

다중 Modulus 블라인드 등화 알고리즘

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

^{*}광주대학교 전자공학과 · ^{**}광주대학교 정보통신학과

Multi-Modulus Blind Equalization Algorithm

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

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

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

E-mail: ikhyun77@msn.com

요 약

기존의 MMA(Multi-Modulus Algorithm)는 심벌간 간섭(Intersymbol Interference: ISI)이 심한 등화 초기에는 부정확한 판단을 할 가능성이 매우 높기 때문에 눈모형을 열리게 하는데 어려움이 있다. 이러한 문제점을 피하기 위해 최근에 MCMA(Modified Constant Modulus Algorithm)를 기반으로 한 SMMA(Sliced MMA)가 제안되었다. SMMA는 높은 SNR 조건에서는 MMA보다 개선된 성능을 보이나, 낮은 SNR 조건에서는 비용합수에 사용되는 판정 값이 부정확할 가능성이 매우 높다는 사실을 알 수 있다. 그러므로 본 논문에서는 등화 초기에 블라인드 수렴 특성을 저하시키지 않으면서 정상상태 성능을 개선하는 다중 modulus 블라인드 등화 알고리즘 기법을 제시한다. 제안한 방법에서는 단일 modulus와 다중 modulus의 선택적 적용을 위해 등화기 출력의 잔류심벌간 간섭 양을 이용한 초기수렴검출 기법을 고안·적용하여 최적의 전환 시점을 자동으로 결정하였다. 제안 알고리즘의 성능을 모의실험을 통하여 수렴 속도와 잔류 ISI 성능에서 기존방식에 비해 제안한 방식의 유용성을 확인하였다.

ABSTRACT

MMA(Multi-Modulus Algorithm) is inferior at a initial equalization in high ISI(intersymbol interference), because it is the inaccurate decision. To improve this problem SMMA(Sliced Multi-Modulus Algorithm) is based on using the MCMA(Modified Constant Modulus Algorithm). SMMA is a improved capability than MMA in high SNR but is inaccurate decision in low SNR. In this paper, We propose some multi-modulus blind equalization algorithm scheme. It is a method of operating in some multi-modulus algorithm which does not obstruct a convergence property at the initial equalization in the low SNR. Proposed algorithm improves the steady-state performance. And it uses residual ISI of the equalizer output in order to decide the optimum switching time between the single modulus and the multi-modulus algorithm.

키워드

블라인드 등화, 다중 modulus 알고리즘, 자동수렴검출

1. 서 론

디지털 통신 시스템에서 대역 제한된 채널과 다중경로 전파에 의해 심벌간 간섭(ISI)이 발생한다. ISI의 영향을 줄이는 방법으로 적응 필터를 사용한 채널 등화기법이 있다. 채널 등화의 보편적인 방법에서는 데이터 송신을 개시하기 전에 학습열(training sequence)을 송신하고, 수신 측에서는 이 학습열과 동기된 신호를 발생시켜 채널

특성 정보를 얻어 이에 따라 등화기 계수를 초기화한다.

그러나 학습 신호의 사용이 불가능하거나, 학습 기간이 불충분한 상황에서는 학습에 의존하지 않는 등화 기법, 즉 블라인드 등화(blind equalization)가 유용하다. 블라인드 등화 기법은 전송 채널의 임펄스 응답을 알지 못하는 상황에서 소스의 통계적 특성과 반복적인 조절 과정을 통해 인버스 필터의 근사에 도달한다[1].

