

<http://dx.doi.org/10.17703/JCCT.2022.8.4.367>

JCCT 2022-7-46

CCN 기반의 VANET에서 무선 채널에 따른 전송 성능에 관한 연구

Data Transmission Performance Study of Wireless Channels over CCN-based VANETs

강승석*

Seung-Seok Kang*

요약 VANET은 애드 hoc 네트워크의 한 종류로 네트워크 인프라 없이 도로를 운행하는 자동차 노드들 사이에서 혹은 자동차들과 RSU 사이에서 운전자에게 주변의 교통 정보를 제공하고 탑승자에게 다양한 부가 정보를 제공하기 위해 생성되는 네트워크이다. VANET을 구성할 때 CCN을 기반으로 하는 경우 사용자는 필요한 자료를 저장하는 서버 주소를 지정하지 않고 키워드 등으로 주변 교통 콘텐츠를 조회할 수 있고 네트워크에 참여하는 주변 노드들의 캐시 정보를 즉시 사용할 수 있으며 멀티캐스트 전송으로 다른 노드들과 쉽게 정보를 공유할 수 있다. 본 논문은 VCCN에 참여하는 노드들이 다양한 무선 채널을 사용하는 경우 각 무선 채널에 대해 데이터 전송 성능을 측정하고 평가하였다. 모의실험 결과 802.11a 무선 채널이 다른 채널에 비해 전반적으로 전송 성능이 우수하였다. 또한 채널의 데이터 전송 용량이 허용하는 범위 내에서 CCN의 멀티캐스트 통신 속성에 의해 동시에 여러 노드가 데이터를 수신하는 경우 물리적으로 제공하는 네트워크 대역폭 이상으로 데이터를 전송할 수 있다.

주요어 : CCN, VANET, VCCN, Wireless Channels, SUMO, ns-3

Abstract VANET (Vehicular Ad hoc NETWORK) is one of the special cases of the ad hoc networks in which car nodes communicate with each other and/or with RSUs (Road Side Unit) in order for the drivers to receive nearby road traffic information as well as for the passengers to retrieve nearby gas price or hotel information. In case of constructing VANET over CCN, users do not need to specify a destination server address rather to input a key word such as nearby congestion in order to gather surrounding traffic congestion information. Furthermore, each car node caches its retrieved data for forwarding other nodes when requested. In addition, the data transmission is inherently multicast, which implies fast data propagation to the participating car nodes. This paper measures and evaluates the data transmission performance of the VCCN (VANET over CCN) in which nodes are equipped with diverse wireless communication channels. The simulation result indicates that 802.11a shows the best performance of the data transmission against other wireless channels. Moreover, it indicates that VCCN improves overall data transmission and provides benefit to the nodes that request the same traffic information by exploiting inherent multicast communication.

Key words : CCN, VANET, VCCN, Wireless Channels, SUMO, ns-3

*정회원, 서울여자대학교 디지털미디어학과 교수 (제1저자)
접수일: 2022년 5월 26일, 수정완료일: 2022년 6월 23일
게재확정일: 2022년 7월 2일

Received: May 26, 2022 / Revised: June 23, 2022

Accepted: July 2, 2022

*Corresponding Author: msukang@swu.ac.kr

Dept. of Digital Media Design and Applications, Seoul Women's
University, Seoul, Korea

1. 서론

도로를 주행하는 자동차 사이에서 네트워크를 구성하는 경우 운전자와 탑승자는 차량의 안전 운전과 주변 교통 상황 파악 및 다양한 부가 정보를 얻을 수 있다. 운행중인 다수의 차량 사이에서 통신 인프라 없이 즉석에서 애드 hoc 네트워크를 구성하는 기술을 VANET (Vehicular Ad hoc NETwork) 이라고 한다. VANET은 커넥티드카 혹은 무인 자동차 기술을 구현하는 기반이 된다. 다양한 필요성에 따라서 RSU (Road Side Unit) 등 도로 주변에 구축된 인프라 시설을 이용하는 V2I (Vehicular to Infrastructure)를 통해 추가적인 정보를 제공받을 수 있다[1]. 이와 같은 지능형 교통 시스템인 ITS(Intelligent Transport System)를 이용해 운전자와 탑승자 모두에게 유용한 정보의 제공이 가능하다[2]. VANET 환경에서 운전자는 주변의 교통 혼잡 상황과 교통사고 정보나 주유소 유가 정보 등을 제공받을 수 있으며 탑승자의 경우 주변의 호텔 정보나 여행지 정보 혹은 엔터테인먼트 자료 등을 접근할 수 있다.

