

Cellular-V2X 시스템을 위한 저복잡도의 Sidelink 식별자 및 주파수 오차 추정 방법

이성훈*¹, 변상봉*², 조수현*³, 정용안*⁴

Low-Complexity Sidelink Identity and Frequency Offset Estimation Scheme for Cellular-V2X System

Sung-Hun Lee*¹, Sang-Bong Byun*², Soo-Hyun Cho*³, and Yong-An Jung*⁴

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

이동통신망을 이용하는 V2X(Vehicle-to-everything) 통신의 주요 과제 중 하나는 저 지연 통신을 위한 강건하고 낮은 복잡도를 갖는 동기화 기술의 개발이다. 이 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 LTE-A 네트워크를 이용하는 Cellular-V2X(C-V2X) 통신을 위한 효율적인 주파수 오차 추정 및 사이드 링크 식별자 탐지 기법이 제안되었다. 제안된 방법은 저복잡도의 정수배 주파수 오차 및 sidelink 식별자 동시 추정을 위해 차동 PSSS(Primary Sidelink Synchronization Signal) 부반송파 간 특정 임계치를 기준으로 위상차가 대략 $\pi/2$ 의 배수를 갖는 PSSS 부반송파들을 다수의 서브 그룹으로 그룹화한다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과로부터 제안된 방법이 기존의 기법과 비슷한 성능을 가지면서 연산량 측면에서 복잡도가 크게 감소하는 것을 입증하였다.

Abstract

One of the main challenges of vehicle-to-everything(V2X) communication using the cellular network is development of a robust and low-complexity synchronization technology for low-latency communication. To solve this problem, this paper proposes an efficient frequency offset estimation and sidelink identity detection scheme for LTE-sidelink based cellular-V2X(C-V2X) communication. The proposed method considers the grouping of the primary sidelink synchronization signal(PSSS) subcarriers. The PSSS subcarriers are grouped into sub-groups according to the phase difference between PSSS subcarriers based on specific thresholds. Simulation results show the proposed method significantly reduced the computational complexity with similar performance to the conventional scheme.

Keywords

C-V2X, synchronization, sidelink identity, frequency offset

* 구미전자정보기술원 지능형웨어러블연구센터(*⁴ 교신저자) · Received: Jul. 14, 2021, Revised: Aug. 26, 2021, Accepted: Aug. 29, 2021
- ORCID¹: <https://orcid.org/0000-0001-6700-2818> · Corresponding Author: Yong-An Jung
- ORCID²: <https://orcid.org/0000-0002-2422-7838> Dept. of Intelligent Wearable Research Center, GERI, Wearable Center,
- ORCID³: <https://orcid.org/0000-0002-4831-3212> 350-27, Gumidaero, Gumi, Korea, (39253)
- ORCID⁴: <https://orcid.org/0000-0003-2203-2460> Tel.: +82-54-460-9067, Email: yajung@geri.re.kr

1. 서 론

이동통신 기술 분야에서는 높은 데이터 속도, 높은 안정성, 낮은 지연시간 및 대규모 연결을 위한 기술개발에 중점을 두고 있으며, 최근 3GPP(3rd Generation Project Partnership)는 5G NR(New Radio) 기술과 4G LTE-A 기술의 발전에 초점을 맞추고 있다[1]. 이러한 목표를 달성하기 위해 스펙트럼 효율성과 서비스 품질을 크게 향상시킬 수 있는 mMIMO(massive Multi-Input Multi-Output), 빔 포밍 및 밀리미터파 통신과 같은 새로운 무선 액세스 기술이 정의되고 있다[2]. 이러한 무선 액세스 기술들은 사용자 장비와 기지국 간의 초기 동기화 프로세스를 수행할 때 몇 가지 어려움을 수반한다.

