

무선 멀티 홉 통신 기반의 차량간 브로드캐스트 프로토콜

Vehicle-to-Vehicle Broadcast Protocols Based on Wireless Multi-hop Communication

한 용 현* 이 혁 준** 최 용 훈*** 정 영 옥****
(Yong-Hyun Han) (Hyuk-Joon Lee) (Yong-Hoon Choi) (Young-Uk Chung)

요 약

차량간 통신은 노변기차국(RSE)을 통하지 않고 차량탑재장치(OBE)간에 정보를 전달하는 기술로 많은 관심을 받고 있다. 차량간 통신네트워크는 차량의 높은 이동 속도로 인하여 토폴로지의 변화가 심하기 때문에 기존 애드혹 라우팅을 적용하기 어렵다. MMFP(Multi-hop MAC Forwarding)는 경로설정 과정과 위치정보를 사용하지 않고 목적지 노드의 도달 가능 정보를 사용하여 패킷을 전송하는 멀티 홉 유니캐스트 포워딩 프로토콜이다. 그러나 공공 안전 서비스에서 차량간 통신을 통해 제공 될 수 있는 차량 충돌, 장애물, 안개 등에 대한 정보는 특정 운전자가 아닌 다수의 운전자에게 유용한 정보이기 때문에 유니캐스트보다 브로드캐스트로 전달하는 것이 효율적이다. 플러딩은 가장 단순한 형태의 멀티 홉 브로드캐스트 방식으로 너무 많은 중복 패킷을 생성하여 패킷성공률 감소, 전송 지연 증가 등의 문제가 발생한다. 본 논문에서는 MMFP를 확장하여 차량간 통신 환경에서 멀티 홉 브로드캐스트 통신을 지원하는 두 가지 프로토콜을 제안한다. UMHB(Unreliable Multi-Hop Broadcast)는 일부 노드에게만 포워딩 의무를 부여하는 MMFP의 전송 방식을 기반으로 포워딩 노드의 수를 제한함으로써 플러딩의 중복 패킷 문제를 해결하나 신뢰성이 감소하는 문제가 있다. RMHB(Reliable Multi-Hop Broadcast)는 확인 응답과 재전송을 통해 UMHB의 비신뢰성 문제를 해결하나 전송 지연이 다소 증가한다. 그러나 RMHB의 지연 시간 증가는 충돌 방지 응용에는 문제가 되지 않음을 실험 결과를 분석하여 보인다.

Abstract

Inter-vehicular communication that propagates information without infrastructures has drawn a lot of interest. However, it is difficult to apply conventional ad-hoc routing protocols directly in inter-vehicular communication due to frequent changes in the network topology caused by high mobility of the vehicles. MMFP(Multi-hop MAC Forwarding) is a unicast forwarding protocol that transport packets based on the reachability information instead of path selection or position information. However, delivering public safety messages informing road conditions such as collision, obstacles and fog through inter-vehicular communication requires broadcast rather than unicast since these messages contain information valuable to most drivers within a close proximity. Flooding is one of the simplest methods for multi-hop broadcast, but it suffers from reduced packet delivery-ratio and high transmission delay due to an excessive number of duplicated packets. This paper presents two multi-hop broadcast protocols for inter-vehicular communication that extend the MMFP. UMHB(Unreliable Multi-Hop Broadcast) mitigates the duplicated packets of MMFP by limiting the number of nodes to rebroadcast packets. UMHB, however, still suffers from low delivery ratio. RMHB(Reliable Multi-Hop Broadcast) uses acknowledgement and retransmission in order to improve the reliability of UMHB at the cost of increase in transmission delay, which we show through simulation is within an acceptable range for collision avoidance application.

Key words: ITS communications, IEEE 802.11 MAC, V2V, multi-hop broadcast, reliability

† 본 논문은 한국과학재단 특장기초연구(R01-2008-000-12233-0) 지원에 의하여 연구되었음.

* 주저자 : 광운대학교 컴퓨터공학과 석사과정

** 공저자 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수

*** 공저자 : 광운대학교 정보 제어공학과 교수

**** 공저자 : 광운대학교 전자공학과 교수

† 논문접수일 : 2009년 5월 27일

† 논문심사일 : 2009년 7월 23일

† 게재확정일 : 2009년 7월 24일

I. 서 론

ITS(Intelligent Transport System)는 기존의 교통 체계에 전자, 정보, 통신, 제어 등의 지능형 기술을 접목함으로써 운전자에게 신속하고 안전한 운전 환경을 제공하기 위한 차세대 교통 체계이다. 차량간 통신은 ITS의 통신망을 구현하기 위한 기술 중 하나로 기간망의 경우 없이 신속한 정보의 전파를 가능하게 함으로써 통신 장비의 설치 및 유지비용을 감소시킬 수 있다. 차량간 통신 네트워크는 통신 기능을 갖춘 차량간에 멀티 홉 무선 라우팅을 통하여 통신이 이루어지도록 하는 것으로 이동 애드혹(ad hoc) 네트워크의 주요 응용 분야 중 하나이다.

차량간 통신 네트워크는 통신에 참여하는 차량의 높은 이동속도 및 차량의 이동패턴으로 인하여 다음과 같은 주요 특징을 갖는다 [1]. 첫 번째로 차량의 높은 이동 속도로 인하여 네트워크 토폴로지의 변화가 빈번하게 발생한다. 두 번째로 고속으로 이동하는 차량간의 통신 시 도플러 효과(dopler effect)등으로 인하여 전송실패가 빈번하게 발생할 수 있다. 세 번째로 차량의 대용량 бат대리를 이용할 수 있기 때문에 다른 애드혹 네트워크에 비해 전력 소모 문제의 중요성이 낮다. 마지막으로 고속으로 이동하는 차량간에는 통신 가능 시간이 짧으며 이로 인하여 신속한 데이터의 전달이 중요하다. 따라서 차량간 통신을 위한 라우팅 프로토콜들은 네트워크 토폴로지의 빈번한 변화와 링크 상태의 불안정성을 고려하고 신속한 데이터의 전달이 가능하도록 설계되어야 한다.

MMFP(Multi-hop MAC Forwarding Protocol)[1]는 위와 같은 특징으로 인해 차량간 통신 네트워크 환경에서 발생하는 문제점을 극복하는 멀티 홉 라우팅 프로토콜이다. MMFP는 기존의 라우팅 프로토콜처럼 네트워크 토폴로지 정보나 위치정보를 사용하여 목적지까지의 경로를 설정하지 않고 목적지까지의 도달 가능한 경로가 존재 하는지에 대한 정보만을 사용하여 멀티 홉 라우팅을 한다. 따라서 기존 라우팅 프로토콜에서 발생하는 빈번한 경로 재설정 과정으로 인한 오버헤드가 없고 위치정보를 필요로 하지

않는다. 그러나 MMFP가 제공하는 멀티 홉 라우팅은 유니캐스트(unicast)만을 위해 설계되었다.

