

차량 애드혹 네트워크에서 효과적인 상황 인지를 위한 이중 비콘 전송 기법

주지훈*, 이희창*, 김정준**, 한동석^o

A Dual Beaconing Scheme for Effective Context Awareness in Vehicular Ad Hoc Networks

Jihoon Joo*, Heechang Lee*, Jungjoon Kim**, Dong Seog Han^o

요 약

차량 애드혹 네트워크에서 비콘 전송은 가장 기본적인 메커니즘 중 하나이다. 차량 통신 시스템에서는 각 노드들의 비콘 교환을 통하여 주변 상황 인지를 비롯한 다양한 통신 서비스가 구현된다. 본 논문에서는 기존의 단일 비콘 전송 방식에서 벗어난 이중 비콘 전송 방식을 제안한다. 이중 비콘 전송 방식은 일반적으로 통신 시스템에서 고려되는 비콘을 차량 통신 시스템에 특화시켜 안전 서비스를 위한 비콘과 편의 서비스를 위한 비콘 두 가지 기능으로 나누어 각 기능에 따라 통신 파라미터를 분산시켜 적용하는 방식이다. 이러한 비콘 메커니즘의 성능을 평가하기 위하여 가장 대표적인 성능 지표인 거리에 따른 비콘 패킷 수신율을 실험, 제안하는 이중 비콘 전송 방식의 우수함을 검증하였다. 결론적으로 이중 비콘 전송 방식은 단일 비콘 전송 방식에 비하여 채널에 부하를 줄임과 동시에 더욱 넓은 통신 반경과 원활한 상황 인지 서비스를 가능하게 한다. 덧붙여, 제안하는 이중 비콘 전송 방식은 실제로 구현함에 있어서 복잡성이 적고, 다른 적용형 비콘 전송 방식을 함께 적용 가능하기 때문에 효용성이 뛰어나다.

Key Words : vehicular ad hoc networks, beaconing mechanisms, context awareness

ABSTRACT

Beacon transmission is one of the fundamental mechanisms in vehicular ad hoc networks. Variety services including context awareness can be embodied by exchanging beacons in each vehicle. In this paper, we propose dual beacon transmission instead of traditional single beacon transmission for beaconing mechanism. dual beacon transmission divides beacon into two functions and operates two beaconing process independently. We verified the superiority of dual beacon transmission by comparing beacon packet delivery ratio with single beacon transmission. In conclusion, dual beacon transmission can reduce channel load and have both wider communication range and effective context awareness. In addition, implementing dual beacon transmission has less complexity and applicable with conventional adaptive beaconing schemes.

※ 본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 IT융합 고급인력과정 지원사업의 연구결과로 수행되었음
(NIPA-2013-H0401-13-1005)

◆ First Author : 경북대학교 대학원 전자공학부, jihoon@gmail.com, 학생회원

○ Corresponding Author : 경북대학교 IT대학 전자공학부, dshan@knu.ac.kr, 종신회원

* 경북대학교 대학원 전자공학부, leehecrun@gmail.com

** 경북대학교 IT대학 전자공학부, jungjoonkim7@ee.knu.ac.kr

논문번호 : KICS2014-01-020, 접수일자 : 2014년 1월 27일, 심사일자 : 2014년 2월 17일, 최종논문접수일자 : 2014년 2월 19일

I. 서 론

전 세계적으로 산업이 발전함에 따라 자동차의 수가 해마다 급증하고 있다. 이에 따라 발생하는 교통체증, 교통사고 등이 범사회적으로 심각한 문제를 초래하고 있다. 특히 WHO(World Health Organization)가 발표한 자료에 따르면 해마다 124만 명이 교통사고로 인하여 사망한다고 한다^[1]. 여기에 부상자까지 포함하면 엄청난 숫자의 사람들이 교통사고로 피해를 입으며 이로 인해 사회적 비용 또한 막대하게 소모되고 있다.

이러한 문제점들을 해결하기 위한 방안으로 지능형 교통 시스템이 제시되었다. 지능형 교통 시스템은 기존 교통체계에 IT 기술을 접목하여 교통 시설의 효율을 높임과 동시에 안전성을 강화하는 시스템이다. 여기에 적용되는 IT 기술의 종류는 굉장히 다양한데, 예를 들면 현재 급격히 고갈되고 있는 연료자원인 석유를 대체할 수 있는 전기 자동차 기술이나 카메라, 레이더 등의 센서를 활용하여 주변 상황을 차량 스스로 인지할 수 있게 하는 기술, 무선으로 정보를 교환할 수 있는 차량 통신 기술 등이 있다.

그 중에서 차량 통신 기술은 적용 가능한 서비스의 분야가 매우 크기 때문에 지능형 교통 시스템의 핵심이다. 차량 통신을 이용한 서비스는 크게 안전 관련 서비스와 편의 관련 서비스 두 가지로 분류한다. 안전 관련 서비스에는 전방 사고 정보, 차량 간 충돌 위험, 도로 손상 정보 등의 위험 상황 정보와 각 차량이 자신의 주행 정보를 주기적으로 전송하여 그 메시지들을 받아 주변 차량들의 정보를 실시간으로 확인할 수 있는 상황 인지 서비스가 있다. 또한 편의 관련 서비스에는 차 안에서 즐길 수 있는 정보나 오락 등의 인포테인먼트 서비스와 실시간 교통 정보 제공, 전자 요금 징수 등의 서비스가 있다. 일반적으로 안전 관련 서비스에는 통신의 관점에서 짧은 지연시간이 요구되고 편의 관련 서비스에는 높은 처리량이 요구된다.

