

A Study on an Extended AODV Protocol for Integrating Non-SDN Vehicles into SDN-Enabled VANETs

Yong-Hyeog Kang*

*Professor, College of Business and Hotel, Far East University, Chungbuk, Korea

[Abstract]

VANETs are primarily composed of RSUs and vehicles that communicate using multi-hop routing to provide a variety of ITS services. To address the challenges caused by the dynamic nature and intermittent connectivity of VANETs, many studies have explored the application of Software-Defined Networking (SDN) to vehicular ad hoc networks. However, these approaches are not applicable to vehicle nodes that do not support SDN functionality. This study proposes a scheme to integrate non-SDN vehicle nodes into SDN-enabled VANET environments by extending the standard AODV protocol. This scheme not only enables basic multi-hop communication but also supports advanced features such as QoS provisioning. To verify the feasibility and effectiveness of the proposed scheme, VANET environment modeling and performance simulations were conducted.

▶ **Key words:** VANET, SDN, AODV, RSU, Non-SDN vehicle, SDN-enabled VANET

[요 약]

차량 임시 네트워크(VANET)는 다중 홉 라우팅을 사용하여 통신하는 차량 노드들과 RSU들로 구성되어 다양한 ITS 서비스를 제공한다. VANET의 동적인 특성과 비연속적인 연결성 특성으로 인해 발생하는 도전과제들이 해결하기 위해 소프트웨어 정의 네트워크(SDN)을 차량 네트워크에 적용하는 연구가 진행되고 있다. 하지만 이러한 연구는 SDN 기능을 지원하지 않는 SDN 비지원 차량들에는 적용할 수 없다. 본 연구는 SDN 비지원 차량 노드를 SDN 기반 VANET 환경에 통합할 수 있도록 표준 AODV를 확장하는 기법을 제안한다. 제안 기법은 기본적인 다중 홉 통신을 가능하게 할뿐만 아니라 고급 기능인 QoS를 제공할 수 있다. 제안기법의 타당성과 효과성을 검증하기 위해 VANET 환경을 모델링하고 성능 시뮬레이션을 수행하였다.

▶ **주제어:** 차량 임시 네트워크, 소프트웨어 정의 네트워크, 애드혹 주문형 거리벡터, 도로변 기지국, SDN 비지원 차량, SDN 기반 차량 임시 네트워크

-
- First Author: Yong-Hyeog Kang, Corresponding Author: Yong-Hyeog Kang
 - *Yong-Hyeog Kang (yhkang@kdu.ac.kr), College of Business and Hotel, Far East University
 - Received: 2025. 08. 11, Revised: 2025. 08. 21, Accepted: 2025. 09. 04.

I. Introduction

VANET(Vehicular Ad hoc Network)은 무선 통신을 통해 상호 연결된 많은 차량 노드들과 다수의 RSU(Road Side Unit)들로 구성된다. VANET에서 차량 노드들은 RSU를 통해 인터넷에 접속하여 다양한 서비스를 이용할 수 있다. VANET에서 라우팅은 안전하고 믿을 수 있는 통신 프레임워크를 보장하면서 소스에서 목적지까지 패킷을 전송하는 복잡한 처리과정이다[1]. VANET은 RSU와 차량, 차량 간 다중 홉 라우팅 기법에 의해 데이터를 전송하여, 안전, 편리, 인포테인먼트 등 다양한 ITS(Intelligent Transport System) 서비스를 제공한다. 하지만, VANET은 동적인 네트워크와 간헐적인 연결성의 특성과 다양한 서비스의 요구사항으로 인해 발생하는 도전과제들이 있다 [2].

이러한 도전과제들을 해결하기 위해 제어 평면과 데이터 평면을 나눠서 네트워크 스위치들을 중앙집중적으로 제어하는 SDN 기법이 VANET에 적용되는 연구들이 많이 제안되고 있다. 하지만 대부분의 기법들이 차량 노드들이 SDN 기법을 모두 적용가능하다는 것을 전제로 하고 있어서 SDN을 지원하지 못하는 차량 노드나 보안이나 성능 상의 문제로 SDN 기법을 지원하지 않는 차량 노드들은 이용하지 못하는 문제가 있다. 이러한 차량 노드들을 이용하려면 차량들 사이에서 동작하는 다중 홉 라우팅 기법을 사용해야 한다. AODV(Ad hoc On-Demand Distance Vector)는 MANET(Mobile Ad-hoc Network)에서 이동 노드(mobile node)들에 의해 사용되는 대표적인 라우팅 프로토콜이다. AODV는 필요할 때 능동적인 형태로 동작하는 동적인 네트워크 링크 상태를 빠르게 적응시킬 수 있는 유니캐스트 라우팅 프로토콜이다[3].

