

고속페이딩 채널 극복을 위한 ATSC DTV용 스파스 적응 등화기

허노익, 오해석, 한동석
경북대학교 전자공학과
{hnibb, ojhue, dshan}@ee.knu.ac.kr

Sparse Adaptive Equalizer for ATSC DTV in Fast Fading Channel

No-Ik Heo, Hae-Sock Oh, Dong Seog Han
School of Electronic and Electrical Engineering,
Kyungpook National University

요약

본 논문에서는 열악한 주파수 선택적 페이딩이나 고속 페이딩 채널 환경에서 ATSC(Advanced Television System Committee) DTV 수신기의 등화 성능 향상을 위해 필터 탭을 선택적으로 사용하는 스파스 적응 등화기 구조를 제안한다. 제안된 등화기는 채널 추정을 수행한 후 등화기 초기화를 위한 탭 계수를 찾는다. 구해진 등화기 탭의 초기화 계수에 대해 특정 임계값을 적용하여 유효한 탭을 선택하여 활성화시킨다. 그리고 활성화 된 탭만을 이용하여 채널 등화를 수행한다. 결과적으로 기존 등화기와 동일한 탭 길이를 가지고 있지만, 실제 사용하는 탭 수가 작아지므로 등화기의 단계상수를 크게 만들어 고속 페이딩 채널의 변화를 빠르게 추적할 수 있게 된다. 제안된 등화기 알고리즘의 성능 개선을 확인하기 위한 실험으로 ATSC DTV 성능 분석 시 일반적으로 사용되는 브라질 채널 및 ATSC 등화 성능 요구 조건에 대해 기존의 등화기와 비교 분석하였다. 그 결과 기존의 등화기와 같은 안정성을 가지면서 빠른 수렴 속도를 가지고 고속 페이딩 채널 보상 능력의 큰 향상을 보였다.

1. 서론

일반적으로 등화기는 긴 지연시간을 가지는 다중경로나 열악한 주파수 선택적 페이딩과 같은 채널 영향을 보상하기 위해서 많은 수의 필터 탭을 사용해야 한다. 그러나 탭수가 긴 필터의 사용은 다음과 같은 등화기 성능의 열화를 가져올 수 있다. 많은 수의 필터 탭은 등화기의 발산을 막기 위해서 등화기가 작은 단계상수를 가질 수 밖에 없도록 만든다. 작은 단계상수는 등화기의 초기 수렴 속도 및 채널 변화에 따른 추적 속도를 저하시키는 중요한 요인이 된다. 따라서 고속 페이딩 채널에서의 등화기 성능에 매우 큰 영향을 미친다. 또한 필요치 않은 필터 탭까지 사용함으로써 인해 백색 잡음의 중첩 효과까지 발생하여 등화기 성능을 열화시킨다.

본 논문에서는 고속 페이딩 채널 하의 ATSC (Advanced Television System Committee) DTV 시스템[1, 2]에서 등화기의 초기 수렴 속도 및 채널 변화에 잘 적응하는 등화기의 구조 및 알고리즘을 제안하였다. 제안한 등화기 구조는 채널 영향을 보상하기 위해서 등화기가 많은 수의 필터 탭을 가지더라도 모든 필터 탭을 사용하지 않고 채널 환경에 따라 선택적으로 필터 탭을 사용하게 된다. 따라서 기존의 등화기보다 작은 수의 필터 탭을 사용할 수 있고, 큰 단계상수를 적용

할 수 있게 만든다. 결과적으로 기존의 등화기 구조에 비해 초기 수렴속도가 빠르고, 채널 변화에 따른 등화기의 추적 속도가 향상된다.

2. ATSC DTV 전송 방식 및 기저 대역 신호 모델링

ATSC DTV는 6MHz 대역폭으로 10.76MHz의 데이터 전송률을 지원하는 8-VSB 전송 방식을 사용한다. 그림 1은 ATSC DTV 데이터 프레임 구조[1, 2]를 나타낸다.

