

논문 2008-45SC-2-7

# 메트로 WDM 링 네트워크상에서의 공평성에 관한 연구

## (Virtual Output Queue Structure for Fair Uni and Multicasting in Metro WDM Network)

양 효 식\*

(Hyo-Sik Yang)

### 요 약

메트로 네트워크를 위한 패킷 기반의 파장 분할 방식 링 네트워크는 백본 네트워크로의 병목 현상을 줄이기 위하여 많은 연구가 진행되어 왔다. 메트로 네트워크는 망의 특성상 유니캐스트 트래픽과 멀티캐스트 트래픽이 혼재되어 있다. 현재까지 제안된 링 네트워크에서는 일반적으로 가상 출력 큐를 사용하여 혼재된 트래픽을 처리하고 있다. 본 논문에서는 메트로 링 네트워크에서 가상 출력 큐의 구조에 따른 유니캐스트 트래픽과 멀티캐스트 트래픽의 공평성 문제에 관하여 살펴보고 성능 분석을 수행하였다. 본 논문에서 일반적인 최대 큐 선택 방법이 유니캐스트 트래픽에 비하여 멀티캐스트 트래픽에 우선순위를 부여함에 따라 불공평 문제를 야기함을 보였다. 각각의 다른 가상 출력 큐의 구조를 살펴보고 각각에 대한 성능분석을 통하여 특징을 살펴보았다.

### Abstract

Packet-switched wavelength division multiplexing (WDM) ring networks have been extensively studied as solutions to the increasing amount of traffic in metropolitan area networks, which is widely expected to be a mix of unicast and multicast traffic. In this paper we study the fairness between unicasting and multicasting in slotted packet-switched WDM ring networks that employ a tunable transmitter and fixed tuned receiver at each node and a posteriori buffer selection. We find that single-step longest queue selection algorithm generally results in unfairness between unicasting and multicasting or a fixed relative priority for multicast vs. unicast traffic. We present the various virtual output queue structures and their performance.

**Keywords :** Fairness Control, Multicasting, Unicasting, Virtual Output Queue, Wavelength Division Multiplexing

### I. 서 론

메트로 링 네트워크에서 유니캐스트 트래픽과 멀티캐스트 트래픽이 섞여서 네트워크상으로 유입될 때 이를 효과적으로 전송하고 네트워크의 성능을 향상시키기 위하여 일반적으로 가상 출력 큐 (VOQ, Virtual Output Queue)를 이용하여 데이터를 저장, 전송하고 있다. 일반적으로 노드에서 발생하는 트래픽을 목적지별 가상 출력 큐에 저장하고 데이터 전송시 이들 가상 출력 큐

중에서 큐의 길이가 긴 큐의 데이터를 먼저 전송하는 방법 (Longest Queue Selection Algorithm)을 사용하여 왔다<sup>[1]</sup>.

이러한 멀티캐스트 트래픽과 유니캐스트 트래픽으로 구분한 가상 출력 큐와 단순한 비교 알고리즘은 심각한 공평성 문제를 야기한다. 일반적으로 멀티캐스트 트래픽은 일관되지 않은 망의 효율성과, 패킷 손실 등을 유발하고, 유니캐스트 트래픽은 멀티캐스트 트래픽에 비해 낮은 우선순위를 갖게 되어 전송되기 어려운 단점이 있다. 반면에 멀티캐스트 트래픽과 유니캐스트 트래픽을 동일한 버퍼에 저장하게 되면 멀티캐스트 트래픽과 유니캐스트 트래픽이 동일한 우선순위를 갖게됨에 따라, 멀티캐스트 트래픽의 목적지가 다수 입에도 불구하고,

정희원, 세종대학교 컴퓨터공학과  
(Sejong University)

\* 본 논문은 2006년도 세종대학교 교내연구비 지원에 의한 논문임

접수일자: 2007년11월2일, 수정완료일: 2008년2월26일

유니캐스트와 동일한 취급을 받게 되어 네트워크의 성능을 저하시킨다. 또한 멀티캐스트 트래픽과 유니캐스트 트래픽이 동일한 지연시간과 패킷 손실률을 갖게 된다. 본 연구에서는 다양한 가상 출력 큐의 구조를 살펴보고, 상이한 구조의 특성을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 성능을 분석하였다. 본 연구에서 가정하는 링 네트워크의 구조와 MAC 프로토콜은 [1]에 소개된 구조를 이용하였다.

