

특집논문-05-10-1-01

고속페이딩 채널 극복을 위한 ATSC DTV용 스파스 적응 등화기

허노익^{a)}, 오해석^{a)}, 한동석^{a)†}

Sparse Adaptive Equalizer for ATSC DTV in Fast Fading Channels

No-Ik Heo^{a)}, Hae-Sock Oh^{a)} and Dong Seog Han^{a)†}

요 약

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(sparse) 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(fading) 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.

Abstract

An equalization algorithm is proposed to guarantee a stable performance in fast fading channels for digital television (DTV) systems from the advanced television system committee (ATSC) standard. In channels with high Doppler shifts, the conventional equalization algorithm shows severe performance degradation. Although the conventional equalizer compensates poor channel conditions to some degree, long filter taps required to overcome long delay profiles are not suitable for fast fading channels. The proposed sparse equalization algorithm is robust to the multipaths with long delay profiles as well as fast fading by utilizing channel estimation and equalizer initialization. It can compensate fast fading channels with high Doppler shifts using a filter tap selection technique as well as variable step-sizes. Under the ATSC test channels, the proposed algorithm is analyzed and compared with the conventional equalizer. Although the proposed algorithm uses small number of filter taps compared to the conventional equalizer, it is stable and has the advantages of fast convergence and channel tracking.

Keywords : ATSC DTV, sparse equalizer, channel estimation

I. 서 론

우리나라에서 지상파 DTV 표준으로 책정된 ATSC (advanced television system committee) 방식^[1]의 전송 시

a) 경북대학교 전자전기공학부

School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National Univ.

※ 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성·지원사업과 한국과학재단 목적기초연구(R05-2003-000-11108-0) 지원으로 수행되었음.

스템은 데이터 중 유효데이터의 비율이 높고 채널 환경이 좋은 경우 동기 및 등화가 간단하다. 하지만 등화를 위한 기준 신호가 많이 포함되어 있지 않으므로 실내수신 및 이동수신과 같은 열악한 주파수 선택적 페이딩(fading)을 가지는 다중경로 환경이나 도플러(Doppler) 천이에 의한 위상 왜곡이 존재하는 경우 등화가 어려운 단점이 있다^[2]. 이런 단점을 개선하기 위한 노력으로 2000년 말에 이르러 브로드컴(Broad-com), 넥스트웨이브(NxtWave), 제니스(Zenith)

등의 업체들이 5~6 μs 의 프리고스트(pre-ghost)와 40 μs 의 포스트고스트(post-ghost)를 보상할 수 있는 적응 등화기를 발표하였다^[3]. 이들 적응 등화기는 넓은 등화 범위와 함께 5~20Hz 정도의 도플러 천이를 가지는 동적 채널까지도 보상이 가능하다. 하지만 실내수신 및 이동수신을 완벽히 지원하기에는 여전히 많은 문제점을 지니고 있으며, 이를 해결하기 위한 연구가 아직도 활발히 진행 중이다.

기존에 개발된 적응 등화기는 ATSC DTV 표준 규격의 초기 등화기 모델에 비해서 수신 성능이 크게 향상되었지만, 긴 지연시간을 가지는 다중경로나 열악한 주파수 선택적 페이딩과 같은 채널 영향을 보상하기 위해서 많은 수의 필터 탭을 사용한다. 많은 수의 필터 탭의 사용은 다음과 같은 등화기 성능의 열화를 가져올 수 있다. 많은 수의 필터 탭은 등화기가 발산하는 것을 막기 위해서 작은 크기의 단계상수를 가질 수 밖에 없다. 작은 단계 상수는 등화기의 초기 수렴 속도 및 채널 변화에 따른 추적 속도를 저하시키는 중요한 요인이 된다. 따라서 고속 페이딩 채널 환경에서의 등화기 성능에 큰 열화를 가져온다. 또한 필요치 않은 필터 탭까지 사용함으로 인해 백색잡음의 중첩효과까지 발생하여 등화기 성능 열화를 더하게 된다.

본 논문에서는 초기 수렴 속도를 향상시키고, 고속 페이딩 채널 환경에서 위에서 제시된 ATSC DTV용 등화기의 성능 열화를 보상하기 위한 등화기 구조를 제안하였다. 우선 채널 추정을 수행하고, 이를 통하여 상당한 초기 수렴 속도 향상을 얻을 수 있었다. 본 논문에서는 연산량을 줄이기 위해서 상관기법 기반의 채널 추정 기법을 사용하였다. 추정된 채널을 이용하여 등화기의 초기화에 사용한다. 그리고 적용된 등화기 탭 초기화 계수에 특정 임계값을 적용하여 실제 등화에 필요한 탭만 선택하고 활성화 한다. 전체 등화기 필터 탭 중에서 위의 과정으로 활성화 된 탭만을 이용하여 등화기를 동작시킨다.

제안한 등화기 구조는 열악한 채널 영향을 보상하기 위해서 등화기가 많은 수의 필터 탭을 가지더라도 모든 필터 탭을 사용하지 않고 채널 환경에 따라 선택적으로 필터 탭을 사용한다. 따라서 기존의 등화기보다 작은 수의 필터 탭을 사용하게 되고, 따라서 큰 단계상수를 적용할 수 있게 된다. 결과적으로 기존의 등화기 구조에 비해 초기 수렴 속도 및 채널 변화에 따른 등화기의 추적 속도가 빨라진다. 또한 백색잡음 중첩 효과에 의한 등화기의 성능 열화가 개선된다.

