DBpia

논문 16-41-12-42 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '16-12 Vol.41 No.12
https://doi.org/10.7840/kics.2016.41.12.1969

버스 정류소 주변에서 자동차-이동기지국 (V2MR) 통신의 연결시간에 대한 성능분석모형

정 한 유◆°, 막달레나 트리 푸르나닝타스*, 응웬 호아 흥*

Model for the Connection-Time of Vehicle-to-Mobile RSU (V2MR) Communications Near a Bus Station

Han-You Jeong◆°, Magdalena Trie Purnaningtyas*, Hoa-Hung Nguyen*

요 약

자동차 통신망의 구축비용을 획기적으로 절감하기 위해 자동차 통신망과 이동통신망을 연결하는 기지국을 대중교통수단인 버스에 설치한 자동차-이동기지국 (Vehicle-to-Mobile Roadside Unit, V2MR) 통신에 대해 연구한다. 자동차-이동기지국 통신에서 자동차들은 이동기지국에 애드 혹 연결을 설정하여 연결성을 크게 향상한다. 본 논문에서는 동일한 경로를 주행하는 자동차들과 이동기지국 간의 통신연결 시간에 대한 새로운 분석모형을 제시한다. 자동차 통신망에서 연결시간은 매우 동적이고 예측하기 힘들기 때문에, 본 논문에서 제안하는 분석모형은 자동차-이동기지국 간의 통신연결 시간을 예측하기 위한 토대를 제공할 수 있다. VEINS 시뮬레이션을 통해 수집한 실험결과를 통해 제안하는 성능분석모형이 V2MR 통신연결시간 추정 오차를 약 1 퍼센트 이내로 줄일 수 있음을 보인다. 또한, V2MR 통신이 V2R 통신에 비해 통신연결 시간을 약 3.85배 증가시킬 수 있음을 보인다.

Key Words : Mobile RSU (MR), Vehicle-to-MR Communications, Connection Time, Performance Analysis, VEINS Simulation

ABSTRACT

We study the connection time of vehicle-to-mobile roadside unit (V2MR) communications which can reduce the significant cost of the fixed RSU by installing a gateway of mobile network into a transit bus called the mobile RSU. In the V2MR communications, the connectivity of a commute vehicle can be improved via ad-hoc connection to a nearby mobile RSU. In this paper, we present a new analysis model to estimate the connection time between a commute vehicle and a mobile RSU, when there is a bus station in the overlapping route. Since the connection time between two vehicles is highly dynamic and unpredictable, our analysis will provide a fundamental basis of connection-time estimation of V2MR communications. Numerical results obtained from VEINS simulation show that our analysis can estimate the connection time of V2MR communications with the average error below 1.0 percent. Moreover, we show that the average connection time of V2MR communications can be extended to approximately 3.85 times of that of V2R communications.

※ 이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음
◆° First and Corresponding Author: Department of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, hyjeong@pusan.ac.kr, 종신회원
* Department of Electrical and Computer Engineering, Pusan National University, magdalena.trie@gmail.com, nguyenhoahungit@gmail.com, 학생회원
논문번호 : KICS2016-10-308, Received October 14, 2016; Revised November 17, 2016; Accepted November 18, 2016

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

최근 자동차의 주행 안전성을 향상하고 교통 체증을 완화하기 위한 자동차 애드 혹 네트워크 (Vehicular Ad-Hoc Networks, VANET)에 대한 관심이 크게 증가하고 있다[1-4]. VANET에서는 IEEE 802.11p 표준[5] 기반 통신장비를 장착한 자동차가 다른 자동차들과 애드 혹 연결을 설정하는 자동차 간 (Vehicle-to-Vehicle, V2V) 통신과 도로변에 설치된 노변 기지국(Roadside Unit, RSU)과 연결을 설정하는 자동차-노변기지국(Vehicle-to-RSU, V2R) 통신을 통해 자동차의 이동상태, 노면상태, 교통사고 정보 등을 주변 자동차들에게 방송할 수 있다[6,7].

자동차와 일반적으로 고정된 위치에 설치된 노변기지국은 자동차 통신망과 기존 통신망을 연결하기 위한 관문 (Gateway) 역할을 담당한다[1,2]. 그러나, 노변기지국의 높은 설치 및 운용 비용은 자동차 통신망에 대한 투자를 망설이게 하는 주요 원인이다[1,3,4]. 이에 더해, 고정된 위치의 노변기지국과 높은 이동성을 가지는 자동차 간의 짧은 V2R 통신연결 시간은 노변기지국의 비용효율성을 더욱 낮추어 자동차 통신망의 확산을 저해한다.

본 논문에서는 기존 통신망과의 연결성을 제공하기 위해 자동차 통신망의 기지국을 대중교통수단인 버스에 설치한 이동기지국 (Mobile RSU, MR)과 자동차 간의 자동차-이동기지국 (Vehicle-to-Mobile RSU, V2MR) 통신을 고려한다. 이동기지국은 노변기지국에 비해 다음과 같은 장점을 가지고 있다. 첫째, 이동기지국은 버스에 장착된 전원 장치와 이동통신망 단말을 활용하기 때문에 설치와 운용 비용이 노변기지국에 비해 낮다. 둘째, 대중교통에 대한 수요와 도로 정체 등을 반영하여 버스 배차 간격을 조정하기 때문에 교통상황에 따라 적응적으로 VANET의 수요에 대응할 수 있다. 셋째, 동일한 방향으로 진행하는 이동기지국과의 V2MR 통신은 연결시간을 크게 증가시켜 V2MR 통신의 비용효율성을 향상한다.

