

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.4.127>

JIIBC 2013-4-17

16-QAM 신호에서 Compact Slice 가중치에 의한 CCA 적응 등화 알고리즘의 성능 비교

Performance Comparison of the CCA Adaptive Equalization Algorithm based on Compact Slice Weighting Values in 16-QAM Signal

강대수*

Dae-Soo Kang

요 약 본 논문에서는 통신 채널에서 발생하는 부호간 간섭의 영향을 최소화하기 위하여 사용되는 CCA 적응 등화 알고리즘에서 compact slice 가중치에 따른 성능을 비교하였다. CCA 알고리즘은 기존의 결정 지향 알고리즘 (DDA : Decision Directed Algorithm)과 축소 신호점 알고리즘 (RCA : Reduced Constellation Algorithm)의 결합 방식으로 송신 신호의 constant modulus와 결정 장치의 출력 신호를 compact slice 가중치만큼 고려하여 초기의 수렴 특성 및 정상 상태에서 misadjustment에 의한 등화 잡음을 개선시킬 수 있다. 이 과정에서 compact slice 가중치가 적응 등화 알고리즘의 성능에 미치는 영향을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하며, 성능 지수로는 등화기 출력 신호 정상도, 수렴 특성을 나타내는 잔류 isi, 최대 찌그러짐, MSE 및 채널의 신호대 잡음비에 따른 SER을 사용하였다. 시뮬레이션 결과 가중치가 클수록 모든 성능 지수에서 우월하였고, 특히 SER 성능에서는 신호대 잡음비가 적으면 가중치가 적을때가 우월하였고 신호대 잡음비가 클수록 가중치가 클때가 우월함을 알 수 있었다.

Abstract This paper compare the performance of CCA (Compact Constellation Algorithm) adaptive equalization algorithm by effect of the compact slice weighting value for minimization of the intersymbol interference in the communication channel. The CCA combines the conventional DDA and RCA algorithm, it uses the constant modulus of the transmission signal and the considering the output of decision device by the power of compact slice weighting value in order to improving the initial convergence characteristics and the equalization noise by misadjustment in the steady state. In this process, it is confirmed by computer simulation that the compact slice weight affects the performance of CCA adaptive equalization algorithm. The performance index includes the output signal constellation, the residual isi and maximum distortion and MSE that is for the convergence characteristics, the SER according to the signal and noise power ratio at the channel is used. As a result of computer, it shows that the large weighting value gives more good in every performance index. But in SER performance, it is known that the small values gives more good in low SNR and the large values gives more good in high SNR.

Key Words : CCA, DDA, RCA, residual isi, maximum distortion, constant modulus

*정회원, 공주대학교 정보통신공학부 정보통신공학 전공
접수일자 : 2013년 7월 1일, 수정완료 : 2013년 8월 2일
게재확정일자 : 2013년 8월 16일

