

## 무선 멀티미디어 네트워크에서 수직 자기기록장치를 위한 PRML 시스템

김정수\* · 황기연\*\*

### A PRML System for Perpendicular Magnetic Recording Channel in Wireless Multimedia Networks

Jeong-su Kim\*, Gi-yeon Hwang\*\*

**요약** 부분응답 최대유사 (PRML: partial response maximum likelihood) 검출기법은 수직 자기기록 채널에 적합한 검출 기법이다. PRML 시스템에 RLL(Run Length Limited)을 결합하여 저 복잡도 검출기법을 제안하였다. 모의 실험의 결과  $R=2/3$  변조 부호를 사용한 PR(1,2,3,4,3,2,1)ML과 PR(1,2,3,3,2,1)ML이 각각  $K=3, 4$ 에서 가장 우수한 성능을 보였다. 그러나,  $K=3$ 인 경우  $R=2/3$  PR(1,1,1,1)ML은  $R=2/3$  PR(1,2,3,3,2,1)ML에 비해 매우 적은 복잡도를 갖지만 약 1.5dB의 성능열화만을 보이는 것을 알 수 있었다.  $K=4$  일때는  $R=1$  PR(1,2,2,1)ML은  $R=2/3$  PR(1,2,3,4,3,2,1)ML과 비교하여 훨씬 적은 복잡도를 가지면서 2dB이내의 성능 열화를 가짐을 확인 할 수 있었다.

**Abstract** Partial response maximum likelihood (PRML) is a powerful and indispensable detection scheme for perpendicular magnetic recording channels. The proposed method is a low complexity detection scheme which is related to the PRML system. The simulation results show that PR(1,2,3,4,3,2,1)ML and PR(1,2,3,3,2,1)ML using modulation encoding with  $R=2/3$  have the most improved performance at  $K=3,4$ . However, in the case of  $K=3, R=2/3$  PR(1,1,1,1)ML effectively reduces the complexity compared to PR(1,2,3,3,2,1), but it has 1.5dB performance degradation at most. In the case of  $K=4, R=1$  PR(1,2,2,1)ML has very low complexity compared to  $R=2/3$  PR(1,2,3,4,3,2,1)ML. but it has about 2dB performance degradation at most.

**Key Words** : Partial response maximum likelihood (PRML), RLL(Run Length Limited)

### 1. 서 론

정보통신 기술의 발전과 더불어 초고밀도, 대용량 저장장치의 필요성이 더욱 요구되는 상황에서 수직 자기 기록 장치는 단위 면적당 1 tera-bit의 기록밀도를 가능케 할 수 있는 저장장치로 부각되고 있다[1].

이에 기존 수평 자기 기록 채널에서 널리 사용되었던 부분응답 최대유사 (partial response maximum likelihood: PRML) 검출기법 들을 적용하여 많은 연구가 진행되고 있다[1-3]. 반복적 복호 검출 기법 또한 심각한 심벌 간 간섭이 존재하는 수직자기 기록 채널에서 매우 강력한 검출 기법들 중 하나이다[4,5]. 이러한

Viterbi 검출기법을 기반으로 한 시스템들은 좋은 비트 오류 성능을 보이지만 기록밀도가 증가함에 따라 지수 함수적으로 복잡도가 증가하는 단점을 가지고 있다. 따라서 저역통과 특성이 매우 심각한 수직 자기기록 채널에서는 구현상에 문제점이 더욱 크게 된다. 반대로, 결정 궤환 등화 검출 기법(decision feedback equalizer: DFE)은 높은 기록밀도의 수직 자기기록 채널에서 심각한 성능열화를 보이지만 매우 간단한 구조를 갖고 있다. 이중검출 기법은 이러한 결정 궤환 구조를 갖는 검출기법의 성능을 쉽게 향상시킬 수 있는 방법이다.

