

# 5G 이동통신 네트워크를 이용하는 eMTC 시스템에서 잔여 주파수 오차 추정 기법

정용안, 조현규, 조수현, 한동철, 신한재, 이성훈\*

구미전자정보기술원

yajung@geri.re.kr, blackjo@geri.re.kr shcho@geri.re.kr, cataegu07@geri.re.kr, hjshin@geri.re.kr,  
\*leesh@geri.re.kr,

## Residual Frequency Offset Estimation Scheme for eMTC system in 5G Cellular Network

Jung Yong An, Cho Hyun Kyu, Cho Soo Hyun, Han Dong Cheul, Shin Han Jae,  
Lee Sung Hun\*

Gumi Electronics & Information Technology Research Institute

### 요약

5G 통신 시스템의 핵심 시나리오 중 한 가지는 massive machine type communication 서비스이다. 5G 통신의 가장 큰 특징은 다양한 subcarrier spacing을 기반으로 유연한 프레임 구조를 지원하는 것이며, 또한 물리계층에서 데이터 전송방식으로 OFDM 변조기법을 채택하였다는 것이다. 5G 이동통신 네트워크 환경에서 고속의 데이터 통신을 위해 OFDM 변조 방식을 채택하여 사용하는 eMTC 시스템은 주파수 오차를 완벽하게 추정하지 못할 경우, 잔여 주파수 오차에 의해 수신기에서는 정확한 데이터 복조를 할 수 없게 되는 단점이 발생한다. 따라서 eMTC 시스템의 수신기에서는 정확한 잔여 주파수 오차에 대한 추정 및 보상이 반드시 이루어져야 한다. 본 논문은 eMTC 시스템에서 PBCH 심볼의 반복되어 전송되는 패턴을 이용하여 잔여 주파수 오차 추정 기법을 제안한다. 제안된 기법은 기존의 기법과 비교 하였을 때 보다 넓은 주파수 오차 획득 범위를 가지며, 향상된 추정 성능을 갖는다.

### I. 서 론

5G 통신 시스템의 핵심이 되는 시나리오 3가지는 eMBB (enhanced mobile broadband), mMTC (massive machine type communication), URLLC (ultra reliable low latency)이다 [1]. 4G 통신과 비교되는 5G 통신의 가장 큰 특징이라 할 수 있는 점은 고정된 부반송파 간격의 사용이 아닌 통신 시나리오에 적절한 통신 자원 할당을 위해 15kHz ~ 480kHz의 다양한 subcarrier spacing으로 유연한 프레임 구조를 지원하는 큰 차이가 있으며, 데이터 전송기법은 4G와 마찬가지로 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 변조 기법이 채택되었다. 5G 이동통신 네트워크 환경에서 고속의 데이터 통신을 위해 OFDM 변조 방식을 사용하는 eMTC 시스템은 시간 및 주파수 영역에서 주파수 오차를 완벽하게 추정하지 못할 경우, 남아있는 잔여 주파수 오차에 의해 원래의 신호에서 위상값이 곱해져 회전되기 때문에 수신기에서는 정확한 데이터 복조를 할 수 없게 되는 단점이 발생한다. 따라서 eMTC 시스템에서 잔여 주파수 오차를 추정하기 위한 다양한 방법들이 고안되었다 [2][3]. 본 논문은 OFDM 기반의 eMTC 시스템에서 특정 심볼 간격으로 반복되어 전송되는 PBCH (physical broadcast channel) 심볼의 특성을 이용한 잔여 주파수 오차 추정 기법을 제안하며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 기존의 기법과 제안된 기법의 주파수 오차 추정 성능을 비교한다.

### II. 시스템 모델

본 논문에서는 OFDM 기반의 eMTC 시스템에서 수신기의 주파수 오차가 완벽하게 및 보상되지 않았기 때문에 남아있는 잔여 주파수 오차를 존

재함에 초점을 두었다. FFT (Fast Fourier Transform) 이후  $l$  번째 OFDM 심볼의  $k$  번째 부반송파에 실린 위상 회전된 수신 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_l(k) = H_l(k)X_l(k)e^{j2\pi(\delta_c + k\delta_s)(lN_u + N_g)/N} + C_l(k) + W_l(k) \quad (1)$$

여기서  $H_l(k)$ 는 평균이 0이고 분산이  $\sigma_H^2$ 인 채널의 주파수 응답,  $W_l(k)$ 는 평균이 0이고 분산이  $\sigma_W^2$ 인 AWGN (additive white Gaussian noise),  $C_l(k)$ 는 인접한 부반송파 간섭 성분,  $\delta_s$ 는 샘플링 주파수 오차, 그리고  $\delta_c$ 는 잔여 주파수 오차이다.

