

광 저장장치를 위한 (n-1)/n DC-free부호에 관한 고찰

김경근*, 박지환**

*부경대학교 교육대학원 전산교육전공

**부경대학교 전자계산학과

(n-1)/n DC-free Codes for Optical Storage Channel

Kyung-Keun Kim*, Ji-Hwan Park**

Dept. of Computer Education*, Dept. of Computer Science

** Pukyong National University

요 약

멀티미디어 데이터 저장에 있어서 중요한 요소 중의 하나는 얼마나 많은 양의 정보를 주어진 공간에 기록할 수 있는냐는 것이다. 현재 많이 사용되고 있는 광 저장장치(optical channel) 기록을 위하여 dc-free에서 n이 홀수 일 때 부호비가 (n-1)/n인 부호에 대하여 알아보았다

1. 서론

일반적으로 플로피디스크(FD), 하드디스크(HD) 또는 테이프 형태인 자기저장장치와 광자기 저장장치(ETOM방식) 그리고 레이저 디스크(LD), CD-R, DVD와 같은 광저장장치가 있다. 컴퓨터 기술 발전에 따라 텍스트 데이터는 물론 멀티미디어를 대량으로 취급하는 단계에 이르렀고 처리해야 할 데이터양은 매우 증가하고 있고 광학저장장치는 이러한 요구를 만족시킬 유망한 매체로서 많이 사용되고 있다.

광 저장장치는 레이저빔을 이용하여 저장하고 읽게 되는데 랜드(land)와 피트(pit)를 형성하면서 디지털 데이터를 표현하고 저장하며, 피트사이의 공간을 랜드라하고 랜드와 피트사이의 변곡점은 이진수 1을 의미하며 변화없이 일정길이를 유지하는 곳은 이진수 0에 해당한다[1].

(d,k)RLL(Run-Length Limited) 제한조건은 자기저장은 물론 광학전송과 저장에 있어 널리 알려져 있고 (d,k)제한조건이라 한다. d는 임의의 인접한 0 아닌 기호 사이에 최소한 d개의 0 이 있어야 하며, 이것은

기호간의 간섭을 제한하고 조절하는 데 사용된다. k는 임의의 인접한 0 아닌 기호 사이에 최대로 k개의 0 이 있을 수 있는 타이밍 제한조건이다.

특히 compact disk와 DVD는 (2,10)RLL제한 조건을 만족하며 Compact disk는 EFM방식(8 to 14 Modulation)을, DVD는 EFMPlus 방식을 사용한다[4].

광 저장시스템에서 기호들은 그림1. 처럼 None Return To Zero Interleaved (NRZI) 신호와 대응한다. 제로 기호는 현 상태로 되고 제로가 아닌 기호는 신호레벨이 바뀐다.

$$\begin{array}{l}
 y_i: 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1 \\
 x_i: 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ -1\ -1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ 1\ -1
 \end{array}$$

그림1. NRZI (Non Return To Zero Interleaved), 초기채널상태는 -1이며 y_i 는 이진입력기호, x_i 는 bipolar 채널비트이다

M-ary (d,k)RLL조건을 만족하는 열(sequence)은 그림2.에서 처럼 나타내어진다[2].

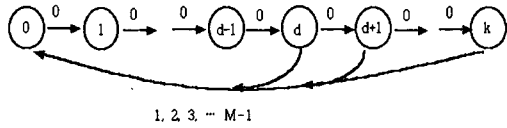


그림2. M-ary (d, k) RLL의 유한상태천이도(FSTD)

2장에서는 부호비가 $(n-1)/n$ 인 dc-free 부호에 대하여 소개하고 3장에서는 n 이 홀수일 때 교정항을 부여한 $(n-1)/n$ 인 dc-free 부호에 대하여 기술하고 4장에서는 결론과 향후과제에 대해 기술한다.

2. 부호비가 $n-1/n$ 인 dc-free 부호

입력기호 m bit 의 열(sequences)을 발생하면 m 비트 입력기호열의 개수는 2^m 이고 encoder는 이것들의 각각에 대해 출력기호열을 만들고 열들은 (d,k) RLL제한조건을 만족해야 하므로 부호열은 $n > m$ bit 로 이루어 진다.

m 입력 bit는 n 출력 bit로 되기 때문에 부호비는 $R=m/n$ 이다.

