

추정 반복 알고리즘을 이용한 반향 제거기의 성능 분석

정 성순 이 명수 강 창연
연세대학교 전자공학과

Received: 1986.09.01 Accepted: 1986.10.15
Copyright © 1986 by the Korean Institute of Communications Engineers

Abstract: This paper analyzes the performance of an adaptive echo canceller using a stochastic iteration algorithm. The results are compared with those of a conventional echo canceller using a least squares algorithm.

1. 서 론

최근 디지털 통신 기술이 등장한 이후 통신 기술은 점차 종합정보통신망(ISDN)으로 발전해가고 있으며 기존의 아날로그 전화망도 디지털망으로 발전하고 있다. 또한 디지털 데이터를 기존의 2선회로를 이용하여 전송하는 기술이 활발히 연구되고 있다. 이런 2선회로를 이용하여 데이터를 양방향으로 전송하는 기술(full-duplex data transmission)에는 주파수 분할 다중화 방식(FDM), 시간 압축 다중화 방식(TCM), 반향 제거 방식(ECM) 등이 있는데 TCM 과 ECM 방식이 많이 사용되고 있다.

2선회로를 이용한 양방향 데이터 전송은 하이브리드 변환기를 사용하여 얻어질 수 있는데 이 하이브리드 내의

암피티스 부정함수로 인해 접속단에서 반향(echo)이 일어나게 된다. 1966년 이전에는 이 반향을 반향 억제기(echo suppressor)로 줄였으나 대화의 첫 부분이 잘리는 등 문제점이 있어 이의 해결을 위해 1966년 M.M.Sondhi 와 A.J.Presti가 적응형 반향 제거기(adaptive echo canceller)를 제안하였다.

70년대에 들어 이에 대한 연구가 활발히 진행되어 1973년 V.J.Koll 과 S.B.Reinstein이 양방향 동시 전송을 위한 반향 제거기를 구원하였으며 1976년 K.J.Mueller가 데이터 무동 반향 제거기(data-driven echo canceller)에 관한 논문을 발표하였다.

본 논문에서는 추정 반복 알고리즘(stochastic iteration algorithm)을 이용한 반향 제거기의 입력 신호 형태에 따른 성능을 비교하였다.

2. 디지털 가입자 신호 기술의 비교

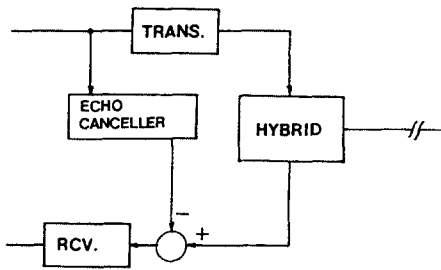
2선 신호를 이용한 전송 방식은 기존의 twisted-pair 선을 이용하는 방법으로서 양단말에서의 송수신 분리 능력이 필요하다. 여기에는 주파수 분할 다중화방식(FDM), 시간 압축 다중화방식(TCM), 반향 제거방식(ECM) 등이 있으나 본 논문에서는 반향 제거방식만을 다룬다.

ECM방식은 기존의 아날로그 시스템에서 널리 사용되고 있는 방식으로서 전송회선의 양방향 신호 분리를 위해 하이브리드 변환기를 이용하여 송수신 신호를 분리하는 것으로 2선 루프간에 양방향성 디지털 전송을 제공한다. ECM방식은 2선과 4선의 접속단에서 반사되는 반향을

적용형 디지털 필터를 사용하여 제거함으로써 수신신호에 포함된 송신신호의 영향을 줄인다. 이 방식은 TCM에 비해 반향제거기술이 포함되어 회로가 더 복잡하나 전송속도가 비트속도와 같으므로 전송대역폭 면에서 유리하다. 또 ECM은 낮은 전송속도 때문에 최대 전송거리가 길어 TCM으로 수용하지 못하는 먼거리의 가입자를 통신망에 접속시킬 수 있다는 장점이 있다.

