

V2I 시스템에서 차량 노드의 전송 거리 변화를 통한 데이터 전달 지연값의 감소 기법

서 봉 수*

Strategy to Reduce Data Delivery Delay by Varying Transmission Distance of Vehicle Nodes in V2I Systems

Bongsue Suh*

요 약

에너지가 제한된 RSU(Road Side Unit)를 가지는 V2I(Vehicle-to-Infrastructure) 시스템에서는 RSU 사이의 데이터 전달 지연값의 감소를 위하여 단순히 RSU의 전송 거리를 증가시키는 것은 불리하다. 본 논문에서는 각 RSU의 전송 거리는 상대적으로 낮은 값으로 제한하면서 상대적으로 에너지 소비에 제한이 작은 차량 노드들의 전송 거리를 증가시킴으로써 전체적인 데이터 전달 시간이 감소되도록 하였다. 수치적 분석을 통하여 차량 노드의 전송 거리, 차량 노드들의 밀도, 그리고 RSU의 최대 전송거리의 변화에 따른 데이터 전달 지연값의 변화를 기존의 방법과 함께 비교하였다. 결과적으로 차량 노드의 밀도, RSU 노드의 에너지 용량, 그리고 RSU의 에너지 하베스팅 효율 등에 근거하여 요구하는 낮은 데이터 전송 지연 조건에 만족하도록 차량 노드의 전송 거리와 RSU의 최대 전송거리 값을 적절히 조절할 수 있음을 확인하였다.

Abstract

For Vehicle-to-Infrastructure(V2I) systems with energy-constrained Road Side Units(RSUs), it is disadvantageous to increase RSU's transmission distance to reduce the whole data delivery delay between RSUs. In this paper, we propose that the vehicle nodes, which are relatively less constrained from energy consumption, increase their transmission distance, resulting in the reduction of the data delivery delay. From the numerical analysis, we compared the delivery delay with that of the previous strategy, according to variations of vehicle nodes' transmission distance, vehicle nodes' traffic density, and RSU's maximum transmission distance. As a result, the proposed strategy shows that the transmission distances of vehicle nodes and RSUs can be adaptively adjusted to satisfy the low data delay, based on the vehicular traffic density, RSU's energy capacity and RSU's energy harvesting efficiency.

Keywords

VANET, V2I system, road side unit, data delivery delay, transmission distance

* 공주대학교 정보통신공학부 교수
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5687-3159>

· Received: Nov. 23, 2020, Revised: Dec. 08, 2020, Accepted: Dec. 11, 2020
· Corresponding Author: Bongsue Suh
Department of Inform. and Commun. Eng., Kongju National University,
1223-24, Cheonan-daero, Seobuk-gu, Chonan-si, 31080 Korea.
Tel.: +82-041-521-9200, Email: bsuh@kongju.ac.kr

I. 서 론

고정된 노변 장치(RSU, Road Side Unit)와 주행하는 차량 노드를 이용한 통신 네트워크에 기반을 둔 VANET(Vehicular Ad Hoc Network) 시스템은 미래의 다양한 ITS(Intelligent Transportation System) 관련 서비스를 제공하기 위한 중요한 역할을 할 것으로 기대된다[1]-[4]. VANET 환경에서의 데이터는 교통 상황이나 날씨와 같은 일반적인 정보와 사고나 재해와 같은 긴급성을 요하는 정보도 존재한다. 특히 후자의 경우와 관련된 데이터의 경우 이를 다른 통신 노드로의 전송은 최소의 시간 이내에 이루어져야 할 것이다.

한편 VANET의 형태 중 V2V(Vehicle-to-Vehicle) 시스템에 비하여 상대적으로 간단한 형태를 가지는 V2I(Vehicle-to-Infrastructure) 환경에서는 RSU의 전송 거리의 제약으로 인하여 이들 사이의 직접적인 데이터 교환이 불가능하여 도로상을 움직이는 차량 노드를 데이터 전달 매개체로 이용하여 데이터를 교환한다[1][2]. 따라서 RSU 간의 데이터 전달 지연값이 상대적으로 커지는 단점이 존재한다. 또한 RSU는 에너지 하베스팅 기능과 같은 독립적인 에너지원을 가지는 형태가 일반적이어서 이들의 에너지 소비와 데이터 전달 지연값을 함께 고려한 데이터 전달 기법이 적용되어야 할 것이다[2][5].

