

핸즈프리 전화통신을 위하여 통합된 음향 반향 및 잡음 제거 시스템

정희원 박선준*, 조점군**, 이충용*, 윤대희*

An Integrated Acoustic Echo and Noise Cancellation System for Hands-Free Telephony

Seon Joon Park*, Chum Gun Cho**, Chungyong Lee*, and Dae Hee Youn* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 차량내 핸드프리 전화통신을 위한 음향 반향 및 배경 잡음 제거기를 제안한다. 제안한 시스템은 새로운 잔여 반향 제거 기법과 실시간 구현에 적합한 동시통화 검출기를 포함한다. 잔여 반향 제거에서는 근단화자가 없는 구간에 대하여 선형 예측기를 이용하여 잔여 반향 신호의 인접 샘플간의 상관도를 제거하여 잡음 제거기의 입력으로 사용한다. 잔여 반향 신호의 음성특성을 제거함으로써 잡음 제거기를 이용하여 배경 잡음과 더불어 잔여 반향의 전력을 효과적으로 줄일 수 있다. 제안된 시스템에서는 상용 저전송률 음성부호화기와의 결합을 고려하여 IS-127(EVRC)에 포함되어 있는 잡음 제거기를 사용하였다. 90 km/h로 정속 주행하는 차량의 핸드프리 환경에서 제안된 시스템은 30 dB이상의 간섭신호 제거 성능을 보였다. 제안된 시스템은 16비트 고정 소수점 연산을 하는 저가의 DSP를 이용하여 실시간 구현되었다.

ABSTRACT

An integrated acoustic echo and noise cancellation system for hands-free telephony is presented. The proposed system includes a new residual echo cancellation scheme based on spectral analysis and a double-talk detector suitable for real-time implementation. In the proposed residual echo cancellation method, residual echo is uncorrelated by linear prediction during no near-end-talk period and is used as input for noise reduction. Removing speech characteristics of the residual echo signal, noise reduction successfully reduces the power of the residual echo as well as the ambient noise. For further integration with commercial low-bit rate speech coders, noise reduction in IS-127 (EVRC) was considered. For the hands-free situation in the moving car, the proposed system attenuated the interferences more than 30 dB at a constant speed of 90 km/h. The proposed system was implemented on a low-cost DSP with 16-bit fixed-point arithmetic.

I. 서론

이동통신 기술을 이용한 전화통신이 사회 전문가에 확산되면서 안정성과 편의성을 고려한 차량내 핸드프리 단말기를 이용한 음성통신에 대한 관심이 고조되고 있다^[1]. 하지만 이동중인 차량내의 핸드프리 전화통신상황에서 원활한 음성통신을 하기 위해

서는 전이중(full-duplex) 통신을 보장하면서 밀폐된 공간에서 발생하는 음향 반향(acoustic echo)과 배경 잡음(ambient noise)을 제거하여야 한다^[2]. 음향 반향은 원단화자 음성이 근단화자 핸드프리 단말기의 스피커와 마이크로폰 사이의 폐경로를 통해 케환됨으로써 발생한다. 음향 반향은 통화 품질을 저해하는 주요소로 하울링을 방지하고 원단화자가 자신의

* 연세대학교 전기전자공학과 음향, 음성, 신호처리 연구실(seonjoon@assp.yonsei.ac.kr), ** 국방과학연구소 해양정보처리팀
 논문번호 : K01004-0105, 접수일자 : 2001년 1월 5일

반향 신호를 듣는 것을 방지하기 위하여 반드시 제거되어야 한다³⁾. 배경 잡음은 운행 중인 차량 실내와 같이 잡음이 심한 상황에서 이동통신에 사용되는 저전송률 음성부호화기를 이용하는 핸즈프리 단말기를 사용하여 통화를 할 경우에 음질을 저하시키는 요인이 된다. 따라서 핸즈프리 전화통신 상황에서 배경 잡음 제거는 특히 중요하다⁴⁾.

