

2선 신호에 Digital 전송을 위한 ECM(Echo Cancelling Method) 설계에 관한 연구

○ 임준심\* 정희삼\*\* 김영길\* 이형서\*

\* 아주 대학교 전자 공학과  
\*\* 한국 전자 통신 연구소

A Study on the ECM(Echo Cancelling Method) Design for Digital Transmission over the Two-Wire Loops

C.S. Lim\*, H.C. Chung\*\*, Y.K. Kim\*, H.S. Lee\*

\* Dept. of Electronics Eng., Ajou University  
\*\* Electronics and Telecommunications Research Institute

Abstract

This paper describes the design of echo cancelling method(ECM) for transmission with full-duplex which is transmitted on "2B+D" (144kbps) data through two-wire loop plants.

The design objective is 40dB attenuation with a signal-to-noise ratio of 10~20dB. Since the transhybrid loss can be as low as 6~10dB, the required attenuation of the echo signal is on the order of 50~55dB.

The used algorithms are based on the sign algorithm, and have been improved by using adaptive reference voltage level algorithm.

I. 서론

현재 우리가 살고 있는 80년대를 고도 산업 사회라 한다면 90년대는 고도 정보 사회가 될 것이다.

정보화 사회에 중추적인 역할을 수행하게 될 새로운 통신망인 종합 정보 통신망(ISDN; Integrated Service Digital Network)의 개념이 대두되고 있다.

종합 정보 통신망은 기존의 전화망을 이용하여, 전화 이외에 데이터 통신, 문서 통신 및 화상 통신을 동시에 처리할 수 있고 새로운 개념의 통신 기술로 기존 전화 시설에 디지털 전송 기능을 부여함으로써 구축할 수 있다.

본 논문에서는 종합 정보 통신망 상취를 위해 가장 기본이 되는 2선 전화 신호를 통해 "2B+D"(144kbps) 정보를 전이중 방식으로 전송하기 위한 반향 제거 방식(ECM; Echo Cancelling Method)의 설계에 관하여 기술하였다.

II. 반향 제거 알고리즘

기존 아날로그 시스템에서 널리 사용되고 있는 방식인 전송 링크의 2방향 분리를 위해 hybrid transformer를 사용하여 수신 신호에 포함된 송신 신호의 영향을 제한함으로써 2선 신호상에 양방향성 디지털 전송을 제공할 수 있다.

2선-4선 변환이 아날로그 하이브리드에 의해 수행되기 때문에 near-end crosstalk와 far-end crosstalk가 수신 경로상에 삽입되게 된다. 그러므로 이러한 현상을 줄임으로써 신호 회복을 가능 하도록 하는 기능의 실현이 ECM system 설계의 가장 중요한 부분이라 할 수 있다.

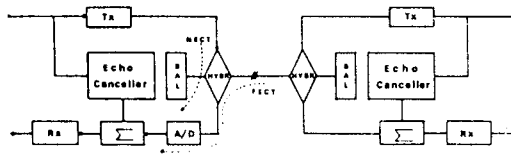


그림1. Echo Cancelling Method의 원리

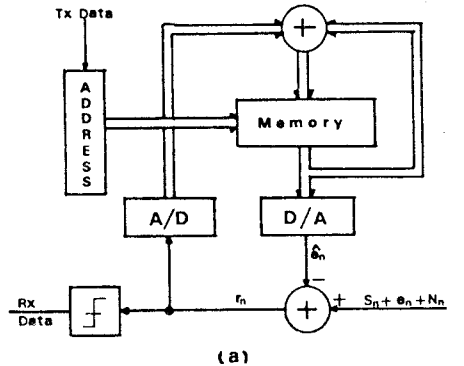
그림1에서는 반향 제거(echo cancelling)가 송신 경로로부터 수신 경로에 적용됨을 블록도로 나타내었다.

이 알고리즘은 하이브리드의 불완전한 송수신 분리에 의한 반향 신호를 제거하여, 2선 전화 신호를 통해 전이중 정보 전송이 가능하게 된다.

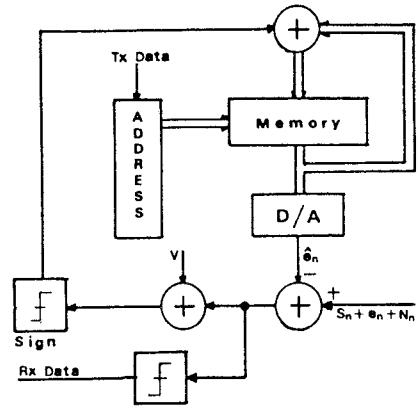
반향 신호의 임펄스 응답은 시간과 외부 환경 조건에 따라 변화되며, 전송 거리에 따른 하이브리드 불균형에 의한 변화를 보상하여야 한다.

