

# 차량 간 통신에서 주기적 메시지를 위한 속도 기반의 자가 구성형 시분할 브로드캐스팅 방법

이 동근\*, 장 상우\*, 이 상선°

## Velocity based Self-Configuring Time Division Broadcasting Protocol for Periodic Messages in Vehicle-to-Vehicle Communication

Donggeun Lee\*, Sang-woo Chang\*, Sang-sun Lee°

### 요 약

차량 간 통신을 이용한 안전 서비스 제공을 위해서 차량 간에 서로의 위치정보 획득이 중요한 이슈가 되고 있다. 이를 위해서 주기적으로 메시지를 발생 시키고 주변 차량의 위치 변화를 감지하여 운전자에게 안전 서비스를 제공한다. 하지만 차량의 밀도가 높은 환경에서 주기적인 위치정보 메시지의 잦은 발생으로 인해 네트워크 채널이 포화 상태가 되어 송/수신에 문제가 발생한다. 본 논문은 시분할 슬롯을 이용하여 브로드캐스팅하며 차량의 속도를 이용하여 도로 위 차량 밀도를 예측하여 시분할 슬롯의 수, 전파세기를 조절하여 향상된 통신 상태를 만드는 방법을 제안한다. 네트워크 시뮬레이터를 통한 성능 평가 결과, 기존의 경쟁 모드에서 브로드캐스팅 했을 때 보다 수신율은 약 40%의 향상 보여주었고 채널 접근 시간은 10ms에서 0.23ms 로 감소한 것을 확인 할 수 있었다.

**Key Words** : Beacons, VANET, Congestion control, broadcast

### ABSTRACT

For vehicle safety-related services using wireless communications, reliable collection of various driving informations transmitted periodically by neighbor vehicles is the most important. Every host vehicle analyses them to estimate a potential dangerous situation in a very short time and warns drivers to prevent an accident. However tremendous amount of periodic messages can cause the wireless communication in chaos and the services not in safe. In this paper, we propose a time-division broadcasting protocol to mitigate the communication congestion. It utilizes the received information of vehicle velocity and location, i.e. vehicle traffic density on a road to adjust the number of time slots in a given broadcasting period, and transmission power. The simulation results show that message reception ratio is changed to approximately 40% and channel access time also decreased from 10ms to 0.23ms.

※ 본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업[10040990, UTIS 연동 통신기술 및 도심형 교통안전 지원 서비스 개발]의 일환으로 수행되었습니다.

※ 본 연구는 2014년도 두뇌한국21플러스사업의 일환으로 수행되었습니다.

• First Author : 한양대학교 전자컴퓨터통신학부 유비쿼터스통신 연구실, leedg81@hanyang.ac.kr, 학생회원

° Corresponding Author : 한양대학교 융합전자공학부 유비쿼터스통신 연구실, ssnlee@hanyang.ac.kr, 종신회원

\* 한양대학교 전자컴퓨터통신학부 유비쿼터스통신 연구실, inthewood78@naver.com

논문번호 : KICS2014-02-039, Received February 4, 2014; Reviewed February 17, 2014; Accepted March 20, 2014

## I. 서 론

최근 몇 년 동안 무선 통신 기술은 급격히 발전하고 있으며 발전된 무선 통신은 새로운 서비스와 시장을 창출하고 있다. 게다가 새로운 서비스는 우리의 일상생활과 산업에 많은 영향을 미치고 있다. 자동차 산업에서는 무선 통신을 이용하여 운전자와 승객을 위한 새로운 서비스를 제공하기 위한 연구 개발이 이루어지고 있다. IEEE 802.11p Working Group<sup>[1]</sup>에서는 802.11과 1609 표준을 결합한 차량 환경에 적합한 무선 통신 표준을 제정하였다. 이 표준을 WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments) 라 부르며 차량과 차량 그리고 차량과 노면장치 구간에 대한 통신 규약을 정의하고 있다. 최근 미국과 유럽을 중심으로 차량 간 통신 (Vehicle-to-Vehicle communications)을 이용한 안전 서비스를 개발하는 프로젝트<sup>[2]</sup>들이 수행되고 있다. 이들 프로젝트들은 안전 어플리케이션에 필요한 서비스 시나리오, 통신 요구사항, 메시지 형식 그리고 이를 바탕으로 구현 및 테스트 검증 등에 대해서 수행하고 정의하였다. 이를 이용한 다양한 서비스에 관한 연구<sup>[3,4]</sup>가 이루어지고 있다. 저자는 본 논문을 통해서 안전 서비스를 제공하기 위한 주기적 메시지(비콘) 브로드캐스팅 방법에 대해 논하고자 한다.

차량 간 통신에서 안전 서비스를 제공하기 위해서는 주기적 메시지 배포가 이루어져야 한다<sup>[2,18,19]</sup>. 주기적 메시지에는 차량의 상태 정보(예, 속도, 위치, 방향 등)를 포함하며 일반적인 교통 환경에서 짧은 주기로 생성되고 주고받아야 한다. 차량 간 통신에서는 이러한 주기적인 메시지 브로드캐스팅의 짧은 간격으로 인해 대규모 네트워크 혼잡과 충돌이 빈번히 발생할 수 있다. 이런 문제점들은 메시지 수신율을 감소시키고 심지어 주변 차량들에서 발생한 메시지도 수신되지 않는 경우가 발생할 수 있다. 이러한 상황을 브로드캐스트 스톱 문제라고 부른다<sup>[5]</sup>. 특히, 차량이 밀집한 도심 환경에서 주기적 메시지 교환으로 발생한 네트워크 혼잡은 긴급한 이벤트 발생 메시지의 전달을 방해한다. 이 경우 긴급 메시지 전파에 있어서 주변의 모든 차량이 긴급 메시지를 수신하기까지 기대 이상의 시간이 소요될 수 있다.

본 논문은 차량 간 통신에서 안전서비스를 위한 혼잡제어를 위해 차량의 속도를 이용해 밀도를 예측하는 능동형 시분할 브로드캐스팅 메시지 교환 절차를 제안한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 하나의 주기적 메시지가 보내질 때 소요되는 최대 시간 단위

를 비콘 슬롯 타임 (BST: Beacon Slot Time) 으로 정의하고 차량의 밀도에 따라 N개의 BST로 구성된 시분할 비콘 스케줄링을 통해 브로드캐스트 메시지 교환 시점을 분산시키도록 구성하였다. 제안 방법은 차량의 속도에 따라서 통신설정이 변경되는 방식이며 사전예방 방법에 속한다. 차량의 속도를 통해서 교통 밀도를 예측하기 때문에 속도의 변화가 큰 도심 환경이나 고속도로 정체 환경에서 유용한 방법일 것이다. 성능분석을 위하여 IEEE 802.11p 와 계층별 상세 분석 로고를 제공하는 NS-2<sup>[6]</sup> 시뮬레이터를 이용하여 성능을 검증하였으며 기본적으로 고속도로 시나리오를 이용하였다. 시뮬레이션 결과를 통해서 제안 프로토콜이 고밀도부터 저밀도의 차량환경까지 네트워크 부하를 조절할 수 있음을 확인하고자 하였다. 성능분석 결과, 제안하는 알고리즘은 기존 DCF(Distributed Coordination Function) 방식에 비해 전체적으로 약 40%의 높은 수신율을 보여주었으며, 차량의 밀도에 따라 전송세기의 조절을 통해서 수신율의 효율성 증가를 가져올 수 있다는 것을 확인하였다.

