

음향반향제거기의 동시통화처리 알고리즘

A Double-Talk Processing Algorithm of Acoustic Echo Canceller

이 행 우*, 은 명 의*, 김 종 교*

(Haeng Woo Lee*, Myoung E Eun*, Chong Kyo Kim*)

요 약

본 논문은 음향반향제거기에서 동시통화구간을 검출하고 처리하는 알고리즘에 대하여 논하고 있다. 새로운 동시통화 처리 알고리즘은 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 이용하여 동시통화 여부 및 구간을 검출하고 이 구간에서는 반향제거기의 계수적응을 중지하도록 하는 것이다. 본 알고리즘을 사용함으로써 동시통화구간의 검출에 소요되는 계산량이 대폭 감소할 뿐만 아니라 비정상상태의 원인이 동시통화에 의한 것인지 아니면 반향경로응답의 변화에 의한 것인지를 구별할 수가 있다. 음향반향제거기에 제안한 알고리즘을 적용하여 모의실험을 수행함으로써 본 알고리즘의 성능을 분석하였고 기존의 알고리즘을 적용한 경우와 비교, 검토하였다. 실험 결과 본 알고리즘을 적용한 음향반향제거기는 동시통화구간을 완벽하게 검출하므로 동시통화 후에도 계수가 발산하지 않고 안정적으로 정상상태를 유지함을 확인하였다.

ABSTRACT

This paper describes an algorithm which detects and processes the double-talking periods in the acoustic echo canceller. The new double-talk processing algorithm detects the double-talking or not and periods by using the cross correlation coefficients between the transmit signal and the residual signal, and suspends the adaptations of the acoustic echo canceller during the period. By using this algorithm, not only are the computation quantities required in detecting the double-talking periods reduced greatly, but whether the abnormal state is caused by the double-talking or by the change of the echo path response is distinguished as well. We simulated the acoustic echo canceller adopting the proposed algorithm and analyzed performances of this algorithm and compared with the case of the conventional algorithm. From results of the simulations, the acoustic echo canceller with this algorithm detects the double-talking periods thoroughly, and then operates stably in the normal state without the divergence of coefficients after ending the double-talking.

1. 서 론

핸즈프리 전화기, 차량 전화기, 원격 화상회의등 스피커폰 시스템의 사용이 증가함에 따라서 음향반향제거기술이 중요한 문제로 대두하게 되었다. 음향반향신호는 원단화자로부터의 수신신호가 스피커를 통해 방사된 후 벽면 등에 반사되어 마이크에서 근단화자의 송신신호와 결합되므로써 원단에서 근단화자의 음성청취가 방해받게 된다. 반향신호를 제거하기 위하여 적응 필터를 이용한 음향반향제거기를 사용하게 되는데 이 회로는 근단화자신호가 존재하지 않는 단일통화 때에만 정상적으로 동작하고 근단화자신호가 존재하는 동시통화구간에서는 반향신호를 충분히 제거하지 못한다. 따라서 통화중에 동시통화구간을 검출하여 적절히 대응할 수 있는 동시통

화처리가 있어야 한다.

음향반향제거기의 반향신호 제거능력이 갑자기 저하되는 현상은 동시통화의 경우 뿐만 아니라 반향경로응답의 급격한 변화시에도 발생할 수 있다. 따라서 반향제거기의 반향신호 제거능력이 갑자기 저하되는 경우에는 그것이 동시통화에 기인한 것인지 반향경로의 급격한 변화에 기인한 것인지를 판별해내야 한다. 그래서 동시통화인 경우에는 반향제거기의 계수적응을 중지하여 계수의 발산을 방지하고, 반향경로가 변한 경우에는 신속하게 계수렴하여 반향신호가 계속해서 제거되도록 해야 한다. 이때 고려해야할 사항은 반향경로 변화 및 동시통화에 대한 검출기능은 신속하고 정확하게 이루어져야 한다는 것이다. 검출시간이 조금 길어지게 되면 반향제거기의 계수는 발산하여 버리기 때문이다.

