

---

# 홈 네트워크를 위한 QoS 보장형 매체접속제어 프로토콜의 구현

황원주\*

Implementation of QoS-awared MAC Protocol for Home Networks

Won-Joo Hwang\*

---

본 논문은 2002년도 인제대학교 학술연구조성비 보조에 의한 것임

---

## 요 약

택내에 이미 가설된 배선이나 무선을 이용하여 저 비용으로 택내의 정보가전들을 하나의 망으로 연결할 수 있는 HomePNA, HomePlug 또는 HomeRF가 장래 유망한 홈 네트워크 기술이 될 것으로 전망되고 있다. 그러나 HomePNA와 HomePlug는 우선 순위 기법을 이용하여 Class of Service(CoS)만을 제공하며, HomeRF는 실시간 트래픽중 음성만을 고려하여 설계되었기 때문에 홈 네트워크 상의 주요 트래픽인 오디오나 비디오의 QoS를 보장할 수가 없다. 본 논문에서는 홈 네트워크 상에서 QoS를 보장하기 위한 새로운 매체접속제어(Medium Access Control; MAC) 프로토콜을 제안하고, 제안 프로토콜의 프로토타입 구현과 실험을 통한 성능평가를 수행하였다. 소프트웨어 구현을 통한 실험결과 제안 프로토콜은 각 실시간 트래픽 별로 대역폭을 할당함으로써 우수한 전송 지연, 지터 그리고 손실의 특성을 가짐을 알 수 있었다.

## ABSTRACT

We believe that existing wire solutions such as HomePNA2.0 using phone lines and HomePlug using power line and wireless solution such as HomeRF are the most promising solutions, because of its cost-effectiveness. However, MAC protocols of these solutions provide only Class of Service(CoS) using priority mechanism like HomePNA and HomePlug or consider only voice among real-time traffics like HomeRF. For these reasons, we perceive the needs of the new MAC protocol which is no new wire solution and provides guaranteed Quality of Service (QoS) for not only voice but also video and audio. In light of this, we present the design and software implementation of a new MAC protocol for Home Networks. Our evaluation results of software implementation verify that proposed MAC protocol can provide low delay, low loss, and low jitter to real-time traffic by reserving bandwidth.

## 키워드

Home networks, MAC protocol, QoS, Multimedia services

## 1. 서 론

최근 ADSL로 대표되는 광대역 액세스망의 보급과 정보가전의 발전에 따라 이들 정보가전 간의 통

신 기술을 일컫는 홈 네트워크(Home Networks) 기술이 급속히 발전하고 있다. 홈 네트워크는 택내의 네트워크 기술을 탑재한 가전기기들(TV, PC, DVD, 게임기 등)간의 통신과 외부 네트워크에 연결한다는 점에서 기존의 LAN과 유사하나, LAN상에서는 데이

터 트래픽이 주요한 트래픽인 반면 홈 네트워크에서는 오디오/비디오와 같은 실시간 트래픽이 주요한 트래픽으로서 고려되어야 한다는 점에서 큰 차이가 있다. 또한, 홈 네트워크는 회사나 학교의 네트워크와는 달리 일반 가정을 대상으로 하고 있기 때문에 비용의 측면이 고려되어야 한다. 비용을 절감하기 위해서는 맥내에 배선 되어있는 전화선이나 전력선을 이용하는 방법과 무선선을 이용하는 방법이 있다<sup>[1,2]</sup>. 먼저, 전화선 기반의 HomePNA2.0(Home Phoneline Network Alliance, 1999년)은 MAC 프로토콜로 이더넷에서 사용하는 IEEE 802.3 CSMA/CD 프로토콜을 거의 그대로 사용하고 있으며, 최대 32Mb/s까지 전송 가능하다<sup>[3]</sup>. 그리고 전력선 기반의 HomePlug1.0(HomePlug Powerline Alliance, 2001년)은 MAC 프로토콜로 CSMA/CA를 사용하고 있으며, 최대 14Mb/s까지 전송 가능하다. 마지막으로, 무선 기반의 HomeRF2.0(HomeRF Working Group, 2001년)은 MAC 프로토콜로 CSMA/CA와 TDMA를 사용하고 있으며, 최대 10Mb/s까지 전송 가능하다.

본 논문에서는 기존의 전화선, 전력선 또는 무선 기반의 홈 네트워크 기술을 이용하여 홈 네트워크를 구성할 때 실시간 트래픽의 QoS 보장이 어렵다는 점에 주목하여, 홈 네트워크상의 각 정보가전들 특히, 멀티미디어 서비스를 제공하는 A/V기기들에 QoS를 보장해 주기 위한 매체접근제어 프로토콜인 MAC Protocol for Multimedia Services (mMAC)를 제안한다. mMAC은 실시간 트래픽이 없을 때는 CSMA/CD-모드에서 실시간 트래픽이 있을 때는 Timed Token모드에서 동작한다. Timed Token모드에서는 각 정보가전상의 QoS Level Table (QLT)에 기반 하여 QoS제어를 수행한다.

본 논문의 구성을 보면 II장에서는 관련 연구를 살펴보고 III장에서는 제안한 mMAC의 설계를 다루었다. 그리고 IV장에서는 mMAC의 프로토타입 구현과 실험을 통한 성능 분석을 다루었으며, 마지막으로 V장에서는 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

홈 네트워크 상에서 실시간 트래픽을 전송하기 위

한 매체접근제어 프로토콜의 연구는 크게 자원 예약 기법(Resource Reservation Technology), 우선 순위 기법(Priority Mechanism Technology), 혼성 기법(Hybrid QoS Technology)으로 나눌 수 있다.

### 2.1 자원 예약 기법

#### 2.1.1 IEEE 1394

직렬 버스의 표준인 IEEE 1394a는 비동기성 채널(asynchronous channel)을 통하여 비실시간 트래픽을 전송하고, 동시성 채널(isochronous channel)을 통하여 실시간 트래픽을 전송한다. 동시성 채널은 대역폭을 예약함으로써 실시간 트래픽의 QoS를 보장하게 된다. 그러나 이 방식은 맥내에 새로운 배선을 설치하지 않으면 안 되므로 본 논문에서는 논의로 한다.

