

WCDMA 용 무선중계기에서 상관도를 이용한

적응적 궤환 간섭 제거

Adaptive Feedback Interference Cancellation Using Correlations for WCDMA Wireless Repeaters

문우식, 임성빈, 이재진, 조준경
(Woosik Moon, Sungbin Im, Jaejin Lee and Junkyung Cho)

Abstract : As the mobile communication service is widely used, 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 investigated through computer simulation by being applied to the time-varying channels. The simulation results demonstrated that the proposed one is superior to the conventional ones in terms of cancellation performance.

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

I. 서론

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, 발진의 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 알고리즘이 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 알고리즘의 성능을 모의실험하였다.

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 간섭 제거 알고리즘

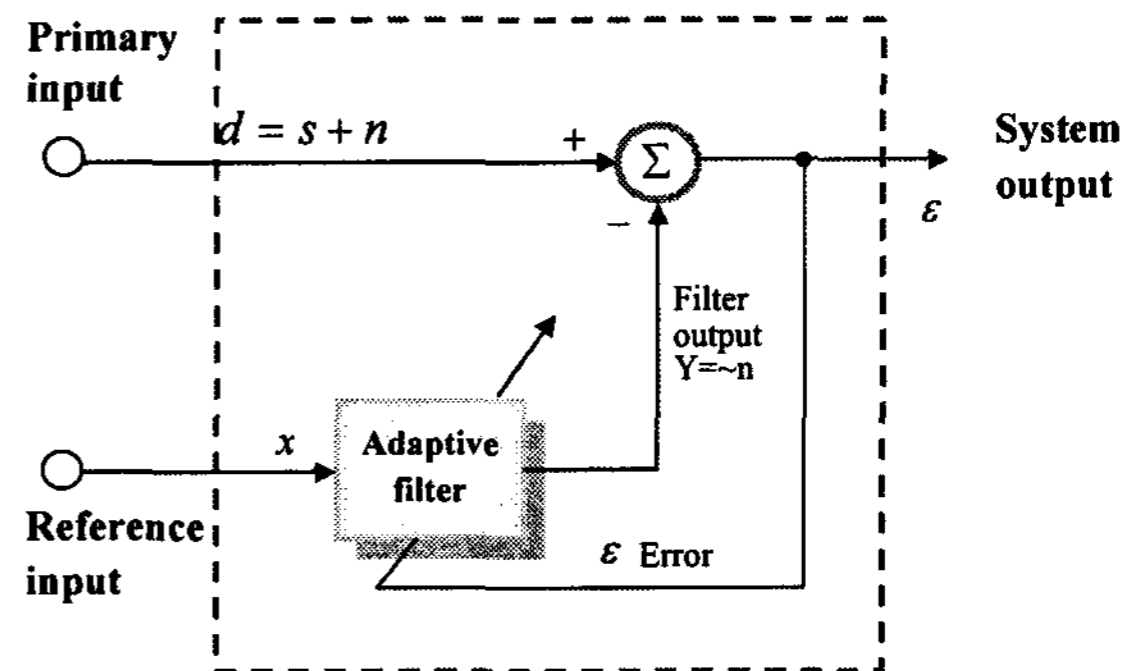


그림 1. 적응 간섭 제거기.

Fig. 1. Adaptive interference canceller.

그림 1 은 일반적인 적응 간섭 제거기의 신호흐름을 보여주고 있다. 적응 간섭 제거기의 입력 신호 d 는 원 신호 s 와 간섭 신호 n 을 포함하고 있다. 에러신호는 $d - \hat{n}$ 로 적응 간섭 제거는 에러신호의 제곱 e^2 의 기대값이 최소가 되도록 적응 필터를 조정하여 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.

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

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

문우식, 임성빈, 이재진 : 숭실대학교 정보통신전자공학부
(School of Electronic Engineering, Soongsil University)
조준경 : (주)휴텍21 (HUTECH21 co, Ltd.)
(moonsday@ssu.ac.kr, sbi@ssu.ac.kr)

$$e(k) = d(k) - y(k) = d(k) - W^T(k)X(k) \quad (3)$$

$$W(k+1) = W(k) + \mu e(k)X(k) \quad (4)$$

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.

