

# Proactive Caching Strategy Based on Optimal Content Distribution in Content Centric Vehicular Networks

Sungjin Park<sup>†</sup> · Euisin Lee<sup>††</sup>

## ABSTRACT

In vehicular communications environment, content pre-caching can reduce the delay time from the user to the content server. However, the problem of where and how much pre-caching is still not solved. In this paper, based on the movement probability of the vehicle, we propose a method for pre-caching by distributing the optimized amount of content to each base station candidate that the vehicle will move as follows. First, the movement probability of each vehicle was learned using Markov Model. And the amount of content to be distributed and pre-cached was optimized based on the wireless environment. In experiments based on NS-3, the proposed strategy maintained the least delay compared to the existing protocol, leading to the most traffic-saving results.

Keywords : VANETs, CCVN, RSU, Content Caching, Optimization

# 차량 네트워크에서 최적의 콘텐츠 분배 기반의 사전 캐싱 방안

박 성 진<sup>†</sup> · 이 의 신<sup>††</sup>

## 요 약

차량 환경의 통신에서 콘텐츠의 사전 캐싱은 사용자로부터 콘텐츠 서버까지의 지연시간을 감소시킬 수 있다. 하지만 어디에, 어느 량 만큼의 사전 캐싱을 해야하는 지에 대한 문제점은 아직도 해결되지 않고 있다. 본 논문에서는 차량의 이동 확률을 토대로 차량이 다음으로 이동하게 될 기지국 후보들에게 각각 최적화된 량만큼의 콘텐츠를 분산시켜 사전 캐싱하는 방안을 제시한다. 우선, 각 차량의 이동 확률은 Markov Chain을 이용하여 학습되었다. 그리고 분산하여 사전 캐싱할 콘텐츠의 량은 무선 환경을 기반으로 최적화되었다. NS-3를 기반으로 진행된 실험에서 제안 방안은 기존 방법에 비하여 최소의 지연시간을 유지하며 트래픽을 가장 많이 절약한 결과가 도출되었다.

키워드 : VANETs, CCVN, RSU, 콘텐츠 캐싱, 최적화

## 1. Introduction

2017년에서 2022년까지 4배로 증가하는 트래픽을 수용하기 위해 차세대 통신에 대한 연구가 진행되고 있다. 그리고 해당 트래픽의 82%가 비디오 트래픽이 될 것이라 예측되고 있다[1]. 특히, 차량 환경에서는 빠른 속도로 인해 토폴로지의 변화가 잦고 무선 채널이 불안정하며 대역폭에 제한이 있다는 제약 조건을 갖는다. 그렇기 때문에 대용량 콘텐츠 혹은 비디오를 제공하는 데에 있어 품질 저하나 버퍼링 등의 문제를 야기

할 수 있다. 또한, 백홀 컴포넌트는 제한된 용량을 가지고 있기 때문에 제한적인 차량과 서비스만을 제공할 수 있다.

차량 환경에서 콘텐츠를 제공함에 있어 이동성을 지원하기 위해 NDN(Named Data Network)을 사용하는 연구가 진행되고 있다[2]. 기존 IP기반 통신은 콘텐츠에 대한 제공을 위해 항상 해당 콘텐츠를 가지고 있는 근원지 혹은 서버까지 접근하여 콘텐츠를 요구하였다. 하지만 NDN은 콘텐츠의 내용 기반의 통신으로서 만일 주위에 필요한 콘텐츠를 가진 노드가 있다면 서버까지 접근하지 않고도 주변 노드로부터 콘텐츠를 제공받을 수 있는 방안이다[3, 4]. 주로 Roadside Units(RSUs)의 도움을 받아 통신을 하며 NDN은 요청 패킷과 데이터 패킷으로 구성되어 있다. 사용자가 콘텐츠를 요청할 때 요청 패킷을 보낸다. 요청 패킷을 받은 노드는 자신의 Content Storage (CS)를 먼저 탐색하고 해당 콘텐츠를 가지고 있다면 사용자에게 바로 전달해준다. 콘텐츠를 가지고 있지 않다면 Pending Interest Table (PIT)에 요청 패킷을 저

\* 본 논문은 산업통상자원부 '산업전문인력역량강화사업'의 재원으로 한국산업기술포진원(KIAT)의 지원을 받아 수행된 연구임(2020년 임베디드SW 전문인력 양성사업, 과제번호: N0001884).