차량 통신 기술에 대한 관심이 세계적으로 높아짐에 따라 표준 제정의 필요성이 대두되었고, 여러 표준 단체들이 차량 통신의 표준화에 착수하였다. 대표적인 차량 통신 국제 표준으로는 IEEE에서 제정한 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments) 표준이 있다^[2]. 또한 ISO(International Organization for Standardization)와 같은 표준 관리 기구에서도 TC204를 설립하여 WG16에서 CALM(Communications Access for Land Mobiles)이라는 차량 통신에 대한 표준 작업이 이루어지고 있으며^[3], 이외에도 SAE, C2C-CC와 같은 민간 표준 단체에서도 차량 통신 표준을 제정하

고 있다^[4].

차량 통신 환경은 노드들이 고속으로 이동함으로써 생기는 다중 경로 페이딩 현상과 함께 긴급 메시지를 전파하기 위한 신속성 및 견고함, 서비스에 따라 달라지는 QoS(Quality of Service) 요건 등의 특징을 가지고 있다. 이러한 요구 조건을 만족시키기 위하여 통신 규격을 설정한 것이 WAVE 표준이다.

차량 통신 시스템의 가장 기본적인면서도 중요한 메커니즘은 차량의 정보를 주변 차량과 주기적으로 교환하는 것이다. 각 차량의 정보에는 차량 고유 식별자, GNSS(Global Navigation Satellite System)에서 획득할 수 있는 위치 정보, ECU(Electronic Control Unit)에서 획득할 수 있는 주행 정보, 브레이크 상태 등이 있다. 이러한 정보를 담은 메시지는 비콘^[5], BSM(Basic Safety Message)^[6], Heartbeat Message^[7], CAM(Cooperative Awareness Message)^[8] 등으로 불리는데, 본 논문에서는 간단하게 비콘으로 칭한다. 차량 통신 시스템에서는 이러한 정보를 각 차량이 주변 노드에 주기적으로 1-hop 브로드캐스팅하게 된다. 이 메커니즘을 통하여 각 노드들은 자신의 주변 네트워크 토폴로지를 구성하여 각종 통신 서비스를 제공하며, 가장 중요한 서비스 중 하나인 차량 안전 관련 서비스와 직결되는 주변 상황 인지까지 할 수 있게 된다.

차량 통신 시스템에서 이상적인 통신 환경을 가정한다면 비콘의 단일홉(single hop) 브로드캐스팅 메커니즘은 가능한 한 자주, 멀리 보내는 것이 성능을 극대화시킬 수 있을 것이다. 그러나 차량 통신 환경의 특성상 교통 상황에 따라서 차량들이 굉장히 밀집되어 있을 수 있는데, 이러한 환경에서 비콘을 자주, 멀리 보내는 것은 패킷 간 충돌을 일으켜 정상적인 비콘 메커니즘이 동작할 수 없게 된다. 또한 비콘 메커니즘뿐만 아니라 긴급 메시지 전파와 같은 다른 통신 서비스의 동작에도 지장을 초래하여 시스템 전체의 성능을 저하시킨다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 차량 통신 시스템의 비콘 메커니즘에 대한 많은 연구들이 현재까지 진행되어 왔다^[9-14]. 그 중 대다수는 접근 방식을 크게 두 가지로 분류할 수 있는데, 하나는 주변 환경에 따라 적응적으로 전송 전력을 조절하여 비콘 전송 범위를 줄여서 채널 혼잡을 회피하는 방식이고 나머지 하나는 적응적으로 비콘 전송 주기를 조절하여 채널 혼잡을 회피하는 방식이다. 즉, 통신 환경에 해당하는 전송 전력이나 원활한 상황 인지에 해당하는 비콘 전송 주기를 희생하여 채널 혼잡을 회피하는 것이다. 이러한 경우 비콘의 통달 거리와 전송 주기 사이의 트레이드오프 관계

를 벗어나지 못하는 단점이 존재한다. 예를 들어 비콘의 전송 전력을 줄이게 되면 노드 사이의 간섭에 대한 영향이 줄어들어 해당 통신 반경 안의 비콘 전송 성공률이 높아지게 된다. 그러나 줄어든 전송 전력만큼 비콘의 통달 거리 또한 줄어들기 때문에 상대적으로 상황인지가 가능한 거리가 짧아진다. 마찬가지로 비콘의 전송 주기를 늘이게 되면 비콘 패킷 사이의 충돌과 간섭에 대한 영향이 줄어들어 비콘 전송 성공률이 높아지게 된다. 그러나 전송 주기를 늘인 만큼 노드의 이동성 업데이트 간격이 늘어나기 때문에 원활한 상황인지가 어려워진다. 따라서 기존의 연구들은 차량 통신 시스템의 상황인지 성능을 희생하여 채널 혼잡 해결을 도모하였다.

