

論文95-32B-12-3

디지털 고밀도 기록 채널의 트랙간 간섭 감소를 위한 다채널 적응 PRML

(A Multi-Channel Adaptive PRML for Reduction of Inter-Track Interference in Digital High-Density Recording Channels)

姜鉉宇*, 全元奇**, 趙鏞洙**, 尹大熙*

(Hyun Woo Kang, Won Gi Jeon, Yong Soo Cho, and Dae Hee Youn)

요 약

트랙간 간섭은 기록 헤드가 읽고자 하는 트랙의 중심에서 벗어나는 현상(head misalignment) 때문에 발생하며 현재 이것은 디지털 자기 채널에서 트랙 밀도의 증가를 억제하는 주요한 요소이다. 본 논문에서는 디지털 고밀도 기록 채널을 위한 다채널 적응 PRML을 제안하고, 트랙간 간섭이 존재하는 상황에서 기존의 단채널 PRML과 그 성능을 비교한다. 모의 실험 결과 제안된 방법은 헤드의 벗어남이 발생했을 때 트랙간 간섭을 효과적으로 제거함으로써 기존의 단채널 PRML보다 훨씬 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 결론적으로 다채널 적응 PRML은 디지털 자기 채널에서 고밀도 기록에 적합하다는 것을 확인할 수 있다.

Abstract

Misalignment of recording head position results in inter-track interference (ITI), which is a primary factor limiting radial(track) density in current digital magnetic channels. This paper proposes a multi-channel adaptive PRML for digital high-density recording channels, and compares it with the conventional single-channel PRML in the presence of ITI for the performance evaluation. Simulation results show that the proposed method removes ITI effectively when head-misalignment occurs, then improving its performance significantly as compared with the single-channel PRML. As a result, it is confirmed that multi-channel adaptive PRML is well suited for high-density recording in digital magnetic channels.

I. 서 론

급속히 발전하는 영상 매체 산업에 부응하기 위해

* 正會員, 延世大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng. Yonsei University, Seoul, Korea)

** 正會員, 中央大學校 電子工學科

(Dept. of Electronic Eng. Chung-Ang University, Seoul, Korea)

※ 이 연구는 92년도 한국과학재단의 연구비 지원에 의한 결과임.

接受日字: 1994년 12월 19일, 수정완료일: 1995년 12월 5일

HDD, 디지털 VCR, 광자기 디스크 장치(MODD) 등에 사용되는 기록 장치의 고밀도화가 요구되고 있다. 재생 코일을 통해 읽어낸 전기적 신호로부터 기록 데이터를 검출하기 위하여 현재까지 널리 사용되어온 방식은 RLL(run-length-limited) 부호화와 최대치 검출기를 결합한 아날로그 방식이나, 최근에는 기록 채널에 새로운 기법의 신호 처리 방식을 도입함으로써 고밀도화를 가속시키고 있다. 샘플링 검출 방식이라고도 불리는 디지털 검출 방식 중에서 특히 고밀도 기록을 위해서는 PRML(partial response maximum likelihood) 방식 또는 적응 결정 궤환 등화기(decision feedback equalization) 방식이 우수한 성능을 보인

다는 연구 결과가 발표되었다^{[11][12]}. PRML은 조절된 양의 심볼간 간섭(ISI)을 허용하여 주어진 채널에 적합한 형태의 스펙트럼을 만들고, 검출단에서 최우추정(maximum likelihood sequence estimation)법인 Viterbi 알고리즘을 사용하는 방법이다^[12].

자기 기록 채널의 기록 밀도를 증가시키기 위해서는 electric 잡음과 media 잡음, 그리고 심볼간 간섭(inter-symbol interference)과 트랙간 간섭(inter-track interference)에 의한 영향 등을 고려해야 한다. 그 중에서도 선밀도(linear density)를 증가시키기 위해서는 심볼간 간섭을 제거하여야 하고, 트랙 밀도(radial density)를 높이기 위해서는 트랙간 간섭을 보상해주어야 한다. 현재의 디지털 신호 처리 기술로 선밀도는 상당한 수준으로 증가되었지만, 전체 면밀도(areal density)를 증가시키기 위해서는 보다 효과가 큰 트랙의 고밀도화에 대한 연구가 필수적이며 현재 이에 대한 연구가 활발히 진행 중에 있다^{[13][14]}.