최근 들어 핸즈프리 상황에서 이 두 가지 문제를 동시에 해결하기 위하여 음향 반향 제거와 배경 잡음 제거를 결합하는 문제가 크게 대두되고 있다⁵⁾. 특히 잡음 제거기를 음향 반향 제거기의 후처리단으로 결합하여 사용할 경우에 반향 제거기의 추정 오차로 발생하는 잔여 반향성분을 추가로 제거할 수 있다는 장점을 갖는다⁶⁾. 하지만 잔여 반향은 음성 신호와 매우 유사한 특성을 갖기 때문에, 잡음 제거기를 음향 반향 제거기의 후처리단으로 사용할 경우 근단화자 음성 신호에 왜곡을 주지 않으며 잔여 반향을 제거하기는 매우 어렵다. 잔여 반향 신호의 전력은 매우 작지만, 음성 신호와 같이 시변 특성을 갖기 때문에, 일반적인 잡음 제거기에 사용되는 VAD(Voice Activity Detector)는 잔여 반향 신호를 전송하고자 하는 음성 신호로 오판하여 잡음 신호의 전력 추정에 잔여 반향 신호의 전력을 반영하지 않게 된다. 따라서, 반향 신호의 근원이 시불변 특성을 갖는 정적 신호인 경우에는 잡음 제거기가 효과적으로 잔여 반향을 제거할 수 있지만, 전화통신과 같이 반향 신호의 근원이 음성 신호인 경우에는 일반적인 잡음 제거기만으로는 효과적으로 잔여 반향 신호를 제거할 수 없다.

본 논문에서는 차량내 핸즈프리 전화통신에서 음향 반향과 배경 잡음을 동시에 제거할 수 있는 통합 시스템을 제안한다. 제안된 시스템은 효율적인 동시통화 검출기와 이를 이용한 새로운 잔여 반향 제거 기법을 포함한다. 제안된 잔여 반향 제거 기법에서는, 동시통화 검출기에 의해 근단화자 신호가 없다고 판단된 구간에 대하여 선형 예측기를 이용하여 잔여 반향 신호를 백색화한다. 백색화된 잔여 반향 신호는 음향 반향 제거기의 후처리단에 위치한 잡음 제거기의 입력으로 인가되어 배경 잡음과 함께 제거된다. 제안된 시스템은 16비트 고정소수점 연산을 수행하는 OAK DSP Core를 탑재한 EVM 보드를 이용하여 실시간 구현되었다.

II장에서는 제안된 음향 반향 및 배경 잡음 제거기의 기본 구조에 대하여 서술하고, III장에서는 제안된 시스템의 실시간 구현을 위하여 사용된 동시

통화 검출 알고리즘과 제안된 잔여반향 제거 기법에 관하여 서술하였다. IV장에서는 차량 내부에서 실측한 데이터를 기반으로 실시간 시스템을 이용하여 수행한 실험 및 그 결과를 고찰하였으며, V장에서는 결론을 맺는다.

II. 제안된 음향 반향 및 배경 잡음 제거기

제안된 시스템에서는 잡음 제거기를 반향 제거기의 후처리단으로 사용하는 구조를 사용한다. 그림 1은 동시통화 검출기와 제안된 잔여 반향 제거 기법을 포함한 전체 시스템의 구성을 보여주고 있다. 그림에서 $\hat{h}(k)$ 는 음향 반향 제거기의 적응필터 계수, $g(k)$ 는 제안된 잔여 반향 제거 기법을 포함한 잡음 제거기를 의미한다. 그림 1과 같이 잡음 제거기를 반향 제거기의 후처리단으로 결합하여 사용할 경우에는 일반적인 반향 제거기의 선형성을 보장할 수 있고 잔여 반향을 잡음 제거기를 이용하여 제거할 수 있는 장점이 있다²⁾.

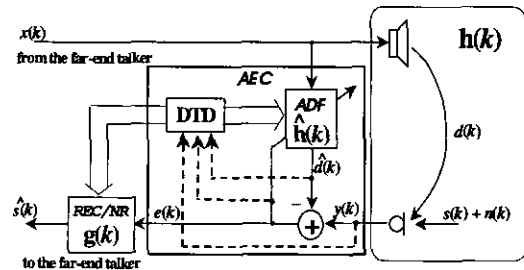


그림 1. 음향 반향 제거기와 잡음 제거기의 결합 구조

음향 반향 신호의 제거는 적응 필터를 이용하여 제거한다. 적응 필터는 근단화자단의 마이크로폰 입력신호 $y(k)$ 에서 적응 알고리즘에 의해 반향 신호 $d(k)$ 를 추정한 $\hat{d}(k)$ 를 차감하여 반향 신호를 제거한다. 마이크로폰 입력신호 $x(k)$ 는 근단화자 신호 $s(k)$, 배경 잡음 신호 $n(k)$, 그리고 음향 반향 신호 $d(k)$ 의 합으로 주어진다.

$$y(k) = s(k) + d(k) + n(k) \quad (1)$$

따라서 음향 반향 제거기의 출력 오차 신호 $e(k)$ 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$e(k) = y(k) - \hat{d}(k) = s(k) + n(k) + r(k) \quad (2)$$

여기서 $x(k) = d(k) - \hat{d}(k)$ 는 반향 제거기의 성능에 따라 전력 크기가 작아지는 잔여 반향을 나타낸다.