본 논문에서는 V2I 시스템에서 RSU 간의 데이터 전송 지연값을 감소시키기 위하여 차량 노드들의 전송 거리를 증가시키면서 동시에 RSU들의 전송 거리를 자신의 잔여 에너지값에 근거한 가변적으로 설정하는 데이터 전달 기법을 제안한다. 이를 통하여 RSU의 효과적인 에너지 사용과 더불어 기존의 방법에 비하여 감소된 데이터 전달 지연값을 다양한 시스템 환경에 따라 유지할 수 있음을 살펴볼 것이다. 전체 논문의 구성으로, 본 서론에 이어 2장에서는 기존 연구의 정리과 문제점을 분석하며, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 방법을, 4장에서는 제안하는 방법의 성능 분석 및 비교 결과를 기술한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 기존 연구의 요약 및 분석

V2I 시스템에서 데이터의 전달 지연값을 감소시키기 위하여 단순히 RSU의 전송 통신 거리를 증가시키는 방법은 데이터 충돌의 확률을 높이며 데이터 전송률의 감소를 가져올 수 있다[3][4]. 특히 보유 에너지가 상대적으로 작아 효율적으로 에너지를 소비해야하는 환경에서는 전송 거리 증가는 RSU의 정상적인 동작에 치명적인 문제를 일으킬 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위한 기존의 OVS-OBRM(Optimal Vehicle Selection-Opportunistic Bundle Forwarding Mechanism) 방법[1]에서는 데이터를 보유한 RSU가 자신의 전송 영역 이내에 존재하는 차량 노드 중에 목적지 RSU의 전송 영역 이내로 가장 먼저 진입할 것으로 예상되는 차량 노드를 데이터 전달 매개체로 선택하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 발신지와 목적지 두 RSU와 단일의 차량 노드만이 전체의 데이터 전달 과정에 참여하며, 모든 차량 노드들의 지리적 위치 정보는 물론 이들의 속도 등의 실시간 정보에 기반을 두어야 하는 단점이 존재하였다.

이후 발신지 RSU와 목적지 RSU 사이에 존재하는 다수의 RSU가 데이터 전달 과정에 참여하는 방법이 제안되었다[2]. 이 방법에 의하면 실제 데이터 전달 지연값이 목표 데이터 전달 지연값에 근접하도록 각 RSU가 데이터 전달 과정으로의 참여 여부를 결정하는 방법을 제안하였다. 즉, 데이터를 보유한 차량 노드가 한 RSU의 전송 영역에 진입할 경우 해당 RSU가 데이터 전달 과정에 참여하지 않아도 목표 전달 지연값을 만족할 것으로 예상되면 해당 RSU는 데이터 전달 과정에 참여하지 않는다. 이 방법은 긴급성을 요하지 않는 일반 데이터의 전달 시, 즉 목표로 하는 데이터 전달 지연값이 충분히 큰 경우에 효과적으로 동작한다.

한편, 에너지 수집 장치를 가진 RSU가 지나가는 차량 노드와의 통신 설정 여부를 결정하는 방법을 제안한 연구가 수행되었다[5]. 해당 연구에서는 RSU 자신의 잔여 에너지 값이 특정값 이상이면 지나가는 차량 노드와의 통신 채널 설정과 데이터 전송의 확률을 증가시키도록 하였다. 이 방법은 단일의 RSU의 동작을 고려하고 있으나 이를 확장하여 다수의 RSU들에 적응적으로 적용하면 전체 시스템의 성능을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문에서는 기존의 RSU의 전송 방법에 대한 개선과 더불어 상대적으로 에너지 사용에 제약이 낮은 차량 노드들의 전송 거리를 증가시켜 전체적인 데이터 전달 지연값을 현저히 감소시키는 방법을 제안하고자 한다. 수치적 실험 분석을 통하여 기존의 데이터 전달 방법과의 비교와 분석을 하고자 한다.

