

<https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.2.55>

IIBC 2018-2-7

강인성을 개선한 VANET에서의 자율 TDMA

Autonomous TDMA for VANETs with improved robustness

박혜빈*, 정진우**

Hye-bin Park*, Jinoo Jung**

요약 VANET은 급격히 부상하고 있는 서비스 영역으로 수 ms 수준의 엄격한 latency 요구사항을 가진다. 이러한 수준의 낮은 latency를 보장하기 위해 latency가 보장되면서 coordinator에 의한 scheduling 없이 join/leave가 자유로운 Autonomous TDMA(ATDMA)가 제안된 바 있다. 본 연구에서는 hidden node, 채널 페이딩, 노드 밀집도 변이 등이 존재하는 non-perfect decoding 환경에서 동작하도록 ATDMA를 확장한 ATDMA revision(ATDMA-R)을 고안하였다. 또한 시뮬레이션을 통해 ATDMA와 ATDMA-R의 성능을 비교하여 ATDMA 대비 ATDMA-R이 다양한 실제적 환경에서 강인성을 보이는 것을 확인하였다.

Abstract VANET is a rapidly emerging service area with strict requirements of a few milliseconds' latency. Because current systems don't guarantee ultra-low latency, it has been proposed a latency-guaranteed Autonomous ATDMA(ATDMA) in which autonomous joining/leaving is allowed without coordinator's scheduling. In this study, we extended ATDMA to operate in non-perfect decoding environments with existing hidden nodes, channel fading and node density variation, and named it ATDMA revision(ATDMA-R). We also evaluated the performance of ATDMA and ATDMA-R, and showed the robustness of ATDMA-R through various realistic simulation scenarios.

Key Words : TDMA, MAC, VANETs

1. 서론

Mission-critical 환경에서 동작하는 VANET (Vehicular Ad-Hoc Network)은 기존 서비스와 달리 엄격한 latency를 요구한다. 대표적인 VANET 표준인 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment)는 MAC 하위 계층 표준으로 IEEE 802.11p를 적용했는데, 최근 연구에 따르면 해당 표준은 노드 밀집도가 올라가면 ALOHA 수준의 열악한 성능을 보이고^[1], CSMA 방식 자체의 한계로 인해 unbounded latency와 broadcast

storm 문제를 야기한다^[2]. 이에 대한 해결과 latency 보장을 위해 ATDMA(Autonomous TDMA)가 고안되었으며, latency 측면에서 WAVE에 비해 비교적 우수한 성능을 보임을 확인하였다^[3].

본 논문에서는 ATDMA를 분석한 후 패킷 충돌을 야기할 수 있는 부분을 보완한다. 그 후 다양한 시뮬레이션 시나리오를 통해 ATDMA가 어떤 환경에서 강점과 약점을 지니는 지 파악한다. 이를 위해 hidden node, 페이딩, 노드 밀집도 변이 등 충돌을 유발할 수 있는 환경요소를 변화시켜가며 시뮬레이션을 진행하였다.

*준회원, 상명대학교 컴퓨터학과

**정회원, 상명대학교 휴먼지능정보공학과, 교신저자

접수일자: 2018년 2월 26일, 수정완료: 2018년 3월 26일

게재확정일자: 2018년 4월 6일

Received: 26 February, 2018 / Revised: 26 March, 2018

Accepted: 6 April, 2018

**Corresponding Author: Jinoo Jung, jjoung@smu.ac.kr

Dept of Human Intelligence and Information Engineering, Sangmyung Univ., Seoul, Korea

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 다음 장에서 VANET 환경에서 이루어진 MAC 프로토콜 시뮬레이션 연구동향을 살펴보고, 3장에서 본 논문의 연구대상인 ATDMA를 분석 및 보완한다. 4장에서는 시뮬레이션 환경과 성능평가에 사용할 지표에 대해 설명하고, 시뮬레이션 결과를 제시한다. 마지막으로 5장에서 본 논문에 대한 결론과 후속 연구에 대해 논의한다.

