

광디스크의 물리어드레스 독출에러를 줄이기 위한 변조 및 검출방법

*심재성, 김기현, 박현수, 박인식, 서중언, 신동호
삼성전자 DM연구소 고밀도기록기팀

New Modulation and Detection Method to Reduce Physical Address Reading

*Shim Jae-Seong, Kim Ki-Hyun, Park Hyun-Soo, Park In-Sik, Seo Joong-Eon, Shin Dong-Ho
Samsung Electronics DM R&D Center High Density Recording System Team

Abstract - The RF signal is distorted since the cross-talk noise from adjacent tracks and ISI(Inter Symbol Interference) is also increased as recording density is increased. These cross-talk noise and ISI are main reason of reading error for the embossed pits on the disc.

In this study we suggest a new coding method, spaced modulation technique and a detection technique for the spaced modulation. We report the result shows detection performance is improved when we use the suggested spaced modulation code and the detection technique instead of conventional modulation code.

(1)의 조건에서 피트(랜드)는 3T, 6T, 9T, 12T가 존재함을 알 수 있고 (2)와 (3)은 코드워드와 코드워드가 연결될 때 Run Length가 (1)의 조건에 위배되지 않도록 하기 위함이다. 이와 같이 각각의 피트(랜드)의 길이 간격이 3T가 되도록 스페이스를 확장했다는 의미에서 이 변조코드를ES(Extended Space) 변조코드라 명명하였다.

상기 (1)~(3)의 조건을 만족하는 코드워드의 수는 총 293개이며 코드워드의 CDS(Code word Digital Sum)별로 분류하면 표1과 같다.

최종 코드표는 코드워드의 Digital Sum이 작은 코드워드를 우선적으로 사용하였고 이는 코드열의 DC성분이 가능하면 크지 않도록 하기 위함이다.

1. 서 론

일반적으로 광디스크에서 채용되고 있는 코드는 최소, 최대 구속장이 제한을 갖는 RLL(Run Length Limited) 코드이다. 여기서 최소 구속장을 결정하는 파라미터 d는 광디스크상의 피트(또는 랜드)를 인식할 수 있는 검출성능의 정도(精度)와 코드의 기록밀도를 결정한다. 최대 구속장을 결정하는 파라미터 k는 코드의 효율 및 싱크전력에 영향을 주는 파라미터이다. 이러한 일반적인 RLL코드는 d와 k사이에 구속장이 연속적으로 존재한다. 예를 들면 DVD계열에서 사용하고 있는 EFM+코드는 d=2, k=10이므로 싱크를 제외하면 최소 피트(또는 랜드) 3T(T는 1 재생클럭)와 최대 피트(또는 랜드) 11T사이에 4T, 5T, ..., 10T가 모두 존재한다. 이와같이 스페이스가 1T인 코드를 사용할 경우 채널상에 있을 수 있는 왜곡으로 인해 재생되는 RF신호에 지터가 발생할 때 ±0.5T를 벗어나면 에러가 발생할 가능성이 높다.

반면에 스페이스를 2T나 3T로 띄운 코드를 사용하면 같은 지터에 대해서 스페이스가 1T인 코드에 비해 검출기법만 약간 개선하면 훨씬 개선된 검출성능을 얻을 수 있다. 물론 스페이스를 2T나 3T로 띄우면 코드의 길이가 길어져 기록밀도측면에서는 볼릴 수 있으나 디스크상의 물리어드레스와 같은 중요한 정보는 검출에러를 줄이는 것이 매우 중요하다.

본 연구에서는 채널상에 있을 수 있는 왜곡으로 인해 지터가 큰 RF를 보다 안정되게 재생할 수 있는 스페이스 변조방법과 제시된 변조방법으로 만들어진 피트나 랜드 또는 마크와 스페이스를 재생할 때 지터로 발생한 검출오류를 보정하는 데이터 검출방법을 제시한다. 또한 제시된 변조방법과 검출방법을 광디스크의 물리어드레스에 적용하였을 때 개선효과보인다.

2. 본 론

2.1 코드워드 생성방식

본 연구에서는 변조코드의 Run Length에 space=3을 만족하도록 RLL(2,11,8,27,3)의 코드워드를 생성하였다. 사용된 코드워드는 (1)~(3)의 조건을 만족한다.