본 논문의 구조는 다음과 같다. 제2장에서는 최근의 관련연구를 기술할 것이며 제3장에는 시분할 슬롯을 이용한 주기적 메시지 교환 방법에 대해서 설명한다. 제4장에는 실험을 위한 환경 설정 및 시나리오에 대해서 서술한다. 제5장에서는 실험 결과에 대해서 평가하고 분석한다. 마지막으로 제6장에서는 본 연구에 대한 주요 결과 및 결론에 대해서 기술한다.

## II. 관련 연구

차량 네트워크 분야에서 안전 어플리케이션을 위한 많은 혼잡제어 알고리즘의 설계 및 분석이 이루어지고 있다. 본 장에서는 주기적 메시지 교환 방법에 관한 주요 연구 내용들을 소개한다. 주기적 메시지 브로드캐스팅에 따른 문제를 해결하기 위한 방법은 대표적으로 두 종류의 접근 방법으로 구분할 수 있다. 하나는 경쟁 기반이며 다른 하나는 스케줄 기반 방법이다.

많은 연구들에서 차량 네트워크의 충돌과 혼잡을 줄이기 위한 경쟁 기반의 알고리즘들을 제안하였다. Sepulcre 외 저자들<sup>[7]</sup>은 어플리케이션 기반의 혼잡 제어 정책으로 네트워크 부하를 줄이는 방법을 제안하였다. 이 방법은 주기적 메시지에 대한 문제를 다루고 있으며 어플리케이션에서 요구하는 전송세기와 패킷의 발생 주기를 통해서 혼잡을 조절하였다. 이 연구는 차선 변경 보조 어플리케이션을 대상으로 알고리즘을 설계하고 검증하였다. He 외 저자들<sup>[8]</sup>은 어플케이

선 계층에서 작동하는 적응적 혼잡 제어 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘 또한 발생 간격 조절 방법이며 MAC 계층에서 발생하는 직/간접적인 충돌 이벤트를 감지하여 작동하는 것이 특징이다. 저자들은 주기적 안전 어플리케이션과 이벤트 발생 안전 어플리케이션 모두를 고려한 연구를 진행하였다. Torrent-Moreno 외 저자들<sup>9)</sup>은 차량 네트워크 환경에서 주기적 메시지의 브로드 캐스팅으로 인한 충돌을 줄이기 위해서 전송 세기를 조절하는 방법을 제안하였다. 이 방법을 Distributed Fair Power Adjustment for Vehicular environments (D-FPAV) 라고 부르며 다음과 같은 절차로 작동한다. 각각의 노드들은 최대 수신 거리 안에 있는 모든 노드의 상태 정보를 수집한다. 그리고 각 노드들은 최적화된 전송 세기를 계산하여 메시지를 브로드 캐스팅한다.

다른 연구들에서는 차량 네트워크상에서 네트워크 부하를 줄이기 위해서 스케줄 기반의 접근 방식을 이용한 방법들을 제안하였다. Yu 외 저자들<sup>10)</sup>은 차량 간 통신 환경에서 차량 안전 서비스를 위해서 Time Division Multiple Access (TDMA) MAC 방법을 제안하였다. 이 방법은 차량들의 위치 및 움직임을 알고 있는 상태에서 작동하도록 설계되었다. 차량의 군집주행 상황에서 MAC 슬롯들은 차량의 상대적인 위치에 따라서 사용 슬롯이 할당된다. 이 방법은 Cooperative Collision Avoidance (CCA) 어플리케이션을 통해서 이벤트 발생 메시지 전달에 관해서 다루고 있다. Bai 외 저자들<sup>11)</sup>은 차량 네트워크상에서 혼잡을 줄이기 위해서 상황 인지 주기적 메시지 교환 스케줄 방법을 제안하였다. 이 방법은 시분할 기반의 주기적 메시지 스케줄링 방법에 포함한다. 그리고 주기적 메시지 발생 간격을 의미하는 Virtual Time Frame (VTF)을 정의하였으며 이것은 시간 슬롯을 구성하며 전송에 필요한 시간으로 설계하였다. 차량들은 주변 차량 상황(위치, 속도, 방향 등) 및 통신 부하 정보를 통해서 주기적 메시지 교환을 위한 시간 슬롯을 할당 받는다. 이 방법 또한 안전 어플리케이션에 따라서 VTF 를 100ms에서 500ms 까지 조절하는 내용을 포함하고 있다. 또한 배정규 외 저자들<sup>12)</sup>은 원활한 교통정보 수집을 위해 각 차량의 이동속도에 따라 시간 윗값을 설정하고 이를 전송하고자 하는 유니캐스트 패킷의 랜덤 백오프 시간과 결합하여 차량 이동속도 기반의 혼잡제어 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 비콘 브로드캐스트의 혼잡 제어를 위해 이동속도를 기반으로 차량의 밀도를 예측하며, 시분할 다중 접속(TDMA: Time Division Multiple Access) 스케줄링 기반의 방

법을 제안한다.

대부분의 알고리즘들은 경쟁 기반의 해결 방식을 따르기 때문에 높은 차량 밀도에서 메시지 간 충돌 확률이 높아 질 수 있다. 여러 알고리즘들은 실시간으로 혼잡제어를 수행하기 위해서 필요한 정보(차량 상태, 네트워크 상태, 등)를 수집해야만 한다. 하지만 최소한에 필요한 정보를 수집하기 위한 단계는 별도로 설명하고 있지 않았다. 따라서 본 논문에서 제안하는 방법은 스케줄 기반의 혼잡 제어 방식으로 네트워크 부하 조절을 위한 초기 정보 수집을 포함하고 있지 않는다. 본 논문에서는 차량의 운행 속도로부터 도로 위 차량 밀도를 예측하고 주기적 메시지 브로드캐스팅으로 발생하는 네트워크 부하를 조절하는 방법을 제안하고자 한다.

### III. 타임 슬롯을 이용한 주기적 메시지 교환 알고리즘

본 장에서는 제안하는 비콘 스케줄 알고리즘에 대해서 설명하고자 한다. 제안 알고리즘은 능동형 시분할 스케줄 형식의 방법으로써 다음과 같은 장점을 가진다. (1) 편의성: 자차 속도를 기준으로 하기 때문에 알고리즘을 적용하기 위한 사전 정보(예, 노드의 위치 및 속도 정보 등) 획득 절차가 없다. (2) 공평성: 서로 다른 타임 슬롯을 통해서 동시에 비콘 메시지 전파되는 것을 제한한다. (3) 적응성: 다양하게 변화하는 차량에 속도에 맞추어서 적합한 통신환경을 설정한다.