III. 제안하는 방법

본 논문에서는 차량 노드간의 직접적인 통신이 제공되지 않으며 단지 RSU와 차량간의 통신만이 가능한 V2I 형태의 VANET 시스템을 대상으로 한다. 바로 이웃하는 두 RSU의 거리는 이들의 전송 거리에 비하여 상대적으로 매우 크기 때문에 RSU 간의 직접적인 데이터 전송은 불가능하다. 이에 따라 RSU들은 이동하는 다수의 차량 노드를 데이터의 전달 매개체로 이용하여 데이터를 교환하도록 한다. 일반적으로 지리적인 제한 사항과 실제 구현상의 한계로 인하여 RSU로의 전력 공급은 에너지 하베스팅과 같은 독립적인 전력 공급 장치를 이용하며, 본 논문에서도 이러한 환경을 고려한다.

본 논문에서는 데이터를 보유한 차량 노드의 전송 거리를 RSU의 전송 거리 보다 더 크게 설정하여 전방에 위치한 RSU의 영역 이내에 진입하기 전에도 RSU로 데이터를 전송하도록 한다. 이는 일반적으로 에너지 소비에 제약이 큰 RSU들에 비하여 차량 노드들은 상대적으로 통신 기능을 위한 충분한 에너지를 가지고 있어 상대적으로 긴 전송 거리를 가질 수 있음에 근거한다.

이와 더불어 단일의 차량노드가 아닌 다수의 차량 노드가 동일한 데이터를 보유하게 함으로써 이들 중 가장 앞서가는 차량 노드가 다음 RSU로 데이터를 전송하도록 한다. 이를 통하여 기존의 데이터 전달 방법에 비하여 최종 목적지 RSU까지의 데이터 전달 지연 시간을 현저히 감소시킬 수 있으며, 이러한 감소의 정도는 차량 노드들의 전송 거리뿐만 아니라, 차량 속도와 밀도, 그리고 RSU들의 전송 거리 등에 의하여 결정됨을 예상할 수 있다.

제안하는 방법에 의하면 데이터를 발생한 RSU는 전송 영역 이내의 모든 차량 노드에게 즉시 데이터

를 전송한다. 만약 데이터가 발생된 시점에 자신의 전송 영역 이내에 차량 노드가 존재하지 않으면 적어도 하나의 목적지 RSU로 향하는 차량 노드가 자신의 전송 영역 이내로 진입할 때까지 기다린다. 이를 통하여 단일의 또는 다수의 차량 노드가 동일한 데이터를 가지게 되며 데이터를 보유한 차량 노드는 목적지 RSU 방향으로 데이터를 주기적으로 발신한다.

이후 RSU들의 동작은 그림 1과 같은 과정으로 이루어진다. 즉, 임의의 RSU가 차량 노드로부터 데이터를 수신하면 자신의 전송 영역 이내의 모든 차량들에게 이를 즉시 전송한다. 발신지 RSU에서의 동작과 마찬가지로 만약 전송 영역 이내에 차량 노드가 존재하지 않으면 적어도 하나의 차량 노드가 자신의 전송 영역으로 진입할 때까지 대기한다.

만약 RSU가 새로운 데이터를 수신하고 이를 자신의 전송 영역 이내의 차량 노드에게 전송한 이후 시간에 차량 노드로부터 동일한 데이터를 수신하면 이를 무시하며 해당 RSU는 해당 차량 노드에게 데이터의 삭제 요구를 전송한다. 이를 수신한 차량 노드는 데이터를 삭제하여 더 이상 해당 데이터의 전달 과정에 참여하지 않는다.

에너지 사용에 제한이 있는 RSU들의 효율적인 소비의 관점에서 본 논문에서는 제안하는 또 다른 점은 RSU들의 전송 거리를 자신의 잔여 에너지 값에 의존하여 결정하도록 한다.

