

거친 오차 추정과 미세 오차 추정을 활용한 블라인드 적응 알고리즘

오길남^{1*}

¹광주대학교 광통신공학과

Blind Adaptation Algorithms Using Coarse Error Estimation and Fine Error Estimation

Kil Nam Oh^{1*}

¹Dept. of Optical Communications Engineering, Gwangju University

요약 블라인드 등화에서 등화 초기에는 눈모형을 빠르게 여는 것이 필요하고, 이후에는 등화기 출력 신호의 오차 레벨을 낮추는 것이 중요하다. 본 논문에서는 특별하게 정해지는 신호점을 사용한 거친 오차 추정과 원 신호점을 사용한 미세 오차 추정을 동시에 산출하고, 두 오차 추정을 활용하는 방식을 제안한다. 두 오차 추정은 각각 눈모형이 닫힌 상태에서 눈모형을 빠르게 열거나, 눈모형이 열리기 시작한 이후 정상상태에서 오차 레벨을 낮추는데 효과적이다. 등화기의 수렴 상태에 따라 두 오차 추정 중 하나를 선택하거나, 두 오차 추정의 상대적 신뢰도에 따라 두 오차를 가중 결합하여 새로운 오차를 산출하는 두 블라인드 등화 알고리즘을 제안하고 그 성능을 비교한다.

Abstract For blind equalization, it is necessary to open an eye pattern quickly in the early stage of equalization, after that it is important to lower an error level of equalizer output signal. This paper discusses coarse error estimation using signal points specifically determined and fine error estimation using original signal constellation, and proposes two suggestions for how to take advantage of the two error estimation methods. The two error estimates, respectively, are effective to quickly open an eye pattern in the state of eye pattern closed, or to lower the level of an error in the steady-state after the eye pattern opening. Two blind equalization algorithms are proposed and their performances are compared, which select one of the two error estimates depending on the state of convergence of the equalizer, or combine two errors weightedly according to the relative reliabilities of the two error estimates, and calculate the new error.

Key Words : Coarse estimation, Fine estimation, Eye pattern, Signal constellation

1. 서론

수신 신호에 대한 블라인드 등화에서, 등화 초기에는 빠르게 눈모형(eye pattern)을 여는 수렴 특성이, 정상상태에서는 등화기 출력 신호의 오차 레벨을 낮추는 능력이 요구되며, 초기 수렴 특성과 정상상태 오차 성능을 동시에 달성하는 것이 바람직하다. 그러나 두 성능은 서로 상반되는 특성으로서, 이를 함께 만족시키기는 어렵다. 즉 하나의 알고리즘에서 두 특성을 동시에 구현하는 것은 난제이다. 따라서

등화 과정을 초기 수렴 이전과 이후의 두 부분으로 분리할 필요가 있고, 두 특성을 개별적으로 구현해왔다. 이와 관련하여 두 특성을 적용시키는 방식으로, 두 알고리즘의 선택 적용 방식과 전환 방식, 그리고 동시 적용 방식 등이 제안된 바 있다[1-3].

블라인드 등화는 신호의 통계적 특성을 활용하여 등화를 달성한다. 일정 모듈러스 특성(constant modulus: CM)을 가지는 신호에 있어서, 채널에 의해 CM 특성이 왜곡 되었을 때, 수신단에서 이를 복원함으로써 신호를 등화하게 되는 원리를 이용하는 것이 한 예이다. 그러나 CM 특

*Corresponding Author : Kil Nam Oh

Tel: +82-10-3648-8245 email: knoh@gwangju.ac.kr

접수일 12년 06월 11일

수정일 (1차 12년 07월 11일, 2차 12년 07월 19일)

게재확정일 12년 08월 09일

성을 가지는 신호점은 제한적인데, 이진 위상 천이 변조(binary phase shift keying: BPSK)나 4-PSK 신호 등을 제외하면 다치레벨(multilevel)을 갖는 직교 진폭 변조(quadrature amplitude modulation: QAM) 신호의 경우 CM이 아닌 다중 모듈러스(multiple modulus: MM) 특성을 가진다. 그럼에도 불구하고 대부분의 다치레벨 신호점에서 등화 초기에 CM을 적용하여 눈모형을 여는데 성공하고 있으며, 이는 블라인드 등화 알고리즘에서 오차 신호 발생에 CM을 적용한 거친 오차 추정(coarse error estimation)을 도입한 덕분이다.