### 2.2 우선 순위 기법

#### 2.2.1 HomePNA

HomePNA2.0은 오디오나 비디오 스트림의 지터를 줄이기 위해 낮은 우선 순위를 가지는 프레임보다 높은 우선 순위를 가지는 프레임을 우선하여 매체에 접근하도록 함으로써 CoS를 제공하도록 한다. 즉, 우선 순위에 따라 프레임간의 간격(Inter-frame Gap)을 달리함으로써 전송되어야 하는 프레임이 차별적으로 매체에 접근되도록 한다. 그러나 HomePNA2.0에서는 우선 순위 기법을 통해 멀티미디어 트래픽에 대해 CoS의 제공은 가능하나, 기본적으로 CSMA/CD프로토콜을 채용하고 있기 때문에 과부하에서의 충돌로 인한 지연과 낮은 채널이용률은 피할 수 없다.

#### 2.2.2 HomePlug

HomePlug는 충돌 시 우선 순위 해결 기간(Priority Resolution Period)을 통하여 높은 우선순위의 트래픽을 먼저 전송함으로써 CoS를 제공한다. 그러나 이 기법은 CSMA/CA프로토콜을 채용하고 있기 때문에 과부하에서의 과도한 지연과 낮은 채널이용률이라는 문제점을 그대로 가지고 있다.

### 2.3 혼성 기법

#### 2.3.1 HomeRF

HomeRF2.0은 데이터 통신 시에는 CSMA프로토콜을 사용하고 음성 통신 시에는 TDMA/TDD를 사용하고 있다. TDD(Time Division Duplex)는 양방향 통신을 가능하게 하며 TDMA(Time Division Multiple Access)는 각 음성 접속들에 대해서 일정 간격으로 매체에 접근할 수 있게 해준다. 그러나 HomeRF2.0에서는 비디오나 오디오와 같은 실시간 트래픽의 QoS는 보장하지 않는다.

### III. mMAC의 설계

본 장에서는 홈 네트워크 상에서 현재의 네트워크 상황에 따라 동적으로 대역폭을 할당함으로써 실시간 트래픽에 대해 QoS를 제공할 수 있는 mMAC을 제안하고자 한다. 그림 1은 mMAC을 탑재한 홈 네트워크의 간단한 예를 보여준다. 이 예에서 IEEE1394(400Mb/s)에 기반한 서버 네트워크 10.0.1은 오디오와 비디오의 통신에 적합하다. 서버 네트워크 10.0.2는 가전의 제어를 위해 HomePlug1.0 (14Mb/s)을 사용하며, 서버 네트워크 10.0.3은 파일 공유와 같은 데이터 통신을 위해 HomeRF2.0(10Mb/s)을 사용한다. 서버 네트워크 10.0.4는 이들 서버 네트워크 간을 연결하는 홈 네트워크내의 백본 네트워크로 사용되며 HomePNA2.0 (32Mb/s)을 기반으로 한다. 마지막으로 홈 네트워크와 인터넷간의 접속에는 ADSL (up stream=8Mb/s, down stream=640Kb/s)을 사용한다고 가정하자.

주거형 게이트웨이(Residential Gateway; R/G)는 하나 이상의 홈 네트워크와 하나 이상의 액세스 망을 상호접속하고 중재하여 인터넷 서비스 등 다양한 멀티미디어 서비스를 제공하기 위한 장치로 정의할 수 있으며, 기본적으로 패킷 포워딩(Packet forwarding), 미디어 변환(Media translation), IP주소 획득(IP address acquisition), 네트워크 주소 변환(Network address translation), 인증(Authentication)과 암호화(Encryption)와 같은 기능을 가지고 있다<sup>[1]</sup>. 제안 프로토콜의 기능을 구현하기 위해서는 이들 기본 기능 이외에도 토큰 생성, 모드 변환, QoS 레벨 제어와 같은 추가 기능이 필요하다. 그리고 홈 네트워크에서는 DVD, 전화기, 심지어 세탁기 등 다양한 정보가전으로부터 다양한 특성을 가지는 트래

픽들이 발생된다. 즉, 홈 네트워크상의 트래픽은 QoS 요구사항에 따라 가전의 제어 메시지와 같이 엄격한 시한(Deadline)을 가지는 경성 실시간 트래픽(RThard: Hard real-time traffic), 오디오나 비디오와 같이 어느 정도의 시한 경과(Deadline miss)를 허용하는 연성 실시간 트래픽(RTsoft: Soft real-time traffic), 그리고 파일이나 프린터 공유와 같이 시간에 대한 제한이 없는 비실시간 트래픽(NRT: Non-real-time traffic)으로 나눌 수 있다<sup>[5]</sup>. 본 논문에서는 두 종류의 실시간 트래픽 중 RTsoft만을 다루기 때문에 RTsoft를 RT라고 표기한다. 그리고 각 노드는 대역폭을 할당 받은 RSV(resource ReSerVation)노드와 그렇지 못한 NRSV노드로 구분된다. 또한, 제안 프로토콜은 모든 노드로 구성된 정상 링(Normal ring)과 RSV노드와 R/G로 구성된 RSV 링의 두 종류의 논리 링(Logical ring)을 유지한다.

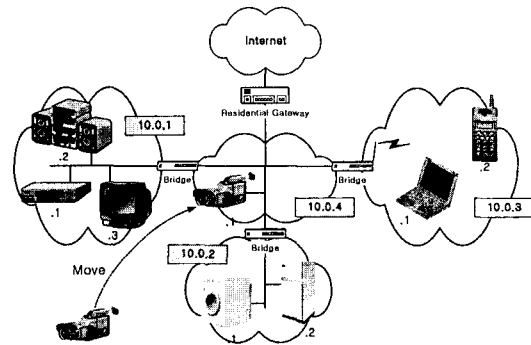


그림 1. 홈 네트워크의 구성 예  
Fig. 1 An Example of Home Networks

mMAC의 기능은 크게 전송부(Transmission Part)와 QoS 제어부(QoS Control Part)로 나누어진다. 전송부는 전송 모드를 결정하며, 토큰을 논리 링의 순환 순서(Token rotation order)에 맞게 전송하고 대역폭을 할당하여 실시간 트래픽을 전송하도록 하는 기능을 수행한다. 그리고 QoS 제어부는 QLT에 기반한 QoS 제어를 담당하는 부분이다.

#### 3.1 전송부

mMAC은 CSMA/CD모드와 Timed Token모드로

구성된 혼성(Hybrid) 프로토콜이며, 임의의 한 시점에서 둘 중 어느 한 모드로 동작한다.