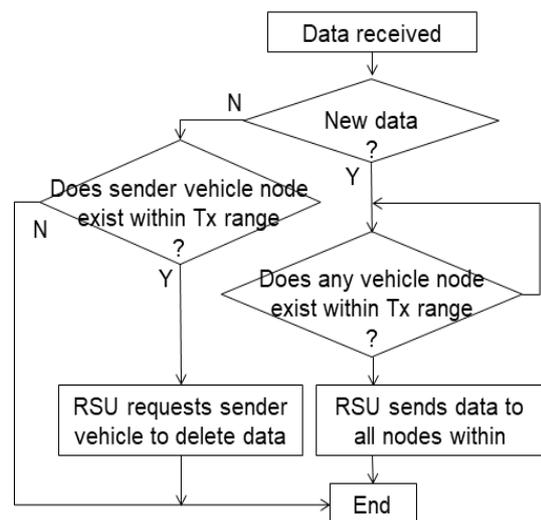


그림 1. 데이터를 수신한 RSU의 동작 과정
Fig. 1. RSU's procedure when receiving data

이를 통하여 잔여 에너지가 큰 RSU가 더 긴 전송 거리를 가지게 하여 상대적으로 더 넓은 영역 이내의 다수의 차량 노드들이 데이터를 보유하도록 한다. 이는 결과적으로 데이터 전달 지연값의 감소에 더 많은 기여를 하도록 한다. 또한 잔여 에너지 값이 낮은 RSU는 상대적으로 짧은 전송 거리를 갖게 하여 낮은 에너지 소모를 유지하고 결과적으로 동작을 지속할 수 있도록 한다.

임의의 RSU i 의 전송 거리는 자유공간에서의 데이터 전송에 따른 에너지 소비 모델[6]에 근거하여 잔여 에너지값의 제공근에 비례하도록 설정하며, 이는 구체적으로 식 (1)과 같이 정의한다. 또한 RSU i 는 자신을 중심으로 양쪽 방향으로 동일한 전송 거리를 가진다고 가정한다.

$$R(i) = \begin{cases} R_{\max} \sqrt{\frac{E(i)}{E_{\max}}}, & \text{if } R_{\max} \sqrt{\frac{E(i)}{E_{\max}}} \geq R_{\min} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

여기서 $E(i)$ 는 RSU i 의 잔여 에너지값을, E_{\max} 와 R_{\min} 는 RSU가 가질 수 있는 전송 거리의 최댓값과 최솟값을 각각 의미한다. 만약 RSU의 잔여 에너지가 고갈되었거나 최소 에너지값 이하인 경우는 데이터 전달 과정에 참여하지 않는다. 이 경우 해당 RSU에서는 데이터의 수신과 다른 차량 노드들의 데이터 전달을 수행하지 않는다.

데이터가 목적지 RSU에 이르는 경로상의 모든 RSU와 이 주변을 이동하는 모든 차량 노드들은 위의 과정을 반복한다. 즉, 데이터를 보유한 차량 노드들 중 가장 선두에 위치한 차량 노드로부터 전방에 위치한 RSU로의 데이터 업링크 전송과 해당 RSU에 의하여 새로운 차량 노드들이 데이터를 보유하는 과정이 반복되어 데이터가 목적지 RSU까지 전달된다.

IV. 성능 분석과 비교

4.1 데이터 전달 지연값 분석 과정

본 논문에서 제안된 방법의 성능 척도는 데이터의 발생한 시점에서 목적지 RSU 도착까지의 데이

터 전달 지연 시간으로 정한다. 이를 분석하기 위하여 N 개의 RSU가 같은 간격 D 미터로 배치된 형태의 차량간 추월이 가능한 다차로 단방향 도로를 고려한다. 각 RSU는 고유한 번호가 1, 2, 3, ..., N 으로 순서대로 부여되어 있으며, RSU 1에서 데이터가 발생하며 RSU N 이 이의 목적지라고 가정한다. 도로상의 위치는 RSU 1을 기준점 $y(1) = 0$ 으로 하며, RSU i 의 위치는 $y(i)$ 로 표기하기로 한다.

