

개선된 ITS 서비스 제공을 위한 IR/RF-DSRC 성능 분석

Performance Analysis of IR/RF-DSRC for Improved High Density ITS Service

곽수진* 김재명** 이상선***
(Su-Jin Kwag) (Jea-Myoung Kim) (Sang-Sun Lee)

요약

본 논문에서는 국내 ETC(Electronic Toll Collection)인 한국도로공사의 하이패스 시스템의 보급에 힘입어 2008년 현재까지 약 125만대가 보급되어 있는 IR(Infrared)/RF(Radio Frequency)-DSRC(Dedicated Short Range Communication)를 BIS(Bus Information System) 혹은 UTIS(Urban Traffic Information System)와 같은 보다 향상되고, 많은 차량 단말(OBE; On Board Equipment)을 제어해야 하는 시스템에 사용하기 위한 척도로써 IR/RF-DSRC의 전송 효율에 관한 성능을 시뮬레이션을 통해 평가하고, 각 시스템의 장단점을 찾아보고자 한다.

특히 DSRC는 짧은 통신 영역에서 높은 이동도를 갖는 개체에게 고속의 데이터를 전송하여야 한다는 점에서 일반적인 통신 시스템에 비해 MAC(Media Access Control)의 속성이 가장 중하다고 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 매체 접근성의 관점에서 IR/RF-DSRC, 두 시스템의 성능을 분석하고자 한다.

Abstract

OBE(On Board Equipment) of IR(Infrared)/RF(Radio Frequency)-DSRC(Dedicated Short Range Communication) are set up 1.25 million cars because Korea Highway Cooperation supplied in HiPass(Domestic Electronic Toll Collection System). But this DSRC system has strength and weakness of service for BIS(Bus Information System) or UTIS(Urban Traffic Information System) because BIS and UTIS are required vary high communication's performance and management.

In this paper, Efficiency of IR/RF-DSRC is analyzed performance of MAC(Medium Access Control) by computer simulation for services of BIS or UTIS, so Suggested to be commensurated with medium of there service.

Specially, DSRC is needed high mobility and throughput in the vary short communication range, so Analysed the transmission rate of data in each communication medium over the specific character of the MAC frame.

Key words: MAC, IR-DSRC, RF-DSRC, ITS, Transmission Efficiency

† 본 연구는 건설교통부 R&D 교통체계효율화 사업의 연구비지원(07교통체계-기능08)에 의해 수행 되었습니다.

* 주저자 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 박사과정

** 공저자 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 석사과정

*** 공저자 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 교수

† 논문접수일 : 2008년 5월 27일

† 논문심사일 : 2008년 6월 3일

† 게재확정일 : 2008년 6월 30일

I. 서 론

오늘날 현대 사회의 산업화, 도시화, 고도화는 현대인에게 있어 자동차를 없어서는 안 될 필수품으로 자리매김하도록 하였다. 그에 따른 자동차 수는 매년 20% 이상 증가하는데 반해 도로를 포함한 기반 시설의 증가는 년 2% 정도로 턱없이 부족한 실정이다. 이러한 교통 수요와 공급의 불균형으로 인해 시간과 장소의 구분 없이 항상 교통체증이 발생하고 아울러 빈번한 교통사고를 발생시키는 원인이 될 뿐만 아니라 도로의 혼잡으로 인해 필요 이상의 통행시간과 에너지가 소모되어 자동차 배기가스의 대량 방출로 인한 환경오염의 가중을 유발하고 있다. 이러한 도로의 혼잡으로 인한 사회적 비용의 증가는 결국 물류비 상승으로 이어져 궁극적으로 물가 상승을 부추기고, 그에 따른 국가의 대외 경쟁력의 약화를 초래하게 된다 [1-4].

이를 극복하기 위해 교통시설의 효율성을 극대화하는 방안으로 제시되고 있는 것이 ITS(Intelligent Transport System)이다 [1].

ITS는 도로, 차량, 신호시스템 등 기본 교통체계의 구성요소에 첨단 정보통신기술을 접목함으로써 교통시설의 기반구조에 대해 지능화와 첨단화를 꾀하고자하는 차세대 교통체계로 정의되고, 첨단교통관리시스템(ATMS : Advanced Traffic Management System), 첨단교통정보시스템(ATIS : Advanced Traveler Information System), 첨단대중교통시스템(APTS : Advanced Public Transportation System), 첨단화물운송시스템(CVO : Commercial Vehicle Operations), 첨단도로 및 차량시스템(AVHS : Advanced Vehicle and Highway System) 등의 ITS 서비스로 분류된다.

특히 국내에서는 한국도로공사에서 하이패스(Hi-Pass)라는 이름으로 1999년 수동형 DSRC (Dedicated Short Range Communication) 시스템을 활용한 ETC (Electronic Toll Collection)의 시범 사업을 시작으로 2002년 능동형 DSRC로 시스템을 변환하였고, 2004년부터 영업소 시범 사업을 거쳐 현재까지 전국 261개의 영업소에 시스템을 설치하여 2008년 현재 약 100만대의 OBE를 보급하였다.

현재 DSRC는 ETC와 BIS(Bus Information System)와 같이 비교적 전송 데이터가 적고, 통신 영역 내의 OBE가 비교적 적은 서비스에 주로 사용되고 있으나, 하이패스 단말기의 보급과 함께 보다 복잡하고 다양한 서비스를 ATMS나 AVHS와 같이 보다 많은 데이터를 보다 많은 차량에게 제공해야만 할 것이다.