VANET을 구현하는 경우 통상적인 TCP/IP 프로토콜 스택을 사용하여 구현할 수 있다[3]. 이 경우 사용자는 자료를 제공하는 서버의 주소를 지정해야 하지만 VANET 사용자는 서버의 주소를 알고 해당 서버의 주소를 지정보다 현재 위치를 기반으로 서비스를 요청하는 경향이 강하기 때문에 서버의 주소를 모르더라도 주변 교통 정보 혹은 사고 정보 등의 키워드를 통한 정보의 검색을 선호한다. 이를 위해 CCN (Content Centric Network) 프로토콜 스택[4]을 기반으로 VANET을 구현하는 VCCN (VANET over CCN)과 관련된 연구도 다양하게 진행되고 있다[5]. CCN을 사용하는 경우의 장점으로는 목적지 주소가 아닌 Content Name을 사용하여 네트워크에서 자료를 조회할 수 있고 네트워크에 참여하는 모든 노드가 자신이 조회한 콘텐츠를 캐시에 저장하여 해당 콘텐츠를 요청하는 노드에게 자신의 캐시에 저장된 콘텐츠를 바로 제공할 수 있으며, 각 노드가 멀티캐스팅 방식으로 데이터를 전송하므로 동일한 콘텐츠를 요청하는 여러 노드에게 동시에 전송하여 네트워크의 전송 효율을 높일 수 있다.

CCN에 참여하는 각 노드는 기본적으로 세 가지의 자료구조를 운영한다. 첫 번째는 In-network Caching 기능을 위한 CS (Content Store)를 가지고 있다. 각 노드가

조회한 콘텐츠는 주변의 다른 노드들도 조회할 가능성이 있기 때문에 일정한 시간 동안 해당 자료를 CS에 저장한다. [6]에서는 CS 저장 공간이 모두 사용되면 새로 저장할 콘텐츠를 위해 기존의 일부 콘텐츠를 교체하는 다양한 교체 알고리즘에 대한 성능 평가 소개되었고, 기존의 reactive caching 대신 proactive caching을 이용해 멀티미디어 전송을 지원하는 연구도 [7]에서 소개되었다. 두 번째 자료구조는 포워딩과 라우팅 정보를 담고 있는 FIB(Forwarding Information Base)이다. A. Tariq [8] 등의 연구에서 패킷의 포워딩 방법과 다양한 문제점 및 해결 방법을 연구하였다. 세 번째 자료구조는 PIT(Pending Interest Table) 이다. CCN에서는 두 종류의 패킷이 사용된다. 하나는 콘텐츠를 요청하는 사용자가 전송하는 Interest 패킷이고 다른 하나는 해당 콘텐츠의 전송을 위한 Data 패킷이다. 교통정보 등을 요청하는 자동차 노드는 주변의 다른 노드에게 Interest 패킷을 전송한다. Interest 패킷을 받은 노드는 자신의 CS를 검색하여 해당 자료가 있으면 이를 Data 패킷에 담아 전송한다. CS에 저장되어 있지 않은 경우에는 FIB를 조회하여 Interest 패킷을 주변 노드에 전달하고 PIT에 등록한다. 결과적으로 요청한 노드에서 가장 근접한 노드가 해당 콘텐츠를 저장하고 있는 경우 해당 노드에서 콘텐츠가 전달된다.