- Run Length ∈ {2, 5, 8, 11} (1)
- Lead Zero of a Code Word ∈ {1, 4, 7} (2)
- End Zero of a Code Word ∈ {1, 4} (3)

표1. (1)~(3)조건을 만족하는 RLL(2,11,8,27,3) 코드워드의 CDS값과 코드워드수

| CDS | 코드워드 수 |
|-----|--------|
| 1 | 53 |
| -1 | 0 |
| 3 | 48 |
| -3 | 50 |
| 5 | 0 |
| -5 | 41 |
| 7 | 33 |
| -7 | 0 |
| 9 | 19 |
| -9 | 25 |
| 11 | 0 |
| -11 | 12 |
| 13 | 7 |
| -13 | 0 |
| 15 | 2 |
| -15 | 3 |
| 총계 | 293 |

2.2 검출방식

ES코드의 장점은 재생할 때 지터로 인해 발생한 오류를 정정할 수 있다는 것이다. 아래에 몇가지 파라미터를 정의하였다.

- x[i] : i번째 Code Stream
- T[n] : n-1천이지점으로 부터 n번째 천이지점까지의 거리
- P[n] : n번째 천이가 발생한 코드열 순위 i-1

ES코드스트림에 발생한 에러를 수정하기 위한 검출방법은 다음과 같은 순서로 에러를 복원한다.

- (1) 코드스트림 입력
- (2) 코드스트림에 천이가 있는지를 찾는다.
- └ 천이가 발생하지 않으면 (1)로 점프

- ② 천이가 발생하면 (3)으로 진행
- (3) 천이가 발생한 지점과 Run Length를 저장
 - ① $P[n]=i-1$
 - ② $T[n]=cnt$
 - ③ $n=n+1$
- (4) 에러를 정정하기 위한 n-4번째 피트로부터 뒤이어 나오는 n-3 ~n번째 피트에 대해 Run Length를 검사
 - ① 모두 위반하지 않으면 (8)로 점프
 - ② 하나라도 위반하는 것이 있으면 (5)로 진행
- (5) n-4번째 피트의 Run Length를 검사
 - ① 위반하지 않으면 (8)로 점프
 - ② 1T작으면 (6)으로 점프
 - ③ 1T크면 (7)로 점프
- (6) n-4번째 피트 +1T보정
 - ① $x[P[n-4]+1]=x[P[n-4]]$
 - ② $T[n-4]=T[n-4]+1$
 - ③ $T[n-3]=T[n-3]-1$
 (8)로 점프
- (7) n-4번째 피트 -1T보정
 - ① $x[P[n-4]]=x[P[n-4]+1]$
 - ② $T[n-4]=T[n-4]-1$
 - ③ $T[n-3]=T[n-3]+1$
- (8) 종료가 아니면 cnt clear후 (1)로 점프

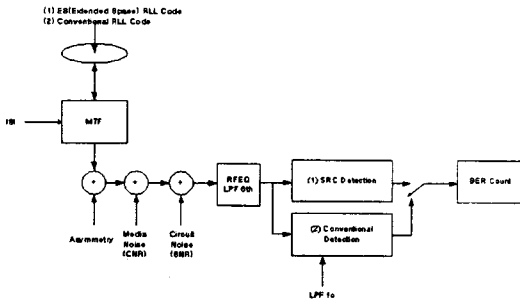


그림 1. 본 연구에서 사용한 시뮬레이션 모델

이상의 일련의 T보정작업은 이어 들어오는 피트들의 Run Length위배여부를 보면서 피트보정을 하므로 SRC(Slide Run length Compensation looking forward pits)검출법이라고 명명하였다.

2.3 시뮬레이션

그림1는 본 연구에서 사용한 시뮬레이션 모델이다. 디스크의 물리어드레스에 사용한 변조코드는 ES코드와 성능비교를 위해 DVD에서 사용중인 EFM+코드를 적용하였다. 어드레스 검출에러율을 보기 위해 외란은 Tangential방향의 디스크스큐와 어시메트리 그리고 회로노이즈를 모델링하여 사용하였다. RF이퀄라이저는 DVD 규격집에서 정의한 3렙 이퀄라이저를 사용하였고 LPF는 Group Delay가 적다고 알려진 Bessel필터를 이용하여 8.2Mhz에서 3B가 되도록 모델링하였다.

어드레스의 검출에러는 종래의 RLL코드로 형성된 경우는 2회 반복된 어드레스데이터(6바이트 X 2회)중에서 2회 모두 어드레스에 에러가 검출된 경우만 에러로 계산하였고 ES RLL코드로 물리어드레스가 형성된 경우에는 1회의 어드레스 6바이트에 에러가 검출되면 에러로 계산하였다.

