

현상근, 김대영, 김재근  
한국과학기술원, 전기 및 전자공학부

An experimental study on the characteristics of a Nyquist-rate signaling system

S. K. Hyun, D.Y. Kim, and J.K. Kim  
Department of Electrical Engineering, KAIST

ABSTRACT

A baseband data transmission system is implemented on a microcomputer for performance study on some NRS (Nyquist-rate signaling) line codes. These codes are compared in terms of eye width, BER (bit error rate), and power spectrum.

1. 서론

대역폭이  $W$ Hz 인 전송선로에 대해 펄스간의 간섭이 없이 가능한 최대한의 전송속도는  $2W$  [symbol/sec] 이다.<sup>[1]</sup> 이 전송속도를 Nyquist 전송율이라고 하며, 이 속도로 전송할 수 있는 대표적인 것으로는 선형부호로서 PRS (Partial-response signaling) 부호가 있다.<sup>[2]</sup> 한편, 수신측에서의 timing 재생을 쉽게 할 수 있도록 zero-length 를 제한하는 비선형 부호들이 있다. 그중 NRS (Nyquist-rate signaling) 부호로는 TIBn, VDBn, VMDBn [4] 등이 있으며, NRS 부호가 아니면서 널리 쓰이고 있는 것으로는 BnZS, HDBn, CHDBn, MS43 등이 있다.<sup>[3]</sup>

본 논문에서는 NRS 부호들의 전송선로에서의 특성을 조사하기 위해, 부호기 (encoder), wave shaper 및 모의 전송선로 (simulated transmission line), 복호기 (decoder) 로 이루어져

는 데이터 전송 system 을 구성하였다. 이것을 이용하여 선형부호인  $1 + D$  (Duobinary code),  $1 - D^2$  (Modified duobinary code), 비선형부호인 VDB5 (Varied duobinary code with zero-length limited to 5), TIB5 (Transparent interleaved bipolar with zero-length limited to 5), VMDB5 (Varied modified duobinary code with zero-length limited to 5) 의 성능을 비교한다. 이 실험장치는 channel simulator 및 timing recovery test set 로 이용될 수 있다.

2. System 의 구성 및 동작원리

(1) System 의 구성

System 은 그림 1과 같이 부호기 (encoder), wave shaper & simulated channel, 복호기 (decoder) 로 구성된다.

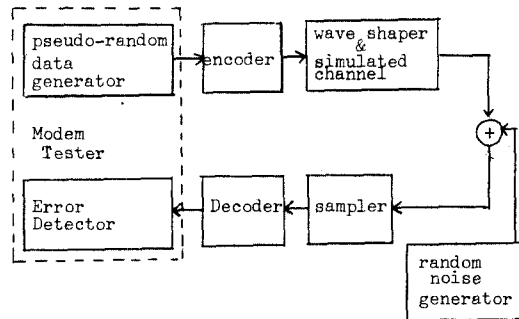


그림 1. system 계통도  
system block diagram

세계의 각부분은 Z-80A microprocessor 를 CPU 로 하는 single card computer 로 구성하였다. 여기에서 Modem 시험기는 pseudo - random data 발생기 및 에러 검출기로 사용된다.

(2) 부호기 (Encoder )

Modem 시험기는 외부 clock 에 동기되어 pseudo - random data 를 발생한다. 한 data구간 T 마다 CPU 에 interrupt 가 걸리며, 부호기는 code 의 종류를 구별하고, 이에 따라 pseudoternary symbol (+1, 0, -1)로 coding하여 wave shaper 및 모의 전송선로로 보낸다. 이 경우 PRS 부호인  $1 + D, 1 - D^2$  는 fixed-length sequence code 로서 입력data (1 또는 0)가 들어오는 즉시 3 level (1, 0, 또는 -1)로 부호화된다. 이에 반해 비선형 부호인 TIB5, VDB5 및 VMDB5 는 variable-length sequence code 로서 연속되는 zero 의 수에 따라 framing block 의 크기가 달라진다.<sup>[6]</sup> 여기에서 고찰하는 비선형 부호의 경우 연속하는 zero 의 수가 5개 이하이면 zero 입력 data 로 coding 되지만, 연속하는 zero 가 6개가 되면, zero data 는 적절한 위반펄스 (violation pulse ) 및 보상펄스 (compensation pulse )로 대체되어 출력된다. 이때 DSV 와 ISV 가 각각 2와 4로 제한되도록 coding 된다.<sup>[4,5]</sup>

