

## 데이터 전송 선로 부호

金 大 榮

忠南大學校 工科大學  
電子工學科 助教授(工博)

### I. 序 論

데이터의 전송이나 녹음에 있어서 주어진 선로의 주파수 전달 특성에 맞추거나 수신측의 원활한 동기 재생을 위해서 원천 데이터를 적당한 형태의 선로기호로 변환하여 전송해야 하는데 이때 사용되는 변환부호 또는 알고리즘을 선로부호라 한다. 이 선로부호는 데이터 통신 시스템 전체의 성능을 좌우하는 초기 송신 오물에 직접적인 영향을 미친다는 의미에서 그 중요성을 갖는다.

디지털 통신이 급성장하기 시작한 60년대초 이후로 실로 많은 수의 선로부호가 제안되었다.<sup>[1-3]</sup> 어떠한 유형의 데이터 송신 시스템에서든 그 설계자는 이 많은 선로부호 중에 과연 어느 것이 자기의 시스템에 가장 적합한 선로부호인가 하는 질문에 직면하게 될 것이다. 원하는 송신 속도에 비해 주어진 선로의 대역폭이 충분하여 대역 이용 효율에 대한 압박이 작고 선로상의 신호대잡음비(SNR)가 충분히 클 경우에는 동기 재생의 용이성과 제작상의 간편성 등만을 고려하면 되므로 비교적 용이하게 선로부호 선택에 대한 결정을 내릴 수 있을 것이다. 그러나 대역 이용 효율 및 최대 송신 오물에 대한 압박이 크거나 자기(magnetic) 녹음에서와 같이 선로에 부분적이거나 비선형 특성이 있을 경우 선로부호의 선택은 매우 중요하고 어려운 문제가 될 수 있다.

선로부호의 올바른 선택을 위해서는 선로부호 전반

에 대한 포괄적인 이해가 선행되어야 할 것이다. 이를 위하여 이 논문에서는 우선 데이터 송신 시스템의 모형을 정리하고 선로부호 선별의 가장 중요한 기준이 되는 세 가지 성질을 소개하며 이어서 가장 전형적이고 실용적 중요성이 높다고 생각되는 선로부호들을 그 레벨 수에 따라 분류 열거하고, 각각의 특징, 장단점, 응용 분야에 대해 논하고자 한다. 여기에서 논의될 부호들은 알려진 수 많은 부호들 중의 일부에 지나지 않으나 선로부호의 중요 문제점들과 그 발전의 맥락을 이해하는데에 작으나마의 도움이 되리라 믿는다.

### II. 기저대역 데이터 송신 시스템 모형

기저대역 데이터 전송 시스템은 그림 1과 같이 모형화 할 수 있다.<sup>[4]</sup> 통과대역 시스템이라도 선형 변조의 경우에는 대등한 기저대역으로의 변환이 가능하므로 그림 1의 모형은 그대로 유효하다.

F는 원천 데이터  $x_n$ 을 선로 심볼  $y_n$ 으로 변환하는 선로부호기이며 그 출력은 시간축에서 다음과 같이 표현된다.

$$y(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} y_n \delta(t-nT) \tag{1}$$

G는 펄스성형 여파기로서 여러가지가 가능하다. 곧, 그림 2 (a),(b)과 같이 zero-ISI(intersymbol interference)를 위한 Nyquist의 제 1 조건을 만족하는 raised-cosine 주파수 특성의 유한 대역폭 여파기가

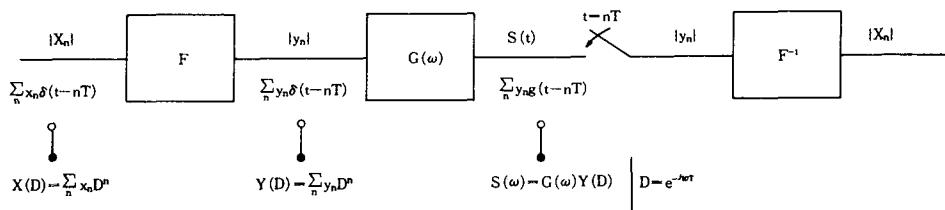


그림 1. 기저대역 데이터 전송 시스템 모형

교과서적인 보기이다. 그러나 실제에서는 위와 같이 이상적인 영점 통과 특성을 구현하기 어렵기 때문에 선로의 특성상 얻어지는 펄스를 그대로 사용하기도 하는데 그림2(c)에 보인 자기 시스템의 Laplace 펄스<sup>[5]</sup>, 광섬유의 Gaussian 펄스가 그 보기이다. 한편, 선로를 생각지 않고 송신단만을 고려하여 그림2(d)와 같이 RZ(return-to-zero), NRZ(non-RZ)의 사각 펄스 또는 raised-cosine 시간 특성의 펄스를 시간 반응으로 갖는 무한 대역폭 펄스도 생각할 수 있다.

