

선택적 NCMA 방법을 이용한 분할 블라인드 적응 등화기의 성능 분석

Performance Analysis of a Fractionally Spaced Equalizer using Selective Normalized CMA

홍 지 훈* 장 태 정**
Hong, Ji-Hun Jang, Tae-Jeong

Abstract

In this paper, the selective normalized constant modulus algorithm(SNCMA) is applied to a fractionally spaced equalizer. The fractionally spaced equalizer is insensitive to the sampling timing because it processes received signals with the sampling rate larger than the symbol rate. The SNCMA improves the convergence rate by using the large step size for the most outer covering symbol belonging to the trust-level. This blind equalizer exhibits a fast start-up convergence rate as well as a reduced steady-state residual error compared to the fractionally spaced blind equalizer and the T-spaced blind equalizer using conventional blind algorithms.

키워드 : 등화기, 분할등화기

Keywords : *equalizer, fractionally spaced equalizer, NCMA*

1. 서론

최근 무선 채널을 이용한 디지털 고속 전송의 수요가 급증하고 있으며, 현재 이를 이용한 다양한 통신 서비스가 제공되고 있다. 디지털 신호의 고속 전송을 위해서는 심볼간 간섭 및 위상 왜곡을 해결하는 것이 당연한 큰 과제이며, 이를 극복하기 위한 방법으로 적응 등화 방식이 있다. 그 중에서도 특히 채널의 역 특성을 얻기 위해 상호 약정된 학습열을 이용하지 않고 수신 데이터만을 이용하는 적응 블라인드 등화 방식에 대한 연구가 최근 많이 이루어지고 있다 [1-10].

적응 블라인드 등화 방식에 대한 연구는 크게

적응 블라인드 등화 알고리즘에 대한 연구와 등화기 구조에 대한 연구로 이루어지고 있다. 그 중에서 적응 블라인드 등화 알고리즘은 두 가지 부류로 나눌 수 있다. 수신 신호의 고차 통계치를 이용한 알고리즘과 Bussgang 계열의 알고리즘이 있는데 가장 널리 이용되고 있는 Bussgang 계열의 알고리즘에 대해 살펴보면 다음과 같다.

Bussgang 계열 알고리즘의 발전 과정을 보면 Sato의 PAM(Pulse Amplitude Modulation)에 대한 블라인드 등화 방법의 제안에서부터 시작되었다 [1]. 그 후 Godard가 이차원 신호에 대해 송신 신호의 데이터 심볼 구조에 따라 성상도상에서의 심볼간의 길이가 일정하다고 가정하고 등화기와 반송과 복구 장치를 분리한 형태의 방법을 제안하여 Sato의 알고리즘을 일반화하였다 [2]. 그러나, 이 알고리즘들은 심볼간의 간섭이나 잡음이 심할 때 초기의 오결정으로 인한 탭 계수의 오조정 때문에

* 강원대학교 대학원 제어계측공학과 박사과정

** 강원대학교 제어계측공학과 부교수, 공학박사

수렴 상태가 불안정하다. 이후 위에서 열거한 바와 같은 Bussgang 통계적 성질의 적용 방식들이 지니고 있는 오류 수렴 문제나 수렴 속도를 개선하기 위해 기타 많은 알고리즘들이 제안되었으며, 근래에 들어 Hilal과 Duharnel은 posteriori 오차를 상쇄하는 제한조건에서 큰 스텝사이즈를 이용하여 수렴속도를 향상시킬 수 있는 NCMA(Normalized CMA)를 제안했다 [3].

위에 열거된 블라인드 등화 알고리즘을 이용하는 선형등화기는 등화기 전단의 수신필터가 채널에 의해 왜곡된 펄스에 정합되어 있다면 최적의 성능을 주게 될 것이다. 하지만, 일반적으로 수신단에서는 채널의 특성을 알 수 없기 때문에 전송된 신호 펄스에 정합된 필터를 사용하게 되므로 표본화 순간이 중요하다. 하지만 표본화 순간은 지터와 같은 현상으로 인해 정확하게 이루어지기가 힘들다. 특히 전송된 신호가 채널을 통과한 후 주파수 대역이 심볼율보다 넓어질 경우 심볼율로 표본화된 심볼을 등화기는 실제 채널의 중첩(aliasing)이 일어난 채널에 대해 등화를 하는 문제점이 발생한다.

