

Memoryless 최소대역폭 2진 선로부호 MB58의 설계 및 분석

正會員 金正煥*, 正會員 金大榮**

Design and Analysis of a Memoryless Minimum Bandwidth Binary Line Code MB58

Jeong Hwan Kim*, Dae Young Kim** *Regular Members*

要 約

새로운 (5,8)블럭 2진 선로부호를 제안하였다. 제안된 선로부호 MB58은 무직류(DC-free)성질 및 유한 연속장(runlength limited) 성질을 만족할 뿐만아니라, 대역폭이 나이퀴스트 주파수로 제한되므로 대역폭 효율이 개선된다. 또한 이 부호는 memoryless 부호이고, 오류발생을 검출해 낼 수 있는 장점이 있으며 부호규칙이 간단하다.

제안된 선로부호에 대한 전력스펙트럼에서 DC($f=0$) 및 나이퀴스트 주파수($f=1/2T_s$)에서 전력 영점이 존재함을 시뮬레이션을 통해 확인하였으며 눈 모양의 시뮬레이션을 통해 눈이 충분히 크게 됨을 확인하였다.

ABSTRACT

A(5, 8) block binary line code is proposed. The new line code called MB58 has the properties of being dc-free and runlength-limited, and it is strictly bandwidth-limited to the Nyquist frequency, such that bandwidth efficiency is improved. This new code is a memoryless code with a simple decoding rule and capability of error monitoring.

The power spectrum and the eye pattern of the new code are obtained by simulation, wherein spectral nulls at DC($f=0$) and Nyquist frequency ($f=1/2T_s$) are clearly identified.

I. 서 론

*國防科學研究所

Agency for Defense Development

**忠南大學校 工科學 電子工學科
Dept. of Elec. Eng. Chung Nam Univ.
論文番號 : 92-107 (接受1992. 3. 5)

최근에 광통신이 발달함에 따라 디지털 전송시스템의 선로부호는 광소자의 비선형성에 적합한 2진 선

로부호가 주목을 받고있다. 2진 선로부호는 3진 선로부호에 비해 눈이 크게 열리고 하드웨어 구현이 간단하며 검출이 용이하지만 전송되는 심벌의 갯수가 데이터의 수 보다 많거나 부가비트가 주어지므로 대역폭의 소모가 많다. 따라서 최소대역폭 성질^[1-4]을 이용하여 대역폭 효율을 좋게하거나 부가비트가 1개인 형태, 즉 $nB(n+1)B$ 의 블록부호로 부호화 효율을 높여 대역폭 소모를 줄일 수 있다. 여기서 n 이 클수록 부호화 효율($n/(n+1)$)이 좋아지지만 구현이 복잡해지므로 적절한 수를 선정하여야 한다. 그 중 n 이 5일 때의 블록부호 5B6B와 5B7B ($nB(n+2)B$)에서는 선로부호의 주요성질인 무직류 성질^[1, 5] 및 최소대역폭 성질을 동시에 만족하는 부호를 찾지 못하였다. 이에 부호화 효율이 약간 떨어지나 무직류 성질, 최소대역폭 성질 및 유한연속장 성질^[6]을 동시에 만족하는 5B8B를 생각하게 되었다.

본 논문은 memoryless 특성을 갖는 최소대역폭 2진 선로부호 MB58(Minimum Bandwidth 5B8B)에 관한 연구로서 BUDA 셀에 근거한 설계기법^[7]을 이용하여 설계하였다. 설계된 MB58은 부호화 과정에서 1개의 상태를 갖는 memoryless 부호이며 무직류 성질, 최소대역폭 성질 및 유한연속장 성질을 동시에 만족하고 수신측에서 오류발생을 검출해 낼 수 있는 장점이 있다. 이러한 장점들을 갖는 MB58의 성능평가에 전력스펙트럼 및 눈모양을 시뮬레이션을 통해 그 성능을 확인하였다.