거친 오차 추정은 원래의 신호점(original constellation: OC)을 기준 신호(reference signal)로 삼지 않고, 특별하게 정해진 신호점을 기준 신호로 간주하여 오차를 추정하는 것을 의미한다. 거친 오차 추정은 눈모형이 완전히 닫힌 등화 초기에 등화기 갱신 방향에 대한 오관 확률을 낮춤으로써 등화기가 발산하지 않고 빠르게 눈모형을 열게 하는 것이 주목적이다. 이를 위해서는 오차 추정의 신뢰도를 높이는 것이 요구되며, 세밀한 오차 추정보다 대략적인 오차 추정이 효과적이다. 거친 오차 추정은 축소 신호점(reduced constellation: RC) 또는 CM 등을 사용하여 심벌 추정의 오관정 확률을 낮추는 효과로 눈모형이 닫혀있는 채널 조건에서 오차 추정의 신뢰도가 상대적으로 높기 때문이다.

이에 반해 미세 오차 추정(fine error estimation)은 원 신호점(OC)이나 다중 모듈러스(MM)를 사용하여 오차를 추정하는 것으로, 세밀한 오차 추정을 시도하므로 부정확한 오차 추정의 가능성이 크다. 눈모형이 닫힌 등화 초기에 원 신호점을 적용 시 두 심벌 사이의 경계에서 심벌 추정의 오관 가능성이 커짐에 따라 오관으로 인하여 등화기 탭 계수의 오조정을 초래, 등화기 출력 신호의 눈모형이 더욱 닫히는 악순환으로 이어질 수 있다. 그러므로 등화 초기에 원 신호점을 적용하여 오차를 추정하는 것은 적절하지 않다.

한편, CM 또는 RC를 적용한 비용 함수 또는 오차 신호는 대부분의 일반적인 QAM 성상도의 어떤 신호점에 대해서도 영이 되지 않는다. 이로 인하여 등화기가 완전히 수렴 후 정상상태에서는 큰 오차 레벨이 문제가 된다. 이는 최적화하려는 비용 함수 또는 오차 신호에 사용된 기준 신호와 원 신호점 간의 불일치에 따른 것이다. 그러므로 등화기 출력의 눈모형이 열리기 시작하면 MM 또는 OC를 적용한 미세 오차 추정이 필요하다.

RC 또는 CM을 적용한 거친 오차 추정과 OC 또는 MM을 적용한 미세 오차 추정은 분명 채널의 등화 단계에 따라 오차 추정의 신뢰도가 달라지며, 결과적으로 그 유용성이 달라진다. 즉 초기 수렴 전에는 거친 오차 추정

이 유용하고 수렴 후에는 미세 오차 추정이 유용하다. 그러므로 CM 또는 RC를 사용한 거친 오차 추정과 MM 또는 OC를 사용한 미세 오차 추정의 신뢰도를 오차 신호 산출에 반영할 필요가 있다. 거친 오차 추정과 미세 오차 추정을 사용하여, 눈모형이 열리기 전 상태에서의 거친 오차 추정과 눈모형이 열린 이후의 미세 오차 추정을 적절히 결합하거나 선택적으로 수행하면 빠른 초기 수렴과 수렴 후 낮은 오차 레벨을 동시에 달성하는 것이 가능할 것이다.

본 논문에서는 거친 오차 추정과 미세 오차 추정을 활용하여 등화기를 갱신하기 위한 새로운 블라인드 적응 알고리즘을 제안한다. 두 오차를 활용하는 두 가지 방식을 논의하고, 그 성능을 평가한다.

2. 거친 오차 추정과 미세 오차 추정

블라인드 등화기의 초기 수렴 특성과 정상상태 성능을 동시에 최적화하기 위해 등화기의 탭 계수 갱신에 사용되는 비용 함수 또는 오차 신호 수준에서 거친 오차 추정과 미세 오차 추정을 활용할 수 있다. 수신 신호의 눈모형이 닫힌 등화 초기에는 눈모형을 빠르게 열기 위해 거친 오차 추정이 효과적이거나, 일단 눈모형이 열리기 시작하면 이후 빠르게 정상상태로 수렴하도록 하고 또한 정상상태에서 오차 레벨을 낮추는 데는 미세 오차 추정이 효과적이다.

