

무선 랜 기반 V2X 통신에서의 보조 수신기를 활용한 동작에 따른 영향

The effects of Wake-up Radio in WLAN V2P Communication

홍한슬¹ · 김용호^{2*}

¹연세대학교 전기전자공학부

²한국교통대학교 철도공학부

Hanseul Hong¹ · Ronny Yongho Kim^{2*}

¹School of Electrical & Electronic Engineering, Yonsei University, Seoul 03722, Korea

²*Department of Railroad Electrical & Electronic Engineering, Korea National University of Transportation, Uiwang 16106, Korea

[요 약]

자율주행을 현실화하기 위해 각국에서는 관련 통신 표준을 기반으로 시스템을 구성하고 있으며, 그 중 무선랜 표준을 제정하는 IEEE에서는 IEEE 802.11p와 WAVE 계열 표준을 제정하여 차량 통신용 무선 통신을 지원하고 있다. 최근 저전력 동작이 부각됨에 따라 보조수신기를 활용하는 표준인 IEEE 802.11ba이 진행 중이며, 그 사용 예시에는 V2P 동작을 포함하고 있다. 이 때, V2X 통신에 사용되는 무선 랜 표준인 IEEE 802.11p가 IEEE 802.11ba와 같이 사용 될 경우, 기존 IEEE 802.11ba에서의 추가적인 wake-up frame의 전송으로 인해 채널 용량이 지나치게 낮아져 지연 시간 요구사항을 맞추지 못할 수 있다. 본 논문에서는 차량용 무선랜 표준인 IEEE 802.11p 및 WAVE가 최근 개발되고 있는 저전력 표준인 IEEE 802.11ba 표준과 결합될 때의 시스템 구성 방법을 제시하고 성능 분석과 고찰을 통해 미래 자율주행 통신에서 IEEE 802.11ba를 이용한 저전력 V2P 동작을 효과적으로 사용하기 위한 고려 사항 및 개선 방안을 제시하고자 한다.

[Abstract]

To realize the self-driving technology, there have been various system designs based on the related V2X standards, especially the IEEE 802.11p and WAVE standard supporting the WLAN V2X communication. On the other hand, the new standard IEEE 802.11ba defining supplementary wake-up radio operation is now under standardization targeting the low power operation, and it includes the V2P operation in use cases. However, if IEEE 802.11ba is used with the IEEE 802.11ba for V2X operation, the additional transmission procedure of wake-up frame in IEEE 802.11ba may cause the congestion problem and fails to meet the delay requirement. In this paper, the system structure of the combination of IEEE 802.11ba with the 802.11p is studied. In addition, based on the analysis and simulation, the considerations and improvements for effective low-power V2P communication in future self-driving technology using IEEE 802.11ba are proposed.

Key word : WLAN, V2X communication, IEEE 802.11p, Wake-up radio, IEEE 802.11ba.

<https://doi.org/10.12673/jant.2018.22.4.302>



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 30 July 2018; Revised 13 August 2018

Accepted (Publication) 26 August 2018 (30 August 2018)

*Corresponding Author; Ronny Yongho Kim

Tel: +82-31-460-0573

E-mail: ronnykim@ut.ac.kr

I. 서론

최근 자율주행 및 군집 주행관련 이슈가 부각되면서 V2X(vehicle-to-everything) 관련 연구 및 관련 표준화 역시 활발히 진행되고 있다. 대표적으로 개발 및 사용되고 있는 V2X 표준으로는 IEEE 802.11p[1]에 기반을 둔 WAVE (wireless access in vehicular environments) 계열 표준들[2]-[4]과, 3GPP에서 논의되는 C-V2X 관련 표준[5]이 있다. 미국에서는 V2X를 위한 통신을 위해 5.9 GHz 대역에서의 IEEE 802.11p 통신을 위한 채널에 대한 의무화 움직임이 일어나고 있으며, 유럽, 일본 등에서도 V2X 관련 통신을 위한 지속적인 연구 및 적용 움직임을 보이고 있다.

최근 IEEE 802에서는 기존 무선랜 저전력 동작인 주기적으로 sleep 상태와 awake 상태를 천이하는 방식에서의 delay-power 소모 간 trade-off 관계를 해결하기 위해 간단한 온-오프 변조 신호의 WUR (wake-up radio)을 활용한 무선랜 표준을 IEEE 802.11ba task group에서 표준화를 진행 하고 있다. 해당 표준에서는 다양한 사용 예시를 추가하여 이를 성능 요구사항에 반영하고 있으며, 이 사용 예시 중 하나가 V2P (vehicle-to-pedestrian) 동작[6]이다. IEEE 802.11ba의 WUR 동작은 2.4 GHz 혹은 5 GHz 대역을 사용하는 다른 IEEE 802.11 표준과 같이 동작할 수 있으므로 WUR을 이용하는 IEEE 802.11ba V2P 동작의 경우 IEEE 802.11p에 적용될 수 있다.

하지만, IEEE 802.11ba 동작을 IEEE 802.11p에 적용할 경우, IEEE 802.11ba에 적용된 패킷 전송 절차 및 채널 접근 방식으로 인해 기존 IEEE 802.11p 및 WAVE에서 적용되고 있는 V2X 통신 활용 예시(applications)에서의 전송 시간 요구사항을 맞추기 어렵거나, 전송 용량이 지나치게 낮아지는 문제점이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 IEEE 802.11ba의 V2P 시나리오를 기존 IEEE의 V2X 관련 표준인 IEEE 802.11p 및 WAVE 표준에 적용할 때 채널에 미치는 영향을 분석하여 IEEE 802.11ba를 V2P용으로 사용할 때 방향성을 제시하고 적용 과정에서의 동작, 신호 구조 및 채널 사용 방법에 대한 고찰을 제시 한다. 본 논문에서 제시한 고찰을 기반으로 한 WUR 기반 무선랜 저전력 V2P 장치 동작을 설계한다면 종래 IEEE 802.11p에 영향을 최소화 하면서 효과적인 저전력 V2P 통신을 할 수 있을 것으로 기대한다.

