

비동기 DS-CDMA 시스템에서 정규화 된 채널 등화 개선에 관한 연구

정회원 박노진*, 강철호*

A Study on the Improvement of Normalized Channel Equalization for the Asynchronous DS-CDMA System

No-Jin Park*, Chul-Ho Kang* *Regular Members*

요 약

차세대 이동통신 시스템은 고속의 멀티미디어 데이터의 신뢰성있는 전송을 요구하고 다양한 전파환경에서 신뢰성 있는 음성, 데이터, 영상서비스 등의 다양한 서비스를 제공한다. 하지만 광대역 무선 접속을 지원하는 다중 접속 기술은 DS-CDMA(Direct Sequence Code Division Multiple Access) 시스템에서 시스템 성능을 저하시키는 심벌간 간섭(ISI) 혹은 다중접속간섭(MAI) 신호를 발생시킨다. 이러한 간섭 신호를 개선하기 위해 적응 블라인드 등화 방식을 사용하는데 적응 블라인드 등화 방식 중에서도 가장 많이 이용하는 Constant Modulus Algorithm(CMA)을 적절한 초기화 없이 사용하면 ill-convergence 현상이 나타난다. 본 논문에서는 채널의 효율을 높이기 위한 등화 방식으로 기존의 NCMA 알고리즘을 이용한 새로운 블라인드 등화 방식(Modified NCMA)을 제안하고, 이를 비동기 DS-CDMA 시스템의 다중 사용자 환경에서 컴퓨터 모의 실험 및 성능분석을 하였다. 제안한 등화 방식의 자승오차(SE : Squared Error)의 개선은 spreading gain 31과 127에 대해 cell 내의 사용자가 10명일 때 약 17dB 정도이고, 사용자가 15, 25명으로 증가시킴에 따라 자승오차의 개선은 각각 20dB, 15dB 정도로 전체 평균 자승오차는 약 17.3dB 정도로 개선됨을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT

The third generation mobile communications system requiring the reliable multimedia data transmission has provided with the reliable voice, data and video services over the variable propagation environment. However the broadband wireless multiple access technologies cause Inter Symbol Interference(ISI) or Multiple Access Interference(MAI) to degrade the performance of DS-CDMA(Direct Sequence Code Division Multiple Access) system. Constant Modulus Algorithm which is frequently used as the adaptive blind equalizers to remove the interfering signal has ill-convergence phenomenon without proper initialization. In this paper, new modified NCMA based on conventional NCMA is proposed to improve the channel efficiency, and through computer simulation this is tested over the multi-user environment of asynchronous DS-CDMA system. In the proposed equalization method, the improvement of SE(Squared Error) with the spreading gain 31 and 127 has been about 17dB, 20dB and 15dB according as increasing the number of user to 10, 15 and 25 in the given cell respectively. Consequently, the average improvement of SE has been about 17.3dB.

* 광운대학교 대학원 전자통신공학과 신호처리 연구실(parknjin@korea.com)

논문번호 : 010022-0306, 접수일자 : 2001년 3월 6일

* 이 논문은 2000년도 광운대학교 연구년에 의하여 연구되었음

I. 서론

디지털 이동통신 시스템의 다원 접속 기술 중 CDMA 방식은 수신신호가 외부 잡음신호에 비해 보다 강하기 때문에 FDMA나 TDMA 방식에 비해서 비교적 넓은 주파수대역에 걸쳐 신호를 확산시켜 사용한다. 이 때문에 시스템에서 쓸 수 있는 전체 주파수 대역폭은 동일하더라도 채널 당 주파수 대역폭을 넓게 사용함으로써 그 넓이만큼 외부 잡음신호의 세기를 감소시킬 수 있다. 특히 DS-CDMA 시스템은 다중 사용자에게 고유의 Code를 할당하고, 동일 주파수 대역에서 다중 사용자 신호를 확산 및 역 확산함으로써 다중 접속을 한다. 또한 FDMA 및 TDMA와 비교할 때 페이딩 영향의 감소, 채널 용량의 증대, 용이한 주파수 할당 등의 다양한 장점을 가지고 있다. 하지만 이러한 DS-CDMA 시스템의 성능을 저하시키는 요인으로는 시스템의 사용자 수가 증가하면, 스펙트럼 중첩(spectrum overlapping)이 발생하고, 배경 잡음전력(background noise power)의 증가로 시스템 용량을 저하시킨다. 또한 신호들이 다중경로로 수신기에 입사함에 따라 발생하는 간섭인 ISI(Inter Symbol Interference)와 원하는 사용자의 신호와 동시에 존재하는 다른 사용자들의 신호에 의한 간섭인 MAI(Multiple Access Interference)가 발생하는데 양질의 서비스를 위해 이러한 단점들을 개선하기 위한 연구가 수행되었다.^{[1][2][3]}

기존의 채널 등화 방식은 송수신단 사이의 채널의 특성을 파악하기 위해서 송신단과 수신단 사이에 상호 약정된 패턴의 학습열(training sequence)을 이용하는 방식을 사용한다. 학습열은 일종의 부가 정보로 볼 수 있고, 채널의 대역 효율을 저하시키므로 이러한 문제점을 해결하기 위해 블라인드 등화(Blind Equalization) 방식을 주로 이용한다. 블라인드 등화를 위한 기본적인 알고리즘으로는 Godard 알고리즘^[4] 및 Sato 알고리즘^[5]이 있다. Godard 알고리즘 중에서 차수가 2차이고 블라인드 등화 기법 중에서 Treichler와 그 연구진들에 의해 발표된 단순하면서도 성능이 좋고 구현하기 쉬운 CMA(Constant Modulus Algorithm)는 블라인드 알고리즘 중에 대표적인 알고리즘이다.^[6] 이 CMA 알고리즘의 가장 큰 단점은 상대적으로 느린 수렴을 한다는 것이

