

차세대 V2X 시스템과 그 전송 거리 분석

Study on Next Generation V2X System and Its Transmission Range

안진수¹ · 김백² · 김용호^{2*}

¹연세대학교 전기전자공학과

²한국교통대학교 철도전기전자공학과

Jinsoo Ahn¹ · Baik Kim² · Ronny Yongho Kim^{2*}

¹Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, Seoul, 13722, Korea

²Department of Railroad Electrical and Electronics Engineering, Korea National University of Transportation, Gyeonggi-do, 16105, Korea

[요 약]

본 논문에서는 최신 커넥티드 카 기술에 적용되는 IEEE 802.11p 표준에 기반한 현세대 및 차세대 V2X (vehicle to anything) 시스템에 대해 분석하고 차세대 V2X 시스템에 적용될 수 있는 채널 접근 기술을 제시한다. 제안하는 기법은 차세대 무선랜 표준의 직교 주파수 분할 다중 사용자 전송 환경에서의 다중 사용자 전송 기법을 차용하여 IEEE 802.11p 기반 차세대 표준에 적용하는 방법을 제시하고 있다. 본 논문에서는 기존 IEEE 802.11p 표준 기반 시스템과 제안하는 시스템 간의 그 전송 거리 및 지리적 네트워크 면적 성능을 측정함으로써 제안하는 기법에 의해 해당 요소들이 어느 정도 개선될 수 있는지를 보이며, 이를 통해 얻어낸 본 연구의 실험 결과는 제안하는 기법들이 기존 V2X 표준 및 시스템의 성능을 개선시키는 데에 매우 적합함을 보인다. 또한, 본 논문은 제안하는 기법을 포함한 차세대 V2X 채널 접근 기법에 대한 분석 방법과 실험 결과를 함께 제공한다.

[Abstract]

In this paper, a novel channel access scheme for the next-generation vehicle to anything (V2X) system based on IEEE 802.11p standard which is applied to recent connected car technologies is suggested and analyzed. The proposed scheme proposes a channel access method utilizing OFDMA multi-user transmission for IEEE 802.11p based system. In this paper, the authors examine geographical distance and network area performance of IEEE 802.11p system and the proposed scheme. Results of this research show that the proposed scheme is quite suitable for improving conventional V2X standards and systems. This paper also provides mathematical analysis and simulation results of the conventional IEEE 802.11p system and the proposed scheme.

Key word : Connected car, IEEE 802.11p, Intelligent transport system, Next-generation V2X, OFDMA, WLAN.

<https://doi.org/10.12673/jant.2019.23.1.36>



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 21 January 2019; Revised 28 January 2019
Accepted (Publication) 27 February 2019 (28 February 2019)

*Corresponding Author; Ronny Yongho Kim

Tel: +82-31-460-0571

E-mail: ronnykim@ut.ac.kr

1. 서론

IEEE 802.11 [1] 기반 무선랜 통신 기술이 여러 교통 시스템에서 널리 사용되고 있다. 도로 교통에서는 IEEE 1609 계열 표준들과[2]-[5] IEEE 802.11p [6]로 구성된 wireless access in vehicular environments (WAVE) 통신이 지능형교통체계 (ITS; intelligent transport system)에 사용이 되며 vehicle to vehicle (V2V) 통신과 vehicle to infrastructure (V2I) 통신을 모두 지원한다 [7]. V2I는 주로 차량들에게 브로드캐스트 데이터를 전송하는 형태로 통신이 이루어진다. 철도교통의 여러 분야에서도 유무선 통신 기반 시스템이 개발되어 사용 중이다. 무선랜 통신이 발달하면서 비용 절감을 위해 철도교통의 여러 분야에서 사용 중인 이더넷 기반 유선 통신을 무선랜 통신으로 변경하고자 하는 연구가 활발히 진행 중이다 [8].

최근에는 철도 교통 등에서 주로 활용되거나, 차량의 일부 기능에 국한되어 이용되어 오던 이러한 무선랜 기반 교통 시스템 통신 기술들이 일반 차량으로 확대되어 커넥티드 카 혹은 V2X라는 이름으로 더욱 일반 도로 교통에 그 역할을 확대해 오고 있다.

이러한 차량 통신 기술들은 그 근간을 IEEE 802.11p 시스템에서 찾고 있으며, 실제로 커넥티드 카는 5.9GHz의 ITS 밴드를 활용하여 미국과 유럽 등지에서 이미 그 연구 활동 및 표준화를 진행해 온 바 있다. 미국은 IEEE/SAE dedicated short-range communication (DSRC)를 2010년에, 유럽은 ETSI/CEN cooperative-ITS (C-ITS)를 2013년에 진행하고, 최근 2017년에는 3GPP long term evolution (LTE) 기반의 3GPP cellular-V2X (C-V2X) 표준을 내놓은 바 있다 [9]. 표준 제정 외에도 2009년부터 2012년에 걸쳐 진행된 IEEE 802.11p 기반의 SARTRE 프로젝트[10]와 같은 커넥티드 카 차량의 플래툰 자율주행 프로젝트나 일본에서 2012년에 진행되어 트럭 차량의 플래툰 주행을 시험한 커넥티드 카 프로젝트인 energy ITS 프로젝트 [11], 공공도로에서의 트럭 플래툰 주행을 시도한 european truck platooning challenge [12] 등이 진행된 바 있다.