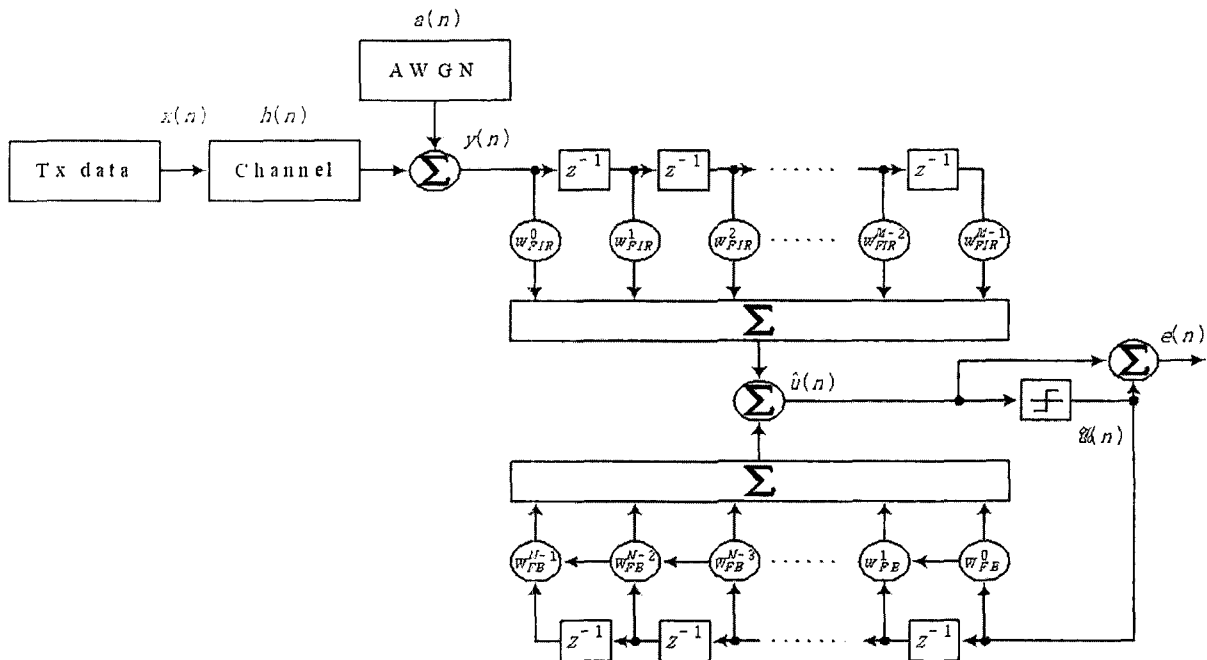


그림 1. ATSC DTV 기저대역 신호 모델링
Fig. 1. Baseband signal modeling in ATSC DTV

II. ATSC DTV용 적응등화기 및 등화기 성능 요구조건

1. 기저대역 신호 및 시스템 모델링

본 논문에서는 ATSC DTV 시스템의 기저대역 신호 모델을 그림 1과 같이 정의한다. 기본적으로 사용되는 등화기의 구조는 결정 궤환 등화기(decision feedback equalizer, DFE)^[4]이다.

송신기에서 전송되는 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.

채널의 임펄스 응답을 $h(n)$ 으로 나타내면, 채널 영향을 포함한 수신 신호 $y(n)$ 은 다음과 같이 $x(n)$ 과 $h(n)$ 의 컨볼루션 결과에 백색잡음 $a(n)$ 이 더해진 형태로 나타난다.

$$\begin{aligned} y(n) &= x(n) * h(n) \times \cos(w_D n + \theta_{offset}) + a(n) \\ &= \sum_k x(k) h(n-k) \cos(w_D n + \theta_{offset}) + a(n) \end{aligned} \quad (2)$$

w_D 와 θ_{offset} 는 채널에서 발생하는 도플러 천이와 위상 오프셋에 대한 영향을 나타낸다.

채널 영향에 의해서 왜곡되고 백색잡음이 더해진 수신 신호 $y(n)$ 은 등화기로 입력된다. 본 논문에서 사용된 결정 궤환 등화기는 기본적으로 다음과 같이 동작한다.

$$\hat{u}(n) = \sum_{k=-N_{FIR}}^0 w_{FIR}(n) y(n-k) + \sum_{k=1}^{N_{FB}} w_{FB}(n) \tilde{u}(n-k) \quad (3)$$

$\hat{u}(n)$ 은 수신된 신호가 등화기를 거친 결과를 나타내며, $\tilde{u}(n)$ 는 $\hat{u}(n)$ 을 8레벨의 ATSC DTV 심볼 값으로 결

정한 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.

결정 궤환 등화기의 필터 탭 갱신은 다음과 같이 이루어진다^[5].

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

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

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

여기서 μ_{FIR} 와 μ_{FB} 는 피드포워드와 피드백 탭의 단계상수를 나타낸다. $e(n)$ 은 등화기 출력과 그 출력이 ATSC 8-레벨의 신호로 결정된 값 사이의 오차를 나타낸다.

2. 등화기 적응 알고리즘

본 논문에서 등화기의 적응 알고리즘은 ATSC DTV 데이터 프레임의 필드 싱크 신호 구간과 세그먼트 싱크 신호 구간에서는 LMS(least mean square) 적응 알고리즘^[6]을 사용하고, 일반 데이터 구간에서는 STG(Stop and Go) 알고리즘^[7]을 사용한다.

