

논문 2009-46TC-12-17

u-TSN 서비스를 위한 IEEE 802.11a/g 기반 통신모듈 개발

(Development of Communication Module Based on IEEE 802.11a/g for u-TSN Service)

배 정 규*, 우 리 나 라*, 송 정 훈**, 안 태 식**, 한 동 석***

(Jeong Kyu Bae, Ri Na Ra Woo, Jung Hoon Song, Tae Sik Ahn, and Dong Seog Han)

요 약

본 논문에서는 u-TSN 서비스 제공을 위한 통신모듈의 구현과 성능 평가를 통해 u-TSN 서비스와 지능형 교통 시스템 및 인포테인먼트의 구현 가능성을 확인한다. 통신모듈은 IEEE 802.11a와 11g 기반으로 구현되었고 차량장치와 노변장치에 이용된다. 실제 도로환경에서 개발된 시스템은 최대 약 15Mbps, 원거리 고속 이동상황에서 10Mbps의 데이터 전송율을 나타내었다. 이는 u-TSN 서비스 중 교통흐름 제어를 위한 통신용량을 충분히 수용할 수 있는 수준이다.

Abstract

In this paper, we have developed communication modules for ubiquitous transportation sensor network (u-TSN). The developed module can be used for intelligent transportation services. The developed systems are based on IEEE 802.11a and IEEE 802.11g technologies for vehicle and infrastructure systems, respectively. We have found that the throughput for the developed systems is at maximum around 15 Mbps. It is reduced to 10 Mbps at a long distance and high speed condition. The performance is enough to support traffic control services in dense traffic condition.

Keywords: 차량 간 통신, WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments), ITS(Intelligent Transportation System), u-TSN(ubiquitous-transportation sensor network)

I. 서 론

통신 및 네트워크 기술의 발달로 이른바 유비쿼터스 시대가 도래하였다. 소비자는 언제, 어디서든 인터넷 접속이 쉬워졌고 이에 따라 고속으로 이동하고 있는 차량에서도 통신을 하거나 인터넷망에 접속하려는 요구가 증가되고 있다. 이러한 기술의 발달과 함께 교통정보

수집 및 교통흐름 제어와 자동차의 안전주행, ETC(전자 자동요금지불) 등을 위한 지능형 교통 시스템 ITS(Intelligent Transportation System)^[1]의 관심이 날로 증가되고 있고 적용 범위가 확대되고 있다.

현재 차량용 통신 표준은 국제적으로 IEEE 802.11p WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment)^[2]와 ISO CALM(Continuous Air Interface for Long and Medium Range)^[3]이라고 하는 표준화가 진행 중이다. IEEE 802.11p는 5.8GHz 대역을 사용하는 무선랜 표준인 IEEE 802.11a^[4]에서 차량 이동환경을 고려하여 최소한의 변경만을 고려한 표준이고 ISO CALM은 기존 셀룰러 시스템, IEEE 802.11, 적외선, 밀리미터파 등 다양한 무선 접속 시스템을 통합하여 ITS와 텔레매틱스 서비스에 응용할 수 있는 기술 표준화를 추진하고 있다^[5].

일반적으로 차량용 통신은 차량 간 통신(V2V), 차량

* 학생회원, *** 평생회원, 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 (School of Electrical Engineering and Computer Science, Kyungpook National University)

** 정회원, 경북대학교 임베디드소프트웨어연구센터 (Center for Embedded Software Technology, Kyungpook National University)

※ 이 논문은 교통체계 효율화 사업 “u-Tsansportation 기반 기술 개발” 연구단 과제와 2세부과제 “u-TSN 통신프로토콜 및 모듈 개발”의 지원으로 수행되었음.

접수일자: 2009년7월20일, 수정완료일: 2009년12월14일

과 노변장치 간의 통신(V2I), 노변장치와 센터 간의 통신(I2C)으로 구성된다. 현재 국내에서는 이러한 통신 기술을 이용해 차량 정보를 수집하고 교통흐름 제어, 차량의 안전 제어, 인포테인먼트(infotainment) 등을 목표로 하는 u-TSN(ubiquitous-transportation sensor network) 서비스를 준비 중이다.

본 논문은 IEEE 802.11a 기반의 랜모듈을 이용한 차량용 통신 모듈의 구현과 그 성능 분석을 통해 u-TSN 서비스의 가능성을 제시하고자한다. 2장에서는 u-TSN 통신 시스템에 대해 살펴보고 3장에서는 u-TSN 서비스 중 교통정보 수집에 대한 통신용량을 측정, 4장에서는 개발된 통신모듈의 성능평가에 대해 분석하고 마지막 5장에서 차량 간 통신에 대한 가능성을 살펴보고 논문을 마무리한다.

