

논문 2007-44TC-7-7

WCDMA용 무선중계기에서 상관도를 이용한 적응적 궤환 간섭 제거

(Adaptive Feedback Interference Cancellation Using Correlations for
WCDMA Wireless Repeaters)

문 우 식*, 임 성 빈**, 김 중 훈**

(Woosik Moon, Sungbin Im, and Chonghoon Kim)

요 약

최근 이동통신 서비스가 광범위하게 사용되고 서비스 영역의 용이한 확대로 인하여 무선중계기에 대한 수요가 급격히 증가하고 있다. 그러나 무선중계기에는 중계된 전송 신호의 일부가 궤환되어 다시 수신 안테나에 수신되는 궤환 간섭 신호가 발생한다. 궤환 간섭 신호의 제거에 이용하는 LMS (Least Mean Square) 알고리즘은 연산량이 적어 실시간으로 적용할 수 있지만, 필터 계수를 갱신에 일정한 스텝 사이즈(step size)를 사용하여 시변 채널과 같은 상황에서 성능이 저하된다. 이런 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 궤환 간섭 제거기의 참조 입력 (reference input)과 에러 신호 사이에서 상관도를 구하여, 스텝 사이즈를 조정하는 새로운 가변 스텝 사이즈 LMS 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘을 WCDMA 무선 중계기에서 궤환 간섭 신호를 제거하는 필터에 적용하여 모의실험을 하였고, 기존의 간섭 제거 알고리즘과 비교하여 성능이 우수함을 확인할 수 있었다.

Abstract

As the mobile communication service is widely used and the demand for wireless repeaters is rapidly increasing because of the easiness of extending service areas. But a wireless repeater has a problem that the output of the transmit antenna is partially fed back to the receive antenna, which results in feedback interference. In this paper, we propose a new variable step-size LMS algorithm, which utilizes correlation between reference and error signals to adjust the step sizes, for cancelling the feedback interference signals in the WCDMA repeater under time-varying multi-path channels. The proposed algorithm was evaluated through computer simulation by being applied to the feedback canceling filter of the WCDMA repeater. The simulation results demonstrated that the proposed one is superior to the conventional ones in terms of the cancelation performance.

Keywords : LMS, ADAPTIVE FILTER, ICS, REPEATER, WCDMA

I. 서 론

무선 중계기는 설치 장소를 자유롭게 선택할 수 있으며, 유지 및 보수가 용의하고, 선로 비용이 없어 유지비가 저렴하며, 주파수를 재사용 할 수 있는 장점이

있다. 그러나 수신 신호와 송신 신호가 서로 동일한 주파수를 사용하므로 송신 안테나와 수신 안테나 사이에 격리(isolation)가 충분히 확보되어 있어야 한다. 그렇지 않으면 송신 안테나로부터 수신 안테나로 궤환된 간섭 신호가 원 신호와 결합하여 무선 중계기의 성능을 저하시키고, 발전의 원인이 된다. 따라서 궤환 간섭 신호를 제거하는 것은 무선 중계기의 성능 향상에 매우 중요하다.

이러한 궤환 간섭 신호를 제거하기 위하여 LMS (Least Mean Square) 알고리즘과 같은 적응 알고리즘

* 학생회원, ** 정회원, 숭실대학교 정보통신전자공학부 (School of Electronic Engineering, Soongsil University)

※ 본 논문은 숭실대학교 교내연구비 지원으로 수행되었음.

접수일자: 2007년7월12일, 수정완료일: 2007년7월19일

이 사용되는데, 기존의 LMS 알고리즘은 필터 계수를 갱신하는데 있어서 단일의 스텝 사이즈를 이용하므로 시변 채널 환경에서 채널 계수를 추정하고 따라가는데 어려움이 있다.

