

# OFDM 기반의 이동통신 시스템에서 낮은 복잡도를 가지는 잔여 시간동기 오차 검출 기법

\*김병규 \*\*유영환

세종대학교

\*bkkim@sju.ac.kr

## Low Complexity Residual Symbol Timing Offset Method for Mobile OFDM System

\*Kim, Byung-Kyu \*\*You, Young-Hwan

Sejong University

### 요약

본 논문은 OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반의 LTE (Long Term Evolution) 하향링크 시스템에서 PS (Primary Synchronization) 신호를 이용한 잔여 시간동기 오차를 검출 기법을 제안한다. 제안된 잔여 시간동기 오차 검출 기법은 기존의 잔여 시간동기 오차 검출 기법과 달리, 수신된 PS 신호간의 상호상관 값을 이용하여 잔여 시간동기 오차를 검출한다. 제안된 기법은 기존의 기법보다 낮은 복잡도를 가지며, 비슷한 성능을 보여주며 이는 컴퓨터 모의실험을 비교하였다.

## 1. 서론

OFDM 시스템은 전체적인 시스템의 성능을 결정하는 부분 중 하나인 시간동기 오차에 민감하다. 시간동기오차가 발생하면 OFDM 심볼이 시작하는 표본지점이 정확하지 않아, 부채널의 직교성이 파괴되고 BER (Bit Rate Error) 성능이 저하된다. 따라서 시간동기오차는 OFDM 기반의 시스템의 성능을 결정짓는 매우 중요한 요소이다.

LTE 하향링크 시스템의 동기 기법은 단말기에서 가장 먼저 수행되는 동기 과정으로 초기 프레임 동기 및 주파수 동기, 셀 ID (Identification) 검출, 잔여 시간동기 검출 등의 단계를 포함한다. LTE 하향링크 시스템은 프리앰블 신호가 존재하지 않아, 한정된 PS 신호와 SS (Secondary Synchronization) 신호를 사용 한다[1]. 기존의 잔여 시간동기 오차 검출 기법은 모든 PS 신호를 상호상관 함으로 많은 양의 복소수 곱셈과 덧셈이 계산하는 기법으로 높은 계산 복잡도가 요구되었다.

본 논문에서는 PS 신호의 상호상관 값을 이용하여 낮은 복잡도를 갖는 잔여 시간동기 오차 검출 기법을 제안한다.

## 2. 시스템모형

OFDM을 기반으로 하는 LTE 하향링크 시스템에서는 셀 ID, 정수배 주파수 오차, 잔여 시간동기 오차 등을 맞추기 위해 PS 신호를 사용한다. PS 신호는 3종류의 셀 ID 정보를 구분하기 위해 루트 인덱스 (Root Index)  $u$ 를 달리하는 ZC (Zadoff Chu) 시퀀스가 할당된다. ZC 시퀀스는 DC 부반송파를 중심으로 63개의 부 반송파에 할당되며 DC 부

반송파에는 0의 값이 할당된다. 셀 ID를 구분하기 위한 루트 인덱스  $u$ 는 (25, 29, 34)로 결정되었고, 생성 식은 다음과 같이 표현된다.

$$PS_u(k) = \begin{cases} e^{-j\frac{\pi uk(k+1)}{63}} & k = 0, 1, \dots, 30 \\ e^{-j\frac{\pi uk(k+1)(k+2)}{63}} & k = 31, 32, \dots, 61 \end{cases} \quad (1)$$

여기에서  $PS_u(k)$ 는 주파수영역에서의 PS 신호이며, DC 부반송파를 중심으로 부반송파 인덱스가 좌우 대칭을 이루고 있다. 수식 (1)에서  $PS_u(k)$ 의 위상 증가는 PS 신호의 부반송파 인덱스의 제곱에 비례하며, 인접한 부반송파의 위상 차이는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} PS_u(k) \cdot PS_u^*(k+1) &= e^{-j\pi uk(k+1)/63} e^{j\pi u(k+1)(k+2)/63} \\ &= e^{j2\pi u(k+1)/63} \\ &= Q_u(k) \end{aligned} \quad (2)$$

## 3. 제안하는 잔여 시간동기 오차 검출 기법

잔여 시간동기 오차에 집중하기 위해, 정수배 주파수 오차는 없고, 루트 인덱스  $u$ 는 25로 추정되었다고 가정한다.

수신된 PS 신호  $Y_{ps}(k)$ 와 수신 단에서 미리 알고 있는  $PS_u(k)$ 간의 상호상관 값을 이용한 기존의 잔여 시간동기 오차 검출 기법[2]은 다음과 같다.

$$\hat{\tau} = \frac{1}{2 \cdot \pi/N} \angle \left( \sum_{k \in \text{pilot}} Y_{ps}(k) Y_{ps}^*(k+1) Q_u(k) \right) \quad (3)$$

표 1. 기존 기법과 제안된 기법의 계산 복잡도

	잔여 시간 동기 검출기	
	기존의 기법	제안된 기법
복소수 곱셈	120	90
복소수 덧셈	59	59

상기 수식 (3)에서  $\hat{\tau}$ 는 추정된 잔여 시간동기 오차,  $Y_{ps}(k)$ 는 주파수 축에서 수신된  $k$ 번째 파일릿 신호,  $\angle(k)$ 는  $k$ 의 각도이고,  $k$ 번째 수신된 PS신호와  $k+1$ 번째 수신된 신호의 상호상관은 다음과 같다.

$$Y_{ps}(k) Y_{ps}^*(k+1)^* = PS_u(k) PS_u^*(k+1)^* H_{ps}(k) H_{ps}^*(k+1)^* e^{j2\pi\tau/N} + \tilde{W}(k) \quad (4)$$

