

論文96-33A-4-3

반향제거기용 이중 구조 탭선택 알고리즘

(Dual Structured Tap Selection Algorithm for Echo Canceller)

吳敦成*, 李斗秀**

(Don Sung Oh and Doo Soo Lee)

요 약

본 논문에서는 새로운 이중 구조 탭선택 알고리즘을 제안하였으며, 장거리 전화 통신망이나 디지털 이동통신망에 사용되는 반향제거기의 적응 알고리즘에 대해 고찰하였다. 제안한 알고리즘은 반향 경로 임펄스 응답의 난반사 부분이 상대적으로 작은 점을 감안하여, 임펄스 응답의 난반사 부분의 위치를 알아내고, short-length 필터로 영역제한에 의한 적응을 하는 것이다. 제안한 이중 구조 탭선택 알고리즘은 모의실험 결과 256탭 적응 필터에서 Full-Tap NLMS 알고리즘이나 STWQ 알고리즘에 비해서는 약 80% 정도, 탭선택 알고리즘에 비해서는 약 20% 정도의 수렴시간을 줄일 수 있었으며, 난반사 부분까지의 지연이 길어질수록 더욱 우수하고 안정된 수렴특성을 보였다.

Abstract

In this paper we propose a new dual structured tap selection algorithm for voice echo canceller in digital cellular communication system, investigating adaptive filtering algorithms for echo cancellation in long distance telephony or mobile communication system. The proposed algorithm has a two-stage processing structure that after a dispersive region in an impulse response of an echo path is found out, the tap coefficients of a short length filter are adjusted adaptively for the region, because the impulse response has a very little portion of the dispersion. Simulation results show that the proposed algorithm with 256 taps gives a performance of convergence speed superior to both full-tap normalized least mean square (NLMS) and a scrub taps waiting in a queue (STWQ) algorithms by about eighty per cent, also to a tap selection algorithm by about twenty per cent. And the results display that if the more tap coefficients are used due to a long delayed dispersive zone, the proposed algorithm produces the better performance.

I. 서 론

최근 디지털 공학의 급속한 발전에 따라 적응 디지털 필터 기술의 이용이 반향제거기 등 다양한 분야에 응용되고 있다. 장거리 전화망, 디지털 이동통신망 등에서는 전송거리, 음성데이터 프로세싱 등에 의해서 수

십 ms 이상의 지연이 발생한다. 일반 전화 망의 가입자와 교환기 사이에서는 2선 양방향 전송방식으로 통화를 하고, 교환기간 전송 망에서는 4선 디지털 전송방식으로 통화로를 구성한다. 따라서, 2선 전송 회선과 4선 전송 회선 사이의 상호 변환 기능을 갖는 정합회로인 하이브리드(hybrid) 회로가 필요하게 된다. 하이브리드 회로의 임피던스 부정합 등의 요인에 의해 반향이 발생한다.^[1,2,3] 반향이 존재하지 않는 경우 수백 ms의 지연이 발생하더라도 전화를 통한 대화에 큰 불편을 느끼지 않으나, 수십 ms의 지연이 발생하더라도 반향이 포함되면 대화에 곤란함을 느끼게 된다.^[2] 반

* 正會員, 韓國電子通信研究所
(Elec. and Telecomm. Research Institute)

** 正會員, 漢陽大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Hanyang Univ.)

接受日字: 1995年3月31日, 수정완료일: 1996年3月14日

향제거기는 우선 반향 경로의 특성을 파악하고, 반향에 대한 복제 신호를 발생시켜, 수신 신호로부터 복제 신호를 빼 줌으로서 반향이 제거된다. 시간적으로 변하고, 알려지지 않은 반향경로 때문에, 양질의 반향 복제 신호를 얻기 위해서는 적응 디지털 필터가 요구된다.

일반적인 반향경로의 임펄스 응답은 순수 지연 부분과 난반사 응답 부분으로 구성된다. 순수지연 부분보다 난반사 부분은 상대적으로 매우 적다. 전화망에 있어서 반향 경로의 임펄스 응답에 있어서 난반사 부분은 약 3ms 정도이다.^[3] 따라서 디지털 적응 FIR 필터를 이용해서 반향제거를 할 때 순수지연 부분에 해당하는 탭의 계수가 '0'으로 수렴하기 때문에 임펄스 응답의 순수지연 부분에서 탭계수를 갖는다는 것이 의미가 없다. 이와 같은 사실로 순수지연을 갖는 short-tap 반향제거기가 보고되어졌다. Duttweiler는 sub-sampled 적응 필터의 부가에 의해서 순수지연 부분을 평가하는 방법을 제시하였다.^[4] Sub-sampling에 의해서 계산량을 줄일 수 있으나 부가적인 적응필터가 필요하다. 또한 성능이 sub-sampling rate에 의존하기 때문에 부가적인 필터는 양호한 성능을 위해 많은 부하를 받게 된다. Yip에 의해 제시된 다중 반향제거기는 여러 개의 난반사 부분과 순수지연 부분으로 구성된 반향경로의 모델링 방법을 제시하였다.^[5] 그러나 지연평가에 의한 cross-correlation의 계산이 요구되는 것이 단점이다. Kawamura 등이 Coarsely Located Tap을 가진 적응 FIR 필터와 STWQ (Scrub Taps Waiting in a Queue) 알고리즘을 제안하였다.^[6] STWQ 알고리즘은 계수의 값과 아울러 각 탭 계수의 위치를 제어한다. 각 탭의 독립된 위치 제어 때문에 STWQ는 Yip가 제안한 방법보다 몇 개의 다중 반향에 대해서도 유연하게 동작될 수 있다. 그렇지만 STWQ 알고리즘은 Full Tap NLMS 알고리즘보다 늦은 수렴속도를 가질 때가 있다. 또한 Ikeda 등이 2단 적응과 영역제한에 의한 탭위치 제어 등 두 가지 특징을 갖는 탭선택 알고리즘을 제안하였다.^[7] 탭선택 알고리즘은 수렴특성에서 비교적 양호하나, 탭수가 커지고 난반사 부분이 지연이 긴 경우에 수렴특성이 떨어지는 경우가 있다.

