

단일홉 파장 분할 다중화 지역망을 위한 집중화된 방식의 다중 접근 방안

正會員 오 영 열*, 손 장 우*, 조 원 홍**, 이 재 용*, 이 상 배*

A Centralized Approach in Multi-channel Access Scheme for Single-hop WDM Local Area Networks

Young Yul Oh*, Jang Woo Son*, Wonhong Cho**, Jai Young Lee*,
Sang Bae Lee* *Regular Members*

※이 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 대학부설연구소 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

요 약

본 논문에서는 수동 성형 결합기(Passive Star coupler)를 이용한 단일홉 방식의 파장 분할 다중화 네트워크에서 다중 채널 접근 방안과 이에 따른 망 구조가 연구된다. 제안되는 방안에서는 단일홉 방식의 파장 분할 다중화 네트워크에서 핵심이 되는 다중 사용자의 다중 채널 접근을 위해 집중형 스케줄링 노드(Central Scheduling Node, CSN)를 두었다. 제안되는 방법은 망 내의 모든 노드에서 분산적인 스케줄링 알고리즘을 수행하는 기존의 다중 채널 접근 방안에서 제기될 수 있는 제어 처리 오버헤드를 줄일 수 있으며 채널 충돌, 목적지 충돌과 같은 충돌이 발생하지 않는 스케줄링이 이루어지기 때문에 이상적인 출력 버퍼링 스위치에 가까운 채널 이용율을 얻을 수 있다. 집중형 스케줄링 노드는 간단한 구조를 가지며 여기서 수행되는 스케줄링 알고리즘 역시 간단하기 때문에 구현상에 장점을 가진다. 그리고 집중형 노드는 데이터 패킷이 아닌 제어 패킷만을 처리하기 때문에 버퍼 요구량 또한 작다. 제안된 네트워크 구조와 다중 접근 방안은 다중큐 다중서버(Multi-Queue Multi-Server) 모델로 성능이 분석되며 아울러 시뮬레이션을 통해 성능이 평가된다.

ABSTRACT

A new multi-channel access scheme and the associated network architecture for a single-hop WDM local area

*연세대학교 전자공학과
*군산대학교 컴퓨터공학과
論文番號:97345-0924
接受日字:1997年 9月 24日

network is proposed in this paper. The proposed architecture has *Central Scheduling Node (CSN)* for the transmission coordination among many users, which is one of the key issues in single-hop WDM networks. The data channels, source nodes, and destination nodes are selected at CSN in very simple manner. Our scheme can relieve the control processing overhead at all nodes in the network which is caused in existing distributed scheduling algorithms. CSN is simple in the architecture can be implemented easily. In respect to the network performance, the maximum obtainable throughput is up to that of the ideal output queuing because of collision free scheduling. We use the MQMS (multi-queue multi-server) model for performance analysis.

I. 서 론

광섬유를 매체로 하는 광통신 기술은 정보 통신의 기반이 되는 핵심 기술 중의 하나로서 그 중요성과 비중이 점점 커지고 있다. 초기의 광 전송 기술의 사용은 광섬유의 저 손실 특성과 낮은 에러율을 이용하여 기존의 통신망 구조에서 전송 매체로서의 역할이 확대되고 있다. 광섬유의 큰 장점 중 하나로서 30 THz에 이르는 광범위한 대역폭을 들 수 있으나 기존의 망 구조에서는 전기적 병목(electronic bottleneck)으로 인해 광섬유의 광대역폭 특성을 이용할 수 없었다.

파장 분할 다중화 기술(WDM: Wavelength Division Multiplexing)은 하나의 광섬유 내에 전기적으로 처리 가능한 최고 속도로 파장 분할된 다중 채널을 형성하여 광섬유의 대역폭을 효율적으로 이용할 수 있는 기술이다. 파장 분할 다중화 기술을 사용하여 간단한 망 구조와 적은 비용으로 다수의 사용자에게 기가 비트율의 전송속도를 제공할 수 있으며 많은 기가 비트 어플리케이션을 효과적으로 지원할 수 있다. WDM 네트워크는 방송-선택(Broadcast-and-select) 네트워크와 파장 경로선택 (Wavelength Routing) 네트워크로 분류된다. 또 다른 분류로 단일홉 방식과 다중홉 방식을 들 수 있다. 특히 방송-선택 구조의 단일홉 WDM 네트워크는 수동 성형 결합기(Passive Star Coupler: PSC) 라는 수동 광 소자를 이용하기 때문에 전력 분배, 라우팅, 비용, 안정성 등의 측면에서 많은 장점을 갖는다. 하지만 사용 가능한 전체 파장 분할 채널의 개수의 제한, 광 소자의 동조 속도의 제한 등의 해결해야 할 문제점들이 있으며 데이터 송수신을 위한 동조 가능한 송수신기의 제어 방안의 성능이 전파 지연에 영향을 받는 등의 이유로 광역망(Wide Area Networks)의 구조로는 부적합하다. 그러나 앞서 언급한

여러 장점들은 수동 성형 결합기를 이용한 WDM 네트워크가 차세대 초고속 지역망(Local Area Networks)의 위치를 차지하게 하기에 충분하다. 방송-선택 구조의 단일홉 WDM 네트워크에서는 다중 사용자들의 다중 채널 접근 방법, 즉, 송수신에 있어서 데이터 전송을 위한 동조 제어가 가장 중요한 요소이며 이것은 망의 성능과 비용, 복잡성, 확장성 등을 좌우한다[1].

