

5G 기반 mMTC 환경에서 블라인드 동기화 오차 추정 기법 연구

이성훈, 정용안, 변상봉, 신한재, 한동철, 조수현*

구미전자정보기술원

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

Blind Synchronization Error Estimation Scheme in 5G Network

Lee Sung Hun, Jung Yong An, Byun Sang Bong, Shin Han Jae, Han Dong Cheul,
Cho Soo Hyun*

Gumi Electronics & Information Technology Research Institute

요약

5G 통신 시스템의 핵심 시나리오 중 한 가지는 massive machine type communication (mMTC) 서비스이다. MTC 시스템의 특징으로는 저전력, 저비용, 그리고 협대역이라 할 수 있으며, 저전력 소비 + 커버리지 향상이 핵심 목표이다. 이동통신 네트워크를 이용하는 MTC 시스템에서는 -15dB 와 같은 낮은 signal to noise ratio (SNR)에서 통신이 수행된다. 특히, 좁은 지역에서 수많은 IoT 기기들이 통신하는 MTC 환경에서 다양한 간섭신호들에 의해 수신 신호를 정확하게 복조하는 것은 매우 어렵다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 낮은 SNR에서도 정확하게 신호를 복조할 수 있게 하기 위한 고성능의 주파수 동기화 기법을 제안한다. 제안된 기법은 특정 synchronization signal들을 이용하지 않는 blind로 동기화 오차를 추정할 수 있으며, 기존의 기법과 제안된 기법을 비교하였을 때 보다 훌륭한 성능을 갖는 것을 컴퓨터 모의 실험을 통해 확인할 수 있다.

I. 서 론

5G 통신에서 가장 주목받고 있는 분야 중 한 가지는 mMTC (massive machine type communication)이다 [1]. 5G 통신에서는 수많은 사용 시나리오들이 있으며, 이들을 수용하기 위해 물리계층에서 주파수 자원을 flexible하게 사용하기 위한 numerology μ 를 도입하였다. 현재 5G 표준에서는 $\mu = 0, 1, \dots, 4$ 의 값을 세시하고 있으며, 이를 기준으로 부반송파 간격 $15, 30, \dots, 240\text{kHz}$, 그리고 프레임당 슬롯의 수는 $10, 20, \dots, 160$ 가 되며, 기저대역의 전송 기법은 CP-OFDM (cyclic prefix orthogonal frequency division multiplexing)과, DFT-S-OFDM (discrete Fourier transform spread OFDM)이 채택되었다 [2]. OFDM 변조기법의 가장 큰 단점은 동기화 오차에 매우 민감하다는 것이다. OFDM 기법을 사용하는 MTC 시스템의 수신기에서 주파수 동기화 오차를 완벽하게 추정하지 못할 경우, 원래의 신호에서 위상이 회전되며 정확하게 수신 신호를 복조할 수 없게 된다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 주파수 오차를 추정하기 위한 다양한 방법이 연구되었다 [3]. 본 논문은 5G 네트워크를 이용하는 LTE cat-M1 시스템에서 synchronization signal, reference signal들을 이용하지 않는 블라인드 동기화 오차 추정기법이며, 채널 추정 기반의 가중치를 적용시킴으로써 주파수 선택적 페이딩 채널에 강건함을 갖는다. 시뮬레이션을 통해 기존의 기법과 제안된 기법의 추정 성능을 비교하며 검증을 수행한다.

II. 시스템 모델

본 논문에서는 OFDM 변조 기법을 이용하는 수신기에서 주파수 동기화 오차가 완벽하게 추정 및 보상되지 않았을 때를 고려하였으며, 주파수 영역에서 오차를 추정하는 방법을 제시한다. 시간 영역에서 수신기의 l 번째 OFDM 심볼의 n 번째 샘플에 실린 신호는 주파수 오차가 존재할 때 다음

과 같이 나타낼 수 있다.