### 3.1.1 CSMA/CD모드

이 모드에서는 Timed Token모드에서의 전환을 요구하는 reqTimedtoken 시스템 콜이 호출되기 전까지는 1-Persistent CSMA/CD에 의해 매체에 접속한다[6]. 실시간 트래픽이 존재하지 않는 경우하에서는 CSMA/CD프로토콜을 이용하는 편이 토큰을 대기하는데 걸리는 지연이 없으므로 응답시간(Response time)이 빠르기 때문이다.

Time Token모드로의 전환: 홈 네트워크가 초기화되면, 제안 프로토콜은 CSMA/CD모드에서 시작된다. 최초로 NRSV노드가 어플리케이션으로부터 RT를 수신하면, NRSV노드는 RSV노드로 전환되고, Timed Token모드에서의 전환을 요구하는 시스템 콜(reqTimedtoken)을 R/G로 호출한다. R/G는 reqTimedtoken 시스템 콜을 수신하면, 홈 네트워크 상에 transitTimedtoken 메시지를 브로드캐스팅하고, R/G가 모든 노드로부터 ACK를 받은 다음에 Timed Token모드로 전환을 한다. 이 때 R/G는 토큰을 생성하고 논리 링을 순환하기 시작한다.

### 3.1.2 Timed Token모드

mMAC에서는 CSMA/CD모드에서의 전환을 요구하는 reqCSMA/CD 시스템 콜이 호출되기 전까지 Timed Token 프로토콜로 동작한다[7]. 실시간 트래픽 존재 시 토큰 전달 프로토콜(Token-passing Protocol) 중 하나인 Timed Token 프로토콜로 동작하므로 각 노드는 대역폭을 할당 받을 수 있기 때문이다.

토큰 포맷: 토큰 프레임은 IEEE802.4 토큰 버스를 기반으로 그림 2와 같이 정의하였다[8].

PRE	SO	TKN	DA	SA	DM	SUB 1	...	SUB n	LVL	NXT	FGS	ED
-----	----	-----	----	----	----	-------	-----	-------	-----	-----	-----	----

Legend:

PRE: Preamble (1 byte)	SD: Start delimiter (1 byte)
TKN: Token (1 byte)	DA: Destination address (6 bytes)
SA: Source address (6 bytes)	DM: Deadline miss (1 bit)
SUB: Subnet ID (6 bytes)	LVL: QoS level (2 bits)
NXT: Next NRSV station address (6bytes)	FCS: Frame check sequence (4 bytes)
	ED: End delimiter (1 byte)

그림 2. mMAC의 토큰 포맷  
Fig. 2 Token Format

여기서는 새롭게 정의된 필드에 대해서만 기술하도록 하겠다. 먼저, DM필드는 시한 경과와 발생여부를 설정한다. 만약, DM필드가 1로 설정되어 있다면 시한 경과가 발생하였음을, 0으로 설정되어 있다면 시한 경과가 발생하지 않았음을 의미한다. 다음으로, SUB필드는 해당 서브 네트워크내의 노드들의 QoS레벨을 조절하기 위해 사용된다. 예를 들어, 토큰이 SUB1(10.0.1.0)과 SUB2(10.0.3.0)를 포함하였다면 해당 10.0.1과 10.0.3의 서브 네트워크에 속한 노드의 QoS레벨만을 조절한다(단, 서브 네트워크 마스크는 255.255.255.0이다.). 그리고 LVL필드는 QoS레벨을 제어하기 위해서 사용된다. 즉, QoS레벨을 하향 조절할 때는 01로, 상향 조절할 때는 10으로, 그리고 현재의 QoS레벨을 그대로 유지하고자 할 때는 00으로 설정한다. 마지막으로, NXT필드는 다음 번 토큰이 논리 링을 순환할 때 NRSV노드들 가운데 가장 먼저 토큰을 수신할 NRSV노드의 주소로 설정한다. 이는 토큰이 실시간 트래픽을 전송하기 위해 RSV노드를 방문한 후 남은 시간 동안 비실시간 트래픽을 전달하기 위해 NRSV노드를 방문하게 되는데, 특정 NRSV노드에만 토큰이 집중되어 일부 NRSV노드의 비실시간 트래픽이 전송되지 못하는 공황(Starvation)상황을 피하기 위해서 이다. 토큰의 동작에 대한 자세한 설명은 3.2.2장에서 하도록 하겠다.

CSMA/CD모드로의 전환: 최후의 RSV노드가 NRSV노드로 되었을 때, 해당 RSV노드는 CSMA/CD모드로의 전환을 요구하는 시스템 콜(reqCSMA/CD)을 R/G로 호출한다. Timed Token모드로의 전환 시와 유사하게 R/G는 transitCSMA/CD 메시지를 홈 네트워크 상에 브로드캐스팅하고, 모든 노드들로부터 ACK를 수신 받으면 CSMA/CD모드로 전환 하고, 마지막으로 토큰은 폐기한다.

## 3.2 QoS제어부

시스템이 Timed Token모드로 전환되면, QoS 제어부를 통해서 실시간 트래픽의 QoS를 제어한다. QoS제어부는 크게 RT 연결 설정(RT Connection Establishment)단계와 QoS레벨 제어(QoS Label Control)단계로 나누어진다.

먼저 연결 설정 단계에서는, 한 노드는 RT를 전

송하기 전에 대역폭을 할당받기 위한 메시지를 R/G에 전달한다. 메시지를 수신한 R/G는 가용 대역폭을 측정하여, 만약 충분한 가용 대역폭이 있으면 RT 연결을 설정한다. 다음의 QoS레벨 제어 단계에서는 홈 네트워크내의 가용 대역폭의 변화에 따라 동적으로 QoS레벨을 조절한다.

### 3.2.1 RT 연결 설정 단계

홈 네트워크 내부에서의 접속: 만약 한 노드가 RT를 다른 노드에 전송하고자 하면, QoS를 보장하기 위해서 양 노드 간에 RT 연결이 설정되어야 한다. 이를 위해 R/G는 서브 네트워크간의 병목구간 대역폭, 각 RT의 QoS레벨과 경로를 가지는 대역폭 관리 테이블(Bandwidth Management Table; BMT)을 관리한다. 그림 3은 RT 연결 설정 과정을 보여준다.

