



# V2I 시스템에서 가변 전송 거리에 기반한 근사 최적의 전달 지연을 제공하는 데이터 전달 방법

서 봉 수\*

## Variable Transmission Distance-Based Data Delivery Strategy to Support Near-Optimal Delivery Delay for V2I Systems

Bongsue Suh\*

### 요 약

에너지가 제한된 RSU(Road Side Unit)를 가지는 V2I(Vehicle-to-Infrastructure) 시스템에서는 데이터 전달 지연값과 더불어 RSU의 에너지 소비량을 함께 고려하여 데이터 전달 방법을 설계하여야 한다. 본 논문에서는 각 RSU는 자신의 잔여 에너지 값에 따라 통신 영역의 크기를 결정하도록 하며, 상대적으로 큰 전송 반경을 가지는 최소의 RSU를 데이터 전달 과정에 우선적으로 참여하도록 하여 데이터 전달 전송 지연값을 최대한 만족시키는 개선된 데이터 전달 방법을 제안한다. 결과적으로 통신 반경이 작은 RSU들은 데이터 전달 과정에서 배제되어 에너지 소비를 막을 수 있다. 수치적 분석을 통하여 기존의 방법에 비하여 제안하는 방법은 요구하는 데이터 전달 지연값과 RSU의 에너지 소비 측면에서 더욱 효과적임을 확인하였다.

### Abstract

For V2I(Vehicle-to-Infrastructure) systems with energy-constrained RSUs (Road Side Units), the data delivery strategies should be designed with consideration given to the RSUs' energy consumption as well as the data delivery time. In this paper, based on the strategy that determines the RSU's transmission distance according to the its remaining energy, we propose a modified data delivery strategy that nearly satisfies the data delivery delay by having the RSUs with relatively high transmission distance participate in data delivery procedure with a higher priority. As a result, our proposed method has the RSUs with smaller transmission distance exempt from data delivery and their energy consumption. Through a numerical analysis, compared to the previous methods our proposed strategy is shown to be more efficient in respect to the data delivery delay and the RSU's energy consumption.

### 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. 12, 2019, Revised: Dec. 05, 2019, Accepted: Dec. 08, 2019

• 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](mailto:bsuh@kongju.ac.kr)

## 1. 서 론

VANET(Vehicular Ad Hoc Network) 시스템은 고정된 노변 장치(RSU, Road Side Unit)와 주행하는 차량 노드를 이용하여 통신 네트워크를 구성한다는 특징을 가지고 있다[1][2]. 이를 기반으로 하는 다양한 상위 응용 어플리케이션을 통하여 궁극적으로 진보된 형태의 ITS(Intelligent Transportation System) 관련 서비스가 가능할 것으로 기대된다. 특히 통신 측면에서의 VANET 시스템은 일반적인 무선 애드혹 네트워크와 다른 특성들을 가지고 있다. 그리고 VANET 시스템의 많은 응용 시스템이 교통안전에 관련된 정보이므로 해당 데이터를 정해진 시간 이내에 목적지까지 전달하도록 해야 하는 제약 조건이 있다[2]-[4].

특히 차량 간의 통신이 불가능하며 RSU와 차량 노드간의 통신만 가능한 V2I(Vehicle-to-Infrastructure) 시스템 환경에서는 RSU 간의 데이터 교환은 이동하는 차량 노드들을 데이터의 전달 매체로 이용하는 방법에 의존한다. 따라서 V2I 시스템에서의 RSU 간 데이터 전달 지연값은 V2V(Vehicle-to-Vehicle) 시스템 환경에 비하여 상대적으로 훨씬 큰 값을 가지며, 이에 따라 V2I 환경에서 요구 지연 시간 이내로의 효과적인 데이터 전달 방법의 설계가 중요하다[3][4].

일반적으로 VANET은 넓은 영역에서 구현되므로 도로변에 배치되는 RSU 노드들 간의 거리는 그들의 전송 반경에 비하여 매우 큰 값으로 구현된다. 또한, 경제적인 또는 환경적인 이유로 외부의 전원 공급 장치로부터의 안정적인 전원 공급이 어려운 경우가 많아 에너지 하베스팅 기법 등을 통한 독립적인 전원 공급을 장치를 가지는 RSU의 도입이 예상된다[5][6].