트랙간 간섭이 발생하는 주된 원인은 기계적인 헤드의 움직임이 읽고자 하는 트랙의 중심에서 벗어나는 현상(head misalignment)에 기인한다. 이러한 트랙간 간섭을 제거하기 위한 방법으로, 여러 개의 헤드를 사용하여 트랙간 간섭을 감소시켜 저장된 데이터를 검출해내는 방법이 연구되고 있는데 이 방법이 결정 계환 등화기에 적용된 결과가 최근 논문에 발표되었다^{[5][16][17]}. 본 논문에서는 다채널 적응 PRML을 사용하여 여러 개의 헤드에서 동시에 읽어들이는 다채널 데이터로부터 인접 트랙간의 간섭을 제거하여 원하는 트랙의 데이터만을 정확히 검출해내는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 헤드가 읽고자하는 트랙의 중심에서 상당히 벗어났을 경우에도 데이터를 정확히 검출해냄으로써 결과적으로 트랙의 밀도를 높일 수 있게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II절에서는 다채널 모델링과 트랙간 간섭의 모델링에 대해 살펴보고, III절에서는 본 논문에서 제안한 다채널 적응 PRML에 대해 논한다. IV절에서는 다채널 적응 PRML을 자기 기록 채널에 적용한 결과와 기존의 단채널(single channel) PRML의 결과를 비교함으로써 제안한 방식의 성능을 평가하고, V절에서 결론을 맺는다.

II. 다채널 모델링과 트랙간 간섭 모델링

자기 기록 장치의 읽기 헤드(read head)를 여러 개

사용하여 다채널로 확장시킨 모델은 그림 1과 같다.

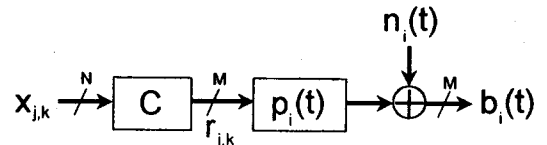


그림 1. 다채널 모델링

Fig. 1. Multi-channel modeling.

여기에서 N 은 트랙의 수를 나타내며, M 은 헤드의 수를 나타낸다. 입력 데이터 $x_{j,k}$, $j=1 \cdots N$ 은 ± 1 의 값을 갖으며 Interleaved NRZI로 전처리된(precoded) 데이터이다. 커플링 행렬 $C(M \times N)$ 는 M 개의 헤드와 N 개의 트랙간의 상호관계를 규정짓는 행렬이다. 즉 헤드가 트랙의 중심에서 벗어났을 때 자신의 트랙 이외에 인접 트랙에서 읽어지는 값을 고려하기 위한 행렬이다. N 개 트랙의 데이터가 커플링 행렬을 거쳐 읽혀진 M 개의 데이터 $r_{i,k}$, $i=1 \cdots M$ 은 트랙간 간섭을 고려한 데이터가 된다.

단채널의 경우 펄스 응답 $p(t)$ 는

$$p(t) = \begin{aligned} &h(t) * g(t, T) \\ &= s(t) - s(t - T) \end{aligned} \quad (1)$$

으로 모델링된다. 여기에서 구형파 shaping 함수 $g(t, T)$ 는 다음 식과 같이 주어진다.

$$g(t, T) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq T \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

여기에서 T 는 심볼의 주기이다. 또한 $h(t)$ 는 단채널의 임펄스 응답이며, 스템 응답 $s(t)$ 는 다음 식과 같이 Lorentzian^[8] 함수로 모델링된다.

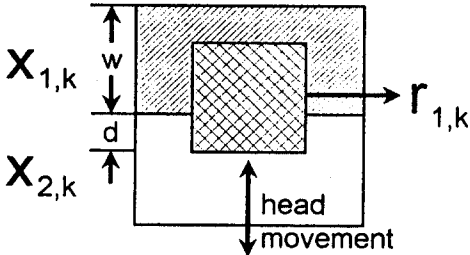
$$s(t) = \frac{1}{1 + (2t/pw_{50})^2} \quad (3)$$

여기에서 pw_{50}/T 은 계단 응답 최고값의 50%일 때의 펄스 폭으로 정의되며 이는 일반적으로 채널의 기록 밀도를 나타내는데 사용된다^[11]. 모든 트랙에 대해 $p_i(t) = p(t)$, $h_i(t) = h(t)$, $i=1 \cdots M$ 이라 가정할 경우 다채널의 출력 $b_i(t)$, $i=1 \cdots M$ 은 다음 식과 같이 주어진다.

