

## 라이다 기반 종합관제 플랫폼 구축을 위한 오버레이 멀티캐스트 알고리즘 설계

김 경 수<sup>1</sup> · 이 정 옥<sup>2</sup> · 남 지 승<sup>3\*</sup><sup>1</sup>(주)아이엠알 대표이사 <sup>2</sup>(주)아이엠알 수석연구원 <sup>3\*</sup>전남대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수

### Design of Overlay Multicast Algorithm for LiDAR-based Comprehensive Control Platform Construction

Kyoungsoo Kim<sup>1</sup> · Jeongok Lee<sup>2</sup> · Jiseung Nam<sup>3\*</sup><sup>1</sup>President, <sup>2</sup>Principal Researcher Researcher, IMR Inc., 333, Cheomdan gwagi-ro, Gwangju, Korea<sup>3\*</sup>Professor, Department of Computer Engineering, Chonnam National University, Gwangju, 61186, Korea

#### [요 약]

안전한 자율주행에 필요한 정보를 더 많이 확보하여 안전성을 강화하고 다양한 서비스를 도입하기 위해 도로 사용자들 사이에 실시간으로 정보를 공유할 수 있는 통신기술이 개발되고 있다. 이러한 데이터는 관제 시스템에 실시간으로 수집되고 공유되면 다양한 형태의 진보한 서비스가 개발되고 유용하게 활용될 것이다. 본 논문은 라이다 기반 종합관제 플랫폼을 구축하기 위한 방안을 연구하였다. 그 과정에서 DSR (Dynamic Source Routing) 프로토콜 기반의 자율주행 차량의 라이다센서 시스템, RSU (Road Side Unit)에 장착된 인프라센서 시스템, 에지 관제시스템, 그리고 종합관제 시스템의 실시간 정보공유에 적합한 오버레이 멀티캐스트 프로토콜을 제안하였다. 기존의 MST (Minimum Spanning Tree) 알고리즘을 개선하여 특정 노드에 집중되는 분기를 줄이는 BAMST (Branch Aware Minimum Spanning Tree) 알고리즘을 제시하고 MATLAB 성능평가를 통하여 이를 확인하였다.

#### [Abstract]

Communication technology that can interconnect to road users is being developed to secure more information necessary for safe autonomous driving, enhance safety, and introduce various services. When these data are collected and shared in real time with the control system, various types of advanced services will be developed and utilized. In this paper, a method to build a lidar-based comprehensive control platform was studied. In the process, the DSR (Dynamic Source Routing) protocol-based lidar sensor system of autonomous vehicles, the infrastructure sensor system mounted on the RSU (Road Side Unit), the edge control system, and the overlay multi system suitable for real-time information sharing of the comprehensive control system A cast protocol was proposed. The BAMST (Branch Aware Minimum Spanning Tree) algorithm, which improves the existing MST (Minimum Spanning Tree) algorithm to reduce branching focused on a specific node, was proposed and confirmed through MATLAB performance evaluation.

**색인어** : 애드혹, 네트워크, 동적소스라우팅, 멀티캐스트, 라우팅, 차량애드혹네트워크**Keyword** : Ad hoc network, DSR, Multicast, Routing, VANET<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2023.24.2.361>

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 28 November 2022; Revised 27 December 2022

Accepted 17 January 2023

**\*Corresponding Author; Jiseung Nam**Tel: + 

E-mail: jsnam@jnu.ac.kr

## I. 서론

자율주행 기술을 연구하는 이동로봇 및 차량에는 라이다를 핵심 센서 기술로 적용한 라이다센서 모듈이 활용되고 있다. 현대, 구글, 포드, GM 등에서 추진하는 자율주행 차량에도 라이다가 채택되어 있으며 이들은 소수의 고해상도 라이다센서 모듈을 적용하거나 다수의 저해상도 라이다센서 모듈을 배치하여 효과적으로 정확한 3차원 영상 정보를 검출하여 활용하고 있다. 더욱이 최근의 자동차에는 내부 및 외부 데이터를 수집하는 많은 센서가 장착되어 활용되고 있다.

자율주행 기술은 자동차 주변 상황에 대한 다양한 센서로부터 획득된 데이터에 인공지능, 기계학습 그리고 딥러닝과 관련된 소프트웨어가 적용되어 성공적으로 개선이 이루어지고 있다. 자율자동차의 안전에서 주행 환경 감지 및 예측에 이르기까지 수집된 데이터 정보는 우수한 성능을 확보하는데 필수적이며 핵심적인 역할을 한다.

실제 도로에서 안전한 자율주행에 필요한 정보를 더 많이 확보하여 안전성을 강화하고 다양한 서비스를 도입하기 위해 다른 차량 및 도로 주변과 지속적으로 통신할 수 있는 통신기술이 개발되고 있다[1]. 자동차의 온보드 무선 통신 장치에 수집된 정보를 다른 도로 사용자에게 거의 실시간으로 전송할 수 있으며 관제시스템에 전송될 수 있다. 많은 자동차의 라이다센서 모듈에서 생성되어 관제 시스템에 실시간으로 수집된 데이터는 다양한 형태의 진보한 서비스에 활용될 것이다.

이동하는 자동차들 사이 그리고 자동차와 RSU 사이는 무선통신이 사용될 것이고 그 이후에는 통신 대역폭이 큰 유선망을 통하여 에지 관제시스템과 중앙의 종합관제 시스템으로 데이터가 수집된다. 데이터 처리 성능이 높은 중앙관제 시스템은 수많은 자동차의 라이다 모듈로부터 얻은 이 정보를 필요한 형태로 가공하여 에지 관제플랫폼과 자동차에 전달하여 활용할 수 있도록 할 것이다.

