

# DVB-T 수신기에서 Iterative Extrapolation 을 이용한 채널 등화 성능 향상

이유석, 김형남  
부산대학교 전자공학과  
hnkim@pusan.ac.kr

## Improvement of Channel Equalization Performance using Iterative Extrapolation for DVB-T Receivers

You-Seok Lee, Hyoung-Nam Kim  
Department of Electronics Engineering, Pusan National University

### 요 약

본 논문에서는 DVB-T 수신기의 채널 등화 성능을 향상시키기 위한 iterative extrapolation 기법을 제안한다. 주파수 영역에서 추정된 채널 계수의 역을 등화기의 계수로 사용하는 기존의 one-tap 등화기는 채널에 신호의 감쇄가 매우 큰 null 이 있을 경우 매우 큰 값의 등화계수를 가지게 된다. 이로 인해 등화기를 통과하는 잡음이 증폭되어 등화기의 성능을 열화시킨다. 본 논문에서는 null 에서 발생하는 잡음의 증폭을 줄이기 위해 시간영역의 접근방법을 이용한 iterative extrapolation 기법을 이용하여 채널의 null 을 온화하게 만드는 방법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 제안된 방법이 DVB-T 수신기의 채널 등화 성능을 모든 SNR 에서 효과적으로 향상시킬 수 있음을 보인다.

### 1. 서론

유럽의 지상파 디지털 방송 표준인 DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial) [1] 에서는 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식으로 신호를 전송하며 수신된 파일럿 신호를 이용하여 채널을 추정한다. 일반적으로 OFDM 시스템에서 전송되는 부반송파의 수가 충분히 크면 비록 selective-fading 채널이라고 하더라도 주파수 영역에서 추정된 하나의 반송파에 해당하는 대역폭 내에서는 non-selective fading 으로 생각할 수 있으며, 각각의 반송파에는 채널의 multi-path fading 에 의한 신호감쇄와 위상 왜곡 등의 효과가 나타나게 된다. 또한 OFDM 시스템에서는 심볼간의 간섭을 피하기 위하여 보호구간(Guard Interval)을 삽입하게 되는데 부반송파들의 직교성이 유지되고 채널의 최대 지연이 보호구간보다 작다고 가정하면 주파수 영역에서의 채널 등화를 위해서 one-tap 등화기를 사용할 수 있다 [2][3]. One-tap 등화기의 계수는 주파수 영역에서 추정된 채널 계수의 역을 이용하여 구한다. 만약 채널에 신호의 감쇄 정도가 매우 큰 null 이 존재하면 null 의 위치에 해당하는 등화기의 계수는 아주 큰 값을 가지게 된다. 그리고 큰 값의 계수는 등화기에 인가되는 잡음을 증폭시켜 등화기의 성능 열화를 발생시킨다. 본 논문에서는 이러한 잡음 증폭 문제를 해결하기 위하여 시간영역에서 iterative extrapolation 을 수행하여 채널의 널을 온화하게 만드는 방법을 제안한다.

### 2. DVB-T 시스템

#### A. DVB-T 시스템의 기저대역 모델.

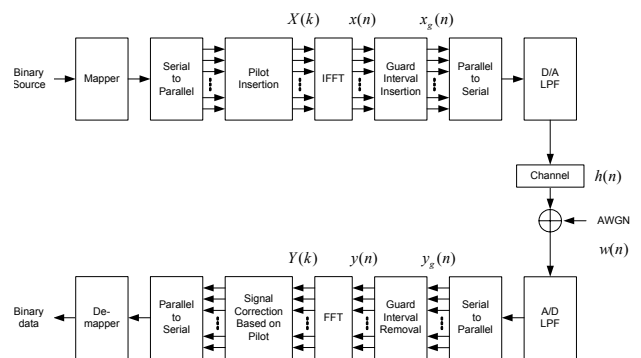


그림 1. DVB-T 시스템의 기저대역 모델.

