

차량 간 통신 기반 충돌 경고 서비스 시뮬레이터 구현

박정훈*, 문철°

Implementation of Collision Warning Service Simulator Based on V2V Communications

Jeong-hoon Park*, Cheol Mun°

요약

본 논문은 차량 간 통신에 기반 한 충돌 경고 안전서비스의 성능 평가를 위해 V2V(Vehicular to Vehicular) 무선통신의 채널 특성, WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments)의 물리 계층과 매체접근제어 계층 특성, 어플리케이션 계층에서의 충돌 경고 알고리즘을 모두 고려한 다 계층 통합 시뮬레이터를 구현하였다. 시뮬레이션을 통해 구현된 시뮬레이터가 차량의 밀도와 속도에 의한 충돌 경고 안전서비스의 성능 변화를 개별 계층의 특성과 성능을 통합하여 분석할 수 있음을 보인다.

Key Words : IEEE 802.11p/WAVE, V2V, Cross-layer, Collision warning

ABSTRACT

This paper presents the simulator for cross-layer performance analysis of collision warning safety service, which considers wireless channel characteristics, performance of physical and medium access control layer, and collision warning algorithms in application layer of V2V communications. The simulation results show that the simulator can analyze the performance variation of collision

warning safety service due to traffic density and velocity by considering individual layers together.

I. 서론

최근, 차량 간 통신 기술을 이용하여 차량 간 충돌을 예측 및 경고하는 안전서비스에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 차량 간 통신을 위한 물리 계층(physical layer)와 매체접근제어 계층(media access control layer)를 포함하는 상위 계층들이 IEEE 802.11p/ WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment)에서 표준화 되었다¹⁾. 각 차량의 운행 상태 정보는 주기적으로 BSM(Basic Safety Message)을 통해 주변 차량들에게 브로드캐스팅 되고, 주변 차량으로부터 수신된 다수의 BSM을 이용하여 예상 경로들을 계산하고 충돌 가능성 예측을 통해 운전자에게 경고한다. 이러한 서비스 성능은 V2V 무선통신의 채널 특성, 물리 계층과 매체접근제어 계층의 패킷 에러 성능 및 충돌, 어플리케이션 계층의 충돌 예측 알고리즘의 성능, 그리고 트래픽 분포 및 운행 환경 등에 의해 영향을 받지만, 이들을 통합적으로 고려하여 성능을 분석한 연구 사례는 아직까지 발표되지 않았다.

본 논문에서는 차량 간 통신의 모든 계층, 즉 무선 채널, 물리계층, 매체접근제어 계층, 응용계층 등을 모두 통합한 충돌 경고 안전서비스 시뮬레이터를 제안하고 이를 통해 성능을 분석한다.

II. 시스템 모델

IEEE802.11p/WAVE 다 계층을 통합하여 수행되는 시뮬레이션의 전체 흐름은 다음 그림 1과 같다.

먼저 성능을 분석코자 하는 시나리오를 정의하고, 적합한 도로 환경과 트래픽 분포를 모델링한다. 각 차량의 응용계층에서는 차량의 현재 위치, 이동 방향, 속도, 가속도, 그리고 요 각속도(yaw rate) 등과 같은 차량의 운행 상태 정보를 갖는 BSM을 생성한다. BSM은 SAE(Society of Automotive Engineers)에서 제정한 J2735 안전메시지 표준이며, 100ms 마다 주기

* 본 연구는 한국연구재단의 이공분야기초연구사업(NRF-2015R1D1A3A01019560)과 국토교통부 국토교통기술촉진연구사업의 연구비 지원(16CTAP-C098206-02)을 받아 수행하였음

• First Author : (ORCID:0000-0002-0630-9063)Department of IT Convergence, Korea National University of Transportation, jijj3272@ut.ac.kr, 정희원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-2358-8375)Department of IT Convergence, Korea National University of Transportation, chmun@ut.ac.kr, 정희원

논문번호 : KICS2017-12-397, Received December 22, 2017; Revised March 21, 2018; Accepted March 22, 2018

