

고속 광통신망에서 충돌 회피를 위한 파장 분할 다중 액세스 프로토콜

正會員 李 湖 淑*, 崔 馨 允*, 朴 聖 宇**, 金 永 川*

WDMA Protocol with Collision Avoidance for High Speed Optical Networks

H. S. Lee*, H. Y. Choi*, S. W. Park**, Y. C. Kim* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 고속 광통신망에서 충돌 회피를 위한 효율적인 WDMA 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜에서는 각 노드에 채널 예약을 위한 송신측 큐와 루팅 정보를 위한 루팅 정보 테이블을 두어, 데이터 패킷의 전송이 이루어질 채널을 사전에 예약할 수 있도록 한다. 이 때 망내에서 발생 가능한 송/수신측 충돌 회피 알고리즘과 채널의 효율적 공유를 위한 스케줄링 기법을 적용하여 채널의 이용률을 높이고, 평균 전송 지연 시간 측면에서 이득을 얻을 수 있도록 하였다. 제안된 프로토콜은 충돌 발생으로 인한 재전송이 일어나지 않으므로 전파 지연 시간이 데이터 패킷 전송 시간에 비해 비교적 긴 고속망에서 효율적으로 적용될 수 있다. 또한 불균형한 트래픽 특성을 갖는 망에서도 기존의 프로토콜에 비해 좋은 성능을 기대할 수 있다. 본 논문에서 제안한 프로토콜의 성능 평가를 위하여 다양한 시뮬레이션을 실시하여 기존 프로토콜들의 성능과 비교 분석함으로써 본 프로토콜의 타당성을 검증하였다.

ABSTRACT

In high speed multi-wavelength networks, retransmission overhead due to destination conflict or control packet collision is one factor of performance degradation because signal propagation delay is much larger than the transmission time of data packet.

In this paper, an efficient WDMA protocol with a collision avoidance mechanism is proposed for high speed WDM single-hop network with a passive star topology. In proposed protocol, each node has source queues and routing table to store routing information. This architecture makes it possible to avoid any kind of collision when a

*전북대학교 컴퓨터공학과

**한남대학교 정보통신공학과

論文番號:95360-1014

接受日字:1995年 10月 14日

node reserves the channel to transmit a data packet. High system throughput and channel utilization can be achieved by proposed protocol since there are no discarded packets caused by any collision at transmission time. The performance of proposed protocol is evaluated in terms of throughput and delay with variations in offered load. Simulation results show that the proposed protocol has superior performance to conventional protocols under nonuniform traffic as well as uniform traffic.

I. 서 론

고속 광통신망에서 광섬유의 방대한 대역폭(약 수십 Tbps)과 전자적 처리 장치의 속도(약 수 Gbps)의 차이로 인해 발생하는 전자-광 인터페이스(electro-optic interface) 부분의 병목 현상을 해결하는 방법 중 하나로 파장 분할 다중화 기법이 제시되고 있다.^{1,2}

파장 분할 다중화(Wavelength Division Multiplexing; WDM)기법은 단일 모드 광섬유의 빛의 파장 영역 중 손실 및 간섭이 적은 영역을 조밀하게 분할하여 여러개의 독립적인 채널을 제공하는 방법으로 각 채널은 전자적 처리 장치의 최고 속도로 동작한다.

수동 성형 구조를 가지는 WDM 단일홉 망은 각 노드가 임의의 파장으로 튜닝 가능한 트랜스미터/리시버 쌍을 가지고 파장을 동적으로 액세스하므로써 모든 노드 간에 통신이 한 홉만에 가능한 망 구조이다.^{1,2,3} 이러한 WDM 단일홉 망에서는 송/수신측 노드 간에 통신할 채널을 할당받고 트랜스미터/리시버를 같은 파장으로 튜닝하기 위한 프로토콜이 필요하다.

WDM 단일홉 망을 위해 기존에 제시되어온 프로토콜로 ALOHA-Based 프로토콜, TDMA-Based 프로토콜, 채널 예약에 근거한 프로토콜등이 제시되었다. ALOHA 프로토콜은 전용 제어 채널과 데이터 채널을 ALOHA 또는 Slotted-ALOHA 방식으로 액세스하는 프로토콜로 채널상의 잦은 패킷 충돌로 인해 시스템 처리율이 낮고, TDMA-Based 프로토콜은 전용 제어 채널은 필요하지 않으나 채널 이용률이 낮고 동기를 위한 전송 지연이 길어지는 단점이 있다. 이에 비해 채널 예약에 근거한 프로토콜은 전용 제어 채널을 사용하면서도 시스템 처리율이 높을 뿐아니라 노드의 수에 비해 채널의 수가 작은 WDM 망에서 ALOHA-Based 프로토콜 보다 좋은 성능을 보인다.^{3,4,5,6}

기존의 채널 예약 프로토콜들^{3,4,5,6}에서의 성능 저하 요인은 주로 제어 채널 액세스시 발생하는 제어 패킷 충돌 현상과 중복되는 송/수신측 주소 발생으로

인한 송/수신측 충돌 현상에 의한 것으로, 제어 패킷의 재전송을 위한 오버헤드가 발생하고 채널당 패킷 처리율이 저하된다. 특히 고속화된 망 환경에서는 장거리 통신이 매우 빠른 시간내에 이루어 지므로 a (=전파 지연 시간/데이터 패킷 전송 시간)가 1 보다 크다. 이러한 상황에서 전송 과정시 망내 충돌 현상으로 인한 재전송은 망의 성능에 더욱 민감한 영향을 주게 된다. 따라서 고속망에서 망내 충돌과 전파 지연 시간을 고려하여 성능을 향상시킬 수 있는 WDM 프로토콜이 요구된다.

본 논문에서는 수동 성형 구조의 고속 다중 파장망에서 충돌 회피를 위한 효율적인 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 채널 예약 방식에 근거한 프로토콜로 각 노드에 제어 채널 액세스를 위한 고정된 트랜스미터/리시버 쌍과 데이터 채널을 액세스하기 위한 튜닝 가능한 트랜스미터/리시버 쌍을 가지는 WDM 단일홉 망에 적용된다.

