

초기 수렴 검출 기능을 갖는 동시 MCMA-DD 등화기

김철민^{*} · 최익현^{**} · 오길남^{*} · 최수철^{**}

^{*}광주대학교 정보통신학과 · ^{**}광주대학교 전자공학과

A Concurrent MCMA-DD Equalizer with Initial Convergence Detection

Chul Min Kim^{*} · Ik Hyun Choi^{**} · Kil Nam Oh^{*} · Soo Chul Choi^{**}

^{*}Dept. of Information & Communications, Gwangju University

^{**}Dept. of Electronic Engineering, Gwangju University

E-mail: femini76@hotmail.com

요 약

CMA-DD기법은 CMA의 정상상태 성능개선을 위해 제안되었으며, 모드간 전환시점에 따라 성능이 결정된다. CMA-DD의 문제점을 개선하기 위해 Castro등은 동시 등화기를 제안하여 모드 전환시점에 따른 성능의 민감성을 완화시켰다. 그러나 동시 동작 알고리즘은 등화기가 완전히 수렴에 도달한 후에도 동시 동작을 계속한다는 문제점을 갖는다. 동시 동작 알고리즘을 개선하기 위해 본 논문에서는 변형된 CMA(Modified CMA)와 DD모드를 결합한 동시 MCMA-DD 등화기를 제안한다. 제안한 등화기는 기존의 기법보다 수렴속도와 정상상태의 성능이 개선되었다. 또한 두 모드의 전환 시점을 등화기 출력에 잔류하는 심볼간 간섭 양을 이용하여 최적의 전환 시점을 결정하였다.

ABSTRACT

CMA-DD is proposed to improve the steady-state performance of CMA and its performance is depending on switching time between two modes of operation. Castro et al. who proposed a concurrent equalizer for solving problem of CMA-DD, which reduced the sensibility of switching time. However, concurrent algorithm has a problem that it keeps working after convergence. In this paper, we propose concurrent MCMA-DD equalizer combined modified CMA(MCMA) and DD mode for making better concurrent algorithm. The proposed equalizer is better than previous algorithm in convergence speed and steady-state performance. Also, the proposed algorithm decides optimum switching time using residual ISI of the equalizer output.

키워드

동시 등화기, 동시 블라인드 등화, MCMA, 초기수렴검출

1. 서 론

CMA[1]는 블라인드 등화에 널리 사용되고 있는 알고리즘으로, 수신된 신호가 심볼간 간섭으로 인해 일정 진폭을 가지지 못했을 때 일정한 값이 되게 하여 채널왜곡을 등화한다는 개념에서 비롯되었다. CMA는 정상상태에서 잔류하는 평균 제곱 오차(mean squared error : MSE)가 충분히 작아지지 않는 단점이 있다. CMA의 정상상태에서의 성능을 개선하기 위해 일단 수렴한 이후에는 판정여거(decision-directed : DD)알고리즘으로 전환하는 방법이 사용된다. CMA-DD에서 CMA가 충분히 수렴하지 않은 상태에서 DD모드로 전환시 등화기의 발산을 초래하기 때문에 모드간에 전환시점에 따라 성능이

결정되며, 이 시점을 경험적으로 적용해야 하는 단점이 있다.

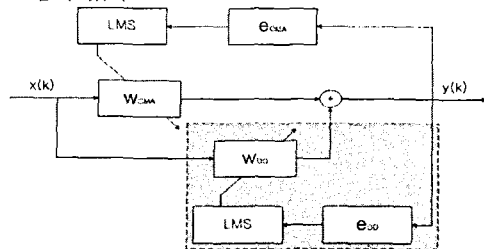


그림 1. 동시 CMA-DD 등화기 구조

그림 1.에서 보인 바와 같이, Castro[2]등이 제

안한 동시 등화기에서는 비용 함수가 CMA에 의해 최적화되는 부분과 DD에 의해 최적화 되는 두 부분으로 이루어지며, 이때 DD에 의한 탭 계수 갱신의 여부를 제어하는 것이 알고리즘의 핵심이다. 동시 동작에 의해 CMA의 다이내믹한 블라인드 수렴 특성과 DD의 우수한 정상상태 특성을 결합하였다. 결과적으로, 동시 알고리즘은 CMA의 블라인드 수렴 특성을 저해하지 않으면서 CMA의 정상상태 특성을 개선하였고, CMA-DD방식이 갖는 전환 시점에 따른 성능의 민감성을 완화하였다.

