

이동성이 높은 VANET에 효율적인 Direction and Speed in Dynamic Source Routing(DS-DSR) 프로토콜 연구

김 경 수¹ · 이 정 옥² · 남 지 승^{3*}

¹㈜아이엠알 대표이사

²㈜아이엠알 책임연구원

^{3*}전남대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수

A study on efficient Direction and Speed in Dynamic Source Routing (DS-DSR) protocol for highly mobile VANET

Kyoungsoo Kim¹ · Jeongok Lee² · Jiseung Nam^{3*}

¹President, ²Senior Researcher, IMR Inc., 333, Cheomdan gwagi-ro, Gwangju, Korea

^{3*}Professor, Department of Computer Engineering, Chonnam National University, Gwangju, 61186, Korea

[요 약]

VANET (Vehicular Ad Hoc Networks)은 자율주행 차량 간의 상호 정보 교환을 통하여 차량을 제어하고 차량의 사고를 예방하는 주요한 기능을 제공한다. VANET 구현에 필수 해결사항 중 하나는 이동 중인 차량들 간에 고정된 네트워크 구축 없이 효율적인 임시 네트워크를 구성하는 라우팅 프로토콜의 개발이다. 본 논문은 반응형 형태의 DSR (Dynamic Source Routing) 프로토콜을 기반으로 두 차량 간에 연결된 경로가 오래 유지될 수 있도록 라우팅 기능을 개선하는 방안을 제시한다. 라우팅방법은 주변의 정보를 수집하는 과정에서 발생하는 불필요한 트래픽 생성 없이 DSR에 자동차의 진행방향과 속도를 추가하여 경로를 설정하였다. 개선한 라우팅 방식은 MATLAB 성능평가를 통하여 설정된 경로가 기존의 방식에 비해 긴 시간동안 패킷 전송을 안정적으로 제공할 수 있음을 확인하였다.

[Abstract]

VANET (Vehicular Ad Hoc Networks) provides key functions to control vehicles and prevent vehicle accidents through mutual information exchange between autonomous vehicles. One of the essential solutions for VANET implementation is the development of a routing protocol that constructs an efficient ad hoc network between moving vehicles without establishing a fixed network. This paper proposes a method to improve the routing function so that the route connected between two vehicles can be maintained for a long time based on the reactive DSR (Dynamic Source Routing) protocol. The route was established by adding the direction and speed of the vehicle to the DSR without generating unnecessary traffic that occurs in the process of collecting surrounding information. Through the MATLAB performance evaluation, the improved routing method confirmed that the established route can provide packet transmission more stably than the existing method.

색인어 : Ad hoc 네트워크, DSR, 반응형, 라우팅, VANET

Keyword : Ad hoc network, DSR, Reactive, Routing, VANET

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2021.22.9.1521>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 19 August 2021; **Revised** 27 August 2021

Accepted 14 September 2021

***Corresponding Author, Jiseung Nam**

Tel: + 

E-mail: jsnam@jnu.ac.kr

I. 서론

고속도로에서 자율주행이 가능한 레벨 3 수준의 성능을 보장하는 자율주행 자동차가 시장에 판매되기 시작했다. 환경의 중요성이 부각되고 IT 기술이 자동차에 접목되면서 내연기관을 사용하는 자동차는 전기차로 빠르게 변화하고 있으며 이는 자동차에 대한 인식의 변화를 가속하고 있다. 자동차 회사들은 2024년도까지 차량이 독자적으로 제어하고 목적지까지 안전하게 주행하는 레벨 5 수준의 완전한 자율주행을 목표로 경쟁적으로 기술개발을 진행하고 있다. 자율주행 기술은 운전 제어, 영상인식, 라이다 및 센서, 통신 등 다양한 IT 기술이 종합적으로 적용되어 발전하고 있다.

VANET (Vehicular Ad Hoc Networks)은 차량에서 사용하는 통신 기술을 제공한다. 차량 간의 상호 정보 교환을 통하여 차량을 제어하고 차량의 사고를 예방한다. 또한, 주변 도로의 인프라 장비들과 연결하여 차량의 통행을 원활하게 하는데 필요한 기능을 제공한다[1]. 통신기술로 IEEE 1609 WAVE (Wireless Access for Vehicular environment) 및 IEEE 802.11p와 같은 표준화된 무선 액세스 기술이 자동차를 위해 적용되고 있다. 두 가지 무선 액세스 표준에서 IEEE 802.11p는 물리계층 및 매체접근제어계층을 정의한다. IEEE 1609 WAVE는 VANET 용으로 사용하기에 적합한 상위 계층 프로토콜을 정의하는 표준으로 정의되었고 매체접근제어 계층에 해당하는 CSMA/CA 프로토콜을 사용한다[2].

무선 네트워크인 VANET은 고정된 네트워크 구축 없이 이동 중인 자동차들 간에 임시 네트워크를 구성하여 데이터를 송수신하는 방식을 사용한다. 자율적으로 이동하는 노드들의 모음으로 구성된 VANET 구현에 필요한 주요 해결사항 중 하나는 분산된 노드 간 패킷 전송을 안정적으로 제공할 수 있는 효율적인 라우팅 프로토콜의 개발이다[3].