그림 1 은 일반적인 DVB-T 시스템의 기저대역 모델의 블록도이다 [4]. 이진 데이터는 16 QAM (Quadrature Amplitude Modulation), 또는 64 QAM 등의 심볼로 변조된다. 전송심볼은 파일럿이 삽입된 후에 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) 블록에서 시간 영역 신호로 변환된다. OFDM 시스템에서는 심볼간의 간섭 (ISI: Inter-symbol interference)을 피하기 위하여 OFDM 심볼의 마지막 부분을 전송심볼의 앞단에 복사하는 보호구간을 삽입하게 된다. 보호구간이 삽입된 전송심볼은 AWGN 이 존재하는 selective-fading 채널을 통과하게 된다. 수신기에서는 송

신기에서 삽입된 보호구간을 제거한 후 채널 추정을 위하여 FFT 블록에서 시간영역 신호를 다시 주파수 영역 신호로 변환한다. OFDM 시스템에서는 채널을 추정하기 위하여 전송시에 수신단에서 알려진 신호인 파일럿을 삽입하게 되는데 파일럿의 삽입 유형은 크게 **block-type** 과 **comb-type** 으로 나누어진다. **Block-type** 에서의 파일럿은 특정한 OFDM 심볼에 삽입되며 시간영역에서 주기적으로 전송된다. 두번째 유형인 **comb-type** 에서의 파일럿은 각각의 OFDM 심볼에 균등하게 삽입된다. 그러나, **comb-type** 유형의 파일럿 신호는 전체 부반송파의 일부분에 삽입되게 되므로 채널 추정을 위해서는 데이터 전송에 이용되는 부반송파를 추정하는 **interpolation** 이 수행되어야 한다 [4].

## B. DVB-T 시스템에서의 채널 추정.

DVB-T 시스템에서의 파일럿 신호는 4 개의 OFDM 심볼마다 같은 위치에 삽입되게 되며 12 개의 부반송파에 균등하게 분포한다. 따라서 DVB-T 시스템에서의 파일럿 삽입 유형은 **block-type** 과 **comb-type** 의 성질을 동시에 가지고 있다. 본 논문에서는 채널 추정을 위하여 4 개의 연속된 OFDM 심볼로 만들어진 블록을 이용한 파일럿 삽입유형 근사 기법을 적용하였다 [5]. 채널의 최대 지연이 보호구간보다 작으면 채널의 부 경로에 의한 심볼간섭이 없다고 가정할 수 있다. 또한 동기 오차가 없다고 가정하면 수신된 파일럿 신호  $Y_p(k)$  와 전송된 파일럿 신호  $X_p(k)$ , 그리고 파일럿에 의해 추정된 채널 계수  $H_p(k)$  의 관계는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Y_p(k) = H_p(k) \cdot X_p(k) + W_p(k) \quad (1)$$

여기서  $W_p(k)$  는 수신된 신호의  $k$  번째 부반송파에 나타나는 잡음의 효과를 나타낸다 [6]. 수신단에서는 파일럿 신호를 이용하여 식 (2)와 같이 채널 계수를 추정할 수 있다.

$$\hat{H}_p(k) = \frac{Y_p(k)}{X_p(k)} = H_p(k) + W'_p(k) \quad (2)$$

여기서  $W'_p(k)$  는 추정된  $k$  번째 채널 계수에 더해진 잡음의 효과를 나타낸다. 식 (2)에 사용된 채널 추정 방법은 **Least Square (LS)** 기법이다 [7]. 파일럿에 의해 추정된 채널 계수는 데이터를 전송하는 데 사용되는 부반송파를 추정하기 위한 **interpolation** 의 기준 신호가 된다. 본 논문에서는 채널 추정을 위해 **piecewise linear interpolation** 기법을 사용한다 [8]. **Piecewise linear interpolation** 의 수식은 다음과 같다.

$$h_{Lin}(x) = \begin{cases} 1 - |x|, & 0 \leq |x| < 1 \\ 0, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (3)$$