하나의 데이터 프레임은 2개의 데이터 필드로 구성되어 있고 각각의 데이터 필드는 313 개의 데이터 세그먼트로 이루어져 있다. 각 데이터 필드의 첫 번째 데이터 세그먼트는 수신기에서 동기화 및 등화를 위한 훈련열을 포함하는 데이터 필드 싱크 신호이다. 나머지 312 개 데이터 세그먼트는 일반 전송 정보와 순방향 오류 정정 부호로 구성되어 있다. 각 데이터 세그먼트는 832 개의 심볼로 구성되고, 처음 4 심볼은 2-레벨의 세그먼트 싱크 신호로 구성되어 있다. 각 데이터 세그먼트에서 남은 828 심볼은 랜덤한 일반 데이터와 순방향 오류 정정으로 구성되고, 한 심볼 당 3 비트로 표현되는 8-레벨로 전송된다.

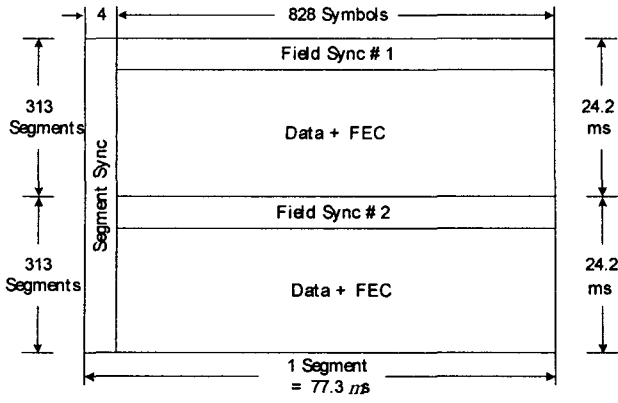


그림 1. 8-VSB 데이터 프레임 구조

제안된 등화기의 성능 분석을 위한 기본적인 시스템을 그림 2과 같이 모델링 한다. 우선 ATSC DTV 데이터 프레임 신호 $x(n)$ 은 다음과 같다.

$$x(n) = \sum_k d_k \delta(n-k) \quad (1)$$

여기서 d_k 는 8-레벨의 ATSC DTV 데이터 심볼을 나타낸다.

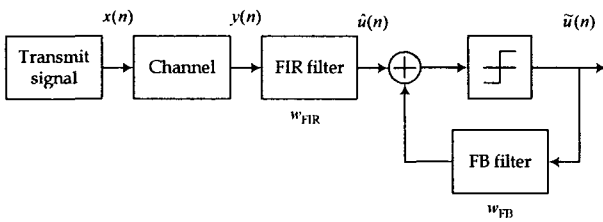


그림 2. 시스템 모델

채널의 임펄스 응답을 $h(n)$ 이라고 할 때, 수신 신호 $y(n)$ 은 다음과 같이 $x(n)$ 과 $h(n)$ 의 컨볼루션으로 나타낸다.

$$y(n) = x(n) * h(n) = \sum_k x(k) h(n-k) \cos(\omega_D n + \theta_{offset}) \quad (2)$$

여기서 ω_D 와 θ_{offset} 는 도플러 천이와 위상 옵셋에 대한 값이다.

채널에 의해 왜곡된 신호 $y(n)$ 은 결정 궤환 등화기 (decision feedback equalizer, DFE)로 입력된다. DFE는 다음과 같이 동작한다.

(3)

$$\hat{u}(n) = \sum_{k=-N_{FIR}}^0 w_{FIR}(n) y(n-k) + \sum_{k=1}^{N_{FB}} w_{FB}(n) \hat{u}(n-k)$$

여기서 $\hat{u}(n)$ 은 수신된 신호가 등화기를 거친 결과를 나타내며, $\tilde{u}(n)$ 은 $\hat{u}(n)$ 을 8레벨의 ATSC DTV 심볼 값으로 결정한 값이 된다. $w(n)$ 은 등화기의 n 번째 탭 계수를 나타내고 N 은 필터 탭의 수를 나타낸다. 피드포워드와 피드백의 필터 탭을 아래 첨자 FIR 과 FB 로 나타내었다. 필터 탭의 갱신은 다음과 같이 이루어진다 [3].

$$w_{FIR}(n+1) = w_{FIR}(n) - 2\mu_{FIR} y(n-k) e(n) \quad (4)$$

$$w_{FB}(n+1) = w_{FB}(n) - 2\mu_{FB} \hat{u}(n-k) e(n) \quad (5)$$

$$e(n) = \tilde{u}(n) - \hat{u}(n) \quad (6)$$

여기서 μ 는 등화기의 단계상수를 나타내며, $e(n)$ 은 등화기 출력과 결정 값 사이의 오차를 나타낸다.

