

실제 도로환경에서 차량 통신시스템의 성능 및 멀티홉 전송시험

Performance and Multi-hop Transmission Tests for Vehicular Communication Systems in Real Road Environments

송 정 훈*
(Jung-Hoon Song)

이 재 정*
(Jae-Jeong Lee)

정 승 완**
(Seung-Wan Jung)

서 대 화***
(Dae-Wha Seo)

요 약

차량의 주행환경은 차량의 위치와 속도, 차량 사이의 거리변화가 심한 특징을 가진다. 차량 통신시스템의 성능은 차량의 주행환경에 영향을 받기 때문에, 정확한 성능 측정을 위해서는 실제 도로환경에서 주행환경을 고려하여 시스템 성능 시험을 수행해야 한다. 본 논문은 실제 도로환경에서 V2V/V2I 성과와 V2V 멀티홉 전송기능 시험 방법을 제안하고, 개발된 차량 통신시스템으로 측정된 시험 결과를 제시한다. 시험결과를 통해 통신장치의 거리와 차량의 주행 방향이 통신성능에 영향을 주는 것을 확인하였다. 또한 제안된 멀티홉 시험 방법으로 제한된 지역 내에서 주행하는 차량을 활용하여 멀티홉 전송 기능을 확인하였다.

핵심어 : 차량네트워크, 통신시스템, WAVE, IEEE 802.11p, 성능시험

ABSTRACT

The driving environment of the vehicle has characteristics that the change of position, velocity and distance between vehicles is severe. The performance test of system must be carried out in the real road environments with consideration of the driving environment of vehicles to measure the performance correctly because the performance of vehicular communication systems is affected by the driving conditions of the vehicle. In this paper, we propose the test methods of V2V/V2I performance and V2V multi-hop transmission function and present the test results measured by the vehicular communication systems already developed. In the test result, we confirmed the fact that the distance of communication devices and the driving direction of vehicle are affecting the communication performance. We also confirmed the multi-hop transmission function using the driving vehicle in the limited area as the proposed test method.

Key words : VANET, Communication Systems, WAVE, IEEE 802.11p, Performance Test

* 주저자 및 공저자 : 경북대학교 임베디드소프트웨어연구센터 선임연구원

** 공저자 : 경북대학교 대학원 전자전기컴퓨터학부

*** 공저자 및 교신저자 : 경북대학교 IT대학 교수

† 논문접수일 : 2013년 10월 28일

† 논문심사일 : 2013년 12월 30일

† 게재확정일 : 2014년 01월 02일

I. 서론

한정된 도로, 교통 인프라는 늘어나는 교통 수요를 수용하기 어려우며, 매년 늘어나는 차량으로 인해 사고 및 교통체증 등의 문제가 점차 증가하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 ITS(Intelligent Transportation System)에 차량 간 통신을 접목하여 효율적인 교통정보 제공과 차량 안전 서비스를 지원하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 개별차량의 주행상태 정보를 기반으로 새로운 서비스를 창출하기 위해서는 차량 간 및 차량과 노변장치 사이의 자율적인 네트워크 형성과 차량의 고속 이동 환경에서 안정적인 정보 전달이 필요하다[1,2].

차량 간 및 차량과 노변장치 간 무선통신을 위해, IEEE 802.11p와 IEEE 1609 표준으로 구성되는 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments) 통신규격이 제정 되었다. 북미지역을 중심으로 향후 2~3년 내 WAVE 기반 차량안전 통신장치의 탑재 의무화를 추진하고 있으며, 실차 환경의 테스트베드를 구축하여 상용화 서비스 가능성을 검토하고 있다. 국내에서도 ‘u-Transportation 기반기술 개발’, ‘스마트 하이웨이’ 같은 프로젝트를 통해 WAVE 차량통신 시스템이 개발되었고, 차세대 ITS 및 차량 안전을 위한 상용 서비스에 적용하기 위한 노력을 기울이고 있다[3,4].

WAVE 차량통신 시스템은 차량의 고속이동 환경을 위해 고안된 기술이지만, 실제 도로환경에 적용한 상용 서비스를 제공하기 위해서는 다양한 성능시험과 검증과정을 거쳐야 한다. 이를 위해, WAVE 규격에 정의된 물리계층과 멀티채널 MAC(Medium Access Control)의 성능을 측정하고 분석하는 연구가 수행되었다[5,6]. 연구결과를 통해 무선통신에서의 기본 요구사항과 WAVE 규격에서 제시하는 채널운용 프로토콜의 적용 가능성을 확인할 수 있다. 하지만 실제 도로환경에 차량 통신 시스템을 적용하기 위해서는 실차 환경의 성능시험이 필요하다. 안정적인 통신 서비스를 제공하기 위해, 고속도로 주행 속도 이상의 고속 주행환경에서의 성능 시험은 필수적으로 수행되어야 한다[3].

실제 도로환경에서 무선 통신성능은 이동 중인 차량, 도로의 형상, 지형 등의 주변 환경에 의해 영

향을 받는다. 특히, 차량이 고속으로 이동하는 경우 차량의 속도에 따라 주행하는 위치와 주변 차량의 분포, 노변장치와의 접근성 등 주변 환경이 빠르게 변화한다. 이러한 변화는 통신성능에 영향을 주는 요소이므로 이를 분석하기 위한 시스템과 방법이 필요하다[1]. 본 논문은 차량의 이동 속도와 노변장치와의 접근성을 중심으로 고속이동환경에서의 통신성능을 측정하는 시스템 구성과 시험 방법에 대하여 소개하고, 이를 활용하여 측정된 통신시스템의 성능측정 결과를 제시한다.

