

동적인 보행자 상태 정보 전송 주기를 활용하는 MEC 기반 V2P 서비스

방수정*, 이미정^o

MEC-Based V2P Service with Dynamic Pedestrian Status Transmission Interval

Soo-jeong Bang*, Mee-jeong Lee^o

요약

V2P(Vehicle to Pedestrian)는 보행자와 차량 간 사고를 예방하는 기술로 충돌 가능성이 있거나 운전자가 인지하지 못한 보행자에 대한 정보를 사전에 제공하여 기존의 센서 기반 충돌 예측 서비스보다 우수한 성능을 보인다. 그런데 이러한 V2P 방안은 일반적으로 차량과 보행자 간 상태 데이터를 주고받는 오버헤드와 서비스 품질 간에 서로 상호 이율배반적 관계를 가진다. 즉, 높은 서비스 정확도를 위해서는 사용자 휴대폰에서 상태 데이터를 빈번하게 발생시켜야 하는데 이로 인해 배터리 용량 제약을 가진 사용자 휴대폰의 서비스 활용이 제한된다. 본 논문에서는 제한적인 보행자 휴대폰 에너지 효율을 높이면서 서비스 품질을 유지하기 위한 V2P 통신 구조와 방안을 제안한다. 제안 방안에서는 MEC(Mobile Edge Computing) 서버를 활용하여 보행자의 상태 데이터 업데이트 주기와 차량이 보행자 데이터를 업데이트 받는 주기를 분리함으로써 일반적으로 차량보다 이동 속도가 느린 보행자가 차량 이동 속도에 맞추어 자신의 데이터를 알리지 않아도 신속하게 보행자 데이터가 주변 차량에 전달되어 서비스 품질이 유지될 수 있도록 하였다. 또한, 보행자의 컨텍스트 데이터를 기반으로 보행자 휴대폰이 상태 데이터 전송 주기를 동적으로 조정하도록 함으로써 불필요한 전송을 줄여서 휴대폰 에너지 효율을 향상시켰다. 시뮬레이션을 통하여 제안 방안의 MEC 도입과 동적 상태 데이터 발생 주기 알고리즘이 서비스 품질 저하 없이 사용자 휴대폰의 에너지 효율을 높일 수 있음을 확인하였다.

Key Words : V2P, V2X, Vehicular Network, Edge and fog computing/networking, ITS

ABSTRACT

Vehicle to Pedestrian (V2P) is a technology that prevents accidents between pedestrians and vehicles. There exists a tradeoff between the service quality and the overheads to exchange status data among vehicles and pedestrians in providing the V2P services. This may limit the usage of services due to the limitation in battery power of pedestrians' cellular phones. In this paper, we propose a V2P service which reduces the energy consumption of pedestrian phones without sacrificing the quality of V2P services. The proposed mechanism leverages the Mobile Edge Computing (MEC) servers to avoid the interrelationship between the pedestrian data update intervals and frequency that vehicles receive the pedestrian data. Having the MECs broadcast pedestrian data with a frequency appropriate for the speed of vehicles on behalf of the pedestrians, the cellular phone

* First Author : Ewha Womans University, Department of Computer Science and Engineering, tmwj7732@ewhain.net, 학생회원

^o Corresponding Author : Ewha Womans University, Department of Computer Science and Engineering, lmj@ewha.ac.kr, 종신회원
논문번호 : 202109-258-B-RN, Received September 29, 2021; Revised November 11, 2021; Accepted November 19, 2021

may inform the data only when the pedestrian moves more than a certain meaningful distance. Furthermore, in order to minimize the unnecessary transmissions from pedestrian phones, the data transmission interval is dynamically adjusted at each cellular phone based on the pedestrian's context information. Through the simulation, it is shown that the proposed mechanism increases the energy efficiency of the pedestrian cellular phones without degrading the quality of V2P service.

I. 서 론

V2X(Vehicle to Everything)는 차량이 다른 차량을 비롯해 보행자, 인프라, 네트워크 등과 데이터를 교환하며 서비스를 제공하는 통신 기반 기술로, 자율주행차의 핵심 기술로써 활발히 연구되고 있다^[1]. V2X의 다양한 분야 중 V2P는 차량과 보행자가 무선망을 통하여 데이터를 송수신함으로써 두 객체 간 충돌 가능성을 예측하고 운전자 혹은 보행자에게 적절한 경고를 제공하는 서비스이다^[2]. 최근 자율주행 분야에 관한 연구가 활발히 진행되면서, LiDAR, 레이더, 카메라 등의 객체 인식 센서의 성능이 크게 향상되었다. 그에 따라 센서 기반 차량과 보행자 간 충돌 예측 서비스의 성능 역시 향상되었다^[3]. 대표적인 센서 기반 차량과 보행자 간 충돌 예측 서비스인 ADAS(Advanced Driving Assistance System)의 PCW (Pedestrian Collision Warning)는 보행자가 차량 센서 시야각 내에 존재하는 상황인 LOS (Line of Sight) 시나리오의 경우, 센서가 보행자를 즉시 감지하고 경고를 제공할 수 있는 반면에 보행자와 차량 사이에 장애물이 존재하거나 코너와 같이 보행자가 차량 센서의 시야각 내에 존재하지 않는 상황인 NLOS (None Line of Sight) 시나리오에서는 보행자를 감지할 수 없다는 한계점이 존재한다^[4]. 이에 무선 통신망을 이용하여 NLOS 시나리오에서도 보행자와 차량 간 데이터 교환을 통해 충돌 가능성을 사전에 예측할 수 있는 V2P 서비스에 관한 연구가 최근 활발히 진행되었다^[2].

V2P 서비스에 참여하는 차량과 보행자는 현 위치, 이동 속도와 각도 등을 포함한 상태 데이터를 짧은 주기로 수집하고 충돌 가능성을 계산하는 객체에게 전송한다. 차량과 보행자로부터 데이터를 수신한 객체는 수신 데이터를 바탕으로 충돌 예측 알고리즘을 수행하고, 결과에 따라 적합한 판단을 결정한다. 이때 충돌 예측 알고리즘을 수행하는 객체가 무엇인지에 따라 V2P 서비스를 ‘중앙 클라우드 기반 방식’^[5-9] 과 ‘직접 통신 방식’^[4,10,11] 으로 분류할 수 있다. ‘중앙 클라우드 기반 방식’은 보행자, 차량 그리고 중앙 클라

우드 서버가 V2P 서비스에 참여하는 방식으로, 보행자와 차량은 수집한 상태 데이터를 중앙 클라우드 서버에 주기적으로 송신한다. 데이터를 수신한 서버는 보행자와 차량 간 충돌 예측 알고리즘을 순차적으로 수행하며 계산 결과 충돌이 예측되는 경우 해당 차량 혹은 보행자에게 경고 알람을 전송한다.

‘직접 통신 방식’은 관여하는 서버 없이 차량과 보행자만이 V2P 서비스에 참여하여 상태 데이터를 주변에 브로드캐스트 한다. 따라서 직접 통신 방식은 브로드캐스트 메시지를 수신한 객체가 충돌 예측 알고리즘을 수행하게 되고, 알고리즘을 수행하는 객체가 차량인 경우와^[10], 차량과 보행자 모두인 경우^[4, 11]로 다시 세분화된다. 충돌 예측 알고리즘을 수행하는 객체가 차량인 경우에는 서비스에 참여하는 보행자가 상태 데이터를 인근 차량들에게 브로드캐스트 메시지를 통해 주기적으로 전송하게 되고, 보행자들의 데이터를 수신하는 차량은 자체 상태 데이터와 수신한 보행자 데이터를 바탕으로 충돌 예측 알고리즘을 수행한다. 충돌이 예측되는 경우 운전자에게 경고 알람을 제공하며, 보행자에게도 선택적으로 알람을 제공한다. 차량과 보행자가 모두 충돌 예측 알고리즘을 수행하는 경우, 차량과 보행자 모두 인근 사용자들에게 상태 데이터를 브로드캐스트 메시지로 전송해야 한다.

중앙 클라우드 방식의 경우, 서비스에 참여하는 차량과 보행자는 짧은 주기로 데이터를 서버에 전송하게 되므로 서비스 이용자 수가 증가할수록 발생하는 트래픽 역시 증가한다. 이에 클라우드 서버 인근 병목 현상이 발생할 수 있으며 결과적으로 사고 가능성에 대한 신속한 알람 제공에 한계를 가져올 수 있다. 또한 중앙 서버가 충돌 예측 알고리즘을 독자적으로 담당하므로 감당할 수 있는 계산량을 초과하는 등 시스템 확장성 문제가 발생할 수 있다. 직접 통신 방식은 중앙 클라우드 방식이 가진 확장성 문제는 발생하지 않으나, 참여 객체들이 브로드캐스트 메시지로 데이터를 교환하는 과정에서 방대한 양의 메시지가 발생된다. 따라서 교통량이 많은 지역의 경우 네트워크 혼잡 문제가 대두될 수 있다^[2].

또한 기존 V2P 서비스는 보행자 휴대폰의 에너지

표 1. V2P 방안 비교
Table1. The Comparison of V2P services

	[4]	[5]	[6]	[7]	[8]	[9]	[10]	[11]	[13]	Proposal
Classification	Direct	Cloud	Cloud	Cloud	Cloud	Cloud	Direct	Direct	MEC	MEC
Pedestrian data transmission cycle	100ms	1 sec	-	100ms	-	Dynamic	100ms	100ms	1 sec	Dynamic
Collision predictor	Vehicle, Pedestrian	Cloud	Cloud	Cloud	Cloud	Cloud	Vehicle	Vehicle, Pedestrian	MEC [Vehicle, Pedestrian]	Vehicle

* parentheses(()) mean that the object can selectively predict collisions.