단거리 무선 통신을 주로 사용하고 특정노드에 집중되지 않으며 분산된 노드간의 통신을 사용하여 다양한 서비스를 제공하기 위해서 다수의 중계노드들을 이용하여 전송하는 네트워킹 기술이 필요하다. MANET (Mobile Ad Hoc Networks)에서 사용하고 멀티 홉 네트워크로 정의 할 수 있는 라우팅 프로토콜의 설계 방안이 VANET에 활용하기에 적합하다. MANET에서 사용하는 기술은 VANET의 선행연구에 해당하고 구현에 필요한 주요 해결 방안이 될 수 있다[4]. MANET에서 개발되고 표준화된 대표적인 연구 결과는 DSR (Dynamic Source Routing), AODV (Ad hoc On-Demand Vector Routing)과 OLSR (Optimized Link State Routing) 등이 있다[5].

DSR은 필요한 경우에 라우팅 경로를 결정하는 반응형 (reactive) 형태의 소스 라우팅 프로토콜이다. 목적지 노드로의 경로 검색은 경로 요청 (RREQ : Route Request) 패킷을 주변 노드로 방송하여 중계하는 각 중간 노드가 식별자를 추가하여 다시 방송하는 방식으로 목적지까지 전달한다. RREQ 패킷이 목적지에 도착하면 목적지 노드는 소스 노드로 경로 정보를 경로 응답 (RREP : Route Reply) 패킷으로 전달하여

소스 노드가 목적지 경로정보를 보관하고, 통신 중인 일정기간 동안 목적지에 대한 경로정보를 유지한다. 이후 소스 노드는 전송할 데이터와 함께 경로정보를 포함한 패킷을 목적지로 전송하며 중간 노드는 패킷에 포함된 경로정보에 따라 라우팅을 수행한다[6],[7].

AODV는 DSR이 소스노드에 경로정보를 보관하고 모든 데이터 패킷에 경로정보를 추가하는 비효율을 개선한 반응형 프로토콜이다[8]. 따라서 노드가 활발히 통신 중이 아닌 목적지에 대한 경로를 유지하지 않는 반면에 모든 중계노드는 라우팅 테이블을 유지한다. 특정 노드로 패킷을 보내려는 경우 라우팅 테이블에 해당 경로가 존재하는지 확인하고 있으면 조사된 다음 홉으로 패킷을 전달한다. 존재하지 않는 경우에는 RREQ 패킷과 RREP 패킷을 사용하여 DSR과 유사한 방식으로 경로 검색 절차를 진행한다. 각 노드는 Hello 메시지를 바로 인접한 노드로 주기적으로 방송하여 이웃 노드의 라우팅 테이블 정보를 수집하여 새로운 라우팅 테이블을 생성한다.

OLSR은 기존의 유선망에서 개발된 분산 최단 경로 프로토콜의 라우팅 방식을 사용하는 사전형 (proactive) 애드혹 라우팅 프로토콜이다. OLSR은 선택된 노드 인 MPR (Multipoint Relays) 노드를 채택하고 링크 상태 정보를 생성하는 데 사용한다[9]. 무선 자원을 절약하기 위하여 MPR만이 모든 목적지로 최단 경로를 계산하는 라우팅 테이블을 유지하고 업데이트하며 제어용 브로드캐스트 트래픽을 전달한다. 또한 MPR 노드 만 소스 노드가 속한 작은 서브 세트에서 목적지가 속한 서브 세트로 메시지를 라우팅 할 수 있다[10].

MANET은 인프라 없이 다수의 무선 노드를 필요에 따라 동적으로 망을 구성하는 어려움이 있다. 다수의 중계노드들을 이용하여 전송하는 네트워크를 구성할 때 홉 수, 전송 지연, 위치 정보, 에너지 소비 및 링크 안정성 등을 고려한 문제점을 해결하는 다양한 기법이 제안되었다. 이후 차량 간 통신을 포함하는 추가 서비스가 활성화됨에 따라서 MANET에서 개발한 다양한 기능을 VANET에 활용하기 위해 연구되고 효과적으로 제공하는 방안에 대한 많은 VANET 연구가 진행되어 왔다[11],[12].

VANET은 기존의 MANET의 일부분으로 차량 간 통신에서 발생하는 특성에 의해 차별화되어 연구되었다. 특히 네트워크 노드의 높은 이동성으로 이에 따른 토폴로지의 동적 조정이 주요한 고려 사항이다. 따라서 MANET에서 개발한 네트워크를 구성할 때 홉 수와 전송 지연을 고려한 문제점 해결방안에 차량의 이동성, 위치 정보와 진행속도 등의 부가정보를 적용한 링크 안정성을 강화하는 방안이 요구되었다[13]-[16].

최적의 경로를 찾기 위해 위치정보를 중점적으로 활용하여 개발한 VANET 라우팅 프로토콜은 도로의 교통 밀도를 계산하여 적용하는 라우팅 프로토콜[17], 목적지 노드와 가장 작은 거리의 중계 노드를 선택하는 Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR)[18], 이를 확장한 Path Aware-GPSR (PA-GPSR)[19], GPSR에 추가하여 도로 조건을 고려하는 GPCR (Greedy Perimeter Coordinator Routing)[20], 이동영역 내의 인접 노드를 추적하는 라우팅

프로토콜[21], 중계 노드의 현재 위치를 고려하는 라우팅 프로토콜[22], 그리고 중계노드 간의 거리를 고려하는 라우팅 프로토콜[23], 기존의 Location Aided Routing (LAR)에 방향성을 고려하는 Directional Location Aided Routing (D-LAR), Angular Location Aided Routing (A-LAR) 및 Improved Directional Location Aided Routing (ID-LAR)[24] 등 다양한 해법이 제안되었다.

