

시변 채널환경에서 DS-CDMA 시스템에 대한 새로운 채널등화에 관한 연구

민 장 기, 박 노 진, 강 철 호
광운대학교 전자통신공학과

A Study on New Channel Equalization for DS-CDMA Systems in Time Varying Fading Channels

Jang Ki Min, No Jin Park, Chul Ho Kang
Kwangwoon University. Electronic Comm.
jkmin@explore.kwangwoon.ac.kr

요 약

시변 페이딩 채널환경에서 DS-CDMA 다중 사용자 환경의 이동통신 시스템에서 채널의 효율을 높이기 위해 학습 신호열을 사용하지 않는 새로운 블라인드 등화 기법을 제안한다. 블라인드 등화 기법 중에서 가장 성능이 좋은 CMA(Constant Modulus Algorithm)는 가변하는 페이딩 채널환경에서 채널등화에 효과적이지 못하다. 따라서 Kalman 필터와 CMA를 결합한 새로운 등화 기법은 자승 오차와 Eye-Pattern의 성능 비교를 통해 기존의 방법 보다 우수함을 확인할 수 있었다.

I. 서 론

CDMA(Code Division Multiple Access)와 같은 이동통신 시스템의 성능은 시변 다중경로 페이딩 채널환경에서 저하된다.[1] 양질의 서비스를 위해서는 시변 채널 환경에 빨리 추적할 수 있는 시스템을 설계해야 한다. Kalman 필터는 시변 채널을 통과한 신호를 복구하는데 최적의 필터이다.[2] 그렇지만 Kalman 필터가 우수한 채널 추적능력을 가지고 있을지라도 블라인드 알고리즘이 아니다라는 것이다. 비 블라인드(Non-blind) 알고리즘은 채널의 변화가 빠르고 큰 편차를 갖는 환경에서는 긴 학습 신호열(training sequence)을 자주 전송해야 할 필요가 있기 때문에 시변 채널환경에서 사용할 수 있는 범위가 제한적이다. 따라서 학습열을 이용하지 않는 블라인드 등화(Blind Equalization) 방식을 주로 이용한다. CMA는 정적인(stationary) 채널환경에서 가장 성능이 좋은 블라인드 등화 알고리즘 중에 하나이고,[3,4] 더욱

이 계산량 역시 등화기 필터의 차수가 N_f 일 때, (αN_f) 로써 매우 적다.[5] 그러나 빠르게 변화하는 시변 채널 환경에서는 수신된 신호의 진폭이 매우 빠르게 변화하기 때문에 CMA와 같은 gradient decent 방식의 알고리즘들은 추적할 수 있는 능력이 저하될 수밖에 없다. 이런 환경에서 CMA는 채널의 변화를 추적할 수도 없고 등화기 출력이 constant modulus의 성질을 유지하기 어려울 것이다. 따라서 Kalman 필터의 채널 추적에 대한 우수한 특성과 CMA의 블라인드 등화의 우수한 성질을 결합하여 빠르게 변화하는 시변 채널 환경에 적합한 새로운 결합 방식에 의한 블라인드 등화 방식에 대해서 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 동기 DS-CDMA의 신호를 모델링하고, III장에서는 제안한 등화기법에 대해서 기술하고, IV장에서는 모의실험을 통해서 기존의 CMA와 제안한 방식을 비교 분석하고, V장 결론을 맺는다.

II. 동기 DS-CDMA 신호 모델링

그림 1은 일반적인 DS-CDMA 기저대역 시스템 모델이다. 시스템에서는 K 명의 사용자가 모두 같은 N_s 차수를 갖는 서로 다른 채널 h_k 를 각각 통과한다고 가정한다. 이 h_k 는 전송필터, 다중 경로 페이딩 채널 및 수신 필터를 모두 포함한 채널을 의미한다. 임의의 전력과 시간을 갖는 BPSK(+1,-1)로부터 신호를 전송하는 K 명의 동기 DS-CDMA 시스템의 수신신호 $x(t)$ 을 표현해 보면 다음과 같다.

