



제한된 에너지를 갖는 V2I 시스템의 확률 기반의 데이터 전달 기법에서 RSU의 성능 분석

서 봉 수*

Performance Analysis of RSUs in Probability-Based Data Delivery Strategy for Energy-Constrained V2I Systems

Bongsue Suh*

요 약

제한된 에너지를 가지는 RSU(Road Side Unit)로 구성된 V2I(Vehicle-to-Infrastructure) 시스템에서 기존에 제안된 데이터 전달 방법은 RSU의 에너지 소비 측면을 고려하지 않았다. 따라서 RSU의 잔여 에너지 값에 종속적인 확률 값으로 RSU의 데이터 전달 참여 여부를 결정하는 방법이 제안되었으며, 이는 기존의 방법에 비하여 전달 시간이 감소함을 보여주었다. 본 논문에서는 데이터 전달에 참여하는 RSU의 수와 연속적인 데이터의 전달에 따른 RSU들의 에너지의 변화 양상을 확인하기 위한 방법을 제시하며 이를 실제 분석하였다. 수치적 분석의 결과로 확률 기반의 데이터 전달 방법은 기존의 방법에 비하여 상대적으로 적은 수의 RSU가 데이터 전달에 참여하며 이에 따라 모든 RSU의 평균 에너지 크기가 증가함을 확인하였다. 그리고 이러한 분석 결과를 바탕으로 유사 시스템의 실제 구현시 고려해야할 사항을 제시하였다.

Abstract

As for V2I(Vehicle-to-Infrastructure) systems with energy-constrained RSUs(Road Side Units), the previous data delivery strategies have not considered the aspect of energy usage at RSUs. A new data delivery strategy has been proposed to determine the RSU's participation in data delivery based on the probability dependent on the RSU's remaining energy, and it showed the lower data delivery time than the previous approaches. In this paper, we propose methods to analyze the number of RSUs participating in data delivery and the variations of RSUs' energy value for the consecutive data deliveries. As a numerical result, compared with the previous strategy, the probability-based data delivery strategy shows the lower number of participating RSUs and the increased average energy value of all RSUs. In addition, from the analytical results, we propose considerations for the real implementations of the similar systems.

Keywords

vehicle-to-Infrastructure, road side unit, data delivery participation, remaining energy

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

• Received: Sep. 03, 2018, Revised: Oct. 18, 2018, Accepted: Oct. 21, 2018
• Corresponding Author: Bongsue Suh
Department of Inform. and Commun. Eng., Kongju National University,
1223-24, Cheonan-daero, Seobuk-gu, Chonan-si, 31080 Korea.
Tel.: +82-41-521-9200, Email: bsuh@kongju.ac.kr

I. 서 론

VANET(Vehicular Ad Hoc Network) 시스템은 노변의 고정된 RSU(Road Side Uni) 장치와 도로상을 주행하는 차량을 이용하여 구성된 통신 시스템의 일종이다. VANET을 이용하여 차량 교통과 관련한 직접적인 서비스는 물론 이를 응용한 다양한 형태의 서비스가 출현할 것으로 예상된다[1]-[3]. VANET 시스템은 크게 RSU와 차량 노드 사이의 통신만 가능하고 차량 노드끼리의 통신이 불가능한 V2I(Vehicle-to-Infrastructure) 형태와 차량-RSU 간의 통신은 물론 차량 노드끼리의 통신까지 지원하는 V2V(Vehicle-to-Vehicle) 형태로 구분할 수 있다.

특히 백본 네트워크와 연결이 불가능한 RSU를 포함하는 V2I 시스템에서 교통 상황이나 주변 센서 네트워크로부터 수집된 데이터의 신속한 전달과 분배를 위해서는 RSU 간의 데이터 전달은 매우 중요한 통신 수단이 된다[4]. 이 경우 이웃하는 RSU의 간격은 그들의 통신 반경에 비하여 상당히 크기 때문에 이들 사이의 직접적인 통신이 불가능하다 [1][5]. 따라서 V2I 형태의 시스템인 경우에는 RSU들은 지나가는 단일 또는 다수의 차량 노드들을 데이터 전달 매체로 사용하여 데이터의 교환과 배분을 수행한다. 또한 발생한 데이터는 시스템이 요구하는 전달 시간을 만족하도록 빠르게 목적지 RSU로 전달되어야 한다. 이를 위한 가장 간단한 방법은 단순히 RSU의 통신 반경을 증가시키는 것이지만, 이는 RSU에서의 에너지 소비 증가와 패킷 충돌의 확률 증가, 그리고 무선 채널의 낭비 등의 부수적인 문제를 유발한다[5]. 특히 RSU들이 제한된 에너지원의 의존하여 동작하는 경우 RSU에서의 효율적인 에너지 소비를 고려한 데이터 전달 방법이 도입되어야 할 것이다.

