

비선형 채널 왜곡 보상을 위한 입력 데이터를 발생시키는 적응등화기

박동진*

*군장대학

Adaptive Equalizer Generating Input Data to Compensate Nonlinear Channel Distortion

Dong-jin Park*

*Kunjang College

E-mail : djpark@kunjang.ac.kr

요 약

본 논문에서는 유·무선 통신 채널을 통한 데이터 전송시 발생하는 비선형 왜곡을 적응 필터를 이용하여 보상하였다. 특히 통신채널에서는 심볼간 간섭(ISI)이 발생하는 데 이러한 간섭을 비선형 필터를 이용하여 제거하였다. 비선형 채널을 모델링하는 방법에는 볼테라급수를 이용하는 방법과 쌍선형 방법이 있다. 쌍선형 방법은 볼테라 방법에 비하여 계산량이 적은 장점을 지니고 있다. 따라서 쌍선형 필터에 적응 알고리즘을 적용하여 신호의 왜곡을 보상하였다. 적응 알고리즘에는 LMS 계열 과 LS 계열 알고리즘이 있으나 통신 채널에서는 알고리즘의 안정도가 중요하므로 LMS 계열 알고리즘을 적용하였다. 또한 적응 알고리즘은 입력 데이터의 상관성과 데이터 수에 의존하여 수렴속도와 안정도가 결정된다. 알고리즘의 수렴속도를 증가 시키기 위하여 입력신호를 신호파형으로부터 다량의 데이터를 검출하는 방법을 적용하였다.

이러한 방법을 입증하기 위하여 입력신호는 2진 랜덤 가우시안 데이터를 이용하였고, 통신채널에서 채널간 간섭을 발생시켰으며 화이트 가우시안 잡음을 부가 시켰다. 이러한 신호를 수신한 수신기에 적응 등화기를 설계하여 다량의 데이터를 생성시키고, 적응 알고리즘을 적용하여 채널의 왜곡을 빠른속도로 보상하였다.

1. 서 론

디지털 신호를 원하는 목적지까지 전송할 때, 전송된 신호는 채널의 여러 가지 감쇄요인에 의해서 진폭 및 위상 왜곡을 수반하게 된다. 특히 밴드 제한된 데이터 전송에 있어서 심볼간 간섭(Inter-Symbol Interference, ISI)은 디지털 통신 시스템의 성능을 저해하

는 가장 큰 요인으로 알려져 있다. 이러한 채널의 신호 왜곡 특성을 수신기에서 보상하고자 등화기를 설계한다. 일반적인 적응등화기는 탭 계수값이 채널 특성에 따라 변화될 수 있는 트랜스버설(TDL) 필터 형태로 실현되며, 이때의 탭이득은 심볼간격 T에 맞추어져 있다.

일반적으로 등화기에 사용되는 알고리즘에는 최소평균자승(LMS) 알고리즘과 최소자승

(LS)계열 알고리즘이 있는데, 최소자승 계열 알고리즘은 수렴속도가 매우 빠르나, 계산량이 많고, 안정도가 낮은 단점을 지니는 반면에, 최소평균자승 알고리즘은 계산량이 적고 안정도가 높은 장점을 지니는 반면에 수렴속도가 느린 단점을 지닌다.

따라서 본 논문에서는 통신채널의 전송속도에 의해서 수신기에 수신된 한정된 데이터로부터 수신단의 등화기에 보다 많은 데이터를 입력시키는 방법으로써 신호 파형으로부터 많은 데이터를 생성시키는 방법을 제안한다. 이러한 방법은 등화기의 수렴속도를 증가시키는 장점을 지닌다. 그러나 임의의 짧은 시간에 동작할수 있는 스위칭 기술이 필요하고, 계산량이 증가하는 단점을 지니지만 스위칭, VLSI 및 연산처리 기술의 발전에 힘입어 무시하고, 채널에서 입력되는 데이터로부터 많은 데이터를 샘플링하여 알고리즘의 수렴속도를 향상시키고, LMS 알고리즘을 적용하여 LS 계열 알고리즘보다 안정도를 높게 하였고[1,2] 모의 실험으로 입증 하였다. II장에서는 디지털 전송 시스템, 적응등화기 및 비선형 채널을 다루었고, III장에서는 새로운 적응등화기를 제안하였고, IV-V장에서 컴퓨터 모의실험과 결론을 맺었다.

