

DTV 수신 성능 향상을 위한 적응 등화기의 성능 분석

윤영준* · 손 원*

*경희대학교 전자정보학부

Performance Analysis of Adaptive Equalizers to Enhance DTV Receiving Performance

Young-jun Yoon* · Won Sohn*

*School of Electronic and Information Kyunghee University

E-mail : clrhorse@hanmail.net

요 약

지상파 DTV 전송 시스템은 "training sequence"를 이용한 결정 궤환 등화기(DFE)를 사용한다. 이 등화기는 정적 다중경로 환경에서는 심볼 간의 간섭을 적절히 제거하는 반면, 동적 다중경로 환경에서는 "training sequence"의 주기가 채널 효율 문제로 충분히 짧지 않기 때문에 충분히 제거하지 못하는 것으로 보고되고 있다. 이 논문에서는 이 문제점을 해결하기 위해서 "training sequence"를 이용한 DFE와 선형 등화기, 블라인드 DFE와 선형 등화기 및 혼합형 DFE를 구현하여 정적 채널과 동적 채널에 대한 성능을 분석하였다.

키워드

DTV, 결정 궤환 등화기(DFE), 블라인드 DFE, 혼합형 DFE, 채널 모델링

1. 서 론

다중경로에 의해 발생하는 심볼 간의 간섭(ISI, Intersymbol Interference)으로 인한 왜곡과 잡음이 디지털 통신 시스템의 성능을 저하시키는 가장 큰 요인이 되고 있으며, 채널은 시간에 따라 변하기 때문에 이를 적절하게 추적할 수 있는 적응 시스템이 요구된다.

적응 등화기 기술은 디지털 전송시, 심볼간의 간섭을 없애기 위한 목적으로 사용되며, 적응 등화기 기술에는 송신기가 "training sequence"라는 정해진 신호를 주기적으로 전송하고, 수신기는 이를 이용하여 다중경로에 의한 심볼간 간섭(ISI)을 없애주는 방식[1]과 "training sequence"를 필요로 하지 않는 블라인드 등화 방식이 있다.[2, 3]

8-VSB 변조 방식을 적용하는 지상파 DTV 전송 시스템은 송신측에서 주기적으로 전송하는 "training sequence"를 이용하여 다중경로에 의한 잡음을 제거하는 적응 등화 방식을 적용한 결정 궤환 등화기(DFE)를 사용한다.[4] 이 등화기는 정적 다중경로 채널 환경에서는 심볼 간의 간섭을 적절히 제거하는 반면에, 동적 다중경로 채널 환경에서는 "training sequence"의 주기가 채널 효율 문제로 충분히 짧지 않기 때문에 시간에 따라 다중경로의 영향이 변하는 환경에서는 심볼 간의 간섭을 충분히 제거하지 못하는 것으로 보고되고 있으며, 이에 대한 모의 실험 결과가 논문으로 발표되었다.[5]

이 논문에서는 상기 문제점을 해결하기 위해 "training sequence"를 이용한 결정 궤환 등화기(DFE, Decision-Feedback Equalizer)(이하 DFE라 함), 블라인드 DFE 및 이 두가지 방식을 혼합한 혼합형 DFE에 대해 알아보고, 이를 구현하여 정적 다중경로 채널과 동적 다중경로 채널에 대한 성능을 분석하였다.

이 논문에서는 상기 문제점을 해결하기 위해 "training sequence"를 이용한 결정 궤환 등화기(DFE, Decision-Feedback Equalizer)(이하 DFE라 함), 블라인드 DFE 및 이 두가지 방식을 혼합한 혼합형 DFE에 대해 알아보고, 이를 구현하여 정적 다중경로 채널과 동적 다중경로 채널에 대한 성능을 분석하였다.

II. 적응 등화 기법

2. 1. DFE

DTV 전송 시스템에서 사용하는 등화기는 DFE이다.

DFE는 순방향 필터와 역방향 필터로 이루어져 있고, 구조는 <그림 1>과 같다. 등화기의 출력은

순방향 필터의 출력과 역방향 필터의 출력의 합이다. 출력을 식으로 나타내면 (식 1)과 같다.[6]

$$\hat{I}_k = \sum_{j=0}^{N-1} c_j x_{k-j} + \sum_{j=1}^M b_j \hat{I}_{k-j} \quad (1)$$

여기서, \hat{I}_k 은 등화기의 출력을 나타내고 c_j 는 순방향 필터의 계수, b_j 는 역방향 필터 계수, x_k 는 순방향 필터의 입력, \hat{I}_k 는 이전에 결정된 심볼로서 역방향 필터의 입력을 나타낸다. 순방향 필터는 선형 등화기(Linear Equalizer:LE)와 같고, 입력은 수신된 신호 시퀀스이다. 등화기의 출력에서 결정된 심볼은 역방향 필터를 통과한 후 재환된다. 역방향 필터의 기능은 이미 결정된 심볼들부터 간섭을 제거하기 위해 사용한다. 필터의 계수를 갱신하기 위해 (식 2)와 (식 3)을 이용한다.[6]

$$c_j(k+1) = c_j(k) + \mu e_k x_{k-j} \quad (2)$$

$$b_j(k+1) = b_j(k) + \mu e_k \hat{I}_{k-j} \quad (3)$$

여기서, μ 는 step-size를 나타내고, e_k 는 에러를 나타낸다.