데이터의 전달 지연에 관한 기존의 연구로는 발신 RSU 내의 여러 차량 노드들 중에 목적RSU에 가장 먼저 도착할 것으로 예상되는 차량 노드를 선택하는 방법[3]과 브로드캐스트 통신에 기반한 데이터 전달 방법[4]이 제안되었다. 이 외에 무선 네트워크에서 데이터 전달 지연값과 네트워크 엔터티의 에너지 소모에 관한 연구[5][6]가 있었으나 V2I 환

경에서 제한된 에너지를 가지는 RSU에서 RSU 간 데이터 전달을 고려한 연구는 거의 없다.

본 논문에서는 에너지량이 제한된 RSU들로 구성된 V2I 시스템에서 최소 갯수의 RSU를 데이터 전달 과정에 참여하게 하면서 동시에 요구하는 데이터 전달 지연값을 만족시키는 데이터 전달 방법을 제안한다. 전체 논문의 구성으로, 본 서론에 이어 2장에서는 기존 연구의 요약과 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 데이터 전달 지연을 감소시키는 가장 간단한 방법은 RSU의 유효 통신 거리를 증가시키는 것이다. 하지만 이 방법은 데이터 전송률 감소와 데이터 충돌 확률을 증가시며[2], 특히 RSU의 에너지 소비를 증가시키는 단점이 있다. 따라서 지나가는 차량 노드를 이용한 효과적인 데이터 전달 방법을 적용하여야 한다. 대표적으로 OVS-OBFRM(Optimal Vehicle Selection-Opportunistic Bundle Forwarding Mechanism)[3]에서는 발신 RSU가 자신의 통신 영역 내에 있는 다수의 차량 노드 중에 목적 RSU에 가장 먼저 도착할 것으로 예측되는 차량 노드를 선택하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 모든 차량 노드들의 위치, 속도, 그리고 목적지 RSU까지의 거리 등의 실시간 정보에 기반하여 동작하기 때문에 부가적인 작업과 시그널링 과정이 필요하다.

반면, 데이터를 보유한 RSU가 일정 시간 동안 자신의 통신 영역을 거쳐 가는 모든 차량 노드에게 데이터를 브로드캐스트 전송하는 방법[4]이 제안되었다. 동일한 데이터를 보유한 많은 차량 노드 중에 이웃 RSU의 통신 영역에 가장 먼저 진입하는 차량 노드가 이웃 RSU로 데이터를 업링크 전송하고 해당 RSU는 데이터를 다시 자신의 영역 내의 모든 차량 노드로 브로드캐스트 전송을 하는 방법이다. 즉, 다수의 차량 노드와 다수의 RSU를 데이터 전달 과정에 참여하게 함으로써 데이터 전달 지연값을 현저하게 감소시켰다.

위의 두 방법[3][4]은 데이터 전달 지연값과 RSU의 에너지 소비량의 두 관점에서 상반되는 특징을 가짐을 알 수 있다. 즉, OVS-OBDM 방법[3]은 최소 갯수의 RSU를 이용하는 장점이 있으나 데이터 전달 지연값 측면에서는 가장 불리하며, 반대로 브로드캐스트 방법[4]은 데이터 전달 지연값 측면에서는 가장 유리하지만 RSU의 에너지 소비 측면에서는 매우 불리함을 알 수 있다. 따라서 위의 두 방법의 절충 형태의 방법의 적용이 가능할 것으로 예측할 수 있으며, 특히 이러한 방법의 설계 시 데이터 전달 과정에 참여할 RSU들의 결정과 요구 전달 지연값의 충족이라는 두 가지 목표를 모두 만족시키기 위한 접근법이 고려하여야 할 것으로 판단된다.

