

論文97-34S-5-3

고속 광통신망에서 스위칭 오버헤드를 고려한 동적 전송 예약 프로토콜

(A Dynamic Transmission Reservation Protocol with Non-zero Tuning Delay for High-Speed Multiwavelength Networks)

崔 馨 允 *, 李 湖 淑 *, 金 永 川 *

(H.Y.Choi, H.S.Lee, and Y.C.Kim)

요 약

방송-선택 구조의 고속 다중 파장망에서 광 소자의 튜닝 지연으로 인한 스위칭 오버헤드는 채널 이용률과 전송 지연 시간 측면에서 망의 성능을 저하시키는 요인이 된다. 본 논문에서는 고속 다중 파장망에서 광 소자의 스위칭 오버헤드를 고려한 동적 전송 예약 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 파장 분할 다중화 기법을 이용하여 분할된 채널안에 시 분할 기법을 이용한 서브 채널을 제공하는 혼합 다중 액세스 방식을 채택하였다. 이러한 구조는 파장의 수에 제한받지 않고 채널 수의 확장이 가능하며, 광 소자의 파장 변환 횟수를 줄일 수 있는 장점을 가진다. 또한 제안된 프로토콜에서는 동적 메시지 스케줄링 알고리즘을 통해 같은 리시버를 액세스하는 메시지들이 부가적인 튜닝없이 연속적으로 전송되도록 스케줄링하므로써 광 소자의 튜닝 횟수를 최소화하였다. 따라서 데이터 전송시 광소자의 튜닝 오버헤드를 줄일 수 있게 되어 전체 시스템의 성능이 향상된다. 제안된 프로토콜의 성능 평가를 위하여 확률 모델에 근거한 해석적 분석을 실시하였으며, 그 결과 기존에 제시된 혼합 다중 액세스 프로토콜인 CSAP(Cyclic Search Access Protocol)에 비해 좋은 성능을 보임을 알 수 있었다.

Abstract

Relatively slow tuning speed of optical device causes the unwanted delay in high speed single-hop multiwavelength networks. To lessen the overhead, we present a channel access protocol with dynamic message scheduling. The frame structure of proposed protocol adopts hybrid multiaccess scheme in which WDMA is used as a basic multiaccess technique and TDMA is used to provide subchannels within a wavelength band. This architecture has two merits : the network extension is not limited by available number of wavelengths, and the transmission delay caused by optical device tuning time can be reduced. Also, the tuning overhead can be more lessened by dynamic message scheduling designed to minimize the number of tunings. It schedules messages that require same wavelength channels sequencely, so the total transmission delay is reduced by decrease of wavelength changes. The performance of proposed protocol is evaluated through numerical analysis based on probability and queueing theory. The numeric results show that the performance of proposed protocol is better than that of previous one.

I. 서 론

* 正會員, 全北大學校 컴퓨터工學科

(Dept. of Computer Eng., Chonbuk Nat'l Univ.)

接受日字: 1997年3月3日, 수정완료일: 1997年5月6日

고속 광 통신망에서 전자-광 인터페이스 부분에 발생하는 병목 현상을 해결하는 방법중의 하나로 파장

분할 다중화(Wavelength division multiplexing ; WDM) 기법이 제시되었다. WDM 단일홉 구조의 망(WDM single-hop passive-star based network)은 하나의 중앙 집중화된 허브, 즉 수동 성형 구조의 커플러에 각 노드가 연결되어 방송-선택(Broadcast and Select) 방식으로 통신을 하는 망으로서 고속 광 지역망에 적용될 수 있다.^[11] FT-TR(Fixed Transmitter Tunable Receiver) 구조의 WDM 단일홉 방식은 송신 노드의 파장 신호를 망 내의 모든 노드에 수동 성형 커플러를 통해 방송하고, 수신 노드에서는 송신 노드의 다중 파장 신호를 선택적으로 튜닝하여 통신이 이루어지는 전형적인 방송-선택 구조를 가진다. 이러한 망에서 임의의 두 노드쌍간에 통신이 이루어지기 위해서는 수신 노드의 리시버를 통신이 이루어질 송신 노드의 파장으로 튜닝하기 위한 전송 조정 프로토콜이 필요하게 된다.^[11,2]