차량 간 멀티홉 전송은 전방의 사고와 같은 돌발 상황을 빠르게 전송하여 후방차량의 운전자에게 안전운전 정보를 제공하는 주요한 차량통신 서비스이다. 노변장치 인프라가 구축되지 않은 환경에서 차량의 통신시스템만으로 메시지를 송수신하기 때문에 안정적인 메시지 전달이 중요하다[7,12]. 실제 도로환경에서 주행하는 차량을 활용하여 멀티홉 전송 기능을 검증하려면 다수의 시험차량과 장거리를 이동하면서 시험할 도로구간이 필요하다. 하지만 이러한 시험 조건을 갖추는 것이 현실적으로 어렵다. 본 논문은 실제 도로환경에서 차량 간 멀티홉 전송 기능의 효율적인 검증 방법을 설명하고, 제안된 방법으로 측정된 결과를 보여준다.

본 논문은 실제 도로환경에서 고속 차량을 활용한 효과적인 성능시험 시스템 구성과 시험 방법을 소개하며 다음과 같이 구성된다. 2장에서 WAVE 통신규격과 차량통신의 전송 기능에 대하여 소개하고, 3장에서는 V2V(Vehicle to Vehicle), V2I(Vehicle to Infrastructure) 성능시험 및 V2V 멀티홉 기능시험 방법을 제안한다. 4장에서는 제시된 시험방법을 적용하기 위한 시험환경을 설명하고, 성능시험 수행 결과를 분석한다. 마지막으로 논문에서 제안한 시험 방법과 결과를 요약하고 논문을 마무리한다.

II. 차량 통신시스템

1. WAVE 통신규격

WAVE 통신규격은 고속으로 이동하는 차량 환경을 고려하여 IEEE 802.11a 무선랜 규격을 변형한 것으로, 무선랜 초기화 과정에서 검색(Scanning), 인

증(Authentication), 연결(Association) 과정을 생략하여 빠른 전송을 가능하게 한다[8,9]. 표 1은 IEEE 802.11a 규격과 IEEE 802.11p를 비교한 내용이다. WAVE 통신시스템은 5.850 ~ 5.925GHz 주파수 대역을 대역폭 10MHz씩 7개의 채널로 나누어 사용한다. 7개의 채널은 제어 및 응급상황 메시지 전송을 위하여 1개의 컨트롤 채널(CCH, Control Channel), 일반 서비스 메시지 전송을 위하여 6개의 서비스 채널(SCH, Service Channel)로 구분된다. 단일 트랜시버를 가지는 장치는 컨트롤 채널과 서비스 채널을 반복적으로 스위칭하면서 메시지를 송수신한다. 채널 스위칭은 컨트롤 채널과 100ms 주기로 이루어지고, GPS(Global Positioning System)의 1PPS(Pulse Per Second) 신호를 이용하여 각 무선통신 장치 사이의 시간을 동기화하는 특징을 가진다[10,11].

〈표 1〉 IEEE 802.11a/p 물리계층 비교
 〈Table 1〉 Comparison of IEEE 802.11a/p Physical Layer

Item	IEEE 802.11a	IEEE 802.11p
Frequency	5.725 ~ 5.825GHz	5.850 ~ 5.925GHz
Bandwidth	20MHz	10MHz
Data rate	6,9,12,18,24,36,48,54Mbps	3,4.5,6,9,12,18,24,27Mbps
Modulation	BPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM	
Channel switching	CCH 50 ms, SCH 50 ms	

2. WAVE 통신 시험현황

차량 통신시스템 개발과 실용화를 위한 시험이 미국, 유럽을 중심으로 진행되고 있으며, 테스트베드를 구축해 현장 시험을 수행하고 있다. 미국은 국가 주도로 ‘Connected Vehicle’ 프로젝트를 추진하고 있다. 현재 5개 지역에 테스트베드 사이트를 구축하여 전방 충돌 경고, 교차로 안전 지원 기술 및 톨링(tolling) 서비스 등을 검증하고 있다. 유럽은 CVIS, SAFESPOT, Coopers, DRIVE C2X, euroFOT 등 다양한 프로젝트를 추진하고 있다[3,13].

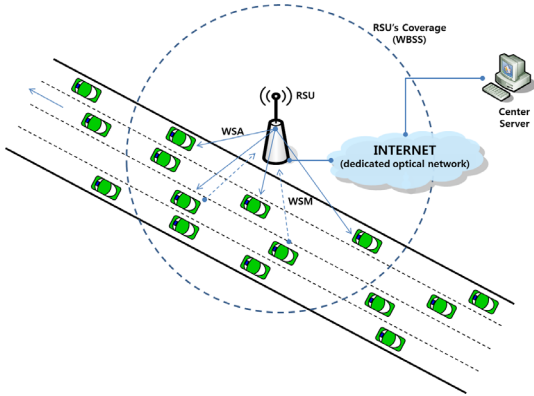
특히, DRIVE C2X는 이전 프로젝트에서 도출된 서비스에 대한 검증과 실제 도로 환경에서 대규모 시험을 실시한다. 유럽 지역 7개소의 시험 사이트를 구축해 전방교통정체 경고, 후방 충돌 경고 등

18개 서비스에 대한 시험 및 검증을 진행하고 있다 [14]. euroFOT는 차량 안전을 위한 지능형 차량 시스템 (IVS, Intelligent Vehicle Systems) 개발을 목적으로, 위험 감지, 사고 예방 및 효율적인 주행 등의 운전자를 보조하는 8가지 기능을 중심으로 시험하고 있다. 1000대 이상의 차량과 트럭들이 시험에 참여하고 있으며, 차량에 설치된 장치들은 실제 교통 상황에서의 운전자들 주행 습관 등을 수집한다. 수집된 정보의 분석을 통해 IVS의 전체적인 성능 평가를 하고 있다[15].

