

Evaluation of soft iterative decoder with run length limited code in optical storage system

김기현, 한성휴, 심재성, 박현수, 박인식
삼성전자 Digital Media 연구소
전화: 031-200-3788 / 핸드폰: 017-314-1774

Ki Hyun Kim, Sung Hue Han, Jae Seoung Shim, Hyun Soo Park, In Sik Park
Digital Media R&D Center, Samsung Electronics
E-mail: khkim@samsung.com

ABSTRACT

In this work, we evaluated the performance of soft iterative decoder with soft block decoder in optical storage system. Because optical storage system requires run-length limited code in general, adaptation of the soft decoders such as turbo code or LDPC (low density parity check code) is difficult without soft block decoders. The performance of the overall optical detection system is evaluated and the simplified channel detection is also proposed.

1. 서론

최근 HD TV의 출현과 여러 가지 멀티 미디어 환경의 발전에 따라 영상 신호 및 각종 정보를 저장할 수 있는 대용량의 기록 기기가 요구

되고 있다. 일반적으로 광학식 저장 기기는 하드 디스크와 달리 기록 매체의 교환 및 추가가 자유롭다는 점이 장점이나 반면에 기록 신호가 열화 되기 쉬워 이를 정정하기 위한 처리 과정이 더 엄격히 요구된다. 본 논문에서는 이러한 광학식 저장장치에서 발생하는 신호의 검출 및 에러 정정을 위한 기법 중 turbo code와 같은 soft iterative decoding 방식을 적용하기 위한 조건들을 살펴보고 그 성능을 평가하고자 한다.

2. 광 저장 장치를 위한 soft decoder

기존의 광학 저장 방식인 CD나 DVD에 사용되는 신호 검출은 일반적인 threshold 검출 기법을 주로 사용하였으나, 최근에는 검출 신뢰도를 높이기 위해 PRML (Partial Response Maximum Likelihood) 방식을 사용하고 있다.

PRML 방식은 HD급 방송의 기록 매체인 HD-DVD에도 적용될 예정이며, 검출된 신호의 에러 정정을 위해서는 따로 에러 정정을 위한 Reed-Solomon code를 사용하고 있다. 그러나 현재의 기술 발달 추세로 볼 때 기록 기기의 용량은 계속 증가 할 것으로 보이며, 이러한 고밀도의 기록 기기를 위한 신호 검출 및 처리 기법이 필요하다. 현재 주목 받는 기술로는 soft iterative decoding 방법이 있으며, 이는 RS code 와 유사하게 encoding시 부가정보를 넣어 줌으로써 구현이 가능하다. 이러한 코드로는 turbo code와 LDPC(low density parity check code)등이 있다. 이들 코드를 광 디스크에 적용하기 위한 연구가 진행 중이나 광 디스크는 광학 시스템의 특성상 신호를 그대로 기록 할 수 없으며 minimum run length를 갖는 modulation code(RLL code)로 변환하는 과정을 거쳐야 한다.[1] 이 과정이 그림 1에 나타나 있다.

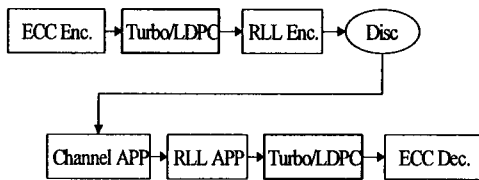


그림 1. 광 디스크 시스템에 적용된 soft iterative decoder

위의 그림에서 알 수 있듯이 광 디스크에 turbo code 또는 LDPC를 사용하여 기록된 신호들은 검출기와 demodulation 과정을 거쳐야 하며 이 과정에서 모두 soft 출력을 발생 시켜야 한다.

2.1 Channel soft decoder

광 디스크에 소프트 디코딩 방식을 적용하기 위해서는 그림 1에서와 같이 우선 채널을 검출할 수 있는 채널 소프트 디코더가 필요하다 (그림1의 channel APP). 이 디코더의 역할은 PRML과 유사하지만 결과적으로 1과 0의 값이 아닌 소프트 출력을 발생 시키는 것이 다르다. 채널 소프트 디코더는 채널의 구조에 가장 적합한 target 으로 구성되는 적응형 등화기와 MAP(maximum a posteriori) 알고리즘으로 구성되어 있다. 적응형 등화기에 의해 단순화된 채널응답은 이에 맞게 설계된 MAP 검출기에 의해 출력 값의 부호와 확률을 발생 시키게 된다.

2.2 Soft demodulator

그림 1에서 채널 소프트 검출기를 통과한 출력은 소프트 demodulator를 통과하게 된다. 만일 소프트 방식의 디코더를 사용하지 않는다면, 이 과정은 간단한 demodulation으로 처리될 수 있으나, 본 연구에 사용되는 turbo code 혹은 LDPC는 구조상 소프트 신호, 즉 신호의 부호 이외에 신호의 확률을 포함하는 값을 갖고 있어야 하므로 modulation 과정에서 이러한 값을 발생 시켜야 한다. 이 과정은 다음 식으로 표현되는 LLR(log likelihood ratio) 값을 계산 하여 구현이 가능하다.[2]

$$LLR = APP(d=1)/APP(d=0), \quad (1)$$

$$APP(d_k = 1) = \sum_{j \in S_1(k)} \exp \left[\sum_{m=0}^{L-1} (C_m^j - r_m^j)^2 \right]$$

c: codeword, r: received word

위 식은 block code의 소프트 변환에 사용될 수 있고, 각 출력 값에 영향을 줄 수 있는 모든 입

력 값들의 maximum likelihood 연산을 수행하여 확률을 구하게 된다. 본 연구에 사용된 modulation code는 Jacobi (1,7) code를 사용하였고, 위의 demodulation 방식만을 적용하였을 때 아래 그림 2 와 같은 약간의 성능 향상을 기대할 수 있다. 그러나 실제 광 디스크 시스템에서는 소프트 방식의 demodulation만으로는 그 효과가 크게 나타나지 않는다.