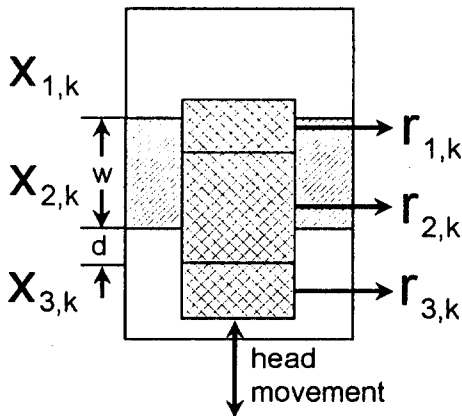
$$b_i(t) = \sum_k C_{x_{j,k}} p_i(t - kT) + n_i(t) \quad j=1 \cdots N, i=1 \cdots M \quad (4)$$

여기에서 채널을 통과한 신호에 부과되는 잡음 $n_i(t)$, $i=1 \cdots M$ 은 백색 Gaussian 잡음으로 가정한다.

다채널에서의 트랙간 간섭을 모델링하기 위하여 그림 2에서와 같은 다수의 헤드열과 트랙을 가정한다. 그림 2(a)는 헤드가 1개인 경우를 나타내었고, 그림 2(b)는 헤드가 3개인 경우를 모델링하였다.



(a)



(b)

그림 2. 다수의 헤드열과 트랙의 모델링
(a) 헤드가 1개인 경우 (b) 헤드가 3개인 경우

Fig. 2. A block diagram of a multi-channel adaptive PRML.
(a) case of 1 head (b) case of 3 heads

여기에서 트랙에 기록된 데이터를 $x_{j,k}$, $j=1 \dots N$, 헤드에서 읽은 데이터를 $r_{i,k}$, $i=1 \dots M$ 로 표시하였다. 트랙의 폭을 w 라 하고 헤드가 트랙의 중심에서 벗어난 정도를 d (off-track distance)라 할 때, off-track 비를 d/w 라 정의한다. 예를 들어 off-track 비가 0.2라는 것은 헤드가 트랙의 중심에서 트랙 폭의 20%만큼 벗어났음을 의미한다. 그림 2에서 데이터를 검출하고자 하는 트랙을 빗금으로 표시하였다.

본 논문에서는 다음과 같은 가정을 기초하여 트랙간 간섭을 모델링한다.

가정 1) 모든 트랙의 폭과 헤드의 폭은 w 로 같다. 단 그림 2(b)에서와 같이 헤드열 중 양쪽 끝 헤드의 폭은 $w/2$ 로 한다(즉, $d/w \leq 0.5$ 일 때 또 다른 트랙과의 간섭이 없다고 가정).

가정 2) 헤드열의 각 헤드는 독립적으로 움직이지 않고 동시에 같은 방향으로 움직인다.

가정 3) 채널간 간섭의 크기는 헤드가 트랙의 중심에서 벗어난 정도 d 에 비례한다.

가정 4) 헤드의 벗어남이 발생해서 한 헤드가 원하는 트랙의 데이터와 인접 트랙의 데이터를 동시에 읽을 때 두 데이터는 동일한 형태의 펄스 응답을 거친다.

신호의 레벨은 헤드를 통과하는 자속(flux)의 양에 비례하기 때문에^[1] 가정 3과 가정 4에 의해서 헤드가 각 트랙에 걸친 폭에 비례하여 각 트랙의 데이터를 읽어들이게 된다. 따라서 그림 2(a)의 경우 읽기 헤드의 출력 $b_i(t)$ 에 관한 식(4)는 식(5)와 같이 되고, 그림 2(b)의 경우는 식(6)과 같이 된다.