**Interpolation** 과정이 끝나면 모든 부반송파에 해당하는 채널 계수를 얻을 수 있다.

## C. 등화기에서의 잡음 증폭.

채널의 임펄스 응답을  $h(n)$  이라 하고 채널의 전달 함수를  $H(k)$  라고 하자. DVB-T 시스템에서 만약 OFDM

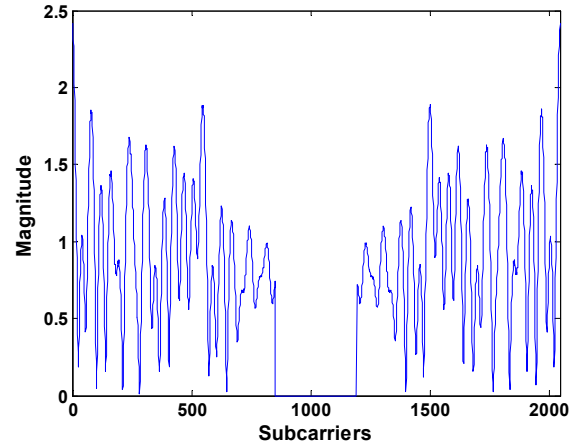


그림 2. 추정된 채널 계수.

심볼을 구성하는 부반송파의 수가 충분히 크다면 채널의 전달함수  $H(k)$  는 좁은 대역폭을 가지는 부반송파로 나누어지게 되어 하나의 부반송파에 해당하는 대역폭 내에서는 **nonselective-fading** 으로 생각할 수 있으며 각각의 부반송파에는 채널의 **multi-path fading** 에 의한 신호의 감쇄와 위상 왜곡의 효과가 나타나게 된다. 채널의 최대지연이 보호구간보다 짧으면 각각의 부반송파에 나타나는 신호의 감쇄와 위상 왜곡을 보상하기 위해 **one-tap** 등화기를 사용할 수 있다 [2][3]. 이때 **one-tap** 등화기의 계수는 주파수 영역에서 추정된 채널 계수의 역으로부터 얻게 된다. 채널 계수의 역을 이용한 방법은 잡음의 정도를 고려하지 않고 심볼 간 간섭 (**Inter-symbol Interference: ISI**)을 제거해주는 **zero-forcing (ZF)** 기법 [9]에 근간한다. 하지만 **ZF** 기법이 적용된 등화기는 신호의 감쇄가 매우 큰 **null** 이 존재하는 채널의 경우에 있어서는 추정된 채널 계수의 역이 아주 큰 값을 가지게 되며 이에 해당하는 등화기의 계수에 의해 잡음이 증폭되어 DVB-T 시스템의 등화성능 열화를 야기한다.

## 3. Iterative Extrapolation.

2 장에서 언급했듯이 주파수 영역에서 추정된 채널 계수의 역을 계수로 사용하는 **one-tap** 등화기는 채널의 **null** 에서 잡음이 증폭되는 문제점을 가지고 있다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 통해 이러한 현상을 살펴보았다. 시뮬레이션에 사용된 채널은 실내 수신환경 또는 단일 주파수 방송망 환경을 위한 채널 모델로서 많이 사용되는 “**Brazil Channel D [10]**” 를 사용하였다. 채널 정보는 표 1 과 같다.

그림 2 에서 주파수 영역에서 추정된 채널 계수를 보호대역과 함께 나타내었다. DVB-T 모드는 **2K** 이며 심볼의 성상은 **16 QAM** 을 사용하였고 잡음은 없다고 간주하

표 1: 채널 정보(Brazil channel D)

Delay ( $\mu$ s)	Amplitude (dB)
0.0	-0.1
+0.48	-3.9
+2.07	-2.6
+2.90	-1.3
+5.71	0.0
+5.78	-2.8

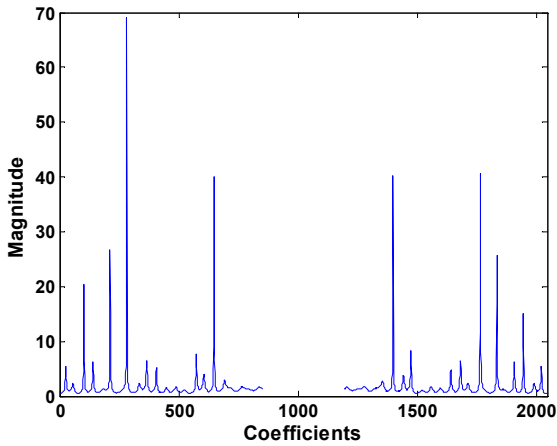


그림 3. One-tap 등화기 계수.