### 1. 관련연구

이와 유사한 연구로 (i) WDM (Wavelength Division Multiplexing) 링 네트워크상의 멀티캐스트 트래픽 전송 방법에 관한 연구와 (ii) WDM 링 네트워크상의 유니캐스트 트래픽 전송상의 공평성 제어 (fairness control) 방법에 관한 연구, (iii) 통신선로 상에서 유니캐스트와 멀티캐스트의 혼합전송에 관한 연구가 진행되어왔다.

WDM 링 네트워크에서의 멀티캐스트에 관한 연구는 현재까지 많은 관심을 받지 못하였다<sup>[2]</sup>. 패킷 단위의 전송을 위한 WDM 링 네트워크의 망구조와 MAC (Medium Access Control) 프로토콜에 관한 연구가 진행되어 왔다<sup>[3]</sup>. 본 연구에서 다루는 패킷 단위의 전송 방법이 아닌 회선 단위의 전송방식의 멀티캐스트 상에서 파장 할당에 관한 연구가 진행되었지만<sup>[4~5]</sup>, 본 연구의 주제인 멀티캐스트 트래픽과 유니캐스트 트래픽이 혼합되어 망에 유입될 때 공평성 문제에 대하여는 연구가 이루어지지 않았다.

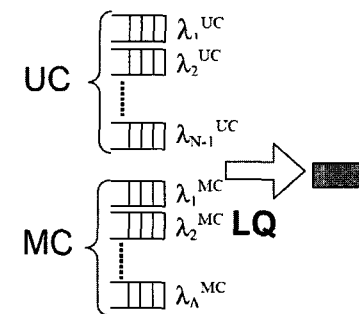
유니캐스트 트래픽의 버스나 링 네트워크상에서의 공평한 전송을 위한 연구는 꾸준히 이루어져 왔다<sup>[6~8]</sup>. 이 연구를 통하여 각 노드들의 위치에 관계없이 버스나 링 네트워크상에서 공평한 전송 기회를 갖는 방법들이 연구되었지만 이러한 연구들 역시 본 연구에서 다루는 멀티캐스트 트래픽과 유니캐스트 트래픽이 혼합된 경우와는 유사점을 찾을 수 없다.

WDM 네트워크의 특정 성질을 배제한 일반적인 네트워크상에서 멀티캐스트와 유니캐스트 트래픽이 혼합된 경우에 관한 연구는 다수 진행되어왔다<sup>[9~11]</sup>. 본 연구에서 제시하는 링 네트워크와는 다른 성형구조의 broadcast-select 방식의 MAC 프로토콜에서의 유니캐스트와 멀티캐스트 트래픽의 스케줄 알고리즘에 관한 연구가 진행되었다<sup>[12]</sup>.

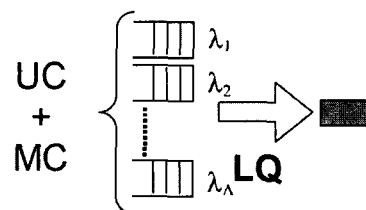
## II. 가상 출력큐 (VOQ)의 구조

Head-of-the-line (HOL) blocking 문제를 방지하기 위하여 각 노드는 파장의 갯수인  $\Lambda$  개의 VOQ를 가지고 있다. 본 연구에서는 가장 기본적인 구조로서 각 노드가  $\Lambda$ 개의 VOQ를 가지고 있다고 가정하고 이를  $\Lambda$  VOQ 구조라고 부를 것이다. 이 기본적인 구조는 특정 파장을 이용하여 데이터를 전송하는 유니캐스트 트래픽과 멀티캐스트 트래픽이 동일한 큐 안에 저장되어 있다. 하지만 주로 멀티캐스트 트래픽과 유니캐스트 트래픽은 네트워크의 성능을 향상시키기 위하여 다른 큐에 저장된다<sup>[3,9]</sup>. 이러한 구조의 장점은 유니캐스트 트래픽과 멀티캐스트 트래픽에 다른 우선순위를 부여할 수 있다는 점이다. 본 연구에서는 이러한 구조를  $(u+m)$  VOQ 구조라고 부를 것이다. 여기서  $u$ 와  $m$ 은 각각 유니캐스트와 멀티캐스트 큐의 수를 의미한다. HOL 문제를 막기 위해  $u$ 와  $m$ 은 각각 최소한  $\Lambda$ 보다는 크거나 같아야한다.

