

TMS320C30을 이용한 단일채널 적응잡음제거기 구현*

Implementation of the single channel adaptive noise canceller using TMS320C30

정 성 윤** · 우 세 정** · 손 창 희** · 배 건 성**

Sung Yun Jung · Se Jeong Woo · Chang Hee Son · Keun Sung Bae

ABSTRACT

In this paper, we focus on the real time implementation of the single channel adaptive noise canceller(ANC) by using TMS320C30 EVM board. The implemented single channel adaptive noise canceller is based on a reference paper [1] in which it is simulated by using the recursive average magnitude difference function(AMDF) to get a properly delayed input speech on a sample basis as a reference signal and normalized least mean square(NLMS) algorithm. To certify results of the real time implementation, we measured the processing time of the ANC and enhancement ratio according to various signal-to-noise ratios(SNRs). Experimental results demonstrate that the processing time of the speech signal of 32ms length with delay estimation of every 10 samples is about 26.3 ms, and almost the same performance as given in [1] is obtained with the implemented system.

Keywords : single channel adaptive noise canceller, recursive AMDF, NLMS

1. 서 론

대부분의 음성신호처리 시스템들이 주로 주변 잡음이 없거나 무시할 수 있을 정도의 양질의 음성을 대상으로 연구가 진행되어 왔는데 잡음 환경의 영향을 고려하지 않은 음성신호처리 시스템의 성능은 실제 환경에서 급격히 감소하게 된다. 따라서 음성신호처리 기술이 적용된 시스템의 실용화를 위하여 음성개선(speech enhancement), 즉 수신된 음성신호에서 잡음 요인의 제거 또는 그 영향을 경감시키는 기술에 대한 연구 및 개발이 지속적으로 이루어져 왔다. 그 중, 적응잡음제거 기술은 여파기의 계수를 잡음환경 변화에 따라 자동으로 조절하는 기능을 가지고 있으며, 음성신호에 포함된 잡음신호의 상세한 통계적 특성을 미리 알고 있지 않아도 되는 장점이 있다. 그러나 일반적인 적응잡음제거기에서는 잡음이 포함된 입력 음성신호, 즉, 1차 입력신호(primary input)와는 별도로 입력신호 내의 잡음 성분과 높은 상관관

* 본 연구는 한국과학재단의 특정기초연구과제(과제번호: 1999-2-303-001-3) 연구비 지원으로 수행되었으며, 지원에 감사 드립니다.

** 경북대학교 전자·전기 공학부

계를 갖는 기준입력신호(reference input)를 포함하는 2 개의 입력신호를 필요로 한다. 그러나, 대부분의 음성처리 시스템에서는 입력신호가 1 개의 센서(마이크)를 통해서 얻어지므로 2 차의 센서를 필요로 하는 기준신호를 따로 얻을 수 없게 된다. 따라서 단일 입력에 대한 적응잡음제거 기술이 필요하게 된다.

단일입력에 대한 적응잡음제거 방법 중, Sambur가 제안한 방법[2]은 별도의 2 차 센서 없이 유성음의 준 주기적인 특성을 이용하여 1~2 피치정도 지연된 잡음이 포함된 음성신호로부터 입력신호와 높은 상관관계를 갖는 기준신호를 얻는 것이다. Sambur가 매 분석구간마다 분석된 피치만큼 지연된 잡음음성을 적용여파기의 기준신호로 사용한 반면, 참고 문헌 [1]에서는 매 샘플마다 지연정보를 구하여 적용함으로써 Sambur 방법의 각 음성구간 사이의 불연속성과 준 주기적 특성을 갖지 않는 무성음 처리부분의 단점을 개선시켰다.