3. 제안된 채널 추정 기반의 스파스 등화기

모든 탭을 사용하는 기존의 등화기 구조에서는 안정적인 동작과 긴 지연시간을 가지는 다중 경로의 보상, 고속 페이딩 채널에 대한 보상을 모두 만족하기 어렵다. 이러한 등화기의 단점을 보완하기 위해서 등화기의 필터 탭을 최적으로 선택하여 사용하는 채널 추정 기반의 스파스 등화기 구조를 제안한다. 제안된 등화기의 순서도를 그림 3에 나타내었다.

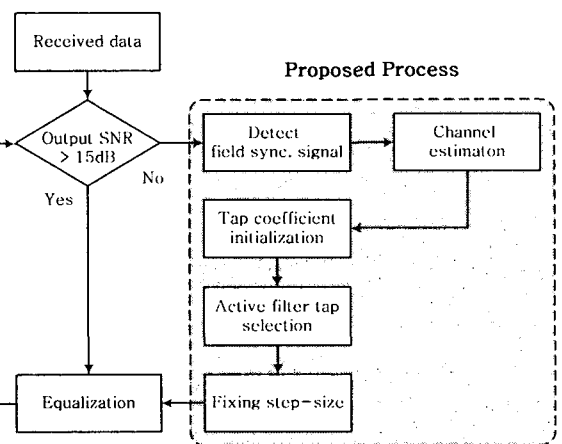


그림 3. 제안한 등화기의 동작 순서도

등화기의 탭을 선택적으로 사용하기 위해서는 그림 3과 같이 $y(n)$ 을 이용한 채널 추정이 필요하다. 본 논문에서는 연산량을 줄이기 위해서 상관기법[4]을 이용하여 채널을 추정한다. 채널 추정을 위해서 펄드 싱크 신호 검출을 먼저 수행

한다. 검출된 필드 싱크 신호를 이용하여 상관을 취한다. 이 상관 결과에 임계값을 적용하여 채널을 추정한다.

다음 단계로 등화기 탭 초기화가 수행된다. 추정된 채널을 이용하여 MMSE (Minimum mean square error) DFE[5] 탭 계수 값을 구해서 등화기 탭을 초기화 한다. 이후에 활성화 탭을 선택하기 위해서 초기화된 등화기 탭 계수에 다음과 같은 임계값을 적용한다.

$$w^{th}(n) = K \times \left(\left(\sum_{i=1}^{N_{FIRorFB}} u(i) \right) - w(n) \right) \div N_{FIRorFB} \quad (7)$$

여기서 $w^{th}(n)$ 는 n 번째 등화기 필터 탭에 대한 임계값을 나타낸다. 상수 K 값은 실험 수행을 통해 안정적 등화를 수행할 수 있는 탭 개수를 선택할 수 있도록 임의의 상수 값을 선택한다. 적용된 임계값을 넘어서는 등화기 탭의 경우 활성화시키고 그렇지 않은 경우 비활성화시켜 등화를 수행하게 된다.

마지막으로 단계 상수 조절 부분은 모든 탭을 사용할 때 적용되는 단계상수를 전체 필터 탭 크기와 활성화 된 필터 탭 크기의 비만큼 크게 만들 수 있다.

위에서 제안한 방식은 등화기 필터 탭을 모두 사용하는 것이 아니라 일정 영역을 선택적으로 사용함으로써 사용되는 탭의 수를 줄이게 된다. 따라서 필터 탭을 모두 사용하는 등화기에 비해 단계상수를 키울 수가 있게 된다. 초기화 탭 계수로 인해 정적 채널에서는 수렴속도 향상을 가져오게 되고, 큰 단계 상수로 인해 동적 채널에서는 채널 변화에 대한 보상이 용이해진다. 그리고 채널 환경이 급격하게 변해서 등화 성능이 나빠진 경우 등화기를 초기화하고, 위의 과정을 다시 수행한다.