그러나 공공 안전 서비스에서 차량간 통신을 통해 제공 될 수 있는 차량 충돌, 장애물, 안개 등에 대한 정보는 특정 운전자가 아닌 다수의 운전자에게 유용한 정보이기 때문에 유니캐스트보다 브로드캐스트(broadcast)로 전달되는 것이 효율적이다. 또한 무선 전송 범위의 제약으로 인해 한 차량이 커버할 수 있는 전송 범위가 제한적이기 때문에 멀티 홉 브로드캐스트가 필요하다.

멀티 홉 브로드캐스트를 위한 가장 단순한 방식은 플러딩(flooding)이다. 그러나 플러딩은 과도한 수의 중복 패킷 생성으로 인한 패킷 전송 성공률 감소, 지연 시간 증가 등의 문제를 발생 시킨다 [2]. 특히, 패킷 전송 성공률의 감소는 운전자에게 전방의 위험 상황을 제대로 전달하지 못 해 앞 차량과의 충돌을 방지하지 못 할 수 있다. 이로 인해 발생한 차량 충돌 사고는 뒤의 운전자에게 새로운 위험 상황이 되어 또 다른 사고를 일으킬 수 있다. 따라서 차량간 통신에서 멀티 홉 브로드캐스트는 높은 신뢰성을 보장해야 한다.

본 논문에서는 오직 멀티 홉 유니캐스트만을 지원하는 MMFP를 확장한 멀티 홉 브로드캐스트 프로토콜 UMHB(Unreliable Multi-Hop Broadcast)와 RMHB(Reliable Multi-Hop Broadcast)를 제안한다. UMHB는 가중치 정보를 통해 포워딩 노드를 선택하는 MMFP의 전송 방식을 기반으로 플러딩의 중복 패킷 문제를 해결하는 프로토콜이다. UMHB는 플러딩에 비해 낮은 지연 시간을 보이나 신뢰성이 떨어지는 문제점이 있다. RMHB는 확인 응답 과정을 통해 재전송을 함으로써 UMHB의 신뢰성을 높이는 프로토콜이다. RMHB는 UMHB와 반대로 플러딩에 비해 높은 신뢰성을 보이나 지연 시간이 다소 증가한다. 그러나 성능 분석을 통해 RMHB의 지연 시간 증가가 사고 방지 효과에 큰 영향을 미치지 않음을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 차량간 통신에서의 브로드캐스트와 관련된 기존의 연구들에 대해 살펴본다. III장에서는 MMFP의 동작 방식에 대해 살펴보고 IV장에서는 본 논문에서 제안하는

두 가지 멀티 홉 브로드캐스트 방식을 설명한다. V 장은 제안하는 방식의 성능을 분석하고 RMHB의 지연 시간 증가가 큰 요소가 아님을 보인다. 마지막으로, VI장에서는 결론 및 향후 계획을 논의한다.

II. 관련 연구

차량간 통신에서 멀티 홉 브로드캐스트를 지원하기 위해서는 신뢰성 감소, 지연시간 증가 등의 문제를 해결해야 한다. 이와 같은 문제들을 해결하기 위해 아래와 같은 여러 연구들이 진행되어 왔다.

UMB(Urban Multi-hop Broadcast)는 도심 지역에서 멀티 홉 브로드캐스트시 발생할 수 있는 브로드캐스트 스톰(broadcast storm), 숨은 노드(hidden node), 비신뢰성과 같은 문제를 해결하기 위해 제안된 프로토콜이다 [3]. UMB는 송신 노드(transmitter)와 각 이웃 노드의 위치 정보를 갖고 계산한 거리를 통해 송신 노드로부터 가장 멀리 있는 노드에게 포워딩(forwarding)과 확인 응답(acknowledgement)의무를 부여한다. UMB는 이러한 간단한 방법을 통해 멀티 홉 브로드캐스트의 여러 문제를 해결 하였지만 노드 밀도가 높은 환경에서 충돌 해지(collision resolution)가 빈번히 발생하여 지연 시간이 증가 할 수 있다.

SB(Smart Broadcast)는 UMB의 반복적인 충돌 해지 단계로 인해 야기되는 긴 지연 시간을 줄이기 위한 프로토콜이다 [4]. SB에서도 가장 멀리 있는 노드에게 포워딩에 대한 높은 우선권을 부여한다. 그러나 SB는 UMB와 달리 높은 우선권을 갖는 노드들이 동시에 전송을 시도 할 경우 충돌 해지 단계로 넘어가는 것이 아니라, 다음 우선권을 갖는 노드 중에서 포워딩 노드를 정한다. 따라서 가장 멀리 있는 노드가 포워딩을 못 할 수도 있지만 충돌 해지 단계로 인해 발생하는 지연 시간을 줄일 수 있다. 그러나 SB도 노드 밀도에 적응적으로 동작하지 못 하며, 모든 노드의 전송 범위가 같다는 가정을 필요로 한다.

SB를 포함한 많은 연구들은 모든 차량의 전송 범위가 동일하다고 가정한다. 그러나 전송 범위는 차량의 높은 이동 속도와 빌딩 등의 장애물로 인해 동적으로 변한다. FB(Fast Broadcast)[5]는 헬로 메시지

(hello message)를 통해 각 노드들이 지속적으로 자신의 전송 범위를 추정하며 전송 시에 추정된 전송 범위를 이용하여 포워딩 노드 선택에 이용한다. 비록 FB는 전송 범위에 대한 가정을 없애는 방법을 제시하였지만 높은 제어 패킷 부하(control packet overhead)를 발생시키는 단점이 있다.

Lightweight Broadcast Technique[6]은 고정된 전송 범위를 갖고 전송 노드와 각 노드간의 거리 또는 RSS(Received Signal Strength)를 통해 각 노드의 포워딩 확률 또는 시간을 달리함으로써 플러딩의 중복 패킷 생성을 억제한다. 또한 노드 밀도 문제를 해결하기 위해 시간에 따라 포워딩 확률 또는 시간을 계산하는 인자 값을 바꾸도록 하였으나 수시로 변하는 노드 밀도에 적응적인 동작을 할 수는 없다.

IEEE 802.11 MAC [7]의 유니캐스트는 패킷 전송이 실패할 경우 충돌이 발생한 것으로 간주하고 CW(contention window)의 크기를 조정함으로써 수시로 변하는 노드 밀도에 적응적으로 동작한다. 그러나 브로드캐스트는 패킷 전송의 성공 여부를 확인할 방법이 없어서 항상 일정한 CW를 유지하기 때문에 노드 밀도가 증가하면 패킷 충돌 확률이 증가한다. [8]에서 제시한 프로토콜은 DSRC의 제어 채널(control channel)에서 각 노드가 주기적으로 전송하는 상태(status) 정보의 순서 번호(sequence number)를 바탕으로 노드 밀도를 추정한다. 이 추정 값은 브로드캐스트의 CW의 크기를 조정하는데 사용되어 노드 밀도에 어느 정도 적응적인 동작을 하도록 돕는다.