본 논문에서는 [1]에서 제안한 방법을 분석하여 단일채널 적응잡음제거시스템을 TMS320C30 EVM 보드를 사용하여 실시간으로 구현하고, 그 결과를 컴퓨터에서 시뮬레이션한 결과와 비교 검토하였다. TMS320C30을 이용하여 실시간으로 기준신호를 생성하고 적응알고리즘을 실행시키기 위해서 본 논문에서는 10 샘플 단위로 지연정보를 추정하여 기준신호로 사용하였으며, 매 샘플단위마다 적응알고리즘을 사용하고, [1]과 동일한 조건의 신호대잡음비(SNR: signal-to-noise ratio)에 따른 실험을 통해 잡음제거 성능을 비교 검토하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 먼저 2장에서는 [1]의 단일채널 적응잡음제거 방법에 대하여 설명하며, 3장에서는 TMS320C30 EVM 보드의 구조와 이를 이용한 실시간 구현 방법에 대하여 설명한다. 그리고, 4 장에서는 백색 가우시안 잡음에 의해 왜곡된 음성의 잡음제거 실험 및 실험결과를 [1]의 내용을 컴퓨터에서 시뮬레이션한 결과와 비교 검토하고, 5 장에서 결론을 맺는다.

2. 단일채널 적응잡음제거 알고리즘

이 장에서는 [1]에서 제안한 단일채널 적응잡음제거 방법을 설명한다. 그림 1은 음성신호의 유성음 구간의 준 주기적인 특성을 이용하여 기준신호를 얻는 단일입력 적응잡음제거기의 구조를 보인 것이다.

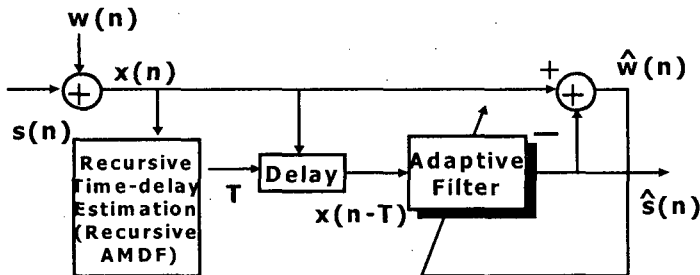


그림 1. 단일채널 적응잡음제거기의 구조

음성신호 $s(n)$ 와 백색잡음 $w(n)$ 이 섞인 입력신호 $w(n)$ 은 유성음 구간에서 준주기적인 특성을 갖게 되므로 1~2 개 정도의 피치가 지연된 신호 $x(n-T)$ 는 음성신호 성분 $s(n)$ 과 높은 상관관계를 가지면서 잡음성분 $w(n)$ 과는 아주 낮은 상관관계를 갖게 된다. 이때, 적응여파기의 출력 $\hat{s}(n)$ 은 전체 시스템의 오차신호 $\hat{w}(n)$ 의 에너지를 최소화함으로써 입력신호 내의 음성신호 성분 $s(n)$ 에 최소자승 오차를 갖는 신호로 얻어지게 되는데, 그 과정은 식 (1) 및 (2)와 같다.

$$\begin{aligned} E[\hat{w}^2(n)] &= E[(s(n) + w(n) - \hat{s}(n))^2] \\ &= E[w^2(n) + (s(n) - \hat{s}(n))^2 + 2w(n)(s(n) - \hat{s}(n))] \end{aligned} \quad (1)$$

$$E[\hat{w}^2(n)] = E[w^2(n)] + E[(s(n) - \hat{s}(n))^2] \quad (2)$$

식 (1)에서, 음성신호 성분 $s(n)$ 과 잡음성분 $w(n)$ 은 상관관계가 없다고 가정하면 식 (1)은 식 (2)로 표시된다. 식 (2)에서 $E[w^2(n)]$ 은 입력신호 내의 잡음성분의 에너지로 고정된 값을 가지므로 $E[\hat{w}^2(n)]$ 이 최소화될 때 $E[s(n) - \hat{s}(n)]^2$ 도 최소화되어 적응여파기의 출력 $\hat{s}(n)$ 은 입력신호 내의 음성신호 성분 $s(n)$ 에 최소자승 오차를 갖는 추정값이 된다.