이때 거친 오차 추정은 비용 함수 또는 오차 신호에 특별하게 정해지는 기준 신호를, 미세 오차 추정은 원 신호점을 적용함으로써 이루어진다. 거친 오차 추정에 적용되는 기준 신호란 정상상태에서 등화기의 탭 계수 벡터에 대한 비용 함수의 평균 gradient가 영이 되도록 정해진 하나의 신호점으로서, 등화기 출력을 대략적으로 양자화함으로써 오차 추정의 신뢰도를 높이는 개념에서 비롯되었다. 이때 RC, SM 등 다양한 기준 신호가 가능하다.

먼저, 축소 신호점(RC)을 기준 신호로 하여 거친 오차 추정을 시도하는 경우, 비용 함수 $J_{RC}(n)$ 은 (1)과 같이 주어진다[4]. 즉 등화기 출력과 축소 신호점과의 차이의 제곱에 대한 기댓값으로 정의된다.

$$J_{RC}(n) = E[|y(n) - Rcs\text{gn}(y(n))|^2] \quad (1)$$

여기서 $y(n)$ 은 등화기 출력, R 은 축소 신호점으로, $R = E[s_R^2(n)]/E[|s_R(n)|] = E[s_I^2(n)]/E[|s_I(n)|]$ 이다. 이때 $s_R(n)$ 과 $s_I(n)$ 은 각각 신호점 집합 내의 모든

심벌 $\{s(n)\}$ 에 대해 그 실수 성분과 허수 성분을 나타낸다. 그러면 탭 계수 갱신 식 또는 LMS(least mean square) 알고리즘으로부터 오차 신호는 다음으로 된다.

$$e_{RC}(n) = y(n) - Rcsn(y(n)) \quad (2)$$

식 (2)가 축소 신호점을 사용한 거친 오차 추정이다.

또한 일정 모듈러스(CM)를 기준 신호로 사용하는 경우 비용 함수 $J_{CM}(n)$ 은 (3)과 같이 주어진다[5],[6].

$$J_{CM}(n) = E[(|y(n)|^2 - \Gamma)^2] \quad (3)$$

여기서 일정 모듈러스 Γ 는 반경이 $\sqrt{\Gamma}$ 인 원형 신호점으로, $\Gamma = E[|s(n)|^4] / E[|s(n)|^2]^2$ 으로 정의된다. 즉 (3)은 등화기 출력 신호의 모듈러스 $|y(n)|^2$ 와 일정 모듈러스 Γ 간의 차이가 평균적으로 최소가 될 때 비용 함수가 최소가 됨을 나타낸다. 그러면 오차 신호는

$$e_{CM}(n) = y(n)(|y(n)|^2 - \Gamma) \quad (4)$$

가 된다. 그런데 복소수 신호점의 경우 두 개의 실수 신호점으로 처리하면, 즉 실수 성분과 허수 성분을 분리하고 각각 단일 모듈러스(single modulus: SM)를 도입하면 (4)는 다음과 같이 변형될 수 있다[7].

$$e_{SM}(n) = y_R(n)(|y_R(n)|^2 - \Gamma_R) + jy_I(n)(|y_I(n)|^2 - \Gamma_I) \quad (5)$$

여기서 Γ_R 과 Γ_I 는 각각 신호점 집합 $\{s(n)\}$ 내의 모든 심벌에 대해 그 실수 성분과 허수 성분으로부터 구해진 단일 모듈러스이며, $\Gamma_R = E[s_R^4(n)] / E[s_R^2(n)]^2$, $\Gamma_I = E[s_I^4(n)] / E[s_I^2(n)]^2$ 으로 주어진다. 식 (4)와 (5)가 각각 일정 모듈러스(CM)와 단일 모듈러스(SM)를 사용한 거친 오차 추정이다.

한편 눈모형이 열리기 시작하면 정상상태로 수렴을 가속하고 오차 레벨을 최소로 하기 위해 원 신호점을 사용한 미세 오차 추정이 필요하다. 미세 오차 추정은 원 신호점(OC) 또는 다중 모듈러스(MM)를 사용하여 행해지는 것으로, RC나 CM 또는 SM이 원 신호점과 일치하지 않으므로써 발생하는 오차(excess mean square error)를 줄이기 위한 것이다. 미세 오차 추정으로는 원 신호점을 사용한 판정의거(decision-directed: DD) 오차 추정과 다

중 모듈러스를 사용한 오차 추정 등이 가능하다.

