

논문-05-10-4-07

ATSC DTV 수신기를 위한 이중 후방필터 구조의 결정 궤환 등화기

오 영 호^{a)*}, 김 대 진^{a)}

An Equalization Technique of Dual-Feedback Structure in ATSC DTV Receivers

Young Ho Oh^{a)*} and Dae Jin Kim^{a)}

요 약

ATSC DTV 수신기의 결정 궤환 등화기는 양자화기나 지연시간이 없는 트렐리스 복호기에서 에러가 발생하면, 발생된 에러는 후방 필터의 입력으로 사용되어 에러 전파 현상을 야기한다. 에러 전파 현상은 잔류 에러의 증가와 수렴 속도 저하라는 등화기의 성능 열화를 가져온다. 따라서 본 논문에서는 에러 전파 현상을 해결하기 위하여 이중 후방 필터 구조의 결정 궤환 등화기를 제안한다. 제안된 등화기의 후방 필터는 지연 시간이 없는 트렐리스 복호기의 출력을 입력으로 사용하는 결정 후방 필터와 등화기의 출력을 입력으로 사용하는 비결정 후방 필터로 구성되어 있다. 부가적으로 사용된 비결정 후방 필터는 에러 전파 현상이 발생하지 않고, 또한 결정 후방 필터에서 발생하는 에러 전파 현상을 보상한다. 따라서 제안된 등화기는 기존의 등화기에 비해서 수렴 속도는 빨라지고 잔류에러는 감소한다. 전산 모의 실험을 통하여 제안된 이중 후방필터 구조의 등화기의 성능 향상을 분석하였다.

Abstract

In the DFE(Decision Feedback Equalizer) for ATSC DTV receivers, there are decision errors in the slicer or the simplified trellis decoder, and these decided false data comes to the feedback filter to make the error propagation phenomenon. The error propagation degrades the equalizer performance by increasing residual errors as well as slowing down the convergence rate. In this paper we propose a dual-feedback equalization structure. There are two feedback filters. One is the decision feedback filter which uses the simplified trellis decoder output data, the other is non-decision feedback filter which uses the equalizer output data. The additional non-decision feedback filter doesn't introduce the error propagation, so it can compensate the error propagation. The proposed structure accelerates the convergence rate as well as reduces output mean-square error(MSE). We analyzed the performance enhancement of DTV receiver using dual-feedback equalization structure.

Keyword: Equalizer, ATSC DTV, 8-VSB, Error propagation

I. 서 론

a) 전남대학교 전자정보통신공학과 및 RRC HECS
Dept. of electronics engineering and RRC HECS

* 본 논문은 LG 연암문화재단의 연암해외연구교수 지원에 의하여 연구되었습니다.

본격적인 디지털방송시대에 즈음하여 다중경로 환경에서의 ATSC 방식의 DTV 수신기의 성능 개선에 관한 연구

는 현재 전세계적으로 관심이 집중되고 있다. 적응등화기의 적용 및 개선으로 ATSC 방식의 초기모델에 비해서는 디지털방송의 수신 성능이 크게 향상되었으나 최종목표인 실내수신 및 이동수신을 위해서는 여전히 많은 문제점을 지니고 있다. 현재 다방면으로 DTV 수신기의 성능을 개선하기 위한 연구가 진행되고 있다^{[1][2]}.

미국형 지상파 디지털 TV 표준인 ATSC도 수신기에서 채널 등화를 위해서 결정 궤환 등화기(Decision Feedback Equalizer: DFE)를 사용한다. DFE는 양자화기에서 에러가 없다면, 피드백 필터는 이전에 판정된 심볼에 의한 ISI(Inter Symbol Interference)를 제거해주면서도, 일반 선형 등화기에서 나타나는 등화기 출력에서의 잡음 증폭과 같은 문제가 나타나지 않는 장점이 있다. 그러나, 판정에러가 발생하면 DFE의 피드백 루프를 통하여 에러 전파 문제가 발생시킨다.

ATSC DTV는 313 세그먼트 중에 1세그먼트만이 훈련열로 주어지기 때문에 양자화기 출력을 이용한 블라인드 등화 또는 판정의거 등화 방법이 대부분의 수신 심벌에서 사용된다^[3]. 따라서 판정 에러 확률이 증가하면 에러 전파 현상이 수렴 성능에 중대한 영향을 미칠 수 있다. 또한 ATSC DTV 수신기의 TOV(Threshold Of Visibility)에서 SER(Symbol Error Rate)이 0.2 정도 되므로 판정 에러가 발생할 확률이 높다^[4]. 현재 개발된 수신기는 이러한 판정 데이터의 오류를 줄이기 위하여 지연시간이 없는 트렐리스 복호기(Simplified Trellis Decoder: STD)를 양자화기를 대신 사용하여 판정 오류 줄인다. 그러나 STD를 판별기로 사용하는 경우라 할지라도 AWGN 채널의 경우에는 SER을 0.2에서 0.04 정도 까지만 줄일 수 있고, 다중 경로환경에서는 STD의 성능열화가 발생하기 때문에 더 많은 결정 오류가 발생하게 되어 에러 전파 현상이 줄어들기는 했지만 지속적으로 나타난다^[1]. 본 논문에서는 에러 전파 현상을 해결하기 위하여 이중 후방 필터 구조의 결정 궤환 등화기를 제안한다. 제안된 등화기의 후방 필터는 지연 시간이 없는 트렐리스 복호기의 출력을 입력으로 사용하는 결정 후방 필터와 등화기의 출력을 입력으로 사용하는 비결정 후방 필터로 구성되어 있다. 부가적으로 사용된 비결정 후방 필터는 에러 전파 현상이 발생하지 않고, 또한 결정 후방

