

협력적 자율 차량을 위한 신뢰성있는 멀티캐스트 MAC 프로토콜

김정숙*, 김주완*, 최정단*

Reliable Multicast MAC Protocol for Cooperative Autonomous Vehicles

Jungsook Kim*, Juwan Kim*, Jeongdan Choi*

요 약

본 논문은 도로에 설치된 인프라 시스템 및 타 자율 주행 차량과 협력하여 주행하는 협력형 무인 자율 주행 차량 기술을 위한 멀티캐스트 통신 기법을 소개한다. 협력형 자율 주행 차량은 주행 안전성 향상을 위해 인프라 시스템 및 주변 차량과 통신한다. 교환되는 정보는 차량 안전과 관련 된 정보이며 다수의 자율 주행 차량에게 정의된 시간 내에 반드시 전송되어야 한다. 그러나 차량 통신 국제 표준인 WAVE는 협력형 자율 주행을 위해 요구되는 멀티캐스팅 통신의 높은 전송 성공을 보장하지 않는다. 본 논문에서는 WiVCL이라는 MAC 계층의 고신뢰 멀티캐스트 기법을 제안한다. IEEE 802.11p 및 BMW와 비교한 결과 WiVCL은 높은 전송 성공률과 예측 가능한 전송 지연 시간을 보여줌을 확인할 수 있었다.

Key Words : Autonomous vehicle, cooperative, medium access control, multicast, reliable

ABSTRACT

This paper introduces reliable multicast MAC protocol for cooperative unmanned vehicles. cooperative unmanned vehicles communicate with infrastructure and other unmanned vehicles in order to increase driving safety. They exchange information related to driving and thus it requires real-time and reliable multicast. However, the international vehicular communication standard, IEEE 802.11p WAVE, does not provide a reliable multicast scheme on the MAC layer. To address the problems of reliability, we propose a reliable multicast protocol called WiVCL, which avoids contention and collision. Our evaluation shows that the WiVCL achieves a high degree of reliability and real-time features.

I. 서 론

최근 운전자의 조작 없이 자동차 스스로 주행 환경을 인식하고 목표지점까지 운행할 수 있는 무인 자율

주행차량에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 구글은 2012년 도요타 프리우스에 각종 센서를 장착해 ‘구글카’라는 무인자동차를 제작했다^[1]. 미국 네바다 주에서 50만 km가량의 시험 주행에 성공했으며, 주정

※ 본 연구는 미래창조과학부 산업전략기술개발 프로그램(10035250, 자동발렛파킹을 위한 센서기반 공간인지 및 자동주행 기술 개발)의 연구비지원에 의해 수행되었음

• First Author : 한국전자통신연구원 산업IT융합연구단, jungsook96@etri.re.kr, 정희원

* 한국전자통신연구원, juwan@etri.re.kr, 정희원, jdchoi@etri.re.kr

논문번호: KICS2014-02-036, Received February 4, 2014; Reviewed February 19, 2014; Accepted March 21, 2014

부로부터 ‘AU001’이란 번호판도 받았다²⁾. 구글카는 자동차 지붕 위에 ‘레이저 레인지 파인더’라는 장치와 위성항법장치(GPS)를 이용해 실시간으로 자동차 위치, 도로상황, 차선 정보 등을 파악하는 기술을 갖췄다. 구글은 앞으로 3 ~ 5년 이내 구글카를 실용화한다는 계획이다.

글로벌 완성차 업체들도 무인 자동차 기술 개발에 관심을 기울이고 있다. 메르세데스 벤츠는 2013년 프랑크푸르트 모터 쇼에서 완전 자율 주행 차량을 선보였다³⁾. 닛산은 무인 발레 주차와 회차 기능을 수행하는 자율 주행 자동차를 소개했다⁴⁾. 이 업체들은 2020년부터는 완전 무인 자율 주행 자동차 개발을 완료하고 판매를 시작하겠다는 계획이다.

현재까지 학계 및 자동차 업체를 중심으로 진행된 자율주행 자동차 기술은 차량에 라이다, 카메라, 초음파, GPS 등 자율 주행에 필요한 모든 센서를 장착하고 차량이 독립적이고 자율적으로 자율 주행을 수행하는 기술이 주축을 이룬다. 무인 자율 주행 차량이 도로를 안전하게 주행하기 위해서는 차량 자체의 자율 주행 기능 개발이 요구되지만, 인프라 센싱, 교통체계 등 도로 인프라 차원의 다양한 기술과 자율 주행을 지원하기 위한 고신뢰 통신 기술 개발도 병행되어야 한다. 예를 들면, 주요 위험 지점에 설치된 인프라 센서를 이용하여 차량이 해당 지역에 진입하기 이전에 무선 통신을 통해 미리 인프라에서 위험 정보를 제공받고 대응할 수 있다. 또한 자율 주행 차량 간에 위치 및 속도 정보를 공유함으로써 차량의 센싱 거리를 벗어나는 지역에 위치하는 다른 자율 주행 차량 정보를 무선 통신을 통해 미리 인지 할 수 있다.