II. 관련 연구 동향

V2X 관련된 연구로는 시스템, 통신, 관련 테스트베드 및 응용 분야에 대한 연구 등 다양한 분야에서 활발히 이루어지고 있다. V2X는 V2V(vehicle to vehicle), V2I(vehicle to infrastructure), V2P 등 다양한 통신 형태를 포함하여, 이를 활용하여 다양한 회사에서 군집주행, 내비게이션, 무인운전, 충돌방지 등 다양한 활용 예시에 적용하기 위해 개발 중이다.

본 장에서는 본 연구와 관련된 WAVE 계열 표준과 IEEE802.11ba 표준에 대한 관련 배경 지식을 제공한다.

2-1 고 이동성 단말의 통신을 위한 WAVE 표준

IEEE 802.11p 및 WAVE 표준은 차량 통신을 위해 제정된 5.9 GHz 대역의 무선랜 기반 표준으로, IEEE 802.11p에서 신호 구조 및 기본적인 형태를 규정하고 있으며, WAVE 계열 표준은 그 상위의 계층에서의 데이터 포맷 및 프로토콜 기반을 규정하고 있다. IEEE 802.11p 및 WAVE 계열 표준에서의 각 계층 구조는 그림 1과 같이 IEEE 802.11p 기반의 물리계층 (PHY)에 WAVE 표준에서의 데이터 링크 계층 (MAC) 보안동작, WSMP (WAVE short message protocol) 등 상위 계층의 동작으로 구성 되어 있다.

WAVE에서 사용하는 물리계층인 IEEE 802.11p에서는 5.9 GHz 대역을 사용하고, 기본적으로 10 MHz의 대역폭으로 동작한다. WAVE 계열 표준에서는 채널을 CCH (control channel) 및 SCH (service channel) 두 가지 형태로 구성할 수 있는데, CCH는 통신 및 시스템을 구동하는 데 필요한 제어 정보를 전송하는 채널로, 간단한 메시지 형태인 WSMP의 형태로만 전송이 가능하며, 응용 데이터를 전송하는 SCH에서는 WSMP 혹은 IP 패킷 형태의 데이터 전송이 가능하다. 일반적으로, WAVE 단말은 CCH와 SCH 혹은 두 개의 다른 SCH 등 사용 채널을 두 개 이상의 채널로 주기적으로 변경하면서 사용하며, 채널 변경 주기는 50 ms에서 100 ms 사이의 값을 가진다.

이 때, 주요 패킷을 전송하는 데 CCH 채널을 사용하며, CCH가 아닌 채널을 통해 전송할 때에는 미리 CCH 채널 상으로 어느 채널을 이용하여 패킷을 전송할 지 수신 단말과 협의 후 전송할 수 있다. 자율 주행을 위한 규정을 가장 적극적으로 제정하며 WAVE 표준을 주로 활용하는 미국에서는 IEEE 802.11p에서 사용되고 있는 5.9 GHz 대역을 그림 2와 같이 7개 채널로 나누며, 이를 CCH 및 SCH로 구성하고 각 채널의 용도를 권고하고 있다[7].

WAVE에서 사용하는 데이터 링크 계층의 구조는 기본적으로 IEEE 802.11e에서 적용된 EDCA (enhanced distributed channel access) 주요 동작을 사용하지만, IEEE 802.11e와 다른 대역폭을 사용하므로, 이에 따라 신호의 길이와 프레임 길이의 차이가 발생한다. IEEE 802.11p를 사용할 때 10 MHz 대역폭에서 동작할 경우, 프레임 길이 등 채널 경쟁에 필요한 지연 시간을 나타내는 AIFSN (arbitration interframe space number), 전처리 신호의 길이 및 프레임 간 간격 등 몇 개의 주요 파라미터는 표1, 표2와 같다.

IEEE 802.11p 및 WAVE 표준이 여러 국가에 적용됨에 따라, 이를 기반으로 한 V2X 통신 응용 및 향상시키기 위한 연구 역시 활발하게 진행되고 있다. IEEE 802.11p를 활용한 군집주행에서의 통신 모델[8] 등 다양한 활용 예시에 해당 표준을 적용하고 성능 분석하는 연구가 이루어지고 있으며, WAVE 표준에서의 주기적인 채널 스위칭에 따른 효율적인 채널 선택 방법을

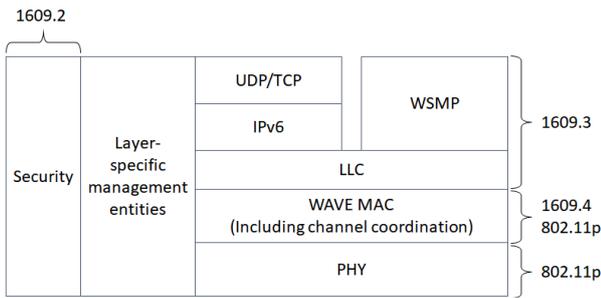


그림 1. IEEE 802.11p 및 WAVE(IEEE 1609) 표준 구조
 Fig. 1. The system structure of IEEE 802.11p and WAVE standards.

