

# 적용 반향제거기에서 퍼지규칙에 기초한 동시통화 검출

## Double Talk Detection Based on the Fuzzy Rules in Adaptive Echo Canceller

류근택\*, 김대성\*\*, 배현덕\*\*

(Geun Taek Ryu\*, Dae Sung Kim\*\*, Hyen Deok Bae\*\*)

\*극동정보대학 전자통신과, \*\*충북대학교 전기전자공학부

(접수일자: 1999년 11월 30일; 수정일자: 2000년 8월 18일; 채택일자: 2000년 9월 1일)

본 논문에서는 장거리 통신시스템의 적용 반향제거기에서 퍼지제어 시스템에 기초한 새로운 동시통화 검출방법을 제안하였다. 이 방법에서, 동시통화 검출을 위한 퍼지추론의 두 입력 변수는 근단 신호와 실제 반향 신호가 더해진 소요 신호와 에리 신호 사이의 상호상관계수와 소요 신호와 추정된 신호 사이의 상호상관계수를 사용하였다. 퍼지 제어기에서 사다리꼴 소속함수로 퍼지화하고 if-then 추론규칙을 이용하여 max-min 합성하였으며, 합성된 결과를 무게중심법에 의하여 디퍼지화한 값으로 동시통화와 반향경로 변화 그리고 동시통화시 반향경로 변화를 검출하도록 하였다. 퍼지 동시통화 검출기는 기존의 알고리즘보다 동시통화와 반향경로 변화를 추정할 수 있었으며 동시통화시에 반향경로 변화에도 좋은 성능을 보였다.

**핵심용어:** 적용 반향제거기, 퍼지추론, 동시통화 검출

**투고분야:** 음향 신호처리 분야 (1.2)

This paper proposes a new double-talk detection algorithm which is based on the fuzzy rules, in the adaptive echo canceller of telecommunication system. In this method, the two inputs of the fuzzy inference for detecting double-talk condition are used. One is the cross-correlation coefficient between the error signal and the primary signal which is the summation of the real echo signal and the near-end signal. The other one is the cross-correlation coefficient between the estimation error signal and the primary signal. The fuzzy controller makes a fuzzification for two inputs by the membership functions of trapezoid does the max-min composition using if-then rules. The composed result is defuzzified by the center gravity method. And by defuzzified values, the double-talk, the echo path variance, and the echo path variance during the double-talk are detected. It is confirmed by computer simulation that this fuzzy double-talk detector is able to estimate the double talk and the echo path variation condition, and even track echo path variation more accurately than the conventional algorithm during the double-talk period.

**Key words:** Adaptive echo canceller, Double-talk detection, Fuzzy inference, Cross-correlation coefficient, Fuzzification, Defuzzification

**Subject classification:** Acoustic signal processing (1.2)

### I. 서 론

적용 반향제거기는 적응필터의 오차신호에 근단화자 신호가 포함되므로 근단화자 신호가 존재할 경우에는 필터의 가중치(weights)들이 크게 변동하며 심지어 발산하게 되는 현상이 일어날 수 있다[1]. 따라서 수렴속도를 향상하고 수렴의 안정성을 유지하기 위해서 근단화자 신호가 존재하는 동시통화시에는 적응필터의 가중치 조절을 중단하여야 하며, 이를 위해서 동시 통화검출기가 사용된다.

최근 적용 반향제거기에 관한 연구는 다양한 입력신호의 특성 및 반향경로의 불 특정한 변동상황에도 수렴속도, 시스템의 안정성, 동시통화(double talk)검출 성능을 보다 향상시키기 위한 측면에서 새로운 알고리즘에 관한 연구가 많이 이루어지고 있으며, 동시통화 검출에 대한 방법은 크게 두 가지로 나눌 수 있다[2]. 그 하나는 입력신호의 레벨을 비교하는 크기 비교 형태의 검출기이고 다른 하나는 입력신호들간의 상호 상관계수를 이용하는 상호상관(cross correlation)형태의 검출기로서 후자가 성능이 우수하여 널리 사용되고 있다. 크기 비교 형태의 기본적인 동시통화 검출 알고리즘은 계산량이 적다는 이유로 많이 사용되어 왔으나 근단화자신호의 레벨이 매우 작은 경우

에는 검출 조건이 제대로 성능을 발휘하지 못하고 오동작을 일으킬 가능성이 많다[3].

상호상관성 알고리즘은 신호의 크기를 이용하여 동시통화 검출하는 방법보다 근단화자 신호의 존재 여부를 정확히 판단할 수 있다. 그러나 임계치가 높을 경우에는 근단화자 신호를 빠르게 검출할 수 있는 반면 반향 경로의 변화가 있는 경우에는 이를 근단화자 신호로 오인하여 적응 필터의 가중치 조정을 중단하는 문제점이 있다. 또한, 반향경로의 변화를 동시통화로 오인하는 것을 막기 위하여 임계치를 낮게 선정하면 근단화자 신호의 검출 속도가 느려져 적응 필터의 가중치들이 근단화자 신호의 영향으로 크게 변동하여 적용 반향제거기의 성능이 저하되는 문제점이 발생한다[4]. 따라서 반향경로가 변하는 경우와 동시통화를 잘 구분해내는 지능적인 방법이 필요하게 되어 입력신호들 간의 상호상관성을 이용하는 동시통화 검출기가 다양한 형태로 많이 연구되고 있다[5].