II. 관련 연구

MAC 프로토콜을 평가하기 위해 자주 사용되는 평가 지표로는 access delay, packet loss ratio, throughput 등이 있으며, 이러한 평가지표들은 다양한 MAC 프로토콜 시뮬레이션에서 사용되었는데^[4], VeMAC^[5]은 고속도로와 도시 시나리오에서 access collision rate와 merging collision rate, TX와 RX throughput을 평가지표로 사용해 시뮬레이션을 진행했다. CS-TDMA^[6]는 고속도로 환경에서 평균 접근 시간과 처음 제어 채널에 접근할 때 발생하는 평균 충돌수를 먼저 조사한 후 이를 바탕으로 한 프레임 당 패킷이 성공적으로 전달될 확률, 동기화기간 동안 서비스 채널에서의 throughput을 구해 프로토콜 성능을 평가했다. STDMA^[7]는 다른 차량 밀도를 가지는 두 가지 고속도로 시나리오에 Nakagami m model^[8]을 적용하고, 접근 지연과 패킷 수신 확률을 평가지표로 삼아 시뮬레이션을 수행했다. 접근 지연은 평균과 최악의 경우에 대해 측정해 노드 간 공평성을 평가하는 데 사용했고, 패킷 수신 확률은 전송에 대한 신뢰성을 측정하는 데 사용됐다^[7]. Sjöberg^[9]는 차량 안전 응용에서 요구하는 예측 가능한 지연, 신뢰성, 공평성, 확장성 등을 평가하기 위해 채널 접근 지연, 패킷 수신 확률, MAC-to-MAC 지연, packet inter-arrival time, initial detection distance 등을 평가지표로 사용했다.

MAC 프로토콜에 대한 시뮬레이션이 다양하게 진행되었지만, 시나리오 환경은 고속도로나 도시 정도로 한정되었으며, VANET임에도 노드가 고정되어 있다고 가정하는 경우가 적지 않다. 또한 대부분의 연구가 자신의 프로토콜이 특정 환경에서 기존 프로토콜보다 더 좋은 성능을 보인다고 증명하는 데 초점을 맞추고 있기 때문에, 평가에 사용했던 파라미터를 변경하거나 시뮬레이션 환경을 변화시켰을 때 프로토콜이 어떻게 반응할 지에

대해서는 자세히 분석하지 않고 있다. 하지만 프로토콜에 대한 신뢰성과 안전성을 확보하기 위해서는 프로토콜에 사용된 파라미터와 메커니즘이 성능과 어떤 상관관계를 가지는 지 파악하고, 강점을 가지는 환경과 약점을 가지는 환경에 대해 자세히 파악할 필요가 있다^[10].

이런 상황에서 Gaugel 등^{[10][11][12]}은 비교적 새로 등장한 STDMA를 깊이 있게 분석하여 프로토콜의 coordination ability에 영향을 줄 수 있는 상황을 파악하고자 했다. 이를 위해 PLI(Packet Level Incoordination), PDR(Packet Delivery Ratio), SOD(Slot Occupation Distribution) 등과 같은 평가지표를 마련했으며, 노드의 decoding 능력, 채널 혼잡도, 무선 모델, hidden node, 이동성 등 여러 환경요소에 변화를 주어 다양한 시뮬레이션 시나리오 속에서 프로토콜을 평가했다. 본 논문에서는 [10][11][12]에서 거론된 평가지표와 환경요소들을 시뮬레이션에 수정 및 적용하여 ATDMA가 어떤 요소에 어느 정도 영향을 받는지 알아내고자 한다.

III. 프로토콜 분석

최근 발표된 ATDMA는 단일 채널을 사용하면서 join과 leave가 자율적으로 해결되는 distributed MAC 프로토콜로 다음과 같은 용어가 사용된다^[3].