본 논문에서는 VANET 환경에 SDN 기법을 사용하여 전체적인 네트워크 제어를 수행하며, AODV 라우팅 프로토콜의 확장 기법을 사용하여 SDN을 지원하지 않는 차량 노드들을 활용하는 기법을 제안한다. SDN 기법과 확장된 AODV 기법으로 임의의 연결(connection)에 대한 경로를 찾거나 유지할 때 SDN 비지원 차량 노드들을 이용할 수 있도록 한다. 본 논문의 2장에서는 관련 연구 기법들을 살펴보고, 3장에서는 제안기법을 설명하고, 4장에서는 VANET 환경을 모델링하고 성능평가를 통해 제안기법의 타당성을 검증하고, 5장에서는 결론과 향후 연구과제를 제시한다.

II. Related Works

SDN의 사우스바운드(soundbound) 인터페이스의 대표적인 프로토콜은 오픈플로우(OpenFlow)이다. 오픈플로우는 SDN 제어기(controller)와 스위치 노드 사이에 동작하는 인터페이스이다[4]. 오픈플로우 스위치 노드는 SDN 제어기와 통신하는 제어 채널과 데이터프레임 역할을 하는 데이터 패스를 가지고 있다. 데이터 패스의 구성요소에는 포트(port)들, 플로우(flow) 테이블들, 그룹(group) 테이블, 미터(meter) 테이블 등이 있다[4]. 플로우 테이블들은 파이프라인(pipeline) 처리가 가능하며, 이를 이용하여 QoS(Quality of Service)도 제공할 수 있다. 그룹 테이블을 이용하여 다중 경로, 링크 통합 등 복잡한 기능을 구현할 수도 있다. SDN을 사용하면 VANET에 신뢰성 있는 통신이나 QoS 등의 기법을 제공할 수 있다[5].

오픈플로우 프로토콜에서 정의한 세 가지 메시지 유형에는 제어기에서 스위치(controller-to-switch), 대칭적(symmetric), 비동기적(asynchronous) 메시지 유형이 있다[4]. 제어기에서 스위치 메시지는 SDN 제어기에 의해 시작되며 스위치를 관리하거나 스위치 상태를 조사하기 위해 사용된다. 대칭적 메시지는 제어기나 스위치에서 시작될 수 있으며, 연결 설정이나 연결의 상태를 전달하기 위해 사용된다. 비동기적 메시지는 스위치에 의해 시작되며, 제어기에게 패킷 도착이나 스위치 상태 변경이나 오류 등을 알려준다.

AODV 라우팅 프로토콜은 MANET을 구성하는 이동 노드들을 위한 프로토콜이다[3]. AODV에서는 경로 요청(RREQ), 경로 응답(RREP), 경로 에러(RERR) 메시지 유형을 이용한다. 새로운 목적지에 대한 경로가 필요한 경우에 RREQ 메시지가 브로드캐스팅되며, 목적지 노드나 목적지에 대한 유효한 경로를 갖고 있는 중간 노드가 유니캐스트 방식으로 소스에게 RREP 메시지를 전송한다. 노드들은 활성 경로(active route)에 있는 다음 홉(next hop)의 링크 상태를 모니터링한다. 해당 링크 상태에 문제가 발생하면 RERR 메시지로 활성 경로를 사용하는 이전(precursor) 노드들에게 유니캐스트 방식으로 RERR 메시지를 보낸다. RERR 메시지를 받은 노드들은 RERR 메시지를 보낸 노드를 활성 경로로 사용하는 이전 노드들에게 RERR 메시지를 전송하며, 이 과정은 활성 경로를 사용하는 소스 노드들까지 네트워크에 반복된다.

