

Analysis of Forwarding Schemes to Mitigate Data Broadcast Storm in Connected Vehicles over VNDN

Daewon Hur*, Huhnkuk Lim*

*Undergraduate Student, Division of Computer Engineering, Hoseo University, Asan, Korea

*Assistant Professor, Division of Computer Engineering, Hoseo University, Asan, Korea

[Abstract]

Limitation of the TCP/IP network technology included in the vehicle communication is due to the frequent mobility of the vehicle, the increase in intermittent connection requirements, and the constant presence of the possibility of vehicle hacking. VNDN technology enables the transfer of the name you are looking for using textual information without the need for vehicle identifiers like IP/ID. In addition, intermittent connectivity communication is possible rather than end-to-end connection communication. The data itself is the subject of communication based on name-based forwarding using two types of packets: Interest packet and Data packet. One of the issues to be solved for the realization of infotainment services under the VNDN environment is the traffic explosion caused by data broadcasting. In this paper, we analyze and compare the existing technologies to reduce the data broadcast storm. Through this, we derive and analyze the requirements for presenting the best data mitigation technique for solving the data explosion phenomenon in the VNDN environment. We expect this paper can be utilized as prior knowledge in researching improved forwarding techniques to resolve the data broadcast explosion in connected vehicles over NDN.

▶ **Key words:** Connected vehicles, Name Data Networking, Content, Data broadcast storm, forwarding scheme

[요 약]

차량 통신 코어 네트워크 기술로 TCP/IP의 한계는 차량의 잦은 이동성, 간헐적 통신 연결 요구의 증가, 차량 해킹 가능성의 상시적 존재에 기인한다. VNDN 기술은 IP/ID와 같은 차량 식별자 없이도 콘텐츠 이름 정보를 이용해 찾고자 하는 콘텐츠 전송을 가능하게 한다. 또한 단대단 연결 통신이 아닌 간헐적 연결 기반 통신이 가능하며 Interest 패킷과 Data 패킷 두 종류의 패킷을 이용해 콘텐츠 이름 기반의 포워딩에 기반하여 데이터 자체가 통신의 주체가 되어 네트워킹의 실현이 가능하다. VNDN 환경하에서 인포테인먼트 서비스 실현을 위해 해결해야 할 이슈 중 하나는 데이터 브로드캐스트에 기인한 데이터 트래픽 폭증 현상이다. 본 논문에서는 이러한 데이터 브로드캐스트 폭증 현상을 경감시켜 주기 위한 기존 포워딩 기법들을 분석하고 비교한다. 이를 통해 VNDN 환경하에서 데이터 폭증 현상 해결을 위한 최선의 데이터 경감 기법 제시를 위한 요구사항을 도출하여 분석한다. 이를 기반으로 향후 컨넥티드 차량을 위한 VNDN 에서 데이터 브로드캐스트 폭증을 해결하기 위한 보다 향상된 포워딩 기법 연구를 위한 사전 지식으로 활용되어질 수 있기를 기대한다.

▶ **주제어:** 커넥티드 차량, 네임드 데이터 네트워킹, 콘텐츠, 데이터 브로드캐스트 폭증, 전달 기법

-
- First Author: Daewon Hur, Corresponding Author: Huhnkuk Lim
 - *Daewon Hur (7410ho@naver.com), Division of Computer Engineering, Hoseo University
 - *Huhnkuk Lim (hklim@hoseo.edu), Division of Computer Engineering, Hoseo University
 - Received: 2021. 02. 01, Revised: 2021. 03. 08, Accepted: 2021. 03. 08.