표 1. ATDMA에 사용된 용어 정의

Table 1. Terminology definition used in ATDMA

용어	정의
slot	하나의 노드가 차지하는 단위 전송 시간
frame	Slot의 집합으로 같은 패턴이 반복되는 하나의 주기를 의미하며, 마지막 slot은 항상 비워둠
join node	Frame 내 slot을 할당 받기 위해 join을 시도하는 노드
frame node	Join이 성공하여 frame 내 slot을 할당 받은 노드
latency	전송할 데이터가 생성된 후부터 자신의 slot에 데이터를 전송할 때까지 흐른 시간

ATDMA에서 충돌이 발생할 수 있는 상황은 먼저 송수신되는 신호가 간섭을 받지 않는 경우와 받는 경우로 나눌 수 있다. 전자의 경우 둘 이상의 노드가 프레임을 시작하려고 하거나(C1), 둘 이상의 노드가 join을 시도할 때(C2) 발생하며, 이러한 충돌은 무선 환경에서 노드가 동시에 송수신할 수 없다는 근원적인 문제로 인한 것이

라 해결하기 힘들다. 후자인 신호가 간섭을 받는 경우는 두 가지 상황에서 충돌이 발생할 수 있는 데, 먼저 anchor node의 패킷을 join node가 듣지 못하면(C3) 충돌이 발생할 수 있다. ATDMA에서는 프레임의 첫 번째 노드가 자신이 anchor임을 broadcast하여 프레임의 시작과 끝을 구분한다. 따라서 join node가 anchor node의 패킷을 듣지 못하면 프레임 구조를 정확하게 파악할 수 없어 프레임의 마지막 slot이 아니라 다른 노드가 점유하고 있는 slot에서 join을 시도할 수 있다. Join node는 join이 성공할 때까지 단발적인 충돌을 발생시키며, 최악의 경우 lifetime 내 join을 성공하지 못하여 unbounded latency 문제를 야기할 수 있다. 두 번째 상황은 어떤 노드가 leave 패킷을 보냈으나 하나 이상의 노드가 이를 듣지 못한 경우(C4) 충돌이 발생할 수 있다. ATDMA는 마지막 slot만을 비워두기 때문에 leave 패킷이 전송되어 프레임 내 empty slot이 생기게 되는 경우 자동으로 프레임 축소를 수행한다. 예를 들어 6개 slot으로 구성된 프레임에서 두 번째 slot을 점유하던 노드가 leave 패킷을 전송한 경우 다음 프레임에서 3번째 slot을 점유하던 D는 두 번째 slot을, 4번째를 점유하던 E는 3번째 slot을 사용하게 된다. 이러한 과정을 다음의 그림과 같이 나타낼 수 있다.

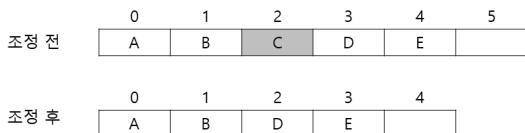


그림 1. 프레임 축소 과정
 Fig. 1. Frame reduction process

만약 하나 이상의 frame node가 leave 패킷을 듣지 못한 경우 다음 프레임 이후부터 frame node 간 충돌이 연속적으로 발생하게 되며, 새로 join을 시도하는 노드가 있을 경우 잘못된 프레임 정보를 획득하게 되어 네트워크 전체가 정상적으로 동작하지 못하게 될 수 있다. 위 예시에서 C가 전송한 leave 패킷을 D만 못 들었을 경우 다른 frame node는 다음 프레임에서 프레임 축소를 수행하지만, D는 수행하지 못한다. 이 때문에 D와 E는 동시에 3번째 slot을 사용하게 되고, 앞서 언급한 무선통신의 근원적인 문제로 인해 두 노드는 자신의 패킷이 충돌되었음을 알아차리기 힘들다. 패킷 충돌은 두 노드 중 하나

가 leave할 때까지 해당 slot에서 계속 발생하게 되며, 이러한 상황을 나타낸 것이 아래 그림이다.

