

GNSS 음영지역에서 사이드링크 기반 멀티 흡 V2X 네트워크의 시간동기성능 향상 방안

이승주, 김유민, 김태형

국민대학교

gjxor17a@kookmin.ac.kr, kym0739@kookmin.ac.kr, th.kim@kookmin.ac.kr

An Approach to Improve Time Synchronization Performance of Sidelink Based Multi-Hop V2X Networks in GNSS-Blocked Areas

Seung-Ju Lee, Yumin Kim, Taehyoung Kim

Kookmin Univ.

요약

2023년 C-ITS의 통신 방식으로 확정된 LTE-V2X는 안정적인 통신을 위해 시간 동기화가 필수적이며 이를 위해 GNSS(Global Navigation Satellite System)의 시간 정보가 활용될 수 있다. 그러나 GNSS 신호가 닿지 않는 음영지역에서는 RSU(Road-Side Unit)를 다수 배치한 사이드링크 기반 멀티 흡 네트워크에서 단말이 전송하는 SLSS(Sidelink Synchronization Signal)를 통해 시간 동기화를 수행할 수 있다. 본 연구에서는 사이드링크 네트워크 환경에서 발생하는 SLSS 디코딩 성능 저하의 원인을 분석하고, 이를 해결하기 위해 syncPriority를 기준으로 송신 전력에 차등을 두는 기법을 제안하였다. 실험 결과, 일정 수준 이상의 송신 전력 차등을 적용할 경우 배치된 모든 RSU에서 SLSS 디코딩 오류율이 1% 이내로 유지되는 것을 확인하였다.

I. 서론

2023년 12월 국내 C-ITS 통신 방식이 LTE-V2X 단일 방식으로 확정되었다. LTE-V2X는 OFDM 기반 통신 방식을 사용하므로 단말 간 시간 동기화가 필수적이며 이를 위해 GNSS의 시간 정보가 동기화 소스로 활용될 수 있다. 하지만 GNSS 신호가 닿지 않는 음영지역에서는 사이드링크에 기반한 네트워크를 구축해야 하며, 이 경우 [1]에 정의된 SLSS를 사용하여 단말 간 시간 동기화를 수행할 수 있다. 따라서 SLSS 송수신이 가능한 다수의 RSU를 배치하는 멀티 흡 네트워크를 구성함으로써 통신을 유지할 수 있으며, 네트워크 내에 배치된 RSU 간 시간 동기화는 필수적이다. 이때 [2]에 정의된 N_{ID}^{SL} (Sidelink Cell ID) 부여 알고리즘에 따라 음영 지역 초입에 위치한 특정 RSU에서는 양쪽 한 흡 거리의 RSU들이 동일한 자원에서 서로 다른 N_{ID}^{SL} 에 해당하는 SLSS를 송신하게 되며, 이는 특정 신호를 디코딩하는 경우에 일종의 간섭으로 작용할 수 있다. 이러한 경우 Zadoff-Chu 시퀀스로 구현된 PSSS(Primary Sidelink Synchronization Signal)는 정상적으로 디코딩이 가능하지만, 그림 1의 좌측과 같이 SSSS(Secondary Sidelink Synchronization Signal) 디코딩 오류로 인해 N_{ID}^{SL} 검출 성능이 저하되는 현상이 발생할 수 있다. 이에 본 논문에서는 RSU가 전송하는 SLSS의 송신 전력 조절을 통하여 배치된 모든 RSU의 시간 동기 성능을 안정적으로 유지할 수 있는 방안을 제시하였다.