본 논문에서는 퍼지 제어를 이용하여 동시통화와 반향 경로 변화 그리고 동시통화시에 반향경로 변화에도 정확하게 검출할 수 있는 방법을 제안하였다. 제안한 동시통화검출기는 기존의 입력과 에러에 대한 상호상관계수를 이용하는 방법에 동시통화와 반향경로 변동시 발생하는 문제를 퍼지이론의 퍼지 추론으로 제어하는 퍼지 제어를 이용하여 개선하고자 한다. 제안된 퍼지 동시통화 검출기에서 퍼지 제어기의 입력변수는 소오신호와 적응필터의 출력과의 상호상관계수와 소오신호와 예측신호의 상호상관계수를 이용하였다. 설계한 퍼지 제어기는 이 두 상호상관계수를 퍼지화하고 전문가의 지식에 근거하여 퍼지규칙을 결정하였으며 퍼지규칙은 if-then으로 표현된 언어 정보를 이용하였다. 이 퍼지화 데이터와 퍼지 규칙을 이용하여 max-min 합성한 결과를 무게중심법에 의하여 디버지화하였다. 이 디버지화 값에 따라 동시통화 상태와 반향경로의 변화 그리고 동시통화 상태에서 반향경로의 변화를 결정하였다.

제안한 방법의 타당성을 검증하고자 반향제거기에서 퍼지 시스템을 이용한 동시통화 검출기 그리고 하이브리드 시스템을 설계하여 모의 실험하였다. 그리고 제안 알고리즘의 우수성을 평가하고자 직교 이론을 이용한 동시통화 알고리즘[3]과 상호상관계수를 이용한 동시통화 알고리즘[6]에 대하여 성능을 비교하였다.

## II. 기존의 동시통화 알고리즘

반향 제거기의 구조는 적응 알고리즘을 이용한 적응 필터와 동시통화 검출기를 적용한 방법이 많이 이용되고 있다. 기존의 동시통화 알고리즘인 에너지 비교법은 간단하고 계산량이 적지만, 작은 크기의 근단화자 신호에 대하여 검출 능력이 떨어지고 음성인 경우에 검출 지연이 발생한다[2]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 직교이론을 이용한 방법[3][4]과 상호상관 계수를 이용하는 방법[6]등이 제안되었다. 반향제거기의 구조는 그림 1과 같으며 반향제거기의 구성은 하이브리드 시스템, 적응 필터와 동시통화 검출기 그리고 장거리 지연 채널로 구성된다.

그림에서  $x(n)$ 는 원단화자의 신호이고  $r(n)$ 은 원단화자 신호의 반향 성분이다. 또한  $y(n)$ 는 근단화자 신호이고  $\hat{r}(n)$ 은 적응필터의 출력이다. 그리고  $s(n)$ 은 근단화자 신호  $y(n)$ 와 반향성분  $r(n)$ 의 중첩된 소오신호이며  $e(n)$ 은 예측된 신호이다. 다음으로 기존에 제안된 방법에 대하여 설명하고자 한다.

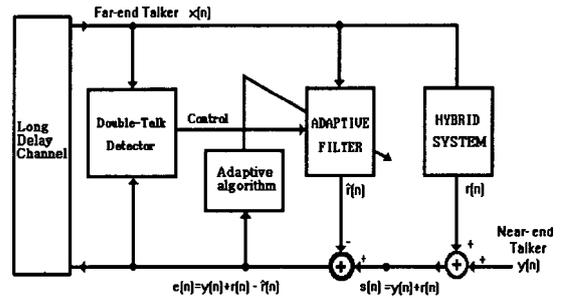


그림 1. 반향제거기에서 동시통화 검출기  
Fig. 1. Double-talk detector in the echo canceller.

Ye와 Wu[3]은 직교 성질을 이용한 동시통화를 제안하였다. 이 제안한 방법은 입력신호와 예측신호의 상관성의 직교 성질을 이용하여 동시통화와 반향경로의 변화를 찾아 낼 수 있는 알고리즘이다. 반향 제거기의 입력과 에러에 대한 평균 상호상관계수는 다음과 같이 계산하였다.

$$ACC(n) = \frac{\sum_{i=1}^N |C_i(n)|}{N} \quad (1)$$

$$C_i(n) = \frac{P_{e_i}}{P_e(n) \times P_r(n)}, i=1,2,3, \dots, N \quad (2)$$

여기서  $P_{e_i}(n)$ 은  $x(n-i+1)$ 과  $e(n)$ 사이의 상호상관계수이며  $N$ 은 적응 필터의 차수를 나타낸다. 그리고  $n$ 은 반향제거기의 반복 횟수이다.  $P_e(n)$ 의 추가는 다음과 같이 지수함수의 가중 반복 알고리즘(exponential weighting recursive algorithm)을 사용하였다.

$$P_e(n) = \lambda P_e(n-1) + (1-\lambda)e^2(n) \quad (3)$$

$$P_r(n) = \lambda P_r(n-1) + (1-\lambda)x^2(n-i+1) \quad (4)$$

$$P_{e_i}(n) = \lambda P_{e_i}(n-1) + (1-\lambda)e(n)x^2(n-i+1) \quad (5)$$

여기서  $\lambda$ 는 망각인자(forgetting factor)로서 정확도와 시변신호에 대한 추정능력을 좌우하게 되는 요소이다. 이  $\lambda$ 는 [0.9 1]사이의 범위에서 결정하였다. 앞으로 상호상관계수를 구하는 모든 경우에 대하여 0.95를 선택하였다. 이 알고리즘은  $ACC(n)$ 이 임계치( $R_{MA}$ )보다 클 경우에