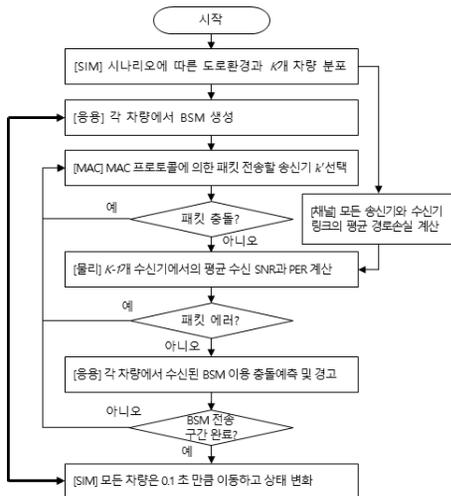


그림 1. 안전서비스 시뮬레이션 흐름도
Fig. 1. Flowchart of the safety service simulation

적으로 주변 차량들에게 브로드캐스팅 된다.

매체접근제어 계층에서 해당 시간 슬롯에서 주파수 채널을 점유하고 BSM을 전송할 송신기 k' 을 K 개의 송신기들 중에서 선택한다. 동시 전송에 의한 패킷 충돌을 회피하면서 다수의 송신기들이 효율적으로 패킷을 전송하기 위해, EDCA(Enhanced Distributed Channel Access)와 CSMA/CA(Carrier Sensing Multiple Access/Collision Avoidance) 매체접근제어 프로토콜이 사용된다.

EDCA에 의해 각 송신기에서 랜덤 백오프(random backoff)가 생성됨에도 불구하고, 차량의 밀도가 높은 경우 패킷 충돌이 발생할 수 있다. 이 때, 충돌이 확인된 BSM들은 전송 실패로 간주되고, 대기 중인 나머지 송신기들에 대해 매체접근제어 과정을 수행하는 단계로 회귀한다.

매체접근제어 계층에서 전송 선택된 k' 송신기는 BSM을 변조 및 코딩 등의 물리계층 프로세싱을 통해 전송 패킷으로 만들고, 무선채널을 통해 주위 수신기들로 브로드캐스팅 한다. 수신기 물리계층에서는 수신된 패킷에 대해 복조 및 디코딩 등을 수행하고 패킷의 에러 유무를 체크한다. 이러한 과정에 대한 물리계층 및 무선채널 모델링과 시뮬레이션을 수행하고 각 수신기는 수신된 패킷의 에러를 결정한다. 구체적으로, 무선채널 모델링을 통해 k' 송신기에서 나머지 $K-1$ 개의 수신기 사이의 거리에 따른 경로 손실을 WINNER(Wireless World Initiative New Radio) -II 모델^[2]에 의해 구하고, 경로 손실에 따른 수신기에서의 평균 수신 전력과 평균 SNR(Signal-to- Noise

Ratio)을 계산한다. WINNER-II 모델은 통해 송신기와 수신기간의 각 링크에 대해 거리, 송신기와 수신기 안테나 높이, 전파환경(LOS 또는 NLOS) 등을 고려하여 경로 손실을 계산한다.

구해진 각 링크의 평균 SNR을, 차량 속도에 의한 도플러 확산과 지연확산을 고려한 IEEE802.11p/WAVE 물리계층에 대한 링크레벨 시뮬레이션을 통해 미리 구해진 그림 2의 PER(Packet Error Rate) 곡선에 대입하여 평균 PER을 구한다. 평균 수신 SNR에 따른 평균 PER의 성능을 나타내는 그림 2는 도심 환경에서 발생하는 지연확산(delay spread)과 차량 이동에 의한 도플러 확산(Doppler spread)을 고려한 채널 모델을 사용하고, IEEE802.11p 표준의 물리계층을 모델링한 링크레벨 시뮬레이션을 통해 구해진다. BSM 전송시에 사용되는 QPSK(Quadrature Phase Shift Keying) 변조와 코드율 1/2의 컨볼루션 채널코딩을 가정하고, 60km/h의 상대 속도로 이동하는 두 차량간 링크의 PER 성능 그래프는 다음 그림과 같다^[4].

