

<http://dx.doi.org/10.7236/IIBC.2014.14.4.71>

IIBC 2014-4-11

Flag를 가지는 SMMA 적응 블라인드 등화 알고리즘의 성능 분석

Performance Analysis of SMMA Adaptive Blind Equalization Algorithm with A Flag

정영화*

Young-Hwa Jeong *

요약 본 논문에서는 고차 QAM 시스템에서 Flag를 가지는 SMMA 적응 블라인드 등화 알고리즘을 제안한다. SMMA는 MMA를 변형하여 다중 contour를 적용함으로써 특성 향상을 얻었으나 여전히 불일치 문제로 인해 정상상태에서의 잔류 오차가 크다는 한계를 가지고 있다. 이러한 정상상태에서의 잔류 오차를 크게 줄이기 위해 우리는 SMMA와 결정지향 알고리즘으로 부터 얻어진 '1' 또는 '0'의 이진 Flag에 의해 제어되는 SMMA를 제안하고, 이 알고리즘에 대한 성능을 분석하였다. 컴퓨터 모의실험을 통하여 제안한 알고리즘이 MMA나 SMMA에 비해 정상상태에서의 잔류 심볼간 간섭과 잔류 오차등에서 크게 향상된 성능을 가짐을 확인하였다.

Abstract In this paper, we propose a SMMA(Sliced-Multi Modulus Algorithm) adaptive blind equalization algorithm with Flag for high order QAM system. SMMA has improved characteristics by applying the multi contour to MMA. However, SMMA still has a limit that the mismatch problem causes the residual error in the steady state is large. In order to significantly reduce the residual error in the steady state, we propose SMMA, which is controlled by the binary Flag of '1' or '0' obtained from SMMA and a decision-directed algorithm, and analyze the performance of the proposed algorithm. By computer simulation, it is confirmed that the proposed algorithm has improved performance highly in terms of a residual ISI and a residual error in the steady state compared with MMA and SMMA.

Key Words : MMA, SMMA, MSAGF-SMMA, Stop-and-Go

1. 서론

디지털 통신 시스템에서 대역 제한된 채널에 의해 야기되는 심볼간 간섭(Inter symbol interference : ISI)은 고속으로 데이터를 송신하는 데 있어서 매우 나쁜 영향을 끼치는 요소이다. QAM 시스템 등에서는 등화 기법을 적용하여 이러한 채널 왜곡 영향을 줄임으로써 고속 데

이터 통신을 구현하였다. 특히 임계 결정기(threshold decision device) 대신 비선형 추정기(nonlinear estimator)를 사용하는 적응 블라인드 등화 기법에 대한 많은 연구가 이루어져 왔으며, 많은 통신 시스템에 적용되어 왔다. 적응 블라인드 등화 기법은 비선형 추정기를 통하여 어떤 오차 신호를 탭 갱신 식에 사용하느냐에 따라 그 성능이 달라지게 되며, 탭 갱신 식으로 대부분

*정회원, 남서울대학교 정보통신공학과
접수일자 : 2014년 5월 25일, 수정완료 : 2014년 6월 27일
게재확정일자 : 2014년 8월 8일

Received: 25 May, 2014 / Revised: 27 June, 2014

Accepted: 8 August, 2014

*Corresponding Author: yhjjeong@nsu.ac.kr

Dept. of Information & Communication, Namseoul University, Korea

LMS(Least mean square) 방식을 적용하고 있다. 대표적인 적응 블라인드 등화 기법으로 Godard가 제안한 CMA(Constant Modulus Algorithm)^[1], Stop- and-Go 알고리즘^[2], MMA(Multi-Modulus Algorithm)^{[3][4]} 등이 알려져 있다.

