

# 핸즈프리 전화통신을 위한 음향반향 및 잡음제거

조점균, 박선준, 윤대희, 차일환  
연세대학교 전기전자공학과

## Acoustic Echo and Noise Cancellation for Hands-Free Telephony

Chom Gun Cho, Seon Joon Park, Dae Hee Youn, and Il Whan Cha  
Dept. of Electrical and Electronic Eng., Yonsei University  
e-mail : [chronos, seonjoon]@lethe.yonsei.ac.kr

### 요 약

최근 이동전화의 사용이 급격히 확산됨에 따라 편이성과 안정성의 문제로 핸드프리 전화통신의 필요성이 대두되고 있다. 핸드프리 통신상황의 경우 근거리에서 위치한 스피커와 마이크로폰의 커플링에 의해 발생하는 음향반향과 차량내에 존재하는 배경잡음에 의하여 통화 품질이 크게 저하되는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 차량내에서 핸드프리 전화통신에 적합한 음향반향과 잡음제거 시스템을 제안하였다. 특히, 안정적인 음향반향제거 성능을 얻기 위하여 두 개의 평균상호상관도를 이용한 동시통화검출 알고리즘을 제안하였다. 음향반향제거를 위해서는 NLMS 알고리즘에 의해 구동되는 제한된 차수의 적응반향제거기법을 사용하였으며, 잔여반향 및 배경잡음제거를 위해 IS-127 EVRC 음성 부호화기의 잡음제거방식을 사용하였다. 제안된 시스템은 16 비트 고정소수점 DSP 인 OAK DSP 를 이용하여 약 23.17MIPS 의 연산량으로 실시간 구현되었다.

### 1. 서 론

이동통신기술이 사회 전분야에 급격히 확산됨에 따라 안정성과 편이성을 위하여 핸드프리를 이용한 전화통신의 중요성이 크게 대두되고 있다. 하지만 핸드프리를 이용할 경우, 음향반향과 배경잡음에 의해 마이크로폰으로 입력되는 신호의 SIR(Signal-to-Interference Ratio)이 급격하게 떨어져 통화 품질이 크게 저하되는 문제점이 있다[1].

음향반향은 원단화자의 음성이 근단에 위치한 핸드프리 단말기의 스피커와 마이크로폰 사이의 경로를 통해 재환됨으로써 발생하며, 통화 품질을 저해하는 가장 주요한 요소이다. 음향반향제거에는 일반적으로 적응필터를 이용하여 시간에 따라 변화하는 반향경로를 추정하는 적응반향제거기법이 널리 쓰인다. 배경잡음은 운행 중인 차량 실내와 같이 잡음이 심한 상황에서 이동통신 부호화기의 성능을 크게 저하시킨다. 따라서 핸드프리를 사용한 전화통화에서 음향반향과 배경잡음의 제거는 매우 중요하다[2]. 본 논문에서는 실측

데이터를 바탕으로 차량 환경에서 최적화된 음향반향 및 잡음제거 시스템을 제안하고, 안정적인 음향반향제거 성능을 얻기 위해 두 개의 평균상호상관도를 이용한 동시통화검출 알고리즘을 제안한다. 제안된 시스템을 고정소수점 DSP 를 이용하여 실시간 구현하였다.

### 2. 제안된 시스템

본 논문에서는 음향반향과 배경잡음을 동시에 효과적으로 제거하기 위하여 음향반향제거기(AEC)의 후처리단으로 배경잡음제거기(NR)를 사용하였다.

제안된 시스템은 그림 1과 같으며, 크게 아래와 같이 두 부분으로 구성된다.

- 1) 음향반향제거기(AEC) : NLMS 알고리즘에 의해 구동되는 음향반향제거기를 사용[3], 제안된 동시통화검출 알고리즘 사용.
- 2) 잔여반향 및 배경잡음제거(NR) : IS-127 잡음제거기 사용[4].

