

논문 2009-6-12

# 메쉬네트워크 환경에서 TDMA기반 MAC 프로토콜의 QoS를 지원하기 위한 프레임 관리기법

## Frame Management Method to Support QoS of MAC Protocol Based TDMA in Mesh Network Environment

장인용\*, 이선영\*\*

In-Yong Jang, Sun-Young Lee

요 약 무선메쉬네트워크환경에서 기존의 MAC 프로토콜이 QoS를 지원하기는 매우 힘들다. DCF는 QoS를 지원할 수 없으며, EDCA는 경쟁기반 채널접근방식을 사용하지만 무선메쉬환경에서는 제대로 된 성능을 제공하지 못한다. 본 논문은 무선메쉬네트워크를 지원하는 MAC 프로토콜인 Multi-Media DCF(MMDCF)를 이용한 프레임 관리 기법을 통해 QoS를 지원하는 방법을 제안한다. MMDCF에서는 TDMA기반 MAC 프로토콜로 TDMA frame안의 ACH phase을 이용해서 중요도에 따른 선택 및 그룹화를 이용한 삭제 방법을 이용한 경쟁적 채널 접근방법을 제공한다. ACH 방식의 우선순위화된(Prioritized) Phase의 slot(PP)개수  $m$ 과 Fair Elimination Phase(FEP)의 slot개수  $n$ 은 경쟁 수준을 결정함과 동시에 하나의 Mobile Point가 경쟁에서 선택될 확률을 높여주는 역할을 한다. 강제적인 TDMA frame의 해제를 통해서 QoS 요구사항을 충족시킬 수 있는 방법도 제공한다. 실험결과 다수의 멀티미디어 스트림 환경에서 MMDCF는 EDCA보다 QoS의 요구사항을 만족시키면서 전체적인 채널의 효율성에서도 좋은 성능을 제공하였다.

**Abstract** It is difficult to support QoS service in existing MAC Protocols in Wireless Mesh Network environments. while DCF can not support QoS, EDCA is operated with prioritized channel access method but can not give full performance. This thesis proposes frame management method to support QoS in Multi-Media DCF(MMDCF) MAC Protocol working in wireless mesh network. MMDCF uses ACH phase in TDMA frame to perform selection and elimination. Prioritized phases's count  $m$  and Fair Elimination phases's count  $n$  determine contention level and make string probability to only one win the contention. Forced TDMA Frame release method can support QoS requirements. MMDCF results good performance and good channel efficiency to support QoS requirements better than EDCA in multimedia stream environments.

**Key Words** : Mesh network, MMDCF, MAC protocol.

### I. 서 론

무선메쉬네트워크는 특성상 기존 프로토콜들이 제대로 된 성능을 제공하지 못한다. 무선메쉬네트워크를 지원하는 MAC 프로토콜이 제대로 된 성능을 발휘하기 위해서는 기존의 CDMA/CA방식을 개선한 TDMA기반의

MAC 프로토콜의 설계가 필수적이다. 특히 멀티미디어 서비스를 제공하기 위해서는 QoS의 지원이 반드시 필요하다. 본 논문에서는 TDMA 기반 MAC 프로토콜에서 QoS를 지원하기 위해 TDMA Frame의 Traffic Channel (TCH)의 관리 기법을 제안한다. 우선순위 채널 접속 방법을 통해서 채널 사용의 효율성을 높이고, TCH 해지 방법을 Hang-on을 이용한 방법과 강제적으로 해지하는 방법을 통해 QoS의 요구사항에 맞게 동적으로 작동할 수

\*정회원, 한국디지털위성방송/순천향대학교

\*\*정회원, 순천향대학교 정보보호학과

접수일자 2009.11.17, 수정일자 2009.12.5

있는 방법이 이에 포함된다.

본 논문은 2장에서 기존의 프로토콜들을 분석하고, 3장에서는 TDMA기반의 MAC 프로토콜에서 QoS를 지원할 수 있는 방법을 기술한다. 4장에서는 비교실험을 통해 QoS의 지원결과를 분석하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 기존 연구

### 1. DCF 프로토콜

DCF는 CSMA/CA방식을 이용해 전송매체의 접근방식을 제어한다. CSMA/CA 방식은 중앙 집중화된 관리 없이 분산 환경에서 경쟁 기반 매체접근 제어방식을 사용한다[1].

DCF 전송방식에는 데이터 프레임을 전송하기 전에 제어 프레임(RTS, CTS)을 교환하여 미리 채널을 점유하는 RTS/CTS(Request to Send / Clear to Send) 액세스 모드가 있다.

DCF에서는 반송파를 감지하는 방법으로 물리적 반송파 감지(physical carrier sense)와 가상 반송파 감지(virtual carrier sense)가 있으며, 물리적 반송파 감지는 물리계층에서 채널 상태를 감지하여 MAC계층에 알려주는 방식이며, 가상 반송파 감지는 채널 점유시간을 주변 스테이션들에게 방송하여 미리 채널을 예약하는 방식이다.

InterFrame Space(IFS)는 두 프레임사이의 시간간격을 말하는데, 클라이언트는 반송파 감지방법을 사용하여 IFS동안 채널의 사용여부를 확인한다. DCF MAC 프로토콜은 네가지 IFS를 정의하고 있고, 이에 따라 무선 매체를 점유하는 우선권이 결정된다. IFS는 스테이션의 bit rate와는 관계가 없으며, PHY에 따라 특정한 값이 설정된다.

### 2. PCF 프로토콜

802.11에서는 DCF가 데이터의 QoS를 보장하기 힘든 점을 극복하기 위해 PCF방식을 제안하였다[2]. PCF는 비경쟁 전송 서비스를 제공하는데 이 방식은 그림 1과 같이 매체의 전송시간을 독점하지 않고, DCF방식의 경쟁기반 서비스와 교대로 사용하도록 하고 있다.

PCF는 BSS의 액세스 포인트 내에 구현되어 있는 포인트 조정자(point coordinator)가 폴링(polling)방식을 사

용하여 각 클라이언트들이 매체를 점유 할 수 있는 권한을 제어하게 된다. PCF 내의 IFS(PIFS)를 DCF IFS(DIFS) 보다 작은 값으로 설정하여 프레임 전송에 우선권을 주고 있다.

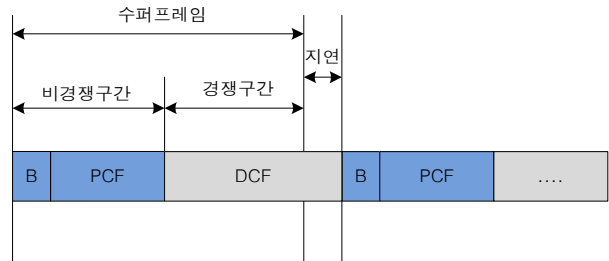


그림 1. 수퍼프레임 구조  
Fig. 1. Superframe Structure

PCF 방식에서 데이터를 전송하기 위해서는 무선LAN 상에서 DCF와 PCF를 같이 사용할 수 있는 수퍼프레임(superframe)을 만들어 주어야 한다. 수퍼프레임에는 DCF 방식을 사용할 수 있는 경쟁 구간(contention period)과 PCF를 사용할 수 있는 비 경쟁 구간(contention free period)으로 구분된다. PCF의 경우 실시간 트래픽을 위해 제안된 방법이나, 액세스 포인트에서 폴링 리스트 갱신에 대한 부담이 크다는 단점을 가지고 있다[3].

### 3. HCF 프로토콜

802.11e에서 정의하는 MAC 계층의 QoS는 DCF와 PCF 방식을 향상시킨 HCF 방식을 통하여 실현된다. HCF는 DCF에 의해 제어되는 경쟁 구간과 PCF에 의해 제어되는 비 경쟁 구간 동안 QoS 데이터를 전송할 수 있는 방식으로, Enhanced Distributed Channel Access(EDCA)라는 경쟁기반 채널접근 방법과 HCF Controlled Channel Access(HCCA)라는 컨트롤 채널접근 방법을 사용하고 있다[4]. EDCA와 HCCA는 DCF와 PCF를 사용하는 기존 802.11 MAC과도 호환된다.