반향경로응답의 변화 또는 동시통화와 같은 비정상상태를 검출하는 방법[1]으로서 가장 먼저 사용된 수신신호와 잔류신호에 대한 평균전력의 비율 이용하는 방법[2]이

*전북대학교 대학원 전자공학과

접수일자: 1997년 12월 15일

있다. 이것은 가장 오래된 방법으로서 간단하지만 반향 경로의 변화와 동시통화상태를 구별하기가 쉽지 않다. 또한 검출시간이 비교적 길고 근단신호의 크기가 작은 경우 검출성능이 떨어진다. 다른 접근방식으로서 수신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 이용하는 방법[3]이 있다. 이 방법은 두 신호의 직교원리를 이용하는 것으로서 검출시간이 짧고 근단신호가 작은 경우에도 민감하게 작용하지만 마찬가지로 반향경로의 변화와 동시통화상태를 구별하기가 어렵다는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 문제를 극복할 수 있는 새로운 검출방법을 제안하고 그 성능을 검증해 보고자 한다.

논문의 내용은 II절에서 기존의 사용되고 있는 방법 및 새로운 동시통화 검출방법을 제안하였고 III절에서는 제안한 검출방법을 사용한 동시통화처리 알고리즘을 설명하였으며, IV절에서는 본 알고리즘을 음향반향제거기에 적용하여 모의실험한 결과에 대하여 기술하고 다른 알고리즘을 적용한 경우와 비교, 검토하였고 마지막으로 V절에서 결론을 도출하였다.

II. 동시통화 검출방법

스피커-폰 시스템과 같은 핸즈프리 전화기에서 발생하는 음향반향신호를 제거하기 위하여 그림 1과 같은 음향 반향제거기가 사용된다.

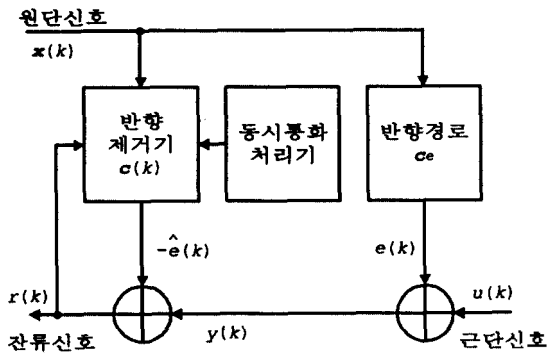


그림 1. 동시통화처리기를 가진 반향제거기
Fig. 1 Echo canceller with the double-talk processor.

이 그림에서 표기한 몇가지 신호를 다음과 같이 정의 하기로 한다.

- ◆ 수신신호: $x(k) = [x(k), x(k-1), \dots, x(k-N+1)]^T$ (1)
- ◆ 반향신호(echo): $e(k)$ (2)
- ◆ 추정 반향신호: $\hat{e}(k)$ (3)
- ◆ 근단신호: $u(k)$ (4)
- ◆ 송신신호: $y(k) = e(k) + u(k)$ (5)
- ◆ 잔류신호: $r(k) = y(k) - \hat{e}(k)$ (6)

여기서 N 는 반향제거기의 탭수를 나타내고 윗첨자 T 는 전치 행렬을 나타낸다.

음향반향제거기는 정상동작상태에서 반향경로의 응답이 급격하게 변하거나 원단 및 근단화자가 동시에 통화하는 경우에는 계수가 수렴상태에서 이탈하여 음향반향신호를 제대로 제거할 수 없으며 어떤 경우에는 완전히 발산하여 정상상태로 복귀하지 못할 수도 있다. 따라서 이러한 비정상상태를 검출하고 이 상태가 반향경로의 변화에 의한 것인지 동시통화에 의한 것인지를 구별하여 동시통화시에는 동시통화의 종료시점도 판별해내는 동시통화처리가 포함되어야 한다.