본 연구에서는  $((N-1)+\Lambda)$  VOQ 구조와  $\Lambda$  VOQ 구조를 살펴볼 것이다.  $((N-1)+\Lambda)$  VOQ 구조에서는 각각의 유니캐스트 트래픽의 목적지에 따라  $(N-1)$ 개의 VOQ를 가지고 있다. 반면에  $\Lambda$  VOQ 구조에서는 같은 파장을 이용하는 유니캐스트와 멀티캐스트 트래픽이 같은 큐 안에 저장되게 된다. 이 두 구조에서  $\Lambda$  멀티캐스트 VOQ는 각 파장을 이용하여 전송되는 데이터를 저장하



(a)  $(N-1)+\Lambda$  VOQ 구조



(b)  $\Lambda$  VOQ 구조

그림 1. VOQ 구조

Fig. 1. VOQ architecture.

게 된다. 하나의 멀티캐스트 데이터는 같은 파장을 이용하여 전송되는 목적지대로 분류되어 각각의 VOQ에 저장된다. 만약 멀티캐스트 데이터의 목적지가 각각의 파장을 모두 사용해야 된다면  $\Lambda$ 개의 패킷을 생성하여 각각의 VOQ에 저장하게 될 것이다. 또한 만약 하나의 멀티캐스트 데이터의 목적지가 하나의 파장만을 이용하여 데이터를 전송할 수 있다면 하나의 데이터 패킷을 생성하여 하나의 VOQ에 저장하게 될 것이다. 모든 VOQ는 선입 선출 (FIFO)의 구조라고 가정 하였다.

이러한  $((N-1)+\Lambda)$  VOQ 구조와  $\Lambda$  VOQ 구조가 LQ 알고리즘과 함께 각각 그림 1-(a)와 그림 1-(b)에 예시 되었다.

### III. WDM 기반의 메트로 링 네트워크

본 장에서는 고려된 링 네트워크의 구조와 MAC 프로토콜에 관하여 간단히 설명하였다. 보다 자세한 네트워크 구조에 관하여는 [1]을 참조하기 바란다.

#### 1. 네트워크 구조

본 절에서는 본 논문에서 사용된  $N$  노드와  $\Lambda$  파장을 사용하는 WDM 기반의 링 네트워크에 대하여 기술한다. 모든 노드는 하나의 단방향 광섬유에 연결되어 있다. 광섬유의 대역폭은  $\Lambda$  파장으로 분할되어 있다. 각 파장은 고정된 크기의 슬롯으로 나누어져 있고, 모든 파장의 각 슬롯은 동기화 되어 있다고 가정한다. 한 슬롯의 크기는 고정크기의 데이터 패킷의 전송시간과 같다. 각 노드는 하나의 가변 전송기와 하나의 고정된 수신기로 구성되어 있다 (각 노드는 모든 파장으로 전송이 가능하고 미리 정해진 파장으로 데이터를 수신한다).  $N=\Lambda$  인 경우 각 노드는 수신을 위한 *home channel*이 할당 되어 있다. 만약  $N>\Lambda$ 의 경우에는 다수의 노드들이 하나의 파장을 공유하게 된다. 노드  $j=i+n\Lambda$ ,  $n \in \{0, 1, \dots, \lfloor N/\Lambda \rfloor - 1\}$ 는 파장  $i$ ,  $i \in \{1, 2, \dots, \Lambda\}$ 를 홈채널로 사용한다. 각각의 노드는 노드의 홈채널로 전송된 데이터를 네트워크로부터 제거한다. 파장을 공유하는 노드들은 수신된 데이터를 파장을 공유하는 다음 노드에게 포워딩 해주게 되고 결과적으로 *multi hopping*을 이루게 된다. 유니캐스트 트래픽의 경우 목적지 노드가 망으로부터 데이터를 제거하고, 멀티캐스트 트래픽의 경우 최종 목적지가 데이터를 망에서부터 제거한다. 목적지가 망에서 데이터를 제거함으로써, 파장의 재사용이 가능해짐에 따라 네트워크 성능을 높일 수 있다.

