

# CCITT V.32 모뎀 설계에 관한 연구

송영규\*, 김성락\*, 김대영\*\*, 강철희\*

\* 전자통신연구소, \*\* 충남대학교

## A Study on the Design of a CCITT V.32 Modem

YOUNG GYU SONG\*, SEONG RAK KIM\*, DAE YOUNG KIM\*\*, CHUL HEE KANG\*

\*ETRI, \*\*CHUNG NAM NATIONAL UNIV.

### Abstract

In this paper, simulation studies of a CCITT V.32 modem for two-wire full-duplex 9600bps transmission over switched circuits are reported. Our modem consists of subsystems including a carrier tracking loop, a symbol timing recovery loop, an adaptive equalizer, and an adaptive echo cancellor. As regards the basic structure of adaptive systems, the stochastic gradient (LMS) algorithm has been used for the fractionally spaced equalizer(FSE) and the block LMS algorithm for the echo cancellor. Also, the carrier phase tracking loop is based on the decision-directed method and jointly adaptive with the equalizer. The viterbi algorithm for sequence estimation has been realized by the soft decision (Euclidean distance) method.

### 1. 서론

아나로그 전화 선로를 이용한 데이터 전송은 그 경제성이나, 여러가지의 이유로 매우 긴요하고 중요한 데이터 통신 방법중 하나이다. 이에 음성대역 선로를 이용한 데이터 모뎀은 매우 중요한 장비이며 여러형태로 개발되었다. 특히 전화 선로를 이용한 공중 데이터 망에서의 응용 예를 볼때 중고속의 2선 전이중(full-duplex) 전송 방식의 데이터 모뎀이 크게 사용될 것이다. 이와 관련하여 CCITT에서도 전이중 방식의 2400bps 모뎀의 표준으로 V.22bis와 V.26ter에 이어 1984 Red

Book에 9600/4800bps 모뎀의 표준으로 V.32를 권고하고 있다[1].

적은 대역폭에 빠른 양방향 데이터 전송이 동시에 이루어지므로 송수신의 채널은 동일한 대역폭을 공유하게 되고, 이것은 선로에서의 반향(echo)에 의해 간섭을 받게된다. 따라서 송수신 채널의 분리는 필수적이며 V.32에서도 반향 제거기(echo cancellor)를 권고하고 있다. 이밖에도 V.32 모뎀은 9600bps 고속 데이터 전송시 효율을 높이기 위하여 Trellis coding 방식을 사용하고 있으므로 여기에 맞는 수신부의 decoding 방식을 사용 하여야 한다. 또한 모뎀의 수신부에서는 동기 복구 회로, 적응 등화기(adaptive equalizer) 등이 필요하다.

이상에서 본 V.32 모뎀의 사양을 보면 표-1과 같다.

전송 속도	9600bps, 4800bps		
전송 방법	Two-wire full-duplex		
변조 방식	QAM (carr. freq. 1.8kHz)		
심볼 속도	2400 baud		
CODING 방식	4800bps	Differential coding	
		Non-redundant coding	Differential coding
	9600bps	Redundant coding	Differential coding + Trellis coding
채널분리 방식	Echo cancellation		

\* 본 연구는 한국전자통신연구소의 위탁과제(1986. 5 - 1987.1)로 수행되었다.

표 - 1. V.32 modem specifications

이와같은 V.32 모델을 구현하기 위해서 선로 접합부를 제외한 모든 부분을 DSP(digital signal processor)를 이용하여 디지털 시스템으로 설계하였다.

이 본 논문에서는 V.32 모델의 송수신부에 대한 필요한 알고리즘과 그 실현 방식을 연구하고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 시스템 최적 계수를 찾아내었다.

## 2. 시스템 설계

### 1) 송신부

송신 부호화는 9600bps redundant coding을 채택했으며 그림 - 1은 9600bps Trellis coding의 X-Y mapping 상태를 보여준다. 참고로 그림 - 1안의 A, B, C, D는 4800bps일때의 신호 점들이다. 그림의 각 점에서 5bits은 9600bps 전송에서 4bits과 2/3 rate trellis coding에서 1bit이며 2400 baud의 속도를 갖는다[2].