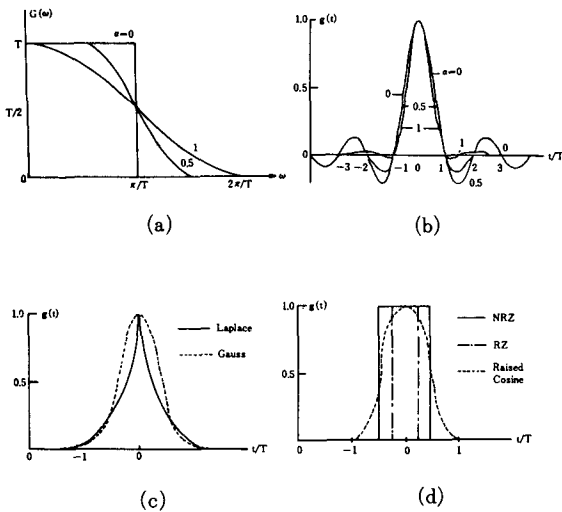


그림 2. 여러가지 성형펄스

- (a) Raised-cosine, 주파수 반응
- (b) Raised-cosine, 시간 반응
- (c) Laplace와 Gauss 펄스
- (d) RZ(duty cycle 50%), NRZ, 시간측 raised-cosine

$G(w)$ 의 시간반응을  $g(t)$ 라 하면 송신 출력 신호  $s(t)$ 는

$$S(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} y_n g(t-nT) \quad (2)$$

로 그 전력스펙트럼  $W_s(w)$ 는

$$W_s(w) = W_y(w) |G(w)|^2 \quad (3)$$

로 주어진다. 여기에서  $W_y(w)$ 는 무작위 원천 데이터  $x_n$ 에 대한  $y(t)$ 의 전력스펙트럼이며, 이것은 부호기 F에만 관계하고 펄스성형기 G와는 무관한 부분이다.

식(3)에서 볼 수 있듯이  $W_y(w)$ 와  $G(w)$ 가 독립적으로 선로신호 전력스펙트럼  $W_s(w)$ 를 결정짓는 것에 유의하기 바란다. 따라서 서로 다른 선로부호들의 주

파수 특성을 비교할 때 그  $W_y(w)$ 들을 보아야 할 것이다. 그림 1에서와 같이 F와 G를 분리하여 생각하면 흔히 들을 혼합하여 일으키기 쉬운 혼동을 피할 수 있다.

### III. 선로부호의 세가지 중요한 성질

선로부호의 선택에 있어서 가장 우선적으로 고려하여야 할 사항으로 아래에 논하는 세 가지를 들 수 있다. 물론 레벨 수나 눈 폭과 같이 못지 않게 중요한 사항도 있으나, 전자는 안정 상태가 들뿐인 디지털 자기 녹음 시스템에서를 제외하고는 원칙적으로 제약 조건이 되지 않으며, 후자는 아래의 세 가지의 이후에야 고려될 문제이다.

#### 1. 무직류성분(DC-Free) 성질

실제 시스템에서는 직류성분 내지 저주파수 성분을 통과시키지 못하거나 바람직하지 못한 선로가 흔히 있다. 예를 들어 자화 녹음 시스템이나 공중 전화 회선은 inductive coupling 때문에 저주파 성분의 재생이나 전송이 불가능하다. (물론, quantized-feedback<sup>[6]</sup>과 같은 직류 성분 복구 방법이 있으나 이 부대 회로의 추가가 정당화 되지 못하는 경우가 흔하다.) 또는 추후의 주파수 대역 다중화를 예상할 경우에도 인접 채널과의 용이한 분리를 위해서 무직류성분 성질이 바람직하다.

이 무직류성분 성질과 관련하여 선로부호 설계자들 간에는 오랫동안 다음의 정리가 사용되어 오고 있다.<sup>[1-5,6]</sup>

[정리 1] DSV가 유한한 선로부호는 무직류성분 성질을 갖는다.

여기에서 DSV는 F를 특정짓는 지수로 다음과 같이 정의 된다.

$$DSV \triangleq \max_{\substack{I, J \\ I, J}} \left| \sum_{n=I}^J y_n \right| \quad (4)$$

DSV가 유한하면 직류 성분이 없고 DSV가 작을수록 저주파 성분이 작다. 곧, 여기서 말하는 무직류성분 성질은 단순히 직류성분이 없다는 의미를 넘어서 저주파 성분이 작음을 뜻한다.

#### 2. 최소대역폭(Minimum-Bandwidth) 성질

Nyquist의 이론에 의하면 시간당  $R=1/T$ 개의 펄스를 보내기 위한 최소한의 대역폭은  $B=1/(2T)$ 이다. 이때의 여파기는 그림2(a)에서  $\alpha=0$  곧 이상저역통과 여파기에 해당하여 sinc 펄스 (그림2(b)의  $\alpha=0$ )

성형을 의미한다. 그러나 대부분의 선로부호들은 sinc 펄스로 성형을 하면 선로신호  $s(t)$ 의 눈이 완전히 닫히게 되므로 최소 대역폭으로의 동작이 불가능하다.<sup>[4]</sup> 그러나 최근에 다음과 같은 선로부호의 최소대역폭 성질에 관한 정리가 발견되었다.<sup>[8,9]</sup>

[정리2] ISV가 유한한 선로부호는 최소대역폭 성질을 갖는다.