802.11e MAC에 새롭게 추가된 중요한 개념이 Transmission Opportunity(TXOP)이다. QoS 전송에 참여하는 스테이션은 EDCA와 HCCA 등 두 가지 채널접근 방법을 사용하여 일정한 기간 동안 트래픽을 전송할 수 있는 TXOP를 얻을 수 있다. TXOP 획득은 EDCA 경쟁에서 성공하거나 액세스 포인트로 부터 QoS CF-Poll (Contention-free Poll) 프레임을 받음으로써 가능해 지

는데, 전자는 EDCA TXOP로 후자는 Polled TXOP라고 하며, 그림 2는 HCF의 슈퍼프레임 구조이다.

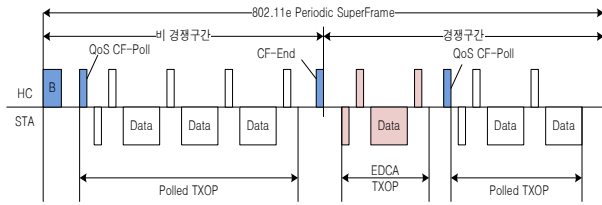


그림 2. HCF 슈퍼프레임 구조  
Fig. 2. HCF Superframe Structure

TXOP라는 개념을 이용해 임의의 한 스테이션이 프레임 전송할 수 있도록 일정 시간을 부여하거나 강제적으로 전송시간을 제한할 수 있다. TXOP의 전송 시작시간과 최대 전송시간은 액세스 포인트에 의해 결정되는데, EDCA TXOP의 경우 비콘 프레임에 의해, Polled TXOP은 QoS CF-Poll 프레임에 의해 스테이션에 통보된다[3].

### III. 제안방법

#### 1. TDMA 기반 MAC 프로토콜 스택 아키텍처

Multi-Media DCF(MMDCF)는 본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜은 메쉬네트워크와 같은 완벽한 분산환경을 지원하는 Time Division Multiple Access/Time Division Duplex (TDMA/TDD)기반 프로토콜로써 기존 MAC 프로토콜의 대체를 목적으로 하고 있고 하부 PHY와의 완벽한 호환성을 제공한다. MMDCF는 그림 3에서와 같이 Media Access Control Protocol(MACP), Radio Link Control Protocol(RLCP), Mesh Routing & Security의 세부분으로 구성된다.

MACP는 TDMA frame을 정의하고 채널 접속방식, 링크 연결, 전송채널 예약, 전송채널 반납, 패킷 멀티플렉싱(multiplexing), 브로드캐스트, 멀티캐스트, 동기화 등의 기능을 제공하며 RLCP는 서비스 모드의 구분, 에러 제어, 흐름 제어, 트랜스미션 관리, 무선자원관리와 같은 기능을 제공한다. Mesh routing & security는 경로 관리 및 보안관련 기능을 제공한다.

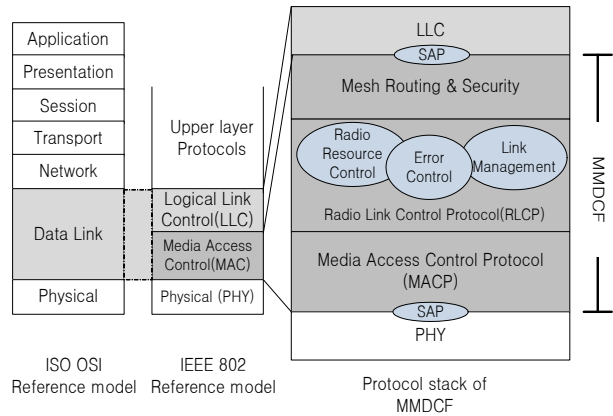


그림 3. MMDCF 프로토콜 스택  
Fig. 3. MMDCF Protocol Stack

#### 2. 채널 경쟁 방법

그림 4는 MACP의 Protocol Data Unit(PDU)의 구성을 보여주고 있으며 PDU는 PHY로 전달되고 PHY에서 제공하는 Preamble데이터와 결합되어 전송슬롯을 통해서 전달이 이뤄진다.

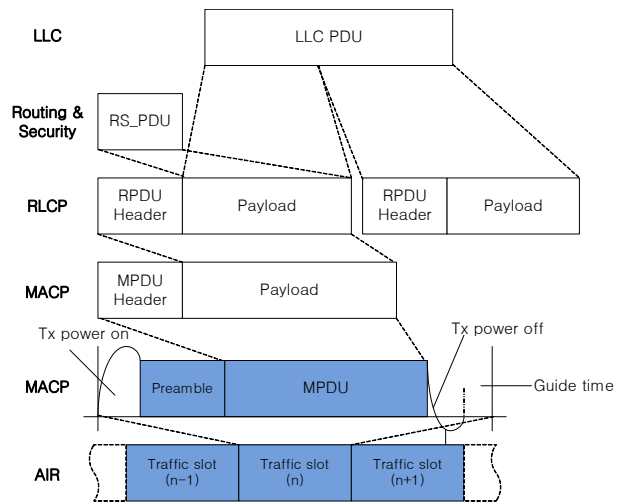


그림 4. 인접 layer간 PDU 형태  
Fig. 4. PDU mapping between adjacent sub-layers.

다음은 MACP의 TDMA frame의 종류다

- Access Channel(ACH) : 순서화된 채널접근과 공정성을 제공하기 위해 energy signal과 접속제어 데이터 전송
- Traffic Channel(TCH) : MAC 데이터 전송
- Echo Channel(ECH) : TCH와 짝을 이뤄 주변의 클라이언트들에게 TCH 존재를 알림

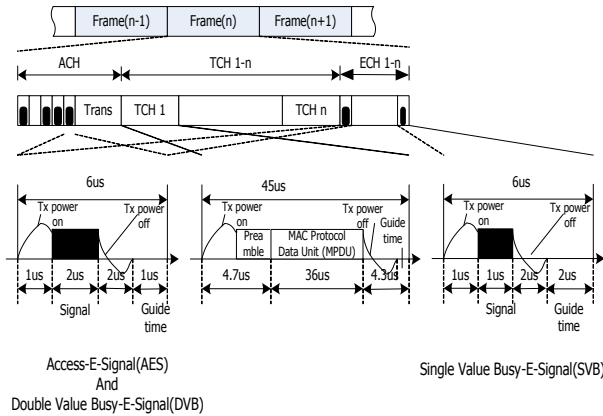


그림 5. TDMA 프레임과 에너지 신호  
Fig. 5. TDMA frame and energy signals

그림 5는 TDMA frame의 형상을 표시하고 있다. ACH를 통해 전달되는 Energy signals (Access-E-Signals, AES)는 한번에 전달되는 특성이 있는 반면, ECH에 의해서 전달되는 Energy signal(Busy-E-Signals, BES)는 주기적인 특성이 있다. BES는 Single Value BES(SVB)거나 Double Value BES(DVB)로 signal의 지속시간에 따라 결정된다.

AES는 DVB와 동일한 웨이브폼을 갖고 있다. SVB는 데이터를 전송하는 클라이언트에 의해서 ECH를 통해 전달 된다. SVB는 음영노드를 막기 위한 목적을 갖고 있으며, 만일 클라이언트가 TDD 모드에서 전송방향을 수정하고 싶다면, DVB가 SVB대신 ECH를 통해서 전달이 된다.

