

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.1.27>

JIIBC 2013-1-4

# 16-QAM 신호에 대한 CCA 적응 등화 알고리즘 성능 분석

## The Performance Analysis of CCA Adaptive Equalization Algorithm for 16-QAM Signal

임승각\*

Seung-Gag, Lim

**요약** 본 논문은 시분산 통신 채널에서 부호간 간섭을 수신측에서 경감시키기 위하여 사용되는 CCA (Compact Constellation Algorithm) 적응 등화 알고리즘의 성능을 비교하였다. 이 알고리즘은 기본적으로 CMA 등화기의 위상 미복원 문제를 해결하기 위하여 등장하였으며 DDA(Decision Directed Algorithm)와 RCA(Reduced Constellation Algorithm)의 개념을 조합하였다. DDA는 단일 레벨 신호에 대해서는 안정된 수렴 특성을 갖지만 다중 레벨의 수가 큰 QAM 신호에 대해서는 매우 불안한 문제점을 가지며, RCA는 초기 수렴 상태가 보장되지 않거나, 수렴후 안정 상태에서 misadjustment에 의한 등화 잡음이 DDA보다 큰 문제점이 있으므로, 이와 같은 점들을 개선하기 위해 CCA 적응 등화 알고리즘이 등장하였다. CCA 적응 등화 알고리즘의 성능 분석을 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였으며, 이를 위해 수신측에서의 등화기 출력 신호인 복원된 신호 정상도, 잔류 isi와 MD (Maximum Distortion) 곡선에 의한 수렴 특성 및 SER (Symbol Error Rate) 성능을 DDA, RCA와 비교하였다. 시뮬레이션 결과 모든 성능 지수에서 DDA가 가장 우월하였지만 수렴이 보장되지 않으며, 멀티 레벨 신호에서의 불안정성이 있으므로 이를 해결할 수 있는 CCA가 RCA보다 우월한 성능을 가짐을 확인하였다.

**Abstract** This paper deals with the performance analysis of CCA adaptive equalization algorithm, that is used for reduction of intersymbol interference at the receiving side which occurs in the time dispersive communication channel. Basically, this algorithm is borned for the solving phase unrecovery problem in the CMA equalizer, and the combines the concept of DDA (Decision Directed Algorithm) and RCA (Reduce Constellation Algorithm). The DDA has a stable convergence characteristics in unilevel signal, but not in the number of levels in multilevel signal such as QAM, so it has unstable problem. The RCA does not provide reliable initial convergence. And even after convergence, the equalization noise due to the steady state misadjustment exhibited by it is very high as compared to DDA. For the solving the abovementioned point, the CCA adaptive equalization algorithm has borned. In order to performance analysis of CCA algorithm, the recovered signal constellation that is the output of the equalizer, the convergence characteristic by the residual isi and MD (maximum distortion), the SER characteristic are used by computer simulation and it was compared with the DDA, RCA respectively. As a result of simulation, the DDA has superior performance than other algorithm, but it has a convergence unguarantee and instability in the multilevel signal. In order to solving this problem, the CCA has more good performance than RCA in every performance index.

**Key Words** : DDA, RCA, CCA, residual isi, dispersion constant, Maximum Distortion

\*정회원, 공주대학교 정보통신공학부

접수일자 : 2013년 1월 2일, 수정완료 : 2013년 2월 3일

게재확정일자 : 2013년 2월 8일

Received: 2 January 2011 / Revised: 3 February 2013 /

Accepted: 8 February 2013

\*\*Corresponding Author: sglim@kongju.ac.kr

Dept. of Information and Communication, Kongju National University, Korea

## I. 서 론

오늘날 대부분의 통신 시스템에서는 한정된 통신 채널의 대역폭을 통하여 많은 정보량의 전송을 위해 Multi 레벨 부호 및 변복조 기법을 사용하고 있으며, 또한 대역 제한이나 다중 경로 전파 특성을 갖는 통신 채널을 통한 디지털 부호의 전송을 위해 송신측에서 선로 부호화기 (Line Coder)를 사용하여 부호의 스펙트럼 폭을 채널에 맞도록 제한하여 전송한다. 그러나 채널의 진폭 전달 특성과 위상 전달 특성은 이상적이지 않으므로 수신 신호는 채널의 진폭과 위상 비선형으로 인한 찌그러짐과 원하지 않는 잡음이 부가된다. 이로 인하여 수신측에서 디지털 부호를 재생하는 과정에서 이전 부호의 영향이 다음 부호의 결정에 영향을 미쳐 발생하는 부호간 간섭이 발생되어 전체적인 시스템의 성능을 저하시키는 주된 원인이 된다<sup>[1]</sup>. 이와 같이 전송 신호의 품질을 열화시키는 요인들에 대한 기술적인 대책으로는 다이버시티 기법, 차등 부호화 기법, MIMO 및 OFDM, 사전 왜곡기 (Pre Distorter) 및 적응 등화기 (Adaptive Equalizer)를 들 수 있다. 그 중에서 등화기는 수신측에서 채널의 전달 함수를 추정한 후 이의 역 함수를 얻어 찌그러짐을 보상하는 기법을 말하며, 채널 대역폭과 송신 전력 등 통신 자원 (Communication Resource)의 낭비없이 효과적으로 수행할 수 있으므로 오늘날 널리 사용되고 있다.

