

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2018.18.3.77>

JIIBC 2018-3-11

가변 스텝 크기 MSAG-GMMA 적응 블라인드 등화 알고리즘의 성능 평가

A Performance Evaluation of Blind Equalization Algorithm for a Variable Step-Size MSAG-GMMA

정영화*

Young-Hwa Jeong*

요약 본 논문은 가변 스텝 크기를 가지는 MSAG-GMMA(modified Stop-and-Go generalized multi modulus algorithm) 적응 블라인드 등화 알고리즘의 성능 분석에 관한 것이다. 제안한 알고리즘은 등화 계수 갱신 식에서 고정 스텝 크기에 결정 지향 알고리즘의 오차신호의 크기를 곱하여 오차크기에 따라서 스텝 크기가 변하도록 하였다. 또한 결정지향 알고리즘의 오차신호의 크기를 판단하여 어느 임계값 이상에서는 정상상태로의 빠른 수렴 속도를 유지하도록 스텝 크기가 고정인 값을 가지는 MSAG-GMMA가 동작하고, 미만일 때는 스텝 크기가 가변되는 MSAG-GMMA가 동작하도록 하였다. 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 성능 지수로 앙상블 ISI, 앙상블-평균 MSE, 그리고 등화기의 출력으로 얻어지는 등화 후 신호점도를 사용하였다. 모의실험을 통하여 제안한 알고리즘이 MMA, GMMA, 그리고 MSAG-GMMA보다 빠른 수렴 속도와 정상상태에서 작은 잔류 오차를 가짐을 확인하였다.

Abstract This paper is concerned with the performance analysis of a modified stop-and-go generalized multi-modulus algorithm (MSAG-GMMA) adaptive blind equalization algorithm with variable step size. The proposed algorithm multiplies the fixed step size by the error signal of the decision-oriented algorithm in the equalization coefficient update equation, and changes the step size according to the error size. Also, the MSAG-GMMA having a fixed step size is operated so as to maintain a fast convergence speed from a certain threshold to a steady state by determining the error signal size of the decision-directed algorithm, and when the MSAG-GMMA to work. To evaluate the performance of the proposed algorithm, we use the ensemble ISI, ensemble-averaged MSE, and equalized constellation obtained from the output of the equalizer as the performance index. Simulation results show that the proposed algorithm has faster convergence speeds than MMA, GMMA, and MSAG-GMMA and has a small residual error in steady state.

Key Words : decision-directed algorithm, MMA, GMMA, MSAG-GMMA, variable step -size MSAG-GMMA

1. 서론

고속 디지털 통신 시스템에서 통신 채널의 대역 제한

및 다 경로 특성으로 인한 심볼간 간섭(inter-symbol interference) 문제를 해결하기 위해서는 등화기가 필요하다. 특히 훈련 열 신호 없이 수신되는 신호로부터 바

*정희원, 남서울대학교 정보통신공학과
접수일자: 2018년 5월 8일, 수정완료: 2018년 6월 8일
게재확정일자: 2018년 6월 8일

Received: 8 May, 2018 / Revised: 8 June, 2018
Accepted: 8 June, 2018

*Corresponding Author: yhjeong@nsu.ac.kr
Dept. of Information and Communication Engineering, Korea