본 논문의 구성은 먼저 II 장에서 BUDA 셀을 간략히 설명하고 III 장에서는 MB58을 설계하였다. IV 장에서는 MB58의 성능평가를 위하여 전력스펙트럼 및 눈모양을 시뮬레이션을 통해 무직류 성질 및 최소대역폭 성질을 만족함을 확인하였으며 V 장에서는 본 연구의 결론을 맺었다.

II. BUDA 셀

최소대역폭 선로부호의 설계를 위해 식(1)과 같이 정의된 선로부호의 시스템 파라메타인 alternate sum variation(ASV)를 유한하게 하면 나이퀴스트 주파수($f_N = 1/2T_s$)에서 전력 영점이 존재하는 최소대역폭 성질이 보장될수 있다.^[1-4]

$$ASV = \max_{I, J, \{Y_n\}} \left| \sum_{n=1}^J (-1)^n Y_n \right| \quad (1)$$

여기서, I, J 는 $I < J$ 인 임의의 정수이고, Y_n 은 선로부호기의 출력 심벌시퀀스이다.

또, 무직류 성질을 갖는 선로부호의 설계를 위해 식(2)와 같이 정의된 선로부호의 또 다른 시스템 파라메타인 digital sum variation(DSV)를 유한하게하면 $DC(f=0)$ 에서 어떠한 전력성분도 갖지않는 무직류성질이 보장될 수 있다.^[1, 5]

$$DSV = \max_{I, J, \{Y_n\}} \left| \sum_{n=1}^J Y_n \right| \quad (2)$$

식(1) 및 식(2)로 부터 최소대역폭 성질 및 무직류 성질을 동시에 만족하는 선로부호를 설계하기 위하여 DSV 및 ASV가 각각 1인 심벌시퀀스 중 '1100'에 대하여 살펴본다. 식(2)의 DSV는 식(3)으로 정의된 RDS(running digital sum)의 최대 변화값으로서, RDS를 계산하는 과정에서 구할 수 있다.^[11]

$$RDS = \sum_{n=1}^J Y_n \quad (3)$$

식(3)에서 논리 심벌 집합 {0, 1}을 물리적 심벌 집합 $\{-1/2, 1/2\}$ 로 치환할 때^[11] 심벌시퀀스 '1100'의 RDS는 그림 1과 같이 시퀀스의 순서가 진행 됨에 따라 $0 \rightarrow 1/2 \rightarrow 1 \rightarrow 1/2 \rightarrow 0$ 로 변화한다. 또한 식(1)의 ASV는 식(4)로 정의된 RAS(running alternate sum)의 최대 변화값이다. 심벌시퀀스 '1100'의 RAS는 시퀀스의 순서가 진행됨에 따라 그림 1에서 $0 \rightarrow (-1/2) \rightarrow 0 \rightarrow 1/2 \rightarrow 0$ 로 변화함을 알 수 있다.

$$RAS = \sum_{n=1}^J (-1)^n Y_n \quad (4)$$

그림 1로 부터 '1100'의 DSV 및 ASV가 1이 됨을 알 수 있다. 한편, RDS를 X축으로 하고, RAS를 Y축으로하여 RDS와 RAS 결과값의 변천과정을 X-Y 좌표계에 그려보면 그림 2와 같다.

그림 2의 셀은 DSV 및 ASV가 1이 되므로 BUDA(binary unit DSV and ASV)셀이라 한다. BUDA 셀은 다이아몬드 모양을 가지며 오른쪽으로 진행되는 링크(link)는 '1', 왼쪽으로 진행되는 링크는 '0'으로 표시된다. 또한 시작한 노드로 되돌아오므로 RDS 및 RAS는 0이다. 그림 2(a)의 BUDA 셀은 반

