

Sync 코드워드의 패리티정보를 이용한 데이터변조 및 DC 억압방법

김진한, 심재성, 정규해, 박현수
삼성전자 디지털미디어연구소

The Coding Method Using the Parity of Sync Codeword

Jin-Han Kim, Jae-Seong Shim, Kiu-hae Jung, Hyun-Soo Park
Digital Media R&D Center, Samsung Electronics Co., LTD
E-mail : kjhdm@samsung.com

Abstract

본 논문에서는 DC 억압능력이 없거나 부족한 코드에 만족할만한 DC 억압능력을 갖도록 하기 위한 멀티모드코드 방식을 제안한다. 제안한 멀티모드코드는 데이터열의 다중화를 위해 Pseudo Scrambling Technique를 사용하며, 다중화된 데이터열의 변조를 위해 DC-free RLL(d, k) Code를 사용하는 특징을 가진다. 제안한 방법에서는 Sync 코드워드의 패리티를 다중화 정보로 사용하여 입력데이터를 2개의 데이터 열로 다중화하고, 2개로 다중화된 데이터 열에 대해 DC-free RLL(d, k) Code를 사용하여 코드워드로 변환하며, 코드워드로 변환된 2개의 코드워드 열에 대해 DC 성분이 적은 코드워드 열 하나를 선택하여 변조 스트림으로 출력한다. 본 논문에서는 Sync 코드워드의 패리티를 다중화 정보로 사용하여 별도의 Redundancy를 추가하지 않고 DC 억압능력을 향상시킬 수 있었다.

I. 서론

데이터가 전송선을 통해서 전송되거나 기록 매체에 기록될 때, 이 데이터가 전송 또는 기록 전에 전송선 또는 기록 매체의 특성에 맞는 코드로 변조된다. 특히 자기 디스크, 광 디스크 또는 광자기 디스크와 같은 기록매체에서는 변조 방식으로 블록 부호화 방식이

많이 사용된다. 블록 부호화 방식은 m 비트의 데이터워드를 적절한 부호화 방식에 따라 n 비트의 코드워드로 변환한다. 블록 부호화 방식에 의해 변조된 코드는 run length limited(d, k; m, n) 코드로 표현된다. RLL(Run Length Limited) 코드에서 (d,k) 제한은 변조된 NRZ(Non Return to Zero) 코드의 '1'과 '1' 사이에 연속되는 '0'의 수가 최소 d에서 최대 k가 되도록 하는 것이다. 그리고, 광디스크와 같은 기록매체에 변조된 코드의 비트 열을 기록하기 위해서는 NRZ 코드를 NRZI(Non Return to Zero Inversion) 코드로 변환해야 하는데, NRZ 코드의 '1'은 신호의 반전을 의미하지만 '0'은 신호의 비 반전을 의미한다. NRZI 변조에서 생긴 채널 비트 열의 '1' 및 '0'을 각각 +1 및 -1의 값으로 할당하여 비트 열의 값을 합계함으로써 DSV(Digital Sum Value)값을 얻을 수 있고, DSV의 절대값의 크기에 의해 직류 성분을 알 수 있다. 그런데, 변조에서 생긴 코드가 직류 성분을 포함하게 되면 디스크 드라이브의 서보 제어시 발생된 트래킹 오류와 같은 다양한 오류 신호가 변화하기 쉬워지거나 지터(jitter)가 쉽게 발생된다[1]. 그러므로, 데이터 전송과 저장에 위한 변조 코드의 매우 중요한 특성 중의 하나는 변조된 코드워드 열에 대한 DC(direct current)성분의 효율적인 억압 능력이다. 일반적으로 DC 억압능력이 없거나 부족한 코드에 만족할만한 DC 억압능력을 갖도록 하는 방법은 DC 제어 비트의 사용[2], Dual Code의 사용[3], Multimode Code의 사용[4], [5] 등을 이용하여

Redundancy 를 부가함으로써 코드워드 열의 DC 성분을 효율적으로 제어하는 것이다. 본 논문에서는 Sync 코드워드의 패리티 정보를 이용하여 Redundancy 를 부가하지 않으면서 변조된 코드워드 열의 DC 억압성을 향상시킨 멀티모드코드 방식을 제안한다.