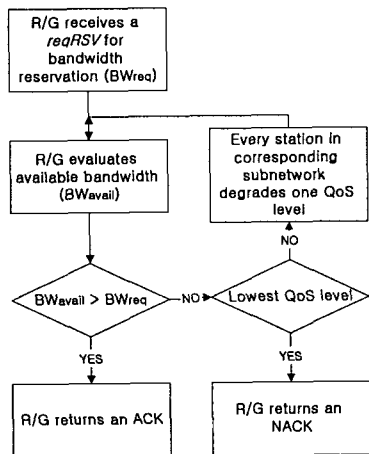


그림 3. RT 연결 설정 흐름도  
Fig. 3 RT Connection Establishment

R/G는 각 서브 네트워크간의 가용 대역폭(BWavail)을 측정하고 BMT를 주기적으로 갱신한다. 만약 한 노드가 RT를 전송하고자 한다면, 해당 노드는 요구 대역폭(BWreq)을 할당받기 위해 R/G에 BWreq 정보를 포함한 reqRSV 메시지를 R/G에 전송한다. 노드로부터 reqRSV 메시지를 수신하면, R/G는 우선 BWreq과 BWavail을 비교한다. 만약, 전송하고자 하는 RT의 BWreq에 비해 충분한 BWavail이 있다면 R/G는 ACK를 reqRSV 메시지

를 송신한 노드로 전송한다. ACK를 수신한 해당 노드는 BWreq을 할당 받아 RT를 전송하게 된다. 만약, BWreq에 비해 BWavail이 충분하지 않다면, R/G는 해당 서브 네트워크의 모든 노드의 QoS레벨을 한 단계 낮추었을 때의 BWavail을 추정하게 된다. 이러한 과정을 가용 대역폭이 요구 대역폭을 만족할 때(BWavail ≥ BWreq)까지 반복한다. 그러나 최저 QoS레벨에 이르렀음에도 불구하고 가용 대역폭이 요구 대역폭을 만족시키지 못할 때(BWavail < BWreq)는 NACK를 reqRSV 메시지를 송신한 노드로 전송한다. NACK를 수신한 해당 노드는 RT 연결을 설정할 수 없다. RT 연결을 설정하면 [IPsrc, IPdest, Number of Port]와 QoS레벨로 구성된 RT ID를 BMT에 추가한다.

BWavail의 추정치를 측정하기 위하여 ifInOctets, ifOutOctets과 ifSpeed와 같은 MIB (Management Information Base) 오브젝트를 사용한다. 측정을 위해 서로 다른 시간 x와 y에서 폴링을 하여 총 입출력 바이트를 측정하여 다음과 같이 BWavail의 추정치(BWestimate)를 계산한다.

$$BWestimate = \frac{ifSpeed - totalBytes}{y - x}$$

단,  $totalBytes = (ifInOctets_y - ifInOctets_x) + (ifOutOctets_y - ifOutOctets_x)$ ,  $ifInOctets =$  total number of octets received on interface,  $ifOutOctets =$  total number of octets transmitted on interface and  $ifSpeed =$  An estimate of interface's current data rate capacity.

그러나 계산한 BWestimate가 순간적인 급격한 변화에 민감하게 반응하는 것을 피하기 위해 다음과 같이 EWMA(Exponentially Weighted Moving Average)를 적용하였다.

$$BW_{avail} = \omega \times BW_{estimate} + (1 - \omega) \times \text{Average of } BW_{avail}$$

단, 본 논문에서는  $\omega = 0.4$ 로 설정하였다.

홈 네트워크와 인터넷간의 연결: DiffServ는 인터넷 상에서 CoS를 제공해주기 위한 가장 유망한 기술이다. 홈 네트워크와 인터넷 간에 통신이 유연하게(Seamlessly) 이루어지게 하기 위해서는

제안 프로토콜의 트래픽 계층과 DiffServ의 서비스 계층간에 매핑이 이루어져야 된다. 서비스 프로파일(Service profile)을 위반한 트래픽은 *Shaper*에서 조절된다. mMAC에서는 *Class Mapper*가 mMAC과 DiffServ간에 다음과 같이 매핑을 수행한다: NRT $\Leftrightarrow$ Best Effort Service, RT $\Leftrightarrow$ Assured Service and Premium Service. 서비스 프로파일을 위반한 트래픽은 *Shaper*가 해당 트래픽 일부나 전체의 지연 등을 통하여 서비스 프로파일에 적용한다. 셰이핑 후에는 R/G는 홈 네트워크 내에서의 연결과 같은 방법으로 RT를 전송한다.

### 3.2.2 QoS레벨 제어 단계

새로운 정보가전이 홈 네트워크에 접속되었을 때, 각 정보가전은 사용자의 요구, 전송 서비스의 특성에 따라 미리 권고된 최소 대역폭( $BW_{min}$ )과 최대 대역폭( $BW_{max}$ )을 R/G에 전송한다. R/G는 정보가전에 권고된  $BW_{min}$ 과  $BW_{max}$ , 정보가전이 접속한 서브 네트워크의 전송 속도(*ifSpeed*)를 가지고 RT에 할당되는  $THT_{min}$ 과  $THT_{max}$  (Token Holding Time)를 다음과 같이 계산하고, QLT를 생성한다.

$$[THT_{min}, THT_{max}] = \left[ \frac{BW_{min} \times P}{ifSpeed}, \frac{BW_{max} \times P}{ifSpeed} \right] \quad (1)$$

단,  $THT_{min}$  and  $THT_{max}$  [ms]: Maximum and minimum Token Holding Time allocated to RT, respectively,  $BW_{min}$  and  $BW_{max}$  [Mb/s]: Maximum and minimum bandwidth needed to transmit RT, respectively, P [s]: Token rotation time and *ifSpeed* [Mb/s]: Data rate capacity of network interface.

QLT는 IP 주소, 현재의 QoS레벨,  $BW_{min}$ 과  $BW_{max}$ , 그리고 식 (1)에서 구한  $THT_{min}$ 과  $THT_{max}$  사이의 4단계로 나누어진 서브 QoS레벨로 구성되어 있다.