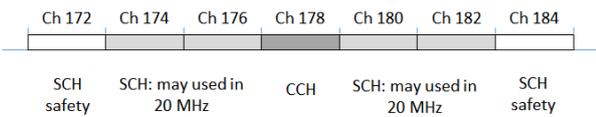


그림 2. WAVE 표준의 채널 사용 구조
 Fig. 2. The channel usage for WAVE standard.

표 1. IEEE 802.11p 및 WAVE 표준에서 사용되는 contention window 및 AIFSN 초깃값
 Table 1. Default value of contention window and AIFSN in IEEE 802.11p and WAVE standard.

AC	minCW	maxCW	AIFSN
0	aCWmin	aCWmax	9
1	aCWmin	aCWmax	6
2	$(aCWmin+1)/4-1$	aCWmax	3
3	$(aCWmin+1)/4-1$	aCWmax	2

표 2. IEEE 802.11p 및 WAVE 표준의 기타 파라미터
 Table 2. Other parameters in IEEE 802.11p and WAVE standards.

aSlotTime	13 μ s	PHY header	8 μ s
SIFS	32 μ s	aCWmin	15
Preamble	32 μ s	aCWmax	1023

제안[9]하는 등 표준 특성에 따른 동작의 성능을 향상시키기 위한 연구 역시 지속적으로 진행되고 있다. 최근에는, IEEE 802에서 V2X 통신 성능을 더욱 향상시키기 위한 IEEE 802.11p의 개선 버전인 NGV (Next generation V2X communication)에 대한 논의를 진행하고 있다[10].

2-2 IEEE 802.11ba 표준

기존의 저전력 동작은 단말을 일정 시간 주기로 저전력 상태와 단말이 통신 가능한 정상 상태를 반복하는 동작을 통해 단말이 데이터 통신 없이 깨어 있는 시간을 줄이는 방식으로 전력 소모를 줄였다. 하지만, 이와 같은 저전력 동작은 단말이 깨어나는 주기가 길어질수록 단말의 전력 소모는 줄어드는 데 반해,

단말의 데이터 전송을 위한 지연 시간이 늘어나는 상황이 발생하여, 단말의 전력 효율과 지연 시간이 상충관계에 있는 문제가 발생한다.

이와 같은 문제를 해결하여 저지연 저전력 통신 동작을 개발하기 위해, IEEE 802에서는 평소에는 단말을 저전력 상태로 통신 모듈을 끄고 있다가, 단말을 향한 데이터가 발생 시 AP에서 단말을 깨우는 패킷을 전송하도록 하는 동작을 기반으로 한 저전력 통신 표준인 IEEE 802.11ba[11] 개발하여 표준화 과정이 진행 중이다. IEEE 802.11ba 표준의 단말은 AP로부터 wake-up frame을 받기 전에는 통신 모듈을 끈 상태를 유지하여 저전력 동작을 수행하도록 하고 있으며[12, 13], 단말의 소모 전력은 1 mW 이하로 할 것을 목표로 하고 있다[14].

IEEE 802.11ba 표준은 2.4 GHz 혹은 5 GHz 대역을 사용하는 임의의 무선랜 표준과 같이 사용될 수 있으며, 단말을 깨우기 위한 통신 신호의 형태 및 동작을 규정한다. 이 표준은 센서나 IoT 단말 등 저전력 동작을 필요로 하는 단말에 적용되는데 그 목적을 두고 있으며, 최근 V2P와 같이 저전력 동작을 기반으로 한 V2X 통신 동작 역시 사용 예시에 포함하여 그 동작에 대한 통신 요구 조건을 부합하도록 하고 있다.

IEEE 802.11ba에서 적용되는 기본적인 전송 동작은 그림 3과 같다. IEEE 802.11ba 동작은 WUR를 활용하여 단말을 깨우는 동작부터 시작한다. 단말이 데이터 송수신을 하지 못하는 sleep 상태에 있을 때, 무선 접속점 (AP; access point)이 단말을 깨우는 wake-up frame을 보내게 된다. 단말에서 wake-up frame을 수신하여 단말 내 보조 수신기가 IEEE 802.11통신이 가능한 주 송수신기를 깨우는 데에는 일정 시간이 소요된다. 일정 시간 후에 단말의 주 송수신기가 통신할 수 있는 정상상태가 되면 주 송수신기를 이용하여 깨어났음을 알리는 poll frame을 보낼 수 있다. 단말을 깨우는 무선 접속점측에서는 단말로부터 poll frame을 기다릴 수도 있고, 단말이 poll frame을 전송하지 않는 동작에서는 단말이 깨어나는 데 걸리는 지연 시간이 지난 후 하향 링크 데이터 패킷을 보내 IEEE 802.11 통신을 진행할 수도 있다. 일반적으로, 단일 사용자를 위한 데이터 통신을 사용할 때 단말로부터 poll frame을 개별적으로 받는 동작을 사용하며, 그룹 사용자 혹은 다중 사용자 방식으로 한 번에 여러 단말과 통신을 할 때에는 주로 wake-up frame 이후 특정 시간을 기다린 후 무선 접속점에서 하향 링크 패킷을 먼저 전송하는 동작을 사용한다.

IEEE 802.11ba에서 사용되는 wake-up frame의 구조는 그림 4와 같이 다른 IEEE 802.11단말이 해독하여 wake-up frame이 명시된 길이만큼 전송되고 있음을 알리는 IEEE 802.11 preamble 및 단말의 보조수신기가 해독하는 신호로 구성되어 있다. 보조수신기가 해독하는 신호는 좁은 대역의 간단한 온-오프 변조 방식을 사용하며, 동기화를 위한 WUR preamble, 단말의 주소, 그리고 추가적인 정보 등을 포함하고 있다. IEEE 802.11 preamble과 단말의 보조수신기가 해독하는 신호 사이에는 다른 단말이, 특히 IEEE 802.11n, 잘못 이해하지 않도록 방지하는 한 심볼이 추가되는데, 이 심볼에는 wake-up frame임을 알리는 부분, 패킷



그림 3. IEEE 802.11ba 전송 동작

Fig. 3. The transmission procedure of IEEE 802.11ba.