기존에 연구되어 온 다중 채널 접근 방법들은 크게 임의 접근 방식(Random access)[2],[3], 각 채널에서 시분할 다중화(TDMA)방식을 이용한 고정 할당 방법[4],[5], 트래픽의 요구에 따라 채널에 접근하는 동적 할당 방법([6],[7],[8],[9])으로 나뉘는데 임의 접근 방식은 최대 얻을 수 있는 처리율이 낮고 시분할 다중화 방식의 고정 할당은 불 균일 트래픽을 수용하기 부적합하며 저 부하시의 지연시간이 비교적 크다는 단점이 있다. 동적 할당법은 다른 두 방법에 비해 우수한 망 성능을 얻을 수 있으나 채널의 접근을 동적으로 제어하기 위한 제어 오버헤드가 크다. 기존에 제시된 동적 할당 방법은 지리율 성능이 출력 큐잉(Output queuing)에 가까운 처리율 성능을 가지지만, 이러한 트래픽 요구량에 따른 동적인 다중 채널 접근을 위해서는 모든 노드에서는 데이터 패킷을 전송하는데 대해서 데이터의 전송 요구를 의미하는 제어 패킷을 보내어 다른 노드들이 보낸 제어 패킷 내의 정보를 바탕으로 각각의 노드에서 분산적으로 스케줄링 알고리즘을 수행해야 한다. 이러한 방법은 각 노드에서의 상당한 프로세싱이 요구되며 복잡성이 유발되며 프로세싱 오버헤드로 인해 망의 규모가 제한되기도 한다. 즉, 각 노드들이 시간 구간마다 자신의 데이터 저장 정보(backlog information)를 전송하고 다른 노드들로부터 데이터 저장 정보를 전송 받아 이를 바탕으로 데이터 채널의 스케줄링을 분산적으로

실시하거나[7], 모든 노드들의 데이터 저장 정보와 데이터 채널의 스케줄링 상태 정보를 유지하고 있어야 한다[8],[9].

제안되는 방안에서는 기존의 대부분의 연구와는 달리 패킷 전송 스케줄링이 집중화된 방식으로 수행된다. 기존의 방송-선택 구조의 단일휴 WDM 네트워크에서는 여러 개의 파장으로 나뉘어진 다중 채널로의 접근을 위해 각각의 사용자 노드에서 분산적으로 제어 알고리즘을 수행하게 된다. 이렇게 함으로써 망의 구조는 단순화되고 수동 소자만을 이용하기 때문에 스위칭 노드를 가진 망 구조에서 발생하는 스위칭에 의한 전기적 병목을 해소할 수 있게 된다. 제안되는 방안에서는 집중형 스케줄링 노드를 두어 패킷 전송 스케줄링이 집중화된 방식으로 수행되지만 이것은 기존 망 구조에서의 스위칭 노드와는 다른 성격을 가진다. 먼저 집중형 스케줄링 노드는 제어 패킷만을 취급한다. 데이터 패킷 전송 요구와 응답의 역할을 하는 제어 패킷은 단지 송/수신단의 주소만을 포함하므로 집중형 스케줄링 노드에서 요구되어지는 버퍼량은 일반적인 스위칭 노드에 비해 매우 작다. 그리고 데이터 채널 사이클(=데이터 패킷의 길이)이 제어 패킷의 길이보다 상당히 크기 때문에 하나의 데이터 채널 사이클 동안에 최대 채널의 개수 만큼만을 처리하는 제안 방안에서는 전기적인 병목이 발생하지 않는다. 또한 집중형 스케줄링 노드는 매우 단순한 구조를 가지며 스케줄링 방식 역시 단순하기 때문에 구현상의 장점을 가진다.

다중 채널 접근 방법들에서 고려되어야 할 또 하나의 요소는 동조 가능한 광 송신기나 수신기와 같은 광 소자의 동조 시간이다. 송수신기의 동조 시간 동안 채널이 idle하게 되는데, WDM 망에서는 패킷의 전송 시간이 매우 작기 때문에 동조 시간은 처리율 성능에 큰 영향을 미치게 된다. [10],[11]에 나타난 현재의 광 소자 기술을 살펴보면 광 소자의 동조 속도는 동조 가능한 채널의 수와 반비례하기 때문에 동조 속도를 빠르게 하기 위해서는 사용 채널의 수를 줄이는 방법밖에 없다. [6],[7]에서와 같이 망 내의 전체 노드 수와 같은 수의 채널을 요구하는 다중 채널 접근 방법은 망 성능과 광 소자 기술을 고려할 때 구현 가능하지 않다. 반면에 제안된 방법에서는 동조 가능한 송수신기를 사용하여 망 내의 노드의 수(N) 보다 작

은 제한된 수의 파장 분할 채널을 제공하며 각 채널의 이용율을 최대로 얻을 수 있다.

이후의 논문 구성은 다음과 같다. 2절에서는 제안되는 방안에서의 망 구조와 노드 구조가 설명되어지며 3절에서는 집중형 스케줄링 노드의 구조와 스케줄링 방법 그리고 채널의 형식이 설명된다. 성능 평가를 위한 시뮬레이션 결과가 4절에 나타나며 5절에서는 결론을 맺는다.

