

신뢰성 높은 차량 안전 서비스를 위한 WAVE 기반 Multi-Channel MAC 기술

WAVE based Multi-Channel MAC(MCM) Technology for Reliable Vehicle Safety Message Service

박종민*
(Jong-Min Park)

오현서**
(Hyun-Seo Oh)

조성호***
(Sung-Ho Cho)

요약

차량 통신 환경에서 운전자가 돌발 상황에 미리 대비하여 교통사고를 예방하기 위해서는 교통사고 정보, 응급상황 정보, 차량 및 도로 상태 정보를 실시간으로 정확하게 다른 차량 및 기지국으로 전달하여야 한다. 본 논문에서는, 기존의 경쟁 기반 싱글 채널 동작 환경에서 충돌로 인한 송·수신 지연 및 통신 실패가 발생 수 있기 때문에 멀티 채널 동작에 적합한 Multi-Channel MAC (MCM) 기술에 대하여 설명한다. 차량 간 통신 및 차량과 기지국 간 통신 시 다양한 서비스를 수용하면서도 끊임없는 안전 서비스 제공을 위한 WAVE 표준 기반의 MAC 기술이 필요하다. 본 논문에서 소개하는 WAVE 표준 기반 MCM은 C 언어 기반 Real Time Operating System에 구현된 MAC 소프트웨어와 FPGA에 VHDL로 구현된 MAC 하드웨어로 구성된다. 구현된 MCM의 QoS 보장 및 성능 검증은 기존 싱글 채널 동작과 비교하여 수행하였다.

Abstract

In vehicle ad-hoc network (VANET) environments, traffic related information such as accident information, emergency information and real time traffic condition have to be delivered to on-board-unit (OBU) or/and road-side-equipment (RSE) for preventing traffic accidents in advance. In this paper, we introduce a Multi-Channel MAC (MCM) since the existing single channel operation may cause packet transmission delay and unexpected communication failure. To offer a seamless safety message transmission during the various services, it is necessary to manage the MAC scheduler in wireless access in vehicular environments (WAVE) systems. The MCM consists of MAC softwares and MAC hardwares where the former and the later ones are implemented with real time operation system based C language and FPGA module with VHDL language, respectively. The performance and QoS are verified by practical measurements and compared with the scheme using single channel operation.

Key words : VANET, WAVE, multi-channel operation, vehicle safety message service, MAC

† 본 연구는 지식경제부(2007-F-039-01, VMC 기술개발) 지원 및 산업기술평가관리원 관리로 수행하였습니다.

† 본 논문은 제17회 부산ITS세계대회 발표 논문입니다.

