

VANET 라우팅에 대한 연구 및 동향

김대희, 안순신
고려대학교

요약

차량이 급격히 증가하고, 무선 통신 기술이 발전함에 따라, 전 세계적으로 VANET 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. VANET은 MANET의 한 형태로, 다양한 교통 관련 응용에 활용될 수 있다. 하지만, VANET의 높은 이동성으로 인해 VANET에서 신뢰성 있는 라우팅을 제공하는 것은 쉽지 않다. 따라서 효율적인 라우팅 프로토콜의 설계는 VANET 응용의 성능에 있어 가장 중요한 요소이다. 이에 본 고에서는 기존 VANET 라우팅 프로토콜에 대해 상세히 알아본 후, VANET 라우팅 프로토콜의 최신 동향과 이슈에 대해 살펴본다.

I. 서론

VANET(Vehicular Ad-Hoc Network)은 MANET(Mobile Ad-Hoc Network)의 한 형태로, 무선 통신 기술을 갖춘 차량들에 의해 형성된 애드혹 네트워크를 말한다. VANET에서는 각 차량이 통신 노드의 역할을 수행하며, 차량 간 통신 또는 차량 대 노변장치(RSU: Road Side Unit) 간 통신을 통해 정보를 주고 받을 수 있다.

차량이 급격히 증가하고, 무선 통신 기술이 발전함에 따라, 전 세계적으로 VANET 관련 연구가 활발히 진행되고 있다. 미국의 Vehicle Safety Consortium, 유럽의 Car-2-Car Communication Consortium, 일본의 Advanced Safety Vehicle 프로그램과 IEEE 802.11p(WAVE)와 같은 표준화 작업을 예로 들 수 있다. 이러한 연구의 목적은 VANET을 통해 운전자의 안전을 보장하고, 교통 효율성 및 사용자 편의성을 제공하는 것이다.

VANET은 MANET의 특수한 형태로, MANET과 같이 인프라(Infrastructure) 없이 노드 간 멀티홉(Multi-hop) 통신을 수행하지만, MANET과 달리 차량의 높은 이동성으로 인해 빈번한 토폴로지 변화 및 네트워크 단절이 발생한다. 이로 인해

VANET에서는 신뢰성 있는 라우팅을 제공하기 매우 어렵고, 따라서 효율적인 라우팅 프로토콜의 설계는 VANET 응용의 성능에 있어 가장 중요한 요소이다.

본 고에서는 먼저 VANET의 기본적인 요소를 리뷰한 후, VANET 라우팅 프로토콜에 대해 상세히 알아본다. 끝으로 VANET 라우팅 프로토콜의 최신 동향 및 이슈에 대해 살펴본 후 마무리하도록 한다.

II. VANET Overview

본 장에서는 VANET 라우팅에 대해서 알아보기 전에 VANET의 기본적인 내용에 대해 알아본다.

1. VANET 응용

VANET 응용은 크게 다음과 같이 3가지로 분류할 수 있다 [1].

1.1 교통 안전 응용

VANET의 가장 중요한 응용으로, 운전자의 안전을 위해 전방 교통사고 여부나 미끄럼 지역 등 다양한 정보를 통해 운전자가 사고를 예방할 수 있을 뿐만 아니라, 자동차에서 자체적으로 사고 예방을 위해 속도를 조절할 수 있다.

1.2 교통 효율 및 관리 응용

효율적인 차량 흐름이나 교통량 분산 등을 목적으로 한다. 노변장치나 다른 차량으로부터 교통량 정보나 속도 등을 제공받아, 최적의 속도 유지나 경로 탐색을 통해 효율적인 운전을 수행할 수 있다.

1.3 인포테인먼트 응용

차량 내에서 인터넷 서비스나 스트리밍 서비스 같은 다양한

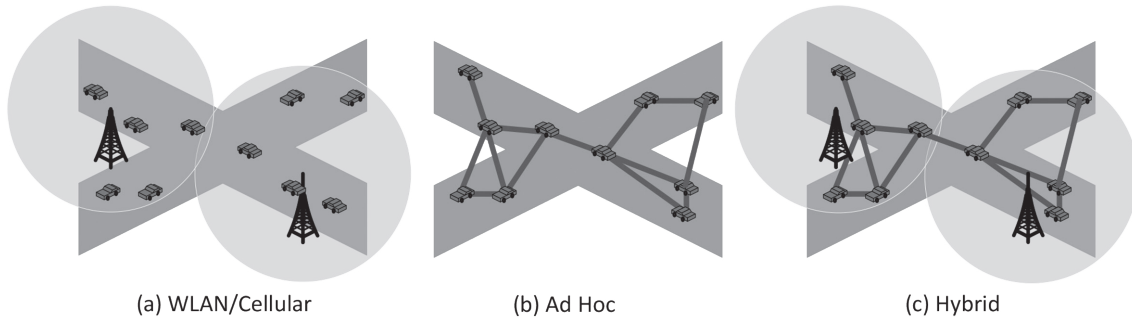


그림 1. VANET 구조

사용자 편의 및 정보 서비스를 이용할 수 있다.

2. VANET 구조

VANET은 <그림 1>과 같이 3가지 네트워크 구조를 가질 수 있다. <그림 1(a)>에서는 모든 차량들이 노변장치(WLAN AP 또는 이동통신 기지국)와 직접 통신이 가능하다. 따라서 차량 간 멀티홉 통신이 필요 없으므로 라우팅이 필요하지 않고, 또한 비용 문제로 <그림 1(a)>의 구조를 가지기는 쉽지 않으므로 본 고에서는 <그림 1(a)>의 구조는 고려하지 않는다. <그림 1(b)>는 노변장치 없이 차량 간 멀티홉 통신을 수행하는 애드혹 구조이다. 사고 발생 시 멀티홉 통신을 통해 주위 차량들에게 정보를 전달할 수 있으므로, 많은 VANET 응용에 사용될 수 있다. <그림 1(c)>는 <그림 1(a)>와 <그림 1(b)>가 혼합된 하이브리드 구조이다. 비용 문제로 모든 도로를 노변장치가 커버할 수는 없지만, 일부의 노변장치만으로도 향상된 서비스를 제공할 수 있다. 하이브리드 구조는 인터넷 접속과 같은 인포테인먼트 응용에 적합한 구조이다. 노변장치가 커버하지 못하는 차량은 애드혹 방식으로 노변장치와 통신을 수행한다.

3. VANET 특징

VANET은 MANET과 달리 다음과 같은 특징을 갖는다.

3.1 높은 이동성 및 제한된 이동 패턴

빠르게 움직이는 차량으로 인해 네트워크 전체가 높은 이동성을 가진다. 하지만, 차량의 이동 패턴은 도로에 의해 제한되므로, 차량의 움직임은 예측 가능하다.

3.2 빈번한 네트워크 단절

높은 이동성으로 인해 차량이 특정 도로에 몰릴 경우, 주위 다른 도로에는 차량이 없어 네트워크 단절이 발생할 수 있다.

3.3 다양한 통신 환경

도시, 시골, 고속도로 등 환경에 따라 교통량, 높은 건물 등에 의해 통신 환경이 달라질 수 있다.