본 논문에서는 차량 통신 시스템에서 채널 혼잡 해결과 원활한 상황인지를 모두 만족시키기 위하여 비콘의 기능을 주행 안전과 관련되는 안전 관련 상황 인지 서비스와 네트워크 토폴로지 구성 및 교통 상황과 관련되는 교통 관련 상황 인지 서비스로 분류하는 방안을 고려한다. 이처럼 분류한 서비스에 따라 비콘의 전송 전력과 전송 주기를 따로 적용하게 되면 비콘으로 인한 채널 혼잡을 회피할 수 있을 뿐만 아니라 원활한 상황인지를 동시에 제공하여 차량 통신 시스템 전체의 성능을 극대화시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 비콘 메커니즘을 다룬 관련 연구를 분석하고 본 연구와의 차별성을 다룬다. III장에서는 제안하는 비콘 메커니즘에 대한 자세한 설명을 다룬다. VI장에서는 제안하는 비콘 메커니즘의 성능 실험 결과를 분석하고, 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

II. 비콘 전송 메커니즘 관련 연구

이 장에서는 WAVE 규격에 의해 정의된 차량 통신 시스템의 비콘 전송 메커니즘에 대한 관련 연구에 대하여 다룬다. 비콘 전송은 차량 통신 장비의 가장 기본적인 동작 중 하나이다. 통신 모듈을 장착한 차량과 노변장치는 각각 자신의 고유한 정보를 담은 비콘을 주기적으로 주변에 브로드캐스팅한다. 따라서 각 차량과 노변장치는 주변에서 보내는 비콘을 받아서 주변 상황을 인지할 수 있으며, 네트워크 토폴로지 설정 또한 가능하게 된다.

차량 통신 환경에서 비콘 전송에 대한 연구는 다방면에서 진행되어왔다. 기본적으로 비콘 전송 주기는 100ms일 때에 가장 효과적이라는 연구 결과¹⁵⁾가 널리 알려져 있고, 이에 따라 많은 차량 통신 관련 논문들이

이 연구를 인용하여 비콘 전송 주기를 100ms로 설정하여 실험을 진행하고 있는 실정이다. 그러나 이와 같은 짧은 비콘 전송 주기는 교통 밀도가 높아지게 되면 많은 문제점을 초래한다. 비콘 사이의 충돌로 인한 수신율 저하는 물론이고 비콘의 과도한 채널 점유로 인해 긴급 메시지 전달과 같은 다른 서비스가 원활히 이루어질 수 없게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위해서 크게 두 가지 측면이 고려되었다. 비콘의 전송 전력을 줄이거나, 비콘의 전송 주기를 길게 하면 된다. 그러나 무작정 이러한 방식을 적용하면 시스템 전체의 성능 및 효율이 저하될 수 있기 때문에, 주변 상황에 따라 적응적으로 적용하는 방안이 합리적이다. 이 때 고려하는 주변 상황에 따라 여러 가지 전송 기법이 나올 수 있다. 이러한 적응 전송 기법에는 몇 가지가 존재하는데, 그 중 대표적인 적응 전송 기법들을 앞서 말한 두 가지 측면 및 그 두 가지의 하이브리드 방식에서 살펴본다.

비콘으로 인한 과도한 대역폭 점유 및 비콘 간 패킷 충돌, 전송 노드간의 간섭과 같은 문제가 발생하였을 때 노드들의 비콘 전송 주기를 조절하여 문제를 해결하는 방식은 가장 간단하면서도 효과적인 수 있다. 기존에도 이러한 방식에 대한 연구가 몇 가지 있었는데, 이 때 고려하는 주변 상황이나 비콘 전송 주기를 조절하는 노드를 선택하는 방법에 있어서 차이가 있다.

대표적으로는 통신 밀도에 기반을 둔 차선 교통 밀도 적응형 비콘 전송 방식이 있다⁹⁾. 이 방식은 기존의 교통 밀도 적응형 비콘 전송 방식과 차량 속도 적응형 비콘 전송 방식이 가지는 문제점을 해결하기 위하여 제안되었다. 기존의 방식들은 보통 주행 시나리오에서는 원활하게 동작하지만, 평균 속도가 빠르지만 교통 밀도가 높은 혼잡한 고속도로와 같은 시나리오나 전체 교통 밀도가 높지만 우회전 차선의 교통 밀도가 낮은 도심 시나리오에서 원활한 성능을 보여주지 못하는 단점이 있었다. 이것을 해결하기 위하여 거시적인 관점에서는 교통 밀도가 아닌 통신 밀도를 사용하여 비콘 전송 주기를 조절한다. 여기서 사용된 통신 밀도의 계산식은 다음과 같다.

$$C = \sum_{i=1}^N \frac{R_i \cdot \lambda_i}{d} \quad (1)$$

여기서 N 은 차량의 수, d 는 고려하는 시스템의 길이, R_i 는 i 번째 차량의 전송 거리, 그리고 λ_i 는 i 번째 차량의 비콘 전송률이다. 계산된 통신 밀도를 사용하여 특정 문턱 값을 넘지 않는 범위 안에서 비콘 전송 주기

를 조절하게 된다. 또한 미시적 관점에서는 차량이 속한 차선의 교통 밀도를 계산하여 만약 전체 교통 밀도에 비해 월등히 낮다면 비콘 전송 주기를 낮추어 원활한 상황 인지가 가능하도록 한다. 그러나 이 방식은 복잡성이 높고 현재 GNSS 정확성을 뛰어넘는 차선 단위의 측위 시스템을 필요로 하는 단점이 있다.