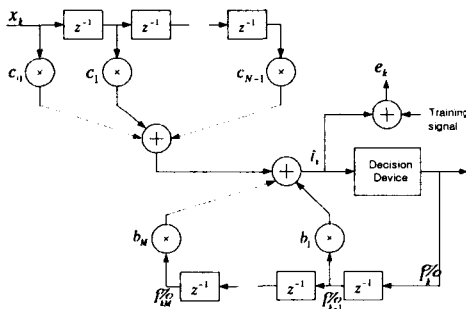


그림 1. 결정 제한 등화기의 구조

이상적인 DFE는 심볼간 간섭이 존재하는 AWGN 채널에서 근사적으로 최적의 성능을 나타낸다. 그러나, 결정된 값이 역방향 필터를 통과하기 때문에 결정된 값에 에러가 생기는 경우에는 수신기에서 군집에러(burst error)를 발생시키는 요인으로 작용하여 전체적인 수신기의 성능이 저하되는 단점이 있다.[5]

2. 2. 블라인드 DFE

블라인드 DFE의 블록 다이어그램은 <그림 2>와 같다. DFE와 거의 동일하지만, "training sequence"를 이용하지 않기 때문에 원하는 신호를 발생시키기 위해 비선형 추정기를 이용한다.

순방향 필터와 역방향 필터의 탭 계수를 갱신

하기 위해 Godard 코스트 함수를 이용하고, 다음 식과 같이 주어진다.[5]

$$c_j(k+1) = c_j(k) - \mu e_k x_{k-j} \quad (4)$$

$$b_j(k+1) = b_j(k) - \mu e_k \hat{I}_{k-j} \quad (5)$$

여기서, μ 는 step-size를 나타내고, x_k 는 순방향 필터의 입력, \hat{I}_k 는 역방향 필터의 입력을 나타낸다. e_k 는 에러를 나타내며 (식 6)과 같이 주어진다.

$$e_k = \hat{I}_k (|\hat{I}_k|^2 - 3) \quad (6)$$

순방향 필터만 있는 등화기를 블라인드 선형 등화기라 한다.

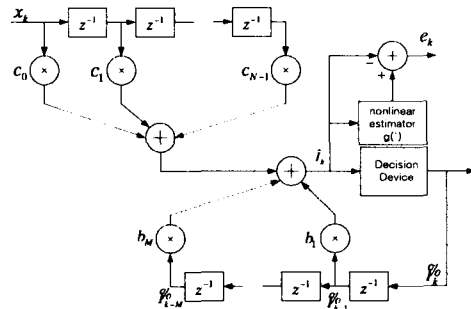


그림 2. 블라인드 DFE의 구조

2. 3. 혼합형 DFE

이 등화 기법은 앞에서 언급한 DFE과 블라인드 DFE을 동시에 적용한 기법이다. DTV 전송 시스템은 "training sequence"를 이용하기 때문에 "training sequence"가 전송되는 동안은 DFE로 동작하고 "training sequence"의 전송이 끝나면 블라인드 DFE로 전환하게 된다. 혼합형 DFE의 구조는 다음 그림과 같다.

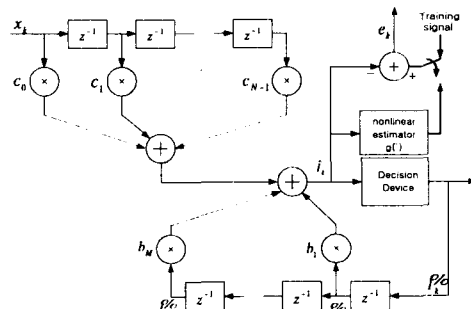


그림 3. 혼합형 DFE의 구조

III. 모의 실험

3. 1. 전송 시스템

모의 실험을 위해 <그림 4>와 같은 단순화된 8-VSB 전송 시스템을 구현하여 모의 실험을 수행하였다.

