

논문 2006-43TC-9-2

근거리 무선통신 기술 기반 차량간통신 시스템 개발

(A development of the Vehicle-To-Vehicle communication system
using the Dedicated Short Range Communication technology)

이 응 호*

(Eung-Ho Rhee)

요 약

본 논문에서는 5.8 GHz 대역의 근거리전용 무선통신기술(DSRC)을 이용한 차량과 차량간의 무선통신에 관하여 연구하였다. 첨단화, 지능화 되고 있는 현재의 도로교통체계에서 주행하는 차량간의 통신은 첨단의 지능형 주행을 위한 중요기술이다. 주행 중에 통신 반경 내에 있는 주변 차량들의 속도, 위치, 제동, 운전 상태에 관한 정보를 교환함으로써 원활하고 안전한 교통흐름을 도모할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 고속의 차량 이동 환경에서 1Mbps 급의 대용량 데이터 처리 능력을 갖는 5.8 GHz 대역의 DSRC 기술을 이용하여 LOS (Line Of Sight) 조건에서 사용이 가능한 차량간통신 시스템을 개발하였다. 이를 위하여 완전한 능동형의 차량간통신이 가능하도록 물리계층, 데이터 링크계층과 논리계층 그리고 차량간통신 서비스를 위한 응용계층으로 구분하여 개발하였다. 본 연구를 통하여 ASV (Advanced Safety Vehicle)나 SSVS (Super Smart Vehicle System)의 실현을 위한 차량간 무선통신 기술을 확립하였고 이를 통하여 첨단의 ITS 구현 가능성을 확인할 수 있었다.

Abstract

In this paper, we studied vehicle to vehicle (VTV) communication system using DSRC of 5.8 GHz bands. Nowadays, in the road traffic system is going intelligent and advancing, communication between driving vehicle is very important technology for ITS. We can contrive smoothness and safety traffic flowing by exchanging information about velocity, location, braking and driving condition of nearby vehicles. Therefore, we developed and verified the system which required for the communication among vehicles using DSRC technology of 5.8 GHz band hasa 1 Mbps data rate in the high mobility condition. For this, we developed DSRC modem, data link layer and logic link layer to make it possible that communication between vehicles of perfectly operation, and developed application service program for VTV communication. We performed to communication test in the general road and ascent road. In case of the general road, obtained VTV communication results are more than number of 17 with in 300 m LOS coverage, and total communication time are 2.34~18.7 msec that considered maximum 8-transaction. We know that obtained results can be used VTV communication of the ITS areas form the feasibility road test as a function of various conditions. In the future, this system is very useful of advanced safety vehicle (ASV) and super smart vehicle system (SSVS) and so on.

Keywords : Vehicle-To-Vehicle Communication, DSRC, VICS, ASV, SSVS

I. 서 론

ITS는 크게 변화하는 교통 수요의 동적인 추정과 파악 그리고 효과적인 관리 유도를 통하여 기존의 교통 시설을 합리적으로 운용하는데 목적이 있다.^[1] 교통 체계의 효율성과 안정성을 제고하기 위하여 기존의 통신 체계에 전자, 정보통신, 제어 등의 지능형 기술을 접목

시키는 차세대 지능형 교통 정보체계이다. 이는 매년 10% 이상 증가하는 차량증가와 차량증가로 인한 교통 사고 등 사회적 경제적 문제를 해결하는 서비스 기술이다. 사회적 문제로 대두되고 있는 도로교통에 대하여 최첨단의 정보통신 기술을 결합함으로써 도로의 이용조건을 최적화시켜 안전하고 쾌적한 교통체계의 실현을 가능하게 하는 정보통신 네트워크와 교통 서비스가 통합된 시스템이다. 따라서 가시영역통신과 주파수의 재사용 특성이 우수하여 도로의 환경 조건에 적합한 근거리전용무선통신기술에 대한 연구가 활발히 추진되고 있

* 정회원, 수원대학교

(The university of suwon)

접수일자: 2006년8월14일, 수정완료일: 2006년9월11일

는 실정이다. 현재 5.8기가 대역의 DSRC 기술은 틀게이트의 자동요금징수시스템, 버스안내시스템, 주차관리시스템 분야에서 적용되고 있다. DSRC 기술을 이용하여 주행 중에 주변 차량과의 직·간접적으로 연관된 지역 내에서 차량들의 속도, 위치, 제동, 운전 상태에 관한 정보를 노변의 기지국이나 차량간의 통신을 통해 교환함으로써 차량간에 원활하고 안전한 교통흐름의 도모와 원격 차량제어가 가능한 무선통신 시스템을 개발하여 도래하는 첨단 도로교통 여건을 구현하는 기술 개발이 필요하다. 본 논문에서는 대용량의 정보 전송과 고속의 이동성이 보장되는 DSRC 기술을 바탕으로 첨단형 차량간통신 시스템을 개발하고 검증하였다.