**토큰 순환:** mMAC이 Timed Token모드로 전환되면, R/G는 토큰을 생성하고 RSV링에서 NRSV링으로 IP주소의 오름차순으로 순환한다.

**QoS레벨 제어:** 앞의 RT 연결 설정 단계에서 설정된 QoS레벨은 단지 MIB 오브젝트들로 측정된  $BW_{avail}$ 의 추정치에 의해 설정된 것으로 정확한 값은 아니다. 따라서 mMAC은 이 과정을 통

해서 정확한 QoS레벨로 보정하게 된다. 먼저, 제안 프로토콜의 시스템 파라미터에 대해 살펴보자. 첫째,  $TTRT_{total}$  (Target Token Rotation Time)은 토큰이 논리 링을 한 번 순환하는데 걸리는 시간을 의미한다. 둘째,  $TTRT_{tht}$ 는  $TTRT_{total}$  중 RSV노드에 할당될 수 있는 최대 시간을 의미한다. 이 시간동안 토큰을 수신한 RSV노드들은 RT를 전송할 수 있게 된다. 셋째,  $\Sigma THT_i$ 는 QoS를 제공하기 위해 실제 RT에 할당된 총 전송 시간을 의미한다. RT에 할당한 후 남은  $TTRT_{total}$ 의 시간 ( $TTRT_{total} - \Sigma THT_i - D$ )은 공황을 방지하기 위해 NRT에 할당된 전송 시간을 의미한다.

다음으로, 시한 경과는 아래의 제약 조건을 만족하지 않을 때 발생한다.

$$TTRT_{tht} \geq \Sigma THT_i + D \quad (2)$$

단, D는 총 지연이다.

마지막으로, 제안 프로토콜에서의 QoS레벨 제어는 이들 제약 조건들에 의해 시한 경과가 발생했을 때(DM = 1), 해당 노드는 토큰의 LVL필드를 01로 설정하여 경로상의 서브 네트워크의 모든 노드에 시한 경과와 발생을 통지하고, 각 노드는 이에 따라 QoS레벨을 낮춘다. 반대로, N번 연속해서 시한 경과가 발생하지 않았을 때는 QoS레벨을 높인다. 이외의 경우에는 현재의 QoS레벨을 유지한다.

### 3.2.3 mMAC의 동작 예

그림 1에서 예시한 홈 네트워크의 구성 예를 이용하여 mMAC의 동작을 살펴보자.

먼저 랩탑(3.1)에서 냉장고(.2.2)에 저장된 비디오를 재생 중이므로 mMAC은 Timed Token 모드에서 동작하고 있다고 가정하자(III, IV장에서 표기된 모든 IP주소에서 10.0은 생략하였다). 냉장고에 저장된 비디오는 [ $BW_{min}, BW_{max}$ ]=[2Mb/s, 5Mb/s]의 재생 대역폭을 권고하고 있다. 그 밖의 정보가전들은 NRT만을 전송하고 있다. 다음으로, 토큰 논리 링을 순환하는데 걸리는 시간( $TTRT_{total}$ )을 1/30초4로 설정하였고 RT에 할당된 대역폭( $TTRT_{tht}$ )은 1/50초로 설정하였다. R/G는 그림 4 (b)와 (c)와 같은 BMT를 관리하고 있다.

IP Address: .4.2	
QoS Level: 1	
BWmax: 10Mb/s	
BWmin: 5Mb/s	
Levels	THT (ms)
1	11
2	9
3	8
4	6

(a) QoS Level Table

	10.0.2	10.0.3	10.0.4	Internet
10.0.1	14Mb/s	9Mb/s	9Mb/s	8Mb/s
10.0.2	-	9Mb/s	14Mb/s	8Mb/s
10.0.3	-	-	<b>9Mb/s</b>	8Mb/s
10.0.4	-	-	-	8Mb/s

(b) Bottleneck Bandwidth

RT ID			QoS Level					Path		
IPsrc	IPdest	Port #	1	2	3	4	currLVL			
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
2.2	3.1	5000	12ms	10ms	7ms	5ms	2	10.0.2	10.0.3	-
<b>4.2</b>	<b>1.3</b>	<b>4700</b>	<b>11ms</b>	<b>9ms</b>	<b>8ms</b>	<b>6ms</b>	<b>2</b>	<b>10.0.2</b>	<b>10.0.4</b>	<b>10.0.3</b>

(c) QoS Level and Path of each RT

그림 4. QLT와 BMT의 예  
Fig. 4 An Example of QLT and BMT

이제, 재생 대역폭이 VHS 비디오의 품질에 해당되는  $[BW_{min}, BW_{max}] = [5Mb/s, 10Mb/s]$ 로 권고된 MPEG-2를 지원하는 비디오 카메라가 홈 네트워크의 서버 네트워크 10.0.4에 접속을 시도할 때, mMAC의 동작을 단계별로 살펴보자.

**(1단계) QoS레벨 테이블 생성:** R/G는 다음과 같이  $THT_{min}$ 과  $THT_{max}$ 를 계산하고, 그림 4 (a)와 같이 QLT를 생성한다:

$$[THT_{min}, THT_{max}] = \left[ \frac{5Mb/s \times \frac{1}{30} \text{ sec}}{32Mb/s}, \frac{10Mb/s \times \frac{1}{30} \text{ sec}}{32Mb/s} \right] \approx [6ms, 11ms].$$

**(2단계) RT 연결 설정:** 비디오 카메라(4.2)가 MPEG-2 스트림을 TV(1.3)에 전송하려고 하면, 우선  $BW_{max}$ (즉,  $BW_{req} = 10Mb/s$ )로 연결 설정을 시도한다. 그러나 양 노드간의 링크는 단지 9Mb/s만을 제공할 수 있기 때문에 (그림 4 (b)), R/G는 경로상의 모든 서버 네트워크에게  $BW_{avail}$ 을 만족할 때까지 QoS레벨을 낮출 것을 명령한다. QoS레벨이 2일 때,  $BW_{req} = 8.3Mb/s$ 가  $BW_{avail} = 9Mb/s$ 를 만족하므로 RT 연결이 설정된다. RT 연결이 설정될 때,  $RT_{[4.2, 1.3, 4700]}$ 이 그림 4 (c)와 같이 테이블에 추가된다. 만약, QoS레벨이

변경되면 이 테이블은 갱신된다.