$$b(t) = \sum_k \left[1 - \frac{d}{w} \quad \frac{d}{w} \right] \begin{bmatrix} x_{1,k} \\ x_{2,k} \end{bmatrix} p(t-kT) + n(t) \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} b_1(t) \\ b_2(t) \\ b_3(t) \end{bmatrix} = \sum_k \begin{bmatrix} 1 - \frac{d}{w} & \frac{d}{w} & 0 \\ 0 & 1 - \frac{d}{w} & \frac{d}{w} \\ 0 & 0 & 1 - \frac{d}{w} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1,k} \\ x_{2,k} \\ x_{3,k} \end{bmatrix} p(t-kT) + \begin{bmatrix} n_1(t) \\ n_2(t) \\ n_3(t) \end{bmatrix} \quad (6)$$

III. 다채널 적응 PRML

채널이 고밀도화됨에 따라 주위의 샘플링 순간에 영향을 미치는 심볼간 간섭이 존재하게 되며 이에 대한 영향을 감소시키기 위한 방법으로 선형 등화기 또는 결정 궤환 등화기 등을 사용하는 일반적인 등화 방식과 PR(partial response) 방식이 있다. 일반적인 등화 방식에서는 영점 강화(zero forcing) 또는 최소 자승 에러(MSE) 조건을 사용하여 주위의 샘플링 순간에서 심볼간 간섭이 0이 되게 함으로써 Nyquist criterion을 만족시키며, PR 방식에서는 기록 채널의 특성에 부합되는 모양의 스펙트럼을 만들기 위하여 조절된 양의 ISI를 허용하여 기록 밀도의 증가와 잡음 증강(noise enhancement)의 억제 효과를 가져온다. 이 중 다항식 $1-D^2$ 을 갖는 PR을 PR-IV라 부르며, PR-IV의 주파수 스펙트럼은 DC와 Nyquist 주파수에서 0(Null)을 갖기 때문에 자기 기록 채널의 대역 통

과 특성에 잘 부합된다^[2]. PR-IV의 검출단에서 최우 추정법인 Viterbi 알고리즘으로 검출을 하면 이론적으로 3-단계 문턱값 검출(three-level detection)에 비해 3dB의 이득을 얻을 수 있으며 이를 PRML이라 한다^{[9][10]}. 그러나 실제로는 채널을 통과한 잡음이 백색이 아니고, 특히 헤드가 트랙의 중심에서 벗어난 경우는 이득이 이보다 훨씬 적을 수 있다^[3].

본 절에서는 읽기 헤드가 트랙의 중심에서 벗어나 트랙간 간섭이 발생하는 경우 다수의 헤드와 등화기를 사용하여 주위 트랙의 영향을 제거하고 읽고자 하는 트랙의 응답을 적응적으로 PR-IV 형태로 만든 후, Viterbi 검출기를 사용하여 선밀도와 트랙 밀도를 동시에 증가시킬 수 있는 다채널 적응 PRML 방식을 제안한다. 그림 3에 본 논문에서 제안된 다채널 적응 PRML의 블록도를 나타내었다.

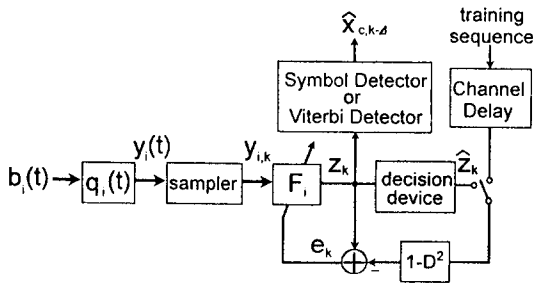


그림 3. 다채널 적응 PRML의 블록도
Fig. 3. Multiple head-array & track modeling.

식 (6)과 같이 표현되는 읽기 헤드의 출력 $b_i(t)$, $i=1 \dots M$ 가 anti-aliasing 필터 $q_i(t)$ ($q_i(t)=q(t)$, $i=1 \dots M$)와 샘플러를 거친 후의 신호를 $y_{i,k}$, $i=1 \dots M$ 이라 한다. 여기서 i 번째 읽기 헤드를 통해 재생된 신호가 $F_{i,k}$, $i=1 \dots M$ 등화기로 입력되고 각 등화기의 탭 수를 L 이라 할 때 등화기 계수 행렬은 다음과 같이 표현된다.

$$\bar{F}_k = \begin{bmatrix} F_{1,k} & F_{2,k} & \dots & F_{M,k} \\ f_{1,k}^0 & \dots & f_{1,k}^{L-1} & f_{2,k}^0 & \dots & f_{2,k}^{L-1} & \dots & f_{M,k}^0 & \dots & f_{M,k}^{L-1} \end{bmatrix} \quad (7)$$

