

mB1Z 부호의 최적 정보장 결정에 관한 연구

○송재철* 유봉선* 원동호** 박병철*
 성균관대학교 전자공학과* 성균관대학교 정보공학과**

A Study on the Determination of the Information Block Length of mB1Z Code

J.C.Song*, B.S.Yoo*, D.H.Won**, B.C.Park**
 Dept. of Electronic Eng.* Dept. of Information Eng.**
 Sung Kyun Kwan University

ABSTRACT

In order to use mB1Z code as the practical transmission code, the information block length have to be determined.

If the information block length is short, timing information disappearance is reduced, but transmission speed is increased as the result of inserted redundancy bit. While, if the information block length is long, timing information disappearance and jitter are caused. So it is very important to determine the optimal timing information block length.

Therefore, in this paper, we determined the optimal information block length using S/X endurance method.

1. 서 론

정보전달을 위한 디지털 전송시스템이 경제화, 대용량화함에 따라 효율적으로 정보를 전송할 수 있는 전송로 부호선택이 중요한 문제가 되고 있다.

특히, 광강도 변조를 이용한 디지털 전송방식과 같이 전송상태를 두가지로만 전송해야 하는 2진 Unipolar 신호 계열 전송 System에서는 동부호 연속에 의한 영향이 크기 때문에 전송로 부호선택은 대단히 중요하다.¹⁾

이와같은 2진 Unipolar 신호계열 전송시스템 전송로부호 선택시에는 전송시스템의 요구조건과 더불어 B.S.I (Bit Sequence Independence) 조건 등을 고려해야 한다.²⁾

현재까지 제안된 전송로부호는 여러 가지 있으나 크게 불럭 변환부호인 mBnB 부호와 보조서어비스 bit 삽입부호인 mB1A(m binary with one auxiliary) 부호로 분류할 수 있다.³⁾

mBnB 부호는 m비트 불럭을 n비트로 변환하는 부호로서, 전송속도 상승률은 $\frac{n}{m}$ 이지만, 부·복호기 회로구성이 복잡하여 고속전송에 부적합하다.^{3) 4)}

한편, 서어비스 비트 삽입부호인 mB1A 부호는 m비트 마다 보조 서어비스 비트 하나를 삽입하는 방식으로 PMSI mB1P, mB1C, mB1Z 부호 등이 있다.^{4) 5) 6)}

특히, 최대동부호 연속수가 (m+1)비트인 mB1C 부호는 삽입보조 서어비스 비트수가 적어 Redundancy상승률이 낮고, 전송속도 상승률이 $\frac{m+1}{m}$ 로 높지않아 2진신호계열 고속정보전송에 매우 적합한 전송로 부호방식이긴 하나, (m+1)번째 비트에 보조서어비스 비트하나를 삽입하기 위하여 m번째 비트의 상태를 항상 검사해야 하므로 부·복호기 회로 구성이 복잡하다는 단점이 있다.

이를 보완한 mB1Z 부호에서는 최대동부호 m+1이고, 부호의 머크율은 $\frac{1}{2}$, power spectrum에 harmonic 성분을 갖지 않는 것 등 여러 특징을 갖는다.

이러한 특성에 의하여, 적어도 m+1비트 마다 반전이 생김에 따라 Timing 정보소실 방지가 가능하며, 또 mark율이 높으므로 timing 추출회로의 동작이 안정되고, harmonic spectrum의 영향에 의한 jitter 발생의 우려가 적다.⁶⁾

이 mB1Z 부호를 실제의 전송로 부호로 사용할 때 중요한 문제는 m값의 결정이다. m값을 작게 선택하면 최대동부호 연속수는 작게 되어 Timing 소실 방지면에서는 좋으나, 삽입되는 redundancy 비트의 증가에 따라 전송로 속도가 상승하고, 수신측으로 전달된 순수정보의 감소로 인하여 장거리 전송에는 부적합하다. 반면에 m의 값을 크게 선택하면, 동부호 연속수가 커지고, timing 정보의 소실, jitter의 증가 등을 일으키는 원인이 된다.

그러므로, 본 논문에서는 S/X 내력법을 사용하여 최적의 정보장 m의 값을 결정하였다.