VANET의 주요한 특징 중 하나는 자동차의 높은 이동성으로 인한 짧고 동적인 통신연결 시간이다. 그러나, 대부분의 기존 연구들은 자동차 통신망에서 경로설정 문제를 주로 다루고 있다[6-8]. 논문 [9]에서는 빈번한 연결의 설정과 해제가 이루어지는 자동차 환경에서 인터넷 연결을 보다 효율적으로 제공하기 위한 인터넷 프록시 기술인 Thedu 시스템을 제안하였다. 논문 [10]에서는 미국 보스턴에서 약 290 시간의 운전시간 동안의 관측 결과를 통해 고정된 위치의 Wi-Fi 중계기에 대한 평균 접속시간이 약 75 초이고 평균 연결시간이 약 13초임을 보였다. 논문 [11]에서는 대기이론을 활용하여 V2V 통신의 연결거리, 확률분포, 이웃 차량의 수를 추정하는 성능분석 모형을 제안하였다. 그러나, 버스 정류소를 고려하여 자동차와 이동기지국 간의 V2MR 통신에 대한 성능분석모형은 알려진 바가 없다. 본 논문에서는 V2MR 통신에서 자동차와 이동기지국 간의 연결시간 문제를 고려한다.

본 논문은 버스 정류소가 있는 직선도로구간에서 자유흐름(Free Flow) 상태의 자동차와 이동기지국 간 V2MR 통신의 연결시간에 대한 새로운 성능분석 모형을 제시한다. 제안하는 수학적 모형의 주요 특징은 버스정류소 주변에서 버스의 이동성을 5 개 구간으로 구분하여 정의하고, V2MR 통신의 연결설정 시점의 이동기지국 위치에 따라 자동차와 이동기지국 간의 거리를 추정하는데 있다. 구체적으로, 제안하는 모형은 V2MR 통신연결의 시작/종료 시점의 이동기지국 위치에 따라 7 개의 통신연결 형태들로 구분하고, 그 경계점과 V2MR 통신연결 시간을 계산하기 위한 수학적 모형을 도출한다. VEINS[12] 시뮬레이션을 통해 제안하는 모형이 약 1 퍼센트 내외의 오차 범위에서 V2MR 통신연결 시간을 추정함을 보였다. 또한, V2MR 통신이 V2R 통신에 비해 통신연결 시간을 약 3.85배 증가시킬 수 있음을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 우선, V2MR 통신 모형을 2 장에서 소개한다. 3 장에서는 V2MR 통신 연결시간 분석 모형을 제시한다. 4 장에서는 VEINS 시뮬레이터를 활용한 실험 결과에 관해 토의하고, 5 장에서 본 논문의 결론을 제시한다.

Ⅱ. V2MR 통신 모형

본 장에서는 버스 정류소가 있는 도로구간에서 자유 흐름으로 이동하는 자동차와 이동기지국 간의 V2MR 통신 연결시간 분석을 위한 모형을 제시한다. 그림 1의V2MR 통신 모형은 길이가 L인 직선도로구간에서 원점($X=0$)을 버스 정류소의 위치로 설정하였다. 시각 t에서 자동차와 이동기지국의 위치를 각각 $X_{CV}(t)$와 $X_{MR}(t)$로 표기한다. 즉, 자동차와 이동기지국 간의 거리를 $x(t)=X_{CV}(t)-X_{MR}(t)$ 로 나타낼 수 있다.

시각 t에서 자동차와 이동기지국의 속력을 각각 $V_{CV}(t)$와 $V_{MR}(t)$로 표기한다. 이들 간의 상대속력은 $v(t)=V_{CV}(t)-V_{MR}(t)$ 로 주어진다. 제안 모형

www.dbpia.co.kr

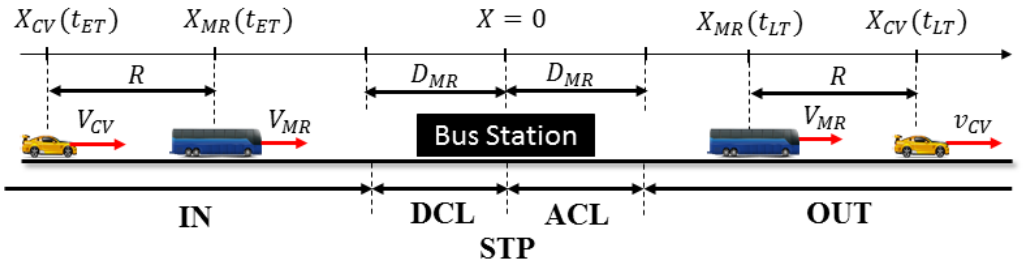

그림 1. 버스정류소 주변에서 V2MR 통신 모형
Fig. 1. Model for V2MR Communications near Bus Station

에서 자동차는 도로구간 전체에서 자유흐름속력 V_{CV}로 이동함을 가정한다. 반면, 버스정류소 주변에서 버스의 이동성은 아래의 구간들로 구분하여 모형화한다.