여기에서 $f_{i,k}^l$ 은 샘플링 순간 k 에서 트랙 i 데이터가 위한 l 번째 필터 계수를 나타낸다. 또한 필터 $F_{i,k}$ 의 입력 신호 $y_{i,k}$, $i=1 \dots M$ 는 다음 식과 같이 벡터로 나타낼 수 있다.

$$\bar{Y}_k = \begin{bmatrix} Y_{1,k} & Y_{2,k} & \dots & Y_{M,k} \\ y_{1,k} & \dots & y_{1,k-L+1} & y_{2,k} & \dots & y_{2,k-L+1} & \dots & y_{M,k} & \dots & y_{M,k-L+1} \end{bmatrix}^T \quad (8)$$

여기에서 $y_{i,k-l}$ 은 트랙 i 데이터가 l 샘플 지연된 데이터이다. 따라서 필터 $F_{i,k}$ 를 통과한 신호 z_k 는 다음 식과 같이 주어진다.

$$z_k = \bar{F}_k \cdot \bar{Y}_k \quad (9)$$

필터 $F_{i,k}$ 의 계수를 적응적으로 갱신시키기 위해서 훈련(training) 기간이 필요하다. 이 훈련 기간에는 훈련열(training sequence)을 시간 Δ 만큼 지연시킨 후 $1-D^2$ 의 목적 응답(target response) 필터를 통과시켜서 z_k 와의 차 신호 e_k 를 얻는다(Δ 는 채널을 causal하게 만들기 위해 필요하다). $F_{i,k}$ 의 계수들은 다음 식에 주어진 에러 신호 e_k 의 자승 평균을 최소화 하는 값으로 계산된다.

$$\begin{aligned} E &\triangleq E[e_k^2] \\ &= E[\{ z_k - (x_{k-\Delta} - x_{k-\Delta-2}) \}^2] \\ &= E[\{ \bar{F}_k \cdot \bar{Y}_k - (x_{k-\Delta} - x_{k-\Delta-2}) \}^2] \end{aligned} \quad (10)$$

트랙에 따라 변화하는 필터 계수를 적응적으로 구하기 위하여 다음의 LMS 알고리즘을 사용하였다.

$$F_{i,k+1} = F_{i,k} + 2\mu e_k Y_{i,k} \quad (11)$$

여기에서 μ 는 수렴 속도와 수렴의 MSE를 결정짓는 수렴 상수이다^[10]. 검출하고자 하는 트랙(그림 2(b)에서 빗금친 트랙)의 데이터($x_{c,k}$)를 훈련열로 사용한다면, 훈련 후에 필터 $F_{i,k}$ 의 계수들은 트랙간 간섭을 제거하고 원하는 c 번째 트랙의 데이터만을 검출할 수 있도록 적응된다. 이렇게 해서 계산된 $F_{i,k}$ 를 통과한 z_k 에 3-단계 문턱값 검출이나 Viterbi 검출기를 사용하여 원하는 데이터 $\hat{x}_{c,k-\Delta}$ 를 검출할 수 있다. 결정 지향(decision-directed) 모드에서는 slicer 등을 통해 추정된 값 \hat{z}_k 의 차를 에러 신호 e_k 로 사용한다.

검출단에서 볼 때 PR-IV는 다항식 $1-D'$ ($D'=2D$)을 갖는 두 개의 독립적인 dicode PR 시퀀스로 생각할 수 있다^{[2][11][12]}. 최우 복호 방식을 수행하는 일반적인 Viterbi 알고리즘을 사용할 경우 각 단에서 경로 매트릭스를 계산하고 최적 경로를 찾아 기억해야 하므로 계산량이 많고 기억 용량이 많이 필요하게 된다. 따라서 PR-IV에서 수신단에 들어오는 데이터 열을 두 개의 독립적인 항으로 분리하여 각각에 difference-metric Viterbi 알고리즘을 적용하면 계산량과 기억 용량을 동시에 줄일 수 있다^{[11][12]}. 그림 4에 복호기의 분리 처리에 대한 블록도를 나타내었다. Di-

fference-metric Viterbi 알고리즘에서 생존 매트릭을 계산할 때는 각 단계에서 최우 값을 구하지 않고 단지 매트릭의 차만을 가지고 계산하며 이를 통해 구간 각 bit들에 의해 생존 시퀀스를 구할 수 있다.