VANET에서 빠르게 움직이는 동적인 차량간(V2V)의 통신을 위해서는 테이블 기반이나 요구기반 라우팅 프로토콜이 필요하다. 요구기반 라우팅 프로토콜은 테이블 기반

라우팅 프로토콜에 비해 메시지 효율적으로 동작하지만, 라우팅 발견 지연과 라우팅 발견 시에 많은 트래픽을 유발할 수 있는 단점이 있다. 이러한 단점을 해결하기 위해 Proactive AODV[6], SP-AODV[7] 기술 등이 연구되었지만, 본 논문에서는 단순성을 위해 표준 AODV 프로토콜을 기반으로 제안 기법을 설계한다.

VANET에 SDN 기술을 적용하는 기법들이 제안되었다[8-10]. SDN 제어기는 VANET 차량 노드들의 모든 상태 정보를 갖고 있으며, 차량 노드들의 포워딩 규칙을 삽입할 수 있다[8]. 또한 노스바운드(northbound) 인터페이스를 통해 네트워크 자원을 관리하여 이동성을 효과적으로 처리할 수 있으며 라우팅 이외에 다양한 요구조건도 충족시킬 수 있다. SDV(Software Defined VANET) 기법에서는 차량 노드들을 SDN 노드로 처리하며, 긴 영역 채널은 제어 플레인에 사용되며, 짧은 영역 채널은 데이터 플레인으로 사용되는 기법이다[9]. SDN 제어기가 다중 채널을 활용하여 효율적인 경로를 찾는 기법도 제안되었다[10].

SDN을 이용하여 AODV 성능을 향상시키는 기법도 제안되었다[11-12]. SDN은 복잡한 업무를 처리하고 AODV는 라우팅 동작을 수행하지 않고 폴백(fallback) 기법으로 쓰는 기법이 제안되었다[11]. AODV를 쓰는 모든 차량 노드들이 SDN 기술을 이용하여 성능을 향상시키는 기법도 제안되었다[12].

하지만 이러한 기법들은 모두 차량 노드들이 SDN 기능을 제공하는 것을 전제로 하고 있다. 본 논문에서는 AODV를 확장하여 차량 노드들이 SDN 기능의 제공여부를 선택하게 하여 차량 노드의 네트워크 성능을 향상시킬 수 있는 기법을 제안한다.

III. The Proposed Scheme

본 논문에서 제안하는 기법은 그림 1과 같은 환경을 기반으로 한다. VANET을 구성하는 요소들은 기존 MANET 보다는 자원이 풍부한 노드들로 주로 차량 노드들과 다수의 RSU들이며 SDN을 지원하기 위해 SDN 제어기가 포함된다. RSU가 SDN 제어기 기능을 수행할 수도 있다. 차량 노드들은 SDN을 제공할 수 있는 노드와 제공하지 않는 노드로 구분되며, 차량 노드들 간에는 AODV 다중 홉 라우팅 프로토콜이 동작한다. SDN 제어기와 SDN을 지원하는 차량 노드들 간에는 오픈플로우 프로토콜이 동작한다.

