

# 이더넷 PON에서 다중 클래스 서비스를 위한 계층적 구조 기반의 동적 대역 할당 알고리즘

정희원 한 경 은\*, 안 계 현\*\*, 김 영 천\*

## Hierarchical-based Dynamic Bandwidth Allocation Algorithm for Multi-class Services in Ethernet PON

Kyeong-Eun Han\*, Kye-Hyun Ahn\*\*, Young-Chon Kim\* *Regular Members*

### 요 약

본 논문에서는 이더넷 PON(Passive Optical Network)에서 다중 클래스 서비스를 효율적으로 제공하기 위한 동적 대역 할당 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 OLT(Optical Line Terminal)에 존재하는 상위 단계 스케줄러와 ONU(Optical Network Unit)에 존재하는 하위 단계 스케줄러로 구성된다. 계층적 구조 기반의 대역 할당 알고리즘은 대역 할당을 수행하는 스케줄러와 스케줄의 대상이 되는 큐가 거리 상으로 분산되어 있는 이더넷 PON 시스템에서 확장성과 자원의 효율성을 제공할 수 있다. 또한 본 논문에서는 ONU에서 수행하는 하위 단계 대역 할당 알고리즘으로 비례 할당 알고리즘, 최대 요구 우선 할당(Maximum Request First Allocation: MRFA) 알고리즘, 우선 순위 우선 할당(High Priority First Allocation: HPFA) 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘의 성능 평가를 위해 OPNET을 이용하여 IEEE 802.3ah 기반의 이더넷 PON 시스템을 설계하고 시뮬레이션을 수행하였으며 각 알고리즘의 채널 이용률, 큐잉 지연, 잔여대역 관점에서 성능을 평가하고 분석하였다.

**Key Words** : Ethernet PON; Multi-class service; Dynamic bandwidth allocation; Passive optical network.

### ABSTRACT

In this paper we propose the hierarchical-based dynamic bandwidth allocation algorithm for multi-class services in Ethernet-PON. The proposed algorithm consists of the high level scheduler in OLT and the low level scheduler in ONU. The hierarchical architecture is able to provide scalability and resource efficiency in Ethernet-PON which has the distributed nature of the scheduling domain, with queues and the scheduler located at a large distance from each other. We also propose three dynamic bandwidth allocation algorithms for the low level scheduler: Proportional Allocation algorithm, Maximum Request First Allocation (MRFA) algorithm and High Priority First Allocation (HPFA) algorithm. We implement the Ethernet-PON standardized in the IEEE 802.3ah using OPNET. We also evaluate and analyze the performance for the proposed algorithms in terms of channel utilization, queuing delay and the amount of remainder.

### 1. 서 론

가입자망의 고속화를 위한 기술로 현재 광가입자

망 기술 수준, 가입자의 형태, 지리적 조건, 서비스 품질, 경제성 등을 고려할 때 수동형 광가입자망 (Passive Optical Network : PON)이 현실성 있는

\* 전북대학교 컴퓨터공학과, 영상정보통신기술연구소 (kehan@networks.chonbuk.ac.kr, yckim@chonbuk.ac.kr)

\*\* 한국전자통신연구원 (khyun@etri.re.kr)

논문번호 : 030334-0801, 접수일자 : 2003년 8월 4일

※ 본 연구는 삼성전자(주)와 한국산업기술재단의 석·박사 양성 사업의 일환으로 수행되었습니다.



구현 방안으로 주목받고 있다. PON은 하나의 OLT (Optical Line Terminator)에 여러 개의 ONU (Optical Network Unit)를 수동분배기를 사용하여 연결함으로써 트리 구조의 분산 토폴로지를 형성하는 가입자망 구조이다. 따라서 전-광(electro-optic) 신호의 변환 없이 여러 가입자간 신호를 결합·다중화하여 고속 기간망에 전달할 수 있어 FTTC (Fiber To The Curb)나 FTTH(Fiber To The Home)에 적합한 구현 방식으로 제시되고 있다. 특히 이더넷 PON은 인터넷 트래픽의 95%를 차지하는 이더넷 프레임을 활용하는 방법으로, ATM (Asynchronou Transfer Mode)과 IP 프로토콜간 변환에 따른 오버헤드를 제거함으로써 더 넓은 대역폭을 제공하고, 유지 보수 및 트랜시버 소자 가격이 저렴하여 경제적인 서비스를 제공할 수 있는 광가입자망 기술로 각광받고 있다. IEEE 802 LAN(Local Area Network)/MAN (Metropolitan Area Network) 표준 위원회는 2000년 11월에 기존 CSMA/CD(Carrier Sence Multiple Access/Collision Detection) 기반의 이더넷 LAN 기술을 개발하던 802.3 Working Group 산하에 EFM(Ethernet in the First Mile) 스터디 그룹을 결성하고 이더넷 PON 기술에 대한 표준화에 착수하여 2004년 7월까지 표준화를 완료한다는 계획이다. 현재 IEEE 802.3ah EFM은 이더넷 PON을 위한 매체접근제어으로써 MPCP(Multi-Point-Control-Protocol)를 채택하였으며, 결정된 베이스 라인을 기반으로 세부적인 표준화 작업을 진행중이다<sup>[1-12]</sup>.

이더넷 PON은 하나의 OLT에 여러 개의 ONU를 수동 분배기를 사용하여 연결함으로써 트리 구조의 분산 토폴로지를 형성하는 가입자망 구조를 갖는다. 이더넷 PON에서 하향 트래픽은 방송(broadcast)의 형태로 각 ONU에게 전송되며, 상향 트래픽은 다수의 ONU가 공유하는 형태이므로 상향 채널을 이용하고자 하는 각 ONU에게 공평하고 효율적인 채널 분배를 하기 위한 매체접근제어 기능이 요구된다<sup>[9]</sup>. 특히 이더넷 PON은 음성통신, 고품질 비디오, 비디오 회의, 실시간 거래, 그리고 데이터 전송과 같은 다양한 서비스를 제공할 수 있어야 한다. 따라서 제공하는 각 서비스의 특성을 고려하여 상향채널 대역을 효율적으로 사용하고 각 가입자들의 다양한 서비스 요구를 충족시킬 수 있는 동적 대역 할당 알고리즘이 필요하다. 동적 대역 할당 알고리즘은 벤더의 명세(vendor specific)에 의해 결정되며 EFM 표준화 범위에 포함되지 않는다.

