

# 초고속 광전송 시스템용 전송로 부호의 성능 분석

유 봉 선

요 약

정보신호계열을 초고속으로 전송하기 위한 디지털 광전송 시스템이 대용량화, 경제화됨에 따라, 효율적으로 순수 정보신호계열을 신뢰성있게 전송할 수 있는 초고속 광전송 시스템용 전송로 부호의 선택이 현 시점에서 중요한 문제로 대두되고 있다. 따라서 본 논문에서는 지금까지 제안된 2치 unipolar 전송로 부호들 중 고속(100Mb/s 이상의 전송속도) 광전송 시스템용으로 적합한 전송로 부호들을 우선 선택하여, 선택한 전송로 부호들 간의 성능 평가를 전송로 부호의 요구조건들, 즉 최대 동부호 연속수, 전송지연시간, 클럭 상승률, 마크율, 회로규모, 전송로 에러 감시 및 전력 스펙트럼에 따라 상호 비교 분석한 결과, mB1Z 부호가 최적의 초고속 광전송 시스템용 전송로 부호임을 밝혔다.

## The Performance Analysis of Transmission Line Codes for the Very-High Speed Optical Transmission System.

Bong Sun Yoo<sup>\*</sup>

ABSTRACT

At the present time, it is an important problem that we are to select a transmission line code for the very-high speed optical transmission system which can confidentially transfer the original information signal sequence efficiently, as it is to be the large capacity and the economization for the optical digital transmission system to transfer the information signal sequence at the very-high speed. Therefore, this paper is to select first the proper transmission line codes for the high speed (more than 100 Mb/s) optical transmission system of the proposed two-level unipolar transmission line codes up to date, and to decide a mB1Z (m Binary with One Zero insertion) code as an optimal transmission line code for the very-high speed optical transmission system, resulting from analyzing the performance at the requirements of the transmission line code, such as the maximum consecutive identical digits, the transmission delay time, the increasing rate of clock, the mark rate, the circuit complexity, the supervision of transmission line error, and power spectrum among the selected transmission line codes.

### 1. 서 론

정보화 시대에 발달추어 광통신 기술은 대륙 횡단과 대륙 간을 연결하는 장거리 통신망, 고도의 정보통신 시스템, 그리고 광대역 종합 정보통신망에 이르기까지 그 응용범위가 확장되어감에 따라 멀지 않은 장래에 일반 가입자 라인까지도 광통신 기술이 사용될 것으로 기대된다. 최근

광섬유가 대용량 장거리 전송에 적합한 전송 매체로 인식되고 있고, 그 실례로 단일 모드 광섬유를 이용한 1.7Gb/s 이상의 광전송 시스템들이 일본과 구미 각 국에서는 이미 상용화되고 있으며[1, 2], 국내에서도 한국통신을 중심으로 각 연구소에서 1991년부터 국내 디지털 다중화 계위 5차군 전송속도 564.992Mb/s 4채널을 STDM (Synchronous Time Division Multiplexing)한 6차군 전송속도 2.48832Gb/s용 광전송 시스템을 현재 연구 개발 중에 있다.

이와 같이 초고속의 정보통신을 하기 위한 디

\* 본 논문은 1994년도 인덕전문대학 학술연구비 지원에 의하여 연구되었음.

† 정 회 원 : 인덕전문대학 전자과 조교수

논문접수 : 1994년 7월 25일, 심사완료 : 1994년 11월 15일

디지털 광전송 시스템이 대용량화. 경제화됨에 따라, 효율적으로 순수 정보신호계열을 신뢰성있게 전송할 수 있는 전송로 부호 선택이 현 시점에서는 중요한 문제로 대두되고 있다[3, 4, 5]. 특히, 광강도 변조를 이용하는 2치 unipolar 신호계열 광전송 시스템에서는 동부호 연속수(consecutive identical digits)에 의한 영향 즉, baseline wandering과 timing jitter 등에 의하여 에러가 발생할 경우가 많기 때문에, 전송로 부호 선택은 대단히 중요하다[5, 6, 7]. 고로 2치 unipolar 신호계열 광전송 시스템용 전송로 부호를 선택할 때에는 전송시스템의 요구조건과 더불어 B.S.I.(Bit Sequence Independence) 조건 들을 고려해서 선택해야만 한다[5, 8, 9, 10].

따라서 본 논문에서는 지금까지 제안된 2치 unipolar 전송로 부호들 중, 고속 광전송 시스템 용 전송로 부호로 적합한 전송로 부호들을 우선 선택한 후, 선택한 전송로 부호들 간의 성능 평가를 전송로 부호의 요구조건들 즉, 최대 동부호 연속수, 전송지연시간, 클럭 상승률, 마크율, 회로 규모, 전송로 에러 감시, 그리고 전력 스펙트럼에 따라 상호 분석하여, 최적의 초고속 광전송 시스템용 전송로 부호를 제안하였다.

## 2. 전송로 부호의 요구조건

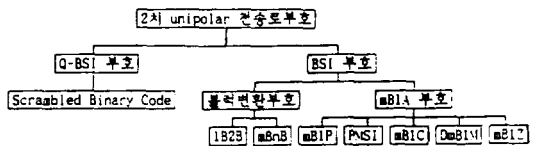
고속 디지털 전송시스템에서 전송상태를 다치로 할 경우, 2치 신호계열 정보 전송시 보다 적은 디지털로 대용량의 정보를 전송할 수 있으나, 고속 다치 신호계열 정보상태를 수신단에서 보다 정확하게 식별할 수 있도록 하기 위하여 송신단에서는 2치 신호계열 정보전송시 보다 훨씬 큰 신호전력으로 정보를 전송해야 하기 때문에[8], 대부분의 디지털 전송시스템에서는 2치 unipolar 신호계열을 사용하고 있다[6, 9]. 그러나 2치 unipolar 신호계열 정보 전송시, 동부호가 연속되는 경우가 많기 때문에 수신측에서 timing 정보를 추출하기가 어렵다는 단점 역시 존재한다[4, 12, 13].