필터에서 발생하는 에러 전파 현상을 보상한다. 따라서 제안된 등화기는 기존의 등화기에 비해서 수렴 속도는 빨라지고 잔류에러는 감소한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 서론에 이어서 II장에서 제안된 이중 후방 필터구조의 결정 궤환 등화기에 대해서 설명하고 성능을 평가한다. III장에서는 Linx사의 채널 정합 필터와 연계하여 다양한 채널에서의 제안된 등화기의 성능을 분석한다. 마지막으로 IV장의 결론을 끝으로 본 논문을 마무리한다.

II. 이중 후방 구조의 결정 궤환 등화기

그림 1은 제안된 이중후방 필터구조의 DFE의 구조를 나타낸다. 제안된 등화기는 사전 에코를 보상하는 전방 필터, 사후 에코를 보상하면서 STD의 출력을 입력으로 사용하는 결정 후방 필터와 사후 에코를 보상하면서 등화기의 출력을 입력으로 사용하는 비결정 후방 필터 세 가지 필터를 가지고 있다. 계수 업데이트 알고리즘으로 LMS(Least Mean square)를 사용하고 판별기로는 지연시간이 없는 STD를 사용한다.

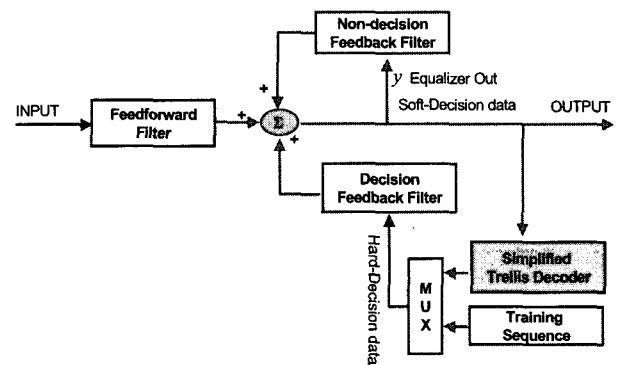


그림 1. 이중 후방 필터구조의 궤환 등화기
Fig. 1. The decision feedback equalizer with dual-feedback filter

등화기의 출력 y_k 는 다음식과 같다.

$$y_k = \sum_{j=-N_1}^0 c_j^F x_{k-j} + \sum_{j=1}^{N_2} c_j^{B_1} \hat{y}_{k-j} + \sum_{j=1}^{N_3} c_j^{B_2} y_{k-j} \quad (1)$$

계수 갱신은 식 (2)와 같다.

$$\begin{aligned}
 c_{j,k+1}^F &= c_{j,k}^F + \mu \varepsilon_{SaGk} x_{k-j}, \quad j=0,-1,-2,\dots,-N_1, \\
 c_{j,k+1}^{B_1} &= c_{j,k}^{B_1} + \frac{\mu \varepsilon_{SaGk}}{2} \hat{y}_{k-j}, \quad j=1,2,\dots,N_2, \\
 c_{j,k+1}^{B_2} &= c_{j,k}^{B_2} + \frac{\mu \varepsilon_{SaGk}}{2} y_{k-j}, \quad j=1,2,\dots,N_3.
 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\varepsilon_{SaGk} = \begin{cases} (\hat{y}_k - y_k) f_{SaG}(k) & \text{데이터구간} \\ d_k - y_k & \text{훈련열구간} \end{cases}$$

여기서 k 는 실행 횟수, $c_{j,k}^F, c_{j,k}^{B_1}, c_{j,k}^{B_2}$ 는 각각 k 번째 실행에서 j 번째 전방 필터 탭 계수, 결정 후방 필터 탭 계수 그리고 비결정 후방필터 탭 계수이고 $\varepsilon_{SaG,k}$ 는 SAG(Stop and Go) 알고리즘이 적용된 에러이다^[5]. $f_{SaG}(k)$ 는 SAG 알고리즘에 의해서 0이나 1의 값을 갖는 함수이다. μ 는 스텝 사이즈로 기존의 LMS-DFE에 비해서 후방 필터의 탭을 두 배를 사용함으로 스텝사이즈는 전방 필터에 비해 절반만 사용한다.