노드의 상태정보를 세밀하게 고려하는 사전형 프로토콜은 최적의 경로를 구할 수 있는 장점이 있지만 라우팅 테이블 생성에 필요한 노드들의 상태정보 수집에 많은 대역폭을 낭비하고 라우팅 알고리즘이 복잡해지는 경향이 있다. 특히 각 노드들의 이동성이 빠르게 변화하는 경우에 적용하면 라우팅 테이블 갱신과 라우팅 계산에 소요되는 부하가 지나치게 크게 발생하는 단점이 발생한다. 반응형 프로토콜은 경로를 선택하기 위해 네트워크를 구성하는 다른 노드들의 상태정보 수집 없이 단순한 Greedy 방식으로 최소 홉 수를 찾아내는 라우팅을 하므로 테이블 갱신과 경로 계산에 소요되는 부하가 상대적으로 적은 장점이 있는 반면에 최적의 경로를 구하고 이동성이 높은 경우에 경로의 단절을 최소화하는 기능이 상대적으로 약한 단점이 있다.

본 논문에서는 기존의 발표된 연구 결과를 개선하여 이동에 의한 성능에 영향을 최소화하고 노드의 링크 안정성과 같은 요소를 고려한 새로운 프로토콜을 제안한다. 이동성이 높은 경우에 경로가 자주 끊어지고 연결시간이 짧은 문제점을 개선하기 위하여 기존에 제안된 반응형 VANET 라우팅 프로토콜에 위치정보, 진행방향 및 이동속도를 함께 고려한 라우팅 프로토콜을 설계하였다.

II. 본 론

다양하게 개발된 기존의 연구를 살펴보면 사전형 VANET 라우팅 프로토콜은 최적의 경로를 구하는 장점이 있는 반면에 이동성이 높은 경우에 라우팅 테이블을 구축하기 위한 오버헤드가 급격하게 늘어나는 단점이 있다. 반응형 VANET 라우팅 프로토콜은 노드들의 상태정보 수집에 필요한 대역폭을 낭비를 줄이고 필요시 단순한 Greedy 방식으로 경로를 찾아내는 장점이 있는 반면에 이동성이 높은 경우에 경로유지 시간이 짧아진다는 단점이 있다.

이 논문은 실시간 양방향 도로 상황에서 이동하는 자동차 간의 효율적인 V2V 통신을 위해 다음과 같은 관점에서 Direction and Speed in Dynamic Source Routing (DS-DSR) 프로토콜을 설계하였다.

1) 라우팅 프로토콜은 일반적으로 중계 노드의 위치와 목적지 노드로부터의 거리를 매개 변수로 사용한다. 이러한 매개 변수는 노드가 동적인 경우에 자주 토폴로지의 변화가 생겨 비효율적이다. 이를 개선하기 위해 각 노드가 보유한 위치 정보, 방향정보 그리고 속도정보를 매개 변수로 라우팅의 다

음 홉을 결정하는데 활용한다.

2) 각 노드에서 이러한 매개 변수를 포함한 라우팅 테이블을 생성하기 위해 이웃 노드와 자주 정보를 수집하는 경우 불필요한 트래픽이 많이 생성된다. 노드가 동적인 경우 임시로 사용하는 하는 라우팅 테이블을 생성하는 것을 최소화하여 네트워크 내에 부가적인 트래픽을 줄인다.

3) 이동성이 높은 경우에 경로의 단절이 자주 발생한다. 특히, 양방향 시나리오에서는 단방향 기반 Greedy 프로토콜의 성능이 저하되며, 목적지 노드 방향으로 선택한 다음 홉이 문제를 일으킬 수 있으므로 이를 최소화한다.

4) 교통사고 예방을 위해 CCA (Cooperative Collision Avoidance) 서비스를 위한 경로는 도로의 뒤에 같은 방향으로 진행하는 차량에 최대한 빠르게 전달되어야 예상되는 충돌을 피하기 위해 안전한 속도를 채택할 수 있다. 특히, 생성된 경로가 필요한 동안 오래 유지되는 것은 자율주행 환경에서 활용될 다양한 미래 서비스에서는 매우 중요하다.

이를 기반으로 설계한 DS-DSR 반응형 라우팅 프로토콜에서 모든 노드는 이웃에게 자신의 존재를 알리기 위해 주기적으로 소개 메시지를 보낼 필요가 없다. 데이터 전송은 경로 검색과 경로유지로 구분된 두 단계로 진행된다. DS-DSR은 소스 노드가 요청할 때 요구되는 경로를 제공하고 모든 중간 노드는 라우팅 테이블 없이 방향정보와 속도정보를 기반으로 Greedy 라우팅을 제공한다.

2-1 DS-DSR 프로토콜에서 경로검색

경로검색을 수행하기 위해 소스 노드는 RREQ 패킷을 주변의 노드에 방송한다. 방송하는 RREQ 패킷에는 노드 식별자 (ID), 시퀀스 번호 (SN), 위치정보 (L_s) 그리고 방향과 속도 벡터 (v_s)와 같은 소스 노드의 정보를 패킷필드에 포함한다. RREQ 패킷은 ID와 SN을 통해 패킷을 구분하며, L_s 와 v_s 는 라우팅에 필요한 소스 노드의 정보이다. 방송된 RREQ 패킷을 수신한 각각의 해당 노드는 다음 규칙을 적용하여 경로검색을 수행한다.

