

論文98-35S-10-14

# DVD-ROM 시스템에 적용한 신경망 등화기에 관한 성능 (Performance of Neural Equalizers for DVD-ROM System)

李庚洵\*, 崔洙龍\*, 邕成煥\*, 劉哲雨\*, 洪大植\*

(Kyunggoo Lee, Sooyong Choi, Sunghwan Ong, Cheolwoo You, and Daesik Hong)

## 요 약

차세대 저장매체로서 이미 그 규격이 확정된 재생 전용 디지털 다기능 디스크 시스템에 등화기를 적용하여 그 성능을 분석한다. 재생 전용 디지털 다기능 디스크 시스템에서는 정보 기록 시에 비선형 왜곡현상을 유발할 수 있으므로 이의 보상을 위해 비선형 입출력 사상능력이 뛰어나다고 알려져 있는 신경망 등화기를 적용한다. 또한, 결정제한 구조의 등화기는 변조부호와 결합하여 사용하면 성능 개선을 보장할 수 없다는 것을 확인하기 위한 실험을 한다. 두 종류의 시스템에 대한 등화 실험으로 신경망을 이용한 등화기가 기존의 등화기에 비해 더 좋은 등화성능을 보이며 이는 채널의 비선형성이 증가할수록 확연해지는 결과를 얻었다. 또한, 랜덤한 데이터열의 간섭 보상에는 결정제한 구조의 등화기가 우수한 성능을 보이지만 변조 부호화된 데이터열의 간섭 보상에는 결정제한이 없는 구조와 비교하여 성능 개선이 없다는 결과를 얻었다.

## Abstract

Several equalizers are applied to the DVD-ROM(Digital Versatile Disc-Read Only Memory) system. Because imperfect writing process may cause nonlinear distortion in the replay signal, neural equalizers which have strong nonlinear mapping capability are applied to the system to compensate the nonlinear distortion. Experimental results to verify that the combination of decision-feedback type equalizers and modulation code is formidable are also given. The experimental results show that the SNR gain of the neural equalizers over the conventional equalizers becomes much as the nonlinearity in the channel increases. Furthermore, the decision-feedback type equalizers outperform the equalizers which have no decision-feedback in eliminating ISI(Intersymbol Interference) of random data sequence but there is no performance gain of the decision-feedback type equalizers over the equalizers without decision-feedback when these are applied to compensate the ISI of modulation-encoded data sequence.

## I. 서 론

발전하는 통신산업과 더불어 막대한 양의 정보를

\* 正會員, 延世大學校 電子工學科 情報通信研究室  
(Information & Telecommunication Lab., Dept. of Electronic Eng., Yonsei University)

※ 본 연구는 한국과학재단지정 정보저장기연구센터의 지원(과제번호 97K3-0803-01-04-1)을 받아 이루어졌으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

接受日字: 1997年11月28日, 수정완료일: 1998年7月6日

저장할 수 있는 저장매체에 대한 연구와 개발이 지속적으로 이루어지고 있다. 차세대 저장매체로 각광을 받고 있는 DVD-ROM(Digital Versatile Disc-Read Only Memory)은 CD-ROM의 약 26배까지 달하는 대용량 정보 저장 능력을 갖고 있다. 기록밀도가 증가함에 따라 간섭과 잡음이 심해지므로 이런 왜곡을 보상하기 위해 기존의 LMS(Least Mean Square) 알고리즘을 이용한 선형 등화기가 사용될 수 있으나, 왜곡 정도가 심하거나 정보 기록 시에 비선형 왜곡을 유발할 수 있는 DVD-ROM 시스템에서는 선형 등화기로는 효율적인 등화성능을 기대하기 힘들다.

신경망 등화기는 기존의 등화 기법을 대체하여 많은 분야에서 적용되고 있으며 우수한 결과를 얻고 있다. 위성 통신 시스템에서 TWTA(Travel Wave Tube Amplifier)에 의한 채널의 비선형 왜곡을 보상하는데 적용되어 뛰어난 성능 향상을 보이며, 자기 기록 저장매체인 DVCR(Digital Video Cassette Recorder) 시스템에서도 채널의 비선형 왜곡에 강한 등화성능을 보이는 등 통신 시스템에서 그 적용분야를 넓혀가고 있다<sup>[1-6]</sup>.

일반적으로 LE(Linear Equalizer)나 NE(Neural Equalizer)보다는 검출된 신호가 왜곡되어서 과거 심벌의 검출 에러에 대한 보정 능력이 있는 DFE(Decision Feedback Equalizer)나 NDFE(Neural Decision Feedback Equalizer)가 심벌간의 간섭에 의한 왜곡의 보상에 뛰어나다고 알려져 있다<sup>[7]</sup>. 그러나 이러한 결정제한 구조의 등화기는 RLL(Run Length Limited) 코드와 같은 변조부호와 결합하여 사용하게 되면 성능 개선을 장담할 수 없는 문제로 남아 있다<sup>[8-10]</sup>.