I. Introduction

Vehicular Ad-hoc Network (VANET)은 스마트 차량을 위해 도로에 적용된 MANET의 대표적인 서브 클래스 기술 중 하나이다. VANET 안에 스마트 차량 들은 이동 노드를 구성하는데, VANET은 데이터 전달을 위해 모든 차량에게 브로드캐스트 중개 문제를 안고 있다. V2V 통신 기술 안에 적절한 라우팅 기술을 필요로 하는 능동 안전 분야와 지능화 교통 분야는 VANET의 주요한 응용이라 할 수 있다 [1-4]

코어 네트워크 기술로 TCP/IP 기술을 이용하는 컨넥티드 차량은 해킹 가능성이 상시적으로 존재하며 발생 시 심각한 위험을 초래할 수 있다. 또한 인포테인먼트 서비스를 위해 잦은 핸드 오프시 데이터 끊김 현상, 장거리 데이터 전송 시 성능 저하와 같은 호스트 중심 인터넷이 갖는 한계를 그대로 상속받을 수밖에 없다. 마지막으로 간헐적 연결을 필요로하는 통신 수요에 적합하지 않다 [5-7].

이러한 문제들을 혁신적으로 해결하기 위해 최근 VANET에 Named Data Networking (NDN)을 코어 네트워크 기술로 접목시키기 위한 연구개발 시도가 많이 이루어지고 있다 [5-7]. 차량 통신 네트워크 기술로 전통적인 TCP/IP 네트워크의 한계는 위에서 언급한 차량의 잦은 이동성, 간헐적 통신 연결 요구의 증가, 차량 해킹 가능성의 상시적 존재에 기인한다.

VNDN (Vehicular NDN)에서는 IP/ID와 같은 차량 식별자 없이도 콘텐츠 이름 정보를 이용해 찾고자 하는 콘텐츠(정보)를 전송 받는 것이 가능하다. 또한 단대단 연결 통신이 아닌 간헐적 연결 기반 통신이 가능하며 Interest 패킷과 Data 패킷 두 종류의 패킷을 이용해 콘텐츠 이름 기반의 포워딩 기능을 이용하여 데이터 자체가 통신의 주체가 되는 네트워킹 실현이 가능하다. 그림 1에서처럼 VNDN은 각 노드(컨슈머, 프로듀서, 중개 노드)에서 CS, PIT, FIB 테이블을 이용해 콘텐츠 데이터 이름 기반의 포

워딩을 이용해 컨슈머 차량이 요청한 데이터를 프로듀서로부터 전송받는다 [5-7].

VNDN은 통신 채널(차량)이 아닌 각 데이터(컨텐츠) 자체에 대해 보안 기능을 제공한다. in-network caching 기능을 제공하며, 이동성 또한 NDN 구조 자체에서 제공한다. 콘텐츠 이름 정보를 담은 Interest 패킷이 컨슈머 차량에 의해 Data를 패치하기 위해 이름 기반 포워딩을 통해 VNDN 네트워크에 요청되면, Interest 패킷이 담고 있는 콘텐츠 이름에 해당하는 Data 패킷이 이름 기반 포워딩을 통해 VNDN 망으로 부터 컨슈머 차량에 보내지는 것이다 [5-7].

VNDN 환경하에서 인포테인먼트 서비스 실현을 위해 해결해야 할 이슈 중 하나는 데이터 브로드캐스트에 기인한 트래픽 폭증 현상이며, 본 논문에서는 이러한 데이터 브로드캐스트 현상을 경감시켜 주기 위한 기존 포워딩 기법들을 처음으로 분석하고 비교한다. 이를 통해 VNDN 환경하에서 데이터 폭증 현상 해결을 위한 최선의 데이터 경감 기법 제시를 위한 요구사항을 도출하여 분석한다. 이는 향후 VNDN에서 데이터 브로드캐스트 폭증을 해결하기 위한 보다 향상된 포워딩 기법 연구를 위한 사전 지식으로 활용되어질 수 있다.