이 과정에서 이동하는 객체간의 무선 통신기술과 유선망에서 다수의 노드간에 다자간 통신은 매우 중요한 요소이고 통신 시스템의 효율성과 성능에 미치는 영향이 크다. 무선통신에서는 이동하는 소스 노드와 목적지 노드 사이에 최적의 경로를 효율적으로 설정해 데이터를 송수신해야 하고 유선통신에서는 다수의 노드 사이에 전송되어야 하는 인터넷 트래픽이 폭증하디 않도록 효율적으로 관리하여 해야 한다.

본 논문에서는 관제플랫폼에 적절한 통신프로토콜을 설계하고 이 프로토콜의 성능을 평가한다.

## II. 관련 연구

자동차에 장착되어 운영되는 “라이다센서 시스템”은 라이다 센서 모듈에서 획득한 3차원 영상 정보에 인공지능, 기계학습 그리고 딥러닝 등의 기술을 적용하여 독립적으로 성공적인 자율주행 기능을 선보이고 있다.

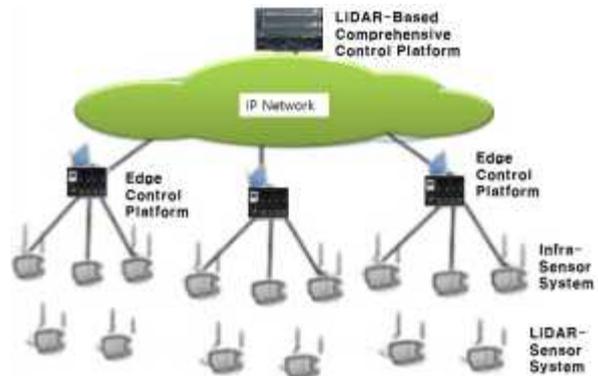


그림 1. 라이다센서 정보시스템 구축을 위한 관제플랫폼  
 Fig. 1. Control platform for building lidar sensor information system

RSU에 장착되어 활용되는 “인프라센서 시스템”은 라이다 센서를 포함한 도로 주변의 인프라에서 주변 이동객체를 분석하는 시스템이다. 라이다 기반 이동객체 분석시스템은 독립적으로 운영되는 라이다 인프라센서 시스템에 추가적인 성능 개선과 요구사항 만족을 위해 이들을 관리하는 “관제플랫폼”으로 구성할 수 있다.

인프라센서 시스템은 라이다센서 기반 3차원 영상 정보, 객체 정보, 객체ID 부여, 객체 위치, 속도 등의 객체 정보를 수집하여 관제 플랫폼에 전달한다.

관제플랫폼은 종합관제시스템과 에지관제시스템으로 구성되며 에지네트워크에 위치한 에지관제시스템은 라이다 인프라센서 시스템에서 수집된 정보를 취합하여 통합된 객체 인지 및 분류 기술을 개발하고 있으며 이를 통한 관리 사각지대에 대한 시야확대를 통해 사각지대 없는 이동객체 분석 솔루션이 개발되고 있다. 현존하는 라이다 기반 시스템은 특정 목적(동선 추적 등)이나 특정 단계(데이터 맵핑 등)에 국한되는 독립적으로 운영되는 서비스를 제공하고 있다. 라이다 기반 이동객체 분석시스템은 CCTV와 달리 개인정보보호 이슈로부터 안전하므로 다수의 시스템들을 연동하면 종합관제시스템에서 빅데이터 분석, GIS 맵핑 시각화 기술 등 신기술과 접목하여 이동 객체 분석 솔루션 등 라이다 센서 데이터의 다양한 서비스화가 가능하다.

이러한 라이다 기반 이동객체 분석시스템은 네트워크에 연결된 수많은 노드로 구성되고 노드들 간의 실시간 통신이 자주 일어나며 영상정보를 포함하고 전송되는 데이터양이 크다는 특징이 있어 효율적인 VANET (Vehicular Ad hoc Networks) 무선통신 프로토콜과 다자간 유선 통신 프로토콜이 요구된다.

### 2-1 VANET 무선통신 프로토콜

이동하는 객체에 라이다센서를 통한 인공지능 객체 인지 기술과 관제플랫폼을 통한 인공지능 객체 인지 및 분류 기술을

개발하고 관리 사각지대에 대한 시야확대를 통해 사각지대 없는 시설 관리 및 이동객체 분석 솔루션을 개발하고 개발한 시스템을 시장에 다양하게 도입하기 위해서는 새로운 통신기술을 적용하여 다른 차량 및 사물과 연동하는 것이 요구된다. 이에 필요한 무선통신 기술은 자동차가 다른 사물과 통신하는 V2X(Vehichel to X 혹은 Everything) 통신 프로토콜 형태로 무선통신 구축에 필요한 기술이 다양하게 개발되고 있다[2].

V2X는 차량과 차량 간 연결 (V2V: Vehicle-to-Vehicle), 차량과 무선통신기기 간 연결 (V2D), 차량과 보행자 간 연결 (V2P), 차량과 집 간 연결 (V2H), 차량과 에너지 간 연결은 (V2G), 그리고 차량과 인프라 간 연결 (V2I)를 포함한다. V2X에서 V2V 내지는 V2I (Vehicle-to -Infrastructure) 통신에 적용할 VANET 기술이 차량 간 통신에 적합한 서비스를 제공하는 용도로 개발되었다[3]. 초기에 개발된 대표적인 연구 결과는 DSR (Dynamic Source Routing), OLSR (Optimized Link State Routing)과 AODV (Ad hoc On-Demand Vector Routing)등으로 이미 표준화되어 사용되고 있다[4].

VANET은 자동차들 간에 자율적으로 네트워크를 구성하여 데이터를 송수신하고 DSR (Dynamic Source Routing)[5], AODV (Ad hoc On-Demand Vector Routing)[6]과 OLSR (Optimized Link State Routing)[7] 등의 초기 MANET (Mobile Ad Hoc Networks) 무선 통신 방식을 기반으로 차량 간 통신에서 발생하는 높은 이동성을 해결하는 방향으로 발전하고 있다.

