

패킷 방식의 OFDM 시스템의 잔존 주파수 옵셋 추정

*조제일, **한동석

*경북대학교 전자공학과

*E-mail: {jeil004@palgong.knu.ac.kr}

Residual Frequency Offset Estimation in Packet Based OFDM System

*Jeil Jo, **Dong-Seog Han

*School of Electronic and Electrical Engineering,

Kyungpook National University

요약

본 논문은 패킷 방식의 OFDM(orthogonal frequency division multiplexing) 시스템에서 등화기 출력과 비터비 복호기 출력을 이용한 잔존 주파수 옵셋 추정 방법을 제안한다. 패킷 방식의 OFDM에서는 패킷의 앞 부분의 훈련열을 이용하여 한번 추정하기 때문에 시간이 지남에 따라 추정 오차에 의한 위상 회전이 축적된다. 이러한 위상 회전의 축적을 막기 위해 등화기 출력과 비터비 복호기의 출력에서 잔존 주파수 옵셋을 추정하여 매 심볼마다 보상한다. 잔존 주파수 옵셋의 추정은 먼저 첫 번째 심볼의 등화기 출력과 그것의 비터비 복호기 출력 사이에서 위상차를 구한다. 두 번째 심볼의 위상차도 처음 심볼과 같은 방법으로 구한다. 두 번째 구한 위상차는 이전 심볼의 위상차에서 잔존 주파수 옵셋의 영향이 더해져 있다. 이들 두개의 위상차의 차로부터 잔존 주파수 옵셋을 구할 수 있다. 이 방법은 전송된 데이터를 사용하여 추정하기 때문에 추가적인 훈련열을 사용하지 않고 매 심볼마다 보상을 할 수 있다는 장점이 있다.

1. 서론

OFDM(Orthogonal frequency division multiplexing)은 각각의 직교성을 가지는 부반송파에 데이터를 병렬로 고속 전송하는 방식이므로 단일 반송파 전송방식에 비해 주파수 옵셋에 민감하다. 주파수 옵셋이 존재하면 각 부반송파 간의 직교성이 유지 되지 못하고 부반송파간의 간섭이 일어나 신호의 왜곡이 발생한다[1]. 패킷 방식의 OFDM에서는 패킷의 앞 부분의 훈련열을 이용하여 한번 추정하기 때문에 시간이 지남에 따라 추정 오차에 의한 위상 회전이 축적된다. 따라서 패킷 방식의 OFDM 시스템은 주파수 옵셋 및 주파수 옵셋 추정 오차로 인하여 발생하는 잔존 주파수 옵셋에 의한 영향을 효과적으로 보상해야 한다.

본 논문에서 초점을 맞춘 IEEE 802.11a WLAN 시스템[2]은 OFDM을 기반으로 5GHz 주파수 대역에서 20MHz의 대역으로 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps의 전송률을 가지는 시스템이며 최대 전송 데이터 길이는 32,760비트이다. IEEE

802.11a WLAN은 패킷방식의 통신으로 신호 검출과 동기 및 등화를 위하여 10개의 짧은 훈련 심볼과 2개의 긴 훈련 심볼을 패킷의 앞부분에 먼저 전송한다. 최대 전송속도를 가지는 54Mbps 모드는 64-QAM을 사용하여 3/4의 부호화율을 가진다.

본 논문에서는 패킷방식의 IEEE 802.11a 무선 LAN 시스템에서 잔존 주파수 옵셋의 영향을 알아보고 잔존 주파수 옵셋을 효과적으로 줄이는 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 연속된 심볼의 등화기 출력과 판정된 출력의 위상차로부터 잔존 주파수 옵셋을 추정한다.

