

저전력의 eMTC 시스템에 적합한 동기화 오차 추정 기법

정용안*¹, 변상봉*², 조수현*³, 이성훈**

Synchronization Error Tracking Method for Low-Cost eMTC System

Yong-An Jung*¹, Sang-Bong Byun*², Soo-Hyun Cho*³, and Sung-Hun Lee**

This work was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (2019-0-00068, Development of Millimeter Wave 5G Components Using Compound Semiconductor Process).

This work was supported by 2017 Autonomous car key technology development projects by KEIT and MOTIE (10080063).

요 약

5G 통신 기술의 도입 이후 다양한 사용 시나리오들이 출현하는 가운데, IoT (Internet of Things) 디바이스들이 기하급수적으로 늘어나고 있다. 수많은 IoT 디바이스를 수용하기 위해, 이동통신망을 이용하는 eMTC (machine type communication) 시스템이 고안되었다. eMTC 시스템의 핵심목표는 저전력 소비와 커버리지 향상이다. 이러한 eMTC 시스템은 송신 전력의 제한으로 인해, 매우 낮은 SNR (signal to noise ratio)에서 동기화 오차를 정확히 추정할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 LTE 기반의 eMTC 시스템에서 낮은 SNR에서도 동기화 오차를 추정할 수 있는 효율적인 방법이 제안되었다. 본 논문의 제안된 기법의 성능 평가를 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하였고, 제안된 기법이 기존의 기법보다 더 효율적이라는 것을 입증하였다.

Abstract

A major issue of machine type communication (MTC) is to serve a better coverage enhancement with low-power consumption for Internet of Things (IoT) devices. Due to the restriction on total power allowed for transmission, it is necessary to estimate frequency offset in low signal to noise ratio (SNR) like as -15dB. In this paper, an improved frequency offset detection scheme is proposed for low-power IoT devices in the cellular-based eMTC system. The repetitive character of the physical broadcast channel (PBCH) symbols and the channel estimation based weight are considered for the improved frequency offset estimation. It is demonstrated that the proposed estimator is more efficient for coverage enhancement of eMTC devices by computer simulation.

Keywords

IoT, LTE-MTC, OFDM, synchronization, frequency offset

* 구미전자정보기술원 지능형웨어러블연구센터
- ORCID¹: <http://orcid.org/0000-0003-2203-2460>
- ORCID²: <http://orcid.org/0000-0002-2422-7838>
- ORCID³: <http://orcid.org/0000-0002-4831-3212>
** 구미전자정보기술원 지능형웨어러블연구센터 (교신저자)
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6700-2818>

• Received: Aug. 21, 2020, Revised: Sep. 14, 2020, Accepted: Sep. 17, 2020
• Corresponding Author: Sung-Hun Lee
Dept. of Intelligent Wearable Research Center, GERI, Wearable Center, 350-27, Gumidaero, Gumi, Korea, (39253)
Tel.: +82-54-460-9067, Email: yajung@geri.re.kr, leesh@geri.re.kr

1. 서 론

5G 무선 통신은 새로운 기술의 적용이 아닌 기존의 4G 기술에서 발전된 형태로 개발되었다. 5G는 mMTC(massive Machine Type Communication), URLLC(Ultra Reliable Low Latency Communication), 그리고 eMBB(enhanced Mobile BroadBand)라는 3가지 범주로 다양한 사용 시나리오를 지원하며, ITU-R에서 정의한 5G 통신은 최대 데이터 전송 속도 20Gbps, 최소 데이터 전송 속도 1Gbps, 4G 대비 스펙트럼 효율성 3배 증가, 대규모 수요를 충족시키기 위해 IoT의 연결성, 연결 밀도 목표는 $10^6/km^2$, 1ms의 낮은 지연시간과 같은 다양한 성능 측면에서의 요구사항을 만족시킬 수 있어야 한다[1][2].

LTE-MTC 시스템은 mMTC를 고려한 이동통신망을 이용하는 IoT 표준 중 하나이다. 5G 통신의 가장 큰 특징은 기존 4G와는 다르게 TS38.211-TS38.215 표준에서처럼 다양한 numerology 값을 기반으로 각각의 통신 시나리오에 적합한 유연한 프레임 구조를 제공할 수 있다는 것이다. 5G 물리계층에서는 numerology에 따라 부반송파간 간격과 순환 보호구간의 값이 정의되며, 주파수 선택적 페이딩 채널에서 높은 데이터 전송 속도를 보장하기 위해 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 및 SC-FDMA(Single Carrier Frequency Division Multiple Access) 변조 방식이 채택되었다[3]-[5].