3. 적용형 반향 제거기의 성능 분석

2선 선로를 통한 양방향 데이터 전송에는 하이브리드 변환기가 사용되고 있다. 이 하이브리드에서 2선과 4선의 임피던스가 완전히 일치하지 않음 전송신호의 일부가 송신단 측의 수신기로 직접 누출 (leakage) 되며 또 집중단에서 수신기로 전송신호의 반사가 일어나게 된다. 이런 전송신호의 누출과 반사를 반향 (echo) 이라 부른다. 이러한 반향은 디지털 필터를 사용한 반향 제거기로 제거하게 되는데 (그림 1) 에 반향 제거기를 사용한 송수신 회로의 블록도를 나타내었다.



(그림 1) 반향 제거기를 이용한 송수신 회로

(1) 입력 신호가 POLAR NRZ-L 형태

적용형 디지털 필터를 사용하여 반향 $e(k)$ 의 복제 (replica) $\hat{e}(k)$ 를 합성한 후 반향에서 이 반향 복제를 감해서 반향을 제거하게 된다. 감한 후에 얻어지는 나머지 신호 (residual signal) $r(k)$ 는 다음과 같다.

$$r(k) = s(k) + n(k) + e(k) - \hat{e}(k) \quad (1)$$

여기서 $s(k)$ 는 수신된 원단신호 (received far-end signal) 이고 $n(k)$ 는 채널에서 더해지는 잡음을 나타낸다.

여기서 고려할 반향 전송로는 선형이고 시불변이라 가정한다. 반향 전송로의 충격파 응답을 $g(n)$ ($g(n)=0, n < 0, n \geq N$) 으로, 채널 전송로의 충격파 응답을 $h(n)$ ($h(n)=0, n < 0, n \geq M$) 으로 나타낸다. 또 근단 송신기의 입력 데이터를 $a(k)$, 원단 송신기의 입력 데이터를 $b(k)$ 로 나타낸다.

반향신호 $e(k)$ 와 반향복제 $\hat{e}(k)$, 수신신호 $s(k)$ 를 벡터로 나타내면 다음과 같다.

$$e(k) = \bar{a}_k^T \cdot \bar{g} \quad (2)$$

$$\hat{e}(k) = \bar{a}_k^T \cdot \bar{c}_k \quad (3)$$

$$s(k) = \bar{b}_k^T \cdot \bar{h} \quad (4)$$

여기서 $(\cdot)^T$: 벡터의 전치 (transpose) 를 나타내며 여기에 쓰인 벡터를 정의하면 다음과 같다.

(1) 근단 입력 벡터 : $\bar{a}_k = (a(k), a(k-1), \dots, a(k-N+1))^T$

(2) 필터 계수 벡터 : $\bar{c}_k = (c_0(k), c_1(k), \dots, c_{N-1}(k))^T$

(3) 반향 전송로 벡터 : $\bar{g} = (g(0), g(1), \dots, g(N-1))^T$

(4) 원단 입력 벡터 : $\bar{b}_k = (b(k), b(k-1), \dots, b(k-M+1))^T$

(5) 채널 전송로 벡터 : $\bar{h} = (h(0), h(1), \dots, h(M-1))^T$

그리고 $u(k) = s(k) + n(k)$ 로 표시하면 (1)식은

$$r(k) = \bar{a}_k^T \cdot (\bar{g} - \bar{c}_k) + u(k) \quad (5)$$

또 나머지 신호 $r(k)$ 의 자승 평균값을 $\rho(k)$ 로 놓으면

$$\rho(k) = E\{r^2(k)\} = E\{\bar{a}_k^T \cdot (\bar{g} - \bar{c}_k) + u(k)\}^2 \quad (6)$$

여기서 $E(\cdot)$ 는 수학적 기대값을 나타낸다. (6) 식에서 \bar{a}_k 와 \bar{c}_k 는 통계적으로 독립이고 입력 데이터 $a(k)$ 와 $b(k), n(k)$ 는 통계적으로 독립이고 상호독립이라고 가정하며 데이터는 같은 확률로 +1, -1 값을 갖는다고 한다. 이때 (6) 식은

$$\rho(k) = (\bar{g} - \bar{c}_k)^T (\bar{g} - \bar{c}_k) + U \quad (7)$$

여기서 $U = E\{u^2(k)\}$ 로 정의한다.

