

# 병렬 부 필터를 이용한 W-CDMA 중계기용 간섭 신호 제거 알고리즘

## Interference Signal Cancellation Algorithm using Parallel sub-filters for W-CDMA repeater

문성배\*, 오승록\*\*  
Sung-Bae, Moon\*, Seungrohk Oh\*\*

### Abstract

We propose a new interference cancellation algorithm for W-CDMA repeater. The proposed algorithm uses the parallel multiple sub-filters instead of one long filter. We justify that convergence rate can be improved by using the proposed algorithm. The improvement of convergence rate is verified in a practical benchmark test condition.

### 요약

본 논문에서는 W-CDMA에서 사용 무선 중계기에서 사용 가능한 간섭신호 제거 알고리즘을 제안하였다. 기존의 방법인 1개의 긴 필터를 이용하여 간섭신호를 제거하는 알고리즘 대신 여러 개의 짧은 병렬형 필터를 이용하여 수렴속도를 줄일 수 있음을 분석하였다. 제안된 알고리즘은 실제 성능 시험 조건하에서 시뮬레이션을 통해 기존 방법보다 수렴 속도가 빨라짐을 확인하였다.

*Key words : W-CDMA, repeater, parallel, multiple sub-filter, convergence rate, LMS*

## 1. 서론

이동통신에 있어서 전파 음영지역은 송신 시스템과 수신 시스템 상호간의 거리, 주위의 지형지물 및 기타 제반 환경에 따라 발생하게 된다. 전파 음영 지역 해소를 위해 일반적으로 기지국 설치가 필요하지만 음영지역이 작거나 수신 대상의 수가 적은 경우 중계기를 설치하는 것이 경제적이다. 음영지역에 설치되는 중계기는 기지국으로부터 수신된 신호를 증폭하여 재송신 함으로서 단말기의 수신감도를 증대시켜 주는 역할을 하며 그 종류로는 무선중계기, 광 중계

기, 변파 중계기 등 여러 가지 종류의 중계기가 있다. 이와 같은 중계기들 중에서 특히 무선 중계기는 경제적인 서비스망 구축 및 운용비용 절감 그리고 설치의 용이성 때문에 이동통신망에 많이 사용되고 있다. 그런데 이 경우, 중계기의 송신 안테나로부터 발생된 신호가 수신 안테나로 직접 유입되거나 건물 등의 주변 환경에 의해 반사된 신호가 수신안테나로 유입되는 간섭 신호가 발생되어 수신 오차율을 크게 하는 요인이 된다. 간섭신호를 제거하기 위해 중계기 송수신 채널의 시변 특성에 적합한 적응형 간섭 제거 알고리즘이 사용되어져 왔다. 많이 사용되는 적응형 간섭 제거 알고리즘은 최소 자승 평균(Least Mean Square, LMS)또는 정규화 최소 자승 평균(Normalized Least Mean Square, NLMS)등이 사용되었으며 수렴속도를 줄이기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. 기존의 논문들은 하나의 필터에 대해 LMS 알고리즘 [1,2,3,4]을 이용하였지만 본 논문에서는 시간 지연 요소 및 여러 개의 필터를 병렬로 연결한 적응형 필터

\* 단국대학교 정보 미디어 대학원 정보통신학과 석사과정  
(Dept. of Telecommunication, Dankook University)

\*\* 단국대학교 전자전기공학부 교수

(Dept. of Electronics and Electrical Eng., Dankook.ac.kr)

★ 교신저자 (Corresponding author)

接受日:2010年 09月 02日, 修正完了日: 2010年 09月 28日

를 사용하여 수렴속도를 줄였다. 여러 개의 필터를 병렬로 연결한 아이디어는 음향 반향과 제거 시 제한 [5,6]되었지만 시간지연 요소를 사용하지 않았다. 본 논문에서는 W-CDMA 용 중계기 환경을 고려하여 시간 지연 요소를 포함하는 적응형 간섭 신호제거 알고리즘을 사용하였다. 여러 개의 부 필터를 병렬로 연결한 구성방법은 하나의 필터로 구성된 필터와 비교하여 수렴속도가 빨라질 수 있음을 분석적인 방법으로 보였다. 또한 이동 통신사에서 사용되는 성능시험 조건에 나와 있는 고정 환경 및 가변 환경 간섭 채널 조건하에서 성능평가를 하였으며 여러 개의 부 필터를 이용한 방법이 단일 필터로 구성된 시스템과 비교하여 수렴속도가 빨라짐을 보였다.