현재 커넥티드 카 산업은 매우 광대한 산업 영역에 걸쳐 그 파급효과가 기대되고 있으며, 이러한 추세에 의해 기존 IEEE 802.11p 표준의 기술적 역량을 커넥티드 카 수요에 맞춰 개선하고자 하는 움직임 또한 나타나고 있다. IEEE에서는 이러한 차량 통신 기술에 대한 수요와 요구를 파악하여, 기존 IEEE 802.11p 시스템과의 호환성을 바탕으로 하여 그 성능과 편의성을 극대화 시킬 차세대 V2X 표준을 준비하기 시작하였으며, NGV (next generation vehicle) study group이라는 이름의 study group 형태로 그 수요를 파악하고 기술적 논의를 진행해왔다. 그러한 study group이 진행해 온 노력의 결과로 2019년부터는 해당 그룹이 IEEE 802.11bd task group으로서 차세대 V2X 표준의 구체적인 표준 문서를 제정하게 되었다 [13].

IEEE 802.11bd 표준은 기존 ITS 주파수 영역에서 기존 IEEE 802.11p 단말들과의 동작을 보장하며, 추가적인 기능과 추가적인 성능을 차세대 V2X 단말들에게 제공한다. 또한, 주파수 자원

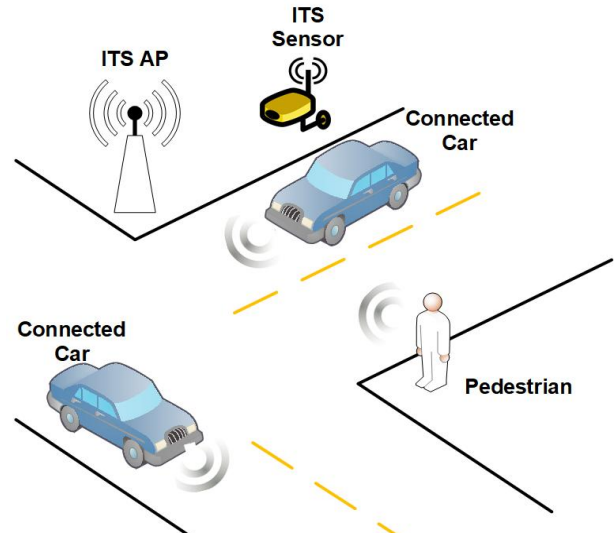


그림 1. 차세대 V2X 시나리오

Fig. 1. Scenario of next-generation V2X system.

측면에서도 기존 5.9 GHz 대역 이외의 60 GHz 대역에 대한 접근을 허용하고 있으며, 서비스 측면에서는 단말의 위치에 관련된 정보를 무선 차원에서 제공하는 것을 또 하나의 주요 기능으로 한다 [14].

이와 같이 IEEE 802.11bd가 고려하는 차세대 V2X 시스템은 기존 IEEE 802.11p 시스템과의 호환 및 연계를 매우 중요한 기술적 요소로 보고 있으며, 이는 기존 자동차 제조사, 정부 기관, 서비스 제공자들이 공히 공감하며 요구한 사항이기 때문이다. 국가적 규제 측면에서도 IEEE 802.11p 기반 무선 시스템은 대부분의 국가에서 해당 ITS 밴드에 허용되는 무선 규격을 보유하고 있으며, 이러한 기존 ITS 밴드를 공히 이용하고자 할 경우 반드시 기존 IEEE 802.11p에 준하는 채널 접근 절차를 수행해야 함이 차세대 V2X 시스템의 선결과제라 볼 수 있을 것이다.

따라서 본 논문에서는 차세대 V2X 시스템을 설계하는 데 있어서 그 무엇보다 기존 IEEE 802.11p 시스템의 프레임 및 채널 접근 절차와의 호환성을 중시하였으며, IEEE 802.11p 시스템이 기존 무선랜 표준에 기반하여 활용되는 것을 그 표준의 골자로 하듯 추가적인 기능을 구현하기 위한 신호 구성 및 프레임 구성 방법을 최근의 무선랜 표준에서 차용함으로써 새로운 시스템을 활용하는 데에서 발생할 수 있는 시스템적, 규제적 문제를 완전히 배제하였다. 즉, 본 논문에서 사용되는 기본적인 신호 구성 및 프레임 구성은 모두 차세대 무선랜 표준의 하나인 IEEE 802.11ax 시스템에서 그 모티브를 가져왔으며, 전송기회 획득을 위한 채널 접근 절차 자체는 기존 IEEE 802.11p의 것을 변경 없이 차용함으로써 공정성이나 시스템 호환성 등의 문제로부터 자유로운 시스템 구성을 시도하였다.

차세대 V2X 시스템에는 기존의 차량 간 통신에서 논의되는 것보다 더욱 많고 다양한 통신 주체들이 있을 수 있다. 현재 논의되고 있는 최신의 표준화 회의에서는 주로 V2X의 가장 기본적인 구성 요소인 차량 (vehicle)은 물론이고 이러한 차량들에게

도로변에서 정보를 전달할 수 있는 ITS access point (AP), 교통 안전의 보호 대상이 되는 보행자 (pedestrian), 도로 상황 및 교통 정보를 수집하는 ITS 센서 (sensor) 등이 포함될 수 있으며, 단순히 차량 뿐 아니라 이를 비행체 (aerial vehicle) 또는 열차 (train)와 차량 간 혹은 열차 간의 통신에 확장하는 활용례 (use cases)가 고려되고 있다 [15].

상술한 다양한 활용례는 결과적으로 필연적으로 동일 면적 대비 더욱 많은 V2X 단말들이 존재하는 미래 V2X 시나리오를 가정하게끔 하였으며, 이에 따라 차세대 V2X 시나리오는 더욱 넓은 사용 영역과 더욱 많은 단말 수용이라는 상반된 목적을 동시에 이루어야하는 기술적 난국에 처하게 되었다. 특히 기존 IEEE 802.11p 시스템은 채널 접근에 있어서 개별 단말들이 back-off 기반의 보수적인 경쟁 채널 접근을 그 기본 원리로 하고 있어 다중 사용자 전송에 대한 어려움을 가졌을 뿐 아니라 차세대 무선랜 시스템들에서 활용하는 트리거 프레임 (TF; trigger frame) 기반의 다중 사용자 전송이 요구하는 사전 연결 단계 (association procedure)가 생략될 수 밖에 없는 V2X 통신 특성상 차세대 무선랜 시스템의 고유 기능 중 하나인 TF 기반 다중 사용자 스케줄링 방법 또한 활용이 어렵다는 기술적 어려움이 있다.