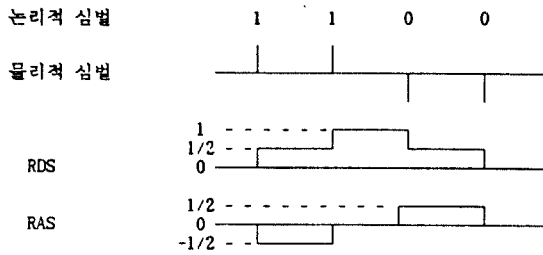
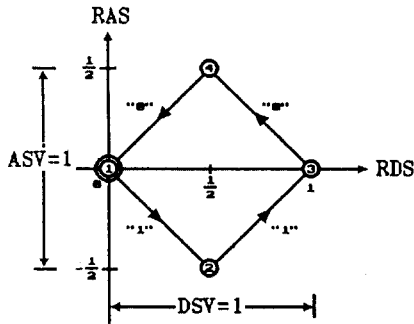
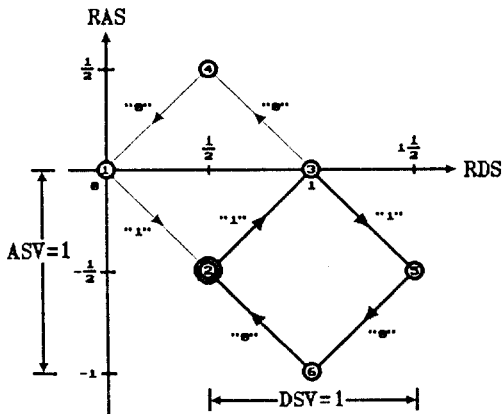


그림 1. '1100'의 RDS 및 RAS
Fig. 1. RDS and RAS for '1100'



(a)노드 1에서 시작



(b)노드 2에서 시작

그림 2. '1100'의 궤적
Fig. 2. Trajectory of '1100'

시계 방향(CCW)으로 진행하므로 CCW BUDA 셀 이라 하고 그림 2(b)와 같이 노드 2에서 시작하는 BUDA 셀은 시계방향(CW)으로 진행하고 있으므로 CW BUDA 셀이라 한다. BUDA 셀은 어느 노드에서도 시작할 수 있으며 DSV 및 ASV가 각각 1로 유한하므로 이러한 성질을 이용하여 유한개의 CW BUDA 셀과 CCW BUDA 셀을 적절히 접속하여 설계자가 원하는 BUDA 셀 스택을 만들어 설계하면 그 선로부호는 DSV 및 ASV가 유한하게 되어 최소대역폭 성질과 무직류성질을 갖게 된다.

III. MB58 선로부호 설계

MB58의 선로부호는 입력되는 원천 데이터를 5비트씩 블록화하여 임의의 8비트의 심벌시퀀스를 만들어 내는 최소대역폭 2진 선로부호이다. 그러므로 MB58 부호는 5비트의 입력 시퀀스에 대하여 8비트의 출력 심벌시퀀스를 만들어야 하므로 임의의 한 상태에서 2^5 가지의 입력에 대하여 서로 다른 고유의 출력 심벌시퀀스가 존재하여야 한다.

이러한 요구조건하에서 BUDA 셀을 이용하여 14개의 BUDA 셀을 그림 3과 같이 배열하여 한 가운데 노드를 상태 S1으로 정한다. 상태 S1에서 시작하여 8개의 링크를 거쳐 상태 S1으로 되돌아 올 수 있는 각각 다른 길(path)이 2^5 개 이상 존재하므로 1개의 상태로써 BUDA 셀 스택을 완성할 수 있게 된다. 그림 3의 상태 S1에서 심벌시퀀스, 00001111 및 11110000가 8개의 링크를 거쳐 상태 S1으로 되돌아 올 수 있도록 BUDA 셀을 2개 추가하면 상태 1개를 갖는 BUDA 셀 스택이 만들어질 수 있다. 그러나, 이 경우에는 그림 3에 비하여 DSV가 1증가하고 유한연속장이 8로 커지게 되므로 무직류 성질 및 유한연속장 성질을 고려하여 사용하지 않았다. 그림 3의 BUDA 셀 스택은 DSV 및 ASV가 각각 3과 4로 유한하므로 무직류 성질 및 최소대역폭 성질을 만족하여 상태가 1개 뿐이므로 memoryless BUDA 셀 스택이 된다.