* 주저자 : 한양대학교, 한국전자통신연구원 연구원

** 공저자 : 한국전자통신연구원 책임연구원

*** 공저자 및 교신저자 : 한양대학교 공과대학 융합전자공학부 교수

† 논문접수일 : 2011년 1월 31일

† 논문심사일 : 2011년 7월 25일

† 게재확정일 : 2011년 7월 26일

I. 서 론

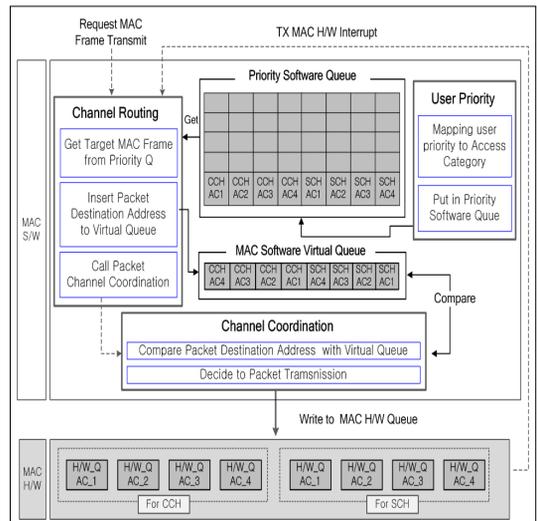
최근 OBU(On-Board Unit)를 이용한 무선 통신을 지원하는 컴퓨팅 시스템을 차량에 설치하여 차량 간 통신(V2V, Vehicle to Vehicle)과 도로에 설치된 RSE(Road-Side Equipment)를 이용한 차량과 인프라 간 통신(V2I, Vehicle to Infrastructure)을 통해 지능적인 서비스를 제공하는 자동차 네트워크에 대한 연구와 표준화가 활발하게 진행 되고 있다[1-3]. 사고 발생 시 접근 차량에게 응급메시지를 보내는 안전 운행 지원 서비스, 신호등이 없는 사각의 교차로 정보를 진입 차량에게 알려주는 안전 운전 보조 서비스가 VANET (Vehicle Ad-hoc Network)의 대표적인 서비스이다[4]. VANET 환경에서 차량 정보, 도로 및 교통 상황 정보 및 사고 정보를 실시간으로 정확하게 다른 차량에 전달하면 대형사고 예방 및 사고 발생률을 감소시킬 수 있다. 하지만, 차량의 밀도가 높고 다양한 서비스를 제공 하는 중에는 안전 운행에 관련된 메시지(차량 사고 및 고장 정보, 도로 파손 및 공사 정보)가 전달되지 않거나 잘못된 정보가 전달되는 경우 다른 교통사고의 원인이 될 수 있어 시스템 구현 시 중요하게 고려하여야 한다. 다양한 서비스가 제공 되는 중에도 응급 또는 사고 정보 등의 안전 메시지는 다른 서비스에 비해 우선적으로 송·수신 되어 안전 운행에 도움이 되어야 한다. 기존의 IEEE 802.11 표준에 근거한 무선 랜은 모든 프레임을 동일한 우선순위로 처리하고 균등한 채널 접근 확률을 가진 큐 동작을 수행 하였다. 그래서, 하나의 물리계층에 경쟁기반의 싱글 채널의 사용은 다수의 통신 차량이 있을 경우 멀티 채널에 비하여 프레임 충돌(collision)로 인한 안전 메시지의 통신 지연 및 통신 실패를 유발 할 수 있다 [5]. 그리고, 멀티 채널 동작은 싱글 채널 동작에 비하여 더 나은 QoS를 보장 할 수 있다[6].

WAVE 통신 방식의 물리 계층은 기존의 무선 랜 표준인 IEEE 802.11[7]을 바탕으로 고속의 차량통신 환경을 고려한 표준인 IEEE 802.11p를 적용 하였다. MAC 계층은 BSS(Basic Service Set) 영역 외에서도 통신이 가능 하도록 하였으며, 고속 이동 환경에서

의 통신을 위한 탐색, 인증 및 결합 절차를 생략하여 빠른 통신 환경 구축이 가능하다. 본 논문에서 기술 한 MCM 기술은 하나의 트랜시버에 두개의 MAC 계층을 동작시키는 구조를 가지며 제어 채널을 위한 큐와 서비스 채널을 위한 큐가 분리 되어 있으며 우선 순위 기반의 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access) 방식으로 운영된다. 그리하여, 기존의 차량 통신 장치 및 기지국을 이용하여 추가 비용 없이 MCM 기술을 적용하여 안정적인 안전 메시지 관련 서비스 제공이 가능 하다. 본 논문에서는 VANET 환경에 적합한 WAVE 표준 기반의 MCM의 구조 및 성능에 대하여 설명 하였다. 2장에서는 MCM의 소프트웨어 및 하드웨어 구조에 대하여 살펴 보았으며 3장에서는 시험 환경, 시험 결과 및 성능 검증 내용을 기술 하였다. 4장에서는 결과 및 고찰에 대하여 논하고 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 본 론

MCM의 MAC 소프트웨어 부분은 크게 두 부분으로 구성 되어 있으며 데이터를 처리하는 부분과 채널 동기화 관리 부분으로 이루어져 있다. <그림 1>에서 설명 하듯이 데이터/ 관리 프레임 처리부는



