

Comb-type pilot 을 이용한 OFDM 시스템 반복 채널 추정 기법

박혜미*, 이재홍**
서울대학교 공과대학 전기컴퓨터공학과

Iterative OFDM channel estimation scheme based on comb-type pilot

Hyemi Park*, Jaehong Lee**
School of Electrical Engineering and Computer Sciences
Seoul National University
E-mail : *hmpark3@snu.ac.kr, **jhlee@snu.ac.kr

Abstract

본 논문은 빠른 페이딩 환경에서의 OFDM 시스템 채널 추정 기법에 대하여 소개한다. 기존의 OFDM 채널 추정 기법은 준 정적인 채널 환경을 가정하여 전개되었다. 이러한 환경에 대한 가정을 기반으로 하는 채널 추정 기법은 OFDM 블록내에서 채널이 변하는 빠른 페이딩 환경에서 심각한 에러 플로어를 겪게된다. 따라서 본 논문에서는 OFDM 블록내에서도 채널이 변한다는 가정하에 시간과 주파수 두개의 차원에서의 상관성을 이용하여 ICI 를 제거하여 반복적으로 채널을 추정하는 기법을 제안한다.

I. 서론

4 세대 이동통신은 대용량의 고속 데이터를 안정적적으로 전송하는 것을 목표로한다. 이동 통신 채널 환경은 이러한 고속 데이터를 안정적으로 전송하는데 방해요인으로 작용한다. 고속 통신 환경에서 문제가 되는 채널의 특성은 주파수 선택적 페이딩이며 이러한 채널을 통해 고속 데이터를 전송하는 것은 심볼간 간섭

(ISI) 을 유발한다. OFDM 시스템은 고속의 직렬 데이터를 저속의 병렬 부 반송파로 전송함으로써 이러한 적대적인 영향을 완화할 수 있으며, 송, 수신기를 IFFT /FFT 로 쉽게 구현할 수 있다는 점에서 이득이 있다.

이러한 장점으로인해 OFDM 시스템은 디지털 오디오 방송 (DAB), 디지털 비디오 방송 (DVB), 그리고 IEEE 802.11a 의 표준으로 채택되는 등, 고속 데이터 전송에 적합한 이동통신 시스템으로 주목받고 있다.

현재까지의 OFDM 시스템 채널 추정 기법은 준 정적인 채널 환경에 대한 가정에 기초하여 전개되었다. 그러나 실제 시스템은 사용자의 이동성을 보장하므로 빠른 페이딩 환경에서 동작한다. 이러한 채널 환경에서는 각 OFDM 블록내에서도 채널이 변하게 되고, 준 정적 채널 환경을 가정한 채널 추정기법들은 부반송파간 간섭 (ICI) 으로 인해 심각한 에러 플로어를 겪게된다.

이번 논문에서는 빠른 페이딩 환경을 가정하고 시간과 주파수의 2 차원 상관성을 이용하여 OFDM 블록내에서의 채널 변화를 추정하는 기법을 제안한다.

II. 시스템 모델과 채널 모델

2.1 시스템 모델

송신단에서는 QPSK 변조된 데이터를 저속의 병렬 부반송파로 전송하기 위하여 IFFT 를 사용한다. 부반송파의 개수가 N 일 경우 송신된 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$s(n) = \sum_{k=0}^{N-1} d_k e^{j2\pi nk/N} \quad (1)$$

이때 n 은 OFDM sample index 이고 k 는 부반송파 index 이다. 수신단은 수신신호를 FFT 하여 OFDM 복조한 후 채널 값을 추정하고 추정된 채널 값을 기반으로 ICI 를 계산하여 이를 제거하여 채널 값을 재 계산한 후 데이터를 디코딩하는 과정으로 구성된다.

2.2 채널 모델

제안하는 시스템은 wide sense stationary uncorrelated scattering (WSSUS) 채널 모델을 가정하고 전개하였다. WSSUS 채널은 multipath intensity profile 과 scattering function 에 의해 결정된다. 본 논문은 multipath intensity profile 로는 uniform power delay profile 을 사용하고 scattering function 으로는 Jake's model 을 사용하였다.

III. 반복 채널 추정 기법

3.1 초기 채널 추정

FFT 이후 수신된 신호는 다음과 같이 표현된다.

$$Y_k = d_k H_k + \alpha_k + w_k \quad (2)$$

여기서 k 는 부반송파 index, α_k 는 ICI term, 그리고 w_k 는 AWGN 을 의미한다. ICI term 은 Doppler frequency 로 인해 인접 부반송파에 생기는 간섭을 나타내며 부반송파의 수가 증가할수록 central limit theorem 에 의해 Gaussian 분포를 보이므로 AWGN 의 일부로 가정한다.