· 진입구간(IN, $X_{MR}(t) \in (-\infty, -D_{MR})$): 버스정류소와 충분한 거리가 있는 이동기지국은 자유흐름속력 V_{MR}로 이동한다.
· 감속구간(DCL, $X_{MR}(t) \in [-D_{MR}, 0)$): 감속구간에서 이동기지국은 버스정류소에 정차할 때까지 가속도가 $-a$인 등가속도 운동을 수행한다.
· 정차구간(STP, $X_{MR}(t) = 0$): 버스 승객을 태우고 내리기 위해 이동기지국은 T_{ST}동안 정류소에서 정차한다.
· 가속구간(ACL, $X_{MR}(t) \in (0, D_{MR}]$): 이동기지국은 자유흐름속력을 회복할 때까지 가속도가 a인 등가속도 운동을 수행한다.
· 이탈구간(OUT, $X_{MR}(t) \in (D_{MR}, \infty)$): 이탈구간에서 이동기지국은 자유흐름속력으로 이동한다.

V2MR 통신 연결시간 분석 모형에서 자동차의 자유흐름속력이 항상 이동기지국의 자유흐름속력보다 크다고 가정한다($V_{CV} > V_{MR}$). 가속구간과 감속구간에서 이동기지국은 등가속도 운동을 수행하기 때문에 이들 구간의 길이 D_{MR}을 다음과 같이 주어진다.

$$D_{MR} = \frac{v_{MR}^2}{2a} \tag{1}$$

V2MR 통신거리를 R이라고 하면 $|x(t)| \le R$ 일 때 V2MR 통신 연결이 가능하다. V2MR 통신 연결의 시작(Encounter Time, ET)과 종료 (Leaving Time, LT) 시각을 각각 t_{ET}와 t_{LT}로 표기하면, $V_{CV} > V_{MR}$ 이므로 $x(t_{ET}) = -R$, $x(t_{LT}) = R$로 나타낼 수 있다. 마지막으로 본 논문에서 구하고자 하는 V2MR 통신의 연결시간을 $C_{V2MR} = t_{LT} - t_{ET}$로 정의한다. 버스정류소가 없는 자유흐름 상황에서 자동차와 이동기지국 간의 V2MR 통신의 연결시간은 다음과 같이 주어진다.

$$C_{V2MR}^{FF} = \frac{x(t_{LT}) - x(t_{ET})}{v(t)} = \frac{2R}{V_{CV} - V_{MR}} \tag{2}$$

Ⅲ. V2MR 통신의 연결시간 분석

본 장에서는 V2MR 통신의 연결시간을 분석하기 위한 성능분석모형을 제안한다. 3.1 절은 V2MR 통신 연결시작 시점의 이동기지국 위치 $X_{MR}(t_{ET})$를 기준으로 V2MR 통신의 연결 형태를 7가지 경우로 구분하고, 그 경계점을 도출한다. 3.2 절은 각각의 경우에 대하여 V2MR 통신의 연결시간에 대한 분석 모형을 제시한다.

3.1 V2MR 통신의 경계점 분석

그림 2는 버스정류소 주변에서 시간 t와 자동차 및 이동기지국의 위치 X에 관한 그래프를 도시하였다. 그림에서 이동기지국의 이동경로를 청색 파선(Dashed Line)으로, 자동차의 이동경로를 녹색 사선으로, V2MR 통신거리를 적색 수직 점선으로 표시하였다. 그리고, 그림의 왼편에는 이동기지국의 5가지 이동성 구간을 표시하였다. 마지막으로, 자동차가 이동기지국과 V2MR 통신이 가능한 구간을 녹색 실선으로 나타내고, 그 이외의 구간은 녹색 점선으로 나타내었다.

본 절에서는 이동기지국의 경로를 고정하고, 자동차의 이동경로를 수직으로 이동하여 버스정류소 주변에서 모든 V2MR 통신의 연결 형태를 정의하고 그 경계조건을 도출한다. 본 경계점 분석 모형에서 V2MR 통신연결 형태는 시각 t_{ET}와 t_{LT}에서 이동기지국 위치가 속한 이동성 구간의 순서쌍(Ordered Pair)으로