예를 들면, 부호비가 $R=2/3$ 이면 입력기호 00, 01, 10, 11 이고 이것들은 부호어 000, 001, 010, 100, 101, 110, 011, 111 에 할당된다.

데이터저장 시스템에서 사용되는 다른 중요한 조건은 주파수가 0인 곳에서 spectral null을 갖는 채널열인 dc-free 부호와 RDS(Running Digital Sum)이다. RDS는 양극성을 갖는 열

$\{x_i\} = \{\dots, x_{-1}, x_0, x_1, \dots, x_i, \dots\}$, $x_i \in B = \{-1, 1\}$ 일 때

$RDS_i = \sum_{j=-\infty}^i x_j = RDS_{i-1} + x_i$ 로 정의되고 dc-free 가 spectral null을 가질 필요충분 조건은 RDS_i 가 유한값을 가질 때이며 $|RDS_i|$ 로 나타낸다[4].

특히, RDS_i 가 유한(bounded)이면 sequence $\{x_i\}$ 의 spectral density는 주파수가 0인 곳에서 spectral null을 가지며 i 에서 RDS_i 의 유한값 N 을 digital sum variation(DSV)라 한다.

일반적으로 이진 입력기호 $y_i = \{0, 1\}$ 는 프리코더(precoder)또는 콘버터(convert)에 의해 그림3.에서 처럼 양극성을 갖는 채널비트 $x_i = \{-1, 1\}$ 로 변환된다.

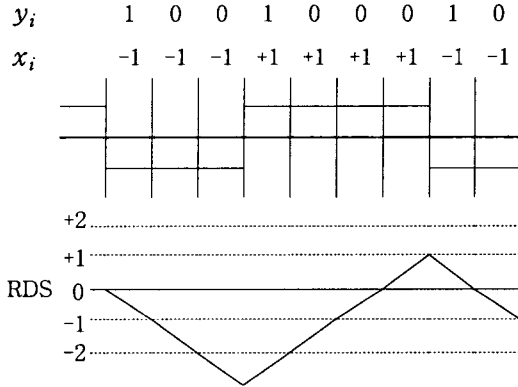


그림3. 시간에 따른 RDS.

이진입력기호 y_i 는 양극성을 갖는 채널비트 x_i 로 변환되고, 그래프는 기록신호 $\{x_i\}$ 와 RDS사이의 관계를 보여주고 있다

순서쌍 $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, $x_i = \{-1, 1\}$ 라하고 x

의 disparity를 $d(x) = \sum_{i=1}^n x_i$ 라 하면 각 입력기호는 disparity가 $d(x) = 0$ or $d(x) < 0$ or $d(x) > 0$ 로 나타낼 수 있고,

N_- 을 $d(x) \leq 0$ 인 부어어의 수,

N_+ 를 $d(x) \geq 0$ 인 부어어의 수라 하면 n 에 대하여 다음과 같이 부호어수가 생성된다.

$$N_- = N_+ = \begin{cases} 2^{n-1} & n : \text{홀수} \\ 2^{n-1} + \frac{1}{2} \cdot {}_n C_{\frac{n}{2}} & n : \text{짝수} \end{cases} \quad (2)$$

[표1] n=5 일 때 disparity와 부호어수

n=5 일때	d(x)	부호어수
-1,-1,-1,-1,-1	-5	1
-1,-1,-1,-1, 1	-3	5
-1,-1,-1, 1, 1	-1	10
-1,-1, 1, 1, 1	1	10
-1, 1, 1, 1, 1	3	5
1, 1, 1, 1, 1	5	1
		$2^5 = 32$

$$N_- = N_+ = 2^{5-1} = 16$$

[표2] n=4 일 때 disparity와 부호어수

n=4 일 때	d(x)	부호어수
-1,-1,-1,-1	-4	1
-1,-1,-1, 1	-2	4
-1,-1, 1, 1	0	6
-1, 1, 1, 1	2	4
1, 1, 1, 1	4	1
		$2^4 = 16$

$$N_- = N_+ = 2^{4-1} + \frac{1}{2} {}_4C_2 = 8 + 3 = 11$$

n이 짝수이면 $2^{n-1} + \frac{1}{2} {}_nC_{\frac{n}{2}}$ 중에서 2^{n-1} 개의 부호어를 택할 수 있고, n이 홀수 일 때는 부호어가 (n-1)/n 인 부호를 생성하기 위해서 2^{n-1} 개 모두 있어야 한다.