기존의 블라인드 등화기 역시 심볼율로 표본화하므로 어느 알고리즘을 사용하든 표본화 위상에 민감하고 잡음 증폭 현상이 발생한다. 이런 문제를 해결하기 위해 표본화 율을 심볼율보다 높게 사용하는 FS(Fractionally Spaced) 등화기를 만들 수 있다고 Ungerboeck가 제안했다 [4]. FS 등화기는 등화기 입력단에서 심볼율보다 높게 샘플링을 한 다음, 등화기 출력 단에서 심볼율로 다시 표본화하는 등화기이다. 그러므로 FS 등화기는 중첩이 발생하기 이전의 실제 채널을 등화하게 되고 그로 인해 표본화 순간에 대해 덜 민감해지는 좋은 특성을 가지게 된다 [5].

FS 등화기에 사용하기 위한 블라인드 알고리즘도 많은 연구가 이루어졌는데 심볼율보다 빠르게 표본화된 신호를 사용하면 수신신호의 2차적 통계만을 가지고 블라인드 채널 예측을 할 수 있다고 Tong, Xu 그리고 Kailath가 처음 제안했다 [6]. 그 후 새로운 알고리즘들이 제안되었으나 대부분의 알고리즘들이 채널을 예측하는 알고리즘으로 채널을 예측한 이후 다시 송신신호를 예측한다. 이런 알고리즘은 채널의 예측에 사용되는 데이터가 수신되는 동안 채널이 안정적이어야만 한다는 제약조건이 있다.

이 후 간접적으로 채널을 예측하고 송신 신호를 찾는 방법보다 직접적으로 송신 신호를 찾는 연구가 진행되었다. Ding은 FS 등화기에서 사용된 CMA가 심볼을 등화기에서 사용한 CMA보다 덜 까다로운 조건에서 완벽히 수렴함을 증명하고 수렴 속도 또한 향상될 수 있음을 보였다 [7][8].

이렇게 블라인드 채널 등화 방법에 대한 많은

연구가 진행되고 있지만 최상의 성능을 위한 환경이 일정하지 않아 불안 요소들을 많이 내포하고 있는 것이 사실이다. 이는 알고리즘에서 사용하고 있는 비유함수가 nonconvex할 뿐 아니라 다양한 통계적 특성의 환경에 대한 연구가 어렵기 때문이다.

본 논문에서는 심볼율을 적용하는 기존의 Bussgang 계열의 블라인드 알고리즘 및 표본율을 심볼율보다 더 빠르게 함으로써 표본화 순간에 덜 민감한 FS 블라인드 등화기의 특성을 분석하고 기존의 CMA방법보다 더 빠른 수렴속도를 제공하는 선택적 정규화된 CMA(SNCMA)를 FS 블라인드 등화기에 적용한다 [9]. SNCMA를 적용한 FS 블라인드 등화기는 CMA를 바탕으로 두고 있으므로 CMA를 적용한 FS 블라인드 등화기의 특성을 그대로 유지하면서도 SNCMA의 좋은 특성인 빠른 수렴속도와 정상상태에서 적은 자승평균 오차를 갖게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서 기존의 블라인드 적응등화 알고리즘 및 등화기에 대한 설명과 함께 문제점들을 알아본다. 제 3장에서는 본 논문에서 적용한 SNCMA를 이용한 FS 블라인드 등화기에 대해 설명하고, 제 4장에서는 채널상태에 대한 모델링, Matlab을 이용한 시뮬레이션을 통한 기존의 블라인드 적응등화 방법과 제안된 등화 방법을 정상도면과 수렴속도면에서 비교한다. 제 5장의 결론에서는 시뮬레이션 결과에 대한 분석과 평가로 이루어진다.