II. Coding Scheme

본 논문에서는 DC 억압능력이 없거나 부족한 코드에 별도의 Redundancy 를 사용하지 않고 DC 억압능력을 향상시킨 멀티모드코드 방식을 제안한다. 제안한 멀티모드코드 방식은 입력 데이터열의 다중화를 위해 Sync 코드워드의 패리티를 다중화 정보로 이용하는 Pseudo Scrambling Technique 를 사용하며, 다중화된 데이터열의 변조를 위해 DC-free RLL(d, k) code 를 사용하는 특징을 갖는다.

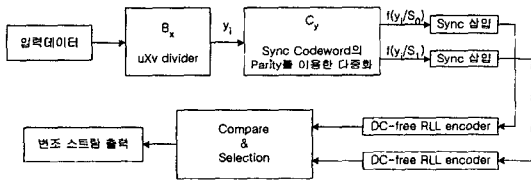


그림 1. 변조과정

그림 1 은 본 논문에서 제안하는 Pseudo Scrambling 방식과 DC-free RLL(d, k) code 를 이용한 멀티모드코드 방식의 변조과정을 보여준다. 입력 데이터 열을 $\underline{x}=(x_0, x_1, \dots, x_{k-1})$ 로 표시하였고(식 1), 입력 데이터 열을 u 심볼 크기로 나누어서 vXu 가 되도록 만든다(식 2). u 심볼 크기를 갖는 각각의 데이터 열에 대해 1 비트의 다중화 정보 s 를 이용하여 2 개의 데이터 열로 다중화하고 다중화 정보에 따라 Pseudo Scrambling 방식으로 데이터 열을 랜덤 데이터로 변환한다. 랜덤 데이터로의 변환이 끝나면 하나의 데이터 열 y_i 에 대해 2 개로 다중화된 서로 다른 데이터 열이 만들어진다(식 3,4). 2 개로 다중화된 랜덤 데이터 열에 대해 각각 다중화 ID 가 포함된 Sync 코드워드를 부여하고 랜덤 데이터 열에 대해 DC-free RLL(d, k) Code 를 사용하여 코드워드 열로 변환한다. 코드워드로 변환된 2 개의 코드워드 열 중에서 DC 성분이 적은 1 개의 코드워드 열을 선택하여 변조 스트림으로 출력한다.

$$\underline{x} = (x_0, x_1, \dots, x_{k-1}) : \text{입력 데이터 열} \quad \text{식(1)}$$

$$\underline{B}_x = \begin{Bmatrix} x_{0,0}, x_{0,1}, \dots, x_{0,u-1} \\ x_{1,0}, x_{1,1}, \dots, x_{1,u-1} \\ \dots \\ x_{i,0}, \dots, x_{i,j}, \dots, x_{i,u-1} \\ \dots \\ x_{v-1,0}, x_{v-1,1}, \dots, x_{v-1,u-1} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} y_0 \\ y_1 \\ \dots \\ y_i \\ \dots \\ y_{v-1} \end{Bmatrix} \quad \text{식(2)}$$

여기서 $x_{i,u} = x_{i \times u + j}$

$$\underline{C}_y = (\underline{C}_0, \underline{C}_1, \dots, \underline{C}_j, \dots, \underline{C}_{v-1}) \quad \text{식(3)}$$

$$\underline{C}_j = \begin{Bmatrix} S_0, y_{i,0}^0, y_{i,1}^0, \dots, y_{i,j}^0, \dots, y_{i,u-1}^0 \\ S_1, y_{i,0}^1, y_{i,1}^1, \dots, y_{i,j}^1, \dots, y_{i,u-1}^1 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f(y_i / S_0) \\ f(y_i / S_1) \end{Bmatrix} \quad \text{식(4)}$$