제안된 프로토콜에서 각 노드는 제어 채널에서의 패킷 충돌을 방지하기 위해 미니슬롯 고정 할당 방식을 사용하여 제어 채널을 액세스한다. 각 노드는 제어 패킷의 루팅 정보를 저장할 수 있는 송신측 큐와 루팅 정보 테이블을 이용하여 전송할 채널과 전송이 이루어질 슬롯 타임을 예약한다. 이러한 채널 예약 방식은 망내에서 발생 가능한 송/수신측 충돌을 사전에 회피할 수 있도록 전송 순서를 스케줄링 할 수 있다. 따라서 송/수신측 충돌 발생시 제어 패킷의 재전송이 필요없이 다음 슬롯 타임으로 전송이 예약되므로 전파 지연 시간이 길어지더라도 재전송으로 인한 오버헤드가 줄어들게 되어 평균 전송 지연 시간의 측면에서 이득을 얻을 수 있다.

제안된 프로토콜의 성능 분석을 위해 시뮬레이션을 실시하여 기존 프로토콜과의 성능을 비교하므로써 제안한 프로토콜의 타당성을 입증하였다. 시뮬레이션 결과로 offered load에 따른 채널당 패킷 처리율, 채널당 처리율 대 전송 지연 시간, 그리고 큐 길이에

다른 채널당 패킷 처리율 및 불균형 트래픽 하에서의 처리율을 구하였다. 제안된 프로토콜은 균형 트래픽 상황에서 기존 프로토콜에 비해 좋은 성능을 보였다. 특히 hot-spot 트래픽을 갖는 불균형 트래픽 상황에서도 hot-spot 노드에 전용 채널을 할당한 것과 같이 동작하므로 좋은 성능을 얻을 수 있다.

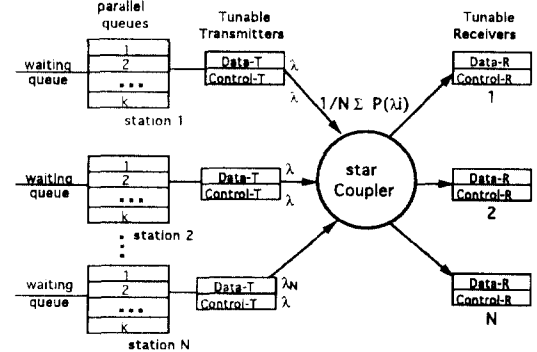
본 논문은 모두 5장으로 이루어져 있다. 2장에서는 제안한 프로토콜을 위한 WDM 망의 구조에 대하여 설명하고, 3장에서는 충돌 회피를 위한 효율적인 WDMA 프로토콜을 기술하였다. 4장에서는 시뮬레이션을 통하여 제안한 프로토콜의 성능을 검증하고 기존 프로토콜과 비교, 분석하였으며, 5장에서 결론을 맺었다.

II. 수동 성형 WDM 망의 구조

본 연구에서 사용한 WDM 망의 물리적 구조는 그림 2.1의 (a)와 같은 수동 성형 구조이다. 모든 노드는 두개의 광케이블을 통하여 스타 커플러(star coupler)에 연결되고, 각 케이블은 노드의 트랜스미터와 리시버측에 각각 연결된다. 트랜스미터와 리시버측이 독립된 케이블을 사용하므로 데이터의 송/수신이 동시에 이루어질 수 있다.^[2] 각 노드는 두 쌍의 트랜스미터/리시버를 갖고 있다. 한쌍은 제어 채널을 액세스하기 위한 고정된 트랜스미터/리시버 쌍으로 제어 채널의 파장에 튜닝되어 있으며, 다른 한 쌍은 데이터 채널을 동적으로 액세스하기 위한 트랜스미터/리시버 쌍으로 임의의 파장으로 튜닝이 가능하다. 또한 각 노드는 제안된 프로토콜의 수행을 위하여 [8, 9]에서 제안된 병렬 큐를 운영한다. 이는 나중에 발생한 패킷이 먼저 채널을 할당받게 될 경우 사용자 대기큐에서 임의로 빠져나갈 수 있게 하기 위함이다.

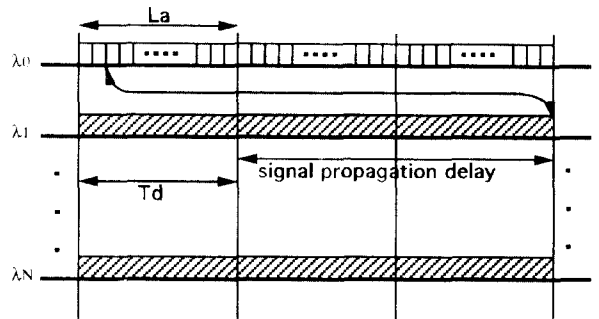
본 논문에서 제안된 프로토콜은 수동 성형 구조의 WDM 단일홉망에서 그림 2.1의 (b)와 같은 슬롯화된 채널 구조를 사용하였다. [4, 5, 6] 등에서 제시된 위 구조는 사전 전송 관계 설정 과정과 데이터 전송 과정이 파이프 라인 식으로 오버랩될 수 있어 높은 채널당 처리율을 얻을 수 있다. 각 케이블은 $N + 1$ 개의 파장($\lambda_0, \lambda_1, \dots, \lambda_N$)으로 나누어지며, 각 파장은 하나의 독립된 채널이 된다. λ_0 는 제어 채널로 사용되고, $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ 은 데이터 채널로 사용된다. 각 노드는 λ_0 로

고정된 트랜시버(transceiver)를 통해 제어 채널을 액세스하고, $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ 의 범위로 튜닝할 수 있는 트랜시버를 통해 데이터 패킷을 송수신한다.



