

Fast Fading 환경에서 DS-CDMA 시스템에 대한 채널 등화에 관한 연구

정회원 김 원 균*, 박 노 진*, 강 철 호*

A Study on Channel Equalization for DS-CDMA System in Fast Fading Environment

Won-Kyun Kim*, No-Jin Park*, Chul-Ho Kang* *Regular Members*

요 약

fast fading 채널 특성을 갖는 DS-CDMA 다중 사용자 환경에서 Normalized CMA(Constant Modulus Algorithm)와 Newton방식을 이용한 CMA를 이용하여 빠른 수렴속도와 작은 평균 자승 오차(Mean Square Error)를 동시에 개선할 수 있는 등화 방법을 제안하였다. Normalized CMA는 Newton방식을 이용한 CMA에 비해 작은 평균 자승 오차를 갖지만 수렴속도가 느리다는 단점이 있다. 반면 Newton방식을 이용한 CMA는 Normalized CMA에 비해 수렴속도는 빠르지만 큰 평균 자승 오차를 갖는다는 단점이 있다. 따라서 빠른 수렴 속도와 작은 평균 자승 오차를 동시에 얻기 위한 구조를 제안하였으며, 이 구조는 각각의 알고리즘을 사용하는 방법과는 달리 두개의 알고리즘을 동시에 이용한다. 모의 실험 결과, 제안한 기법이 Normalized CMA보다 약 320번, Newton방식을 이용한 CMA보다는 170번 정도 빠른 수렴 속도를 나타냈으며, 동시에 수렴시의 평균 자승 오차는 Newton방식을 이용한 CMA보다 약 0.6dB, Normalized CMA보다 약 0.4dB 정도 낮은 수치를 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

In this paper, we propose an adaptive filter to obtain fast convergence rate and reduce mean square error simultaneously using Normalized CMA(Constant Modulus Algorithm) and CMA with Newton method in fast fading channels. Normalized CMA obtains lower mean square error than CMA with Newton method. But Normalized CMA converges slower than CMA with Newton method. On the other side, CMA with Newton method converges faster than Normalized CMA. But CMA with Newton method obtains larger mean square error than Normalized CMA. Unlike the Algorithm using each method, both methods are all used together in this structure. In the simulation result, the proposed method is improved by about 320 iteration and about 0.6dB compared with Normalized CMA, and by about 170 iteration and about 0.4dB compared with CMA with Newton method.

1. 서 론

CDMA와 같은 이동통신 시스템의 성능을 저하시키는 요인은 신호들이 다중경로로 수신기에 입사함에 따라 발생하는 간섭인 ISI와, 동시에 존재하는 다른 사용자들의 신호에 의한 간섭인 MAI때문에

양질의 서비스를 제공하기 힘들다^[1]. 이런 간섭들을 제거하기 위해 fast fading 환경에서 빠른 채널 추적과 작은 평균자승 오차를 갖는 채널 등화기의 연구가 요구된다.

CMA는 blind 알고리즘으로 정적인(stationary) 채널 환경에서 가장 성능이 좋은 알고리즘^[2,3]이다.

* 광운대학교 전자통신공학과 신호처리 연구실(spotkwk@hanmail.net)
논문번호 : 010029-0307, 접수일자 : 2001년 3월 7일

그러나 CMA와 같은 gradient decent 방식의 알고리즘들은 fast fading 환경과 같이 채널의 변화가 빠른 환경에서 채널의 변화를 추적하기 어렵다. 그래서 채널 추적에 대한 우수한 특성을 갖는 Newton방식의 성질을 이용해 Newton방식을 이용한 CMA방식이 연구되었다^[4,6].

CMA는 정해진 step-size만큼씩 채널을 추적해간다. 하지만, fast fading 환경에서 작은 step-size를 갖는 CMA는 채널을 추적하는 능력이 떨어지고, 큰 step-size를 갖는 CMA는 채널의 변화에 따라 발산할 위험이 크다. 그래서 채널의 변화에 맞게 step-size를 갱신해 주는 Normalized CMA가 연구되었다^[7-8].