#### 3.1 안전 서비스와 WAVE 통신 표준

VSC-A 프로젝트는 통신을 이용한 차량 간 (V2V: vehicle-to-vehicle) 안전 서비스에 대해서 개발하였고 새로운 통신 기반의 안전 어플리케이션을 설계하였다. 본 프로젝트에서는 차량 간 네트워크에서 안전 어플리케이션이 올바른 서비스를 제공하기 위해서는 초당 10회의 위치정보 교환이 선행되어야 한다고 권장하고 있다. 따라서 각각의 메시지들은 100ms 간격으로 생성되고 전달되어야한다. 이 시간 간격을 브로드캐스트 간격이라고 부른다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 VSC-A 프로젝트에서 제안한 메시지를 기준으로 주기적 메시지 크기와 내용을 정의하고자 한다.

제안 알고리즘은 단일 안테나를 이용하는 장비를 통해서 무선 채널에 접근한다고 가정하고 교대접근 (Alternating Access) 방식으로 컨트롤 채널 (CCH: Control Channel) 과 서비스 채널 (SCH: Service Channel) 을 사용하는 상황 하에서 작동하는 것으로

고려하였다. WAVE/1609.4 표준<sup>[12]</sup>에서 교대로 무선 채널에 접근(Alternating Channel Access)할 경우 100ms 간격으로 컨트롤 채널과 서비스 채널이 모두 접근할 수 있도록 권고하고 있다<sup>[2]</sup>. 즉, 그림 1과 같이 컨트롤 채널 50ms 와 서비스 채널 50ms 의 채널 사용 시간을 보장하고 있는 것이다. 하지만 채널이 변경되면서, 컨트롤 채널에서 서비스 채널로 혹은 서비스 채널에서 컨트롤 채널로 변경될 때, MAC 계층의 동기화를 위해서 Guard Interval 시간을 두고 있다. 해당 시간은 4ms 로 WAVE에서 정의하는 서비스 제공자와 사용자 간의 MAC 계층의 채널 변경 동기화에 필요한 최소한의 시간을 보장하고 있다.

결과적으로 50ms 의 채널 점유시간이 있지만 Guard Interval 을 제외하면 실제 메시지 교환에 사용될 수 있는 시간은 46ms 가 된다. 따라서 제안 알고리즘은 해당 무선 채널의 동기화된 각 46ms 시간동안 주기적 메시지를 전송을 위한 시분할 스케줄링 알고리즘을 설계하였다.

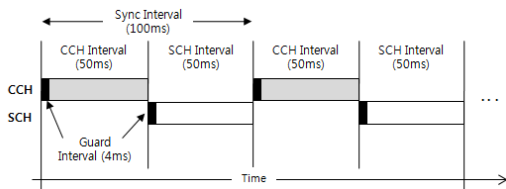


그림. 1. WAVE 표준의 Alternating Channel Access 방법  
Fig. 1. Alternating Channel Access mechanism in WAVE

### 3.2 주기적 메시지 문제 정의 및 제안 알고리즘의 시분할 브로드캐스팅 방법

일반적으로 도심지역과 같이 많은 차량이 존재하는 지역에서 안전 서비스를 제공하기 위해서 100ms 간격으로 주기적 메시지를 브로드캐스팅 한다면, 수많은 메시지들이 충돌을 일으켜 수신하기 어려울 것이다. 이러한 문제를 브로드 캐스트 스톱 문제라고 부른다<sup>[5]</sup>. 안전 어플리케이션들은 주변 차량들의 정보를 거의 수신하지 못하게 된다. 이러한 경우, 통신 기반의 안전 어플리케이션들이 정상적으로 작동하기 어렵다. 즉, 차량 밀도가 높은 곳에서는 주기적 메시지의 수신율을 낮아지게 한다. 이러한 문제를 주기적 메시지 문제로 정의하고자 한다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 시분할 다중 접속 (TDMA: Time Division Multiple Access) 방식과 스케줄 기반 방법에 속한다. 시분할 슬롯의 효율성은 Slotted Aloha 방식을 통해서 확인할 수 있다<sup>[13]</sup>. 제안

알고리즘은 비콘 슬롯을 정의하여 주기적 메시지 문제를 해결한다. 하나의 주기적 메시지가 보내질 때 소요되는 최대 시간을 비콘 슬롯 타임 (BST: Beacon Slot Time) 이라 부르며 전송시간과 최대 랜덤 백오프 시간 영역으로 구성되어 있다.

전송시간은 전송률과 주기적 메시지의 크기에 따라서 결정이 된다. 본 논문에서는 주기적 메시지의 크기를 378 Bytes 로 정하고 전송률을 6 Mbps로 기본 값 정의를 하였다. 이러한 메시지의 크기와 전송률은 VSC-A 통신 요구사항<sup>[2]</sup>을 참고하였다.

최대 랜덤 백오프 시간 설정은 다음 기준에 근거한다. WAVE 통신 표준은 802.11에 기반을 둔 통신 프로토콜이기 때문에 무선 채널에 접근하기 위해서는 랜덤 백오프 접근 방법을 따른다. 특히 WAVE의 경우 우선순위에 기반을 둔 QoS (Quality of Service)를 제공하는 802.11e<sup>[14]</sup>의 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) 무선매체 접근 방법을 사용하며 우선순위 구분을 위한 AC(Access Category)에 대해서 아래 표 1과 같이 설명하고 있다. 본 제안 방법에서 주기적 메시지는 AC1 (AC\_BK)의 AIFN (Arbitration Inter-Frame Space Number)과 CWmin 값을 따른다. 따라서 비콘 슬롯 타임(BST)은 CWMin 과 AIFSN1 의 SlotTime 으로 최대 랜덤 백오프 타임을 정의하고 주기적 메시지의 크기(S)를 비트단위로 변경하여 이를 전송률(R)로 나누었을 때 소요시간을 전송시간이라고 한다. 이 내용을 아래 수식 (1)로 정리하였다.

$$BST = (CWMin + AIFSN[1]) \cdot Slot Time + \frac{8 \cdot S}{R} \quad (1)$$

비콘 슬롯 타임을 구성하는 전송시간을 구하기 위해 전송률과 메시지의 크기는 VSC-A의 서비스 요구사항<sup>[2]</sup>을 참고하였다. 다른 구성 요소인 최대 랜덤 백오프를 계산하기 위해서 EDCA 파라미터 값 및 슬롯 타임에 대해서는 WAVE/802.11p<sup>[1]</sup> 표준을 참고하였다

표. 1. Access Category 별 EDCA 파라미터 셋  
Table. 1. EDCA parameter set in ACs

| ACI | AC    | CWmin          | CWmax          | AIFSN | TXOP Limit |
|-----|-------|----------------|----------------|-------|------------|
| 1   | AC_BK | aCWmin         | aCWmax         | 9     | 0          |
| 0   | AC_BE | (aCWmin+1)/2-1 | aCWmax         | 6     | 0          |
| 2   | AC_VI | (aCWmin+1)/2-1 | aCWmax         | 3     | 0          |
| 3   | AC_VO | (aCWmin+1)/4-1 | (aCWmin+1)/2-1 | 2     | 0          |

다. 따라서 각각의 값들을 대입하여 비콘의 길이가 378byte<sup>[2]</sup> 일 때 전송시간을 계산하면 504 $\mu$ s 가 되고 최대 랜덤 백오프 시간은 312 $\mu$ s가 된다. 결국엔 하나의 주기적 메시지를 브로드 캐스트하기 위해서는 816 $\mu$ s 의 시간이 필요한 것이다. 하지만 랜덤 백오프의 경우 최댓값보다 작은 값이 나올 수 있으므로 816 $\mu$ s 이내에 메시지 전송이 종료 될 것이다.