Role-Based Multicast[9]는 브로드캐스트에서의 신뢰성을 높이기 위해 전송 노드가 모든 이웃 노드로부터 자신이 전송한 패킷과 같은 패킷을 수신 할 때까지 계속적으로 패킷을 재전송한다. 그러나 Role-Based Multicast는 데이터 링크 계층(data link layer)으로부터 고속으로 이동하는 이웃 노드들에 대한 정보를 지속적으로 받을 수 있는 방법을 필요로 하며 노드 밀도가 높아질수록 패킷 전송을 위한 시간이 증가한다는 단점이 있다.

BMW(Broadcast Medium Window)[10]는 브로드캐스트 전송을 여러 개의 유니캐스트 전송처럼 다루어 신뢰성을 높인다. 그러나 BMW는 각 유니캐스트를

위해 매번 DCF를 통한 경쟁(contention)을 거치기 때문에 지연 시간이 증가한다. BMMM(Batch Mode Multicast MAC Protocol)[11]은 BMW의 높은 지연을 감소시키기 위한 방법을 제안한다. BMMM에서 전송 노드는 DCF를 통해 매체에 접속 할 때 모든 이웃 노드와 RTS/CTS를 교환한 후 DATA 패킷을 전송한다. 그 후 전송 노드는 각 노드에게 RAK(Request for ACK)를 전송하여 DATA 패킷을 성공적으로 수신하였는지 확인하도록 한다. BMW와 BMMM도 Role-Based Multicast와 마찬가지로 이웃 노드에 대한 정보를 필요로 하며, 멀티 홉 전송을 지원하지 못 한다는 한계를 갖고 있다.

III. 멀티 홉 MAC 포워딩(MMFP) 프로토콜

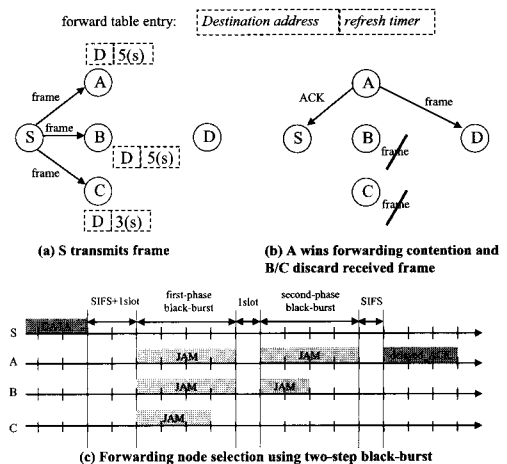
본 논문에서 제안하는 두 가지 멀티 홉 브로드캐스트 프로토콜인 UMHB와 RMHB는 MMFP를 기반으로 하여 확장한 방식이다. 따라서, 여기서는 먼저 MMFP를 살펴보고, 다음으로 IV장에서 UMHB와 RMHB를 위한 확장 사항을 알아보겠다.

MMFP는 기존의 MAC 브릿지의 필터 테이블(filter table)을 응용하여 각 노드들이 수신 데이터의 주소 정보를 바탕으로 멀티 홉 전송이 가능한 노드들의 목록을 유지하고 이 목록을 참고하여 수신 데이터의 포워딩 여부를 결정한다. 이때, 각 노드들은 두 가지의 데이터 포워딩 모드를 유지한다. 암묵적 유니캐스트(implicit unicast) 모드는 목적지 노드에 대한 정보를 보유한 수신 노드(receiver)들이 가중치 정보를 이용하여 수신 데이터의 포워딩을 위한 경쟁을 수행하며 경쟁에서 승리한 노드가 데이터를 유니캐스트 방식으로 포워딩 한다. 브로드캐스트 모드는 목적지 노드에 대한 정보를 보유한 이웃 노드가 존재하지 않을 경우에 사용되며 데이터를 수신한 모든 노드들은 수신 데이터를 브로드캐스트 방식으로 플러딩 한다.

MMFP에서 각 노드는 포워드 테이블에 목적지 노드로의 경로 정보를 유지하는 기존의 일반적인 라우팅 프로토콜과 달리 목적지 노드에 도달 가능한 경로가 존재 하는지에 대한 것만을 유지한다. 따라서

MMFP의 포워드 테이블에는 목적지 노드를 위한 다음 홉 노드 정보는 존재하지 않는다. MMFP는 이웃 노드로부터 수신한 프레임의 목적지 주소가 포워드 테이블에 등록되어 있을 경우 암묵적 유니캐스트 방식으로 프레임을 포워딩 하며 그렇지 않을 경우 플러딩 방식으로 모든 이웃 노드들에게 프레임을 전송한다. 이때 암묵적 유니캐스트 방식을 사용할 경우 각 수신 노드는 자신으로부터 목적지 노드에 도달 가능한 경로가 존재 하는지에 대한 것만을 알 수 있기 때문에 다음 홉 주소를 이용한 프레임 포워딩 대신에 브로드캐스트 기반 전송 방식을 사용하고, 이를 수신한 수신 노드 중에서 하나의 노드만이 프레임 포워딩한다.

암묵적 유니캐스트의 포워딩 노드 선정은 <그림 1>과 같은 2단계 black-burst[12, 13]를 통해 선정된다. 포워딩 경쟁에 참여한 노드들은(A, B, C) 첫 번째 black-burst에서 자신의 가중치를 이용하여 재밍 신호의 크기를 산출하고 재밍 신호를 송신한다. 여기서 가중치는 포워딩 테이블의 엔트리 유효 시간과 RSSI(Received Signal Strength Indicator)등을 이용할 수 있다. 그림에서 C는 자신의 재밍 신호의 송신이 끝난 후에 전송 매체가 활성화(busy) 되어 있기 때문에 경쟁에서 탈락한 것을 인지하고 수신한 데이터 프레임을 폐기 한다. 두 번째 black-burst는 첫 번째



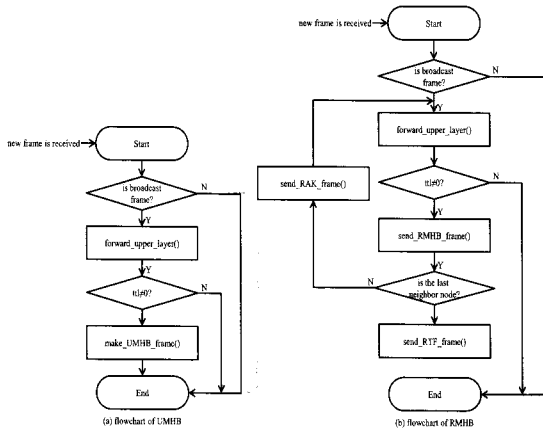
<그림 1> MMFP의 암묵적 유니캐스트 전송 과정
<Fig. 1> Implicit unicast procedure of MMFP

단계에서 승리한 노드들 간의(A, B) 충돌을 방지하기 위해 실행된다. 이 단계에서 각 노드는 정해진 범위 내에서 랜덤 수를 선택하고 이 크기만큼의 재밍 신호를 송신한다. 그림에서 A는 가장 긴 재밍 신호를 송신하였기 때문에 경쟁에서 승리한다. 이와 같은 방법을 통해 최종 선택된 A는 S에게 데이터 프레임에 대한 응답으로 *delayed_ack*를 송신하고 수신한 프레임을 재포워딩한다.