이더넷 PON에서의 동적 대역 할당 알고리즘에 관한 활발한 연구가 이루어지고 있다. MAC프로토콜의 구조 설계를 주요 목적으로 수행한 연구들은 단일 종류의 트래픽을 기반으로 대역 할당을 수행하였으나<sup>[7,8,9,10]</sup>, 최근 연구에서는 선진 연구 결과를 바탕으로 다양한 서비스의 특성을 고려한 대역 할당 알고리즘을 제안하고 있다<sup>[11,12]</sup>. 이들 연구 중에서 [11]과 [12]는 MPCP 구조를 기반으로 다양한 서비스 클래스를 고려한 알고리즘을 제안하였다. 하지만 [11]과 [12]가 제안한 알고리즘들은 OLT가 ONU에 위치한 모든 큐들에 대한 대역을 직접 할당하는 단일 스케줄링을 수행한다. 단일 스케줄링은 OLT에 위치한 스케줄러가 ONU에 위치한 다양한 큐들을 대상으로 스케줄링 한다는 것을 의미한다. 이더넷 PON에서는 다른 ONU에 위치한 다른 큐로부터 전송된 패킷 사이에 가드 타임을 요구하기 때문에, 500 바이트의 평균 이더넷 패킷 크기와 1Gbps의 링크 용량, 그리고 가드 타임 1 $\mu$ s를 고려했을 때 20%의 오버헤드가 발생하며, 최소 이더넷 패킷 크기 64바이트가 전송된다고 가정하면 66%의 오버헤드가 발생한다. 따라서 [11], [12]와 같이 단일 스케줄링을 기반으로 하는 대역 할당 알고리즘들은 각 큐에게 대역을 공정하게 할당하고 전송할 수는 있으나 이더넷 PON에서의 시스템 확장성과 효율성의 측면에서는 바람직하지 못하다. 또한 이더넷 패킷은 가변 길이를 갖기 때문에 전송 대역폭을 요구량에 따라 비례적으로 할당할 때, 할당은 되었으나 패킷 길이보다 작은 대역폭으로 인하여 실질적으로 패킷 전송에 사용되지 못하는 문제가 발생할 수 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 단일 스케줄링 기반의 동적 대역 할당 알고리즘의 문제점을 해결하고 이더넷 PON에서 확장성과 자원의 효율성을 제공하기 위하여 계층적 스케줄링 기반의 동적 대역 할당 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 가변 길이를 갖는 이더넷 패킷을 고려하여 비례 할당의 반복 수행으로 인하여 발생하는 대역의 낭비를 최소화 할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 이더넷 PON 시스템 구조와 매체접근제어 프로토콜, 계층적 기반의 스케줄링의 필요성에 관하여 기술한다. III장에서는 서비스 클래스를 정의하고 계층적 구조를 갖는 다양한 동적 대역 할당 알고리즘을 제안한다. IV장에서는 OPNET을 이용하여 MPCP를 고려한 이더넷 PON 시스템을 구현하고 시뮬레이션을



수행하여 제안한 알고리즘의 성능을 채널 이용률, 큐잉 지연 관점에서 평가하고 분석한다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

## II. 이더넷 PON 시스템

### 1. 이더넷 PON 시스템 구조

이더넷 PON 시스템은 하나의 OLT와 다수의 ONU, 그리고 ODN(Optical Distribution Network)으로 구성된다. OLT는 트리 구조의 루트에 위치하여 다수개의 ONU와 연결되어 가입자망에 위치한 모든 가입자들에게 정보를 제공하기 위한 중심적인 역할을 수행한다. ONU는 가입자망의 종단에 위치하며, 단일의 가입자(fiber-to-the-home) 또는 다수의 가입자(fiber-to-the-curb)에게 서비스를 제공한다. OLT와 ONU는 수동 분배기의 역할을 하는 ODN으로 연결되며 ODN은 1:N 분배기와 N:1 결합기로 구성된다. 이더넷 PON의 상·하향 링크는 각각 1Gbps 전송률을 가지며 이를 통해 가변 길이의 이더넷 프레임의 전송한다. 또한 OLT에서 ONU까지의 거리는 최대 20Km 이내로 제한한다. 그림 1은 이더넷 PON에서의 상·하향 전송을 나타낸다<sup>[6]</sup>.

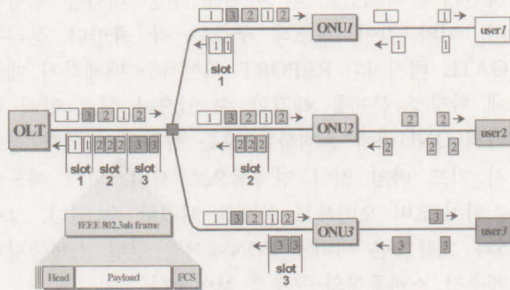


그림 1. 이더넷 PON에서의 상·하향 전송

하향 전송에서 OLT는 이더넷 프레임을 ONU에게 방송(broadcast)하며 각 ONU들은 자신의 MAC 주소와 일치한 프레임만을 수신한다. 반면 상향 전송에서는 다수의 ONU들이 공유된 망 자원을 통해 상향 프레임을 전송한다. 상향 전송 시 ONU들은 다른 ONU의 트래픽 정보를 알 수 없기 때문에 ONU간의 데이터 충돌이 발생할 수 있다. 따라서 데이터의 충돌을 피하고 공유된 망 자원의 효율적 사용을 위해 매체 접근 제어 프로토콜이 필요하며 MPCP가 이더넷 PON을 위한 매체 접근 제어 프로

토콜로 표준화되었다.

