

T-DMB 수신기에서 가중이동평균을 기반으로 한 채널추정

*박성익, *이재영, *임형수, **김형남, *김홍목, *임종수

*한국전자통신연구원, **부산대학교

psi76@etri.re.kr

Channel Estimation Based on the Weighted Moving Average in T-DMB Receivers

*Sung Ik Park, *Jae Yong Lee, *Hyoungsoo Lim, **Hyoung-Nam Kim, *Heung Mook Kim, and

*Jong Soo Lee

*Electronics and Telecommunications Research Institute, **Pusan National University

요약

본 논문에서는 T-DMB 수신기의 채널추정 성능향상을 위한 잡음감소 기법을 제안한다. 일반적으로 T-DMB 수신기에서의 채널추정은 파일럿 신호 추출과 채널계수 추정에 의해 수행된다. 채널추정의 성능은 수신 SNR (Signal to Noise Ratio)과 연관되어 추정된 채널계수에 남아있는 잡음성분에 의해 결정되기 때문에, 잔존하는 잡음성분을 감소시키는 것은 매우 중요하다. 이러한 잡음성분을 감소시키기 위해, M-point 가중이동평균(weighted moving average)을 기반으로 한 잡음제거 기법을 제안한다. 전산 실험에 의하면, 제안된 방법은 등화 후 SER (Symbol Error Rate) 측면에서 기존의 방법에 비해 2-3 dB의 성능 향상을 보인다.

1. 서론

한국의 이동방송 표준인 T-DMB (Terrestrial-Digital Multimedia Broadcasting) 시스템은 Eureka-147 DAB (Digital Audio Broadcasting) 시스템을 기반으로 하며 [1], OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 전송기술을 사용한다 [2]. T-DMB 시스템은 고층건물에 의해 둘러 쌓인 도심지 지역 혹은 고속주행이 많은 고속도로와 같은 열악한 환경에서 방송신호의 원활한 수신을 목적으로 한다.

T-DMB 수신기에서는 복조를 위해 차등검파(differential detection) 기법이 일반적으로 사용되며, 최근엔 수신성능 향상을 위해 동위상검출(coherent detection) 기법이 제안되었다 [3]. 동위상검출을 위한 채널등화(channel equalization)는 one-tap 등화기를 사용하여 주파수 영역에서 수행되며, 등화기의 탭 계수는 수신 채널을 추정하고 추정된 채널계수의 역을 구함으로써 획득된다. 딥 페이딩(deep fading) 채널에서는 채널추정이 올바르게 수행될지라도 추정된 채널계수의 역은 매우 크질 수 있고, 이는 채널등화 과정에서의 잡음증폭(noise amplification)을 야기한다. 채널추정 후 남아있는 잡음성분은 T-DMB 수신기의 수신성능을 악화시키는 원인이 된다. T-DMB 수신기에서의 채널추정은 파일럿이라고 불리는 약속된 심볼(known symbol)을 사용하며, 주파수 영역에서의 파일럿 신호 추출과 채널계수 추정을 통해 수행된다. 채널추정의 성능은 수신 SNR (Signal to Noise Ratio)과 연관되어 추정된 채널계수에 남아있는 잡음성분에 의해 결정되기 때문에, 잔존하는 잡음성분을 감소시키는 것은 매우 중요하다.

본 논문에서는 M-point 가중이동평균(weighted moving average)을 기반으로 추정된 채널계수에 남아있는 잡음성분을 감소시키기 위한 다양한 잡음제거 기법들을 제안한다. 또한, 전산실

험을 통해 기존의 채널추정 기법과 비교함으로써 제안된 잡음제거 기법의 성능을 검증한다.

2. T-DMB 시스템에서의 채널추정

가. T-DMB 시스템

T-DMB 시스템의 간략화된 기저대역 구성도는 그림 1과 같으며, OFDM 전송부에서의 입력 이진비트(binary bits)는 변조규격에 따라 그룹핑(grouping)되고 맵핑(mapping)된다. 파일럿 삽입 후 변조된 데이터는 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform) 블록으로 전달되어 시간영역 신호로 변환되고, OFDM 심볼의 마지막 일부분을 복사하여 ISI (Inter-Symbol Interference)를 제거하기 위한 보호구간(guard interval)으로 삽입한다. 생성된 OFDM 신호는 AWGN (Additive White Gaussian Noise)을 가지는 주파수 선택적(frequency selective) 페이딩 채널을 통해 전송된다. OFDM 수신부에서는 수신된 신호로부터 보호구간을 제거하고 FFT (Fast Fourier Transform)를 통해 주파수 영역의 수신신호를 계산한다 [4].