본 논문에서는 2단 적응 필터를 사용하여 난반사 부분의 위치를 찾고, 제한된 영역의 적응으로 반향을 제거하는 새로운 알고리즘을 제안한다. II장에서는 반향제거기의 구조 및 적응 알고리즘에 대해 간단히 살펴

보고, III장에서 STWQ 탭선택 알고리즘을 기술하였다. IV장에서 제안한 알고리즘의 구조에 대해 알아보고, 컴퓨터 모의 실험을 통해 제안된 알고리즘의 수렴 특성을 Full-Tap NLMS^[8,9,10], STWQ 탭선택 알고리즘의 수렴특성과 비교하여 알아보았다.

II. 적응 반향제거기

반향은 원래의 소리 또는 신호의 지연 및 왜곡 현상으로 음원으로 반사되어 오는 것이다. 본 장에서는 전화망에 중점을 두어 반향이 발생하는 상황 및 반향제거기의 필요성을 언급하고, 반향경로 모델링 기술과 계수 조정을 위한 적응 알고리즘에 대해 살펴보기로 한다.

1. 통신 시스템과 반향

일반적인 통신시스템은 그림 1과 같이 가입자와 교환국간에는 양방향으로 전송이 이루어지는 2선 전송회선이며, 교환국에는 4선 전송회선으로 구성되어 있다.

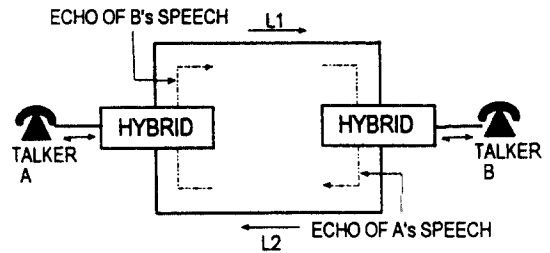


그림 1. 전화 통신망에서의 반향
Fig. 1. Echoes in the telecommunication network.

교환기에 위치하는 하이브리드 회로는 2선 가입자 전송 회선으로부터 전달된 신호를 4선 전송 회선의 송신 포트에 전달시켜주며, 4선 전송 회선의 수신 포트 신호를 근단의 2선가입자 전송 회선으로 전달시키는 장치이다. 그러므로 가입자 A의 음성 신호는 우측 하이브리드로 연결되는 상단 전달 경로를 경유하여 가입자 B로 전달되어야 한다. 그러나 실제로는 하이브리드에서 임피던스를 정확하게 정합 시켜 주지 못하기 때문에 4선 전송 회선에 전달된 음성 신호 에너지 일부는 4선 전송 회선의 송신 단으로 전달되어 반향이 발생하게 된다.

짧은 지연시간을 갖는 송화자의 반향은 측음 (sidetone)과 구별되지 않아 통화에 별 영향을 미치지

않으나, 40ms 이상의 긴 지연시간을 갖는 송화자의 반향은 통화에 심각한 장애 요소가 된다. 전화망에서 수십 ms 이상의 지연이 발생할 경우 반향제거는 필수적이며, 전화 교환망에 있어서 일반적으로 반향제거기는 지연 문제 등의 이유로 상대편 하이브리드 근처에 위치하게 된다.

또한 디지털 이동통신 교환망은 무선 채널 효율성 등의 이유로 사용대역을 감소시키기 위해서 음성 데이터에 대한 frame-by-frame vocoding을 하게 되고, 이때 일반 회선 교환에서 사용하는 PCM이나 ADPCM 방식과 달리 상당한 프로세싱 지연이 발생하게 된다. 따라서 디지털 이동 통신망과 회선 교환망이 접속되는 경우, 디지털 이동통신 교환망에 있어서 상당한 지연(100ms이상) 때문에 반향을 제거해야 한다. 디지털 이동통신 가입자 정합부에는 2선/4선 변환이 없으므로, 회선교환망에 접속된 가입자의 음성 데이터가 디지털 이동통신 가입자에 전달될 때는 회선 교환망에 접속된 가입자는 반향에 영향을 받지 않는다. 그러나 디지털 이동통신 가입자의 음성데이터가 회선교환망에 접속된 가입자에 전달될 때는 회선망에 접속된 가입자의 회선 정합부의 2선/4선 변환회로에서 반향이 발생되어 이동통신 가입자에게 반향이 들리게 된다.

2. 반향제거기 구조 및 적응 알고리즘

반향제거기는 우선 반향경로의 특성을 파악하고, 적응 알고리즘 등을 사용하여 반향에 대한 복제 신호를 발생시켜, 수신 신호로부터 복제 신호를 빼줌으로서 반향이 제거된다. 반향제거기는 그림 2와 같이 반향경로와 병렬로 위치한다.