Received: 1 July, 2013 / Revised: 2 August, 2013 /

Accepted: 16 August, 2013

*Corresponding Author: dskang@kongju.ac.kr

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

I. 서 론

최근 정보 통신 서비스의 고속화, 다양화 추세에 따라 디지털 정보의 전송 수요가 증가하고 있는 실정이다. 이와 같이 전송 기술의 중요성이 증대되지만 유선과 무선의 대역 제한 채널과 다중 경로 채널을 경유하는 통신망에서 발생하는 한계점을 극복하기 위하여 망 동기 기술, 정합 필터 및 등화기와 같은 검출 기술, 페이딩 완화 기술등이 발전되고 있다. 채널을 통하여 디지털 부호의 전송이 이루어지지만, 이때 부호의 찌그러짐 (distortion)이나 부호간 간섭을 일으키거나 최악의 경우 절단에 의한 통신 서비스 품질을 열화시키는 주된 원인이 된다^[1]. 특히 이동 통신과 같이 무선 주파수를 사용하는 채널에서는 대역 제한 특성과 다중 경로 (multipath) 채널의 환경에서 복수개의 신호가 서로 다른 지연 시간을 갖고 수신기에 도달하므로써 시간적인 퍼짐(dispersion)에 의한 인접 부호간 isi는 통신 시스템의 성능을 크게 제한하므로 이를 극복하기 위하여 등화기(equalizer)를 사용하고 있다. 등화기를 사용하면 처리 지연 시간이 발생되지만 이는 시스템 성능과는 무관하므로 이를 주로 사용하고 있다. 등화기는 고정 등화기와 적응 등화기로 대별되어, 전자의 경우 주로 채널의 변화가 미미한 유선 채널에서 사용되며 후자의 경우 채널의 변화가 심한 무선 채널에서 사용된다. 특히 후자의 경우 채널의 임펄스 응답 특성을 알기 위해서는 송수신국간 상호 약정된 training sequence를 통신 개시과 통신 중에 일정 시간 간격으로 이를 반복하는 trained 방식과 sequence없이 수신되는 신호에서 이를 얻어낼 수 있는 blind 방식의 2 가지로 대별된다^{[2][3]}. 최근에는 sequence에 의한 전송 overhead가 없는 blind 방식이 전송 효율과 통신 시스템의 throughput을 증대시켜 서비스 품질을 개선시킬 수 있으므로 널리 사용되고 있으나, 이의 등화 성능은 trained 방식에 비해 저하되므로 이를 해결하기 위하여 CMA (Constant Modulus Algorithm), DDA (Decision Directed Algorithm), RCA (Reduced Constellation Algorithm) 및 MMA (Multiple Modulus Algorithm)등을 들 수 있다^{[4][5][6]}. 이들 알고리즘 중에서 CMA는 가장 기본이 되는 방식으로 간단한 연산으로 적응 등화가 가능하지만 진폭만 보상하며 위상을 보상하지 못하는 한계점을 갖는다. 이를 보완하기 위하여 DDA, RCA, MMA등이 등장하였다. DDA는 constant multi level modulus 신호에 대해서는 초기의 수렴 여부가 불확실하지만, 일단 수렴 상태에

들어가면 매우 안정적으로 동작하므로 다른 방식들과 조합하여 사용되는 보조 방식으로 사용되고 있다. RCA는 축소 신호점 개념을 이용하는 방식으로 수렴 특성은 DDA보다 개선되지만 정상 상태에서 misadjustment에 의한 등화 잡음이 큰 단점을 갖는다^{[7][10]}. 본 논문에서 고려되는 CCA (Compact Constellation Algorithm)은 상기의 DDA와 RCA 알고리즘의 장점을 살릴 수 있도록 제안된 방식을 말한다. CCA에서는 CMA, MMA등에서 사용되는 송신 신호의 dispersion constant에 결정 장치의 출력 신호 (Sliced Output)를 compact slice 가중치만큼 고려하도록 비용 함수가 구성되어있다. 본 논문에서는 이와같은 CCA 적응 등화 알고리즘에서 compact slice 가중치에 의한 알고리즘 성능을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하며 가중치의 값은 0.3, 0.5, 0.7을 적용한다. 이를 위한 성능 지수로는 등화기 출력 신호, 수렴 특성을 나타내는 잔류 isi, 최대 찌그러짐과 MSE 및 채널의 신호대 잡음비에 따른 SER (Symbol Error Rate)을 사용한다. 2 장에서는 적응 등화기를 적용한 기저 대역 통신 시스템의 모델을 설명한 후 3 장에서는 CCA 알고리즘에 대해 설명한 후 4 장에서는 시뮬레이션 과정 및 결과를 제시한 후 5 장에서는 결론을 내리겠다.