(a) 병렬큐를 갖는 수동 성형의 물리적 구조

(a) Passive star physical topology with parallel queues



- L_a : Number of minislots
- λ_0 : Control channel
- $\lambda_1 - \lambda_N$: Data channel
- T_d : Transmission time of data packet
- T_c : Transmission time of control packet
- τ : Propagation delay

(b) 슬롯화된 채널 구성
(b) Slotted channel structure

그림 2.1 망의 구조
Fig 2.1 Network architecture

데이터 채널과 제어 채널은 데이터 패킷 전송 시간 (T_d)과 같은 일정한 크기의 타임 슬롯으로 나누어져 동기된다. 제어 채널의 한 타임 슬롯은 다시 제어 패

킷 전송 시간(T_c)과 같은 여러 개(L_a)의 미니슬롯으로 나뉘어져 동기되며, 전파 지연 시간(τ)은 전송의 동기를 위해 데이터 패킷 전송 시간으로 정규화시켜 표현한다. 데이터 패킷은 한 타임 슬롯의 시작 시점에서 전송을 시도하고 제어 패킷은 미니슬롯의 시작시점에서 전송을 시도하게 된다. 모든 노드는 제어 채널에 할당된 전용의 트랜스미터/리시버를 가지고 항상 제어 채널을 감시하므로, 제어 패킷의 전송 후 최소 τ 시간 뒤에 전송된 제어 패킷을 성공적으로 수신할 수 있다.

III. 충돌 회피를 위한 WDMA 프로토콜

3.1 기존 WDMA 프로토콜의 문제점

기존의 프로토콜은 크게 ALOHA-Based 방식, TDMA-Based 방식, 그리고 채널 예약에 근거한 방식으로 나누어 볼 수 있다. ALOHA-Based 방식은 전용 제어 채널을 ALOHA 또는 Slotted ALOHA 방식으로 액세스 하여 송/수신측 주소를 전송한 뒤 데이터 패킷을 전송하는 방식으로 제어 채널 및 데이터 채널에서의 충돌 발생으로 채널 이용률 및 처리율이 낮다.^[2,3] TDMA 방식은 따로 전용 제어 채널이 필요없고, 모든 송/수신측 노드 쌍에 대하여 미리 정해진 슬롯 타임에만 전송을 하는 방식이다.^[4,5] TDMA에 근거한 방식은 채널상의 충돌이나 수신측 충돌이 발생하지 않으나 전송할 패킷이 없는 경우에도 타임 슬롯이 할당되므로 채널 이용률이 낮다.

채널 예약에 근거한 방식은 앞 절의 그림 2.1(b)와 같이 전용의 제어 채널을 사용하여 제어 패킷을 전송하면 성공한 제어 패킷에 대하여 전송이 이루어질 데이터 채널을 미리 예약하고 바로 다음 타임 슬롯에서 데이터를 전송하는 방식이다. 즉 제어 채널의 i 번째 성공한 미니 슬롯의 송신 노드는 i 번째 채널을 예약하여 바로 다음 타임 슬롯에서 데이터를 전송하는 방식으로 시스템 처리율이나 채널 이용률의 측면에서 좋은 성능을 보인다.^[6,7]

기존의 채널 예약 기반 프로토콜^[6,7]에서 성능 저하 요인은 제어 패킷 전송시 발생가능한 제어 채널에서의 패킷 충돌 현상과, 채널 예약시 중복되는 수신측 주소에 대하여 서로 다른 채널을 예약하므로써 발생하는 수신측 충돌 현상으로 인한 재전송 오버헤드이

다. 제어 채널 상의 패킷 충돌, 또는 중복되는 수신측 주소의 검색을 위해서는 최소한 전파 지연 시간 만큼의 시간이 필요하므로, 충돌 발생을 인지하고 재전송을 시도하는데 필요한 오버헤드는 a (= 전파 지연 시간/데이터 패킷 전송 시간)가 1보다 큰 고속망일수록 성능에 많은 영향을 주게 된다.

3.2 충돌 회피를 위한 WDMA 프로토콜

3.2.1 제안한 프로토콜의 노드 구조

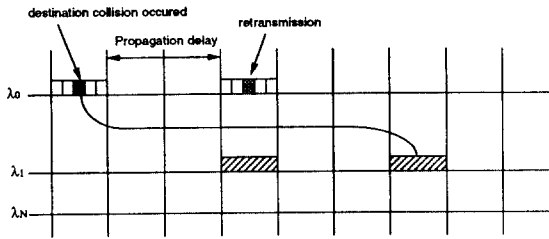
이 절에서는 고속 광통신망에서 발생하는 충돌을 회피할 수 있도록 하는 WDMA 프로토콜을 제안하였다. 먼저 각 노드는 a 가 1보다 큰 경우($a \gg 1$)에 송/수신측 주소 및 루팅 정보를 저장할 수 있는 버퍼를 사용하여 송/수신측 충돌 등으로 인해 실패한 제어 패킷을 재전송 하지 않아도 그에 관련된 제어 정보를 알 수 있도록 한다. 즉, 각 노드는 사용자 대기 큐 외에 전체 노드 수(M) 만큼의 큐를 가지며, 각 송신 노드에 할당된다. 이러한 송신측 큐는 수신된 제어 패킷에 포함된 제어 정보, 즉 해당 송신측 주소에 관계된 수신측 주소를 내용으로 한다. 만약 한 노드가 노드 i 에서 j 로 전송하길 원하는 제어 패킷을 수신한다면 수신 즉시 이는 i 번째 송신측 큐에 수신측 주소 j 를 저장하게 된다.

다음으로 각 노드는 동일한 채널 예약 알고리즘을 수행하여 해당 타임 슬롯에서 수신되어 송신측 큐에 대기중인 모든 제어 패킷에 대하여 전송이 이루어질 채널과 슬롯 타임을 미리 예약한다. 채널 예약은 망 내에서 발생 가능한 수신측 충돌 및 송신측 충돌이 일어나지 않도록 효율적인 스케줄링 방법을 사용하며, 채널 할당 알고리즘 수행 후 예약된 채널에 관한 정보는 각 노드의 루팅 정보 테이블에 저장된다.