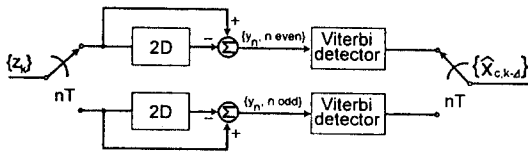


그림 4. 복호기의 분리 처리에 대한 도식적 표현
Fig. 4. A schematic representation of separate rate handling in the detector.

IV. 모의 실험 결과

본 논문에서 제안한 다채널 적응 PRML의 성능을 트랙간 간섭이 존재하는 상황에서 기존의 단채널 PRML과 비교하였다. 출력 SNR과 비트 에러 확률 (BER) 등의 측면에서 성능 평가를 하였으며, 이 때 모의 실험에 사용된 모든 SNR은 PSNR(Peak SNR)로 계산하였다. 또한 사용된 채널의 pw_{50}/T 는 1로 하였다.

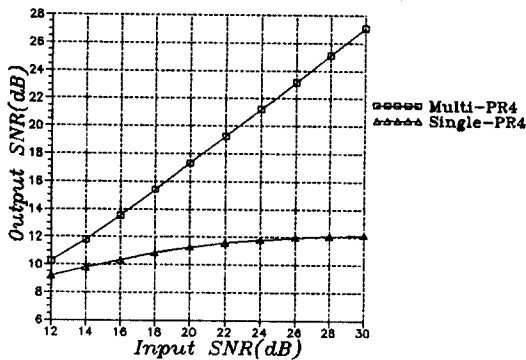


그림 5. 입력 SNR에 따른 출력 SNR 비교 (off-track 비 : 0.20)
Fig. 5. Input SNR vs. output SNR. (off-track ratio : 0.20)

그림 5에서는 off-track 비를 0.2로 고정시키고, 입력 SNR의 변화에 따른 출력 SNR을 다채널 적응 PR-IV의 경우와 단채널 PR-IV의 경우를 비교하였다. 단채널 PR-IV는 헤드의 off-track에서 발생하는 트랙간 간섭 때문에 입력 SNR이 증가해도 출력 SNR은 약간만이 증가할 뿐이지만, 다채널 적응 PR-IV는 트랙

간 간섭을 효과적으로 제거하여 입력 SNR에 대해 출력 SNR이 거의 비례적으로 증가함을 알 수 있다. 그 결과 모든 입력 SNR에서 다채널 적응 PR-IV의 성능이 더 우수하고, 특히 입력 SNR이 증가할 수록 성능의 차이가 심해짐을 알 수 있다.

그림 6는 헤드가 트랙을 벗어난 정도가 성능에 미치는 영향을 살펴보기 위해 입력 SNR이 25dB인 경우에 off-track 비를 조정하면서 출력 SNR을 측정된 결과이다. 단채널 PR-IV인 경우는 off-track 비가 증가할 수록 트랙간 간섭이 심해져서 출력 SNR이 급격히 감소하지만, 다채널 적응 PR-IV의 경우는 인접 트랙간의 간섭을 효율적으로 보상해주어서 높은 출력 SNR을 유지함을 알 수 있다. 또한 허용 가능한 최소 출력 SNR을 14dB라 할 때^[11] 단채널 PR-IV는 off-track 비가 약 0.15 정도까지만 정상 동작을 하지만 다채널 적응 PR-IV는 측정된 모든 경우에 대해 조건을 만족함을 확인할 수 있다. 특히 하드웨어로 구현하였을 때의 계산량을 고려하여 signed-LMS 알고리즘^[11]으로 필터 계수를 구했을 경우에도 성능의 저하가 거의 없음을 알 수 있다.