RSU 간의 데이터 전달과 관련한 기존의 연구는 주로 데이터 전달 시간의 감소를 목표로 하였으며 RSU의 에너지와 이의 소비에 대한 측면은 고려하지 않았다. 대표적으로 데이터를 보유한 RSU가 목적지 RSU에 가장 먼저 도착할 것으로 예상되는 하나의 차량 노드를 선택하고 이 단일의 차량 노드를 데이터 전달의 전 과정에 이용하는 방법[6]이 제안되었다. 반면, 경로상의 모든 RSU가 브로드캐스트

를 통하여 자신의 영역 내의 모든 차량 노드에게 데이터 전달에 참여하도록 하고 이 가운데 목적지에 가장 먼저 도착하는 차량 노드를 이용하여 데이터를 전달하는 기법[7] 등이 제안되었다.

한편, 일반적으로 RSU가 노변에 상대적으로 큰 거리의 간격을 두고 배치되어 외부로부터의 지속적인 전원 공급이 불가능하다. 따라서 에너지 소비를 고려한 RSU의 동작을 변경하거나 에너지 소모의 많은 부분을 차지하는 데이터 전달 방법의 개선을 통하여 RSU의 지속적이고 안정적인 동작을 유지하여야 한다. 이를 위하여 에너지 소비를 고려한 효율적인 데이터 전달 방법이 필수적이며 관련 연구가 수행되었다[1][8][9].

최근에는 확률에 근거한 데이터 전달 기법[1]이 제안되었으며, 이는 RSU들의 잔여 에너지량에 기반하여 RSU들의 데이터 전달 과정으로의 참여 확률을 결정하도록 하였다. 하지만 데이터 전달에 참여하는 RSU의 수와 전체 RSU의 에너지 상태의 변화에 대한 분석이 이루어지지 않아 관련 성능 척도의 향상 여부를 알 수 없었다. 본 논문에서는 확률에 근거한 데이터 전달 기법[1]을 기반으로 데이터 전달에 실제로 참여하는 RSU의 수와 시간의 흐름에 따른 RSU들의 에너지 변화를 분석하고 이를 기반으로 실제 유사 시스템의 구현시 고려해야할 점을 제시하고자 한다.

전체 논문의 구성은, 본 서론에 이어 2장에서는 기존 연구의 요약과 문제점을 분석하며, 3장에서는 확률 기반의 데이터 전달 방법을 설명하며, 4장에는 성능 분석 방법, 분석 결과, 그리고 실제의 유사 시스템 구현시 고려 사항을 기술하고, 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 기존 연구의 요약 및 분석

V2I 시스템에서의 기존의 RSU 간 데이터 전달 기법은 데이터 전달 시간의 감소를 주요 목적으로 연구되었다. 데이터가 생성된 RSU의 통신 영역 이내의 차량 노드 중에 특정 차량 노드를 선택하는 OVS-OBRM(Optimal Vehicle Selection-Opportunistic Bundle Release Mechanism)[6]이 제안되었다. 이는 목적지 RSU로 가장 먼저 도달할 것으로 예상되는

차량을 선택하도록 한다. 하지만 이 기법은 RSU가 모든 차량 노드들의 실시간 위치와 속도 정보를 유지하여야 하며, 시간이 지남에 따라 차량 노드들의 속도가 일정하다는 가정에 기반을 두고 있어 현실성이 결여되어 있다.

상기의 OVS-OBDM 방법의 단점과 제약사항을 개선한 브로드캐스트 기반의 데이터 전달 기법이 제안되었다[7]. 이는 RSU가 자신의 통신 영역 이내의 모든 차량에게 데이터를 브로드캐스트 전송하며, 결과적으로 이 차량 노드 중 이웃하는 RSU에 가장 먼저 도착하는 차량 노드가 RSU로 업링크 전송을 하고, 다시 RSU가 차량 노드로 데이터를 브로드캐스트를 하는 방식이다. 이 방법은 송신지와 목적지 RSU 사이에 존재하는 모든 RSU가 데이터 전달을 위하여 참여하도록 하여 이들의 불필요한 에너지 소비를 유발할 수 있는 단점이 존재한다.