\*\* 본 논문은 2018년 과학기술정보통신부 재원으로 한국연구재단 지역대학연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2018R1D1A3B07042838).

† 비 회 원 : 충북대학교 전자통신공학과 석사

†† 종 신 회 원 : 충북대학교 정보통신공학부 교수

Manuscript Received : December 23, 2019

Accepted : January 16, 2020

\* Corresponding Author : Euisin Lee(eslee@chungbuk.ac.kr)

장하고 Forwarding Information Base (FIB)를 통해 다른 RSU 또는 서버로부터 해당 콘텐츠를 받아온다. 서버로부터 콘텐츠를 가져온 노드는 해당 콘텐츠를 CS에 저장하고 PIT에서 해당 요청 패킷을 삭제하며 사용자에게 해당 콘텐츠를 제공한다. 하지만 FIB를 통해 요청된 콘텐츠를 가져오는 작업은 많은 지연시간을 소모한다. 매번 새로운 RSU에서 같은 작업을 반복하는 사용자는 더 많은 지연시간을 가지게 된다. 또한 지연시간 때문에 사용자가 RSU에 머무르는 시간 동안 전달하지 못한 나머지 콘텐츠를 계속해서 다음 RSU에서 추가로 받아야 하기 때문에 트래픽도 많이 낭비된다. 그렇기 때문에 해당 지연 시간으로 인해 차량의 주행시간이나 콘텐츠가 받아져야 하는 시간 내에 콘텐츠를 전부 제공받지 못할 수 있다.

따라서 FIB를 통해 요청 콘텐츠를 가져오는 지연시간을 줄이기 위해 차량이 다음에 갈 RSU가 차량이 요청한 콘텐츠를 사전에 캐싱하는 방안이 연구되어왔다[1]. 일반 이동성 환경과는 달리 차량 환경의 이동성은 정해진 경로가 있기 때문에 예측하기 쉽다. 그래서 차량이 다음으로 도착할 RSU는 차량이 요청한 콘텐츠를 자신의 CS에 사전 캐싱한다. [5]에서는 Entropy를 사용하여 차량의 이동 확률의 정확도를 측정하여 가장 이동할 확률이 높은 다음 RSU에 차량이 요청한 콘텐츠를 준비시켜 딜레이를 최소화하였다. 하지만 차량의 이동성 예측은 완벽할 수 없기 때문에 차량이 해당 RSU로 가지 않았을 때 차량은 지연시간에 대한 이점을 얻을 수 없다. 또한 차량의 다음 경로로 예측되었던 RSU는 차량에게 준비된 콘텐츠를 주지 못했으므로 결과적으로 트래픽을 낭비한 것이 된다. 그리고 [6]에서는 차량이 RSU에 머무르는 시간을 고려하여 받을 수 있는 량을 계산해내고 다음 RSU가 차량에게 전송 가능한 콘텐츠의 일부만 준비한다. 해당 방안을 이용하는 경우 낭비되는 콘텐츠의 량은 줄어들지만 여전히 다른 경로의 RSU로 갔을 경우 FIB를 이용하여 요청된 콘텐츠를 가져오는 지연시간이 여전히 발생하였다.

본 논문에서는 차량이 다음으로 가게 될 RSU 후보에 대한 각 이동 확률을 이용하여 요청 콘텐츠를 각 후보에 분산시켜 사전 캐싱함으로써 트래픽 낭비를 최소화하는 방안을 제시한다. 이동 확률에 대한 계산은 Markov를 통하여 학습 후 적용시켰다. 그리고 차량이 가장 높은 이동 확률의 RSU에 가지 않더라도 분산되어 있는 다른 후보의 사전 캐싱된 콘텐츠를 가져와 지연시간이 최소가 되도록 하였다.