본 논문에서는 WCDMA 무선중계기에서 발생하는 궤환 간섭 신호를 제거하기 위하여 시변 채널 환경에서 채널 계수의 추정 및 추적에 적합한 적응 알고리즘을 제안하고 있다. 제안하는 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 시불변 채널(time invariant channel)과 시변 채널(time varying channel) 환경에서 제안된 알고리즘과 기존의 LMS 알고리즘의 성능을 비교 평가하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 서론에 이어 II절에서는 기존의 간섭 제거 알고리즘으로 LMS, NLMS (Normalized LMS), 가변 스텝 사이즈 LMS (Variable step-size LMS) 알고리즘에 대하여 소개하고, III절에서는 제안하고 있는 알고리즘에 대하여 설명한다. IV절에서는 모의실험을 통하여 성능을 평가하고, 마지막으로 V절에서 결론을 맺는다.

II. 기존 간섭제거 알고리즘

그림 1은 일반적인 적응 간섭 제거기의 신호 흐름을 보여 주고 있다. 적응 간섭 제거기의 입력 신호 d 는 원 신호 s 와 간섭 신호 n 을 포함하고 있다. 에러신호의 제곱 e^2 의 기대값을 최소로 하여 간섭을 제거한다^[1].

간섭을 제거하는 적응성 알고리즘 중에서 LMS 알고리즘은 수식이 간단하고 연산량이 적어, 실시간으로 적용 가능한 알고리즘으로 여러 시스템에서 널리 사용되고 있다. LMS 알고리즘은 다음과 같다.

$$y(k) = W^T(k)X(k) \tag{1}$$

$$d(k) = s(k) + n(k) \tag{2}$$

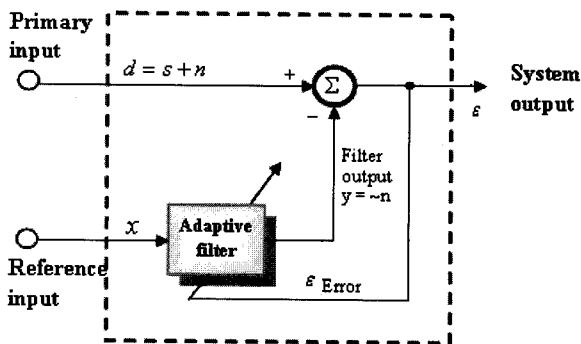


그림 1. 적응 간섭 제거기
Fig. 1. Adaptive interference canceller.

$$e(k) = d(k) - y(k) = d(k) - W^T(k)X(k) \tag{3}$$

$$W(k+1) = W(k) + \mu e(k)X(k) \tag{4}$$

위 식에서 $W(k)$ 는 k 번째 갱신된 필터계수 w 의 벡터를 나타내며 $X(k)$ 는 기준입력신호 x 로 구성된 벡터를 나타낸다. 이 벡터의 정의는 다음과 같다.

$$W(k) = [w_0(k), w_1(k), w_2(k), \dots, w_{N-2}(k), w_{N-1}(k)]^T \tag{5}$$

$$X(k) = [x(k), x(k-1), \dots, x(k-N+2), x(k-N+1)]^T \tag{6}$$

LMS 알고리즘은 수렴속도가 느리고, 스텝 사이즈와 신호의 크기에 따라 수렴 특성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 μ 값을 신호의 에너지로 정규화 시킴으로서 신호의 크기를 일정하게 유지하여 줌으로서 LMS의 수렴성을 향상시킬 수 있다. 이러한 알고리즘을 NLMS (normalized LMS) 라 하고 필터 계수의 갱신 수식은 식 (8)의 μ 값을 다음과 같이 한다.

$$\mu = \frac{\tilde{\mu}}{\|X(k)\|^2}, \quad 0 < \alpha < 2 \tag{7}$$

여기에서 $\tilde{\mu}$ 는 NLMS의 스텝 사이즈로서 수렴속도와 수렴오차를 결정하는 상수이다. $\tilde{\mu}$ 값이 커지면 수렴 속도는 빨라지지만 수렴 오차(misadjustment)가 커지고, $\tilde{\mu}$ 값이 작아지면 수렴속도는 느려지지만 수렴오차는 작아진다^[2]. 따라서 적절한 스텝 사이즈를 찾아야 한다. 중계기에서 궤환 간섭을 제거하는데 수렴오차가 크면 일정 이상의 간섭 제거 성능을 얻을 수 없고, 수렴속도가 느리면 시변 채널 환경에서 수렴하지 못하고 발산하게 된다.