그리고, Newton방식을 이용한 CMA는 빠른 수렴 속도를 나타내지만 상대적으로 큰 평균 자승 오차를 갖는 단점이 있고, Normalized CMA는 작은 평균 자승 오차를 갖지만 상대적으로 수렴 속도가 느린 단점이 있다. 이런 단점들을 보완하기 위해 본 논문에서는 Newton방식을 이용한 CMA의 빠른 수렴 속도를 갖는 특성과 Normalized CMA의 작은 평균 자승 오차를 갖는 특성을 이용하여 빠른 수렴 속도와 작은 평균 자승 오차의 특성을 동시에 개선할 수 있는 새로운 등화 방식을 제안한다. 이 방식의 구조는 매 반복횟수에 따라 각 알고리즘 출력값들을 가지고, 절대값 오차들을 비교하여, 상대적으로 작은 값을 나타내는 알고리즘의 오차와 필터 계수 및 출력을 선택한다. 선택된 알고리즘의 출력과 필터 계수는 Normalized CMA의 step-size와 필터 계수, 그리고 Newton방식을 이용한 CMA의 inverse auto-correlation과 필터 계수를 갱신하는데 이용한다.

본 논문의 구성은 II장에서 동기 DS-CDMA의 신호를 모델링하고, III장에서 Normalized CMA, IV장에서 Newton방식을 이용한 CMA에 대해 설명하며, V장에서 제안한 등화기의 구조와 특징을 기술한다. VI장에서는 제안된 알고리즘의 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해서 수렴 속도와 평균 자승 오차에 대해 다른 알고리즘과 비교 분석하고 VII장에서 결론을 내린다.

II. 동기 DS-CDMA 신호 모델링

그림 1은 일반적인 동기 DS-CDMA 기저대역 시스템 모델이다. 시스템에서는 K명의 사용자가 모두 같은 N_c 차수를 갖는 서로 다른 fast fading 채널

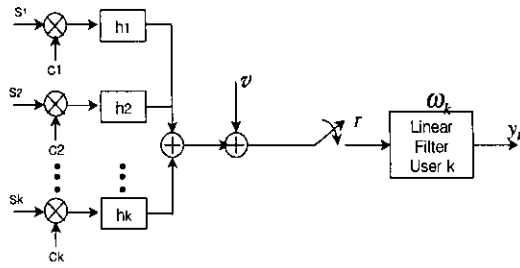


그림 1. DS-CDMA 시스템 모델

h_k 를 각각 통과한다고 가정한다. 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 K명의 동기 DS-CDMA 시스템의 수신신호 $r(t)$ 를 표현해 보면 다음과 같다.

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

여기서, s_k 는 k번째 사용자의 정보이고 *는 선형 컨볼루션(linear convolution)이다. $\nu(t)$ 는 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 가산성 백색 가우시안 잡음(AWGN)을 나타내고, c_k 는 k번째 사용자의 확산 파형을 나타낸다.

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

여기서, 심볼의 주기를 T라 할 때, ($L=T/T_c$) T_c 는 칩(chip) 주기, $\rho(t)$ 는 구형펄스(rectangular pulse) 함수, L은 spreading code의 길이를 나타낸다. 수신신호 $r(t)$ 는 칩 주기로 표본화되어 FIR(Finite Impulse Response) 선형 필터, ω_k 에 입력된 후 k번째 사용자가 전송한 심볼을 추정한다. 만약 이 수신신호 $r(t)$ 를 matched 필터와 같은 기존의 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 시스템의 사용자 수용 용량이 감소하게 된다^[9]. 따라서 MAI를 효과적으로 제거할 수 있는 방법으로

FIR 적응 필터(AF : Adaptive Filter)를 사용한 채널 등화에 대한 연구가 요구된다.

III. Normalized CMA

학습 신호열을 사용하지 않는 블라인드 등화 방식 중에 Godard 알고리즘은 steepest gradient decent 방식 중의 하나로, (3)식과 같은 형태의 cost function을 최소화한다.

$$J_k = E[(|y_k|^p - R_p)^2] \quad (3)$$

이때, p는 양의 정수, R_p 는 양의 상수이다.

