

# 시그모이드 추정과 임계 판정 가중 오차를 사용한 새로운 SDD 등화의 자기적응 성능 개선

오길남  
광주대학교 보건의료공학과

## Self-Adaptive Performance Improvement of Novel SDD Equalization Using Sigmoid Estimate and Threshold Decision-Weighted Error

Kil Nam Oh

Dept. of Healthcare & Medical Engineering, Gwangju University

**요약** 고차 QAM 시스템에 대한 자기적응 등화에서 눈 모형이 완전히 닫힌 등화 초기에 적용하여 눈 모형을 빠르게 열뿐만 아니라 정상상태 오차 레벨을 크게 낮추는 새로운 SDD 알고리즘을 제안한다. 제안 방법은 M-QAM 응용에서, 관측에 가장 인접한 두 심볼을 추정의 기반으로 함으로써 기존 SDD의 계산 복잡성을 최소화하고, QAM 차수에 무관하게 연관성을 크게 단순화하였다. 아울러 심볼 추정에 임계 함수에 비해 오판정 회피가 우수한 시그모이드 함수를 적용, 추정의 신뢰도를 높였다. 또한 등화기 갱신을 위한 오차 발생 시 임계 함수에 의한 심볼 판정 값을 오차에 가중하여 오차 변동 범위를 확장함으로써 제안한 자기적응 등화기의 초기화 성능을 개선하였다. 결과적으로 제안 방법은 기존 SDD의 계산 복잡성과 초기화 및 수렴 특성을 현저히 개선하였다. 부가 잡음이 존재하는 다중경로 채널 조건에서 64-QAM 및 256-QAM에 대한 모의실험을 통해 CMA와 제안한 2-SDD 및 가중된 2-SDD의 두 가지 형태의 성능을 비교하고 제안 방법의 유용성을 확인하였다.

**Abstract** For the self-adaptive equalization of higher-order QAM systems, this paper proposes a new soft decision-directed (SDD) algorithm that opens the eye patterns quickly as well as significantly reducing the error level in the steady-state when it is applied to the initial equalization stage with completely closed eye patterns. The proposed method for M-QAM application minimized the computational complexity of the existing SDD by the symbol estimated based on the two symbols closest to the observation, and greatly simplified the soft decision independently of the QAM order. Furthermore, in the symbol estimating it increased the reliability of the estimates by applying the superior properties of the sigmoid function and avoiding the erroneous estimation of the threshold function. In addition, the initialization performance was improved when an error is generated to update the equalizer, weighting the symbol decision by the threshold function to the error, resulting in an extension of the range of error fluctuations. As a result, the proposed method improves remarkably the computational complexity and the properties of initialization and convergence of the traditional SDD. Through simulations for 64-QAM and 256-QAM under multipath channel conditions with additive noise, the usefulness of the proposed methods was confirmed by comparing the performance of the proposed 2-SDD and two forms of weighted 2-SDD with CMA.

**Keywords** : self-adaptive equalization, SDD, threshold decision, sigmoid function, symbol estimate

### 1. 서론

디지털 통신 시스템에서는 미지의 채널 특성을 식별

하고 채널에 의한 심볼간 간섭(intersymbol interference: ISI)을 제거하기 위해 적응 등화를 사용한다. 적응 등화는 대개 학습열을 반복적으로 보내 등화기의 탭 가중치

이 연구는 2016년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 수행되었음.

\*Corresponding Author: Kil Nam Oh (Gwangju University)

Tel: +82-62-670-2345 email: knoh@gwangju.ac.kr

Received May 31, 2016

Revised July 11, 2016

Accepted August 11, 2016

Published August 31, 2016

를 초기화한 후, ISI를 최소로 하는 최적 탭 세팅에 도달하고자 한다. 그러나 학습열에 의한 초기화 과정을 거치지 않는 자기적응(self-adaptive) 등화는 흔히 비선형 추정기에 의한 심볼 추정을 사용하여 등화기의 최적화를 달성한다. 자기적응 등화 기법의 하나로 판정의거(decision-directed: DD) 등화가 널리 사용된다[1].

