

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2020.6.1.495>

JCCT 2020-2-62

## VCCN에서 Content Store 교체 알고리즘의 성능에 관한 연구

### A Study on Performance of Content Store Replacement Algorithms over Vehicular CCN

최종인\*, 강승석\*\*

Jong-In Choi\*, Seung-Seok Kang\*\*

**요약** 자동차를 기반으로 하는 애드 혹 네트워크 중 하나인 Vehicular Ad Hoc Network(VANET)은 자율 주행차와 커넥티드 카 등의 기술 개발과 더불어 많은 연구가 진행 중인 주제 중 하나이다. VANET을 구현하는 경우 기존의 TCP/IP를 이용한 연구도 진행하고 있지만, Content Centric Networking (CCN)을 이용한 VANET over CCN (VCCN) 관련 연구도 다양한 장점으로 인해 높은 실현 가능성을 보여주고 있다. 본 논문은 CCN 노드들이 관리하는 전송관련 정보 테이블 중에서 Content Store(CS)에 할당된 공간이 모두 사용되어 새로운 항목을 추가할 경우 기존의 일부 항목을 교체하는 경우에 사용되는 다양한 교체 알고리즘의 성능을 평가하고 특정 네트워크 상황에서의 전송 특성을 분석하였다. 모의실험 결과, LRU 교체 알고리즘의 성능이 다른 세 가지 교체 알고리즘 보다 우수하였다. 또한 CS의 크기가 작더라도 전송 성능이 일정 수준을 유지하였으며, CS의 크기가 클수록 전송 성능은 그에 비례하여 상승하였다. 네트워크가 혼잡한 경우 또는 전송 노드 사이의 거리가 먼 경우 데이터 전송 성능도 감소하였다.

**주요어** : Content Store, Replacement Algorithm, VANET, VCCN, SUMO, ns-3

**Abstract** VANET (Vehicular Ad Hoc Network), an example of an ad hoc vehicular networks, becomes one of the popular research areas together with the self-driving cars and the connected cars. In terms of the VANET implementation, the traditional TCP/IP protocol stack could be applied to VANET. Recently, CCN (Content Centric Networking) shows better possibility to apply to VANET, called VCCN (VANET over CCN). CCN maintains several data tables including CS (Content Store) which keeps track of the currently requested content segments. When the CS becomes full and new content should be stored in CS, a replacement algorithm is needed. This paper compares and contrasts four replacement algorithms. In addition, it analyzes the transmission characteristics in diverse network conditions. According to the simulation results, LRU replacement algorithm shows better performances than the remaining three algorithms. In addition, even the size of CS is small, the network maintains a reasonable transmission performance. As the CS size becomes larger, the transmission rate increases proportionally. The transmission performance decreases when the network is crowded as well as the number of transmission hops becomes large.

**Key words** : Content Store, Replacement Algorithm, VANET, VCCN, SUMO, ns-3

\*준회원, 서울여자대학교 디지털미디어학과 조교수 (제1저자) Received: October 30, 2019 / Revised: November 14, 2019

\*\*준회원, 서울여자대학교 디지털미디어학과 교수 (교신저자) Accepted: November 24, 2019

접수일: 2019년 10월 30일, 수정완료일: 2019년 11월 14일

게재확정일: 2019년 11월 24일

\*Corresponding Author: msukang@swu.ac.kr

Dept. of Digital Media Design and Applications,

Seoul Women's University, Korea

## 1. 서 론

애드 혹 네트워크는 통신을 위한 기반 인프라가 설치되어 있지 않은 상황에서 즉시 무선 네트워크를 구성하여 네트워크에 연결된 노드들이 서로 자료를 교환할 수 있는 네트워크이다. 이와 같은 기술은 응급 구조나 전쟁 중 장비들 사이에 네트워크를 구성하는 경우 유용하다. 최근 들어 자율 주행 기술과 커넥티드 카 등의 자동차 기술이 발전하면서 주행중인 자동차 사이의 애드 혹 네트워크 기술인 VANET (Vehicular Ad Hoc Network)에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다[1-3].