따라서 이렇게 만들어지는 비콘 슬롯은 컨트롤 채널 또는 서비스 채널의 50ms 시간 동안 Guard Interval을 제외한 46ms 시간동안 총 56개의 시분할 슬롯을 만들 수 있으며, 그림 2와 같이 설명할 수 있다.

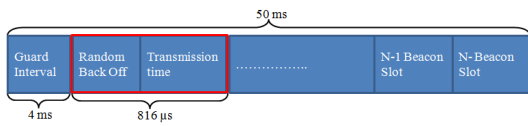


그림. 2. N-비콘 슬롯에 대한 예  
Fig. 2. An example of the N-beacon slot

### 3.3 속도와 차량 밀도와의 연관성

제안하는 알고리즘은 모든 차량들이 주기적 메시지를 브로드 캐스트하기 위해서 스스로 비콘 슬롯을 할당하도록 설계하였다. 즉, 어느 슬롯을 통해서 채널을 점유하고 브로드 캐스팅을 할 것인지를 차량 내 랜덤 변수에 의해서 결정을 짓는 것이다. 차량의 움직임 변화가 크기 때문에 차량의 네트워크 내에 진입 출력이 빈번할 것으로 예상된다. 또한 슬롯할당 방식을 임시적 할당 방식으로 진행할 예정이다. 임시적 할당 방식은 시뮬레이션 시간동안 계속적으로 슬롯을 변경하여 실험하는 것을 의미한다.

이렇게 슬롯을 할당하여 혼잡을 조절하지만 실제 환경에서는 초기 제안한 슬롯 수 56개 보다 많은 차량이 도로위에 운행 중이다. 따라서 슬롯의 수 보다 낮은 운행 차량 수가 되어야 제안 알고리즘의 효율성이 높아지게 된다. 만약 차량의 수가 56대 이상이 된다면 무선 채널이 포화 상태가 되고 주기적 메시지로 인한 네트워크 부하 증가 문제가 발생하게 된다. 따라서 이런 문제를 예측하기 위해서 밀도에 따른 통신 설정 변수들을 조절하고자 한다. 또한 문제 예측에 필요한 차량 밀도를 계산하기 위해서 본 알고리즘은 차량 속도가 현재의 교통 상황을 반영한다고 가정한다. 즉, 차량 속도가 느릴 경우 차량 간의 거리가 가까워지고 속도가 빠를수록 다시 차량 간 거리는 멀어 진다고 정의하는 것이다<sup>[15]</sup>.

제안 알고리즘에서는 속도에 따른 최소 안전거리

(MSD: Minimum Safety Distance)<sup>[16]</sup> 공식을 이용하여 도로 상에서 차량의 밀도를 예측하고자 한다. 해당 공식은 차량 속도( $u_i$ ), 운전자 반응시간( $t_{PRT}$ ), 노면-타이어 마찰계수( $f$ ), 도로 경사( $G$ ), 그리고 중력감속도( $g$ ) 등으로 구성되어 있으며 그 식은 수식 (2)와 같다.

$$MSD = u_i \cdot t_{PRT} + \frac{u_i^2}{2 \cdot g \cdot (f + G)} \quad (2)$$

제안 알고리즘은 수식 (2)를 통해서 속도에 따른 차량 간 거리를 계산하고 이렇게 계산된 거리를 통해서 km 당 차량의 밀도를 예측하고자 한다. 각각의 차량들은 자차의 속도를 이용한 계산된 밀도에 따라서 통신 설정을 조절한다. 표 2를 통해서 속도에 따른 차량 밀도를 정리하였다. 최소 안전거리의 변수 값은 다음과 같다. 운전자 반응시간(PRT): 2초, 노면-타이어 마찰계수( $f$ ): 0.4, 도로경사( $G$ ): 0 으로 설정하였다.

표 2와 같이 예측된 밀도는 이상적인 환경에서 유효할 것이나 운행 환경 및 운전자의 주행 습관에 따라 실제 차량의 밀도와의 차이가 존재할 수 있다. 하지만 주변 차량의 비콘 전송 범위에 새로 진입하거나 네트워크 혼잡 등으로 인해 주변 차량으로부터 비콘을 수신 받을 수 없는 경우도 주변 차량의 밀도 예측이 가능할 것이다. 향후 차량 네트워크 상태를 기반으로 속도 기반의 밀도 예측을 보정할 수 있는 알고리즘에 대한 연구가 추가되어야 할 것이다.

표. 2. 속도에 따른 최소 안전거리 및 차량 밀도  
Table. 2. The minimum safety distance and the predicted density by the velocity

| Velocity [km/h] | Minimum Safety Distance [m] | Predicted Density [veh/(km · lane)] |
|-----------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| 10              | 6.5                         | 153                                 |
| 17              | 12.2                        | 81                                  |
| 20              | 15                          | 66                                  |
| 30              | 25.5                        | 39                                  |
| 50              | 52                          | 19                                  |
| 80              | 107.4                       | 9                                   |
| 100             | 153.9                       | 6                                   |

### 3.4 주기적 메시지를 위한 속도 기반의 능동형 시분할 브로드캐스팅 알고리즘

1,2,3 절을 통해서 제안 알고리즘의 기본 구조와 속도에 따른 차량 밀도의 연관성을 분석해 보았다. 본 4 절에서는 차량의 속도와 안전 서비스에 따라서 통신 환경 설정이 조절되어야 하는 변수들과 본 논문에서

제안하는 주기적 메시지 교환을 위한 속도 기반의 시분할 브로드캐스팅 알고리즘에 대해서 설명한다.

대부분의 안전 서비스들은 실시간으로 잠재적인 위험요소를 판단하고 그것을 운전자에게 알려주는 것이 목적이다. 대표적으로 사각지대 경고(BSW: Blind Spot Warning), 차선변경 경고(LCW: Lane Change Warning) 그리고 전방추돌 경고(FCW: Forward Collision Warning) 등이 있다. 위와 같은 서비스들은 운전자에게 잠재적인 위험을 알리기 위한 판단을 위해서 근거리 차량의 위치정보를 더 중요하게 생각한다. 즉, 안전 서비스를 제공하기 위해서는 주변 차량의 위치정보가 원거리 차량의 위치정보 보다 중요한 것이다. 따라서 차량들이 낮은 속도로 운행할 경우, 전송 세기를 조절하여 메시지 도달 범위를 줄여 주변 차량의 정보 수집에 집중할 필요가 있다. 제안 알고리즘은 속도에 따른 차량 간 거리에 기반을 둔 혼잡 제어 알고리즘이므로 속도가 느려질 경우 전송 세기를 조절하여 1-hop 내의 차량 수를 조절하고자 한다. 또한 전송률을 증가시켜 시분할 간격을 유동적으로 적용하여 비콘 슬롯의 수를 증가시킨다. 마지막으로 차량의 이동 속도가 느릴 경우 움직임의 변화가 적으므로 주기적 메시지의 발생 간격을 조절하여 네트워크 혼잡을 방지하고자 한다.