LMS 적응 알고리즘은 훈련열이 존재하는 경우 계산량이 적고 안정적이며 좋은 추적 특성을 가지고 있다. 그러나 ATSC DTV는 24.3ms 마다 필드 싱크 신호를 전송하기 때문에 LMS 적응 알고리즘만으로는 왜곡된 채널을 보상할 수 없다. 따라서 일반 데이터 구간에서는 블라인드 알고리즘을 사용하여 LMS 적응 알고리즘에 이어서 왜곡된 채널을 연속적으로 보상해 주어야한다. 블라인드 알고리즘으로는 CMA(constant modulus algorithm) 알고리즘^[8], STG 알고리즘 등이 있는데, ATSC DTV 시스템에서는 STG 알고리즘이 CMA 알고리즘보다 더욱 우수한 성능을 보인다^[9].

3. ATSC DTV 등화기 성능 기준

ATSC에서 제안한 고정 및 빠르게 변화하는 동적 채널에 대한 등화기의 수신 성능에 대한 요구조건^[10]을 그림 2와 3에 나타내었다. 이는 모두 하나의 다중경로 채널에 대한 실험 조건을 나타내고 있으며, 그림 2 및 3에서 삼각형

으로 표시된 부분의 조건이 등화기 수신 성능의 최소 요구조건이 된다. 주어진 채널 조건에서 입력 SNR(signal-to-noise ratio)이 약 55dB 이상인 백색잡음이 거의 없는 경우 등화기 출력이 TOV(threshold of visibility)^[11]를 만족해야만 한다.

그림 2는 정적 채널에서 등화기 수신 성능에 대한 요구조건이다. 주경로에 대해 존재하는 하나의 다중경로의 지연 시간과 상대적인 크기(dB)를 나타내고 있다. 여기서 다중경

로에는 0.1Hz의 도플러 천이가 포함되어 있다. 그림 3은 동적 채널에서 등화기 수신 성능에 대한 요구조건이다. 하나의 다중경로가 가지는 상대적인 크기(dB)와 다중 경로에 포함되는 도플러 천이의 크기를 나타내고 있다. 다중경로는 주경로에 대해서 1 μ s의 지연시간을 가진다.

실험 조건을 살펴보면, ATSC에서는 정적 채널의 경우 최대 프리고스트 25 μ s와 포스트고스트 40 μ s의 지연시간을 가지는 다중경로에 대해서 등화기의 정상적인 동작을

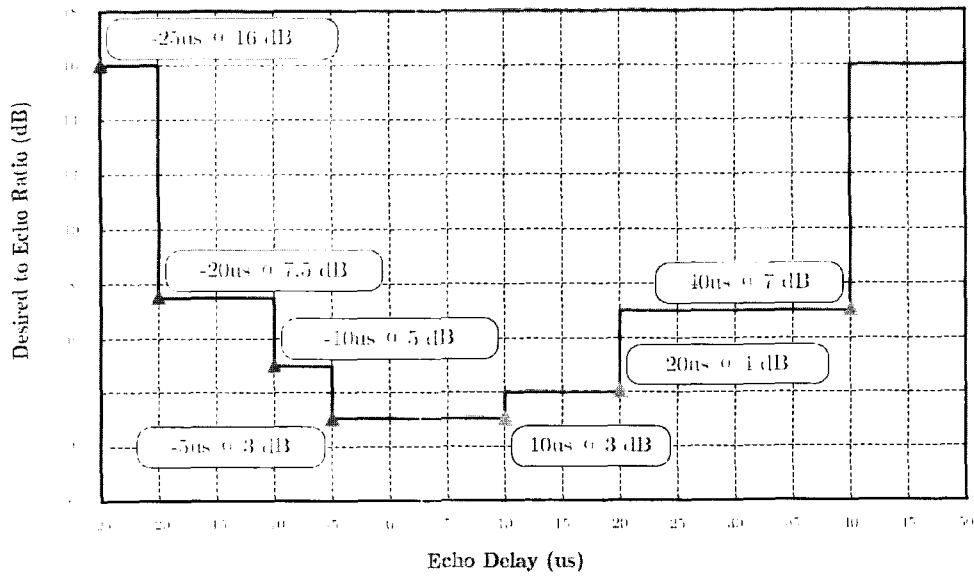


그림 2. ATSC 정적 채널 요구조건
Fig. 2. The terms desired of fixed channel in ATSC

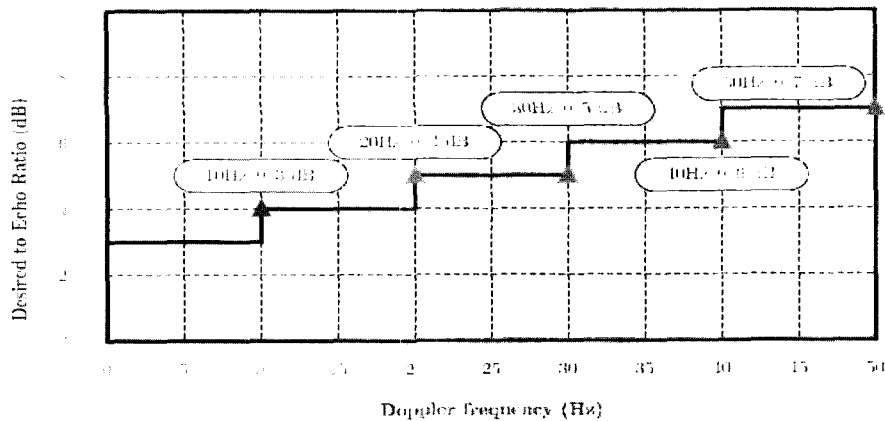


그림 3. ATSC 동적 채널 요구조건
Fig. 3. The terms desired of dynamic channel in ATSC

요구하고, 동적 채널 요구조건인 경우 최고 50Hz의 도플러 천이에 대한 보상을 요구하고 있다. 2000년 말에 여러 업체들이 발표한 적응 등화기보다 더 높은 수준을 요구하고 있다.