여기서는 제한된 분량으로 인해 MMFP의 동작에 대해 상세히 설명을 할 수가 없다. 따라서 좀 더 자세한 동작을 알기 위해서는 [1]을 참고하기 바란다.

IV. 멀티 홉 브로드캐스트 전송 과정

본 논문에서 제안하는 두 가지 멀티 홉 브로드캐스트는 앞서 살펴본 MMFP를 기반으로 하여 확장한 방식이다. UMHB는 플러딩의 중복 패킷 문제를 해결하기 위해 MMFP의 암목적 유니캐스트 방식의 2단계 black-burst를 이용한다. 그러나 UMHB는 신뢰성이 감소하는 문제가 발생하며 이를 해결하기 위해 RMHB는 확인 응답 과정을 통한 재전송을 수행한다. <그림 2>는 UMHB와 RMHB의 기본 알고리즘 플로우를 나타낸다. 여기서는 위의 흐름에 맞추어 먼저 UMHB를 살펴본 후에 RMHB에 대한 설명을 하도록 한다.



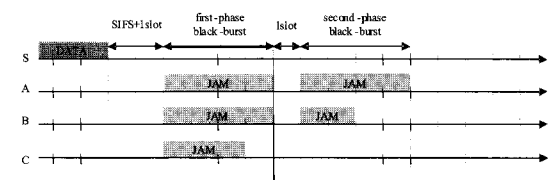
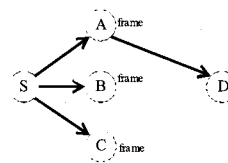
<그림 2> UMHB와 RMHB의 알고리즘 플로우
<Fig. 2> Algorithm flows of UMHB and RMHB

1. UMHB(Unreliable Multi-Hop Broadcast)

멀티 홉 브로드캐스트는 기존 MMFP의 암목적 유니캐스트를 수정하여 수행 될 수 있다. 여기서 설명하는 첫 번째 멀티 홉 브로드캐스트는 플러딩의 중복 프레임을 줄이기 위해 암목적 유니캐스트의 2단계 black-burst를 응용한다. UMHB는 암목적 유니캐스트와 다음과 같은 차이를 갖는다.

먼저 UMHB는 목적지 노드가 하나의 특정 노드가 아니기 때문에 암목적 유니캐스트의 도달 가능 정보를 사용할 수 없다. <그림 1>에서와 같이 암목적 유니캐스트는 2단계 black-burst를 통해 포워딩 노드를 선정한다. 이때 포워딩 경쟁에 참여하는 노드들은 프레임의 목적지 노드에 대해 도달 가능 정보를 갖고 있는 노드들만으로 제한된다. UMHB도 <그림 3>에서와 같이 2단계 black-burst를 통해 포워딩 노드의 수를 제한함으로써 브로드캐스트 스톱으로 인한 문제점들을 줄인다. 이때 UMHB는 암목적 유니캐스트와 달리 특정 노드에 대한 도달 가능 정보를 사용할 수 없기 때문에 주변의 모든 노드들이 포워딩 경쟁에 참여한다.

다음으로 UMHB는 브로드캐스트 프레임이기 때문에 ACK를 받지 않는다. 암목적 유니캐스트는 목적지 주소를 하나의 특정 노드로 설정함으로써 일반적인 데이터 프레임을 전송하는 것을 나타낸다. 따라서 그림 1에서와 같이 IEEE 802.11 MAC의 전송과정에 맞추어 데이터 프레임에 대한 ACK를 수신 받



<그림 3> UMHB의 전송 과정
<Fig. 3>Transmission procedure of UMHB

는다. 반면에 UMHB는 목적지 주소를 브로드캐스트 주소로 사용하는 브로드캐스트 프레임이다. 따라서 IEEE 802.11 MAC의 브로드캐스트 전송과정에 맞추어 브로드캐스트 프레임 전송에 대한 ACK를 수신 받지 않는다.

마지막으로 UMHB는 모든 노드들이 프레임을 수신한다. 암묵적 유니캐스트의 중간 노드들은 프레임을 목적지 노드로 포워딩 할 의무만을 갖는다. 따라서 포워딩 경쟁에서 탈락한 노드들은 바로 프레임을 폐기하며 포워딩 노드도 포워딩을 수행한 후 프레임을 폐기한다. 이와 달리 멀티 홉 브로드캐스트는 브로드캐스트 프레임이기 때문에 모든 이웃 노드들이 프레임을 폐기하지 않고 수신한 프레임을 상위 계층으로 전달한다.

2. RMHB(Reliable Multi-Hop Broadcast)

앞서 살펴 본 UMHB는 2단계 black-burst를 통해 포워딩 노드의 수를 제한하여 신뢰성이 감소하는 문제점을 갖는다. RMHB는 UMHB의 신뢰성 문제를 <그림 4>와 같이 데이터 프레임에 대한 확인 응답과 재전송 과정을 추가함으로써 해결한다.

RMHB에서 각 노드는 수신한 데이터 프레임의 address 2 필드를 통해 MMFP에서의 포워드 테이블과 마찬가지로 {neighbor_address, refresh_timer}의 두 필드로 이루어진 이웃 노드 테이블을 구성한다. 이후에 전송 노드는 신뢰성을 높이기 위해 데이터 프레임을 전송 한 후 각 이웃 노드가 데이터 프레임을

성공적으로 수신하였는지 확인을 한다. 전송 노드는 이웃 노드 테이블을 통해 각 이웃 노드에게 데이터 프레임에 대한 ACK를 전송해 줄 것을 요청하기 위해 새로운 제어 프레임인 RAK(Request for ACK)를 차례로 전송한다. RAK를 수신한 이웃 노드는 데이터 프레임을 성공적으로 수신한 경우 ACK로 응답한다. 전송 노드는 이웃 노드로부터 ACK를 수신 받으면 해당 엔트리에 대한 refresh_timer를 갱신하고 다음 이웃 노드에게 RAK를 전송한다. 만약 이웃 노드로부터 ACK를 수신 받지 못 할 경우 전송 노드는 랜덤 백오프 과정을 거쳐 데이터 프레임을 재전송한 후 RAK를 다시 전송한다. 이 재전송 과정은 미리 정한 재전송 제한 횟수만큼 반복되며, 제한 횟수를 넘길 경우 전송 노드는 해당 노드에 대한 엔트리를 삭제한다.