#### 2. MAC 프로토콜

전송 채널은 데이터 채널과 제어 채널로 구분되어 있다. 제어 채널을 통해 전송되는 정보는 슬롯의 가용성 (슬롯이 비어있는지 데이터가 전송되고 있는지)과 함께 데이터를 전송 중에 있을 경우 목적지의 주소가 전송된다. 제어정보는 다른 파장을 이용하여 전송될 수도 있고<sup>[13]</sup>, 부반송파를 이용하여 전송될 수도 있다<sup>[8]</sup>. 각 노드들은 이 제어정보를 모든 파장에 대한 제어정보를 동시에 수집하여 각 파장의 데이터 전송 여부를 판별하게 된다.

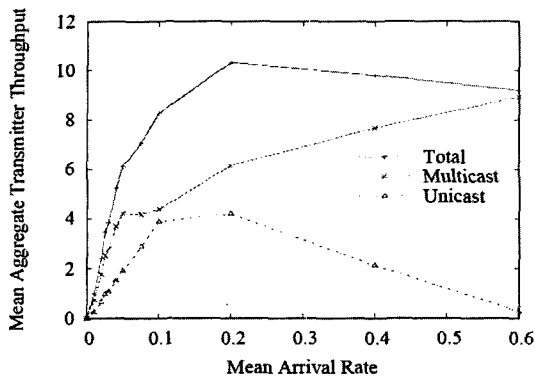
본 논문에서는 선점 (a posteriori) 방법을 사용하였다. 이 방법은 각 노드가 전송 가능한 채널을 확인 후 출력 버퍼의 데이터를 선택하는 방법이다. 전송 가능한 채널이 없을 경우 빈 슬롯이 올 때까지 기다려야 한다. 하나 이상의 전송채널이 가능할 경우 각 노드는 하나의 데이터만 전송한다.  $\Lambda$  VOQ 구조의 경우 다수의 채널에서 빈 슬롯이 있을 때만 버퍼를 선택해야 하지만,  $(u+m)$  VOQ 구조는 하나의 채널에서 빈 슬롯이 있을 때도 유니캐스트와 멀티캐스트 큐 중 어느 큐에 있는 데이터를 전송해야 할지 결정하여야 한다. 본 논문에서는 큐의 길이가 긴 큐의 데이터를 먼저 전송하는 LQ 알고리즘을 고려하였다. 이 방법은 네트워크상의 큐의 부하를 조절하고 전송율을 증가시킬 수 있다고 알려져 왔다<sup>[8]</sup>.

### IV. 실험 결과

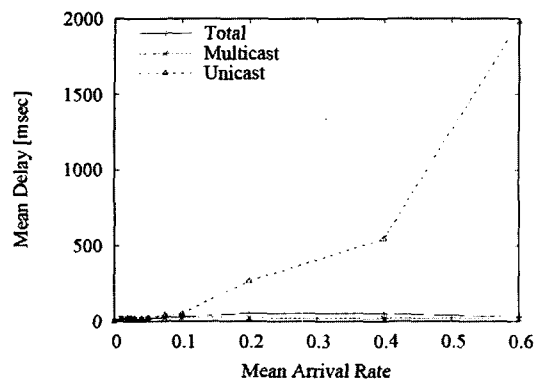
본 장에서는 각 큐 선택 방법에 따른 전송 효율, 지연시간 및 공평성문제에 관한 실험 결과를 나타내었다. 네트워크내의 노드 수,  $N=64$ 이고 채널의 수는  $\Lambda=6$ 를 사용하여 평균 멀티캐스트 그룹 수는  $E[\Delta]=7.22$ 이다<sup>[14]</sup>. 발생한 데이터가 멀티캐스트일 확률,  $p_m=0.3$ 이고 공평성을 위한 윈도우 사이즈는  $W=500$ 으로 설정하였다. 우선 멀티캐스트와 유니캐스트 트래픽이 각각의 버퍼에 저장되는  $((N-1)+\Lambda)$  VOQ 구조를 살펴보고 이어서 유니캐스트와 멀티캐스트 트래픽이 함께 저장되는  $\Lambda$  VOQ 구조를 살펴보았다. 가장 큰 큐를 찾기 위하여 각각의 유니캐스트 패킷은 1로 가정하고, 멀티캐스트 패킷은 목적지의 갯수로 가정하였다.