Ⅲ. 초기화 기반의 스파스 등화기

1. 제안한 등화기 구조

본 논문에서는 열악한 다중경로 채널 환경이나 고속 페이딩 채널 환경에서 ATSC DTV 등화 성능 향상을 위하여 채널 추정을 이용한 초기화 기반의 스파스(sparse) 등화기 구조를 제안한다.

기존의 적응 등화기는 열악한 채널에 의한 왜곡을 보상하기 위해서 필터 탭의 수가 많은 등화기를 사용한다. 이는 작은 수의 필터 탭으로는 지연 시간이 긴 다중경로나 열악한 주파수 선택적 페이딩 현상을 보상할 수가 없기 때문이다. 그러나 많은 수의 필터 탭으로 인해서 채널 보상 능력 향상과는 상관없이 등화기 성능 열화가 발생하기도 한다. 특히, 많은 필터 탭의 사용은 연산량의 증가를 불러오며, 필요없는 필터 탭까지 사용함으로써 백색잡음의 중첩 효과를 일으킨다. 또한 안정된 동작을 위하여 등화기 단계상수를 작게 만들어 등화기의 초기 수렴 속도 및 채널 변화에

대한 추적 속도를 저하시킴으로 고속 페이딩 채널 환경에서 등화기가 제대로 동작하지 못하게 한다.

결론적으로 기존의 적응 등화기 구조는 열악한 채널 환경 보상과 빠른 수렴 속도 및 채널 변화 추적 속도라는 두 가지 조건을 동시에 만족할 수가 없다. 즉, 기존의 적응 등화기 구조는 한 가지 성능에 초점을 맞추거나 두 가지 성능을 적절히 타협해야 하는 단점이 있다.

본 논문에서는 이러한 기존 ATSC DTV 적응 등화기의 단점을 보완하기 위해서 채널 환경에 따라 등화기의 모든 탭을 사용하지 않고 선택적으로 사용하는 스파스 등화기를 제안한다. 이는 많은 수의 탭을 사용하는 등화기의 채널 보상 능력과 작은 수의 탭을 사용하는 등화기의 빠른 수렴 속도 및 채널 변화 추적 속도를 동시에 만족시킬 수 있다. 제안한 등화기 구조의 순서도를 그림 4에 나타내었다.

우선 수신기는 수신된 신호에서 ATSC DTV 데이터 프레임의 필드싱크 신호를 검출한다. 검출된 필드 싱크 신호는 채널 추정에 이용된다. 채널 추정 기법은 빠른 추정 속도와 작은 연산량을 위해서 상관기법을 이용하여 수행된다. 이렇게 추정된 채널을 이용하여 등화기 초기화를 수행한다. 등화기 초기화는 MMSE(minimum mean square error) 등화기^[12] 필터 탭 계수로 수행하며, 초기화된 등화기는 현저한 초기 수렴 속도 향상을 보이게 된다. 이어서 초기화된 등화기 탭 계수에 적절한 임계값을 적용하여 그 이상의 값을 가지는 등화기 탭만을 활성화 시킨다. 끝으로 활성화된

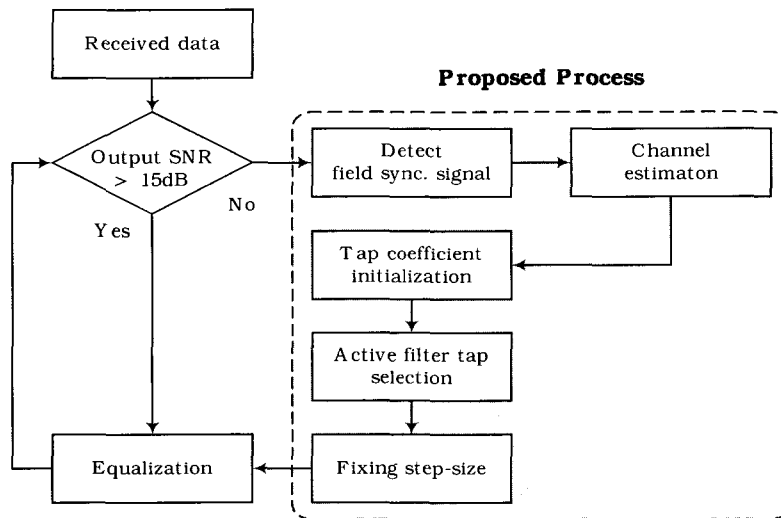


그림 4. 제안한 등화기 알고리즘 순서도

Fig. 4. Operation flow chart of proposed equalizer

등화기 탭만을 이용하여 등화를 수행한다. 이렇게 등화기의 모든 탭을 사용하지 않고 일부만을 사용하여 등화를 수행하는 구조를 본 논문에서는 스파스 등화기라 정의한다. 제안된 알고리즘에서 활성화된 등화기 필터 탭의 수는 기존의 적응 등화기 알고리즘에서 사용되는 탭 수보다 작은 수를 가지게 되고, 이로 인해서 등화기의 단계상수를 기존의 등화기 구조보다 크게 만들 수 있다. 따라서 등화기의 수렴 속도 및 채널 변화 추적 속도를 향상시킬 수 있다.