판정의거 등화는 비선형 추정기로 임계 함수(threshold function)를 이용한다. 임계 함수는 그 입력, 즉 관찰로부터 송신 심볼을 판정하고 이를 출력한다. DD 등화는 임계 함수에 의한 판정이 옳다는 가정 하에 판정을 학습열 대신 사용하여 오차를 발생시킨다. 이때 오차의 신뢰도가 등화기 최적화의 성패를 가른다. 그러므로 판정의 신뢰도가 확보될 때까지 DD 동작을 제한할 필요가 있다. 즉 관찰에 포함된 MSE(mean square error) 또는 ISI가 일정 레벨 이하로 낮아진 이후에 DD를 적용하는 것이 일반적이다[2].

DD 등화에 사용되는 임계 함수는 수신 심볼의 눈 모형을 닫힌 채널 상태에서는 심볼 판정에 효과적이지 않다. 눈 모형이 닫힌 등화 초기에는 임계 함수에 의한 판정은 오류가 클 수밖에 없기 때문이다. 더욱이 임계 함수는 두 심볼 간의 경계에서 오판정의 가능성이 매우 높음에도 불구하고 이때 가장 큰 오차를 발생시키는 함수이다. 이것이 DD에 의한 등화기 최적화의 문제점이자, DD가 관찰 또는 등화기 출력의 MSE 또는 ISI가 큰 등화 초기에는 사용되지 못하는 이유이다. 따라서 DD는 등화기를 초기화하는 수단으로는 부적절하며, 대신 정상상태에서 MSE 오차 성능 개선에 주로 사용되고 있다[3].

DD의 한 변형인 연판정의거(soft decision-directed: SDD)는 DD의 초기화 성능 문제를 개선할 수 있다. SDD는 정상도 상의 모든 송신 심볼로부터 현재의 관찰이 발생했을 가능성의 총합이 최대로 되는 심볼을 추정하되, 모든 심볼이 관찰에 기여했을 가능성의 벡터 합으로 아날로그적인 출력을 발생시킨다[4]. SDD는 이 출력과 관찰간의 차이를 오차로 하여 등화기를 갱신해 가며, 이때 심볼 판정이 불확실할수록 오차를 영에 가깝게 발생함으로써 탭 가중치의 오갱신을 피한다.

분명 심볼 판정 또는 추정의 신뢰도 측면에서 연판정 자체는 경판정에 비해 유리하다. 그러나 연판정은 계산 복잡성이 대단히 커서 비실용적이며, 특히 고차 성상도 응용에 활용되지 못한다[5]. 성상도가 고차로 될수록 계산 복잡성이 크게 증가하고 심볼 판정 시 많은 절충이

요구되어 성능 저하가 나타나기 때문이다[6]. 따라서 고차 QAM 응용에서 계산 복잡성 해소와 수렴 특성 저하를 피할 수 있는 방법이 연판정을 등화기 초기화에 활용 시 선결문제이다.

본 논문에서는 연판정에 의한 심볼 추정을 활용하고자 하는 동기에서, SDD의 계산 복잡성과 자기적응 성능을 개선한, 두 심볼 기반의 SDD를 제안한다. 제안 방법은 M-QAM 응용에서, 관찰에 가장 인접한 두 심볼을 추정의 기반으로 함으로써 계산 복잡성을 최소화하고, 연판정의 이점을 갖기 위해 시그모이드 함수(sigmoid function)를 적용하였다. 여기에 더하여 오차 발생 시 심볼 판정을 오차에 가중하여 오차 변동 범위를 확장함으로써 등화기 초기화 능력을 갖도록 고안하였다.

## 2. 임계 및 시그모이드 판정

독립 일양 분포의 심볼 소스와 다중경로 채널, 적응 등화기 및 비선형 추정기 등이 직렬 연결된 자기적응 등화 모델에서, 송신 심볼  $s_k$ 는 미지의 채널을 거쳐 등화기에 수신된다. 채널을 트랜스버설 필터로 모델링하고 채널의 임펄스 응답을  $H = [h_0, h_1, \dots, h_{L-1}]^T$  라 하면, 등화기 입력은  $r_k = \sum_{i=0}^{L-1} h_i s_{k-i} + \eta_k$ 이며,  $\eta_k$ 는 부가 잡음이다. 등화기 출력은 임펄스 응답이  $W_k = [w_{k,0}, w_{k,1}, \dots, w_{k,N-1}]^T$  인 탭 가중치에 의한 입력 심볼의 가중 합이 된다. 즉  $y_k = \sum_{i=0}^{N-1} w_{k,i} r_{k-i}$ 로 주어진다. 이때 탭 가중치를 최적화하는 알고리즘으로 LMS(least mean square)를 사용하면 탭 가중치 갱신식은 다음과 같다.

