

# 2차 재귀 다항식 시스템을 이용한 수직 자기 기록 채널 등화 기법

\*조현민, 공규열, 최수용  
연세대학교 전기전자공학과

e-mail : hyunminzo, gykong, csyong@yonsei.ac.kr

## Perpendicular Magnetic Recording Channel Equalization Using a Bilinear Recursive Polynomial System

\*Hyunmin Cho, Gyuyeol Kong, Sooyong Choi  
School of Electrical and Electronic Engineering  
Yonsei University

### Abstract

In order to improve the performance and simplify the structure of the conventional detectors in high density magnetic channels, a new equalizer based on bilinear recursive polynomial (BRP) models, which uses the previously estimated sequence, is proposed. The performance is compared with the conventional equalizers and the maximum likelihood sequence detection (MLSD) bound.

### I. 서론

부분 응답 최대 유사도 (Partial Response Maximum Likelihood, PRML)를 이용한 검출방식은 자기기록 시스템에서 매우 중요한 역할을 하는 신호처리 기법이다. PRML 검출기는 부분 응답을 위한 등화기와 최대 유사도 판별을 위한 비터비 검출기로 이루어져 있다. 일반적으로 부분 응답 등화기는 최소평균제곱오차 (Minimum Mean-Squared Error, MMSE) 등화기와 같은 선형등화기가 쓰인다 [1].

본 논문에서는 BP (Bilinear Polynomial) 모델을 이용한 낮은 복잡도의 비선형 등화기를 제안한다. BP는 볼테라 시리즈 (Volterra Series)나 다변수 다차항

(Multivariate Polynomial) 모델의 복잡도를 낮춘 대안으로 널리 사용된다 [2]. 또한, BP는 기존의 모델을 단순화 하였음에도 다차항 모델과 유사한 성능을 보인다 [3], [4]. 본 논문에서 제안하는 BRP 등화기는 등화 과정에서 이전의 검출된 신호를 이용하여 기존의 BP 등화기보다 더 좋은 성능을 얻는다.

### II. BRP 등화기

BRP 등화기는 그림 1과 같이 등화기에서 출력된 값  $\hat{y}(k)$ 를 다음신호를 등화하기 위해서 사용한다. 사용되는 수신신호의 개수와 이전의 검출된 신호의 개수는  $N_{ff}$ 와  $N_{fb}$ 로 정의 한다. 등화기의 입력은 수신신호  $X(k) = [x(k), x(k-1), \dots, x(k-N_{ff}+1)]$ 와 이전 검출신호  $\hat{Y}(k) = [\hat{y}(k-1), \dots, \hat{y}(k-N_{fb})]$ 이다. 등화된 신호  $y(k)$ 는 아래의 식 (1)과 같다.

$$y(k) = \sum_{j=1}^{N_{fb}} \alpha_j \hat{y}(k-j) + \sum_{i=0}^{N_{ff}-1} \sum_{j=i}^{N_{fb}} \beta_{i+1,j} \hat{y}(k-j) x(k-i) + \sum_{i=0}^{N_{ff}-1} \gamma_{i+1} x(k-i) \quad (1)$$

$\alpha, \beta, \gamma$ 는 각각의 값에 곱해지는 상수이며 여러 방식으로 갱신 가능하다. 본 논문에서는 최대 경사법으로 계수를 갱신하였다.  $n$ 번째 시행에서  $n+1$ 번째 계수를 구하는 방법은 아래와 같다 ( $\mu_\alpha, \mu_\beta, \mu_\gamma$ : step size).

$$\alpha_{j:n+1} = \alpha_{j:n} + \mu_\alpha (1 - y_n^2) e_n \hat{y}_{n-j} \quad (2)$$

$$\beta_{ij:n+1} = \beta_{ij:n} + \mu_\beta (1 - y_n^2) e_n \hat{y}_{n-j} x_{n-i} \quad (3)$$

$$\gamma_{i:n+1} = \gamma_{i:n} + \mu_\gamma (1 - y_n^2) e_n x_{n-i} \quad (4)$$

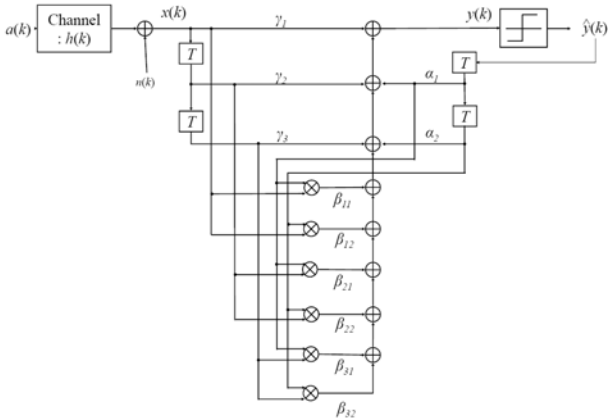


그림 1. BRP 등화기  $N_{ff}=3, N_{fb}=2$

### III. 실험결과

본 논문은 수직 자기 기록 채널 환경에서 실험하였다 [5]. MMSE는 25개의 입력 탭 수를 사용하였고, BRP 등화기는  $N_{ff}=25, N_{fb}=5$  를 사용하였다. PRML에서  $[a_0 a_1 a_2 a_3]$ 는 필터  $(a_0 + a_1 D + a_2 D^2 + a_3 D^3)$ 을 의미하며  $[a_0 a_1 a_2 a_3][a_4 a_5]$ 는 필터  $(a_0 + a_1 D + a_2 D^2 + a_3 D^3)(a_4 + a_5 D)$ 를 뜻한다.