그림 1에서  $x(k)$ 는 원단화자신호,  $s(k)$ 는 근단화자신호,  $y(k)$ 는 음향반향신호,  $n(k)$ 는 잡음신호를 의미한다.  $\hat{y}(k)$ 는 적응필터를 이용해 추정된 반향신호,  $z(k)$ 는 마이크로폰의 입력신호,  $e(k)$ 는 음향반향제거기의 출력인 오차신호이고,  $\hat{e}(k)$ 는 잡음제거기의 출력신호이다.

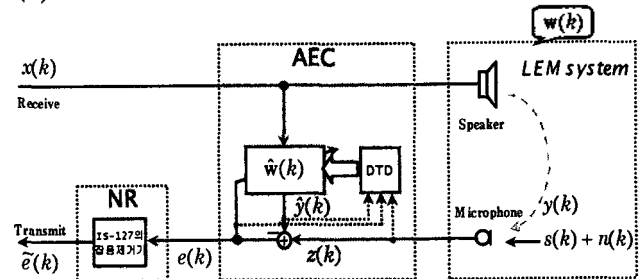


그림 1. 음향반향 및 배경잡음제거 시스템

## 2.1 음향반향제거기

### 2.1.1 적응알고리즘

음향반향제거를 위한 적응알고리즘은 음성신호의 전력 특성을 반영하여 효과적으로 반향신호를 제거할 수 있으면서 계산량도 적은 NLMS 알고리즘을 사용하였다[3]. NLMS 알고리즘은 입력신호가 음성신호와 같이 시간에 따라 전력이 크게 변화하는 신호일 때, 지속적이고 안정적인 수렴을 보장하기 위해서 입력신호의 전력에 따라 가변하는 수렴상수를 사용한다.

음향반향제거기의 적응필터는 음향공간의 특성뿐만 아니라 마이크와 스피커의 특성을 포함하는 폐공간 (Loudspeaker-Enclose-Microphone; LEM) 시스템의 충격응답을 모델링한다.

### 2.1.2 제안한 동시통화검출기

일반적으로 음향반향제거기의 안정적인 보장하기 위해 동시통화검출기를 이용하여 적응필터의 계수 적응여부를 결정한다. 일반적으로 상호상관도를 이용한 동시통화검출 알고리즘이 가장 좋은 성능을 나타내는 것으로 알려져 있으나, 많은 계산량으로 인하여 실시간 구현에는 적절하지 않다. 따라서 실시간 구현에 용이하도록 적은 계산량을 소요하는 평균상호상관도를 이용한 동시통화검출 알고리즘이 제안된 바 있다[5].

평균상호상관도를 이용한 방법[5]에서는 마이크론의 입력신호  $x(k)$ 와 추정된 음향반향신호  $\hat{y}(k)$ 와의 평균상호상관도  $\hat{\rho}_{y,x}(k)$ 는 단일통화구간에서 1에 가까운 값을 갖으면서 값의 변화정도는 0.2 이하이다. 따라서  $\hat{\rho}_{y,x}(k)$ 는 단일통화검출에 매우 유리한 특성을 갖는다. 하지만  $\hat{\rho}_{y,x}(k)$ 는 동시통화구간에서 값의 변화가 0.5 정도로 크게 변하므로, 동시통화구간 검출을 위한 적절한 문턱치를 선정하기 어렵다.

이러한 문제점을 보완하기 위해서, 본 논문에서는 기존의 방법에 마이크론의 입력신호  $x(k)$ 와 오차신호  $e(k)$ 와의 평균상호상관도  $\hat{\rho}_{e,x}(k)$ 를 결합하여 사용하는 동시통화검출 알고리즘을 제안한다.  $\hat{\rho}_{e,x}(k)$ 는 단일통화구간에서는 값의 변화정도가 0.5 이하로 크게 변하지만, 동시통화구간에서 1에 가까운 값을 갖으며 값의 변화정도는 0.2 이하로  $\hat{\rho}_{y,x}(k)$ 를 사용하는 동시통화검출 알고리즘에 비하여 동시통화구간 검출을 위한 문턱치 선정이 비교적 용이하다.

