

# 자율주행차량의 통신 과금 최소화를 위한 경로 계획 시스템

박용희, 최원석, 이래엽, \*최성곤  
충북대학교

yh0360@cbnu.ac.kr, wschoi@cbnu.ac.kr, omegamon@cbnu.ac.kr choisg@cbnu.ac.kr

## Path Planning System for Minimizing Communication Cost in Autonomous Driving

Yong Hee Park, Won Seok Choi, Lae Yeop Lee, Seong Gon Choi\*  
Chungbuk national Univ.

### 요 약

차량과 인프라가 통신하는 V2I 기술에 대해 많은 연구가 진행되고 있다. 대표적으로 LTE 는 광범위한 지역에 대해 통신을 지원할 수 있다. 하지만 LTE 는 전화망을 사용하여 서비스된 데이터만큼의 요금을 부과하여야 한다. 다른 예로 Road Side Unit (RSU)를 활용한 Dedicated Short-Range Communication (DSRC)는 요금을 부과하지 않는 대신 LTE 대비 통신 인프라가 광범위하게 구축되지 않는다. 따라서 LTE 와 RSU 를 복합적으로 사용하여 통신 서비스를 지원하는 연구가 진행 중이다. 본 논문에서는 LTE 사용을 최소화하여 통신 요금을 줄이는 경로 계획 시스템을 제안한다.

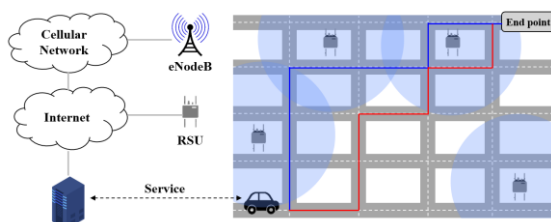
### I. 서 론

V2I 는 차량과 인프라간 통신을 하기 위한 기술이다. 도로를 주행하는 차량은 Road Side Unit (RSU)를 활용하여 인프라와 연결될 수 있다. Dedicated Short-Range Communication (DSRC)는 단거리 통신 기술로 V2I에 활용될 수 있다 [1].

LTE 는 이동성을 제공하고 광범위의 통신이 가능한 기술이다. V2I에서는 이러한 LTE의 특성을 활용하여 차량에 통신 서비스를 제공할 수 있다 [2]. 하지만 LTE는 서비스한 데이터만큼 요금을 부과해야 하므로 기존 인터넷 인프라를 최대한 활용한 방법이 요구된다. 본 논문에서는 기존 인터넷 인프라를 최대한 활용하기 위한 경로 계획 시스템을 제안한다.

### II. 본론

본 논문에서는 통신 과금 최소화를 위해 경로를 계획하는 시스템을 제안한다. 제안된 시스템의 구조는 그림 1과 같다.



<그림 1> 제안된 시스템의 구조

그림 1에서 자율주행차량은 eNodeB, RSU를 통해 서버와 통신할 수 있다. eNodeB는 전화망 네트워크를

활용하여 이를 사용할 경우 통신 요금이 부과된다. 차량과 RSU와 통신할 수 있는 지역은 RSU의 통신범위에 따라 제한된다. 본 논문에서는 도로의 교차점을 노드, 교차로 간 도로를 엣지로 표현하여 수식화한다. 각 노드와 RSU에 대한 수식은 다음과 같다.

$$S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_n\} \quad (1)$$

$$s_i = (x_{s_i}, y_{s_i}) \quad (2)$$

$$d_{ij} = \|s_i, s_j\| = \sqrt{(x_{s_i} - x_{s_j})^2 + (y_{s_i} - y_{s_j})^2} \quad (3)$$

$$s_i \in C_k \Leftrightarrow \|s_i, r_k\| < d_{r_k} \quad (4)$$

(1)은 각 노드  $s_i$ 의 집합을 나타낸다. (2)에서 각 노드는 위/경도와 같은  $x, y$  좌표계로 표현된다. (3)에서 엣지  $d_{ij}$ 는 L2 norm으로 계산된다. (4)는 각 노드가 RSU  $r_k$ 의 coverage  $C_k$ 에 포함되는 조건을 나타낸다. 이 때 RSU 통신범위의 반지름  $d_{r_k}$ 와 노드/RSU의 거리를 비교한다. RSU에 포함되지 않은  $s_i$ 는 제거된다.