그림 3은 기록밀도  $K=1.6$ , 지터잡음이 없는 상황에서의 각 검출기의 BER 성능을 나타낸 것이다. BRPE는 PRML[1672]보다 성능이 나쁘지만 PRML[4752][1 -1] 보다는 약 3dB의 SNR 이득이 있다.

그림 4는 기록밀도  $K=1.9$ , 잡음에서 AWGN과 지터잡음의 비율이 70:30일 때 각 검출기의 BER 성능을 비교한 것이다. BRP 등화기는 SNR이 증가할수록 PRML[1672]와 성능차이가 줄어드는 것을 확인 할 수 있다.

### IV. 결론 및 향후 연구 방향

고밀도 채널에서의 등화 성능향상을 위하여 BRP 등화기를 제안하였다. 실험결과, 비교적 간단한 복잡도의 BRP 등화기는 선형 등화기에 비하여 BER 성능이 더 좋다는 것을 확인 할 수 있었다. 또한 낮은 복잡도에도 불구하고 지터잡음이 있는 높은 기록밀도 환경에서 BRP 등화기의 성능이 SNR이 증가할수록 PRML [1672]와 성능차이가 줄어든다. 갈수록 증가하는 기록 밀도의 증가 요구에 맞추어 등화능력이 뛰어난 BRP 등화기를 PRML의 부분응답등화기로 응용하기 위한 연구가 향후 필요 할 것이다.

### 참고문헌

[1] S. Haykin, *Adaptive Filter Theory*, Prentice-Hall, Upper Saddle River, New Jersey, 2002.

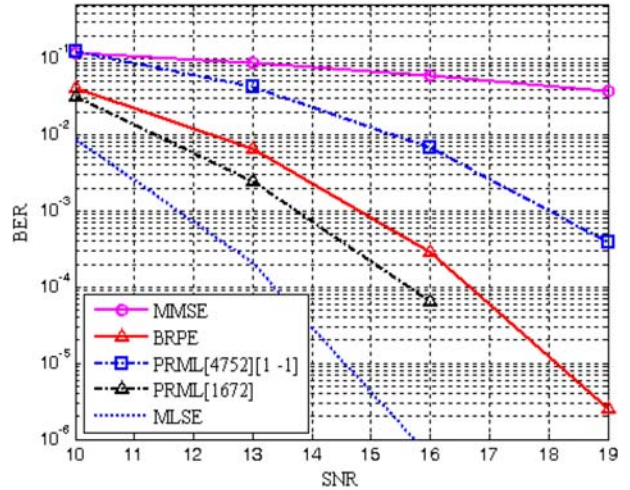


그림 2.  $K=1.6$ 이고 지터가 없을때의 MMSE, BRPE, PRML, MLSE의 BER 성능

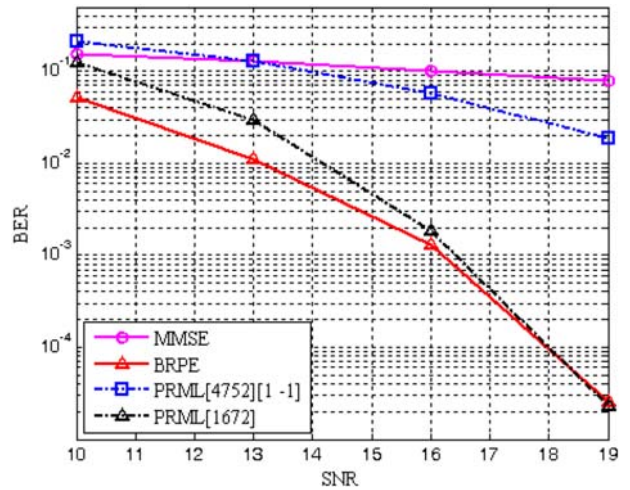


그림 3.  $K=1.9$ 이고 AWGN과 지터잡음 비율이 70:30일때 MMSE, BRPE, PRML의 BER 성능

[2] V. J. Mathews and G. L. Sicuranza, *Polynomial Signal Processing*, John Wiley & Sons, New York, 2001.

[3] Zengjun Xiang, Guangguo Bi and Tho Le-Ngoc "Polynomial Perceptrons and Their Applications to Fading Channel Equalization and Co-Channel Interference Suppression," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol.42, no.9, pp.2470-2479, Sep. 1994

[4] S. Chen, G. J. Gibson and C. F. N. Cowan, "Adaptive channel equalisation using a polynomial-perceptron structure," *Proc. IEE*, pt. 1, vol.137, no.5, pp.257-264, Oct. 1990.

[5] M. Madden, M. Oberg, Z. Wu and R. He, "Read channel for perpendicular magnetic recording," *IEEE Trans. Magn.*, no.1, pp.241-246, Jan. 2004.