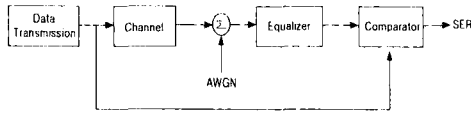


그림 4. 전송 시스템

8-VSB 전송 시스템의 데이터 구조는 <그림 5>에서 보는 바와 같이 프레임 단위로 구성되어 있다. 각 데이터 프레임은 두 개의 데이터 필드로 이루어져 있고, 각 필드는 313개의 세그먼트로 구성되어 있다. 첫 번째 세그먼트는 필드 동기화를 위한 "field sync" 세그먼트이고, 나머지 312개 세그먼트는 데이터를 위한 "data segment"이다. 각 데이터 세그먼트는 832개의 심볼로 구성되어 있는데, 처음 4개 심볼은 "segment sync" 심볼(5, -5, -5, 5)이고, 나머지 828개 심볼은 데이터 심볼로서, 8 레벨 PAM(Pulse Amplitude Modulation) 성장점(±1, ±3, ±5, ±7)을 갖는 심볼이다.[4, 5] "field sync" 세그먼트의 PN511 시퀀스와 PN63 시퀀스가 채널 등화를 위한 "training sequence"로 이용된다.

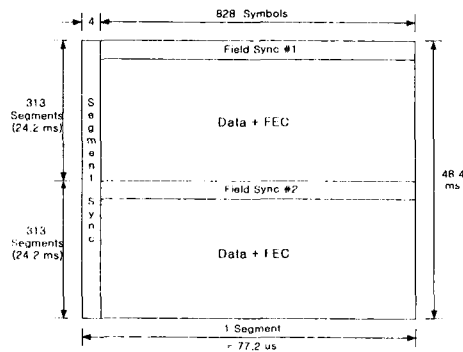


그림 6. 8-VSB 데이터 프레임 구조

3. 2. 채널 모델링

모의 실험은 정적 다중경로 채널과 동적 다중경로 채널에 대해 수행하였다.

정적 다중경로 채널은 <표 1>에서 보는 바와 같이 6개의 채널이 주어지고, 각 채널은 크기와 지연을 갖는 5개의 다중경로로 구성되어 있다.[5]

표 1. 정적 다중경로 채널

Ensemble A	Delay	-1.8μs	+0.15μs	+1.8μs	+5.7μs	+18μs
	Amplitude	-20dB	-20dB	-10dB	-14dB	-18dB
Ensemble B	Delay	-1.75μs	+0.195μs	+1.85μs	+5.75μs	+17.95μs
	Amplitude	-20dB	-20dB	-10dB	-14dB	-18dB
Ensemble C	Delay	-1.8μs	+0.15μs	+1.8μs	+5.7μs	+18μs
	Amplitude	-18dB	-20dB	-20dB	-10dB	-14dB
Ensemble D	Delay	-1.8μs	+0.15μs	+1.8μs	+5.7μs	+18μs
	Amplitude	-20dB	-20dB	-18dB	-14dB	-10dB
Ensemble E	Delay	-1.8μs	+0.15μs	+1.8μs	+5.7μs	+18μs
	Amplitude	-20dB	-14dB	-10dB	-20dB	-18dB
Ensemble F	Delay	+0.2μs	+1.9μs	+3.9μs	+8.2μs	+15μs
	Amplitude	-10dB	-14dB	-18dB	-20dB	-18dB

크기와 지연은 전형적인 원·근 다중경로를 모델링하기 위해 선택되어 졌다. 다른 채널에 비해 18ms 지연에서 상대적으로 큰 크기를 갖는 Ensemble D가 모의 실험을 위한 채널로 사용되었고, <그림 7>에 나타내었다.

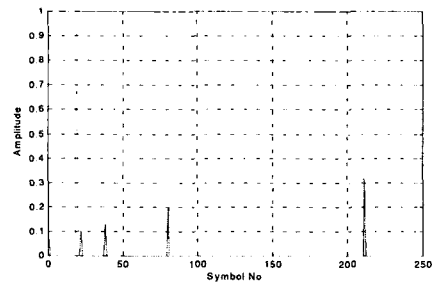


그림 7. 모의 실험에 사용된 정적 다중경로 채널

동적 다중경로 채널 다음과 같다.[5]

$$[1 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0.5\sin(2\pi fnT)]$$

여기서, f_n 는 flutter 주파수이고, T 는 심볼 간격을 나타낸다. 각각 5Hz와 $0.0929 \mu s$ 가 선택되었다. n 은 시간 인덱스이다.

3. 3. 시스템 구현

등화기는 "training sequence"를 이용한 선형 등화기와 DFE, 블라인드 선형 등화기와 DFE, 혼합형 DFE 등 5종류의 등화기를 구현하였다. 여기서, DFE는 64개의 순방향 탭과 192개의 역방향 탭을 갖고, 선형 등화기는 256개의 탭을 갖도록 하였다. 등화기의 초기값은 중심 탭을 제외하고 모두 '0'으로 초기화 하였다. 중심 탭은 순방향 필터의 31번째 탭으로 하였고, 초기값은 '1'로 주었다. 등화기에 의한 지연은 30 심볼이다. "training sequence"를 이용한 선형 등화기와 DFE의 step-size는 10^{-4} 으로 하였고, 블라인드 DFE와 선형 등화기의 step-size는 처음 100 segment에 대해서는 10^{-7} 을 사용하고 나머지 데이터에 대해서는 10^{-8} 을 사용하였다.