한편, Chen[3]등이 제안한 동시 등화 기법에서는 경판정(hard decision)을 사용한 대신 연판정(soft decision)을 적용한 점이 다르다. 그러나 앞에서 기술한 두 동시 알고리즘은 공통적으로 등화기가 완전히 수렴에 도달한 후에도 동시 동작을 계속한다는 문제점을 갖는다. 이는 불필요할 뿐만 아니라, 수렴속도를 저하시키고 정상상태 특성을 저해한다.

본 논문에서는 동시 등화기(동시 CMA-DD, 동시 CMA-SDD)가 공통적으로 갖는 문제점을 해결하기 위해, 초기 수렴을 검출하여 동시 동작을 중지함으로써 결과적으로 정상상태 특성을 더욱 개선할 수 있는, 초기 수렴 검출 기능을 갖는 동시 MCMA-DD 등화기를 제안한다. II장에서 동시 CMA-DD와 MCMA에 대해 간단히 소개하고, III장에서는 제안 알고리즘인 동시 MCMA-DD등화기를 소개하며, IV장에서는 모의 실험 결과를 고찰한 후, V장에서는 결론을 맺는다.

II. 동시 CMA-DD, MCMA

Castro[2]등이 제안한 동시 CMA-DD의 비용 함수는 아래와 같다.

$$J = J_C + J_D \quad (1)$$

여기서 J_C 는 CMA의 비용함수이고 J_D 는 DD의 비용함수로 다음으로 정의된다.

$$J_C = E[(|y(k)|^2 - R_2)^2] \quad (2)$$

$$J_D = E[|y(k) - \hat{a}(k)|^2] \quad (3)$$

CMA의 비용함수 중 R_2 는 정상상태를 고려하여 결정되는 상수이며 DD에서 $\hat{a}(k)$ 는 임계 판정 장치에 의한 송신 데이터 심벌 $a(k)$ 에 대한 추정값으로 각각 다음으로 나타낸다.

$$R_2 = \frac{E[|a(k)|^4]}{E[|a(k)|^2]} \quad (4)$$

$$\hat{a}(k) = \text{dec}(y(k)) \quad (5)$$

동시 CMA-DD 알고리즘에서 등화기를 최적화하기 위한 탭 계수 갱신식은 아래와 같다.

$$w = w_C + w_D \quad (6)$$

여기서 w_C 와 w_D 는 각각 CMA와 DD에 의해 갱

신되는 탭 계수로 LMS 알고리즘에 의해 개별적으로 갱신하게 된다. CMA의 탭 계수 갱신식은

$$w_C(k+1) = w_C(k) - \mu_C e_C(k) X^*(k) \quad (7)$$

이며, 여기서 μ_C 는 수렴속도를 결정하는 스텝사이즈 파라미터이고, $X^*(k)$ 는 수신 심벌 벡터 $X(k)$ 의 공액 복소수를 나타내며, 오차 신호 e_C 는 아래로 유도된다.

$$e_C(k) = y(k) (|y(k)|^2 - R_2) \quad (8)$$

k 번째 샘플에서 등화기 출력은 다음으로 된다.

$$y(k) = X^T(k) w_C(k) + X^T(k) w_D(k) \quad (9)$$

w_C 가 갱신된 후의 등화기 출력은 다음과 같다.

$$\tilde{y}(k) = X^T(k+1) w_C(k) + X^T(k) w_D(k) \quad (10)$$

CMA가 갱신되면 곧 바로 w_D 가 DD에 의해 갱신되며 다음 식에 따라 이루어진다.

$$w_D(k+1) = w_D(k) - \text{flag}(k) \mu_D e_D(k) X^*(k) \quad (11)$$

$\text{flag}(k)$ 는 탭 계수의 갱신 여부를 결정하는 플래그이며 $e_D(k)$ 는 오차신호로 아래처럼 주어진다.

$$\text{flag}(k) = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{dec}(\tilde{y}(k)) = \text{dec}(y(k)) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

$$e_D(k) = y(k) - \text{dec}(y(k)) \quad (13)$$

결국 w_D 는 w_C 의 갱신 전과 갱신 후의 등화기 출력이 서로 동일할 때에 한해서 갱신이 이루어진다.