지연추정을 위한 피치추정시, 유성음 구간에서는 재귀적 평균절대차함수(Recursive AMDF)를 이용하여 추정하고, 추정된 값만큼 지연된 잡음음성 신호를 적응여파기의 기준신호로 사용하여 샘플마다 잡음을 제거하게 되며, 무성음 구간에서는 1 샘플이 지연된 입력 신호를 적응여파기의 기준신호로 사용하여 샘플마다 잡음성분이 적응적으로 제거된다. 재귀적 평균절대차함수는 샘플마다 지연정보를 구할 수 있도록 하기 위해 일반적인 평균절대차함수(AMDF)로부터 유도되는데, 식 (3)으로 주어진다[1]. 이때 최적의 지연 추정치 T 는 식 (4)로 얻어진다.

$$\begin{aligned} AMDF_n(k) &= AMDF_{n-1}(k) + \frac{1}{N+1} |x(n) - x(n-k)| \\ &\quad - \frac{1}{N+1} |x(n-N-1) - x(n-N-1-k)|, \quad 0 \leq k \leq N \end{aligned} \quad (3)$$

$$T = \arg \text{Min} [AMDF_n(k)] \quad t_L \leq k \leq t_U \quad (4)$$

여기서 $AMDF_n(k)$ 는 입력신호 $x(n)$ 에 대해 k 번째 $AMDF$ 의 계수이며 $N+1$ 은 분석구간의 길이이다. 식 (3)에서 알 수 있듯이 입력신호 $x(n)$ 에 대한 재귀적 $AMDF$ 는 입력신호 $x(n)$ 자신과 k 샘플만큼 이전의 신호 $x(n-k)$, 그리고 이들 신호와 각각 $N+1$ 샘플만큼 이전의 신호들 $x(n-N-1)$, $x(n-N-1-k)$ 만으로 매 샘플시간마다 재귀적으로 구할 수 있게 된다.

적응여파기는 정규화된 최소평균자승(NLMS) 알고리즘을 사용한 횡단형 적응여파기를 사용하고 여파기의 차수는 14차로 한다. NLMS 적응알고리즘은 식 (5) 및 (6)과 같이 표현된다.

$$B_{n+1} = B_n + \frac{2\mu \hat{w}(n) X_n}{(L+1) \hat{\sigma}_n^2}, \quad 0 < \mu < 1 \quad (5)$$

$$\hat{\sigma}_n^2 = \alpha x^2(n) + (1 - \alpha) \hat{\sigma}_{n-1}^2, 0 \leq \alpha < 1 \quad (6)$$

여기서 X_n 및 B_n 은 각각 시간 n 일 때의 입력신호 벡터 및 여파기 계수벡터이고, $\hat{\sigma}$ 는 입력신호 $x(n)$ 의 전력을 추정한 값이며, μ 는 수렴인자이다. 식 (5)에서 μ 는 입력신호의 전력으로 정규화되었음을 알 수 있으며 식 (6)에서 $\hat{\sigma}$ 에는 입력신호의 전력을 모르거나 환경변화에 대응하기 위해 망각계수 α 를 도입한다. 그리고, 적응여파기의 출력인 개선된 음성신호 $\hat{s}(n)$ 은 전체 시스템의 오차신호 $\hat{w}(n)$ 의 에너지를 최소화함으로써 식 (7)과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{s}(n) = \sum_{i=0}^L b_i x(n-i-T) \quad (7)$$

여기서, $x(n)$ 은 잡음이 포함된 음성신호, T 는 피치정보, 그리고 $b_i, 0 \leq i \leq L$ 는 여파기의 계수를 나타낸다.

