

상호상관계수를 이용한 효율적인 동시통화검출 알고리즘

정희원 조점군*, 박선준**, 이충용**, 윤대희**

An Efficient Double-Talk Detection Algorithm Using Cross-Correlation Coefficients

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

Regular Members

요 약

일반적으로 음향 반향 제거기에서 적응필터의 안정성을 보장하기 위해서 동시통화 검출기(DTD)를 사용하여 원단화자 신호와 근단화자 신호의 존재 여부에 따라 적응필터 계수의 적응 여부를 결정한다. 본 논문에서는 두 개의 상호상관계수를 이용하여 계산량과 메모리 소지수 면에서 효율적인 동시통화 검출 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 마이크로폰의 입력신호와 추정된 반향 신호간의 상호상관계수, 그리고 마이크로폰의 입력신호와 오차 신호간의 상호상관계수를 이용하여, 주행 상황과 같이 심한 잡음 환경에서도 동시통화 구간의 시작점과 끝점 검출에 강인한 특성을 갖는다. 또한, 기존의 상호상관도를 이용하는 방법에 비하여 적은 양의 계산과 메모리를 필요로 하여 저가의 고정소수점 DSP를 이용한 실시간 구현에 적합하다. 성능 평가를 위하여 차내 핸즈프리 통신 환경에서 얻은 실측 데이터를 사용하여 기존의 방법과 비교하였다.

ABSTRACT

A double-talk detector (DTD) is generally used with an echo canceller to insure the stability of adaptive filter. The DTD controls the adaptation process of adaptive filter coefficients depends on the presence of the far-end talker and near-end talker signals. In this paper, we propose a computationally efficient and memory effective DTD algorithm using two cross-correlation coefficients. The proposed algorithm uses the cross-correlation coefficient between the microphone input and the estimated echo signals, and the cross-correlation coefficient between the microphone input and the error signals, which results in robust detection, especially in severe noisy environment such as the moving car cabin, of the start and end points of the double-talk period. Since the proposed algorithm requires lower computational complexity and less memory space than the conventional cross-correlation based methods, it is suitable for the real-time implementation using a low-cost fixed-point DSP. We evaluated the proposed algorithm using real measured data in a car cabin for hands-free situation.

1. 서론

이동 전화기의 사용이 급격히 확산됨에 따라 사용자의 편의성과 안정성에 대한 욕구를 충족시키기 위하여 정지 혹은 운행 중인 차내에서 원활한 핸즈프리 음성 통신을 하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 하지만 폐공간에서 핸즈프리 음성통신에서

필연적으로 발생하는 음향 반향은 통화품질을 급격히 저하시키므로, 고품질의 핸즈프리 음성통신을 위해서는 음향 반향을 효율적으로 제거하는 것이 필요하다.

음향 반향은 핸즈프리 단말기의 스피커와 마이크로폰 사이의 음향 반향경로를 통해 궤환됨으로써 발생한다^[1]. 음향 반향 제거기의 입력 신호인 음성

* 국방과학연구소 해양정보처리팀(chronos@hotmail.com), ** 연세대학교 전기전자공학과 음향, 음성, 신호처리 연구실
논문번호 : K01005-0105, 접수일자 : 2001년 1월 5일

신호와 음향 반향경로는 시간에 따라 통계적 특성이 변하므로 적응필터를 이용한 반향 제거 기법을 이용한다. 이 방법은 전이중(full-duplex) 통신방식을 가능하게 하며 반향 신호만을 제거하기 때문에 매우 효율적이다^[2].

핸즈프리 환경에서 일반적으로 사용되는 음향 반향 제거기의 기본 구조는 그림 1과 같다. 여기서 $x(k)$ 와 $s(k)$ 는 각각 원단화자 신호와 근단화자 신호를 나타낸다. $y(k)$ 는 음향 반향경로에 의해 발생하는 음향 반향 신호, $\hat{y}(k)$ 는 적응필터를 통하여 추정된 음향 반향 신호, $n(k)$ 는 근단화자 쪽에 존재하는 배경 잡음 신호를 나타낸다. 음향 반향의 제거는 마이크로폰의 입력 신호 $z(k)$ 로부터 $\hat{y}(k)$ 를 차감함으로써 이루어진다.