II. u-TSN 통신 시스템 개요

1. u-TSN 서비스 시나리오

u-TSN 서비스는 차량장치(UVS : ubiquitous vehicle sensor), 노변장치(UIS : ubiquitous infra-structure sensor)와 UTC(ubiquitous transportation center)로 구성되고. 통신환경은 그림 1과 같다. u-TSN 서비스의 가장 큰 목적은 교통 정보 수집을 통해 교통흐름 제어, 차량의 안전제어와 인포테인먼트(infotainment) 서비스 제공에 있다. 그러므로 차량 정보 수집 기술과 수집된 정보를 센터로 보내야 하며, 차량의 안전을 위해서 차량 간,

차량과 노변장치간의 긴급 메시지 교환이 필요하고, 인포테인먼트를 위한 인터넷망으로의 접속이 요구된다.

이러한 요구사항을 위해 UVS 간의 통신(V2V), UVS와 UIS 간의 통신(V2I), UIS 간의 통신(I2I)은 IEEE 802.11a/g 무선통신으로, UIS와 UTC간의 통신(I2C)은 Ethernet 통신이 적용되었다.

2. 통신모듈

통신모듈은 송수신 신호를 처리하기 위한 랜모듈과 응용 소프트웨어를 동작시키기 위한 CPU모듈 및 외부 인터페이스로 구성되어 있다. 물리계층 모듈로 IEEE 802.11a/g 무선랜 모듈로 5.8GHz 대역과 2.4GHz 대역을 사용하며 각 채널당 20MHz의 대역폭이 할당되고 설정에 따라 노변장치 및 차량장치로 활용 가능하다^[6].

u-TSN 서비스를 제공하기 위해서 통신모듈은 최대 1000m의 전송거리와 메시지의 지연시간이 100ms 이내여야 하며 200km/h의 고속이동 상황에서도 안정적으로 통신이 되어야한다.

표 1. u-TSN 통신 모듈 사양

Table 1. Specification for u-TSN communication module.

특성	성능지표
사용 주파수	5.8/ 2.4GHz 대역
대역폭	20MHz
전송거리	최대 1,000m
전송속도	6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54Mbps
Packet Latency	100ms 이하

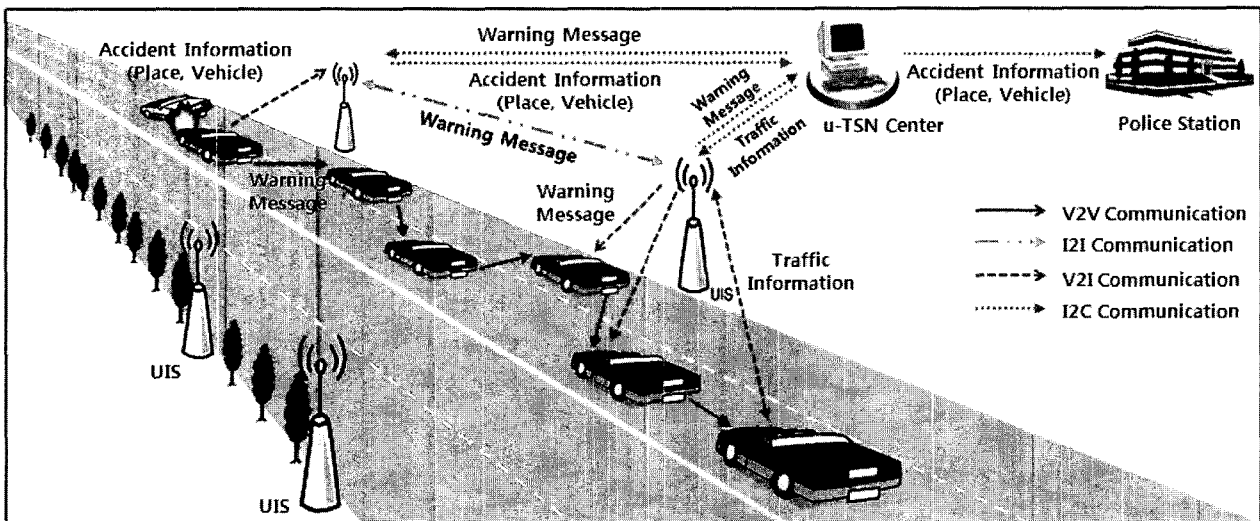


그림 1. u-TSN 통신 시나리오

Fig. 1. Communication scenario for u-TSN.