VANET을 구성하는 경우 자동차 사이에서의 통신이 보편적인 경우이지만, 도로 사이에 마련된 RSU (Road Side Unit)도 VANET에 참여하여 운전자 및 탑승자에게 주행 정보나 주변의 다양한 위치 기반 정보를 제공해 주기도 한다. 이러한 위치기반 서비스를 제공하기 위해 다양한 연구가 진행되고 있으며 대표적으로 사용되는 프로토콜은 TCP/IP 스택을 이용한 방식이다. 이는 인터넷을 기반으로 널리 이용되고 있다. 하지만, VANET에서 TCP/IP를 사용하는 경우 클라이언트는 서버의 주소를 알아야 필요한 자료를 요청할 수 있는데 VANET은 현재 위치를 기반으로 서비스를 제공하는 특성이 강하므로 인터넷에 위치한 서버의 주소를 모르더라도 현재의 위치 주변에서 서비스를 제공할 수 있는 방식이 적절하다. 또한 여러 노드가 현재 주변 교통 상황을 요청하는 경우 멀티캐스트 방식의 통신이 적절하지만 TCP/IP의 경우 멀티캐스트 방식을 보편적으로 제공하지 않는다. 이에 따라 TCP/IP 대신 CCN (Content Centric Networking)과 같은 프로토콜을 이용하여 VANET을 구현하는 연구도 진행되고 있다[4, 5].

CCN은 네트워크에 저장된 자료를 서버 주소 등의 목적지 주소를 이용해 조회하지 않고 자료 자체의 이름인 Content Name을 기반으로 조회한다. 즉 주변 교통 상황 등 요청한 콘텐츠 이름 자체를 키 값으로 하여 해당 콘텐츠가 네트워크에 있으면 이를 요청한 노드에게 전송한다. 또한 CCN은 참여한 모든 노드가 in-network caching 기능을 가지고 있어서 최근에 수신한 부분적인 콘텐츠를 임시로 저장 후 주변에서 해당 콘텐츠를 요청하는 경우 저장된 내용을 즉시 전송해 준다. 이를 통해 멀티캐스트 기능이 기본적으로 제공된다. 이런 특성을 구현하기 위해 참여하는 모든 CCN 노드들은 기본적으

로 라우팅 정보를 담고 있는 FIB (Forwarding Information Base), 콘텐츠 요청 정보를 담고 있는 PIT (Pending Interest Table), 콘텐츠를 임시로 저장하는 CS (Content Store) 세 가지의 자료구조를 관리한다.

CS는 최근에 수신된 콘텐츠를 저장하는 테이블이다. CS를 운영하게 되면 in-network caching이 가능해서 콘텐츠를 요청한 노드는 콘텐츠 소스 이외에 CS에 해당 콘텐츠를 caching 하고 있는 네트워크에서 임의의 노드로부터 자료를 수신할 수 있다. 또한 이런 기능을 통해 멀티캐스트 기능도 기본적으로 제공된다. 네트워크의 한 노드가 Interest 패킷을 전송하여 특정 콘텐츠를 요청하면 네트워크의 각 노드는 자신의 CS에 해당 콘텐츠가 있는지 확인 후 저장한 자료가 있으면 이를 즉시 Interest를 요청한 노드에 전송한다. 만약 CS에 저장된 자료가 없다면 해당 요청을 PIT에 저장하고 FIB를 참고하여 이웃 노드에게 해당 요청을 전송한다.