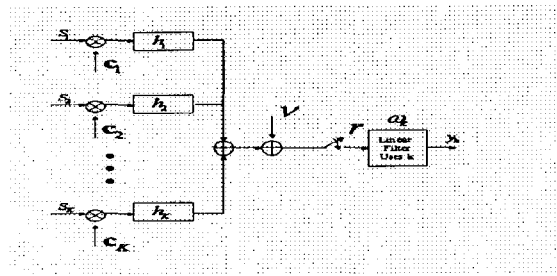


그림 1. DS-CDMA 시스템

$$r(t) = \sum_{k=1}^K [\sum_{n=-\infty}^{\infty} s_k(t) c_k(t-nT-\tau_k)] * h_k(t) + v(t) \quad (1)$$

여기서, s_k 는 k 번째 사용자의 정보이고, $*$ 는 선형 컨볼루션(linear convolution)이다. $v(t)$ 는 평균이 0 이고 분산이 σ_v^2 인 가산성 가우시안 잡음(AWGN)이다. c_k 는 k 번째 사용자의 확산 파형을 나타낸다.

$$c_k(t) = \sum_{i=0}^{L-1} c_k(i) \rho(t-iT_c) \quad (2)$$

여기서, 심볼의 주기를 T 라 할때 T_c ($L = T/T_c$)는 칩(chip) 주기, $\rho(t)$ 는 구형펄스(rectangular pulse) 함수를 나타낸다. 수신신호 $r(t)$ 가 칩 주기로 표본화되어 FIR (Finite Impulse Response) 선형 필터, ω_k 에 입력된 후 k 번째 사용자가 전송한 심볼을 추정한다. 만약 이 수신신호 $r(t)$ 를 matched 필터와 같은 재래의 검파기를 이용하여 단순히 원하는 사용자를 역확산 시키면 채널의 영향에 의해 확산부호의 상호 상관관계(cross correlation)가 커지게 된다. 이런 이유 때문에 다중 접속 간섭(Multiple Access Interference)이 발생하고 이와 더불어 근거리-원거리 효과(near-far effect)에 의한 전력제어의 문제와 함께 비트 에러율(bit error rate)을 증가하게 만들어 시스템이 사용자를 수용할 수 있는 용량이 감소할 것이다.[5] 따라서 MAI를 효과적으로 제거할 수 있는 방법으로 FIR 적응 필터(AF: Adaptive Filter)를 사용한 채널 등화기에 대한 연구가 요구된다.

III. CMA에 Kalman 필터를 결합한 등화 기법

1. Kalman 필터

KF(Kalman Filter)는 주어진 전송된 신호 s_k 를 가지고 다음과 같은 수식에 따라 신호들이 통과해온 채널 \hat{h}_k 를 추적한다.

$$\hat{h}_k = T_k \hat{h}_{k-1} \quad (4)$$

$$M_k = T_k M_{k-1} T_k^T + Q \quad (5)$$

$$K = \frac{M_k r_k}{\sigma_n^2 + r_k^T M_k r_k} \quad (6)$$

$$e_k = s_k - (\hat{h}_k^T r_k) \quad (7)$$

$$\hat{h}_{k+1} = \hat{h}_k + e_k^* K^* \quad (8)$$

$$M_{k+1} = (I - K r_k^T) M_k \quad (9)$$

여기서, T_k : 상태전이 행렬, M_k : 예측오차 행렬, K : Kalman 이득, \hat{h}_k : 추정채널, Q : 처리잡음 공분산 행렬, $(\cdot)^*$: 공액복소수, I : 항등행렬, σ_n^2 : 측정 잡음 전력을 나타낸다.

Kalman 필터는 시변 채널을 추정하는데 최적의 필터이다. 그렇지만 Kalman 필터가 우수한 채널 추적능력을 가지고 있을지라도 식(7)에서 알수 있듯이 송신된 신호 s_k 를 학습 신호로 사용하기 때문에 블라인드 알고리즘이 아니다. 이런 비 블라인드 알고리즘은 채널의 변화가 빠르고 큰 편차를 갖는 환경에서는 긴 학습 신호열을 자주 전송해야할 필요가 있기 때문에 시변 채널 환경에서 사용할 수 있는 범위가 제한적이다. 따라서 학습 신호열을 이용하지 않는 블라인드 등화(Blind Equalization) 방식을 주로 이용한다.

