

---

# OFDM 무선 멀티미디어 통신 시스템의 오율성능 향상을 위한 효율적인 샘플링 클럭 동기방식

김동옥\* · 윤종호\*

Efficient Clock Synchronization Schemes for Enhancing Error Performance of OFDM Wireless Multimedia Communication Systems

Dong Ok Kim\* · Chong Ho Yoon\*

## 요 약

본 논문에서는 OFDM 신호방식을 사용하는 무선채널 환경에서 무선 멀티미디어에 적합한 클럭 동기복원 알고리즘을 제안한다. 제안된 클럭 동기복원 알고리즘의 기본적인 접근은 수신기의 채널 추정기로부터 추정된 채널의 주파수 응답을 획득하여 IFFT를 통해 채널의 충격 응답 또는 다중 경로 강도 프로파일을 구하고 시간 영역에서 채널의 에너지가 집중된 일정 범위의 위치를 추적하는 것이다. 또한, 샘플링 클럭 오프셋이  $\pm 1 \sim 3$  샘플 있는 경우 64-QAM, 16-QAM의 성좌점을 분석하고, BER 성능을 확인한 결과 최적 샘플 지점에서의 성좌점과 BER 성능에 비하여 2 샘플 이상의 오프셋이 발생했을 경우에는 심한 성능 열화가 나타나는 것을 확인하였고, 시뮬레이션 결과로부터, 제안된 알고리즘이 주파수 선택적 페이딩 채널 하에서도 우수한 동기특성을 제공할 수 있다.

## ABSTRACT

In this paper, we propose the synchronization recovery algorithm which is suitable to wireless Multimedia of wireless channel situation which is being used OFDM signaling method. The basic of the suggested clock synchronization restoration Algorithm is to getting the shock response of channel or getting the multipath strength profile through IFFT after the getting the frequency, response of deducted channel from channel deductor of receiver and to trace the location in the channel energy concentrated area of timing area. And it also analysis the start point of 64-QAM and 16-QAM if the sampling clock offset has the sample of  $\pm 1-3$ , and we identified the occurrence of performance deterioration when occurs more than 2 samples of offset to compare with star point and BER performance in optimum sampling point result of BER performance checking, and we know that the recovery algorithm proposed algorithm also provide excellent synchronization characteries under frequency, selecting fading channel as result of simulation.

## 키워드

synchronization, OFDM, symbol

## 1. 서론

OFDM 시스템에서의 타이밍 동기(time synchronization)는 정확한 신호의 병렬처리를 위한 FFT(fast Fourier transform)윈도우 위치 복원과 ADC의 미세한 샘플링 클럭을 제어하는 샘플링 클럭 복원으로 구성된다. OFDM 방식의 특성상 FFT 윈도우 위치 복원은 시간영역에서 보호구간을 이용하는 대략적인 윈도우 위치 복원과 FFT 블록 이후 파일럿의 위상 회전량을 이용하는 미세 윈도우 위치 복원으로 나누어지나 IEEE 802.11a에서는 프레임 동기를 위하여 프리앰블의 짧은 훈련 신호(short training symbol)를 사용한다<sup>[1][2][5]</sup>. 샘플링 클럭 복원은 매 심볼마다 주기적으로 삽입되는 파일럿의 위상 회전량을 이용하여 미세한 샘플 오차를 보상해야 한다<sup>[3][4]</sup>.

따라서 본 논문에서는 OFDM 신호방식을 사용하는 무선채널 환경에서 무선 LAN에 적합한 클럭 동기복원 알고리즘을 제안한다. 제안된 클럭 동기복원 알고리즘의 기본적인 접근은 수신기의 채널 추정기로부터 추정된 채널의 주파수 응답을 획득하여 IFFT를 통해 채널의 충격 응답 또는 다중 경로 강도 프로 파일을 구하고 시간 영역에서 채널의 에너지가 집중된 일정 범위의 위치를 추적하는 것이다. 본 논문에서는 샘플링 클럭 오프셋이 ±1~3 샘플 있는 경우 64-QAM, 16-QAM의 성좌점을 분석하고, BER 성능에 대해 모의 실험을 하였고 또한, 최적 샘플 지점에서의 성좌점과 BER 성능에 비하여 2 샘플 이상의 오프셋이 발생했을 경우의 성능 열화에 대해 성능 분석을 하였다.