여기에서 ISV는

$$ISV \triangleq \max_{1 \leq n \leq J} \left| \sum_{n=1}^J (-1)^n y_n \right| \quad (5)$$

로 정의되는 지수이다.

유한 ISV의 조건을 만족시키는 많지 않은 부호 중의 일부로 잘 알려진 Duobinary Modified, Duobinary 등의 최소대역폭 Partial-Response (PR) 부호들을 들 수 있다.<sup>[10]</sup> 그외의 최소대역폭 선로부호들은 하나[1]를 제외하고는 모두 [정리2]를 이용하여 최근해야 설계된 것들이다.<sup>[11]</sup>

3. RLL (Runlength-Limited) 성질

이것은 선로부호에 자체동기(self-clocking) 능력을 부여하기 위한 것이다. 곧, 선로상에 동일 심볼이 연속해서 반복되는 길이를 runlength라 하고, 그 최대치가 유한하면 RLL 성질을 갖는다고 한다. 수신된

선로 신호로부터 동기를 재생하려 할 경우 선로 신호에 되도록 빈번한 심볼 전이가 있어야 안정된 크기의 동기 주파수 성분을 얻어 낼 수 있다. 따라서, 선로부호가 RLL 성질을 갖고 있으면 선로부호가 자체동기 능력을 갖고 있어 선로 신호로부터의 동기 재생이 가능하다고 말한다. RLL 성질을 갖지 않는 선로부호를 사용할 경우 흔히 원천 데이터를 scramble한 뒤 선로부호화하고 수신측에서는 복호화한 뒤역으로 descramble 하는 방법으로 선로상의 심볼 전이 빈도를 높이고 있으나<sup>[12]</sup>, 이것으로는 runlength가 발산하는 것을 완전히 방지할 수 없다. 그러나 RLL 성질을 갖는 선로부호라면 이러한 번거로움이 필요 없다.

IV. 2진 부호

2진 데이터를 2진부호로 나타낸다는 것은 어쩌면 가장 자연스러운 발상이다. 동일한 평균 송신 전력 또는 최대 진폭제한 조건에서라면 당연히 선로부호의 레벨수가 적을수록 선로신호의 눈이 크게 열리므로 2진 부호는 우선 큰 눈을 갖는 이점이 있다. 이러한 이유가 아니더라도 선로의 특성상 2진 부호가 아니면 안 될 경우가 있다. 곧, 디지털 자기 녹음에 있어서는 SNR과 녹음 밀도를 높이기 위해 자화 과정의 비선형 특성(hysteresis)을 ac-bias 기법 등으로 보정하지 않

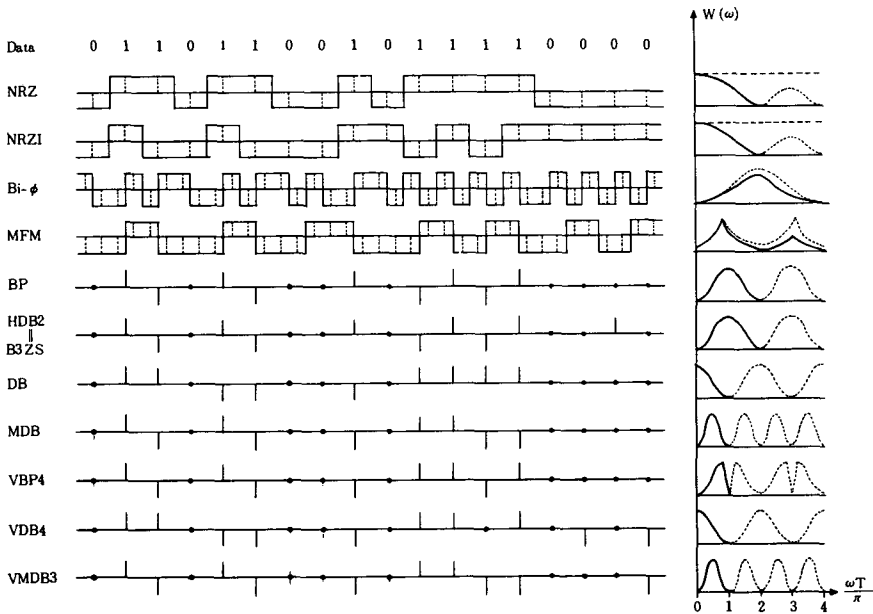


그림 3. 몇가지 선로부호의 부호화 보기 및 대략적 전력스펙트럼 모양

고 직접 녹음을 하는데, 이 경우 +포화와 -포화의 두 개의 안정 상태만 존재하므로 2진 선로부호 밖에 사용할 수 없다.<sup>(6)</sup>

그림 3에 가장 대표적인 2진 선로부호들을 통상적인 관습을 따라 NRZ 펄스 성형의 경우로 도시하였다. 2진 부호의 경우에는 흔히 선로부호와 성형 펄스를 구분하지 않고 한데 모아 한, 이름으로 불려지는데 이 논문에서도 경우에 따라 이런 애매한 관습을 그대로 따르겠다. 그러나 II장에서 논한대로 (1)식으로 나타내지는 선로부호의 출력과 성형 펄스  $g(t)$ 는 원칙적으로 상호 독립적으로 선택될 수 있음에 유의하기 바란다.