2. 광전송계의 S/N비

2-1. 광 digital 증계기의 구성

그림 1은 기본적인 광증계기의 구성도이다. 광 파이버를 통과하는 광전력은 광파이버의 구성물질에 의한 흡수와 산란에 의하여 감쇄되며, 광 파이버의 mode 분산, 재료분산,

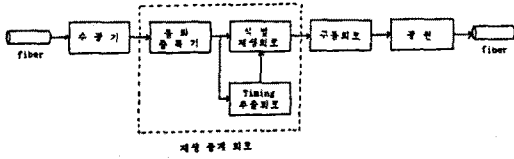


그림 1. 디지털 광증계기의 구성

구조분산의 영향에 의해 신호펄스가 왜곡된다. 광증계기는 이들 광전력의 감쇄나 파형의 왜곡을 보상하여 정형하는 기능을 갖는다.

디지털 광증계기는 기본적으로 (a)광수신회로 (b)재생증계회로 (c)광송신회로로 구성된다.

2-2. 부호오율

광전송계의 특징적인 점은, 식별점에서 잠음전력이 수신부호 Pattern 에 의존하며, mark 수신시와 space 수신시에서 그 크기가 다르다는 것이다.

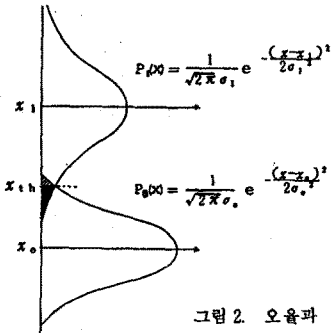


그림 2. 오율과 판정 level

그림 2는 식별점에서의 신호치 잠음과 판정 level의 관계를 나타내는 것으로, x_{th} 은 판정 level, x_1, x_0 는 각각 mark, space 시의 신호치, σ_1^2, σ_0^2 은 그때의 잠음의 분산이다. 부호 mark 오율 m , 잠음의 분포를 Gauss분포라 가정하면, 오율 P_e 는 다음식으로 주어진다.

$$P_e = \frac{m}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \int_{-\infty}^{x_{th}} e^{-\frac{(x-x_1)^2}{2\sigma_1^2}} dx + \frac{1-m}{\sqrt{2\pi}\sigma_0} \int_{x_{th}}^{\infty} e^{-\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_0^2}} dx \quad (1)$$

여기서 $m = \frac{1}{2}$ 라 할때, (1)식의 제 1항과 제 2항을 같게 하는 최적 threshold x_{opt} 은 다음과 같다.

$$x_{opt} = \frac{\sigma_0 x_1 + \sigma_1 x_0}{\sigma_0 + \sigma_1} \quad (2)$$

$$P_e = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_Q^{\infty} e^{-\frac{y^2}{2}} dy \quad (3)$$

$$Q = \frac{x_1 - x_0}{\sigma_0 + \sigma_1} \quad (4)$$

이다. 여기서 P_e 로서 주어지는 Q 와 S/N 는

$$S/N = 20 \log Q \quad (5)$$

이다. 식(3)을 근사식으로 나타내면 다음과 같다.

$$P_e = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \frac{\exp(-Q^2/2)}{Q} \quad (6)$$

그림(3)에 P_e 와 Q 와의 관계를 graph 로 나타내었다. 그림(3)으로부터 $P_e = 10^{-6}$ 일 때 $Q \approx 6$, $P_e = 10^{-7}$ 일 때 $Q \approx 6.75$ 임을 알 수 있다.

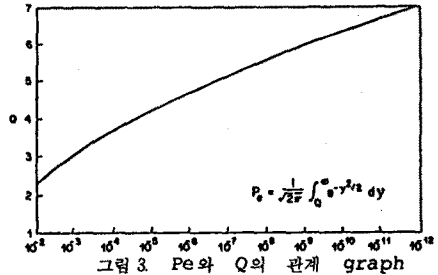


그림 3. P_e 와 Q 의 관계 graph

3. S/X여유도

S/X여유도란 2-2절에서 부호오율에 의하여 계산한 S/N 비에 부호간 간섭, System margin, 온도변화와 경년 열화 등을 모두 보상한 광디지털 전송시스템의 총 S/N 비에서 열화요인들에 의해 소정의 부호오율을 만족하는 최소 S/N비까지 열화된 S/N비를 의미하며, 식(7)과 같이 표시할 수 있다.

$$S/X = 20 \log (V_r / V_s) \text{ [dB]} \quad (7)$$

여기서, V_r 는 증계기에서 동화파형의 첨두치 이며, V_s 는 소정의 부호오율 P_e 까지 열화시키기 위하여 부가시킨 정현파 잠음의 동화증폭기 출력에서의 진폭이다.