MPCP는 각 ONU들에게 상향 전송을 위한 타임슬롯을 동적으로 할당하기 위해 요청-허가 기반의 매체 접근 제어 프로토콜 구조를 갖는다. 이러한 구조에서 OLT는 각 ONU의 전송 요구 정보를 수집하고 이를 기반으로 대역을 동적으로 할당하는 동적 대역 할당 알고리즘 수행하기 때문에 망의 트래픽 변화에 따라 자원을 효율적으로 사용할 수 있다. MPCP에서는 동적 대역할당을 위한 제어 메시지로 64바이트 크기의 GATE 메시지와 REPORT 메시지를 사용한다. GATE 메시지는 상향 전송을 위해 할당된 타임슬롯 정보를 단일의 ONU에게 전송하기 위해 4 바이트의 전송 시작 시점(Grant start time) 필드와 2 바이트의 할당된 전송 대역(Grant Length) 필드를 사용한다. 이 두 필드는 단일 ONU에게 할당되는 GATE 수에 따라 반복될 수 있다. REPORT 메시지는 1 바이트의 요청 비트맵(Report bitmap) 필드와 2 바이트의 큐 요청(Queue report) 필드를 통해 단일의 ONU가 포함하고 있는 서비스 큐의 정보를 OLT에게 전송한다. 큐 요청(Queue report) 필드는 ONU가 서비스하는 큐의 개수에 따라 여러 개가 사용될 수 있으며 사용된 큐는 요청 비트맵(Report bitmap) 필드에 기록된다. EFM에서는 서비스 클래스를 위한 큐의 개수를 최대 8개로 정의하고 있다. 그림 2와 그림 3은 GATE 메시지와 REPORT 메시지의 구조를 나타낸다<sup>[6]</sup>.

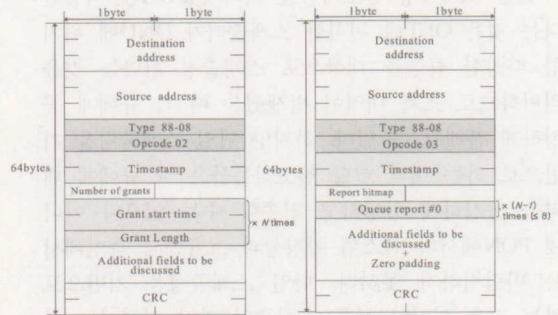


그림 2. GATE 메시지

그림 3. REPORT 메시지

먼저 OLT는 각 ONU가 전송 대역 요청을 위한 REPORT 메시지를 전송할 수 있도록 하향 채널을 통해 GATE 메시지를 전송한다. GATE 메시지는 해당 ONU의 전송 시작 시점과 할당된 대역의 크기를 전달한다. 만약 이전 프레임에서 ONU가 데이터 전송을 위해 요청한 대역이 없다면 OLT는



REPORT 메시지를 전송할 수 있는 대역만을 할당한다. GATE 메시지를 수신한 ONU는 자신의 큐에 저장된 데이터 패킷의 길이 정보를 OLT에게 전송하여 대역을 요청한다. OLT는 ONU들이 요청한 대역의 총합과 할당 가능한 상향 전송 대역을 고려하여 각각의 ONU에게 할당할 상향 전송 대역을 결정하고, GATE 메시지를 통해 ONU에게 방송한다. ONU는 자신이 할당받은 전송 대역을 통해 상향 데이터 패킷을 전송하며, 다음 프레임에서 필요한 전송 대역을 요청하기 위한 REPORT 메시지도 함께 전송한다. 그림 4는 동적 대역 할당을 위한 제어 메시지 교환 절차이다<sup>[6]</sup>.

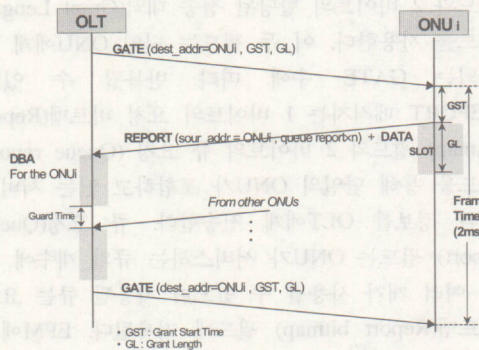


그림 4. 동적 대역 할당을 위한 절차

## 2. 이더넷 PON에서의 계층적 스케줄링

단일 스케줄링 알고리즘을 이더넷 PON에 적용한다는 것은 OLT에 위치한 스케줄러가 ONU에 위치한 다양한 큐들을 대상으로 스케줄링 한다는 것을 의미하므로 초과 대역이 발생했을 때 각 큐에게 공정하게 분배될 수 있다. 하지만 단일 스케줄링을 기반으로 하는 대역 할당 알고리즘들은 각 큐에게 대역을 공정하게 할당하고 전송할 수는 있으나 이더넷 PON에서의 시스템 확장성과 효율성의 측면에서는 바람직하지 못하다. 단일 스케줄링을 기반으로 하는 경우 다양한 큐를 스케줄링 하기 위해서는 각 큐에게 전송하기 위해 큐마다 분리된 GATE 메시지와 각 큐가 요청하는 대역을 전송하기 위해 큐마다 분리된 REPORT 메시지를 필요로 한다<sup>[7]</sup>. 예를 들어, 32개의 ONU가 각각 128개의 가입자를 서비스하고 각 가입자는 3개의 큐를 가지고 있다고 가정하면 총 12288개의 큐가 존재한다. 또한 3개 중 1개의 큐가 최대 1.5ms의 지연을 갖는 음성서비스를 한다고 생각하면 1.5ms안에 4096개의 GATE 메시