주행 경로는  $n$ 에서 시작하여  $m$ 까지 주행한다. 전체 경로의 홉 수는  $m$ 의 값과 같다. 자율주행 차량의 경로 내 주행 거리, 주행 시간에 관련된 수식은 다음과 같다.

$$D = \sum_{n=0}^{m-1} d_{n,n+1} \quad (5)$$

$$T_{n,n+1} = \frac{d_{n,n+1}}{v_{n,n+1}} \quad (6)$$

$$T = \sum_{n=0}^{m-1} T_{n,n+1} \quad (7)$$

$$T < T^c \quad (8)$$

(5)는 자율주행 차량의 총 주행거리  $D$ 를 나타낸다. (6)은 노드 간 주행 시간  $T_{n,n+1}$ 을 나타내고 차량의 속도  $v_{n,n+1}$ 를 활용한다. (7)은 차량의 총 주행 시간  $T$ 을 나타낸다. (8)에서  $T^c$ 는 차량의 주행 시간에 대한 제약조건이다.  $T$ 가  $T^c$ 보다 적을 경우 경로의 재계획이 필요하다. 주어진 노드로 주행을 하지 못할 경우  $T$ 는 무한대의 값을 가진다.

엣지와 전체 비용에 관련된 수식은 다음과 같다.

$$b_{n,n+1} = \alpha_{n,n+1} d_{n,n+1} \quad (9)$$

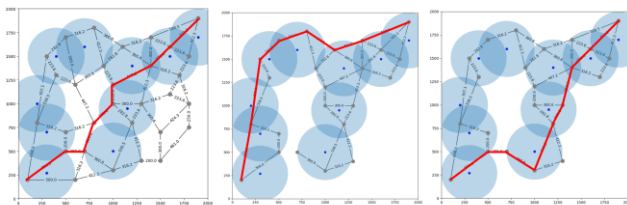
$$d_{n,n+1} \in C_k \Leftrightarrow \alpha_{n,n+1} = 1 \quad (10)$$

$$COST = \sum_{n=0}^{m-1} \frac{d_{n,n+1} - b_{n,n+1}}{v_{n,n+1}} * dr * c \quad (11)$$

(9)에서  $b_{n,n+1}$ 는 엣지  $d_{n,n+1}$ 에서 RSU의 통신 범위에 속하는 범위를 나타낸다.  $\alpha_{n,n+1}$ 는 RSU의 통신 범위에 속한 비율로 0에서 1의 값을 가진다. (10)은 엣지가 RSU의 통신 범위에 속하는 조건을 나타낸다. 초기에는 모든 경로가 범위에 속할 경우가 아니면 해당 엣지를 제거한다. 추후 (8)의 조건을 만족하지 못할 경우  $b_{n,n+1}$ 가 큰 값부터 엣지 및 노드를 복구한다. (11)은 전화망 네트워크를 사용한 총 통신 요금을 나타낸다. 여기서  $dr$ 는 제공받는 서비스의 데이터율,  $c$ 는 데이터를 당 통신 요금을 의미한다.