기지국을 거치지 않는 UE(User Equipment) 간 D2D(Device to Device) 통신은 3GPP 릴리스 12~15에서 LTE-A sidelink 무선 인터페이스를 사용하여 데이터를 송·수신하도록 설계되었다[3]. 이러한 sidelink 데이터 전송의 주요 시나리오는 차량 군집, 자율주행과 같은 D2D 기반 V2X(Vehicle to Everything) 통신을 목표로 한다. 릴리스 16에는 LTE 확장과 함께 NR 기술 진화의 첫 번째 단계의 일부로 포함되기 때문에 LTE-V2X 기술은 여전히 중요한 역할을 차지하고 있다. 이러한 C-V2X(Cellular-V2X) 시나리오의 주요 이슈 중 하나는 통신 커버리지 향상을 지원하는 동시에 높은 신뢰성 보장 및 낮은 지연시간을 충족하는 것이다. 또한, 기존의 D2D 통신과 달리 C-V2X 통신은 UE의 높은 이동성 지원 및 QoS(Quality of Service)를 만족시키기 위해 NR과 LTE-A sidelink 간의 공존이 필요하다[4].

C-V2X 통신에서 해결해야 할 문제점 중 하나로 동기화 문제가 있으며, 기지국이 형성하는 네트워크 이외의 통신 커버리지 영역에서 V2X 통신 디바이스 간 동기화는 매우 어려운 분야에 해당한다. 통신 링크를 설정하려면 V2X UE가 네트워크에 연결되어야 하며, 초기 접속 과정에서 소스 UE는 PSSS(Primary Sidelink Synchronization Signal)과 SSSS(Secondary SSS) 동기화 신호를 전송한다. 동기화 과정의 순서를 보면 우선 시간 영역에서 초기 타이

밍 및 주파수 동기화를 획득하는 일련의 프로세스를 수행하게 되는데, 타이밍 및 소수배 주파수 오차가 추정 및 보상되면 시간 영역 신호는 FFT(Fast Fourier Transform)를 거쳐 주파수 영역 신호로 변환된다. 주파수 영역 신호로 변환된 이후, PSSS에 내포되어있는 sidelink 식별자를 탐색하고, 정수배 주파수 오차를 추정한 다음, SSSS에 포함되는 sidelink 그룹 식별자를 추정하게 된다. 다음 단계에서는 미세하게 남아있는 잔여 시간 및 주파수 오차, 샘플링 주파수 오차를 추정하게 된다.

CP-OFDM(Cyclic Prefix - Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 기반의 무선 통신 시스템에서 동기화 성능에 의해 전체적인 시스템의 성능이 좌우될 수 있다. 따라서 이러한 시스템의 성능 향상을 위한 많은 동기화 기술이 연구되었다[5]-[13]. 그러나 기존의 기법들은 C-V2X 통신의 이중 이동성을 고려했을 때, 동기화 성능을 보다 향상시켜야 할 필요가 있으며, 저지연 통신을 위해 보다 낮은 복잡도를 가지는 동기화 기술을 개발하는 것이 매우 중요하다.

이 논문의 목표는 LTE-A sidelink 기반 C-V2X 통신 시스템에 적용할 수 있는 낮은 복잡도를 갖는 고성능의 PSSS 및 정수배 주파수 오차 탐지 기법을 제시하는 것이다. 제안하는 기법은 PSSS 신호에 포함되는 sidelink 식별자 및 정수배 주파수 오차를 동시에 추정하는 과정에서 PSSS 시퀀스에 차동 상관 연산을 적용하였으며, 여기서 복잡도를 줄이기 위해 차동 PSSS 부반송파의 대칭되는 특성을 활용하여 위상값에 특정 임계치를 기준으로 같은 범주 내에 포함되는 차동 PSSS 부반송파들을 그룹화하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 제안된 기법과 기존의 기법의 성능을 비교한 결과 비슷한 추정 성능을 갖지만 복잡도를 대폭 낮춘 것으로 나타났다.

본 논문의 2장에서는 LTE sidelink 기반의 C-V2X 시스템 모델에 대해 설명하고, 3장에서는 기존의 기법에 대해 설명한다. 4장에서는 저복잡도를 갖는 sidelink 식별자 및 정수배 주파수 오차 추정 기법을 제안하고, 5장에서 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 기법과 기존의 기법 간 성능을 비교하고, 결론을 맺는다.