따라서 본 논문은 사전의 연결 단계 없이 주파수 영역에서 경쟁 채널 접근을 수행하는 (OBO; OFDMA back-off) orthogonal frequency division multiple access back-off 방법을 모티브로 한 채널 접근 방법을 차세대 V2X 시스템의 다중 사용자 전송 기법으로 설정하였으며, 이러한 다중 사용자 전송 상황에서 QoS 내의 딜레이를 최대한 많은 단말들에게 제공하는 것을 목적으로 하였다. 특히, 본 논문에서는 동일한 단말 수를 수용할 때에 개별 ITS AP가 생성하는 하나의 셀이 얼마나 넓은 범위의 전송범위를 가지는지를 실험을 통해 분석하였으며, 그 결과로서 제안하는 방법이 차세대 V2X 시스템의 전송범위를 기존 시스템 대비 개선시킬 수 있음을 보이는 것을 목적으로 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 IEEE802.11 무선랜 통신 기술 기반의 다중 사용자 전송 방법 및 OFDMA back-off 방법을 설명하며, 그와 함께 본 논문이 제안하는 기법을 설명한다. III장에서는 차세대 V2X 채널 접근에 대한 기본적인 모델링 분석과 알고리즘을 제시한다. IV장에서는 실제 시스템을 가정한 시뮬레이션 실험을 통해 성능 분석을 수행하며, V장에서는 앞선 분석들에 기반하여 제안하는 기술의 효과에 대한 결론을 도출한다.

II. IEEE802.11 무선랜 통신 기술 기반의 차세대 V2X 전송 및 채널 접근 기법

2-1 IEEE 802.11ax 직교 주파수 분할 다중 사용자 전송 기법

그림 2에 보여진 바와 같이 최근의 무선랜 표준인 IEEE

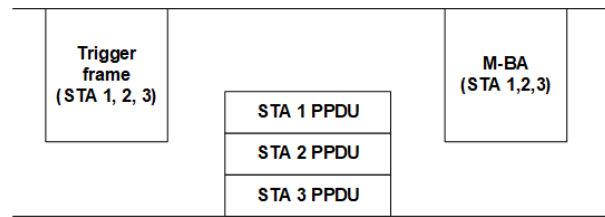


그림 2. IEEE 802.11ax uplink (UL) OFDMA 기법
Fig. 2. UL OFDMA procedure of IEEE 802.11ax.

802.11ax 표준에서는 무선 AP 단말이 TF를 전송함으로써 복수 단말들의 다중 사용자 상향 전송을 수행하도록 한다 [16]. TF는 다중 사용자 상향 전송의 스케줄링을 수행하기 위한 프레임으로, 해당 프레임의 수신 종료+SIFS 시간으로 정해진 전송 시점, 전송을 수행하게 될 전송 단말, 각 단말들이 사용하게 될 주파수-공간 전송 자원을 지시하는 역할 등을 하는 프레임이다. 이러한 TF를 수신한 하나 이상의 단말들은 TF의 내용에 따라서 해당하는 자원 단위를 통해 다중 사용자 상향 전송을 수행할 수 있다. 이는 IEEE 802.11ax 표준을 통해 무선랜 표준 수준에서 정해진 첫 번째 다중 사용자 상향 전송 절차와 그 지시 방법으로, 기존의 무선랜 시스템이 개별 단말의 판단에 따라 분산적으로 채널접근을 해오던 것과 매우 상이한 형태로 동작한다. 즉, IEEE 802.11ax 표준에서 정의하는 다중 단말 상향 전송의 기본적인 동작은 데이터를 전송단말과 전송기회를 획득하기 위해 채널에 접근하는 단말이 일치하는 기존의 무선랜 시스템과 달리, AP 단말로의 상향 데이터를 가진 단말들의 상향전송을 위해서 수신 단말인 AP 단말이 채널 접근을 수행하고 AP 단말의 중앙 제어 하에 다중 사용자 상향 전송을 실시하는 형태로 마치 기존 3GPP 표준과 유사한 철학으로 동작한다. 현재 표준화가 진행 중인 가장 최신의 IEEE 802.11ax 표준 초안[16]에 따르면, 구체적으로 TF는 상향 전송이 이루어질 PPDU (physical-layer convergence procedure protocol data unit) 길이 및 그 구성을 위한 프리앰블 정보를 삽입되어 하향 전송됨으로써 상향 전송 단말들에 의한 상향 PPDU가 AP 단말에 의해 디코딩 가능한 형태로 전송하게 하는 공통 전송 매개변수를 설정 할 수 있도록 한다. 또한 이 TF에는 지시되는 하나 이상의 상향 전송 단말에 데이터 프리앰블 부 이후에 사용할 부반송과 자원인 RU (resource unit) 및 SS (spatial stream)에 대한 정보와 MCS 등 각 상향 단말들의 개별 전송 매개변수 (parameter) 들이 포함되어 전송되도록 한다. 따라서 TF에 의해 전송 지시 받은 단말은 AP의 TF가 지정하는 전송 매개변수를 이용하여 다중 사용자 상향 전송 과정을 수행할 수 있다.