이러한 문제를 보완하기 위하여 시간에 따라 스텝 사이즈의 크기를 가변시켜 수렴초기에는 빠르게 수렴하는 것이 가능하도록 하고 수렴이 진행됨에 따라 점차 스텝 사이즈의 크기를 줄여서 수렴오차를 줄이는 가변 스텝 사이즈 알고리즘이 있다^[3-5]. 가변 스텝 사이즈 알고리즘에서 가변되는 $\tilde{\mu}$ 값은 위 조건에 따라 다음과 같다.

$$\tilde{\mu} = \begin{cases} \tilde{\mu}_{\max} & , \tilde{\mu}_{\max} < \frac{\beta |e(k)|^p}{X(k)^2} \\ \frac{\beta |e(k)|^p}{X(k)^2} & , otherwise \\ \tilde{\mu}_{\min} & , \tilde{\mu}_{\min} > \frac{\beta |e(k)|^p}{X(k)^2} \end{cases} \tag{8}$$

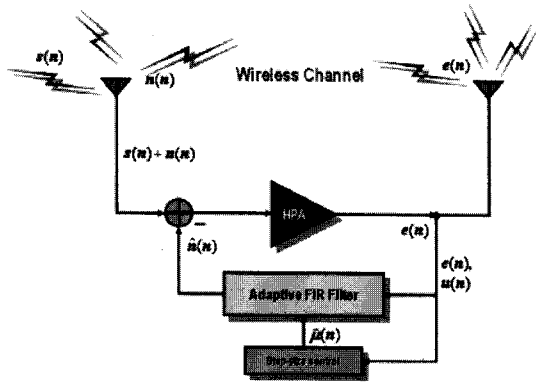


그림 2. 가변 스텝 사이즈 LMS 알고리즘을 적용한 간섭 제거기의 모델
 Fig. 2. The model of the interference canceller using the variable step-size LMS algorithm.

여기에서 β 는 평균적인 $\tilde{\mu}$ 값의 크기를 결정하는 상수로서 $\tilde{\mu}_{max}$, $\tilde{\mu}_{min}$ 과 함께 채널의 통계적인 특성에 의해 결정된다.

그림 2는 가변 스텝 사이즈 LMS를 이용한 간섭제거기를 나타낸다. 이러한 가변 스텝 사이즈 LMS는 오차 신호의 제공에 따라서 스텝 사이즈를 가변시키는데, 정상상태 (steady state)에서의 오차신호는 잡음이 제거된 원신호가 되고 LMS가 수렴한 후에도 원신호가 가지고 있는 신호크기에 따라 스텝 사이즈가 불필요하게 변동되어 성능을 저하시킨다. 또한 가변 스텝 사이즈 LMS 알고리즘은 스텝 사이즈 μ 가 오차신호의 제공에 따라 변화하는 스칼라 값인데 반해, 갱신되어야 할 필터의 계수는 벡터이기 때문에 각각의 필터계수에 동일한 스텝 사이즈를 이용하여 갱신하므로, 필터계수 각각에 대하여 최적의 스텝 사이즈를 사용하였다고 할 수 없다.

III. 제안하는 알고리즘

LMS 알고리즘에서 사용하는 스텝 사이즈는 스칼라 값이지만 필터의 계수는 벡터이기 때문에 각각의 필터 계수에 동일한 스텝 사이즈를 적용하여 계수를 갱신하게 된다. 따라서 각각의 계수의 최적의 스텝 사이즈를 적용한다고 할 수 없다.

