

차량안전 응용을 위한 임의 조기 비컨방송

Random Early Beacon Broadcast (REB²) for Cooperative Vehicle Safety Applications

정 한 유[★], 응웬 호아 흥^{*}

Han-You Jeong[★], Hoa-Hung Nguyen^{*}

Abstract

In the V2X communications, each vehicle periodically broadcasts a message, called a beacon, so that its neighbor vehicles can accurately predict the near-future positions of the sending vehicle. In particular, the mobility-adaptive beacon broadcast (MAB²) scheme keeps the tracking error of a sending vehicle below a fixed threshold within a few consecutive beacon losses. In this paper, we present a random-early beacon broadcast (REB²) scheme that addresses the beacon aging problem of the MAB² scheme. The simulation results show that, for a neighbor vehicle within 100 m distance, the tracking failure probability of REB² scheme can be reduced to less than 1/10 of that of MAB² scheme.

요 약

V2X 통신에서 차량들은 비컨(Beacon)이라고 불리는 메시지의 주기적 방송을 통해 주변 차량들이 송신 차량의 이동상태를 정확하게 예측할 수 있도록 지원한다. 특히, 이동 적응형 비컨 방송 기술(MAB²)은 일정한 한도 내에서 연속된 비컨 손실이 발생하더라도 송신차량의 추적 오차를 임계치 이하로 유지할 수 있는 비컨방송기법이다. 본 논문에서는 MAB² 기술이 야기할 수 있는 비컨의 노후화 문제를 해결하기 위한 임의의 조기 비컨 방송 기법을 제시하고, 시뮬레이션을 통해 충돌사고가 발생할 수 있는 100 m 이내 근거리 차량의 추적실패확률이 1/10 이하로 감소함을 보인다.

Key words : Vehicle safety, vehicular networking, beacon rate control, tracking error, beacon aging

1. 서론

도로교통공단의 교통사고분석시스템에 의하면 운전자의 의식이 향상되고 차량에 장착된 센서들을 활용하여 주행 안전성을 향상하는 첨단운전자지원 시스템(ADAS) 기능이 장착된 차량의 보급이 늘어나면서 교통사고 사망자의 수가 크게 줄어들고 있다[1]. 그러나, 여전히 차량 센서들의 제한된 감지

거리와 장애물로 가려질 때 가시성이 제약되는 문제로 인해 교통사고의 위험이 여전히 존재한다.

C-ITS 기술은 V2X 통신을 통해 차량과 노변 인프라 간 원활한 정보교환을 실현하여 차량 센서들의 제약을 완화하기 위한 기술이다. 특히, 주행 중인 자동차들이 위치, 주행 방향, 속도, 조향각, 브레이크 상태 등을 포함하는 비컨(Beacon) 메시지를 주기적으로 방송함으로써, 주변의 차량들이 송신

* Department of Electrical Engineering, Pusan National University

★ Corresponding author

E-mail : hyjeong@pusan.ac.kr, Tel : +82-51-510-7332, nguyenhoahungit@gmail.com

※ Acknowledgment

This work was supported by a 2-Year Research Grant of Pusan National University

Manuscript received Nov. 30, 2020; revised Dec. 13, 2020; accepted Dec. 14, 2020.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

차량의 이동상태를 추적할 수 있도록 지원하여 주행 안전성을 더욱 향상할 수 있다[2-8]. 우리나라를 비롯하여 미국, 유럽 등 주요 선진국에서는 V2X 통신을 위해 5.9 GHz DSRC 채널에서 75 MHz 대역폭을 C-ITS 용도로 할당하였다. 또한, 미국과 유럽에서 V2X 통신을 지원하기 위한 표준화 작업과 대규모의 실증 프로젝트를 통해 C-ITS의 효과를 확인하였다[3].

이와 함께, 비컨 방송률 제어에 대한 연구도 활발하게 진행되었다[4-8]. 초기의 연구들은 매체접근제어(MAC) 프로토콜 관점에서 통신 성능의 최적화를 목표로 수행되었다[4, 5]. 이후 연구들에서 평균 추적 오차를 기준으로 비컨 방송률을 제어하는 방식들이 제안되었으나, 이러한 확률적 추적 오차 개념은 안전을 보장하는데 부족한 문제가 있다[6, 7].