요약하면 기존의 OVS-OBDM 기법[6]과 브로드캐스트 기법[7]은 RSU의 에너지 소비의 측면에서 서로 대비되는 특성을 가지고 있다. OVS-OBDM 기법[6]은 송신 RSU에서 선택된 단일의 차량 노드가 목적지 RSU까지 계속 이동하여 데이터를 전달하는 반면, 브로드캐스트 기법에서는 경로상의 모든 RSU 통신 영역 이내에서 데이터를 보유한 차량 노드가 변경될 가능성이 존재한다. 이에 따라 OVS-OBDM 기법에서는 데이터의 발신지와 목적지 RSU에서만 데이터 전송이 있으므로 에너지 소비 측면에서는 유리하지만 데이터 전달 시간의 측면에서는 시스템이 요구하는 목표값을 만족시킬 수 없을 가능성이 크다. 반면, 브로드캐스트 기법[7]에서는 송신지와 목적지 RSU 사이의 모든 RSU에서 이들의 통신 환경 내의 모든 차량 노드로의 멀티캐스트 통신을 이용하여 빠르게 데이터를 전달시키는 장점이 있다. 하지만 이는 경로상의 모든 RSU가 데이터 전달에 참여하게 하므로 불필요한 에너지 소비를 유발할 수 있다.

실제의 많은 VANET 시스템에서의 RSU는 외부로부터의 지속적이며 안정적인 전원의 공급이 어려워 에너지 수집 장치와 같은 독립적인 전원을 사용하는 경우가 대부분일 것으로 예상된다. 이에 따라 RSU 간의 데이터 전달 과정의 설계에 있어서 RSU들의 에너지 소모를 고려해야 할 것이며, 이와 관련

한 연구들이 수행되었다[1][8][9].

최근에는 RSU들의 데이터 전달 과정으로의 참여할 확률을 이들의 통신 환경, 즉 가용 에너지양과 관련한 확률에 기반을 둔 데이터 전달 기법[1]을 제안하였으며, 이는 노드들의 통신 환경은 그들의 잔여 에너지 값에 따라 결정된다는 가정을 바탕으로 하고 있다. 즉, 데이터를 보유한 차량 노드가 임의의 RSU로 진입할 경우 데이터를 해당 RSU로 업링크 전송할 확률은 RSU의 통신 환경에 비례하도록 하였다. 결과적으로 잔여 에너지가 상대적으로 큰 일부 RSU들만 데이터 전달에 참여하면서 데이터 전달 시간의 목표값을 만족시킬 수 있도록 하였다. 하지만, 중요한 성능 척도인 실제 참여하는 RSU 노드의 수와 시간의 흐름에 따른 RSU 노드들의 에너지 값의 변화에 대한 분석이 이루어지지 않았다. 본 논문에서는 확률 기반의 데이터 전달 방법에서 참여 RSU 노드의 수와 시간에 따른 에너지의 변화를 시뮬레이션하기 위한 방법을 제시하고자 한다. 그리고 수치적 분석 결과와 그리고 이를 기반으로 하여 실제 유사 시스템의 구현 시 고려해야 할 사항을 제시하고자 한다.

III. 확률 기반의 데이터 전달 방법

본 논문에서는 제한된 에너지원으로 동작하는 RSU로 구성된 V2I 형태의 VANET 시스템에서 확률에 기반한 데이터 전달 방법[1]을 고려한다. RSU 간의 직접적인 통신은 불가능하여 지나가는 차량 노드를 전달 매개체로 이용하여 데이터를 교환한다. 또한, 자유공간 경로 손실 모델[10]에 따라 각 RSU의 유효 통신 환경은 자신의 잔여 가용 에너지양의 제곱근에 비례한다고 가정한다. 또한, RSU와 차량 노드간의 통신을 매체접근 제어(Medium Access Control)가 하위 계층에서 적절히 제공된다고 가정한다. 또한, 본 논문에서 다루는 실제 또는 목표로 하는 데이터 전달 시간은 하위의 매체 접근 제어 계층의 동작에 의한 지연 시간에 비하여 현저하게 큰 값을 가지므로 후자의 지연 시간은 무시하기로 한다.