제안한 방법에서는 변조 전 데이터워드의 비트 수를 m이라 하고 변조 후 코드워드의 비트 수를 n이라 할 때 코드율(m/n)을 떨어뜨리지 않으면서 변조 후의 코드워드 스트림에 포함되어 있는 DC성분을 보다 효율적으로 억압할 수 있도록 Sync 코드워드의 패리티를 다중화 정보로 이용하여 데이터 열을 다중화하였다. Sync 코드워드는 Sync임을 알 수 있는 Sync Body와 입력 데이터 열을 다중화하는 데 사용되는 다중화 정보용 ID로 구분된다. Sync Body는 Sync만이 갖게 되는 특수 패턴을 의미하며 특수 패턴은 일 예로 다른 코드워드에서는 없는 최장의 run length를 갖는 것이다. Sync 코드워드내의 다중화 ID는 전체 Sync 코드워드내의 비트 1의 개수를 짝수 또는 홀수 개로 만드는 패리티 조정 역할을 한다. 다중화 ID는 Sync 코드워드가 여러 개인 경우에 특정 Sync 코드워드임을 구분하기 위한 용도로 사용되는 Sync ID와 함께 사용될 수도 있다. 그림 2는 Sync 코드워드가 구성되는 예를 보여준다.

- 1) Sync 코드워드 = Sync Body + 다중화 ID(Parity Control)
- 2) Sync 코드워드 = Sync Body + Sync ID + 다중화 ID(Parity Control)
- 3) Sync 코드워드 = Sync Body + Sync 및 다중화 ID(Parity Control)

그림 2. Sync 코드워드의 구성 예

그림 1 에서 입력 데이터 열의 다중화를 위한 다중화 정보를 0 또는 1 로 하였을 때 이에 대응하는 Sync Body 및 다중화 ID 는 패리티가 각각 짝수 또는 홀수인 Sync 코드워드로 한다. 그림 3 는 다중화 정보를 0 또는 1 로 하였을 경우 입력 데이터에 대해 2 가지의 다중화된 데이터 열을 생성하는 과정을 보여준다. 입력 데이터 열을 다중화하기 위해서 q 심볼 간격으로 다중화 정보 0 또는 1 로 입력 데이터의 1 비트와 XOR 연산을 실행하여 다중화된 데이터 열을 생성하였다.

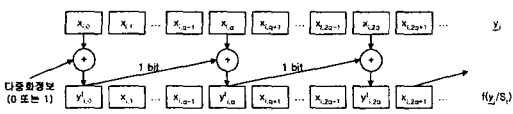


그림 3. 다중화 정보 0 또는 1 에 의한 다중화 방식

제안한 방법에서는 다중화된 데이터 열을 RLL(d, k) 변조코드로 변환하기 위해 주 변환코드와 DC 제어용 보조 변환코드로 구성된 DC-free RLL(d, k) Code 를 사용하였다. 주 변환코드그룹은 변조 전 데이터워드의 비트 수가 m 일 경우, RLL(d, k)를 만족하는 2^m 개의 코드워드로 구성되고, DC 제어용 보조 변환코드그룹은 RLL(d, k) 를 만족하며 주 변환코드그룹에 사용하고 남겨진 코드워드와 DC 제어를 위해 추가된 코드워드로 구성된다. DC-free RLL(d, k) Code 에서 동일한 데이터에 대한 주 변환코드그룹과 DC 제어용 보조 변환코드그룹의 코드워드는 패리티가 서로 반대가 되도록 구성하여 DC 제거가 좀 더 효율적으로 이루어 질 수 있도록 하였다.