비정상상태를 판별하는 방법으로서 송신신호와 잔류신호에 대한 평균전력의 비, ERLE(echo return loss enhancement)를 이용하는 방법이 있다. 이 방법은 식 (7)과 같이 송신신호의 평균전력과 잔류신호의 평균전력의 비를 구하여 이 값이 특정한 임계값(약 20dB) 이하로 감소하면 비정상상태로 인식하고 이 상태에서 특정한 임계값(약 25dB) 이상이 되면 다시 정상상태로 복귀한 것으로 인식하게 된다.

$$ERLE(k)[dB] = 10 \log_{10} \frac{E\{y^2(k)\}}{E\{r^2(k)\}} \quad (7)$$

이 방법은 간단하고 직접적인 방법으로서 가장 오래부터 사용되었다. 그러나 이 방법으로 비정상상태를 판별해낼 수는 있지만 이 상태가 반향경로의 급격한 변화에 의한 것인지 동시통화에 의한 것인지를 구별하기는 어렵다. 비정상상태에서 ERLE가 변화하는 추이, 즉 ERLE가 일정한 수준을 유지하는지 아니면 점차 증가하는지에 따라서 비정상상태의 원인을 구별하는 방법[4]이 있지만 원인을 결정하기 까지 시간이 너무 지체되어 반향제거기는 이미 발산해 버리고 만다. 동시통화검출기는 반향제거기가 발산하기 전에 신속, 정확하게 동시통화 여부를 검출해내야 하는 것이 주요 목표이다.

비정상상태를 효과적으로 검출하는 방법으로서 상호상관계수의 성질을 이용하는 방법이 있다. 이 방법은 두 신호가 통계적으로 상호 무관하다면 그 신호간의 상호상관계수는 영(zero)이라는 사실을 이용하는 것이다. 그림 1에서 수신신호와 잔류신호간의 상호상관계수는 다음과 같이 구해진다.

$$R_{rr}(k+1) = (1-\lambda) R_{rr}(k) + \lambda x(k)r(k) \quad (8)$$

여기서 λ 는 가중치로서 $0.0 < \lambda < 0.1$ 사이의 값을 갖는다. 수신신호와 잔류신호가 통계적으로 상호 독립적이라면 직교법칙에 의해 상호상관계수는 영이다.

$$R_{rr}(k) = 0 \quad (9)$$

따라서 반향제거기가 수렴한 정상상태에서는 수신신호와 잔류신호간의 상호상관계수값이 거의 영이고 비정상상태에서는 어느 정도의 크기를 갖게 된다. 상호상관계수는 신호의 크기가 작을 때에도 민감하게 작용하기 때문에 이 방법은 평균전력을 이용하는 방법보다 더 신속하게 비정상상태를 감지할 수는 있지만 비정상상태의 원인을 명확하게 구별하는 것은 역시 용이하지 않다.

앞에서 설명한 비정상상태 검출방법이 안고 있는 문제점을 해결하기 위하여 다음과 같은 새로운 검출방법을 제안하고자 한다. 이 방법은 수신신호 대신 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 이용하므로 비정상상태의 검출은 물론 그 발생원인도 신속, 정확하게 밝혀낼 수 있다. 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수는 식 (10)과 같이 구해진다.

$$R_{yr}(k+1) = (1-\lambda)R_{yr}(k) + \lambda y(k)r(k) \quad (10)$$

이 상호상관계수는 절대값을 취하여 그 크기를 사용한다.

$$M(k) = |R_{yr}(k)| \quad (11)$$

이 방법은 상호상관계수의 급격한 증가현상에 의하여 비정상상태를 확인하고, 또한 상호상관계수의 크기를 비교하므로서 반향경로의 변화 또는 동시통화에 기인한 것인지 여부를 판단한다. 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수는 일반적으로 동시통화일 때가 반향경로가 변할 때보다 훨씬 큰 값을 갖는다. 그 이유는 사부공간의 특성상 반향경로응답의 변화량이 그다지 크지않은 반면 수신신호와 송신신호는 화자가 다른 음성신호로서 매우 유사한 신호특성을 갖기 때문이다. 여러 상황에 대한 시뮬레이션 결과는 약 10배의 차이가 나는 크기를 나타냈다. 따라서 상호상관계수의 크기를 비교하므로서 비정상상태의 원인을 가려낼 수가 있다. 그리고 이 방법을 사용하면 수신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 이용하는 방법에 비하여 계산량이 1/N로 감소한다. 왜냐하면 이 방법은 식 (10)에 의하여 심볼 주기마다 송신신호와 잔류신호 간에 단 한번의 곱셈이면 되지만 식 (8)을 이용하는 방법은 심볼 주기마다 수신신호와 잔류신호 간에 N번의 곱셈이 필요하기 때문이다. 또한 수신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 이용하는 방법은 N개의 상호상관계수를 저장하기 위한 기억용량을 필요로 한다. 따라서 이 방법을 실제로 구현하는 것은 매우 비효율적인 일이며 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 이용하는 방법이 구현상으로도 큰 잇점이 있음을 알 수 있다.