본 서론에 이어, 제II장에서는 클럭동기 알고리즘에 대한 설명을 간단히 보였으며, III장에서는 본 논문에서 제안한 클럭 동기 알고리즘의 기본적인 접근 방법을 기술한다. IV장에서는 제안한 방법에 대한 모의실험에 따른 성능분석과 실험 결과에 대하여 고찰하였으며, 마지막으로 V장에서는 결론을 제시한다.

## II. 클럭 동기 알고리즘

### 2.1. 클럭 동기 알고리즘

샘플링 클럭 동기 알고리즘은 FFT 윈도우 위치 복원이 이루어진 상태에서 ADC의 미세한 샘플오차를 보상하는 과정이다. 무선 인터넷용 64-FFT 샘플링 클럭 동기 알고리즘의 전반적인 구조를 그림 1에 나타내었다. 샘플링 클럭 동기 알고리즘의 핵심 요소는 FFT 이후 파일럿 부반송파에 나타나는 위상 정보량을 이용하는 것이다.

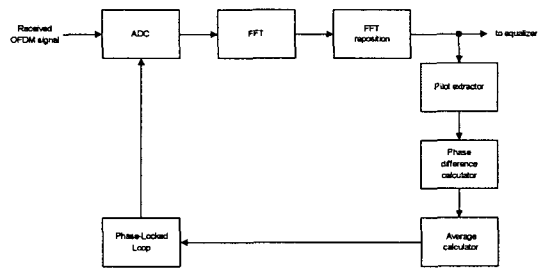


그림 1. 클럭 동기 알고리즘의 구조

파일럿 부반송파는 송,수신단간에 정확한 위치와 값을 알고 있으므로 랜덤한 신호에 의하여 나타나는 샘플 오프셋의 위상 회전량을 추정한다. ADC의 미세한 샘플 오차를 보상하는 샘플링 클럭 복원 알고리즘은 매 심볼마다 주기적으로 삽입되는 4개의 파일럿 부반송파를 사용한다. IEEE 802.11a 프리앰블 규격을 참고로 설계한 OFDM 프레임은 데이터용 부반송 파로 -26~-22, -20~-8, -6~-1, 1~6, 8~20, 22~26 번호의 48개를 사용하며 파일럿용으로는 -21, -7, 7, 21의 4개 부반송파를 사용한다.

샘플링 클럭 오프셋은 첫 번째 샘플의 최적 샘플링 지점과 실제 샘플링 지점간의 타이밍 오류로 정의되며, 첫 번째 샘플의 타이밍 오프셋  $\Delta t$ 에 의한  $k$ 번째 부반송파에 발생하는 위상 회전량은 식(1)과 같다<sup>[6]</sup>.

$$\phi_k = \frac{k}{T_u} \times 2\pi \times \Delta t \quad (1)$$

$k$ 는 부반송파의 번호를  $-N/2$ 부터  $N/2$ 까지로 생각하면, 파일럿 부반송파의 위치는 21, 7, -7, -21 (11, 25, 39, 53)의 위치에 있다. 샘플링 클럭 오프셋이 발생하였을 경우 파일럿 쌍간의 위상 회전량을 추정하고 이 값을 PLL(Phase-Locked Loop)을 통하여 샘플 오프셋의 위상 회전량을 추정하는 것이다.

### III. 제안한 클럭동기 알고리즘 방법

일반적으로 OFDM 시스템에서 심볼간 간섭에 대한 보호구간의 완충 작용을 최대로 이용하기 위해서는 클럭 동기는 최선행 도착 경로를 기준으로 이뤄져야 하지만 기존의 알고리즘들의 경우 근본적으로 AWGN 채널 환경에 기반하고 있어 다중 경로 채널의 특성에 따라 FFT 윈도우가 최선행 도착 경로를 추적하지 않고 대신 각 알고리즘이 정한 기준에 따라 다중 경로 강도 프로파일(multipath intensity profile)중의 한 평형점을 향해 수렴하게 된다. 따라서 앞에서 언급한 심볼간 간섭에 의한 OFDM 수신기의 성능 열화가 발생하는 문제가 여전히 존재한다.