네트워크를 구성할 때 차량의 이동성, 위치 정보와 진행속도 등의 부가정보를 홉 수와 전송 지연을 최소화하고 링크 안정성을 강화하는 방향으로 발전되고 있으며[8,9] 이에 방향성을 추가하는 Directional Location Aided Routing (D-LAR), Angular Location Aided Routing (A-LAR), Direction and Speed in Dynamic Source Routing (DS-DSR) 등의 많은 연구가 진행되고 있다[10,11].

## 2-2 관제플랫폼 유선통신 프로토콜

관제플랫폼은 인프라센서 시스템, 에지관제시스템, 그리고 종합관제시스템을 연결하는 IP 인터넷 망으로 구축된다. 자율주행을 위해서는 유도/항법/제어 등, 그 목적에 맞는 다양한 알고리즘이 필요하다[12]. 이때 관제플랫폼은 도로에 주행 중인 차량정보, 도로주변의 객체정보, 그리고 라이다로 수집한 3차원 데이터 등의 다양한 정보를 수집하고 가공하여 실시간으로 자율주행 차량에 제공할 수 있다.

관제플랫폼에서 정보를 활용하는 과정을 살펴보면 인프라센서 시스템 (RSU)은 이웃한 자동차들의 라이다센서 시스템으로부터 위치와 상태 값, 그리고 주변 환경을 묘사해주는 센서 데이터 등 다양한 데이터를 주기적으로 수집한다. 다수의 인프라센서 시스템 수집된 데이터는 에지관제시스템에 전달되어 1차로 가공되고 종합관제시스템으로 전달된다. 종합관제시스템은 전체적으로 필요한 모든 정보를 구축하고 이 정보를

요청하는 모든 노드들에게 주기적으로 실시간 정보를 전달한다.

종합관제시스템에서 제공되는 자동차의 위치정보, 진행방향과 속도정보, 그리고 접속된 RSU 정보 등은 V2V에서 효율적인 라우팅 프로토콜에 활용할 수 있다. 또한 라이다 기반 Simultaneous localization and mapping (SLAM) 알고리즘을 적용하여 구축된 해당 지역의 3차원 지도를 자율주행에 활용하고 도로주변의 객체 정보는 안전성을 강화하는데 활용할 수 있다[12]. 이를 위해서 관제플랫폼은 다수의 노드들 사이에 적합한 통신 프로토콜이 필요하다. 전통적인 유니캐스트, IP 멀티캐스트, 그리고 오버레이 멀티캐스트를 활용하는 방법을 조사하고 관제플랫폼에 효율적인 통신 프로토콜을 설계하고자 한다.

지난 수십 년 동안 서버-클라이언트 프로그램에 활용되어 온 유니캐스트는 서비스를 요구하는 클라이언트의 숫자가 많아지면 대역폭의 낭비가 심하고 다자간 통신에 비효율적이다. 그룹 통신에 효율적이고 시설 및 대역폭을 절감하는 방안으로 멀티 캐스트가 개발되어 졌다[13].

IP 멀티캐스트는 라우터가 멀티캐스트 그룹에 속한 한 호스트에서 그룹에 속한 다수의 호스트까지 효율적인 데이터 전송을 수행하는 네트워크 계층 서비스를 제공한다. IP 멀티캐스트는 멀티캐스트 라우터를 활용하여 그룹 관리, 주소 할당 및 보안을 수행한다. 표준화된 DVMRP (Distance Vector Multicast Routing Protocol), MOSPF (Multicast Open Shortest Path First), PIM-SM/DM (Protocol Independent Multicast-Sparse Mode/Dense Mode)와 같은 프로토콜이 이러한 기능을 제공한다[14-16]. IP 멀티캐스트는 그룹의 상태 정보유지 기능으로 인한 라우터의 복잡성을 증가 시키고, 이는 네트워크 확장에 큰 장애요인이 되고 있다. 또한 그룹별로 네트워크상에 유일한 멀티캐스트 주소의 여유 부족 및 보안상의 문제점 등 관리상의 문제로 인해 보급이 지연되고 있다. 이러한 IP 기반 멀티 캐스트의 한계를 해결하기 위한 SDN 기술이 최근 많이 연구되고 있으나 아직 멀티 캐스트 라우팅 및 트리 형성 방법의 변화가 필요하다[17].

## 2-3 오버레이 멀티캐스트 프로토콜

오버레이 멀티캐스트는 IP 멀티캐스트와 달리 P2P 접근 방식으로 멀티캐스트 그룹을 위한 가상 네트워크를 구성하고 멀티캐스트에 참여하는 호스트에서 필요시 데이터 패킷을 복제한다. 표준 유니캐스트 방식에 터널링 기법을 사용하여 네트워크 위에 멀티캐스트 트리를 구축하므로 IP 멀티캐스트에 비해 트래픽 감소의 효율성은 다소 낮아지나 확장성에 전혀 문제가 없다[18,19].

기존의 오버레이 멀티캐스트 관련 연구는 완전히 분산된 소규모 종단시스템 간의 라우팅 방식을 연구한 Narada, 실시간 멀티미디어 서비스를 위해 개발한 ALMI, 메시 토폴로지를 먼저 생성하는 Scattercast Proxy 간의 멀티캐스트를 연구한 Scatter Cast, 오버레이 생성 절차를 단순화하고 그룹

가입과 동시에 데이터 전송트리를 생성하는 TBCP, 메쉬 토폴로지와 터널로 연결된 공유트리를 기반으로 하는 Yoid, 실시간 스트리밍 서비스를 위하여 개발된 Overcast, 그리고 지역적으로 가까운 노드들을 묶어서 클러스터를 형성하는 NICE 등이 있다[20-23].