로 등화를 수행하는 블라인드 등화 기법은 최신 유,무선 통신 시스템의 주요 기술이 되어 있다. 블라인드 등화 기법은 Sato가 RCA(reduced constellation algorithm)^[1]라는 방식을 제시한 이후 Stop-and-Go 알고리즘^[2], CMA(constant modulus algorithm)^[3], MMA(multi-modulus algorithm)^[4], 그리고 GMMA(generalized multi-modulus algorithm)^[5] 등 많은 알고리즘들이 발표되었으며, 상당수가 Bussgang 계열이다^[6]. 이 방법들은 LMS(least mean square)와 유사한 등화 계수 갱신 식을 가지는데, 이 식에 어떤 오차 신호를 사용하느냐에 따라 등화 성능이 달라지게 된다^[7]. Yang에 의해 발표된 MMA와 GMMA는 가장 널리 알려진 블라인드 등화 알고리즘 중 하나이다. Yang은 256-QAM 이하의 통신 시스템에는 MMA를, 256-QAM 이상의 고차 QAM 통신 시스템을 위해서는 GMMA를 사용하도록 고안하였다. 하나의 비용 함수와 하나의 반경을 갖는 MMA와는 달리 GMMA는 신호점(constellation) 복소 평면을 여러 개의 영역으로 나누었으며, 각 영역마다 서로 다른 비용함수와 반경을 가지도록 하였다. GMMA는 좋은 특성을 가진 알고리즘이나 GMMA는 정상상태에서의 상당히 큰 잔류 오차를 가지는 단점을 가지고 있다. 이것은 이 알고리즘의 근본적인 불일치(misadjustment) 문제^[8]에서 야기되는 것이므로 다른 방법을 통한 해결이 요구된다. 이 문제는 신호점과 반경을 일치시키거나 아니면 어느 정도 눈 모형이 열렸을 때 작은 오차신호가 등화 계수 갱신에 적용됨으로써 해결할 수 있다.

본 논문에서는 수렴속도 면에서 우수한 성능을 가지는 MSAG-GMMA를 사용하되 눈 모형이 어느 정도 열렸을 때 가변 스텝 크기가 MSAG-GMMA 등화 계수 갱신 식에 적용되도록 하는 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 결정지향 알고리즘의 오차 신호의 크기를 판단하여 고정 스텝 크기 MSAG-GMMA를 동작시킬 것인지 가변 스텝 크기 MSAG-GMMA를 동작시킬 것인지를 등화 계수 갱신 때 마다 결정하도록 하였으며, 가변 스텝 크기는 고정 스텝 크기에 결정지향 알고리즘의 오차 신호의 크기를 곱하여 오차신호의 크기에 따라 변화하도록 하였다.

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위하여 앙상블 ISI, 앙상블-평균 MSE, 그리고 등화 후 복원된 신호점들의 성능 평가 지수들을 사용하였다. 성능 비교 결과 제안한 알고리즘의 성능이 MMA, GMMA, 그리고

MSAG-GMMA 보다 훨씬 우수한 수렴속도 및 잔류 오차 특성을 가짐을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 GMMA와 MSAG-GMMA를 설명한다. 3장에서 제안한 가변 스텝 크기를 가지는 MSAG-GMMA를 기술하며, 4장에서 컴퓨터 모의실험 결과를 통하여 제안한 알고리즘과 MMA, GMMA, 그리고 MSAG-GMMA와의 성능을 비교, 분석한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 블라인드 등화 알고리즘

1. GMMA

Yang은 단일 반경(modulus)을 가지는 MMA를 확장하여 고차 QAM 시스템에 적용할 수 있는 GMMA를 발표하였다^[5]. GMMA의 비용 함수는 식 (1)과 같다. GMMA는 신호점 평면을 여러 개의 영역으로 나누며, 각 영역은 서로 다른 비용 함수와 반경을 가진다.

$$J_{GMMA} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N J_{MMA}(i) \quad (1)$$

$$= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N E[(y_{R,i}^2(n) - R_{R,i}^2)^2] + E[(y_{L,i}^2(n) - R_{L,i}^2)^2]$$

여기서 $y_{R,i}(n)$ 와 $y_{L,i}(n)$ 은 i 번째 영역에서의 신호점에 대한 실수 및 허수부이다. $R_{R,i}$ 와 $R_{L,i}$ 는 i 번째 영역에서의 실수 및 허수부의 반경이며, N 은 실수와 허수부에서 나누어지는 영역의 수이다. 본 논문에서 256-QAM 시스템에 대해서 실수부는 $0 \leq |y_{R,1}(n)| < 8$, $8 \leq |y_{R,2}(n)| < 12$, $12 \leq |y_{R,3}(n)| < \infty$ 영역으로, 그리고 허수부는 $0 \leq |y_{L,1}(n)| < 8$, $8 \leq |y_{L,2}(n)| < 12$, $12 \leq |y_{L,3}(n)| < \infty$ 영역으로 나눈다.