차량 통신 시스템의 채널 혼잡을 해결하기 위하여 비콘 전송 전력을 조절하는 것 또한 노드 간의 간섭을 줄여주기 때문에 효과적인 방식이 될 수 있다. 마찬가지로 기존에도 이러한 방식에 대한 연구들이 있었고, 이 때 고려하는 주변 상황이나 비콘 전송 전력을 조절하는 노드를 선택하는 방법에 있어서 차이가 있다.

대표적으로는 비콘이 채널에서 차지하는 비중을 조절하기 위해서 D-FPAV (distributed fair power adjustment for vehicular environments)라는 알고리즘이 있다^[10]. D-FPAV는 우선 최대 비콘 비중(maximum beaconing load, MBL)을 정하여 그것을 넘지 않는 범위 내의 최대 전송 전력을 설정한다. 그 뒤, 각 노드들이 계산한 최대 전송 전력을 비콘에 피기백킹(piggy-backing) 후 서로 교환하여 그 중 최소 전송 전력을 선택한다. 따라서 D-FPAV를 사용하게 되면 비콘으로 인한 채널의 혼잡을 방지해주어 원활한 상황인지와 함께 긴급 메시지 전송에 대한 안정성도 만족시킬 수 있다고 주장하였다. 그러나 비콘의 전송 범위 측면에서 많은 손해가 불가피하여 네트워크 토폴로지를 형성하기 위해서 여러 번의 멀티홉 전송이 필요하다는 단점이 있다.

비콘 전송 주기나 전송 전력 중 한 가지를 조절하는 방법들이 있는 반면에 두 가지 파라미터를 모두 조절하는 방법 또한 제안되었다. 대표적으로는 차량 간 상대 속도 및 상대 가속도를 이용하여 차선 변경 시나리오에서의 위험 거리를 도출하는 연구 결과가 있다^[11]. 위험 거리 도출 계산식은 다음과 같다.

$$D_w = \frac{1}{2} \frac{(v_B - v_A)^2}{|a_A - a_B|} + L + D_s \quad (2)$$

여기서 D_w 는 위험거리, v_i 와 a_i 는 i 번째 차량의 속도 및 가속도, L 은 차량의 길이, D_s 는 안전거리를 나타낸다. 그리고 이 위험 거리 안에서는 적어도 한 번 비콘을 주고받을 수 있도록 하는 최소 전송 전력을 설정하며, 변화된 전송 전력에 대한 패킷 충돌과 같은 부작용을 보상하기 위하여 비콘 전송 주기 또한 설정한다. 따라서 이러한 방식을 통하여 전체 차량 통신 시스템의 패킷

수신 성공률을 보장하는 알고리즘이다. 그러나 이 방식은 높은 패킷 수신 성공률을 보장하지만, 차선 변경 시나리오에서 안전을 보장하는 최소 비콘 전송을 사용하기 때문에 보통의 주행 시나리오에서 원활한 주변 상황 인지는 어렵다고 할 수 있다.

III. 제안 비콘 전송 메커니즘

차량 통신 시스템에서 원활한 상황 인지를 위한 비콘 전송 메커니즘에 대한 연구는 매우 활발하게 진행되어왔지만 이들은 채널 혼잡 회피와 상황 인지 성능 사이의 이율배반 관계에서 벗어나지 못하였다. 비콘 전송 메커니즘의 기본 통신 파라미터는 원활한 상황 인지를 위하여 설계되었지만, 차량 밀도가 높은 도로 상황에서 채널 혼잡에 의한 성능 저하를 피할 수 없다. 그러므로 채널 혼잡 회피와 상황 인지 성능 두 가지 지표 중 채널 혼잡 회피의 우선순위가 더 높기 때문에 그로 인하여 비콘의 전송 범위와 전송 주기 중 하나를 희생하여야 하는 단점이 있었다.

본 논문에서는 채널 혼잡 회피와 상황 인지 성능을 동시에 만족시킬 수 있는 알고리즘을 설계하기 위하여 비콘의 역할을 두 가지로 나누었다. 하나는 주변 차량과 주행 정보를 교환하여 사고 위험 감지 및 경보 등의 차량 안전 서비스 제공에 사용되는 비콘(safety beacon, SB)이고, 나머지 하나는 네트워크 토폴로지 형성 및 교통 상황 정보 수집 등의 편의 서비스 제공에 사용되는 비콘(normal beacon, NB)이다. 이 두 가지 종류의 비콘은 서로 다른 QoS(quality of service) 요구 조건을 가지게 된다. 개략적으로, 차량 안전 서비스를 위해서는 비콘의 지연시간이 최소화되어야 하고 전송 주기가 짧아야 한다. 반면에 네트워크 토폴로지 형성 및 교통 상황 정보 수집 등의 편의 서비스는 주변 상황의 빠른 업데이트보다는 비콘의 통달 거리가 우선시된다. 따라서 비콘의 두 가지 역할에 각각 다른 전송 주기와 전송 전력을 적용하여 원활한 상황 인지를 위한 비콘 전송 메커니즘을 구축한다. 이러한 메커니즘을 DBT(dual beacon transmission)이라고 칭하기로 한다. DBT 메커니즘의 개략적인 개념도를 그림 1에 나타내었다. 그리고 기존 비콘 메커니즘과의 차이점에 대하여 그림 2에 나타내었다.