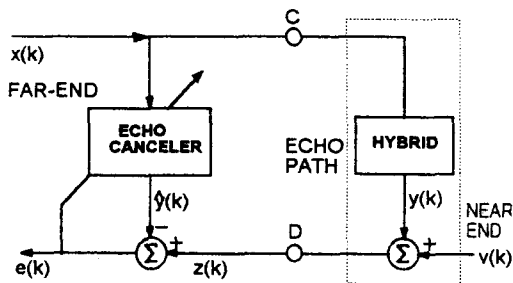


그림 2. 반향제거기의 위치 및 연결 구조
Fig. 2. Location and structure of echo canceller.

이 그림에서 $x(k)$ 는 원단신호(far-end signal)이고 $z(k)$ 는 근단신호(near-end signal)로 $x(k)$ 신호와는

상관관계가 없다. 그리고 $y(k)$ 는 제거하고자 하는 반향이 된다. 포트 D에는 송신되어야 할 근단신호 $v(k)$ 와 반향신호 $y(k)$ 가 합쳐진 신호 $z(k)$ 가 입력된다.

이 때 반향신호 $y(k)$ 와 송신 포트 D의 신호 $z(k)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y(k) = \sum_{n=0}^{\infty} h_n(k)x(k-n) \tag{1}$$

$$z(k) = y(k) + v(k) \tag{2}$$

여기서 $h(k)$ 는 실제 반향경로의 임펄스 응답이다. 반향제거기는 원단신호 $x(k)$ 를 기준입력(reference input signal)으로 하여 반향 경로의 임펄스 응답 $h(k)$ 를 추정하고 근사화된 반향신호 $\hat{y}(k)$ 를 얻어 포트 D의 신호로부터 상쇄시킴으로서 이상적인 경우 근단신호 $v(k)$ 만을 전송하게 된다.

송신단에 반향과 함께 존재할 수 있는 근단신호(Near End Speech) $v(k)$ 는 반향에 비해 상당히 큰 에너지를 갖는다. 이러한 근단신호는 적응 알고리즘의 관점에서는 원하지 않는 신호로 작용한다. 그래서 근단신호가 존재하는 시간 구간에서도 계속 필터 계수를 적응해 나간다면 수렴 상수 μ 가 반향 상쇄기를 발산시키지 않는, 즉 수렴조건을 만족하는 값을 가지고 있다 하더라도 근단신호에 의해 발산될 것이다. 이와 같이 근단신호 검출기는 반향제거기를 구성함에 있어 상당히 중요한 부분을 차지하게 된다. 반향은 하이브리드 회로를 통과하는 동안 적어도 6dB 이상 감쇄됨으로 아래 (3)과 같이 기준 입력 신호 중 가장 큰 절대값을 갖는 신호와 원시 입력신호의 절대값을 비교하는 방법이 쓰인다.^[1]

$$|z(k)| > 1/2 \max \{ |x(k)|, |x(k-1)|, \dots, |x(k-N+1)| \} \tag{3}$$

식(3)에서 원시 입력신호 $z(k)$ 를 기준 입력신호 $x(k)$ 와 비교하지 않고 기준 입력신호 중 가장 큰 크기를 갖는 신호와 비교한 것은 반향제거기와 하이브리드 간의 거리에 의한 단지연(end delay)을 감안하기 위한 것이다. 근단신호가 검출되면 일정 시간의 잔류시간(hangover time)을 갖게 하는 것이 바람직하다.

반향경로는 TDL(Tapped Delay Line)필터를 사용하여 추정할 수 있다. TDL필터 출력 $\hat{y}(k)$ 는 기준 입력신호 $x(k)$ 와 추정된 임펄스 응답인 필터 계수 w_n , $n=0,1,2, \dots, N-1$ 에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있

다.

$$\hat{y}(k) = \sum_{n=0}^{N-1} w_n(k)x(k-n) \quad (4)$$

여기서 N 은 TDL 필터의 탭수를 나타내며, 이를 벡터 형태로 표현하면 다음과 같다.

$$Y(k) = W(k)^T X(k) \quad (5)$$

여기서

$$W(k) = \{w_{0(k)}, w_{1(k)}, \dots\}^T \quad (6)$$

$$X(k) = \{x(k), x(k-1), x(k-2), \dots\}^T \quad (7)$$

는 각각 계수 벡터와 기준 입력신호 벡터이며, 첨자 "T" 는 전치(transpose)를 표시한다.

이때 오차신호 $e(k)$ 는 반향과 근단신호가 포함된 원시 입력신호(primary input signal) $z(k)$ 와 필터 출력신호 $\hat{y}(k)$ 의 차로 나타낼 수 있다.