그러나 상술한 UL (uplink) OFDMA 과정은 모두 AP 단말의 사전 정보에 기반하여 AP 단말이 단말들의 데이터 상태 혹은 단말들의 존재 및 identification (ID)을 알고 있을 때 기능이 가능한 동작들이다. 이는 그림 3에서 보여지는바와 같이 기존 무선랜 동작이 실제 데이터 전송에 앞서서 사전 결합과정을 통해 AP

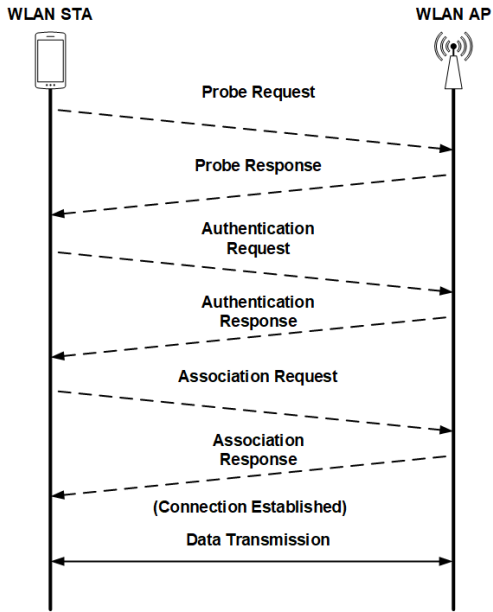


그림 3. 기존 무선랜 시스템의 통신 절차
 Fig. 3. Communication procedure of conventional wireless LAN system.

에 의해 단말에 개별 ID를 부여하는 과정을 가졌기에 가능한 것이며, 그에 더 나아가 목적 단말의 트래픽 형태 혹은 실제 버퍼 상태를 인지하고 있다는 가정 하에 가능한 스케줄링 방법이다. 기존 무선랜 시스템의 목적이 일반적으로 근거리에서의 대용량 멀티미디어 통신을 비롯한 광대역 통신임을 상정하면, 이러한 링크설정 이후 데이터 전송의 절차는 매우 유효한 방법일 수 있으나, 실제로 IEEE 802.11p 등에서 목적으로 하는 차량 간 통신 혹은 V2X 통신은 매우 빠른 이동성과 짧은 연결 유지, 그리고 매우 낮은 요구 딜레이와 같은 문제로 인해 이러한 링크설정-데이터 전송 형태의 통신 절차가 유효하지 않다.

이러한 문제로 인하여 실제 IEEE 802.11p 표준에서는 기존 무선랜 표준과 달리 결합단계와 같은 사전 링크 설정 단계를 생략하였으며, 이에 따라 각 단말들은 AP를 포함하여 대상 단말의 주소 정보나 존재 등을 확인할 수 없는 기술적 한계를 가지게 되었다. 이는 그림 4에 표시된 바와 같이 IEEE 802.11p 표준의 프레임은 그 목적 단말의 존재 및 ID 정보 없이 바로 주변 단말들에게 본인의 정보를 전달할 수 있게끔 설계되어 있다. 앞서 I장에서 서술한 바와 같이 이러한 정보의 대상이 되는 단말에는 V2V의 대상이 되는 차량 뿐 아니라 ITS AP 혹은 ITS pedestrian 및 ITS sensor가 될 수 있으며, 이들 목적 단말들에 대한 구별은 프레임 내의 식별자 혹은 프레임 내의 데이터 내용을 디코딩함으로써 수행할 수 있다.

따라서 앞서 설명한 IEEE 802.11ax의 직교 주파수 분할 다중 사용자 전송 기법은 IEEE 802.11p 시스템에 그대로 적용시키기에 어려움이 있으며, 이러한 문제를 해소하기 위해 본 논문에서는 IEEE 802.11ax의 일반화 된 UL OFDMA 절차가 아닌

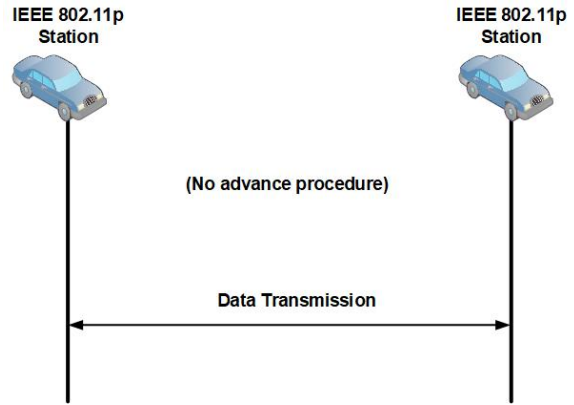


그림 4. IEEE 802.11p 시스템의 통신 절차
 Fig. 4. Communication procedure of IEEE 802.11p system.

OFDMA back-off 기반 UL OFDMA 방법을 차세대 V2X 시스템에 적용하는 것을 고려한다.

2-2 IEEE 802.11ax OBO 기반 차세대 무선랜 V2X 채널 접근 방법

OBO 기반 채널 접근 방법은 UORA (uplink OFDMA random access) 절차라고도 불리며, 이러한 UORA 절차의 목적은 AP 단말이 별도의 목적 ID 정보 없이 TF 내에서 선택한 무선 자원을 무작위 단말들이 활용하게끔 하는 데에 있다. 다시 말하면, AP 단말은 TF에서 지시하는 무선 자원의 일부 혹은 전체를 UORA를 위해 사용하도록 지시할 수 있으며, 각 단말들은 TF를 해석한 이후 소정의 랜덤 접근 절차를 통해 각 UORA 자원들에 대해 확률적으로 접근할 수 있다. 이는 랜덤한 시간 back-off값을 가지고서 랜덤한 시간적 간격을 가지고 채널을 접근하는 기존 무선랜 접근 방법의 무선 주파수 측면에서의 적용 방법으로, 기존 무선랜 시스템에서와 동일하게 두 개 이상의 단말이 동일한 자원을 선택하여 채널 접근을 시도할 경우 해당 자원은 프레임 충돌로 인해 사용할 수 없다는 동일한 구조적 한계를 승계하는 형태로 구성되어 있다.

