

OFDM 시스템에서의 이동성 추정기를 이용한 채널 추정 기법의 성능 분석

A Performance Analysis of the Channel Estimation Method using a Mobility Estimator in OFDM Transmission System

강 유 성, 김 정 인, 김 대 진

전남대학교 공과대학 전자공학과

You Sung Kang, Jeong In Kim, and Dae Jin Kim

Department of Electronics Engineering, Chonnam National University

요약

본 논문은 이동성 추정기를 이용하여 수신체의 이동성 정도 또는 채널의 변화 정도를 추정해 냄으로써 채널 추정에 사용하는 OFDM 심볼의 갯수를 결정하여 최적의 채널 추정을 수행하는 알고리즘을 제안하고, 성능 분석을 보여 준다. OFDM 시스템의 채널 보상에 다수의 심볼을 사용하면 고정된 수신체에서 우수한 성능을 나타내지만 시간 변화적인 다중 경로 환경에서는 오히려 출력 SNR 성능을 저하시킨다. 제안된 이동성 추정기를 이용한 채널 추정 알고리즘은 고정 수신체 및 고속의 이동체 뿐만 아니라 복잡하고 변화 무쌍한 다중 경로 페이딩 채널 환경에 강인한 특성을 나타낸다는 것을 전산 모의 실험을 통하여 확인하였다.

I. 서론

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 방식은 단일 반송파 방식에 비해 주파수 선택적 페이딩 채널에 강인하고, 보호 구간을 삽입하여 다중 경로 간섭에 의해 발생하는 심볼간 간섭 현상을 방지할 수 있는 장점을 지니고 있다[1]. OFDM 시스템에서 단일 DPSK (Differential Phase-Shift Keying)와 같은 차동 변조 구조를 사용한다면 채널 추정 없는 수신기 구성이 가능하다. 그러나 이러한 차동 변조 구조는 심볼 당 비트 수를 제한하기 때문에 SNR (Signal to Noise Ratio)변에서 동기 복조에 비해 3dB의 손실을 야기한다.

디지털 지상파 텔레비전 방송뿐만 아니라 실질적인 멀티미디어 무선 서비스와 같이 이동 무선 채널을 통한 고속의 데이터 전송 속도를 요구하는 시스템에서는 QAM (Quadrature Amplitude Modulation)과 같은 다중 진폭 변조 구조를 사용해야 한다. 이동 무선 채널에서의 다중 진폭 변조 구조는 채널 추정을 통한 채널

왜곡의 보상을 필요로 한다. OFDM 시스템에서의 채널 추정 방식은 변환 영역에서 저역 통과 필터링을 이용한 방법, Singular Value Decomposition에 기초한 방법 등 다양한 연구 결과가 제안되고 있다.

본 논문에서는 보다 정확한 채널 전달 함수의 추정을 위하여 추출된 파일럿 신호의 분산 정도를 파악함으로써 이를 근거로 파일럿 신호에 대해 평균을 취해야 할 심볼의 갯수를 결정하여 최적의 채널 추정을 수행하는 이동성 추정기(Mobility Estimator)를 이용하는 채널 추정 기법을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 OFDM 시스템을 위한 채널 추정 기법에 대해 간략하게 설명을 하고, 본 논문에서 제안하고 있는 이동성 추정기를 이용한 채널 추정 기법의 구조에 대해 III장에서 상세히 기술한다. IV장에서는 전산 모의 실험 결과에 대하여 논하며 V장에서 결론을 맺는다.

II. OFDM 시스템을 위한 채널 추정 기법

송신단의 내부에서 64-QAM의 다중 진폭 변조 방식으로 맵핑된 이진 데이터는 IFFT를 통해 변환되고, 이 때의 시간 영역 샘플 $x(n)$ 은 다음과 같다.

$$x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k)e^{j2\pi kn/N}, n = 0, 1, \dots, N-1 \quad (1)$$

여기서 N 은 부반송파의 수로써 유럽 디지털 지상파 텔레비전의 표준인 DVB-T 규격중 2K 모드에서는 1705개의 부반송파를 갖는다. 그림 1은 파일럿 신호를 가진 전형적인 OFDM 시스템을 보여 준다. 전송 신호는 심볼간 간섭을 방지하기 위한 보호 구간 삽입후에 다중 경로 페이딩 채널을 통해 전송된다.