3. WAVE 통신시스템 전송 구조

차량 안전 또는 교통정보 서비스 제공을 위해 차량장치(OBU, On-Board Unit)는 V2V, V2I 전송방식으로 메시지를 송수신하고, 노변장치(RSU, Road Side Unit)는 V2I, I2C(Infrastructure to Center) 전송방식으로 메시지를 전달한다. 차량장치의 주변 차량 위치 수집 기능과 차량주행 정보를 노변장치로 전송하는 기능은 차량과 차량, 차량과 노변장치 사이의 1홉 전송으로 이루어진다. 차량사고와 같은 돌발 상황에 대한 경고 메시지는 차량 사이의 멀티홉 전송방식으로 긴급하게 전달된다. 멀티홉 메시지 전송의 경우 브로드캐스트로 전송하기 때문에 주변 차량들이 메시지 수신 후, 다시 송신하게 되면, 중복 메시지가 많아지게 되어 전체 트래픽이 증가하게 된다. 이를 위해 통신모듈은 중복 재전송 방지를 위한 멀티홉 라우팅 프로토콜을 탑재한다[3,18].

노변장치는 V2I 전송을 통해 노변장치 주변을 통과하는 차량과 통신하며, 노변장치와 교통정보센터 사이의 I2C 전송을 통해 차량의 정보를 전달하는 역할을 담당한다. 수행중인 서비스에 대한 정보를 WSA(WAVE Service Advertisement) 메시지 형태로 방송하고, 이 방송 메시지를 수신한 차량은 주행상태와 차량의 정보를 노변장치로 송신한다. 노변장치는 이 정보를 수신하여 교통정보센터로 전달한다 [3,12]. 그림 1은 차량과 노변장치 사이의 WAVE 메시지 송수신 구조를 보여준다.



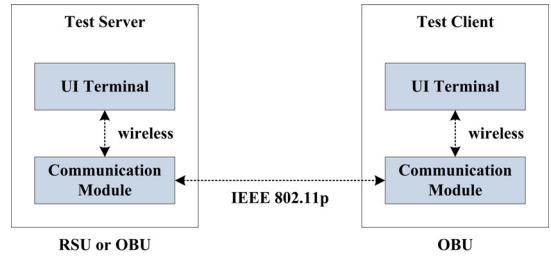
〈그림 1〉 WAVE 통신시스템 메시지 전송 구조
 〈Fig. 1〉 Transmission Architecture of WAVE Communication Systems

통신시스템의 전송구조와 서비스를 통해 주행상태에서의 성능분석 요소를 도출할 수 있다. V2V 전송방식은 속도와 차량 사이의 거리, V2I 전송방식은 노변장치와 차량 사이의 거리와 차량의 노변장치로의 접근상태가 기본 성능분석 요소가 된다. 멀티홉 전송에서는 송신자에서 전송한 메시지의 각 홉 수신율 과 최종 수신자의 메시지 수신율이 기본 성능분석 요소가 된다. 다음 장에서 이러한 요소들 각 전송방법에 따라 측정하는 방법을 제시한다.

Ⅲ. 차량 통신시스템 주행시험

1. 시험시스템 구성

차량에 장착하여 통신성능을 측정하는 시험시스템은 시험서버(Test Server)와 시험 클라이언트(Test Client) 시스템으로 구성된다. 서버 시스템은 성능시험의 시작과 종료를 알리고 측정된 성능시험 결과를 기록한다. 클라이언트 시스템은 정해진 시험구간에서 주기적으로 서버로 시험 데이터를 전송하고 성능 측정 후 시험결과를 확인한다. 각 시스템은 사용자 인터페이스를 제공하는 UI(User Interface) 단말과 IEEE 802.11p 통신 모듈로 나뉜다. 차량용 통신 모듈은 차량의 전면 대쉬보드 또는 후면 트렁크에 설치되는데, 시험수행의 편의를 위해 UI 단말과 통신모듈 사이에 무선 통신 인터페이스를 적용한다. 그림 2는 테스트 장치의 구조를 보여준다.



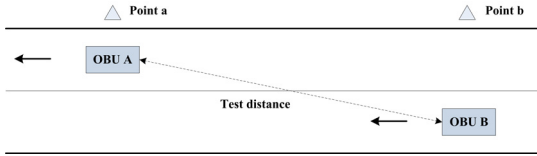
〈그림 2〉 시험 시스템의 구조 (서버와 클라이언트)
 〈Fig. 2〉 Architecture of Test Systems (Server and Client)

시험시스템은 V2V, V2I 성능시험 및 V2V 멀티홉 전송 기능시험에 동일하게 적용된다. 성능측정 응용은 UI 단말에서 실행하며 측정된 결과를 실시간으로 확인할 수 있다. V2V 멀티홉 기능시험의 모니터링 장치는 수신된 멀티홉 메시지의 홉과 차량을 포출하는 기능을 가진다. 시험시스템에서 통신모듈과 안테나의 설치위치는 통신성능에 영향을 주는 중요한 요소이다. 실제 차량장착과 동일한 조건을 위해, 차량 통신 장치는 차량내부에 설치하고, 차량통신용 안테나와 GPS안테나는 차량의 중심부 루프 상단에 설치한다. 노변 통신 장치는 일반적으로 도로를 따라 일정한 간격으로 설치되고, 가로등 또는 자체 지지대를 가지고 지상에서 약 5~6m 상단에 설치되는 특징을 가진다. 제안된 시험 시스템의 노변장치도 동일한 조건으로 설치한다.

