

가변 Step-Size를 갖는 블라인드 등화 알고리즘

최익현*, 김철민**, 오길남**, 최수철*
*광주대학교 전자공학과, **광주대학교 정보통신학과

Blind Equalization Algorithm Using A Variable Step-Size

Ik Hyun Choi*, Chul Min Kim**, Kil Nam Oh**, Soo Chul Choi*

*Dept. of Electronic Engineering, Gwangju University

**Dept. of Information & Communications, Gwangju University

요약

기존의 블라인드 등화(blind equalization) 알고리즘의 step-size는 임의의 값을 알고리즘에 적용하여 수렴속도와 정상 상태의 특성을 고려하여 최적한 step-size를 결정하였다. step-size를 크게 하면 수렴속도는 빠른 반면에 정상 상태에서 에러가 크고, step-size를 작게 하면 수렴속도는 느린 반면에 정상 상태에서 에러가 작아진다. 그렇기 때문에 수렴속도와 정상 상태를 고려해서 step-size를 결정해야 되고, 특별하게 정해지는 기준이 없기 때문에 연구자의 판단에 의해서 다르게 선택된다. 본 논문에서는 등화기 출력의 잔류 심벌간 간섭에 따라 step-size를 가변함으로써 수렴속도 및 정상 상태 성능을 개선한 가변 step-size를 갖는 블라인드 등화 알고리즘을 제안한다.

I. 서론

실제적인 디지털 통신에서 대역 제한된 채널이나 다중 경로 전파에 의해 심벌간 간섭(ISI: inter symbol interference)이 발생하고 이는 디지털 통신 시스템의 오율 성능을 매우 떨어뜨리는 요인이다. 따라서 신뢰성 있는 통신 시스템의 구축을 위해서는 심벌간 간섭에 대처하기 위한 방법으로 블라인드 등화 기법을 사용한다. 블라인드 등화(blind equalization)는 전송 채널의 임펄스 응답을 알지 못하는 상황에서 소스의 통계적 특성과 채널의 출력만을 이용하여 채널에 의해 왜곡된 신호 소스를 복원하기 위해 적용된다[1].

블라인드 등화 알고리즘 가운데, CMA(Constant Modulus Algorithm)[2]는 가장 일반적이고 잘 알려진 적응 블라인드 등화 알고리즘 가운데 하나다. CMA는 M-ary PSK(Phase Shift Keying) 시스템에 있어서 수신된 신호가 심벌간 간섭으로 인하여 일정 진폭(constant modulus)을 갖지 못할 때, 이를 일정한 값이 되도록 함으로써 채널 왜곡을 등화하게 된다는 개념에서 비롯되었다.

CMA의 탭 계수 갱신 식에서 사용되는 step-size는 임의의 값을 알고리즘에 적용시켜 수렴속도와 정상 상태를 고

려하여 경험적으로 정해진다. step-size를 너무 크게 하면 수렴속도는 빠르다는 이점이 있는 반면에, 정상 상태의 오차 레벨이 크다는 단점을 가지고 있고, step-size를 너무 작게 하면 수렴속도가 느린 반면에 오차 레벨이 작아진다는 문제점이 있다. 그리고 step-size 허용범위 이상의 값을 주게 되면 발산하는 원인이 된다. 이러한 문제 때문에 수렴속도와 정상 상태의 오차 레벨을 고려해서 step-size를 결정해야 하는데, 현재까지는 경험적인 방법에 의해서 정해진 하나의 step-size에 의해서 등화기가 작동되었다.

본 논문에서는 등화 초기에 step-size를 크게 하여 수렴속도를 빠르게 하고 눈모형이 열리기 시작할 때 step-size를 작게 하므로 정상상태 성능을 개선할 수 있는[3] 사실에서 착안하여 등화기 출력의 일정구간 잔류 심벌간 간섭(ISI)의 평균값에 따라 step-size를 가변하므로 수렴속도와 정상상태 특성을 향상시킨 가변 step-size를 갖는 블라인드 등화 알고리즘을 제안한다.