블라인드 등화에 널리 사용되고 있는 CMA(Constant Modulus Algorithm)[2]의 심벌간 간섭과 위상 오차를 동시에 제거하기 위해 MCMA(Modified CMA)가 제안되었다. 하지만 MCMA도 단일의 일정한 modulus를 기준 신호로 사용하여 오차 신호를 추정하므로, 정상상태 오차 레벨이 크다는 문제점을 안고 있다. 이에 대해 다중 modulus를 사용하는 기법이 하나의 해결방법이 될 수 있다. 다중 modulus 알고리즘(MMA: Multi Modulus Algorithm)으로 RDE(Radius-Directed Equalization), DAMA(Decision Adjusted Modulus Algorithm), shell Partition-based Algorithm 등이 제안된 바 있다. 기존의 MMA는 정상상태에서 오차가 작아 지므로 스텝 사이즈를 크게 할 수 있고, 따라서 보다 빠른 수렴 속도가 가능하다. 그러나 이것은 심벌간 간섭이 심한 등화 초기에는 적합하지 않다. 왜냐하면 이들 알고리즘은 공통적으로 판정의거(Decision-directed: DD) 알고리즘과 유사한 형태로서, 눈모형이 닫혀있는 등화 초기에는 판정의거에 의한 subset 할당이 부정확할 가능성이 매우 높기 때문에 눈모형을 열리게 하는데 어려움이 있다.

이와 같은 MMA의 문제점을 피하기 위해 최근에 MCMA(Modified CMA)[3],[4]를 기반으로 한 SMMA(Sliced MMA)가 제안되었다. SMMA[5]는 비용함수에 dispersion 상수와 등화기 출력에 대한 판정장치의 판정 값을 포함시킴으로써 다중 modulus 알고리즘을 구현하였다. SMMA는 높은 SNR 조건에서는 MMA보다 개선된 성능을 보이나, 낮은 SNR 조건에서는 MCMA와 유사한 성능을 보이는 것으로 발표되었다. 이는 낮은 SNR 조건에서는 비용함수에 사용되는 판정 값이 부정확할 가능성이 매우 높다는 사실을 짐작할 수 있다. 그러므로 SNR이 낮은 조건에서도, 즉 눈모형이 완전히 닫혀있는 등화 초기에도 블라인드 수렴 특성을 저하시키지 않으면서 정상상태 특성을 개선하는 기법이 요구된다.

본 논문에서는 기존의 MMA의 문제점을 해결하고, SMMA에 비해 초기 수렴 속도와 정상상태 성능이 향상된 다중 Modulus 블라인드 등화 알고리즘을 제안하며, 이의 성능을 기존 방식과 비교한다. II에서 MCMA 등화기법을 기술하고 III에서 MCMA를 기반으로 한 SMMA 등화기법을 언급한다. IV에서 제안 알고리즘 다중 modulus 블라인드 등화기를 소개하며, V에서 모의실험 및 결과를 고찰한 후, VI에서 결론을 요약한다.

II. MCMA

전통적인 CMA 등화기는 2차원 신호점에 대해 하나의 모듈러스를 사용해 비용함수를 형성한다.

CMA의 비용함수는 위상 성분에 대해 독립적이므로 등화기 출력이 임의의 위상 회전된 신호점을 형성하는 원인이 된다.

MCMA의 비용함수는 실수(동상)와 허수(직교) 성분과 같은 2차원 신호점을 다룬다. 그러므로 2차원 등화 문제는 1차원 등화 문제로 감소한다. MCMA의 비용함수 $J(k)$ 는

$$J(k) = J_I(k) + J_Q(k) \quad (1)$$

로 정의하고, $J_I(k)$ 와 $J_Q(k)$ 는

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

$$J_Q(k) = E[(|y_Q(k)|^2 - M_{2,Q})^2] \quad (3)$$

로 정의된다. 여기에서 $y_I(k)$ 와 $y_Q(k)$ 는 등화기 출력 $y(k) = X^T(k)w(k)$ 의 실수(동상)와 허수(직교)성분이다. $M_{2,I}$ 와 $M_{2,Q}$ 는 각각

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

$$M_{2,Q} = \frac{E[|a_Q(k)|^4]}{E[|a_Q(k)|^2]^2} \quad (5)$$

이다. MCMA의 탭 계수의 갱신 식은 다음으로 정해진다.