데이터는 $t=0$ 인 시점에 RSU 1에서 발생되며, 해당 RSU의 전송 영역 이내의 모든 차량 노드에게 데이터를 전송한다. 만약 전송 영역이내에 존재하는 차량 노드가 없는 경우는 최초의 차량 노드가 집입하는 시간 동안 대기한다. 이를 통하여 RSU 1으로부터 데이터를 수신한 차량 노드들의 집합 D_1 이 만들어지며, 이들 중 가장 앞에 위치한 차량 노드가 RSU 2로 데이터를 전달한다.

RSU i 로부터 데이터를 수신하여 데이터를 보유한 차량 노드들의 집합을 D_i 으로, 그리고 차량 노드들의 전송 거리를 C (미터)라고 표기하자. 그렇다면, RSU $k-1$ 로부터 생성된 집합인 D_{k-1} 의 원소인 차량 노드들 중 가장 전방에 위치한 차량 노드에서 C 미터 전방에 RSU k 가 위치한 시점이 RSU k 가 데이터를 수신하는 시간이 된다. 이 때 데이터를 RSU k 에 최초로 전송하는 차량 노드를 V_k 라고 하면, RSU k 가 새로운 데이터를 최초로 수신하는 시간 T_k 는 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$T_k = \min t \text{ s.t. } x(t, V_k) = y(i) - C \quad (2)$$

여기서 $x(t, n)$ 는 시간 t 에서의 차량 노드 n 의 위치를 의미한다. 데이터를 수신한 RSU k 는 즉시 자신을 중심으로 양쪽 방향으로 $R(k)$ 이내에 위치한 모든 차량 노드로 데이터를 전송한다. 이에 따라 T_k 시점에 RSU k 의 전송 영역에 적어도 하나 이상의 차량 노드가 존재하는 경우 집합 D_k 는 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$D_k = \left\{ j \mid y(k) - R(k) \leq x(T_k, j) \leq y(k) + R(k) \right\} \quad (3)$$

만약 T_k 시점에 RSU k 의 전송 영역에 차량 노드가 존재하지 않은 경우는 가장 먼저 RSU k 의 전송 영역에 진입하는 차량 노드가 D_k 의 원소가 된다.

위와 같은 과정을 통하여 최종적으로 RSU N 으로 데이터를 최초로 전달하는 시간, 즉 최종 데이터 전달 지연값 T_N 과 데이터 전달을 수행하는 차량 노드 V_N 은 식 (4)와 식 (5)로 구할 수 있다.

$$T_N = \min t \quad (4)$$

$$s.t. \exists j, x(t, j) + C \geq y(N), j \in D_{N-1}$$

$$V_N = j \quad s.t. \quad (5)$$

$$x(T_N, j) + C \geq y(N), j \in D_{N-1}$$

본 논문에서 제안하는 방법을 적용할 경우의 데이터 전달 지연값을 분석하기 위하여 가상의 V2I 시스템 환경을 고려하였으며, 개별 조건에 대하여 각 100 회의 데이터 전달 과정을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 실시하였으며 결과값의 평균을 구하였다. 특히, 시험 대상의 도로 구간에 진입하고 이동하는 차량 노드의 밀도, 위치, 속도, 가속도, 감속도, 그리고 차선 이동에 대한 데이터는 SUMO (Simulation of Urban MObility) 시뮬레이터[7]를 이용하여 획득한 값들을 사용하였다. 이 경우, 실제 도로상에서의 관측을 통한 차량 흐름의 분석 결과[8]를 기준으로 파라미터 값을 설정하였다. 시뮬레이션을 위한 주요 파라미터 값들은 표 1에 정리하였다.