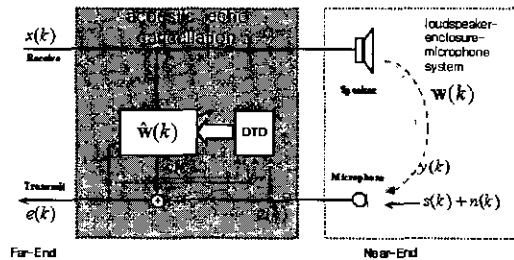


그림 1. 일반적인 음향 반향 제거기

적응필터를 음향 반향 제거기에 적용할 때, 근단화자 신호가 존재할 경우에는 원단화자 신호 $x(k)$ 와 무관한 근단화자 신호 $s(k)$ 에 의해 적응계수의 왜곡을 일으켜 적응필터가 오동작하게 된다. 따라서 동시통화 검출기(double-talk detector; DTD)를 사용하여 적응필터의 계수 적응을 제어해야 한다^[3].

동시통화 검출기의 판단에 따라 적응필터는 원단화자 신호만 존재할 경우에만 계수 적응을 수행한다. 원단화자 신호가 존재하지 않을 경우에는 음향 반향이 발생하지 않으므로 계수 적응이 불필요하다. 근단화자 신호 $s(k)$ 가 존재할 경우에는 적응필터가 오동작할 가능성이 높으므로 계수 적응을 멈춘다. 그러나 음향 반향경로의 변화에 의한 오차의 증가를 동시통화 상황으로 잘못 판단하여 적응필터의 계수 적응이 필요할 때 오히려 이를 중단하는 일이 없어야 한다. 따라서 동시통화 검출기는 근단화자 신호의 존재 여부를 빠르고 정확하게 검출해야 할 뿐만 아니라 음향 반향경로의 변화와 동시통화 상황 역시 정확하게 구별할 수 있어야 한다. 또한, 실시간 처리에 용이하도록 계산량이 적어야 한다.

II장에서는 기존의 동시통화 검출 알고리즘에 대하여 설명하였고, III장에서는 제안된 알고리즘에 대해서 서술하였다. IV장에서는 컴퓨터 모의 실험과 그 결과를 고찰하였으며, V장에서 결론을 맺는다.

II. 기존의 동시통화 검출 알고리즘

기존의 동시통화 검출 알고리즘은 일반적으로 신호 크기를 비교하는 형태와 신호간의 상호상관도를 이용하는 형태로 분류할 수 있다^[3]. 크기를 비교하는 형태의 대표적인 방법인 Geigel 알고리즘^[4]은 원단화자 신호의 크기가 마이크로폰의 입력 신호의 크기보다 크면 단일통화(single-talk; ST), 그렇지 않으면 동시통화(double-talk; DT)로 판단한다. 이때, 기본적인 가정은 원단화자 신호가 반향 신호보다 크다는 것이다. 그러나 근단화자 신호가 반향 신호보다 작을 경우, 이 알고리즘은 동시통화 상황을 제대로 검출할 수 없다. 또한 음향반향의 변화와 동시통화 상황을 구분할 수 없다는 단점이 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 신호의 상호상관도를 이용한 방법이 제안되었다^[3]. 이 방법에서는 적응필터의 계수가 충분히 수렴하였을 때 계수 적응을 멈춘다. 이때, 원단화자 신호 벡터와 음향 반향 제거기의 오차 신호와의 직교성을 만족한다. 만일 원단화자와 상관도가 없는 근단화자 신호가 존재하더라도 직교성은 그대로 유지되지만 반향경로가 변했을 경우에는 직교성을 만족시키지 못한다. 따라서 위와 같은 직교성을 이용하여 반향경로의 변화를 감지할 수 있다.