III. 동시통화처리 알고리즘

본 절에서는 앞에서 제안한 동시통화 검출방법을 사용하여 동시통화 또는 반향경로의 변화가 발생한 경우의

처리과정을 도식적으로 설정하고 그 내용을 설명하고자 한다. 먼저 반향제거기가 수렴된 상태를 정상상태라 하면 동시통화 처리과정에 대한 흐름도를 그림 2와 같이 표현할 수 있다.

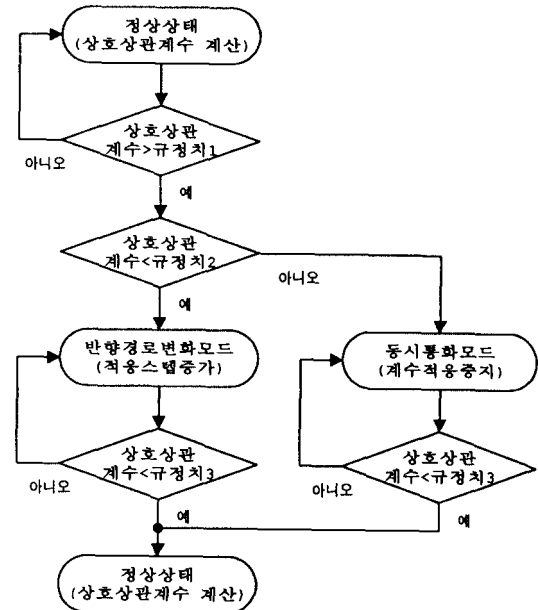


그림 2. 동시통화처리 알고리즘 흐름도
Fig. 2 Flowchart of the double-talk processing algorithm.

반향제거기의 계수가 충분히 수렴한 상태인 정상상태에서 반향제거기는 매 심볼마다 송신신호와 잔류신호간 상호상관계수를 계산한다. 정상상태에서 이 상호상관계수는 매우 작은 값을 갖게되며 약간 큰 값을 가지면 정상상태에서 이탈했음을 의미한다. 따라서 이 계산결과가 규정치1(0.02)보다 작으면 변함없이 정상상태에 머물러 있지만 규정치1 보다 크면 비정상상태로 전환하게 된다. 비정상상태의 발생요인으로는 반향제거기가 추적할 수 없는 속도로 반향경로응답의 급격한 변화 또는 원단화자의 통화가 진행중인 상태에서 근단화자의 통화시작으로 인한 동시통화상태등을 들 수 있다. 각 비정상상태의 발생요인에 따라서 송신신호와 잔류신호간 상호상관계수는 다른 크기를 갖는다. 그 원인이 동시통화에 기인한 경우 상호상관계수는 반향경로가 변한 경우보다 거의 10배 정도의 큰 값을 나타낸다. 따라서 상호상관계수가 규정치2(0.05)보다 작으면 반향경로변화모드로, 규정치2보다 크면 동시통화모드로 진입하게 된다. 반향경로변화모드에서 반향제거기는 계수의 적용을 지속하되 적용스텝의 크기를 증가시켜 빠른 시간내에 신속하게 수렴할 수 있도록 한다. 그러나 동시통화모드에서는 반향제거기가 발산하는 것을 방지하기 위하여 다시 정상상태로 환원될 때 까지 계수적용을 중단하고 다만 현재의 계수값을 사용하여 추정된 반향신호를 제거하는 동작은 계속해 나간

다. 이와같은 비정상상태에서도 상호상관계수의 계산은 계속 수행하여 규정치3(0.02)보다 크면 변함없이 현 상태를 유지하고 규정치3보다 작아지면 정상상태로 환원된다.

