

DVB-T 수신기를 위한 잡음에 강건한 채널 추정 기법

이유석, 김형남
부산대학교 전자공학과

Robust Channel Estimation to Noise effect for DVB-T Receiver

You-Seok Lee, Hyoung-Nam Kim

Dept. Electronics Engineering, Pusan National University

yslee@pusan.ac.kr, hkim@pusan.ac.kr

Abstract: DVB-T 시스템에서 파일럿을 이용한 채널 추정은 크게 LS 기법과 MMSE 기법으로 나누어진다. LS 기법은 MMSE 기법보다 복잡도가 낮고 구현이 쉽지만 잡음의 효과를 고려하지 못하기 때문에 MMSE 보다 낮은 성능을 보인다. 본 논문에서는 이러한 LS 기법의 단점을 극복하기 위해 처음부터 현재까지 인가된 신호에서 추정된 채널 계수의 평균을 시스템 지연의 증가 없이 이용할 수 있는 자기 회기 평균 기법을 이용한 채널 추정 방법을 제안한다. 모의 실험을 통해 제안된 기법이 채널 추정 성능을 모든 SNR에 대해서 향상시킬 수 있음을 보인다.

Keywords: channel estimation, noise reduction, average, OFDM, DVB-T

I. 서론

Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) 에 근간하여 신호를 전송하는 DVB-T 시스템에서는 채널을 추정하기 위해 수신단에 알려진 신호인 파일럿을 삽입한다 [1]. 파일럿에 의한 채널 추정은 크게 LS(Least Square) 기법과 MMSE(minimum mean square error) 기법으로 나누어진다. LS 기법은 계산량이 적는데 반해 MMSE 보다 성능이 좋지 못하며 [2] MMSE 기법은 LS 기법보다 성능은 뛰어나지만 채널의 통계적 특성과 동작 SNR (Signal-to-noise ratio)을 알아야 한다는 단점으로 인해 구현이 복잡하다 [3]. 이러한 이유로 채널 추정은 주로 LS 기법을 기반으로 이루어진다. 그러나 LS 기법의 채널 추정방법은 잡음의 효과를 고려하지 못하기 때문에 잡음에 민감하다. 이러한 LS 기법의 단점을 극복하여 채널 추정 성능을 향상시키기 위해 파일럿에 의해 추정된 채널 계수의 평균을 이용하여 interpolation의 정확도를 높임으로써 채널 추정의 성능을 개선시키는 방법이 제시되었다 [4]. 그러나 이 방법은 평균에 이용되는 심벌이 증가할수록 시스템 지연이 증가하는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해

본 연구는 BK21 사업단의 연구비 지원에 의해 연구되었음.

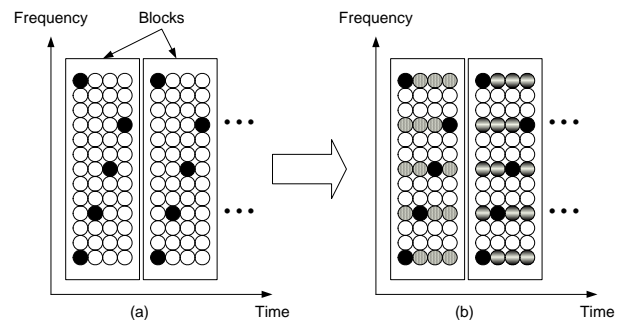


그림 1. 파일럿 삽입 유형 근사 기법. (a) DVB-T 시스템에서의 파일럿 신호 삽입 유형. (b) Comb-type 파일럿 삽입 유형.

서 본 논문에서는 처음부터 현재까지 인가된 계수의 평균을 시스템 지연 증가 없이 이용할 수 있는 자기 회기 평균 기법을 이용한 채널 추정 방법을 제안한다.