CS는 최근에 수신된 콘텐츠를 저장하지만 저장 공간이 다 사용된 상태에서 새로운 콘텐츠를 저장하고자 할 때 기존의 CS 공간에 저장된 기존 자료 일부를 새롭게 저장할 내용과 교체해야 한다. 어떤 자료를 교체하느냐에 따라 네트워크의 전송 성능에 영향을 받게 된다. 본 논문은 FIFO (First In First Out), LRU (Least Recently Used), LFU (Least Frequently Used), Random 방식 등 4개의 CS 교체 알고리즘을 소개하고 각각의 교체 알고리즘을 적용했을 때 네트워크에서 노드의 요청들에 대해 어느 정도의 전송 성능을 제공하는지에 대한 성능 평가를 진행하고자 한다. 성능 평가를 위해서 SUMO (Simulation of Urban Mobility) [6] 도로 및 교통 시뮬레이터와 ns-3 [7] 네트워크 시뮬레이터를 사용하였다. 사용된 네트워크 토폴로지는 서울 남부에 위치한 일부의 도로를 모델링하였고 참여한 자동차 노드의 수와 토폴로지의 크기를 다양화하여 VCCN에서 각각의 CS 교체 알고리즘에 따라 노드들의 데이터 수신 성능을 측정하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 VANET 및 VCCN과 관련된 기존의 연구에 대해 간략하게 소개한다. 3장은 모의실험에 사용된 SUMO와 ns-3 시뮬레이터에 대해 소개하고 모의실험 환경을 설명한다. 4장을 통해 모의실험에 대한 자세한 결과를 소개하고 각 교체 알고리즘에 대한 성능을 평가한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 도출한다.

## II. 관련연구

Vehicular Ad Hoc Network은 자동차의 안전 주행, 효율적인 경로선택, 주변 서비스 정보 취득 등 다양하고 유용한 정보를 교환할 수 있는 기술로 발전되어가고 있고 다양한 연구가 진행되고 있다. 효율적인 전송을 저해할 가능성이 높은 Broadcast Storm 문제의 경우 데이터 패킷이 아닌 주변의 콘텐츠를 관련 패킷들의 증가로 인해 데이터 전송이 저하되는 문제를 해결하기 위해 선택적으로 Forwarding 노드를 선택하는 등[3, 8] 다양한 접근 방법이 소개되고 있다. 또한 VCCN에서 콘텐츠의 인기도를 기반으로 in-network caching 기술을 proactive 방식으로 처리하여 효율적으로 콘텐츠를 전송하는 연구[9]도 데이터의 전송 성능을 높일 수 있다. 본 논문에서 사용하고자 하는 교체 알고리즘의 경우 전통적으로 운영체제의 페이지 교환 알고리즘에 기반을 두고 있다. 적은 용량의 메모리 공간을 효율적으로 운영하기 위해 기존의 자료 저장 공간을 새로운 자료를 저장하기 위한 공간으로 대체하는 기술이다. 이런 기술이 가상 메모리의 페이지 교체 영역에서 locality 기반의 캐시 메모리를 교체[10]하거나, 플래시 메모리 기반의 데이터베이스 버퍼 공간을 교체하는 경우에도 다양한 교체 알고리즘이 사용된다.

## III. 모의실험 환경

본 논문은 VCCN 환경에서 제한된 크기의 CS를 운영하는 경우, 기존의 CS 공간이 모두 사용된 상황에서 새로운 콘텐츠를 저장하기 위해 각 노드별로 관리하는 CS에 이미 저장된 콘텐츠의 일부를 새로운 콘텐츠와 교체하는 알고리즘의 성능을 평가한다. 이를 위한 모의 실험은 먼저 자동차 노드와 관련된 토폴로지를 구성하고 각 노드를 운행하는 중 Interest 패킷과 Data 패킷을 전송하는 과정 및 데이터를 집계하여 성능을 평가하는 작업이 필요하다. 이를 위하여 오픈소스 패키지인 SUMO를 이용하여 자동차가 운행하는 네트워크 토폴로지를 구성하였고 해당 토폴로지에 자동차 노드를 구성하여 특정 경로로 운행하도록 지정하였다. 또한 구성된 토폴로지 정보를 오픈소스 네트워크 시뮬레이터 패키지인 ns-3를 이용하여 VCCN을 구성하고 패킷 송수신 정보를 이용해 전송 성능을 계산하였다. 이 모의실

험 과정을 통해 네 가지의 CS 교체 알고리즘의 성능을 비교 분석하였다.