1) 경로검색을 수행하기 위해 소스 노드는 ID, SN, 그리고 L_s 와 v_s 를 포함한 RREQ 패킷을 이웃 노드로 방송한다.

2) RREQ 패킷의 수신 가능한 거리에 있는 모든 노드는 처음 수신 할 때만 기존의 DSR에 없는 다음의 지연 규칙(표 1)에 따라 지연한 후에 이웃 노드로 본인의 ID를 추가한 RREQ 패킷을 방송한다. 만일, RREQ 패킷을 두 번째 수신하는 경우에는 더 이상 전달하지 않고 패킷을 버린다.

3) 목적지 노드는 RREQ 패킷을 처음 수신하는 경우, RREP를 소스 노드로 보낸다. 동일한 패킷이 이미 목적지 노드에 수신된 경우 다음에 도착한 패킷은 버린다. RREP에는 RREQ를 수신 한 소스 노드에서 목적지 노드까지의 경로가 포함되어 있다. RREP는 수신 된 RREQ에 추가 된 경로를 반전(reversing)하여 얻은 경로를 경유하여 소스 노드로 전송된다.

표 1. Algorithm Delaytime
Table 1. Algorithm Delaytime

Algorithm . Delay time	
Input:	x_s, y_s, x_c, y_c
Output:	T_d
Begin:	
	$T_d \leftarrow 0$
	$T_s \leftarrow \text{Backoff slot time}$
	$\theta \leftarrow \sin^{-1} \left(\frac{x_s y_c - y_s x_c}{\sqrt{x_s^2 + y_s^2} \sqrt{x_c^2 + y_c^2}} \right)$
	$V_{diff} \leftarrow \left \sqrt{x_s^2 + y_s^2} - \sqrt{x_c^2 + y_c^2} \right $
If	$ \theta \times 180 / 3.141592 \leq 30$
	If $V_{diff} \geq 5$
	$T_d \leftarrow (V_{diff} - 5) \times T_s$
	End If
	Else
	$T_d \leftarrow 30 \times T_s$
	End If
	Return T_d
End	

4) 소스 노드가 RREP를 수신하면 포함된 경로를 Route Cache에 기록한다. 이후에 송신노드가 수신노드에게 보낼 새로운 데이터 패킷이 있는 경우 Route Cache에 기록한 소스경로(source route)를 데이터 패킷의 헤더에 기록하고 기록된 경로를 따라서 데이터 패킷이 전송 된다.

2-2 DS-DSR 프로토콜에서 속도와 방향에 따른 지연 규칙

제안한 알고리즘은 반응형 프로토콜 DSR에 방향과 속도를 적용하였다. 이를 위하여 소스 노드는 경로요청 (RREQ) 패킷에 소스 노드의 벡터 값을 포함하여 이웃에 방송한다. 두 벡터 사이의 각을 구하는 방법을 사용하면 RREQ 패킷을 수신한 노드는 소스노드의 벡터 $v_s = (x_s, y_s)$ 와 자신의 벡터 $v_c = (x_c, y_c)$ 가 이루는 각을 식1과 같이 라디안으로 계산할 수있다.

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{x_s y_c - y_s x_c}{\|v_1\| \|v_2\|} \right) = \sin^{-1} \left(\frac{x_s y_c - y_s x_c}{\sqrt{x_s^2 + y_s^2} \sqrt{x_c^2 + y_c^2}} \right) \quad (1)$$

이때 θ 가 + 값이면 $v_s \rightarrow v_c$ 는 반시계방향, -값이면 시계 방향이고 이를 각도로 계산하면 $\theta \times 180 / 3.141592$ 이다. 알고리즘에서는 두 노드의 진행방향이 유사하지 않은 경우에 라우팅의 우선순위를 낮추었다. 각도 차이가 30도 이상인 경우에 현재 노드가 소스 노드에 비해 좌측, 우측 혹은 반대 방향으로 진행한다고 간주하여 RREQ 패킷을 방송하는 시간을

$T_d = 30 \times T_s$ 정도 지연하여 전송을 시작하도록 함으로서 경로 선택을 후순위로 만들었다. 여기서 T_d 는 지연시간 T_s 는 random backoff slot time이다.

두 노드의 진행방향이 유사한 경우에 속도를 비교하여 속도가 소스 노드와 유사한 노드가 지연 없이 RREQ 패킷을 방송하고 속도차이($V_{diff} \leftarrow \left| \sqrt{x_s^2 + y_s^2} - \sqrt{x_c^2 + y_c^2} \right|$)가 5 Km/h 이상인 경우 속도차이에 비례하여 RREQ 패킷을 방송하는 시간을 $(V_{diff} - 5) \times T_s$ 정도로 지연한 후에 방송하도록 함으로서 경로선택을 후순위로 만들었다.

알고리즘을 적용하면 소스노드와 같은 방향 그리고 유사한 속도의 노드가 우선적으로 경로로 선택되고 지역알림 (local broadcast) 패킷 형태로 방송된 RREQ 패킷을 수신한 노드들이 경로의 다음 홉을 찾아내기 위한 패킷을 서로 다른 지연 후에 방송한다. 결과적으로 경로를 구축하는 과정에서 발생하는 CSMA/CA의 Medium Access 처리 시간의 낭비를 줄일 수 있고 선택된 경로의 유지 시간이 길어 질 것이다.

