

# 주기도표를 이용한 새로운 OFDM 주파수 오프셋 추정 알고리즘

준회원 안상호\*, 송정한\*, 이명수\*,  
정회원 이성로\*\*, 정민아\*\*, 최명수\*\*, 이진석\*\*\*, 종신회원 윤석호\*,°

## A Novel OFDM Frequency Offset Estimation Algorithm Using a Periodogram

Sangho Ahn\*, Chonghan Song\*, Myungsoo Lee\* *Associate Members*,  
Seong-Ro Lee\*\*, Min-A Jung\*\*, Myeong-soo Choi\*\*, Jin-Seok Lee\*\*\* *Regular Members*,  
Seokho Yoon\*,° *Lifelong Member*

### 요 약

본 논문에서는 직교 주파수 분할 다중화 (orthogonal frequency division multiplexing: OFDM) 시스템에서 주기도표를 이용한 새로운 주파수 오프셋 추정 기법을 제안하였다. 기존 Ren 기법에서는 잡음이 존재하는 환경에서 실제 주파수 오프셋과 정수 주파수 오프셋 추정치의 차이가 Ren 기법의 소수 및 나머지 주파수 오프셋 추정 단계에서 추정할 수 있는 범위보다 큰 경우가 자주 존재하여, 기법의 성능을 떨어뜨리는 문제점이 있었다. 본 논문에서는 Ren 기법의 소수 주파수 오프셋 추정 단계에서의 보상 범위보다 더 넓은 범위를 보상하는 새로운 주파수 오프셋 추정 기법을 제안하였다. 제안한 주파수 오프셋 추정 기법은 Ren 기법의 소수 주파수 오프셋 추정 단계보다 넓은 추정 범위를 갖기 때문에, 잡음이 있는 환경에서 Ren 기법이 전혀 보상할 수 없었던 주파수 오프셋과 정수 주파수 오프셋 추정치의 차이를 보상할 수 있다. 모의실험 결과, 전체 주파수 오프셋 추정 성능이 Ren 기법보다 우수함을 확인하였다.

**Key Words :** Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM), Periodogram, Frequency offset, Estimation

### ABSTRACT

A novel frequency offset estimation scheme using a periodogram is proposed for orthogonal frequency division multiplexing (OFDM) systems. A conventional scheme proposed by Ren has a problem that the fractional and residual frequency offset estimation steps do not compensate for the difference between the real frequency offset and estimated integer frequency offset in the noise channel. So, the frequency offset estimation performance of Ren's scheme is degraded. In this paper, a frequency offset estimation scheme is proposed, which has a larger estimation range than that of the fractional and residual frequency offset estimation steps in Ren's scheme. The proposed scheme can compensate for the difference between the real frequency offset and estimated integer frequency offset, unlike Ren's scheme. From the simulation results, we can observe that the performance of the proposed scheme is better than that of Ren's scheme.

\* 본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업 (IITA-2009-C1090-0902-0010) 및 교육과학기술부와 한국 산업기술재단의 지역혁신인력양성사업(2차년도)의 연구결과로 수행되었음  
\* 성균관대학교 정보통신공학부 (° : 교신저자), syoon@skku.edu), \*\*목포대학교 정보공학부, \*\*\*정보통신연구진흥원  
논문번호 : KICS2008-09-426, 접수일자 : 2008년 9월 30일, 최종논문접수일자 : 2008년 12월 29일

## I. 서론

직교 주파수 분할 다중화 (orthogonal frequency division multiplexing: OFDM) 기술은 주파수 효율이 높고 다중경로 페이딩에 강인하기 때문에 무선 통신 표준 변조 방식으로 널리 사용되어 왔다<sup>[1]</sup>. 그러나 OFDM 기술은 도플러 (Doppler) 효과 및 발진기의 불안정성에 의한 주파수 오프셋에 굉장히 민감하며, 이로 인해 이 기술의 가장 중요한 특성인 부반송파 사이의 직교성이 파괴될 수 있다<sup>[2]</sup>. 따라서 OFDM 시스템에서 주파수 오프셋 추정은 매우 중요한 문제 중 하나이며, 현재까지 OFDM 시스템을 위해 많은 주파수 오프셋 추정 기법들이 연구되어왔다<sup>[3-6]</sup>. 여러 연구 결과들 중, 대부분의 기법들은 시간 영역의 하나의 혼련 심볼 내에서 반복되는 부분 사이의 위상차를 이용하여 주파수 오프셋을 추정하였다. 이 기법들은 혼련 심볼의 반복되는 부분의 수를 증가시킴으로써 주파수 오프셋 추정 범위를 넓히지만, 추정 범위를 늘릴수록 기법의 성능이 저하되기 때문에 일정한 성능을 갖기 위해서는 주파수 오프셋 추정 범위가 제한되는 단점이 있었다.