최근에는 에너지 수집 장치[5]를 포함하는 무선 애드혹 네트워크에서 데이터 전달 지연값과 네트워크 엔터티의 에너지 소모를 함께 고려한 연구가 수행되었다. 문헌 [6]의 연구에서는 무선 신호를 통하여 데이터와 에너지를 함께 수신하는 환경을 고려하고 있으며, 데이터 전달 지연값과 수집하는 에너지량의 트레이드오프 상관 관계를 분석하는 방법과 이를 위한 네트워크 프레임워크를 제안하고 있다. 하지만 본 연구는 고속으로 이동하는 다수의 차량 노드와 고정된 소수의 RSU들로 구성된 V2I 형태의 애드혹 네트워크에 적용할 수 없는 한계가 있다.

한편, 에너지 수집 장치를 가지고 독립적으로 운용되는 RSU가 차량 노드와의 통신을 유지하거나 해지하는 시점을 결정하는 알고리즘을 제안한 연구 [7]가 수행되었다. 이는 RSU가 자신의 통신 영역 이내의 각 차량 노드와의 통신을 유지하기 위한 에너지 값과 자신의 수집 에너지양에 근거하여 통신 유지 여부를 판단하는 스케줄링 알고리즘을 제안하고 있다. 하지만, 이는 발신 RSU에서 목적 RSU 사이의 다수의 RSU가 존재하며 각 RSU가 고유한 유효 통신 거리를 가지는 환경에서 데이터의 전달 지연값과 에너지 소모를 분석하는데 적용하기에는 적합하지 않다.

본 논문에서는 이러한 기존 연구 사례를 기반으로 데이터 보유 차량 노드가 RSU 영역에 진입하는 경우 경로상의 모든 RSU들의 상태 정보에 근거하여 현재 방문한 RSU의 데이터 전달 과정의 참여 여부를 결정하는 방법을 제안한다. 이는 RSU의 제

한된 에너지를 효율적으로 사용하면서 동시에 시스템이 요구하는 데이터 전달 시간의 조건을 최대한 만족시키도록 하였다. 수치적 실험 분석을 통하여 기존의 데이터 전달 방법과의 비교 분석을 수행하며 이를 통하여 제안하는 방법을 실제 구현할 경우에 고려해야할 사항을 도출하고자 한다.

### III. 제안하는 방법

#### 3.1 데이터 전달 방법

본 논문에서는 RSU와 차량간의 통신만이 가능한 V2I 형태의 VANET 시스템을 고려한다. 특히, RSU들은 에너지 하베스팅과 같은 기능 모듈을 이용하여 자체 에너지 수집이 가능하며 독립적인 동작을 지속할 수 있다고 가정한다. RSU 간의 직접 통신은 불가능 불가능함에 따라 이들 간의 데이터 교환은 지나가는 차량 노드를 전달 매개체로 이용하여 이루어진다. 각 RSU는 자신의 잔여 에너지 값에 근거하여 동적으로 자신의 전송 반경을 변경할 수 있다고 가정한다. 즉, 잔여 에너지 값이 클수록 전송 영역을 크게 하도록[8] 조정하여 결과적으로 데이터 전달 지연 감소에 더 크게 기여하도록 한다.

일반적으로 차량 노드는 자체의 엔진 또는 고용량 배터리에 의한 전력 사용이 가능하므로 이의 전송 반경은 RSU의 최대 전송 반경보다는 크다고 가정한다. 또한, 모든 차량 노드들은 RSU로부터의 주기적인 브로드캐스트 메시지를 수신하여 시스템 내의 RSU들의 물리적 위치, 통신 영역 크기, 주변 차량 노드들의 평균 속도, 그리고 RSU 간의 거리 등의 최신 정보를 유지한다고 가정하며, 이는 반드시 실시간 정보일 필요는 없다.

데이터를 발생시키는 발신 RSU는 데이터의 중요도, 목적지 RSU와의 거리, 도로상의 차량 노드들의 밀도와 속도 등의 정보를 기반으로 하여 목적 RSU의 데이터 전달까지의 요구 지연값 (RDD: Required Delivery Delay)을 결정하며, 이 값은 데이터의 발생 시간과 더불어 데이터의 헤더에 첨가한다. 발신 RSU는 자신의 전송 영역 내에서 위치하면서 목적 RSU 방향으로 이동하는 차량 노드 중에 목적 RSU로 가장 가까운, 목적 RSU 방향으로의 전송 영

역 경계에 가장 가까운 차량 노드로 데이터를 전송한다. 이러한 차량 노드의 결정은 차량 노드들의 수신 전력의 크기나 물리적인 위치 정보 등을 기반으로 결정할 수 있으며, 이의 상세한 방법은 본 논문에서 다루지 않는다. 만약 발신 RSU가 데이터를 발생한 시점에 전송할 대상 차량 노드가 없을 경우 자신의 전송 영역 이내로 목적 RSU 방향으로 진행하는 차량 노드가 진입할 때까지 기다린다.