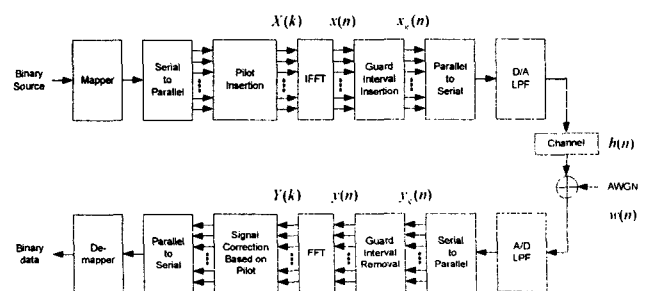


그림 1. 간략화된 T-DMB 시스템 구성도

나. OFDM 시스템에서의 파일럿 패턴

OFDM 시스템에서는 채널추정을 위해 변조된 샘플신호 사이에 송수신단에서 미리 약속된 파일럿을 삽입하게 된다. 파일럿의 삽입형태는 그림 2와 같이 배열형식에 따라 크게 Block-type과 Comb-type으로 구분된다 [5]. 그림 2-2 (a)는 Block-type 파일럿 패턴을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 파일럿 신호는 일정한 간격으로 OFDM 심벌 전체에 삽입된다. 따라서, Block-type 파일럿 패턴은 천천히 변하는 감쇄 채널(slow-fading channel)의 추정에 적합한 방법이며, 채널추정은 파일럿이 삽입된 OFDM 심벌에 해당하는 주파수 영역의 채널계수를 LS (Least Squares) 방법 또는 MMSE (Minimum Mean Square Error) 방법 등을 적용하여 행해진다. 그림 2-2 (b)는 Comb-type 파일럿 패턴을 나타낸 것이다. Comb-type의 파일럿은 그림에서 보듯이 모든 OFDM 심벌에 삽입되어 있기 때문에 빠르게 변하는 감쇄 채널(fast-fading channel)의 추정에 적합하다. 그러나 Comb-type 패턴의 파일럿은 하나의 OFDM 심벌에 일정한 주파수 간격으로 삽입되기 때문에 파일럿 사이의 데이터 구간에서는 파일럿에 의한 채널 추정이 불가능하다. 따라서, 이러한 데이터 구간의 채널계수 추정을 위해서는 파일럿에 의해 추정된 채널계수 값을 가지고 이웃한 파일럿 사이의 부반송파 주파수에 해당하는 계수 값을 보간(interpolation)을 이용해 추정해야 한다. 이로 인해 Comb-type 파일럿 패턴을 가지는 OFDM 시스템에서의 채널추정 성능은 보간 기법에 따라 다르게 나타날 수 있다 [6].

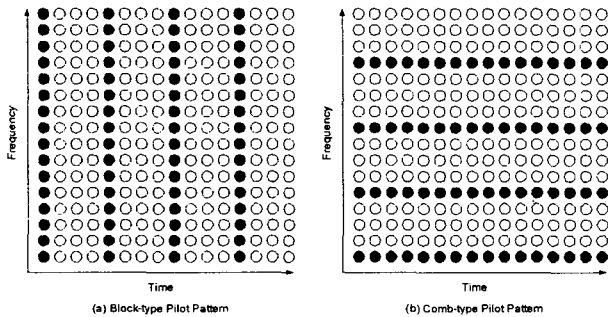


그림 2. OFDM 시스템의 파일럿 패턴

다. T-DMB 시스템에서의 채널추정

T-DMB 시스템에서는 Block-type 파일럿 패턴을 사용하며, 그림 3과 같이 매 76 OFDM 심벌마다 동일한 위치에서 파일럿 블록이 삽입된다. Block-type 파일럿 패턴에서의 채널추정은 두 가지의 연속적인 과정으로 구성되며, 그림 4와 같다.