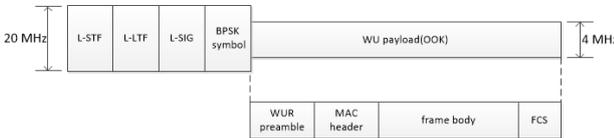


그림 4. IEEE 802.11ba에서의 wake-up frame 신호 구조

Fig. 4. The structure of the wake-up frame used in IEEE 802.11ba.

복호 오류 방지를 위한 정보 등을 포함하고 있다. 일반적으로, wake-up frame은 해당 단말이 IEEE 802.11 통신할 때 사용하는 주 20 MHz 대역을 사용하여 전송된다.

III. WUR in V2X communication

3-1 V2X의 시나리오 및 requirements

일반적인 V2X 시나리오는 충돌 방지 등 실시간 동작이 필요한 경우가 많으므로, 100 ms 이하의 end-to-end 지연 시간을 요구하며, 90%이상의 패킷 전송 성공 신뢰성(reliability)을 요구한다. V2X의 활용 방식에 따라서는 이보다 더 짧은 지연 시간 및 전송 성공 확률을 요구할 수도 있다.

예를 들어, 자동차가 시속 60 km/h로 달릴 때, 1 초에 약 16.6 m를 이동하므로, 안전한 V2P 동작을 위해서는 V2X 시나리오에 따라 100 ms 보다 더 짧은 양 끝 단(end-to-end) 지연 시간을 요구할 수 있다.

본 논문에서는 자동차가 주기적으로 전체 V2X 단말을 향해 전송하는 기본안전메시지(BSM; basic safety message)를 전송하는 것을 기본 시나리오로 가정하였다. BSM은 자동차에서 주기적으로 전송하는 메시지로 자동차의 식별자 (identification, ID), 위치, 속도 등 자동차의 이동 상황에 대한 정보를 포함하고 있다. 미국자동차기술자협회(society of automotive engineers, SAE)에서 규정한 BSM의 형태는 그림 5와 같다[15].

3-2 WAVE 상황에서의 wake-up frame 구조 및 동작

기존의 wake-up frame은 20 MHz 대역의 IEEE 802.11 preamble에 대해서 정의되어 있으며, 20 MHz 대역의 주 사용 채널을 이용하도록 규정하고 있다. 하지만, WAVE 표준이 적용되는 5.9 GHz 대역에서 WAVE이외의 다른 IEEE 802.11 표준이 쓰이지 않으므로, 20 MHz 대역의 IEEE 802.11 preamble를 전송하는 데 효용이 없다. 이에 따라, wake-up frame을 같은 대역을 사용하는 다른 단말들이 인지하도록 하기 위해서는 IEEE 802.11 preamble를 WAVE에서 사용하는 preamble과 같게 해야

```

BasicSafetyMessageVerbose ::= SEQUENCE {
-- Part I, sent at all times
msgID DSRMsgID, -- App ID value, 1 byte
msgCnt MsgCount, -- 1 byte
id TemporaryID, -- 4 bytes
secMark DSecond, -- 2 bytes
-- pos PositionLocal3D,
lat Latitude, -- 4 bytes
long Longitude, -- 4 bytes
elev Elevation, -- 2 bytes
accuracy PositionalAccuracy, -- 4 bytes
-- motion Motion,
speed TransmissionAndSpeed, -- 2 bytes
heading Heading, -- 2 bytes
angle SteeringWheelAngle, -- 1 bytes
accelSet AccelerationSet4Way, -- 7 bytes
--control Control,
-brakes BrakeSystemStatus, -- 2 bytes
-- basic VehicleBasic,
size VehicleSize, -- 3 bytes
-- Part II, sent as required
-- Part II,
safetyExt VehicleSafetyExtension OPTIONAL,
status VehicleStatus OPTIONAL,
... -- # LOCAL_CONTENT
    
```

그림 5. 기본 안전 메시지(BSM)의 구조

Fig. 5. The contents of BSM.

한다. 더불어, IEEE 802.11n 단말이 HT PPDU로 오인할 일이 없으므로, IEEE 802.11ba에서 논의되는 바와 같이 HT PPDU와 wake-up frame을 구분할 추가적인 심볼은 필요하지 않다. 이에 따라, 5.9 GHz 대역에서의 wake-up frame 형태는 그림 6과 같이 구성할 수 있다.

3-3 V2P 상황에서 IEEE 802.11ba 동작을 WAVE에 적용할 때의 문제점

IEEE 802.11ba에서 적용하기로 제안된 V2P 통신에서 위의 BSM 전송 시나리오의 경우, 각 차량에서 주기적으로 BSM을 전송하기 전 모든 단말을 깨우기 위한 wake-up frame을 방송 패킷 (broadcast message)으로 전송하여 모든 보행자의 단말을 깨운 후, 단말이 깨어나는 데 소요되는 특정 지연 시간 이후 BSM을 전송하는 동작을 활용할 수 있다. 이 동작에서 wake-up frame 및 BSM 패킷 전송은 중요한 제어 정보이며 사전에 주변의 차량 및 보행자의 단말들과 어느 SCH를 사용하여 통신할 지 협의하기 어려우므로 wake-up frame은 BSM과 같이 CCH 채널을 사용하여 전송하게 될 것으로 예상된다.