본 논문에서는 간섭 제거 시스템에서 적응 필터의 참조입력과 에러신호 사이에 상관도를 이용하여^[6-7], 스텝 사이즈를 벡터로 하여 필터의 계수 값을 갱신한다. 참조입력과 에러신호 사이에 상관도는 적응 필터가 수렴함에 따라 0으로 수렴하여야 한다. 이를 이용하여 가변 스텝 사이즈 알고리즘의 β 값의 결정에 적용함으로써

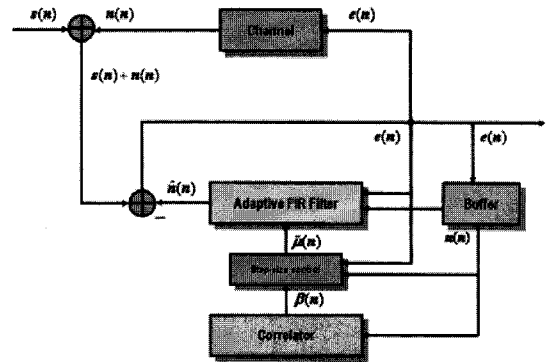


그림 3. 상관도를 이용한 가변 스텝 사이즈 LMS 알고리즘을 적용한 간섭제거기의 블록도
 Fig. 3. The block diagram of the interference canceller using variable step-size LMS algorithm based on correlations.

스텝 사이즈의 크기를 적절히 조절할 수 있다. 즉, 적응 필터가 수렴함에 따라 스텝 사이즈의 변화가 작아지고, 가변채널의 변화폭이 크면 스텝 사이즈의 변화폭이 커지게 된다. 상관도를 구하는 방식은 다음과 같다.

$$r_{xy}(k) = \frac{1}{L} \sum_{i=0}^{L-1} x(i)y(i-k), \quad 0 \leq k < L \quad (9)$$

상관관계 값을 $r_{xy}(k)$ 라 하고 이 값을 필터의 계수 수만큼의 지연에 대하여 구하여 사용한다.

IV. 모의실험 및 결과

이 절에서는 모의실험을 통하여 WCDMA 무선 중계기에서 발생하는 궤환 간섭 신호를 제거함에 있어서 제안한 알고리즘과 기존의 다른 적응 알고리즘들과 채널 추정 오차를 비교하여 성능을 평가하고자 한다.

입력 신호로는 이전에 송출된 신호가 채널을 통하여 궤환되어 원 신호와 합쳐진 신호를 사용한다. 본 모의 실험에서 사용된 채널의 특성을 표 1에 정리하였다.

신호의 샘플링 주파수는 12.5 MHz이고, 필터의 윈도

표 1. 다중경로 채널의 조건
 Table 1. The conditions of the multi-path channel.

	Path #1	Path #2	Path #3	Path #4	Path #5	Path #6	Path #7	Path #8
Relative Delay(ns)	0	310	710	1030	1730	2010	2220	2400
Average Power(dB)	0	-3	-3	-3	-6	-6	-9	-9
Doppler	Classic	Classic	Classic	Classic	Classic	Classic	Classic	Classic

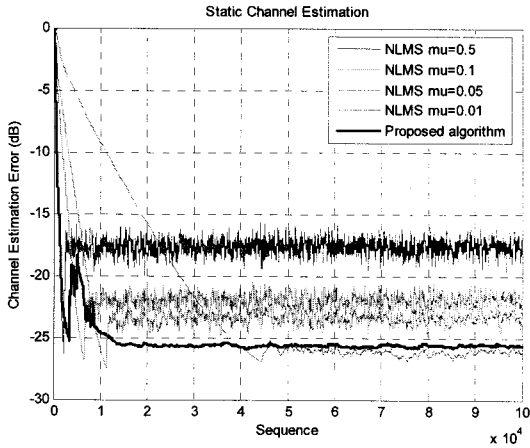


그림 4. 시불변 채널에서 채널 추정 오차 곡선
 Fig. 4. The channel estimation error curves for the time invariant channel.

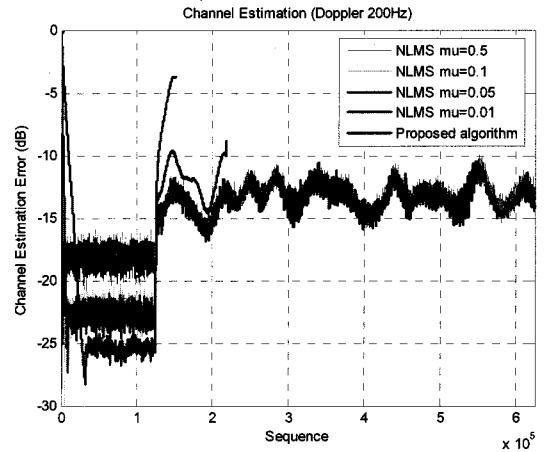


그림 6. 시변 채널에서 채널 추정 오차 곡선 (도플러 주파수= 200Hz)
 Fig. 6. The channel estimation error curves for the time varying channel (Doppler frequency= 200Hz).