는 수렴이 덜 되었거나 반향 경로가 변한 경우로 판단하여 계수 적응 수행한다. 임계치는 일반적으로  $ACC(n)$ 의 정상상태보다 조금 큰 값을 선택하도록 한다. 직교이론을 이용한 방법은 많은 계산량과 메모리 량을 요구하게 한다는 것과 임계치( $R_{\mu A}$ )를 결정하기가 어렵다는 것이다. 이러한 단점을 보완하기 위하여 제안된 방법[6]은 필터의 출력신호와 소요신호와의 상호상관계수 그리고 필터의 출력신호와 오차신호 간의 상호 상관계수를 이용한 동시통화 검출을 제안하였다. 기존의 동시통화 방법[6]에서 제안한 방법에서는 출력신호와 소요신호와의 상호상관계수는 식 (6)과 같이 계산 할 수 있으며

$$C_1(n) = \frac{P_{\hat{s}(n)}}{\sqrt{P_s(n)P_{\hat{s}}(n)}} \quad (6)$$

이 동시통화 알고리즘은 신호의 크기를 이용하여 동시통화 검출하는 방법보다 근단화자 신호의 존재 여부를 정확하게 판단할 수 있는 방법이지만 임계치( $R_{\mu B}$ )가 높을 경우에는 근단화자 신호가 빠르게 검출할 수 있는 반면에 반향경로 변화에 의해서도 임계치 아래로 떨어질 경우가 있으므로 반향경로의 변화가 있는 경우에도 이를 근단화자 신호로 오인하여 적응 필터의 가중치 조정을 중단하는 문제점이 발생할 수 있다.

### III. 제안한 동시통화 검출 알고리즘

제안된 알고리즘은 기존의 알고리즘에서 상호상관계수의 임계치 결정에 따라 동시통화와 반향경로 변화의 검출 성능이 좌우되는 문제를 퍼지의 장점을 이용하여 보다 정확하게 동시통화와 반향경로 변화를 검출하도록 하였다. 제안한 퍼지 동시통화 검출기는 기존의 알고리즘에 이용되던 두 상호상관계수의 특성을 퍼지이론의 불확실한 결정에 좋은 특성을 나타내는 것을 이용하여 동시통화와 반향경로 변화를 빠르고 정확하게 판단할 수 있다.

제안한 퍼지 추론 동시통화 검출기는 상호상관계수를 이용하였는데 첫 번째 소요신호와 적응 필터의 신호에 대한 상호상관계수와 소요신호와 오차신호에 대한 상호상관계수이다. 제안한 동시통화 검출기의 상호상관성은 적응반향 제거기의 수렴상태에 도달했다고 가정하여 다음의 상호상관계수들을 얻을 수 있다. 소요신호와 적응 필터의 출력에 대한 상호상관계수 그리고 소요신호와 예측신호(오차신호)의 상호상관계수는 식 (7)과(8)에 의하여 구한다.

$$C_2(n) = \frac{P_{\hat{s}(n)}}{\sqrt{P_s(n)P_{\hat{s}}(n)}} \quad (7)$$

$$C_3(n) = \frac{P_{e(n)}}{\sqrt{P_s(n)P_e(n)}} \quad (8)$$

여기서 식 (7)과(8)의 우변의 각 항들은 다음과 같이 지수함수의 가중반복 알고리즘(exponential weighting recursive

algorithm)을 사용하여 추정하였다.

$$P_s(n) = \lambda P_s(n-1) + (1-\lambda)s^2(n) \quad (9)$$

$$P_e(n) = \lambda P_e(n-1) + (1-\lambda)e^2(n) \quad (10)$$

$$P_{\hat{s}}(n) = \lambda P_{\hat{s}}(n-1) + (1-\lambda)\hat{s}^2(n) \quad (11)$$

$$P_{e\hat{s}}(n) = \lambda P_{e\hat{s}}(n-1) + (1-\lambda)s(n)\hat{s}(n) \quad (12)$$

$$P_{se}(n) = \lambda P_{se}(n-1) + (1-\lambda)s(n)e(n) \quad (13)$$

식 (7)에 의하여 얻은 상호상관계수는 적응필터가 반향경로를 정확하게 추정할수록 거의 1에 가까워지며 근단화자 신호가 존재할 경우에는 크게 떨어지거나 반향경로 변화에서는 큰 변화가 없다. 또한 식 (8)에 의하여 얻은 상호상관계수는 적응 필터가 반향경로를 정확하게 추정할수록 0에 가까워지고 근단화자가 존재하면 급격하게 커진다. 그리고 반향경로의 변화가 일어나면은 소요신호와 오차신호의 상호상관성이 크게 변동한다.

제안 알고리즘에 의한 동시통화 검출기에서 이용된 상호상관계수의 식 (7)과 식 (8)에 대하여 동시통화와 반향경로 변화 그리고 동시통화에서 반향경로 변화에 대한 상호상관계수의 변화를 그림 2, 3에 나타내었다. 동시통화 구간은 8000~13000이며 반향경로 변화구간은 10000~11000이다. 그리고 동시통화상태에서 반향경로변화는 두 구간을 함께 일어나도록 하였다. 그림 2는 식 (7)의 상호상관계수의 변화가 동시통화의 초기 상태는 명확하게 판단을 할 수 있다. 그러나 동시통화가 끝나는 지점에서는 완만한 곡선을 보인다. 또한 반향경로 변화에는 민감하게 변화함을 보였다. 그림 3은 동시통화의 초기상태와 끝나는 점에서 빠르게 변화함을 보여주고 있으나 동시통화에서 반향경로 변화는 구분하기가 어렵다는 단점을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 이 두 상호상관계수는 동시통화 시에 반향경로 변화가 일어났을 때에는 임계치를 결정하기 어렵다는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 두 상호상관계수의 장, 단점의 애매 모호한 점을 퍼지이론에 적용하고자한 것이다.