$$W_{k+1} = W_k - \mu e_k R_k^* \quad (1)$$

여기서  $R_k^* = [r_k, r_{k-1}, \dots, r_{k-N+1}]^H$  는 등화기 입력 심볼 벡터의 Hermitian conjugate을 나타낸다.  $\mu$ 는 스텝 사이즈,  $e_k$ 는 오차이다. 오차는 비선형 추정기의 판정을 이용하여 형성되며, 이때 판정은 사용된 비선형 추정기에 따라 경판정 또는 연판정이 가능하다.

DD, 즉 경판정에서는 임계 함수에 의해 관찰  $y_k$ 를 송신 심볼 집합 중 가장 가까운 한 심볼로 판정한다. 이진

레벨의 송신 심볼  $\{-1, +1\}$  에 대해, 임계 함수  $g^T(\cdot)$  는 아래와 같이 디지털적 판정을 출력한다.

$$g^T(y_k) = \begin{cases} +1, & y_k \geq 0 \\ -1, & y_k < 0 \end{cases} \quad (2)$$

실수의 다치 레벨의 송신 심볼의 경우, 임계 함수  $g^T(\cdot)$  는 최인접 심볼 판정을 출력하며, 다음으로 나타낼 수 있다.

$$g^T(y_k) = \arg \min_{s_i} |y_k - s_i| \quad (3)$$

임계 함수는 (2)에서 보는 바와 같이, 영 근방, 즉 두 심볼의 중앙에서 +1 또는 -1로 급격한 상태 천이가 일어난다. 마찬가지로 다치 레벨의 경우 두 심볼의 경계에서 심볼 판정의 천이가 발생한다. 이와 같은 임계 함수의 특성으로 인해 관찰의 눈 모형이 닫힌 상태에서 판정의 신뢰도가 저하된다. 임계 판정 오차는 (4)로 주어지며, 이것이 탭 가중치 갱신 (1)에 사용된다.

$$e_k^T = y_k - g^T(y_k) \quad (4)$$

두 심볼 간의 경판정 대신 연판정을 사용할 수 있다. 눈 모형이 닫혀있는, 또는 ISI가 큰 등화 초기에 연판정의 입출력 특성은 시그모이드 함수로 잘 근사화된다[7]. 연판정을 시그모이드 함수로 근사화하고, 이를 QPSK 심볼에 적용하면, 시그모이드 추정은 QPSK 심볼의 실수 성분과 허수 성분을 분리하여 각각을 BPSK로 간주하여 다음으로 된다[8].

$$g^S(y_k) = a \frac{e^{2ay_k/\sigma^2} - 1}{e^{2ay_k/\sigma^2} + 1} \quad (5)$$

여기서,  $a$  는 두 BPSK 심볼의 크기를 나타낸다. 즉 시그모이드 함수는  $-a \sim +a$  의 실수값으로 아날로그적 추정을 출력한다. 그러면 시그모이드 추정 오차는 다음과 같다.

$$e_k^S = y_k - g^S(y_k) \quad (6)$$

한편, 다치레벨 심볼에 대한 연판정 오차의 일반식은 Chen에 의해 유도되었으며, M-QAM 심볼에 대해

$$e_k^S = \sum_{i=1}^M (y_k - s_i) e^{-|y_k - s_i|^2 / 2\sigma^2} \quad (7)$$

로 주어진다[6]. 그러나 M-QAM 응용의 경우, 식에서 보는 바와 같이 매 iteration에서 오차 추정에 M개의 심볼이 모두 사용되어 그 총합을 구하는 것은 계산 복잡성의 급격한 증가와 심볼 판정 시 절충으로 인한 성능 저하를 초래한다[6]. 이를 개선하는 것이 본 논문의 동기이며, 제안 방법을 3장에서 기술한다.