3.4 GPS 및 다양한 센서 장착

기술의 발달로 대부분의 차량은 GPS를 가지고 있고, 이외에 교통량 등을 파악할 수 있는 다양한 센서를 장착하고 있다. GPS를 통한 위치 정보와 센서를 통해 획득한 다양한 정보를 통해 향상된 라우팅 서비스를 제공할 수 있다.

Ⅲ. VANET 라우팅 프로토콜

앞에서 언급한 특징들로 인해 VANET에서 효율적인 라우팅을 제공하는 것은 쉽지 않다. 본 장에서는 기존 VANET 라우팅 프로토콜에 대해 상세히 살펴본다.

VANET 라우팅 프로토콜은 크게 다음과 같이 3가지로 분류할 수 있다. (<그림 2> 참조)

- 브로드캐스트 (Broadcast)
- 지오캐스트 (Geocast)
- 유니캐스트 (Unicast)

VANET에서는 차량이 노드로 동작하므로, 이후 차량과 노드를 혼합하여 사용하도록 한다.

1. 브로드캐스트

브로드캐스트는 1개의 송신 차량에서 모든 차량에 데이터를 전달하는 기본적인 라우팅 방법이다. VANET에서 브로드캐스트는 교통 정보, 긴급상황, 도로상황, 광고 및 공지사항 전달 등에 유용하게 사용될 수 있다. 앞에서 언급한 바와 같이 본고에서는 1홉 브로드캐스트는 다루지 않고, 멀티홉 브로드캐스트에

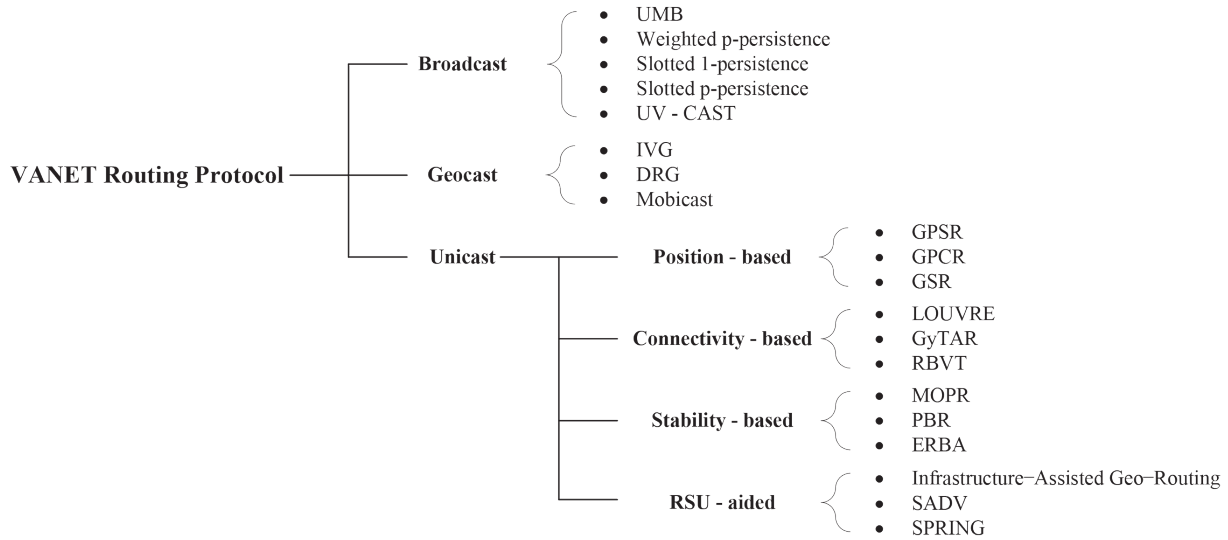


그림 2. VANET 라우팅 프로토콜 분류

대해서만 살펴본다.

브로드캐스트는 라우팅 테이블을 유지할 필요가 없고, 이웃 노드에 대한 정보를 필요로 하지 않으며, 높은 패킷 전달 신뢰성을 가지므로, VANET과 같이 높은 이동성을 가지는 환경에 효율적이다. 하지만, 많은 패킷 전송으로 인해 대역폭(bandwidth)이 낭비되고, 충돌 및 에러로 인해 스루풋(throughput)이 낮다는 단점을 가진다.

가장 기본적인 브로드캐스트 방법은 플러딩(flooding)이다. 플러딩이란 패킷을 수신한 모든 노드가 패킷을 다시 브로드캐스트 하는 방법이다. 따라서, 네트워크 내의 모든 노드가 패킷을 수신할 수 있으므로 신뢰성이 높고, 구현하기 쉽다는 장점이 있지만, 대역폭이 낭비되고, 스루풋이 낮다. 따라서, 플러딩은 비교적 제한된 수를 가지는 네트워크에 적합하지만, VANET과 같은 많은 수의 노드를 가지는 네트워크에는 적합하지 않다. VANET에서는 플러딩의 문제를 극복하기 위하여 모든 노드가 다시 브로드캐스트하지 않고, 특정 노드(전달 노드)만 다시 브로드캐스트하도록 한다. 나머지 노드들은 전달 노드가 브로드캐스트하는 것을 들으면 더 이상 브로드캐스트 하지 않는다. 이를 통해 네트워크의 패킷 수가 현저하게 줄어들어 대역폭 낭비를 줄이고, 스루풋을 높일 수 있다. 그러나, 패킷 전달 신뢰성은 어느 정도 떨어질 수 있다. VANET에서는 전달 노드를 선택하는 방법에 따라 다양한 브로드캐스트 라우팅 프로토콜이 제안되었다.

UMB(Urban Multihop Broadcast)[2]는 거리 기반으로 전달 노드를 선택한다. 802.11 기반 RTS/CTS와 유사한 메커니즘을 사용하여, 송신 노드에서 가장 먼 곳에 있는 노드만 패킷을 브로드캐스트하고, 나머지 노드들은 브로드캐스트하지 않는다.

또한 UMB는 패킷 전달 신뢰성을 향상시키기 위해 교차로에 위치한 리피터를 통해 모든 방향으로 패킷을 브로드캐스트한다.

[3]에서는 3가지 확률 및 타이머 기반 브로드캐스트 라우팅 프로토콜을 제안한다. weighted p-persistence 방식은 각 노드에서 송신 노드와의 거리에 따라 포워딩 확률 p를 계산하고, 일정 대기 시간 후 확률 p에 따라 브로드캐스트 여부를 결정한다. slotted 1-persistence 방식은 거리에 따른 대기 시간을 결정하고, 대기 시간이 짧은(즉, 거리가 먼) 노드가 전달 노드로 선택되어 브로드캐스트한다. slotted p-persistence는 slotted 1-persistence 방식과 같이 거리에 따라 대기 시간이 계산되지만, 대기 시간 후 패킷을 무조건 브로드캐스트하는 것이 아니라 확률 p에 따라 브로드캐스트 여부를 결정한다.