## 2. Problem Statement and Network Model

### 2.1 Problem Statement

기존 연구[7]는 차량의 이동성 인식을 통한 분산 콘텐츠 캐싱을 통하여 백홀 트래픽과 다운로드 지연 시간을 줄였다. 차량이 이동할 가능성이 있는 모든 RSU에 차량의 이동 확률에 비례하여 콘텐츠 조각을 캐싱한다. 하지만, 차량의 이동 확률에 비례하여 콘텐츠를 분산 캐싱했기 때문에 여러 가지 문제가 발생할 가능성이 있다. 예를 들어, 차량이 어떤 RSU로 이

동할 확률이 매우 높은 경우, 해당 RSU로 갈 가능성이 매우 높지만, 콘텐츠를 분산하여 캐싱했기 때문에 이웃 RSU로부터 백홀을 통해 콘텐츠를 받아와야 한다. 이러한 경우, 이웃 RSU로부터 백홀 링크를 통해 콘텐츠 조각을 받아와야 하므로, 추가적인 백홀 트래픽이 발생하게 된다. 이러한 추가적인 백홀 트래픽 발생 문제를 해결하기 위해 이동 확률을 통한 콘텐츠 조각 분배를 최적화 하여 백홀 트래픽을 최소로 줄이는 방안을 제안한다.

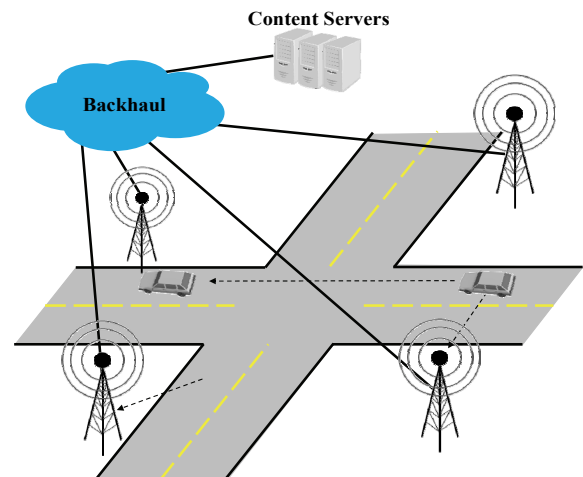


Fig. 1. Network Model of Proposed Strategy

### 2.2 Network Model of Proposed Mechanism

제안 방안은 차량이 교차로에서 각 방향으로 전환할 확률을 토대로 해당 방향의 RSU에 사전 캐싱할 콘텐츠의 량을 계산한다. 우선, 차량의 이동 기록을 기반으로 Markov 모델을 이용하여 차량의 이동 확률을 계산하였다. Markov 모델은 차량이 해당 도로로 진입한 횟수에 대비하여 해당도로로부터 특정 방향으로 방향을 전환한 횟수를 기록하는 누적 기록 방안이다. 그렇기 때문에 학습 시간이 길어질수록 더욱 정확한 확률을 얻을 수 있다. Fig. 1은 제안방안의 네트워크 모델이다. 차량은 802.11p를 사용하여 RSU와 통신하고, RSU는 백홀 링크를 통해 콘텐츠 서버와 연결된다. 또한, 각 RSU는 백홀 링크를 통해 이웃 RSU와 통신이 가능하다고 가정한다. 또한, 각 차량의 이동 확률은 Markov Model[8]을 이용하여 학습되었다.

차량은 특정 콘텐츠를 RSU에게 요구한 경우에 현재 머무르고 있는 RSU<sub>i</sub>로부터  $x_i$  만큼의 콘텐츠를 받을 수 있다고 계산되어 진다. 하지만 차량이 요구한 콘텐츠의 량  $x_{req}$ 와 비교하여  $x_i$ 가 적은 경우 현재 머무르고 있는 RSU<sub>i</sub>에서 차량에게 해당 콘텐츠를 전부 제공할 수 없다고 판단하며 사전 캐싱을 준비한다. 사전 캐싱은 현재 머무르고 있는 RSU<sub>i</sub>로부터 이동 가능한 다음 RSU의 개수  $J$ 를 아는 것으로부터 시작되어 진다. 이때, 현재 있는 RSU<sub>i</sub>로부터 이동 가능한  $J$ 개의 RSU 중에  $j$ 번째 RSU로 갈 확률은  $p_{ij}$ 로 정의한다. 이때  $j$ 의 순서는 확률의 크기를 이용하며 가장 큰 확률 값을 가진 값이 가장