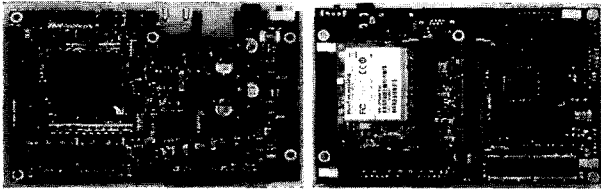


그림 2. u-TSN 통신모듈 하드웨어
Fig. 2. Hardware of communication module for u-TSN.

3. 통신 프로토콜

그림 3은 IEEE 802.11a/g 물리계층을 기반으로 한 u-TSN 통신 프로토콜의 구조를 나타낸다. u-TSN 통신시스템은 안전서비스 및 효율적인 교통 서비스 제공을 위해 WSMP(Wave Short Message Protocol)를 기반으로 한 통신과 IP 서비스를 위한 TCP/IP 스택을 동시에 지원하는 구조를 가진다^[6]. WSMP는 IEEE 1609.3 표준에 정의된 것으로 차량 이동환경을 고려하여 일반 무선랜에서의 BSS(basic service set)에 해당하는 WBSS(Wave Basic Service Set)를 구성하지 않아도 통신이 가능한 프로토콜이다^[7]. 그리고 브로드 캐스팅 기반의 VANET 멀티홉 라우팅 프로토콜과 차량 인증, 데이터 암호화 등의 보안 프로토콜이 적용되었다. 돌발 등 위험 정보는 WSMP 기반으로 서비스를 제공하고 특정 UVS를 위한 서비스는 IP기반 서비스를 통하여 제공한다.

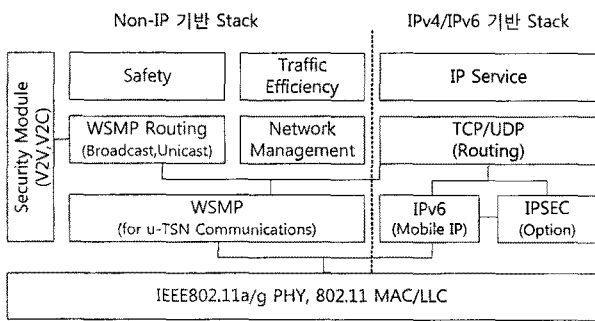


그림 3. u-TSN 통신 프로토콜 스택
Fig. 3. Protocol stack for u-TSN communication.

III. UIS 통신용량 측정

u-TSN 시스템이 제공하는 서비스 중 교통흐름 제어에 대한 통신용량을 측정하기 위해 그림 4와 같이 대도시의 교차로에서 차량이 UIS로 주기적인 패킷을 보내

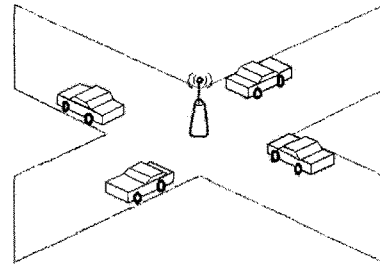


그림 4. 실험 토폴로지
Fig. 4. Simulation topology.

는 상황을 가정해 차량의 수가 늘어날 때, 한 대의 UIS에서 몇 대의 차량 정보를 수용할 수 있는지를 분석하였다. 이 때, 전송 속도는 6Mbps, 12Mbps, 24Mbps, 48Mbps로, 전송 주기는 100ms, 300ms, 차량의 수는 10대, 20대, ..., 290대, 300대로 변경하며 실험을 하였다.

실험에 사용된 파라미터는 실제 u-TSN 시스템에 고려되는 값과 WAVE 표준을 따르도록 하였고 표2와 같다. 라우팅 프로토콜로는 ns-2에 제공되는 기존의 AODV 라우팅 프로토콜을 수정한 1-hop 프로토콜을 사용하여 멀티홉이 아닌 1홉으로 노변장까지 전송하도록 하여 시뮬레이션 하였다. 또한 실제 전파환경에 가까운 시뮬레이션을 위해 사용된 전달모델로 ns-2.33 버전에 구현되어 있는 Nakagami 모델을 사용하였다^[8].

