

다중 경로하에서의 OFDM 시스템을 위한 적응등화에 대한 연구

이승호*, 유종엽*, 우대호*, 변윤식*

* 시립 인천대학교 전자공학과

A study on adaptive equalization for OFDM system over Multipath fading channels

Seung-Ho Lee*, Jong-Yoep Yoo*, Dae-Ho Woo*, Youn-Shik Byun*

* Dept. of Electronic Eng., University of Incheon,

E-mail: byun@lion.inchon.ac.kr

Abstract

Orthogonal frequency division multiplexing(OFDM) has meanwhile become part of several telecommunication standards, such as satellite and terrestrial digital audio broadcasting(DAB), digital terrestrial TV broadcasting(DVB), asymmetric digital subscriber line(ADSL) for high-bit-rate digital subscriber services on twisted-pair channels, and broadband indoor wireless systems. In this paper, we show that OFDM signals contain sufficient structure to accomplish blind channel estimation using second order statistics only. This method doesn't require redundancy as in PSAM channel estimation as least square, linear minimum mean square, singular value decomposition.

I. 도입

OFDM 변조방식은 고속의 비트전송율을 얻는 데 있어서 매우 효율적인 방법이다. 무선 채널을 통한 광대역 전송시 종종 주파수 선택적 페이딩이 발생하게 된다. 이러한 열악한 환경에서는 일반적으로 복잡한 등화 회로들이 요구되어진다. 하지만 OFDM 시스템에서는 이러한 광대역 신호를 협대역 신호의 어레이들로 전환
본 연구는 한국과학재단 지정 인천대학교 멀티미디어 연구센터 지원에 의한 것입니다.

해 줌으로서 각각의 신호들은 주파수 비선택적인 채널 환경으로 볼 수 있게 된다. 그러므로 채널 왜곡에 대해 수신기는 단지 one-tap equalizer만을 필요로 하게 된다. 또한 Guard interval을 신호의 앞단에 삽입하여 채널의 time spread delay의 영향에 대한 부담을 덜 수 있다. 그러므로 각각의 부반송파에 대한 선행왜곡으로, 진폭왜곡과 위상왜곡을 고려하여 채널 추정을 하게 되는데, 이때에 수신기에서는 complex multiplier bank의 형태를 갖게 된다. M-ary QAM 변조와 같이 신호의 정보가 위상뿐 아니라, 진폭에도 실리는 경우 채널에서 겪는 페이딩 왜곡을 추정해야 되는데, 이의 정확한 추정 및 보상이 OFDM 시스템의 성능에 적지 않은 영향을 끼치게 된다. 기존의 채널 추정의 경우, LS 방법은 전송한 신호에 대한 수신된 신호를 계산함으로써 채널 추정을 하게 된다. 이 방법은 잡음을 고려하지 않고 추정하기 때문에 성능이 그리 좋지 않다. 하지만, 채널의 주파수 축상에서의 코릴레이션을 이용한 LMMSE의 경우 성능은 개선이 되나, 계산량 측면에서 보면, 실제적인 시스템에 적용하기는 어려울 듯하다. 또한 이 시스템은 채널의 통계적 성질에 대한 사전적 정보를 필요로 한다. 이러한 LMMSE의 문제를 극복하기 위하여 SVD(Singular value decomposition)을 적용한다. 이것은 LMMSE에 비하여 적은 계산량을 요구하지만, 이 또한 여전히 많은 계산량을 필요로 한다. 그러므로 본 논문에서는 채널에 대한 사전적 정보나 파일럿 심볼의 전송을 요구하지 않는 블라인드 채널추정방법을 제안하고, 이것을 기존의 파일럿 기반 채널추정 방법들과 비교, 분석한다.