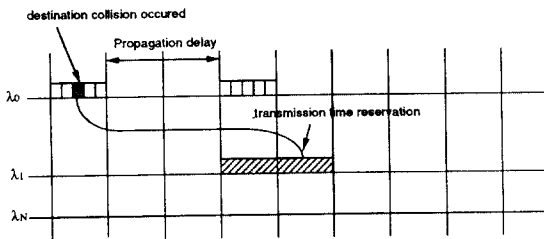
루팅 정보 테이블은 채널 예약 후 각 채널에 할당된 송/수신측 주소와 전송이 이루어질 타임 슬롯에 관한 정보 등의 루팅 정보를 저장하며 루팅 정보 테이블의 내용은 다음 슬롯에 수신된 제어 패킷에 대한 스케줄링에 다시 참조된다. 즉 임의의 제어 패킷이 채널 예약 과정 후 n 번째 채널을 통해 다음 2번째 타임슬롯에서 전송하도록 예약되었다면 루팅정보테이블^{[n][2]}에 해당 송/수신측 주소가 저장된다. 따라서 같은 column의 패킷은 같은 타임 슬롯에서 전송이 이루어지므로 채널 할당시 송/수신측 충돌 여부를 검색

할 수 있다.

마지막으로 제안한 구조의 채널 예약 방식에서는 각 노드가 데이터 패킷이 발생한 순서에 관계없이 예약받은 타임 슬롯에서 전송을 시작할 수 있도록 [8, 9]에서 제안한 병렬 큐(Parallel Queue)를 사용자의 전송 대기를 위한 큐로 사용한다.



(a) 송신측 큐 및 루팅정보테이블을 갖지 않은 경우
(a) without source queues and routing information table



(b) 송신측 큐 및 루팅정보테이블을 갖는 경우
(b) with source queues and routing information table

그림 3.1 기존 프로토콜과의 전송 지연 비교
Fig. 3.1 Comparison of transmission delay with previous protocol.

그림 3.1에서는 각 노드에 송신측 큐 및 루팅 정보 테이블을 갖는 제안한 프로토콜과 기존 예약 대기 프로토콜과의 전송 지연의 차이를 도시하였다. 채널 예약 프로토콜에서 제어 패킷 전송 후 모든 노드가 이를 수신하여 채널이 예약되기까지의 최소 전송 지연 시간은 다음과 같다.

$$\text{최소 전송지연시간} = \text{제어패킷 전송시간} + \text{전파지연시간} \\ = (1 + [\tau/T_d])$$

수신측 충돌이 발생하였을 경우 (a)와 같이 제어 패

킷의 재전송 후 성공적인 데이터 패킷의 전송을 하기까지 소요되는 시간은 한 타임 슬롯으로 일반화하였을 때 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{delay} = (1 + [\tau/T_d]) \times I$$

I 는 제어 패킷의 전송이 성공하기까지의 재전송 횟수

제안한 방식과 같이 송신측 큐를 갖는 경우 수신측 충돌이 일어나더라도 제어 패킷의 재전송이 필요없으므로 전송 지연은 다음과 같다.

$$\text{delay} = (1 + [\tau/T_d]) \times R$$

R 은 제어 패킷의 평균 채널 예약 지연 시간

3.2.2 제안한 프로토콜의 전송 과정

전파 지연 성분 a 를 고려한 충돌 회피 WDMA 프로토콜의 전송 과정은 다음과 같다.

제어 채널과 데이터 채널은 타임 슬롯 단위로 나누어지고, 한 타임 슬롯의 길이는 데이터 패킷의 길이와 같도록 일정하게 동기된다. 전송하고자 하는 노드는 데이터 패킷을 한 슬롯이 시작하는 경계 부분에서 전송을 시작한다. 제어 채널의 타임 슬롯은 슬롯내에서 다시 M 개의 미니슬롯으로 분할되는데, 각 미니슬롯은 노드에 고정 할당된다. 따라서 전송을 하고자 하는 노드는 자신에 해당되는 미니슬롯에 수신측 주소만을 전송하게 된다.

모든 노드는 λ_0 로 튜닝된 리시버를 가지고 있어 제어 채널을 계속 감시하고 있다가 전송을 위해 액세스된 미니슬롯이 있다면 이를 감지하여 그 미니슬롯에 실려있는 수신측 주소를 해당 송신측 주소의 큐에 차례로 저장한다.

전송이 이루어지는 과정은 다음과 같다. 전송을 하고자 하는 노드는 자신에 해당되는 미니슬롯까지 기다렸다가 해당 미니슬롯에 수신측 주소를 실게된다. 자신의 미니슬롯이 이미 지나갔다면 다음 타임 슬롯까지 기다렸다가 미니슬롯을 액세스한다. 이때 각 타임 슬롯당 발생시키는 한 노드의 트래픽 양은 하나 이상을 넘지 않는 것으로 한다.

모든 노드는 λ_0 를 공통으로 감시하고 있으므로 미니슬롯에 수신측 주소가 실린 후 τ (Signal propagation delay)만큼 시간이 지난 후에 이를 감지하고 해당 송

신축 주소의 큐에 그 수신측 주소를 들어온 차례로 저장한다. 송신측 큐에 들어오는 수신측 주소들은 즉시, 모든 노드에서 동일하게 운영되는 채널 할당 알고리즘을 통하여 채널을 할당받거나 예약을 하게 된다. 예약된 채널에 관한 정보는 해당 채널의 라우팅정보 테이블에 저장된다.

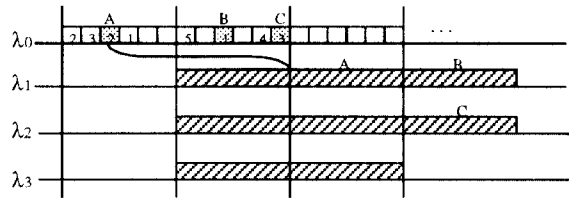
채널 할당 알고리즘으로는 다음과 같은 FCFS 방식을 사용한다.