전형적인 반향 신호에 의한 감쇄(S/N)는 10~20dB이며, 전송 거리에 의한 감쇄는 40dB 이상이 된다[1][2].

또한 하이브리드 손실이 6~10dB 되며, 반향 신호에 대한 총 감쇄는 50~55dB가 된다.



(a)



(b)

그림2. 메모리 보상 원리에 의한 적응 알고리즘  
(a) Stochastic Iteration 알고리즘  
(b) Sign 알고리즘

그림 2 에서 보면 송신 정보와 수신 정보에 대한 반향 제거를 위한 적응 과정(Adaptive process)의 제어정보(Control Information)는 다음과 같이 얻어진다.

$$r_n = S_n + N_n + e_n - \hat{e}_n$$

$S_n$ : 수신 신호  
 $N_n$ : 수신된 신호에 포함된 잡음  
 $e_n$ : 반향  
 $\hat{e}_n$ : 반향 추정치

반향이 제거된 샘플  $r_n$ 는 반향 추정치  $\hat{e}_n$ 와 1 : 1 의 대응관계에 있으므로 메모리의 레지스터는 1치씩 구조로 구성할 수 있다. 메모리 보상 원리에 의한 반향 제거 방식에서 사용되는 알고리즘은

- 상관관계 알고리즘
- Stochastic 반복 알고리즘
- Sign 알고리즘

등이 있는데 상관관계 알고리즘은  $N_n$ 의 평균값을 이용하는 것으로 메모리 보상 방식(memory compensation method)에 실현 할 수가 있는 것으로 평가된다.

Stochastic 알고리즘에서의 반향 추정치는 다음과 같이 표현 할 수가 있다.

$$\hat{e}_{n+1} = \hat{e}_n + \alpha r_n \quad \alpha: \text{증폭 변수}$$

이 방식에서는 A/D 변환기의 사용은 필연적이며 가격 저하와 전력 소모량 축소와 동작속도 개선등에 불리한 조건이 되고 있다.

Stochastic 알고리즘을 사용하는 메모리 보상 방식의 반향 제거는 One-Tap Transversal Filter와 동등한 기능을 갖는 필터가 될 수 있으며 동작 속도에 있어서는  $2^N/N$  정도로 Transversal Filter가 빠르게 된다[3][4].

사인(Sign) 알고리즘은 반향이 제거된 샘플  $r_n$ 를 직접 적응시키는 방식으로서 A/D 변환기는 비교기(Comparator)로 대체할 수 있다[5].

사인 알고리즘을 사용했을 때는 회로 내부에서 발생하는 잡음이 문제가 되며 이것을 고려하여 반향 추정치를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\hat{e}_{n+1} = \hat{e}_n + \Delta \text{sign}(r_n + V_n)$$

$\Delta$ : (메모리를 구성하는 레지스터의 Step Size)

사인 알고리즘이 갖는 취약점은 반향 제거를 위한 적응과정 속도가 너무 늦다는데 있으므로 초기 상태에서의 수렴 시간이 문제가 된다.

실제에 있어서 통화중인 가입자가 갑자기 다른 통화선으로 바꾸어질 가능성은 없으며 메모리의 내용은 축적 가능한 것이어서 초기 상태에서부터 정상 동작 시점 까지 수렴되는 시간은 문제가 없게 된다.

이러한 이유로 반향 지연(echo delay), 임펄스 응답(impulse response)와 가우스 잡음 밀도 함수(Gaussian noise density function)를 이용한 computer simulation에 의해서, ECM을 8개의 Tap, 2kbit의 memory size와 수신 Level의 1/256인 noise estimate치로 구성하였다.

### III. Sign Algorithm을 이용한 ECM의 설계

Transversal Filter에서는 필터 계수와 전송 데이터가 convolution 되어 반향 신호 추정치를 만들게 되므로, 계수는 반향 경로의 임펄스 응답 추정치가 된다.

이와 반해서 RAM 구조에서는 반향 신호 추정치가 바로 메모리에 저장된다. 메모리의 주소는 전송 데이터의 순서 조합으로 이루어진다.