**(3단계) 토큰 순환:** 그림 1은 다음과 같은 9개의 노드로 구성되어 있다: R/G=4.1, RSV노드 = 2.2, 4.2, 그리고 NRSV노드=1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 3.1, 3.2. 첫 번째 토큰 순환 시, RSV노드를 방문 ( $TTRT_{th}$ )한 후 남은 시간 동안 전송하고자 했지만 목표 토큰 순환 시간( $TTRT_{total}$ )으로 인해 전송되지 못한 노드가 2.1 노드라고 가정하면, 다음 번 토큰 순환 시에는 NRSV링에서 최초로 방문해야만 하는 노드는 2.1 노드가 되며 이는 토큰의 NXT 필드에 설정된다. 이 두 번의 토큰 순환 과정을 살펴보면 다음과 같다(여기서 굵은 글씨체는 RSV링을 의미한다.).

**.2.2 → 4.1 → 4.2 → 1.1 → 1.3** (첫 번째 토큰 순환)  
**→ 2.2 → 4.1 → 4.2 → 2.1 → 3.1 → 3.2 → 1.1** (두 번째 토큰 순환) → ...

**(4단계) QoS레벨 제어:** R/G는  $RT_{[2.2, 3.1, 4700]}$ 과  $RT_{[4.2, 1.3, 4700]}$ 의 QoS레벨을 2로 설정한다. 그러나,  $RT_{[2.2, 3.1, 4700]}$ 과  $RT_{[4.2, 1.3, 4700]}$ 을 전송하기 위해서는  $THT_{2.2} = 12ms$ 와  $THT_{4.2} = 11ms$ 가 각각 할당되므로, 이는  $\Sigma THT_i = 12ms + 11ms = 23ms$ (단,  $D = 0ms$ )가 되어  $TTRT_{th} = 20ms$ 를 초과하게 되어(식 (2)), R/G는 토큰의 LVL을 01로 설정함으로써 현재의 QoS레벨을 2에서 3으로 낮추도록 한다.

#### IV. mMAC의 구현

본 논문에서 구현한 프로토타입은 FreeBSD v3.5.1을 운영체제로 하는 733 MHz 인텔 펜티엄 프로세서를 탑재한 PC와 DEC21140A를 탑재한 랜 카드를 이용하여 개발하였다. mMAC의 모든 모듈은 FreeBSD v3.5.1 시스템 상에서 Dynamic Kernel Linker(KLD)기법을 이용하여 구현하였다 [9,10,11].

제안 프로토콜은 다음과 같은 세 개의 컴포넌트들로 구성된다.

- 사용자 인터페이스 컴포넌트(User Interface Component)는 사용자 영역과 커널 영역간의 통신을 담당한다.
- QoS 제어 컴포넌트(QoS Control Component)는 QLT와 토큰의 정보를 이용하여 QoS레벨을 제어한다.
- 프로토콜 운용 컴포넌트(Protocol Operation Component)는 커널 영역에서 토큰의 전달, RT와 NRT의 전송 등 프로토콜의 운용과 관련된 일을 수행한다.

#### 4.1 소프트웨어 아키텍처

##### 4.1.1 사용자 인터페이스 컴포넌트

사용자 인터페이스 컴포넌트는 사용자 영역의 프로세스로부터의 요구에 따라 커널 영역의 구현된 프로토콜의 시스템 콜을 호출하는 역할을 수행한다. 그림 5은 사용자 영역에서의 요구에 의해 호출된 시스템 콜의 흐름을 보여주고 있다. 본 구현에서는 이들 시스템 콜을 셋업(Setup), 클라이언트(Client), 서버(Server), 입력(Input), 출력(Output), 종료(Termination)의 여섯 개의 부문으로 나누었다. 먼저, 셋업 부문은 새로운 RT 연결을 설정하고 서비스의 종류에 따라 다음 시스템 콜을 호출한다. 만약, 서비스의 종류가 CLIENT라면 클라이언트 부문으로, SERVER이면 서버 부문의 시스템 콜을 호출한다. 출력과 입력 부문은 버퍼로부터 데이터를 보내거나 버퍼로 데이터를 수신하는 역할을 하는 시스템 콜들로 각각 구성되어 있다. 마지막으로, 종료 부문은 RT 연결의 종료와 관련된 시스템 콜들로 구성되어 있다.

0

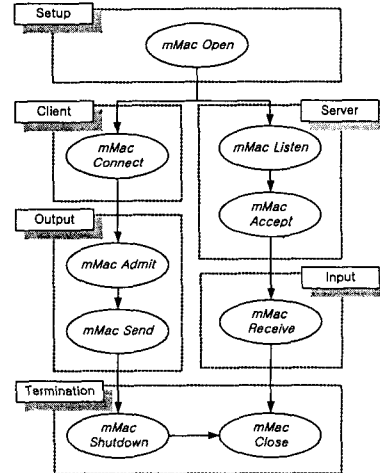


그림 5. 시스템 콜의 흐름  
Fig. 5 Flow of System Calls

#### 4.1.2 QoS 제어 컴포넌트

QoS 제어 컴포넌트는 QLT와 QoS 관리자의 두 서브 모듈로 구성되어 있다. QLT는 텍스트형태의 테이블로, 가전이 홈 네트워크에 접속될 때 식 (1)에 따라 생성된다. 다음으로 QoS 관리자는 커널로부터 토큰 정보를 수신하고, 수신된 토큰 정보에 따라 QoS레벨을 제어한다.

#### 4.1.3 프로토콜 운용 컴포넌트

프로토콜 운용 컴포넌트는 크게 전송 처리기능(Transmission process)과 토큰 처리기능(Token process)으로 나눌 수 있다.

먼저 전송 처리기능은 커널 내에서 RT와 NRT의 전송에 관련된 기능으로 3.2.2장에서 기술한  $TTRT_{total}$ ,  $TTRT_{tht}$ 와  $\Sigma THT_i$ 의 세 파라메터를 이용하여 제어한다.  $j$  노드로부터 RT 연결이 설정되면, RT는  $THT_j$ 동안에만 사용자 영역의 버퍼로부터 데이터를 읽어서, 일대일 대응된 커널 영역의 버퍼로 직접 데이터를 쓴다. RT는  $\Sigma THT_i$ 가  $TTRT_{tht}$ 를 초과하지 않도록 QoS레벨을 제어한다 (식 (2)). 한편, NRT는 RT를 전송하고 남은 시간 ( $TTRT_{total} - \Sigma THT_i - D$ )동안 전송된다.

