

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2017.17.1.33>

JIIBC 2017-1-5

차량 네트워크에서 Ultra-low latency 구현을 위한 TDMA 기반 MAC 프로토콜

TDMA-based MAC Protocol for Implementation of Ultra-low latency in Vehicular networks

박혜빈*, 정진우**, 최병석***

Hye-bin Park*, Jinoou Jung**, Byeongseog Choe***

요약 차량 네트워크, 분산 로봇과 사이버 물리 시스템 등 mission-critical 환경에서 동작하는 서비스들은 기존 서비스에 비해 latency에 대한 요구사항이 훨씬 엄격하다. 그 중 자율주행 차량 간 통신은 급격히 부상하고 있는 애플리케이션 영역으로 수 ms 수준의 엄격한 latency 요구사항을 가진다. 802.11p나 LTE-direct standards를 이용하는 현재 시스템은 이러한 수준의 ultra-low latency를 만족하지 못한다. 현재, 전체 latency의 상당부분을 medium access가 차지하기 때문에, 이 부분의 해결을 위해서는 Layer2를 수정할 필요가 있다. 따라서 본 논문에서는 MAC layer에 초점을 맞추어 coordinator에 의한 scheduling 없이 join/leave가 자유로운 Autonomous TDMA(ATDMA)를 고안하여 scalable하면서 latency가 보장되는 MAC을 구현하였다. 또한 WAVE 프로토콜과의 비교를 통해 알고리즘의 성능을 평가하였다.

Abstract In mission-critical applications such as vehicular networks, distributed robotics, and other cyber-physical systems, the requirements for latency are more stringent than traditional applications. Among them, autonomous V2V communication is a rapidly emerging domain of applications with a few milliseconds' latency requirements. Today's systems utilizing 802.11p or LTE-direct standards are not primarily designed for ultra-low latency. Because the medium access function contributes to a significant portion of the total latency, it is necessary to modify Layer2 in order to solve the problem. Focusing on MAC layer, we developed a scalable and latency-guaranteed MAC by devising Autonomous TDMA (ATDMA) in which autonomous joining/leaving is allowed without scheduling by coordinator. We also evaluated the performance of the algorithm by comparing with the WAVE protocol.

Key Words : TDMA, MAC, Latency, IoT, Vehicular networks

1. 서론

최근 네트워크 연구는 지연시간(latency)에 초점이 맞춰지고 있다. 산업현장의 고속 자동 로봇의 제어 애플리

케이션, 차량 제어의 다양한 서비스의 경우에 medium access control (MAC) layer의 latency가 중요한 고려사항이 된다. 본 논문에서는 그 중 자율주행 차량 간 통신의 MAC기술에 초점을 맞추었는데, 현재 시스템에서 사

*준회원, 상명대학교 컴퓨터학과

**정회원, 상명대학교 컴퓨터학과

***정회원, 동국대학교 정보통신공학과(교신저자)

접수일자 2016년 12월 27일, 수정완료 2017년 1월 27일

게재확정일자 2017년 2월 3일

Received: 27 December, 2016 / Revised: 27 January, 2017 /

Accepted: 3 February, 2017

***Corresponding Author: bchoe@dongguk.edu

Dept. of Information & Communication, Dongguk University, Korea

용되는 802.11p나 LTE-direct standards의 경우 정면 충돌 경고, 교차로 고속 자율 진행 등 수 millisecond 수준의 ultra-low latency가 보장되어야 하는 애플리케이션에는 적합하지 않다. 본 논문에서는 coordinator에 의한 scheduling 없이 join/leave가 자유로운 Autonomous TDMA (ATDMA) 기술을 고안하여 scalable하면서 latency가 보장되는 MAC 알고리즘을 연구하였다. 본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 차량 네트워크 관련 표준과 MAC 프로토콜을 살펴보고, 문제점을 분석한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 ATDMA에 대해 설명한다. 4장에서는 ATDMA에 대한 성능평가를 위해서 WAVE 프로토콜과 비교를, 5장에서는 본 논문의 결론과 추후 개선 방향에 대해 논의한다.