디지털 재생증계기의 현재의 동작상태를 평가함에 있어서 S/N여유가 많이 사용되고 있지만, 증계기의 열화등에 대한 내력을 평가하는 척도로서는 불충분하기 때문에, S/X여유도 측정방법을 사용한다.

이 S/X여유도의 정량적인 해석은 다음과 같다.

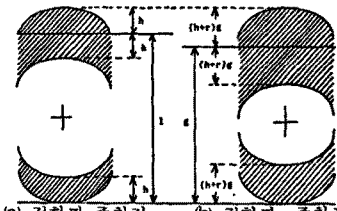


그림 4. 정현파 증침에 의한 eye pattern 의 개념도

그림 4는 정현파 증침에 의한 eye pattern 변화의 개념도를 나타낸다. 동화파형에는 $h \times 100\%$ 의 부호간 간섭이 있는 것으로 하고, 고립동화파형의 첨두치의 $r \times 100\%$ 의 진폭을 가지는 정현파를 인가했을 경우, 동화 증침기의 이득 변화는 $f/2$ 주파수에서 대략 $g = (1+h)/(1+h+r)$ 와 같다.

정현파 증침전의 eye 열화에 의한 등가적 S/N 열화 $\Delta 1$ 은

$$\Delta 1 = -20 \log (1-2h) \text{ [dB]} \quad (8)$$

이고, 정현파 증침에 의한 등가적 S/N 열화 $\Delta 2$ 는

$$\Delta 2 = -20 \log \{g(1-2h-2r)\} \text{ [dB]} \dots\dots\dots (9)$$

이다. 따라서 정현파 증첩에 의한 eye 열화에 근거한 등가적 S/N열화 Δx 는

$$\Delta x = \Delta 2 - \Delta 1 \text{ [dB]} \dots\dots\dots (10)$$

이다. 또한, 동화중복기의 이득의 감소는 동화중복기 출력에서 잡음의 감소를 일으키므로, 잡음의 감소 ΔN 은 근사적으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta N = -20 \log \{g\} \text{ [dB]} \dots\dots\dots (11)$$

이상의 변화에 대한 등가적 S/N여유의 열화 Δ_{xx} 는 식(12)와 같다.

$$\Delta_{xx} = \Delta x - \Delta N = \Delta 2 - \Delta 1 - \Delta N \dots\dots\dots (12)$$

정현파 증첩전의 증첩기의 Δ_{xN} (dB) 의 S/N여유를 가지고 있고, 정현파 증첩에 의하여 S/N여유가 소멸된다고 하면,

$$\Delta_{xN} = \Delta_{xx} \dots\dots\dots (13)$$

이고, 식(13)에 식(8)~식(12)을 대입하여, 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\Delta_{xN} = 20 \log \frac{1-2h}{1-2h-2r} \dots\dots\dots (14)$$

$$\cong 20 \log (a) \dots\dots\dots (15)$$

따라서, S/X 여유도는

$$S/X = -20 \log \{r\} \text{ [dB]} \dots\dots\dots (16)$$

$$= -20 \log \left\{ \frac{(a-1)(1-2h)}{2a} \right\} \dots\dots\dots (17)$$

이다. 식(17)로부터 S/X여유도는 부호간 간섭 h (%)에 따라 결정됨을 알 수 있다.

4. S/X내력 실험방법

3절에서 언급한 S/X여유도가 소정의 부호오율을 만족하면서 증첩기의 모든 열화들에 충분히 견디어 낼 수 있는지를 그림 5에 나타난 S/X내력 실험방법으로 측정할 수 있다.