### 3. 두 심볼 기반 SDD

SDD의 계산 복잡성과 초기화 성능을 개선하기 위해 두 심볼을 기반으로 하는 2-SDD를 제안한다. 종래의 SDD가 M-QAM에 대해 성상도 내의 모든 심볼을 고려의 대상으로 하는 것은 실효성이 없을 뿐만 아니라, 계산 복잡성을 증가시켜 비실용적이다. 이에 반해 제안 방법에서는 현재의 관찰에 최인접한 두 심볼로 대상을 한정하고, 시그모이드 함수에 의해 두 심볼의 기여도를 반영하여 심볼을 추정한다.

제안하는 두 심볼 기반 시그모이드 추정에서는 복소 성상도 평면상에서, 관찰을 둘러싸는 네 심볼에 대해, 실수 및 허수 성분을 분리하여 각각에 대해 두 심볼  $(s_{i,R}, s_{i+1,R}), (s_{j,I}, s_{j+1,I})$  을 얻는다. 이를 두 쌍의 BPSK 심볼로 간주하고, 여기에 시그모이드 함수를 적용한다. 이때 시그모이드 함수를 적용하기 위해 먼저 좌표 변환이 필요한데, 이는 두 심볼의 중심을 영으로 설정하는 것에 해당한다. 결국 두 심볼은 항상 영을 중심으로  $\pm 1$  인 두 점이 되므로, 시그모이드 추정  $g^{2S}(\cdot)$  는 (5)에서  $a=1$  로 설정하여 실수 및 허수 성분을 함께 나타내면 아래와 같이 표현된다.

$$g^{2S}(z_k) = \frac{e^{2z_{k,R}/\sigma_R^2} - 1}{e^{2z_{k,R}/\sigma_R^2} + 1} + j \frac{e^{2z_{k,I}/\sigma_I^2} - 1}{e^{2z_{k,I}/\sigma_I^2} + 1} \quad (8)$$

여기서 관찰  $(y_{k,R}, y_{k,I})$  은 좌표 변환에 따라 새로운 값

$(z_{k,R}, z_{k,I})$ 으로 바뀌었다.  $\sigma_R^2$  및  $\sigma_I^2$ 는 실수 및 허수 성분의 군집의 퍼짐을 조절하는 분산이다.

그러면 2-SDD의 오차  $e_k^{2S}$ 는 (8)을 사용하여

$$e_k^{2S} = z_k - g^{2S}(z_k) \quad (9)$$

가 된다. 제안 방법의 의미는, 연관성 오차의 일반식을 M-QAM으로 확장 시 M개의 모든 심볼을 고려하는 (7)을 사용하는 것을 피함으로써 계산 복잡성을 크게 단순화한 점이다. 즉 제안 방법에서는 (9)를 사용하므로 M-QAM에 대한 계산 복잡성이 항상 BPSK 또는 두 심볼점에 대한 추정으로 단순화된다.

또한 제안 방법에서는 SDD의 계산 복잡성의 단순화 함께 초기화 특성을 개선하기 위해 오차 발생을 새롭게 하였다. DD 오차 발생에서는 관찰의 상대적 크기를 반영하지 않기 때문에 관찰의 크기에 비례하는 오차 값이 얻어지지 않는다. 즉 오차 범위가 한정되어 탭 가중치 증분 항 또는 갱신 항을 한정하므로 탭 가중치 갱신이 충분히 이루어지지 못하는 것을 알 수 있다.

이를 개선하는 방법으로, 관찰에 대한 임계 판정을 (9)에 가중하였다. 그러면 가중된 2-SDD 오차는

$$\tilde{e}_k^{2S} = e_{k,R}^{2S} |g^T(y_{k,R})| + j e_{k,I}^{2S} |g^T(y_{k,I})| \quad (10)$$

가 된다. 임계 판정  $g^T(y_{k,R})$ 와  $g^T(y_{k,I})$ 는 관찰의 실수 및 허수 성분에 대한 최인점 심볼 판정을 나타낸다.

$$g^T(y_{k,R}) = \arg \min_{s_{i,R}} |y_{k,R} - s_{i,R}| \quad (11)$$

$$g^T(y_{k,I}) = \arg \min_{s_{i,I}} |y_{k,I} - s_{i,I}|$$

식 (10)에서 가중된 곱 항에 의해 오차의 범위가 확장 되면 충분한 탭 가중치 갱신이 이루어지고, 그에 따라 수렴 성능이 향상되어 등화기 초기화가 가능해진다.