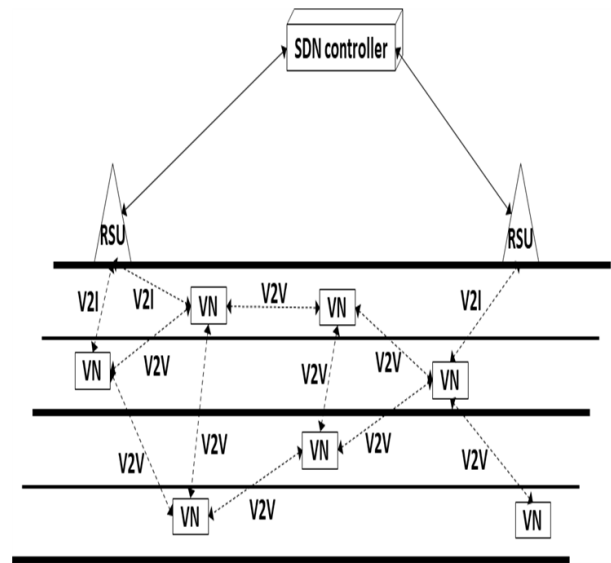


Fig. 1. VANET Environment with SDN

제안기법에서는 RSU 쪽에서 제어 플레인을 담당하여 VANET 노드들 간의 경로 설정과 유지에 대한 역할을 수행한다. 차량 노드 쪽에서는 데이터 플레인을 담당하여 데이터 송수신하는 역할을 수행한다. 차량 노드는 자신의 프라이버시 및 보안과 성능 등을 고려하여 SDN의 참여를 동적이나 정적으로 선택할 수 있다. 즉, 차량 노드들은 SDN의 제어를 받는 상태일 수 있거나 SDN의 제어를 받지 않는 상태일 수 있다. 제안기법을 통해 SDN에 참여하는 차량 노드들이 많아질수록 RSU 제어 플레인에서 설정할 수 있는 경로에 많아지고 더 좋은 경로를 선택할 수 있을 것이다. 이를 통해 제안기법은 VANET 전체에 네트워크 성능을 향상시킬 수 있을 것이다.

VANET을 구성하는 대부분의 차량 노드들은 고정된 네트워크 스위치처럼 네트워크 자치 시스템(autonomous system)의 구성요소가 아니다. 따라서 VANET에 진입할 때 이미 SDN의 제어를 받을지 말지를 결정하는 처리 과정이 필요하다. 즉, 차량 노드가 특정 SDN 영역에 들어올 때 SDN에 참여하거나 탈퇴하는 프로토콜이 필요하다. 본 논문에서는 MANET에서 사용되는 AODV를 확장하여 이러한 기능을 제공한다. 또한, 차량 노드들은 자원 제약이 크지 않기 때문에 네트워크 성능을 향상시키기 위해 SDN 기능을 수행할 수 있으며 기본적인 라우팅 기능을 통해 경로 설정이나 QoS 라우팅 등에 기여할 수 있다. 본 논문에서는 단순성을 위해 기본적인 라우팅만을 고려하지만, QoS 라우팅도 지원 가능하도록 설계한다.

차량 노드가 임의의 지역에 도착했을 때, 차량 노드는 SDN 제어 노드의 제어를 받을지 거부할지를 선택해야 한

다. 즉, SDN의 기능을 수행할지 SDN의 기능 수행없이 기존 AODV를 이용하여 통신을 할지 결정해야 한다. SDN에 참여하는 노드는 SDN의 기능을 수행하고 참여하지 않는 노드는 SDN의 제어를 받지 않고 동작한다. 또한, SDN에 참여하는 차량 노드가 다양한 이유로 SDN의 기능을 수행하지 않고자 한다면 탈퇴 메시지를 SDN에 보내야 한다. 제안 기법에서는 SDN에 등록하는 과정과 라우팅에 기여하는 방법을 Mobile IP[13]의 광고(advertisement) 및 등록 과정과 AODV의 RREQ와 RREP 메시지를 참조하여 추가적인 메시지 형식들을 설계하여 제시한다.

0	8	15	24	31
Type		No of Controllers	Hop Count	
The 1 st SDN Controller IP Address				
The 1 st SDN Controller Information				
The other SDN Controller IP Addresses and Information ...				

Fig. 2. SDNADV Message Format

그림 2의 SDNADV 메시지는 Mobile IP의 에이전트 광고처럼 SDN 제어기에서 브로드캐스트되는 메시지이다. AODV의 Hello 메시지로 사용할 수 있는 RREP 메시지를 변경하여 설계하였다[3]. No Of Controllers 필드는 뒤에 나오는 SDN 컨트롤러 주소 및 정보들의 개수이며 Hop count 필드는 1로 설정되지만 SDNADV 메시지가 중계(relay)될 경우에는 증가하게 된다. Controller IP Address와 Controller Info 필드는 SDN 제어기와 해당 제어기의 정보들을 나타낸다. 제어기의 정보의 예로는 해당 주소까지의 Hop Count가 있다.

0	8	15	24	31
Type		Nice	Hop Count	
Source IP Address				
No of Neighbors		No of QoS	Type of QoS	
IP Addresses and QoS information of the Neighbor Nodes ...				

Fig. 3. REGREQ Message Format

SDNADV 메시지를 받은 차량 노드는 AODV RREQ 메시지를 참조하여 확장한 그림 3의 REGREQ 메시지를 SDN 제어기에게 보내 SDN에 참여하든지 기본적인 라우팅을 지원할지 등을 NICE 필드에 다음과 같이 설정하여 전송한다.