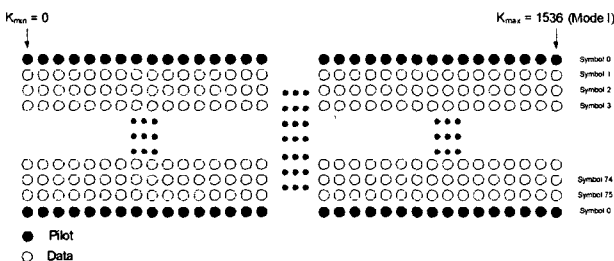


그림 3. T-DMB 시스템의 파일럿 패턴

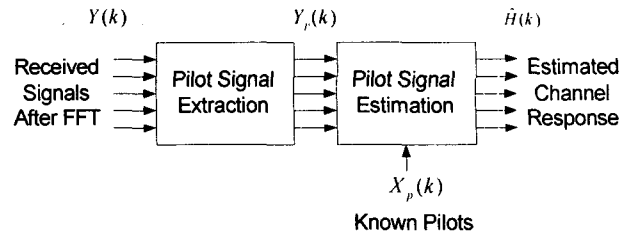


그림 4. T-DMB 시스템의 채널추정 블록도

먼저 FFT 블록을 통과한 수신신호 $X(k)$ 에서 송수신단에서 미리 약속된 파일럿 신호 $Y_p(k)$ 를 추출하고, 추출된 파일럿 신호 $Y_p(k)$ 를 약속된 파일럿 신호 $X_p(k)$ 와 주파수 영역에서 비교함으로써 등화기를 위한 레퍼런스(reference) 채널계수를 추정하게 된다. 채널의 임펄스 응답 시간이 보호구간보다 작으면, ISI가 발생하지 않는다. 또한, 동기(synchronization) 획득에서의 오류가 없다고 가정하면, 추출된 파일럿 신호 $Y_p(k)$, 알려진 파일럿 신호 $X_p(k)$ 그리고 채널 전달 함수 $H(k)$ 사이에서의 관계는 다음과 같다:

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

여기서 $W_p(k)$ 는 FFT 후 k -번째 파일럿 부반송파에 대한 AWGN을 나타내며, 첨자 p 는 파일럿을 나타낸다. 수신기에서 약속된 파일럿 신호 $X_p(k)$ 를 알고 있다고 가정하면, 파일럿 주파수에서 Least Square 방법을 통해 채널의 주파수 응답을 계산하면 다음과 같다:

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

여기서 $W_p'(k)$ 는 추정된 채널에 남아있는 잡음을 나타낸다.

3. 가중이동평균을 이용한 잡음감소 기법

앞 절에서 언급된 것처럼 채널추정은 등화에서 매우 중요한 역할을 하며, 채널추정의 성능은 수신 SNR과 연관되어 추정된 채널계수에 남아있는 잡음성분에 의해 결정된다. 또한, 등화기의 탭 계수는 추정된 채널계수의 역을 구함으로써 획득되기 때문에, 덩 패딩 채널에서는 잡음증폭 현상을 야기할 수 있다. 따라서, 정확한 채널등화를 위해서는 잔존하는 잡음성분을 감소시켜야 한다. 본 절에서는 M-point 가중이동평균을 기반으로 추정된 채널계수에 남아있는 잡음성분을 감소시키기 위한 다양한 잡음제거 기법들을 제안하며, 그 구조는 그림 5와 같다.