특히 초고밀도의 수직 기록 장치에서 발생하는 파형 왜곡과 BER 성능저하를 고려하여 bi-layer 매체와 SPT(Single Pole Type)의 기록헤드를 사용한 수직 자기 기록장치가 제안되었고 이는 초고밀도에서 좋은 선형성을 갖는 것으로 알려져 있다. 본 논문에서는 기존의 수평 자기 기록 시스템에서 널리 사용되었던 PRML

\*한국사이버대학교 컴퓨터 정보통신학부  
E-mail : kjs@mail.kcu.ac  
\*\*전북대학교 정보통신공학과

(Partial Response Maximum Likelihood)기법을 수직 자기 기록장치에 적용하였다. 특히 다양한 부호율의 RLL(Run Length Limited) 변조부호를 PRML 시스템에 결합하여, 변조부호에 의한 성능이득 및 복잡도 감소를 살펴보았다. 모의 실험에서는 수직 자기기록 채널로서 수학적인 arc tangent 모델을 사용하였으며 기록 밀도 3과 4에 대하여 다양한 PRML의 비교를 통해 적합한 PRML기법을 제시하였다.

사용된 채널 모델과 PRML 시스템 모델, 모의실험 그리고 결론의 순서로 수직 자기 기록장치를 위한 PRML 기법을 소개하고자 한다.

## 2. 채널모델

수직 자기기록 장치에서는 기존의 수평 자기기록 장치와는 달리 식(1)과 같은 arctangent형태의 천이 응답을 갖는다.

$$g(t) = \frac{2A}{\pi} \arctan \frac{2t}{T_{50}} \quad (1)$$

여기서 A는 시간축의 무한대에서 천이응답의 진폭을 나타내며, 그림 1에서 볼 수 있듯이 최대 진폭의 절반인 값들 사이의 간격을  $T_{50}$ 이라 하고,  $T_b$ 는 비트 간격을 나타낸다. 이때 기록 밀도 K는  $T_{50}/T_b$ 로 정의되며, 부호율을 고려하면, RLL 부호화된 시스템의 기록밀도 K는 부호화되지 않은 K/R의 기록밀도에 해당된다. 입력신호  $a_k$ 는 그림 2에서와 같이 재생을 위한 자기 헤드의 영향으로 입력 신호는 1-D와 채널의 천이 응답에 여과되게 된다.

이때 (1-D)\*g(t)를 충격응답 혹은 심볼응답 h(t)이라 하며 ‘\*’은 컨볼루션을 말한다. 심볼 응답의 주파수 특성인 MTF(Modulation Transfer Function)를 살펴보면 그림 3에서와 같이 저역 통과 필터의 특성을 갖으며 기

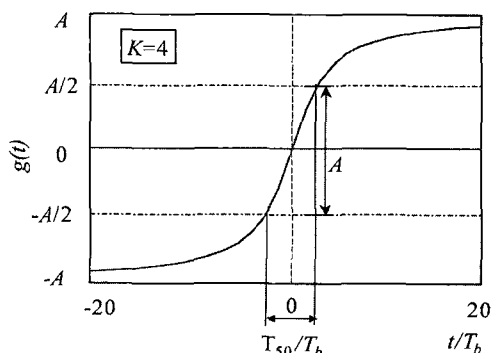


Fig. 1. Symbol shift response when the record densities is K=4.

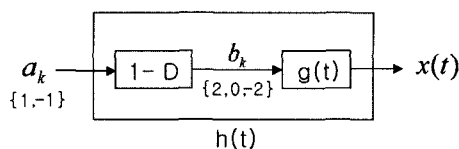


Fig. 2. Regeneration signal.