$$\begin{aligned} w(k+1) &= w(k) - \mu \cdot \hat{\nabla} J(k) \\ &= w(k) - \mu \cdot e(k) \cdot X^*(k) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 $w(k)$ 와 $X^*(k)$ 는 각각 등화기 탭 계수 벡터와 등화기 입력 벡터의 공액 복소수이다. μ 는 스텝사이즈 파라미터이고, 오차신호는

$$e(k) = e_I(k) + je_Q(k) \quad (7)$$

이고, $e_I(k)$ 와 $e_Q(k)$ 는 각각

$$e_I(k) = y_I(k)(|y_I(k)|^2 - M_{2,I}) \quad (8)$$

$$e_Q(k) = y_Q(k)(|y_Q(k)|^2 - M_{2,Q}) \quad (9)$$

로 정해진다.

MCMA는 실수(동상)와 허수(직교)축에 투영된 두개의 실수 신호와 같은 복소 신호를 다룬다. 결과적으로 임의의 위상 회전은 정정되어 질 수 있지만 MCMA에서 단일의 일정한 modulus를 기준 신호로 사용하여 오차 신호를 형성하므로, 정상상태 오차 레벨이 비교적 크다는 문제점을 안고 있다.

III. SMMA

MCMA의 정상상태의 문제점을 개선하기 위해 MCMA를 기반으로 한 SMMA(Sliced MMA)가 제안되었다. SMMA는 비용함수에 dispersion 상수와 등화기 출력에 대한 판정장치의 판정 값을 포함시킴으로써 다중 modulus 알고리즘을 구현하였다. 여기서 dispersion 상수를 스케일링하여 다중 modulus를 구현하기 위해 판정 값에 절대 값의 c 제곱 항을 dispersion 상수에 곱한다.

SMMA의 비용함수 다음과 같이 정의 된다.

$$J(k) = E \left[\begin{aligned} &(y_I^2(k) - |\hat{a}_I(k)|^2 M_I)^2 \\ &+ (y_Q^2(k) - |\hat{a}_Q(k)|^2 M_Q)^2 \end{aligned} \right] \quad (10)$$

SMMA의 탭 갱신 알고리즘은

$$\begin{aligned} w(k+1) = w(k) + \mu [y_I(k)(|\hat{a}_I(k)|^2 M_I - y_I^2(k)) \\ + y_Q(k)(|\hat{a}_Q(k)|^2 M_Q - y_Q^2(k))] X^*(k) \end{aligned} \quad (11)$$

이다. 여기에서 M_I 과 M_Q 는

$$M_I = E[a_I^2] / E[|a_I|^{2+c}] \quad (12)$$

$$M_Q = E[a_Q^2] / E[|a_Q|^{2+c}] \quad (13)$$

dispersion constant이고, c 는 1이하의 양의 실수로서, $c=0$ 이면 SMMA는 단일 modulus를 사용하는 기존의 MCMA로 된다.

SMMA는 높은 SNR 조건에서는 MMA 보다 개선된 성능을 보이나, 낮은 SNR 조건에서는 MCMA와 유사한 성능을 보이는 것으로 발표되었다. 이는 낮은 SNR 조건에서는 비용함수에 사용되는 판정 값이 부정확할 가능성이 매우 높다는 사실에서 짐작할 수 있다. 그러므로 SNR이 낮은 조건에서도, 즉 눈노형이 완전히 닫혀있는 등화 초기에도 블라인드 수렴 특성을 저하시키지 않으면서 정상상태 특성을 개선하는 기법이 요구된다.