2. IEEE 802.11a WLAN 시스템의 주파수 옵셋 영향

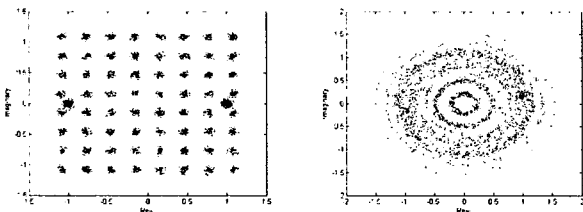
OFDM은 IFFT/FFT를 이용하여 서로 직교하는 부반송파에 데이터를 실어주어 병렬로 한번에 전송하는 방식이다. 따라서 각 부반송파 간의 직교성 유지가 필수적이다. OFDM은 송수신단 발진기간에 주파수 옵셋이 존재하면 주파수 영역

에서 신호 스펙트럼이 이동하고, 부반송파간의 직교성을 상실하여 부반송파간의 간섭으로 인한 왜곡이 발생하게 된다. 주파수오프셋이 존재할 때 k 번째 수신된 k 번째 부반송파 신호 $Y_{l,k}$ 는 다음과 같이 나타난다[3].

$$Y_{l,k} = X_{l,k} \left\{ \frac{\sin(\pi f_{\Delta})}{\sin(\pi f_{\Delta}/N)} \right\} e^{j\pi f_{\Delta}(N-1)/N} + \sum_{c \neq k} X_{l,c} \frac{1 - e^{j2\pi(c-k+f_{\Delta})}}{1 - e^{j2\pi(c-k+f_{\Delta})/N}} \quad (1)$$

여기서 $X_{l,k}$ 는 송신 심볼을 나타내고, N 은 부반송파 개수이다. 식 (1)의 오른쪽 첫 번째 항은 반송파 주파수 오프셋 f_{Δ} 로 인하여 k 번째 심볼, k 번째 부반송파 성분이 $\pi(1-1/N)f_{\Delta}$ 만큼의 위상 회전이 일어나고 크기가 $\sin(\pi f_{\Delta})/\sin(\pi f_{\Delta}/N)$ 만큼 줄어드는 것을 나타내고, 두 번째 항은 한 심볼 내의 k 번째 부반송파를 제외한 $(N-1)$ 개 부반송파들에 의한 간섭을 나타낸다. 추정 오차로 인한 잔존 주파수 오프셋도 식 (1)에서의 f_{Δ} 와 같이 하나의 주파수 오프셋으로 간주된다.

IEEE 802.11a WLAN에서 64-QAM을 이용하는 54Mbps 모드에서의 잔존 주파수 오프셋에 의한 영향은 그림 1과 같이 나타난다. 그림 1(a)의 잔존 주파수가 없을 때의 정상과 비교할 때, 잔존 주파수 오프셋으로 인한 부반송파간 간섭으로 인해 수신 신호가 왜곡된 정상은 그림 1(b)와 같이 나타난다.



(a) 잔존 주파수: 0 kHz (b) 잔존 주파수: 1 kHz
그림 1. 잔존 주파수 오프셋에 따른 수신 신호정상

3. 제안한 잔존 주파수 오프셋 추정

IEEE 802.11a WLAN에서 주파수 오프셋은 짧은 훈련심볼과 긴 훈련심볼을 가지고 ML(Maximum likelihood) 방법에 의해 추정 및 보상된다[4]. 이 방법은 신호 대 잡음 비(SNR, signal-to-noise ratio) 및 채널에 따라 추정 오차를 가지므로 추정 오차에 의해 잔존 주파수 오프셋이 남는다. 잔존 주파수 오프셋은 부 반송파간의 간섭을 발생시켜 크기를 왜곡시키고 심볼의 위상을 회전시킨다. 위상의 회전은 매 심볼마다 위상차로 나므로, 이 위상차로부터 잔존 주파수 오프셋을 추정할 수 있다.

본 논문은 등화기 출력과 비터비 복호기 출력을 이용하여 잔존 주파수 오프셋의 영향을 효과적으로 줄이는 알고리즘을 제안한다. 잔존 주파수 오프셋이 존재하는 경우 첫 번째 심볼의 등화기 출력과 그 출력을 비터비 복호기를 이용하여 다시 부호화하여 판정된 심볼 사이에 위상차가 존재하게 된다. 두 번째 심볼 또한 등화기 출력과 비터비 복호기를 이용하여 다시 부호화된 출력의 심볼 사이에 위상차가 존재하는데 이 때의 위상차는 잔존 주파수 오프셋에 의해 첫 번째 심볼의 위상차보다 더 크게 된다. 따라서 연속된 두 심볼의 등화기 출력과 복호기 출력의 위상차이로부터 잔존 주파수 오프셋을 추정하는 알고리즘을 제안한다. 위상차는 식 (2), (3)과 같이 추정할 수 있다.

