

# 무선랜 기반 광대역 V2X 통신에서의 채널 접근 동작을 위한 주 채널 설정 기법

## A Primary Channel Selection Scheme for Wideband WLAN V2X Communication

홍한슬<sup>1</sup>·김용호<sup>2</sup>·안우진<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>연세대학교 전기전자공학과

<sup>2</sup>한국교통대학교 철도전기전자공학과

<sup>3</sup>한국철도기술연구원

Hanseul Hong<sup>1</sup> · Ronny Yongho Kim<sup>2</sup> · Woojin Ahn<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>School of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University, Seoul 03722, Korea

<sup>2</sup>Department of Railroad Electrical & Electronic Engineering, Korea National University of Transportation, Gyeonggi-do 16106, Korea

<sup>3</sup>Korea Railroad Research Institute, Gyeonggi-do 16106, Korea

### [요 약]

DSRC를 활용한 ITS 시스템이 확산됨에 따라, 더 높은 전송 용량 및 전송 신뢰도를 요구하는 ITS 서비스가 개발되고 있다. 이에 따라, 차량 통신 환경에서 높은 전송 용량 및 신뢰성을 지원하는 한편 기존 무선랜 차량 단말들과의 형평성을 보장하기 위해, IEEE에서는 차세대 차량 통신 표준인 IEEE 802.11bd가 제안되었으며, 표준화가 개발 및 진행 중이다. 특히, 높은 전송 용량 지원을 위해, IEEE 802.11bd에서는 20 MHz 대역을 활용한 전송 동작이 지원 및 반영되었다. 본 논문에서는 기존 무선랜 채널 확장 방법을 활용하면서도 차량 통신 환경에서의 기존 단말과의 채널 접근 방법에서의 공정성을 만족하기 위한 채널 접근 방법을 제시한다. 특히, 채널 점유 비율에 따른 주 채널 설정 방법을 통해 기존 단말의 채널 접근 방법과의 공정성을 유지할 수 있다.

### [Abstract]

With the proliferation of intelligent transportation system (ITS) with dedicated short-range communication (DSRC) deployment, there are various applications requiring different throughput and reliability performance. To meet the enhanced throughput requirements in newly generated applications, IEEE 802.11bd is proposed to standardize for support of enhanced throughput and latency, preserving the fairness with previously deployed WLAN V2X devices. One of the main features of IEEE 802.11 bd is 20 MHz transmission to support the high data rate. In this paper, the primary channel selection method is proposed to guarantee the fairness with frame transmissions with 10 MHz bandwidth including communications in WLAN V2X devices deployed with IEEE 802.11p. Simulation shows that the proposed channel access method for 20 MHz transmission with primary selection preserves the fairness without the change of channel access method in wide-band transmission.

**Key word** : Wireless LAN, Next generation V2X, Wide-band transmission, IEEE 802.11bd, channel access.

<https://doi.org/10.12673/jant.2019.23.6.589>



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 20 November 2019; Revised 23 November 2019

Accepted (Publication) 21 December 2019 (30 December 2019)

\*Corresponding Author; Woojin Ahn

Tel: +82-31-460-5784

E-mail: woojin.ahn@krri.re.kr

# I. 서론

V2X (vehicle-to-everything) 통신 기술이 개발되고 적용됨에 따라, 레이더, 라이다, 카메라 등 다양한 센서들을 활용한 다양한 지능형 교통 시스템 (ITS; intelligent transportation system) 서비스가 개발 및 활용되고 있다. 현재 가장 널리 사용되는 차량용 통신 방법은 DSRC (dedicated short range communication) 방식의 표준인 IEEE 802.11p[1] 및 IEEE 1609 등 WAVE (wireless access in vehicular environment)[2]-[4]이다. DSRC 통신 방식이 기본적인 ITS 서비스에 효과적으로 적용될 수 있음에 따라[5],[6], 미국, 유럽 등 다양한 나라에서 ITS 서비스를 위해 연구 및 적용되고 있다.

최근, 자율주행 및 군집주행 등 ITS 서비스가 다양화되고 고성능의 센서가 활용되어, V2X 통신에 요구하는 데이터 전송 속도 및 신뢰도가 더 높아지게 되었다. 기존 IEEE 802.11p 표준이 새로 발생하는 ITS 서비스의 요구 속도를 만족하지 못함에 따라, IEEE 802 그룹에서는 차세대 통신 표준인 IEEE 802.11bd의 개발이 제안되었으며, 현재 표준화가 진행 중이다. IEEE 802.11bd는 기존 OBU(on-board unit)에 탑재되어 있는 IEEE 802.11p 단말의 성능을 저해하지 않으면서 더 높은 전송속도, 전송 거리 및 신뢰성을 지원하기 위해 개발 중이다. 이 중 더 높은 전송속도를 지원하기 위해 20 MHz 대역을 사용한 전송 방법이 제안 및 반영되었다[7].

본 논문에서는 20 MHz 대역을 사용한 전송을 수행하기 위한 채널 접근 방법 및 주 채널 설정 방법에 대해 제시한다. 제안된 채널 접근 방법 및 주 채널 설정 방법을 활용하면, 기존 광대역 채널 접근 방법을 활용하면서도, 기존 IEEE 802.11p 단말의 성능을 저해하지 않을 수 있다. 또한, IEEE 802.11bd 단말이 보급되었을 경우 주 채널 설정 방법을 변경하여 전송 데이터 간의 우선순위를 분류하는 데에도 도움이 될 수 있다.