본 논문에서는 협력형 무인 자율 주행 차량 기술을 위한 무선 통신 기술에 대해 소개한다. 협력형 무인 자율 주행 차량은 차량 제어 정보 및 타 자율 주행 차량들의 위치, 속도 정보를 무선 통신을 통해 제공 받는다. 이러한 정보는 차량의 주행 안전과 밀접한 관련이 있는 정보로 예측 가능한 전송 지연 시간 안에 높은 전송 성공률로 전송 되어야 한다. 그러나 기존의 차량 통신을 위한 국제 표준인 IEEE 802.11p⁵⁾는 이러한 자율 주행 차량을 위한 요구 조건을 만족시키지 못한다. IEEE 802.11p는 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 경쟁 방식의 매체 접근 제어를 수행하며, 경쟁 방식의 매체 접근 제어는 네트워크 트래픽이 증가하면 통신 에러가 기하급수적으로 증가한다.⁶⁾ 특히, 협력형 무인 자율 주행 차량 기술에서 필요한 멀티케스팅 패킷은 더욱 전송 성공률이 떨어진다. IEEE 802.11p는 멀티케

스트 패킷의 성공적인 전송을 고려하여 설계되지 않았다. 즉, 숨겨진 노드로 인해 통신이 실패하는 숨겨진 노드 문제 (hidden node problem)을 해결하기 위한 RTS(Request To Send), CTS(Clear To Send) 제어 패킷도 멀티케스트 패킷에는 적용하지 않았으며, 통신 실패가 발생하여도 수신 장치들로부터 ACK을 수신하지 않기 때문에 이를 송신 장치가 인지하고 복구할 수 있는 방법이 없다. 이러한 멀티케스트 패킷 처리 메커니즘은 유니케스트 패킷에 비해 더욱 통신 실패에 무방비로 노출되며 낮은 통신 성공이라는 결과를 초래한다. 본 논문에서는 협력형 자율 주행 차량을 위한 매체 접근 제어 (Medium Access Control, MAC) 계층에서의 고신뢰 멀티케스팅 기법인 WiVCL (Wireless Vehicle Control Loop) MAC을 제안한다. 협력형 자율 주행 차량은 독립형 자율 주행 차량에 비해 주행 안정성을 향상시키고 보다 효과적인 무인 자율 주행이 가능하며, 이를 위해서는 차량 간 협력, 차량-인프라간 협력을 위한 새로운 고신뢰 실시간 멀티케스트 방식이 필요하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장은 서론이며, 2장은 멀티케스트 통신 성공 향상을 위한 고신뢰 멀티케스트 기술 동향에 대해서 살펴보고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 IT융합기반 차량 자동유도 서비스 시스템의 개요 대해 논의하고, 4장에서는 WiVCL 고신뢰 멀티케스트를 위한 알고리즘을 기술한다. 5장에서는 시뮬레이션 결과에 대해 서술한 후, 6장에서 결론을 맺는다.

II. 관련연구

차량 통신을 위해 WAVE가 국제 표준으로 제정되었다. WAVE는 차량의 주행 특성을 고려하여 BSS 셋업 프로시저를 획기적으로 단축하여 고속으로 주행하는 차량에서도 무선 통신이 가능하다. 그러나 WAVE는 무선 통신 패킷의 높은 전송 성공을 보장하지 않는다. WAVE의 물리계층(PHY)과 매체 접근 제어(MAC) 계층을 정의하는 IEEE 802.11p 국제 규격은 경쟁 방식 CSMA/CA를 채택하였으며, CSMA/CA는 네트워크 트래픽이 증가함에 따라 패킷의 전송 실패 및 전송 지연 시간이 기하급수적으로 증가하는 결과를 보인다고 보고된바 있다.⁶⁾ 게다가 IEEE 802.11p는 멀티케스트 패킷의 성공적인 전송을 고려하여 설계되지 않았다. 즉, 숨겨진 노드로 인해 통신이 실패하는 숨겨진 노드 문제 (hidden node problem)을 해결하기 위한 RTS(Request To Send), CTS(Clear

To Send) 제어 패킷도 멀티캐스트 패킷에는 적용하지 않기 때문에 더 많은 충돌로 인한 통신 실패가 발생한다. 더불어 멀티캐스트 패킷은 통신 실패가 발생하여도 수신 장치로부터 ACK을 수신하지 않기 때문에 이를 송신 장치가 인지하고 복구할 수 있는 방법이 없다.