II. 관련연구

VANET(Vehicular Ad-hoc Network)의 통신방식은 V2X(Vehicle to Infra/Vehicle/Nomadic)로 지칭되며, 차량 간(V2V), 차량과 인프라 간(V2I), 모바일 기기 간(V2N) 통신으로 구분된다. 이 세 가지 기술 중에서 본 논문에서는 V2V 통신 방식을 기반으로 알고리즘을 고안하였다. IEEE는 차량 네트워크에서 사용을 고려한 802.11p 표준작업을 완료하였으며, 802.11p와 IEEE 1609.x를 합쳐서 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment)라 명명하여 2011년 표준화를 완료하였다^[6]. IEEE 802.11p는 무선으로 전송되는 패킷의 충돌을 줄이기 위해 CSMA/CA와 random back-off를 사용한다. CSMA 방식은 unbounded latency와 broadcast storm 문제를 야기하며^[2], 최근 연구에 따르면 노드 밀집도가 올라갈 경우 ALOHA 수준의 열악한 성능을 보이게 된다^[4]. 이러한 CSMA 방식의 문제점을 해결하고, 채널 접근 신뢰도와 효율성을 높이기 위해, CDMA(Code Division Multiple Access), SDMA(Space Division Multiple Access), TDMA(Time Division Multiple Access) 등을 기반으로 하는 MAC 프로토콜이 제안되었으며, 이 중 TDMA 기반 MAC에 대한 연구가 활발하게 이루어지고 있다^[5]. TDMA 기반 MAC 프로토콜은 어떤 토폴로지에서도 동작하는 지에 따라 세 가지로 범주화할 수 있다^[1]. 먼저 완전 분배 방식에서 동작하는 MAC 프로토콜(TDMA-based MAC protocols in a fully-distributed VANET, TDV)은

cell이라 불리는 그룹 단위로 네트워크가 분할되며^[9], 한 cell 당 하나의 TDMA frame이 생성된다. 해당 cell 내 존재하는 노드들은 데이터를 전송하기 위해 frame 내 slot을 controller 없이 자율적인 분배방식을 통해 할당받는다. TDV에서는 2가지 종류의 충돌이 발생할 수 있는데, 같은 그룹에 속한 둘 이상의 노드가 동일한 slot에 접근을 시도하는 경우 발생하는 access collision과 다른 그룹에 속하지만 동일한 slot을 사용하는 노드가 서로 가까워질 경우 발생하는 merging collision이 그것이다^{[1],[2]}. 따라서 TDV의 경우 2가지 충돌을 어떻게 해결할 것인지에 초점을 맞추어 프로토콜이 설계되며, 대표적인 예로 VeMAC^[3], CSMA and Self-Organizing TDMA (CS-TDMA)^[5] 등이 있다. VeMAC은 contention-free, 멀티채널 MAC 프로토콜로 효율적인 한 홉과 멀티 홉 broadcast 서비스를 지원하며, deterministic access delay와 scalability를 제공한다. 하지만, slot 할당을 위해 한 frame 동안 채널을 감지해야 되고, 2개 이상의 노드가 동일한 slot을 선택할 수 있기 때문에 access collision이 발생할 수밖에 없다^[1]. CS-TDMA는 broadcast 성능을 개선하기 위해 CSMA에 TDMA와 SDMA를 결합한 멀티채널 MAC 프로토콜로 다른 멀티채널 프로토콜과 달리 CCH와 SCH 간격 간 비율을 traffic density에 따라 동적으로 적용하였다. CS-TDMA에서는 frame이 아니라 Chip이라는 용어를 사용하는데, 한 Chip은 전송기간(TS)과 예약기간(RS)으로 나뉜다^[5]. 전송할 메시지가 있는 노드들은 RS 동안 slot을 예약하고, RS에서의 예약을 바탕으로 TS 동안 자신의 slot에 메시지를 전송한다. CS-TDMA는 DSRC channel utilization에서는 상당한 증진을 보여주었지만, 성능평가가 한정된 영역에서 이루어졌으며, access collision과 merging collision 문제가 연구되지 않았다^[1]. 두 번째, 클러스터 기반 토폴로지에서도 동작하는 MAC 프로토콜(TDMA-based MAC protocols in a cluster-based topology, TCBT)은 둘 이상의 노드가 동일한 slot에 동시에 접근하는 것을 원칙적으로 막고 있어 access collision이 일어나지 않는다. 또한, 노드 밀도가 증가할 경우 채널 경쟁을 제한하며, 클러스터 내 모든 멤버가 공평하게 채널에 접근할 수 있도록 한다. TCBT에서는, 일반적인 센서 네트워크에서 많이 사용되는 방식대로, 네트워크가 클러스터 단위로 나뉘며, 하나의 클러스터는 local network coordinator(Cluster Head; CH)와 클러스터 멤버로 구성된다^{[10][11]}. 클러스터 하나 당 임의