적응 등화기는 Godard와 Treichler등이 최초로 제안했던 CMA (Constant Modulus Algorithm)를 들 수 있으며, 이는 BPSK (Binary Phase Shift Keying)와 같이 signal constellation상의 모든 신호점들이 일정한 modulus를 갖는 신호에 대하여 양호한 성능을 얻을 수 있다. 그러나 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)과 PSK등의 multi modulus를 갖는 multi 레벨 부호인 경우 성능을 급격히 저하되며 위상의 복원 불가능이라는 문제점을 갖고 있다. 이와 같은 CMA 알고리즘을 갖는 등화기의 한계점을 개선하기 위하여 다양한 알고리즘들이 연구되고 있으며, CCA (Compact Constellation Algorithm)도 이와 같은 목적으로 등장된 알고리즘으로서 DDA (Decision Directed Algorithm)와 RCA (Reduce Constellation Algorithm)의 장점을 결합시킨 것이다. DDA는 초기 수렴이 불안정하지만 수렴이 되는 경우 매우 안정된 성능을 얻을 수 있다<sup>[2][3]</sup>. 반면 RCA는 응용이 용이하며 초기 수렴 특성이 보장되지만, 수렴후 안정 상

태에서 misadjustment에 의한 등화 잡음이 DDA보다 훨씬 커진다<sup>[4][8]</sup>. 이들의 장점을 살리고 multi 레벨 QAM 신호에서 등화 잡음을 개선시키는 성능을 얻기 위하여 CCA가 등장하였다<sup>[7]</sup>. 본 논문에서는 16-QAM 신호를 대상으로 하여 이와 같은 CCA 적응 등화 알고리즘을 DDA와 RCA의 성능과 비교, 분석한다. 2장에서는 등화기를 사용하는 기저 대역 통신 시스템의 동작과 DDA, RCA 및 CCA 알고리즘에 대하여 설명하고 3장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 환경과 파라미터 값 및 시뮬레이션 결과인 복원 성장도, 잔류 isi 및 최대 찌그러짐과 MSE 분포, SER에 대한 시뮬레이션 결과를 제시하고, 마지막으로 4장에서는 결론을 내리겠다.

## II. 본 론

### 1. 기저 대역 통신 시스템 모델

그림 1은 수신기에서 고정 등화기를 사용한 일반적인 통신 시스템의 기저 대역 모델을 나타낸 것이다. 송신측에서 다중 레벨 기저 대역 신호  $s_k$ 를 전송하면 대역 제한과 다중 경로 전파를 나타내는 필터 모델인 임펄스 응답이  $h_k$ 인 채널을 통하여 수신측에 전달되며 이때 채널에서는 일정한 SNR을 갖는 가우시안 잡음이 부가된다. 수신기의 등화기는 등화 필터부로 구성되며, 이의 전달 함수를 나타내는 필터 계수의 값을 통신 채널의 역 전달 함수를 갖도록 설정된다. 이와 같이 채널에서 발생하는 찌그러짐 또는 부호간 간섭을 최소화한 후 결정 장치를 통해 송신 신호의 추정치  $\hat{I}_k$ 를 얻게 된다. 주파수 영역에서는 채널의 임펄스 응답  $h_k$ 의 푸리에 변환치를  $H(\omega)$ , 등화기의 디지털 필터 계수  $f_k$ 의 푸리에 변환치를  $F(\omega)$ 라면 다음의 관계가 성립된다.

$$H(\omega) \cdot F(\omega) = 1 \quad (1)$$

단 지연 시간은 무시하였다. 즉 채널과 등화기의 종합 주파수 특성은 1이 되어 모든 주파수 성분을 그대로 통과시키게 되어 수신측에서 송신 신호를 추정할 수 있게 된다.