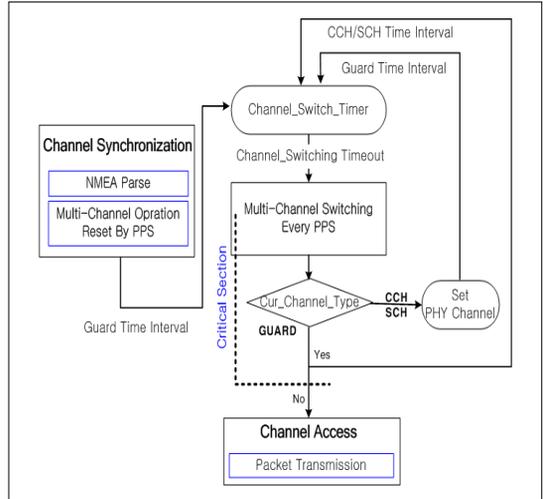
<그림 1> 데이터/관리 프레임 처리부
<Fig. 1> Data/Management Frame Processing Unit

Channel Coordination 부분, Channel Routing 부분, User Priority 부분으로 구성 되어 있다.

데이터 처리부는 상위 계층에서 데이터/ 관리 프레임의 전송 서비스를 요청할 때 정해진 시간 내에 올바른 채널로 데이터 프레임을 전송하는 기능을 수행 한다. Channel Coordination 부분에서는 상위로부터 전달 받은 프레임이나 MAC 소프트웨어 단에서 생성 된 모든 프레임을 MAC 하드웨어 단으로의 전송 가부를 결정한다. MAC 소프트웨어 가상 큐와 우선순위 소프트웨어 큐의 목적지 주소값을 비교하여 같은 프레임이 두 번 전송되는 것을 방지하며, 현재의 채널 타입을 확인하여 프레임이 전송 될 수 있는 지 판단한다. 채널 타입은 제어 채널(Control Channel, CCH) 구간, 서비스 채널(Service Channel, SCH) 구간, 보호 구간(Guard Interval, GI)으로 구성 된다. Channel Routing 부분은 우선순위 소프트웨어 큐로부터 프레임을 가져오고 MAC 소프트웨어 가상 큐에 전달하는 기능을 수행하며 상위 계층의 송신 요구에 대하여 Channel Coordination 부분을 호출하는 기능을 수행한다. User priority 부분은 상위 계층에서 정의 된 프레임의 User Priority 값에 따라 AC(Access Category) 값을 대입하여 우선순위 소프트웨어 큐에 저장하는 기능을 수행 한다. 데이터/관리 프레임 처리의 송·수신 단계에서 최종적으로 채널 동기화 부의 Channel Access 부분의 채널 상태를 확인 하고 프레임 송신 과정이 이루어진다.

<그림 2>는 채널 동기화 관리부를 나타내었으며 Channel Synchronization 부분과 Channel Access 부분으로 구성 되어 있다.

Channel Synchronization 부분은 UTC (Coordinated Universal Time, eg. GPS)를 기준 신호로 하여 1 PPS(Pulse Per Second) 구간마다 채널의 동기를 맞춘다. 멀티 채널 동작 리셋부분은 기준 신호에 대한 시스템 하드웨어 타이머의 카운터 값과 1초에 대한 소프트웨어 예상 카운트 값 사이의 차이를 계산하여 그 오차 범위가 설정된 신뢰도 범위 내에 들면 기준 신호가 유효한 신호인 것으로 판단 한다. 유효한 PPS 신호가 발생하면 이전에 반복되며 진행 되었던 채널 구간을 중지하고 보호 구간, 제어 채널



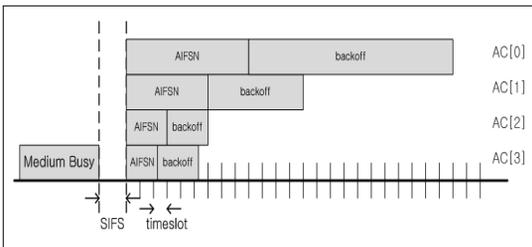
<그림 2> 채널 동기화 관리부
(Fig. 2) Channel Synchronization Management Unit

구간, 보호 구간, 서비스 채널 구간을 반복 한다. 시간의 흐름에 따라 송신측과 수신측에서 발생할 수 있는 각 구간에 대한 시간차는 매 PPS 신호마다 멀티 채널 동작이 리셋되어 동기기에 따른 오류율을 최소화 한다. 멀티 채널 관리를 위한 Channel Access 부는 프레임 송신 시 현재의 채널 상태를 확인하여, 제어 채널 구간에서는 관리 프레임과 WSM (WAVE Short Message) 프레임을 전송 하고, 서비스 채널 구간에서는 IP 프레임, WSM 프레임을 전송하며 보호 구간에서는 프레임을 하드웨어 큐로 전송 하지 않도록 하는 기능을 지원 한다.