이러한 IEEE 802.11 기반의 멀티캐스트 통신 성공률 문제를 해결하기 위해 많은 연구가 진행되었다.^{[7]-[9]} 연구된 프로토콜들은 멀티캐스트 통신 성공률 향상을 위해 대부분 IEEE 802.11 DCF(Distributed Coordination Function) 의 RTS/CTS/DATA/ACK 기법을 확장하는 경향을 보인다. 일반적으로 숨겨진 노드 문제를 해결하고 무선 채널 예약을 위해 IEEE 802.11은 RTS와 CTS를 사용하고, 통신 실패를 복구하기 위해 DATA 프레임의 수신 응답 ACK 패킷을 사용한다. [7]에서 Tang과 Gerla는 중저 통신 부하 상황에서의 브로드캐스팅 통신 성공률을 높일 수 있는 브로드캐스팅 미디어 윈도우(Broadcasting Medium Window, BMW)를 제안하였다. BMW는 통신 성공률 향상을 위해 브로드캐스트 패킷을 유니캐스트 요청처럼 처리한다. 이를 위해 모든 노드는 이웃 노드 리스트(NEIGHBOR LIST)와 송신 했던 데이터 프레임을 저장하는 송신 버퍼 (SEND BUFFER), 이웃 노드로부터 수신한 ACK 패킷의 시퀀스 정보를 저장하는 수신 버퍼 (RECEIVER BUFFER)를 유지한다. BMW는 이웃 노드 리스트에서 순차적으로 하나씩의 노드를 수신 노드로 선정하여 브로드캐스트 패킷을 유니캐스트로 전송하며 전송한 패킷은 송신 버퍼에 저장한다. 송신 노드가 아닌 다른 이웃 노드들은 전송되는 패킷을 엿들어서(overhearing) 브로드캐스팅 패킷을 수신한다. 이웃 노드 리스트의 노드들은 주기적으로 수신 노드로 선정되며, 수신 노드로 선정되었을 때 수신 버퍼에서 수신 받지 못한 브로드캐스트 패킷의 시퀀스 숫자를 확인하여 수신 실패 패킷의 재전송을 요청하고 수행한다. BMW는 브로드캐스트 전송 신뢰도를 고려하지 않은 IEEE 802.11에 비해 전송 성공률을 높일 수 있으나, 전송 실패시 이를 복구하기 위한 시간이 길며, 네트워크 트래픽이 증가할 경우 전송 성공률을 보장할 수 없다는 단점이 있다.

Min-ten Sun은 [8]에서 고신뢰를 위한 배치모드 멀티캐스트 맥 프로토콜 (Batch Mode Multicast MAC, BMMM)을 제안했다. BMMM은 멀티캐스트 패킷을 전송하는 송신노드가 모든 수신 노드와 RTS/CTS 패킷 교환을 완료한 후 멀티캐스트 데이터 패킷을 전송한다. 이 후, 멀티캐스트 데이터 패킷의 전송 성공을 확인하기 위해 송신 노드는 모든 수신 노드로 순차적

으로 RAC(Request for ACK)을 송신하고 RAK에 대한 응답으로 ACK을 전송하는 방식으로 멀티캐스트 통신 전송 성공률을 높인다. 이 방식은 RTS, CTS, RAK 패킷 오버헤드가 크다는 단점이 있으며, CSMA/CA 방식의 근본적인 문제를 해결하지 못한다.

한편, Weishen Si와 Chengzhi Li는 비지 톤 메커니즘을 이용한 고신뢰 멀티캐스트 MAC인 RMAC^[10]을 연구하고 발표하였다. RMAC은 수신 비지톤 (Receiver Busy Tone, RBT)과 응답 비지 톤 (Acknowledgement Busy Tone)을 도입하여 멀티캐스트 전송 신뢰 문제를 해결하였다. 멀티캐스트 패킷을 위한 다수의 수신 노드는 숨겨진 노드 문제를 해결하기 위해 데이터를 수신하는 동안 RBT를 통해 비지톤 신호를 송출하고, 송신 노드에 ABT를 이용하여 응답한다. 이 방식은 컨트롤 패킷을 줄이는 장점이 있지만 비지톤을 위한 추가적인 채널이 필요하다.

III. IT융합 기반 차량 자동유도 서비스 시스템 개요

IT융합기반 차량 자율 주행 시스템은 인프라와 차량의 협력을 통해 기존의 독립형 자율 주행 차량 시스템에 비해 향상된 효율성과 안전성을 제공하는 협력형 무인 주행 차량 시스템을 개발하는 차량 자율 주행 서비스이다. 독립형 자율 주행 차량 기술은 차량이 자율 주행에 필요한 모든 장비를 장착하고 외부 시스템과의 연계 없이 독립적으로 주행에 필요한 경로 생성, 주변 상황 인지, 차량 제어를 수행한다. 독립형 자율 주행 차량은 차내에 장착된 센서의 센싱 영역 이내 정보만을 이용하여 상황인지 및 주행 제어를 수행한다. 이러한 비협력 및 제한된 상황인지를 특징으로 하는 독립형 자율 주행 차량 기술은 안정성 면에서 취약점이 존재한다. 예를 들어 두 대의 무인 자율 주행 차량이 서로 다른 진입로를 통해 교차로를 통과해야 할 경우 두 차량은 상대 차량의 정보(위치, 속도, 진행 방향 등)를 알 수 없다. 이는 두 자율 주행 차량의 안전한 교차로 통과를 저해하는 치명적인 요인이 될 수 있다.

그림 1 은 IT융합 기반 차량 자율 주행 시스템 구조도를 도시한다. IT융합 기반 차량 자율 주행 시스템은 자동유도 차량 제어 시스템, 자동유도 주차관제 시스템, 인프라 상황인지 시스템, 교차로 가상신호 시스템, 모바일 단말 시스템으로 구성된다.

자동유도 차량제어 시스템은 자동유도 관제서버 시스템으로부터 주행경로를 수신하여 목적지까지 주행하는 기능을 수행한다. 자동유도 차량제어 시스템은

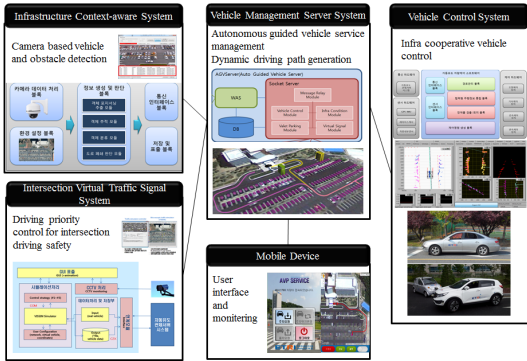


그림 1. 시스템 구성도
Fig. 1. System Architecture

주행경로까지 주행하는 동안 차량 내부 센서 정보와 자동유도 관제서버가 제공하는 인프라 상황인지 정보, 다른 자동유도 차량제어 시스템이 제공하는 차량 정보를 통합하여 주행에 사용한다. 자동유도 차량제어 시스템은 주기적으로 자신의 위치 및 속도 정보를 다른 자율 주행 차량들로 방송하여 알린다.