한편, 등화와 동시에 위상복원을 수행하기 위해 변형된 CMA(Modified CMA : MCMA)[4][5]가 제안되었고, CMA의 비용함수를 아래처럼 변형했다.

$$J(k) = J_R(k) + J_I(k) \quad (14)$$

$$J_R(k) = E[|y_R(k)|^2 - R_{2,R}] \quad (15)$$

$$J_I(k) = E[|y_I(k)|^2 - R_{2,I}] \quad (16)$$

여기서 $J_R(k)$ 는 비용함수의 실수성분이며, $J_I(k)$ 는 허수성분이다. 이것은 각각 등화기 출력 $y(k) = y_R(k) + jy_I(k)$ 의 실수 및 허수 성분에 대한 비용함수이며 CMA의 비용함수와 유사한 형태로 아래와 같이 정의된다.

$$R_{2,R}(k) = \frac{E[|a_R(k)|^4]}{E[|a_R(k)|^2]} \quad (17)$$

$$R_{2,I}(k) = \frac{E[|a_I(k)|^4]}{E[|a_I(k)|^2]} \quad (18)$$

등화기를 최적화하기 위해 LMS알고리즘을 적용하여 식(14)의 비용함수를 최소로 하도록 하면, 탭 계수 갱신식은

$$w(k+1) = w(k) - \mu \cdot \hat{\nabla} J(k) \quad (19)$$

$$= w(k) - \mu \cdot e(k) \cdot X^*(k)$$

가 되며, 여기서 오차신호 $e_{MCMA}(k)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$e_{MCMA}(k) = e_R(k) + je_I(k) \quad (20)$$

$$e_R(k) = y_R(k)(|y_R(k)|^2 - R_{2,R}) \quad (21)$$

$$e_I(k) = y_I(k)(|y_I(k)|^2 - R_{2,I}) \quad (22)$$

변형된 CMA의 비용함수는 등화기 출력을 실수 및 허수 성분으로 분리하고, 각각에 대해 오차를 추정한다. 정상상태에서 $e(k) = 0$ 으로 가정하면,

$$y_R^2(k) - R_{2,R} = 0 \quad (23)$$

$$y_I^2(k) - R_{2,I} = 0 \quad (24)$$

이므로,

$$y_R = \pm \sqrt{R_{2,R}} \quad (25)$$

$$y_I = \pm \sqrt{R_{2,I}} \quad (26)$$

를 얻는다. 따라서 등화기 출력의 실수 성분을 원주 상의 임의의 점이 아닌 실수 축상의 $+\sqrt{R_{2,R}}$ 또는 $-\sqrt{R_{2,R}}$ 점에 놓이게 하고, 허수 성분 역시 허수 축상의 $+\sqrt{R_{2,I}}$ 또는 $-\sqrt{R_{2,I}}$ 점에 놓이게 한다.

III. 제안 알고리즘

본 논문에서는 동시 등화기가 공통적으로 가지고 있는 문제점을 해결하기 위해, 초기 수렴을 검출하여 동시 동작을 중지함으로써 정상상태 특성을 더욱 개선할 수 있는 초기 수렴 검출 기능을 갖는 동시 MCMA-DD 등화기를 제안한다.

제안 알고리즘의 비용함수는 아래와 같다.

$$J = J_{MCMA} + J_D \quad (27)$$

J_{MCMA} 는 MCMA의 비용함수이며, J_D 는 DD의 비용함수이다. MCMA와 DD의 비용함수는 각각 (3)과(14)에 정의하였고 아래는 제안 알고리즘의 탭 계수 갱신식이다.

$$w = w_{MCMA} + w_D \quad (28)$$

DD알고리즘의 오차신호는 실수축과 허수축으로 나누어 연산하며 오차신호는 다음처럼 정의된다.