II. 시스템 모델

2.1 PSSS 시퀀스

LTE-A sidelink 시스템은 주기가 10ms인 프레임 단위로 전송이 되는데, 한 개의 프레임은 주기가 1ms인 10개의 서브 프레임으로 구성되어 있고, 각 서브 프레임은 주기가 0.5ms인 2개의 슬롯으로 구성된다. 각 슬롯은 normal CP인 경우 7개의 DFT-S-OFDM 심볼로 구성되고, extended CP인 경우 6개의 DFT-S-OFDM 심볼로 구성 된다. LTE-A downlink와는 달리 sidelink에서는 PSSS 및 SSSS가 동기화를 위해 사용되며, 이는 40ms마다 두 개의 연속된 DFT-S-OFDM 심볼로 전송 된다. PSSS 시퀀스의 경우 서브 프레임 내 1번째와 2번째 심볼에 삽입되어 전송되고, SSSS의 경우 11번째와 12번째 심볼에 삽입되어 전송된다.

LTE-A sidelink 시스템에서는 $N_{ID}^{(1)} \in \{0, 1, \dots, 167\}$, $N_{ID}^{(2)} \in \{0, 1\}$, $2N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)}$ 에 의해 $N_{ID}^{SS} \in \{0, 1, \dots, 335\}$ 인 336개의 식별자가 있다. 이는 각각 in-network에서 $\{0, 1, \dots, 167\}$, out-of-network에서 $\{168, \dots, 335\}$ 의 식별자 그룹으로 나뉘게 된다. PSSS는 시퀀스 인덱스가 $u_i = \{26, 37\}$ 인 Zadoff-Chu 시퀀스를 기반으로 생성되며, 이는 해당하는 심볼에 DC를 중심으로 각각 31개의 시퀀스가 대칭 구조를 가지며 5개의 가드 부반송파가 삽입되는 형태로 할당된다. Zadoff-Chu 시퀀스 기반의 PSSS 생성 식은 다음과 같이 표현된다[1].

$$P_i(k) = \begin{cases} e^{-j\pi u_i(k+31)(k+32)/63} \\ 0, otherwise \end{cases} \quad (1)$$

여기서 $-N_s/2 \leq k \leq N_s/2$ 이고, $i = 0, 1$ 이다.

2.2 시스템 모델

본 논문에서는 LTE sidelink 기반 C-V2X 시스템에서 PSSS의 경우 DFT 코딩이 적용되지 않기 때문에, DFT-S-OFDM 심볼이 아닌 CP-OFDM 심볼을 고려하였다. FFT 길이가 N 이고, 시간 영역에서 길이

가 N_{cp} 인 CP가 삽입된 l 번째 CP-OFDM 심볼의 k 번째 부반송파 송신 신호는 식 (2)와 같이 나타낼 수 있다.

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

여기서 $X_l(k)$ 는 주파수 영역의 전송신호, $x_l(n)$ 은 시간 영역에서의 전송 신호를 의미한다. 시간 영역의 신호로 변환된 송신 신호는 CP N_{cp} 이 삽입된 이후, 다중경로 채널 및 AWGN(Additive White Gaussian Noise)을 통과하여 수신기로 전송된다.

수신기에서 수신받은 신호는 심볼 타이밍 오차 및 소수배 주파수 오차가 추정 및 보상되고, CP가 제거된 이후, FFT 연산을 통해 주파수 영역의 신호로 변환된다. 수신기의 주파수 영역에서 l 번째 심볼의 k 번째 부반송파 신호는 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$R_l(k) = H_l(k - \delta_f) X_l(k - \delta_f) e^{j2\pi \delta_f N_{cp} / N} + W_l(k) \quad (3)$$

여기서 $H_l(k)$ 는 채널의 주파수 응답, $X_l(k)$ 는 수신기에서 수신받은 전송 신호, δ_f 는 정수배 주파수 오차, $W_l(k)$ 는 평균이 0인 AWGN을 의미한다.

본 논문은 FFT 이후 남아있는 정수배 주파수 오차 추정 및 sidelink 식별자를 추정하는 방법에 대해 다루기 때문에 pre-FFT 단계에서 심볼 타이밍 오차 및 소수배 주파수 오차는 완벽하게 추정되었다고 가정한다.