## II. 관련 연구 동향

### 2-1 V2X 통신을 위한 DSRC 방법

지능형 교통 시스템을 위한 차량 통신 방법으로는 미국에서 지속적으로 연구 및 개발하는 DSRC 방식과 3GPP LTE (long term evolution) 기반으로 개발된 C-V2X (cellular-V2X) 방식이 있다. 그 중, 현재 널리 보급되어 사용되는 DSRC 방식은 2002년에 ASTM(American Society for Testing and Materials International)에서 IEEE 802.11a 기반으로 표준화가 진행되었으나[8], 이후 IEEE 802.11 그룹에서 표준화를 진행하여 2010년에 WAVE 표준으로 제정하였다. V2X 통신 관련 연구를 가장 적극적으로 수행하며 DSRC 통신 방법을 활용하는 미국에서는 그림 1과 같이 5.9 GHz 대역 중 7개의 10 MHz 채널을 포함한 대역을 차량 통신을 위한 대역으로 지정하였으며, 각 채널

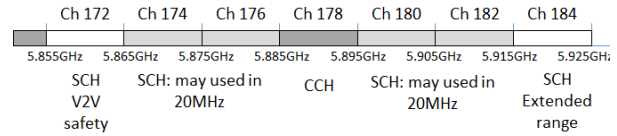


그림 1. 5.9 GHz 대역에서의 V2X 통신용 채널 할당 구조  
**Fig. 1.** Channel allocation for V2X communication in 5.9 GHz band.

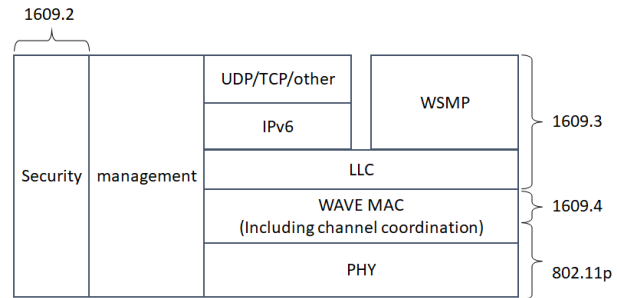


그림 2. WAVE 표준의 계층 구조  
**Fig. 2.** Layer architecture of WAVE standard.

의 사용 용도를 지정 및 권고하고 있다. 차량 통신용으로 지정된 7개 채널 중 5.885 GHz - 5.895 GHz 대역의 채널 178은 CCH (control channel)로 중요 메시지 및 제어 메시지를 전송하는 데 사용되며, 다른 채널들은 SCH (service channel)로 데이터 등을 전송하는 데 사용한다. 그 중, 채널 172는 V2V (vehicle-to-vehicle) 통신에 사용되는 안전 메시지의 전송에, 채널 184는 더 높은 전송 거리를 요구하는 메시지의 전송에 사용된다. 다른 채널은 상위 계층에서 사용하는 용도에 따라 데이터 전송에 사용되며, 필요한 경우 20 MHz 대역폭을 사용하여 전송할 수 있도록 지정하고 있다.

DSRC를 지원하는 WAVE 표준은 그림 2와 같이 PHY 계층 및 MAC 계층에서의 동작을 정의하는 IEEE 802.11p 및 상위 계층에서의 동작을 정의하는 IEEE 1609 표준으로 구성되어 있다. 그 중 IEEE 802.11p는 기존 IEEE 802.11 표준의 개정판으로, 차량 통신 환경에서 무선 접속점 및 단말 간 접속 과정을 수행하지 않고 BSS (basic service set)의 개념 없이 통신하는 동작인 OCB (outside context of BSS)를 정의하고 있다. 기존 IEEE 802.11 동작을 그대로 활용함에 따라, IEEE 802.11p에서의 채널 접근 동작은 EDCA (enhanced distributed channel access)에 기반하여 동작한다. 이 때, 이동성이 높은 환경으로 인해 더 높은 지연 확산 (delay spread)이 발생함에 따라, IEEE 802.11p에서는 기존 IEEE 802.11 신호의 길이를 두 배로 늘린 10 MHz 대역폭의 신호를 기본적으로 사용한다.

최근, WAVE 표준 제정 이후에 더 높은 전송 속도 및 전송 거리를 요구하는 ITS 서비스가 발생함에 따라, 기존 WAVE 표준 중 IEEE 802.11p에 대한 개선 요구가 발생하였다. 이에 따라, IEEE 802.11 그룹에서는 더 높은 전송속도 및 전송 거리를 지원하기 위해 차세대 V2X 통신을 위한 표준인 IEEE 802.11bd의 개발이 제안되었으며, 현재 표준화가 진행 중이다. IEEE

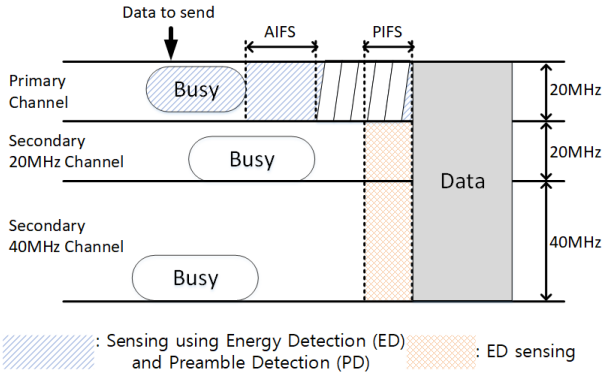


그림 3. IEEE 802.11에서의 광대역 채널 접근 방법  
 Fig. 3. Wide-band channel access method in IEEE 802.11.

802.11bd는 더 높은 전송속도, 전송 거리, 및 신뢰도를 갖는 V2X 통신을 개발하는 것을 목표로 하고 있으며, 기존 IEEE 802.11p 단말과의 호환성을 보장하고, IEEE 802.11p 단말과 공경 경쟁을 수행하여 기존 단말의 성능 저하를 일으키지 않도록 개발 요구사항을 지정하고 있다.