기존의 LMS-DFE에 부가적으로 사용된 비결정 후방 필터는 입력으로 등화기 출력을 사용함으로 에러 전파 현상에 덜 민감하고, 또한 결정 후방 필터에서 발생하는 에러 전파 현상을 보상한다^{[6][7]}. 따라서 제안된 등화기는 기존의 등화기에 비해서 수렴 속도는 빨라지고 잔류에러는 감소한다.

제안된 이중 후방 구조 결정 제한 등화기의 성능을 기존의 등화기와 비교 분석하였다. 두 등화기 모두 계수 업데이트 알고리즘으로 LMS알고리즘을 사용하였다. 기존의 LMS-DFE는 전방 필터와 후방 필터의 탭수는 각각 100, 200이고, 제안된 등화기는 전방 필터는 100 탭, 결정 후방 필터와 비결정 후방 필터는 200탭을 사용하였다. 두 등화기 모두 블라인드 알고리즘으로 SAG(Stop and Go)와 판별기로 STD를 사용하였다. 스텝사이즈는 기존 등화기의 경우 전방 필터와 후방 필터 모두 5E-6을 사용하였고, 제안된 등화기의 전방 필터는 5E-6을 사용하고 두 개의 후방필터는 2.5E-6을 사용한다. 두 등화기 모두 초

기 수렴 시간을 줄이기 위해서 훈련열 구간에서는 스텝 사이즈를 10배로 하여 실험을 수행하였다. 전산모의 실험은 500만 심볼에 대해서 수행하여 등화기가 수렴한 후 150만 심볼에 대한 평균 등화기 출력 SNR이나 SER (Symbol Error Rate)를 구하였다. 그림 2는 전산 모의 실험에 사용된 K= 0 dB의 DVB-T Ricean 채널과 브라질 B 채널의 임펄스 응답을 보여준다^{[8][9]}.

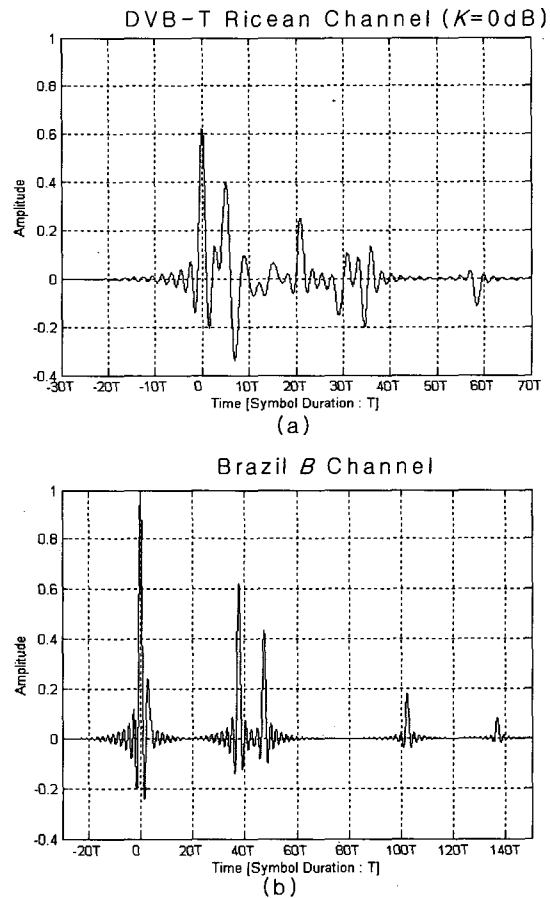


그림 2. K= 0 dB의 DVB-T Ricean 채널(a)과 브라질 B 채널의 임펄스 응답(b)
 Fig. 2. Impulse Response of (a) DVB-T Ricean Channel with K=0 dB and (b) Brazil B Channel

그림 3은 AWGN 채널에서의 기존의 LMS-DFE와 제안된 이중 후방필터 구조의 결정 제한 등화기의 수신 성능을 보여준다. 두 등화기의 수신 SNR에 따른 등화기