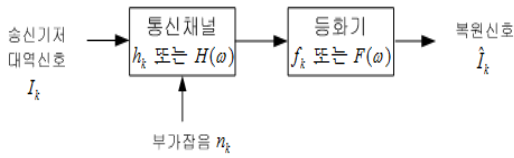


그림 1. 기저 대역 통신 시스템 모델  
Fig. 1. Baseband communication system model

2. Decision Directed Algorithm

그림 1의 기저 대역 통신 시스템 모델에서 송신 신호를  $s_k$ , 채널에서 부가되는 잡음을  $n_k$ , 등화기 입력 신호를  $r_k$ , 등화기 출력 신호를  $z_k$ 라고 하고 결정 장치의 출력은  $\hat{s}_k$ 라고 하자. 등화기 필터의 차수를  $N$ 이라고 하면 필터 계수 벡터와 등화기 입력 벡터는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} F(k) &= [f_0(k) \ f_1(k) \ f_2(k) \ \dots \ f_{N-1}(k)] \\ R(k) &= [r(k) \ r(k-1) \ r(k-2) \ \dots \ r(k-N+1)] \end{aligned} \quad (2)$$

이를 이용하면 등화기의 출력 신호는 다음과 같다.

$$z_k = F(k)^T R(k) \quad (3)$$

그림 2는 DDA 등화기의 구조를 나타낸 것이다.

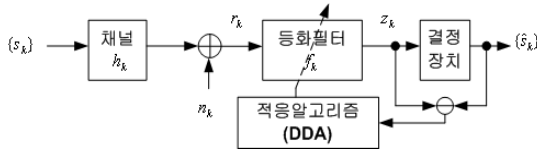


그림 2. DDA 등화기 구조  
Fig. 2. Architecture of DDA Equalizer

DDA 에서는  $z_k = s_{k-\Delta}$ 가 되는  $s_k$ 의 추정치를 얻는 것이 목표가 되는데,  $\Delta$ 는 심볼 지연 시간을 나타내며 이상적인 경우  $z_k = \hat{s}_k$ 가 될 것이다. 그러나 실제적으로는  $z_k \neq \hat{s}_k$ 가 될 것이므로 이들간의 오차 신호  $e_k = \hat{s}_k - z_k$ 를 이용하여 등화기의 계수 벡터를 갱신하게 되며 식 (4)와 같다.

$$\begin{aligned} F(k+1) &= F(k) + \mu[(\hat{s}_{R,k} - z_{R,k}) + j(\hat{s}_{I,k} - z_{I,k})] R^*(k) \\ &= F(k) + \mu[e_{R,k} + j e_{I,k}] R^*(k) \end{aligned} \quad (4)$$

식에서  $s_{R,k}$ 와  $s_{I,k}$ 는  $s_k$ 의 실수와 허수를 나타내며  $e_{R,k}$ 와  $e_{I,k}$ 는  $e_k$ 의 실수와 허수를 각각 나타낸다. DDA는 다중 레벨 신호의 닫힌 눈 패턴을 열리게 할 수 없으나 신호가 constant modulus를 갖는 경우 닫힌 눈 패턴을 open시킬 수 있으나 매우 불안하다. 이로 인하여 DDA는 독자적으로는 사용되지 못하며 dual mode 적응 등화기에서 carrier tracking loop가 정상적으로 동작한 이후부터 decision direct mode로 전환하여 DDA 알고리즘을 적용시켜 tracking 성능과 SER 성능을 개선시키기 위한 보조적인 역할을 수행한다[5].

3. Reduced Constellation Algorithm

RCA는 다중 레벨 신호를 4개의 통계적인 신호점으로 축소시켜 등화기 계수를 갱신하는 원리를 이용하며, CMA와 같이 송신 부호의 modulus 또는 dispersion constant를 사용하는 점이 DDA와 다르다. 그림 3은 RCA 등화기의 구조를 나타낸 것으로 여기서 송신 부호의 modulus  $R_R, R_I$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$R_R = \frac{E[s_R]^2}{E[s_R]}, R_I = \frac{E[s_I]^2}{E[s_I]} \quad (5)$$

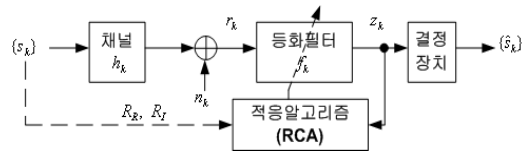


그림 3. RCA 등화기 구조  
Fig. 3. Architecture of RCA Equalizer

즉 축소된 신호점은  $(R_R, R_I), (R_R, -R_I), (-R_R, R_I)$ 와  $(-R_R, -R_I)$ 의 4개가 존재하게 되어 RCA의 비용 함수는 심볼값의 축소된 수에 대하여 MSE를 최소화시킨다.