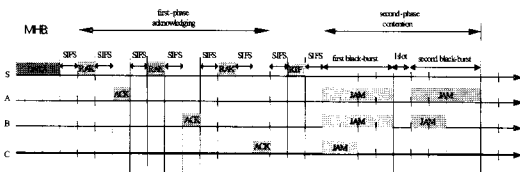
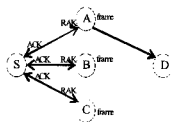
전송 노드는 위의 확인 응답 과정을 거친 후, RTF(Request to forward) 프레임을 전송함으로써 이웃 노드들에게 포워딩 경쟁 단계로 넘어가는 것을 알린다. 이때 포워딩 경쟁은 UMHB와 마찬가지로 2단계 black-burst 과정을 거쳐 수행된다.

3. IEEE 802.11 MAC 프레임 포맷 확장

UMHB와 RMHB에서 새로이 추가된 헤더필드들은 기존 IEEE 802.11 MAC에서 정의한 헤더필드들과 구분하기 위해서 현재 사용하지 않는 type-subtype 필드를 사용하여 정의한다. 현재 type 필드가 11인 값을 사용하지 않기 때문에 UMHB, RMHB, RAK, RTF 프레임의 type 필드 값은 11을 사용하며, subtype 필드 값은 0000-0011을 사용한다.

UMHB와 RMHB 프레임은 암묵적 유니캐스트와 마찬가지로 4개의 주소 필드를 사용한다. 이때 UMHB와 RMHB 프레임은 특정 목적지 주소를 정하지 않기 때문에 address 4 필드에 목적지 주소가 아닌 각 차량의 위치 정보와 방향 정보를 넣어줄 수 있다.

RAK와 RTF 프레임은 수신, 송신 주소 필드 외에 원천지 주소 필드를 사용하여 응답받고자 하는 데이터 프레임의 원천지 노드를 알려준다.



<그림 4> RMHB의 전송 과정

<Fig. 4> Transmission procedure of RMHB

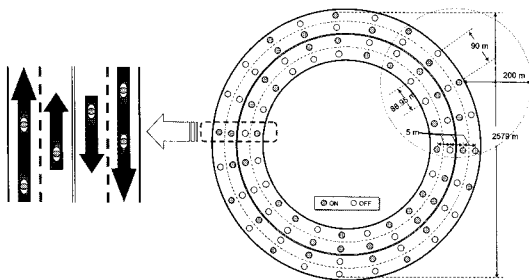
V. 실험 결과

UMHB와 RMHB의 성능을 분석하기 위해서 ns-2 시뮬레이터 [14]를 이용하여 플러딩과 비교를 하였다. UMHB와 RMHB는 MMFP와 마찬가지로 네트워크 계층과 IEEE 802.11 MAC 계층 사이에 서브 계층으로 구현하였다. MAC 프로토콜은 ns-2 시뮬레이터의 802.11b 모듈에 설정되어 있는 시스템 파라미터를 변경하여 802.11g의 ERP-OFDM을 구현하였다. <표 1>은 실험에 사용한 파라미터들의 값을 나타낸다.

실험은 <그림 5>와 같은 4차선 고속도로에서 반대 방향으로 운행 중인 차량을 통해 진행하였으며 차량의 속도는 차선에 따라 54km/h와 72km/h로 설정하였다. 이때 실제적인 통신 모델을 적용하기 위하여 fading 모델로 rician distribution [15]을 사용하였다. 실험에서 각 노드의 전송 거리는 200m 이며 전송 속도는 54Mbps로 설정하였다. 실험은 전체 노드의 수를 변화시키며 진행하였으며, 차간 거리는 전체 노드의 수에 따라 85m에서 13m로 변화한다. 실험은 임의로 선택된 1개의 노드가 20초 동안 1pkt/s의 트래픽을 2km내에 위치한 후방의 차량들에게 전송하도록 하였다. 이때 메시지의 방향성을 설정하기 위해 UMHB와 RMHB의 address 4필드를 사용하지 않고, 실험상 편의를 위해 각 차량의 ID를 사용하였다.

<표 1> 실험 파라미터
<Table 1> Simulation parameters

parameter	value
CWMin(slots)	15
SlofTime(microseconds)	9
Preamble length(bits)	120
PLCPHeaderLength(bits)	24
PLCPDataRate(Mbps)	6
data rate(Mbps)	54
transmission range(m)	200
traffic type	CBR
UDP payload size(bytes)	1024
Ricean K factor	6

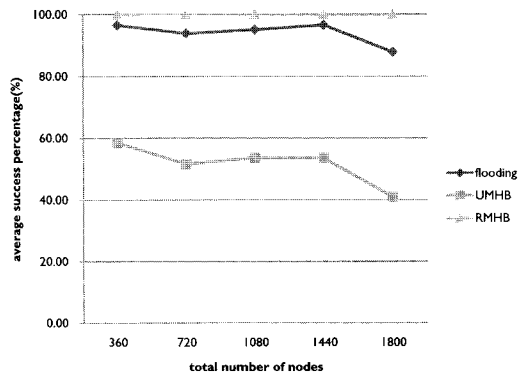


<그림 5> 실험 토폴로지
<Fig. 5> Simulation topology

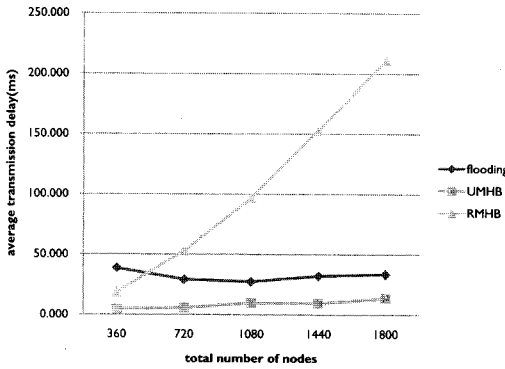
성능 비교는 평균 패킷성공률과 평균 패킷전송지연을 측정하여 수행하였다. 평균 패킷성공률은 2km 내의 전체 노드 중 성공적으로 패킷을 수신한 노드의 비율을 나타내며, 평균 패킷전송지연은 원천지 노드로부터 각 노드까지 패킷이 전달되는데 소요되는 시간을 나타낸다.