먼저 DBT를 설계하기 위하여 채널 혼잡 상태를 나타낼 수 있는 지표를 설정한다. 채널 혼잡 상태는 네트워크 처리량으로 나타낼 수 있지만 본 논문에서는 보다 명료한 패킷 충돌 확률(packet collision rate)을 지표로 설정한다. IEEE 802.11p에서는 MAC 프로토콜

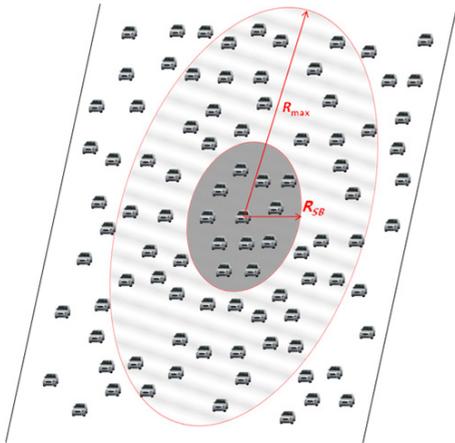


Fig. 1. Concept illustration of DBT
그림 1. DBT의 개념도

로 CSMA/CA(carrier sense multiple access/collision avoidance)를 사용하지만 여전히 패킷 충돌 가능성은 존재하며, 이는 채널을 사용하려는 노드의 수가 많으면 많아질수록 더욱 커진다. 본 논문에서는 패킷 손실률 10%를 문턱 값으로 설정한다. 그리고 패킷 손실률 10%가 도달할 때의 채널에 존재하는 초당 비콘 전송 시도의 수를 B_{th} 로 표기한다.

다음으로는 본 알고리즘의 일반화를 위하여 수학적으로 분석한다. 우선 NB에는 전송 전력 $P_{NB}[\text{dBm}]$ 와 전송 빈도 $F_{NB}[\text{Hz}]$ 을 할당한다. 이 때 특정 노드가 주

변 노드로부터 초당 수신하는 NB의 수 B_{NB} 는 다음과 같다.

$$B_{NB} = N_{NB} \cdot F_{NB} \quad (3)$$

여기서 N_{NB} 은 전송 전력의 통신 반경 R_{NB} 안에 존재하는 노드의 수이다. SB의 통신 파라미터는 R_{NB} 안에 존재하는 노드의 NB의 로드를 전제하여 설계되어야 한다. SB에는 안전 서비스를 위하여 F_{NB} 보다 상대적으로 높은 전송 빈도 F_{SB} 를 할당한다. 그렇다면 SB에 특정 노드가 주변 노드로부터 초당 수신하는 SB의 수 B_{SB} 는 다음과 같다.

$$B_{SB} = N_{SB} \cdot F_{SB} \quad (4)$$

따라서 특정 노드가 주변 노드로부터 초당 수신하는 모든 비콘의 수 B_T 는 다음과 같이 나타낸다.

$$B_T = N_{NB} \cdot F_{NB} + N_{SB} \cdot F_{SB} = B_{NB} + B_{SB} \quad (5)$$

각각의 노드가 비콘 수신을 통하여 감지된 주변 노드의 집합을 V 라고 하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V = \{v_1, v_2, \dots, v_i, \dots, v_N\} \quad (6)$$

N 은 비콘을 통해 감지된 주변 노드의 수를 의미한

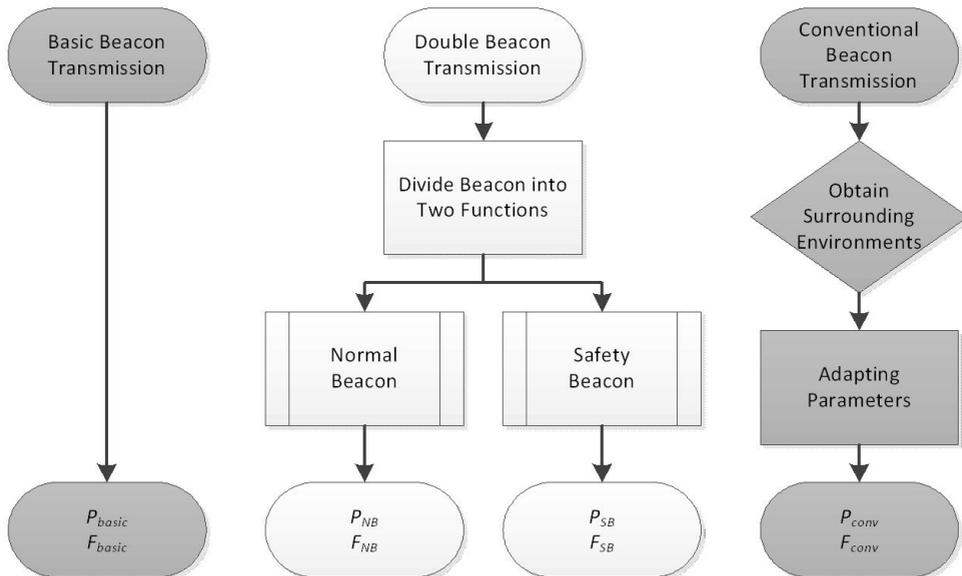


그림 2. DBT와 기존 비콘 전송 메커니즘의 차이점
Fig. 2. Difference between DBT and conventional beconing mechanisms