최근에, 위의 기법들을 보완한 주파수 오프셋 추정 기법이 Ren에 의해 제안되었다<sup>[7]</sup>. 이 기법은 하나의 혼련 심볼을 이용하여 주파수 오프셋 추정 성능의 저하 없이 신호의 대역폭 전 범위에 걸쳐서 주파수 오프셋을 추정할 수 있으며, 혼련 심볼 디자인에 관계없이 주파수 오프셋을 추정하였다. 대부분의 기법들이 일반적으로 정수 주파수 오프셋 (integer frequency offset) 추정, 소수 주파수 오프셋 (fractional frequency offset) 추정의 두 단계로 주파수 오프셋을 추정하는 것에 반해 이 기법은 기존의 단계에 나머지 주파수 오프셋 (residual frequency offset) 추정이라는 새로운 추정 단계를 추가하여 기존의 기법들보다 더 높은 주파수 오프셋 추정 정확도를 나타내었다. 하지만, 잡음이 존재하는 환경에서 실제 주파수 오프셋과 추정된 정수 주파수 오프셋의 차이가 Ren 기법의 소수 및 나머지 주파수 오프셋 추정 단계에서 추정할 수 있는 범위보다 큰 경우가 자주 존재하여, 기법의 성능이 저하되는 문제점이 있었다.

본 논문에서는 Ren 기법의 소수 주파수 오프셋 추정 단계를 대신할 새로운 주파수 오프셋 추정 기법을 제안하였다. 제안한 주파수 오프셋 추정 기법은 수신 신호의 주기도표를 이용하여 Ren 기법의 소수 주파수 오프셋 추정 단계보다 넓은 범위의 주파수 오프셋을

추정한다. 그러므로 제안한 기법은 Ren 기법의 소수 주파수 오프셋 추정 단계에서는 전혀 보상하지 못했던 주파수 오프셋과 추정된 정수 주파수 오프셋의 차이를 추정할 수 있으며, 그 결과 Ren 기법보다 우수한 성능을 나타낸다.

본 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 OFDM 시스템의 신호 모형을 설명하며, III장에서는 Ren 기법의 문제점 및 본 논문에서 제안한 새로운 주파수 오프셋 추정 기법에 대해 소개한다. 그리고 IV장에서 모의실험을 통한 Ren 기법과 제안한 기법간의 성능을 비교, 분석한 뒤, 마지막으로 V장에서 본 논문의 결론을 내린다.

## II. 신호 모형

시간 영역에서, OFDM 심볼은 역 고속 푸리에 변환에 (inverse fast Fourier transform: IFFT) 의해 다음과 같이 표현 된다.

$$x_n = \sum_{k=0}^{N-1} c_k e^{j2\pi kn/N}, n=0,1,2, \dots, N-1. \quad (1)$$

여기서  $c_k$ 는  $k$ 번째 부반송파의 위상 편이 변조 (phase shift keying: PSK) 또는 직교 진폭 변조 (quadrature amplitude modulation: QAM) 심볼이며,  $N$ 은 IFFT의 크기이다. 다중경로 채널 환경에서, 주파수 오프셋이 있을 때 수신된 신호  $r_n$ 은 다음과 같다.

$$r_n = \sum_{m=0}^{L-1} h_m x_{n-m} e^{j2\pi \epsilon n/N} + w_n. \quad (2)$$

여기서  $\epsilon$ 은 부반송파 간격  $1/N$ 으로 정규화 된 주파수 오프셋으로, 정수 주파수 오프셋  $\epsilon_I$  및 소수 주파수 오프셋  $\epsilon_f$ 로 구성되어있으며,  $\epsilon = \epsilon_I + \epsilon_f$ 을 만족한다.  $w_n$ 은 평균이 0, 분산이  $\sigma_w^2$ 인 복소 덧셈곱 백색 정규 잡음이고 (additive white Gaussian noise: AWGN),  $h_m$ 은 채널 임펄스 응답,  $L$ 은 다중 경로의 개수이다.

본 논문에서는 Ren 기법과 마찬가지로 혼련 심볼 구조에 독립적으로 주파수 오프셋을 추정하기 위하여 포락선 균등 과정으로 (envelope equalized processing: EEP) 균등화된 신호  $r'_n$ 을 사용한다. EEP 성분  $\rho_n$ 은  $x_n^* / \|x_n\|^2$ 으로 정의되며, 다음과 같이 수신된 신호에 곱해져서  $r'_n$ 을 형성한다.

$$\begin{aligned}
 r'_n &= r_n \cdot \rho_n & (3) \\
 &= \left[ \sum_{m=0}^{L-1} h_m x_{n-m} e^{j2\pi\epsilon n/N} + w_n \right] \rho_n \\
 &= h_0 x_n e^{j2\pi\epsilon n/N} \frac{x_n^*}{\|x_n\|^2} \\
 &\quad + \sum_{m=1}^{L-1} h_m x_{n-m} e^{j2\pi\epsilon n/N} \rho_n + w_n \rho_n \\
 &= h_0 e^{j2\pi\epsilon n/N} + w'_n
 \end{aligned}$$

여기서  $w'_n = \sum_{m=1}^{L-1} h_m x_{n-m} e^{j2\pi\epsilon n/N} \rho_n + w_n \rho_n$  이다. (3)

으로부터 알 수 있듯이, 수신된 신호  $r_n$  에 있는 신호 성분  $x_n$  이 포락선 균등 과정 성분  $\rho_n$  에 의하여 사라지므로, 혼련 심볼 구조에 관계없이 주파수 읍셋을 추정할 수 있게 된다. 본 논문에서는 신호 성분이 제거된 신호  $r'_n$  을 이용하여, 새로운 주파수 읍셋 추정 기법을 제안하고자 한다.