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

$$X(k) = [x(k), x(k-1), \dots, x(k-N+1)]^T \quad (6)$$

LMS 알고리즘은 수렴속도가 느리고, 스텝 사이즈와 신호의 크기에 따라 수렴 특성이 떨어지는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하기 위해 μ 값을 신호의 에너지로 정규화시켜 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.

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

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 레환 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],[4],[5]. 가변 스텝 사이즈 알고리즘에서 가변되는 $\tilde{\mu}$ 값은 위 조건에 따라 다음과 같다.

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

여기에서 β 는 평균적인 $\tilde{\mu}$ 값의 크기를 결정하는 상수로

서 $\tilde{\mu}_{\max}$, $\tilde{\mu}_{\min}$ 과 함께 채널의 통계적인 특성에 의해 결정된다.

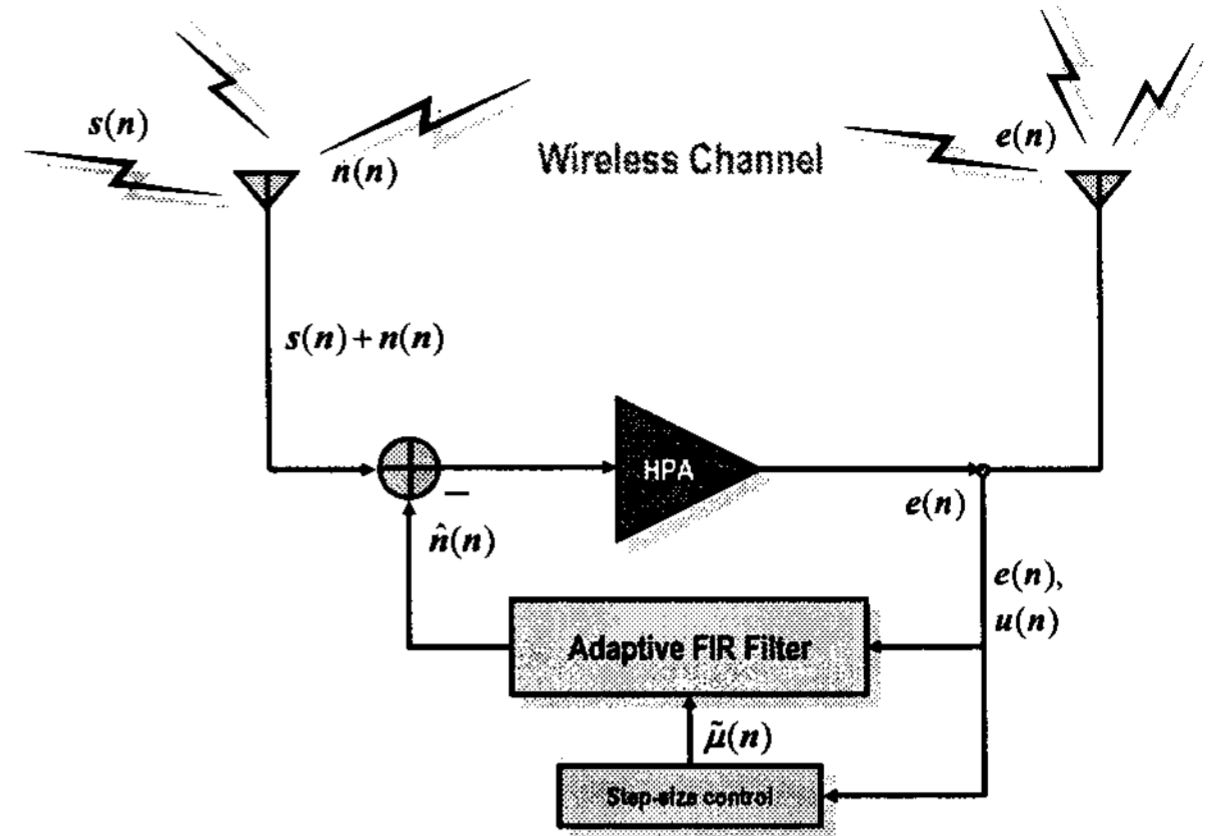


그림 2. 가변 스텝 사이즈 LMS 알고리즘을 적용한 간섭 제거기의 모델.