음향 반향 제거기의 출력 신호, 즉 오차 신호 $e(k)$ 는 적응 알고리즘의 입력 변수로 사용되어 적응 필터의 계수 $\hat{h}(k)$ 가 반향 경로 $h(k)$ 의 근사치에 수렴하도록 하는 역할을 한다. 음향 반향 제거기에는 N 차의 적응 FIR 필터와 NLMS(Normalized LMS) 알고리즘이 사용되었다. NLMS 알고리즘의 필터 계수 적응은 아래와 같다^[7].

$$\hat{h}(k+1) = \hat{h}(k) + \mu \frac{e(k)}{\|x(k)\|^2} x(k) \quad (3)$$

여기서 $x(k)$ 는 여기(excitation) 벡터이고, μ 는 적응 알고리즘의 수렴속도를 결정하는 스텝 크기이다.

음향 반향 제거기의 안정적인 동작을 위하여 다음에 설명된 상호상관계수를 이용한 동시통화 검출 알고리즘을 이용하여 계수 적응 여부를 결정하여, 잔여 반향 $x(k)$ 과 배경잡음 $n(k)$ 은 제안된 잔여 반향 제거 기법을 포함한 잡음 제거기를 이용하여 제거한다. 상용 저전송률 음성 부호화기와의 결합을 위하여 IS-127(EVRC)에 포함된 잡음 제거기를 사용하였다^[8].

III. 동시통화 검출과 잔여 반향 제거

본 장에서는 제안된 시스템에서 사용한 상호상관계수를 이용한 동시통화 검출 알고리즘과 제안된 잔여 반향 제거 기법에 관하여 설명한다. 상호상관계수를 이용한 동시통화 검출 알고리즘은 적은 연산량을 필요로 하면서도 음향 반향 제거기를 안정적으로 동작하게 한다. 또한, 제안된 잔여 반향 제거 기법은 제한된 차수를 사용하는 음향 반향 제거기의 오차신호를 충분히 제거하여 우수한 통화품질 을 보장할 수 있다.

1. 동시통화 검출

일반적으로 음향 반향 제거기의 안정적인 동작을 위해서, 원단화자와 근단화자 음성 신호의 유·무를 판단하여 음향 반향 제거기의 적응필터의 계수 $\hat{h}(k)$ 의 적응 여부를 제어한다. 원단화자의 신호가 없는 경우, 즉 반향 신호가 없는 경우와 근단화자의 신호가 있는 경우에는 적응 알고리즘이 폐공간 전 달함수 $h(k)$ 를 오추정하는 결과를 초래할 수 있기 때문에, 이와 같은 상황에서는 동시통화 검출기의 판단에 따라 적응필터의 계수 적응을 멈추게 된다.

본 논문에서는 연산량은 적으면서 저가형 DSP를 이용한 실시간 구현에 적절한 상호상관 계수를 이용한 동시통화 검출기를 사용하였다^[9]. 제안된 시스템에 사용된 동시통화 검출 알고리즘은 적응 필터로부터 추정된 반향 신호 $\hat{d}(k)$ 와 마이크로폰 입력 신호 $y(k)$ 간의 상호상관계수 $\rho_{d,y}(k)$, 그리고 음향 반향 제거기의 출력 오차신호 $e(k)$ 와 마이크로폰 입력신호 $y(k)$ 간의 상호상관 계수 $\rho_{e,y}(k)$ 를 사용하여 동시통화 상황을 검출한다. 상호상관계수 $\rho_{d,y}(k)$ 와 $\rho_{e,y}(k)$ 는 각각 다음과 같이 정의된다.

$$\rho_{d,y}(k) = \frac{P_{d,y}(k)}{\sqrt{P_d(k)P_y(k)}} \quad (4)$$

$$\rho_{e,y}(k) = \frac{P_{e,y}(k)}{\sqrt{P_e(k)P_y(k)}} \quad (5)$$

여기서 $P_{d,y}(k)$ 는 추정반향 신호와 마이크로폰의 입력신호의 상호상관 전력, $P_d(k)$ 는 추정반향 신호의 전력, $P_y(k)$ 는 마이크로폰의 입력신호의 전력, $P_{e,y}(k)$ 는 오차 신호와 마이크로폰의 입력 신호 간의 상호상관 전력, $P_e(k)$ 는 오차 신호의 전력을 의미한다. 각 전력들은 모두 1차 회귀식을 사용한 시 평균을 이용하여 추정한다^[9].