II. 본 론

1. DSRC

DSRC는 이동중인 차량단말기와 노변 기지국간 무선 패킷데이터 통신을 수행하며, 통신 영역의 크기가 수 미터에서 수백 미터이고, 주파수 대역은 5.8 GHz 대역을 사용한다.^[2] 현재는 1Mbps의 채널 비트 전송률을 사용하는 고속 무선 통신방식으로 동시에 다수의 ITS 응용서비스를 제공할 수 있다.

가. 특성

본 연구에 적용한 DSRC 기술은 중심주파수가 5.8GHz, 대역폭은 10MHz, 출력은 10dBm, ASK 변조 그리고 TDMA-TDD 방식의 무선통신기술이며, 주요 특성은 표 1에 나타내었다. 패킷 데이터 통신을 기반으

표 1. 특성
Table 1. Characteristic.

구분	특성
주파수대역	5.8GHz 대역
채널당 대역폭	10MHz
반송주파수의 허용오차	±20ppm (하향채널) ±100ppm (상향채널)
변조방식	ASK
데이터의 부호화	Manchester Code
전송속도	1.024Mbps
비트오류율 (BER)	10 ⁻⁵ 이내
다중접속방식	Half Duplex TDMA
통신 프로토콜	Adaptive Slotted ALOHA
프레임 구조	Flexible 프레임(1~8 슬롯)
채널 제어	중앙 집중 제어

로 이루어지는 통신과정은 초기화 과정과 데이터 통신 과정으로 구분된다. 초기화 과정은 초기의 통신 설정과정에 사용되며 Slotted ALOHA 방식을 적용하고, 응용 프로그램에 의한 데이터통신 과정은 예약 방식을 적용하여 통신 채널의 신뢰성을 높인다. 또한 반이중 듀플렉스 방식 및 시분할 다중화 방식으로 각각의 슬롯마다 데이터 통신 상태를 수신 확인할 수 있어 데이터 처리의 신속성과 빠른 트랜잭션 수행이 가능하다.^[3]

나. 계층 구조

DSRC는 VICS(Vehicle Information and Communication System) 응용에 필요한 응용 계층, 데이터 링크 계층, 물리 계층으로 이루어진 축소된 프로토콜 스택의 구조를 갖는다.^[4] 프로토콜 스택은 주-종 (Master-Slave) 원칙에 따라 정해진다. 노변 기지국은 전체 통신을 관장하며, 통신처리절차는 그림 1에 나타내었다. 물리계층은 개방형 시스템접속계층 1의 요구 조건들로 구성된다. 차량단말기와 노변기지국을 이용한 시스템 간에 다중 접속을 위한 상호 호환성을 제공하고 광범위의 통신영역에서 고속의 데이터 통신을 목적으로 한다. 자유롭게 운행하는 차량들과의 접속 방식은 시간을 분할하여 대역을 이용하는 TDMA-TDD 방식을 사용한다.

데이터링크 계층은 노변 기지국이 자신의 통신영역을 통과하는 차량단말기들에게 통신 매체를 할당해 주고 이를 이용하여 노변 기지국과 차량단말기 간의 원활한 통신을 가능하게 한다.

응용 계층은 ITS 차량단말기의 응용기능이 단순한 서비스에서 복잡한 서비스까지 또한 다수의 서비스를

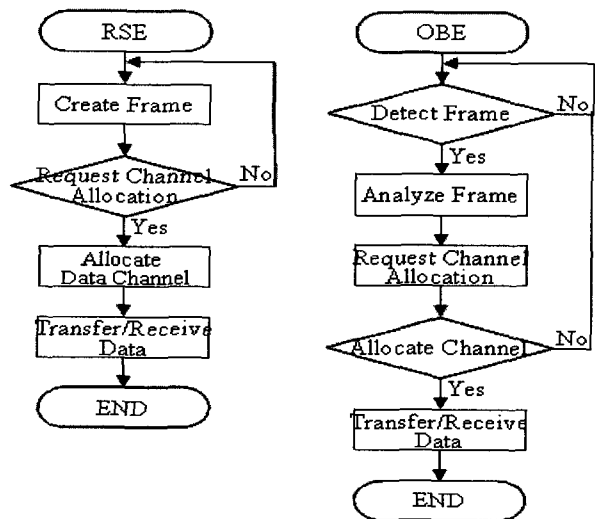


그림 1. DSRC 통신 처리절차
Fig. 1. Procedure of the DSRC communication.

동시에 수행하기 위해 적절한 범위 요소 선택을 가능하게 한다.

2. 차량간통신 시스템

운전자 입장에서 주행 중에 주변 차량과의 직·간접적으로 연관된 지역 내에서 차량들의 속도, 위치, 제동, 운전 상태 및 도로상황에 관한 정보를 차량과 차량 또는 차량과 노변 기지국을 통해 주고받음으로서 차량간에 원활하고 안전한 교통흐름을 도모할 수 있다.