이러한 가정하에서는 다음과 같이 pilot 의 위치에서 LS 추정이 가능하다.

$$\tilde{H}_k = \frac{Y_k}{d_k} + noise' + ICI' \quad (3)$$

OFDM 블록 내에서의 채널의 변화를 추정하기 위해서는 각 sample 당 모든 부 반송파의 채널 값을 구해야 한다. 이 경우 구해야할 식의 수 보다 미지수의 수가 더 많게 되므로 모든 부 반송파를 pilot 으로 사용한다고 해도 OFDM block 내 채널 변화를 추정할 수 없게된다. 이를 해결하기 위하여 위에서 얻은 LS 추정된 채널 값 \tilde{H}_k 을 첫번째 sample 에 해당하는 값 $\tilde{H}_k(1)$ 으로 가정하고 이 값에 기반하여 MMSE 추정을 다음과 같이 전개한다.

$$\hat{H}_k(1) = R_{HH} (R_{HH} + 1/SNR)^{-1} \tilde{H}_k(1) \quad (3)$$

위 식에서 채널은 uniform power delay profile 로 가정하였으므로 $R_{HH} = E\{HH^H\}$ matrix 의 (m,n) 번째 element 는 다음과 같다.

$$E\{HH^H\}_{m,n} = \frac{1 - e^{-2\pi jL(m-n)/N}}{2\pi jL \frac{m-n}{N}} \quad (4)$$

첫 번째 sample 의 pilot 에서의 채널 값을 이용하여 주파수 영역에서 second-order polynomial interpolation method 를 다음과 같이 적용하면

$$\hat{H}_{k \times PilotSpacing + \Delta, d}(1) = C_1 \hat{H}_{k-1, p}(1) + C_0 \hat{H}_{k, p}(1) + C_{-1} \hat{H}_{k+1, p}(1) \quad (4)$$

$$\text{where } \begin{cases} C_1 = \frac{\alpha(\alpha+1)}{2} \\ C_0 = -(\alpha-1)(\alpha+1) \text{ and } \alpha = \Delta/N \\ C_{-1} = \frac{\alpha(\alpha-1)}{2} \end{cases}$$

첫 번째 sample 에 대한 전체 부 반송파의 채널 값을 구할 수 있게된다.

이후의 sample 에 대한 채널 값을 추정하기 위하여 위에서 얻은 값을 시간 영역으로 역푸리에 변환하면 채널의 값은 전체 OFDM symbol time 의 1/8 정도에 해당하는 cyclic prefix 안에서 대부분의 power 를 갖으므로 주파수 영역에서의 상관성과 시간영역에서의 상관성을 모

두 이용할 수 있다는 장점외에도 complexity 의 감소 이득을 얻을 수 있다. 전체 delay path 의 수가 L 일 경우 IFFT 로 얻어지는 채널 값은 다음과 같다.

$$\tilde{h}(l, l) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \hat{H}_k(l) \times e^{j2\pi k l / N}. \quad (5)$$

이후의 sample 에서의 채널 값을 구하기 위하여 각 path 별로 OFDM 의 첫번째 sample 에서 얻어진 값들을 time domain correlation 을 이용하여 다음과 같이 interpolation 한다.

$$\hat{h}(n, l) = R_{\tilde{h}\tilde{h}}^{-1} R_{\tilde{h}\tilde{h}}^{-1} \tilde{h}(l, l) \quad (6)$$

여기서 $\tilde{h}(l, l)$ 는 각 OFDM 블록에 대해 l 번째 path 의 첫번째 sample 값들의 vector $[\tilde{h}(l, l)_{1stOFDM} \tilde{h}(l, l)_{2ndOFDM} \tilde{h}(l, l)_{3rdOFDM} \dots \tilde{h}(l, l)_{lastOFDM}]^T$ 이고, Jake's model 을 사용하므로 interpolation 에 사용된 OFDM block 의 수를 P 라고 하면 각 cross-correlation 과 auto-correlation 은 다음과 같다.

$$R_{\tilde{h}\tilde{h}} = E\{\hat{h}(n, l)_{y^{th}OFDM} \tilde{h}(l, l)\}_{y,x} = J_0 \left(\frac{2\pi f_d T((y-x)N + (n-1))}{PN} \right)$$

$$R_{\tilde{h}\tilde{h}} = E\{\tilde{h}(l, l) \tilde{h}(l, l)\}_{x,y} = J_0 \left(\frac{2\pi f_d T(x-y)N}{PN} \right) + \sigma^2.$$

3.2 반복 채널 추정

초기 채널 추정은 ICI 를 AWGN 의 일부로 가정하고 전개되었다. 성능 향상을 위해 위에서 얻은 채널 값을 이용하여 ICI term 을 계산하여

$$\alpha_k = \frac{1}{N} \sum_{\substack{m \neq k \\ m \in \{pilot\}}} d_m \sum_{n=0}^{N-1} H_m(n) e^{j2\pi n(m-k)/N} \quad (7)$$