### 1. NRZ

이 이름은 엄격하게는 그림 2(d)에서와 같이 duty cycle 100%의 사각 펄스를 의미하나 (0, 1) 2진 원천 데이터를 그대로 (0, 1) 또는  $(-1/2, +1/2)$ 로 일대일 대응을 시킨 후 NRZ 펄스로 성형한 시스템 (F+G)도 흔히 같은 이름으로 불린다.

이 부호는 쉽게 얻을 수 있어 널리 쓰이고 있지만 중요한 단점들을 갖고 있다.

첫째, runlength가 제한되어 있지 않다. 데이터 frame format상 애초에 원천데이터가 RLL되어 있는 특수한 경우가 아니라면 scrambling이 불가피하다. 그러나 III장에서 지적한 대로 scrambling은 완전한 해결책이 못 된다.

둘째, 무직류성분 성질을 갖지 않는다. 따라서 광섬유나 dc-coupled 선로와 같은 저역통과선로에서 밖에 사용할 수 없다.

### 2. NRZI (NRZ-Inverse)

NRZ-Mark라고도 불리는 이 부호는 mark(1)에서는 레벨 전이를 하고 space(0)에서는 레벨 전이를 하지 않는 부호이다.<sup>(1,2)</sup> 이것은 원천 데이터를 differential coding한 뒤 NRZ 부호화를 하여 얻을 수 있다. 만일 원천 데이터에 심벌 전이가 빈번하지 않을 경우 최소한 mark에서만이라도 레벨 전이를 보장할 수 있어 NRZ에 비해 평균 runlength를 줄이는 효과가 있다. 휴식 상태의 원천은 흔히 1을 계속 내보내는데 이때에 특히 NRZI가 유리하다.

그 이외의 점에 있어서는 NRZI와 NRZ는 동일하다; 평균 runlength에 약간의 이득이 있을 수 있음에도 불구하고 여전히 RLL 성질을 갖지 못하며, 또한 여전히 무직류성분 성질을 갖지 못한다. Mark 대신에

space에서 레벨 전이를 하는 것을 NRZ-Space라 부른다.

### 3. Biphase (Bi- $\phi$ )

PM(phase modulation) 또는 발명자의 이름을 따라 Manchester 부호라고도 불리며 통상 Biphase-L(level) 부호를 뜻하는 이것은 위에서 지적한 NRZ의 두가지 단점을 모두 개선한 부호이다. 곧, 매 심벌 구간의 중간에 데이터가 1이면 상향 전이를, 0이면 하향 전이를 하여 매 심벌 구간마다 레벨 전이가 보장되어 있다. 이 부호는 초기 자기 디스크나 자기 테이프 또는 single density 디스켓 등의 저밀도 디지털 자기 녹음에 널리 쓰였으며, 위성 통신과 근거리통신망(LAN)의 선로부호로도 쓰이고 있다. Biphase의 가장 큰 단점은 최소 펄스폭이 NRZ의 반으로 줄어 대역폭이 NRZ에 비하여 두배로 커진 점이다. 따라서 같은 조건하에서 녹음 밀도 또는 전송율이 NRZ에 비하여 반으로 떨어지지 않을 수 없다.

Biphase의 한 변형으로 차등 선부호화하는 것을 precoded Biphase 또는 differential Biphase라 한다. 이것에는 다시 두 가지가 있는데 구간 경계에서마다 전이를 하는 이외에 데이터 1에서는 구간 중앙에서 상향이든 하향이든 레벨 전이를 하고 데이터 0에서는 구간 중앙에서의 전이를 전혀 하지 않는 변형을 Biphase-M, 그 반대의 변형을 Biphase-S라 한다. Biphase-L이 위상변조와 유사한 반면 이 두 부호는 오히려 주파수 변조로 볼 수 있다.

### 4. MFM (Modified FM)

Delay Modulation 또는 Miller code로도 불리는 이 부호는 대역폭 축소를 목적으로 Biphase-M을 변형한 것이다.<sup>(13,14)</sup> 데이터 1에서는 구간 중앙에서 전이하고 데이터 0에서는 구간의 끝에서 전이한다. 단 1 앞의 0에서는 구간 끝의 전이를 억제한다. MFM의 첫 전력영점은 Biphase와 마찬가지로  $f=2/T$ 에 생기지만 대부분의 전력이  $f=1/T$  안에 모여있어 실질대역폭 축소의 효과가 있다. 물론 이 부호도 RLL 성질을 가지나 무직류성분 성질은 잃는다. 그러나 저주파성분의 크기가 비교적 작으므로 NRZ에 비하여는 현저히 ac-coupled 선로에 유리하다. NRZ에 대비한 MFM의 단점은 동일한 원천 데이터율에 대해 선로상의 심벌율이 두 배로 늘어나 눈 폭이 반으로 줄고 따라서 timing jitter에 더 민감하다는 것이다. MFM은 고밀도 자기 디스크, 고밀도 자기 테이프, double density 디스켓 등에 널리 쓰이고 있다.