(3) Wave shaper & simulated channel

Wave shaper 의 ROM에는 모의 전송선로의 임펄스 반응파형이 기억되어 있어, 부호기에서 coding 되어온 data 에 따라 RAM 에서 convolution 된다. 입정한 시간지연 (8T)후에 RAM 의 내용이 buffer control 회로로 옮겨지고, 외부 clock 에 동기되어 D/A 변환기로 출력된다. D/A 변환된 analog 신호는 Bessel-type 지역여파기를 통과한 후 전송된다. Software 로 처리하는 데에서 오는 전송속도의 한계때문에 본 논문에서는 600 baud 의 전송속도로 실험하였다.

(4) 복호기 (Decoder)

Wave shaper 에서 출력된 신호에 대역 제한된 (0-300Hz) 박색 짐음이 합쳐진다. 이 신호는 최적 sampling 순간에 sampling되어 A/D 변환되고 digital data 가 되어 Z-80A CPU 에 입력된다. 이 data 는 threshold decision 되어 +1, 0, 또는 -1로 되고 decoding algorithm 에 의해 복호화된다. 복호화된 data 는 modem 시험기로 입력되어 BER (Bit error rate) 을 측정하게 된다.

3. 실험결과 및 성능비교

제작한 system의 내부 SNR은 50 dB 이상으로 양호한 특성을 나타내었다.

(1) 눈의 모양 (eye pattern)

Wave shaper 의 출력신호를 외부 동기된 스크로프를 통해 눈의 모양을 관찰하였다. 관찰한 눈의 모양 중에서  $1 + D$  및  $1 - D^2$  는 사진 1, 2 와 같고, 눈의 넓이는 표 1과 같다.

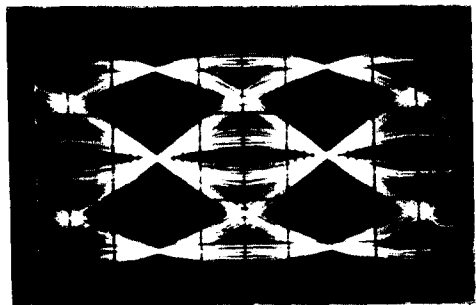


사진 1.  $1 + D$  의 eye pattern  
eye pattern of  $1 + D$

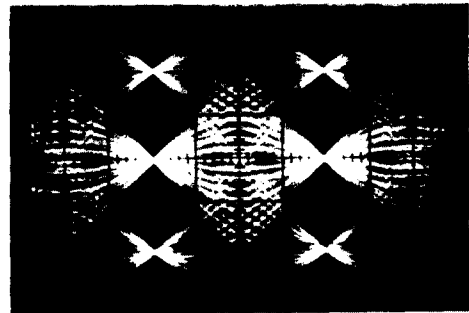


사진 2.  $1 - D^2$  의 eye pattern  
eye pattern of  $1 - D^2$

Coder	이론치 ( T )	측정치 ( T )
1 + D	0.6667	0.661
1 - D <sup>2</sup>	0.3572	0.371
TIB5	0.2744	0.346
VDB5	0.5417	0.621
VMDB5	0.2977	0.354

표 1. NRS code 들의 눈의 넓이  
eye width of NRS codes

(2) 비트 에러율 ( BER ; Bit Error Rate )

이상적인 저역통과 전송선로에서 대역 제한된 (0-300 Hz) 백색잡음을 신호에 합한 경우, 측정된 BER 은 그림 2와 같다.