VANET은 5G, WiMAX, WiFi, DSRC (Dedicated Short Range Communications) 등 다양한 무선 채널이 이용될 수 있다[9]. 본 논문에서는 가장 보편적으로 사용하는 WiFi 채널인 802.11a, 802.11b, 802.11g 세 가지 무선 채널을 사용하는 VCCN 노드들 사이에서 다양한 클라이언트 노드들이 Interest 패킷을 전송하였을 때 CS에 해당 콘텐츠를 저장하는 노드들이 전송하는 Data 패킷의 전송 성능을 측정하고 평가하였다. 이와같은 CCN 기반의 VANET 환경에서 다양한 무선 채널의 전송 성능을 평가하기 위해서는 자동차 노드들의 움직임을 생성하는 모의실험 모델과 해당 노드들이 해당 VANET 환경에서 실제 패킷을 송수신 할 수 있는 모델이 필요하다. 본 논문은 자동차와 도로 등을 모델링하기 위하여 SUMO[10] 오픈소스 패키지를 사용하였다. 본 패키지를 이용하여 특정 도로를 모델링하고 해당 도로에서 주행하는 여러 대의 자동차와 해당 자동차의 위치 정보를 기록할 수 있다. 이러한 위치 정보를 받아 해당 자동차에 네트워크 노드를 설치하고 다양한

데이터 송수신을 모델링하기 위하여 ns-3[11] 네트워크 시뮬레이터를 사용하였다. 또한 CCN 프로토콜을 사용하기 위하여 ns-3 위에서 작동되는 ndnSim[12] 오픈소스 패키지를 사용하였다.

본 논문은 아래와 같이 구성되어 있다. 2장에서는 SUMO와 ns-3, ndnSim에 대해 간략히 소개하고 이를 활용한 모의실험 환경에 대해 설명하였다. 3장에서는 VCCN 환경에서 다양한 WiFi 채널을 통한 데이터 전송 성능 평가를 위한 모의실험 결과를 소개하였다. 마지막으로 4장에서는 결론을 도출하였다.

II. 모의실험 환경

모의실험은 두 가지 작업으로 구성된다. 첫 번째는 SUMO를 이용하여 특정 도로의 모델을 만들고 이 도로 위에 자동차를 운행하도록 하여 시간에 따른 자동차의 움직임을 기록하는 작업이다. 두 번째는 자동차들의 움직임 정보를 이용하여 이를 무선 네트워크로 모델링하고 자동차 노드에 통신 프로토콜을 부착하여 하나 이상의 특정 노드에서 Interest 패킷으로 특정 콘텐츠를 요청할 때 해당 요청에 응답하는 Data 패킷의 송수신 결과를 이용하여 네트워크의 전송 성능을 측정하는 작업이다.

SUMO는 교통과 관련된 객체들인 자동차, 도로, 신호등, 주행 경로 등을 모델링 할 수 있는 오픈소스 패키지이다. 본 논문은 그림 1의 위에 있는 지도를 이용하여 그림 1의 아래에 있는 도로 그래프를 작성하였고 이 그래프를 SUMO에 입력하여 도로를 구성하였다. 해당 도로를 이용하여 자동차가 운행할 수 있는 10개의 경로를 지정하였다. 총 30개의 자동차 노드를 생성하여 각 경로에 2개에서 5개의 자동차 노드가 지정된 10개의 경로 중 하나의 경로를 30 km/s 속도로 운행하도록 지정하였다. 사용된 지도의 크기는 600m X 500m 이다.

SUMO에서 생성된 자동차 노드의 위치와 이동 정보는 ndnSim 패키지로 전달되어 이 정보를 바탕으로 네트워크 모의실험을 진행하였다. ns-3를 기본으로 구현된 ndnSim은 각각의 자동차 노드에 CCN 기능을 수행하기 위하여 CS, FIB, PIT를 설치한다. 참여한 30개의 노드 중에서 1대에서 최대 4대가 주변 도로 상황 정보와 같은 자료를 요청하기 위해 Interest 패킷을 송신한다. 해당 정보를 소유한 노드는 1개로 지정하였다. 요청 빈도는 초당 500에서 3000개의 데이터를 요청한다.