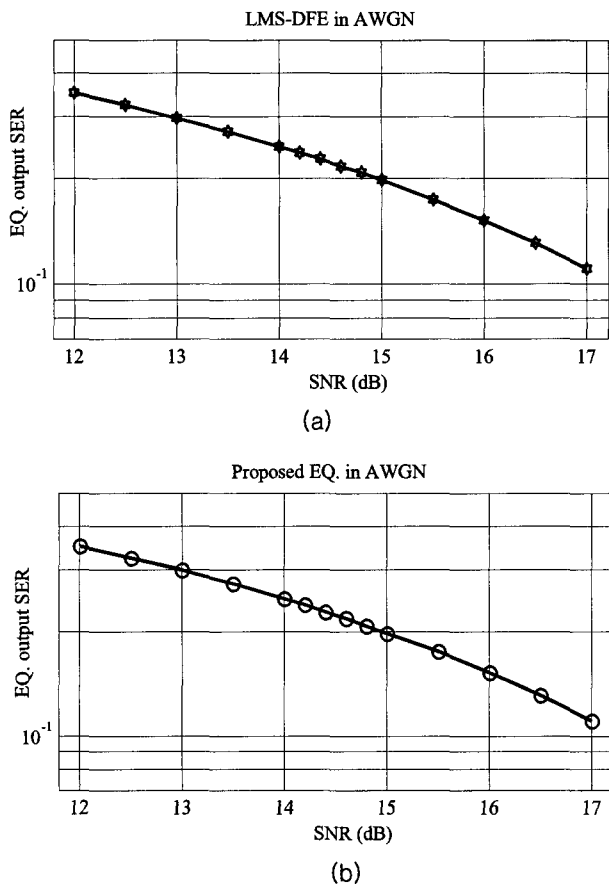


그림 3. AWGN 채널에서의 LMS-DFE와 제안된 등화기의 수렴 성능
 Fig. 3. Performance of equalizers in AWGN channel

출력 SER(Symbol Error Rate)이 동일함으로 제안된 등화기는 기존의 등화기에 비해서 탭을 더 많이 사용하지만 좋은 채널 환경에서 성능 저하가 없음을 알 수 있다.

그림 4는 K=0dB의 DVB-T Ricean 채널에서 SNR이 19.6 dB일때 두 등화기의 수렴 곡선을 보여 주고 있다. 제안된 등화기가 기존의 등화기에 비해서 수렴 속도는 20% 정도 빠르고 잔류 에러도 적음을 알 수 있다. 반복적으로 나타나는 스파크는 훈련열 구간에서 스텝사이즈를 10배로 하였기 때문에 발생한다. 그림 5는 등화기의 심볼 에러율 곡선을 보여준다. 전산 모의 실험결과를 분석하면 K=0 dB의 DVB-T Ricean 채널에서는 기존의 등화기에 비해 제안된 등화기가 0.4 dB 성능 개선이 나타난다. 브라질 B 채널

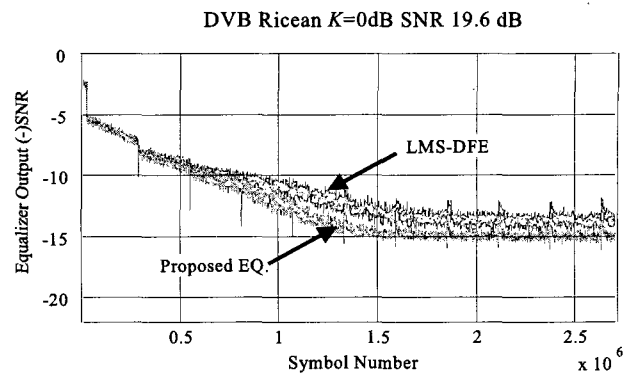


그림 4. K=0dB의 DVB-T Ricean 채널에서 LMS-DFE와 제안된 등화기의 수렴 곡선

Fig. 4. Learning curves of the equalizers in the case of DVB-T Ricean channel with K=0 dB and SNR of 19.6 dB

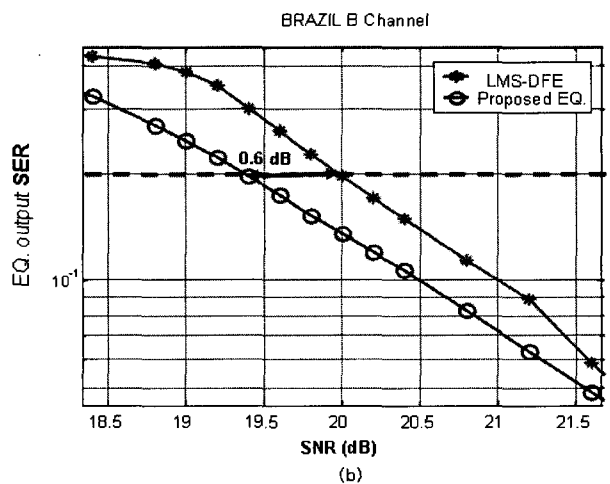
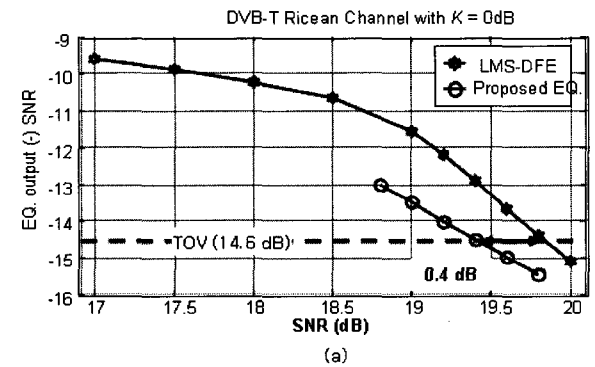