그림 1에 2-SDD 오차와 가중된 2-SDD 오차를 나타내었다. 이때 가중은 절대값 및 제곱의 두 가지 형태를 사용하였다. 가중된 오차는 변동 범위가 심볼 판정의 크기에 비례해서 확장되었으며, 특히 제곱 형태의 가중에서는 큰 변동성을 보이고 있다.

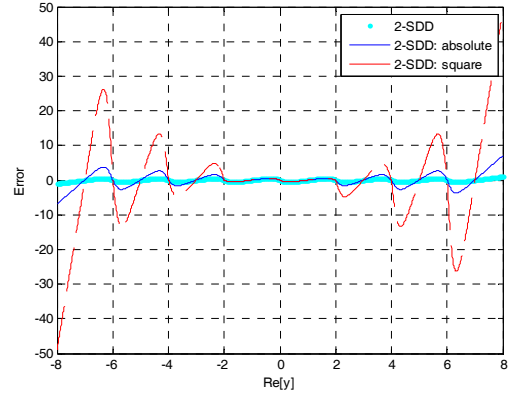


Fig. 1. Comparison of 2-SDD error and two type weighted 2-SDD errors.

그러나 이 방법에 의해 정상상태에서도 오차 범위가 확장되므로 정상상태에서는 최소 MSE 수렴을 위해 이를 중지하는 것이 필요하다. 이를 중지하기 위한 조건으로 심볼 주위에 형성된 군집의 퍼짐을 이용하였다. 군집의 퍼짐은 임계 판정 오차 (4)에 반영되어 있으므로 이를 활용할 수 있다. 이때 순시 오차의 변동성을 완화하기 위해 현재 오차로부터 이전 수 개의 오차를 평균하여 적용하였다.

$$|e_{k,R}^T(y_{k,R})| < \gamma_R, \quad |e_{k,I}^T(z_{k,I})| < \gamma_I \quad (12)$$

$\gamma_R, \gamma_I$ 는 군집의 퍼짐에 대한 임계값으로, 실험에서는 경험적으로 설정되었다. 가중을 중지하기 위해 식 (12)의 조건을 만족하면 가중되지 않은 2-SDD 오차 (9)를, 그렇지 않으면 가중된 2-SDD 오차 (10)을 적용하였다. 정상상태에서 가중되지 않은 2-SDD 오차를 적용한 결과 수렴 특성을 추가적으로 개선할 수 있었다.

#### 4. 실험 결과

제안 방법의 유용성을 확인하기 위해 모의실험을 통해 비트 오류율(BER)과 ISI 제거 성능을 비교하였다. 모의 실험은 부가 잡음이 존재하는 다중경로 채널 조건에서 64/256-QAM에 대해 실시하였다. 실험에 사용된 다중경로 채널은 진폭 및 위상 왜곡을 가지는 대표적인 채널로서 문헌 [9]에서 인용하였다. 부가 잡음의 신호대 잡음비

는  $E_b/N_0$ , 즉 비트당 에너지 대 잡음 밀도를 사용하였다. ISI 제거 성능은 등화기 출력에 잔류하는 ISI를 평가하였다.

성능 비교를 위해 CMA와 제안한 2-SDD 및 가중된 2-SDD의 두 가지 형태, 즉 정상상태에서 가중 중지를 적용하지 않은 2-SDD-1과 가중 중지를 적용한 2-SDD-2를 비교하였다. 이때 가중된 2-SDD에서는 절대값 가중을 적용하였다. 성능 비교 결과를 그림 2~5에 보였으나, 원래의 SDD[5, 6]는 계산 복잡성과 심볼 판정 오류로 인하여 등화기를 전혀 초기화하지 못함에 따라 그림에는 포함하지 않았다.

