

# 차량간 안전 통신에서 짧은 지연시간을 보장하는 비콘 스케줄링 알고리즘

백송남<sup>1</sup> · 정재일<sup>1</sup> · 오현서<sup>3</sup> · 이주영<sup>2\*</sup>

## Low-Latency Beacon Scheduling Algorithms for Vehicular Safety Communications

Song-Nan Bai · Jae-Il Jung · Hyun-Seo Oh · Joo-Yong Lee

### ABSTRACT

The safety applications based on the IEEE 802.11p, periodically transmit the safety-related information to all surrounding vehicles with high reliability and a strict timeline. However, due to the high vehicle mobility, dynamic network topology and limited network resource, the fixed beacon scheduling scheme excess delay and packet loss due to the channel contention and network congestion. With this motivation, we propose a novel beacon scheduling algorithm referred to as spatial-aware(SA) beacon scheduling based on the spatial context information, dynamically rescheduling the beaconing rate like a TDMA channel access scheme. The proposed SA beacon scheduling algorithm was evaluated using different highway traffic scenarios with both a realistic channel model and 802.11p model in our simulation. The simulation results showed that the performance of our proposed algorithm was better than the fixed scheduling in terms of throughput, channel access delay, and channel load. Also, our proposed algorithm is satisfy the requirements of vehicular safety application.

**Key words** : Vehicular Communication, Safety Application, Beacon Scheduling, Simulation, Performace Analysis

### 요 약

IEEE 802.11p 기반의 차량간 통신 기술을 이용한 안전주행 서비스는 주기적으로 안전관련 메시지를 주변 이웃 차량들에게 요구되는 지연 시간 내에 신뢰적으로 전달하여야 한다. 하지만 차량간 통신망은 차량의 고속 이동성, 네트워크 토폴로지의 빈번한 변화 및 한정된 통신 자원 등 특성으로 인해 고정된 비콘 스케줄링 방식은 비콘 메시지의 과도한 전송지연, 패킷 손실 및 네트워크 혼잡 문제들을 야기 시킨다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 공간적 상황정보를 이용하여 TDMA와 유사한 방식으로 비코닝 주기를 동적으로 스케줄링 하는 알고리즘을 제안한다. 제안한 공간인식 비콘 스케줄링 알고리즘은 신뢰적인 고속도로 교통 시나리오와 802.11p 통신 모델을 적용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과에서 보여 지듯이, 제안한 공간인식 비콘 스케줄링 알고리즘은 대역폭 사용률, 채널 액세스 지연, 채널 부하 등 성능 측면에서 고정된 비콘 스케줄링보다 훨씬 좋은 성능을 보여주고 있으며, 차량 안전 서비스에서 요구되는 통신 요구사항들을 만족시키는 것을 볼 수 있다.

**주요어** : 차량간 통신, 안전 서비스, 비콘 스케줄링, 시뮬레이션, 성능 분석

## 1. 서 론

\*본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT핵심 원천기술개발사업의 일환으로 수행되었다. [2007-F-039-01, VMC 기술개발]

접수일(2010년 10월 20일), 심사일(1차 : 2011년 1월 15일, 2차 : 2011년 2월 14일), 게재 확정일(2011년 2월 25일)

<sup>1)</sup> 한양대학교 전자통신컴퓨터 공학과

<sup>2)</sup> 서경대학교 전자공학과

<sup>3)</sup> 전자통신연구원 자동차네트워킹연구팀

주 저 자 : 백송남

교신저자 : 이주영

E-mail: songnam@hanyang.ac.kr

최근, IEEE 802.11p<sup>[1]</sup> 차량간 통신 기술을 이용한 안전주행 서비스(협력 충돌 방지, 전방 차량 충돌 경고, 차선 변경 등)에 대한 연구가 국내·외에서 활발히 이루어지고 있다<sup>[3]</sup>. 차량 안전주행 서비스는 단거리 차량간 무선 통신을 통해 실시간 주행상황을 모니터링 함으로써, 차량의 안전운행을 유도하고 교통 혼잡 상황을 개선하여 운전자에게 보다 안전하고 쾌적한 주행환경을 제공하도록 하는

것이 목적이다.

차량 안전주행 서비스들은 일반적으로 차량 안전관련 메시지를 주변 이웃 차량들에게 주기적으로 브로드캐스팅(broadcasting)하는 기본적인 기능을 갖는다. 차량 안전 관련 메시지에는 기본적으로 차량의 위치, 속도 및 이동 방향 등 차량 위치벡터(position vector)가 포함된다. 이는 각 차량들이 주변 차량들의 현재 주행 상황에 대해 실시간으로 인지할 수 있도록 하고 위험상황에 빠르게 반응하여 사고를 미연에 방지할 수 있도록 도와준다.

차량 안전 운전의 관점에서 보았을 경우, 안전관련 메시지(즉, 비콘 메시지)를 주기적으로 짧은 시간내에 전송할수록 차량 안전주행 서비스 구현에 유리하다. 이는 짧은 주기의 주행정보 교환을 통해 더 정확한 실시간 주변 상황 정보를 획득할 수 있다.<sup>[4]</sup>의 연구결과에서 차량 안전주행 서비스를 구현하기 위해서는 필요 되는 권장 비코닝 주기(beaconing rate)를 제시하였다. 대부분의 차량 협력 안전주행 서비스의 경우 일반적으로 100ms의 비콘 주기와 200m ~ 400m의 전송 거리를 권장하고 있다.