II. Data Broadcast Storm Problem in VNDN

VNDN 환경하에서 차량은 원하는 데이터를 요청하기 위해 Interest 패킷을 브로드캐스트하며, 이로 인해 다중 중개 노드로부터의 동일한 데이터의 연속된 중개로 인해 데이터 폭증 현상을 야기한다. 이러한 데이터 폭증 현상은 VNDN 네트워크 안에 아래와 같은 문제를 야기한다.

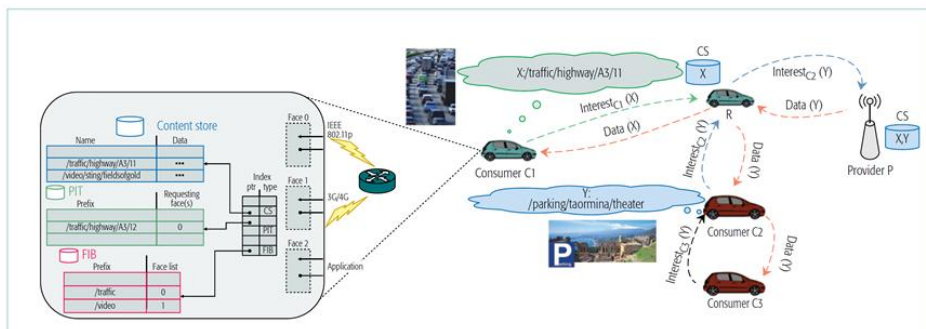


Fig. 1. Interest/Data packet forwarding example in VNDN

- 중복된 데이터 트래픽 증가로 인해 네트워크 대역폭을 빠르게 소모 시켜 혼잡을 야기함
- 이로 인해 VNDN 네트워크에 데이터 패킷 손실을 초래하며 이는 Interest Satisfaction Rate(ISR) 감소로 이어짐
- Interest satisfaction Delay (ISD) 또한 현저하게 악화된 결과를 초래함

따라서 VNDN 환경하에서 데이터 브로드캐스트에 기인한 트래픽 폭증 현상은 VNDN 기반 차량 인포테인먼트 콘텐츠 서비스 실현을 위해 근본적으로 해결해야 할 중요한 이슈인 것이다. 본 문제를 해결하기 위한 연구 활동은 세계적으로 초기 단계이며, 최근 VNDN 환경에서 Data 패킷 폭증 현상을 경감 시켜주기 위한 소수의 기법들이 소개되어왔다 [8-10].

VNDN에서 데이터 폭증 현상을 보다 근원적으로 해결하기 위해서는 Interest 패킷 브로드캐스트 문제를 풀기 위해 단일 경로 기반으로 Interest 패킷을 중개하는 것이 필요하며, 이렇게 되었을 때 보다 더 향상된 인터레스트 패킷 지연 (Interest Satisfaction Delay: ISD) 효과를 거둘 수 있다. [11-12]

VNDN 망에서 도로상의 중요 정보 데이터는 역시 풀 기반으로 특정 차량 혹은 노드에 중개된다. 지연에 매우 민감한 중요 정보 데이터는 특정 노드에 고속으로 전송되어야 하는 특성을 갖기 때문에 Naive NDN의 풀 기반이 아닌 푸쉬 기반으로 포워딩 되어져야한다. [13-15]

III. Data Broadcast Storm Mitigation Forwarding Schemes in VNDN

1. CODIE 기법

전체 네트워크 성능에 영향을 미치는 데이터 브로드캐스트 폭증 문제를 해결하기 위해 CODIE 기법이 제안되었다. CODIE 기법은 모든 VNDN 노드가 Interest 패킷이 중개되는 홉 수를 기록하기 위해 Interest 패킷 안에 홉 카운트 필드 h 를 포함할 수 있도록 한다. 또한 잠재적 Provider가 Interest 패킷을 수신하면 h 값을 데이터 패킷의 DDL 필드에 기록 한다 [8].