4. 모의실험을 통한 성능 분석

제안한 등화기 알고리즘의 성능 분석을 위해서 ATSC DTV 시스템에서 실험 채널로 사용하는 브라질 채널[6] 및 ATSC 등화기 성능 요구 조건[7]에 대한 실험을 수행하였다.

비교 대상이 될 기존의 등화기 형태는 피드포워드 탭과 피드백 탭의 수를 동일하게 512개 사용하는 DFE 구조이며, 필드 싱크 신호 구간에서는 LMS 적응 알고리즘[8]을 사용하고 일반 데이터 구간에서는 Stop&Go 적응 알고리즘[9]을 사용한다. 실험에서는 입력 SNR을 25dB로 고정하여 실험을 수행하였다.

브라질 채널에서는 제안된 등화기와 기존의 등화기는 표 1과 같은 성능을 가진다. 제안된 등화기는 기존의 등화기와 유사한 성능을 보이거나 더 높은 출력 SNR을 보이고 있다. 브라질 E 채널의 경우 3dB 이상의 출력 SNR 차이를 보인다. 그림 4는 브라질 E 채널에서의 출력 SNR을 나타낸다. 다른 채널에서도 이와 마찬가지로 초기 수렴 속도에 큰 차이를 보인다. 결과적으로 제안된 등화기는 안정적인 동작을 보이면서 빠른 수렴 속도를 가지고 있다는 것을 알 수 있다.

ATSC 정적 채널 등화기 성능 요구 조건에 대한 실험 결과

는 표 2에 나타내었다. DFE 구조와 입력 SNR 및 심볼 시간은 브라질 채널 실험과 같은 조건으로 수행하였다. 표 2에 나타나 있는 채널은 하나의 다중경로를 가정하고, 그 다중경로의 지연시간과 주경로에 대한 상대적 크기를 나타낸다. 단, 다중경로에는 0.1Hz의 도플러 위상 천이가 존재한다.

표 1. 브라질 채널 상에서의 등화기 성능

Channel	Output SNR [dB]	
	Proposed	Conventional
Brazil A	24.9276	24.6906
Brazil B	24.9429	24.2861
Brazil C	28.2302	27.7251
Brazil D	26.7908	24.9463
Brazil E	25.1016	21.6624

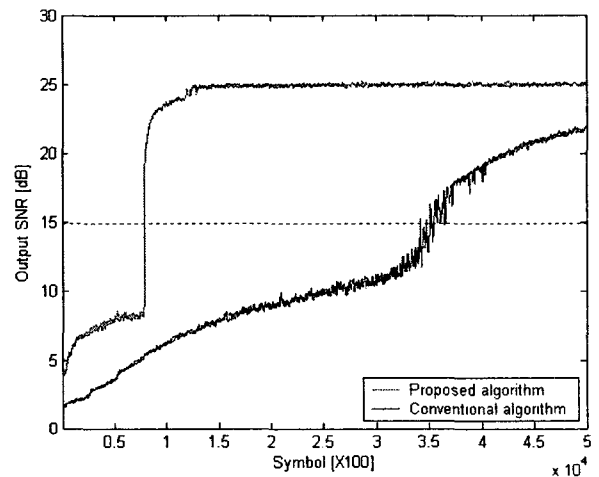


그림 4. 브라질 채널에서의 출력 SNR

실험결과 제안된 구조는 기존의 구조보다 먼 거리의 다중경로까지 보상할 수가 있다. 여기에 더해서 수렴레벨 역시 기존의 등화기 구조보다 높게 나타난다. 표 2에서 실험 2의 출력 SNR을 살펴보면, 제안된 방식이 조금 낮은 수렴레벨을 보이는 것을 볼 수 있다. 이는 선택된 등화기 필터 탭의 개수가 다중경로의 영향을 제거해주기 충분하지 못한 결과이다. 지연시간과 다중경로 크기에 따라 이와 같은 경우가 발생할 수 있다. 하지만 모두 TOV를 만족하고 있다.