2. 등화기 초기화 및 탭 선택 알고리즘

상관기법을 이용하여 추정된 채널에 기반을 두고 등화기 탭 계수를 초기화한다. 본 문에서 등화기 초기화 탭 계수는 MMSE 등화기 탭 계수를 이용한다. 앞 절에서 추정된 채널을 다음과 같은 벡터로 나타낸다.

$$\mathbf{h} = [h_1 \ h_2 \ h_3 \ \dots \ h_k] \quad (7)$$

여기서 k 는 상관기법을 통해 추정된 채널의 길이를 나타낸다.

추정된 채널 \mathbf{h} 를 이용하여, 채널 응답 필터 연산을 나타내는 P 행렬을 식 (8)과 같이 구성한다.

$$P = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & \dots & h_k & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & h_1 & h_2 & \dots & h_k & 0 & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & & & & & & & & \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & h_1 & h_2 & \dots & h_k \end{bmatrix} \quad (8)$$

P 행렬의 크기는 $N_{FIR} \times (N_{FIR} + k)$ 가 된다. 주어진 행렬 P 를 이용해서 다음과 같이 결정 제환 등화기의 피드포워드와 피드백 탭의 초기화 탭 계수를 결정한다.

$$w_{FIR} = I_{\Delta} P^* \left(P P^* - P J_{\Delta} J_{\Delta}^* P^* + \frac{1}{SNR} R_m \right)^{-1} \quad (9)$$

$$w_{FB} = w_{FIR} \times P \times J_{\Delta} \quad (10)$$

여기서 I_{Δ} 는 채널과 등화기에 의한 전체 지연 시간에 대한 벡터로써, $(N_{FIR} + k) \times 1$ 의 크기를 가진다. J_{Δ} 는 I_{Δ} 이후의 필터 탭에 대한 대각 행렬 성분을 모두 1로 가지고

나머지는 모두 0의 값을 가지는 $(N_{FIR} + k) \times N_{FB}$ 크기의 행렬로써 P 행렬을 이용한 연산에서 피드백 탭에 대한 영향만을 남기는 행렬이 된다.

MMSE 등화기 필터 탭 계수를 이용하여 초기화된 등화기는 등화기의 초기 수렴 속도를 향상시킬 수는 있지만, 채널 변화에 따른 등화기의 추적 속도를 향상시킬 수는 없다. 이는 초기화된 등화기 역시 모든 탭을 사용하고 있기 때문에 단계상수가 여전히 작게 남아 있기 때문이다. 이를 보완하기 위해서 초기화된 등화기 탭 계수에 다음과 같은 채널 추정 시 이용했던 적응 임계값 알고리즘을 적용한다.

$$Th_{FIRorFB}^n = K \times \left[\sum_{i=1}^{N_{FIRorFB}} w_{FIRorFB}^i - w_{FIRorFB}^n \right] \quad (11)$$

각 등화기 필터 탭의 값이 적용된 임계값을 넘는 경우의 등화기 필터 탭은 활성화 시키고, 그렇지 않은 경우는 비활성화 시킨다. 활성화 된 탭만 이용하여 등화를 수행하는 경우 모든 탭을 사용할 때 보다 적은 등화기 필터 탭을 사용하게 되고, 결과적으로 등화기의 단계상수를 크게 만들 수 있다. 활성화된 등화기 필터 탭의 수를 이용해서 다음과 같이 등화기의 단계상수를 조절 한다.

$$\hat{\mu}_{FIRorFB} = \mu_{FIRorFB} \times N_{FIRorFB} \div N_{FIRorFB,active} \quad (12)$$

$\hat{\mu}_{FIR}$ 와 $\hat{\mu}_{FB}$ 는 초기 단계상수 μ_{FIR} 와 μ_{FB} 를 재설정 한 값이 된다. 수정된 단계상수는 기존의 등화기 단계 상수보다 크게 되고, 열악한 채널 환경에서의 수렴 속도와 채널 변화에 대한 추적 속도가 향상되어 등화 성능을 향상시킨다. 또한 기존의 등화기와 같은 탭 길이를 가지고 있으므로 기존 등화기의 장점인 긴 지연시간을 가지는 다중경로 제거와 같은 기능을 그대로 수행할 수 있게 된다.

IV. 모의 실험

1. 브라질 채널에서 기존 및 제안된 등화기의 성능

본 절에서는 최근에 브라질에서 DTV 시스템의 성능 테스트 시 사용된 다중경로 채널 모델인 설명된 브라질 채

널 환경^[13] 하에서 기존의 등화기 알고리즘과 제안한 스파스 등화기 알고리즘에 대한 성능을 비교 분석한다. 모의실험에 사용된 기존의 적응 등화기는 피드포워드 탭과 피드백 탭의 수를 동일하게 512개씩 사용하는 결정 궤환 등화기 구조이며, ATSC DTV 데이터 프레임의 필드 싱크 신호 구간에서는 LMS 적응 알고리즘을 사용하고 일반 데이터 구간에서는 STG 적응 알고리즘을 사용한다.