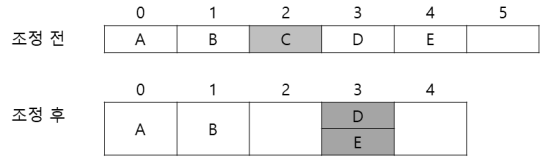


그림 2. 프레임 축소로 인한 충돌 과정
 Fig. 2. Collision process due to frame reduction

송수신되는 신호가 간섭을 받지 않는 경우 발생하는 C1과 C2는 무선통신의 한계로 인한 것이라 해결하기 힘들다. 반해 신호가 간섭을 받는 경우 발생하는 C3과 C4의 경우 알고리즘 수정을 통해 어느 정도 해결이 가능하다. 먼저 C3의 경우 ATDMA에서 anchor node만이 자신이 프레임에서 첫 번째 slot을 점유하고 있다는 것을 broadcast하여 발생하는 문제다. 따라서 모든 frame node가 자신이 점유하고 있는 slot의 번호(Occupying Slot; OS)를 헤더에 표시하여 패킷의 오버헤드를 증가시킴으로써 문제를 해결할 수 있다. 또한 이를 통해 join node는 한 프레임을 듣는 동안 프레임 크기와 마지막 slot의 위치를 비교적 정확하게 파악할 수 있다. 다음으로 C4의 경우 frame node가 leave하는 경우 자동으로 프레임 축소를 수행함으로써 발생하는 문제이다. 이를 해결하기 위해 먼저 leave 패킷이 전송된다고 해도 프레임을 축소시키지 않는다. 그러다가 한 frame node 관점에서 프레임 내 빈 slot이 일정 비율(Empty Slot Ratio; ESR) 이상이 되면, 이를 감지한 노드가 jamming signal을 보내고 back-off 한다. Jamming signal을 들은 노드는 자신의 slot에 jamming signal을 보낸 후 back-off 한다. 먼저 back-off를 끝낸 노드가 프레임을 재시작하며, 나머지 노드들은 프레임의 마지막 slot에서 join을 시도한다. 이러한 refresh 알고리즘을 적용하면 하나 이상의 노드가 leave 패킷을 수신하지 못하더라도 기존의 ATDMA처럼 연속적인 충돌을 야기하지 않는다. 기존의 ATDMA에서 C3와 C4를 해결하기 위해 수정한 알고리즘을 ATDMA revision(ATDMA-R)로 정의하며, 본 논문에서는 ESR이 70%, 80%, 90%인 경우에 대해 성능 평가를 수행한다.

IV. 실험 및 결과

1. 실험 환경

본 연구에서의 시뮬레이션에서 노드는 100m 도로에 초당 1~4대가 고정적으로 진입하고, (road length)/(vehicle speed) 후 빠져나간다고 가정한다^[11]. 기본 채널 모델은 fixed range communication model^{[10][12]}을 사용하여 transmission range 내에서 송수신되는 신호는 다른 요소의 간섭이 없다면 감쇠되지 않는다고 가정한다^[12]. 또한 차량 안전 응용에서 basic safety message(BSM)를 최소 100ms에 한번은 전송하도록 요구하므로^[1], 노드는 100ms 간격으로 새로운 패킷을 생성한다고 가정한다. 첫 패킷은 노드가 네트워크에 진입하는 순간 생성되며, 이 가정으로 인해 노드는 네트워크에 진입하는 즉시 join을 시도하게 된다. 네트워크 초기에는 프레임 크기가 불안정하기 때문에 일정수준으로 안정화된 후부터 데이터 측정을 시작하며, 일반성을 위해 시뮬레이션을 여러 번 반복 수행한 후 그 평균값을 취한다. 아래는 이번 시뮬레이션에서 공통으로 사용되는 파라미터들을 정리한 표다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터
Table 2. Simulation Parameter

Parameter	Value
Road length	100m
Vehicle speed ^[5]	90~110km/h
Transmission range ^{[10][12]}	150m
Simulation time	30sec
Slot time ^{[3][7][9][10][11][12]}	13 μ s
Contention window size ^{[7][10][11][12]}	15slots
Packet interval ^{[1][3][12]}	100ms

VANET 환경에서 노드는 이동하므로 hidden node 문제가 발생할 수 있고, 페이딩으로 신호의 세기가 계속 변하므로 통신 반경 안에 있는 노드의 패킷을 항상 수신할 수 있다고 보장할 수 없다. 이러한 환경요소들은 패킷 충돌을 발생시켜 프로토콜 성능에 영향을 미칠 수 있기 때문에 해당 요소들을 고려하는 non-perfect decoding 환경을 시뮬레이션 할 필요가 있다.