2. V2V 성능시험

실제 도로상황에서의 V2V 통신성능은 차량의 높이와 주변 차량의 분포형태, 차량의 이동속도, 차량 사이의 거리에 따라 영향을 받는다[1]. 제안하는 시험 방법은 차량 사이의 거리와 차량의 속도에 따라 측정하는 방법이다. WAVE 통신시스템의 통신반경은 500~1,000m로 알려져 있으나, 동일한 성능측정 시험조건을 유지하기 위해, 차량 사이의 거리는 200m 이내로 정한다. 차량의 속도가 미리 정한 기준속도와 차량 사이의 거리를 유지하면서 iperf 툴을 활용하여 처리율을 측정한다. 차량 사이의 거리는 테스트 메시지에 차량의 위치정보를 포함시켜 전송하거나 그림 3과 같이 일정한 간격의 외부 표식을 이용한다. V2V 활용 서비스는 동일 방향으로

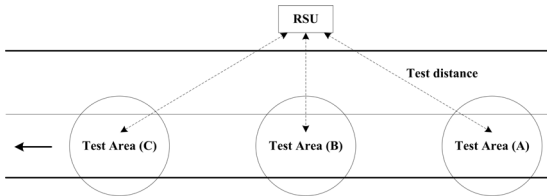
진행하는 주변차량의 정보를 수집하거나 전방의 위험정보를 전달하는 방식을 사용하기 때문에 동일차로의 차량 사이의 성능을 측정한다.



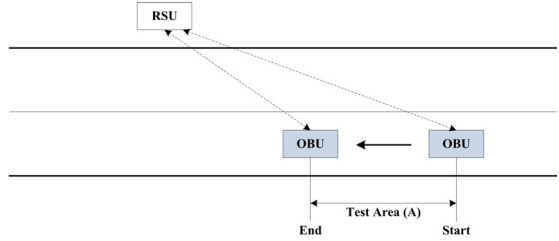
〈그림 3〉 V2V 성능시험을 위한 네트워크 토폴로지
 〈Fig. 3〉 Network Topology of V2V Performance Test

3. V2I 성능시험

V2I 통신 성능시험은 고정된 노변장치와 이동하는 차량 사이의 성능을 측정하기 때문에, 차량의 접근방향과 차량과 노변장치 사이의 거리에 대한 영향을 비교한다. 그림 4는 V2I 통신방식의 성능을 측정하기 위한 네트워크 구성을 보여준다. 노변장치는 고정되어 있고 차량은 이동하는 환경이므로, 시험거리별 테스트 구간을 정한다. 테스트 구간의 시험 시작 지점과 종료 지점을 통과하면서 시험 데이터를 전송하게 되며, 측정된 성능결과는 시험구간별로 기록한다. 각 시험구간의 시험거리는 노변장치와 시험구간의 평균거리이다.



(a) Test distance



(b) Test area

〈그림 4〉 V2I 성능시험을 위한 네트워크 토폴로지
 〈Fig. 4〉 Network Topology of V2I Performance Test

제안된 V2I 성능 시험을 통해 고속 주행 중인 차량과 고정된 노변 통신장치 사이의 성능을 측정하여 노변 장치와 차량의 위치 및 차량의 접근 방향에 따른 영향을 분석한다. 성능 측정 전 그림 4.(a)와 같이 노변장치와 일정한 거리를 시험 구간을 선정한다. 차량은 시험구간에서 일정 시간동안 시험 데이터를 송신하고 노변장치는 시험 데이터를 수신하여 처리율을 계산한다. 시험구간 A와 C는 평균 시험거리는 동일하나 노변장치 통신영역으로 진입하고 진출하는 상태가 다르다. 시험구간 B는 다른 시험구간에 비해 상대적으로 노변장치와 근거리에 위치한 특징을 가진다.

처리율 성능 측정 시 시험 데이터의 전송 시간은 3~5초 정도 소요된다. 차량이 100km/h 이상의 속력으로 이동하는 경우, 시험시간에 따라 수십 ~ 수백 m의 시험구간이 요구된다. 시험구간은 도로상 외부 표식이나 전자지도를 활용하여 인지한다.

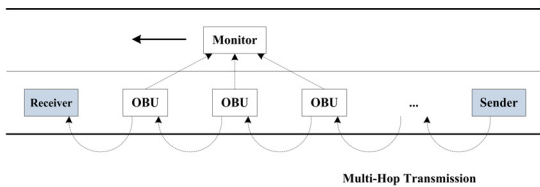
4. V2V 멀티홉 전송 기능시험

WAVE 통신은 각 통신장치 사이의 연결성이 없이는 브로드캐스트 방식을 기본으로 하고, 멀티홉 전송은 각 통신장치가 수신된 메시지를 동일한 형태로 재전송하는 형태이다. 송신 차량의 전송반경에 위치하지 않은 차량에게도 메시지를 전달할 수 있다. 차량의 이동환경에서 멀티홉 전송은 대부분 이동하는 차량의 후방으로 정보를 전달하여야 한다. 따라서 멀티홉 라우팅 프로토콜은 메시지 전달에 대한 방향성과 무한정 반복 전송이 되지 않도록 설계된다. 차량이 이동하는 실제도로 환경에서 주행

중 멀티홉 전송을 시험하는 것은 앞서 언급한 바와 같이 물리적으로 많은 제약을 가진다. 따라서 실제 도로 환경에서 실제 이동하는 환경에서 도출할 수 있는 성능측정 결과를 얻기 위한 방법을 제시한다.