3. TMS320C30 EVM 및 단일입력 적응잡음제거기 구현

TMS320C30 EVM(EVAluation Module) 보드는 IBM PC/AT 호환카드으로써 ISA버스를 통해 컴퓨터와 인터페이스가 가능하고, 마이크, 스피커 등과 같은 아날로그 입, 출력 장치가 연결되면 간단한 실시간 신호처리 도구가 된다. 그림 2는 EVM의 내부연결 블록도이다. EVM 보드는 부동 소수점 연산자이고 60 ns의 명령사이클의 처리속도를 가진 TMS320C30 DSP를 연산코어로 사용하고, 프로그램이나 데이터를 저장하는 16 kwords, 35 ns의 SRAM과 3 kHz ~ 18 kHz 범위의 가변 표본화율 및 14 bits 양자화가 가능한 A/D, D/A를 내장한 TLC32044 AIC(Analog Interface Controller)를 내장하고 있다. 그리고 컴퓨터와 통신할 수 있는 16 bits 양방향 포트와 아날로그 입, 출력을 위한 표준 RCA 잭을 포함하고 있다[3].

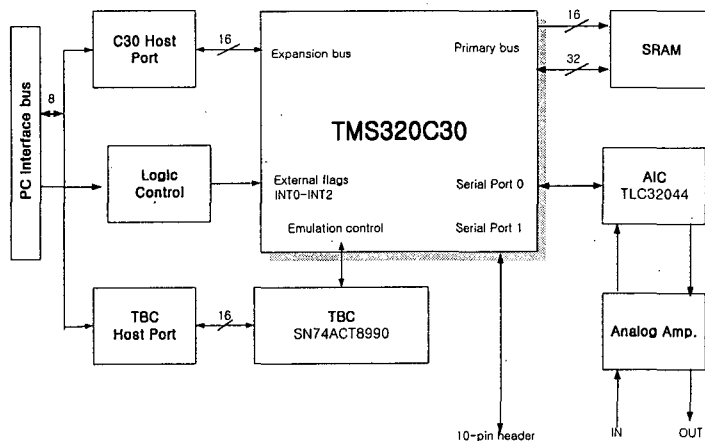


그림 2. TMS320C30 EVM 블록도

TMS320C30 프로세서는 Serial Port 0을 통해 A/D, D/A 간의 통신을 수행한다. 정수값의 샘플이 A/D로부터 매 샘플마다 인터럽트에 의해 부동소숫점으로 바뀌어 내부 RAM의 입력 버퍼에 저장되고, 재귀적 AMDF를 사용하여 샘플단위로 지연정보를 추정할 때 프레임 크기는 8 kHz의 표본화율에서 256 샘플로 하였으며, 적응여파기의 차수는 14차로 하였다. 적응여파기의 출력은 버퍼에 저장되고, D/A로 최종 출력되게 된다. 따라서 매 샘플마다 지연추정 및 적응잡음제거의 실시간 수행을 위해 입력샘플을 처리하는 방법을 고려해야 한다. 즉, 적응잡음제거기는 현재의 입력샘플에 대해 다음 입력샘플이 들어 올 때까지의 시간 간격인 0.125 ms 이내에 모든 처리를 완료하여야 한다. 그러나 전체 적응잡음제거 과정 중 지연추정과정에서 수행되는 사이클수가 샘플간 처리시간을 초과하므로, 본 논문에서는 실험적으로 얻어진 값 10 샘플 간격으로 지연추정을 한 후, 매 샘플에 대한 NLMS 알고리즘을 수행하도록 한다. 그림 3은 단일채널 적응잡음제거기의 실시간 구현과정에서의 주요 알고리즘의 흐름도이다. 그림 3에서처럼 실시간 처리를 확인하기 위해 버퍼의 크기를 한 프레임 크기와 동일하게 256 (32 ms)으로 설정한다면, 한 프레임의 입력음성에 대해 적응잡음제거된 한 프레임의 출력이 32 ms 이내에 이루어지면 된다. 따라서 본 논문에서는 지연을 추정할 때만 10 샘플 간격으로 추정하고 나머지 처리부분은 [1]에서 제안한 방법에 따라 단일채널 적응잡음제거기를 구현한다.