MMA는 빠른 수렴 속도를 가지면서 한편으로 CMA의 등화 후 위상 문제를 해결함으로써 많은 응용 알고리즘 개발에 영향을 주었다. 그러나 MMA는 QAM 신호의 차수가 높아 질수록 신호점과의 불일치에 따른 정상상태에서 misadjustment 문제를 가지고 있다. S. Abrar와 R. A. Axford Jr는 정상상태에서 misadjustment 문제를 해결한 SMMA(Sliced Multi-Modulus Algorithm)^[5]를 제안하였다. SMMA는 MMA와 비교하여 훨씬 더 낮은 misadjustment를 가지는 비용함수를 도입하였다. 이 알고리즘은 dispersion constant에 결정기의 sliced 출력의 slice 가중치만큼 고려함으로써 등화기 출력의 실수와 허수부가 가장 가까운 심볼의 실수와 허수부의 절대값으로 가중된 contour에 맵핑되도록 하였다^[5].

SMMA가 정상상태에서 misadjustment 문제를 해결하기 위해 다중 contour를 고안하였지만 여전히 신호점과의 불일치 문제로 인한 정상상태에서의 잔류 오차가 여전히 크다는 문제를 안고 있다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위한 방법으로 SMMA와 결정 지향(decision-directed) 알고리즘의 추정 오차 부호간의 일치 여부를 비교하여 얻어진 이진 Flag를 SMMA에 적용하여 탭 갱신 식이 Flag를 가지는 SMMA에 따르도록 함으로써 정상상태에서의 잔류 오차 및 ISI를 대폭 줄일 수 있는 적응 블라인드 등화 알고리즘을 제안한다. 컴퓨터 모의실험을 통하여 제안한 알고리즘이 SMMA 만큼 빠른 수렴속도를 가지면서 정상상태에서 잔류 심볼간 간섭 특성 및 잔류 오차 특성 또한 크게 향상됨을 확인하였다.

본 논문의 구성은 2장에서 MMA를, 3장에서는 SMMA를 설명한다. 4장에서 제안한 Flag를 가지는 SMMA를 설명한다. 5장에서는 컴퓨터 모의실험 결과를 통하여 제안한 알고리즘과 MMA, SMMA와의 성능을 비교, 분석한다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

II. Multi-modulus Algorithm

J. Yang등에 의해 제안된 MMA^[3]는 다음과 같은 비용

함수를 최소화함으로써 구하여 진다

$$J = E[(y_R^2(n) - R_{MMA,R}^2)^2] + E[(y_I^2(n) - R_{MMA,I}^2)^2] \quad (1)$$

여기서 $R_{MMA,R}^2$ 와 $R_{MMA,I}^2$ 는 각각 다음 식 (2)와 같다.

$$R_{MMA,R}^2 = \frac{E[a_R^4(n)]}{E[a_R(n)]^2}, R_{MMA,I}^2 = \frac{E[a_I^4(n)]}{E[a_I(n)]^2} \quad (2)$$

여기서 $y_R(n)$ 과 $y_I(n)$ 은 각각 적응 블라인드 등화기 출력의 실수, 허수 성분이며, $a_R(n)$ 과 $a_I(n)$ 는 각각 입력 QAM 심볼 $a(n)$ 의 실수, 허수 성분이다.

MMA 오차 함수 $e_{MMA}(n)$ 의 실수와 허수성분은 식 (3)으로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} e_{MMA,R}(n) &= y_R(n)(y_R^2(n) - R_{MMA,R}^2) \\ e_{MMA,I}(n) &= y_I(n)(y_I^2(n) - R_{MMA,I}^2) \end{aligned} \quad (3)$$

결과적으로 MMA의 탭 갱신 알고리즘은 식 (4)와 같다.

$$\mathbf{W}(n+1) = \mathbf{W}(n) - \mu e_{MMA}(n) \mathbf{x}^*(n) \quad (4)$$

여기서 $\mathbf{W}(n) = [w_0(n) \cdots w_{N-1}(n)]^T$ 은 등화기 계수 벡터, $\mathbf{x}(n) = [x(n) \cdots x(n-N+1)]^T$ 는 입력 신호 벡터, N 은 적응 등화기 계수의 수, 그리고 μ 는 스텝 크기이다.

III. Sliced Multi-modulus Algorithm

SMMA는 S. Abar와 R. A. Axford Jr가 제안한 알고리즘^[5]으로 SMMA의 dispersion 상수 $R_{SMMA,R}$ 와 $R_{SMMA,I}$ 에 $y(n)$ 에 가장 가까운 신호점 심볼(constellation symbol)로 결정하는 결정 장치의 출력의 절대값 $|\hat{a}_R(n)|^c$ 과 $|\hat{a}_I(n)|^c$ 를 가중치로 취함으로써 얻어진다. 여기서 c 는 $c \leq 1$ 인 양의 상수이다.

