

IEEE802.11p/WAVE 차량 네트워크에서 AoI 및 인접 차량 충돌 위험도 기반 적응적 안전 메시지 전송 알고리즘

최종영*, 고영배^o

An Adaptive Safety Message Transmission Algorithm Based on Age-of-Information and Collision Risk-Level with Adjacent Vehicles in IEEE802.11p/WAVE Vehicular Networks

Jong-Young Choi*, Young-Bae Ko^o

요 약

본 논문은 IEEE802.11p/WAVE 차량 네트워크에서 차량 안전도 향상을 위하여 인접 차량 충돌 위험 정도를 고려한 “충돌 위험도 인지 AoI (Collision Risk-Level aware Age-of-Information)”란 새로운 개념을 소개한다. 그리고 충돌 위험이 있는 인접 차량에 대한 안전 메시지의 AoI 최소화를 위한 적응적 전송 주기 조절 알고리즘을 제안한다. ns-3 시뮬레이터를 통해 제안 기법을 구현하였고 성능 분석을 수행하였다.

Key Words : Vehicular networks, V2V communication, Basic Safety Message, BSM rate adaptation, Age of Information, Collision Risk Level, IEEE 802.11p/WAVE, road safety

ABSTRACT

This paper introduces a new concept, named as

Collision Risk-Level aware Age-of-Information, which considers a degree of collision risk with adjacent vehicles, in order to improve safety in IEEE802.11p/WAVE vehicular networks. It also proposes an adaptive transmission rate control algorithm for minimizing the AoI of BSMs(Basic Safety Messages) from those adjacent cars. Using the well-known ns-3 simulator, we have implemented the proposed algorithm and analyzed its performance.

I. 서 론

IEEE802.11p/WAVE 표준 기반 차량 네트워크에서 각 차량은 안전 메시지(Basic Safety Message: BSM)를 주기적으로 전송한다. BSM은 차량의 현재 위치, 속도, 이동 방향과 같은 차량의 현재 정보를 담은 메시지이다¹⁾. 모든 차량은 BSM을 주기적으로 브로드캐스트하여 주변 차량에게 정보를 전달하고 또한 주변 차량으로부터 BSM을 수신한다. 이를 기반으로 안전 서비스가 제공되기 때문에 수신된 BSM은 현재 전송 차량의 정보를 나타낼 수 있어야 하며 차량의 변화를 빠르게 전달할 수 있어야 한다. 이러한 이유로 최적의 BSM 전송 주기 조절은 차량 네트워크 분야에서 중요한 연구 주제로 여겨져 왔고 최근에는 Age-of-Information(AoI) 개념 활용에 대한 관심이 커지고 있다.

AoI 개념을 활용한 대표적인 관련연구²⁾는 각 차량들의 AoI 최소화를 통해 전체 차량의 AoI 최소화를 이끌었다. 하지만, 모든 차량에 대하여 AoI 최소화를 적용해야 함에 따른 비효율성 문제가 있다.

이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 충돌 위험 차량을 구분하여 충돌 위험도를 기반으로 AoI를 적용하는 CRL-AoI(Collision Risk-Level aware Age-of-Information)를 제안한다. 또한 각 차량에서 CRL-AoI를 최소화하기 위한 적응적 BSM 전송 주기 조절을 통해 충돌 위험 차량의 안전 메시지를 자주 전송되게 하여 차량 충돌을 효과적으로 감소시키는 방법을 제안한다.

* 본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2020R1A2C1102284)

• First Author : (ORCID:0000-0001-5877-1586)Ajou University Department of AI Convergence Network, jychoi9712@ajou.ac.kr, 학생(석사), 학생회원

o Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-8799-1761)Ajou University Department of Software and Computer Engineering, youngko@ajou.ac.kr, 정교수, 종신회원

논문번호 : 202112-339-B-LU, Received December 21, 2021; Revised January 5, 2022; Accepted January 6, 2022

II. 제안 기법

차량의 충돌 위험도는 통신 범위 내에 있는 다른 차량과 충돌까지의 여유 시간(Slack Time to Collision, STTC)으로 측정된다. STTC는 상대 차량과의 충돌까지의 시간인 TTC(Time to Collision)와 후미 차량의 반응시간의 차로 계산된다. 그림 1과 같은 상황에서 차량 A가 통신 범위 내에 있는 차량 B에 대한 STTC는 수식 (1)과 같다.

$$STTC_{AB} = TTC_{AB} - Response\ Time_A \quad (1)$$

차량 B는 통신 범위 내 어디든지 존재할 수 있으며, 차량의 위치와 상대 속도에 따라 후미 차량이 결정된다. 후미 차량의 반응 시간은 운전자가 상황을 인지하고 감속을 시작하는 데까지 걸리는 시간과 차량이 정지까지 걸리는 감속 시간으로 계산된다^[3]. 이를 통해 계산된 STTC 값이 낮을수록 차량 A와 B의 충돌까지의 여유가 없음을, 높을수록 충돌까지의 여유가 많음을 의미한다. STTC를 권장 Headway(2s)^[4]의 배수와 비교하여 차량의 충돌 위험도(CRL)를 수식 (2)와 같이 평가한다.