사용과 서비스 정확성 간에 서로 이율배반적 관계를 가진다는 한계점이 존재한다. V2P 서비스가 에너지를 소모하는 주요 원인은 상태 데이터 전송 주기가 짧게 유지됨에 따른 잦은 통신 인프라 사용에 있다. 기존 V2P 방안에서 보행자 상태 데이터 전송 주기를 발표한 논문 중 [4], [7], [10-11]은 보행자의 상태 데이터 전송 주기를 100ms으로 설정하였다. 전송 주기를 짧게 설정할 경우, 데이터 전송 횟수 증가에 따라 모바일 네트워크 통신을 위한 단말과 기지국 간 링크 연결 지속 시간이 비례하여 증가하게 되는데, 이것이 에너지 소모의 대표적 원인이다^[12].

반면, [5]는 에너지 효율 문제 해결을 위하여 보행자 데이터 전송 주기를 1sec으로 설정하였는데, 이 경우 빠르게 이동 중인 차량이 인근에 위치한 보행자를 실시간으로 모두 파악하지 못하고 일부 누락하는 경우가 발생하거나, 빠른 속도로 달리는 보행자의 경우 이동한 거리가 상당하여 충돌 가능성 예측의 정확성이 낮아질 수 있다. 즉, 서비스 정확도가 저하되는 문제가 발생한다. 따라서, 높은 서비스 정확도를 유지하는 동시에 백그라운드로 수행되어야 하는 특성을 가지는 V2P 서비스를 위한 보행자 휴대폰의 에너지 제약 문제를 해결할 수 있는 방안에 관한 연구가 필요하다. 표 1은 V2P 방안들에 대한 특징을 정리한 표이다.

이에, 본 논문에서는 보행자의 상태 데이터 업데이트 주기를 보행자의 상황에 맞추어 동적으로 설정함으로써 사용자 휴대폰의 에너지 효율을 향상시키면서도 서비스 정확도를 유지할 수 있는 V2P 서비스방안을 제안하고자 한다. 이를 위해 제안 방안에서는 V2P 서비스에 MEC 서버를 도입하여 서버가 보행자를 대신하여 차량에게 보행자 상태 데이터를 전달하도록 함으로써 보행자의 상태 데이터 업데이트 주기와 차량이 보행자 데이터를 업데이트 받는 주기가 독립적일 수 있도록 하였다. 즉, 일반적으로 차량보다 이동

속도가 느린 보행자가 차량의 속도에 맞추어 데이터를 짧은 주기로 송신하지 않아도 MEC 서버가 보행자 데이터를 차량 속도에 맞추어 빈번하게 송신하게 함으로써 차량에서 누락되는 보행자 없이 신속하게 보행자 데이터를 수신할 수 있게 하였다.

이에 따라 보행자 휴대폰은 유의미한 이동을 했다고 판단되는 시점에만 MEC 서버로 상태 데이터를 전송해도 되므로 기존 방식에 비하여 통신 인프라 사용이 감소하게 되며 결과적으로 휴대폰 에너지 효율을 향상시킬 수 있다. 제안 방안에서는 세 가지 보행자 컨텍스트 데이터인 보행자의 실시간 이동 속도, 이동 상태, 현 위치를 종합적으로 고려하여 현재 보행자에게 적합한 전송 주기를 계산하고 해당 주기에 따라 본인의 상태 데이터를 관할 MEC 서버로 전송한다. 차량은 MEC 서버로부터 보행자 데이터를 수신하여 차량의 자체 데이터와 수신 데이터를 바탕으로 충돌 예측 알고리즘을 수행하고, 위험이 예측되는 경우 운전자에게 경고 알람을 제공한다. 따라서 제안 방식은 보행자 측면에서 전송 횟수를 상황에 맞게 동적으로 조정하여 에너지 효율을 높일 뿐 아니라, 차량의 측면에서는 인근 보행자의 데이터를 MEC 서버로부터 충분히 신속하게 수신하므로 누락되는 보행자 없이 충돌 예측 알고리즘을 수행할 수 있다. 또한, 완전하게 중앙 집중적인 클라우드 서버에 의존하는 대신 MEC 서버를 도입하고 충돌 예측 계산이 차량에서 개별적으로 이루어지도록 함으로써 확장성 문제를 최소화하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 1장의 서론에 이어 2장에서는 에너지 효율 문제와 해결책을 다룬 연구를 중심으로 기존 V2P 연구를 살펴본다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 MEC 기반 V2P 서비스와 동적 주기 결정 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션을 통한 제안 방안의 성능 평가 및 결과 분석을 보이고, 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

기존 V2P 방안은 ‘중앙 클라우드 기반’과 ‘직접 통신’ 방식으로 구분할 수 있다. [5]는 중앙 클라우드 기반 V2P 방안으로, 서비스에 참여하는 보행자의 휴대폰과 차량은 위치, 속도, 각도 데이터를 수집하여 IoT 클라우드 서버로 데이터를 전송한다. 데이터를 수신한 중앙 서버는 모든 차량-보행자 간의 충돌 가능성을 계산하고 충돌 가능성이 높은 운전자와 보행자에게 알람을 즉각 전송한다. [6]은 앞선 방식과 유사하게 보행자와 차량이 데이터를 중앙 서버로 전송하고, 서버가 차량-보행자 간 충돌 가능성을 반복적으로 계산하나, 위치, 속도, 각도 데이터 이외에 사용자의 나이, 날씨 등의 데이터를 함께 전송하여 그를 바탕으로 이용자에게 더 적합한 시점에 알람을 제공하는 방안을 제시하였다. 하지만 이러한 방안들의 경우 중앙 집중화된 서버가 모든 보행자와 차량 간 데이터를 수신하고 위험을 예측하게 되므로 확장성 문제가 존재한다. 또한 빠르게 업데이트되는 이용자 데이터를 바탕으로 위험을 계산하고 알람을 전송하는 과정에서 직접 통신 방식에 비하여 시간 지연이 발생할 가능성이 높다.

[10]은 직접 통신 V2P 방안이며 서비스에 참여하는 보행자는 100ms 주기로 Wi-Fi 브로드캐스트 범위 내 위치한 인근 차량들에게 데이터를 브로드캐스트한다. 데이터를 수신한 차량은 수신 데이터와 자체 데이터를 바탕으로 충돌 가능성을 계산하여 위험이 예측되는 경우 운전자에게 알람을 제공한다. [11] 역시 보행자와 차량이 모두 데이터를 100ms 주기로 브로드캐스트하는 직접 통신 방안이다. 서비스에 참여하는 차량과 보행자는 데이터를 주기적으로 송신하고, 동시에 데이터를 수신하여 충돌을 예측한다. 이때, 수신한 데이터와 자체 데이터를 바탕으로 Real-time Map of Surrounding을 생성함으로써 보행자와 차량 간 역학적 위치 관계를 고려하여 위험을 더욱 정밀하게 판단하였다. 그러나 이러한 직접 통신 방안의 경우 서비스에 참여하는 객체들이 짧은 주기로 브로드캐스트 메시지를 연속하여 발생시키므로 이용자가 밀집된 상황에서는 방대한 양의 메시지가 발생하게 되어 네트워크 혼잡 문제가 발생할 수 있다. 또한 도심과 같이 많은 고층 건물로 인해 전파 과정에서 데이터가 손실될 확률이 높은 실제 상황에서 직접 통신 방식의 경우 중앙 집중 방식보다 데이터가 손실되어 늦은 알람을 제공할 확률이 높다^[13].

데이터 송신 주기를 공개한 연구 중 [4], [7], [10-11]은 보행자 데이터 송신 주기를 100ms으로 고

정하여 적용했다. 기존 V2P 서비스에서는 이와 같이 짧은 고정 주기를 적용함으로써 빠르게 이동하는 차량이더라도 누락 없이 보행자 데이터를 수신할 수 있게 되며, 보행자가 빠르게 달리는 경우에도 100ms당 위치 변화를 즉각적으로 위험 계산을 담당하는 객체에게 전달할 수 있기 때문에 높은 서비스 정확도를 유지할 수 있다. 그러나, V2P는 백그라운드 실행을 필요로 하는 서비스이므로 이와 같이 짧은 주기로 데이터를 송신하게 될 경우 보행자 휴대폰 에너지 소모가 문제될 수 있다. 중앙 클라우드 방식에서 보행자 휴대폰이 100ms 주기로 V2P 서비스에 참여한 결과, 휴대폰은 5시간 이내 모든 배터리를 소모한 것으로 확인하였다^[8]. 직접 통신 방식에서 역시 보행자가 100ms을 주기로 브로드캐스트 메시지를 발생시키며 V2P 서비스에 참여하였더니 8시간 만에 배터리를 모두 소모한 것으로 나타났다^[10].

이러한 한계점을 바탕으로 V2P 서비스에 참여하는 보행자 휴대폰 에너지 효율을 향상시키는 연구들이 최근 진행되었다. [7]은 보행자 휴대폰의 효율을 저하시키는 큰 원인으로 GPS가 계속 켜져 있는 상황을 지적했다. 따라서 GPS 수신을 연속적으로 하지 않고, 1분 혹은 5분마다 주기적으로 GPS를 끄는 대신 mobile sensing data를 활용하여 보행자의 위치를 추론하는 방안을 제안하였다. mobile sensing data는 걸음 수와 셀룰러 통신에서의 인접 셀 신호 세기 변화로, 신호 세기 변화에 기반하여 이동 방향을 추론하고 걸음 수를 바탕으로 이동 거리를 예측한다. 이 방안은 GPS를 계속 켜고 있는 상황 대비 20.8%의 에너지를 절약하였으나, GPS를 계속 켜 상황과 비교했을 때의 정확도의 92.6%로 정확도가 저하되었다.