먼저, 부가 잡음 하의 다중경로 채널에 대해 SNR 10 ~ 35 dB 범위에서 BER 성능을 평가하였다. 그림 2와 3에 각각 64-QAM과 256-QAM에 대한 BER 성능을

보였다. 두 실험 결과에서 CMA는 SNR에 따라 BER을 완만하게 개선하였으나, SNR이 증가하여도 BER이 더 이상 개선되지 않는 현상을 보였다. 가중된 2-SDD는 두 형태, 즉 2-SDD-1과 2-SDD-2 모두 SNR에 따라 BER을 빠르게 개선하였으며, 두 형태는 거의 동일한 BER 성능을 나타내었다.

다음, ISI 성능은 약  $10^{-4}$  정도의 BER에 도달하는 요구 SNR에 대해서 실험한 결과를 제시하였다. 그림 4와 5에 각각 64-QAM과 256-QAM에 대한 ISI 성능을 나타내었다. 부가 잡음은 64-QAM에서 18 dB, 256-QAM에서 23 dB로 하였으며, 실험에 사용된 모든 알고리즘의 수렴상수는 CMA와 유사한 반복횟수에서 수렴에 도달하도록 설정하였다. 개별적인 실험을 100회 수행하여 얻어진 결과를 평균하여 나타내었다.

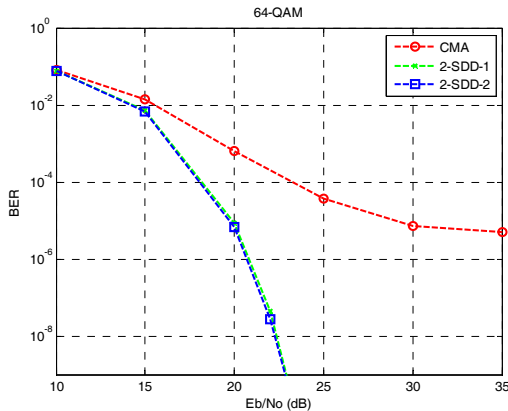


Fig. 2. Comparison of bit error rate performance: 64-QAM.

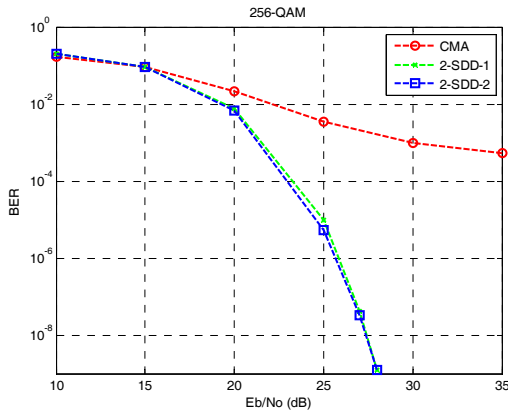


Fig. 3. Comparison of bit error rate performance: 256-QAM.

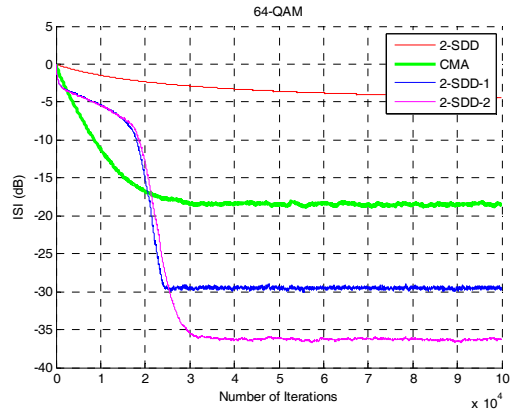


Fig. 4. Comparison of intersymbol interference performance: 64-QAM, 18dB.

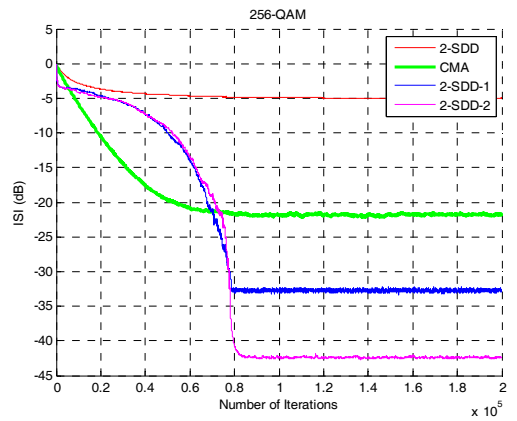


Fig. 5. Comparison of intersymbol interference performance: 256-QAM, 23dB.