표 1. 수치 분석을 위한 파라미터 값
Table 1. Parameter values for numerical analysis

Parameters	Symbol	Value
Number of RSUs	N	20
Inter-RSU distance	D	4000 m
Vehicle's Tx distance	C	400 ~ 2000 m
RSU's maximum Tx distance	R_{max}	100 ~ 500 m
RSU's minimum Tx distance	R_{min}	100 m
Vehicle's maximum speed	-	30 m/s
Vehicle's accel-/deacceleration	-	0.6 m/s ²
Number of traffic lanes	-	3
Density of vehicle nodes	cars/h	10 ~ 8000

4.2 차량 전송 거리에 따른 지연값

차량 노드의 전송 거리 변화에 따른 데이터 전달 지연값을 각각 다른 R_{max} 값에 대하여 구하였다. 그림 1은 차량 밀도가 4,500 대/시간인 경우의 결과이다. 또한, 논문 [2]에서 제안하는 기존의 방법과의 성능 비교를 위하여 동일한 환경, 즉 모든 RSU가 데이터 전달에 참여하여야 목표 데이터 전달 지연값을 만족하도록 설정하였다.

그림 1에서 보여주는 것처럼 본 논문에서 제안하는 방법은 전체 구간에서 기존의 방법[2]에 비하여 데이터 전달 지연값이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 데이터를 보유한 차량 노드가 앞쪽에 위치한 RSU의 전송 영역으로의 진입 이전에도 데이터 전달을 수행함에 기인한다. 특히, 차량 노드의 전송 거리가 증가함에 따라 데이터 전달 지연값은 선형적으로 감소함을 알 수 있다.

또한 전체적으로 차량 노드의 전송 거리 R_{max} 가 증가함에 따라 데이터 전달 지연값은 감소함을 알 수 있다. 특이한 점으로는 지연값의 감소 효과는 R_{max} 가 등간격으로 증가할 때 데이터 전달 지연값들의 간격은 더욱 커짐을 확인할 수 있다. 이에 대한 구체적인 분석은 다음 절에서 알아보기로 한다.

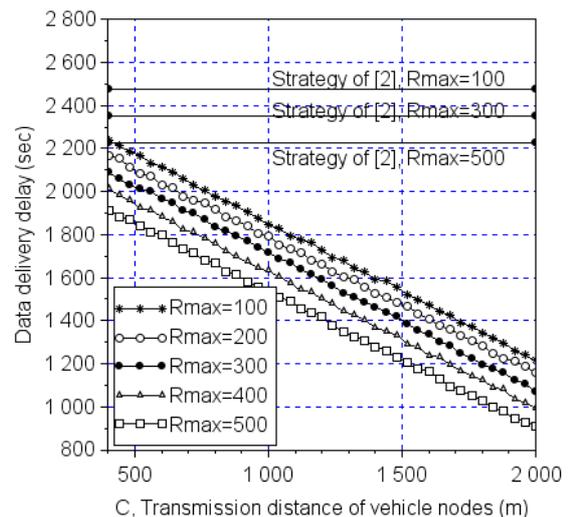


그림 1. 차량 노드의 전송 거리 변화에 따른 데이터 전달 지연값의 변화

Fig. 1. Data delivery delay versus transmission distance of vehicle nodes

4.3 RSU의 최대 전송 거리에 따른 지연값

차량 노드의 밀도가 동일한 조건에서 RSU의 최대 전송거리 R_{max} 값의 변화에 따른 전달 지연값의 변화를 각각 다른 차량 전송 거리에 대하여 구하였다. 그림 2는 4,500대/시간의 차량 밀도에 대한 결과이다. 그림을 살펴보면 RSU의 최대 전송 거리가 증가할수록 이에 데이터 전달 지연값이 감소함을 알 수 있다. 이는 RSU의 최대 전송 거리가 증가하면 RSU는 자신의 잔여 에너지값의 제공근에 비례하는 값으로 실제 전송 거리가 증가하며, 결과적으로 보다 먼 거리의 전방에 위치한 차량 노드들까지 포함한 차량 노드들에게 데이터를 전송하기 때문이다.

주목해야할 점은 RSU의 최대 전송 거리가 증가함에 따라 데이터 전달 지연값의 감소는 선형적이지 않다는 점을 확인할 수 있다. 그림에서와 같이 데이터 전달 시간의 감소의 정도는 RSU의 전송 거리 R_{max} 가 증가함에 따라 더욱 현저하게 감소함을 확인할 수 있다. 이는 RSU의 최대 전송 거리가 증가할 경우 보다 많은 차량 노드들이 데이터를 보유하게 되며, 이들 차량 노드들이 진행하면서 속도의 변화와 추월로 인하여 데이터를 가진 차량 중 가장 선두로 위치하는 차량 노드가 다음 RSU에 더욱 가깝게 위치할 가능성이 높아지기 때문이다.