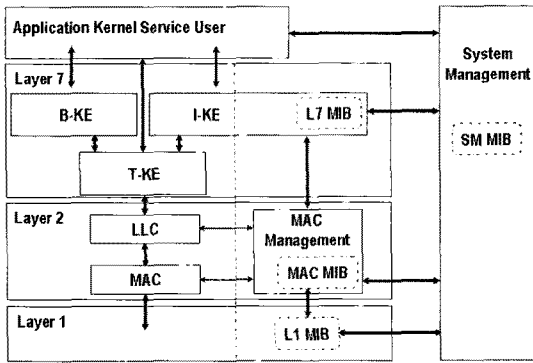
따라서 본 논문에서는 사용되는 매체에 따라 IR(InfraRed)과 RF(Radio Frequency)로 나누어지는 두 시스템의 서비스 수용 능력을 정확히 비교·분석함으로써, 앞으로 실현될 ITS 서비스의 특성에 따라 시스템을 보다 효과적으로 배치할 수 있는 근거를 마련하고자 한다. 이를 위해 본 논문에서는 IR-DSRC 시스템과 RF-DSRC 시스템의 MAC계층에서의 서비스 데이터 크기와 접속 차량 수의 변화에 따른 데이터 전송과 교환에 소요되는 시간을 토대로 두 시스템의 전송효율을 비교하고 상대적인 성능분석을 시도하였다 [4, 5].

II. 매체에 따른 DSRC 시스템의 특징

단거리 전용통신, 즉 DSRC는 통신 반경이 수 미터에서 수십 미터 사이이며, 도로변의 노변장치(Road Side Equipment : RSE)와 통신 영역에 존재하는 차량 탑재장치(On Board Equipment : OBE) 사이에서 양방향으로 고속의 데이터 송수신이 가능한 시스템이다.

일반적으로 RSE는 주로 도로변에 5m 높이의 폴에 설치되고, OBE는 차량의 대시보드 위에 설치된다. Point to Point 또는 Point to Multi-point 통신을 지원하며 양방향 링크 모두 1Mbps 이상의 전송 속도를 가지는 무선 패킷 통신방식을 사용하고 있으며, 셀 크기가 100m 이내이므로 서비스 확장성이 우수하고 다양한 서비스 제공이 가능하며, 비트 오류율(BER : Bit Error Rate)이 10^{-5} 보다 작은 것이 특징이다.

1. DSRC의 계층 구조 및 특징



<그림 1> DSRC 시스템의 계층 구조
 <Fig. 1> Architecture of DSRC system

DSRC는 OSI(Open Systems Interconnection) 모델을 기초로 하여 프로토콜 구조가 설계되었다. <그림 1>에서 보는 바와 같이 OSI 7 계층 중에서도 응용 계층, 데이터링크 계층, 물리 계층의 3계층만으로 구성되어 있다.

모든 DSRC 시스템은 동일한 계층 구조를 가지며 이 중 응용계층의 경우 RF-DSRC와 IR-DSRC 시스템 모두 국제표준기구인 ISO의 TC204에서 제정한 ISO/DIS 15628, "Transport information and control systems(TICS) - DSRC application layer"를 참조하여 만들어져 방식에 상관없이 동일한 구조 및 역할을 하게 된다.

반면 데이터 링크 계층과 물리 계층의 경우 사용되는 물리 매체의 특성에 따라 그 구조가 상이하게 달라진다. 각 구성요소들의 역할을 하나씩 살펴보면 다음과 같다.

1) 응용 계층

응용계층(Application Layer)은 운영과 관련된 상대응용과 응용데이터전송을 가능하게 하는 서비스를 제공하며 응용계층커널들로 구성되어 있다. 커널은 서로 다른 상대서비스 사용자 사이에 실제 정보를 전송하는 역할을 담당하는 전송커널요소(T-KE : Transfer Kernel Entity), RSE와 OBE 사이의 통신초기화를 담당하고 있는 초기화커널요소(I-KE : Initialization Kernel Entity), 방송 풀(BP : Broadcast

Pool)을 교환함으로써 RSE와 OBE에서 다른 응용들에 대한 정보를 수집하고, 방송하는 배분방송커널요소(B-KE : Broadcast Kernel Entity)로 구성된다.

2) 데이터 링크 계층

데이터 링크 계층(Data Link Layer)은 매체접근제어 부계층(Medium Access Control Sub-Layer)과 논리 링크 부계층(Logic Link Sub-Layer)의 두 개의 부계층을 가지고 있다. 첫 번째로 논리 링크 계층은 응용 계층에 오류가 없는 데이터를 전달하기 위한 계층이며, PDU의 송·수신을 시작하도록 하고, 데이터의 논리적인 흐름을 제어하는 역할을 하게 된다. 또한 수신된 명령 데이터 유닛을 해석하기 위한 응답 프로토콜 유닛을 생성하며, 데이터의 전송에서 발생하게 되는 오류를 제어하게 된다. 두 번째로 매체접근제어 부계층은 RSE와 OBE의 물리적인 연결을 관장하게 된다. 따라서 통신에 사용될 프레임의 형성과, 통신 링크를 초기화시키며, 프레임 단위로 전송된 데이터를 처리하게 된다. 뿐만 아니라 통신 채널 상에서 발생하게 되는 오류를 검출하며, 간단한 암호화도 수행한다.