본 논문에서는 왜곡된 재생 파형의 등화과정에 신경망을 이용한 등화기를 적용하여 성능개선을 도모하며, 결정제한 구조의 등화기는 변조부호와 결합하여 사용하면 성능 개선을 보장할 수 없다는 것을 확인하기 위하여 변조부호를 사용하지 않은 시스템의 채널을 모델링, 이에 대한 등화실험을 한다.

2장에서는 전반적인 DVD-ROM 시스템에 대한 설명과 DVD-ROM 시스템의 채널 모델링 및 변조부호를 사용하지 않은 채널 모델링이 주어진다. 3장에서는 실험에 사용한 등화기의 구조와 등화 실험 결과에 대하여 논하고 마지막으로 4장에서는 결론을 내린다.

## II. DVD-ROM 시스템

본 논문에서는 그림 1과 같은 단축 및 단층 DVD-ROM 시스템을 고려한다. 사용자 데이터는 에러 정정 부호화 과정과 변조부호화 및 NRZI(Non-Return to Zero Inverted) 부호화 과정을 거친 후에 디스크에 기록이 된다. 재생 파형의 등화와 검출 과정을 거친 후에 각 단계의 역동작을 수행하여 원하는 사용자 데이터를 얻게 된다. 본 논문에서는 그림 1의 점선 내의 부분, 즉 DVD-ROM 시스템의 채널과 채널을 통과한 재생 신호의 등화와 검출 과정을

을 고려한다.

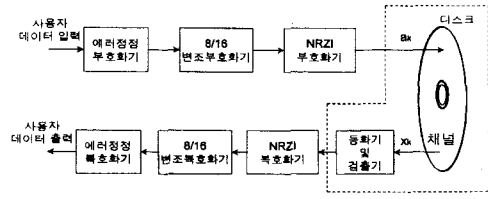


그림 1. 전체적인 DVD-ROM 시스템

Fig. 1. Overall DVD-ROM system.

일반적으로 CD-ROM이나 DVD-ROM과 같은 읽기 전용 광 디스크의 채널은 광학계의 주파수 특성으로서 MTF(Modulation Transfer Function)로 모델링한다<sup>[11]</sup>. 먼저 MTF를 살펴보면 다음 식으로 주어진다.

$$F(f) = \frac{2}{\pi} [\cos^{-1}(f) - f\sqrt{1-f^2}], \quad 0 \leq f \leq 1, \quad (1)$$

여기에서  $f$ 는 광학계의 차단 주파수인  $f_c = 2*NA*v/\lambda$ 에 정규화된 주파수이고  $NA$ (Numerical Aperture)는 대물렌즈의 개구율,  $v$ 는 디스크의 회전 선속도,  $\lambda$ 는 디스크 표면에 조사되는 레이저의 파장을 나타낸다. 그림 2와 3은 각각 MTF와 충격 응답  $f(t)$ 를 나타내며  $T$ 는 심벌 구간에 해당한다. DVD-ROM 시스템에서는 RLL(2,10) 조건을 만족시키는 변조부호화 과정을 거친 후에 디스크에 기록되므로 기록되는 최소 피트 길이는  $3T$ 가 된다. 그림 3을 보면  $3T$ 를 넘어서 충격 응답이 존재하므로, 이에 의한 선형적인 심벌간의 간섭 현상이 발생한다. 선형적인 심벌간의 간섭 외에 재생 파형의 왜곡 요인으로서 잡음과 비선형 왜곡 현상이 존재한다. DVD-ROM과 같은 읽기 전용 광 디스크 시스템에서는 주된 잡음이 천이 지터이다<sup>[12]</sup>. Domain bloom이라 불리는 현상은 비선형적인 심벌간의 간섭을 유발한다. 천이 지터와 domain bloom 현상은 재생신호에서 다음과 같이 정상 천이 위치에서 벗어나는 천이 이동  $\Delta_k$ 의 형태로 나타난다.

$$y(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} b_k g(t - (k + \Delta_k)T), \quad (2)$$

여기에서  $b_k$ 는 기록된 채널 비트의 천이 열이며  $g(t)$ 는 천이 응답에 해당한다. 천이 지터에 의한 천이 이동은 서로 독립적으로 일어나지만 domain bloom에

의한 천이 이동은 상향 천이 이동과 하향 천이 이동이 크기는 같고 방향은 반대로 일어난다. 천이 지터에 의하여 왜곡된 재생 신호  $y(t)$ 는

$$y(t) \approx \sum_{k=-\infty}^{\infty} b_k g(t-kT) + T \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_k g'(t-kT) \quad (3)$$

로 근사화할 수 있으며  $\sigma_d^2 \sigma_b^2 T$ 의 파워를 같은 백색 잡음을 충격 응답의 전단에 가함으로써 천이 지터를 모델링할 수 있다<sup>[12]</sup>. 위 식에서  $d_k \equiv -b_k \Delta_k$ 에 해당한다. 결과적으로 천이 지터 잡음은 시스템의 충격 응답  $f(t)$ 가 필터로 작용함으로써 유색 잡음의 성격을 갖게 된다.