RCA의 비용 함수  $J_{RCA}$ 와 이를 이용한 탭 계수 갱신 식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} J_{RCA} &= E[(z_{R,k} - R_R \cdot \text{sgn}(z_{R,k}))^2 + (z_{I,k} - R_I \cdot \text{sgn}(z_{I,k}))^2] \\ F(k+1) &= F(k) + \mu[(R_R \cdot \text{sgn}(z_{R,k}) - z_{R,k}) + \\ &\quad j(R_I \cdot \text{sgn}(z_{I,k}) - z_{I,k})] R^*(k) \end{aligned} \quad (6)$$

RCA 오차항  $(R_R \cdot \text{sgn}(z_{R,k}) - z_{R,k}) + j(R_I \cdot \text{sgn}(z_{I,k}) - z_{I,k})$

$(z_{I,k}) - z_{I,k}$ 는 정상 상태에서 평균은 0이고 분산은 0이 아니므로 등화기 출력 신호에 등화 잡음의 원인이 되는 fluctuation이 된다<sup>[8]</sup>.

#### 4. Compact Constellation Algorithm

CCA는 RCA의 등화 잡음의 원인이 되는 오차항의 분산값을 줄이기 위하여 등장하였다. 이를 위하여 독립적인 통계 심볼을 송신 심볼의 constellation에 각각 할당하는데, 통계 심볼은 실제 송신 심볼의 subset은 아니다. multi 레벨의 수가 증가할수록 등화 잡음의 감소는 현저해지며, 통계 심볼은 dispersion constant  $R_R, R_I$  및 결정 장치의 출력  $\hat{s}_k$ 에 의해 결정되어진다. 그림 4는 CCA 등화기의 구조를 나타낸 것으로 그림 2와 3의 DDA와 RCA 구조를 조합하고 결정 장치 출력을 이용하여 통계 심볼을  $R_R |s_{R,k}|^c \cdot \text{sgn}(z_{R,k})$ 와  $R_I |s_{I,k}|^c \cdot \text{sgn}(z_{I,k})$ 로 구하는데, 여기서  $c$ 는 0 과 1 사이의 상수를 나타낸다.

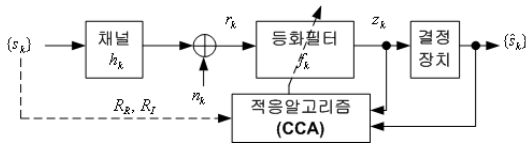


그림 4. CCA 등화기 구조  
Fig. 4. Architecture of CCA Equalizer

CCA에서는 이와 같은 통계 심볼은 RCA와 같이 4개로 축소시키는 것이 아니라 원래의 심볼 개수를 유지하면서 이들을 일정한 modulus 범위내에서 compact화 시키므로 CCA의 이름이 사용된다. CCA의 비용 함수  $J_{CCA}$ 와 탭 계수 갱신식을 다음의 식 (7)에 나타내었다.

$$J_{CCA} = E[(z_{R,k} - R_R |s_{R,k}|^c \cdot \text{sgn}(z_{R,k}))^2 + (z_{I,k} - R_I |s_{I,k}|^c \cdot \text{sgn}(z_{I,k}))^2] \quad (7)$$

$$F(k+1) = F(k) + \mu [(R_R |s_{R,k}|^c \cdot \text{sgn}(z_{R,k}) - z_{R,k}) + j (R_I |s_{I,k}|^c \cdot \text{sgn}(z_{I,k}) - z_{I,k})] R^*(k)$$

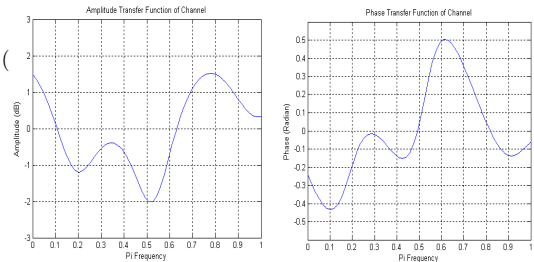
이와 같이 결정 장치의 출력을 탭 계수 갱신식에 반영하므로 등화기 출력  $z_k$ 가 가장 인접한 심볼로부터 얼마나 차이가 나는지의 정보로 이용할 수 있으므로 정상 상태에서 탭 계수의 misadjustment 에 의한 등화 잡음을 경감시킬 수 있다. CCA의 경우 주어진  $c$ 의 값을 이용하여 modulus는 다음과 같이 계산되어진다.