교통정보 모의실험을 위한 SUMO는 자동차, 도로, 교통 신호등, 교통흐름 예측 등 다양한 시설과 환경을 모델링 할 수 있는 오픈소스 패키지이다. 본 논문은 도로 모델링 작업을 통해 도로를 구성하고 해당 도로 위를 운행하는 자동차의 시간별 위치 정보를 모델링한다. SUMO를 통해 도로를 edge로 지정하고 그 위를 운행하는 자동차를 node로 지정하며 자동차들의 운행 궤적을 flow로 지정하면 해당 자동차가 특정 경로에서 운행하는 모델을 구현할 수 있다. 본 논문은 서울 남쪽에 위치한 남부순환도로의 일부를 도로 모델링하여 그림 1처럼 단순화된 도로로 구성하였다. 그림에서 사용된 알파벳은 도로가 직선에서 곡선으로 바뀌는 경우 사용하였으며 이를 이용해 자동차들의 운행 경로를 표1처럼 정의하였다. 그림 1의 모델링된 도로 전체의 크기는 600m X 500m 크기이며 이 도로 위에서 30 대의 자동차가 운행된다.

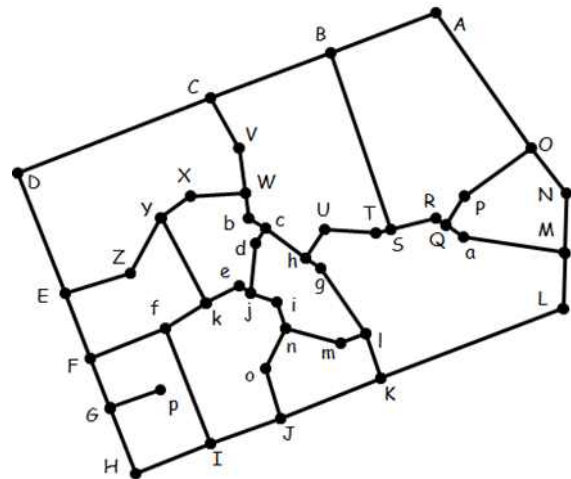


그림 1. 서울 남쪽의 도로를 edge로 변환한 도로 그래프  
 Figure 1. Road graph transferred from a section of a southern part of Seoul with roads into edges.

표 1. 자동차의 운행 경로  
 Table 1. Routes of Cars

노드수	운행경로	노드 수	운행경로
4	DCVWXYk f I J	2	SBCVWXYZ E F f
3	pGHIJKLM a Q P O A B	4	kejdchUTSR Q a M N O P
2	KlmnIjdc b W X	2	CVWbchglK L
3	hcdjekfIH G p	2	ZYk f I J onml ghU
5	MNOPQRS T U h g l m n	3	EZYXWbchU TSRQPO

SUMO를 이용하여 작성한 도로 모델은 기본 크기가 600m X 500m 이지만, 다양한 환경을 모의실험 하기 위하여 가로와 세로를 두 배로 늘려 1200m X 1000m 크기의 도로 모델도 사용하였다. 또한 참가하는 자동차 노드들도 기본적으로 30개를 사용하였지만, 각 운행 경로별로 두 배로 그 크기를 늘려 60개의 노드를 참여시켰다. 어떤 상황 위에서 모의실험을 하였는지는 각 실험 결과에 구체적으로 명시하였다. 시뮬레이션은 150초 동안 진행되었고 각각의 자동차 노드는 30Km/h의 속도로 지정된 경로를 운행하였다. 이렇게 운행된 정보를 ns-3 네트워크 시뮬레이터로 export하여 1대에서 최대 5대의 노드가 Interest 패킷을 전송하도록 하였다. 본 논문에서 사용된 CCN 프로토콜 스택 및 기능은 ns-3에서 작동되는 ndnSim[12] 오픈소스 패키지를 사용하였다. ndnSim 패키지를 통해 기본적인 CCN 노드의 기능을 사용하며 중간 노드들의 in-network caching 기능을 수행한다. 사용된 CS 교체 알고리즘은 LRU, FIFO, LFU, Random 등 네 가지로 해당 알고리즘을 CS 교체 알고리즘에 적용하였다. ns-3 시뮬레이터를 이용한 각 노드는 802.11a WiFi 채널을 사용하였고 12 Mbps의 대역폭을 사용하였다. 또한 Payload 크기는 1024 Byte로 설정하였다.