- i) 첫번째 프레임에서 발생된 제어패킷정보들은 큐의 첫 부분부터 저장되며, 들어온 순서대로 $\lambda_1 - \lambda_N$ 순으로 채널을 순차적으로 할당한다.
- ii) 수신측 충돌이 감지되면, 채널을 바로 할당하지 않고, 같은 목적지를 가지며 이미 채널을 할당 받은 패킷과 같은 채널로 예약한다.
- iii) 채널의 수가 전체 노드의 수보다 적으므로 ($N < M$) 한 슬롯 안에서 다음 슬롯에 데이터를 전송할 수 있는 채널을 할당받지 못한 패킷들은 $\lambda_1 - \lambda_N$ 순서로 채널 예약 테이블을 참조하여 아직 예약이 안된 채널로 예약한다. 즉, 패킷이 발생되어 송신측 큐에 들어왔을 때 그 앞에 예약된 패킷이 없고 비어있는 채널이 있으면 채널을 할당하고 그 앞에 예약된 패킷이 존재하거나 비어있는 채널이 없으면 채널 예약 테이블을 참조하여 예약 계수가 작은 채널로 예약한다.
- iv) 채널을 할당 또는 예약할때 같은 프레임에 할당 또는 예약된 패킷과 송신측 충돌이 일어난 패킷이 있으면 송신측 주소가 같고 이미 채널이 예약된 패킷과 같은 채널로 예약한다.

채널 할당이 끝나면 예약된 타임 슬롯의 시작 부분에서 할당받은 채널을 통해 데이터 전송을 개시한다.

그림 3.2는 제안한 프로토콜의 전송예를 도시한 것이다. 제어 채널을 통해 그림과 같이 제어 패킷이 전송되었을 때 제안한 채널 할당 알고리즘을 수행한 결과는 라우팅정보 테이블의 내용과 같다. A 패킷의 경우 수신측 충돌이 발생하게 되므로 같은 수신측 주소의 패킷이 할당받은 λ_1 의 다음 슬롯으로 예약하여 수신측 충돌을 회피할 수 있다. B 패킷의 경우 A와 송신측 주소가 같아 송신측 충돌이 발생하게 되므로 λ_1 의 세번째 타임슬롯으로 예약하며 충돌을 회피한다. C

패킷은 전송된 제어 패킷의 수가 채널의 수보다 많은 경우로 다음 FCFS 과정의 타임 슬롯으로 예약된다. 각 패킷은 예약된 채널의 타임 슬롯에서 그림과 같이 전송이 수행된다.



λ_1	(1, 2)	A (3, 2)	B (3, 1)	...	
λ_2	(2, 3)	(1, 5)	C (6, 3)	...	
λ_3	(4, 1)	(5, 4)	...		

Routing Information Table

그림 3.2 제안한 프로토콜의 전송 과정 (예)
Fig 3.2 Transmission example of the proposed protocol

제안된 프로토콜은 패킷이 미니슬롯에 발생된 순서대로 채널 할당 알고리즘이 수행되므로 공정성을 보장하기 위한 random number 등의 부가적 정보를 미니슬롯에 포함할 필요가 없고, 미니슬롯 액세스를 위해 결합하는 기존의 방법들과 달리 각 노드에 미니슬롯이 고유하게 주어져 있으므로 자신의 미니슬롯에 수신측 주소만을 전송하면 된다. 따라서 이러한 방식은 기존의 방법^{5,7)}보다 많은 미니슬롯 수를 제공할 수 있으므로 ($Ls \geq M$)! 경우 망의 확장이 용이하다. 또한 전송자 단위의 미니슬롯 액세스 방법과 채널 예약 방식을 사용하므로 채널의 대역폭을 최대한 이용할 수 있다.

본 프로토콜의 장점은 채널, 수신측 및 송신측 충돌에 대한 대책을 제시 하였다는데 있다. 즉, 충돌이 일어날 패킷에 대해서는 같은 채널의 다음 타임 슬롯으로 전송할 채널을 예약하게 되므로 충돌 회피 후 같은 수신측(또는 송신측) 주소를 가지는 패킷은 같은 채널로 연속되게 채널을 예약한다. 따라서 망에서 어떤 형태의 충돌이 일어나더라도 이로 인해 전송

에 실패하는 경우를 제기할 수 있다. 이러한 특성은 클라이언트-서버 시스템 같이 특정 노드로 트래픽이 몰리는 불균형한 트래픽 상황에서도, 뜨거운점(hot-spot) 노드에 전용 채널이 할당된 것과 같은 효과를 주게 되므로 기존의 버퍼를 사용하지 않는 프로토콜에 비해 좋은 성능을 보인다. 또한 전파 지연 성분 a 가 커지더라도 전체 전송 지연 시간은 민감하게 영향받지 않으므로 a 가 비교적 큰 고속망의 구현시 망내에 들어온 패킷들은 제한된 시간내에 서비스 받을 수 있어 처리율이 높아지게 된다.

IV. 성능평가

제안된 프로토콜의 성능을 평가하기 위하여 C-language를 이용한 시뮬레이터를 작성하였다. 시뮬레이션에 위한 기본 가정은 다음과 같다.

- ① 각 노드는 타임 슬롯에 동기되어 트래픽을 발생시킨다.
- ② 한 타임 슬롯에 한 노드에서 발생할 수 있는 트래픽 양은 최대 하나의 패킷이며, 망 전체의 트래픽 발생률은 포아송 분포를 따른다.
- ③ 한 노드에서 다른 노드로 트래픽이 발생할 확률은 $1/M$ 으로 모두 같은 균형 트래픽을 발생시킨다고 가정한다.
- ④ 한 타임 슬롯에는 전체 노드 수 M 과 같은 수의 미니슬롯을 가지고 있다고 하고 미니슬롯은 각 노드에 고정 할당된다.
- ⑤ 제어 패킷은 수신측 주소만이 포함되어 미니슬롯을 통해 전송된다고 한다.
- ⑥ 각 노드는 M 개의 루팅 정보 저장을 위한 버퍼를 가지고 있으며, 각 버퍼는 송신측 노드 위주로 운영된다.
- ⑦ 각 노드는 루팅 정보 버퍼 보다 충분히 큰 사용자 대기 큐(waiting queue)를 가지고 있다고 가정하고, 대기 큐는 병렬 구조로 parallel 하게 운영된다.
- ⑧ 전송 지연 시간은 송신측 노드에 패킷이 발생한 시점에서 해당 수신측 노드가 데이터 패킷 전송을 완료하는 시점까지를 계산하여 데이터 패킷 전송 시간으로 일반화하였다.