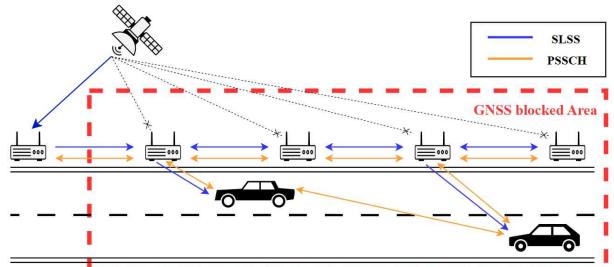


그림 2. 시뮬레이션 환경

II. 본론

1) 실험 환경 구성

본 실험에서는 그림 1과 같이 RSU#1만이 GNSS로부터 동기화 신호를 수신할 수 있으며, 나머지 RSU들은 GNSS 음영지역에 위치하므로 인접 RSU가 송신하는 SLSS를 디코딩하여 시간 동기화를 수행한다. GNSS 기반 시간 동기화를 수행하는 본 시나리오에서는 [2]에 따라 N_{ID}^{SL} 가 0 또는 168 중 하나로 제한된다. SLSS와 함께 전송되는 PSBCH는 N_{ID}^{SL} 를 정확히 획득한 경우에만 디코딩이 가능하며, 이를 통해 시간 동기화가 성공적으로 이루어진 것으로 판단하기 때문에 N_{ID}^{SL} 가 0 또는 168으로 획득되지 않은 경우 SLSS 디코딩 오류로 판단하였다. 각 RSU는 [3]에 정의된 SLSS 탐색 주기값($T_{detect,SyncRefUE}$)인 1.6초 동안 SLSS를 탐색하며, 이는 LTE-V2X의 SLSS 주기(160 ms)를 기준으로 총 10회에 해당한다. 이에 본 실험에서는 10회의 SLSS 수신 신호를 결합한 후 평균을 낸 신호에서 PSSS 및 SSSS를 검출하였다. [2]에서 단말은 측정된 S-RSRP 값으로 SLSS 송신을 중단할 수 있으며, [3]에서는 동기 소스 재선택을 위해 $T_{detect,SyncRefUE}$ 의 최대 30%까지 SLSS 송신을 드롭할 수 있음을 정의하고 있다. 하지만 본 실험에서는 이러한 SLSS 송신 중단 및 드롭 동작은 고려하지 않았다. 이외의 구체적인 파라미터는 표 1에 제시하였다.

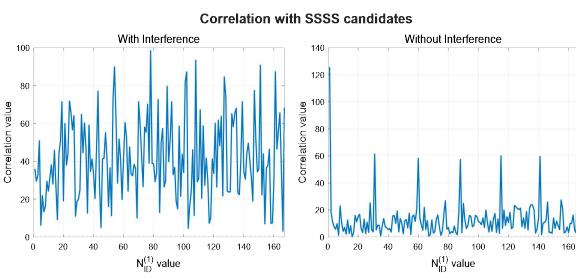


그림 1. SSSS 후보군과의 correlation

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Parameter	Value
Channel model	Tapped-Delay Line-D
Bandwidth	10[MHz]
Sampling rate	15.36[MHz]
carrier frequency	6[GHz]
delay spread	30[ns]
thermal noise density	-174[dBm]

표 2. 테스트 케이스

case No.	RSU No.	tx power [dBm]	case No.	RSU No.	tx power [dBm]
case 1	RSU#1	23	case 2	RSU#1	23
	RSU#2	23		RSU#2	22.5
	RSU#3	23		RSU#3	22
	RSU#4	23		RSU#4	21.5
	RSU#5	23		RSU#5	21
case 3	RSU#1	23	case 4	RSU#1	23
	RSU#2	22		RSU#2	21.5
	RSU#3	21		RSU#3	20
	RSU#4	20		RSU#4	18.5
	RSU#5	19		RSU#5	17
case 5	RSU#1	23	case 6	RSU#1	23
	RSU#2	21		RSU#2	20.5
	RSU#3	19		RSU#3	18
	RSU#4	17		RSU#4	15.5
	RSU#5	15		RSU#5	13

2) 제안 방안

앞서 언급한 RSU 간 시간 동기화 성능 저하의 주요 원인은 양쪽 한 흡에서 전송되는 SLSS가 서로 다른 SLID를 가짐으로 인해 발생하는 간섭 현상이다. 이 현상을 해결하기 위해 RSU가 수신하는 SLSS 중 서로 다른 N_{ID}^{SL} 에 해당하는 신호 간 수신 세기에 차이를 두는 방식을 제안한다. 이를 구현하기 위한 방법으로는 한쪽 RSU를 물리적으로 더 가까운 위치에 배치하거나, RSU 간 송신 전력에 차등을 두는 방안이 고려될 수 있다. 시간 동기화가 성공적으로 이루어진 이후에는 PSSCH 송수신이 안정적으로 이루어져야 하는데, RSU 간 간격이 과도하게 길어질 경우 PSSCH 디코딩 성능이 저하될 가능성이 있기 때문에 본 논문에서는 송신 전력을 차등 적용하는 방식을 선택하였다. GNSS로부터의 흡 수가 증가할수록 RSU가 제공하는 동기화 신호의 품질은 점진적으로 저하될 것이다. 이러한 현상을 고려하여 [2]에서는 N_{ID}^{SL} 및 IIC(In-Coverage Indicator)의 조합을 통해 단말이 동기 기준(GNSS)으로부터 얼마나 떨어져 있는지 유추 할 수 있도록 하였으며, 이에 따른 syncPriority level을 정의하고 있다. 본 실험 환경에서는 RSU#1 > RSU#2 > RSU#3 = RSU#4 = RSU#5 순으로 우선순위가 결정된다. 이에 표 2와 같이 우선순위가 높은 RSU일수록 더 높은 송신 전력을 부여함으로써 해당 RSU의 SLSS가 수신 측에서 우선적으로 수신되도록 구성하였다.