www.dbpia.co.kr

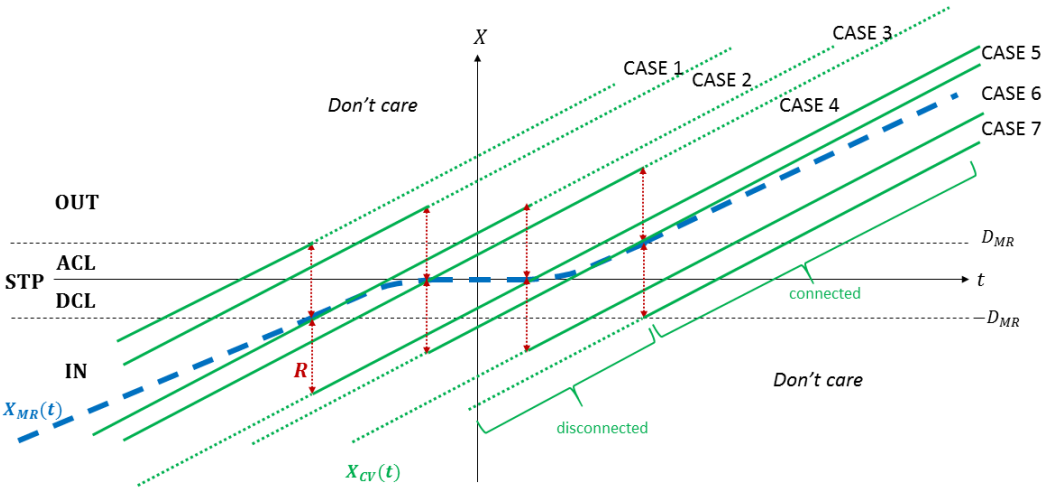

그림 2. 버스정류소 주변에서 V2MR 통신의 경계점 분석 모형
Fig. 2. Model for the Boundary Analysis of V2MR Communications near Bus Station

표시한다. 본 절에서는 자유흐름 시 V2MR 통신 연결 시간(C_{V2MR}^{FF})을 가지는 (IN, IN)과 (OUT, OUT)을 *Don't Care* 상태로 제외한 (IN, DCL) - CASE 1, (IN, STP) - CASE 2, (IN, ACL) - CASE 3, (IN, OUT) - CASE 4, (DCL, OUT) - CASE 5, (STP, OUT) - CASE 6, (ACL, OUT) - CASE 7의 7가지 순서쌍을 고려한다. 각각의 경우에 대한 경계 조건을 도출하기 위한 기준으로 V2MR 통신 연결설정 시점의 이동기지국 위치 $X_{MR}(t_{ET})$를 사용한다. 아래의 CASE k에서 $X_{MR}(t_{ET})$의 최소값과 최대값을 각각 $X_{MR}^{\min,k}$와 $X_{MR}^{\max,k}$로 표기한다.

1) CASE 1 (IN, DCL): 그림 2에서 이동기지국이 DCL 구간에 있을 때 $x(t) \geq R$을 만족해야 하므로 경계 조건은 $-D_{MR} \leq X_{MR}(t_{LT}) < 0$이다. 이동기지국이 IN/DCL 구간에서 각각 등속도/등가속도 운동을 한다. DCL 구간에서 차량 간 거리의 변화를 $x_{DCL} = (V_{CV} + \frac{1}{2}V_{MR})\frac{V_{MR}}{a}$로 나타내면

$$X_{MR}^{\min,1} = -V_{MR} \cdot C_{V2MR}^{FF} - D_{MR},$$
$$X_{MR}^{\max,1} = -\frac{2R - x_{DCL}}{V_{CV} - V_{MR}}V_{MR} - D_{MR} \quad (3)$$

로 주어진다.

2) CASE 2 (IN, STP): 이동기지국이 STP 구간에 있을 때 $x(t) \geq R$을 만족해야 하므로 경계 조건은 $X_{MR}(t_{LT}) = 0$이다. 이동기지국이 STP 구간에서 정지하기 때문에 차량 간 거리의 변화는 $x_{STP} = T_{ST} \cdot V_{CV}$로 주어진다.

$$X_{MR}^{\min,2} = X_{MR}^{\max,1},$$
$$X_{MR}^{\max,2} = X_{MR}^{\max,1} + \frac{x_{STP}}{V_{CV} - V_{MR}}V_{MR} \quad (4)$$

3) CASE 3 (IN, ACL): 이동기지국이 ACL 구간에 있을 때 $x(t) \geq R$을 만족해야 하므로 경계 조건은 $0 < X_{MR}(t_{LT}) \leq D_{MR}$이다. 이 때 차량 간 거리의 변화가 x_{DCL}과 동일하므로

$$X_{MR}^{\min,3} = X_{MR}^{\max,2},$$
$$X_{MR}^{\max,3} = X_{MR}^{\max,2} + \frac{x_{DCL}}{V_{CV} - V_{MR}}V_{MR} \quad (5)$$

이다.

4) CASE 4 (IN, OUT): V2MR 통신설정 시점에 이동기지국이 IN 구간에 있어야 하므로

$$X_{MR}^{\min,4} = X_{MR}^{\max,3} < X_{MR}(t_{ET}) < -D_{MR} \quad (6)$$

이다.

5) CASE 5 (DCL, OUT): V2MR 통신설정 시점에 이동기지국이 DCL 구간에 있어야 하므로

$$-D_{MR} \leq X_{MR}(t_{ET}) < 0 \quad (7)$$

www.dbpia.co.kr

이다.

6) CASE 6 (STP, OUT): V2MR 통신설정 시점에 이동기지국이 STP 구간에 있어야 하므로 $X_{MR}(t_{ET})=0$ 이다.

7) CASE 7 (ACL, OUT): V2MR 통신설정 시점에 이동기지국이 ACL 구간에 있어야 하므로

$$0 < X_{MR}(t_{ET}) \le D_{MR} \tag{8}$$

이다.

지금까지 V2MR 통신 연결형태를 구분하기 위한 경계점 분석을 수행하였다. 3.2 절은 본 절에서 도출한 경계점을 기반으로 각 이동성 구간에서의 V2MR 통신연결 시간에 대한 성능분석 모형을 제시한다.