자동유도 관제서버 시스템은 서비스 전체를 총괄/관리 한다. 핸드폰 사용자는 관제서버가 제공하는 웹 페이지에 접속하여 자동유도 차량제어 시스템이 장착된 차량의 자동유도 주차를 요청하고, 진행 상황 모니터링 서비스를 제공받을 수 있으며, 주차 완료 공지 서비스를 받는다. 또한 자동유도 관제서버는 자동유도 차량제어 시스템, 인프라 상황인지 시스템, 교차로 가상신호 시스템과 통신하며 자동유도 주행 서비스를 위한 서비스 등록, 경로 생성/변경/제공, 차량 제어 정보 제공, 차량 위치 정보 제공 등의 기능을 수행한다.

인프라 상황인지 시스템(ICS)은 인프라에 설치된 영상 카메라를 이용하여 서비스 영역 내의 장애물을 검지 및 추적하고 장애물 분류 및 위치 정보를 추출하는 기능을 가진다. 교차로 가상신호 시스템은 교차로 내 접근하는 자율주행 차량의 실시간 위치, 속도, 회전방향 정보를 이용하여 각각의 교차로 진입 및 통과에 대한 우선권을 판단하여 개별 차량에게 가상 신호 정보를 생성하는 역할을 수행한다. 가상신호정보는 교차로 진입에 대한 우선순위 정보와 함께 개별 차량별로 어떤 속도로 교차로에 진입하여 진출할지에 대한 정보를 포함한다.

IV. 멀티케스트 통신 알고리즘

우리는 협력형 자율 주행 차량의 멀티케스트 패킷 전송 성공률을 향상시킬 수 있는 MAC 계층 멀티케

스트 프로토콜인 WiVCL을 제안한다. WiVCL은 멀티케스트 패킷 충돌 위험을 회피하여 전송 실패율을 획기적으로 낮춘다. 경쟁방식의 CSMA/CA MAC은 네트워크 트래픽이 증가함에 따라 패킷 충돌이 증가하는 특성을 보이므로, WiVCL은 무경쟁 방식의 슬롯 기반 (Slotted) TDMA(시분할 다중 접속 방식, Time Division Multiple Access) MAC을 채택하였다. 슬롯 기반 TDMA MAC은 통신 채널을 시간대별로 나누어 시간슬롯을 구성하고, 이 시간슬롯 별로 송신 권한을 소유한 통신 장치를 선정하여 통신하게 함으로써 충돌을 회피하는 기법이다. 또한 TDMA MAC은 패킷의 송신 지연 시간을 미리 예측할 수 있는 장점이 있다.

그림 2는 WiVCL의 전송 신뢰성 향상을 위한 TDMA 기반 멀티케스팅 MAC의 슈퍼프레임 구조 (Super-frame structure)를 도시한다. 슈퍼프레임은 비컨 전송을 위한 비컨 구간(Beacon Period), 고신뢰 멀티케스팅을 위한 멀티케스팅 구간 (MCP), 고신뢰 유니케스트를 위한 유니케스트 통신 구간 (UCP), CSMA/CA 경쟁 방식으로 통신하는 경쟁 접속 구간 (CAP: Contention Access Period)으로 구성된다. 높은 멀티케스트 통신 성공률 요구하는 통신 장치는 MCP 구간의 시간슬롯을 할당 받아 통신할 수 있다. MCP 구간의 시간 슬롯은 슬롯 별로 통신 장치에 할당되며, 이 슬롯을 할당받은 통신 장치만이 해당 시간슬롯에서 멀티케스트 패킷을 전송 할 수 있는 권한을 가진다. 통신장치별 시간 슬롯의 전송 권한은 비컨 프레임에 정의되어 방송된다.

TDMA MAC 기반의 멀티케스팅을 통해 전송 성공률을 높이기 위해서는 이웃 통신 장치와의 충돌 및 간섭을 회피할 수 있는 시간 슬롯 할당 스케줄링 기법이 필요하다. 1홉 거리의 이웃 통신 장치를 고려하지 않고 시간 슬롯을 할당하여 두 통신 장치가 같은 시간 슬롯에서 통신할 경우 통신 장치 간에 충돌이 발생하고, 패킷 전송이 실패할 수 있다. 또한 2홉 거리의 숨겨진 이웃 통신 장치를 고려하지 않고 같은 시간 슬롯을 재사용할 경우 숨겨진 노드 문제(hidden node problem)로 인한 숨겨진 충돌 문제가 발생한다. 따라서 TDMA 기반의 통신을 위해서는 2홉 이내 통신 장

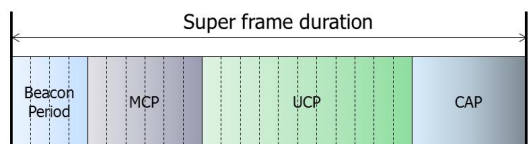


그림 2. 슈퍼프레임 구조
Fig. 2. Superframe Structure

치를 모두 고려한 슬롯 할당이 필요하다.