데이터를 보유한 차량 노드는 어느 RSU와도 직접적인 통신이 불가능한 지역을 지나서 그림 1과 같이 이웃 RSU의 전송영역으로 진입하게 된다. 이때 차량 노드는 다음 절에서 제안하는 방법에 의거하여 방문 RSU로 데이터를 업링크 전송할지 여부를 결정하게 된다. 만약 데이터를 보유한 차량 노드가 방문 RSU로 데이터를 전송하기로 결정한 경우 즉시 데이터를 전송하며, 이를 수신한 RSU는 그림 1과 같이 이를 자신 영역 이내에 위치한 차량 노드 중 목적 RSU 방향으로 이동하면서 목적 RSU에서 가장 가까운 차량 노드에게 전달한다. 이 경우, 발신 RSU가 아닌 다른 RSU들은 자신의 전송 영역 이내에 최소한 하나의 차량 노드가 반드시 존재하므로 발신 RSU와 같이 차량 진입 시까지의 불필요한 대기 시간이 없다. 위와 같은 과정은 데이터를 보유한 차량 노드가 새로운 RSU의 통신 영역에 진입할 때마다 위 과정을 반복하며, 최종적으로 목적 RSU가 데이터를 수신함으로써 데이터 전달은 완료된다.

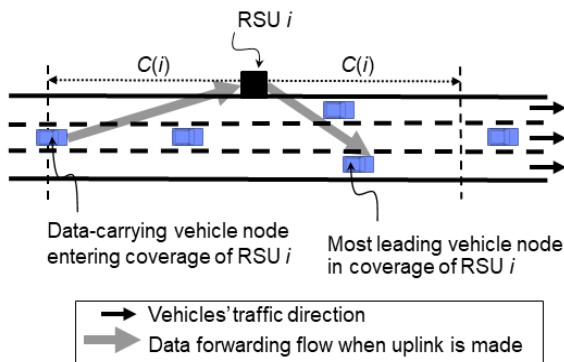


그림 1. RSU의 데이터 포워딩에 따른 데이터의 전송 경로

Fig. 1. Data transmission path for data forwarding at an RSU

### 3.2 데이터 업링크 전송 여부 결정 방법

데이터의 발생에서부터 데이터의 전달 완료 시점까지에 해당되는 실제 데이터 전달 지연값은 요구 전달 지연값인 RDD와 일치하는 경우가 가장 이상적이다. 따라서 데이터를 보유한 차량 노드가 임의의 RSU의 통신 영역을 진입하는 순간 해당 RSU의 업링크 전송 여부는 RDD 조건의 만족시킬 수 있는지의 예측을 기준으로 판단한다. 이의 자세한 과정은 다음과 같다.

V2I 시스템에는 N개의 RSU가 배치되어 있으며 고유한 번호가 1,2,3, ..., N으로 순서대로 부여되어 있다고 가정한다. RSU  $i$ 의 통신 영역에 진입하는 데이터를 보유한 차량 노드는 현재 시간  $t$ , 데이터의 발생시간  $t_0$ , 그리고 타 RSU들의 전송반경과 해당 지역 차량 노드들의 평균 속도 정보를 이용하여 목적 RSU로의 예상 전달 지연을 구한다.