[9]는 제안 방안과 유사하게 보행자의 데이터 전송 주기를 고정하지 않고 상황에 따라 유동적으로 조정함으로써 전송 횟수를 감소시켜 에너지 효율을 상승시키는 동적 보행자 전송 주기 조정 방안을 제안하였다. 이 방안에서는 휴대폰의 데이터 전송 횟수를 감소시키기 위하여 보행자의 상태를 위험 정도에 따라 3단계 레벨로 분류하였고, 레벨에 따라 전송 주기를 조정한다. 가장 먼저, 차량과의 충돌 위험이 거의 없다고 판단되는 risk-free 레벨에 머무를 때는 전송을 일시적으로 중단한다. 다음으로 주변에 차량이 존재하지만, 충돌 위험이 크지 않다고 판단되는 low-risk 레벨에서는 차량과 보행자의 데이터를 모두 수집하는 클라우드 서버가 보행자 인근의 차량 중 가장 빠른 차량의 이동 속도를 바탕으로 보행자 전송 주기를 계산하고 보행자가 주기를 변경하도록 메시지를 송신한다.

가장 위험도가 높은 high-risk 레벨에서는 서버가 보행자에게 전송 주기를 100ms으로 고정하도록 주기 변경 메시지를 송신한다.

[9]의 동적 보행자 전송 주기 조정 방안에서 클라우드 서버는 보행자와 차량의 데이터를 모두 수집하므로 서버가 각 보행자 상태와 인근 차량 데이터를 기반으로 가장 적합한 주기를 결정할 수 있다. 하지만 이러한 구조로 인하여 클라우드 서버가 보행자의 전송 주기를 결정하는 과정에서 추가적인 통신 오버헤드가 발생한다. 보행자의 전송 주기는 서버가 차량의 이동 속도에 전적으로 의존하여 결정하는데, 차량은 상대적으로 이동 속도가 빠르기 때문에 보행자 기준으로 인근에 존재하는 차량 데이터가 빠르게 변화한다. 이에 따라, 보행자 인근 차량 중 가장 빠른 속도로 이동하는 차량과 최대 속도 역시 빠르게 변화하게 되어 서버는 새로운 주기를 빈번하게 계산하고 주기 변경 메시지를 자주 발생시키게 된다. 이 과정에서 V2P 서비스를 위한 통신과 별개로 주기 변경 메시지를 위한 추가 통신이 자주 발생되며, 보행자 측면에서도 클라우드 서버로부터 메시지 수신에 잦아지게 되므로 통신을 줄이기 위한 방안임에도 추가적인 통신 오버헤드가 발생한다는 한계점이 존재한다.

또한, 차량이 한 대라도 보행자를 향해 접근하는 방향으로 이동한다면 high-risk 레벨로 천이해 100ms을 주기로 전송하게 되는데, 이 경우 차량 자체가 매우 적은 외곽 지역에서는 에너지 절약을 확인할 수 있으나, 그렇지 않은 경우에는 high-risk 레벨에 머무는 시간이 길어지게 되므로 에너지 절약 효과가 감소한다. 특히 차량이 밀집된 지역에서는 매 순간 보행자 인근에 차량이 존재하고 해당 방향으로 접근하게 되므로 대부분의 시간을 high-risk 레벨로 머무르게 되어 에너지 절감 효과가 미미하게 되는 한계점이 존재한다. 실제로 동적 보행자 전송 주기 조정 방안의 성능 평가 결과, 차량이 인근에 거의 존재하지 않는 시나리오에선 2시간 동안 배터리가 100%에서 87%로 변화하여 13%의 배터리만 감소하였으나, 차량이 많다고 가정된 시나리오에서는 100%에서 57%로 43%가 감소되었음을 확인하였다. 즉, 차량이 없는 지역에서는 효과적으로 동작할 수 있으나 보행자 인근으로 차량이 한 대 이상 접근하게 되는 상황에서는 결국 high-risk에 머무르는 시간이 길어지고, 레벨 변경을 위한 오버헤드가 발생함에 따라 결국 100ms의 고정 주기를 갖는 경우와 에너지 효율 차이가 작다.

[13]은 제안 방안과 마찬가지로 MEC 서버 기반 V2P 방안을 제안하였다. 해당 방안은 보행자와 차량

이 모두 브로드캐스트로 MEC 서버에 메시지를 송신하도록 함으로써 MEC 서버 외에도 서비스 사용자 모두가 직접 데이터를 수신하고 충돌 위험을 계산할 수 있는 있어 사용자가 더욱 빠른 알람을 제공받을 수 있다. 또한 MEC 서버를 분산 배치함으로써 중앙 클라우드 방식에 비해서는 서버 주변 병목 현상을 상대적으로 해소한다. 그러나 데이터를 유니캐스트로 서버에게만 전송하는 것이 아니라 브로드캐스트로 전송하는 서비스 구조로 인하여 여전히 직접 통신 방식을 이용하는 경우와 같은 네트워크 혼잡 문제가 발생할 수 있다는 한계점이 존재한다.

이를 극복하기 위해 [13]의 MEC 서버 기반 V2P 방안은 차량과 보행자의 데이터 전송 주기를 길게 조정하는 방안을 택했다. 보행자의 이동 속도가 느리다는 것에 착안하여 보행자 전송 주기는 1sec으로 고정하였고, 차량의 전송 주기는 차량 자체의 속도, 위치, 각도를 기반으로 1초 이하에서 동적으로 조정한다. 그러나, 보편적으로 보행자에 비해 이동 속도가 더 빠른 차량의 전송 주기를 조정하는 방안보다 보행자의 주기를 조정하는 것이 네트워크 트래픽 양을 줄이면서 서비스 정확도를 유지하는 측면에서 더 유리하다. 또한, 보행자 폰의 주기를 1초로 길게 잡기는 했지만 고정 주기이므로 에너지 효율을 높이는 데도 한계가 있을 뿐 아니라, 보행자의 이동 속도가 빠른 상황에서는 느린 고정 주기로 인해 보행자 위치 정확도가 감소될 수 있다. 실제로 MEC 서버 기반 V2P 방안의 성능 평가에서는 보행자의 최대 이동 속도를 2m/s로 설정하였으나, 이는 실생활에 비추어 보았을 때, 보행자의 속도 변화 가능성을 고려하지 않은 최댓값이다. MEC 서버 기반 V2P 방안의 성능 평가에는 보행자가 빠르게 이동하는 상황이 고려되지 않았기 때문에 충돌 위험이 사전 예측 가능하여 성능이 우수하게 측정되었으나, 실제로 보행자가 달리는 경우 6~7m/s 이상의 속도로 이동하므로 늦은 알람을 제공할 수 있다.

III. 제안 방안

기존 연구의 한계점을 극복하기 위해 본 논문에서는 네트워크에 발생하는 트래픽 양을 최소화하고 보행자 휴대폰 에너지 효율을 높이면서도 서비스의 정확도를 유지할 수 있는 V2P 서비스를 제안하고자 한다. 제안 방안은 [14]에서 제안한 MEC 기반 V2P 방안과 동적 시점 계산 알고리즘을 기반으로 한다. 그러나 LTE 기반으로 설계된 선행 연구를 본 논문에서는 NR 기반 서비스로 재구성하였으며, 동적 시점 계산

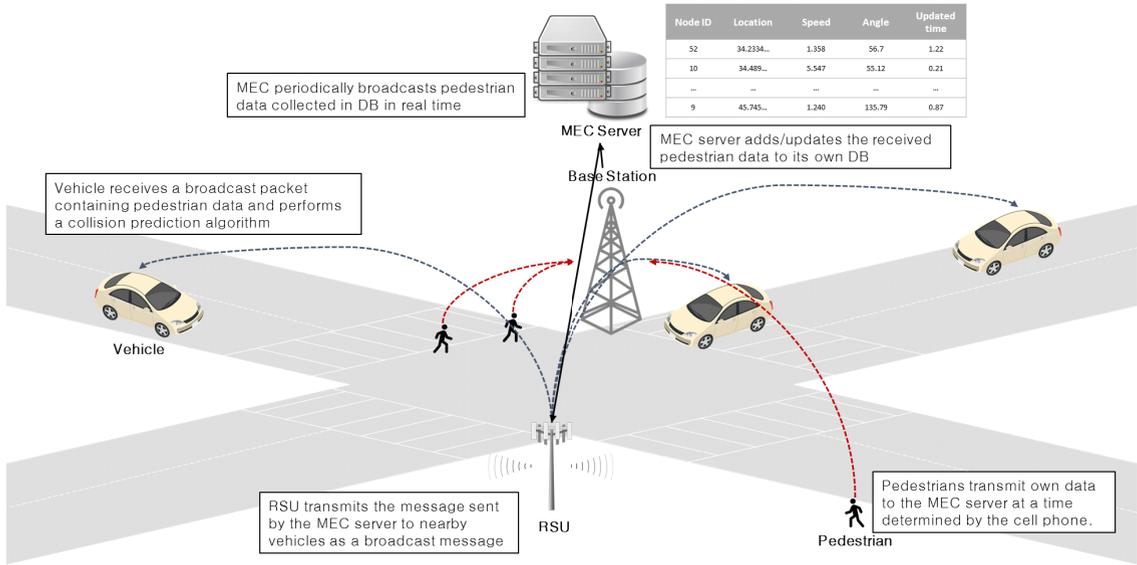


그림 1. 제안 방안의 구성 요소와 구성 요소 간 상호 작용
 Fig. 1. The components and service flow of the proposed MEC-based V2P mechanism

알고리즘에 활용되는 데이터를 수집하는 과정에서 추가 오버헤드를 최소화하는 방안을 추가함으로써 더욱 에너지 효율적이면서 실용적인 방안을 제안한다. 또한 [14]에서는 동적 시점 계산에 활용되는 데이터 중 위험 구역을 고정 크기로 정의하였으나, 본 논문에서는 고정 크기로 설정할 경우 빠른 속도로 이동하는 보행자에 대해 위험을 정확히 예측할 수 없다는 문제에 기인하여 보행자의 이동 속도에 따라 유동적으로 결정되도록 위험 구역을 새롭게 정의하였다. 마지막으로 시뮬레이션을 통하여 제안 방안과 기존 연구 방안의 성능 평가를 진행함으로써 제안 방안의 정확도와 에너지 효율 측면에서의 우수성을 정량적으로 입증하였다.