II. Equalizer

II.1 디지털 전송 시스템

일반적으로 데이터 전송 모델은 그림 II.1과 같이 정보원(source)으로 입력된 입력 데이터는 전송 필터를 통과한다.

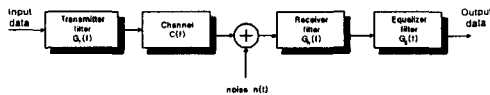


그림 1. 데이터 전송 모델

채널상에서 전송된 베이스밴드 PAM 신호는 펄스 파형 $g(t)$ 와 진폭 시퀀스 a_n 의 합으로 표현한다.

$$v(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} a_n g(t-nT) \quad \text{식(1)}$$

이때 T 는 심볼 구간이다.

실제로 수신된 신호는 채널상에서 부가잡음 $n(t)$ 과 채널의 임펄스 응답 $h(t)$ 의 영향을 받는다.

$$r(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n h(t-nT) + n(t) \quad \text{식(2)}$$

수신 필터의 출력 $y(t)$ 은 수신필터의 신호 펄스 응답 $x(t)$ 와 부가잡음 $n(t)$ 의 수신필터 응답에 의해서 결정된다.

$$y(t) = \sum_{n=0}^{\infty} a_n x(t-nT) + w(t) \quad \text{식(3)}$$

이때 $x_0 = 0$ 이고, $y(t)$ 가 순간 $t = kT$, $k = 0, 1, \dots$ 에 샘플링 된다면 출력된 샘플 값은 다음과 같고 식2.4의 두 번째항은 심볼간 간섭을 나타낸다.

$$y_k = a_k + \sum_{n=0, n \neq k}^{\infty} a_n x_{k-n} + w_k \quad \text{식(4)}$$

채널의 주파수 응답의 이상적이지 않는 시스템에서 채널간 간섭이 없는 조건은 다음과 같다.

$$G_T(f)C(f)G_R(f)G_E(f) = Y_{rc}(f) \quad \text{식(5)}$$

여기서 $Y_{rc}(f)$ 는 raised-cosine 스펙트럼이다. 이때의 $G_T(f)G_R(f) = Y_{rc}(f)$ 이기 때문에 채널 왜곡을 보상하는 등화기 혹은 인버스 채널 필터의 주파수 응답은 다음과 같다.

$$G_E(f) = \frac{1}{C(f)} \quad \text{식(6)}$$

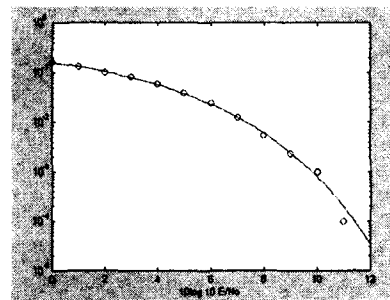


그림 2. 이진 신호전송 에러

이진 신호 전송시 몬테카를로 실험에서 에러 예측값과 이론값을 그림 2.1에서 보여주고 있다.

II.2 비선형 채널

비선형 시스템은 주파수 영역에서 완벽하게 모델링 되지만 입력과 출력의 스펙트럼이 겹치지 않는 부분에 대해서는 비선형 이론에 입각한 채널의 모델링이 필요하다. 비선형 채널의 모델링을 위하여 이용되는 방법에는 볼테라(Volterra) 급수를 이용하는 방법[3]과 쌍선형(Bilinear) 필터가 있다[4].

$$y(n) = \sum_{i=0}^{N-1} a_i x(n-i) + \sum_{i=0, j=1}^{N-1} b_{i,j} x(n-i)y(n-j) + \sum_{j=1}^{N-1} c_j y(n-j) \quad \text{식(7)}$$

입력신호 $x(n)$ 의 비선형 채널의 응답 신호 $d(n)$ 를 예측하는 파라미터를 구하기 위한 에러 함수를 이용한다.

$$\xi(n) = d(n) - \hat{y}(n) \quad \text{식(8)}$$

이때 등화기의 출력 $\hat{y}(n)$ 은 비선형 채널을 예측한다.