UV-CAST(Urban Vehicular Broadcast)[4]는 도시 환경에서의 브로드캐스트 라우팅 프로토콜로 기존 브로드캐스트와 달리 네트워크 단절 상황을 고려한다. 네트워크 단절 시에는 전달할 노드가 없으므로 패킷을 가지고 진행하다가 전달할 노드가 나타나면 전달하는 저장 후 전달(SCF:Store-Carry-Forward) 방식으로 패킷을 전송한다. 따라서, 연결된 네트워크의 가장 자리에 있는 노드는 SCF 역할을 수행해야 한다. SCF 선택 방법은 <그림 3>과 같다. 노드 A는 노드 S로부터 데이터 수신 시 A와 S를 연결한 직선과 이웃 노드들이 이루는 각을 계산한 후, 최대각과 최소각을 가지는 노드를 선택한다. <그림 3>에서는 B와 C가 선택되었다. 이때 최대각과 최소각의 합이 180°보다 작으면 A가 SCF로 선택되고(<그림 3(a)>), 그렇지 않으면 SCF로 선택되지 않는다(<그림 3(b)>).

전달 노드 선택 시 교차로에 있는 차량이 더 많은 차량들과 연결될 가능성이 높으므로, 효율적인 브로드캐스트를 위해 교차

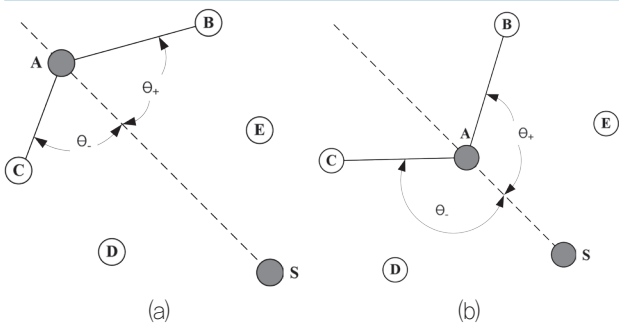


그림 3. UV-CAST SCF 결정 방법

로에 있는 노드에게 가중치를 부여하여, 가능한 교차로에 있는 노드가 전달 노드가 되도록 한다. 각 노드는 데이터 수신 후 송신 노드와의 거리와 교차로 근처 여부에 따라 대기시간을 계산한 후 대기시간 동안 중복 메시지를 수신하지 않으면, 브로드캐스트한다. 만약 중복 메시지를 수신하면 브로드캐스트를 수행하지 않는다.

2. 지오캐스트

지오캐스트는 위치 기반 멀티캐스트 라우팅으로, 1개의 송신 차량에서 특정 지역에 있는 모든 차량에 데이터를 전달한다. 지오캐스트는 많은 VANET 응용들에 적합하다. 예를 들어, 전방에 사고가 발생한 경우, 해당 정보는 전체 네트워크에 전달되는 대신, 해당 사고에 의해 영향을 받을 수 있는 근처의 차량들에게만 전달함으로써, 불필요한 정보의 전달을 막아 네트워크 효율성을 높일 수 있다.

일반적으로 지오캐스트 라우팅 프로토콜은 데이터를 전달할 관련 지역(ZOR:Zone of Relevance)을 정의하고, 그 지역 내에 있는 모든 노드가 메시지를 수신할 수 있도록 플러딩을 사용한다. 하지만, VANET에서는 앞에서 언급했던 플러딩의 단점으로 인해, 플러딩 대신 전달 노드를 이용한 브로드캐스트를 사용한다.

IVG(Intervehicle Geocast)[5]는 사고 발생 시 운전 방향과 위치에 따라 일시적으로 동적인 위험 지역을 정의한다. 해당 위험 지역 내에서 데이터 전달을 위해 거리 기반 브로드캐스트를 이용한다. 데이터 수신 시 각 노드는 송신 노드와의 거리에 반비례하게 대기 시간을 설정하고, 대기 시간이 경과한 노드는 데이터를 다시 브로드캐스트한다. 대기 시간이 끝나기 전에 다른 노드의 브로드캐스트를 수신한 노드는 데이터를 브로드캐스트하지 않고, 위험 지역 밖에 있는 노드는 위치 정보를 이용하여 더 이상 데이터를 브로드캐스트하지 않는다. 추가적으로 VANET 특성 상 네트워크 단절이 발생할 수 있으므로, IVG는 신뢰성 있는 데이터 전달을 위해 주기적으로 데이터를 재전송한다.

DRG(Distributed Robust Geocast)[6]는 데이터를 수신할 ZOR을 정의한 후, ZOR 내의 연결성을 보장하기 위해 추가적으로 전달 지역(ZOF:Zone of Forwarding)을 정의한다. ZOF 내의 노드는 실제 데이터를 수신할 노드는 아니지만, ZOR 내의 모든 노드가 데이터를 수신할 수 있도록 ZOR로 패킷을 전달하는 역할을 수행한다.

Mobicast[7]는 기존 지오캐스트의 공간적인 요소에 시간적인 요소를 추가한다. DRG와 같은 기존 지오캐스트에서는 ZOR, ZOF가 시간에 상관없이 고정되어 있는데, Mobicast에서는 시간에 따라, 이벤트 차량(사고 차량)이 이동하므로 ZOR이 변화하고 따라서 ZOF도 변화하는 상황을 고려한다. 긴급 상황, 온라인 게임, 비디오 광고 등 많은 VANET 응용에 Mobicast는 유용하다. Mobicast에서는 특정 시간 별로 ZOR이 결정되고, 해당 ZOR 내의 모든 차량은 메시지를 수신하여야 한다. 하지만, VANET의 특성 상 ZOR 내에서 일시적인 네트워크 단절이 발생할 수 있다. 이를 해결하기 위해 Mobicast에서는 DRG와 같이 ZOF를 정의한다. 하지만, 앞에서 언급했듯이 고정된 ZOR과 ZOF를 가지는 DRG와 달리 Mobicast에서는 접근 지역(ZOA:Zone of Approaching)에 의한 정교한 ZOF 예측 방법을

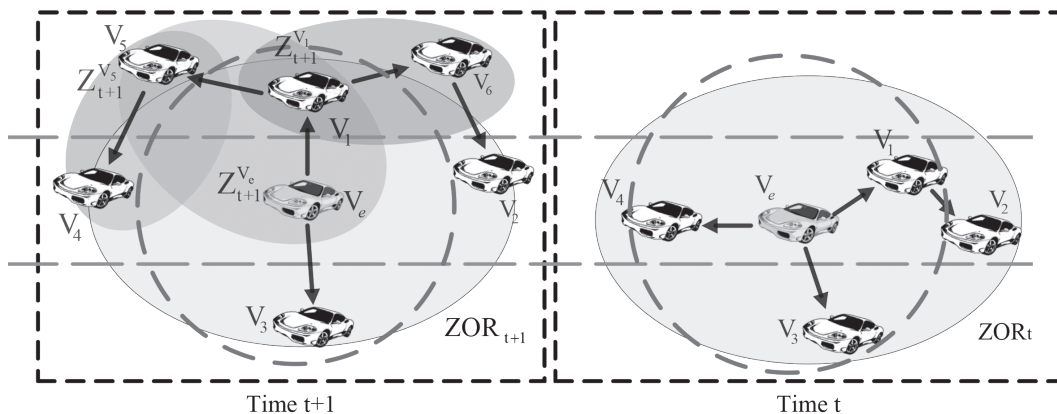


그림 4. Mobicast

제시한다. 데이터 전송 시 ZOR 내에서 더 이상 전송할 이웃 노드가 없고 ZOR의 가장자리 근처가 아닌 경우, 해당 노드는 새로운 ZOA를 정의한다. ZOA 내의 노드를 통해 ZOR 가장자리에 가까운 노드로 데이터를 전송하고, 더 이상 전송할 이웃 노드가 없을 경우, 다시 새로운 ZOA를 정의한다. 이와 같이 반복적으로 생성된 ZOA가 ZOF를 형성하여, 결국 데이터는 ZOR 내에 모두 전달되게 된다. <그림 4>의 시간 t 에서는 V_1, V_2, V_3, V_4 가 ZOR에 위치해 있고, ZOR 내의 노드들을 이용해 이벤트 차량 V_6 로부터 메시지를 수신할 수 있다. 하지만 시간 $t+1$ 에서는 V_2 와 V_4 는 네트워크 단절로 직접 메시지를 수신할 수 없다. 따라서, V_6, V_1, V_3 는 ZOA를 정의하고, 정의된 ZOA를 통해 메시지가 V_2, V_4 로 전달된다. 이 때 ZOF는 ZOR과 생성된 ZOA의 합이 된다.