그림 6은 ACH 내부 구조이다. ACH는 Prioritization Phase(PP), Fair Elimination Phase(FEP), Transmission Phase(TP)로 구성되며 PP와 FEP는 m개와 n개의 경쟁 슬롯을 갖고 있으며 PP는 다른 클라이언트로부터 전달되는 트래픽을 QoS 단계별로 구분한다. FEP는 ACH경쟁에서 하나의 클라이언트만 선택될 확률을 결정하며 공정한 채널접속을 유지한다.

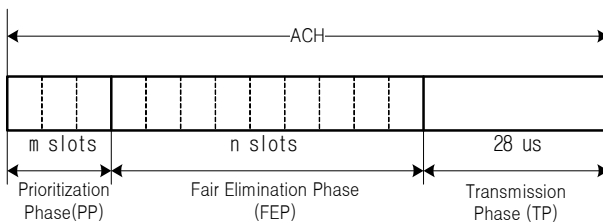


그림 6. ACH 구조  
Fig. 6. ACH structure

MMDCF은 PP와 FEP의 슬롯개수를 이용해서 경쟁단계를  $2^m$  (contention slot의 개수)로 결정이 된다. PP와 FEP의 경쟁단계는 각각 PP contention level(PPCL), FEP contention levels(FEPCL)이며 PPCL과 FEPCL의 값은  $2^m, 2^n$ 이다.

클라이언트가 전송을 위한 TCH를 선택하고자 할 때 ACH를 이용한 경쟁단계는 다음과 같다.

$$0 \leq PPCL \leq 2^m - 1 \text{의 범위에서 PPCL선택.}$$

클라이언트는 bit단위로 number bit를 확인. bit값이 1일 경우 AES를 전송, 0일 경우 listen을 수행. 가장 큰 값의 클라이언트가 우선으로 전달.

클라이언트가 listen기간 동안 energy signal을 수신하게 되면 energy signal중단후 경쟁 제거.

만일 PP경쟁에서 남게 될 경우 클라이언트는  $0 \leq FEPCL \leq 2^n - 1$  안에서 다시 경쟁.

FEP경쟁을 이기면 TP안에서 전송 허용.

경쟁 누락될 경우 다음 TDMA frame경쟁참여.

그림 7은 클라이언트1, 클라이언트2, 클라이언트3의 경쟁 상태를 나타내고 있으며, 클라이언트3는 PP경쟁에서 초기에 0을 표시하고 있으므로 listen상태로 들어간다. 이때 클라이언트1, 클라이언트2가 1을 갖고 있으므로 클라이언트3는 경쟁에서 누락된다. 클라이언트1, 클라이언트2는 FEP에서 다시 경쟁을 하게 되고 클라이언트2는 클라이언트1에 의해서 다시 경쟁에서 누락되게 된다. 최종적으로 클라이언트1이 경쟁에서 성공하여 전송을 허락 받게 된다.

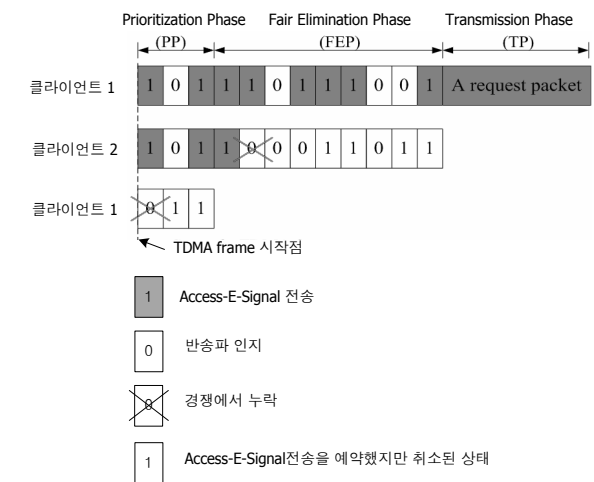


그림 7. 채널접속을 위한 경쟁  
Fig. 7. Contention for channel access

MMDCF에서 제안하는 PP의 트래픽 종류와 PPCL은 표 1에 정의되어 있다.

표 1. PP 경쟁 단계  
Table 1. PP Contention Level

접근분류	트래픽종류	지연시간	PPCL
AC_Beacon	Control	-	7
AC_VO_HIGH	Voice	> 30ms	6
AC_VO	Voice	<= 30ms	5
AC_VL_SUP	Video	> 75ms	5
AC_VL_HIGH	Video	(50ms, 75ms)	4
AC_VI	Video	<= 50ms	3
AC_BK_HIGH	Background	> 200ms	2
AC_BK	Background	<= 200ms	1
AC_BE	Best Effort	-	0

경쟁에서 지속적으로 누락 되는 클라이언트는 지연시간이 기본 이상으로 늘어날 경우 접근분류를 높임으로써 경쟁에서 선택될 확률을 높게 된다. 만일 AC\_VI 단계에서 지속적으로 경쟁에서 누락이 될 경우 AC\_VL\_HIGH로 단계를 상승시켜 다음의 경쟁에서 선택될 확률을 높게 된다.

PP과 FEP를 통한 공정한 제거 및 채널접속은 경쟁 단계를 다양하게 하면서 구현할 수 있다. 만일 충분한 경쟁 단계가 FEP에서 지원되면 다양한 PPCL의 클라이언트 중 선택 확률은 1에 근접하게 된다. FEP에서도 PP와 마찬가지로 경쟁에서 누락이 발생하는데 이럴 경우 다음 경쟁에서 높은 단계를 얻게 되어 선택 확률을 높인다.

FEPCL은 총  $2^n$ 개의 경쟁단계가 K개로 겹치지 않는 Group으로 구성 된다. Contention Number Groups(CNG)는  $[0, (2^n/K-1), [2^n/K (2 \times 2^n/K-1), \dots [(K-1) \times 2^n/K, 2^n-1]$ 와 같은 방식으로 겹침을 방지한다.

MP는  $t^i$ 값을 이용해서 CNG그룹을 선택한다.  $t^i$  변수는 클라이언트가 경쟁에서 누락된 횟수를 저장하며 이때  $i$ 값은 변수의 흐름(flow)를 구분하는 ID이다. 만일 클라이언트가 flow  $i$ 를 위한 경쟁에서 누락될 경우  $t^i$ 의 값은 1 증가한다. 경쟁에서 선택되면  $t^i$ 는 0 이 된다. 클라이언트는 같은 PPCL에서의 경쟁 속에서 지속적으로 누락될 경우  $t^i$ 값을 이용해서 상위의 CNG를 선택하게 되므로 경쟁에서 선택될 확률을 높게 된다.

CNG를 이용한 경쟁단계의 개수는  $2^n/K$ 개로 클라이

언트의 수가 많아지게 되도 충분한 경쟁을 통해서 하나를 선택할 수 있을 만큼의 범위를 제공할 수 있다.

### 3. 채널 해제 방법

TCH는 다음과 같은 상황에서 해제가 된다.

- 메쉬클라이언트 양쪽의 TCH 전송 버퍼 안에 MPDU가 없고, 시스템에서 정의한 hang-on 시간이 경과할 경우. Hang-on time은 양쪽의 메쉬클라이언트가 서로 전송할 MPDU가 없을 때 TCH를 해제할 때까지 기다려주기로 한 시간주기를 말하며, Hang-on시간 동안에는 더미패킷이 전송.
- Dummy, background 또는 best-effort MPDU를 전송하기 위해 사용되는 TCH를 강제로 해제할 때. TDMA frame의 활용성을 극대화 하거나, QoS의 요구사항을 충족시켜야 할 경우 사용.