II에서는 CMA(Constant Modulus Algorithm) 등화기법과 step-size 가변의 필요성을 기술하고, III에서는 제안 알고리즘을 소개하며, IV에서 모의실험 및 결과를 고찰한 후, V에서 결론을 요약한다.

II. 본 론

1. CMA

Godard [2] 와 Treichler 등 [4],[5]에 의해 2차원 디지털 통신 시스템을 등화하기 위한 CMA의 부류가 개발되었으며, 이는 QAM(Quadrature Amplitude Modulation) 신호 등화에 가장 널리 사용되고 있는 블라인드 등화 알고리즘 중의 하나이다. CMA는 M-ary PSK (Phase Shift Keying) 시스템에 있어서 수신된 신호가 심벌간 간섭으로 인하여 일정 진폭(constant modulus)을 갖지 못할 때, 이를 일정한 값이 되도록 함으로써 채널 왜곡을 등화하게 된다는 개념에서 비롯되었다.

CMA에서 사용되는 비용 함수는 다음의 형태를 가지며 [2],

$$J(k) = E[(|y(k)|^2 - R_2)^2] \quad (1)$$

여기에서 $y(k)$ 는 등화기 출력이고 R_2 는 일정 상수(constant modulus)이다. 등화기의 탭 계수 벡터에 대해 비용 함수를 최소화하기 위해 LMS 알고리즘을 사용하면, 오차 신호 $e(k)$ 는 아래와 같다.

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

위 식에서 일정 상수 R_2 는 정상 상태를 고려하여 결정되는 상수로서, 이는 채널이 완전히 등화 되었을 때 탭 계수 벡터에 대한 비용 함수의 평균 gradient가 0이 되도록 정해진다. 즉, 정상 상태에서 등화기 출력은 송신된 데이터 심벌 $a(k)$ 에 근접하게 되므로 등화기 출력을 $y(k) = a(k)$ 로 놓을 수 있다. 따라서 정상 상태에서는 등화기의 탭 계수가 갱신되지 않는 것으로 가정할 수 있다. 탭 계수 갱신 식을 다시 쓰면

$$w(k+1) = w(k) - \mu \cdot e(k) \cdot X^*(k) \quad (3)$$

여기에서 μ 는 step-size이고, $X^*(k)$ 는 수신신호 $X(k)$ 의 공액 복소수이다. 정상 상태에서는 위 식의 탭 갱신 증분항을 다음으로 놓을 수 있다.

$$E[a(k)(|a(k)|^2 - R_2)X^*(k)] = 0 \quad (4)$$

여기서 $a(k)$ 는 실수 성분과 허수 성분이 서로 독립인 i.i.d.(independent identically distribution) 변수로 가정하고, $x(k) = h(k) * a(k)$ 을 대입하면, R_2 는 다음과 같이 정의된다.[2]

$$R_2 = \frac{E[|a(k)|^4]}{E[|a(k)|^2]} \quad (5)$$

위 식 (3)에서 step-size μ 는 0보다 크고 1보다 작은 임의의 값을 알고리즘에 적용시켜 수렴속도와 정상 상태를 고려하여 경험적으로 정해지며, 위 그림 1. (a)에서 보인 것과 같이 step-size를 허용범위 이상의 값을 주면 발산하게 되고, 그림 1. (b)는 step-size를 크게 하면 수

렴 속도는 빠른 반면에 정상상태의 오차 레벨이 크고 그림

1. (c)은 step-size를 너무 작게 하면 수렴속도가 느리다는 것을 보여지고 있다. 이러한 문제 때문에 수렴속도와 정상 상태의 오차 레벨을 고려해서 step-size를 결정해야 하는데, 현재까지는 임의의 값을 알고리즘에 적용시켜 성능 평가 기준이 되는 심벌간 간섭(ISI) 또는 평균자승오차(MSE) 결과물을 보고 최적한 하나의 step-size를 선택한 후 선택된 step-size에 의해서 등화가 이루어졌다.