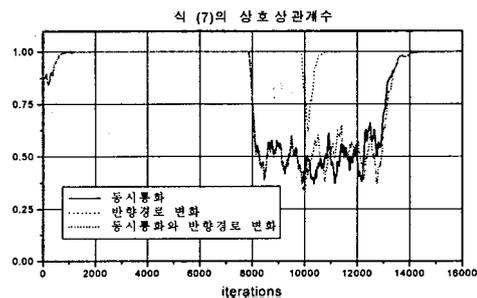


그림 2. 식 (7)에 대한 상호상관계수의 변화  
Fig. 2. Variations of cross-correlation by equation(7).

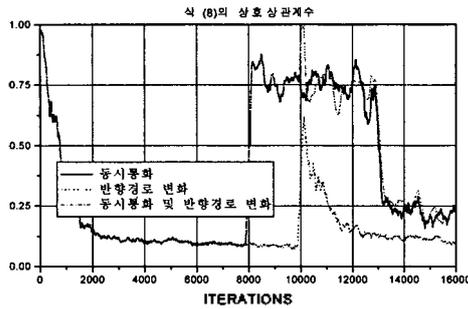


그림 3. 식 (8)에 대한 상호 상관계수의 변화  
Fig. 3. Variations of cross-correlation by equation(8).

동시통화 검출을 검출하기 위하여 두 상호상관계수를 적용한 퍼지 시스템을 그림 4와 같이 설계하였다. 퍼지 시스템에서 두 상호상관계수를 퍼지 데이터로 변환하는 것을 퍼지화(fuzzification)이라 하며 전문가의 지식으로 퍼지규칙(fuzzy rules)을 생성하며 그리고 퍼지 데이터와 퍼지규칙으로 추론(inference)을 한다. 다음으로 추론된 결과를 디퍼지화(defuzzification)하여 적용필터의 가중치를 적용시킬 것이냐를 결정한다.

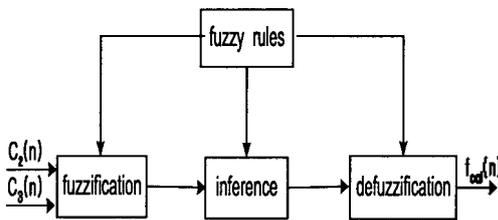


그림 4. 퍼지 동시통화 제어시스템  
Fig. 4. Fuzzy double-talk control system.

퍼지 시스템의 퍼지화(fuzzification)는 상호상관계수  $C_2(n)$ 과  $C_3(n)$ 를 입력변수로 하였으며, 이 두 입력변수에 대하여 사다리꼴의 소속함수(trapezoidal fuzzy membership function)를 사용하였다. 그리고 이 사다리꼴 소속함수는 식 (14)과 같이 표현할 수 있다

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{x-a_1}{a_2-a_1} & a_1 \leq x \leq a_2 \\ 1 & a_2 \leq x \leq a_3 \\ \frac{a_4-x}{a_4-a_3} & a_3 \leq x \leq a_4 \\ 0 & \text{그 밖에} \end{cases} \quad (14)$$

여기서  $a_1, a_2, a_3, a_4$ 는 소속함수의 각 정의 구역을 의미하며 본 논문에서 각 입력변수에 생성한 소속함수는 그림 5에서와 같이 두 입력 변수에 대하여 각각 3개의 소속함수(Low, Medium, High)를 생성하였다.

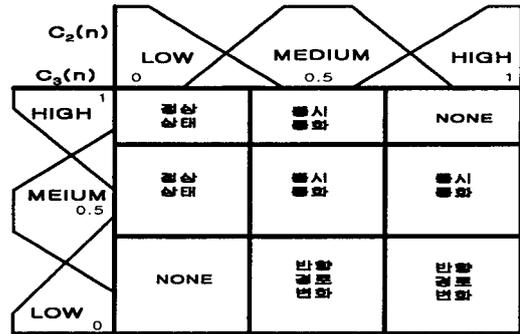


그림 5. 퍼지 변수 및 소속함수  
Fig. 5. Fuzzy variables and their membership functions.

퍼지추론을 위한 언어적 표현 방법은 그림 5에 근거하여 if-then 규칙을 이용하였으며, 여기서 퍼지규칙은 동시통화 검출기에서 일어날 수 있는 조건을 전문가의 학습을 통하여 지식을 습득시키는데 다음과 같이 예를 보였다.

만약  $c_2(n)$ 은 High 그리고  $c_3(n)$ 은 Medium 이면  $f_{ca}(n)$ 은 동시통화 검출.

만약  $c_2(n)$ 은 Low 그리고  $c_3(n)$ 은 High 이면  $f_{ca}(n)$ 은 정상상태 검출.

만약  $c_2(n)$ 은 Medium 그리고  $c_3(n)$ 은 Low 이면  $f_{ca}(n)$ 은 반향경로 변화 검출.

생성된 소속함수와 규칙에 대하여 max-min 합성에 의하여 추론한다. 추론된 결과는 무게중심법인 식 (15)에 의하여 디퍼지화하게 된다. 이 디퍼지화 값을 가지고 근단화자의 동시통화와 반향경로변화에 대하여 적용 필터의 가중치조정을 결정한다.

$$f_{ca}(n) = \frac{\sum_{r=1}^R m(y_r) y_r c_r}{\sum_{r=1}^R m(y_r) c_r} \quad (15)$$

여기서 R은 규칙의 수,  $m(y_r)$ 는 r번째 규칙에서 전건부의 퍼지 등급이다.  $y_r$ 과  $c_r$ 은 r번째 규칙의 출력과 가중치이다. 그리고 퍼지규칙에 기초한 동시통화 검출기의 결정은 다음 조건에 따라서 결정된다.