제안된 프로토콜과의 성능 비교를 위한 기존의 방법으로 [6]에서 제안한 BRP와 수신측 루팅 정보 버퍼를 가지는 [7]에서 제안한 방법을 사용하였다. 이 프로토콜은 수신측 루팅 정보를 두어 전송할 채널을 미리 예약하고 전송을 하는 형태이다. 채널 할당시 수신측 충돌은 회피하였으나 송신측 충돌에 대한 대책이 제시되어 있지 않아 송신측 충돌 발생시 패킷 유실이 일어나게 된다.

그림 4.1은 기존의 프로토콜들과 제안한 프로토콜의 채널당 패킷 처리율을 비교한 것이다. $M=20$, $N=5$ 인 상황에서 루팅 정보 버퍼의 크기($=Q$)를 충분히 크다고($Q=100$) 할 때 offered load에 따른 채널당 패킷 처리율을 계산하였다. 전파 지연 시간을 고려하여 채널을 미리 예약할 수 있도록 루팅 정보 버퍼를 가지는 BRP 프로토콜과 본 연구에서 제안한 프로토콜이 버퍼가 없는 BRP 프로토콜에 비해 좋은 성능을 보이고 있다. 제안한 프로토콜은 채널당 패킷 처리율 측면에서 볼 때, 기존의 버퍼가 없는 BRP 프로토콜에 비해서 최대 25%, 루팅 정보 버퍼를 사용한 BRP 프로토콜에 비해 최대 5.5% 성능 향상을 보였다.

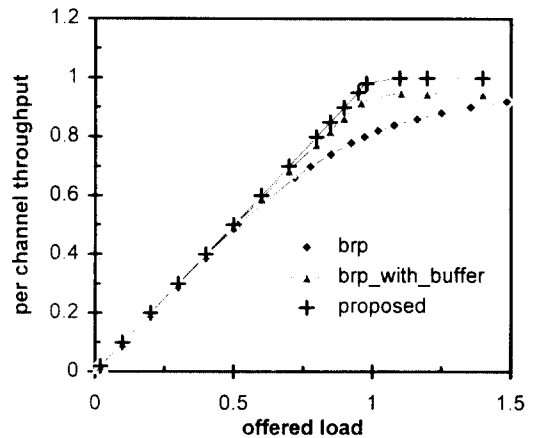


그림 4.1 제안된 프로토콜의 offered load에 따른 채널당 패킷 처리율

Fig. 4.1 Per channel throughput with various offered load

그림 4.2는 평균 전송 지연 시간의 측면에서 기존의 프로토콜들과의 비교 결과이다. $M=20$, $N=5$ 인 상황에서 처리율에 따른 평균 전송 지연 시간을 구하

였다. 버퍼가 없는 기존의 경우와의 차이를 두기 위해 a (= 전파 지연 시간/데이터 패킷 전송 시간)를 2로 가정하고, 최소 전송 지연 성분을 2로 두어 합쳐진 전송 지연 시간을 계산하였다. 시뮬레이션 결과 제안한 프로토콜이 기존의 프로토콜들에 비하여 더 짧은 전송 지연 시간을 보였으며, 전송 지연 시간이 급격히 증가하는 시점도 약 9.8% 커졌다.

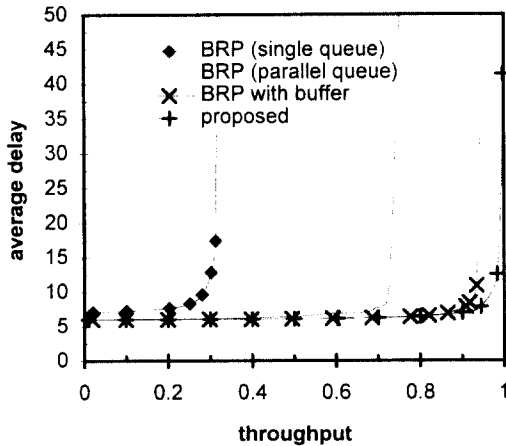


그림 4.2 채널당 패킷 처리율에 따른 평균 전송 지연 시간
Fig 4.2 Average delay V.S per channel throughput

그림 4.3은 루팅 정보 버퍼의 크기를 변화시켜 가며 offered load에 따른 채널당 패킷 처리율을 비교한 그래프이다. 루팅 정보 버퍼의 크기 Q 를 1, 2, 3, 5로 증가시켜 가며 시뮬레이션 하여 채널당 패킷 처리율을 구하였다. 시뮬레이션 결과 Q 가 증가할수록 채널당 패킷 처리율은 증가하였으며, Q 가 3, 5일 경우 채널당 최대 패킷 처리율에 접근하였다. 따라서 루팅 정보 버퍼의 크기가 5 정도를 가지더라도 균형한(uniform) 트래픽 상황에서 좋은 성능을 보이도록 망을 설계할 수 있음을 알 수 있다. 이를 기반으로 다양한 상황에서 $Q=5$ 로 하고 시뮬레이션 결과를 고찰할 수 있었다.

그림 4.4는 제안한 프로토콜 하에서 $N=10$ 으로 고정하고 M 을 15, 20, 30으로 변화시켜가며 offered load에 따른 채널당 패킷 처리율을 비교한 그래프이다. 같은 채널 수를 가지는 망이라도 노드 수에 따라

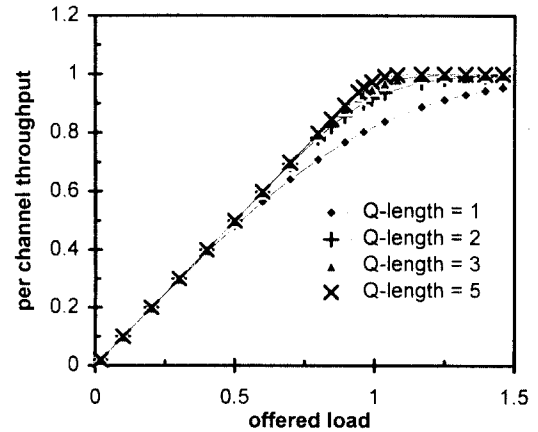


그림 4.3 큐길이에 따른 채널당 패킷 처리율의 변화
Fig 4.3 Per channel throughput with various queue length

송/수신측 충돌의 발생 비율이 다르므로 이들을 회피하여 채널을 할당할 때 그 성능에는 약간의 차이가 생긴다. $Q=5$ 로 가정하고 시뮬레이션을 실시한 결과 $M=15$ 일때 작은 송/수신측 충돌 가능성으로 인해 최대 패킷처리율의 약 12%의 성능 감소 현상이 있었다. 그러나 $M=20, 30$ 으로 증가할수록 그 성능은 증가하였으며, $M=30$ 일 경우에는 최대 패킷 처리율에 근접하는 좋은 성능을 보였다.