비콘 메시지의 전송 지연이 비코닝 주기보다 길게 되면, 차량이 유효기간이 경과 된 비콘 메시지를 수신하게 되어 잘못된 상황판단을 할 수 있다. 따라서 비콘 메시지를 전송하는 프로토콜의 설계에 있어서 높은 신뢰성과 제한된 전송 지연에 대해 엄격한 요구사항이 있다. 하지만 비콘 메시지는 기본적으로 carrier sensing multiple access/collision avoidance(CSMA/CA) 기반의 IEEE 802.11<sup>[2]</sup> 무선 통신 기술을 사용하기에 숨겨진 노드 문제(hidden node problem)거나 무선 채널 상태와 전송 거리에 따라 패킷 손실이 자주 발생한다. 특히, 교차로거나 고속도로 혼잡구간과 같은 차량 밀집도가 높은 지역에서 이와 같은 비콘 메시지의 전송은 차량간 통신망에 과도한 트래픽을 유발함으로써, 네트워크 혼잡으로 인한 비콘 메시지의 전송 실패확률과 지연이 급격하게 증가한다.

본 논문에서는 차량간 통신에서 주기적으로 전송하는 안전 메시지를 신뢰적으로 제한된 지연 시간 내에 전송하도록 보장하는 비콘 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 제안하는 비콘 스케줄링 알고리즘은 비콘 메시지에 포함된 차량들의 위치벡터 정보를 이용하여 추가적으로 계산된 상황(context) 정보(예를 들어, 타임스탬프(timestamp), 위치, 타임 슬롯(time slot) 사용 현황, 상대적(relative) 공간 위치 등)를 바탕으로 동적으로 비코닝 주기를 조절하여 비콘 메시지를 요구하는 지연 시간 내에 신뢰적으로 전송할 수 있도록 한다. 본 논문의 주요 공헌내용은 다음과 같다. 첫째, IEEE 802.11p의 media access control(MAC)

계층에 대한 추가적인 수정이 없이, 네트워크 계층 정보 교환으로만 비콘 메시지를 time division multiple access (TDMA)와 유사한 방식으로 스케줄링하는 분산 알고리즘이다. 둘째, 각 이동 노드들의 공간적인(spatial) 정보를 기반으로 비콘 메시지를 전송하기 위한 타임 슬롯을 할당하는 분산 알고리즘이다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 비콘 메시지를 효율적으로 전송하기 위해 제안된 관련 기법들에 대해 논의한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 공간인식(spatial aware) 비콘 스케줄링 알고리즘에 대해 기술한다. 4장에서는 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위한 시뮬레이션 환경과 성능 분석 결과를 보여준다. 5장에서는 본 논문의 결론을 맺고 향후 연구 과제에 대해 기술한다.

## 2. 관련 연구

IEEE 802.11p 기반 차량간 통신 시스템은 차량 안전 관련 메시지를 전송하기 위해 CSMA/CA기반의 채널 액세스 기법을 사용하고 있으며, Enhanced Distributed Channel Access(EDCA) 메커니즘을 이용하여 차별화된 통신 서비스를 제공하고 있다<sup>[1-2]</sup>. 하지만 안전관련 메시지는 일반적으로 브로드캐스트 방식으로 전송하기에 IEEE 802.11p 기술은 안전 서비스가 요구하는 신뢰성과 실시간성을 보장할 수 없다.

차량간 통신에서의 비콘 메시지는 일반적으로 100ms의 고정된 비코닝 주기를 간격으로 전송한다. 하지만, 교통 혼잡 지역(예를 들어, 고속도로 정체구간 등)에서 짧은 전송 주기는 차량 수의 증가에 따라 무선 통신 채널에 급격한 부하를 주게 된다. IEEE 802.11p MAC 프로토콜에서 브로드캐스팅 패킷을 전송할 경우 경쟁 윈도우(contention window)의 크기를 첫 번째 단계(stage)인 [0-15] 사이의 값만 선택할 수 있다. 이로 인해, 이동 노드의 수가 증가할수록 각 노드들이 동일한 경쟁 윈도우 값을 선택하게 될 확률이 증가하게 되어 패킷 충돌확률이 현저히 증가하게 된다<sup>[4-5]</sup>.

IEEE 802.11p MAC은 carrier sensing 기법을 통해 채널 상태를 감지하므로 전송 범위에 위치한 노드수가 증가할수록 채널 상태는 충돌된 패킷의 전송으로 오래동안 점유된(busy) 상태에 머물게 된다. 이로 인해 MAC계층에서 비콘 메시지의 채널 액세스 지연이 비코닝 주기보다 더 길게 발생하게 되어 유효기간이 경과된 비콘 메시지는 MAC 큐(queue)에 계속 쌓이게 되고 새롭게 생성된 비콘 메시지는 큐의 오버플로(overflow)로 인해 삭제된다<sup>[6-9]</sup>.

이와 같은 차량간 통신에서의 네트워크 혼잡은 사고와 같은 긴급 안전 메시지들을 제때에 전송할 수 없는 등 주행 안전 서비스를 제공함에 있어서 중요한 문제점으로 제시되고 있다.

Multi-hop vehicular broadcast(MHVB)<sup>[6]</sup> 프로토콜에서는 네트워크의 혼잡 상황을 판단하기 위하여 주변 이웃 노드의 수, 각 이동방향에서의 이웃 노드의 수 및 평균 속도 등 평가 파라미터들을 각각의 임계값과 비교한다. 만일 모든 성능 파라미터가 임계값보다 크게 되면 네트워크 상태가 혼잡하다고 판단하고 비콘 주기 배로 증가하여 비콘 서비스가 차지하는 가용 대역폭을 줄이도록 한다. 하지만 MHVB 프로토콜에서 네트워크 혼잡상황을 판단하는 기준은 도로의 특성(예를 들어, 교차로, 고속도로, 허용 속도 등)과 차량의 이동 특성과 밀접한 연관성이 있기 때문에 정확하게 임계값을 설정하기가 매우 어렵다.