2. 블라인드 등화알고리즘 및 등화기

2.1 블라인드 채널 적응등화기법

블라인드 등화기법은 훈련 신호없이 입력 신호의 정보만으로 채널의 영향을 보상시킬 수 있도록 등화기 탭을 갱신하는 방법이다. 이는 등화기의 입력 신호를 역으로 추정하여 채널을 거치기 전의 실제 신호를 추정해내는 Blind Deconvolution 개념을 기반으로 하고 있다. 즉, 채널과 송신 신호의 정보가 알려져 있지 않은 상황에서 입력 신호에 대한 트랜스버설 필터(transversal filter)의 결과에 대해 실제 신호를 추정해 나가는 것이다. 이 경우 deconvolution 과정이 근사 역필터(approximate inverse filter)를 사용하게 되므로 실제 신호에 대해 convolutional noise가 발생하게 된다. 통신 시스템에서 convolutional noise는 근사 역필터의 사용으로 인한 잔여 심볼간간섭(ISI, intersymbol interference)으로 표현할 수 있다.

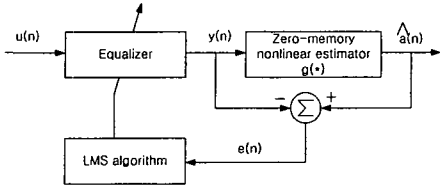


그림 1. Bussgang 알고리즘의 블라인드 등화기

그림 1은 Bussgang 계열의 블라인드 등화기의 구조를 나타내는 것이다. 등화기의 출력 신호는 비선형 추정기(nonlinear estimator)를 통해 등화기 탭 조정을 위한 참조 신호로 이용되게 되며 갱신 방법에 있어선 일반적인 LMS 알고리즘의 구조를 갖는다. Bussgang 계열의 블라인드 등화 알고리즘은 구조가 간단하고 연산량이 적어 가장 일반적으로 사용되는 알고리즘이다. 그러나 nonconvex한 비용함수(cost function)를 사용하게 되므로 선천적으로 국부 최소값(local minima)의 문제를 안고 있다. 이 문제는 등화기 수렴에 있어 심각한 성능 저하를 가져다 준다. 식 (1)은 Bussgang 알고리즘의 비용함수를 나타낸 식이다.

$$\begin{aligned}
 J(n) &= E[e(n)^2] \\
 &= E[(\hat{a}(n) - y(n))^2] \\
 &= E[(g(y(n)) - y(n))^2]
 \end{aligned} \tag{1}$$

이때, $g(\cdot)$ 는 비선형 추정 함수를 나타낸다. 이 함수는 등화기의 출력 결과와 이를 통해 실제 요구되는 신호를 추정하기 위해 사용되어지는 비선형 추정함수(nonlinear estimation function)의 결과 값과의 차이를 에리값으로 가정한 것이다. 등화기의 역할은 이 비용함수가 최소가 되도록 등화기의 탭 계수를 조절하는 것이라 할 수 있으며, 이 방법으로 확률경사도법과 LMS 알고리즘을 적용하면 탭 계수 갱신식을 얻게 된다.

(1) NCMA(Normalized CMA)채널등화방식

Hilal과 Duhamel은 기존의 블라인드 등화 알고리즘의 수렴속도가 느린 단점을 개선하기 위해 사후(posteriori)오차를 상쇄하는 제한조건에서 큰 스텝사이즈를 이용한 NCMA를 제안했다 [3]. NCMA는 스텝사이즈를 등화기 입력 신호 벡터 길이의 자승으로 정규화 함으로써 수렴 속도를 향상시킬 수 있는 알고리즘이며 전통적인 최소평균자승(LMS) 알고리즘의 성능을 향상시킨 정규화된 알고리즘(NLMS)을 적용하였다. NCMA는 다음과 같이 유도된다.

먼저 사후 오차

$$e(k) = \|R_k^T C_{k+1}\|^2 - R_c \tag{2}$$

를 $e(k)=0$ 으로 하는 스텝사이즈 μ_{opt} 를 구하면,

$$\mu_{opt} = \frac{|y_n| - \sqrt{R_c}}{\|R_k\|^2(|y_n|^2 - R_c)|y_n|} \tag{3}$$

가 된다. 여기서, $\|R_k\|^2 = R_k^T R_k$ 이며, $\sqrt{R_c}$ 는 CM (Constant Modulus) 레벨이다. 위의 식을 CMA 탭 계수 갱신식에 대입하고 알고리즘의 수렴특성을 조절하기 위해 새로운 스텝사이즈 β 를 사용하면 계수 갱신식은 다음과 같은 NCMA가 된다.

$$C_{k+1} = C_k - \frac{\beta}{\|R_k\|^2} R_k y(n) (1 - \frac{\sqrt{R_c}}{|y(n)|}) \tag{4}$$

여기서 C_k 는 k반복에서의 탭 계수 벡터이다.