### III. 제안하는 기법

본 논문에서 제안하는 잔여 주파수 오차 추정 기법은 3GPP 표준에서 제시한 eMTC 시스템을 고려하였으며, 여기서 프레임 단위로 전송되는 신호에 심볼간격  $D_i = 3,4$ 마다 반복되어 삽입된 PBCH 심볼을 이용한다. 본 논문에서는 잔여 주파수 오차에 의한 위상 회전된 값을 추정하기 위해 다음과 같은 상관 함수를 사용한다.

$$\hat{\delta}_c^i = \frac{1}{2\pi\lambda N_i D_i} \sum_{l \in T_i} \sum_{k \in P} G_l(k) \arg\{\tilde{R}_l^i(k)\} / \sum_{k \in P} G_l(k) \quad (2)$$

여기서  $\arg\{x\}$ 는 위상 회전된 복소수  $x$ 의 각도를 구하는 함수이며,  $\lambda = N_u/N$ ,  $D_i$ 는 심볼간 간격,  $N_i$ 는 동일한 심볼 간격을 갖는 반복되는 PBCH 심볼들의 개수, 그리고  $G_l(k)$ 는 가중치를 의미한다. 이 때

$H_l(k) \approx H_{l+D_l}(k)$ 라고 가정했을 때,  $\hat{R}_l^i(k)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}\tilde{R}_l^i(k) &= Y_l^*(k) Y_{l+D_l}(k) \\ &\approx |H_l(k)|^2 E_x e^{j2\pi\lambda D_l \phi(k)} + \tilde{C}_l^i(k) + \tilde{Z}_l^i(k)\end{aligned}\quad (3)$$

상기 상관 식 (2)와 (3)을 이용한 잔여 주파수 오차 추정의 최종 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{\delta}_c = \frac{1}{N_d} \sum_{i=1}^{N_d} \hat{\delta}_c^i \quad (4)$$

여기서  $N_d$ 는  $D_i$ 의 모든  $i$ 를 고려했을 때의 개수를 의미하고, 본 논문에서 제안된 기법의 핵심 파라미터 값은 FDD 모드일 때  $D_i = \{3, 4, 7\}$ ,  $N_i = \{4, 7, 2\}$ ,  $N_d = 3$ 이며, TDD 모드일 때  $D_i = \{3, 4\}$ ,  $N_i = \{2, 11\}$ ,  $N_d = 2$ 이다.

#### IV. 모의실험결과

제안하는 잔여 주파수 오차 추정 기법의 성능은 컴퓨터 모의실험을 통하여 확인한다. 컴퓨터 모의 실험을 위해 2GHz 주파수 대역을 고려하였으며, 대역폭은 1.4MHz, FFT크기  $N = 128$ , 샘플링 간격  $\Delta_f = 15\text{kHz}$ , 샘플링 주파수  $\Delta_s = 1.92\text{MHz}$ 를 사용하였다. 또한 eMTC 통신의 채널 환경은 [4]에 제시된 extended typical urban 채널 모델이 고려되었다. 그림 1은 잔여 주파수 오차  $\delta_c = 0.1$ 일 때 기존 및 제안된 기법의 MSE (Mean Square Error) 성능을 비교한 실험 결과이다. -10dB와 같은 낮은 SNR (signal to noise ratio) 부터 높은 SNR까지 모든 SNR값에서 제안된 기법이 기존의 기법보다 오차 추정 성능이 낮은 SNR에서는 5dB정도의 성능차이를 가지며, 높은 SNR에서는 최대 10dB 정도의 성능차이가 나는 것을 확인할 수 있다. 그림 2는 SNR=0일 때, 정규화된 RFO 값에 따른 기존 및 제안된 기법의 MSE 성능을 비교한 실험 결과이며, 제안된 기법의 추정 범위가 기존의 기법보다 보다 넓은 추정 범위를 갖는다는 것을 확인하였다. 이와 같은 컴퓨터 모의실험을 통해 제안된 기법이 기존의 기법과 비교했을 때 성능이 향상되었음을 확인할 수 있다.