<표 1> 시뮬레이션 파라미터
 <Table. 1> Parameters of simulation

항목	IR-DSRC	RF-DSRC	
물리 계층	반송주파수	800-900 nm	5.8 GHz 대역
	송수신 대역폭	50 nm	5 MHz
	변조방식	ASK-OOK	ASK
	비트율	1 Mbps(2,4,8,16)	1 Mbps
	BER	10 ⁻⁶	10 ⁻⁵
데이터 링크 계층	접속 모드	TDD(시분할방식)	
	매체접근제어	비동기식 시분할	동기식 시분할
	프레임 길이	가변(1 ~ 255)	고정(100옥텟/슬롯)
	링크주소길이	가변(2~5옥텟)	고정(4옥텟)
	최대 LPDU	255 옥텟	64옥텟
	링크 접속	Slotted ALOHA	

3) 물리 계층

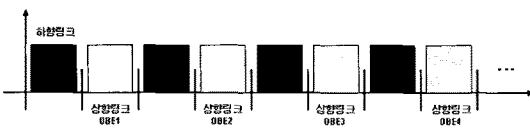
물리계층의 경우 실질적인 전송을 담당하는 부분이다. IR-DSRC와 RF-DSRC는 근본적으로 서로 다른 물리 매체를 사용하기 때문에 그 변수 값 또한 상당히 다르다. 따라서 각각의 물리매체에 따른 파라미터 값의 직접적인 비교는 큰 의미가 없으나 <표 1>을 통해 비교하였다.

2. 통신 매체에 따른 DSRC의 MAC에서의 전송 타이밍

1) IR-DSRC의 MAC에서의 전송 타이밍

IR-DSRC는 상·하향 프레임을 주고받기 위해 윈도우(Window)라고 불리는 RSE에 의해 할당, 제어되는 시간 구간을 이용한다. 상향 및 하향링크 프레임의 전송은 할당된 윈도우 시간 내에서만 이루어져야 한다. <그림 2>은 IR-DSRC의 윈도우 관리의 예를 나타내고 있다.

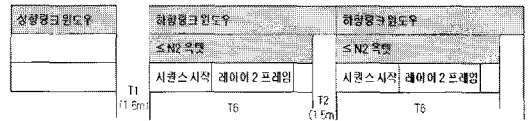
이러한 윈도우는 그 링크 설정 방향과 사용 목적에 따라 다음 세 가지로 나누어지며 그 특징을 <표 2>에 나타내었다.



<그림 2> IR-DSRC의 위도우에 의한 프레임 교환
<Fig. 2> Window of IR-DSRC for frame exchange

<표 2> IR-DSRC의 링크 설정
<Table. 2> Link access of IR-DSRC

윈도우 종류		사용 목적
하향	목적	초기 접속 정보/데이터 전송
	구성	연속적으로 여러 윈도우 할당
상향	목적	개별 OBE에 정보 전송
	구성	하나의 윈도우만 할당 가능
공개	목적	초기 접속 요청
	구성	연속적으로 여러 윈도우 할당



<그림 3> 하향 윈도우 할당에 따른 윈도우 타이밍
<Fig. 3> Window timing of down link

하향링크 윈도우는 <그림 3>에서 보는 바와 같이 물리 계층 규정에 정의된 인입(lead in) 시퀀스(sequence)의 첫 번째 비트에서 시작하고, T6 후에 끝나고, T2를 더해 윈도우가 종료된다.

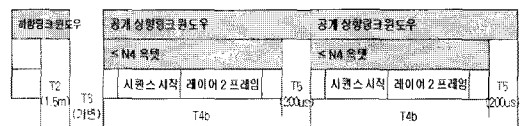
하향링크 윈도우는 이전 윈도우가 상향 윈도우라면, 이전 윈도우가 끝난 다음 T1 내에 시작되면 안 된다. T1과 T2는 750us에서 1500us로 설정가능하고 현 시스템에서는 750us의 시간을 갖는다. 또한 하향 윈도우에 보내진 하나의 계층 2 프레임은 N2 옥텟보다 크게 구성되어서는 안 되며 N2의 범위는 300이하로 정의된다.

반면 상향 윈도우는 접속 요구를 하기 위한 공개 상향 윈도우와 개별 OBE와 데이터를 교환하기 위한 개별 상향 윈도우로 나누어지고, 각 위도우의 특징에 따라 그 할당 방법 또한 달라진다.

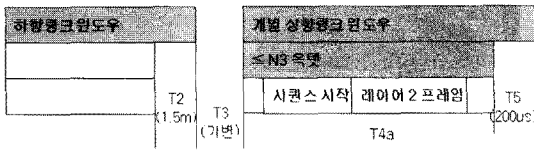
공개 상향링크 윈도우를 할당하는 각 다운로드 프레임은 하나 이상의 연속적인 공개 상향링크 윈도우를 할당할 수 있다. 공개 상향링크 윈도우는 일정한 규칙에 따라 임의의 이동 장비에 의해 사용될 수 있다.

공개 상향링크 윈도우는 <그림 4>와 같이 T4b 후에 프레임 전송이 끝나고, T5 후에 종료된다. 공개 상향링크 윈도우에 전송된 계층 2 프레임(N4)은 반드시 278이하로 정의된다.

마지막으로 개별 상향링크 윈도우는 윈도우를 할당하는 프레임의 DID와 같은 개별 LID를 가지는 이동 장비에 의해서만 사용된다.



<그림 4> 공개 상향 윈도우 할당 타이밍
<Fig. 4> Window timing of public up link



<그림 5> 개별 상향 윈도우 할당 타이밍
<Fig. 5> Window timing of individual up link

개별 상향링크 윈도우는 <그림 5>과 같이 상향 링크 윈도우를 할당하는 프레임 포함하는 하향링크 윈도우가 끝난 다음 T3 후에 시작하고, T4a에서 프레임 전송이 끝나고, T5 후에 윈도우가 종료된다. T5는 200us의 고정값을 갖는다. 개별 상향링크 윈도우로 전송된 계층 2 프레임(N3)의 범위는 285이 하로 정의된다.