MFM을 변형하여 무직류성분 성질을 갖게 한 것으로서 Miller<sup>2</sup> 부호가 있다.<sup>[15]</sup> 그러나 그 부호화 법칙이 복잡하여 널리 통용되지는 못하고 있다.

### 5. (8, 10) 부호

GCA, ENS라고도 불리는 이 부호는 소위 group code(또는 alphabetic code)의 일종이다.<sup>[16]</sup> 데이터를 8비트 곧 1바이트씩으로 나누고 각 바이트를 10비트로 부호화한다. 10비트 단어 중에 0과 1이 각각 다섯씩인 것이 252개 있고 이들은 모두 단어별로 무직류성분과 RLL 성질을 갖는다. 8비트를 부호화하기 위해 필요한 총 256개의 단어중 252개는 이들을, 나머지 4개는 0과 1이 넷 또는 여섯인 단어로 채우고 이 네 단어는 발생률이 낮은 원천 바이트(예를 들어 A/D 변환시의 양끝의 네 레벨)의 부호화에 사용한다. 이렇게 하여 부호화하면 RLL은 물론 무직류성분 성질도 실질적으로 보장된다. 이 부호의 단점이라면 부호화 과정에서 table lookup을 위해 ROM을 액세스해야 하기 때문에 고속 전송에 불리하다는 것이다. 이 부호는 바이트 별로 부호화하기 때문에 디지털 오디오나 비디오 녹음에 적합하다.

GCA와 같은 부류에 속하는 것들로서(4, 5)의 GCR과 (8, 14)의 EFM 부호등이 있다. 전자는 디지털 오디오에서 한동안 많이 쓰이던 부호이며<sup>[17]</sup> 후자는 최근의 compact disc에서 사용된 부호이다.<sup>[18]</sup>

## V. 비최소대역폭 3진 부호

이 장에서는 3진 부호중 최소대역폭 성질 갖지 않는 것들에 대해 알아보기로 한다. 앞 장의 대부분의 부호들이 NRZ를 개선하기 위해 심벌율을 늘려 얻은 redundancy를 이용한 것에 반해, 여기에 소개하는 부호들은 SNR의 손해를 감수하며 선로 심벌의 레벨 수를 셋으로 늘려 필요한 redundancy를 얻으려는 착상에서 비롯된 것들이다.

### 1. Bipolar (BP)

이것은 NRZ를 개선하려는 가장 최초의 3진 부호로서<sup>[19]</sup> 데이터 0은 0으로 데이터 1은 +1 또는 -1로 번갈아 가며 부호화하며 이 부호화 법칙 때문에 AMI(Alternate Mark Inversion)이라고도 불린다.<sup>[20]</sup> 대역폭은 NRZ와 대등하고 무직류성분 성질을 갖는다. 그러나 데이터 0가 연속되면 아무런 펄스도 발생되지 않기 때문에 여전히 RLL 성질을 갖지 못한다. 가장 잘 알려진 보기로서 RZ 펄스 성형을 이용한 Bipolar가 TI 반송 장치에 쓰이고 있다.<sup>[19, 21, 22]</sup>

### 2. BnZS(Bipolar with n-Zero Substitution)

BP에 RLL 성질을 부여하기 위한 변형으로서<sup>[23]</sup> 원래의 BP에서 연속되는 n개의 0를 같은 길이의 펄스군으로 대체한다. 곧, B2ZS는 0V 또는 BV를, B3ZS는 00V 또는 B0V를, B4ZS는 BVBV를, B6ZS는 B0VB0V를 대체펄스군으로 사용한다. 여기에서 B는 본래의 BP 법칙대로 바로 이전 펄스와 반대의 극성을 갖는 펄스이며, V는 이 법칙을 위반하여 바로 이전 펄스와 동일한 극성을 갖는 펄스이다.

BnZS는 RLL 성질을 갖는다는 점을 제외하고는 BP와 유사한 특성을 갖는다. 주로 북미권에서 B3ZS와 B6ZS가 많이 쓰이고 있다.<sup>[21, 22]</sup>

### 3. HDBn(High Density Bipolar n)

이것도 BP의 RLL 변형의 하나로서<sup>[20]</sup> BP에서의 연속되는 n+1개의 0를 같은 길이의 00...0V 또는 B0...0V로 부호화한다. 이 대체펄스군은 무직류성분 성질을 유지하기 위해서 인접한 두 V사이의 B의 갯수가 홀수가 되도록 선택한다. 대체펄스군으로서 0...00V 또는 0...B0V를 사용하는 변형을 CHDB(Compatible HDB)라 하는데<sup>[24]</sup>, 이것은 n에 무관하게 동일한 복호기를 사용할 수 있는 잇점이 있다.