그러나 OFDM 기반 통신 시스템의 주요 단점으로써 시간 및 주파수 동기화 오차에 대한 취약성으로 인해 각 시스템의 성능이 크게 저하 될 수 있다. 이를 해결하기 위한 많은 연구가 진행되었으며, 동기화 절차는 크게 pre-FFT (fast Fourier transform)와 post-FFT로 나눌 수 있다[6][7]. pre-FFT 단계에서는 STO(symbol timing offset) 및 FCFO(fractional carrier frequency offset)의 추정 및 보상이 수행되는데, 이 단계의 동기화 프로세스는 OFDM 심벌 앞으로 복사된 순환 보호구간을 이용하여 간단히 동기화 오차를 추정할 수 있다. FFT 이후 주파수 영역에서는 IFO(integer Frequency Offset), CID(Cell Identity), 미세하게 남아있는 RSTO(Residual Symbol Timing Offset)와 RFO(Residual Frequency Offset), 그리고 SFO(Sampling Frequency Offset)에 대한 동기화 프로

세스를 수행한다. 정확하게 보상되지 않은 RFO, SFO 및 RSTO의 존재는 수신 신호의 위상을 회전시키므로 이러한 동기화 오차 추정은 OFDM 기반 수신기에서 매우 중요한 요소라 할 수 있다[8]-[11].

이러한 동기화 단계는 각 시스템의 표준에 정의된 PSS(Primary Synchronization Signal), SSS(Secondary Synchronization Signal)와 같은 동기화 신호를 이용하여 추정할 수 있다. 이동통신망을 이용하는 LTE-MTC 시스템에서는 통신의 초기에 셀 탐색 절차와 동기화 절차를 수행한다. MTC 디바이스는 프레임 타이밍을 획득하고 PSS 및 SSS를 탐지하여 CID를 검색 해야하며, 셀 탐지 프로세스 동안 성공적인 기지국과의 연결을 위해 주파수 오차를 감지하고 제거해야한다[12][13].

그러나 도플러 시프트와 시간영역에서 FCFO의 부정확한 추정으로 인해 RFO가 발생하는 경향이 있다. 대부분의 MTC 디바이스는 -15dB와 같은 낮은 SNR에서 작동되기 때문에 RFO의 존재는 성능 열화를 발생시킬 수 있다. 따라서 정확한 RFO tracking 기술은 전체 LTE-MTC 성능에 중요한 역할을 한다. 본 논문에서는 이동통신망을 이용하는 LTE 기반 eMTC 시스템의 성능을 향상시키기 위한 동기화 알고리즘을 제안한다. LTE 기반의 eMTC 시스템에서는 FFT 크기, 순환 보호구간의 크기, duplex 모드와 같은 정보를 담고 있는 PBCH(Physical Broadcast CHannel)가 사용된다. 특히, CE(Coverage Enhancement) 모드를 사용하는 경우 PBCH는 반복적인 구조를 가지므로 주파수 동기화에 사용할 수 있다. PBCH에 존재하는 특정 심볼 간격마다 반복되어 전송되는 속성은 RFO의 향상된 추정을 가능하게 한다[14].

본 논문에서 제안하는 RFO 추정 알고리즘은 특정 심볼간 간격마다 반복 삽입되는 PBCH의 특징을 이용하여 상관 함수를 취함으로써 RFO 추정 성능을 향상시켰으며, 채널 추정 기반의 가중치를 곱해 줌으로써 주파수 선택적 페이딩 채널에 강건한 특성을 갖는다. 본 논문에서 제안된 기법은 계산상의 복잡도 측면과 주파수 선택적 페이딩 채널에서 매우 효율적이며, 기존 기법보다 성능이 우수하다는 것을 컴퓨터 시뮬레이션으로 입증한다.