오버레이 멀티캐스트에서 사용하는 라우팅 방식은 서비스의 특성에 따라서 다양하게 개발되어 활용된다. 특정 서버에서 콘텐츠가 제공되는 VOD 서비스는 소스 기반의 Shortest Path Tree를 활용한 라우팅을 사용하는 것이 일반적이다. 이 서비스의 멀티캐스트 그룹에 Join하여 서비스를 제공 받는 경우 가입자에게 제공하는 대역폭이 예측 가능하므로 Flow-aware multicasting과 같은 방법은 효율적으로 멀티캐스트 트리를 구축할 수 있다[23]. 다수의 소스로에서 데이터가 발생하여 멀티캐스트 되는 경우에 사용하는 방법은 모든 소스로 부터 멀티캐스트 참여자에게 데이터를 전달하는 하나의 멀티캐스트 트리를 구축하는 다양한 방식이 개발되어 왔다. 다양한 방식이 Core Based Tree (CBT)와 Minimum Spanning Tree (MST)을 기반으로 개발되어 왔다[24].

본 논문에서는 Heterogeneous network에서 자율주행 차량의 라이다센서 시스템을 위한 관제플랫폼 구축에 적합한 오버레이 멀티캐스트 프로토콜을 설계하고 프로토콜의 성능 평가를 수행하였다. 프로토콜 설계는 잘 알려진 MST 트리 구축 알고리즘을 약간 변형하여 특정 노드에 분기가 많아지지 않도록 하여 멀티캐스트 라우팅을 수행하는 노드에 요구되는 최대 대역폭을 줄이도록 하였다.

### III. 오버레이 멀티캐스트 프로토콜 설계

관제플랫폼은 인프라센서, 인프라센서 시스템, 에지관제시스템, 그리고 종합관제시스템 간의 필요한 데이터 통신 서비스를 제공해준다. 관제플랫폼에서 필요한 기본적인 일대일 통신 서비스는 인터넷에서 제공하는 기존의 유니캐스트 서비스를 이용한다. 그러나 관제플랫폼에서 제공하는 다양한 서비스는 다수의 노드들이 공유해야 하는 많은 정보가 있다. 예를 들면, 특정 인프라센서 시스템에 연결된 자동차의 위치정보, 진행방향, 그리고 속도정보 등은 다른 모든 노드들과 실시간으로 공유하면 새로운 유용한 서비스를 구축할 수 있다. 또한, 종합관제시스템에서 구축한 실시간 3차원 지도와 도로주변의 객체정보는 주기적으로 모든 인프라센서 시스템과 에지관제시스템에 전달하면 자동차 자율주행의 안전성을 강화하는데 사용할 수 있다. 이를 위해서 다수의 노드들 사이에 유니캐스트 보다 효율적이고 관제플랫폼 구축에 적합한 멀티캐스트 통신 프로토콜이 필요하다. 인터넷 방송과 같이 하나의 노드가 대부분의 데이터를 전송하고 다른 노드들은 수신하는 경우의 IP 멀티캐스트는 SPT (Shortest-Path Tree)를 사용하여 멀티캐스트 경로를 구성한다.

표 1. BAMST 알고리즘

Table 1. BAMST Algorithm

---

```

BA-MST (G, d, s)
    // G = (V, E) : Given graph, s : starting vertex
{
    Q ← ∅;
    // Q is empty set
    // Array w[] is the minimum cost of including each vertex
    // in the spanning tree
    for each x ∈ V
        {
            w[x] ← ∞; c[x] ← 0; }

    // Initialize starting vertex
    w[s] ← 0;
    x ← s;
    Q ← Q ∪ {x};
    i = 1;

    while (Q ≠ V) // Repeat until all vertices are included
        {
            for each y ∈ L(x)
                {
                    new_w = d(x,y) + α c[x];
                    if ( (y ∈ (V-Q)) and (new_w < w[y]) )
                        {
                            w[y] ← new_w;
                            p[y] ← x;
                        }
                }

            m ← FindMin(V - Q, w);
            Q ← Q ∪ {m};
            c[m] ← c[m] + 1;
            c[p[m]] ← c[p[m]] + 1;
            MST_tree[i++] ← edge[p[m],m];
            x ← m;
        }
}

FindMin(S, w)
{
    Returns the vertex with the smallest value of w in the set of
    vertices S
}
    
```

---

대표적으로 Distance Vector Multicast Routing Protocol (DVMRP)과 Multicast Open Shortest Path First (MOSPF)가 SPT를 사용한다. 이 경우 데이터 전달 경로는 방송을 하는 소스 노드로 부터 최단 경로를 구축하고 네트워크 트래픽을 효율적으로 감소시키는 방안이다.

IP 멀티캐스트는 멀티캐스트 라우터의 복잡성 증가, 멀티캐스트 주소의 여유 부족, 그리고 보안상의 문제점 등의 확장성을 제한하는 문제가 있어 관제플랫폼 구축에 사용하는 것이 어려운 점이 있다. 따라서 이 논문에서는 오버레이 멀티캐스트를 활용하는 다양한 방법을 조사하고 기존의 방법을 토대로 관제플랫폼에 효율적인 오버레이 멀티캐스트 프로토콜을 설계하였다.

관제플랫폼과 같이 오버레이 멀티캐스트에 참여하는 대부분의 노드가 데이터를 발생시키는 경우에 라우팅 알고리즘은 참가자를 연결하기 위한 하나의 공통 경로를 사용하는 것이 라우팅 테이블 관리와 네트워크 대역폭 사용에 효율적이다. 공통 경로를 생성하는 방법으로 사용된 간선들의 가중치 합이 최소인 트리를 구하는 MST 알고리즘이 많이 연구되었다. Kruskal MST 알고리즘과 Prim MST 알고리즘이 가장 많이 사용되는 대표적인 MST 알고리즘이다.