III. Simulation Results

본 논문에서 제안한 멀티모드코드 방법의 DC 억압 성능을 검증하기 위해 변조된 스트림의 정규화된 주파수 성분에 대한 PSD(Power Spectral Density)를 시뮬레이션 하였다. 본 논문에서 제안한 Pseudo Scrambling 방법은 Sync 코드워드의 패리티를 다중화 정보로 이용하여 입력 데이터 열을 다중화 한다. 입력 데이터 열에 대해 91 바이트 크기의 데이터마다 Sync 코드워드를 삽입하고, 그림 3 과 같이 삽입된 Sync 코드워드의 패리티 정보 0 또는 1 를 이용하여 최상위 1 비트에 대해서 5 바이트 간격으로 XOR 연산을 실행하여 입력 데이터 열에 대해 2 개의 다중화된 데이터 열을 생성하였다. 제안한

방법에서는 다중화된 데이터 열을 DC-free RLL(1,7) Code 를 사용하여 코드워드로 변환하고, 변환된 2 개의 코드워드 열에서 DC 성분이 적은 변조 스트림을 선택 하였다. 제안한 방법에서 사용한 DC-free RLL(1,7) Code 는 변조 전 데이터워드의 비트 수 m=8 이고, 변조 후 코드워드의 비트 수 n=12 이며, 표 1 과 표 2 로부터 형성 되는 주 변환코드그룹과 보조 변환코드그룹으로 이루어진 변조코드이다. 주 변환코드그룹은 표 1 과 같이 3 개의 state 로 이루어지고 각 state 는 256 개의 코드워드로 구성되며, 보조 변환코드그룹은 3 개의 state 로 이루어지고 표 2 의 DC 제어용 추가코드그룹과 주 변환코드그룹에서 사용하고 남겨진 코드워드를 이용하여 각 state 는 15, 40, 51 개의 코드워드로 구성된다. 위와 같이 구성된 주 변환코드그룹과 보조 변환코드그룹의 코드워드는 동일한 입력 데이터에 대한 패리티가 서로 반대가 되도록 한다. 표 1 과 표 2 의 words IN 은 코드워드의 LSB 로부터 MSB 방향으로 연속하는 0 의 개수에 의해 코드워드의 다음 state 를 표현하고, words OUT 은 코드워드의 MSB 로부터 LSB 방향으로 연속하는 0 의 개수에 의해 코드워드의 현재 state 를 표현한다. fan-out 은 현재 state 에 포함된 코드워드의 개수를 나타낸다[6].

표 1. 주 변조용 코드그룹

state	words IN	words OUT	fan-out
1	-10^p p=0	$ 0^q1-10^r $ 1 q 7,0 r 5 $ 101-10^r $ 0 r 5	261
2	-10^p 1 p 3	$ 0^q1-10^r $ 0 q 4,0 r 5, but not $ 101-10^r $	265
3	-10^p 4 p 5	$ 0^q1-10^r $ 0 q 2,0 r 5	264

표 2. DC 제어를 위해 추가된 코드그룹

state	words IN	words OUT	fan-out
1	-10^p p=0	$ 0^q1-10^r $ 1 q 7,6 r 7 $ 101-10^r $ 6 r 7	10
2	-10^p 1 p 3	$ 0^q1-10^r $ 0 q 4,6 r 7, but not $ 101-10^r $ $ 0^q1-10^r $ 5 q 6,0 r 5	31
3	-10^p 4 p 7	$ 0^q1-10^r $ 0 q 2,6 r 7 $ 0^q1-10^r $ q=3,0 r 5	43

그림 4는 Sync 코드워드를 구성하는 예를 든 그림 2의 첫 번째 경우인 Sync Body와 다중화 ID를 사용하여 Sync 코드워드를 구성하는 한가지 예이다. 그림 4에서 예를 든 Sync 코드워드는 $d = 1, k = 7$ 인 변조코드에서 Sync Body는 k 조건을 위반하는 Run Length = 8을 사용하여 Sync를 구분하게 하였고 Sync 코드워드내의 패리티를 조정하기 위한 용도로 패리티 조정용 비트(x 로 표시)가 포함되어 있다. 그림 4의 Sync 코드워드에서 다중화 ID의 패리티 Control용 비트 x 는 Sync 코드워드내의 비트 1의 수를 짝수 또는 홀수 개로 만드는 역할을 한다.