따라서 광강도 변조를 이용하는 초고속 디지털 광전송 시스템과 같이 2치 unipolar 신호계열로 정보를 전달하는 전송시스템에서는 이러한 단점을 보완하기 위하여 전송로 부호를 선택하여야 하며, 전송로 부호 선택할 때에는 다음과 같은 B.S.I.조건과 전송시스템 요구조건들을 고려해야만 한다[5, 8, 9, 10].

- 1) 수신 정보신호계열로부터 용이하게 timing 정보를 추출하기 위하여 동부호 연속수가 작아야 하며, 마크율이 1/2이어야 한다.
- 2) Frame 동기신호에 영향을 미치지 않아야 한다.
- 3) 전송 도중 에러에 의한 파급 효과가 없어야 한다.
- 4) 고·저주파 성분의 전력이 적어야 한다.
- 5) D·C성분이 가능한한 없어야 한다.
- 6) 부·복호기 회로 구성이 간단하여야 한다.
- 7) 부·복호화시 에러 발생이 없어야 한다.
- 8) In-Service시 에러 검출 능력이 있어야 한다.
- 9) 순수 정보신호계열을 전송하기 위한 클럭 상승율이 적어야 한다.

## 3. 2치 unipolar 전송로 부호

현재까지 제안된 2치 unipolar 전송로 부호는 (그림 1)에 보인 바와 같이 여러 가지 있으나 크게 Q-BSI(Quasi Bit Sequence Independence)부호와 BSI 부호로 대별할 수 있다[5].



(그림 1) 2치 unipolar 전송로 부호의 분류  
(Fig. 1) Classification of the two-level unipolar transmission line code.

Q-BSI 부호로 대표적인 부호로는 Scrambled Binary Code가 있으나 이 부호는 동부호 연속수

의 확실한 제한을 보증하지 못할 뿐 아니라 2장에서 언급한 전송로 부호 선택시 요구조건, 특히 B.S.I.조건을 만족시키지 못하기 때문에, 광전송 시스템용 전송로부호로서 부적합한 부호이다.

BSI 부호는 다시 블럭변환부호와 mB1A(m Binary with one Auxiliary insertion)부호로 나눌 수 있다[4, 6, 7].

블럭변환부호인 mBnB 부호는 m 비트 블럭을 보통  $n (=m+1)$ 비트로 변환하는 부호로서, 특히  $m=1$ 인 1B2B 부호에는 CMI(Code Mark Inversion)부호와 DMI(Differential Mode Inversion)부호 등이 있다[3, 11]. 이들 1B2B 부호는 타 부호방식보다 적은 2~3비트의 동부호 연속수를 가지며 회로 구성도 용이할 뿐만 아니라 마크율이 1/2로 부호 평형성도 양호하다. 그러나 순수 정보신호계열을 전송하기 위하여 1B2B 부호는 정보전송속도를 2배로 상승시켜야 하기 때문에 부.복호기 회로 구성시 고속 IC를 사용해야 하는 문제점이 발생하며, 또 부호화 방식에 의하여 부호 효율성(coding efficiency) 역시 나쁘다. 그러므로 1B2B 부호는 100Mb/s 이상의 광전송 시스템용 전송로 부호로서 부적합하다[9, 12, 13].

$m$ 이 2보다 큰 일반적인 mBnB 부호는 순수정보 전송시 클럭 상승율  $n/m [= (m+1)/m]$ 이  $m$ 이 증가할수록 1B2B 부호의 순수정보 전송시의 클럭 상승율보다 훨씬 낮아지는 장점은 있으나, 부.복호기 회로구성이 점점 더 복잡해지는 단점도 있다. 따라서 1B2B 부호와 마찬가지로 mBnB 부호 역시, 100Mb/s 이상의 광전송 시스템용 전송로 부호로서는 부적합한 부호이다[9, 12, 13].

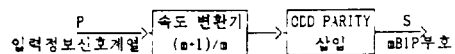
한편, 2장에서 언급한 전송로 부호의 요구조건들을 다른 2치 unipolar 전송로 부호들 보다 더 만족시키는 mB1A 부호는 순수 정보신호계열의 전송속도를  $(m+1)/m$ 만큼 속도 변환하여 변환된 신호계열의  $(m+1)$ 번째 비트마다 보조 서어비스 한 비트를 삽입시키는 부호방식으로, 1981년에 제안된 mB1P(m Binary with one Parity insertion)부호와 PMSI(Periodic Mark Space Inser-

tion)부호, 1982년에 제안된 mB1C(m Binary with one Complement insertion)부호, 1983년에 제안된 DmB1M(Differential m Binary with one Mark insertion)부호, 그리고 1987년에 제안된 mB1Z(m Binary with one Zero insertion)부호 등이 있다[6, 7, 9, 12, 13].

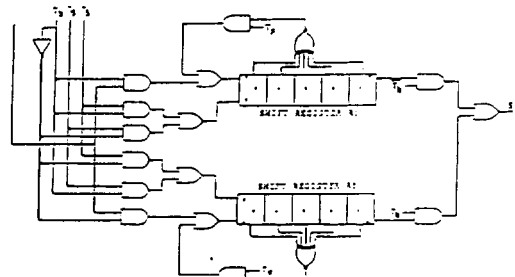
따라서 본 장에서는 지금까지 발표된 2치 unipolar 디지털 광전송 시스템용 전송로 부호로 적합한 mB1A부호에 대하여 전송로 부호의 요구조건들, 즉 최대 동부호 연속수, 전송지연시간, 속도 상승률, 마크율, 회로규모, 그리고 전송시에 대하여 부호들 간의 성능을 분석하고, 4장에서 전송로 부호의 전력 스펙트럼에 대하여 논하기로 한다.

### 3.1 mB1P 부호

mB1P 부호는 보조 서어비스 한 비트를 삽입시키기 위하여 mB1P 부호기의 블럭도인 (그림 2)와 전송로 부호 요구조건에 따라 mB1P 부호의 전반적인 성능을 분석하기 위하여 부호장  $m=5$ 인 5B1P 부호기 (그림 3)에서 알 수 있는 바와 같이, 입력 정보신호계열의 전송속도를  $(m-1)/m$ 만큼 속도변환한 후, 변환된 신호계열의  $(m+1)$ 번째 비트마다 입력 정보신호계열 P의 m비트 단위로 검사한 odd parity bit 한 비트를 삽입시키는 부호방식이다[6, 7, 12].