또한 Transversal Filter에서는 한 데이터 구조 마다 N개의 필터 계수가 모두 변환되지만 RAM 구조에서는  $2^N$ 개의 메모리 영역 가운데 하나만이 변환되므로, 약  $2^N$  배 정도 Transversal 구조에 비해

수렴(convergence) 속도가 느리게 된다.

한편 RAM 구조에서는 반향 신호 추정치가 각 데이터 구간 마다 송신 데이터의 순서 조합에 따라 변환되어 메모리에 저장된 후 반향 신호를 제거하게 되므로, 전송 데이터에 대해 비선형적으로 관계되는 반향 신호 부분도 제거될 수 있다. dual RAM으로 구성 하므로써 single RAM으로 구성시 보다 좀 RAM Size가 줄어들고, Filter의 수렴 속도가 빠르게 된다.

Adaptive Reference Voltage Level Algorithm은 error update rate를 감소할 수 있도록 3 level update 치를 만든다. 3 level update는 각 수신 신호의 최대 amplitude에 의해 변환된 Reference Voltage Level에 의해 제어된다.

이 방법은 correction fixed step factor를 이용한 기존의 Sign Algorithm보다 variable step factor를 이용함으로써 수렴 속도가 개량되었고, 이 구성도는 그림 3에 있으며, 주요 기능은 다음과 같다.

수신된 신호는 오직 반향 신호와 잡음이 있는 far-end 신호라 가정하자. 우리는 시간 n에서 far-end symbol을  $Z_n = r_n + \hat{e}_n$  식으로 추정할 수 있을 것이다. 여기서,  $r_n$ 는 수신 신호이고  $\hat{e}_n$ 는 반향 신호 추정치이며,  $Z_n$ 는 에리 신호이다. 그러므로 far-end symbol 추정치는  $\hat{e}_n = \text{sign}(Z_n)$  이다. 이 알고리즘은 Stochastic iteration 알고리즘의 adaptive filter에서 대부분 쓰여진다. 이 memory filter 구조에서, 알고리즘의 correction term은  $kZ_n = k(r_n + \hat{e}_n)$  이다. 여기서, K는 fixed step factor이다. 이 알고리즘은 매우 복잡하며, 많은 전력을 소비하는 ADC를 사용해야 하는 단점이 있다.

sign algorithm에서는 correction term K에신어  $\text{sign}(Z_n)$ 이 사용되어져, ADC는 간소하면서도 전력을 조금 소비하는 비교기(comparator)로 대체 된다. 그러나 이 알고리즘은 앞서도 언급 했듯이 수렴 시간을 증가 시킬뿐 아니라, 더우기 잔류 반향 레벨(residual echo level)이 far-end 데이터 레벨과 같을때 수렴을 하지않는 단점이 있다.

이러한 점을 피하기 위해, dithering 신호를 여러 신호에 가산하거나 또는 far-end 신호의 적응 추정치(adaptive estimate)를 써서 far-end 신호의 양함으로 부터 벗어나는 방법과 start-up 또는 learning) 처리 방법이 있으나 이러한 방법의 구성 보다 3 level update치로 처리하여 여러 update rate를 감소 시키는 adaptive cancel-zone algorithm을 사용하는 것이 훨씬 효과적인 뿐만 아니라 간단하다.

cancel-zone은 수신 신호 피크에 의해 조정된 Reference Voltage Level로 제어된다. 즉, 에리 신호로 부터 far-end 신호 추정치의 Reference Voltage Level V를 배면 adaptive filter에 쓰여지는 잔류 반향 신호(residual echo signal)가 주어진다.

이와같은 방법으로 Sign Algorithm의 수렴속도를 충분히 개선할 수 있다. Reference Voltage Level Error는  $d_n = \text{Sign}(Z_n - \hat{e}_n V_n)$  이며, Reference Voltage Level은  $V_{n+1} = V_n + \alpha d_n \hat{e}_n$  으로 변환된다.  $\alpha$  은 positive step factor 이다.

variable step factor는  $\theta_n = \beta t(V_n)$  인데, 잡음치가 수신 level의 1/256 이상 이면, 수신 level의 1/256로 처리된다. 여기서  $\beta$ 은 positive step factor 이다. correction 반향 추정치는  $f_n = \text{Sgn}(\hat{e}_n + d_n) \hat{e}_n$  이다. 여기서  $x=0$  이면  $\text{sgn}(x)=0$  이고, 그렇지 않으면  $\text{sgn}(x)=\text{sgn}(x)$ 이다. 그러므로 memory 내용의 update는 다음과 같다.

$$F_n(m, j) = F_n(m, j) - f_n \quad m=1,2$$

여기서  $F_n(1, j)$ 은 near-end 데이터의 처음 4bit에 대한 memory filter이고,  $F_n(2, k)$ 은 다음 4bit의 memory filter이다. 그러므로, 이 memory filter는 총 8bit에 대해 보상을 한다.