Sync 코드워드		패리티
Sync Body	다중화 ID	
010000000010000000010	010x0	$x=1$, 홀수 $x=0$, 짝수

그림 4. Sync 코드워드

그림 5는 그림 4에서 예를 든 Sync 코드워드를 사용하여 입력 데이터열의 91 바이트마다 Sync 코드워드를 삽입하고, Sync 코드워드의 패리티 정보로 91 바이트 크기의 입력 데이터 열에 대해 2 개의 다중화된 랜덤 데이터 열을 생성하며 생성된 다중화 열을 DC-free RLL(1,7) Code 로 변환하여 DC 성분이 적은 변조 스트림을 선택했을 경우의 DC 억압능력이 향상된 정도를 보여준다. 입력 데이터에 별도의 Redundancy 를 추가하지 않고 Sync 코드워드의 패리티 정보를 이용하여 다중화했을 경우가 다중화 하지 않았을 경우보다 약 4dB 정도 DC 억압효과가 더 있었다.

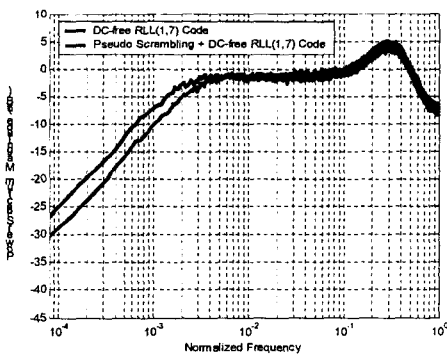


그림 5. Sync 코드워드로 데이터를 다중화했을 경우의 DC 억압성능 개선 효과

IV. Conclusion

본 논문에서는 Redundancy 를 추가하지 않으면서 DC 억압성능을 향상시키는 방법에 대해서 제안하였다. 제안한 방법에서는 Sync 코드워드의 패리티를 다중화 정보로 이용하여 Redundancy 를 추가하지 않고 입력 데이터 열을 다중화하며, 다중화된 랜덤 데이터 열에 대해 DC-free RLL(d, k) Code 로 변환하였다. 시뮬레이션 결과 제안한 Sync 코드워드의 패리티 정보를 이용한 멀티 모드 코드방식이 Redundancy 를 추가하지 않으면서 DC 억압성능을 향상시키는 데 있어서 적합하다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] K.A.S. Immink, J.A.H. Kahlman, G.J.V.D. Eenden, T. Nakagawa, Y. Shinpuku, T. Naohara, K. Nakamura, EP Patent 1,000,467, May 2000
- [2] J.A.H. Kahlman and K.A.S. Immink, US Patent 6,225,921, May 2001
- [3] JS Shim, YK Won, and JW Ko, US Patent 6,281,815, Aug. 2001
- [4] K.A.S. Immink, "Codes for Mass Data Storage Systems," Shannon Foundation Publishers, 1999
- [5] Yoshihiro Hori, Hisashi Matsuyama, Akiomi Kunisa, Nobuo Itoh, Seiichiro Takahashi, Toshiaki Hioki, Kenji Asano, Noboru Mamiya, Yoshiharu Uchihara, Kenji Nakao, Satoshi Sumi, Kenji Torazawa, US Patent 6,198,710, Mar. 2001
- [6] Wim Coene, "Combi-Codes for DC-Free RunLength-Limited Coding," IEEE Trans. Cons. Electr., Vol. 46, No. 4, Nov. 2000