본 논문에서 제안하는 주기적 메시지 교환을 위한 시분할 브로드캐스팅 알고리즘은 그림 3과 같다. 본 알고리즘은 동기화된 매 시분할 스케줄링 주기(SI: Scheduling Interval) 마다 수식 (1)과 같이 설정된 BST 단위로 시분할 스케줄링을 수행하고 각 차량은 분할된 BST 중 임의의 랜덤 슬롯에서 비콘 메시지를 전송하도록 구성되어 있다. 본 논문에서는 그림 1과 같이 50ms 단위로 교대로 채널에 접근하는 방식을 이용하여 시분할 스케줄링의 주기를 50ms로 설정하였고 그 중 Guard Interval의 4ms를 제외한 46ms에 대해 BST 분할을 수행하였다.

각 차량은 전송하고자하는 비콘 메시지가 존재하고 이전 시분할 스케줄링 주기(SI<sub>t-1</sub>)가 완료되었다면, 시분할 스케줄링을 수행한다. 먼저, 차량의 현재 속도에 따른 주변 차량의 밀도(Den)를 수식 (2)와 표 2와 같이 산출한다. 그 뒤 수식 (1)에 따라 BST를 설정하고 현재의 시분할 스케줄링 주기(SI<sub>t</sub>)를 N개의 BST로 시분할 한다. 만약 산출된 차량의 밀도가 BST 개수 N 이상인 경우, 네트워크 혼잡이 예상되므로 전송범위를 줄임으로써 혼잡을 미연에 방지할 수 있다. 전송범위는 1-hop 이상의 비콘 전송이 요구되므로 표 2의 차량 안전거리(d<sub>veh</sub>)를 초과하는 범위로 설정되어야 한다.

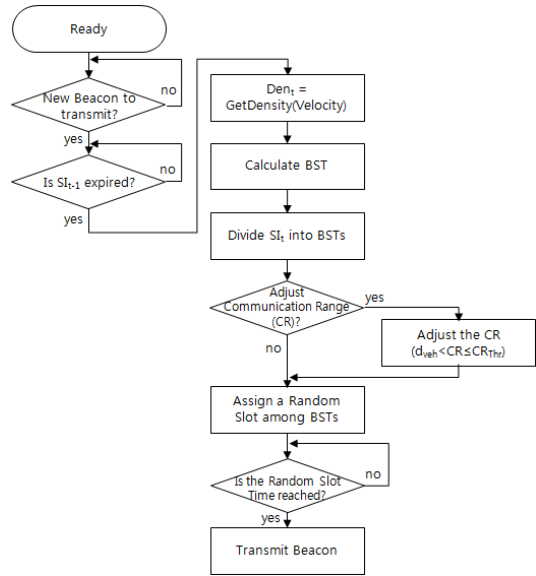


그림. 3. 주기적 메시지 교환을 위한 시분할 브로드캐스팅 알고리즘

Fig. 3. Velocity based Self-Configuring Time Division Broadcasting algorithm for Periodic messages transmission (BST: Beacon Slot Time; CR: Communication Range to broadcast; CR<sub>thr</sub>: the maximum Communication Range Threshold; Den<sub>t</sub>: Density which is determined in SI<sub>t</sub>; d<sub>veh</sub>: Distance among neighbor vehicles which is estimated with velocity; SI<sub>t</sub>: the current Scheduling Interval; SI<sub>t-1</sub>: the last Scheduling Interval)

각 차량은 시분할 된 BST 중 임의의 랜덤 슬롯을 선택하여 랜덤 슬롯 타임에 도달하면 비콘을 전송한다.

결론적으로 그림 4와 같이 매 50ms의 시분할 스케줄 주기 내에서 비콘이 전송되므로 차량 간 네트워크의 혼잡을 줄이면서 최대 100ms의 주기<sup>[2]</sup>를 만족하는 주기적 비콘 메시지 전송이 가능하도록 구성하였다.

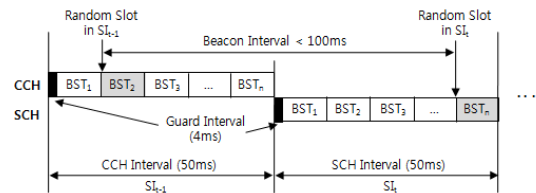


그림. 4. 시분할 스케줄링 주기에 따른 비콘 전송 주기의 예시  
Fig. 4. The example of a correlation between the TDMA scheduling interval and the beacon transmission interval

#### IV. 시뮬레이션 설정 및 실험 환경

본 장에서는 네트워크 시뮬레이터 ns-2.34<sup>[6]</sup>를 이용하여 제안한 알고리즘에 대해서 성능평가를 하고자

한다. 본 장에서는 MAC과 PHY 계층의 설정 값과 실험 환경에 필요한 통신 설정에 대해서 설명한다. 추가로 제안 방법을 평가하기 위한 실험 시나리오 및 설정 값에 대해서 정의하고자 한다.

#### 4.1 시뮬레이션 설정

기본적으로 고속도로 시나리오 환경에서 모든 차량은 WAVE 장비가 설치되어 있고 초당 10회의 주기적 메시지를 발생시킨다. 4차선 도로 위에 차량들이 배치되어 있는 상황으로 가정한다. 주기적 메시지의 크기는 378 Bytes 이고 최대 전송세기는 100 mW 로 설정한다. 통신 전송률은 6 Mbps 이며 QPSK (Quadrature phase-shift keying)의 coding rate 1/2 변조 방식으로 설정할 것이다. 이와 같은 통신 설정은 VSC-A<sup>[2]</sup>에서 요구하는 통신 요구사항을 따른 것이다. IEEE 802.11p 의 최소 경쟁 윈도우 값은 15 로 설정하였다. 나머지 MAC과 PHY 의 세부 설정 값은 표 3에 정리하였다.

WAVE/802.11p의 기준 주파수가 5.9GHz 이며 채널의 기본 대역폭이 10MHz 이기 때문에 CS Thresh, Noise\_floor, Slot time, SIFS time, Symbol duration 등의 값들이 일반적인 20MHz 의 채널 대역폭을 갖는 802.11 표준의 값들과 다르게 설정된다.