이 두 부호군은 2이상의 모든 n에 대해 존재하지만 실제에서는 HDB3와 CHDB3만이 유럽 지역을 중심으로 사용되고 있다.<sup>[21, 22]</sup>

### 4. 4B-3T(4 Binary to 3 Ternary) 부호

이것은 알파벳 부호의 일종으로서 네 비트의 2진 데이터를 세개의 3진 심벌로 부호화 한다.<sup>[25]</sup> 알파벳으로 하나 이상의 펄스를 갖는 세 개의 3진 심벌로 이루어진 단어 16개 2조를 mode에 따라 번갈아 가며 사용한다. 이 부호의 DSV는 7로서 무직류성분과 RLL 성질을 가지며 선로상의 심벌율이 3/4으로 줄어 대역폭 축소의 효과가 있다.

4B-3T와 유사하지만 DSV가 더 작은 3진 부호로서 MS43, VL43<sup>[26]</sup> 등이 있다. 이들은 몇가지 성능면에서 4B-3T보다 우수하지만 부호화 법칙이 훨씬 더 복잡하다. 이 외에도 같은 부류의 부호로서 2B-3T의 PST,<sup>[27]</sup> 2B-1Q(Quaternary), 6B-3Q등이 사용되고 있다.<sup>[21, 22]</sup>

## VI. 최소대역폭 3진 부호

최근까지 최소대역폭 3진 부호는 수 개 밖에 알려져 있지 않았다. 그러나 최근 III장의 [정리2]가 알려진 이후로 여러개의 최소대역폭 3진 부호들이 새로이

설계되어 소개되고 있다.

### 1. Duobinary (DB)

Class-1 PR부호로도 불리우는 이 부호는 1963년 Lender에 의해 소개된 최초의 최소대역폭 부호이다.<sup>[28]</sup> PR부호란 부호화기가 transversal filter로 표현되는 선형 선로부호로서 통상 선부호화를 동반한다.<sup>[10]</sup> DB는 무직류성분 성질이 없어 저역통과 선로나 QAM시스템에 적합하나 RLL 성질이 없는 것이 단점이다.

### 2. Modified Duobinary (MDB)

무직류성분 성질을 위한 DB의 변형으로서 Class-4 PR로도 불리운다.<sup>[29]</sup> 고속모뎀, digital SSB radio 등에 많이 사용된다. Kobayashi는 자기 녹음 시스템의 미분특성을 PR부호기로 볼 수 있다는 점에 착안하여 자기 녹음에 MDB를 사용할 것을 제안하기도 하였다.<sup>[30]</sup>

### 3. VBPM과 DVBPm

VBPM (Variation of BP for ISV=m)은 BP의 최소대역폭 변형으로 원래의 BP에서 발산하는 ISV를 유한값 m으로 제한 함으로써 대역폭을 Nyquist 주파수  $1/(2T)$ 로 축소한 것이다.<sup>[8,11]</sup> 부호화 법칙은 다르지만 복호는 BP와 동일하고 DSV는 2이다.

DVBPm은 VBPM의 dual 부호로서 DSV=m이고 ISV=2이다.<sup>[31]</sup> 이 부호는 DB(DSV=무한대, ISV=1)의 무직류성분 성질을 위한 변형으로도 볼 수 있다. DVBPm은 무직류성분과 최소대역폭 성질을 갖는 점에서는 VBPM과 동일 하나 눈 폭이 현저히 큰 장점이 있다.

### 4. VDBr (Variation of DB for a runlength limit to r)

이 부호는 DB의 RLL 변형이다.<sup>[32,33]</sup> ISV는 2, DSV는 그대로 무한대로서, 정상 상태에서 데이터 0과 0(no pulse)로 데이터 1이 펄스(+ 또는 -)로 부호화되는 점이 DB와 반대다. 또한 데이터 0와 1이 r개 연속되면 같은 길이의 대체펄스군으로 부호화된다. 원래의 DB에서는 인접한 두 펄스가 사이에 0을 짝수 개 두고 있으면 극성이 같고 홀수 개 두고 있으면 극성이 반대인 성질이 있는데, VDBr의 각 대체펄스는 이를 위반하는 펄스를 V펄스로 사용한다.

VDBr은 3 이상의 모든 r에 대해 존재하며 최소대역폭과 RLL 성질을 갖고 다만 무직류성분 성질을 갖지 않는다. 따라서, 저역통과선로에서 가장 우수한 특성의 선로부호로서 사용될 수 있다.

### 5. VMDBr과 DVMDBr

VMDBr (Variation of MDB for a runlength limit to r)은 MDB(DSV=ISV=2)의 RLL 변형이다.<sup>[34]</sup> MDB에서 +와 -펄스의 run은 원래 제한되어 있으므로 0의 run만 제한하면 된다. 데이터 0가 r+1개 연속되면 이를 같은 길이의 00000...V, 0B000...V, B00B0...V, B0V00...B 중의 하나로 부호화하여 DSV=2, ISV=4로 유지한다. VMDBr은 3 이상의 모든 홀수에서 존재하며 DSV는 2, ISV는 4이다.