각 통신장치를 탑재한 차량을 시험도로에 일정한 간격으로 위치시키고, 송신자는 멀티홉 전송 메시지를 일정한 시간 간격으로 송신한다. 각 차량장치는 수신한 메시지를 확인한 후 재전송한다. 이때, 멀티홉 전송 기능을 확인하기 위하여, 모니터 OBU는 멀티홉 메시지를 전송하고 있는 차량들 옆을 일정한 속도로 지나치면서, 각 노변장치들이 송신하는 메시지를 기록하고 분석한다. 그림 5는 송신자에서 보내는 메시지가 멀티홉으로 전달되는 기능을 시험하는 토폴로지를 보여준다.

제시된 형태로 시험 토폴로지를 구성하여 시험하면, 각 차량 홉사이의 성능 측정과 동시에 주행하는 환경에서의 멀티홉 전송기능을 확인 할 수 있는 장점을 가진다. 모니터 OBU에 기록된 시험결과를 통해 각 차량의 홉 사이의 통신 성공률과 멀티홉 종단간 메시지 전달율을 측정하고, 통신장애 구간 및 환경적인 요인을 분석할 수 있다.



〈그림 5〉 V2V 멀티홉 시험을 위한 네트워크 토폴로지
 〈Fig. 5〉 Network Topology of V2V Multi-Hop Test

IV. 차량 통신시스템 성능평가

1. 통신시스템 및 시험환경

제안된 시험 방법을 적용하여 고속 주행환경에서 차체 개발된 WAVE 통신시스템의 성능을 측정하였다. 통신시스템 하드웨어는 IEEE 802.11p와 IEEE 802.11a 프로토콜을 모두 지원하고, 사용자 인터페이스를 위해 IEEE 802.11g/n 무선랜을 장착하고 있다. 통신모듈이 IEEE 802.11p의 물리계층을 사용하면 3 ~ 27Mbps의 전송속도와 10MHz의 대역폭

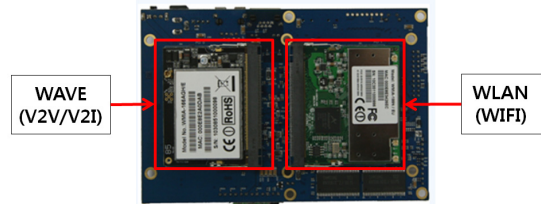
을 가지고, IEEE 802.11a의 물리계층을 사용하면 6 ~ 54Mbps의 전송속도와 20MHz의 대역폭을 가진다. MAC 계층과 네트워크 계층은 IEEE 1609 프로토콜을 준용하고 CCH와 SCH를 스위칭하여 사용하도록 구현하였다. 성능시험을 위한 전송 프로토콜은 UDP(User Datagram Protocol)와 TCP(Transmission Control Protocol)를 사용하였다. 통신 성능시험에 적용한 규격은 표 2에 나타내었다. 그림 6은 WAVE 통신모듈 하드웨어를 보여준다.

〈표 2〉 IEEE 802.11a/p 통신성능 시험 설정
 〈Table 2〉 Parameters of IEEE 802.11a/p for Performance Test

Item	IEEE 802.11a	IEEE 802.11p
Channel	CCH 149 / SCH 153	CCH 180 / SCH 182
Bandwidth	20MHz	10MHz
Data rate	6, 9Mbps	3, 4.5Mbps
Protocol	TCP, UDP	
Test time	5 Seconds throughput (iperf)	



(a) topside



(b) downside

〈그림 6〉 시험용 WAVE 통신모듈
 〈Fig. 6〉 WAVE Communication Module for Tests

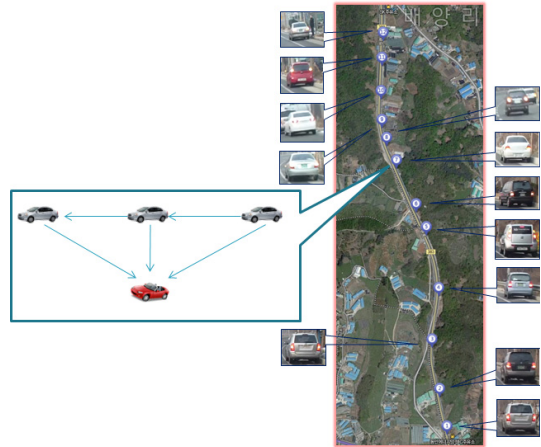
고속 주행시험은 중부내륙고속도로 여주분기점 부근에 위치한 고속도로 옆 시험도로를 활용하였다. 시험도로의 주행시험장 길이는 약 8km이며 성

능시험은 직선구간에서 수행하였다. WAVE 안테나와 GPS 안테나는 차량의 중앙 루프에 설치하고, OBU와 UI 단말은 차량 내부에 설치하였다. UI 단말과 통신모듈 사이의 통신 인터페이스는 무선랜(IEEE 802.11g/n)을 이용한다. 노변장치는 시험도로보다 약 5m 높은 우회도로에 설치하여 시험을 수행하였다. 그림 7(a)는 차량장치와 노변장치의 설치모습을 보여준다. 차량간 멀티홉 기능시험은 남양주시 국도 383번 도로 약 2.5km 구간에서 통신모듈을 장착한 차량 13대를 활용하여 수행하였다. 그림 7(b)와 같이 12대의 차량을 약 200~300m 간격으로 1홉 통신이 유지되는 장소에 위치시키고, 메시지 송신 차량에서 1초주기로 응급상황 메시지를 생성하여 전송하였다.