3.2 V2MR 통신의 연결시간 분석 모형

버스정류소 주변에서 V2MR 통신의 연결시간은 각각의 이동성 구간의 V2MR 통신연결 시간의 합으로 나타낼 수 있다.

$$C_{V2MR}=C_{IN}+C_{DCL}+C_{STP}+C_{ACL}+C_{OUT} \tag{9}$$

본 절은 V2MR 통신연결 시작 시점에서 이동기지국 위치 $X_{ET}=X_{MR}(t_{ET})$가 주어졌을 때, 각 이동성 구간에서 V2MR 통신연결 시간을 추정하는 수학적 모형을 유도한다.

1) IN 구간: IN 구간에서는 자동차와 이동기지국은 등속도 운동을 수행한다.

$$C_{IN}=\begin{cases}\dfrac{-D_{MR}-X_{ET}}{V_{MR}}, & X_{MR}^{\min,1} \le X_{ET} < -D_{MR} \\ 0, & otherwise\end{cases} \tag{10}$$

2) DCL 구간: DCL 구간에서 항상 V2MR 통신이 가능한 CASE 2 ~ 4와 일부 구간에서만 V2MR 통신이 가능한 CASE 1, CASE 5로 구분할 수 있다. 자유흐름 상황에서 자동차와 이동기지국의 상대속력을 $v_{FF}=V_{CV}-V_{MR}$로 정의하면,

$$C_{DCL}=\begin{cases}\dfrac{2D_{MR}}{V_{MR}}, & X_{MR}^{\min,2} \le X_{ET} < -D_{MR} \\ \dfrac{2(v_{FF}-\overline{v_{DCL}})}{a}, & X_{MR}^{\min,1} \le X_{ET} < X_{MR}^{\max,1} \\ \sqrt{\dfrac{2X_{ET}}{a}}, & -D_{MR} \le X_{ET} < 0 \\ 0, & otherwise\end{cases} \tag{11}$$

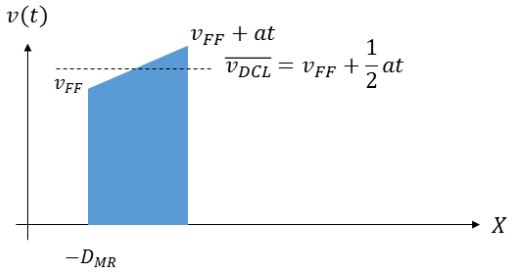

그림 3. CASE 1일 때 DCL 구간에서 상대속력
Fig. 3. Relative speed in the DCL interval of CASE 1

이다. 이 때, $\overline{v_{DCL}}$은 CASE 1에서 DCL 구간의 평균속력으로 그림 3에서 수식 (12)를 만족해야 한다.

$$\begin{aligned}&\overline{v_{DCL}}=v_{FF}+\frac{1}{2}at, \\ &r_{DCL}=2R-C_{IN}\cdot v_{FF}=\overline{v_{DCL}}\cdot t\end{aligned} \tag{12}$$

여기에서 r_{DCL}은 DCL 구간에서 V2MR 통신이 종료될 때까지의 상대거리로 정의한다. 연립방정식의 해 $\overline{v_{DCL}}$는 수식 (13)으로 주어진다.

$$\overline{v_{FF}}=\frac{v_{FF}+\sqrt{v_{FF}^2+2ar_{DCL}}}{2} \tag{13}$$

3) STP 구간: STP 구간에서 항상 V2MR 통신이 가능한 CASE 3 ~ 5와 일부 구간에서만 V2MR 통신이 가능한 CASE 2, CASE 6으로 구분할 수 있다. STP 구간에서 이동기지국은 정차 중이므로

$$C_{STP}=\begin{cases}T_{ST}, & X_{MR}^{\min,3} \le X_{ET} < 0 \\ \dfrac{1}{2}T_{ST}, & X_{ET}=0 \\ \dfrac{r_{STP}}{V_{CV}}, & X_{MR}^{\min,2} \le X_{ET} < X_{MR}^{\max,2} \\ 0, & otherwise\end{cases} \tag{14}$$

이다. 이 때, r_{STP}는 STP 구간에서 V2MR 통신이 종료될 때까지의 상대거리로

$$r_{STP}=r_{DCL}-x_{DCL} \tag{15}$$

로 나타낼 수 있다.

4) ACL 구간: ACL 구간에서 항상 V2MR 통신이 가능한 CASE 4 ~ 6과 일부 구간에서만 V2MR 통신

www.dbpia.co.kr

이 가능한 CASE 3, CASE 7로 구분할 수 있다.

$$C_{ACL}=\begin{cases}\dfrac{2D_{MR}}{V_{MR}}, & X_{MR}^{\min,4}<X_{ET}\le 0\\ \dfrac{2(V_{CV}-\overline{v_{ACL}})}{a}, & X_{MR}^{\min,3}\le X_{ET}<X_{MR}^{\max,3}\\ \dfrac{2D_{MR}}{V_{MR}}-\sqrt{\dfrac{2X_{ET}}{a}}, & 0<X_{ET}\le D_{MR}\\ 0, & otherwise\end{cases} \quad (16)$$