위와 같이 각 차량에서 BSM을 한 번 전송할 때마다 wake-up frame을 전송하여 전체 보행자의 단말을 깨운 뒤 일정 시간 뒤에 BSM 패킷을 전송하는 동작을 활용할 경우, 한정된

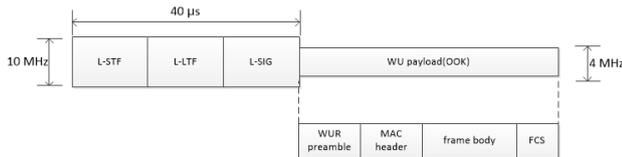


그림 6. IEEE 802.11p가 적용되는 5.9 GHz 대역에서의 wake-up frame의 구조

Fig. 6. The proposed wake-up frame structure of in 5.9 GHz used by IEEE 802.11p.

CCH 채널로 인하여 특정 수 이상의 차량이 BSM을 전송하려 할 경우 전송한 패킷들의 충돌 문제가 발생할 수 있다. 이는 기본적으로 BSM만 전송하는 것에 비해 wake-up frame이 추가되어 채널 부담이 가중되는데 그 원인이 있으며, 특히 온-오프 변조 방식의 간단한 wake-up frame의 구조로 인하여 적은 정보량에도 불구하고 wake-up frame이 길어 이에 따라 다른 단말들이 채널을 점유할 여유가 없어지는 데 그 문제가 있다.

BSM의 경우, 주변의 모든 차량 및 보행자 단말이 이를 인식할 수 있도록 방송 메시지의 형태로 전송되기 때문에, 보통 특정한 동작 없이는 전송 실패 여부를 알 수 없어, 재전송이 이루어지지 않는다. 이와 같은 동작으로 인해, 채널 부담이 가중되어 충돌 확률이 늘어났을 경우, 패킷 충돌이 그대로 전송 실패가 되어 WAVE에서 규정하는 전송 성공 확률 및 지연 시간에 대한 요구조건을 맞추기 어렵게 된다. V2X 통신에서는 전송 실패로 인해 보행자 혹은 다른 차량이 BSM 수신에 실패하였을 경우, 주변 차량 및 단말이 해당 차량을 인식할 수 없어 사고로 이어질 수 있기 때문에, 낮은 전송 성공 확률 및 높은 평균 전송 지연 시간은 치명적인 단점이 될 수 있다.

IV. 평균 전송 시간 in WUR with V2P

본 논문에서 가정한 바와 같이 일정 수의 차량 단말이 BSM을 전송하는 환경에서는, BSM을 전송하는 차량의 수 및 wake-up frame의 전송 여부에 따라 채널 점유 확률이 달라지므로 CCH에서 전송되는 일반적인 패킷의 평균 전송 시간이 달라질 수 있다. 이 때, 일반적인 패킷의 충돌 확률은 BSM 패킷의 충돌 확률과 동일하므로 CCH에서 전송되는 패킷의 충돌 확률(p)를 구해낼 수 있으며, 이 충돌 확률이 일정하다고 가정할 경우, 이를 토대로 [16]의 DCF (distributed coordination function) 분석 방법에 따라 재전송 횟수 및 경쟁 윈도우 (contention window)에 따른 같은 패킷 길이와 access category를 갖는 일반 패킷의 평균 전송 시간 및 전송 성공 확률을 구할 수 있다.

CCH에서 전송되는 일반 패킷의 평균 전송 시간 E[D]는 다음과 같이 채널 접근 시간과 전송 시간으로 구성될 수 있다

$$E[D] = E[access] + E[transmission] \quad (1)$$

이 때, 전송 시간인 E[transmission]은 채널 접근을 위한 대기 시간인 AIFS (arbitration interframe space)와 실제 패킷을 전송하는 시간의 합과 같으므로, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[transmission] = t_{data} + t_{AIFS} \quad (2)$$

패킷을 전송하기 위한 채널 접근 시간은 전송 횟수 및 contention window에 따라 달라지므로, 전송이 성공되었을 때의 평균 접근 시간은 다음과 같다.

$$E[access] = \frac{1-p}{1-p^K} \sum_{i=0}^{K-1} p^i E[access(i)] \quad (3)$$

이 때 E[access(i)]는 i번째 재전송 시 소요되는 총 접근 지연 시간의 평균이며, 이는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E[access(i)] = \sum_{j=0}^i E[backoff(j)] + iE[C] \quad (4)$$

이 때 E[backoff(i)]는 i번째 재전송 시 필요한 backoff의 평균값으로 다음과 같다.

$$E[backoff(i)] = \frac{2^i (CW_{min} + 1) - 1}{2} \times E[slot] \quad (5)$$

$$E[slot] = aSlotTime + qE[t_{co}] + (p-q)E[t_{trans}] \quad (6)$$

이 때 p는 같은 slot에서의 다른 단말이 전송을 시작할 확률로, 충돌 확률이며, q는 한 단말만 패킷을 전송할 확률이다. E[t_{co}], E[t_{trans}]는 다른 패킷의 충돌 혹은 전송 시 발생하는 채널 점유 시간이다. 패킷 길이가 일정하다고 가정할 때, 주변의 BSM 패킷은 별도의 acknowledgement를 가정하지 않으므로, 다음과 같이 일정한 길이로 가정할 수 있다.

$$E[t_{co}] = E[t_{trans}] = t_{data} + t_{AIFS} \quad (7)$$

한편, E[C]는 다른 패킷과의 충돌 발생 시 소요되는 시간이며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[C] = t_{data} + t_{SIFS} + t_{ack} + t_{AIFS} \quad (8)$$