이제 NCMA가 수렴하기 위해 필요한 β 의 범위를 구하기 위해 $y(n) = R_k^T C_k$ 를 이용하면,

$$\begin{aligned}
 C_{k+1} &= [I - \frac{\beta}{\|R_k\|^2} R_k R_k^T] \cdot D(n) \\
 &\quad + \frac{\beta}{\|R_k\|^2} R_k \frac{y(n)}{|y(n)|} \sqrt{R_c}
 \end{aligned} \tag{5}$$

여기서 I 는 단위행렬이며, $\frac{R_k R_k^T}{\|R_k\|^2}$ 는 projection matrix이기 때문에 β 는 (0, 2) 사이의 임의의 값에서 수렴하며 $\beta = 1$ 일 때 가장 빨리 수렴한다. 하지만 NCMA는 그림 2(a)와 같은 CM 신호원에 대해서 유도되었기 때문에 그림 2(b)와 같은 다중 레벨을 갖는 고차의 QAM 신호원에 대해서는 적절히 동작하지 못한다.

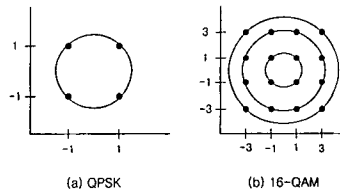


그림 2. (a) CM 신호원 (b) NCM 신호원

2.2 블라인드 등화기

(1) FS 등화기의 특성

심볼율보다 빠르게 표본화된 신호를 사용하면 수신신호의 2차적 통계만을 가지고 블라인드 채널 예측을 할 수 있다고 Tong, Xu 그리고 Kailath가 처음 제안했다 [6].

FS 등화기에서 등화기의 입력 신호는 적어도 Nyquist 율로 표본화된다. 즉, 경합 여파기의 출력을 $1/T$ 의 속도로 표본화하고 등화기의 탭 간격을 T 로 할 때 T 을 선택하는 기준은 다음과 같다.

$$\frac{1}{T} \geq \frac{1+\beta}{2T} \quad (6)$$

여기서 β 는 롤-오프 인수이다. 등화기의 전달 함수 스펙트럼은 다음의 식으로 표현된다.

$$C_T(f) = \sum_{k=0}^{K-1} c_k e^{-j2\pi kTf} \quad (7)$$

만일 식 (6)의 조건이 만족된다면, $C_T(f)$ 의 첫 번째 반복 구간이 스펙트럼의 롤-오프 영역을 포함하게 된다. 여기서 디지털 방식의 구현을 위해 T 은 T 의 기약 분수라고 가정한다. 경합 여파기의 출력을 $1/T$ 의 표본화 율로 표본화하면 결과적인 등화기의 입력 스펙트럼은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$Y_T(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(f - \frac{n}{T}) e^{j2\pi(f - \frac{n}{T})t_0} \quad (8)$$

이때, 표본화되기 직전의 등화기의 출력 스펙트럼은 다음과 같이 주어진다.

$$O_T(f) = C_T(f) \sum_{n=-\infty}^{\infty} X(f - \frac{n}{T}) e^{j2\pi(f - \frac{n}{T})t_0} \quad (9)$$

$1/T \geq (1+\beta)/2T$ 인 시스템에서 $|f| \leq 1/2T$ 의 구간만을 생각하면 식 (9)는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$O_T(f) = C_T(f) X(f) e^{j2\pi f t_0}, \quad |f| \leq \frac{1}{2T} \quad (10)$$

식 (10)으로부터 FS 등화기는 중첩이 일어나지 않은 펄스 $X(f) e^{j2\pi f t_0}$ 자체를 보상함을 알 수 있다. 따라서 FS 등화기는 잡음의 증폭없이 어떠한 지연 왜곡도 보상할 수 있다는 장점을 가진다. 그러므로 심볼을 등화기의 경우에 문제가 되었던 표본화 위상에 민감하지 않게 된다.

