

차량 네트워크 RSU 송신 전력 감소를 위한 분산형 통신-센싱 연계 핸드오버 프로토콜

이강행, 이한결, 정진곤*
중앙대학교 전자전기공학과

{qwezxc223211, forener; jgjoung}@cau.ac.kr

Distributed Sensing-Communication Integrated Handover Protocol for RSU Power Reduction in Vehicular Networks

Kang Haeng Lee, Han-Gyeol Lee, Jingon Joung*

Department of Electrical and Electronics Engineering, Chung-Ang University.

요 약

본 논문은 차량 통신 네트워크에서 road side unit (RSU)의 송신 전력 소모를 줄이기 위해 센싱과 통신을 통합한 integrated sensing and communication (ISAC) 기반 분산형 핸드오버 프로토콜을 제안한다. 기존 핸드오버 방식은 빈번한 빔 스위칭과 RSU 간 신호 교환 과정으로 인한 높은 전력 소모가 발생한다. 제안하는 방식은 통신 중 발생하는 반사 신호를 활용하여 차량 상태를 예측하고, RSU 간 협력 없이도 효과적인 핸드오버를 수행함으로써 전력 효율을 향상시킨다. 모의실험을 통해 제안된 방식이 기존 방식 대비 전력 소모를 효과적으로 줄일 수 있음을 보인다.

I. 서 론

핸드오버란 차량이 하나의 road side unit(RSU) 서비스 영역에서 다른 RSU 서비스 영역으로 이동할 때 연결을 유지하기 위한 핵심 기술이다.

6G 자율주행 및 차량 통신 시스템에서는 초저지연 및 고신뢰 통신뿐 아니라 RSU의 전력 소모를 감소시키는 에너지 효율적인 핸드오버 프로토콜 설계가 필수적이다.

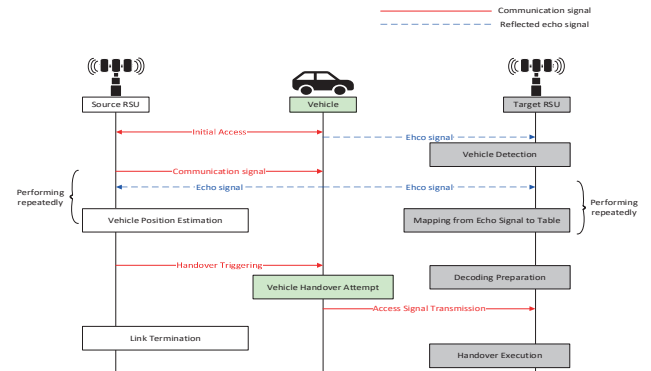
3GPP 표준에 의하면 기존의 핸드오버는 기본적으로 핸드오버 후보군인 Target RSU의 빈번한 blind 빔 스위칭 및 차량의 주기적인 RSRP 측정/보고, RSU 간의 신호 교환 등의 오버헤드로 인해 많은 에너지를 소모한다 [1].

Integrated sensing and communication (ISAC) 시스템은 반사 신호를 통신에 재활용함으로써 이러한 과정을 생략하고, 핸드오버 절차를 단순화하면서도 기존의 핸드오버 방식에서 발생하는 RSU의 전력 소모를 효과적으로 감소시킬 수 있다.

본 연구는 RSU 소모 전력 감소를 위해 ISAC 기반으로 반사 신호를 활용하여 Target RSU 수신 준비를 유도하고, 차량이 예측 정보를 활용해 자체적으로 핸드오버를 수행하는 분산형 차량 핸드오버 프로토콜을 제안한다.

II. 시나리오 및 제안 프로토콜

[그림 1]은 제안하는 핸드오버 프로토콜의 전체 과정을 나타낸다. 차량은 RSU와 가시선경로 채널을 통해 통신하며, 직선 도로를 일정한 속도로 주행한다.



[그림 1] 제안하는 핸드오버 프로토콜

통신 수행의 주체인 Source RSU는 차량과 초기 접속을 통해 차량의 상태를 완벽히 추정하였다고 가정한다.