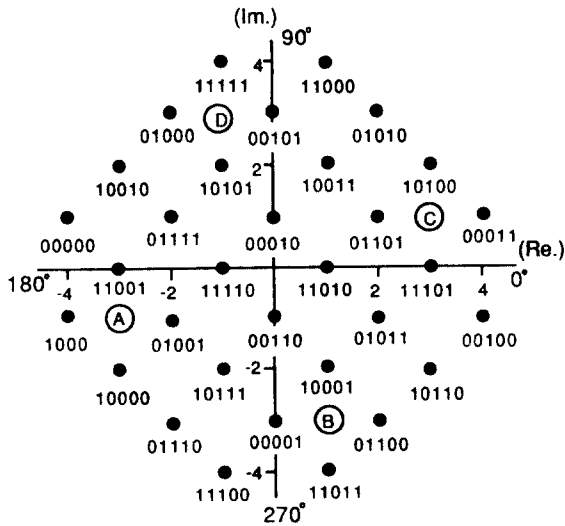


그림 - 1 Signal constellation

송신부의 펄스 성형 여파기는 권고안에서 제시한 roll-off 계수 0.25의 raised-cosine 형태로 하였으며, 여기서 수신부의 여파기를 고려하여 raised-cosine 형태를 square-root한 특성으로 송수신부에 각각 설계하였다.

변조기에서 샘플 속도는 Nyquist 이론과 후에 수신부에서 설계될 반향 제거기의 계산량, 여파기의 특성을 고려하여 9600Hz로 결정

하였다. 따라서 송신부의 디지털 여파기는 보간(interpolation)을 이용한 특성이 되고, 샘플 속도와 관계없이 계산량은 일정하게 된다. 또한 선로의 지연 특성을 고려하여 변조기 다음에 전대역(all-pass) 여파기를 이용하여 선로 지연 특성을 보상하였다.

### 2) 수신부

전이중 전송방식으로 생긴 누화(echo)를 없애는 반향 제거기는 적용되는 알고리즘이나, 제거기의 위치에 따라 여러가지가 있으며 각기 상이한 특성을 가지고 있다. 먼저 적용 알고리즘을 보면 그 계산량과 수렴 속도는 trade-off 관계에 있다. 그러나 실제 실시간 시스템으로의 구성과 사용될 DSP의 수를 고려할 때 LMS(least mean square)외의 방식은 경제성이 맞지 않는다. 반향 제거기의 위치는 pass-band로 하였는데 이것 역시 계산량을 고려해서이다 [7]. V.32 모델은 QAM방식의 변조 형태로써 base-band로 간다면 복소수 형태의 반향 제거기가 되며 이것은 두 배의 많은 계산량을 요구하게 된다. 또한, 수신측 hybrid에서 생기는 원단 누화(far echo)와 근단 누화(near echo) 사이에 생기는 신호 전달 지연 시간을 고려하여 일정한 시간 만큼 지연 시킨 후 제거하는 원단 누화 제거기(far echo cancellor)와 근단 누화 제거기(near echo cancellor)로 나누어 설계하였다[8].

심볼 동기 복구(symbol timing recovery)는 디지털 시스템을 설계하는데 중요한 요소이다. 이것은 크게 두가지 방식으로 구현되고 있는데 첫째는, decision-directed 방식인데 각 심볼의 동기 위상 오차를 계산하여 이 오차를 줄여가는 적응 추적 알고리즘을 사용하는 것이다. 둘째는 수신된 신호에 비선형 과정을 사용하여 심볼 주파수에 선 스펙트럼을 만든 후 이것을 협대역 여파기를 이용하여 추출해 내는 것이다[3]. 전자의 방식은 최적의 동기 점에 도달할 수 있는 장점이 있으나 초기값 설정의 문제점과 계산량이 많이 든다. 따라서 본 시스템에서는 후자의 방법을 택하였으며 이때 협대역 여파기는 IIR 형태의 디지털 여파기로 설계 하였다[6].