가. 통신 개요

차량간 통신은 고속으로 한꺼번에 많은 데이터를 주로 LOS상에서 전송하며, 매우 높은 신뢰도를 요구한다. 차량간 통신은 무인 주행에 관련되는 분야에서 중요한 역할을 담당하기 때문에 차량 안전에 직접적인 영향을 미친다. 따라서 무인 주행의 실용화는 그만큼 느리게 진행될 것으로 예상되며, 현재는 세계 각국에서 무인 주행에 대한 연구를 진행하는 동시에 충돌 경고 시스템과 같은 반자동 시스템을 활발한 연구가 진행되고 있다. 차량간 통신은 차량간에 직접 통신이 가장 확실한 방법이지만 운용 환경에 따라 노변기지국과 차량간의 링크를 이용하여 구현할 수도 있다. 차량간의 직접 통신의 경우에는 무선통신을 이용하여 거리를 측정하거나 물체를 탐지할 수도 있으며, 이러한 경우에는 오탐지나 탐지실패 확률이 기준 한계치 이하로 보장되어야 한다.

나. 알고리즘

다양한 서비스를 제공하고 빠른 트랜잭션이 가능한 ITS 전용 통신 방식인 DSRC 기술을 이용한 차량간 통신 시스템은 노변 기지국에 종속되어 통신하는 슬레이브 기능과 노변기지국에 종속되지 않는 마스터의 기능을 동시에 수행할 수 있어야 한다.

기존의 DSRC 구조인 노변 기지국에서 DSRC 통신을 위한 프레임 생성하고, 차량단말기는 프레임을 분석하여 노변 기지국에게 채널할당을 요구 하고, 노변 기지국으로부터 할당된 데이터 채널을 통해 정보의 송·수신이 이루어지는 기능을 진다. 따라서 노변 기지국이 프레임 생성을 하지 않거나 채널을 할당 해주지 않으면 차량단말기는 통신을 할 수 없는 구조이다. 차량단말기가 노변 기지국이 없는 지역에서도 주변의 차량과 통신이 가능하기 위해서는 차량단말기가 자체적으로 프레임을 생성·관리함으로써 주변의 차량과 통신이 가능하다. 설계된 차량간통신 처리절차를 그림 2에 나타내었다.

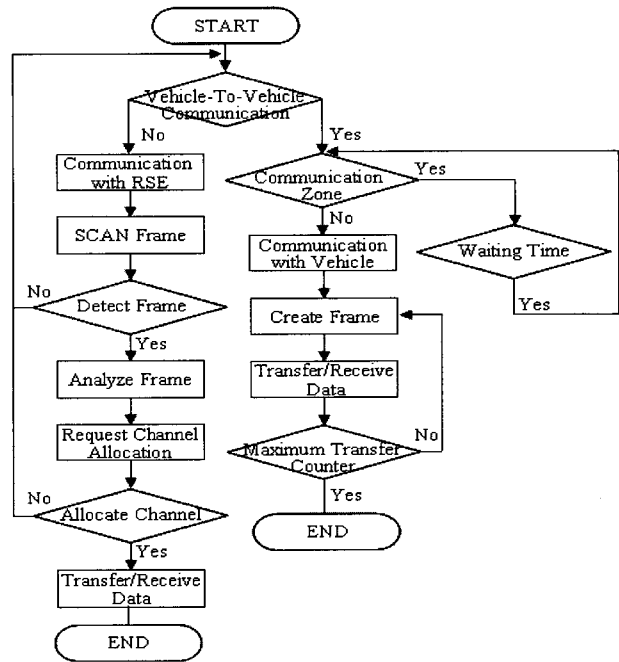


그림 2. 차량간 통신처리절차
Fig. 2. Procedure of the V2V communication.

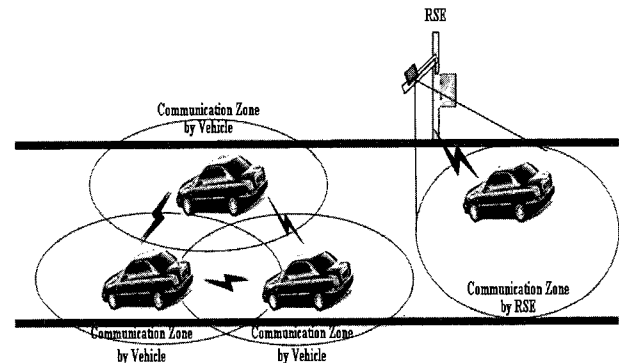


그림 3. 통신모형도
Fig. 3. Communication structure.

설계된 차량간통신 시스템은 노변기지국의 통신영역에 해당하는 서비스를 제공 받을 경우에는 노변기지국에 종속된 슬레이브로서 통신을 수행하고, 노변기지국이 없는 영역에서는 주변의 차량들에게 그룹통신 또는 개별 통신으로 다양한 정보를 교환할 수 있는 구조이며, 적용되는 통신모형도를 그림 3에 나타내었다.

