

LDPC 코드를 적용한 광 디스크 시스템의 에러 정정 성능 및 기록 용량 분석

김기현, 김현정, 이윤우
삼성전자 디지털 미디어 연구소

Analysis of error correction capability and recording density of an optical disc system with LDPC code

Ki Hyun Kim*, Hyun Jung Kim, Yoon Woo Lee
Digital Media R&D Center
Samsung Electronics
E-mail: khkim@samsung.com

Abstract

In this paper, we evaluated error correction performance and recording density of an optical disc system. The performance of Low-Density Parity Check code (LDPC) is compared to the HD-DVD (BD) ECC. The recording density of optical disc can be increased by reducing the redundancy of the user data. Moreover, since the correction capability of LDPC with decreased redundancy is better than that of BD, the recording density can also be increased by reducing the mark length of the data on the disc surface.

1. 서론

광 디스크 시스템은 Compact disc 의 출현으로부터 시작 하여 현재 DVD 로 발전해 왔다. 그러나 HD TV 의 출현과 여러 가지 멀티 미디어 환경의 발전에 따라 영상 신호 및 각종 정보를 저장할 수 있는 대용량의 기록 기기가 요구된다. HD 화질의 영화를 기록하는 데는 일반적으로 DVD 의 약 5 배 정도의 기록 용량이

필요하게 된다. 최근에는 하드 디스크의 크기가 소형화 되고 영화 등의 content 가 online 으로 전송되는 경우가 많아 거처식 하드 디스크를 사용한 영상 저장이 점점 늘어나고 있다. 그러나 매체의 이동 가능성 및 경제성, 저작권, 상업적 이용측면 등을 생각 할 때 HD 급 이상의 고용량 광 디스크의 필요성은 앞으로도 증가할 것으로 보인다. 이러한 광학식 저장 기기는 하드 디스크와 달리 기록 매체의 교환 및 이동이 자유롭다는 점이 장점이나 반면에 먼지나 지문등에 노출되기 쉬워 에러의 요인이 매우 다양하다. 따라서 에러를 정정하기 위한 처리 과정이 다른 채널에 비해 더 엄격히 요구된다. 본 논문에서는 이러한 광학식 저장장치에서 발생하는 신호의 검출 및 에러 정정을 위한 기법으로 soft iterative decoding 방식의 하나인 Low density parity check (LDPC) code 를 적용하였을 때 그 성능을 에러 정정 측면과 저장 용량 측면에서 기존의 시스템과 비교 평가하고자 한다.

II. 광 디스크 시스템

광 디스크의 신호는 기록면에 요철로 만들어진 홈을 레이저 빔을 이용하여 검출하는 방식으로 신호의 inter-symbol interference (ISI) 가 매우 크다. 기록 밀도가 높아 질수록 ISI 가 커지며, 이 경우 noise 에 의한 에러 발생 보다 ISI 에 의한 에러 확률이 더 커지게 된다. 최근까지 이러한 ISI 효과를 equalizer 를 이용하여 상쇄 시켰으나 요구되는 성능 수준이 높아짐에 따라 점차 PRML (Partial Response Maximum Likelihood) 방식이 사용되는 추세이다. PRML 검출 방식은 광 디스크 채널에서는 발생하는 ISI 를 convolution code 의 일종으로 보고 viterbi 알고리즘을 적용하여 ISI 를 없애는 방법이다. PRML 방식은 현재 DVD 에 선택적으로 사용되고 있으며, HD 급 방송의 기록 매체인 HD-DVD 에도 적용될 예정이다. 그러나 본 논문에서 요구되는 soft decoder 를 적용하기 위해서는 PRML 을 변형한 SOVA (soft output viterbi algorithm)[1] 혹은 MAP (maximum a posteriori) 와 같이 확률 출력이 가능한 검출기를 사용해야 한다.