(단, $R_p = \frac{E[|s|^{2p}]}{E[|s|^2]^p}$) constant R_p 는 완전 등화가 얻어질 때 cost function J_k 의 gradient가 0이 되게 선택한다. 필터를 통과한 출력은 $y_k = \omega_k r_k$ 이고, 필터의 계수 방정식은 다음과 같다.

$$\omega_{k+1} = \omega_k + \mu r_k e_k \quad (4)$$

여기서 μ 는 step-size, e_k 는 오차 신호로써 다음과 같이 정의된다.

$$e_k = y_k |y_k|^{p-2} (R_p - |y_k|^p) \quad (5)$$

위의 (3)식과 (5)식에서 특별히 p가 2일 때를 CMA(Constant Modulus Algorithm)라 한다.

CMA는 정적인(stationary) 채널 환경에서 가장 성능이 좋은 블라인드 등화 알고리즘 중의 하나이다. 하지만 빠르게 변화하는 fast fading 채널에 적용하기 위해서는 step-size가 커야한다. 그러나 step-size가 클수록 수렴확률이 적어지고 발산하게 될 확률이 커져 안정성에 문제가 생긴다. 그러므로 step-size를 무작정 크게 할 수도 없다. 이런 환경에서 CMA는 채널의 변화를 추적하기 어렵고, 출력이 constant modulus의 성질을 유지하기 어려울 것이다. 그래서 채널의 변화에 따라 CMA의 step-size를 갱신할 수 있는 Normalized CMA (N-CMA)가 연구되었다^[8].

최소의 오차를 위한 step-size, μ 값을 얻기 위해서는 μ 를 (6)식이 만족하도록 선택한다.

$$|\omega_{k+1} r_k|^2 = R_2 \quad (6)$$

(4)식을 (6)식에 대입,

$$|(\omega_k + \mu r_k e_k) r_k|^2 = R_2 \quad (7)$$

식을 μ 에 관한 식으로 나열하고 $y_k = \omega_k r_k$ 를 활용하면 (8)식이 되며, (9)식과 같은 μ 의 근이 된다.

$$|e_k|^2 \|r_k\|^4 \mu^2 + 2 y_k e_k \|r_k\|^2 \mu + |y_k|^2 - R_2 = 0 \quad (8)$$

$$\mu = \frac{-y_k e_k \pm |e_k| \sqrt{R_2}}{|e_k|^2 \|r_k\|^2} \quad (9)$$

(5)식의 p가 2인 e_k 를 (9)식에 대입하면 가장 작은 양수해의 식을 얻을 수 있다.

$$\mu_{+min} = \frac{|y_k|^2 - |y_k| \sqrt{R_2}}{|y_k|^2 (|y_k|^2 - R_2) \|r_k\|^2} \quad (10)$$

모의 실험 결과, step factor가 종종 너무 커서 알고리즘이 수렴하는데 실패하는 경우가 있다. 그래서 (10)식에 α 라는 fraction factor ($0 < \alpha < 1$)를 곱해주어 알고리즘이 수렴할 수 있도록 한다.

$$\mu_{+min} = \alpha \frac{|y_k|^2 - |y_k| \sqrt{R_2}}{|y_k|^2 (|y_k|^2 - R_2) \|r_k\|^2} \quad (11)$$

따라서 Normalized CMA의 step-size를 (11)식에 따라 갱신해 줌으로써, 고정된 μ 값을 갖는 CMA에 비해 수렴 속도가 빨라지고 평균 자승 오차도 작아지게 된다.

IV. Newton방식을 이용한 CMA

Newton 방식을 Wiener-Hopf방정식^[10]에 의해서 유도하고 그 유도된 식을 CMA에 적용한다. 필터 계수의 최적화에 대한 행렬 형태의 Wiener-Hopf 방정식으로부터 최적 weight 벡터는

$$\omega^* = R^{-1} P \quad (12)$$

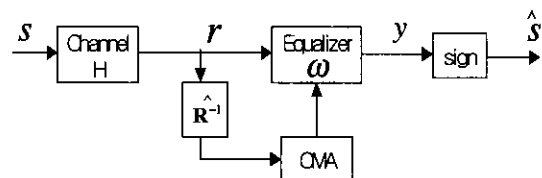


그림 2. Newton 방식을 이용한 CMA

여기서, $P=E[d_k r_k]$, $R=E[r_k r_k^T]$ 이다. 또한, gradient 벡터는 다음과 같이 표현 가능하다.