$$e(k) = z(k) - \hat{y}(k) = y(k) - \hat{y}(k) + v(k) \quad (8)$$

따라서 잔여 반향 신호 $e(k)$ 를 최소로 하는 복제 신호 $\hat{y}(k)$ 를 추정하기 위하여 적응 알고리즘 등을 사용한다. 반향을 최적으로 추정해낼 수 있는 TDL 필터의 최적 계수 벡터는 식(8)로 정의된 오차신호의 자승 평균인 MSE(Mean Square Error)를 최소화하는 최적 계수 벡터는 다음과 같은 Wiener 해로 주어진다.^[9,10,11,12]

$$W_{opt} = R^{-1}P \quad (9)$$

여기서

$$R = E[X(k)X^T(k)] \quad (10)$$

$$P = E[X(k)z(k)] \quad (11)$$

는 각각 기준 입력신호의 자기상관(auto-correlation) 행렬과 기준입력 신호와 원시 입력신호 $z(k)$ 간의 상호상관(cross-correlation) 벡터를 나타내며 $E[]$ 는 통계적인 평균을 의미한다. 신호가 stationary 하고 필터 차수가 반향경로를 추정하기에 충분한 길이 만큼 된다면 (9)로 주어지는 최적 계수를 사용하여 반향과 정확히 같은 신호를 필터 출력에서 얻어낼 수 있다. 그러나 실제로는 반향경로가 시간과 입력신호에 따라 변화하기 때문에 주변상황에 적응할 수 있는 알고리즘이 필요하다. LS(Least Square)^[9,10,12] 알고리즘은 과거의 기준 신호와 해당 반향 정보를 토대로 오차의 자승 가중합을 최소화하는 계수를 결정하는 것이다. 이 알고리즘의 장점은 빠른 수렴과 입력신호의 correlation 특성과 무관하다는 것이다. 그러나 최적계수를 구하기 위

해서는 matrix inversion을 해야 하므로 계산량이 많아진다. LMS(Least Mean Square)^[12,13] 알고리즘은 필터의 탭이 Stochastic Steepest Descent 알고리즘에 따라서 적용된다. 실현상의 이유 때문에 자승오차의 기대치 대신 자승오차의 순간치를 사용한다. 자승오차의 기대치를 판단 함수로 취하는 방법이다. LMS 알고리즘은 아래 식에 의해서 적응필터 계수를 조정한다.

$$W(k+1) = W(k) + \mu e(k)X(k) \quad (12)$$

여기서 μ 는 LMS 알고리즘의 수렴속도 및 안정성을 제어하는 수렴상수로, 입력신호의 상관행렬(autocorrelation matrix)의 최대고유치를 λ_{max} 라 할 때 $0 < \mu < \frac{1}{\lambda_{max}}$ 의 범위로 하지 않으면 안된다.^[8,9]

LMS(Least Mean Square) 적응 알고리즘은 이 수렴상수 μ 에 의해서 알고리즘의 수렴 특성이 좌우된다. 일반적으로 μ 가 큰 만큼 수렴 속도는 빨라지지만, 수렴 후 오차는 크게 된다. 반대로 μ 를 작게 선택하면 수렴 후의 오차는 작아지지만 수렴속도가 늦게 된다. 결국 μ 를 고정치로 해서 탭계수를 갱신하는 경우, 수렴속도 개선과 수렴 후 오차 개선은 상반된 문제이다. 또한 이 알고리즘에서는 수렴상수 μ 는 입력신호의 통계적 성질에 크게 의존한다. NLMS(Normalized LMS) 알고리즘^[6,14]은 LMS 알고리즘에서 고정치로 되는 수렴상수 μ 를 대체해서, 시간적으로 변화하는 수렴상수를 이용하는 방법으로, 계수 갱신식은 다음과 같다.

$$W(k+1) = W(k) + \beta \frac{e(k)}{\|X(k)\|^2} X(k) \quad (13)$$

여기서 β 는 입력신호에 의존하지 않는 값으로, 범위는 $0 < \beta < 2$ 이다.

따라서 NLMS 알고리즘은 입력신호의 통계적 성질을 알지 못하더라도 수렴상수 β 를 설정하는 것이 가능하다. 이런 점에서 LMS 적응 알고리즘보다 유리하다.

III. STWQ 탭선택 알고리즘

STWQ알고리즘은 반향경로의 임펄스 응답 중에서 난반사 부분에 해당하는 활성탭의 위치를 제어한다. 탭의 계수값이 작으면 작을수록 필터의 출력에 미치는 영향이 적다는 것이 알고리즘의 원리이다. 그림 3에서 비활성 탭에서 활성 탭으로 바뀌는 $R = 1$ 인 경우에 STWQ의 제어에 의해서 탭위치 제어하는 방법을 보

였다.^[6]

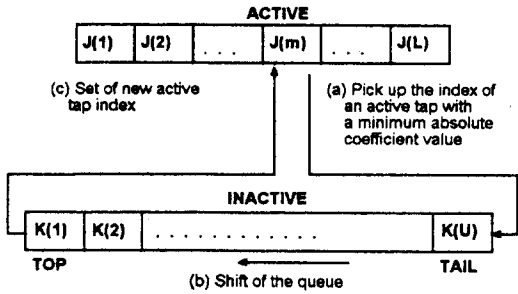


그림 3. STWQ 알고리즘에 의한 탭위치 제어
Fig. 3. STWQ Algorithm with tap location control.

STWQ 알고리즘에 의한 탭제어 절차는 다음과 같다.