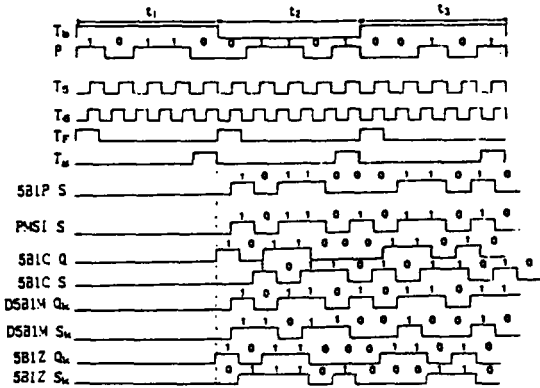


(그림 2) mB1P 부호기의 블럭도  
(Fig. 2) Block diagram of mB1P coder.



(그림 3) 5B1P 부호기  
(Fig. 3) 5B1P coder.

(그림 4)은 5B1P 부호기를 구동시키는데 필요한 timing diagram을 나타낸 것으로, 이 timing diagram은 앞으로 설명할 PMSI, mB1C, DmB1M, mB1Z 부호 각각에서도 거의 공통적으로 사용되고, 또 각 부호들 간의 전송지연시간을 보다 용이하게 비교할 수 있게 하기 위하여, 각 부호기의 출력신호계열을 5B1P 부호기의 출력신호계열 다음에 나타내었다.



(그림 4) 5B1A 부호들의 각 부호기의 timing diagram  
(Fig. 4) Timing diagrams of each coder of 5B1A codes.

mB1P 부호의 부호화 방식에 의하여 부호장이 m, 그리고 부호화된 정보신호계열의 주파수가 fo 라 할 때, mB1P 부호의 전송지연시간  $t_d$ 는 (그림 4)로부터

$$t_d = \frac{2m+3}{2f_o} \quad (1)$$

이라는 것과, 부호장이  $m \geq 3$  일 때, mB1P 부호기의 회로는 m단 shift register 2개와  $16 + 4(m-1)/2$ 개의 조합논리 게이트로 구성할 수 있다는 것을 (그림 3)으로부터 알 수 있다. 이로 인하여 부호장 m이 커지면 커질 수록, 전송지연시간  $t_d$ 와 회로규모가 커진다는 것을 또한 알 수 있다.

그리고 mB1P 부호의 부호장 m은 동부호 연속수를 억압하기 위하여 홀수인 부호장만을 선택하여야 하며, (그림 3)에 보인 바와 같이 m비트 단위로 검사하는 parity check 역시 odd parity

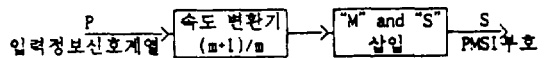
check 만을 사용하여야 한다. 그 결과, 최대 동부호 연속수는 2m 비트로 억압할 수 있으며, 한 블록 (=m비트) 내에서 검사한 odd parity를 보조 서어비스 비트로서 사용하기 때문에 순수 정보신호계열 부호장 m비트를 단위로 전송시 발생하는 한 블록 내의 한 비트 에러를 검출할 수 있다.

mB1P 부호의 또 다른 특성은 마크율이 1/2이라 부호 평형성이 우수하다는 것이다.

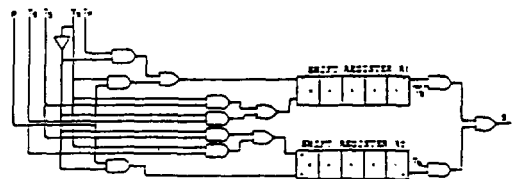
이와 같은 mB1P 부호의 특성들에 의하여 mB1P 부호는 400 Mb/s 이상의 고속 2차unipolar 광전송 시스템용 전송로 부호로 사용하기에는 부적합한 부호방식이다.

### 3.2 PMSI 부호

mB1P 부호화 방식과 거의 유사한 PMSI 부호는 보조 서어비스 한 비트를 삽입시키기 위하여, PMSI 부호기의 블록도인 (그림 5)와 부호장  $m = 5$ 인 PMSI 부호기 (그림 6)에서 알 수 있는 바와 같이 입력 정보신호계열의 전송속도를  $(m+1)/m$  만큼 속도변환한 후, 변환된 신호계열의  $(m+1)$ 번째 비트마다 보조 서어비스 비트인 "Mark"와 "Space"를 주기적으로 한 비트씩 삽입하는 부호방식이다[6, 7, 9, 12].



(그림 5) PMSI 부호기의 블록도  
(Fig. 5) Block diagram of PMSI coder.



(그림 6) PMSI 부호기  
(Fig. 6) PMSI coder.

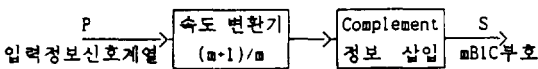
PMSI 부호의 부호화 방식에 의하여 PMSI 부호의 전송지연시간  $t_d$ 는 (그림 4)로부터 mB1P 부호의 전송지연시간 식 (1)과 같다는 것과, 부호장이 m인 PMSI 부호기의 회로는 m단 shift

register 2개와 14개의 조합 논리게이트로 구성할 수 있다는 것을 (그림 6)로부터 알 수 있다. 이로부터 PMSI 부호의 회로구성은 mB1P부호의 회로구성 보다 매우 간단하다는 것을 알 수 있는 반면에, PMSI 부호 특성에 의하여 PMSI부호는 부호화된 정보신호계열 전송시 발생하는, 한 비트 에러 검출조차 할 수 없다는 단점이 존재한다는 것을 또한 알 수 있다.