Fig. 2. The model of the interference canceller using the variable step-size LMS algorithm.

그림 2 는 가변 스텝 사이즈 LMS를 이용한 간섭제거기를 나타낸다. 이러한 가변 스텝 사이즈 LMS는 오차신호의 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 계수에 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 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.

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

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

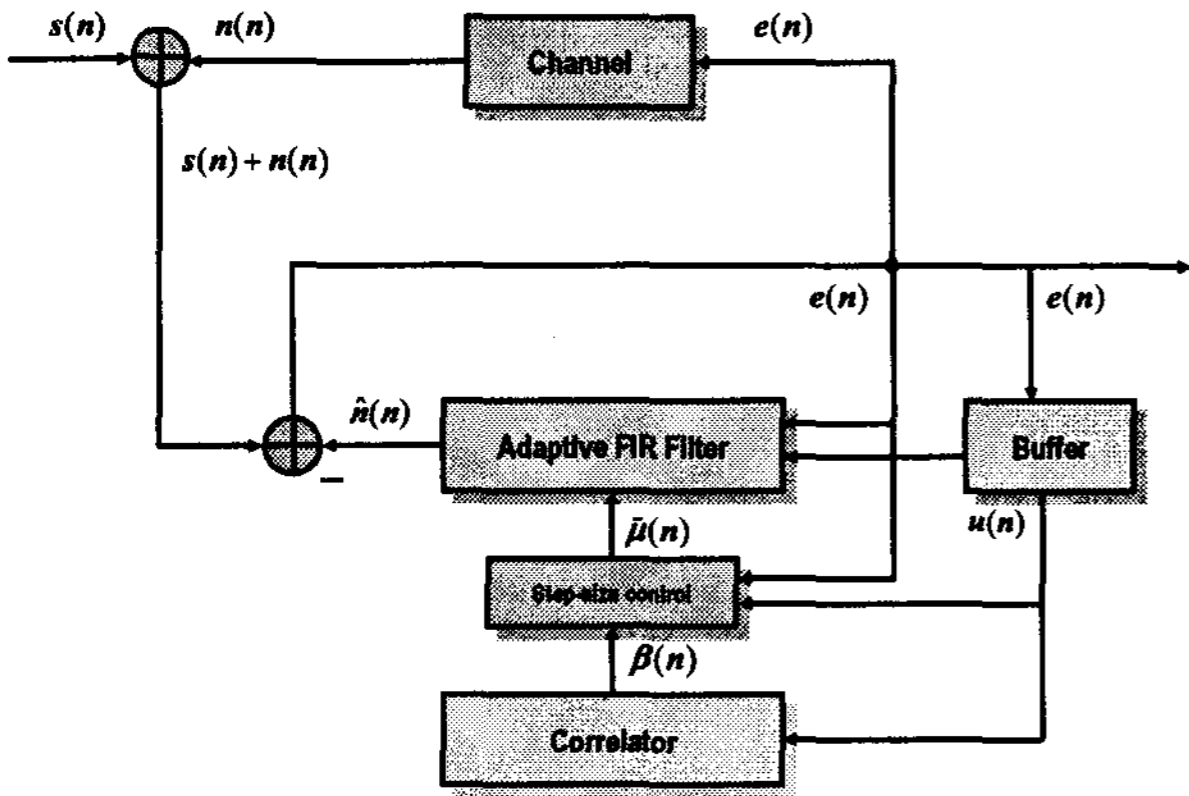


그림 3. 상관도를 이용한 가변 스텝 사이즈 LMS 알고리즘을 적용한 간섭제거기의 블록도

Fig. 3. The block diagram of the interference canceller using variable step-size LMS algorithm based on correlations.