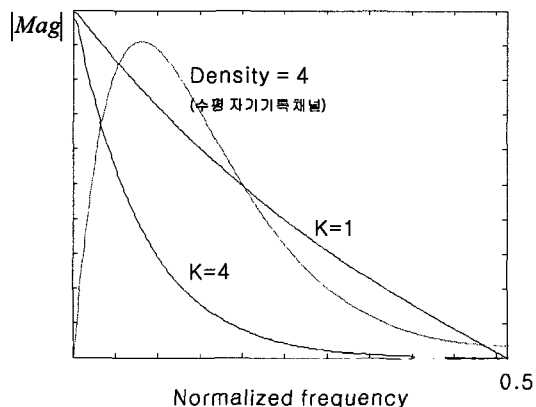


Fig. 3. The channel symbol response of perpendicular and horizontal recording device.

록 밀도가 1인 경우에도 Lorentzian 채널 모델이 적용되는 수평 자기기록 장치의 기록밀도 4인 경우와 비슷한 대역폭을 보일 만큼 협대역을 갖음을 알 수 있다. 이러한 협대역을 갖는 채널의 특성을 고려하면서 적절한 RLL 변조부호를 결합하여 채널의 주파수응답에 가장 잘 정합 되는 부분응답을 찾는 것이 다음 장에서 살펴볼 PRML 시스템 설계의 기본이 된다

## 3. 수직 자기기록 장치를 위한 시스템 모델

그림 4는 PRML 시스템의 블록도이며,  $a_k$ 는 RLL 변조 부호화 된 후 사전부호화(Precoding)을 거친 후의 심볼에 해당된다. 사전부호화의 영향으로 최소 연속적인 심볼의 개수는 (d+1)이 된다. 채널 h(t)를 통과한 후 부가 백색 가우시안 잡음(AWGN)이 첨가되며, 잡음은 평균이 0이고,  $N_0/2$ 의 전력을 갖는다고 가정하였다. 특히, 이상적으로 대역 제한된 시스템이라 가정하면 정합 필터를 저역통과 필터로 대체할 수 있으므로 모의실험에서는 정합필터의 출력은 표본화된 저역통과 필터의 출력으로 간주하였다[2]. PR 등화기 설계에서 타겟응답 P(D) 식(3)과 같이 나타낼 수 있고, 부분응답의 계수  $p_k$ 가 모두 양수를 갖는 PR I기반의 부분응답을 등화기의 타겟 응답으로 결정하였다.

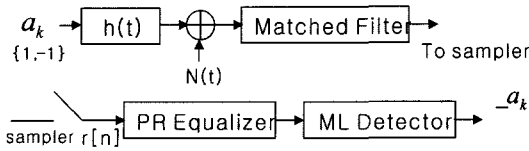


Fig. 4. PRML system block diagram.

$$P(D) = \sum_{k=0} p_k D^k \quad (3)$$

이는 저주파수 대역에서 큰 파워를 지터 같은 잡음과 전 대역에서 일정한 파워를 갖는 부가백색 가우시안 잡음이 1:1의 비율일 때와 부가백색 가우시안 잡음만이 존재할 경우 모두 좋은 성능을 보이는 것으로 알려져 있다[3].

#### 4. 결과 및 분석

모의 실험에서의 신호대 잡음비(Signal to Noise Ratio; SNR)는 다음과 같이 정의 된다.

$$SNR = 10 \log \frac{A^2}{10 N_0} [dB] \quad (4)$$

다양한 RLL 변조부호에 따른 PRML기법의 성능은 다음과 같다.

##### 4.1 변조부호를 사용하지 않은 경우 ( $R = 1$ )

변조부호를 사용하지 않은 경우에는 고주파대역의 정보가 억제되지 않으므로, 부분응답 스펙트럼의 주엽(main-lobe)뿐만 아니라 부엽(side-lobe)의 크기 역시 시스템 성능에 큰 영향을 미치게 된다. 그림 5, 6을 살

