

무선 OFDM 시스템에서 다이버시티를 이용한 효율적인 주파수 오프셋 추정

An Efficient Frequency-Offset Estimation using Diversity in OFDM-based Wireless Systems*

김 준 영*, 장 석 진**
Joon Young Kim and Sekchin Chang

Abstract - This paper presents an efficient frequency offset (FO) estimation algorithm for the orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) based wireless local area networks (WLANs). The packet preamble information is utilized on the high rate WLAN standards adopted by the IEEE 802.11a. We present FO estimation schemes using diversity. In the simulation results, we prove that the presented schemes can improve the estimation performance compared with the convolutional scheme.

Key Words: OFDM, Frequency-offset, WLAN, Diversity

1. 서론

OFDM은 무선랜, 디지털 TV 방송, 디지털 오디오 방송 등 디지털 전송에 광범위하게 사용되고 있다. OFDM 시스템은 수신단의 구조가 주파수 평면 단일 탭 등화기로 간단히 구성되어 있기 때문에 고속의 무선 전송을 위한 변조 기법에 자주 사용된다 [1]. 또 OFDM에서는 각 전송 블록 앞에 가드 인터벌 (guard interval)을 주입시켜 ISI (intersymbol interference)를 간단히 방지할 수 있고, 높은 스펙트럼 효율과 주파수 선택적 페이딩에도 강한 이점이 있다. 하지만 OFDM을 기초로 한 전송 시스템에서는 심볼 및 주파수 동기화와 비선형 오류에 대해서는 민감한 결점이 있다고 알려져 있다 [2]. 특히 주파수 오프셋은 부반송파들 사이의 직교성을 깨뜨림으로 해서 다른 부반송파 사이의 ICI (intercarrier interference)를 일으키는 치명적인 약점을 제공한다. 그래서 실제로 많은 수의 주파수 추정 방법이 OFDM 적용을 위해 발전되어 왔고, 그중 확실한 동기화 방법이 훈련 심볼 (training symbol)을 전송함으로써 이루어졌다 [3, 4].

본 논문에서는 시간 동기화가 완벽히 수행됐다고 가정한다. 또한, 본 논문에서 2장은 OFDM 시스템 모델의 기술이 주어지고, 3장에서는 다이버시티를 이용한 다양한 주파수 오프셋 추정 방법을 제시한다. 4장에서는 MMSE (Minimum Mean Square Error)를 이용한 모의실험 결과를, 그리고 5장에서는 결론을 도출하였다.

2. OFDM 시스템 모델

본 논문의 시스템 모델은 OFDM 방식을 기반으로한 무선랜의 표준인 IEEE 802.11a를 바탕으로 구성하였다 [5]. 시스템 모델에서 안테나 다이버시티를 이용하기 위해 수신단은 2개의 수신 안테나를 가지고, 이를 위해 k 번째 안테나의 수신 신호는 [6]과 같이 $r_k(n)$ 로 나타내었다.

$$r_k(n) = \sum_{l=0}^{M_k} h_{l,k} s(n-l) e^{j2\pi n \epsilon / N} + \zeta(n), \quad k=1,2 \quad (1)$$

여기서 $h_{l,k}$ 와 $s(n)$ 은 각각 k 번째 안테나의 이산 시간 복조 채널 임펄스 응답 (complex channel impulse response)과 전송 신호를 의미하고, N_k 는 채널의 길이를, N 은 IFFT (Inverse Fast Fourier Transform)의 길이를, ϵ 은 부반송파 간격에 의해 정규화된 주파수 오프셋을, $\zeta(n)$ 은 AWGN (Additive White Gaussian Noise)을 가리킨다. 주파수 오프셋은 주로 RF (Radio Frequency) 모듈의 LO (Local Oscillator) 때문에 발생된다. 식 (1)에서 2개의 수신 안테나가 1개의 RF 모듈을 공유할 수 있기 때문에 주파수 오프셋은 식 (1)에서 보이는 것처럼 안테나 종류에 관계없이 동일한 ϵ 을 갖는다.

3. 주파수 추정 알고리즘

주파수 동기화 즉, 주파수 오프셋 추정을 위해 802.11a의 프리엠프블을 살펴보면 그림 1과 같다.