2.3 PSSS 시퀀스의 차동 상관

정수배 주파수 오차 및 sidelink 식별자 감지는 일반적으로 동기화 절차가 수행되는 동안 채널 상태 정보를 알수 없기때문에 비동기 방식으로 수행 된다. 기존의 연구에서는 C-V2X 통신 시스템의 동기화 프로토콜에 적용할 수 있는 차동 상관관계를 이용한 비동기식 검출 방법이 제안되었다. 차동상관관계는 $H_l(k) \approx H_l(k-1)$ 이라고 가정했을 때 중

은 추정 성능을 갖는다. PSSS가 l 번째 OFDM 심볼에 삽입되어 전송되었다고 가정했을 때, 채널 페이딩의 영향을 완화시키기 위하여 수신받은 PSSS 심볼의 인접한 부반송과간 차동 상관 식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} D_l(k) &= R_l(k)R_l^*(k-1) \\ &= |H_l(k-\delta_f)|^2 S_i(k-\delta_f) \\ &\quad + \widetilde{W}_l(k), k=-30, \dots, -1, 2, \dots, 31 \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 $S_i(k) = P_i(k)P_i^*(k-1)$ 를 의미하고, 이는 송신기에서 생성된 인접한 PSSS 부반송과간 차동 상관연산을 의미한다. $(\cdot)^*$ 는 켈레복소수를 의미하고, $\widetilde{W}_l(k)$ 는 식 (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \widetilde{W}_l(k) &= H_l(k-\delta_i)X_l(k-\delta_i) \\ &\quad \cdot W_l^*(k-1)e^{j2\pi\delta_i N_g/N} \\ &\quad + H_l^*(k-\delta_i-1)X_l^*(k-\delta_i-1) \\ &\quad \cdot W_l(k)e^{-j2\pi\delta_i N_g/N} \\ &\quad + W_l(k)W_l^*(k-1) \end{aligned} \quad (5)$$

III. 기존의 기법

LTE-A sidelink 시스템에서 낮은 복잡도로 정수배 주파수 오차 및 sidelink 식별자를 추정하기 위해 Zadoff-Chu 시퀀스의 대칭되는 특성을 이용한 방법이 연구되었다[14]. 이 기법에서 정수배 주파수 오차 및 sidelink 식별자는 수신기에서 PSSS의 주파수 영역 이동을 수행하여 추정될 수 있다. 대칭 켈레미분 상관에 대해 목적 함수 $\Psi(a,b)$ 를 식 (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} \Psi(a,b) &= \sum_{k=2}^{31} \{D_l(k+a) + D_l^*(-k+a+1)\} \\ &\quad \cdot S_i^*(k) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 a 는 정수배 주파수 오차를 추정하는데 사용된 변수이고, b 는 sidelink 식별자를 추정하는데 사용된 변수이다. 정수배 주파수 오차 및 sidelink 식별자를 동시에 추정하기 위한 최종 식은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$(\hat{\delta}_f, \hat{i}) = \arg \max_{|a| \leq A, b \in \{0,1\}} \Psi(a,b) \quad (7)$$

여기서 $\hat{\delta}_f$ 와 \hat{i} 는 각각 추정된 정수배 주파수 오차 및 sidelink 식별자를 나타내며, A 는 시스템에서 허용되는 정수배 주파수 오차 값의 범위에 해당한다. 기존의 기법은 Zadoff-Chu 시퀀스의 대칭되는 특성을 이용하여 수신받은 PSSS와 본래의 PSSS를 상관 연산을 수행하면서 복잡도를 줄였지만, 추정 성능 측면에서 더욱 정확한 추정 기술이 보완되어야 할 필요가 있다. 또한, C-V2X 시스템의 지연시간을 줄이기 위해 더 낮은 연산량을 가지는 동기화 기술이 필요하다.