시간 n에 대한 negative 반향 추정치는  $\hat{e}_n = F_n(1, j) + F_n(2, k)$ 이다.

IV. 결론

본 고에서는 ECM을 Sign Algorithm과 variable step factor를 이용하여, RAM 방식의 구성 하였으며 그 주요 특징은 다음과 같다.

- 만일 dithering 없으면 echo estimate는 far-end signal과 크기가 같아서 정확한 값이 있다가 완전한 수렴을 방해하게 되는데, 이러한 dither signal 형태의 extra noise가 Sign을 휘하기 전에 추가되어 정확한 echo cancellation을 위한 average quantization을 더 smooth하게 만들 수 있다.
- cancelling 값은 RAM의 output들을 한하여 읽을 수 있으며, 또한 RAM의 내용은 실제의 cable특성에 맞게 용량성 있게 조절이 가능하다.
- dual RAM 형태가 single RAM 형태 보다 좀 RAM size가 좁아 들었으며, Filter의 수렴 속도가 빠른 장점을 가지고 있다.

앞으로 2선 신호 디지털 전송(144kbit/sec)시 ECM 방식의 수렴 속도와 bit error rate에 대한 수행 속도를 향상 시킬 수 있도록 ECM 회로를 구성하여 시험 결과를 제시하겠다.

V. REFERENCE

- [1] David D. Falconer, "Adaptive Reference Echo Cancellation", IEEE Trans. Commun., vol. COM-30, No.9, September 1982.
- [2] D. D. Falconer, K. H. Mueller and S. B. Weinstein, "Echo Cancellation Techniques for Full-Duplex Data Transmission on Two Wire Lines", Bell Telephone Lab., Holmdel, N.J.
- [3] Kurt H. Mueller, "A New Digital Echo Canceller for Two-Wire Full-Duplex Data Transmission", IEEE Trans. Commun., vol. COM-24, No.9, September 1976.
- [4] S. A. Cox and P. F. Adams, "An analysis of digital transmission techniques for the local network", Br. Telecom. Technol. J. vol.3, No.3, July 1985.
- [5] F. G. Bullock, "Echo Canceller Structures for Digital Loop Access Systems", A.T.R., vol. 19, No.1 1985.
- [6] Oscar Agezzi, David G. Messerschmitt and David A. Hodges, "Nonlinear Echo Cancellation of Data Signals", IEEE Trans. Commun., vol.COM-30, No.11, November 1982.
- [7] K. H. Mueller, "Combining Echo Cancellation and Decision Feedback Equalization", Bell Syst. Tech. J., vol.58, No.2, February 1979.

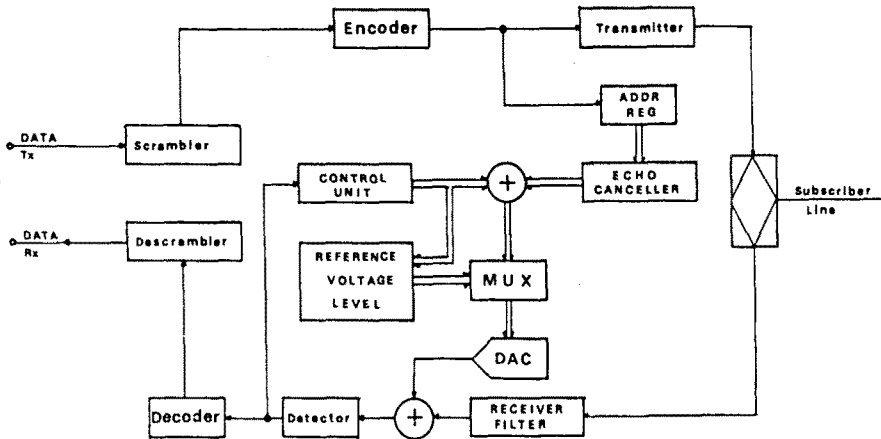


그림8. 송수신부의 블럭도