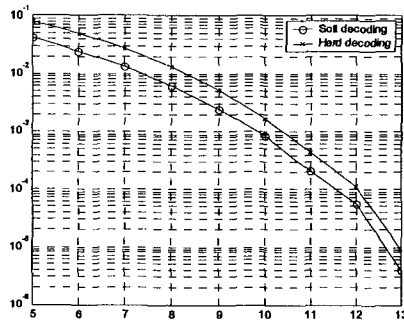
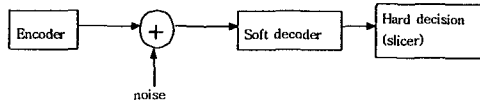


그림 2. 소프트 방식의 demodulation에 의한 디코더 구조와 성능

2.3 Soft iterative decoder

본 연구에서는 그림 1의 소프트 디코더에 터보 코드를 적용하여 보았다. 적용된 터보 코드는 (111,101) 형태의 코드 비율 8/9인 코드이며, 터보 코드 만을 노이즈 채널에 적용한 결과는 그림 3과 같으며, 그림 1의 구조에서 ECC (Reed-Solomon code)를 제외 하고 모든 component 를 결합 하였을 때 성능은 그림 4와 같다.

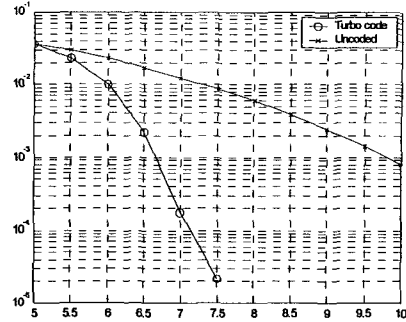


그림 3. 터보 코드 (111,101) rate 8/9 성능

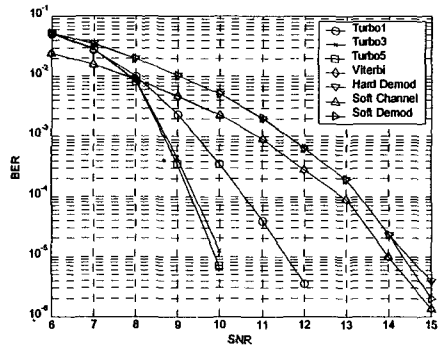


그림 4. 광 디스크 시스템에 적용된 soft iterative decoder - 소프트 채널 검출기, 소프트 demodulator, turbo code.

3. Modified channel decoder

그림 1의 구조에서 광 디스크에 실제 적용 시 문제가 될 수 있는 계산 시간 문제를 개선하기 위해 채널 소프트 디코더를 그림 5와 같은 구조로 구현하여 보았다.

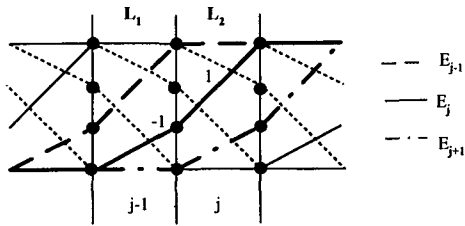


그림 5. Modified channel decoder

그림 5의 구조는 간단한 채널 target에서 신호의 에러가 발생하는 순간에만 소프트 신호를 계산하는 구조이다. 그림에서 굵은 선으로 표시된 부분에서만 에러가 발생할 확률이 크므로 이 부분의 값들에서만 소프트 출력을 계산하고, 다른 부분은 충분한 확률을 가지고 있다고 가정하였다. 이러한 구조의 채널 소프트 검출기를 사용하였을 때 기존의 MAP 방식보다 계산량은 크게 줄일 수 있었다.[3] 반면에 성능에서 그림 4의 시스템에 비해 약 0.3-0.4dB정도 열화되었다.

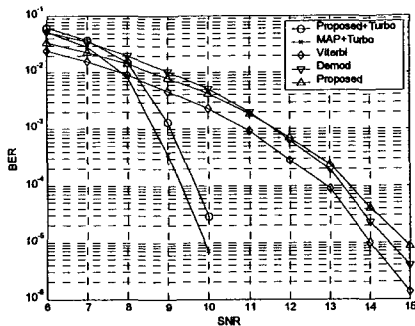


그림 6. Modified channel decoder를 적용한 광 디스크 시스템

제안된 방식에 의한 성능 열화 정도는 실용 시스템에 사용하기에는 별 무리가 없는 수준으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 광 디스크 시스템에 soft iterative decoder를 적용하기 위한 조건들을 알아보고 simulation을 통해서 성능을 분석해 보았다. 또한 제안된 순차적 채널 소프트 검출기의 성능을 분석해 보았다. 차세대 기록 기기의 성능 향상을 위해 turbo code나 LDPC와 같은 soft iterative decoding 방식의 적용이 더 연구 되어져야 할 것으로 보인다.

참고문헌

1. H. Song, B.V.K.V. Kumar, E. Kurtas, Y. Yifei, 'Turbo decoding for optical data storage,' IEEE International Conference on Communications, vol. 1, PP. 104-108, 2000
2. K. Anim-Appiah, S.W. McLaughlin, 'Turbo codes cascaded with high-rate block codes for (O, k)-constrained channels,' Selected Areas in Communications, IEEE Journal on, vol. 19, Issue4, PP. 677-685, April 2001
3. P. Robertson, E. Villebrun, P. Hoeher, 'A comparison of optimal and sub-optimal MAP decoding algorithms operating in the log domain,' IEEE International Conference on Communications, vol. 2, PP. 1009-1013, 1995