## II. 본론

### 1. 송수신 안테나의 간섭 채널

이동통신 중계 시스템에서 동일 주파수 신호를 동일 공간에서 증폭하여 신호를 전송하는 경우 무선 중계기의 이득보다 안테나간의 이격도가 적게 되면 송신 안테나를 통해서 전송된 신호가 수신 안테나로 재 유입된다[7]. 그림 1은 송신안테나와 수신안테나 사이의 간섭채널을 그림으로 나타낸 것이다.

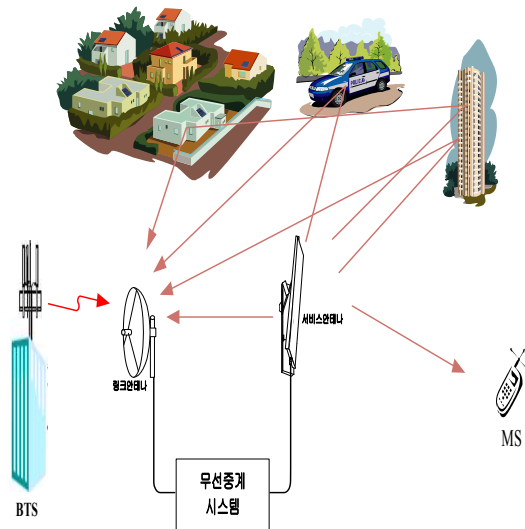


Fig. 1. interference channel of wireless repeater  
그림 1. 무선중계기의 간섭채널

무선중계기의 송신안테나와 수신안테나 사이의 전파 환경은 주변 환경에 의하여 다양한 영향을 받게 된다. 송신안테나와 수신안테나 사이의 다중경로는 송신안테나에서 수신안테나로 시간지연 없이 도달하는 직접파, 건물의 벽을 맞고 수신 안테나로 유입되는 신호와 같이 고정된 시간지연 및 경로손실을 갖는 반사파와 자동차처럼 이동하는 물체에 의한 반사 신호처럼 시간지연과 경로손실이 변동하는 반사파의 합으로 이루어져 무선중계기의 수신안테나로 유입된다[8]. 그림 2는 간섭채널의 전력지연분포(Power Delay Profile, PDP)이다.

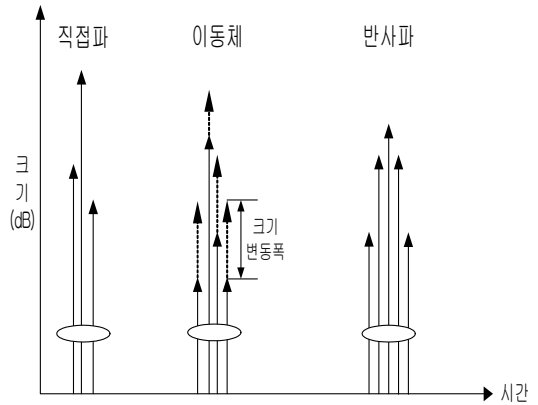


Fig. 2. power delay profile  
그림 2. 간섭채널의 전력지연분포

직접파 및 반사파를 형성하는 간섭신호 그룹은 시간지연 및 크기에 변화가 거의 없지만, 이동하는 물체에 의한 간섭신호 그룹은 크기가 많이 변하여 재 유입될 수 있다.

### 2. 간섭신호 제거 알고리즘

중계기의 수신 안테나에 유입되는 간섭신호에 대한 채널 임펄스 응답을 그림 3의  $F(n)$ 이라 하면 간섭 신호를 제거하기 위해서는  $F(n)$ 을 예측하여  $F(n)$ 에 의해 생성된 신호를 제거해 주어야 한다.

그림 3에서  $s(n)$ 은 기지국으로부터 중계기 수신부에 도달한 신호,  $G$ 는 중계기의 증폭기 이득이다. 기존의 방법[2,3,4]는 하나의 적응 필터를 이용하여  $F(n)$ 을 예측 하였지만 본 논문에서는 하나의 길이가 긴 필터 대신 여러 개의 짧은 필터( $W_i(n)$ )을 이용하여  $F(n)$ 을 예측하였다. 즉 하나의 길이가 긴 필터 대신 여러 개의 부 필터(sub-filter)를 병렬로 연결하여 사용함으로써 수렴 속도를 빠르게 하였다. W-CDMA 중계기에 유입되는 간섭 신호 특성상 시간 지연 요소와 여러 개의 부 필터를 사용할 수 있다. 여러 개의 부 필터를 병렬로 연결하여 사용하는 경우 수렴속도가 빨라 질 수 있는 타당성은 뒤에 기술 되어져 있다. 부 필터에 연결된 시간지연요소는 입력 벡터( $x(n)$ )의 자기 상관함수를 이용하여 예측한 값을 사용한다고 가정하였다.