원 신호점을 적용한 판정의거 오차 추정에서 비용 함수 $J_{DD}(n)$ 은 (6)과 같다.

$$J_{DD}(n) = E[|y(n) - \hat{s}(n)|^2] \quad (6)$$

여기서 $\hat{s}(n) = \text{dec}(y(n))$ 는 nearest symbol decision을 나타내며, 신호점 집합 $\{s(n)\}$ 내의 한 심벌이 된다. 그러면 오차 신호는

$$e_{DD}(n) = y(n) - \hat{s}(n) \quad (7)$$

이 된다.

또한 다중 모듈러스를 적용한 미세 오차 추정에서는 비용 함수 $J_{MM}(n)$ 가 다음으로 주어진다[7].

$$J_{MM}(n) = E[(y_R^2(n) - \Gamma_{R,i})^2 + E[(y_I^2(n) - \Gamma_{I,i})^2]] \quad (8)$$

여기서 다중 모듈러스는 $\Gamma_{R,i} = \hat{s}_R^2(n)$ 그리고 $\Gamma_{I,i} = \hat{s}_I^2(n)$ 과 같다. 이때 $\hat{s}_R^2(n)$ 과 $\hat{s}_I^2(n)$ 는 각각 $\hat{s}(n)$ 의 실수 및 허수 성분의 제곱으로 여기에서는 다중 모듈러스로 사용되었다. 그러면 오차 신호는

$$e_{MM}(n) = y_R(n)(y_R^2(n) - \Gamma_{R,i}) + jy_I(n)(y_I^2(n) - \Gamma_{I,i}) \quad (9)$$

으로 된다.

3. 두 오차 활용 방식

2장에서 소개한 오차 신호를 활용하여 블라인드 적응 알고리즘의 성능을 최적화하는 오차 활용 방식을 제안한다. 두 오차를 활용하는 방식으로 두 오차 중 하나를 선택 적용하는 방식과 두 오차를 결합하는 방식이 가능하다. 본 논문에서는 새로운 선택 적응 방식과 결합 방식을 각각 하나씩 제안하고, 두 방식의 성능을 비교한다.

3.1 SM 오차와 DD 오차 간의 선택 적응 방식

선택 적응 방식은 승자독식(winner-take-all) 방식으로 동작한다. 즉 두 오차 중 신뢰도가 높은 오차를 이용하여

등화기를 갱신하는 방식이다. 선택 적응 방식에서는 매 iteration에서 거친 오차와 미세 오차의 두 오차를 산출한다. 이때 거친 오차로 사용될 수 있는 것은 2장에서 소개한 (2), (4), 그리고 (5) 등이다. 미세 오차에는 (7)과 (9)가 사용될 수 있다. 본 논문에서 제안한 선택 적응 방식에서는 SM 기반의 거친 오차 추정과 DD 기반의 미세 오차 추정을 활용하였다.

제안하는 SM/DD 선택 적응 방식에서는 오차 추정의 신뢰도 판단의 한 방식으로, 등화기 출력의 군집의 분산을 조사하여 초기 수렴 여부를 판단하였다. 등화된 신호의 분산이 일정 값 이내가 되면 초기 수렴에 도달한 것으로 보고 DD 오차를 선택하고, 그렇지 않으면 SM 오차를 선택한다. 따라서 등화기 출력 신호의 분산 σ_C^2 과 임계 분산값 σ_{th}^2 을 비교하였다. 제안한 SM/DD 선택 적응 방식에서 오차 신호는 다음과 같이 간단히 표현된다.

$$e_{SM/DD}(n) = \begin{cases} e_{SM}(n), & \sigma_C^2 > \sigma_{th}^2 \\ e_{DD}(n), & \sigma_C^2 \leq \sigma_{th}^2 \end{cases} \quad (10)$$

여기서 두 오차 $e_{SM}(n)$ 과 $e_{DD}(n)$ 은 각각 (5)와 (7)과 같다. 출력 신호의 분산 σ_C^2 으로는 (11)에 나타낸 바와 같이, 등화기 출력이 심벌점으로부터 벗어난 거리의 제곱 $d^2(n)$ 을 사용하였으며, 현재 심벌을 포함하여 이전 심벌 N 개의 윈도우에 대한 이동 평균(moving average) 값으로 하였다.

$$\sigma_C^2(n) = (d^2(n))_{ma} \quad (11)$$

여기서 $(\cdot)_{ma}$ 는 윈도우 길이가 N 인 moving average filter를 나타낸다. 이 방식에서는 등화기 출력 신호의 분산에 따라 등화 초기에는 거친 오차 추정이, 초기 수렴 이후에는 미세 오차 추정이 주된 동작 모드가 되도록 제어된다.