지 전송이 필요하다. 그러나 GATE 메시지만 전송하는데 2.75ms가 걸리기 때문에 4096개의 음성서비스를 위한 큐는 지원될 수 없다. 또한 이더넷 PON에서는 다른 ONU에 위치한 다른 큐로부터 전송된 패킷 사이에 가드 타임을 요구한다. 따라서 500 바이트의 평균 이더넷 패킷 크기와 1Gbps의 링크 용량, 그리고 가드 타임 1 $\mu$ s를 고려했을 때 20%의 오버헤드가 발생하며, 최소 이더넷 패킷 크기 64바이트가 전송된다고 가정하면 66%의 오버헤드가 발생한다. 따라서 이더넷 PON과 같이 분산된 시스템에서는 계층적 구조를 갖는 대역 할당 알고리즘이 적합하다. 계층적 스케줄링 구조에서 모든 큐들은 그룹으로 나누어지며 상위 단계 스케줄러가 그룹들을 스케줄링하고 하위 단계 스케줄러들은 각 그룹 안에 있는 큐를 스케줄링 한다. 따라서 이더넷 PON은 OLT 내에 존재하는 상위 단계 스케줄러와 ONU 내에 존재하는 하위 단계 스케줄러로 계층화할 수 있다. 계층적 스케줄링 구조를 기반으로 하는 동적 대역 할당 알고리즘에서 OLT의 스케줄러는 ONU로부터 전송된 REPORT 메시지 내의 다중 큐 요청 정보를 기반으로 스케줄링을 한 후 단일의 ONU에 대해 통합된 스케줄링 결과를 GATE 메시지를 통해 전송한다. ONU의 스케줄러는 OLT로부터 할당받은 대역을 기반으로 스케줄링을 수행하고 자신에게 속해있는 각 큐에게 전송 대역을 할당한다. 이와 같이 계층적 구조는 각 큐마다 분리된 GATE 메시지와 REPORT 메시지를 배제하기 때문에 확장성 문제를 해결할 수 있으며 이로 인해 하나의 ONU내에 존재하는 모든 큐들이 데이터 전송 시 가드 타임 없이 연속적으로 서비스되기 때문에 스위치-오버 오버헤드 문제를 해결할 수 있다. 그림 5와 그림 6은 이더넷 PON에서의 단일 스케줄링과 계층적 스케줄링의 구조를 보여준다.

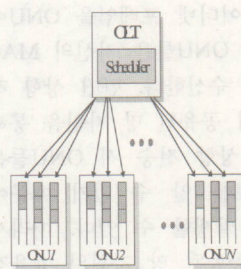


그림 5. 단일 스케줄링

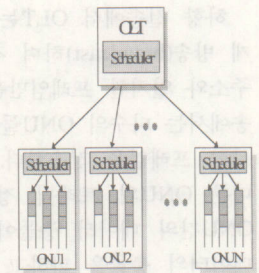


그림 6. 계층적 스케줄링



### III. 동적 대역 할당 알고리즘 설계

#### 1. 서비스 클래스 정의

IEEE P802.1p와 IEEE P802.1Q 표준화에서는 다양한 서비스 요구 사항과 차등화 된 서비스를 지원하기 위하여 이더넷 프레임이 프레임 헤더에 우선 순위 큐 정보를 전송하도록 허용하고 특정한 프레임 포맷 확장을 정의하였다<sup>[13]</sup>. 따라서 본 논문에서는 이를 기반으로 4개의 서비스 클래스를 정의하였으며 MPCP와의 호환성, 확장성, 최소 대역 보장, 고정성 등을 고려한 동적 대역 할당 알고리즘을 제안한다. 이더넷 PON에서 다양한 특성을 갖는 서비스를 제공하기 위하여 다음과 같이 서비스 클래스를 정의한다.

- **P0** : 일정한 데이터율을 가지고 트래픽이 생성되는 서비스이다. 네트워크 제어(Network control) 트래픽과 음성 트래픽이 이에 해당된다. 매 프레임마다 전송 대역이 보장되므로 동적 대역 할당 알고리즘을 수행하지 않는다.

- **P1** : 가변 데이터율로 생성되며 상대적으로 낮은 지연을 요구하는 서비스로서 비디오와 컨트롤드 로드(Controlled load) 트래픽이 이에 해당된다. 매 프레임마다 해당 서비스를 위한 최소 전송 대역이 보장되며 순시적인 요구량을 기반으로 동적 대역이 추가적으로 할당된다.

- **P2** : 가변 데이터율을 가지며 지연에 민감하지 않는 특성을 갖는다. Excellent Effort 서비스가 대표적이다. 매 프레임마다 최소 전송 대역이 보장되며 순시적인 요구량을 기반으로 동적 대역이 할당된다. P1 서비스 보다 낮은 우선 순위를 갖는다.

- **P3** : Best Effort 서비스와 Back ground 트래픽이 이에 해당된다. 매 프레임마다 남은 대역을 할당받아 전송된다.

#### 2. OLT에서의 동적 대역 할당 알고리즘 설계

OLT의 스케줄러는 각 ONU의 큐 별 요청 대역과 큐의 가중치를 고려하여 단일의 ONU가 다음 프레임에서 사용할 수 있는 전송 대역을 할당한다. 매 프레임마다 OLT는 REPORT 메시지를 통해 ONU가 요구 대역 정보를 수집하여 전체 ONU가 요청한 대역을 구하고 이를 다음 프레임에서 사용할 가능한 대역과 비교한다. 먼저 OLT는 P0 서비스를 위한 고정 할당 대역( $GBW_i^{P0}$ )과 P1, P2 서비스

를 위한 최소 보장 대역( $GBW_i^{P1, P2}$ )을 할당한다. 이때 각 서비스를 위해 보장되는 최소 대역의 합은 전체 사용 가능한 대역보다 클 수 없다. 최소 보장 대역의 할당이 끝난 뒤 OLT는 ONU가 요청한 대역의 총합과 사용 가능한 대역을 비교하여 요청한 대역이 사용 가능한 대역 보다 작은 경우 각 ONU가 요구한 대역만큼 할당한다. 사용 가능한 대역이 작은 경우 각 ONU의 큐 크기와 각 큐에 대한 가중치를 고려하여 각 ONU의 새로운 요청 대역( $BW_{new-req}^i$ )으로 결정한다. OLT는 사용 가능한 대역( $BW_{avail}^{new}$ )을 각 ONU의 새로운요청 대역에 비례하여 할당 대역을 결정한다.

$$BW_{alloc}^i = BW_{avail}^{new} \times \left( \frac{BW_{new-req}^i}{BW_{new-req}^{tot}} \right)$$

OLT는 ONUi 에게 비례 할당된 대역과 ONUi가 실제 요청한 대역을 비교하여 비례로 할당한 대역이 실제 요청한 대역보다 크다면 요청한 대역만큼 할당한다. 이를 통해 대역 할당에 가중치가 적용됨으로써 ONU에게 요청한 대역보다 큰 대역이 할당되는 문제를 해결할 수 있다. 그림 7은 OLT에서의 동적 대역 할당을 위한 비례 할당 알고리즘의 순서도이다.