다. 모뎀

통신모뎀은 노변기지국과 차량단말기 간의 양방향 통신이 가능한 구조로 설계하였다. DSRC 모뎀은 도로 상황에서 발생할 수 있는 다양한 응급상황이나, 돌발 상황에 대한 정보를 후속 차량 및 주변차량에 알리고자 할 때나, 자신의 정보를 외부에 알리고자 할 때에도 항상 노변기지국을 거쳐야만 통신이 가능한 구조로 되어

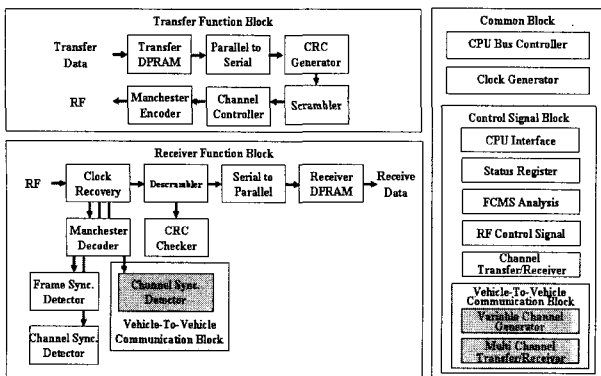


그림 4. 모뎀 블록도
Fig. 4. Block diagram of the MODEM.

있다. 따라서 본 연구에서는 마스터로서 차량 단말기 상호간의 통신이 가능하도록 노변기지국과 차량 단말기의 분리된 모뎀 기능을 하나의 기능으로 통합하여 설계하였으며, 설계된 모뎀의 내부 블록도를 그림 4에 나타내었다. 설계된 모뎀은 차량단말기의 기능뿐만 아니라 소프트웨어의 명령에 따라 무선자원을 효율적으로 사용하기 위하여 방송채널, 그룹방송채널, 데이터채널, 링크요구 채널의 수 및 상 하향 채널의 수를 조화롭게 사용하여 동적, 가변적으로 프레임 구성하고 통신 영역 내의 모든 타 차량 단말기와 다중접속이 가능한 구조이다. 설계된 차량간 통신 모뎀은 VHDL로 코딩하고 알테라사의 10만 게이트 FPGA에 구현하였다.

라. 계층

차량간 통신을 위한 제어계층 통합형 알고리즘을 추가하여 차량단말기에서 직접 통신링크와 프레임 제어할 수 있도록 계층을 설계하였으며, TTA의 DSRC 표준규격인 TTAS.KO-06.0025을 기본 모델로 사용하였다. 설계된 구조를 그림 5에 나타내었다. 차량간 통신 시스템은 노변 기지국과의 통신을 제어할 때에는 차량단말기의 기존 데이터링크 계층과 응용계층을 이용하고, 차량간 통신을 제어할 때에는 차량간 통신을 위한 데이터링크 계층과 응용계층을 이용하도록 구성하였다.

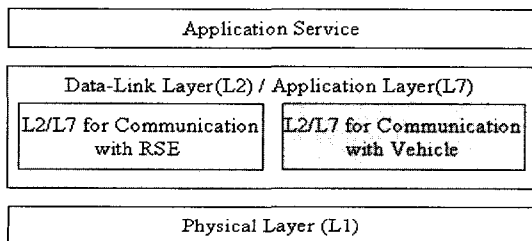


그림 5. 설계된 계층구조
Fig. 5. Designed layer structure.

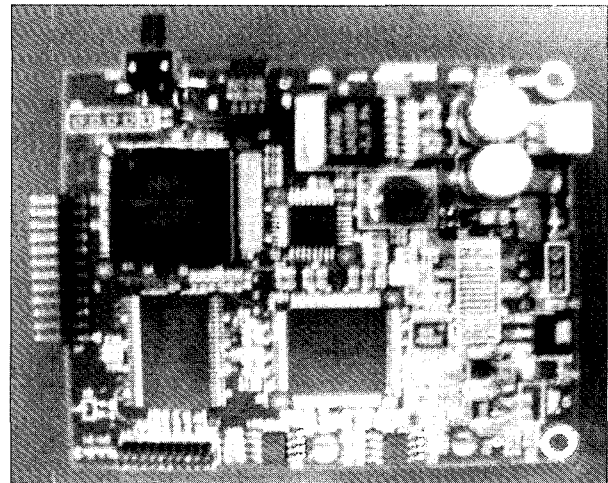
적용되는 계층의 구분은 전송하는 데이터가 어느 통신에 해당되는지를 물리계층이나 응용 서비스를 통해 들어오는 데이터를 분석하여 이루어지도록 하였다.

마. 하드웨어

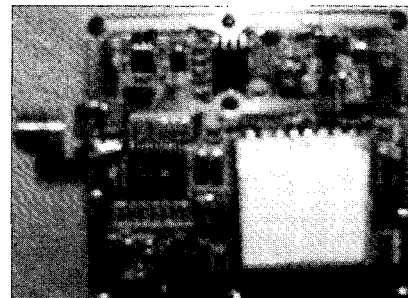
통신 시험을 위한 차량단말기는 차량에 설치 운용이 가능하도록 설계하고 향후의 전자 지불 기능을 수행할

표 2. 차량단말기 하드웨어 사양
Table 2. Hardware specification of the vehicle terminal.