각 차량은 응급상황 메시지를 수신하면 구현된 멀티홉 프로토콜에 따라 재전송하여 11홉 뒤에 위치한 최종 수신 차량에 전달한다. 구현된 멀티홉 프로토콜은 메시지에 최초 송신차량의 위치를 함께 전달하여 전송자의 1홉 거리에서 가장 멀리 위치한 전달 차량이 가장 먼저 재전송 한다. 주변 환경의 변화에 따라 2대 이상의 차량으로 부터 동시에 메시지를 수신하면 중복되는 메시지를 전송하지 않는다. 구현된 기능과 1홉 전송성공률과 최종 수신차량의 수신율을 측정하기 위해 차량 통신장치에서 메시지 수신 상태를 기록하였다. 모니터 차량에서는 차량 간 통신 상태와 메시지 홉 수를 체크하여 멀티홉 전송기능의 정상적인 동작을 확인하였다.



(a) V2V and V2I Test



(b) V2V Multi-Hop Test

(그림 7) WAVE 시스템 시험 환경

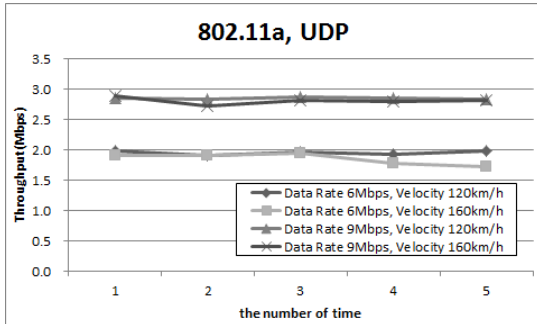
(Fig. 7) Test Environment of WAVE System

2. V2V 성능시험 결과

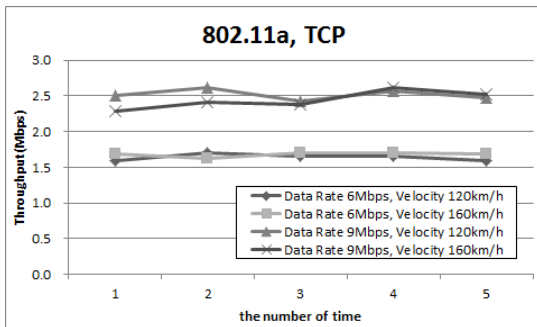
V2V 성능시험은 차량사이의 거리를 약 200m, 차량의 속도를 120km/h와 160km/h로 유지한 상태로 측정을 수행하였다. IEEE 802.11a 물리계층을 적용한 경우는 6Mbps와 9Mbps의 데이터 전송속도를 설정하였고, IEEE 802.11p 물리계층을 적용한 경우는 3Mbps와 4.5Mbps의 데이터 전송속도를 설정하였다. 시험에 적용한 데이터 전송속도는 고속 이동환경에 적합하다고 알려져 있고, 실제 도로환경에서 적용가능성을 시험을 통해 확인하였다. TCP/UDP 메시지는 서비스 채널에서만 전송되기 때문에 측정된 성능의 최대값은 설정된 데이터 전송속도의 50%가 된다. 6Mbps 데이터 전송속도로 설정하여 전송하는 경우, 전송률은 최대 3Mbps가 된다. 그림 8, 9는 제안된 주행시험 방법을 적용하여 시험한 V2V 성능 시험 결과를 보여준다.

시험은 동일한 조건으로 5회를 수행하였다. 각 시험 회 차마다 동일한 수준의 결과를 얻을 수 있었고, V2V 처리율은 차량의 속도에 크게 영향을 받지 않는 것을 알 수 있다. TCP에 비해 UDP의 전송률이 약 15%정도 높게 나타나는 것을 알 수 있는데, TCP 프로토콜은 에러가 없는 순차전송을 목적으로 오류가 발생한 세그먼트에 대해 재전송 메커니즘을 수행하기 때문이다. 실험을 통해 데이터 전

송속도가 높지 않은 경우 물리계층의 변화에 크게 영향을 받지 않는 것을 알 수 있었다.

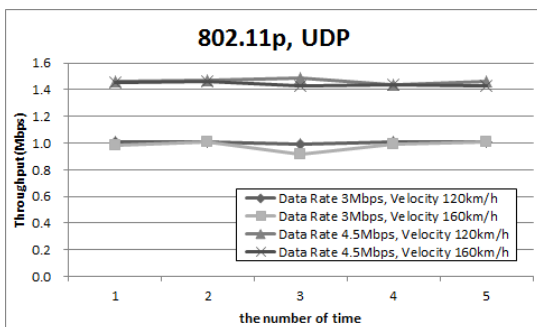


(a) UDP

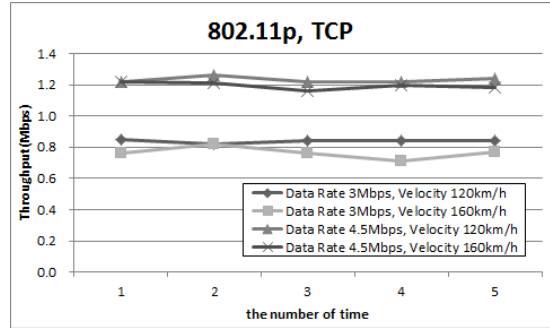


(b) TCP

(그림 8) V2V 성능측정 결과 (IEEE 802.11a)
(Fig. 8) Test Results of V2V Performance (IEEE 802.11a)



(a) UDP



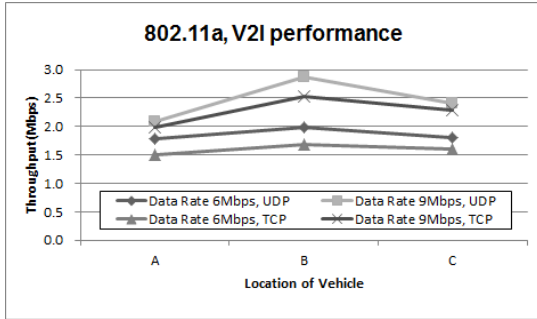
(b) TCP

(그림 9) V2V 성능측정 결과 (IEEE 802.11p)
(Fig. 9) Test Results of V2V Performance (IEEE 802.11p)