VMDBr 이전의 유일한 무직류성분의 최소대역폭 RLL 부호로서 TIBr 부호가 있다.<sup>[3]</sup> 그러나 이 부호는 선로 신호의 전력이 대역끝으로 치우쳐 있어 이 부근에 있기 쉬운 선로의 비이상 특성의 영향을 받기 쉬우며 눈 폭이 VMDBr보다 작다는 결점이 있다.<sup>[84]</sup>

DVMDBr (Dual VMDBr)은 MDB의 ISV는 그대로 2로 둔 채 DSV만을 4로 올리며 RLL 성질을 얻는 것으로, ISV가 작기 때문에 VMDBr보다 눈 폭이 현저히 크다.<sup>[35]</sup> 따라서 DVMDBr은 현재까지 발견된 이 범주의 부호 중 가장 우수한 부호라고 할 수 있다.

여기에 소개한 VMDBr, TIBr, DVMDBr은 선로부호에서 가장 중요한 무직류성분, 최소대역폭, RLL 성질을 모두 갖고 있는 부호들이며 이러한 의미에서 최적(optimum) 선로부호라 할 수 있다.

## Ⅶ. 결 론

본 논문에서는 데이터 전송에 이용되는 선로부호들에 요구되는 가장 중요한 성질들을 세 가지로 요약하고, 이러한 관점에 비추어 가장 널리 통용되고 있는 선로부호들을 레벨 수에 따라 분류하고 그 장단점 및 전형적인 응용 분야에 대하여 논하였다. 대체로 바람직한 성질이 하나 둘 씩 추가됨에 따라 2진 부호에서는 대역폭이나 눈 폭 면에서의 희생은 감수하여야 하는 반면 3진 부호에서는 SNR의 희생과 부호화기의 복잡성이 뒤따름을 보았다. 특히 최근에 확립된 선로부호의 최소대역폭 특성을 위한 조건과 그에 기초를 두어 설계된 일련의 최소대역폭 선로부호들은 앞으로의 데이터 전송에서 주어진 선로 대역폭의 이용효율을 극대화할 수 있는 가능성을 제시하고 있음을 보았다.

## 參 考 文 獻

- [1] H. Kobayashi, "A survey of coding schemes for transmission or recording of digital data," *IEEE Trans. Commun.*

- Technol.*, vol. COM-19, pp. 1087-1100, Dec., 1971.
- [2] N.Q. Duc and B.M. Smith, "Line coding for digital data transmission," *Australian Telecommun. Res.*, vol. 11, pp. 14-27, Feb., 1977.
- [3] A. Croisier, "Introduction to pseudoternary transmission codes," *IBM J. Res. Dev.*, vol. 14, pp. 354-367, July, 1970.
- [4] 김대영, 김재균, "Nyquist을 펄스 전송에 관한 고찰", 대한전자공학회 통신, 교환, 마이크로파 및 전자전파 연구회 합동학술발표회 논문집, 한국과학기술원, pp. 13-17, 9월 23일, 1982.
- [5] J.C. Mallinson, "Tutorial review of magnetic recording," *Proc. IEEE*, vol. 64, pp. 196-208, Feb., 1976.
- [6] R.W. Lucky, J. Salz, and E.J. Weldon, Jr., *Principles of Data Communication*, McGraw-Hill, New York, 1968.
- [7] J. Justesen, "Information rates and power spectra of digital codes," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-28, pp. 457-472, May, 1982.
- [8] D.Y. Kim and J.K. Kim, "A condition for stable minimum-bandwidth line codes," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-33, pp. 152-157, Feb., 1985.
- [9] D.Y. Kim and J.K. Kim, "Lower bounds to eye widths of minimum-bandwidth systems," *Proc. of IEEE GLOBECOM '84*, Atlanta, Ga., U.S.A., pp. 12.6.1-12.6.4, Nov. 27-29, 1984.
- [10] P. Kabal and S. Pasupathy, "Partial-response signaling," *IEEE Trans. Commun.* vol. 23, pp. 921-934, Sept., 1975.
- [11] 김대영, 현상균, 김재균, "세 가지 새로운 최소 대역폭 선로부호", 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집, 6권 1호, 인하대학교, pp. 33-35, 7월 28일, 1983.
- [12] *Transmission Systems for Communications*, 5-th ed., Bell Telephone Laboratories, 1982.
- [13] A. Miller, US Patent 3,108,261, Oct. 22, 1963.
- [14] M. Hecht and A. Guida, "Delay modulation," *Proc. IEEE*, vol. 57, pp. 1314-1316, July, 1969; also Correction in *Proc. IEEE*, vol. 58, p. 182, Jan., 1970.
- [15] D.A. Lindholm, "Power spectra of channel codes for digital magnetic recording," *IEEE Trans. Magnetics*, vol. MAG-14, pp. 321-323, Sept., 1978.
- [16] J.L.E. Baldwin, "Recording PAL signals in digital form," *Proc. IEE* vol. 125, pp. 606-610, June, 1978.
- [17] T. Tamura, et al., "A coding method in digital magnetic recording," *IEEE Trans. Magnetics*, vol. MAG-8, pp. 612-614, 1972.
- [18] J.B.H. Peek, "Communications aspects of the Compact Disc digital audio system," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 23, pp. 7-15, Feb., 1985.
- [19] M.R. Aaron, "PCM transmission in the exchange plant," *B.S.T.J.*, vol. 41, pp. 99-142, Jan., 1962.
- [20] CCITT Study Group D, Annex to Question 7/D, Vol. III: Questions, CCITT Recomm. Yellow Books, 1980.
- [21] N.Q. Duc, "Line coding techniques for baseband digital transmission," *Australian Telecommun. Res.*, vol. 9, pp. 3-17, 1975.
- [22] H. Huneck, "PCM-Koaxialkabelsysteme-eine vergleichende Ueberblick," *Nachrichtentechnik-Elektronik*, vol. 23, pp. 231-235, 1978.
- [23] V.I. Johannes, A.G. Kaim, and T. Walzman, "Bipolar pulse transmission with zero extraction," *IEEE Trans. Commun. Technol.*, vol. COM-17, pp. 303-310, April, 1969.
- [24] A. Croisier, "Compatible high-density bipolar codes: an unrestricted transmission plan for PCM carriers," *IEEE Trans. Commun. Technol.*, vol. COM-18, pp. 265-268, June, 1970.
- [25] A. Jessop, P. Norman, and D.B. waters, "120 Mbit/s coaxial system demonstrated in the laboratory," *Elect. Commun.*, vol. 48, pp. 79-92, April, 1973.
- [26] P.A. Franaszek, "Sequence-state coding for digital transmission," *B.S.T.J.*, vol. 46, pp. 143-157, Dec., 1967.
- [27] J.M. Spres, "A new class of selected ternary pulse transmission plans for digital transmission lines," *IEEE Trans. Commun. Technol.*, vol. COM-13, pp. 366-372.