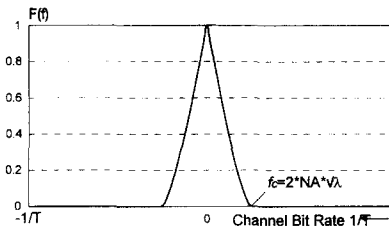


그림 2. 채널 비트 전송률  $1/T$ 에 정규화된 DVD-ROM의 MTF

Fig. 2. MTF normalized again to channel bit rate  $1/T$ .

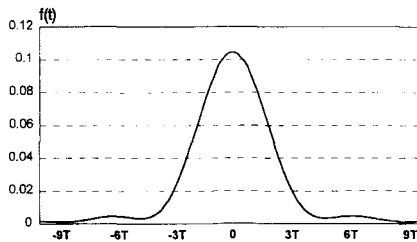


그림 3. MTF의 푸리에 역변환인 충격 응답  $f(t)$

Fig. 3. Impulse response which is inverse Fourier transform of MTF.

Domain bloom은 원판을 제조하는 마스터링 과정에서 발생하는 현상으로서  $\Delta_k = \gamma b_k$ 의 식이 적용된다.  $\gamma$ 는 채널의 비선형성에 대한 척도로서  $\gamma$ 의 절대값이 0일 때는 채널에 비선형성이 없는 경우이고 절대값이 커질수록 비선형성이 강해지게 된다. Domain bloom 현상은 근사화하여 다음과 같이 모델링할 수 있다.

$$y(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} b_k g(t-kT) - 2\gamma T \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(t-kT) + 2\gamma T \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k a_{k-1} f(t-kT). \quad (4)$$

천이 지터에 의한 왜곡과 domain bloom에 의한 왜곡 및 부가 백색 잡음을 더하여 왜곡된 재생 파형은

$$y(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} b_k g(t-kT) + T \sum_{k=-\infty}^{\infty} d_k g'(t-kT) - 2\gamma T \sum_{k=-\infty}^{\infty} f(t-kT) + 2\gamma T \sum_{k=-\infty}^{\infty} a_k a_{k-1} f(t-kT) + n(t) \quad (6)$$

이며, 시스템의 전체적인 계통도는 그림 4와 같다. 위 식에서  $n(t)$ 는 천이 지터를 제외한 잡음을 부가 백색 잡음으로 모델링한 것이다. 실제 시스템에서 천이 지터의 파워가 전체 잡음 파워를 차지하는 비율은 실험적으로 측정하여 얻어진다<sup>[13]</sup>. 천이 지터가 시스템의 주된 잡음이므로 모든 실험에서 전체 잡음 파워의 반을 천이 지터가, 나머지 반을 천이 지터를 제외한 잡음이 차지하도록 하였다.

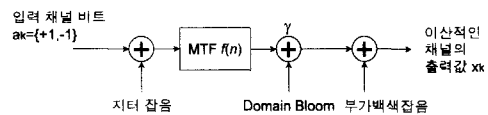


그림 4. 전체적인 DVD-ROM 채널의 계통도

Fig. 4. Overall block diagram of DVD-ROM channel.

이제 변조부호를 사용하지 않은 시스템의 채널을 모델링한다. 현 규격의 시스템은 채널 비트 전송률은 26.16Mbps이나 8/16 변조부호의 부호화율이 0.5이므로 사용자 데이터 전송률은 13.08Mbps에 해당한다. 동일 데이터 전송을 고려한 시스템으로, 변조부호를 사용하지 않으며 13.08Mbps의 사용자 데이터 전송 능력을 가진 시스템의 채널의 MTF와 충격 응답은 각각 그림 5와 6에 해당한다. 천이 지터 잡음과 domain bloom 현상도 본 채널에 같은 방법으로 적용된다.

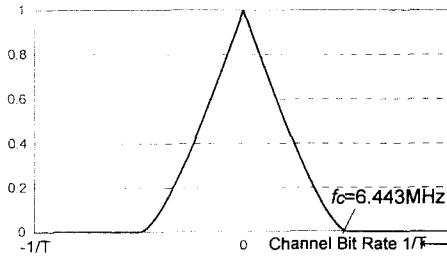


그림 5. 변조 부호를 사용하지 않은 시스템의 MTF  
Fig. 5. MTF of the system without modulation code.

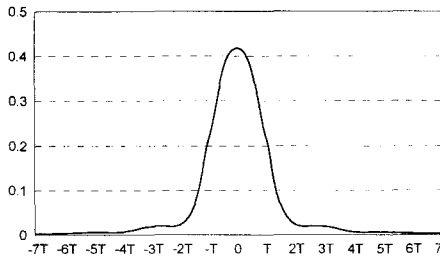


그림 6. 변조 부호를 사용하지 않은 시스템의 충격 응답  
Fig. 6. Impulse response of the system without modulation code.