- ①  $f_{ca}(n) > R_{th1}$  : 동시통화 검출기는 정상상태를 결정하여 가중치를 계속 조절한다.
- ②  $R_{th1} \geq f_{ca}(n) > R_{th2}$  : 반향경로의 변화로 인식하여 적용 필터의 가중치를 조절한다.
- ③  $R_{th2} \leq f_{ca}(n)$  : 근단화자의 신호로 인식하여 가중치 조절을 중단한다.

여기서  $R_{th1}$ 와  $R_{th2}$ 은 정상 상태와 동시통화상태 그리고 반향 경로변화를 결정하는 임계치이다. 그리고 제안된 알고리즘과 기존의 알고리즘의 메모리량과 계산량을 비교하면 표 1과 같다.

표 1. 제안한 것과 기존의 알고리즘간의 필요한 기억용량과 계산량 비교

Table 1. Comparison of the required number of memory storages and coputational operations between the proposed algorithm, [3] and [6].

	[3]에서 제안한 알고리즘	[6]에서 제안한 알고리즘	제안한 알고리즘
계산량 (곱셈의 수)	$30N+18$	30	$2R+60$
기억용량 (Byte)	$3N+4$	7	$R+14$

여기서  $N$ 은 필터의 차수이고  $R$ 과  $I$ 는 퍼지 규칙의 수 그리고 입력변수의 수를 나타낸 것이며 나눗셈은 곱셈에 비하여 16배 많은 계산량이 필요하다고 가정하였다[7][8].

#### IV. 모의 실험

본 논문에서 제안한 알고리즘과 기존 알고리즘으로 그림 6과 같이 동시통화 검출기를 설계하여 LMS 알고리즘에 의해 설계된 반향제거기에 적용하고 동시통화 검출 및 반향경로 변화 검출성능을 컴퓨터 모의실험으로 확인하였다.

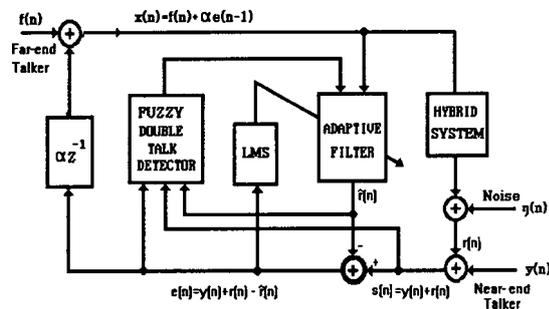


그림 6. 반향제거기에서 제안한 동시통화 검출기  
Fig. 6. Proposed double-talk detector in the echo canceller.

설계한 반향제거기의 입력신호는 원단화자의 신호와 원단채널에서의 반향의 합으로 표현할 수 있다[2]. 여기서 원단채널에서의 반향은  $\alpha$ 만큼 감쇄하도록 하였는데 여기서는 0.2로 하였다. 그리고 원단화자 신호의 샘플은 300-3400[Hz]의 대역 제안된 백색잡음을 사용하였다. 하이브리드에 의한 반향경로의 임펄스 응답은 그림 6과 같은 형태로 6[dB]의 감쇄를 갖는다고 가정하였다. 그리고 잡음  $\eta(n)$ 는 디지털 구현에서 양자화 잡음이나 작은 방해 잡음으로 아주 적다고 가정하고 백색잡음을 첨가하였다. 이때 임펄스 응답의 순수 지연 부분은 10.625[ms] 난 반사 부분은 5.375[ms]정도로 지정하였다. 난 반사 부분은 지수함수와 사인함수의 곱으로 식 (16)과 같이 표현하였다.

$$H(n) = \exp(\text{grand} \times n) \times \sin(2\pi \times N \times n/b) \quad (16)$$

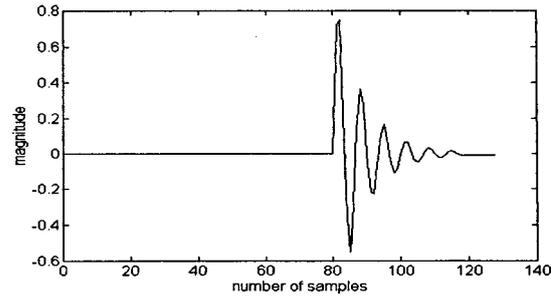


그림 7. 하이브리드 임펄스 응답  
Fig. 7. Impulse response of the hybrid.

여기서,  $\text{grand}$ 는  $-5.0/b$  이고  $b$  는 난 반사 부분의 길이이다. 음성신호의 8KHz샘플링을 기준하여 하이브리드(Hybrid) 임펄스 응답은 128차 필터를 사용하였고 2초 정도의 시간 변화에 따른 각종 테스트를 위하여 적용 횟수는 16000번으로 지정하였다. 반향제거기의 성능은 반향 신호 대 잔여에러 신호비인 ERLE (Echo Returnless Enhancement) 로 평가되며, 식 (17)과 같이 정의된다.

$$ERLE(n)[dB] = 10 \log_{10} \left( \frac{\frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} s^2(n-j)}{\frac{1}{N} \sum_{j=0}^{N-1} e^2(n-j)} \right) \quad (17)$$

여기서  $N$ 은 필터의 차수를 나타낸다. 그리고 각 알고리즘에서 필요한 메모리량과 계산량을 비교하면 다음과 같다. 제안된 알고리즘으로 설계된 반향제거기의 필터의 차수  $N=128$ 이고 퍼지시스템에서 입력의수  $I=2$  그리고 퍼지규칙  $R=25$ 이다. 따라서 다음과 같이 계산량과 메모리량을 계산을 사용하게 된다.

표 2. 반향제거기에서 사용된 메모리량과 계산량  
Table 2. used number of memory storages in the echo canceller.