확률에 기반한 데이터 전달 방법을 RSU와 차량 노드의 관점에서 간단히 정리하면 다음과 같다. 데

이터를 보유한 RSU는 자신의 통신 영역 이내에서 차량 진행 방향으로 가장 앞에 위치한 차량 노드도 데이터를 전달한다. 그리고 데이터를 보유한 차량 노드는 새로운 RSU 영역에 진입할 때마다 특정 확률로 RSU로의 업링크 전송 여부를 결정한다. 데이터를 보유한 차량 노드가 RSU로 데이터의 업링크 전송을 하는 경우 데이터를 수신한 RSU는 즉시 자신의 영역 내에서 가장 앞에 위치한 차량 노드도 데이터를 송신한다. 이에 따라 RSU로의 업링크 전송 수행은 데이터 전달 시간의 감소의 효과로 이어진다.

이 방법은 다양한 크기의 통신 반경을 가지는 RSU 중에 통신 반경이 큰 RSU들을 우선적으로 데이터 전달에 참여시키는 것이 데이터 전달 시간의 감소 측면에서 유리할 것이다. 그리고 이는 데이터 전달 시간의 감소 효과의 증대와 동시에 상대적으로 에너지값이 낮은 RSU들의 에너지 사용을 방지하는 장점이 있다. 이에 따라 데이터를 보유한 차량 노드가 RSU i 통신 영역으로 진입할 경우 차량 노드의 데이터 업링크 전송 확률 $P(i)$ 는 식 (1)과 같이 정의한다[1].

$$P(i) = \begin{cases} \min\left(1, \beta \frac{C(i)}{C_{MAX}}\right), & \text{if } E_T(i,t) \geq T_R \\ 0, & \text{if } E_T(i,t) < T_R \end{cases} \quad (1)$$

여기서 $C(i)$ 는 RSU i 의 통신 반경을, C_{MAX} 는 RSU가 가질 수 있는 통신 반경의 최댓값을 의미하며, β 는 성능 보장 비례상수이며, $E_T(i,t)$ 는 데이터 보유 차량 노드가 어떠한 RSU에서도 데이터 업링크 전송을 수행하지 않으면서 목적지 RSU 까지 이동하여 데이터 전달을 수행한다고 가정할 경우의 데이터 전달 시간을 의미한다. 그리고 T_R 은 시스템이 요구하는 데이터 전달 시간의 목표값이다.

본 논문에서는 확률 기반의 데이터 전달 방법을 적용한 경우 시간의 흐름에 따른 RSU들의 성능 척도의 분석 방법을 제시하며, 수치적 분석을 통하여 실제 데이터 전달에 참여하는 RSU의 개수와 모든 RSU에서의 잔여 에너지 값의 변화를 분석하고자 한다. 또한 이러한 결과를 기반으로 실제 시스템에 적용시 고려해야 할 사항을 제시하고자 한다.

IV. 성능 지표의 비교와 분석

4.1 가정 및 분석 방법

본 논문에서는 참고문헌 [1]에서와 동일한 시뮬레이션 환경을 가정하였다. 즉, 추월이 가능한 3개의 차량의 노변에 D 미터의 균등 간격으로 N 개의 RSU가 배치되었으며, 이들은 각각 독립적인 에너지를 이용한다고 가정한다. 그리고 각각의 RSU는 차량의 이동 방향으로 1, 2, 3, ..., N 의 고유 번호가 차례대로 부여되어 있다. RSU들의 초기 에너지는 (270, 3270) (Joule) 구간의 균일분포를 가지는 무작위 값으로 설정하였으며, 제안하는 방법에 따라 RSU의 전송 반경이 결정되도록 하였다.

차량 노드들의 시간에 따른 위치와 차선 변경 등의 데이터는 SUMO(Simulation of Urban MObility) 시뮬레이터[10]를 이용하여 획득한 값을 이용하였으며, 이때 차량 최대 속도는 30m/s, 가속도와 감속도는 동일하게 $0.6m/s^2$ 으로 설정하였다. 이는 실제 도로상에서의 관측을 통한 차량 흐름의 분석 결과[11]를 반영한 값이다. 데이터는 발생지와 목적지는 각각 RSU 1과 RSU N 으로 가정하였다. 이러한 조건 하에서 하나의 성능 지표값을 얻기 위하여 100회의 데이터 전달 과정을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 실시하였으며, 각 전달과정의 시뮬레이션에서 RSU들의 초기 에너지 값이 무작위로 결정되므로 단일 RSU 간의 평균 전달 시간의 분석에는 충분한 가정이라 판단된다.

