

트랙간 간섭 채널을 위한 다중트랙 RLL(Run-length Limited) 코드의 구현

정희원 이 재 진*

Implementation of Multitrack Run-length Limited Codes for Intertrack Interference Channels

Jaejin Lee* *Regular Member*

요 약

고밀도 저장 기록장치에서 앞으로 고려되어야 할 점은 인접한 트랙간에 생길 수 있는 간섭인데, 이 트랙간 간섭(ITI, intertrack interference)에 면역성이 있는 새로운 다중트랙 RLL 코드(MRLL Codes, Multitrack Run-length Limited Codes)의 구현방법을 제안하였다. 인접한 트랙에서 동시에 전이(transition)가 일어나는 것을 방지하므로써 트랙의 폭과 트랙과 트랙 사이의 보호대역을 줄일 수 있는 고밀도 저장 채널이 이 코드의 목적이다. 트랙의 수가 2, 3, 4 일 때의 코드워드를 구하였고, 각 코드워드의 수는 입력이 바이트 단위일 경우를 위해 256개를 넘도록 만들었다.

ABSTRACT

An implementation method of the new multitrack RLL codes[11] with immunity to intertrack interference (ITI) is proposed. This code takes aim at a high density storage channels by reducing the track width and/or guard bands between tracks since it prevents transitions in neighboring tracks at the same time epoch. We provide three code-word sets for two, three and four track codes. Each codeword set is targeted to represent a byte of input data.

I. 서 론

현재, 기록저장장치(storage systems)에 쓰이고 있는 한트랙용 RLL 변조코드는 선형적인 밀도를 증가시킬 수는 있지만 단위면적당 밀도의 증가에는 한계가 있다. 동시에 여러개의 트랙에 읽고 쓸 수 있는 기록 시스템에서는, 각 트랙의 제한 조건을 완화시켜 단위 면적당 밀도를 증가시킬 수 있는데[1]-[5], 이것은 다수의 트랙이 타이밍 신호를 공유하여 최대 런길이 제한조건(maximum run-length constraint)을 완화시키기 때문이다. 한트랙 (d, k) RLL 코드에서 최소 런길이 제한조건(minimum run-length constraint) d는 인접한 "1" 사이에 올 수 있는 최소한의 "0"의 개수를 말하며,

최대 런길이 제한조건(maximum run-length constraint) k는 인접한 "1" 사이에 올 수 있는 최대한의 "0"의 개수를 의미한다. 최대 런길이 제한조건은 타이밍 정보를 수신된 데이터열로부터 얻기 위한 것이며, 최소 런길이 제한조건은 심불간 간섭(ISI)을 제거시키기 위해 있다. 다중트랙 RLL (MRLL) 코드에서 동시에 처리하는 트랙의 개수가 n개이면 최대 런길이 제한조건, k는 행의 개수가 n이고 열의 개수가 k+1인 행렬과 비슷한 창(window)에 적어도 한 개의 "1"이 있으면 된다. 이것은 한트랙 RLL 코드와 비교해볼 때 채널 용량의 증가를 가능케 한다.

고밀도 저장기록장치의 또 하나의 주요한 밀도손실의 요인은 트랙간 간섭(ITI)이다. 이것은 트랙과 트

* 동국대학교 전자공학과(zlee@cakra.dongguk.ac.kr) 정희원
논문번호: 97156-0509, 접수일자: 1997년 5월 9일

*이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

랙간에 생기는 인접 트랙 신호의 간섭(offtrack interference)으로 인해 생기는 신호검출기능의 저하를 야기한다. 따라서 본 논문에서는 [6]에서 제안된 ITI에 면역성을 가진 MRLL 코드를 구현하는 방법을 제안한다. 이 코드는 같은 시간에 이웃한 트랙에서 동시에 전이가 일어나지 않도록 하기 위해, 각 트랙에서 ISI를 감소시키기 위한 최소 런길이 제한조건(d_x) 외에, 인접한 트랙사이의 최소 런길이 제한조건(d_y)이 추가로 필요하다.

II. ITI를 위한 다중트랙 RLL코드

ITI에 면역성을 가진 MRLL 코드 (MRLL-ITI Codes)를 정의하면 다음과 같다.

DEFINITION: ($d_x, d_y, k; n$) 코드는 다음의 제한 조건을 만족하는 코드이다.