III. 실험 결과

II장에서 모델링된 두 종류의 채널을 대상으로 등화성능 실험을 하고 그 결과를 BER 관점에서 비교, 분석한다. 채널의 주요 인자는 비선형 인자인  $\gamma$ 와 신호 대 잡음의 전력비(Signal to Noise Ratio : SNR)이다.  $\gamma$ 의 절대값이 1일 때, 임의의 길이(3T~11T)의 피트에서 정상 천이 위치로부터 서로 반대 방향으로 약 0.5T의 천이 이동 현상이 발생하도록 채널을 정규화하였다. SNR은 채널의 출력단에서 계산된 값으로서, 본 논문에서는 다음 식과 같이 잡음의 파워중 천이 지터에 의한 파워와 부가 백색 잡음으로 모델링한 천이 지터를 제외한 나머지 잡음의 파워에 따른 실험 결과가 그리 큰 영향을 주지 않았기 때문에 1:1이 되도록 하였다.

$$SNR_{(dB)} \equiv 10 \log_{10} \left( \frac{\text{Signal Power}}{\text{Noise Power}(= \sigma_{\text{inter}}^2 + \sigma_{\text{AWGN}}^2)} \right) \cdot \sigma_{\text{inter}}^2 : \sigma_{\text{AWGN}}^2 = 1 : 1. \tag{7}$$

실험에 사용한 등화기는 기존의 등화기로서 선형

등화기(Linear Equalizer : LE)와 결정제한 등화기(Decision Feedback Equalizer : DFE), 신경망을 이용한 등화기로서 다층 퍼셉트론 구조를 갖는 신경망 등화기(Neural Equalizer : NE), 신경망 결정제한 등화기(Neural Decision Feedback Equalizer : NDFE) 및 일반적인 IIR 필터라 할 수 있는 결정제한 재귀 신경망 등화기(Decision Feedback Recurrent Neural Equalizer : DFRNE)이다 [17, 14, 15].

표 1. 각 등화기의 최적의 구조(변조 부호가 있는 시스템)

Table 1. Optimal structure of equalizers. (with modulation code)

등화기	입력층 (전방탭/후방탭)	은닉층	학습율
LE	19		0.0005
NE	11	5	0.005
DFE	8/7		0.0005
NDFE	8/7	7	0.002
DFRNE	11	4	0.02

먼저 변조부호를 사용하는 현 규격의 DVD-ROM 시스템에 대한 등화 실험 결과이다. 표 1에 실험을 통하여 얻어진 각 등화기들의 최적의 구조를 요약하였다. 각 등화기들의  $\gamma$ 의 증가에 따른 BER 곡선을 그림 7에서 11에 걸쳐 나타내었다. LE와 DFE, DFRNE는 채널의 비선형성이 증가함에 따라 등화성능이 악화되는 것을 확인할 수 있다. 반면에 그림 NE와 NDFE는  $\gamma$ 의 증가에 의한 영향을 거의 받지 않는 고른 등화성능을 보여서 큰 값의  $\gamma$ 에 대한 BER 곡선을 추가하였다.

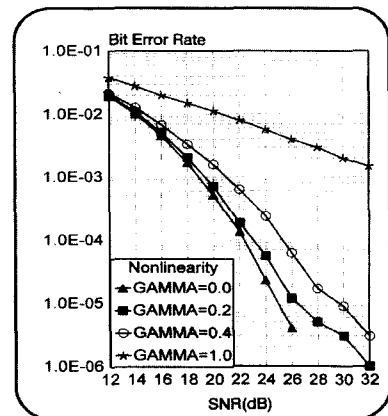


그림 7. LE의 BER 곡선  
Fig. 7. BER curves of LE.

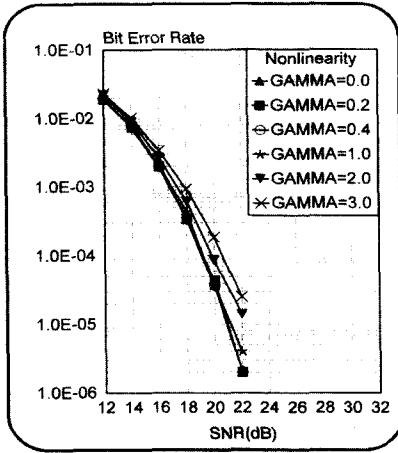


그림 8. NE의 BER 곡선  
Fig. 8. BER curves of NE.

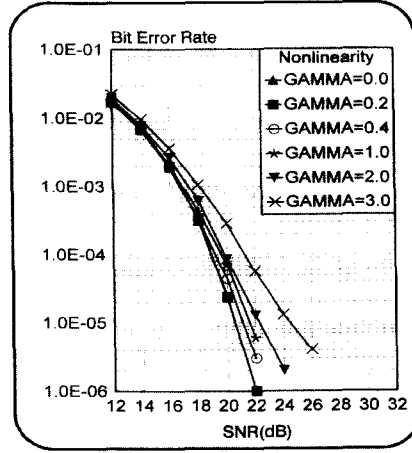


그림 10. NDFE의 BER 곡선  
Fig. 10. BER curves of NDFE.