이동 적응형 비컨방송(MAB²) 방식은 송신 차량이 방송한 최근 K 개의 비컨 중 한 개 이상을 성공적으로 수신한 차량이 송신 차량의 추적 오차를 항상 고정된 임계치 E_T 이내로 유지할 수 있는 새로운 비컨방송기법이다[8]. MAB² 방식은 가감속의 폭이 큰 공격적인 운전을 하는 차량으로 하여금 비컨 방송을 빈번하게 하여 주변 차량들이 송신 차량의 이동성을 자주 갱신하도록 함으로써 추적 오차를 임계치 범위 내에서 유지하도록 한다. 반면, 등속도로 이동하는 차량의 비컨 방송 간격이 크게 증가하는 비컨 노후화(Beacon Aging : BA) 문제가 발생할 수 있다.

본 논문에서는 MAB² 방식을 토대로 추적 오차(Tracking Error : TE)와 주변 차량들의 비컨방송 간격(Beacon Interval : BI)을 고려하여 선제적으로

비컨을 방송하는 임의 초기 비컨방송(Random-Early Beacon Broadcast : REB²) 방식을 제시한다. II장에서는 REB² 방식의 주요 알고리즘을 소개한다. III장에서는 시뮬레이션을 통해 MAB²와 REB² 방식의 성능을 비교한다. 마지막으로 IV장에서는 본 논문의 결론을 제시한다.

II. 임의 초기 비컨방송 방식

MAB² 방식에서 비컨을 수신한 차량은 비컨 정보를 기반으로 등속도 추정을 통해 송신 차량의 위치를 예측한다[8]. 이론적으로 등속운동을 하는 차량은 무한대의 시간까지 비컨을 방송하지 않는 비컨 노후화 문제가 발생한다. 이러한 문제 해결을 위해 본 장에서는 추적 오차와 주변 차량들의 비컨 간격을 활용하여 비컨 노후화 문제를 완화하는 REB² 방식을 소개한다.

1. 추적오차 기반 임의 초기 비컨방송

그림 1은 차량 밀도가 각각 100, 250, 400 veh/Km이고 차량추적 임계치 $E_T = 1.5$ m일 때 MAB² 추적오차의 실험적 누적 분포 함수(eCDF)와 구간 $[E_T/2, E_T]$ 에서 MAB² 추적오차를 수식 (1)의 최소 자승오차 (Least Square Error: LSE) 이차식으로 근사한 그래프를 도시하였다.

$$p_{TE}(x) = \begin{cases} 0, & x < E_T/2 \\ 1.84x^2 - 2.85x + 1.11, & \frac{E_T}{2} \leq x < E_T \\ 1, & x \geq E_T \end{cases} \quad (1)$$

우선, 추적오차의 eCDF는 차량 밀도에 상관없이 거의 동일한 형태의 분포를 가짐을 확인할 수 있다. MAB² 방식은 추적오차가 E_T 보다 초과할 때만 비컨을 방송하기 때문에 최소의 비컨 방송을 통해 추적오차를 임계치 내로 유지할 수 있지만, 비컨 노후화 문제가 발생할 수 있다[8]. 반면, REB² 방식은 추적오차가 임계치 E_T 보다 적더라도 확률 $p_{TE}(x)$ 로 비컨을 선제적으로 방송함으로써 비컨 노후화 문제를 완화한다.

2. 주변차량 비컨 간격 기반 초기 비컨방송

MAB² 방식에서 송신 차량은 통신 범위 내 존재하는 모든 이웃 차량들의 이동성을 등속도 추정을

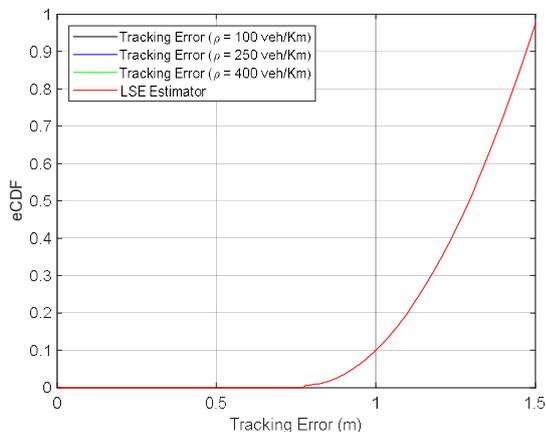


Fig. 1. Experimental CDF (eCDF) of MAB² tracking error.
그림 1. MAB² 추적오차의 실험적 누적 분포 함수