다. 이 때 $T(v_i)$ 를 노드 v_i 가 보낸 비콘의 종류라고 하면, 이를 통하여 집합 V 를 부분집합 V_{NB} 와 V_{SB} 로 구분할 수 있다. V_{NB} 와 V_{SB} 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} V_{SB} &= \{v_i | T(v_i) = SB\} \\ V_{NB} &= \{v_i | T(v_i) = NB\} - V_{SB} \\ (V_{SB} \cup V_{NB}) &\subset V \end{aligned} \quad (7)$$

$N(V)$ 를 집합 V 의 원소의 수라고 하면, 주변 모든 노드들이 보내는 비콘의 수 B_{total} 을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$B_{total} = N(V_{SB}) \cdot F_{max} + N(V_{NB}) \cdot F_{min} \quad (8)$$

이 값을 실제로 초당 수신하는 비콘의 수 B_T 와 비교하면 해당 채널의 패킷 손실률 $B_{loss}[\%]$ 를 계산할 수 있다.

$$B_{loss} = \frac{B_{total} - B_T}{B_{total}} \cdot 100 \quad (9)$$

이 때, 비콘의 만료 시간을 설정하여야 한다. SB의 경우 전송 주기는 $I_{SB} = 1/F_{max}$ 이고 NB의 경우 전송 주기는 $I_{NB} = 1/F_{min}$ 이다. 따라서 비콘의 만료시간 상수 α 를 설정하여 각 비콘의 전송 주기에 α 를 곱한 값을 비콘의 만료시간으로 설정한다.

결과적으로, 해당 채널의 패킷 손실률을 이용하여 원하는 문턱값에 맞도록 적절한 SB와 NB의 전송 전력, 주기 등의 파라미터를 정할 수 있다.

IV. 실험 결과

이 장에서는 WAVE 표준 기반의 차량 통신 시스템의 성능과 함께 앞서 설계한 DBT 비콘 전송 메커니즘의 성능을 실험한다. 시뮬레이션을 위하여 네트워크 시뮬레이터인 ns-2.35를 사용하였다^[16]. 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 1에 기술하였다. 파라미터는 WAVE 표준에 기반을 두어 설정되었다.

주파수 대역은 WAVE 채널 배열에 명시된 CCH(control channel) 대역인 5.89GHz를 적용하였다. 변조 방식은 비콘의 특성을 감안하여 BPSK와 QPSK만을 고려하였다. IEEE 802.11p의 PHY 계층을 고려하였을 때, BPSK의 전송률은 3Mbps이고 QPSK의 전송률은 6Mbps이다. 반송과 감지 전력 문턱 값은 -96dBm으로 설정하였고, 변조 방식에 따른 수신 가능

표 1. 시뮬레이션에 사용된 공통 파라미터
Table 1. Common parameters used in simulation

Parameter	Value
Frequency	5.89 GHz
Modulation	BPSK, QPSK
Carrier Sense Threshold	-96 dBm
Reception Threshold	-95 dBm for BPSK -92 dBm for QPSK
Antenna Gain	0 dBm
Antenna Height	1.5 m
Contention Window	15
Slot Time	16 μ s
SIFS	32 μ s

전력 문턱 값은 BPSK일 때에 -95dBm, QPSK일 때에 -92dBm으로 설정하였다. 안테나에는 등방성 안테나와 높이 1.5m를 설정하였다. 경쟁 윈도우 값은 15로 설정하였고, 슬롯과 SIFS(short inter frame space) 길이는 각각 16 μ s 와 32 μ s로 설정하였다. 또한 보다 실제와 가까운 결과를 위하여 페이딩 파라미터 $m = 3$ 인 나카가미 (Nakagami) 전파 모델을 사용하였다^[17]. 비콘 패킷의 크기는 100 바이트의 정보와 178 바이트의 보안 오버헤드를 가정하여 278 바이트로 설정하였다^[18].

제한하는 비콘 전송 메커니즘 DBT의 성능을 평가하기 위하여 DBT의 주요 통신 파라미터를 표 2에 기술하였다. 먼저 모든 비콘의 변조방식은 QPSK를 사용하였다. 그리고 NB의 비콘 전송 빈도 F_{NB} 는 1Hz, 전송 전력 P_{NB} 는 20dBm을 할당하였다. 또한 SB의 비콘 전송 빈도 F_{SB} 는 10Hz, 전송 전력 P_{SB} 는 10dBm을 할당하였다. 초당 비콘 전송 시도의 수 문턱 값 B_{th} 는 1400, 비콘 만료 시간 상수 α 는 10을 가정하였다.

실험하고자 하는 성능 지표는 DBT 모드 차량 노드가 도로에서 포화 상태일 때 NB의 통신 반경과 SB의 전송 성공률이다. 우선 시뮬레이션에서 가정된 도로 구

표 2. 시뮬레이션에 적용된 DBT의 주요 통신 파라미터
Table 2. Main communication parameters of DBT applied in simulation

Parameter	Value
Modulation Scheme	QPSK
F_{NB}	1 Hz
P_{NB}	20 dBm (100 mW)
F_{SB}	10 Hz
P_{SB}	10 dBm (10 mW)
B_{th}	1400
α	10

격은 4차선의 길이 1000m 도로이다. 차량 노드가 포화된 상태를 가정하였으므로 앞뒤 차량 간 간격은 10m로 가정하였다. 즉 시뮬레이션에 사용된 도로 안에는 최대 400 대의 차량이 존재할 수 있다. 따라서 실험은 각각 차량 노드 수 200, 300, 400 대를 가정하였다.