#### 3) 우선 순위 우선 할당 알고리즘

우선 순위 우선 할당(High Priority First Allocation: HPFA) 알고리즘도 앞에서 제안한 최대 요구 우선 할당 알고리즘과 마찬가지로 HOL 문제를 해결하고 발생하는 잔여 대역을 줄임으로써 대역의 이용률을 높이기 위해 제안된 알고리즘이다. 우선 순위 우선 할당 알고리즘은 OLT에게 할당받은 대역을 각 큐에게 할당할 때 가장 우선 순위가 높은 큐의 대역을 할당받은 대역 내에서 보장해주고 남은 대역이 있을 때는 각 큐의 요청대역과 가중치를 고려하여 새로운 요구 대역을 결정하고 이를 기반으로 가장 많이 요청한 큐의 순서로 대역을 할당한다. 이 알고리즘의 경우 항상 우선 순위가 높은 큐를 먼저 보장해 주기 때문에 각 서비스의 요구 사항을 만족시킬 수 있고, 이미 요청한 대역만을 할당함으로써 우선 순위가 낮은 큐에게 전송 기회를 제공하므로 각 큐간의 공정성을 보장할 수 있다. 제안한 우선 순위 우선 할당 알고리즘에서는 입력 부하가 낮음에도 불구하고 낮은 우선 순위를 갖는



큐의 지연이 크게 증가하는 것을 해결하기 위해 ONU가 각 큐에게 전송 대역을 할당할 때 스케줄링 시점에서의 큐의 크기를 고려하는 대신 이전 프레임에서 요청한 대역을 고려하여 할당하도록 하였다. 우선 순위 우선 할당 알고리즘은 매 프레임마다 단일 ONU에 대해 최대 한 개의 잔여 대역이 발생하기 때문에 잔여대역으로 인한 대역 낭비를 줄일 수 있다. 그림 10은 설계한 우선 순위 우선 할당 알고리즘의 순서도이다.

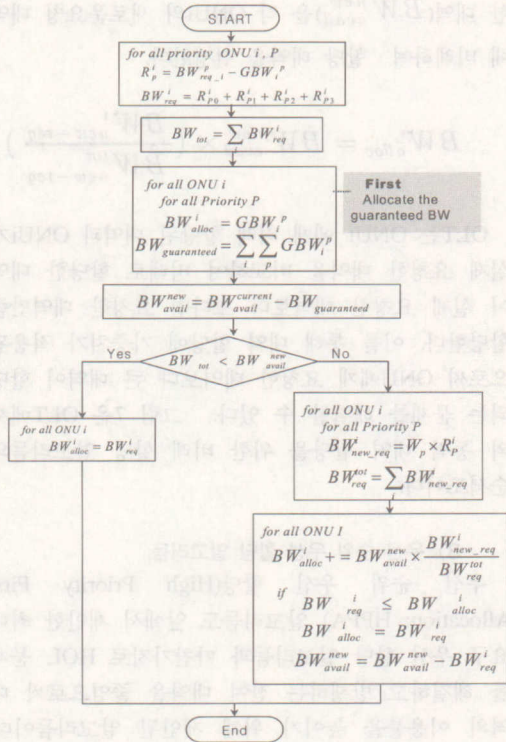


그림 7. OLT에서의 비례 할당 알고리즘

### 3. ONU에서의 동적 대역 할당 알고리즘 설계

#### 1) 비례할당 알고리즘

비례 할당 알고리즘은 ONU에게 할당된 전체 대역을 각 서비스 클래스에게 큐의 길이와 우선 순위를 고려하여 비례적으로 대역을 할당한다. 비례할당 알고리즘은 OLT가 각 ONU에게 비례로 할당된 대역을 기반으로 자신이 포함하고 있는 다중 서비스 큐들의 요구대역에 비례하여 대역을 할당하기 때문에 동적 대역 할당 시 각 서비스 큐가 할당받는 양

이 매우 작다. 이로 인해 각 서비스 큐의 개수가 증가함에 따라 잔여 대역의 크기와 발생 빈도가 증가하며 특히 최소 전송이 보장되지 않고 동적 대역 할당만을 수행하는 P3 서비스는 HOL(Head Of Line) 문제가 빈번하게 발생하기 때문에 P3 서비스에서의 잔여 대역이 크게 증가한다. 따라서 대역의 이용률을 높이기 위해서 HOL 문제를 해결하고 잔여대역을 줄일 수 있는 대역 할당 알고리즘의 설계가 필요하다. 그림 8은 설계한 ONU에서의 비례할당 알고리즘의 순서도이다.