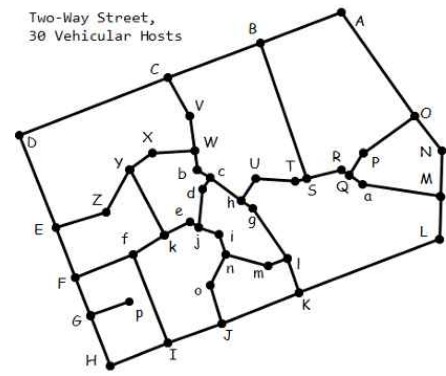


그림 1. (a) 서울 남쪽의 남부순환로 일부 지도와 (b) 이를 노드와 에지로 변환한 그래프
 Figure 1. (a) Part of Southern Beltway map in Seoul and its (b) corresponding Graph with nodes and edges

모의실험을 위하여 각 노드는 세 종류의 WiFi 채널을 사용한다. 첫 번째는 802.11a이고 물리 계층으로 OFDM을 사용하며 대역폭은 12 Mbps로 지정하였다. 두 번째는 802.11b이며 DSSS 11 Mbps를 사용하였다. 마지막으로 802.11g는 ERP-OFDM 12 Mbps를 사용하였다. 데이터를 전송하는 Data 패킷의 payload 크기는 128 byte에서 1024 byte로 지정하였다. 모의실험 시간은 150초 동안 진행되었다.

III. 모의실험 결과

본 논문은 VCCN에서 여러 노드가 참여하여 데이터를 요청하고 해당 데이터를 전송하는 경우 여러 WiFi 채널, 다양한 크기의 Data 패킷, Interest 패킷의 전송 빈도 등을 변화시켰을 때 데이터의 전송 성능을 평가하였다. 모의실험을 통하여 멀티캐스트를 이용한 CCN의 효율적인 데이터 전송과 WiFi 채널에 따른 데이터 전송 성능을 측정하고 비교하였다.

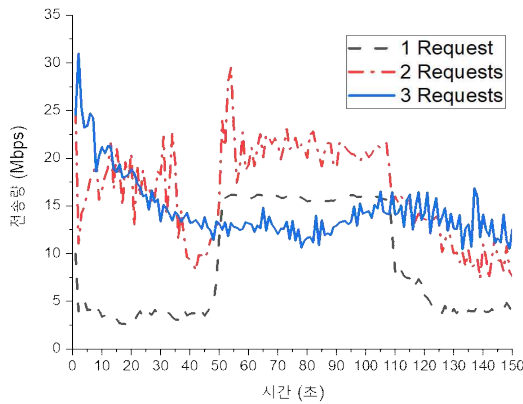


그림 2. 802.11a 채널에서 256 Byte Payload에 초당 2000회의 Interest 패킷에 대한 데이터 전송 성능
Figure 2. 256 Byte Payload with an Interest packet frequency of 2000/sec over 802.11a Wifi channel

그림 2는 본 논문에서 실행한 다양한 환경에 대한 모의실험 중에서 세 개의 데이터 전송에 대한 결과를 하나의 그래프로 나타내었다. 앞 장의 모의실험 환경에서 언급한 것처럼 본 그래프는 802.11a WiFi 채널을 이용하였고, 클라이언트는 초당 2000회의 Interest 패킷을 전송하여 데이터를 요청하였으며, 요청에 참여한 클라이언트 노드의 수는 1개에서 3개이고, 요청에 따른 데이터는 256 byte 크기의 패킷을 사용하였다.

Interest 패킷을 요청하는 클라이언트가 하나인 경우 대략 5초 이전과 110초 이후에서는 5 Mbps 내외의 전송 성능을 나타내었다. 대략 5초에서 110초 사이에서는 15 Mbps 내외로 데이터를 전송하였다. 이러한 변화에 대한 이유로는 노드들이 특정 경로를 운행하며 거리가 가까워진 환경에서 좀 더 빠르게 데이터를 전송할 수 있게 된다. 평균적으로 150초의 모의실험 시간 동안 8.9 Mbps 내외로 데이터를 전송하였다.

두 개의 클라이언트가 주변의 도로 환경 등 같은 콘텐츠를 요청한 경우 평균적으로 16.7 Mbps의 전송 성능을 보였으며 세 개의 클라이언트가 참여한 경우 평균 14.6 Mbps로 두 클라이언트인 상황보다 오히려 전송 성능이 감소한 것을 볼 수 있다. 이는 무선 채널이 수용할 수 있는 용량보다 더 많은 데이터를 요청하고 패킷을 전송함에 따라 이에 비례하여 패킷의 충돌 빈도도 높아짐에 따라 전송 성능이 감소함을 알 수 있다. 추가로 본 802.11a 채널은 12 Mbps로 대역폭을 지정하였지만 그 이상의 전송 성능을 제공하는데 그 이유는 각 CCN 노드들이 멀티캐스팅을 제공하기 때문이다.