이 때, $\overline{v_{DCL}}$은 CASE 1에서 DCL 구간의 평균 속력으로 그림 4에서 수식 (17)를 만족해야 한다.

$$\begin{aligned}&\overline{v_{ACL}}=V_{CV}-\frac{1}{2}at,\\ &r_{ACL}=r_{STP}-T_{ST}\cdot V_{CV}=\overline{v_{ACL}}\cdot t\end{aligned} \quad (17)$$

여기에서 r_{ACL}은 ACL 구간에서 V2MR 통신이 종료될 때까지의 상대거리로 정의한다. 연립방정식의 해 $\overline{v_{DCL}}$는 수식 (18)로 주어진다.

$$\overline{v_{ACL}}=\frac{V_{CV}-\sqrt{V_{CV}^2-2ar_{ACL}}}{2} \quad (18)$$

5) OUT 구간: CASE 4 ~ 7에서 V2MR 통신연결 시간은 OUT 구간을 진입하는 자동차가 V2MR 통신이 종료될 때까지의 거리를 자유흐름 상대속력 v_{FF}로 나누어 계산한다. 즉,

$$C_{OUT}=\frac{r_{OUT}}{v_{FF}},\ X_{MR}^{\min,4}<X_{ET}\le D_{MR} \quad (19)$$

마지막으로 OUT 구간에서 잔여 상대거리 r_{OUT}은 수식 (20)으로 정의된다.

$$\begin{aligned}r_{OUT}=2R&-C_{IN}\cdot v_{FF}-C_{DCL}\cdot\overline{v_{DCL}}\\&-C_{STP}\cdot V_{CV}-C_{ACL}\cdot\overline{v_{ACL}}\end{aligned} \quad (20)$$

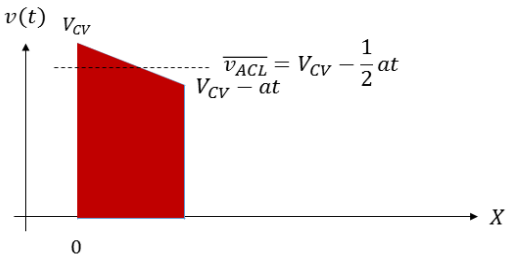

그림 4. CASE 3일 때 ACL 구간에서 상대속력
Fig. 4. Relative speed in the ACL interval of CASE 1

Ⅳ. 시뮬레이션 결과 및 토의

본 장에서는 가장 널리 사용되고 있는 자동차 통신 시뮬레이션 도구인 Vehicles in Network Simulation (VEINS)[12]를 활용하여 시뮬레이션 결과를 수집하였다. VEINS는 네트워크 시뮬레이션 도구인 OMNeT++와 자동차 이동성 시뮬레이션 도구인 SUMO[13] 간의 메시지 교환을 통해 이벤트들을 동기화한다. 6 Km 길이의 6차선 직선도로(편도 3차선)에서 시뮬레이션 결과를 수집한다. 도로의 3 Km 위치에 버스정류소를 배치하였으며 방향마다 버스전용차로를 한 개 설정하였다.

자동차 밀도 $\rho=27$ veh/Km를 만족하도록 도로에 진입하는 자동차들 생성하고, 자동차와 버스의 최대 속력을 각각 $V_{CV}=15$ m/sec와 $V_{MR}=12$ m/sec로 설정한다. 그러나, 시뮬레이션에서 자동차와 이동기지국의 실제 속력은 SUMO의 Car-Following 모델인 Krauβ 모형에 의해 결정된다. 버스의 최대 가/감속도는 $a=2$ m/sec^2, 정류소 정차시간은 $T_{ST}=10$ sec로 설정한다.

도로상의 모든 자동차들은 Wireless Access in Vehicular Networks (WAVE) 표준 기반의 비컨 메시지를 0.1초 간격마다 5.9 GHz 대역 DSRC 제어 채널(Control Channel, CCH)에 방송한다. 시뮬레이션 결과에서 V2MR 통신의 연결시간은 각각의 버스로부터 비컨 메시지를 수신한 시각의 최대값과 최소값의 차이로 계산한다. DSRC 채널의 모형으로 Two-Ray Ground Reflection 모형을 사용하였으며 통신거리 $R=300$ m를 만족하도록 비컨의 송출 전력을 설정한다[14,15].

본 논문에서는 자동차와 이동기지국의 주행방향에 따른 V2MR 통신연결 시간을 수집한다. V2MR 통신과의 성능 비교를 위해 버스정류소에 노변기지국을 설치하고 V2R 통신의 연결시간도 함께 수집한다. 본 논문에서 V2MR 통신의 연결시간 분포를 상자그림(Boxplot)으로 나타낸다. 상자그림에서 상자의 내부의 굵은 실선은 평균값을 나타내며, 상자 상/하단은 각각 75분위수/25분위수를 표시한다. 점선으로 연결된 최상단/최하단은 각각 99분위수/1분위수를 나타낸다.