- 1) SDN을 지원 안하거나 지원을 탈퇴
- 2) 기본적인 AODV 라우팅으로 SDN 지원
- 3) AODV QoS 라우팅으로 SDN 지원
- 4) 모든 SDN 기능 지원

NICE 필드가 지원 안함이나 탈퇴를 선택한 경우에는 SDN을 지원하지 않거나 지원하다가 더 이상 지원을 안 하고 탈퇴하는 경우이다. 이 경우 이외에는 차량 노드는 자신의 상태와 주위 네트워크 정보를 REGREQ 메시지를 통해 전송한다. 이 메시지를 받은 SDN 제어기는 NICE 필드에 따라 차량 노드의 정보를 이용하여 네트워크를 관리 및 운용하는 동작을 수행한다.

0	8	15	24	31
Type		Nice	Hop Count	
OFP_Header(version, type, length, xid)				
OFP_Data ...				

Fig. 4. REGREP Message Format

등록 메시지로 SDN 지원을 선택한 차량 노드들은 SDN의 기능을 수행할 수 있는 경우이다. 이 경우에는 SDN 제어기가 그림 4의 REGREP 메시지를 이용하여 오픈플로우 프로토콜 데이터를 차량 노드에게 전송한다. 자원이 풍부한 차량 노드는 기존 오픈플로우 프로토콜에서 사용되는 보안 채널인 TLS 또는 DTLS(Datagram Transport Layer Security)를 이용하여 오픈플로우 데이터를 전송할 수도 있다. 오픈플로우 데이터를 받은 차량 노드는 SDN 기능을 수행한다.

차량 노드가 SDN 기능을 제공하는 경우나 기본적인 라우팅 또는 QoS 라우팅을 지원하는 경우에는 차량 노드의 네트워크 정보를 이용하여 연관된 차량 노드들이 SDN 기능이나 기본적인 라우팅 및 QoS 라우팅을 지원하도록 라우팅 정보를 수정해야 한다. SDN 제어기는 오픈플로우 채널을 이용하거나 REGREP 메시지를 이용하여 연관된 차량 노드들에게 차량 노드들의 라우팅 정보를 설정하도록 한다.

IV. Performance Evaluations

제안 기법은 차량 노드에게 SDN의 참여여부를 선택할 수 있게 함으로써 차량 노드의 네트워크 성능 향상에 기여할 수 있다. 제안기법의 타당성을 검증하기 위해 다음 그림 5와 같은 격자에 위치하는 RSU 및 도로 모델에서 성능 평가를 실시하였다. 차량노드는 노선을 따라 이동하고 RSU 노드는 교차점에 위치하며 최대 25개까지 배치할 수 있다. 차량 이동 모델은 임의의 노선 위의 점을 선택하여 현재 위치에서 그 곳까지 평균 속도로 이동하는 모델이다.

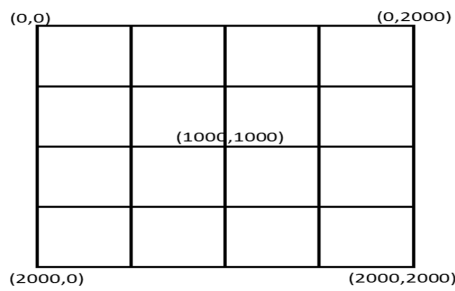


Fig. 5. VANET Simulation Model

시뮬레이션은 표 1과 같은 파라미터와 환경변수 값들을 사용하여 SIMLIB 기법을 적용하여 수행하였다[14]. 노드의 수나 RSU의 수 및 노드의 속도를 파라미터로 사용하였고 기초 설정 값은 굵게 표시하였다.

Table 1. Parameters and Environments of simulation

Parameters or Environments	Values
Number of Vehicle Nodes	100, 150, 200 , 250
Number of RSU Node	5, 15 , 25
Upper Speed of Vehicle Nodes	20, 40 , 60, 80 km/h
Speed of Vehicle Nodes	Uniform(0, Upper Speed)
Traffic Area	2000m * 2000m
Radio Range of Vehicle Nodes	250m
Lifetime Threshold of Long Lived Route	10 seconds

차량 노드의 수는 100에서 250까지이며, 다른 파라미터를 평가할 때는 200개로 설정하였다. RSU의 노드는 세로로 5개씩 설정하여, 5인 경우에는 (0, 1000), (500, 1000), ..., (2000, 1000)의 위치에 설정하며, 15개인 경우에는 (0, 500), (0, 1000), (0, 1500) 위치 기준으로 세로로 5개씩 배치하였다. 25개인 경우에는 모든 교차점에 배치하였다. 차량 노드의 속도는 최고속도를 기준으로 0에서 상한 속도(Upper Speed)까지의 균등분포로 설정된다. 평균 속도는

상한 속도/2이다. 긴 경로의 유지 시간의 기준점을 10초로 설정하였다.

