

군집주행 차량의 안전 메시지 전달을 위한 V2V 전송 기법

A V2V Transmission Scheme for Safety Message Dissemination in Platooning

안우진¹ · 홍한슬² · 김용호^{3*}

¹한국철도기술연구원

²연세대학교 전기전자공학과

³한국교통대학교 철도전기전자공학과

Woojin Ahn¹ · Hanseul Hong² · Ronny Yongho Kim^{3*}

¹Korea Railroad Research Institute, Gyeonggi-do 16106, Korea

²School of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University, Seoul 03722, Korea

³Department of Railroad Electrical & Electronic Engineering, Korea National University of Transportation, Gyeonggi-do 16106, Korea

[요 약]

군집주행은 통신기술의 발달과 더불어 도로 용량을 증가시킬 수 있을 것으로 기대되는 미래 차량 자율 주행 기술이다. 본 논문에서는 군집 주행 상황의 효율적인 안전 메시지 전달을 위한 전송 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 6세대 무선랜 기술인 IEEE 802.11ax의 TUA (triggered uplink access) 기법과 NFR (null data packet feedback report) 기법을 활용하여 채널 접속 효율을 향상시키고, 차량들이 주변 차량들의 데이터 트래픽 상황을 인지하지 못하는 상황에서도 적은 오버헤드로 높은 효율의 다중 차량 단말 상호 OFDMA (orthogonal frequency division multiple access) 전송을 유도한다. 시뮬레이션 결과에 따르면 제안하는 기법은 측정된 모든 차량 단말 밀도 변화 범위 내에서 기존의 전송 방식 대비 월등한 성능을 보이는 것으로 나타났다.

[Abstract]

Along with advanced vehicle to vehicle (V2V) communication technologies, platooning is regarded as one of the most promising form of autonomous driving solutions in order to increase road capacity. In this paper, we propose a novel V2V transmission scheme for safety message dissemination in platooning. The proposed scheme enhances the efficiency of channel access and multi-vehicle orthogonal frequency division multiple access (OFDMA) transmission by taking advantage of triggered uplink access technique and null data packet feedback report protocol introduced in the sixth generation WLAN standard, IEEE 802.11ax. The simulation results prove that the proposed scheme outperforms the conventional IEEE 802.11 transmission scheme throughout all measured vehicle density range.

Key word : Platooning, V2V communication, Basic safety message, WLAN, Triggered uplink access, NDP feedback report.

<https://doi.org/10.12673/jant.2019.23.6.548>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 28 November 2019; Revised 30 November 2019

Accepted (Publication) 27 December 2019 (30 December 2019)

*Corresponding Author; Ronny Yongho Kim

Tel: +82-31-460-0571

E-mail: ronnykim@ut.ac.kr

1. 서론

도로 교통의 용량은 근래에 이르러서도 지속적으로 증가하고 있으며, 조사 결과에 따르면 도로 교통 이용자들의 이동 지연 시간과 그에 따른 연료의 소모량도 큰 폭으로 증가하고 있다 [1].

차량들이 서로 정보를 주고받으며 군집을 형성하여 동일한 경로로 이동하는 군집 주행 (platooning) 기술은 도로 인프라 투자에 큰 비용을 소모하지 않으면서 도로 효율을 극대화할 수 있는 획기적인 기술이다.

도로에 다수의 군집이 혼재하는 상황에서 군집들은, 군집 내 차량 간 거리를 줄임으로서 도로 효율을 높일 수 있다. 이 때, 군집 내 차량 간 안전을 확보하기 위해서는 각 차량이 동일 군집에 속한 다른 차량 및 인접한 군집의 차량들에 대한 정보를 지속적으로 유지 및 갱신해야 한다. 상기 정보들은 각 차량의 위치, 속도, 감속, 가속, 조향 정보 등이 포함될 수 있다.

차량들은 서로 물리적으로 연결될 수 없으므로 군집 내 차량들은 무선 통신을 통해 정보를 주고받기 때문에, 군집 주행의 효율은 곧, 차량 간 통신이 얼마나 효율적으로, 빠른 주기로 전송되느냐에 직접적인 관련이 있다.

군집 주행에서는 같은 영역에 있는 모든 차량들에 대한 정보를 수집해야하므로 차량들은 자신의 주행 정보를 방송 프레임의 형태로 전달할 수 있다. 미국 자동차 기술 학회 (SAE; society of automotive engineers)에서는 도로 상에서 차량 간 통신(V2V; vehicle to vehicle)을 수행하는 차량들이 주고 받아야 할 필수적인 정보들을 BSM (basic safety message)의 형식으로 정의하고 있으며, 많은 V2V 통신 응용들에서 활용되고 있다 [2].