그림 5는 자동차와 이동기지국이 같은 방향으로 주행할 때 V2MR 통신연결 시간의 분포를 나타낸다. 자유흐름 상대속력 $v_{FF}=3$ m/sec이기 때문에 버스정류소가 없으면 V2MR 통신의 평균 연결시간은 수식 (2)에 의해 $C_{V2MR}^{FF}=200$ 초로 주어진다. 그림에서 버스

www.dbpia.co.kr

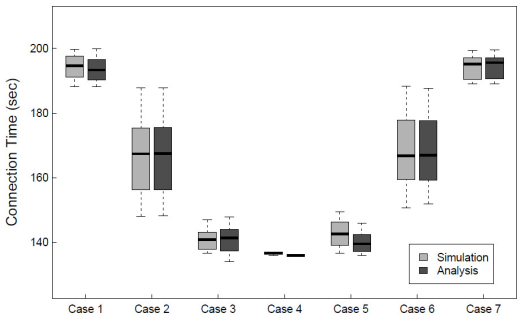

그림 5. 동일한 방향으로 주행 시 V2MR 통신연결 시간
Fig. 5. Boxplot for the connection time of V2MR communications driving to the same direction

가 정류소에 정차하는 STP 구간을 포함하지 않는 CASE 1과 CASE 7의 평균 V2MR 통신연결 시간이 자유흐름의 평균 V2MR 통신연결 시간(C_{V2MR}^{FF})과 가장 유사한 분포를 나타낸다 (약 194초). 반면, 상대속력이 가장 큰 STP 구간 전체를 포함하는 CASE 4가 가장 짧은 평균 V2MR 통신연결 시간을 가진다 (약 136초). 한편, STP 구간에서 이탈/진입하는 CASE 2/CASE 5의 산포도가 가장 크게 나타난다. 대부분의 경우에 제안하는 성능분석모형이 V2MR 통신연결 시간을 1퍼센트 이내의 오차범위에서 추정할 수 있음을 보였다. 성능분석모형의 최대 추정오차(CASE 5)도 2퍼센트 범위 내에 수렴함을 확인할 수 있다.

그림 6은 자동차와 이동기지국이 서로 반대방향으로 주행할 때 V2MR 통신연결 시간의 분포를 도시한다. 자유흐름 상대속력 $v_{FF}=27$ m/sec이므로 수식 (2)에 의해 $C_{V2MR}^{FF}=22.2$초로 계산된다. 그림 5에서 설명한 바와 같이 STP 구간을 포함하지 않는 CASE 1과 CASE 7이 C_{V2MR}^{FF}와 가장 유사한 평균값을 보인

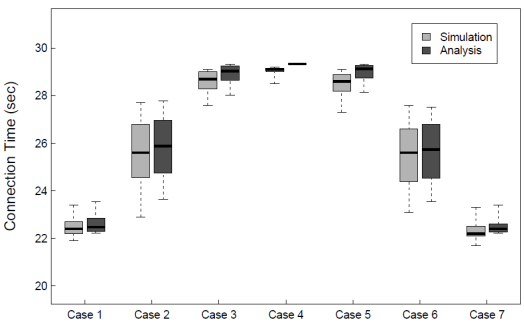

그림 6. 반대 방향으로 주행 시 V2MR 통신연결 시간
Fig. 6. Boxplot for the connection time of V2MR communications driving to the opposite direction

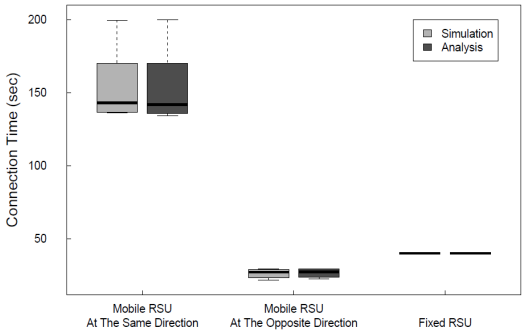

그림 7. V2MR 통신과 V2R 통신의 연결시간 비교
Fig. 7. Comparison of connection time between V2MR and V2R communications

다(약 22.5초). 반면, 버스가 정류소에 정차할 때 가장 적은 상대속력 V_{CV}를 가지므로 그림 5와는 반대로 CASE 4일 때 V2MR 통신연결 시간이 최대가 된다 (약 29.1 초). 그림 6의 모든 경우에서 제안하는 성능분석모형이 V2MR 통신연결 시간을 1퍼센트 이내의 오차범위에서 정확하게 추정할 수 있음을 보였다.

그림 7은 같은/반대 방향의 V2MR 통신연결 시간과 버스정류소의 노변기지국과의 V2R 통신연결 시간을 도시하였다. V2R 통신에서 상대속력은 항상 V_{CV}이므로 자유흐름 V2R 통신연결 시간은 $C_{V2R}^{FF}=40$초로 주어진다. 반면 같은/반대 방향의 평균 V2MR 통신연결 시간은 각각 154 초와 26.2초로 계산된다. 즉, 동일한 방향으로 주행하는 이동기지국과의 V2MR 통신은 노변기지국과의 $V2R$ 통신에 비해 통신연결 시간을 약 3.85 배 증가시킬 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 대중교통수단인 버스에 VANET의 관문을 설치한 이동기지국과 자동차들 간의 V2MR 통신의 연결시간에 관한 성능분석모형을 제시하였다. 버스정류소 주변에서 버스의 이동성에 관한 모형을 제안하였고, 이를 기반으로 7 개의 V2MR 통신연결 형태를 정의하였다. 각각의 통신형태에 대하여 경계점 분석과 V2MR 통신연결 시간에 대한 성능분석모형을 제시하고, VEINS 시뮬레이터를 활용한 실험을 통해 제안하는 성능분석모형이 V2MR 통신의 연결시간을 정확하게 근사할 수 있음을 보였다. 또한, 자유흐름 상황에서 제시하는 모형이 V2MR 통신이 V2R 통신에 비해 연결시간을 약 3.85배 증가시킬 수 있음을 보였다. V2MR 통신이 제공하는 비용효율성과 우수한