Nakagami 모델은 두 가지 파라미터 γ (Radio signal average attenuation)과 m (Fading intensity, $m=1$ 일 때 Rayleigh fading)을 사용하여 거리에 따른 신호의 크기를 조절한다. 본 실험에서는 두 파라미터를 $\gamma=1.9$, $m=3$

표 2. 실험 파라미터
Table 2. Simulation parameter.

파라미터	값
시뮬레이터	NS-2.33
MAC 프로토콜	IEEE 802.11a
패킷 전송 프로토콜	UDP
패킷 사이즈	512 Byte
라우팅 프로토콜	1-hop 프로토콜
전파 모델	Nakagami model ($\gamma=1.9$, $m=3$)
전송 전력	100 mW (20 dBm)
안테나 이득	9 dBi
통신 범위	900~1500m
전송 속도	6, 12, 24, 48 Mbps
차량수	10, 20, ..., 290, 300 대
캐리어 감지 임계값	6Mbps : -90 dBm 12Mbps : -88 dBm 24Mbps : -82 dBm 48Mbps : -72 dBm

으로 설정하였고 이는 다소 혼잡한 도시환경을 나타내기 위하여 설정한 값이다.

1. 차량 수에 따른 패킷 수신율

차량에서 UIS로 주기적으로 패킷을 전송하고 차량과 UIS간의 거리가 10m에서 최대 125m 일 때, 95%이상의 수신율을 나타내는 차량의 수를 측정하였다.

모든 차량에서 100ms의 주기로 패킷을 UIS로 전송할 경우, 차량의 수가 약 90~100대 사이에서 UIS에서 약 95% 이상의 수신율을 가지고 이후 차량의 수가 늘어나면 수신율은 급속히 감소하였다.

차량의 패킷전송 주기가 300ms일 때는 전송주기가 증가하여 각 통신모듈의 채널접속을 위한 경쟁이 줄어들어 하나의 UIS에서 수집이 가능한 차량의 수가 증가해 210~230대 사이에서 약 95%이상의 수신율이 나타났고 이후 차량이 증가할수록 수신율이 급속히 감소했다.

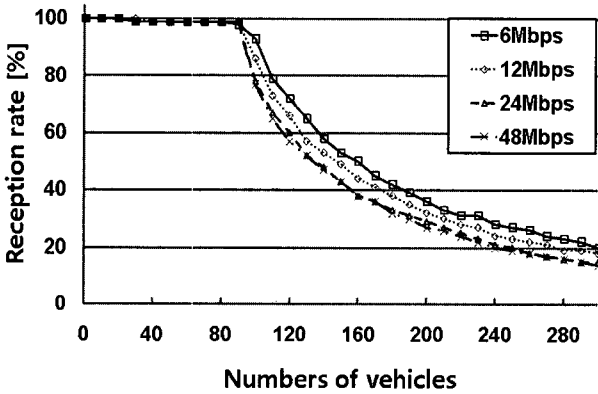


그림 5. 패킷 수신율 (패킷전송주기 : 100ms)
Fig. 5. Reception rate for transmission period : 100 ms.

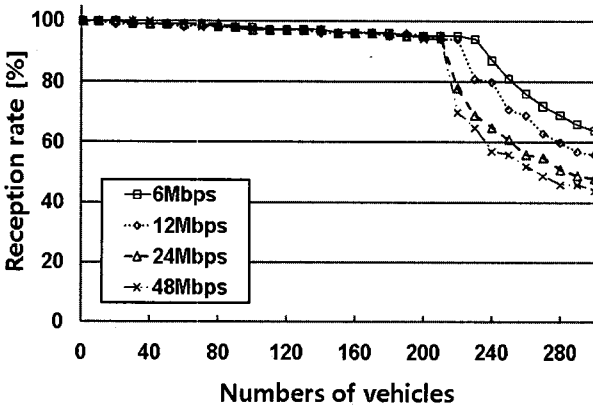


그림 6 패킷 수신율 (패킷 전송주기 : 300ms)
Fig. 6. Reception rate for Transmission period : 300 ms.

현재 IEEE 802.11a 기반으로 한 교통흐름 제어 시스템은 패킷의 전송주기, 패킷의 크기 등에 좌우되고 합리적인 교통정보 수집 시스템을 설계하기 위해 결정되어야할 중요한 인자이다.

2. 차량 수에 따른 처리율(Throughput)

교통흐름 제어를 위해 수집되는 교통정보의 용량을 측정하기 위해 UIS에서의 처리율을 측정하였다.