종래에는, BSM을 전송하기 위한 통신 기술로 미국 전기전자엔지니어협회인 IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers)의 IEEE 802.11p 표준이 가장 주목받았으나, 표준의 노후화 및 유럽 표준화 단체인 3GPP (3rd generation partnership project) 기반의 C-V2X (cellular vehicle to everything) 표준의 등장으로 인하여 그 자리를 위협받고 있다.

본 논문에서는 군집 주행 상황의 효율적인 BSM 방송 프레임 전송을 위한 전송 기법을 제안한다. 제안하는 기법에서는 6세대 무선랜 기술인 IEEE 802.11ax [3]의 TUA (triggered uplink access) 기법과 null data packet feedback report 기법을 활용하여 채널 접속 효율을 향상시키고, 차량들이 주변 차량들의 데이터 트래픽 상황을 인지하지 못하는 상황에서도 상향 OFDMA (orthogonal frequency division multiple access) 전송을 유도하여 전송 효율을 극대화할 수 있게 하는 방법을 제안한다.

II. 제안하는 군집주행 차량의 안전 메시지 전달을 위한 V2V 전송 기법

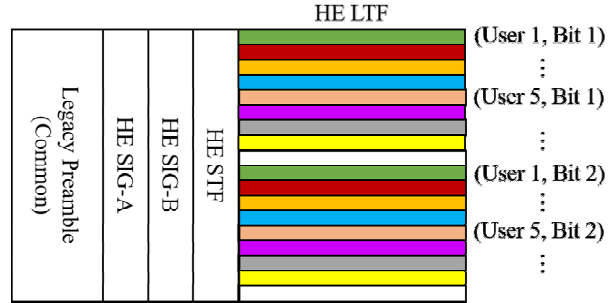


그림 1. TB feedback NDP PPDU의 예시
Fig. 1. Example of TB feedback NDP PPDU.

2-1 IEEE 802.11ax의 TUA 및 NFR 과정

IEEE 802.11ax에서 정의하는 TUA에서는 단말이 TF (trigger frame)를 전송하여 다수 주변 단말들의 동기화된 동시 전송을 유도할 수 있다. TF에는 TF 전송 단말이 요구하는 상향 전송 프레임 길이, 형식, 시간 동기화 정보, 자원할당 정보 및 파워 컨트롤 정보 등이 포함되어 있으며, TF에 의해 자원을 할당받은 단말들은 TF 수신 시 SIFS (short inter-frame spacing)의 시간 후에 즉시 TF에서 지시받은 대로 상향 프레임을 전송한다. 따라서 상향 프레임을 전송하는 단말은 별도의 EDCA (enhanced distributed channel access) 과정을 수행하지 않고 TF에 포함된 정보 및 TF의 시간 정보에 따라 채널에 접속하므로 이를 TUA라 한다.

TUA의 효율이 높아지기 위해서는 TF를 전송하는 단말이 상향 전송을 수행하는 다수 단말의 버퍼 상태를 알고 그에 맞는 스케줄링을 수행해야 한다. 그러나 V2V 네트워크에서는 단말의 위치가 수시로 변하고 또한 단말간 연결 과정도 수행하지 않기 때문에 스케줄링의 효율을 높이기 어렵다.

위의 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 IEEE 802.11ax의 기능 중 하나인 NFR (NDP feedback report) 기술을 활용한다. NFR은 1-2 비트의 작은 정보를 다수의 단말들로부터 짧은 시간에 얻기 위한 기술이다. NFR을 전송하는 단말은 상기 정보를 전송할 시 MAC (medium access control) 계층의 프레임은 생략하며, PHY (physical) 계층의 프레임 포맷에서 가장 작은 단위의 RU (resource unit)에 대한 채널 추정을 하기 위한 LTF (long training field)에 에너지를 쬐는지 여부에 따라 1 비트의 정보를 전송할 수 있다. IEEE 802.11ax 표준에 따르면 NFR 과정에서 하나의 20MHz 채널 기준 총 18개 단말에게 각각 2 비트의 정보전달을 요청할 수 있다. NFR은 단말이 TF의 변종인 NFR poll (NFRP) 프레임을 전송하는 것으로 시작되며, NFRP에서 어떠한 유형의 정보를 요청하는지, 그리고 각 단말 별로 정보를 전송할 LTF subcarrier 위치를 지정할 수 있다. 그림 1은 NFR을 위한 TB (trigger based) feedback NDP PPDU (physical layer protocol data unit)의 구조를 도시한다.