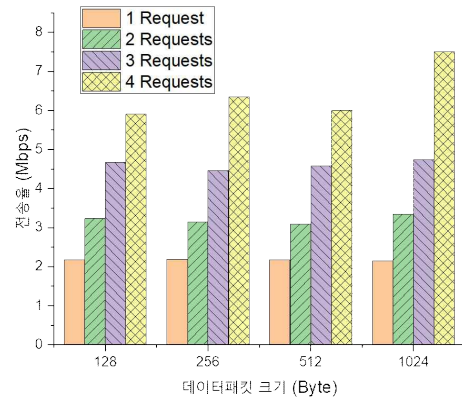


그림 3. 802.11a 채널에서 초당 500회의 Interest 패킷을 전송하는 경우의 데이터 전송 성능
Figure 3. Data transmission rate with an Interest frequency of 500/sec over 802.11a Wifi channel

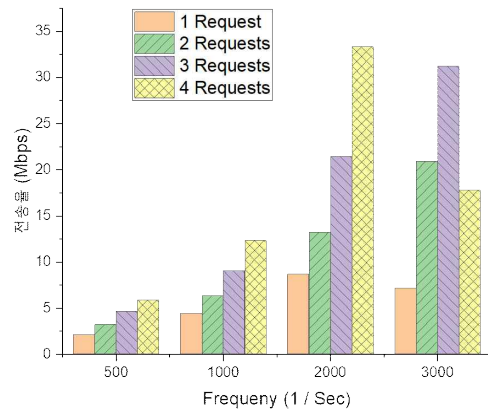


그림 4. 802.11a 채널에서 128 Byte의 payload로 패킷을 전송하는 경우의 데이터 전송 성능
Figure 4. Data transmission rate with a Payload size of 128 bytes over 802.11a Wifi channel

그림 3은 802.11a WiFi 채널을 사용하여 클라이언트가 초당 500회의 빈도로 데이터를 요청하는 경우 Data 패킷의 크기와 참여하는 클라이언트의 수가 1에서 4로 증가할 때 네트워크의 데이터 전송 성능을 나타낸다. 이 환경에서는 참여하는 클라이언트의 수가 증가할수록 전송 성능도 이에 비례하여 증가하였다. 이는 전송되는 자료가 전송용량을 초과하지 않기 때문이다.

그림 4는 802.11a WiFi 채널을 사용하여 클라이언트가 128 byte의 Data 패킷을 사용하는 경우 클라이언트의 초당 Interest 패킷 전송 빈도와 참여하는 클라이언트의 수가 1에서 4로 증가할 때 네트워크의 데이터 전송 성능을 나타낸다. 참여한 클라이언트 수가 4인 경우 초당 2000 회에서 최대의 전송 성능을 나타냈다.

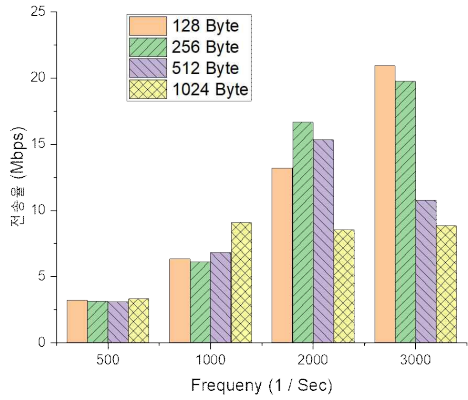


그림 5. 802.11a 채널에서 클라이언트의 노드가 2개인 경우의 데이터 전송 성능
 Figure 5. Data transmission rate with 2 client nodes over 802.11a Wifi channel