다음과 같이 제거한다.

$$\frac{Y_k - \alpha_k}{d_k} = H_k + \frac{w_k}{d_k} \quad (8)$$

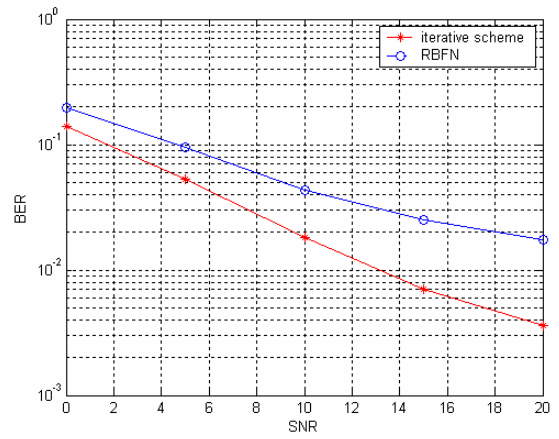
이 값을 초기 채널 추정의 LS 채널 추정 값으로 넣고 같은 과정을 반복하여 향상된 성능의 채널 값을 얻는다.

IV. 시뮬레이션 결과

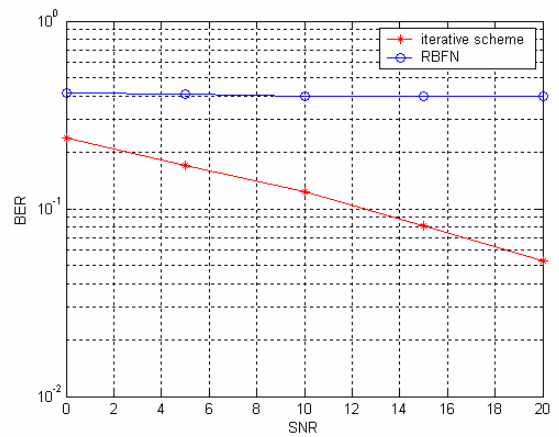
4.1 Simulation parameter

- fdT=0.01, 0.1
- QPSK
- Comb-type pilot
- N=128
- L=4

4.2 simulation results



(a)



(b)

Fig. 1. BER comparisons. Annotation: RBFN—Radial Basis Function Networks[2]. (a) fdT = 0.01 (b) fdT = 0.1

제안된 기법의 성능을 비교하기 위하여 relative fading 채널 환경을 위해 제안된 RBFN 기법을 시뮬레이션하여 Fig. 1 과 같은 결과를 얻었다. RBFN 은 채널에 대한 정보를 사용하지 않고 adaptive filter 에 의존하여 채널을 추정하는 기법으로 정확한 채널의 특성을 사용하는 제안된 기법에 비하여 성능저하가 존재한다. 또한 RBFN 은 OFDM block 내에서 채널이 변하지 않는다는 가정하에 전개하므로 fdT 가 0.1 이상의 환경에서는 심각한 에러 플로어를 겪게된다.

Fig. 1.에서 볼 수 있듯이 제안된 기법은 빠른 페이딩 환경에서 RBFN 에 비해 높은 성능을 보이지만 전체 부반송파에 존재하는 ICI 의 제거가 아닌 파일럿의 위치에 존재하는 ICI 만의 제거이므로 $fdT=0.1$ 에서는 $fdT=0.01$ 에 비하여 성능저하가 존재한다.

V. 결론

본 논문에서는 fast fading 채널 환경에서 반복적으로 채널을 추정하는 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 OFDM 블록 내에서 채널이 변한다는 가정하에 시간과 주파수영역 상관성 모두를 활용하여 성능향상을 높이면서도 적절하게 FFT/IFFT 를 이용하여 계산상의 complexity 를 줄일 수 있다. 또한 ICI 값을 계산하여 채널을 반복 추정함으로써 ICI 로 인한 플로어를 없앨 수 있기 때문에 adaptive filter 를 사용하는 RBFN 기법에 비하여 높은 성능을 얻는다.

참고문헌

- [1] O. Edfors, M. Sandell, J-J Beek, and S. K. Wilson "OFDM channel estimation by singular value decomoposition," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 46, pp. 931-939, July 1998.
- [2] X. Zhou and X. Wang, "Channel estimation for OFDM systems using adaptive radial basis function networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 52, pp. 48-59, Jan. 2003.
- [3] Y. S. Choi, P. J. Voltz, and F. A. Cassara, "On channel estimation and detection for multicarrier signals in fast and selective rayleigh fading channels," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 49, pp. 1375-1386, Aug. 2001.