높은 우선순위를 가지게 되어  $p_{i1}$ 이 된다. 확률  $p_{ij}$ 를 이용하여 최적화를 통해 얻어진 사전 캐싱할 콘텐츠의 량은  $x_{ij}$ 이며 현재 차량이 머무르고 있는 RSU<sub>i</sub>로부터 RSU<sub>j</sub>에 사전 캐싱할 량이다.  $x_{ij}$ 는  $x_{req}$  중에서 서로 다른 부분의 콘텐츠를 나눠서 가지게 된다. 때문에 차량이 특정 RSU<sub>j</sub>로 진입하여  $x_{ij}$ 를 이어서 제공받을 때 RSU<sub>j</sub>는  $x_{ij}$ 를 차량에게 제공하는 동안 RSU<sub>i</sub>를 제외한 다른 RSU에 사전에 캐싱한 다른 콘텐츠 조각  $x_{jk}(k:1 \sim J, k \neq j)$ 를 가져오게 된다. 이를 통하여 RSU<sub>j</sub>가  $x_{ij}$ 를 전부 제공한 순간 다른 RSU로부터 가져온  $x_{ik}$ 를 이어서 차량에게 제공할 수 있게 된다. 따라서 지연 시간을 최소화하며 다시 백본이나 FIB, 또는 콘텐츠 서버로부터 콘텐츠를 가져오지 않게 되어 트래픽 또한 최소가 된다.

계산의 용이성을 위하여 차량과 RSU간의 무선 특징은 모두 같다고 가정하며 무선 통신 속도는  $r$ 이라고 하였다. 또한 RSU간의 연결 또는 RSU와 백본간의 연결도 유선 특징을 모두 같다고 가정하였으며 유선 통신 속도는  $w$ 라고 하였다. 그리고 차량의 RSU 잔류시간  $t_{dwell}$ 은 차량의 현재속도를 기반으로 RSU의 통신 범위를 이용하여 계산되었다. Table 1은 제안 방안에서 캐싱에 사용되는 파라미터를 나타낸다.

Table 1. Caching Parameters

Notation	Description
RSU <sub>i</sub>	Current RSU
$x_i$	Amount of content received from RSU <sub>i</sub>
$x_{req}$	Amount of content requested by the vehicle
$p_{ij}$	Transition Probability
J	Next RSU that can be moved from RSU <sub>i</sub>
$x_{ij}$	Amount of pre-caching in RSU <sub>j</sub>
RSU <sub>j</sub>	Next RSU
$x_{jk}$	Amount of pre-cached to adjacent RSUs
$r$	V2V data Transmission rate
$w$	V2I data Transmission rate
$t_{dwell}$	Dwell Time

### 3. Proposed Mechanism

본 논문은 사거리에서 차량의 이동방향에 대한 확률을 가지고 최적화를 진행하여 유선 트래픽을 최소화하는 방안이다. 우선, 차량의 이동 확률을 기반으로 하여 유선 트래픽을 최소화하는 방향으로 사전 캐싱할 량을 최적화하였다. 그리고 차량이 다음으로 진입한 RSU는 최적화된 사전 캐싱된 콘텐츠를 차량에게 전달하는 동안 다른 사전 캐싱된 RSU로부터 콘텐츠를 가져와 차량에게 최대량의 콘텐츠를 제공한다.

우선 차량이 머무르고 있는 RSU<sub>i</sub>로부터 다음으로 이동 가능한 RSU의 후보를 알 수 있다. 따라서  $p_{ij}$ 를 이용하여 각 방향으로 차량이 이동하였을 때 소모되는 트래픽을 Equation (1)을 통하여 계산할 수 있다. 이를 이용하여 차량이 소모할

기대 트래픽 량을 계산할 수 있으며 트래픽 량을 최소화하기 위해서는 해당 식이 목적식이 된다.