관제플랫폼의 오버레이 멀티캐스트에 이러한 MST 알고리즘을 적용하여 공통 경로를 구축할 수 있다. 그러나 오버레이 멀티캐스트는 호스트에서 분기가 일어나므로 특정 호스트에 분기하는 수가 많아지게 되면 호스트가 복제해야 하는 패킷의 수와 이에 필요한 대역폭이 커지게 되어 전체적인 라우팅의 효율성이 낮아진다. 우리가 제안하는 방법은 기존의 MST 멀티캐스트 트리를 계산하는 과정에 분기가 일어나는 경우를 추가로 적용하는 BAMST를 설계하였다.

관제플랫폼에서 인프라센터, 인프라센터 시스템, 그리고 에지관제시스템은 라우팅을 수행하는 그래프  $G = (V, E)$ 의 정점(Vertex)이다. 이들 간의 전송지연 시간은 그래프 간선(Edge)의 가중치로 정의할 수 있다. 기존의 MST 알고리즘은 그래프 상의 모든 정점을 연결하면서 최소의 거리를 갖는 경로 트리를 만들어낸다. 이를 정점에서 분기되는 간선의 수를 반영하여 변형한 BAMST 알고리즘의 슈도코드는 표 1과 같다.

BAMST 알고리즘은 공집합  $Q$ 를 모든 정점  $V$ 가 포함될 때까지 키워나간다. 최초의 정점  $s$ 에서 시작하여 최소의 비용  $w$ 를 가진 정점을 하나 선택하는 과정에서 간선이 하나씩  $MST\_tree$ 에 추가된다. 배열  $d$ 는 전송지연 시간과 같은 각 정점 간의 가중치이다.

BAMST 알고리즘은 정점에서 분기되는 간선의 수를 반영하므로 비용( $w$ )를 각 정점 간의 거리( $d$ )와 정점의 분기 수( $c$ )를 적용하여  $w = d(x,y) + \alpha c[x]$  로 계산한다.  $d(x,y)$ 는 두  $(x,y)$  노드간의 전송지연 시간과 같은 정점간의 거리이고,  $c[x]$ 는 정점  $x$ 에서 분기되는 간선의 수이고,  $\alpha$  값은 정점 간의 거리 대비 분기 수를 얼마나 고려할 지에 대한 비율이다.

각 정점이 보유한  $w$  값은 선택된 정점  $x$ 에 이웃한 정점들 ( $y \in L(x)$ )의 새로운  $w$  값을 계산하는 과정에서 보유한 값보다 작은 값을 갖는 경우 새로 계산한  $w$  값으로 결정되어 진다. 이때 각 정점의  $p[y]$  값은  $w$  값을 결정한 간선의 다른 정점을 가리킨다. 즉, 정점  $y$ 에 영향을 준 간선을 구성하는 정점  $x$ 를 가리킨다.

정점  $x$ 에 이웃한 모든 정점들의  $w$  값을 처리한 후  $FindMin(V - Q, w)$  함수는 아직 선택되지 않은 정점 ( $V - Q$ ) 중에서 가장 작은  $w$  값을 가진 정점  $m$ 을 선택한다. 정점  $m$ 은 MST 경로로 선택된 정점이므로 집합  $Q$ 에 추가한다. 이 정점  $m$ 과 정점  $p[m]$ 을 연결하는 간선이  $MST\_tree$ 에 새로 추가되는 간선이다. 정점  $m$ 과 정점  $p[m]$ 의 간선이 선택되므로 이 정점들에 연결된 간선 수  $c[m]$ 과  $c[p[m]]$ 을 하나 증가시킨 후  $MST\_tree[]$  배열에 추가한다. 이러한 과정은 집

합  $Q$ 에 모든 정점이 포함될 때까지 반복된다.

기존의 MST 알고리즘은 최단거리를 가진 멀티캐스트 트리를 구성하는 과정에서 특정 정점에 연결되는 간선의 수를 고려하지 않았다. 따라서 특정 노드에 다른 노드들이 집중된 경우 트래픽이 집중되는 현상이 발생한다. BAMST 알고리즘은 특정 정점에 연결되는 간선의 수를 분산하기 위하여 최단 거리를 구하는 과정에서 간선의 수를 반영하는 방법을 추가하여 하나의 노드에 부하가 집중되는 경우를 방지하는 멀티캐스트 경로를 구축할 수 있다.

#### IV. BA-MST 알고리즘 성능평가 및 분석

관제플랫폼에서 BAMST 알고리즘과 기존의 MST 알고리즘의 효율성을 평가하기 위해서 관제플랫폼 상의 노드들과 통신망을 Matlab R2020b를 사용하여 모델링하고 효율성 분석에 필요한 성능평가를 수행하였다.

라이다센서 시스템과 인프라센터 시스템은 IEEE 802.11p 카드가 장착된 차량의 애드혹 네트워크를 통해 연결한다. Physical Characteristics은 5.0 Ghz, Data Rate 13 Mb/s, Packet Size는 64 bytes에서 1518 bytes, Transmission range 300 m, 그리고 Routing protocols은 DSR을 사용하는 상황을 평가하였다. 이 성능평가에서는 일반적인 도로상황에서 라이다센서 시스템을 장착한 10대의 차량이 하나의 인프라센터 시스템에 연결된 평가하였다.

에지관제시스템과 인프라센터 시스템은 공장자동화나 백화점 내부에서 구축하는 경우에는 Ethernet과 같은 LAN으로 연결하고 일반 도로상에서는 무선네트워크나 전용선으로 인터넷에 연결한다. 본 성능평가에서는 에지관제시스템은 1000 미터 장거리 무선 와이파이 송신기와 수신기로 구성된 IEEE802.11AH Wireless Local Area Network (WLAN)로 인프라센터 시스템을 연결하는 상황을 설정 하였다. 종합관제시스템과 모든 에지관제시스템은 1Gbps 전용선을 통하여 인터넷에 연결한 상황을 설정 하였다. 이 성능평가에서는 모든 에지관제시스템은 3개의 인프라센터 시스템을 관제하는 상황을 평가하였다.