1. 정규화된 상호상관도를 이용한 방법

적응필터의 입·출력 신호간의 상호상관도를 이용하여 동시통화 여부를 검출하는 알고리즘은 여러 가지 방법이 제안되었다. 원단화자 신호 벡터 $x(k)$ 와 오차 신호 $e(k)$ 간의 상호상관도를 이용한 동시통화 검출 방법이 제안되었으며^[5], 이와 유사하게 원단화자 신호 벡터 $x(k)$ 와 마이크로폰의 입력신호 $z(k)$ 간의 상호상관도를 이용한 동시통화 검출 방법이 제안되었다^[3]. 전자의 방법보다 후자의 방법이 보다 동시통화 검출에 더 강인하고 신뢰할 만하다고 알려져 있다. 그러나 상호상관도를 이용한 방법은 신호의 통계적인 특성과 반향경로에 따라 상호상관도가 변하므로 최적의 문턱치는 실험 상황마다 다르게 나타난다. 따라서 근단화자가 존재하지 않을 경우에는 검출통계(decision statistics) ξ 를 예측할

수 없는 단점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 정규화된 상호상관도를 이용한다.

정규화된 상호상관도를 이용한 방법에서는 다음과 같이 정의된 원단신호 벡터 $x(k)$ 와 마이크로폰의 입력신호 $z(k)$ 의 정규화된 상호상관 벡터 ρ_{xz} 를 사용하여 동시통화를 검출한다^[6].

$$\rho_{xz} = (\sigma_z^2 R_x)^{-1/2} r_{xz} \quad (1)$$

여기서 $\sigma_z^2 = E[z^2(k)]$ 는 마이크로폰 입력 신호의 전력, $R_x = E[x(k)x^T(k)]$ 는 원단화자 신호 벡터 $x(k)$ 의 자기상관 행렬, $r_{xz} = E[x(k)z(k)]$ 는 원단화자 신호 벡터 $x(k)$ 와 마이크로폰의 입력신호 $z(k)$ 간의 상호상관 벡터이다.

이때, 검출통계 ξ 는 다음과 같이 추정된 상호상관 벡터 $\hat{\rho}_{xz}$ 의 l_2 norm을 사용한다.

$$\xi \approx r_{xz}^T (\sigma_z^2 R_x)^{-1/2} r_{xz} \quad (2)$$

정규화된 상호상관도는 근단화자가 존재하지 않을 경우, $\xi \approx 1$ 이므로 데이터에 독립적으로 문턱치를 1에 가까운 값으로 설정할 수 있다. 따라서 정규화된 상호상관도를 이용하는 동시통화 검출 방법에서는 $\xi \approx 1$ 이면 단일통화 상황으로, $\xi < 1$ 이면 동시통화 상황으로 판단한다.

2. 상호상관계수를 이용한 방법

앞서 언급한 상호상관도를 이용한 방법들은 문턱치가 적절히 결정될 경우 좋은 성능을 보이지만 실제 상황에서는 적절한 문턱치를 결정하기가 어렵다는 단점이 있다. 또한, 신호의 상호상관도를 구하는데 많은 계산량을 필요로 하기 때문에 실시간 시스템에 사용하는 것은 부적합하다. 따라서 실시간 구현에 적절한 계산량을 소요하는 상호상관계수를 이용한 동시통화 검출 알고리즘이 제안되었다^[7]. 이 방법은 추정반향신호 $\hat{y}(k)$ 와 마이크로폰 입력신호 $z(k)$ 간의 상호상관도를 1차 IIR 필터로 추정한 시평균을 이용한 상호상관계수 $\rho_{y,z}(k)$ 를 이용하므로, 적은 계산량으로 동시통화를 효율적으로 검출할 수 있다. 뿐만 아니라 상호상관계수는 0에서 1사이의 값을 갖으므로 문턱치 설정이 용이하다.

상호상관계수 $\rho_{y,z}(k)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\rho_{y,z}(k) = \frac{P_{y,z}(k)}{\sqrt{P_{\hat{y}}(k)P_z(k)}} \quad (3)$$

여기서 $P_{\hat{y}}(k)$ 는 추정반향신호의 전력, $P_z(k)$ 는 마이크로폰의 입력신호의 전력, $P_{y,z}(k)$ 는 추정반향신호와 마이크로폰의 입력신호의 상호상관 전력이다. 각 전력은 아래와 같이 추정한다.