II. 본 론

1. 기저 대역 시스템 모델

그림 1은 적응 등화기를 사용하는 기저 대역 시스템의 기능적 모델을 나타낸 것이며, 여기서 변조와 복조기는 이상적으로 동작한다고 가정하였다. 송신측에서는 PAM (Pulse Amplitude Modulation), QAM (Quadrature Amplitude Modulation)과 같은 constant modulus를 갖는 신호 I_k 를 송신하면 대역 제한과 부호간 isi를 발생시키는 임펄스 응답이 h_k 인 채널을 통과하면서 가우시안 잡음 n_k 가 추가되어 수신된다. 수신된 신호 r_k 는 응답이 f_k 인 등화기에 입력되어 채널에 의해 발생하는 부호간 isi를 보상하여 z_k 를 얻게 된다. 이 출력 신호는 결정 장치 (Decision Device)를 통과하면서 송신 신호 s_k 의 추정치인 \hat{I}_k 를 얻게 된다. 여기서 $I_k \approx \hat{I}_k$ 가 되기 위한 등화기의 응답 f_k 는 채널의 응답 h_k 와 시간 영역에서 임펄스 신호 δ_k 가 되어야 하며, 이를 위해 출력 신호 z_k

또는 결정 장치의 출력 \hat{I}_k 를 이용한 CCA 적응 등화 알고리즘을 적용하여 매 순간 변화시키게 된다.

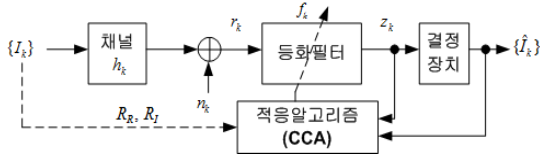


그림 1. 기저 대역 시스템
Fig. 1. Baseband System

2. CCA 등화 알고리즘

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{I}_k 에 의해 결정되어진다. 그림 1의 기저 대역 통신 시스템 모델에서 송신 신호를 I_k , 채널에서 부가되는 잡음을 n_k , 등화기 입력 신호를 r_k , 등화기의 필터 계수를 f_k , 등화기 출력 신호를 z_k 라고 하자. 등화기 필터의 차수를 N 이라고 하면 필터 계수 벡터와 등화기 입력 벡터는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} F_k &= [f_{0k} \ f_{1k} \ f_{2k} \ \dots \ f_{(N-1)k}] \\ R_k &= [r_k \ r_{k-1} \ r_{k-2} \ \dots \ r_{(k-N+1)}] \end{aligned} \quad (1)$$

이를 이용하면 등화기의 출력 신호는 다음과 같다.

$$z_k = F_k^T R_k \quad (2)$$

그림 1의 CCA 등화기 구조에서 결정 장치 출력을 이용한 통계 심볼 $R_R | \hat{I}_{R,k} |^D \cdot \text{sgn}(z_{R,k})$ 와 $R_I | \hat{I}_{I,k} |^D \cdot \text{sgn}(z_{I,k})$ 를 구하는데, 여기서 D 는 0 과 1 사이의 상수를 나타내는 compact slice 가중치이다. CCA에서 통계 심볼은 RCA의 $(R_R, R_I), (R_R, -R_I), (-R_R, R_I)$ 와 $(-R_R, -R_I)$ 의 4 개로 축소시키는 것이 아니라 원래의 심볼 개수를 유지하면서 이들을 일정한 modulus 범위 내에서 compact시키므로 CCA의 이름이 사용된다. CCA의 비용 함수 J_{CCA} 와 탭 계수 갱신식을 다음의 식 (3)에 나타내었다.

$$J_{CCA} = E[(z_{R,k} - R_R | \hat{I}_{R,k} |^D \cdot \text{sgn}(z_{R,k}))^2 + (z_{I,k} - R_I | \hat{I}_{I,k} |^D \cdot \text{sgn}(z_{I,k}))^2] \quad (3)$$

$$F_{k+1} = F_k + \mu [(R_R | \hat{I}_{R,k} |^D \cdot \text{sgn}(z_{R,k}) - z_{R,k}) + j (R_I | \hat{I}_{I,k} |^D \cdot \text{sgn}(z_{I,k}) - z_{I,k})] R^*(k)$$

이와 같이 결정 장치의 출력을 탭 계수 갱신식에 반영하므로서 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 가중치 D 의 값을 이용하여 modulus는 다음과 같이 계산되어진다.