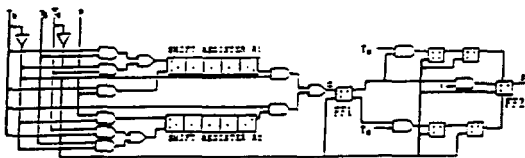
PMSI 부호의 또 다른 특성은 마크율이 1/2이라는 것이다. 그러므로 부호 평형성이 우수한 방식이긴 하나, 전송로 부호의 요구조건들 중 하나인 최대 동부호 연속수가 (2m+1)비트로 mB1P 부호 보다 크기 때문에 mB1P부호와 마찬가지로 400Mb/s 이상의 고속 2치 unipolar 광전송 시스템용 전송로 부호로 사용하기에는 부적합한 부호 방식이다.

**3.3 mB1C 부호**

mB1C 부호는 보조 서어비스 한 비트를 삽입시키기 위하여 mB1C 부호기의 블럭도인 (그림 7)과 부호장 m=5인 5B1C 부호기 (그림 8)에서 알 수 있는 바와 같이, 입력 정보신호계열의 전송속도를 (m+1)/m만큼 속도변환한 후, 변형된 신호계열의 (m+1)번째 비트마다 m번째 입력정보 비트의 complement 정보를 삽입시키는 부호 방식이다[12].



(그림 7) mB1C 부호기의 블럭도  
(Fig. 7) Block diagram of mB1C coder.



(그림 8) 5B1C 부호기  
(Fig. 8) 5B1C coder.

mB1C 부호의 부호화 방식에 의하여 부호장이 m, 그리고 부호화된 정보신호계열의 주파수가 fo 라 할 때, mB1C 부호의 전송지연시간  $t_d$ 는 (그림 4)로부터

$$t_d = \frac{2m+5}{2f_o} \quad (2)$$

이라는 것과, 부호장이 m일 때 mB1C 부호의 부호기 회로는 m단 shift register 2개와 16개의 조합논리 게이트, 그리고 6개의 D-F/F으로 구성할 수 있다는 것을, (그림 8)로부터 알 수 있다. 이로부터 mB1C 부호의 전송지연시간은 mB1P, PMSI 부호 보다 조금 더 길다는 것을 알 수 있으며, 또 mB1C 부호의 회로규모는 부호장 m이 커질수록 PMSI부호 보다는 복잡하지만 mB1P 부호 보다는 간단하다는 것 또한 알 수 있다.

그리고 mB1C 부호로 부호화된 정보신호계열의 m번째 정보비트와 (m+1)번째 정보비트가 항상 반전된다는 mB1C 부호의 부호화 방식에 의하여, mB1C 부호의 최대 동부호 연속수를 (m+1)비트까지 억압할 수 있을 뿐만 아니라 부호화된 정보신호계열로부터 timing 정보를 용이하게 추출할 수 있으며, 또 mB1C 부호로 부호화된 정보신호계열이 전송 도중 에러가 발생하였을 경우, (m+1)비트를 단위로 m번째 비트 한 비트에서만 발생한 에러만을 검출할 수 있다.

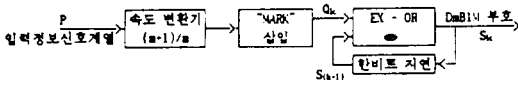
mB1C 부호의 마크율은 mB1P, PMSI부호와 마찬가지로 1/2이기 때문에, 부호 평형성 역시 우수하다.

이와 같은 mB1C 부호의 장.단점을 다른 mB1A 부호와 비교해 볼때, mB1C 부호를 2.5Gb/s 이상의 2치 unipolar 초고속 광전송 시스템용 전송로 부호로 사용하기에는 부적합한 부호방식이다.

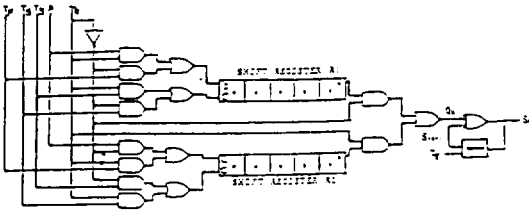
**3.4 DmB1M 부호**

DmB1M 부호는 보조 서어비스 한 비트를 삽입시키기 위하여 DmB1M 부호기의 블럭도인(그림 9)와 부호장 m=5인 D5B1M 부호기 (그림

10)에서 알 수 있는 바와 같이, 입력 정보신호계열 P의 전송속도를  $(m+1)/m$ 만큼 속도변환한 후, 변환된 신호계열의  $(m+1)$  번째 비트마다 보조 서어비스 비트인 "Mark"를 삽입한 신호계열 Q와 출력 DmB1M 부호계열  $S_k$ 의 한 비트를 지연시킨 신호계열  $S_{k-1}$ 을 Exclusive-OR하여 부호화하는 방식이다[2, 13].



(그림 9) DmB1M 부호기의 블럭도  
(Fig. 9) Block diagram of DmB1M coder.



(그림 10) D5B1M 부호기  
(Fig. 10) D5B1M coder.

DmB1M 부호의 부호화 방식에 의하여 DmB1M 부호의 전송지연시간  $t_n$  (그림 4)로부터 mB1P, PMSI 부호의 전송지연시간과 같다는 것과 부호장이 m일 때 DmB1M 부호의 부호기 회로는 m단 shift register 2개와 17개의 조합 논리게이트, 그리고 1개의 D-F/F으로 구성할 수 있다는 것을 (그림 10)으로부터 알 수 있으며, 이로부터 DmB1M 부호의 회로구성 규모는 mB1P, mB1C 부호의 회로구성 규모 보다 간단하다는 것을 또한 알 수 있다.

그리고 mB1C부호의 부호화 특성과 마찬가지로, DmB1M 부호로 부호화된 정보신호계열  $S_k$ 의 m번째 정보비트와  $(m+1)$ 번째 정보비트는 항상 반전하는 DmB1M 부호의 부호화 방식에 의하여, DmB1M 부호의 최대 동부호 연속수를 mB1C부호와 마찬가지로  $(m+1)$ 비트까지 억압할 수 있으며, 부호화된 정보신호계열로부터 timing 정보

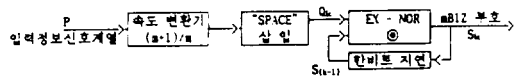
를 용이하게 추출할 수 있다. 또 이로 인하여 DmB1M 부호로 부호화된 정보신호계열이 전송도중 에러가 발생하였을 경우, 현 블럭  $(m+1)$ 비트 중 m번째 비트와 다음 블럭  $(m+1)$  비트 중 첫 번째 비트에서 발생하는 에러만은 검출·교정까지 또한 할 수 있다.