통해 예측한다[8]. REB² 방식은 등속도 추정자를 활용하여 전체 이웃차량들의 비컨방송 간격에 대한 평균과 편차를 계산하고 이를 통해 자신의 비컨방송 간격에 대한 임계치를 도출한다. 비컨방송 간격의 평균과 편차 계산을 위해 동적으로 변화하는 TCP 왕복지연시간(Round-Trip Time : RTT)을 추정하기 위해 사용한 기하 이동 평균(Exponential Moving Average : EMA) 기법을 활용한다[9]. TCP는 각 플로우 별로 RTT를 추정하지만, 본 연구에서는 모든 이웃들의 비컨방송 간격을 통합하여 하나의 EMA로 나타내는 점이 차이점이다.

구체적으로 차량은 비컨을 수신할 때마다 비컨 내 ID 필드를 통해 송신 차량의 등속도 추정자를 검출한다. 새로운 비컨 수신 시각과 등속도 추정자의 비컨 수신 시각 사이의 시간을 BI' 라고 정의하면, 주변 차량들의 비컨방송 간격 평균 \overline{BI} 와 편차 σ_{BI} 는 EMA를 통해 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$\overline{BI} = (1-\alpha)\overline{BI} + \alpha BI' \quad (2)$$

$$\sigma_{BI} = (1-\beta)\sigma_{BI} + \beta|\overline{BI} - BI'| \quad (3)$$

$T = 0.1$ 초 간격의 매 프레임마다 각 차량은 현재 프레임의 시각 T_C 와 자신이 비컨을 방송한 가장 최근 시각 T_B 의 차이가 아래의 임계치를 초과하면 추적오차와 관계없이 비컨을 방송한다.

$$T_C - T_B \geq \overline{BI} + \gamma\sigma_{BI} \quad (4)$$

다시 말해, 등속도 운동으로 주행하는 차량일지라도 수식 (4)를 통해 비컨방송 간격이 주변 차량들의 비컨방송 간격에 비해 너무 크지 않도록 조정함으로써 비컨의 노후화를 방지할 수 있다.

III. 시뮬레이션 결과

본 논문에서는 대표적인 자동차 이동 시뮬레이터인 SUMO와 이벤트 기반 네트워크 시뮬레이터인 OMNeT++의 Cosimulation을 지원하는 VEINS를 사용하여 MAB²와 REB² 방식의 시뮬레이터를 구현하였다[10]. 특히, 이동하는 차량의 무선 채널을 근사하기 위해 Nakagami 채널 모형을 사용하였다. 표 1은 시뮬레이션 파라미터들을 나타낸다.

그림 2는 MAB²와 REB²의 비컨 송출전력이 15/30 dBm일 때, 비컨방송 간격에 대한 확률밀도함수를

Table 1. Simulation Parameters.

표 1. 실험 파라미터들

Parameters	Value	Unit
Road length	7	Km
Vehicle density	200	veh/Km
Bandwidth	10	MHz
Data rate	6	Mbps
Beacon size	400	Bytes
MAB ² parameter K	5	-
Tracking error threshold E_T	1.5	m
EMA parameters (α, β, γ)	(0.1, 0.25, 1)	-
Beacon transmit power	15, 30	dBm

나타낸다. MAB² 방식은 송출전력에 상관없이 긴 꼬리(Long Tail)를 가지는 동일한 분포를 나타낸다. 반면 REB² 방식은 추적오차와 주변 차량의 비컨 간격을 함께 고려하여 선제적으로 비컨을 방송하기 때문에 Long Tail이 존재하지 않기 때문에 최대 비컨 간격이 1초 이내로 수렴한다. 요약하면, REB² 방식은 비컨 노후화 관점에서 볼 때 MAB² 방식보다 우수한 특성을 보인다.