II. 망 구조와 노드 구조

집중형 스케줄링 노드를 가지는 망 구조가 그림 1에 나타난다. 일반적인 수동 성형(Passive star) WDM 네트워크와 비슷한 구조를 갖지만 수동 성형 결합기(PSC)에 인접한 집중형 스케줄링 노드를 가지는 것에 차이가 있다. 망 내에는 W 개 ($W \leq N$) $\{\lambda_1 \sim \lambda_w\}$ 의 데이터 채널과 한 개의 제어 채널 $\{\lambda_0\}$ 이 존재한다. 각 노드들은 광섬유로 수동 성형 결합기에 연결되는데 제어 채널의 동기는 노드와 집중형 스케줄링 노드 간에 맞춰진다. 각 노드들은 데이터 채널의 사용을 위해 $\lambda_1 \sim \lambda_w$ 의 동조 범위를 갖는 동조 가능한 송신기와 수신기를 각각 하나씩 가지며 제어 채널의 사용을 위해 $\{\lambda_0\}$ 에 고정된 송/수신기를 하나씩 갖는다. 서론에서 언급했듯이 데이터 채널의 개수는 동조 속도로 인해 상당히 제한되는데 현재의 가변 동조 소자의 기술과 전송 속도(약 2Gb/s)에 따른 패킷 전송 시간을 고려할 때 채널의 개수는 약 10개 미만으로 제한되어야 하며 이런 경우 동조 속도는 수 나노(nano) 초 정도이다[10].

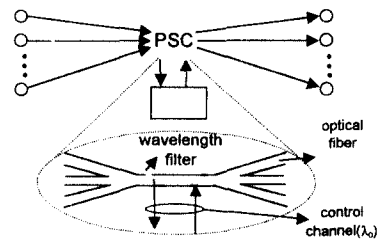


그림 1. 망 구조

데이터 채널을 통해 송신 노드에서 보내지는 데이터 패킷들은 수동 성형 결합기를 거쳐 다른 모든 노드로 방송(broadcasting)되어지며 해당되는 수신 노드는 사용된 데이터 채널의 파장에 수신기를 동조하여 패킷을 수신한다. 한 데이터 패킷의 송/수신을 위해서 송신 노드와 수신 노드는 동일한 시간 구간동안 송신기와 수신기를 동일 파장에 동조해야 한다. 이를 위해 각 노드들은 제어 채널 상으로 보내고자 하는 데이터 패킷에 대한 전송 요구(request)에 해당하는 제어 패킷을 집중형 스케줄링 노드로 보내고 또한 집중형 스케줄링 노드로부터 응답(acknowledgement)에 해당하는 제어 패킷을 받는다. 제어 채널에 대한 접근 방법으로는 제어 채널의 시간 구간을 시분할 하여 각 시간 구간들을 모든 노드들에게 고정적으로 할당하는 방법을 사용한다. 즉 각 노드는 송신 요구 제어 패킷을 자신에 할당된 시간 구간에 실어 보낸다. 전송된 제어 패킷들은 수동 성형 결합기에 도달되어 λ_0 파장만을 선택적으로 필터링하는 파장 필터를 통해서 집중형 스케줄링 노드로 전달된다. 이와 반면에 데이터 패킷들은 수동 성형 결합기를 통해 곧 바로 브로드캐스팅된다. 집중형 스케줄링 노드에 도착한 요구 패킷(request packet)들은 광 신호에서 전기적 신호로 변환된 후 스케줄링된다. 한 데이터 채널 시간 구간마다 W 개의 제어 패킷들이 선택되어 다시 광 신호로 변환된 후 수동 성형 결합기를 통해 모든 노드에 방송(broadcasting)된다. 이때의 제어 패킷들은 일종의 응답의 역할을 하기 때문에 ACK 제어 패킷이라 칭하기로 한다. ACK 패킷들을 받은 모든 노드들은 제어 패킷내의 송/수신 단 주소를 검사하여 선택된 데이터 채널을 통해 데이터의 송/수신이 이루어진다. ACK 제어 패킷과 데이터 채널의 선택은 다음 절에서 자세히 설명된다.

그림 2는 노드의 구조를 나타낸다. 데이터의 송/수신을 위해서 동조 가능한 송/수신기를 사용한다. 앞서 언급한 듯이 동조 시간문제 때문에 송/수신기의 어느 한쪽이 고정 파장만을 사용하도록 할 수 없다. 즉, 모든 노드마다 유일한 파장이 할당될 수 없다. 한편으로 제어 패킷의 전송에 사용하는 제어 채널은 그림 2에서처럼 파장 λ_0 에 고정된 송/수신기를 통해서 만들어진다. 각 노드에서는 상위 계층으로부터 도착한 패킷의 큐잉이 필요하다. 이때 각 패킷은 목적지