예를 들어, 요청 차량 A는 처음 h 값이 0인 Interest 패킷을 브로드캐스트한다. 동일하게 모든 수신 차량은 Interest 패킷의 h 를 증가시키고 기존의 작업들을 수행한다. 또한, 요청된 콘텐츠 데이터가 CS에서 발견되지 않

Table 1. Interest packet forwarding in CODIE[8]

```

Received [Name, Selector(s), NONCE, h]
if Content Not in CS then
  if Name Not in PIT then
    h=h+1 {Increment h}
    Add [Name, NONCE, h, Face] in PIT.
    Initialize Timer(s).
    Replace h in Interest.
    Forward Interest using FIB.
  else
    Drop Interest.
  end if
else
  DDL= h+1. {Initialize DDL}
  DATA[Name, MetaInfo, DDL, Content]
  Send Data.
end if

```

면 중간 노드는 h 를 증가시키고 Interest 패킷을 전달한다 [8].

표 1과 표 2는 각각 CODIE 기법에서 Interest/Data 패킷에 대한 포워딩 알고리즘이다. 잠재적 provider 차량이 Interest 패킷을 수신하면 h 값을 데이터 패킷의 DDL 필드로 이동한 후, 데이터를 소비자 차량에게 재전송한다. DDL 값은 VNDN 망에서 데이터 브로드캐스트에 기인한 다중 중개 경로를 제한하는 중요한 역할을 한다.

또한 중개 차량 노드가 데이터 패킷을 수신하면 그림 3과 같이 노드는 먼저 PIT의 h 값을 확인한다. h 값이 DDL보다 작거나 같으면 노드는 DDL을 감소시킨 후 데이터 패킷을 전달한다. 만약 h 값이 DDL보다 크면 노드는 데이터 패킷을 버린다. 만약 h 값이 DDL보다 작거나 같다면 기존에 확인된 DDL보다 더욱 짧고 빠른 거리의 노드로 중개가 가능하기 때문에 DDL을 감소시키는 작업이 수행된다.

이를 이용해 CODIE는 VNDN에서 더 먼 홉수를 통해 중개되는 중복된 데이터 패킷들의 추가적인 전파를 줄일 수 있다. Interest 패킷의 홉 카운트 h 와 Data 패킷에 하나의 추가 DDL 필드를 활용하여 데이터 브로드캐스트 폭증 문제를 경감시키는 것이다.

이 방식은 중복된 데이터 패킷의 중개를 상당 부분 경감시키거나 아래와 같은 개선점을 갖는다

- NDN의 중요한 특징인 Interest aggregation이 본 기법 안에 어떻게 반영되는지 설명이 필요함
- 여전히 일정 중개 차량 노드에 중복 데이터가 존재하고, 이것이 일정 부분 Interest Satisfaction Rate에 영향을 미침.

Table 2. Data packet forwarding in CODIE[8]

```

Received [Name, MetaInfo, DDL, Content]
if Name in PIT then
  if Face is Application
    Node Received DATA
  else
    if h in PIT ≤ DDL then
      DDL = DDL-1 {Decrement DDL}
      Replace DDL in DATA.
      Forward DATA to Face.
      Remove [Name, NONCE, h, Face] from PIT
    end if
  end if
else
  Drop DATA.
end if
    
```

2. Best forwarder selection 기법

최적의 포워드 차량 선택 기법은 차량 밀도와 방향 및 거리, 잠재적 데이터 포워드 차량의 근접성 등, 컨슈머(정보를 요청하는 노드) 차량과 데이터 포워드 중개 차량 사이의 다중 네트워크 특성을 고려해서 데이터 브로드캐스트를 완화한다. 그림 4와 같이 컨슈머 차량 방향에 가장 가깝고 컨슈머 차량과의 각도가 작은 주변의 차량은 데이터 패킷을 컨슈머 차량을 향해 전달하고 나머지 차량에게는 데이터 패킷을 전송하지 않는다. 이러한 방식에 기반하여 데이터 브로드캐스트 폭풍을 완화 시켜 정보 발견 비율을 높인다 [9].