MAC 하드웨어부의 중요한 기능인 EDCA는 전송 프레임의 우선 순위에 따라 채널 접근 확률을 다르게 부여 하여 MCM의 우선순위기반의 QoS (Quality of Service)를 만족하게 한다. 상위 계층의 우선순위에 따라 각각 다른 AIFS(Arbitration InterFrame Space) 값과 CW(Contention Window) 값을 부여하여 우선 순위가 높은 큐가 높은 채널 접근 확률을 가지게 되어 우선순위가 낮은 프레임에 비해 먼저 전송되게 한다. 채널상태관리 기능에 의하여 채널이 비어있고 송신 프레임이 MAC 하드웨어 큐에 도착 하면 AC 별로 back off 기능을 수행하며 4개의 큐가 자기 다른 AIFS 시간 동안 기다린다. 4개의 MAC 하드웨어 큐 별 AIFS 시간은 다음과 같다.

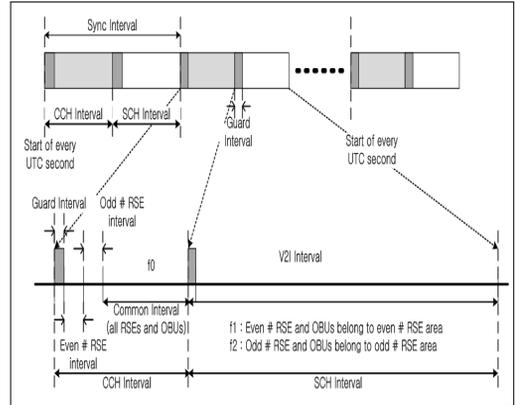
$$AIFS[AC] = AIFS(AC) + aSlot\ Time + aSIFSTime \quad (1)$$

<그림 3>을 보면 공통적으로 SIFS(Short Interframe Space)시간을 기다린 후 타임 슬롯 기반의 AIFS 값이 더해지기 때문에 각 AC 별 AIFSN(AIFS Number) 값이 다르다. AIFS 시간 후 4개의 큐 각각이 독립적인 CW 값과 back off 값을 계산하여 경쟁한다. Back off 수행 시 여러 개의 AC가 동시에 완료되었을 경우에 높은 우선순위의 AC가 선택되고 낮은 우선 순위의 AC들은 다시 EDCA 경쟁에 참여하게 된다. 경쟁에서 승리한 큐는 MAC 하드웨어 스케줄러에 전송 선정 신호를 알려주고 스케줄러로부터 전송 허가 신호를 받으면 전송을 시작한다. 상기 과정은 각 프레임 별로 동작 한다.