그림 5. K=0dB의 DVB-T Ricean 채널(a)과 브라질 B 채널(b)에서 LMS-DFE와 제안된 등화기의 수렴 성능
 Fig. 5. Performance of equalizers in the case of (a) DVB-T Ricean channel with K=0 dB and (b) Brazil B channel

에서는 기존의 등화기에 비해 제안된 등화기가 DTV의 TOV를 만족하는 등화기 출력 SER 0.2 부근에서 0.6 dB의 성능 개선 효과가 있다.

III. Linx의 채널 정합 필터를 적용한 경우의 성능평가

가시거리(Line of sight)가 확보되지 않아 주 신호가 존재할 가능성이 적은 실내 수신환경에서의 수신 성능 향상을 위하여 Linx사는 채널 정합 필터를 사용하는 방법을 제안하였다^[2]. 그림 6은 채널 정합 필터의 개념을 설명하고 있다. 입력 신호는 송신기로부터의 출력이다. 여기서의 멀티패스모델은 시불변 선형 필터 모델로 식 (3)과 같은 임펄스 응답 $h(k)$ 을 가지고 있다.

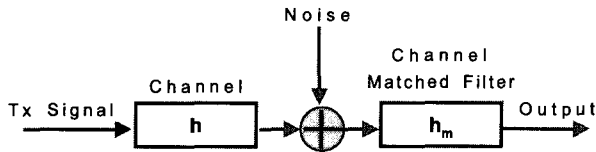


그림 6. 채널 정합 필터
Fig. 6. Channel Matched Filter

$$h = \sum_{k=0}^{M-1} h_k \delta(kT), \quad 0 \leq k \leq M \quad (3)$$

또한, h_m 는 채널 정합 필터로 식 (4)와 같다.

$$h_m = \sum_{k=0}^{M-1} h_{M-k}^* \delta(kT), \quad 0 \leq k \leq M \quad (4)$$

그림 7은 채널 정합 필터의 특성을 예시를 통해 보여준다. 그림 7에서 (a)와 (c)를 비교하면 가장 큰 신호의 레벨을 비교하면 3 dB이상 증가함을 알 수 있다. 실제로 (a)에서는 가장 큰 두 신호의 크기가 동일하여 주 신호가 존재하지 않는다. 그림 7의 (b)의 채널 정합 필터는 수신신호의 SNR이 최대가 되도록 동작한다.

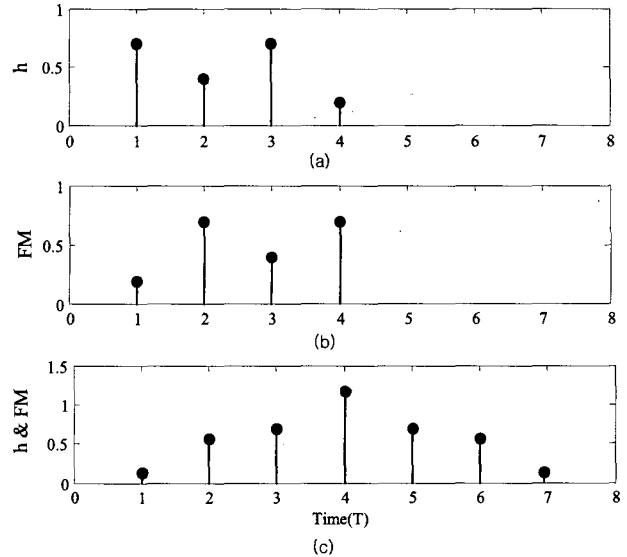


그림 7. 채널 정합 필터의 사용 예, (a) 채널 임펄스 응답, (b) 채널 정합 필터 계수, (c) 채널 정합 필터와 채널의 종합 응답

Fig. 7. Example of Channel Matched Filter. (a) Channel impulse response, (b) Channel Matched Filter coefficients, (c) Combined response of matched filter and the channel, i.e., total channel response including matched filter

그림 8은 채널 정합 필터를 사용한 수신기를 보여준다. 채널 정합 필터의 탭 계수를 얻기 위하여 먼저 수신신호로부터 채널 추정을 한다. 추정된 채널 정보로부터 채널 정합 필터의 탭 계수를 얻는다. 또한 등화기의 수렴 속도를 높이기 위하여 추정된 채널 정보로부터 등화기 수렴 계수값을 얻어 이를 초기값으로 사용하여 등화기를 동작시킨다. 이와 같은 방식으로 Linx사는 브라질 D와 같은 심한 멀티패스가 존재하는 환경에서도 수신이 가능함을 보여주었다^[2].