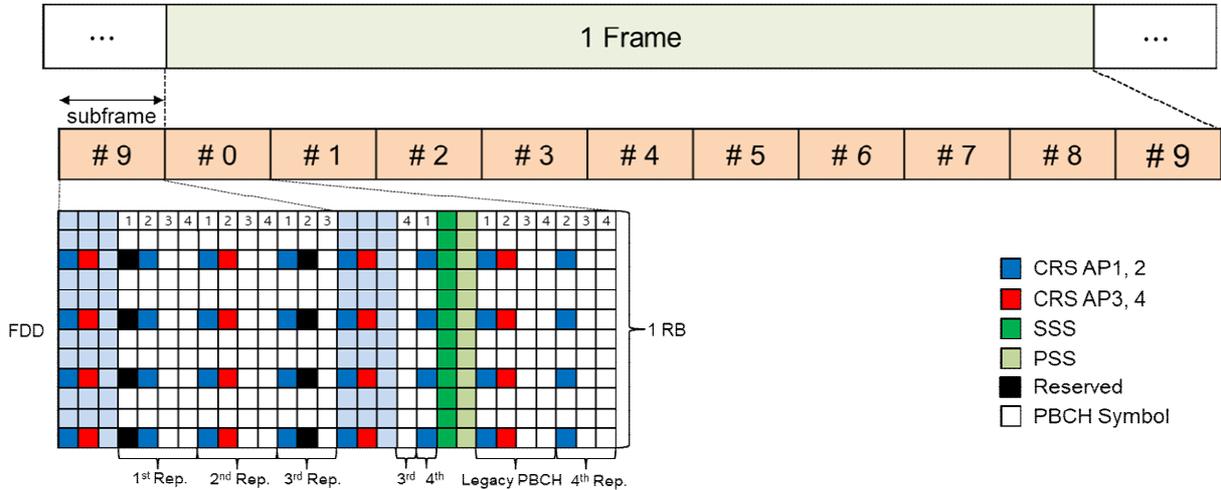


그림 1. FDD 모드에서 LTE-MTC 시스템의 프레임 구조
Fig. 1. Frame structure of LTE based MTC system in FDD mode

본 논문의 II장에서는 LTE 기반의 eMTC 시스템 모델에 대한 설명을 하고, III장에서는 기존의 RFO 추정기법에 대해 소개하며, IV장에서 낮은 SNR에서도 효율적으로 RFO를 추정할 수 있는 기법을 설명한다. V장에서 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 기존 및 제안된 기법의 성능을 비교하고, 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

LTE 기반의 eMTC 시스템에서 FFT 크기가 N 인 OFDM심볼을 고려했을 때, IFFT 이후 순환보호구간이 삽입된 l 번째 OFDM 심볼의 k 번째 부반송파 송신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x_l(n) = \sum_{k=-N/2}^{N/2} X_l(k) e^{j2\pi kn/N} \quad (1)$$

여기서 $X_l(k)$ 는 주파수 영역에서의 송신 신호, $x_l(n)$ 은 시간 영역에서의 송신 신호를 의미한다. 심볼 주기 $T = (N + N_g)T_s$ 이고, T_s 는 나이퀴스트율을 만족하는 샘플링 타임, N_g 는 순환 보호구간을 의미한다. 식 (1)의 신호가 AWGN(Additive White Gaussian Noise)와 다중경로 채널을 통과한 이후 CFO와 SFO가 존재할 경우 수신기에서의 수신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_l(n) = x_l(n) e^{j2\pi\delta_c \Delta f n T_s'} \otimes h_l(n) + w_l(n) \quad (2)$$

여기서 δ_c 는 CFO, $\Delta_f = 1/NT_s$, \otimes 는 컨벌루션 연산, $h_l(n)$ 은 다중경로 채널의 이산시간 임펄스 응답을 의미하고, $w_l(n)$ 은 AWGN을 의미한다. 수신기에서 시간동기화 오차가 완벽하게 추정 및 보상되고 순환 보호구간이 제거되었을 때, FFT 이후 주파수 영역에서 l 번째 심볼의 k 번째 부반송파에 실린 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_l(k) = H_l(k) X_l(k) e^{j2\pi(\delta_c + k\delta_s)(L N_u + N_g)/N} + I_l(k) + W_l(k) \quad (3)$$

여기서 $\delta_s = (T'_s - T_s)/T_s$, $N_u = N + N_g$, $I_l(k)$ 는 인접한 부반송파간 간섭을 나타낸다. 실제 OFDM 구현에서 UE 단말의 δ_c 와 δ_s 는 동일한 국부 발진기에서 파생되며, 이는 공통 발진기에서 발생하는 $\delta_c \Delta_f / f_c$ 의 정규화된 오차가 샘플링 주파수로 전달되어 $\delta_s / T_s = (\delta_c \Delta_f / f_c) f_s$ 가 되며, δ_c 와 δ_s 는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\delta_s = -\frac{\delta_c \Delta_f}{f_c + \delta_c \Delta_f} \approx -\frac{\Delta_f}{f_c} \delta_c \quad (4)$$

본 논문은 FFT 이후 남아있는 RFO를 추정하는 방법에 대해 다루기 때문에 δ_s 는 배제하고, pre-FFT 단계에서 STO는 완벽하게 추정되었다고 가정한다.

III. 기존의 기법

LTE-MTC는 CE 모드를 지원하는 CE mode A와 CE mode B의 두 가지 작동 모드가 있다. CE mode A는 적당한 수준의 커버리지 향상을 지원하는 작동 모드이며, CE mode B는 아주 깊은 커버리지 향상을 지원하는 모드로 정의된다. LTE 기반의 MTC 시스템에서는 동기화 절차를 해결하기 위해 주기적으로 CRS(Cell-specific Reference Signal)가 전송된다. 하지만, CRS는 동기화 절차를 수행하기엔 그 수가 부족하므로 적합하지 않으며, decision direct 기법을 적용시킬 수 있다. 본 장에서는 이들을 이용한 기존의 동기화 기법들을 소개한다.