제안 방안은 지역적으로 적합한 구획마다 V2P 서비스를 지원하는 MEC를 활용하는 것을 가정한다. 보행자는 MEC 서버에게 데이터를 전송하고, MEC 서버가 관할 구역 내 보행자들의 데이터를 수집하고 취합하여 차량들에게 브로드캐스트 하도록 한다. 그리고, 보행자는 유의미한 움직임이 발생할 때만 MEC에게 데이터를 송신하도록 하는 반면 MEC는 차량의 이동 속도에 적합하게 빠른 주기로 보행자 데이터를 차량에게 브로드캐스트 하도록 하였다. 따라서, 보행자 휴대폰은 송신 빈도를 최적화함으로써 에너지 효율을 높일 수 있는 동시에 차량은 전송 주기가 긴 보행자에 대한 데이터도 빠르게 수신할 수 있어 높은 서비스 정확도를 유지할 수 있다. 또한, MEC가 각 보행자별로 데이터가 아닌 취합된 보행자 데이터를 브로드캐스트

하도록 함으로써 추가적인 네트워크 트래픽 양 감소가 가능하다.

3.1절에서 제안하는 방안의 전체적인 구조와 동작 방식을 먼저 설명하고, 보행자의 동적 주기 결정 방식에 대해 3.2절에서 설명한다.

3.1 MEC 서버 기반 V2P 방안

그림 1은 제안 방안의 구성 요소와 구성 요소 간 상호 작용을 보여준다. 제안하는 MEC 서버 기반 V2P 방안은 보행자, 차량, MEC 서버로 구성된다. 서비스에 참여하는 차량과 보행자의 휴대폰에는 GPS 모듈이 내장되어 있어 GPS 데이터를 수집할 수 있다고 가정한다. 또한, 차량과 보행자는 각각 WAVE와 NR 네트워크를 이용하여 V2P 통신에 참여한다고 가정한다. 각 보행자는 자신의 상태 데이터를 MEC 서버에게 유니캐스트로 송신하고, 데이터를 수신한 MEC 서버는 해당 데이터를 자체 데이터베이스에 기록하고 관리한다. 그리고, 데이터베이스에 기록된 보행자들의 데이터를 취합한 데이터를 주기적으로 관할 구역 내 차량들에게 브로드캐스트한다. MEC 서버는 관할 구역 내 진입하는 차량들이 해당 구역 내의 보행자 데이터를 충분히 빠른 시간 내에 받아 볼 수 있는 주기로 빈번하게 브로드캐스트한다. MEC 서버로부터 보행자들의 데이터를 수신한 차량은 수신 데이터와 차량의 자체 데이터를 바탕으로 충돌 위험 가능성을 계산하고, 위험도가 높은 경우 운전자에게 즉시 경고

알람을 제공한다. 제안 방안에서는 MEC 서버를 활용하여 보행자의 상태 데이터 업데이트 주기로부터 차량이 보행자 데이터를 업데이트 받는 주기가 독립적일 수 있도록 함으로써, V2P 서비스 품질 저하 없이 보행자 에너지 효율은 향상시킬 수 있다.

서비스에 참여하는 보행자가 상태 데이터를 MEC 서버에게 송신할 때, 보행자는 고정 주기를 가지고 송신하는 것이 아니라 휴대폰 내에서 수집 가능한 데이터를 바탕으로 현재 상황에 가장 적합한 전송 시점을 동적으로 결정한다. (동적으로 주기를 결정하는 방식은 3.2절에서 자세히 설명함) MEC 서버가 차량의 빠른 이동 속도에 맞춘 주기로 차량에게 데이터를 송신하므로 보행자가 차량의 이동 속도에 맞추어 데이터를 송신하지 않아도 되기 때문이다. 즉, 보행자는 유의미한 이동을 하였을 때만 데이터를 송신하게 된다. 보행자가 MEC 서버에게 전송하는 상태 데이터는 충돌 예측 알고리즘을 수행하는데 필요한 위치, 속도, 각도와 보행자를 식별할 수 있는 데이터이며 이는 충돌 예측 알고리즘에 따라 변경될 수 있다.

MEC 서버는 1) 보행자 상태 데이터 수신, 2) 데이터베이스 관리, 3) 차량에게 보행자 상태 데이터 브로드캐스트 등 3가지 역할을 수행한다. MEC는 V2P 서비스에 처음 참여하는 보행자 데이터의 경우 데이터베이스에 새로 추가하고 기존에 등록된 보행자의 데이터를 수신한 경우에는 해당 보행자에 대한 데이터를 업데이트한다. 또한 V2P 시스템에서 탈출하는 보행자로부터 탈출 메시지를 수신하면 해당 보행자 데이터를 데이터베이스에서 삭제한다. 이와 같이 실시간으로 관리되는 보행자들의 데이터를 MEC 서버는 관할 구역 내 차량들에게 100ms마다 브로드캐스트한다. 단, 처음 서비스에 참여하는 보행자나 Ⅲ.2절에서 정의하는 위험 구역에 진입하는 보행자에 대해서는 MEC 서버의 브로드캐스트 주기인 100ms를 기다리지 않고 우선적으로 해당 보행자의 데이터만 모든 차량들에게 송신함으로써 차량에서 이들 보행자에 대한 충돌 예측이 누락되는 일이 최소화되도록 한다.

서비스에 참여하는 차량은 MEC 서버로부터 100ms마다 데이터를 수신하고, 수신한 보행자 데이터들과 자체 데이터를 바탕으로 충돌 예측 알고리즘을 계산하여 위험도를 예측한다. 이때, 높은 충돌 위험이 예측되는 경우 즉시 차량 운전자에게 디스플레이, 소리, 진동 등을 이용한 경고를 제공하고 필요에 따라 차량의 속도를 제어할 수 있다.

각 지역마다 이동하는 보행자와 차량의 수가 매우 다르기 때문에, MEC 서버의 관할 구역의 크기를 고

정적으로 제한하는 것은 적합하지 않다. 따라서 서버가 원활히 제공되기 위해서는 MEC 서버가 관할하는 지역의 크기를 교통량과 유동 인구를 고려하여 지역별로 유동적으로 산정하는 것이 적합할 것이다. 즉, 교통량이 높을수록 상대적으로 단위 면적당 MEC 서버를 더 많이 배치한다면 제안하는 MEC 기반 서비스가 더욱 효율적으로 운영될 수 있을 것이다.

3.2 보행자 컨텍스트 데이터를 활용한 동적 주기 결정 알고리즘

제안 방안에서는 MEC 서버가 보행자를 대신해 100ms의 주기로 차량들에게 데이터를 브로드캐스트하므로 보행자는 차량의 빠른 이동 속도에 맞추어 짧은 주기로 상태 데이터를 송신하지 않아도 된다. 그러나 주기를 고정적으로 길게 설정할 경우, 빠르게 이동하는 보행자에 대하여 위치 데이터 정확도가 저하되며 이는 낮은 경고 알람으로 이어질 수 있다. 따라서 본 논문은 각 보행자에게 적합한 전송 시점을 동적으로 계산하고 적용하여 높은 서비스 품질을 유지하는 동시에 에너지를 절약할 수 있는 동적 주기 결정 알고리즘을 제안한다. 제안 방안은 주기 결정 과정에서의 추가적인 오버헤드를 최소화하기 위해 외부 자원이나 통신을 이용하지 않고 휴대폰 내에서 기존에 수집되고 있는 데이터만을 활용한다.

제안 방안에서 보행자의 전송 주기 결정에 이용되는 요소는 'PDZ(Potential Dangerous Zone) 상태', '이동 속도', '이동 상태'로 3가지이다. 'PDZ 상태'는 보행자의 현 위치가 잠재적으로 충돌 위험이 상대적으로 높은 구역인지, 아닌지를 구분하는 요소이다. '이동 상태'는 보행자가 현재 보행 중인지 나타내는 요소이며 마지막으로 '이동 속도'는 보행자의 현재 이동 속도를 의미한다. 제안하는 동적 주기 결정 알고리즘에서 3가지 요소를 확인하고 그를 바탕으로 주기를 결정하는 과정은 크게 3개의 프로세스로 동작된다. 그림 2는 3개의 프로세스와 각 프로세스가 활용하는 데이터를 도식화한 것이다.