제안된 동시통화검출기에서는  $\hat{\rho}_{y,x}(k)$ 를 이용한 단일통화검출 결과와  $\hat{\rho}_{e,x}(k)$ 를 이용한 동시통화검출 결과를 결합하여 사용함으로써, 적응필터의 계수적응여부를 더욱 효과적으로 검출할 수 있다. 제안한 동시통화검출 알고리즘은  $\hat{\rho}_{y,x}(k)$  값을 이용하여 먼저 동시통화여부를 결정하고 동시통화로 판단되면,  $\hat{\rho}_{e,x}(k)$  값을 이용하여 한번 더 동시통화여부를 판단한다.

## 2.2 IS-127 잡음제거기

간여반향 및 배경잡음의 제거를 위하여 본 논문에서는 이 동통신용 음성부호화기와의 결합을 고려하여 표준 규격 중

하나인 IS-127(EVRC)의 잡음제거기를 사용하였다[4]. IS-127의 잡음제거기는 프레임 단위로 데이터를 처리하며, 이 때 프레임 크기는 80 샘플이다. IS-127의 잡음제거방법은 그림 2와 같으며, 이 방법은 주파수 대역을 총 16개의 비균일한 (non-uniform) 대역으로 나누어 대역별로 SNR을 구한다. 이를 이용하여 구한 대역별 잡음제거 이득을 입력신호에 곱함으로써 잡음을 제거한다.

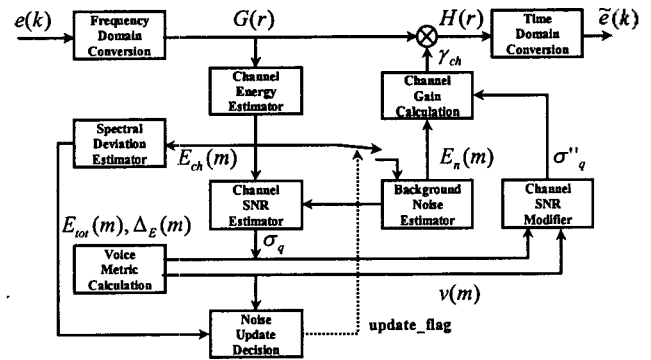


그림 2. IS-127의 잡음제거방법

## 3. 시스템 평가

### 3.1 차내 충격응답의 측정

마이크론을 운전석 햇빛 가리개의 중앙에, 스피커를 시가용 텐즈프리가 놓이는 곳에 위치시킨 후 차내 충격응답을 측정하였다. 그림 3은 차의 엔진과 에어컨을 모두 켜진 경우에 측정된 차내 충격응답으로, 8kHz 표본화율에서 512차의 FIR 필터로 모델링한 후 정규화한 것이다.

본 논문에서 사용한 NLMS 알고리즘의 연산량은 적응차수에 비례하기 때문에 실시간 구현을 위해서는 적응필터 차수의 결정이 매우 중요하다. 그림 3의 경우 8kHz 표본화율에서 충격응답의 길이가 256 이상이면 반향신호의 전력에 99% 이상이 포함된다. 즉, 256차의 적응필터를 사용할 경우 차내 음향반향 경로의 대부분을 모델링할 수 있음을 알 수 있다. 또한, 차내에서 측정된 대부분의 충격응답에서 99%이상의 에너지가 256 샘플 이내에 있음을 확인하였다. 따라서 실시간 시스템에 사용되는 적응필터의 차수를 256으로 결정하였다.