이러한 동기 알고리즘을 적용한 OFDM 수신기의 경우 상대적으로 매우 큰 강도를 가지는 최선행 도착 직선 경로가 존재하는 라이시안 페이딩 채널(Ricean fading channel)에서는 심볼간 간섭이 발생하지 않지만, 다중 경로 확산 지연이 상당히 길고 각 경로의 강도가 지연에 따라 충분히 감소하지 않는 채널에서는 결과적으로 심볼간 간섭을 유발하는 심볼 시간 오차가 발생하여 성능의 열화가 나타나게 되며, 무선인터넷용 64-FFT 샘플링 클럭 동기 알고리즘은 선행 샘플링 클럭 오프셋이 16 샘플 발생했을 경우 PLL을 통하여 11 심볼 정도가 지난 시점에서 최적 샘플링 지점으로 수렴한다. 즉, 이 과정에서 약 10 심볼 정도의 데이터는 심각한 데이터 손실을 유발하므로 이 부분에 대한 개선책이 요구되고 있다.

따라서, 본 논문에서 제안하는 클럭 동기 알고리즘의 기본적인 접근은 수신기의 채널 추정기로부터 추정된 채널의 주파수 응답을 획득하여 IFFT를 통해 채널의 충격 응답 또는 다중 경로 강도 프로파일을 구하고 시간 영역에서 채널의 에너지가 집중된 일정 범위의 위치를 추적하는 것이다. 채널이 가지는 전체 에너지는 채널의 최대 다중 경로 확산 지연의 시간 범위 내에 집중되어 있으며 일반적으로 이 시간 범위는 OFDM 시스템의 보호구간 길이보다 짧다고 전제할 수 있다. 따라서, IFFT를 통해 구한 채널의 충격 응답을 보호구간 길이의 이동 윈도우를 이용하여 윈도우 내에 포함된 채널의 충격 응답 샘플들의 에너지가 최대가 되는 윈도우의 위치에서 심볼 시간 동기를 획득할 수 있다.

여기서 심볼 시간 동기에 의한 잔류 심볼 시간 오차의 크기가 보호구간 길이 이내임을 전제하면 IFFT를 통해 관찰해야하는 채널의 에너지가 위치할 가능성이 있는 유효한 시간 범위는 보호구간 길이의 2배로서 충분하다. 결과적으로 본 알고리즘에서 요구되는 IFFT의 폭은  $2N_g$ 가 되며 여기에 해당하는 채널의 충격 응답을 얻기 위해서는 주파수 영역에서 채널의 주파수 응답을  $N/2N_g$  간격으로 취하여  $2N_g$  폭의 IFFT를 수행하면 된다.

시간 영역에서의 충격 응답은 본래 채널 충격 응답이 지연된 형태를 가지며 AWGN과 심볼간 간섭에 의한 추가잡음 등 모든 잡음을 무시하면 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$h[n] = h_r[n] \quad (0 \leq n \leq 2N_g - 1) \quad (2)$$

$$= 0 \quad (2N_g \leq n \leq n-1) \quad (3)$$

위의 충격 응답  $h[n]$ 에서 본 알고리즘에 실제로 영향을 미치는 부분은 식 (2)에 해당하는 부분으로  $h_r[n]$ 을 구하기 위해 필요한 채널의

주파수 응답은 다음과 같다.

$$H_r[k] = DFT_{2N_g} \{h_r[n]\} \quad (4)$$

$$= \sum_{n=0}^{N-1} h_r[n] \cdot e^{-j \frac{2\pi}{N} n (\frac{N}{2N_g} k)} \quad (5)$$

$$= DFT_N \{h_r[n]\} \Big|_{\frac{N}{2N_g} k} \quad (6)$$

$$= H \left[ \frac{N}{2N_g} k \right] \quad (7)$$

위의 식들로부터 구해진 최종적인 심볼 시간 오차 추정은 다음의 수식으로 주어진다.

$$\hat{\eta} = \arg \max_n \left\{ \sum_{i=0}^{N_g-1} |h_r[(i+n) \bmod 2N_g]|^2 \right\} \quad (8)$$

심볼 시간 동기 복원은 앞에서 이루어진 채널 추정의 결과를 이용하여 낮은 복잡도의 IFFT를 통해 시간 영역에서 다중 경로 채널이 가지는 에너지의 영역을 추적하여 심볼 간 간섭을 최소화시키는 최적의 FFT 윈도우의 위치를 OFDM 심볼 단위로 결정한다.