Distributed fair power adjustment for vehicular environments(D-FPAV)<sup>[7]</sup> 기법은 간섭 지역(interference range)에 위치한 이웃 노드 수를 기준으로 계산된 비콘 부하가 최대 비콘 부하(maximum beaconing load)를 초과하지 않도록 비콘 메시지의 전송 파워를 동적으로 제어하는 기법이다. 이 기법에서의 가장 핵심적인 부분은 간섭 지역에 위치한 이웃 노드들의 수를 정확하게 예측하는 것이다. 따라서 D-FPAV에서는 일정한 주기마다 단일홉 전송거리에 있는 이웃노드들의 위치와 전송파워 정보를 포함하는 확장된 비콘 메시지를 주변 이웃 노드들에게 브로드캐스팅 한다. Segment-based power adjustment for vehicular environments(SPAV)<sup>[8]</sup>에서는 확장된 비콘 메시지의 오버헤드를 줄이기 위하여 주변 이웃 노드들에 대한 위치와 전송파워 정보를 주는 대신 주행 도로를 세그먼트(segment) 단위로 분할하여 세그먼트별 차량 밀도 정보를 전송하게 된다. 따라서 각 노드들은 주행 도로의 차량 밀도 정보를 기준으로 자신의 전송 파워를 조절하게 된다. 하지만 이와 같은 방법은 차량 안전 서비스에서 요구하는 비콘 메시지 최소 전달 거리를 만족하지 않는 경우가 발생한다. 예를 들어, 고속도로에서 반대 방향 차선의 교통 혼잡상황 때문에 혼잡상황이 없이 고속으로 이동 가능한 차선에서도 낮은 전송파워를 사용하여 주변 상황에 대한 인지범위가 축소될 수 있기 때문이다.

<sup>[9]</sup>에서는 802.11p MAC에서 브로드캐스트 패킷을 전송 시 경쟁 윈도우가 첫 번째 단계에 국한되어 발생하는 패킷 충돌 현상을 해결하기 위해 패킷 손실률(packet error rate)에 따라 최적의 경쟁 윈도우의 크기를 결정하는 알고리즘을 제안하였다. 이와 유사하게 <sup>[10]</sup>에서 제안한 알고

리즘은 채널을 리스닝하는(listening) 동안 성공적으로 패킷을 수신한 평균 횟수를 통해 현재의 경쟁 윈도우 크기를 결정하게 된다. 하지만 이러한 기법들은 기존의 IEEE 802.11p MAC 프로토콜을 수정하여야 한다는 문제점과 응용서비스별 차별화된 서비스를 제공할 수 없다는 문제점이 존재한다.

위에서 설명한바와 같이 기존 연구에서 네트워크 혼잡 문제를 해결하기 위해 아래와 같은 두 가지 접근법을 사용하였다. 첫째, 주변 이웃 노드의 수를 예측하여 비콘 메시지가 사용하는 채널 용량을 예측한다. 둘째, 예측된 채널 용량에 기반을 두어 동적으로 전송 파워, 주기 및 경쟁 윈도우의 크기를 변화시키면서 비콘이 사용하는 채널 용량을 일정한 수준이하로 제어하는 것이다. 하지만 본 논문에서는 차량 안전 서비스 제공에 있어서 가장 중요한 신뢰성과 예측 가능한 전송지연을 보장하는 것을 목표로 하므로 네트워크 계층에서 TDMA와 유사한 방식으로 비콘 메시지를 동적으로 스케줄링 하는 방안을 제안하였다.

### 3. 제안 알고리즘

본 논문에서 제안하는 공간인식 비콘 스케줄링 알고리즘은 TDMA와 비슷한 채널 접근 방식을 기반으로 공간적 상황정보와 통신 채널의 점유상태에 근거하여 비콘 메시지를 보내는 타임 슬롯(Time Slot)을 동적으로 할당한다. 또한, 네트워크 계층에서 동적으로 비콘 메시지를 생성하며 비콘 메시지를 전송하기 위한 타임 슬롯이 할당되지 않을 경우, 비콘 메시지를 생성하거나 하위계층으로 전달하지 않는다.

#### 3.1 비콘 메시지

그림 1에서 보이듯이, 공간인식 비콘 스케줄링 알고리즘에서 사용하는 비콘 메시지의 구조는 다음과 같다.

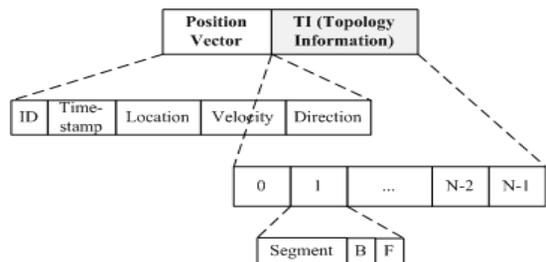


그림 1. 비콘 메시지 포맷

비콘 메시지에는 이동 노드의 식별자, 타임스탬프, 위치, 속도, 방향 등 위치벡터 정보와 공간적 상황 정보를 표시하는 Topology Information(TI)를 포함하고 있다. 위치 벡터는 각 노드들이 GPS 모듈로부터 해당정보를 읽어 드려서 비콘 메시지를 구성하게 된다. TI에는  $N$ 개의 타임 슬롯에 대한 공간적 상황 정보를 포함하고 있다. 타임 슬롯에 대한 공간적 상황 정보는 상대적 거리 벡터를 나타내는 도로 세그먼트(Segment) 번호, 타임 슬롯의 점유 상태를 나타내는 상태 비트(B)와 플래그 비트(F)로 구성되었다.

도로 세그먼트는 목표 차량의 위치와 이동방향을 기준으로 주변 이웃 차량들을 식별하기 위해 사용되는 거리 벡터이다. 주기적으로 교환되는 비콘 메시지에는 이동 노드의 이동성 정보(위치, 속도, 방향 등)를 포함하고 있다. 따라서 각 이동 노드들은 비콘 메시지의 교환을 통해 단일홉 주위의 이웃 노드가 위치한 도로 세그먼트를 계산할 수 있다. 그림 2에서 보이듯이 도로 세그먼트는 목표 차량의 위치를 원점으로 (0) 주변 이웃 차량들을 표시한다. 도로 세그먼트 번호를 할당하기 위해 도로 세그먼트의 기본 단위는  $l$  이다. 그림 2의 예와 같이, 목표 차량1의 주행 방향 앞에 위치한 차량 4의 도로 세그먼트는 (+2)가 되고, 뒤에 위치한 차량2와 차량 3의 도로 세그먼트는 각각 (-2)와 (-3)가 된다. 그리고 목표 차량의 통신 반경 ( $R$ ) 밖에 위치한 차량 5의 도로 세그먼트는 무한대로 ( $\infty$ ) 표시한다.