$$R_R = \frac{E[s_R]^2}{E[s_R]^{(1+c)}}, R_I = \frac{E[s_I]^2}{E[s_I]^{(1+c)}} \quad (8)$$

식 (3), (5), (6)에서 CCA 알고리즘에서  $c=0$ 이 되면 CCA는 RCA 탭 계수 갱신식이 되며,  $c=1$ 이 되면 CCA는 DDA 탭 계수 갱신식이 된다.

### III. 컴퓨터 시뮬레이션 및 결과

CCA 적응 등화 알고리즘의 성능을 DDA, RCA 알고리즘과 비교하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션을 위한 파라미터로는 신호대 잡음비를 30dB, 적응 스텝의 크기를 모두  $\mu = 0.00035$ , CCA에서  $c=0.4$ 로 설정하였고 등화 필터로는 안정성이 보장되는 15차 FIR 필터를 적용하였다. 그림 5는 시 분산 통신 채널의 진폭 전달 함수와 위상 전달 함수를 나타낸 것이다. 진폭 전달 함수는 최대와 최소 전달 함수가 3.5dB 범위에서 주파수에 따라 이득이 변화함을 알 수 있으며, 위상 전달 함수는 주파수에 따라 위상의 변화량이 불규칙적으로 변화하는 비선형 특성을 가지고 있다. 그림 6은 시뮬레이션을 위한 전체 신호 흐름도를 나타낸 것으로 송신 측에서는 16000개의 16-QAM 신호를 그림 5의 통신 채널을 통과시킨 후 원하는 신호대 잡음비를 갖도록 잡음을 발생시켜 부가한 후 수신 신호를 얻었다. 수신 신호는 그림 2, 3, 4의  $r_k$ 가 된 후 이를 CCA 알고리즘으로 처리한 후 복원된 신호로부터 등화기 성능을 나타내는 복원 정상도, 잔류 isi 및 MD, SER을 계산하였다.



(a) 진폭 전달 함수 (b) 위상 전달 함수

그림 5. 채널의 주파수 전달 함수  
Fig. 5. Frequency Transfer Function of Channel

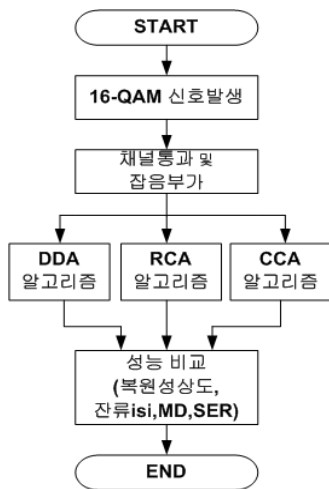


그림 6. 신호 처리도  
Fig. 6. Flowdiagram of signal processing

그림 7은 신호대 잡음비가 30dB이고 그림 5의 특성을 갖는 채널을 통과하여 수신측에 수신되는 16-QAM 신호의 성상도를 나타낸 것이다. 채널에서 부가되는 부호간 간섭과 위상 회전이 발생되어 16개의 신호점을 구분할 수 없을 정도로 신호점간의 간섭이 발생되었음을 알 수 있다.

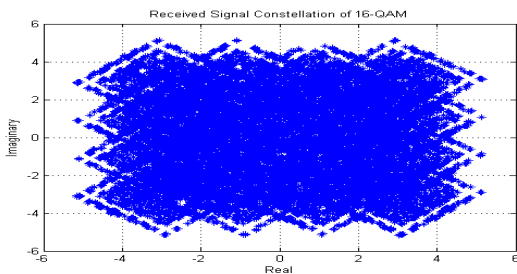


그림 7. 수신 신호 성상도  
Fig. 7. Received Signal Constellation

그림 7의 신호를 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 DDA, RCA 에 대한 CCA 적응 등화 알고리즘의 성능을 분석한다. 분석을 위한 첫 번째 지수로서 적응 등화 필터의 출력 신호인 복원 성상도를 이용되었으며, 이들의 결과를 그림 8에 나타내었다.