III. 성능평가 및 분석

VANET의 통신 효율성을 이해하기 위해서 Matlab R2020b를 사용하여 모델링하고 성능평가를 수행하였다. DSR 프로토콜과 DS-DSR 프로토콜에서 정의된 메시지가 전파되는 방법에 따라 동작하도록 시뮬레이션 모델을 개발하였고, RREQ 패킷이 임의로 선택된 소스 차량으로부터 임의로 선택된 목적지 차량에 도착하는 지 그리고 모든 활성 차량에 얼마나 빨리 전파 될 수 있는지를 실험하였다. 또한, 신뢰할 수 있는 V2V 통신 및 프로토콜을 갖기 위해서 메시지가 경로가 설정된 후에 그 경로가 얼마나 오랫동안 유지되는지 시뮬레이션을 통해 검증하였다.

기존의 Dynamic Source Routing (Rep. RFC 4728) 연구 결과를 기반으로 구성된 IEEE 802.11p 카드가 장착 된 차량의 애드혹 네트워크의 성능 적용 값은 표 2과 같이 정의 되었다. 300 m의 통신 범위를 얻고 IEEE 802.11p 전용 근거리 통신과 일치하기 위해 전송 전력은 0.005 W로, 수신기 감도는 -95 dBm으로 설정된 경우를 가정하였다. Binary Exponential Backoff (BEB)의 slot time은 13 μs , Difs time은 58 μs , RREQ 패킷 전송시간은 93 μs 로 적용하도록 설정하고 Matlab 모델을 구축하고 실험하였다. DSR 모델은 CAMA/CA 알고리즘의 BEB에 따라 동작하도록 모델링 하였으며 DS-DSR 모델은 DS-DSR 프로토콜에서 경로검색에 사용하는 지연규칙 알고리즘에 따라 RREQ 패킷 전송 시작을 지연한 후 필요한 BEB를 실시하도록 모델링 하였다.

이 논문에서 도로 모델은 하나의 진출입로가 있는 3 km 길이의 8차선 고속도로를 기반으로 하고 차량은행 시나리오 모델은 고속도로 차량의 최고속도는 120 km/h 최저속도는 80 km/h로 설정하였다.

표 2. Characteristics of IEEE 802.11p

Table 2. Characteristics of IEEE 802.11p

Attribute	Value
Physical Characteristics	5.0 Ghz
Data Rate	13 Mb/s
Transmit power	0.005 W (i.e. 7 dBm)
Receiver sensitivity	-95 dBm
Transmission range	300 m
Routing protocols	DSR, DSDSR
Protocol parameters :	
Backoff slot time	13 μ s
DIFS time	58 μ s
RREQ transfer time	93 μ s

표 3. Simulation parameters of scenarios

Table 3. Simulation parameters of scenarios

Parameters	Value
Road Size X	3000 m
Road Size Y	300 m
Car Speed (Road X)	80 Km/h-120 Km/h
Car Speed (Road Y)	40 Km/h- 60 Km/h
Number of nodes (Cars)	50-270
Contention Resolution	BEB

고속도로의 중간지점에 하나의 2차선 진출입방향 300 m 도로를 설정하였고 이 도로 차량의 최고속도는 60 km/h 최저속도는 40 km/h로 표 3와 같이 설정하였다. VANET의 성능을 평가하기 위해서 네트워크를 구성하는 노드의 수는 결과를 분석하는 과정에 많은 영향을 준다. 기존의 대부분의 연구와 유사하게 네트워크를 구성하는 노드의 수를 50개부터 270개까지 설정하여 차량의 증가에 따르는 영향을 볼 수 있도록 도로상에 무작위로 위치를 설정하여 실험하였다. 이 실험은 미래의 자율 주행 차량과 관련된 실시간 VANET 애플리케이션 중에서 설정된 경로가 상당기간 유지될 필요가 있는 서비스를 고려하였다.

제시된 실험의 목적은 구성된 도로상에 자동차에 해당하는 노드들을 무작위로 위치시키고 무작위로 선정된 소스노드와 무작위로 선정된 목적지 사이에 DSR 프로토콜과 DS-DSR 프로토콜을 사용하여 경로를 설정하고 유지하는 것을 평가하였다. 제안된 모델의 경로설정 성능, 설정된 경로의 연결 유지효과 및 효율성을 3000회에 걸쳐 반복적으로 평가하여 평균값을 다음 그림과 같이 도출하였다.

그림 1은 DSR 프로토콜과 DS-DSR 프로토콜을 사용하여 소스노드와 목적지노드 사이에 경로를 설정하고 설정된 경로가 유지되는 시간을 보여준다. 이는 소스노드와 목적지노드의 진행 방향이 같거나 다르거나 관계없이 경로가 설정된 모든 연결이 단절되지 않고 유지되는 평균시간이다. 네트워크를 구성하는 자동차의 움직임에 의해 단절되는 현상은 경로를 구성하는 노드간의 거리가 300 m 통신 범위 이상으로 멀어 지는 경우에 발생한다. 시뮬레이션 결과는 DS-DSR 프로토콜이 DSR 프로토콜에 비해 연결유지 시간이 크게 향상되는 것을 보여준다.