<그림 6>은 전체 노드 수의 증가에 따른 평균 패킷성공률을 나타낸다. 각 프로토콜의 평균 패킷성공률은 RMHB가 100%, 플러딩이 94%, UMHB가 52%로 전체적으로 RMHB는 플러딩에 비해 높은 성능을 보이나 UMHB는 플러딩에 비해 낮은 성능을 보이는 것을 알 수 있다. UMHB가 플러딩에 비해 낮은 성능을 보이는 것은 UMHB의 2단계 black-burst로 인해 포워딩 노드의 수가 제한되기 때문이다. RMHB도 UMHB와 마찬가지로 포워딩 노드의 수를 제한하나 플러딩에 비해 높은 성능을 보이는 것은 확인 응답

를 보인다는 것을 알 수 있다. RMHB도 UMHB와 마찬가지로 포워딩 노드의 수를 제한하나 플러딩에 비해 높은 성능을 보이는 것은 확인 응답



<그림 6> 전체 노드수의 변화에 따른 평균 패킷성공률
<Fig. 6> Average success percentage with varying total number of nodes



<그림 7> 전체 노드수의 변화에 따른 평균 패킷전송지연

<Fig. 7> Average transmission delay with varying total number of nodes

과 재전송을 사용하기 때문이다.

<그림 7>은 전체 노드 수의 증가에 따른 평균 패킷전송지연을 나타낸다. 여기서의 측정값은 원천지 노드로부터 가장 멀리 있는 노드까지의 지연 시간을 측정된 값이다. 각 프로토콜의 평균 전송지연은 UMHB가 8.7ms, 플러딩이 32.6ms, RMHB가 106.5ms를 나타내며 최대 전송지연은 UMHB가 13.9ms, 플러딩이 33.7ms, RMHB가 211.1ms를 나타내는 것을 알 수 있다. UMHB가 플러딩에 비해 낮은 전송 지연을 보이는 것은 2단계 black-burst를 통해 포워딩 노드의 수를 감소시켜 채널이 활성화(busy)되는 시간을 줄임으로써 전체 지연 시간을 감소시키기 때문이다. 반면에 RMHB는 확인 응답 과정에서 신뢰성을 높이기 위해 추가적으로 사용된 제어 프레임들의 전송 시간과 재전송에 의해 소요되는 시간이 추가되어 전체 지연 시간이 증가하게 된다.

앞의 결과는 RMHB가 비록 높은 신뢰성을 제공하나 다른 방법에 비해 높은 지연 시간을 겪는 것을 알려준다. I장에서 공공 안전 서비스를 제공하기 위해 차량간 통신의 멀티 홉 브로드캐스트가 주로 사용되며 높은 신뢰성을 보장해야 한다고 하였다. <그림 6>의 결과를 통해 RMHB가 이 조건에 가장 적합하다는 것을 알 수 있으나 <그림 7>은 RMHB가 다른 방법에 비해 높은 지연 시간을 갖는다는 것을

보여준다. 그러나 RMHB가 갖는 지연 시간은 사실 큰 요소가 아니다. 이를 아래 논의를 통해 살펴볼도록 하겠다.

차량의 정지거리는 운전자가 위험요소를 인식하고 제동을 시작하여 차량이 완전히 정지 할 때까지 차량이 나아간 거리이다 [16]. 운전자는 위험요소와의 거리를 정지거리 이상으로 유지함으로써 위험요소와의 충돌이 발생하기 전에 충분히 대비하도록 해야 앞차와의 충돌을 피할 수 있다.

차량속도에 따른 정지거리 $d_s(v)$ 는 운전자가 위험을 발견하고 브레이크를 조작 할 때까지 차가 진행한 거리인 공주거리 $d_R(v)$ 와 공주거리 이후 차량이 완전히 정지 할 때까지 차량이 진행한 거리인 제동거리 $d_B(v)$ 로 구성된다. 공주거리와 제동거리는 각각 아래 식 (1)과 식 (2)를 통해 구할 수 있다 [16].

$$d_R(v) = \frac{v}{3.6} \times t \tag{1}$$

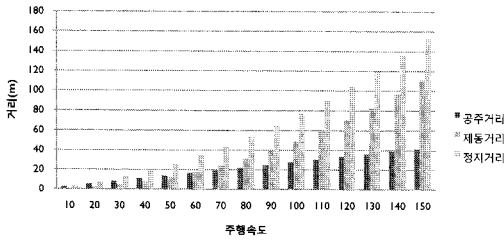
d : 공주거리(m), v : 차량속도(Km/h), t : 공주시간(s)

$$d_B(v) = \frac{v^2}{2\mu g} \text{ or } d_B(v) = \frac{V^2}{254\mu} \tag{2}$$

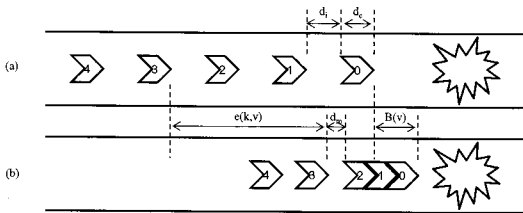
d : 제동거리(m), v : 차량속도(m/s), V : 차량속도(Km/h), μ : 제동마찰계수, g : 중력가속도

정지거리는 공주거리와 제동거리의 합이므로 식 (1)의 공주시간을 운전자의 일반적인 반응시간인 $t=1.0s$, 식 (2)의 제동마찰계수를 건조한 상태의 일반적인 도로에서의 승용차의 제동마찰계수인 $\mu=0.8$ 이라고 가정하여 구할 수 있다. <그림 8>은 주행 속도에 따른 공주거리와 제동거리, 정지거리의 변화를 나타낸다. 이 그림을 통해 100km/h로 주행 중인 차량의 공주거리, 제동거리는 각각 27.8m, 49.2m이며 공주거리와 제동거리의 합인 정지거리는 77m인 것을 알 수 있다.

각 운전자는 차량의 주행 속도에 따라 차간 거리를 <그림 8>의 정지거리 이상으로 유지하면 대부분의 충돌 사고를 피할 수 있다. 그러나 일반적으로 운전자들은 충분한 차간 거리를 유지하지 않은 채로 주행하는 습관이 있다. 또한 운전자들은 전방의 위



<그림 8> 주행속도별 공주거리, 제동거리, 정지거리
 <Fig. 8> Reaction, breaking, and stopping distance with varying vehicular velocity

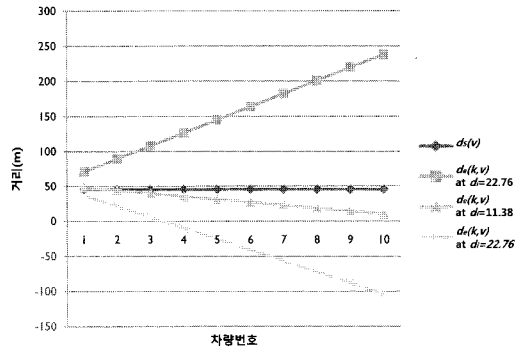


<그림 9> 차량 충돌 상황
 <Fig. 9> A situation of vehicular collisions

험 요소를 대부분 앞차의 브레이크 등을 통해 알 수 있기 때문에 짙은 안개, 폭우 등으로 충분히 시야가 확보되지 않은 경우 전방의 위험 요소를 너무 늦게 인식하게 된다.