최근 이러한 단점을 보완한 Normalized CMA

(NCMA)는 CMA 보다 더 빠른 수렴을 하고, variable step size (0, 2)의 범위에서 안정된 동작을 하며, big step size에서는 ill-convergence 상태를 방지할 수 있다고 알려져 있다.^[7] 하지만 이 Normalized CMA는 종종 μ 값이 너무 커지는 경우가 발생하고 따라서 성능이 열화되는 현상이 나타난다.^[8] 또한 비동기 CDMA System 환경에서 채널의 길이가 증가하고, Cell내의 User의 수가 증가할 경우에는 채널의 변동에 적절한 응답을 하지 못하고, System의 성능을 감소시켜 CMA 보다도 낮은 성능을 보임을 시뮬레이션을 통해 확인 할 수 있었다.

따라서 본 논문에서는 이러한 단점을 보완하여 μ 의 값이 일정한 임계치(threshold) 초과한 경우 다시 적절한 초기화를 수행하고, 채널의 변동에 따라 update 되는 탭 갱신 방정식(weight function)을 유도하여 비동기 CDMA 시스템 환경에서도 안정된 수렴을 하는 새로운 Modified Normalized CMA 등화 방식을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 비동기 DS-CDMA의 신호를 모델링하고, III장에서는 블라인드 등화 기법인 기존의 CMA와 Normalized CMA에 대해서 기술하고, IV장에서는 제안한 블라인드 방식을 이용한 Modified NCMA 등화 기법에 대해서 유도한다. V장에서는 비동기 CDMA 시스템에서 모의 실험을 통해 제안한 등화 방식과 CMA 및 JKMIN CMA^[9] 그리고 Normalized CMA와의 성능을 평가해 보고, VI장에서 결론을 맺는다.

II. 비동기 DS-CDMA 시스템 모델

그림 1은 DS-CDMA 기저대역 시스템 모델이다.^[10] 임의의 전력과 시간을 갖는 BPSK(+1,-1)로부터 신호를 전송하는 K명의 사용자가 있다. 각 사용자의 신호는 길이 L의 확산 부호열에 의해서 확산되어진다. 각 심볼(Symbol)의 주기는 T, 칩(chip) 주기는 T_c ($L = T/T_c$)이다. 모든 사용자는 같은 구형펄스 함수 $p(t)$, $[0, T_c]$ 를 갖는다. 모든 채널 $h(t)$ 는 최대 지연 $N_b T$ ($N_b > 0$)를 갖는 FIR 필터로 가정한다.

N_b 는 채널의 차수를 나타내는데 본 논문에서는 편의상 모든 사용자들의 채널의 차수가 N_b 로 같고, $N_b \ll L$ 의 관계를 만족한다고 가정을 한다. $\nu(t)$ 는 평균이 0 이고 분산이 σ_v^2 인 가우시안 잡음이다.

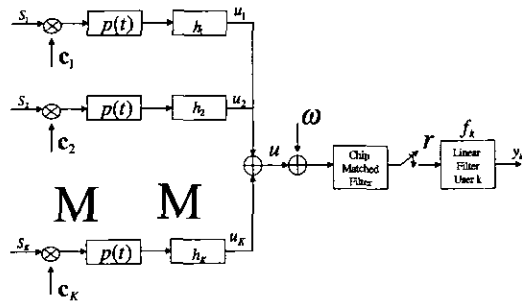


그림 1. DS-SSMA 시스템 모델

본 논문에서의 보오드(baud)단위는 n , 칩 단위는 l , $(\cdot)^T$ 는 전치, $(\cdot)^*$ 췌적 계수를 나타내었다. k 번째 사용자의 n 번째 심볼은 $s_k(n)$ 이고, k 번째 사용자의 확산 부호열은

$$c_k = [c_k(0), c_k(1), \dots, c_k(L-1)]^T,$$

$c_k(l) \in \{-1, +1\}$ 로 표현된다. 선형 예측기의 연판정(soft decision) 출력에서 $y_k(n-\delta)$ 의 δ 는 복합적인 시스템 지연을 나타낸다. 위의 내용으로 다음과 같은 연속적인 시간 모델의 일반적인 표현식을 얻을 수 있다. 먼저, 확산 파형은 식(1)과 같이 표현된다.

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

그리고 k 번째 채널의 출력은

$$u_k(t) = \left[\sum_{n=-\infty}^{\infty} s_k(n) c_k(t-nT-\tau_k) \right] * h_k(t) \quad (2)$$

로 표현된다. 여기서 $*$ 는 선형 콘볼루션(linear convolution)이다. 칩 matched 필터의 입력단에서 수신 신호 $u(t)$ 는 다음과 같다.

$$u(t) = \sum_{k=1}^K u_k(t) + \hat{\nu}(t) \quad (3)$$

그리고 수신 신호 $u(t)$ 는 pulse-matched 필터링된 후 FIR 선형 필터, ω_k 에 입력된다. k 번째 사용자가 전송한 심볼을 추정하기 위한 FIR 선형필터는 N_f 의 차수를 갖는 벡터

$\omega_k = [\omega_k(0) \omega_k(1) \dots \omega_k(N_f-1)]^T$ 로 표현된다. 만약 일반적인 수신기에서 이 수신 신호 $u(t)$ 를 단일 사용자 검파의 방법으로 matched 필터 검파기와 같은 재래의 검파기를 이용하여 단순히 원하는 사용자를 역확산 코드의 파형으로 상관시키