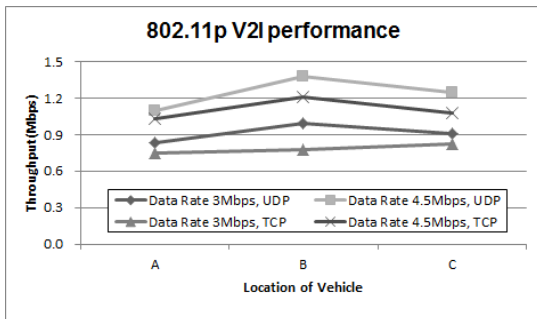
3. V2I 성능시험 결과

V2I 성능시험은 차량을 A 시험구간 에서 C 시험구간 방향으로 이동하면서 수행 하였다. 차량이 A, B, C 세 시험구간을 지나가는 시점에 처리율을 측정하였고, A, B, C 각 시험구간에서 차량과 노변장치 의 평균거리는 200m, 50m, 200m이다. 차량이 노 변장치를 통과하는 속도는 120km/h를 유지하였다. 그림 10은 제안된 주행시험 방법을 적용하여 시험한 V2I 성능시험 결과를 보여준다.

노변장치와 차량이 가장 가까운 시험구간 B 에서 처리율이 가장 높고, 원거리에서 노변장치로 접근하는 방향의 200m 위치 A에서 가장 낮다. B시험구간의 차량과 노변장치 간 거리가 가장 가깝기 때문이다. 이 시험결과를 통해 송수신 거리에 따라 성능이 달라지는 것을 알 수 있다. 높은 데이터 전송 속도 설정한 경우 A, B 시험구간의 처리율 성능 차이가 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 또한 A 와 C 시험구간은 노변장치로부터 동일한 평균 거리이지만 C 시험구간의 처리율이 조금 더 높게 측정되었다. 그 이유는 A 시험구간의 송수신 시작 위치가 C 시험구간보다 상대적으로 원거리이고, 송수신을 위해 더 높은 신호세기를 요구하기 때문이다. 이 시험결과를 통해 근거리에서 송수신 성능이 좋고, 노변장치로 접근하는 상태보다 멀어져 가능 상태의 송수신 성능이 우수함을 확인할 수 있다.



(a) IEEE 802.11a



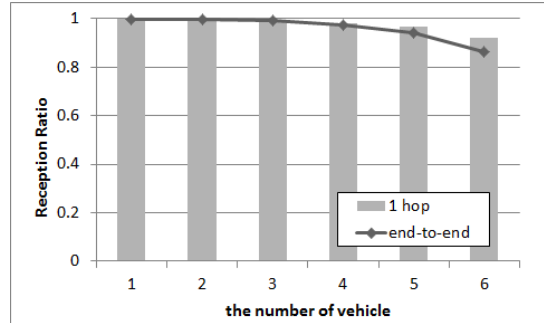
(b) IEEE 802.11p

<그림 10> V2I 성능측정 결과
<Fig. 10> Test Result of V2I Performance

4. V2V 멀티홉 기능시험 결과

V2V 멀티홉 기능시험은 구현된 멀티홉 전송응용을 통해 주기적인 응급상황 메시지의 전달 기능을 확인하였다. 구축된 시험시스템을 통해 11홉 모두 정상적인 메시지 전달이 가능하였다. 멀티홉 메시지는 돌발 상황의 신속한 근거리 전파를 목적으로 하기 때문에, 메시지의 전파 범위를 1~2km로 제한한다. 멀티홉 메시지 전달 성능시험은 이와 같은 특성을 반영하여 전달 성능을 측정하였다.

그림 11은 V2V 멀티홉 메시지의 각 홉별 수신율을 측정된 결과이다.



<그림 11> V2V 멀티홉 메시지 수신율
<Fig. 11> Reception ratio of V2V Multi-Hop Messages

송신차량은 매초 1회의 메시지를 10분 동안 전송하였고, 메시지의 전파 범위는 1.5km로 설정하여 최대 6홉으로 메시지가 전송된 결과를 측정하였다. 각 홉에서 메시지 수신율은 90%이상이고, 6홉사이의 중단간 메시지 수신율은 87%의 결과를 얻었다. 5홉과 6홉 구간은 상대적으로 낮은 1홉 수신율을 보이는데, 이것은 교차로 신호등에 정차하는 차량과 시험차량의 높은 고도차로 인한 환경적인 영향이 전송 성능에 영향을 주기 때문이다. 전체적인 수신 성능은 상하좌우로 굽은 국도 도로환경과 주변의 이동차량의 영향에도 불구하고 양호한 통신 성능을 확인하였다.

V. 결 론

차량용 통신시스템으로 WAVE 시스템이 설계되었으나, 실제 도로환경에서는 이동 중인 차량, 도로의 형상, 지형 등의 환경적인 요소가 통신성능에 영향을 준다. 따라서 개발된 차량용 통신시스템은 실제 도로 환경에서 성능 시험을 실시해야 하며, 특히, 고속으로 이동하는 환경에서의 성능 시험이 필수적으로 수행되어야 한다. 차량이 고속으로 이동하는 경우, 차량의 위치와 주변 환경이 빠르게 바뀌고, 이 변화에 따라 통신성능이 달라지기 때문이다. 본 논문은 차량이 고속으로 이동하면서 통신성능을 측정하는 시스템 구성과 시험 방법 및 성능측정 결과를 제시하였다.