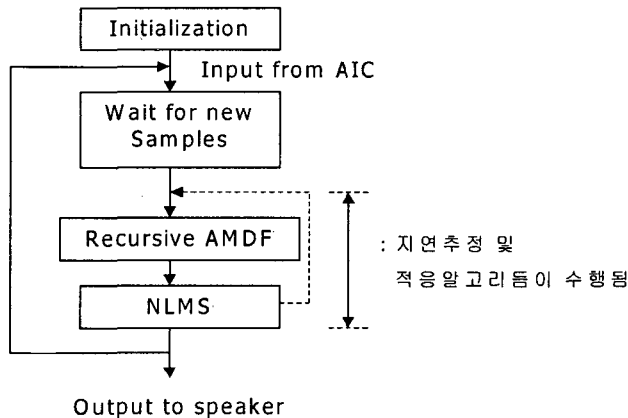


그림 3. 단일채널 적응잡음제거기의 주요 알고리즘의 흐름도

4. 실험 및 검토

3장에서 구현한 단일채널 적응잡음제거기를 TMS320C30 EVM 보드를 사용하여 실시간으로 실험한 결과를 확인하기 위해, 적응잡음제거 알고리즘의 처리시간과 SNR에 따른 잡음제거 정도를 측정하였다. 적응잡음제거 알고리즘의 처리시간은 TMS320C30에서 제공되는 C Source Debugger를 사용하여 측정하였고, 적응여파기의 기준신호를 얻을 때 지연추정 단위에 따라 버퍼의 크기가 256인 적응잡음제거기의 알고리즘 처리시간을 표 1에 나타내었다. 버퍼를 256 샘플로 설정하였기 때문에 32 ms 이내에 256 샘플의 입력음성신호를 적응잡음제거

기가 처리하여 256 샘플의 개선된 음성신호를 출력하면 된다. 표 1에서 지연추정단위가 8 샘플 이상이면 적응잡음제거기의 실시간 동작이 가능함을 알 수 있다. 본 논문에서는 8 샘플의 경우나 10 샘플의 경우 잡음제거 성능의 개선차이가 별로 없기에 10샘플을 지연추정 단위로 사용하였다.

표 1. 지연추정단위에 따른 적응잡음제거 알고리즘의 처리시간 (단, 버퍼 크기 = 32 ms)

단위 \ 지연추정	10 샘플	8 샘플	7 샘플	1 샘플
Total Cycle	437856	472500	541354	2051214
Time (ms)	26.3	28.4	32.5	123

SNR에 따른 잡음제거정도를 비교하기 위해 [1]과 동일한 조건으로 8 kHz 표본화율로 녹음한 깨끗한 음성에 백색잡음을 SNR이 -10 dB에서 10 dB까지 5 dB 간격으로 첨가하여 잡음이 포함된 음성을 만든다. 그리고 SNR을 측정하기 위해, 이 음성을 EVM 보드의 입력으로 인가하여 보드 내의 적응잡음제거 알고리즘을 통한 출력을 컴퓨터로 보낸 후 잡음이 제거된 음성을 파일로 저장한다. 본 논문에서는 식 (8) 및 (9)를 이용하여 입력 SNR과 출력 SNR을 계산하였다.

$$\text{입력 SNR} = 10 \log_{10} \frac{\sum_n s^2(n)}{\sum_n [s(n) - x(n)]^2} \quad (8)$$

$$\text{출력 SNR} = 10 \log_{10} \frac{\sum_n s^2(n)}{\sum_n [s(n) - \hat{s}(n)]^2} \quad (9)$$

여기서, $s(n)$ 은 잡음이 섞이지 않은 원래의 음성신호, $x(n)$ 은 잡음이 내재된 음성신호, $\hat{s}(n)$ 은 적응잡음제거기에 의해 처리된 음성신호이다. 다음의 표 2는 EVM 보드를 통해 알고리즘을 적용했을 때의 입력 SNR에 따른 개선된 음성의 출력 SNR을 컴퓨터에서 시뮬레이션한 [1]의 결과와 비교하여 나타낸 것이다. 표 2에서 컴퓨터로 시뮬레이션한 결과와 EVM 보드의 결과가 거의 일치함을 알 수 있다.