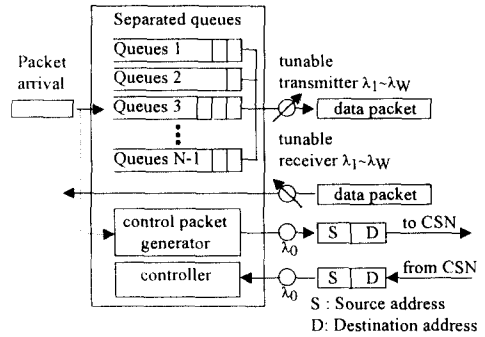


그림 2. 사용자 노드의 구조

별로 큐잉된다. 목적지별 큐잉이 필요한 이유는 일종의 입력 버퍼링 스위치에서의 HOL(Head Of Line) 블록킹으로 인한 처리율의 저하(최대 처리율=0.538)를 없애기 위해서 이다. 이처럼 목적지별로 큐를 둔 경우 각 노드에서는 모든 큐의 백로그(backlog)에 대한 정보를 제어 정보 내에 포함시켜야 하는데 [7]에서는 매 시간 구간마다 이 백로그 정보를 제어 패킷을 통해 방송(broadcasting)하는 방법을 사용하였다. 이 방법은 프로세싱 부하와 제어 정보량이 많아서 망 내의 노드 수에 제한이 가해진다. 제안되는 방법에서는 노드에 전송될 데이터 패킷이 도착했을 때 제어 패킷이 곧 바로 집중형 스케줄링 노드로 보내진다. 다시 말해서 모든 시간 구간마다 제어 패킷을 보낼 필요가 없다. 또한 제어 패킷 내에는 그림 2에서 보이는 것과 같이 송신단과 수신단의 주소 필드만 있을 뿐 노드 내의 큐의 백로그 정보를 포함하지 않는다. 집중형 스케줄링 노드에 도착한 제어 패킷들은 집중형 스케줄링 노드 내의 목적지별로 마련된 큐로 들어간다. 집중형 스케줄링 노드내의 큐의 백로그가 모든 노드의 전체 백로그와 같으므로 별도로 제어 패킷을 이용해 백로그 정보를 전달할 필요가 없다. 이 부분에 대한 자세한 설명은 다음절에서 나타난다.

III. 집중형 스케줄링 노드의 구조와 채널 형식

그림 3은 집중형 스케줄링 노드의 구조이다. 수동 성형 결합기를 통해 사용자 노드들로 방송(broadcasting)되기 전에 필터링되어 분리된 제어 채널상의 제어 패킷은 O/E 변환기를 거쳐 전자 신호로 변환된다. 집

중형 스케줄링 노드 내에는 사용자 노드에서와 마찬가지로 목적지별로 마련된 큐를 가진다. 모든 사용자 노드에서 보내진 제어 패킷들은 어드레스 필터를 거쳐 목적지의 주소에 따라 분리되어 목적지별 큐로 들어간다. 목적지별 큐 내의 제어 패킷들은 큐의 선두에 이르렀을 때 스케줄러에 의해 선택되어 서비스된다. 스케줄러는 비어있지 않은 큐에 대해서 선두 패킷을 순환적인 방법(Cyclic order)으로 서비스한다. 이 과정을 자세히 설명하면 다음과 같다. 데이터 채널의 개수가 W 개이므로 한 데이터 타임 슬롯에서 동시에 최대 W 개의 데이터 패킷이 전송될 수 있으므로 스케줄러는 하나의 데이터 타임 슬롯 동안에 최대 W 개의 목적지 큐에서 순환적인 방법으로 제어 패킷을 서비스한다. 물론 비어 있지 않은 큐의 개수가 W 보다 적은 경우에도 목적지 충돌을 막기 위해서 하나의 목적지 큐에서 단 하나의 제어 패킷만 서비스되므로 한

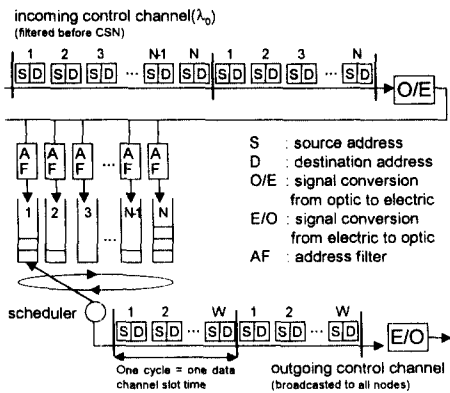


그림 3. 집중형 스케줄링 노드(central scheduling node)의 구조

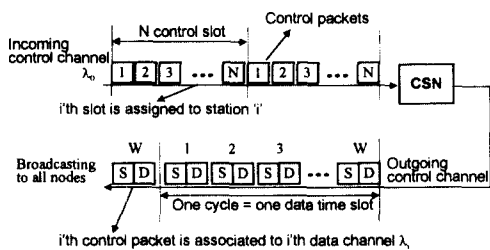


그림 4. 제어 채널의 형식

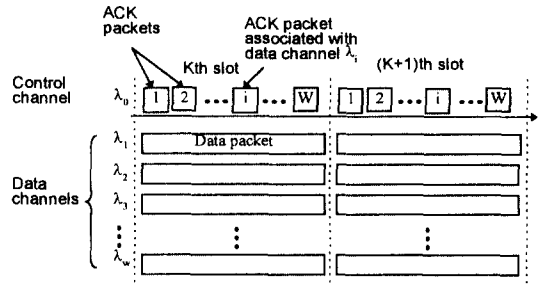


그림 5. 데이터 채널과 제어 채널의 관계

데이터 타임 슬롯에서 W 개 이하의 제어 패킷이 서비스될 수 있다. 제안 방안에서는 큐 서비스 방식에 대해서는 순환적인 방법 외에 *LQFS*(Longest Queue First Service)나 우선순위 적용 방안 등이 적용될 수 있지만 본 논문에서는 순환적인 방법만 다루기로 한다.