방송-선택 방식의 WDM 단일홉 망을 위한 기존의 WDMA 프로토콜은 전송의 효율성을 위해 리시버 소자가 통신이 이루어질 노드의 파장으로 최대한 신속히 튜닝할 수 있다는 가정하에 설계되어 왔다.^[11-5] 그러나, 통신망은 더욱 고속화되고 있으며, 이에 비해 광 소자의 현재 기술 수준은 고속화된 데이터 전송 시간에 비하여 임의의 파장으로 튜닝하는데 걸리는 튜닝 시간이 충분히 빠르지 못한 실정이다. 따라서 실제 고속 WDM 망에서는 데이터 전송 시간에 비해 튜닝 소자의 튜닝 지연 시간이 상대적으로 커지게 되어 이로 인한 스위칭 오버헤드(switching overhead)는 망의 성능을 크게 저하시키는 요인이 되며, 이는 망이 고속화될수록 더욱 심해지게 된다.^[1,3,4,5]

최근 이와 같은 스위칭 오버헤드를 줄이기 위한 프로토콜이 [3,4,5] 등에서 제시되었다. 이러한 프로토콜은 튜닝 시간과 전파 지연 시간, 전송 예약을 위한 프로세싱 지연 시간 등을 오버래핑 하므로써 튜닝 지연 시간으로 인한 오버헤드를 줄이고자 하였다. 그러나 이들 프로토콜은 튜닝 지연 시간이 전파 지연 시간이나 프로세싱 지연 시간보다 상대적으로 큰 현재의 소자 기술을 감안한다면 많은 성능 향상을 기대할 수 없다. 따라서 튜닝 횟수를 최소화 하기 위한 구조와 프로토콜의 설계가 필수적이다.

본 논문에서는 고속 다중 파장망에서 광 소자의 스위칭 오버헤드를 고려한 동적 전송 예약 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 튜닝 횟수를 줄이고 적

은 파장 채널 수로도 망의 확장이 가능하도록 WDM과 다른 다중 액세스 기법을 동시에 사용한 혼합 다중 액세스 기법을 도입하였다. 이러한 혼합 다중 액세스 기법은 최근 여러 논문에서 제시되고 있는데 WDMA에 subcarrier multiplexing^[6], CDMA^[7], TDMA^[8]를 혼합한 방법 등이 있다. 본 논문에서는 WDMA/TDMA 혼합 다중 액세스 방식을 제안하였다. 혼합 다중 액세스 기법에서 몇 개의 그룹으로 분할된 각 노드는 같은 그룹내의 노드간은 동일한 파장을 공유하도록 하고, 그룹내의 노드들은 TDMA 기법을 이용하여 독립적으로 동작하는 고유의 서브 채널을 가지게 하므로써 여러 노드가 동시에 하나의 파장을 이용할 수 있다. 따라서 한 리시버가 같은 파장 그룹내에 속한 노드들로부터 연속적으로 메시지를 수신할 경우 부가적인 튜닝이 필요하지 않으므로 전체 튜닝 횟수가 줄어들게 된다. 또한 제안된 프로토콜은 동적으로 수신측 리시버를 액세스할 수 있도록 전송 예약 방식에 근거한 알고리즘을 설계하므로써 튜닝 횟수를 최소화하였다. 즉, 송신측 노드가 제어 채널을 통하여 원하는 수신측 노드에 전송할 메시지가 발생하였음을 알리면 각 노드는 동일한 메시지 스케줄링 알고리즘을 수행하여 해당 메시지의 전송 시작 시점을 예약하게 되는데, 이 때 동일한 파장 채널을 요구하는 메시지들에 대해서 부가적 튜닝없이 연속적으로 전송될 수 있도록 전송 예약 순서를 스케줄링하여 튜닝 횟수를 최소화한다. 제안된 프로토콜의 성능을 평가하기 위하여 확률 모델에 근거한 해석적 분석을 실시하였으며 그 결과를 기존에 제시된 혼합 다중 액세스 기법인 CSAP의 성능과 비교하였다.