(n-1)/n 부호를 polarity switch code 라 하는데 (n-1)개의 입력기호들은 polarity bit 인 한 개의 기호에 의해 채워진다.

인코더(encoder)는 n-bit의 워드를 있는 그대로 전송 하든지 아니면 모든 기호를 바꾸어 전송할 수 있다.

이러한 선택은 가능한 한 RDS가 0에 가까운 워드를 전송하도록 이루어지며, 디코더는 polarity bit를 사용하여 인코더가 실행한 작업을 원래대로 돌리게 된다

n이 홀수이면 polarity switch 방법을 실행할 수 있는 부호는 없게 되므로 다음과 같은 방법을 생각할 수 있게 된다[5].

3. n이 홀수 일 때, 교정항을 부여한

(n-1)/n dc-free부호

여기서 RDS를 제정의 하여 천이가 bit cell의 중간에서 시작하도록 하면 기록신호가 채널비트길이의 반 만큼 지연된다.

x_0 를 기록신호 x 앞에 나오는 비트값이고, 순서쌍

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n), \quad x_i = \{-1, 1\} \text{라 하면, } x \text{의}$$

disparity는 $ds(x, x_0) = \sum_{i=1}^n x_i + (w(x) \bmod 2)x_0$ 이다.

여기서 $w(x)$ 는 가중치이고 $(w(x) \bmod 2)x_0$ 은 교정항이다. 이렇게 함으로써 n 이 홀수 일 때

$d(x, x_0) = 0$ 을 얻을 수 있게 된다[3].

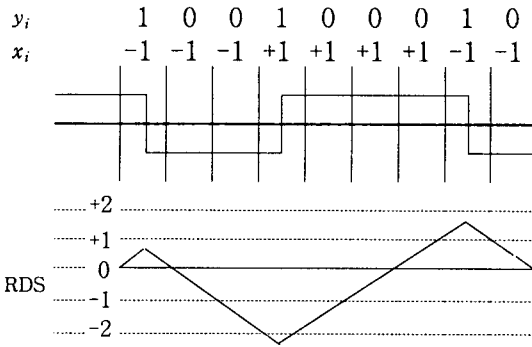


그림4. 시간에 따른 RDS.

천이는 비트셀의 중간에서 일어나고, 9비트 워드의 RDS는 0이다. 곡선은 기록신호 $\{x_i\}$ 와 RDS와의 관계이다

$N(s), N(s)'$ 를 각각 $ds(x, 1) = s, ds(x, -1) = s$ 가 되는 부호어 개수라 하면

$$N(s) = {}_{n-1}C_{\lfloor \frac{(n-1)+s}{2} \rfloor}$$

$$N(s)' = {}_{n-1}C_{\lfloor \frac{(n-1)+s+1}{2} \rfloor} \quad (3) \text{ 이다.}$$

$ds(x, x_0) = 0$ 인 부호어는 유일하게 소스워드 할당할 수 있지만 다른 부호어들은 $ds(x, x_0) < 0,$

$ds(x, x_0) > 0$ 인 부호워드에 할당된다. 이러한 선택들은 RDS의 절대값을 최소화 하는데 있다.

N_-, N_-' 를 각각 $ds(x, 1) \leq 0$ 과 $ds(x, -1) \leq 0$ 을 만족하는 집합,

N_+, N_+' 를 각각 $ds(x, 1) \geq 0$ 와 $ds(x, -1) \geq 0$ 을 만족하는 집합이라 하고

$\widehat{N}_-, \widehat{N}_+, \widehat{N}_-', \widehat{N}_+'$ 는 이 집합들의 cardinality를 나타낸다고 하자. 그러면

$$\widehat{N}_- = \widehat{N}_+' = 2^{n-1}$$

$$\widehat{N}_+ = \widehat{N}_-' = 2^{n-1} + {}_{n-1}C_{\lfloor \frac{(n-1)}{2} \rfloor} \quad (4)$$

$\widehat{N}_- = \widehat{N}_+' = 2^{n-1}$ 일 때는 한정된 상태에서 부호를 디자인해야 하지만

$\widehat{N}_+ = \widehat{N}_-' > 2^{n-1}$ 일 때는 코더와 디코더의 낮은 복

잡도, 최대런길이의 최소화 등과 같은 디자인영역에서 선택의 여지가 많아지게 된다.