오버레이 멀티캐스트는 종합관제시스템과 모든 에지관제시스템에서 실행되고 이 노드들 간의 지연시간은 인터넷 망에 존재하는 다수의 라우터들이 영향을 준다. Network Engineering Stack Exchange에서는 약 420km 떨어진 두 사이트 사이의 L2 1G 전용 회선에 대한 합리적으로 측정된 지연 시간은 15 ms로 발표하였다. 일반적으로 인터넷을 구성하는 각 장치는 1ms 이하의 지연시간에 패킷을 처리할 것이고 이것이 합산되어 두 노드간의 지연 시간을 산출할 수 있다. 이 성능평가에서는 이를 고려하여 멀티캐스트 노드간의 지연 시간을 3ms에서 30ms까지  $randi([3,30])$ 함수를 사용하여 임의로 정하고 성능평가를 수행하였다.

모든 에지관제시스템은 3개의 인프라센터 시스템을 연결

하고 인프라센서 시스템은 10개의 라이다센서 시스템을 연결한다. 여기서 제시한 수는 현장에서 설치하는 네트워크 상황을 고려한 수이며 특별한 의미는 없다. 상황에 따라 에지관제 시스템에 연결된 인프라센서 시스템과 인프라센서 시스템에 연결된 라이다센서 시스템의 수는 변화할 수 있으며 실험결과를 단순화 한 수이다. 라이다센서 시스템에서 발생하는 모든 패킷은 라이다센서 시스템과 에지관제시스템을 거쳐 관계 시스템 내의 모든 다른 노드들에게 멀티캐스트 되는 상황의 성능평가를 수행하였다. 일반적인 서비스에서는 종합관제시스템과 에지관제시스템은 제공하는 서비스에 따라서 서로 다른 종류의 트래픽을 발생시키지만 이 성능평가에서는 같은 정도의 송신 트래픽을 발생시키는 것으로 간주하였다.

멀티캐스트 트리를 구축하는 노드로서 하나의 종합관제시스템과 다수의 에지관제시스템들에 해당하는 노드의 수를 30개에서 360개까지 30개씩 증가시키면서 1000번씩 성능평가를 수행하였다. 기존의 MST를 적용한 방식과 BAMST를 적용한 방식의 멀티캐스트 트리를 동일한 방식으로 생성하여 성능의 비교평가를 수행하였다. 단순화를 위해서 모든 노드에서 발생하는 트래픽은 멀티캐스트가 필요한 트래픽으로 설정하였다.

오버레이 멀티캐스트 트리를 구축하면 일부 노드에 분기가 많이 형성되는 경우가 발생하게 된다. IP 멀티캐스트에서는 라우터가 패킷을 복제하는 작업을 분기에 해당하는 정도로 수행하여 주지만 오버레이 멀티캐스트에서는 관계시스템에 해당하는 노드가 이를 처리해야 한다. 이러한 작업은 해당 노드에 부하를 가중시키고 해당 노드의 전송선에 트래픽을 증가시킨다.

그림 2는 임의로 생성된 노드에 멀티캐스트 트리를 MST를 적용한 방식과 알파 값이 1.5인 BAMST를 적용한 방식으로 생성하였을 때 최대의 분기를 갖는 노드의 분기 수를 비교한 결과이다. 성능평가 결과는 기존의 MST를 적용한 방식에 비해 BAMST를 적용한 방식이 특정 노드에 집중되는 분기 수를 50%까지 감축 시킬 수 있음을 보여준다.

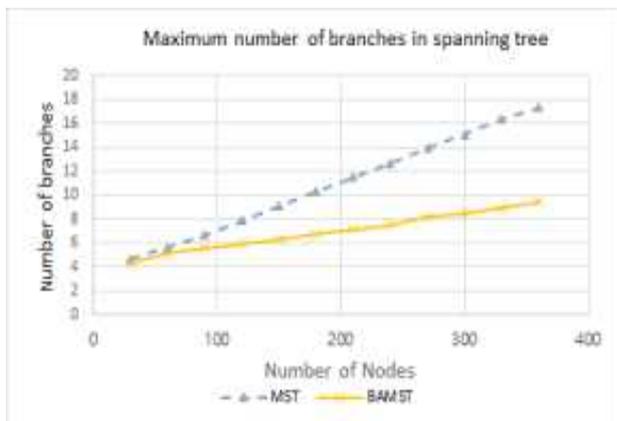


그림 2. 최대의 분기를 갖는 노드의 분기 수  
 Fig. 2. The number of branches in the node with the largest number of branches

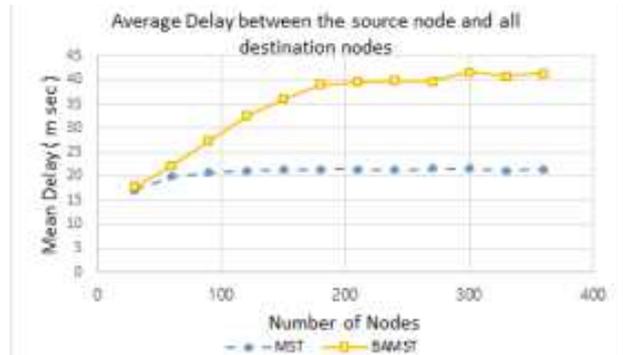


그림 3. 패킷 전송에 소요되는 지연시간의 평균  
 Fig. 3. Average latency of packet transmission

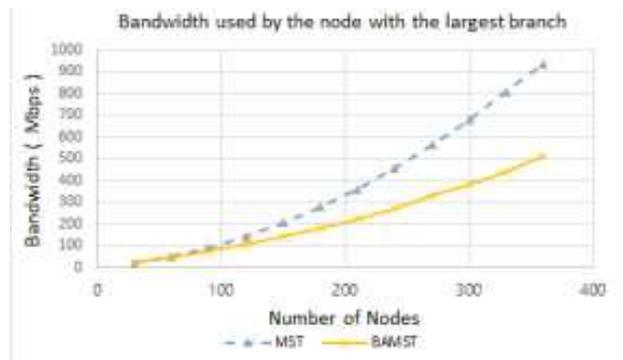


그림 4. 최대의 분기를 갖는 노드에 요구되는 대역폭  
 Fig. 4. Bandwidth Required for Nodes with Largest Branches