IV. 모의실험 결과

본 논문에서 제안한 동시통화처리 알고리즘의 성능을 검증하기 위하여 음향반향제거기에 이 알고리즘을 적용하여 수렴특성을 관찰하였다. 시험용 반향제거기 시스템의 구조를 그림 3에 도시하였다. 그림에서 스위치1은 반향경로A와 B 간을 전환하기 위한 것이며 스위치2는 근단화자신호를 단속하여 동시통화상태를 만들어 주기 위한 것이다. 실험에 사용한 반향제거기는 100탭 FIR 구조로서 NLMS 적용 알고리즘을 사용하였으며 적용스텝의 크기는 $\mu=0.03$ 으로 설정하였다. 시스템의 동작을 표현하는 프로그램은 C-언어를 사용하여 기술하였으며 알고리즘의 성능은 반복된 심볼수에 대한 ERLE의 수렴특성곡선으로 표현된다.

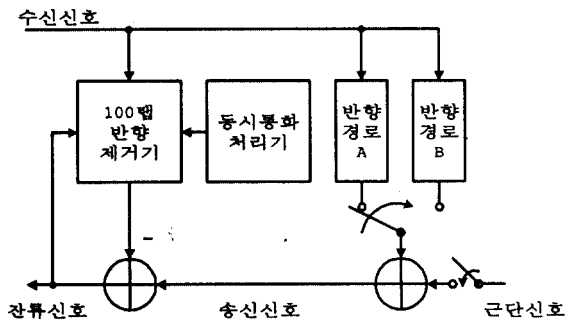


그림 3. 시험용 반향제거기 시스템의 구조
Fig. 3 Structure of the echo cancellation system for testing.

반향경로변화모드를 시험하기 위하여 사용한 반향경로A와 B는 다음과 같은 수학적 모델[5]을 이용하였으며 125ms 구간에 대한 응답파형이 그림 4에 도시되어 있다. 이 그림으로부터 반향경로의 응답특성은 시간에 지남에 따라 크기가 지수함수적으로 감소하고 나중에는 상당히 긴 꼬리가 지속되는 것을 볼 수 있다.

$$h_A(i) = 0.0914 \text{ rand}(i) * (-1.0346)^{-i} \text{ for } i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (12)$$

$$h_B(i) = h_A(i) * \sin((i * g + q)\pi) \text{ for } i = 0, 1, \dots, N-1 \quad (13)$$

여기서 rand(i)는 시간에 따라 불규칙하게 +1 또는 -1을 갖는 함수이고, g와 q는 0.0~1.0의 사이의 값을 갖는 변수로서 반향경로의 변화량인 g의 크기에 비례하고 q는 초기 위상을 나타낸다. 본 논문에서는 $g=0.1083$ 으로 설정하였다.

입력신호로서 원단으로부터의 수신신호와 근단신호는

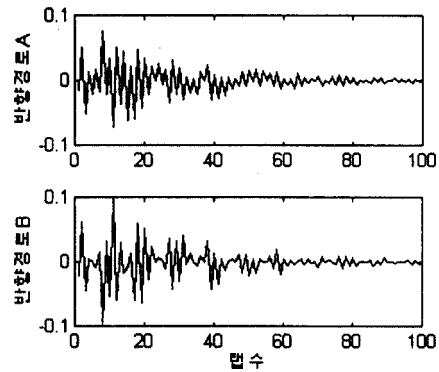


그림 4. 반향경로의 임펄스 응답
Fig. 4 Impulse response of the echo paths.

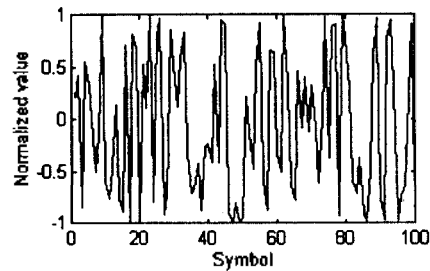


그림 5. 실험에 사용된 송수신 신호
Fig. 5 TX and RX signals used for testing.

50Hz~4KHz의 주파수 사이에서 무색 성분을 갖는 잡음 신호를 사용하였으며 파형의 한 예를 그림 5에 도시하였다.

먼저 그림 6에서 평균전력 비교방법에 의한 수렴특성을 보여주고 있다. 일단 반향제거기가 수렴한 상태에서 반복 심볼수 $k=3000\sim3500$ 사이에 근단화자신호를 인가하여 동시통화상태를 만들고 수렴특성을 관찰하였다.