첫 번째 시나리오는 hidden node라는 환경요소가 프로토콜 성능에 어떤 영향을 끼치는 지 관찰하기 위한 환경으로, 네트워크 내 존재하는 노드의 밀집도는 고정시킨 상태에서 hidden node 비율(HNR)만을 변화시켜 해당

요소와 프로토콜 성능 간의 상관관계를 파악한다. HNR은 한 노드 r의 관점에서 r의 전송을 방해할 수 있는 노드 중 x%가 hidden되어 있다는 것을 의미하며, 한번 hidden된 노드는 해당 노드 r의 lifetime이 동안 변하지 않는다. 본 시나리오에서는 HNR이 25%와 50%인 경우에 대한 시뮬레이션을 진행한다.

두 번째 시나리오에서는 페이딩으로 인한 프로토콜 성능변화를 관찰한다. Nakagami m model은 VANET에 적합한 채널 모델로^[13], 소규모와 대규모 페이딩을 모두 표현할 수 있는 확률 모델이다^[8]. Nakagami model에서 송수신간 거리(d)에 따른 평균수신전력 $P_r(d)$ 은 아래와 같은 수식을 통해 구하며, 파라미터로 사용된 구체적인 값은 아래 표와 같다^[7].

$$P_{r, dB}(d) = \begin{cases} P_{r, dB}(d_0) - 10\gamma_1 \log_{10} \frac{d}{d_0}, & d_0 \leq d \leq d_c \\ P_{r, dB}(d_0) - 10\gamma_2 \log_{10} \frac{d}{d_c} - 10\gamma_1 \log_{10} \frac{d_c}{d_0}, & d > d_c \end{cases} \quad (1)$$

$$P_{r, dB}(d_0) = P_{t, dB} - 10 \log_{10} \frac{\lambda^2}{(4\pi)^2 d_0^2} \quad (2)$$

표 3. 수식에 사용된 파라미터 값
Table 3. Parameter values used in formulas

Parameter	Value
Path gain γ_1	1.9
Path gain γ_2	3.8
Cut off distance path gain d_c [m]	80
Reference distance d_0 [m]	10
Wave length λ [m]	0.0508

본 시나리오에서는 Nakagami 페이딩 모델에서 $P_{t, dB}$ 가 20dBm일 때 페이딩 강도(m)가 1.5와 3인 경우를 각각 채널 모델로 적용한 후 프로토콜 성능을 측정한다. 시뮬레이션을 통해 측정된 데이터는 fading 정도와 프로토콜 성능 간 상관관계를 알아보기 위해 사용된다.

마지막으로 VANET 환경은 네트워크를 구성하는 노드가 차량이기 때문에 노드의 움직임은 프로토콜 성능에 영향을 끼칠 수밖에 없다. 본 연구에서는 실제로 노드를 이동시키는 것이 아니라 노드의 밀집도를 변화시킴으로써 제한된 의미에서 이동성을 적용한다. 이를 위해 이전 시나리오에서 네트워크에 진입하는 노드가 초당 1~4대로 고정되어 있다고 가정한 것과 달리 세 번째 시나리오에

서는 초당 1~4대가 무작위로 들어온다고 가정하며 road length를 transmission range의 1.5배인 150m로 변경한 뒤 시뮬레이션을 수행한다.

앞서 언급한 환경요소들이 프로토콜 성능에 어떤 영향을 미치는 지 파악하기 위해 시뮬레이션에서 사용할 평가지표는 아래와 같으며, 해당 지표들은 [10][11][12]를 바탕으로 정의되었다.