구체적으로 UORA 절차 혹은 OBO 기반 채널 접근은 각 단말이 RU 차원의 랜덤한 OBO 값을 OCW (OFDMA contention window) 이내의 값에서 선택하게 한다. 각 단말들은 얻어낸 OBO 값을 유지하다 TF를 수신하는 경우 TF 내의 RU 중 몇 개의 RU가 UORA 절차용으로 할당되었는지를 확인한다. UORA 절차에 활용되는 RU는 해당 RU에 해당하는 ID가 UORA의 공용 ID로 할당되어 있으며, 이러한 UORA ID에 해당하는 주소를 확인하면 해당 RU가 UORA에 할당된 주소임을 각 단말이 확인할 수 있다. 각 단말들이 TF 프레임의 해석을 통해 해당 프레임에서 몇 개의 RU가 UORA RU로 할당 되었는지 확인하였다면, 각 단말은 그 수 만큼 OBO값을 차감하게 된다. 차감한 단말의 OBO 값이 0이하가 된다면 해당 단말은 해당 UORA RU

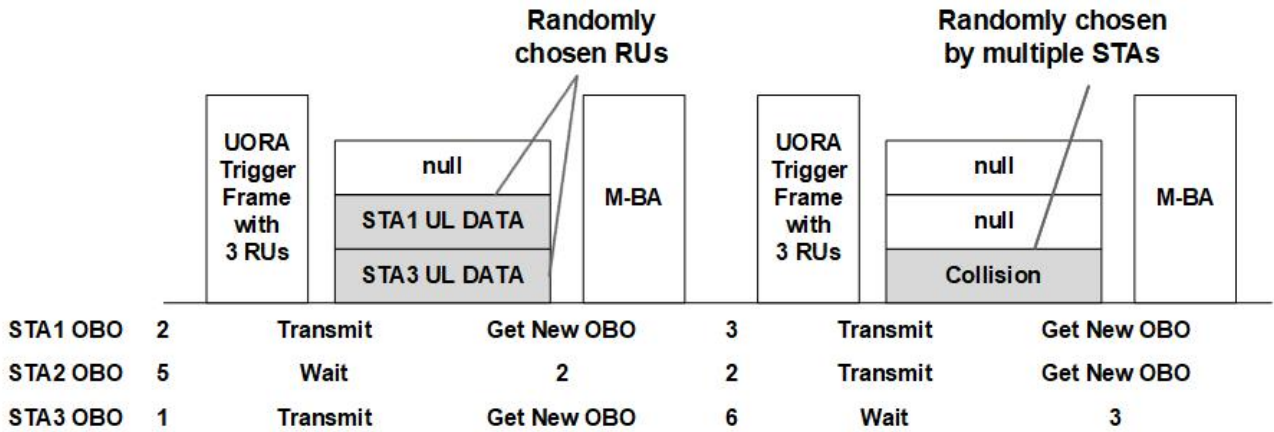


그림 5. OFDMA 무작위 채널 접근 절차

Fig. 5. Channel access procedure of OFDMA random access.

중 하나를 랜덤하게 선택하여 단말이 가진 프레임을 해당 RU에 전송할 수 있으며, 해당하는 전송 이후 새로운 OBO 값을 획득한다.

그림 5는 UORA 절차를 도식화한 것으로 복수의 단말들이 전송기회를 획득하기 위해 각자의 OBO 값을 차감하는 과정을 보이고 있다. 이들은 UORA RU를 제외한 어떠한 스케줄링 정보를 제공받을 수 없기 때문에 분산적으로 채널 접근을 수행하게 되며, 그 결과로써 프레임간 충돌이 발생할 위험 또한 있다. 이러한 프레임 충돌 및 그에 따른 성능 하락은 원칙적으로 전송이 참여하는 단말의 수 및 그 트래픽 패턴과 그들이 초기에 설정하는 OCW 값에 의해 영향을 받는 것으로 beacon 프레임 전송에 따른 OCW 값의 제어 절차와 및 적절한 표준 내의 기본값 설정을 통해 최적화할 수 있다. 이 값은 표준이 지향하는 목적 단말의 수 및 트래픽 패턴, 그리고 각 ITS AP가 설치된 장소에서 수용하고자 하는 단말들의 수 및 사용 채널의 수 등에 영향을 받는 요소로, 일반적으로 가용자원 대비 목적 단말의 수가 많을수록 큰 값을, 목적 단말의 수 대비 가용 자원이 많을수록 더 작은 값의 OCW 값을 갖도록 설정하여 최적화 하도록 한다.

III. 차세대 V2X 시스템 수학 모델링 분석

본 논문에서는 ITS 밴드를 활용하여 9개의 RU를 사용해서 채널에 접근하는 UORA 기반 차세대 V2X 시스템을 분석한다. 개별 단말들은 UORA 절차에서 주어진 W값에 해당하는 OCW 즉, UORA 절차를 위한 윈도우 값에 대해서 OBO 값을 획득하며, 단말 측면에서 수신하게 되는 TF는 9개의 RU가 고정적으로 UORA RU로 설정되는 상황을 상정하였다. 각 단말의 측면에서 전송 프레임의 재전송 횟수는 최대 m번으로 설정하였으나 이는 시스템 구현 방법에 따라 그 재전송 횟수를 0으로 설정하는 경우를 포함한 구성으로 간주되어, 시스템 구성에 따른 필요에 따라 그 값을 0으로 설정할 수 있다.