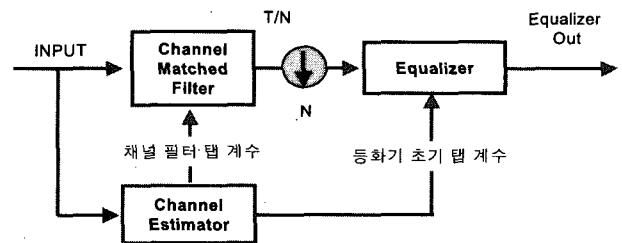


그림 8. Linx사 수신기에서의 등화기 구조
Fig. 8. Structure of the Equalizer in Linx receiver

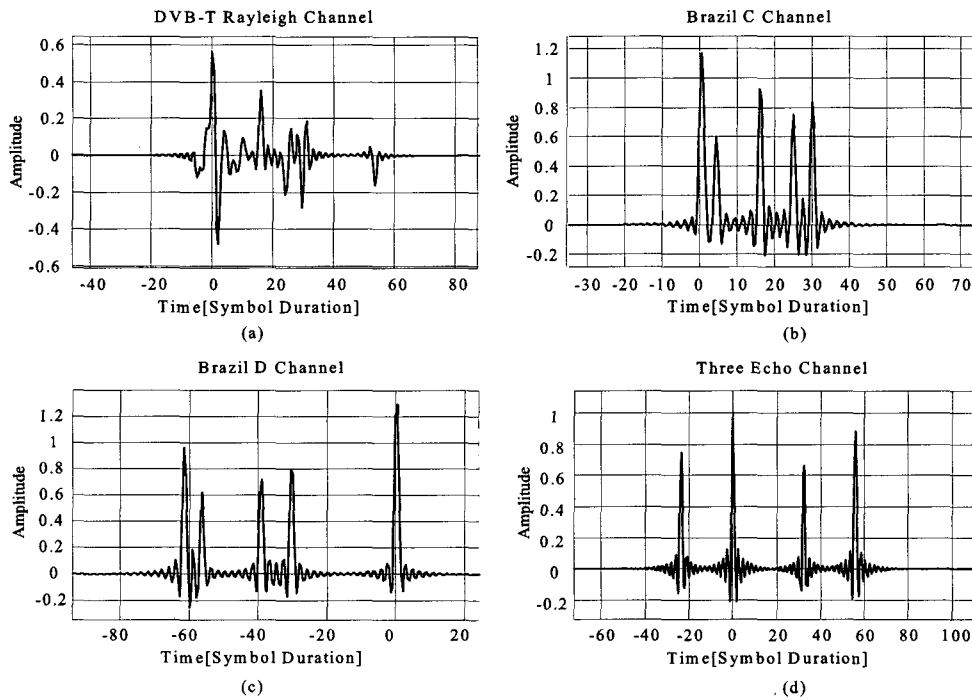


그림 9. DVB-T Rayleigh 채널(a), 브라질 C 채널의 임펄스 응답(b), 브라질 D 채널과 Three Echo 의 임펄스 응답
 Fig. 9. Impulse Response of (a) DVB-T Rayleigh, (b) Brazil C, (c) Brazil D and (d) Three Echo Channel

본 논문에서는 Linx사 사용한 LMS-DFE 대신에 제안된 이중 후방 필터 구조의 등화기로 대체하여 성능 개선 여부를 전산모의 실험을 통하여 분석하였다. Yiyang Wu의 논문에 제시된 방법을 통하여 채널 추정을 수행하고 채널 정합 필터의 탭 계수와 등화기 수렴 계수값을 얻었다^[2]. 다만 이중 후방 구조의 필터 탭 계수를 직접 얻기가 어려워 기존의 LMS-DFE의 탭 계수를 얻어 결정 궤환 후방 필터와 비 결정 후방 필터에 절반씩 나누어 초기값으로 사용하였다. 실험에 사용된 LMS-DFE의 전방 필터와 후방필터 탭 수는 각각 300 이고, 제안된 등화기는 전방 300 탭, 결정 후방 300 탭, 비 결정 후방 300 탭을 사용하였다. 두 등화기 모두 블라인드 알고리즘으로 SAG(Stop and Go)와 판별기로 STD를 사용하였다. 스텝사이즈는 기존 등화기의 경우 전방 필터와 후방 필터 모두 3E-6을 사용하였고, 제안된 등화기의 전방 필터는 3E-6을 사용하고 두개의 후방필터는 1.5E-6을 사용한다. 전산 모의 실험은 5000만 심볼에 대해서 수행하였으며 등화기가 수렴한 후 500만 심볼에

대한 평균 등화기 출력 SER(Symbol Error Rate)를 구하였다.