$$\min U = \sum_{j=1}^J (p_{ij} \times ((\sum_{k=1}^J 2x_{ik}) - x_{ij})) \quad (1)$$

$$s.t. -\frac{1}{r}x_{ij} + \sum_{\substack{k=1 \\ k \neq j}}^J \frac{1}{w}x_{ik} \leq 0, \forall j \in J \quad (2)$$

$$-x_{ik} + x_{i(k+1)} \leq 0, k > 1 \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^J x_{ij} = t_{dwell} \times r \quad (4)$$

$$\forall x_{ij} > 0 \quad (5)$$

Equation (2)는 차량이 이동한 RSU<sub>j</sub>에 사전 캐싱된 콘텐츠의 량  $x_{ij}$ 를 차량에게 제공하는 동안 RSU<sub>j</sub>가 유선으로 연결된 다른 후보 RSU로부터 사전 캐싱된 콘텐츠를 가져오도록 하는 조건식이다. RSU<sub>j</sub>가 사전 캐싱된 콘텐츠의 량  $x_{ij}$ 를 차량에게 제공하기 전에 나머지 콘텐츠를 가져와야  $x_{ij}$ 를 제공한 후에 바로 이어서 나머지 콘텐츠를 제공할 수 있기 때문이다. 만일 해당 조건식을 사용하지 않는다면 차량은 RSU<sub>i</sub>로부터 사전 캐싱된 콘텐츠를 제공받고 RSU<sub>j</sub>가 다른 RSU로부터 나머지 콘텐츠를 가져오는 동안 아무것도 제공받지 못하는 상황이 발생할 수 있으며 이는 곧 지연 시간로 이어진다.

Equation (3)은 확률의 크기로 정렬된  $p_{ij}$ 를 기반으로 높은 확률을 가진 RSU가 더 많은 량을 사전 캐싱해야 한다는 조건식이다. 이동 확률이 적은 곳에 많은 량의 사전 캐싱을 할 경우 차량이 해당 RSU로 갈 확률이 적기 때문에 다른 RSU가 해당 RSU로부터 콘텐츠를 가져가야하는 상황이 더 빈번히 발생하게 된다. 따라서 유선 트래픽이 증가하게 되기 때문에 조건식을 두었다. 이때 확률이 충분히 적은 RSU에는 사전 캐싱되는 콘텐츠의 량이 매우 적어질 수 있다. 심지어 차량은 일정 확률로 해당 RSU로 진입할 가능성이 있기 때문에 이 경우에 다른 RSU로부터 나머지 콘텐츠를 가져오기 위해 트래픽이 증가할 수 있다. 하지만 해당 확률이 낮기 때문에 기대 트래픽 량 관점에서 보면 갈 확률이 높은 곳에 많은 량의 콘텐츠를 사전 캐싱해야 유선 트래픽을 낮출 수 있다. 또한, 확률이 충분히 적은 RSU로 이동하게 되어도 Equation (2)의 제약 조건 때문에 차량에게 최대량의 콘텐츠를 제공하는 데에는 차질이 없다.

Equation (4)는 차량의 현재속도를 기반으로 RSU의 통신 범위내에서 RSU로부터 차량이 받을 수 있는 최대 콘텐츠 량을 계산한 식이다. 사전 캐싱한 콘텐츠의 모든 량은 차량에게 제공 가능한 량을 넘길 필요가 없다. 모든 RSU에 차량이 요구한 콘텐츠를 많이 사전 캐싱할 경우 더 많은 유선 트래픽이 소모된다. 심지어 제공 가능한 량 이상의 콘텐츠를 사전 캐싱하더라도 차량은 준비된 콘텐츠를 다 받지 못하여 RSU가 콘텐츠를 사전 캐싱하기 위해 소모한 트래픽 중에서 차량에게 제공하지 못한 트래픽만큼 낭비된 트래픽이 된다. 따라서 제공 가능한 량 이상의 콘텐츠를 사전 캐싱할 필요는 없다.