<그림 3> EDCA 방식에서 각 AC 별 AIFSN
<Fig. 3> AIFSN of each AC in EDCA Channel Access

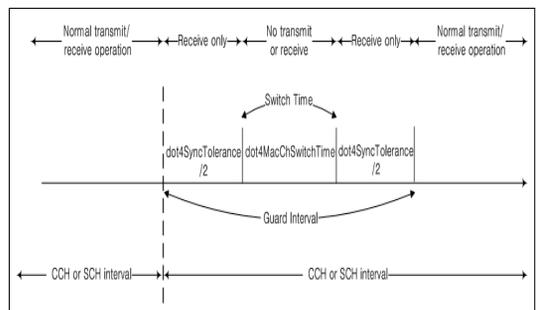
본 논문에서 구현된 멀티 채널 동작은 하나의 물리계층에서 두 개의 MAC이 동작하므로 시간을 나누어 각기 다른 채널을 번갈아 사용한다. 기본적으로 멀티 채널 운용은 일정한 Sync Interval을 제어 채널과 서비스채널, 보호 구간으로 나누어 동작한다. <그림 4>를 보면 제어 채널 구간과 서비스 채널 구간 사이에는 주파수 변경 및 채널 변경 시 동기에 필요한 시간을 고려하여 보호 구간을 둔다. Sync Interval의 하드웨어 타이머 동작은 UTC 추정으로 얻은 동기 신호에 의해 시작된다. 제어 채널 구간은 Even RSE, Odd RSE, 그리고 모든 RSE와 모든 OBU가 공통으로 사용하는 제어 채널 구간으로 구성되어 있다. 멀티 채널 동작 및 핸드 오버 알고리즘을 적용하기 위하여 Even RSE와 Odd RSE로 구분하였다. BSS를 구성하기 위해서는 기준국에 WSA 프



<그림 4> 교번 채널 접근 방식
<Fig. 4> Alternating Channel Access

레이스를 송신 하여야 하는데 각각의 RSE마다 WSA (WAVE Service Announcement) 프레임 송신 구간을 할당하여 WSA 프레임의 충돌을 방지하여 안정적인 멀티 채널 동작이 가능하도록 하였다. 서비스 채널 구간 및 통신 환경 설정은 제어 채널 구간에서 각각의 기지국으로부터 송신된 WSA 프레임의 정보를 바탕으로 OBU와 RSE간에 설정된 주파수로 통신한다.

보호 구간은 MaxChSwitchTime 과 SyncTolerance의 조합으로 구성 되는데 보호 구간 내의 MaxChSwitchTime은 동작 채널을 바꾸는데 허용되는 최대 시간이고, SyncTolerance는 각 장치간의 동기 오차를 감안한 시간이다. 각 장치는 보호 구간에서 채널 변경 시간 동안 송수신을 하지 않고, switching time의 앞뒤에 있는 SyncTolerance/2의 구간 동안 수신 동작만을 수행한다. 보호 구간은 아래식과 <그림 5>에 나타내었다.



<그림 5> 보호 구간의 구성
<Fig. 5> Architecture of Guard Interval

$$Guard\ Inval = Synch\ Tolerance + Max\ Ch\ Switch\ Time \quad (2)$$

III. 실험

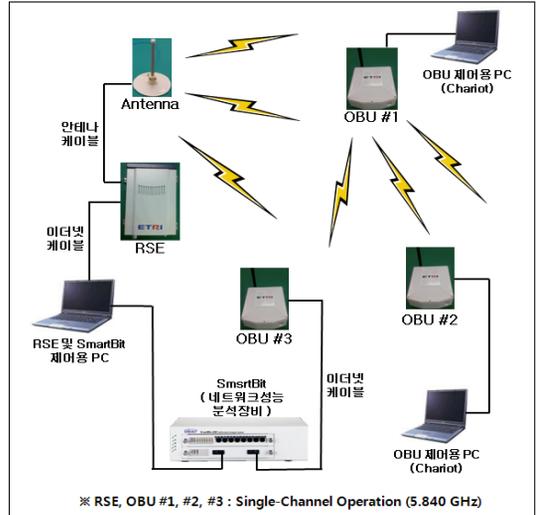
IEEE 802.11p 표준 기반의 OFDM 물리 계층은 변조 방식, 에러 정정 부호율, OFDM 심볼의 유효 구간과 보호 구간의 길이에 따라 가변적인 데이터 전송 속도를 제공 한다. 본 논문의 차량통신시스템은 IEEE802.11p 표준에 준하는 물리 계층을 구성하였으며 설정값은 <표 1>과 같다.