고 비트율(bit rate)로 출력을 표본화한다면, 이 방법은 시스템에 있는 다른 사용자나 채널의 기능들은 전혀 고려하지 않았다는 것이다. 그러므로 시스템이 비동기일 경우나 페이딩(fading) 채널의 영향을 받을 경우, 본질적으로 서로 상관관계가 있는 확산 부호열에 전혀 강한 특성을 보이지 못하게 된다. 채널의 어떠한 영향이 없고 각 사용자의 전력이 동일한 비트 동기 시스템을 가정하면 그 시스템의 원하는 사용자 k 의 역확산 코드의 파형으로 상관된 출력은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} y_k &= \frac{1}{T} \int^T u(t) c_k(t) dt \\ &= \frac{1}{T} \int^T u_k(t) c_k(t) dt + \frac{1}{T} \int^T \sum_{i=1, i \neq k}^K u_i(t) c_k(t) dt + \hat{\nu}(t) \\ &= s_k + \sum_{i=1, i \neq k}^K \rho_{i,k} s_i + \hat{\nu}(t) \\ &= s_k + MAI_k + \hat{\nu}(t) \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $\rho_{i,k} = \frac{1}{T} \int^T c_i(t) c_k(t) dt$ 으로 표현되고 $i=k$ 일때 $\rho_{k,k}=1$, $i \neq k$ 일 때 $0 < \rho < 1$ 의 값을 서로 상관(cross-correlation)이고 $\hat{\nu}(t)$ 는 필터를 통과한 가산성 가우시안 잡음(AWGN)이다. 이때 서로 상관의 값이 크다면 MAI 부분이 검파기 출력을 좌우하게 될 것이다. 또한 MAI는 시스템에서 사용자 수에 따라 증가하게 되고 사용자들 사이의 전력의 편차에 따라 매우 쉽게 영향을 받을 수 있다. 원하는 사용자 보다 더 큰 전력을 갖은 사용자의 간섭은 MAI를 증가시키는 원인이 될 것이다. 다중 접속 간섭(Multiple Access Interference)은 비트 에러율(bit error rate)을 증가하게 만들 것이고 사용자를 수용할 수 있는 용량 역시 감소할 것이다. 이런 근거리-원거리 효과(near-far effect)에 대한 문제는 전력 제어(power control)에 의해서 극복될 수 있으나, 이런 제어는 송신기와 수신기 모두의 복잡성을 증가하게 만든다. 따라서 ISI와 MAI를 효과적으로 제거할 수 있는 방법으로 FIR 필터를 사용한 채널 등화에 대한 연구가 요구된다. 비동기 다중 사용자 검파를 위한 디지털 신호 처리에 적용하기 위해 비동기 시스템 모델을 유한한 이산 시간 모델로 발전시킬 수 있다. 이산 시간으로 표현될 수 있는 수신 벡터 $r(t)$ 을 유한한 관찰 시간으로 표현하는 것이 목표이다. 수신기에서 칩 간격으로 표본화되고 관찰 간격은 $2T$ 의 길이가 될 것이다. 단순화하기 위해 주기가 T_c 인 구형펄스로서 표본화한다고 가정한다. 이산 시간으로 수신된 표본신호는

$$r(t) = \int_{t-T_c}^{(t+1)T_c} u(\tau) d\tau \quad (5)$$

이고, n 번째 관찰 간격에 대한 표본신호의 벡터는

$$r(nL) = [r(nL), r(nL+1), \dots, r(nL+2L-1)]^T \quad (6)$$

이다. 여기서 $r(nL) = \sum_{k=1}^K r_k(nL)$ 즉, 사용자에게 대한 수신 벡터의 합으로 표현된다. 어떤 한 사용자의 심볼에 대한 동기는 이루어지지 않고 칩 동기만 이루어졌다고 가정하면, 각 사용자의 수신 벡터 $r_k(nL)$ 은 $b_{n-1,k}, b_{n,k}, b_{n+1,k}$ 로 분리된다. 여기서 $b_{n,k}$ 는 시간 n에서 k 번째 사용자의 비트이다. c_k 를 k 번째 사용자의 확산 부호열과 L 개의 0을 포함한 길이가 2L인 벡터로 놓자.

$$c_k = [c_{k(0)} c_{k(1)} c_{k(2)} \dots c_{k(L-1)} 0 0 \dots 0]^T \quad (7)$$

관찰간격 n에서 k번째 사용자의 수신 신호는

$$r_k(nL) = b_{n-1,k} v_k^{-1} + b_{n,k} v_k^0 + b_{n+1,k} v_k^1 \quad (8)$$

로 표현된다. 여기서,

$$v_k^{-1} = M_L^{-L-n_k} c_k, v_k^0 = M_R^{n_k} c_k, v_k^1 = M_R^{L+n_k} c_k$$

이고, L과 R이 각각 좌측과 우측으로 이동하는 차원의 길이를 나타낸다면, 길이 2N의 벡터에 작동하는 M_L 은 비순환 좌이동 작동기(acyclic left shift operator) 그리고 M_R 은 비순환 우이동 작동기(acyclic right shift operator)이다. 예를 들면 벡터 $x = [x_0, \dots, x_{2L-1}]^T$ 에 대해서

$$M_L X = [x_1, \dots, x_{2L-1}, 0]^T \text{ 그리고}$$

$$M_R^2 X = [x_2, \dots, x_{2L-1}, 0, 0]^T \text{가 된다. } n_k$$

는 관찰간격의 왼쪽에서부터 k 번째 사용자의 n 번째 비트의 첫 번째 칩까지를 표현하는 정수인 칩 지연을 의미한다. 결과적으로 k번째 사용자의 수신 벡터는 서로 다르게 변조된 세 벡터의 선형 조합으로 표현된다. k번째 사용자의 신호를 복조할 때 수신단에서 그 사용자에게 대해서 동기 포착(acquisition)이 되어야만 하는데 시간적으로 동기화가 이루어졌다고 가정을 하면 $(N_f + N_k - 1) \times R$ 의 차수를 갖는 확산 행렬 C_k 와 각 사용자에게 대한