IV. 모의실험 및 결과

이 절에서는 모의실험을 통하여 WCDMA 무선 중계기에서 발생하는 왜한 간섭 신호를 제안된 알고리즘을 통하여 제거하고, 그 성능을 평가하고자 한다.

입력 신호로는 이전에 송출된 신호가 채널을 통하여 왜한 되어 원 신호와 합쳐진 신호를 사용한다. 본 모의실험에서 사용된 채널의 특성을 표 1에 정리하였다.

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

신호의 샘플링 주파수는 12.5 MHz이고, 필터의 윈도우의 크기는 $7\mu s$ 이며, 시스템 지연은 $9\mu s$ 로 하였다. 상관도는 2,500 샘플마다 5,000 샘플씩 상관도를 구하고 그 값을 가장 큰 상관도로 나누어 정규화 시킨 다음 $0 \sim 0.3$ 은 $\alpha=0.001$, $0.3 \sim 0.6$ 은 $\alpha=0.003$, $0.6 \sim 1$ 은 $\alpha=0.005$ 로 하였다. 정규화 이전의 가장 큰 상관도가 10^8 으로 정한 기준 상관도보다 10배 이상 클 때마다 앞에서 구한 α 에 5를 곱하여 β 값을 결정하였다.

시불변 채널 환경과 도플러 주파수가 10Hz와 25Hz인 시변 채널 환경에서 모의실험을 진행하였다. 모의실험에서 성능

평가는 간섭 제거 오차 대 신호의 비인 NMSE (Normalized Mean Squared Error)로 나타내었으며 그 식은 다음과 같다.

$$NMSE(k) [dB] = 10 \log_{10} \left(\frac{E \{ |n(k) - \hat{n}(k)|^2 \}}{E \{ |s|^2 \}} \right) \quad (10)$$

식 10에서 $n(k)$ 는 왜한 간섭 신호를 나타내고, $\hat{n}(k)$ 는 간섭 제거 신호를 나타낸다. s 는 수신 안테나를 통해 들어오는 신호 중 원신호를 나타낸다.