현재 RSU를 포함하여 목적 RSU에 이르는 경로 상의 임의의 RSU  $k$ 에 대하여 이의 위치, 중심에서의 양방향으로의 통신 거리, 그리고 주변 차량의 평균 속도를 각각  $x(k)$ ,  $C(k)$ , 그리고  $v(k)$  이라고 표기하자. 데이터를 보유한 차량 노드가 데이터 업링크 전송을 전혀 하지 않고 목적 RSU까지 이동하여 데이터를 전달한다고 가정한 경우의 데이터 전달 지연의 예상 값을 구하여 보자. 즉, 데이터를 보유한 차량 노드가 현재 RSU의 통신 영역에 진입한 시점을 기준으로 목적 RSU까지에 이르는 경로 상에서 각 RSU 위치에서의 차량 평균 속도로 이동한다고 가정하면, 차량 노드가 RSU  $k$ 에서 이웃하는 RSU  $k+1$  사이에 이동하는 데 걸리는 시간은  $\frac{x(k+1)-x(k)}{v(k)}$  로 표시될 수 있다. 따라서 데이터를 보유한 차량 노드가 임의의 RSU  $i$ 의 통신 영역에 진입하는 시점  $t$ 에서 계산한 예상 데이터 전달 지연값  $D_E(i,t)$ 는 식 (1) 같이 구할 수 있다.

$$D_E(i,t) = t + \frac{C(i)}{v(i)} + \sum_{k=i}^{N-1} \frac{x(k+1)-x(k)}{v(k)} - \frac{C(N)}{v(N-1)} - t_0 \quad (1)$$

만약  $D_E(i,t)$ 가 RDD 보다 작으면 데이터를 보유한 차량 노드가 현재 방문한 RSU에서 목적 RSU 사이의 RSU에서 데이터 포워딩을 수행하지 않더라도 RDD 요구 조건을 만족시킬 가능성이 매우 큼을 알 수 있다. 따라서 이 경우 현재 방문한 RSU에서는 데이터 포워딩, 즉 데이터의 업링크 전송을 수행하지 않고 데이터를 보유한 차량 노드는 데이터를 보유한 채로 그대로 이동을 지속한다.

반면 데이터를 보유한 차량 노드가 RSU  $i$ 에 진입한 시점에  $D_E(i,t)$  값이 RDD 보다 크다면 RDD 조건을 만족시키기 위하여 현재 방문 RSU와 목적 RSU 사이의 RSU들 중 전체 또는 일부가 데이터 포워딩을 수행하여 실제 전달 지연을 감소시켜야 한다. 이때 상대적으로 큰 통신 영역을 가지는 RSU들의 데이터 포워딩으로의 참여가 전달 지연값의 감소에 더 큰 기여를 할 수 있음이 확실하다.

현재 방문 RSU  $i$ 를 포함하여 목적 RSU  $N$  사이의 RSU들에 대하여 통신 거리가 큰 RSU들을 순서대로 정렬한 경우 RSU들의 정렬한 번호인  $u(\cdot)$ 를 구할 수 있으며, 이는 식 (2)를 만족한다.

$$C(u(k)) \geq C(u(k+1)), \text{ for } 1 \leq i < N-i \quad (2)$$

이제 가장 큰 통신 반경을 가지는 RSU 즉, RSU  $u(1)$ 부터 차례로 데이터 포워딩에 참여시키면서 예상 전달 지연값이 RDD를 만족하는지 계산한다. 이때 RSU에서의 데이터 포워딩은 목적 RSU 방향의 통신 영역의 경계에 위치한 차량 노드로 데이터가 전달된다는 이상적인 경우로 가정한다. 따라서 RDD 요구 조건을 충족하기 위하여 참여하는 통신 거리가 큰 RSU들의 최소 개수  $h$ 는 식 (3)을 이용하여 구할 수 있다.

$$h = \min m \quad s.t. \quad (3)$$

$$D_E(i,t) - \sum_{k=1}^m \left( \frac{C(u(k))}{v(k-1)} + \frac{C(u(k))}{v(k)} \right) \leq \beta T_R$$

여기서  $T_R$ 는 RDD 값을 의미하며,  $\beta$ 는 보정 계수로서 실제 환경에서는 RSU에서의 비이상적인 데이터 포워딩과 차량 노드들의 속도의 가변성을 반영

한 값이다. 이제 RDD 조건을 만족하는 최솟값  $h$  개로 구성된 RSU들을 원소로 가지는 집합  $S$ 를 식 (4)와 같이 구할 수 있다.