DmB1M 부호의 마크율 역시 타 mB1A 부호의 마크율과 마찬가지로 1/2이기 때문에 부호 평형성 역시 우수하다.

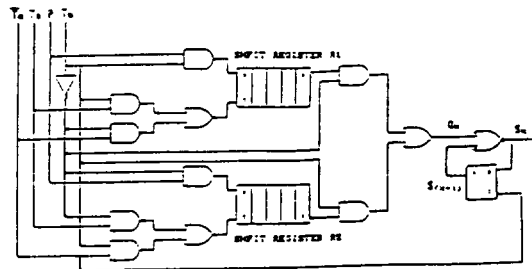
이와 같은 DmB1M부호의 특성들을 지금까지 설명한 mB1A 부호와 비교해 볼 때, DmB1M 부호는 국내 디지털 다중화 계위 6차군 전송속도인 2.5 Gb/s 이상의 2차 unipolar 초고속 광전송 시스템용 전송로 부호로 매우 적합한 부호방식이다.

### 3.5 mB1Z 부호

mB1Z 부호는 보조 서어비스 한 비트를 삽입시키기 위하여 mB1Z 부호기의 블럭도인 (그림 10)과 부호장  $m=5$ 인 5B1Z 부호기 (그림 12)에서 알 수 있는 바와 같이, 입력 정보신호계열 P의 전송속도를  $(m+1)/m$ 만큼 속도변환한 후, 변환된 신호계열의  $(m+1)$ 번째 비트마다 보조 서어비스 비트인 "Space"를 삽입한 신호계열 Q와 출력 mB1Z 부호계열  $S_k$ 를 한 비트 지연시킨



(그림 11) mB1Z 부호기 블럭도  
(Fig. 11) Block diagram of a mB1Z coder.



(그림 12) 5B1Z 부호기  
(Fig. 12) 5B1Z coder.

호계열  $S_{k,0}$ 과 Exclusive-NOR하여 부호화하는 방식이다[9].

mB1Z 부호의 부호화 방식에 의하여 부호장이 m, 그리고 부호화된 정보신호계열의 주파수가  $f_0$ 라 할 때, mB1Z 부호의 전송지연시간  $t_e$ 는 (그림 4)로부터

$$t_e = (m+1)/f_0 \quad (3)$$

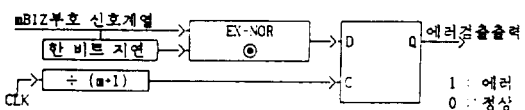
이라는 것과, 부호장이 m일 때 mB1Z 부호의 부호기 회로는 m단 shift register 2개와 13개의 조합 논리 게이트, 그리고 1개의 D-F/F만으로 구성할 수 있을 뿐만 아니라 timing control circuit(키락 발생 회로)부에서도 다른 mB1A 부호보다 회로규모가 간단하다는 것을 (그림 12)로부터 알 수 있다. 또 이로부터 mB1Z 부호의 회로 규모는 지금까지 설명한 타 mB1A 부호들 중에서 가장 간단하다는 것을 알 수 있다.

mB1Z 부호의 또 다른 부호 특성은 (그림 4)에서 알 수 있는 바와 같이, m번째 비트와 (m+1)번째 비트가 mB1C, DmB1M 부호와 마찬가지로 항상 반전되기 때문에 최대 동부호 연속수를 (m+1)비트까지 줄일 수 있으며, 마크율이 1/2이기 때문에 부호 평형성 역시 양호할 뿐만 아니라 timing jitter 역시 줄일 수 있다.

또 mB1Z 부호로 부호화된 정보신호계열이 전송 도중 에러가 발생하였을 경우, mB1Z 부호의 부호화 방식에 의하여, 현 블록의 (m+1)비트 중 m번째 비트와 다음 블록의 (m+1) 비트 중 첫 번째 비트에서 발생하는 에러만은 검출·교정까지 또한 할 수 있다.

(그림 13)는 mB1Z 부호의 에러검출회로를 나타낸 것이다.

mB1Z 부호 자체는 이렇게 우수한 전송 특성을 가지고 있지만, 전송로에서 발생하는 한 비트



(그림 13) mB1Z 부호의 에러 검출 회로  
(Fig. 13) Error detecting circuit of a mB1Z code.

에러가 복호 과정에서 mB1Z 부호계열과 한 비트 지연시킨 mB1Z 부호 계열과 함께 차분 변환되기 때문에 복호후 연이은 2비트 에러로 과급된다.

그러나 mB1Z 부호를 실제의 광전송 시스템의 전송로 부호로 사용할 경우에는 이 성질을 이용하여 전송로 감시·제어시스템을 간단히 구성할 수 있다. 즉, 현재까지 수신단에서 한 비트마다 패리티 검사하여 전송로 감시를 하는 전송로 감시·제어시스템을 한 비트씩 걸러 패리티 검사를 함으로써 전송로 감시를 수월하게 할 수 있는 전송로 감시·제어시스템을 구성할 수 있어, 오히려 회로 규모를 1/2로 줄일 수 있기 때문이다.

이와 같은 mB1Z 부호의 특성들을 기존에 제안된 타 mB1A 부호들의 특성들과 비교해 볼 때, mB1Z 부호는 국내 디지털 다중화 계위 6차군 전송속도인 2.5 Gb/s 이상의 2치 unipolar 초고속 광전송 시스템용 전송로 부호로 매우 적합한 부호방식이다.

#### 4. mB1A 부호의 전력 스펙트럼

저역차단에 대한 부호의 강도, 전송대역, timing 정보의 추출과 같은 특성들을 분석할 수 있는 부호계열의 전력 스펙트럼은 일반적으로 이산 성분과 연속성분으로 나누어 생각할 수 있다[4, 12, 13].