상세한 목적 시스템의 모델 및 수식 유도는 저자들이 본 논문에서 앞서 진행한 연구들에서 진행한 바와 같으며 [9], 해당 연구에서 유도한 일반화 된 모델에 대한 본 논문의 특수 예로 아래와 같이 그 steady state probability를 얻어낼 수 있다.

$$B_{0,0} \left\{ \sum_{i=1}^{m-1} \left(\frac{p^i}{W} \left\{ 9(N-1)^2 + (N-1)R - \frac{9N}{2} \right\} \right) + \frac{p^m}{W} (p+1) \left\{ 9(N-1)^2 + (N-1)R - \frac{9N}{2} \right\} + \frac{p^m}{1-p} + 1 \right\} = 1 \quad (1)$$

이때에 p는 전송 시에 해당 전송이 실패할 확률이며, 이는 시스템 구성에 따라 재전송을 야기할 수 있다. N은 본 논문에서 사용하는 간략화 된 Markov chain에 활용하는 number of stages 변수로 해당하는 CW 값으로부터 얻어낸 OBO가 최대 몇 번의 트리거 프레임을 수신하여야 0 이하가 되는지를 표현하는 값이다. 즉, 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$N = \left\lfloor \frac{W-2}{9} \right\rfloor + 1 \quad (2)$$

R의 경우는 9개 단위의 개별 stage들을 구성하고 남은 state의 개수로 전체 OCW 크기에서 온전한 9개의 RU를 가진 stage들이 포함한 모든 state들을 제외한 값. 즉, 아래와 같이 표현할 수 있는 값이다.

$$R = W - 9N + 8 \quad (3)$$

따라서 이때에 전송이 발생하는 state의 steady state probability를 합하는 것이 전송 확률로 치환 가능하므로, 이때의 전송 확률은 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$\tau = \sum_{i=0}^m B_{i,0} = \frac{1}{1-p} B_{0,0} \quad (4)$$

(1)과 (4)를 통해 전송확률은 주어진 W와 m에 의해서 충돌 확률 p에 의한 함수로 재표현 될 수 있다. 이러한 충돌 확률은 동일한 채널접근을 하는 n개의 단말에 대해서 이미 많은 통신 시스템의 분석 방법들에서 알려진 바와 같이 아래의 값을 가질 수 있다 [17].

$$p = 1 - (1 - \tau)^{n-1} \quad (5)$$

상술한 (1)-(5)를 통해 주어진 W와 m에 대해 UORA 시스템에서의 단말의 프레임 충돌 확률과 단말의 수 사이에 생기는 관계를 파악할 수 있다. 여기서 나아가 stage의 개념을 활용해서 단말이 OBO과정을 수행함에 있어 몇 개의 stage를 평균적으로 겪느냐에 따라 그 stage 수를 통한 시스템 delay를 유도할 수도 있다. 이는 단말의 QoS 딜레이를 목적성능으로 하였을 때 목적 성능과 충돌 확률과의 관계 혹은 목적 성능과 단말 수와의 관계를 확인할 수 있음을 의미한다.

본 논문에서 적용하는 차세대 V2X 채널 접근 방법에서는 단말이 채널에 접근하기 위해서 UORA RU를 포함한 TF를 수신하는 것이 기본 전제이다. 따라서 단말이 전송 프레임을 생성한 이후, 처음 TF를 만날 때까지의 시간과 그 이후 경쟁을 추가적인 TF 간격마다 TF 수신을 기다리는 시간이 모두 딜레이에 포함된다. 이러한 딜레이 값의 기대값은 TF의 전송 간격이 일정하고 각 단말의 프레임 생성 시간이 랜덤한 경우 아래와 같이 고정 인터벌 확률 변수 I_c를 활용하여 표현될 수 있다.

$$E[T] = \frac{I_c}{2} + I_c N_{mean} \frac{1-p^{m+1}}{1-p} \quad (6)$$

TF의 전송간격이 지수 분포를 따르는 포아송 분포를 따르는 프레임이라면, 이 때의 딜레이에 대한 기대값은 아래와 같이 포아송 인터벌 확률 변수 I_p를 활용하여 표현될 수 있다.

$$E[T] = I_p + I_p N_{mean} \frac{1-p^{m+1}}{1-p} \quad (7)$$

즉, 상술한 바와 같이 단말이 CW로부터 얻어낸 OBO값이 만들어내는 평균적인 stage의 수에 해당하는 N_{mean}에 영향을 받는 값이 만들어지며, 이 값 또한 OCW의 크기인 W가 고정되면 함께 고정되는 값이다. 따라서 딜레이에 대한 분포 역시 TF 전송의 간격 분포에 따라 (6) 또는 (7)의 식에 앞서 얻어낸 p값을 적용함으로써 그 평균 딜레이를 얻어낼 수 있다.

IV. 성능 분석

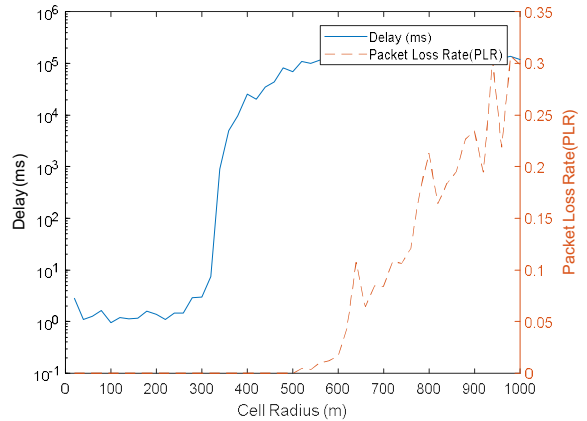


그림 6. IEEE 802.11p 시스템의 네트워크 반경
Fig. 6. Network radius of IEEE 802.11p system.