본 논문에서 우리는 MCP 시간 슬롯을 할당하는 이웃 노변 통신 장치(RSE, Road Side Equipment) 간의 비컨 프레임 교환을 통해 분산된 방식으로 충돌을 배제한 MCP 시간 슬롯 할당을 수행한다. 이를 위해 우리는 비컨 프레임 전송 거리를 데이터 프레임 전송 거리의 두 배가 되도록 송신 출력을 조정했다. 비컨 프레임은 MCP 슬롯 할당 정보를 포함하는 컨트롤 패킷이다. 송신 출력 이원화 방식으로 노변 통신 장치들은 1홉 거리의 노변 통신 장치 비컨만을 교환하지만, 2홉 거리의 데이터 통신을 위한 통신 장치의 시간 슬롯 할당 정보를 알 수 있다.

그림 3은 MCP 슬롯 할당결과 예를 도시한다. MCP 슬롯 할당이 필요한 차량 통신장치는 CAP 구간에 슬롯 할당을 노변 통신장치에 요청한다. 그림 3에서 노변 통신 장치 1의 데이터 통신 영역 안에는 차량 통신 장치 4, 7, 8이 위치하고, 노변 통신 장치 2의 데이터 통신 영역 안에는 차량 통신 장치 2, 5, 9, 노변 통신 장치 3의 데이터 통신 영역 안에는 차량 통신 장치 6, 10이 위치한다. 모든 노변 통신 장치와 차량 통신 장치가 고신뢰 멀티케스트를 요청 할 경우, 노변 통신 장치는 자신의 데이터 통신 서비스 영역 내에 위치하는 차량 통신 장치와 자신을 위한 MCP 슬롯을 충돌이 발생하지 않도록 할당해야 한다. 노변 통신 장치는 이웃한 노변 통신 장치가 할당하지 않은 MCP 시간 슬롯 중에서 랜덤으로 선택하여 자신의 데이터 통신 영역 내에서 MCP 슬롯을 요청한 통신 장치로 할당한다. 노변 통신 장치 1은 자기 자신과 자신의 데이터 통신 서비스 영역 내에 위치하는 차량 통신 장치 4, 7, 8을 위한 MCP 시간 슬롯을 할당 한다. 슈퍼프레임 구조 중 MCP 만을 도시한 그림3에서 노변 통신 장치 1은 자신의 멀티케스트 통신을 위해 첫 번째 MCP 시간슬롯, 차량 통신 장치 4를 위해 두 번째 MCP 시간 슬롯, 차량 통신 장치 7을 위해 5번째 MCP 시간 슬롯, 차량 통신 장치 8을 위해 6번째 시간

슬롯을 할당하였다. MCP 시간슬롯 할당 결과는 데이터 통신 프레임보다 두 배 더 긴 전송거리를 가지는 비컨 프레임으로 방송된다. 노변 통신 장치 2는 노변 통신 장치 1의 비컨 프레임을 수신한 후, 자신의 데이터 통신 영역 안에 있는 통신 장치들을 위한 MCP 슬롯 할당을 수행한다. MCP 슬롯을 할당 할 때, 노변 통신 장치 2는 이웃 한 노변 통신 장치 1이 할당하지 않은 MCP 슬롯을 선택해 통신 충돌을 방지한다. 즉, 노변 통신 장치 2는 노변 통신 장치 1의 비컨 프레임을 해석하여 첫 번째, 두 번째, 다섯 번째, 여섯 번째 MCP 슬롯이 이미 할당되어 사용 중임을 인식하고, 할당되지 않은 MCP 슬롯을 자신의 통신 영역 안에 있는 통신 장치에 할당한다. 노변 통신 장치 2는 자신에게 세 번째 MCP 슬롯, 차량 통신 장치 5에 4번째 MCP 슬롯, 차량 통신 장치 9에 7번째 MCP 슬롯을 할당한다. 한편, 노변 통신 장치 3은 세 번째, 네 번째, 일곱 번째 MCP 슬롯이 할당된 정보를 포함하는 노변 통신 장치 2의 비컨을 수신하여, MCP 슬롯 할당을 수행한다. 노변 통신 장치 3은 자신에게 첫 번째 MCP 슬롯을, 차량 통신 장치 10에 두 번째 MCP 슬롯, 차량 통신 장치 6에 다섯 번째 MCP 슬롯을 할당한다. 이러한 MCP 슬롯 할당 방식 및 데이터 프레임과 비컨 프레임 송신 거리 이중화는 컨트롤 패킷 교환 오버헤드를 최소화하고 MCP 슬롯 재사용 율을 높일 수 있는 장점이 있다.