여기서  $H_{ps}(k) \approx H_{ps}(k+1)$ 라고 가정하면 수식 (4)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_{ps}(k) Y_{ps}^*(k+1)^* = PS_u(k) PS_u^*(k+1)^* |H_{ps}(k)|^2 e^{j2\pi\tau/N} + \tilde{W}(k) \quad (5)$$

본 논문에서는 기존의 기법의 연산량을 줄이기 위하여 FFT 이후, 주파수 영역에서의 PS 신호간의 상호상관 값을 이용하여 잔여 시간동기 오차를 검출하는 방법을 제안한다. IFO가 추정되어 보상된 PS신호의 DC 부반송파의 인덱스  $k = N/2$ 라 가정할 때, 제안하는 잔여 시간동기 오차 검출 기법은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{\tau} = \frac{1}{2 \cdot \pi/N} \angle \left( \sum_{j=1}^{N_j} \left( \sum_{k \in S_j} Y_{ps}(k) Y_{ps}^*(k+1) \right) Q_u(k_j) \right) \quad (6)$$

상기 수식 (4)에서  $N_j$ 는 부집합의 개수,  $S_j$ 는  $j$ 번째의 부집합이고,  $k_j$ 는  $j$ 번째 부집합의 기준 인덱스이다. PS신호의 상호상관 값이 근사한 부반송파를 하나의 부집합으로 구성하는 기법은 다음과 같다.

1.  $j = 1, S = [-30, -1] \cup [1, 30]$
  2.  $k_j = \min\{S\}$
  3.  $S_j = \{k | |\Omega(k_j, k)| > T, \forall k \in S\}$
  4.  $S = S \setminus S_j$
  5.  $S = \emptyset$  이면,  $N_j = j$ , 종료.  
 $S \neq \emptyset$  이면,  $j = j+1$ , 2번 다시 수행
- (7)

여기서  $\min\{S\}$ 는 집합  $S$  안에 있는 정수 중 가장 작은 값이고,  $S \setminus S_j$ 는 부집합  $S$ 에서  $S_j$ 에 있는 정수들을 없애는 과정이고,  $T$ 는 임계값으로 본 논문에서는 0.99를 사용하였다. 상기 수식 (7)에서 PS신호의 상호상관 값을 구하는 수식은 다음과 같다.

$$\Omega(k_j, k) = RE\{Q_u(k_j) Q_u^*(k)\} \quad (8)$$

표 1은 기존의 기법과 제안된 기법의 복소수 계산 복잡도 곱셈 연산 횟수와 덧셈 연산 횟수로 비교하였다.

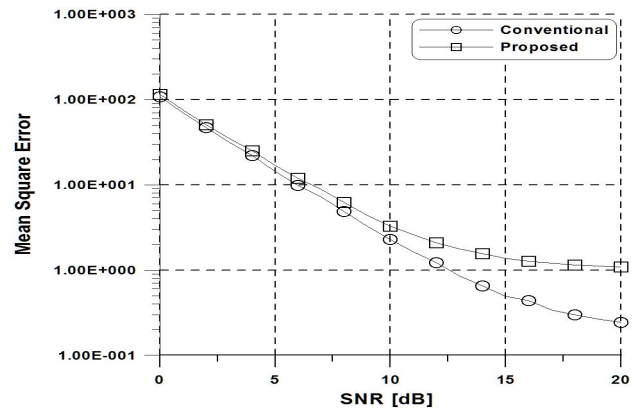


그림 1. 기존 및 제안된 기법의 잔여 시간동기 검출기의 MSE

#### 4. 모의실험 결과

기존 및 제안된 잔여 시간동기오차 검출기법의 성능을 보여주기 위해  $N = 512, N_g = 128$ 인 LTE 하향링크 시스템에서 모의실험을 수행하였다.

그림 1은 ITU-R M.1225에 따른 채널 모델[3]인 Pedestrian A 채널에서 잔여 시간동기 오차  $\tau = 3$ 일 때, 제안하는 기법과 기존 기법의 SNR에 따른 잔여 시간동기 오차 추정기의 MSE (Mean Square Error) 성능을 컴퓨터 시뮬레이션 결과로 보여준다. 모의실험의 결과를 통해 제안된 잔여 시간동기 오차 검출 기법은 기존의 잔여 시간동기 오차 검출 기법과 비슷한 성능을 보이며 기존의 기법보다 낮은 복잡도를 가진다는 것을 확인 하였다.

#### 5. 결론

본 논문은 LTE 하향링크 시스템에서 발생하는 잔여 시간동기오차의 연산량을 줄이기 위한 방법을 제안하였다. 기존의 방식은 모든 PS신호를 사용하여 잔여 시간동기 오차를 추정함으로써 높은 계산 복잡도가 요구 되었으나, 제안된 방식은 PS신호간의 상호상관 값이 근사한 부반송파들을 부집합으로 만들고, 이를 사용하여 추정함으로써 계산 복잡도가 낮아지는 것을 확인하였다.

#### ACKNOWLEDGMENT

This research is supported by Seoul R&BD Program (SS100009) and this work was supported by the Materials & Components development program funded by the Ministry of Trade, Industry & Energy (MOTIE, Korea)

#### 참 고 문 헌

[1] 3GPP TS36.211 v8.5.0, "Physical Channel and Modulation (Release 8)," Dec. 2008.  
 [2] D.-C. Chang, "Effect and compensation of symbol timing offset in OFDM systems with channel interpolation," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 54, no. 4, pp. 761 - 770, Dec. 2008.  
 [3] Recommendation ITU-R M.1225 "Guidelines for Evaluation of Radio Transmission Technologies for IMT-2000", *ITU-R*, 1997.