$$\nabla = 2R\omega - 2P \quad (13)$$

적응 알고리즘 \widehat{R}^{-1} 에 적용하면

$$\omega^* = \omega - \frac{1}{2} \widehat{R}^{-1} \nabla \quad (14)$$

∇ 에 R^{-1} 이 곱해짐으로써 적응방향이 gradient 방향에서 구하고자 하는 최적방향으로 바뀌면서 수렴속도가 더욱 빨라진다^[10]. (14)식을 일반화된 Newton 방식으로 표현하면

$$\omega_{k+1} = \omega_k - \mu \widehat{R}^{-1} \nabla \quad (15)$$

위 식의 적용을 위해 R^{-1} 에 대해 고려한다. 입력신호 r 에 대한 정적인 조건을 가정할 때 $R=E[r_k r_k^T]$ 를 알맞은 추정식으로 표현하면, $\widehat{R}_k = \frac{1}{k+1} \sum_{i=0}^k r_i r_i^T$ 과 같이 평균으로 표현할 수 있다. 입력신호가 비정적인 조건(non stationary condition)이 추가되면, 추정식을 유한한 메모리에 사용하기 위해서 다음과 같은 함수를 사용한다.

$$Q_k = \sum_{i=0}^k \beta^{k-i} r_i r_i^T \quad (16)$$

여기서 $\beta \approx 2^{-\frac{1}{g}}$ 는 scaling factor로 $0 < \beta < 1$, g =length of stationarity of r_k 이다. (16)식이 평균이 되려면 k 번째 반복횟수에 대한 scaling factor의 전체 값인 (17)식이 1이 되어야 한다.

$$\sum_{i=0}^k \beta^{k-i} = \frac{1-\beta^{k+1}}{1-\beta} \quad (17)$$

그래서 k 번째 반복횟수에서 R 의 변형된 추정값은

$$\widehat{R}_k = \frac{1-\beta}{1-\beta^{k+1}} Q_k \quad (18)$$

(16)식을 다시 표현하면

$$Q_k = \beta Q_{k-1} + r_k r_k^T \quad (19)$$

(19)식을 Q_{k-1} 에 관한 식으로의 유도 과정을 거치면 최종적으로 (20)식과 같이 Q_k^{-1} 의 update 식으

로 정리할 수 있다^[4, 10].

$$Q_k^{-1} = \frac{1}{\beta} \left[Q_{k-1}^{-1} - \frac{Q_{k-1}^{-1} r_k r_k^T Q_{k-1}^{-1}}{\beta + r_k^T Q_{k-1}^{-1} r_k} \right] \quad (20)$$

(18)식에서 \widehat{R}_k^{-1} 는

$$\widehat{R}_k^{-1} = \frac{1-\beta^{k+1}}{1-\beta} Q_k^{-1} \quad (21)$$

가 되며 기존의 CMA 램 갱신 방정식에 적용할 수 있다^[4].

$$\omega_{k+1} = \omega_k - \mu \widehat{R}_k^{-1} r_k y_k (|y_k|^2 - \gamma) \quad (22)$$

여기서 γ 는 constant이고, 이 식이 Newton 방정식을 이용한 램 갱신 방정식으로 그림 2와 같다.

V. 제안 알고리즘의 구조

Normalized CMA는 Newton방식을 이용한 CMA에 비해 작은 평균 자승 오차를 갖지만 수렴속도가 느리다는 단점이 있다. 반면 Newton방식을 이용한 CMA는 Normalized CMA에 비해 수렴속도는 빠르지만, 큰 평균 자승 오차를 갖는다는 단점이 있다. 본 논문에서 제안한 간섭 제거기는 빠른 수렴 속도를 얻는 동시에 평균 자승 오차를 줄이기 위해, 그림 3과 같이 Newton방식을 이용한 CMA와 Normalized CMA를 동시에 사용하며, 그 구조는 그림 3과 같다. 이 구조는 한가지의 알고리즘을 사용하는 것과는 달리 두 알고리즘을 동시에 이용한다. 이를 식으로 나타내면, 매 반복횟수에 따른 각