동시에 Target RSU는 커버리지 영역 시작점 도래각에 수신 빔을 형성하고 반사 신호를 수신한다.

이때 반사 계수 β 는 $\frac{\epsilon}{d_{\text{source}} + d_{\text{target}}}$ 로 나타낼 수 있으며,

d_{source} , d_{target} 는 각각 Source 및 Target RSU와 차량 간 거리이다. Radar cross section (RCS) ϵ 는 해석 단순화를 위해 상수로 가정하였다.

초기 접속 과정에서 발생하는 반사 신호의 크기가 일정 문턱값 이상이면 다음 RSU인 Target RSU는 차량이 Source RSU와 차량 간 통신 링크가 형성되었다고 판단한다. 이후, Source RSU는 핸드오버 수행 전까지 차량에게 송신 빔포밍을 통해 데이터 및

다음 시간 슬롯의 각도 정보를 제공하고, 차량은 수신 빔포밍을 통해 데이터를 수신 및 제공받은 각도 정보를 바탕으로 수신 빔을 조정한다. 해당 통신 과정 중 발생하는 반사 신호를 이용하여 Source RSU는 확장 칼만 필터를 적용하여 차량의 다음 상태를 예측하여 정밀한 위치 파악과 예측 빔포밍을 수행하고 [2], Target RSU는 반사 신호 크기를 도래각에 mapping하여 대략적인 차량 위치를 파악한다.

차량이 Target RSU 커버리지 시작점에 도달 시, Source RSU는 통신을 종료하고, 5 슬롯 내 예측된 각도들을 차량에게 제공함과 동시에 핸드오버를 지시한다. Target RSU는 파악된 차량 위치를 기반으로 커버리지 시작점 도착 이전에 디코딩을 준비한다.

차량은 예측된 각도를 바탕으로 Target RSU와 상향링크 핸드오버를 수행하며, Target RSU가 디코딩이 실패할 시 차량은 예측된 각도들을 바탕으로 다음 슬롯에서 디코딩을 재시도한다.

디코딩 성공 시, 차량과 Target RSU는 통신 링크를 형성하고 전송 경로를 전환하며 핸드오버를 종료한다.

III. 송수신 전력 모델

각 RSU 송신 파워(PA)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$PA = \sigma^2 + P_{rx} - G_{RSU} - G_{veh} + PL \quad (1)$$

P_{rx} 는 차량이 수신한 신호, σ^2 은 노이즈 세기, G_{RSU} 는 RSU의 안테나 이득, G_{veh} 은 차량의 안테나 이득, $PL = 59.89 + 4.51 \cdot 10 \cdot 10 \log(d)$ 은 경로 감쇄를 의미한다 [3].

식 (2)를 이용하여 반사 신호를 수신할 때 소모되는 각 RSU 수신 파워(PR)는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$PR_{target} = PA - (59.89 + 4.51 \cdot 10 \log(2d_{source})) + 20 \log \varepsilon + G_{RSU} + G_{veh} + G_{MF} \quad (2)$$

$$PR_{source} = PA - (59.89 + 4.51 \cdot 10 \log(d_{target} + d_{source})) + 20 \log \varepsilon + G_{RSU} + G_{veh} + \frac{G_{MF}}{10} \quad (3)$$

전력 효율 η 를 이용하면 시간 슬롯 ΔT 내 전체 송수신 전력 소모를 다음과 같이 나타낼 수 있다 [4].