$$y_l(n) = x_l(n) e^{j2\pi\delta_c n} \otimes h_l(n) + w_l(n) \quad (1)$$

여기서 δ_c 는 주파수 오차 값, \otimes 는 컨벌루션 연산, $h_l(n)$ 은 다중경로 채널의 이산시간 임펄스 응답, 그리고 $w_l(n)$ 은 잡음을 의미한다. 수신받은 신호 $y_l(n)$ 의 FFT (Fast Fourier Transform) 이후 주파수 영역에서의 신호는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_l(k) = H_l(k) X_l(k) e^{j2\pi(\delta_c + k\delta_s)(lN_c + N_{cp})/N} + I_l(k) + W_l(k) \quad (2)$$

여기서 $H_l(k)$ 는 채널의 주파수 응답, $W_l(k)$ 는 AWGN (additive white Gaussian noise), $I_l(k)$ 는 인접한 부반송파간 간섭 성분, $N_c = N + N_{cp}$, N_{cp} 는 cyclic prefix (CP), 그리고 δ_s 는 샘플링 주파수 오차이다.

III. 제안하는 기법

본 논문에서 제안하는 동기화 오차 추정기법은 이동통신 네트워크를 이용하는 IoT 통신을 위한 LTE Cat-M1 시스템을 고려하였으며, 기존의 기법과의 공정한 성능 비교를 위해 프레임단위에 삽입되어 전송되는 PBCH 심볼을 이용하였다. 주파수 동기화 오차 추정을 위해 제안하는 기법의 수식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{\delta}_c = \frac{N}{2\pi N_c N_b D} \sum_{l \in T_p} \sum_{k \in P} P_l(k) \arg \{ C_l(k) \} / \sum_{k \in P} P_l(k) \quad (3)$$

여기서 N_b 는 PBCH 심볼의 수, D 는 심볼간 간격, $P_l(k)$ 는 채널 추정 기

반의 가중치, 그리고 $\arg\{\cdot\}$ 는 위상 회전된 각도 값을 구하기 위해 사용하는 함수이다. 이때 인접한 심볼들이 겹는 채널 값을 다음과 같이 $H_l(k) \approx H_{l+D}(k)$ 라고 가정했을 때, $C_l(k)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_l(k) = \frac{Y_l^*(k)}{\hat{X}_l^*(k)} \frac{Y_{l+D}(k)}{\hat{X}_{l+D}^*(k)} \quad (4)$$

여기서 $\hat{X}_l(k)$ 는 대략적인 추정된 l 번째 송신신호를 의미하고, $\hat{X}_{l+D}(k)$ 는 $l+D$ 번째 송신신호를 의미한다. 제안된 기법은 수신 신호에 대략적인 추정된 송신 신호의 역수를 곱해준 뒤 상관 함수를 적용함으로써 추정 성능을 향상시킬 수 있으며, 추정된 채널 값 기반의 가중치 연산을 수행함으로써 frequency selective fading 채널에 강건함을 갖는다.

IV. 모의실험결과

시뮬레이션을 통해 제안된 기법과 기존의 기법의 성능 비교를 수행하였다. 시뮬레이션을 통한 성능 비교를 위해 주파수 대역은 2GHz, 대역폭은 1.4MHz, FFT size는 128 sample, 샘플링 간격은 15kHz, 샘플링 주파수는 1.92MHz를 고려하였다. 또한 다양한 환경에서의 성능 검증을 수행하기 위해 [4]에 제시된 EPA (extended pedestrian A) 채널 모델과, EVA (extended vehicular A) 채널 모델이 고려되었다. 그림 1은 EPA 채널에서 주파수 오차 값이 0.1일 때 기존 및 제안된 기법의 SNR (signal to noise ratio) 대비 MSE (Mean Square Error) 성능을 비교한 결과이다. EPA 채널은 flat fading의 성격을 갖기 때문에 가중치를 부여할 때와 가중치를 부여하지 않았을 때의 성능 차이는 크게 없음을 확인할 수 있었으며, 기존의 기법에 비해 본 논문에서 제안된 기법이 최대 10dB의 추정 성능이 향상되었음을 확인할 수 있다. 그림 2는 EVA 채널에서 주파수 오차 값이 0.1일 때 기존 및 제안하는 기법의 MSE 성능을 비교한 결과이다. EVA 채널 모델과 같은 frequency selective fading 채널에서는 가중치를 부여했을 때와 부여하지 않았을 때의 성능 차이가 발생함을 확인할 수 있었으며, 그림 1과 마찬가지로 제안된 기법이 frequency selective fading 채널에서도 우수한 성능을 갖는 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 5G 네트워크에서 수많은 IoT 디바이스들을 수용하기 위해 낮은 전력에서도 정확하게 신호를 수신할 수 있는 동기화 기술을 제안하였다. 제안된 주파수 동기화 오차 추정 기법은 채널 추정 기반의 가중치를 적용함으로써 frequency selective fading 채널에 강건한 특성을 가지며, 주파수 오차 값 추정을 위한 상관 함수를 적용할 때 특정한 synchronization signal이나 reference signal을 사용하지 않아도 된다는 큰 특징이 있다. 제안된 기법은 기존의 기법과 비교하였을 때, flat fading 및 selective fading 채널 환경에서 좋은 추정 성능을 갖는다는 것을 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).