그림 7은 차량이 512Byte의 크기를 가지는 패킷을 100ms의 주기로 UIS를 향해 전송하였을 때의 시뮬레이션 결과로 전송속도에 따라 조금씩 다르지만 차량의 수가 증가하면 처리율도 같이 증가하다 차량의 수가 약 90대 일 때 약 4Mbps 정도로 처리율이 포화가 되었고 그 이후에는 차량의 수가 늘어날수록 처리율이 감소하였다. 패킷의 전송주기가 300ms일 때도 100ms일 때와 마찬가지로 약 4Mbps 정도에서 포화되었고 차량이 약

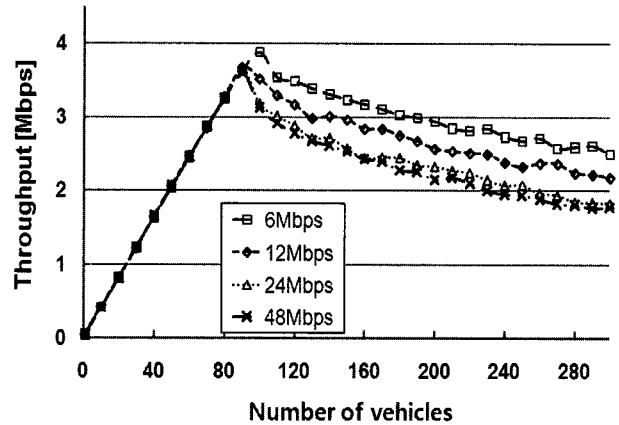


그림 7. 전송주기 100ms 일 때의 처리율
Fig. 7. Throughput for transmission period : 100 ms

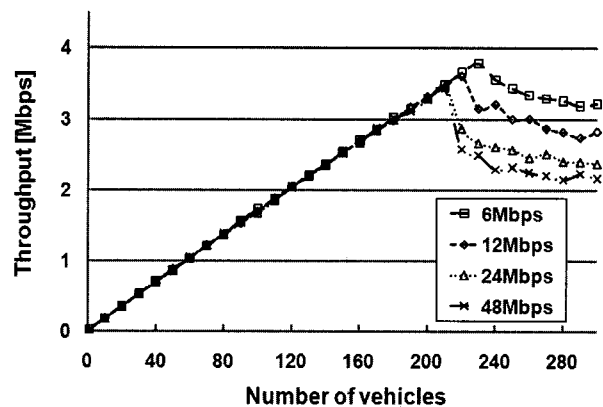


그림 8. 전송주기 300ms 일 때의 처리율
Fig. 8. Throughput for transmission period : 300 ms.

220대 이후에서는 차량의 수가 늘어날수록 처리율이 감소하는 것을 확인하였다. 그러므로 교통흐름 제어를 위한 시스템은 패킷의 전송주기와는 상관없이 4Mbps의 통신용량을 나타내고 이를 처리하기 위한 처리율 4Mbps 이상의 통신모듈이 요구된다.

IV. 필드테스트

1. 실험환경

통신모듈 간의 거리, 이동속도가 통신모듈의 성능에 미치는 영향을 확인하기 위해 그림 9와 같이 개발된 통신모듈, 5.8GHz 대역의 무지향성 안테나를 이용하였다. 시스템 제어를 위한 UMPC를 차량에 장착해 실험



그림 9. 실험을 위한 시스템의 구성
Fig. 9. Communication system for experiments.

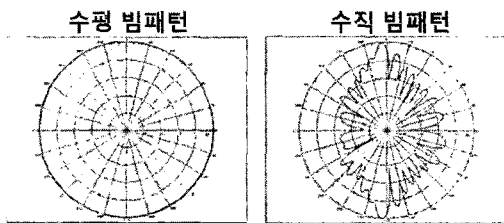


그림 10. 9dBi 안테나 빔패턴
Fig. 10. Beam pattern of 9dBi antenna.

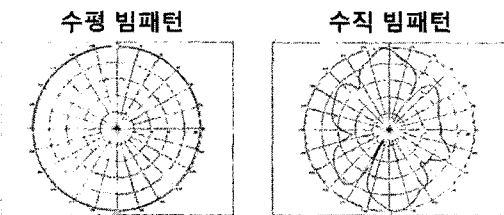


그림 11. 15dBi 안테나 빔패턴
Fig. 11. Beam pattern of 15dBi antenna.

을 진행하였다. 이때 통신모듈의 처리율을 측정하기 위해서 TCP 전송 프로토콜과 21dBm의 전송 전력의 사용되었다.