SMMA의 dispersion 상수 $R_{SMMA,R}$ 와 $R_{SMMA,I}$ 는 식 (5)로 주어진다.^[5]

$$R_{SMMA,R}^2 = \frac{E[a_R^4(n)]}{E[|a_R(n)|^{2+c}]}, R_{SMMA,I}^2 = \frac{E[a_I^4(n)]}{E[|a_I(n)|^{2+c}]} \quad (5)$$

식 (5)로 부터 $c=0$ 일때 SMMA의 dispersion 상수는 MMA의 dispersion 상수와 같게 된다. 이것은 SMMA가 MMA가 된다는 의미이다.

SMMA의 비용함수는 다음 식과 같다.

$$J = [E[(y_R^2(n) - |\hat{a}_R(n)|^c R_{SMMA,R})^2] + E[(y_I^2(n) - |\hat{a}_I(n)|^c R_{SMMA,I})^2]] \quad (6)$$

SMMA 오차 함수 $e_{SMMA}(n)$ 의 실수와 허수성분은 식 (7)으로부터 구할 수 있다.

$$e_{SMMA,R}(n) = (y_R^2(n) - |\hat{a}_R(n)|^c R_{SMMA,R}) y_R(n) \quad (7)$$

$$e_{SMMA,I}(n) = (y_I^2(n) - |\hat{a}_I(n)|^c R_{SMMA,I}) y_I(n)$$

SMMA의 탭 갱신 알고리즘은 식 (8)으로 나타낸다.

$$\mathbf{W}(n+1) = \mathbf{W}(n) - \mu e_{SMMA}(n) \mathbf{x}^*(n) \quad (8)$$

IV. 제안한 Flag를 가지는 SMMA

제안하는 Flag를 가지는 SMMA는 CMA나 MMA가 가지는 신호점과의 불일치 문제를 해결하는 한 방법으로 써 보다 신뢰성 있는 추정 오차를 탭 갱신에 사용함으로써 잔류 오차를 작게 하는 Stop-and-Go 알고리즘^[2]과 유사하게 식(9)에서와 같이 SMMA의 오차신호와 결정지향 오차신호로부터 얻어지는 이진 플래그 $f_{MSAG,R}$ 과 $f_{MSAG,I}$ 를 SMMA 탭 갱신식에 적용한 알고리즘이다.

이 알고리즘을 이후 MSAGF-SMMA(Modified Stop-and-Go Flagged SMMA)라 부른다.

실수부 Flag, $f_{MSAG,R}$ 과 허수부 Flag, $f_{MSAG,I}$ 는 다음 식 (9)과 같이 정의된다.

$$f_{MSAG,R} = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{sgn}(e_{SMMA,R}(n)) = \text{sgn}(e_{DD,R}(n)) \\ 0 & \text{if } \text{sgn}(e_{SMMA,R}(n)) \neq \text{sgn}(e_{DD,R}(n)) \end{cases}$$

$$f_{MSAG,I} = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{sgn}(e_{SMMA,I}(n)) = \text{sgn}(e_{DD,I}(n)) \\ 0 & \text{if } \text{sgn}(e_{SMMA,I}(n)) \neq \text{sgn}(e_{DD,I}(n)) \end{cases} \quad (9)$$

여기서 $e_{DD,R}(n)$ 와 $e_{DD,I}(n)$ 는 결정지향 알고리즘의 오차신호^[2]를 나타내며, $\text{sgn}(\cdot)$ 은 signum 함수를 나타낸다.