3.1 CRS 기반 추정기법 (Conventional A)

LTE기반의 eMTC 시스템에서 CRS는 시간 및 주파수 영역에서 주기적으로 삽입되어 전송된다. CE mode A에서는 PBCH의 반복전송이 없기 때문에 주파수 오차를 추정하기 위해 CRS가 사용될 수 있다 [15]. $H_l(k) \approx H_{l+D_a}(k)$, 인접한 CSR 심볼간 간격을 D_a 라고 가정했을 때, 두 연속된 CRS 심볼간 상관함수는 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} C_l(k) &= Y_l^*(k) Y_{l+D_a}(k) \\ &= |H_l(k)|^2 E_X e^{j2\pi D_a(\delta_c + k\delta_s)N_u/N} \\ &\quad + \tilde{I}_l(k) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $\tilde{I}_l(k)$ 는 AWGN와 인접한 부반송파간 간섭 성분이 결합된 것을 나타낸다. 이때 CRS 기반의 RFO 추정기는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{\delta}_c &= \frac{N}{2\pi N_u N_a D_a} \sum_{l \in P_a} \sum_{k \in C_a} G_l(k) \\ &\quad \cdot \arg\{C_l(k)\} / \sum_{k \in C_a} G_l(k) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 C_a 는 각 OFDM 심볼에 있는 CRS 부반송파셋을 의미하고, P_a 는 심볼간격이 D_a 인 각 심볼들의 셋을 의미하며, N_a 는 P_a 셋의 개수, $\arg\{\cdot\}$ 은 회전된 위상 값을 구하기 위한 함수, $G_l(k)$ 는 채널추정 기반의 가중치를 의미한다.

3.2 Decision direct 기반 추정기법 (Conventional B)

Decision direct 기법은 LTE 기반의 MTC 시스템에서 RFO 추정을 위해 사용될 수 있다[16]. 이 기법을 이용한 RFO 추정 식은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} \hat{\delta}_c &= \frac{N}{2\pi N_u N_b D_b} \sum_{l \in P_b} \sum_{k \in C_b} G_l(k) \\ &\quad \cdot \arg\{\hat{C}_l(k)\} / \sum_{k \in C_b} G_l(k) \end{aligned} \quad (7)$$

$\hat{C}_l(k)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{C}_l(k) = \frac{Y_l^*(k) Y_{l+D_b}(k)}{\hat{X}_l^*(k) \hat{X}_{l+D_b}(k)} \quad (8)$$

$C_b = \{k \mid -N_p/2 \leq k \leq N_p/2, k \neq 0\}$ 인 PBCH 심볼에 있는 부반송파셋, P_b 는 심볼간격이 D_b 인 각 PBCH 심볼들의 셋, N_b 는 P_b 셋의 개수, $\hat{X}_l(k)$ 는 대략적으로 추정된 $X_l(k)$ 를 의미한다.

IV. 제안된 기법

LTE 기반의 MTC 시스템에서 CE mode B는 극도로 빈약한 커버리지 상태를 가진 UE 환경을 위해 사용될 수 있으며 보다 향상된 RFO 추정 기법이 제시되어야 할 필요가 있다. 이러한 관점에서 LTE 기반의 MTC 시스템에서 PBCH 심볼의 반복 특성을 이용한 향상된 RFO 추정 기법을 제안한다. CE mode B가 적용되었을 때 동기화를 목적으로 사용될 수 있는 PBCH 심볼은 최대 5번의 반복되는 형태로 프레임에 삽입되어 전송이 된다. D_i 심볼 간격으로 반복되어 전송되는 PBCH를 이용한 RFO 추정 기법은 다음과 같은 수식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \hat{\delta}_c^i &= \frac{N}{2\pi N_u N_i D_i} \sum_{l \in P_i} \sum_{k \in C_i} G_l(k) \\ &\quad \cdot \arg\{\tilde{R}_l^i(k)\} / \sum_{k \in C_i} G_l(k) \end{aligned} \quad (9)$$

여기서 $\tilde{R}_l^i(k)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} \tilde{R}_l^i(k) &= Y_l^*(k) Y_{l+D_i}(k) \\ &\approx |H_l(k)|^2 E_X e^{j2\pi D_i(\delta_c + k\delta_s)N_g/N} \\ &\quad + \tilde{I}_l^i(k) + \tilde{W}_l^j(k) \end{aligned} \quad (10)$$