### 3.2 제안한 동시통화검출기의 성능

제안한 동시통화검출기의 성능을 평가하기 위해 주황중에 채취한 마이크론의 입력신호에 근단화자신호를 16,000 번째 샘플부터 21,000 번째 샘플까지 더해져 동시통화 상황을 설정하였다. 이때 마이크론과 스피커의 위치는 3.1절과 동일하게 설정하였고, 이때의 마이크론의 입력신호를 그림 4에서 나타내었다.

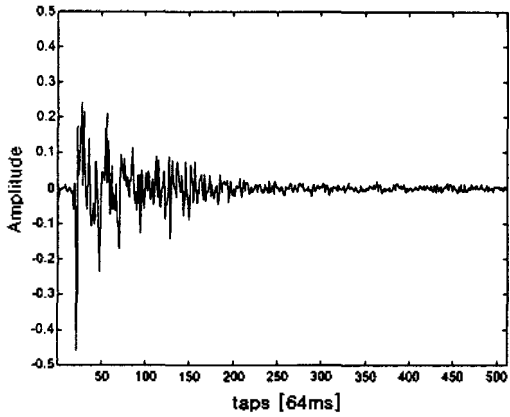


그림 3. 정규화한 채널 충격응답( $\|h_{norm}(\cdot)\|^2 = 1$ )

기존의 평균상호상관성을 이용하는 동시통화검출 알고리즘의 동시통화 판단결과와 제안된 동시통화검출 알고리즘의 판단결과를 그림 5에 나타내었다.

그림 4(a)는 동시통화구간을 표시한 것이고, 그림 4(b)는 기존의 동시통화검출 방법의 판단결과로써 상위 문턱치는 0.8이고, 하위 문턱치는 0.4이다[6]. 그림 4(c)는 제안된 동시통화검출 방법의 판단결과로써  $\hat{\rho}_{\text{avg}}(k)$ 와  $\hat{\rho}_{\text{acc}}(k)$ 의 문턱치는 0.8로 기존의 방법의 상위 문턱치와 동일하게 설정하였다.

그림 4에 의하면 기존의 동시통화검출 방법은 시작점 검출에서 약간의 지연이 발생하였고 끝점 검출은 많은 지연이 발생하였지만, 제안된 방법은 시작점 검출은 거의 지연 없이 검출하였고, 끝점 검출도 거의 지연 없이 검출함을 알 수 있다. 그림 4에서 동시통화가 발생하지 않은 구간에서도 동시통화로 판단하는 것은 주행잡음에 의해 적응필터가 불안해지는 것을 방지하기 위한 것이다.

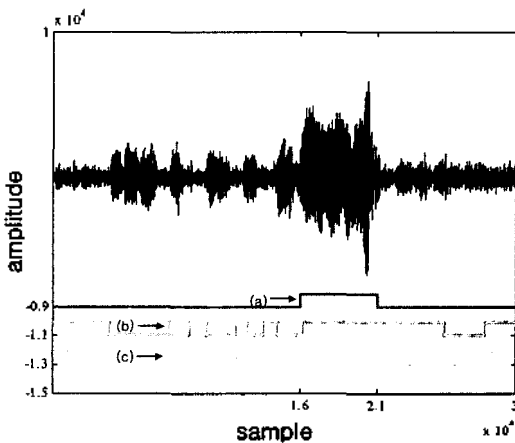


그림 4. 동시통화검출 판단결과 (a) 실제 동시통화구간, (b) 기존의 방법, (c) 제안된 방법

제안된 동시통화검출 방법과 기존의 방법과의 ERLE 성능 차이를 알아보기 위해 음향반향제거를 수행하였고, 그 결과를 그림 5에 나타내었다. 그림 5에 의하면 동시통화상황이 발생되기 전까지는 두 방법이 거의 동일한 성능을 보여준다. 그러나 동시통화 발생 이후 기존의 방법은 끝점검출이 늦어 ERLE 값이 제안된 방법보다 낮음을 알 수 있다.