2.CMA(Constant Modulus Algorithm) 블라인드 등화 기법

이 알고리즘은 다음과 같은 비용함수(cost function)를 최소화시키는 steepest gradient decent 방식 중에 하나이다.[6,7]

$$J = | |y_k|^2 - \gamma |^2 \quad (10)$$

여기서, 전송 데이터의 Kurtosis로서 정의되고 $\gamma = E[|s_k|^4] / E[|s_k|^2]^2$ 이다. 필터계수 갱신 방정식은 다음과 같다.

$$\omega_{k+1} = \omega_k - \mu r_k y_k (|y_k|^2 - \gamma) \quad (11)$$

여기서, $y_k = w_k^T r_k$ 이고 μ 는 step size이다.

CMA는 정적인(stationary) 채널환경에서 가장 성능이 좋은 블라인드 등화 알고리즘 중에 하나이다. 그러나 빠르게 변하는 시변 채널에 적응하기 위해서는 step size가 커야 한다. 그러나 step size가 클수록 수렴확률이 안정하지 못하기 때문에 무작정 커질 수만은 없다. 따라서 시변 채널환경에서는 수신된 신호의 진폭이 매우 빠르게 변화하기 때문에 CMA와 같은 gradient decent 방식의 알고리즘들은 신호의 진폭을 추적할 수 있는 능력이 저하될 수밖에 없는 이유이다. 이런 환경에서 CMA는 채널의 변화를 추적할 수도 없고 등화기 출력이 constant modulus의 성질을 유지하기 어려울 것이다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 Kalman 필터의 채널 추적에 대한 우수한 특성과 CMA의 블라인드 등화의 우수한 성질을 결합하여 빠르게 변화하는 시변채널 환경에 적합한 새로운 결합 방식에 대해서 제안하고자 한다.

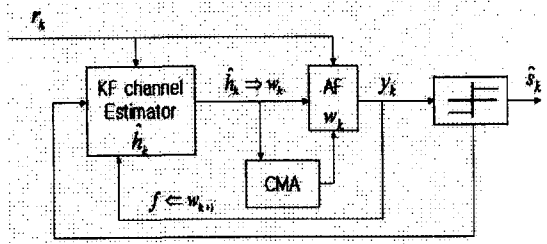


그림 2. 제안한 등화기 구조

3. 새로운 결합 방식에 의한 등화 알고리즘

제안한 KF와 CMA의 결합 방법은 두 알고리즘의 장점 즉, 블라인드 특성과 우수한 추적 성능을 이용한다. 그림 2에서 보는 것처럼 KF에서 추적한 채널 \hat{h}_k 를 CMA의 필터계수로 이용하여 비유함수로 사용하고 CMA의 적응 필터 출력을 이용해서 추정한 신호 \hat{s}_k 를 식(17)에서 학습신호로 이용한다. 그리고 식(18)에서는 CMA에서 갱신된 필터 계수를 \hat{f} 에 대입하고 식(19)에서 KF 계수 값을 갱신하는데 이용된다. 새로운 등화 방식은 블라인드 특성이 유지되면서 가변 하는 채널환경에 대해서 KF는 CMA가 효과적으로 필터계수를 갱신할 수 있도록 도와주고 CMA는 KF가 학습신호 없이 채널을 추적할 수 있도록 도와준다.