$$R_R = \frac{E[I_R]^2}{E[|I_R|^{(1+D)}]}, R_I = \frac{E[I_I]^2}{E[|I_I|^{(1+D)}]} \quad (4)$$

III. 컴퓨터 시뮬레이션

CCA 적응 등화 알고리즘에서 compact slice 가중치 값이 성능에 미치는 영향을 분석하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서는 신호대 잡음비를 20dB, 적응 스텝 크기 μ 는 0.00035이며 등화기의 적응 필터 차수는 15차 FIR로 설정하였고, 송신 신호로는 16-QAM을 이용하였다. 이 신호는 통신 채널을 통과시킨 후 원하는 신호대 잡음비를 갖는 잡음 n_k 를 부가한 후 수신 신호 r_k 를 얻었다. 그림 3은 시뮬레이션을 위한 신호 처리 과정을 나타낸 것이며, 그림 4는 통신 채널의 진폭 전달 특성과 위상 전달 특성을 나타낸 것이다. 진폭의 경우 전달량이 3.5dB의 변동폭을 가지므로 주파수 선택성 페이딩이 발생함을 알 수 있으며, 위상의 경우 기울기가 일정하지 않은 군지연 (Group Delay)가 발생됨을 알 수 있다.



그림 2. 신호 처리 흐름도
Fig. 2. Signal Processing Flowdiagram

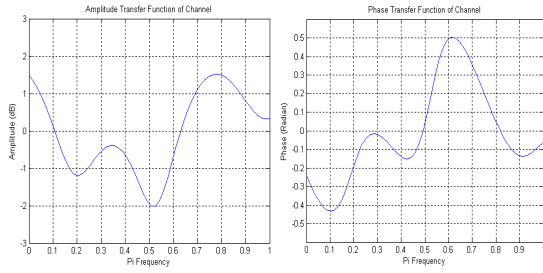


그림 3. 채널의 주파수 전달 특성
Fig. 3. Frequency Transfer Function of Channel

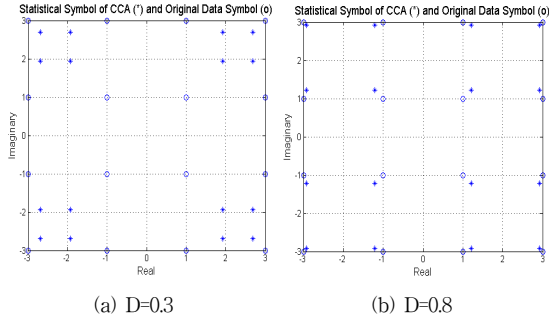


그림 4. 원 심볼과 통계 심볼의 분포
Fig. 4. Distribution of original symbol and statistical symbol point

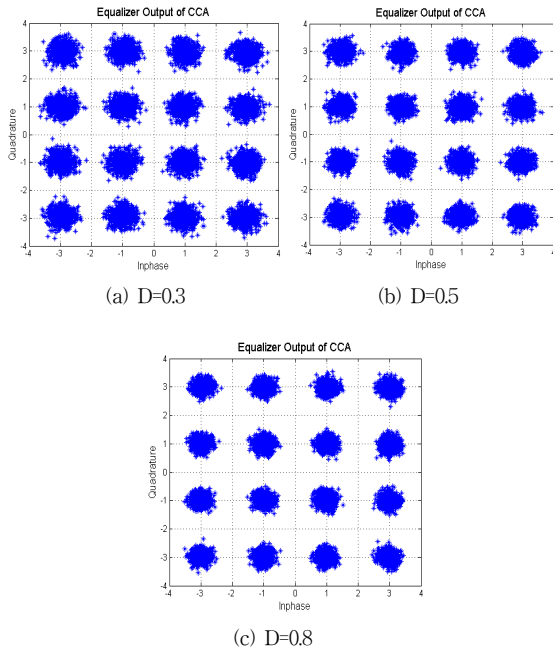


그림 5. 가중치에 의한 등화기 출력
Fig. 5. Equalizer Output by the weighting value

그림 4는 CCA 알고리즘에서 실제 송신 심볼과 통계 심볼의 분포를 slice 가중치 0.3과 0.8에 따라 나타낸 것이다. 2가지 가중치에서 CCA는 전체 16개의 심볼점을 4개의 심볼점 군을 4곳으로 compact화함을 알 수 있으며, 가중치가 적을수록 원래의 심볼점으로부터 많은 compact가 일어남을 알 수 있다.