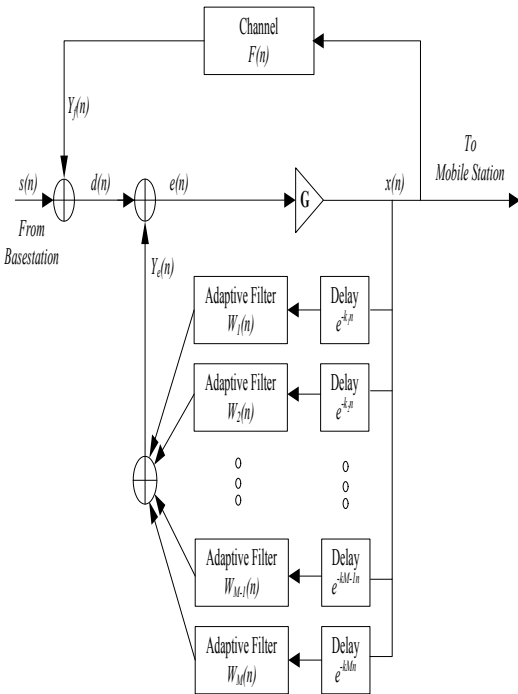


Fig. 3. a structure of adaptive filter  
그림 3. 적응 필터의 구성도

각각의 부 필터로부터 출력된 신호의 합은

$$Y_e(n) = \sum_{j=1}^M W_j^T X_j(n) \text{ 이다. 여기서}$$

$$W_j^T(n) = [w_{j,1}(n) \ w_{j,2}(n) \ \dots \ w_{j,L_j}(n)],$$

$$X_j(n) = [x(n-k_j), \dots, x(n-(k_j+L_j-1))]^T \text{이다.}$$

실제 간섭신호와 간섭신호를 추정한 신호의 오차

$$e(n) = d(n) - Y_e(n) \tag{1}$$

$$= F^T(n)X(n) - \sum_{j=1}^M W_j^T(n)X_j(n) + s(n)$$

이다. 그리고 각각의 부 필터별 가중치 벡터는

$$W_i(n+1) = W_i(n) + \mu_i X_i(n)e(n) \tag{2}$$

로 갱신된다. 여기서  $\mu_i$ 는 스텝 크기,  $e(n)$ 은 각 부 필터에서 발생된 에러신호의 합이다.

MSE(mean square error)를  $J(n) = E[e(n)^2]$ 로 정의 하면

$$J(n) = J_{\min} + \frac{\mu J_{\min}}{2} \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^L \lambda_{ij} + \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^L \lambda_{ij} (w_{ij}(0))^2 - \frac{\mu J_{\min}}{2} (1 - \mu \lambda_{ij})^{2n} \tag{3}$$

가 된다[1]. 여기서  $J_{\min}$ 는 Wiener 해를 갖는 경우의  $J(n)$  값,  $\lambda_{ij}$ 는 입력 상관 행렬의 특이치,  $v_{ij}(n)$ 는 자연 모드이다. 수렴 속도는 식 (3)으로부터 입력 상관 행렬의 특이치  $\lambda_{ij}$ 가 작으면 느려지고 크면 빨라진다. 입력상관 행렬은 Toeplitz 행렬이며 입력 상관 행렬이  $n \times n$ 이고 특이치가  $\eta_1 < \eta_2 < \dots < \eta_n$ 인 경우 입력 상관 행렬 차수가  $n+1$ 로 증가하면 특이치는  $\lambda_1 < \eta_1 < \lambda_2 < \eta_2 < \dots < \eta_n < \lambda_{n+1}$ 의 관계를 갖는다 [9]. 따라서 가중치 벡터의 차수가 증가할수록 특이치의 최솟값  $\lambda_{\min}$ 가 작아지므로 최적값( $J_{\min}$ )으로 수렴하는 속도는 탭의 개수가 증가함에 따라서 느려진다. 따라서 하나의 필터를 사용하는 것보다 하나의 필터를 여러 개의 병렬 필터 부 필터로 나누어서 필터를 구성하는 것이 동일한 스텝 크기에서 수렴속도가 빨라진다.