그림2는 일반적인 Level Slicer를 이용해 ES RLL 코드스트림의 RF신호를 이치화하였을 경우의 히스토그램이다. 피트의 길이가 2T부터 12T까지 각각 [192 10135 343 141 5621 3 18 2892 7 6 89]개 발견되었고 3T, 6T, 9T, 12T를 제외한 나머지는 에러이다.

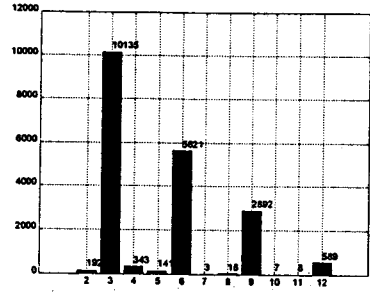


그림 2. 일반적인 Level Slicer를 사용하였을 경우

그림3은 같은 ES RLL 코드스트림의 RF신호를 SRC Detector를 이용해 이치화하였을 경우의 히스토그램이다. 피트의 길이가 2T부터 12T까지 각각 [0 10671 0 0 5763 0 0 2917 0 0 595]으로 일반적인 Slicer에서 나타났던 에러가 모두 사라졌음을 알 수 있다.

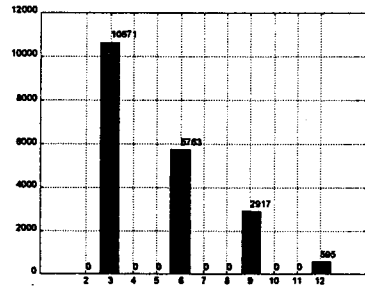


그림 3. SRC Detector를 사용하였을 경우

그림4은 회로노이즈에 대한 두개의 코드스트림에 대한 검출성능 결과이다. ES RLL코드와 SRC 검출기를 사용하였을 경우가 일반적인 RLL코드에 Level Slicer를 사용하였을 경우보다 5dB이상 검출성능이 좋았다.

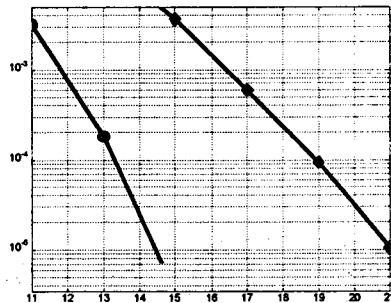


그림 4. 노이즈에 대한 검출성능비교

그림5는 디스크의 Tangential방향의 스큐에 대한 두개의 코드스트림의 검출성능 결과로 ES RLL코드와 SRC 검출기를 사용하였을 경우가 Tangential 스큐에 대해 에러를 10⁻⁴에서 약 0.5⁻⁴ 정도 더 마진을 확보하고 있었다.

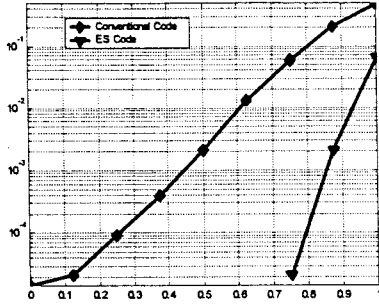


그림 5. Tangential 스큐에 대한 검출성능비교

3. 결 론

지터에 대해 검출성능을 향상시키기 위한 방법으로 코드의 Run Length에 Space를 확장한 ES(Extended Space)변조코드를 제안하였고 ES코드를 사용하였을 경우 검출에러를 줄일 수 있는 SRC(Slide Run length Compensation look forwarding pits)검출기법을 소개하였다.

본 연구에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 물리어드레스의 리던던시를 약 22% 줄였다.
- (2) 어드레스 검출에러는 본 연구에서 사용한 외란인 노이즈, 탄젠셜스큐에 대해 모두 종래의 RLL코드에 비해 ES RLL코드와 SRC 검출기를 사용하였을 경우가 에러율 10⁻⁴에서 각각 약 5dB, 0.5° 정도의 마진을 더 확보하였다.
- (3) 따라서 본 연구에서 제시한 ES RLL코드와 SRC 검출기를 고밀도 디스크기록매체의 어드레스기입 변조방식과 검출기로 사용할 때 적은 리던던시로 검출성능을 올릴 수 있을 것으로 기대된다.

[참고문헌]

- [1] Kees A. Schouhamer Immink, "Codes for Mass Data Storage Systems", Shannon Foundation Publishers
- [2] DVD규격집