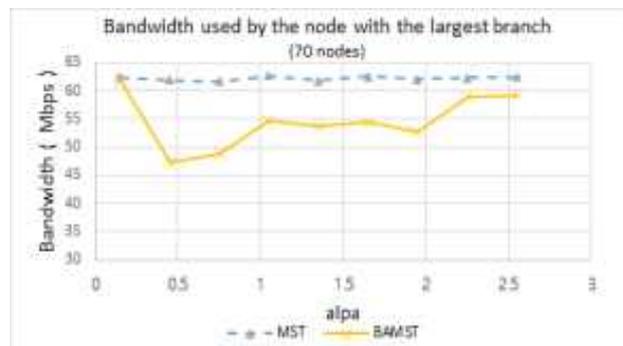


그림 5. 알파 값의 효과  
 Fig. 5. Effect of alpha value

그림 3은 임의로 생성된 노드에 멀티캐스트 트리를 MST를 적용한 방식과 알파 값이 1.5인 BAMST를 적용한 방식으로 생성하였을 때 소스에서 모든 목적지까지 패킷 전송에 소요되는 지연시간의 평균치를 비교한 결과이다. 성능평가 결과는 기존의 MST를 적용한 방식에 비해 BAMST를 적용한 방식이 특정 노드에 집중되는 분기 수를 감축시키기 위해 차선의 경로를 선택함으로써 지연시간이 늘어나는 것을 보여준다. 다행인 점은 멀티캐스트에 참여하는 노드의 수가 증가하면 선택할 수 있는 차선의 경로가 많아 지연시간의 증가가 미미하다는 것을 볼 수 있다.

모든 에지관제시스템은 3개의 인프라센서 시스템을 연결하고 인프라센서 시스템은 10개의 라이다센서 시스템을 연결한 상태에서 에지관제시스템에서 5Kbps 멀티캐스트 데이터를 생성하는 상황의 성능평가를 수행하였다. 그림 4는 이런 상황에서 최대의 분기를 갖는 노드에서 멀티캐스트를 수행할 때 요구되는 대역폭을 비교한 결과이다. 성능평가 결과는 기존의 MST를 적용한 방식에 비해 BA-MST를 적용한 방식이 특정 노드에 집중되는 트래픽이 감소되어 멀티캐스트를 위해 임대해야 하는 전용선의 대역폭을 감소시킬 수 있음을 보여준다.

BAMST 알고리즘에서 알파 값은 노드에 분기 수 증가에 따른 손해를 부가하여 다른 경로를 선택하도록 하는 비율이다. 그림 5는 70개 노드로 멀티캐스트를 구축하는 상황에서 알파 값을 0.15부터 0.3씩 증가시키면서 실험한 결과이다. 결과를 보면 알파 값이 0.5에서 2.0 이하인 경우에 BAMST 알고리즘을 사용하여 특정 노드에 트래픽이 집중되는 것을 완화할 수 있음을 보여준다. 적절한 알파 값은 다수의 실험에서 0.5와 1사이에 있는 결과를 보였고 2 이상의 경우에는 효과가 없음을 보였으나 노드 수, 각 노드에서 생성되는 트래픽, 그리고 노드의 분포도에 영향을 받는 이 값의 최대 적정치를 구하는 방안은 추가 연구 과제로 진행할 예정이다.

## V. 결 론

자율주행에서는 라이다센서 모듈이 활용되어 주변 상황에 대한 많은 정보가 수집되고 활용되고 있다. 다수의 라이다센서에서 실시간으로 수집된 데이터 정보는 다양한 방식으로 공유되고 활용되게 될 것이다.

본 논문에서는 관제플랫폼에 적절한 오버레이 멀티캐스트 프로토콜을 설계하고 이 프로토콜의 성능을 평가하였다. BAMST 오버레이 멀티캐스트 프로토콜은 기존의 MST 프로토콜을 사용하는 경우에 특정노드에 트래픽이 집중되는 현상을 완화하였다.

성능평가 결과는 기존의 MST에 비해 BAMST를 적용하면 오버레이 멀티캐스트 노드에 집중되는 최대 분기 수를 50%까지 감축시킬 수 있음을 보여주었다. 결과적으로 주어진 전용선의 대역폭을 활용하여 더 많은 에지관제시스템과 인프라센서 시스템에 멀티캐스트로 데이터를 공유할 수 있다. 또한, 주어진 환경에서 MST에 비해 BAMST가 라이다센서 시스템에서 발생하는 더 많은 실시간 데이터를 멀티캐스트로 공유하고 관리할 수 있음을 보여 주었다. 성능평가 결과는 BAMST 알고리즘이 멀티캐스트 노드에 분기가 늘어나면 분기를 줄일 수 있는 차선의 경로를 선정하므로 소스에서 목적지까지 패킷 전송에 소요되는 지연시간이 늘어나는 것을 보여준다. 주어진 환경에서 이 현상은 멀티캐스트에 참여하는 노드의 수가 증가하면 차선의 경로들이 많이 있어 200노드 이상에서는 지연시간의 차이가 더 이상 증가하지 않는 것을 보여주었다.