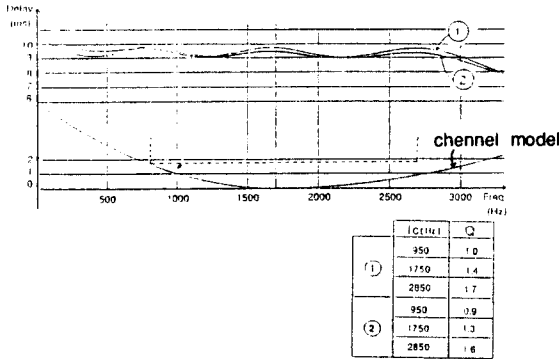


그림-4 Pre-equalizer에의해 보상된 채널 지연 특성

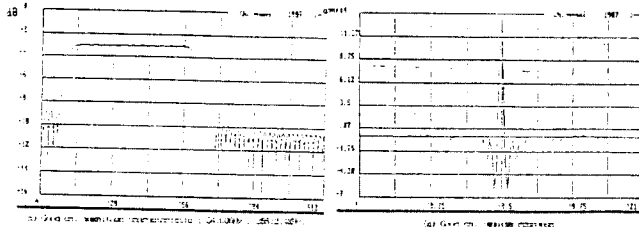


그림-5 channel model

반향 제거기는 누화의 영향시간을 20ms로 했을 때를 기준으로하여 tap수는 192개로 하였다. 여기서 4개의 부 반향 제거기를 만드니 각 반향 제거기는 48개의 tap을 갖게된다. 반향 제거기는 LMS 방식과 block LMS 방식을 시뮬레이션 했다. 그림-6은 시뮬레이션 결과이다. 그림에서 (b)는 반향 제거기의 출력과 본래 받아야 할 수신신호를 나타낸 것이다. 실선은 송신 신호이고 x표를 한 것은 반향 제거기의 출력이다.

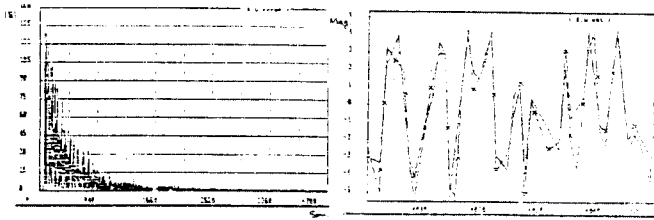


그림-6 Echo canceller 시뮬레이션 결과

적응 등화기는 채널에서의 영향을 10ms로 생각하여 24개의 심볼이 되니 FSE를 사용하므로 실제로 48개의 tap을 사용하였다. 그림-7은 시뮬레이션 결과이다.

그림-8에서는 반송파 위상 추적을 동시에 할 때의 결과이다.

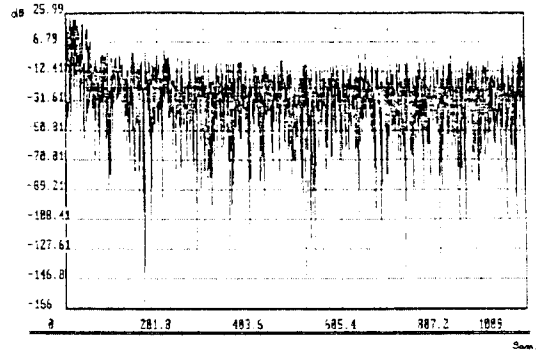


그림-7 Equalizer 시뮬레이션 결과

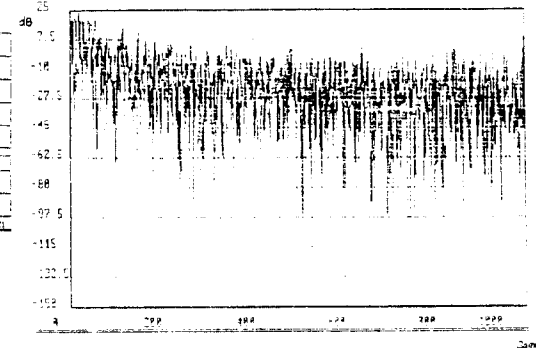


그림-8 Jointly adaptive FSE and phase rotator (input=10dB, phase jitter(60Hz)=0.5, carr. shift=5Hz)

그림-9는 등화기 출력의 데이터 scattering과 eye pattern을 보여준다.