2-2 무선랜에서의 광대역 채널 접근 방법

기존 IEEE 802.11에서는 20 MHz 대역폭을 사용하여 프레임을 전송하며, IEEE 802.11n/ac/ax 등에서 40 MHz, 80 MHz, 혹은 160 MHz으로 대역폭을 확장하여 전송할 수 있다. 채널 확장을 수행할 경우, 주 채널에서 EDCA에 기반한 채널 접근 동작을 수행한 후, 주 채널에서의 채널 접근을 위한 대기 시간이 지나기 직전 특정 시간 동안 다른 채널이 비어 있을 경우 해당 대역으로 확장하여 전송할 수 있다. 이 때 주 채널은 BSS 내에 있는 모든 단말이 공통적으로 사용하는 채널로, 특정 무선 접속점과 결합한 모든 단말들은 같은 주 채널을 기반으로 채널 접근 동작을 수행하게 된다.

다른 채널에 대한 채널 센싱 시간은 DIFS (DCF inter-frame space) 혹은 PIFS (PCF inter-frame space)로, 프레임을 전송하려는 대역이 2.4 GHz 대역일 경우 DIFS, 5 GHz 대역일 경우 PIFS 동안 센싱하게 된다. 주 채널에 대한 채널 접근 후 다른 채널이 비어 있지 않을 경우, 주 채널 혹은 주 채널과 인접해 있는 채널만을 활용하여 전송 동작을 수행하거나, 새로운 백오프 숫자를 사용하여 주 채널에 대한 EDCA 채널 접근 과정을 다시 수행하게 된다.

III. 기존 광대역 채널 접근 방식을 활용한 주 채널 설정 기법

3-1 무선랜 V2X에서의 광대역 채널 접근 동작

본 논문에서는 20 MHz 대역폭으로 신호를 전송할 시 채널 접근 방안으로, 그림 4와 같이 주 채널에 대한 EDCA 접근 동작

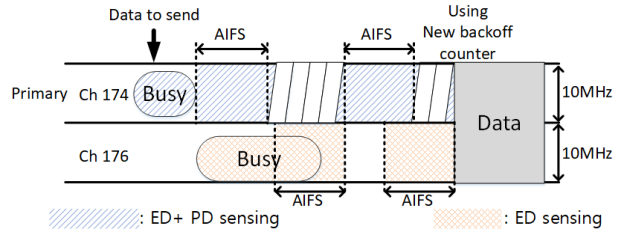


그림 4. 5.9 GHz 대역에서의 V2X 통신용 광대역 채널 접근 방법  
 Fig. 4. Channel access method for wide-band transmission in WLAN V2X.

및 다른 채널에 대한 특정 시간 동안의 채널 센싱 동작을 활용할 것을 고려한다. 이는 기존의 IEEE 802.11 시스템을 그대로 활용하는 방안으로, IEEE 802.11n/ac/ax 단말에서 활용된 바가 있기에 구현이 용이하다는 장점이 있다.

차량 통신환경에서는 각 차량이 용도에 따라 다른 채널을 사용하여 프레임을 전송하므로, 무선 접속점과 결합 동작을 수행하여 무선 접속점과 결합된 단말들이 공통적으로 사용하는 주 채널이 존재하지 않는다. 각 단말이 전송하는 데이터의 형태에 따라 각 채널을 개별적으로 사용하므로, 5.9 GHz 대역에서의 각 채널에 동일한 수의 단말이 채널 접근 동작을 수행하고 있다고 가정할 수 있다. 따라서, 기존 IEEE 802.11에서의 광대역 채널 접근 동작에서보다 주 채널이 아닌 다른 채널을 사용하는 다른 단말이 더 많은 상황이며, 20 MHz 전송 시 채널 접근으로 인해 해당 단말의 성능 저하가 발생하지 않도록 해야 한다. 이는 IEEE 802.11bd 개발의 요구사항인 IEEE 802.11p 단말과의 형평성을 맞추는 것과도 연계된다.

본 논문에서는 20 MHz 전송을 위한 채널 접근을 위해, 주 채널은 EDCA 동작을 수행하는 10 MHz 채널로, 부 채널은 20 MHz 채널을 구성하는 채널 중 주 채널이 아닌 다른 10 MHz 채널로 정의한다. 또한, 부 채널에서 10 MHz 전송을 위한 채널 경쟁을 수행하는 다른 단말과의 채널 경쟁을 공정하게 수행하기 위해, 본 논문은 부 채널에 대한 센싱 시간을 AIFS 기간으로 설정하는 동작을 배경으로 한다[9]. 차량 통신 환경에서는 고 이동성을 가진 단말의 특성으로 인해 인접 채널 간섭이 기존 IEEE 802.11 환경보다 더 심한 상황을 고려[10, 11]하여, 부 채널에 대한 채널 센싱 결과 채널이 비어 있지 않은 경우, 주 채널에 대한 EDCA 채널 접근을 다시 수행한다.