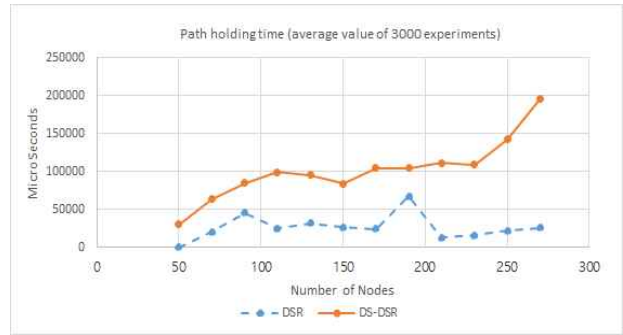


그림 1. Path holding time

Fig. 1. Path holding time

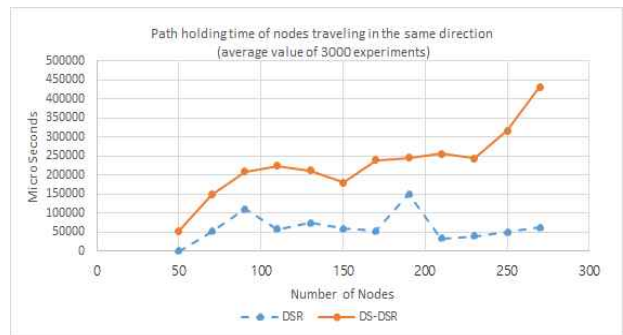


그림 2. Path holding time of nodes traveling in the same direction

Fig. 2. Path holding time of nodes traveling in the same direction

그림 2는 앞의 결과 중에서 소스노드와 목적지노드의 진행 방향이 같은 경우의 연결유지 시간을 보여준다. 연결유지 시간이 커지기를 요구하는 다양한 서비스는 대부분 같은 방향으로 이동하는 차량에서 활용될 가능성이 높다.

시뮬레이션 결과는 동일한 방향으로 진행되는 노드의 연결유지 시간이 모든 노드의 연결유지 시간에 비해 2배 이상 오랜 시간동안 경로를 유지하는 것을 보여주고, 또한 임의로 선택한 소스 노드와 목적지 노드의 50% 정도가 같은 방향임을 보여 준다. 고속도로 8차선과 진출입도로 2차선에 동일한 확률로 노드의 위치와 방향 그리고 속도를 부여하도록 시뮬레이션을 진행하였으므로 기대에 부합하는 결과이다.

DS-DSR 프로토콜은 DSR 프로토콜의 기능에 방향이 다르거나 속도가 차이가 나는 경우에 지연하여 전송을 시작함으로써 다수 노드의 미디엄 충돌 가능성을 낮추고 가급적 같은 방향과 속도로 진행되는 노드를 경로로 설정하도록 유도한다. 이와 같이 인위적으로 지연을 추가하는 방법은 당연히 RREQ 패킷을 이웃 노드로 전달하는 과정에서 다른 방향의 노드가 주변에 많을 경우 소요되는 시간을 지연시킬 가능성이 있다. 그림 3은 이러한 지연이 경로설정 과정에 미치는 영향을 보여준다. 다행히 경로설정과정에서 소요되는 시간의

차이가 100 μs 이내로 성능평가 결과로 나왔으며 노드의 수가 많아지면 오히려 차이가 축소됨을 볼 수 있다. 그림 4는 같은 환경에서 DS-DSR 프로토콜과 DSR 프로토콜을 사용하여 경로설정을 시도하는 경우 성공할 확률이 같음을 보여준다. 경로설정에 소요되는 시간과 성공률은 CCA 서비스에도 DS-DSR 프로토콜에서 부가한 인위적인 지연에 의한 문제가 발생하지 않음을 보여준다.

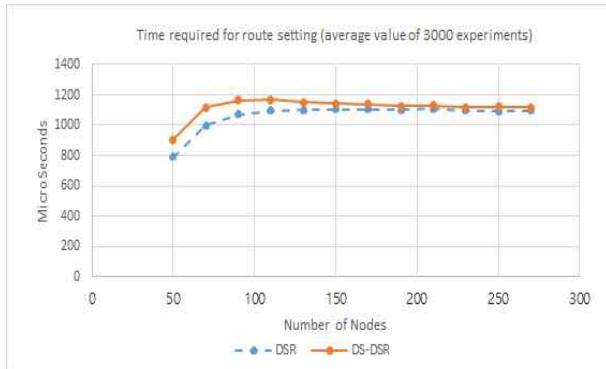


그림 3. Time required for route setting
Fig. 3. Time required for route setting

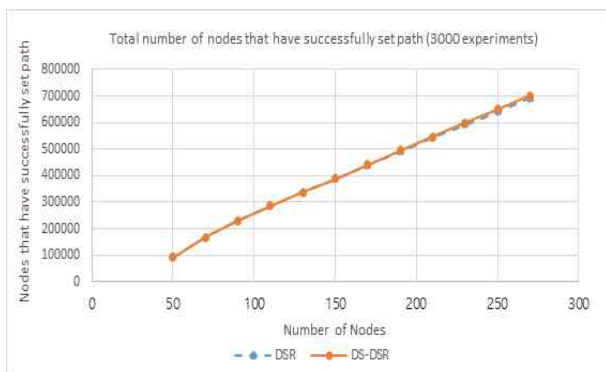


그림 4. Total number of nodes that have successfully set path
Fig. 4. Total number of nodes that have successfully set path

본 실험에서는 다른 논문과 유사한 조건을 마련하기 위해 3 km 길이의 고속도로위에 모든 노드를 무작위로 위치시키고 방향과 속도를 주어진 범위 내에서 무작위로 설정하였다. 경로를 설정하는 과정에서 소스노드와 중간노드들은 목적지 노드의 위치, 방향, 그리고 속도를 모르는 상태로 RREQ 패킷에 포함된 소스노드의 방향과 속도정보 그리고 자신의 방향과 속도 정보를 활용하여 경로를 설정해 나간다. 이는 이동성이 높은 VANET에서 노드들의 상태정보 수집에 필요한 대역폭을 낭비를 최소화하는 방법이다.