4.2 데이터 전달 참여 RSU 수의 분석

단일의 데이터 전달에 있어서 실제 데이터 전달에 참여하는 RSU들의 개수의 분석은 $N=10$ 인 경우, 즉 데이터의 발생지와 목적지 RSU 사이에 8개의 RSU가 존재하는 경우에 대하여 실시하였다.

그림 1과 그림 2는 다양한 β 값에 대하여 각각 시간당 2,000 대와 12,000 대의 차량이 지나가는 경우에 대하여 데이터 전달에 실제로 참여한 RSU의 수를 보여주고 있다. 편의상 데이터 전달시간의 목표값은 홉당 전달 시간, 즉 목표 전달시간을 $(N-1)$

로 나눈 값으로 표시하였다.

그림 1과 그림 2를 살펴보면, 확률 기반의 데이터 전달 방법의 경우 전달 시간의 목표값과 β 값에 따라 0과 8 사이의 값을 가짐을 알 수 있다. 전체적으로 전달 시간의 목표값이 증가할수록, 그리고 β 값이 감소할수록 실제 데이터 전달에 참여하는 RSU의 수가 감소함을 확인할 수 있다. 참고로 OVS-OBDM 기법[6]과 브로드캐스트 기법[7]에서의 데이터 전달의 참여 RSU 개수는 데이터 전달 시간의 목표값에 무관하게 각각 0과 8이다.

전달 시간의 목표값이 증가할수록 참여하는 노드의 수가 감소하는 이유는 목표값이 커질수록 더욱 많은 RSU에서 업링크 전송 절차를 생략하여도 전달 시간의 목표값을 만족시킬 가능성이 크기 때문이다. 그리고 고정된 β 에 대하여 전달 시간의 목표값에 무관하게 참여 RSU의 개수가 일정한 값을 가지는 구간이 있음을 확인할 수 있다. 이는 RSU의 참여만으로는 데이터 전달의 목표값을 만족시키지 못하는 구간에 해당된다. 하지만 데이터 전달 시간의 목표값이 충분히 커지게 되면 해당 β 값에 의하여 결정되는 참여 RSU를 이용하여 충분히 목표값을 달성할 수 있다. 이에 따라 특정 전달시간 목표값보다 큰 경우는 그림과 같이 참여하는 RSU의 수가 감소하는 양상을 보이게 된다.

또한, β 값이 감소할수록 실제로 데이터 전달에 참여하는 RSU가 감소함을 알 수 있다. 이는 β 값이 식 (1)과 같이 RSU로의 업링크 전송 확률을 결정하는 직접적인 비례변수이기 때문이다. 하지만 참여 RSU의 수를 줄이기 위하여 β 값을 크게 감소시키면 참여 RSU 수가 너무 감소하여 데이터 전달 시간의 목표값을 만족시킬 수가 없다. 따라서 데이터 전달의 목표값이 주어졌을 때 β 의 최적값은 그림 1과 2에서 데이터 전달에 참여하는 RSU의 수가 평평한 구간에서 감소하기 시작하는 시점이라고 판단할 수 있다. 예를 들어, 차량이 시간당 2,000대의 밀도인 경우(그림 1)를 살펴보면 데이터 전달 시간의 목표값이 58초인 경우는 $\beta=1.5$ 가 적정하다고 판단할 수 있다.

차량의 밀도의 변화에 따른 데이터 참여 RSU의 수를 분석하기 위하여 시간당 12,000 대의 차량이

지나가는 경우에 대하여 동일한 시뮬레이션을 실시하였으며, 이의 결과는 그림 2와 같다. 이를 그림 1과 비교해 보면 전체적인 변화의 양상은 서로 유사함을 알 수 있다. 다만, 실제 참여하는 RSU의 수가 차량의 밀도나 낮은 경우에 비하여 다소 증가함을 보여주는데 이는 차량 밀도의 증가로 인하여 차량들의 평균 속도가 다소 감소하며, 이에 따라 데이터 전달 목표값을 만족시키기 위하여 더욱 많은 수의 RSU가 데이터 전달 과정에 참여함에 기인한다.