#### IV. 모의실험 결과

본 논문은 VCCN에서 콘텐츠를 전송할 때, CS 교체 알고리즘에 따른 전송 성능을 평가하고자 오픈소스 패키지인 SUMO와 ns-3 및 ndnSim 시뮬레이터를 사용하였다. Interest 패킷을 보내는 자동차 노드는 하나에서 다섯 개의 노드까지 지정하였다. 각 노드는 지정된 경로를 30 km/h로 운행한다. 요청한 콘텐츠는 처음 하나의 노드가 저장하고 있고 경로 중간에 있는 노드는 해당 콘텐츠를 CS에 저장하고 있다가 중복된 요청이 있는 경우 CS에 있는 자료를 바로 전달해 준다. CS 저장 공간이 모두 사용된 경우 LRU, FIFO, LFU, Random 교체 알고리즘 중 하나를 사용하여 기존의 CS 공간에서 교체되어 나갈 콘텐츠를 선택하여 내보내고 새로운 콘텐츠를 저장한다. CS의 크기는 콘텐츠 10개에서 5000개 까지 저장할 수 있도록 지정하였다. 성능 측정은 Interest 패킷을 통해 콘텐츠를 요청한 노드가 수신한 데이터를 누적하였고, 여러 노드가 같은 콘텐츠를 요청한 경우 각각의 수신 데이터를 합산하였다.

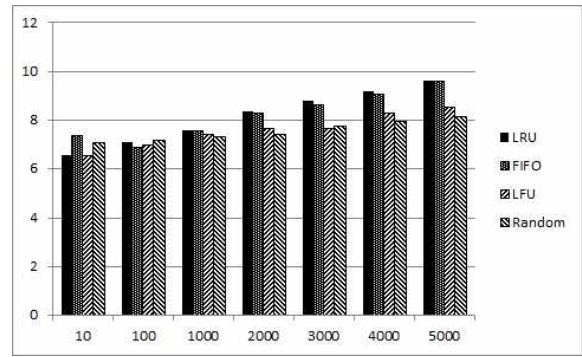


그림 2. 기본 영역에서 30개의 노드 중 3개의 노드가 수신한 데이터(Mbps)

Figure 2. Normal Sized Area with 30 nodes for 3 clients

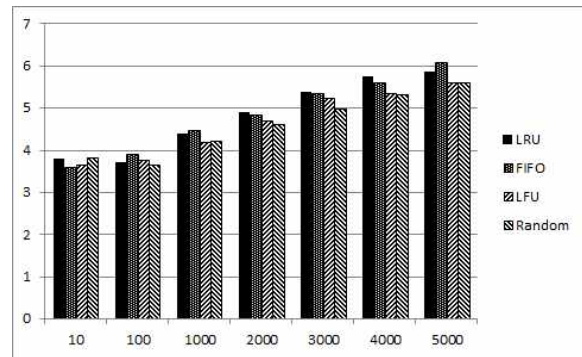


그림 3. 확장 영역에서 30개의 노드 중 3개의 노드가 수신한 데이터(Mbps)