'주기 결정 및 송신 프로세스'는 전송 주기를 결정하는 세 가지 요소를 바탕으로 다음 전송 시점을 계산하여 예정된 시간에 MEC에게 데이터를 송신하는 프로세스이다. '이동 상태 확인 프로세스'는 전송 주기를 결정하는 요소 중 '이동 상태' 변화를 파악하는 프로세스이다. 보행자의 이동 상태는 활동 감지 API를 기반으로 'Walk', 'Indoor', 'In-Vehicle', 'Stop'으로 구분한다. 이동 상태 확인 프로세스에서 상태 변화를 포착한 경우, 주기 결정 및 송신 프로세스로 트리거를

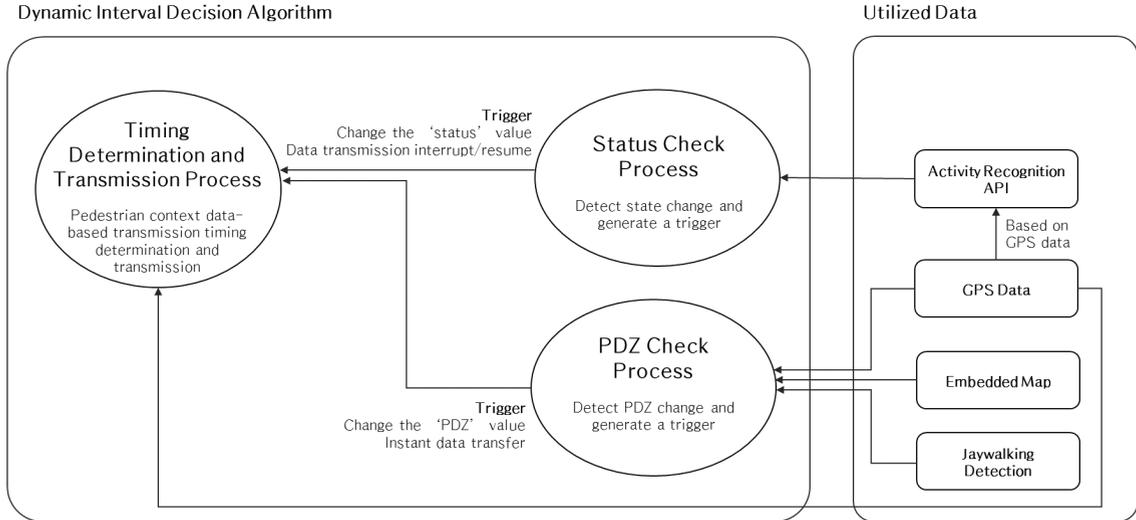


그림 2. 동적 주기 결정 알고리즘을 구성하는 요소들과 상호 작용
 Fig. 2. Components of dynamic interval decision algorithm and interactions among the components

발생하여 데이터 송신을 중단/재개시킨다. 이동 상태 확인 프로세스에서 사용되는 활동 감지 API는 기존 V2P 서비스 참여를 위해 수집되는 GPS 데이터를 기반으로 동작하며, 이는 에너지 소모가 적도록 설계 및 구현되었기 때문에 프로세스 동작을 위한 추가적인 에너지 소모가 적다¹⁵⁾. 마지막으로 ‘PDZ 확인 프로세스’는 전송 주기를 결정하는 요소 중 ‘PDZ 상태’ 변화를 감지하는 프로세스이다. PDZ 진입을 감지하게 되면, 주기 결정 및 송신 프로세스에 트리거를 발생시켜 즉시 서버에 데이터를 송신하고 데이터 전송 주기를 조정한다. PDZ 확인 프로세스도 V2P 서비스 자체를 위해 수집되고 있는 GPS 데이터와 휴대폰에 내장된 지도를 바탕으로 구동되기 때문에, 외부 자원과 통신이 이루어지지 않으므로 추가적인 오버헤드가 크지 않다.

3.2.1 ~ 3.2.3에서 동적 주기 결정 알고리즘의 각 프로세스와 전송 주기를 결정하는 요소들에 대해 자세히 설명한다.

3.2.1 PDZ 확인 프로세스

교통사고 통계 자료에 따르면 차량과 보행자 간 교통사고 중 67.2%가 횡단 보도 내에서 발생했고¹⁶⁾, 교통사고 사망자 10명 중 8명이 보행자를 위한 보도가 없는 보차혼용도로에서 사고가 발생했다¹⁷⁾. 이러한 통계를 바탕으로, 본 연구에서는 횡단보도와 보차혼용도로를 보행자와 차량 간 충돌사고가 발생할 위험이 높은 구역인 PDZ의 기준점으로 설정한다. 그리고, 보

행자가 현재의 속도로 이동했을 때 횡단 보도, 보차혼용도로 등의 사고 위험이 높은 지점에 진입하기까지 20초가 소요되는 지점부터를 PDZ로 정의하고 그 이외의 지역은 NPDZ(Non-PDZ)로 정의한다. 제안 방안은 보행자가 PDZ에 위치한 경우에는 1m를 이동하는 것을 유의미한 이동 거리 기준으로 설정하여 1m를 이동할 때마다 데이터를 송신하도록 하며, NPDZ에 존재하는 경우 상대적으로 차량과 접촉할 가능성이 적다고 가정하고 유의미한 이동 거리를 3m로 설정한다. 이를 바탕으로, 알고리즘에서 이용되는 ‘PDZ 상태’ 값은 1과 3 두 가지 값을 가질 수 있다. 예를 들어 보면 1.38m/s의 속도로 걷는 보행자는 사고 위험이 높은 지역으로부터 27.6m 이전부터 PDZ에 위치하는 것으로 인식되어 짧은 주기로 위치 데이터를 송신하게 되는 반면, 6m/s의 속도로 달리는 보행자는 위험 지역 120m 이전부터 PDZ로 인식된다. 따라서 보행자가 빠르게 이동하더라도 충분한 시간 동안 차량이 해당 보행자에 대해 위치 데이터를 정확하게 수신하고 위험을 예측할 수 있도록 한다.

그림 3은 PDZ 확인 프로세스의 동작을 도식화한 것이다. PDZ 확인 프로세스는 백그라운드에서 동작하며 GPS로 파악되는 위치 데이터와 내장 지도를 바탕으로 현재 PDZ 상태를 파악하고 변화가 발생했는지 확인한다. PDZ 확인 프로세스는 PDZ 진입을 감지하면 휴대폰이 즉시 MEC 서버에 데이터를 전송하도록 ‘주기 결정 및 송신 프로세스’에 트리거를 발생시킨다. 또한 주기 계산에서 사용되는 ‘PDZ 상태’ 값을

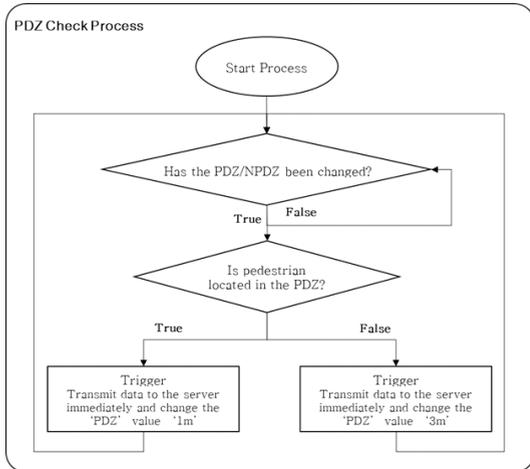


그림 3. PDZ 확인 프로세스 순서도
Fig. 3. Flowchart of PDZ Check Process

‘1’로 변경하고, 반대로 NPDZ에 진입한 경우에는 이를 ‘3’으로 변경한다.

또한 PDZ 확인 프로세스에서는 무단 횡단 상황을 감지하여 PDZ 결정에 반영한다. 보행자가 횡단보도가 존재하지 않는 차도를 향해 이동 중인 상황은 무단 횡단일 가능성이 높다. 따라서 보행자의 각도와 가장 가까운 도로까지의 직선거리가 임계 값 이하인 경우에는 무단 횡단 상황으로 판단하여 PDZ 상태로 변경한다.

3.2.2 이동 상태 확인 프로세스

그림 4는 이동 상태 확인 프로세스의 동작 방식을 도식화한 것이다. 이동 상태 확인 프로세스는 활동 감

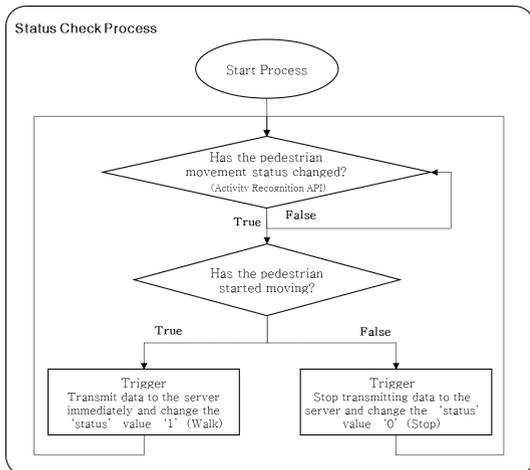


그림 4. 이동 상태 확인 프로세스 순서도
Fig. 4. Flowchart of Status Check Process

지 API를 바탕으로 보행자의 이동 상태 변화를 감지하여 상태 변화가 감지되면 트리거를 발생시킴으로써 V2P 서비스 참여가 중단되거나 재개되도록 한다. 발생 가능한 보행자의 이동 상태 변화는 ‘이동 중단’과 ‘이동 재개’ 두 가지이다. 먼저 이동을 중단한 경우, 보행자가 차량과 충돌할 가능성이 없는 상황이므로 서비스 참여를 중단한다. 따라서 이동 상태 확인 프로세스는 주기 결정 및 송신 프로세스에게 데이터 전송을 중단하고 ‘이동 상태’ 값을 ‘1’(Walk)에서 ‘0’(No-Walk)으로 변경하도록 트리거를 발생시킨다. 반면, 보행자가 이동을 재개한 경우엔 V2P 서비스 참여를 재개해야 하므로, 서버에 즉시 데이터를 송신하고 이동 상태 값을 ‘1’(Walk)로 다시 변경하도록 트리거를 발생시킨다.