본 논문에서 기술하는 타임 슬롯은 기본적인 비코닝 주기를(예, 100ms) 하나의 가상의 타임 프레임으로 가정

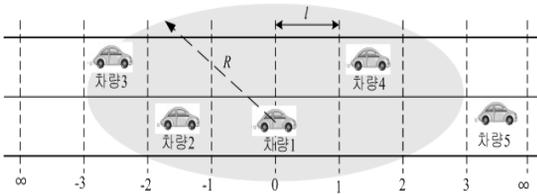


그림 2. 도로 세그먼트 할당 예

표 1. 802.11p 통신관련 규격

상태 비트	플래그 비트	설명
0	0	유ힴ(idle) 상태
1	0	예약(Reserved) 상태
0	1	경쟁(contention) 상태
1	1	재사용(Reuseable) 상태

하고 이를 기준으로  $N$ 개의 타임 슬롯을 구성하게 된다. 표 1은 타임 슬롯의 점유 상태를 상태 비트와 플래그 비트의 조합에 따라 나타내고 있다.

### 3.2 지역화된 타임 프레임 테이블

이동 노드들은 비콘 메시지를 전송하기 위한 타임 슬롯을 할당하기 위해 일정한 시간 동안 단일홉 이웃 노드로부터 비콘 메시지를 리스닝한다. 이를 통해 이동 노드는 수신한 비콘 메시지의 위치 벡터와 TI를 이용하여 localized time frame(LTF) 테이블을 구성하게 된다. LTF 테이블은 주변 이웃 노드들의 공간적 상황 정보를 실시간으로 관리하는 테이블이다. 따라서 LTF 테이블은 비콘 메시지를 수신할 때마다 업데이트 과정을 수행하게 된다. 표 2는 LTF 테이블에 포함되는 정보들을 보여주고 있다.

LTF 테이블에서 이웃 노드의 도로 세그먼트를 계산하는 방식은 다음과 같다. 식 (1) 은 두 인접한 노드  $i, j$ 간의 도로 세그먼트를 구하는 방정식이다.

$$S_{(i, j)} = [(d_{(i, j)} / l) + 0.5] \tag{1}$$

여기서  $S_{(i, j)}$ 는 도로 세그먼트를 표시하고  $d_{(i, j)}$ 는 두 노드간의 상대 거리를 표시한다.

여기서 노드  $i$ 의 2홉 이웃 노드인  $k$ 의 도로 세그먼트를 계산하기 위해서는 노드  $j$ 에서 수신된 비콘 메시지의 TI를 참조하여 계산할 수 있다. 식 (2) 는 2홉 거리에 위치한 노드  $i$ 와 노드  $k$ 간의 도로 세그먼트를 구하는 계산식이다.

$$S_{(i, k)} = S_{(i, j)} + S_{(j, k)} \tag{2}$$

표 2. 타임 슬롯 점유 상태

항목	설명
슬롯 ID	타임 슬롯 ID(0 ~ N-1)
차량 ID	1홉 이웃 노드: 송신 노드 MAC 주소 2홉 이웃 노드: 브로드캐스트 MAC 주소
도로 세그먼트	1홉 이웃 노드: 비콘 메시지에 포함된 위치 정보와 자신의 위치정보를 이용하여 계산 2홉 이웃 노드: 이웃 노드의 도로 세그먼트와 이웃 노드를 기준으로 계산된 도로 세그먼트를 이용하여 계산
슬롯 상태	타임 슬롯의 점유 상태 표시

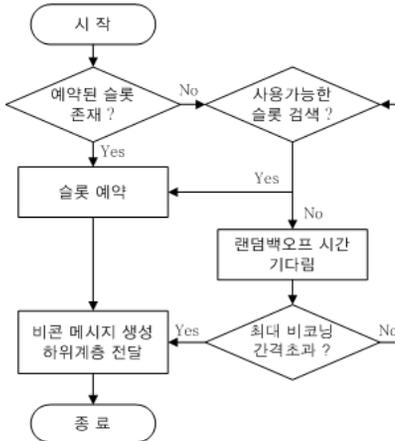


그림 3. 타임 슬롯 할당 알고리즘

### 3.3 타임 슬롯 할당 알고리즘

그림 3에서는 이동 노드가 비콘 메시지를 전송하기 위해 스스로 타임 슬롯을 할당하는 알고리즘을 보여주고 있다.

비콘 메시지를 보내기 위한 이벤트가 발생하게 되면 이동 노드는 먼저 자신의 LTF 테이블을 검색하여 예약한(reserved) 슬롯이 있는지 판단한다. 예약한 슬롯이 존재할 경우, 해당되는 슬롯에서 비콘 메시지를 생성하여 하위 계층으로 전달하게 된다. 예약된 슬롯이 없을 경우, LTF 테이블에서 사용 가능한(available) 슬롯을 임의로 선택하여 자신의 다음 번 비콘 메시지를 전송하기 위한 슬롯으로 설정한다. 만일 사용 가능한 슬롯이 없을 경우, 랜덤 백오프(backoff) 시간 동안 기다렸다가 다시 LTF 테이블을 검색하여 사용 가능한 슬롯을 할당 받도록 한다. 예약된 슬롯에서 비콘 메시지를 전송 시에는 access categories(AC) 3에서 전송할 수 있도록 우선권을 부여한다. 만일 비콘 메시지를 전송하기 위한 슬롯을 할당 받지 못하여 대기한 시간이  $T_{max\_wait}$ 을 초과하였을 경우, 더 이상 기다리지 않고 비콘 메시지를 보내기 위한 임의의 타임 슬롯을 선정하여 전달하게 된다. 이때 비콘 메시지는 AC 0 에서 전송하도록 설정한다.