3-2 무선랜 V2X에서의 광대역 채널 접근 시 주 채널 설정 기법

그림 4에서 제안한 바와 같이 주 채널에 대한 EDCA 접근 과정을 수행하여 광대역 채널 접근을 수행할 경우 기존 IEEE 802.11 동작을 활용하여 적용이 용이하다는 장점이 있으나, 부 채널에 대한 백오프 동작을 수행하지 않아 각 채널에서 전송되는 데이터의 양이 다를 경우 기존 단말과 불공정한 경쟁 과정을 수행할 여지가 있다. 특히, 부 채널에 채널 접근을 수행하는 단말의 수가 많거나, 해당 채널에서 전송하는 데이터의 양이 많아

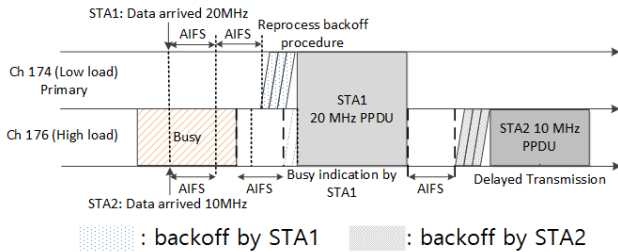


그림 5. 광대역 전송 시 채널 로드 차이에 의한 채널 경쟁에서의 불공정 문제  
**Fig. 5.** Fairness issue on channel access in case of unequal channel load in wide-band.

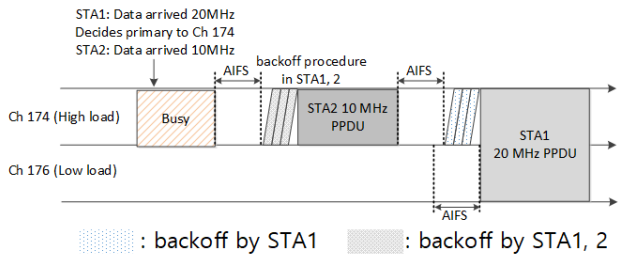


그림 6. 공정성 보장을 위한 주 채널 설정 방법  
**Fig. 6.** Decision method of primary channel for fairness.

채널 점유 비율이 높은 경우, 그림 4의 채널 접근 방식을 활용할 경우 20 MHz 수행 시 부 채널에 대한 백오프 동작을 수행하지 않아 부 채널에서 EDCA 동작을 수행하는 다른 단말에 비해 전송에 우위를 가질 수 있다. 차량 통신 환경에서는 각 채널에서 개별 차량 단말이 용도에 따라 채널 접근을 수행함에 따라, 10 MHz 전송에 대한 우선권을 갖는 동작은 IEEE 802.11p 단말과 공정 경쟁을 수행해야 한다는 IEEE 802.11bd의 개발 요구 조건에 위배된다.

채널 로드의 불일치에 의한 기존 IEEE 802.11p 단말과의 공정성 문제를 해결하기 위해, 20 MHz 전송 시 기존 광대역 채널 접근 방법을 활용하되, 채널 로드가 높은 쪽을 채널 경쟁을 수행하는 주 채널로 설정하는 것을 제안한다. 그림 6과 같이 주 채널을 채널 로드가 높은 채널로 설정할 경우, 동일 시점에 20 MHz 전송을 위한 프레임 및 10 MHz 전송을 위한 프레임이 도착하더라도 같은 EDCA 채널 경쟁을 수행하여 채널을 점유하게 되므로 공정성 문제가 발생하지 않는다. 한편, 채널 로드가 낮은 쪽은 대체적으로 백오프 동작을 수행하지 않으므로, 20 MHz 수행 시 부 채널에 대한 백오프 동작을 수행하지 않더라도 동일 기간을 센싱 후 전송을 수행하게 된다.

채널 로드 값은 그림 2의 MAC (medium access control) 계층에서 수행하거나, 상위 계층에서 측정하여 MAC 계층에 알릴 수 있다. 각 채널 로드의 측정 방법은 [12]에서 정의한 바와 같이 측정 시간 내에 에너지를 짧은 주기로 검출하여 채널 점유 비율을 검출하는 방식으로 수행될 수 있다.

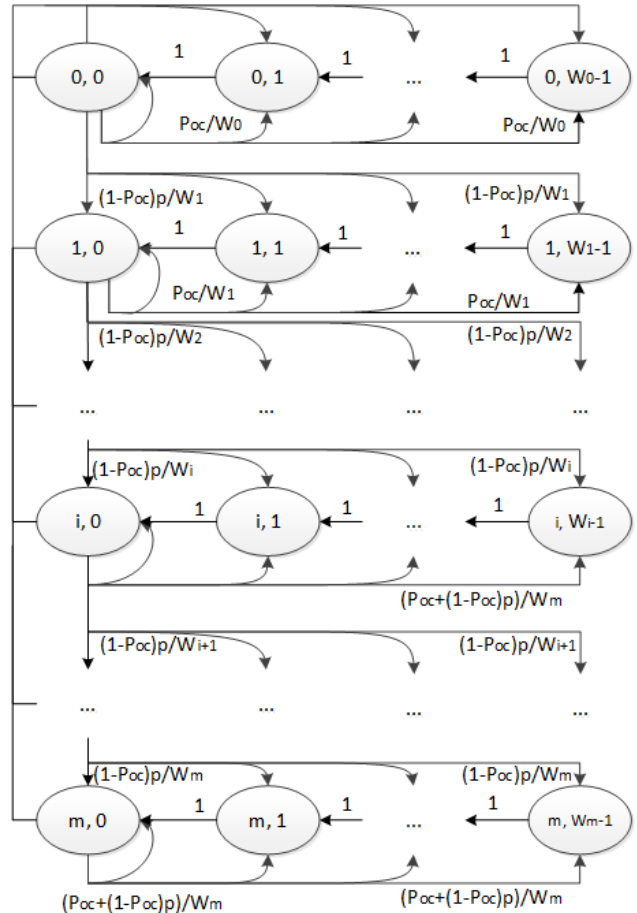


그림 7. 20 MHz 전송을 수행하는 각 단말의 전송 state에 대한 변형 Markov chain  
**Fig. 7.** Modified Markov chain of transmission state in each station transmitting 20 MHz frame.