GMMA의 등화기 계수 갱신 식은 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\mathbf{W}(n+1) = \mathbf{W}(n) - \mu_{GMMA} e_{GMMA}(n) \mathbf{x}^*(n) \quad (2)$$

이 식에서 GMMA의 오차 신호 $e_{GMMA}(n) = \{y_R(n)(y_R^2(n) - R_{R,i}^2) + j\{y_I(n)(y_I^2(n) - R_{L,i}^2)\}$ 이다.

2. MSAG-GMMA

MSAG-GMMA는 보다 신뢰성 있는 오차 신호를 등화 계수 갱신 식에 적용하여 정상 상태(steady state)로의 수렴 속도를 향상시킬 수 있는 알고리즘이다^[9]. MSAG-GMMA는 Stop-and-Go algorithm[2]과 유사하게 GMMA의 오차 신호를 갱신 식에 바로 적용하지 않고 식 (3)과 같이 GMMA 오차 신호의 실수 부 $e_{GMMA,R}(n)$ 의 부호와 결정지향(decision-directed) 알고리즘 오차 신호의 실수 부 $e_{DD,R}(n)$ 의 '+', '-' 부호가 같은 지, 또한 GMMA 오차 신호의 허수 부 $e_{GMMA,I}(n)$ 의 부호와 결정지향 알고리즘 오차 신호의 허수 부 $e_{DD,I}(n)$ 의 부호가 같은 지의 여부를 판단하여 '1' 또는 '0'를 할당할 이진 플래그 $f_{MSAG,R}$ 과 $f_{MSAG,I}$ 를 구하여 GMMA의 오차 신호를 등화 계수의 갱신에 사용할 것인지를 제어하는 알고리즘이다. 이것은 같은 방향의 추정 오차만을 등화 계수 갱신에 사용함으로써 결과적으로 빠른 수렴 속도를 가지게 한다.

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

$$f_{MSAG,I} = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{sgn}(e_{GMMA,I}(n)) = \text{sgn}(e_{DD,I}(n)) \\ 0 & \text{if } \text{sgn}(e_{GMMA,I}(n)) \neq \text{sgn}(e_{DD,I}(n)) \end{cases} \quad (3)$$

여기서 $e_{DD,R}(n) = y_R(n) - \hat{y}_R(n)$, $e_{DD,I}(n) = y_I(n) - \hat{y}_I(n)$ 이고 $\hat{y}_R(n)$ 과 $\hat{y}_I(n)$ 은 실수 및 허수부에서 결정된 출력 신호점을 나타낸다. $\text{sgn}(\cdot)$ 은 signum 함수이다.

MSAG-GMMA의 등화 계수 갱신 식은 식 (4)와 같다.

$$\mathbf{W}(n+1) = \mathbf{W}(n) - \mu_{MSAG-GMMA} (f_{MSAG,R} e_{GMMA,R}(n) - j f_{MSAG,I} e_{GMMA,I}(n)) \mathbf{x}^*(n) \quad (4)$$

III. 제안한 가변 스텝 크기를 가지는 MSAG-GMMA

GMMA는 원 신호점과 각 영역별 반경과의 불일치로 인하여 정상 상태에서 보다 작은 잔류 오차 값을 가지는데 한계가 있으며, MSAG-GMMA 역시 정상상태로의 빠른 수렴 속도는 가지나 정상 상태에서 작은 잔류 오차