[표3]에서 $x_0=1$ 과 -1 일 때 disparity를 보여주고 있다.

[표3] n=5일 때 x_0 값에 따른 disparity

x_i					$d(x, 1)$	$d(x, -1)$
1	1	1	1	1	5	4
1	1	1	1	-1	4	3
1	1	1	-1	1	3	2
1	1	-1	1	1	3	2
1	-1	1	1	1	3	2
-1	1	1	1	1	3	2
1	1	1	-1	-1	2	1
1	1	-1	1	-1	2	1
1	1	-1	-1	1	1	0
1	-1	1	-1	1	1	0
1	-1	-1	1	1	1	0
-1	1	-1	1	1	1	0
-1	-1	1	1	1	1	0
1	-1	1	1	-1	2	1
-1	1	1	1	-1	2	1
-1	1	1	-1	1	1	0
-1	-1	-1	-1	-1	-4	-5
-1	-1	-1	-1	+1	-3	-4
-1	-1	-1	+1	-1	-2	-3
-1	-1	+1	-1	-1	-2	-3
-1	+1	-1	-1	-1	-2	-3
+1	-1	-1	-1	-1	-2	-3
-1	-1	-1	+1	+1	-1	-2
-1	-1	+1	-1	+1	-1	-2
-1	-1	+1	+1	-1	0	-1
-1	+1	-1	+1	-1	0	-1
-1	+1	+1	-1	-1	0	-1
+1	-1	+1	-1	-1	0	-1
+1	+1	-1	-1	-1	0	-1
-1	+1	-1	-1	+1	-1	-2
+1	-1	-1	-1	+1	-1	-2
+1	-1	-1	+1	-1	0	-1

부호비가 8/9인 부호를 예로 들면 $x_0=1$ 일 때 음이

아닌 disparity를 갖는 부호어수와 $x_0=-1$ 일 때 양이 아닌 disparity를 갖는 부호어수는 $\widehat{N}_+ = \widehat{N}_-' = 326$ 이지만 $2^8=256$ 개의 워드만 필요하게 되어 사용할 수 있는 부호어에서 disparity가 가장 작은 것을 선택할 수 있게 된다. 이 방법은 [표4]에서 보여주듯이 기존의 방법보다 작은 분산을 갖게 된다[3].

[표4] 길이 n인 부호어에 따른 분산비교

(σ^2 : 가중치를 부여한 부호의 분산, σ_p^2 : polarity switch 부호의 분산)

n	σ^2	σ_p^2
3	1.05	1.67
5	1.73	3.00
7	2.52	4.33
9	3.23	5.66
11	4.07	7.00

3. 결론

광 저장장치에서 사용하고 있는 (n-1)/n DC-free부호에서 RDS를 재정의 하여 n이 홀수 일 때 가중치를 이용한 교정항을 부여하여 부호화의 복잡도 및 최대런길이를 최소화할 수 있다는 것에 대하여 알아보았고 M-진 DC-free에서도 많은 연구가 있었으면 한다.

[참고문헌]

- [1] 김병호, 이윤준 "멀티미디어 개념 및 응용," 홍릉 과학출판사 pp. 210-211 1997. 8
- [2] S.W.McLaughlin, "Five run-length limited codes for M-ary recording channels," IEEE Trans. on Magnetics, vol. 33, no. 3, pp2442-2450. May 1997
- [3] Kees A. Schouhamer Immink, "dc-free codes of Rate (n-1)/n ,n odd", IEEE Transactions on information theory vol.46, NO.2. pp633-634, March 2000
- [4] L.J. Greenstein, "Spectrum of a binary signal block coded for dc suppression." Bell syst. Tech.J.,vol. 53,pp.1103-1126,July 1974
- [5] K.A.S Immik, "Codes for Mass Data Storage System" Eindhoven. The Netherlands: Shannon Foundation Publisher,1999