3.2.3 주기 결정 및 송신 프로세스

그림 5는 주기 결정 및 송신 프로세스의 동작 방식을 도식화한 것이다. 주기 결정 및 송신 프로세스는 보행자 컨텍스트 데이터를 바탕으로 주기를 결정한다. 주기 결정에 이용되는 보행자 컨텍스트는 현재 이동 속도, 이동 상태 값, PDZ이다. 주기 결정 및 송신 프로세스는 PDZ 확인 프로세스와 이동 상태 확인 프로세스로부터 각각 전달받은 ‘PDZ 상태’ 값과 ‘이동 상

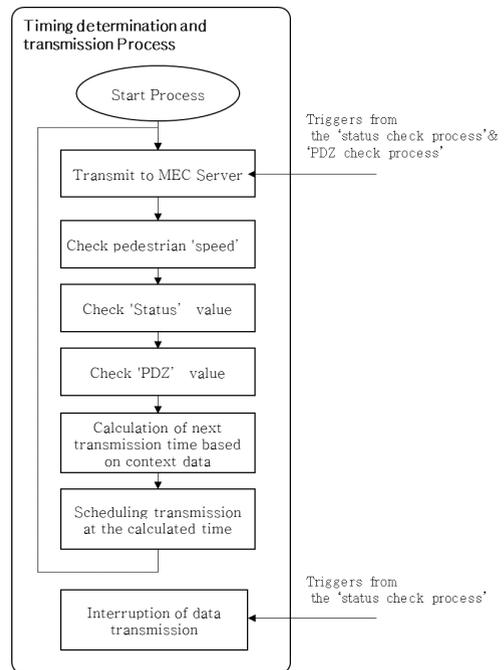


그림 5. 주기 계산 및 송신 프로세스 순서도
Fig. 5. Flowchart of Timing determination and transmission Process

태' 값을 식(1)에 적용하여 송신 주기를 계산한다. 즉, 보행자의 이동 속도를 바탕으로 PDZ 여부에 따라 결정된 유의미한 이동 거리를 이동하는데 소요되는 시간을 계산하고, 그 값을 송신 주기로 설정한다. 예를 들어, 보행자가 PDZ에 위치하고 1.4m/s의 속도로 이동 중에 있다면 PDZ의 기준거리 1m를 1.4m/s의 속도로 0.714sec 만에 이동하게 되므로 보행자는 0.714sec 마다 데이터를 MEC 서버에 전송한다. 반면 이 보행자가 NPDZ에 위치했다면 기준거리 3m를 이동한 후에 MEC 서버에 데이터를 송신하게 되므로 2.143sec 마다 데이터를 송신한다. 즉, 제안 방안은 보행자의 이동 속도를 고려하여 전송 시점을 동적으로 결정하므로 보행자가 빠르게 이동할 경우에는 주기 역시 빠르게 설정되어 MEC에 보행자의 정확한 위치 데이터 업데이트가 이루어질 수 있도록 한다.

$$T_{next} = \left(\frac{1}{speed(m/s)} \right) * PDZ (1m \text{ or } 3m) * Status (0 \text{ or } 1) \quad (1)$$

동적 주기 결정 알고리즘의 적용으로 인해 제안 방안에서는 각 보행자의 실시간 이동 속도를 바탕으로 보행자에게 적합한 전송 인터벌을 결정할 뿐 아니라 사고 가능성이 높은 구역에서는 전송 주기를 짧게 설정하고 위험이 적은 구역에서는 상대적으로 느린 주기를 사용함으로써 서비스 정확성 감소를 최소화하면서 보행자 휴대폰의 에너지 효율을 높일 수 있다. 제안하는 동적 주기 결정 알고리즘은 외부와의 추가적인 통신 없이 V2P 서비스 참여를 위해 일반적으로 수집하는 기본적인 데이터와 보행자의 컨텍스트 데이터를 기반으로 전송 주기를 결정하므로 동적 주기 결정으로 인한 추가적인 통신 오버헤드가 없다.

IV. 성능 평가

제안 방안의 정확도와 에너지 효율을 분석하기 위해 ns-3 시뮬레이터와 도로 교통 시뮬레이터 SUMO(Simulation Urban Mobility)를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 실험에서는 V2P 서비스 구조와 보행자 데이터 전송 주기에 따라 다섯가지의 서로 다른 스킴을 비교하였다. 즉, 직접 통신 방안을 이용하고 보행자 전송 주기가 각각 100ms가 1sec인 두 가지 스킴과, MEC를 활용하면서 보행자 전송 주기가 각각 100ms, 1sec, 동적 주기 결정 알고리즘에 의해 결정되는 경우의 세 가지 스킴을 비교하였다. 이 장에서는

각 스킴을 Direct 100ms, Direct 1sec, MEC 100ms, MEC 1sec, MEC dynamic이라 부르기로 한다.

먼저, IV.1절에서는 각 스킴 별 정확도를 측정하여 분석한 결과를 보이고, 보행자 전송 주기에 따른 휴대폰 에너지 효율을 측정할 결과를 IV.2절에서 설명한다.

4.1 정확도 비교 시뮬레이션

충돌 위험 상황에서 알람의 최초 발생 시간이 늦어질수록 신속한 차량 제어가 늦어지게 되므로 최초 알람 발생 시간으로부터 예측되는 충돌 발생 시간까지의 잔여 시간으로 V2P 스킴의 정확도를 판단할 수 있다. 따라서, 본 실험에서는 가상의 충돌 시나리오를 생성하여 차량에서 최초로 충돌 경고 알람이 발생하는 시간을 측정하였다. 100회의 반복 실험을 진행하면서 100회 평균 알람 발생 시간과 그 중 알람이 가장 빨리 발생된 시간 및 가장 느리게 발생된 시간 등 총 세 가지 값을 측정하였다.

그림 6은 정확도 분석을 위해 생성한 두 가지의 가상 충돌 시나리오이다. 그림 6의 A는 우회전하는 차량과 횡단보도를 건너는 보행자 간 충돌상황이며, B는 직진 차량과 횡단보도를 건너는 보행자 간 충돌상황이다.

차량과 보행자의 이동 속도 또한 정확도에 영향을 미치므로 두 가지 충돌 시나리오에 대해 차량과 보행자의 이동 속도를 변경시키며 실험하였다. 차량이 우회전하는 경우인 충돌 시나리오 A의 경우, 차량의 속도를 45km/h, 60km/h로 변경시켰으며, 차량이 직진하는 충돌 시나리오 B는 차량이 회전하는 충돌 시나리오 A에 비하여 상대적으로 감속이 이루어지지 않으므로 앞선 두 속도에 80km/h의 속도를 추가적으로 실험하였다. 두 충돌 시나리오에서 모두 보행자의 속도는 각각 걷는 속도와 달리는 속도에 해당하는 1.2m/s 과 6m/s 두 가지로 변경시켰다. 따라서 충돌 시나리오 A의 경우 총 4가지의 서로 다른 차량 속도와 보행자의 속도 조합에 대해, 충돌 시나리오 B에 대해서는 총 6가지의 서로 다른 차량 속도와 보행자 속도 조합에

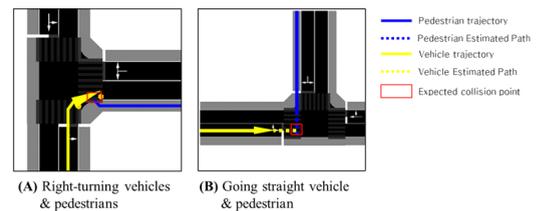


그림 6. 충돌 시나리오
Fig. 6. Collision Scenarios

표 2. 정확도 비교 시뮬레이션 파라미터
Table 2. Parameters of Service Quality Comparison Simulation

Scenario A Parameter	Values	Scenario B Parameter	Values
Vehicle Speed (km/h)	45/60	Vehicle Speed (km/h)	45/60/80
Pedestrian Speed (m/s)	1.2/6	Pedestrian Speed (m/s)	1.2/6
Collision Time	35.1 - 35.93 sec	Collision Time	10.21 - 10.95 sec

* Even in the same scenario, the collision time varies slightly depending on the change in the moving speed of vehicles and pedestrians.

대해 각각 실험하였다. 표 2는 정확도 비교 시뮬레이션에서 사용된 파라미터 값을 정리한 것이다.

4.1.1 직접 통신 방안 간 성능 비교

그림 7과 8은 각각 충돌 시나리오 A와 B에 대한 결과를 보인 것이다. Direct 100ms는 충돌 시나리오와 객체들의 이동 속도와 관계없이 항상 신속한 알람을 제공하는 반면 Direct 1sec은 10가지의 모든 충돌 시나리오 및 이동 속도 조합에 대해 다섯가지 스킴 중 가장 늦은 알람을 제공한 것을 볼 수 있다. Direct 1sec의 평균 알람 발생 시간은 Direct 100ms에 비하여 평균 0.49초 늦었으며, best case와 worst case 간의 차이가 평균 1초이므로 Direct 100ms 스킴에 비해

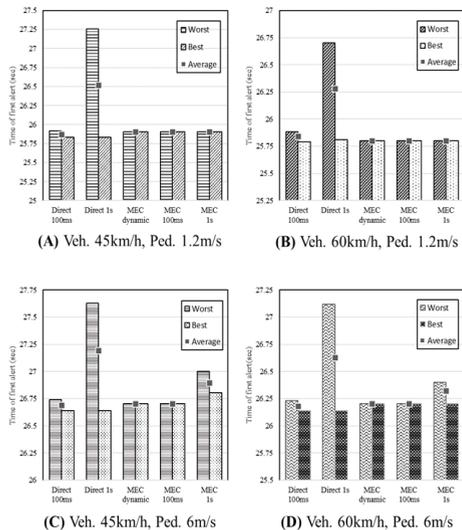


그림 7. 정확도 비교 시뮬레이션 시나리오 A 결과
Fig. 7. Results of Scenario A of Service Quality Comparison Simulation

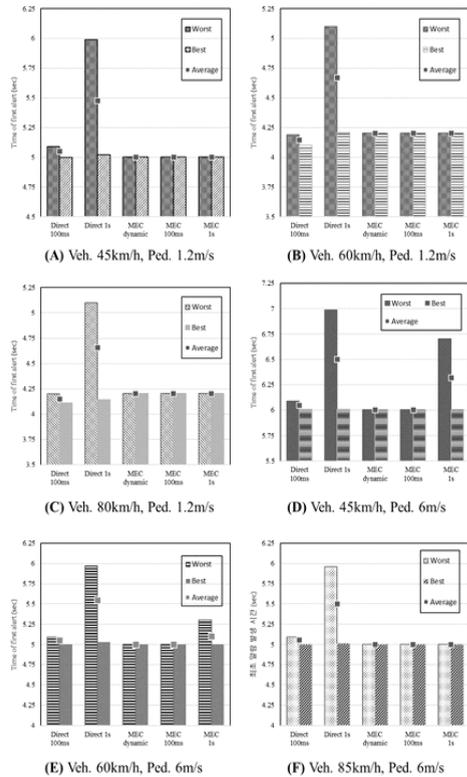


그림 8. 정확도 비교 시뮬레이션 시나리오 B 결과
Fig. 8. Results of Scenario B of Service Quality Comparison Simulation

1초 이상의 늦은 알람이 제공될 수 있음을 의미한다.