값을 가지는데 한계가 있다. 본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위하여 MSAG-GMMA의 빠른 수렴 속도를 유지하면서 정상상태에서 매우 작은 잔류 오차 값을 가질 수 있도록 가변 스텝 크기를 가지는 MSAG-GMMA를 제안한다. 먼저 정상상태로 들어가기 전까지는 MSAG-GMMA의 빠른 수렴 속도를 유지하도록 하기 위해서 판단 기준 값으로 결정 지향 알고리즘의 오차 신호의 절대 값 $|e_{DD}(n)| = |y(n) - \hat{y}(n)|$ 를 이용하였다. $|e_{DD}(n)|$ 값이 임계 값 $\lambda (0 < \lambda \leq 0.5)$ 보다 크거나 같을 때에는 MSAG-GMMA가 동작하도록 하고, λ 보다 작을 때에는 눈 모형 상에서 이미 어느 정도 눈이 열린 상태라 가정하여 MSAG-GMMA의 오차 신호가 $|e_{DD}(n)|$ 의 크기에 따라 등화 계수 갱신에 다르게 적용될 수 있도록 하였다. 즉 $|e_{DD}(n)|$ 값을 고정 스텝 크기 $\mu_{MSAG-GMMA}$ 에 곱하여 가변 스텝 크기 역할을 하도록 하였다. $|e_{DD}(n)|$ 값이 작으면 작을수록 계수 갱신의 크기 역시 작도록 하였다. 따라서 작은 고정 스텝 크기를 사용함에 따른 정상상태로의 느린 속도 문제나 반대로 큰 스텝 크기를 사용함에 따른 정상상태에서의 큰 잔류 오차 크기 문제를 해결 할 수 있다.

제안한 알고리즘의 등화 계수 갱신 식은 다음과 같다.

$$\begin{cases} \mathbf{W}(n+1) = \mathbf{W}(n) - \mu_{MSAG-GMMA} (f_{MSAG,R} e_{GMMA,R}(n) + j f_{MSAG,I} e_{GMMA,I}(n)) \mathbf{x}^*(n) , & \text{if } |e_{DD}(n)| \geq \lambda \\ \mathbf{W}(n+1) = \mathbf{W}(n) - |e_{DD}(n)| \mu_{MSAG-GMMA} (f_{MSAG,R} e_{GMMA,R}(n) + j f_{MSAG,I} e_{GMMA,I}(n)) \mathbf{x}^*(n) , & \text{if } |e_{DD}(n)| < \lambda \end{cases} \quad (5)$$

IV. 컴퓨터 모의실험 및 고찰

컴퓨터 모의실험을 통하여 제안한 블라인드 등화 알고리즘의 성능을 평가하였다. 100회의 독립적인 Monte Carlo 방법으로 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 통신 채널 모델은 [2]에서 사용된 복소 채널이다. 블라인드 등화기로는 15차의 복소 FIR 적응 필터를 사용하였으며, 등화기의 중심 계수 값을 $1+j0$ 로, 나머지 계수 값들을 $0+j0$ 로 초기화하였다. 통신 신호 방식은 256-QAM 신호로 하였다. SNR을 40dB로 하여 실험을 수행하였다.

GMMA에서 256-QAM 시스템의 경우 3개의 영역으로 나누며, 각 영역은 $i = 1, 2, 3$ 으로 나타낸다. $R_{R,i}^2$ 와 $R_{I,i}^2$

값은 GMMA에서 $i = 1$ 일 때 36.9664, $i = 2$ 일 때 105.0625, $i = 3$ 일 때 200.7889로 하였다. 또한 MSAG-GMMA와 제안한 블라인드 등화알고리즘에서 $R_{R,i}^2$ 와 $R_{L,i}^2$ 값은 실험을 통하여 $i = 1$ 일 때 85, $i = 2$ 일 때 152.2, 그리고 $i = 3$ 일 때 193으로 정하였으며, 이때 가장 좋은 성능을 보였다. MMA에서 $\mu_{MMA} = 8 \times 10^{-9}$, GMMA에서 $\mu_{GMMA} = 3.5 \times 10^{-8}$, MSAG-GMMA에서 $\mu_{MSAG-GMMA} = 3.0 \times 10^{-8}$, 그리고 제안한 알고리즘에서 $\mu_{MSAG-GMMA} = 4.5 \times 10^{-8}$ 로 정하였다. 여기서 각각의 알고리즘에 적용된 스텝 크기 μ 값들은 반복적인 실험을 통하여 가능한 한 빠른 수렴 속도와 정상상태에서 가장 작은 잔류 오차를 가지는 값으로 정하였다. λ 값 역시 실험을 통하여 0.5로 정하였다. 등화 성능 평가를 위해서 앙상블 ISI(ensemble Inter-Symbol Interference)^[10]와 앙상블-평균 MSE(ensemble-averaged Mean Square Error)^[11], 그리고 등화기의 출력으로 나타나는 등화 후 신호 점을 사용하였다. ISI는 다음과 같이 식 (6)으로 정의된다.