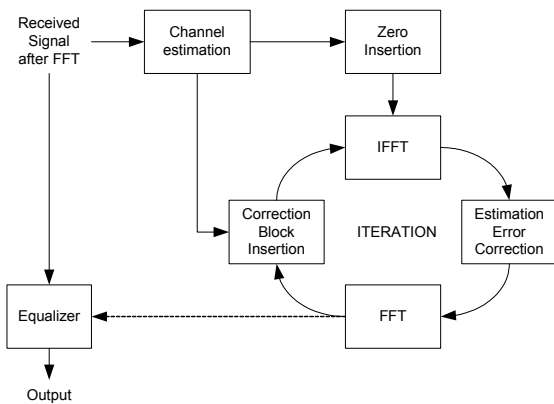


그림 4. 제안된 시스템의 블록도.

였다. 그림 2 를 보면 채널에 신호의 감쇄가 큰 null 이 존재하는 것을 알 수 있다. 그림 3 은 주파수 영역에서 추정된 채널 계수의 역을 이용하는 one-tap 등화기의 계수를 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 등화기의 계수가 null 에서 아주 큰 값을 가지는 것을 알 수 있으며 등화기를 통과하는 잡음은 이러한 계수에 의해 증폭되어 등화기의 성능을 열화시킨다. 본 논문에서는 잡음 증폭을 줄임으로써 등화 성능을 향상시키기 위하여 시간영역에서의 필터링을 근간으로 채널의 null 을 온화하게 만드는 방법을 제안한다.

그림 4 는 제안된 시스템의 블록도이다. 먼저 주파수 영역에서 채널을 추정한 후 전송단에서와 마찬가지로 보호대역에 '0' 을 삽입한 후 IFFT 블록에서 시간영역의 계수로 변환한다. 그림 5 의 (a)와 (b)는 각각 추정된 채널 계수와 이상적인 채널의 시간영역 응답을 나타낸 것이다. 그림 5 의 (a)와 (b)를 비교해 보면 추정된 채널 계수의 끝 부분에 이상적인 채널 응답과는 다른 잔류 계수가 나타나는 것을 볼 수 있다. 본 논문에서는 이를 채널 추정 오차로 간주하고 error-correction 블록에서 제거한다. Error-correction 후 수정된 계수는 FFT 블록에서 다시 주파수 영역의 계수로 변환하여 그 역을 one-tap 등화기의 계수로 사용한다. 그림 6 은 한번의 iteration 에 의해 변환된 채널 계수를 주파수 영역에서 나타낸 것이다. 그림을 살펴보면 처음 '0' 이 삽입되었던 가드밴드 구간이 임의의 계수로 채워져 있는 것을 알 수 있다. 이는 유효한 데이터의 외부를 추정하는 extrapolation 기법이다. 그 다음 iteration 과정에서는 보호대역에 '0' 대신 처음의

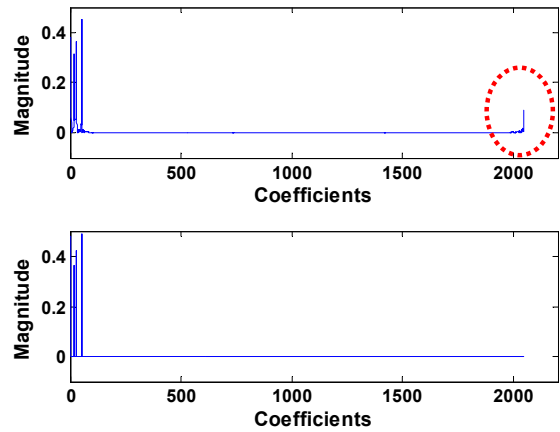


그림 5. 채널의 임펄스 응답. (a) 추정된 채널의 임펄스 응답. (b) 이상적인 채널의 임펄스 응답.