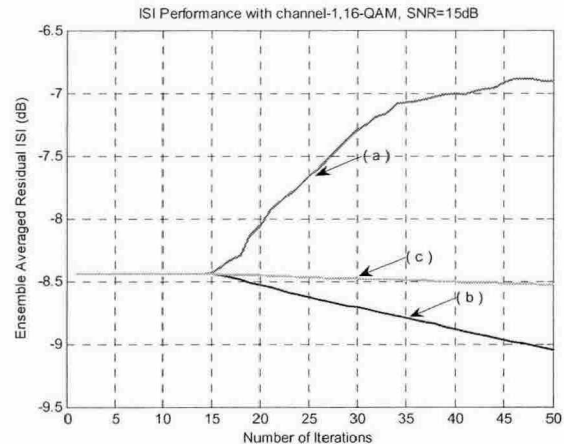


그림 1. step-size에 따른 잔류 심벌간 간섭
(a). step-size가 허용범위 이상인 경우
(b). step-size가 큰 경우
(c). step-size가 작은 경우

이러한 수동적인 수작업에 의해서 step-size가 결정이 되고, 수렴속도와 정상 상태 모두 고려해야 하는데 판단 기준이 없기 때문에 최적한 step-size를 결정했다고 볼 수 없다. 이러한 문제점을 개선하기 위해 다음 장에서 제안 알고리즘을 소개한다.

III. 제안 알고리즘

본 논문에서는 step-size를 일정구간 임의의 값을 적용시켰을 때 등화기 출력의 L 구간 심벌간 간섭(ISI: inter symbol interference)의 평균을 이용하여 step-size를 가변 함으로써 수렴속도와 정상 상태의 성능을 개선한 가변 step-size를 갖는 블라인드 등화 알고리즘을 고안 하였다.

등화기 출력의 잔류 심벌간 간섭(ISI)

$$isi(k) = \frac{\sum_{k=1}^n |s(k)|^2 - |s(k)|_{\max}^2}{|s(k)|_{\max}^2} \quad (6)$$

양의 곡선에서 일정구간 L에서 ISI의 평균값 avg

$$avg = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L isi(i) \quad (7)$$

을 계산한다. 위 식 (6)에서 $s(k) = h(k) * w(k)$ 는 전체

시스템 임펄스 응답으로서, 채널 임펄스 응답 $h(k)$ 와 등화기 임펄스 응답 $w(k)$ 의 콘볼루션이고, $|s(k)|_{\max}$ 는 $s(k)$ 중 최대 절대 값을 갖는 성분이다. 식 (7)에서 심별 간 간섭(ISI)의 급격한 변동을 완화시키기 위해 L 심별 길이의 블록 단위로 잔류 심별 간 간섭(ISI)의 평균값을 계산하여 사용한다.

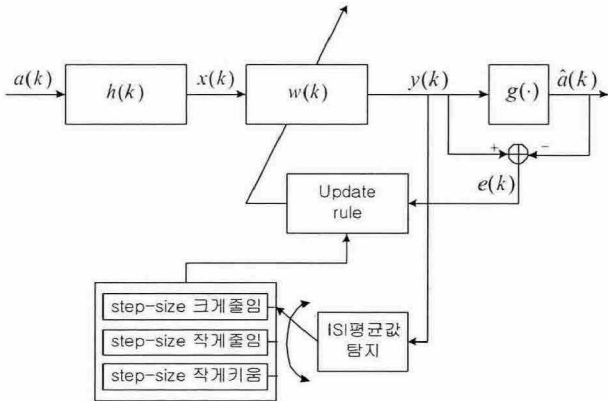


그림 2. 제안한 알고리즘(step-size 가변)