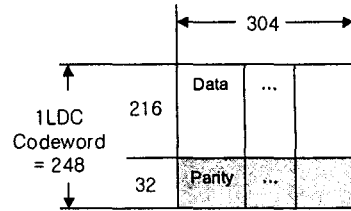


그림 1. BD의 ECC 구조

각 방식마다 동일한 RS code 를 사용할 경우에도 서로 다른 구조를 채택 하여 에러 정정 성능을 높이게 된다. DVD 는 일반적인 RS product code 를 사용한다. Inner code 의 에러를 outer code 가 정정하거나 혹은 그 반대의 작용을 할 수 있도록 만들어져 있다. 한편 최근 개발된 BD 용 RS 코드(PICKET)는 가장 좋은 ECC 성능을 보이며 그 구조는 그림 1 과 같다[2].

2.1 에러 정정 방식 비교

검출된 신호의 에러 정정을 위해서 CD, DVD, HD-DVD (Blu-ray Disc; BD)는 모두 Reed-Solomon code 를 사용하고 있다. 각 방식 별로 기록의 차이가 있으므로 에러를 정정하기 위한 조건들이 서로 다르며, 기록 밀도가 제일 높은 BD 의 경우 가장 성능이 좋은 코드를 사용하고 있다. 각 시스템의 비교는 표 1에 나타나 있다.

| | CD | DVD | BD |
|-----------|------------------------|------------------------------|--------------|
| RS code | (52,48,5) (45,43,3) | (182,172,11) (208,192,17) | (248,216,33) |
| ECC block | 2KB | 32KB | 64KB |
| Capacity | 600MB | 4.7GB | 23GB |

표 1. 광 디스크 시스템의 에러정정 방식

2.2 LDPC 방식

BD 이후의 기록 기기를 위한 에러정정 기법은 soft iterative decoding 방법이 검토되고 있으며, 여기에는 turbo code 와 LDPC[3]가 있다. 최근 성능 및 decoding complexity 등의 이유로 turbo code 보다 LDPC 가 더 적합한 코드로 보인다. 광 디스크에 이러한 soft decoder 를 적용하기 위해서는 다른 시스템에 없는 몇 가지 사항을 고려해야 하는데 그 중 하나가 RLL (Run Length Limited) code 이다. 광학 시스템의 특징상 random 한 신호를 그대로 기록 할 수 없으며 minimum run length 를 갖는 modulation code 로 변환하는 과정을 거쳐야 한다. 따라서 복조 시에도 RLL 코드의 변환이 soft 출력 값으로 유지되도록 하여야 한다. LDPC 를 적용 했을 때 또 다른 고려 사항은 burst error 정정 능력이다. 기본적으로 LDPC 는 그림 2 와 같은 구조에 의해

burst error 정정 능력을 갖게 된다. 그림 2 에서 최대 정정 가능한 burst error 의 길이는 식 (1)로 표시된다. 여기서 n 은 코드의 길이 이고 w_r 은 row weight 의 평균 값이 된다[4].

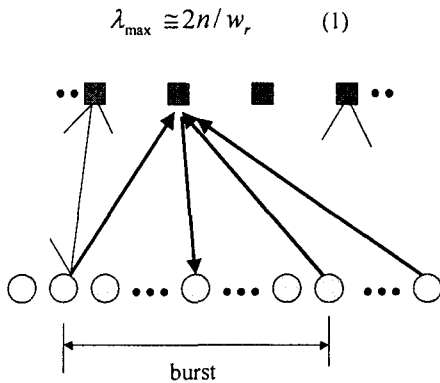


그림 2. LDPC 와 burst error 관계

따라서 단일 코드가 사용되었을 때 burst error 정정 능력은 코드의 길이가 길고 row weight 가 작을수록 좋아진다.

그러나 기존의 DVD 와 BD 에서 RS code 의 조합에 의해 burst error 정정 능력이 향상되는 것처럼 LDPC 코드도 다양한 조합을 통하여 burst error 정정 능력을 향상 시킬 필요가 있을 것으로 보인다.