- ISI 제한조건: n 개의 트랙 각각에는 임의의 두 인접한 1 사이에 최소한 d_x 개의 0이 있어야 한다.
- ITI 제한조건: 각 단위 시간에서 트랙사이의 임의의 두 연속되는 1 사이에는 최소한 d_y 개의 0이 있어야 한다.
- 타이밍 제한조건: 모든 $n \times (k+1)$ 사각 window는 최소한 한 개의 0이 아닌 요소를 가지고 있어야 한다.

이 코드를 MRLL ($d_x, d_y, k; n$) 코드라고 하며, 트랙사이에 필요한 최소 런길이 제한조건을 한 개 더 가지고 있는 것을 제외하고는 MRLL ($d, k; n$) 코드와 유사하다. 선형적인 측면에서 볼 때 이 코드가 MRLL ($d, k; n$) 코드보다 작은 밀도를 가질 것이라고 예상할 수 있으나, 이 코드는 트랙폭과 보호대역을 감소시킬수 있는 높은 가능성 때문에 더욱 큰 면적밀도를 가질 수 있게 된다. 예를 들면, 코드율 1/2 인 ($d_x, d_y, k; n$) 코드는 만일 코드율 2/3인 한트랙 RLL코드에 필요한 보호대역의 1/4이상을 성능저하없이 줄일 수 있다면, 코드율 1/2 ($d_x, d_y, k; n$) 코드는 코드율 2/3 코드(보통의 RLL코드 또는 MRLL코드)보다 더 큰 면적밀도를 가질수 있다. 이 논문에서는 채널을 $d_y > 1$ 조건을 이용해 제한하는 것은 너무 제한적이기 때문에 $d_y = 1$ 인 경우만을 고려하여 기술한다. 따라서, 앞으로 $d_y = 1$ 이라고 가정하며, ($d_x, d_y = 1, k; n$)

코드를 MRLL-ITI 코드라고 부른다.

MRLL코드의 성질에 의해, 사용가능한 MRLL 코드워드는 $n \times m$ 행렬로 나타낼 수 있으며, 여기서 n 은 트랙의 수이며 m 은 트랙당 비트수이다. 따라서, MRLL 코드워드는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$c = (c_1, c_2, \dots, c_m)$$

단, c_j 는 모든 $j = 1, 2, \dots, m$ 에 대해 n 개의 2진 요소로 된 열벡터이다. 우리는 표기상의 편의를 위해 이러한 c_j 를 2진 열벡터 표현과 일치하는 십진수로 나타낸다. 예로써, $c_j = (00001001)^T$ 는 $n = 8$ 트랙에 대해 "9"로 표현된다. 따라서, 코드워드(1,4,10,5)는 다음과 같은 4-트랙 코드워드를 나타낸다.

$$c = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

MRLL-ITI 코드 구성의 첫 번째 단계는 트랙의 개수 n 이 주어지면 d_y 제한 조건을 만족하는 n -요소(n -tuple) 열벡터를 찾아내는 것이다. 각각의 트랙 개수에 대해 ITI 제한조건 ($d_y = 1$)을 만족하는 심볼의 집합은 다음과 같다.

$$A_2 = \{0, 1, 2\}$$

$$A_3 = A_2 \cup \{4, 5\}$$

$$A_4 = A_3 \cup \{8, 9, 10\}$$

$$A_5 = A_4 \cup \{16, 17, 18, 20, 21\}$$

$$A_6 = A_5 \cup \{32, 33, 34, 36, 37, 40, 41, 42\}$$

$$A_7 = A_6 \cup \{64, 65, 66, 68, 69, 72, 73, 74, 80, 81, 82, 84, 85\}$$

$$A_8 = A_7 \cup \{128, 129, 130, 132, 133, 136, 137, 138, 144, 145, 146, 148, 149, 160, 161, 162, 164, 165, 168, 169, 170\}$$

여기서 A_i , for $i = 1, 2, \dots, 8$ 는 i 트랙에 대해 ITI 제한조건을 만족하는 심볼의 집합이다.