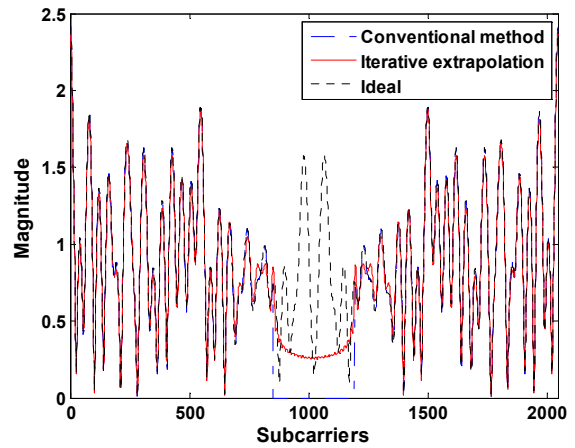


그림 6. 한번의 iteration 에 의해 변환된 채널 계수.

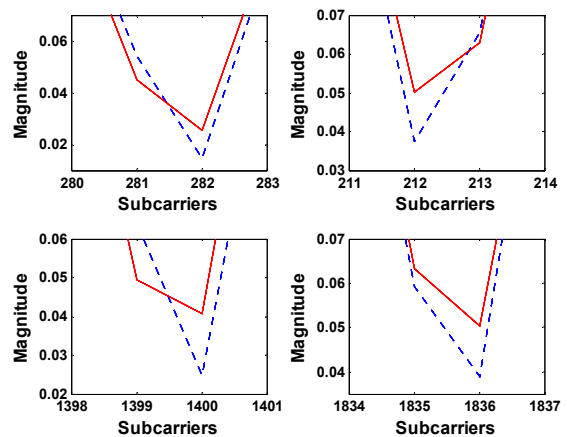


그림 7. 제안된 기법에 의해 온화해진 null.

iteration 과정에서 얻어진 새로운 채널 계수의 보호대역에 해당하는 계수를 삽입한다. 이는 두 번째 과정에 첫 번째 과정에서 수정된 오차의 효과를 반영하는 것이다. 이러한 과정을 통해 채널에 존재하는 null 을 온화하게 만들 수 있다. 제안된 iterative extrapolation 기법에 의해 온

표 2: 시뮬레이션 정보

Parameters	Specifications
DVB-T mode	2K
Number of carriers	1705
OFDM symbol duration	224 $\mu$ s
Guard Interval	1/4 (512)
Signal Constellation	16 QAM
Channel Model	Brazil channel D

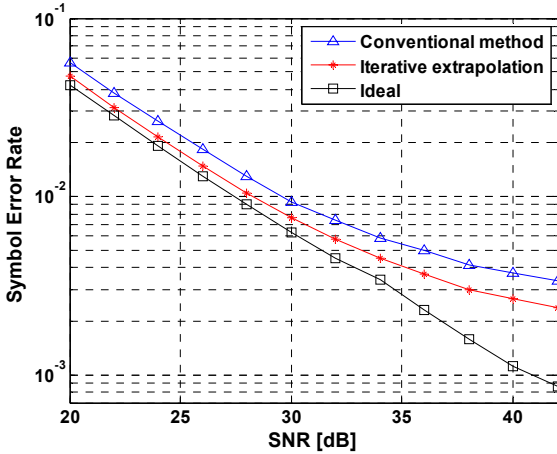


그림 8. 제안된 기법을 적용한 채널 등화 성능.

화해된 null 을 그림 7 에 나타내었다. 그림에서 점선은 추정된 채널 계수를 나타내며 실선은 제안된 기법에 의해 수정된 채널 계수를 나타낸다. 그림에서 보듯이 제안된 iterative extrapolation 기법에 의해 채널의 null 이 온화하게 변했다는 것을 알 수 있다. 따라서, 수정된 계수의 역을 이용하는 등화기는 그 계수 값이 작아지기 때문에 등화 계수에 의한 잡음의 증폭을 줄임으로써 성능을 향상시키게 된다.

#### 4. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 제안된 iterative extrapolation 의 성능을 분석하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에 사용된 채널은 "Brazil channel D" 이다.