구분	사양
프로세서	32 Bit RISC Microprocessor
Modem	FPGA
인터페이스	2 UART (Up to 115,200 bps)
	Smart Card (ISO 7816 Compatible)
주파수	5.8 GHz
Bandwidth	10 MHz
Power(RF)	10 mW/max
Voltage	DC 12V, 24V
Current	250mA@12V
	140mA@24V



가. 디지털 보드
a. Digital Board



나. RF 모듈
b. RF module

그림 6. 디지털 보드와 RF 모듈
Fig. 6. Digital board and RF module.

수 있도록 설계하고 제작하였다. 제작된 차량 단말기의 하드웨어 사양과 보드 사진을 표 2와 그림 6에 각각 나타내었다.

III. 실험

1. 모델

제작한 모델의 프레임 구성과 특성을 디지털 로직분석기로 측정한 결과 하나의 FCMS(Frame Control Message Slot), 하나의 MDS(Message Data Slot)와 하나의 ACTS(Activation Slot)로 구성되어 있으며, 슬롯의 크기는 781.25us이고, 프레임의 크기는 2.344msec이다. 그림 8에 측정된 프레임의 파형을 나타내었다.

또한, peer와 peer간의 실질적인 전송상태를 확인하기 위하여 전송오류 실험을 테스트프로그램을 이용하여 도로에서 실시하였다. BER(Bit Error Rate)/FER(Frame Error Rate) 테스트 모듈의 송신부는 CPU와의 인터페이스가 없이 모델 단독으로 구성하였다. 송신부의 데이터는 총 100Byte를 기준으로 구성하였으며, 이는 동기를 위한 2Byte의 Sync Data(0xAAAA)와

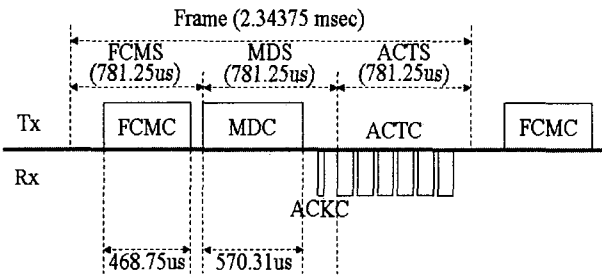


그림 7. 프레임 구조
Fig. 7. Frame structure.

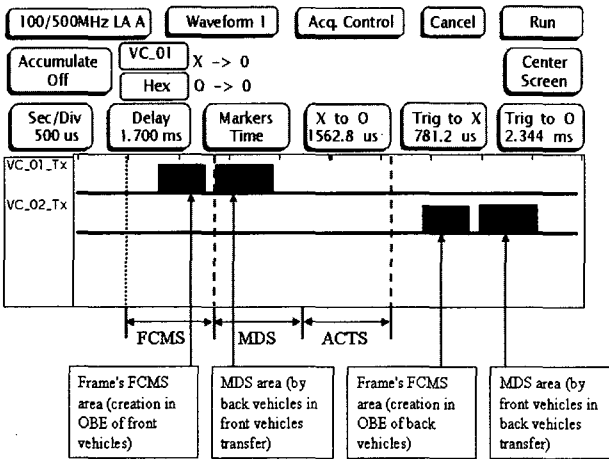
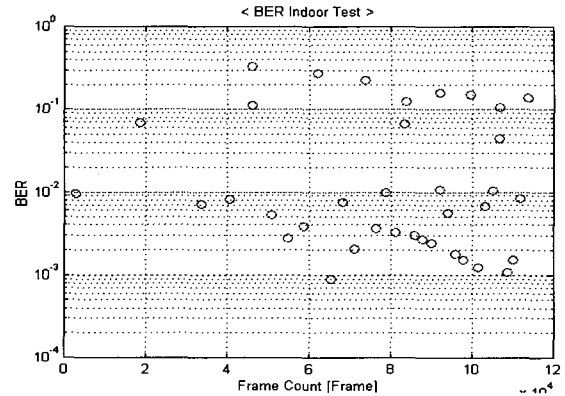


그림 8. 측정된 프레임
Fig. 8. Measured frame.

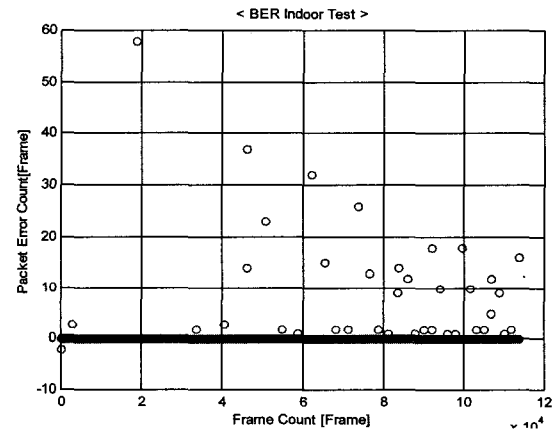
98Byte의 데이터(0x0)로 구성하였다.