$\rho_{d,y}(k)$ 는 단일통화 상황 검출에 유리한 특성을 가지지만, 동시통화 상황에서 단일통화 상황으로 바뀐 경우 망각인자의 영향으로 검출 시간 지연을 갖게 된다. $\rho_{e,y}(k)$ 는 단일통화 상황에서는 값의 변화가 크지만 동시통화 상황의 끝점 검출에 유리한 특성을 가지므로 $\rho_{d,y}(k)$ 의 단점을 보완할 수 있다.

그림 2 (a)과 같은 실제 차량내 핸드프리 음성통

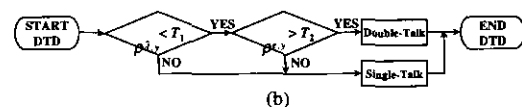
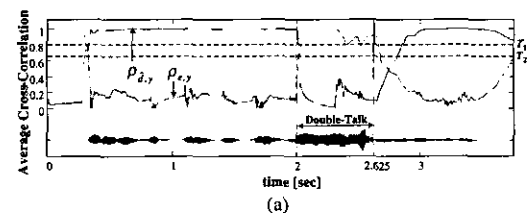


그림 2. 동시통화 검출 알고리즘
(a) 핸드프리 음성통신 상황에서의 상호상관계수,
(b) 동시통화 검출 알고리즘의 흐름도^[9]

신 환경의 두 개의 상호상관계수에서도 이러한 결과가 나타남을 볼 수 있다. 따라서 두 개의 상호상관계수를 이용한 동시통화 검출 알고리즘에서는, 그림 2 (b)와 같이 $\rho_{a,y}(k)$ 가 문턱치 T_1 보다 작은 경우에 $\rho_{e,y}(k)$ 를 문턱치 T_2 와 다시 한번 비교하여 최종적으로 동시통화 여부를 판정하게 된다.

2. 잔여 반향 제거

잔여 반향은 적응알고리즘의 추정오차에 의해 발생된다. 잔여 반향은 전화통화 품질을 저하시키고 원단화자에게 불쾌감을 주는 요소가 되므로, 잡음 제거기법을 반향 제거기의 후처리단으로 사용함으로써 배경 잡음 $n(k)$ 와 잔여 반향 $r(k)$ 를 동시에 제거한다. 일반적으로 잡음 제거기법에서는 배경 잡음이 WSS 신호이며 시간에 따라 천천히 변화한다고 가정한다. 음성 신호에 천천히 변화하는 백색 혹은 유색잡음이 섞여 있는 경우 잡음만을 추정하여 제거함으로써 깨끗한 음성 신호를 얻을 수 있다. 그러므로 잔여 반향 신호가 WSS 특성을 갖는 백색 혹은 유색신호일 경우에 이를 배경 잡음추정에 반영시켜 제거할 수 있다. 하지만 반향 신호의 발생원이 음성 신호인 경우에는 반향 제거기의 출력으로 발생하는 잔여 반향 신호가 음성 신호의 특성을 갖게 되므로 기존의 잡음 제거기에 포함된 VAD는 이를 음성 신호로 판단하게 된다.

원단화자의 신호가 음성 신호이고 근단화자의 신호와 배경 잡음이 없는 경우 음향 반향 신호와 $N=256$ 인 음향 반향 제거기를 수행한 후 발생한 잔여 반향 신호의 시간파형과 스펙트로그램을 그림 3에 보여주고 있다. 그림 3의 시간 파형에서 볼 수 있듯이, (b)의 잔여 반향 신호는 (a)의 반향 신호에 비하여 신호 레벨은 많이 줄어들었지만 반향 신호의 시변 전력 특성을 그대로 가지고 있음을 볼 수 있다. 또한 스펙트로그램을 비교하면, 잔여 반향 신