$$P_{y,z}(k) = (1-\lambda)P_{y,z}(k-1) + \lambda \hat{y}(k)z(k) \quad (4)$$

$$P_{\hat{y}}(k) = (1-\lambda)P_{\hat{y}}(k-1) + \lambda \hat{y}^2(k) \quad (5)$$

$$P_z(k) = (1-\lambda)P_z(k-1) + \lambda z^2(k) \quad (6)$$

이 방법에서는 배경 잡음에 의해 순간적으로 발생하는 상호상관계수 추정오차에 의해 잘못된 결정을 내리는 문제점을 해결하기 위하여 2개의 문턱치를 이용한다. 우선 상호상관도 $\rho_{y,z}(k)$ 가 하위 문턱치 T_{low} 보다 낮을 때는 적응필터가 충분히 수렴했거나 동시통화 상황으로 판단한다. 그런 다음 문턱치를 상위 문턱치 T_{high} 로 바꾼다. 상호상관도 $\rho_{y,z}(k)$ 가 상위 문턱치 T_{high} 보다 클 때는 적응필터가 반향 경로가 변했거나 적응필터가 충분히 수렴하지 못한 상태이므로 단일통화 상황으로 판단하고, 문턱치를 하위 문턱치 T_{low} 로 바꾼다.

III. 제안된 동시통화 검출 알고리즘

앞장에서 설명한 상호상관도를 이용한 동시통화 검출 방법들은 계산량이 많아 실시간 시스템의 동시통화 검출기로 사용하는 것은 부적합하다. 상호상관계수를 이용한 동시통화 검출 방법은, 계산량이 적어 실시간 구현에는 적절하지만 하위 문턱치 설정이 어렵고, 이로 인한 동시통화 검출에서 긴 지연이 발생하는 단점이 있다.

본 논문에서는 실시간 구현에 적합한 계산량을 가지면서 동시통화 구간을 더 정확하게 검출하기 위하여 두 개의 상호상관계수를 이용하는 방법을 제안한다. 제안된 동시통화 검출 알고리즘에서는 앞에서 정의된 상호상관계수 $\rho_{y,z}(k)$ 와, 다음과 같이 정의된 $z(k)$ 와 오차 신호 $e(k)$ 와의 상호상관도 $\rho_{e,z}(k)$ 를 결합하여 사용한다.

$$\rho_{e,z}(k) = \frac{P_{e,z}(k)}{\sqrt{P_e(k)P_z(k)}} \quad (7)$$

여기서 $P_e(k)$ 는 오차 신호의 추정 전력, $P_{e,z}(k)$ 는 오차 신호와 마이크로폰의 입력 신호 간의 상호

상관 전력으로 각각 다음과 같이 추정한다.

$$P_{e,z}(k) = (1 - \lambda)P_{e,z}(k-1) + \lambda e(k)z(k) \quad (8)$$

$$P_e(k) = (1 - \lambda)P_e(k-1) + \lambda e^2(k) \quad (9)$$

작교성의 원리에 의하여 $\rho_{y,z}(k)$ 는 단일통화구간에서 1에 가까운 값을 가지므로 단일통화 검출에 매우 유리한 특성을 갖는다. 하지만 $\rho_{y,z}(k)$ 는 동시통화 구간에서는 값의 변화가 크기때문에 동시통화 구간 검출을 위한 적절한 문턱치를 설정하기 어렵다. 반면, 일반적으로 $\rho_{e,z}(k)$ 는 단일통화 구간에서는 값의 변화가 크므로 문턱치 설정이 어렵지만, 동시통화 구간에는 값의 변화가 적어 적절한 문턱치 설정이 용이한 장점이 있다. 따라서 이러한 각 상호상관계수의 장점을 결합하여 사용하면 정확한 동시통화 구간을 검출할 수 있다.

제안한 동시통화 검출 알고리즘의 흐름도는 그림 2와 같다. 우선 $\rho_{y,z}(k)$ 를 문턱치 T_1 과 비교하여 단일통화 여부를 결정한다. $\rho_{y,z}(k)$ 가 T_1 보다 큰 경우에는 단일통화로 판단하고 동시통화 검출을 마친다. 만일 $\rho_{y,z}(k)$ 가 T_1 보다 작은 경우에는 동시통화의 가능성이 크므로, $\rho_{e,z}(k)$ 를 문턱치 T_2 와 비교하여 동시통화 여부를 판단한다. 이 경우, T_2 가 $\rho_{e,z}(k)$ 보다 큰 경우에는 최종적으로 동시통화 상황으로 판단하고, 그렇지 않은 경우에는 단일통화 상황으로 판단한다.