- (1) N 개의 지연요소의 지수를 활성탭 군 $J(m)$ ($1 \leq m \leq L$)과 비활성탭 군 $K(n)$ ($1 \leq n \leq U$, $U = N - L$) 등 두개의 군으로 나눈다. 처음에 N 개의 탭위치 중에서 등 간격으로 $J(m)$ 을 선택한다. 활성탭의 계수는 초기값으로 '0'을 선택한다. $K(n)$ 이 지수의 차로 FIFO큐에 저장되고, $(J(m) \cup K(n)) = \{1, 2, \dots, N\}$ 으로 정의된다.
- (2) $J(m)$ 에 의해서 지시되는 활성탭의 계수들은 Q 반복 동안 스텝 크기 μ 를 갖는 NLMS 알고리즘에 의해 갱신된다.
- (3) 계수의 절대값이 작은 R 개의 활성탭은 비활성으로 되고, 그들의 지수는 큐의 뒤에 첨부된다.
- (4) 큐에 있는 지수들은 R 만큼 큐의 앞쪽으로 이동된다.
- (5) 큐의 앞 부분에 있는 R 개의 지수에 의해서 지시되는 탭들은 활성으로 바뀌고, 새로운 값으로 '0'을 set 시킨다.
- (6) 다시 (2)로 간다.

STWQ는 full-tap NLMS보다 늦게 수렴하는 경우가 많다. 늦은 수렴에는 두 가지 이유가 있다.

첫째, 큐의 길이가 길 때 ($N > L$) 비활성 탭의 수가 크다. 따라서 큐의 맨 뒤에 있는 지수가 지시하는 탭은 지수가 맨 앞으로 이동할 때까지 오래 동안 활성화되지 않는다. 난반사 부분이 알려져 있지 않기 때문에 큐에서 난반사 부분에 해당되는 지수를 가져오는 것은 불가능하다. 그러므로 난반사 부분에 해당되는 지수가 큐의 뒤쪽에 있을 때는 수렴시간이 길어진다.

둘째, 계수갱신을 위한 스텝 크기가 충분히 작지 않을 때에는 난반사 바깥 부분 또는 Zero-crossing 부분에 해당되는 탭계수의 바라지 않는 변동이 난반사 부분에서 탭계수의 성장을 방해한다. 이와 같은 변동은 STWQ 알고리즘이 계수값의 평가에 기초를 두고 있기 때문에 활성탭 선택에 직접 영향을 준다. 스텝 크기가 작으면 작을수록 변동이 적게 일어난다. 그러나 스텝 크기가 작으면 난반사 영역에서 계수의 성장이 늦어지게 된다.

IV. 제안한 알고리즘

STWQ 알고리즘은 영역 제한을 하지않고 전체 탭을 대상으로 활성탭과 비활성 탭간의 교환을 하는 방법을 사용하고 있다. 제안한 이중 구조 탭선택 알고리즘의 특징은 2단 적응 필터로 구성되어 있다. 먼저 long-length 필터에서 탭선택 알고리즘의 순수지연 평가 방법을 이용하여 난반사 부분의 위치와 제한된 영역을 알아내고, short-length 필터에서 영역 제한에 의한 적응으로 반향을 제거하게 된다. 또한 monitor and control network 회로는 long-length 필터의 순수 지연 평가를 감시하고, 두 필터의 동작을 결정하는 멀티플렉서(MUX) 스위치를 제어한다.

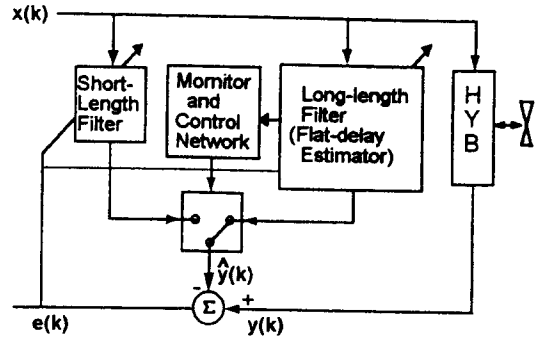


그림 4. 제안한 알고리즘을 적용한 반향제거기 구성도
Fig. 4. Block diagram of echo canceller with proposed algorithm.

long-length 필터에서 순수지연을 평가하기 위한 스텝 크기 μ_1 은 zero-crossing 부분과 난반사부분 밖의 탭 계수의 적은 변동을 위하여, short-length 필터의 제한된 영역 적응을 위한 스텝 크기 μ 보다 충분히 작도록 한다.

그림 4는 제안된 알고리즘으로 실현한 반향제거기의

블럭도를 보였다. $x(k), y(k), \hat{y}(k), e(k)$ 는 각각 입력신호, 반향, 반향복제 및 잔여반향이다. Long-Length 필터의 크기는 N 이고 short-length 필터의 크기는 $2L$ 이다. Monitor and control network는 long-length 필터에서 난반사 부분의 최대 절대값을 갖는 지수를 찾고 나면, 최대 절대값의 지수를 중심으로 $-L, +L$ 인 short-length 필터의 영역을 결정하고 MUX 스위치를 제어한다. short-length 필터는 제한된 영역의 출력과 $2L$ 개의 탭 계수 사이의 선형조합으로 반향복제 신호 $\hat{y}(k)$ 를 계산하여 잔여 반향을 제어한다. 이때 제한영역의 탭 계수는 NLMS 알고리즘으로 갱신된다.

제한된 알고리즘에 의한 반향제거 절차는 다음과 같다.

