

VoIP 기반에서의 음성통신 반향제거

*박권호, 남문호, 이승환, 정찬수
 숭실대 전기공학과

Echo Cancellation of Voice Communication over VoIP

Kwon-Ho Park, Mun-Ho Nam, Seung-Whan Lee, Chan-Soo Chung
 Dept. of Electrical Eng. Soongsil Univ.

Abstract- 지금까지 디지털 통신에서는 반향이 통신 품질의 관점에서 별다른 문제가 되지 않았다. 그러나 인터넷의 발달로 인하여 음성 데이터 통합(VoIP:Voice over Internet Protocol)을 이용한 인터넷폰의 사용이 요구되고 있으며, 시외 또는 국제 통화의 경우에 음성 신호를 서킷에서 패킷으로 전송하는 과정에서 전송 지연 증가에 따른 반향에 대한 문제가 발생되고 있다. 현재는 DSP chip의 급속한 발달로 반향의 제거가 실시간으로 처리할 수 있게 되었다. 본 논문에서는 VoIP기반의 음성 통신에서 발생하는 반향을 적응 반향제거기를 통해 제거하는 방법에 대해 연구하였다. DSP processor를 사용한 실험을 통해 알고리즘을 적용한 반향제거기의 성능이 우수함을 확인하였다.

콜을 이용하여 매체계층에서는 음성데이터를 패킷으로 만들어 전송한다. 여기서 알 수 있듯이 VoIP 기술은 인터넷 응용 기술로서 IP 주소를 기반으로 종단간의 채널 설정을 통해 음성 신호를 압축하고 패킷화한 음성 데이터를 전달하는 기술이다.[1][2]

최근까지 음성 신호를 디지털로 변환/압축하는 처리 과정의 증가 및 음성패킷/전달/조합에 따른 지연증가로 인한 반향문제가 발생하는데, 이는 음성을 패킷화하여 다른 다양한 미디어와 통합 처리하는 차세대 통신망에서는 더 많은 지연증가를 초래할 것으로 예상된다.[3][4]

VoIP의 응용은 아래의 3가지로 구분할 수 있다. 첫째, PC와 PC의 연결, 둘째, PC와 폰과의 연결, 마지막으로, 폰과 폰 사이의 연결이다. 그림 1에서 VoIP의 기본 구조를 나타내었다.

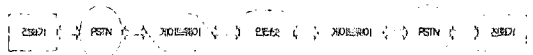


그림 1. VoIP의 기본구조

여기에서 문제점은 음성의 서킷에서 패킷/전달/조합에 따른 지연증가로 인한 반향인데, 본 논문에서는 게이트웨이에서 게이트웨이까지의 패킷 전송에서의 지연은 고려하지 않고 서킷까지의 반향문제만 다루었다.[2][3]

2.2 AEC(Adaptive echo cancellation)

반향 제거기는 우선 반향경로의 특성을 파악하고, 적응 알고리즘을 사용하여 반향에 대한 복제신호를 발생시켜, 수신신호로부터 복제신호를 빼줌으로써 반향이 제거된다. 음성통신에서 적응 알고리즘을 적용하여 필터의 계수를 추정하는 반향 제거기를 그림 2에 나타내었다.

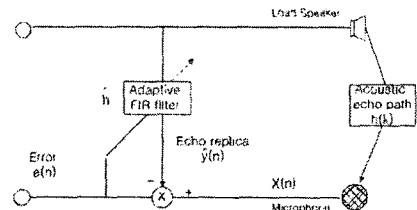


그림 2. 기본 적응 반향 제거기 구조

그림 2에서 $x(n)$ 은 원단(far-end)신호를, $s(n)$ 은 근단(near-end)신호를, 그리고 $y(n)$ 은 제거하고자 하는 반향 신호를 각각 나타낸다. 스피커측에는 송신되어야 할 근단 신호 $s(n)$ 과 반향신호 $y(n)$ 이 합쳐져 신호 $d(n)$ 이 입력된다. 이때 반향신호 $y(n)$ 과 마이크측의 신호 $d(n)$ 은 다음 식과 같이 표현할 수 있다.