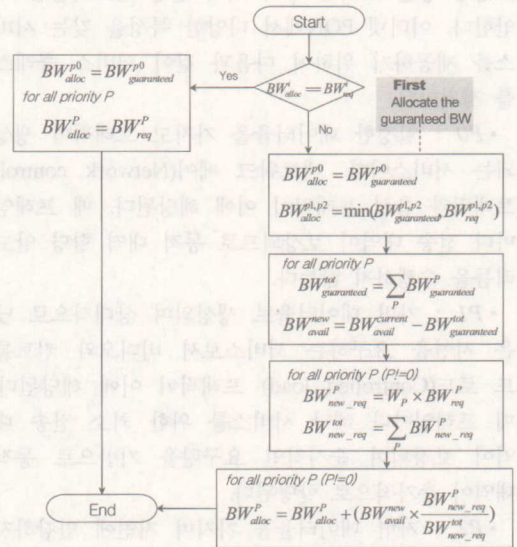


그림 8. 비례 할당 알고리즘 순서도

#### 2) 최대 요구 우선 할당 알고리즘

최대 요구 우선 할당(Maximum Request First Allocation: MRFA) 알고리즘은 HOL 문제를 해결하고 잔여 대역(Remainder)을 줄이기 위해서 제안된 동적 대역 할당 알고리즘이다. 최대 요구 우선 할당 알고리즘은 OLT에게 할당받은 대역을 각 큐에게 동적 할당하기 위해 각 큐의 요구 대역에 가중치를 적용하여 새로운 요구 대역을 결정하고 이를 기반으로 요구 대역이 가장 큰 서비스 큐의 순서대로 대역을 할당하는 알고리즘이다. 따라서 큐의 수에 관계없이 최대 한 개의 잔여 대역이 존재하므로 큐의 개수에 따라 잔여 대역이 증가하는 비례할당 알고리즘에 비해 높은 대역 이용률과, 확장성을 갖는다. 그림 9는 설계한 최대 요구 우선 할당 알고리즘의 순서도이다.

#### IV. 성능 평가 및 분석

##### 1. 시뮬레이션을 위한 환경 설정

이더넷 PON 시스템 설계를 위해 16개의 ONU를 고려하였고 OLT와 ONU를 연결하는 링크의 용량은 1Gbps로 결정하였다. 동적 대역 할당을 위해 사용되는 제어 메시지와 데이터는 MPCP 표준을 따랐다. 또한 요구하는 서비스 특성을 고려하여 4개의 서비스 클래스를 정의하였다. 성능평가 파라미터는 다음과 같다.

- 채널 이용률 = 데이터 전송을 위해 사용한 대역 ÷ 전체 채널의 용량
- 큐잉 지연 = 패킷의 큐 도착시간-큐에서 패킷 전송시간
- 잔여 대역=할당받은 대역-전송에 이용된 대역

잔여 대역은 ONU가 OLT에게 할당받은 대역 중에서 이더넷 프레임 전송을 못하고 낭비된 대역으로 IPG는 고려되지 않는다. 버스트 특성을 갖는 트래픽을 발생시키기 위하여 지수 분포를 따르는 ON-OFF 트래픽 모델을 사용하였으며, ON구간과 OFF구간의 비율은 1:1로 결정하였다. 이때, ON구간에서 발생하는 패킷 크기는 IP 트래픽 패킷을 고려하였으며 각 서비스에 대해 트래픽 발생률을 변화시킴으로써 다른 트래픽 환경에서 각 알고리즘의 성능을 측정하였다. 표 1과 2는 각각 시뮬레이션을 위한 환경과 IP 패킷의 발생 분포를 고려한 패킷길이 분포도<sup>[14]</sup>를 나타낸다.

표 1. 시뮬레이션을 위한 환경 설정

| Parameter       | Value            |
|-----------------|------------------|
| ONU의 수          | 16               |
| 링크 용량           | 1000 Mbps        |
| 프레임 크기          | 2 ms             |
| 서비스 클래스의 수      | 4                |
| 전송 보장 대역        | 12,451 bits      |
| IPG             | 96 bits          |
| GATE/REPORT 메시지 | 64 bytes         |
| 이더넷 데이터         | 64 ~ 1,518 bytes |
| 가드 타임           | 1 μs             |

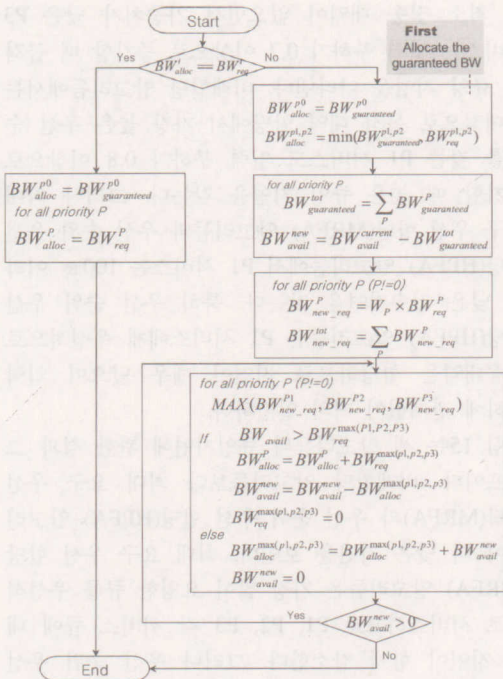


그림 9. 최대 요구 우선 할당 알고리즘 순서도

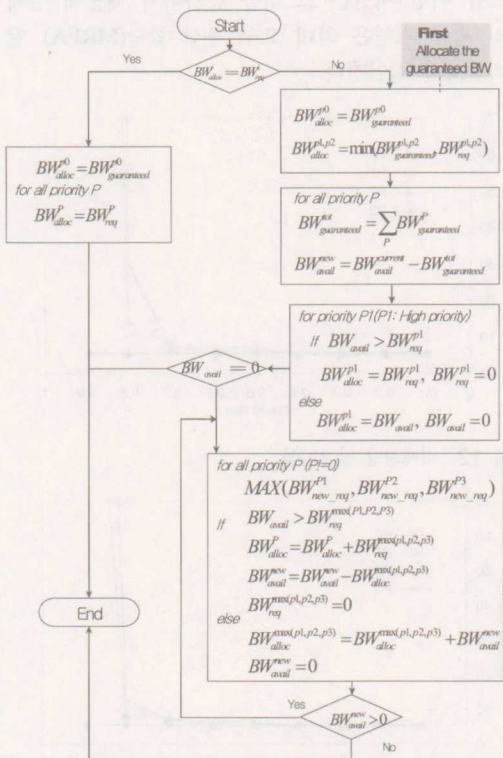


그림 10. 우선 순위 우선 할당 알고리즘 순서도



표 2. 패킷 길이 분포

| Packet Size(Bytes) | Probability |
|--------------------|-------------|
| 64                 | 0.03        |
| 64 ~ 580           | 0.17        |
| 580                | 0.18        |
| 580 ~ 1518         | 0.12        |
| 1518               | 0.50        |
| Total              | 1.00        |