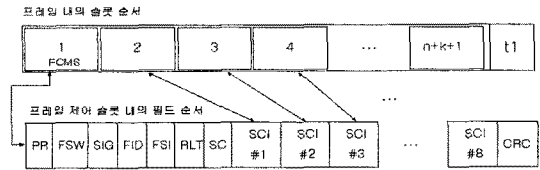
각 윈도우에 포함되어 있는 레이어 2 프레임은 전송 방향에 따라 하향 링크 프레임과 상향 링크 프레임 둘로 나누어지고, IR-DSRC 프레임은 링크 주소필드, 서비스테이블, LPDU가 가변적이어서 매 전송되는 프레임의 전체 크기가 변화하는 특성을 가진다.

2) RF-DSRC의 MAC에서의 전송 타이밍

RF-DSRC의 통신 프레임은 시간 축 상에서 여러 개의 슬롯들로 이루어지며, 각 슬롯들의 길이는 100옥텟으로 동일하고, 포함된 메시지의 성격에 따라 프레임 제어 슬롯(Frame Control Message Slot : FCMS), 메시지 데이터 슬롯(Message Data Slot : MDS), 접속 요구 슬롯(Activation Slot : ACTS)으로 나누어진다. 프레임은 한 개의 FCMS과 $n(0 \leq n \leq 8)$ 개의 MDS, $k(0 \leq k \leq 8)$ 개의 ACTS로 구성된다. 즉 한 개의 프레임에 포함되는 MDS와 ACTS의 합은 1보다 같거나 크고, 8보다 같거나 작다($1 \leq n+k \leq 8$). 따라서 프레임의 최대 길이는 한 개의 FCMS를 포함하여 9개 슬롯길이이며, 최소 2개의 슬롯길이가 된다. 통신 프레임의 첫 번째 슬롯은 반드시 FCMS 이어야 하며 ACTS는 프레임의 마지막 부분에 위치한다. 프레임의 길이는 매 프레임 주기마다 RSE에 의하여 결정된다.



<그림 6> RF-DSRC의 프레임 형식
<Fig. 6> Frame of RF-DSRC



<그림 7> 슬롯 제어 필드에 대응하는 슬롯 할당
<Fig. 7> Configuration of FCMS

RSE에서의 슬롯할당은 FCMS 내의 슬롯 제어 식별자(Slot Control Identifier, SCI)를 지정함으로써 가능하다. SCI는 1옥텟의 슬롯 할당 제어 정보서브필드와 4옥텟의 링크주소 서브필드로 구성된다. 각 SCI는 해당 필드가 위치한 순서에 대응되는 MDS 혹은 ACTS에 대한 슬롯제어 정보로 이용된다. 즉 $i(i=1,2,\dots,8)$ 번째 SCI는 프레임 내의 $(i+1)$ 번째 슬롯과 관련된 제어정보를 가진다. FCMS의 SCI와 이에 대응되는 슬롯을 <그림 7>에 나타내었다.

FCMS는 RSE에서 OBE로 채널사용에 대한 제한 정보를 제공하기 위하여 사용하며, 프레임의 맨 앞 부분에 위치한다. 이 슬롯에는 통신 프로파일과 슬롯 할당정보가 포함되며 하향링크(RSE→OBE) 전용으로 사용한다.

MDS는 FCMS 또는 다른 MDS 뒤에 위치하여 상향링크(OBE→RSE) 또는 하향링크(RSE→OBE) 용으로 사용할 수 있다. 이 슬롯은 RSE와 OBE 사이의 메시지 데이터 교환을 위하여 사용한다. 한 개의 프레임에는 최대 8개의 MDS를 포함할 수 있다.

하나의 MDS가 MAC계층으로 서비스 가능한 데이터 크기를 나타내는 MSDU는 65옥텟의 고정된 값을 갖는다. 즉, 상위계층에서 요청한 LPDU 크기가 65옥텟을 초과하게 되면 단편화되어 다음 프레임에 전송된다. 이때 전송 데이터는 64옥텟으로 1 옥텟 제한된다. ACTS는 OBE가 RSE에게 MDS의 할당을 요구하기 위하여 사용하며 상향링크(OBE→

RSE) 전용으로 사용된다.

RF-DSRC는 IR-DSRC와 다르게 데이터 크기나 상·하향 링크 여부와 관계없이 프레임의 구성하는 모든 슬롯이 100옥텟의 고정된 값을 가지며 100옥텟 내에 프레임 이격시간을 포함함을 알 수 있다.

III. 매체에 따른 DSRC 성능 분석을 위한 수학적 모델링 및 시나리오

1. 수학적 모델링을 위한 시나리오 및 환경 변수

1) DSRC 성능 분석을 위한 시나리오

DSRC는 서로 다른 두 매체를 사용함에도 불구하고 동일한 시스템 계층 구조를 가지고 있다. 따라서 두 시스템의 공통 요소 즉 응용계층을 제외한 물리계층과 데이터 링크 계층의 성능을 비교함으로써 시스템의 효율을 계산할 수 있다. 하지만 물리계층의 경우 어려움을 포함한 다양한 환경 변수가 존재하므로 본 논문에선 MAC계층을 중심으로 시스템의 성능을 분석하였다. 따라서 MAC계층의 성능을 좌우하는 서비스 데이터 유닛의 크기와 차량수를 변화시킴으로써 각 통신 시스템의 성능을 평가하였다. 우선 각 통신 시스템은 가장 간단한 MAC 스케줄링 알고리즘인 RR(Round Robin) 방식을 사용하였다.

두 시스템 모두 통신영역 내에 1대에서 8대사이의 접속 가능한 차량이 존재하며, 처리되는 데이터 크기는 30옥텟에서 420옥텟 사이의 크기를 가진다. 교환 방식으로는 RSE가 OBE에게 일방적으로 데이터를 전송하는 방식과 RSE와 OBE 각각 데이터를 교환하는 방식으로 성능을 비교하였다.