본 장에서는 정상화를 과정인 mB1A 부호들의 부호계열 전력 스펙트럼을 이산성분  $S_d(f)$ 와 연속성분  $S_c(f)$ 로 나누어, mB1A 부호들의 특성을 설명하기로 한다.

##### 4.1 이산 전력 스펙트럼 $S_d(f)$ 의 분석

mB1A 부호들의 이산전력 스펙트럼 성분  $S_d(f)$ 는 다음과 같이 산출할 수 있다.

(m+1)비트의 주기를 갖고  $2^m$  펄스 패턴의 평균파형인  $V(t)$ 는 식(4)와 같이, i번째 펄스 패턴  $G_i(t)$ 가 발생할 확률  $P_i$  ( $i=1,2,3,\dots,2^m$ )로 나타낼 수 있다.

$$V(t) = \sum_{i=1}^{2^m} P_i \cdot G_i(t)$$

$$\text{for } -\frac{(m+1)T_0}{2} \leq t < \frac{(m+1)T_0}{2} \quad (4)$$

여기서  $T_0$ 는 순수 정보신호계열의 속도를  $(m+1)/m$  만큼 속도변환한 클럭 주기이다.

이  $V(t)$ 를 Fourier Series로 표현하면

$$V(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \cdot e^{jn\omega_0 t} \quad (5)$$

이며, 여기서

$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \frac{2\pi}{(m+1)T_0} \quad (6)$$

$$C_n = \frac{1}{(m+1)T_0} \int_{-(m+1)T_0/2}^{(m+1)T_0/2} \left\{ \sum_{i=1}^{2^m} P_i G_i(t) \right\} e^{-jn\omega_0 t} dt$$

$$= \frac{1}{(m+1)T_0} \sum_{i=1}^{2^m} P_i \cdot G_i(nf_0) \quad (7)$$

$$G_i(nf_0) = \int_{-\infty}^{\infty} G_i(t) \cdot e^{-jn\omega_0 t} dt \quad (8)$$

이다.

따라서 식 (7)과 (8)에 의하여 함수  $V(t)$ 의 이산 전력 스펙트럼  $S_d(f)$ 를 구해보면

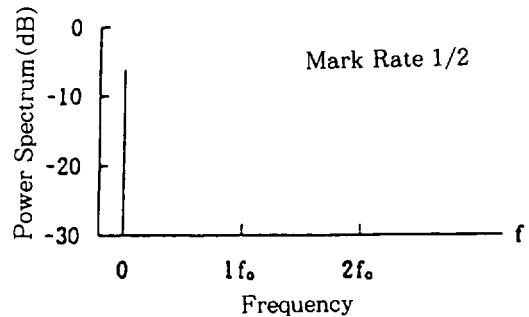
$$S_d(f) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n \cdot C_n^* \cdot \delta \left\{ f - \frac{n}{(m+1)T_0} \right\} \quad (9)$$

이며, 여기서  $C_n^*$ 는  $C_n$ 의 공액복소수이다. mBIA 부호들의 평균 마크율은 모두 1/2 이기 때문에 각각의 부호패턴, 즉 각각의 펄스패턴  $G_i(t)$ 가 발생할 확률  $P_i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, 2^m$ )는 모두 같다. 따라서  $2^m$  개의 모든 파형에 대하여 식

(9)를 풀면, (그림 14)에서 보인 바와 같이 mBIA 부호들의 이산 전력 스펙트럼은  $f=0$  인 직류성분만을 제외하고 mBIA 부호들로 부호화된 정보신호계열의 주파수  $f_0$ 의 하모닉 성분( $1f_0, 2f_0, 3f_0, \dots$ )에서 조차 존재하지 않는다. 즉,

$$S_d(f) = 0 \quad (10)$$

단,  $f=0$ 일 때는  $S_d(f) \neq 0$  이다. 이렇게 mBIA 부호들의 이산 전력 스펙트럼에서 직류성분이 존재하는 이유는 mBIA 부호들로 부호화된 정보신호계열을 2치 unipolar신호계열로 전송하기 때문이다.

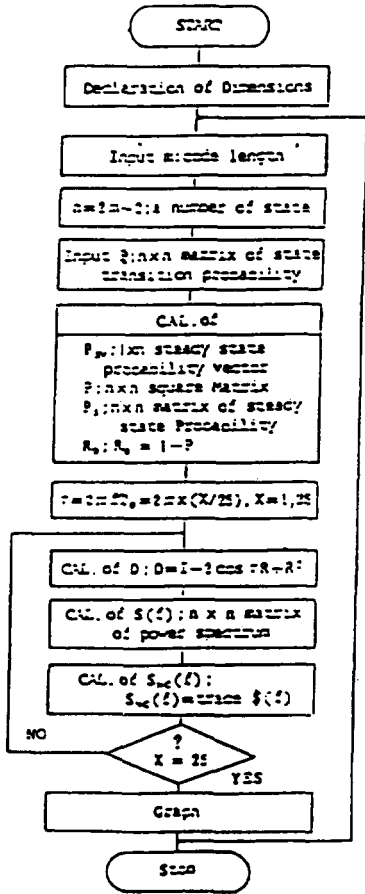


(그림 14) mBIA 부호의 이산 전력 스펙트럼  
(Fig. 14) Discrete power spectrum of the mBIA code.

#### 4.2 연속 전력 스펙트럼 $S_c(f)$ 의 분석

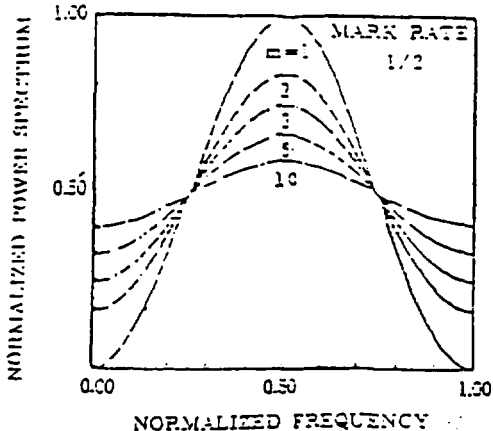
mBIA 부호들의 연속 전력 스펙트럼 성분은 각각의 mBIA 부호의 부호화 방식에 따른 상태 천이도로부터 상태천이 확률행렬  $P$ 을 결정하여 이  $P$ 로부터 정상상태 확률  $P_{sv}$ 와 정상상태 확률행렬  $P_s$ 를 구하고, 다시  $P$ 와 신호 출력부호 행렬로부터 자기상관(autocorrelation) 함수  $R_0$ 를 유도해내므로써 간단히 연속 전력 스펙트럼을 구할 수 있는 Yasuda와 Inose의 알고리즘[14, 15, 16]을 이용한 (그림 15)와 같은 컴퓨터 프로그램으로 부호장  $m = 1, 2, 3, 5, 10$ 일 때의 mBIA 부호들의 정규화 연속 스펙트럼 (그림 16)을 구하였다.