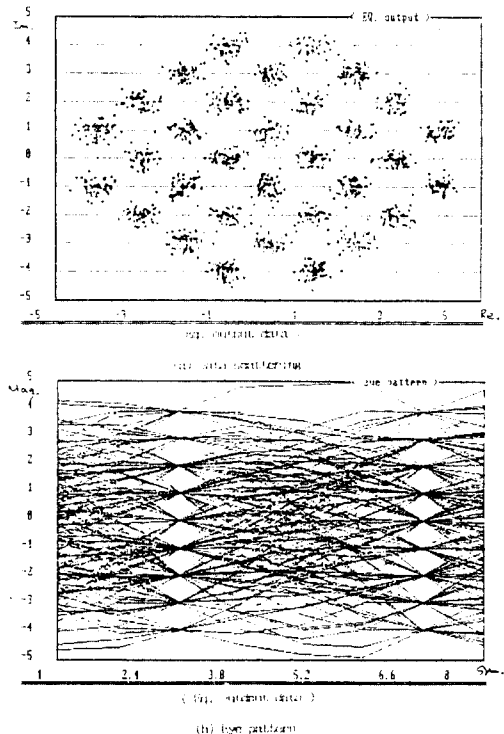


그림-9 등화기 출력

표-2는 100개의 심볼을 가지고 window의 크기를 변화시키면서 시뮬레이션한 Viterbi algorithm의 결과이다.

# window	1.5	2.5	3.5	4
rate 5 symbols 11 (rate 1, 100)	no error	no error	no error	1
rate 5 symbols 12 (rate 1, 100)	9	9	9	10
rate 5 symbols 11 (rate 1, 100)	0	0	1	6
rate 10 symbols 11 (rate 1, 100)	no error	1	2	2
rate 10 symbols 11 (rate 1, 100)	no error	no error	no error	1
rate 15 symbols 11 (rate 1, 100)	no error	no error	no error	1
rate 15 symbols 11 (rate 1, 100)	no error	0	2	3

< Window 수에 따른 VA 성능 비교 >

표 - 2 VA 시뮬레이션 결과

#### 4. 검토 및 결론

본 논문에서는 CCITT V.32 모델을 구현하기 위해 각 부시스템을 설계하고 시뮬레이션하였다. 적응 시스템에 이용될 각 알고리즘과 최적변수도 찾아냈다. 앞으로 각 부시스템의 조합으로 설계된 모델의 성능 테스트에 대한 연구가 계속되어야 할 것이다.

감사의 글 : 이 연구를 도와주신 TI Korea 의 김 명수  
부장님, KAIST의 박 규호 교수님께  
감사드립니다.

#### 5. 참고문헌

- (1) CCITT Rec. V.32, "The modem for full duplex transmission at 4800 and 9600 bps on the PSTN or least line", Red Book, Geneve, 1984.
- (2) J. D. Bromlie & E. L. Cusack, "Duplex transmission at 4800 and 9600 bit/s on the PSTN and the use of channel coding with a partitioned signal constellation, " IEEE Telecom. Technol., Vol.2, No.4, pp.64-73, Sept. 1984.
- (3) K. H. Mueller & M. Muller, "Timing recovery in digital synchronous data receiver," IEEE, Tr. Commun., Vol. Com-24, NO.5, pp.516-531, May, 1976.
- (4) G. Ungerboeck, "Fractionally spaced equalizer and consequences for clock recovery in data

modems," IEEE Tr. Commun., Vol. COM-24, No.8, pp.856-864, Aug. 1975.

(5) G. David Forney, Jr. "The Viterbi algorithm," IEEE Proceeding, Vol.61, No.3, March, 1973.

(6) Fred J. Taylor, Digital filter design handbook : Dekker, New York

(7) K. Feher, Digital communication : Prentice Hall, Englewood cliffs

(8) D. G. Messerschmitt, "Echo cancellation in speech and data transmission," J-SAC, Mar., 1984.