### III. 제안한 기법

그림 1은 Ren 기법의 주파수 읍셋 추정 구조를 나타낸다. 그림으로부터 알 수 있듯이, Ren 기법은 정수 주파수 읍셋 추정, 소수 주파수 읍셋 추정, 나머지 주파수 읍셋 추정의 3단계를 통해 주파수 읍셋을 추정한다. 일반적으로 주파수 읍셋 추정 단계는 정수 주파수 읍셋 추정, 소수 주파수 읍셋 추정의 2 단계로 이루어져 있지만, Ren은 나머지 주파수 읍셋 추정 단계를 추가하여 좀 더 정확한 소수 주파수 읍셋을 추정하였다. 정수 주파수 읍셋, 소수 주파수 읍셋 그리고 나머지 주파수 읍셋의 추정치는 각각  $\hat{\epsilon}_f, \hat{\epsilon}_r, \hat{\epsilon}_l$  으로 나타내며, 다음과 같이 구해진다.

$$\hat{\epsilon}_l = \arg \max_{f_k} [ |I(f_k)|^2 + |I(f_k+1)|^2 ], \quad (4)$$

$$\hat{\epsilon}_f = \frac{|I(\hat{\epsilon}_f+1)|}{|I(\hat{\epsilon}_f)| + |I(\hat{\epsilon}_f+1)|}, \quad (5)$$

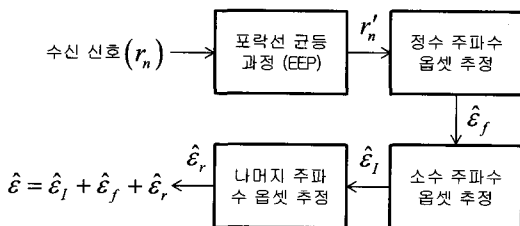


그림 1. Ren 기법의 주파수 읍셋 추정 구조도

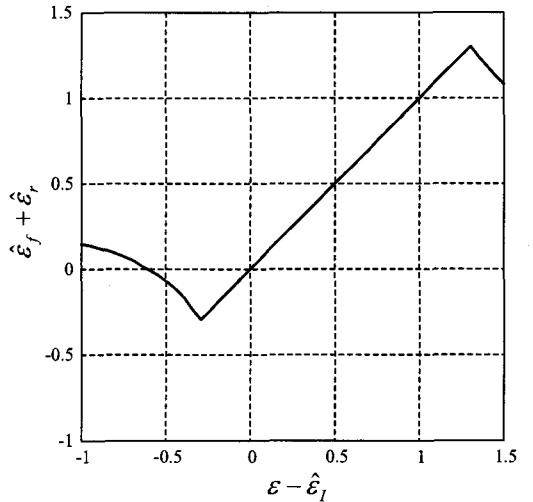


그림 2. 주파수 읍셋과 정수 주파수 읍셋 추정치의 차이에 따른 Ren 기법의 소수 및 나머지 주파수 읍셋 추정 단계에서의 보상 범위 ( $\epsilon = 1.3$ )

$$\hat{\epsilon}_r = \frac{|I(\hat{\epsilon}_f + \hat{\epsilon}_r + 0.5)| - |I(\hat{\epsilon}_f + \hat{\epsilon}_r - 0.5)|}{2(|I(\hat{\epsilon}_f + \hat{\epsilon}_r + 0.5)| + |I(\hat{\epsilon}_f + \hat{\epsilon}_r - 0.5)|)}. \quad (6)$$

$$\hat{\epsilon}_l = \hat{\epsilon}_f + \hat{\epsilon}_r + \hat{\epsilon}_l \quad (7)$$

여기서  $(\hat{\cdot})$ 은  $(\cdot)$ 의 추정 값이며,  $|I(f_k)|^2$ 는  $\{r'_n\}_{n=0}^{N-1}$ 의 주기도표로서,  $|I(f_k)|^2 =$

$$\left| \sum_{n=0}^{N-1} r'_n e^{-j2\pi f_k n/N} \right|^2$$

로 정의된다. 그리고 정수 주파수 읍셋 후보들의 집합인  $f_k$ 는  $f_k = -\frac{N}{2} + k, k=0, 1, 2, \dots, N$ 으로 정의한다.  $|I(f_k)|$ 의 범위는  $0 \leq |I(f_k)| \leq 1$ 이므로, (5), (6)으로 부터 소수 및 나머지 주파수 읍셋 추정 단계의 범위는 각각  $0 \leq \hat{\epsilon}_f \leq 1, -0.5 \leq \hat{\epsilon}_r \leq 0.5$ 임을 알 수 있다. 여기서, Ren 기법의 소수 주파수 읍셋 추정 단계는 실제 주파수 읍셋과 정수 주파수 읍셋 추정치의 차이가 소수 읍셋 단계의 추정 범위를 벗어난 경우, 무조건 0 또는 1을 추정하는 것이 아님을 (5)에 실제 값을 적용하여 확인할 수 있기 때문에, 소수 및 나머지 주파수 읍셋 추정 단계를 결합한 추정 범위는  $-0.5 \leq \hat{\epsilon}_f + \hat{\epsilon}_r \leq 1.5$ 이 아님을 알 수 있다. 결국, 실제 값을 (5), (6)에 적용하여 얻은 그림 2를 통해, 주파수 읍셋과 정수 주파수 읍셋 추정치의 차이가 아래의 범위 내에 존재해야 소수 및 나머지 주파수 읍셋 추정 단계에서 그 차이를 정확하게 추정할 수 있음을 확인할 수 있다.