실험에 사용된 채널은 그림 9에 보여 주듯이 DVB-T Rayleigh 채널, 브라질 B 채널, 브라질 C 채널, 브라질 D 채널, Three Echo 채널을 사용하였다^{[8][9]}. Linx사 수신기의 TOV를 만족하는 SNR 계산은 멀티 패스에 의해 발생된 에코를 제외하고 송신신호만으로 계산한 값이고, 본 논문에서는 멀티 패스에 의해 발생된 에코를 모두 포함한 수신신호를 가지고 SNR을 계산하였기 때문에 두 논문 사이에 표현의 차이가 있다. 예를 들어 브라질 D 채널의 경우 멀티 패스에 의해 발생된 에코 때문에 수신신호는 주 신호 대비 파워가 4.97배 증가한다. 따라서 본 논문에서의 TOV를 만족하는 SNR은 Yiyang Wu의 논문에 발표된 SNR에 비해 7 dB 높게 표현된다^[2].

그림 10 (a)는 브라질 B 채널에서 Linx의 채널 정합 필터를 적용한 경우 LMS-DFE와 제안된 이중 후방구조 결정 궤환 등화기의 성능을 보여준다. LMS-DFE 보다 제안된

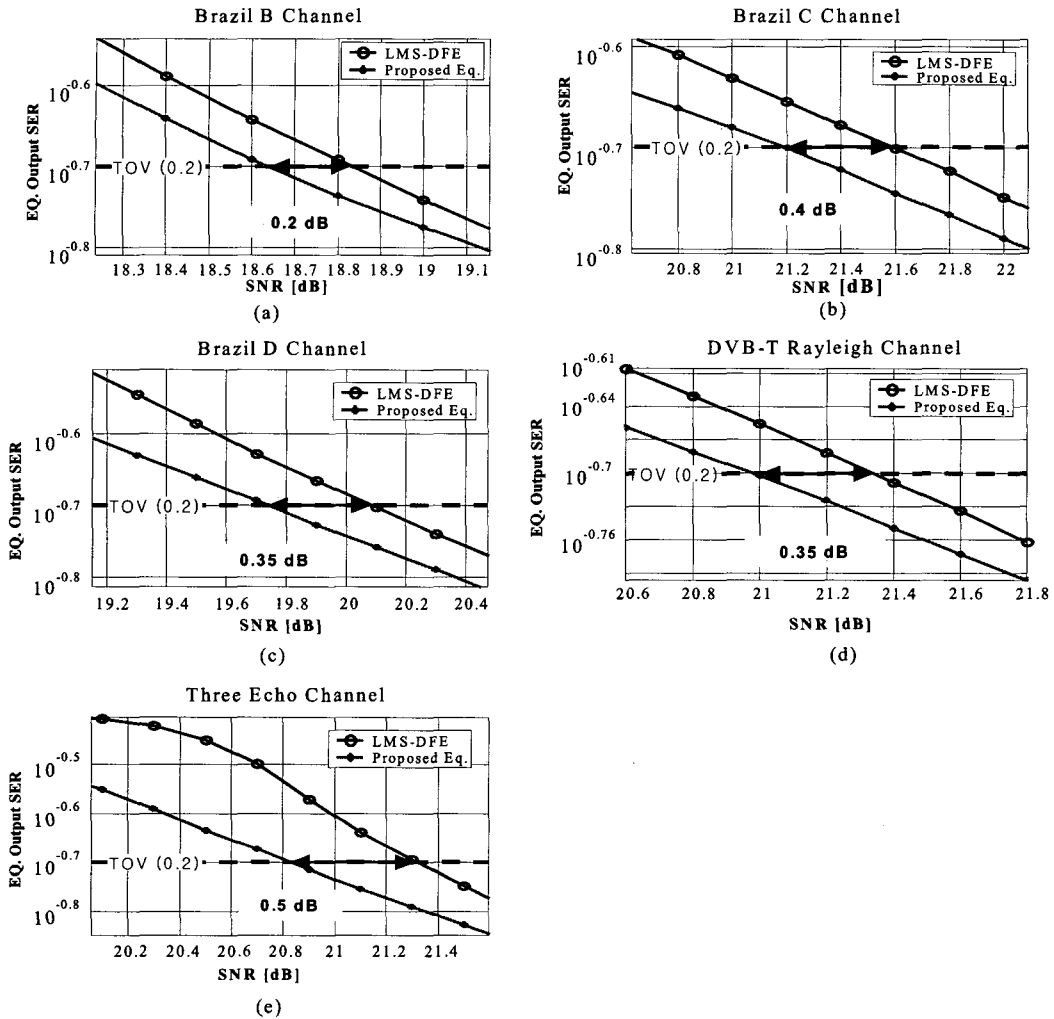


그림 10. 등화기 출력에서의 SER 성능 (a) 브라질 B 채널, (b) 브라질 C 채널, (c) 브라질 D 채널, (d) DVB-T Rayleigh 채널, (e) Three Echo 채널
 Fig. 10. SER of the equalizers (a) Brazil B Channel, (b) Brazil C Channel, (c) Brazil D Channel, (d) DVB-T Rayleigh Channel, (a) Three Echo Channel

등화기는 TOV에서 0.2 dB 성능 향상이 있다.