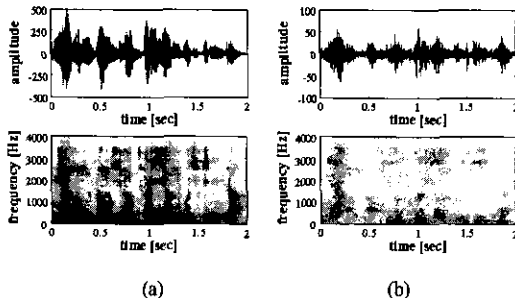


그림 3. 시간파형과 스펙트로그램
(a) 음향 반향 신호, (b) 잔여 반향 신호

호는 신호 레벨은 작지만 반향 신호가 가지고 있는 음성 포먼트의 특성과 거의 유사한 특성을 가지고 있음을 볼 수 있다. 따라서 잡음 제거기에서는 잔여 반향 신호를 배경 잡음이 아닌 음성 신호로 오판하여 잡음전력 추정에 반영하지 않게 되고, 잔여 반향은 제거되지 않은 채 그대로 원단화자에게 전송된다. 그러므로 배경 잡음을 WSS 신호로 가정하여 추정된 후 제거하는 일반적인 잡음 제거기를 이용할 경우 잔여 반향을 효과적으로 제거할 수 없다.

본 논문에서는 근단화자 신호가 없는 경우 잔여 반향 신호의 특성을 배경 잡음화시켜 잡음 제거기의 입력으로 사용함으로써 잔여 반향 제거성을 향상시키는 방법을 제안한다. 제안한 시스템의 구조는 그림 4과 같다.

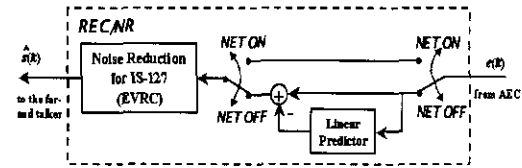


그림 4. 제안된 잔여 반향 제거 기법

앞장에서 언급한 바와 같이 원단화자신호가 음성 신호인 경우 적응필터의 오차신호 $r(k)$ 는 음성 신호의 특성을 가지므로 P 차의 선형 예측 필터를 사용하여 다음과 같이 백색화(whitening)할 수 있다^[7].

$$w_e(k) = e(k) - \sum_{i=1}^P a_i(k) e(k-i) \tag{6}$$

여기서 $a_i(k)$ 는 선형 예측기의 계수, $w_e(k)$ 는 선형 예측기를 이용하여 백색화된 음향 반향 제거기의 오차신호를 나타낸다. 선형 예측기의 계수는 Wiener-Hopf 방정식의 해로부터 구할 수 있으며, 이 해는 Levinson-Durbin 알고리즘을 이용하여 간단히 구할 수 있다^[7]. 이 때, 근단화자의 음성 신호가 왜곡되어 전송되는 현상을 방지하기 위하여 근단화자 신호의 유무를 판단하여 근단화자의 신호가 없는 경우에 대해서만 선형 예측기를 사용하여 백색화 과정을 수행한다. 근단화자 신호의 유무는 앞절에서 언급한 동시통화 검출 알고리즘에 의하여 결정된다.

그림 5에는 잔여 반향 신호와 이의 상관도를 제거하여 백색화된 잔여 반향 신호의 시간 파형과 스펙트로그램을 보여주고 있다. 그림 5(b)에서 볼 수 있듯이 선형 예측기를 사용하여 잔여 반향을 예측

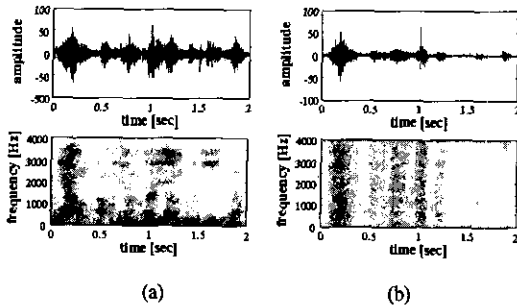


그림 5. 시간파형과 스펙트로그램
(a) 잔여 반향 신호, (b) 백색화된 잔여 반향 신호

한 후 나타나는 오차 신호에서는 잔여 반향 신호가 가지고 있던 음성 포맷트 특성이 제거되어 백색화 되었음을 볼 수 있다. 또한 시변 포맷트 특성이 제거됨에 따라 잡음 제거기의 VAD에서 이를 배경 잡음으로 판단하여 백색화된 잔여 반향 신호 전력을 잡음전력 추정에 반영할 수 있게 된다.