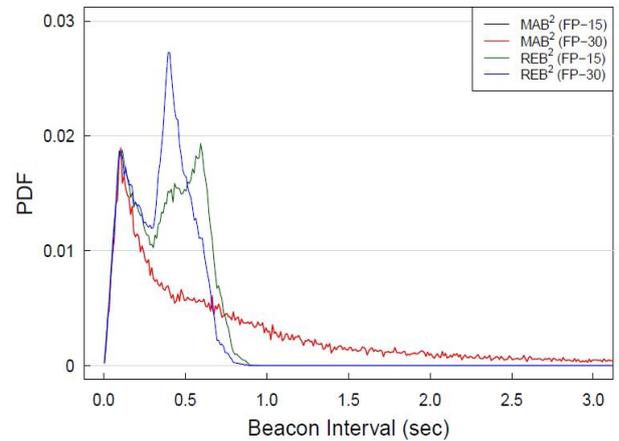


Fig. 2. Probability density function (PDF) of beacon interval.

그림 2. 비컨방송 간격의 확률밀도함수

그림 3은 비컨송출전력이 15/30 dBm일 때 MAB²와 REB² 방식의 채널 이용도(Channel Busy Ratio : CBR)에 대한 확률밀도함수를 나타낸다. 동일한 비컨 방송률을 가지더라도 비컨송출전력이 커지면 채널 이용도가 증가한다. 두 방식 모두 최근 K 개의 비컨 중 한 개 이상을 수신하면 추적오차를 E_T 이내로 한정할 수 있다. 하지만, MAB² 방식은 최소

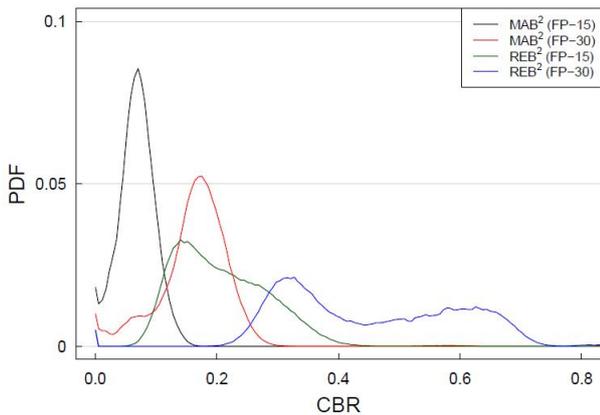


Fig. 3. PDF of channel busy ratio
 그림 3. DSRC 채널의 이용도에 대한 확률밀도함수

의 비컨 방송으로 추적오차 제약을 만족시키는 반면, REB² 방식은 비컨 노후화 문제를 완화하기 위해 반대급부로 채널 이용도를 크게 증가시키는 것을 확인할 수 있다.

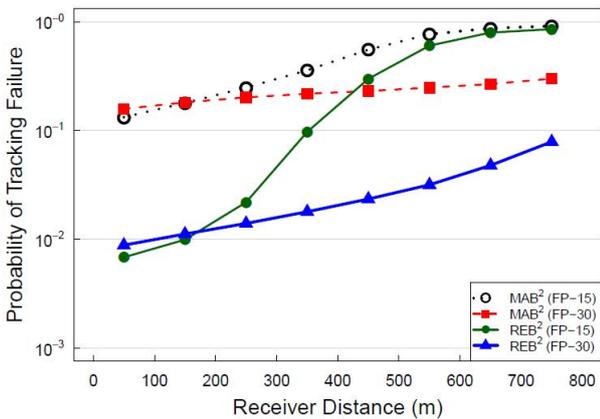


Fig. 4. Probability of tracking failure (PTF) of sending vehicle.
 그림 4. 송신 차량 추적 실패 확률

그림 4는 비컨송출전력이 15/30 dBm일 때 통신 거리에 따른 MAB²와 REB² 방식의 추적실패확률 (Probability of Tracking Failure : PTF)를 도시하였다. 여기에서 추적실패확률은 MAB²와 REB² 방식의 전제조건을 만족하지 못하는 차량²⁾을 포함한 전체 차량을 대상으로 추적오차가 임계치 E_T 를 초과할 확률로 정의한다. MAB² 방식의 추적실패확률은 통신 거리와는 상관없이 항상 0.1을 초과하는 반면 REB² 방식은 충돌가능성이 높은 100 m 이내에서 주행하는 근거리 차량의 추적실패 확률이 10^{-2}

2) 최근 K 개의 비컨을 모두 손실하는 차량임

이하로 유지됨을 확인할 수 있다. 이러한 특성은 비컨 노후화 관점에서 MAB² 대비 REB² 방식의 우수함을 의미한다.