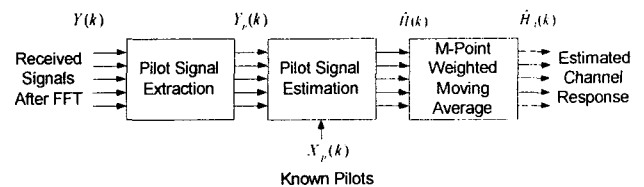


그림 5. 제안된 채널추정 블록도

$\hat{H}_A(k)$ 를 OFDM 심벌의 k -번째 파일럿 주파수에서 M-point 가중이동평균 후의 추정된 채널계수라 두면, $\hat{H}_A(k)$ 는 다음과 같이 표현된다:

$$\begin{aligned} \widehat{H}_A(k) &= \frac{\sum_{j=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} C(j) \cdot \widehat{H}(k+j)}{M} \\ &= \frac{\sum_{j=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} C(j) \cdot H(k+j)}{M} \\ &\quad + \frac{\sum_{j=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} C(j) \cdot W_p'(k+j)}{M} \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 M 은 홀수이고, $C(j)$ 는 이동평균을 위한 가중치(weighting value)를 나타낸다. 본 논문에서는 6개의 가중이동평균 구조가 고려되며, 각각의 구조에 가중치는 다음과 같다:

1) MA (Moving Average)에 대한 가중치:

$$C(j) = 1, \quad |j| \leq \frac{M-1}{2}$$

2) Selective MA에 대한 가중치:

$$C(j) = \begin{cases} 0, & j = \arg \min_j |\widehat{H}(k+j)| \text{ or } j = \arg \max_j |\widehat{H}(k+j)| \\ 1, & \text{otherwise} \end{cases}$$

for $|j| \leq \frac{M-1}{2}$

3) Linear weighted MA에 대한 가중치:

$$C(j) = 1 - \left| \frac{j}{(M+1)/2} \right|, \quad |j| \leq \frac{M-1}{2}$$

4) Quadratic weighted MA에 대한 가중치:

$$C(j) = \begin{cases} -18 \cdot \left| \frac{j}{M+1} \right|^2 + 1, & |j| < \frac{M+1}{6} \\ 9 \cdot \left| \frac{j}{M+1} \right|^2 - \frac{15}{2} \cdot \left| \frac{j}{M+1} \right| + \frac{3}{2}, & \frac{M+1}{6} \leq |j| < \frac{M+1}{2} \end{cases}$$

5) Cubic weighted MA에 대한 가중치:

$$C(j) = \begin{cases} 96 \cdot \left| \frac{j}{M+1} \right|^3 - 40 \cdot \left| \frac{j}{M+1} \right|^2 + 1, & |j| < \frac{M+1}{4} \\ -32 \cdot \left| \frac{j}{M+1} \right|^3 + 40 \cdot \left| \frac{j}{M+1} \right|^2 - 16 \cdot \left| \frac{j}{M+1} \right| + 2, & \frac{M+1}{4} \leq |j| < \frac{M+1}{2} \end{cases}$$

6) Lagrange weighted MA에 대한 가중치:

$$C(j) = \begin{cases} 32 \cdot \left| \frac{j}{M+1} \right|^3 - 16 \cdot \left| \frac{j}{M+1} \right|^2 - 2 \cdot \left| \frac{j}{M+1} \right| + 1, & |j| < \frac{M+1}{4} \\ -\frac{32}{3} \cdot \left| \frac{j}{M+1} \right|^3 + 16 \cdot \left| \frac{j}{M+1} \right|^2 - \frac{22}{3} \cdot \left| \frac{j}{M+1} \right| + 1, & \frac{M+1}{4} \leq |j| < \frac{M+1}{2} \end{cases}$$

Quadratic, cubic 그리고 Lagrange 가중치는 문헌 [7]을 참조하여 quadratic, 4-point cubic, 4-point Lagrange 보간 필터로부터 유도되었으며, selective MA는 $\widehat{H}(k)$ 의 최대값과 최소값이 배제된다는 것을 제외하면 MA와 동일하다.

수학적 식(3)에서 이동평균을 위한 M 값이 충분히 크다면, 잡음성

분 $1/M \cdot \sum_{j=-(M-1)/2}^{(M-1)/2} W_p'(k+j)$ 과 분산 σ^2/M 은 작아지지만, 본래의 채널 $H(k)$ 가 왜곡될 수 있다. 따라서, 잡음감소와 채널추정의 정확성 사이의 trade-off를 고려하여 이동평균을 위한 M 값을 결정해야 한다. 제안된 기법은 추정된 채널에서의 잡음성분을 감소시키는 것이므로 파일럿 삽입 형태에 관계없이 사용 가능하다.