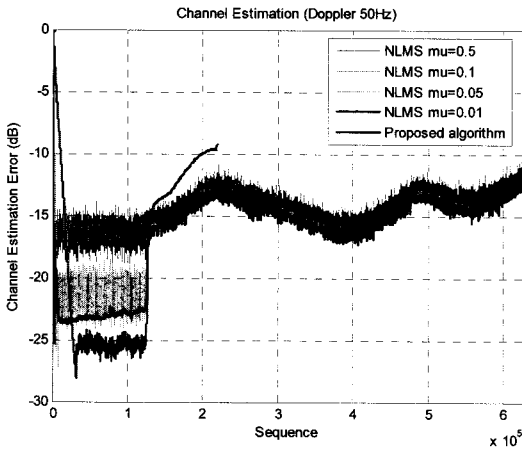


그림 5. 시변 채널에서 채널 추정 오차 곡선 (도플러 주파수= 50Hz)
 Fig. 5. The channel estimation error curves for the time varying channel (Doppler frequency= 50Hz).

이 약 -27dB을 보여 주었다. 하지만 제안된 알고리즘도 약 -25dB로 비슷한 성능을 보여 주었다. 스텝 사이즈가 0.01인 NLMS가 수렴하는데 약 45,000 샘플이 필요하였지만 제안된 알고리즘은 약 14,000 샘플에 수렴하여 스텝 사이즈가 0.05인 NLMS가 수렴하는데 걸린 약 12,000 샘플과 비슷하다. 채널 추정 오차 및 수렴속도 측면에서 우수한 것으로 나타나고 있다.

그림 5는 도플러 주파수가 50Hz인 시변 채널에서 NLMS와 제안된 알고리즘을 비교 평가하였다. 처음 12500 샘플은 필터 계수 값이 수렴하는데 사용되었다. 시불변 채널에서 가장 작은 채널 추정 오차를 보인 스텝 사이즈가 0.01인 NLMS가 약 10,000 샘플에서 발산하였다. 또한 제안된 알고리즘이 가장 낮은 채널 추정 오차를 보이고 있다.

그림 6은 도플러 주파수가 200Hz인 시변 채널에서 NLMS와 제안된 알고리즘을 비교 평가하였다. 도플러 주파수가 높아짐에 따라 스텝 사이즈가 0.01인 NLMS가 약 3000 샘플 만에 발산하였고, 스텝 사이즈가 0.05인 NLMS도 약 10,000 샘플에서 발산하였다. 제안된 알고리즘은 스텝 사이즈가 0.1인 NLMS와 비슷한 수렴특성을 보여준다.

제안된 알고리즘은 낮은 도플러 주파수에서는 가장 좋은 성능을 보여주면서, 도플러 주파수가 높아짐에 따라 스텝 사이즈를 키워, 스텝 사이즈가 큰 NLMS와 비슷한 수렴특성을 보이며, 시변 채널에서 도플러 주파수의 변화에 맞추어 수렴하는 강건한 특성을 보여주고 있다.

지금까지의 모의실험 결과에 의하면 제안된 알고리

의 크기는 4 μ s이며, 시스템 지연은 6 μ s로 하였다. 상관도는 2,500샘플마다 5,000샘플씩 상관도를 구하고 그 값을 가장 큰 상관도로 나누어 정규화 시킨 다음 0~0.3은 $\alpha=0.001$, 0.3~0.6은 $\alpha=0.003$, 0.6~1은 $\alpha=0.005$ 로 하였다. 정규화 이전의 가장 큰 상관도가 10⁻⁸으로 정한 기준 상관도보다 10배 이상 클 때마다 앞에서 구한 α 에 5를 곱하여 β 값을 결정하였다.