이 BUDA 셀 스택으로부터 부호화하면 그 부호는 memoryless 부호가 되어 앞 상태와 무관하게 데이터를 부호화할 수 있으므로 여러가지 장점을 갖는다. 이 memoryless 부호는 상태 수가 복수인 부호에 비하여 상태를 판별하기 위한 과정이 생략되므로 처리 시간이 단축되어 고속 전송에 유리하다. 또 상태가 하나 뿐이므로 입력에 대응되는 출력 심벌시퀀스를 복

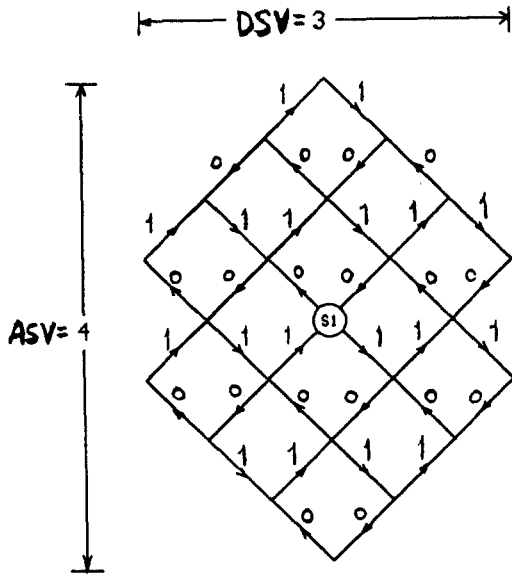


그림 3. MB58 부호의 BUDA 셀 스택
Fig. 3. BUDA cell stack of MB58 code

수로 기억할 필요가 없으므로 메모리 용량이 줄어든다.

그림 3에서 8비트로 구성된 심벌시퀀스의 RDS 및 RAS는 모두 0이므로 이들을 2개의 서로 다른 입력에 대하여 유일성을 보장하기 위하여 다음과 같은 대응규칙을 적용한다.

- 1) (RDS, RAS)가 (0,0)인 32개의 심벌시퀀스를 선택하여 입력 데이터 블록에 임의로 32개 지정한다.
- 2) 동일 심벌이 연속적이거나 직류성분을 누적할 가능성이 있는 출력심벌은 제외시킨다.
- 3) 저주파성분을 억제할 뿐만 아니라 전송선로의 주파수특성에 적합하도록 전력스펙트럼의 모양을 관측하면서 대응을 조절한다.
- 4) 상태에 무관하게 원상으로서의 복호가 가능하도록 대응시킨다.

위에서 제시된 대응규칙 및 그림 3의 BUDA 셀 스택으로부터 설계된 MB58의 부호책은 표 1과 같다. MB58의 선로부호에 사용된 {RDS, RAS}의 조합은 모두 (0,0)이며, 상태천이도의 일부를 표시하면 그림 4와 같다.

MB58의 부호책 표 1로부터 심벌시퀀스가 연속될 때 동일 심벌의 최대 길이는 01111000, 00011011 혹은 10000111, 111100100 일때 6으로 제한된다. 이는 수신

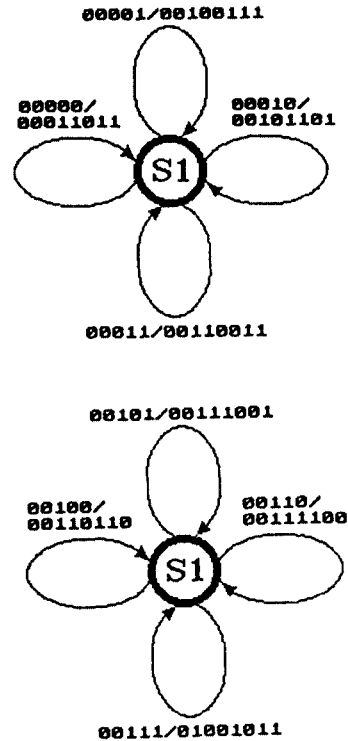


그림 4. MB58의 상태천이도
Fig. 4. State transition diagram of MB58

측에서 자체 클럭 동기를 위해 충분한 타이밍 정보의 추출이 가능하다. 따라서 MB58은 유한연속장 성질을 만족한다.