$N_f \times (N_f + N_k - 1)$ 의 차원을 갖는 채널 행렬 H_k 를

이용하여 전체 수신 신호를 표현하면,

$$r(t) = \left[\sum_{k=1}^K H_k C_k^{n_k} s_k(n) \right] + v(t) \quad (9)$$

여기서,

$$H_k = \begin{bmatrix} h_k(0) & h_k(1) & \dots & h_k(N_k-1) & & \\ & h_k(0) & h_k(1) & \dots & h_k(N_k-1) & \\ & & h_k(0) & h_k(1) & \dots & h_k(N_k-1) \\ & & & & \ddots & \\ & & & & & c_k(Q-1+n_k) \end{bmatrix}$$

$R = \lceil (N_f + N_k - 1) / L \rceil$ ($\lceil \cdot \rceil$: ceiling operation), $Q = \lceil (N_f + N_k - 1) \text{ mod } L \rceil$ 은 C_k 행렬의 차원을 결정하는 요소이다.

III. 기존의 DS-CDMA 등화 기법

1. CMA(Constant Modulus Algorithm) 블라인드 등화 기법⁽⁶⁾⁽⁸⁾

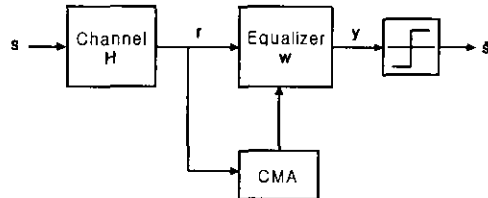


그림 2. 일반적인 CMA 등화 방식

CMA는 블라인드 알고리즘 중에 대표적인 알고리즘이다. 이 알고리즘은 다음과 같은 비용함수를 최소화시키는 steepest gradient decent 방식 중에 하나이다.

$$J = E\left(\frac{1}{4} (|y_k|^2 - 1)^2\right) \quad (10)$$

$$y_k(n) = \sum_{k=0}^{K-1} w_k(n) r_k(n) = w_k^T r_k \quad (11)$$

여기서, 전송 데이터의 Kurtosis로서 정의되는 $\Lambda = E[|s|^4] / E[|s|^2]^2$ 이고, y 는 가중치 w 의 연판정(soft decision) 출력이다. BPSK에서는 $\Lambda = 1$ 이다. CMA는 WGN(White Gaussian Noise)이 더해지는 채널에 강한 특성을 보이며, CMA에 대한 탭 갱신 방정식은 LMS(Least Mean Square) 알고리즘과 유사하게 표현될 수 있다.

$$w_{k+1} = w_k - \mu r_k y_k (|y_k|^2 - \Lambda^2) \quad (12)$$

여기서, μ 는 step size이다. CMA 비용함수의 특징 중 하나는 획득할 수 있는 최소값이 하나 이상일 수 있는 다중모드(multi-mode)라는 것이다.^[11] 단일 사용자인 경우에서 이런 최소값들은 신호 지연(delay)의 차와 변조된 신호의 극성의 차이 때문에 나타나는데 잡음과 채널특성에 따라 이런 최소값들의 depth는 크게 변할 수 있다. 다중 사용자인 경우에서는 신호 지연의 차와 변조된 신호의 극성의 문제에 대해 단일 사용자인 경우보다 영향을 더 많이 받게되어 더 심각한 문제가 발생하게 된다. 그러므로 각 사용자들의 신호들의 전력제어가 잘 안되거나 근거리-원거리 효과(near-far effect)가 심하게 나타날 경우 전력이 약한 사용자들은 수렴 영역이 작아져 ill-convergence의 위험성이 증가하기 때문에 이 문제를 해결하기 위하여 수렴영역은 수신된 데이터들의 자기 상관행렬의 고유치에 비례한다는 성질을 이용하여 전력이 약한 사용자의 ill-convergence 문제를 연구한 CMA 방식도 연구가 수행되었다.^[9]

2. Normalized Constant Modulus Algorithm(CMA)^{[12][13]}

Normalized Constant Modulus Algorithm (NCMA)은 CMA의 각 iteration에서 a posteriori error를 식 (13)와 같이 함으로서 유도된다.

$$e_k = |r_k^H w_{k+1}|^2 - \Lambda = 0, \quad \text{for all } k = 1, 2, \dots \quad (13)$$

따라서 NCMA 알고리즘들은 식 (13)과 같은 형태를 갖는다.

$$w_{k+1} = w_k - \frac{1}{\|r_k\|^2} r_k y_k (1 - \frac{1}{|y_k|}) \quad (14)$$

여기서 $\|\cdot\|$ 은 euclidean space vector의 2-norm

을 나타내고, Normalized CMA는 식 (15)의 deterministic criterion을 최소화함으로써 유도된다.

$$\min_{w_{k+1}} \left(\frac{1}{\|r_k\|^2} |r_k^H w_{k+1} - \text{sign}(r_k^H w_k)|^2 + (\frac{1}{\mu} - 1) \|w_{k+1} - w_k\|^2 \right) \quad (15)$$

단, sign 함수는 $\text{sign}(z) = \text{sign}(e^{j\theta}) = e^{j\theta}$ 이고, 식 (15)의 알고리즘을 최소화함으로써 식 (16)에 이르게 된다.

$$w_{k+1} = w_k - \frac{\mu}{\|r_k\|^2} r_k y_k (1 - \frac{1}{|y_k|}) \quad (16)$$