그림 4와 그림 5는 각각 제어 채널과 데이터 채널의 형식을 나타낸다. 제어 채널과 데이터 채널은 모두 시간 분할되어 사용된다. 제어 채널은 집중형 스케줄링 노드의 측면에서 보았을 때 입력(incoming) 채널과 출력(outgoing) 채널로 분리하여 생각할 수 있다. 입력 제어 채널은 노드로부터 집중형 스케줄링 노드로의 요구 제어 패킷이 전달되는 채널이고 출력 제어 채널은 집중형 스케줄링 노드가 *ACK* 제어 패킷을 모든 노드로 전달하는 채널이다. 앞서 언급한 것처럼 입력 채널의 시간 구간들은 각 사용자 노드에게 고정적으로 할당된다. 입력 제어 채널에서의 시간 구간의 분할은 데이터 채널의 시간 구간의 분할과는 무관하다. 입력 제어 채널의 시간 구간의 길이와 노드에 할당되는 사이클은 제어 패킷의 길이와 사용자 노드의 개수에 의해 결정되고 데이터 채널의 시간 구간의 길이는 데이터 패킷의 에 의해 결정된다. 반면에 출력 제어 채널의 형식은 그림 5에서와 같이 데이터 채널에 동기화 된다. 앞 절에서 설명한 것처럼 W 개의 데이터 채널에 대한 최대 W 개의 *ACK* 제어 패킷이 집중형 스케줄링 노드로부터 전송된다. 데이터 채널의 k 번째 슬롯 내의 *ACK* 제어 패킷들은 $k+1$ 번째 데이터 슬롯에서의 데이터 패킷 전송에 관련된 것이다. 즉, k 번째 데이터 채널 슬롯 동안의 *ACK* 패킷을 받은 모든 노드들은 제어 패킷 내의 송/수신 주소 필드를 검사하여 이에 해당되는 송/수신 노드들은 자신들의 송/

수신기를 선택된 데이터 채널에 동조하고 $k+1$ 번째 데이터 슬롯에서의 데이터 패킷 전송이 이루어진다. 데이터 채널의 선택은 다음과 같은 방법으로 이루어진다. ACK 제어 패킷에 의해 선택된 송/수신 노드가 사용할 데이터 채널은 ACK 제어 패킷의 순서에 의해 결정된다. 즉, 출력 제어 채널 상의 첫 번째 슬롯에서 첫 번째 제어 패킷의 송/수신 주소에 해당하는 두 노드는 송신기와 수신기를 파장 λ_1 의 데이터 채널에 동조시키고 두 번째 제어 패킷에 해당하는 두 노드는 λ_2 데이터 채널에 동조하는 방식으로 λ_1 에서 λ_W 까지의 데이터 채널들이 송/수신 노드에 의해 선택되어 사용된다.

IV. 성능 평가

1. 집중형 스케줄링 노드 모델의 분석

제안된 망 구조와 다중 접근 방안의 성능을 분석하는데 있어서 집중형 스케줄링 노드의 성능에 초점을 맞추었다. 이것은 제안된 방안에서는 채널 이용률 성능이 단지 집중형 스케줄링 노드에서만 결정 지워지기 때문이다. 3절에서 언급된 것처럼 모든 사용자 노드에서의 데이터 패킷의 백로그(backlog)가 집중형 스케줄링 노드에 마련된 목적지별 큐 내에 제어 패킷의 백로그로서 그대로 반영되기 때문에 망의 이용률은 집중형 스케줄링 노드에서 결정된다. 지연 성능 또한 집중형 스케줄링 노드에서의 큐잉 지연에다가 고정된 값의 전파 지연(propagation delay)과 패킷 전송 지연(transmission delay)의 합으로 나타난다. 따라서 여기서는 집중형 스케줄링 노드의 성능만을 고려한다.

먼저 성능 분석에서 사용한 가정들을 고려해 보자. 전파 지연 시간과 동조 가능한 송수신기의 동조 시간은 무시한다. 이러한 가정은 지역망(LAN) 환경과 빠른 동조 속도를 가지는 광 디바이스(tunable laser, tunable filter)의 사용을 고려할 때 정당화될 수 있다. 앞서 언급한 것처럼 제안된 방안은 사용자 노드의 수에 상관없이 제한된 수의 파장으로 동작할 수 있으므로 동조 시간이 수 나노(nano) 초에 이르는 빠른 광 송수신기를 사용하는 것이 가능하다. 또 하나의 가정으로는, 각 사용자 노드로의 패킷 도착률이 동일하고 패킷 목적지가 동일한 확률로 결정되는 균일 트래픽 분포를 가정한다.

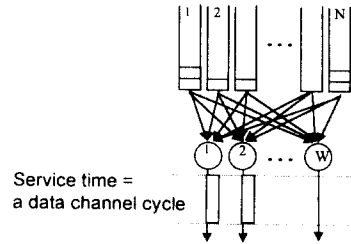


그림 6. 다중큐 다중서버 모델

제안되는 집중형 스케줄링 노드는 다중큐 다중서버(Multiqueue Multiserver) 모델[12]로 모델링한다. 3절에서 설명된 것처럼 집중형 스케줄링 노드는 N 개의 큐를 가지며 이중에서 데이터 채널의 개수인 W 개의 큐가 한 채널 사이클 동안 최대로 서비스될 수 있다. 또한 하나의 큐는 한 채널 사이클 동안 최대 하나의 선두 제어 패킷이 서비스되거나 또는 하나도 서비스되지 않는다. 따라서 그림 3에서 보여지는 집중형 스케줄링 노드는 그림 6과 같이 N 개의 큐와 W 개의 서버를 가지는 다중큐 다중서버 모델로 변환될 수 있다. 여기서 각 서버의 서비스 시간은 채널 사이클과 같으며 W 개의 서버가 동기화 되어 서비스한다. 제안되는 방안에서는 집중형 스케줄링 노드에서 N 개의 큐에 대해 순환적인 순서(Cyclic order)로 최대 W 개의 큐를 서비스하지만 분석에 있어서는 최대 W 개의 큐가 무작위(random)로 선택되어 지는 것으로 가정한다.

분석에서 사용된 몇 가지 용어들은 다음과 같다.