저자소개

* 김준영 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 석사과정

** 장석진 : 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 조교수

* 이 연구는 서울시 산학연 협력사업의 지원으로 이루어짐

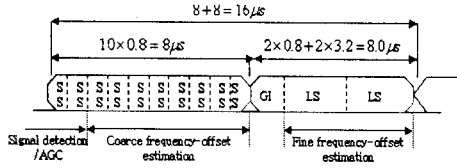


그림 1. 802.11a 프리엠블

그림과 같이 훈련 신호는 OFDM의 패킷 프리엠블 (preamble)을 구성하고 있고, 이 프리엠블은 OFDM을 기반으로 하는 WLAN인 IEEE 802.11a에 의해서 각각 16개의 샘플로 되어 있는 10개의 동일한 짧은 훈련 심볼 (short training symbols)과 각각 64개의 샘플로 되어 있는 2개의 동일한 긴 훈련 심볼 (long training symbols)로 구성된다 [5]. 본 논문에서는 긴 훈련 신호만을 이용한 상세 주파수 오프셋 추정 (fine frequency offset estimation)을 하였다.

3.1 SC (Selective Combining)를 이용한 주파수 오프셋 추정

다이버시티를 이용한 주파수 오프셋 추정 방법 중 우리는 3가지 다른 알고리즘인 SC (Selective Combining), EGC (Equal Gain Combining), MRC (Maximal Ratio Combining)를 이용하였다. 먼저 SC 추정 방법은 평균전력 (average power) 값이 가장 높은 안테나로부터 신호를 선택하여 추정하는 것을 말한다. 이것은 각 안테나의 SNR (Signal-to-Noise Ratio)로 구할 수 있다. SC 추정은 [6]에 의한 방법을 이용하여 간단히 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{\epsilon}_{sc} = \frac{N}{2\pi \times 16 \times N_f} \arg(G_k), k = 1, 2 \quad (2)$$

여기서 G_k 는

$$G_k = \sum_{n=N_s}^{N_e} r_k(n + 16 \times N_f) r_k^*(n), k = 1, 2 \quad (3)$$

이고, *는 복소공액 (complex conjugate)을 나타낸다. N_s 와 N_e 는 각각 추정을 위한 시작점과 끝점의 샘플 인덱스 (index)를 가리킨다. N_f 는 4로 정해준다 [6]. 이때 G_k 는 위에 언급한 것과 같이 각 안테나에 잡힌 SNR에 의해 G_1 또는 G_2 로 결정된다.

3.2 EGC (Equal Gain Combining)를 이용한 주파수 오프셋 추정

EGC를 이용한 추정은 각 안테나의 G_1 과 G_2 를 더하는 방식이다. 즉, 식 (4)와 같이 주파수 오프셋의 추정이 이뤄진다.

$$\hat{\epsilon}_{eg} = \frac{N}{2\pi \times 16 \times N_f} \arg\left(\sum_{k=1}^2 G_k\right) \quad (4)$$

3.3 MRC (Maximal Ratio Combining)를 이용한 주파수 오프셋 추정

MRC를 이용한 추정 방식은 식 (6)에서의 SNR에 의한 가중치를 구하여 각각의 G_k 에 곱해줌으로써 식 (5)와 같이 주파수 오프셋을 추정한다.

$$\hat{\epsilon}_{mrc} = \frac{N}{2\pi \times 16 \times N_f} \arg\left(\sum_{k=1}^2 w_k G_k\right) \quad (5)$$

$$w_k = SNR_k, k = 1, 2 \quad (6)$$

4. 모의실험 결과

앞에서도 언급했듯이 본 논문의 모의실험은 802.11a의 패킷 프리엠블을 이용하여 1000개의 패킷을 전송시켜 실행하였고, [7]에서의 페이딩 채널 (fading channel)인 A, B, C 3가지의 각각 다른 환경에서의 채널을 적용시켰다. 식 (1)에서의 ϵ 는 10%의 값을 이용하였고 각 알고리즘의 MMSE를 식 (7)과 같이 구하였다. 모의실험의 결과는 그림 2, 3, 4에서 보여진다.

$$\begin{aligned} MMSE &= \sum_{i=1}^{N_p} E|\epsilon_i - \hat{\epsilon}_i|^2 \\ &= \frac{1}{N_p} \sum_{i=1}^{N_p} |\epsilon_{mse,i}|^2, \epsilon_{mse,i} = \epsilon_i - \hat{\epsilon}_i \end{aligned} \quad (7)$$

이 식에서 N_p 는 전송된 패킷의 수를 의미한다.