μ 는 알고리즘의 수렴 속도를 결정하는 step size 이고, $\mu \in (0, 2)$ 의 모든 값에 대해 안정된 값을 갖는다. 또한 $\mu = 1$ 일 때 maximum convergence speed를 가지고, CMA와 NCMA의 관계는 LMS와 NLMS의 관계와 유사하다. 이것은 NCMA는 CMA와 비교할 때 더 빠른 수렴 속도를 가지며, $\mu \in (0, 2)$ 의 범위에서 안정된 동작을 하기 때문에 big step size에서도 ill-convergence 상태를 방지할 수 있지만, CMA는 이 μ 값을 주의깊게 선택할 필요가 있다. 하지만 이 NCMA는 step size μ 값이 너무 크게 되는 경우가 종종 발생하게 되고, 이 때문에 알고리즘이 수렴하지 못하는 경우가 발생한다.^{[8][14]} 또한 비동기 CDMA System 환경에서 채널의 길이가 증가하고, Cell내의 User의 수가 증가할 경우에는 채널의 변동에 적절한 응답을 하지 못하고 System의 성능을 감소시켜 CMA 보다도 성능이 감소되는 현상이 발생한다.

IV. 제안한 Modified Normalized CMA

본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 μ 의 값이 일정한 임계치(threshold)를 초과한 경우 다시 적절한 초기화를 수행하고, 채널의 변동에 따라 update 되는 변형된 탭 갱신 방정식을 변화시키는 방법을 이용하여 비동기 CDMA 시스템 환경에서도 안정된 동작과 수렴을 하는 새로운 Modified Normalized CMA 등화 방식을 제안한다. 그림 2는 본 논문에서 제안한 Modified NCMA 방식을 이용한 등화기 구조를 나타낸다.

우선 식 (12)과 (13)을 이용하면 좀더 일반적으로 사용되는 2-2 CMA의 탭 갱신 방정식을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

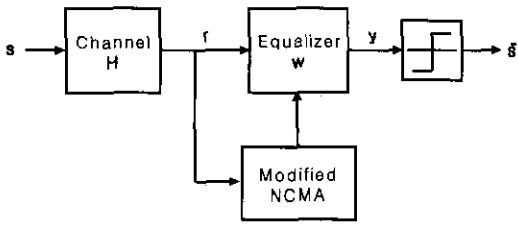


그림 3. 제안한 Modified NCMA

$$|r_k^i w_{k+1}| = A^2 \quad (17)$$

$$w_{k+1} = w_k - \mu y_k (|y_k|^2 - A^2) r_k^* \quad (18)$$

$$= w_k - \mu \Omega r_k^*$$

여기서

$$\Omega = y_k^* (|y_k|^2 - A^2) \quad (19)$$

Ω 은 비용함수(cost function)를 나타내고, μ 는 수신 신호 벡터 r_k 에 대해 desired modulus 값을 얻기 위해 갱신된다. 식 (17)과 식(18)을 이용하여 다시 정리하면 식 (20)과 같이 μ 에 대한 2차 방정식의 형태로 표현된다.

$$|\Omega|^2 \|r_k\|^4 \mu^2 - 2y_k^* \Omega \|r_k\|^2 \mu + |y_k|^2 - A^2 = 0. \quad (20)$$

$$y_k^* \Omega = |y_k|^2 (|y_k|^2 - A^2) \quad (21)$$

식 (21)의 비용함수는 항상 실수값을 갖는다는 것을 나타내며, 이 식을 μ 에 대해 정리하면 식(22)와 같다.

$$\mu = \frac{y_k^* \Omega \pm A|\Omega|}{|\Omega|^2 \|r_k\|^2}. \quad (22)$$

식 (22)을 2-2 CMA에 적용하기 위해 가장 작은 non-negative solution의 형태로 정리하면 식 (23)과 같다.

$$\mu_{\min} = \frac{|y_k|^2 - A|y_k|}{|y_k|^2 (|y_k|^2 - A^2) \|r_k\|^2}. \quad (23)$$

이 식의 NCMA 비용함수는 CMA보다 더 작은 μ 값을 갖게되고, signal vector energy $\|r_k\|^2$ 은 Normalized LMS 알고리즘처럼 반복적으로 계산하게 된다. 하지만 입력되는 수신 vector에 따라 가변되는 μ 값은 종종 너무 커지는 현상이 발생하고, 이 때문에 알고리즘이 수렴하지 못하고 시스템의 성능

을 감소시키는 현상이 발생한다. 이러한 NCMA의 문제점을 개선하고자 첫째로 μ 의 임계치를 설정하여 변화시키고, 임계치를 초과하면 다시 초기값으로 가변시키는 방법을 이용하여 μ 의 값이 너무 커지는 현상을 방지할 수 있다. 하지만 μ 의 임계치를 너무 작게 설정하면 multipath 다중 사용자 환경에 적합하지 않기 때문에 가능한 임계치를 크게 설정하는 것이 좋으나 수렴 확률이 적어지고 안정성에 문제가 발생하므로 적절한 값을 선택하는 것이 좋다. 본 논문에서는 다중 사용자 환경에서 변화되는 채널 환경에 적응하기 위해 임계치($\mu = 1$)를 적용하였다. 두 번째로 등화기 탭 갱신 방정식을 유도하기 위해 식 (11)과 식(19)을 고려한다.

$$y_k = w_k^i r_k \quad (24)$$

$$e_k = (|y_k|^2 - A^2) y_k \quad (25)$$

또한 식 (18), (19), (21) 그리고 (23)을 이용하여 등화기 탭 갱신 방정식에 대해 정리하면 식 (28)과 같다.