4.4 차량 밀도에 따른 지연값

차량 노드 밀도의 변화에 따른 데이터 전달 지연값을 분석하기 위하여 시간당 10대에서 8,000대로 변화시키면서 데이터 전달 지연값을 구하였다. 그림 3은 차량 노드의 전송 거리가 1,400미터인 경우의 결과이다. 시간당 100대 정도의 매우 낮은 차량 노드의 밀도를 가지는 구간에서의 데이터 전달 지연값은 급격하게 증가함을 알 수 있다. 이는 낮은 차량 노드 밀도는 이웃하는 차량 노드간의 평균 거리가 매우 크다는 것을 의미하며, 이에 따라 RSU가 데이터를 차량 노드로 전송하기 위하여 보다 많은 시간을 대기하거나 데이터를 전달 받는 차량 노드가 다음 RSU에서 다른 차량 노드로의 간접적 데이터 전달이 이루어질 수 없을 가능성이 커지기 때문이다.

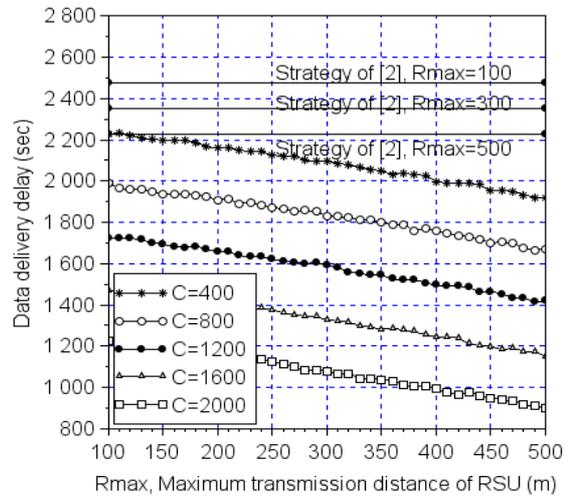


그림 2. RSU의 최대 전송 거리 변화에 따른 데이터 전달 지연값의 변화

Fig. 2. Data delivery delay versus maximum transmission distance of RSU

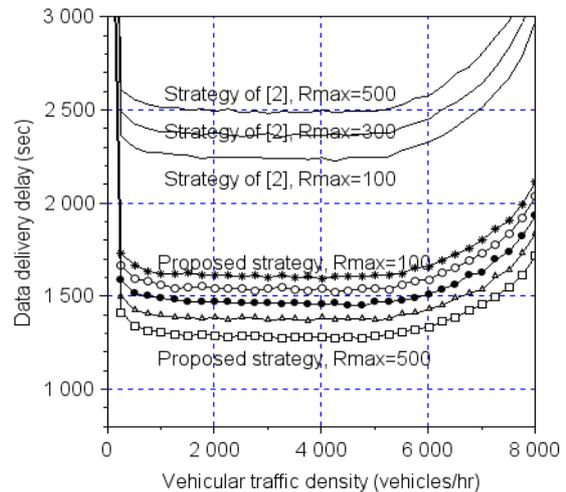


그림 3. 차량 노드의 밀도 변화에 따른 데이터 전달 지연값의 변화

Fig. 3. Data delivery delay versus vehicular traffic density

반면 차량 노드의 밀도가 시간당 7000대 정도 이상의 매우 높은 구간에서는 이웃 하는 차량 노드들 간의 평균 거리가 상대적으로 짧고 좀더 많은 차량 노드가 데이터를 보유하게 되는 긍정적인 측면이 존재한다. 하지만 높은 차량 밀도로 인하여 이들의 평균 속도가 감소하게 되어 전체적인 데이터 전달 지연값은 증가하는데 기인한다.