<그림 9>는 차량의 길이가 d_c , 차간 거리가 d_i , 차량 속도가 v 로 동일한 상황에서의 차량 충돌 상황을 단순화한 모델이다. 각 차량은 최초 위험 요소를 발견한 차량인 차량 0을 기준으로 순서대로 차량 번호를 붙여 구분한다. 여기서의 앞서 언급한 바와 같이 불충분한 시야로 인해 모든 차량이 바로 앞 차량의 브레이크등을 통해 긴급 상황을 인식할 수 있다고 가정하였다. (a)에서 차량 0의 운전자가 전방의 장애물을 인식하고 브레이크를 작동하면 차량 0은 (b)에서와 같이 속도 v 에 따른 제동거리 $d_B(v)$ 만큼 진행 한 후에 정지한다. 다행히 차량 0은 전방의 장애물과의 충돌을 피할 수 있으나 차량 1은 속도와 차간 거리에 따라 자신의 장애물인 차량 0과 충돌할 수 있다.

차량 0이 위험을 인식한 시각으로부터 속도 v 로 주행 중인 임의의 차량 k 가 차량 $k-1$ 의 예상 정지 지점까지 남은 거리를 차량 k 의 유효거리 $d_e(k,v)$ 라고



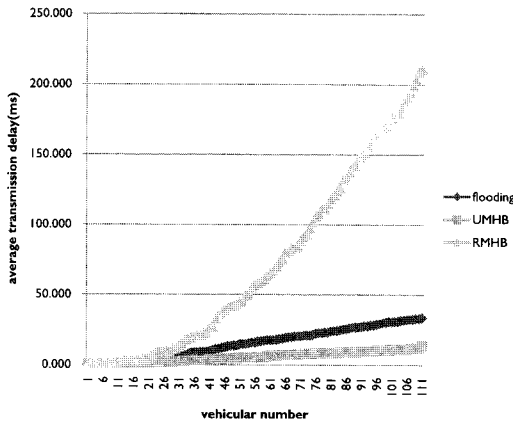
<그림 10> $t_m=1s$, $v=72km/h$ 에서 차량번호에 따른 정지거리와 유효거리
 <Fig. 10> Stopping and effective distance with $t_m=1s$, $v=72km/h$, and vehicular number

하자. $d_e(k,v)$ 가 정지거리보다 작은 값을 갖는다면 차량 k 가 위험요소를 인식하고 제동을 시작하여도 차량 $k-1$ 의 예상 정지 지점을 넘어서 정지함으로써 차량 $k-1$ 과 충돌하게 된다. 반대로 $d_e(k,v)$ 가 정지거리보다 큰 값을 갖는다면 차량 k 가 차량 $k-1$ 의 예상 정지 지점 이전에 정지할 수 있기 때문에 차량 $k-1$ 과의 충돌을 피할 수 있다. 차량 k 의 유효거리 $d_e(k,v)$ 는 다음 식 (3)과 같이 구할 수 있다. 여기에서 모든 차량은 정지 시에 <그림 9>와 같이 앞차로부터 일정한 여유 공간인 d_m 의 간격을 두고 정지한다고 가정하였으며, d_{cm} 은 d_c 와 d_m 의 합을 나타낸다.

$$d_e(k,v) = B(v) + kd_i - (k-1)t_m v - (k-1) \times (d_c + d_m) \quad (3)$$

$$= B(v) + k(d_i - t_m v - d_{cm}) + t_m v + d_{cm}$$

<그림 10>은 $d_m=2m$, $v=72km/h$ 일 때의 정지거리 $d_s(v)$ 와 차간거리 d_i 의 변화에 따른 각 차량의 유효거리 $d_e(k,v)$ 를 나타낸다. 차간거리는 $v=72km/h$ 의 정지거리인 42.51m와 정지거리의 1/2, 1/4 값인 22.76m, 11.38m로 설정하였다. 앞서 언급한 바와 같이 정지거리보다 큰 값의 유효거리를 갖는 차량들은 실질적인 위험 요소인 앞 차량의 예상 정지 지점 이전에 정지 할 수 있기 때문에 앞 차와의 충돌을 피할 수 있다. 그림에서 차간 거리를 정지거리와 같은 45.51m로 하면 모든 차량의 유효거리가 정지거리보다 큰 값을 갖기 때문에 충돌을 피할 수 있다. 그러

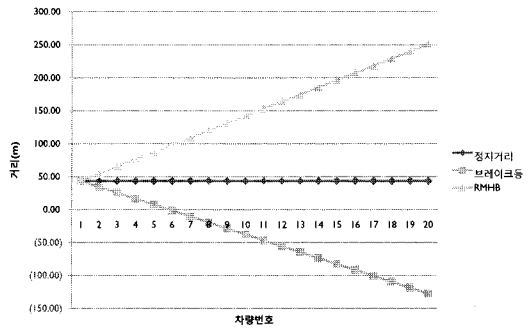


<그림 11> 차량 번호에 따른 평균 패킷전송지연
<Fig. 11> Average transmission delay with vehicular number

나 차간 거리를 22.76m로 유지하면 차량 1 이후의 모든 차량은 유효거리가 정지거리보다 작기 때문에 충돌하게 되고, 차간 거리를 11.38m로 유지하면 모든 차량의 유효거리가 정지거리보다 작기 때문에 모든 차량이 충돌한다.

RMHB의 지연 시간 증가가 차량 충돌에 미치는 영향을 알아보기 위해 식 (3)의 t_m 을 RMHB를 이용한 메시지 전송 시간으로 대입하여 각 차량의 유효 거리를 계산하자. 이 경우 각 차량은 차량 0이 전송하는 메시지를 이용하여 브레이크등을 통해 인식하는 시간보다 전방의 위험 요소를 빨리 알 수 있다. 이때 각 차량이 메시지를 수신하는데 걸리는 시간은 <그림 11>의 결과를 통해 구할 수 있다. <그림 11>은 전체 노드수가 1,800개로 차간 거리가 13m일 때, 원천지 노드로부터의 차량 번호에 따른 평균 패킷전송지연을 나타낸다.

<그림 12>는 $d_m=2m$, $v=72km/h$, $d_i=13m$ 일 때의 정지거리 $d_s(v)$ 와 브레이크 등, RMHB를 통해 메시지를 전달 할 경우 각각의 유효거리 $d_e(k,v)$ 를 나타낸다. 브레이크등을 이용하여 위험 상황을 인식할 경우 대부분의 차량이 정지거리보다 작은 값의 유효거리를 갖기 때문에 대부분의 차량이 충돌한다. 그러나 RMHB를 이용하여 전방의 위험 상황을 인식 할 경우 대부분의 차량의 유효거리가 정지거리보다 크기



<그림 12> 차량 번호에 따른 정지거리와 유효거리
<Fig. 12> Stopping and effective distance with vehicular number

때문에 대부분의 차량이 충돌을 피할 수 있다. 따라서 RMHB의 메시지 지연 시간 증가가 큰 문제가 되지 않는다고 할 수 있다.