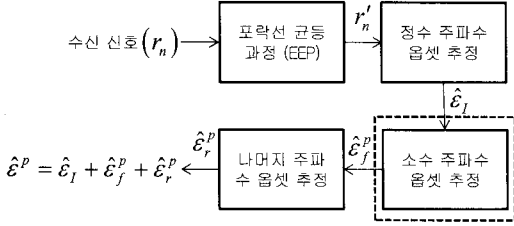


그림 3. 제안한 기법의 주파수 오프셋 추정 구조도

$$-0.3 \leq \epsilon - \hat{\epsilon}_I \leq 1.3. \quad (8)$$

하지만 잡음이 존재하는 환경에서 실제 주파수 오프셋과 정수 주파수 오프셋 추정치의 차이는 위의 보상 범위를 자주 벗어나며, 이러한 경우 Ren 기법은 둘의 차이를 전혀 보상할 수 없기 때문에, 주파수 오프셋 추정 성능이 저하되는 문제점이 발생한다.

본 논문에서는 Ren 기법의 소수 주파수 오프셋 추정 단계에서의 보상 범위 문제를 해결하기 위해, 주기도표를 이용하여 Ren 기법의 소수 주파수 오프셋 추정 단계보다 넓은 범위의 주파수 오프셋을 추정할 수 있는 새로운 주파수 오프셋 추정 기법을 제안하고자 한다.

그림 3은 제안한 기법의 주파수 오프셋 추정 구조를 나타낸다. 여기서 점선으로 표시된 부분이 바로 본 논문에서 제안하고자 하는 주파수 오프셋 추정 단계이며 자세한 추정 과정은 다음과 같다. 먼저 계산 상 편의를 위하여  $r'_n$ 의 잡음 성분을 제외한 성분인  $h_0 e^{j2\pi\epsilon n/N}$ 의 주기도표를  $|I_s(f_k)|^2$ 로 정의하고 주파수 오프셋 추정식을 유도한다. 시간 영역에서 하나의 OFDM 심볼 구간 동안 채널 계수가 일정하다고 가정을 한다면, 다음과 같이  $I_s(\hat{\epsilon}_I)$ 와  $I_s(\hat{\epsilon}_I+1)$ 의 비를 이용하여 채널 효과를 제거할 수 있다.

$$\frac{I_s(\hat{\epsilon}_I)}{I_s(\hat{\epsilon}_I+1)} = \frac{h_0 \cdot \frac{1 - e^{j2\pi(\epsilon - \hat{\epsilon}_I)}}{1 - e^{j2\pi(\epsilon - \hat{\epsilon}_I)/N}}}{h_0 \cdot \frac{1 - e^{j2\pi(\epsilon - \hat{\epsilon}_I + 1)}}{1 - e^{j2\pi(\epsilon - \hat{\epsilon}_I + 1)/N}} e^{-j2\pi/N}} \quad (9)$$

$$= \frac{1 - e^{j2\pi(\epsilon - \hat{\epsilon}_I)/N}}{1 - e^{j2\pi(\epsilon - \hat{\epsilon}_I)/N}}.$$

여기서  $\hat{\epsilon}_I$ 는 Ren 기법에서 추정된 정수 주파수 오프셋을 의미한다. 제안한 기법을 통한  $\epsilon_f$ 의 추정 값인  $\hat{\epsilon}_f^p$ 는 (9)를  $\epsilon - \hat{\epsilon}_I$ 에 관해 정리하여 아래와 같이 구할 수 있다.

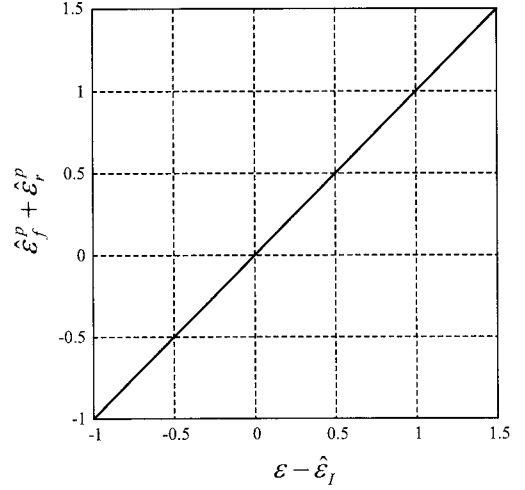


그림 4. 주파수 오프셋과 정수 주파수 오프셋 추정치의 차이에 따른 제안한 기법의 소수 및 나머지 주파수 오프셋 추정 단계에서의 보상 범위 ( $\epsilon = 1.3$ )

$$\hat{\epsilon}_f^p = \epsilon - \hat{\epsilon}_I = N \cdot \frac{\angle \left( \frac{1 - M(\hat{\epsilon}_I)}{e^{-j2\pi/N} - M(\hat{\epsilon}_I)} \right)}{2\pi}. \quad (10)$$