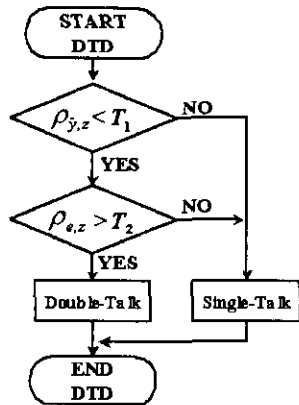


그림 2. 제안된 동시통화 검출 알고리즘

IV. 모의 실험

본 장에서는 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위

하여 컴퓨터 모의 실험을 수행하였다. 음향 반향 제거기의 계수 적용 알고리즘은 NLMS알고리즘⁸⁾을 사용하였으며, 음향 반향 제거기의 성능 평가를 위해 널리 사용되는 ERLE(Echo Return Loss Enhancement)를 사용하여 제안된 동시통화 검출 알고리즘의 효율성을 보였다.

1. 실험 환경 설정

모의 실험을 위하여 차내에서 정지 상황과 주행 상황의 핸드프리 음성 통신 상황에 대하여 데이터를 취득하였다. 데이터 취득은 승용 중형차(현대 쏘나타 II) 내에서 이루어졌으며, 이때 마이크로폰과 스피커는 각각 운전석 차양개의 중앙, 운전석 오른쪽 에어컨 위에 위치하였다. 정지 상황에서는 엔진을 끈 상태에서 실험을 수행하였으며, 주행 상황에서는 주행속도를 약 90km/h로 유지하였다.

2. 동시통화 검출 성능

그림 3은 차에서 채취한 데이터를 이용하여 구한 상호상관계수 $\rho_{y,z}(k)$ 와 $\rho_{e,z}(k)$ 의 값과 히스토그램을 나타낸다. 문턱치 $T_1=0.8$ 과 $T_2=0.65$ 는 오보율(false alarm rate)이 0.1이하를 만족하도록 설정하였다. 기존의 방법도 이와 같은 과정을 통하여 문턱치를 결정하였다.

그림 3 (a)에 의하면 $\rho_{y,z}(k)$ 는 단일통화 구간에서는 거의 1에 가까운 값을 갖는다. 단일통화 상황에서 동시통화 상황으로 변할 때, 지경수에 의하여 상호상관계수 $\rho_{y,z}(k)$ 는 시간 지연 후 변함을 확인할 수 있다. 이와 반대로 상호상관계수 $\rho_{e,z}(k)$ 는 동시통화 구간에서 1에 가까운 값을 갖음을 확인할 수 있다.

그림 3 (b)의 히스토그램을 보면 상호상관계수 $\rho_{y,z}(k)$ 는 단일통화 상황에서 작은 표준편차를 가지므로 단일통화 상황에서 문턱치 설정이 매우 용이하다. 즉 상호상관계수 $\rho_{y,z}(k)$ 는 단일통화 검출에 매우 유리한 특성을 갖는 것을 알 수 있다. 이와 반대로 그림 3 (c)에 보인 $\rho_{e,z}(k)$ 의 히스토그램에서는 동시통화 상황에서 작은 표준편차를 가짐을 볼 수 있다. 즉 상호상관계수 $\rho_{e,z}(k)$ 는 동시통화 상황을 판단에 유리한 특성을 가짐을 알 수 있다.