멀티케스트 패킷의 전송 신뢰도를 높이기 위해서는 전송 실패가 발생했을 경우 복구할 수 있어야 한다. 전송 실패 복구를 위해 우리는 재전송 기법을 사용했다. 멀티케스트 패킷의 전송이 실패했는지 여부를 판단하기 위해 패킷 수신 장치로부터 ACK 피드백을 받아야 한다. IEEE 802.11p 표준은 멀티케스트 패킷의 전송 성공률을 고려하지 않으므로 멀티케스트 패킷 수신 여부를 송신 장치로 알려주는 ACK 메커니즘이 없고, 유니케스트 패킷의 경우 데이터 패킷 수신 후 SIFS(Short Interframe Space) 시간 후에 ACK 패킷을 전송하도록 정의하고 있다. IEEE 802.11p의 유니케스트 ACK 메커니즘을 그대로 본 프로토콜에 적용하면 다수의 멀티케스트 패킷 수신 장치들이 SIFS 시간 후 동시에 ACK를 전송하기 때문에 아무도 ACK를 성공적으로 송신 장치로 전송할 수 없다. 따라서 멀티케스트 패킷을 위한 다수의 ACK 패킷 전송 스케줄링이 반드시 필요하다.

ACK 패킷 전송 스케줄링을 위해 멀티케스트 패킷 송신 장치가 수신 장치에게 순차적으로 RAK(Request for ACK)을 송신하고 이에 대한 응답으로 ACK를 송

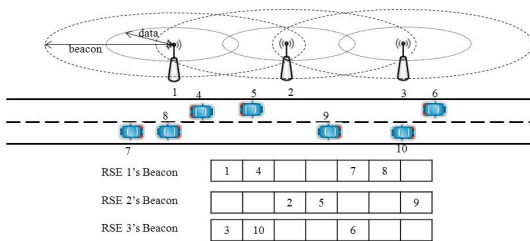


그림 3. 멀티케스트 시간 슬롯 할당 예
Fig. 3. MCP Slot Allocation Example

신하는 방식은 충돌 없는 ACK 스케줄링은 가능하지만 컨트롤 패킷으로 인한 오버헤드가 크고, 모든 ACK을 수신할 때 까지 지연 시간이 길다는 단점이 있다. 또한 비지톤 메시지를 활용하여 ACK을 전송하는 방법은 추가적인 채널 자원을 필요로 한다.

우리는 다수의 멀티케스트 ACK의 송신 성공률을 높이며 동시에 네트워크 오버헤드 최소화, ACK 전송 지연 최소화, 네트워크 리소스 최소 사용을 목적으로 그림4의 새로운 데이터 프레임 구조를 제안한다. 멀티케스트 프레임 송신하는 송신 장치는 멀티케스트 데이터 프레임 생성 시 프레임을 수신할 수신 통신 장치 리스트를 멀티케스트 패킷의 헤더에 포함한다. 멀티케스트 패킷 헤더의 수신 통신 장치 리스트에 나열된 순서대로 멀티케스트 패킷을 수신한 통신 장치는 ACK을 송신한다. 수신 통신 장치 리스트에 n번째로 기술된 통신 장치는 DATA 패킷을 수신 하고 다음 식 (1)에서 정의된 시간 후에 ACK 패킷을 전송한다. 식 (1)에서 Tack은 ACK 프레임 전송시간이고, SIFS는 IEEE 802.11p에서 정의된 SIFS 시간과 같다.

$$T_{MIFS} = SIFS \times n + (n-1) T_{ack} \quad (1)$$

WiVCL에서 제안하는 스케줄된 ACK 전송 기법은 다수 ACK 패킷을 최소의 시간으로 성공적으로 송신 장치로 전송할 수 있다.

그림 4에서 멀티케스트 패킷을 송신하는 송신 장치 (Source device)는 수신 통신 장치 리스트가 A, B, C 순서로 정의된 헤더를 포함하는 멀티케스트 패킷을 생성한다. A, B, C는 통신 장치를 고유하게 식별할 수 있는 ID이다. 멀티케스트 패킷을 수신한 수신 통신 장치 A(destination device A)는 멀티케스트 데이터 패킷을 수신하고 SIFS 시간 후에 ACK을 전송한다. 통신 장치 B(destination device B)는 멀티케스트 데이터 패킷을 수신하고 SIFS*2+Tack 시간 후에 ACK을 전송하며, 통신 장치 C(destination device C)는 멀티

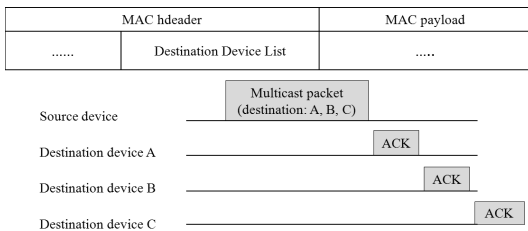


그림 4. 멀티케스트 ACK 전송
Fig. 4. Multicast ACK Transmission

케스트 데이터 패킷을 수신하고 SIFS*3 + 2Tack 후에 ACK을 전송한다. 만약 수신 통신 장치 중 B, C에서 ACK을 수신하지 못했을 경우 송신 장치(Source device)는 멀티케스트 패킷의 수신 통신 장치 리스트를 B, C로 변경하여 재전송한다.