Hang-on은 메쉬클라이언트들이 전달할 TCH가 없더라도 일정시간 동안 TCH를 유지하도록 하는 시간을 말한다. Hang-on 시간 안에 상위 계층이나 인근 메쉬클라이언트들로부터 MPDU가 전달이 되면 TCH를 새로 구성해야 하는 시간이 단축이 되기 때문이다. Hang-on기간 동안에는 메쉬클라이언트 쌍은 반드시 dummy packet을 전송해야 하고 TCH와 ECH에 SVB를 전송함으로써 다른 메쉬클라이언트들이 이런 상황을 검색할 수 있도록 해야 한다. Hang-on 시간이 경과되면, 더 이상 더미패킷(dummy packet)과 SVB를 전달하지 않고, TCH는 해제가 된다.

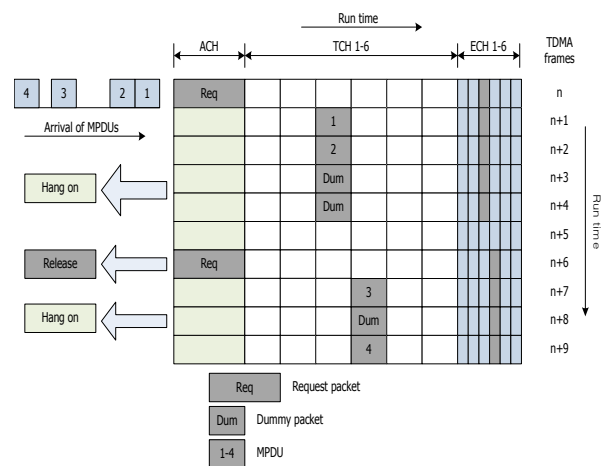


그림 8. Hang-on time에 따른 TCH의 해제  
Fig. 8. Release of a TCH on specified hang-on time

그림 8은 이런 과정을 잘 보여주고 있는 예제이다. Nth TDMA frame에서 두 개의 MPDU가 클라이언트1에서 전송 되기를 대기하고 있다. 클라이언트1은 클라이언트2로의 배정된 TCH가 없기 때문에 n번째 TDMA frame에서 TCH를 확보하기 위한 경쟁을 위한 요청을 하게 된다. 클라이언트2는 관련된 TCH의 ECH를 통해서 BES를 전달함으로써 이러한 접속을 허용한다. 클라이언트1은 다음 2개의 TDMA frame을 통해서 첫 번째, 두 번째의 MPDU를 TCH를 통해서 전달한다. 전달이 끝나면 클라이언트1의 전송 버퍼는 비어있게 된다. 그러나 클라이언트 링크는 TCH를 바로 해제하지 않는 대신 hang-on 시간을 위한 카운터를 시작한다. 클라이언트1이 더미 패킷을 전송하면, 클라이언트2는 hang-on 기간 동안 SVB를 전송하게 된다. 하지만, TCH는 n+6th TDMA frame에서 해제가 된다. 세 번째 MPDU가 전달 될 때 TCH는 없으므로 다시 전송을 위한 TCH확보 경쟁 요청을 하게 된다.

TCH hang-on은 클라이언트의 접속지연 회피를 통해서 패킷 지연을 줄이는 것이 목적이며, Hang-on 시간이 크면 이러한 지연에 대한 효율은 높아지게 되지만, 너무 클 경우 채널의 효율성은 줄어들게 된다.

위와는 반대로 TCH를 강제로 해제해야 하는 경우가 발생할 때 TCH가 dummy, background, best-effort와 같은 종류의 트래픽을 전송할 때 적용될 수 있으며, 실시간 MPDU가 다른 클라이언트를 기다리고 있을 때, TDMA frame의 여유 정도가 거의 없을 경우 이런 강제적인 해제가 발생한다. TCH의 강제 해제는 전송하는 클라이언트가 MPDU 전송을 중지하거나, 수신하는 클라이언트가 ECH안에 BES전송을 중단함으로써 가능해진다.

클라이언트의 MACP개체가 TDMA frame안의 모든 TCH가 할당이 되었다는 것을 알게 되면 MACP개체는 RLCP개체에게 현재의 네트워크 밀집상태를 알려준다. RLCP개체는 QoS요구사항을 준수하면서 실시간 RPDU 서비스를 유지시킬 수 있는 범위 내에서 줄일 수 있는 TCH의 개수를 파악하게 되며, 이때에 클라이언트는 TCH를 이용하여 데이터 전송기능을 수행한다. 네트워크의 밀집상태에서 RLCP개체는 MACP개체가 해제해도 좋을 TCH 하나를 반드시 찾아야 한다. RLCP개체가 해제할 TCH를 찾아내게 되면 MACP개체에게 해당 TCH의 해제를 통보하게 되며, MACP 개체는 control MPDU를 생성해서 해당 TCH를 통해 수신클라이언트에게 이

사실을 알려주고 TCH에게 해지를 위한 동의를 질의하게 되며, TDMA frame에서 전송 클라이언트는 TCH의 전송을 중지하고, 수신 클라이언트는 ECH안의 BES전송을 중단함으로써 강제적인 TCH 해제가 이뤄지게 된다. 만일 일정기간이 경과되어도 MACP가 계속 밀집상태를 확인하게 되면 다시 RLCP에게 다시 TCH의 강제 해제를 요청하게 된다.

이런 과정은 병목 현상의 클라이언트에는 적합하지 않으며, 그것은 네트워크의 수용량이 줄어들기 때문이다. 이런 메쉬클라이언트의 starvation현상을 줄이기 위해서 과도한 밀집이 발생할 때, TCH에 타이머를 세팅시켜서 타이머에 의한 동작으로 TCH가 강제로 해제하게 하면 된다.

#### 4. RLCP(Radio Link Control Protocol)의 서비스 모드

RLCP는 MACP의 상위에서 동작하며 LLC 계층과 상호 연동하고 LLC PDU(Protocol Data Unit)는 MACP로 전달되기 전에 Fragment동작을 진행하고 수신된 개체들은 다시 조립을 해서 LLC PDU로 만들어서 LLC 계층으로 전달하는 역할을 한다. RLCP는 단일 홉 링크에서 두 가지의 전송서비스를 제공하는데 하나는 AM(Acknowledged Mode)으로 무 에러 전달서비스이고 다른 하나는 UM(Unacknowledged Mode)으로 비 연결 서비스이다[그림 9].

- UM(Unacknowledged Mode): Connectionless Point-to-Point연결 형태로 Multicast, Broadcast 어플리케이션에서 사용.
- AM(Acknowledged Mode): Reliable Point-to-Point어플리케이션에서 사용.

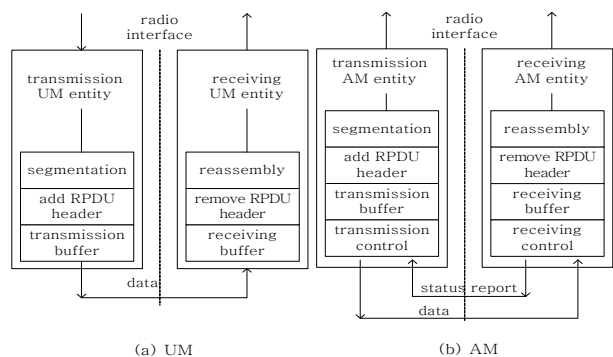


그림 9. UM과 AM 서비스 모드  
Fig. 9. UM and AM service mode

RLCP에서 사용하는 SR-ARQ(Selective Repeat Automatic Request) 프로토콜은 AM서비스 모드에서 Error Control과 Flow Control의 기능을 제공한다. RLCP 개체들은 트래픽 타입에 따라서 서비스 개체들을 배분하며 이러한 방식은 흐름을 위해서 서비스 개체를 단독으로 배정하기도 한다. 또는, 플로우의 목적지와 패킷지연 요구사항이 동일할 경우 서비스 개체를 공유하기 위해서 몇 개의 트래픽 플로우를 동시에 배정하기도 한다.