Figure 3. Extended Sized Area with 30 nodes for 3 clients

그림 2는 30개의 자동차 노드가 3개의 노드가 600m X 500m 크기의 토폴로지에서도 같은 콘텐츠를 요청하는 Interest 패킷을 전송하여 세 노드가 수신한 데이터를 모두 누적한 결과이다. CS의 크기가 10개의 콘텐츠를 저장하는 경우에도 전송 성능은 적정 수준 이상으로 유지되었다. 또한 CS의 크기가 증가하는 경우 전송 성능도 이에 비례하여 증가하였다. 각각의 교체 알고리즘을 비교하면 LRU 알고리즘이 조금 우수하기는 하지만 다른 알고리즘과 큰 차이는 없음을 알 수 있다. 그림 3은 30개의 자동차 노드 중 3개의 노드가 1200m X 1000m 크기로 확장한 토폴로지에서도 수신한 데이터 콘텐츠를 누적한 전송 결과이다. 그림 2와 마찬가지로 작은 크기의 CS인 경우에도 기본적인 전송성능을 유지함을 알 수 있다. 또한 LRU 알고리즘이 미세하게나마 우수한 성능을 보여준다. 토폴로지가 가로 세로 두 배 확대됨에 따라 전송 hop 수가 증가하여 기본영역 대비 대략 60% 정도로 전송 성능이 감소하였다.

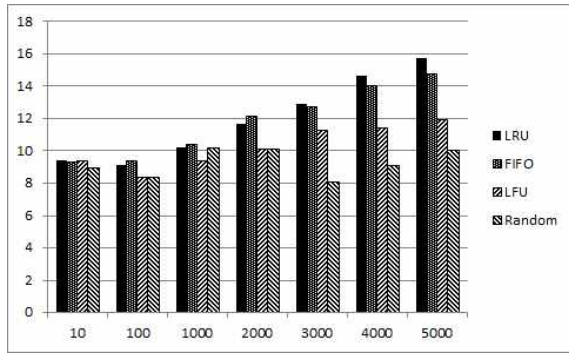


그림 4. 기본 영역에서 30개의 노드 중 5개의 클라이언트가 수신한 누적 데이터(Mbps)  
 Figure 4. Normal Sized Area with 30 nodes for 5 clients

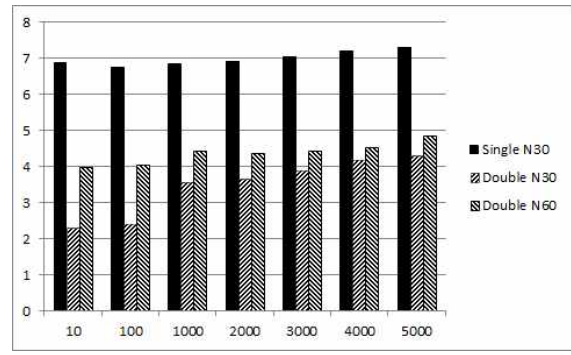


그림 6. LRU를 이용한 경우 전체 노드 N개 중 2개의 클라이언트가 수신한 누적 데이터(Mbps)  
 Figure 6. LRU Replacement Algorithm for 2 clients

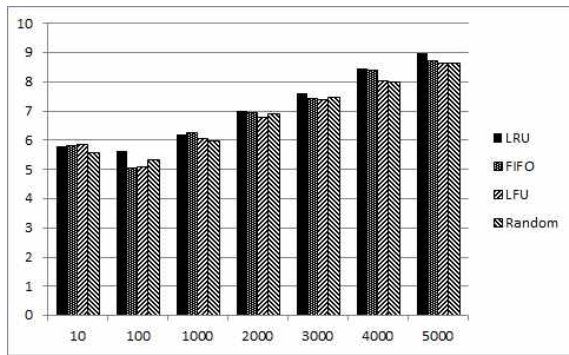


그림 5. 확장 영역에서 30개의 노드 중 5개의 클라이언트가 수신한 누적 데이터(Mbps)  
 Figure 5. Extended Sized Area with 30 nodes for 5 clients