등화기의 출력은 다시 표본화율 $1/T$ 로 표본화되기 때문에 결과적으로 표본화된 등화기의 출력 스펙트럼은 다음의 식으로 나타나게 된다.

$$O_T(f) = \sum_{i=-\infty}^{\infty} C_T(f - \frac{i}{T}) X(f - \frac{i}{T}) e^{j2\pi(f - \frac{i}{T})t_0} \quad (11)$$

식 (9)와 식 (11)를 비교해보면, FS 등화기의 출력 스펙트럼은 등화된 성분의 합인 반면, 심볼을

등화기의 출력 스펙트럼은 중첩된 성분들의 등화임을 알 수 있다. 즉, FS 등화기를 이용하여 최적의 선형 수신기를 구현할 수 있다.

(2) FS 등화기의 구조

일반적인 FS 등화기의 구조는 그림 3과 같다. 심볼을 데이터 $Y_k^{(j)} = (y_0 y_1 \dots y_{K-1})$ 에 대하여 동작하는 K 개의 탭 $C_k^{(j)} = (c_0 c_1 \dots c_{K-1})$ 을 가지는 복소 선형 등화기가 M 개 필요하다.

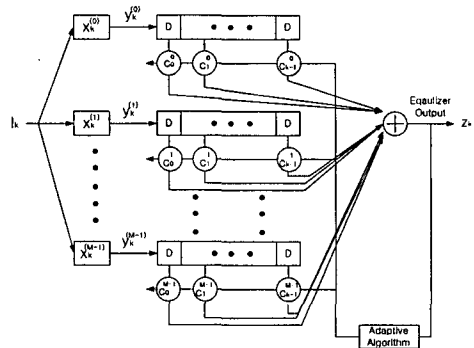


그림 3. FS 등화기 구조

여기에서 $z_k^{(j)}$ 는 j 번째 부채널에 대응되는 선형 등화기의 k 번째 출력으로 다음 식과 같이 나타낸다.

$$z_k^{(j)} = C_k^{(j)} Y_k^{(j)} \quad (12)$$

그러므로 최종 등화기의 출력은 다음과 같다.

$$z_k = \sum_{j=0}^{M-1} z_k^{(j)} \quad (13)$$

샘플 시간 k 에서 CMA를 이용한 등화기의 계수 조정식은 다음과 같다.

$$C_{k+1}^{(j)} = C_k^{(j)} - \mu Y_k^{(j)} \sum_{i=0}^{M-1} z_k^{(i)} \left[\sum_{i=0}^{M-1} z_k^{(i)2} - R_2 \right] \quad (14)$$

CMA를 이용한 FS 등화기는 다음과 같은 비용함수를 잡는다.

$$\mathcal{J} \left(\sum_{i=0}^{M-1} z_k^{(i)2} \right) = E \left[\left(\sum_{i=0}^{M-1} z_k^{(i)2} - R_2 \right)^2 \right] \quad (15)$$

등화기 필터 계수의 초기값은 기준값만 $1+j0$ 으로 하고, 나머지는 $0+j0$ 으로 하였다. 양의 상수 μ 는 등화기의 적응 스텝 크기를 가르킨다. R_2 는

CMA의 기준 반지름 값이다.

3. 제안하는 SNCMA을 적용한 FS 등화기

고차 QAM과 같은 다중레벨 신호원에 NCMA를 적용할 경우 오차함수 성분 $y(n)(1 - \frac{\sqrt{R_c}}{|y(n)|})$ 이 영으로 수렴할 수 없고, $\beta=1$ 일 때 발산하게 된다. 그러므로 $\beta < 1$ 의 값을 이용해야 하며, 이것은 NCMA의 수렴속도를 상대적으로 느리게 한다. 한편 NCMA를 신호의 기준레벨에 따라 RDE(Radius Directed Equalization)로 동작시키면 초기설정 계수값이 eye diagram의 눈이 열려 있는(open-eye) 상태가 아닐 경우 수렴을 보장하지 못한다. 그러므로 본 논문에서는 다중레벨 신호원에서 최외각 심볼중 신뢰할 수 있는 영역에 속한 등화기 출력신호에 대해 큰 스텝사이즈를 이용할 수 있는 NCMA를 적용하여 수렴속도를 개선할 수 있는 선택적 NCMA(SNCMA) 알고리즘을 적용한다 [9]. SNCMA 알고리즘은 그림 4에서와 같이 16-QAM 신호원의 경우 최외각 심볼에 대한 신뢰레벨, T_L 을 설정하고, 등화기 출력 값이 신뢰레벨 이상일 경우, 최외각 심볼에 대해 올바른 결정을 내릴 수 있는 확률이 크므로 신뢰성 있는 NCMA로 적절히 동작할 수 있을 것이다. 이것은 Picchi의 Stop-and-go 알고리즘에 대해서 수렴속도를 개선하기 위해서 Caution Level(CL)을 설정해 등화기 출력이 CL이상이면 큰 스텝사이즈를 이용하고, CL보다 작으면 작은 스텝사이즈를 이용하는 알고리즘과 비교할 수 있으며 SCNMA의 경우는 신뢰레벨 이상의 신호원에 대해서 최적의 스텝사이즈(가장 큰 스텝사이즈)를 이용할 수 있는 장점이 있다. 계수 갱신식은 신뢰레벨에 따라 16-QAM 신호원의 경우, 다음과 같이 표현된다.