표. 3. 시뮬레이션을 위한 802.11p MAC/PHY 세부 설정 값  
Table. 3. The configuration of simulation parameters based on 802.11p MAC/PHY

| Parameters                 | Values |
|----------------------------|--------|
| Frequency [GHz]            | 5.9    |
| Data Rate [Mbps]           | 6      |
| CS Thresh [dBm]            | -82    |
| Noise_floor [dBm]          | -99    |
| Slot time [ $\mu$ s]       | 13     |
| SIFS time [ $\mu$ s]       | 32     |
| Symbol duration [ $\mu$ s] | 8      |

#### 4.2 실험 환경

제안하는 방법을 실험하기 전에 본 논문에서는 802.11에서 사용하는 기본적인 무선 매체 접근 방법인 DCF (Distributed Coordination Function) 방법을 통해서 주기적인 메시지 교환 실험을 진행하고자 한다. 시뮬레이션 차량들은 1km 거리의 4차선 도로에 20~320대의 수(차선 당 5~80대)로 배치하였다. 각각의 차량들은 초당 10회의 주기적 메시지를 브로드캐스트 시키고 상대방의 메시지를 수신한다. 다양한

전송범위에 따른 시뮬레이션의 영향을 알아보기 위해서 다양한 전송세기에 따른 전송범위<sup>[21]</sup>를 설정하였다. 즉, 3종류의 전송세기를 사용하는데 100, 1, 0.1 mW 로 조절하면서 각 1000, 100, 50 meter의 전송범위를 설정하였다. 제안 방법을 평가하기 위해서 비콘 슬롯타임(BST)은 816  $\mu$ s 로 설정하며 해당 내용은 III장의 2절에서 설명하였다. 시분할 된 BST 중에서 주기적 메시지를 브로드캐스팅하기 위한 슬롯을 할당하는 방법은 주기적 메시지를 브로드 캐스팅 할 때마다 스케줄링 주기 내에서 매번 랜덤으로 슬롯을 변경하는 랜덤 할당 방식을 사용하였다.

본 실험에서는 802.11p의 MAC과 PHY 계층을 지원하는 NS-2 DSRC (Dedicated Short-Range Communications)<sup>[17]</sup> 확장버전을 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 또한 확장버전에서는 Nakagami 전파 모델을 지원하며, 이 모델의 경우 도심과 고속도로 환경에서의 전파 모델에 대한 세부적인 설정이 가능하다<sup>[17]</sup>. 통계적인 결과를 얻기 위해서 10회 이상의 서로 다른 임의의 시드(SEED)값을 이용하고 시뮬레이션 시간은 15초 동안 진행 되었다. 자세한 설정은 표 4에 정리하였다.

주기적 메시지에 대해서 수신율과 평균채널 접근 시간에 대한 통계자료를 작성해야한다. NS-2 의 경우 PHY 계층의 패킷 수신 실패에 관한 세부 항목을 제공한다. 수신율을 계산 할 때는 낮은 수신세기로 발생하는 PND(최소 수신 세기보다 낮은 경우), DND(최소 수신세기 보다 높으나 데이터를 분석하기에는 낮은 세기인 경우)<sup>[9]</sup>에 항목에 대한 수신 실패 항목은 제외하고 계산한다. 즉, 전체 수신된 메시지와 수신세기를 만족하지만 다른 이유로 인해 수신하지 못한 메

표. 4. 시뮬레이션을 위한 시나리오 환경 설정 값  
Table. 4. The configuration of simulation scenarios

| Parameters                         | Values            |
|------------------------------------|-------------------|
| Number of lanes                    | 4                 |
| Vehicle density [Cars/(km · lane)] | 5, 10, 20, 40, 80 |
| Propagation model                  | Nakagami          |
| Data rate [Mbps]                   | 6                 |
| Minimum contention windows         | 15                |
| Packet size [byte]                 | 378               |
| Beacon interval [ms]               | 100               |
| Street length [m]                  | 1000              |
| Communication Range [m]            | 1000, 100, 50     |



시지를 기준으로 수신율을 계산하였다. 평균 채널 접근 시간은 Agent 계층에서 발생한 메시지가 PHY 계층을 통해서 발송될 때까지의 시간으로 계산하였다.

### V. 성능평가 결과 및 분석

본 장에서는 제안 알고리즘과 비교 대상에 대한 실험을 진행한 결과에 대해서 분석하였다. 제안 알고리즘은 주기적 메시지의 효율성을 위해 단계 별로 통신 설정을 조절하면서 실험을 진행하였다.

#### 5.1 IEEE 802.11p DCF 기반의 비콘 브로드캐스팅

전 장에서 언급한 대로 실험 시나리오는 4차선의 고속도로 환경이며 모든 차량은 무선 통신 장치를 이용하는 것으로 구성하였다. 각 차량들은 내부 네트워크 통신(예, CAN: Controller Area Network, Ethernet 등)을 이용해서 차량의 속도 정보를 획득할 수 있어야 한다. 그리고 주기적으로 초당 10회의 비콘 메시지를 브로드 캐스팅해야 한다.

그림 5는 차량의 밀도 및 전송 세기에 따른 주기적 메시지의 수신율을 나타낸 것이다. 이 실험은 DCF 방법을 이용한 무선 매체 접근이며 목적은 동일한 실험 환경 하에서 제안 알고리즘과의 비교하기 위한 기준 자료를 얻기 위함이다. 차선 당 차량의 수가 5에서 10 대(즉, 전체 차량 수가 20에서 40대 인 경우)로 밀도가 낮고 전송범위가 40m의 경우 다른 실험결과보다 상대적으로 높은 수신율을 나타내고 있다. 그 이유는 낮은 밀도로 인해 전후방 차간 거리가 길어지고 짧은 전송범위로 인해서 대부분 옆 차선에 위치한 차량들

간의 주기적 메시지 교환 성공률을 나타내었기 때문이다. 실제로 동일 차선에 위치한 차량들 간에는 수신 세기 미달(PND)로 메시지가 버려진 것을 로그 분석을 통해서 확인 할 수 있었다. 신뢰성 있는 안전서비스를 위해서는 비콘이 동일 차선 내의 주변 차량들에게 반드시 전달되어야 하므로 높은 수신율에도 불구하고 이러한 결과는 큰 의미가 없는 것으로 판단된다.

차선 당 차량의 수가 10에서 80으로 밀도가 증가되었고 전체적인 수신율은 평균 27.33% 를 보여주었으나 차선 당 차량의 밀도가 20을 넘어가면서 수신율은 급격히 떨어지는 것을 나타내고 있다. 또한 차량의 밀도가 증가 될수록 수신율도 계속 떨어지고 있음을 확인하였다. 특히, 차량의 밀도가 높아지면서 넓은 전송 범위에 따라 수신율이 감소되는 경향이 발생하였다. 왜냐하면 차선 당 차량 밀도가 20이 되면서 차량 간격이 50m 내외로 배치되고 4차선 도로 환경으로 인해서 혼잡이 가중되기 때문으로 분석된다. 차선 당 차량의 수가 80대인 경우 전송범위가 1000m 일 경우 4.51%, 그리고 50m 일 경우 10.48% 로 전송범위가 짧은 경우 밀도가 높을 때 효율을 높일 수 있음을 간접적으로 확인 할 수 있다.

그림 5는 밀도가 높아질수록 전송세기에 따른 수신율의 변화가 비교적 일정하게 나타나고 있음을 확인 하였다. 비록 VSC-A 프로젝트에서는 권장 전송 세기를 100 mW로 명시하였지만 차량이 많아지고 밀도가 올라가는 경우에는 전송 세기를 조절하여 가장 혼잡이 적은 전송세기를 결정하여 전송범위를 조절해야 할 것이다. 제안 방법은 차량의 이동 속도를 이용하여 밀도를 예측할 것이기 때문에 속도가 느리다면 전송 세기를 조절 하도록 할 것이다.