II. 채널 추정

DVB-T에서의 채널 추정은 파일럿에 의한 채널 계수 추정과 추정된 계수 사이 값을 추정하기 위한 interpolation으로 이루어진다. 수신단에 알려진 신호인 파일럿은 4개의 OFDM 심볼마다 같은 위치에 삽입되는데 본 논문에서는 파일럿 신호의 이러한 특성을 이용하여 블록 단위로 채널을 추정하였다 [4]. 우선 4개의 OFDM 심볼로 하나의 블록을 만든다. 만약 채널이 slow fading (천천히 변하는 감쇄채널) 이라면 하나의 블록 안에서는 추정된 채널 계수가 변하지 않는다고 가정할 수 있다. 이러한 특성을 이용하여 DVB-T에서의 파일럿 삽입형태를 Comb-type으로 근사화시킬 수 있다. 그림 1에서 보듯이 파일럿 신호는 OFDM 심볼 내에 3개의 단위 셀마다 균일하게 삽입된 것으로 생각할 수 있고 이러한 근사는 DVB-T 시스템에서의 파일럿 삽입 형태 상 각각의 OFDM 심볼마다 11 포인트의 interpolation을 수행해야 하는 부담을 2 포인트로 줄일 수 있다. 파일럿을 전송하는 채널 계수는 송신 파일럿 신호와 수신 파일럿 신호를 각각 $X_p(k)$, $Y_p(k)$ 라 할

때 LS (Least Squares) 기법을 이용하여 다음 식과 같이 구할 수 있다 [3].

$$\begin{aligned}
 H_{p,ls} &= [H_{p,ls}(0) \ H_{p,ls}(1) \cdots H_{p,ls}(N_p - 1)] \\
 &= X_p^{-1} Y_p \\
 &= \left[\begin{array}{ccc} Y_p(0) & Y_p(1) & \cdots Y_p(N_p - 1) \\ X_p(0) & X_p(1) & \cdots X_p(N_p - 1) \end{array} \right]
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

식 (1)에 의해 얻어진 채널 계수는 데이터 전송을 담당하는 채널 계수를 추정하기 위한 interpolation의 기준 신호가 된다. 본 논문에서는 linear interpolation을 이용하여 채널 계수를 추정하였다. Linear interpolation필터는 다음 수식과 같다.

$$H_k = \begin{cases} 1-|x|, & 0 \leq |x| \leq 1 \\ 0, & \text{elsewhere.} \end{cases}
 \tag{2}$$

이때 식 (2)의 계수 x 는 two-point interpolation을 수행하기 위해 1/3 단위로 증가하게 된다. 참고문헌 [5]에 상기의 방법 외에 다양한 interpolation 방법이 제시되어 있다.

III. 잡음 감소 기법

MMSE 채널 추정 기법은 LS 채널 추정 기법보다 좋은 성능을 가지지만 채널의 통계적 특성과 동작 SNR을 알아야 한다는 단점이 있다 [3]. 이에 비해 LS 채널 추정 기법은 MMSE 기법보다 구현이 단순하며 계산량이 적다는 장점이 있다. 그러나 LS 기법은 잡음의 영향을 고려하지 못하기 때문에 채널 추정의 성능은 신호 대 잡음비에 크게 영향을 받기 때문에 정확한 채널 추정을 위해서는 잡음의 효과를 줄이는 것이 아주 중요하다. 이러한 잡음의 효과를 줄이기 위하여 파일럿에 의해 추정된 채널 계수의 평균을 이용하여 interpolation의 정확도를 높임으로써 채널 추정의 성능을 향상시키는 방법이 제안되었다 [4]. 두 개의 블록 평균과 4 개의 블록 평균을 이용해서 얻어진 채널 계수는 각각 다음 식에 의해 구할 수 있다.

$$H_k = \frac{H_{k1} + H_{k2}}{2}
 \tag{3}$$

$$H_k = \frac{H_{k1} + H_{k2} + H_{k3} + H_{k4}}{4}
 \tag{4}$$

만약 채널이 시간에 따라 변하지 않는다면 더 많은 블록을 이용하여 새로운 채널 계수를 구할 수 있고 이를 통해 잡음의 효과를 감소시킬 수 있게 되며 다음 식에 의해 채널의 계수를 구할 수 있다.