III. MRLL-ITI 코드의 구현

가장 간단한 MRLL 코드는 트랙이 두 개인 경우이다. 직관적으로, 두 개의 정보 비트는 크기가 2×2

(즉, 두 개의 트랙에 트랙당 두 비트씩 할당)인 코드 워드로 mapping 될 수 있다. 표 1 참조. 예를 들어, 입력 "00"은 c_1 , "01"은 c_2 , "10"은 c_3 , "11"은 c_4 로 코딩된다고 하자. 만일 입력 비트 "01"과 "00"가 연속적으로 나타난다면, "01.00"은 d_x 조건을 만족하기 위해 보조 lookup table에 의해 c_5 로 코딩된다. 유사하게 "10.11"은 같은 이유로 c_6 로 코딩된다. 입력 열과 코드워드 열 사이에는 일대일 대응이 성립하므로 디코딩 과정은 인코딩의 역과정이다. 이 코드의 parameter는 $n=2, d_x=1, d_y=1, k=3$ 이고 코드율은 $R=1/2$ 이다. $d_x=1$ 인 경우, FSTD(Finite state transition diagram)은 인코더로 사용될 수 있다. $n=2, d_x=1, d_y=1, k=1$ 의 parameter를 갖는 MRLL-ITI 코드를 예로 들어보자. $k=\infty$ 일 경우일 때의 FSTD에서, 상태 0에서 자기자신으로의 전이를 제거하면 이 코드는 $k=1$ 을 만족한다. 따라서, $n=2, d_x=1, d_y=1, k=1$ parameter를 갖는 MRLL-ITI 코드의 결과적인 FSTD는 그림 1과 같고 상태전이행렬은 다음과 같이 주어진다.

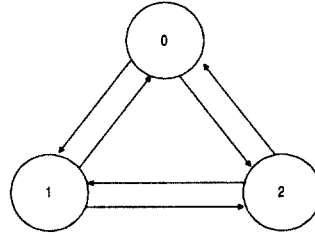


그림 1. $n=2, d_x=1, d_y=1, k=1$ 인 MRLL-ITI 코드의 FSTD

표 2. $n=2, d_x=1, d_y=1, k=1$ 인 MRLL-ITI 코드의 코딩 테이블

Encoding table			Decoding table		
state	input	output	state	input	output
$Q_1 Q_2$	x	$D_1 D_2$	$Q_1 Q_2$	$y_1 y_2$	x
00	0	01	00	01	0
00	1	10	00	10	1
01	0	10	01	00	1
01	1	00	01	10	0
10	0	00	10	00	0
10	1	01	10	01	1

$$T = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$n=2, d_x=1, d_y=1, k=1$ 인 MRLL-ITI의 트랙당 용량은 0.5이다. ($\lambda=2.0$ 이기 때문이다.) 그림 1에서, 각 상태로 나가는 두 edges가 있다. 그래서 코드의 코드율은 1/2이고, 코드의 효율은 100% 이다.

FSTD을 이용하여 인코딩을 위한 입력, 출력, 상태 사이의 관계를 표로 만들 수 있다. 즉, 각 트랙에 한

표 1. $n=2, d_{x-1}, d_y=1, k=3$ 인 MRLL-ITI 코드의 Encoding/decoding 표

Lookup Table		Auxiliary Lookup Table	
input bits	codewords	input bits	codewords
00	$c_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}$	01.00	$c_5 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
01	$c_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	10.11	$c_6 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$
10	$c_3 = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$		
11	$c_4 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$		

비트를 입력하면 한 비트씩 두 트랙으로 두 비트가 출력된다. 마찬가지로, 디코딩을 위한 표도 만들 수 있다. 각 트랙에서 한 비트를 입력하면 디코딩된 정보비트 한 비트가 출력된다. 표 2는 이들 관계를 나타낸 것이다. 인코딩 표에서 D_1 과 D_2 의 입력 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$D_1 = x \overline{Q_1} \overline{Q_2} + \overline{x} Q_1 \overline{Q_2} \tag{7}$$

$$D_2 = x \overline{Q_1} \overline{Q_2} + x Q_1 \overline{Q_2} \tag{8}$$

디코딩 표에서 x의 출력 방정식은 다음과 같이 주어진다.

$$\hat{x} = y_1 \overline{Q_2} + y_2 Q_1 + \overline{Y_1} Q_2 \tag{9}$$

그러나 $(y_1, y_2) = (1, 1)$ 이면 에러가 발생한다. 그래서 에러 방정식은 다음과 같다.