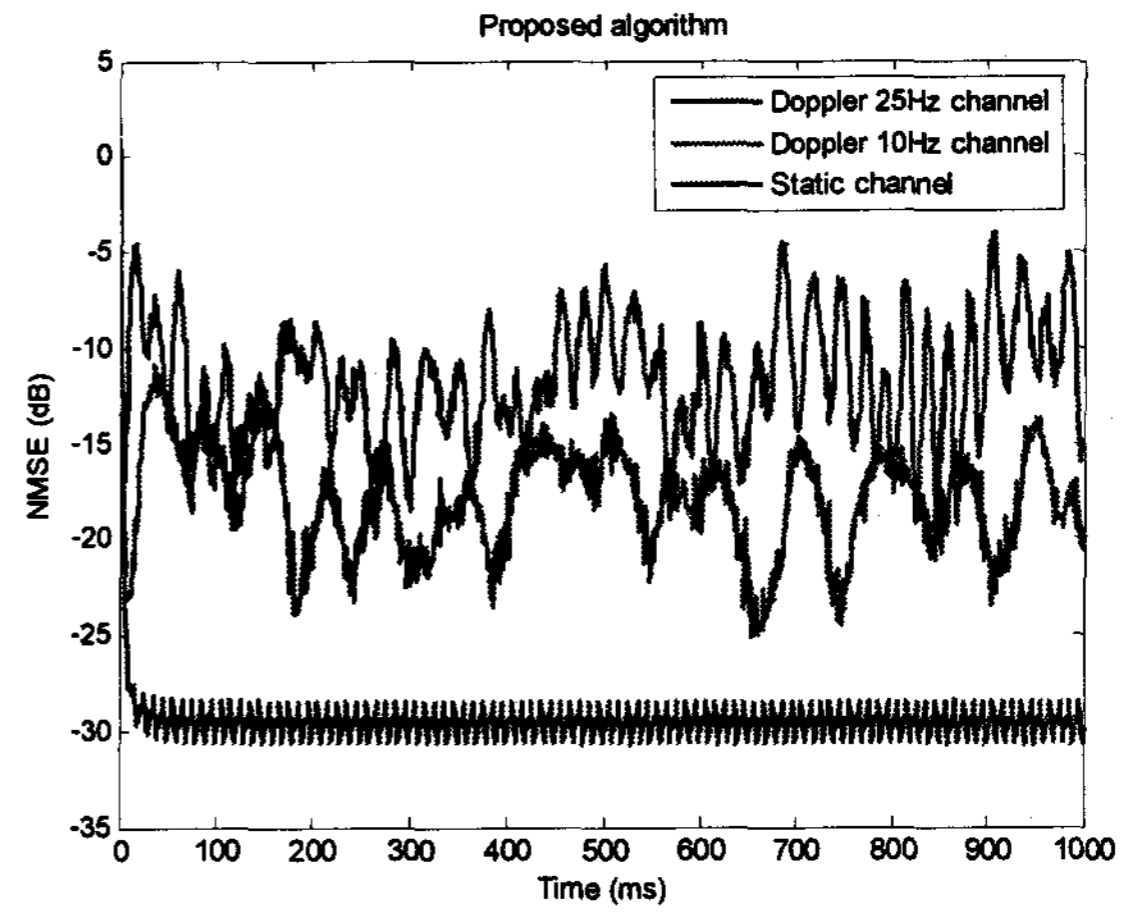


그림 4. 제안된 알고리즘의 간섭 제거 오차 곡선

Fig. 4. The interference cancellation error curves from proposed algorithm.

그림 4는 시변 채널 및 시불변 채널에서 제안된 알고리즘을 모의 실험한 결과이다. 시불변 채널에서는 NMSE가 -29 dB 정도로 일정하게 유지되고, 도플러 주파수가 10Hz인 시변채널에서는 약 -18dB를 보였다. 도플러 주파수가 25Hz인 시변채널에서 -11dB 정도의 NMSE를 보였다. 도플러 주파수가 증가할수록 NMSE가 나빠지고, 더 빨리 변화함을 알 수 있다.