의 노드가 CH로 선출되며, 선출된 CH는 클러스터 내 멤버들에게 slot을 할당하고, frame을 관리하는 역할을 하게 된다. CBMMAC^[8]은 TCBT의 예로, 다음과 같이 frame을 TDMA upstream과 broadcast downstream으로 나눈다. upstream에서는 먼저 CH가 TDMA schedule을 생성하고 이를 클러스터 멤버에게 송신한다(Time Slot Allocation). 그러면 이를 수신한 클러스터 멤버들은 자신의 slot에 safety message와 data channel reservation request를 CH에게 보낸다. CH는 클러스터 멤버들이 보낸 메시지를 수합하여 downstream에 safety message와 data channel reservation request를 분석하여 생성한 data channel allocation을 broadcast 한다. 그런데, VANET에서는 노드의 이동성이 높기 때문에, 클러스터가 동적으로 구성된다. 이런 환경 속에서 CH를 뽑는 과정이나 클러스터 멤버를 유지하는 일은 오버헤드를 발생시키므로, TCBT 방식은 이를 해결할 필요가 있다^[1]. 세 번째, 중앙집중식 토폴로지에서 동작하는 MAC 프로토콜(TDMA-based MAC protocols in a centralized topology, TCT)은 RSU를 이용하여 slot을 할당하고 제어정보를 전파시켜 채널 할당 지연과 스케줄링 오버헤드를 줄인다. 전송할 메시지를 가진 노드들이 RSU에 slot을 요청하면, RSU는 노드들에게 slot을 할당하고, 최종 slot allocation map을 모든 노드들에게 broadcast한다. TCT의 대표적인 예인 ACFM^[7]의 경우 frame을 RSU Slot(RS)과 36개의 Data Slots(DS)로 나누는 데, 전자는 RSU가 자신의 영역 내에 있는 노드에게 제어 메시지를 broadcast 하는 데 사용하며, 후자는 노드들이 beacon data를 broadcast 하는 데 사용한다.

III. Autonomous TDMA

지금까지 살펴 본 MAC 프로토콜은 TDMA 방식을 사용하기 때문에 CSMA 방식과 달리 어느 정도 latency를 보장해준다. 하지만, TCBT와 TCT의 경우 coordinator가 필요하기 때문에, scheduling을 위한 signaling mechanism이 필요하고, 새로운 노드가 join하거나 기존 노드가 leave하는 경우 복잡한 signaling을 통해 모든 노드에게 다시 알려야 하는 문제가 있다. 또한 coordinator를 필요로 하지 않는 TDV의 경우에도 해당 솔루션들이 문제점을 내포하고 있기 때문에 개선이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 access collision 문제를 개선한 TDV 기반

MAC 프로토콜을 고안했으며, 이를 Autonomous TDMA(ATDMA)라 명명하였다. ATDMA에서 사용되는 용어에 대한 정의는 다음의 표와 같다.