표 2. 입력 SNR에 따른 출력 SNR

Input SNR[dB]	Output SNR[dB]	
	[1]에서의 컴퓨터 시뮬레이션 결과	EVM 보드를 통한 실험 결과
10	7.2652	7.2670
5	5.3604	5.3619
0	3.1771	3.1783
-5	2.3722	2.3732
-10	0.3450	0.3450

그림 4의 (a), (b)는 유성음 구간의 일부분(32 ms)에 대해, [1]에서의 컴퓨터 시뮬레이션 결과 파형과 EVM 보드에서의 결과 파형을 나타낸 것인데, 거의 일치함을 볼 수 있다. 또, 그림 4의 (c)는 샘플 단위로 두 결과의 차이를 보인 것으로서, 전체 구간에 대해 각 샘플 차이의 평균은 2.108 정도이다

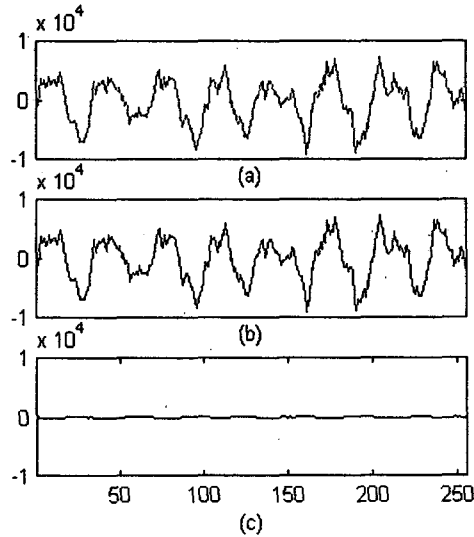
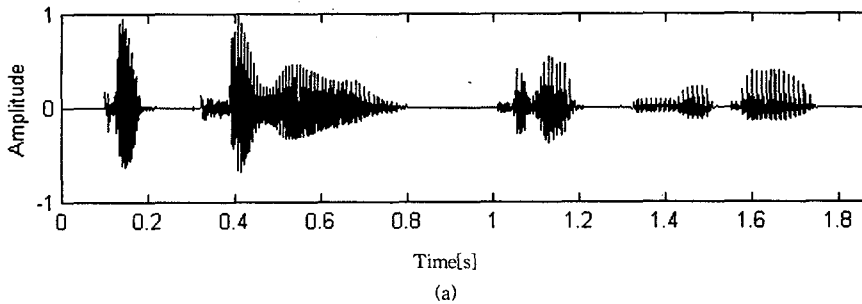


그림 4. (a) 시뮬레이션 결과 파형. (b) EVM 보드의 결과 파형. (c) 각 샘플간 (a), (b) 파형의 차이

그림 5는 깨끗한 원음성 파형과 입력 SNR이 0 dB일 때의 음성 파형, 그리고 EVM 보드를 통해 개선된 음성 파형을 나타낸 것으로서, 파형 전체에서 잡음이 많이 제거되었음을 확인할 수 있다. 따라서 큰 오차 없이 TMS320C30 EVM 보드를 사용하여 [1]의 단일채널 잡음 적응제거기를 실시간 구현할 수 있음을 확인하였다.