### 3. 성능 평가

제안된 방법의 성능을 평가하기 위해 W-CDMA용 중계기에 대해 1개의 필터로 이루어진 간섭신호 제거 알고리즘과 본 논문에서 제안한 방법인 여러 개의 부 필터를 병렬로 연결한 알고리즘에 대해 시뮬레이션을 통해 성능을 분석하였다. 시뮬레이션은 Simulink의 Communications Blockset을 이용하여 수행하였으며 기지국으로부터 수신 안테나로 수신된 수신신호는

표 1을 사용하였다.

Table 1.The values of source signal parameters  
표 1. 신호원의 파라메타 값

Parameters		Values
Modulation		QPSK
W-CDMA Rate		3.84 Msps
Interpolation Rate		14 times
Sample Rate		53.76 Msps
Channel Filter	Design Method	Square Root Raised Cosine
	Roll-Off Factor	0.22

간섭신호를 발생하는 채널은 한국통신프리텔의 시험 절차서에 제시된 간섭채널 조건을 표 2와 같이 사용하였다[10]. 표 2에서 가변 채널의 도플러 주파수는 10 Hz를 사용하였다.

Table 2. 다중경로 채널의 조건  
표 2. The condition of the multi-path channel

Path	Propagation Condition	Relative Delay(usec)	Average Power(dB)
P1	static/ rayleigh	0.0	0
P2	static/ rayleigh	0.3	0
P3	static/ rayleigh	3.0	-3
P4	static/ rayleigh	3.3	-3
P5	static/ rayleigh	4.5	-6
P6	static/ rayleigh	4.8	-12
P7	static/ rayleigh	6.7	-5
P8	static/ rayleigh	7.0	-5

1개의 간섭신호제거 알고리즘의 경우 400개의 탭을 사용하였고 본 논문에서 제안된 알고리즘의 경우 4개의 필터 뱅크에 각각 40개 탭과 수신부의 신호 자기 상관 함수 분석으로부터 구한 지연 요소의 값은 0, 161, 241, 360을 사용하였다.

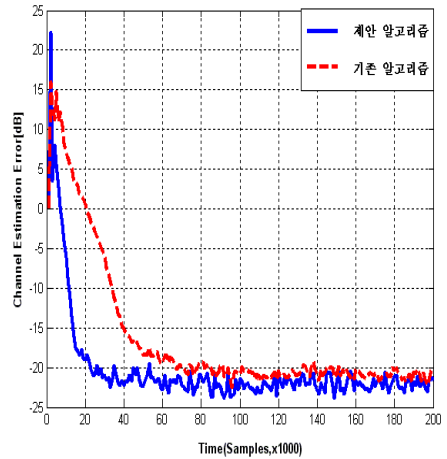


Fig. 4 고정 환경에서의 수렴속도 비교  
그림 4. comparison of the convergence rate for time invariant channel

그림 4는 고정 환경에서 시뮬레이션 결과이다. 정상 상태에서 동일한 성능을 갖도록 하기 위해서 제안된 알고리즘의 경우 스텝의 크기를 0.0003, 기존 알고리즘은 0.0015를 사용하였다.

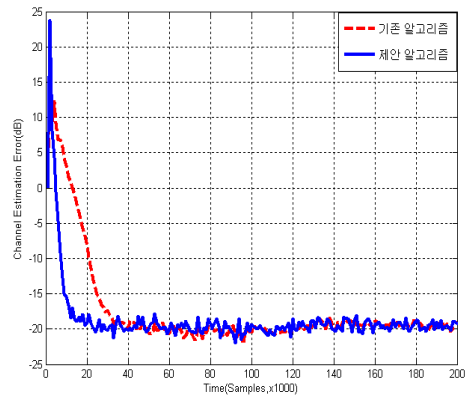


Fig. 5 시변 채널 환경에서의 수렴속도 비교  
그림 5. comparison of the convergence rate for time varying channel

기존의 간섭신호제거 알고리즘 방식은 수렴하는데 까지 65,000 샘플이며 제안된 알고리즘의 경우 19,000 샘플임을 확인할 수 있다. 즉 제안된 알고리즘이 스텝의 크기가 더 큼에도 불구하고 수렴속도가 약 3.4 배 향상됨을 알 수 있다.