또한, 대략적으로 시간당 1,000대에서 5,000대의 구간에서는 차량 노드들의 평균 속도가 충분히 높고 이웃하는 차량 노드들 간의 거리도 적당하게 짧

아 데이터 전달의 지연값을 상대적으로 낮게 유지되고 있음을 확인할 수 있다.

결과적으로 본 논문에서 제안하는 방법은 에너지 사용에 제약이 있는 RSU들의 효과적인 에너지 소비를 유지하면서 에너지 사용 측면에서 제약 사항이 상대적으로 낮은 차량 노드들의 전송 거리를 증가시킴으로 전체적인 데이터 전달 지연값이 감소됨을 확인할 수 있었다. 본 논문에서 제안하는 방법을 실제의 환경에 적용할 경우, 데이터 전달 지연값의 목표값에 따라 차량 노드의 밀도, RSU 노드의 에너지 용량과 상태, 그리고 RSU의 에너지 하베스팅 효율 등에 근거하여 차량 노드의 전송거리와 RSU의 최대 전송거리 값을 적절히 조절하는 적응적인 데이터 전달이 가능할 것으로 예상된다.

V. 결 론

본 논문에서는 제한적인 에너지원을 가지는 RSU와 에너지 사용 제한 상대적으로 낮은 차량 노드로 이루어진 V2I 시스템 환경에서 개선된 데이터 전달 기법을 제안하였다. 제안하는 방법에 따르면 차량 노드의 전송 거리를 확장하고 RSU의 최대 전송 거리를 적응적으로 가변함으로써 RSU간 데이터 전달 지연값을 기존의 방법에 비하여 현저하게 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 이에 따라 실제의 도로 환경 구축시 데이터의 긴급성 정도, 교통 환경, RSU의 에너지 상태 등의 변화에 따라 적절한 시스템 파라미터를 결정함으로써 RSU의 생존성을 증가시키면서 데이터 전달 지연값을 적절히 낮은 값으로 유지할 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] M. J. Khabbaz, W. F. Fawaz, and C. M. Assi, "Which vehicle to select?", *IEEE Commun. Lett.*, Vol. 16, No. 6, pp. 812-815, Jun. 2012.

[2] B. Suh, "Variable transmission distance-based data delivery strategy to support near-optimal delivery delay for V2I systems", *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 17, No. 12, pp. 93-100, Dec. 2019.

[3] C. Guo, D. Li, G. Zhang, and Z. Cui, "Data delivery delay reduction for VANETs on bi-directional roadway", *IEEE Access*, Vol. 4, pp. 8514-8524, Dec. 2016.

[4] S. C. Kam and S. J. Seok, "A scheme of selecting a base station for V2I vehicle communications", *The Journal of Korean Institute of Information Technology*, Vol. 10, No. 2, pp. 70-78, Feb. 2012.

[5] W. S. Atoui, W. Ajib, and M. Boukadoum, "Offline and online scheduling algorithms for energy harvesting RSUs in VANETs", *IEEE Trans. Vehic. Tech.*, Vol. 67, No. 7, pp. 6370-6382, Jul. 2018.

[6] W. B. Heinzelman, A. P. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks", *IEEE Trans. Wireless Commun.*, Vol. 1, No. 4, pp. 660-670, Oct. 2002.

[7] SUMO - Simulation of Urban MObility, available at <http://sumo.dlr.de>, [accessed: Nov. 21. 2020]

[8] A. Mehar, S. Chandra, and S. Velmurugan, "Speed and acceleration characteristics of different types of vehicles on multi-lane highways", *European Transport*, Vol. 55, No. 1, pp. 1-12, Jan. 2013.

저자소개

서 봉 수 (Bongsue Suh)



1993년 2월 : 경북대학교
전자공학과(공학사)
1995년 2월 : 한국과학기술원 전기
및 전자공학과(공학석사)
1999년 8월 : 한국과학기술원
전기및전자공학과(공학박사)
1999년 7월 ~ 2004년 2월 :

한국전자통신연구원 선임연구원

2005년 9월 ~ 현재 : 정보통신공학부 교수

관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 무선 네트워크