2. 시뮬레이션 결과 분석

1) 채널 이용률

그림 11은 서비스별 발생 비율이 동일한 경우 제안한 각 알고리즘들의 채널 이용률을 나타낸다. 입력 부하가 증가함에 따라 채널 이용률은 증가한다. 비례할당 알고리즘들은 각 큐에 대해 비례로 할당함으로써 HOL의 발생과 큐의 개수에 따라 발생하는 잔여 대역 때문에 낮은 채널이용률을 보인다. 이에 비해 최대 요구 우선 할당 알고리즘(MRFA)과 우선 순위 우선 할당 (HPFA) 알고리즘은 할당받은 대역 내에서 특정한 큐의 전송 대역부터 보장해 주기 때문에 HOL 문제를 해결하고 잔여 대역을 줄일 수 있으므로 상대적으로 높은 이용률을 갖는다.

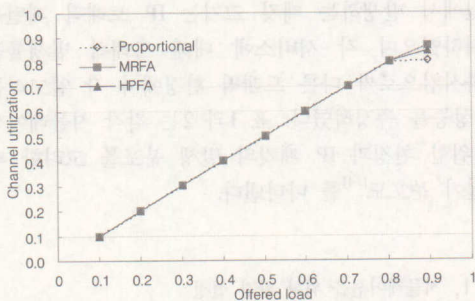


그림 11. 입력 부하에 따른 채널 이용률

2) 큐잉 지연

그림 12, 13, 14는 세 알고리즘에서 다양한 서비스 클래스의 큐잉 지연에 관한 결과 그래프이다. P0 서비스는 고정된 대역을 할당받기 때문에 패킷 발생 후, 할당받은 시점에 전송되기 위한 지연만을 요구하므로 매우 낮은 지연을 나타낸다. 반면 동적 대역을 할당받는 서비스들은 대역 요구 정보를 OLT에게 전달하고 할당을 받기까지의 지연이 요구되며 입력 부하가 증가함에 따라 버스트 트래픽 특성으로 인하여 큐잉 지연이 크게 증가한다. 특히 보장받

는 최소 전송 대역이 없으면서 가중치가 낮은 P3 서비스는 입력 부하가 0.7 이상으로 증가할 때 급격한 큐잉 지연을 나타낸다. 비례할당 알고리즘에서는 상대적으로 동적 대역 할당에서 가장 높은 우선 순위를 갖는 P1 서비스도 입력 부하가 0.8 이상으로 증가할 때 높은 큐잉 지연을 갖는다. 그러나 최대 요구 우선 할당(MRFA) 알고리즘과 우선 순위 우선 할당(HPFA) 알고리즘에서 P1 서비스는 100ms 이하의 낮은 전송지연을 갖는다. 특히 우선 순위 우선 할당(HPFA) 알고리즘은 P1 서비스에게 우선적으로 전송대역을 할당하므로 지연이 매우 낮으며 입력 부하에 관계없이 거의 일정하다.

그림 15는 세 알고리즘의 큐잉지연에 관한 결과 그래프이다. 비례할당 알고리즘보다 최대 요구 우선 할당(MRFA)과 우선 순위 우선 할당(HPFA) 알고리즘이 더 낮은 지연을 보인다. 최대 요구 우선 할당(MRFA) 알고리즘은 가장 많이 요청한 큐를 우선적으로 서비스하므로 P1, P2, P3 각 서비스 큐에 대해 지연이 함께 감소한다. 그러나 우선 순위 우선 할당(HPFA) 알고리즘은 P1 서비스를 먼저 보장하므로 P1의 지연은 매우 낮지만 P2 서비스와 P3 서비스를 위한 지연은 그 만큼 증가하기 때문에 전체적인 평균 지연은 최대 요구 우선 할당(MRFA) 알고리즘보다 길어진다.

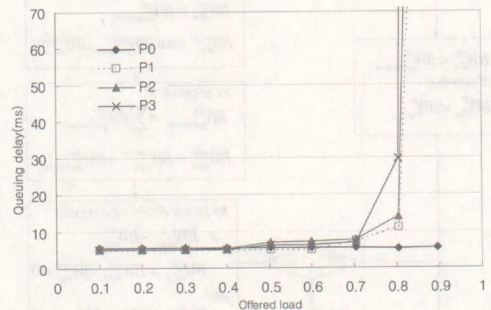


그림 12. 비례할당 알고리즘

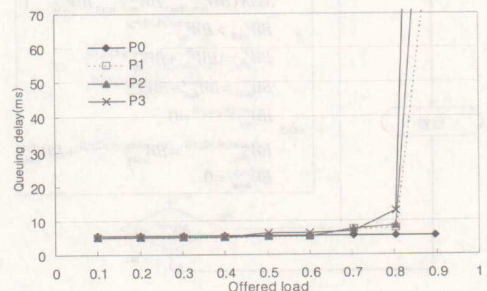


그림 13. 최대 요구 우선 순위 알고리즘



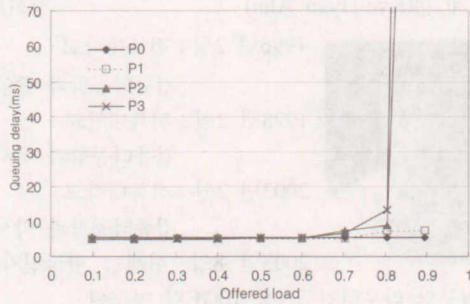


그림 14. 우선 순위 우선 할당 알고리즘

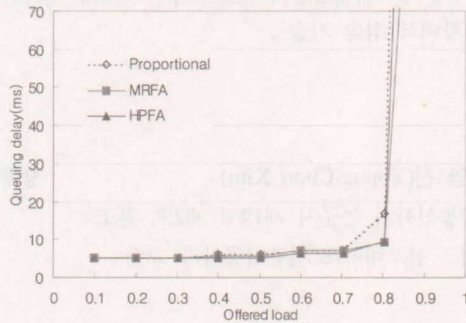


그림 15. 세 알고리즘의 큐잉 지연

2) 잔여 대역으로 인한 오버헤드

그림 16은 제안한 세 알고리즘에서 잔여 대역이 차지하는 오버헤드를 나타낸 결과이다. 최대 요구 우선 할당(MRFA) 알고리즘과 우선 순위 우선 할당(HPFA) 알고리즘은 잔여 대역으로 인한 오버헤드를 감소시킴으로써 결과적으로 비례할당 알고리즘보다 높은 이용률을 제공한다.