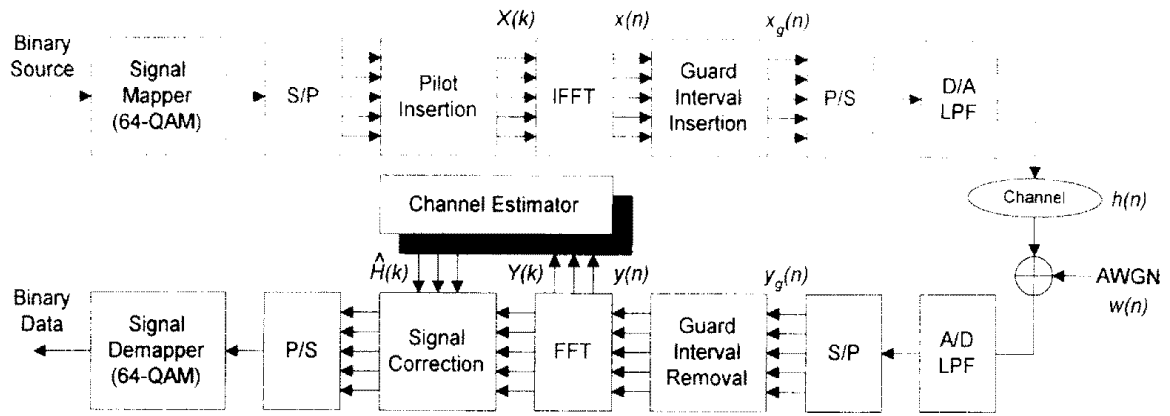


그림 1. 채널 추정기를 가진 전형적인 OFDM 송수신 시스템.

OFDM 수신기에서의 수신 신호는

$$y_g(n) = x_g(n) \otimes h(n) + w(n), \quad (2)$$

과 같이 표현되어 진다. 여기서 $h(n)$ 은 전송 채널의 임펄스 응답이고, $w(n)$ 은 AWGN 이며 \otimes 는 선형 콘볼루션을 의미하고 아래첨자 g 는 보호 구간을 포함하고 있음을 나타낸다.

즉, 채널의 임펄스 응답은

$$h(n) = \sum_{m=0}^{M-1} h_m \delta(n - \tau_m) e^{-j\theta_m}, \quad (3)$$

으로 표현되고, 여기서 M 은 전파 경로의 수이고, h_m 은 진폭 감쇄를 나타내고, τ_m 은 m 번째 전파 경로의 시간 지연, 그리고 θ_m 은 위상 천이를 나타낸다.

수신단에서 보호 구간이 제거되고 FFT 작용을 거친 l 번째 OFDM 심볼의 신호열은 식 (2)의 주파수 영역 특성으로 나타낼 수 있기 때문에 다음과 같이 표현된다.

$$Y(l,k) = X(l,k)H(l,k) + W(l,k), \quad (4)$$

여기서 (l,k) 는 l 번째 심볼의 k 번째 부반송파를 나타낸다. OFDM 시스템에서 간단한 채널 추정 기법으로 식 (4)를 이용할 수 있다. 채널 응답의 특성을 추정하여 수신 신호열 $Y(l,k)$ 를 나누어 줌으로써 전송 데이터 샘플 $X(l,k)$ 를 복원해 내는 방법이다.

유럽 DVB-T 표준에 따르면 2K 모드의 경우 OFDM 심볼당 45개의 연속형 파일럿이 있고, 분산형 파일럿이 12개의 부반송파 간격으로 전송된다. 그림 2에서 유럽 DVB-T 표준의 프레임 구조를 보인다[2].

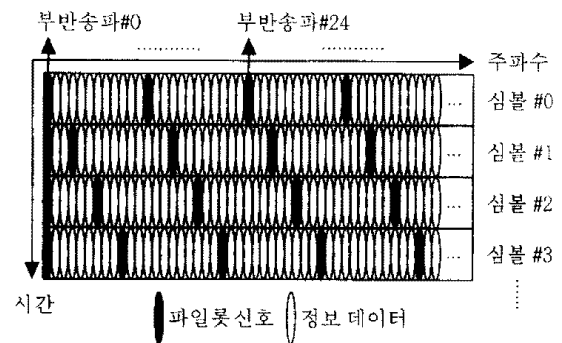


그림 2. OFDM 프레임 구조.