#### 1. $((N-1)+\Lambda)$ VOQ 구조

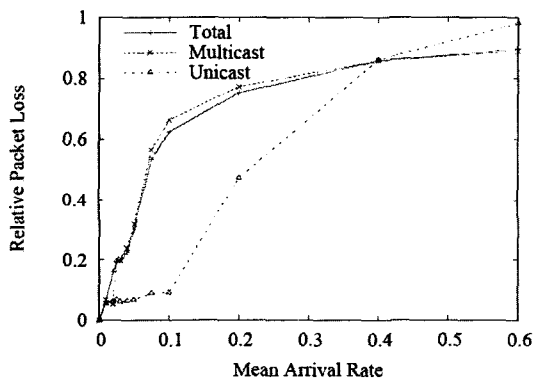
앞서 기술된바와 같이,  $(N-1)+\Lambda$  VOQ 구조는  $\Lambda$ 개의 멀티캐스트를 위한 버퍼와  $(N-1)$ 개의 유니캐스트를



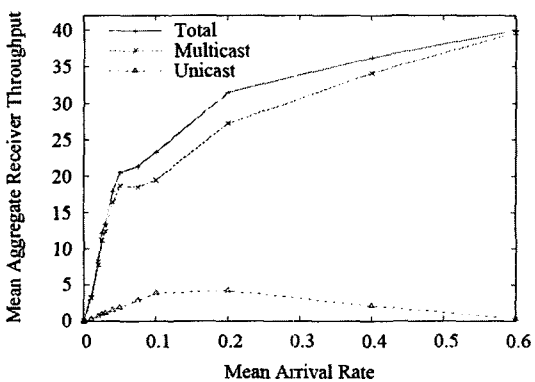
(a) 평균 전송율



(b) 평균 전송지연 시간

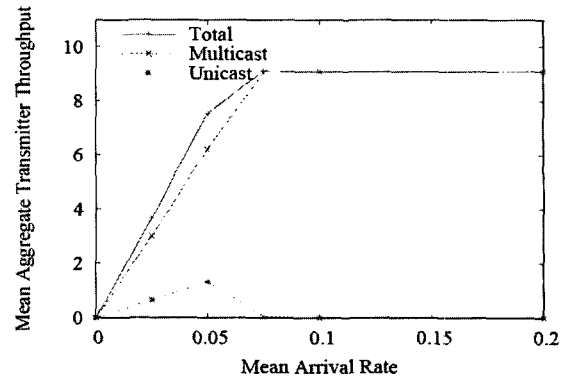


(c) 평균 패킷 손실율

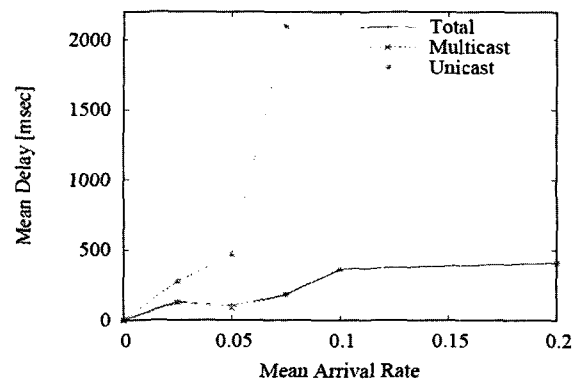


(d) 평균 수신율

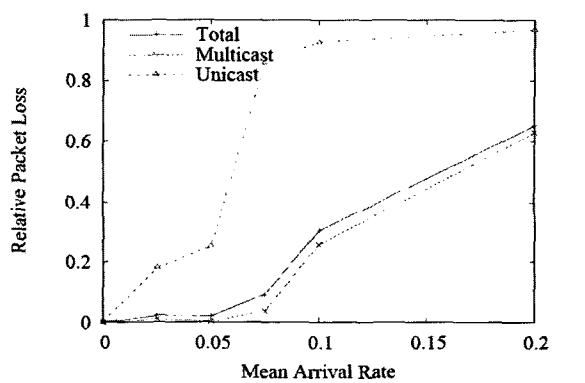
그림 2.  $(N-1)+\Delta$  VOQ 구조의 성능분석 ( $B_m=B_u=64$ )  
 Fig. 2. Performance of  $(N-1)+\Delta$  VOQ architecture ( $B_m=B_u=64$ ).