2) 시뮬레이션을 위한 환경 변수

앞에서 언급된 바와 같이 서로 다른 통신 파라미터와 알고리즘을 사용하고 있는 두 시스템을 비교/분석하기 위해서 두 시스템이 사용되는 환경 변수를 다음과 같이 동일하게 설정하였다.

우선 두 시스템의 통신 영역은 각 표준에서 정의

하는 최소 통신 영역을 사용하였다 [5-6]. 따라서 이 통신 영역 내에 접속되어질 수 있는 차량의 최대 수는 8대로 한정되어지며, 응용 계층에서 보내어지는 전송 데이터의 크기는 두 시스템이 사용할 수 있는 최대 크기로 설정하였다. 따라서 RF-DSRC는 매 프레임 당 65 바이트를, IR-DSRC는 매 프레임당 255 바이트를 전송할 수 있도록 설정하였다. 두 번째로 각 시스템의 통신 초기화 절차에 필요한 시간은 본 논문에서는 고려하지 않았다. 특히 초기화 과정에서 두 시스템 모두 슬롯형 알로하(Slotted ALOHA) 방식을 사용하여 초기 접속을 이루고 있다. 따라서 RF-DSRC는 그림 과 같이 초기 접속을 이룰 수 있는 ACTS의 할당량에 따라 접속 확률이 변동하게 된다.

그러나 IR-DSRC의 경우 초기 접속이 이루어진 후 하나의 차량에 대해서만 통신 설정을 유지하므로 통신 영역의 모든 차량이 동일한 접속 확률을 가지게 된다.

2. RF-DSRC의 수학적 모델링

앞에서 설명한 바와 같이 RF-DSRC의 MAC 프레임은 한 개의 FCMS, MDS와 ACTS가 조합된 8개의 슬롯으로 구성된다. 따라서 다음에 언급한 하게 될 IR-DSRC와 같은 조건을 적용하기 위해 전송하려는 상위 계층의 LPDU 크기가 전송 가능한 65옥텟을 초과하게 되면, 단편화(Fragmentation)되어 전송한다.

예를 들어 통신 영역 내에 진입한 2대의 차량에 대해 각각 100 바이트의 상위 데이터를 전송하기 위해서는 <그림 14>와 같은 MAC 프레임을 구성이 필요하다. 이를 수학적으로 모델링하면 먼저 접속된 1대의 차량에 정해진 데이터를 전송하기 위해 소요되는 채널 점유 시간(T)은 식(1)과 같이 정의된다 [6].



<그림 8> 2대 차량에게 100바이트 전송시 프레임 구조
<Fig. 8> Frame of 2 vehicles for 100 bytes transmission

$$T_{DLH1-RF} = [(FCMS + MDS) \times \{(LPDU/65) + \beta\}] \times 8 \quad (1)$$

여기서 β 는 하나의 메시지 데이터 슬롯이 전송할 수 있는 최대 크기인 65바이트가 넘는 데이터가 상위 계층으로부터 전달될 경우, 이를 수용하기 위해 추가 메시지 데이터 슬롯을 할당하기 위한 변수이다. 따라서 상위 계층에서 전달되는 LPDU(LLC Protocol Data Unit)가 65바이트보다 크면 β 는 '1'이 되며 그보다 작으면 β 는 '0'이 되어 추가 메시지 데이터 슬롯이 할당되지 않는다.

이를 확장하여 통신 영역에 진입한 차량의 수가 n 대이며, 하나의 하향링크 프레임 내에 진입된 차량의 수만큼의 메시지 데이터 슬롯이 n 개만큼 할당되어야만 한다. 따라서 이 경우의 전체 채널 점유시간(T)은 식 (2)와 같다 [5].

$$T_{DLH1-RF} = [(FCMS + MDS \times n) \times \{(LPDU/65) + \beta\}] \times 8 \quad (2)$$

또한 초기 진입한 차량은 설정된 데이터의 전송이 끝나면 접속을 종료하고, 동시 접속으로 인해 메시지 데이터 슬롯을 할당 받지 못한 차량은 이후 여분의 데이터 메시지 슬롯을 통해 설정된 데이터를 전송받게 된다.

3. IR-DSRC의 수학적 모델링

앞서 언급한 바와 같이 비동기 통신 방식을 사용하고 있는 IR-DSRC에서는 데이터 프레임 사이의 이격(guard)을 통해 각 프레임을 구별하고 있다. 이러한 이격은 IR-DSRC의 성능을 결정짓는 중요한 요인이다. 따라서 T2는 최소 하향링크 윈도우 이격(guard) 시간으로 현 표준[5]에 제정되어 있는 1000 μ s로 설정하였으며, T6는 MAC에서 전송하고자 하는 프레임 크기에 따라 제 2계층의 헤더가 존재하는 서비스 테이블에 정의된다. 또한 하향링크 윈도우 간격에 대한 T0(서비스 테이블 내 사용되는 시간단위)의 다중 시간 단위로 표현된다. 따라서 T0는 1비트를 전송하는데 소요되는 시간의 250배 크기로 정

의되므로 1Mbps 시스템에서 250 μ s의 값을 가지게 된다. 결국 윈도우 점유 시간은 전송하고자 하는 데이터의 크기에 의해 결정되는 T6와 고정되어있는 T2에 의해 결정된다. 이를 수식화하면 식 3과 같다.

$$T_{DLH1-RF} = [(MPDU \times 8) / T_0 + \alpha] + T_0 \quad (3)$$

식 (3)에서 α 는 전송하게 될 MPDU(MAC Protocol Data Unit)의 크기가 단위 시간(T_0)의 배수 시간($T_0 \times n$)이내에 전송하지 못할 경우 추가 하향 윈도우를 할당하기 위한 변수이다. 즉 최소 하향 윈도우 할당 후 전송하지 못한 데이터가 남아 있다면 그 크기에 상관없이 250 μ s의 시간을 더 할당해 주어야만 한다[5].