위와 같은 프레임 구조의 전송에서는 수신 신호열 $Y(l,k)$ 에서 알려진 값을 가진 파일럿 신호를 추출하여 이 파일럿 신호에 대한 채널 전달 함수를 구할 수 있다. 전송된 정보 데이터에 대한 채널의 영향을 파악하기 위해서는 파일럿 신호의 채널 전달 함수를 주파수 축에서 선형 보간 방법을 사용하여 전체 데이터에 대한 채널 전달 함수를 추정한다[3].

III. 이동성 추정기를 이용한 채널 추정 기법

본 논문에서는 OFDM 시스템에서의 채널 추정을 위하여 OFDM 프레임 구조에서 보이고 있는 분산형 파일럿과 연속형 파일럿을 모두 이용한다. 그림 3은 본 논문에서 제안하는 이동성 추정기를 이용하는 OFDM 채널 추정 알고리즘을 보여준다. 유럽 DVB-T 표준에서는 4개의 심볼을 주기로 각 심볼마다 파일럿 신호의 삽입 위치가 다르기 때문에 다중 경로 페이딩의 영향이 약한 경우에는 해당 심볼 앞뒤에 있는 여러개 심볼의 파일럿 신호를 평균하여 더욱 정확한 채널 영향을 추정해낼 수 있다[4].

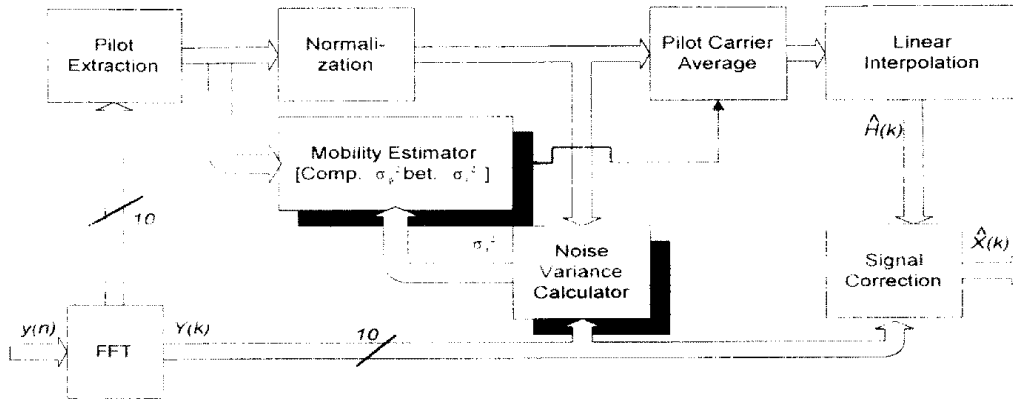


그림 3. 이동성 추정기를 이용한 OFDM 채널 추정 알고리즘.

그러나 다중 경로에 의한 신호의 왜곡 때문에 고속의 이동체가 겪게 되는 시간 변화(Time Variant)적인 채널에서는 오히려 다수의 심볼 평균이 잡음을 증가시키게 된다. 따라서 다중 경로의 영향을 최소로 하면서 심볼 평균을 취해야 한다. 제안하는 이동성 추정기는 수신 신호에서 추출한 파일럿 신호의 분산을 찾아 기준 분산과 비교하여 채널의 영향이 최소로 되면서, 채널 추정에 의한 신호 보정의 오류도 최소가 될 수 있는 심볼의 개수를 결정한다.