### 3.4 타임 슬롯 중복 사용 및 재사용 기법

제한하는 공간인식 비콘 스케줄링 알고리즘의 성능을 극대화하기 위해서는 효율적인 타임 슬롯 관리가 필요하다. 차량간 통신망은 빠른 이동성으로 네트워크 토폴로지가 빈번하게 변화되므로 예약된 타임 슬롯이 서로 다른

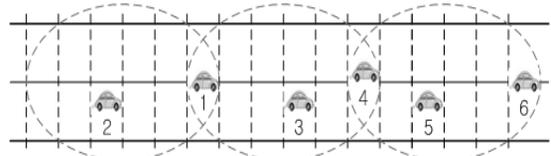


그림 4. 타임 슬롯 재사용 시나리오

노드에서 중복되어 사용될 경우가 발생한다. 타임 슬롯이 중복되어 사용될 경우는 아래와 같은 세 가지 경우가 대부분이다. 첫 번째는 노드의 빠른 이동성으로 인해 동일한 타임 슬롯을 예약한 두 노드가 서로 간섭영역에 존재할 경우이다. 이와 같은 경우, 해당 슬롯은 중복 사용으로 인하여 사용 가능(available) 상태로 설정하게 되며 모든 노드들이 다시 경쟁하여(contention) 사용하도록 변경된다. 따라서 중복된 타임 슬롯을 사용하던 두 노드는 위에서 제시하는 타임 슬롯 할당 알고리즘을 통해 서로 다른 타임 슬롯을 할당 받게 된다. 두 번째는 간섭영역에 위치한 이동 노드의 수가 타임 슬롯의 수를 초과 하였을 경우이다. 이 같은 상황은 교차로거나 교통 혼잡으로 인한 정체 구간에서 자주 발생할 수 있다. 따라서 대부분의 타임 슬롯은 중복 사용으로 인한 경쟁 상태로 되어 있어, 해당 타임 슬롯은 모든 이동 노드들은 경쟁방식을 통해 사용하게 된다.

세 번째는 그림 4와 같이 무선 통신에서의 external terminal problem 과 유사한 상황으로써, 서로 간섭 영역에 존재하지 않는 노드 2와 노드 4가 중복된 타임 슬롯을 사용할 수 있다는 것이다.

이와 같이 타임 슬롯의 중복 사용 문제를 효율적으로 해결하기 위하여 본 논문에서는 아래와 같은 타임 슬롯 재사용 기법을 제안한다. 이동 노드들이 관리하는 LTF 테이블에는 주변 이웃 차량들에 대한 식별자, 세그먼트, 채널의 상태 비트 및 플래그 비트 정보들이 포함된다. 여기서 세그먼트 정보는 두 노드간의 상대적인 위치 정보를 포함하고 있으므로 이 정보를 활용하여 간섭영역에 (2 홉 거리 내) 위치한 노드들을 식별하도록 한다. 표 3에서는 타임 슬롯의 중복 사용과 재사용 여부를 평가하여 타임 슬롯의 점유 상태를 판단하는 알고리즘을 보여주고 있다.

**표 3.** 타임 슬롯 점유 상태 판단 알고리즘

LTF 테이블: Localized Time Frame 테이블  
V: 이동 노드 집합,  $v_i \in V (i=0,1,2 \dots N-1)$   
j: LTF에서의 타임 슬롯 수  
CurrentSlotStatus[j]: 노드 I에 저장된 j번째 타임 슬롯 상태  
TI[j]: 수신된 비콘 메시지의 Topology Information 필드에 포함된 j번째 타임 슬롯 상태  
global\_time\_slot: 글로벌 타임 슬롯 식별자  
seg: 도로 세그먼트  
R: 전송 거리

```

Procedure:: LTF_daemon ( )
{
    Run global_timer_thread (time_expired_evt);
    Run receive_packet_thread (pkt_arrival_evt);
}

Thread:: global_timer_thread (time_expired_evt)
{
    Increase global_time_slot by 1;
    v→start_pointer = (v→start_pointer + 1) mod j;
}

Thread:: receive_packet_thread (pkt_arrival_evt )
{
    Initial tmp_pointer as v→start_pointer;
    for i from j to 1
        result ← Compare(v→CurrentSlotStatus[i], msg→
TI[tmp_pointer]);
        if result is (0, 0)
            set the v→CurrentSlotStatus[i] as IDLE;
        else if result is (1, 0)
            set the v→CurrentSlotStatus[i] as RESERVED;
        else if result is (0, 1)
            set the v→CurrentSlotStatus[i] as AVAILABLE;
        else result is (1, 1)
            if  $\Delta seg > 2 \times R$ 
                set the v→CurrentSlotStatus[i] as IDLE;
            else
                set the v→CurrentSlotStatus[i] as RESERVED;
        tmp_pointer = (tmp_pointer + 1) % j;
}
    
```

## 4. 시뮬레이션 및 성능 분석

본 논문에서는 주로 양방향(bidirectional) 고속도로와 같은 차량간 통신망을 가정하여 제안하는 공간인식 비콘 스케줄링 알고리즘과 고정(Fixed) 비콘 스케줄링 알고리즘의 성능을 비교 분석하였다. 성능 분석은 Qualnet 4.5 시뮬레이터를<sup>[12]</sup> 이용하여 수행하였다.