$$e = y_1 y_2 \tag{10}$$

만일 위와 같이 직관적으로 구할 수 없는 경우라면, MRLL-ITI 코드를 구현하기 위한 간단하고 일반적인 방법은 제한 조건을 만족하는 코드워드 집합을 구하는 것이다. 이제 $n=2, 3, 4$ 에서 세 코드워드 집합을 구해 보기로 하자. 대부분 모든 시스템이 바이트 단위로 데이터를 전송하므로 각 코드 집합은 한 바이트 입력 데이터를 표시할 수 있도록 각 코드워드 집합은 256 코드워드보다 많도록 정한다. 표 3은 코드워드의 연관을 고려하지 않고 각각의 트랙수에서 $d_x=1$ 과 $d_y=1$ 제한 조건을 만족하는 코드워드 수를 구한 것이다. m 은 각 트랙에서의 비트 수를 표시한다. 이 표는 트랙당 비트에 얼마나 많은 코드워드 수가 필요한가를 보여주고 있다. $n=2, 3$ 트랙에서 각 코드 형태의 코드워드 수가 표 4에 나열되어 있다. 코드 형태의 숫자는 $(1010)^T$ 로 표시되는 "A"를 제외한 해당 2진 벡터들의 정수 표현식이고, "x"는 제한 조건을 위배되지 않는 상태에서 A_n 의 임의의 수로 표시할 수 있다. 코드워드와 코드워드가 연결될 때 제한 조건에 위배되지 않는 형태를 선택한다. 각 트랙수의 MRLL-ITI

표 3. 코드워드간의 연결을 고려하지 않았을 때의 코드워드 수

m	n = 2	n = 3	n = 4
2	7	17	41
3	17	63	227
4	41	227	1234
5	99	827	6743
6	239	2999	36787
7	577	10897	200798

표 4. $n=2, 3$ 일 때 각 패턴의 코드워드 수

Number of codewords (codeword pattern), n=2		
99 (0xxxx0)	70 (1xxxx0)	70 (2xxxx0)
70 (0xxxx1)	50 (1xxxx1)	49 (2xxxx1)
70 (0xxxx2)	49 (1xxxx2)	50 (2xxxx2)

Number of codewords (codeword pattern), n = 3				
63(0xxx0)	42(1xxx0)	50(2xxx0)	42(4xxx0)	30(5xxx0)
42(0xxx1)	30(1xxx1)	32(2xxx1)	29(4xxx1)	22(5xxx1)
50(0xxx2)	32(1xxx2)	41(2xxx2)	32(4xxx2)	63(5xxx2)
42(0xxx4)	29(1xxx4)	32(2xxx4)	30(4xxx4)	63(5xxx4)
30(0xxx5)	22(1xxx5)	22(2xxx5)	22(4xxx5)	63(5xxx5)

코드워드 패턴이 표 5에 나열되어 있다. 코드올은 1/2 또는 그 이상이다. $n=2, 3, 4$ 에서의 전체 코드워드가 각각 표 6, 7, 8에 나열되어 있다. 한 바이트 입력을 표시하면서 회로를 최대한 간단히 하도록 표에서 256 코드워드를 선택한다.

표 5. $n=2, 3, 4$ 일 때 각 트랙 수에 따른 MRLL-ITI 코드

n	R	#codeword	codeword patterns
2	8/14	288	0xxxx0, 1xxxx0, 0xxxx2, 1xxxx2
3	8/15	293	0xxx0, 1xxx0, 2xxx0, 4xxx0, 0xxx5, 1xxx5, 2xxx5, 4xxx5
4	8/16	303	0xx0, 1xx0, 2xx0, 4xx0, 5xx0, 8xx0, Axx0, 0xx9, 1xx9, 2xx9, 4xx9, 5xx9, 8xx9, Axx9,