<표 1> IEEE 802.11p 표준 설정값
(Table 1) Standard Parameter of IEEE 802.11p

내 용	설정값
대역폭	10MHz
FFT 크기	64
데이터 부반송파 개수	48
파일럿 부반송파 개수	4
총 부반송파 개수	52 (48+4)
부반송파 주파수 간격	0.15625MHz
신호 대역폭	8.28MHz
FFT/FFT간격	6.4 usec
보호구간 간격	1.6 usec
심벌간격	8.0(6.4+1.6) usec
프로토콜	Time slot based CSMA/CA, TDD, EDCA

차량통신시스템은 IEEE 802.11p의 10MHz의 대역폭은 기존의 802.11a 에서 사용되는 20MHz 대역폭의 신호를 VANET 환경에 적합하게 적용하기 위해 모든 시간 설정값을 2배로 늘어서 사용한다. 구현 된 차량통신시스템은 상용 RF칩을 사용하여 가용 주파수대는 5.835~5.895GHz를 지원하며 가용 데이터율은 12Mbps이다.

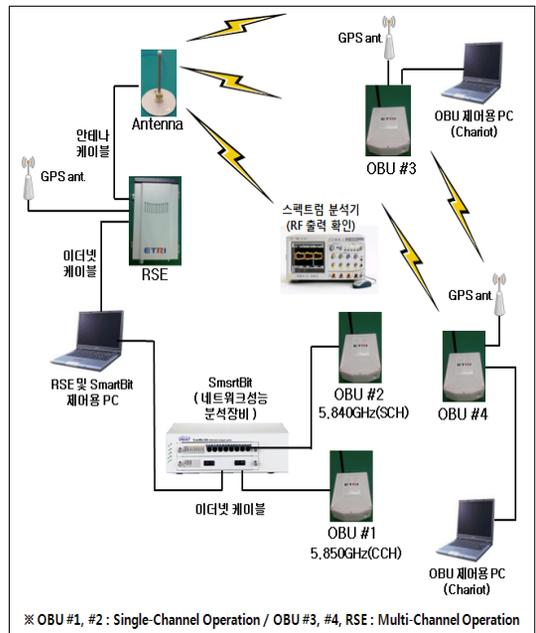
기존의 싱글 채널 통신 실험 환경을 <그림 6>과 같이 구성 하였다. 싱글 채널 통신 실험 환경은 하나의 물리적 채널(5.840GHz)을 사용하며 OBU#1 과 OBU#2는 Chariot 툴을 사용하여 데이터 처리량을 측정 한다. 싱글 채널 환경의 타임 슬롯 여유가 없는 상황에서 네트워크 성능 분석 장비인 Smartbit을 이용하여 높은 우선순위 프레임(안전 관련 메시지)과



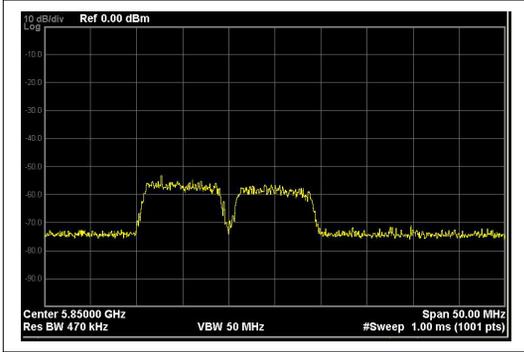
<그림 6> 싱글 채널 동작 실험 환경
(Fig. 6) Single Channel Operation Test Environments

낮은 우선순위 프레임(멀티미디어 프레임)의 비율을 1:9 로 구성하여 RSE를 통하여 송신 한다. OBU #3에서는 기지국에서 송신 된 프레임의 총 수신 개수를 측정 할 수 있도록 실험 환경을 구성 하였다.

MCM의 성능 및 신뢰성 검증을 위하여 <그림 7>



<그림 7> 멀티 채널 동작 실험 환경
(Fig. 7) Multi Channel Operation Test Environments



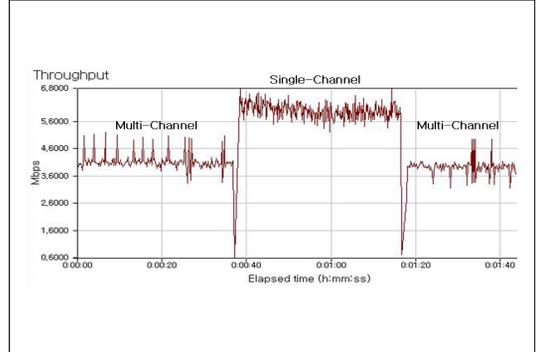
<그림 8> 스펙트럼 분석기에서의 멀티 채널 동작 (Fig. 8) Multi-Channel Operation on Spectrum Analyzer

과 같이 멀티 채널 동작 실험 환경을 구성 하였다.