구축된 경로 상에 중계하는 노드들 중에는 소스노드와 방향과 속도가 서로 다른 노드들이 존재할 수 있으며 이는 경로유지 시간의 크기에 많이 영향을 준다. 노드의 분포가 낮으면 필연적으로 이러한 차선의 경로를 채택하는 상황이 발생하고 노드의

분포가 높으면 DS-DSR 프로토콜을 사용하여 이를 회피하고 경로유지 시간이 우수한 중계노드를 발견할 확률이 높아진다.

실험 결과는 200개 이상의 노드를 실험한 경우에 소스노드와 목적지노드의 방향과 속도가 유사한 경로를 보유할 가능성이 높아지고 DS-DSR 프로토콜에서 이 경로를 선택하여 DSR 프로토콜을 사용하는 것보다 경로가 유지되는 시간이 많이 길어진 결과를 보여준다. 그림1과 2의 경로 유지시간 결과에서 DS-DSR의 경우 노드갯수가 150일때 일시적으로 경로유지시간이 줄어들고, DSR의 경우에는 약 80개와 180개 부근에서 경로유지시간이 증가하는 값을 보인다. 나타난 결과의 출렁임은 고속도로 중간에 위치한 진출입로의 영향과 3000회의 실험을 했음에도 불구하고 노드 분포가 일정하지 않은 영향을 크게 받은 결과로 보인다.

이 결과를 기초로 더 많은 실험과 중계노드의 이탈로 인한 경로붕괴가 일어나는 경우에 추가적인 상태정보 수집을 위한 대역폭 낭비 없이 부분적인 경로 재구축 방법에 대한 연구가 필요하다. DSR과 DS-DSR 같은 반응형 라우팅 방식에서는 경로 구축을 위한 RREQ 패킷 발송은 네트워크에 큰 오버헤드로 작용한다. Location-Aware Routing(LAR)은 RREQ 패킷 발송 영역을 크게 축소할 수 있다. 반면에 소스노드가 목적지노드의 위치정보를 알고 있어야 됨으로 상태정보를 구축하고 관리하는 추가적인 트래픽이 발생한다. 특히 이동성이 큰 네트워크에서는 상태정보를 자주 현행화해야 한다. 노변기 지국 (Road Side Unit) 이 있는 경우에는 노드의 위치정보 구축 및 관리를 노변기 지국이 분담하는 방법으로 효율성이 높은 라우팅 방법을 만들 수 있을 것이다.

IV. 결 론

VANET은 네트워크 노드의 높은 이동성에 따른 토폴로지의 변화가 매우 심하다. 따라서 노드의 이동성을 반영하여 경로를 효율적으로 조정하는 라우팅 방안을 마련하는 것이 기존의 MANET과 차별화되는 주요한 고려 사항이다.

기존의 연구에서 도로에 존재하는 노드들의 상태정보를 취합하여 최선의 경로를 찾아내는 방식은 상태정보를 얻어내는 과정에서 발생하는 오버헤드가 매우 크다는 단점이 있다. 더욱이 노드들의 변화가 많고 빠르게 일어나는 경우에는 데이터 전송보다 상태정보를 교환하는데 더 많은 대역폭을 낭비할 수 있다.

본 연구에서는 토폴로지의 변화가 큰 네트워크를 구성할 때 DSR과 같은 반응형 프로토콜에 이동성과 위치 정보 등의 부가정보를 적용하는 방법을 설계하였다. DS-DSR 프로토콜에서는 DSR 프로토콜의 RREQ 패킷에 소스노드의 방향과 속도 정보를 추가하여 경로설정을 진행한다. 그리고 주변의 다른 노드들에 대한 정보의 교환 없이 단순히 중계노드의 방향과 속도가 일치하는 노드간의 결합력을 높이도록 지연 알고리즘을 적용하였다.

Matlab R2020b를 사용하여 모델링하고 성능평가를 수행한 결과 제안된 DS-DSR 프로토콜은 기존의 DSR 프로토콜에 비하여 경로설정 후 선택된 경로의 연결유지 시간이 크게 향상되는 것을 보여주었다. 경로설정 과정에서 부가한 지연은 경로설정에 소요되는 시간을 100 μ s 이내로 유지했으며 도로상의 노드의 수가 늘어나면 거의 차이가 없었다. 또한 지연을 부가해도 경로를 발견하는 성능은 변화가 없었다. 따라서 제시한 방법은 링크 안정성을 강화하는 방안으로 사용될 수 있음을 보여주었다.