$$C_{k+1} = C_k - \frac{\beta}{\|R_k\|^2} R_k y(n) (1 - \frac{\sqrt{RL_5}}{|y(n)|}), \quad |y(n)| \geq T_L$$

$$C_{k+1} = C_k - \mu R_k y(n) (|y(n)|^2 - R_2), \quad |y(n)| < T_L \quad (18)$$

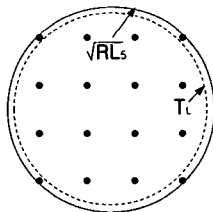


그림 4. 16-QAM 경우의 SNCMA 신뢰구간

4. 모의 실험 및 결과

4.1 실험 환경

실험에서는 원천 신호는 실수부와 허수부의 신호점이 각각 -3, -1, 1, 3인 16-QAM 전송신호를 사용하였다. 그리고, 앞서 가정에 대해 각 원천 신호의 심볼들은 균일한 확률 분포를 갖도록 한다. 실험에 사용한 채널에서 펄스 웨이핑은 롤-오프 인자 a를 사용하는 상승코사인 펄스 $c(t,a)$ 로 한다. 실험에 사용한 연속적인 채널 충격과 응답으로 표현하면 다음의 식과 같다.

$$x(t) = \sum_{i=0}^6 h_i c(t-iT, 0.3) W_{iT}(t-iT) \quad (19)$$

여기서 T는 심볼 구간을 나타내며, 구간 $|t| \leq 2T$ 에서 $W_{iT}(t-iT)=1$ 이고 이외의 구간에서는 0이다. 그리고 복소 채널 임펄스 응답 h_i 는 다음식과 같다.

$$h_{real}(z) = -0.005 + 0.009z^{-1} - 0.024z^{-2} + 0.854z^{-3} - 0.218z^{-4} - 0.049z^{-5} - 0.016z^{-6}$$

$$h_{imag}(z) = -0.004 + 0.030z^{-1} - 0.104z^{-2} + 0.520z^{-3} + 0.273z^{-4} - 0.074z^{-5} + 0.020z^{-6} \quad (20)$$

여기서 $h_{real}(z)$, $h_{imag}(z)$ 은 각각 h_i 의 실수부와 허수부를 나타낸다. 등화기의 탭수는 심볼을 등화기를 사용할 때 15개를 사용하고, FS 등화기(T/M, M=4)를 사용할 때는 $15 \times M$ 개의 탭을 사용한다. 모든 등화기의 탭은 중앙값을 1+j로 하고 나머지는 모두 0+j로 한다. 사용한 스텝 크기는 심볼을 등화기는 0.00001의 값을 이용하였고, T/4의 FS 등화기에서는 0.0000008를 이용하였다. 이 값은 여러번의 실험을 통해 가장 좋은 것을 사용한 것이다. 신호잡음은 백색 가우시안 잡음(AWGN, Additive White Gaussian Noise)만을 가정한다.