제안된 방법을 차량용 핸즈프리 단말기에 적용할 경우 일반적인 이동통신용 음성부호화기의 부가기능으로 규정되어 있는 배경 잡음 제거기법을 사용할 수 있다. 이 경우에는 선형 예측기의 계수 추출과 이를 이용한 필터링 과정만을 추가하여 구현할 수 있으므로 적은 부가 계산량으로 잔여 반향을 효과적으로 제거할 수 있다. 또한 잔여 반향이 잡음 제거기에서 충분히 제거될 수 있으므로 낮은 차수의 적응필터를 사용할 수 있으므로 시스템의 연산량을 추가로 감소시킬 수 있다. 제안된 시스템은 적은 연산량을 요구하므로 이동통신 단말기에 사용되는 저전송율 음성 부호화기와 집적하여 별도의 핸즈프리 키트를 사용하지 않고도 원활한 핸즈프리 음성 통신을 가능하게 할 수 있다.

IV. 실험결과

본 장에서는 제안된 시스템의 성능 평가를 위한 환경 설정과 컴퓨터 모의 실험에 대하여 서술하였다. 또한, 고정 소수점 연산을 통해 실시간 구현된 시스템에 대하여 서술하였다.

1. 환경설정

제안된 시스템의 성능을 평가하기 위하여 다음과 같은 실험 데이터 집합을 구성하였다. 우선 근단화자 신호를 위해서는 남성화자와 여성화자가 발생한 12개의 한국어 문장을 사용하였다. 또한, 동시통화 상황을 위한 원단화자 신호를 위해서는 6개의 한국

어 문장을 사용하였다. 음향 반향과 배경 잡음 신호는 중형 승용차 내에서 정지 상황과 90km/h의 정속 주행 상황에 대하여 측정하였다. 모든 데이터는 사용 전에 대역 통과 필터를 이용하여 전화 채널 대역폭(300Hz ~ 3,400Hz)으로 제한하였으며, 8kHz 표본화 주파수로 획득하여 16비트로 저장하여 사용하였다.

제안된 시스템의 성능은 동일 차수의 적응 필터를 사용하는 음향 반향 제거기만을 사용한 경우와 기존의 잡음 제거기를 음향 반향 제거기의 후처리단으로 사용하는 결합시스템의 성능과 비교하였다. 음향 반향 제거기에서는 실측한 데이터들을 바탕으로 결정한 $N=256$ 과 $\mu=0.3$ 을 사용하였으며, 잡음 제거기를 음향 반향 제거기의 후처리단으로 사용하는 기존의 결합 시스템에서는 제안된 시스템과의 비교를 위하여 IS-127의 잡음 제거기를 사용하였다.

2. 음향 간섭 제거

제안된 시스템의 성능 평가를 위하여 AIC (Acoustic Interference Cancellation)를 다음과 같이 정의하여 사용하였다.

$$AIC = 10 \log_{10} \frac{E\{v^2(k)\}}{E\{s^2(k)\}} \quad (7)$$

$$= 10 \log_{10} \frac{E\{v^2(k)\}}{E\{y(k) - \hat{i}(k)\}^2} \quad [dB]$$

여기서 $\hat{i}(k) = \hat{x}(k) + \hat{y}(k) + \hat{n}(k)$ 는 제안된 시스템에 의하여 추정된 반향, 추정된 잔여 반향, 추정된 배경 잡음을 포함하는 추정된 간섭신호 전체를 의미한다. 이는 음향 반향과 배경 잡음 등의 간섭신호가 포함된 마이크로폰 입력 신호 $\hat{x}(k)$ 와 제안된 시스템을 통과한 후 전송되는 신호 $\hat{y}(k)$ 의 전력비를 의미하는 것으로, 음향 반향과 배경 잡음이 많이 제거될수록 큰 값을 갖는다.

모든 실험에서 선형 예측기의 차수 P 는 10차를 사용하였으며, 선형 예측기의 계수를 구하기 위한 프레임 처리는 IS-127의 잡음 제거기와 동일하게 80샘플의 크기를 가지며 24샘플이 오버랩(overlap) 되도록 하였다.