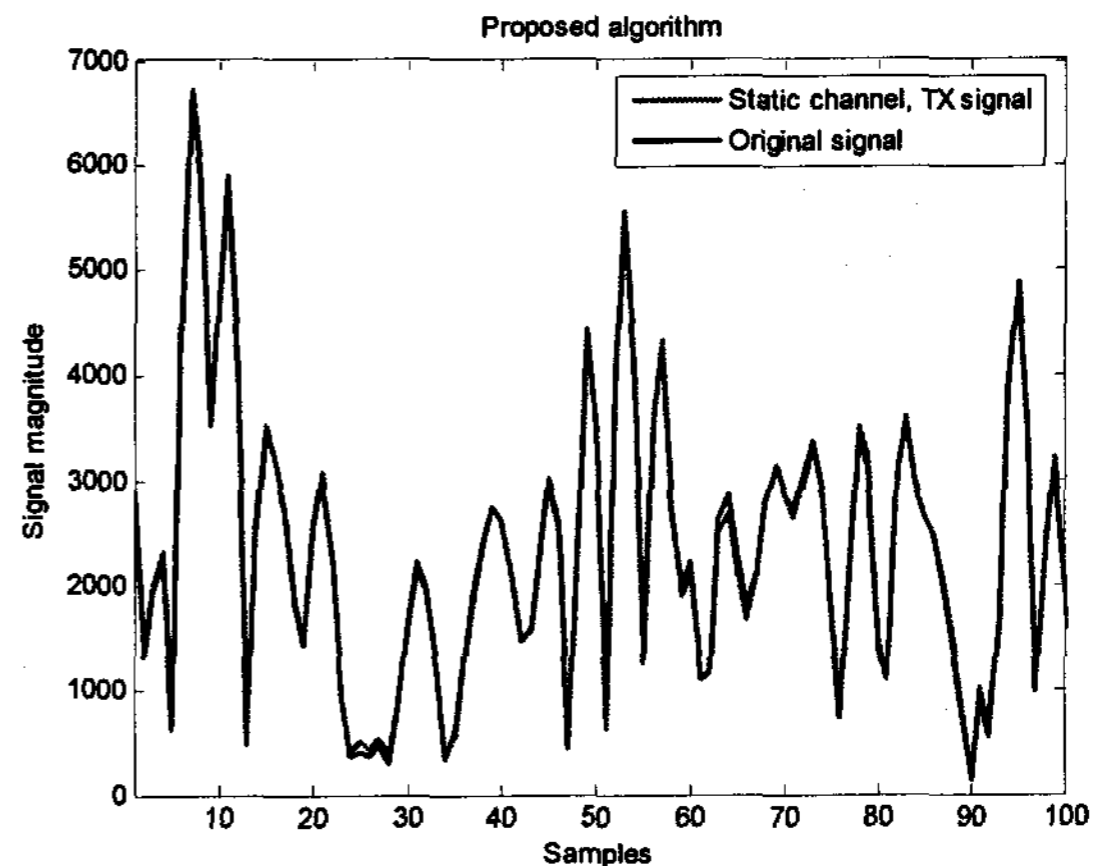


그림 5. 시불변 채널에서 원신호와 전송신호

Fig. 5. The original and transmit signals for the time invariant channel.

그림 5 는 시불변 채널환경에서 제안된 알고리즘이 수렴 하였을 때, 수신안테나를 통해 들어오는 원신호와 송신안테나를 통해 나가는 신호 사이에 얼마나 차이가 있는지를 보여 주기 위하여 그림 4의 마지막 부분의 신호의 크기를 나타내었다. 시불변 채널에서는 두 신호의 차이가 거의 없음을 확인할 수 있다.