표 1. 본 논문에서 사용된 용어
 Table 1. Terminologies used in this work

용어	정의
slot	하나의 노드가 차지하는 단위 전송 시간
frame	slot들의 집합으로 같은 패턴이 반복되는 하나의 주기로 마지막 slot은 항상 비어있음
join node	frame에 join하고자 하는 노드
frame node	frame 내 slot을 이미 할당받은 노드
latency	전송할 데이터가 생성된 후 frame 내 할당된 slot에서 데이터를 전송할 때까지 흐른 시간

Join node는 일단 진행되고 있는 transmission을 주의 깊게 듣는다. frame이 진행 중인 경우에는 frame의 마지막 slot이 비어 있는 것을 확인하고 해당 slot에 join한다. Join node는 자신의 packet을 마지막 slot에 전송하고 이 마지막 slot이 채워진 것을 확인한 frame node들은 바로 다음 frame부터 아래 그림처럼 frame 끝에 하나의 빈 slot을 추가한다. Join node는 다음 frame을 듣고 frame 크기의 증가를 확인하는 것으로 자신의 join 시도가 성공했음을 알 수 있다.

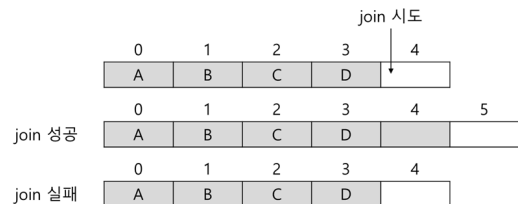


그림 1. join으로 인한 frame 확장 예
 Fig. 1. Example frame expansion after a station join

만약 둘 이상의 노드가 동시에 join하고자 하는 경우 access collision이 발생하게 되고, frame node들은 새로운 노드가 join을 시도했다는 것을 감지하지 못하므로, 위에서 볼 수 있듯이 frame의 크기가 바뀌지 않는다. 다음 frame을 관찰한 join node들은 frame 크기에 변화가 없으므로 충돌이 발생했다는 것을 인식하고, back-off 알고리즘을 통해 어느 정도 시간이 지난 후 다시 join을 시도하게 된다. 진행 중인 frame이 없는 경우에는 자신의 packet으로 첫 번째 slot을 만들고 빈 slot을 추가해서 2개짜리 slot으로 frame을 시작한다. ATDMA는 frame을

관리하는 별도의 coordinator가 없기 때문에 frame node 들은 항상 자신의 slot에 packet을 전송하여 frame을 유지해야한다. 이에 따른 전력 손실이 있겠지만, 자동차 등의 경우 충분한 전력을 가지고 있으므로 이는 문제가 되지 않는다고 가정한다. 무선 환경에서는 송수신을 동시에 할 수 없기 때문에, join node는 join 시도의 성공유무를 다음 frame 관찰을 통해서만 알 수 있다. 노드가 전송을 마쳤거나, 당분간 전송을 쉬어야 할 때 단순히 전송을 끝내지 않고 leave flag를 set하여 마지막 packet을 전송한다. 이 leave message를 들은 frame node들은 해당 frame이 끝나면 바로 frame size를 조정한다. 예를 들어 6개 slot으로 이루어진 frame에서 2번 slot을 차지하고 있던 노드가 leave message를 보내는 경우 다음 frame에서 3번 slot을 사용하던 D는 2번 slot을, 4번을 사용하던 E는 3번을 사용하게 되며, frame size는 5로 줄어든다. 이를 그림으로 나타내면 아래와 같다.