그림 6은 정지 상황에서의 AIC 성능을 나타내는 것으로, (a)는 음향 반향 제거기만을 사용한 경우, (b)는 기존의 음향 반향 제거기와 잡음 제거기의 결합구조를 사용한 경우, 그리고 (c)는 제안된 시스템을 사용한 경우이다. 단일통화 구간에서 음향 반향 제거기만을 사용한 경우 평균 19.2 dB, 기존 결합

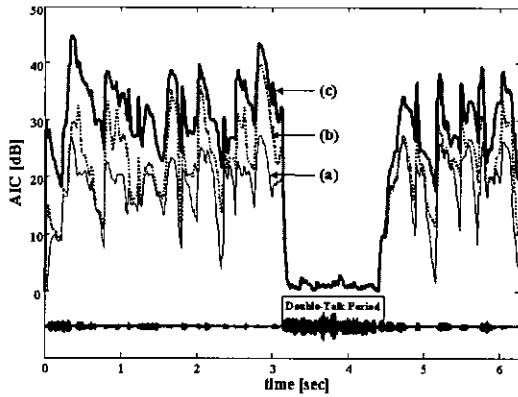


그림 6. 정지 중 차내에서의 음향 간섭 제거(AIC) 성능 (a) 음향 반향 제거기, (b) 기존의 결합 시스템, (c) 제안된 시스템

시스템의 경우 24.4 dB의 AIC 성능을 얻은 반면, 제안된 시스템은 31.8 dB의 AIC 성능을 얻을 수 있었다. 따라서 차내 정지 상황에서 제안된 시스템은 기존의 결합 시스템에 비하여 평균 7.4dB이상의 AIC 성능 향상을 얻을 수 있었다.

90 km/h로 정속 주행을 하고 있는 상황에서도 이와 유사한 AIC 성능이 나타남을 그림 7에서 볼 수 있다. 주행 상황에서는 정지 상황에서도 마이크로폰으로 배경 잡음 신호의 전력이 급격히 증가하므로, 적응 필터의 수렴 성능에 급격한 저하가 일어난다. 따라서 그림 7 (a)에서 음향 반향 제거기만을 사용한 경우에는 정지 상황에 비하여 AIC 성능이 단일통화 상황에서 평균 8.6 dB정도 밖에 되지 않음을 볼 수 있다. 기존의 결합구조를 사용한 경우에는 그림 7 (b)와 같이 단일통화 상황에서 평균 20.0dB 정도의 AIC 성능을 얻을 수 있음을 볼

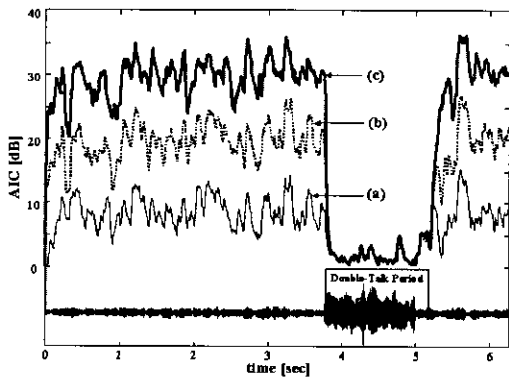


그림 7. 주행(90km/h) 중 차내에서의 음향 간섭 제거(AIC) 성능. (a) 음향 반향 제거기, (b) 기존의 결합 시스템, (c) 제안된 시스템

수 있다. 그림 7 (c)과 같이 주행 상황에서는 정지 상황에서도 제안된 시스템을 사용할 경우 더 큰 AIC 성능 향상을 얻을 수 있었다. 제안된 시스템을 사용할 경우 음향 반향 제거기만을 사용한 경우와 기존의 결합 시스템을 사용한 경우에 비하여 각각 평균 21.4 dB, 10.1 dB의 AIC 성능 향상을 나타내어, 단일통화 상황에서 최고 36.2 dB, 평균 30.1 dB의 AIC 성능을 나타내어 주행 중에서도 우수한 AIC 성능을 보였다.

3. 실시간 구현

제안된 음향 반향 및 배경 잡음 제거기를 DSP Group Inc.의 OAK DSP Core를 탑재한 에블레이션 보드를 이용하여 실시간 구현하였다. 사용한 OAK DSP Core는 16비트 고정소수점 연산을 수행하며, 40MIPS의 처리 능력을 가지고 있다. 신호의 입·출력 제어에 약 0.35 MIPS, 256차의 적응필터를 이용한 음향 반향 제거기를 위하여 약 14.31 MIPS, 동시통화 검출에 약 1.38 MIPS, 잔여 반향 제거를 위한 선형 예측 필터링에 약 0.92 MIPS, 그리고 IS-127 잡음 제거기를 수행하는데 약 4.69MIPS를 차지하였다. 따라서 제안된 시스템을 실시간 구현하는데 필요한 연산량은 총 21.3 MIPS 정도로 전체 사용가능 연산량의 53.3%를 차지하였다. 이동통신 단말기에 집적하기 위하여 프로그램과 데이터 메모리는 OAK DSP Core에 내장된 프로그램과 데이터 메모리만을 사용하도록 하였다.