**표 4.** IEEE 802.11p 통신관련 규격

파라미터	값
Data Rate	3Mbps
Channel Bandwidth	10Mhz
OFDM Symbol Duration	8us
Preamble Duration	32us
Slot Time	13us
SIFS Time	32us
Tx Power	10dBm
Rx Sensitivity	-92dB
Propagation Delay	4us

**표 5.** 공간인식 비콘 스케줄링 알고리즘 참조 파라미터

파라미터	값
Beaconing Rate(default)	100ms
Max Beaconing Rate	200ms
time slot duration	5ms
time frame duration	100ms
segment length	10m

### 4.1 시뮬레이터 환경 설정

IEEE 802.11p 는 IEEE 802.11 표준에서 OFDM기반의 물리계층 규격과 MAC 규격을 수정하여 차량간 통신 환경에 적합하도록 수정한 표준이다<sup>[1-2]</sup>. IEEE 802.11p에서는 물리계층 통신대역폭을 20Mhz에서 10Mhz로 줄임으로써, 시간 도메인에서의 통신관련 파라미터가 기존의 IEEE 802.11a 표준보다 두 배로 증가되었다. 표 4에서는 본 논문의 시뮬레이션에서 적용한 IEEE 802.11p 통신 관련 규격을 보여주고 있다.

표 5에서는 공간인식 비콘 스케줄링 알고리즘에서 사용한 참조 파라미터들을 보여주고 있다.

차량간 통신을 이용한 안전 서비스의 경우, 일반적으로 100ms ~ 200ms 주기의 비콘 서비스를 요구하고 있기 때문에 본 시뮬레이션에서 고정 비콘 스케줄링 알고리즘의 경우 비콘 주기를 100ms 로 설정하였고 공간인식 비콘 스케줄링 알고리즘의 경우, 기본 주기를 100ms로 설정하고 비콘 주기 임계값을 ( $T_{max\_wait}$ ) 200ms로 설정하였다. 또한, 신뢰적인 통신 환경에서 시뮬레이션을 수행하기 위해 two ray ground(TRG) 경로손실(path loss)모델과 고속도로에서 차량간 통신에 적합한 Nakagami-m<sup>[11]</sup> 페이딩 모델을 적용하였다.

표 6. 차량 이동성 시나리오

파라미터	A	B	C	D	E	F
총 노드수	54	118	170	250	420	472
왕복 차선 수	4	4	4	4	4	6
밀도(노드/km)	9	16	24	34	60	66
최저속도(km/h)	77	76	77	50	51	60
최고속도(km/h)	220	220	200	198	160	175

본 논문에서는 모든 차량들의 위치벡터와 시간 동기화 정보를 Global Positioning System(GPS) 모듈을 통해 제공한다고 가정한다. 본 시뮬레이션에서 사용한 이동 차량의 위치 벡터 정보는 Qualnet 4.5에서 제공하는 측위함수를 통해 1초 간격으로 계산하였기 때문에 실 주행 환경에서 사용하는 GPS 정보 보다 작은 오차를 갖는다.

#### 4.2 시뮬레이션 시나리오

본 논문에서 사용한 차량 이동성 시나리오는 FleetNet 프로젝트에서 모델링한 왕복 4(혹은 6)차선 7km 고속 도로에서의 차량 이동성 추적(trace) 파일을 사용하였다<sup>13)</sup>.

본 논문에서는 표 6과 같이 차량의 밀도에 따라 6 가지 이동 시나리오를 선정하여 각각 30초간 시뮬레이션을 수행하였다. 각 시나리오는 Qualnet4.5 시뮬레이터에서 시드(seed) 값을 변경하면서 총 32번의 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션 결과는 95% 신뢰공간을 갖는 평균 값을 사용하였다.

#### 4.3 시뮬레이션 결과 및 성능 분석

본 논문에서는 제안하는 공간인식 비콘 스케줄링 알고리즘의 성능을 분석하기 위하여 다음과 같은 성능 파라미터를 사용하였다.

- 처리율(throughput) : 처리율은 성공적인 비콘 메시지의 전송으로 인해 사용된 평균 대역폭이다.
- 채널 액세스 지연(channel access delay) : 채널 액세스 지연은 비코닝 이벤트가 발생한 시점부터 비콘 메시지가 채널에서 전송하기 전까지 걸린 시간이다.
- 채널 부하(channel load) : 채널 부하는 비콘 서비스로 인하여 노드별 채널 부하를 예측한 평균 값이다.

##### 4.3.1 처리율

본 논문에서 사용한 전파모델은 TRG 경로손실 모델을 사용하였을 경우, 350m의 전송거리에서 99%의 패킷 수

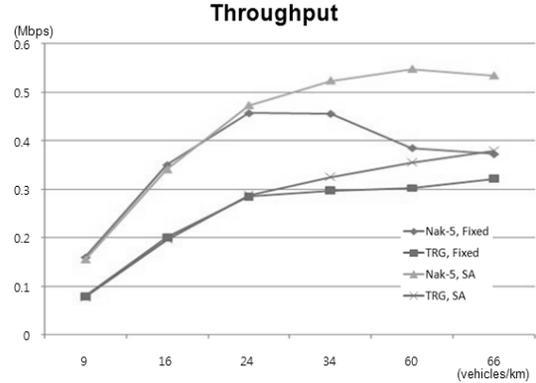


그림 5. 노드 밀도별 비콘 서비스 처리량

신율을 보이지만 Nakagami-m ( $m=5$ ) 페이딩 모델을 적용하였을 경우, 200m 전송 거리에서 90% 정도의 수신율을 보여준다. 따라서 그림 5에서 보이듯이, Nakagami-m 페이딩 모델을 적용하였을 경우, 처리율에서 두 가지 비콘 스케줄링은 TRG 경로손실 모델 적용시보다 낮은 처리율을 보여주고 있다. 하지만 동일한 전파모델을 적용하였을 경우, 공간인식 비콘 스케줄링은 고정 비콘 스케줄링보다 상대적으로 더 높은 처리율을 보여주고 있다. 상대 노드 밀도가 24(노드/km) 보다 작을 경우, 두 가지 스케줄링 방식은 비슷한 처리율을 보이고 있지만 노드 밀도가 24보다 클 경우에는 고정 비콘 스케줄링의 처리율이 현저히 작아진다. 특히 Nakagami-m 페이딩 모델을 적용하였을 경우, 공간인식 비콘 스케줄링의 처리율은 일정하게 증가하는 반면, 고정 비콘 스케줄링의 처리율은 급격히 감소한다. 이는 공간인식 비콘 스케줄링은 노드수가 증가함에 따라 효율적으로 비콘 메시지를 보내는 간격을 동적으로 조절함으로써, 비콘 메시지들의 충돌 현상을 현저히 감소하여 비콘 메시지의 처리율을 향상하는 것을 확인할 수 있다.