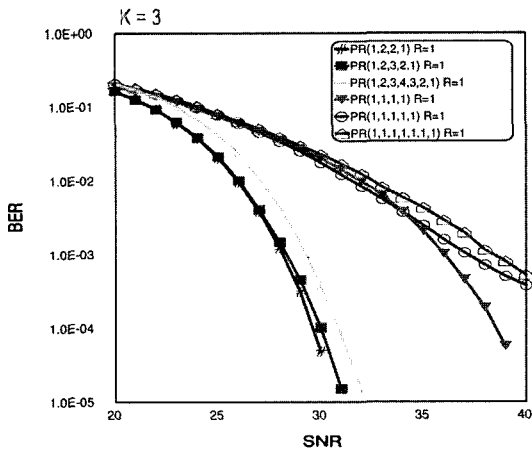


Fig. 5. BER performance at  $R=1$ ,  $K=3$ .

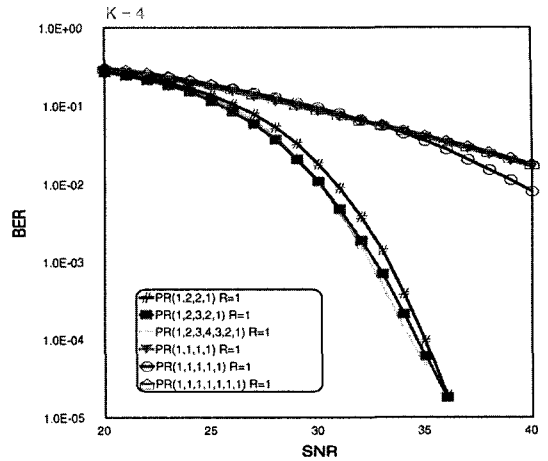


Fig. 6. BER performance at  $R=1$ ,  $K=4$ .

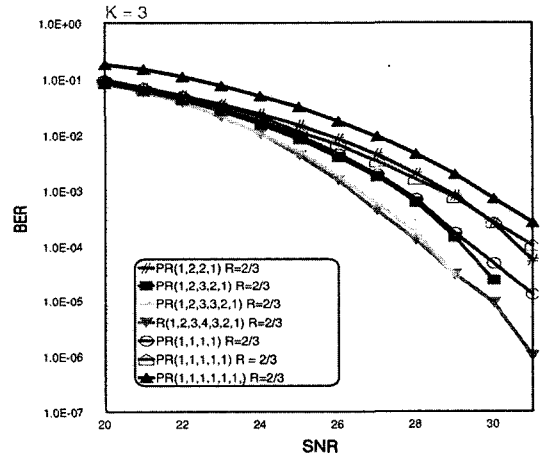


Fig. 7. BER performance at  $R=2/3$ ,  $K=3$ .

펴보면 부엽의 크기가 큰  $P(D) = \sum D^k$  형태의 부분응답은 좋지 않은 BER 성능을 갖게되는 것을 확인할 수 있고 고차 부분응답일수록 더욱 그러하다. 이를 고려하여 PR(1,2,2,1)ML, PR(1,2,3,2,1)ML, PR(1,2,3,4,3,2,1)ML과 같이 부엽의 크기가 적은 PR을 사용하는 경우 훨씬 좋은 BER 성능을 얻을 수 있다.  $K=3$ 에서는 PR(1,2,2,1)ML 기법이 다른 고차 PRML기법에 비해 적은 복잡도를 유지하면서 가장 좋은 성능을 보였고(그림 5),  $K=4$ 에서 PR(1,2,3,2,1)ML, PR(1,2,3,4,3,2,1)ML 기법과 비교하여 1dB 이내의 성능열화만을 보인다.