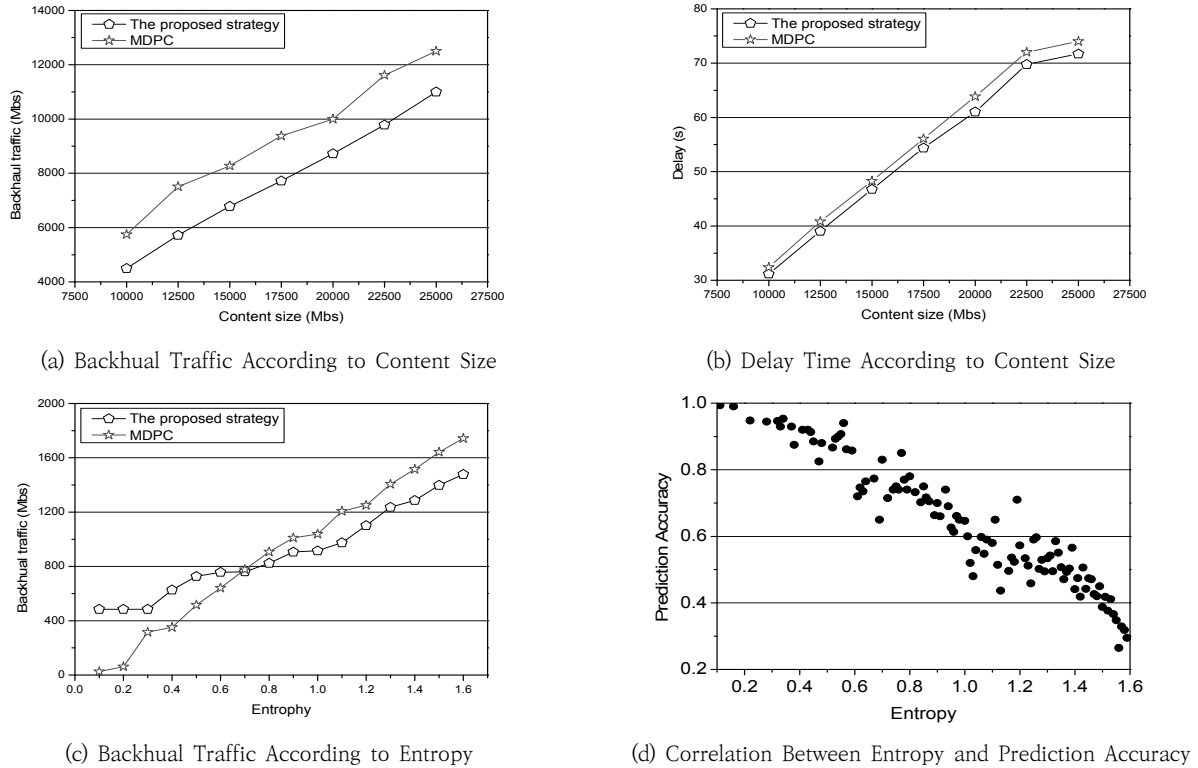


Fig. 2. Simulation Result

이러한 최적화를 진행하였을 때 우선 트래픽의 최소화를 위하여 사전 캐싱할 량이 음수가 될 수 있기 때문에 Equation (5)를 통하여 사전 캐싱할 량을 양수로 제한하였다. 따라서 주어진 최적화식을 통해 각 RSU에서 차량에게 최대량의 콘텐츠를 낭비되는 트래픽이 없이 최소의 트래픽을 소모하여 제공할 수 있다.

#### 4. Performance Evaluation

##### 4.1 Simulation Environment

본 절에서는 제안하는 최적화 기법의 성능을 기존의 MDPC 라고 하는 이동성 인식 분산 사전 캐싱방안과 비교한다. 시뮬레이션을 위해 4대의 RSU가  $1 \times 1 \text{ km}^2$ 안에 배치되어 있다. 또한, 같은 공간 안에 한 대의 차량이 일정한 속도로 움직인다. Table 2는 시뮬레이션 파라미터를 보여준다. 콘텐츠 서버는 백홀 네트워크로 연결되어 있고 백홀 링크의 통신 용량은 1000Mbps이다. RSU와 차량의 통신은 IEEE 802.11p[9] 표준을 사용하고 통신 용량은 50Mbps이다. RSU와 RSU간 통신은 P2P를 사용하고, 통신 용량은 1000Mbps이다. RSU와 통신 범위는 200m이고, RSU 간 전송지연 시간은 10ms이다. 본 시뮬레이션은 NS-3.2.7[10]에서 진행되었다. 제안방안과 MDPC의 다운로드 지연시간과 백홀 트래픽을 비교하여 제안방안의 성능을 검증한다. 또한, 차량의 이동 확률은 NS-3의 랜덤 함수를 통해 분포시켰고, 차량은 사거리에서

자신이 가진 이동 확률에 따라 각 가장자리에 있는 RSU로 이동한다. 약 1000번 이상의 시뮬레이션을 통해 나온 결과 값으로 평균을 내어 결과 값을 도출하였다.