IV. 제안된 기법

본 장에서는 LTE-A sidelink 기반 C-V2X 시스템에서 저복잡도의 정수배 주파수 오차 추정 및 sidelink 식별자 탐지 방법을 제안한다. 제안된 기법은 복잡도를 낮추면서 높은 추정 정확도를 확보하기 위해, PSSS 시퀀스의 차동상관 연산을 적용하였으며, 차동 PSSS 시퀀스의 위상 값을 허용 각도 범위 이내의 위상 차이를 갖는 차동 PSSS 부반송과들을 그룹화 한다. 식 (4)를 통해 얻은 차동 PSSS 부반송과는 다음 수식의 조건을 통해 그룹화될 수 있다.

$$G_q = \left\{ k \mid \angle \{S_i(k_q)S_i^*(k)\} \leq \theta + n\frac{\pi}{2} \right\} \quad (8)$$

여기서, \angle 는 위상차이의 각도를 의미하며, k_q 는 q 그룹에서 대표되는 부반송과, $n \in \{0,1,2,3\}$, θ 는 차동 PSSS 부반송과의 그룹화를 위한 위상 임계 값을 의미한다. 결국, 같은 그룹 내 대표하는 부반송과와 차동 PSSS 부반송과 사이의 위상 허용 범위는 $[n\pi/2 - \theta, n\pi/2 + \theta]$ 가 된다. q 번째 그룹에서 차동 PSSS 부반송과의 개수는 N_q , 총 그룹의 개수는 N_{G_q} 로 표기하면, 모든 그룹의 차동 PSSS 부반송과의 개수는 $N_p - 2$ 개가 된다. 식 (8)의 조건을 통해 그룹화된 차동 PSSS를 이용한 정수배 주파수 오차 및 sidelink 식별자 추정 방법은 식 (9)와 같이 표현될 수 있다.

$$\Phi(a, b) = \sum_{q=1}^{N_{G_q}} S_b^*(k_q) \sum_{k \in G_q} T_b(k) \bar{D}_l(k+a) \quad (9)$$

여기서 $\bar{D}(k+a) = D_l(k+a) + D_l^*(-k+a+1)$ 이고, $T_b(k) \in \{\pm 1, \pm j\}$ 이며, q 번째 그룹 G_q 에 속한 부반송파들을 대표 부반송파의 위상과 동위상으로 전환시키기 위한 파라미터 값에 해당한다. $S_0(k) = S_1^*(k)$ 의 특성을 고려하여 $T_b(k)$ 의 적용은 구현상의 관점에서, 곱셈 연산 없이 보상이 가능하다는 장점이 있다. 식 (9)에서는 각 그룹별로 대표하는 차동 PSSS 부반송파와 동위상을 갖도록 $T_b(k)$ 가 적용된 같은 그룹내 차동 PSSS 부반송파들을 모두 더한 값으로 상관 연산을 취한다. 그 뒤 그룹별 송신기에서 생성된 PSSS 시퀀스의 차동 PSSS 시퀀스와 상관 연산을 취해주게 된다. 정수배 주파수 오차 및 sidelink 식별자를 추정하기 위한 최종 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$(\hat{\delta}_f, \hat{i}) = \underset{|a| \leq A, b \in \{0,1\}}{\operatorname{arg\,max}} \Phi(a, b) \quad (10)$$

식 (9)와 (10)으로부터 $\Phi(a, b)$ 의 값이 최대의 값을 갖게 하는 a 와 b 를 탐지하고, 이는 각각 추정된 정수배 주파수 오차 및 sidelink 식별자를 의미한다. 본 논문에서 제안된 정수배 주파수 오차 및 sidelink 식별자 추정기법의 복잡도는 그룹화를 위해 사용된 임계 값 θ 의 범위에 따라 달라지게 되며, 그룹화를 위한 위상 차 허용범위가 $\theta = \pm 5^\circ$ 일때와 $\theta = \pm 20^\circ$ 일 때 복잡도 및 추정 성능을 비교해보면 trade-off 관계에 있기 때문에, 통신 환경에 따른 적절한 θ 의 선택을 통해 C-V2X 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다.

V. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 제안된 정수배 주파수 오차 및 sidelink 식별자 추정기법의 성능을 입증하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션이 사용되었다. 기존의 기법과 제안된 기법의 성능 비교를 위해 중심주파수 $f_c = 2$ GHz, 시스템 대역폭 5MHz, 부반송파 간격 15kHz,

CP 길이 $N_{cp} = 128$, FFT 크기 $N = 512$, 그리고 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 변조 방식이 적용된 LTE-A sidelink 기반 C-V2X 시스템이 고려되었다.

채널 모델은 urban micro-cell과 urban macro-cell 채널 모델이 고려되었으며, 최대 지연시간은 각각 730ns, 1885ns이다. 본 컴퓨터 시뮬레이션에서는 기존 및 제안된 기법으로 정수배 주파수 오차 및 sidelink 식별자를 각각 10만 번 추정하였을 때, 추정 실패한 확률을 집계하였다.

그림 1은 urban macro cell 채널 모델에서 SNR(Signal to Noise Ratio) 대비 기존 및 제안된 정수배 주파수 오차 추정 기법의 탐지 실패 확률 결과를 보여준다. 여기서 SNR은 신호대 잡음비를 dB 단위로 표현한 값이며, 이때 각 SNR 대비 제안된 기법은 복잡도를 줄이면서 비슷한 성능을 갖는 것을 확인할 수 있다. 그림 2는 urban macro cell 채널 모델에서 기존 및 제안된 sidelink 식별자 탐지 실패 확률 결과를 보여준다.

제안된 기법은 낮은 복잡도를 가지지만 기존의 기법과 비슷한 sidelink 식별자 탐지 성능을 가지고 있음을 확인할 수 있다. 그림 3과 4는 urban micro cell 채널 모델에서 기존 및 제안하는 정수배 주파수 오차 탐지 기법과 sidelink 식별자 탐지 기법의 SNR 대비 탐지 실패 확률을 비교하였다. 그림 1, 2와 마찬가지로 제안된 기법은 기존의 기법과 성능 비교를 하였을 때 거의 비슷한 성능을 갖는다는 것을 확인할 수 있다.

또한, 기존의 기법 대비 제안된 기법의 우수성을 확인하기 위해 real FLOPS(Floating-point Operations Per Second) 기반 계산상의 복잡도를 비교한 결과 기존의 기법은 $12M + 6N_p - 6 + 2(2M + 1)(3N_p - 7)$ 의 연산량을 갖게 되는데, 제안된 기법의 경우 $12M + 6N_p - 6 + (2M + 1)(2N_p + 2N_{G_q} - 4)$ 의 복잡도를 가진다. 이 수치는 각각의 추정 기법에서 알고리즘 부분의 연산에 대한 연산량을 비교한 것이며, 변수에 해당하는 값을 입력하였을 때 제안된 기법의 기존의 기법에 비해 최대 50%의 연산량을 줄일 수 있었음을 확인하였다.

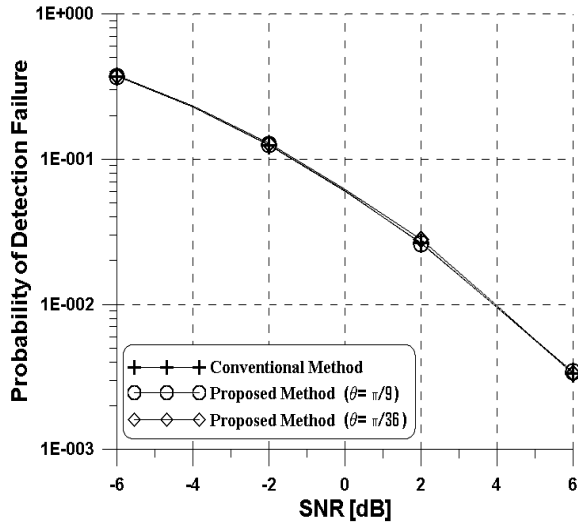


그림 1. Urban Macro Cell 채널모델에서 정수배 주파수 오차 추정 성능 비교

Fig. 1. Comparison of the frequency offset estimation accuracy in urban macro cell channel model