$$S = \{u(1), u(2), \dots, u(h)\} \quad (4)$$

만약 데이터를 보유한 차량 노드의 관점에서 현재 방문 RSU  $i$ 가  $S$ 의 원소이면, 즉, RSU  $i$ 가 가장 큰 전송 반경을 가지는  $h$  개의 RSU 중에 하나이면 RSU  $i$ 에서 데이터 포워딩을 수행해야 한다고 판단하며, 이에 따라 RSU  $i$  로의 데이터의 업링크 전송을 수행한다. 그렇지 않고 만약 RSU  $i$ 가  $S$ 의 원소가 아니면 데이터 보유 차량 노드는 업링크 데이터 전송을 하지 않고, 그대로 데이터를 보유한 채로 이웃 RSU로 이동한다.

데이터 보유 차량 노드는 위와 같은 기준을 통하여 새로운 RSU의 통신 영역에 진입할 때 마다 해당 RSU에서 데이터 포워딩을 수행할지 여부를 판별한다. 이러한 과정을 통하여 데이터 전달 지연값을 RDD에 근사하게 충족시키는 동시에 상대적으로 통신 반경이 작은 RSU, 즉 상대적으로 잔여 에너지가 낮은 RSU들을 데이터 전달 과정에서 제외시킴으로서 이들의 에너지 사용을 막을 수 있음을 예측할 수 있다.

#### IV. 성능 비교와 분석

본 논문에서 제안된 방법의 성능 척도로써 요구 전달 시간 RDD의 변화에 따른 실제 전달 지연값을 구하고자 한다. 이를 위한 V2I 시스템 환경으로 추월이 가능한 한쪽 방향으로 진행되는 3 개 차로 상의 차량 노드들을 고려한다. RSU들은  $N = 20$  개이며, 균등한 간격  $D = 4,000$  (미터)를 가지며, 순서대로 각각의 RSU는 차량의 이동 방향으로 1, 2, 3, ...,  $N$ 의 고유 번호가 부여되어 있다고 가정한다. 각 RSU의 통신 거리  $C(i)$ 는 80에서 800 미터 사이의 무작위 값을 가지도록 하였으며, 데이터의 발생은 RSU 1이며, 이의 목적지는 RSU  $N$ 이라고 가정한다.

도로 상의 차량 발생과 움직임에 대한 모델링 데이터는 SUMO(Simulation of Urban MObility) 시뮬레

이터[9]를 이용하여 획득한 값들을 사용하였으며, 실제 도로상에서의 관측을 통한 차량 흐름의 분석 결과[10]를 반영한 값을 기준으로 차량의 최대 속도, 가속도, 감속도, 위치, 차선 변경 등의 기준값을 적용하였다. 즉, 차량 최대 속도는 30 m/s, 가속도와 감속도는 동일하게 0.6 m/s<sup>2</sup>으로 설정하였다. 또한 차량 밀도의 변화에 따른 성능 지표의 변화를 분석하였다. 성능 지표의 정확한 값을 측정하기 위하여 각각의 성능 지표에 대하여 100 회의 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다. 성능 비교를 위하여 본 논문에서 제안하는 방법과 더불어 기존의 OVS-OBRM 방법[3]과 브로드캐스트 방법[4]에 의한 데이터 전달에 대하여도 위와 동일한 조건하에서 성능 지표 값을 구하였다.

그림 2와 그림 3은 시간당 2,000 대와 8,000 대의 차량이 지나가는 경우에 대하여 RDD의 변화에 따른 실제 전송 지연값의 변화를 보여주고 있다. OVS-OBRM 방법[3]은 발신 RSU와 목적 RSU만이 데이터 포워딩에 참여하므로 전달 지연값이 일정한 높은 임계값을 보이고 있다. 반면 브로드캐스트 방법[4]에서의 데이터 이동 경로상의 모든 RSU가 데이터 포워딩을 수행하므로 전달 지연값이 최소인 일정한 값을 가짐을 알 수 있다.

