

음향반향제거기를 위한 새로운 동시통화검출 알고리즘

*이행우, **신유식, **김종교

*백성대학 정보통신학과, **전북대학교 전자공학과

A New Double-Talk Detecting Algorithm for Acoustic Echo Canceller

*Haeng-Woo Lee, **You-Shik Shin, **Chong-Kyo Kim

*Dep. of Information Comm. Byuck-Sung College.

**Dep. of Elec. Eng., Chonbuk Nat'l Univ.

요 약

본 논문은 음향반향제거기에서 동시통화구간을 검출하고 처리하는 알고리즘에 대하여 논하고 있다. 새로운 동시통화처리 알고리즘은 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 이용하여 동시통화 여부 및 구간을 검출하고 이 구간에서는 반향제거기의 계수적용을 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. 모의실험을 수행하여 본 알고리즘과 기존의 것과의 성능을 비교, 검토하였다. 실험 결과 본 알고리즘을 적용한 음향반향제거기는 동시통화구간을 완벽하게 검출하므로서 동시통화 후에도 계수가 발산하지않고 안정적으로 정상상태를 유지함을 확인하였다.

다. 또한 검출시간이 비교적 작고 근단신호의 크기가 작은 경우 검출성능이 떨어진다. 다른 접근방식으로서 수신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 이용하는 방법 [3]으로 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 결과와 다른 알고리즘을 적용한 경우와 비교, 검토하였고 마지막으로 V절에서 결론을 도출하였다.

I. 서 론

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 계수적용을 중지하여 계수의 발산을 방지하고, 반향경로가 변한 경우에는 빨리 재수렴하여 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 있다. 이것은 가장 오래된 방법으로서 간단하지만 반향경로의 변화와 동시통화상태를 구별하기가 쉽지 않

II. 동시통화 검출방법 및 알고리즘

스피커-폰 시스템과 같은 핸드프리 전화기에서 발생하는 음향반향신호를 제거하기 위하여 그림 1과 같은 음향반향제거기가 사용된다. 표기한 몇가지 신호를 다음과 같이 정의하기로 한다.

◆ 수신신호 :

$$x(k) = [x(k), x(k-1), \dots, x(k-N+1)]^T \quad (1)$$

◆ 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 통화

하는 경우에는 계수가 수렴상태에서 이탈하여 음향반향 신호를 제대로 제거할 수 없으며 어떤 경우에는 완전히

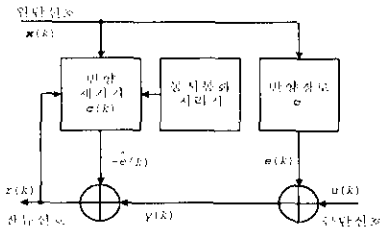


그림 1. 동시통화치리기를 가진 반향제거기

발산하여 정상상태로 복귀하지 못할 수도 있다. 따라서 이러한 비정상상태를 검출하고 이 상태가 반향경로의 변화에 의한 것인지 동시통화에 의한 것인지를 구별하여 동시통화시에는 동시통화의 종료시점도 판별해내는 동시통화치리기가 포함되어야 한다.

비정상상태를 판별하는 방법으로서 송신신호와 잔류신호에 대한 평균전력의 비, ERLE(echo return loss enhancement)를 이용하는 방법으로 식 (7)과 같이 비를 구하여 특정한 임계값(약 20dB) 이하로 감소하면 비정상상태로 인식하고, 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 비정상상태를 판별해낼 수는 있지만, 이 상태가 반향경로의 급격한 변화에 의한 것인지 동시통화에 의한 것인지를 구별하기는 어렵다. 비정상상태에서 ERLE가 변화하는 추이에 따라서 비정상상태의 원인을 구별하는 방법이[4] 있지만 원인을 결정하기까지 시간 지연으로 반향제거기는 이미 발산한다. 동시통화검출기는 반향제거기가 발산하기 전에 신속, 정확하게 동시통화 여부를 검출해내야 하는 것이 주요 목표이다.

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

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

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

여기서 λ 는 가중치로서 $0.0 < \lambda < 0.1$ 사이의 값을 갖는다. 따라서 반향제거기가 수렴한 정상상태에서는 수신신호와 잔류신호간의 상호상관계수값이 거의 영이고 비정상상태에서는 어느 정도의 크기를 갖게 된다. 그러나 비정상상태의 원인을 명확하게 구별하는 것은 역시 용이

하지 않다.