4.2 성상도를 통한 블라인드 등화기 비교

일반적으로 주파수 상에 골이 존재하는 채널에서 블라인드 등화기는 타이밍 옵셋에 따라 성능이 변할 것이며, 타이밍 옵셋에 의해 널이 생기면 등화기는 수렴을 못할 수도 있다. 본 절에서는 실험 환경에 임의의 타이밍 옵셋을 부여하고 수렴 후 성상도 상에 신호의 분포가 어떻게 나오는가에 따라 제안한 SNCMA FS 등화기와 기존의 블라인드 등화기의 성능을 비교한다. 등화기 출력 성상도는 5000심볼 이후 수렴된 등화기의 계수를 가지고 5000심볼 동안의 신호를 표시한 것이다.

그림 5(a)는 옵셋이 0.5T 벗어난 경우 등화기 입력 신호의 분포이다. 그림 5(b)는 심볼을 등화기의 경우로 타이밍 옵셋에 의해 발생하는 널의 영

향으로 수렴을 못하여 신호를 분간하지 못함을 알 수가 있다. 그림 5(c)와 그림 5(d)는 각각 CMA와 SNCMA를 적용한 T/4의 FS 등화기 경우의 성능이다. FS 등화기는 타이밍 옵셋에 상관없이 등화기 구조의 특성으로 인해 성능을 유지하므로 옵셋이 0.5T 벗어난 경우에도 신호점을 분간할 수 있음을 알 수 있다.

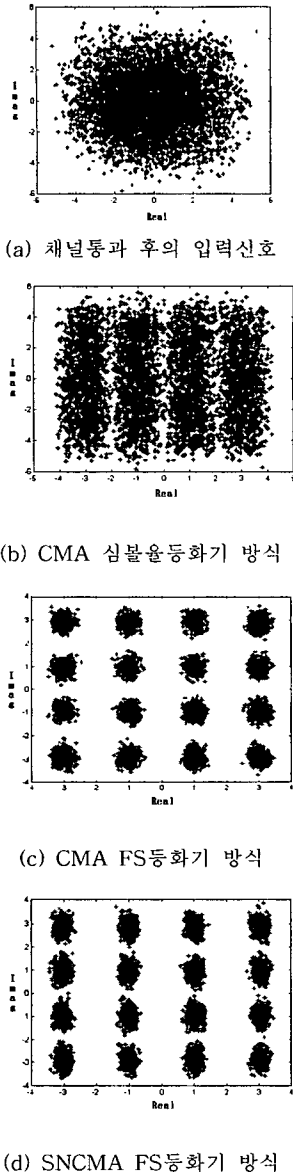


그림 5. 타이밍 옵셋이 0.5T인 경우 블라인드 알고리즘의 성능비교

4.3 수렴곡선을 통한 블라인드등화기 비교

본 절에서는 정상상태로의 수렴 속도를 가지고 기존의 블라인드 등화기와 제안한 블라인드 등화기를 비교한다. 그림 6은 심볼율 등화기 및 CMA와 SNCMA를 적용한 FS 등화기의 수렴 속도를 비교한 것이다. 곡선 (1)은 심볼율 등화기의 수렴 곡선이며 곡선 (2)는 4배의 빠른 표본화 속도를 가지고 있는 CMA를 적용한 FS 블라인드 등화기의 수렴 곡선, 곡선 (3)은 마찬가지로 4배의 빠른 표본화 속도를 가지면서 SNCMA를 적용한 FS 등화기의 수렴곡선이다. 곡선 (2)와 곡선 (3)의 FS 등화기는 4배의 탭을 가지고 있으므로 스텝 크기를 작게 주어야 한다. 실험에서는 FS 등화기는 0.0000008와 심볼율 등화기에서는 0.00001로 하였다.

그림에서 보듯이 FS 등화기는 더 작은 스텝 크기를 가지고 있으면서도 앞에서 분석하였듯이 수렴하려는 해가 무한하므로 초기값에 상관없이 가장 가까운 해를 찾아가는 특성에 의해 스텝 크기가 작은 것을 보상하며 심볼율 등화기보다 수렴 속도가 오히려 더 빠르게 수렴함을 알 수 있다. 곡선(3)의 SNCMA FS 등화기는 신뢰레벨 이상의 신호원에 대해서 최적의 스텝사이즈(가장 큰 스텝 사이즈)를 이용함으로써 CMA를 적용한 FS 등화기보다 잔류오차도 개선되면서 좀더 빠른 수렴 속도를 얻을 수 있다는 것을 보여준다.