MSAGF-SMMA의 탭 갱신 식은 식 (10)과 같다.

$$\mathbf{W}(n+1) = \mathbf{W}(n) - \mu (f_{MSAG,R} e_{SMMA,R}(n) - j f_{MSAG,I} e_{SMMA,I}(n)) \mathbf{x}^*(n) \quad (10)$$

V. 컴퓨터 모의실험 및 고찰

제안한 MSAGF-SMMA의 성능을 분석하기 위하여 컴퓨터 모의실험을 수행하였다. 적용 블라인드 등화기의 성능을 나타내는 지수로서 앙상블 평균한 ISI(Ensemble Averaged Inter-Symbol Interference)^[6], OEM(Open-Eye Measure)^[7] 그리고 MSE(Minimum Square Error)^[8]를 사용하였다. ISI와 OEM은 각각 다음과 같이 정의된다.

$$ISI = \frac{\sum^n |s(n)|^2 - |s(n)|_{\max}^2}{|s(n)|_{\max}^2} \quad (11)$$

$$OEM = \frac{\sum^n |s(n)| - |s(n)|_{\max}}{|s(n)|_{\max}} \quad (12)$$

여기서 $s(n)$ 는 채널과 등화 필터와의 콘볼루션 연산을 나타낸다.

채널로는 백색 잡음을 가지는 [2]에서 사용된 복소 채널을 이용하였다. 등화기로는 15차의 복소 FIR 적용 필터를 사용하였으며, 모든 등화기의 중심 탭은 $1+j0$ 로, 나머지 탭들은 $0+j0$ 으로 초기화하였다^[9]. 모의실험은 256-QAM 신호를 대상으로 이루어졌으며, 신호대 잡음비는 40dB로 하였다.

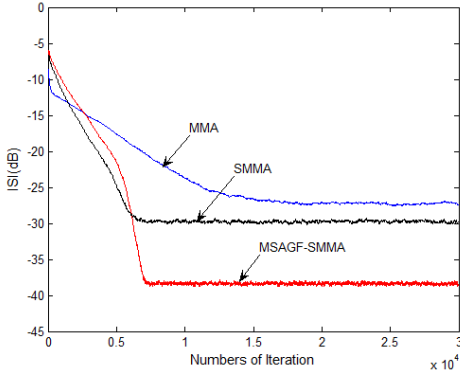


그림 1. 256-QAM 신호에 대한 앙상블 평균한 심볼간 간섭 비교

Fig. 1. A comparison of an ensemble averaged ISI for 256-QAM signal

그림 1에서 256-QAM 신호에 대해 100회의 독립적인 Monte Carlo 실험의 앙상블 평균을 통해 얻은 잔류 심볼간 간섭을 dB로 나타내었다. 이때 스텝 크기 μ 값은 반복적인 실험을 통하여 가능한 한 빠른 수렴 속도와 정상상태에서 작은 잔류 심볼간 간섭을 가지는 최적 값을 정하였다. 본 논문에서, MMA에서의 $\mu = 8.0 \times 10^{-8}$, SMMA에서의 $\mu = 3.5 \times 10^{-8}$, 그리고 제안한 MSAGF-SMMA에서의 $\mu = 4.3 \times 10^{-8}$ 로 하였다. 또한 MMA에서 $R_{MMA,R}^2, R_{MMA,I}^2$ 값은 각각 식 (2)에 따라 152.2로 하였으며, $c=1$ 일 때의 SMMA와 MSAGF-SMMA에서 $R_{SMMA,R}^2, R_{SMMA,I}^2$ 값은 각각 식 (5)에 따라 12.733으로 하였다.

그림 1에서 MMA는 QAM 신호를 등화하는데 평균적으로 15000번 정도의 반복횟수에서 정상상태에 들어가며, -27.23dB 정도의 ISI 값을 가진다. SMMA는 7050번 정도의 반복횟수에서 -29.76dB 정도의 ISI 값을 가지며 정상상태를 유지함을 보인다. 이와 비교해서 제안한 MSAGF-SMMA는 정상상태에서 7230번 정도의 반복횟수에서 -38.36dB의 ISI 값을 가짐을 보인다. 그림을 통하여 제안한 알고리즘은 정상상태에서 MMA 알고리즘 보다는 11.13dB 정도, SMMA 보다는 8.6dB 더 작은 ISI 값을 가짐을 알 수 있으며, 수렴 속도면에서는 MMA보다 7770번 정도 빠름을, SMMA보다는 180번 정도 느리게 정상상태에 들어감을 보인다.