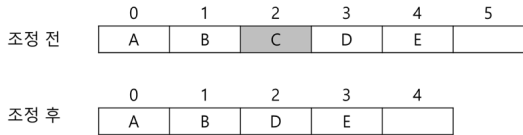


그림 2. leave로 인한 frame 축소 예
Fig. 2. Example frame reduction after a station leave

이때 join을 원하는 노드가 leave message가 전송된 이후 frame의 진행을 엿듣는 경우 충돌이 일어날 수 있기 때문에, 노드는 항상 전체 frame을 다 듣고 나서 그 다음 frame에 join 해야 한다. 만약 frame node 중 하나라도 leave message를 듣지 못하면, 다음 frame에서 frame node 간 충돌이 발생하게 된다.

IV. 실험 및 결과

본 논문에서 제안한 MAC 알고리즘 검증을 위해 Visual Studio와 MATLAB을 사용하여 WAVE의 MAC 프로토콜인 IEEE 802.11p와 비교를 통해 성능평가를 진행하였다. 수백 ms 수준의 latency requirement를 가지는 802.11p와 수 ms 수준의 latency requirement를 목표로 하는 ATDMA의 비교가 적합하지 않을 수 있으나 상용 시스템과의 성능비교를 통해 feasibility를 점검해보고자

한다. 다수의 차량이 고속으로 교차로를 진행하는 상황을 가정하였으며, 성능평가에 사용된 파라미터는 아래의 표와 같다.

표 2. 성능평가 파라미터
Table 2. Parameters used in performance evaluation

파라미터	Value	Contents
disV2V	20 m ~ 100 m	차량 간 거리
vehSpeed	30 m/s	차량 속도
disNet	30 m ~ 100 m	교차로 네트워크 직경
vehLifetime	disNet / vehSpeed	차량 lifetime
totalLane	1 ~ 10, 12, 16, 18, 24	교차로 총 lane 수
totalLanePerVeh	vehSpeed / disV2V	lane 당 최대 진입 차량 수
totalVeh	totalLanePerVeh * totalLane	교차로 최대 진입 차량 수
endTime	5 s = 5000000 μs	성능평가 진행 시간
AIFS	123 μs	802.11p에서 사용되는 값
CW	15 ~ 1023	802.11p에서 사용되는 값
slot time	13 μs	802.11p에서 사용되는 값
message interval	100 ms	메시지 생성 간격

예를 들어, disV2V, disNet, totalLane이 각각 20 m, 30 m, 8이면, totalVeh과 vehLifetime은 각각 12 veh/s, 1 s가 된다. 이는 네트워크에 초당 12대의 차가 들어오며 (join), 들어온 차는 1초 후에 네트워크를 나간다는 것 (leave)을 의미한다. 다음은 해당 parameter 값이 적용된 성능평가 환경을 나타낸 그림이다.

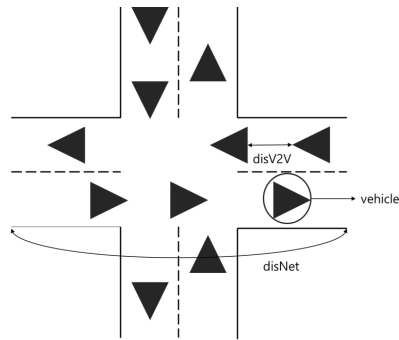


그림 3. 성능평가 환경의 예
Fig. 3. Example performance evaluation environment

disV2V와 disNet은 10 m 간격으로 증가하며, 변수들은 해당 네트워크가 끝날 때(endTime)까지 값이 고정된다. 동일한 값을 가지는 네트워크를 100번 반복해 관찰하며, 네트워크 초기에는 frame의 크기가 불안정하기 때문에, 일정수준으로 안정화되는 vehLifetime만큼 시간이