II. OFDM System 모델

그림1에서와 같은 OFDM 전송 시스템을 고려하여 보자. OFDM 변조기는 QAM mapping 이후에 입력되는 M개의 신호를 취하여 M-point IFFT를 한다. 그리고 CP를 삽입한 후 다시 직렬로 변환하여 채널로 전송하게 된다. 이때에 채널은 multipath fading channel로 고려하며, 잡음은 mean이 0이고, stationary additive white gaussian noise로 가정한다. 채널에 의하여 왜곡되고, 잡음이 더해진 신호는 수신단에 입력된다. 그리고 송신단에서 삽입된 CP가 제거된 후 M-point FFT 블록으로 들어간다. FFT 블록이후의 신호와 pilot 신호를 이용하여 채널 추정 및 동화가 이루어지고, data-bit가 복원되어진다.

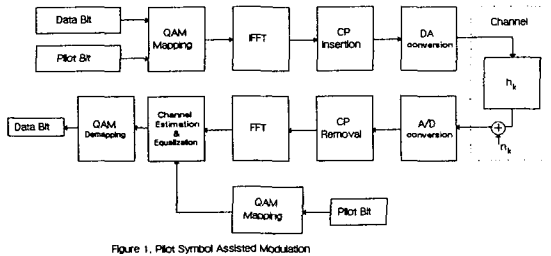


Figure 1. Pilot Symbol Assisted Modulation

OFDM 수신기를 보면 아래와 같이 나타낼 수 있다.

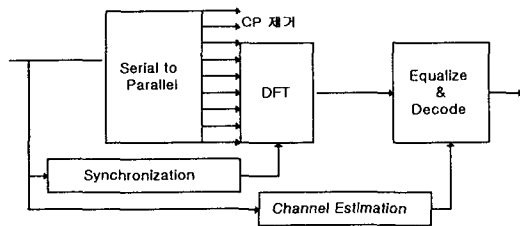


Fig.2 OFDM 수신기

III. PSAM 방식의 채널추정 방법들

LMMSE 채널추정기는 채널의 주파수 코릴레이션을 이용하는 방법이다. 이것은 multipath fading channel에서의 주파수 응답을 추정하기 위하여 제안되어졌다. 하지만, 실제적인 시스템에 적용시, 많은 complex multiplication을 필요로 하기 때문에 어려움이 있다. 또한 채널의 통계적 성질을 사전에 알아야만 한다는 점도 있다. 비록 SVD를 사용하여 이러한 LMMSE의 계산량이 감소되지만 여전히 많은 계산량을 필요로 한다는 점이 남아있다. 본 논문에서는 일반적인 M개의 다중경로 성분을 가진 3개의 low-pass equivalent multipath fading

channel model을 사용하였다.

3.1 LMMSE 채널 추정의 원리

$$y = xH + n \quad (1)$$

이때에 y 는 수신된 심볼 벡터이고, x 는 전송된 심볼이다. H 는 채널의 감쇄벡터이고, n 은 i.i.d., complex, zero mean, gaussian noise 이다.

3.1.1 부반송파간의 채널 추정

h 의 LS estimate는 아래와 같이 나타낼 수 있다.

즉 수신된 신호에 대한 송신된 신호로서 채널을 추정하며, 이때에 추정된 채널은 부가된 잡음을 고려하지 않은 경우이다.

$$h_k = X^{-1}y = \left[\frac{y_0}{x_0}, \frac{y_1}{x_1}, \dots, \frac{y_{N-1}}{x_{N-1}} \right]^T \quad (2)$$

그리고, channel attenuation h 의 LMMSE estimate는 아래와 같이 나타낼 수 있다. channel의 correlation 성분을 고려하여 채널을 추정하며 LS 추정에 비하여 성능이 향상되지만 계산량이 매우 많아지며 채널에 대한 정보도 미리 알고 있어야 한다는 단점이 있다. 실제로 구현하기에는 어려움이 있다.

$$\hat{h}_{lmmse} = R_{hh} (R_{hh} + \beta / SNR)^{-1} h_k \quad (3)$$

3.2 SVD를 이용한 채널 추정

그래서 이러한 LMMSE의 채널추정의 계산량을 감소시키기 위한 방법으로 SVD를 들 수 있다. 하지만 여전히 요구되는 계산량은 적지않다. SVD는 아래의 식으로 표현할 수 있다.