잠재적인 포워드 점수를 이용하여 데이터 중개 포워드 차량으로서 최선의 차량을 선택한다. 잠재적 포워드 점수가 가장 작은 차량에게만 다음 중개 차량 노드로 선택되어 Data 패킷을 전달할 수 있도록 함으로써 데이터 브로드캐스트 폭풍 현상을 경감시켜 주는 것이다.

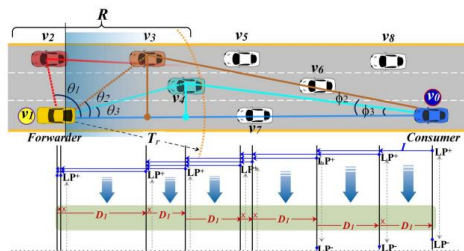


Fig. 2. Broadcast suppression in multisource named-content discovery[9]

잠재적 데이터 포워드 차량의 선택은 노드 밀도, 방향성 거리 및 잠재적 데이터 포워드 차량이 컨슈머 차량과 데이터 포워드 차량 사이 가시선에 근접한 정도를 고려한다. 이러한 매개 변수를 기반으로 잠재적 포워더는 Q로 표현되는 최종 점수를 계산하고, 최소 Q 값을 가진 차량은

data packet을 전달하고 그렇지 않으면 data packet 전달을 포기한다.

Q 값은 이처럼 데이터 수신 차량에서 가장 적합한 차량을 선택하여 업스트림 메시지를 전파하는데 사용된다. 모든 차량은 차량 간 거리, 인접 차량의 속도 정보 등을 매개변수로 갖는 이웃 테이블을 유지한다. 차량이 데이터 패킷을 수신하면 차량 자체와 주변 차량의 상대적인 전체 가중치를 계산하며, 다음 홉 중개를 위한 각 차량의 최종 점수인 Qi가 계산되어 모든 잠재적 중개 차량 중 데이터를 전달하는데 보다 적합한 최선의 차량 순위를 정하는데 사용된다 [9].

$$Q_i = \rho \left(\frac{G_i - G^*}{G - G^*} \right) + (1 - \rho) \left(\frac{H_i - H^*}{H - H^*} \right) \quad (1)$$

Qi 계산을 위해 위 수식이 사용되며 데이터 전달에 가장 최선으로 선택되는 차량은 최소 최종 점수인 min(Qi)을 갖는 차량이 된다 [9].

거리, 차량 밀도, 차량의 근접 정보를 통해 잠재적 포워드 차량을 선택해 브로드캐스트 폭풍 현상을 최소화함으로써 중복된 데이터 패킷 비율을 향상시키고, 중개 홉 수, 인터페이스 패킷 만족 비율 (Interest Satisfaction Rate) 측면에서 더 나은 성능을 보일수 있는 것이다. 데이터 청크 지연 측면에서도 더 나은 성능을 보여주었다. 그러나 아래와 같은 개선점을 갖는다.

- 정보 교환을 위한 오버헤드 패킷 필요
- 차량 네트워크 환경은 매우 동적으로 변화하기 때문에 이웃 차량과 최신의 테이블 정보를 주기적으로 교환하여 갱신해야 함

3. ECCN 기법

ECCN 기법은 각 노드에 하나의 새로운 캐시를 이용하여 데이터 브로드캐스트 폭풍 현상을 경감시키는 방식이다. 중요 정보 데이터는 전송 효율을 높이기 위해 여러 중개 이웃 노드 캐시 안에 푸쉬 되어진다 [10].

기존 CCN에서는 데이터가 필요할 때마다 네트워크를 검색하여 데이터를 소유한 소스를 발견한다. 그러나 매우 역동적이고 분산된 VANET 환경에서 경로는 긴 지연 데이터 전송 동안 차량의 움직임에 의해 동적으로 바뀌기에 Naive CCN은 소스를 놓칠 가능성이 매우 높다.