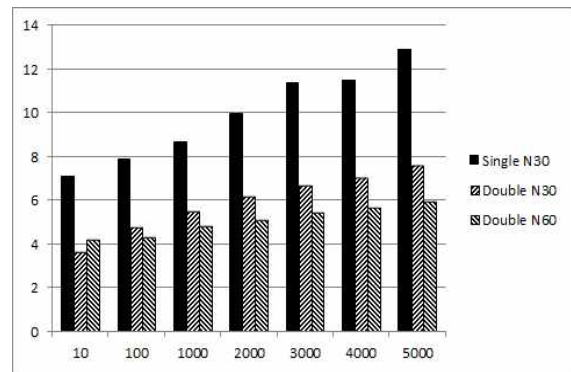


그림 7. LRU를 이용한 경우 전체 노드 N개 중 4개의 클라이언트가 수신한 누적 데이터(Mbps)  
 Figure 7. LRU Replacement Algorithm for 4 clients

그림 4는 600m X 500m 영역에서 30개의 노드 중 5개의 노드가 Interest 패킷으로 콘텐츠를 요청한 경우 4가지 CS 교체 알고리즘의 데이터 수신 결과를 나타내었다. 콘텐츠를 임시로 저장하는 CS의 크기가 작더라도 어느 정도의 전송 성능은 유지되지만, CS의 크기가 커질수록 전송 성능은 증가하였다. 전반적인 결과에서 LRU 교체 알고리즘이 다른 알고리즘에 비해 우수한 성능을 나타내었다. 본 실험은 12Mbps 802.11a 채널을 사용하는데, CCN의 멀티캐스트 속성으로 인해 전체 수신 용량이 채널에서 제공하는 최대 용량을 초과한다. 그림 5는 30개의 자동차 노드 중 5개의 노드가 1200m X 1000m 토폴로지에서도 수신한 데이터 콘텐츠를 누적한 전송 결과이다. 거리가 멀어지며 노드의 전송 hop 수가 커져서 전송 성능이 그림 4의 경우보다 낮음을 알 수 있다. 그림 4와 그림 5를 비교해볼 때도 모의실험 영역이 가로와 세로 각 두 배씩 늘어난 경우 전송 성능이 이전과 유사하게 대략 60% 정도로 감소하였다.

그림 6과 7은 네 가지의 CS 교체 알고리즘 중에서 가장 성능이 좋은 LRU 알고리즘을 사용했을 때, 두 가지의 모의실험 영역과 두 종류의 참여 노드에 따른 누적 수신 데이터 용량을 Mbps 단위로 표현하였다. 그림 6은 두 개의 노드가 자료를 요청한 경우에 대한 누적 수신율을 나타낸다. 30개 노드가 참여했을 때, 두 개의 요청노드가 있는 경우 CS의 크기에 따른 전송 성능은 큰 차이가 없지만, 모의실험 영역이 가로 세로 두 배씩 커지는 확장 영역의 경우 중간에 전달해주어야 할 노드가 없거나 전송 hop 수가 늘어나기 때문에 전송 성능이 크게 감소함을 알 수 있다. 확장 영역에 60개의 노드가 참여하게 되면 중간에 전달해 줄 노드가 보충이 되는 경우가 있으므로 확장 영역에서 30개의 노드일 때 보다 60개의 노드인 경우 전송 성능이 약간 증가한다. 그림 7은 네 개의 자동차 노드가 자료를 요청한 경우에 대한 누적 수신율을 나타낸다. 30개의 노드가 기본 영역에서 자료를 전송하는 경우 CS의 크기가 클수록 데이터의

전송 성능이 증가함을 알 수 있다. 이는 수신에 참여한 노드의 수가 증가하여 누적 수신량이 늘어났기 때문이다. 확장 영역에서 30개의 노드가 참여할 때 보다 60개의 노드 중에서 4개의 노드가 Interest 패킷을 송신한 경우 해당 Interest 패킷이 재전송되는 경우가 많아 전송 성능이 낮아지는 결과를 볼 수 있다.