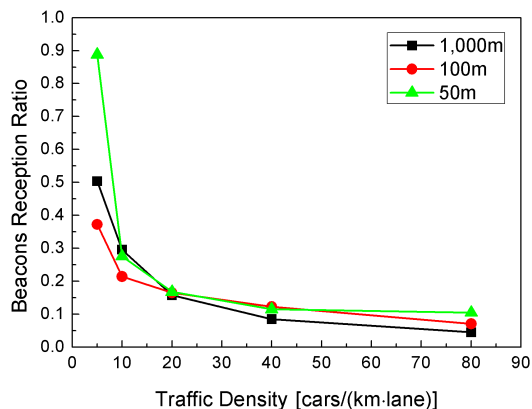


그림 5. DCF 방식에서 비콘의 수신율  
Fig. 5. Beacons Reception Ratio by using the DCF mechanism

#### 5.2 주기적 메시지 교환 방법의 성능 평가

제안 알고리즘의 성능 평가를 위해서 주기적 메시지의 수신율과 평균 무선 채널 접근 시간을 이용하였다. 주기적 메시지 (비콘) 수신율은 다양한 교통 밀도에 따른 효율성을 검증할 때 사용될 것이다. 무선 채널 접근 시간(CAT: Channel Access Time) 은 무선 채널의 부하를 확인 하는 목적으로 사용될 것이다. 본 논문에서는 두 가지 통계 지표를 통해서 혼잡 제어와 네트워크 상태에 관해서 분석하고자 한다. 그림 6은 제안 알고리즘의 비콘 메시지 수신율을 나타낸 결과이다.

차선 당 차량의 수가 5에서 10대(즉, 전체 차량 수가 20에서 40대 인 경우)로 밀도가 낮고 전송범위가 40m의 경우 높은 수신율을 나타내고 있다. 그 이유는



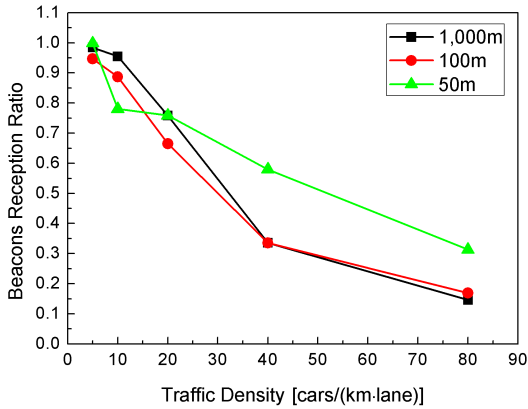


그림 6. 임시적 슬롯 할당 방식에서 비콘의 수신율  
Fig. 6. Beacons Reception Ratio by using the proposed algorithm

위의 DCF 방식의 실험 결과와 마찬가지로 낮은 밀도로 인해 전후방 차간 거리가 길어지고 짧은 전송범위로 인해서 대부분 옆 차선에 위치한 차량들 간의 주기적 메시지 교환 성공률을 나타내었기 때문이다.

전송범위가 1000m 인 경우 차선 당 차량의 수가 20 이 되기 전까지 다른 전송세기 보다 높은 수신율을 보여주고 있다. 차선 당 차량의 수가 20 이라는 것은 속도에 따른 밀도 예측 기준을 적용하면 대략 50km/h 에 해당하는 수치이다. 즉, 속도에 따른 밀도 예측이 오차 범위 내에 존재한다면, 50km/h 이상의 주행 속도에서 넓은 전송범위로 메시지를 전송하는 것이 유리할 것이다. 제안하는 알고리즘의 전체 수신율은 DCF 기반의 실험 결과 보다 40.3% 높은 수신율을 보여주었다. 이는 제안하는 알고리즘의 시분할 스케줄링을 통해 높은 밀도에서도 비콘 전송에 대한 경쟁을 줄이고 충돌을 사전에 회피했기 때문으로 판단된다. 차량의 밀도가 80이 되었을 경우에는 네트워크 혼잡으로 인해 수신율이 급격히 떨어지는 것을 보여주었으나 차선 당 차량의 수가 80대인 경우 전송범위가 1000m 일 경우 14.61%, 그리고 50m 일 경우 31.37%로 이전 DCF 기반의 실험 결과에 비해 크게 향상된 성능을 보여주었다. 또한, 그림 6의 그래프 곡선 중 전송범위가 50m 의 경우를 보았을 때 차량 밀도 80 의 경우에서도 31.37%의 상대적으로 높은 수신율을 보여주었다. 즉, 전송세기의 조절을 통해서 수신율의 효율성 증가를 가져올 수 있다는 것을 보여주고 있는 것이다.

그림 7은 제안하는 알고리즘의 임시적 슬롯 할당 방식과 DCF 방식에서의 채널접근시간(CAT)을 비교하였다. 동일한 전송범위를 가질 때 제안하는 알고리

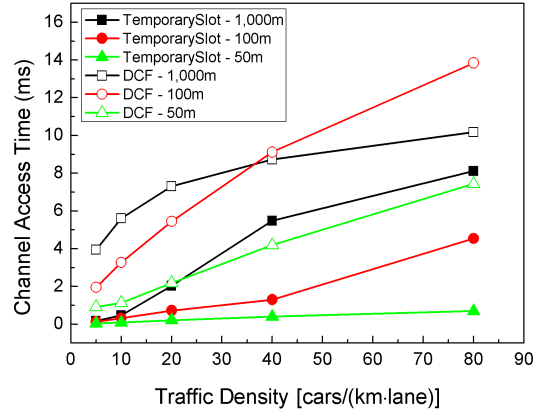


그림 7. 무선 매체 접근 방식에 따른 채널 접근 시간  
Fig. 7. A correlation of the Channel Access Time among the DCF, the proposed algorithm, and their communication ranges

즘이 DCF 방식 보다 짧은 채널접근시간을 보여준다. 또한, 전송범위가 짧을수록 동일 알고리즘에서 채널접근시간이 짧은 것으로 나왔다. 즉 수신율이 높을수록 네트워크 부하가 낮아 더 빨리 무선 매체에 접근할 수 있음을 보여주고 있다.

앞서 그림 5와 그림 6을 통해서 제안 알고리즘이 DCF 방식의 무선 매체 접근보다 효율적임을 확인할 수 있었다. 기존의 802.11 DCF 에서는 데이터를 보내기 위해서 서로 반복적인 접속 시도를 한다. 하지만 주기적 메시지 브로드 캐스팅의 경우 100 ms 가 지나 버리면 보내려는 데이터의 필요성은 상실하고 만다. 따라서 동시에 랜덤 백오프를 시작하지 않고 타임 슬롯을 통하여 백오프 시점을 분산하여 효율성을 높이는 방법을 제안 하고 실험하였다. 하지만 차선 당 차량의 수가 80이 되면서 수신율은 급격히 떨어지는 것을 확인하였다. 이것은 시속 20km 이하의 속도일 경우 예상되는 밀도이며, 밀도의 포화 상태에 따라 현재 알고리즘의 스케줄링 인터벌 내의 한정된 타임 슬롯을 가변적으로 스케줄링 해야 할 필요가 있을 것이다. 이를 위하여 상황에 따라 타임 슬롯을 시분할 스케줄링 하는 기법에 대한 연구가 보완될 필요가 있다.