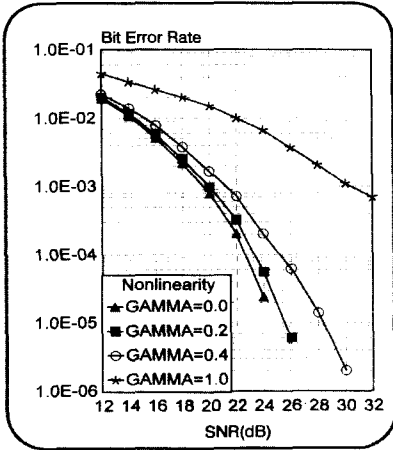


그림 9. DFE의 BER 곡선  
Fig. 9. BER curves of DFE.

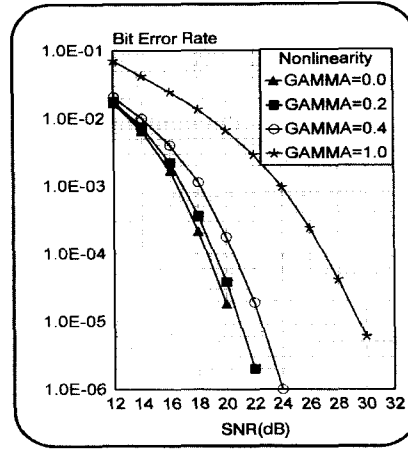


그림 11. DFRNE의 BER 곡선  
Fig. 11. BER curves of DFRNE.

신경망을 이용한 등화기가 기존의 등화기에 비해 비선형 왜곡의 보상에 더 우수하다는 것을 쉽게 확인할 수 있으며, DVD-ROM 채널에 존재하는 비선형 왜곡의 보상에는 다층 퍼셉트론 구조의 신경망 등화기들이 무한한 결정제한 경로를 갖는 2층 구조의 DFRNE보다 우수한 것을 알 수 있다. 그림 12와 13은 등화기들의 성능 비교를 위하여 각 등화기의 BER 곡선을 한 그래프에 모두 옮긴 것이다. 그림 12는  $\gamma$ 가 0.0이고 그림 13은 0.4인 경우로 비선형성이 추가된 경우이다. 채널에 비선형성이 없는 경우에는 DFRNE가 가장 우수한 등화성능을 보이지만, 비선형성이 추가되면서 다층 퍼셉트론 구조의 신경망 등화기인 NDFE와

NE, IIR 필터 구조의 DFRNE, 기존의 등화기인 DFE와 LE순으로 좋은 등화성능을 보인다.

실험결과, 전반적으로 다음의 두 가지의 경향을 확인할 수 있다. 첫째, 기존의 등화기(LE, DFE)보다 각각에 대응하는 신경망을 이용한 등화기(NE, NDFE)가 더 좋은 등화성능을 보이며 이는 채널의 비선형성이 증가될수록 확인해진다. 이는 활성 함수에 시그모이드 함수를 갖는 신경망 고유의 특성에 기인한다. 둘째, 결정제한의 구조를 갖는 등화기(DFE, NDFE)가 각각에 대응하는 결정제한이 없는 구조의 등화기(LE, NE)에 비교하여 성능 개선이 없다. 이는 결정제한의 구조가 없는 등화기에 비해 과거 심벌의 검출 에러의

보상 능력으로 인하여 결정제한 등화기가 등화성능이 보다 우수하다는 일반적인 사실과는 거리가 먼 현상이다. DVD-ROM 시스템에서 변조 부호를 사용함으로써 신호간의 선형 간섭이 어느 정도 보상된다. 결과적으로 신호의 왜곡은 비선형 왜곡 인자에 의한 것이 주요 요인으로 작용하기 때문에 결정제한에 따른 이득이 사라지게 된다.

능력을 알아보기 위하여 마찬가지로 각 등화기의  $\gamma$ 의 증가에 따른 BER 곡선을 그림 14에서 18에 걸쳐 나타내었다. LE와 NE는 인접 심벌에 주는 커다란 간섭을 보상하지 못함으로써 높은 SNR에서도  $1.0e-4$  이하의 BER 성능을 보이지 못하지만, 비선형 왜곡의 증가에 따른 성능 열화는 NE에 비해 LE가 현저하다.

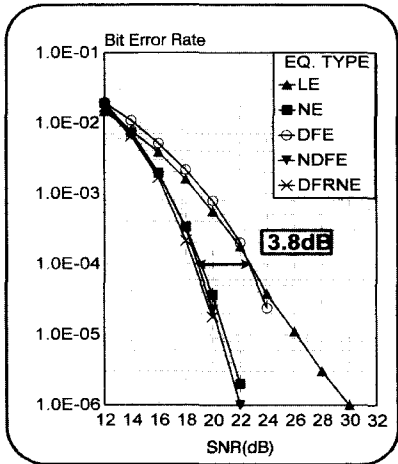


그림 12. 각 등화기의 BER 곡선 ( $\gamma = 0.0$ )  
 Fig. 12. BER curves of all equalizers ( $\gamma = 0.0$ ).