- P_S : 주어진 하나의 큐의 선두 패킷이 서비스될 확률
- N : 집중형 스케줄링 노드 내의 목적지별 큐의 개수 (= 사용자 노드 수)
- W : 파장 분할된 데이터 채널의 수
- P_0 : 주어진 하나의 큐가 한 사이클 동안 비어있을 확률
- λ : 기하 분포로 도착하는 패킷의 평균 도착률

P_S 는 아래와 같이 조건부 확률을 취하여 얻는다.

$$P_S = \text{비어있지 않은 큐의 개수가 } W \text{개 미만인 경우} + \text{비어있지 않은 큐의 개수가 } W \text{개 이상인 경우}$$

$$\sum_{i=0}^{W-1} \binom{N-1}{i} (1-P_0)^i P_0^{N-i-1} + \sum_{i=W}^{N-1} \binom{N-1}{i} (1-P_0)^i P_0^{N-i-1} \times \frac{W}{i+1} \quad (1)$$

여기서 임의의 큐 선택(random queue selection)을 고려하면 각각의 큐는 독립적으로 서비스되는 것으로 생각할 수 있다. 따라서 하나의 큐는 λ 와 P_s 를 파라미터로 가지는 *geom/geom/1* 큐로써 모델링된다. *geom/geom/1* 큐에서 서버 이용율인 P_s 와 평균 대기 시간 $E[D]$ 는 다음과 같이 구해진다[13].

$$P_s = \frac{\lambda}{1 - P_0} \quad (2)$$

$$E[D] = \frac{1 - \lambda}{P_s - \lambda} \quad (3)$$

서버 이용율(utilization)과 평균 서비스 지연 시간은 식 (1), (2), (3)에 의해서 계산되어 진다.

2. 성능 평가 결과

이 절에서는 4.1의 성능 분석의 결과와 함께 시뮬레이션을 통한 성능 평가 결과를 도시하고 분석한다.

본 논문에서는 시스템 시뮬레이션 툴인 SLAM[14]을 사용하였다. 4.1절에서 도입한 가정과 마찬가지로 전파 지연과 송수신기의 동조 시간은 무시되며 트래픽의 발생은 각 사용자 노드로의 패킷 도착율이 동일하고 패킷 목적지가 동일한 확률로 결정되는 균일 트래픽 분포로 정하였다. 단, 집중형 스케줄링 노드에서의 큐 서비스 방식은 순환적인 순서로 한다.

네트워크에 가해지는 트래픽 부하량은 하나의 사용자 노드에서 하나의 데이터 채널 사이클 동안 패킷의 도착 확률을 노드의 수로 곱한 값을 채널의 수로 나눈 값으로 정의한다. 즉, 한 채널에 대해서 한 채널 사이클 동안 패킷이 도착할 확률이다. 채널 이용율의 결과에서는 $W=4$ 와 $W=8$ 인 경우에 대해 각각 N 값과는 상관없이 동일한 결과를 얻게 된다. 따라서, $W=4$ 와 $W=8$ 인 $(N, W)=(8,4), (16,8)$ 의 경우에서의 채널 이용율 결과만을 그림 10과 그림 12에 도시하였다. 다중큐 다중서버 모델의 분석을 통해 얻어진 채널 이용율을 도시한 그림 9, 11과 비교해 볼 때 거의 유사한 결과임을 확인할 수 있다. 제안된 방안에서는 ACK

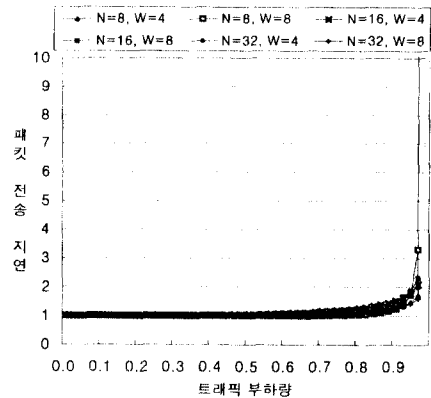


그림 7. 패킷 전송 지연(다중큐 다중서버모델 분석)

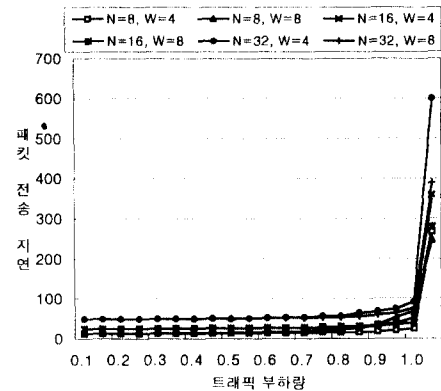


그림 8. 패킷 전송 지연(시뮬레이션)

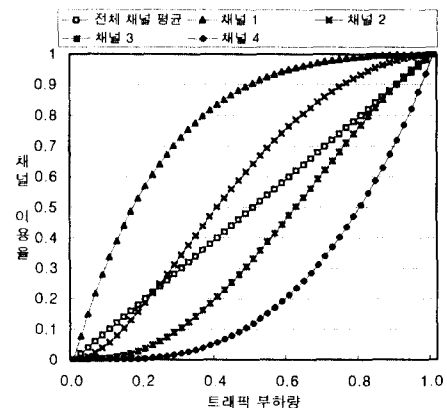


그림 9. 채널 이용율(다중큐 다중서버 모델 분석: $N=8, W=4$)