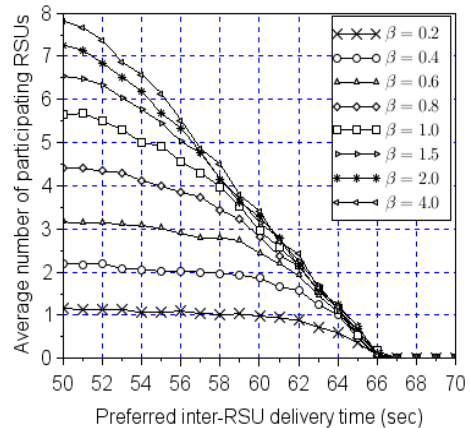


그림 1. 데이터 전달 시간 목표값에 따른 데이터 전달에 참여하는 RSU의 수(차량 밀도: 2,000대/시간)
 Fig. 1. Number of participating RSUs versus desired data delivery time (Traffic density : 2,000 vehicles/hour)

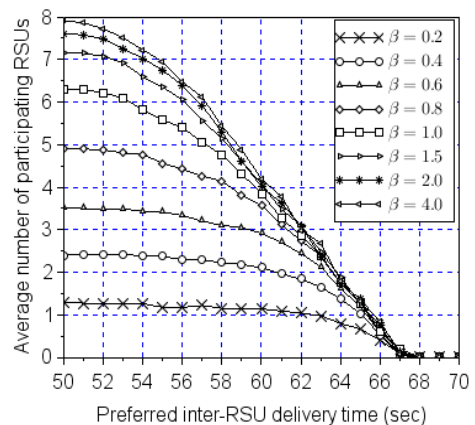


그림 2. 데이터 전달 시간 목표값에 따른 데이터 전달에 참여하는 RSU의 수 (차량 밀도: 12,000대/시간)
 Fig. 2. Number of participating RSUs versus desired data delivery time (Traffic density : 12,000 vehicles/hour)

4.3 RSU 잔여 에너지 변화의 분석

시간의 흐름에 따른 연속적인 데이터들의 전달에 의한 RSU의 잔여 에너지 값의 평균과 표준편차를 분석하였다. 하나의 데이터는 1.25MBytes 길이를 가지며, 발생한 데이터가 완전히 목적지까지 도착한 이후에 다음 데이터가 발생된다고 가정한다. 또한, 시간의 흐름에 따른 RSU에서의 에너지 보충이나 하베스팅은 없다고 가정한다. 그리고 데이터의 송수신에 의하여 소비되는 에너지의 크기는 두 노드 사이의 거리와 데이터 크기에 관계하는 에너지 소비량의 식에 근거하였다[12]. 즉, 길이 b 비트의 데이터를 x 미터 위치의 수신 노드로 전송하기 위한 에너지 $E_{TX}(b, x)$, 그리고 b 비트를 수신에 필요한 에너지 $E_{RX}(b)$ 는 식 (2) 및 식 (3)으로 표현할 수 있으며, 여기에 사용한 파라미터는 $E_{elec} = 50\text{nJ}$, $\epsilon_{fs} = 10 \text{ pJ/bit/m}^2$ 으로 설정하였다[9].

$$E_{TX}(b, x) = bE_{elec} + b\epsilon_{fs}x^2 \quad (2)$$

$$E_{RX}(b) = bE_{elec} \quad (3)$$

OVS-OBRM 방법에서는 항상 발신지와 목적지 RSU에서만 에너지 소비가 있으며 이들 사이에 위치한 RSU에서의 잔여 에너지 값에는 변함이 없다. 따라서 OVS-OBRM 방법에 대한 분석은 수행하지 않았으며 브로드캐스트 방법[7]에 대해서만 성능 비교 분석을 실시하였다. 확률 기반 데이터 전달 기법은 특정 구간에서 일부의 RSU만을 이용하여 데이터 전달의 목표값을 만족시킴을 알 수 있다

그림 3은 $\beta=1.0$, $T_R=51$ 인 경우에 대하여 50개의 연속적인 데이터 전송에 따른 시간 흐름에 대한 RSU의 잔여 에너지의 평균의 변화를 보여주고 있다. X-축의 숫자는 데이터의 순차적 번호를 의미한다. 확률 기반의 데이터 전달 방법은 모든 RSU가 데이터 전송에 참여하는 브로드캐스트 방법[7]에 비하여 항상 큰 에너지 평균값을 가짐을 확인할 수 있다. 두 방법에서의 평균 에너지 값의 차이가 시간이 지날수록 커짐을 확인할 수 있어 확률 기반의 데이터 전달 방법이 기존의 브로드캐스트 방법에 비하여 전반적인 평균 에너지 측면에서 유리함을

알 수 있다. 구체적으로 제안한 방법에서의 평균 잔여 에너지 값은 브로드캐스트 방법에 비하여 2000대/시간의 차량 밀도의 환경에서는 110%, 12000대/시간의 차량밀도 환경에서는 108%의 향상이 있음을 확인할 수 있다.