계수 c_k 에 대한 $\rho(k)$ 의 기울기를 $\text{grad } \rho(k)$ 로 나타내면

$$\text{grad } \rho(k) = -2(\bar{g} - \bar{c}_k) = -2E\{r(k)\bar{a}_k\} \quad (8)$$

과 같다. 반향 제거기에서 디지털 필터의 계수는 다음 식에 따라 새롭게 된다.

$$\bar{c}_{k+1} = \bar{c}_k - \alpha \text{grad } \rho(k) \quad (9)$$

α : 스텝크기

여기서 고려할 추정 반복 알고리즘은 (8) 식을 근사해

(9) 식에 대입하여 필터의 계수를 다음 식에 따라 새롭게 한다.

$$\bar{c}_{k+1} = \bar{c}_k + 2\alpha r(k) \bar{a}_k \quad (10)$$

나머지 반항의 자승 평균을 $f(k)$ 로 나타내면

$$f(k) = E\{[e(k) - \bar{e}(k)]^2\} = E\{(\bar{g} - \bar{c}_k)^T (\bar{g} - \bar{c}_k)\} \quad (11)$$

과 같고 (5)식과 (10)식 (11)식에서 다음 식을 얻는다.

$$f(k) = (1 - 4\alpha + 4\alpha^2 N) f(k-1) + 4\alpha NU \quad (12)$$

이 식을 풀면

$$f(k) = (1 - 4\alpha + 4\alpha^2 N)^k \left(f(0) - \frac{\alpha NU}{1 - \alpha N} \right) + \frac{\alpha NU}{1 - \alpha N} \quad (13)$$

여기서 $\sigma_s^2 = E\{s^2(k)\}$, $\sigma_n^2 = E\{n^2(k)\}$, $SNR = \frac{\sigma_s^2}{\sigma_n^2}$

으로 정의하면 (13) 식은 다음과 같이 된다.

$$f(k) = (1 - 4\alpha + 4\alpha^2 N)^k \left(f(0) - \frac{N(1 + \frac{1}{SNR})}{1 - \alpha N} \sigma_s^2 \right) + \frac{N(1 + \frac{1}{SNR})}{1 - \alpha N} \sigma_s^2 \quad (14)$$

(14) 식은 추정 반복 알고리즘을 이용한 입력 신호가 POLAR NRZ-L 형태일 때 반항 제거기의 성능을 나타낸다.

(2) 입력 신호가 AMI 형태

AMI 부호는 0 값을 가질 확률이 $\frac{1}{2}$, +1, -1의 값을 가질 확률이 $\frac{1}{4}$ 이다. 입력 신호가 AMI 형태일 때의 반항 제거기의 성능 분석에는 앞에서 한 가정과 벡터 정의를 그대로 사용한다.

입력 신호가 AMI 형태일 때 (11) 식은

$$f(k) = \frac{1}{2} E\{(\bar{g} - \bar{c}_k)^T (\bar{g} - \bar{c}_k)\} \quad (15)$$

로 쓸 수 있고 (13) 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$f(k) = (1 - 2\alpha + \alpha^2 N) f(k-1) + \alpha NU \quad (16)$$

이 식을 풀면

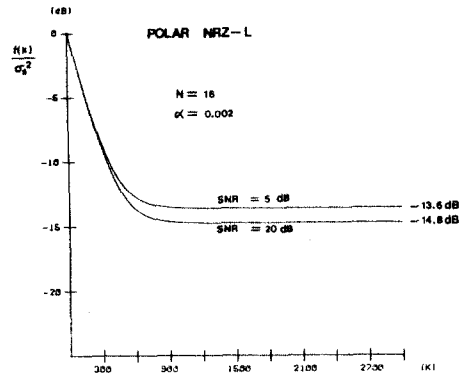
$$f(k) = (1 - 2\alpha + \alpha^2 N)^k \left(f(0) - \frac{NU}{2 - \alpha N} \right) + \frac{NU}{2 - \alpha N} \quad (17)$$

과 같고 SNR 을 써서 나타내면 AMI 입력 신호에 대한 반항 제거기의 성능을 나타내는 식을 얻을 수 있다.