1. Motivation

인터넷은 초기에 데이터 전송만을 고려하여 설계되었지만, 현재는 급속한 통신기술의 발전에 따라 음성이나 영상을 전송할 수 있는 광대역의 멀티미디어망으로 발달하게 되었다. 이제는 전화망과 데이터망의 통합의 기능이 필요하게 되면서, 인터넷과 기존의 전화망과의 연동의 필요성이 불가피하게 되었다.

현재 사용하고 있는 전화통화 중에서 유선과 무선간 통화가 일반화되어 있고, VoIP(Voice over Internet Protocol)를 기반으로 하는 음성통신 서비스가 보급되고 있다. VoIP 기술은 인터넷의 최대 응용 서비스로 급부상함과 동시에 시장이 고속으로 확산되고 있는 분야이다. 따라서 앞으로 구현되는 전화기는 이 방식으로 발전될 것으로 예상된다. 본 논문은 VoIP 기반에서 음성통신 반향제거를 고려하는데, 본론에서는 전반적인 VoIP에 대해 기술하고, 기본이 되는 반향제거 알고리즘에 대한 이론적 고찰을 한후 DSP processor를 사용한 실험을 통해 그 결과를 분석한다.

2. Theoretical Background

2.1 Voice over Internet Protocol

VoIP는 인터넷의 IP 계층을 사용하여 음성을 전송하는 기술을 말하며 다른 용어로 인터넷 전화와 혼용되어 사용된다. VoIP는 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환한 후, 패킷으로 구성하여 IP망인 인터넷을 통해 수신측까지 전달하는 것을 의미한다. 인터넷 전화는 IP망뿐만 아니라, 음성과 팩스 데이터를 전송할 수 있는 모든 망에서 기존 전화망에서 제공하는 서비스를 지원하는 것이다. 따라서 음성 서비스를 전화망이 아닌 인터넷망에서 사용하는 경우에는 의미 차이 없이 두 용어는 동일하게 사용되고 있다.[1]

VoIP시스템의 구성요소는 크게 응용계층(Application Layer), 신호계층(Signaling Layer), 매체계층(Media Layer)으로 나뉘어지며, 각 계층별로 상대방과 같은 프로토콜을 이용하여 통신을 수행한다. VoIP에서 신호 계층간에는 H.323, SIP 등의 프로토콜이 사용되어 상대방과 통화연결/종료신호를 처리한다. 현재 VoIP를 지원하는 표준 프로토콜로는 H.323이 대표적이다. 프로토

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} h_i x(n-i) \quad (1)$$

$$d(n) = y(n) + s(n) \quad (2)$$

여기서 h_i 는 반향경로의 임펄스 응답이며, N 은 FIR 필터의 차수이다.

적용필터의 출력 $\hat{y}(n)$ 은 식(3)으로 표현할 수 있다.

$$\hat{y}(n) = \sum_{i=0}^{N-1} \hat{h}_i x(n-i) \quad (3)$$

목표신호 $d(n)$ 과 적용필터의 출력 $\hat{y}(n)$ 의 차인 오차신호 $e(n)$ 은 식(4)과 같이 표현되며, 이 오차신호는 식(5)에서와 같이 적용필터의 계수를 갱신하는데 사용된다.

$$e(n) = d(n) - \hat{y}(n) = y(n) - \hat{y}(n) + s(n) \quad (4)$$

$$\hat{h}_i(n+1) = \hat{h}_i(n) + \frac{2\mu}{\|x(n)\|^2} e(n)x(n-i) \quad (5)$$

여기서, μ 는 수렴속도로서 적용이득을 나타낸다.