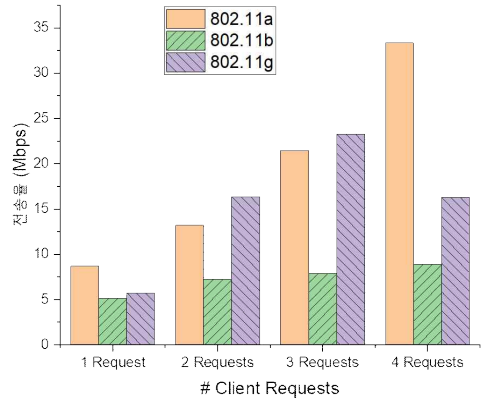


그림 7. 초당 2000회의 Interest 패킷 전송율과 128 byte payload 인 경우의 데이터 전송 성능
 Figure 7. Data transmission rate with an Interest frequency of 2000/sec and a 128 byte payload size

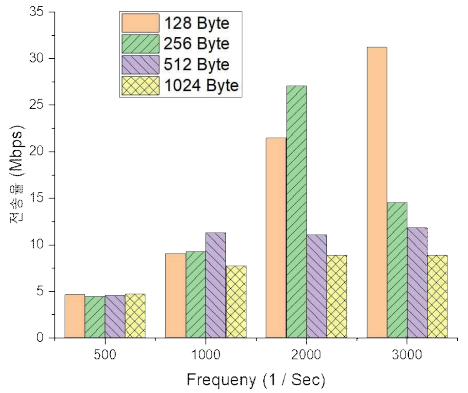


그림 6. 802.11a 채널에서 클라이언트의 노드가 3개인 경우의 데이터 전송 성능
 Figure 6. Data transmission rate with 3 client nodes over 802.11a Wifi channel

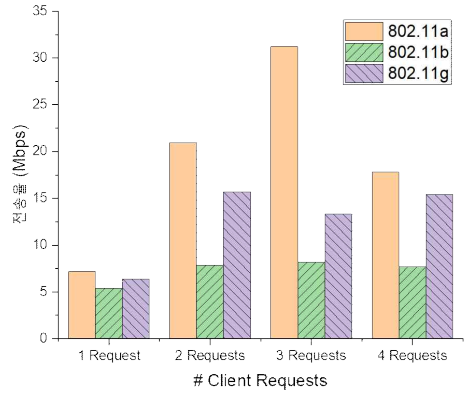


그림 8. 초당 3000회의 Interest 패킷 전송율과 128 byte payload 인 경우의 데이터 전송 성능
 Figure 8. Data transmission rate with an Interest frequency of 3000/sec and a 128 byte payload size

그림 5는 802.11a WiFi 채널을 사용하여 두 개의 클라이언트 노드가 데이터를 요청하는 경우 VANET의 데이터 전송 성능을 나타내며 그림 6은 같은 환경에서 세 개의 클라이언트가 참여한 경우의 전송 성능을 나타낸다. 두 개의 클라이언트가 참여하고 payload가 512 byte인 경우 Interest 전송 빈도수가 초당 2000인 경우 최대 15 Mbps가 되었다. 반면 세 개의 클라이언트가 참여하고 payload가 256 byte인 경우 Interest 전송 빈도수가 초당 2000에서 최대 27 Mbps가 되었다. 세 개의 클라이언트에서 payload가 128 byte인 경우 높은 Interest 전송 빈도에도 무선 채널이 수용 가능하여 전송 성능이 31.2 Mbps로 나타나 WiFi 채널 대역폭이 제공하는 물리적인 전송량을 크게 넘는 성능을 보여준다.

그림 7은 payload가 128 byte이고 Interest 빈도수가 초당 2000인 경우 세 가지 WiFi 채널에 따른 전송 성능을 나타낸다. 그림 8은 같은 조건에서 Interest 빈도수가 3000인 경우를 보여준다. 802.11g의 경우 Interest 전송 빈도수가 2000이고 3개의 클라이언트가 참여하는 경우 최대 23.3 Mbps의 전송 성능을 나타낸다. 802.11a인 경우 빈도수가 3000이며 3개의 클라이언트가 참여하는 경우 최대 31.2 Mbps의 데이터 전송 성능을 보여준다. 802.11b의 경우 다른 두 무선 채널에 비해 낮은 성능을 나타낸다. 대부분의 상황에서 해당 무선 채널이 수용할 수 있는 대역폭을 초과하는 데이터가 전송될 때 패킷의 충돌 가능성이 높아지며 이는 데이터의 전송 성능의 감소로 이어질 수 있다.