RSE와 OBU #3, #4는 GPS 신호를 기반으로 멀티 채널 동작을 수행하며 OBU #1은 제어 채널(5.850GHz)을, OBU #2는 서비스 채널(5.840GHz)을 각각 모니터 한다. OBU #3 과 OBU #4는 Chariot 툴을 이용하여 TCP 레벨의 데이터 처리량을 측정한다. 송신 프레임은 싱글 채널 실험과 동일하게 구성하였다. 네트워크 성능 측정 장비인 Smartbit를 이용하여 RSE를 통하여 우선 순위가 높은 프레임과 우선 순위가 낮은 프레임을 각각 제어채널과 서비스 채널로 송신한다.

<그림 8>을 보면 스펙트럼 분석기의 중심 주파수는 5.850GHz이며 50MHz Span 간격으로 설정 하였으며 제어 채널(5.850GHz)과 서비스 채널(5.840GHz)을 통하여 프레임 송·수신 스펙트럼 신호가 형성됨을 확인할 수 있다. 실험 결과는 각 채널에 대한 누적치를 나타내었으며 싱글 채널 동작과 멀티 채널 동작 시 채널 사용 대역폭은 10MHz로 동일하다.

<그림 9>의 멀티 채널 동작 시간은 제어 채널 구간을 30msec, 서비스 채널 구간을 70msec, 보호 구간을 3msec, MaxChSwitchTime 을 1msec, SyncTolerance 를 2msec으로 설정하였다. 변조 방식은 IEEE 802.11p 표준에 필수 요소로 선언 되어 있는 16QAM 변조 방법을 사용하였으며 채널 코딩은 길쌈 부호와 Viterbi 디코더를 사용 하였다. TCP 레벨에서 데이터 처리량을 측정하는 프로그램 인 Chariot를 사용한 실험 결과인 <그림 9>를 살펴보면 멀티 채널 동



<그림 9> 멀티 채널 동작 시 데이터 처리량 결과 (Fig. 9) Throughput Test on Multi Channel Operation

작 시에는 싱글 채널 동작 시 데이터 처리량 (6.6Mbps)에 비하여 70%의 데이터 처리량(4.6Mbps)을 나타내었다. 실험 결과를 바탕으로 본 논문에서 소개한 MCM 기술을 이용하여 CCH구간과 SCH 구간을 안정적으로 교번하며 동작함을 확인 하였다.

위에서 언급한 싱글 채널 동작 실험 및 멀티 채널 실험 환경에서 Smartbit 장비를 이용한 프레임의 수신 에러 발생률을 <표 2>에 정리 하였다. 싱글 채널 동작 시 높은 우선 순위 프레임과 낮은 우선 순위 프레임의 비율을 1:9 로 구성하여 송신 한 경우 약 4.44%의 PER을 나타내었다. 즉, 차량 안전 운행 서비스의 예상 실패율은 4.44%이다. MCM 기술을

<표 2> 싱글-멀티 채널 동작 송수신 에러율 (Table 2) PER in Single/Multi Channel Operation

		TX Frames		RX Frames	PER
Single Channel	Low Priority (Multi-Media)	900,000	955,624	4.44	
	High Priority (Safety)	100,000			
	Total	1,000,000	955,624		4.44
Multi Channel	Low Priority (Multi-Media)	900,000	859,125	4.54	
	High Priority (Safety)	100,000	99,938	0.062	
	Total	1,000,000	959,057	4.09	

적용 한 멀티 채널 동작 시 차량 안전 서비스의 예상 실패율은 0.062% 이다. 결과를 보면 멀티 채널 동작 중 서비스 채널을 통하여 다양한 서비스가 이루어지는 중에 제어 채널을 통한 신뢰성 높은 차량 안전 관련 서비스가 가능함을 확인 하였다.