표 6. 두 트랙 MRLL-ITI 코드

000010	000020	0000100	0000120	0000200	0000210	0001000
0001010	0001020	0001200	0001210	0002000	0002010	0002020
0002100	0002120	0010000	0010010	0010020	0010100	0010120
0010200	0010210	0012000	0012010	0012020	0012100	0012120
0020000	0020010	0020020	0020100	0020120	0020200	0020210
0021000	0021010	0021020	0021200	0021210	0100000	0100010
0100020	0100100	0100120	0100200	0100210	0101000	0101010
0101020	0101200	0101210	0102000	0102010	0102020	0102100
0102120	0120000	0120010	0120020	0120100	0120120	0120200
0120210	0121000	0121010	0121020	0121200	0121210	0200000
0200010	0200020	0200100	0200120	0200200	0200210	0201000
0201010	0201020	0201200	0201210	0202000	0202010	0202020
0202100	0202120	0210000	0210010	0210020	0210100	0210120
0210200	0210210	0212000	0212010	0212020	0212100	0212120
1000000	1000010	1000020	1000100	1000120	1000200	1000210
1001000	1001010	1001020	1001200	1001210	1002000	1002010
1002020	1002100	1002120	1010000	1010010	1010020	1010100
1010120	1010200	1010210	1012000	1012010	1012020	1012100
1012120	1020000	1020010	1020020	1020100	1020120	1020200
1020210	1021000	1021010	1021020	1021200	1021210	1200000
1200010	1200020	1200100	1200120	1200200	1200210	1201000
1201010	1201020	1201200	1201210	1202000	1202010	1202020
1202100	1202120	1210000	1210010	1210020	1210100	1210120
1210200	1210210	1212000	1212010	1212020	1212100	1212120
0000002	0000012	0000102	0000202	0000212	0001002	0001012
0001202	0001212	0002002	0002012	0002102	0010002	0010012
0010102	0010202	0010212	0012002	0012012	0012102	0020002
0020012	0020102	0020202	0020212	0021002	0021012	0021202
0021212	0100002	0100012	0100102	0100202	0100212	0101002
0101012	0101202	0101212	0102002	0102012	0102102	0120002
0120012	0120102	0120202	0120212	0121002	0121012	0121202
0121212	0200002	0200012	0200102	0200202	0200212	0201002
0201012	0201202	0201212	0202002	0202012	0202102	0210002
0210012	0210102	0210202	0210212	0212002	0212012	0212102
1000002	1000012	1000102	1000202	1000212	1001002	1001012
1001202	1001212	1002002	1002012	1002102	1010002	1010012
1010102	1010202	1010212	1012002	1012012	1012102	1020002
1020012	1020102	1020202	1020212	1021002	1021012	1021202
1021212	1200002	1200012	1200102	1200202	1200212	1201002
1201012	1201202	1201212	1202002	1202012	1202102	1210002
1210012	1210102	1210202	1210212	1212002	1212012	1212102

표 7. 세 트랙 MRLL-ITI 코드

00010	00020	00040	00050	00100	00120	00140
00200	00210	00240	00250	00400	00410	00420
00500	00520	01000	01010	01020	01040	01050
01200	01210	01240	01250	01400	01410	01420
02000	02010	02020	02040	02050	02100	02120
02140	02400	02410	02420	02500	02520	04000
04010	04020	04040	04050	04100	04120	04140
04200	04210	04240	04260	05000	05010	05020
05040	05050	05200	05210	05240	05250	10000
10010	10020	10040	10050	10100	10120	10140
10200	10210	10240	10250	10400	10410	10420
10500	10520	12000	12010	12020	12040	12050
12100	12120	12140	12400	12410	12420	12500
12520	14000	14010	14020	14040	14050	14100
14120	14140	14200	14210	14240	14250	20000
20010	20020	20040	20060	20100	20120	20140
20200	20210	20240	20250	20400	20410	20420
20500	20520	21000	21010	21020	21040	21060
21200	21210	21240	21250	21400	21410	21420
24000	24010	24020	24040	24050	24100	24120
24140	24200	24210	24240	24250	25000	25010
25020	25040	25050	25200	26210	25240	25250
40000	40010	40020	40040	40050	40100	40120
40140	40200	40210	40240	40250	40400	40410
40420	40500	40520	41000	41010	41020	41040
41050	41200	41210	41240	41250	41400	41410
41420	42000	42010	42020	42040	42050	42100
42120	42140	42400	42410	42420	42500	42620
00005	00025	00105	00125	00205	00405	00425
00505	00525	01005	01025	01205	01405	01425
02005	02025	02105	02125	02405	02425	02505
02525	04005	04025	04105	04125	04205	05005
05025	05205	10005	10025	10105	10125	10205
10405	10425	10505	10525	12005	12025	12105
12125	12405	12425	12505	12525	14005	14025
14105	14125	14205	20005	20025	20105	20125
20205	20405	20425	20505	20625	21005	21025
21205	21405	21425	24005	24025	24105	24125
24205	25005	25025	25205	40005	40025	40105
40125	40205	40405	40425	40505	40525	41005
41025	41205	41405	41425	42005	42025	42105
42125	42405	42425	42505	42525		