#### IV. 성능분석

##### 1. 시뮬레이션 환경

MMDCF성능을 측정하기 위해서 C++을 사용하는 Specification and Description Language (SDL)[5] 기반의 시뮬레이터를 이용하였다. 시뮬레이터 구조와 메인 컴포넌트들은 그림 10과 같이 구성을 하였다. IP와 LLC 프로토콜은 시뮬레이터에 포함시키지 않았는데, 그것은 MAC 프로토콜의 성능만을 평가하기 위해서이다.

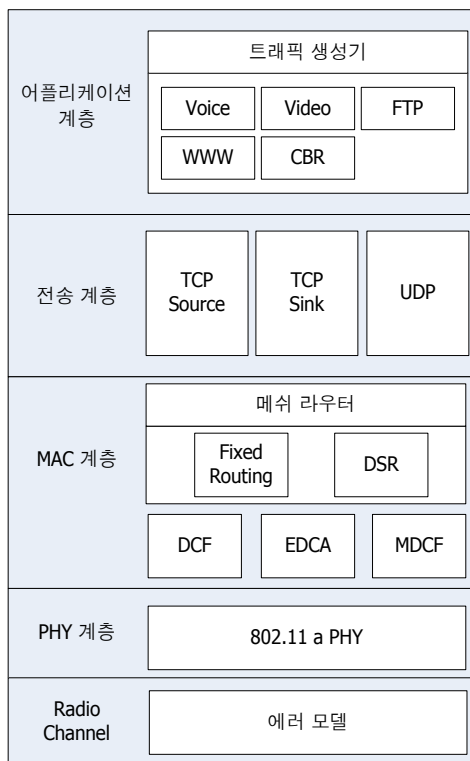


그림 10. MMDCF 시뮬레이터의 구조  
Fig. 10. MMDCF Simulator environment

시뮬레이터는 모두 5개의 구조로 이뤄졌으며, 각각의

구조에 대한 설명은 다음과 같다.

##### 가. 에러모델

시뮬레이션을 통한 실제 상황을 재현하기 위해서는 현실에서 발생하는 에러 유발이 필요하다. 그러나 시뮬레이션은 특성상 에러가 발생하지 않기 때문에 이러한 에러정보를 제공할 수 있는 모델이 필요하다. 에러 모델은 시뮬레이션상에서 발생하지 않는 에러정보를 패킷안에 제공하게 되며, 에러의 생성방법은 미리 정의된 확률 분산 방식에 따라 에러를 발생시키도록 하고, 에러 정보는 패킷 또는 시간에 따라 구분이 될 수 있어야 한다. 에러 모델은 에러의 발생정도에 따라서 채널의 질을 표현하는데 매우 단순하면서도 명확한 방법을 제시한다. 주어진 패킷 에러율과 에러 생성 통계 모델에 따른 손실기반의 무선채널을 시뮬레이션 하기에 에러 모델은 매우 적합하다.

##### 나. 물리 계층

PHY 레이어는 OFDM에 기반한 5.2GHz에서 동작하는 IEEE 802.11 PHY이며, TCH 슬롯은 9 OFDM symbol 안에 들어간다. [표 2]는 TCH간 MPDU의 길이와 수신기가 인지할 수 있는 최소 감도를 보여주고 있다[6].

표 2. Mesh DCF에서 MPDU의 길이와 이기종 PHY간 수신 최소감도

Table 2. The MPDU lengths used in MMDCF and the minimum receiving sensitivities under different PHY modes.

Modulation	Bit rate (Mbps)	MPDU lengths (Bytes)	Minimum sensitivity at receiver(dbm)
BPSK 1/2	6	27	-82
BPSK 3/4	9	40.5	-81
QPSK 1/2	12	54	-79
QPSK 3/4	18	81	-77
16 QAM 1/2	24	108	-74
16 QAM 3/4	36	162	-70
64 QAM 3/4	54	243	-65

##### 다. MAC 계층

MAC 레이어에는 802.11 DCF, 802.11 EDCA와 2개의 메쉬 라우팅 기술이 구현이 되어 있다. 모든 기능의 MMDCF 또한 구현되어 있다. 표 3은 시뮬레이터에서 사용된 TDMA frame의 파라미터 값들을 나타내고 있다.

표 3. MMDCF시뮬레이션에서 사용된 TDMA frame 파라미터값

Table 3.The TDMA frame settings of MMDCF used in simulation

Parameter settings in a TDMA frame	
Number m of contention slots in the PP of the ACH	3
Number n of contention slots in the FEP of the ACH	9
Duration of the TP in the ACH	28us
Duration of the TCH	45us
Duration of the ECH	6us
Number of TCHs/ECHs in a TDMA frame	16
Duration of a TDMA frame	916us

DCF는 ns-2[7]의 코드를 수정하여 적용하였으며, EDCA는 DCF를 이용하여 적용하였다. DCF와 EDCA의 중요한 파라미터 값들은 표6과 같다.

표 4. DCF, EDCA 시뮬레이터의 파라미터 값

Table 4. Key parameter setting of DCF and EDCA used in simulation

DCF, EDCA 시뮬레이터에서 사용한 중요 파라미터				
DCF	CWmin			15
	CWmax			1023
	Retry time			7
EDCA	파라미터	AC_VO	AC_VI	AC_BK
	CWmin	7	15	31
	CWmax	15	31	1023
	AIFSN	2	2	3
	Retry time	7	7	7

시뮬레이터에서 사용한 메쉬 라우팅 알고리즘 기술은 고정 경로 방식과 Dynamic Source Routing(DSR)[8]을 모두 채용하였고, 고정 라우팅은 주어진 시나리오에 맞게 수동으로 전송경로를 설정하게 되어 있다. DSR은 요청방식에 따라 메쉬라우터를 구성하고 운영할 수 있는 잘 알려진 무선 라우팅 프로토콜이며, MAC 프로토콜의 성능은 두 가지 알고리즘을 모두 이용하였다.

라. 전송 계층

User Datagram Protocol(UDP)과 Transport Control Protocol(TCP)은 ns-2의 코드를 수정하여 적용하였다.

다. 어플리케이션 계층

시뮬레이터는 모두 5개의 트래픽 생성기를 제공하지만, 본 논문에서는 QoS서비스 가능성 조사를 위해 Voice, Video conference만을 사용하여 조사하였다. Voice와 Video conference는 실시간 전송을 테스트 목적으로 하였다.

바. Voice Traffic

Voice 트래픽(G. 711 coder)은 알려진 two-state on-off 모델[9]을 음성과 묵음 사이의 간격을 완전 분산화 한 형태를 통해서 서비스 모델을 만들었다. G.711보이스 코덱은 64kbps에서 Pulse Code Modulation(PCM)기술을 이용해서 동작한다. 시뮬레이터에서는 On(음성)과 off(묵음)상태가 분산화 된 형태의 시간간격을 갖도록 유지하였다. On과 Off사이의 평균 간격은 0.35s와 0.65s를 유지하도록 하여 결과적으로 보이스는 22.4kbps의 평균 질을 유지하도록 생성이 되었으며 보이스 payload는 160byte[10]이다. 따라서 보이스 패킷의 내부 도착 시간은  $(160 * 8)/(64 * 103) = 20ms$ 가 되었다.

Packet Loss Concealment(PLC)기술이 사용이 되었고 가정할 때, 음성의 질을 유지하기 위해서[11] 최대 지연시간과 PLR은 반드시 60ms이하이고 6%이하여야 한다. MAC 프로토콜이 MMDCF일 경우, 보이스 전송이 단일 홉(Single-hop)에서 이뤄진다면, RLCP서비스 모드는 UM을 선택해야 한다. 그러나 다중 홉(Multi-hop) 음성 전송을 위해서는, 서비스 모드는 PLR을 6%이하로 유지하기 위해 AM을 선택해야 한다.