#### IV. 전송 딜레이의 수학적 분석

본 논문에서 제안한 20 MHz 전송 방식에 따른 20 MHz 전송 시의 전송 지연 시간 및 부 채널에서의 10 MHz 전송에 대한 공정성 관련 수치는 20 MHz 전송의 평균적인 채널 접근 지연 시간 및 부 채널에서 전송되는 10 MHz 전송의 평균적인 채널 접근 지연 시간으로 확인할 수 있다. 분석의 용이성을 위해 평균 전송 지연 시간은 모든 차량 단말이 항상 전송할 프레임이 있음을 가정하며, 모든 단말이 같은 AC (access category)를 사용하여 EDCA 채널 접근 동작을 수행한다고 가정한다. 해당 가정에 따라, Bianchi[13]의 DCF(distributed coordination function) 분석 방법을 변형하여 적용할 수 있다.

제안하는 20 MHz 전송 방법을 적용 시 주 채널에서의 EDCA 채널 접근 절차 이후 부 채널이 AIFS 기간 동안 비어 있지 않을 경우 다시 백오프를 수행하므로, 기존 DCF에서의 프레임 전송을 위한 단말의 Markov chain에 다시 백오프를 수행하는 절차가 추가되어야 한다. 임의의 AIFS 시간 동안 부 채널이

전송에 사용되고 있을 확률이  $P_{OC}$ 일 때, 20 MHz 전송을 위한 변형된 Markov chain은 그림 7과 같다. Bianchi의 접근에서와 같이  $b_{i,j}$ 를  $i$ 번째 재전송을 수행하며 백오프 숫자가  $j$ 일 확률일 경우, 임의의 한 slot에서 각 단말이 20 MHz 전송을 시작할 확률  $\tau_{20MHz}$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\tau_{20MHz} = (1 - P_{OC}) \sum_{i=0}^m b_{i,0} \quad (1)$$

재전송을  $i$ 번째 수행할 때의 경쟁 윈도우 값이  $W_i$ 이고, 20 MHz 전송의 충돌 확률이  $p$ 일 경우, 각 단말의  $b_{i,j}$ 는 Markov chain의 특성에 따라 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$b_{i,k} = \frac{W_i - k}{W_i} \begin{cases} \left\{ (1 - P_{OC})(1 - p) \sum_{j=0}^m b_{j,0} \right\} & i = 0 \\ \left\{ + P_{OC} b_{0,0} \right. \\ \left. (1 - P_{OC}) p b_{i-1,0} + P_{OC} b_{i,0} \right\} & 0 < i < m \\ \left\{ (1 - P_{OC}) p (b_{m-1,0} + b_{m,0}) \right. \\ \left. + P_{OC} b_{m,0} \right\} & i = m \end{cases} \quad (2)$$

이 때,  $b_{i,0}$ 은 [13]에서의 분석 방법과 같은 방식을 활용하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$b_{i,0} = \begin{cases} (1 - p) \sum_{j=0}^m b_{j,0} & i = 0 \\ p b_{i-1,0} = p^i b_{0,0} & 0 < i < m \\ \frac{p^m}{1 - p} b_{0,0} & i = m \end{cases} \quad (3)$$

Markov chain의 모든 상태 확률의 합은 1이므로, 경쟁 윈도우 값이 재전송을 수행할 때마다 두배씩 증가한다는 사실을 활용하면, 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} 1 &= \sum_{i=0}^m \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} = \sum_{i=0}^m b_{i,0} \sum_{k=0}^{W_i-1} \frac{W_i - k}{W_i} \\ &= \sum_{i=0}^m \frac{b_{i,0}}{2} + W_0 \sum_{i=0}^m \frac{2^i b_{i,0}}{2} \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \left( \frac{(1 - p^m) b_{0,0} + p^m b_{0,0}}{1 - p} \right) \right. \\ &\quad \left. + W_0 \left( \frac{1 - (2p)^m}{1 - 2p} b_{0,0} + \frac{(2p)^m}{1 - 2p} b_{0,0} \right) \right\} \\ &= \frac{(1 - 2p)(W_0 + 1) + W_0 p (1 - (2p)^m)}{2(1 - p)(1 - 2p)} b_{0,0} \end{aligned} \quad (4)$$

따라서, 최종적으로  $b_{0,0}$ 은 [13]에서의  $b_{0,0}$ 와 동일한 수식으로 나타낼 수 있으며,  $b_{i,j}$ 는 수식 (2), (3), (5)를 활용하여 구할 수 있다.

$$b_{0,0} = \frac{2(1 - p)(1 - 2p)}{(1 - 2p)(W_0 + 1) + W_0 p (1 - (2p)^m)} \quad (5)$$

수식 (1)에 (3), (5)의 값을 대입하면,  $\tau_{20MHz}$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \tau_{20MHz} &= \frac{(1 - P_{OC}) b_{0,0}}{1 - p} \\ &= \frac{(1 - P_{OC})(1 - 2p)}{(1 - 2p)(W_0 + 1) + W_0 p (1 - (2p)^m)} \end{aligned} \quad (6)$$

한편, 전송 프레임이 방송 프레임의 형태를 가질 경우, 재전송을 수행하지 않으므로,  $\tau_{20MHz}$ 는 다음과 같이 간소화될 수 있다.

$$\tau_{20MHz} = (1 - P_{OC}) b_{0,0} = \frac{2(1 - P_{OC})}{W_0 + 1} \quad (7)$$

주 채널과 부 채널의 동작은 각 채널에서 20 MHz 전송이 수행되는 경우에는 채널 점유를 공유하며 20 MHz이 전송되는 시간 외에는 백오프 동작이 서로 독립적이므로, [14]와 [15]에서의 hidden node에 의한 충돌 확률을 활용하여  $P_{OC}$ 을 구할 수 있다. AIFS 기간이 프레임 전송에 소요되는 시간보다 충분히 작다고 가정하는 경우,  $P_{OC}$ 는 임의의 시점에 10MHz 전송에 의해 부 채널이 점유되어 있을 steady-state 확률로 근사화할 수 있다.