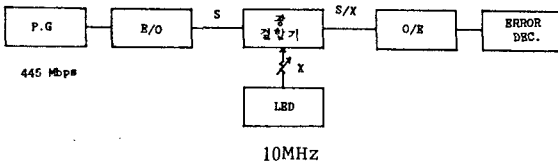


그림 5. S/X내력 측정 실험 System

mark 율에 따라 변화하는 445 Mbps의 신호파 pulse pattern의 수광전력 S에 10MHz의 정현파 간섭광을 증첩하여 증첩기에 인가한다. 인가된 증첩광에 의해 식별회로 입력에서 강제적으로 부호간 간섭을 발생시켜 소정의 부호오율을 만족시키는 각각의 최대 간섭광 전력 X를 구한다. 이때, S와 X의 비를 S/X 내력이라 한다.

즉, 디지털 재생증첩기의 최대 허용할 수 있는 부호간 간섭을 $h_1(\%)$ 라 할 때, 식(17)로부터 그때의 S

/X여유도를 구할 수 있다. 임의의 mark 율에 따라 최대 부호간 간섭량보다 작은 부호간 간섭 h_2 가 발생한다고 할 경우, S/X내력은 $S/X(h_1) - S/X(h_2)$ 이다. 이 S/X 내력을 유사 부호간 간섭을 강제적으로 발생시켜 소정의 부호오율까지 도달하기 위한 최대동부호 연속수와 허용 부호간 간섭량의 관계식을 그림 5의 실험방법을 통해 다음과 같은 관계식을 유도할 수 있다.

$$\text{그림 5에서 E/O변화부를 거친 평균 광전력 } P_{avr} \text{ 는}$$

$$P_{avr} = mP_1 + (1-m)P_0 \dots\dots\dots (18)$$

이다.

식(18)을 P_1 에 대해 normalize 한 power을 S라 하면,

$$S = m + (1-m)P_0/P_1 \dots\dots\dots (19)$$

이며, 여기서, m은 마크율, P_1 은 1이 전송될 때의 광전력 P_0 는 0이 전송될 때의 광전력이다.

$$\text{이상으로 부터 S/X내력은}$$

$$S/X \text{ [dB]} = 10 \log \frac{m + (1-m)P_{xx}}{(I/100)^2} \dots\dots\dots (20) \text{ 이다.}$$

여기서, I (%)는 부호간 간섭내력 ($I=h_1-h_2$)

P_{xx} 는 소광비로서 $P_{xx} = 10 \log(P_0/P_1)$ 이다.

5. 컴퓨터 시뮬레이션

Computer program에서 S/N여유는 단국간 총 증첩기 설치상의 문제로 인한 S/N여유 6dB에 온도변화, 경년열화에 의한 S/N여유 3dB을 추가하여 총 9dB로 정하였으며,^{7) 11)} 또한, CCITT 권고안에 의하여 증첩기간 최대허용오율 P_e 을 음성신호의 최대허용부호오율(10^{-3})과 화상신호의 최대허용 부호오율(10^{-4})을 고려하여 $P_e = 10^{-11}$ 으로 정하였다. 그 이유는, 단국간 간격을 2.500km, 증첩기 간격을 20km라 할 때, 단국간 종합부호오율이 1.25×10^{-9} 이 되어 수신감도가 좋은 음성과 화상을 수신할 수 있기 때문이다. 또, 소광비는 15dB로, h(%)의 부호간 간섭을 증첩기 식별회로의 부호간 간섭 25%이외의, 다른열화 7%을 고려하여 32%로 정하였다.^{10) 11)}

이상의 실효치에 의한 S/X여유도와 S/X내력과의 관계, 10MHz의 정현파 간섭광 주기를 445Mbps NRZ 신호파의 Pulse pattern 주기로 간주하여, 최대동부호 연속수와 허용부호간 간섭과의 관계를 그림 6과 같이 Computer program 하였다. 그 결과는 그림 7과 같다.

6. 결 론

광고속 전송방식의 최적의 m의값을 결정하기 위해서 다음 사항을 고려해야 한다.

- 1) 동부호 연속에 의한 증첩기의 특성변동
- 2) 고속 논리회로의 실현성
- 3) 전송로 속도에 따르는 S/N열화
- 4) 소비전력

현 증첩기의 특성에 의하여 동부호 연속수가 크게 증첩기에 전달될 경우, timing 정보추출이 곤란하며 jitter가 발생하는 반면에, 동부호 연속수가 작게 증첩기에 전달될 경우에는 식별 level 변동, jitter 등에 의한 열화 요인들이 개선됨을 알 수 있다.