사. Video Conference Traffic

High bit rate Video conference (H.263 codec) 스트림을 만들어 내기 위해서 ON-OFF minisource model[12]를 사용하였다. Video conference 스트림은 N개의 독립적인 ON-OFF minisource들로부터 모이게 된다. On minisource는  $\lambda$ bit/s의 상수 bit-rate를 만들어 내며, 상대적으로 ON과 OFF상태의 시간간격은  $\alpha, \beta$ 값의 평균값에 분포하게 된다. Minisource의 액티브 팩터는  $p = \alpha / (\alpha + \beta)$ 로 표현이 된다. 결국 video conference source의 평균 bit rate는  $N\lambda p$ bit/s이고 최대 bit rate는  $N\lambda$ 가 된다.

시뮬레이션에서는  $N=5, \lambda=256$  kbps,  $\alpha=1250s^{-1}, \beta=5000s^{-1}$ 로 하여 video conference 소스의 평균과 최대 bit rate는 각각 256kbps와 1.28Mbps가 된다. Video



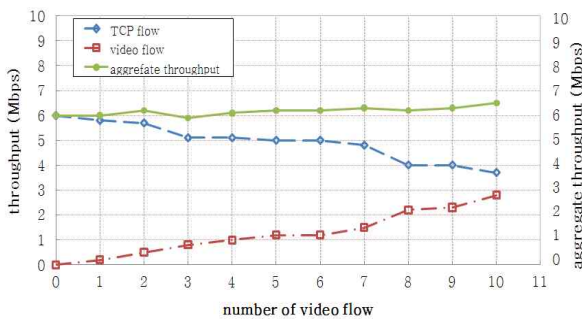
payload는 512byte이다[13]. 허용 가능한 지연과 PLR은 100ms, 0.1%[14]가 되며 필요로 하는 PLR은 매우 작게 되어, MAC 프로토콜이 MMDCF일 때, AM은 단일 홉의 전송에서는 전송서비스의 성능을 평가할 때 사용이 되어야 한다.

실시간 MPDU는 만일 경험적 지연이 감당할 수 있는 지연 값을 넘어서게 되면 제거된다.

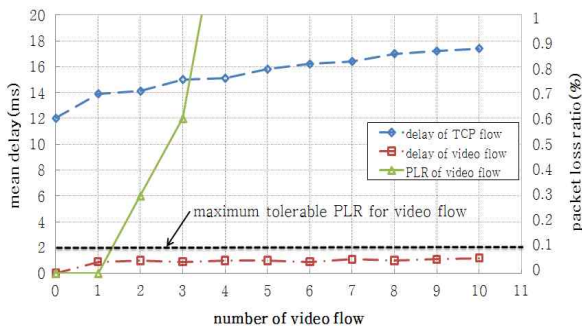
2. 동시다발적인 Video Flow 개수에 따른 영향

TCP는 이미 IP를 이용하는 어플리케이션에서 많이 사용되고 있으므로, 네트워크상태[15]에 따른 TCP traffic의 변화를 테스트 하는 것은 매우 의미가 있다. 테스트 시나리오는 다음과 같다.

- 메쉬라우터와 단일 홉 네트워크의 액세스포인트와 TCP 연결이 구성된 후 다수의 long-lived video conference flow가 초기화. 각각의 video flow는 액세스포인트와 메쉬라우터 간을 이동.



(a) Throughput

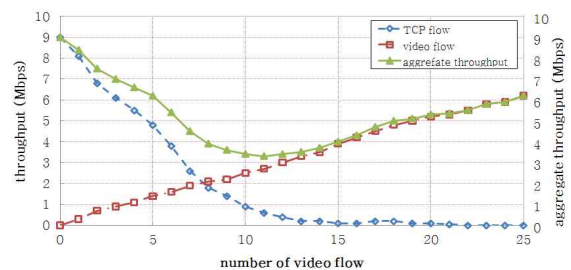


(b) Mean delay

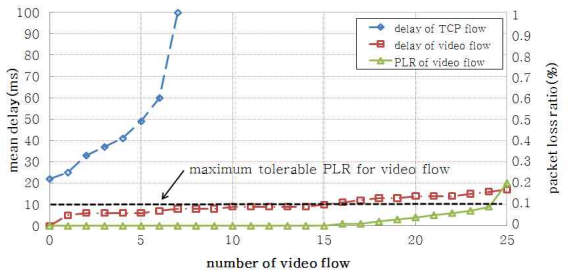
그림 11. TCP flow가 존재할 때 단일 EDCA에서의 QoS 성능

Fig. 11. QoS performance of single hop EDCA networks when 1 TCP flow pre-exists.

그림 11은 EDCA에서의 QoS 성능을 그래프로 도식화하였다. 그림 11의 a)에서와 같이 video flow가 증가할수록 TCP의 전송률은 점점 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 하지만, 전체적인 전송률은 증가하였다. 그림 11에서 b)는 TCP flow의 지연이 video flow의 개수가 증가함에 따라 증가하는 것을 확인할 수 있으나, video flow의 평균 지연은 video flow의 개수가 10일 때 2ms이하였다. 결론적으로 EDCA는 전송률을 잘 유지하면서 video traffic의 지연을 낮게 유지함으로써 좋은 성능을 내는 것을 확인하였다. 하지만, 그림 11의 b)에서 video flow의 PLR이 video flow가 증가함에 따라 급속하게 증가하는 것도 확인하였다. 2 video flow가 동작할 때, video flow의 PLR은 0.3%정도였으나, QoS는 이러한 상황을 허용하지 않는다. TCP소스 메쉬라우터는 이런 상태에서 발생하는 혼잡상태를 인식하지 못하므로, 채널에서의 경쟁 제한을 두지 못하게 된다. 그 결과로 채널 접근 경쟁에 따른 충돌이 발생하게 되고, video MPDU들이 MPDU를 7번 정도 전송시도를 하다가 실패하게 되면 상실되는 결과가 발생하기 때문이다. 결론적으로 단일 홉 EDCA에서는 1 TCP flow가 존재할 때, 즉, 오직 1개의 video flow만이 PHY data rate가 24Mbps일 때 제대로 된 서비스를 제공할 수 있다.



(a) Throughput



(b) Mean delay

그림 12. TCP flow가 존재할 때 단일 홉 MMDCF에서의 QoS 성능

Fig. 12. QoS performance of single hop MMDCF network when 1 TCP flow pre-exists

MMDCF의 전송률 성능은 그림 12 a)에 도식화 하였으며, EDCA네트워크와 차이점은 TCP flow의 전송률은 video flow가 증가함에 따라 눈에 띄게 줄어든다는 것이다. Video flow가 10개가 될 때, TCP flow의 전송률은 1Mbps이하가 되어서 video flow가 없을 때보다 1/9 정도로 줄어든다. 전체 전송률은 처음에는 감소하다가 video flow가 증가함에 따라 증가하는데, MMDCF 메쉬라우터가 TDMA안의 TCH를 살펴보고 실시간 MPDU가 아닌 TCH의 경우 강제로 해제하기 때문이다. TDMA안의 TCH개수가 충분하면 TCH경쟁은 발생하지 않는다. 오직, TDMA frame안의 TCH개수가 부족하게 될 경우에 실시간 MPDU의 전송이 우선시 되는 것이다. 그러므로 me안의 TCH개수가 video flow의 개수가 늘어나면 줄어들게 된다. 전체 전송률은 video flow의 개수가 적을 때에는 역시 줄어들게 된다. 이것은 TDMA안의 몇몇 TCH가 향후 발생할 실시간 traffic을 대비해서 여유분으로 보존되기 때문이다. 하지만, video flow가 10개 이상으로 증가하게 되면 전체적인 전송률은 video flow의 개수가 증가하면 동반 증가한다.