본 논문에서 제안하는 데이터 전달 방법을 적용할 경우 RDD 값에 비례하여 실제 전달 지연값이 증가함을 알 수 있으며, 특히  $\beta$  값의 변화에 따라 그 특성이 조금씩 변화함을 알 수 있다. 또한 RDD 값이 너무 크면 OVS-OBRM 방법[3]의 결과에 근접하게 되며 (예를 들어, 그림 2에서  $\beta=1.02$ 인 경우,  $RDD > 1220$ 인 영역), 이는 발신 RSU와 목적 RSU 사이의 RSU의 데이터 포워딩이 전혀 업어도 충분히 RDD 요구 조건을 만족함을 의미한다. 반대로 RDD 값이 매우 작은 경우에는 브로드캐스트 방법[4]의 성능에 근접함을 보여주고 이다(예를 들어, 그림 2에서  $\beta=1.02$ 인 경우,  $RDD < 970$ 인 영역).

또한 전체적으로  $\beta$ 가 감소할수록 실제 전달 지연값은 감소함을 보여주고 있으며, 이는 작은  $\beta$ 는 식 (3)의 우항을 감소시켜 RDD의 조건을 더욱 엄격하게 만드는 효과를 가져와 더욱 많은 RSU들이 데이터 포워딩을 수행하게 되어 전체적인 데이터 전달 시간이 감소하게 된다.

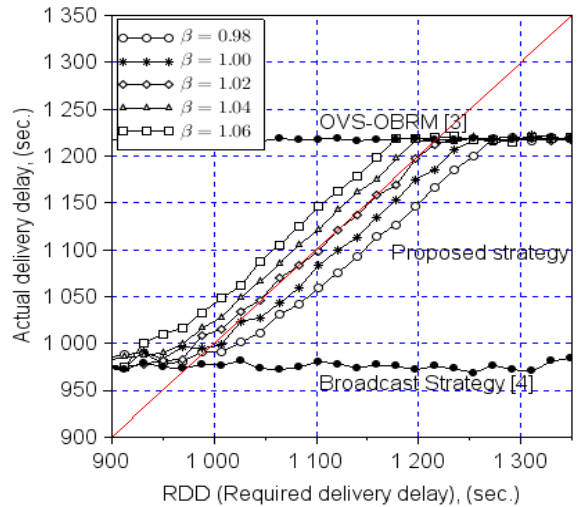


그림 2. RDD 변화에 따른 실제 전달 지연값의 변화 (차량밀도: 2,000 대/시간)

Fig. 2. Actual delivery delay versus RDD (vehicle traffic density: 2,000 veh/h)

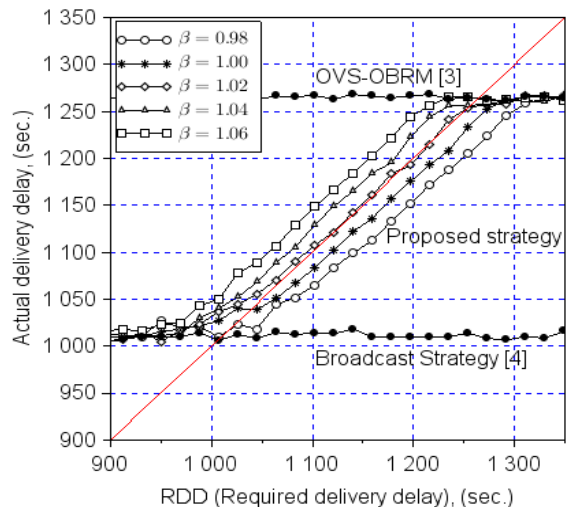


그림 3. RDD 변화에 따른 실제 전달 지연값의 변화 (차량밀도: 10,000 대/시간)

Fig. 3. Actual delivery delay versus RDD (vehicle traffic density: 10,000 veh/h)

반면, 이 경우 RSU의 통신 영역 이내에서의 데이터 포워딩을 위한 에너지를 소비하는 RSU의 수가 증가함에 따른 전체적인 에너지가 증가하는 단점이 발생한다.

그림 2와 3에서와 같이 실제 데이터 전달 지연값이 RDD와 동일한 경우가 가장 이상적인 상태이며, 이는 RDD 값과 차량 밀도에 따라 변화한다는 점을 알 수 있다. 예를 들어, 차량 밀도가 2,000대/시간

인 경우, RDD 값이 1050에서 1225 사이에서는 최적의  $\beta$  값은 약 1.02이며, RDD 값이 970에서 1050인 경우에는 약 1.00 임을 알 수 있다.