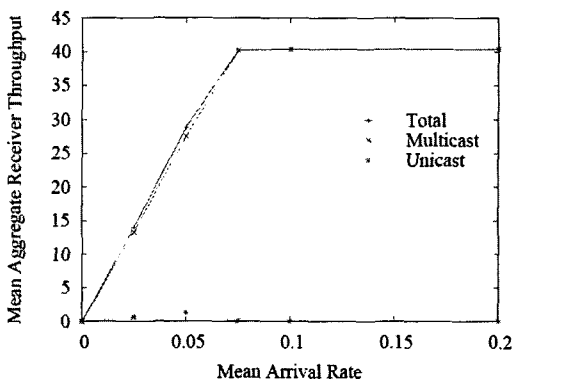
(a) 평균 전송율



(b) 평균 전송지연 시간



(c) 평균 패킷 손실율



(d) 평균 수신율

그림 3.  $(N-1)+\Delta$  VOQ 구조의 성능분석 ( $B_u=64, B_m=1569$ )  
 Fig. 3. Performance of  $(N-1)+\Delta$  VOQ architecture ( $B_u=64, B_m=1569$ ).

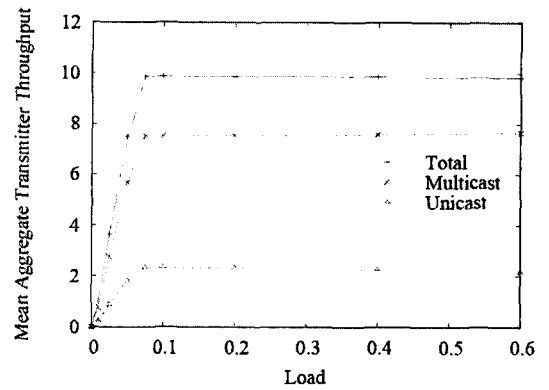
위한 버퍼로 구성되어 있다. 초기값으로 멀티캐스트를 위한 버퍼 크기,  $B_m$ 과 유니캐스트를 위한 버퍼 크기,  $B_u$ 를 같은 크기인  $B=64$ 로 설정하였다. 가변의 평균 도착율  $\sigma$ 에 관한 실험결과를 그림 2에 나타내었다. 실험 결과에서 여러 가지 공평성에 관한 문제점을 발견할 수 있다. 그림 2-(b)에 나타난 바와 같이 유니캐스트 트래픽은 멀티캐스트 트래픽에 비하여 큰 지연시간을 갖는다. 이는 LQ 알고리즘이 하나의 데이터 패킷을 목적지에 따라 크기를 결정하는 멀티캐스트 트래픽에 우선순위를 부여함으로써 발생한다. 반면에 그림 2-(c)에서 보는바와 같이 멀티캐스트 트래픽은 평균 도착율 0.4 정도까지 많은 패킷 손실율을 보인다. 이는 유니캐스트 버퍼가  $N-1$ 인 반면에 멀티캐스트를 위한 버퍼가  $\Lambda$ 개인 결과에 기인한다. 이는 멀티캐스트 버퍼의 크기를 증가시킴으로 해결될 수 있다.

그림 2-(a), 2-(b), 2-(c)에서 알 수 있듯이 평균 도착율이 증가함에 따라 유니캐스트 트래픽은 전송하지 못하고 멀티캐스트 트래픽만 전송함을 알 수 있다. 이는 LQ 알고리즘이 멀티캐스트 트래픽에 우선순위를 부여함에 따른 현상이다.