시불변 채널 환경과 도플러 주파수가 50Hz와 200Hz인 시변 채널 환경에서 모의실험을 진행하였다. 채널을 통해 제한 되는 신호의 크기는 평균 13dB 정도 증폭되어 제한 된다고 가정하였다.

그림 4는 시불변 채널에서 NLMS 알고리즘과 제안된 알고리즘을 비교하였다. 채널 추정 오차가 가장 적은 알고리즘은 스텝 사이즈가 0.01인 NLMS 알고리즘

즘은 시불변 채널 및 시변 채널 모두에서 NLMS 알고리즘보다 우수한 특성을 보여주고 있다.

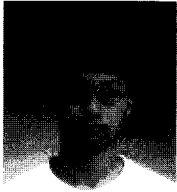
IV. 결 론

본 논문에서는 WCDMA 무선중계기에서 발생하는 궤환 간섭 신호를 제거하기 위한 적응 알고리즘으로 필터의 참조입력과 오차신호의 상관도를 가변 스텝 사이즈 LMS에 적용한 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 시불변 채널과 시변 채널 환경에서 모의실험을 수행하였다. NLMS와 비교하였을 때 시불변 채널에서 낮은 채널 추정 오차와 비교적 빠른 수렴속도를 보여주고 있으며, 또한 시변 채널에서는 낮은 도플러 주파수에서는 가장 좋은 성능을 보였으며, 도플러 주파수가 높아져도 발산하지 않고 채널을 추정하는 강건한 특성을 보여주고 있다.

참 고 문 헌

- [1] Lu Youhong and M. Morris Joel, "GABOR EXPANSION for Adaptive Echo Cancellation," IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 16, Issue 2, pp. 68-80, Mar. 1999.
- [2] Chi-Chou Kao, "Design of echo cancellation and noise elimination for speech enhancement," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 49, Issue 4, pp. 1468-1473, Nov. 2003.
- [3] A. K. Kohli and D. K. Mehra, "Trackin of time-varying channels using two-step LMS-type adaptive algorithm," IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 54, Issue 7, pp. 2606-2615, July 2006.
- [4] W. G. Jeon and Y. S. Cho, "An equalization technique for OFDM and MC-CDMA in a multipath fading channels," in Proc. of IEEE Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, pp. 2529-2532, Munich, Germany, May 1997.
- [5] Y. K. Won, R.-H. Park, J. H. Park and B.-U. Lee, "Variable LMS algorithms using the time constant concept," IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 40, Issue 3, pp.655-661, Aug. 1994.
- [6] M. R. Asharif and T. Hayashi, "Correlation LMS for Double- Echo Cancelling," Proceeding of the IASTED International Conference, Modelling and Simulation(MS'99), Philadelphia, PA(Cherry Hill New Jersey) USA, pp. 249-253, May 1999.
- [7] M. R. Asharif, T. Hayashi, K. Yamashita, "Correlation LMS algorithm and its application to double-talk echo cancelling," IEEE Electronics Letters, Vol. 35, Issue 3, pp. 194-195, Feb. 1999.

저 자 소 개



문 우 식(학생회원)
 2007년 숭실대학교 정보통신
 전자공학부 학사
 2007년~현재 숭실대학교
 정보통신전자공학부
 석사과정 재학 중
 <주관심분야 : WCDMA, 적응 신

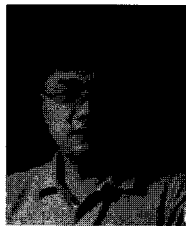
호처리>



임 성 빈(정회원)
 1986년 서울대학교
 전자공학과 학사
 1988년 서울대학교
 전자공학과 석사
 1994년 University of Texas at
 Austin 전기 및 컴퓨터
 공학과 박사

1995년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부
 부교수

<주관심분야 : 비선형 신호처리, 통신 시스템, 디
 지털 방송 시스템>



김 종 훈(정회원)
 1984년 서울대학교
 전자공학과 학사 졸업
 1986년 서울대학교
 전자공학과 석사 졸업
 1993년 미국 Northwestern
 대학교 EECS 박사 졸업

<주관심분야 : 무선통신 시스템, 고속 신호처리
 회로 설계>