그리고 차량 노드의 밀도가 증가하면 RSU의 평균 잔여 에너지 크기가 전반적으로 감소함을 확인할 수 있다. 이는 차량의 밀도가 높아지면 이들의 운행 속도가 감소하게 되며, 결과적으로 데이터 전달의 목표값을 만족시키기 위하여 보다 많은 RSU들이 데이터 전달에 참여하여 에너지를 소비하는 RSU의 수가 증가하기 때문이다.

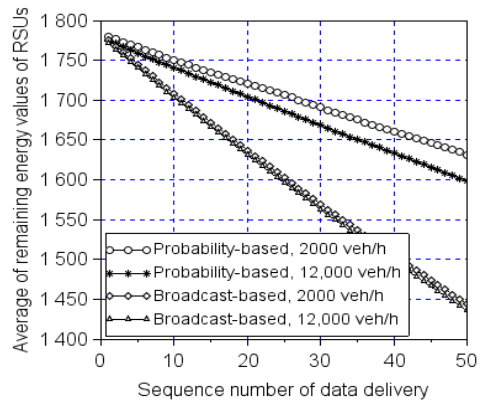


그림 3. 연속적인 데이터 전달에 따른 RSU 잔여 에너지의 평균값
Fig. 3. Average of RSUs' remaining energy versus consecutive data deliveries

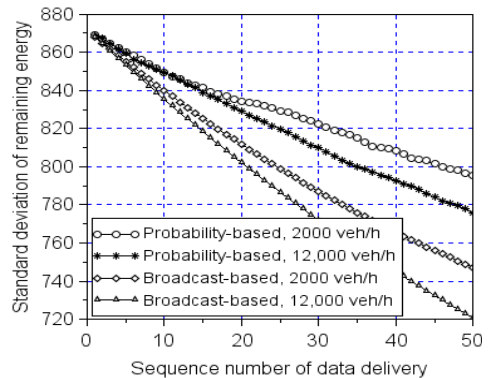


그림 4. 연속적인 데이터 전달에 따른 RSU 잔여 에너지의 표준편차
Fig. 4. Standard deviation of RSUs' remaining energy versus consecutive data deliveries

그림 4는 전달 데이터의 순차 번호에 따른 RSU들의 에너지 값의 표준편차를 보여주고 있으며, 시간이 지남에 따라 표준편차의 값이 감소함을 알 수 있다. 특이한 점은 확률 기반의 데이터 전달 방법이 브로드캐스트 방법에 비하여 전반적으로 큰 표준편차를 가진다는 사실이다. 이는 RSU의 잔여 에너지와 통신 반경에 대한 가정에 의하여 데이터 전달에 의하여 소비된 에너지의 크기는 그의 잔여 에너지에 비례하기 때문이다. 즉, 모든 RSU가 데이터 전달에 참여하는 브로드캐스트 방법에서는 모든 RSU가 각각 자신의 잔여 에너지 크기에 비례하는 비율로 에너지 값이 감소하여 상대적으로 낮은 표준편차를 가진다.

확률 기반 데이터 전달 방법에서는 에너지 값이 상대적으로 높은 일부 RSU에서만 데이터의 전달이 이루어지는 경향이 크고 이들에서만 에너지가 감소하여 전체적인 표준편차는 다소 높게 나타난다. 하지만, 실제 확률 기반의 데이터 전달 방법은 에너지가 상대적으로 낮은 RSU들을 데이터 전달에서 배제시킴으로서 이들의 불필요한 에너지 낭비를 막는 효과가 있기 때문에 단순히 잔여 에너지의 표준편차의 성능 척도의 관점에서 불리하다는 결론을 내릴 수는 없다. 또한 지속적으로 에너지 보충이 일어나는 실제 시스템에서는 잔여 에너지가 작은 RSU는 에너지 소비를 하지 않으면서 에너지 증가가 일어날 경향이 크기 때문에 확률 기반의 데이터 전달 방법에서의 잔여 에너지 값의 평균과 표준 편차의 성능 척도는 그림 3과 그림 4에서의 분석 결과보다는 우수할 것으로 예측된다.