2-2 제안하는 V2V 프레임 전송 기법

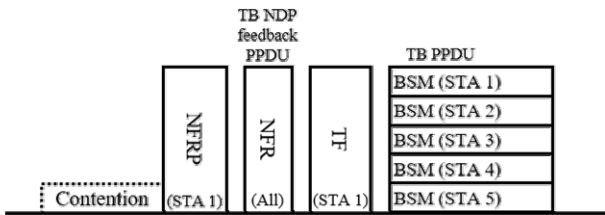


그림 2. 제안하는 기법의 전송 시퀀스 예시
 Fig. 2. Example of the transmission sequence of the proposed scheme.

제안하는 기법에서는 BSM을 전송하고자 하는 차량들이 IEEE 802.11의 기본 채널 접속 기법인 EDCA (enhanced distributed channel access)를 통해서 전송 기회 (TXOP; transmit opportunity)을 획득함으로써 전송 과정이 시작된다. TXOP을 획득한 차량 (TXOP 홀더)은 주변 차량의 버퍼상태 정보를 얻기 위하여 NFRP 프레임을 전송한다. 본 논문에서는 IEEE 802.11ax의 20MHz PPDU 구조를 기준으로 두 배의 OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 심볼 길이 및 절반 크기의 부반송파 간격을 가지는 10MHz PPDU를 가정한다. 따라서 하나의 TB feedback NDP PPDU에 할당할 수 있는 정보량은 IEEE 802.11ax와 동일하며, 차량이 전송하고자 하는 BSM의 존재 여부만을 묻는 1 비트 정보가 사용되므로 이론상 최대 36 개의 차량 단말을 할당하는 것이 가능하다.

V2V 네트워크에서 주변 차량이 수시로 변화하므로, TXOP 홀더는 개별적인 스케줄링을 할당하지 않으며, 대신 NFRP를 수신한 주변 차량은 전체 NDP feedback 전송 가능한 부반송파 중 하나를 임의로 선택하여 전송한다.

제안하는 기술에서는 TXOP 홀더가 NFRP 송신 파워 값과 NFRP의 응답으로 전송되는 NFR의 타겟 수신 파워를 명시하며, 수신 단말은 NFRP의 수신 파워 값을 역산하여 자신의 NFR 송신 파워를 결정할 수 있다.

NFR을 수신한 TXOP 홀더는 각 LTF에 대한 auto-correlation을 수행한 뒤 수신된 파워가 특정 임계치 구간 내의 값으로 나타나는 LTF 식별자들에 대하여, 이어서 전송되는 TF 전송시 BSM 전송을 위한 RU 스케줄링 정보의 식별자로 사용한다. TXOP 홀더는 스케줄링 RU 중 하나를 자신을 위해 할당한다.

TXOP 홀더가 전송한 TF를 수신한 주변 차량들은 스케줄링 정보에 자신이 전송하였던 LTF 식별자가 존재하는 경우 TF에 대한 응답으로 할당 받은 RU에 OFDMA를 이용하여 TB PPDU의 형태로 BSM을 전송한다. 본 논문에서는 RU 할당의 최대 효율을 얻기 위하여 스케줄링하는 RU의 수를 1, 3, 9로 제한한다. 그림 2는 제안하는 기법의 전송 시퀀스의 예시를 도시하고 있다.

III. 제안하는 기법의 수학적 분석

본 논문의 수학적 분석에서는 1차원 고속도로 구조를 가정하며, 단말의 송신 거리 내에 N대의 차량이 있음을 가정한다.