지난 후부터 결과를 기록한다. 차량 안전 애플리케이션에서는 주기적으로 BSM(Basic Safety Message)를 broadcast하는 데, 이때 message interval로 100 ms를 사용하고 있다. 따라서 ATDMA와 WAVE의 성능비교에서도 이 값을 사용하여, 새로운 메시지를 100 ms 간격으로 생성시켰다. 또한 노드가 해당 네트워크에 들어온 시점에 첫 번째 메시지가 생성된다고 가정했으며, 이로 인해 노드가 네트워크에 진입하면 즉시 join을 시도하게 된다. ATDMA의 경우 한 번 join에 성공하면 frame 내 slot을 할당받으므로, 해당 slot에 전송할 데이터를 보내면 된다. 하지만, WAVE의 경우 CSMA/CA 방식이므로 전송할 데이터가 있을 때마다 매번 join을 시도해야 한다. 따라서 ATDMA와 WAVE의 전체 join 시도 횟수는 배 이상 차이가 나게 된다. 만약, join이 실패할 경우, 즉 동시에 여러 노드가 join을 시도한 경우 back-off를 통해 어느 정도 시간이 지난 후 다시 join을 시도(retry)하게 된다. 그런데 retry를 하게 되면, 그 만큼 latency가 증가하게 되므로, retry rate와 latency 간에 비례관계가 성립한다고 볼 수 있다. Retry rate는 전체 join시도 중 재시도 수의 비율로 나타낸다. 다음은 totalVeh과 vehLifetime의 변화, 즉 vehicle density에 따른 retry rate를 나타낸 그림이다.

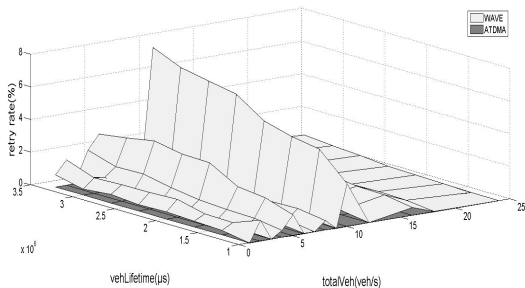


그림 4. vehicle density에 따른 retry rate 변화
 Fig. 4. Change of retry rate according to vehicle density

ATDMA는 retry rate가 0으로 join 시도가 모두 성공했지만, WAVE의 경우 ATDMA 보다 높은 retry rate를 보이며, retry로 인한 latency 증가가 적지 않음을 알 수 있다. 또한 retry rate가 vehicle density와 무관한 양상을 하고 있기 때문에 retry로 인해 어느 정도 latency가 증가하는 지 예측하기 어렵다. 다만 totalVeh이 10일 때 join node 생성 주기가 message interval과 비슷하게 되어, 공명현상이 발생했다. ATDMA의 경우 한번 join에 성공하

면 frame 내 slot을 할당받게 되므로 join으로 인한 latency가 없다. 단, ATDMA는 vehicle density에 영향을 받기 때문에, frame node 수가 증가하면, 평균 latency도 증가하게 된다. 그렇지만, non-deterministic하여 latency에 대한 예측이 불가능한 WAVE와 달리 ATDMA는 계산을 통해 latency를 예측할 수 있다. 또한 아래 그림에 나타났듯이 vehicle density가 높아짐에 따라 증가된 평균 latency에 비해 WAVE의 latency가 전반적으로 큰 값을 가진다. 따라서 평균 latency 측면에서는 ATDMA가 전반적으로 더 좋은 성능을 보인다.