step-size를 가변 하는 첫 번째 기준은 초기 잔류 심별 간 간섭 양과 비교해서 평균값이 큰 경우 step-size를 크게 감소시킨다. 두 번째 기준은 등화가 진행되는 과정에서 전 잔류 심별 간 간섭 평균값 avg_{before} 과 현 잔류 심별 간 간섭 평균값 $avg_{current}$ 을 비교하여 현 잔류 심별 간 간섭 평균값 $avg_{current}$ 이 크거나 같을 경우 step-size를 작게 감소시킨다. 세 번째 기준은 전 잔류 심별 간 간섭 평균값 avg_{before} 이 현 잔류 심별 간 간섭 평균값 $avg_{current}$ 이 작을 경우 step-size를 작게 증가시켜 가변 시켰다. 위에서 언급한 증가 또는 감소시키는 기준은 모두 다르게 설정하였으며 너무 급격한 값을 주게 되면 알고리즘은 발산하기 때문에 작은 값으로 step-size를 갱신하여야 한다.

눈 모형이 열리기 시작하면서 step-size를 적응적으로 증·감시킴으로 정상 상태 오차 레벨을 더욱 향상시킨 성능을 IV에서 모의실험을 통해서 확인한다.

IV. 실험 및 결과

제안한 알고리즘의 성능을 모의실험을 통해 확인하였으며, 성능 비교를 위해 가장 널리 사용되고 있는 CMA에 적용시켰다.

수렴속도와 정상상태를 고려한 경험치 step-size를 적용한 알고리즘과 초기값을 다르게 하여 step-size를 가변한 제안 알고리즘을 비교하였다.