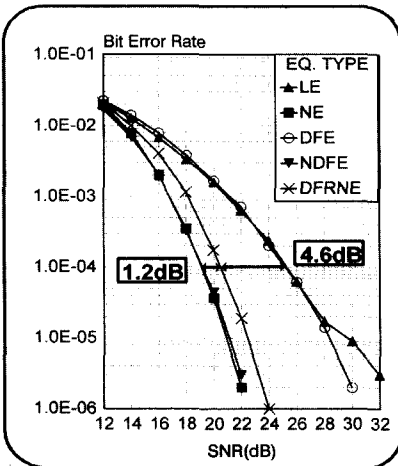


그림 13. 각 등화기의 BER 곡선 ( $\gamma = 0.4$ )  
 Fig. 13. BER curves of all equalizers ( $\gamma = 0.4$ ).

다음은 변조부호를 사용하지 않은 DVD-ROM 채널에 대한 등화 실험 결과이다. 표 2는 변조부호를 사용하지 않은 시스템에서 얻어진 각 등화기들의 최적의 구조이다. 먼저 각 등화기의 비선형 왜곡에 대한 보상

표 2. 각 등화기의 최적의 구조(변조 부호가 없는 시스템)

Table 2. Optimal structure of equalizers (without modulation code).

등화기	입력층 (전방탐/후방탐)	은닉층	학습율
LE	19		0.0005
NE	19	9	0.002
DFE	8/7		0.0005
NDFE	6/5	5	0.005
DFRNE	11	4	0.01

채널의 비선형성에 대한 보상 능력은 변조부호를 사용한 현 규격의 시스템에 대한 등화 실험 결과와 마찬가지로, 신경망을 이용한 등화기인 NE와NDFE가 다른 등화기에 비하여 우수하다. DFRNE는 BER 성능이 전반적으로 좋은 편이나 비선형왜곡에 대한 보상 능력은 NE와 NDFE에 비해 떨어진다. 그림 19와 20은  $\gamma$ 가 각각 0.0, 0.4인 경우의 등화기들의 BER 곡선이다. 채널에 비선형성이 없는 경우를 보면 LE는 NE와, DFE는 NDFE와 성능 차이가 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 변조부호를 사용한 현 규격의 시스템에 대한 등화 실험 결과와는 달리, 결정제한 구조의 DFE와 NDFE가 비결정제한 구조인 LE나 NE에 비하여 월등한 등화성능을 보인다. 이는 예상되는 결과로써, 변조부호를 사용하지 않는 일반적인 시스템에서 결정제한의 구조가 갖는 검출 에러의 보상 능력에 의한 당연한 결과라고 할 수 있다. 비선형성이 추가되면서 DFRNE, DFE, LE의 성능 악화가 시작되어 DFRNE는 NDFE와 비교하여 1dB, DFE는 DFRNE와 비교하여 3.5dB의 신호 대 잡음 전력비의 손실을 보인다.

두 종류의 DVD-ROM 채널 모델에 대한 등화 실험 결과로써 랜덤한 데이터열의 간섭 보상에는 결정제한 구조의 등화기가 우수한 성능을 보이지만, RLL 코드와 같은 변조 부호화된 데이터열의 간섭 보상에는 결정제한이 없는 구조와 비교하여 성능 개선이 없는 것을 확인하였다.

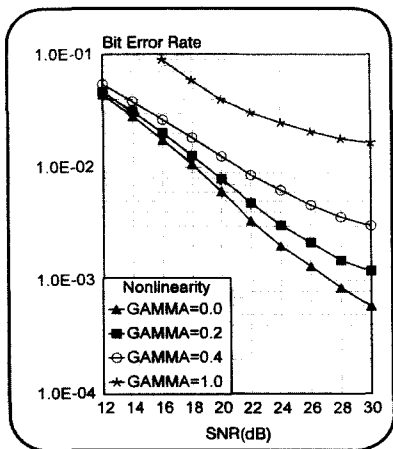


그림 14. LE의 BER 곡선  
Fig. 14. BER curves of LE.

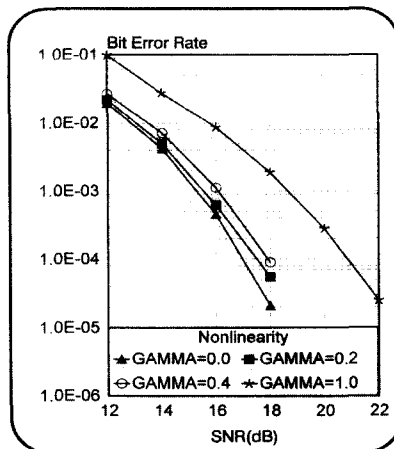


그림 17. NDFE의 BER 곡선  
Fig. 17. BER curves of NDFE.