먼저 이동성 추정기는 수신 신호가 겪게 되는 다중 경로의 영향을 파악하기 위하여 연속형 파일럿의 분산을 계산한다. 본 논문에서는 이 때의 분산을 σ_p^2 이라 표현하고 비교 분산(Compared Variance)이라 정의한다. 비교 분산은 시간 변화적인 다중 경로의 영향에 의해 겪게 되는 잡음 성분에 대한 정보를 담고 있다.

$$\sigma_p^2 = \frac{1}{45} \sum_{k=1}^{45} \frac{1}{N_c} \sum_{l=1}^{N_c} \{ |Y_c(l, k) - \mu_k|^2 \} \quad (5)$$

여기서 $Y_c(l, k)$ 는 l 번째 심볼의 k 번째 부반송파 위치에서 수신된 파일럿 신호이고, μ_k 는 $Y_c(l, k)$ 의 평균값이다. 그리고 본 논문 전체에서 아래 첨자 c 는 연속형 파일럿에 대한 영향만을 고려한다는 의미이다.

비교 분산이 포함하는 시변 다중 경로에 의한 잡음 성분의 정도를 판단하기 위하여 채널 추정을 수행한 후 보정된 신호로부터 연속형 파일럿을 추출하여 여기에 섞인 잡음의 분산을 구한다. 이 때의 분산을 기준 분산(Reference Variance)이라 하고 σ_r^2 으로 표현한다.

$$\sigma_r^2 = \frac{1}{N_c} \sum_{l=1}^{N_c} \{ |N_c(l, k) - \mu_N|^2 \} \quad (6)$$

파일럿 신호에 섞인 잡음은

$$\begin{aligned} N_c(l, k) &= \left(\frac{Y_c(l, k)}{\hat{H}_c(l, k)} - P \right) \hat{H}_c(l, k) \\ &= Y_c(l, k) - P \times \hat{H}_c(l, k), \end{aligned} \quad (7)$$

여기서 $\hat{H}_c(l, k)$ 는 분산형 파일럿만을 사용해서 선형 보간을 통해 추정된 채널 전달 함수이다. 또한 P 는 송신단에서 미리 삽입한 알려진 파일럿 값이고 μ_N 은 $N_c(l, k)$ 의 평균값이다.

다중 경로의 변화가 없는 시간내에서 최대의 심볼 수를 가지고 기준 분산을 구하는 것이 이상적인 경우인데, 실제적으로는 채널 추정에 사용한 심볼의 개수 N_c 의 대략 $N_c/4 \sim N_c/2$ 개 정도를 가지고 기준 분산을 구한다. 본 논문의 전산 모의 실험에서는 $N_c/4$ 개의 심볼을 이용하여 기준 분산을 구했다. 비교 분산은 다중 경로 채널의 시간적 변화에 의한 영향이 존재하기 때문에 채널 보상 이후에 계산되는 기준 분산보다 항상 크거나 같다. 이동성 추정기는 기준 분산과 비교 분산을 비교하여 최적의 채널 보상에 사용할 심볼의 개수를 결정하는데, 실제적인 비교에 있어서는 기준 분산에 마진을 두어야 한다. 여기서는 그림 3의 잡음 분산 계산기의 출력에 30%의 마진을 두었다. 즉 이동성 추정기에서는 $1.3\sigma_p^2$ 을 기준으로 하여 σ_p^2 이 $1.3\sigma_p^2$ 보다 크면 채널 왜곡이 크다고 판단하여 사용할 심볼의 개수 N_c 을 줄이고, $1.3\sigma_p^2$ 보다 σ_p^2 이 작으면 N_c 을 늘리는 작용을 한다.

이동성 추정기는 이러한 작용을 통해 채널 변화에 따라 최적의 심볼 개수를 결정하기 때문에 다중 경로의 시간적 변화에 강인하면서도 최대 출력 SNR을 유지하는 성능을 보장한다.

IV. 전산 모의 실험 결과

제안한 채널 추정 알고리즘의 성능을 분석하기 위해서 DVB-T 표준의 2K 모드 프레임 구조를 사용하였다. 변조 방식은 64-QAM을 사용하였으며 파일럿 삽입 위치는 그림 2와 같다. 채널 환경은 직접파와 4개의 시간 지연된 다중 경로를 갖는 시간 변화적인 경우를 고려하는데, 이 때 시간 변화량은 100 심볼당 360°의 변화를 겪는다. 실험에 사용한 OFDM 프레임 파라미터와 채널 환경을 표 1과 표 2에 각각 보인다. 전송 채널상에 부가한 백색 가우시안 잡음은 C/N이 20.1dB가 되도록 하였다.

표 1. OFDM 프레임 파라미터.