여기서  $M(\hat{\epsilon}_I) = I(\hat{\epsilon}_I) / I(\hat{\epsilon}_I + 1)$ 이다. (10)으로부터,  $\angle$ 의 범위는  $[-\pi, \pi)$ 이므로, 본 논문에서 제안한 기법의 주파수 오프셋 추정 범위는 아래와 같음을 알 수 있다.

$$-\frac{N}{2} < \hat{\epsilon}_f^p < \frac{N}{2}. \quad (11)$$

마지막으로 Ren 기법과 마찬가지로 (10)에서 구한  $\hat{\epsilon}_f^p$ 를 이용하여 아래와 같이 나머지 주파수 오프셋을 구한 뒤, 최종적으로 주파수 오프셋 추정치  $\hat{\epsilon}^p$ 를 구한다.

$$\hat{\epsilon}^p = \frac{|I(\hat{\epsilon}_I + \hat{\epsilon}_f^p + 0.5)| - |I(\hat{\epsilon}_I + \hat{\epsilon}_f^p - 0.5)|}{2(|I(\hat{\epsilon}_I + \hat{\epsilon}_f^p + 0.5)| + |I(\hat{\epsilon}_I + \hat{\epsilon}_f^p - 0.5)|)}, \quad (12)$$

$$\hat{\epsilon}^p = \hat{\epsilon}_I + \hat{\epsilon}_f^p + \hat{\epsilon}_r^p. \quad (13)$$

잡음이 없을 때, Ren 기법의 소수 및 나머지 주파수 오프셋 추정 단계는 그림 2와 같이 제한된 범위를 보상하는 것에 반해, 제안한 기법은 그림 4와 같이 신호의 전 대역폭 범위의 보상 범위를 가진다. 그러므로 제안한 기법은 Ren 기법의 소수 주파수 오프셋 추정 단계에서 보상하지 못한 실제 주파수 오프셋과 추정된 정수 주파수 오프셋의 차이를 보상할 수 있다.

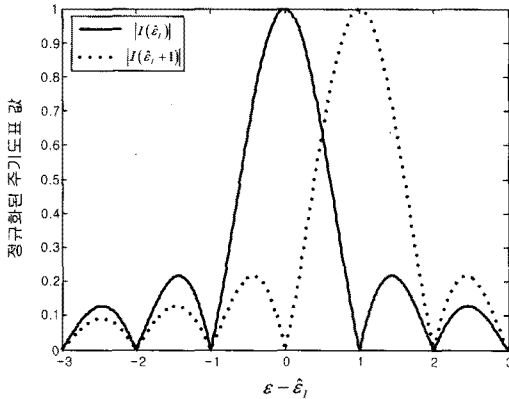


그림 5. 주파수 오프셋과 추정된 정수 주파수 오프셋의 차이에 따른 정규화된 주기도표 값 ( $\epsilon = 1.3$ )

#### IV. 성능 비교 및 분석

모의실험은 AWGN 및 레일리레이 (Rayleigh) 페이딩 채널 환경에서 실행하였다. 채널의 다중 경로의 개수는 4개이고, 다중 경로를 통해 들어오는 신호들은 각각 0개, 2개, 4개, 6개의 표본 간격으로 (OFDM 심볼 주기에 의해 정규화 됨) 지연되어 들어온다. 각 경로를 통해 들어온 신호의 파워는 지수적으로 감소하며, 처음으로 수신된 신호의 파워와 마지막으로 수신된 신호의 파워와의 차이는 20 dB이다. 도플러 대역폭은 (Doppler bandwidth)  $B_d T = 0.0017$ 이며, 이는 반송파 중심 주파수가 2.4 GHz이고 이동체의 속도가 120 km/h인 환경으로부터 구할 수 있다. 모의실험에 사용된 OFDM 시스템은 64개의 부반송파를 가지고, 8개의 보호 구간 표본을 갖는다. 마지막으로 모든 모의실험은 10000 번의 시행을 거쳐 진행되었다.

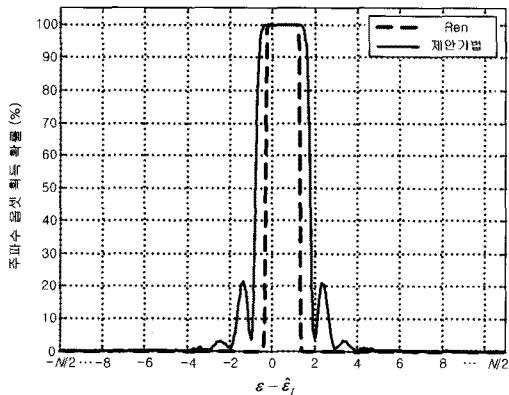


그림 6. 주파수 오프셋과 추정된 정수 주파수 오프셋의 차이에 따른 제안한 기법과 Ren 기법의 주파수 오프셋 획득 정확률 (AWGN 채널 환경, SNR: 5 dB,  $\epsilon = 1.3$ )