$$ISI = \frac{\sum_n |s(n)|^2 - |s(n)|_{\max}^2}{|s(n)|_{\max}^2} \quad (6)$$

여기서 $s(n)$ 는 통신 채널과 등화 필터와의 컨볼루션을 나타낸다.

앙상블-평균 MSE는 다음 식 (7)과 같이 정의된다.

$$MSE(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N E[|y(n) - \hat{y}(n)|^2] \quad (7)$$

여기서 $y(n)$ 은 등화기 출력률, $\hat{y}(n)$ 은 추정된 심볼 값을 나타내며, N 은 앙상블 $MSE(n)$ 값들의 부분 평균 값을 얻기 위한 개수로서 본 논문에서는 $N = 99$ 로 하였다.

그림 1은 각 블라인드 등화 알고리즘들의 오차 신호를 보인다.

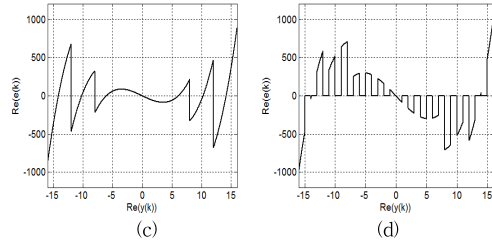
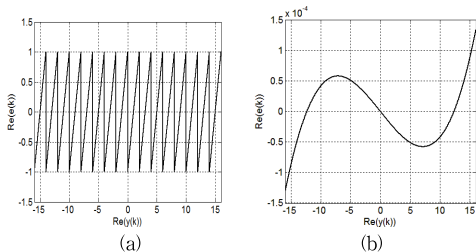


그림 1. 블라인드 등화 알고리즘의 오차 신호

(a) DD (b) MMA (c) GMMA (d) MSAG-GMMA와 제안한 알고리즘

Fig. 1. Error signals of blind equalization algorithms (a) DD (b) MMA (c) GMMA (d) MSAG-GMMA and proposed algorithm

그림 2는 256-QAM 시스템에서 30000번을 반복 수행했을 때, 각 블라인드 등화 알고리즘에 따른 앙상블 ISI의 비교 결과를 보인다. 그림에서 MMA는 15500번 정도의 반복횟수 이후에 정상상태에서 -26.82dB 정도의 ISI 값을 가지며, GMMA는 14000번 정도의 반복횟수에서 -31.14dB 정도의 ISI 값을 가짐을 보인다. 또한 MSAG-GMMA는 6296번 정도의 반복횟수에서 -39.01dB 정도의 ISI 값을 가짐을 보인다. 한편 제안한 알고리즘은 정상상태에서 6000번 정도의 반복횟수에서 -49.47dB 정도의 ISI 값을 가짐을 보인다. 그림을 통하여 제안한 알고리즘은 수렴 속도면에서는 MMA보다 9500번 정도, GMMA보다는 1500번 정도, 그리고 MSAG-GMMA 보다는 296번 정도 더 빠르게 정상상태에 들어감을 알 수 있다. 또한 정상상태에서 MMA 보다 22.65dB 정도, GMMA 보다 19.33dB 정도, 그리고 MSAG-GMMA 보다 10.46dB 정도 더 낮은 ISI 값을 가짐을 알 수 있다.