- (1) 탭선택 알고리즘의 그림 4와 같은 탭 위치제어 방법으로 long-length 필터의 N 개의 지연요소의 지수를 활성탭 군과 비활성탭 군 $K(n)$ ($1 \leq n \leq U$, $U = N - L$) 등 두개의 군으로 나눈다. 처음에 N 개의 탭 위치 중에서 등간격으로 $J(m)$ 을 선택한다. 활성 탭의 계수는 초기 값으로 0을 선택한다. $K(n)$ 은 지수의 차수로 FIFO 큐에 저장되고 $\{J(m) \cup K(n)\} = \{1, 2, \dots, N\}$ 으로 정의된다.
- (2) 활성 탭의 계수는 V 반복 동안 스텝 크기 μ_1 로 NLMS 알고리즘에 의해서 갱신된다.
- (3) 최대 절대값으로 각 활성 탭의 윤곽 비율 $P(J(m))$ 을 최근 T 반복 동안 계산한다. 가장 큰 $P(J(m))$ 은 윤곽 비율을 위한 임계값인 P_{th} 와 비교되어진다. 여기서 윤곽 비율 $P(J(m))$ 은 T 반복 동안 $J(m)$ 의 절대값이 최대가 되는 비율이다.
- (4) 만약 $P(J(m)) > P_{th}$ (윤곽비율 초기치)이면, (6)으로 점프하고 그렇지 않으면 $J(m)$ 과 $K(n)$ 은 변경되어진다. 각 $J(m)$ 은 초기조건을 새롭게 하기 위하여 오른쪽으로 S 만큼 이동시킨다. 상응하는 계수들은 새로운 값으로 '0'이 세트된다.
- (5) 절차는 (2)부터 반복된다.
- (6) 최대 절대값을 갖는 탭의 지수 I_{max} 는 $J(m)$ 으로 정의되고 순수지연 평가를 끝낸다.
- (7) monitor and control network는 $J(m) - L$ 에서 $J(m) + L$ 의 범위로 영역을 제한하고 MUX의 스위치를 제어하여 short-length 필터로 접속시킨다.

(8) short-length 필터에서 제한된 영역의 탭 계수는 스텝크기 μ 로 NLMS 알고리즘에 의해 갱신된다.

본 논문에서 제안한 알고리즘에서 절차 (1)에서 (6)까지는 Ikeda^[7]가 제안한 방법과 유사하나, 순수지연 평가 후에 MUX 스위치에 의해서 short-length filter로 전환하여 적응 필터링을 계속해 나가는 방법이 다르다.

V. 모의실험 결과 및 분석

본 장에서는 컴퓨터 모의실험을 통하여 제안한 알고리즘의 수렴특성을 Full-Tap NLMS, STWQ 및 탭선택 알고리즘의 수렴특성과 비교하여 알아보았다.

반향제거기의 성능 평가를 위하여 입력신호 $x(k)$ 는 평균은 '0'(Zero) 이고 단위 분산의 백색 가우시안 신호로 하였으며, 반향경로의 임펄스 응답 $h(k)$ 는 식(14)로 정의 하였다.

$$h(k) = \begin{cases} 0 & 0 \leq k \leq M \\ \frac{1}{2} e^{-0.1*(k-M-1)} \cos(0.5*(k-M-1)*\pi) & M < k < L \end{cases} \quad (14)$$

여기서 L 은 필터 탭수, M 은 순수 지연 부분의 탭수이며, k 는 샘플링 지수이다.

반향제거기의 성능을 평가하는 방법은 ERLE(Echo Return Loss Enhancement)를 측정하는 것이 일반적이다.^[5] ERLE는 식(15)에 의해서 정의된다.

$$ERLE(k) \text{ dB} = 10 * \log \frac{\sum_{i=k-N+1}^k y_i^2}{\sum_{i=k-N+1}^k e_i^2} \quad (15)$$

모의실험에서 NLMS 알고리즘의 필터 계수 갱신은 식(16)에 의해서 수행하였다.

$$W(n+1) = W(n) + \mu \frac{X(n)e(n)}{a + \|X(n)\|^2} \quad (16)$$

식(16)에서 μ 는 0.5, a 는 0.01로 하였으며, 난반사 부분은 25탭으로 하였다.

제안한 알고리즘 및 탭선택 알고리즘의 수렴특성으로 순수지연 평가 시에 사용되는 스텝크기 μ_1 은 0.5⁷으로 하였으며 V, T, S, Q, P_{th} 는 60, 40, 6, 2와 0.7을 각각 선택하였다. 위의 값 중에서 제안한 알고리즘은 Q 가 사용되지 않았으며, 주어진 조건하에서 양호한

특성을 보였다. 또한 탭선택 알고리즘의 제한영역에서 안정된 수렴을 위하여 ERLE의 임계치인 ERLEth는 10dB로 하였다. STWQ 알고리즘에 의한 수렴특성으로 Q는 10, R은 1로 하였다.

그림 5에서 그림 8까지의 모의 실험에서 적응 필터의 탭 수 및 순수지연을 각각 달리하여 수렴특성을 알아보았다.

그림 5와 그림 6은 적응필터의 탭수는 256(32ms)탭으로 하였으며, 순수지연은 64(8ms)탭과 128(16ms)탭으로 하였다.

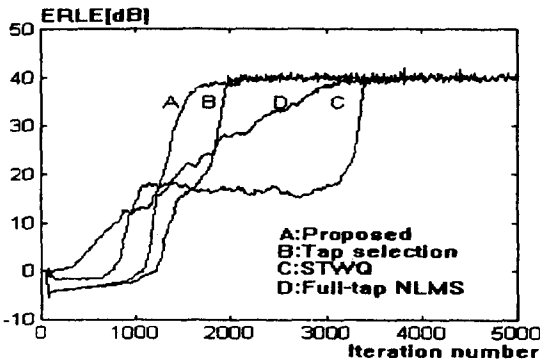


그림 5. 적응필터의 탭수는 256(32ms) 탭, 난반사 부분은 25(3ms)탭, 순수지연은 64(8ms)탭인 경우의 각 알고리즘의 수렴특성

Fig. 5. Convergence characteristics of algorithms with 256 tap adaptive filter in case of 25 tap dispersion, 64 tap flat delay.