Table 2. Simulation Parameter

Parameter	Values
Simulator	NS-3
Network Area	1km × 1km
P2P data transmission rate	1000Mbps
V2I data transmission rate	50Mbps
Communication range of RSU	200m
Transmission delay among RSU	10ms

##### 4.2 Simulation Results for Backhaul Traffic

Fig. 2(a)은 MDPC와 최적화 방안의 백홀 트래픽을 비교한 결과이다. 콘텐츠 서버로부터 다운로드 받을 콘텐츠의 크기를 10000bit부터 25000bit씩 증가시켜 25000bit까지 증가시켜 시뮬레이션을 진행했다. 백홀 트래픽은 백홀 링크를 통해 연결되어 있는 인접 RSU로부터 콘텐츠를 요청하고, 인접 RSU로부터 콘텐츠를 전송받을 때 발생한다. 제안 방안은 최적화를 통해 인접 RSU로부터 요청하는 콘텐츠를 백홀 트래픽이 최소가 되도록 분배한다. 따라서, 제안 방안은 MDPC 보다 더 적은 트래픽을 소모하게 된다.

### 4.3 Simulation Results for Delay Time

Fig. 2(b)은 MDPC와 최적화 방안의 다운로드 지연시간을 비교한 결과이다. 콘텐츠 서버로부터 다운로드 받을 콘텐츠의 크기를 10000bit부터 2500bit씩 증가시켜 25000bit까지 증가시켜 시뮬레이션을 진행했다. 다운로드 지연시간은 차량이 요청을 보낸 콘텐츠의 전체를 다운로드 받는데 까지 걸리는 시간이라고 정의한다. 시뮬레이션을 통해 MDPC보다 제안방안의 다운로드 지연 시간이 더 짧다는 것을 알 수 있다. 다운로드 지연시간은 차량이 콘텐츠를 요청한 RSU의 인접 RSU로부터 콘텐츠를 전송받을 때 전송받는 시간만큼 길어지게 된다. 백홀 트래픽을 최소화 시키는 방향으로 최적화를 진행하였기 때문에, 백홀 트래픽이 최소가 되도록 콘텐츠를 분배했다. 그러므로 백홀 트래픽이 최소가 되는 콘텐츠 분배를 통해 다운로드 지연시간을 줄일 수 있다.

### 4.4 Simulation Results for Entropy

Fig. 2(c)은 MDPC와 제안 방안의 Entropy 값에 따른 백홀 트래픽을 나타낸다. Entropy는 확률의 불확실성을 측정하는 지표로 1948년 새년의 논문[11]에서 처음 도입되었다. 확률의 분포가  $p = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$ 이고,  $p_i \geq 0$ ,  $\sum_{i=1}^n p_i = 1$ , 일 때, Entropy는 아래 Equation (6)과 같이 나타낼 수 있다.

$$H = \sum p_i \log_2 p_i. \quad (6)$$

Fig. 2(d)는 Entropy 값에 따른 차량의 이동 성공 확률을 나타낸 그래프이다. 차량의 이동 성공 확률은 차량이 가장 높은 확률을 가진 RSU로 이동하였을 때를 성공, 그렇지 않은 경우를 실패로 두고 성공과 실패의 비를 계산했다.

Entropy 값이 높아질수록 이동 성공 확률이 낮아진다. 따라서 이동 성공 확률이 약 90%인 Entropy 0.5에서부터 제안 방안의 백홀 트래픽은 MDPC의 백홀 트래픽과 비슷해지며 Entropy가 커질수록 제안 방안의 백홀 트래픽이 MDPC보다 더 낮게된다. 이동 성공 확률이 높은 경우 MDPC는 이동 확률에 비례하여 콘텐츠를 캐싱했기 때문에 제안 방안보다 백홀 트래픽이 낮다. 제안 방안은 Entropy 값을 제약 조건으로 두지 않았기 때문에 이동 성공 확률이 높은 경우에 백홀 트래픽이 높게 된다.