본 논문은 6장으로 구성되어 있다. 2장에서는 WDM 방송-선택망에 대하여 기술하였으며 3장에서는 제안된 프로토콜을 설명하였다. 4장에서 제안된 프로토콜에 대한 해석적 분석을 실시하였으며 5장에 수치적 결과를 나타내었다. 마지막으로 6장에서 결론을 맺었다.

II. WDM 방송-선택망과 튜닝소자

WDM 단일홉 망내의 각 노드들은 튜닝 가능한 광 송/수신 소자(tunable optical device)를 이용하여 송신 노드의 송신기와 수신 노드의 수신기를 같은 파장으로 튜닝시켜 전송이 한 홉만에 이루어진다. 이와 같은 WDM 단일홉 망은 사용되는 광 소자의 튜닝 가능

성에 따라 여러 종류로 나뉘어 있다. 이 중 망내의 각 노드가 제어 정보 전송을 위해 전용 제어 채널로 고정된 트랜스미터/리시버(송/수신기)쌍을 가지고, 데이터 전송을 위해 공유의 채널로 고정된 트랜스미터와 튜닝 가능한 리시버를 갖는 구조가 널리 사용되며 이러한 망구조를 CC-FT²-TRFR(Control Channel-based Fixed-Transmitter², Tunable/Fixed Receiver), 또는 FT-TR(Fixed Transmitter, Tunable Receiver) 구조라 한다.^{[11][12]}

방송-선택 구조의 전형적인 WDM 단일홉 망은 데이터 전송을 위한 채널을 액세스하기 위해 특정 파장으로 고정된 트랜스미터(레이저)와 튜닝 가능한 리시버(광필터)를 가지는 FT-TR 구조이다. FT-TR 시스템에서 데이터 전송시 채널 상에서의 충돌이 발생하지 않도록 하기 위해서는 전체 노드 수 만큼의 채널이 필요하다. 즉, 각 노드는 자신의 고유한 데이터 채널을 가지고 있어 자신의 파장으로 튜닝된 트랜스미터를 통해 데이터 채널을 액세스한다. 이러한 구조에서 데이터 전송이 이루어지기 위해서는 송신 노드가 수신 노드에 게 데이터 패킷 전송 시작을 알려주어 수신 노드의 리시버를 송신 노드의 파장으로 튜닝하도록 해야한다. 따라서 FT-TR 시스템에서 WDMA 프로토콜은 송신 노드가 수신 노드에 전송을 알리는 시그널링(signaling) 개념을 포함한다.

융통성 있고 효율적인 WDM 망을 구성하기 위해 각 노드의 광소자는 넓은 대역에 걸쳐 튜닝이 가능해야 하고 그 튜닝 속도도 수 ns 정도로 빨라야 한다. 그러나 WDM 망의 FT-TR 구조에 적용될 현재 광소자의 기술 수준을 살펴보면 튜닝 가능한 리시버의 튜닝 범위는 수백 nm에서 수 nm, 튜닝 시간은 수 ns에서 수 ms 정도이다.^[11] 튜닝 가능한 리시버의 튜닝 범위와 튜닝 시간의 관계를 표 1에 나타내었다. 고속 WDM 망 환경에서의 광소자의 튜닝 지연 시간은 패킷 전송 시간에 비해 상당히 길다. 예를 들어, 53 바이트의 ATM 셀이 1Gbps 채널을 통해 전송된다면 셀 전송 시간은 0.424 μs 정도이다. 이에 비해 튜닝 가능한 리시버의 튜닝 시간은 표 1에서 알 수 있듯이 빨라야 수 μs 이다. 실제 튜닝 가능한 리시버로 많이 쓰이는 Acousto-Optic 필터의 경우 그 튜닝 시간이 수 μs 여서 튜닝을 위한 채널 스위칭 시간이 실제 데이터 패킷 전송 시간에 비해 상당히 크다는 것을 알 수 있다. 특히 튜닝 속도와 튜닝 범위는 서로 상반되는 관계에