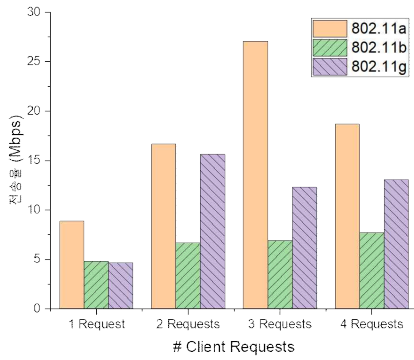


그림 9. 256 byte payload와 초당 2000회의 Interest 패킷 전송율에서 데이터 전송 성능
 Figure 9. Data transmission rate with a 256 byte payload size and an Interest frequency of 2000/sec

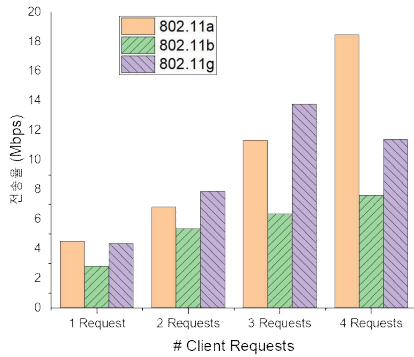


그림 10. 512 byte payload와 초당 1000회의 Interest 패킷 전송율에서 데이터 전송 성능
 Figure 10. Data transmission rate with a 512 byte payload size and an Interest frequency of 1000/sec

그림 9는 payload 크기가 256 byte이고 클라이언트의 Interest 패킷 전송율이 초당 2000인 경우 각각의 WiFi 채널을 통해 하나에서 네 개의 노드가 Interest 패킷 송신으로 콘텐츠를 요청한 경우의 전송 성능을 나타낸다. 802.11a의 경우 요청한 클라이언트의 수가 세 개인 경우까지 전송 성능이 증가하여 평균 27.1 Mbps 까지 증가하다가 네 개의 클라이언트가 참여한 경우에는 평균 18.7 Mbps로 감소한다. 이는 네 개의 클라이언트가 참여하여 무선 채널이 수용할 수 있는 용량을 넘어서면서 전송 성능이 감소함을 알 수 있다. 802.11g인 경우 두 개의 클라이언트가 참여할 때 평균 15.6 Mbps의 전송 성능을 나타내다가 그 이상의 클라이언트가 참여할 때 평균 전송율이 감소함을 알 수 있다.

그림 10은 payload 크기가 512 byte이고 클라이언트의 Interest 패킷 전송율이 초당 1000인 경우 각각의

WiFi 채널을 통해 하나에서 네 개의 노드가 Interest 패킷으로 콘텐츠를 요청한 경우의 전송 성능을 나타낸다. 그림 9의 상황과 비교하면 payload의 크기는 2배 커지고 Interest 패킷의 전송 빈도수는 절반으로 감소하였다. 이 경우 802.11a의 경우 참여하는 클라이언트 노드의 수가 증가하더라도 전송량이 참여 노드의 수에 비례하여 증가한다. 이는 네 개의 클라이언트가 참여하더라도 무선 채널이 수용할 수 있는 용량을 넘지 않음을 알 수 있다. 그러나 802.11g의 경우 참여하는 클라이언트 노드가 3개인 경우 데이터의 전송량이 평균 13.8 Mbps로 최대가 된다. 이보다 더 많은 클라이언트가 참여하면 전송 성능이 감소함을 알 수 있다. 802.11b는 다른 두 무선 채널에 비해 요청한 데이터의 전송량이 적으며 클라이언트의 수에 비례하여 데이터 전송량이 완만하게 증가하는 모습을 보인다.

IV. 결 론

VANET은 자동차 사이에서 혹은 자동차와 도로 주변의 RSU와의 통신을 통해 안전 운전과 도로 혼잡 정보 및 주변의 주유와 호텔 정보 등 다양한 시설 정보를 얻을 수 있는 특별한 애드 혹 네트워크의 하나이다. 기존의 TCP/IP 프로토콜 스택 대신 CCN을 사용하면 서버의 주소를 몰라도 도로 정보 등의 콘텐츠를 키워드를 통해 요청하는 방식으로 주변의 정보를 손쉽게 얻을 수 있다. 또한 VCCN은 콘텐츠 캐싱과 멀티캐스트 통신 방식을 사용하므로 무선 네트워크가 제공하는 물리적인 대역폭 이상의 데이터를 전송할 수 있다.