그림 3부터 그림 5까지는 차량 노드 수와 거리에 따른 DBT의 전송 성공률을 나타낸 결과이다. 여기서 전송 성공률은 전체 노드가 전송한 비콘의 수에서 정상적으로 수신된 비콘 수의 비율을 의미한다. 또한 DBT의 성능 비교를 위하여 단일 비콘 전송 방식(single)의 성능을 함께 표기하였다. 단일 비콘 전송 방식에는 전송 전력 20 dBm에 전송 빈도 10 Hz를 적용하였다. 각각의 결과는 QPSK 변조방식을 사용하였을 때의 거리에 따른 비콘 전송 성공률을 나타낸 그림 5와 비교하였을 때 낮은 전송 성공률을 나타낸다. 이것은 비콘을 전송하는 차량 노드의 수가 매우 많기 때문에 일어나는 간섭의 영향으로 불가피한 부분이다. 사실상 위 결과들은 앞뒤 차량 간 거리를 고려하면 매우 합리적인

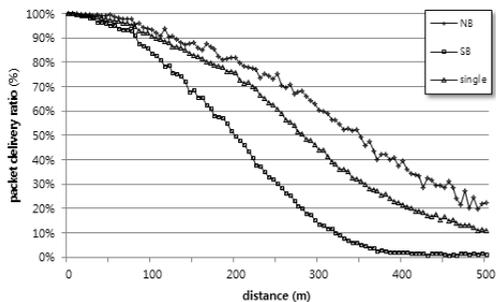


Fig. 3. Packet delivery ratio of DBT according to distance with 200 vehicle nodes
 그림 3. 차량 노드 수가 200 개일 때 DBT의 거리에 따른 전송 성공률

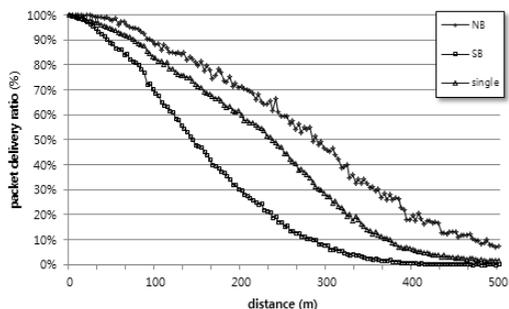


Fig. 4. Packet delivery ratio of DBT according to distance with 300 vehicle nodes
 그림 4. 차량 노드 수가 300 개일 때 DBT의 거리에 따른 전송 성공률

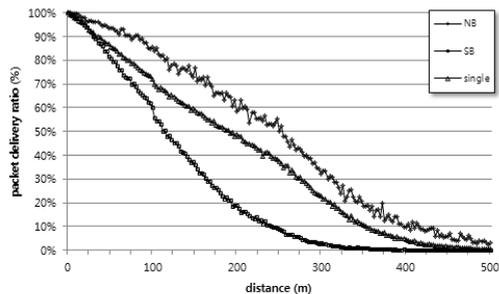


Fig. 5. Packet delivery ratio of DBT according to distance with 400 vehicle nodes
 그림 5. 차량 노드 수가 400 개일 때 DBT의 거리에 따른 전송 성공률

결과이다. 예를 들어 차량 노드 수 200 개일 경우 앞뒤 차량 간 거리는 20 m이고 차량 노드 수 400 개일 경우 앞뒤 차량 간 거리는 10m 이므로 DBT는 양호한 성능을 나타낸다고 할 수 있다.

실험 결과에서 SB가 기존의 single보다 성능이 떨어지지만 제안하는 DBT 메커니즘은 SB와 NB를 동시에 전송한다. 따라서 SB는 single에 비하여 수신율이 조금 떨어지나, NB는 single에 비하여 월등히 수신율이 높으므로 DBT 메커니즘은 기존의 방식에 비하여 우수하다고 할 수 있다. 또한, 차량의 밀도가 높은 상황에서는 상황인지를 위한 비콘의 전송 범위에 대한 요구 사항이 적어지므로, DBT 메커니즘은 타당하다.

V. 결 론

지능형 교통 시스템을 구현함에 있어서 차량 통신 시스템은 유기적이고 협력적인 기능을 위하여 매우 중요할 뿐만 아니라 그 자체로도 다양한 서비스를 제공할 수 있기 때문에 유망한 분야이다. 차량 통신 시스템은 특성 상 견고함과 신속성이 요구되는데, 이는 고속의 이동성과 예측하기 힘든 네트워크 토폴로지 변화 등으로 대변되는 차량 통신 환경에서 구현하는데 많은 어려움을 가진다.

본 논문에서는 차량 통신 시스템의 개념 및 표준과 주변 상황인지를 위한 가장 기본적인 동작인 비콘 메커니즘에 대하여 다루었다. 기존에도 비콘 메커니즘에 대한 연구는 많이 진행되어왔지만, 한 가지 종류만의 비콘으로는 패킷 전송 성공률과 통달 거리의 트레이드 오프 관계에서 벗어날 수 없는 단점이 있었다. 이를 극복하기 위해서 비콘을 두 가지 기능으로 분류하여 전송하는 DBT 기법을 제안하였다. DBT 기법을 사용하면 기존의 단일 비콘 전송 메커니즘을 사용할 때와

비교하였을 때 더욱 원활한 상황인지 성능과 넓은 통신 반경을 가질 수 있음을 확인하였다. 또한 DBT 메커니즘의 주요 아이디어는 비콘의 종류를 두 가지로 나누어 전송하는 것이기 때문에 어떠한 차량 통신 시스템에도 간단한 소프트웨어 구현만으로 적용이 가능하다.