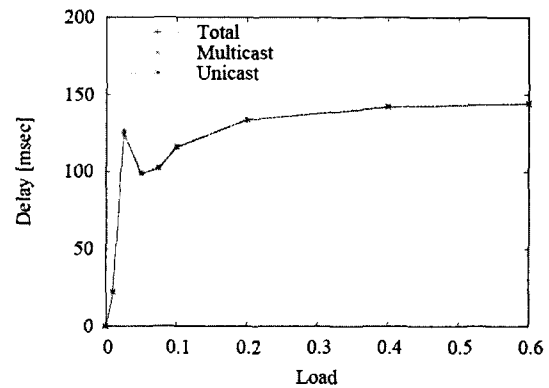
다음으로 버퍼의 크기가 패킷 도착율에 비례한 구조에 대하여 살펴보았다. 기본 버퍼 크기로  $B=92$ 로 설정하고,  $B_u = \lfloor (1-pm)B \rfloor = 64$ ,  $B_m = \lfloor pmE[\Delta]B(N-1)/\Lambda \rfloor = 1569$ 로 각각 설정하였다. 그림 3-(a)에서와 같이 전송율이 악화되었다. 멀티캐스트 트래픽의 버퍼가 증가함에 따라 유니캐스트 트래픽에 비하여 더 큰 버퍼크기를 갖게 되어 LQ 알고리즘이 멀티캐스트 트래픽에 우선순위를 더 부여함으로써 발생하였다. 그림 3-(c)에서 보이는 바와 같이 패킷 손실율은 반대의 결과를 관찰할 수 있다.

2.  $\Lambda$  VOQ 구조

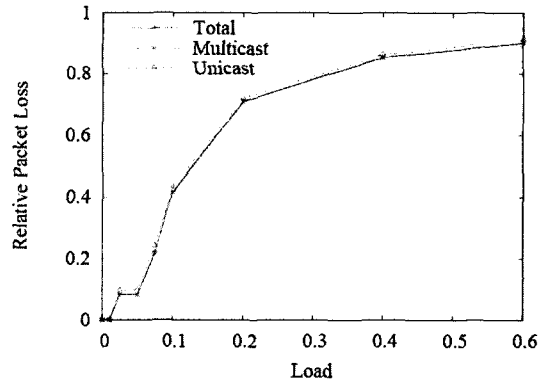
II 장에서 언급한바와 같이  $\Lambda$  VOQ 구조는 각각의 파장에 하나의 버퍼가 할당되어있는 구조이다. 각 버퍼는 유니캐스트 트래픽과 멀티캐스트 트래픽이 같이 저장된다. 각 버퍼의 크기를 IV-1장과 같이하기 위해서 각 버퍼의 크기를  $B=64(1+(N-1)/\Lambda)$ 로 설정하였다. 그림 4에서 알 수 있듯이 유니캐스트 트래픽과 멀티캐스트 트래픽이 전송 지연 시간 및 패킷 손실율이 거의 같은 성능을 보였다. 이는 버퍼 내에서 유니캐스트 트래픽과 멀티캐스트 트래픽이 구별되지 않는 가정 하에서 나온 결과이다.



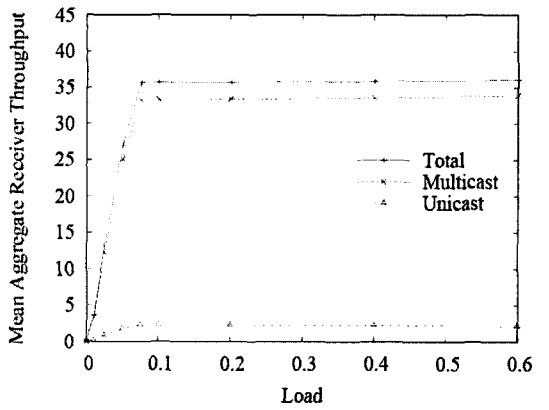
(a) 평균 전송율



(b) 평균 전송지연 시간



(c) 평균 패킷 손실율



(d) 평균 수신율

그림 4.  $\Lambda$  VOQ 구조의 성능분석  
Fig. 4. Performance of  $\Lambda$  VOQ architecture