그림 4는 정차 중 2.25초에서 2.9초까지의 구간에 동시통화 상황을 발생시킨 경우이다. 그림 4 (a)는 동시통화 검출기의 판단 결과이고, 그림 4 (b)는 ERLE성능이다. ST일 경우에는 적응필터의 계수적

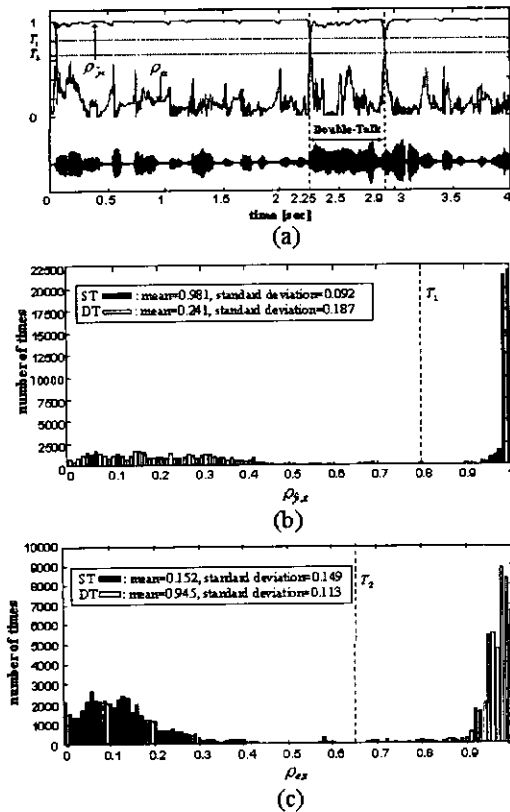


그림 3. 정지 중 차내에서의 상호상관계수와 그 히스토그램 (a) $\rho_{xz}(k)$ 와 $\rho_{ez}(k)$, (b) $\rho_{xz}(k)$ 의 히스토그램, (c) $\rho_{ez}(k)$ 의 히스토그램

음을 계속하고, DT일 경우에는 계수적음을 멈춘다. 그림 4 (a)를 보면 정규화된 동시통화 검출 알고리즘과 제안된 알고리즘은 동시통화 시작점검출과 끝점 검출이 거의 정확하게 검출하였으나 상호상관계수를 이용한 알고리즘은 시작점과 끝점에서 약간 지연 검출됨을 알 수 있다. 시작점과 끝점 검출의 지연이 음향 반향 제거기의 성능에 영향을 미친 결과를 보여주는 ERLE 곡선은 그림 4 (b)와 같다. 시작점 검출의 지연은 거의 동일하여 3가지 알고리즘의 ERLE 성능에 차이가 거의 나지 않는다. 그러나 끝점 검출 지연으로 인하여 ERLE성능의 차이를 확실히 볼 수 있다. 제안한 알고리즘이 가장 좋은 성능을 보이며, 그 다음이 정규화된 상호상관도를 이용한 방법이고, 가장 나쁜 성능을 보이는 것이 상호상관계수를 이용한 방법이다. 따라서 그림 4로부터 끝점 검출의 지연이 음향 반향 제거기의 성능에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

그림 5는 주행 중 1.97초에서 2.6초까지의 구간

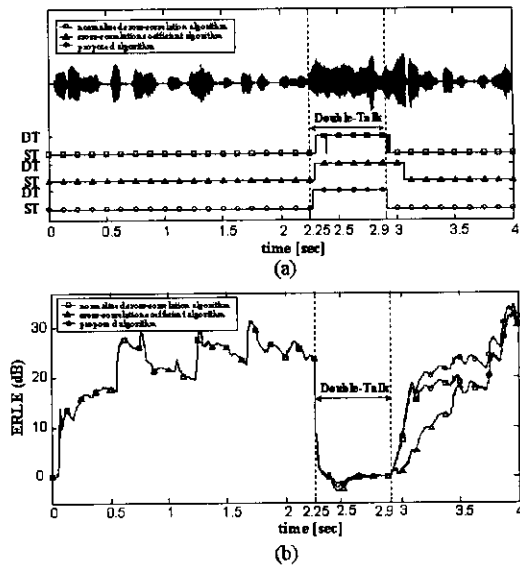


그림 4. 정지 상황에서의 동시통화 검출 알고리즘의 성능, 동시통화는 2.25초에서 2.9초까지 발생한다. (a) 동시통화 판단결과, (b) ERLE.