본 논문에서는 acknowledgement 과정을 거치지 않는 가장 높은 우선순위 AC (access class)의 방송 프레임의 전송을 가정하므로, 단말은 전송 실패를 규정하지 않으며, 따라서 EDCA 경쟁 윈도우의 크기를 변경하지 않는다. 따라서, W_0 를 경쟁 윈도우의 크기라 하면, [4]의 EDCA Markov chain 분석에 의해 차량 단말이 임의의 슬롯 시간에서 프레임을 전송하는 확률, τ ,를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\tau = \frac{2}{W_0 + 1} \tag{1}$$

따라서 임의의 슬롯 시간에 전송이 일어나지 않을 확률, P_{idle} ,은 아래와 같이 구할 수 있다.

$$P_{idle} = (1 - \tau)^N \tag{2}$$

또한 임의의 슬롯 시간에 하나의 성공적인 전송이 일어날 확률, P_{tx} ,은 다음과 같다.

$$P_{tx} = \binom{N}{1} \tau (1 - \tau)^{N-1} \tag{3}$$

P_{tx} 의 확률로 NFRP의 전송이 발생했을 때, TXOP 홀더는 이어지는 NFR에서 동일한 LTF를 선택하여 발생하는 충돌 없이 성공적으로 NFR을 전송하는 차량의 수에 따라 스케줄링을 수행하고, 그에 따라 TB feedback NDP PPDU의 길이가 결정된다. 본 논문에서는 분석을 단순화하기 위하여 모든 단말이 포화 상태의 트래픽을 가지고 있다고 가정한다.

TXOP 홀더가 총 M 개의 LTF를 할당하는 상황에서 TXOP 홀더를 제외한 N-1 대의 차량이 NFR을 전송하는 과정에서 k 대의 차량이 충돌없이 NFR을 전송하는 확률은 [5]의 수식을 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{nfr}^{(k)} = \binom{N-1}{1} \sum_{i=s}^M (-1)^{i-s} \cdot \binom{M-s}{i-s} \cdot \prod_{j=1}^i \frac{(N-j)}{M^j} \cdot \left(1 - \frac{i}{M}\right)^{N-1-i} \tag{4}$$

따라서 제안하는 기법에서 발생하는 사건들의 평균 시간 D는 아래의 수식과 같이 구할 수 있다.

$$D = P_{idle} T_{slot} + (1 - P_{idle} - P_{tx})(T_{nfrp} + T_{aifs}) + P_{tx} \left\{ (P_{nfr}^{(0)} + P_{nfr}^{(1)}) T_{tx}^{(1)} + \sum_{k=2}^7 P_{nfr}^{(k)} T_{tx}^{(3)} + \sum_{k=8}^N P_{nfr}^{(k)} T_{tx}^{(9)} \right\} \quad (5)$$

(5)에서 T_{slot} , T_{nfrp} , T_{aifs} 는 각각 EDCA 시스템의 최소 시간 단위인 aslottime, arbitrary inter-frame spacing (AIFS), NFRP의 전송 시간을 의미한다.

또한 $T_{tx}^{(k)}$ 는 k 대 차량의 BSM이 전송되는 전체 전송 시퀀스의 시간을 의미하며 아래와 같이 구할 수 있다.

$$T_{tx}^{(k)} = T_{nfrp} + T_{sifs} + T_{nfr} + T_{tf} + T_{tb}^{(k)} + T_{aifs} \quad (6)$$

$T_{tb}^{(k)}$ 는 k 대 차량의 BSM이 전송되는 TB PPDU의 길이를 의미한다.

결론적으로, BSM의 데이터 크기를 L_{bsm} 이라 하는 경우, 제안하는 기법의 전송률은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$G = \frac{L_{bsm} P_{tx}}{D} \left\{ (P_{nfr}^{(0)} + P_{nfr}^{(1)}) + 3 \sum_{k=2}^7 P_{nfr}^{(k)} + 9 \sum_{k=8}^N P_{nfr}^{(k)} \right\} \quad (7)$$

IV. 성능분석

본 논문에서는 제안하는 안전 메시지 전송 기법의 성능을 기존의 무선랜과 비교하기 위하여 직접 설계한 MAC level Matlab 시뮬레이션을 수행하였다.

표 1. 실험에 사용한 파라미터

Table 1. Simulation parameters.

aSlotTime/SIFS/AIFS	13/32/58 μ s
Transmission bandwidth	10 MHz
Legacy data subcarrier	48 subcarriers (156.25 KHz spacing)
Legacy OFDM symbol duration	8 μ s
TUA data subcarrier	216 subcarriers (39.0625 KHz spacing)
TUA OFDM symbol duration	32 μ s
Number of LTF for NFR	18
Number of RUs for TUA	9 RUs
Datarate	12Mbps
TF	38 Bytes
Data	400 Bytes
Contention window size	1024, 2048