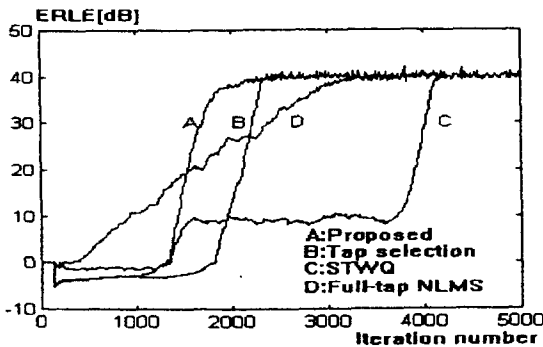


그림 6. 적응필터의 탭수는 256(32ms) 탭, 난반사 부분은 25(3ms)탭, 순수지연은 128(16ms)탭인 경우의 각 알고리즘의 수렴특성

Fig. 6. Convergence characteristics of algorithms with 256 tap adaptive filter in case of 25 tap dispersion, 128 tap flat delay.

그림 7과 그림 8에서는 적응필터의 탭수는 512 (64ms)탭으로 하였으며, 순수지연은 128(16ms)탭 와 256(32ms)탭으로 하였다.

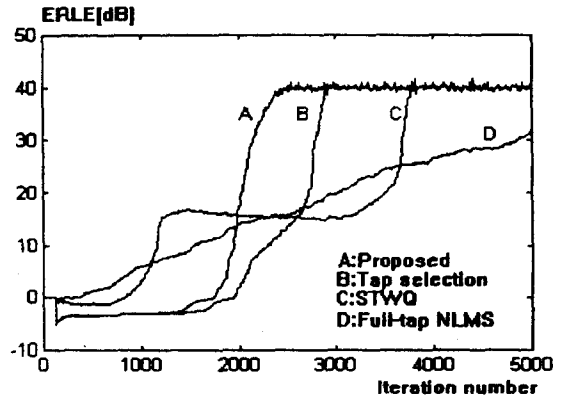


그림 7. 적응필터의 탭수는 512(64ms) 탭, 난반사 부분은 25(3ms)탭, 순수지연은 64(8ms)탭인 경우의 각 알고리즘의 수렴특성

Fig. 7. Convergence characteristics of algorithms with 512 tap adaptive filter in case of 25 tap dispersion, 128 tap flat delay.

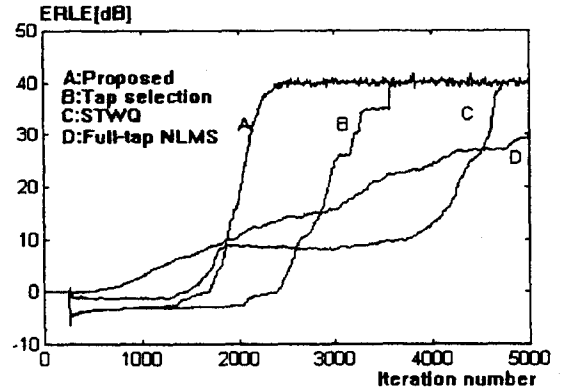


그림 8. 적응필터의 탭수는 512(64ms) 탭, 난반사 부분은 25(3ms)탭, 순수지연은 128(16ms)탭인 경우의 각 알고리즘의 수렴특성

Fig. 8. Convergence characteristics of algorithms with 512 tap adaptive filter in case of 25 tap dispersion, 256 tap flat delay.

컴퓨터 모의실험 결과 적응 필터의 탭수를 256 (32ms)탭으로 하였을 경우 제안한 알고리즘은 약 900 회 반복에서 급격하게 ERLE가 커져서 1800회 정도에서 수렴되고, 탭선택 알고리즘은 약 1300회 반복에서 급격하게 ERLE가 커져서 2000회 정도에서 수렴된다. 또한 Full-tap NLMS 알고리즘은 반복회수가 늘어남에 따라 점차적으로 ERLE가 커져서 약 3000회 정도

에서 40dB가 되며, C의 STWQ 알고리즘에 의한 수렴특성은 처음 20dB까지는 급격히 상승하나, Scrub 큐에 있는 난반사 부분의 탭계수에 해당하는 지수가 낮게 활성 탭계수로 변하는 관계로 3500회 정도에서 수렴한다.

그리고 적응 필터의 탭수를 512(32ms)탭으로 하였을 경우 제안한 알고리즘은 약 900회 반복에서 급격하게 ERLE가 커져서 1800회 정도에서 수렴되고, 탭선택 알고리즘은 약 1300회 반복에서 급격하게 ERLE가 커져서 2000회 정도에서 수렴된다. 또한 Full tap NLMS 알고리즘은 반복회수가 늘어남에 따라 점차적으로 ERLE가 커져서 약 5000회 이상에서 40dB가 되며, C의 STWQ 알고리즘에 의한 수렴특성은 처음 10dB까지는 급격히 상승하나, Scrub 큐에 있는 난반사 부분의 탭계수에 해당하는 지수가 낮게 활성 탭계수로 변하는 관계로 4500회 정도에서 수렴한다. 모의 실험에서 각 알고리즘의 수렴특성은 40dB로 제한하여 시험하였다.