RF-DSRC와 동일한 전송 조건을 부여하기 위해 IR-DSRC에서 사용되는 MPDU를 상위 계층으로부터 전달되는 LPDU의 형태로 전환하기 위해서는 19 옥텟의 하향 링크 MAC 정보필드를 더하여야 한다.

따라서 MPDU의 크기를 LPDU의 크기로 대체하면 식 4와 같다.

$$MPDU = 19 + LPDU \quad (4)$$

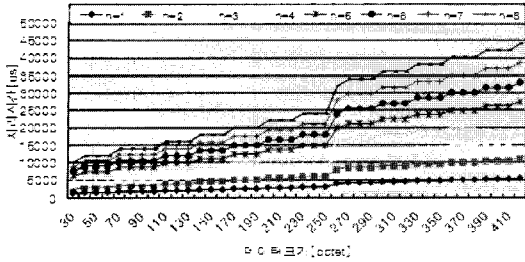
마지막으로 n 대의 차량이 IR-DSRC의 통신 영역에 진입하여 정해진 데이터를 전송받기 위해서는 접속된 차량 수만큼의 연속된 하향링크를 구성하여야 함으로, n 대의 차량에게 전송을 위한 채널 점유시간(T)은 식 5와 같이 표현된다 [4].

$$T_{DLH1-IR} = \langle [\{ (19 + LPDU) \times 8 \} / T_0 + \alpha] \rangle \times n \quad (5)$$

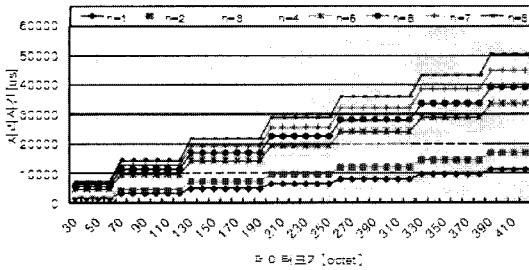
특히 IR-DSRC는 매 윈도우마다 단 한 대의 차량만을 지원할 수 있으므로 데이터 전송이 끝난 차량은 반드시 링크 설정을 종료하여야만 한다.

IV. IR/RF- DSRC의 성능 분석 결과

1. 데이터 전송의 경우



a) IR-DSRC의 데이터 처리율
Data Transmitted Rate of IR-DSRC



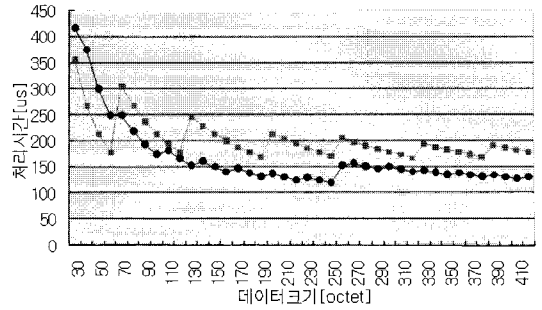
b) RF-DSRC의 데이터 처리율
Data Transmitted Rate of RF-DSRC

<그림 9> 통신방식에 따른 데이터 처리 시간
<Fig. 9> Data transmitted rate of DSRC

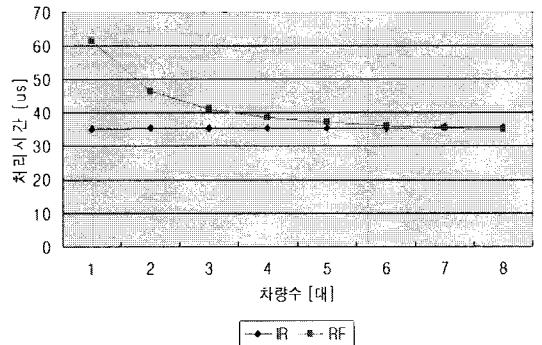
<그림 9>은 IR-DSRC 시스템에서 차량 수 n 과 MAC 계층에서의 서비스 데이터인 LPDU 크기를 변화시키며 수행된 단순 데이터 전송(하향) 시의 상황 별 처리시간 결과 그래프이다.

<그림 9>의 결과를 살펴보면 IR방식의 경우 250 옥텟에서 260옥텟 사이에서 큰 상승구간이 나타나는데 이는 최대 LPDU 크기가 255옥텟로 고정되어 있기 때문에 상위계층에서 단편화가 진행되었기 때문이다. 반면 RF-DSRC의 경우에는 LPDU의 최대 크기인 65옥텟의 배수 단위로 데이터 전송 시간이 순차적으로 증가하는 것을 알 수 있다.

두 시스템의 특징을 직접 비교하기 위해 데이터 증가에 따른 차량 평균 처리 시간<그림 10>과 차량 증가에 따른 10옥텟의 평균 처리시간<그림 11>을 그림 비교한 그래프이다. IR방식의 경우 60옥텟의 크기까지는 더 많은 시간을 소요하였으나 그 이후 데이터 크기가 커짐에 따라 더 빠른 전송이 가능하였다. 이는 RF방식에서 65옥텟 크기 이후에 단편화가 수행되어 상대적으로 큰 시간지연을 가졌기 때문이라 볼 수 있다.