(그림 15) mB1A 부호의 정규화 연속 전력 스펙트럼의 프로그램 흐름도

(Fig. 15) Flow chart of the normalized continuous-power spectrum of the mB1A code.



(그림 16) mB1A 부호의 정규화 연속 전력 스펙트럼.  
(Fig. 16) The normalized continuous-power spectrum of the mB1A code.

(그림 16)으로부터 전송로 요구조건들 중 하나인 고저주파 성분들의 전력이 많이 억압됨을 알 수 있으며, 특히  $m=1$ 인 경우에는 저주파 성분이 거의 없다는 것을 알 수 있다.

또 평균 마크율이 1/2 인 mB1A 전송로 부호의 특성에 의하여 1/2T<sub>0</sub> 부분에서 전력 스펙트럼이 증가함을 알 수 있으며, m이 증가함에 따라 각각의 블럭 내의 "Space"와 "Mark"의 상관이 적어 랜덤계열의 스펙트럼 분석에 접근함을 또한 알 수 있다.

### 5. mB1A 부호의 성능 분석

(표 1)은 2장에서 언급한 전송로 부호 선택의 요구조건들, 즉 전송 시스템 요구조건과 B.S.I 조건들을 중심으로, 3장과 4장에서 자세히 설명한 각각의 mB1A 부호들의 성능들을 서로 비교 분석한 결과를 나타낸 표이다.

(표 1) mB1A 부호들의 성능 분석.

(Table 1) Analysis of performance of the mB1A codes.

부호	동부호 연속수	전송 시간 단위 sec	속도 상수	Mark Rate	회로 규모	계회로 수	1-bit error factor	에러검출 및 교정	전력 스펙트럼	제한 전송률	
mB1P	2m	$\frac{2m+3}{2f_0}$	$\frac{(m+1)}{2}$	$\frac{1}{2}$	X	16+4m-1+2m-SR	2	1	검출가능	DC만 존재 L-H-F 억압	100% Mb/s
PMSI	2m+1	$\frac{2m+3}{2f_0}$	$\frac{(m+1)}{2}$	$\frac{1}{2}$	○	14m-SR	2	1	불가능	DC만 존재 L-H-F 억압	100% Mb/s
mB1C	m+1	$\frac{2m+5}{2f_0}$	$\frac{(m+1)}{2}$	$\frac{1}{2}$	△	18+2m-SR	6	1	검출가능	DC만 존재 L-H-F 억압	400% Mb/s
DmB1M	m+1	$\frac{2m+3}{2f_0}$	$\frac{(m+1)}{2}$	$\frac{1}{2}$	○	18+2m-SR	11	2	검출 및 교정가능	DC만 존재 L-H-F 억압	2.5% Mb/s
mB1Z	m+1	$\frac{m+1}{f_0}$	$\frac{(m+1)}{2}$	$\frac{1}{2}$	◎	14m-SR	11	2	검출 및 교정가능	DC만 존재 L-H-F 억압	2.5% Mb/s

여기서  $f_0$  : 부호화된 정보신호계열의 주파수. ◎ : 회로규모가 가장 간단함  
○ : 회로규모 간단. △ : 회로규모 보통. X : 회로규모 복잡  
\* L-H-F 억압 : 고저주파성분 억압. m-SR : m단 SHIFT REGISTER

mB1A 부호들은 부호장  $m$ 이 증가할 수록 redundancy 상승율  $[=1/(m+1)]$ 과 순수정보 전송시의 클럭 상승율  $[=(m+1)/m]$ 이 적어지며, 평균 마크율이 1/2 이기 때문에 부호 평형성 역시 양호한 전송로 부호들이다. 이들 부호 중에서 mB1P 부호와 PMSI 부호는 동부호 연속수가 mB1P 부호일 경우 최대 2m비트, PMSI 부호일 경우 최대 (2m+1)비트로 최대 동부호 연속수가 (m+1)비트인 mB1C 부호와 DmB1M 부호, 그리

고 mBIZ 부호 보다 2배 정도 길기 때문에 2차 unipolar 신호계열 초고속 광전송 시스템용 전송로 부호로서는 부적합한 부호들이다.

또한 2차 unipolar 신호계열 고속 정보 전송에 적합한 부호로 알려져 있는 mBIC 부호 역시  $(m+1)$ 번째 비트에 보조 서어비스 비트 즉,  $m$ 번째 입력정보 비트의 complement 정보 비트, 하나를 삽입하기 위하여  $m$ 번째 비트의 상태를 항상 검사해야 하므로, 부호기 회로구성이 PMSI, DmBIM, 그리고 mBIZ 부호의 부호기 회로구성보다 더 복잡하다는 단점이 있기 때문에, 초고속 광전송 시스템용 전송로 부호로는 부적합하다. 이로부터 초고속 광전송 시스템용 전송로 부호로는 DmBIM 부호와 mBIZ 부호들이 가장 적합하나, DmBIM 부호 역시 <표 1>에 의하여 mBIZ 부호보다 전송지연시간이 길고, 회로규모가 더 복잡하므로, 초고속 광전송 시스템용 전송로 부호로서는 mBIZ 부호가 최적의 전송로 부호라는 것을 알 수 있다.