채널의 Corellation은 다음과 같이 고유치 분해를 할 수 있다.

$$R_{hh} = UAU^H \quad (4)$$

결과적으로 위의 채널추정은 다음과 같이 rank p 추정기로 표현될 수 있다. 물론 rank를 증가시키면 성능이 개선되지만 이 논문에서는 논하지 않기로 한다.

$$h_p = U \begin{pmatrix} A_p & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix} U^H h_k \quad (5)$$

이상 PSAM 기반의 채널추정방법들의 성능을 constellation과 BER 비교를 통하여 분석했다.

IV. Blind 채널 추정 알고리즘

일반적으로 채널 추정은 훈련신호를 이용하여 채널을 추정하며, 이에 따라 대역 효율의 손실을 가져온다. 이러한 요인으로는 cp와 training data를 예로 들 수 있다. 이것은 많게는 50%까지의 대역손실을 가져오며, 여기에 더해 동기화를 위한 파일럿 심볼의 전송까지 필요하게 된다. 이 논문에서는 second-order statistics를 이용한 블라인드 채널추정을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 다음과 같은 특성을 갖는다.

- 채널에 대한 정보를 필요로 하지 않는다.
- stationary noise에 덜 민감하다.
- CP를 필요로 하지 않는다.
- 계산량 측면에서 효과적이다.

수신된 신호 $r[n]$ 은 전송된 신호 $x[n]$ 의 time-invariant filter를 통과한 신호와 부가 백색 가우시안 잡음 $\rho[n]$ 이 더해진 형태와 같다. 그러므로 $x[n]$ 이 CS인 경우 $r[n]$ 도 CS의 성질을 갖는다.

$$c_r[n, \tau] = \varepsilon\{r[n]r^*[n-\tau]\} \quad (6)$$

$$C_r[k, \tau] = \sum_{s=0}^{L_d-1} d[s]e^{-j\frac{2\pi}{PM}k\tau} \sum_{r=-\infty}^{\infty} d^*[s-\tau+r] + C_x[k, \tau] + c_\rho[r]\delta[k],$$

$$k=0, 1, \dots, M-1 \quad (7)$$

$$S_r[k, z] = D(ze^{j\frac{2\pi}{PM}k})S_x[k, z]D^*(z) + S_\rho(z)\delta[k] \quad (8)$$

여기서 $S_x[k, z]$ 는 입력신호의 주기적인 스펙트럼을 나타낸다. 그리고, $S_\rho(z)$ 는 잡음에 대한 스펙트럼이다. 여기서 두개의 다른 주기 $k_1 \in [1, M-1]$ 과 $k_2 \in [1, M-1]$ 를 취하여 아래의 결과를 얻는다.

$$\frac{S_r[k_1, z]}{S_r[k_2, z]} = \frac{D(ze^{j\frac{2\pi}{PM}k_1})S_x[k_1, z]D^*(z)}{D(ze^{j\frac{2\pi}{PM}k_2})S_x[k_2, z]D^*(z)}$$

그러므로,

$$D(ze^{j\frac{2\pi}{PM}k_2})S_r[k_1, z]S_x[k_2, z] = D(ze^{j\frac{2\pi}{PM}k_1})S_r[k_2, z]S_x[k_1, z] \text{ 가 되며, 이것은}$$

시간축에서 아래와 같이 쓸 수 있다.

$$\sum_{l=0}^{L_d-1} [a_{r,x}^{(k_1, k_2)}[n-l]e^{-j\frac{2\pi}{PM}k_2l} - a_{r,x}^{(k_2, k_1)}[n-l]e^{-j\frac{2\pi}{PM}k_1l}]d[l] = 0 \quad (9)$$

여기서

$$a_{r,x}^{(k, l)}[n] = \sum_{s=-\infty}^{\infty} C_r[k, s]C_x[l, n-s] \quad (10)$$

채널 $d[n]$ 을 아래와 같이 다시 쓰면,

$$[T_{r,x}^{(k_1, k_2)}D^{k_2} - T_{r,x}^{(k_2, k_1)}D^{k_1}]d = 0$$

첫번째 컬럼은 아래와 같다.