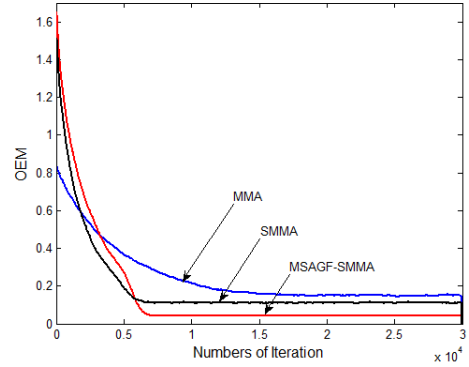


그림 2. 256-QAM 신호에 대한 앙상블 평균한 OEM 비교
Fig. 2. A comparison of an ensemble averaged OEM for 256-QAM signal

그림 2에서 각 알고리즘의 OEM의 비교를 보인다. OEM은 등화 출력 신호에서 각 신호점간의 폭을 나타낸다. OEM이 값이 작으면 작을수록 눈이 활짝 열린 것을 말한다. 그림에서 보이듯이 MMA는 정상상태로 들어갔을 때 평균 0.1495정도의 OEM 값을, SMMA는 0.1119 정도의 OEM 값을 가진다. 한편 제안한 MSAGF-SMMA는 0.0421 정도의 OEM 값을 가진다. 결과적으로 제안한 알고리즘이 SMMA에 비해 0.07정도 낮은 OEM 값을 가진다.

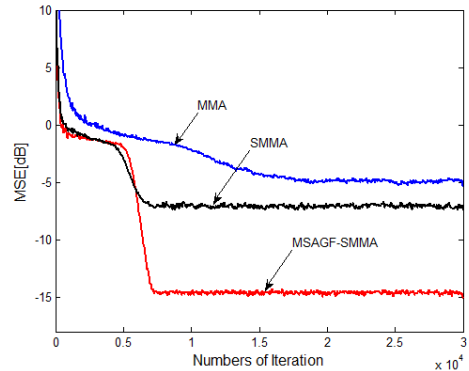


그림 3. 256-QAM 신호에 대한 앙상블 평균한 MSE 비교
Fig. 3. A comparison of an ensemble averaged MSE for 256-QAM signal

그림 3은 각 알고리즘의 MSE에 대한 비교를 나타낸다. 그림에서 보이듯이 MMA는 정상상태에서 평균 -4.89dB정도의 MSE 값을, SMMA는 -7.07dB 정도의 MSE 값을 가진다. 제안한 MSAGF-SMMA는 -14.6dB

정도 가장 낮은 MSE 값을 가진다. 결과적으로 제안한 알고리즘이 SMMA에 비해 -7.53dB정도 낮은 MSE 값을 가지며, MMA와 비교해서는 -9.71dB정도의 상당히 낮은 MSE 값을 가진다.

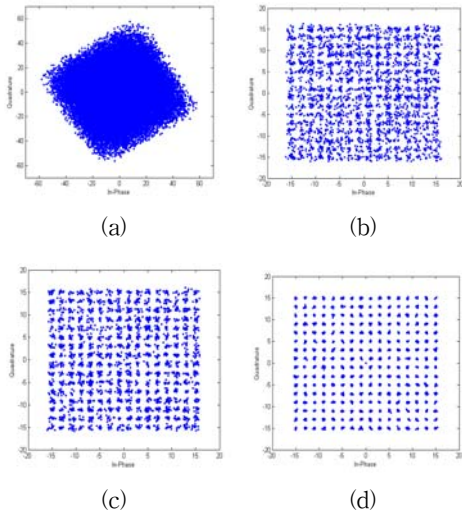


그림 4. 256-QAM 신호에 대한 신호점도
 (a) 등화 전 (b) MMA (c) SMMA
 (d) MSAGF-SMMA

Fig. 4. A constellation for 256-QAM signal
 (a) Before an equalization (b) MMA
 (c) SMMA (d) MSAGF-SMMA

그림 4에서는 각각의 등화 알고리즘에 대한 등화 결과 신호점도를 보인다. 그림 4-(a)에서 등화 전 신호점도를 보이고, 4-(b)에서는 MMA, 4-(c)에서는 SMMA, 그리고 4-(d)에서 MSAGF-SMMA에 대한 등화 결과 신호점도를 각각 보인다. 그림 4-(a)와 (b)에서 MMA와 SMMA는 신호점 축소(constellation reduction)로 인해 야기되는 정상상태에서의 신호점과의 불일치에 대한 등화 결과 모습을 보여 주고 있다.