그림 5는 가중치값에 의한 등화기 출력의 정상도를 나타낸 것이다. 값이 클수록 통계 심볼과 송신 심볼간의 거리가 적게 되어 출력 신호인 복원 정상도에서 심볼점들의 폭이 좁게 되어 우수함을 알 수 있다. 이외에도 성능 비교를 위한 지수로 잔류 isi (Residual isi)와 최대 찌그러짐 (Maximum Distortion), MSE 와 SER을 사용하였다. 잔류 ISI는 통신 채널 h_k 와 등화 필터 계수 f_k 가 완전 보상이 될 때 시간 영역에서는 임펄스 신호가 된다. 그러나 완전 보상은 불가능케 되어 임펄스 성분을 제외한 나머지 잔류 성분들의 크기를 나타낸다. 최대 찌그러짐은 출력 신호에서 각 신호점들의 폭을 나타내며 다음과 같이 정의된다.

$$\text{잔류isi}_{dB} = 10 * \log_{10} \frac{\sum |h_k \infty f_k|^2 - |h_k \infty f_{k \max}|^2}{|h_k \infty f_{k \max}|^2} \quad (5)$$

$$\text{최대찌그러짐} = \frac{\sum |h_k \infty f_k| - |h_k \infty f_{k \max}|}{|h_k \infty f_{k \max}|}$$

그림 6과 7은 CCA 적응 등화기에서 compact slice 가중치를 변화시킬때의 잔류 isi 및 최대 찌그러짐을 20000 회 반복 수행시킬때의 결과를 나타낸 것이다.