그림 2에서 SNR이 13dB 경우 평균 PER은 10^{-1} 이 되며, 이는 평균적으로 전송되는 10개의 패킷 중에 1개의 패킷에서 에러가 발생하여 전송이 실패함을 의미한다. 따라서, 현재 패킷 수신 성공 여부를 결정하기 위해 0과 1사이의 균일한 랜덤 분포를 갖는 값을 구하고 그 값이 수신 PER보다 작으면 BSM 패킷 송신에 실패한 것으로 결정하며, 반대로 수신 PER보다 크다면 패킷 송신에 성공한 것으로 결정된다^[3].

각 차량의 응용계층에서는 주변 차량(object)들로부터 수신된 BSM을 이용하여 경로를 예측 및 자기차량(subject)의 예측 경로와 비교하여 충돌을 예측한다.

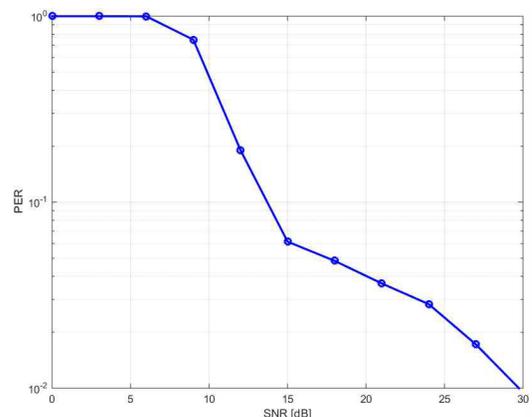


그림 2. QPSK 1/2, 속도 60km/h PER 성능 그래프
Fig. 2. QPSK 1/2, vehicle speed 60km/h PER performance graph

그림 3은 각 수신기의 응용계층에서 수행되는 차량 충돌 경고 알고리즘 흐름도를 나타낸다. 먼저, 0.1초마다 BSM 데이터를 새로 갱신한다. 이를 통해 자기 차량의 Δt 초 이후의 예측 위치 $\vec{s}(t+\Delta t)$ 와 주변차량의 예측위치 $\vec{o}(t+\Delta t)$ 을 구하고, 두 위치간의 거리가 일정한 안전거리 값 d_s 과 비교하여, d_s 보다 작으면 운전자에게 충돌 경고 알람을 발생시키고 운전자는 긴급 제동을 수행한다. 본 논문에서는 안전거리 값을 도로 폭인 3.5m로 하고 Δt 는 0.1초 단위로 3.5초까지 고려한다. 3.5초는 운전자가 알람을 인지하고 제동을 통해 충돌을 회피하기 위해 필요한 시간 값을 의미한다.

사용된 경로 예측 모델은 CTRA(Constant turn rate and acceleration)로 일정한 값의 요 각속도(yaw rate)와 가속도의 가정 하에서, Δt 이후의 위치 $\vec{p}(t+\Delta t)$ 를 다음과 같이 계산한다[5].

$$\vec{p}(t+\Delta t) = \vec{p}(t) + \langle \Delta x(\Delta t), \Delta y(\Delta t) \rangle \quad (1)$$

따라서, 충돌 예측까지 과정은 100ms 주기마다 수행되고, BSM 발생부터 충돌 예측까지의 과정들을 시뮬레이션 종료까지 반복한다.