표 8. 네 트랙 MRLL-ITI 코드

0010	0020	0040	0050	0080	0090	00A0
0100	0120	0140	0180	01A0	0200	0210
0240	0250	0280	0290	0400	0410	0420
0480	0490	04A0	0500	0520	0580	05A0
0800	0810	0820	0840	0850	0900	0920
0940	0A00	0A10	0A40	0A50	1000	1010
1020	1040	1050	1080	1090	10A0	1200
1210	1240	1250	1280	1290	1400	1410
1420	1480	1490	14A0	1800	1810	1820
1840	1850	1A00	1A10	1A40	1A50	2000
2010	2020	2040	2050	2080	2090	20A0
2100	2120	2140	2180	21A0	2400	2410
2420	2480	2490	24A0	2500	2520	2580
25A0	2800	2810	2820	2840	2850	2900
2920	2940	4000	4010	4020	4040	4050
4080	4090	40A0	4100	4120	4140	4180
41A0	4200	4210	4240	4250	4280	4290
4800	4810	4820	4840	4850	4900	4920
4940	4A00	4A10	4A40	4A50	5000	5010
5020	5040	5050	5080	5090	50A0	5200
5210	5240	5250	5280	5290	5800	5810
5820	5840	5850	5A00	5A10	5A40	5A50
8000	8010	8020	8040	8050	8080	8090
80A0	8100	5120	8140	8180	81A0	8200
8210	8240	8250	8280	8290	8400	8410
8420	8480	8490	84A0	8500	8520	8580
85A0	A000	A010	A020	A040	A050	A080
A090	A0A0	A100	A120	A140	A180	A1A0
A400	A410	A420	A480	A490	A4A0	A500
A520	A580	A5A0	0009	0029	0049	0109
0129	0149	0209	0249	0409	0429	0509
0529	0809	0829	0849	0909	0929	0949
0A09	0A49	1009	1029	1049	1209	1249
1409	1429	1809	1829	1849	1A09	1A49
2009	2029	2049	2109	2129	2149	2409
2429	2509	2529	2809	2829	2849	2909
2929	2949	4009	4029	4049	4109	4129
4149	4209	4249	4809	4829	4849	4909
4929	4949	4A09	4A49	5009	5025	5049
5209	5249	5809	5829	5849	5A09	5A49
8009	8029	8049	8109	8129	8149	8209
8249	8409	8429	8509	8529	A009	A029
A049	A109	A129	A149	A409	A429	A509
			A529			

IV. 결 론

이 논문은 트랙간 간섭(ITI)을 완화시키는 다른 종류의 다중트랙 RLL 코드를 제안하였다. 신호검출의 측면에서 ITI 문제를 다루기보다는 원천적으로 ITI가 없는 코드를 구현하는 방법을 모색하였다. 직관적으로 구할 수 있는 것들의 인코딩 및 디코딩 테이블을 구하였고, 직관적으로 구할 수 없는 경우를 위해 트랙의 수가 $n = 2, 3, 4$ 일 때 각각의 코드워드 집합을 구하였다. 대부분 모든 시스템이 바이트 단위로 데이터를 전송하므로 한 바이트 입력 데이터를 표시할 수 있도록 각 코드워드 집합은 256 코드워드보다 많도록 정하였다.

참 고 문 헌

1. M. Marcellin and H. Weber, "Two-dimensional modulation codes," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 10, pp. 254-266, January 1992.
2. R. Swanson and J. Wolf, "A new class of two-dimensional RLL recording codes," IEEE Trans. on Magnetics, vol. 28, no. 6, pp. 3047-3416, Nov. 1992.
3. E. K. Orcutt and M. Marcellin, "Redundant multi-track (d,k) codes," IEEE Trans. on Information Theory, vol. 39, no. 5, pp. 1744-1750, Sep. 1993.