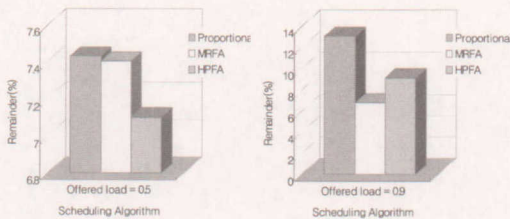


그림 16. 제안한 알고리즘들의 잔여 대역 오버헤드

V. 결론

본 논문에서는 이더넷 PON에서 다양한 서비스를 효율적으로 제공하기 위한 동적 대역 할당 알고리즘을 제안하였다. 제안한 알고리즘은 스케줄링 영역

이 거리 상으로 분산되어 있는 이더넷 PON 시스템에서 확장성과 자원의 효율성을 제공할 수 있도록 두 단계의 스케줄러로 구성된 계층적 구조를 갖는다. 또한 본 논문에서는 하위 단계 대역 할당 알고리즘으로 비례 할당 알고리즘, 최대 요구 우선 할당(MRFA) 알고리즘, 우선 순위 우선 할당(HPFA) 알고리즘을 제안하였다. 성능 평가를 위해 OPNET을 이용하여 MPCP를 기반으로 하는 이더넷 PON 시스템을 구현하였으며 제안한 스케줄링 알고리즘의 성능을 채널 이용률, 큐잉 지연의 관점에서 비교 분석하였다. 이를 통해 제안한 최대 요구 우선 할당 알고리즘과 우선 순위 우선 할당 알고리즘이 잔여 대역을 감소시킴으로써 비례할당 알고리즘보다 높은 이용률과 낮은 큐잉지연을 보임을 확인함으로써 그 우수성을 입증하였다.

참고 문헌

- [1] G. Pesavento and M. Kelsey, "PONs for the broadband local loop," *Lightwave*, PennWell, vol. 16, no. 10, pp68-74, September 1999.
- [2] B. LUNg, "PON Architecture 'Futureproofs' FTTH," *Lightwave*, vol. 16, no. 10, pp. 104-107, Sept. 1999
- [3] I. V. Voorde, G. V. Plas, "Full Service Optical Access Networks: ATM Transport on Passive Optical Networks," *IEEE Communications Magazine*, pp. 70-75, April 1997.
- [4] J. W. Jang, E. K. Park, "Dynamic Resource Allocation for Quality of Service on a PON with Home Networks," *IEEE Communication Magazine*, June 2000.
- [5] G. Pesavento Senior, "Gigabit Ethernet Passive Optical Networks."
- [6] IEEE 802.3ah Ethernet in the First Mile Task Force.
- [7] G. Kramer, et.al., "Ethernet PON(ePON) : Design and Analysis of an Optical Access Network," *Phot. Commun.*, vol 3, no. 3, July 2001, pp. 307-19
- [8] Glen Kramer and Gerry Pesavento, "Ethernet Passive Optical Network(EPON): Building a Next-Generation Optical Access Network," *IEEE Communications Magazine*, Feb. 2002.
- [9] Tang Shan, "EPON Upstream Multiple Access



Scheme," ICII 2001

[10] G. Kramer and B. Mukherjee, "IPACT: A Dynamic Protocol for an Ethernet PON(EPON)," IEEE Communications Magazine, pp. 74-80, Feb. 2002.

[11] Su-il Choi and Jea-doo Huh, "Dynamic Bandwidth Allocation Algorithm for Multimedia Services over Ethernet PONs," ETRE Journal, vol. 24, no. 6, December 2002.

[12] G. Kramer, B. Mukherjee, S. Dixit, Yingjua Ye and Ryan Hirth, "Supporting differentiated classes of service in Ethernet passive optical networks," Journal of Optical Networking, Vol. 1, Nos. 8 &9, pp. 280-298, August and Sep. 2002.

[13] ANSI/IEEE Standard 802.1D, 1998 ed., "IEEE standard for information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Common specifications. Part 3: media access control (MAC) bridges" IEEE 802.1D ,1998.

[14] S. McCreary, et.al., "Trends in Wide Area IP Traffic Patterns," Cooperative Association for Internet Data Analysis, <http://www.caida.org>

한 경 은(Kyeong-Eun Han) 준회원



2001년 2월 : 전북대학교  
컴퓨터공학과 졸업

2003년 2월 : 전북대학교  
컴퓨터공학과 석사

2004년 3월~현재 : 전북대학교  
컴퓨터공학과 박사과정

<관심분야> Ethernet PON, WDM-PON, 매체접근 제어프로토콜, 네트워크 프로토콜

안 계 현(Kye-Hyun Ahn) 정회원



1996년 2월 : 전북대학교  
컴퓨터공학과 졸업

1998년 2월 : 전북대학교  
컴퓨터공학과 석사

2003년 2월 : 전북대학교  
컴퓨터공학과 박사

2003년 8월~현재 : 한국전자통신연구원 라우터연구그룹 10GE팀 연구원

<관심분야> 매체접근제어프로토콜, 트래픽 엔지니어링, 광대역 접속 기술

김 영 천(Young-Chon Kim) 정회원

한국통신학회 논문지 제19권 제2호 참조  
현재 : 전북대학교 컴퓨터공학과 교수