앞에서 설명한 비정상상태 검출방법이 안고 있는 문제점을 해결하기 위하여 다음과 같은 새로운 검출방법을 제안하고자 한다. 이 방법은 수신신호 대신 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 이용하므로써 비정상상태의 검출은 물론 그 발생원인도 신속, 정확하게 밝혀낼 수 있다. 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수는 식 (10)과 같이 구해지며, (11)과 같이 상호상관계수는 절대값을 취해 그 크기를 사용한다.

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

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

이 방법은 상호상관계수의 급격한 증가현상에 의하여 비정상상태를 확인하고, 또한 상호상관계수의 크기를 비교하므로써 반향경로의 변화 또는 동시통화에 기인한 것인지 여부를 판단한다. 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수는 일반적으로 동시통화될 때가 반향경로가 변할 때보다 훨씬 큰 값을 갖는다. 여러 상황에 대한 시뮬레이션 결과는 약 10배의 차이가 나는 크기를 나타냈다. 따라서 상호상관계수의 크기를 비교하므로써 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 심플 주기마다 송신신호와 잔류신호 간에 단 한번의 곱셈이 되지만 식 (8)을 이용하는 방법은 심플 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. 그림 2는 동시통화 알고리즘의 흐름도이다.

III. 모의실험 결과

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 적응스텝의 크기는 $\mu=0.03$ 으로 설정하였다. 시스템의 동작을 표현하는 프로그램은 C-언어를 사용하여 기술하였으며 알고리즘의 성능은 반복된 심볼수에 대한 ERLE의 수렴특성곡선으로 표현된다.

반향경로변화모드를 시험하기 위하여 사용한 반향경로 A와 B는 다음과 같은 수학적 모델[5]을 이용하였다. 식 (12), (13)으로부터 반향경로의 응답특성은 시간에 지남

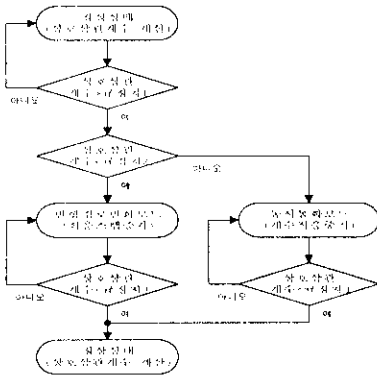


그림 2. 동시통화 알고리즘의 흐름도

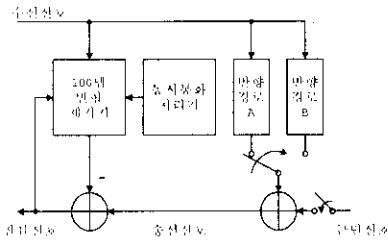


그림 3. 시험용 반향제거기의 구조

에 따라 크기가 지수함수적으로 감소하고 나중에는 상당히 긴 꼬리가 지속되는 것을 알 수 있다.

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

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

여기서 rand(i)는 시간에 따라 불규칙하게 +1 또는 -1을 갖는 함수이고, g와 q는 0.0~1.0의 사이의 값을 갖는 변수로서 반향경로의 변화량이 g의 크기에 비례하고 q는 초기 위상을 나타낸다. 본 논문에서는 g=0.1083으로 설정하였다. 입력으로 원단으로부터의 수신신호와 근단 신호는 400Hz~4KHz의 주파수 사이에서 무색 성분을 갖는 잡음신호를 사용하였다.

먼저 그림 4에서 평균전력 비교방법에 의한 수렴특성을 보여주고 있다. 일단 반향제거기가 수렴한 상태에서 반복 심률수 k=3000~3500 사이에 근단화자신호를 인가하여 동시통화상태를 만들고 수렴특성을 관찰하였다. 이 방법을 사용하여도 좋은 성능을 얻을 수 있으나 결과는 비정상상태가 동시통화에 의한 것이라고 가정할 경우이며 실제 이 방법으로는 비정상상태의 원인이 무엇때문인지 진화 알 수 없다. 비정상상태를 검출하기 위한 다

른 접근방법으로서 수신신호와 잔류신호간의 상호상관 계수를 이용하는 방법이 있다. 그림 5는 반향경로용답이 급격하게 변하는 경우에 대하여 이 방법을 사용했을 때 수렴특성을 보여주고 있다.