표 2. ATSC 정적 채널 기준에서의 등화기 출력 SNR

Section	Channel		Output SNR [dB]	
	Del.[μs]	Amp.[dB]	Proposed	Conventional
#1	-25	-16	22.7661	15.2586
#2	-20	-7.5	15.7949	16.4695
#3	-10	-5	20.1992	18.5747
#4	-5	-3	21.7375	20.7448
#5	10	-3	24.9101	24.4498

#6	20	-4	24.9496	24.6163
#7	40	-7	24.8609	24.8094

표 3은 ATSC 동적 채널 등화기 성능 요구 조건에 대한 실험 결과를 나타낸다. Channel의 Amp크기를 가지는 하나의 다중 경로가 Dop. 크기의 도플러 천이를 가지고 $1\mu s$ 지연시간에 존재할 경우, DFE 구조와 입력 SNR 및 심볼 시간은 브라질 채널 실험과 같은 조건으로 수행하였다. 실험 결과에서 나타나듯이 제안된 구조는 ATSC 기준을 모두 만족하며, 기존의 등화기에 비해서 도플러 천이에 의한 위상왜곡에 강인함을 알 수 있다. 이는 단계상수의 조절로 인해 등화기의 동적 채널 보상 범위가 매우 커졌기 때문이다.

표 3. ATSC 동적 채널 기준에서의 등화기 출력 SNR

Section	Channel			Output SNR [dB]	
	Del. [μs]	Amp. [dB]	Dop. [Hz]	Proposed	Conventional
#1	1	-3	10	23.5384	6.3402
#2		-4	20	23.5656	5.8705
#3		-5	30	23.2480	6.4832
#4		-6	40	23.1061	7.2502
#5		-7	50	23.4278	8.2287

5. 결 론

본 논문에서는 고속 페이딩 채널 환경에서 등화기 성능 향상을 위해서 필터 탭을 선택적으로 사용하는 등화기 구조를 제안하였다. 기존의 등화기 구조와는 달리 사용되는 필터 탭의 수를 조절할 수가 있기 때문에 등화기의 단계 상수 크기 조절이 가능하다. 결과적으로 빠른 페이딩 채널 환경에서의 변화를 쉽게 보상할 수 있다. 또한 정적 채널의 경우도 백색잡음 중첩효과를 최소화함으로써 등화 성능의 열화를 줄일 수 있다.

ATSC DTV 모의실험에 자주 사용되는 브라질 채널 및 ATSC에서 제시한 등화기 성능 요구조건에 대한 모의실험을 수행한 결과 기존의 등화기 구조에 비해서 안정적이면서 빠른 수렴 속도를 보여줌으로써 제안된 구조의 장점을 확인하였다. 먼 거리의 다중경로도 효과적으로 보상 해주는 것으로 나타났다. 특히, 도플러 천이에 대한 성능이 매우 좋으므로 ATSC DTV 시스템의 이동수신 성능향상에 큰 도움이 될 것으로 기대된다.

6. 참고 문헌

- [1] ATSC standard A/54, *Guide to The Use of The ATSC Digital Television Standard*, Oct. 1995.
- [2] ATSC standard A/53A, *ATSC Digital Television*

Standard, Apr. 2001.

- [3] John G. Proakis, *Wiley encyclopedia of telecommunications : volume 1*, New York, NY : John and Wiley&Sons Inc., 2003.
- [4] Lin Gui and Zhi Yong Zou, "A novel fast algorithm of channel estimate," *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, vol. 47, pp. 838-846, Nov. 2001.
- [5] Yiyang Wu, "An ATSC DTV receiver with improved robustness to multipath and distributed transmission environments," *IEEE Trans. On Broadcasting*, vol. 50, no. 1, Mar. 2004.
- [6] ABERT/SET, *VSB/COFDM Comparison Report*, May 2000.
- [7] ATSC standard A/53A, *ATSC Digital Television Standard*, Apr. 2001.
- [8] Edward A. Lee, *Digital Communication 2nd edition*, Kluwer Academic, 1994.
- [9] 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.