3.2 SM 오차와 MM 오차의 가중 결합 방식

가중 결합 방식에서는 각각 단일 모듈러스(RC 또는 MM)와 다중 모듈러스(OC 또는 MM)를 사용하여 추정된 두 오차를 가중 결합하는 방식으로 새로운 오차를 산출하고 이를 사용하여 등화기 갱신을 수행한다. 즉 두 오차 추정의 신뢰도를 두 오차에 가중하고 그 결과를 결합하므로써 가중된 새로운 오차 신호를 얻는다. 제안하는 SM+MM 가중 결합 방식에서 오차 신호는

$$e_{SM+MM}(n) = w_{SM}(n) e_{SM}(n) + w_{MM}(n) e_{MM}(n) \quad (12)$$

와 같이 표현된다. 여기서 두 오차 $e_{SM}(n)$ 과 $e_{MM}(n)$ 은 각각 (5)와 (9)로 주어진다. $w_{SM}(n)$ 와 $w_{MM}(n)$ 는 각각 거친 오차와 미세 오차의 상대적 신뢰도를 나타내며, 신뢰도 평가 방식으로 두 오차 제곱의 이동 평균 값의 비를 이용하였다. 두 신뢰도는 각각 (13)과 (14)로 주어진다.

$$w_{SM}(n) = \frac{(e_{MM}^2(n))_{ma}}{(e_{SM}^2(n))_{ma} + (e_{MM}^2(n))_{ma}} \quad (13)$$

$$w_{MM}(n) = \frac{(e_{SM}^2(n))_{ma}}{(e_{SM}^2(n))_{ma} + (e_{MM}^2(n))_{ma}} \quad (14)$$

가중 결합 방식은 두 오차의 상대적 신뢰도에 따라 두 오차가 탭 계수 갱신에 서로 다르게 기여하며, 거친 오차 추정에서 미세 오차 추정으로 점진적으로 진행해 간다. 등화기를 가중 갱신함으로써 초기 블라인드 수렴 속도와 정상상태 오차 성능을 개선하는 것이 가능하다.

이상 제안한 두 방식은 모두 등화 초기에는 거친 오차 추정이 주된 동작 모드가 되고 점차 미세 오차 추정 모드로 진행해 가는 방식으로 동작한다. 제안한 두 방식은 기존 알고리즘에 비해 성능을 개선하며, 아울러 어떤 블라인드 알고리즘에도 적용될 수 있는 단순성과 일반성을 가지고 있다. 4장에서 모의실험을 통해 두 방식의 성능을 평가하였다.

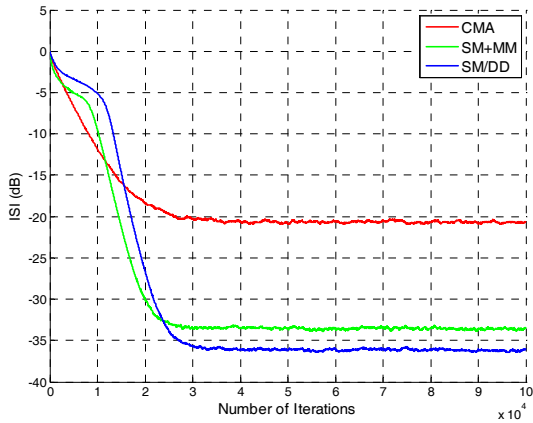
4. 모의실험 및 분석

제안한 선택 적응 방식과 가중 결합 방식을 활용한 블라인드 등화의 성능 개선을 확인하기 위해 모의실험을 통하여 기존 방식과 비교하였다. 모의실험을 위해 SM/DD 선택 적응 방식 (10) - (11)과 SM+MM 가중 결합 방식 (12) - (14)를 구현하였다. 벤치마킹으로 CMA(constant modulus algorithm)와 성능을 비교하였다.