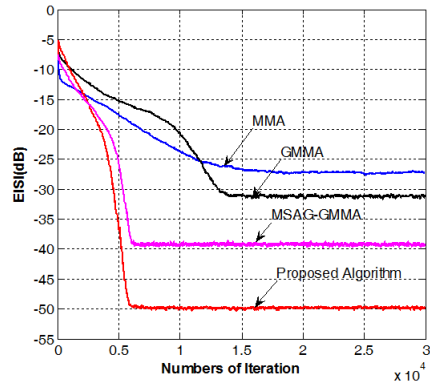


그림 2. 256-QAM 시스템에서 각 등화 알고리즘에 따른 앙상블 ISI의 비교

Fig. 2. Comparison of ensemble ISI according to each equalization algorithm in 256-QAM system

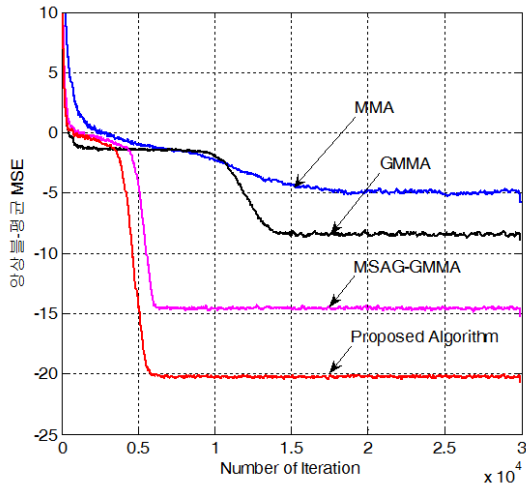


그림 3. 256-QAM 시스템에서 각 등화 알고리즘에 따른 앙상블-평균 MSE의 비교
 Fig. 3. Comparison of ensemble-averaged MSE according to each equalization algorithm in 256-QAM system

그림 3에서 정상상태에서의 잔류 오차 크기 정도를 알아보기 위하여 각 알고리즘에 대한 앙상블-평균 MSE 값을 구하여 비교하여 나타내었다. 그림을 통하여 MMA는 -4.90dB, GMMA는 -8.42dB, MSAG-GMMA는 -14.58dB, 그리고 제안한 알고리즘은 -20.23dB 정도의 MSE 값을 보이고 있다. 따라서 제안한 알고리즘이 MMA와 비교하여 15.33dB 정도, GMMA와 비교하여 11.81dB 정도, 그리고 MSAG-GMMA와 비교하여 5.65dB 정도 더 작은 MSE 값을 가짐을 알 수 있다. 본 논문에서 식 (7)에서의 N 값은 99로 하였다.

등화 후의 결과 신호점 모습을 비교하기 위하여 그림 4에 각각의 블라인드 등화 알고리즘에 대한 등화 후 결과 신호점 도를 보인다. 그림 4-(a)에서 등화 전 신호점도를 보이고, 4-(b)에서 MMA, 4-(c)에서 GMMA, 4-(d)에서 MSAG-GMMA, 그리고 4-(e)에서 제안한 알고리즘에 대한 등화 결과 신호점도를 각각 보인다. 신호점들이 송신 심볼점을 중심으로 뭉쳐있는 분포 정도를 통하여 등화 성능을 판단할 수 있는데, 이 그림에서 제안한 알고리즘의 신호점 분포가 가장 작게 뭉쳐진 모습을 보임을 알 수 있으며, 따라서 매우 우수한 등화 성능을 가짐을 확인할 수 있다.

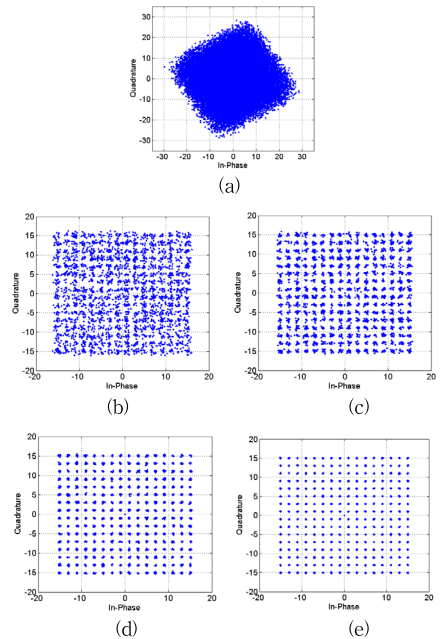


그림 4. 256-QAM 신호에 대한 등화 전과 각각의 알고리즘의 등화 후 신호점도
 (a) 등화 전 (b) MMA (c) GMMA (d) MSAG-GMMA (e) proposed algorithm