P_i 는 심볼간격 D_i 를 갖는 각 PBCH 심볼들의 셋, N_i 는 P_i 셋의 개수, $\tilde{I}_l^i(k)$ 는 인접한 부반송파간 간섭 성분을 의미하며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \tilde{I}_l^i(k) &= H_l^*(k) X_l^*(k) I_{l+D_i}(k) \\ &\quad \cdot e^{-j2\pi(\delta_c + k\delta_s)(LN_u + N_g)/N} \\ &\quad + H_{l+D_i}(k) X_{l+D_i}(k) I_l^*(k) \\ &\quad \cdot e^{j2\pi(\delta_c + k\delta_s)((l+D_i)N_u + N_g)/N} \\ &\quad + C_{l+D_i}(k) C_l^*(k) \end{aligned} \quad (11)$$

그리고 $\tilde{W}_l^j(k)$ 는 AWGN 성분으로 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} \tilde{W}_l^j(k) &= H_l^*(k) X_l^*(k) W_{l+D_i}(k) \\ &\quad \cdot e^{-j2\pi(\delta_c + k\delta_s)(LN_u + N_g)/N} \\ &\quad + H_{l+D_i}(k) X_{l+D_i}(k) W_l^*(k) \\ &\quad \cdot e^{j2\pi(\delta_c + k\delta_s)((l+D_i)N_u + N_g)/N} \\ &\quad + I_{l+D_i}(k) W_l^*(k) + I_l^*(k) W_{l+D_i}(k) \\ &\quad + W_l^*(k) W_{l+D_i}^*(k) \end{aligned} \quad (12)$$

(9)에서 PBCH 심볼의 반복되는 기간 동안 채널 값이 거의 일정하다고 가정했으며, D_i 에 따른 PBCH 심볼 셋들을 각각 구한 다음 평균을 취할 경우 RFO를 보다 명확하게 추정할 수 있게 되며, 최종 수식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\hat{\delta}_c = \frac{1}{N_d} \sum_{i=1}^{N_d} \hat{\delta}_c^i \quad (13)$$

여기서 N_d 는 모든 D_i 에 따른 PBCH 심볼 셋의 개수를 의미한다.

V. 시뮬레이션 결과

Monte Carlo 실험을 이용하여 본 논문에서 제안된 RFO 추정 기법의 성능 평가를 수행하였다. 시뮬레이션을 위해 1.4MHz의 대역폭과 확장된 순환 보

호구간 타입의 LTE-MTC 시스템이 고려되었다. 반송파 주파수 $f_c = 2\text{GHz}$, FFT 크기 $N = 128$, 부반송파 간격 $\Delta_f = 15\text{KHz}$, 그리고 기저대역 신호는 샘플링 주파수 $1/T_s = 1.92\text{MHz}$ 로 설정하였다. SFO는 (4)를 적용하였으며, 다양한 환경을 고려한 성능 비교를 위해 extended pedestrian A(EPA), extended vehicular A(EVA), extended typical urban(ETU) 채널 모델이 고려되었다[17].

각 채널 모델의 delay profile은 표 1~3과 같으며, 낮은 이동성을 갖는 MTC UE를 고려하여 도플러 주파수는 1Hz로 제한되었다.

표 1. ITU-EPA 채널 모델

Table 1. ITU-EPA channel model

Path	Extended pedestrian A	
	Excess tap delay (ns)	Relative power (dB)
1	0	0.0
2	30	-1.0
3	70	-2.0
4	90	-3.0
5	110	-8.0
6	190	-17.2
7	410	-20.8

표 2. ITU-EVA 채널 모델

Table 2. ITU-EVA channel model

Path	Extended vehicular A	
	Excess tap delay (ns)	Relative power (dB)
1	0	0.0
2	30	-1.5
3	150	-1.4
4	310	-3.6
5	370	-0.6
6	710	-9.1
7	1090	-7.0
8	1730	-12.0
9	2510	-16.9

표 3. ITU-ETU 채널 모델

Table 3. ITU-ETU channel model

Path	Extended pedestrian A	
	Excess tap delay (ns)	Relative power (dB)
1	0	-1.0
2	50	-1.0
3	120	-1.0
4	200	0.0
5	230	0.0
6	500	0.0
7	1600	-3.0
8	2300	-5.0
9	5000	-7.0

그림 2-4는 RFO=0.02일 때 SNR 대비 기준 및 제안된 기법의 MSE(Mean Square Error) 성능 비교를 수행한 그래프이다.