총 천만 개의 심볼에 대해서 입력 SNR 25dB를 적용하여 모의실험을 수행하였다. 입력 SNR 25dB는 ATSC DTV 수신

기 필드 테스트에서 일반적으로 접할 수 있는 값이다. 모의실험에서는 주파수 및 샘플링 타이밍 동기화에 대한 영향을 배제하기 위해서 기저대역 신호를 사용하여 실험을 수행하였다.

우선 표 1에서 알 수 있듯이 제안된 스파스 등화기 알고리즘의 경우 브라질 A, B 채널과 같은 양호한 주파수 선택적 페이딩 환경에서는 대부분의 필터 탭 값을 0으로 가지며, 총 1024개의 등화기 필터 탭 중에서 매우 작은 수의 필터 탭을 사용하여 등화를 수행하고 있음을 알 수 있다. 브라질 C, D, E 채널과 같은 열악한 주파수 페이딩 환경 하

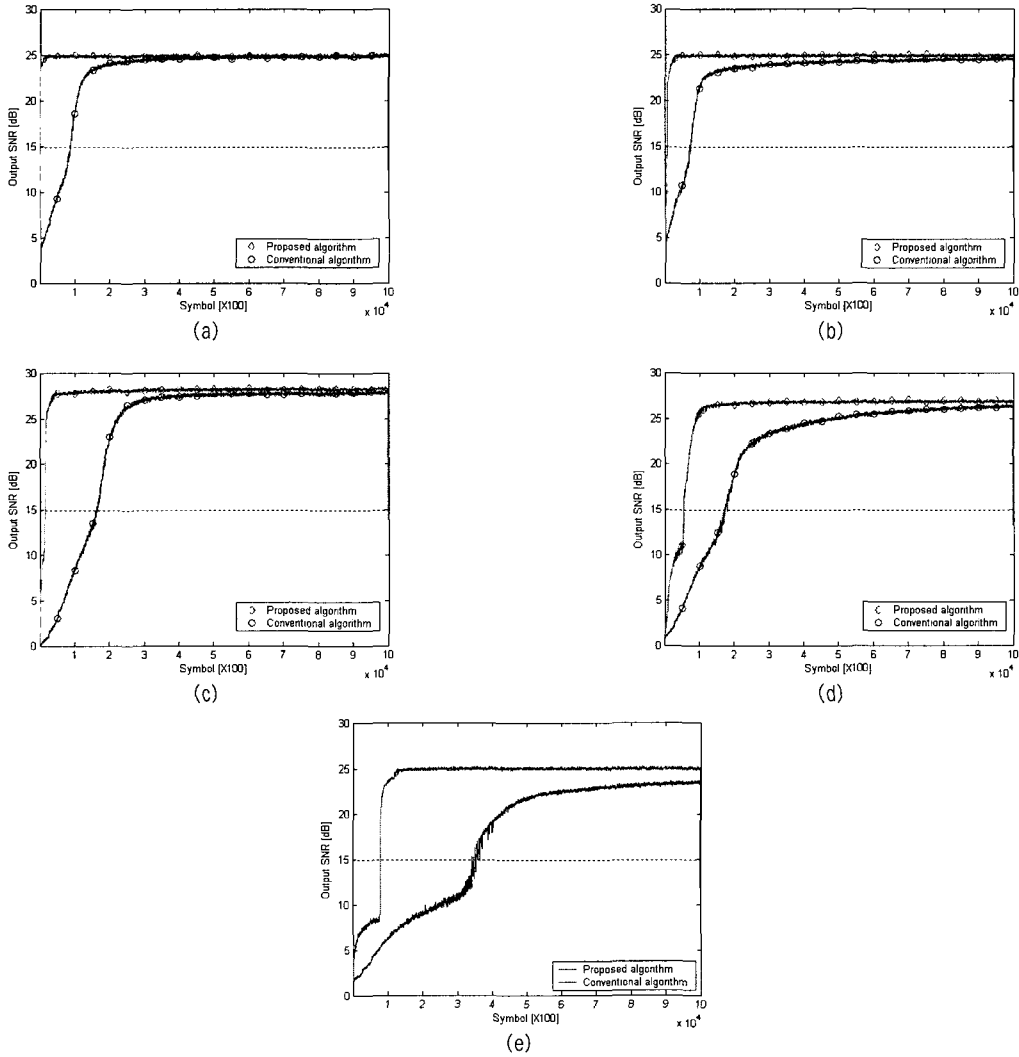


그림 5. 기존 및 제안한 등화기 알고리즘의 출력 SNR (a) A 채널, (b) B 채널, (c) C 채널, (d) D 채널, (e) E 채널

Fig. 5. Output SNR of conventional equalizer and proposed equalizer algorithm. (a) A channel, (b) B channel, (c) C channel, (d) D channel, (e) E channel

표 1. 제안된 알고리즘의 사용 되는 필터 탭 수
Table 1. Number of used filter tap in proposed algorithm

Channel (Brazil)	A	B	C	D	E
Number of used tap	242	376	278	332	308

에서도 기존 알고리즘에 비해 작은 수의 탭을 사용하고 있음을 알 수 있다.