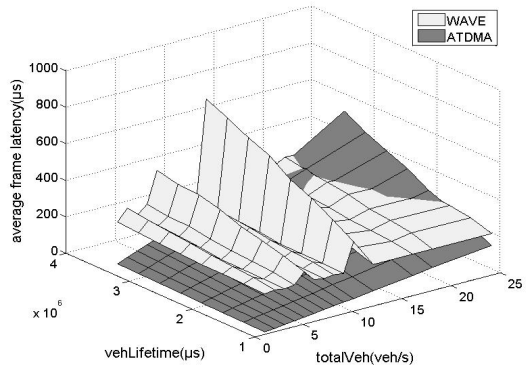


그림 5. vehicle density에 따른 평균 latency 변화
 Fig. 5. Change of average latency according to vehicle density

ATDMA의 최대 latency 측면에서 WAVE의 최대 latency와 비교한 아래 그림과 같이 모든 범위 안에서 낮은 latency를 가지기 때문에, ATDMA가 정상적으로 동작할 수 있다는 것을 알려주며, WAVE에 비해 훨씬 좋은 성능을 보여준다.

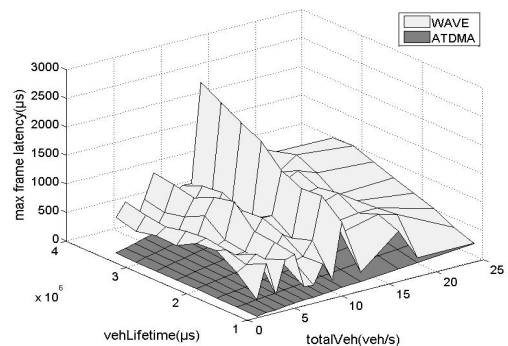


그림 6. vehicle density에 따른 max latency 변화
 Fig. 6. Change of max latency according to vehicle density

V. 결론

VANET에서의 ultra-low latency를 보장하는 무선통신 기술의 필요성이 대두되고 있다. 전체 latency 중 상당부분을 MAC layer가 차지하고 있기 때문에 이 부분의 해결이 필요하다. 2장에서 살펴보았듯이 VANET을 위해 다양한 MAC 프로토콜이 제안되었지만, 해당 솔루션들이 각각 문제점을 내포하고 있기 때문에, 본 논문에서는 이들을 해결하고자 coordinator에 의한 scheduling 없이 join/leave가 자유로운 ATDMA 알고리즘을 제안하고 WAVE의 MAC 프로토콜인 IEEE 802.11p와 비교를 통해 성능평가를 진행하였다. 평가 결과 WAVE에 비해 latency 측면에서 훨씬 좋은 성능을 보여주었다. 실험에 사용된 파라미터 중 100ms의 메시지 생성 간격을 좀 더 작게 설정하여 ultra-low latency 환경에 더욱 가깝도록 실험환경을 개선해 볼 필요도 있다. 이렇게 한다면 WAVE와의 성능 격차는 더욱 벌어질 것으로 예상된다.

또한 CSMA/CA를 기반으로 하여 latency를 예측할 수 없는 WAVE에 비해 ATDMA는 frame node 수 증가에 따른 latency 증가량을 감응할 수 있다. ATDMA는 TDMA 기반이기 때문에, vehicle density가 증가하면 자연스럽게 latency가 증가할 수밖에 없다. 차후 연구를 통해 frame node 수 증가에 따라 frame을 효율적으로 관리하는 알고리즘을 추가하여, vehicle density에 latency가 영향을 덜 받도록 한다. 또한 본 논문에서는 단일 frame에 대한 환경만을 고려했는데, 후속 연구에서는 여러 frame이 공존하는 환경에서 정상적으로 동작하며, hidden node와 merging collision에 강인하도록 알고리즘을 확장하고, 이에 대한 성능평가도 수행하도록 한다.