$$\hat{y}(n) = \sum_{i=0}^{N-1} a_i x(n-i) + \sum_{i=0, j=1}^{N-1} b_{i,j} x(n-i)y(n-j) + \sum_{j=1}^{N-1} c_j y(n-j) \quad \text{식(9)}$$

쌍선형 적응 등화기의 구조는 그림 II.1과 같다. 채널로부터 수신된 입력 $x(n)$ 와 등화기의 출력 $y(n)$ 에 의한 $xy(n)$ 와 탭계수 $c(n)$ 에 의해서 수신 심볼 $s(n)$ 이 된다.

$$s(n) = \mathbf{c}^T(n) \mathbf{xy}(n) \quad \text{식(10)}$$

이 때, 에러 $e(n) = y(n) - s(n)$ 이다.

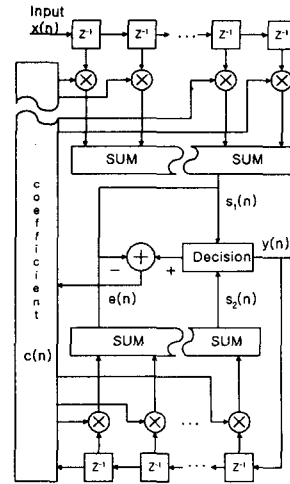


그림 3. 쌍선형 적응 등화기

탭 계수에 대한 이차 곡면 함수를 지나는 MSE는 유일한 최소점을 가지는 LMS 알고리즘의 탭 계수 갱신은 다음과 같다.

$$\mathbf{c}(n+1) = \mathbf{c}(n) + 2\mu e(n) \mathbf{xy}(n) \quad \text{식(11)}$$

III. 제안하는 Adaptive Equalizer

많은 통신 채널은 시간적으로 채널 특성이 변화된다. 이러한 채널의 왜곡을 보상하기 위해서는 적응 등화기가 비정상적인 환경하에서도 우수한 특성을 지녀야 한다. 하지만 대부분의 시스템들은 정상적인 경우에 대해서 많은 연구가 되고 있다. 또한 대부분의 등화기는 등화기의 적응 시간을 위해서 학습열을 이용한다. 이러한 학습열을 사용하지 않는 방법으로 블라인드 등화기가 연구되었다.

적응 등화기의 성능이 우수하다면 채널의 왜곡을 보상하게 된다. 하지만 적응 등화기의 탭 계수는 채널로부터 수신된 심볼의 수가 어느정도 되어야 우수한 성능을 발휘하게 된다. 심볼의 수를 가상적으로 증가 시키는 방법의 하나로서 버퍼를 이용하여 데이터를 재활용 방법이 있다. 본 논문에서 제안하고자 하는 구조의 특징은 수신된 신호 파형으로부터 샘플링 속도를 증가시켜서 샘플 데이터의 수를 증가시켜 적응 등화기의 입력을 재배열하는 방법을 제안한다.

$$x(n, i) = \begin{cases} v_1(n) & 0 < n \leq T_1 \\ v_2(n) & T_1 < n \leq T_2 \\ \dots & \\ v_k(n) & T_{k-1} < n \leq T_k \end{cases}$$

이때의 T는 신호파형의 전송속도이고, 이러한 파형으로부터 검출 데이터수는 k이다.

샘플링 벡터 $x(n, i)$ 은 분산을 크게 permutation 한다.

$$x(n) = x^T(n, i)p(n)$$

프로토콜 분석기는 예약된 비트들을 채널로부터 유입된 데이터와 비교 분석하여 $d(n)$ 을 발생시킨다. 이러한 $d(n)$ 과 $x(n)$ 은 동기기(synchronizer)에 의해서 동기가 맞추어진다.