PCR(Packet Collision Rate)은 노드 r과 r이 생성한 패킷 중 하나인 p의 관점에서 관찰했을 때, 패킷 p가 전송되는 동안 r이 아닌 최소 하나 이상의 노드 s가 패킷 q를 전송할 확률이다. 본 논문에서는 다음의 수식을 통해 이를 구한다고 가정한다.

$$PCR = \frac{\sum \text{collision packets sent at slot } i}{\sum \text{packet sent at slot } i}, i=1, \dots, \infty \quad (3)$$

PDR(Packet Delivery Rate)은 노드 r의 관점에서 r이 전송한 패킷이 잠재적인 수신자 s에게 성공적으로 전달될 확률로 아래의 수식을 통해 표현할 수 있다.

$$PDR = \frac{\sum \text{packets successfully delivered to node } s}{\sum \text{packets sent at node } r}, \text{with } s \neq r \quad (4)$$

2. 실험 결과

첫 번째 시나리오는 hidden node의 존재가 MAC 프로토콜 성능에 어떤 영향을 주는지 알기 위한 시뮬레이션으로 HNR이 25%와 50%인 경우를 각각 적용하여 프로토콜의 성능을 관찰하였다. 해당 환경에서 ATDMA와 ATDMA-R의 PCR과 PDR을 측정된 결과는 아래 표와 같으며, 본 연구에서 모든 시뮬레이션 결과는 소수셋째 자리 까지 나타냈다. 이때 NPS는 초당 네트워크에 진입하는 노드 수를 의미한다.

ATDMA의 경우 HNR=25%이고 NPS=1일 때는 hidden node의 영향이 적어서 PCR=0, PDR=1이라는 이상적인 성능을 가진다. 하지만 NPS가 2이상이면 네트워크 내 노드의 밀집도가 증가하기 때문에 hidden node에 더 영향을 받게 된다. 그 결과 표4와 표5에서 볼 수 있듯이 HNR=50%이고 NPS=4인 경우 ATDMA의 PCR=0.818, PDR=0.132로 성공적으로 패킷이 송수신될 확률이 10% 정도 밖에 되지 않는다. 반면 ATDMA-R은 ATDMA처럼 NPS가 증가함에 따라 성능이 악화되지는 않지만, PCR과 PDR의 증감폭이 훨씬 적게 나타난다. 최

악의 경우인 HNR=50%이고 NPS=4일 때도 모든 ESR에서 PCR은 0.011이하, PDR은 0.73이상의 값을 가진다. 즉 노드가 성공적으로 송신할 확률은 89%이상이고 성공적으로 수신할 확률은 73%이상으로, ATDMA에 비해 78배 더 좋은 성능을 보여준다.

표 4. Hidden node 비율에 따른 PCR
 Table 4. PCR under varying hidden node ratio

HNR	NPS	ATDMA	ATDMA-R		
			90	80	70
25	1	0	0.002	0.002	0.002
	2	0.702	0.008	0.002	0.003
	3	0.781	0.008	0.006	0.006
	4	0.754	0.009	0.009	0.006
50	1	0.494	0.001	0.002	0.003
	2	0.670	0.006	0.004	0.007
	3	0.731	0.008	0.005	0.007
	4	0.818	0.009	0.007	0.011

표 5. Hidden node 비율에 따른 PDR
 Table 5. PDR under varying hidden node ratio

HNR	NPS	ATDMA	ATDMA-R		
			90	80	70
25	1	1	0.997	0.999	0.999
	2	0.175	0.908	0.919	0.920
	3	0.118	0.878	0.880	0.889
	4	0.134	0.860	0.862	0.873
50	1	0.385	0.816	0.813	0.820
	2	0.263	0.725	0.745	0.747
	3	0.160	0.759	0.769	0.778
	4	0.132	0.734	0.743	0.750

두 번째 시나리오는 Nakagami m 페이딩을 적용했을 때 페이딩 강도(m)에 따른 프로토콜 성능에 변화를 관찰하기 위한 시뮬레이션으로 m이 1.5와 3인 경우를 각각 적용하였다. ATDMA의 경우 m=1.5이고 NPS=1일 때, PCR=0.122이고 PDR=0.888이 측정되었으나 NPS가 4로 증가하면 PCR과 PDR이 약 7배 정도 증감하는 것이 아래 표를 통해 확인할 수 있다.