이번 장에서는 이론적인 분석을 토대로 한 수식이 아니라 실제 시스템을 상정하여 구현한 시뮬레이션 실험을 통해 ITU 채널 모델에 따른 신호 감쇄 영향에 따른 실제 네트워크 규모의 크기가 기존 IEEE 802.11p 기반 시스템의 이론적 최대 전송 거리인 1,000 m 대비 얼마나 실제로 감소하는지 기존 IEEE 802.11p 채널 접근 방법과 본 논문이 제시하는 차세대 V2X 채널 접근 방법을 비교하여 분석한다. 이 때의 시스템 규모의 척도는 평균 딜레이 및 패킷 로스가 QoS 값 이내에 들어오지 않고 발산하게 되는 물리적 cell radius 값을 찾는 것으로 하였으며, 이를 찾기 위해서 다양한 cell radius를 대입하여 반복적인 실험을 수행한 끝에 시스템 delay 및 패킷로스가 수렴하지 QoS 값 이내로 수렴하지 않는 값들을 찾아냈다.

본 논문에서 실험에 사용한 시스템 매개변수 값들은 해당하는 기존 표준들에서 기본 값 혹은 추천 값에 준하는 값들로 구성하였다. 단, 시스템 분석에 사용한 단말 수와 같은 요소는 과도한 단말의 참여가 cell radius의 변화 이전에 시스템 성능을 악화시킬 수 있으므로, 단말 수에 의한 시스템 병목이 발생하지 않는 수준의 값을 활용하였다.

그림 6은 기존 IEEE 802.11p 시스템에서의 네트워크 수준의 cell radius를 실험한 결과이다. 그림에서 나타나는 바와 같이 cell radius가 320 m 이내인 영역을 넘어가면 실제로 수렴 딜레이를 가질 수 있는 시스템으로써 보기 어려우며, 이는 기존 IEEE 802.11p 기반 시스템 반경이 최대 320 m 이하로 설정되어야 함을 의미한다. 이는 기존 IEEE 802.11p 시스템이 고려하는 1,000 m의 전송 반경 대비 32% 이하의 전송 거리이며, 네트워크의 지리적 면적 규모로 환산하면 표준이 목표로 하는 이상적 목표치의 10% 수준의 면적에 지나지 않는다.

그림 7은 본 논문에서 제안하고 있는 차세대 V2X 채널 접근 방법을 적용했을 때의 네트워크 수준의 cell radius를 실험한 결과이다. 그림에서 확인 가능한 바와 같이 cell radius가 540 m에 도달할 때까지 매우 정규화 된 딜레이 분포를 보여 QoS 이내의 준수한 딜레이 성능을 보이며, 이는 변동 없는 안정적인 시스템

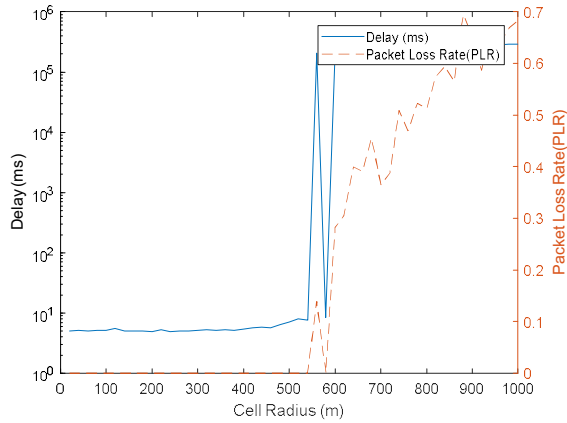


그림 7. 제안하는 차세대 V2X 시스템의 네트워크 반경
Fig. 7. Network radius of the proposed next-generation V2X system.

딜레이 성능을 보인다고 볼 수 있다. 이 때의 cell radius 성능은 이론적 최대치 대비 54%의 실제 성능이며, 네트워크의 지리적 면적 규모로 환산할 경우 표준이 목표로 하는 이상적 목표치의 30%에 가까운 면적에 해당한다.

상술한 두 채널 접근 기법의 cell radius 성능 혹은 네트워크의 지리적 면적 규모는 모두 기존의 IEEE 802.11p 시스템이 상정하는 이론적 최대치에 비하면 매우 떨어지는 값으로 이론적 최대치와 실제 시스템 구현 상황간의 간극을 잘 나타내고 있다. 그러나 그 중에서도 본 논문에서 제안하는 차세대 V2X 채널 접근 기법은 매우 정규화된 QoS 딜레이 성능을 보장하면서도 기존 IEEE 802.11p 시스템의 cell radius 성능을 1.69배 개선하며, 동시에 3배 가까운 V2X 네트워크의 지리적 면적을 커버하는 이득을 제공하는 것을 확인할 수 있다.

앞선 연구들에서 IEEE 802.11p 시스템을 통한 실제 전송 거리가 이론치인 1,000 m에 크게 못 미친다는 것은 1 대 1 통신에서의 신호 영향에 대한 연구와 분석을 통해 이미 알려진 바가 있다 [18], [19]. 본 논문에서는 이를 물리계층 기반의 1 대 1 통신 분석이 아닌 하나의 ITS AP가 커버하는 전송 영역에 대한 네트워크 수준의 통합적 성능 분석을 수행한다. 즉, 네트워크 차원에서 유의미한 전송 범위를 산정함으로써 실제로 각 채널 접근 방법이 가지는 유효한 시스템 규모를 찾아내고 본 논문이 제시하는 차세대 V2X 채널 접근이 기존 IEEE 802.11p 대비 이러한 네트워크 규모에 있어서도 성능 향상이 있음을 보인다.