4.4 실제 시스템 구현시 고려 사항

위의 결과를 바탕으로 제한된 에너지원으로 동작하는 RSU로 구성된 VANET에서 RSU 간의 데이터 교환을 위한 실제 시스템에서 고려해야할 사항들을 아래와 같이 정리할 수 있다.

첫째, 제한된 에너지원을 사용하는 RSU로 구성된 V2I 형태의 VANET 환경에서는 에너지가 큰 RSU들을 우선적으로 데이터 전달에 참여시키고 반대로 에너지가 작은 RSU들은 데이터 전달에서 배

제시키는 것이 바람직하다. 또한, RSU들의 참여도 정도는 데이터 전달 시간의 목표값, 교통 상황, 시스템 환경 등의 다양한 조건에 따라 적절하게 결정하여야 할 것이다.

둘째, 경로상의 대부분 혹은 모든 RSU가 데이터 전달에 참여하도록 하여도 데이터 전달 시간의 목표값을 만족시키지 못하는 상황이 발생할 수 있다. 이 경우 RSU들의 에너지 용량이나 에너지 수집률을 증가시켜 통신 반경을 크게 하는 것이 적절하다. 이웃하는 RSU 사이의 거리를 줄이는 방법도 있으나 이는 시스템 구현 이후에는 사실상 불가능하기 때문에 실제 환경과 다양한 요구조건을 반영하여 전원 관련 사양을 결정해야 할 것이다.

셋째, 확률 기반의 데이터 전달 기법에서는 RSU의 통신 반경이 그의 잔여 에너지 값의 제곱근에 비례하며 RSU 참여 확률은 통신 반경에 비례하도록 설정하였다. 이외에 다양한 기준으로 RSU의 참여 여부를 결정할 수 있으며, 이는 시스템 환경과 에너지 용량 등의 여러 변수에 따라 다양한 방법으로 적용될 수 있다. 더불어 이러한 방법들을 실제 환경에서 다양한 조건에서의 실험을 통하여 최적의 방법을 결정할 수 있을 것이라 판단된다.

V. 결 론

제한적인 에너지원에 의존하여 동작하는 RSU들로 구성된 V2I 형태의 VANET 시스템에서 각 RSU의 잔여 에너지와 이에 관련한 데이터 업링크 전송 확률에 근거한 데이터 전달 기법이 제안되었다. 본 논문에서는 제안된 방법이 적용된 경우 실제로 데이터 전달에 참여하는 RSU의 수와 시간의 진행에 따른 RSU들의 에너지 변화를 분석하였다. 결과적으로 확률 기반의 데이터 전달 기법은 기존의 방법에 비하여 적은 수의 RSU 참여를 유지하면서도 시스템의 요구하는 전달 시간의 목표값을 달성할 수 있는 구간을 확보할 수 있음을 확인하였다. 그리고 시간에 따른 잔여 에너지 값의 측면에서도 기존의 방법에 비하여 10% 정도의 성능 향상을 확인하였다. 또한 분석 결과를 기반으로 실제 시스템에 적용 시 고려해야할 사항을 도출하여 정리하였다.

References

[1] B. Suh, "Probability-Based Data Delivery Strategy for V2I Systems with Energy-Constrained RSUs", The Journal of Korean Institute of Information Technology, Vol. 16, No. 1, pp. 87-93, Jan. 2018.

[2] Q. Wang, P. Fan, and K. B. Letaief, "On the joint V2I and V2V scheduling for cooperative VANETs with network coding", IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol. 61, No. 1, pp. 62-73, Jan. 2012.

[3] 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.

[4] L. Huang, H. Jiang, Z. Zhang, and Z. Yan, "Optimal traffic scheduling between roadside units in vehicular delay-tolerant networks", IEEE Trans. Vehicular Technology, Vol. 64, No. 3, pp. 1079-1094, Mar. 2015.

[5] 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.

[6] 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.

[7] 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.

[8] 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.

[9] W. S. Atoui, M. A. Salahuddin, W. Ajib, and M. Boukadoum, "Scheduling Energy Harvesting Roadside Units in Vehicular Ad Hoc Networks", Proceedings of 2016 IEEE 84th Vehicular Technology Conference (VTC-Fall), pp. 1-5, Sep.

2016.

[10] SUMO - Simulation of Urban MOBility, available at <http://sumo.dlr.de>, [accessed: Sep. 3, 2018]

[11] 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.

[12] 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.

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 교수

관심분야 : 컴퓨터 네트워크, 무선 네트워크