에 동시통화 상황을 발생시킨 경우이다. 그림 5 (a)와 (b)는 동시통화 검출기의 판단 결과와 ERLE 성능이다. 그림 5 (a)에서 정규화된 동시통화 검출 알고리즘과 제안된 알고리즘은 약 0.1초 지연 후 끝점을 검출하였으나 상호상관계수를 이용하는 알고리즘은 끝점이 1초 정도 지연 검출됨을 알 수 있다. 그

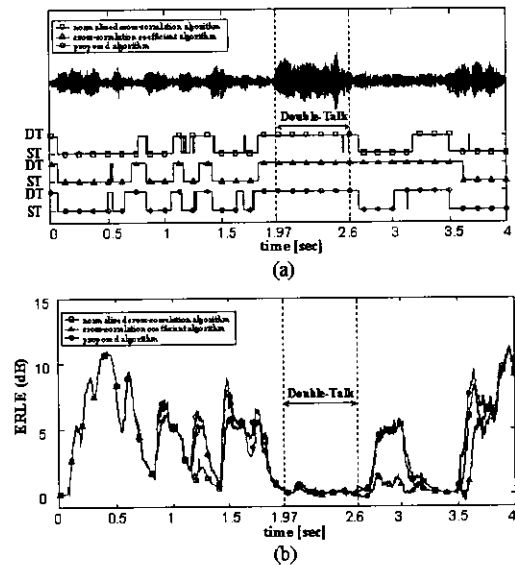


그림 5. 주행 상황(90km/h)에서의 동시통화 검출 알고리즘의 성능, 동시통화는 1.97초에서 2.6초까지 발생한다. (a) 동시통화 판단결과, (b) ERLE.

림 5 (b)의 ERLE 곡선을 보면 끝점 검출 지연으로 인한 음향 반향 제거기의 성능의 차이를 볼 수 있다. 2.6초 이전까지는 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘이 거의 동일한 성능을 갖지만 2.6초 이후에는 상호상관계수를 이용한 알고리즘은 끝점 검출의 지연으로 인해 성능이 저하된 것을 볼 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 음향 반향 제거기에 사용되는 새로운 동시통화 검출 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 2개의 상호상관계수가 갖는 특성을 결합하여 동시통화 검출에 이용함으로써 기존의 상호상관계수를 이용하는 방법보다 정확한 동시통화 구간 검출을 하였다. 특히 제안된 알고리즘은 적은 계산량으로도 현재까지 가장 성능이 우수하다고 알려진 정규화된 상호상관도를 이용하는 알고리즘과 대등한 성능을 갖는다.

참고 문헌

- [1] C. Breining, P. Dreseitel, E. Hansler, A. Mader, B. Nitsch, H. Puder, T. Schertler, G. Schmidt, and J. Tilp, "Acoustic echo control," *IEEE Signal Processing Magazine*, pp.42-69, July 1999.
- [2] D. G. Messerschmidt, "Echo cancellation in speech and data transmission," *IEEE J. Select Areas Commun.*, vol. SAC-2, pp. 283-297, Mar. 1984.
- [3] S. L. Gay and J. Benesty, *Acoustic Signal Processing for Telecommunication*, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [4] D. L. Duttweiler, "A twelve-channel digital echo canceller," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COMM-26, pp. 647-653, May 1978.
- [5] H. Ye and B. X. Wu, "A new double-talk detection algorithm based on the orthogonality theorem," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 39, no. 11, pp. 1542-1545, Nov. 1991.
- [6] J. Benesty, D. R. Morgan, and J. H. Cho, "A new class of doubletalk detectors based on cross-correlation," *IEEE Trans. Speech Audio Process.*, vol. 8, no. 2, pp. 168-172, Mar. 2000.
- [7] 차윤철, "멀티미디어 PC 환경에 적합한 음향 반향 제거기의 실시간 구현," 연세대학교 대학원 석사학위 논문, 1996.

- [8] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.

조 점 군(Chum Gun Cho)

정회원



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

<주관심 분야> 적응신호처리, 실시간구현

박 선 준(Seon Joon Park)

정회원



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

<주관심 분야> 음성·음향신호처리, 적응신호처리, 실시간구현

이 충 옹(Chungyong Lee)

한국통신학회 논문지 제26권 제1B호 참조

윤 대 희(Dae Hee Youn)

한국통신학회 논문지 제25권 제3B호 참조