이를 극복하기 위해 ECCN에서는 중요 정보 데이터를 브로드캐스트하고 캐싱하는 방법을 채택한다. 이를 통해 이동성이 높은 환경에서 경로를 단축하고 지연을 줄이며

안정성을 개선한다. 캐싱으로 인한 많은 양의 데이터에 기 인하여 트래픽 로드가 급격히 증가할 수 있으므로 중요 데이터만을 기준으로 소량의 중요한 데이터로만 데이터를 캐싱하도록 제안하였다. 데이터 볼륨과 트래픽을 보다 줄이기 위해 소스 노드의 이웃은 원래 소스에서 데이터를 확산하는 범위로 정의된다. 또한 차량 노드의 불연속성을 극복하기 위해 인접 노드를 찾을 수 없는 노드는 계속 주기적으로 중요 정보 데이터를 브로드캐스트 하도록 하였다 [10].

ECCN은 기존 CCN과 패킷 포워딩을 위한 약간의 테이블 차이만 갖고 있다. NCS (Neighbor Content Store)를 추가하여 기존 데이터 외에 중요 정보 데이터를 저장할 수 있다. ECCN 기법에서 패킷 포워딩 및 캐싱을 위한 구조는 그림 5와 같다 [10].



Fig. 3. ECCN architecture[8]

이러한 ECCN 기법은 중복된 데이터 중개를 일정 부분 경감시키거나 아래와 같은 개선점을 갖는다.

- CCN/NDN은 푸쉬 기반 포워딩을 지원하지 않기에 이러한 푸쉬 기반 데이터 트래픽을 포워딩하기 위한 별도의 오버헤드 패킷 및 메커니즘을 지원해 주어야 함.
- 따라서 기본적인 풀 기반 포워딩 원칙을 갖는 NDN 구조 문법에 상당한 변화를 주어야 함.
- 별도의 캐시 메모리와 같은 오버헤드 비용을 야기 함.

IV. Comparison in Data Broadcast Storm Mitigation Schemes

VNDN 환경하에서 데이터 브로드캐스트 폭증 현상을 경감시키기 위한 각 기법들에 대해 성능 측면에서 비교 분석한다. 표 3에 보여지는 바와 같이 처리된 중복 데이터

패킷 수 (Copies of data packets processed), 인터레스트 패킷 만족율 (Interest satisfaction rate), 혼잡 (congestion), 인터레스트 패킷 지연 (Interest satisfaction delay), 오버헤드 패킷 교환 (Overhead packet) 측면에서 각 기법들을 비교하였다.

Naive NDN은 Interest/Data 브로드캐스트에 기인하여 모든 측면에서 가장 나쁜 성능을 보인다. CODIE 및 ECCN 기법은 중복된 데이터 패킷의 중개를 일정 부분 경감시키거나 최적 포워더 선택(Best forwarder selection) 기법은 최적의 포워더로 선정된 중개 차량 외 타 차량에게는 데이터 패킷의 중개를 없애기 때문에 중복 데이터 패킷 수 (Copies of data packets processed) 측면에서 가장 좋은 성능을 보인다.

인터레스트 패킷 만족율 (Interest satisfaction rate) 측면에서 최적 포워더 선택 기법은 최적의 싱글 루트로 데이터 패킷을 중개하기 때문에 CODIE 기법과 함께 좋은 성능을 보일 것으로 기대된다. 인터레스트 패킷 만족 지연 (Interest satisfaction delay) 측면에선 최적의 싱글 루트로 데이터 패킷을 중개하는 최적 포워더 선택 기법이 일정 부분 중복된 데이터의 중개를 상쇄시키는 CODIE 기법과 비교하여 더 좋은 성능을 보인다.