4. 전산실험 결과

본 논문에서는 제안된 채널추정 방법을 검증하기 위하여 전산실험을 수행하였으며, 전산실험을 위해 AWGN 채널 및 브라질 채널 A가 사용되었다. 브라질 실험실 테스트에서 발견된 브라질 채널 A는 실외수신 채널 상황을 나타내며, 채널 프로파일은 표 1과 같다 [8]. 또한, 전산실험을 위해 사용된 T-DMB 시스템은 $\pi/4$ -DQPSK (Differential Quadrature Phase Shift Keying) 신호성상을 가지는 Eureka-147 DAB 시스템의 전송모드 I을 기반으로 하며, 시스템 파라미터는 표 2와 같다.

표 1. 브라질 채널 A의 다중경로 프로파일

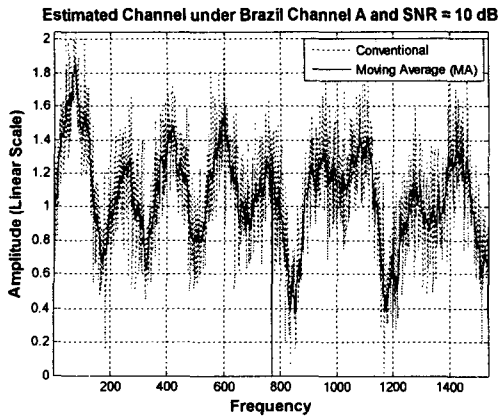
Delay (μ s)	Amplitude (dB)
0.0	0.0
+0.15	-13.8
+2.22	-16.2
+3.05	-14.9
+5.86	-14.6
+5.93	-16.4

표 2. 브라질 채널 A의 다중경로 프로파일

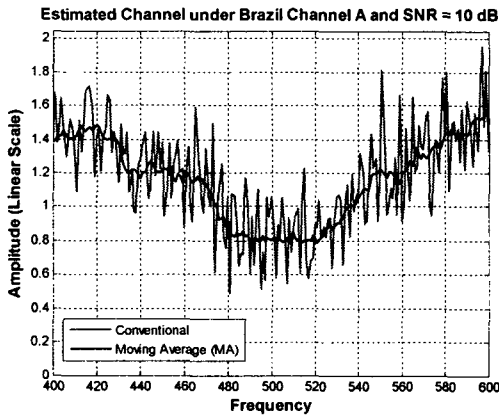
Parameters	Specifications
Number of Carriers	1536
Carrier Space	1 KHz
OFDM Symbol Duration	2551 \cdot T (about 1.246 ms)
Guard Interval Duration	504 \cdot T (about 246 μ s)
Signal Constellation	$\pi/4$ -DQPSK
Channel Model	AWGN, Brazil Channel A

전산실험의 목적은 제안된 방법을 사용한 경우와 사용하지 않은 경우에서의 채널추정 성능을 비교하는 것이므로 동기획득의 오차와 Doppler 확산(spread)이 없다고 가정하였으며, 어떠한 오류정정부호도 사용하지 않았다. 또한, 보호구간이 채널모델의 최대 지연확산(delay spread)보다 크다면 ISI는 무시될 수 있다. 본 논문에서 고려된 성능 지표는 추정된 채널계수의 역을 탭 계수로 가지는 one-tap 등화기 출력에서의 SER (Symbol Error Rate)이다.

그림 6은 SNR = 10 dB에서 브라질 채널 A에 기존의 방법 및 제안된 방법을 적용하였을 때 채널추정 결과를 나타내며, 잡음 감소를 위해 11-point MA 기법이 사용되었다. 그림 6에 의하면, 채널추정 후 남아있는 잡음성분은 제안된 방법이 적용되었을 때 현저히 감소함을 알 수 있다. 그림 7과 8은 AWGN 채널과 브라질 채널 A가 적용되었을 때 3절에서 소개된 제안된 방법들에 대한 등화 후 SER 성능을 각각 나타낸다. 11-point 가중이동평균을 사용하는 제안된 채널추정 방법들은 기존의 방법보다 약 2-3 dB 우수한 성능을 보이며, selective MA 기법이 가장 우수한 성능을 나타낸다.