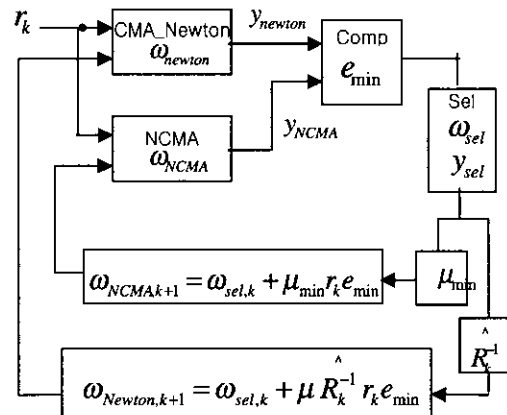


그림 3. 제안한 간섭 제거기의 구조

알고리즘의 출력은 (23)식, (24)식과 같고 오차는 (5)식로부터 (25)식, (26)식과 같이 얻는다.

$$y_{CMA-NT} = \omega_{CMA-NT} r_k \quad (23)$$

$$y_{NCMA} = \omega_{NCMA} r_k \quad (24)$$

$$e_{CMA-NT} = y_{CMA-NT} (R_2 - |y_{CMA-NT}|^2) \quad (25)$$

$$e_{NCMA} = y_{NCMA} (R_2 - |y_{NCMA}|^2) \quad (26)$$

(25),(26)식으로부터 각각 오차의 절대값을 구해서 비교하고 작은 값을 갖는 알고리즘을 선택한다.

$|e_{CMA-NT}| < |e_{NCMA}|$ 일 때

$$\omega_{sel} = \omega_{CMA-NT}, \quad y_{sel} = y_{CMA-NT}$$

$|e_{NCMA}| < |e_{CMA-NT}|$ 일 때

$$\omega_{sel} = \omega_{NCMA}, \quad y_{sel} = y_{NCMA}$$

선택한 알고리즘의 필터계수와 출력으로 (27)과 (28)식과 같이 NCMA의 μ_{NCMA} 와 필터 계수를 갱신하고,

$$\mu_{min} = -\alpha \frac{|y_{sel}|^2 + |y_{sel}| \sqrt{R_2}}{|y_{sel}|^2 (|y_{sel}|^2 - R_2) \|r_k\|^2} \quad (27)$$

$$\omega_{NCMA} = \omega_{sel} + \mu_{min} r_k e_{sel} \quad (28)$$

Newton방식을 이용한 CMA의 \widehat{R}_k^{-1} 는 (20)식, (21)식에 의해서, 그리고 필터 계수는 (29)식에 의해 갱신한다.

$$\omega_{CMA-NT} = \omega_{sel} + \mu \widehat{R}_k^{-1} e_{sel} \quad (29)$$

여기서, μ 는 고정된 값이다.

VI. 모의 실험

Newton방식을 이용한 CMA와 NCMA를 사용해서 제안한 등화 기법과 다른 각 기법들을 사용한 등화 기법의 수렴속도와 평균 자승 오차를 모의 실험을 통해 분석한다. 채널 환경은 각 사용자의 fast fading 채널을 임의로 발생시키고 그 채널을 통과한 임의의 전력 값을 갖는 각 사용자는 가산성 백색 가우시안 채널을 통과한다. 사용자수는 4명, 확산 코드는 64인 동기 시스템을 고려했으며, NCMA의 초기 step-size와 Newton방식을 이용한 CMA의 step-size는 발산하지 않는 범위에서 각각 0.0003과 0.005로

주었다. 사용자들의 신호는 BPSK 신호를 발생하여 사용하였으며, SNR은 30dB, 반복횟수는 1500번, α 값은 0.1, β 값은 0.993으로 고정했다. 임의의 fast fading 채널의 power를 그림 4에 나타내었다.

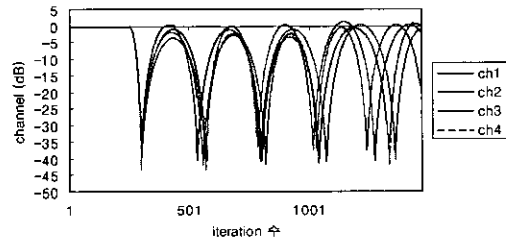


그림 4. 각 사용자의 fast fading channel

기존의 블라인드 등화 방식인 CMA는 step size가 고정되어 있기 때문에 채널 환경의 변화가 빠르고 편차가 큰 fast fading 채널에서는 많은 반복횟수를 거쳐야 추적이 가능하다. 빠르고 큰 편차를 갖는 채널을 추적하기 위해선 CMA의 step-size를 갱신할 필요가 있다.