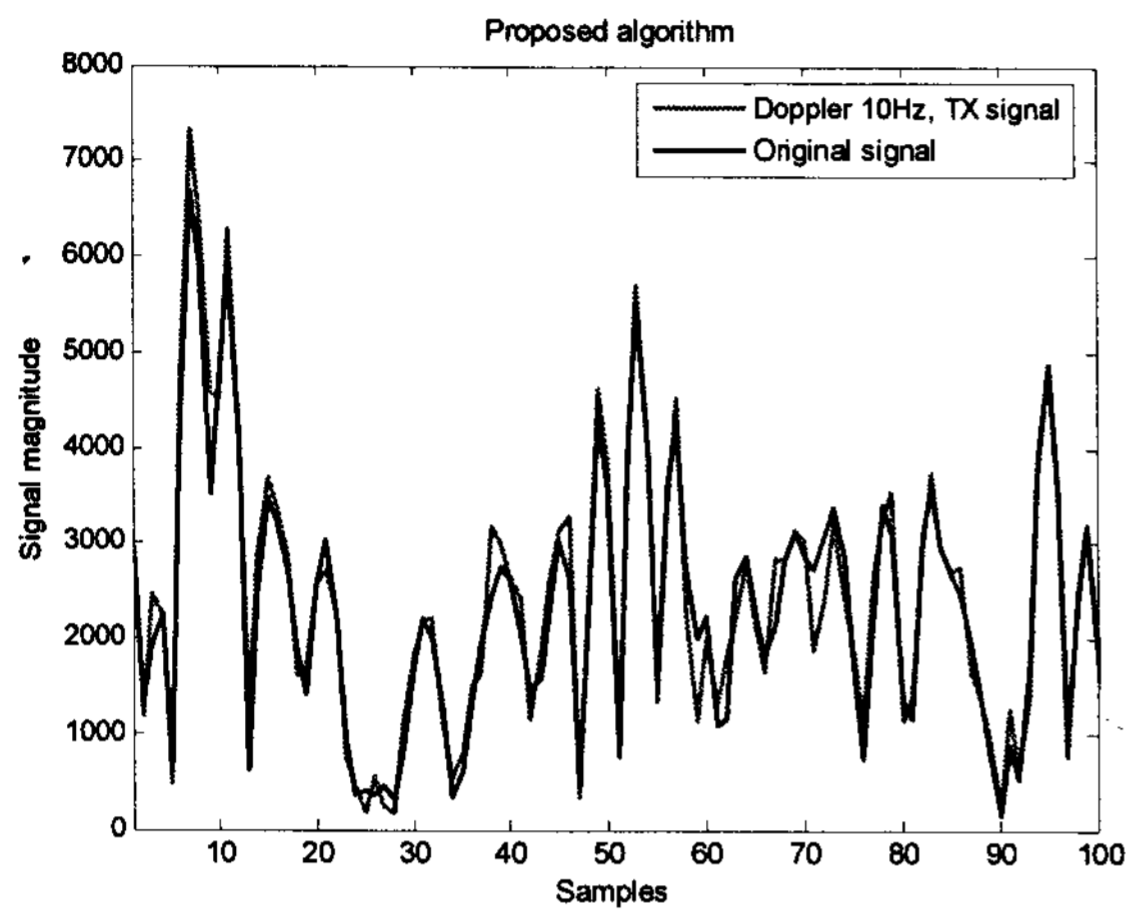


그림 6. 시변 채널에서 원신호와 전송신호 (도플러 주파수=10Hz).

Fig. 6. The original and transmit signals for the time varying channel (Doppler frequency=10Hz).

그림 6은 도플러 주파수가 10Hz인 시변 채널에서의 수렴되었을 때 원신호와 전송되는 신호의 차이를 나타낸다. 도플러 주파수가 10Hz일 때 NMSE는 약 -18dB로 그림에서도 두 신호가 비슷함을 알 수 있다.