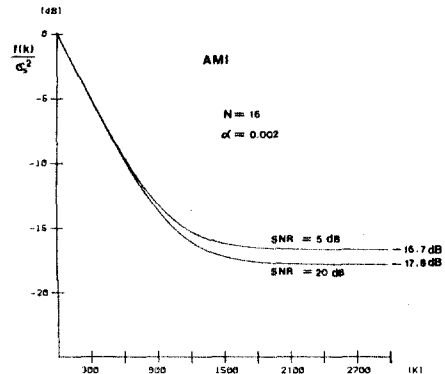
$$f(k) = (1 - 2\alpha + \alpha^2 N)^k \left(f(0) - \frac{N(1 + \frac{1}{SNR})}{2 - \alpha N} \sigma_s^2 \right) + \frac{N(1 + \frac{1}{SNR})}{2 - \alpha N} \sigma_s^2 \quad (18)$$

4. Simulation 결과 고찰

(14) 식과 (18) 식을 이용하여 입력 신호에 따른 반항 제거기의 성능을 나타내는 그래프를 (그림 2), (그림 3)에 나타내었다.



(그림 2) 원단 신호에 대한 반항 제거기의 수렴 곡선 (입력 신호가 POLAR NRZ-L 형태일 때)



(그림 3) 원단 신호에 대한 반항 제거기의 수렴 곡선 (입력 신호가 AMI 형태일 때)

(14) 식과 (18) 식에서 $\alpha = 0.002$ 인 경우 SNR 값이 5 dB 일 때와 20 dB 일 때 램 수 N 이 16 일 때 반항 제거기의 수렴 곡선을 나타내었다. 그래프에서 보면 POLAR NRZ-L 형태기 AMI 형태보다 수렴 속도는 2 배 정도 빠르나 원단 입력 신호 대 나머지 반항의 비는 AMI 형태가 약 3 dB 정도 우수한 것을 볼 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 추정 반복 알고리즘을 이용한 반항 제거기의 성능을 입력 신호 형태가 POLAR NRZ-L 형태일 때

와 AMI 형태일 때로 나누어 분석하였다.

반향 제거기의 수렴 속도는 같은 α 값에서 POLAR NRZ-L 형태가 AMI 형태보다 약 2 배 정도 빨랐으며 같은 입력 형태에선 α 값이 클 수록 수렴 속도가 빨랐다.

반향 제거기의 설계에는 스텝 크기 α 의 값이 수렴 속도나 최소 나머지 반향의 크기를 결정하므로 α 의 선택이 중요한 역할을 하게 된다.

7. 참고 문헌

1. A.Kanemasa, "An Echo Cancellation Algorithm for Full-Duplex Two-Wire Data Transmission," GLOBECOM'83, pp.1384-1388, Nov.1983.
2. M.M.Sondhi and D.A.Berkely, "Silencing Echoes on the Telephone Network," Proc.IEEE, vol.68, pp.948-963, Aug. 1980.
3. K.H.Mueller, "A New Digital Echo Canceller for Two-Wire Full-Duplex Data Transmission," IEEE Trans.Comm., vol.COM-24, pp.956-962, Sep.1976.
4. N.A.M.Vernoeckx and T.A.G.M.Caasen, "Some Considerations on the Design of Adaptive Digital Filters Equipped with the Sign Algorithm," IEEE Trans.Comm., vol.COM-32, pp.258-266, Mar. 1984.
5. D.G.Messerschmitt, "Echo Cancellation in Speech and Data Transmission," IEEE J.Select.Areas Com. vol.SAC-2, pp.283-297, Mar. 1984.
6. A.Kanemasa, et al., "A Study on the Subscriber Loop Transmission System for ISDN Based on the Echo Cancellation Technique," ICC'85, pp.177-181, June 1985.
7. D.D.Falconer, "Adaptive Reference Echo Cancellation," IEEE Trans.Comm., vol.COM-30, pp.2083-2094, Sep. 1982.