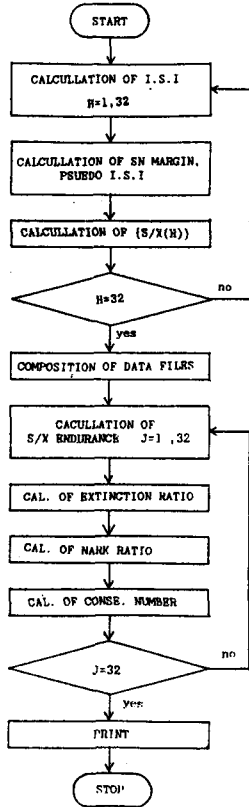


그림 6. 동부호 연속수와 허용부호간 간섭간의 관계를 나타 내기 위한 Computer simulation flow chart

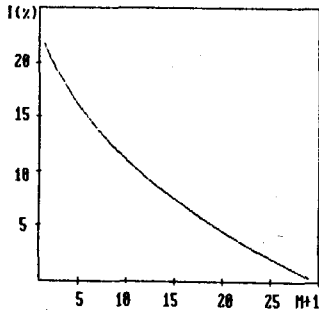


그림 7. 허용부호간 간섭량과 동부호 연속수의 관계

그러므로, mBIZ 부호의 최대동부호 연속수는 mBIC 부호와 마찬가지로 16 비트로 억압이 되므로 최대정보장 m을 15 이하로 선택할 수 있다.

한편, 고속논리 IC의 동작한계속도를 500Mbps라 할 때 IC의 동작한계속도 여유를 주기 위하여 400 Mbps의 정보를 mBIZ 부호 변환후 450 Mbps가 된다면, 속도상승의 상한은 12.5%가 되므로 mBIZ 부호의 최저 정보장 m은 8이 된다. 따라서 Frame 구성을 고려하여 mBIZ부호의 정보장 m의 범위는 $9 \leq m \leq 15$ 이다.

그리고, 증계기의 허용부호간 간섭량을 약 8%정도라 가정 할때, 동부호 연속수는 11 정도이다.

이상의 검토로부터, 동부호 연속수가 짧은만큼, 전송품질의

개선이 가능하므로, mBIZ 부호의 최적 정보장은 $m = 10$ 정도로 선택할 수 있으리라 사료된다.

<참 고 문 헌>

1. J.M.Griffiths, "Binary code suitable for line transmission", Electronics Letters, Vol.5, No.4 pp78 ~ 81. 1967
2. CCITT.Rec.722, "Interconnection of digital paths using different techniques"
3. 中川, 伊勝, "高速デジタル光傳方式の傳送路符號構成について" 이 電子學會論文誌, 81/12. Vol. J.61-13 No.12 pp. 1469 ~ 1470. 1981.
4. Noriaki Yoshikai, et al, "mBIC code and performance in an optical communication System", IEEE, Trans, on comm, Vol. Com-32, No.2 pp. 163 ~ 168 Feb. 1981
5. 吉開外, "F - 400 M 方式端局中繼裝置の設計と特性" 研究實用化報告 第32卷第3號, pp. 597 ~ 608 1983.
6. 유봉선, 원동호, 김병찬 "고속 mBIZ 전송로 부호에 관한 연구" 한국통신학회 논문집 87/8 Vol. 12-4 pp. 347 ~ 356. 1987. 8
7. 岡野, 三木, "光デジタル傳送における S/N 解析" 研究實用化報告 第27卷第2號, pp. 359 ~ 375. 1978
8. 松下, 山口 "PCM-400 M 用測定器の實用化" 研究實用化報告 第25卷第1號 pp. 273 ~ 287 1976.
9. 袴田, 露木 "F - 400 M 方式中繼傳送系の設計と特性" 研究實用化報告 第32卷第3號 pp. 583 ~ 595 1983.
10. 井上, 大竹 "PCM-400 M 中繼傳送系の設計" 研究實用化報告 第25卷第1號 pp. 27 ~ 43. 1976.
11. 坂本, 山口 "PCM-400 M 中繼裝置の實用化" 研究實用化報告 第25卷第1號 pp. 45 ~ 59 1976.