V. 결 론

본 논문에서는 과거의 IEEE 802.11p에서부터 시작되는 다양한 V2X 시스템의 가능성을 검토하고, 현재 진행되고 있는 차세대 V2X 시스템에 대한 논의와 시사점을 검토하였다. 그 일환으로 본 논문에서는 V2X 시스템의 채널 접근 방법을 개선시켜 정

규화 된 QoS 지연 성능을 보이면서도 전송 거리 및 그에 따른 지리적 네트워크 면적을 크게 개선시킬 수 있는 UORA 기반 차세대 V2X 채널 접근 기법을 제시하였으며, 이에 대한 분석 방법 및 도구 또한 실제 실험 결과와 함께 제시하였다. 제안하는 방법은 사전의 결합단계 없이 전송을 수행하는 UORA 절차를 IEEE 802.11p 기반 시스템에 적용함으로써 가능하였으며, 이때의 모든 프레임 형태와 신호 교환 방법은 기존 ITS 채널을 사용하고 있는 IEEE 802.11p 단말과의 호환성을 고려하여 설계되었다. 그러한 설계의 결과로 본 논문에서의 차세대 V2X 채널 접근 방법은 기존의 IEEE 802.11p 시스템과 공존하여 적용될 수 있을 뿐 아니라 ITS AP의 영역에서는 예측 가능하도록 매우 정규화된 딜레이 성능 및 매우 뛰어난 전송 거리 및 지리적 네트워크 면적 증대라는 차세대 V2X 시스템에서 요구하는 주요 성능 지표들을 만족시킬 수 있었다.

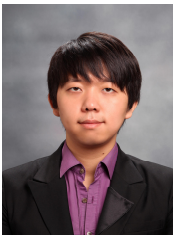
Acknowledgement

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

References

- [1] IEEE, IEEE standard for local and metropolitan area networks - part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications, IEEE, Piscataway: NJ, std 802.11-2012, 2012.
- [2] IEEE, IEEE trial-use standard for wireless access in vehicular environments (WAVE) - resource manager, IEEE, Piscataway: NJ, std 1609.1-2006, 2006.
- [3] IEEE, IEEE standard for wireless access in vehicular environments—security services for applications and management messages, IEEE, Piscataway: NJ, Std 1609.2-2013, 2013.
- [4] IEEE, IEEE standard for wireless access in vehicular environments (WAVE) - networking services, IEEE, Piscataway: NJ, std 1609.3-2010, 2010.
- [5] IEEE, IEEE standard for wireless access in vehicular environments (WAVE) - multi-channel operation, IEEE, Piscataway: NJ, std 1609.4-2010, 2011.
- [6] IEEE, Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications amendment 6: wireless access in vehicular environments, IEEE, Piscataway: NJ, std 802.11p-2010, 2010.
- [7] B. K. Cho, S. H. Ryu, K. B. Kim and R. Y. Kim, "WAVE packet transmission method for railroad WAVE communication," *Journal of the Korea Academia-Industrial*

- cooperation Society, Vol. 16, No. 10, pp. 6604-6610, Oct. 2015.
- [8] R. Y. Kim, "Reliable WAVE communication for railroad applications," *IOSR Journal of Engineering*, Vol. 06, No. 01, pp 58-63, Jan. 2016
- [9] J. S. Ahn, Y. Y. Kim and R. Y. Kim, "A novel WLAN vehicle-to-anything (V2X) channel access scheme for IEEE 802.11p-based next-generation connected car networks," *Applied Sciences*, Vol. 8, No. 11, pp. 2112, Nov. 2018.
- [10] E. Chan, Overview of the SARTRE platooning project, SAE, Warrendale: PA, Technical Paper, 2012.
- [11] S. Tsugawa, S. Kato and K. Aoki, "An automated truck platoon for energy saving," in *Proceedings of the 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, San Francisco: CA, pp. 4109-4114, 2011.
- [12] European Truck Platooning Challenge [Internet]. Available: <https://www.eutruckplatooning.com/>.
- [13] B. Sun, "NGV SG response to comments per 802.11bd PAR/CSD," IEEE NGV SG, Technical Report, 18/2025r1, 2018.
- [14] J. Lepp, "Work breakdown for P802.11bd," Technical Report, 18/1945r1, IEEE NGV SG, 2018.
- [15] B. Sun, "NGV SG use cases," Technical Report, 18/1323r2, IEEE NGV SG, 2018.
- [16] IEEE, IEEE draft standard for information technology - part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications, Amendment 1: enhancements for high efficiency WLAN, IEEE, Piscataway: NJ, P802.11ax/D3.2, 2018.
- [17] G. Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," *IEEE Journal of Selected Areas Communication*, Vol. 18, No. 3, pp. 535-547, Mar. 2000.
- [18] L. Stibor, Y. Zang and H. Reumerman, "Evaluation of communication distance of broadcast messages in a vehicular ad-hoc network using IEEE 802.11p," in *Proceedings of the 2007 IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Kowloon: China, pp. 254-257, 2007.
- [19] J. Gonzalez, M. Sepulcre, and R. Bauza, "IEEE 802.11p vehicle to infrastructure communications in urban environments," *IEEE Communication Magazine*, Vol. 50, No. 5, pp. 176-183, May. 2012.



안진수 (Jinsoo Ahn)

2019년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)

2019년 3월 ~ 현재 : 삼성전자 연구원

※ 관심분야 : 무선통신네트워크, 무선랜, 사물 인터넷, V2X



김백 (Baik Kim)

1995년 8월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)

1996년 2월 ~ 현재 : 한국교통대학교 철도전기전자공학과 교수

※ 관심분야 : 전력계통



김용호 (Ronny Yongho Kim)

2010년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)

2012년 2월 ~ 현재 : 한국교통대학교 철도전기전자공학과 부교수

※ 관심분야 : 무선통신네트워크, 사물인터넷, 무선랜, 이동체통신