3. 4. 모의 실험

정적 다중경로 채널에서는 <그림 6>과 같은 데이터 구조를 갖는 3개의 완전한 데이터 field를 발생시켰고, 3번째 데이터 field에서 SNR 값에 따른 각 등화기의 SER을 비교하였다.

TOV(Threshold Of Visibility, 약 0.2의 SER)에서, 간섭이 없는 경우와 비교해 보면 혼합형 DFE는 약 1.5dB의 SNR 손실이 있고, 블라인드 DFE는 혼합형 DFE와 비슷한 성능을 보였다. DFE는 약 3dB의 SNR 손실이 있다. 블라인드 선형 등화기의 경우는 약 16.5dB에서 TOV를 만족하였고, "training sequence"를 이용한 선형 등화기는 TOV에 이르지 못 하였다.

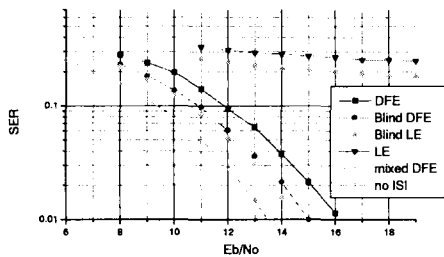


그림 8. 정적 다중경로 채널에서 등화기의 성능

동적 다중경로 채널에서는 SNR = 20dB에서, 4개의 데이터 field 가지고 모의 실험을 하였으며 각 field의 끝에서 MSE(Mean Square Error)를 계산하였다.

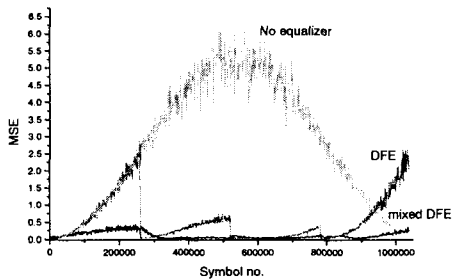


그림 10. 동적 다중경로 채널에서 등화기의 성능

DFE는 "training sequence"가 전송되는 동안에만 낮은 MSE 값을 갖고 점점 증가하지만, 혼합형 DFE는 모든 데이터 field에서 낮은 MSE 값을 유지함을 볼 수 있다

IV. 결 론

DTV 전송 시스템에서 사용하고 있는 결정 궤환 등화기(DFE)는 정적 다중경로 채널에서는 심

볼 간의 간섭을 적절히 제거하는 반면에, 동적 다중경로 채널에서는 채널 효율 문제로 "training sequence"의 주기가 충분히 짧지 않기 때문에 충분히 제거하지 못 한다는 모의 실험 결과가 논문으로 발표되었다.

이 논문에서는 DFE와 블라인드 DFE 및 혼합형 DFE에 대해 알아 보았고, 각 등화기를 구현하여 DTV 전송 시스템에 적용시켰다. 모의 실험은 정적 다중경로 채널과 동적 다중경로 채널에 대하여 수행하였다. 모의 실험 결과에 따르면, 정적 다중경로 채널과 동적 다중경로 채널에서 블라인드 DFE와 혼합형 DFE가 다른 등화기에 비해 우수한 성능을 보였다.

향후 연구 계획은 고차 통계를 이용한 블라인드 등화기를 구현하고 DTV 전송 시스템에 적용하여 성능을 향상시키는 것이다. 이 블라인드 등화기는 수렴 속도가 빠르고 성능이 우수한 반면, 계산량이 많고 복잡하다. 이 등화기의 계산량과 복잡도를 줄이는 방안도 고려할 예정이다.

참고문헌

- [1] S. Haykins, "Adaptive Filter Theory." Prentice Hall, 1996
- [2] S. Haykins, "Blind Deconvolution", Prentice Hall, 1994
- [3] Godard, "Self-Recovering Equalization and Carrier Tracking in Two-Dimensional Data Communication System", IEEE Transactions on Communication, vol.COM-28, No.11, pp.1867-1875, November 1980
- [4] Gary Sgrignoli, "ATSC Transmission System : VSB Tutorial", http://www.zenith.com/hdtv_papers_atsc_system.html.
- [5] Monisha Ghosh, "Blind Decision Feedback Equalization for Terrestrial Television Receivers", proceedings of the IEEE, vol. 86, No.10, October. 1998.
- [6] John G. Proakis, "Digital Communication", McGraw Hill, 2000