References

- [1] Global Status Report on Road Safety 2013-Supporting a Decade of Action, *World Health Org.*, ISBN 978-92-4-156456-4.
- [2] IEEE Draft Guide for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)-Architecture, *IEEE P1609.0/D6.0*, June 2013, pp.1-96, Aug. 2013.
- [3] ISO/CD 29281, "Intelligent transport systems -communications access for land mobiles (CALM)-non-IP communication mechanisms," Sept. 2008.
- [4] Car-to-Car Communication Consortium (C2C-CC) Web site; <http://www.car-2-car.org/>
- [5] D. Jiang and L. Delgrossi, "IEEE 802.11 p: Towards an international standard for wireless access in vehicular environments," in *Proc. IEEE VTC*, pp. 2036-2040, Marina Bay, Singapore, May 2008.
- [6] M. Raya and J-P. Hubaux, "Securing vehicular ad hoc networks," *J. Comput. Security*, vol. 15, no. 1, pp. 39-68, 2007.
- [7] J. J. Blum, A. Tararakin, and A. Eskandarian, "Efficient certificate distribution for vehicle heartbeat messages," in *Proc. IEEE VTC*, pp. 1-5, Calgary, Alberta, Canada, Sept. 2008.
- [8] M-A. Phan, R. Rembarz, and S. Sories, "A capacity analysis for the transmission of event and cooperative awareness messages in LTE networks," in *Proc. ITS World Congress*, Orlando, USA, Oct. 2011.
- [9] J. Joo, R. Woo, and D. S. Han, "An enhanced broadcasting scheme for IEEE 802.11 p according to lane traffic density," in *Proc. SoftCOM*, pp. 1-4, Split, Croatia, Sept. 2012.
- [10] M. Torrent-Moreno, J. Mittag, P. Santi, and H. Hartenstein, "Vehicle-to-vehicle communication: Fair transmit power control for safety-critical information," in *Proc. IEEE VTC*, vol. 58, no. 7, pp. 3684-3703, Sept. 2009.
- [11] M. Sepulcre, J. Gonzalvez, J. Harri, and H. Hartenstein, "Contextual communications congestion control for cooperative vehicular networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 10, no. 2, pp. 385-389, Feb. 2011.
- [12] R. Woo and D. S. Han, "Performance of IEEE 802.11p MAC protocol according to traffic loads," in *Proc. KICS*, pp. 174-175, Nov. 2011.
- [13] R. Woo, J. Lee, and D. S. Han, "Communication capacity of vehicular communication systems based on IEEE 802.11a," in *Proc. KICS*, pp. 306-307, Jun. 2009.
- [14] R. Woo and D. S. Han, "Multi-radio scheme for performance improvement of u-TSN systems," in *Proc. KICS*, pp. 217-218, Nov. 2009.
- [15] Q. Xu, T. Mak, J. Ko, and R. Sengupta, "Vehicle-to-vehicle safety messaging in DSRC," in *Proc. VANET*, pp. 19-28, Philadelphia, Pennsylvania, USA, Oct. 2004.
- [16] Network Simulator ns-2. [Online]. Available: <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- [17] M. Nakagami, "The m-distribution-a general formula of intensity distribution of rapid fading," *Statistical Method of Radio Propagation*, 1960.
- [18] C. Campolo, H. A. Cozzetti, A. Molinaro, and R. Scopigno, "Augmenting vehicle-to-roadside connectivity in multi-channel vehicular Ad Hoc networks," *J. Netw. and Comput. Appl.*, vol. 36, no. 5, pp. 1275-1286, Sept. 2013.

주 지 훈 (Jihoon Joo)



능형교통시스템

2011년 8월 : 경북대학교 전자
전기컴퓨터학부 졸업
2014년 2월 : 경북대학교 대학원
전자공학부 석사 졸업
2014년 3월~현재 : 경북대학교 대
학원 전자공학부 박사과정
<관심분야> 차량통신시스템, 지

이 희 창 (Heechang Lee)



2012년 8월 : 경북대학교 IT대학 전자공학부 졸업
2012년 9월~현재 : 경북대학교 대학원 전자공학부 석사과정
<관심분야> 차량통신시스템, 지능형교통시스템

한 동 석 (Dong Seog Han)



1987년 2월 : 경북대학교 공학사
1989년 2월 : KAIST 공학석사
1993년 2월 : KAIST 공학박사
1989년 10월~1996년 8월 : 삼성 전자 기술총괄 신호처리연구소 선임연구원
1996년 8월~현재 : 경북대학교 IT대학 전자공학부 교수
2011년 6월~현재 : 경북대학교 IT자동차융합연구센터 센터장
<관심분야> IT자동차융합, 지능형교통시스템, 통신신호처리

김 정 준 (Jungjoon Kim)



1981년 : 경북대학교 전자공학과 학사
1983년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
1997년 : 루이지애나 주립대 전기 및 컴퓨터공학과 박사
1984년~2011년 : (주)케이티
2012년 3월~현재 : 경북대학교 IT대학 전자공학부 교수
<관심분야> 멀티컴퓨터구조 및 성능해석