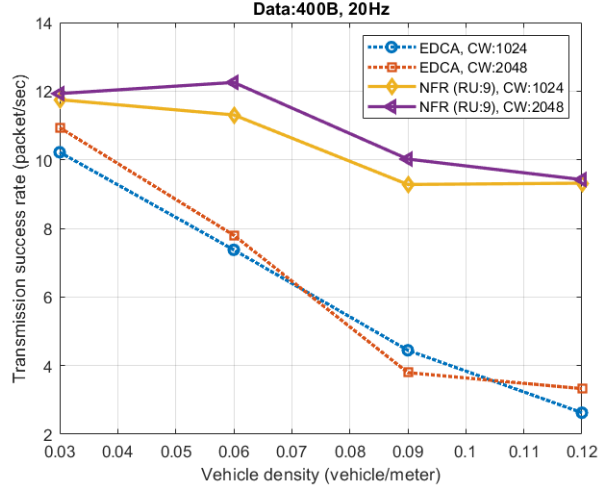


그림 3. 제안하는 기법의 전송 성공률

Fig. 3. Transmission success rate of the proposed scheme.

본 시뮬레이션에서 사용한 파라미터들은 표 1과 같다. 기존의 EDCA 방식의 경우 무선랜에서 차량용 통신을 위하여 제안된 IEEE 802.11p의 물리계층 특성을 사용하였으며, 제안하는 방식은 IEEE 802.11ax의 물리계층 특성을 10MHz 채널 대역폭으로 하향 스케일링을 적용하였다. 본 시뮬레이션에서 NFR을 위한 LTF의 개수는 10MHz 채널 당 18개로 설정하였다.

그림 3은 제안하는 기법의 시간 당 전송 성공률을 기존의 EDCA 전송 방식과 비교한 것이다. 시뮬레이션 결과에 따르면, 제안하는 기법은 측정된 모든 구간에서 기존의 전송 방식 대비 향상된 전송 성공률을 보이는 것으로 나타났다.

차량 밀도가 낮은 상황에서는 채널이 포화 상태가 아니기 때문에 NFR을 시도하여도 실제 접속률이 높지 않게 나타날 수 있다. OFDMA 전송 방식은 기존 전송 방식 대비 더 긴 전송 시퀀스 길이를 가지기 때문에 정확한 스케줄링이 수반되지 않을 경우에는 자원 효율이 감소할 수 있으나, OFDMA 전송 전에 NFR을 통해 전송에 참여하고자 하는 차량 단말의 수를 파악할 수 있으므로, 실제 전송에 참여할 차량 단말들에 한하여 스케줄링을 수행할 수 있고, 상시 최적에 가까운 자원 할당 효율을 취할 수 있다. 이런 이유로 차량 밀도가 낮은 상황에서도 기존 전송방식 대비 대등하거나 다소 높은 성능을 보인다.

차량 밀도가 증가할수록 성능 차이가 커지는데, 이것은 제안하는 NFR 과정이 전송 직전에 채널 상 충돌 상황을 감지하게 해주는 역할을 하기 때문이다. 단말 밀도가 높은 상황에서 성능에 가장 큰 영향을 미치는 것은 채널 상 충돌이며, 특히 방송 프레임은 재전송 과정이 없기 때문에 치명적일 수 있다. 제안하는 방식에서는 채널에 접속하여 NFRP를 전송하는 단말을 제외하고는 성공적으로 NFRP를 전송하였다는 조건하에 BSM을 전송할 수 있다. 또한 하나의 전송 시퀀스에서 최대 9

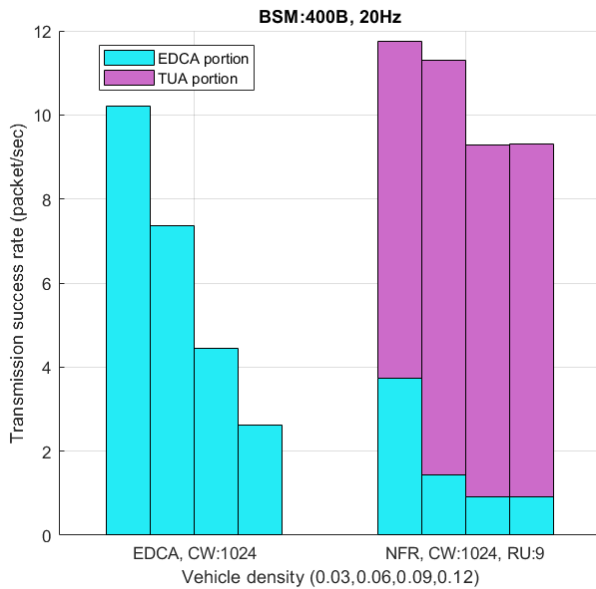


그림 4. EDCA 및 TUA 전송 성공 비율
Fig. 4. Ratio between transmission success via EDCA and TUA.