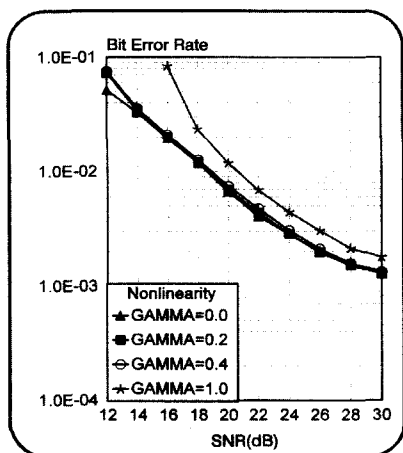


그림 15. NE의 BER 곡선  
Fig. 15. BER curves of NE.

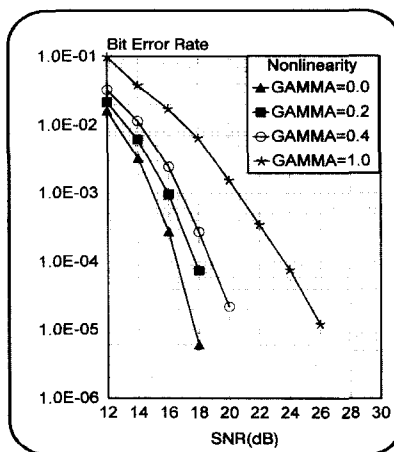


그림 18. DFRNE의 BER 곡선  
Fig. 18. BER curves of DFRNE.

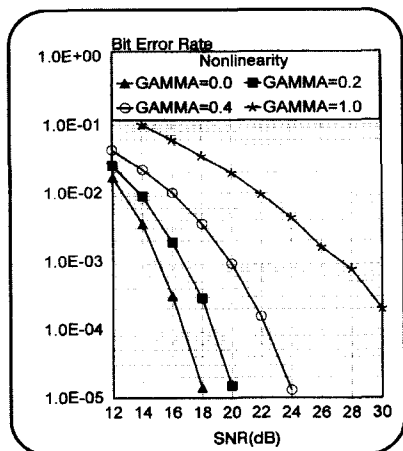


그림 16. DFE의 BER 곡선  
Fig. 16. BER curves of DFE.

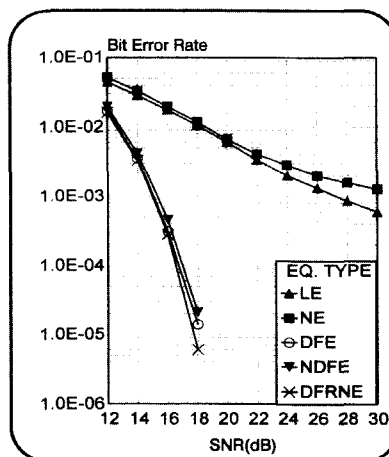


그림 19. 각 동화기의 BER 곡선 ( $\gamma = 0.0$ )  
Fig. 19. BER curves of all equalizers ( $\gamma = 0.0$ ).

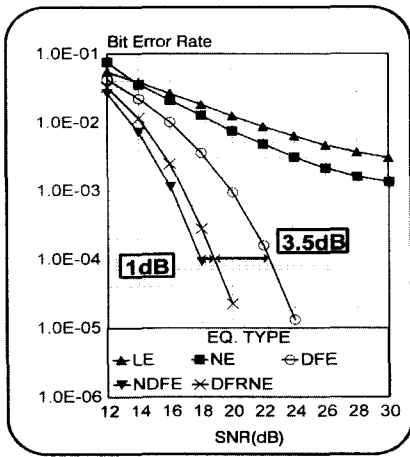


그림 20. 각 등화기의 BER 곡선( $\gamma = 0.4$ )  
Fig. 20. BER curves of all equalizers( $\gamma = 0.4$ ).

#### IV. 결 론

두 종류의 DVD-ROM 채널 모델에 대한 등화 실험으로써 변조 부호를 사용하는 경우에 있어서, 즉 신호의 왜곡이 주로 비선형적인 요인에 의하여 지배를 받는 경우에는 신경망을 이용한 등화기들이 기존의 등화기에 비해 우수한 것을 알 수 있었다. 신경망을 이용한 등화기들 중에서 DVD-ROM 채널에 존재하는 비선형 왜곡의 보상에 는 다층 퍼셉트론 구조의 NDFE와 NE가 IIR 필터 구조의 DFRNE보다 더 우수한 결과를 얻었다.