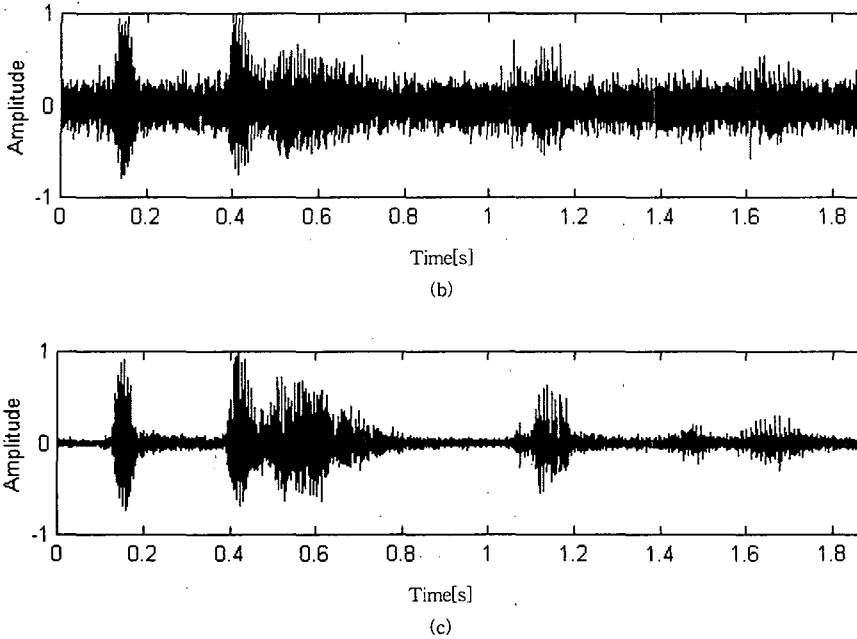


그림 5. SNR이 0 dB인 잡음음성의 개선 예.

(a) 원음성파형, (b) 잡음이 섞인 음성파형, (c) EVM을 통해 개선된 음성파형

5. 결 론

본 논문에서는, 잡음이 내재된 음성신호에서 잡음성분을 적응적으로 제거하기 위하여 적응필터의 기준신호로써 재귀적 평균 절대차 함수를 이용하여 지연 정보를 추정 후 추정된 지연정보만큼 지연된 음성신호를 사용하였고, 단일입력에 대한 적응잡음제거기를 컴퓨터에서 시뮬레이션한 [1]의 내용을 바탕으로 TMS320C30 EVM 보드를 이용하여 실시간 구현하였다. [1]에서 사용했던 매 샘플마다 재귀적 지연 정보를 추정하는 방법은, 실시간 지연정보 추정시 샘플간 처리시간 간격을 초과하므로 10 샘플 단위로 지연 정보를 추정하여 실시간 구현을 가능하게 하였다.

그리고 EVM 보드를 이용하여 실시간으로 구현한 결과가 [1]에서의 컴퓨터 시뮬레이션 실험결과와 일치하는지를 확인하기 위하여, 두 실험방법을 통해 구해진 개선된 음성파형을 샘플별로 비교하고, 동일한 입력 SNR들에 따른 출력 SNR들을 계산하였다. 입, 출력 SNR들에 따른 실험결과, 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 EVM 보드를 이용한 실시간 구현결과가 거의 일치함을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] 강해동, 배건성, "재귀적 지연추정기를 갖는 단일입력 적응잡음제거 기법을 이용한 음성개선", *경북대학교 공학박사학위 논문*, 1993.
- [2] M. R. Sambur, "Adaptive noise canceling for speech signals", *IEEE Trans. on ASSP*, Vol. 26, pp. 418-423, Oct. 1978.
- [3] Texas Instruments, *TMS320C30 Evaluation Module Technical Reference*, 1990.
- [4] Texas Instruments, *TMS320C30 User's Guide*, 1991.

접수일자 : 2001. 4. 25.

게재결정 : 2001. 6. 2.

▲ 정성윤

대구광역시 북구 산격동 1370(우: 702-010)
 경북대학교 전자·전기공학부
 Tel: +82-53-940-8627, Fax: +82-53-950-5505
 E-mail: yunij@mir.knu.ac.kr

▲ 우세정

대구광역시 북구 산격동 1370(우: 702-010)
 경북대학교 전자·전기공학부
 Tel: +82-53-940-8627, Fax: +82-53-950-5505
 E-mail: woo598@mir.knu.ac.kr

▲ 손창희

대구광역시 북구 산격동 1370(우: 702-010)
 경북대학교 전자·전기공학부
 Tel: +82-53-940-8627, Fax: +82-53-950-5505
 E-mail: chson@mir.knu.ac.kr

▲ 배건성

대구광역시 북구 산격동 1370(우: 702-010)
 경북대학교 전자·전기공학부
 Tel: +82-53-950-5527, Fax: +82-53-950-5505
 E-mail: ksbae@ee.knu.ac.kr