$$\begin{aligned} \text{if } STTC_{AB} < 2s, & \quad CRL_{AB} = 4, \\ \text{elseif } STTC_{AB} < 4s, & \quad CRL_{AB} = 3, \\ \text{elseif } STTC_{AB} < 6s, & \quad CRL_{AB} = 2, \\ \text{elseif } STTC_{AB} < 8s, & \quad CRL_{AB} = 1, \\ \text{else,} & \quad CRL_{AB} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

그리고 차량마다 속도의 변화가 다르므로 상대 차량의 속도 변화량을 고려하여 CRL-AoI에 차등을 둔다. 상대 속도 변화량은 각 차량이 자신의 이전 속도와 현재 속도를 비교하여 속도 변화량(Change of Mobility, CM)을 계산하고 BSM에 포함하여 전송함으로써 알 수 있다. 차량 B에서 계산한 CM은 수식 (3)과 같다.

$$CM_B = \sqrt{(v_B(t) - v_B(t'))^2} \quad (3)$$

이렇게 계산된 충돌 위험도(CRL)와 상대 차량의 속도 변화량(CM)은 BSM의 CRL-AoI 계산에 사용된다. 차량 A 입장에서 상대 차량 B가 전송한 BSM에 대한 CRL-AoI는 수식 (4)와 같이 정의된다. (t는 현재

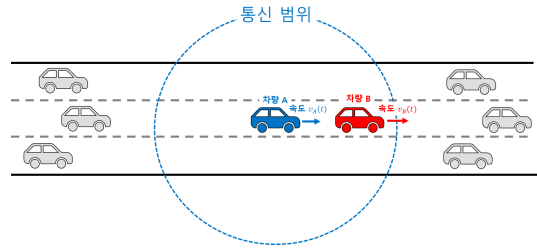


그림 1. 차량 A의 통신 범위
Fig. 1. The communication range of Vehicle A

시각, Δt 는 차량 B의 BSM 생성 이후 지난 시간이다).

$$CRL - AoI_{AB}(t) = \Delta t * CRL_{AB} * (CM_B + 1) \quad (4)$$

CRL-AoI는 차량의 충돌 위험도와 상대 차량의 속도 변화량에 따라 BSM의 Age를 측정하는 기법이다. 각 차량에서 AoI를 최소화시키는 것이 전체 차량의 AoI의 최소화로 이어지는 것^[2]과 같이, 각 차량에서 CRL-AoI를 반복적으로 최소화시키는 것은 결국 전체 차량의 CRL-AoI 최소화로 이어진다. 이를 통해 차량들은 충돌 위험 차량의 BSM을 더 자주 수신하여 충돌 위험 차량의 이동성 변화를 더욱 빠르게 알아차리게 되어, 더욱더 정확한 안전 서비스 제공을 통해 차량 충돌의 감소로 이어진다.

III. 시뮬레이션 결과 분석 및 결론

3.1 구현 및 실험

제안 기법 CRL-AoI의 성능평가를 위해, Trackability-aware Age of Information(TAoI)^[3]을 비교 스킴으로 선택하였다. TAoI는 이동성 변화가 큰 차량들의 AoI를 최소화하는 스킴(scheme)이며 AoI 기법 중 가장 최신 연구이자 이전 연구들보다 월등히 좋은 안전 성능을 보여준다.

Network simulator 3(ns-3)를 사용하여 IEEE 802.11p/WAVE 차량 네트워크 환경에서 Simulation of Urban Mobility (SUMO)를 사용하여 실제와 비슷한 차량의 이동성 모델을 적용하였다. 그림 2와 같이, 1000m * 100m 크기의 3차선 직사각형 도로에서 차량의 수를 100-200대로 증가시키며 100초씩 시뮬레이션을 진행하였다. 차량의 평균 BSM 브로드캐스트 주기, 감지한 충돌 위험 차량의 수, 충돌 위험 차량에 대한 TTC 오차 그래프는 그림 3과 같다.

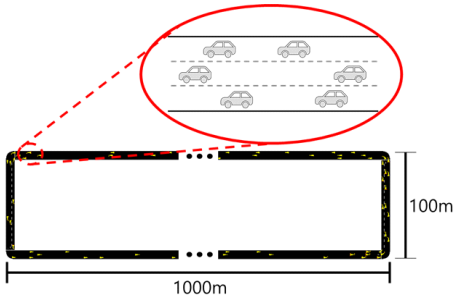


그림 2. 도로 레이아웃과 도로의 확대된 부분(노란색 세모는 차량을 의미).
Fig. 2. Road layout and enlarged part of the road(yellow triangle indicates vehicle).