#### IV. 결 론

본 논문에서는 유니캐스트와 멀티캐스트 데이터가 혼합하여 네트워크로 유입되는 경우 각기 다른 가상 출력큐의 구조에 따른 LQ 선택 방법에 따른 성능을 살펴 보았다. 살펴본바와 같이 멀티캐스트와 유니캐스트 트래픽을 각각 다른 큐에 저장하여 LQ 알고리즘을 사용하여 데이터를 전송하는 경우 심한 공평성 문제가 야기 되었고, 성능 면에서도 많은 차이를 보임을 알 수 있었다. 공평성 문제를 줄이기 위해  $\Lambda$  VOQ 구조는 유니캐스트 트래픽과 멀티캐스트 트래픽을 공평하게 처리하면서 지연 시간의 경우에서 그리 큰 차이를 보이지 않았다. 따라서 지연시간에 민감한 유니캐스트 트래픽과 지연시간에 민감하지 않은 멀티캐스트 트래픽의 경우 멀티캐스트 트래픽이 유니캐스트 트래픽에 우선순위를 갖지 않고 전송함으로써 네트워크를 효율적으로 운영할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] H.-S. Yang, M. Herzog, M. Maier, and M. Reisslein, "Metro WDM networks: Performance Comparison of Slotted Ring and AWG Star Networks," *IEEE Journl. on Sel. Areas in Comm.*, Vol. 22, no. 8, pp. 1460-1473, Oct. 2004.
- [2] J. He and D. H. Tsang, "Multicasting in WDM Networks," *IEEE Comm. Surveys and Tutorials*, no. 1, pp. 1716-1725, 2002.
- [3] A. Carena, et. al., "RingO: A Demonstrator of WDM Optical Packet Network on a Ring Topology," *IEEE Journl. on Sel. Areas in Comm.*, Vol. 22, no. 8, pp. 1561-1571, Oct. 2004.
- [4] J. Wang, B. Chen, and R. Uma, "Dynamic Wavelength Assignment for Multicast in All Optical WDM Networks to Maximize the Network Capacity," *IEEE Journl. on Sel. Areas in Comm.*, Vol. 21, no. 8, pp. 1274-1284, 2003.
- [5] C. Zhou and Y. Yang, "Wide-sense Nonblocking Multicast in a Class of Regular Optical WDM Networks," *IEEE Trans. on Comm.*, Vol. 50, no. 1, pp. 126-134, Jan. 2002.
- [6] K. Bengi and H. R. van As, "Efficient QoS Support in a Slotted Multihop WDM Metro Ring," *IEEE Journl. on Sel. Areas in Comm.*, Vol. 20, no. 1, pp. 216-227, Jan. 2002.
- [7] I. Cidon and Y. Ofek, "MetaRing-A Full-Duplex Ring with Fairness and Spatial Reuse," *IEEE Trans. on Comm.*, Vol. 41, no. 1, pp. 110-120, 1993.
- [8] M. A. Marsan, et. al., "MAC Protocols and Fairness Control in WDM Multirings with Tunable Transmitters and Fixed Receivers," *IEEE Journl. of Lightwave Tech.*, Vol. 14, no. 6, pp. 1230-1244, 1996.
- [9] F. Filali and W. Dabbous, "Fair Bandwidth Sharing Between Unicast and Multicast Flows in Best-Effort Networks," *Computer Comm.*, Vol. 27, no. 4, pp. 330-344, 2004.
- [10] A. Legout, J. Nonnenmacher, and E. W. Biersack, "Bandwidth-Allocation Policies for Unicast and Multicast Flows," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, Vol. 9, no. 4, pp. 464-478, 2001.
- [11] B. Prabhakar, N. McKeown, and R. Ahuja, "Multicast Scheduling for Input-Queued Switches," *IEEE Journl. on Sel. Areas in Comm.*, Vol. 15, no. 15, pp. 855-866, 1997.
- [12] Z. Ortiz, G. N. Rouskas, and H. G. Perros, "Scheduling Combined Unicast and Multicast Traffic in Broadcast WDM Networks," *Photonic Network Comm.*, Vol. 2, no. 2, pp. 135-153, 2000.
- [13] K. V. Shrikhande, et. al., "HORNET: A Packet over WDM Multiple Access Metropolitan Area Ring Network," *IEEE Journl. on Sel. Areas in Comm.*, Vol. 18, no. 10, pp. 2004-2016, 2000.
- [14] C. Fan, M. Reisslein, and S. Adams, "The FTA-FRA AWG Network: A Practical Single-Hop Metro WDM Network for Efficient Uni and Multicasting," *Proc. of IEEE Infocom*, 2004.

#### 저 자 소 개



양 효 식(정회원)

1998년 명지대학교 정보통신공학  
(공학사)

2000년 Arizona State Univ.,  
Electrical Eng. (M.S.)

2005년 Arizona State Univ.,  
Electrical Eng. (Ph. D.)

2005년 9월~2006년 8월 경남대학교 전자공학과  
전임강사

2006년 9월~현재 세종대학교 컴퓨터공학부  
조교수

<주관심분야 : 광 네트워크, ad hoc 네트워크, 테  
이더통신>