실험에 사용된 안테나는 9dBi, 15dBi의 안테나 이득을 가진다. 여기서의 안테나 이득은 수직 빔패턴의 이득을 나타내고 각각의 빔패턴은 그림 10와 그림 11과 같다.

2. 실험결과 및 분석

(1) 거리, 안테나 이득에 따른 처리율(throughput)

거리에 따른 처리율을 비교하기 위하여 대구광역시 성서공단의 왕복 10차선 도로 가장자리에서 차량 간 거리는 10m, 300m, 500m로 하고 정지 상태에서의 처리율을 측정하였다. 여기서 처리율은 단위시간당 성공적으로 전송된 데이터의 양으로 전송을 성공한 데이터와 전송시간을 측정하여 계산된다.

거리가 증가함에 따라 처리율은 감소했다. 통신 모듈

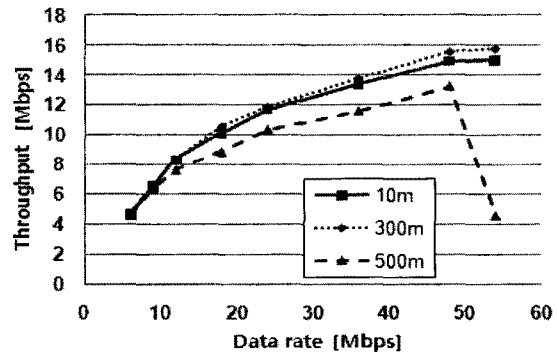


그림 12. 거리에 따른 처리율(10, 300, 500m, 15dBi)
Fig. 12. Throughput in terms of distance. (10, 300, 500m, 15dBi)

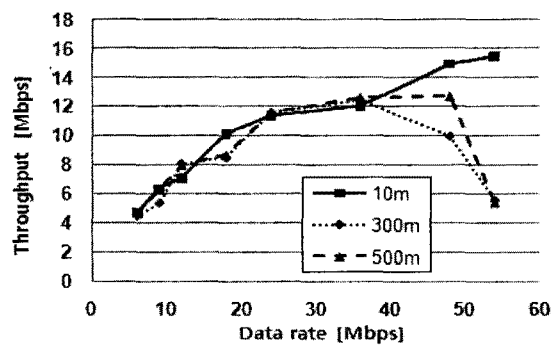


그림 13. 거리에 따른 처리율(10, 300, 500m, 9dBi)
Fig. 13. Throughput in terms of distance. (10, 300, 500m, 9dBi)

이 장착된 차량의 거리가 10m와 300m일 때의 성능은 큰 차이가 없었고, 그 처리율은 전송속도 6Mbps, 54Mbps 일 때 각각 약 4.5Mbps, 15Mbps가 측정되었다. 500m 일 때의 측정결과는 전반적으로 처리율이 10m와 300m 에서의 결과에 비해 약 1Mbps 정도 낮아졌고 전송속도가 빨라질수록 감소폭이 조금씩 증가하였다. 이는 두 차량 간의 거리 증가로 SNR이 감소했기 때문에 데이터의 손실이 증가하였고, 고속으로 전송할수록 오류정정 능력이 떨어지기 때문에 감소폭이 증가했다. 특히 54Mbps의 전송속도에서는 처리율이 급격히 떨어졌다.

측정된 처리율은 15dBi 안테나의 결과는 평균적으로 약 12Mbps이다. 9dBi의 안테나는 15dBi의 안테나에 비해 주위 환경에 많은 영향을 받았다. 실험하는 두 차량 사이에 큰 차가 가로막거나 이동하는 차량이 증가하게 되면 처리율이 감소하였다.

현재 개발된 통신모듈은 교통흐름 제어 서비스를 위한 통신용량 4Mbps를 초과하여 서비스 제공이 가능한 수준이며 다른 여러 가지 응용 서비스를 동시에 제공할 수 있다.

(2) 이동 속도에 따른 처리율 측정

차량의 이동이 통신 모듈에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 정지, 40km/h, 100km/h의 속도로 이동하는 차량에서 처리율을 측정했다.

차량의 이동으로 인해 채널상태가 악화되어 처리율이 감소했다. 저속의 전송속도(6, 9, 12, 18, 24Mbps)에서는 정지, 저속(40km/h), 고속(100km/h) 이동상황에서 비슷한 결과가 측정되었지만 고속의 전송속도에서는 처리율이 감소되었고, 이동속도가 증가할수록 감소폭이 커졌다.