그림 5에서 반복횟수는 2300번이며, step-size가 0.0003으로 고정된 CMA와 매 iteration마다 step-size를 갱신한 Normalized CMA간의 수렴 속도와 평균 자승 오차의 성능을 비교했다. 채널이 빠르게 변화하기 때문에 CMA는 반복횟수가 750번 정도에서 평균 자승 오차에 접근하지만, Normalized CMA는 415번 정도의 반복횟수 만으로 평균 자승 오차에 접근한다. 평균 자승 오차도 CMA -5.25dB에 비해 NCMA가 -5.42dB로 더 작게 나타났다.

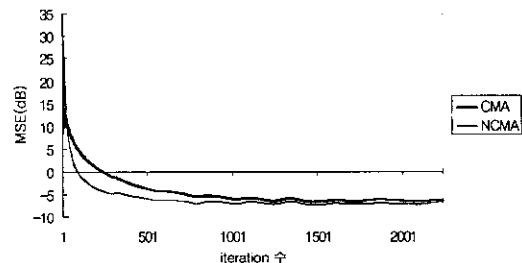


그림 5. CMA와 Normalized CMA간의 수렴 속도와 평균 자승 오차

그림 6은 step-size가 고정된 CMA와 Newton방식을 이용한 CMA에 대한 수렴 속도와 평균 자승 오차의 성능을 비교한 것이다. 수렴속도는 Newton

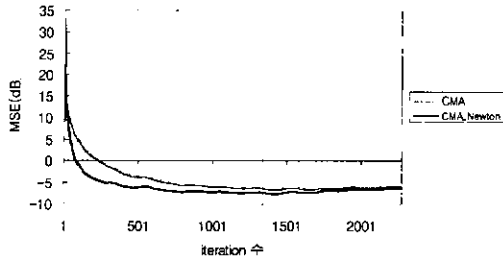


그림 6. CMA와 Newton방식을 이용한 CMA 간의 수렴 속도와 평균 자승 오차

방식을 이용한 CMA가 250번 정도의 반복횟수만으로 평균 자승 오차에 접근해서, step-size가 고정된 CMA보다 빠르게 나타났고, 평균 자승 오차도 Newton방식을 이용한 CMA가 더 낮게 나타났다.

그림 7에서는 4명의 사용자 중 첫 번째 사용자에게 제안 시스템과, NCMA, Newton방식을 이용한 CMA의 반복횟수에 따른 수렴 속도와 평균 자승 오차를 비교했다. Newton방식을 이용한 CMA의 수렴 속도는 250번 정도의 반복횟수가 필요하고, NCMA는 400번 정도의 반복횟수가 필요해 Newton방식을 이용한 CMA가 NCMA보다 수렴 속도가 빨랐다. 수렴시의 평균 자승 오차는 NCMA는 -5.47dB, Newton방식을 이용한 CMA는 -5.28dB로 NCMA가 Newton방식을 이용한 CMA보다 낮은 값을 갖는다. 그림 7에서 제안한 시스템은 80번의 반복횟수 동안에 평균 자승 오차에 접근해 NCMA는 물론 Newton방식을 이용한 CMA보다 빠른 수렴 속도를 나타냈으며, 수렴시의 평균 자승 오차는 -5.83dB로 Newton방식을 이용한 CMA와 NCMA보다 작은 평균 자승 오차를 나타내었다. 이런 결과로 제안한 방법이 각각의 알고리즘을 사용한 방법보다 빠른 수렴 속도와 작은 평균 자승 오차를 갖는다는 것을 확인할 수 있었다.