3. 유니캐스트

유니캐스트 라우팅은 1개의 송신 차량에서 1개의 목적지 차량에 데이터를 전송하는 방식이다. 유니캐스트 라우팅은 주로 인포테인먼트 응용에 적합하다.

VANET에서는 차량의 높은 이동성으로 인해 기존 MANET에서 사용되던 AODV나 DSR과 같은 토폴로지 기반 라우팅은 잦은 링크 단절로 인해 많은 오버헤드가 발생하므로 적합하지 않다. 대신에 VANET에서는 GPS를 통해 획득한 위치 정보를 이용하는 라우팅이 보다 적합하다.

유니캐스트 라우팅 프로토콜은 다음과 같이 4가지로 분류할 수 있다. (<그림 2> 참조)

- 위치 기반 라우팅 (Position-based Routing)
- 연결성 기반 라우팅 (Connectivity-based Routing)
- 안정성 기반 라우팅 (Stability-based Routing)
- 노변장치 지원 라우팅 (RSU-aided Routing)

이는 VANET 라우팅 기술의 흐름에 따라 분류한 것으로, 각 분류는 상호 배타적이지 않고, 상호 보완적일 수 있다.

3.1 위치 기반 라우팅

VANET에서 각 차량은 장착된 GPS를 통해 자신의 위치를 알 수 있고, 이웃 노드와의 주기적인 비콘(Beacon) 메시지 교환을 통해 이웃 노드의 위치를 알 수 있다. 또한 위치 정보 서비스를 통해 목적지의 위치를 알 수 있다고 가정한다.

위치 기반 라우팅은 경로 유지를 위한 오버헤드 없이 이러한 위치 정보만 가지고 데이터 전송을 수행하므로 높은 이동성을 가지는 VANET에 적합하다. 데이터 전송 시 위치 정보를 이용

해 목적지에 가장 가까운 이웃 노드로 패킷을 포워딩하는 탐욕 전달(Greedy Forwarding) 방식을 사용하며, 탐욕 전달 방식의 특성 상 송신 노드보다 목적지에 더 가까이 있는 이웃 노드가 없는 경우(교착 상태), 복구 알고리즘이 필요하다.

GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing)[8]은 가장 기본적인 위치 기반 라우팅 방법이다. 목적지의 위치와 이웃 노드의 위치를 가지고, 탐욕 전달 방식으로 패킷 포워딩을 수행하며, 교착 상태에 빠질 경우 주위 라우팅(Perimeter Routing)을 통해 패킷 포워딩을 수행하다가, 목적지에 더 가까운 이웃 노드를 발견할 경우, 다시 탐욕 전달 방식으로 전환한다. VANET 환경에서 GPSR은 높은 빌딩과 같은 장애물이 있을 경우, 직접 통신이 불가능할 수 있고, 라우팅 루프가 발생할 수 있으며, 목적지의 이동을 고려하지 못한다는 단점이 있다. 또한 주위 라우팅을 위해서 평면 그래프(planar graph)를 생성해야 하는데, VANET에서는 이러한 경우 네트워크 단절이 발생할 수 있다.

GPCR (Greedy Perimeter Coordinator Routing)[9]은 도시의 거리와 교차로가 자연스럽게 평면 그래프를 형성한다는 것을 이용한다. 따라서, 거리에 있는 노드들을 따라 제한된 탐욕 전달 방식으로 패킷을 포워딩한다. 제한된 탐욕 전달 방식은 항상 패킷을 탐욕 전달 방식으로 포워딩하는 대신, 교차로에서는 교차로에 가까이 있는 노드(coordinator)로 패킷을 전달한다. 이를 통해 높은 건물과 같은 장애물로 인해 통신이 되지 않는 문제를 해결할 수 있다. 교착 상태에 빠질 경우, 다음 교차로까지 탐욕 전달 방식으로 이동한 후, 오른손 법칙에 의해 다음 목적지를 결정한다.

GSR(Geographic Source Routing)[10]은 경로 탐색 시 위치 정보 요청/응답 메시지를 사용하여 목적지의 위치를 구한다. 목적지 위치를 구한 후, 거리 지도 정보를 이용하여, 다익스트라 최단거리 알고리즘을 이용해 교차로의 리스트로 구성된 목적지까지의 최단거리를 계산한다. 각 교차로들 간에는 탐욕 전달 방식으로 패킷을 전달한다. 이를 통해 GPSR의 장애물로 인한 직접 통신 불가 현상, 주위 라우팅에 의한 경로 우회, 라우팅 루프 발생 등의 문제를 해결할 수 있다.

3.2 연결성 기반 라우팅

앞에서 언급한 위치 기반 라우팅은 기본적으로 탐욕 전달 방식으로 패킷을 전달하므로, 패킷이 우회하거나 정상적으로 전달되지 못하는 경우가 발생한다. 이에 많은 라우팅 프로토콜이 연결성을 기반으로 경로를 탐색하는 방법을 제안하였다. 연결성은 일반적으로 차량 밀도를 이용하여 예측되며, 이외에 차량 공간 분포 패턴, 무선 채널 품질 등을 이용해서 예측할 수 있다. VANET의 특성으로 인해 연결성을 기반으로 라우팅을 수행하

더라도, 어쩔 수 없이 네트워크 단절이 발생할 수 있다. 네트워크 단절이 발생할 경우에는 저장 후 전달 방식을 사용한다.

LOUVRE(Landmark Overlays for Urban Vehicular Routing Environments)[11]는 각 노드 별로 도로에서 만난 이웃 노드의 수를 계산하여 차량 밀도를 계산한다. 계산한 차량 밀도는 브로드캐스트를 통해 다른 도로의 노드로 전달된다. 연결성을 보장하기 위해 차량 밀도가 일정 임계값을 넘는 도로만을 가지고, 지도를 이용하여 목적지까지의 거리의 합이 최소가 되는 교차로로 이루어진 경로를 선택한다. 차량 밀도 예측이 잘못되거나, 교통량이 변경되어 연결이 끊어진 경우에는 저장 후 전달 방식으로 패킷을 전달한다.