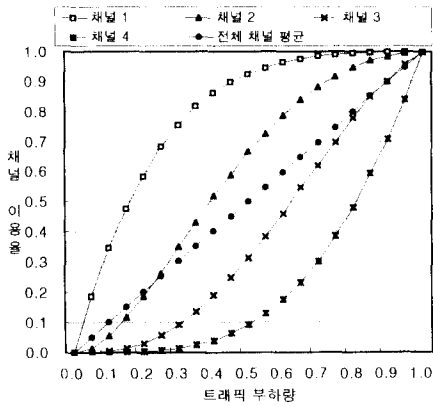


그림 10. 채널 이용율(시뮬레이션: N=8, W=4)

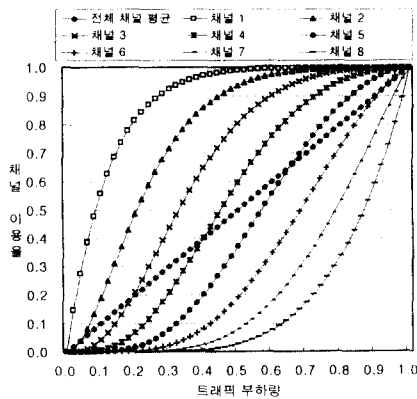


그림 11. 채널 이용율(다중큐 다중서버 모델 분석: N=16, W=8)

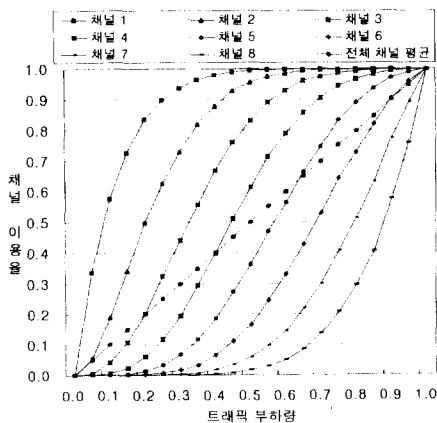


그림 12. 채널 이용율(시뮬레이션: N=16, W=8)

제어 패킷의 순서에 의해 데이터 채널이 선택되므로, 데이터 채널은 항상 λ_1 에서부터 $\lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_W$ 의 순서로 선택된다. 채널 이용율 결과에서 각 채널의 이용율이 서로 다른 것은 이러한 이유 때문이다. 패킷 전송 지연에 대해서는 $(N, W)=(8,4), (8,8), (16,4), (16,8), (32,4), (32,8)$ 인 경우에 대한 결과를 그림 8에 도시하였다.

다중큐 다중서버 모델의 분석에서도 $(N, W)=(8,4), (16,8)$ 의 경우를 살펴본다. $(N, W)=(8,4)$ 의 경우를 예로 들면, 다중큐 다중서버 모델에서는 앞서 언급한 것처럼 하나의 채널이 하나의 서버에 해당하므로 서버의 이용율은 채널의 이용율과 같다. 여기서 한가지 가정이 들어가는데, 4개의 서버가 8개의 큐 중에서 선두 패킷이 있는 큐를 무작위로 선택하여 서비스할 때, 각각 채널 1, 2, 3, 4에 해당하는 서버의 순서대로 큐를 선택할 우선 순위를 갖는다. 즉, 채널 1에 해당하는 서버가 가장 먼저 서비스할 큐를 선택하고 채널 4에 해당하는 서버가 가장 나중에 선택한다. 이러한 가정과 식(1), (2)의 결과로부터 각 채널의 이용율이 다음과 같이 구해진다.

* 채널1의 이용율 $U_1 = 1 - P_0^8$

* 채널2의 이용율 $U_2 = 1 - (P_0^8 + 1 - \binom{8}{1}(1 - P_0)P_0^7)$

* 채널3의 이용율 $U_3 = 1 - (P_0^8 + \binom{8}{1}(1 - P_0)P_0^7 + \binom{8}{2}(1 - P_0)^2P_0^6)$

* 채널4의 이용율 $U_4 = 1 - (P_0^8 + \binom{8}{1}(1 - P_0)P_0^7 + \binom{8}{2}(1 - P_0)^2P_0^6 + \binom{8}{3}(1 - P_0)^3P_0^5)$

다중큐 다중서버 모델의 분석을 통한 결과와 시뮬레이션을 통한 결과를 비교해 보면 채널 이용율 성능에서 거의 유사한 결과를 확인할 수 있다. 그런데 패킷 전송 지연에서는 다소 차이가 있음을 볼 수 있는데, 이것은 다중큐 다중서버 모델은 집중형 스케줄링 노드만을 모델링한 것이고 시뮬레이션에서는 실제

사용자 노드에서 데이터 패킷의 전송까지 고려한 것이기 때문에 다중큐 다중서버 모델의 분석에 비해 데이터 패킷의 전송 시간이 더 추가되기 때문이다.

V. 결 론

방송-선택 구조의 단일홉 WDM 지역망을 위한 다중 접근 방안들이 기존에 연구되었으나 채널의 효율을 높이기 위해서는 다중 접근 프로토콜의 복잡성으로 인해 각 사용자 노드에서의 프로세싱 오버헤드가 문제시되었다. 제안된 방안은 단순한 구조의 집중형 스케줄링 노드를 이용하여 사용자 노드에서 데이터 채널 예약을 위한 스케줄링 프로세싱이 없는 간단한 다중 접근 방안이다. 본 논문에서는 집중형 스케줄링 노드와 사용자 노드의 구성을 제안하였으며, 데이터 채널과 제어 채널의 형식과 채널 스케줄링 방안을 제시하였다. 4절의 성능 평가에서 볼 수 있듯이 제안된 망 구조와 다중 접근 방안은 제한된 개수의 데이터 채널에 대해 채널당 이용율을 최대로 얻을 수 있다.