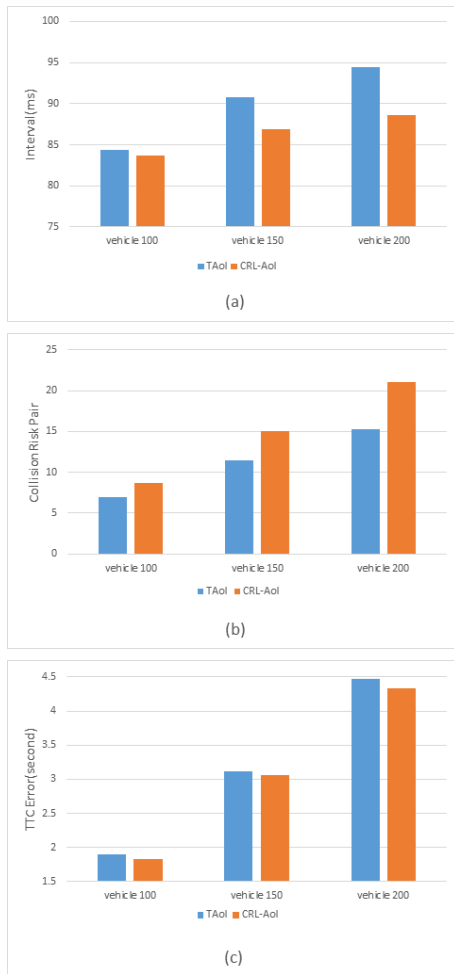


그림 3. 차량 수의 증가에 따른 TAoI와 CRL-AoI의 비교 (a) 차량의 평균 BSM 브로드캐스트 주기, (b) 감지한 충돌 위험 차량의 수, (c) 충돌 위험 차량에 대한 TTC 오차
Fig. 3. Comparison of TAoI and CRL-AoI for (a) average BSM broadcast interval (b) Number of average collision risk vehicle detected by one vehicle (c) average sum of TTC errors calculated by one vehicle.

3.2 결과 분석

그림 3(a)와 같이 CRL-AoI와 TAoI의 BSM 브로드캐스트 주기는 표준 10Hz보다 낮은 주기를 보여준다. 그림 3(b)와 그림 3(c)를 보면, CRL-AoI 기법이 TAoI보다 24%, 31%, 37% 더 많은 충돌 위험 차량을 정확하게 감지하였고, 충돌 위험 차량에 대한 TTC 오차는 4%, 2%, 2% 더 낮다. 충돌 위험 차량이 아닌 이동성 변화만을 고려하는 TAoI는 이동성이 작은 충돌 위험 차량을 제대로 고려하지 못한다. 반면, CRL-AoI는 충돌 위험 차량에 초점을 두어 충돌 위험 차량을 보다 정확하게 감지하며, 충돌 위험 차량에 대한 TTC 오차에서도 TTC 오차가 작은 것이 주요 성능인 TAoI보다 더 좋은 성능을 보인다.

IV. 결론

본 논문은 차량 네트워크에서 차량의 충돌 위험도와 상대 차량의 속도 변화량을 고려하여 BSM을 평가하는 CRL-AoI를 제안한다. 각 차량에서 CRL-AoI를 최소화시킴으로 충돌 위험 차량에 대한 BSM의 전송 주기가 짧아져 더 정확하게 충돌 위험 차량을 감지하고 그 차량에 대한 TTC 오차를 낮춤으로 차량 충돌을 감소시킨다. 향후 연구에서는 다양한 시뮬레이션 환경에서 CRL-AoI의 성능을 더욱 구체적으로 분석하고자 한다.

References

- [1] I. Kim, J. Park, E.-Y. Lee, E. D. Lee, J. Shin, and D. Kim, "Validation of data availability in V2V basic safety message," *J. Auto-vehicle Safety Assoc.*, vol. 9, no. 2, pp. 33-39, Jun. 2017.
- [2] S. Kaul, M. Gruteser, V. Rai, and J. Kenney, "Minimizing age of information in vehicular networks," in *2011 8th Annu. IEEE Commun. Soc. Conf. Sensor, Mesh and Ad Hoc Commun. and Netw.*, pp. 350-358, Salt Lake City, UT, USA, Jun. 2011.
- [3] B. Choudhury, et al., "Joint age of information and self risk assessment for safer 802.11 p based V2V networks," *IEEE INFOCOM 2021-IEEE Conf. Comput. Commun.*, pp. 1-10, May 2021.
- [4] D. N. Lee, "A theory of visual control of braking based on information about time-to-collision," *Perception*, vol. 5, no. 4, pp. 437-459, 1976.