	기존[3]알고리즘	기존[6]알고리즘	제안 알고리즘
계산량 (곱셈의 수)	3858	30	90
메모리량 (Byte)	388	7	64

여기서 상호상관성의 직교이론[3]의 계산량은 필터차수에 해당하는 평균 상호상관 계수를 구하여야 하므로 많다. 그러나 출력신호와 소오신호의 상호상관계수[6]은 필터가 반복할 때마다 구하므로 적다. 반면에 제안된 알고리즘의 계산량은 두 상호상관계수를 이용하므로 [6]의 방법보다는 두 배이며 거기에 퍼지시스템의 계산량이 증가하게된다.

본 논문에서 제안된 알고리즘으로 동시통화 상태와 반향경로 변화 그리고 동시통화 시 반향경로 변화에 검출 성능을 비교하기 위하여 직교이론에 의한 동시통화 검출

기(기존 알고리즘 I)와 2장에서 설명한 상호상관계수를 이용한 동시통화 검출기(기존 알고리즘 II)에 대하여 모의 실험하였다. 기존의 알고리즘 I은 동시통화와 반향경로 변화를 결정하기 위하여 임계치를 0.35로 결정하였으며 기존 알고리즘 II는 동시통화와 반향 경로 변화를 결정하기 위하여 임계치를 0.9와 0.8인 경우에 대하여 각각 모의실험 하였다. 이와 같은 환경에서 우리는 제안한 퍼지 동시통화 검출기와 기존의 알고리즘을 다음의 3가지 측면에서 평가하였다. 첫 번째는 동시통화 검출기가 정확하게 동작될 수 있는 조건 즉 최적의 수렴상태에서 근단화자 신호가 원단화자 신호와 같거나 그 이상의 레벨로 입력될 때의 성능 테스트로서 근단화자 신호의 제거와 더불어 신속한 수렴특성을 나타내야 하는데, 이와 같은 관점에서 계수 적응이 안정된 구간을 8000샘플 이후로 보고 8000샘플에서 13000샘플까지 근단화자 신호가 원단화자신호와 같은 레벨로 입력되도록 하였다. 이러한 조건 하에서 컴퓨터 모의 실험한 결과 그림 8과 같이 나타내었다. 이 그림의 결과에서 볼 수 있듯이 제안한 동시통화 검출기는 동시통화 해제 시 빠르게 추적함을 볼 수 있다.

두 번째는 동시통화 검출기가 사용되는 상황에서 반향경로의 변동시 추적성능은 그림 8과 같이 10,000-11,000 샘플 구간에 반향경로의 변동이 발생한 것으로 하여 측정하였다. 상호상관성을 이용한 기존의 알고리즘 I과 기존 알고리즘 II의 동시통화 검출기를 사용하였을 때에는 임계치가 정확하지 않을 경우에는 반향경로 변동을 동시통화 상황으로 오인하여 적응필터가 계속 동작을 멈추었다. 제안한 동시통화 검출기는 반향경로 변동을 신속하게 추적하여 수렴하는 우수한 특성을 나타낸 것이다.

세 번째는 동시통화 구간에서 반향경로의 변동이 발생한 경우로서 동시통화 구간을 8,000-13,000 샘플구간으로 결정함과 동시에 10,000-11,000 샘플구간에 반향경로가 변동하도록 하였다. 기존 알고리즘 I의 설정한 임계치일 때 동시통화 검출기에서 동시통화 끝나는 시점에서 검출 지연이 생기고 있는 것을 보여 주고 있다. 그러나 제안 알고리즘과 알고리즘 II의 임계치가 0.9일 때 유사한 검출 성능을 보인다. 그러나 기존 알고리즘은 동시통화상태에서 반향경로가 변화를 그대로 추정하게 되어 시스템의 성능이 떨어짐을 보였다. 따라서 제안 알고리즘은 동시통화 상태에서 반향경로 변화를 기존 알고리즘 보다 잘 검출하였다.

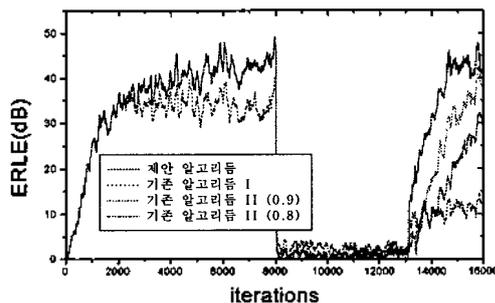


그림 8. 근단화자 통화시에 검출 성능  
Fig. 8. Double-talk detecting performance.

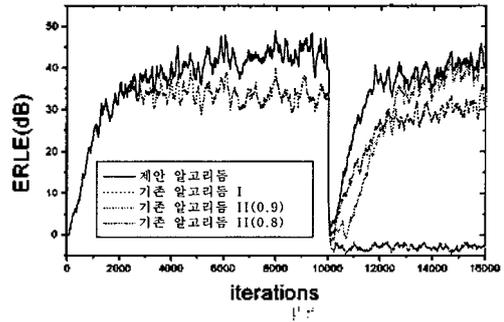


그림 9. 반향 경로 변화에 대한 검출 성능  
Fig. 9. Echo path tracking performance during no double talk.

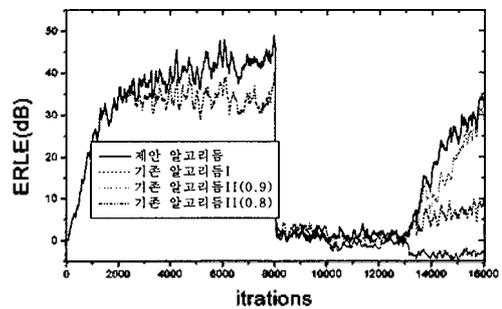


그림 10. 동시통화 동안에 반향 경로 변화에 대한 검출 성능  
Fig. 10. Echo path tracking performance during double talk period.