$$e_R(k) = y_R(k) - \text{dec}(y_R(k)) \quad (29)$$

$$e_I(k) = y_I(k) - \text{dec}(y_I(k)) \quad (30)$$

여기서 $\text{dec}(\cdot)$ 는 판정의거 알고리즘에 의한 심벌추정이다. 눈 모형이 닫혀있는 등화초기에는 동시 동작으로 오차신호를 추정한다. 제안한 동시 MCMA-DD 등화기에서는 CMA의 다이내믹한 블라인드 수렴 특성을 가지면서 정상상태 특성을 개선한, 변형된 CMA를 적용함으로써, 더욱 개선된 초기 블라인드 수렴 특성을 가질 뿐만 아니라, 정상상태에서의 오차 레벨을 더욱 개선하기 위해, 등화기의 수렴을 검출하여 등화기가 초기 수렴한 이후에는 MCMA알고리즘의 동작을 중지하고 DD알고리즘으로만 동작하도록 하였다.

이처럼 동시 동작모드에서 DD알고리즘으로 전환하기 위해서는 초기 수렴 검출이 요구된다. 초기 수렴 검출을 위해 등화기 출력에 잔류하는 심벌간 간섭 양을 이용하였고, ISI값의 급격한 변동을 완화시키기 위해 L심벌 길이의 블록 단위로 ISI의 변화를 계산하였다. ISI값의 증가값과 감소값을 관찰하여 증가시 inc의 값을 1씩 증가시키고, 감소시 dec의 값을 1씩 증가시킨다. 결국 감소치와 증가치의 차(dec-inc)가 L구간의 최종 값이 되며, 다음 L구간 동안의 값을 서로 비교하여, 모드간 전환시점을 자동으로 결정되게 하였다. 제안 알고리즘에서는 이러한 방법으로 초기 수렴 검출 기법을 고안·적용하였기 때문에 동시 등화기 동작으로부터 비 동시 등화기 동작으로 전환하는데 필요한 ISI 값의 최적한 임계레벨을 자동으로 설정하는 기능을 가진다.

IV. 실험 결과

제안한 알고리즘의 성능을 모의실험을 통해 확인했으며, 성능 비교를 위해 CMA 및 동시 CMA-DD와 비교하였다. 16-QAM, 64-QAM, 256-QAM을 사용하였으며, 16-QAM과 64-QAM에서 22-탭 지연 라인 채널 모델[6]을 이용하였고 256-QAM은 6-탭 지연 라인 채널 모델[7]을 적용하였다. 16-QAM 신호점에 신호 대 잡음비 $E_b/N_0 = 15\text{dB}$, 64-QAM과 256-QAM에는 $E_b/N_0 = 30\text{dB}$ 를 적용했다. 성능 비교 기준으로는 등화된 신호에 잔류하는 심벌간 간섭 양을 사용하였으며, 등화기 길이는 16-QAM과 64-QAM에 23을 256-QAM에는 12를 적용하였다. 그림에 나타낸 학습 곡선은 100회의 독립적인 수행으로부터 구한 잔류 ISI를 앙상블 평균한 것이다.

그림 2는 16-QAM에 대한 각 알고리즘들의 학습곡선이다. 제안 알고리즘은 두 알고리즘들과 유사한 수렴속도를 보이고 있으나 정상상태에서의 성능이 우수한 면을 보이고 있다.

그림 3은 64-QAM에 대한 실험 결과를 나타냈다. 제안 알고리즘이 동시 CMA-DD방식에 비해 초기수렴속도 및 정상상태의 성능이 개선된 것으로 나타났다.

그림 4는 256-QAM에 대한 실험결과를 나타내었다. 동시 CMA-DD는 정상상태에서 동시 동작모드로 계속 동작하므로 초기수렴특성 및 정상상태의 특성이 좋지 않음을 알 수 있다. 제안 알고리즘은 고차 신호점에서 기존 알고리즘에 비해 정상상태의 성능이 개선되었음을 알 수 있다. 또한 기존 알고리즘에 비해 수렴속도가 개선되었으며, 초기 수렴의 검출을 통해 자동으로 모드가 전환되며, 전환 후 동시 동작을 멈추고 DD만으로 동작하므로 동시 CMA-DD보다 정상상태에서의 특성이 더욱 개선되었음을 알

수 있다.