또한 수신측에서 원천 데이터를 찾기 위하여 수신된 심벌시퀀스를 8비트씩 블록화하여 표 1의 부호책에 따라 원천 데이터를 복원할 수 있으므로 표 1은 부호책인 동시에 복호책도 될 수 있다. 예를들면, 수신된 심벌이 00011011이면 00000으로 복원되고, 00100111이면 00001로 복원된다. 부호화된 심벌시퀀스는 32종류로 복호법칙이 간단하다. 부호책 표 1을 적용한 MB58의 선로부호는 상태에 무관하게 원상으로서의 복호가 가능하다.

또한 수신측에서 MB58의 오류검출은 아주 쉽게 구현할 수 있다. MB58의 RAS 및 RDS는 모두 0이므로 RAS 및 RDS를 검출하거나, 사용하지않은 심벌시퀀스가 나타나면 오류로 판정할 수 있다. 또한 연속장이 6으로 제한되어 있으므로 이를 이용하여도 오류를 검출할 수 있다.

〈표 1〉 MB58 부호의 부호책

순서	입 력	출력시퀀스	RAS, RAS	순서	입 력	출력시퀀스	RAS, RDS
1	00000	00011011	0 , 0	17	10000	10000111	0 , 0
2	00001	00100111	0 , 0	18	10001	10001101	0 , 0
3	00010	00101101	0 , 0	19	10010	10010011	0 , 0
4	00011	00110011	0 , 0	20	10011	10010110	0 , 0
5	00100	00110110	0 , 0	21	10100	10011001	0 , 0
6	00101	00111001	0 , 0	22	10101	10011100	0 , 0
7	00110	00111100	0 , 0	23	10110	10100101	0 , 0
8	00111	01001011	0 , 0	24	10111	10110001	0 , 0
9	01000	01001110	0 , 0	25	11000	10110100	0 , 0
10	01001	01011010	0 , 0	26	11001	11000011	0 , 0
11	01010	01100011	0 , 0	27	11010	11000110	0 , 0
12	01011	01100110	0 , 0	28	11011	11001001	0 , 0
13	01100	01101001	0 , 0	29	11100	11001100	0 , 0
14	01101	01101100	0 , 0	30	11101	11010010	0 , 0
15	01110	01110010	0 , 0	31	11110	11011000	0 , 0
16	01111	01111000	0 , 0	32	11111	11100100	0 , 0

IV. 성능 평가

선로부호의 주요 성능평가 기준으로 적용되고있는 전력스펙트럼은 전송선로의 주파수특성과 직접 관련이 있으며, 수신측에서의 표분화 시각 변화에 대한 민감도는 눈모양의 열린 정도 즉, 눈폭으로 비교 평가할 수 있다.

본 논문에서는 MB58의 전력스펙트럼과 눈모양의 크기에 관하여 시뮬레이션을 통하여 선로부호의 특성을 확인하였다. MB58의 전력스펙트럼은 Carliarog가 개발한 블럭부호에 대한 전력스펙트럼 알고리즘을 적용하여 구현하였다. 선로부호의 전력스펙트럼은 심변의 대응과 입력 데이터가 "1"이 될 확률 p에 따라 달라지는데 선로부호 설계시에 전력스펙트럼을 관찰하면서 출력 심변의 대응을 조정하였다.

부호책이 표 1과 같을 때 MB58의 전력스펙트럼은 p=0.4, p=0.5 및 p=0.6 일때 그림 5와 같으며 fT=0 및 fT=0.5에서 영 전력을 가지며, p=0.4와 p=0.6 일때의 전력스펙트럼은 완전히 일치한다. 또한, p=0.25 및 p=0.75 일때 전력스펙트럼은 그림 6과 같이 완전히 일치하며 p값의 변화에 대해서도 직류(fT=0) 및 나이퀴스트 주파수(fT=0.5)에서 전력밀도가

영임을 알수 있다. 그러므로 새로운 MB58은 무직류 성질과 최소대역폭 성질을 만족함을 확인할 수 있다.