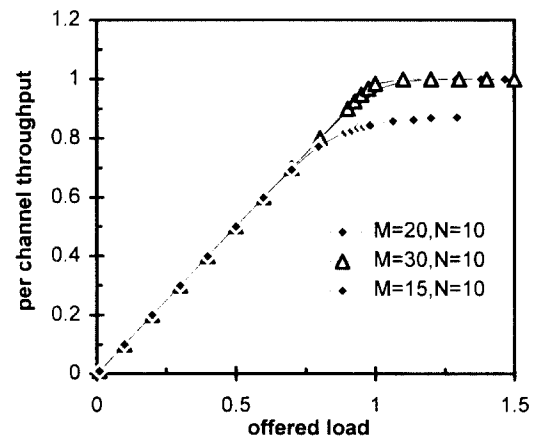


그림 4.4 노드수에 따른 채널당 패킷 처리율의 변화
Fig 4.4 Per channel throughput with various number of nodes

제한한 프로토콜은 송/수신측 충돌이 일어난 패킷에 대해 같은 채널의 다음 타임 슬롯에 전송을 할 수 있도록 채널 예약이 이루어지므로 장기적으로 볼 때 같은 송/수신측 주소가 연속적으로 발생된 경우에 계속 같은 채널을 점유하여 전송을 하게 될 확률이 크다. 즉, 본 프로토콜은 클라이언트-서버 시스템과 같이 특정 노드로 트래픽이 몰리는 불균형 트래픽(hot-spot traffic) 상황에서 뜨거운 점 노드(hot spot node)에 전용 채널이 할당된 것과 비슷한 효과를 내게 된다. 따라서 불균형한 트래픽 상황에서의 시뮬레이션을 통해 기존의 프로토콜과의 성능을 비교 분석 하였다.

시뮬레이션을 위한 hot-spot ratio h 는 다음과 같이 정의하였다.

$$l = h + \frac{(1-h)}{M} + \frac{(1-h)}{M} * (M-1)$$

뜨거운 점 노드는 $h + (1-h)/M$ 의 확률로 트래픽이 발생되고 나머지 노드는 $(1-h)/M$ 의 확률로 일정하게 트래픽이 발생되게 하여 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 4.5는 불균형한 트래픽 상황에서 hot-spot 비율 h 를 다양하게 하였을 때 채널당 패킷 처리율의 변화를 측정한 그래프이다. $M=10, N=5, Q=5$ 인 상황에서 hot-spot 비율 h 를 0.1, 0.2, 0.3으로 변화시키며 시뮬레이션 결과를 측정하였다. h 가 증가함에 따라 성능은 감소하는 경향을 보였고, $h=0.1$ 일 경우 균형 트래픽 상황에 근접하는 처리율을 보였다.

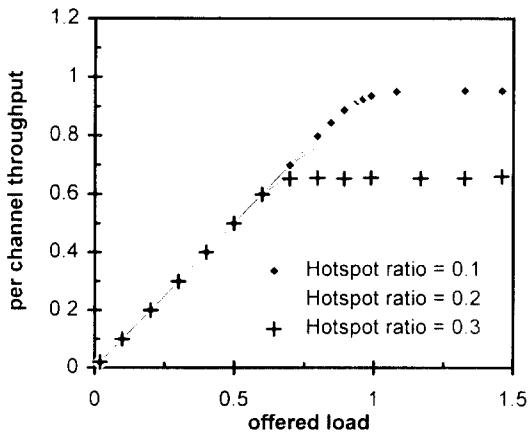


그림 4.5 Hot spot ratio에 따른 채널당 패킷 처리율의 변화
Fig 4.5 Per channel throughput with various hot spot ratio

그림 4.6, 그림 4.7에서 나타난 기존 버퍼가 없는 프로토콜과의 성능 비교를 통해 제안한 프로토콜이 불균형 트래픽 상황에서 훨씬 좋은 성능을 보임을 관찰할 수 있다. 그림 4.6과 그림 4.7은 $M=10, N=5, Q=5$ 로 하였을 때 버퍼가 없는 BRP 프로토콜과 제안한 프로토콜의 성능을 비교한 것이다. $h=0.2$ 일 때 제안한 프로토콜이 기존의 프로토콜에 비해 최대 33%의 처리율 향상을 보였으며, $h=0.3$ 일 때 최대 34% 정도 처리율 향상을 보였다. 따라서 본 연구에서 제안한 충돌 회피를 위한 WDMA 프로토콜이 균형한 트래픽

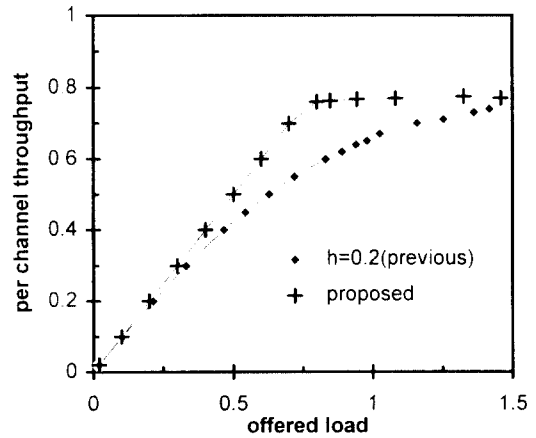


그림 4.6 $h=0.2$ 일 때 기존 프로토콜과의 성능 비교
Fig 4.6 Comparison with previous work in the case $h=0.2$