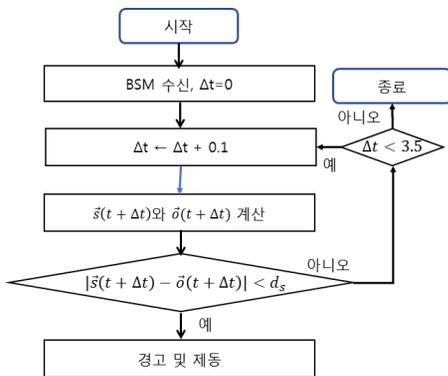


그림 3. 차량 충돌 방지 알고리즘 흐름도
Fig. 3. Flow chart of Vehicle collision avoidance algorithm

III. 시뮬레이션

시뮬레이션은 도심 교차로에서 두 개의 직각 방향 경로로 접근하는 두 대의 차량에 대해 충돌 경고를 하는 안전서비스에 대해 수행되었다. 접근하는 두 차량의 속도는 40km/h와 60km/h를 가정하였으며, 교차로에는 다수의 차량들이 교차로 중심으로 부터 50m 이

내의 도로에 30대와 50대의 차량 분포를 가정하여, 도심 환경에서의 트래픽 혼잡에 따른 안전서비스에 대한 성능을 분석하였다.

그림 4는 구현된 시뮬레이터의 개요를 보여준다. 차량과 교차로 환경 모델링은 microscopic traffic 시뮬레이션 도구인 Tass사의 PreScan을 사용하였으며, BSM은 Matlab/Simulink로 구현된 무선 채널 모델, 물리 계층 및 매체접근제어 계층 모델을 통해 BSM 전송 성공 여부가 결정된다. 이 정보는 PreScan에 전달되어 각 차량은 경로 및 충돌 예측을 수행하고, 충돌이 예측 될 경우 브레이크 제어 신호를 전송하여 긴급 브레이킹을 수행한다.

그림 5는 교차로에 차량이 50대 분포하고 관찰 대상 차량 두 대가 60km/h의 속도로 교차로로 진입하면서 발생하는 측면 직각 충돌 상황에서의 시뮬레이션 결과를 보여준다. 브레이크 제어 신호는 관찰 대상 차량의 BSM 패킷에서 충돌 및 에러가 발생하지 않는 이상적인 브레이킹 제어 신호(보라색)와 송수신간의 패킷 충돌 및 에러를 고려한 실제 BSM 송수신에 의한 브레이킹 제어신호(노란색)를 비교한다.

실제 브레이킹 신호가 이상적인 브레이킹 신호 보

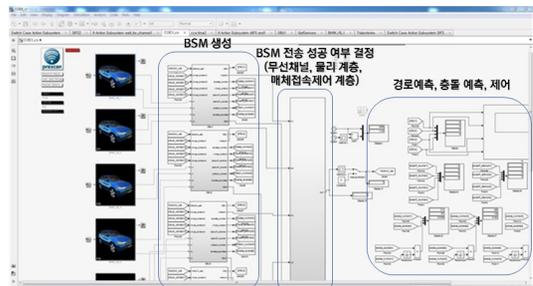


그림 4. 구현된 안전서비스 시뮬레이터의 개요
Fig. 4. Overview of the safety service simulator



그림 5. 측면 직각 충돌 경고 서비스 시뮬레이션 결과
Fig. 5. Simulation results of side right angle collision warning service

다 나중에 발생하는 것은, 송수신기 간 거리가 감소하면서 통신 가능 영역에 들어서고, BSM 송수신이 가능하게 되면서 충돌 예측에 의한 브레이킹 신호가 발생하기 때문이다. 이를 통해 교차로와 같이 송신기와 수신기가 비가시 영역에 있을 경우, WAVE가 충분한 통신 거리를 제공하지 못함을 알 수 있다.

그림 6은 그림 5의 시뮬레이션이 계속 수행된 후 결국 차량 간 충돌이 발생하는 결과를 보여준다. BSM 송수신이 가능한 영역에서부터 충돌을 예측하고 브레이크 제어 신호에 의해 제동을 수행하여 속도가 감소하고 있으나, BSM 수신 에러가 발생하여 불연속적인 제동에 의해 교차로에서 차량 간 충돌이 발생한다. 이는 50대의 차량이 밀집되어 차량의 밀도가 높기 때문에 매체접근제어 계층에서 패킷 충돌이 발생하기 때문이다. 따라서, 측면 직각 충돌 경고 서비스의 실패는 비가시 영역에서 WAVE가 충분한 통신 거리를 제공하지 못한다는 것과 차량의 밀도가 높은 경우 발생하는 패킷 충돌이 복합적으로 작용한 것으로 분석할 수 있다.