VI. 결론

본 논문에서는 Flag를 가지는 SMMA를 제안한다. 제안한 알고리즘은 SMMA가 가지는 정상상태에서의 잔류 오차 특성을 크게 향상 시키도록 고안되었다. 컴퓨터 모의실험을 통하여 256 QAM 시스템에서 정상상태로의 수렴 속도가 제안한 알고리즘이 SMMA와는 거의 동일하

였으나, 정상상태에서의 양상블 평균된 잔류 ISI 값은 MMA과 SMMA와 비교하여 각각 -11.13dB와 -8.6dB 정도 더 작았다. 정상상태에서의 MSE 관점에서 살펴보면 제안한 알고리즘이 MMA과 SMMA와 비교하여 각각 -7.53dB와 -9.7dB 정도 더 작은 -14.6dB 값을 나타내었다. 정상상태로의 수렴속도와 잔류 ISI 그리고 MSE 등을 종합하여 볼 때 제안한 알고리즘의 등화 성능이 MMA나 SMMA에 비하여 우수함을 확인하였다.

References

- [1] D. N. Golard, "Self-Recovering Equalization and Carrier Tracking in Two-Dimensional Data Communication Systems," IEEE Trans, Commun., vol. COM-28, no. 11, pp. 1867-1875, Nov. 1980.
- [2] 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, pp. 877-887, Sep. 1987.
- [3] J. Yang, J.-J. Werner and G. A. Dumont, "The Multimodulus Blind Equalization algorithm," in Proc. Int. Conf Digital Signal Processing, vol. 1, pp. 127-130, July 1997.
- [4] J. Yang, J.-J. Werner, and G.A. Dumont, "The Multimodulus Blind Equalization and its Generalized Algorithms," IEEE J. Selected Areas Commun., vol. 20, no. 5, pp. 997-1015, June 2002.
- [5] S.Abrar, R.A.Axford, "Sliced Multi-modulus Blind Equalization Algorithm", ETRI Journal, vol. 27, no.3, pp. 257-266, June 2005.
- [6] O. Shalvi and E. Weinstein, "New Criteria for Blind Deconvolution of Nonminimum Phase Systems(Channels)," IEEE Trans, Inform. Theory, vol. IT-36, pp. 312-321, Mar. 1990.
- [7] K. Dogancay, Oguz, Tanrikulu, "Normalised constant modulus algorithm with selective partial updates," Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2001. Proceedings. (ICASSP '01). 2001 IEEE International Conference on, vol. 4, pp. 2181-2184,

May 2001.

- [8] S. Chen, T.B. Cook, and L.C. Anderson, "A comparative study of two blind FIR equalizers," Digital Signal Processing, vol. 14, pp. 18-36, Jan. 2004.
- [9] Z. Ding, et. al., "Ill-Convergence of Godard Blind Equalizers in Data Communication Systems." IEEE Trans. Commun., vol. 39, no. 9, pp. 1313-1326, Sep. 1991.
- [10] D.S. Kang, S.G.Lim, "The Performance Comparison of MMA and S-MMA Adaptive Equalization Algorithm for QAM Signal," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol.13, No.1, pp.19-26, Feb. 2013.

저자 소개

정 영 화(정회원)



- 1984년 2월 : 경희대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 - 1986년 2월 : 경희대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학석사)
 - 1998년 2월 : 경희대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학박사)
 - 1986년 2월 ~ 1994년 8월 : 삼성전자 정보통신연구소 선임연구원
 - 2005년 7월 ~ 2006년 8월 : CANADA, UofC 교환교수
 - 1994년 9월 ~ 현재 : 남서울대학교 정보통신공학과 교수
- <주관심분야 : 적응신호처리, 전력선통신, 스마트그리드>

※ 본 연구는 2014학년도 남서울대학교 학술 연구지원비에 의해 연구되었음.