$$\hat{h}_k = T_k \hat{h}_{k-1} \quad (12)$$

$$M_k = T_k M_{k-1} T_k^T + Q \quad (13)$$

$$K = \frac{M_k r_k}{\sigma_n^2 + r_k^T M_k r_k} \quad (14)$$

$$\omega_{k+1} = \omega_k - \mu r_k \hat{h}_k^T r_k (|\hat{h}_k^T r_k|^2 - \gamma) \quad (15)$$

$$\hat{s}_k = \text{sgn}(w_{k+1}^T r_k) \quad (16)$$

$$e_k = \hat{s}_k - w_{k+1}^T r_k \quad (17)$$

$$\hat{f} = w_{k+1} \quad (18)$$

$$\hat{h}_{k+1} = \hat{f} + e_k K \quad (19)$$

$$M_{k+1} = (I - K r_k^T) M_k \quad (20)$$

V. 모의 실험

제안한 CMA와 Kalman 필터를 결합한 등화 기법의 성능을 모의 실험을 통해 분석한다. 각 사용자의 채널을 임의로 발생시키고 그 채널을 통과한 임의의 전력을 갖는 각 사용자에 대한 자승 오차, 심볼의 성장도 그리고, Eye Pattern을 통해 성능을 시불변 채널환경과 시변 채널환경에서 각각 비교, 분석 하였다.

1. 시불변 채널환경

사용자 수	25 명	SNR[dB]	30
채널 차수	10	step size(μ)	5×10^{-4}
필터 차수	62	반복횟수	4500
PN 코드	127 Gold 코드		

기존의 블라인드 등화 방식인 CMA는 25명의 사용자 중에서 사용자 15는 수렴확률이 가장 우수한 성능을 나타내었고 사용자 19 경우는 수렴확률이 사용자 15에 비해서 수렴확률이 매우 좋지 못함을 그림 3을 통해서 알 수 있다. 그림 4의 (b)의 성장도를 보면 사용자 19가 송신한 신호를 복조하기에 매우 어려울 것이다. 이런 문제점을 줄이기 위해서는 전체 시스템이 수용할 수 있는 사용자의 수가 감소할 수밖에 없다. 그러나 제안한 Kalman 필터와 결합한 CMA는 그림 3과 그림 4(c)와 (d)에서 보듯이 자승오차나 성장도, Eye-Pattern 모두 두 사용자가 비슷하면서 우수한 성능을 보임으로써 사용자 수를 더 증가시킬 수 있을 것으로 기대된다.

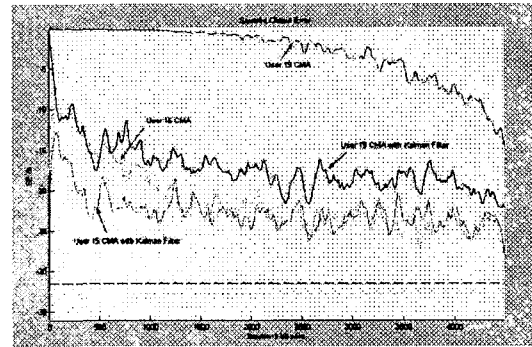


그림 3. 자승오차 비교

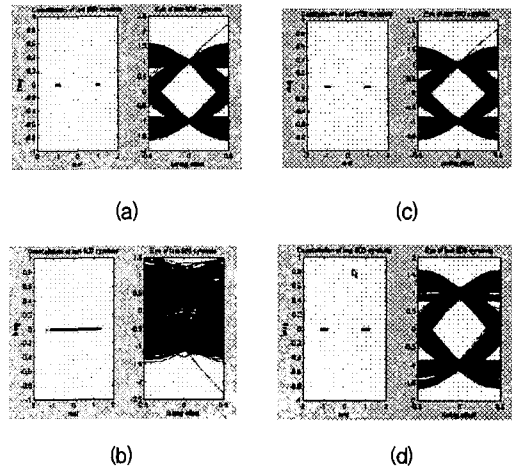


그림 4. 마지막 500 심볼 동안의 성장도와 Eye-pattern 비교. 사용자 15 : (a)CMA (c)Kalman 필터를 결합한 CMA , 사용자 19 : (b)CMA (d)Kalman 필터를 결합한 CMA

2. 시변 채널환경

사용자 수	4 명	SNR[dB]	30
채널 차수	2	step size(μ)	5×10^{-4}
필터 차수	32	반복횟수	2000
PN 코드	31 Gold 코드		

시변 채널환경에서는 간단히 4명의 사용자중 첫 번째 사용자 1에 대한 비교를 통해서 제안한 방식의 성능을 확인한다. 그림 5는 사용자 1이 통과한 채널값의 변화를 나타낸다. 각 심볼마다 각 사용자의 서로 다른 채널이 불규칙하게 변하면서 통과하였다. 이와 같은 시변 채널환경에서도 제안한 방식이 훨씬 우수한 방식임을 그림 6, 7을 통해서 확인 할 수 있었다.