우선 그림 2를 보면 CRS 기반의 RFO 추정기법의 성능이 다른 두 기법에 비해 성능이 최대 8dB 정도의 성능 열화가 있다는 것을 확인할 수 있다. 이는 3GPP 표준에 제시된 CRS의 표본이 상대적으로 PBCH 심볼에 비해 작기 때문이며, RFO를 추정하기엔 적합하지 않다는 것을 보여준다. decision direct 기반의 기존 기법은 제안된 기법과 비교하였을 때 비슷한 성능을 갖는다. 하지만 계산상의 복잡도 측면을 고려한다면 기존의 기법이 훨씬 적합한 RFO 추정기법이라 판단할 수 있다.

그림 3과 4는 주파수 선택적 페이딩 채널에 해당하는 EVA와 ETU 채널 모델에서 성능비교를 수행한 결과 값이다. 그림 3과 4를 통해 제안된 기법은 채널 추정 기반의 가중치 연산을 수행함으로써 주파수 선택적 페이딩 채널에서 더욱더 적합한 RFO 추정기법을 사용될 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 5-7은 SNR 값이 0dB일때, EPA, EVA, 그리고 ETU 채널 모델에서 0~0.02까지의 정규화된 RFO 값 대비 각 추정 기법들의 MSE 성능을 비교한 결과 그래프이다. 본 실험에서 채널은 완벽하게 추정되었다고 가정하였으며, $G_l(k) = |H_l(k)|^2$ 이 고려되었다.

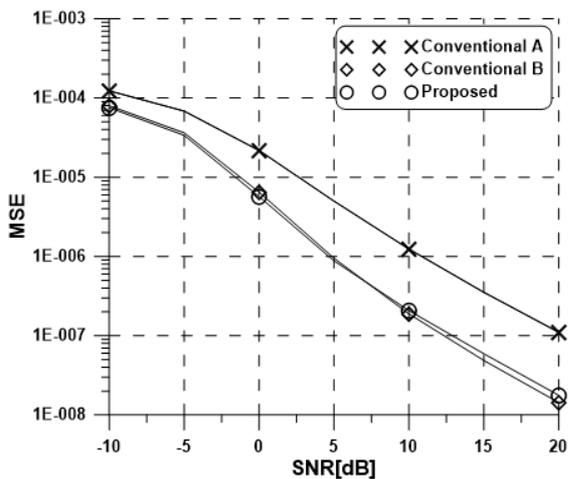


그림 2. EPA 채널에서 RFO 추정기의 MSE 성능
Fig. 2. MSE performance of RFO scheme in EPA channel

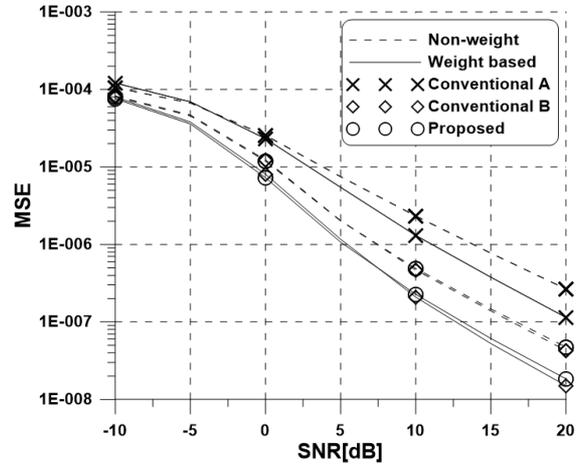


그림 3. EVA 채널에서 RFO 추정기의 MSE 성능
Fig. 3. The MSE performance of RFO scheme in EVA channel

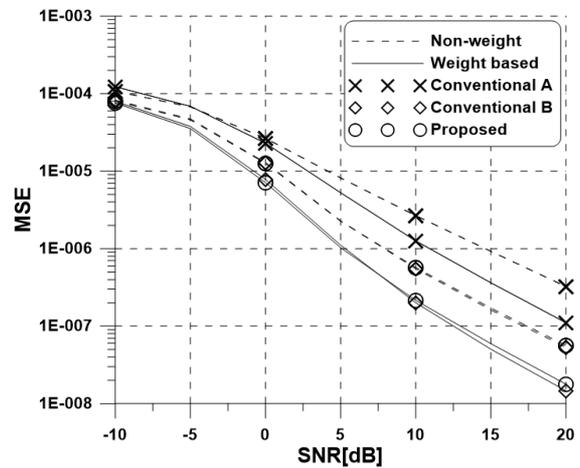


그림 4. ETU 채널에서 RFO 추정기의 MSE 성능
Fig. 4. MSE performance of RFO scheme in ETU channel