부 채널의 전송 확률과 부 채널의 방송 프레임 전송 시간 그리고 부 채널의 충돌 확률을 각각  $\tau_{10MHz}$ ,  $T_{10MHz}$  그리고  $p_{10MHz}$ 라 하는 경우, [15]에 의해 부 채널이 방송 프레임을 전송하는 AC에 의해 점유될 확률  $v$ 는 다음과 같다.

$$v = \tau_{10MHz} T_{10MHz} \left( \frac{1 - p_{10MHz}^{W_0+1}}{1 - p_{10MHz}} - p_{10MHz} \right) \quad (8)$$

따라서  $N_{10MHz}$ 은 부 채널에서 10 MHz 전송을 수행하는 단말의 수일 경우,  $P_{OC}$ 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P_{OC} = 1 - (1 - v)^{N_{10MHz}} \quad (9)$$

제한하는 동작에서의 20 MHz 전송을 위한 EDCA 채널 접근은 주 채널에서만 수행되므로,  $E[slot]$ 은 [13]에서의 방법으로 20 MHz 전송을 수행하는 단말 및 주 채널에서 10 MHz 전송을 수행하는 단말과의 채널 경쟁을 위한 평균 slot길이를 구할 수 있다. 따라서, 20 MHz 전송을 위한 평균적인 채널 접근 시간  $d_{20MHz}$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$d_{20MHz} = AIFS + \frac{E[slot]}{\tau_{20MHz}} \tag{10}$$

부 채널에 대한 10 MHz 전송 시 평균적인 채널 접근 시간은 [13]의 Markov chain과 동일한 형태를 지니며, 따라서 부 채널의 단말이 전송을 시작할 확률  $\tau_{se10MHz}$  도 [13]에서와 동일하다. 따라서, 부 채널에서의 10 MHz 전송을 위한 평균적인 채널 접근 시간  $d_{se10MHz}$  은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$d_{10MHz} = AIFS + \frac{E[secondary\ slot]}{\tau_{20MHz}} \tag{11}$$

이 때의  $E[secondary\ slot]$ 은 [13]의 수식으로 구해지는 값에 20 MHz 전송으로 인한 추가 딜레이가 더해진다. 이 때, 더해지는 추가 딜레이  $d_{addsc}$  는 임의의 aSlotTime에 20 MHz 전송이 수행될 확률이  $P_{20MHz\ slot}$  이고, 20 MHz 전송의 평균 전송 시간이  $T_{20MHz}$  일 때, 두 값의 곱으로 구할 수 있다.

$$d_{addsc} = P_{20MHz\ slot} \cdot T_{20MHz} \tag{12}$$

$P_{20MHz\ slot}$  값은 해당 채널을 부 채널로 20 MHz 전송을 수행하는 단말의 수와  $d_{20MHz}$  에 영향을 받으나, 해당 값을 분석으로 정확하게 얻는 것은 어렵다. 또한, 제안되는 동작에 따라 채널 접근 시 마다 주 채널이 변경되며, 이에 따라 각 채널에 20 MHz 전송을 수행하는 단말 및 10 MHz 전송을 수행하는 단말이 혼재되어 있으며, 차량 단말이 항상 전송할 데이터를 가지고 있지 않음에 따라 명확한 분석이 수행되지 않으므로, 제안하는 동작에 따른 실질적인 전송 지연 시간 비교는 실험으로 대체한다.

## V. 성능 분석

### 5-1 실험환경

본 연구에서는 채널 로드가 동일하지 않은 상황에서의 제안하는 20 MHz 전송을 위한 공정성 요소를 보기 위해, 20 MHz 전송 지연 시간 및 부 채널에서의 10 MHz 프레임의 전송 지연 시간을 비교하였다. 차량 통신 환경에서의 대부분의 프레임은 방송 프레임이므로 [16], 실험의 편의성을 위해 각 단말이 전송하는 프레임은 방송 프레임으로 한정하였으며, 각 차량 단말에서 전송되는 프레임은 모두 같은 AC로 전송되도록 하였다. 주 채널 설정 방법에 따라 기존 10 MHz와의 공정성을 보기 위한 파라미터로, 20 MHz 대역으로 전송하는 단말이 증가함에 따라 기존 10 MHz 대역을 사용하는 단말의 평균 채널 접근 시간으로 설정하였다. 해당 실험은 프레임 전송의 성공 유무에 대한 동작을 확인하지 않으므로, 프레임 전송에 사용되는 채널은 이상적인 채널이며, 채널 불량으로 인한 패킷 전송 실패는 없다고

표 1. 실험에 사용한 파라미터

Table 1. Simulation parameters.

aSlotTime	13 $\mu$ s
SIFS	32 $\mu$ s
Preamble (including PHY header)	40 $\mu$ s
Frame Length (20 MHz)	2000 Bytes
Frame Length (10 MHz)	500 Bytes
AC	AC_BE
MCS	2

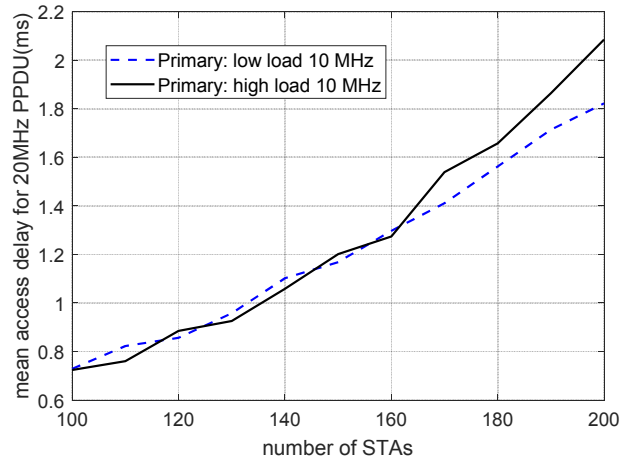


그림 8. 주 채널 설정 방법에 따른 20 MHz 전송의 평균 접근 시간

Fig. 8. The average access delay of 20 MHz transmission for primary channel selection method.