실험결과 다운링크의 BER은 1.8×10^{-3} 이고, FER은 3.4×10^{-3} 이다. 업링크의 BER은 2.2×10^{-3} 이고, FER은 4.0×10^{-3} 이었다. 실험결과는 그림 9에 나타내었다.

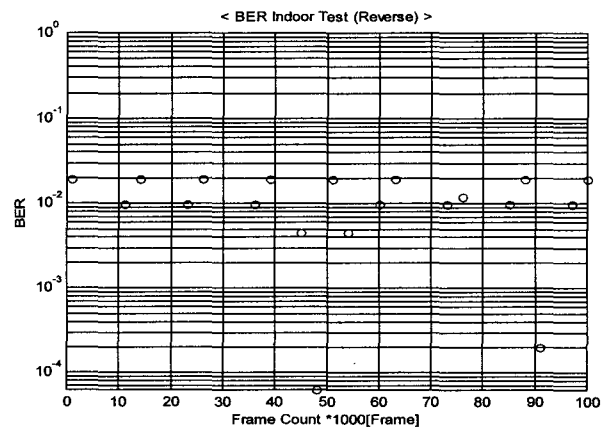
10mW 이하의 소출력 범위에서 근거리 무선 통신을 위한 RF 모듈을 유전율이 4.3인 RF-4기판을 이용하여



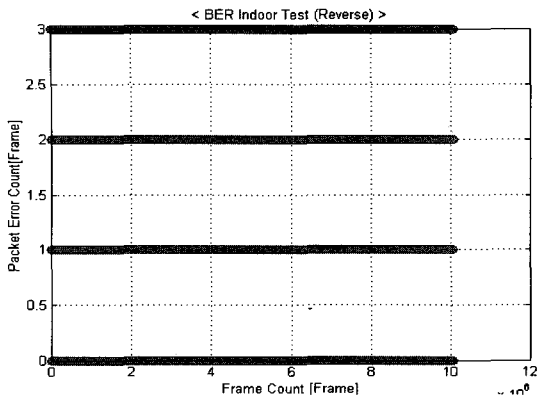
가. 다운링크 BER 테스트 결과
a. Test results of the down-link's BER



나. 다운링크 FER 테스트 결과
b. Test results of the down-link's FER



다. 업링크 BER 테스트 결과
c. Test results of the up-link's BER



라. 업링크 FER 테스트 결과

d. Test results of the up-link's FER

그림 9. 측정된 BER/FER 데이터

Fig. 9. Measured BER/FER data.

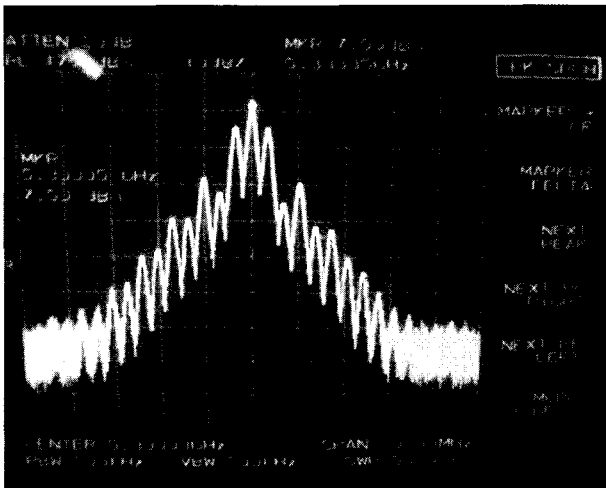


그림 10. 측정된 RF 스펙트럼

Fig. 10. Measured RF spectrum.

개발하고 스펙트럼 분석기로 RF 특성을 측정한 결과 중심주파수 5.8GHz에서 7.5 dBm의 출력전력과 40 dBc 이상의 불요파 특성 그리고 10 MHz의 대역 특성을 얻어 TTA의 DSRC 표준을 만족하는 결과를 얻었으며, 측정된 스펙트럼을 그림 10에 나타내었다.

2. 차량간 통신

개발된 DSRC 기반의 차량간 통신 시스템의 성능 시험을 위하여 2대의 차량에 각각 차량용 단말기 1대와 통신 상태를 모니터링하기 위한 노트북을 직렬통신으로 연결하고 전원은 차량용 전원을 사용하여 시험하였다. 시험 도로의 특성을 고려하여 안테나는 무지향성의 옴니 안테나를 사용하였고, 통신 반경은 200m 정도로 설정하여 도로에서 주행하면서 차량의 속도와 거리를 변수로 하여 통신 상태를 실험하였다. 사용된 차량간 통