### III. 성능평가

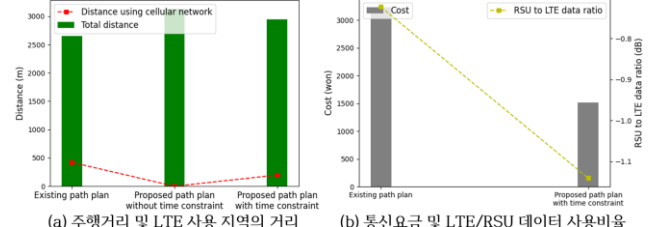
실험은 가상으로 진행되며 2000\*2000m의 공간을 생성하고 30개의 노드, 10개의 RSU를 임의적으로 배치한다. 노드 배치는 networkx API를 활용한다. 최단 경로 탐색은 A star 알고리즘을 활용한다. 차량의 속도는 50km/h로 고정한다. RSU의 통신범위는 DSRC의 통신범위인 300m이다.  $dr$ 는 스트리밍 서비스로 1080p, 30FPS, 4,720Kbps로 설정한다 [3]. 데이터 윌 당 통신 비용  $c$ 은 LTE 사용요금인 1MB 당 22.528원으로 설정한다 [4]. 실험 설정에 대한 내용은 그림 3에서 볼 수 있다.



<그림 2> 기존, 통신범위, 시간제약 별 경로 계획

그림 2(a)에서 교차로에 해당되는 노드, RSU, RSU의 통신 범위, 지리적 최단 경로를 확인할 수 있다. 이 경우  $D$ 는 2653.39m,  $T$ 는 191.044이다. 그림 2(b)에서 RSU coverage에 해당하지 않은 노드와 엣지를 삭제하여 남은 노드를 통해 주행을 하기 때문에 통신 요금이 부과되지 않음을 알 수 있다. 이 경우  $D$ 는 3129.75,  $T$ 는 225.34의 값을 가진다. 그림 2(b)는 시간제약이 고려되지 않은 상황이다. 만약  $T^c$ 가 220의 제약조건을 가진다면 (8)의 식을 만족하지 못하기 때문에  $b_{n,n+1}$ 가 가장 큰 엣지 또는 노드를 복구한다. 노드 또는 엣지 복구는 그림 4(c)에서 확인할 수 있다. 이 경우  $D$ 는 2942.0957,  $T$ 는 211.83의 값을 가진다.

각 상황에 대한 비교는 그림 5과 같다.



(a) 주행거리 및 LTE 사용 지역의 거리 (b) 통신요금 및 LTE/RSU 데이터 사용비율

<그림 3> 성능평가 결과

그림 3(a)에서 주행경로가 늘어난 대신 전화망 네트워크를 사용한 지역이 줄어들었음을 알 수 있다. 그림 3(b)는 부과된 요금 및 LTE/RSU 데이터의 비용을 보여준다. 시간제약이 없을 경우 모든 경로가 RSU의 범위 내 이므로 통신요금이 부과되지 않는다. 시간제약이 있을 경우 기존 경로 대비 적은 요금을 부과한다.

### IV. 결론

본 논문은 cellular network의 통신 요금을 최소화 하기 위한 경로 계획 시스템을 제안하였다. 이를 위해 교차로를 노드맵으로 변환하고 RSU 통신범위 외 노드를 삭제하고 경로 계획을 실시한다. 또한 시간 제약 조건에 따라 삭제된 노드를 복구할 수 있다. 실험 결과에 따라 제안된 시스템을 활용한 경로 계획은 주행 거리가 늘어나지만 통신 요금을 절감할 수 있음을 알 수 있다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2020년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2020R1A6A1A12047945).

“본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 Grand ICT 연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음” (IITP-2020-0-01462)

\*교신저자 : choisg@cbnu.ac.kr

### 참 고 문 헌

- [1] Resource Scheduling in Vehicular Cloud Network: A Survey, R. Ruhin Kouser, 2019 3rd International conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA), 12-14 June 20149
- [2] Challenges and Solutions for Cellular Based V2X Communications, Sohan Gyawali, IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 23, issue. 1, 08. Oct. 2020.
- [3] Live Streaming Data Rate and Usage, Hannah Petty, echo360, 2020.
- [4] LTE 데이터 요금 기준 안내, tworld