본 논문은 SUMO를 사용하여 여러 자동차의 운행 상황을 모델링하고 해당 운행정보를 ns-3를 기반으로 한 ndnSim으로 전달하여 각 자동차 객체에 통신 설비를 부착하여 데이터 전송 성능을 모의실험 하였다. 모의실험 결과 VCCN의 멀티캐스트 기능으로 인해 무선 채널이 지원하는 물리적인 대역폭보다 더 높은 전송 성능을 제공하였다. 자료를 요청하기 위해 클라이언트가 전송하는 Interest 패킷의 전송율과 Data 패킷의 크기에 비례하여 무선 채널에서 전송되는 데이터의 양은 증가한다. 그러나 VCCN이 수용하는 대역폭을 초과하는 상황에서는 데이터 전송 성능이 감소하였다. 또한 802.11a가 다른 두 WiFi 채널에 비해 더 높은 전송 성능을 나타내었다.

본 논문에서는 제한된 상황에서 VCCN의 전송 성능을 평가하였다. 본 모의실험은 모든 자동차 노드가 30 km/s 속도로 움직이는 상황에서 세 가지의 무선 채널을 사용하여 데이터를 전송하는 모의실험을 진행하였다. 추가적인 연구를 통해 자동차 노드의 운행 속도가 전송 성능에 미치는 영향과 모의실험 영역의 크기가 더 커지는 경우 및 보편적인 무선 채널 이외에 추가적인 무선 채널을 사용하는 경우 데이터 전송 성능 및 패킷의 전송 지연과 관련된 연구를 진행하고자 한다.

References

- [1] B. Suh, "Energy-efficient data delivery strategy for V2I Systems with Power-Constrained Road Side Units," *Journal of Korean Institute of Information Technology (JKIIT)*, Vol. 19, No. 5, pp. 101-109, 2021.
- [2] B. Sharan, M. Chhabra and A. K. Sagar, "State-of-the-art: data dissemination techniques in Vehicular Ad-hoc Networks," *2022 9th International Conference on Computing for Sustainable Global Development*, pp. 126-131, March, 2022.
- [3] K. Kaur, "Simulation Based Analysis of Bee Swarm Inspired Hybrid Routing Protocol Parameters using Realistic Mobility Model in Vehicular ad hoc Networks," *International Journal of Computer Applications Technology and Research*, Vol. 5, No. 6, pp. 385-390, 2016.
- [4] V. Jacobson, d. Smetters, V. Thornton, M. Plass, N. Briggs, and R. Braynard, "Networking Named Content," *Proceedings of ACM CoNEXT*, pp. 1-12, December, 2009.
- [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*, pp. 1-6, August, 2017.
- [6] J. Choi and S. Kang, "A Study on Performance of Content Store Replacement Algorithms over Vehicular CCN," *The Journal of the Convergence on Culture Technology (JCCT)*, Vol. 6, No. 1, pp. 495-500, 2020.
- [7] K. Hasan and S. Jeong, "Proactive Caching in the Vehicular Networks based on Content Locality," *2020 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC)*, pp. 170-172, October, 2020.
- [8] A. Tariq, R. A. Rehman and B. Kim, "Forwarding Strategies in NDN-Based Wireless Networks: A Survey," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Vol. 22, No. 1, pp. 68-95, 2020.
- [9] C. Campolo, A. Molinaro, and R. Scopigno, "From today's VANETs to Tomorrow's Planning and the Bets for the day after," *Vehicular Communications*, Vol. 2, No. 3, pp. 158-171, 2015.
- [10] 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.
- [11] ns-3, *Ns-3 manual: Release ns-3.36* (<https://www.nsnam.org/releases/ns-3-36/>) 2022
- [12] S. Mastorakis, A. Afanasyev, and L. Zhang, "On the Evolution of ndnSIM: an Open-Source Simulator for NDN Experimentation," *ACM SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 47, No. 3, pp.19-33, July, 2017.

※ 이 논문은 2022학년도 서울여자대학교 연구
년수혜 및 학술연구비의 지원에 의한 것임
(2022-0235),