2-SDD는 고차 QAM에 대해 연관정 적용 시 계산 단 순화를 달성하였으나 초기화에는 실패하였다. CMA는 초기화를 달성하나 정상상태 ISI 성능은 만족스럽지 못하다. 가중된 2-SDD-1은 초기화 달성과 동시에 정상상태 성능을 개선하며, CMA에 비해 64-QAM과 256-QAM에서 모두 11dB 정도 잔류 ISI를 개선하였다. 한편, 가중된 2-SDD-2는 2-SDD-1과 같은 빠른 수렴속도를 유지하면서 정상상태 ISI를 더욱 개선하였다.

이상의 실험 결과로부터 제안 방식은 단계적으로 성능을 개선하는 것을 확인할 수 있었다. 즉, 일단 두 심볼 기반 추정에 의해 계산을 단순화하고, 오차 가중에 의해 초기화 및 정상상태 성능을 크게 개선하며, 다시 조건에 따른 오차 가중 중지를 적용하여 정상상태 성능을 추가적으로 개선하였다.

## 5. 결론

고차 QAM에 대한 등화에서, 관찰을 둘러싸는 최인접 두 심볼만 고려함으로써 계산 복잡성을 단순화한 자기적용 SDD 등화를 구현하였다. 또한 관찰에 대한 심볼 판정을 오차에 가중한 새로운 오차를 발생, 탭 가중치 갱신식에 적용하여 초기화가 가능하도록 개선하였다. 모의 실험 결과 제안 방법은 원래의 SDD와는 달리 초기화를 달성하는 것과 낮은 오차 레벨에 수렴하는 것을 확인하였다.

## References

- [1] O. Macchi, E. Eweda, "Convergence analysis of self-adaptive equalizers," IEEE Trans. Information Theory, vol. 30, no. 2, pp. 161 - 176, Mar. 1984. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/TIT.1984.1056896>
- [2] S. Abrar, A. Zerguine and A.K. Nandi, "Adaptive blind channel equalization," in Digital communication, C. Palanisamy, ed., InTech, 2012.
- [3] M. Pinchas, The whole story behind blind adaptive equalizers/blind deconvolution, Bentham Science Publishers, 2012. DOI: <http://dx.doi.org/10.2174/97816080535201120101>
- [4] W. Rao, "New concurrent modulus algorithm and soft decision directed scheme for blind equalization," Procedia Environmental Sciences, vol. 10, pp. 1264 - 1269, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.202>

- [5] S. Chen and E.S. Chng, "Concurrent constant modulus algorithm and soft decision directed scheme for fractionally-spaced blind equalization," Proc. IEEE ICC, vol. 4, pp. 2342 - 2346, Jun. 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/icc.2004.1312937>
- [6] S. Chen, T.B. Cook, and L.C. Anderson, "A comparative study of two blind FIR equalizers," Digital Signal Processing, vol. 14, no. 1, pp. 18 - 36, Jan. 2004. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.dsp.2003.04.001>
- [7] S. Haykin, Adaptive filter theory 5th Ed., Prentice Hall, New Jersey, 2013.
- [8] J. Karaoguz and S. H. Ardalan, "A soft decision-directed blind equalization algorithm applied to equalization of mobile communication channels," Proc. IEEE ICC, vol. 3, pp. 1272 - 1276, Jun. 1992. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/icc.1992.268036>
- [9] E. Biglieri, J. Proakis, and S. Shamai, "Fading channels: information-theoretic and communications aspects," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. 44, no. 6, pp. 2619 - 2692, Oct. 1998. DOI: <http://dx.doi.org/10.1109/18.720551>

오길남(Kil Nam Oh)

[종신회원]



- 1984년 3월 ~ 2000년 2월 : 한국 전자통신연구원 책임연구원, 팀장
- 2000년 3월 ~ 현재 : 광주대학교 보건의료공학과 교수

<관심분야>

블라인드등화, 통신신호처리, OFDM