- [28] A. Lender, "The duobinary technique for high-speed data transmission," *IEEE Trans. Commun. Electron.*, vol. 82, pp. 214-218, May, 1963.
- [29] E.R. Kretzmer, "Generalization of a technique for binary data transmission," *IEEE Trans. Commun. Technol.*, vol. COM-14, pp. 67-68, Feb., 1966.
- [30] H. Kobayashi, "Application of partial-response channel coding to magnetic recording system," *IBM J. Res. Dev.*, vol. 15, pp. 64-74, Jan., 1971.
- [31] J.I. Baek and J.K. Kim, "A new dc-free line code of minimum bandwidth with increased eye width," submitted to *IEE Electronics Letters*, May, 1985.
- [32] 김대영, 김재균, "저역통과 선로를 위한 최소대역폭 선로부호", 대한전자공학회지, 20권 5호, pp. 23-30, 9월, 1983.
- [33] 김대영, 백제인, 박윤규, 일련의 연구 서신, 1985.
- [34] D.Y. Kim and J.K. Kim, "New runlength-limited and dc-free line code of minimum bandwidth," *IEE Electronics Letters*, vol. 18, pp. 1040-1041, Nov. 25, 1982. \*

### ♣ 임회원서 작성 방법 ♣

1. 자택주소 및 직장주소는 정확하게 기입해 주십시오.
  2. 학력사항과 경력사항은 빠짐없이 정확하게 기재해 주십시오.  
(사진은 두장을 필요로 하며 임회원서 사진란과 임회원서 뒷면에 각각 붙여 주시면 됩니다).
  3. 주연구회는 1개, 부연구회는 2개를 표시하십시오(선택분야에 따라 관련 세미나 안내장을 발송해 드립니다).
  4. 2명의 추천인 도장을 받아야 하며 추천인의 자격은 전자공학회 정회원 이상으로 합니다.
  5. 회원자격의 구분
    - 정 회원 : 대학졸업 3년 이상 되신분   년회비 ₩ 12,000
    - 준 회원 : 대학졸업 3년 이하 이신분   년회비 ₩ 10,000
    - 학생회원 : 학 생 부                   년회비 ₩ 8,000  
(학생회원만 임회비 면제)
  6. 회비는 전국 은행의 99번 지로창구에서 납부하시면 됩니다.  
지로번호 : 7510904
  7. 이사회나 상임이사회에서 승인이 되면 책을 발송해 드립니다.
- ※ 본학회에 가입하실때에는 임회원서를 작성하셔서 임회비와 1년회비를 선불하시면 됩니다.  
(임회원서는 무료 배부)
- ※ 홀수달에는 회지, 짝수달에는 잡지가 발송되고 소속이나 주소가 변경되었을 경우에는 학회로 반드시 연락해 주십시오.