<그림 10> 데이터 증가에 따른 처리시간
<Fig. 10> Transmitted time of increased data



<그림 11> 10옥텟 전송에 필요한 평균 시간
<Fig.11> Mean Time of 10 octet transmission

반면 차량 수 증가에 따른 10옥텟 처리 시간을 비교해 보면 RF방식의 경우, 차량 수 증가에 따라 처리율이 좋아지는데 이는 하나의 프레임에 최대 8 대까지의 차량을 한 번에 수용이 가능함으로 추가적인 FCMS의 할당이 요구되지 않기 때문이다. 반면 IR방식의 경우는 모든 차량에 대해 원도우정보를 가지는 하향링크를 통해 데이터를 함께 전달하므로 각 차량마다 같은 절차를 수행해야 함으로 차량 수의 증가와 관계없이 균일한 처리율을 보인다.

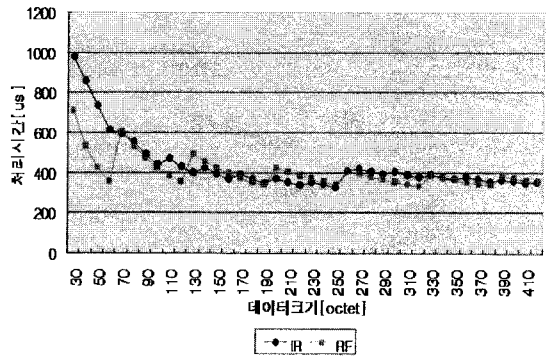
마지막으로 각 통신 시스템의 성능을 비교 평가하기 위해 특수한 상황인 1대의 차량에게 400옥텟의 LPDU를 계속 전송하는 경우와 8대의 차량에게 60옥텟의 LPDU를 계속 전송하는 두 경우를 비교해 보면 1대의 차량에게 400옥텟의 LPDU를 전송하는 응용으로서 단일 차선에 대해 멀티미디어 데이터를

전송하는 응용을 예상할 수 있다. 이러한 서비스의 경우 IR-DSRC 시스템을 이용하여 제공할 시 약 2.1배의 높은 효율을 가짐을 알 수 있다. 반면 8대의 차량에게 60옥텟의 LPDU를 전송하는 응용으로서 다중 차선에 대해 텍스트 데이터를 전송하는 응용을 예상할 수 있으며 이러한 서비스의 경우는 RF-DSRC 시스템을 이용하여 제공 시 약 1.6배에 가까운 높은 효율을 가질 수 있다.

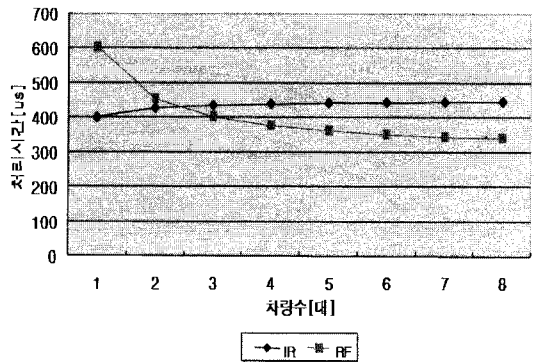
2. 데이터 교환의 경우

데이터교환 시뮬레이션 모델의 경우 차량 수 n과 MAC 계층에서의 서LPDU 크기를 변화하면서 각 상황 별 처리시간을 측정하여 <그림 12>에 표시하였다.

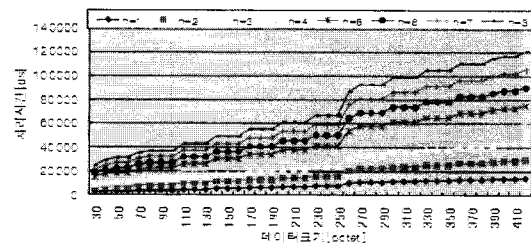
IR방식의 경우 데이터 전송 결과 그래프와 유사한 형태의 분포를 보이지만 실제 약 2.5배 이상의 시간이 더 소요된다. 이는 데이터교환의 경우 상·하향링크를 모두 할당하여야 하기 때문이다. 특히 하향링크 후 상향링크 할당에 소요되는 LTA(Link Turn Around) 시간은 데이터크기가 커질수록 더 큰 시간이 필요하기 때문에 데이터 전송 시간에 막대한 영향을 주게 된다.



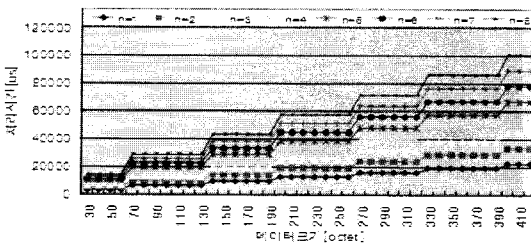
<그림 13> 데이터 증가에 따른 처리시간
<Fig. 13> Data exchanged time



<그림 14> 10옥텟 전송에 필요한 평균 시간
<Fig.14> Mean time of 10 octet transmission



a) IR-DSRC의 데이터 처리율(데이터 교환)
Data Exchanged Rate of IR-DSRC



b) RF-DSRC의 데이터 처리율(데이터 교환)
Data Exchanged Rate of RF-DSRC

<그림 12> 데이터 교환 시간에 관한 시뮬레이션 결과
<Fig. 12> Data exchanged rate of DSRC

반면 RF방식의 경우는 하향링크와 상향링크 모두를 하나의 프레임에서 생성하고, 각각의 채널 보호구간이 100옥텟 내에 포함되어 있으므로 데이터 전송의 경우보다 약 2배의 시간이 소요된다.

데이터 전송의 경우와 마찬가지로 보다 직관적으로 두 시스템의 성능을 평가하면 <그림 13 및 14>와 같다.