이에 따라, 한 slot에서 평균적으로 소요되는 시간은 한 slot 내에서 다른 단말이 전송을 시작할 확률에만 연계되므로, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E[slot] = aSlotTime + qE[t_{co}] + (p-q)E[t_{trans}] = aSlotTime + pE[t_{trans}] \quad (9)$$

한편, 일반 패킷의 경우, K번 전송 후에도 전송에 성공하지 않을 경우, 전송 실패로 간주하므로, 일반 패킷의 전송이 실패

할 확률은 다음과 같다.

$$p(\text{fail}) = p^K \tag{10}$$

V. 성능 분석

5-1 실험환경

본 연구에서는 일정 수량의 차량이 주기적으로 BSM을 전송하도록 가정하고 있으며, 실험의 편의성을 위해, IEEE 802.11p에 사용하는 preamble 및 PHY header를 제외한 MAC header 및 정보 메시지를 포함한 BSM의 길이를 100 바이트로 가정하였다. 각 차량에서는 단말을 깨우기 위한 신호의 심볼 길이는 IEEE 802.11ba 표준에서 사용하고 있는 4μs로 설정하였으며, 사용되는 채널은 이상적인 채널로, 채널 불량으로 인한 패킷 전송 실패는 없다고 가정하였다.

차량 단말이 주기적으로 SCH에서 CCH로 전환하는 경우, BSM 패킷과 같이 CCH에서 전송할 패킷이 있는 경우에는 채널이 비어있는 상태였더라도 패킷 전송을 위한 백오프 절차를 수행하여 패킷 충돌을 방지한다. 이 때, 전환 직후에 패킷을 전송하려는 단말이 모여 있으므로, 초기 contention window의 값에 따라 충돌 확률이 크게 영향을 받을 수 있다. 이에 따라, access category에서 정한 contention window의 초기값이 아닌 aCWmin 값을 초기 contention window 값으로 설정하였다. 이외의 관련 변수는 표 3과 같다.

일정 차량이 주기적으로 BSM을 전송하는 환경에서 채널이 주기적으로 전환이 되는 경우, wake-up frame을 통해 단말을 깨우는 절차가 없을 때에는 차량 숫자에 따른 CCH에서의 BSM 충돌 확률은 그림 7과 같으며, wake-up frame을 통해 단말을 깨우는 절차가 수행될 경우의 충돌 확률 및 전송 실패 확률은 그림 8, 그림 9와 같다. 그림 7에서 보이는 바와 같이, wake-up frame을 전송하지 않는 환경에서도 도로의 차량이 많아질수록 패킷 충돌 확률이 증가하는데, 이는 CCH 전환 시 패킷이 있어서 백오프 절차를 수행하는 단말의 수가 늘어남에 따라 충돌 확률이 증가하는 한편, CCH 채널 유지 시간에 비해 채널 점유율 및 채널 접근 횟수가 증가하면서, 충돌 확률이 증가하게 된다.

5-2 IEEE 802.11ba 적용 시 BSM 충돌 확률 비교

차량 단말이 주기적으로 BSM 메시지를 전송하기 전에 단말을 깨우는 wake-up frame을 단말에 전송하는 경우, 차량 단말의 수에 따른 충돌 확률은 그림 8에서와 같다. 보행자 단말이 IEEE 802.11ba 표준에 따라 평소에 송, 수신할 수 없는 대기 상태에 있는 경우, 차량 단말에서는 BSM을 전송하기 위해 주기적으로 wake-up frame을 추가로 전송해야 하므로, 채널 점유율이 높아짐에 따라 단말 수 증가에 따른 충돌 확률이 더 증가하게

표 3. 실험에 사용한 파라미터

Table. 3. Simulation parameters.

Wake-up payload length	70 bits
wake-up frame code rate	1/2
BSM transmission cycle	100 ms

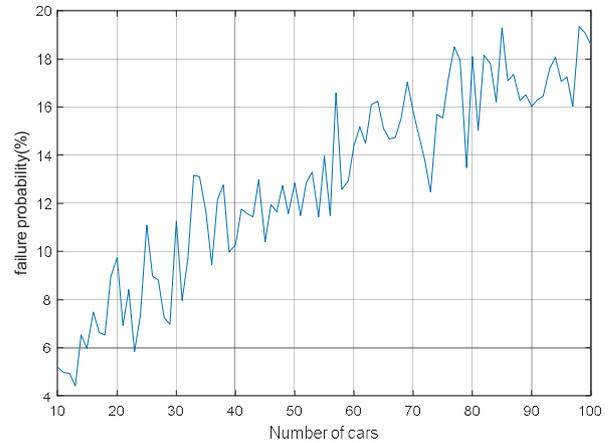


그림 7. Wake-up frame 미전송 시 패킷 충돌 확률

Fig. 7. The collision property of packet transmission when the wake-up frame is not transmitted before sending BSM.

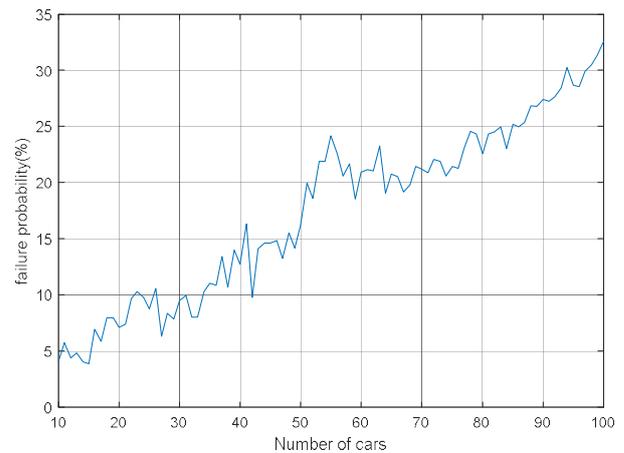


그림 8. Wake-up frame 전송 시 패킷 충돌 확률

Fig. 8. The collision property of packet transmission when the wake-up frame is transmitted before sending BSM.