그림 3은 그림 2에 비하여 차량의 밀도가 증가한 경우에 RDD 값의 변화에 따른 실제 데이터 전달 지연의 변화를 보여주고 있으며, 차량 밀도가 낮은 경우와 비교하여 전체적인 지연값이 증가함을 보여주고 있다. 이는 높은 차량 밀도로 인하여 차량 노드들의 평균 속도가 감소하였으며, 이에 따라 데이터를 가진 차량 노드가 RSU 간을 이동하는데 걸리는 시간이 증가하기 때문에 기인한다.

위와 같은 수치적 분석의 결과를 바탕으로 본 논문에서 제안하는 방법을 실제 구현할 경우 다음과 같은 사실을 고려하여야 할 것으로 판단된다. 첫째, RDD이 너무 작은 경우 모든 RSU들이 데이터 포워딩을 수행하여도 RDD 조건을 만족시킬 수 없다. 이는 RSU 간의 거리와 전송 반경의 한계, 차량 노드들의 속도 등의 V2I 시스템의 환경과 관련된 고유 파라미터 값들과 관련이 있다. 따라서 V2I 시스템 설계 시 RSU 홉 당 지연값의 적정치 등을 고려하여 RSU의 사양 등의 시스템 환경 파라미터를 결정하는 것이 매우 중요하다. 둘째, RSU의 가변적인 통신 반경의 잔여 에너지의 값에 대한 의존성 모델을 적절히 수립하고 하여야 한다.

이는 본 논문에서 제안하는 방법을 적용할 경우 효과적인 에너지 소모를 유발하도록 수립되어야 할 것이다. 셋째, 본 논문에서 제안하는 방법을 실제 시스템에 적용할 경우 데이터 전달 횟수가 증가함에 따른 보다 많은 실제 전달 지연값에 대한 통계 자료의 수집이 가능하며, 이의 빅데이터 기반 분석을 통하여 다양한 V2I 환경이 주어졌을 경우 최적의  $\beta$  값을 설정할 수 있을 것으로 기대된다.

## V. 결 론

본 논문에서는 V2I 시스템 환경에서 최소의 RSU 참여를 통하여 데이터 전달 지연값을 최대한 만족시킬 수 있는 데이터 전달 방법을 제안하였다. 본 방법에 따르면 데이터를 가지는 차량 노드가 RSU의 통신 영역으로 진입하면 목적 RSU에 이르는 경로 상의 RSU들의 상태 정보를 기반으로 하여 현재

방문한 RSU에게 데이터를 업링크 전송할 여부를 판단하도록 하였다. 결과적으로 기존의 방법에 비하여 일부분의 RSU만의 데이터 전달 참여를 통하여 전달 지연값을 적절히 만족시킴을 확인하였다.

## References

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] M. J. Khabbaz, W. F. Fawaz, and C. M. Assi, "Which vehicle to select?", *IEEE Commun. Lett.*, Vol. 16, No. 6, pp. 812-815, June 2012.
- [4] B. Suh and S. Berber, "Broadcast-based data delivery strategy for V2I multihop vehicular networks", *IET Elect. Let.*, Vol. 50, No.7, pp. 556-558, Mar. 2014.
- [5] R. Atallah, M. Khabbaz, and C. Assi, "Energy harvesting in vehicular networks: a contemporary survey", *IEEE Wireless Communications*, Vol. 23, No. 2, pp. 70-77, Apr. 2016.
- [6] J.-S. Liu, C.-H. Richard, and J. Tsai, "Delay and energy tradeoff in energy harvesting multi-hop wireless networks with inter-session network coding and successive interference cancellation", *IEEE Access*, Vol. 5, No., pp. 544-564, Mar. 2017.
- [7] 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.
- [8] 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.

[9] SUMO - Simulation of Urban MObility, available at <http://sumo.dlr.de>, [Accessed: Nov. 11. 2019]

[10] 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 : 공주대학교 정보통신공학부 교수

관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 무선 네트워크