V. 결론

본 논문에서는 반향 제거기의 추정오차로 인한 잔여 반향과 배경 잡음을 억제하기 위하여 반향 제거기와 잡음 제거기의 결합구조를 사용하였다. 핸즈프리 음성통신 환경에서 발생하는 반향 신호가 음성 신호의 특성을 갖는다는 사실에 기반하여 선형 예측기를 이용한 백색화 과정을 통해 잡음 제거기의 입력으로 사용함으로써 잔여 반향을 크게 줄였다. 제안한 방법은 기존의 결합구조에 비하여 전송되는 잔여 반향으로 인한 원단화자의 불편함을 크게 감소시킬 수 있으며 높은 AIC 성능을 얻을 수 있다. 특히 낮은 차수의 적응필터를 사용 가능하게 함으로써 시스템의 연산 요구량을 크게 줄일 수 있으며, 제안한 방법을 이동통신에 사용되는 저전송률 음성부화기의 부가기능으로 포함된 배경 잡음기법을 이용할 경우 약간의 부가 계산량만으로 구현할 수

있다. 제안된 시스템은 고속 주행중인 승용차 내에서도 간섭신호를 30dB 이상 감쇄시키는 높은 성능을 보였으며, 최종적으로 16비트 고정소수점 연산을 하는 저가의 DSP를 이용하여 실시간 시스템으로 구현되었다.

본 논문에서 제안된 시스템은 적은 연산량을 요구하므로 이동통신 단말기에 사용되는 저전송율 음성 부호화기와 집적되어 하나의 저가 DSP를 이용하여 실시간 구현할 수 있으므로, 단말기에 스피커와 마이크가 포함된 경우 별도의 핸드프리 키트를 사용하지 않고도 원활한 핸드프리 음성 통신이 가능하다.

참 고 문 헌

[1] H. Puder and P. Dreiseitel, "Implementation of a hands-free car phone with echo cancellation and noise-dependent loss control," in *Proc. IEEE Intl. Conf. Acoust., Speech, Sig. Process.*, 2000, pp. 3622-3627.

[2] S. Gustafsson, R. Martin, and P. Vary, "Combined acoustic echo control and noise reduction for hands-free telephony," *Signal Processing*, **64**, pp.21-32, 1998.

[3] R. Martin and S. Gustafsson, "The echo shaping approach to acoustic echo control," *Speech Communication*, **20**, pp.181-190, 1996.

[4] P. Dreiseitel, E. Hansler, and H. Puder, "Acoustic echo and noise control - a long lasting challenge," in *Proc. EUSIPCO*, pp.945-952, 1998.

[5] P. Scalart and A. Benamar, "A system for speech enhancement in the context of hands-free radiotelephony with combined noise reduction and acoustic echo cancellation," *Speech Communication*, **20**, pp. 203-214, 1996.

[6] V. Turbin, A. Gilloire, and P. Scalart, "Comparison of three post-filtering algorithms for residual acoustic echo reduction," in *Proc. IEEE Intl. Conf. Acoust., Speech, Sig. Process.*, 1997, pp. 307-310.

[7] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, 3rd Ed., Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 1996.

[8] TIA/EIA/IS-127, *Enhanced variable rate*

codec, speech service option 3 for wideband spread spectrum digital systems, 1997.

[9] 조점군, 박선준, 이충용, 윤대회, "상호상관계수를 이용한 효율적인 동시통화 검출 알고리즘," 한국통신학회 논문지, 제26권, 제6호, pp. ***-***, 2001년 6월.

박 선 준(Seon Joon Park) 정희원



1996년 2월 : 연세대학교
전자공학과 졸업
1998년 2월 : 연세대학교
전자공학과 석사
1998년 3월~현재 : 연세대학교
전기전자공학과 박사과정

<주관심 분야> 음성·음향신호처리, 적응신호처리, 실시간구현

조 점 군(Chum Gun Cho) 정희원



1999년 2월 : 연세대학교
전자공학과 졸업
2001년 2월 : 연세대학교
전기전자공학과 석사
1998년 3월~현재 : 국방과학
연구소 해양정보처리팀

<주관심 분야> 적응신호처리, 실시간구현

이 충 용(Chungyong Lee)
한국통신학회 논문지 제26권 제 1B호 참고

윤 대 회(Dae Hee Youn)
한국통신학회 논문지 제25권 제 3B호 참조