그림 5는 기존의 적응 등화기 알고리즘과 제안된 알고리즘의 출력 SNR을 나타낸다. 그림에 나타나 있는 가로 점선은 TOV를 나타낸다. 제안된 알고리즘의 경우 기존의 적응 등화기 알고리즘에 비해 초기 수렴 속도가 매우 빠르며, 출력 SNR의 경우 약 0.1에서 1dB 정도의 이득을 가진다. 이는 MMSE 결정 궤환 등화기 초기화 탭 계수의 영향으로 나타나는 현상이다. 단일 주파수 망 채널 환경인 브라질 E 채널 환경에서 기존의 등화기의 경우, TOV를 만족할 때까지 약 8 프레임의 8-VSB 데이터가 필요하고, 대략적 수렴까지는 약 12 프레임이 필요하다. 시간적으로는 약 0.6 초 정도의 시간이 지나야 대략적 수렴이 가능하다. 하지만 제안된 등화기 알고리즘의 경우 최종 수렴 레벨까지 약 2 프레임, 0.1초 정도의 시간만 소요된다. 또한, 임계 값 적용 후에 작은 수의 탭만을 사용하지만 제안된 등화기는 안정적으로 동작함을 확인할 수 있다. 작은 수의 탭을 이용함으로써 연산량이 있어서도 많은 이득을 가질 수 있다.

브라질 채널 환경 하에서의 모의실험을 통하여 제안된 알고리즘의 성능을 분석한 결과, 기존의 적응 등화기 알고리즘에 비해서 매우 빠른 초기 수렴 속도를 보이면서, 열악

한 주파수 선택적 페이딩 채널 환경 하에서도 기존의 적응 등화기와 같이 안정적으로 동작함을 알 수 있다.

2. ATSC 성능 기준에 따른 제안 등화기의 성능

본 절에서는 브라질 채널 환경에서 안정성과 향상된 초기 수렴 속도를 검증한 제안된 알고리즘에 대해 ATSC 등화기 성능 요구조건을 적용하여 제안된 등화기의 성능을 분석한다.

ATSC가 제안한 등화기의 정적 채널 수신 성능 요구조건은 주어진 지연 시간 및 크기를 가지는 하나의 다중경로에 대해서 등화기가 안정적으로 동작해야 한다는 기준을 제시한 것이다. 표 2는 ATSC 정적 채널 요구조건에 대한 제안된 스파스 등화기 알고리즘과 기존 적응 등화기 알고리즘의 출력SNR을 나타낸다. 등화기의 기본적인 구조와 입력 SNR 및 모의실험 심볼 수는 브라질 채널 환경에서의 실험 조건과 동일하다. 제안된 등화기 알고리즘의 경우, 실험 1에서와 같이 25 μ s 정도의 매우 긴 지연 시간을 가지는 프리고스트까지 보상 가능하며, 최대 7dB의 출력 SNR 이득을 얻을 수 있다.

결과에서 알 수 있듯이, 제안된 스파스 등화기 알고리즘은 전체적으로 프리고스트에 대해 매우 강인함을 보인다. 또한 포스트고스트에 대해서 기존의 등화기와 같이 안정적인 등화를 수행함을 알 수 있다. 그러나, 프리고스트 환경인 실험 2의 경우 기존의 등화기 알고리즘이 제안된 등화기 알고리즘보다 1dB 정도 더 높은 출력 SNR을 보이고 있다. 이는 제안된 등화기 알고리즘의 활성화 된 등화기의

표 2. ATSC 정적 채널 요구조건에 대한 등화기 성능
Table 2. The performance for the terms desired of fixed channel in ATSC

(Del.:Delay, Amp.:Amplitude)

Section	Channel		Output SNR [dB]	
	Del.[μ s]	Amp.[dB]	Proposed	Conventional
Simulation 1	-25	-16	22.7661	15.2586
Simulation 2	-20	-7.5	15.7949	16.4695
Simulation 3	-10	-5	20.1992	18.5747
Simulation 4	-5	-3	21.7375	20.7448
Simulation 5	10	-3	24.9101	24.4498
Simulation 6	20	-4	24.9496	24.6163
Simulation 7	40	-7	24.8609	24.8094

표 3. ATSC 동적 채널 요구조건에 대한 등화기 성능

Table 3. The performance for the terms desired of dynamic channel in ATSC

(Dopp.:Doppler frequency)

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

필터 탭의 수가 다중경로의 영향을 모두 제거해주지 못하기 때문이다. 식 (11)의 K 값 설정이 최적화 되어 있지 않기 때문이다. 그러나 전 채널 환경에서 기존의 등화기와 제안된 등화기 알고리즘 모두 TOV 이상의 출력 SNR을 보임을 알 수 있다. 또한 주어진 채널 조건에 대해서 제안된 알고리즘은 초기 수렴에 있어서 시간이 거의 소요되지 않는다.

ATSC 수신기의 동적 채널 요구 조건은 주어진 다중경로의 도플러 천이 및 크기에 의해 빠르게 변화하는 페이딩 채널에 대해서 등화기가 안정적으로 동작해야 한다는 기준을 제시한 것이다. 표 3은 ATSC 동적 채널 요구 조건에 대한 제안된 등화기 알고리즘과 기존 등화기 알고리즘의 성능을 나타낸다. 등화기 구조와 입력 SNR 및 심볼 시간은 브라질 채널 환경에서의 실험 조건과 동일하다. 기존의 등화기의 경우 고속 페이딩 환경 하에서 등화기가 동작하지 못한다. 도플러 천이의 영향으로 모든 조건에서 TOV 이하의 출력 SNR을 나타낸다. 이는 모든 필터 탭을 사용하는 기존의 등화기는 작은 단계상수로 인하여 채널 변화를 추적할 수가 없기 때문이다. 하지만 제안된 알고리즘의 경우 모든 채널에서 TOV 이상의 출력 SNR을 나타내고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 고속 페이딩 채널 환경에서 기존의 ATSC DTV 등화기 시스템이 채널을 보상해주지 못하는 문제점을 보완하기 위해서 빠른 채널 추적 속도 및 초기

수렴 속도를 가지는 스파스 등화기 알고리즘을 제안하였다.