## 5. Conclusion

본 논문에서는, 차량 네트워크 환경에서 백홀 트래픽을 최소화시키기 위해 최적화를 통한 이동성 인식 분산 사전 캐싱을 제안하였다. 또한 제안된 방안의 검증에 위해 NS-3 시뮬레이터를 사용하였다. 기존 방안에서 발생하는 백홀 트래픽을 효율적으로 줄일 수 있는 최적화 방안 설계와 다운로드 지연시간, 백홀 트래픽, Entropy 결과를 제시하였다. 시뮬레이션을 통해 최적화 방안의 성능 검증을 했지만, Entropy 값을

제약조건에 포함하지 않아 발생하는 추가적인 트래픽을 고려하기 위해 Entropy를 제약조건에 추가시킨 연구를 진행할 계획이다.

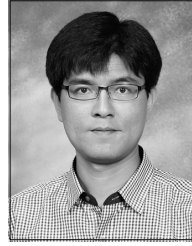
## References

- [1] Cisco, Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2013-2018, Jun. 2014, White Paper. [Online]. Available: <http://www.cisco.com/go/vni>
- [2] Y. Rao, H. Zhou, D. Gao, H. Luo, and Y. Liu, "Proactive caching for enhancing user-side mobility support in named data networking," in *Proc. Int. Conf. Innov. Mobile Internet Services Ubiquitous Comput.*, Jul. 2013, pp.37-42.
- [3] V. Jacobson, D. K. Smetters, J. D. Thornton, M. F. Plass, N. H. Briggs, and R. L. Braynard, "Networking named content," *Proc. ACM CoNEXT 2009*, Rome, Italy, Dec. 2009.
- [4] M. Ohtani, K. Tsukamoto, Y. Koizumi, H. Ohsaki, M. Imase, K. Hato, and J. Murayama "VCCN: Virtual content-centric networking for realizing group-based communication," *Proc. IEEE ICC 2013*, Budapest, Hungary, pp. 3476-3480, Jun. 2013.
- [5] N. Abani, T. Braun, and M. Gerla, "Proactive caching with mobility prediction under uncertainty in information-centric networks," *Proc. of the 4th ACM Conference on Information-Centric Networking (ICN 2017)*, pp.88-97, Sep. 2017.
- [6] H. Khelifi, S. Luo, B. Nour, A. Sellami, H. Mounjla, and F. Nalt-Abdesselam, "An optimized proactive caching scheme based on mobility prediction for vehicular networks," *IEEE Global Communications Conference*, pp.1-6, 2018.
- [7] S. Park, S. Oh, Y. Nam, J. Bang, and E. Lee, "Mobility-aware distributed proactive caching in content-centric vehicular networks," *2019 12th IFIP Wireless and Mobile Networking Conference (WMNC)*, Paris, France, pp.175-180, 2019.
- [8] S. Gambis, M.-O. Killijian, and M. N. del Prado Cortez, "Next place prediction using mobility markov chains," *Proc. of the 1st ACM Workshop on Measurement Privacy and Mobility*, pp.1-6, Apr. 2012.
- [9] "IEEE Std," IEEE standard for information technology- local and metropolitan area networks - Specific requirements- Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments, pp.1-51, Jul. 2010.
- [10] NS-3, [online] Available: <http://www.nsnam.org/>.
- [11] C. E. Shannon, "A Mathematical Theory of Communication," *The Bell System Technical Journal*, Vol.27, No.3, pp. 379-423, Jul. 1948.



**박 성 진**

<https://orcid.org/0000-0003-3206-8539>  
e-mail : [sjp@chungbuk.ac.kr](mailto:sjp@chungbuk.ac.kr)  
2020년 충북대학교 전파통신공학과 석사  
관심분야 : 차량 네트워크, 콘텐츠 캐싱



**이 의 신**

<https://orcid.org/0000-0002-0422-0647>  
e-mail : [eslee@chungbuk.ac.kr](mailto:eslee@chungbuk.ac.kr)  
2008년 충남대학교 컴퓨터공학과(석사)  
2012년 충남대학교 컴퓨터공학과(박사)  
2014년~현 재 충북대학교  
정보통신공학부 교수  
관심분야 : 무선 센서 네트워크, 차량 네트워크, 클라우드 컴퓨팅,  
콘텐츠 캐싱