##### 4.3.2 채널 액세스 지연

그림 6은 차량 밀도 변화에 따르는 채널 액세스 지연 변화 추이를 보여주고 있다. 노드 밀도가 24(노드/km) 보다 작을 경우 고정 비콘 스케줄링의 평균 채널 액세스 지연은 10ms로, 공간인식 비콘 스케줄링의 30ms 보다 좋은 성능을 보이고 있다. 이는 공간인식 비콘 스케줄링 알고리즘이 타임 프레임에서 사용 가능한 타임 슬롯을 할당함으로써 발생하는 평균 지연이 반영된 것이다. 하지만 노드 밀도가 24(노드/km) 보다 클 경우, 고정 비콘 스케줄

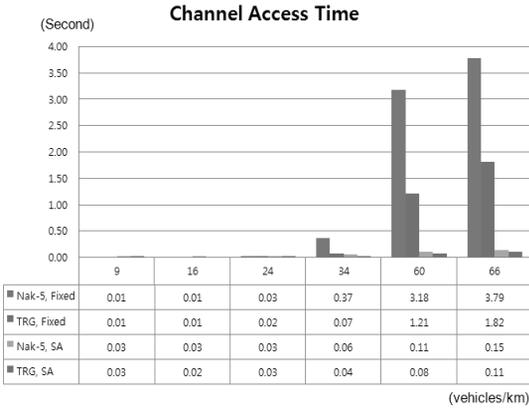


그림 6. 노드 밀도별 채널 액세스 지연

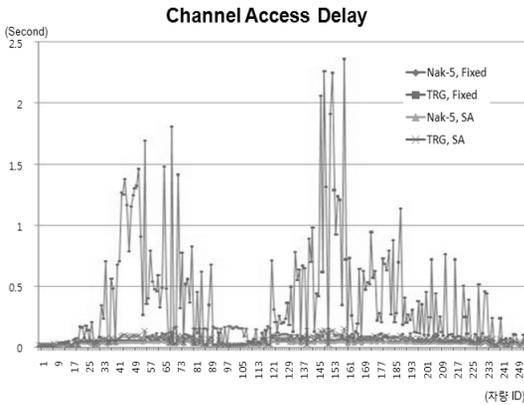


그림 7. 노드별 채널 액세스 지연(시나리오 D)

링의 채널 액세스 지연은 급격히 증가하게 된다. 노드 밀도가 30(노드/km)을 초과하게 되면, 고정 비콘 스케줄링의 평균 채널 액세스 지연은 비코닝 간격인 100ms를 초과하게 된다. 반면 공간인식 비콘 스케줄링의 경우, 노드 밀도가 60(노드/km)이어도 채널 액세스 지연이 150ms 미만으로 유지되고 있는 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 D 시나리오에서 각 차량들의 평균 채널 액세스 지연 시간을 보여주고 있다. 고정 비콘 스케줄링의 경우, 평균 채널 액세스 지연이 노드별로 큰 차이를 보여주고 있다. 반면에 제안하는 공간인식 비콘 스케줄링의 경우, 평균 채널 액세스 지연의 변동의 폭이 완만한 변화를 보이며 기본적으로 모든 차량에서 비슷한 채널 액세스 지연이 발생되도록 제어되고 있다. 이는 결과적으로 공간인식 비콘 스케줄링 알고리즘은 노드 밀도의 변화에 적은 영향을 받으면서 고정 비콘 스케줄링 알고리즘보다 비교적 안정된 성능을 보임을 알 수 있다.

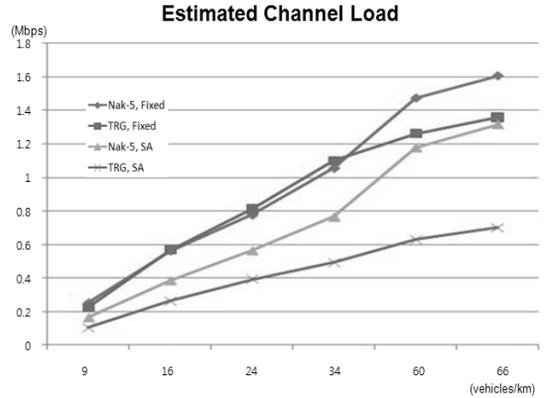


그림 8. 노드 밀도별 예측된 채널 부하

### 4.3.3 채널 부하

그림 8은 차량 밀도에 따라 각 노드별로 계산된 예측된 채널 부하를 보여주고 있다. 채널 부하는 노드 밀도의 증가에 따라 선형적으로 증가하고 있으며, 채널 부하는 공간인식 비콘 스케줄링이 고정 비콘 스케줄링보다 작게 보이고 있다. 차량간 통신망은 한정된 무선 통신 자원을 차량과 같은 이동 노드들이 함께 공유하여 사용한다. 또한, 각 노드들이 비콘 서비스를 수행하면서 소비되는 무선 자원은 동일하다.

하지만 4.3.1에서 보이듯이 공간인식 비콘 스케줄링이 고정 비콘 스케줄링보다 좋은 처리율을 보여줌과 동시에 적은 채널 부하를 나타내고 있는 것은 제안하는 비콘 스케줄링 알고리즘이 무선 채널을 효율적으로 사용하고 있음을 보여주고 있다. 즉 고정 비콘 스케줄링 알고리즘에서 무선 채널은 비콘 메시지의 전송 실패로 인해 무선 자원을 쓸모없이 낭비하게 되어 결국 채널에 불필요한 부하를 발생하게 된다.