있으므로 튜닝 속도가 높은 소자를 선택할 경우 튜닝 범위가 줄어드는 단점을 갖는다. 현재 넓은 튜닝 범위와 고속의 튜닝 속도를 가지는 광 소자에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으나, 현재 기술을 이용하여 고속 WDM 망을 구성할 경우에 이들 광 소자의 상대적으로 느린 스위칭 속도는 망의 성능을 저하시키는 요인이 된다. 이와 같은 스위칭 오버헤드는 망이 고속화 될수록 더 커질 것이다. 따라서 이를 해결하기 위한 방안으로 스위칭 오버헤드를 최소화할 수 있는 프로토콜을 설계함으로써 튜닝 지연 시간으로 인한 망의 성능 저하를 최대한 줄일 수 있도록 하여야 한다.

표 1. 튜닝 가능한 광 필터(리시버)의 특성
Table 1. Characteristics of Tunable optical filter.

종류	PASSIVE			ACTIVE		LASER DIODE AMPLIFIER	
	Etalon	Fiber Fabry-Perot	Waveguide Mach-Zehnder	Electro Optic	Acousto Optic	DFB Filter	2-section DFB
튜닝범위	50nm	50nm	4.5nm	16nm	400nm	0.4-0.5nm	0.5nm
채널 수	30	30	128	10	100	2-3	8
튜닝속도	수 ms	수 ms	수 ms	수 ns	10 μs	ns	수 ns

III. 스위칭 오버헤드를 고려한 동적 전송 예약 프로토콜

고속 다중 파장망에서 튜닝 지연 시간으로 인한 망의 성능 저하를 줄이기 위해 동적 전송 예약 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 혼합 다중 액세스 기법을 도입하여 튜닝 횟수를 줄이고 적은 수의 파장으로도 채널의 확장이 가능하도록 하였다. 또한 동적 메시지 스케줄링 알고리즘에 의하여 수신측의 리시버가 같은 파장을 공유하는 노드들로부터의 메시지를 연속적으로 수신할 수 있도록 전송 순서를 조절함으로써 튜닝 횟수를 최소화하였다.

1. 망의 구조

제안된 프로토콜은 FT-TR 구조를 가지는 방송-선택망에 적용된다. FT-TR 구조는 망내의 전체 노드수 만큼 채널이 제공되어야 하므로 망의 확장이 제한된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 WDMA/TDMA 기법을 이용한 혼합 다중 액세스 프로토콜을 설계하였다. 혼합 다중 액세스 기법에서는 망내의 노드들이 파장

수 만큼의 그룹으로 나뉘게 되고 각 그룹내의 여러 노드는 자신의 그룹에 할당된 고유한 파장으로 고정 튜닝된 트랜스미터를 가진다. 즉, 망내의 노드 수가 M 이고 제공되는 파장 수가 N 이라면 $k(= \lceil M/N \rceil)$ 개의 노드가 하나의 파장을 공유하는 그룹이 된다. 하나의 파장 채널은 TDMA 방식을 이용하여 여러 개의 서브채널을 이루게되고 각 서브 채널은 파장 채널을 공유하는 그룹내의 각 노드에 고유하게 할당된다. 따라서 망내에는 N 개의 파장 채널과 M 개의 통신 채널이 제공된다. 제안된 프로토콜의 망 구조를 그림 1에 나타내었다. 그림 1은 $k=2$ 인 경우로 2개의 노드가 하나의 파장을 공유하고 있다.