MB58의 눈 모양(eye pattern)은 임펄스 응답 함수가 올림 여현 펄스(raised cosine pulse)인 시스템에서 $12^{16}-1$ 의 pseudorandom 데이터를 10,000회 입력 하였을 때 초과 대역폭의 지수 α 값에 따라 그림 7, 그림 8 및 그림 9에 나타내었다.

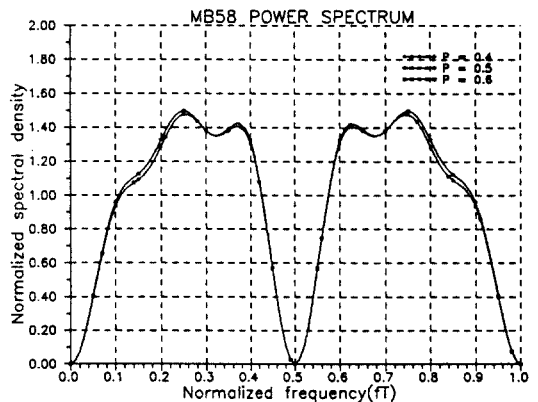


그림 5. MB58의 전력스펙트럼(P=0.4, 0.5, 0.6)
Fig. 5. Power spectrum of MB58 (P=0.4, 0.5, 0.6)

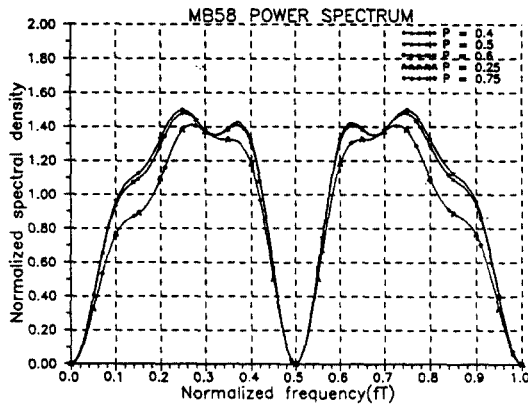


그림 6. MB58의 전력스펙트럼
Fig. 6. Power spectrum of MB58

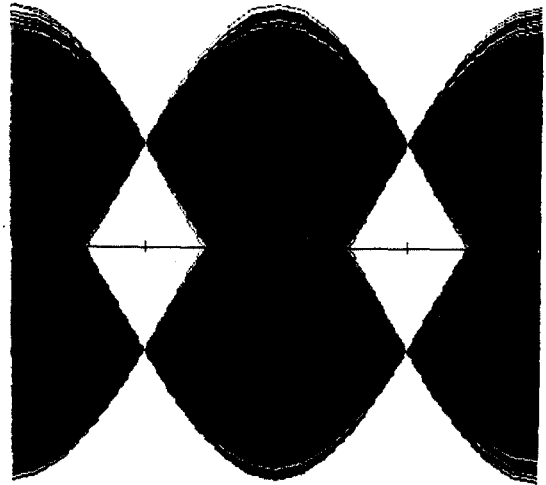


그림 9. MB58의 눈모양($\alpha=0.0$)
Fig. 9. Eye pattern of MB58($\alpha=0.0$)

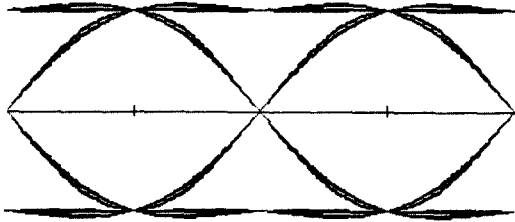


그림 7. MB58의 눈모양($\alpha=1.0$)
Fig. 7. Eye pattern of MB58 ($\alpha=1.0$)