된다. 이 때, 보행자 단말의 보조 수신기가 해독하는 wake-up payload 부분을 온-오프 변조로 전송하므로, 1 비트를 전송하는 데 4μs의 신호 길이를 갖는 온-오프 변조로 인해, wake-up frame 신호가 적은 정보량을 포함하고 있음에도 불구하고 지나치게 길어져 일반 패킷에 비해 채널 점유를 더 많이 하게 된다. 차량 단말이 BSM 메시지를 전송하기 전에 wake-up frame을 전송하여 단말을 깨우는 동작을 수행할 경우, 차량 단말이 깨우는

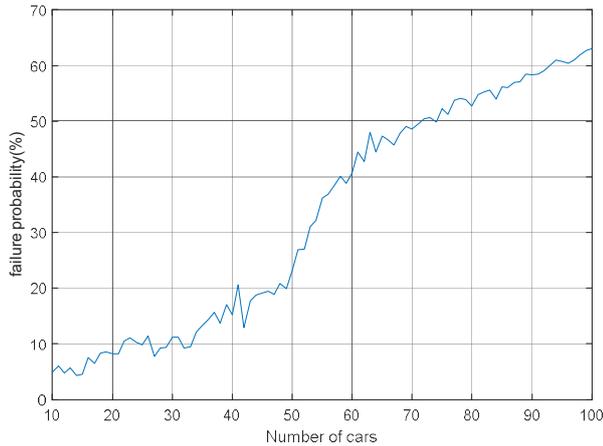


그림 9. Wake-up frame 전송 시 전송 실패 확률
Fig. 9. The failure property of packet transmission when the wake-up frame is transmitted before sending BSM.

wake-up frame과 BSM 패킷 중 하나라도 전송에 실패할 경우, 차량 단말에서 보내는 BSM 메시지를 보행자가 수신하지 못하게 되므로, 차량 단말이 wake-up frame을 전송하는 경우의 BSM 전송 실패 확률은 그림 9와 같이 더욱 증가하게 된다.

5-3 일반 CCH 패킷의 전송 딜레이 비교

패킷 충돌이 시간에 따라 일정하게 유지되고 있다고 가정하였을 때, 차량 단말이 주기적으로 BSM을 전송하여 채널을 점유하고 있는 상황에서의 무선 접속점 혹은 일반 IEEE 802.11p 단말이 패킷을 전송하려고 할 때 일반 패킷의 평균 전송 지연 시간은 그림 10 및 그림 11에 나타난 바와 같다. 이 때, 전송되는 일반 패킷은 BSM 패킷과 동일하게 100 바이트의 길이로 가정하였으며, 초기 contention window 값은 15로 설정되었다.

차량 단말이 BSM을 전송하기 전 wake-up frame을 전송하지 않을 경우에는 그림 10과 같으며, 단말을 깨우기 위한 wake-up frame을 전송할 때의 일반 패킷의 평균 전송 지연 시간은 그림 11과 같다. 차량 단말이 BSM 패킷 혹은 wake-up frame을 전송할 때 일반 CCH 패킷의 평균 전송 시간은 해당 상황에서의 채널 혼잡도에 의해 영향을 받으며, 이에 따라 패킷 충돌 확률의 영향을 받게 된다. 이에 따라, 차량 단말이 증가할수록 일반 CCH 패킷의 평균 전송 지연 시간이 증가하는 양상을 보이며, 차량 단말이 wake-up frame을 추가적으로 전송하는 경우에 채널 점유 시도 및 점유량이 증가함에 따라 CCH 채널을 사용하는 일반 패킷의 평균 전송 지연 시간도 증가하게 된다.

VI. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.11p에서의 차량 통신 환경이 IEEE

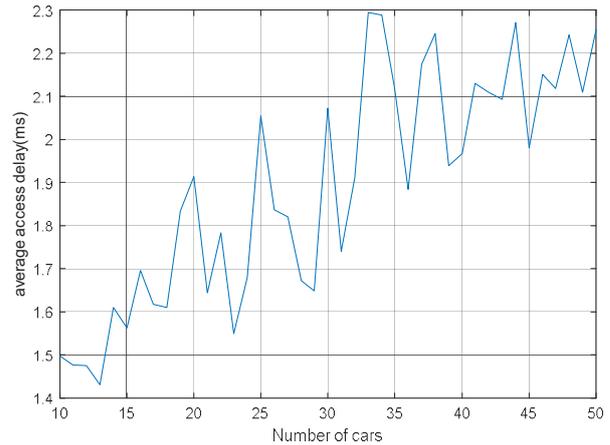


그림 10. 차량 단말이 BSM 전송 전 wake-up frame 미 전송 시 일반 CCH 패킷의 평균 전송 시간
Fig. 10. The average delay of normal CCH packet when the wake-up frame is not transmitted before sending BSM.