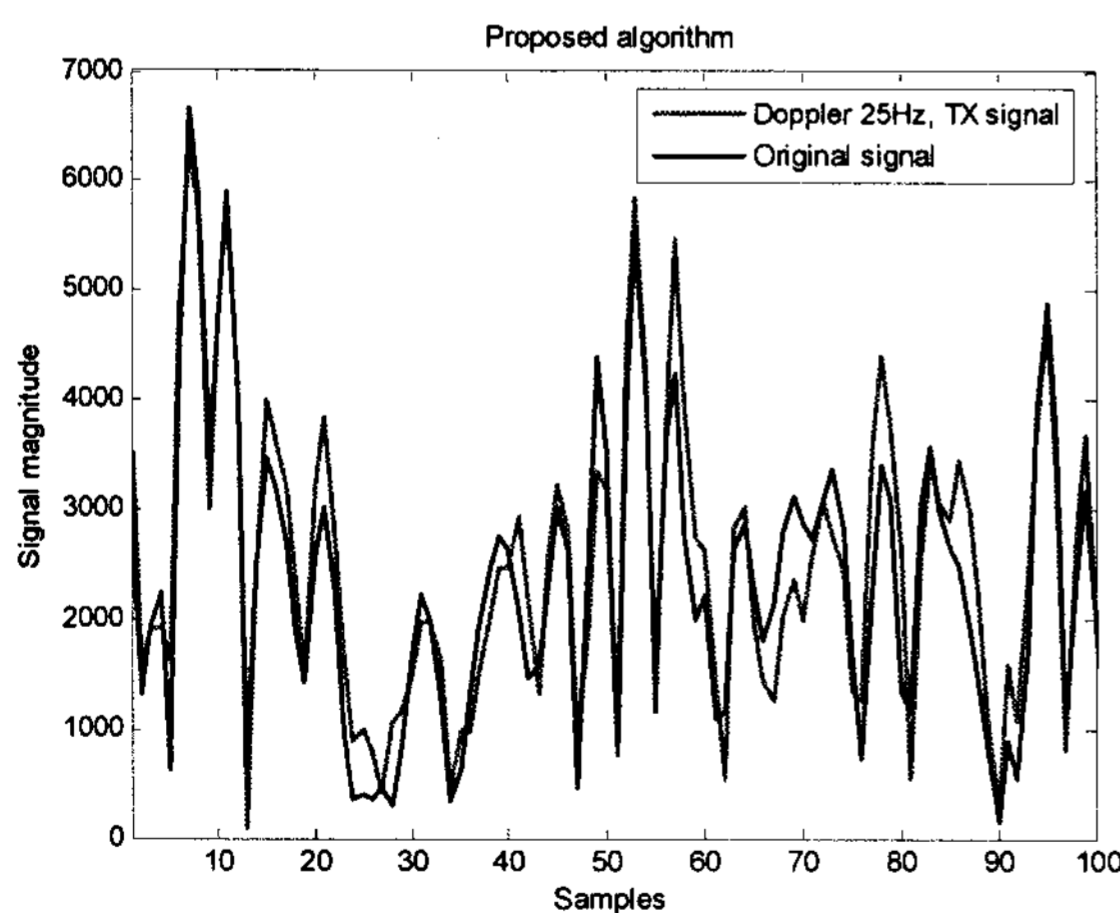


그림 7. 시변 채널에서 원신호와 전송신호 (도플러 주파수=25Hz).

Fig. 7. The original and transmit signals for the time varying channel (Doppler frequency=25Hz).

그림 7은 도플러 주파수 25Hz인 시변 채널에서의 원신호와 전송신호를 보여준다. 도플러 주파수가 증가함에 따라

NMSE가 -11dB로 나빠지고 그림 7에서도 두 신호 사이에 조금 차이가 있다.

V. 결론

본 논문에서는 WCDMA 무선중계기에서 발생하는 퀴환 간섭 신호를 제거하기 위한 적응 알고리즘으로 필터의 참조 입력과 오차신호의 상관도를 가변 스텝 사이즈 LMS에 적용한 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 시불변 채널과 시변 채널 환경에서 모의실험을 수행하였고, NMSE, 원신호와 전송신호의 차이를 보았다. 제안된 알고리즘은 시변 채널에서는 낮은 도플러 주파수에서는 가장 좋은 성능을 보였으며, 도플러 주파수가 높아져도 발산하지 않고 채널을 추정하였다.

참고문헌

- [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.



문우식

2007년 숭실대학교
정보통신전자공학부 학사
2007년~현재 숭실대학교
정보통신전자공학부
석사과정 재학중
관심분야 : WCDMA, 적응 신호처리



임성빈

1986년 서울대학교 전자공학과 학사
1988년 서울대학교 전자공학과 석사
1994년 University of Texas at Austin
전기 및 컴퓨터 공학과 박사
1995년~현재 숭실대학교
정보통신전자공학부 부교수
관심분야 : 비선형 신호처리, 통신시스템, 디지털방송시스템



이재진

1983년 연세대학교 전자공학과 학사
1984년 U. of Michigan, Dept. of EECS 석사
1994년 Georgia Tech, Sch. of ECE 박사
1996년~1997년 현대전자
정보통신연구소 책임연구원
1997년~2005년 동국대학교 전자공학과 부교수
2005년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 부교수
관심분야 : 통신이론, 비밀통신, 기록저장시스템



조준경

1994년 명지대학교 전자공학과 학사
1996년 성균관대학교 전자공학과 석사
1996년~2000년 (주)성미전자
G/W 사업팀장
2000년~2004년 (주)신영텔레콤
수석 연구원
2004년~현재 (주)휴텍21 기술이사
관심분야 : 통신 및 신호처리, 이동통신 시스템