## 5. 결론

본 논문에서는 차량 안전서비스에서 기본적으로 필요한 비콘 서비스를 효율적으로 제공하는 비콘 스케줄링 알고리즘에 대해 제안하였다. 제안하는 공간인식 비콘 스케줄링 알고리즘은 비콘 메시지에 포함되어 있는 TI 정보를 기반으로 비코닝 간격을 동적으로 제어한다. 특히, 제안하는 알고리즘은 802.11p 표준 기술에 대한 추가적인 수정 없이 비콘 메시지를 예약한 타임 슬롯에서 높은 우선권으로 전송하도록 함으로써, TDMA와 비슷한 타임 슬롯 스케줄링을 수행할 수 있도록 하였다. 제안한 비콘 스

케줄링 알고리즘은 신뢰적인 무선 채널 모델을 적용한 시뮬레이션을 수행하였으며, 시뮬레이션 결과는 처리율, 채널 액세스 지연 및 예측된 채널 부하 등 측면에서 기존의 고정 비콘 스케줄링 알고리즘보다 월등한 성능을 보여주었다. 향후에는 도심 지역에서의 이동성 환경에서 제한한 공간인식 비콘 스케줄링 알고리즘을 기존에 제한한 비콘 전송 프로토콜과 좀 더 자세한 성능 비교 분석을 수행할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. "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*, 2010.
2. "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," *IEEE Std 802.11-2007*, 2007.
3. B. Fan and H. Krishnan, "Reliability Analysis of DSRC Wireless Communication for Vehicle Safety Applications," in *Intelligent Transportation Systems Conference, 2006. ITSC '06. IEEE*, pp. 355-362, 2006.
4. A. Vinel, V. Vishnevsky, and Y. Koucheryavy, "A Simple Analytical Model for the Periodic Broadcasting in Vehicular Ad-Hoc Networks," in *GLOBECOM Workshops, 2008 IEEE*, pp. 1-5, 2008.
5. A. Vinel, D. Staehle, and A. Turlikov, "Study of Beaconing for Car-to-Car Communication in Vehicular Ad-Hoc Networks," in *Communications Workshops, 2009. ICC Workshops 2009. IEEE International Conference on*, pp. 1-5, 2009.
6. O. Tatsuaki, L. Lan, and L. Massimiliano, "Multi-Hop Vehicular Broadcast (MHVB)," in *ITS Telecommunications Proceedings, 2006 6th International Conference on*, pp. 757-760, 2006.
7. M. Torrent-Moreno, J. Mittag, P. Santi, and H. Hartenstein, "Vehicle-to-Vehicle Communication: Fair Transmit Power Control for Safety-Critical Information," *Vehicular Technology, IEEE Transactions on*, vol. 58, pp. 3684-3703, 2009.
8. J. Mittag, F. Schmidt-Eisenlohr, M. Killat, J. Härrri, and H. Hartenstein, "Analysis and design of effective and low-overhead transmission power control for VANETs," presented at the Proceedings of the fifth ACM international workshop on Vehicular Inter-NETworking, San Francisco, California, USA, 2008.
9. Y. Mertens, M. Wellens, and P. Mahonen, "Simulation-Based Performance Evaluation of Enhanced Broadcast Schemes for IEEE 802.11-Based Vehicular Networks," in *Vehicular Technology Conference, 2008. VTC Spring 2008. IEEE*, pp. 3042-3046, 2008.
10. J. Alapati, B. Pandya, S. N. Merchant, and U. B. Desai, "Back-off and retransmission strategies for throughput enhancement of broadcast transmissions in 802.11p," in *Intelligent Vehicles Symposium (IV), 2010 IEEE*, pp. 700-705, 2010.
11. M. Torrent-Moreno, S. Corroy, F. Schmidt-Eisenlohr, and H. Hartenstein, "IEEE 802.11-based one-hop broadcast communications: understanding transmission success and failure under different radio propagation environments," presented at the Proceedings of the 9th ACM international symposium on Modeling analysis and simulation of wireless and mobile systems, Terramolinos, Spain, 2006.
12. *Qualnet 4.5*. Available: <http://www.scalable-networks.com>
13. H. Füllner, M. Torrent-Moreno, M. Transier, R. Krüger, H. Hartenstein, and W. Effelsberg, "Studying vehicle movements on highways and their impact on ad-hoc connectivity," *SIGMOBILE Mob. Comput. Commun. Rev.*, vol. 10, pp. 26-27, 2006.



**백 송 남** (songnam@hanyang.ac.kr)

2002 장충공업대학교 기초과학과 학사  
2006 한양대학교 전자통신전파공학과 석사  
2006~현재 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 박사과정

관심분야 : 차량간 통신, MAC 프로토콜, 라우팅 프로토콜, 시뮬레이션



**정 재 일** (jjung@hanyang.ac.kr)

1981 한양대학교 전자공학과 학사  
1984 한국과학기술원 전기전자공학과 석사  
1993 프랑스국립전기통신대학(ENST) 컴퓨터네트워크공학과 공학박사  
1997~현재 한양대학교 교수

관심분야 : 인터넷 QoS, ITS/텔레매틱스, 보안, 차량 네트워크



**오 현 서** (hsoh5@etri.re.kr)

1982 숭실대학교 전자공학과 학사  
1985 연세대학교 전자공학과 석사  
1998 연세대학교 전자공학과 박사  
1982~현재 한국전자통신연구원 책임연구원/팀장

관심분야 : 이동통신, ITS, 텔레매틱스, 센서 네트워크, 차량통신



**이 주 영** (jylee@skuniv.ac.kr)

1990 한양대학교 전자공학과 학사  
1992 한양대학교 전자공학과 석사  
2001 한양대학교 전자공학과 박사  
2002~현재 서경대학교 전자공학과 조교수

관심분야 : 네트워크 토폴로지, 스위칭 및 라우팅 알고리즘, 통신시스템 설계