아래 표는 차량의 밀도와 속도에 따른 측면 직각 충돌 경고 안전서비스의 성능을 비교 분석한 결과를 보여준다. 그림 6의 차량 밀도 50대와 이동 속도 60km/h의 경우는 낮은 브레이킹 신호에 의한 충분하지 못한 제동 거리와 패킷 충돌에 의한 불연속적 제동에 의해 차량 충돌이 발생한다. 차량밀도 30대와 속도 60km/h는 제동 거리가 충분하지 않지만 패킷 충돌이 발생하지 않기 때문에 차량 충돌을 회피할 수 있다. 차량밀도 50대와 40km/h의 경우는 패킷 충돌이 발생하지만, 저속이기 때문에 충돌을 회피할 수 있는 제동 거리를 확보할 수 있음을 확인할 수 있다.

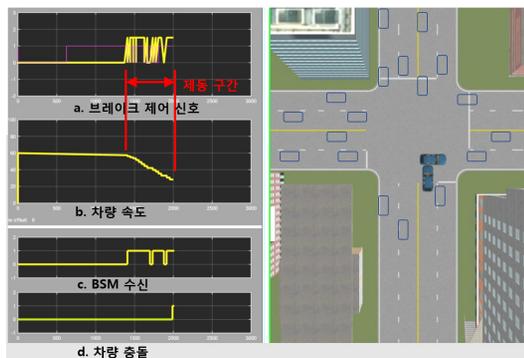


그림 6. 측면 직각 충돌 경고 서비스 시뮬레이션 결과
Fig. 6. Simulation results of side right angle collision warning service

표 1. 측면 직각 충돌 경고 안전서비스의 성능
Table 1. Performance of side collision warning service

트래픽 모델 (속도, 차량 수)	충돌 회피 여부
(40km/h, 30대)	Success
(40km/h, 50대)	Success
(60km/h, 30대)	Success
(60km/h, 50대)	Fail

IV. 결 론

본 논문에서는 차량 간 통신에 기반 한 충돌 경고 안전서비스의 정확한 성능 평가를 위해 V2V 무선 채널 모델, IEEE 802.11p/WAVE의 물리 계층과 매체 접근제어 계층에서의 패킷 에러와 충돌 특성 모델, 어플리케이션 계층에서의 차량 궤적 예측을 통한 충돌 경고 알고리즘, 그리고 트래픽 양 및 운행 환경 모델을 모두 통합한 시뮬레이터를 제안하고, 교차로에서 측면 직각 충돌 경고 서비스에 대한 시뮬레이션을 통해 구현된 시뮬레이터가 차량의 밀도와 속도에 의한 충돌 경고 안전서비스의 성능 변화를 개별 계층의 특성과 성능을 통합하여 분석할 수 있음을 보였다.

References

- [1] IEEE 802.11p, *IEEE Standard for Information Technology Telecommunication and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks-Specific Requirements*, 2010.
- [2] P. Kyosti and J. Meinila, "WINNER II Channel Models," *Information Soc. Technol.*, pp. 43-46, Sept. 2007.
- [3] J. Y. Choi and C. Mun, "Performance evaluation of joint MAC and PHY layers for IEEE 802.11p V2V communications," *J. KIIT*, pp. 77-83, Jan. 2017.
- [4] J. Y. Choi, G. H. Yoo, and C. Mun, "MMSE channel estimation scheme using virtual pilot signal for IEEE 802.11p," *J. KIIT*, vol. 14, no. 6, pp. 51-57, Jun. 2016.
- [5] R. Schubert, E. Richter, and G. Wanielik "Comparison and evaluation of advanced motion models for vehicle tracking," *Information Fusion*, pp. 1-6, Jul. 2008.