$$[a_{r,x}^{(k_1, l)}[-2L_g - L_d + 3] \dots [a_{r,x}^{(k_1, l)}[2L_g + L_d - 3] 0 \dots 0]$$

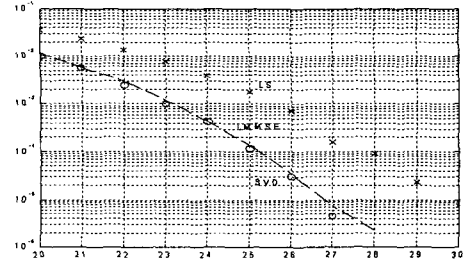
$L_d \times L_d$ diagonal 행렬은

$$D = \text{diag}\{e^{-j\frac{2\pi}{PM}l}\}_{l=0}^{L_d-1} \text{ 와 같이 된다.}$$

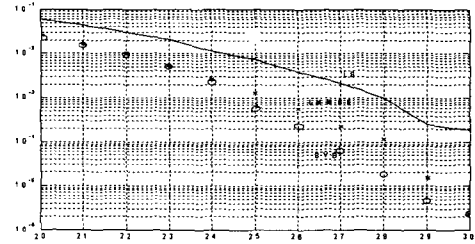
그러므로

추정된 채널 d 는 $[d[0] \ d[1] \ \dots \ d[L_d-1]]^T$ 와 같이 나타낼 수 있다.

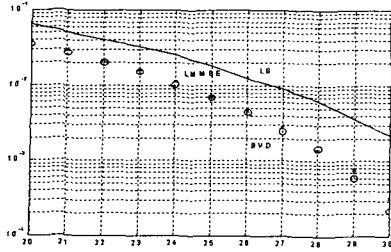
V. 시뮬레이션 결과



Channel A

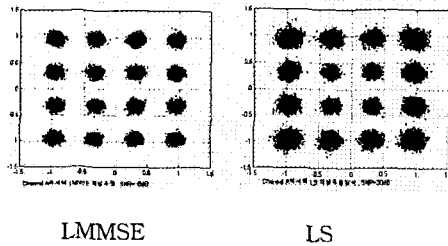


Channel B



Channel C

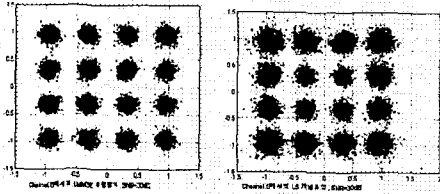
Channel A



LMMSE

LS

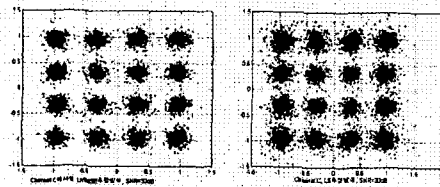
Channel B



LMMSE

LS

Channel C



LMMSE

LS

VI. 결론

일반적으로 guard interval이 없는 OFDM 시스템의 경우, guard region을 사용하는 시스템의 경우보다 더 복잡한 등화를 함을 의미하게 된다. 그러므로 다른 blind 등화기의 구조와 비교하여 연구되어질 필요가 있으며, 본 논문에서는 PSAM을 기반으로 한 채널추정과의 비교분석으로 제한한다.

참고문헌

- [1] Ove Edfors, Magnus Sandell, Jan-Jaap van de Beek, Daniel Landstrom, Frank Sjoberg. A introduction to orthogonal frequency division multiplexing. September 1996
- [2] Myoung-Soo Kang. A study on Robust Channel Equalization for OFDM Receivers. 1997
- [3] Louis L. Scharf, "Statistical Signal Processing : Detection, Estimation, and Time Series Analysis", Addison-Wesley, 1991
- [4] G. Proakis, *Digital Communications*, Prentice-Hall, 3rd edition, 1995
- [5] A Subspace-based Approach to Blind Channel Estimation in Pulse Shaping OFDM Systems, *IEEE Trans. Signal Processing*, May 1999.
- [6] L. Tong, G. Xu, B.Hassibi, and T. Kailath, "Blind identification and equalization based on second-order statistics : A frequency domain approach," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 41, pp.329-334, Jan, 1995