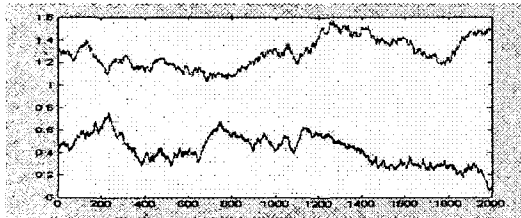


그림 5. 사용자 1이 통과한 채널 계수 값의 변화

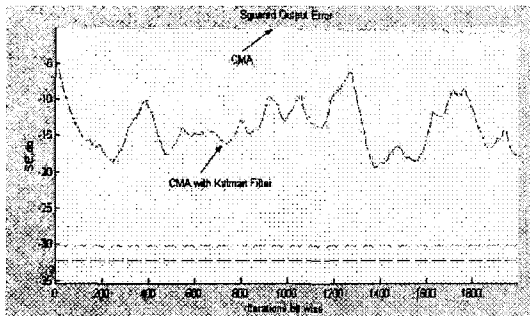
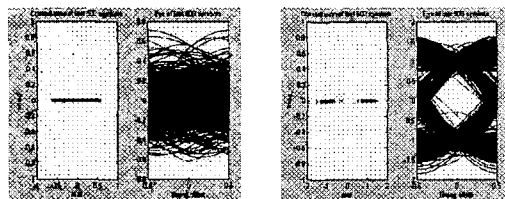


그림 6. 자승오차 비교



(a) (b)

그림 7. 마지막 500 심볼 동안의 성상도와 Eye-pattern 비교. 사용자 1 : (a)CMA (b)Kalman 필터를 결합한 CMA

VI. 결론

본 논문에서는 동기 DS-CDMA 다중사용자 환경에서 시불변 채널환경과 시변 채널환경에 대해서 블라인드 동화를 할 수 있는 새로운 방법을 제안하였다. 그리고 모의 실험을 통하여 기존의 CMA보다 훨씬 좋은 성능을 보임으로써 제안한 방식인 CMA와 Kalman 필터를 새롭게 결합한 방식이 시불변과 시변 채널환경에 효과적인 방식임을 확인할 수 있었고 성능 개선으로 인해 전체 시스템의 용량을 증가시킬 수 있을 것으로 기대된다. 추후 연구과제로는 비동기 DS-CDMA 시스템에 대한 동화 방식의 성능향상에 대한 연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] J. Proakis, Digital Communications. New York:MacGraw-Hill, 1995.
- [2] R. Kalman, "A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems," Trans. ASEM, Seres D. J., Basic Eng., pp.34-45,1960.
- [3] Y. Sato, "A Method of Self-Recovering Equalization for Multilevel Amplitude Modulation System", IEEE Trans. Comm. Vol. COM-23, pp.679-682, June. 1975
- [4] D. N. Godard, "Self-Recovering Equalization and Carrier Tracking in Two-Dimensional Data Communication System", IEEE Trans. Comm. Vol. COM-28, pp.1867-1875, Nov, 1980
- [5] W. Pora, J. A. Chambers, and A. G. Constantinides, " A Combined Kalman Filters and Constant Modulus Algorithm Beamformer for Faser-fading Channels", IEEE Trans. Comm. pp. 2925-2928, 1999.
- [6] D.R. Brown, D.L. Anair, C.R. Johnson, Jr., "Fractionally Sampled Linear Detectors for DS-CDMA", to appear in Proc. Asilomar Conf. On Signals, Systems, and Computers(Pacific Grove, CA), Nov. 1998.
- [7] S. Haykin, Adaptive Filter Theory, 2nd Ed., Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1991.