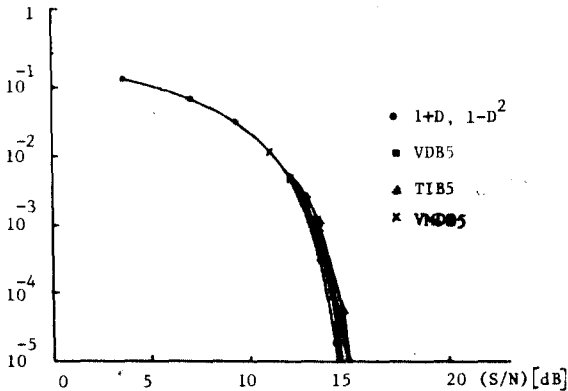


그림 2. 백색잡음이 있는 이상적인 저역통과 전송선로에서의 비트 에러율

BER in ideal lowpass channel with AWGN

앞의 그림에서와 같이 fixed-length sequence code 인 1 + D 및 1 - D<sup>2</sup>가 잡음에 대해 강하고, variable-length sequence code 중에서는 눈의 넓이가 가장 큰 VDB5 가 작은 에러율을 나타내며, 눈의 넓이가 TIB5 보다 약간 큰 VMDB5 가 TIB5 보다 좋은 성능을 나타냄을 알 수 있다.

(3) 전력 스펙트럼 ( power spectrum )

설계한 system 에서 입력 data 전송속도는 600 baud 로서 요구되는 통과대역은 300 Hz 이다. 측정된 전력 스펙트럼 중 에서 1 + D, 1 - D<sup>2</sup> 는 사진 3, 4와 같다.

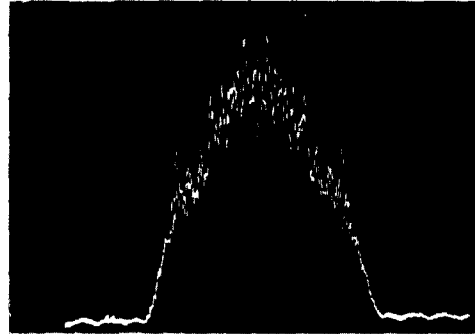


사진 3. 1 + D의 전력 스펙트럼  
power spectrum of 1 + D

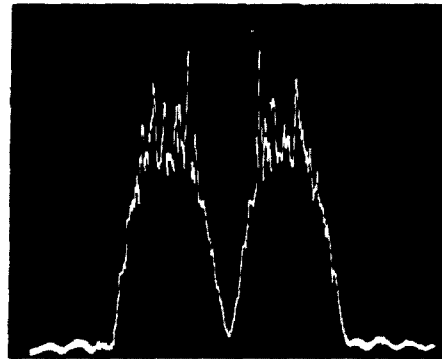


사진 4. 1 - D<sup>2</sup>의 전력 스펙트럼  
power spectrum of 1 - D<sup>2</sup>

4. 결 론

마이크로 프로세서를 응용한 이 system은 매우 정확한 파형을 만들어 내고, 전송선로의 임펄스 반응을 기억시킴으로써 전송선로 simulator로 응용되고 line code 들의 성능을 비교하는 데 유용함을 알 수 있다. Zero-length limiting code 의 경우 다소 성능이 떨어지나 timing제정에 유효하며, 최근에 새로 제안된<sup>[4]</sup> VDB5, VMDB5 의 성능

이 실험적으로 확인되었고, 특히 dc-free code  
로서 이전의 TIB5 [3] 보다 VMDB5 의 성능이  
우수함을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

1. R.W. Lucky, J. Salz, and E.J. Weldon, Jr.,  
Principles of data communication, New York,  
McGraw-Hill, 1968.
2. P. Kabal and S. Pasupathy, "Partial-response  
signaling", IEEE. Trans. on comm., vol. COM-  
23, pp. 921-924, Sept. 1975.
3. A. Croisier, "Introduction to pseudoternary  
transmission codes", IBM J. Res. Dev., vol.  
14, pp. 354-367, July 1970.
4. D.Y. Kim and J.K. Kim, "A Study on Nyquist-  
rate signaling", in preparation.
5. D.Y. Kim and J.K. Kim, "On Nyquist-rate  
pulse transmission", KIEE. vol. 6, No. 1,  
Sept. 1982.
6. G.L. Cariolalo, and G.L. Pierobon, "Station-  
ary symbol sequences from variable-length  
word sequences", IEEE. Trans. on infor.,  
vol. IT-23, No. 2, March 1977.