$$H_k = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N H_{kj}
 \tag{5}$$

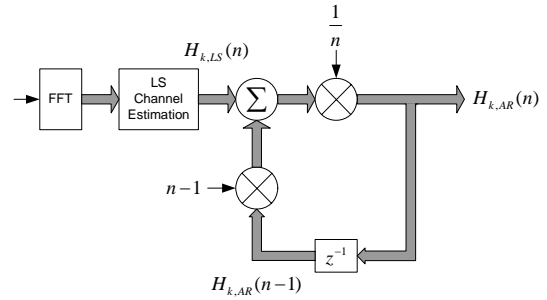


그림 2. 자기 회기 평균을 이용한 채널 추정 기법

이때, 계수 N 은 적용하고자 하는 블록의 수를 나타내며 N 이 증가할수록 잡음의 효과가 줄어들게 되어 더 정확한 채널 계수를 얻을 수 있게 된다. 그러나 이 방법은 평균에 이용되는 블록의 수가 증가할수록 저장해야 하는 채널 계수가 늘어나게 되어 많은 메모리를 필요로 하게 되며 또한, 평균에 이용되는 블록이 모두 전송될 때까지 채널 추정을 수행할 수 없으므로 시스템의 지연이 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 하드웨어의 복잡도 및 시스템 지연의 증가 없이 처음부터 현재까지 추정된 채널 계수를 평균에 이용할 수 있는 자기 회기 평균 기법을 제안한다.

IV. 제안된 채널 추정 기법

n 번째 블록에서 LS 기법에 의해 추정된 k 번째 채널 계수를 $H_{k,LS}(n)$ 라 하면 자기 회기 평균 기법을 이용해 다음과 같이 새로운 채널 계수를 얻을 수 있다.

$$H_{k,AR}(n) = \frac{1}{n} [(n-1) \times H_{k,AR}(n-1) + H_{k,LS}(n)]
 \tag{6}$$

그림 2는 제안된 자기 회기 평균 기법을 나타내는 블럭도이다. 먼저 FFT 이후의 수신된 신호로부터 파일럿을 추출하여 LS 기법 및 linear interpolation을 이용하여 채널 계수를 추정한다. n 번째 블록에서 추정된 채널 계수는 메모리에 저장되어있는 채널 계수와 더해지게 된다. 이때 메모리에 저장되어있는 값은 처음부터 $n-1$ 번째 블록에서 추정된 채널 계수의 평균값이며 처음부터 현재까지 추정된 채널 계수에 동등한 weight를 보장하기 위하여 이전까지 추정된 채널 계수의 평균값에 $n-1$ 을 곱해준다. 이후에 채널 계수의 합을 블록의 수로 나누어주면 처음부터 현재까지 추정된 채널 계수의 평균으로 구해진 새로운 채널 계수를 얻을 수 있다. 새로운 채널 계수는 메모리에 저장되어 다음 블록 인가시에 채널 계수의 평균을 구하기 위해 사용된다. 그림에서 보듯이 제안된 자기 회기 평균 기법을 이용함으로써 처음부터 현재까지 인가된 신호로부터 구한 모든 채널 계수의 평균을 채널 추정에 이용할 수 있게 되어 기존의 방법에 비해 더 정확한 채널 추정을 수행할 수 있으며 또한, 제안된 방법은 현재 추정된 채널 계수와 이전까지 추정된 채널 계수의 평균값만을 저장하면 되므로 하드웨어가 단순하며 시스템의 지연 역시 하나의 블록을

표 1. 채널 정보 (BRAZIL CHANNEL D)

Delay (μ 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

표 2. 모의 실험 정보 (PARAMETERS)

Parameters	Specifications
DVB-T mode	2 K
Number of carriers	1705
OFDM symbol duration	224 μ s
Guard interval	1/4 (512)
Signal Constellations	QPSK, 16-QAM
Channel Model	Brazil channel D

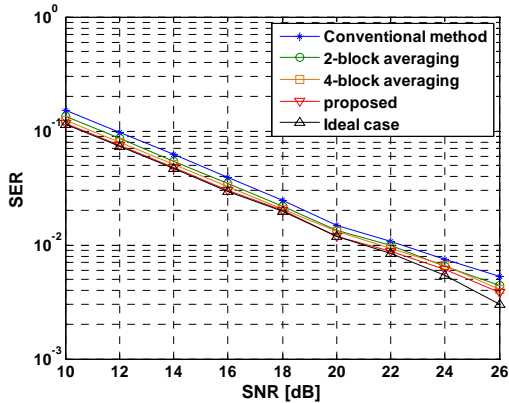


그림 3. 제안된 방법을 적용한 채널 추정 성능 (QPSK).