References

- [1] Hadded, Mohamed, et al. "TDMA-Based MAC Protocols for Vehicular Ad Hoc Networks: A Survey, Qualitative Analysis, and Open Research Issues." *IEEE Communications Surveys & Tutorials* 17.4 (2015): 2461-2492.
DOI: <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2440374>
- [2] Kawakami, Tomotaka, and Koji Kamakura. "Modified TDMA-based MAC protocol for vehicular ad hoc networks." *Pervasive Computing and Communication Workshops (PerCom Workshops), 2015 IEEE International Conference on*. IEEE, 2015.
DOI: <https://doi.org/10.1109/PERCOMMW.2015.7134000>
- [3] Omar, Hassan Aboubakr, Weihua Zhuang, and Li Li. "VeMAC: A TDMA-based MAC protocol for reliable broadcast in VANETs." *IEEE Transactions on Mobile Computing* 12.9 (2013): 1724-1736.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TMC.2012.142>
- [4] Wu, Xinzhou, et al. "Vehicular Communications Using DSRC: Challenges, Enhancements, and Evolution." *IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS* 31.9 (2013): 399.
DOI: <https://doi.org/10.1109/JSAC.2013.SUP.0513036>
- [5] Zhang, Lin, et al. "A scalable CSMA and self-organizing TDMA MAC for IEEE 802.11 p/1609.x in VANETs." *Wireless Personal Communications* 74.4 (2014): 1197-1212.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11277-013-1572-3>
- [6] Kim, Hoyeon. "Feasibility Study of Cellular Communications as Vehicular Network Services." Master's Thesis, Seongkyunkwan Univ., 2013.
- [7] Guo, Weijie, et al. "An adaptive collision-free MAC protocol based on TDMA for inter-vehicular communication." *Wireless Communications & Signal Processing (WCSP), 2012 International Conference on*. IEEE, 2012.
DOI: <https://doi.org/10.1109/WCSP.2012.6542833>
- [8] Su, Hang, and Xi Zhang. "Clustering-based multichannel MAC protocols for QoS provisionings over vehicular ad hoc networks." *IEEE Transactions on Vehicular Technology* 56.6 (2007): 3309-3323.
DOI: <https://doi.org/10.1109/TVT.2007.907233>
- [9] Abdalla, Ghassan M., Mosa Ali Abu-Rgheff, and Sidi-Mohammed Senouci. "Space-orthogonal frequency-time medium access control (SOFT MAC) for VANET." *2009 Global Information Infrastructure Symposium*. IEEE, 2009.
DOI: <https://doi.org/10.1109/GIIS.2009.5307071>
- [10] Park, Hye-bin and Joung, Jino. "An Energy Efficient

Re-clustering Algorithm in Wireless Sensor Networks”,
The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting
and Communication, Vol.15 No.3, 2015, pp.155~161.
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.3.155>

- [11] Lim, Naeun and Joung, Jino. “A Study on
Efficient Routing Method with Location-based
Clustering in Wireless Sensor Networks”, The
Journal of the Institute of Internet, Broadcasting
and Communication, Vol.15 No.6, 2015, pp.103~
108.

DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2015.15.6.103>

최 병 석(정회원)



- 1985년 : 서울대학교 전자공학과 (학사)
- 1994년 : NYU Polytechnic Institute (M.S. & Ph.D in EE)
- 1994년 ~ 1996년 : 명지대학교 전자공학과
- 1997년 ~ 현재 : 동국대학교 정보통신학과 교수

<주관심분야 : 유무선 네트워크, 인공지능, Embedded system, Cisco Networking Academy 운영>

저자 소개

박 혜 빈(준회원)



- 2012년 ~ 현재 : 상명대학교 컴퓨터 과학과 재학 중
- <주관심분야 : 인공지능, 음성인식, 유무선 네트워크>

정 진 우(정회원)



- 1992년 : KAIST 전자공학과(학사)
- 1997년 : NYU Polytechnic Institute (Ph.D in EE)
- 1997년 ~ 2005년 : 삼성종합기술원
- 2005년 ~ 현재 : 상명대학교 컴퓨터 과학과 교수

<주관심분야 : 유무선 네트워크, SoC design, Embedded system, 인공지능, 음성인식>

※ 이 논문은 2009년도 동국대학교 연구년 지원에 의하여 이루어졌음.
※ This work was supported by the research program of Dongguk University.