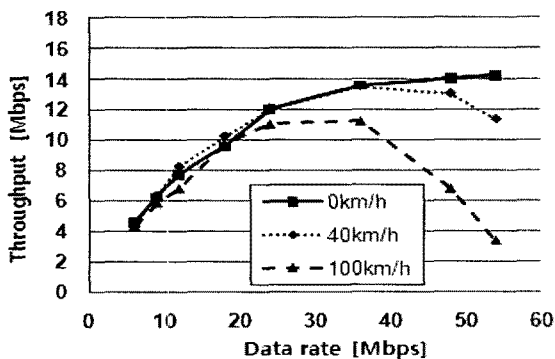


그림 14. 이동속도에 따른 처리율
Fig. 14. Throughput in terms of velocity(0, 40, 100km/h).

정지 상태에서는 14.24Mbps, 40km/h의 속도에서는 13.51Mbps, 100km/h의 속도에서는 11.24Mbps의 최대 처리율이 측정되었다. 현재 통신 모듈은 100km/h의 이동 속도에서 10Mbps 이상의 처리율을 보장할 수 있으므로 고속의 이동상황에서도 u-TSN 서비스를 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

(3) UVS 2대의 동시 전송 시 처리율

UVS 2대가 UIS로 동시에 정보를 전송하는 상황을 가정하고 2대의 통신모듈이 하나의 통신모듈로 동시에 정보를 전송해 처리율을 측정하였다.

2대의 통신모듈이 하나의 통신모듈로 동시에 전송할 때는 채널을 공유하기 때문에 각각의 처리율을 감소한다. 그러나 전송속도 48Mbps일 때 총 처리율이 17.67Mbps로 1대의 통신모듈이 정보를 전송할 때에 비해 약 2Mbps가 높게 측정되었다. 또한 UVS1과 UVS2에서 UIS로 각각 전송하는 정보량이 동일하지 않음을 볼 수 있다. 이는 현재 적용된 MAC 프로토콜이 채널에 접속하는 기회를 공평하게 하는 알고리즘이 적용되지 않았기 때문이고, 그러한 알고리즘이 적용된다면 성능이 향상 될 것이다.

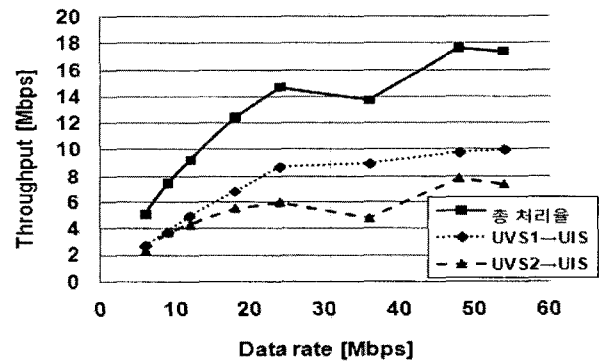


그림 15. UVS 2대의 동시 전송 시 처리율
Fig. 15. Throughput of simultaneous transmission.

V. 결론

u-TSN 서비스를 제공하기 위해서는 고속의 이동상황에서도 안정적인 통신과 긴급메시지의 전송, 그리고 높은 처리율이 요구된다. 특히 교통흐름 제어 서비스는 차량에서 UIS로의 패킷전송 주기가 100ms일 때, 약 90~100대의 차량정보를, 패킷전송 주기가 300ms일 때, 약 210~230대의 차량정보를 95% 이상 수신할 수 있었다. 이 때의 처리율은 최대 4Mbps이므로, UIS에서는 다수의 차량정보를 수용하기 위해 최소 4Mbps의 처리

율을 보장해야한다.

본 논문의 다양한 실험에서 u-TSN 서비스를 위한 IEEE 802.11a/g 기반 통신 모듈의 최대 처리율은 약 15Mbps였다. 또한 현재의 통신 모듈이 차량의 속도와 차량 간의 거리에 영향을 받았지만 저속의 전송속도에서는 크게 영향을 미치지 않았고 원거리, 고속 이동상황에서도 10Mbps 이상의 안정적인 성능이 나타나는 것을 확인하였다.

현재 구현된 통신모듈은 u-TSN 서비스를 제공하기 위한 최소 요구사항을 만족하고 차량 간 통신의 가능성을 확인하였다. 뿐만 아니라 이번 기술 개발을 통해 접차 시장의 규모가 커져가는 ITS 또는 차량 간 통신 분야에 적용이 가능 할 것으로 생각된다.