대의 차량 단말이 전송을 할 수 있으므로, 전송 오버헤드의 증가 및 데이터 전송 길이의 증가에도 불구하고 월등한 성능을 보이는 것으로 확인되었다.

그림 4는 성공한 전송에 대하여 EDCA 채널접속을 통한 전송과 타 단말이 전송한 NFRP 수신 후 TUA를 통한 전송의 비율을 도시한 것이다.

그래프에 따르면 차량 밀도가 낮고 채널이 포화되지 않은 환경에서도 TUA를 통한 전송이 60%에 이르는 것으로 나타났다. 이는 곧, 차량 단말이 다른 차량 단말의 TXOP을 이용하여 전송한 뒤 채널 접속을 포기할 가능성이 높아진다는 것을 의미하므로, 채널 경쟁 오버헤드가 감소한다는 것을 의미한다.

차량 밀도가 높아질수록 기존 전송방식 (왼쪽)의 전송 성공률이 급격하게 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 제안하는 방식에서 EDCA 채널 점유 후 전송하는 비율 또한 급격하게 감소하지만, TUA를 통한 전송량은 소폭으로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 채널의 포화에 따라 타 차량 단말의 NFRP에 응답하는 비율이 높아지면서 TUA 전송에 참여하는 차량 단말의 수가 증가함을 의미한다. 차량 밀도가 가장 높은 상황에서 TUA 전송은 전체 성공의 75% 이상을 차지하는 것으로 나타났으며, 결과적으로 차량 밀도 증가에 따른 성능 감소를 효과적으로 완화한 것으로 보인다.

V. 결론

본 논문에서는 군집 주행 상황의 효율적인 BSM 방송 프레임

전송을 위한 전송 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 6세대 무선랜 기술인 IEEE 802.11ax의 TUA 기법과 null data packet feedback report 기법을 활용하여 채널 접속 효율을 향상시키고, 차량들이 주변 차량들의 데이터 트래픽 상황을 인지하지 못하는 상황에서도 적은 오버헤드로 높은 효율의 다중 차량 단말 상황 OFDMA (orthogonal frequency division multiple access) 전송을 유도한다.

본 논문에서는 제안하는 기법에 대한 수학적 분석이 제시하였지만, 비포화 상태 채널에서의 수학적 모델링을 포함하지 않았기 때문에 이에 대한 추가적인 연구가 이루어질 필요가 있다.

시뮬레이션 결과에 따르면 제안하는 기법은 측정된 모든 차량 단말 밀도 변화 범위 내에서 기존의 전송 방식 대비 월등한 프레임 전송 성공률을 보이는 것으로 나타났다.

Acknowledgments

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2017R1A2B4003987).

References

- [1] D. Schrank, B. Eisele, T. Lomax, Urban mobility report. Technical Report February, Texas A&M Transportation Institute, College Station, TX, USA, 2019.
- [2] SAE, Dedicated short range communications (DSRC) message set dictionary. SAE Std.2009.
- [3] IEEE, Draft standard for information technology - telecommunications and information exchange between systems local and metropolitan area networks— specific requirements, part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications, amendment 1: enhancements for high efficiency WLAN, IEEE P802.11ax/D5.1, 2019.
- [4] G. Bianchi, “Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 18, No. 3, pp. 535-547, Mar. 2000.
- [5] W. Ahn, R. Y. Kim and Y. Y. Kim, “An energy efficient multi-user uplink transmission scheme in the next generation WLAN for internet of things,” *International Journal of Distributed Sensor Networks (Online Journal)*, 2016, pp. 1-9, May. 2016.



안 우 진 (Woojin Ahn)

2016년 8월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)

2019년 9월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구팀 선임연구원

※ 관심분야 : 무선통신네트워크, 무선랜, 철도자율주행통신, 철도자율주행제어



홍 한 슬 (Hanseul Hong)

2013년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)

2013년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 통합과정

※ 관심분야 : 무선통신네트워크, 무선랜, 사물 인터넷, 자율주행통신



김 용 호 (Ronny Yongho Kim)

2010년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)

2012년 2월 ~ 현재 : 한국교통대학교 철도전기전자공학과 교수

※ 관심분야 : 무선통신네트워크, 사물인터넷, 무선랜, 이동체통신