참고문헌

- [1] S. Biswas, R. Tatchikou, F. Dion, "Vehicle-to-vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety," *IEEE Commun. Mag.* 44 (1) pp. 74-82, 2006.
- [2] IEEE Draft Std, P802.11p/D9.0, Sep. 2009.
- [3] Y.Y. Lin, I. Rubin, "Vehicular and messaging throughput tradeoffs in autonomous highway systems," *Proc. IEEE Global Commun. Conf. (GLOBECOM)*, pp. 1-6, 2015.
- [4] U. Nagaraj, M. U. Kharat, P. Dhamal, "Study of Various Routing Protocols in VANET," *International Journal of Computer Science & Technology (IJCSST)*, vol.2, pp. 45-52, 2011.
- [5] A. Boukerche, B. Turgut, N. Aydin, M.Z. Ahmad, L. Bölöni, D. Turgut, "Routing protocols in ad hoc networks: a survey," *Comput. Netw.* 13(55), pp. 3032-3080, 2011.
- [6] D. Johnson, D. A. Maltz, "Dynamic source routing in ad hoc wireless networks," *Mobile Computing*, 1996.
- [7] P. Nithiyandam, J. Sreemathy, "Optimized dynamic source routing protocol for MANETs," *Cluster Comput.* 22(1), pp. 12397-12409, 2019.
- [8] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," *IETF RFC3561*. Jul. 2003.
- [9] T. Clausen, P. Jacquet. "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)," *IETF RFC3626* Oct. 2003.
- [10] T. Clausen and P. Jacquet, "Optimized link state routing protocol (OLSR)," *Tech. Rep. RFC 3626*, 2003.
- [11] X. Yang, J. Liu, F. Zhao, N. Vaidya, "A vehicle-to-vehicle communication protocol for cooperative collision warning," *Proc. 1st Annual Int. Conf. Mobile and Ubiquitous Systems: Networking and Services*, pp. 114-123. 2004.
- [12] Q. Xu, T. Mak, J. Ko, R. Sengupta, "Vehicle-to-vehicle safety messaging in DSRC," *Proc. 1st ACM Int. Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks*, pp. 19-28. 2004.
- [13] F. Cuomo, I. Rubin, A. Baiocchi, P. Salvo, "Enhanced VANET broadcast throughput capacity via a dynamic backbone architecture," *Ad Hoc Netw.* 21 pp. 42-59. 2014.
- [14] X. Ma, J. Zhang, X. Yin, K.S. Trivedi, "Design and analysis of a robust broadcast scheme for VANET safety-related services," *IEEE Trans. Veh. Technol.* 61 (1) pp. 46-61, 2012.
- [15] S. Biswas, R. Tatchikou, F. Dion, "Vehicle-to-vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety," *IEEE Commun. Mag.* 44 (1) pp. 74-82, 2006.
- [16] M. Usha, B. Ramakrishnan, "An enhanced MPR-OLSR protocol for efficient node selection process in cognitive radio based VANET," *Wireless pers. Commun.* 106 (2) pp. 763-787, 2019.
- [17] Q. Yang, A. Lim, S. Li, F. Jian, P. Agarwal, "ACAR: Adaptive connectivity aware routing for vehicular ad hoc networks in city scenarios," *Mob. Netw. Appl.* 15 (1) pp. 36-60, 2010.
- [18] K. Brad, H.T. Kung, GPSR, "Greedy perimeter stateless routing for wireless," *Proc. 6th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking*, ACM, Boston, USA, pp. 243-254, August, 2000
- [19] A. Silva, N. Reza, A. Oliveira, Improvement and performance evaluation of GPSR based routing techniques for vehicular ad hoc networks, *IEEE Access* 7, pp. 21722-21733, 2019.
- [20] C. Lochert, M. Mauve, H. Fuloler, H. Hartenstein, Geographic routing in city scenarios, *ACM SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.* 9 (1) pp. 69-72, 2005.
- [21] D. Lin, J. Kang, A. Squicciarini, Y. Wu, S. Gurung, O. Tonguz, MoZo, "A moving zone based routing protocol using pure V2V communication in VANETs," *IEEE Trans. Mob. Comput.* 16 (5) pp. 1357-1370, 2017.
- [22] G. Ajay, S. Kuldeep, "Position based adaptive routing for VANETs," *Int. J. Comput. Netw. Commun.* 9 (1) pp. 55-70, 2017.
- [23] G. Ajay, S. Kuldeep, "iCAR: Intersection-based connectivity aware routing in vehicular ad hoc networks," *Proc. IEEE International Conference on Communications, ICC*, Budapest, Hungary, pp. 1736-1741, June, 2013.
- [24] K.K. Rana, S. Tripathi, R.S. Raw, "Analytical analysis of improved directional location added routing protocol for VANETS," *Wirel. Pers. Commun.* 98 (2) pp. 2403-2426, 2018.



김경수(Kyoungsoo Kim)

2016년 : 전남대학교 대학원 (공학석사)

1999년 12월~2009년 12월: ㈜인디미디어 연구소장/대표

2001년 6월~2004년 3월 : 담양대학교 겸임교수

2010년 1월~현 재: ㈜아이엠알 대표이사

※ 관심분야 : IoT, AI, Bigdata, 자율주행 등



이정옥(Jeongok Lee)

2015년 : 전남대학교 대학원 (공학석사)

2011년~현 재: ㈜아이엠알 책임연구원

※ 관심분야 : Smart City, Bigdata, 자율주행 등



남지승(Jiseung Nam)

1986년 : University of Alabama 대학원 (공학석사)

1992년 : University of Arizona 대학원 (공학박사)

1992년~1995년: 한국전자통신연구소, 컴퓨터통신연구실 선임연구원

1993년~1993년: 한국과학기술원 전자공학과 대우교수

1999년~2001년: 전남대학교 정보통신특성화추진센터 소장

2008년~2018년: 전남대학교 중소기업산학협력센터 소장

1995년~현 재: 전남대학교 공과대학 컴퓨터공학과 교수

※ 관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 통신 프로토콜, 병렬처리 스트림서버, 등