(a) 전체 모습



(b) 확장된 모습

그림 6. 브라질 채널 A와 SNR=10dB에서 추정된 채널

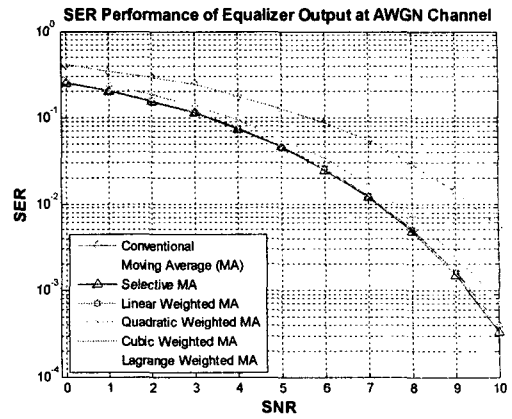


그림 7. AWGN 채널에서의 등화 후 SER 성능

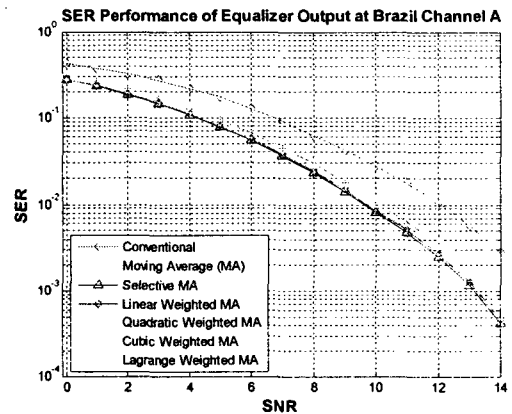


그림 8. 브라질 채널 A에서의 등화 후 SER 성능

5. 결론

본 논문에서는 T-DMB 수신기의 채널추정 성능향상을 위해 M-point 가중이동평균을 사용하는 잡음감소 기법을 제안하였으며, 전산실험을 통해 그 성능을 검증하였다. 제안된 채널추정 방법은 등화 후 SER 측면에서 기존의 채널추정 방법에 비해 2-3 dB의 성능 향상을 보였으며, selective MA 기법이 가장 우수한 성능을 나타내었다. 또한, 제안된 채널추정 방법은 추정된 채널에서의 잡음성분을 감소시키는 것이므로 파일럿 삽입 형태에 관계없이 사용 가능하다.

6. 참고문헌

- [1] ETSI, "Radio Broadcasting Systems; Digital Audio Broadcasting (DAB) to mobile, portable and fixed receivers," *ETSI EN 300 401 v1.3.3*, Sept. 2001.
- [2] G. Lee, S. Cho, K.-T. Yang, Y. K. Hahm, and S. I. Lee, "Development of Terrestrial DMB Transmission System based on Eureka-147 DAB Systems," *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, vol. 51, no. 1, pp. 63-68, Feb. 2005.
- [3] L. Thibault, D. Taylor, L. Zhang, J. Y. Chouinard, and R. Boudreau, "Advanced Demodulation Technique for COFDM in Fast Fading Channels," International Broadcasting Convention, 2003.
- [4] A. A. Hutter, R. Hasholzner, and J. S. Hammerschmidt, "Channel Estimation for Mobile

OFDM Systems," in *IEEE Vehicular Technology Conference*, Amsterdam, Netherlands, Sept. 1999, pp.305-309.

- [5] Y. Zhao and A. Huang, "A Novel Channel Estimation Method for OFDM Mobile Communication Systems Based on Pilot Signals and Transform-Domain Processing," in *IEEE 47th Vehicular Technology Conference*, vol. 3, May. 1997, pp. 2089-2093.
- [6] Y.-S. Lee, H.-N. Kim, S. I. Park, and S. I. Lee, "Noise Reduction for Channel Estimation Based on Pilot-Block Averaging in DVB-T Receivers," *IEEE Trans. On Consumer Electronics*, vol. 52, no. 1, pp. 51-58, Feb. 2006.
- [7] 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.
- [8] Mackenzie, ABERT, and SET, "General description of laboratory tests," *DTV Field Test Report in Brazil*, July 2000.