IV. 성능분석결과

본 논문에서 제안한 클럭 동기 알고리즘의 성능 분석을 위해 샘플링 클럭 오프셋에 따른 성좌점과 BER 성능에 대해 모의실험을 수행하였다.

성능분석 모의 실험은 초기에 최적 샘플 지점을 포착한 이후 정상상태 지터량이 1샘플 이하의 값을 갖는 8.5E-2를 LPF 이득으로 정하여 성능평가를 수행하였으며, 성능평가를 위한 환경으로는 SNR이 10, 20, 30[dB], sampling timing offset은 선행 15 sample offset로 하였다. 그림 2는 클럭 복원 알고리즘의 추적 성능곡선을 나타낸다.

샘플링 클럭 복원 알고리즘의 추적 성능을 살펴보면, 최적 샘플 지점으로 수렴하기까지 복원 알고리즘 방식의 경우 약 11심볼 정도가 소요된다. 이 과정에서 프리엠블을 제외한 9심볼 정도의 데이터는 심각한 손실을 유발하기 때문에 초기 수렴속도의 증가를 위하여 제안한 방식으로 첫 번째 심볼을 통하여 대략적인 프레임 동기를 수행하여 잔류된 샘플링 클럭 오프셋을 1~2 샘플 이내로 줄여주고 PLL을 통하여 제안한 방식으로 최적 샘플링 지점을 찾는다. 기존 방식과 비교하여 최적 지점까지 수렴하는데 약 2~3 심볼 정도면 가능하기 때문에 7~8 심볼의 데이터 손실을 막을 수 있다.

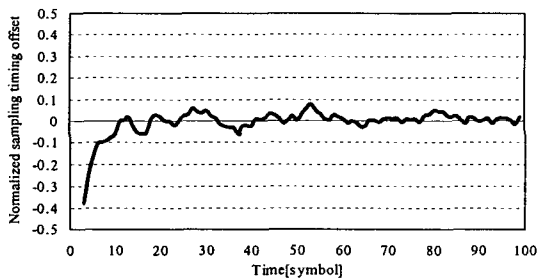
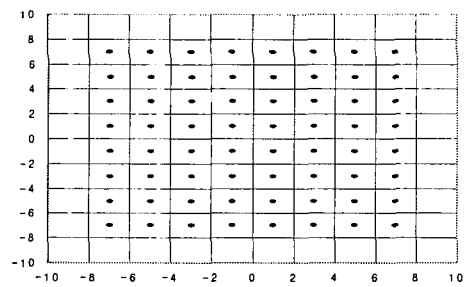


그림 2. 클럭 복원 알고리즘 추적성능곡선

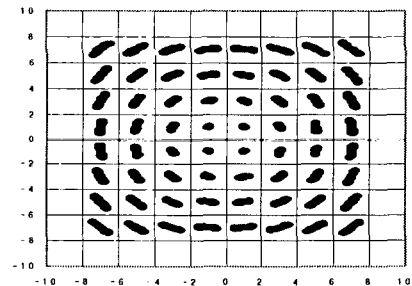
Fig. 8 The error rate characteristic using segment interpolation techniques in when the pilot rate is one third

무선인터넷용 64-FFT 부반송파의 샘플링 클럭 오프셋에 따른 성좌점의 변화와 BER 성능을 통하여

ADC 블록의 미세한 샘플링 클럭 오프셋이 전체 시스템에 미치는 영향을 살펴보았다. 그림 3, 4는 잡음이 없는 환경에서 샘플링 클럭 오프셋이 있는 경우 64-QAM, 16-QAM의 성좌점 변화를 OFDM 수신기에 수신된 64개의 부반송파를 통하여 성좌점으로 나타내었다.