Direct 방안의 경우 서버를 거치지 않고 보행자가 차량에게 직접 데이터를 전달하기 때문에 차량은 보행자의 최신 위치 데이터를 신속하게 수신할 수 있게 되어 보행자 전송 주기를 100ms으로 설정하면 높은 정확도를 보일 수 있지만, 전송 주기를 1sec으로 고정할 경우에는 신속하게 이동하는 차량이 인근 보행자의 데이터를 누락하거나 늦게 수신하게 되어 늦은 알람을 발생시킬 수 있다. 따라서 Direct 방안을 이용하는 경우에는 V2P 서비스에 참여하는 차량들이 인근 보행자 데이터를 충분히 빠른 시간 내 수신하여 위험을 예측할 수 있도록 보행자 휴대폰의 송신 주기를 짧게 설정해야 함을 알 수 있다.

4.1.2 MEC 방안과 직접 통신 방안 간 성능 비교

동일한 100ms 주기를 가지는 Direct 100ms 방안과 MEC 100ms 방안은 시뮬레이션에 따라 미미한 차이를 보이지만 (그림 7의 (A), (C), (D)와 그림 8의

(B), (C)에서는 Direct 100ms 방안이 평균적으로 약간 (본 실험에서는 0.034초) 더 빠른 알람을 제공하고, 그림 7의 (B), 그림 8의 (A), (D), (E), (F)에서는 MEC 100ms가 Direct 100ms보다 약간 (본 실험에서는 0.046초) 더 빠른 알람을 제공. 두 방안 간 차이는 사람이 시각 혹은 청각적인 신호를 인지하고 반응하는데 소요되는 최소 시간으로 알려진 0.1초에 비하여 매우 작은 시간으로 실질적으로는 인간이 알람을 인지하고 대처하는 데에 영향을 미치지 않는 정도이다^[18]. 따라서 두 방안은 유사한 시간에 알람이 발생하는 것으로 볼 수 있다.

Direct 1sec 방안과 MEC 1sec 방안 역시 동일 주기를 가졌으나, 그림 7과 8의 모든 결과 그래프에서 MEC 1sec 방안이 Direct 1sec 방안보다 평균 0.42초 빠르게 알람을 발생시킴을 볼 수 있다. Direct 1sec 방안은 보행자의 전송 주기가 1초이기 때문에 차량이 한 보행자에 대해 상태 데이터를 1초에 한 번 수신하게 되는 반면, MEC 1sec 방안은 보행자가 1초에 한 번 데이터를 업데이트하더라도 MEC 서버가 100ms를 주기로 차량에게 보행자의 상태 데이터를 송신하기 때문이다. 즉, 제안하는 MEC 서버 활용 방식을 통해 전송 주기가 긴 경우 직접 통신 방안의 정확도보다 높은 수준의 정확도를 유지할 수 있음을 알 수 있다.

4.1.3 MEC 방안 간 성능 비교

MEC 1sec 방안은 보행자의 속도가 1.2m/s인 경우에는 (그림 7의 (A), (B) 와 그림 8의 (A), (B), (C)) MEC 100ms, MEC dynamic 와 거의 같은 시간에 알람을 발생시킨 반면, 보행자의 속도가 6m/s인 경우에는 (그림 7의 (C) 와 (D), 그림 8의 (D), (E)) 다른 MEC 방안보다 평균적으로 0.2초 늦은 알람을 발생시킴을 볼 수 있다. 가장 늦게 발생한 알람 시간의 경우는 다른 MEC 방안에 비하여 평균 0.38초 늦은 알람을 발생시켰다. 특히, 그림 8의 (D)에서는 다른 MEC 방안에 비하여 MEC 1sec이 최악의 경우 0.7초 늦은 알람을 발생시킨 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 보행자의 이동 속도가 1.2m/s인 상황에서는 1초에 한 번씩 위치 데이터를 업데이트하더라도 1초 동안의 위치 변화가 크지 않기 때문에 충돌 예측 과정에서 실제 위치와 계산에 이용되는 위치 간의 차이가 작아 정확도에 큰 영향을 미치지 않는 반면, 보행자가 6m/s의 속도로 이동할 경우 1초 동안 6m를 이동하게 되어 MEC 서버가 보행자를 대신하여 빈번하게 상태 데이터를 송신하더라도 차량이 수신하는 보행자 위치 데이터의 정확도가 저하되었기 때문에 결과적으로 V2P

서비스 정확도가 감소한 것이다.

이에 반해 MEC dynamic 방안은 보행자의 이동 속도에 기반하여 전송 주기를 결정하므로 6m/s로 달리는 상황에서는 그에 맞게 전송 주기를 짧게 설정한다. 따라서, 그림 7과 8의 모든 실험 결과 그래프에서 MEC 100ms는 거의 동일한 정확도를 보였다. 즉, 이동 속도가 빨라질 경우 정확도가 감소하는 한계점을 보인 MEC 1sec과는 달리 MEC dynamic 방안은 차량이나 보행자의 이동 속도가 빠른 경우에도 신속하게 데이터를 업데이트하는 MEC 100ms과 동일한 수준의 높은 정확도를 보임을 확인했다.

4.2 에너지 효율 비교 시뮬레이션

모바일 네트워크를 이용하는 휴대폰 단말기는 RRC_Idle, RRC_Connected의 두 가지 상태로 머무르는데, RRC_Idle 상태는 기지국과의 무선 링크 연결이 해제된 상태로 수신할 데이터가 있는지 일정 주기마다 깨어나 확인하고 없다면 다시 Sleep 상태로 전환한다. RRC_Idle 상태에서 송수신할 데이터가 발생한 경우에는 무선 링크를 연결하여 RRC_Connected 상태로 천이하는데, RRC_Connected 상태에서는 링크 상태를 지속적으로 모니터링하고 주기적으로 무선 링크에 대한 상태 데이터를 제공해야 하므로 에너지 소모가 크다. 따라서, 모바일 네트워크를 이용할 때 RRC_Idle 상태에 머무는 시간을 증가시키고 RRC_Connected 상태에 머무르는 시간을 줄이는 것이 에너지 효율을 향상시키는 효과를 가져오게 된다^[12].

RRC_Connected 상태로 진입한 경우에는 송수신할 데이터가 없더라도 다시 송수신할 데이터가 발생할 상황을 대비하여 일정 시간을 대기한다. 최근, 대기 동안에도 일시적으로 Sleep 상태에 진입하여 에너지 효율을 향상시키는 C-DRX 기술이 활발히 연구되었다. C-DRX 기술에서는 RRC_Connected 상태에서 마지막 패킷을 송수신한 뒤, DRX Inactivity Timer로 설정한 시간 동안 Connected 상태를 유지한다. 이후 짧은 시간 동안 Sleep 모드에 머물게 되는데 이 과정이 Short Cycle이다. 정해진 Short Cycle 횟수 동안 새로운 송수신 이벤트가 발생하지 않았다면 Long Cycle로 변경되고 보다 긴 시간 동안 Sleep 상태에 머무르게 된다. 이 과정 중 초기 설정된 RRC Inactivity Timer가 만료되면 RRC_Idle 상태로 천이한다.

Short/Long Cycle 과정에서 깨어나 수신할 데이터를 확인하는데 소요되는 시간인 On duration은 1ms 정도로 짧은 시간이다. 따라서 V2P 서비스와 같이 지

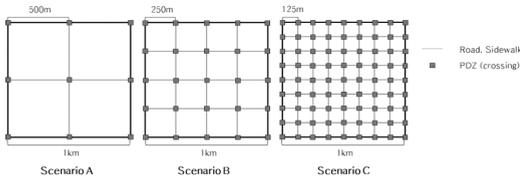


그림 9. PDZ 분포에 따른 시뮬레이션 시나리오
Fig. 9. Simulation Scenario with different PDZ distribution

속적인 데이터 통신 상황에서 Connected time에 영향을 미치는 것은 DRX Inactivity Timer이므로 Connected 상태에 머무르는 시간을 줄이기 위해서는 결과적으로 전송 횟수 자체가 감소해야 함을 알 수 있다.

이에 본 실험에서는 NR 기반 C-DRX의 동작 메커니즘과 파라미터^[16]를 기반으로 V2P 서비스에 참여하는 보행자 휴대폰이 시뮬레이션 시간 동안 RRC_Connected 상태에 머무르는 시간을 측정함으로써 에너지 효율을 비교한다. 표 3은 에너지 효율 비교 시뮬레이션에 적용된 파라미터이다.