V. 시뮬레이션

제안된 고신뢰 멀티케스트 MAC WiVCL은 네트워크 시뮬레이터 Qualnet 4.5를 이용하여 시험하고 검증하였다. WiVCL은 IEEE 802.11p 멀티케스트 및 BMW 프로토콜과 비교되었다. 비교 시뮬레이션된 세 프로토콜들은 MAC 계층의 멀티케스트 프로토콜 영향만을 평가하기 위해 모두 IEEE 802.11p PHY 규격을 가지도록 설정하였다. 시뮬레이션에 사용된 각 통신 장치는 100바이트 패킷의 MCBR 소스를 사용하여 멀티케스트 프레임을 주기적으로 생성하고 전송한다. 시뮬레이션에서 차량은 왕복 2차로 도로에서 평균 60km/h의 속도로 주행한다. 모든 차량에는 통신 장치가 장착되어 있다. 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 1과 같다. 전파효과(Propagation effect)를 고려하기 위해 우리는 시뮬레이션에 TRG(Two Ray Ground) 모델과 나카가미-3(Nak-3) 페이딩 모델을 적용하였다.

WiVCL을 평가하기 위해 멀티케스트 패킷 전송 성공률을 시험하였다. 전송 성공률을 측정하기 위해 우리는 전송 성공 패킷의 수를 총 멀티케스트 전송 요청 수로 나눈 패킷 전송 성공률을 정의하였다. 그림 5는

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation Parameters

Parameters	Values
Data rate	3Mbps
Channel Bandwidth	10Mhz
OFDM Symbol Duration	8usec
Preamble Duration	32usec
Frequency	5.9GHz
Tx Power	5dBm
Rx Sensitivity	-85dB
Propagation Model	TRG/Nak-3
Super frame Duration	25msec
Number of time slots	48 TS
Time Slot (TS) duration	512 usec
Beacon period	1 TS
MCP period	21 TS
CAP period	26 TS
Multicast message-generation period	25msec/device, 100msec/device

통신 장치 밀도와 멀티케스트 메시지 전송 주기를 다 변화하며 시물레이션 한 전송 성공률 결과를 도출한다.

WiVCL은 평균 이웃 차량 수가 20대 까지 증가하고, 멀티케스트 패킷 전송 주기가 100msec에서 25msec로 감소하여도 99%의 매우 높은 멀티케스트 패킷 전송 성공률을 보여준다. 그러나 BMW와 IEEE 802.11p는 멀티케스트 패킷을 전송하는 통신 장치 수가 증가하거나 멀티케스트 전송 주기가 짧아짐에 따라 전송 성공률이 감소하는 것을 관찰 할 수 있다. 이것은 네트워크 트래픽 증가로 인한 충돌 발생 때문으로 해석될 수 있다. BMW는 평균 차량 대수가 10대 이하이고 멀티케스트 패킷 전송 주기가 100msec 이하의 네트워크 트래픽이 낮을 경우 99%의 높은 멀티케스트 패킷 전송 성공률을 보여주지만 이러한 전송 성공률은 네트워크 트래픽이 증가함에 따라 급격하게 떨어진다.

그림 6은 통신 장치 밀도와 멀티케스트 패킷 전송 주기를 다변화하며 멀티케스트 패킷 전송에 성공한 패킷에 대하여 전송 지연 시간을 비교 도출했다. WiVCL은 평균 이웃 차량 수가 20대 까지 증가하고, 멀티케스트 패킷 전송 주기가 100msec에서 25msec로 감소하여도 12msec의 일정한 전송 지연 시간을 보여준다. 이는 슈퍼프레임 주기가 25msec로 정의되었기 때문에 나타나는 현상이라고 해석된다. 매 슈퍼프레임 주기마다 통신 장치들은 MCP 슬롯을 통해 한

번씩 전송할 수 있는 권한을 가진다. 응용계층에서 임의의 시간에 요청된 멀티케스트 패킷은 할당된 MCP 슬롯이 될 때까지 기다렸다가 전송되므로 슈퍼프레임 주기 절반 정도의 전송 지연 시간을 가지는 것으로 해석된다. 즉, 통신 장치에 할당된 MCP 슬롯 직후 응용계층에서 멀티케스트 패킷의 전송을 요청하면 해당 패킷은 다음에 자신에게 할당된 MCP 슬롯 까지 약 25msec를 기다리지만, 할당된 MCP 슬롯 직전에 멀티케스트 프레임 전송이 요청되면 해당 패킷은 곧바로 전송될 수 있다. IEEE 802.11p와 BMW는 통신 장치 수가 증가하거나 멀티케스트 메시지 생성 주기가 짧아지면 전송 지연 시간이 증가하는 결과 보여준다. 이는 전송 성공률과 마찬가지로 네트워크 트래픽 증가에 따른 영향이라고 판단할 수 있다. 한편, 전송에 성공한 멀티케스트 패킷에 대해서는 IEEE 802.11p가 일반적으로 가장 짧은 전송 지연 시간을 보여주는 것을 관찰 할 수 있다. 그렇지만 그림 5와 함께 보면 전송에 성공한 멀티케스트 패킷이 WiVCL에 비해서 확연하게 작다는 것을 알 수 있다.