GyTAR(Improved Greedy Traffic Aware Routing Protocol)[12]는 각 교차로에서 다음 교차로를 선택할 때, 차량 밀도와 목적지까지의 거리를 이용해서 각 교차로에 스코어를 매긴 후, 가장 높은 점수를 얻은 교차로로 패킷을 포워딩한다. 교차로 간 패킷 전송 시에는 단순 탐욕 전달 방식이 아닌 이웃 노드의 위치, 속도, 방향을 고려하는 향상된 탐욕 전달 방식을 사용한다. 패킷이 교차 상태에 빠진 경우에는 LOUVRE와 같이 저장 후 전달 방식을 이용한다. <그림 5>는 GyTAR에서 교차로를 선택하는 방법을 보여준다. J2가 차량 밀도가 가장 높고, 목적지까지 가장 가까우므로, 다음 교차로로 결정되는 것을 보여준다.

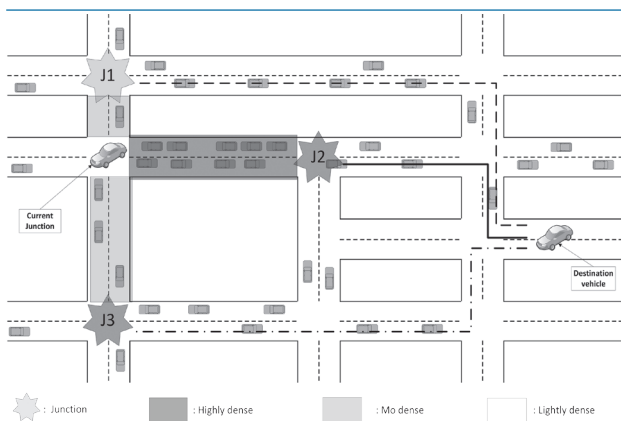


그림 5. GyTAR

RBVT(Road-based Routing using Vehicular Traffic)[13]는 데이터 전송 전 경로 탐색(RD:Route Discovery) 패킷이나 연결성 패킷(CP:Connectivity Packet) 전송을 통해 도로의 연결성을 파악하고, 이를 통해 연결된 교차로를 통해 패킷을 전송한다. RBVT는 reactive 모드 또는 proactive 모드로 동작 가능하다. reactive 모드에서는 데이터 전송 전에 RD 패킷을 보내 연결된 경로를 탐색한다. proactive 모드에서는 CP를 통해 각 도로간 연결 여부를 파악한 후 경로를 계산한다. 또한 송신 노드와 목적지 노드의 위치 변경 시 경로 업데이트를 지원한다.

3.3 경로 안정성 기반 라우팅

VANET에서는 높은 이동성으로 인해 경로 탐색 및 경로 유지에 많은 오버헤드가 발생할 수 있다. 이러한 잦은 토폴로지 변경에 따른 오버헤드를 줄이기 위해 경로의 안정성을 메트릭(metric)으로 하는 많은 라우팅 프로토콜이 제안되었다. 경로의 안정성은 경로의 수명으로 표시되며, 수명이 높을수록 경로의 안정성이 높다. 경로의 수명은 경로를 구성하는 각 링크의 수명 중 가장 작은 값으로 결정된다. 이러한 프로토콜들은 경로의 안정성이 가장 높은 경로를 우선적으로 선택하고, 해당 경로가 곧 끊어질 것으로 예상되는 경우, 다른 경로를 탐색하여 경로 단절을 방지한다. 일반적으로 속도, 위치, 방향을 이용한 안정성 예측 방법이 사용되며, 최근에는 신호 대 잡음비(SNR:Signal-to-Noise Ratio)만을 이용한 예측방법도 제시되었다.

MOPR(Movement Prediction based Routing)[14]은 일반적인 위치 기반 라우팅 프로토콜과 결합할 수 안정성 개념을 제공한다. 자신과 이웃 노드의 위치, 속도, 방향을 이용해 링크 안정성을 예측하고, 이를 라우팅 메트릭으로 활용하는 방법을 제시한다. PBR(Prediction-Based Routing)[15]도 위치와 속도, 방향을 이용해서, 링크의 수명을 예측하고, 이를 통해 경로의 수명을 예측한다. 또한 경로 단절 시간을 최소화하기 위해 경로 단절을 예측하여 미리 새로운 경로를 설정한다.

[16]에서는 기존 방식과 달리, 신호 대 잡음비를 이용한 링크 잔여 시간(LRT:Link Residual Time) 예측 방법이 제안되었다. 신호 대 잡음비로부터 노드 간 최소 거리를 예측하고, 이를 이용해서 링크 잔여 시간을 계산하는 모델을 제시한다. 링크 잔여 시간을 이용해 가장 안정적인 경로를 선택할 수 있다.

ERBA(Energy-efficient Routing using Movement Trends)[17]는 안정적인 경로 탐색을 위해 경로 탐색 및 응답 메커니즘을 사용한다. 경로 탐색 시 차량의 위치, 현재 방향, 다음 방향, 교차로까지의 거리를 고려하여 링크 신뢰도(LRS:Link Reliable Significance)를 계산한다. 일정 수준의 경로 신뢰도를 만족시키지 못하는 링크는 버리고, 응답을 수신한 경로 중 최대 경로 신뢰도를 가지는 경로를 선택한다. 또한 실제 상하이의 교통정보를 수집 분석한 결과를 바탕으로, 차량 타입 별 (예를 들어, 택시나 버스) 운전 패턴이 다르다는 것을 파악하여 경로 선택 시 같은 차량 타입을 가진 경로만 선택하도록 한다.

3.4 노변장치 지원 라우팅

VANET에서 노변장치를 이용함으로써 보다 향상된 기능을 제공할 수 있다. 노변장치는 차량보다 큰 전송 거리와 버퍼를 가지고 있어, 보다 신뢰성 있게 패킷을 저장 후 전달할 수 있다.

또한 유선 백본을 이용해 다른 노변장치나 교통정보 서버와 연동해 다양한 정보를 획득할 수 있다. 하지만, 모든 도로에 노변장치를 설치하는 것은 비용 문제로 인해 쉽지 않다. 따라서 대부분의 노변장치 지원 라우팅 프로토콜은 소수의 노변장치를 이용하는 것을 가정한다.

[18]에서는 노변장치들이 유선 백본에 의해 연결되어 있다는 점을 이용해, 차량들간의 패킷 전송 시 송신 차량에 가까운 노변장치로 패킷을 전송하고, 노변장치간 유선 라우팅을 통해 목적지 차량에 가까운 노변장치로 패킷을 전송한 후, 노변장치에서 목적지 차량으로 패킷을 전송한다.

SADV(Static-Node-Assisted Adaptive Data Dissemination in Vehicular Networks)[19]에서는 모든 교차로마다 노변장치가 설치된 경우를 고려한다. 노변장치는 차량 속도와 차량 밀도를 이용하여 이웃 노변장치와의 지연 시간을 주기적으로 계산한다. 차량이 교차로에 도착하면 노변장치에게 목적지에 따른 경로를 물어보고, 노변장치는 가지고 있던 지연 시간 정보를 이용해 다음 교차로를 알려준다. 차량은 탐욕 전달 방식에 의해 전달 가능한 차량이 있을 경우, 해당 차량으로 패킷을 전달하고, 만약 자신이 해당 방향으로 진행하는 최적의 차량이면 저장 후 전달 방식으로 패킷을 전달하기 위해 계속 진행한다. 만약 해당 교차로에서 패킷을 전달할 방법이 없으면, 패킷을 노변장치로 전달한다. 노변장치는 패킷을 저장하고 있다가 최적 경로로 진행하는 차량이 있을 시 해당 패킷을 포워딩한다. <그림 6>은 교차로에서의 노변장치(그림에서는 Static Node)에 의한 패킷 포워딩을 보여준다.