이와 같은 모의실험결과 제안한 알고리즘은 적응 필터의 탭수가 256탭인 경우에는 Full tap NLMS 와 STWQ 알고리즘에 비해서는 약 80% 정도, 탭선택 알고리즘에 대해서는 약 20% 정도의 수렴 시간을 줄일 수 있었으며, 적응 필터의 탭수가 512탭인 경우에는 Full tap NLMS 와 STWQ 알고리즘에 비해서는 약 80% 정도, 탭선택 알고리즘에 대해서는 약 20% 정도 수렴 시간을 줄일 수 있었다.

또한 순수지연 부분이 커짐에 따라 제안한 알고리즘의 수렴특성은 더욱 우수함을 알 수 있었다.

VI. 결론

본 논문에서는 일반적인 장거리 전화 통신망에 사용되는 반향제거기의 적응 알고리즘에 대해 고찰하여 보았으며, 2단 적응필터를 사용하여 먼저 long-length 필터에서 난반사 부분의 위치를 알아내고, short-length 필터로 접속되어 영역제한에 의한 적응을 하는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 일반적으로 반향제거기에 사용되는 적응필터의 알고리즘은 Full-tap NLMS 알고리즘을 사용하나 반향경로의 임펄스 응답의 난반사 부분이 상대적으로 작은 점을 감안하여 난반사 부분의 탭 계수에 관심을 갖고 적응을 하는 STWQ 알고리즘과, 보다 수렴 특성이 우수하고 계산량이 적은

탭선택 알고리즘이 보고되어졌다. 그러나 STWQ 및 탭선택 알고리즘은 탭수가 커지고 난반사 부분의 지연이 길어질수록 수렴특성이 다소 떨어지는 경우가 있다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 모의 실험 결과 256탭 적응 필터에서 Full-Tap NLMS 알고리즘이나 STWQ 알고리즘에 비해서는 약 80% 정도, 탭선택 알고리즘에 비해서는 약 20% 정도의 수렴시간을 줄일 수 있었으며, 적응 필터의 탭수가 512탭인 경우에는 Full tap NLMS 와 STWQ 알고리즘에 비해서는 약 80% 정도, 탭선택 알고리즘에 대해서는 약 20% 정도의 수렴 시간을 줄일 수 있었다. 또한 난반사 부분의 지연이 길어질수록 더욱 우수하고 안정된 수렴특성을 보였다.

앞으로 2개 이상의 다중반향에 대해서도 유연하게 적용할 수 있도록 필터구조의 성능 향상 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] D.L.Duttweiler, "A twelve-channel digital echo canceller," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM 26, pp. 647-653, May 1978.
- [2] M.M.Sondi and D.A.Berkley, "Silencing echoes on the telephone network," *Proc. IEEE*, vol. 68, pp. 948-963, Aug. 1980.
- [3] J.W.Emling and D.Mitchell, "The Effect of Time Delay and Echoes on Telephone Conversation," *Bell System Technical Journal*, vol. 42, No.6, pp. 2869-2891, Nov. 1963.
- [4] D.L.Duttweiler, "Subsampling to Estimate Delay with Application to echo cancelling," *IEEE Trans. Acoust., Speech & Signal Processing*, vol. ASSP-31, pp. 1090-1099, Oct. 1983.
- [5] P.C.Yip and D.M. Etter, "An Adaptive Multiple Echo Canceller for Slowly Time-Varying Echo Paths," *IEEE Trans., Commun.*, vol. COM-38, pp. 1693-1698, Oct. 1990.
- [6] S.Kawamura and M.Hatori, "A tap selection algorithm for adaptive filters," *ICASSP 86*, pp. 2979-2982.
- [7] S.Ikeda and M.Sugiyama, "A Fast

- convergence algorithm for adaptive FIR filters with coarsely located taps," *ICASP 91*, pp. 1525-1528.
- [8] S.Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice-Hall, 1991.
- [9] B.Widrow and S.D Stearns, *Adaptive Signal Processing*, Prentice-Hall, 1985.
- [10] S.Haykin, *Introduction to Adaptive Filter*, A Division of Macmillan, 1984.
- [11] B.Widrow et al., "Adaptive Noise Cancelling : Principles and Application," *Proc. IEEE*, vol. 63, pp. 1692-1716, Dec. 1975.
- [12] M.Kazuo, U.Shigeyuki and A.Fumio, "Echo Cancellation and Applications," *IEEE Mag. COM*, pp. 49-55, Jan. 1990.
- [13] C.W.K.Gritton and D.W.Lin, "Echo Cancellation Algorithm," *IEEE ASSP Mag.*, pp. 30-38, April 1984.
- [14] N.J. Noda, "A Learning Method for System Identification," *IEEE Trans. Autom. Control*, AC-12, pp. 282-287, June 1967.

 저 자 소 개



吳 敦 成(正會員)

1958년 12월 5일 생. 1981년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업(학사). 1983년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업(공학석사).

1992년 3월 ~ 현재 동 대학원 박사과정. 1983년 3월 ~ 현재 한국전자통신연구소 이동교환기 연구실 선임연구원. 주 관심분야는 적응 필터 응용분야 및 이동통신 관련 기술 임

李 斗 秀(正會員)

第 29卷 B編 第 11號 參照

현재 한양대학교 전자공학과 교수