그러나 최적 포워더 선택 기법은 최적의 포워더 차량 선택을 위한 이웃 차량들과의 메시지 교환에 기인하여 오버헤드 패킷 교환 측면에선 타 기법들과 비교하여 상대적으로 약화된 성능을 보인다.

위를 토대로 VNDN 환경하에서 데이터 브로드캐스트에 기인한 데이터 폭증을 해결하기 위한 보다 효율적인 데이터 경감 기법 제시를 위한 요구사항은 다음과 같다.

먼저 중복 데이터 패킷 수 (Copies of data packets processed), 인터레스트 패킷 만족율 (Interest satisfaction rate) 및 인터레스트 패킷 지연 (Interest satisfaction delay)을 최소화하기 위해 최선의 단일 경로 선택을 위한 최적의 포워더를 선택해야 한다. 또한 최적의 포워더 선택을 위해 이웃 차량과의 테이블 정보 교환 방식이 아닌 패킷 교환 오버헤드를 최소화하는 방향으로 향상된 기법을 제시해야 할 것이다.

V. Conclusions

VNDN 환경하의 인포테인먼트 서비스 실현을 위해 해결해야 할 이슈 중 하나가 데이터 브로드캐스트에 기인한

Table 3. Comparison between legacy data broadcast mitigation schemes in VNDN

Performance \ Scheme	Naive VNDN	CODIE	ECCN	Best forwarder selection scheme
Copies of Data Packets Processed	Ultra High	Medium	Medium	Low
Interest Satisfaction rate	Low	High	Not available	High
Interest Satisfaction Delay	Ultra High	Medium	Low	Low
Overhead Packet	None	Medium	Medium	High

트래픽 폭증 현상이며, 본 논문에서는 이러한 데이터 브로드캐스트 현상을 경감시켜 주기 위한 기존 포워딩 기법들을 분석하고 성능을 비교하였다. 최적의 포워더 선택 기법은 최적의 싱글 루트로 데이터 패킷을 중개하는 특성에 기인하여 처리된 중복 데이터 패킷 수, 인터레스트 패킷 만족율, 혼잡, 인터레스트 패킷 지연 측면에서 타 기법들과 비교하여 상대적으로 우수한 성능을 가졌다. 그러나 최적의 포워더 차량 선택을 위한 이웃 차량들과의 정보 교환에 기인하여 오버헤드 패킷 교환 측면에서는 타 기법들과 비교하여 상대적으로 좋지 않은 성능을 보였다.

이를 토대로 향후 VNDN 환경하에서 데이터 브로드캐스트에 기인한 데이터 폭증을 보다 효율적으로 해결하기 위한 데이터 경감 기법 연구시 중복 데이터 패킷 수, 인터레스트 패킷 만족율 및 인터레스트 패킷 지연을 최소화하기 위해 최선의 단일 경로 선택을 위한 최적의 포워더를 선택해야 한다. 또한 최적의 포워더 선택을 위해 이웃 차량과의 테이블 정보 교환 방식이 아닌 패킷 교환 오버헤드를 최소화할 수 있는 기법을 제시해야 할 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(Ministry of Science and ICT) (No. 2021R1A2C1010481)