$$w_{k+1} = w_k - \mu y_k (|y_k|^2 - A^2) r_k \quad (26)$$

$$w_{k+1} = w_k - y_k \frac{(|y_k|^2 - A|y_k|) \cdot (|y_k|^2 - A^2)}{|y_k|^2 (|y_k|^2 - A^2) \|r_k\|^2} r_k \quad (27)$$

$$= w_k - \left(\frac{y_k}{|y_k|} \right) \cdot \frac{|y_k|^3 - A|y_k|^2 - A^2|y_k| + A^3}{(|y_k|^2 - A^2) \|r_k\|^2} r_k \quad (28)$$

식 (28)에서 $\frac{y_k}{|y_k|}$ 을 고려하고 BPSK 시스템 환경을 가정하면, Modified NCMA 등화기 탭 갱신 방정식을 식 (29)와 식 (30)처럼 유도할 수 있다.

$$w_{k+1} = w_k - \frac{|y_k|^3 - A|y_k|^2 - A^2|y_k| + A^3}{(|y_k|^2 - A^2) \|r_k\|^2} r_k, \quad (29)$$

for $y_k > 0$

$$w_{k+1} = w_k - \left(\frac{y_k}{|y_k|} \right) \cdot \frac{|y_k|^3 - A|y_k|^2 - A^2|y_k| + A^3}{(|y_k|^2 - A^2) \|r_k\|^2} r_k, \quad (30)$$

for $y_k \leq 0$

위 식을 이용하여 등화를 하면 기존의 NCMA 알고리즘에서 μ 값이 너무 증가하여 발생하는 ill-convergence에 대한 영향을 감소시킬 수 있기 때문에 예측오차에 대한 영향이 필터 계수 전체에 영향을 주어 안정된 수렴 확률과 수렴 속도에 좋은 성

능을 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 위에서 제안한 Modified NCMA 등화 방식을 모의실험을 통해 비동기 CDMA 환경에 적용하여 성능을 평가하고 분석한다.

V. 모의 실험

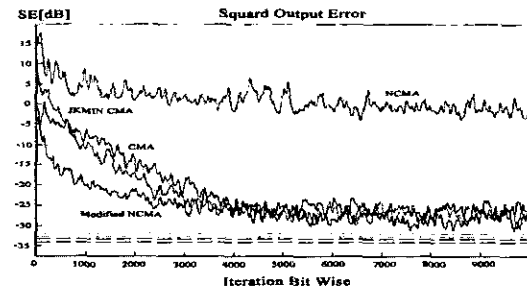
본 논문에서 제안한 Modified NCMA 방식을 이용한 비동기 DS-CDMA 등화 기법의 성능을 모의 실험을 통해 분석한다. 실험 환경은 각 셀 내에 10, 15, 25명의 사용자가 존재하고 각 사용자의 신호는 서로 다른 채널을 임의로 발생시켜 통과하고 채널의 차수와 등화기 필터의 차수를 각각 10과 62로 하였다. 각 사용자들의 확산 코드는 31과 127칩의 non-orthogonal 특성을 갖는 gold 코드를 사용하였다. 그리고 비동기 DS-CDMA 시스템 환경이므로 각 사용자들 간의 시간 지연은 $[0, 127T_c]$ 값 중에 임의의 값을 사용하였다. 사용자들의 신호는 BPSK 신호를 발생하여 사용하였다. CMA와 JKMIN CMA 방식의 μ 는 5×10^{-4} 로 고정된 값을 사용하였으며, NCMA 방식에서 μ 의 초기값은 5×10^{-4} 값을 사용하고 iteration 수에 따라 가변되도록 하였다. 제안한 Modified NCMA 방식의 μ 는 초기값으로 5×10^{-4} 를 사용하고, μ 의 임계치는 다중 사용자 환경에서 변화되는 채널 환경에서 실험적으로 안정된 특성을 나타내는 $\mu=1$ 의 값을 적용하였다. 또한 등화기 탭 갱신 방정식은 식 (29)와 식 (30)에 따라 가변 되도록 하였다. 10000개의 심볼을 사용하였고 SNR은 30dB이다. 비동기 DS-CDMA 시스템의 성능 파라미터는 표 1에 의해 적용하고, 기존의 방식과 제안한 방식을 이용하여 각 사용자들의 수에 따라 자승 오차(SE : Squared Error) 및 Eye Pattern을 통해 성능을 비교하였다.

그림 4~6까지는 Cell 내의 사용자 수를 증가 할 경우 자승오차의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 일반적인 등화 방식에 비해 제안한 Modified NCMA 방식은 수렴 확률과 자승오차가 다른 방식에 비해 확실히 개선됨을 확인할 수 있다. gold code의 spreading gain 31과 127에 대해 cell 내의 사용자가 10명일 때 자승오차의 개선은 약 17dB 정도이고, 사용자가 15, 25명으로 증가하면서 자승오차의 개선은 각각 20dB, 15dB 정도로 전체 평균 자승오차의 개선도는 약 17.3dB 정도이다. 또한 그림 7~12에서 알 수 있듯이 마지막 500 심볼

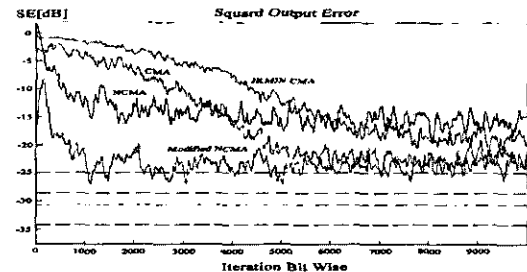
에 대한 eye pattern은 cell 내의 사용자 수가 증가 할수록 NCMA는 성능이 감소하지만 제안한 Modified NCMA 방식은 성능감소가 별로 발생하지 않음을 알 수 있다. 따라서 신뢰성 있는 통화품질을 보장하기 위해서 NCMA는 사용자 수를 감소할 수 밖에 없으나, 제안한 Modified NCMA 방식을 이용하여 등화를 하면, cell 내의 사용자 수의 영향을 덜 받아 통화품질이 우수해지고 사용자수를 증가시킬 수 있을 것으로 기대된다.