그림 12 b)는 MMDCF에서의 지연과 PLR의 성능 결과를 보여준다. TCP flow의 지연은 video flow가 증가함에 따라 급격하게 증가하는 반면, video flow는 매우 조금씩 증가하게 되는데 MMDCF는 video MPDU가 우선순위에 따라 전송되는 것을 보장하고 있으며, 25개 video flow의 평균 지연은 20ms로 QoS의 지연 요구사항 이하로 유지하고 있고, 더욱 중요한 것은 video flow의 PLR 성능이 개선된다는 것이며, Video flow개수가 24개 일 때 PLR은 0.09%로 나오기 때문이다. 결론적으로 single-hop MMDCF에서는 1개의 TCP flow가 존재할 때, PHY data rate가 24Mbps일 경우 24개의 video flow 서비스를 지원할 수 있다는 결론을 얻을 수 있다.

### 3. Voice flow개수에 따른 영향

Voice flow는 낮은 traffic volume과 제한적인 QoS 지연 요구사항(< 60ms)과 같은 특징을 갖고 있으며, 이러한 이유로 voice traffic은 EDCA와 MMDCF를 포함하여 대부분의 traffic 구분에서 가장 높은 우선순위를 갖고 있다. 이번 장에서는 voice flow의 개수에 따른 영향을 테스트 하였다. 테스트 시나리오는 다음과 같다.

- TCP 연결이 구성된 후에 하나 또는 몇 개의 video conference flow가 초기화 하게 되며 이후에 다수

의 long-lived voice flow를 생성. 각각의 flow나 stream은 단일 홉 네트워크의 액세스포인트와 다른 메쉬라우터 안에서 유지.

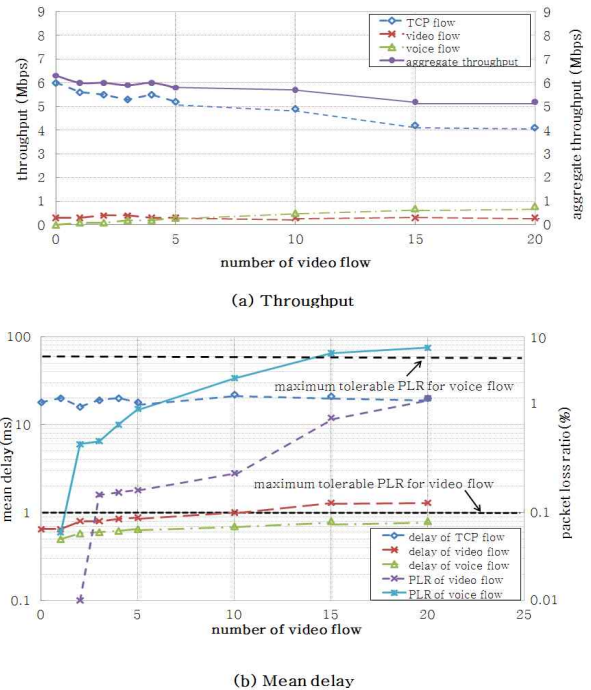
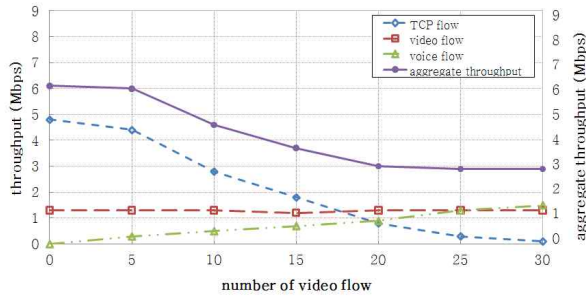


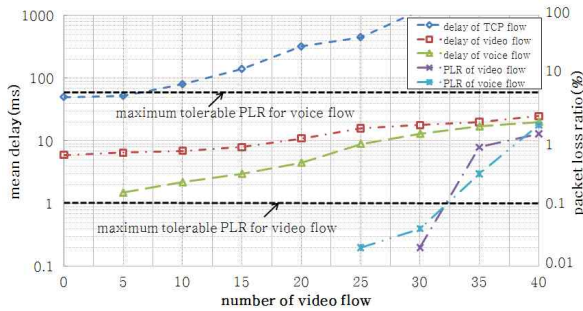
그림 13. 1 TCP, 1 video flow하의 EDCA에서 voice flow 개수에 따른 QoS 성능  
Fig. 13. QoS performance of single hop EDCA networks when 1 TCP flow and 1 video flows pre-exists

그림 13은 EDCA네트워크에서 1 TCP flow와 1 video flow가 존재할 때 QoS의 성능 결과를 나타낸다. Voice flow가 증가함에 따라 video flow 전송률은 동일하게 유지되지만, TCP flow의 전송률과 전체적인 전송률은 점차적으로 줄어든다. TCP 평균 지연, video 평균지연, voice 평균지연시간은 voice flow의 증가에 민감하게 반응하지 않는 것을 그림 13 b)를 통해서 확인할 수 있다. TCP 지연은 20ms근처에 머무르는 반면, video와 voice의 평균 지연시간은 1ms이하로 QoS요구사항 이하를 유지하고 있다. 그러나 EDCA는 voice flow가 증가함에 따른 video와 voice의 PLR조절에는 실패 하였다. Voice flow개수가 2일 때, video flow의 PLR은 0.1%를 넘었고 voice flow가 15개 일때 voice flow의 PLR은 6%를 넘어섰다. 결론적으로 단일 홉 EDCA(PHY data rate는 24 Mbps)에서 1 TCP flow, 1 video flow, 2 voice flow가 동시에 존재하거나 1 TCP flow, 15 voice flows가 동시에

존재할 때만 QoS서비스가 가능하였다.



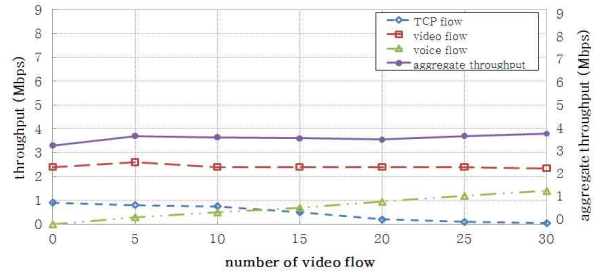
(a) Throughput



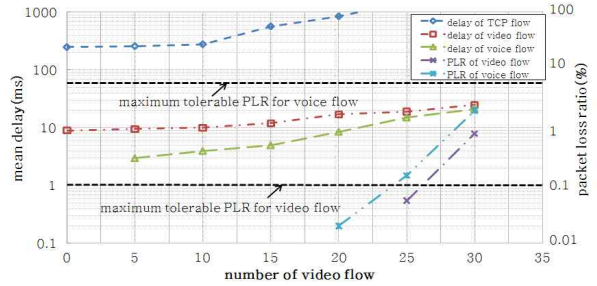
(b) Mean delay

그림 14. 1 TCP, 5 video flow하의 MMDCF에서 voice flow 개수에 따른 QoS 성능  
 Fig. 14. QoS performance of single hop MMDCF network when 1 TCP flow and 5 video flows pre-exists.

그림 14는 MMDCF에서 1 TCP flow, 5 video flow가 존재할 때의 QoS성능 결과 그래프이다. Voice flow가 증가함에 따라 video 전송률은 동일한 반면, TCP의 전송률은 급격하게 줄어들었다. 30 voice flow가 MMDCF에 존재할 때, TCP 전송률은 거의 0에 가까워졌고, 전체적인 전송률은 3Mbps에 근접하였다. 이것은 그림 14 b)에서와 같이 video flow와 voice flow의 평균 지연시간이 voice flow가 증가함에 따라 늘어났다는 것이다. 그러나 voice flow가 40개일 때에도 video, voice 평균 지연시간은 25ms, 20ms 정도를 유지하고 있다. MMDCF 네트워크는 실시간 traffic의 PLR 조절에도 상당한 능력을 보여주고 있음을 확인할 수 있다. Voice flow 개수가 32개일 때, video flow의 PLR은 최대 허용치에 도달하였고(0.1%), voice flow의 PLR은 최대 허용치(6%) 이하를 유지하고 있다. Voice flow가 40개일 때에도 voice flow의 PLR은 6% 이하를 유지하고 있다.