다음으로 토큰 처리기능은 토큰의 순환과 토큰의 정보처리에 관련된 기능으로, 이를 위해 각 노드는 논리 링을 구성하기 위한 전후 노드의 주소와 다음에 전송될 RT의 위치를 가리키는 포인터



등을 관리하는 구조체를 가지고 있다.

#### 4.2 성능 평가

##### 4.2.1 실험 환경

구현된 mMAC의 성능을 평가하기 위해, 네 대의 733 MHz PC, 100BASE-TX의 랜 카드와 허브로 네트워크를 구성하고 내부 트래픽을 관측하고 분석하기 위해 HP Internet Advisor를 이용하였다(그림 6). 그리고 각 PC의 시스템 시간을 동기화하기 위해 Network Time Protocol(NTP, <http://www.eecis.udel.edu/~ntp>)과 트래픽 패턴을 생성시키기 위해 Multi-Generator (MGEM, <http://manimac.itd.navy.mil/MGEM>)를 사용하였다.

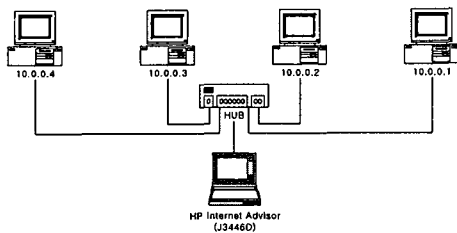


그림 6. 실험 환경  
Fig. 6 Experiment Environment

##### 4.2.2 CSMA/CD프로토콜의 성능 평가

본 실험은 CSMA/CD프로토콜에서의 충돌로 인한 지연과 각 연결의 불공평성을 확인하기 위해 실행하였다. 그리고 설명을 간편하게 하기 위해 4.2장에서 표기된 모든 IP주소에서 10.0.0은 생략하였다.

먼저, 충돌로 인한 지연을 측정하기 위해, .3 노드에서 .1 노드로 지수분포의 특성을 가지는 부하 트래픽을 전송하면서, .4 노드에서 .2 노드로의 지연을 측정하였다. UDP소켓으로 구현한 Ping프로그램으로 전송 지연을 측정하였으며, MGEM으로 부하 트래픽 패턴을 생성하였다.

그림 7은 CSMA/CD의 경우 부하 트래픽이 증가함에 따라 평균 전송 지연과 그의 표준편차(지터)가 폭발적으로 증가하고 있음을 보여주고 있다. 특히, 고정 전송 지연보다 지터가 실시간 트래픽의 QoS에 큰 영향을 미친다는 점에서 과부

하 상태에서의 CSMA/CD프로토콜은 실시간 트래픽 전송에는 적합하지 않음을 확인할 수 있었다.

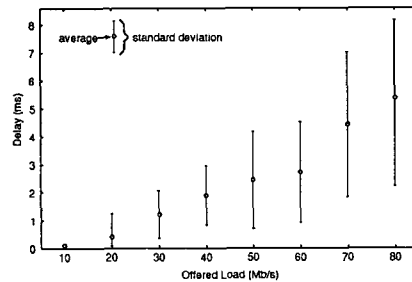


그림 7. CSMA/CD에서의 전송 지연 특성  
Fig. 7 Delay under CSMA/CD

다음으로, 각 연결에 대한 불공평한 대역폭의 할당을 확인하기 위해, 지수분포의 특성을 가지는 10Mb/s의 부하 트래픽을 .3 노드로부터 .1 노드로 전송하면서 6Mb/s의 MPEG2 스트림의 전송을 가정하여 UDP 데이터 스트림을 이용하여 매초 30개의 25,600bytes/frame 크기의 프레임을 .2 노드로부터 .4 노드로 전송하여 이를 HP Internet Advisor를 이용하여 측정하였다. 그 결과 각 스트림은 5.88Mb/s, 5.16Mb/s 그리고 3.54Mb/s의 대역폭을 할당 받았음을 알 수 있었다. 대역폭의 공평한 할당은 다수의 노드가 전송 매체를 공유하여 동시에 다수의 노드가 매체로의 접근을 시도하는 네트워크에 있어서는 매우 중요한 문제가 된다. 즉, HomePNA를 이용하여 홈 네트워크를 구성하였을 경우, MAC프로토콜로서 CSMA/CD 프로토콜을 사용하고 있으므로 실시간 트래픽에 할당하려고 하는 대역폭이 실제로 할당되었는지 보장할 수 없다.

##### 4.2.3 mMAC의 성능 평가

본 실험은 mMAC의 RT에 대한 낮은 전송 지연과 지터 특성을 밝히고, QoS레벨 제어의 동작을 확인하기 위해 실행하였다.

먼저, RT의 전송 지연 특성을 측정하기 위해, 앞서 4.1장에서 살펴본 mMAC 시스템 콜을 이용하여 측정용 어플리케이션을 구성하였다. RT는 매초 30개의 25,600bytes/frame 크기의 프레임

전송하며, 송수신 측에서 타임스탬프(Timestamp)를 기록하여 전송 지연을 측정하였다. 한편, NRT는 UDP소켓으로 구현한 Ping프로그램으로, 송수신 측에서 타임스탬프를 기록하여 전송 지연을 측정하였다. 부하 트래픽 패턴은 앞 실험에서와 마찬가지로 MGEN을 이용하여 생성하였다. 본 실험에서는 모든 RT, NRT와 부하 트래픽을 2, 3과 4 노드로부터 1 노드로 전송하였다. 그림 7은 부하 트래픽에 따른 RT와 NRT의 전송 지연 특성과 그의 표준편차(지터)를 보여주고 있다.

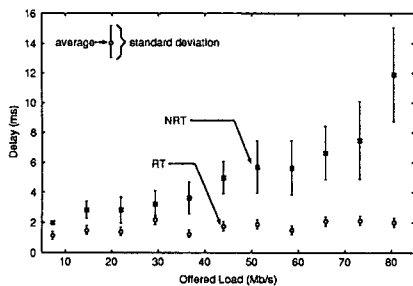


그림 8. mMAC에서의 전송 지연 특성  
Fig. 8 Delay under mMAC

그림 8에 의하면 RT의 전송 지연은 모든 부하 트래픽 영역에 대해 2ms 이내에서 억제되고 있음을 알 수 있다. 이것은 mMAC이 결정적인 접근(Deterministic access)의 특성을 가지는 프로토콜이고 각 RT에 대해 대역폭을 할당할 수 있기 때문이다. 한편, NRT도 결정적인 접근으로 인해 과부하시 충돌로 인한 지연을 피할 수 있으므로 CSMA/CD프로토콜보다 낮은 전송 지연과 지터 특성을 가진다.