표 1. 비동기 DS-CDMA 시스템 환경의 자승 오차 Parameter Set

Parameter	Value
In Cell User	10, 15, 25
Channel Length	10
Equalizer Length	62
Spreading Gain	31, 127
Simulation Length	10000
SNR	30
Using Codes	Gold
Equalizer Type	BSE
Timing	Chip Asynchronous
In Cell Max Delay	1

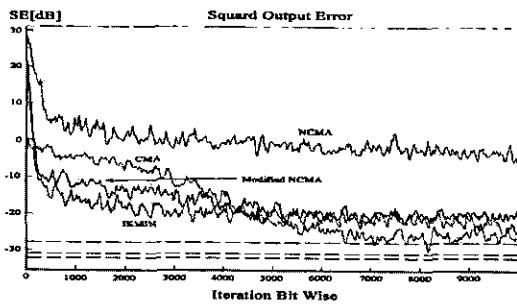


(a) Spreading Gain 31

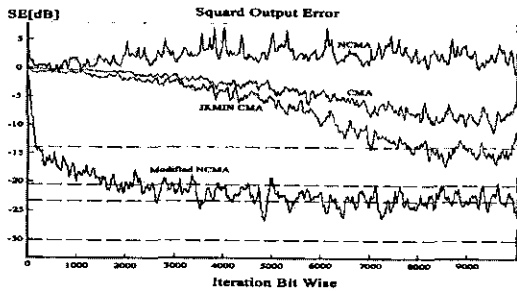


(b) Spreading Gain 127

그림 4. 사용자 수가 10명일 때 제안한 Modified NCMA와 일반적인 등화 방식들과의 자승오차 비교

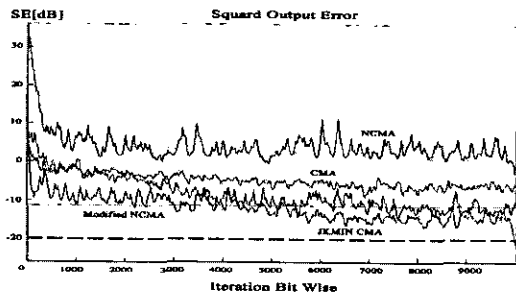


(a) Spreading Gain 31

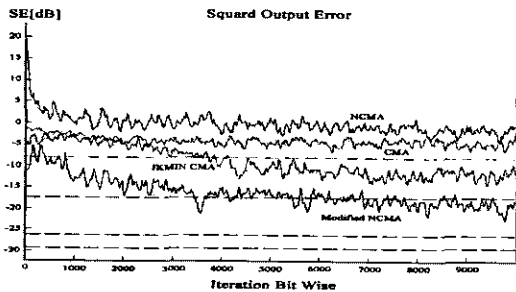


(b) Spreading Gain 127

그림 5. 사용자 수가 15명일 때 제안한 Modified NCMA와 일반적인 등화 방식들과의 자승오차 비교

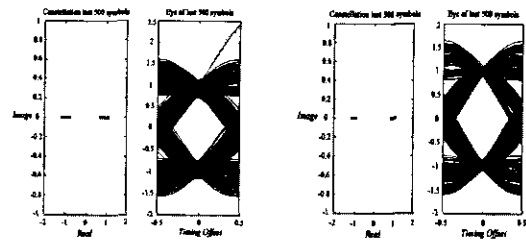


(a) Spreading Gain 31



(b) Spreading Gain 127

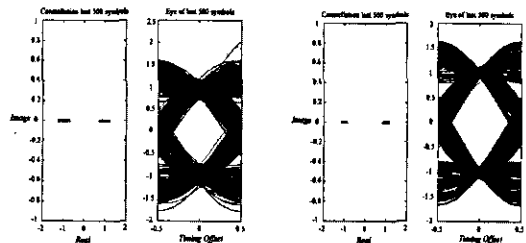
그림 6. 사용자 수가 25명일 때 제안한 Modified NCMA와 일반적인 등화 방식들과의 자승오차 비교



(a) NCMA

(b) Modified NCMA

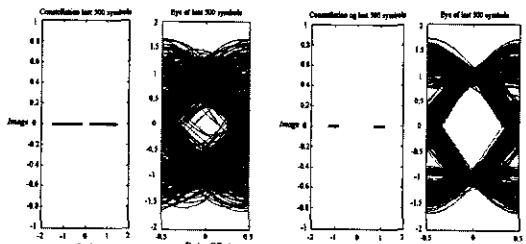
그림 7. 마지막 500 심볼에 대해 사용자 수가 10명 일 때 제안한 Modified NCMA와 NCMA 등화 방식과의 eye pattern(spreading gain 31)



(a) NCMA

(b) Modified NCMA

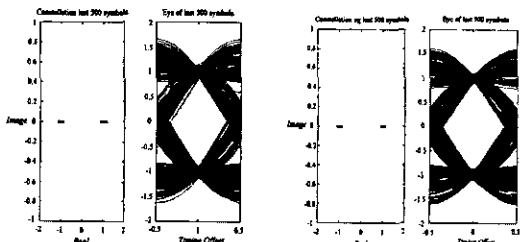
그림 8. 마지막 500 심볼에 대해 사용자 수가 15명 일 때 제안한 Modified NCMA와 NCMA 등화 방식과의 eye pattern(spreading gain 31)



(a) NCMA

(b) Modified NCMA

그림 9. 마지막 500 심볼에 대해 사용자 수가 25명 일 때 제안한 Modified NCMA와 NCMA 등화 방식과의 eye pattern(spreading gain 31)