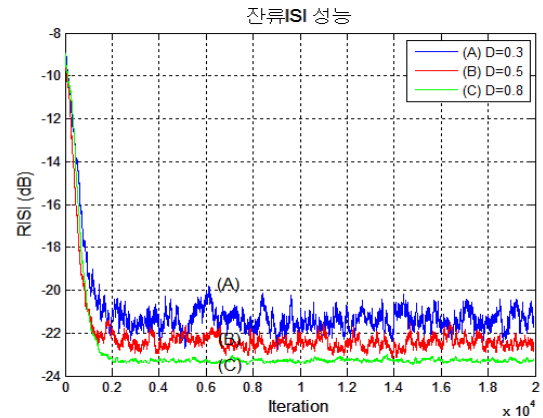


그림 6. 잔류 isi 성능
Fig. 6. Residual isi Performance

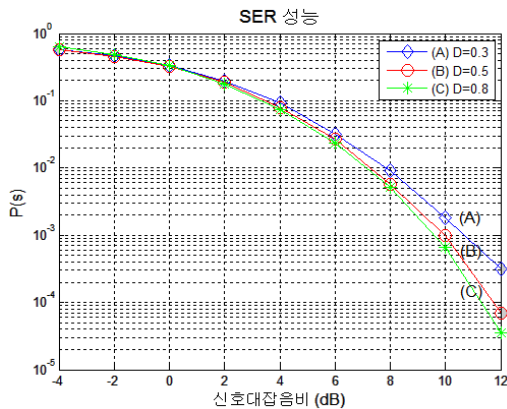


그림 9. SER 성능
Fig. 9. SER Performance

V. 결론

논문에서는 부호간 간섭이 존재하는 통신 채널에서 수신기의 성능 개선을 위하여 사용되는 CCA 적응 등화 알고리즘에서 compact slice 가중치에 의한 이의 성능을 비교하였다. 이를 위하여 16-QAM 을 송신 신호로 사용하였으며 가중치 값을 0.3, 0.5, 0.8로 변화시켰으며 성능 비교하기 위하여 등화기 출력 성장도와 잔류 isi, 최대 찌그러짐, MSE 및 SER을 사용하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 가중치가 클 때 등화기 출력 성장도, 잔류 isi, 최대 찌그러짐과 MSE 성능이 우월함을 그림과 표를 이용하여 확인할 수 있었다. 적응 등화기에서 수렴 속도를 결정하는 잔류 isi의 경우 -20dB의 정상치에 도달하는데 가중치가 0.3인 경우 1062회, 0.5인 경우 829회, 0.8인 경우 741회의 연산 시간이 필요하였으며, 최대 찌그러짐의 경우 -3V 이하의 정상 상태에 도달하는데 가중치가 0.3인 경우 1750회, 0.5인 경우 1172회, 0.8인 경우 1026회의 연산 시간이 필요케되어 이들의 성능 지수에서 가중치가 클 때 빠른 수렴 속도를 얻었다. 그러나 SER 성능의 경우 신호대 잡음비가 적은 경우에는 가중치가 적을수록 양호하지만 신호대 잡음비가 클수록 가중치가 클수록 양호한 성능을 얻을 수 있어서 심볼 오류율 10^{-4} 의 경우 0.3~2dB 정도의 등화 이득을 얻을 수 있다. 이와같은 연구 결과를 바탕으로 CCA 알고리즘을 적용할 때 채널의 환경에 따라 적당한 compact slice 가중치를 선택하면 최고의 성능으로 채널 등화를 수행할 수 있음을 알 수 있다.

References

- [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] Shahid U.H.Qureshi, "Adaptive Equalization", Proc. of the IEEE, Vol.73, No.9, pp.1349~1387, 1985.
- [3] E.Biglieri, A.Gersho, R.D.Gitlin, T.L.Lim, "Adaptive cancellation of nonlinear intersymbol interference for voiceband data transmission", IEEE J. Selected Area Com., vol.SAC-2, pp.765~777, Sept. 1984.
- [4] D.N.Godard, "Self-recovering Equalization and carrier tracking in two-dimensional data communication system", IEEE Trans. on Comm., Vol. 28, pp.1867~1875, Nov. 1980.
- [5] Shafayat Abrar, "Compact Constellation Algorithm for Blind Equalization of QAM Signals", International Networking & Communication Conf. 2004, pp.170~174, 2004.
- [6] J.T.Yuan, K.D.Tsai, "Analysis of the Multimodulus Blind Equalization Algorithm in QAM Communication Systems", IEEE Trans. on Com., Vol. 53, No.9, pp.1427~1431, September 2005.
- [7] S.Abrar, R.A.Axford, "Sliced Multi-modulus Blind Equalization Algorithm", ETRI Journal, Vol. 27, No. 3, June 2005.
- [8] W.A.Sethares, G.A.Rey, J.R.C.R.Johnson, "Approach to Blind Equalization of Signal with Multile Modulus", IEEE Proc. ICASSP, pp.972~975, Apr. 1989.
- [9] X.L.Li, W.J.Zeng, "Performance Analysis and Adaptive Newton Algorithms of Multimodulus Blind Equalization Criterion", Signal Processing, Vol. 89, pp.2263~2273, Nov. 2009.
- [10] S.G.Lim, "The Performance Analysis of CCA Adaptive Equalization Algorithm for 16-QAM Signal", Jour. of I.I.B.C., Vol. 13, No.1, pp.27~34, Feb. 2013.
- [11] K.N.Oh, "An Algorithm for Variable Step-Size Improving Steady-State Performance of Blind

Equalization", Jour. of K.I.I.T., Vol. 9, No. 10, pp.4
3~48, Oct. 2011.

저자 소개

강 대 수(정회원)



- 1983년 : 경희대학교 전자공학과 학사 졸업
- 1985년 : 경희대학교 전자공학과 석사 졸업
- 1992년 : 경희대학교 전자공학과 박사 졸업
- 2005년 ~ 현재 : 공주대학교정보통신 공학부 교수

<주관심분야 : 디지털통신, 이동통신, 인지신호처리>