μ 는 일반적으로 상관행렬의 고유값에서 선택한다. 만약 μ 가 너무 크면 적용필터는 불안정하게 되고 반대로 너무 작으면 수렴속도가 느려진다. 따라서 반향제거기에서는 μ 의 최적값을 어떻게 선택하느냐가 중요한 문제이다. 또한 근단신호 $s(n)$ 은 반향에 비해 상당히 큰 에너지를 갖기 때문에 수렴조건을 만족하는 수렴상수 μ 를 사용하더라도 근단신호에 의해 발산하게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해 적용필터와 병렬로 동시통화 검출기를 설치하고 동시통화 검출시 적용필터 계수의 적용을 중단시키는 동시통화 검출기를 가진 반향 제거기가 제시되었다. 그러나 이러한 방법 또한 동시통화 검출기가 동시통화를 감지하게 되면 제어기는 적용을 멈춰 버리고 더 이상의 계수 추정을 하지 않으므로 만약 제어기가 잘못 추정하고 있었다면 제거되지 않은 반향이 그대로 전달되는 문제점을 남게된다. 따라서 동시통화 환경에서 정상적인 계수추정을 할 수 있는 알고리즘의 도입이 필요하다.

2.3 CLMS using Echo Cancellation

CLMS 알고리즘을 적용한 동시통화 반향 제거기의 기본 개념도는 그림 3과 같다.

동시통화 환경에서, 원단신호인 입력 $x(n)$ 에 대한 상관 함수는 식 (6)과 같다.

$$\phi_{xx}(n, k) = \sum_{j=0}^n x(j)x(j-k) \quad (6)$$

오차신호의 제곱에 기대값을 취한 값을 평가 함수라 하면, 평가 함수 J 는 다음과 같다.

$$J = E\{e(n)^2\} \quad (7)$$

CLMS 알고리즘을 적용한 반향 제거기의 오차신호는 목표신호와 입력신호의 상관함수, 필터의 출력신호와 입력신호의 상관함수의 차로 구할 수 있다

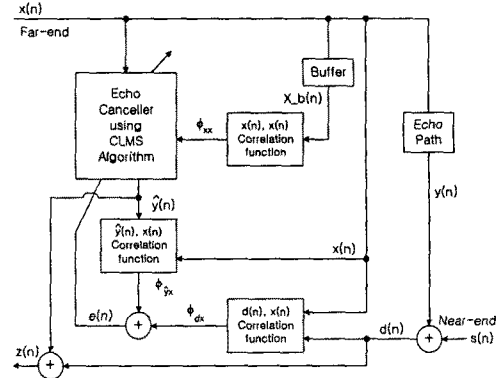


그림 3. CLMS알고리즘을 적용한 반향 제거기 구조

$$e(n) = \phi_{dx}(n, n) - \phi_{yx}(n, n) \quad (8)$$

여기서, $\phi_{dx}(n, n)$ 은 목표신호 $d(n)$ 과 입력신호 $x(n)$ 의 상관 함수로서 식 (9)와 같이 표현한다.

$$\phi_{dx}(n, n) = E[d(n) \cdot x(n)] \quad (9)$$

목표신호 $d(n)$ 은

$$d(n) = y(n) + s(n) \quad (10)$$

이며, 입력신호 $x(n)$ 의 반향인 $y(n)$ 은 식 (11)과 같다.

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} h_i x(n-i) \quad (11)$$

여기서, N 은 필터의 차수이며, $s(n)$ 은 근단신호이다. 그리고 h_i 는 반향 경로의 임펄스 응답이다. 또한 H 는 반향 경로의 전달함수이다.