3) 실험 결과

syncPriority level을 고려하여 RSU 송신 전력을 설정했을 때, 그림 3과 같이 RSU 간 송신 전력 차이가 클수록 RSU#2 및 RSU#3에서의 SLSS 디코딩 오류율이 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 서로 다른 N_{ID}^{SL} 를 갖는 SLSS들이 동일한 자원을 사용할 때 한쪽의 세기를 줄여 SINR을 증가시키는 효과를 얻었기 때문으로 해석된다. 또한 양쪽 한 흡 떨어진 RSU들이 동일한 N_{ID}^{SL} 를 갖는 SLSS를 송신하는 RSU#4의 경우에도 송

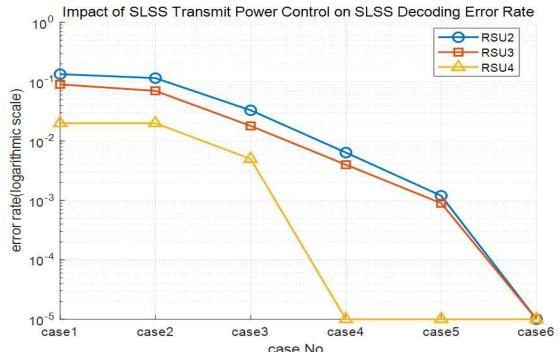


그림 3. 송신 전력 차등에 따른 SLSS 디코딩 오류율

신 전력 차등에 따라 SLSS 디코딩 오류율이 점진적으로 감소하는 경향을 보였다. 이는 각 RSU가 전파 지연(propagation delay)으로 인한 SLSS 전송 시점에 차이가 존재하며, 이로 인해 지연된 신호가 수신 시 간섭 요소로 작용할 수 있기 때문으로 예상된다. 따라서 송신 전력에 차등을 두는 방식은 양쪽 한 흡에서 동일한 N_{ID}^{SL} 의 SLSS가 전송되는 경우에도 효과적인이었으며, 제안한 SLSS 송신 전력 차등을 통해 모든 RSU에서 SLSS 디코딩 오류율을 1% 이내로 유지할 수 있음을 확인하였다.

III. 결론

본 연구는 GNSS 음영지역에서 멀티 흡 기반 사이드링크 네트워크에 배치된 RSU 간 시간 동기 성능 저하의 원인을 분석하고, 이를 해결하기 위한 방안을 제시하였다. 동일한 자원에서 서로 다른 N_{ID}^{SL} 를 갖는 SLSS가 전송될 때 디코딩 성능이 저하되는 문제를 해결하기 위해 RSU의 syncPriority에 따라 송신 전력을 차등 적용하는 방식을 제안하였다. 실험 결과 전력 차등값이 클수록 RSU#2, RSU#3에서의 SLSS 디코딩 오류율이 감소하였으며, 양쪽에서 동일한 N_{ID}^{SL} 의 SLSS를 수신하는 RSU#4에서도 개선 효과가 나타났다. 결과적으로 모든 RSU에서 오류율을 1% 이내로 유지할 수 있었으며, 향후 실제 환경에 맞춰 전력 차등 값은 조정함으로써 신뢰성 높은 사이드링크 네트워크 구축이 가능할 것으로 기대된다.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation(IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. RS-2024-00397789, Development and Standardization of 6G Radio Transmission Standard Technology)

참 고 문 헌

- [1] 3GPP TS 36.211, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation (Release 18),” V18.0.1, April. 2024.
- [2] 3GPP TS 36.331, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access(E-UTRA); Radio Resource Control (RRC); Protocol specification (Release 18),” V18.0.0, Dec. 2023.
- [3] 3GPP TS 36.133, “Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Requirements for support of radio resource management (Release 18),” V18.7.0, Sep. 2024.