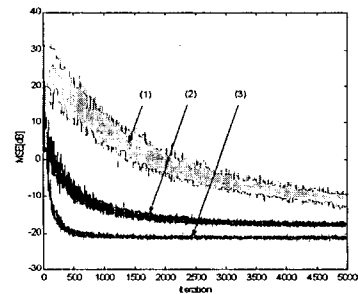


그림 6. 블라인드 알고리즘의 수렴곡선
 곡선 (1) : CMA 심볼율 등화기
 곡선 (2) : CMA T/4 FS 등화기
 곡선 (3) : SNCMA T/4 FS 등화기

5. 결론

본 논문에서는 표본화 순간에 덜 민감한 SNCMA를 적용한 FS 등화기를 분석하였다. SNCMA를 적용한 FS 등화기는 FS 등화기 자체 구조의 특성인 수신된 신호를 심볼율보다 더 빠르게 표본화함으로써 채널이 증첩되기 이전의 상태

를 등화해 줌으로써 타이밍 옵셋에 따른 성능의 저하가 오지 않는 것을 확인하였다.

FS 등화기는 표본화를 많이 하면 할수록 등화기의 탭의 개수가 많아지므로 탭계수 갱신식의 스텝 크기를 줄여야 한다. 스텝 크기를 줄이면 그만큼 수렴 속도가 늦어지는 문제가 발생하나, SNCMA를 적용한 FS 등화기는 다중 부채널의 최적 계수값 중 가까운 채널의 계수를 찾아가면 되므로 수렴 속도가 심볼을 등화기보다 빠른 특성을 보인다. 또한 비록 CMA보다는 더 빠른 수렴속도를 가지고 있지만 고차의 QAM 같은 NCM 신호원에 대해 적절히 동작할 수 없는 NCMA를 신뢰성있는 등화기 출력 값을 이용해 선택적으로 적용하는 SNCMA를 사용함으로써 CMA를 적용한 FS 등화기와 비교해 수렴속도와 잔류오차를 개선할 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Sato, "A Method of Self Recovering Equalization for Multilevel Amplitude Modulation System," IEEE Trans. on Comm, vol. COM-23, no. 7, pp. 679-682, June 1975.
- [2] D. N. Godard, "Self Recovering Equalization and Carrier Tracking in Two-Dimensional Data Communication System," IEEE Trans. on Comm, vol. COM-28, no. 11, pp. 1867-1875, Nov. 1980.
- [3] K. Hilal and P. Duhamel, "A Convergence Study of The Constant Modulus Algorithm Leading to A Normalized-CMA and A Block-Normalized-CMA," Belgium, pp. 135-138, Aug. 24-27, 1992.
- [4] G. Ungerboeck, "Fractional Tap-Spacing Equalizer and Consequences for Clock Recovery in Data Modems," IEEE Trans. Comm. vol. COM-24, no. 8, pp. 856-864, Aug. 1976.
- [5] J. K. Tugnait, "Blind Equalization and Estimation of FIR Communications Channels Using Fractional Sampling," IEEE Trans. on Comm., vol. 44, no. 3, pp. 324-336, Mar. 1996.
- [6] L. Tong, G. Xu, and T. Kailath, "Blind Channel Identification Based on Second-Order Statistics: A Frequency-Domain Approach," IEEE Trans. on Inform. Theory, vol. 41, no. 1, pp. 329-334, Jan. 1995
- [7] Y. Li and Z. Ding, "Global Convergence of Fractionally Spaced Godard(CMA) Adaptive Equalizers," IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 44, no. 4, pp. 818-826, April 1996.
- [8] Zhi Ding, "On Convergence Analysis of Fractionally spaced Adaptive Blind Equalizers," IEEE Trans. on Signal Processing, vol. 45, no. 3, pp.650-657, March 1997.
- [9] 강윤석, 안상식, "QAM 시스템에 선택적으로 NCMA를 적용한 블라인드 등화 알고리즘의 수렴속도 개선", 대한전자공학회 제22권, 제2호, 1999. 11.
- [10] 이영조, 강성진, 강창언, "다단계 반경-지향 알고리즘을 이용한 Fractionally Spaced 블라인드 등화," 한국통신학회 제22권, 제11호, 1997. 11.