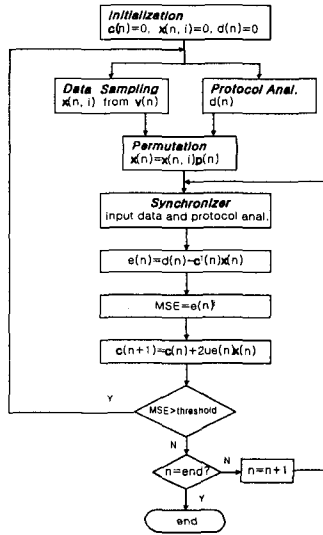


그림 4. 제안하는 적응 등화기

에러는 원하는 신호와 필터 출력에 의해서 결정된다. 이때 동기는 동기기에 의해서 맞춰진다.

$$e(n) = d(n) - c^T(n)x(n)$$

이때 $x(n)$ 은 비선형 채널에 의해서 전송된 파형의 샘플데이터이다. 또한 필터 계수 $c(n)$ 은 채널을 비선형 인버스 모델링한 필

터 계수이다. 필터 계수는 경사 추정법에 의해서 다음과 같이 갱신된다.

$$c(n+1) = c(n) + 2\mu e(n)x(n)$$

IV. 실험 및 결과 고찰

본 절에서는 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 랜덤 신호를 발생시켰고 백색 가우시안 잡음을 부가시켰다.

PAM 신호는 f_M 으로 대역제한되었고, 저대역 신호 $m_1(t)$ 는 $T_s = 1/2f_M$ 보다 크지 않은 간격으로 자연 표본화되었다고 가정한다. 또한 신호 파형으로부터 샘플링시 잡음 대역폭을 간주하지 않았다.

실험에서는 ± 1 인 2진 랜덤 신호를 사용하였고, ISI를 추가하기 위해서 FIR 필터 특성이

$$\begin{bmatrix} 0.05 & -0.06 & 0.09 & -0.12 & -0.25 \\ 0.9 & 0.25 & 0 & 0.12 & 0.04 & 0.09 \end{bmatrix}$$

인 필터를 통과시켰다[5].

각각의 실험은 100번 앙상블 평균이 취해졌다. 스텝의 크기는 모두 0.0025이며, 계수의 차수는 11로 주었다.

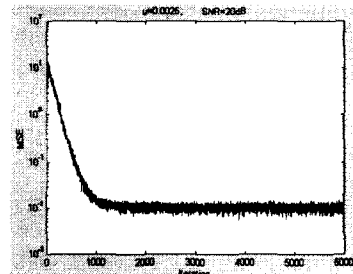


그림 5. $\mu = 0.0025$, $SNR = 20dB$

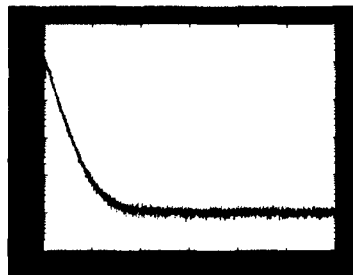


그림 6. $\mu = 0.0025$, $SNR = 30dB$

V. 결 론

본 논문에서는 디지털 전송 시스템의 통신 채널과 송신기에 의해서 발생하는 비선형 왜곡을 보상하기 위해서 수신단에 비선형 적응 등화기를 설계하였다. 이때 적응 등화기의 특징은 일정한 데이터로부터 채널을 역모델링하는 초기설정 기간이 필요하며, 채널의 특성이 시간적으로 서서히 변화한다면 왜곡을 충분히 보상한다. 이러한 적응 등화기의 초기 설정 기간을 줄이고자 입력 신호의 파형으로부터 데이터를 B배로 생성 시켜서 이러한 데이터를 적응 계수를 갱신 시키는 방법을 도입하여 적응 등화기의 수렴속도를 증가 시켰다.

앞으로 이러한 방법에 대한 수렴특성을 이론적인 정리가 필요하며 실험값과 비교 검토되어야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1]. B. Widrow and S. D Stearns, Adaptive Signal Processing, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1985
- [2]. Simon Haykin, Adaptive Filter Theory, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1985
- [3]. S. Benedetto, E. Biglieri, and R. Daffara, "Modeling and performance evaluation of nonlinear satellite links - A Volterra series approach," IEEE Tran. Aersp. Electron. Syst., vol. AES-15, pp.494-507, 1979.
- [4]. H. K. Baik and V. J. Mathews, "Adaptive lattice bilinear filters", to appear in IEEE Trans. on Signal Processing, vol SP-41, no.6, pp.2033-2046, June, 1991.
- [5]. John G. Prokis, Masoud Salehi "Contemporary Communication Systems" PWS Publishing Company. 책 참조