#### V. 결론

본 논문에서는 이동통신 네트워크를 이용하는 eMTC 시스템에서 수신 신호에 대한 정보가 없어도 좋은 추정 성능을 달성할 수 있는 잔여 주파수 오차 추정기법을 제안하였다. 3GPP 표준에서 정의된 프레임 단위의 전송 신호는 특정한 심볼 간격으로 PBCH 심볼들이 반복 전송된다. 제안하는 기법은 CRS나 기타 다른 reference signal들을 이용하지 않고, 반복되어 전송되는 PBCH 심볼들의 패턴을 이용하여 상관 함수를 취해줌으로써, 주파수 영역에서 미세하게 남아있는 잔여 주파수 오차 값을 추정하였으며, 기존의 기법과 비교하였을 때, 기존의 기법보다 넓은 추정 오차범위를 확보할 수 있었으며, 향상된 MSE 성능을 갖는다는 것을 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

#### ACKNOWLEDGMENT

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).

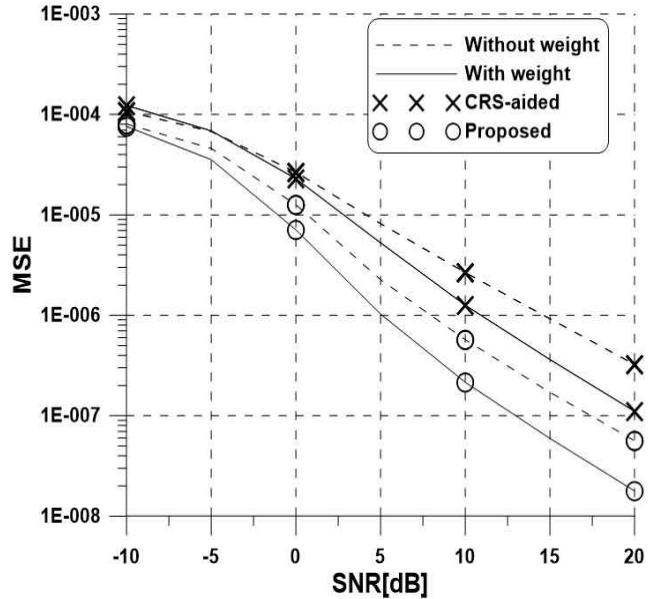


그림 1. 기존 및 제안된 기법의 SNR 대비 MSE 성능 비교

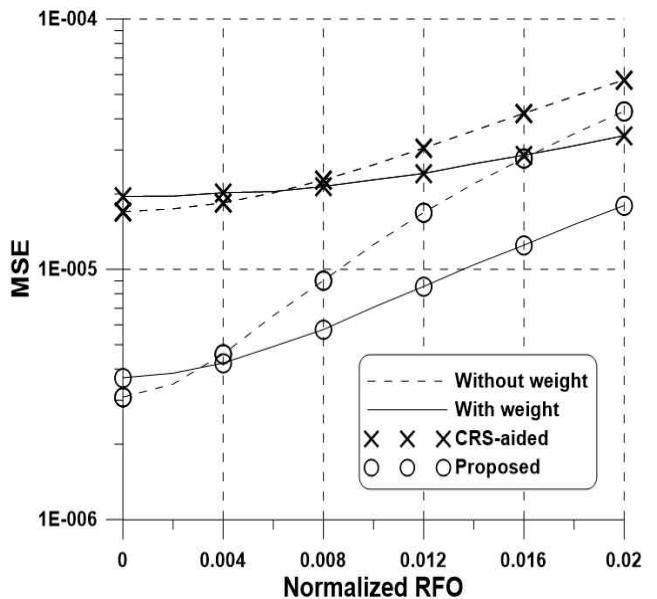


그림 2. 기존 및 제안된 기법의 RFO 대비 MSE 성능 비교

#### 참 고 문 헌

- [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] A. Ali and W. Hamouda, "Employing broadcast channel for frequency tracking in LTE-MTC systems," IEEE Wireless Commun. Lett., vol. 5, no. 4, pp. 436 - 439, Aug. 2016.
- [3] J. X. Wang and B. Hu, "A low-complexity ML estimator for carrier and sampling frequency offsets in OFDM systems," IEEE Commun. Lett., vol. 18, no. 3, pp. 503 - 506, Mar. 2014.
- [4] 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.