제안된 알고리즘은 상관기법 기반의 채널 추정을 통해 등화기 초기화를 수행하고, 초기화된 등화기 탭 계수 중 특정 임계값을 넘어서는 일부만 활성화시켜 등화 시 사용하는 방식이다.

제안된 알고리즘은 필터 탭을 채널 환경에 맞추어 일부만 사용함으로써 등화기 단계상수의 조절이 가능하고, 채널 변화에 따른 등화기 추적 속도의 향상을 도모할 수 있다. 브라질 채널 환경에서 모의실험 결과 제안된 알고리즘은 기존의 적응 등화기 알고리즘 보다 작은 수의 등화기 필터 탭을 사용하지만 안정적으로 동작하였고, 기존 적응 등화기 알고리즘에 비해 더 빠른 초기 수렴 속도를 나타내었다. 브라질 E 채널의 경우 약 1/5 이상 수렴 시간이 줄어드는 결과를 얻어낼 수 있었다. 제안된 알고리즘의 ATSC 등화기 성능 요구조건에 대한 모의실험에서는 모든 조건을 만족하였다. 특히 ATSC 동적 채널 요구 조건에 대해 기존의 적응 등화기 알고리즘은 등화가 불가능 하였지만, 제안된 알고리즘은 빠른 채널 추적 속도로 인해 모든 ATSC 동적 채널 요구 조건에서 등화가 가능하였다.

제안된 방식은 기존의 방식에 비해 고속 페이딩 채널 환경에 매우 강인하며, 긴 지연시간을 가지는 다중 경로에 대해서도 우수한 성능을 보인다. 따라서, ATSC DTV 이동 수신 성능 향상에 큰 도움이 될 것으로 기대된다. 향후 제안된 스파스 등화기 알고리즘에서 채널 환경이 완전한 보상이 가능한 등화기 필터 탭 수의 선택을 위해서 등화기 필터 탭 활성화 시 사용되는 임계값과 선택된 필터 탭 수에 대한 단계상수의 최적화에 대한 연구가 필요하다.

참 고 문 헌

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

[2] ATTC, *Minimum Target Performance Requirements for Digital Television Broadcast Receivers*, Oct. 2002.

[3] CRC, *Results of The Laboratory Evaluation of LINX ATSC Prototype Receiver With 8-VSB Modulation For Terrestrial Broadcasting*, Apr. 2002.

[4] E.A. Lee, *Digital Communication 2nd edition*, Kluwer Academic, 1994.

[5] M. Ghosh, "Blind equalization for terrestrial television receivers," *Proc. IEEE*, vol. 86, no. 10, pp. 2070-2081, Oct. 1998.

[6] J.G. Prokis, *Digital Communications, 3rd edition*, McGraw-Hill, 1996.

[7] 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, Sep. 1987.

[8] J.R. Treichler and M.G. Agee, "A new approach to multipath correction of constant modulus algorithm," *IEEE Trans. Acoust., ASSP-31* : 349-472, Apr. 1983.

[9] Lin He, "A comparison of two blind equalization algorithms for broadband indoor wireless communications," *ISSPA, Malaysia*, vol. 2, pp. 505-508, Aug. 2001.

[10] CRC, *Results of The Laboratory Evaluation of LINX ATSC Prototype Receiver With 8-VSB Modulation For Terrestrial Broadcasting*, Apr. 2002.

[11] ATSC standard A/53A, *ATSC Digital Television Standard*, Apr. 2001.

[12] Yiyang Wu, "An ATSC DTV receiver with improved robustness to multipath and distributed transmission environments," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 50, no. 1, Mar. 2004.

[13] ABERT/SET, *VSB/COFDM Comparison Report*, May 2000.

저 자 소 개



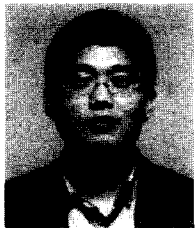
허 노 익

- 2003년 : 경북대학교 전자공학과 학사
- 2005년 : 경북대학교 전자공학과 석사
- 주관심분야 : 디지털 통신 시스템, 디지털 방송 시스템



오 해 석

- 1999년 : 경북대학교 전자공학과 학사
- 2001년 : 경북대학교 전자공학과 석사
- 2001년~현재 : 경북대학교 전자공학과 박사과정
- 주관심분야 : 디지털 방송 시스템, 적응 어레이 시스템



한 동 석

- 1987년 : 경북대학교 전자공학과 학사
- 1989년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
- 1993년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
- 1989년~1996년 : 삼성전자 기술총괄 신호처리연구소 선임연구원
- 1996년~현재 : 경북대학교 전자전기공학부 전임강사, 조교수, 부교수
- 2004년 : University of Florida 방문교수
- 주관심분야 : 디지털 통신 시스템, 디지털 방송 시스템