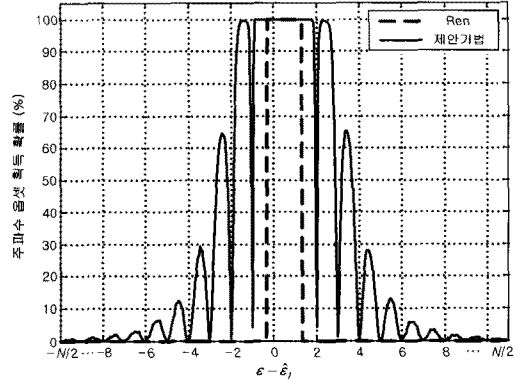


그림 7. 주파수 오프셋과 추정된 정수 주파수 오프셋의 차이에 따른 제안한 기법과 Ren 기법의 주파수 오프셋 획득 정확률 (AWGN 채널 환경, SNR: 25 dB,  $\epsilon = 1.3$ )

그림 6과 7은 AWGN 채널 환경에서, 신호대 잡음비가 (signal to noise ratio: SNR) 각각 5 dB, 25 dB 일 때, Ren 기법과 제안한 기법의 실제 주파수 오프셋과 정수 주파수 오프셋 추정치의 차이에 따른 주파수 오프셋 획득 정확률을 보여준다. 여기서 주파수 오프셋 획득 정확률이란, Ren의 소수 주파수 오프셋 추정 기법 및 제안한 주파수 오프셋 추정 기법의 성능을 나타내기 위한 척도로서, 소수 주파수 오프셋 추정 단계를 거친 후의 주파수 오프셋 추정치와 실제 오프셋과의 차이가 나머지 주파수 오프셋 추정 단계에서 추정할 수 있는 범위인  $[-0.5, 0.5]$  사이에 들어갈 확률을 의미한다.

그림 6으로부터, Ren 기법은 실제 주파수 오프셋과 정수 주파수 오프셋 추정치 사이의 차이가  $[-0.3, 1.3]$  이외인 구간에서는 그 차이를 전혀 보상하지 못하는 반면, 제안한 기법은 Ren 기법보다 넓은 범위의 차이를 보상할 수 있음을 확인 할 수 있다. 그러나 잡음이 없을 때 제안한 기법의 보상 범위가  $[-N/2, N/2]$  임을 고려한다면, 그림 6으로부터 제안한 기법의 보상 범위는 잡음이 없을 때의 보상 범위 보다 좁아진 것을 확인 할 수 있다. 그림 5와 같이 주파수 오프셋을 추정하기 위해 이용되는 주기도표 함수의 모양은 sync 함수를 형성한다. 그림 5로부터, 실제 주파수 오프셋과 정수 주파수 오프셋 추정치의 차이가 큰 경우, 주파수 오프셋 추정에 이용되는 부분은 주기도표의 주변 침투 임을 알 수 있다. 결국, 주변 침투 부분은 잡음의 영향을 많이 받기 때문에, 이 부분이 이용된 경우 주파수 오프셋 획득 정확률이 낮아지며, 이러한 이유로 잡음이 없을 때의 보상 범위 보다 좁아지게 된다. 하지만 여전히 Ren 기법의 보상범위 보다 넓은 범위를 갖기 때문에 그림 6과 같이 제안한 기법이 더 좋은

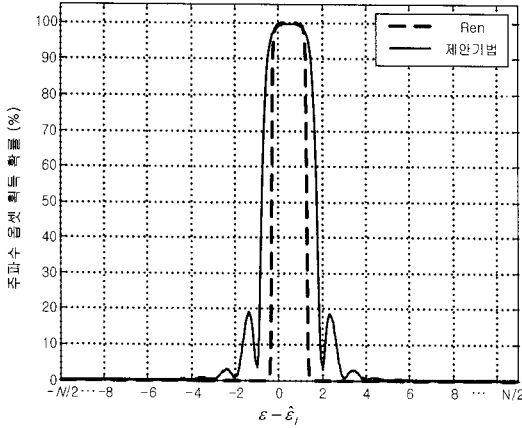


그림 8. 주파수 옵셋과 추정된 정수 주파수 옵셋의 차이로 따른 제안한 기법과 Ren 기법의 주파수 옵셋 획득 확률 (레이레이 다중경로 페이딩 채널 환경, SNR: 5 dB,  $\epsilon = 1.3$ )

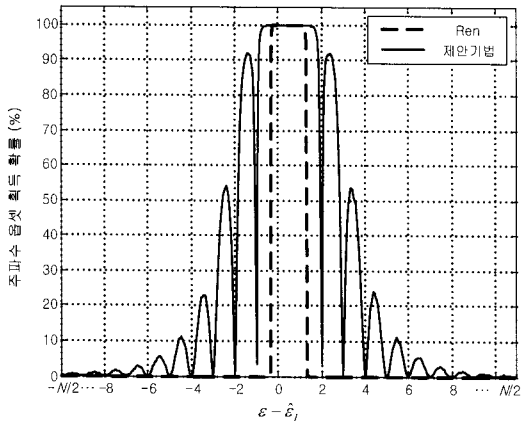


그림 9. 주파수 옵셋과 추정된 정수 주파수 옵셋의 차이로 따른 제안한 기법과 Ren 기법의 주파수 옵셋 획득 확률 (레이레이 다중경로 페이딩 채널 환경, SNR: 25 dB,  $\epsilon = 1.3$ )

성능을 보임을 확인 할 수 있다.