Fig. 4. The constellation diagram before equalization for 256-QAM and after equalization of each algorithm
 (a) Before equalization (b) MMA (c) GMMA (d) MSAG-GMMA (e) proposed algorithm

V. 결론

본 논문에서는 빠른 수렴 속도와 함께 정상상태에서 매우 작은 잔류 오차를 가질 수 있는 가변 크기를 가지는 MSAG-GMMA를 제안한다. 제안한 알고리즘은 결정 지향 오차 신호의 크기를 이용하여 고정 스텝 크기와 함께 가변 스텝 크기로 변화도록 하였다. 또한 빠른 수렴 속도 유지를 위하여 정상상태로의 진입까지 MSAG-GMMA 주로 동작 할 수 있도록 결정 지향 오차 신호의 크기를 판단 기준으로 적용하였다. 256-QAM 시스템에 대해 컴퓨터 모의실험 결과 정상상태로의 수렴 속도면에서 제안한 알고리즘이 MMA, GMMA, 그리고 MSAG-GMMA 보다 약 1.05배에서 2.58배 빠르고, 정상상태에서 잔류 ISI 값에 대해서는 약 10.46dB에서 22.65dB 더 작은 값을 가지며, 또한 MSE 값에서 약 5.65dB에서 15.33dB 더 작

은 값을 가짐을 알 수 있었다. 따라서 평가 지표들을 종합하여 볼 때, 제안한 가변 스텝 크기를 가지는 MSAG-GMMA이 우수한 등화 성능을 가짐을 확인할 수 있었다.

References

- [1] Y. Sato, "A Method of Self-Recovering Equalization for Multilevel Amplitude-Modulation System," IEEE Trans, Commun., vol. COM-23, pp. 679-682, Jun 1975.
- [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] 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.
- [4] J. Yang, J.-J. Werner and G. A. Dumont, "The Multimodulus Blind Equalization algorithm," in Proc. 13th Int. Conf Digital Signal Processing, vol. 1, pp. 127-130, July 1997.
- [5] J. Yang, J.-J. Werner, and G.A. Dumont, "The Multimodulus Blind Equalization and its Generalized Algorithms," IEEE J. Selected Areas Comm., vol. 20, no. 5, pp. 997-1015, June 2002.
- [6] F. Hermann and A. K. N, "Blind equalization-combinations of Bussgang and higher-order-statistics-based methods", Proc. IEE Colloq. Adaptive Signal Process. Mobile Commun. Syst., pp. 94, p. 12/1-6, 1997
- [7] S.S. Lim, "A Performance Evaluation of RMMA Adaptive Equalization Algorithm in 16-QAM Signal," JIIBC, Vol.15, No.2, pp.99-104, Apr. 2015.
- [8] S. Abrar, R.A. Axford, "Sliced Multi-modulus Blind Equalization Algorithm," ETRI Journal, Vol.27, No.3, pp.257-266, June 2005.
- [9] Y.H. Jeong, "Performance Evaluation of MSAG-GMMA Adaptive Blind Equalization Algorithm," Information, V.18 No.11, pp. 4705-4712, Nov 2015.
- [10] 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.
- [11] S. Chen, T.B. Cook, and L.C. Anderson FIR equalizers," Digital Signal Processing, vol. 14, pp. 18-36, Jan. 2004.

저자 소개

정영화(정회원)



- 1984년 : 경희대학교 전자공학과 학사 졸업
- 1986년 : 경희대학교 전자공학과 석사 졸업
- 1998년 : 경희대학교 전자공학과 박사 졸업
- 1994년 9월 ~ 현재 : 남서울대학교 정보통신공학과 교수

<주관심분야 : 전력선통신, 적응신호처리, 머신러닝>

※ 이 논문은 2017년도 남서울대학교 학술연구비 지원에 의해 연구되었음.