#### 4.1. 음성 신호에 대한 모의 실험

여기서는 지금까지 백색잡음의 입력신호에 대한 실험 결과를 바탕으로 음성신호에 대한 컴퓨터 모의실험을 하여 제안 알고리즘의 성능을 평가하고자 한다. 그림 11은 입력신호인 음성신호이며 그림 12는 동시통화 상태 시 사용하는 근단 화자신호이다. 여기서 원단신호의 잡음(μ)은 반향신호대 잡음(echo to noise ratio)가 40(dB)되도록 설정하였다.

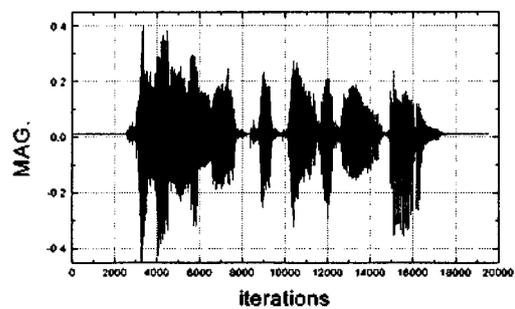


그림 11. 동시 통화 검출기에 사용한 음성 신호(원단화자신호)  
Fig. 11. Speech signal used in double talk detector(far-end talker signal).

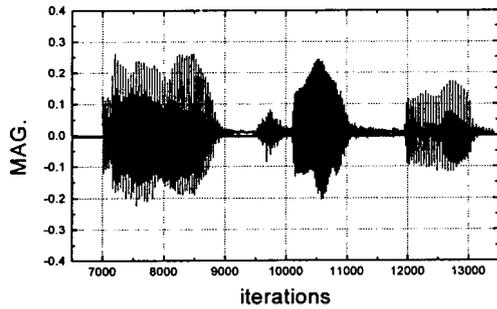


그림 12. 근단화자 신호  
Fig. 12. Near-end Talk signal.

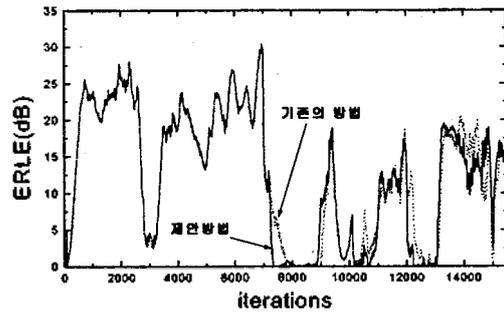


그림 14. 동시통화에서의 수렴특성  
Fig. 14. Convergence characteristic with double talk.

이 실험에서 기존의 두 알고리즘에서 [3]의 알고리즘을 제안 알고리즘과 비교 실험하였다. 먼저, 반향경로 변화에 대한 실험은 7000-8000에서 반향경로가 변화하였으며 그 결과를 그림 13에서 보여주듯이 제안한 알고리즘이 기존의 알고리즘보다 반향경로변화를 잘 추적함을 알 수 있었다. 그리고 동시통화시의 성능은 그림 12와 같은 근단화자 신호를 입력하였을 때 그림 14와 같은 결과를 얻을 수 있었다. 그림 14에서 보여주듯이 기존의 알고리즘은 동시통화의 검출 지연으로 필터의 계수를 조정되며 근단화자의 음성을 왜곡되는 원인임을 알 수 있었다. 제안 알고리즘이 기존 알고리즘보다 검출이 빠르게 근단화자 신호를 빠르게 검출할 수 있었다. 끝으로 동시통화 시 반향경로 변화에 대한 실험결과는 백색잡음 입력신호에 대해서는 잘 추정하였으나 음성신호를 이용한 경우에는 완벽하게 구분하지 못하였다. 이 같은 문제는 제안 동시통화 검출기에 있어서 소속함수와 추론규칙의 좀더 전문가의 지식이나 학습방법에 의한 조정이 필요하기 때문이다.

메모리 수와 계산량을 많이 요구된다. 그리고  $s(n)$ 과  $\hat{x}(n)$ 의 상호상관계수를 이용한 동시통화 검출기 또한 동시통화의 시작점을 잘 검출하였지만 끝나는 점을 정확하게 검출하기가 어려우며 임계치 결정에 민감하다는 것을 알 수 있다. 그리고 이 두 알고리즘은 채널 상에 존재하는 잡음이나 원단화자의 반향에 민감하다는 것이다. 그러나 제안한 퍼지 시스템을 이용한 동시통화 검출기는 [6]의 알고리즘보다 계산량은 증가하나 동시통화와 반향경로 변화 및 동시통화 시에 반향경로 변화에 대하여 좀더 정확하게 분류할 수 있고 채널상의 잡음이나 원단화자 신호의 반향 변화에 덜 민감하게 동작한다는 것을 알 수 있었다. 또한 음성 신호에 대한 모의 실험결과 반향경로 변화와 동시통화 검출기에서는 좋은 성능을 보여주나 동시통화 시 반향경로변화는 좀더 정확하게 추정하지 못하였다. 이 원인은 퍼지 시스템의 소속함수와 추론규칙의 좀더 정확한 조정이 필요하다.