채널 대역폭	8MHz
부반송과수 (N)	1705
유효 심볼 구간 (T_U)	224μsec
보호 구간 ($T_U/8$)	28μsec

표 2. 채널 환경.

경로	고스트	지연 시간
1	주경로	0
2	$0.63\angle 140^\circ + kt$	0.525μsec
3	$0.25\angle 60^\circ + kt$	1.7μsec
4	$0.16\angle 180^\circ + kt$	2.36μsec
5	$0.1\angle 220^\circ + kt$	5μsec

표 3은 SPW Ver.4.0.을 이용하여 데이터 흐름을 10비트로 할당한 고정 소숫점 전산 모의 실험을 통해 확인한 기준 분산과 비교 분산 및 출력 SNR을 보인 것이다. 만일 현재 채널 추정에 사용된 심볼이 40개라면 40개 심볼에 의한 비교 분산은 $\sigma_p^2 = 4.83$ 이다. 이동성 추정기에서는 40개 심볼의 1/4인 10개 심볼에 대한 기준 분산의 마진을 고려한 $1.3\sigma_p^2 = 0.64$ 와 σ_p^2 를 비교하는데, $\sigma_p^2 \gg 1.3\sigma_p^2$ 이므로 다음 채널 추정에 사용하는 심볼의 갯수를 줄여 채널의 영향을 감소시킨다. 비교 분산이 30% 마진을 고려한 기준 분산보다 작을 때는 심볼의 갯수를 늘려서 채널 보상을 하게 되는데 본 전산 모의 실험에서 적용한 다섯 가지 경우에는 10개 심볼을 사용했을 때 가장 우수한 출력 SNR 성능을 보이고 있음을 확인하였다.

표 3. 전산 모의 실험 결과.

	1개 심볼	4심볼 평균	10심볼 평균	40심볼 평균	68심볼 평균
출력 SNR	18.5 dB	18.4 dB	18.7 dB	17 dB	12 dB
σ_p^2 (기준 분산)	0.44	0.48	0.49	0.53	0.54
σ_p^2 (비교 분산)			0.71	4.83	7.50

V. 결론

본 논문에서는 디지털 지상과 텔레비전 방송을 위한 OFDM 시스템에서의 이동성 추정기를 이용한 동적인 채널 추정 알고리즘을 제안하고 성능을 분석하였다. 10개의 심볼 평균이 68개의 심볼 평균보다 출력 SNR 측면에서 6.7dB 우수하다는 것에서 알 수 있듯이 고속의 이동체 또는 채널의 변화가 시간에 따라 급격히 변하는 경우에는 다수의 심볼 평균이 오히려 성능 저하를 가져 올 수 있다는 것을 확인하였다. 이동성 추정기를 사용하게 되면 10개 심볼을 평균하여 채널 보상을 하므로써 최적의 출력 SNR을 구할 수 있다.

결론적으로, 제안한 이동성 추정기를 이용한 채널 추정 알고리즘은 고정 수신기 및 고속의 이동체 뿐만 아니라 복잡하고 변화 무쌍한 채널 환경에서도 최적의 심볼 평균을 취하여 선형 보간을 통해 채널 전달 함수를 구하기 때문에 채널상의 잡음과 다중 경로에 강인한 특성을 지닌다.

참고문헌

- [1] William Y. Zou and Yiyan Wu, "COFDM : An Overview," IEEE Trans. Broadcasting, Vol.41, No.1, pp.1-8, March 1995.
- [2] Digital Broadcasting Systems for Television, Sound and Data services; Framing structure, Channel coding and Modulation for Digital Terrestrial Television, ETSI standard ETS 300 744, Ver.0.0.3, April 1996.
- [3] Meng-Han Hsieh and Che-Ho Wei, "Channel estimation for OFDM systems based on comb-type pilot arrangement in frequency selective fading channels," IEEE Trans. consumer electronics, Vol.44, No.1, pp.217-224, Feb.1998.
- [4] Y. S. Kang, K. H. Bang, and D. J. Kim, "A design of OFDM demodulation algorithms for the transmission of digital terrestrial television," in Proc. ITC-CSCC'98, pp.723-726, Sokcho, Korea, July 1998.