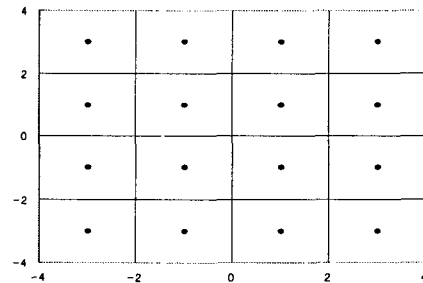


(a) 최적 샘플

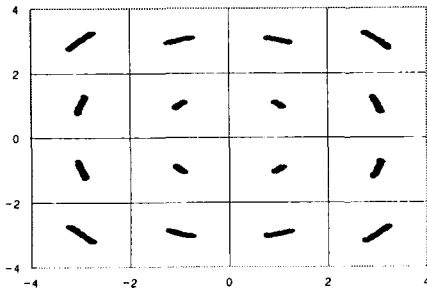


(b) ±1 샘플 오프셋

그림 3. 64-QAM의 샘플 오프셋에 따른 성좌점



(a) 최적 샘플



(b)  $\pm 1$  샘플 오프셋

그림 4. 16-QAM의 샘플 오프셋에 따른 성좌점

그림 3, 4는 ADC가 부반송파의 최적 샘플지점을 샘플링 할 때의 성좌점과 비교하여 샘플링 클럭 오프셋이  $\pm 1 \sim 3$  샘플 있는 경우 64-QAM과 16-QAM의 성좌점이 최적 지점으로부터 위상 회전이 발생하는 것을 알 수 있다. 이러한 샘플링 클럭 오프셋에 따른 성좌점의 변화에 따라 초기 2 샘플 이상의 샘플링 클럭 오프셋이 발생했을 경우 BER 성능에도 심각한 영향을 주게된다. 그리고 그림 5, 6은 샘플링 클럭 오프셋에 따른 BER 성능 곡선을 64-QAM, 16-QAM의 경우를 나타내었다.

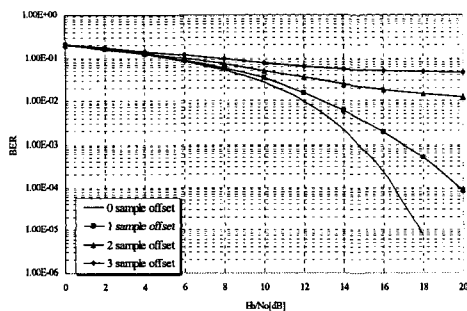


그림 5. 샘플 오프셋에 따른 64-QAM의 BER 성능특성

샘플링 클럭 오프셋에 따른 BER 성능 곡선을 살펴보면, 성좌점에서 확인한 것과 같이 BER 성능에서도 최적 샘플링 지점의 이론적인 BER 곡선에 비하여 2 샘플 이상의 오프셋이 발생했을 경우 BER 성능이 심하게 열화되는 것을 볼 수 있다. 따라서 무

선인터넷용 64-FFT 샘플링 클럭 동기 알고리즘은 샘플링 클럭 오프셋이 발생했을 경우 빠른 포착이 요구된다.

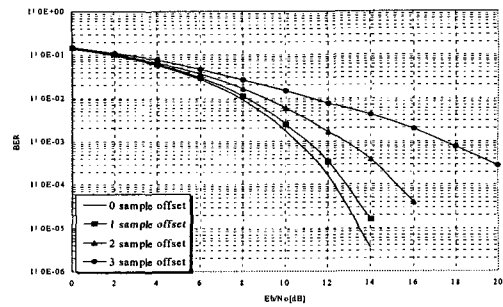


그림 6. 샘플 오프셋에 따른 16-QAM의 BER 성능특성.

그림 7은 본 논문에서 제안한 알고리즘과 기존 알고리즘의 성능을 비교 분석한 결과 BER이  $10^{-3}$  일 때 64-QAM에서 약 2dB 정도 성능 개선됨을 확인하였다.

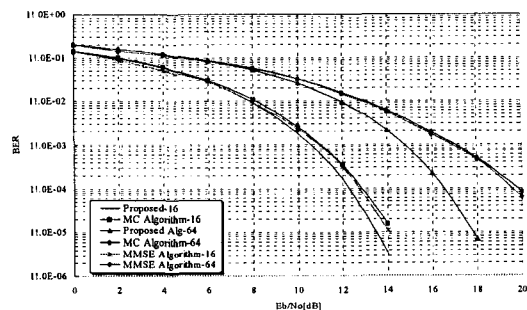


그림 7. 16-QAM 64-QAM의 SNR에 따른 특성.

