로 판단해낼 수 있게 하였다.

시뮬레이션은 실제 DSP 구현시와 동일한 조건인

8[KHz]의 입력신호와 탭 수가 256인 필터를 이용하였고, 실제 DSP 보드에 적용하기 위해 TI사의 TMS320C54X 용 Code Composer를 사용하여 어셈블리로 코딩한 적응 알고리즘을 검증하였다. 제안한 반향제거기는 소프트웨어만으로 구현이 가능하며 따라서 단말기 내부에 적용하여 CDMA 이동통신 시스템에서 발생할 수 있는 여러 형태(LE, ESE, AE)의 반향을 제거할 수 있다. 본 논문에서는 고정소수점 DSP인 TMS320C54X EVM 보드로 구현함으로써 실제적으로 CDMA 이동통신 환경에서 발생할 수 있는 반향을 제거하도록 하였다. TMS320C54X EVM 보드에서 적응 알고리즘을 이용한 필터링 작업을 한 후 연산 후에 나온 오차신호는 PC에서 모니터링하여 ERLE 연산을 통해 반향제거기의 성능을 확인할 수 있도록 하였다.

앞으로 반향경로의 변화와 동시통화가 동시에 발생하였을 경우에 대한 문제와 AE의 경우 사람이 공간내에서 이동하여 반향경로가 급속하게 변화하는 경우에도 빠른 수렴을 나타내는 필터에 대한 연구를 보강하고자 한다.

### 참 고 문 헌

- [1] TIA/EIA IS-96A, *Speech Service Option for Wideband Spread Spectrum Digital Cellular System*, 1994.
- [2] Hochong Park, "Design of echo canceller for CDMA digital cellular systems," ICSPAT'96, Oct. 1996.
- [3] 유재하, 윤대회, "음향반향제거기," 전자공학회지, vol. 22, no. 5, pp. 541-551, 1995.
- [4] E. C. Ifeachor and B. W. Jervis, *Digital Signal Processing*, Addison-Wesley, 1993.
- [5] J. Nikolic, "Implementing a line echo canceller using the block update and NLMS algorithm on the TMS320C54X DSP," Texas Instrument, April 1997.
- [6] L. R. Rabiner and R. W. Schafer, *Digital Processing of Speech Signals*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ., U.S.A., 1978.
- [7] *TMS320C54X DSP CPU and Peripherals Reference Set Volume 1*, Texas Instrument, 1997.
- [8] P. M. Embree, *C Algorithms for Real-Time DSP*, Prentice-Hall, 1995.
- [9] R. A. Haddad and T. W. Parsons, *Digital Signal Processing*, Computer Science Press, 1991.
- [10] P. P. Mallela et al., "A TMS320C5x DSP-based full-duplex speaker phone," ICSPAT'94, pp. 1-12, Oct. 1994.

### 저 자 소 개

#### 劉 泰 勳(正會員)

1975년 9월 7일생. 1998년 2월 국민대학교 전자공학과(공학사), 2000년 8월 국민대학교 전자공학과(공학석사). 2000년 8월~현재 (주)마인드텔 연구원. 주 관심분야는 디지털 신호처리, 디지털 통신 등임

#### 朴 光 哲(正會員)

1969년 11월 14일생. 1995년 2월. 국민대학교 전자공학과(공학사), 1997년 2월 국민대학교 전자공학과(공학석사). 1997년 3월~현재 국민대학교 전자공학과 박사과정. 주 관심분야는 디지털 신호처리 등임

#### 李 允 熙(正會員)

1957년 8월 17일생. 1985년 2월 국민대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1994년 6월 Polytechnic University, NY (공학석사). 1984년 12월~1996년 12월 현대자동차 승용차개발 연구소 전자설계 2팀. 1997년 1월~현재 김포대학 전자정보계열 조교수. 1996년 3월~현재 국민대학교 전자공학과 박사과정. 관심분야는 디지털 통신, 적응 신호처리임

金 基 斗(正會員) 第 37 卷 TC編 第 9 號 參照.  
現在 國民大學校 電子工學部 教授