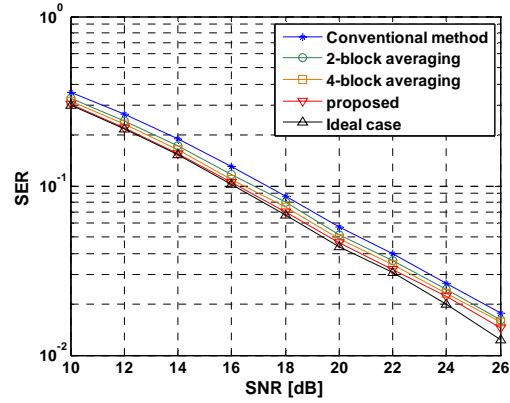


그림 5. 제안된 방법을 적용한 채널 추정 성능 (16-QAM)

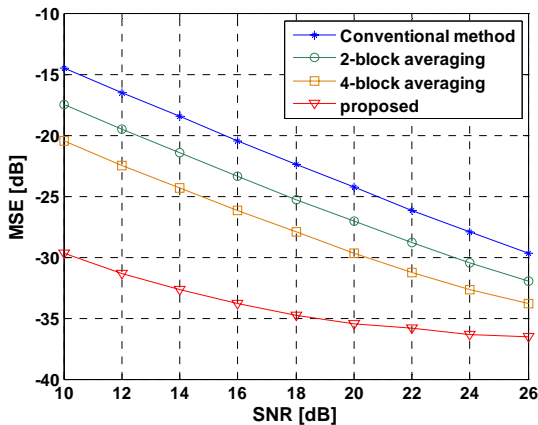


그림 4. 이상적인 채널 계수와 추정된 채널 계수와의 차이를 나타내는 평균 자승 오차 곡선 (QPSK).

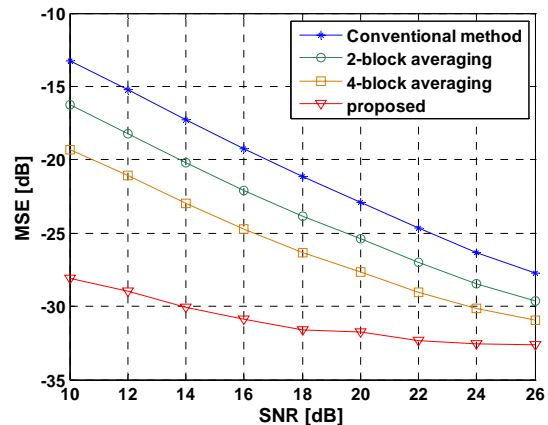


그림 6. 이상적인 채널 계수와 추정된 채널 계수와의 차이를 나타내는 평균 자승 오차 곡선 (16-QAM).

구성하는 4개의 OFDM 심벌이 인가되는 시간인 896 μ s로 고정되기 때문에 불필요한 시스템의 지연을 막을 수 있다.

V. 시뮬레이션 결과

제안된 방법의 성능평가를 위하여 모의 실험을 수행하였다. 실험에 적용된 채널은 실내 수신환경 또는 단일 주파수 방송망 환경을 위한 채널 모델로서 많이 사용되는 “Brazil Channel D [6]”이다. 채널 정보는 표 1 과 같다.