(a) NCMA

(b) Modified NCMA

그림 10. 마지막 500 심볼에 대해 사용자 수가 10명 일 때 제안한 Modified NCMA와 NCMA 등화 방식과의 eye pattern(spreading gain 127)

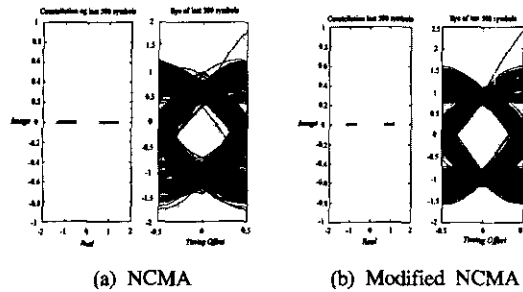


그림 11. 마지막 500 심볼에 대해 사용자 수가 15명 일 때 제안한 Modified NCMA와 NCMA 등화 방식과의 eye pattern(spreading gain 127)

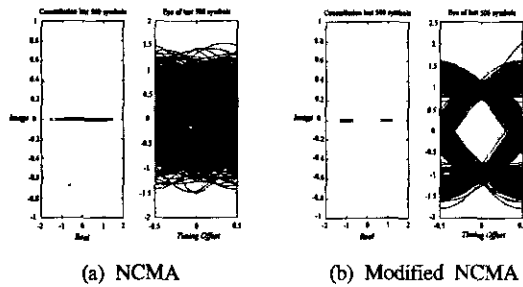


그림 12. 마지막 500 심볼에 대해 사용자 수가 25명 일 때 제안한 Modified NCMA와 NCMA 등화 방식과의 eye pattern(spreading gain 127)

VI. 결론

본 논문에서는 NCMA의 단점을 보완하여 μ 의 값이 일정한 임계치(threshold)를 초과한 경우 다시 적절한 초기화를 수행하고, 채널의 변동에 따라 update 되는 탭 갱신 방식식(weight function)을 유도하여 비동기 DS-CDMA 시스템 환경에서도 안정된 수렴을 하는 새로운 Modified NCMA 등화 방식을 제안하였다. 제안한 방식을 이용하여 등화를 하면 사용자 수와 spreading gain의 값에 큰 영향을 받지 않고 안정된 수렴 특성을 나타내기 때문에 기존의 NCMA에서 μ 값이 너무 증가하여 발생하는 ill-convergence에 대한 영향을 최소화 할 수 있다. 따라서 단순하면서도 성능이 좋은 기존의 등화 구조를 그대로 사용할 수 있으며 안정된 수렴 확률과 수렴 속도에 좋은 성능을 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 앞으로의 연구 과제는 비동기 CDMA 환경에서 QAM등의 보다 다양한 신호들에 대한 성능 분석과 함께 채널의 특성에 따라 등화 방식을 가변 적용할 수 있는 알고리즘에 대한 연구가 이루어져야 한다.

참고 문헌

- [1] T. K. Kashihara, "Adaptive Cancellation of Mutual Interference in Spread Spectrum Multiple Access," Proc. IEEE ICC, pp. 44.4.1-44.4.5, 1980.
- [2] D. H. Woo, T. S. Yoon and Y. S. Byun, "A Study on Blind Adaptive Receiver for DS-CDMA," IEICE Trans., Vol. E83-A, No.6, pp. 1168-1174, June 2000.
- [3] R. Kohno, H. Lmai, and M. Hatori, "Cancellation Technique of Co-channel Interference in Asynchronous Spread Spectrum Multiple Access Systems," IEICE Trans., Vol. J66-A, No.5, pp. 416-423, May 1983.
- [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] Y. Sato, "A Method of Self-Recovering Equalization for Multilevel Amplitude Modulation System", IEEE Trans. Comm. Vol. COM-23, pp. 679-682, June. 1975.
- [6] J. R. Treichler and B. G. Agee, "A New Approach to Multipath Correction of Constant Modulus Signals", IEEE Trans. on ASSP. Vol. 31. No.2, pp. 459-471, Apr. 1983.
- [7] C. B. Paradias and D. T. M. Slock, "A Normalized Sliding Window Constant Modulus Algorithm for Blind Equalization," 14th GRETSI Symposium on Signal and Image Processing, Juan Les Pins, France, pp. 507-510, Sept. 1993.
- [8] D. T. M. Slock, "On the Convergence of Normalized Constant Modulus Algorithms for Blind Equalization," Proc. DSP International Conference on Digital Signal Processing, Nicosia, Cyprus, pp. 245-250, July, 1993.
- [9] 민장기, 박노진, 강철호 "비동기 DS-CDMA 시스템에서 채널 등화에 관한 연구", 한국통신학회 논문지, Vol.25, pp 1760-1768. 2000.
- [10] P. Schniter and C.R. Jhonson Jr., "Minimum-Entropy Blind Acquisition /Equalization for Uplink DS-CDMA," in Proc. of the 36th

- Allerton Conference on Communication, Control, and Computing, Sept. 98.
- [11] 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.
- [12] K. Hilal and P. Duhamel, "A Convergence Study of the Constant Modulus Algorithm Leading to a Normalized-CMA and a Block-Normalized-CMA," Proc. EUSIPCO 92, VIth European Signal Processing Conference, pp. 135-138, Brussels, Belgium, Aug. 1992.
- [13] D. T. M. Slock, "On the Convergence Behaviour of the LMS and the NLMS Algorithms," To appear, IEEE Trans. Signal Processing, Vol. 41, pp. 2811-2825, Sept. 1993.
- [14] D. L. Jones, "A Normalized Constant Modulus Algorithm," IEEE Proc. 29th Asilomar Conf. Signals, Syst., Comput., Pacific Grove, CA, vol. 1, pp. 694-697, Nov. 1996.

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

강 철 호(Chul-ho Kang)

정회원



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

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