##### 4.2 RLL(1,7) 변조부호를 사용한 경우 ( $R = 2/3$ )

RLL(1,7) 변조부호를 사용하는 경우에는  $d=1$  제한 조건에 의해 고주파대역의 정보가 적절히 억제되므로 부엽의 크기가 큰 형태의 부분응답의 성능열화가 많이 줄어든

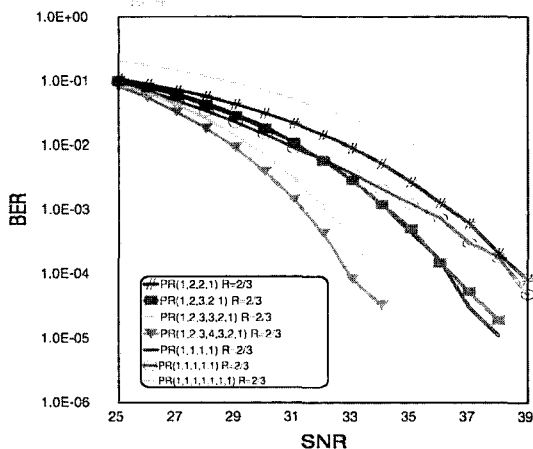


Fig. 8. BER performance at R=2/3, K=3.

다. 그림 7, 8을 살펴보면 PR(1,1,1,1)ML의 경우 PR(1,2,3,2,1)ML과 거의 동일한 성능을 보임을 알 수 있다. K=3인 경우는 PR(1,2,3,3,2,1)ML과 PR(1,2,3,4,3,2,1)ML이 동일한 가장 좋은 성능을 보이며, K=4인 경우는 PR(1,2,3,4,3,2,1)ML이 가장 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 수직 자기 기록 장치를 위한 PRML 시스템을 다루었다. 다양한 부호율의 RLL 변조부호가 결합되었을 때의 성능 및 복잡도를 비교하였으며, 특히, K=3,4인 고밀도 수직 자기 기록 채널을 위한 PRML 시스템에 주안점을 두었다. 모의 실험의 결과 R=2/3 변조부호를 사용한 PR(1,2,3,4,3,2,1)ML과 PR(1,2,3,3,2,1)ML이 각각 K=3, 4에서 가장 우수한 성능을 보였다. 그러나,

K=3인 경우 R=2/3 PR(1,1,1,1)ML과 R=1 PR(1,2,2,1)ML은 R=2/3 PR(1,2,3,3,2,1)에 비해 매우 적은 복잡도를 갖지만 1.5dB의 성능열화만을 보이는 것을 알 수 있었다. 또한 K=4인 경우 R=1 PR(1,2,2,1)ML은 R=2/3 PR(1,2,3,4,3,2,1)과 비교 해 훨씬 적은 복잡도를 가지면서 2dB이내의 성능 열화를 가짐을 확인할 수 있었다. 본 논문을 통해 변조부호와 PR 응답의 다양한 조합으로 이루어진 수직 자기 기록 시스템의 성능 및 복잡도를 포괄적으로 살펴볼 수 있었다. 수직 자기 기록 장치를 위한 PRML 시스템의 복잡도 감소문제는 향후 연구과제로 큰 의미를 가질 것을 기대된다.

### 참고문헌

- [1] R. Wood, "The feasibility of magnetic recording at 1 terabit per square inch", IEEE Trans. Magn., vol. 36, pp. 36-43, Jan. 2000.
- [2] Y. Okamoto, et al., "A study of PRML systems for perpendicular recording using double layered medium", IEEE Tran. Magn., vol. 36, pp. 2164-2166, Sep. 2000.
- [3] S. Gopalswamy, et al., "Read channel issues in perpendicular magnetic recording", IEEE Tran. Magn., vol. 37, pp. 1929-1931, July 2001.
- [4] P. Kovintavewat, I. Ozgunes, E. Kurtas, J. R. Barry, and S. W. McLaughlin, "Generalized partial-response targets for perpendicular recording with jitter noise", IEEE Trans. Magn., Vol. 38, No. 5, pp. 2340-2342, Sep. 2002.
- [5] R. D. Cideciyan, "Perpendicular and longitudinal recording: a signal-processing and coding perspective", IEEE Trans. Magn., Vol. 38, No. 4, pp. 1698-1704, Jul. 2002.