IV. 제안 알고리즘

본 논문에서는 기존의 MMA의 문제점을 해결하고, SMMA에 비해 초기 수렴 속도와 정상상태 성능이 향상된 새로운 알고리즘을 제안한다. 제안한 방법에서는 채널 왜곡이 클 때는, 즉 눈노형이 닫혀있는 등화 초기에는 단일 modulus를 적용하여 오차 추정의 신뢰도를 향상시켜 수렴 속도를 가속화하였고, 초기 수렴에 도달한 이후, 즉 눈노형이 열려있을 때 다중 modulus에 의해 오차를 추정하여 정상상태의 성능을 향상시켰다. 오차신호는 다음에 의해서 정해진다.

$$e_I(k) = \begin{cases} y_I(k)(|y_I(k)|^2 - M_I^2) \\ y_I(k) - M_{I,i} \end{cases} \quad (14)$$

$$e_Q(k) = \begin{cases} y_Q(k)(|y_Q(k)|^2 - M_Q^2) \\ y_Q(k) - M_{Q,i} \end{cases} \quad (15)$$

여기에서 $M_{I,i}$ 와 $M_{Q,i}$ 는 각각 $\text{dec}(y_I(k))$ 와 $\text{dec}(y_Q(k))$ 이고, 두 모드간 전환 시점은 L 심벌 길이의 블록단위의 잔류심벌간 간섭의 변화량에 따라 결정되고, 이에 대한 과정은 다음과 같다. 등화기 출력 단에서 잔류심벌간 간섭(ISI)

$$isi(k) = \frac{\sum_k |s(k)|^2 - |s(k)|_{\max}^2}{|s(k)|_{\max}^2} \quad (16)$$

양을 보고 감소하면 변수 $\text{dec}(\text{decrease})$ 을 1씩 증가시키고, 잔류심벌간 간섭 양이 증가하면 변수

$\text{inc}(\text{increase})$ 을 1씩 증가 시킨다. 이때 잔류심벌간 간섭(ISI) 값의 급격한 변동을 완화시키기 위해 L 심벌 길이의 블록 단위로 ISI의 변화(dec-inc)량을 계산한다. 첫 번째 L 심벌 길이의 블록 단위의 변화량과 그 다음 번째 L 심벌 길이의 블록 단위의 변화량을 비교해서 초기수렴 여부를 판단한다.

제안 알고리즘은 초기수렴 이후에 다중 modulus를 사용하므로 정상상태에서의 오차 성능을 개선하였고, 단일 modulus와 다중 modulus 알고리즘의 선택적 적용을 위해 등화기 출력에 잔류하는 ISI 양을 이용하여 초기 수렴을 검출하고 최적의 전환 시점을 정하도록 하였으며, 이 후에는 채널 왜곡의 정도에 따라 최적한 modulus를 자동으로 적용하여 수렴 속도와 정상상태의 오차 성능을 최적화 하였다.

V. 실험 결과

제안한 알고리즘의 성능을 모의실험을 통하여 MCMA 및 SMMA와 비교하였다. 성능 비교 기준으로는 등화된 신호에 잔류심벌간 간섭 양을 사용하였다. 실험에 사용한 채널은 6-탭 지연 라인 모델[6]으로 하였으며, 채널 조건에서 등화기 탭 수는 14를 적용하였다. 그림 1., 그림 2. 및 그림 3.은 각각 16-QAM, 64-QAM 및 256-QAM 신호에 대한 등화기의 학습 곡선으로, 등화기의 수렴 특성과 정상상태 성능을 나타낸다. 그림에 나타난 학습 곡선은 100회의 독립적인 수행으로부터 구한 잔류 ISI를 앙상블 평균한 것이다.

그림 1.은 16-QAM 신호에 대한 실험결과를 나타낸다. 신호 대 잡음비 $E_b/N_0 = 15\text{dB}$ 조건에서 얻어진 학습 곡선이다.

그림 2.는 64-QAM 신호에 대한 실험결과를 나타낸다. 신호 대 잡음비 $E_b/N_0 = 30\text{dB}$ 조건으로 적용하였다.

그림 3.은 256-QAM 신호에 대한 실험결과를 나타낸다. 신호 대 잡음비 $E_b/N_0 = 30\text{dB}$ 조건으로 적용하였다.