멀티패스에 대한 왜곡이 심한 채널 환경을 대표하는 DVB-T Rayleigh 채널, 브라질 C 채널과 브라질 D 채널에 대한 전산 모의 실험 결과는 그림 10 (b)~(d)에 보여준다. 브라질 C 채널의 경우는 0.4 dB 이득이 발생하고, 브라질 D 채널과 DVB-T Rayleigh 채널에서는 0.35 dB의 성능 개선이 나타난다.

SFN(Single Frequency Network) 채널을 표현하는 Three Echo 채널에 대해서 LMS-DFE에 비해서 제안된 등화기가

0.5 dB 이득이 발생함을 그림 10 (e)를 통해 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 결정 궤환 등화기의 에러 전파 현상을 극복하기 위하여 기존의 결정 궤환 등화기에 등화기 출력을 입력값으로 사용하는 비결정 후방 필터를 첨가한 이중 후방필터 구조의 결정 궤환 등화기를 제안하였다. 제안된

등화기는 전산 모의 실험을 통해 기존의 LMS-DFE에 비해 수렴 속도는 빨라지고 잔류에러는 감소함을 보였다. 또한 Linx사의 채널 정합 필터와 연계한 실험을 통해 기존의 등화기에 비해 성능향상이 있음을 보였다. 제안된 등화기 구조는 ATSC DTV 수신 성능 향상에 기여할 것으로 판단된다.

참고 문헌

[1] Y. H. Oh, S. W. Park, S.-J. Baek and D. J. Kim, "Equalization Techniques Based on Fast RLS Algorithms to Improve Mobile Reception Performance of 8-VSB Receivers," IEEE Trans. Consumer Electronic Vol. 48, No.3, pp. 596-601. Aug. 2002.

[2] Yiyang Wu, Xianbin Wang, Richard Citta, Benoit, Benoit Ledoux, Sebastien Lafleche and Bernard Caron, "An ATSC DTV Receiver With Improved Robustness to Multipath and Distributed Transmission Environments," IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 50, No. 1, March 2004.

[3] Doc. A/54, "Guide to the Use of ATSC Digital Television Standard," Oct. 1995.

[4] M. Ghosh, "Blind decision feedback equalization for terrestrial television receivers," Proceedings of the IEEE, Vol. 86, No. 10, pp. 2070-2081, Oct. 1998.

[5] G. Picchi and G. Prati, "Blind Equalization and Carrier Recovery Using a "Stop-and-Go" Decision-Directed Algorithm," IEEE Trans. Commun., Vol. COM-35, No. 9, pp. 877-887, Sep. 1987.

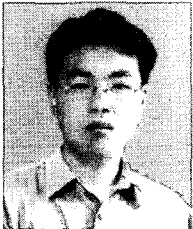
[6] Jeongsoon Park, Iyonete Markman, Seo Weon Heo and Saul B. Gelfand, "Error Propagation in Decision Feedback Equalization for a Terrestrial Digital Television Receiver," IEEE Trans. Consumer Electronic Vol. 49, No.4, pp. 927-932. Nov. 2003.

[7] H.-N. Kim, S. I. Park and S. W. Kim, "Performance Analysis of Error Propagation Effects in the DFE for ATSC DTV Receivers," IEEE Trans. on Broadcasting, Vol. 49, No.3, pp. 249-257, Sep. 2003.

[8] DVB, "Framing structure, channel coding and modulation for digital terrestrial television," ETSI EN 300 744 v1.2.1, July, 1999.

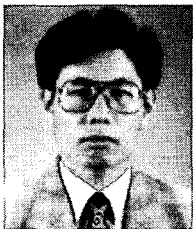
[9] SET/ABERT, "Tests on digital television systems: third report," March 25, 2000.

저자 소개



오영호

- 2000년 2월 : 전남대학교 전자공학과 학사
- 2002년 2월 : 전남대학교 전자공학과 석사
- 2005년 8월 : 전남대학교 전자정보통신공학과 박사
- 2005년 9월~현재 : RRC 연구원
- 관심분야 : 디지털 통신, 디지털 방송, 8-VSB, OFDM, 무선랜



김대진

- 1984년 2월 : 서울대학교 전자공학과 학사
- 1986년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
- 1991년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
- 1991년~1996년 12월 : LG전자 멀티미디어(연) 책임연구원
- 1997년 1월~현재 : 전남대학교 전자컴퓨터정보통신공학부 부교수
- 관심분야 : 디지털 통신, 디지털 방송 송수신, 8-VSB, OFDM, LMDS, 케이블모뎀