DVB-T 시스템은 2K 모드를 사용하였고 이때의 반송파의 수는 1705 개이며 주파수 대역은 8 MHz 를 적용하였다. 이때의 단위 심벌 전송 속도는 7/64 μ s 가

되며 채널 정보를 이용하여 채널의 임펄스 응답을 구하는 기준이 된다. 변조 방법은 전송률에 따른 성능변화를 분석하기 위하여 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 와 16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation)을 이용하였고 guard interval 은 1/4 로 설정하였다. “Brazil channel D”의 시간 지연이 모의 실험에서 설정한 guard interval 보다 짧기 때문에 심볼 간 간섭 (Inter-Symbol Interference: ISI)는 없으며 채널의 위상 왜곡과 주파수 오프셋 및 동기오차는 없다고 가정하였다. 모의 실험에 사용된 시뮬레이션 정보는 표 2 에 나타내었다.

그림 3 은 제안된 자기 회기 평균 기법을 적용한 채널 추정의 성능을 채널 등화 후의 심볼 에러

측면에서 나타낸 것이다. 채널 등화에는 one-tap 등화기를 사용하였으며 등화기의 계수는 추정된 채널 계수의 역을 이용하여 구했다. 전송 심볼은 QPSK 심볼이며 범례의 ‘2-block averaging’ 과 ‘4-block averaging’ 은 참고문헌 [4]에서 제안된 블록 평균을 이용한 방법의 성능을 나타내며 ‘Ideal’ 은 이상적인 채널 계수를 적용하였을 경우의 채널 추정 성능을 나타낸다. 그림 3 에서 보듯이 제안된 자기 회기 평균 기법을 적용함으로써 채널 추정 성능을 기존의 방법에 비해 1dB 이상 향상 시킬 수 있다. 그림 4 는 제안된 기법을 이용한 채널 추정의 정확도를 알아보기 위하여 추정된 채널 계수와 이상적인 채널 계수와의 차이를 평균 자승 오차 (Mean square error: MSE) 관점에서 나타낸 곡선이다. 그림에서 보듯이 제안된 기법을 이용한 채널 추정의 정확도가 기존의 방법에 비해 월등히 좋아졌음을 알 수 있다.

그림 5 는 16-QAM 심볼을 적용했을 경우, 제안된 자기 회기 평균 기법을 적용한 채널 추정 성능 및 블록 평균을 이용한 채널 추정 성능을 채널 등화 후에 심볼 에러 관점에서 나타낸 것이다. 범례는 앞의 경우와 같다. 그림 5 에서 보듯이 제안된 기법은 기존의 채널 추정 성능을 모든 SNR (Signal-to-noise ratio)에 대해 향상 시킬 수 있음을 알 수 있다. 그림 6 은 16-QAM 심볼을 적용했을 경우, 이상적인 채널 계수와 추정된 채널 계수와의 차이를 MSE 관점에서 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 제안된 방법은 전송률에 상관없이 채널 추정의 정확도를 기존의 방법보다 향상 시킬 수 있음을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 DVB-T 수신기에서의 채널 추정 성능을 향상시키기 위하여 자기 회기 평균 기법을 이용한 방법을 제안하였다. 제안된 방법을 적용함으로써 처음부터 현재까지 추정된 채널 계수의 평균을 시스템의 지연 및 하드웨어의 복잡성 없이 적용할 수 있으며 기존의 기법에 비해 더 정확한 채널 추정을 수행할 수 있다. 제안된 방법을 OFDM 시스템에 적용할 경우 채널 추정의 성능을 개선 시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

- [1] ETSI, “Digital Video Broadcasting (DVB): Framing, channel coding and modulation for digital terrestrial television,” *ETSI EN30 744 V1.3.1*, Aug. 2000.
- [2] 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 45th Vehicular Technology Conference*, Chicago, IL, USA, July 1995, pp. 815-819.
- [3] M. Morelli and U. Mengali, “A comparison of pilot-aided channel estimation method for OFDM systems,” *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 49, no. 12, pp. 3065-3073, Dec. 2001.
- [4] Y.-S. Lee, H.-N. Kim, S. I. Park, S. I. Lee, “Noise reduction for channel estimation based on pilot-block averaging in DVB-T receivers,” *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 52, pp. 51-58, Feb. 2006.
- [5] 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.
- [6] Mackenzie, ABERT, and SET, “General description of laboratory tests,” DTV Field Test Report in Brazil, July 2000.