VI. 결 론

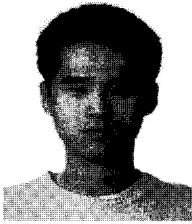
본 논문에서는 기존의 MMFP를 확장하여 차량간 통신에서의 멀티 홉 브로드캐스트를 위한 두 가지 방법을 제안하고 성능을 분석하였다. 본 논문은 기존 MMFP의 암묵적 유니캐스트 방식을 확장하여 플러딩에서 발생하는 중복 패킷을 제한하는 UMHB와 UMHB의 신뢰성을 높이는 RMHB의 두 가지 멀티 홉 브로드캐스트 방식을 제안하였다. 제안한 방식의 성능을 평가하기 위해 플러딩과 비교한 결과 UMHB는 플러딩에 비해 지연 시간이 감소한 반면 신뢰성이 떨어졌으며, RMHB는 플러딩에 비해 높은 신뢰성을 보였으나 다소 지연 시간이 증가하는 것을 알 수 있었다. 그러나 RMHB의 지연 시간 증가는 그렇게 큰 요소가 아니라는 것을 실험 결과를 분석하여 알 수 있었다. 향후에는 차량 속도 등의 인자를 달리하여 각 인자가 성능에 미치는 영향에 대해 분석할 예정이다.

참 고 문 헌

[1] W. Lee, H. Lee, and R. Raychaudhuri, "A multi-

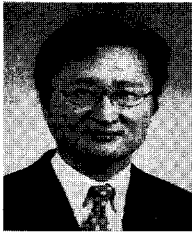
- hop MAC forwarding protocol for high-speed mobile nodes,” *Proc. IEEE Wireless Commun. Networking Conf.*, pp. 3961-3966, Mar. 2007.
- [2] S. Y. Ni, Y. C. Tseng, Y. S. Chen, and J. P. Sheu, “The broadcast storm problem in a mobile Ad Hoc network,” *Proc. ACM/IEEE MobiCom*, pp. 151-162, Aug. 1999.
- [3] G. Korkmaz and E. Ekici, “Urban multi-hop broadcast scheme for alert message propagation in vehicular Ad hoc networks,” *Proc. ACM Int. Workshop Vehicular Ad Hoc Networks*, pp. 76-85, Oct. 2004.
- [4] E. Fasalo, A. Aznella, and M. Zorzi, “An effective broadcast scheme for alert message propagation in vehicular ad hoc networks,” *Proc. IEEE Int. Conf. Commun.*, vol. 1, pp. 423-428, June 2006.
- [5] C. E. Palazzi, S. Ferretti, M. Rocetti, G. Pau, and M. Gerla, “How do you quickly choreograph inter-vehicular communications? A fast vehicle-to-vehicle multi-hop broadcast algorithm explained,” *Proc. IEEE Consumer Commun. Networking Conf.*, pp. 960-964, Jan. 2007.
- [6] N. Wisitpongphan, O. K. Tonguz, J. S. Parikh, P. Mudalige, F. Bai, and V. Sadekar, “Broadcast storm mitigation techniques in vehicular ad hoc networks,” *IEEE Wireless Communications*, vol. 14, no. 6, pp. 84-94 Dec. 2007.
- [7] ANSI/IEEE, “802.11: Wireless LAN Medium Access Controm(MAC) and Physical Layer(PHY)”
- [8] N. Balon and J. Guo, “Increasing broadcast reliability in vehicular ad hoc networks,” *Proc. ACM Int. Workshop Vehicular Ad Hoc Networks*, pp. 104-105, Sept. 2006.
- [9] L. Briesemeister and G. Hommel, “Role-based multicast in highly mobile but sparsely connected Ad Hoc networks,” *Proc. Int. Symp. IEEE MobiHOC*, pp. 45-50, Nov. 2000.
- [10] K. Tang and M. Gerla, “MAC reliable broadcast in Ad Hoc networks,” *Proc. IEEE Military Commun. Conf.*, vol. 2, pp. 28-31, Oct. 2000.
- [11] M. T. Sun, L. Huang, A. Arora, and T. H. Lai, “Reliable MAC layer multicast in IEEE 802.11 wireless networks,” *Proc. IEEE Int. Conf. Parallel Process.*, pp. 527-536, Aug. 2002.
- [12] J. L. Sobrinho and S. S. Krishnakumar, “Distributed multiple access procedures to provide voice communications over IEEE 802.11 wireless networks,” *Proc. Global Telecomm. Conf.*, vol. 3, pp. 1689-1694, Nov. 1996.
- [13] L. Jacob, L. Xiang, and Z. Luying, “A MAC protocol with QoS guarantees for real-time traffics in wireless LANs,” *Proc. ICICS-PCM*, vol. 3, pp. 1962-1966, Dec. 2003.
- [14] The Network Simulator(Ns-2), <http://www.isi.edu/nsnam/ns>
- [15] G. L. Stuber, *Principles of Mobile Communication*, Kluwer Academic, 1996.
- [16] 윤대권, 공주거리와 체동거리로 차량의 정지거리를 추정한다, 교통안전공단, <http://www.kosta.or.kr>

저자소개



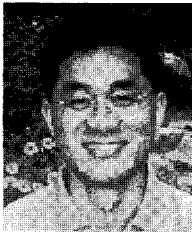
한 용 현 (Han, Yong-Hyun)

2008년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과(학사)
2008년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사과정



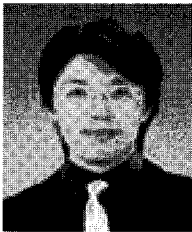
이 혁 준 (Lee, Hyuk-Joon)

1987년 : University of Michigan, Computer Science(학사)
1989년 : Syracuse University, Computer Science(석사)
1993년 : Syracuse University, Computer Science(박사)
1994년 ~ 1996년 : 삼성전자(주) 멀티미디어 연구소 선임연구원
1996년 ~ 현재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 교수



최 용 훈 (Choi, Yong-Hoon)

1991년 3월 ~ 1995년 2월 : 연세대학교 전자공학 학사
1995년 3월 ~ 1997년 2월 : 연세대학교 전자공학 석사
1997년 1월 ~ 2001년 2월 : 연세대학교 전기전자공학 박사
2001년 4월 ~ 2002년 3월 : University of Maryland, Postdoctoral Research Associate
2002년 6월 ~ 2005년 8월 : LG전자 책임연구원
2005년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 정보제어공학과 교수



정 영 옥 (Chung, Young-Uk)

1993년 3월 ~ 1997년 2월 : 한국과학기술원 전자전산학 학사
1997년 3월 ~ 1999년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학 석사
1999년 3월 ~ 2003년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학 박사
2003년 3월 ~ 2005년 8월 : 하이닉스 반도체 책임연구원
2005년 9월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 조교수