차량 노드의 참여 퍼센트에 따른 성능향상을 평가하였다. 50%는 기본적으로 SDN에 참여하는 퍼센트로 설정하였고, 75%와 100%는 차량 노드들이 제안 기법을 통해 추가적으로 SDN을 지원하는 경우로 평가하였다. 75%는 기존에 비해 50% 증가한 수치로 기존에 비해 1.5배로 증가한 경우이며 100%는 2배로 증가한 경우이다. 차량 노드가 100개인 경우 기존 모델 50%는 차량 노드가 50개인 경우이며, 제안기법 75%는 75개, 100%는 100개 차량 노드가 SDN을 지원하는 경우이다.

그림 6은 차량 노드 수에 따른 경로 발견 성공률인 RDSR(Route Discovery Success Rate)을 보여준다. RDSR은 임의의 소스 노드에서 임의의 목적지 노드로의 경로를 탐색할 때 성공적으로 경로를 탐색할 확률을 의미하며, 제안 기법이 얼마나 안정적으로 새로운 경로를 탐색할 수 있는지를 보여준다. 네트워크에 노드의 수가 증가할수록 RDSR이 증가하며, SDN을 지원하는 차량 퍼센트가 증가할수록 RDSR이 증가함을 알 수 있다. 제안기법에 의해 SDN이 지원하는 차량 퍼센트가 증가할수록 RDSR이 증가함을 알 수 있다.

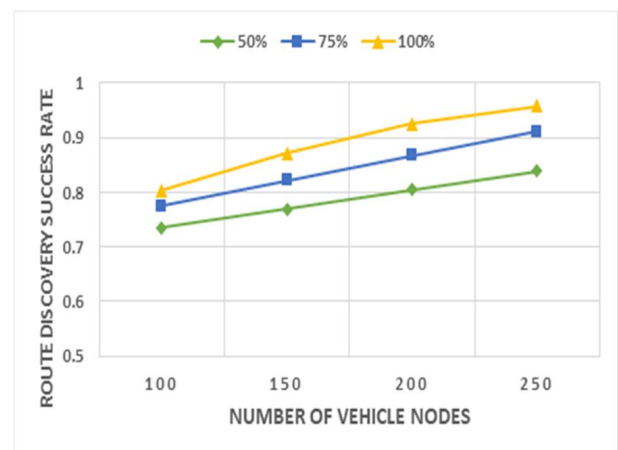


Fig. 6. Route Discovery Success Rate by Number of Vehicle Nodes

그림 7은 RSU의 수에 따른 경로 발견 성공률인 RDSR을 보여준다. 네트워크에 RSU의 수가 증가할수록 RDSR이 증가하며, 제안 기법에 의해 SDN을 지원하는 차량 노드의 퍼센트가 증가할수록 RDSR이 증가함을 알 수 있다. RSU가 25개인 경우에는 모든 차량들이 RSU의 무선 통신 범위인 250m 이내에 있는 경우로 모든 차량 노드가 RSU에 연결되어 있게 되어 SDN을 지원하는 차량 노드의 수와 상관없이 RDSR이 1이 되고 있다. RSU의 수가 작은 환경

에서는 제안 기법이 네트워크 성능에 더 크게 기여함을 알 수 있다.