IV. 결과 및 고찰

하나의 무선 채널을 사용하는 기존 무선 LAN의 경쟁 기반 CSMA/CA 기법은 충돌에 의한 프레임의 송·수신 지연 및 통신 실패가 발생 할 수 있다. 본 논문에서는 하나의 물리 계층에 두개의 MAC 계층이 동작하는 멀티 채널 동작을 이용하여 차량 안전 서비스에 대한 QoS를 보장할 수 있는 기술 연구 및 MCM을 구현하여 그 구조에 대하여 설명 하였다. 본 논문에서 제시한 MCM은 차량 통신 장치 및 기지의 추가 구조 변경 및 추가 비용 발생 없이 다양한 서비스가 제공되는 상황에서 안정적인 안전 관련(교통사고 및 도로상황, 응급상황) 서비스 제공을 위한 방법으로 활용 될 수 있다. 하지만, 채널 절체 시 발생 할 수 있는 송·수신 지연 문제와 데이터 처리량 향상 문제는 연구 과제로 남아 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 VANET 환경에 적합한 Multi-Channel MAC (MCM)의 구조 및 성능에 대하여 설명 하였다. 다양한 검증 장비를 통하여 MCM의 안정성 및 성능에 대하여 검증 하였다. 연구를 더 진행하여 MCM의 멀티 채널 동작 안정성 및 성능 향상이 필요하다. 향후 차량 간 통신 및 차량과 기지국간 통신 시 다양한 서비스를 제공하면서 안정적

인 안전 메시지의 송·수신이 가능한 MAC 기술로 MCM을 적용 할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] "IEEE P1609.4TM/D9, Draft Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)-Multi-channel Operation," August 2010.
- [2] "IEEE P1609.3TM/D9, Draft Standard for Wireless Access in Vehicular Environments (WAVE)-Networking Services," August 2010.
- [3] "IEEE 802.11pTM-2010 Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Amendment6: Wireless Access in Vehicular Environments," 15 July 2010.
- [4] Y. Toor, P. Muhlethaler, A. Laouiti and A. Fortelle, "Vehicular ad hoc networks: applications and related technical issues," *IEEE Communication Surveys & Tutorials*, vol. 10, no. 3, pp.74-88, 2008.
- [5] Sung-Dae Jung, Seung-Jin Lee, Sang-Sun Lee, "Development of Clustering-Based Multi-Channel MAC Protocol to Improve Efficiency of Network in VANET," *The Journal of Korea Information and Communications Society*, vol. 34, no. 5, pp.463-468, 2009.
- [6] M. Ajmone-Marsan, D. Roffinella. "Multichannel Local Area Network Protocols," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. SAC-1, no. 5, pp.885-897, 1983.
- [7] "IEEE Std 802.11-2007, Revision of IEEE Std 802.11-1999," June 12. 2007.

저자소개



박 종 민 (Park, Jong-Min)

2006년 2월 : 세종대학교 정보통신공학과 학사
2009년 2월 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정 수료
2009년 3월 ~ 현 재 : 한국전자통신연구원 (ETRI) 연구원



오 현 서 (Oh, Hyun-Seo)

1982년 2월 : 숭실대학교 학사
1985년 2월 : 연세대학교 석사
1998년 2월 : 연세대학교 박사
1982년 ~ 현 재 : 한국전자통신연구원



조 성 호 (Cho, Sung-Ho)

1989년 8월 : University of Utah, 전자컴퓨터공학과 공학박사 (Ph.D.)
1989년 8월 ~ 1992년 8월 : 한국전자통신연구원 (ETRI) 선임연구원
1992년 9월 ~ 현 재 : 한양대학교 공과대학 융합전자공학과 교수
2008년 1월 ~ 현 재 : 중국 北京郵電大學校 정보공학과 객좌교수 (111客座科學家)
2008년 10월 ~ 현 재 : 한양대학교 첨단무선인식/통신기술연구센터 센터장
2011년 4월 ~ 현 재 : 국가과학기술위원회 지식재산전문위원회 전문위원