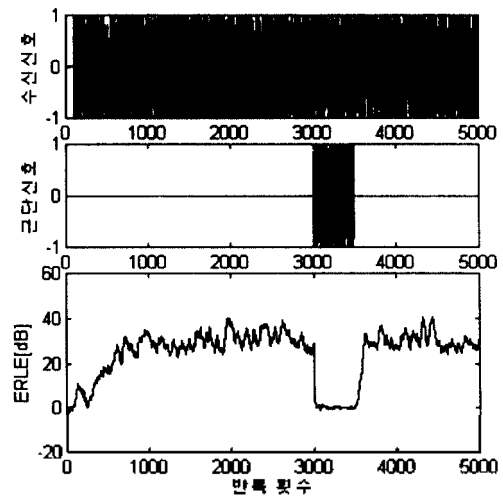


그림 6. 동시통화시 평균전력 비교방법의 수렴특성
Fig. 6 Convergence property on the method comparing the average power at double-talking.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 이 방법을 사용하여도 좋은 성능을 얻을 수 있으나 이 결과는 비정상상태가 동시통화에 의한 것이라고 가정할 경우이며 실제 이 방법으로는 비정상상태의 원인이 반향경로의 변화 때문인지 아니면 동시통화 때문인지 전혀 알 수 없다.

비정상상태를 검출하기 위한 다른 접근방법으로서 수신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 이용하는 방법이 있다. 그림 7은 반향경로응답이 급격하게 변하는 경우에 대하여 이 방법을 사용했을 때 수렴특성을 보여주고 있다. 그림에서 가장 상위곡선은 사용된 반향경로를 나타낸다. 직선 A부분은 반향경로 A를 사용한 구간을 나타내고 B부분은 반향경로 B를 사용한 구간을 나타낸다. 바로 밑에 있는 부분직선은 반향제거기의 상태를 나타내는데 동작초기에는 반향경로 A를 사용하여 비수렴상태(C부분)에 있다가 ERLE가 27dB 이상 증가하면 수렴상태(D부분)가 된다. 이 상태에서 반향경로가 B로 바뀌게 되면 가장 하위에 도시되어 있는 수신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 나타내는 곡선이 큰 폭으로 증가하게 되고 이 값이 0.05보다 크면 반향제거기는 비수렴상태(E부분)로 떨어진다. 이 경우 반향제거기는 상호상관계수가 0.05보다 크기 때문에 비정상상태의 원인을 동시통화상태로 오판하여 계수적응을 중지하므로써 다시 수렴상태(D부분)로 복원되지 못하게 된다.

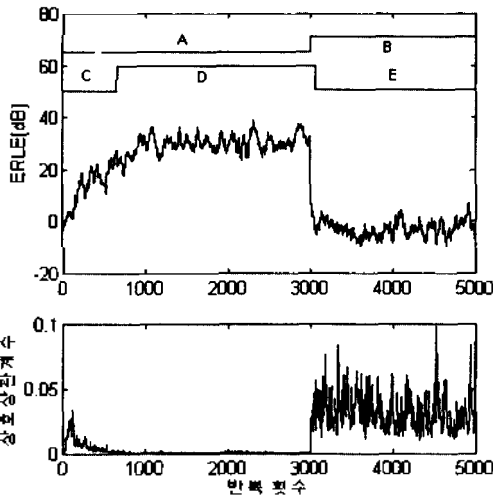


그림 7. 반향경로 변화시 수신신호와 잔류신호간의 상호상관계수 및 수렴특성
Fig. 7 Cross-correlation coefficients and Convergence property between the receive signal and the residual signal at changing the echo path.

또한 그림 8은 원단화자와 근단화자의 동시통화시 수신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 사용하여 동시통화상태를 검출할 때 수렴특성을 보여주고 있다. 이 그림에서 가장 상위곡선은 인가된 동시통화상태의 여부를

표시한다. 직선 A부분은 원단화자만이 통화하는 단일통화구간을 나타내고 B부분은 근단화자도 함께 통화하는 동시통화구간을 나타낸다. 바로 밑에 도시되어 있는 부분직선은 반향제거기의 동작상태를 나타내는데 동작초기에 단일통화상태로서 비수렴상태(C부분)에 있다가 ERLE가 27dB 이상 증가하면 수렴상태(D부분)로 된다. 이 상태에서 근단화자의 통화시작으로 동시통화상태가 되면 상호상관계수가 0.05 이상 크게 증가하여 반향제거기는 비수렴상태(E부분)로 떨어진다. 이 때 계수적응을 중지하고 다만 현재의 계수값을 사용하여 추정 반향치의 보상동작은 계속 수행하다가 상호상관계수가 0.02 이하로 감소하면 다시 수렴상태(D부분)로 복원된다.