(a) throughput



(b) mean delay and packet loss ratio

그림 15. 1 TCP, 10 video flow인 MMDCF에서의 QoS 성능  
 Fig. 15. QoS performance of single hop MMDCF network when 1 TCP flow and 10 video flows pre-exists

그림 15는 1 TCP flow, 10 video flow에서 MMDCF의 QoS 성능을 보여주고 있으며, MMDCF가 TCP background traffic이 존재하는 상황에서도 다수의 실시간 traffic을 지원할 수 있다는 것을 보여주고 있다. 요약하면 단일 홉 MMDCF(PHY data rate는 24 Mbps)는 1 TCP flow, 5 video flow, 30 voice flow를 동시에 지원하거나, 1 TCP, 10 video flow, 23 voice flow를 동시에 지원할 수 있다.

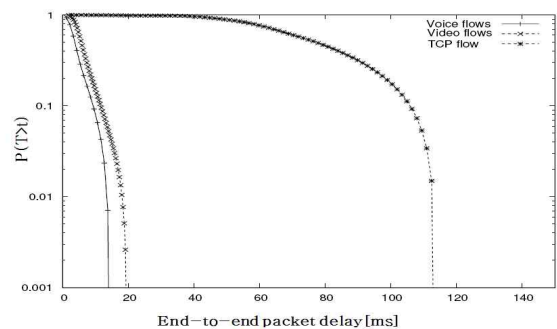


그림 16. 단일 홉 MMDCF에서 동시 트래픽 패킷 지연시간 CDF  
 Fig. 16. Complementary CDF of packet delay for concurrent traffic in single hop MMDCF network.

그림 16은 1 TCP flow, 5 video flow, 10 voice flow가 동시에 네트워크에 존재할 때, 패킷 지연의 Complementary Distribution Function (CDF)를 보여주고 있으며, 모든 video, voice packet은 20ms안에 전송될 수 있음을 보여주고 있다. 반면, TCP packet은 매우 지연이 길어져서 100ms이상 이 되고 있다.

위의 결과들을 통해서 MMDCF는 EDCA보다 분산환경에서 QoS를 더 완벽하게 지원할 수 있음을 확인할 수 있다.

## V. 결 론

본 논문은 무선메쉬네트워크 환경에서 QoS를 지원할 수 있도록 TDMA MAC 프로토콜에서 TCH의 채널경쟁 방법과 채널해제 방법을 제안하였다. 여기서 제안한 방법들을 이용하여 채널의 효율성을 높이고, 채널의 사용을 원하는 클라이언트들의 경쟁을 최소화하여 과도한 네트워크 요청에 따른 문제점을 해결하였다. ACH의 PP slot개수  $m$ 은 전송되는 데이터의 종류를 구별하고, 채널 접속을 위한 경쟁 단계를 제공하고 있으며, FEP의 contention slot( $n$ )은 동일한 PPCL의 클라이언트들 중 하나가 선택되게 하는 역할을 하였다. 일반적인 TCH 해제 방법으로는 Hang-on 타임을 이용하거나, 강제적인 방법으로는 전송하는 메쉬클라이언트가 MPDU 전송을 중지하거나, 수신하는 메쉬클라이언트가 ECH안에 BES전송을 중단함으로써 QoS의 유지에 필요한 TCH를 확보할 수 있었다. 시뮬레이션을 통한 EDCA와의 비교 실험 결과 Voice, Video 트래픽이 우선적으로 전송 될 수 있었고, 전체적인 트래픽을 효율적으로 사용할 수 있다는 것을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] R. Bruno, M. Conti, and E. Gregori, "Mesh Networks: Commodity Multihop Ad Hoc Networks," IEEE Communication Magazine, vol. 43, no. 3, pp. 123-131, 2005.3
- [2] IEEE Std 802.11-1999(Reaff 2003), "Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications," 1999.
- [3] 정영식, 김유진, 허재두, "IEEE 802.11e 무선 MAC 기술 및 표준화 동향", 전자통신동향분석 22권 4호 (통권 106), pp.156, 2007.08
- [4] IEEE Std 802.11e, "Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer Specifications: Amendment 8: Medium Access Control(MAC) Quality of Service Enhancements," 2005.
- [5] M. Steppler, "Performance analysis of communication systems formally specified in SDL", In Proc. 1st International Workshop on Software and Performance 1998, 1998.8
- [6] IEEE 802.11a. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band. New York, 1999.9
- [7] VINT Group, UCB/LBNL/VINT Network Simulator ns (Version 2), <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>.
- [8] D.B. Johnson, D.A. Maltz, Y.-C. Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR)", IETF Internet-Draft: work in progress, 2004.7
- [9] P. T. Brady, "A Model for Generating On-Off Speech Patterns in Two-way Conversation", Bell System Technology Journal, vol. 48, pp. 2445-72, 1969.9
- [10] K. Sanzgiri, B. Dahill, B.N. Levine, C. Shields, E.M. Belding-Royer, "A secure protocol for ad hoc networks", IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP), 2002, pp. 78-87.
- [11] D. D. Vleeschauwer, J. Janssen, "Voice Performance over Packet-Based Networks", Alcatel white paper, 2002
- [12] B. Maglaris, D. Anastasiou, P. Sen, G. Kalsson and J. D. Robbins, "Performance models of statistical multiplexing in packet video communication", IEEE Transactions on Communication, Vol. 36, pp. 834-843, 1988.
- [13] F. A. Tobagi and L. Kleinrock, "Packet

switching in radio channels: part II - the hidden terminal problem in carrier sense multiple-access and the busy-tone solution”, IEEE Transactions on Communication, Vol. COM-23, pp. 1417-1433, 1975.12

[14] A. Grilo, M. Nunes, “Link adaptation and transmit power control for unicast and multicast in IEEE 802.11a/h/e WLANs”, IEEE International Conferences on Local Computer Networks, 2003, pp. 334-345.

[15] G. Bianchi, “Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function”, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 18, pp. 535-547, 2000.4

저자 소개

장 인 용(정회원)



- 1985년. 2월 : 명지대학교 공과대학 전자공학과 졸업(학사)
- 1995년. 2월 : 명지대학교 정보 산업대학원 정보통신공학과(석사)
- 2009년. 2월 : 순천향대학교 일반대학원 정보보호학과 박사과정 수료
- 1982.1~1990.2: 한국통신 전자교환운

용연구단

- 1990.2~1994.3: 한국통신 중앙연구소 교수실 교수
- 1994.3~1997.3: 한국통신 경영전략실, 공정대책실 과장
- 1997.3~1999.5: KT 해외법인 MTM사 과장
- 1999.5~2001.2: KT 기획조정실 IMT-2000 사업추진본부 과장
- 2001.3~2008.12: 한국디지털위성방송 팀장, 지사장
- 2003.2~2003.10: (구)정보통신부 위성DMB 무선설비기술기준 위원
- 2009.1~ : 한국디지털위성방송 고객센터 팀장

<관심분야> : 개인무선통신, PCS, 인터넷 보안, 개인정보보호, CAS(방송수신제한시스템)>

이 선 영 (Sun-Young Lee)



- 1993년 : 부경대학교 전자계산학과 이
- 학사
- 1995년 : 부경대학교 전자계산학과 이
- 학석사
- 2001년 : 일본 동경대학교 전자정보공
- 학과 공학박사
- 2004년~현재 : 순천향대학교 정보보

호학과 교수

<관심분야> 암호이론, 정보이론, 정보보안, 콘텐츠 보안, IPTV 보안