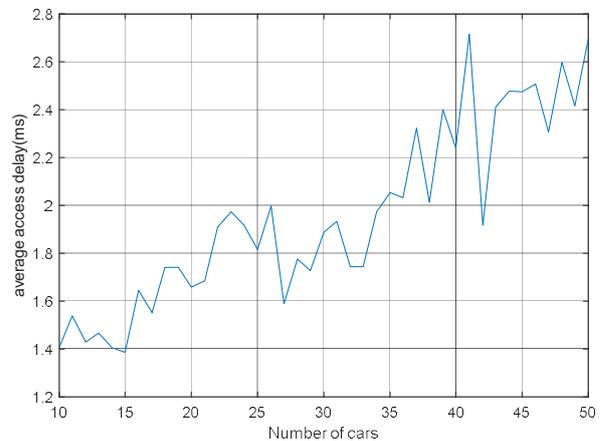


그림 11. 차량 단말이 BSM 전송 전 wake-up frame 전송 시 일반 CCH 패킷의 평균 전송 시간
Fig. 11. The average delay of normal CCH packet when the wake-up frame is transmitted before sending BSM

802.11ba의 보행자 단말과 같이 적용될 때 채널 점유가 증가하면서 전송 확률 및 평균 전송 시간에 미치는 영향에 대해 분석하였다. IEEE 802.11p 및 WAVE 표준에서는 제어 정보 및 핵심 안전 정보를 전송하는 CCH와 일반 정보를 전송하는 SCH로 구분되어 있으며, 차량 단말들은 AP와의 결합 없이 주기적으로 BSM 패킷을 전송할 수 있다. 이 때, 차량의 BSM 패킷을 받는 보행자 단말의 경우 IEEE 802.11ba의 동작을 취할 수 있으며, 이를 반영하기 위해서는 차량 단말이 BSM 패킷을 전송하기 전에 보행자 단말을 깨우는 wake-up frame을 전송해야 한다. 하지만, wake-up frame을 추가적으로 전송하는 동작으로 인해 CCH의 채널 점유가 증가하면서 충돌확률이 증가하며, wake-up frame의 전송이 실패할 경우 BSM 패킷의 전송이 성공하더라도 단말이 BSM을 받지 못하기 때문에 BSM의 전송 실패 확률

이 증가하게 된다. 더불어, 차량들이 BSM을 전송하기 위해 주기적으로 wake-up frame을 전송하면서 채널 점유 및 충돌 확률이 증가함에 따라, 같은 CCH 채널을 사용하는 다른 패킷의 평균 전송 지연 시간도 증가하는 결과를 가져온다. 이에 따라, wake-up frame의 전송으로 인해, 채널 점유가 증가하면서 BSM 패킷의 전송 실패에 따라 전송 성공을 위한 요구 조건을 맞추지 못할 수 있다. 한편, wake-up frame을 전송함에 따른 채널 혼잡도의 증가 현상은 SCH를 사용할 때에도 동일하게 적용될 수 있으며, background traffic 혹은 wake-up frame의 충돌 및 지연에 따른 패킷 전송 실패로 인해 통신 성능에 악영향을 미칠 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 차량 수에 따른 통신 혼잡도에 따라 유동적으로 초기 contention window를 조절하는 한편, wake-up frame의 전송을 조정함으로써 wake-up frame에 의한 채널 점유가 추가적으로 증가하는 현상을 방지해야 한다.

Acknowledgement

이 논문은 2017년도 한국교통대학교의 해외과견연구교수지원금의 지원을 받아 수행한 연구임

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] 3GPP, Service requirements for enhanced V2X scenarios, 3GPP TS 22.186 (V15.3.0), June, 2018.
- [6] R. J. Yu, WUR Usage Model Document, IEEE 802.11 Working Group, 17/29r16, September, 2017.
- [7] L. Miao, K. Diouani, B. J. Van Wyk, and Y. Hamam, "Performance Evaluation of IEEE 802.11p MAC Protocol in VANETs Safety Applications," in *2013 IEEE Wireless Communication and Networking Conference (WCNC)*, Shanghai: China, pp. 1663-1668, 2013.
- [8] H. Peng, D. Li, H. Zhou, H. Zhao, W. Zhuang, and X. Shen, "Performance Analysis of IEEE 802.11p DCF for Multiplatooning Communications With Autonomous Vehicles," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 66, No. 3, pp. 2485-2498, March, 2017.
- [9] D. Lee, S. H. Ahmed, D. Kim, J. Copeland, and Y. Chang, "Distributed SCH selection for concurrent transmissions in IEEE 1609.4 multi-channel VANETs," in *2017 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Paris: France, pp. 1-6, 2017.
- [10] H. Zhang, 802.11 for Next Generation V2X Communication, IEEE 802.11 Working Group, 18/513r2, March, 2018.
- [11] 802.11 Working Group, Draft Standard for Information Technology - Telecommunications and Information 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 9: Wake-Up Radio Operation, IEEE Computer Society, IEEE P802.11ba/D0.3, May, 2018.
- [12] M. Park, S. Azizi, R. Stacey, and J. Liu. Low-Power Wake-Up Receiver (LP-WUR) for 802.11, IEEE 802.11 Working Group, 15/1307r1, November, 2015.
- [13] H. Hong, Y. Y. Kim, and R. Y. Kim. "A Low-Power WLAN Communication Scheme for IoT WLAN Devices Using Wake-Up Receivers," *Applied Science*, Vol. 8, No. 1: 72, pp. 1-16, January, 2018.
- [14] S. Azizi, A PAR Proposal for Wake-up Radio, IEEE 802.11 Working Group, 16/1045r9, November, 2016.
- [15] Society of Automotive Engineers International, Dedicated Short Range Communications (DSRC) Message Set Dictionary, J2735, 2009.
- [16] T. Sakurai, and H. L. Vu, "MAC Access Delay of IEEE 802.11 DCF," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, Vol. 6, No. 5, pp. 1702-1710, May, 2007.



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 부교수

※ 관심분야 : 무선통신네트워크, 사물인터넷, 무선랜, 이동체 통신