## VI. 결 론

차량 통신 시스템에서 안전 서비스를 제공하기 위해서 주기적 메시지(비콘)의 교환이 필요하다. 제안 알고리즘을 통해서 차량 간 통신에서 속도 기반 능동형 시분할 브로드캐스팅 방법을 다루고 있다. 따라서 비콘 슬롯 타임(BST: Beacon Slot Time)을 정의하였

으며 이 시간은 MAC 계층의 백오프 시간과 PHY 계층의 전송 시간을 고려하였고 차량의 속도에 따라서 조절될 수 있도록 설계하였다. 제안 방법은 고밀도의 차량 환경에서 주기적 메시지의 브로드캐스팅에 따른 혼잡과 충돌을 줄이는 것이다. 본 논문에서는 수신율과 채널접근 시간을 개선하기 위해서 전송세기에 따른 메시지 전송범위를 조절하며 실험하였다. 802.11의 기본 채널 접근 방법인 DCF 방식의 실험 결과와 비교하여 수신율은 약 40%의 향상 보여주었고 채널 접근 시간은 10ms에서 0.23ms로 감소한 것을 실험 결과를 통해서 확인 할 수 있었다.

제안 방법은 차량 속도의 변화를 기준으로 교통 밀도를 예측하여 효과적인 통신환경을 제공하는 것을 목표로 삼았다. 정체, 서행 그리고 원할 등의 다양한 교통상황에서 속도를 기준으로 능동적으로 조절하는 제안 방법의 특징은 고속도로 환경에서 뿐만 아니라 복잡한 차량의 이동 패턴을 갖는 도심환경에서 유용한 방법이 될 것으로 판단된다. 향후에는 이러한 속도 기반의 밀도 예측의 오차를 보정할 수 있는 방법에 대한 연구가 추가될 것이다.

### References

[1] IEEE, "Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications amendment 6: Wireless access in vehicular environments," IEEE Standard 802.11p-2010, pp. 1-51, Jul. 2010.

[2] Vehicle Safety Communications Consortium (VSCC), "VSC-A final report," Sept. 2011.

[3] J. Cha, J. I. Jung, S. W. Chang, and S. S. Lee, "RFID based the SME algorithm for the multi-lane-supported ETCS," *J. KICS*, vol. 37C, no. 1, pp. 8-16, Jan. 2012.

[4] H. S. Seo, J. S. Jung, and S. S. Lee, "Scenario and network performance evaluation for a do not pass warning service based on vehicle-to-vehicle communications," *J. KICS*, vol. 38C, no. 3, pp. 227-232, Mar. 2013.

[5] O. K. Tonguz, N. Wisitpongphan, J. S. Parikh, F. Bai, P. Mudalige, and V. K. Sadekar, "On the broadcast storm problem in ad hoc wireless networks," in *Proc. Broadband Commun. Netw. Syst.*, pp. 1-11, San Jose, CA, Oct. 2006.

[6] Network Simulator ns-2, from <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>

[7] M. Sepulcre, J. Gozalvez, J. Härri, and H. Hartenstein, "Application-based congestion control policy for the communication channel in VANETs," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 14, no. 10, pp. 951-953, Oct. 2010.

[8] J. He, H. Chen, T. M. Chen, and W. Cheng, "Adaptive congestion control for DSRC vehicle networks," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 14, no. 2, pp. 127-129, Feb. 2010.

[9] M. Torrent-Moreno, P. Santi, and H. Hartenstein, "Distributed fair transmit power adjustment for vehicular ad hoc networks," in *Proc. IEEE SECON*, vol. 2, pp. 479-488, Reston, VA, USA, Sept. 2006.

[10] F. Yu and S. Biswas, "Self-configuring TDMA protocols for enhancing vehicle safety with DSRC based vehicle-to-vehicle communications," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 25, no. 8, pp. 1526-1537, Oct. 2007.

[11] S. Bai, J. Oh, and J. Jung, "Context awareness beacon scheduling scheme for congestion control in vehicle to vehicle safety communication," *Ad Hoc Networks*, Vol. 11, no. 7, pp. 2049-2058, Sept. 2013.

[12] IEEE, "IEEE standard for wireless access in vehicular environments (WAVE)—multi-channel operation," IEEE Standard 1609.4-2010, pp. 1-89, Feb. 2011.

[13] B. H. Walke, S. Mangold, and L. Berlemann, *IEEE 802 wireless systems*, John Wiley & Sons, Ltd, Nov. 2006

[14] IEEE, Part 11, "Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Medium access control (MAC) enhancements for quality of service (QoS)," IEEE 802.11e/D13.0, 2005.

[15] C. Y. Ma, T. K. Yoon, and B. K. Kim, "A study on the spacing distribution based on relative speeds between vehicles," *Int. J. Highway Eng.*, vol. 14, no. 2, pp. 93-99, Apr. 2012.

[16] AASHTO, *A policy on geometric design of*

*highways and streets*, 5<sup>th</sup> Ed., American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC., 2004.

- [17] Q. Chen, F. Schmidt-Eisenlohr, D. Jiang, M. Torrent-Moreno, L. Delgrossi, and H. Hartenstein, "Overhaul of ieee 802.11 modeling and simulation in ns-2," in *Proc. ACM MSWiM*, pp. 159-168, New York, NY, 2007.
- [18] H. Noori and B. B. Olyaei, "A novel study on beaconing for VANET-based vehicle to vehicle communication probability of beacon delivery in realistic large-scale urban area using 802.11p," in *Proc. SaCoNeT*, vol. 1, pp. 1-6, Paris, Jun. 2013.
- [19] L. Long, and R. Baldessari, "Performance evaluation of beacon congestion control algorithms for VANETs," in *Proc. IEEE GLOBECOM*, pp. 1-6, Houston, TX, USA, Dec. 2011.
- [20] J. K. Bae and D. S. Han, "Packet transmission scheme for collecting traffic information based on vehicle speed in u-TSN system," *J. IEK*, vol. 47-TC, no. 6, pp. 35-41, Jun, 2010.
- [21] J. Kim, M. G. Park, and S. S. Lee, "A study on the relationship of DSRC transmit power and communication coverage for vehicle detection," in *Proc. KICS Conf. Commun.*, 2012.

이 동 근 (Donggeun Lee)



2007년 2월 : 서울과학기술대학교 컴퓨터공학 학사  
 2014년 2월 : 한양대학교 전자 컴퓨터통신공학 석사  
 <관심분야> 컴퓨터공학, 통신 공학

장 상 우 (Sang-woo Chang)



2005년 2월 : 단국대학교 컴퓨터공학 학사  
 2007년 2월 : 한양대학교 전자 컴퓨터통신공학 석사  
 2010년 3월~현재 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학 박사과정

<관심분야> 통신공학, 전자공학, 컴퓨터공학

이 상 선 (Sang-sun Lee)



1978년 2월 : 한양대학교 전자 공학 학사  
 1983년 2월 : 한양대학교 전자 공학 석사  
 1990년 2월 : University of Florida 전기공학 박사  
 1993년 3월~현재 : 한양대학교 융합전자공학부 교수

<관심분야> 전자공학, 통신공학, 광통신 공학