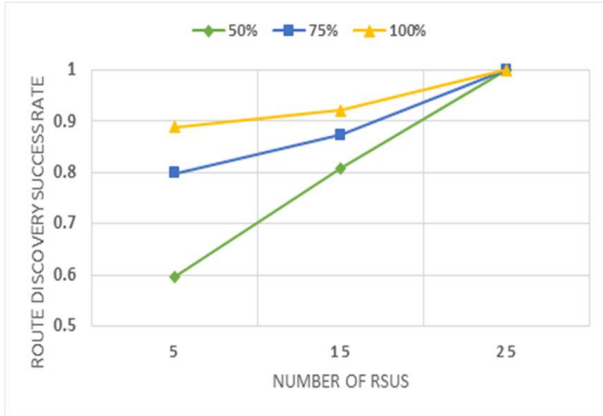


Fig. 7. Route Discovery Success Rate by Number of RSUs

그림 8은 차량의 상한 속도에 따른 경로가 10초 이상 동안 장시간 지속된 경로 비율인 LLRR(Long Lived Route Ratio)을 보여준다. LLRR은 발견된 라우팅 경로가 일정 시간(예: 10초)동안 유지된 경로의 비율을 의미하며, 검색된 경로의 안정성을 나타내며, 유지시간이 길수록 패킷 손실이나 재탐색으로 인한 지연 시간이 줄어든다. 차량 노드의 속도가 증가할수록 기존 경로가 유지되는 비율은 떨어지고 있음을 알 수 있으며, 제안 기법에 의해 SDN을 지원하는 차량의 퍼센트가 클수록 LLRR 비율이 조금 높다는 것을 알 수 있으며 상한 속도가 증가할수록 그 차이가 줄어들음을 알 수 있다.

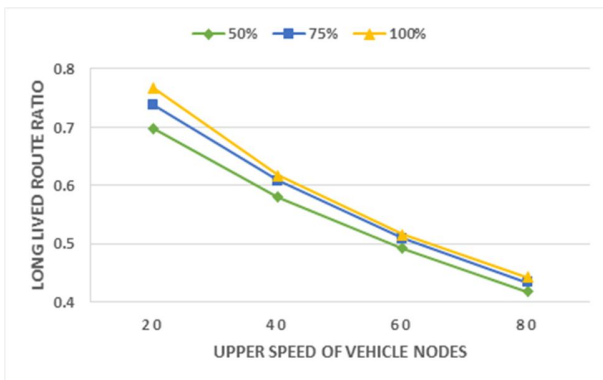


Fig. 8. Long Lived Route Ratio by Upper Speed of Vehicle Nodes

그림 9는 차량의 속도 상한에 따른 경로 재발견 성공률인 RRSR(Route Rediscovery Success Rate)를 보여준다. RRSR은 기존 경로가 단절된 후 재탐색을 통해 새로운 경로를 성공적으로 확보할 확률을 의미하며, 기존 경로가

단절된 후 안정적으로 대체 경로를 확보하는 비율을 나타낸다. 차량 노드의 속도가 증가할수록 RRSR이 아주 조금씩 감소함을 보여주지만, SDN을 지원하는 차량의 퍼센트가 증가할수록 RRSR이 더 크다는 것을 알 수 있다.

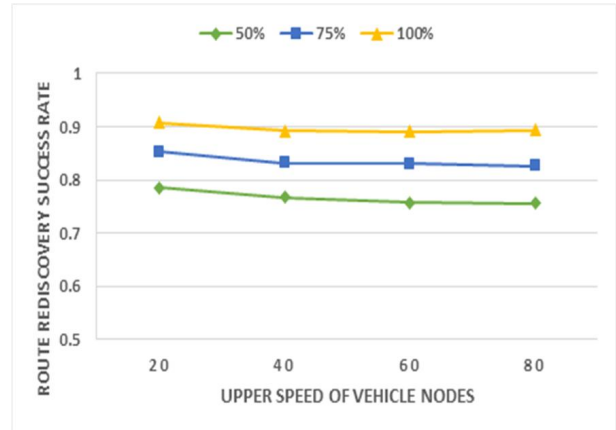


Fig. 9. Route Rediscovery Success Rate by Upper Speed of Vehicle Nodes

V. Conclusions

본 논문에서는 VANET 환경에 AODV 프로토콜을 확장하여 차량노드들로 하여금 SDN의 지원 여부를 선택할 수 있도록 하였다. 제안기법은 SDN을 지원 여부를 선택하기 위해 AODV 확장 메시지 형식을 제시하였고, 성능평가를 통해 제안기법이 기본적인 라우팅을 통해 네트워크 성능에 기여할 수 있음을 보였다.