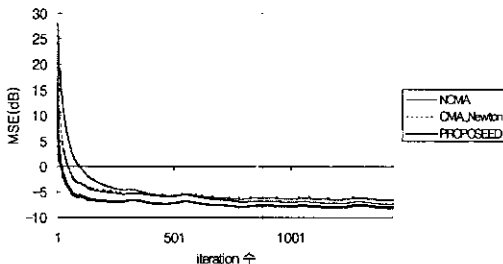


그림 7. 제안 시스템과, NCMA, Newton방식을 이용한 CMA의 매 반복횟수에 따른 수렴 속도와 평균 자승 오차의 비교

Ⅶ. 결 론

fast fading 채널에서 NCMA는 Newton방식을 이용한 CMA보다 작은 평균 자승 오차를 갖지만 수렴 속도는 느리고, Newton방식을 이용한 CMA는 NCMA보다 수렴 속도는 빠르지만 평균 자승 오차가 큰 성질을 갖는다. 본 논문에서는 동기 DS-SS-CDMA 다중사용자 fast fading 채널에서의 평균 자승 오차를 줄이고 동시에 수렴 속도를 증가시키는 등화 방법을 제안하였다. 제안한 구조는 매 반복횟수에 따라 각 알고리즘 출력 값들을 가지고, 비교 단에서 오차들을 비교하여, 상대적으로 작은 값을 나타내는 알고리즘의 오차와 필터 계수 및 출력을 선택한다. 선택된 알고리즘의 출력과 필터 계수는 Normalized CMA의 step-size와 필터 계수, 그리고 Newton방식을 이용한 CMA의 inverse auto-correlation과 필터 계수를 갱신하는데 이용한다. 모의 실험을 통해 알 수 있듯이, 제안한 방법은 fast fading 채널에서 기존의 CMA는 물론 NCMA, Newton방식을 이용한 CMA보다 더 작은 평균 자승 오차와 더 빠른 수렴 속도를 갖는다는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] J. Proakis, *Digital Communications*. New York : MacGraw-Hill, 1995.
- [2] Y. Sato, "A Method of Self-Recovering Equalization for Multilevel Amplitude Modulation System", *IEEE Trans. Comm.* Vol. COM-23, pp.679-682, June. 1975.
- [3] 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.
- [4] 민장기, 박노진, 강철호 "비동기 DS-SS-CDMA 시스템에서 채널 등화에 관한 연구", *한국통신학회 논문지*, Vol.25, 10. 2000.
- [5] Schirtzinger, T.A, Jenkins, W.K. "Designing Adaptive Equalizers Based on the Constant Modulus Error Criterion". *ISCAS'95*. pp. 1094 -1097 vol.2, 1995.
- [6] Schirtzinger, T. Li, X. Jenkins, W.K. "A

Comparison of Three Algorithms for Blind Equalization Based on the Constant Modulus Error Criterion". *ICASSP-95*, pp. 1049-1052 vol.2, 1995.

- [7] W. Pora, J. A. Chambers, and A. G. Constantinides, "A Combined Kalman Filter and Constant Modulus Algorithm Beamformer for Fast-Fading Channels", *IEEE Trans. Comm.* vol.5. pp.2925-2928, 1999.
- [8] Douglas L. Jones, "A Normalized Constant Modulus Algorithm", *IEEE Proceeding*, vol.1, pp.694-697, 1996
- [9] D. R. Brown, D. L. Anair, C. R. Johnson, Jr., "Fractionally Sampled Linear Detectors for DS-CDMA", *IEEE Trans. Comm* , vol.2. 1873-1877. 1998.
- [10] Widrow, Bernard, *Adaptive Signal Processing*. : Prentice Hall, 1985. 이동통신.

강 철 호(Chul-ho Kang)

정회원



1975년 2월 : 한양대학교
전자공학과 공학사
1979년 2월 : 서울대학교
전자공학과 공학석사
1977년~1981년 : 국방과학연
구소(연구원)

1988년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
1994년 4월~현재 : 광운대학교 전자공학부 정교수
<주관심 분야> 통신 및 음성 신호처리, 이동통신

김 원 균(Won-kyun Kim)

준회원



1999년 2월 : 호남대학교
전자공학과 학사
1999년 2월~현재 : 광운대학교
전자통신공학과 석사과정
<주관심 분야> CDMA, 통신
신호처리

박 노 진(No-jin Park)

정회원



1992년 2월 : 서울 산업대학교
매체공학과 학사
1998년 2월 : 광운대학교
전자통신공학과 공학석사
1998년 3월~현재 : 광운대학교
전자통신공학과 박사수료

<주관심 분야> CDMA, 통신 신호처리, 채널 코딩