그림 5는 시변 환경(도플러 주파수=10Hz) 하에서의 시뮬레이션 결과이다. 정상 상태에서 동일한 성능을 갖도록 하기 위해서 제안된 알고리즘의 경우 스텝의 크기를 0.0005, 기존 알고리즘은 0.0015를 사용하였다. 기존의 간섭신호제거 알고리즘 방식은 수렴하는데 까지 31,200 샘플이며 제안된 알고리즘의 경우 13,600 샘플임을 확인할 수 있다. 가변 환경의 경우 오차가 고정 환경의 오차보다 3dB 정도 높게 나오지만 W-CDMA 요구 한계인 -18 dB 이하임을 알 수 있다. 수렴속도를 비교하면 제안된 알고리즘이 기존의 방법에 비해 고정 환경의 경우 3.4배, 가변 환경의 경우 2.3배 정도 향상되었음을 확인할 수 있다.

### III 결론

W-CDMA에서 사용되는 중계기에 대한 간섭신호 제거를 위해 기존의 방식인 1개의 길이 긴 적응 필터 대신 짧은 적응 필터를 병렬로 연결한 구조를 사용하여 수렴속도를 향상시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 필터의 길이가 짧아지면 입력 신호의 자기 상관함수 특이치의 최솟값이 커지게 되어 수렴속도가 향상될 수 있음을 보였다. 제안된 방법을 실제 사용되고 있는 성능 시험(BMT) 조건과 동일한 조건하에서 사용하여 기존의 방법과 수렴속도를 비교하였다. 성능 비교 결과 고정 환경의 경우 3.4배, 시변 환경의 경우 2.3배 수렴속도 향상이 있음을 확인하였다.

### 참고문헌

- [1] Simon Haykin. *Adaptive Filter Theory 4th ed.* Prentice-Hall, 2002.
- [2] 문우식, 임성빈, 김종훈, "WCDMA용 무선 중계기에서 상관도를 이용한 적응적 제한 간섭제거," 전자공학회 논문지, 44(7), pp. 35-40, 2007
- [3] 이석희, 이상수, 이광호, 방성일, "'차세대 이동통신 중계시스템용 적응형 탐색 채널추정 알고리즘 연구," 전자공학회 논문지, 46(11), pp. 32-39, 2009
- [4] 한용식, 양윤근, "WCDMA시스템 무선 중계기의

적용간섭제거기에 관한 연구," 한국해양정보통신학회 논문지, 13(7), pp.1321-1327, 2009

[5] Mohamed Nassar, Ashraf Mohamed Ali, "Multiple Sub-Filters Approach to Acoustic Echo Cancellation," 25th National Radio Science Conference, pp. 1-9, 2008

[6] R. N. Sharma, A. K. Chaturvedi, G. Sharma, "Acoustic Echo Cancellation Using Multiple Sub-Filters," IEEE Trans. Signal Processing, 36, pp. 2111-2114, 2005

[7] 송두희, "이동통신 네트워크에서 중계시스템의 응용 및 중계링크 분석에 관한 연구," 박사학위논문. 서강대학교 대학원, 2006

[8] 정희석, "이동통신 시스템에서의 ICS 중계기에 관한 연구," 석사학위논문, 국민대학교 대학원, 2008

[9] A. Dembo, "Bounds on the Extreme Eigenvalues of Positive-definite Toeplitz Matrices," Information Theory, IEEE Trans. on Information Theory, 34(2), pp. 352-355, 1988

[10] 한국통신프리텔, 외곽용 5W W-ICS 중계 시스템 시험절차서(V1.1), 2007

### 저 자 소 개

#### 문 성 배 (학생회원)



1997년 : 항공 대학교 항공정보통신공학과 졸업 (공학사)  
2010년 : 단국대학교 정보 미디어 대학원 정보통신학과 (공학석사)  
<주관심분야> 통신용 신호처리, 이동 통신

#### 오 승 록 (정회원)



1980년 : 한양대학교 전기과 졸업 (공학사)  
1988년 : Polytechnic University, Dept of Electrical Eng.(공학석사)  
1994년 : Michigan State Univ., Dept of Electrical Eng.(공학박사)  
1996년 3월~현재 : 단국대학교 전자전기 공학부  
<주관심분야> 통신용 신호처리, 비선형 제어, 제어용 소프트웨어 확인검증 기술