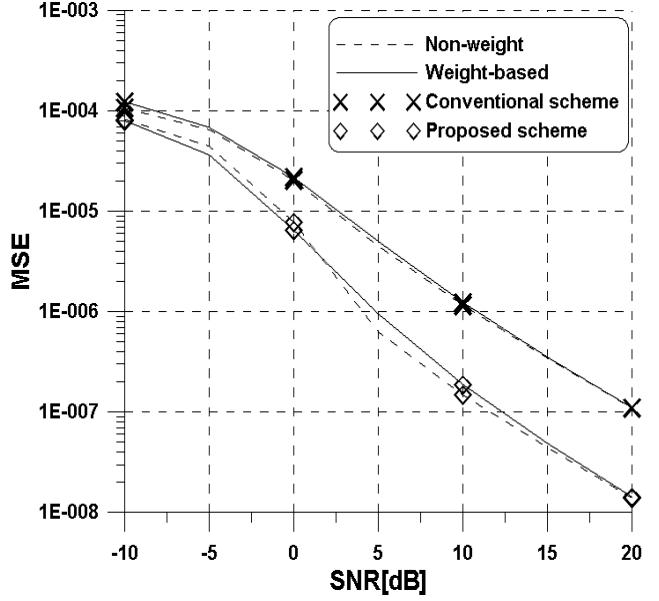


그림 1. EPA 채널에서 기존 및 제안된 기법의 MSE 성능 비교

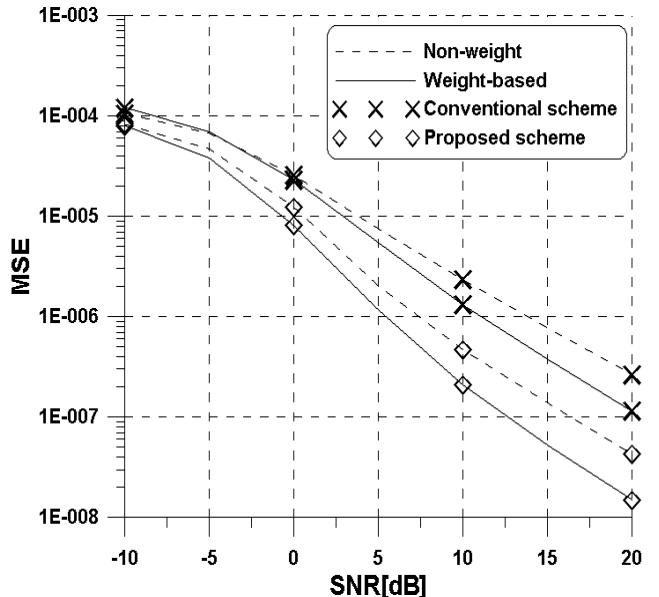


그림 2. EVA 채널에서 기존 및 제안된 기법의 MSE 성능 비교

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] NR; Physical Channels and Modulation Release 15, document TS 38.211, V.15.4.0, 3GPP, 2018.
- [3] R. Zeng, H. Huang, L. Yang, and Z. Zhang, "Joint estimation of frequency offset and Doppler shift in high mobility environments based on orthogonal angle domain subspace projection," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 67, no. 3, pp. 225402266, Mar. 2018.
- [4] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Base Station (BS) Radio Transmission and Reception (Release 14), V14.3.0, 3GPP Standard TS 36.104, Apr. 2014.