그림 7로부터, SNR이 25 dB일 때에도, Ren 기법은  $[-0.3, 1.3]$  이외의 구간에서는 그 차이를 전혀 보상하지 못하는 반면, 제안한 기법은 Ren 기법보다 넓은 범위를 보상함을 알 수 있다. 또한, SNR이 높을 때에는 SNR이 낮을 때와 비교하여, 주기도표의 주변 침투가 잡음의 영향을 덜 받기 때문에, 주변 침투 부분이 이용되어도 정확한 주파수 옵셋을 추정할 수 있다. 그러므로 SNR이 낮을 때인 그림 6과 비교하여, 그림 7에서는 SNR이 낮을 때보다 넓은 범위의 차이를 보상함을 확인할 수 있다.

그림 8과 9는 레일레이 페이딩 채널 환경에서, SNR이 각각 5 dB, 25 dB 일 때, Ren 기법과 제안한 기법의 실제 주파수 옵셋과 정수 주파수 옵셋 추정치

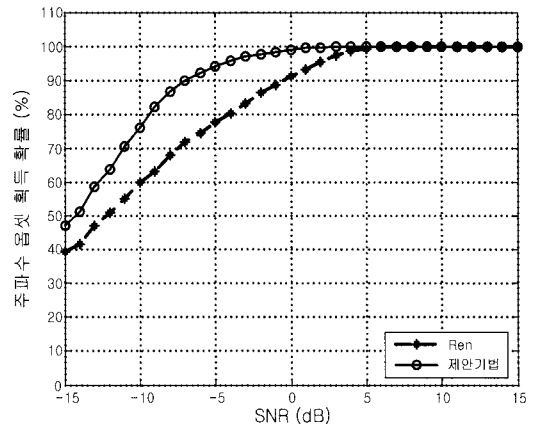


그림 10. SNR에 따른 제안한 기법과 Ren기법의 주파수 옵셋 획득 확률 (AWGN 채널 환경,  $\epsilon = 1.3$ )

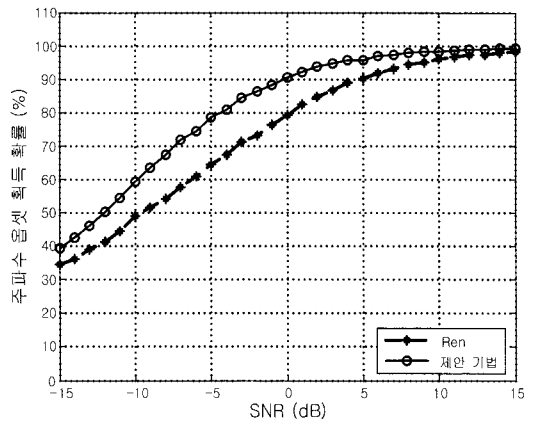


그림 11. SNR에 따른 제안한 기법과 Ren기법의 주파수 옵셋 획득 확률 (레이레이 다중경로 페이딩 채널 환경,  $\epsilon = 1.3$ )

의 차이에 따른 주파수 옵셋 획득 확률을 보여준다. AWGN 채널 환경에서와 마찬가지로 Ren 기법은  $[-0.3, 1.3]$ 를 벗어난 곳에서는 그 차이를 전혀 보상하지 못하는 반면, 제안한 기법은 Ren 기법보다 더 넓은 범위를 보상함을 확인할 수 있다. 다만, AWGN 채널 환경일 때와 비교하여 그림 8과 9의 주파수 옵셋 획득 확률이 약간 낮아진 것을 관찰할 수 있다.

그림 10과 11은 AWGN과 레일레이 페이딩 채널 환경에서, 주파수 옵셋이 1.3 일 때, 제안한 기법과 Ren 기법의 SNR에 따른 주파수 옵셋 획득 확률을 보여준다. 그림 10과 11로 부터 알 수 있듯이, SNR이 높아질수록 두 기법간의 성능이 비슷해지지만 낮은 SNR 구간에서는 제안한 기법이 Ren 기법보다 우수한 성능을 나타낸다.

## V. 결 론

본 논문에서는 OFDM 시스템을 위한 새로운 주파수 오프셋 추정 기법을 제안하였다. 기존의 Ren 기법에서는 잡음이 있는 환경에서, 실제 주파수 오프셋과 추정된 정수 주파수 오프셋의 차이가 소수 및 나머지 주파수 오프셋 추정 단계에서의 보상 범위보다 큰 경우가 자주 존재하여, 주파수 오프셋 추정 성능이 저하되는 문제점을 가지고 있었다. 이를 해결하기 위해, 본 논문에서는 Ren 기법의 소수 주파수 오프셋 추정 단계를 대신할 새로운 주파수 오프셋 추정 기법을 제안하였다. 주기도표를 이용한 제안한 기법은 Ren 기법보다 넓은 주파수 오프셋 추정 범위를 가지며, Ren 기법이 전혀 보상하지 못한 실제 주파수 오프셋과 추정된 정수 주파수 오프셋의 차이를 보상할 수 있다. 그 결과, 전체적인 주파수 오프셋 추정 성능이 Ren 기법보다 우수함을 모의실험을 통해 확인 할 수 있었다.