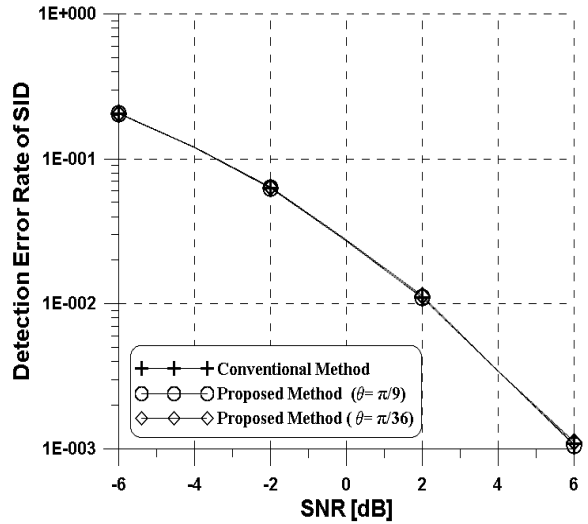


그림 2. Urban Macro Cell 채널모델에서 sidelink 식별자 추정 성능 비교

Fig. 2. Comparison of the sidelink identity estimation accuracy in urban macro cell channel

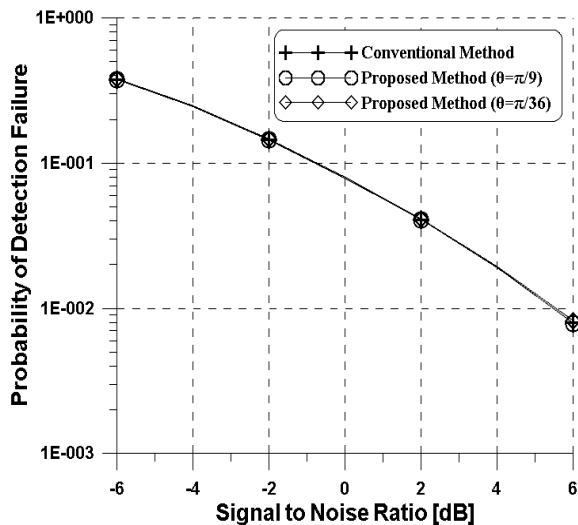


그림 3. Urban Micro Cell 채널모델에서 정수배 주파수 오차 추정 성능 비교

Fig. 3. Comparison of the frequency offset estimation accuracy in urban micro cell channel

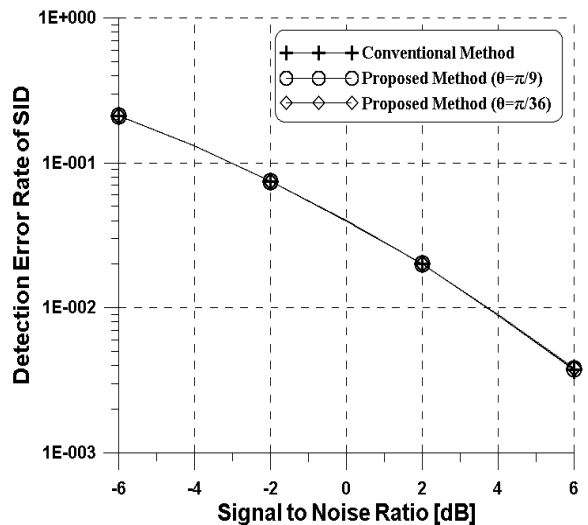


그림 4. Urban Micro Cell 채널모델에서 sidelink 식별자 추정 성능 비교

Fig. 4. Comparison of the sidelink identity estimation accuracy in urban micro cell channel

VI. 결 론

C-V2X 네트워크에서 안정적이고 효율적인 동기화를 달성하기 위해서는 계산상의 복잡도를 줄이고 높은 정확도로 동기화를 수행하는 것이 중요하다. 본 논문에서는 LTE-sidelink 기반의 C-V2X 통신을 위한 효율적인 정수배 주파수 오차 및 sidelink 식별자 추정 기법이 제안되었다. 제안된 기법은 정수배

주파수 오차와 sidelink 식별자의 동시 추정을 위해 차동 상관 연산을 사용하였으며, 계산상의 복잡도를 감소시키기 위해 차동 PSSS 부반송파를 그룹화하는 방식을 적용하였다. 차동 PSSS 부반송파의 그룹화는 곱셈 연산량을 줄이는 데 매우 중요한 역할을 하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 제안된 기법은 기존의 기법에 비해 계산상의 연산량을 크게 줄이면서 좋은 추정 성능을 갖는다는 것을 입증하였다.