V. 결 론

모의실험을 통해서, 제안한 방법은 초기 수렴을 검출한 후 동시 동작을 중지하고 DD 알고리즘으로 전환함으로써 정상상태 성능을 더욱 개선하는 효과가 있음을 확인하였다. 결과적으로 동시 MCMA-DD 등화기는 최근에 발표된 동시 CMA-DD 등화기 및 동시 CMA-SDD 등화기에 비하여 우수한 수렴 특성과 정상상태 성능을 보인다. 그러므로 제안한 동시 MCMA-DD 등화기는 다중레벨 신호점에 대한 블라인드 등화에 효과적으로 응용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] D.N. Godard, "Self-recovering equalization and carrier tracking in two-dimensional data communication systems," IEEE Trans.Communications, vol. COM-28, no. 11, pp.1867-1875, 1980.
- [2] De Castro, F.C.C., De Castro, M.C.F. and Arantes, D.S., Concurrent blind deconvolution for channel equalization. In proc. ICC'2001, Helsinki, Finland, June 11-15, 2001, Vol.2, pp.366-371
- [3] S. Chen, "Low complexity concurrent constant modulus algorithm and soft decision directed scheme for blind equalization," IEE Proc. Vision, Image and Signal Processing, vol. 150, no.5 pp. 312-320, Oct. 2003.
- [4] K. N. Oh and Y. O. Chin, "Modified Constant Modulus Algorithm: Blind Equalization and Carrier Phase Recovery Algorithm," Proc. 1995 IEEE Int. Conf. Commun., vol.1, pp.498-502, Seattle, WA, June 1995.
- [5] K. N. Oh and Y. O. Chin, "New Blind Equalization Techniques Based on Constant Modulus Algorithm," in Proc 1995 IEEE GLOBECOM, Singapore, Nov, 1995, vol. 2, pp.865-869
- [6] S. C. Bateman and S. Y. Ameen, "Comparison of algorithms for use in adaptive adjustment of digital data receivers, IEE Proc., Pt. I, vol. 137, no.2, 1990, pp. 85-96.
- [7] G. Picchi and G. Prati, "Blind equalization and carrier recovery using a "Stop-and-Go" decision-directed algorithm," IEEE trans. Commun., vol COM-35, no.9, Sep. 1987, pp.877-887

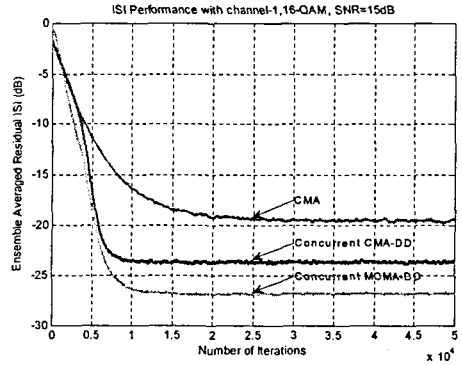


그림 2. 16-QAM에 대한 잔류 심벌간 간섭 비교

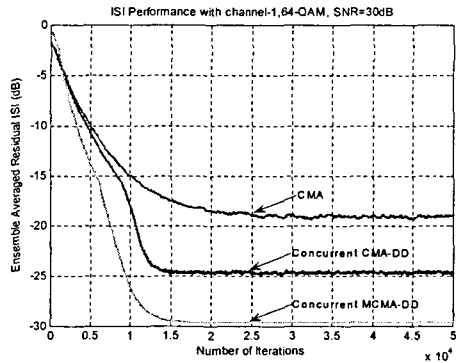


그림 3. 64-QAM에 대한 잔류 심벌간 간섭 비교

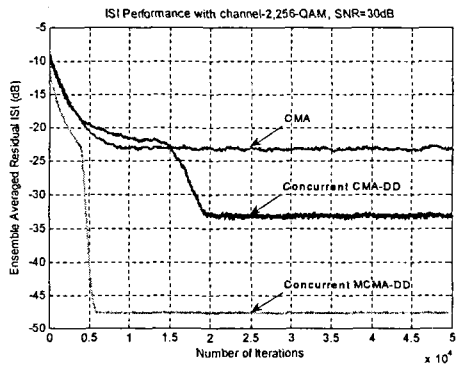


그림 4. 256-QAM에 대한 잔류 심벌간 간섭 비교