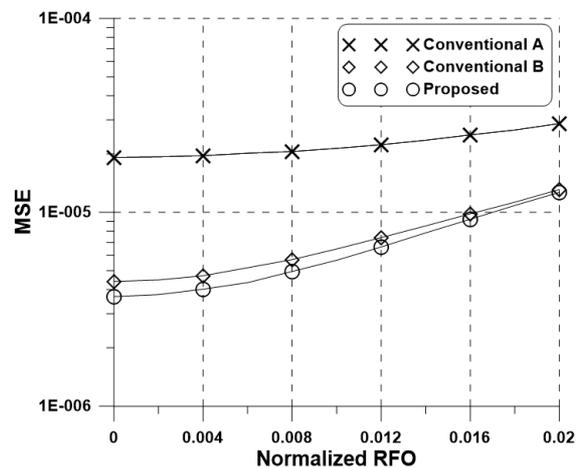


그림 5. EPA채널에서 RFO 값 대비 MSE 성능 비교
Fig. 5. MSE performance of RFO scheme versus RFO in EPA

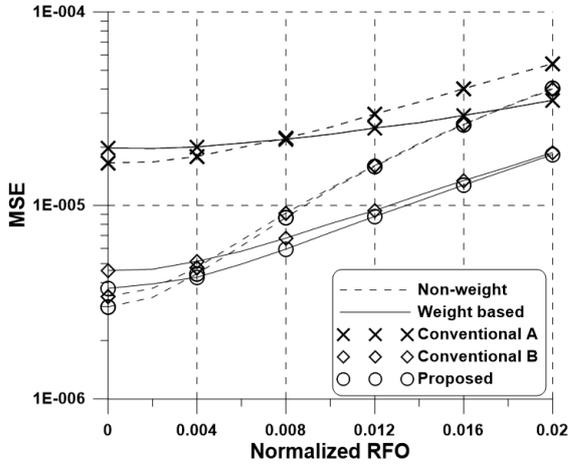


그림 6. EVA 채널에서 RFO 값 대비 MSE 성능 비교
Fig. 6. The MSE performance of RFO scheme versus RFO in EVA

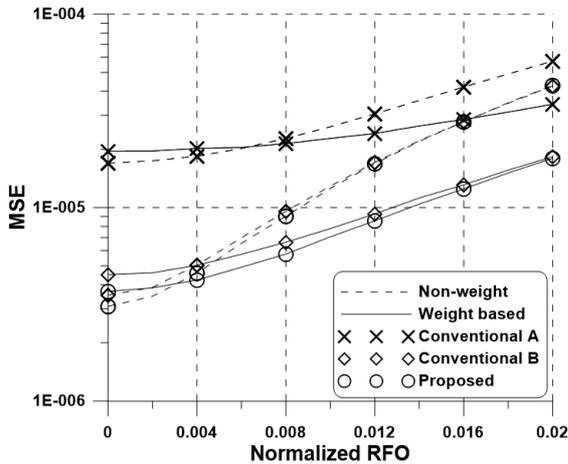


그림 7. ETU채널에서 RFO 값 대비 MSE 성능 비교
Fig. 7. The MSE performance of RFO scheme versus RFO in ETU

그림 5-7의 성능 비교 실험을 통해 다양한 RFO에 상관없이 제안된 기법이 conventional A 기법에 비해 월등히 좋은 성능을 갖는다는 것을 확인할 수 있었으며, 마찬가지로 conventional B 기법과 비교했을 때 보다 좋은 성능을 갖는 것을 입증할 수 있었으며, 주파수 선택적 페이딩 채널에 강건함을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서는 CE mode를 지원하는 MTC 디바이스를 위한 효율적인 RFO 추정 기법이 제안되었

다. 제안된 기법은 효율적인 동기화 절차를 진행하기 위한 목적으로 CE Mode B에서 특정한 패턴으로 반복되어 전송되는 PBCH 심볼의 특성을 이용하였다. 각 correlation 연산마다 가중치를 곱해줌으로써 주파수 선택적 페이딩 채널에 강건한 특성을 갖게 되었다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 기법과 기존의 기법들의 성능을 비교하였으며, 시뮬레이션 결과로부터 MTC 디바이스가 deep coverage에 있을 때, PBCH 심볼의 반복되는 패턴을 이용하여 RFO를 추정하는 제안된 기법이 효율적이라는 것을 입증하였다.

본 논문의 연구에서 추가적으로 연구되어야 할 부분으로써, 저 복잡도를 갖는 RFO 추정 방법 및 가중치를 적용하여 평면 페이딩 채널 환경에서도 성능을 향상시킬 수 있는 방법은 꾸준히 연구되어야 하며, 이를 통해 저전력으로 수행되는 열악한 IoT 통신을 위한 훌륭한 솔루션이 개발될 필요가 있다.