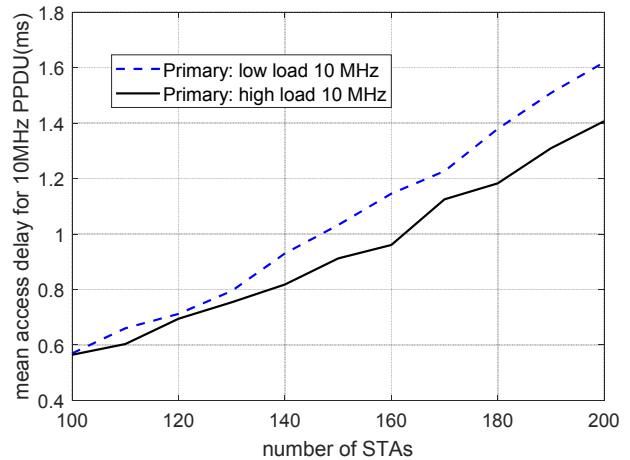


그림 9. 주 채널 설정 방법에 따른 부 채널에서의 10 MHz 전송의 평균 접근 시간

Fig. 9. The average access delay of 10 MHz transmission in secondary channel for primary channel selection method.

가정하였다. 각 차량에 전송할 데이터는 exponential distribution의 시간 간격으로 생성되며, 평균적인 데이터 생성 간격은 50

ms로 설정되었다. 일반적으로 더 많은 용량의 데이터를 전송하기 위해 20 MHz 채널을 활용함에 따라, 20 MHz 전송 시 전송되는 프레임의 길이는 10 MHz 전송 시 전송되는 프레임의 길이보다 더 길게 설정하였다. 20 MHz 채널을 구성하는 각 10 MHz 채널의 채널 로드가 동일하지 않을 상황에서의 주 채널 설정에 따른 공정성을 확인하기 위한 것이므로, 한 채널에는 200개의 단말이, 다른 채널에는 10개의 단말이 존재하는 상황을 가정하였다. 이외의 실험 관련 변수 및 차량용 무선랜 환경에서의 IEEE 802.11 전송을 위한 파라미터는 표 1과 같다.

## 5-2 실험결과

20 MHz 전송을 수행하고자 하는 단말의 수가 100에서 200으로 증가할 때, 해당 20 MHz 전송을 수행하기 위한 평균 채널 접근 시간 및 기존 10 MHz 전송을 수행하는 다른 단말들의 평균 채널 접근 시간은 그림 8 및 그림 9에 나타난 바와 같다. 20 MHz 전송을 수행하는 단말의 수가 적을 때에는 주 채널 설정 방법에 따른 20 MHz 전송의 딜레이 및 다른 10 MHz 전송을 수행하는 단말에 끼치는 영향이 적었으나, 해당 20 MHz 전송을 수행하는 단말의 수가 높아짐에 따라, 주 채널 설정 방법에 따른 채널 경쟁 과정에서의 불공정성으로 인해 부 채널에서 전송하는 10 MHz 전송의 딜레이에 차이가 발생하게 된다. 특히, 20 MHz 전송을 수행하는 단말의 수가 200일 때, 주 채널 설정 방법에 따라 부 채널에서의 10 MHz 전송의 전송 딜레이는 13%까지 차이가 발생함을 확인할 수 있다. 주 채널을 채널 점유 비율이 높은 채널로 설정 시, 채널 경쟁 과정에서 20 MHz 전송 시 부 채널에 대한 백오프 동작을 수행하지 않음에 따라 전송 우위가 발생하여, 부 채널에 성능 저하를 더욱 야기하게 된다. 따라서, 주 채널을 채널 점유 비율이 높은 채널로 설정할 때 10 MHz 전송과의 공정 경쟁을 수행하여 해당 단말의 성능 저하를 방지할 수 있다.

기존 무선랜에서의 광대역 채널 접근 방법에 따라 채널 점유 비율에 상관없이 주 채널을 결정할 경우, 20 MHz 채널을 전송하는 두 10 MHz 채널 점유 비율 중 주 채널의 채널 점유 비율이 높을 경우 공정 경쟁을 수행할 수 있으나, 채널 점유 비율이 낮은 채널을 주 채널로 설정하였을 경우 기존 10 MHz 대역을 수행하는 단말과의 공정 경쟁을 수행하지 않게 된다. 이에 따라, 20 MHz 전송을 수행할 때, 고정적으로 주 채널을 결정하지 않고 채널 점유 비율을 고려하는 방식이 기존 단말과의 공정성을 더 보장한다.