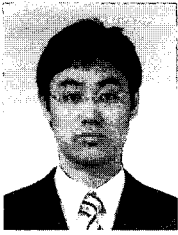
향후 본격적으로 u-TSN 서비스를 구현함에 있어 해결해야 할 사항이 많이 도출 될 것으로 생각된다. 대표적으로 많은 차량에서의 대용량 교통 수집정보를 처리하기 위한 기술 개발이 필요하고, 통신 성능 개선을 위한 차량 이동환경에 적합한 차량용 MAC 프로토콜 개발이 되어야 할 것이다.

Conference on Wireless On demand Network Systems and Services (WONS), Obergurgl, Austria, January 2007.

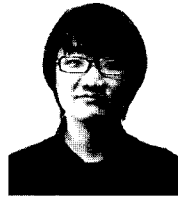
참 고 문 헌

- [1] 유석대, 조기환, “긴급메시지를 이용한 차량안전통신,” 대한전자공학회지 텔레콤 제22권 제2호, pp. 63-70, 2006년 12월
- [2] IEEE, “IEEE Std. 802.11p-D1.2 2005 Wireless Access in Vehicular Environment,” 2005.
- [3] ISO, “ISO/DIS 21217 Intelligent transportation system-Communications access for land mobile,” 2007.
- [4] IEEE, “IEEE Std. 802.11-2007 Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications,” 2007.
- [5] 임춘식, 이기영, “ITS 표준화 동향,” 대한전자공학회지 제36권 제1호, pp. 121-130, 2009년 1월
- [6] 송정훈, 안태식, 박진홍, 류도훈, 서대화, 한동석, 강연수, “u-Transportation 환경을 위한 통신 시스템 구현,” 통신학회 하계학술대회, 제주, 대한민국, 2009.
- [7] IEEE, “IEEE Trial-Use Standard for Wireless Access in Vehicular Environments(WAVE) - Networking Services,” 2007.
- [8] F. Schmidt-Eisenlohr, M. Torrent-Moreno, J. Mittag, and H. Hartenstein, “Simulation Platform for Inter-Vehicle Communications and Analysis of Periodic Information Exchange,” in Proc. of the

— 저 자 소 개 —



배 정 규(학생회원)
 2007년 경북대학교 전자전컴퓨터
 학부 학사 졸업.
 2008년~현재 경북대학교 전자공
 학과 석사과정
 <주관심분야 : 차량용 통신, 차세
 대 방송시스템>

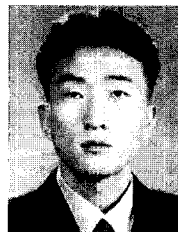


우리나라(학생회원)
 2008년 경북대학교 전자전컴퓨터
 학부 학사 졸업.
 2009년~현재 경북대학교 전자공
 학과 석사과정
 <주관심분야 : 차량용 통신, 차세
 대 방송시스템>



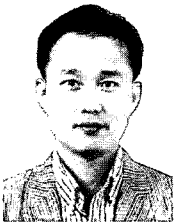
송 정 훈(정회원)
 2002년 경북대학교 컴퓨터공학과
 학사 졸업.
 2004년 경북대학교 컴퓨터공학과
 석사 졸업.
 2008년 경북대학교 컴퓨터공학과
 박사 수료.

2005년 4월~2008년 4월 LG전자 산학연구소 및
 D/D 사업본부 PDP 사업부 주임연구원
 2008년 7월~현재 경북대학교 임베디드소프트
 웨어연구센터 주임연구원
 <주관심분야 : 근거리 통신망, 차량용 통신기술,
 무선 애드혹 네트워킹>



안 태 식(정회원)
 2001년 경북대학교 전자전기
 공학부 학사 졸업.
 2000년~2006년 LG전자 시스템
 연구소, LG-Nortel R&D
 Center 주임연구원
 2006년~현재 경북대학교
 임베디드 S/W연구센터
 주임연구원

<주관심분야 : 무선통신시스템 설계 및 분석>



한 동 석(평생회원)
 1987년 경북대학교
 전자공학과 공학사
 1989년 KAIST 전기 및
 전자공학과 공학석사
 1993년 KAIST 전기 및
 전자공학과 공학박사

1987년 10월~1996년 8월 삼성전자 기술총괄
 신호처리 연구소 선임연구원
 1996년 8월~현재 경북대학교 전자전기컴퓨터
 학부 교수
 2006년 7월~2008년 7월 정보통신연구진흥원
 디지털TV/방송사업단 단장
 <주관심분야 : 차세대 방송 시스템 및 이동통신
 신호처리>