## V. 결론

VANET은 자동차와 도로 교통관련 시설물 사이에서 통신을 통해 운전자의 경로 선택과 안전운행 등의 정보를 제공하고, 탑승자에게 다양한 주변의 서비스 정보를 제공할 수 있는 네트워크이다. CCN을 VANET에 적용한 VCCN의 경우 다수의 공통 콘텐츠를 공유할 수 있어 공통의 관심 데이터를 편리하게 이용할 수 있는 다양한 플랫폼을 제공할 수 있다. 또한 수신된 전체 데이터는 무선 채널이 제공하는 대역폭 보다 더 많은 데이터를 전송할 수 있도록 한다. 본 논문은 멀티캐스트 기능에 효과적으로 적용되는 Content Store 저장 항목 교체를 위한 네 가지의 알고리즘에 대한 성능평가를 진행하였다. 모의실험 결과 전반적으로 LRU 알고리즘이 다른 알고리즘에 비해 좋은 성능을 제공하였다.

## References

[1] Z. Su, Y. Hui, and Q. Yang, "Next Generation Vehicular Networks: A Content Centric Framework", *IEEE Wireless Communications*, Vol. 24, No. 1, pp. 60-66, February, 2017.

[2] E. Yang, S. Kang, S. Kwon, D. Kim, J. Kim, Y. Lee, H. Hwang, and Y. Chang, "Analysis of Autonomous Driving Vehicle and Korea's Competitiveness Strategy", *The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT)*, Vol. 3, No. 2, pp. 49-54, May, 2017.

[3] S. Yeon, Y. Chae, and S. Kang, "A Study on Mitigation Methods for Broadcast Storm Problem over Vehicular CCN", *The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT)*, Vol. 5, No. 1, pp. 429-434, February, 2019.

[4] S. Ahmed, S. Bouk, and D. Kim, "RUFs: Robust Forwarder Selection in Vehicular Content Centric Networks", *IEEE Communications Letters*, Vol. 19, No. 9, pp. 1616-1619, September, 2015.

[5] H. Maryam, M. Shah, S. Arshad, A. Siddiq, and

A. Wahid, "TFS: A Reliable Routing Protocol for Vehicular Content Centric Networks", *International Conference on Emerging Technologies (ICET)*, pp. 1-6, December, 2017.

[6] F. Karnadi, Z. Mo, and K. Kan, "Rapid Generation of Realistic Mobility Model for VANET", *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, pp. 2506-2511, March, 2007.

[7] ns-3, Ns-3 manual: Release ns-3.29 (<https://www.nsnam.org/releases/ns-3-30>), August, 2019.

[8] E. Feukeu, and T. Zuva, "Mitigation of a Broadcast Storm Problem in a Vehicular Ad Hoc Network (VANETs)", *IEEE International Symposium on Parallel and Distributed Processing with Applications*, pp. 1289-1295, December, 2017.

[9] K. Hasan, and S. Jeong, "CCN-based vehicular communications", *International Conference on Information Networking*, pp. 926-929, January, 2018.

[10] M. Kharbutli, and R. Sheikh, "LACS: A Locality-Aware Cost-Sensitive Cache Replacement Algorithm", *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 63, No. 8, pp. 1975-1987, August, 2014.

[11] K. Zheng, and J. Wang, "Page Weight-Based Buffer Replacement Algorithm for Flash-Based Databases", *International Conference on Computer Technology, Electronics and Communication*, pp. 466-470, December, 2017.

[12] S. Mastorakis, A. Afanasyev, L. Moiseenko, and L. Zhang, "ndnSIM 2.0: A new version of the NDN simulator for NS-3", *Technical Report NDN-0028*, NDN, 2015.

※ 이 논문은 2019 학년도 서울여자대학교 교내 학술연구비의 지원을 받았음