변조부호를 사용하는 현재 규격의 DVD-ROM 시스템에 등화기를 적용한 경우, 즉 신호의 왜곡이 주로 신호간의 선형적인 간섭에 의하여 지배를 받는 경우, 결정제한 구조의 등화기(DFE, NDFE)는 결정제한이 없는 구조의 등화기(LE, NE)와 비교하여 성능 개선이 없이 비슷한 등화성능을 보였다. 변조부호를 사용하지 않은 DVD-ROM 시스템에서는 결정제한 구조의 등화기(DFE, NDFE)가 결정제한이 없는 구조의 등화기(LE, NE)에 비하여 두드러진 등화성능의 향상을 보였다. 이로써 랜덤한 데이터열의 간섭 보상에 는 결정제한 구조의 등화기가 우수한 성능을 보이지만 변조 부호화된 데이터열의 간섭 보상에 는 결정제한이 없는 구조와 비교하여 성능 개선이 없다는 결론을 얻었다. 모든 경우에 있어서 NDFE가 가장 우수한 성능을 보였는데 이는 NDFE가 신경망의 비선형 대응 능력과 결정제한으로 인한 검출 어려움에 대한 보정 능력을

모두 갖고 있기 때문이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Cheolwoo You and Daesik Hong, "Neural Convolutional Decoders in the Satellite Channel", *ICNN'95*, Vol. 1, 1 of 6, Dec. 1995.
- [2] Jaehee Cho, Cheolwoo You, and Daesik Hong, "The Neural Decision Feedback Equalizer for the Nonlinear Digital Magnetic Recording Systems", *ICC'96*, Vol. 1, pp.573-576, Dallas, Texas, U. S. A, 1996.
- [3] Sooyong Choi, Sunghwan Ong, Jaehee Cho, Cheolwoo You and Daesik Hong, "Performances of Neural Equalizers on Partial Erasure Model", *IEEE Trans. on Magnetics*, Vol. 33, No. 5, pp.2788-2790, Sep. 1997.
- [4] Sooyong Choi, Sunghwan Ong, Cheolwoo You and Daesik Hong, "A Quadratic Sigmoid Neural Equalizer for Nonlinear Digital Magnetic Recording Channels", *IEEE Communication Letters*, vol. 2, No. 9, pp. 263-265, Sept., 1998.
- [5] Kyounggoo Lee, Sooyong Choi, Cheolwoo You, Sunghwan Ong and Daesik Hong, "Equalization Techniques Using Neural Networks for DVD-ROM Systems", to be published on *The Journal of SPIE*.
- [6] Sunghwan Ong, Sooyong Choi, Cheolwoo You and Daesik Hong, "A Decision Feedback Recurrent Neural Equalizer for Digital Communication", *IEEE Trans. on Magnetics*, Vol. 33, No. 5, pp.2767-2769, Sep. 1997.
- [7] John G. Proakis, *Digital Communication*, McGraw-Hill, 1989.
- [8] Paul Augustine Voois, "Two-Dimensional Signal Processing for Magnetic Storage Systems", *A Dissertation to the Dept. of Electrical Eng.*, 1993.
- [9] J. W. M. Bergmans, "On the SNR Merits of Run-Length-Limited Codes in Feedback-Equalized Recording Systems", *IEEE*



- Trans. on Comm.*, Vol. 41, No. 8, pp.1133-1136, Aug. 1993.
- [10] J. W. M. Bergmans, "SNR Merits of Binary Modulation Codes in Equalized Digital Recording Systems", *IEEE J. on Selected Areas in Comm.*, Vol. 10, No. 1, pp.157-167, Jan. 1992.
- [11] Alan B. Marchant, *Optical Recording : A Technical Overview*, Addison Wesley, 1990.
- [12] J. W. M. Bergmans, *Digital Baseband Transmission and Recording*, Kluwer Academic Publishers, 1996.
- [13] Mingoo Kim, Kwangman Ok and Jaehong Lee, "Performance Comparison of Detection Methods in Magneto-optical Disc System with (1,7) RLL Code", *Proc. IEEE GLOBECOM'95*, pp.1389-1393, 1995.
- [14] 권 성탁, 이 영조, 강 성철, 강 창언, 홍 대식, "역전파 알고리즘을 이용한 다계층 퍼셉트론 구조의 결정계환 등화기", *대한전자공학회 논문지*, 제 33 권, A편, pp.1-9, 1996. 8.
- [15] Sunghwan Ong, Cheolwoo You, Sooyong Choi and Daesik Hong, "A Decision Feedback Recurrent Neural Equalizer as an Infinite Response Filter", *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 45, no. 11, pp.2851~2857, November, 1997.

---

 저 자 소 개
 

---

李 庚 昫(正會員)

1992년 3월 연세대학교 전자공학과 입학. 1996년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업. 1996년 3월 연세대학교 본대학원 석사과정 입학. 1998년 2월 연세대학교 본대학원 석사과정 졸업. 1998년 3월 삼성전자 입사

崔 洙 龍(正會員) 第 34卷 S編 第 9號 參照

崔 成 煥(正會員) 第 34卷 S編 第 9號 參照

劉 哲 雨(正會員) 第 34卷 S編 第 9號 參照

洪 大 植(正會員) 第 34卷 S編 第 9號 參照