필터 출력 $\hat{y}(n)$ 는 입력신호 $x(n)$ 과 임펄스 응답인 필터 계수 h_i , $i=0, 1, 2, \dots, N-1$ 에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{y}(n) = \sum_{i=0}^{N-1} \hat{h}_i x(n-i) \quad (12)$$

식 (7)는 다음식 (13)으로 표현할 수 있으며, 식 (13)은 \hat{h} 의 함수이므로, 최적의 필터 계수를 구하기 위해 식 (14)과 같이 편미분한다.

$$J = E[e(n)\{\phi_{dx}(n) - \phi_{yx}(n)\}] = E[e(n)\{\phi_{dx}(n) - \hat{h} \phi_{xx}(n, k)\}] \quad (13)$$

$$\nabla J = \frac{\partial J}{\partial \hat{h}} = -E \begin{bmatrix} e(n)\phi_{xx}(n, 0) \\ e(n)\phi_{xx}(n, 1) \\ \vdots \\ e(n)\phi_{xx}(n, N-1) \end{bmatrix} = -E[e(n)\Phi_{xx}(n)] \quad (14)$$

식 (15)과 같은 최대경사 알고리즘을 얻을 수 있다.

$$\hat{h}(n+1) = \hat{h}(n) + 2\mu E[e(n)\Phi_{xx}(n)] \quad (15)$$

Widrow가 제안한 stochastic gradient method를 활용하고, 수렴에 대한 충분한 조건을 확보하기 위해 정규화하면 식(16)을 얻을 수 있다.

$$\hat{\mathbf{h}}(n+1) = \hat{\mathbf{h}}(n) + \frac{2\mu}{1 + \phi_{xx}^T(n) \phi_{xx}(n)} \phi_{xx}(n)e(n) \quad (16)$$

여기서, μ 는 수렴 계수로서 $0 < \mu < 1$ 인 상수이다. 식(16)을 반향 제거기에 적용하기 위해서는 식 (6), (8)에서 정의한 $\phi_{xx}(n, k)$, $e(n)$ 의 계산이 필요하다. 그런데, 오차신호 $e(n)$ 는 식 (8)에서 알 수 있듯이 목표신호와 입력신호와의 상관함수 $\phi_{dx}(n)$ 과 필터의 출력신호와 입력신호의 상관함수 $\phi_{yx}(n)$ 의 차이이다. 이 식은 목표신호와 필터의 출력신호의 차이 $z(n)$ 과 입력신호와의 상관함수 $\phi_{zx}(n)$ 로 근사화할 수 있다.

$$\begin{aligned} e(n) &= \phi_{dx}(n) - \phi_{yx}(n) \\ &= \phi_{zx}(n) \end{aligned} \quad (17)$$

따라서, 식 (17)을 적용하여 반향 제거기를 구성한다.

CLMS 알고리즘을 적용한 반향 제거기와 기본 적응 알고리즘을 적용한 반향 제거기의 차이점을 정리하면 다음과 같다.

첫째. 알고리즘에 원단신호인 입력 $x(n)$ 대신 입력신호의 상관 함수 ϕ_{xx} 를 적용한다.

둘째. 오차를 계산하기 위한 식 $e(n) = d(n) - \hat{y}(n)$ 대신 입력 $x(n)$ 과의 상관관계를 적용한 아래식을 사용한다.

$$e(n) = \phi_{dx} - \phi_{yx} = \phi_{zx} \quad (18)$$

3. Implementation

본 실험에서는 TMS320C6x를 사용하여 CLMS알고리즘을 적용한 반향제거를 수행하였다.

동시통화 환경에서 시간지연이 없는 경우와 20ms의 시간지연을 갖는 2가지의 경우로 실험한다.

CLMS 알고리즘은 입력 신호 자체 대신에 입력 신호의 상관함수를 이용하는 알고리즘이다. 상관함수를 이용하기 때문에 계산량은 다소 많다.