III. 에러정정과 기록 용량

일반적으로 에러 정정 능력을 향상시켜 채널의 용량을 올리는 것처럼, 광 기록 기기에서도 에러 정정효과에 의한 기록 밀도의 증가가 매우 중요하다. 효율적인 에러정정 코드를 사용함으로써 부가 율을 줄여서 시스템의 성능을 만족 시킬 수 있으며, 이때 부가 율 만큼의 용량을 확보 할 수 있게 된다. 한편 부가 율을 줄이는 데는 한계가 있기 때문에 정해진 부가 율 내에서 에러 정정성능을 높인다면, 기록 밀도를 더 높일 수 있게 된다. 그림 3 에서 이 관계를 LDPC 와 BD 에 사용된 RS code 를 사용하여 보여준다.

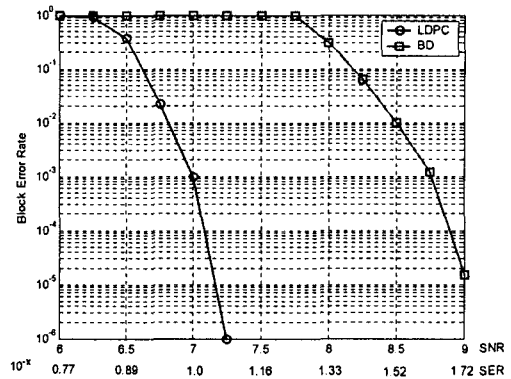


그림 3. BD ECC 와 LDPC 의 비교

그림 3 은 random error 에 대한 BD ECC 의 성능과 LDPC 의 성능을 simulation 으로 그려본 것이다. 앞의 표 1 에서 본 바와 같이 BD 는 64Kbyte 크기의 블록으로 이루어져 있으며, 약 13%의 부가 정보가 사용된다. LDPC 의 경우 약 11%의 부가 정보가 사용되었고 코드 길이는 약 1Kbyte 이다. 그림 3 에서 알 수 있듯이 더 적은 부가정보를 사용하여 높은 에러 정정 성능을 얻을 수 있었다. 따라서 이 경우 용량 이득은 최소 2% 이상임을 알 수 있다. 만일 좀더 최적화된 코드와 64Kbyte 정도의 블록 크기를 갖는 코드를 사용한다면 부가정보 이득에서 약 7~8 % 이상의 용량을 얻을 수 있을 것으로 보이며, 에러 정정 성능의 향상으로 기록 면의 정보의 단위 크기를 줄임으로써 약 10% 이상의 밀도 개선 효과를 달성할 수 있을 것으로 보인다. 그림 3 에 사용된 LDPC 코드는 8/9 코드 rate 의 regular code 를 보여주고 있으며 향후 더 높은 code rate 을 사용하여 성능을 확인 하고자 한다.

IV. 결론

본 연구에서는 광 디스크 채널에 LDPC 코드를 적용 할 경우 기존의 DVD 및 BD 와의 차이점과 성능 향상에 대해 분석해 보았다. LDPC 코드는 여러 가지 장점 및 성능으로 인하여 많은 분야에서 연구되고 있으며, 광 디스크 시스템의 경우 에러 정정 성능 개선을 통하여 기존의 BD 방식보다 약 10% 이상의 용량 개선의 가능할

것으로 보인다. 향후 개발될 저장 기기의 표준화를 위하여 최적의 LDPC 코드와 데이터 구조를 만들어야 할 것으로 보인다.

참고문헌

1. M.P.C. Fossorier, F. Burkert, S. Lin, and J. Hagenauer, 'On the equivalence between SOVA and Max-Log-MAP decoding,' IEEE communications Letters, vol.2, no. 5, pp. 137-139, 1998
2. US patent 6,367,049 B1, "Encoding multiword information by wordwise interleaving," Philips corp., Sony corp. 1999
3. D. Mackay, "Good error-correcting codes based on very sparse matrices," IEEE Transactions on information theory, vol. 45, no. 2, pp. 399-431, 1999
4. M. Yang and W. E. Ryan, "Performance of (quasi-)cyclic LDPC codes in noise burst on the EPR4 channel," Global Telecommunications Conference, 2001. GLOBECOM '01. IEEE , Volume: 5 , 25-29, 2001