DVB-T 시스템은 2K 모드를 사용하였고 이때의 유효 반송파의 수는 1705 개이며 주파수 대역은 8 MHz 를 사용하였다. 단위 심볼 전송 속도는 7/64  $\mu$ s 가 되며 채널 정보를 이용하여 채널의 임펄스 응답을 구하는 기준이 된다. 변조 방법은 16 QAM 을 이용하였고 보호구간은 1/4 로 설정하였다. "Brazil channel D"의 시간 지연이 시뮬레이션에서 설정한 보호구간보다 짧기 때문에 심볼간 간섭은 없으며, 채널의 위상 왜곡과 주파수 오프셋은 없다고 가정하였다. 채널 추정을 위한 interpolation 기법은 piecewise linear interpolation 기법[8]을 사용하였으며 interpolation 필터의 길이는 7 이다. 시뮬레이션 정보는 표 2에 나타내었다.

그림 8 은 제안된 iterative extrapolation 기법을 적용한 등화기와 추정된 채널 계수의 역을 계수로 이용하는 등화기의 성능을 심볼 에러 측면에서 나타낸 것이다. 제안된 등화기의 성능을 이상적인 경우와 비교하기 위하여 이상적인 채널 계수의 주파수 영역 역을 계수로 이용한

등화기의 심볼 에러를 함께 나타내었다. 시뮬레이션에 적용된 iteration 횟수는 10 으로 설정하였다. 그림에서 보듯이 제안된 방법은 추정된 채널 계수의 단순 역을 계수로 사용한 등화기의 잡음 증폭을 줄임으로써 모든 SNR(신호 대 잡음 비)에 대해서 등화 성능을 향상시키며 특히, 높은 SNR 환경에서 두드러진 성능 향상을 보인다.

#### 5 결론

본 논문에서는 채널의 null 을 온화하게 만들어 등화시에 발생하는 잡음 증폭 현상을 줄임으로써 등화기의 성능을 향상시키는 iterative extrapolation 기법을 제안하였다. 제안된 방법은 모든 SNR 환경에서 효과적으로 등화 성능을 향상시킬 수 있었다. 제안된 방법은 DVB-T 시스템 뿐만 아니라 one-tap 등화기를 사용하는 다른 OFDM 시스템에서도 등화 성능을 향상시키는 방안이 될 수 있을 것으로 기대된다.

#### 6. 참고 문헌

- [1] ETSI, "Digital Video Broadcasting (DVB): Framing, channel coding and modulation for digital terrestrial television," *ETSI EN30 744 V1.3.1*, Aug. 2000.
- [2] W. Y. Zou and Y. Wu, "COFDM an Overview," *IEEE Trans. On Broadcasting*, vol. 41, no. 1, March 1995.
- [3] H. Sari, G. Karam, and I. Jeanclaude, "Transmission techniques for digital terrestrial TV broadcasting," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 33, no. 2, pp. 100-109, Feb. 1995.
- [4] M. Hsieh and C. Wei, "Channel estimation for OFDM systems based on comb-type pilot arrangement in frequency selective fading channels," *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, vol. 46, no. 7, pp. 931-939, Jul. 1988.
- [5] Y.-S. Lee, H.-N. Kim, S. I. Park, S. W. Kim, "Noise Reduction for Channel Estimation Based on Pilot-Block Averaging in DVB-T Receivers," *IEEE Trans. On Consumer Electron.*, vol. 52, no.1, pp.51-58, Feb. 2006.
- [6] X. Wang, Y. Wu, J.-Y. Chouinard, S. Lu, B. Caron, "A channel characterization technique using frequency domain pilot time domain correlation method for DVB-T systems," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 49, pp. 949-957, Nov. 2003.
- [7] J.-J. van de Beek, O. Edfors, M. Sandell, S. K. Wilson and P. O. Börjesson, "On channel estimation in OFDM systems," in *Proc. IEEE 45<sup>th</sup> Vehicular Technology Conf.*, Chicago, IL, pp. 815-819, Jul. 1995.
- [8] Thomas M. Lehmann, Claudia Conner, Klaus Spitzer, "Survey: Interpolation Methods in Medical Image Processing," *IEEE Trans. on Medical Imaging*, vol. 18, no. 11, November 1999.
- [9] J. G. Proakis, "Digital Communications," (New York: McGraw-Hill, 2001, 4<sup>th</sup> ed.)
- [10] Mackenzie, ABERT, and SET, "General description of laboratory tests," *DTV Field Test Report in Brazil*, July 2000.