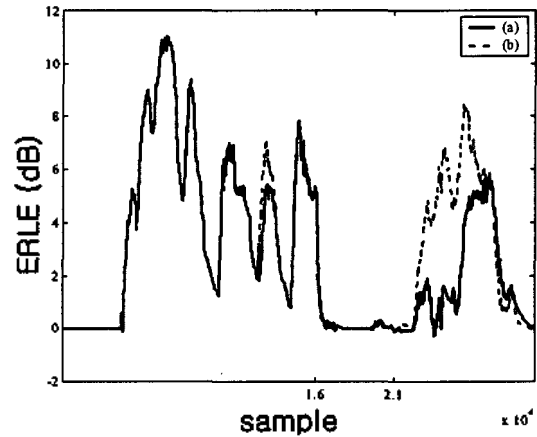


그림 5. 동시통화검출 방법에 따른 ERLE 성능 (a) 기존의 방법, (b) 제안된 방법

### 3.3 시스템 성능

결합시스템의 성능을 평가하기 위해서 기존의 음향반향제거기만 사용한 경우와 잡음제거기를 음향반향제거기의 후처리단으로 이용하는 경우의 ERLE 성능을 그림 6에 나타내었다. 이때 음향반향제거기의 입력신호는 그림 4의 신호를 이용하였다. 그림 6(a)는 음향반향제거기만 사용한 경우로 최고 11dB의 ERLE 성능을 얻을 수 있다. 이에 비해 그림 6

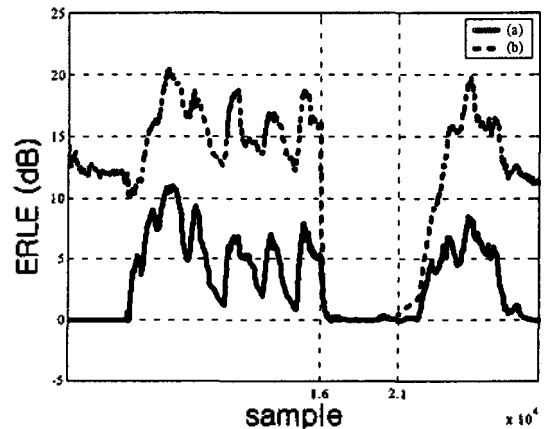


그림 6. ERLE 성능 (a) 음향반향제거기, (b) 결합시스템

(b)는 결합시스템을 이용한 경우로 최고 21dB의 ERLE 성능을 얻을 수 있다. 따라서 결합시스템을 이용하면 기존의 음향반향제거기만 이용했을 때보다 약 10dB 이상의 ERLE 성능 향상을 얻을 수 있다.

## 4. 실시간 구현

### 4.1 알고리즘 구현의 최적화

DSP는 한정된 저장공간과 제한된 연산속도를 갖으므로 사용하는 알고리즘의 최적화과정이 필요하다. 잡음제거기는 주파수 축에서 프로그램이 수행되므로 FFT와 IFFT가 필수적으로 요구된다. 음성신호와 같이 실수 값만을 갖는 신호인 경우, DFT의 대칭성을 이용하여 2N포인트 실수 DFT를 N포인트 복소수 FFT로 계산할 수 있으며, 이로 인해 계산량을 절반으로 줄일 수 있다[7].

### 4.2 연산량

제안된 시스템을 구현했을 때 각 과정별로 소요되는 연산량을 표 1에 나타내었다. 표 1에 나타난 점유율은 DSP의 전체 연산량을 100%로 하였을 때, 각 과정이 차지하는 비율을 표시한 것이다.