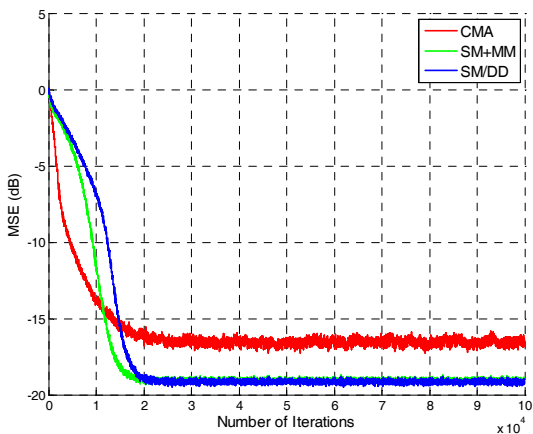
모의실험에서, 등화기의 필터 길이는 15를 사용하였다. 선택 적응 방식에서 임계 분산은 $\sigma_{th}^2 = 0.5$ 로 설정하였으며, moving average filter의 윈도우 길이는 $N = 11$ 로 하였다. 성능 비교에 사용한 세 알고리즘의 수렴상수는 세 알고리즘이 유사한 iterations에서 수렴에 도달하도록 조절하였다.

대표적인 다중경로 전파채널[8]과 부가 잡음 환경에서

16-QAM과 64-QAM 신호점에 대해 심벌간 간섭 (intersymbol interference: ISI) 성능과 평균 제곱 오차 (mean square error: MSE) 성능을 조사하였다. 특별히 CMA에서는 사용된 오차 신호가 위상 정보를 포함하지 않기 때문에 등화된 신호가 임의의 위상 회전된 신호점을 형성하므로 MSE 성능을 구하기 전에 반송파 위상 복원(carrier phase recovery) 과정을 거쳐 이를 보정하였다. 실험에서는 1회 수행에 100,000 iterations을 처리하였으며, 100회 수행 결과를 앙상블 평균(ensemble averaging) 하여 그 결과를 그림 1~4에 나타내었다.

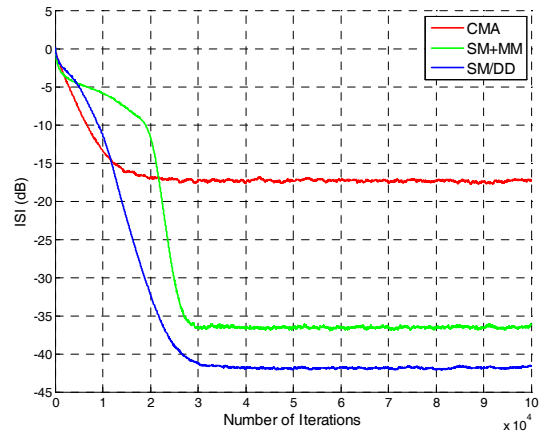


[그림 1] ISI 성능 비교: SM/DD 선택 적응 방식과 SM+MM 가중 결합 방식, 16-QAM, SNR=25dB
 [Fig. 1] ISI performance comparison: SM/DD selective adaptation and SM+MM weighted combination, 16-QAM, SNR=25dB.

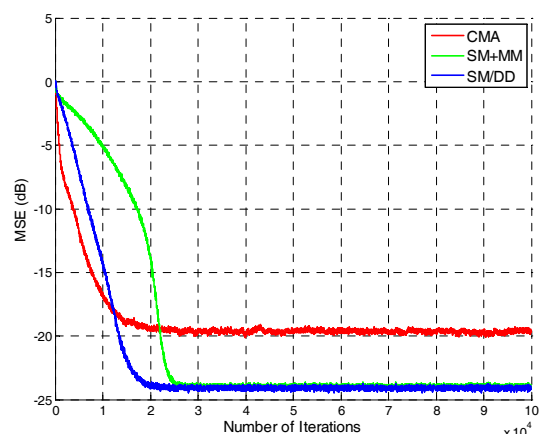


[그림 2] MSE 성능 비교: SM/DD 선택 적응 방식과 SM+MM 가중 결합 방식, 16-QAM, SNR=25dB
 [Fig. 2] MSE performance comparison: SM/DD selective adaptation and SM+MM weighted combination, 16-QAM, SNR=25dB.

그림 1과 2에 16-QAM에 대해 신호 대 잡음 비 (signal-to-noise ratio: SNR) 25dB에서의 ISI 성능과 MSE 성능을 각각 나타내었다. 먼저 그림 1의 ISI 성능에서, CMA는 정상상태 성능을 충분히 개선하지 못하고 있다. SM+MM 가중 결합 방식은 CMA에 비해 13dB 정도 개선하였고, SM/DD 선택 적응 방식은 15dB 이상 개선하였다. 그림 2의 MSE 성능에서, 제안한 두 방식은 CMA에 비해 3dB 정도 개선하고 있다.