마지막으로, QoS레벨 제어의 동작을 확인하기 위해 다음과 같은 시나리오로 실험을 실시하였다.

먼저,  $TTRT_{total}=33ms$  (MPEG 비디오 스트림의 경우 매 초 30 프레임이 생성되므로, 토큰이 논리 링을 1/30 초에 1회 순환하도록 정의 하였다.),  $TTRT_{th}=10ms$  (20Mb/s에 해당; 실험적으로 이더넷의 실제 제공 가능한 대역폭은 원 데이터 대역폭(raw data bandwidth)의 60% 정도라는 것을 알았다. 따라서  $TTRT_{th} = (100Mb/s \times 0.6) \times (10ms/33ms) \approx 20Mb/s$ 가 된다.)로 mMAC의 시

스템 파라메타를 설정하였다. 그리고 QoS레벨은 세 단계로 나누어, 1단계는 4ms (8Mb/s에 해당), 2단계는 3ms(6Mb/s에 해당) 그리고 3단계는 2ms(4Mb/s에 해당)로 나누었다.

다음으로, 매 300ms 당 RT의 개수를 2→3→3→4→3으로 변화시키면서 할당되는 대역폭을 관측하였다. 즉, (a)~(b)구간에서는 .2와 .3 노드에서 .1 노드로 RT를 전송하였고, (b)~(c)구간에서는 .2, .3과 .4 노드에서 .1 노드로 RT를 전송하였으며, (c)~(d)구간에서는 .2 노드에서 두개의 RT를 .3 노드에서 한 개의 RT를 .1 노드로 전송하였고, (d)~(e)구간에서는 .3과 .4 노드에서 각 2개의 RT를 .1 노드로 전송하였고, 마지막으로, (e)~(f) 구간에서는 .2, .3과 .4 노드에서 .1 노드로 RT를 전송하였다. 그림 9는 각 구간에 따른 할당된 대역폭을 보여주고 있다.

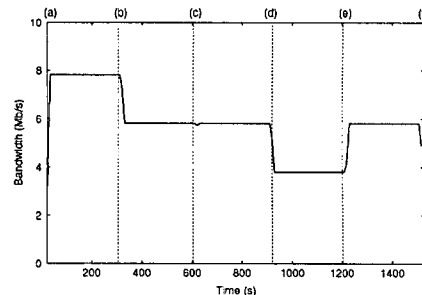


그림 9. mMAC에서의 QoS레벨 제어  
Fig. 9 QoS Level Control under mMAC

그림 9의 실험 결과로부터, 가용 대역폭의 범위 내에서 다수의 RT가 전송되도록 각 RT의 QoS레벨이 실행 중 동적으로 제어됨을 알 수 있다. 이는 RT가 증가하여 시한 경과가 발생되더라도, mMAC은 특정 RT의 전송이 중지되지 않고 QoS레벨을 낮춤으로써 시한 경과를 해소할 수 있음을 의미한다.

V. 결 론

지금까지 제안된 수많은 홈 네트워크 기술들 중, 비용 대 성능의 측면에서 HomePNA, HomePlug, HomeRF 등이 가장 유망한 기술로 전망되고 있다. 그러나 HomePNA와 HomePlug는 우선 순위 기법을 이용하여 Class of Service (CoS)만을 제공하며, HomeRF는 실시간 트래픽중 음성만을 고려하여 설계되었기 때문에 홈 네트워크 상의 주요 트래픽인 오디오나 비디오의 QoS를 보장할 수가 없다. 이러한 문제점들을 해결하기 위해 본 논문에서는 홈 네트워크에서 실시간 트래픽의 QoS를 보장하기 위한 MAC 프로토콜인 mMAC을 제안하고 구현을 통한 실험으로 성능을 분석하였다.

성능 분석 결과, mMAC은 크게 두 가지 점에서 기존의 CSMA/CD 프로토콜보다 우수함을 확인할 수 있었다. 첫째, mMAC은 결정적인 접근으로 RT에 대해 대역폭을 할당할 수 있고, NRT에 대해서도 충돌로 인한 지연 등을 피할 수 있으므로 우수한 전송 지연 특성과 지터 특성을 가지고 있었다. 둘째, 각 RT의 QoS레벨이 실행 중 동적으로 제어됨으로써 가용 대역폭의 범위 내에서 시한 경과로 인한 서비스의 중단 없이 RT가 전송됨을 확인하였다.

참고문헌

[1] G. Abe, "Residential Broadband 2nd Ed.," pp. 285-322, Cisco Press, 2000.  
 [2] Dutta-Roy, "Networks for Homes, IEEE Spectrum," Dec. 1999.  
 [3] HomePNA, "Interface Specification for HomePNA2.0 10M8 Technology," Dec. 1999.  
 [4] W. Stallings, "Local Network Performance, IEEE Communications Magazine," vol. 22, no. 2, Feb. 1984.  
 [5] T. C. Kwok, "Residential Broadband Internet Services and Applications Requirements," IEEE Communications Magazine, June 1997.  
 [6] ANSI/IEEE Std 802.3, "CSMA/CD Access

Method and Physical Layer Specifications," 1985.

[7] N. Malcolm and W. Zhao, "The Timed Token Protocol for Real-Time Communications," IEEE Computer, vol 27, no. 1, Jan. 1994.  
 [8] ANSI/IEEE Std 802.4, "Token-passing bus access method and physical layer specifications," 1990.  
 [9] W. R. Stevens, "TCP/IP Illustrated, Volume1: The Protocols," Addison Wesley, 1994.  
 [10] G. R. Wright, W. R. Stevens, "TCP/IP Illustrated, Volume2: The Implementation," Addison Wesley, 1995.  
 [11] The Hacker's Choice (THC), "Attacking FreeBSD with Kernel Modules,"  
<http://www.thehackerschoice.com/papers/bsdkernel.html>.

저자소개



황원주(Won-Joo Hwang)  
 2002. 9: 일본 오사카대학 정보시스템공학과 공학박사  
 2002. 9~현재: 인제대학교 전자정보통신공학부 전임강사

※관심분야: 홈 네트워킹, 인터넷 QoS, 멀티미디어 MAC 프로토콜 등