표 1에서 음향반향제거기는 필터링 과정에서 적응필터계수갱신 과정까지이고, 잡음제거기는 프리엠퍼시스와 디엠퍼시스 과정부터 OLA 과정까지이다. 이때 가장 많은 연산량

표 1. 총 연산량

적용필터의 각 과정		사이클 수 (cycles/frame)	점유율(%)
필터링		23,200	5.80
전력측정		2,400	0.60
동시통화검출기		9,600	2.40
선택 사항	필터계수저장	41,600	10.40
	필터계수불러들임	41,200	10.30
적용필터계수갱신		108,000	27.00
프리엠퍼시스와 디엠퍼시스		871	0.22
FFT/IFFT		29,405	7.35
대역별 전력과 장구간 전력		4,058	1.01
대역별 SNR과 QSNR		5,668	1.42
스펙트럼 편차		2,000	0.50
잡음구간 검출기		423	0.11
대역별 이득 계산		1,594	0.40
잡음 전력 갱신		2,573	0.64
OLA		300	0.08
총 연산량		231,692	57.83

을 차지하는 과정은 적응필터계수갱신 과정으로 DSP의 점유율이 27%이다. 그리고 그 다음으로 많은 연산량을 차지하는 과정을 차례대로 나열하면 필터계수저장 과정, 필터계수불러들임 과정, FFT/IFFT 과정, 필터링 과정 순서이다. 표 1로부터 제안된 시스템은 231,692 사이클로 실시간 구현되었다.

## 5. 결론

본 논문에서는 차량용 핸즈프리 전화통신에 적합한 음향반향제거기와 잡음제거기의 결합시스템을 제안하였고, 이를 16 비트 고정소수점 연산을 하는 OAK DSP를 이용하여 약 23.17MIPS로 실시간 구현하였다. 또한 안정적인 동시통화검출을 위해 평균상호상관도를 이용한 동시통화검출 알고리즘을 제안하였다. 제안된 동시통화검출 알고리즘을 사용함으로써 기존의 방법보다 정확한 시작점과 끝점검출이 가능하였다. 결합시스템에서 음향반향제거기에는 NLMS 알고리즘에 의해 구동되는 적응반향제거기법을 사용하였으며, 실측한 차내 충격응답을 기반으로 적응필터 차수는 256으로 결정하였다. 잔여반향과 배경잡음의 제거를 위해서는 IS-127 음성 부호화기의 표준안에 포함된 잡음제거방식을 사용하였다. 결합시스템을 이용하면 음향반향제거기만 사용하였을 때보다 평균 10dB 이상의 ERLE 성능 향상을 얻을 수 있다.

## 참고문헌

- [1] S. Gustafsson, R. Martin, and P. Vary, "Combined acoustic echo control and noise reduction for hands-free telephony," *Signal Processing*, vol. 64, no. 1, pp. 21-32, 1998.
- [2] C. Beaugeant, V. Turbin, P. Scalart, and A. Gilloire, "New optimal filtering approaches for hands-free telecommunication terminals," *Signal Processing*, vol. 64, no. 1, pp. 33-47, 1998.
- [3] C. Breining, P. Dreiscitel, E. Hänslar, A. Mader, B. Nitsch, H. Puder, T. Schertler, G. Schmidt, J. Tilp, "Acoustic echo control. An application of very-high-order adaptive filters," *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 16, Issue 4, pp. 42-69, July 1999.
- [4] TIA/EIA/IS-127, *Enhanced variable rate codec, speech service option 3 for wideband spread spectrum digital systems*, 1997.
- [5] 유재하, 윤대희, 조성호, "효율적인 동시 통화 검출을 위한 새로운 알고리즘," *한국통신학회논문지*, 제 20 권 제 7 호, pp. 1814-1821, 1995년 7월.
- [6] 차윤철, "멀티미디어 PC 환경에 적합한 음향 반향 제거기의 실시간 구현," 연세대학교 대학원 석사학위 논문, 1996.
- [7] H. V. Sorensen, D. L. Jones, M. T. Heideman and C. S. Burrus, "Real-valued fast Fourier transform algorithms," *IEEE Trans. Acoust., Speech, and Signal Processing*, vol. ASSP-35, no. 6, pp. 849-863, Jun. 1987.