VI. 결론

본 연구는 협력형 자율 주행 차량을 위한 IT융합기반 차량 자동유도 서비스를 위한 무선 고신뢰 멀티케스팅을 지원하는 WiVCL을 설계하고 시물레이션 하였다. 현재까지 주로 연구되는 독립형 자율 주행 차량은 다른 자율 주행 차량 및 인프라와의 협력 없이 독립적으로 모든 것을 센싱, 판단, 주행한다. 그렇지만 독립형 자율 주행 차량은 차량에 장착된 센싱 영역 이내의 차단(occlusion)이 없는 물체만을 센싱할 수 있기 때문에 센싱 영역이 제한된다. 자율 주행 차량이 통신을 통해 자신의 위치, 진행 방향, 속도 등을 이웃 차량에 알릴 수 있다면 센싱 영역 제한을 극복하고 보다 안전한 주행을 할 수 있다. 이러한 정보는 차량 제어에 직접 활용되는 정보로 예측 가능한 지연 시간 다수의 이웃 차량들에게 반드시 전송 되어야 한다. 우리는 WiVCL이라는 새로운 고신뢰 멀티케스트 MAC을 제안하였으며, IEEE 802.11p, BMW와 비교 시물레이션 하였다. 시물레이션 결과 WiVCL은 네트워크 트래픽이 증가하여도 99%의 멀티케스트 통신 성공과 12msec 이라는 예측 가능한 전송 지연 시간을 보여주었다. WiVCL은 슈퍼프레임 길이를 조정하여 응용계층에서 요구하는 고신뢰 멀티케스트링 차량 지원 대수와 멀티케스트링 패킷 전송 주기, 통신 지연 시간 등을 유연하게 조절할 수 있다.

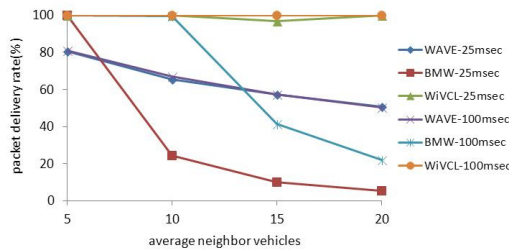


그림 5. 패킷 전송 성공률
Fig. 5. Packet Delivery Rate

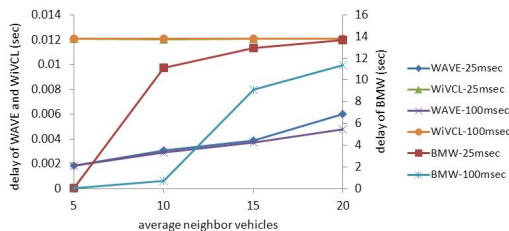


그림 6. 패킷 전송 지연 시간
Fig. 6. Packet Transmission Delay

References

[1] C. Urmson, *The self-driving car logs more miles on new wheels*, Googleblog, Aug., 2012, from <http://googleblog.blogspot.hu/2012/08/the-self-driving-car-logs-more-miles-on.html>

[2] J. Muller, *With driverless cars, once again it is california leading the way*, Forbes.com, Sep., 2012, from <http://www.forbes.com/sites/joanmuller/2012/09/26/with-driverless-cars-once-again-it-is-california-leading-the-way>

[3] J. B. White, *Auto makers accelerate efforts to develop self-driving cars*, The Wall Street Journal, Sept., 2013, from <http://online.wsj.com/news/articles/SB10001424127887323864604579067100731362272>

[4] D. Reuter, *Nissan announces unprecedented a utonomous drive benchmarks*, Nissannews.com. Aug., 2013, from <http://nissannews.com/en-US/nissan/usa/releases/nissan-announces-unprecedented-autonomous-drive-benchmarks>

[5] <https://standards.ieee.org/findstds/standard/802.11p-2010.html>

[6] G. Bianchi, L. Fratta, and M. Oliveri, "Performance evaluation and enhancement of the CSMA/CA MAC protocol for 802.11 wireless LANs," in *Proc. PIMRC*, pp. 392-396, Oct. 1996.

[7] K. Tang and M. Gerla, "MAC reliable broadcast in ad hoc networks," in *Proc. IEEE MILCOM*, pp. 1008-1013, Oct. 2001.

[8] M. T. Sun, L. Huang, S. Wang, A. Arora, and T. H. Lai, "Reliable MAC layer multicast in IEEE 802.11 wireless networks," in *Proc. Wirel. Commun. Mobile Comput.*, 2003.

[9] J. Kuri and S. K. Kasera, "Reliable multicast in multi-access wireless LANs," *Wirel. Netw.*, vol. 7, no. 3, pp. 359-369, 2001.

[10] W. Si and C. Li, "RMAC: A reliable multicast MAC protocol for wireless ad hoc networks," in *Proc. ICPP*, Aug. 2004.

김 정 속 (Jungsook Kim)



2001년 2월 : KAIST 전기및전
자공학과 학사 졸업
2004년 2월 : KAIST 전산학과
석사졸업
2004년~현재 : 한국전자통신연
구원 선임연구원 재직
<관심분야> 무선 통신 시스템,
무인 자율 주행 자동차

김 주 완 (Juwon Kim)



1993년 2월 : 부산대학교 컴퓨
터공학과 학사 졸업
1995년 2월 : 부산대학교 컴퓨
터공학과 석사 졸업
2004년 2월 : 충남대학교 컴퓨
터과학과 박사 졸업
1995년~현재 : 한국전자통신연
구원 책임연구원 재직

<관심분야> 자율주행, 영상처리

최 정 단 (Jeongdan Choi)



1993년 2월 : 중앙대학교 컴퓨
터공학과 학사졸업
1995년 2월 : 중앙대학교 컴퓨
터공학과 석사졸업
2005년 3월 : 충남대학교 컴퓨
터과학과 박사졸업
1995년~현재 : 한국전자통신연
구원 책임연구원 재직

<관심분야> 컴퓨터그래픽스 및 비전, 3D 모델링,
자동차IT융합시스템