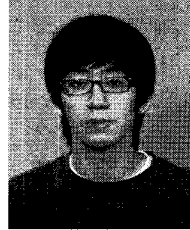
## 참 고 문 헌

- [1] N. Prasad and A. Prasad, *WLAN Systems and Wireless IP for Next Generation Communications*. Boston, MA: Artech House, 2002.
- [2] P. H. Moose, "A technique for orthogonal frequency division multiplexing frequency offset correction," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 42, pp. 2908-2914, Oct. 1994.
- [3] T. M. Schmidl and D. C. Cox, "Robust frequency and timing synchronization for OFDM," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 45, pp. 1613-1621, Dec. 1997.
- [4] M. Morelli and U. Mengali, "An improved frequency offset estimator for OFDM applications," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 3, pp. 75-78, Mar. 1999.
- [5] H.-K. Song et al., "Frequency-offset synchronization and channel estimation for OFDM-based transmission," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 4, pp. 95-97, Mar. 2000.
- [6] Y. H. Kim, I. Song, S. Yoon, and R. Park, "An efficient frequency offset estimator for OFDM systems and its performance characteristics," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 50, pp. 1307-1312, Sep. 2001.
- [7] G. Ren, Y. Chang, H. Zhang and H. Zhang,

"An efficient frequency offset estimation method with a large range for wireless OFDM systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 56, pp. 1892-1895, July 2007.

### 안 상 호 (Sangho Ahn)

준회원

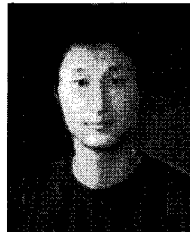


2007년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 공학사  
2007년 3월~현재 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 석사과정  
2007년 2월 성균관대학교 우수논문상 받음

<관심분야> 통계학적 신호 처리, 추정 및 검파

### 송 정 한 (Chonghan Song)

준회원



2002년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 학사과정  
<관심분야> 통계학적 신호 처리, 추정 및 검파, 이동 통신

### 이 명 수 (Myungsoo Lee)

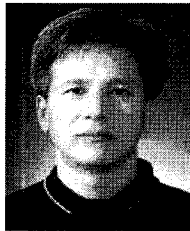
준회원



2008년 2월 성균관대학교 정보통신공학부 공학사  
<관심분야> 통계학적 신호 처리, 추정 및 검파, 이동 통신

### 이 성 로 (Seong-Ro Lee)

정회원

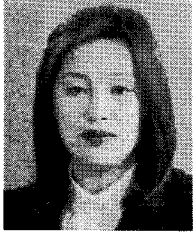


1987년 2월 고려대학교 전자공학과 졸업  
1990년 2월 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사  
1996년 8월 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사  
2005년 3월~현재 목포대학교 정보공학부 정보전공학전공 교수

<관심분야> 디지털통신시스템, 이동 및 위성통신시스템, USN/텔레메틱스응용분야, 임베디드시스템, 생체인식시스템

**정민아 (Min-A Jung)**

정회원



1992년 2월 전남대학교 전산통계학과 졸업  
 1994년 2월 전남대학교 전산통계학과 석사  
 2002년 2월 전남대학교 전산통계학과 박사  
 2005년 3월~현재 목포대학교

컴퓨터공학전공 조교수

<관심분야> 데이터베이스/데이터마이닝, 생체인식시스템, 무선통신응용분야(RFID, USN, 텔레매틱스), 임베디드시스템

**최명수 (Myeong-soo Choi)**

정회원



2000년 2월 목포대학교 전자공학과 졸업  
 2002년 2월 목포대학교 전자공학과 석사  
 2005년~현재 목포대학교 전자공학과 박사과정

<관심분야> 디지털통신시스템, 무선통신분야(USN, 배열신호처리), 임베디드시스템, 생체인식시스템

**이진석 (Jin-Seok Lee)**

정회원



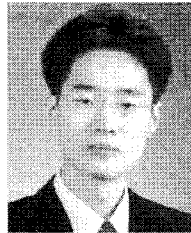
1997년 2월 충남대학교 대학원 무역학과 졸업  
 2000년 2월 충남대학교 대학원 무역학과 경영학 석사  
 2007년 8월 충남대학교 대학원 무역학과 경영학박사  
 2002년 3월~현재 정보통신연

구진흥원 선임연구원

<관심분야> IT접목서비스, 전자무역, SCM, IT인력 양성정책

**윤석호 (Seokho Yoon)**

종신회원



1997년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 학사 (최우등)  
 1999년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 석사  
 2002년 2월 한국과학기술원 전자전산학과 박사  
 2002년 4월~2002년 6월 MIT

박사 후 연구원

2002년 7월~2003년 2월 하버드대학교 박사 후 연구원

2003년 3월~현재 성균관대학교 정보통신공학부 전임강사, 조교수

2000년 2월 삼성 휴먼테크 논문대상 동상 받음

2007년 Marquis Who's Who in Asia에 등재

2007년 IEEE 선임회원

2008년 Marquis Who's Who in World에 등재

<관심분야> 이동통신, 통계학적 신호처리, 적응 신호처리