## 참고문헌

- [1] E. Massaro, C. Ahn, C. Ratti, P. Santi, R. Stahlmann, A. Lamprecht, M. Roehder, "Huber, M. The Car as an Ambient Sensing Platform," [Point of View]. Proc. IEEE Vol. 105, No. 1, pp. 3-7, January 2017.
- [2] S. Biswas, R. Tatchikou, F. Dion, "Vehicle-to-vehicle wireless communication protocols for enhancing highway traffic safety," IEEE Commun. Mag. Vol. 44 No. 1, pp. 74-82, January 2006.
- [3] Y.Y. Lin, I. Rubin, "Vehicular and messaging throughput tradeoffs in autonomous highway systems," Proc. IEEE Global Commun. Conf. (GLOBECOM), pp. 1-6, December 2015.
- [4] A. Boukerche, B. Turgut, N. Aydin, M.Z. Ahmad, L. Bölöni, D. Turgut, "Routing protocols in ad hoc networks: a survey." Comput. Netw. Vol. 55, No. 13, pp. 3032-3080, September 2011.
- [5] P. Nithiyandam, J. Sreemathy, "Optimized dynamic source routing protocol for MANETs." Cluster Comput. Vol. 22, No. 1, pp. 12397-12409, January 2018.
- [6] C. Perkins, E. Belding-Royer, S. Das, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing," IETF RFC3561. pp. 1-11, Jul. 2003.
- [7] T. Clausen, P. Jacquet. "Optimized Link State Routing Protocol (OLSR)," IETF RFC3626, pp. 1-75, Oct. 2003.
- [8] F. Cuomo, I. Rubin, A. Baiocchi, P. Salvo, "Enhanced VANET broadcast throughput capacity via a dynamic backbone architecture," Ad Hoc Netw. Vol. 21, pp. 42-59, October 2014.
- [9] M. Usha, B. Ramakrishnan, "An enhanced MPR-OLSR protocol for efficient node selection process in cognitive radio based VANET," Wireless pers, Commun. Vol. 106, No. 2, pp. 763-787, February 2019.
- [10] K.K. Rana, S. Tripathi, R.S. Raw, "Analytical analysis of improved directional location added routing protocol for VANETS," Wirel. Pers. Commun. Vol. 98, No. 2, pp. 2403-2426, January 2018.
- [11] Kyoungsoo Kim, Jeongok Lee, Jiseung Nam, "A study on efficient Direction and Speed in Dynamic Source Routing (DS-DSR) protocol for highly mobile VANET," Journal of Digital Contents Society Vol. 22, No. 9, pp. 1521-1528, September 2021.
- [12] Jongsik Moon, Byung-Yoon Lee, "Development of 3D Point Cloud Mapping System Using 2D LiDAR and Commercial Visual-inertial Odometry Sensor," Institute of Embedded Engineering of Korea, Vol. 16, No. 3, pp. 107-111, June 2021.
- [13] Islam, S., Muslim, N. & Atwood, J. W, "A survey on

multicasting in software-defined networking,” IEEE Commun. Surv. Tutor. Vol. 20, No. 1, pp. 355–387, November 2017.

- [14] Waitzman, D., Partridge, C. & Deering, S. E, “Distance vector multicast routing protocol,” RFC 1075, pp. 1–24, November 1988.
- [15] Moy, J. “Multicast routing extensions for ospf. Commun,” Communications of the ACM, Vol. 37, No. 8, pp. 61–114, August 1994.
- [16] Estrin, D. et al. “Protocol independent multicast-sparse mode (PIM-SM): protocol specification,” RFC 2117, pp. 1–66, June 1997.
- [17] Gururaj Bijur, M. Ramakrishna, & Karunakar A. Kotegar, “Multicast tree construction algorithm for dynamic traffic on software defined networks,” Scientific Reports, 2021.
- [18] 8. Thakur, D. & Khatua, M. “Multi-domain virtual network embedding with dynamic flow migration in software-defined networks,” Journal of Network and Comput. Appl., Vol. 162, pp. 1–13, July 2020.
- [19] Humernbrum, T., Hagedorn, B. & Gorlatch, S. “Towards efficient multicast communication in software-defined networks,” 2016 IEEE 36th International Conference on Distributed Computing Systems Workshops (ICDCSW), pp. 106–113, June 2016.
- [20] N. Rahimi, K. Sinha, B. Gupta and S. Rahimi, "LDEPTH: A low diameter hierarchical p2p network architecture", Proc. 2016 IEEE Int. Conf. on Industrial Informatics (IEEE INDIN), July, 2016.
- [21] Jaime Galán-Jiménez, Alfonso Gazo-Cervero, “Overlay Networks: Overview, Applications and Challenges,” IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, Vol. 10, No.12, pp. 40–49, December 2010.
- [22] Julius Rückert, Jeremias Blendin & David Hausheer, “Software-Defined Multicast for Over-the-Top and Overlay-based Live Streaming in ISP Networks,” Journal of Network and Systems Management, Vol. 23, pp. 280–308 July 2014.
- [23] Mi-Yong Kang, Ji-Seung Nam, Ho-Young Song, Hyung-ok Lee, Yong-Wan Gwak, Byung-Jun Lee, “Effective P2P Overlay Multicast Protocol Based on Smart Network,” Telecommunications Review, Vol. 22, No. 5, pp. 678–690, Oct. 2012.



**김경수(Kyoungsoo Kim)**

2016년 : 전남대학교 대학원 (공학석사)

1999년 12월~2009년 12월: (주)인디미디어 연구소장/대표  
2001년 6월~2004년 3월: 담양대학교 겸임교수  
2010년 1월~현 재: (주)아이엠알 대표이사  
※ 관심분야 : IoT, AI, Bigdata, 자율주행 등



**이정옥(Jeongok Lee)**

2015년 : 전남대학교 대학원 (공학석사)

2011년~현 재: (주)아이엠알  
※ 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