IR방식의 경우 데이터전송 때와 유사하게 차량수에 큰 변화를 보이지 않는다. 다만 데이터전송 때와 달리 미세한 상승곡선으로 나타나는데 이는 접속된 차량 수에 대해 n-1개의 T1시간이 소모됨으로 인해 차량 수의 증가에 따라 약간의 시간지연을 가져오기 때문이다. RF방식의 경우는 데이터전송 때와 매우 유사한 분포를 보이나 상대적으로 낮아진

IR방식의 전송율과 비교해 3대 이상의 차량지원에서 더 좋은 처리율을 보이며 차량 수가 증가함에 따라 그 차이는 더 커짐을 알 수 있다.

데이터 전송과 마찬가지로 데이터 교환에서도 특수한 두 상황에서의 데이터 교환시간을 비교하였다. 데이터 전송에서의 결과는 비슷하지만 1대의 차량과 400옥텟의 LPDU를 교환하는 경우 그 격차가 줄어 든 약 1.6배 빠른 처리를 보이며, 8대의 차량과 60옥텟의 LPDU를 교환 경우 RF방식의 효율이 더 높아져 약 2.1배 빠른 처리를 보여준다.

V. 결 론

현재 DSRC 시스템은 ETC, BIS와 같이 적은 양의 데이터를 이용하는 시스템에서는 두 매체 모두 무리 없는 서비스 제공이 가능하다. 그러나 향후 ITS 서비스가 본격화되면서 다양한 응용들이 개발될 것이고 이들 서비스는 분명 다양한 데이터 크기 특히 대용량의 데이터 전송 또는 교환이 요구될 수 있으며 통신 환경의 증가로 인해 많은 수의 차량이 접속하게 될 것이다. 가까운 미래에 선보일 것으로 예상되는 첨단 교통 정보 시스템(Advanced Traffic Information Service, ATIS)의 경우만 보더라도 ETC 서비스와 같이 가이드라인을 통과하는 단일차선 서비스가 아닌 다중 차선 자유류(multi-lane free flow) 상황에서의 서비스 지원이 필요할 것이며 이는 많은 수의 차량이 동시에 접속을 시도할 것이다. 또한 최근 사용자 요구 추세에 부합하기 위해서는 텍스트 기반 서비스가 아닌 멀티미디어 기반 정보를 포함하게 될 것이며 이는 대용량의 데이터를 발생시킬 것이다.

따라서 본 논문에서는 IR/RF-DSRC의 MAC계층에서의 서비스 데이터 크기와 접속 차량 수의 변화에 따른 데이터 전송과 교환에 소요되는 시간을 시뮬레이션 하여 두 시스템의 전송효율을 비교하고

상대적인 성능분석을 시도하였다. 이렇게 함으로써 특정 서비스를 구현하고자 할 때, 그 서비스의 특징에 따라 적절한 통신 매체를 선정하여 사용할 수 있는 근거를 제시하고자 하였다.

그 결과 대용량의 데이터 발생 시 IR-DSRC의 경우 전송되는 데이터의 크기를 변화시킴으로써 적은 수의 윈도우 할당으로 전송이 가능하게 됨으로 높은 효율을 보이지만, 차량의 수가 증가하면 그 성능이 급격히 떨어지게 된다. 반면 RF-DSRC의 경우는 여러 대의 차량이 동시 접속할 경우 하나의 프레임만으로 최대 8대까지 처리할 수 있으므로 작은 데이터를 많은 수의 차량에 제고할 때 그 성능이 우수하게 나타났다.

참고문헌

- [1] 정영욱, 정재승, 박성진, 임춘식, 오현서, 이병섭, "5.8 GHz 단거리전용통신(DSRC) 시스템 성능평가 및 분석," 한국통신학회논문지, 제25권, 제8호, pp.1186~1197, 2000. 12.
- [2] 박정수, 조동호, 오종택, 이병태, "단거리전용통신에서 반송과 감지기법을 이용한 개선된 링크 접근 방식," 한국통신학회논문지, 제24권, 제10A호, pp. 1453~1461, 1999. 10.
- [3] ISO Std ISO/DIS 15628, Transport information and control system(TICS) - Dedicated Short-Range Communication (DSRC) - DSRC application layer, International Standards Organization, Oct. 2003.
- [4] KSA Std KS X 6915, 지능형교통체계(ITS) 응용 서비스를 위한 적외선 근거리전용통신(DSRC) 기술, 한국표준협회, 2004. 1.
- [5] TTA Std TTAS.KO-06.0025, 5.8GHz 대역 노변기 지국과 차량 단말기간 근거리전용 무선 통신 표준, 정보통신기술협회의, 2000. 10.

저자소개



곽수진 (Kwag, Su-Jin)

2005년 한양대학교 박사과정 수료(전자통신전파전공)
1993년 3월 ~ 1999년 8월 : 인제대학교 전자공학 학사(전자전공)
1999년 9월 ~ 2002년 2월 : 한양대학교 전자통신전파공학 석사(전파전공)
2002년 3월 ~ 현 재 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 박사재학(통신전공)



김재명 (Kim, Jae-Myoung)

1999년 3월 ~ 2006년 2월 : 세종대학교 전자공학 학사(전자공학전공)
2002년 3월 ~ 현 재 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학부 석사재학(통신전공)



이상선 (Lee, Sang-Sun)

2005년 ~ 현재 : 한국 통신 학회 ITS/Telematics 연구회 위원장
2005년 ~ 현재 : TTA PG310 ITS/Telematics 분과 의장
2005년 ~ 현재 : 자동차 텔레매틱스 포럼 기술 분과 위원장
1993년 3월 ~ 현재 : 한양대학교 전자통신컴퓨터공학과 교수
1993년 2월 : 전자부품종합기술연구소 선임 연구원
1991년 11월 : 생산기술원 선임 연구원
1990년 2월 : University of Florida, 전기 공학 박사
1983년 2월 : 한양대학교 전자 공학 석사
1978년 2월 : 한양대학교 전자 공학 학사