$$\hat{\theta}_l = \tan^{-1} \left(\frac{\sum_{k=0}^{N-1} \text{Im}[Y_{l,k} \cdot \hat{Y}_{l,k}^*]}{\sum_{k=0}^{N-1} \text{Re}[Y_{l,k} \cdot \hat{Y}_{l,k}^*]} \right) \quad (2)$$

$$\hat{\theta}_{l+1} = \tan^{-1} \left(\frac{\sum_{k=0}^{N-1} \text{Im}[Y_{l+1,k} \cdot \hat{Y}_{l+1,k}^*]}{\sum_{k=0}^{N-1} \text{Re}[Y_{l+1,k} \cdot \hat{Y}_{l+1,k}^*]} \right)$$

$$\hat{\varepsilon}_l = \frac{1}{2\pi T_s D} (\hat{\theta}_{l+1} - \hat{\theta}_l) \quad (3)$$

여기서 T_s 는 샘플링 주기이며 D 는 임의의 상수이다. $\hat{Y}_{l,k}$ 은 수신심볼 $Y_{l,k}$ 의 복호기 출력을 나타낸다. $Y_{l,k}$ 와 $\hat{Y}_{l,k}$ 및 그 다음에 수신되는 $Y_{l+1,k}$ 와 $\hat{Y}_{l+1,k}$ 로부터 식 (2)와 같이 위상차 $\hat{\theta}$ 와 $\hat{\theta}_{l+1}$ 을 구한다. 식 (2)의 결과로부터 잔존 주파수 오프셋 $\hat{\varepsilon}$ 을 식 (3)과 같이 추정한다.

그림 2는 제안한 잔존 주파수 오프셋 추정 블록도를 나타낸다. 식(2), (3)으로부터 추정된 오프셋은 루프필터를 통해 매 심볼마다 추정 오프셋을 보상한다.

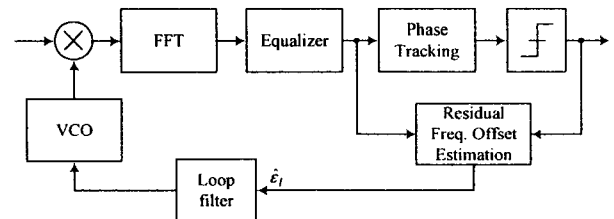


그림 2. 제안된 잔존 주파수 오프셋 추정 블록도

4. 실험 결과

제안한 알고리즘의 성능 분석을 위해 IEEE 802.11a WLAN 시스템에서 54Mbps 모드로 설정하고, 패킷의 최대 길이인 32,760비트의 데이터를 사용하여 실험하고 잔존 주파수 오프셋이 보상되지 않은 시스템과의 성능을 비트오율(BER, bit error rate)의 관점에서 비교하였다.

제안된 잔존 주파수 오프셋 추정 방식의 주파수 특성 곡선은 그림 3과 같고 선형 구간은 약 3kHz 이내이다. 선형구간이 3kHz 사이로 나타나는 이유는 3kHz 이상의 잔존 주파수 오프셋이 존재하는 경우 ICI(Inter carrier interference)로 인해 직교성이 상실되어 등화기가 제대로 동작하지 못하기 때문이다. 3kHz이내의 범위에서 잔존 주파수 오프셋을 추정하여 보상하였을 경우 그림 4와 같이 500Hz 이내로 잔존 주파수 오프셋을 줄일 수 있고, 500Hz 이하의 잔존 주파수 오프셋은 통계적으로 수신 성능에 영향을 미치지 않는다. 제안한 주파수 오프셋 보상 유무에 따른 BER을 그림 5에서 비교하였다. 그림 5에서와 같이 제안한 방식을 사용하였을 경우 오프셋 추정 범위 내에서의 BER 성능이 크게 개선된 것을 알 수 있다. 따라서 제안된 잔존 주파수 오프셋 추정 알고리즘은 IEEE 802.11a WLAN의 수신 성능 개선에 사용될 수 있을 것이다.