References

- [1] ITU-R, "ITU-R M.[IMT-2020.TECH PERF REQ] - Minimum Requirements Related to Technical Performance for IMT-2020 Radio Interface(s)", Report ITU-R M.2410-0, Nov. 2017.
- [2] 3GPP, "Study on new radio (NR) access technology physical layer aspects", TR 38.802, Mar. 2017.
- [3] 3GPP TR 38.211, "Physical channels and modulation release 15", France: 3GPP organizational partners, 2019.
- [4] 3GPP TR 38.212, "Multiplexing channel coding release 15", France: 3GPP Organizational Partners, 2019.
- [5] 3GPP TR 38.213, "Physical layer procedure for control release 15", France: 3GPP Organizational Partners, 2019.
- [6] M. Speth, S. A. Fechtel, G. Fock, and H. Meyr, "Optimum receiver design for wireless broad-band systems using OFDM-Part I", IEEE Transactions

on Communications, Vol. 47, No. 11, pp. 1668-1677, Nov. 1999.

[7] S. Gault, W. Hachem, and P. Ciblat, "Joint sampling clock offset and channel estimation for OFDM signals: Cramer-Rao bound and algorithms", IEEE Transactions on Signal Processing, Vol. 54, No. 5, pp. 1875-1885, May 2006.

[8] K. Kwon, J. Seo, Y. Cho, and J. Paik, "Integer frequency offset estimation by pilot subset selection for OFDM system with CDD", Electronics Letters., Vol. 48, No. 22, pp. 1434-1435, Oct. 2012

[9] W. L. Chin, "ML estimation of timing and frequency offsets using distinctive correlation characteristics of OFDM signals over dispersive fading channels", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 60, No. 2, pp. 444-456, Feb. 2011.

[10] C. Oberli, "ML-based tracking algorithms for MIMO-OFDM", IEEE Transactions on Wireless Communications, Vol. 6, No. 7, pp. 2630-2639, Jul. 2007.

[11] M. R. Sriharsha, S. Dama, and K. Kuchi, "A complete cell search and synchronization in LTE", EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, Vol. 23, No. 12, pp. 1-14, Dec. 2017.

[12] N. M. Balasubramanya, L. Lampe, G. Vos, and S. Bennett, "Low SNR uplink CFO estimation for energy efficient IoT using LTE", IEEE Access, Vol. 4, pp. 3936-3950, Jul. 2016.

[13] A. Ali and W. Hamouda, "Employing broadcast channel for frequency tracking in LTE-MTC systems", IEEE Wireless Communications Letters, Vol. 5, No. 4, pp. 436-439, Aug. 2016.

[14] A. Ali and W. Hamouda, "Employing broadcast channel for frequency tracking in LTE-MTC systems", IEEE Wireless Communications Letters, Vol. 5, No. 4, pp. 436-439, Aug. 2016.

[15] P. H. Chiang, D. B. Lin, H. J. Li, and G. L. Stuber, "Joint estimation of carrierfrequency and sampling-frequency offsets for SC-FDE systems on multipath fading channels", IEEE Transactions on Communications, Vol. 56, No. 8, pp. 1231-1235, Aug. 2008.

[16] Y. Lin and S. Chen, "A blind fine synchronization scheme for SC-FDE systems", IEEE Transactions on Communications, Vol. 62, No. 1, pp. 293-301, Jan. 2014.

[17] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); User Equipment (UE) Radio Transmission and Reception (Release 14), V14.3.0, 3GPP Standard TS 36.101, Apr. 2014.

저자소개

정 용 안 (Yong-An Jung)



2013년 2월 : 세종대학교
컴퓨터공학과(공학석사)
2019년 8월 : 세종대학교
컴퓨터공학과(공학박사)
2020년 6월 ~ 현재 :
구미전자정보기술원 선임연구원
관심분야 : Mobile communication,
MIMO, Communication theory, Smart factory

변 상 봉 (Sang-Bong Byun)



2010년 2월: 금오공과대학교
전자공학과(공학석사)
2016년 8월: 금오공과대학교
전자공학과(공학박사)
2015년 8월 ~ 현재 :
구미전자정보기술원 선임연구원
관심분야 : SoC, Image Processing,
Serial Interface, Embedded System

조 수 현 (Soo-Hyun Cho)



2004년 2월 : 금오공과대학교

컴퓨터공학과(공학석사)

2006년 2월 : 금오공과대학교

컴퓨터공학과(공학박사)

2008년 11월~present :

구미전자정보기술원 책임연구원

관심분야 : Software engineering,
embedded and Algorithm & Computation theory

이 성 훈 (Sung-Hun Lee)



2004년 2월 : 광운대학교

전파공학과(공학석사)

2010년 2월 : 광운대학교

컴퓨터공학과(공학박사)

2010년 ~ 2016년 : 제주/대구

테크노파크 선임연구원

2016년 6월~현재 :

구미전자정보기술원 책임연구원

관심분야 : Wireless Communication System and
Information Security, Cross-layer network design