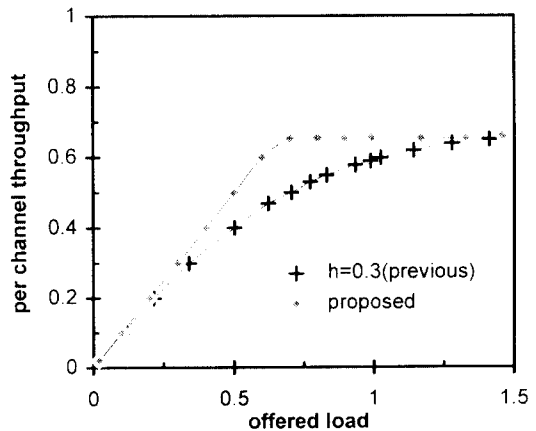


그림 4.7 $h=0.3$ 일 때 기존 프로토콜과의 성능 비교
Fig 4.7 Comparison with previous work in the case $h=0.3$

뿐 아니라 불균형한 트래픽 특성을 보이는 망에 대해서도 기존의 프로토콜에 비해 보다 좋은 성능을 보임을 알 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 수동 성형 구조를 사용하는 고속 다중 파장망에서 충돌 회피를 위한 효율적인 채널 예약 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 제어 정보 전송을 위한 전용 제어 채널과 슬롯화된 채널 구조를 가지는 고속의 WDM 망에 적용될 수 있다.

제안된 프로토콜은 고속의 WDM 단일홉 망에서 발생 가능한 송/수신측 충돌 및 제어 패킷 충돌을 방지할 수 있는 메카니즘을 통하여 효율적인 망 자원의 사용이 가능하고, 시스템 처리율과 평균 전송 지연 시간의 관점에서 보다 좋은 성능을 기대할 수 있다. 제안된 프로토콜은 제어 채널에서의 패킷 충돌을 방지하기 위해 미니슬롯 고정 할당 방식을 사용하였고, 전파 지연 시간이 길어지더라도 루팅 정보를 저장할 수 있는 루팅 정보 버퍼를 사용하여 전송할 채널과 전송이 이루어질 슬롯 타임을 사전에 예약하도록 한다. 또한 채널 할당시 루팅 정보 버퍼를 이용하여 충돌 회피 알고리즘을 적용하므로써 망내 발생 가능한 충돌을 회피하였다.

시뮬레이션 결과 $M=20$, $N=10$ 일 때, 본 연구에서 제안한 프로토콜은 채널당 패킷 처리율 측면에서 볼 때, 기존의 버퍼가 없는 BRP 프로토콜에 비해서 최대 25%, 루팅 정보 버퍼를 사용한 BRP 프로토콜에 비해 최대 5.5% 성능 향상을 보였으며, 평균 전송 지연 시간의 측면에서도 $a=2$ 로 가정하였을 때 약 9.8% 성능 향상을 보였다. 또한 루팅 정보 버퍼의 크기 Q 의 변화에 따른 시뮬레이션을 통해 균형한 트래픽 하에서는 3-5 정도의 Q 크기로도 좋은 성능을 보이는 망 설계가 가능함을 입증하였다. 불균형한 트래픽 특성을 보이는 망 상황에서도 제안한 프로토콜이 버퍼가 없는 BRP 프로토콜에 비하여, $h=0.2$ 일때 최대 33%, $h=0.3$ 일때 최대 34% 정도의 성능이 향상됨을 알 수 있었다.

Acknowledgement

본 연구를 위해 협력해 주신 한국통신 통신망연구소의 이상일실장과 정석주팀장에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. B. Mukherjee, "WDM-based local lightwave networks part I: single-hop systems," *IEEE Network*, pp.12-27, May 1992.
2. C. A. Brackett, "Dense Wavelength Division Multiplexing Networks: Principles and Applications," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol.8 pp. 947-964, Aug. 1990.
3. I. M. I Habbab, M. Kaverhrad and C. E. Wsundberg, "Protocols for very high-speed optical fiber local area networks using a passive star topology," *IEEE J. Lightwave Tech.*, vol.5, pp.1782-1794, Dec., 1987.
4. K. A. Williams, T. Q. Dam, and D. H. Du, "A media-access protocol for time- and wavelength division multiplexed passive star networks," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol.8, pp.1048-1057, Aug., 1993.
5. M. S. Chen, N. R. Dono, and R. Ramaswami, "A media-access protocol for packet-switched wavelength division multiaccess metropolitan area networks," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.*, vol.8, pp. 1048-1057, Aug., 1990.
6. G.N.M.Sudhaker, "Slotted Aloha and reservation Aloha protocols for very high speed optical fiber local area networks using a passive star topology," *IEEE J. of Lightwave Tech.*, vol.9, pp.1411-1422, Dec., 1991.
7. H. B. Jeon, "Contention-based reservation protocols in multiwavelength optical networks with a passive star topology," *ICC '92*, pp.1473-1477, 1992.
8. H.Chipalkatti et al, pc, "Protocols for Optical Star-Coupler Network Using WDM: Performance

and Complexity Study," *IEEE J. of Sel. Areas on Commun.* vol.11, No.4, pp.579-589, May 1993.

9. D.Guo, Y. Yemini, Z. Zhang, "Scalable High-Speed Protocols for WDM Optical Star Networks," *IEEE INFOCOM'94*, pp.1544-1551, June 1994.



李 湖 淑(Ho Sook Lee) 정회원
1972년 7월 15일생
1994년: 전북대학교 컴퓨터공학과(공학사)
1996년: 전북대학교 컴퓨터공학과(공학석사)
현재: 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정 재학 중



崔 馨 允(Hyoung Yoon Choi) 정회원
1972년 2월 14일생
1995년: 전북대학교 컴퓨터공학과(공학사)
현재: 전북대학교 컴퓨터공학과 석사과정 재학 중

朴 聖 宇(Sung Woo Park)
1962년 9월 13일생
제19권 제2호 참조

정회원

金 永 川(Young Chon Kim)
1956년 12월 10일생
제19권 제2호 참조

정회원