본 실험에서 샘플링 간격은 0.05[ms]이고, 10,000개의 데이터를 사용하였다. 반향 제거기의 필터의 차수는 64차이고, step-size μ 는 0.2이다. 반향 제거기의 성능은 $z(n)$ 을 통해 반향 신호 $y(n)$ 의 제거 정도를 판단한다. 근단신호 $s(n)$ 이 없는 단일통화 환경의 경우, 그림5와 동시통화 환경의 경우, 그림6에서 보는바와 같이 CLMS 알고리즘 적용한 제거기는 정상적으로 반향이 제거되고 랜덤노이즈 성분만 남는다.

step-size μ 는 상대적으로 큰 값을 사용하는데, 그 이유는 CLMS 알고리즘 모두 정규화된 식을 사용하기 때문에 제거기의 성능은 아래 그림의 스펙트럼으로 확인한다.

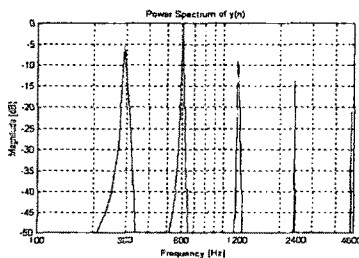


그림 4. 반향 신호(신호와 스펙트럼)

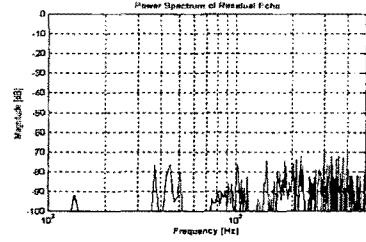


그림5. 단일통화 환경에서 CLMS 알고리즘을 적용한 경우의 반향 제거기의 반향 제거 성능

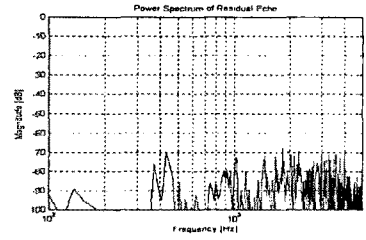


그림6. 동시통화 환경에서 CLMS 알고리즘을 적용한 경우의 반향 제거기의 반향 제거 성능

그림4는 반향성분을 나타낸 스펙트럼이고, 그림5는 단일통화 환경에서 CLMS 알고리즘을 적용한 경우의 반향 제거기의 반향 제거 성능이고 그림6은 동시통화 환경에서 CLMS 알고리즘을 적용한 경우의 반향 제거기의 반향 제거 성능이다.

4. Conclusion

본 논문에서는 VoIP 기반 동시통화 환경에서 반향을 제거하기 위해 CLMS 알고리즘을 적용하였다. DSP 6711 프로세서를 사용하여 실험한 결과 반향제거에서 우수한 성능을 보였다. 단 계산량을 더 줄이거나 보다 빠른 속도의 AD/DA 변환 모듈을 사용하여 반향 제거속도를 더 향상시킬 필요가 있다.

[참고 문헌]

- [1]Oh, S., Viswanathan, V., Papamichalis, P., *Hands-Free Voice Communication in an Automobile with A Microphone Array*, Proc ICASSP, pp. 281 - 284, 1992
- [2]Chassaing, R, *DSP applications using C and the TMS320C6x DSK*, A Wiley-Interscience Publication, 20002
- [3]한국통신과학기술연구팀, "네트워크 반향 특성분석," 2001.9
- [4]T.Yesen, M.Parperis, R.Goubran and I.Lambadaris, "Determination acoustic round trip delay for VoIP Conferences," Proc. IEEE MMSP98, pp. 161 166, 1998.12
- [5]M.R.Asharif, T.Hayashi, K.Yamashita, "Correlation LMS algorithm and its application to double talk echo cancelling," *Electronics Letters*, vol.35, No3, pp.194-195, 4th 1999.2
- [6]오학준, 이승환, 이해수, 구준근, 정찬수, "동시통화 환경에서 강인한 반향제거 성능을 가진 ECLMS 알고리즘에 관한 연구," *대한전기학회 추계학술대회 논문집*, 2001.11