VI. 결 론

제안한 다중 modulus 등화 알고리즘은 심벌간 간섭이 심한 등화 초기에, MCMA에 의해 MMA의 초기 수렴과 정상상태의 문제점을 해결하고, SMMA에 비해 초기 수렴 속도와 정상상태 성능이 우수함을 보였다. 그리고 채널 왜곡의 정도에 따라 최적한 modulus를 자동으로 적용하여 수렴 속도와 정상상태의 오차 성능을 최적화 하였다. 따라서 제안한 알고리즘이 고차 QAM신호의 블라인드 등화에 있어서 SMMA에 비해 매우 효과적이라고 할 수 있다.

참고문헌

- [1] Simone Fiori, Blind deconvolution by simple adaptive activation function neuron, Neurocomputing, vol. 48, pp.763-778, 2002
- [2] J. R. Treichler and B. G. Agee, " A new approach to multipath correction of constant modulus signals," IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing, vol. ASSP-31, no. 2, pp. 459-472, 1983.
- [3] K. N. Oh and Y.O. Chin, "Modified constant modulus algorithm: Blind equalization and carrier phase recovery algorithm," Proc. 1995 IEEE ICC, vol.1, pp.498-502, Seattle, WA, June 1995.
- [4] K. N. Oh and Y.O. Chin, "New blind equalization techniques based on constant modulus algorithm," Proc. 1995 IEEE GLOBECOM, vol.2, pp.865-869, Singapore, Nov.1995
- [5] Shafayat Abrar and Roy A. Axford Jr. "Sliced Multi-modulus Blind Equalization Algorithm" Proc. 2005 ETRI Journal vol.27. pp.257-266.
- [6] G. Picchi and G. Prati, " Blind equalization and carrier recovery using a "Stop-and-Go" decision-directed algorithm," IEEE Trans. Commun., vol. COM-43, pp. 877-887, Sep. 1987

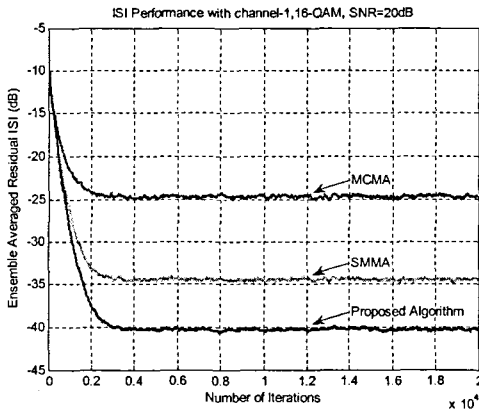


그림 1. 16-QAM 신호에 대한 학습 곡선 비교

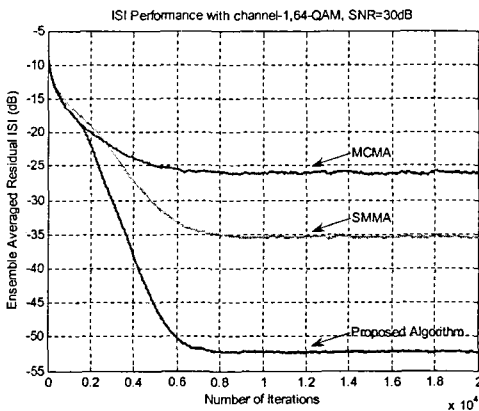


그림 2. 64-QAM 신호에 대한 학습 곡선 비교

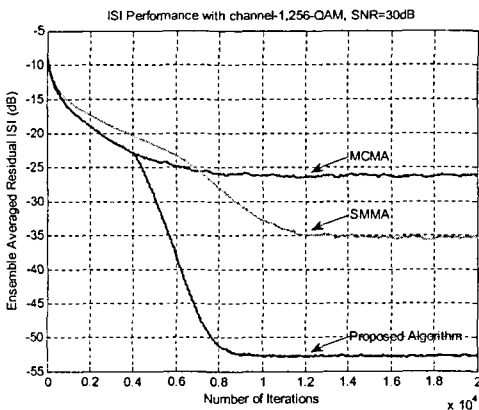


그림 3. 256-QAM 신호에 대한 학습 곡선 비교