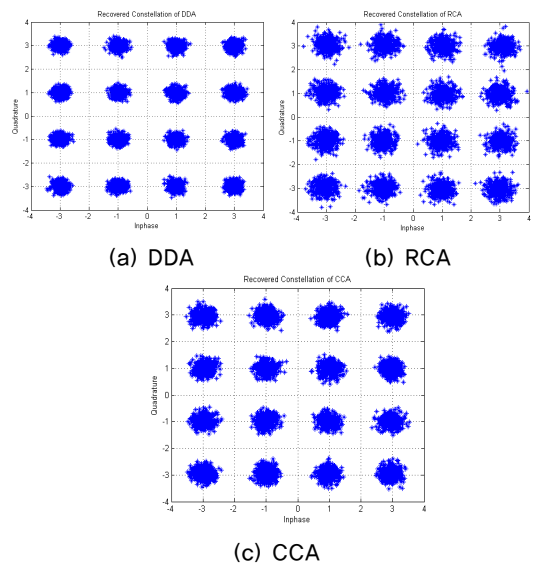


그림 8. 복원 신호 성상도  
Fig. 8. Recovered Signal Constellation

복원 신호 성상도에서는 DDA가 가장 우월하고 RCA가 가장 열악함을 알 수 있다. DDA는 다중 레벨에서 레벨의 수가 증가하면 매우 불안해지는 문제점이 있지만, 16 레벨에서도 그런대로 우월한 성능을 보임을 확인할 수 있었다. 2 번째 성능 비교를 위한 지수로 잔류 isi 와 최대 찌그러짐 분포를 사용하였으며 이들은 다음과 같이 정의된다.

$$\text{잔류isi}_{\text{dB}} = 10 \log_{10} \left[ \frac{\sum_i |h(k)*f(k)|^2 - |h(k)*f(k)|_{\text{max}}^2}{|h(k)*f(k)|_{\text{max}}^2} \right]$$

$$\text{MD} = \left[ \frac{\sum_i |h(k)*f(k)| - |h(k)*f(k)|_{\text{max}}}{|h(k)*f(k)|_{\text{max}}} \right] \quad (9)$$

이들은 이상적인 등화기가 주파수 영역에서 식(1)의 조건을 만족해야 하므로 이는 시간 영역에서는 채널 계수와 등화기 계수의 convolution 결과는 임펄스 함수가 되어야 한다. 그러나 실제로는 완전 임펄스가 되지 못하므로 이의 잔류양과 최대 찌그러짐의 원인이 되는 전압치를 나타내며 이를 그림 9와 10에 나타내었다.

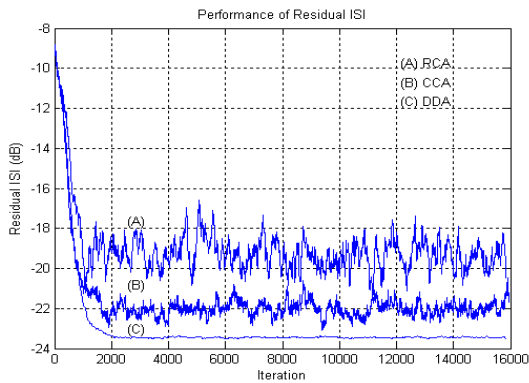


그림 9. 잔류 isi 성능  
Fig. 9. Residual isi Performance

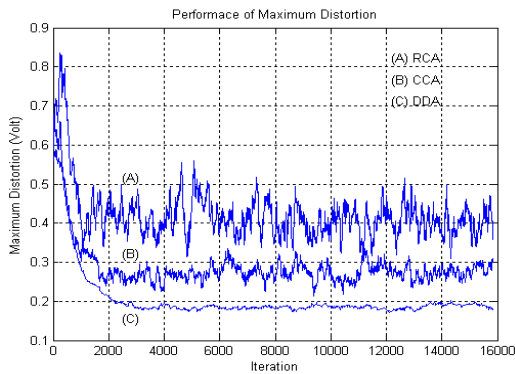


그림 10. MD 성능  
Fig. 10. MD Performance

이들 2 가지의 성능 곡선을 이용하여 적응 등화기의 수렴 속도와 수렴 시간 등을 알 수 있다. 적응 등화 필터의 탭 계수는 수시로 바뀌므로 이로 인한 동작의 안정성을 얻을 수 있는 시간과 그 양을 알 수 있으며, 3 가지 방식중에서 DDA가 수렴 시간과 양에서 가장 빠르고 적응을 알 수 있으며 RCA가 가장 열악함을 알 수 있으며, 이는 그림 8의 결과와도 일치한다. 또한 이들의 성능 곡선에서 fluctuation은 misadjustment에 의한 등화 잡음으로 볼 수 있어서 RCA가 제일 크며, CCA와 DDA 순으로 잡음이 감소함을 알 수 있다. 표 1은 그림 9와 10의 성능 곡선의 정량적인 결과인 통계치로서 이들의 평균과 분산을 나타낸 것이다. 잔류 isi와 MD의 경우 DDA가 가장 안정되며 CCA, RCA 의 순서임을 알 수 있다.