표 6. 페이딩 강도에 따른 PCR
Table 6. PCR under varying fading intensity

m	NPS	ATDMA	ATDMA-R		
			90	80	70
1.5	1	0.122	0.005	0.002	0.002
	2	0.506	0.008	0.004	0.004
	3	0.737	0.008	0.007	0.004
	4	0.769	0.009	0.008	0.008
3	1	0.576	0.011	0.012	0.018
	2	0.709	0.012	0.017	0.030
	3	0.769	0.011	0.019	0.062
	4	0.798	0.011	0.056	0.123

표 7. 페이딩 강도에 따른 PDR
Table 7. PDR under varying fading intensity

m	NPS	ATDMA	ATDMA-R		
			90	80	70
1.5	1	0.888	0.858	0.981	0.984
	2	0.549	0.982	0.966	0.974
	3	0.209	0.970	0.972	0.974
	4	0.126	0.975	0.978	0.969
3	1	0.159	0.465	0.529	0.438
	2	0.164	0.515	0.489	0.431
	3	0.122	0.488	0.455	0.471
	4	0.104	0.475	0.425	0.449

또한 $m=3$ 이고 $NPS=1$ 일 때 노드 밀집도가 낮음에도 $PCR=0.576$ 이고 $PDR=0.159$ 로 절반 이상의 패킷이 충돌하며, 노드는 약 15%의 패킷만을 정상적으로 수신한다. 반면 ATDMA-R은 $m=1.5$ 인 경우 페이딩이 영향을 적게 받아 노드 밀집도가 높은 $NPS=4$ 일 때도 모든 ESR에서 $PCR=0.009$ 이하, $PDR=0.969$ 이상으로 약 1%의 패킷만이 충돌하며, 노드가 패킷을 정상적으로 수신할 확률이 96% 이상이다. 하지만 $m=3$ 인 경우 페이딩이 ATDMA-R 성능에 영향을 끼쳐서 전체 NPS와 ESR에 대하여 PCR은 0.123이하이나 PDR은 0.529이하의 값을 가진다. 즉 약 12% 정도의 패킷만이 충돌하나 노드가 패킷을 정상적으로 수신할 확률이 절반 정도밖에 되지 않는다. 이를 통해 hidden node에 비해 채널 페이딩이 프로토콜 성능에 큰 영향을 준다는 것을 확인 할 수 있다.

세 번째 시나리오는 노드의 밀집도가 일정범위 안에서 무작위하게 변화할 때 프로토콜 성능이 어떻게 변화하는 지를 관찰하기 위한 시뮬레이션이다. 아래 표에서

볼 수 있듯이 NPS가 1~4로 무작위하게 변화하는 경우 ATDMA는 PCR은 0.582, PDR은 0.341로 노드의 밀집도 변화가 프로토콜 성능에 영향을 미친다는 것을 확인할 수 있다.

표 8. 노드 밀집도 변이에 따른 PCR과 PDR

Table 8. PCR & PDR under varying node density variation

Metric	NPS	ATDMA	ATDMA-R		
			90	80	70
PCR	1~4	0.582	0.007	0.003	0.003
PDR	1~4	0.341	0.972	0.973	0.974

하지만, ATDMA-R의 경우 가장 안 좋은 경우인 ESR=90일 때조차 PCR은 0.007, PDR은 0.972로 약 1%의 패킷만이 충돌하며 노드는 97% 이상의 패킷을 정상적으로 수신한다. 따라서 노드의 밀집도 변이는 ATDMA-R 성능에 큰 영향을 끼치지 않는다는 것을 알 수 있다.