REFERENCES

- [1] S. A. Shah, A. Ahmed, E. Imran, and S. Zeadally, "5G for vehicular communications", *IEEE Communications Magazine*, 56(1), pp.111-117, Jan. 2018
- [2] G. Grassi, D. Pesavento, G. Pau, R. Vuyyuru, R. Wakikawa and L. Zhang, "VANET via named data networking", *IEEE Conference on Computer Communications Workshops*, pp. 410-415, Apr. 2014.
- [3] Shanzhi Chen; Jinling Hu; Yan Shi; Li Zhao, "LTE-V: A TD-LTE-based V2X solution for future vehicular network", *IEEE Internet of Things Journals*, Vol. 3, Iss. 6, pp. 997-1005, Dec. 2016
- [4] Behrad Toghi; Md Saifuddin; Hossein Nourkhiz Mahjoub; M. O. Mughal; Yaser P. Fallah; Jayanthi Rao; Sushanta Das "Multiple Access in Cellular V2X: Performance Analysis in Highly Congested Vehicular Networks" 2018 IEEE Vehicular Networking Conference (VNC), pp. 1-8, Dec. 2018
- [5] V. Jacobson, D. K. Smetters, J. D. Thornton, M. F. Plass, N. H. Briggs, and R. L. Braynard, "Networking Named Content", *Proceedings of the 5th international conference on Emerging networking experiments and technologies*, pp. 112-116, Dec. 2012
- [6] A. Marica, C. Campolo, and A. Molinaro, "Information-centric networking for connected vehicles: a survey and future perspectives", *IEEE Communications Magazine*, Vol. 54, Iss. 2, pp. 98-104, Feb. 2016
- [7] M. F. Majeed, S. H. Ahmed and M. N. Dailey, "Enabling push-based critical data forwarding in vehicular named data networks", *IEEE Communications Letters*, Vol. 21, No. 4, pp. 873-876, Apr. 2017
- [8] Ahmed SH, Bouk SH, Yaqub MA, Song H, "CODIE: Controlled data and interest evaluation in vehicular named data networks", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 65, No. 6, pp. 3954-3963, Apr. 2016
- [9] S. H. Bouk, S. H. Ahmed, K. Park, Y. Eun, "Efficient Data Broadcast Mitigation in Multisource Named-Content Discovery for Vehicular CPS", *IEEE Communications Letters*, Vol. 23, No. 9, pp. 1644-1647, Jul. 2019
- [10] A. K. Niari, R. Berangi, and M. Fathy, "ECCN: an extended CCN architecture to improve data access in vehicular content-centric network", *The Journal of Supercomputing*. Vol. 74, No. 1, pp. 205-221, Jan. 2018
- [11] Syed Hassan Ahmed; Safdar Hussain Bouk; Muhammad Azfar Yaqub; Dongkyun Kim; Houbing Song, "DIFS: Distributed interest forwarder selection in vehicular named data networks", *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, Volume: 19, Issue: 9, pp. 3076 -3080, Sept. 2018

- [12] Lucas B. Rondon, Roger Immich Geraldo P. Rocha Filho, Augusto Venâncio Neto, Maycon Leone Maciel Peixoto and Leandro A. Villas. "Towards Improved Vehicular Information-Centric Networks by Efficient Caching Discovery" *Vehicles*, Vol. 2, Issue 3, pp. 453-467, 2020
- [13] Majeed, M.F., Ahmed, S.H. and Dailey, M.N., 2018. Enabling push-based critical data forwarding in vehicular named data networks. *IEEE Communications Letters*, 21(4), pp. 873-876.
- [14] M. Amadeo, C. Campolo, and A. Molinaro, "Internet of Things via named data networking: The support of push traffic," in *Proc. IEEE Int. Conf. Netw. Future*, pp. 1-5, Dec. 2017
- [15] J. Burke, P. Gasti, N. Nathan, and G. Tsudik, "Secure sensing over named data networking," in *Proc. IEEE 13th Int. Symp. Netw. Comput. Appl. (NCA)*, pp. 175-180, Aug. 2017

Authors



Daewon Hur is a undergraduate student in the division of computer engineering at Hoseo university. He is interested in AI, IoT and connected vehicles.



Huhnkuk Lim received his Ph.D in the dept. of computer engineering from the Gwangju Institute of Science and Technology (GIST), South Korea in 2006. Dr. Lim is currently an assistant professor in the division of

computer engineering at Hoseo university. His recent research area covers IoT, edge computing, AI and Named Data Networking (NDN) for connected vehicles. He had worked for the Korea Institute of Science and Technology Information (KISTI) from 2006 to 2019 as a principal researcher.