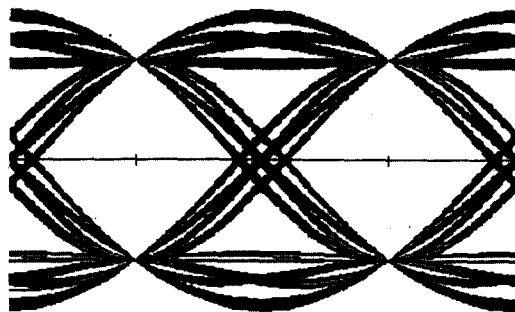


그림 8. MB58의 눈모양($\alpha=0.5$)
Fig. 8. Eye pattern of MB58($\alpha=0.5$)
눈모양

V. 결 론

BUDA 셀을 이용한 선로부호 설계기법을 적용하여 memoryless 최소대역폭 2진 선로부호 MB58을 설계하였으며, 이 선로부호는 유한연속장 성질과 무직류 성질을 만족한다.

또한, 부호화율이 0.625이고 최소대역폭 성질을 만족하므로 대역폭의 효율이 좋고 상태가 1개만 존재하는 memoryless 부호이므로 전 상태에 무관하게 부호화할 수 있어 부호화 처리시간이 단축되고 데이터 메모리 용량이 감소하므로 하드웨어 구현이 간단해진다. MB58은 유한연속장이 6으로 수신측에서 타이밍 정보를 많이 가져 자체 클럭 동기기능을 가지며 오류 검출 능력이 좋다. 또한 복호화 규칙이 간단하다는 장점을 가지고 있다.

MB58에 대한 전력스펙트럼에서 직류($f=0$) 및 나이퀴스트 주파수($f=1/2T_s$)에서 영 전력을 가지므로 이 부호의 무직류 성질 및 최소대역폭 성질을 확인하였다. 임펄스 응답함수가 올림 여현 펄스인 시스템에서 눈이 크게 열려 있기 때문에 어느 정도의 샘플링 지터가 존재하더라도 오류없는 수신이 가능해진다.

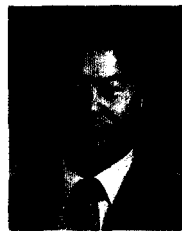
참 고 문 헌

1. D.Y.Kim and J.K.Kim, "A condition for stable minimum band-width line codes," IEEE Trans. Comm- un., vol. COM-33, no.2, PP. 152~157, Feb. 1985.
2. D.Y.Kim and J.K.Kim, "Lower bounds to eye widths of minimum-bandwidth systems," Globecom, PP.12.6.1-12.6.4, 1984.
3. 김대영, "최소대역폭 펄스코드에 관한 연구," 한국 과학기술원 박사학위 논문, 1982.
4. 백제인 "안정된 최소 대역폭 전송을 위한 고리모 양의 선로부호에 관한 연구," 한국과학기술원 박사학위 논문, 1986.
5. G.L.Pierobon, "Code for zero spectral density at zero frequency," IEEE Trans. Inform. Theory, vol. IT-30, no.2, PP.435~439, Mar. 1984.
6. D.Y.Kim, J.K.Kim J.I.Kim, S.K.Hyun and Y. K.Park, "Run length limited variants of duobinary and modified duobinary," IEEE Trans. Commun., vol. COM-35, no.7, PP.140~147, Feb. 1987.
7. D.Y.Kim, "K3B4 Code for High-Speed Binary Singnaling over Fiber-Optic Links," JWCC 1989. Tokyo, July 13-15, 1989. PP. 397-407.
8. G.L.Cariolaro and G.P.Tronca, "Spectra of Block Coded Digital Signals," IEEE Trans. Commun., vol. COM-22, no. 10 Oct. 1974, PP. 1555-1564



金正煥(Jeong Hwan Kim) 正會員
 1952년 1월 3일생
 1976년 2월 : 부산대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1986년 2월 : 충남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1992년 8월 : 충남대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1976년 3월 ~ 현재 : 국방과학연구소 선임 연구원



金大榮(Dae Young Kim) 正會員
 1952년 5월 28일생
 1975년 2월 : 서울대학교 전자공학과 졸업(공학사)
 1977년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)
 1983년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)

1983년 5월 ~ 현재 : 충남대학교 공과대학 전자공학과 부교수