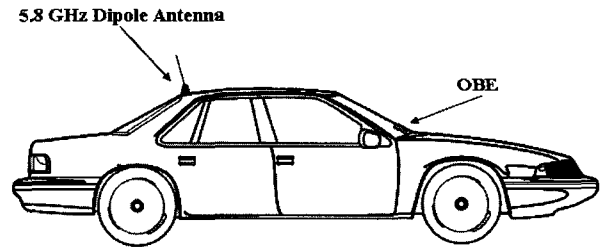


그림 11. 장비 설치 구성도

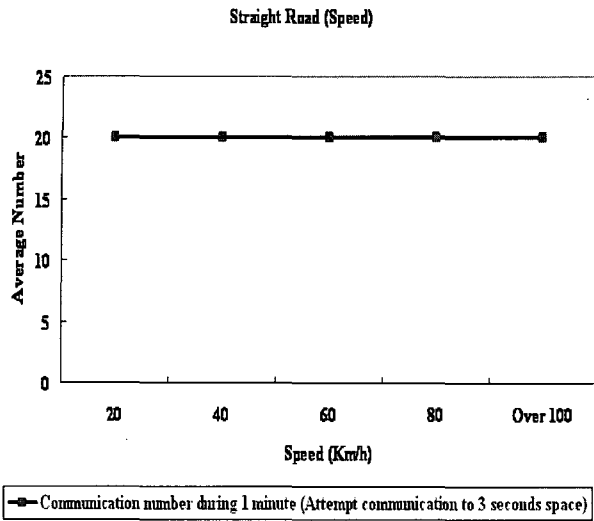
Fig. 11. Installation shape.

신시스템의 구성은 그림 11과 같다.

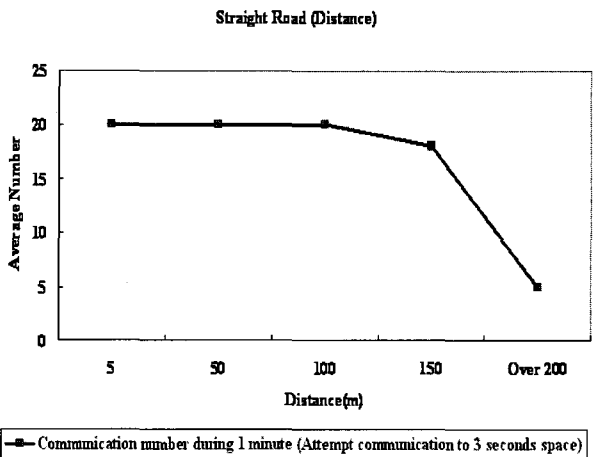
실시간의 통신결과 파악을 위하여 구성된 GUI 화면은 차량단말기와 연결된 노트북을 이용하여 표출하였고, 표출 내용은 차량번호, 위치, 속도, 간격, 차량상태, 임의의 전송 메시지의 정보를 표시하도록 하였다. 차량간 통신을 통해 송·수신 정보의 교환단위는 3초를 주기로 하였다.

도로의 고도차가 없는 LOS 조건에서 차량의 간격을 100미터로 하고 속도를 20km/h에서 100km/h까지 20km/h 간격으로 실험한 결과 차량의 주행 속도에 상관없이 20회 정도의 일정한 통신을 결과를 나타내었다. 차량 속도를 60km/h로 고정하고 차량간 간격을 5m, 50m, 100m, 150m, 200m 로 구분하여 실험한 결과 차량 간격 100m까지는 20회 정도의 일정한 결과를 나타내었으나, 150m에서는 17회와 200m에서는 5회의 통신결과를 나타내어 본 실험의 무선 환경 조건에서 적정 통신영역은 150m 이고 최대 200m 이내에서 통신이 가능함을 알았으며, 그림 12에 나타내었다.

또한, 도로의 고도차가 있는 8%의 오르막도로에서 차량의 간격을 50m로하고 속도를 20km/h이하의 저속 조건으로 하여 오르막에서의 차량 위치에 따른 통신 상태를 측정된 결과 LOS를 구성하는 오르막 조건과 내리막 조건에서는 모두 20회의 통신 결과를 나타내었고, 하나의 차량이 전파의 회절과 산란 특성을 수용할 수 있는 LOS 조건에서는 6회 정도의 결과를 나타내었다. 그러나 차량 사이에 도로의 최고점이 있는 경우에는 통신이 이루어지지 않았다. 결과를 그림 13에 나타내었다. 도로 주행 시험을 통하여 변수로 고려한 차량간의 간격이나, 속도는 근거리 무선통신 조건에서는 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있었다. 본 차량간 통신 실험을 통하여 근사적 가시거리통신조건 이상의 도로 조건에서는 방송 메시지 데이터 채널을 이용하여 정보를 전송할 경우 무선 통신의 소요 시간은 최대 8번의 트랜잭션을 고려할 때 2.344msec~18.752msec의 시간이 소요되었다.