한편, 채널 로드가 낮은 채널을 주 채널로 설정하더라도 20 MHz 대역의 전송을 위한 채널 접근 시간이 항상 낮지는 않은데, 이는 부 채널에 대한 센싱 동작을 항상 수행하지 않아 채널이 비는 시점부터 AIFS 센싱 동작을 수행하지 못하는 상황에 따른 결과이다. 즉, 주 채널에서의 센싱 동작이 끝나는 시점을 기준으로 AIFS 기간 동안 부 채널에 대한 센싱을 수행하므로, 부 채널이 정확하게 비는 시점을 정확하게 파악하지 못하여 주 채널에 대한 백오프 동작을 다시 수행하는 과정을 반복할 수 있

다. 다만, 20 MHz 전송을 수행하는 단말의 수가 늘어날수록 부 채널이 비는 시점에 백오프를 수행하지 않고 AIFS 센싱을 수행하는 단말의 비율이 높아짐에 따라, 해당 부 채널을 사용하는 10 MHz 전송이 영향을 받는다. 결론적으로, 기존 단말에 대한 공정성 문제 및 20 MHz 전송 딜레이를 종합적으로 고려하였을 때, 채널 로드가 높은 쪽을 주 채널로 설정하는 것이 합리적이다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 차세대 V2X 무선랜 표준인 IEEE 802.11bd에서 20 MHz 대역의 전송을 수행할 때, 기존 IEEE 802.11n/ac/ax에서의 채널 확장 기법을 활용한 광대역 채널 접근 기법을 제시하였다. IEEE 802.11bd의 개발 요구 사항 중 하나로 기존 V2X 무선랜 표준인 IEEE 802.11p 단말이 IEEE 802.11bd 단말의 동작으로 인해 성능 저하를 겪지 않도록 해야 함에 따라, 20 MHz 전송을 위한 채널 접근 시 백오프 동작을 수행하지 않는 부 채널에 대한 공정성 요소가 고려되었다. 특히, 20 MHz 대역을 구성하는 각 10 MHz 채널의 채널 로드가 다를 경우, 채널 로드가 높은 채널을 주 채널로 설정하여 20 MHz 전송으로 인한 부 채널에서의 10 MHz 전송에의 영향을 최소화하였다. 한편, IEEE 802.11bd의 개발이 진행되어 IEEE 802.11p 단말의 수가 줄어들었을 때는, 주 채널 설정 방법을 변경하는 한편, 부 채널에 대한 채널 센싱 기간을 기존 IEEE 802.11n/ac/ax에서의 채널 확장 기법에서와 같이 PIFS로 설정하여 지연 시간에 민감한 데이터를 20 MHz로 전송하여 우선권을 부여하는 동작을 수행할 수 있다.

## Acknowledgments

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

## References

- [1] IEEE Computer Society, IEEE 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 6: Wireless Access in Vehicular Environments, IEEE 802.11p, July, 2010.
- [2] IEEE Vehicular Technology Society, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) -

- Service for Applications and Management Messages, IEEE 1609.2, March. 2016.
- [3] IEEE Vehicular Technology Society, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Networking Services, IEEE 1609.3, April. 2016.
- [4] IEEE Vehicular Technology Society, IEEE Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE) - Multi-Channel Operation, IEEE 1609.4, March. 2016.
- [5] J. B. Kenney, "Dedicated Short-Range Communications (DSRC) Standards in the United States," *Proceedings of IEEE*, vol. 99, no. 7, pp. 1162-1182, July. 2011.
- [6] R. Zhang et al., "Increasing Traffic Flows with DSRC Technology: Field Trials and Performance Evaluation," in *Proceedings of IECON 2018 - 44th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*, Washington, DC, pp. 6191-6196, October, 2018.
- [7] B. Sun and H. Zhang, 802.11 NGV Proposed PAR, IEEE 802.11 Working Group, 18/861r9, November, 2018.
- [8] ASTM International, Standard Specification for Telecommunications and Information Exchange Between Roadside and Vehicle Systems — 5-GHz Band Dedicated Short-Range Communications (DSRC), Medium Access Control (MAC), and Physical Layer (PHY) Specifications, ASTM E2213-02, 2002
- [9] I. S. Jang, D. G. Lim, J. S. Choi, J. K. Kim, E. S. Park and S. W. Kim, 20 MHz Channel Access in 11bd, IEEE 802.11 Working Group, 19/366r6, May. 2019.
- [10] C. Campolo, A. Molinaro and A. Vinel, "Understanding adjacent channel interference in multi-channel VANETs," in *Proceedings of 2014 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC)*, Paderborn: Germany, pp. 101-104, December, 2014.
- [11] C. Campolo, C. Sommer, F. Dressler and A. Molinaro, "On the impact of adjacent channel interference in multi-channel VANETs," in *Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Kuala Lumpur: Malaysia, pp. 1-7, May, 2016.
- [12] N. Lyamin, A. Vinel, D. Smely and B. Bellalta, "ETSI DCC: Decentralized Congestion Control in C-ITS," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 56, No. 12, pp. 112-118, December. 2018.
- [13] 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, March. 2000.
- [14] T.-C. Houm, L.-F. Tsao and H.-C. Liu, "Analyzing the throughput of IEEE 802.11 DCF scheme with hidden nodes," in *Proceedings of VTC 2003-Fall*, Orlando: FL, pp. 2870-2874, October, 2003.
- [15] N. C. Taher, Y. Ghamri-Doudane, B. E. Hassan and N. Agoulmine, "An accurate analytical model for 802.11e EDCA under different traffic conditions with contention-free bursting," *Journal of Computer Networks and Communications*, Vol. 2011, pp. 1-24, 2011.
- [16] J. Kenney, An Automaker Perspective on Next Gen V2X, IEEE 802.11 Working Group, 18/917r0, May, 2018.



**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



**안 우 진 (Woojin Ahn)**

2016년 8월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)  
2019년 9월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 열차제어통신연구팀 선임연구원  
※ 관심분야 : 무선통신네트워크, 무선랜, 철도자율주행통신, 철도자율주행제어