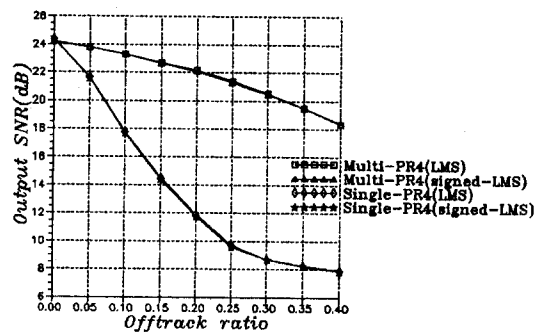


그림 6. Offtrack 비에 따른 출력 SNR 비교 (입력 SNR : 25dB)
Fig. 6. Off-track ratio vs. output SNR. (input SNR : 25 dB)

Offtrack 비가 0.2인 경우에 입력 SNR의 변화에 따른 비트 에러 확률을 그림 7에 나타내었다. 다채널 적응 PRML의 결과가 단채널 PRML의 결과에 비해 비트 에러 확률이 현저히 낮음을 알 수 있다. 또한 Viterbi 알고리즘으로 검출한 PRML의 경우는 심볼 검출기를 사용한 PR-IV 보다 SNR 면에서 약 2dB 정도 이득을 얻을 수 있었다.

그림 8에서는 입력 SNR이 20dB이고 헤드의 off-

track이 15% 생겼을 경우 기록 밀도(pw_{50}/T)가 증가함에 따른 출력 SNR을 비교하였다. 기록 밀도가 증가할 수록 트랙간 간섭이 많이 발생하기 때문에 두 경우 모두 출력 SNR이 감소함을 알 수 있다. 그림 5에서와 같이 허용 가능한 최소 출력 SNR을 14dB라 할 때, 단채널 PR-IV는 모든 경우에서 출력 SNR이 14dB 미만이지만 다채널 적응 PR-IV는 기록 밀도가 약 1.8 이상에서 14dB 이하가 된다. 따라서 입력 SNR이 20dB이고 헤드의 off-track이 15% 일 때, 다채널 적응 PR-IV는 단채널 PR-IV에 비해 약 80% 기록 밀도의 향상을 얻는다고 할 수 있다.

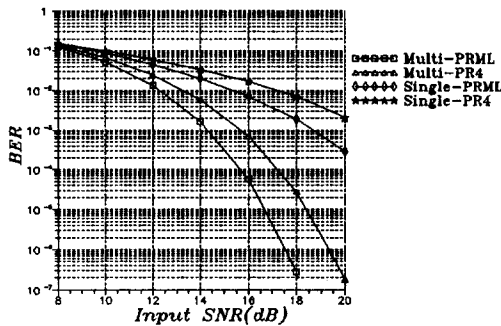


그림 7. 입력 SNR에 따른 비트 에러 확률 (off-track 비 : 0.20)

Fig. 7. Input SNR vs. BER. (off-track ratio : 0.20)

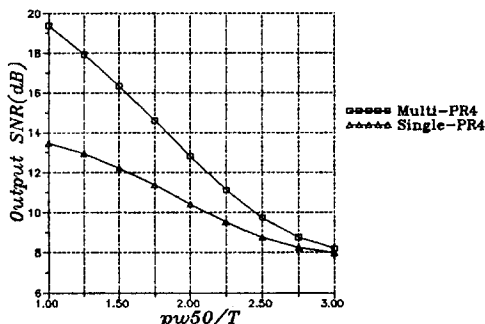


그림 8. 기록 밀도(pw_{50}/T)의 변화에 따른 출력 SNR 비교

(입력 SNR : 20dB, off-track 비 : 0.15)
Fig. 8. Recording density pw_{50}/T vs. output SNR.
(input SNR : 0.20 dB, off-track ratio : 0.15)

이상에서 출력 SNR, 비트 에러 확률, off-track 비, 기록 밀도의 측면에서 본 논문에서 제안한 다채널

적용 PRML과 단채널 PRML을 비교한 결과, 다채널 적응 PRML은 헤드의 off-track 비가 클 때에도 트랙간 간섭을 효과적으로 제거하여 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