www.dbpia.co.kr

연결시간 특성은 이동기지국이 VANET의 연결성과 보급률을 향상하는데 중요한 역할을 수행할 수 있도록 할 것이다. 향후, 교통신호등과 교차로 주변에서의 V2MR 통신 연결시간과 이들이 상호 결합한 일반적인 도로망에서의 V2MR 통신연결 시간에 대한 연구를 진행할 예정이다.

References

[1] C. Sommer and F. Dressler, *Vehicular networking*, Cambridge University Press, 2015.

[2] R. Daher and A. Vinel, *Roadside networks for vehicular communications*, Information Sci. Reference, 2013.

[3] H.-Y. Jeong, T. A. Suramardhana, and H.-H. Nguyen, "Design and implementation of green light optimal speed advisory based on reference mobility models (GLOSA-RMM) in cyber-physical intersection systems (CPIS)," *J. KICS*, vol. 39B, no. 8, pp. 544-554, Aug. 2014.

[4] H.-Y. Jeong, T. A. Suramardhana, and H.-H. Nguyen, "Connectivity management of pedestrian smartphone app in the cyber-physical intersection systems (CPIS)," *J. KICS*, vol. 39B, no. 9, pp. 578-589, Sept. 2014.

[5] IEEE 802.11 Working Group, *IEEE standard for information technology – Telecommunications and information exchange between systems-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*, IEEE Std 802.11p-2010 (Amendment to IEEE Std 802.11-2007), Jul. 15 2010.

[6] J. Burgess, B. Gallagher, D. Jensen, and B. N. Levine, "MaxProp: Routing for vehicle-based disruption-tolerant networks," in *Proc. IEEE INFOCOM*, pp. 1-11, 2006.

[7] V. Naumov and T. R. Gross, "Connectivity-aware routing (CAR) in vehicular ad hoc networks," in *Proc. IEEE INFOCOM,* pp. 1919-1927, 2007.

[8] K. C. Lee, U. Lee, and M. Gerla, "Geo-opportunistic routing for vehicular networks," *IEEE Commun. Mag.,* vol. 48, no. 5, pp. 164-170, 2010.

[9] A. Balasubramanian, Y. Zhou, W. B. Croft, B. N. Levine, and A. Venkataramani, "Web search from a bus," in *Proc. ACM CHANTS*, pp. 59-66, Sept. 2007.

[10] V. Bychkovsky, B. Hull, A. Miu, H. Balakrishnan, and S. Madden, "A measurement study of vehicular internet access using in situ Wi-Fi networks," in *Proc. ACM MOBICOM*, pp. 50-61, Sept. 2006.

[11] S. Yousefi, E. Altman, R. El-Azouzi, and M. Fathy, "Analytical model for connectivity in vehicular ad hoc networks," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 57, no. 6, Nov. 2008.

[12] C. Sommer, *Vehicles in Network Simulation (VEINS)*, online available: http://veins.car2x.org

[13] Institute of Transportation Systems, *SUMO - Simulation of Urban MObility*, online available: http://www.dlr.de/ts/en/desktopdefault.aspx/tabid-9883/16931$_$read-41000/

[14] H.-K. Choi, H.-S. Oh, W. Cho, and Y.-S. Jang, "Fading effects and antenna diversity tests of WAVE communications," *J. KICS*, vol. 39C, no. 10, pp. 967-973, Oct. 2014.

[15] Wikipedia *Two-ray ground-reflection model*, online available: https://en.wikipedia.org/wiki/Two-ray_ground-reflection_model

정 한 유 (Han-You Jeong)

1998년 2월 : 서울대학교 전기공학부 졸업

2000년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 석사

2005년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사

2008년 9월~현재 : 부산대학교 전기컴퓨터공학부 부교수

<관심분야> 자동차 네트워크, 자동차 안전기술, 모바일 컴퓨팅

www.dbpia.co.kr

막달레나 트리 푸르나닝타스 (Magdalena Trie Purnaningtyas)

2014년 2월 : 인도네시아 브로위자야대학교 컴퓨터공학과 졸업
2014년 3월~현재 : 부산대학교 전기컴퓨터공학부 석사과정
<관심분야> 자동차 네트워크

응웬 호아 흥 (Hoa-Hung Nguyen)

2009년 4월 : 베트남 호치민공과대학(HCMUT) 컴퓨터공학과 졸업
2013년 8월 : 부산대학교 빅데이터학과 석사
2013년 9월~현재 : 부산대학교 전기컴퓨터공학부 박사과정
<관심분야> 자동차 통신 및 네트워크

www.dbpia.co.kr