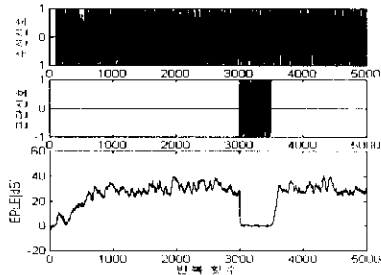


그림 4. 동시통화시 평균전력 비교방법의 수렴특성

그림 5에서 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 동작조기에는 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 곧 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 계수적용을 중지하므로써 다시 수렴상태(D부분)로 복원되지 못하게 된다.

또한 그림 6은 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 동작조기에단일통화상태로서 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 계수적용을 중지하고 다만 현재의 계수값을 사용하여 추정 반향치의 보상동작은 계속 수행하다가 상호상관계수가 0.02 이하로 감소하면 다시 수렴상태(D부분)로 복원된다. 비정상상태의 원인을 판별해내는 방법으로서 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 이용할 수 있다. 이 상호상관계수는 반향경로 변화시와 동시통화시에 따라서 그

크기에 상당한 차이가 있으므로 비정상상태의 원인을

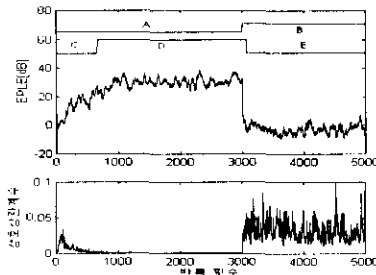


그림 5. 반향경로 변화시 수신신호와 잔류신호간의 상호상관계수 및 수렴특성

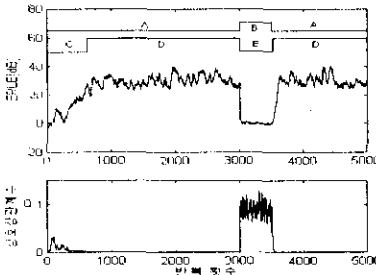


그림 6. 동시통화시 수신신호와 잔류신호의 상호상관계수 및 수렴특성

알 수 있다. 그림 7은 반향경로 변화시에 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수를 0.05 이하로 매우 작은 크기를 가지기 때문에 비수렴상태(E 부분)를 반향경로의 변화에 의한 것으로 정확하게 인식하여 다시 수렴상태(D 부분)로 환원된다. 그림 8에 대해서도 그림 6과 동일하다. 동시통화시 또는 반향경로 변화시에 따라서 이 방법을 사용하면 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수가 매우 다른 크기를 가지므로 이 크기를 비교하여 비정상상태의 원인을 알아내고 동작모드를 결정할 수 있다.

IV. 결론

본 논문은 음향반향제거기에서 반향경로의 변화 또는 동시통화상태를 검출하기 위한 새로운 방법으로서 송신신호와 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. 또한 반향경로의 응답이 급격하게 변한 경우에 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수의 크기는 동시통화의 경우에 비하여 매우 작으므로 이 크기를 비교함으로써 비정상상태의 원인을 알아낼 수 있음을 시뮬레이션결과를 통하여 확인하였다. 시뮬레이션 결과 기존의 방법은 미리 비정상상태의 원인을 알고 있어야 정상

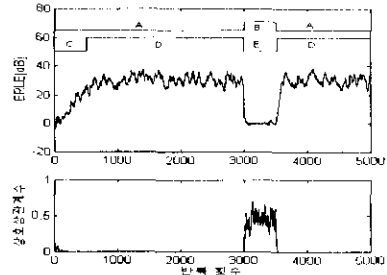


그림 7. 동시통화시 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수 및 수렴특성

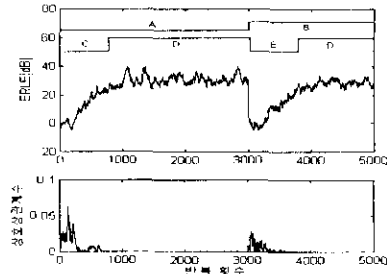


그림 8. 반향경로 변화시 송신신호와 잔류신호간의 상호상관계수 및 수렴특성

적으로 동작하였으나 본 논문에서 제안한 방법은 그 원인을 전혀 알고 있지 못하다 하더라도 신속하게 원인을 밝혀내어 정상적으로 동작함을 보이 주었다. 따라서 본 동시통화처리 알고리즘을 음향반향제거기의 설계에 적용하면 회로 복잡도와 동작 성능등의 면에서 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

V. 참고 문헌

- [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, p.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.