제안하는 동적 주기 결정 알고리즘은 위험 구역이라 판단되는 PDZ에 위치할 경우 전송 주기를 짧게 설정하기 때문에 보행자 이동 경로 상 PDZ 분포에 따라 에너지 효율이 달라진다. 따라서 그림 9과 같이 PDZ 분포가 다른 3가지 시나리오를 생성하고, 보행자 노드가 각 시나리오에서 무작위한 경로를 이동하도록 하였다. 그리고, 각 시나리오에 대해 보행자 휴대폰에서의 상태 데이터 전송 주기가 100ms 혹은 1sec의 고정

표 3. 에너지 효율 비교 시뮬레이션 파라미터
Table 3. Parameters of Energy Efficiency Comparison Simulation

Parameter	Values
Simulation time (sec)	3600
Simulation Area	1km ²
Number of pedestrian	100
Number of PDZ	9/25/81
DRX Inactivity Timer (msec)	40
RRC Inactivity Timer (sec)	1
Short cycle duration (msec)	120
Number of short cycles	2
Long cycle duration (msec)	256
On duration (msec)	1

표 4. 에너지 효율 비교 시뮬레이션 결과
Table 4. Energy Efficiency Comparison Simulation Results

	Dynamic	Static (100msec)	Static (1sec)
Scenario A	84.122	1440.0	158.4
Scenario B	98.072		
Scenario C	124.231		

값인 경우와 동적 주기 결정 알고리즘을 적용한 경우를 실험하였다. 100명의 보행자 노드가 시뮬레이션 시간 동안 RRC_Connected 상태에 머무른 시간을 측정하였고 평균값을 계산하여 결과를 비교하였다.

표 4는 보행자 휴대폰의 송신 주기 설정에 따라 RRC_Connected 상태에 머무른 시간을 보여준다. 100ms와 1sec의 고정 주기 방안은 PDZ 분포에 따른 3가지 시나리오의 변화와 관계없이 항상 같은 주기로 데이터가 송신되므로 동일한 값이 측정되었다. 100ms와 1sec의 고정 주기로 데이터를 송신한 경우 시뮬레이션이 진행된 3,600초 중 각각 1,440초와 158.4초 동안 RRC_Connected 상태에 머물렀다. 고정 주기 방안과 달리 제안하는 동적 주기 결정 알고리즘을 적용한 경우에는 PDZ 분포가 높아짐에 따라 RRC_Connected 상태에 머문 시간이 증가함을 보였다. 그러나, 동적 주기를 적용했을 때 RRC_Connected 상태에 머문 시간이 가장 긴 경우인 시나리오 C에서도 RRC_Connected 상태 체류 시간이 124.23초로 고정 주기 1sec 방안보다도 더 짧은 것을 볼 수 있다. 특히, 고정 주기가 100ms로 설정된 경우에 비해서는 평균적으로 93%가 절약된 단 7%의 시간 동안만 RRC_Connected 상태에 머물렀다.

V. 결 론

본 논문에서는 동적 주기 결정 알고리즘에 의해 보행자 휴대폰은 유의미한 움직임이 발생할 때만 MEC 서버에게 데이터를 전송하도록 하고, MEC가 관할 구역 내 보행자들의 데이터를 취합하여 차량의 이동 속도에 적합한 짧은 주기로 차량들에게 브로드캐스트하도록 하는 V2P 서비스를 제안하였다. 기존 V2P 방안들이 차량과 보행자 간 상태 데이터를 주고받는 오버헤드와 서비스 품질 간에 상호 이율배반적 관계를 가지는데 반해, 제안 방안은 보행자 휴대폰 송신 빈도를 최적화함으로써 에너지 효율을 높이는 동시에 차량이 보행자에 대한 데이터를 빈번하게 수신할 수 있

도록 함으로써 높은 서비스 정확도를 유지한다. 정확도 비교 시물레이션을 통해 제안하는 MEC 활용 방안을 사용함으로써 보행자의 전송 주기가 길어지더라도 직접 통신 방식에 비해 우수한 서비스 정확도를 가짐을 볼 수 있었다. 또한, 동적 주기 결정 알고리즘을 적용함으로써 보행자와 차량의 속도가 모두 빠른 상황에서도 빈번하게 데이터를 송신하는 방안들과 동일한 정확도를 보임을 검증하였다. 그리고, 에너지 효율 비교 시물레이션을 통하여 제안하는 동적 주기 결정 알고리즘을 적용하였을 때 고정 주기 방식에 비하여 에너지 효율이 크게 향상되었음을 확인하였다. 향후 다양한 도로 환경 및 차량과 보행자 밀도에 대하여 제안 방안을 포함한 다양한 V2P 서비스 구조의 트래픽 발생 오버헤드와 서비스 지연을 포괄적으로 연구하고자 한다.

References

- [1] S. Chen, et al., "Vehicle-to-everything (v2x) services supported by LTE-Based systems and 5G," in *IEEE Commun. Std. Mag.*, vol. 1, no. 2, pp. 70-76, 2017.
- [2] P. Sewalkar and J. Seitz, "Vehicle-to-pedestrian communication for vulnerable road users: Survey, design considerations, and challenges," *Sensors*, vol. 19, no. 2, p. 358, Jan. 2019.
- [3] W. Liu, S. Liao, W. Ren, W. Hu, and Y. Yu, "High-level semantic feature detection: A new perspective for pedestrian detection," *2019 IEEE/CVF Conf. CVPR*, pp. 5182-5191, Long Beach, USA, Jun. 2019.
- [4] P. Merdrignac, O. Shagdar, and F. Nashashibi, "Fusion of perception and V2P communication systems for the safety of vulnerable road users," in *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 18, no. 7, pp. 1740-1751, Jul. 2017.
- [5] N. Yakusheva, A. Proletarsky, and M. Basarab, "Pedestrian-vehicle collision avoidance strategy for NLOS conditions," *2018 26th TELFOR*, pp. 1-4, Belgrade, Serbia, Nov. 2018.
- [6] R. B. Zadeh, M. Ghatee, and H. R. Eftekhari, "Three-phases smartphone-based warning system to protect vulnerable road users under fuzzy conditions," in *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 19, no. 7, pp. 2086-2098, Jul. 2018.
- [7] C. Li, G. Salinas, P. Huang, G. Tu, G. Hsu, and T. Hsieh, "V2PSense: Enabling cellular-based V2P collision warning service through mobile sensing," *2018 IEEE ICC*, pp. 1-6, Kansas City, USA, May 2018.
- [8] M. Bagheri, M. Siekkinen, and J. K. Nurminen, "Cloud-based pedestrian road-safety with situation-adaptive energy-efficient communication," in *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag.*, vol. 8, no. 3, pp. 45-62, Jul. 2016.
- [9] M. Bachmann, M. Morold, and K. David, "On the required movement recognition accuracy in cooperative VRU collision avoidance systems," in *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 22, no. 3, pp. 1708-1717, Mar. 2021.
- [10] P. Ho and J. Chen, "WiSafe: Wi-Fi pedestrian collision avoidance system," in *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 66, no. 6, pp. 4564-4578, Jun. 2017.
- [11] A. Tahmasbi-Sarvestani, H. N. Mahjoub, Y. P. Fallah, E. Moradi-Pari, and O. Abuchaar, "Implementation and evaluation of a cooperative vehicle-to-pedestrian safety application," in *IEEE Intell. Transp. Syst. Mag.*, vol. 9, no. 4, pp. 62-75, Oct. 2017.
- [12] Samsung, *4G-5G Interworking RAN-level and CN-level Interworking(2017)*, Retrieved Aug. 14, 2021, from https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/global/business/networks/in_sights/white-paper/4g-5g-interworking/global-networks-insight-4g-5g-interworking-0.pdf
- [13] M. Malinverno, G. Avino, C. Casetti, C. F. Chiasserini, F. Malandrino, and S. Scarpina, "Edge-based collision avoidance for vehicles and vulnerable users: An architecture based on MEC," in *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 15, no. 1, pp. 27-35, Mar. 2020.
- [14] S. Bang and M. Lee, "A study on MEC-based V2P system to improve energy efficiency of mobile phones," in *Proc. KIPS Spring Conf. 2021*, pp. 51-54, Seoul, Korea, May 2021.
- [15] n.d., *Google Activity Recognition API*, Retrieved Aug. 14, 2021, from <https://devel>

- opers.google.com/android/reference/com/google/android/gms/location/ActivityRecognitionApi
- [16] Korea Disease Control and Prevention Agency, *Traffic accident, prevention of pedestrian accidents comes first!* (2018), Retrieved Aug. 14, 2021, from <https://eiec.kdi.re.kr/policy/materialView.do?num=174391>
- [17] Samsung Traffic Safety Research Institute, *AUTO SAFETY NEWS no. 07* (2020), Retrieved Aug. 14, 2021, from http://sts.samsungfire.com/information/regulations/asn/asn_202028_07/asn.html
- [18] V. S. Daulatabad and P. Kamble, and B. PS, "An appraisal of reaction time in elite sprinters and Its comparison with age-matched controls," *Int. J. Med. Res. & Health Sci.*, vol. 2, no. 3, pp. 523-526, Jul. 2013.
- [19] M. K. Maheshwari, M. Agiwal, and A. R. Masud, "Analytical modeling for signaling based DRX in 5G communication," *Trans. Emerging Telecommun. Technol.*, vol. 32. no. 1, e4125, Sep. 2020.

방수정 (Soo-jeong Bang)



2021년 8월 : 이화여자대학교 컴퓨터공학과 졸업
2021년 9월~현재 : 이화여자대학교 컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> Mobile Edge Computing, V2X, ITS, 5G, VANET, FANET, Wireless Mobile Network

[ORCID:0000-0002-4201-0595]

이미정 (Mee-jeong Lee)



1987년 : 이화여자대학교 전자계산학과 졸업
1989년 : University of North Carolina at Chapel Hill 컴퓨터학과 석사
1994년 : North Carolina State University 컴퓨터공학과 박사

1994년~현재 : 이화여자대학교 엘텍공과대학 컴퓨터공학과 교수
<관심분야> FANET, MANET, VANET, Wireless Mobile Networks, QoS routing, Internet Traffic Engineering

[ORCID:0000-0001-6968-8817]