[그림 3] ISI 성능 비교: SM/DD 선택 적응 방식과 SM+MM 가중 결합 방식, 64-QAM, SNR=30dB
 [Fig. 3] ISI performance comparison: SM/DD selective adaptation and SM+MM weighted combination, 64-QAM, SNR=30dB.



[그림 4] MSE 성능 비교: SM/DD 선택 적응 방식과 SM+MM 가중 결합 방식, 64-QAM, SNR=30dB
 [Fig. 4] MSE performance comparison: SM/DD selective adaptation and SM+MM weighted combination, 64-QAM, SNR=30dB.

다음, 그림 3과 4에는 64-QAM에 대해 SNR 30dB에서의 ISI 성능과 MSE 성능을 각각 비교하였다. 그림 3의 ISI 성능에서, SM+MM 가중 결합 방식은 CMA에 비해 18dB 이상 개선하였고, SM/DD 선택 적응 방식은 24dB 정도 개선하였다. 그림 4의 MSE 성능에서는 제안한 두 방식이 CMA에 비해 4dB 정도 개선을 보이고 있다.

한편 ISI 성능에서 SM/DD 선택 적응 방식이 SM+MM 가중 결합 방식에 비해 다소 우수한 성능을 보이는 것은, 두 방식에 적용한 알고리즘이 서로 다를 뿐만 아니라, 가중 결합 방식에서는 두 오차 신호를 결합하여 새로운 오차 신호를 생성하는 구조로 인해 두 알고리즘 성능이 절충되는 효과를 보이기 때문이다. 이상의 결과로부터 제안한 두 방식은 초기 수렴 특성은 CMA에 필적하면서 정상상태 성능은 CMA를 크게 능가하는 것으로 평가할 수 있다.

5. 결론

등화 초기와 정상상태에서 각각 효과적인 거친 오차 추정과 미세 오차 추정을 활용하는 관점에서, 두 오차 신호를 발생시키고 두 오차 신호의 신뢰도에 따라 두 오차 중 하나를 선택하거나 두 오차를 결합하는, 두 가지 새로운 블라인드 적응 알고리즘을 제안하였다. 제안한 방식의 유용성을 16-QAM과 64-QAM 신호에 대해, 다중경로 채널과 부가잡음 하에서의 ISI 성능과 MSE 성능에서 확인하였다. 제안한 두 방식은 논문에서 적용한 알고리즘뿐만 아니라 어떤 블라인드 등화 알고리즘에도 적용될 수 있을 것이다.

References

[1] D. Ashmawy, K. Banovic, E. Abdel-Raheem, M. Youssif, H. Mansour, and M. Mohanna, "Joint MCMA and DD blind equalization algorithm with variable-step size," in Proc. IEEE Int. Conf. Electro/Information Technology, pp. 174-177, 2009.

[2] C.A.R. Fernandes, G. Favier, and J.C.M. Mota, "Decision directed adaptive blind equalization based on the constant modulus algorithm," Signal, Image and Video Processing, vol. 1, no. 4, pp. 333-346, 2007.

[3] W. Rao, "New concurrent modulus algorithm and soft decision directed scheme for blind equalization," Procedia Environmental Sciences 10, pp. 1264-1269, 2011.

[4] S. Abrar, "A family of reduced-constellation algorithms for blind equalization of square-QAM Signals," ICM 2005, pp. 296-300, Dec. 2005.

[5] 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.

[6] J.R. Treichler and B.G. Agee, "A new approach to multipath correction of constant modulus signals," IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing, vol. ASSP-31, pp. 459-472, Apr. 1983.

[7] K.N. Oh, "Single/multilevel modulus algorithm for blind equalization of QAM signals," IEICE Trans. Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol. E80-A, no. 6, pp. 1033-1039, June 1997.

[8] 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.

오길남(Kil Nam Oh)

[정회원]



- 1982년 2월 : 경희대학교 전자공학과(공학사)
- 1984년 2월 : 경희대학교 전자공학과(공학석사)
- 1996년 2월 : 경희대학교 전자공학과(공학박사)
- 1984년 3월 ~ 2000년 2월 : 한국전자통신연구원 책임연구원
- 2000년 3월 ~ 현재 : 광주대학교 광통신공학과 교수

<관심분야>

블라인드등화, 통신신호처리, OFDM