표 1. 잔류 isi와 MD의 통계치

Table 1. Statistics of residual isi & MD

Algorithm	Metric	Value
		Mean
DDA	잔류isi	평균 : 0.0069
	MD	평균 : 0.2058
RCA	잔류isi	평균 : 0.0143
	MD	평균 : 0.4234
CCA (c=0.4)	잔류isi	평균 : 0.0085
	MD	평균 : 0.2875

마지막 성능 비교를 위한 지표로는 채널의 신호대 잡음비에 따른 SER (Symbol Error Rate)을 그림 11에 나타내었다. 이를 위하여 통신 채널에서 부가되는 신호대 잡음비를 -3dB에서 12dB까지 3dB 단위로 변화시키면서 20000개의 송신 신호를 5회 montecarlo 시뮬레이션을 수행한 후 이들의 평균값을 나타낸 것이다. 신호대 잡음비가 낮은 경우 DDA의 성능은 가장 나쁘며, CCA와 RCA는 비슷함을 알 수 있다. 그러나 신호대 잡음비가 증가하여 3dB이상에서는 CCA가 가장 좋으며 RCA가 급격히 열화됨을 알 수 있지만 CCA는 이들의 중간 정도의 성능을 유지해감을 알 수 있다. 또한 CCA의 경우 상수 c의 값이 SER 성능에 미치는 영향을 고려하여 0.4와 0.6인 경우를 고려하였는데, 이의 값이 클수록 통계 신호점과 원래의 신호점간의 차이가 적어지게 됨으로써 신호대 잡음비가 증가할수록 SER 성능이 개선됨을 동시에 확인할 수 있었다.

그림 12는 그림 5의 채널 주파수 전달 함수를 DDA, RCA 와 CCA 알고리즘을 적용한 적응 등화기를 사용할 때 전체적인 진폭과 위상 전달 함수를 나타낸 것이다. 채널에서 진폭은 3.5dB 범위 내에서 전달 함수가 변동하였으며 위상은 기울기가 일정하지 않으므로 군지연이 발생함을 알 수 있으나 등화기를 사용하므로써 진폭 전달 특성이 0.5dB 범위내로 평탄해짐을 알 수 있으며 위상 특성은 기울기가 일정하여 군지연이 보상되고 일정한 time delay가 얻어짐을 알 수 있다.

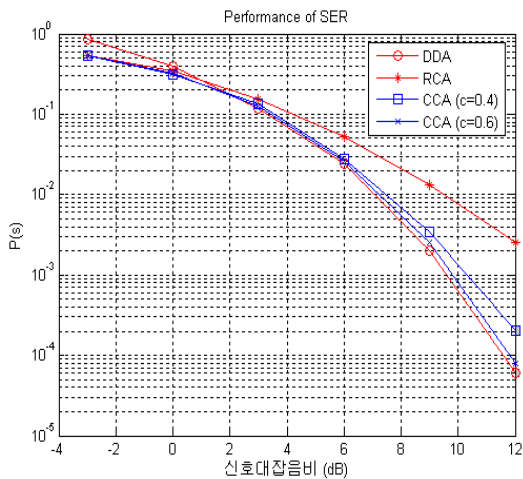


그림 11. SER 성능  
Fig. 11. SER Performance

진폭에서는 CCA가 가장 좋은 특성을 보인 반면 RCA가 가장 열악함을 알 수 있으며 또한 디지털 전송에서 중요한 위상 전달 함수의 경우 3 가지 방식 모두 기울기가 일정한 선형 특성을 갖도록 서로 비슷하게 군지연을 보상할 수 있음을 알 수 있다.