### V. 결론

본 연구에서는 반향제거기에서 소요신호와 예측된 필터의 신호의 상호상관계수와 소요신호와 에리 신호의 상관계수를 이용하여 동시통화와 반향 경로 변화를 좀더 정확하게 검출할 수 있는 퍼지 제어 검출기를 설계하였다. 퍼지 동시통화 검출기에서 두 상호상관계수를 퍼지화하고 퍼지규칙을 전문가의 지식에 근거하여 설계하였으며 max-min 합성된 결과를 무게중심법에 의하여 더퍼지화하였다. 이 더퍼지화 값에 따라 동시통화 상태와 반향경로의 변화 그리고 동시통화 상태에서 반향경로의 변화를 결정하였다.

퍼지 제어 동시통화 검출기의 성능은 모의실험으로 비교하였으며, 그 결과 채널상의 잡음이나 원단화자 신호의 반향이 존재할 경우에 동시통화 와 반향경로 변화에 대하여 우수한 성능과 동시통화 기간에 반향경로 변화가 발생하여도 향상된 성능을 보였다. 그리고 음성신호에서 반향경로 변화 및 동시통화 상태에 대한 실험결과도 향상된 성능을 보였다. 그러나 동시통화 시 반향경로변화에서는 동시통화로 검출을 하였다.

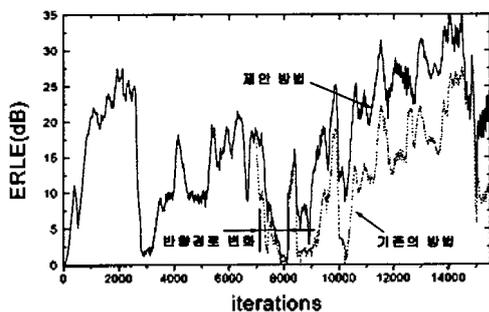


그림 13. 반향제거기에서 반향경로 변화시 ERLE 곡선  
Fig. 13. Curves varying echo path in the echo canceller.

여기서 본 논문에서 제안한 동시통화 검출 알고리즘과 기존의 알고리즘에 대한 모의실험 결과를 고찰하면 다음과 같다.

기존의 직교이론에 의한 알고리즘은 정상상태에서 수렴하는 동안에, 동시통화에서 적용 필터를 수렴시키는 문제가 있으며 따라서 임계치 결정에 아주 민감하다는 것과 메

앞으로의 동시통화시 방향경로변화까지 정확하게 검출하기 위해서는 제한한 퍼지시스템에서 소속함수 및 규칙 생성에 대한 지속적인 연구가 필요하다.

**참 고 문 헌**

1. Jinhui Chao and Shigeo Tsujii, "A New Configuration for Echo Canceller Adaptable During Double Talk Periods," IEEE Tran. on Comm., vol. 37, no. 9, pp.967-974, Sep. 1989.
2. W.A.Sethare et al., "Bursting in Adaptive Hybrids," IEEE Trans. on Comm., vol. 37, no.8, pp. 791-799, Aug., 1989.
3. Hua Ye and Bo-Xiu Wu, "A New Double-Talk Detection Algorithm Based on the Orthogonality theorem," IEEE Tran. Comm., vol. 39, no.11, pp. 1542-1545, Nov. 1991.
4. Tomas Gansler et al., "A Double Talk Detector Based on Coherence," IEEE Trans. on Comm., vol. 44, no. 11, pp 1421-1427, Nov. 1996.
5. Geun-Taek Ryu and Hyeon-Deok Bae, "Double Talk Detection in Adaptive Echo Canceler Using the Fuzzy Logic," in Proc. of ICSP'96, vol. 2, pp. 1643-1646, Oct. 1996.
6. 김남선 외 4, "향상된 수렴속도와 근단화자 신호 검출능력 갖는 적용 방향 제거기," 전자공학회지, 제30권, B편, 12호, pp. 1161-1169, 1993, 12.
7. 유재하, 조성호, "효율적인 동시통화 검출을 위한 새로운 알고리즘," 한국통신학회, 제20권 7호, pp. 66-73, 1995, 7.
8. F. Beritelli, S. Casale and M. Russo, "A Fuzzy System for Tone Detection Application," Information Sciences, vol. 111, no. 1-4, pp. 207-221, 1998.
9. M.A.Khasawneh and T.F.Haddad, "Real-Time Echo Cancellation Using a New Fast LMS Based Algorithm," IEEE ICASSP'94, vol.3, pp. 221-224, 1994.
10. M. Taherzeshai, "A DSP-Based Lattice Pole-Zero Echo Acoustic Echo Canceller," Computers Elect. Eng., vol.23, no.3, pp. 179-187, 1997.

▲ 류 근 태(Geun Taek Ryu)



1991년 2월 : 청주대학교 전자공학과 학사  
 1993년 2월 : 동 대학 대학원 전자공학과 석사  
 1996년 2월 : 충북대학교 전자공학과 박사과정수료  
 1996년 3월~현재 : 극동정보대학 전자통신과 조교수

※ 주관심분야: 적용신호처리, 퍼지 시스템, 통신신호처리

▲ 김 대 성(Dae Sung Kim)



1994년 2월 : 충북대학교 전자공학과 학사  
 1997년 2월 : 동 대학 대학원 전자공학과 석사  
 1999년 2월 : 동 대학 대학원 전자공학과 박사과정수료  
 1997년 3월~현재 : 충청대학 전자과 겸임교수

※ 주관심분야: 적용신호처리, 다중신호처리

▲ 배 현 덕(Hyen Deok Bae)



1977년 2월 : 한양대학교 전자공학과 학사  
 1980년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 석사  
 1992년 2월 : 서울대학교 대학원 전자공학과 박사  
 1994년~1995년 : 미국 시라큐스대학 전기전자공학과 방문교수

1987년 3월~현재 : 충북대학교 전자공학과 교수

※ 주관심분야: 적용신호처리, 다중신호처리