5. 결론

본 논문에서는 패킷 방식의 OFDM 시스템인 IEEE 802.11a WLAN에서 등화기 출력과 복호기 출력을 이용한 잔존 주파수 오프셋 추정 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 약 3kHz의 보상 범위를 가지며, 잔존 주파수 오프셋을 보상해 줌으로써 잔류 주파수 오프셋의 양을 크게 줄임으로써 수신 성능을 크게 향상 시켰다.

참고문헌

- [1] R. Nee and R. Prasad, *OFDM Wireless Multimedia Communications*, Artech House, Boston, 2000.
- [2] IEEE standard 802.11a, Supplement to IEEE standard for information technology telecommunications and information exchange between systems—local and metropolitan area networks—specific requirements. Part 11: wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY), Sep. 1999.
- [3] P. H. Moose, "A technique for orthogonal frequency division multiplexing frequency offset correction," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 42, pp. 2908–2914, Oct. 1994.
- [4] Chia-Sheng Peng, Juei-Ann Wen, "Synchronization

for Carrier Frequency Offset in Wireless LAN 802.11a System," in *Proc. WPMC*, vol. 3, pp. 1083–1087, Oct. 2002.

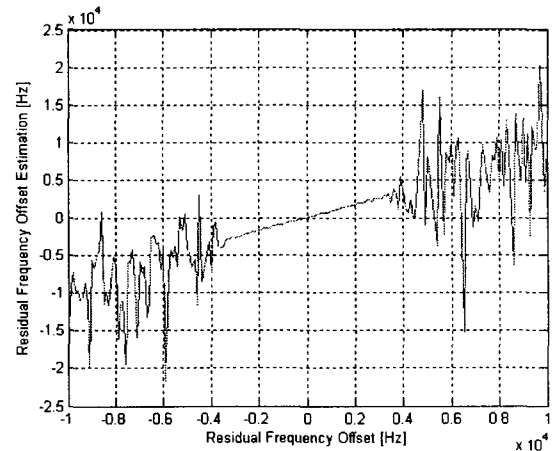


그림 3. 제안된 잔존 주파수 추정기의 특성 곡선

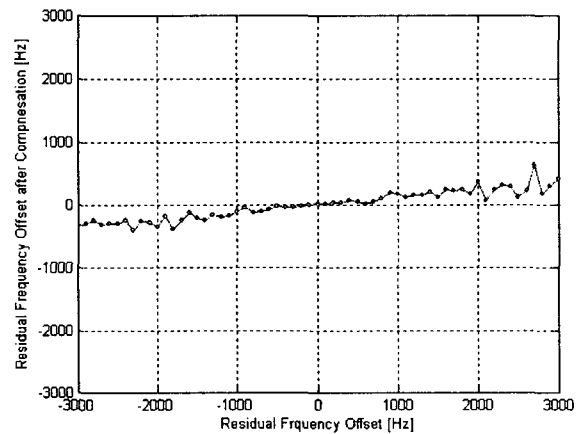


그림 4. 잔존 주파수 오프셋 보상 후의 잔류 주파수 오프셋

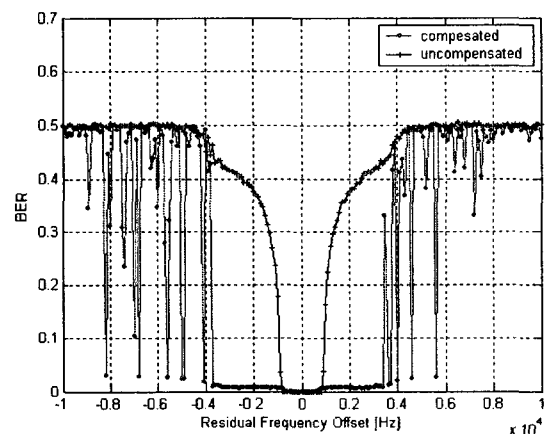


그림 5. 잔존 주파수 오프셋 보상 유무에 따른 BER 비교