가. 속도에 따른 통신 결과
a. Test results in according to velocity

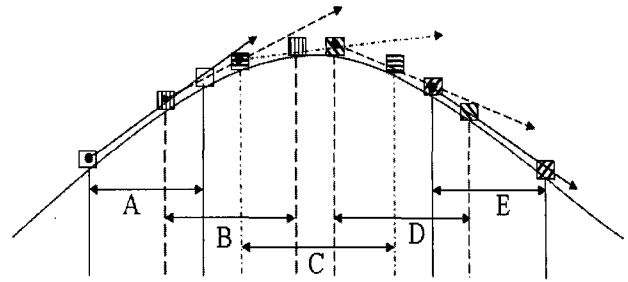


나. 거리에 따른 통신 결과
b. Test results in according to distance

그림 12. LOS조건에서 통신 결과
Fig. 12. Test results in LOS condition.

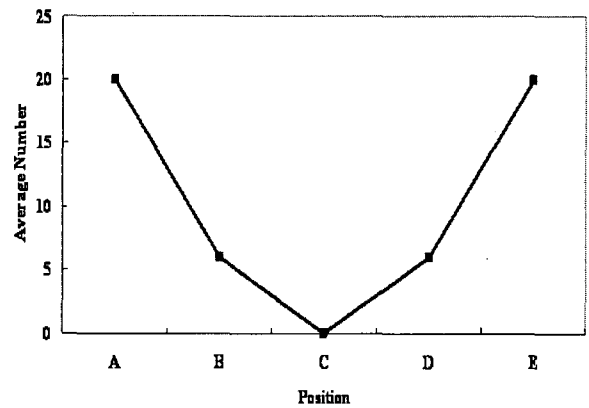
IV. 결 론

본 연구를 통하여 지능형 첨단 도로교통 서비스에 적용 가능한 차량간 통신 시스템을 구현하고 도로 주행상의 차량간 통신 실험을 수행하여 동작 특성을 확인하였다. 개발된 시스템은 주파수 자원의 재활용성과 고속의 이동환경에서 대용량의 정보전송이 가능한 DSRC 기술을 기반으로 활용하였으며, 차량간 통신에 필요한 구조로 모델과 데이터 링크 계층을 개발하고 로직 레벨 특성 측정으로 동작을 확인하였다. 뿐만 아니라 차량단말기의 성능개선과 시험을 위하여 단말기와



가. 도로상의 차량 위치
a. Vehicle position on the road

나. 통신 결과
b. Communication results



나. 통신 결과
b. Communication results

그림 13. LOS 조건에서의 통신 결과 평균치
Fig. 13. Communication results at the LOS condition.

RF 모듈을 개발하고 특성을 측정한 결과 중심주파수 5.8GHz에서 7.8 dBm의 출력전력과 40 dBc 이하의 불요파 특성을 얻었다. 개발된 단말기는 기존의 DSRC 기능과 새로운 차량간 통신 기능을 동시에 수행할 수 있도록 알고리즘을 구성하였다. 개발된 단말기를 이용하여 도로에서 3초 간격으로 1분 동안에 수행되는 차량간 통신 수행실험을 실시한 결과 150 m 이내의 LOS 조건의 통신 영역에서 차량속도, 차량간 간격에 대하여 안정적인 17회 이상의 통신 성공율을 나타내었으며, 최대 8번의 트랜잭션을 고려한 차량간 무선통신 시간은 2.344 msec~18.752 msec을 얻었다.

본 연구를 통하여 점차 지능적이고, 다양한 서비스의 제공과 첨단 차량 운행 형태로 발전하는 ITS 분야에서 요구되고 있는 차량간 통신의 가능성을 확인하였다. 차량의 ECU (Electronic Control Unit)와 연계를 통하여 상대 차량의 원격 제어와 자동주행 등 첨단 차량용 단말기 시스템 분야와 차세대 DSRC 기술 분야에

적용이 가능할 것으로 판단된다. 또한, 첨단차량 항법 기술에 적용하기 위한 위성항법, 자립항법, 혼합항법⁵⁾ 등의 정확한 주행 위치 파악 기술들이 본 연구결과와 연계·적용되면 보다 정확한 차량간 통신 기술의 달성이 가능할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Kiyong Cho, Seungjin Kwon, Chulho Bae, Myungwon Suh, "Multi-Agent for Traffic Simulation with Vehicle Dynamic Model I: Development of Traffic Environment", Transactions of KSAE, Vol. 12, No. 5, pp.125-135, 2004.
- [2] "The Continuous Air-interface Long and Medium range(CALM) Standardization for ITS", National Computerization Agency, 2002.
- [3] Jongtaek Oh, "Radio Communications for ITS", The Journal of Korean Institute of Transport Systems, 2003.
- [4] "Standard of DSRC Radio Communication between Road-side Equipment and On-board Equipment in 5.8 GHz band", Telecommunication Technology Association, TTAS.KO-06.0025, 2000.
- [5] Sanggyum Kim, Whansin Yu, Jung-ha Kim, "A Study on the Characteristic Analysis of the Gyro Sensor and Development of Hybrid Navigation Algorithm for the Car Navigation", Transactions of KSAE, Vol. 12, No. 5, pp.171-1795, 2004.

— 저 자 소 개 —

이 응 호(정회원)

대한전자공학회 논문지 43권 5호 참조