SDN 지원을 전제로 하는 기존 기법들 비해 제안 기법은 차량 노드가 SDN의 지원 여부를 선택하여 네트워크 성능 향상을 기여할 수 있다. 하지만 제안 기법의 시뮬레이션 환경은 실제 도로망과 다른 격자형 도로에서 수행하여 다양한 도로망 구조를 반영하지 못하는 한계가 있다. 향후 연구 과제로는 다양한 도로망 구조에서 시뮬레이션을 수행하고, 기본적인 라우팅과 함께 SDN 기능과 QoS 라우팅을 연동하는 방법을 연구하여 다양한 ITS 서비스를 지원할 수 있도록 하는 연구이다. SDN과 QoS 라우팅을 연동하는 방식은 차량 노드가 REGREQ 메시지를 이용하여 차량 주변의 네트워크 정보를 QoS 관련 필드에 설정하여 SDN 제어기에 전송하여 SDN 제어기가 수집된 정보를 토대로 QoS 지원 가능한 경로를 설정하는 방식이다.

REFERENCES

- [1] M. U. Hassan, et al, "ANN-Based Intelligent Secure Routing Protocol in Vehicular Ad Hoc Networks (VANETs) Using Enhanced AODV," *Sensors*, Vol. 24, No. 3, Jan. 2024.
- [2] N. H. Hussein, et al, "SDN-based VANET routing: A comprehensive survey on architectures, protocols, analysis, and future challenges," *IEEE Access*, Vol. 13, pp. 126801 -126861, Jan. 2025.
- [3] C. Perkins, E. Belding-Royer, and S. Das, "Ad Hoc on-Demand Distance Vector (AODV) Routing," document RFC3561, 2003.
- [4] Open Networking Foundation, "OpenFlow Switch Specification 1.5.1," Mar. 2015.
- [5] K. M. M. Uddin, N. Islam, and J. Akhtar, "Implementing AODV Routing Protocol in VANET using SDN," *International Journal of Computer Applications* Vol. 175, No. 32, Nov. 2020.
- [6] T. Kabir, N. Nurain, and M. H. Kabir, "Pro-AODV (Proactive AODV): Simple modifications to AODV for proactively minimizing congestion in VANETs," 2015 International Conference on Networking Systems and Security (NSysS), pp. 1-6, 2015.
- [7] T. Dargahi, A. M. Rahmani, and A. Khademzadeh, "SP-AODV: A Semi-Proactive AODV routing protocol for wireless networks," *International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE 2008)*, pp. 613-617, 2008.
- [8] O. S. Al-Heety, Z. Zakaria, M. Ismail, M. M. Shakir, S. Alani, and H. Alsariera, "A comprehensive survey: Benefits, services, recent works, challenges, security, and use cases for SDN-VANET," *IEEE Access*, Vol. 8, pp. 91028-91047, May 2020.
- [9] J. V. Leon, O. G. Bautista, A. Aydeger, S. Mercan, and K. Akkaya, "A general and practical framework for realization of SDN-based vehicular networks," in *Proc. IEEE Int. Perform., Comput., Commun. Conf. (IPCCC)*, pp. 1-7, 2021.
- [10] O. Sadio, I. Ngom, and C. Lishou, "Design and prototyping of a software defined vehicular networking," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 69, No. 1, pp. 842-850, Jan. 2020.
- [11] K. A. Darabkh, M. F. Al-Mistarihi, and M. I. Al-Maaitah, "Next-generation routing for autonomous vehicle networks based on innovative clustering: integrating SDN and fog computing along with AODV upon failure," *J. Supercomput.*, Vol. 81, Article 379, Jan. 2025.
- [12] H. Brahmia, C. Tolba, and T. Hafs, "Improving AODV performance by software defined networking using NS3," *Appl. Comput. Syst.*, Vol. 27, No. 2, pp. 159-165, Dec. 2022.
- [13] C. E. Perkins, "Mobile IP: design principles and practices," Addison Wesley, 1998.
- [14] A. M. Law, "Simulation Modeling and Analysis," 6th ed., McGraw-Hill, 2024.

Authors



Yong-Hyeog Kang received his B.S. and M.S. degrees in Department of Information Engineering, and earned his Ph.D. degree in School of Electrical and Electronic and Computer Engineering from Sungkyunkwan

University, Korea, in 1996, 1998 and 2003, respectively. Dr. Kang joined the faculty of the School of Business Administration at Far East University, Chungbuk, Korea, in 2003. He is currently a Professor in the College of Business and Hotel, Far East University. He is interested in vehicle ad-hoc networks, software-defined networking, distributed computing, and security computing.