제안된 방안은 집중화 된 방식이 가지는 단점들 즉, 집중형 스케줄링 노드로 인한 비용 증가나 고장 등의 문제를 가진다. 하지만 앞서 언급된 것처럼 집중형 스케줄링 노드는 매우 간단한 구조를 가지므로 이러한 단점을 완화시킬 수 있다. 다시 말해, 이 노드는 송/수신단의 주소만을 가진 제어 패킷을 다루기 때문에 버퍼의 요구량 또한 작으며 큐 서비스 방식도 단순한 순환적인 순서로 이루어진다.

참 고 문 헌

1. Biswanath Mukherjee, "WDM-Based Local Lightwave Networks Part I: Single-Hop Systems," *IEEE Network*, pp. 1227, May, 1992.
2. M. Kavherad *et al*, "Slotted ALOHA and reservation ALOHA protocols for very high-speed optical fiber local lightwave networks," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 9, No. 10, pp. 1441-1422, Oct., 1991.
3. W. Dowd, "Random Access Protocols for High-Speed Interprocessor Communication Based on an Optical Passive Star Topology," *Journal of Lightwave Technology*, Vol. 9, No. 6, June, 1991.
4. G. N. Rouskas *et al*, "Analysis and optimization of transmission schedules for single-hop WDM networks," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, Vol. 3, No. 2, pp. 211-221, April, 1995.
5. K. M. Sivalingam *et al*, "Pre-Allocation Media Access Control Protocols for Multiple Access WDM Photonic Networks," *Proc. ACM SIGCOM'92*, pp. 235-246, 1992.
6. M. Chen *et al*, "A media-access protocol for packet-switched wavelength division multiaccess metropolitan networks," *IEEE J. SELEC. AREA IN COMMUN.*, vol. 8, pp. 1048-1057, Aug. 1990.
7. R. Chipalkatti *et al*, "Protocols for optical star-coupler network using WDM: performance and complexity study," *IEEE J. SELEC. AREA IN COMMUN.*, vol. 11, no. 4, pp. 579-589, May 1993.
8. F. Jia, B. Mukherjee *et al*, "Scheduling Variable-Length Messages in a Single-Hop Multichannel Local Lightwave Networks," *IEEE J. SELEC. AREA IN COMMUN.*, vol. 3, no. 4, pp. 579-589, August, 1993.
9. Andrew Muir *et al*, "Distributed Queue Packet Scheduling Algorithms for WDM-Based Networks," *INFOCOM'96*, pp. 938-945, 1996.
10. Paul. E. Green, "Optical Network Update," *IEEE J. SELEC. AREA IN COMMUN.*, vol. 14, no. 5, pp. 764-777, Jun. 1996.
11. C. A. Brackett, "Dense Wavelength Division Multiplexing Networks: Principles and Applications," *IEEE J. SELEC. AREA IN COMMUN.*, Vol. 8, No. 6, Aug. 1990.
12. Joseph Y. Hui, *Switching and Traffic Theory for Integrated Broadband Networks*, Kluwer Academic publishers, 1991.
13. Thomas G. Roberbazza, *Computer Networks and Systems; Queueing Theory and Performance Evaluation*, Springer-Verlag, 1994.
14. 이영해, 백두권, 시스템 시뮬레이션, 경문사, 1991.

<p>오 영 열(Young Yul Oh)</p> <p>1993년: 연세대학교 전자공학과 공학사 1995년: 연세대학교 전자공학과 공학석사 현재: 연세대학교 전자공학과 박사과정 ※주관심분야: WDM 네트워크</p>	정회원	<p>이 재 용(Jai Young Lee)</p> <p>1977년: 연세대학교 전자공학과 공학사 1984년: IOWA State Univ. 컴퓨터공학과 공학석사 1987년: IOWA State Univ. 컴퓨터공학과 공학박사 1987년 6월~1994년 8월: 포항공과대학교 전자계산학과 부교수</p>	정회원
<p>손 장 우(Jang Woo Son)</p> <p>1992년: 연세대학교 전자공학과 공학사 1994년: 연세대학교 전자공학과 공학석사 현재: 연세대학교 전자공학과 박사과정 ※주관심분야는 ATM 스위치 구조</p>	정회원	<p>1994년 9월~현재: 연세대학교 전자공학과 교수 ※주관심분야: 프로토콜 공학, 고속/멀티미디어 통신 프로토콜, 망관리</p>	
<p>조 원 홍(Wonhong Cho)</p> <p>1985년 2월: 연세대학교 전자과(학사) 1987년 2월: 연세대학교 전자과 대학원(석사) 1994년 2월: 연세대학교 전자과 대학원(박사) 1994년~현재: 군산대학교 컴퓨터과학과 교수 ※주관심분야: WDM 광통신망, 네트워크 분석 및 모 델링</p>	정회원	<p>이 삼 배(Snag Bae Lee)</p> <p>1958년: 공군사관학교 통신공학과 공학사 1961년: 서울대학교 전자공학과 공학사 1964년: Stanford Univ. 전기공학과 공학석사 1975년: 영국 Newcastle Univ. 전자공학과 공학박사 1969년~1979년: 서울대학교 공과대학 조교수 1979년 3월~현재: 연세대학교 전자공학과 교수 ※주관심분야: 회로 및 시스템, 컴퓨터 네트워크</p>	정회원