IV. 결론

본 논문에서는 비컨의 노후화 문제를 해결하기 위해 추적오차와 주변차량의 비컨 간격을 기반으로 선제적으로 비컨을 방송하는 REB² 방식을 제시하였다. 향후 REB² 방식은 긴급 자동 제동(Electronic Emergent Brake Light : EEBL) 등 C-ITS 응용을 보다 안전하게 지원할 수 있을 것으로 기대된다.

References

[1] Traffic accident analysis systems, <http://taas.koroad.or.kr>

[2] C. Sommer and F. Dressler, *Vehicular Networking*, Cambridge University Press, 2015.

[3] ETSI ES 202 663 V1.1.0 (2010-01) : *Intelligent Transport Systems (ITS); European profile standard for the physical and medium access control layer of Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band*

[4] D. Eckhoff, N. Sofra and R. German, "A performance study of cooperative awareness in ETSI ITS G5 and IEEE WAVE," in *Proc. IEEE/IFIP WONS 2013*, 2013. DOI: 10.1109/WONS.2013.6578347

[5] G. Bansal, J. B. Kenney, and C. E. Rohrs, "LIMERIC: a linear adaptive message rate control algorithm for DSRC congestion control," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol.62, no.9, pp.4182-4197, 2013. DOI: 10.1109/TVT.2013.2275014

[6] C. L. Huang, Y. P. Fallah, R. Sengupta, and H. Krishnan, "Intervehicle Transmission Rate Control for Cooperative Active Safety System," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol.12, no.3, pp.645-658, 2011. DOI: 10.1109/TITS.2010.2070873

[7] G. Bansal, H. Lu, J. B. Kenney, and C. Poellabauer, "EMBARC: Error model based adaptive rate control

for vehicle-to-vehicle communications,” in *Proc. ACM VANET*, 2013.

DOI: 10.1145/2482967.2482972

[8] H.-H. Nguyen and H.-Y. Jeong, “Mobility-adaptive beacon broadcast (MAB²) for vehicular cooperative safety-critical applications,” *IEEE Trans. on Intelli. Transpt. Syst.*, vol.19, no.6, pp. 1996–2010, 2018. DOI: 10.1109/TITS.2017.2775287

[9] V. Jacobson, “Congestion avoidance and control,” in *Proc. ACM SIGCOMM*, 1988.

DOI: 10.1145/52324.52356.

[10] C. Sommer, R. German and F. Dressler, “Bidirectionally coupled network and road traffic simulation for improved IVC analysis,” *IEEE Trans. on Mobile Comput.*, vol.10 no.1, pp.3–15, 2011.

DOI: 10.1109/TMC.2010.133

BIOGRAPHY

Han-You Jeong (Member)



1998 : BS degree in Electrical Engineering, Seoul National University.

2000 : MS degree in Electrical and Computer Engineering, Seoul National University.

2005 : PhD degree in Electrical and Computer Engineering, Seoul National University.

2005~2007 : Senior Engineer, Samsung Electronics.

2008 : Postdoctoral Researcher, University of Minnesota, USA

2015 : Visiting Scholar, University of Paderborn, Germany

2008~Present : Professor, Pusan National University

Hoa-Hung Nguyen (Member)



2009 : BS degree in Computer Science and Engineering, Ho Chi Minh City University of Technology (HCMUT), Vietnam.

2013 : MS degree in Department of Big Data, Pusan National University.

2020 : PhD degree in School of Electrical, Electronic and Computer Engineering, Pusan National University.

2020~Present : Postdoctoral Researcher, Pusan National University.