SPRING(Social-based Privacy-preserving Packet Forwarding Protocol for Vehicular Delay Tolerant Networks)[20]은 노변장치를 모든 교차로에 설치하는 것이 아니라, 사회적 지수(social degree)가 높은 교차로에만 설치하는 방법을 제시한다. 사회적 지수가 높은 교차로란 일반적으로 차량이 많이 지나다니는 교차로를 의미한다. 해당 교차로에는 많은 차량이 지나다니므로, 송신 차량이 목적지로 전송할 차량이 없을 경우, 근처의 노변장치로 포워딩하면, 노변장치는 패킷을

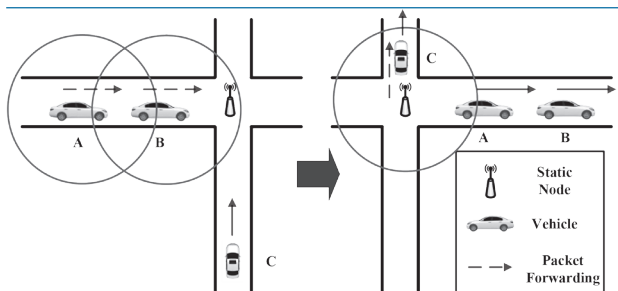


그림 6. SADV 노변장치 패킷 포워딩

가지고 있다가 해당 경로로 진행하는 차량으로 패킷을 포워딩한다

IV. VANET 라우팅 최신 동향 및 이슈

앞에서 살펴본 바와 같이 VANET 라우팅에 대한 많은 연구가 진행되었지만, 여전히 VANET 라우팅에 대해 활발히 연구가 진행되고 있고, 또한 많은 이슈가 남아 있다. 본 장에서는 VANET 라우팅 최신 동향과 관련 이슈에 대해 살펴본다.

1. 위치 정보 정확성

VANET에서는 기본적으로 차량에 장착된 GPS를 이용해서 위치 기반 라우팅을 수행한다. 그리고, 대부분의 위치 기반 라우팅은 각 차량의 위치가 정확하다고 가정한다. 이러한 프로토콜들은 위치 정보가 부정확할 경우, 잘못된 경로를 탐색하여, 지연이 길어지는 등 성능이 떨어지게 된다. 하지만, VANET에서는 높은 이동성으로 인해 이웃 차량이나 목적지 차량의 위치 정보를 획득했을 때와 실제 패킷을 전송할 때 다른 위치에 있을 가능성이 높다. 이웃 차량의 정확한 위치 정보 획득을 위해 비콘 신호의 주기를 짧게 하거나, 목적지 차량의 정확한 위치 정보 획득을 위해 차량의 위치, 속도, 방향을 이용하여 목적지 차량의 위치를 예측할 수 있다. 하지만 이러한 방법은 비콘 메시지 오버헤드가 발생하고, 정확도가 떨어지는 단점이 있다.

[21]은 AODV의 변형인 AODV-ETX와 위치 기반 라우팅을 결합하여 위치 정보 에러 문제를 해결한다. 경로 탐색 메시지를 기존 AODV의 플러딩 대신 위치 기반 라우팅을 통해 전송하고, 라우팅이 실패할 경우, AODV와 같이 플러딩을 수행함으로써, 위치 정보 에러 문제를 해결한다.

BAHG(Back-Bone-Assisted Hop Greedy Routing)[22]는 목적지 차량의 위치를 알아내는 기존 위치 정보 서비스의 부정확성을 해결하는 새로운 목적지 위치 발견 방안을 제시한다. 유니캐스트를 이용한 2단계 목적지 탐색 방식을 사용하여 먼저 패킷을 전송할 교차로를 결정한 후, 각 교차로로 패킷을 유니캐스트하고, 각 교차로에 있는 노드들은 담당하는 지역으로 패킷을 포워딩한다. 목적지 노드는 패킷을 수신하면 응답 메시지를 전송한다. 목적지 노드는 위치를 이동할 경우 데이터 패킷에 포함된 송신 노드로 위치 업데이트 메시지를 전송하여 위치를 업데이트할 수 있다. 목적지 탐색 시 유니캐스트를 사용함으로써 오버헤드를 줄일 수 있고, 먼저 교차로로 보낸 후 각 세부 지역으로 위치를 탐색함으로써 보다 정확한 위치를 파악할 수 있다.

하지만, 언급한 2가지 방법은 제안된 프로토콜 내에서 사용 가능한 위치 정보 보완 알고리즘을 제시하였다. 향후 다양한 VANET 라우팅 프로토콜에 사용될 수 있는 일반적인 위치 정보 서비스 프레임워크에 대한 연구가 필요할 것이다.

2. 보안

보안은 VANET 라우팅에 있어서 반드시 해결되어야 할 과제이다. 악의적인 차량이 잘못된 라우팅 정보를 알릴 경우, 교통 사고 알림 메시지가 정상적으로 전달되지 않을 수 있고, 잘못된 정보를 통해 차량이 많은 도로로 차량을 유도해 혼잡을 발생시킬 수 있다.

이러한 보안 공격으로부터 VANET을 보호하기 위해서 기본적으로 노드 인증, 데이터 무결성, 데이터 기밀성이 보장되어야 한다. 또한 보안 공격 발생 시 악의적인 노드를 발견하여 라우팅에서 제외시킬 수 있어야 한다. 하지만, VANET의 높은 이동성과 애드혹 특성으로 인해 위 사항을 보장하는 것이 쉽지 않다.

Secure PBR(Secure Position-Based Routing for VANETS)[23]은 하이브리드 디지털 서명 방식을 이용해, 노드 인증, 데이터 무결성을 보장한다. 각 메시지에는 최초 송신 노드와 직전 송신 노드의 서명이 포함되어 있어, 각 중간 노드는 최초 송신 노드와 직전 송신 노드를 동시에 인증할 수 있다. 또한 다양한 테스트를 통해 거짓 정보를 최소화하고, 노드의 데이터 송신량을 rate limit함으로써 패킷 인젝션 공격을 방지한다.

GSPR (Geographical Secure Path Routing)[24]은 공개키 보안 알고리즘을 이용해 노드 인증과 데이터 무결성을 제공한다. 또한 위치 정보 해쉬와 promiscuous 모드를 이용해 악의적인 노드를 찾아낼 수 있다. 하지만, 인증기관(CA:Certificate Authority) 없이 공개키를 비콘이나 데이터 전송 시 상대방에게 전송하므로, 데이터 기밀성은 보장되지 않는다.

살펴본 바와 같이 대부분의 VANET 라우팅 보안 관련 연구는 공개키 보안 알고리즘을 통해 노드 인증, 데이터 무결성, 데이터 기밀성을 보장한다. 공개키 보안 알고리즘 사용을 위해서는 인증기관이 필요한데, 이 문제는 추후 노변장치의 설치와 함께 해결될 수 있을 것이다. 하지만, 아직 VANET에서 악의적인 노드 발견 및 조치에 대한 연구는 많이 진행되지 않았다. 향후 노변장치를 이용해 악의적인 노드 발견 및 조치 등 보다 향상된 VANET 라우팅 보안 알고리즘을 제공할 수 있을 것이다. 또한 VANET의 특성상 개인 정보가 유출될 수 있으므로, 개인정보 보호와 보안 간의 균형을 이루는 보안 방안에 대한 연구도 필요할 것이다.