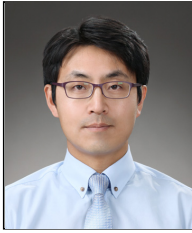
구현된 WAVE 통신시스템은 제시한 시험방법을 통해 안정적인 성능을 측정하고 환경적인 영향을

분석할 수 있었다. 시험결과를 통해 고속주행 및 실제도로 환경에서 안정적인 전송률과 멀티홉 전송 기능을 수행할 수 있음을 확인하였다. 제안된 시험 방법을 적용하여, 다양한 차세대 ITS 서비스를 제공하는 차량 및 노변 간 통신시스템의 시험에 적용할 수 있다. 향후 환경적인 요소의 정량적인 분석을 위한 연구를 통해, 차량 통신시스템의 상용화 개발, 테스트베드 구축, 주행 성능시험에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Hassnaa Moustafa and Yan Zhang, "Vehicular Networks - Techniques, Standards, and Applications", *CRC Press*, 2009.
- [2] H. S. Oh and J. H. Park, "Technology Trends of Vehicle Communication Network," *Electronics and Telecommunications Trends*, vol. 23, no. 5, Oct. 2008.
- [3] J. H. Song, J. J. Lee, S. R. Kim, J. J. Kim and D. W. Seo, "Design of u-Transportation Communication Systems for Next-Generation ITS Services," *Journal of KITS*, vol. 12, no. 5, pp.61-72, Oct. 2013.
- [4] W. Cho, H. S. Oh and B. J. Park, "Wireless Access Technologies for Smart Highway: Requirements and Preliminary Results," *Journal of IIBS*, vol. 11, no. 2, pp.237-244, April 2011.
- [5] J. M. Park, H. S. Oh and S. H. Cho, "WAVE based Multi-Channel MAC(MCM) Technology for Reliable Vehicle Safety Message Service," *Journal of KITS*, vol. 10, no. 4, pp.78-85, Aug. 2011.
- [6] W. Cho, S. W. Lee and H. S. Oh, "Throughput Measurement of IEEE 802.11p based Communication Systems," *Proc. of IEEE MTT-SIMWS-IRFPT*, 2011.
- [7] T. H. Kim and Y. S. Gang, "Architecture Development of u-Transportation Traffic Information," *Journal of KITS*, vol. 4, no. 1, pp.17-24, June 2007.
- [8] IEEE, "IEEE Std. 802.11-2007 Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," 2007.
- [9] IEEE, "IEEE 802.11p-2010, Amendment6: Wireless Access in Vehicular Environment," 2010.
- [10] IEEE, "IEEE 1609.3-2010, Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)-Networking Services," 2010.
- [11] IEEE, "IEEE 1609.4-2010, Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)-Multi-channel Operation," 2010.
- [12] J. H. Song, R. N. Woo, D. S. Han, and K. J. Han, "A Channel Interval Adjustment Scheme to Improve RSU Capacity in Vehicular Networks," *IEICE Communications Express*, vol. 1, no. 3, pp.107-112, 2012.
- [13] http://www.its.dot.gov/connected_vehicle/connected_vehicle.htm
- [14] <http://www.drive-c2x.eu/>
- [15] <http://www.eurofot-ip.eu/>
- [16] Rina Woo, J. H. Song and D. S. Han, "Performance Analysis for Priority-Based Broadcast in Vehicular Networks," *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 2013.
- [17] Y. S. Gang, "Fundamental Technology of u-Transportation", *Korea Information Processing Society Review*, vol. 16, no. 4, pp.14-22, July 2009.
- [18] D. S. Shin, H. S. Yoo, and D. K. Kim, "EMDOR: Emergency Message Dissemination with ACK-Overhearing based Retransmission," *International Conference on Ubiquitous and Future Networks*, 2009.

저자소개



송 정 훈 (Song, Jung-Hoon)

2002년 8월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 학사
2004년 8월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 석사
2012년 8월 : 경북대학교 컴퓨터공학과 박사
2005년 4월~2008년 4월 : LG전자 디지털기술연구소 및 D/D 사업본부 주임연구원
2008년 7월~ 현재 : 경북대학교 임베디드소프트웨어연구센터 선임연구원
e-mail : huni@cest.re.kr
연락처 : 053) 665-5536



이 재 정 (Lee, Jae-Jeong)

2005년 8월 : 영남대학교 전자정보공학부 학사(컴퓨터공학)
2007년 8월 : 영남대학교 컴퓨터공학과 석사
2007년 8월~2009년 1월 : (주)인디텍 주임연구원
2009년 1월~ 현재 : 경북대학교 임베디드소프트웨어연구센터 선임연구원
e-mail : finance@cest.re.kr
연락처 : 053) 665-5530



정 승 완 (Jung, Seung-Wan)

2002년 3월~2006년 2월 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 학사
2006년 3월~2008년 2월 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 석사
2008년 3월~2014년 2월 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 박사
e-mail : tmdrod@ee.knu.ac.kr
연락처 : 053) 940-8660



서 대 화 (Seo, Dae-Wha)

1981년 2월 : 경북대학교 전자공학과 학사
1983년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 석사
1993년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 박사
1983년 3월~1995년 2월 : 한국전자통신연구원 시스템 S/W 연구실
2004년 3월~ 현재 : 경북대학교 임베디드소프트웨어연구센터 센터장
1995년 3월~ 현재 : 경북대학교 IT대학 전자공학부 교수
e-mail : dwseo@ee.knu.ac.kr
연락처 : 053) 950-6560