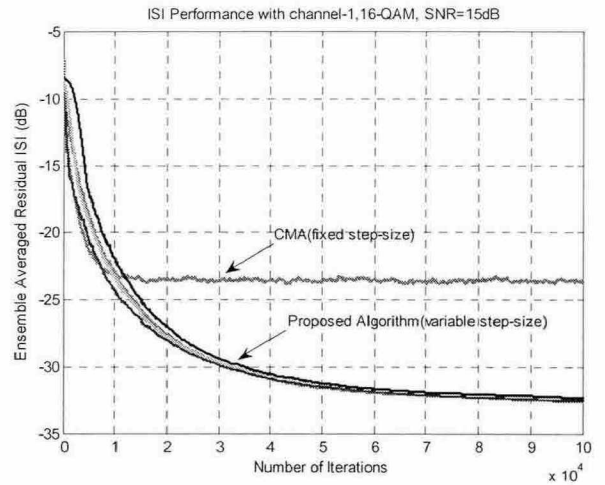


그림 3. 16-QAM에 대한 잔류 심별 간 간섭 비교

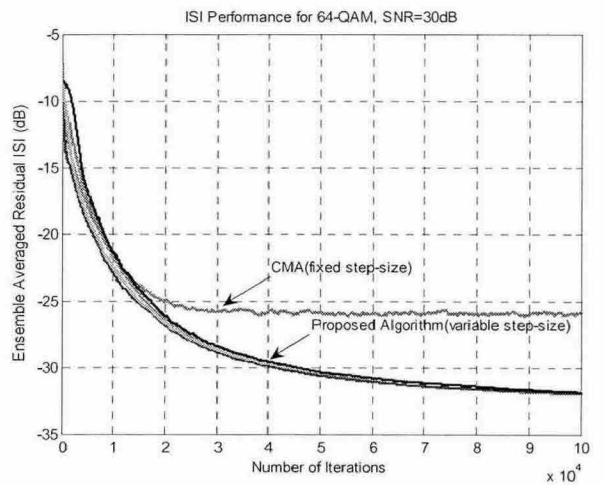


그림 4. 64-QAM에 대한 잔류 심별 간 간섭 비교

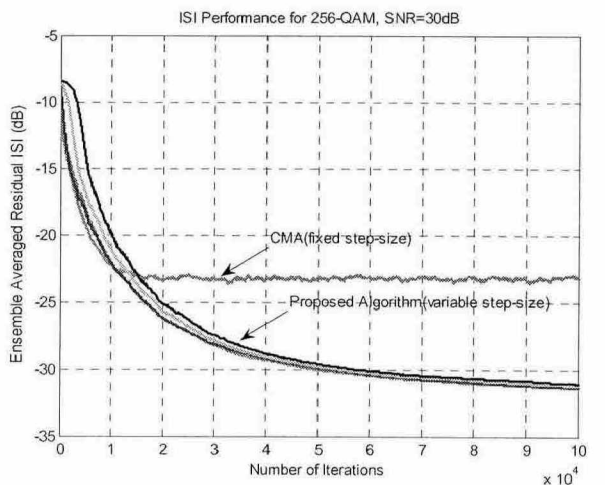


그림 5. 256-QAM에 대한 잔류 심별 간 간섭 비교

다중경로 채널에 대해 16-QAM, 64-QAM 및 256-QAM 신호점을 사용하였고, 신호대 잡음 비는(SNR:

signal-to-noise ratio) 등화기 입력에서, 각 신호점에 대해 각각 15dB, 30dB, 30dB를 적용하였다. 여기서, 신호 대 잡음 비는 다음과 같다.

$$SNR = 10 \log_{10} \frac{E[|a^*(k)h(n)|^2]}{\sigma_k^2} \text{ [dB]} \quad (8)$$

여기에서 σ_k^2 은 추가된 백색 가우시안 잡음의 분산이다.

등화기로는 차수가 23인 트랜스버설(transversal) 필터 구조의 복소수 등화기를 적용하였으며, 필터의 중심 탭은 1로, 중심 탭을 제외한 모든 탭은 0으로 초기화하였다. 모의실험에 사용된 다중경로 전파 채널로는 6-tap delay line 모델을 적용하였다.[6]

그림 3~5.는 수렴속도와 정상상태를 고려한 CMA(step-size fix)와 초기 값을 다르게 한(초기 값에 0.1씩 곱한 4개의 곡선) Proposed Algorithm(variable step-size)의 잔류 심벌간 간섭(ISI)을 나타내고 있다. 총 100,000 수신 심벌에 대해 얻어진 잔류 심벌간 간섭(ISI)을 100회의 수행 결과를 앙상블 평균하여 나타내었다. step-size를 고정한 CMA와 step-size를 가변한 제안 알고리즘은 동일한 수준의 초기 수렴 속도를 가지나, 정상상태 성능에서 큰 차이를 보이고 있다. CMA는 하나의 step-size를 사용하는 반면에 제안 알고리즘에서는 수렴과정 중 눈모양이 열리기 시작할 때 step-size를 가변함으로써 초기 블라인드 수렴 속도의 저하를 초래하지 않으면서 정상 상태에서 오차 레벨을 크게 개선하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 새로운 가변 step-size 갖는 블라인드 등화 알고리즘을 제안하여 수렴 속도 및 정상 상태에서 오차 레벨을 감소시켰다. 수렴속도와 정상 상태를 고려한 고정된 step-size를 사용한 CMA에 비해 일정구간 등화기 출력의 심벌간 간섭의 평균값을 비교해 step-size를 가변 하는 것이 수렴속도 및 정상 상태의 성능이 더욱 좋아짐을 모의실험을 통해 확인 할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Simone Fiori, Blind deconvolution by simple adaptive activation function neuron, *Neurocomputing*, vol. 48, pp. 763-778, 2002
- [2] D.N. Godard, "Self-Recovering Equalization and Carrier Tracking in Two-Dimensional Data Communication Systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-28, pp. 1867-1875, Nov. 1980
- [3] Krzysztof Wesolowski, "Adaptive Blind Equalizers with Automatically Controlled Parameters", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 43, no. 2/3/4, pp 170-172,

1995

- [4] J.R Treichler and B.G. Agee, "A new Approach to Multipath Correction of Constant Modulus Signals," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. 31, pp. 456-472, Apr. 1983.
- [5] J.R Treichler and M.G Larimore, "New Processing Techniques Based on the Constant Modulus Algorithm," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-33, pp. 420-431, Apr. 1985
- [6] N.K. Jablon, "Joint Blind Equalization, Carrier Recovery, and Timing Recovery for High-Order QAM Signal Constellation," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. SP-40, pp. 1383-1398, June 1992.
- [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