3. Cross-Layer

다른 네트워크 분야와 마찬가지로 VANET라우팅에서도 cross-layer 방안을 통해 향상된 성능을 얻을 수 있다.

최근 cross-layer 라우팅 프로토콜에 대한 연구는 물리 계층/링크 계층과 네트워크 계층의 결합에 대한 것으로, 주로 물리 계층/링크 계층의 정보를 이용해 VANET 라우팅에서 사용 가능한 메트릭을 예측하는 방향으로 진행되고 있다.

[25]는 물리 계층의 신호 대 잡음비와 거리 정보를 이용하여 링크의 신뢰성을 모델링하고, 그 신뢰성에 따라 라우팅 경로를 설정하는 방법을 제시한다. 이를 통해 직접 통신 가능한 긴 거리의 링크 대신 거리가 짧은 링크 여러 개를 통해 패킷을 전송하는 협력적 전송(Cooperative Transmission)이 신뢰성이나 에너지 소모 측면에서 낫다는 것을 보여준다.

[26]은 탐욕 전달 시 항상 먼 곳으로만 보내게 되면 특정 노드에 혼잡이 발생할 것을 고려해, 이웃 노드의 링크 계층 큐 길이를 고려해 일정 길이 이상이면 해당 노드를 이웃 노드에서 제외하는 알고리즘을 제시한다.

이외에 다양한 브로드캐스트와 지오캐스트 알고리즘은 전달 노드를 선택하기 위해 802.11 기반 RTS/CTS 방식을 사용한다.

향후에는 VANET의 단점인 신뢰성 있는 전송을 위한 트랜스포트 계층과 네트워크 계층 간의 결합에 관한 연구가 필요할 것으로 예상되고, 종단간 QoS 보장을 위해 모든 계층을 고려한 cross-layer 연구도 활발히 진행될 것이다. 또한 모든 계층이 결합됐을 때의 라우팅 성능 평가에 관한 연구도 유망한 연구분야이다.

4. 다양한 정보 결합

VANET은 GPS, 네비게이션 시스템, 센서 등을 통해 다양한 정보를 획득할 수 있다. 기술의 발달에 따라 보다 다양한 정보 획득을 통해 향상된 라우팅 프로토콜을 설계할 수 있다.

TSF(Trajectory-based Statistical Forwarding)[27]에서는 네비게이션 시스템을 이용해 차량의 진행 경로를 구하고 이와 함께 차량 밀도 및 기타 여러 정보를 이용하여 패킷 전송 지연 분포와 차량 이동 지연 분포를 계산하여 최적의 경로를 선택한다.

STAR(Shortest-Path-Based Traffic-Light-Aware Routing)[28]는 교차로에서는 신호등 정보를 이용하여 패킷을 포워딩한다. 교차로에서 초록 신호등일 경우, 원활한 교통 흐름으로 인해 연결되어 있을 가능성이 높고, 빨간 신호등일 경우, 그렇지 않을 가능성이 높다. 따라서, STAR는 각 교차로에서 빨간 신호등 영역에 우선 순위를 줘서, 빨간 신호등 영역이 연결되었을 경우, 빨간 신호등 영역으로 데이터를 전달하고, 연결되

지 않았을 경우, 초록 신호등 영역으로 데이터를 전달한다.

향후 노변 장치를 통해 획득한 다양한 실시간 교통 상황을 고려한 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 진행되고, 추가적인 센서 노드들의 발달에 따라 다양한 정보가 획득 가능해지면, 해당 정보를 이용한 향상된 라우팅 프로토콜에 대한 연구가 활발히 진행될 것이다.

5. 멀티 모드 프로토콜

VANET 라우팅 프로토콜은 특정 환경에 적합하게 설계된다. 예를 들면, 대부분의 교차로 기반 라우팅 프로토콜은 도시 내에서만 적용 가능하고, 고속도로나 시골 환경에서는 적용이 힘들다. 최근에는 이러한 문제점을 극복하기 위해 다양한 환경을 고려한 멀티 모드 프로토콜에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

DADCQ(Distribution-Adaptive Distance with Channel Quality)[29]는 차량 밀도, 차량의 공간 분포 패턴, 무선 채널 품질을 고려해 거리의 임계값을 결정된 후, 송신 노드로부터의 거리가 임계값보다 크면 다시 브로드캐스트를 수행하는 거리 기반 통계 브로드캐스트 방법이다. 이를 통해 차량이 적은 곳에서는 작은 임계값을 사용하고, 많은 곳에서는 큰 임계값이 사용함으로써, 다양한 환경에서 적용이 가능하다.

모든 응용을 만족시키는 VANET 라우팅 프로토콜을 설계하는 것은 불가능하다. 하지만, 지도 정보나 차량 밀도 등을 이용해 교통 상황에 따라 적응적으로 동작하는 멀티 모드 프로토콜에 대한 연구는 활발히 진행될 것이다.

6. QoS

교통 안전 응용에서는 사고 발생 시 정해진 시간 안에 데이터가 전달되어야 한다. 하지만, VANET의 높은 이동성으로 인해 이를 보장하는 것은 쉽지 않다. QoS에 대한 많은 연구들이 진행되었지만, 대부분의 연구는 차량이 많은 연결된 환경에서의 QoS에 대해 진행되었고, 차량이 많지 않은 상황에서의 지연 시간 보장에 대한 연구는 거의 진행되지 않았다.

RMRV(Road-based QoS-aware Multipath Routing Protocol for Urban VANET)[30]는 경로 선택 시 예측된 경로 수명 주기와 전송 시간, 저장 후 전송시간을 지연 요구사항과 비교하여 요구사항을 충족시킬 수 있는 경로를 선택하는 멀티패스 라우팅 방법을 제시한다. RMRV는 멀티패스를 유지하여, 가능한 한 연결된 경로를 통해 패킷을 전송하고, 부득이하게 모든 경로가 연결되지 않은 경우, 저장 후 전송 방식을 이용한다.

지연 요구사항을 충족시키기 위해서는 단순히 네트워크 계층에서의 지연만을 고려해서는 안되고, 링크 계층에서 발생하는

충돌 및 혼잡을 고려해야 한다. 따라서 중요한 패킷과 중요하지 않은 패킷을 우선순위를 두어 구분하는 방안도 QoS 라우팅 프로토콜에서 고려되어야 한다. 앞에서 언급한 바와 같이 향후 전 계층에 걸친 cross-layer 접근 방법을 이용한 QoS 연구가 활발히 진행될 것이다.

V. 결론

본 고에서는 기존 VANET 라우팅 프로토콜을 브로드캐스트, 지오캐스트, 유니캐스트로 분류하고, 각각의 특징과 관련 라우팅 프로토콜에 대해 상세히 알아보았다. 또한, 최신 VANET 라우팅 프로토콜의 동향과 이슈에 대해서도 살펴보았다. 브로드캐스트, 지오캐스트, 유니캐스트 모두 각각의 적합한 응용을 가지고 있지만, 연구 방향은 최신 동향에서 살펴본 바와 같이 모두 비슷하게 진행되고 있다.