V. 결 론

디지털 기록 장치의 기록 밀도를 높이기 위해서는 궁극적으로 면밀도(areal density)를 증가시켜야 하는데 이를 위해서 최근까지 주로 선밀도(linear density)의 향상을 위한 샘플링 검출 방식이 연구되어 왔다. 현재 선형적으로 발생하는 심볼간 간섭은 어느 정도까지 감소시킬 수 있으므로 비선형 왜곡에 의한 심볼간 간섭에 대한 연구와 이의 감소를 위한 연구가 진행되고 있으나 복잡한 비선형 왜곡 모델링과 등화 방법에 비해 기록 밀도의 향상은 그리 크지 않다. 또한 헤드의 벗어남(off-track)에 의해서 발생하는 트랙간 간섭을 줄이기 위하여 guard band 등을 사용할 수 있으나 그 경우 트랙 밀도(radial density)가 크게 감소하게 된다. 따라서 본 논문에서는 고밀도(선밀도) 기록 방법으로 최근 널리 사용되고 있는 PRML을 트랙간 간섭을 감소시킬 수 있는 다채널 적응 PRML로 확장하여 전체 면밀도를 증가시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 모의 실험 결과 제안된 다채널 적응 PRML 방식은 단채널 PRML에 비해 인접 트랙간의 간섭을 효과적으로 감소시킬 수 있음을 확인하였다.

본 논문에서는 다수의 헤드와 백색 잡음을 갖는 디지털 기록 채널이라고 가정하였으나 제안된 방법의 효율적 실현을 위해서는 다수 헤드 제조 기술과 media 잡음, electric 잡음에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

- [1] J. M. Cioffi, W. L. Abbott, H. K. Thapar, C. M. Melas, and K. D. Fisher, "Adaptive Equalization in Magnetic Disk Storage Channels," *IEEE Communications magazine*, pp. 14-29, Feb. 1990.
- [2] R. D. Cideciyan, F. Dolivo, R. Hermann, W. Hirt, and W. Schott, "A PRML System for Digital Magnetic

- Recording." *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, Vol. 10, No. 1, pp. 38-56, Jan. 1992.
- [3] W. L. Abbott, J. M. Cioffi, and H. K. Thapar, "Offtrack Interference and Equalization in Magnetic Recording," *IEEE Trans. on Magnetics*, 24(6): 2964-2966, Nov. 1988.
- [4] W. L. Abbott, J. M. Cioffi, and H. K. Thapar, "Performance of Digital Magnetic Recording with Equalization and Offtrack Interference," *IEEE Trans. on Magnetics*, 27(1):705-716, Jan. 1991.
- [5] L. C. Barbosa, "Simultaneous Detection of Readback Signals from Interfering Magnetic Recording Tracks Using Array Heads," *IEEE Trans. on Magnetics*, 26(5):2163-2165, Sept. 1990.
- [6] P. A. Voois and J. M. Cioffi, "A Decision Feedback Equalization for Multiple-head Digital Magnetic Recording," in *Proceedings of Int. Conf. Commun.*, pp. 815-819, June 1991.
- [7] P. A. Voois and J. M. Cioffi, "Multi channel Digital Magnetic Recoding," in *Proceedings of Int. Conf. Commun.*, pp. 125-130, June 1992.
- [8] J. Newman and R. Fisher, "Performance Calculations of Digital Magnetic Recording Systems," *IEEE Trans. on Magnetics*, Vol. Mag-20, No. 1, pp. 96-98, Jan. 1984.
- [9] E. A. Lee and D. G. Messerschmitt, *Digital Communications*, Boston: KALIA, 1988.
- [10] S. U. H. Qureshi, "Adaptive Equalization," *Proceedings of the IEEE*, Vol. 73, No. 9, pp. 1349-1387, Sept. 1985.
- [11] F. Dolivo, T. Howell, and G. Ungerböck, "Decoding the Output Signal of a Partial-Response Class-IV Communication or Recording Device Channel," U.S. Patents 4,571,634, Feb. 1986 and 4,644,564, Feb. 1987.
- [12] R. W. Wood and D. A. Petersen, "Viterbi Detection of Class IV Partial Response on a Magnetic Recording Channel," *IEEE Trans. on Comm.*, Vol. Com-34, No. 5, pp. 454-461, May. 1986.

 저 자 소 개

姜 鉉 宇(正會員)

1991년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사).
1993년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 현재 연세대학교 대학원 전자공학과 박사과정. 주관심분야는 디지털 자기 기록 채널, 비선형 적응 신호처리, 영상 압축 등임.

全 元 奇(正會員)

1994년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 현재 중앙대학교 대학원 전자공학과 석사과정. 주관심분야는 디지털 자기 기록 채널, 디지털 통신 등임.

趙 鏞 洙(正會員) 第 31卷 B編 第7號 參照

현재 중앙대학교 전자공학과 교수

尹 大 熙(正會員) 第 31卷 B編 第7號 參照

현재 연세대학교 전자공학과 교수