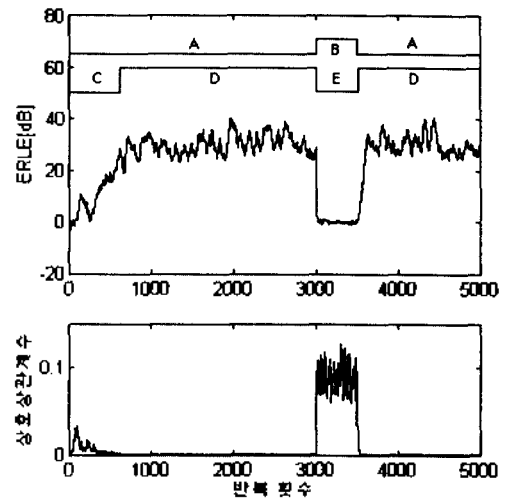


그림 8. 동시통화시 수신신호와 잔류신호간의 상호상관계수 및 수렴특성
Fig. 8 Cross-correlation coefficients and Convergence property between the receive signal and the residual signal at double-talking.

비정상상태의 원인을 판별해내는 방법으로서 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 이용할 수 있다. 이 상호상관계수는 반향경로 변화시와 동시통화시에 따라서 그 크기에 상당한 차이가 있으므로 비정상상태의 원인을 알 수 있다. 그림 9는 반향경로 변화시에 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 이용하는 경우의 수렴특성을 나타낸다. 동작과정은 그림 7과 동일한다. 다만 약간 다른 점은 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수가 0.05 이하로 매우 작은 크기를 가지기 때문에 비수렴상태(E부분)를 반향경로의 변화에 의한 것으로 정확하게 인식하여 다시 수렴상태(D부분)로 환원된다는 것이다. 마찬가지로 그림 10에 대해서도 그림 8과 동일하게 동작하므로 여기서 반복된 동작설명은 기술하지 않는다. 동시통화시 또는 반향경로 변화시에 따라서 이 방법을 사용하면 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수가 매우 다

른 크기를 가지므로 이 크기를 비교하여 비정상상태의 원인을 알아내고 동작모드를 결정할 수 있다.

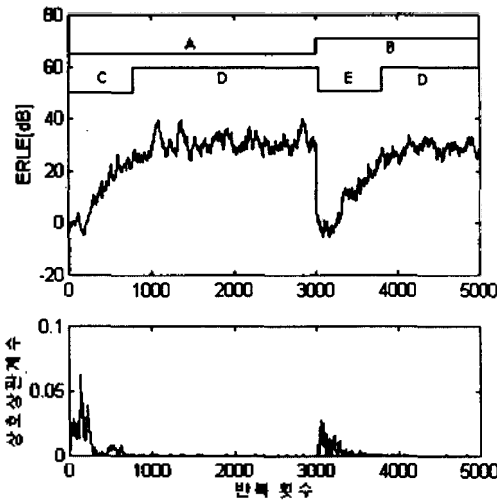


그림 9. 반향경로 변화시 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수 및 수렴특성

Fig. 9 Cross-correlation coefficients and Convergence property between the transmit signal and the residual signal at changing the echo path.

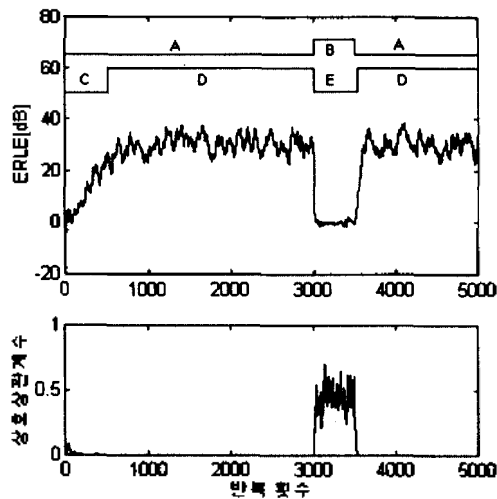


그림 10. 동시통화시 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수 및 수렴특성

Fig. 10 Cross-correlation coefficients and Convergence property between the transmit signal and the residual signal at double-talking.