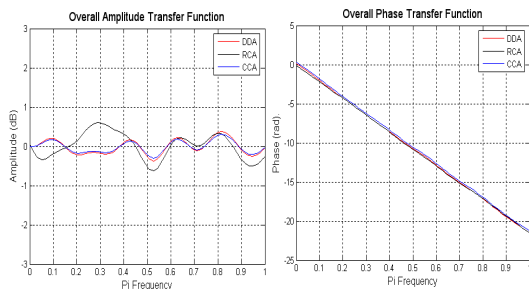


그림 12. 전체 주파수 전달 함수  
Fig. 12. Overall Frequency Transfer Function

## V. 결론

논문에서는 시분산 채널에서 발생하는 부호간 간섭의 원인이 되는 찌그러짐을 보상하기 위한 CCA 적응 등화 알고리즘의 성능을 평가하였다. CCA 알고리즘은 CMA의 위상 복원이 불가능한 점을 개선하기 위하여 DDA 알고리즘과 축소 신호점 개념을 이용한 RCA를 조합하여 채널에서 발생하는 부호간 간섭의 영향을 더욱 줄이면서 진폭과 위상을 동시 복원할 수 있다. 등화 알고리즘의 성

능을 위하여 복원 신호 정상도, 수렴 특성을 위한 잔류 isi와 MD 및 SER 특성을 지수로 이용하였으며, 이들의 DDA, RCA 및 CCA 알고리즘에 적용하였다. 연구 결과 모든 지수에서 DDA가 가장 우월하며 CCA 와 RCA의 순서였다. 그러나 모든 성능 지수에서 우월한 DDA는 초기 수렴 특성이 보장되지 못하며 멀티 레벨의 신호에 대해서는 수렴 특성이 불안하므로, CMA-DD와 같이 다른 방식과 결합되어 성능 개선에 사용되는 보조적인 알고리즘으로 사용되고 있다. 반면 RCA는 misadjustment에 의한 등화 잡음이 커지므로, 이를 개선시키기 위하여 통계적 심볼 개념을 이용하는 CCA가 등장하였으며, 성능 분석의 결과 CCA가 RCA보다 우월함을 확인하였다. 시분산 통신 채널과 적응 등화기의 직렬 연결에 의한 이들 전체 시스템의 전달 함수를 확인한 결과 진폭의 경우 변동 범위를 2.5dB 경감할 수 있었으며, 디지털 전송에서 중요한 군지연과 관련된 위상 전달 함수는 선형으로 보상할 수 있었다. 이와 같은 연구를 기본으로 향후 CCA의 성능을 더욱 개선시켜 등화 잡음을 더욱 줄일 수 있는 알고리즘에 대한 지속적인 연구가 필요할 것이다.

## 참고 문헌

- [1] Y.Sato, "A Method of Self-Recovering Equalization for Multilevel Amplitude Modulation systems", IEEE Trans. Communication, Com-23, pp.679~682, June, 1975
- [2] C.B.Papadias, D.T.M.Slock, "On the Decision Directed Equalization of Constant Modulus Signals", 28th Asilomar Conf. Signals, Systems & Computers, 2: pp.1423~1427, Nov. 1994
- [3] J.Xu, Y.Wang, "New Decision-Directed Equalization Algorithm for QAM Communication System", GLOBECOM'96, Vol.2, pp.1330~1334, 1996
- [4] S.M.Kim, W.R.Oh, W.W.Kim, "An Improved Method for Decision-Directed Blind Equalization Algorithm", 17th Asia-Pacific Conference on Com., pp.173~176, 2011
- [5] W.Rao, J.Liu et.al, "Series Equalizer Based on Constant Modulus Algorithm and Decision-directed Algorithm", Asia-Pacific Conf. on Information Pro.,

pp.153~156, 2009

- [6] V.Weerackody, S.A.Kassam, "Dual-mode Type Algorithms for Blind Equalization", IEEE Trans. Comm., Vol.com-42, No.1, pp.22~28, Jan. 1994
- [7] S.Abrar, "Compact Constellation Algorithm for Blind Equalization of QAM Signals", International Networking & Communication Conf. 2004, pp.170~174, 2004
- [8] S.Abrar, "A Family of Reduced-Constellation Algorithms for blind equalization of Square-QAM Signals", 17th Int. Conf. on Microelectronics 2005, pp.296~300, 2005
- [9] S.Abrar, A.Zerguine, "A New Multimodulus Blind Equalization Algorithm", International Networking & Communication Conf. 2004, pp.165~169, 2004
- [10] J.P.Chung, I.J.Kim, "Performance Analysis of Turbo Equalizer in Fading Channel", Jour. of K.I.I.T., Vol. 10, No.1, pp.91~96, Jan. 2012

저자 소개

임 승 각(정회원)



학부 교수

- 1983년 : 숭실대학교 전자공학과 학사 졸업
- 1985년 : 경희대학교 전자공학과 석사 졸업
- 1997년 : 경희대학교 전자공학과 박사 졸업
- 2005년 : 현재 공주대학교 정보통신공

<주관심분야 : 방송/통신 시스템, 이동통신>