## 6. 결 론

본 논문에서는 초고속 광전송 시스템용으로 최적의 전송로 부호를 결정하기 위하여, 현재까지 제안된 2차 unipolar 전송로 부호들 중 고속 광전송 시스템용으로 적합한 전송로 부호들을 우선 선택한 후, 선택한 전송로 부호들 간의 성능 평가를 전송로 부호의 요구조건들 즉, 최대 동부호 연속수, 전송지연시간, 클럭 상승률, 마크율, 회로 규모, 전송로 에러 감시, 그리고 전력 스펙트럼에 따라 상호 분석한 결과, 다음과 같은 장점들을 갖고 있는 mBIZ 부호를 최적의 초고속 광전송 시스템용 전송로 부호로 결정하였다.

- 1) 최대 동부호 연속수를  $(m+1)$ 비트 이내로 억압할 수 있다.
- 2) 부호화하기 위한 redundancy bit 삽입률  $[=1/(m+1)]$ 과 클럭 상승률  $[=(m+1)/m]$  이 부호장  $m$ 이 커질수록 낮아진다.
- 3) 장거리 디지털 광통신망을 B.S.I화 할 수 있다.

- 4) 부호화된 정보신호계열의 마크율은  $1/2$ 이다.
- 5) 부호화된 정보신호계열로부터 timing 정보를 용이하게 추출할 수 있기 때문에, timing jitter를 억압할 수 있다.
- 6) 전력 스펙트럼상에 존재하는 고·저주파 성분들이 억압된다.
- 7) 부·복호화 회로 및 전송로 프레임 구성회로를 매우 간단히 구성할 수 있다.
- 8) in-service시 에러 검출 및 교정 능력이 있다.
- 9) out-of-service시 에러 감시 및 교정 능력을 갖추도록 하기 위한 회로규모를 매우 간단히 구성할 수 있다.
- 10) 부호화된 정보신호계열의 주파수를  $f_0$ 라 할 때 전송지연시간은  $(m+1)/f_0$ 으로 매우 짧다.

이상의 분석 결과로부터, 국내 6차군 디지털 다중화 전송속도 2.5Gb/s용 광전송 시스템이 개발되었을 때, 전송로 부호로 mBIZ 부호를 선택하여 사용하는 것이 가장 바람직하다고 사료된다.

## 참 고 문 헌

- [1] A.H.GNAUCK, R.A.LINKE, R.T.YEN, L.G.COHEN, "4-Gbit/s Transmission Over 103Km of Optical Fiber Using a Novel Electronic Multiplexer/Demultiplexer.", IEEE. J. of Light Wave Tech., Vol. LT 3, No. 5, pp. 1032-1035, October 1985.
- [2] 西成人, 吉開範章, 青山耕一, "F1.6方式多重化端局中繼裝置", 研實報, Vol. 36, No. 2, pp. 169-175, 1987.
- [3] YOSHITAKA, TAKASAKI, KIICHI, YAMASHITA, KATSUYUKI, NAGANO, "Optical Pulse Format for Fiber Optic Digital Communications.", IEEE Trans. on Comm., Vol. COM-24, No. 4, pp. 404-413, April 1976.

- [ 4 ] 加藤正美, 中川清司, 伊藤武, “高速テ“イシ”タル光傳送方式の傳送路符號構成について”, 信學論, Vol. J64-B, No. 12, pp. 1469-1470, 1981.
- [ 5 ] NORIAKI YOSHIKAI, SHIGENDO NISHI, JUN-ICHI YAMADA, “Line Code and Terminal Configuration for Very Large-Capacity Optical Transmission System”, IEEE J. on SELECTED AREAS IN COMM, Vol. SAC.4, No. 9, pp. 1432-1437, December 1986.
- [ 6 ] Tokuhiko KITAMI, Etsugo YONEDA, Hideki ISHIO, “100 Mb/s 光傳送方式の傳送路符號構成について”, 信學技報, CS 80-173, pp. 7-12, 1980.
- [ 7 ] Masami KATO, Kiyoshi NAMAGAWA, Takeshi ITO, “400 Mb/s 光傳送方式の傳送路符號構成について”, 信學技報, CS 81-30, pp. 19-24, 5. 1981.
- [ 8 ] Frank F. E. Owen, “PCM and Digital Transmission Systems”, McGraw Hill, Inc., 1982.
- [ 9 ] 俞奉善, 元東豪, 金炳贊, “高速 mB1Z 傳送路符號에 관한 研究”, 한국 통신학회 논문집, Vol. 12, No. 4, pp. 347-356, 1987.
- [ 10 ] CCITT, REC.722, “Interconnection of Digital Paths Using Techniques.”
- [ 11 ] N.YOSHIKAI, J.YAMADA, S.KAWANISHI, “Simple in-Service Method for Monitoring DMI Code Errors”, ELECTRONICS LETTERS, Vol. 20, No. 23, pp. 952-954, November 1984
- [ 12 ] NORIAKI YOSHIKAI, KOH-ICHI KATAGIRI, TAKESHI ITO, “mB1C Code and Its Performance in an Optical Communication System”, IEEE Trans. Comm., Vol. COM-32 No. 2, pp. 163-168, February 1984.
- [ 13 ] Satoki KAWANISHI, Noriaki YOSHIKAI, Junichi YAMADA, “A Study on a Very-High Speed Optical Transmission Line Code”, 信學技報, CS. 84-163, 1984.
- [ 14 ] Hiroshi Yasuda, Hiroshi Inose, “遷移確率行列によるハルス系列の電力スペクトルの直接計算法”, 信學論, Vol. 53-A, No. 11, pp. 604-611, 1970.
- [ 15 ] W.R.BENNETT, “Statistics of Regenerative Digital Transmission”, B.S.T.J., Vol. 37, pp. 1501-1542, 1958.
- [ 16 ] Yuichi YOSHIDA, “Method of Power Spectrum Calculation of Markov Signals”, 信學論, Vol. 56-A, No. 9, pp. 536-543, 1973.

### 유 봉 선

1984년 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1986년 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1991년 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1989년~현재 인덕전문대학 전자과 조교수

관심분야 : 부호이론, 정보통신(광통신 시스템), 멀티미디어 시스템 등