V. 결 론

본 논문은 음향반향제거기에서 반향경로의 변화 또는 동시통화상태를 검출하기 위한 새로운 방법으로서 송신

신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 이용하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 기존의 수신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 이용하는 방법에 비하여 계산량이 대폭 줄어들 뿐만 아니라 비정상상태의 원인이 반향경로의 변화에 의한 것인지 동시통화에 의한 것인지도 쉽게 판별할 수 있다. 수신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 이용할 경우 요구되는 계산량이 탭수에 비례하여 N회의 승산 연산이 필요하나 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 이용할 경우에는 1회의 승산 연산이면 된다. 또한 반향경로의 응답이 급격하게 변한 경우에 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수의 크기는 동시통화의 경우에 비하여 매우 작으므로 이 크기를 비교함으로써 비정상상태의 원인을 알아낼 수 있음을 시뮬레이션을 통하여 확인하였다. 시뮬레이션 결과 기존의 방법은 미리 비정상상태의 원인을 알고 있어야 정상적으로 동작하였으나 본 논문에서 제안한 방법은 그 원인을 전혀 알고 있지 못한다 하더라도 신속하게 원인을 밝혀내어 정상적으로 동작함을 보여 주었다. 따라서 본 동시통화처리 알고리즘을 음향반향제거기의 설계에 적용하면 회로 복잡도와 동작 성능등의 면에서 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. S. Minami, T. Kawasaki, "A Double Talk Detection Method for an Echo Canceller", ICC'85, pp.1492-1497, 1985.
2. T. Hayashi, et al, "Echo Canceller with Effective Double Talk Control", GLOBECOM'83, pp.1389, 1983.
3. Hua Ye, Bo-Xiu Wu, "A New Double-Talk Detection Algorithm Based on the Orthogonality Theorem", IEEE Trans. on Comm., vol.39, No.11, pp.1542-1545, Nov. 1991.
4. Charles E. Rohrs, Richard C. Younce, "Double Talk Detector for Echo Canceller and method", U.S. Patent number: 4918727, Apr. 1990.
5. Wenbin Hsu, Frank Chui, David A. Hodges, "An Acoustic Echo Canceller", IEEE J. of Solid-state Circuits, vol.24, No. 6, pp.1639-1646, Dec. 1989.

▲이 행 우(Haeng-Woo Lee) 1960년 7월 18일생

1985년 2월: 광운대학교 전자공학과 졸업

1987년 2월: 서강대학교 대학원 전자공학과 석사과정 졸업

1998년 2월: 전북대학교 대학원 전자공학과 박사과정 수료

1987년 2월: 한국전자통신연구원 근무

1998년 3월~현재: 벽성전문대학 정보통신과 교수
*주관심 분야: VLSI 설계, 적응신호처리 시스템, 디지털 통신회로

▲은 명 의(Myoung-E Eun)

1943년 2월 21일생



1987년 2월:대전 공과대학 전자공학과(공학사)

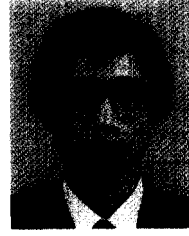
1990년 2월:전북대학교 대학원 전자공학과(공학석사)

1991년 3월~현재:전북대학교 대학원 전자공학과 박사과정

1982년~현재:한국통신근무

※주관심분야:음성인식, 합성, 통신

▲김 중 교(Chong-Kyo Kim)



1966년:전북대학교 전기공학과(공학사)

1977년:전북대학교 전기공학과(공학석사)

1983년:전북대학교 전기공학과(공학박사)

1983년~1984년:미국 일리노이 공과대학(IIT) 객원교수

1979년~현재:전북대학교 전자공학과 교수

※주관심분야:음성인식, 음성합성, 음성압축, VLSI설계