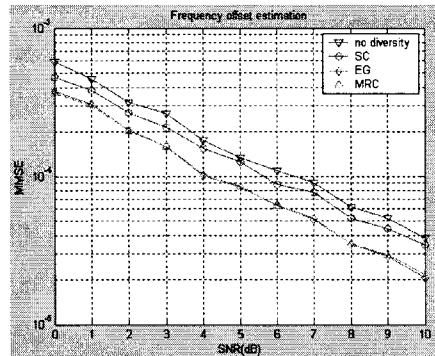
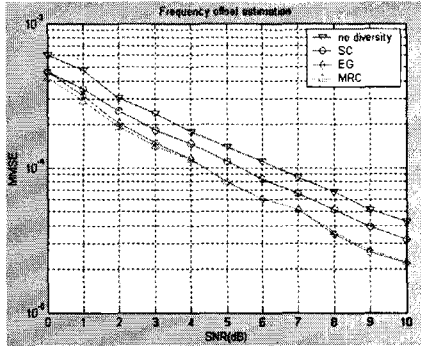


그림 2. 추정된 주파수 오프셋의 MMSE 값 (채널 A)

그림 2에서 다이버시티를 이용하지 않은 추정 값보다 다이버시티를 이용한 SC가 약 1 dB정도 향상된 결과를 나타내었고, 또 SC보다 EG와 MRC는 약 1 dB 이상 향상된 것을 볼 수 있다. EG와 MRC는 근소하지만 MRC가 약간 향상된 결과값을 나타낸 것을 알 수 있었다. 결과적으로 MRC 추정 방법이 기존의 추정 방법보다 약 2 dB 향상되었다. 그리고 각기 다른 환경에서의 채널인 A, B, C에서의 MMSE의 차이는



거의 없는 것으로 나타났다.

그림 3. 추정된 주파수 오프셋의 MMSE 값 (채널 B)

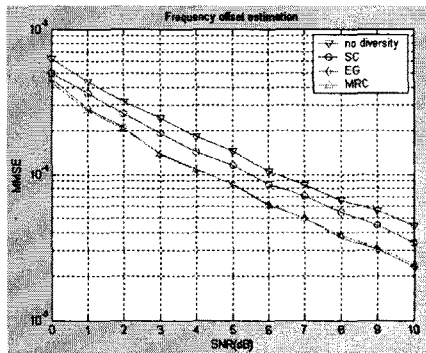


그림 4. 추정된 주파수 오프셋의 MMSE 값 (채널 C)

5. 결론

모의실험에 나타났듯이 OFDM을 기반으로 하는 WLAN인 IEEE 802.11a에 적용한 다이버시티를 이용한 알고리즘이 기존의 주파수 추정 알고리즘보다 더 향상된 추정 방법임을 알 수 있었다. 또 향상된 알고리즘 중 MRC를 이용한 추정 방법이 가장 정확한 추정 방법임이 실험적으로 증명되었다.

참 고 문 헌

- [1] H. K. Song, Y. H. Paik and Y. S. Cho, 'Frequency-offset synchronization and channel estimation for OFDM-based transformation,' IEEE Comm. Letters, vol. 4, no. 3, pp. 95-97, Mar. 2000.
- [2] L. Hanzo, 'Bandwidth-efficient wireless multimedia communications,' Proc. IEEE, vol. 86, pp. 1342-1382, July 1988.
- [3] T. M. Schmidl and D. C. Cox, 'Robust frequency and timing synchronization for OFDM,' IEEE Trans. Comm., vol. 45, pp.1613-1621, Dec. 1997.
- [4] M. Morelli and U. Morelli, 'An improved frequency

offset estimator for OFDM applications,' IEEE Comm. Letters, vol. 3, pp. 75-77, Mar. 1999.

- [5] IEEE Std 802.11a: Wireless LAN medium access control(MAC) and physical layer(PHY) specifications: high-speed physical layer in the 5 GHz band, Dec. 1999.
- [6] S. Chang and E. J. Powers, 'Efficient frequency-offset estimation in OFDM-based WLAN systems', Electronics Lett, Vol. 39, Issue 21, 16 Oct. 2003.
- [7] J. Medbo and P. Schramm, 'Channel models for HIPERLAN/2 ETSI/BRAN contribution', 30 Mar. 1998.