## V. 결론

본 논문에서는 OFDM 신호방식을 사용하는 무선 채널 환경에서 무선 멀티미디어에 적합한 클럭 동기 복원 알고리즘을 제안하였다. ADC가 부반송파의 최적 샘플지점을 샘플링 할 때의 성좌점과 비교하여 샘플링 클럭 오프셋이  $\pm 1 \sim 3$  샘플 있는 경우 64-QAM과 16-QAM의 성좌점이 최적 지점으로부터

터 위상 회전이 발생하는 것을 알 수 있었고, 또한, BER 성능을 확인한 결과 최적 샘플 지점에서의 성좌점과 BER 성능에 비하여 2 샘플 이상의 오프셋이 발생했을 경우에는 심한 성능 열화가 나타나는 것을 확인하였다.

본 논문에서 제안하는 동기 알고리즘은 심볼간 간섭에 의해 추가되는 잡음을 최대한 억제하여 채널 추정을 위해 높은 신뢰도가 요구되는 수신 파이릿 심볼의 성능을 개선 할 수 있음을 확인하였으며, 제안한 알고리즘이 기존 알고리즘의 성능보다 BER이  $10^{-3}$  일때 64-QAM에서 약 2dB 정도 성능 개선됨을 확인하였다.

본 논문에서 얻어진 알고리즘으로 무선 환경에서 동기 알고리즘을 정확히 해석하는데 유용하게 적용될 수 있으리라 기대되며, 실시간 통신 및 신뢰성이 요구되는 통신 시스템에 적용할 수 있으리라 본다.

### 참고문헌

[1] L.E. Franks, "Carrier and bit synchronization in data communication a tutorial review, " IEEE Trans. on Commun., vol. COM-28, no. 8, pp. 1107-1120, Aug. 1980.

[2] H.C. Osborne, "A generalized polarity type costas loop for tracking mpsk signals, " IEEE Trans. on Commun., vol. COM-30, no.10, pp. 2289-2296, Oct. 1982.

[3] T. Pollet, P. Spruyt, and M. Moeneclaey, "The BER performance of OFDM systems using non-synchronized sampling," in Proc. GLOBECOM, pp.253-257, 1994.

[4] R. Van Nee, "A new OFDM standard for high rate wireless LAN in the 5GHz band," in proc. IEEE VTC'99, vol. 1, pp.258-265, Sept.,1999.

[5] 김동욱, "무선디지털 수신기를 위한 보간방식의 반송파 동기 방법", 전자정보통신공학 논문지, Vol.7, No.2, pp. 55-67, Dec. 2001.

[6] S. U. Zaman and K. W. Yates, "Multitone synchronization for fading channels," in Proc. ICC'94, pp. 946-949, 1994.

[7] H.C. Osborne, "A generalized polarity-type costas

loop for tracking mpsk signals," IEEE Trans. on Commun., vol. COM-30, no.10, pp. 2289-2296, Oct. 1982.

[8] T. M. Schmidl and D. C. Cox, "Robust frequency and timing synchronization for OFDM," IEEE Trans. Commun., vol. 45, no. 12, June.1997.

[10] Loke Kun Tan and Henry Samueli, "A 200MHz quadrature digital synthesizer /mixer in 0.8um CMOS," IEEE J. Solid-State Circuits., vol. 30, no.3, pp. 193-200, Mar. 1995.

[11] Floyd M. Gardner, "Interpolation in digital modems-part ii: Implementation and performance," IEEE Trans. on Commun, vol. 41, no. 6, pp. 998-1008, June. 1993.

### 저자소개



김동욱(Dong-Ok Kim)

1990년 서울산업대학교 전자공학과 공학사  
1990년 광운대학교 대학원 전자통신 공학과 공학석사  
2001년 항공대학교 항공통 신정보과 대학원 공학박사

※ 관심분야: 통신시스템, Network System, Wireless Communication. 신호처리



윤종호(Chong Ho Yoon)

1980년 한양대학교 전자공학과 졸업 (공학사)  
1982년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학석사)  
1984년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박사)

1995년 8월 ~ 1996년 8월 University of Arizona 방문교수  
1991년 8월 ~ 현재 한국항공대학교 항공통신정보 공학과 정교수