References

- [1] 3GPP, "Physical channel and modulation", Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA), 3GPP TS 36.211 version 16.6.0 Release 16, 2021.
- [2] 3GPP, "Physical channel and modulation", NR, 3GPP TS 38.211 V16.1.0 Release 16, 2020.
- [3] 3GPP, "Physical layer procedures for control", NR, 3GPP TS 38.213 V16.1.0 Release 16, 2020.
- [4] S. Lien, D. Deng, C. Lin, H. Tsai, T. Chen, C. Guo, and S. Cheng "3GPP NR sidelink transmissions toward 5G V2X", IEEE Access, Vol. 8, pp. 35368-35382, Dec. 2020. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2973706>.
- [5] M. Morelli and M. Moretti, "A maximum likelihood approach for SSS detection in LTE systems", IEEE Trans. Wireless Commun., Vol. 16, No. 4, pp. 2423-2433, Apr. 2017. <http://dx.doi.org/10.1109/TWC.2017.2664835>.
- [6] M. Speth, S. A. Fechtel, G. Fock, and H. Meyr, "Optimum receiver design for wireless broad-band systems using OFDM-Part I", IEEE Trans. on Commun., Vol. 47, No. 11, pp. 1668-1677, Nov. 1999. <http://dx.doi.org/10.1109/26.803501>.
- [7] F. Berggren and B. M. Popovic, "Primary synchronization signal for D2D communications in LTE-Advanced", IEEE Commun. Lett., Vol. 19, No. 7, pp. 1241-1244, Jul. 2015. <http://dx.doi.org/10.1109/LCOMM.2015.2430334>.
- [8] A. Golnari, M. Shabany, A. Nezamalhosseini, and G. Gulak, "Design and implementation of time and frequency synchronization in LTE", IEEE Trans. Very Large Scale Int. Syst., Vol. 23, No. 12, pp. 2970-29821, Dec. 2015. <http://dx.doi.org/10.1109/TVLSI.2014.2387861>.
- [9] W. J. Shin, H. Yang, S. J. Lee, and Y. H. You, "Complexity effective integer frequency offset and sector cell detection scheme for LTE downlink system", Wireless Personal Communications, Vol. 75, No. 4, pp. 2371-2381, Apr. 2014. <http://dx.doi.org/10.1007/s11277-013-1471-7>.
- [10] 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. <http://dx.doi.org/10.1049/el.2012.2033>.
- [11] W. L. Chin, "ML estimation of timing and frequency offsets using distinctive correlation characteristics of OFDM signals over dispersive fading channels", IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol. 60, No. 2, pp.444-456, Feb. 2011. <http://dx.doi.org/10.1109/TVT.2010.2102058>.
- [12] C. Oberli, "ML-based tracking algorithms for MIMO-OFDM", IEEE Trans. Wireless Communications, Vol. 6, No. 7, pp. 2630-2639, Jul. 2007. <http://dx.doi.org/10.1109/TWC.2007.05952>.
- [13] 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. <http://dx.doi.org/10.1186/s13638-017-0886-3>.
- [14] M. Morelli and M. Moretti, "A robust maximum likelihood scheme for PSS detection and integer frequency offset recovery in LTE systems", IEEE Trans. Wireless Commun., Vol. 15, No. 2, pp. 1353-1363, Feb. 2016. <http://dx.doi.org/10.1109/TWC.2015.2489206>.

저자소개

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 선임연구원

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

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 ~ 현재 :
구미전자정보기술원 책임연구원
관심분야 : Software engineering,
embedded and Algorithm & Computation theory

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, PHY layer of 4G/5G communication, Hybrid
beamforming, Synchronization procedure