$$P_{total} = \left(\frac{PA}{\eta} + PR \right) \Delta T \quad (4)$$

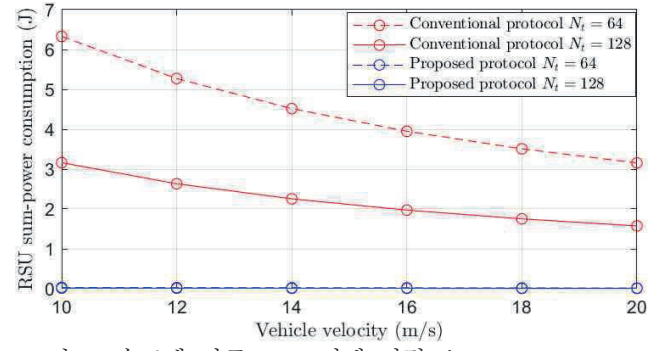
IV. 모의실험 결과

본 장에선 모의실험을 통해 제안된 핸드오버 프로토콜과 기존의 핸드오버 프로토콜의 전력 소모 값을 비교한다. 모의 실험에 사용한 파라미터는 다음과 같다:

$N_t = 128$, $N_r = 128$, $M = 32$, $f_c = 30 \text{ GHz}$, $B = 100 \text{ MHz}$, $\beta_0 = \frac{1}{2} + \frac{1}{2}j$, $\Delta T = 0.1 \text{ ms}$, $l = 50 \text{ m}$, $SNR = 10 \text{ dB}$, $v = 18 \text{ m/s}$, $G_{MF} = 10$, $TTT = 25 \text{ ms}$

각각 RSU 송/수신 안테나 수, 차량의 안테나 수, 반송파 주파수, 대역폭, 반사 계수 초기값, 시간 슬롯, RSU 간 거리, SNR, 차량의 속도, 정합필터 이득이다.

[그림 2]에선 핸드오버가 발생할 때까지 속도에 따른 기존 핸드오버 프로토콜과 제안된 핸드오버 프로토콜의 두 RSU 송수신 전력의 합을 비교하였다. 이를 통해, 제안된 핸드오버 프로토콜은 차량으로부터 핸드오버가 트리거되어, Target RSU의 불필요한 빔 스위칭이



[그림 2] 속도에 따른 RSU 전체 전력 소모

필요하지 않으므로 송신 전력을 감소시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 연구에선 ISAC을 이용한 차량 통신 네트워크에서 전력 소모 감소를 위한 분산형 핸드오버 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜에선, 통신 중 발생하는 반사 신호를 이용하여 RSU 간 signaling이나 빔 스위칭 등의 과정을 대체할 수 있기 때문에 기존의 핸드오버 프로토콜보다 전력 소모를 감소시킬 수 있다. 모의실험을 통해 차량의 속도에 따른 기존 핸드오버 프로토콜과 제안된 핸드오버 프로토콜의 전력 소모량을 비교하였으며, 제안된 방식이 기존 방식보다 전력 소모량이 감소함을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원(RS-2024-00405510)과 정보통신기획평가원의 지원(No.2022-0-00635, 28GHz 대역/특화망대역/NR-U 대역을 지원하는 5G 산업용 단말 기술 개발, 25%; No.2021-0-00874, 시공간 선 부호 기반 차세대 무선 접속 기술 개발, 25%)을 받아 수행된 연구임.

참고 문헌

- [1] 3GPP, "NR: Radio Resource Control (RRC); Protocol specification," 3rd Generation Partnership Project (3GPP), Tehc. Specification (TS) 38.331, Mar. 2023. [Online]. Available: <https://portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=3197>
- [2] P.Liu, W. Yuan, C. Masourous, and J. Yuan, "Radar-assisted predictive beamforming for vehicular links: Communication served by sensing," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 19, no. 11, pp.7704-7719, Nov. 2020
- [3] G. R. MacCartney, J. Zhang, S. Nie, and T.S. Rappaport, "Path loss models for 5G millimeter wave propagation channels in urban microcells," in *Proc. IEEE GLOBECOM*, Atlanta, GA, USA, Dec. 2013, pp. 3948-3953.
- [4] G. Wu, Y.Fang, J. Xu, Z. Feng, and S. Oui, "Energy-efficient MIMO integrated sensing and communications with on-off nontransmission power," *IEEE Internet Things J.*, vol. 11, no. 7, pp. 12177-12191, Apr. 2024