V. 결론

최근 발표한 ATDMA는 자체 시뮬레이션을 통해 어느 정도 효용성이 있다는 것이 검증되었다. 하지만 제한된 환경에서 latency라는 단일 지표만으로 성능을 평가했기 때문에, 더 다양한 시나리오 속에서 여러 지표를 가지고 프로토콜을 평가해 연구의 완성도를 높일 필요가 있다. 이를 위해 MAC 프로토콜 관련 연구를 조사했으며 그 중 [10][11][12]에 영향을 받아 PCR와 PDR을 평가지표로 삼았으며, hidden node, 페이딩, 이동성과 같은 환경요소를 시뮬레이션 시나리오 설계에 반영하였다. 하지만 기존의 ATDMA 프로토콜은 perfect decoding 환경에서 동작하는 것을 가정하여 설계되었기 때문에, 이를 확장하여 non-perfect decoding 환경에서도 동작하는 ATDMA-R을 제안하였다. Hidden node, 페이딩, 노드 밀집도 변이가 적용된 non-perfect decoding 환경에서 ATDMA와 ATDMA-R에 대한 시뮬레이션을 진행한 결과 ATDMA는 모든 환경요소에 영향을 받아 성능이 크게 악화되었다. 하지만 ATDMA-R는 채널 페이딩에 큰 영향을 받았으나 최악의 경우에도 ATDMA 보다 몇 배 더 좋은 성능을 보였으며, 다른 요소인 hidden node나 노드 밀집도 변이에는 큰 영향을 받지 않았다. 그

리나 non-perfect decoding 환경에서 정상적으로 동작하기 위해 제안된 ATDMA-R은 decoding 실패가 일어나지 않는 perfect decoding 환경에서는 오히려 성능이 악화된다는 것을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 따라서 환경에 따라 ATDMA와 ATDMA-R을 유동적으로 선택해서 사용하도록 프로토콜을 확장하는 후속 연구를 진행할 필요가 있다. 또한 ATDMA는 단일 프레임 환경에서 동작하도록 고안되었기 때문에, 확장성이 떨어진다. 따라서 다중 프레임 환경에서 동작하도록 확장함과 동시에 merging collision을 해소할 수 있는 알고리즘을 고안하여 차후 연구에서는 노드가 이동하는 환경에서 시뮬레이션을 수행한다.

References

- [1] 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>
- [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/PERCOMW.2015.7134000>
- [3] Hye-bin Park, Jinoo Joung, Byeongseog Choe. "TDMA-based MAC Protocol for Implementation of Ultra-low latency in Vehicular networks." *The Journal of the Institute of Internet, Broadcasting and Communication*, 17.1 (2017):33-39.
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2017.17.1.33>
- [4] Haddad, 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>
- [5] 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>
- [6] Zhang, Lin, et al. "A scalable CSMA and self-organizing TDMA MAC for IEEE 802.11p/1609.x in VANETS." *Wireless Personal Communications* 74.4 (2014): 1197-1212.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11277-013-1572-3>
- [7] ETSI. *Intelligent Transport Systems (ITS); STDMA recommended Parameters and Settings for Cooperative ITS; Access Layer Part*. Technical report, European Telecommunications Standards Institute, 2012.
- [8] Nakagami, Minoru. "The m-distribution-A general formula of intensity distribution of rapid fading." *Statistical methods in radio wave propagation*. 1960. 3-36.
DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-009306-2.50005-4>
- [9] Sjöberg, Katrin. *Medium access control for vehicular ad hoc networks*. Chalmers University of Technology, 2013.
- [10] Gaugel, Tristan. *Multiscale Modeling of Inter-Vehicle Communication*. Diss. Karlsruhe, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Diss., 2016, 2016.
DOI: <https://doi.org/10.5445/ir/1000052977>
- [11] Gaugel, Tristan, et al. "In-depth analysis and evaluation of Self-organizing TDMA." *Vehicular Networking Conference (VNC)*, 2013 IEEE. IEEE, 2013.
DOI: <https://doi.org/10.1109/VNC.2013.6737593>
- [12] Gaugel, Tristan, et al. "Understanding differences in MAC performance." *World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM)*, 2014 IEEE 15th International Symposium on a. IEEE, 2014.
DOI: <https://doi.org/10.1109/WoWMoM.2014.6918995>
- [13] Taliwal, Vikas, et al. "Empirical determination of

channel characteristics for DSRC vehicle-to-vehicle communication.” Proceedings of the 1st ACM international workshop on Vehicular ad hoc networks. ACM, 2004.

DOI: <http://doi.acm.org/10.1145/1023875.1023890>

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 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2016R1D1A1B03932066)
※ This research was supported by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea(NRF) funded by the Ministry of Education (NRF-2016R1D1A1B 03932066)