끝으로, VANET 라우팅의 성능은 이동성 모델, 운전 환경, 차량 밀도 등 다양한 요소에 따라 달라진다. 따라서, 모든 환경에서 적절하게 동작하는 VANET 라우팅 프로토콜을 설계하는 것은 거의 불가능하다. 대신에, 본 고에서 언급한 요소들을 고려하여 VANET 응용에 최적화된 라우팅 프로토콜을 설계하여야 할 것이다.

Acknowledgment

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 일부 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2012K1A3A1A09026959)

참고 문헌

- [1] G. Karagiannis et al., "Vehicular Networking: A Survey and Tutorial on Requirements, Architectures, Challenges, Standards and Solutions," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol.13, No.4, 4th Quarter 2011, pp.584-616
- [2] G. Korkmaz et al., "Urban Multi-Hop Broadcast Protocol for Inter-Vehicle Communication Systems," in Proceedings of the 1st ACM International Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks, 2004, pp.76-85

- [3] N. Wisitpongphan, et al., "Broadcast Storm Mitigation Techniques in Vehicular Ad Hoc Networks," *IEEE Wireless Communications*, Vol.14, No.6, Dec. 2007, pp.84-94
- [4] W. Viriyasitavat, et al., "UV-CAST: An Urban Vehicular Broadcast Protocol," *IEEE Communications Magazine*, Vol.49, No.11, Nov. 2011, pp.116-124
- [5] A. Bachir, et al., "A Multicast Protocol in Ad hoc Networks Inter-Vehicle Geocast," in *Proceedings of the 57th IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference*, Vol.4, 2003, pp.2456-2460
- [6] H. P. Joshi, et al., "Distributed Robust Geocast Multicast Routing for Inter-Vehicle Communication," in *Proceedings of WEIRD Workshop on WiMax, Wireless and Mobility*, 2007, pp.9-21
- [7] Y. Chen, et al., "A Mobicast Routing Protocol in Vehicular Ad-Hoc Networks," *ACM/Springer Mobile Networks and Applications*, Vol.15, No.1, Feb. 2010, pp.20-35
- [8] B. Karp, et al., "GPSR: Greedy Perimeter Stateless Routing for Wireless Networks," in *Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, 2000
- [9] C. Lochert, et al., "Geographic Routing in City Scenarios," *ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review*, Vol.9, No.1, Jan. 2005, pp.69-72
- [10] C. Lochert, et al., "A Routing Strategy for Vehicular Ad Hoc Networks in City Environments," in *Proceedings of IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, June 2003, pp.156-161
- [11] K.C. Lee, et al., "LOUVRE: Landmark Overlays for Urban Vehicular Routing Environments," in *Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference*, 2008, pp.1-5
- [12] M. Jerbi, et al., "An Improved Vehicular Ad Hoc Routing Protocol for City Environments," in *Proceedings of IEEE International Conference on Communications*, 2007, pp.3972-3979
- [13] J. Nzouonta, et al., "VANET Routing on City Roads Using Real-Time Vehicular Traffic Information," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.58, No.7, Sept. 2009, pp.3609-3626
- [14] H. Menouar, et al., "Movement Prediction-Based Routing (MOPR) Concept for Position-based Routing in Vehicular Networks," in *Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference*, 2007, pp.2101-2105
- [15] V. Namboodiri, L. Gao, "Prediction-Based Routing for Vehicular Ad Hoc Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.56, No.5, July 2007, pp.2332-2345
- [16] N. Sofra, et al., "Route Construction for Long Lifetime in VANETs," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.60, No.7, Sept. 2011, pp.3450-3461
- [17] D. Zhang, et al., "An Energy-Efficient Routing Protocol Using Movement Trends in Vehicular Ad Hoc Networks," *The Computer Journal*, Vol.56, No.4, March 2013
- [18] D. Borsetti, J. Gozalvez, "Infrastructure-Assisted Geo-Routing for Cooperative Vehicular Networks," in *Proceedings of IEEE Vehicular Networking Conference*, 2010, pp.255-262
- [19] Y. Ding, L. Xiao, "SADV: Static-Node-Assisted Adaptive Data Dissemination in Vehicular Networks," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.59, No.5, June 2010, pp.2445-2455
- [20] R. Lu, et al., "SPRING: A Social-based Privacy-preserving Packet Forwarding Protocol for Vehicular Delay Tolerant Networks," in *Proceedings of IEEE INFOCOM 2010*, pp.1-9
- [21] M. Al-Rabayah, R. Malaney, "A New Scalable Hybrid Routing Protocol for VANETs," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.61, No.6, July 2012, pp.2625-2635
- [22] P.K. Sahu, et al., "BAHG: Back-Bone-Assisted Hop Greedy Routing for VANET's City Environments," *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Vol.14, No.1, March 2013, pp.199-213
- [23] C. Harsch, et al., "Secure Position-Based Routing for VANETs," in *Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference*, 2007, pp.26-30
- [24] V. Pathak, et al., "Securing Location Aware Services

- Over VANET Using Geographical Secure Path Routing,” in Proceedings of IEEE ICVES, 2008, pp.346–353
- [25] Z. Ding, K. Leung, “Cross-Layer Routing Using Cooperative Transmission in Vehicular Ad-hoc Networks”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.29, No.3, March 2011, pp.571–581
- [26] W. Wang, et al., “Small-Scale and Large-Scale Routing in Vehicular Ad Hoc Networks,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, Nov. 2009, pp.5200–5213
- [27] J. Jeong, et al., “Trajectory-Based Statistical Forwarding for Multihop Infrastructure-to-Vehicle Data Delivery,” IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol.11, No.10, Oct. 2012, pp.1523–1537
- [28] J. Chang, et al., “Intersection-Based Routing for Urban Vehicular Communications with Traffic-Light Considerations,” IEEE Wireless Communications, Vol.19, No.1, Feb. 2012, pp.82–88
- [29] M. Slavik, I. Mahgoub, “Spatial Distribution and Channel Quality Adaptive Protocol for Multihop Wireless Broadcast Routing in VANET,” IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol.12, No.4, April 2013, pp.722–734
- [30] Y. Hsieh, K. Wang, “A Road-based QoS-aware Multipath Routing for Urban Vehicular Ad Hoc Networks,” in Proceedings of IEEE GLOBECOM, 2012

약 력



김 대 희

2003년 연세대학교 전자공학 공학사
 2006년 고려대학교 전자공학 공학석사
 2006년~현재 삼성전자 네트워크 사업부
 책임연구원
 2012년~현재 고려대학교 전자공학 박사과정
 관심분야: VANET, Wireless Sensor Network,
 Security, LTE



안 순 신

1973년 서울대학교 전자공학 공학사
 1975년 한국 과학원 정보통신 공학석사
 1979년 EENSEIHT 정보통신 공학박사
 1979년~1982년 아주대학교 전자공학과 교수
 1982년~현재 고려대학교 전자공학과 교수
 관심분야: VANET, Wireless Sensor Network,
 RFID Reader & Anti-collision,
 Wireless Ad Hoc Network