혼합 다중 액세스 기법은 적은 수의 파장 채널로도 많은 노드의 수용이 가능하므로 사용가능한 파장 채널 수에 비교적 제한받지 않고 망의 확장이 가능하다. 또한 같은 파장 채널을 공유하는 노드들이 같은 리시버를 연속적으로 액세스할 경우 리시버의 부가적인 튜닝이 필요하지 않으므로 튜닝 횟수를 줄일 수 있다.

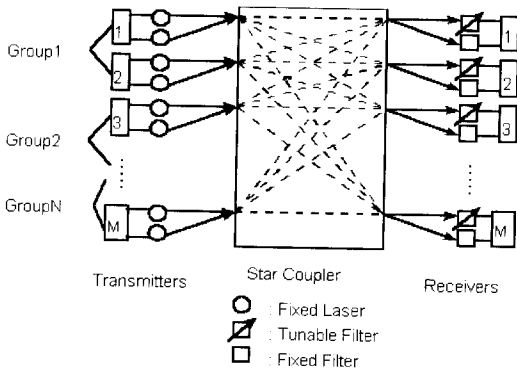


그림 1. 제안된 프로토콜의 망의 물리적 구조
Fig. 1. Physical network structure of the proposed protocol.

2. 제안된 프로토콜의 채널 구조

제안된 프로토콜은 송/수신 노드간의 전송 조절에 필요한 제어 정보 전송을 위해 전용 제어 채널을 가지며, 제어 채널은 제어 패킷 전송 시간 단위로 슬롯화되어 있다. 한 제어 프레임은 노드수 만큼의 제어 슬롯으로 구성되는데 이는 각 노드가 한 프레임 내에 자신의 고유 슬롯을 가짐을 의미한다. 즉, 각 노드는 TDM 방식으로 주기를 이루어 제어 채널을 액세스하므로써 제어 패킷을 전송하게 된다. 제안된 프로토콜은 가변길이 메

시지의 전송을 수용하므로 제어 패킷에는 해당 메시지의 목적지와 길이에 대한 정보가 포함되어 있다. 제어 채널에 실린 제어 패킷은 전파 지연 시간이 지나면 모든 노드에 도착하게 되고 각 노드에서는 다른 노드와 동일한 스케줄링 알고리즘을 수행하여 메시지의 전송 시작 슬롯을 예약한다. 방송 선택 구조는 모든 노드에서 동일한 스케줄링 알고리즘 같은 시간에 수행하도록 하는 분산 제어 방식이 가능하므로 부가적인 외부 정보 없이 전송을 예약할 수 있다. 그림 2에 제안된 프로토콜의 채널 구조를 나타내었다. 모든 채널상의 메시지 전송은 그림과 같이 제어 슬롯에 동기되어 이루어진다. 제안된 프로토콜의 스케줄링 방법은 다음 절에서 설명하였다.

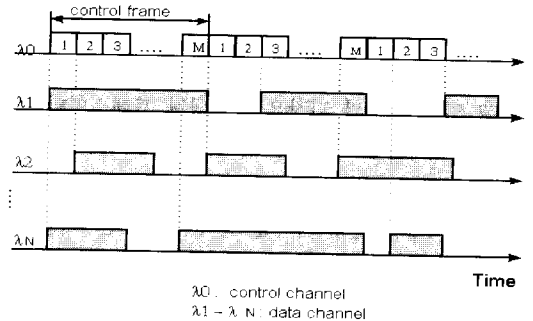


그림 2. 제안된 프로토콜의 채널 구조
Fig. 2. Channel structure of the proposed protocol.

3. 제안된 프로토콜의 동적 전송 예약 알고리즘

제안된 프로토콜의 구조는 FT-TR 구조이며 혼합 다중 액세스 기법을 사용하고 전송할 채널의 예약은 동적 메시지 스케줄링 알고리즘에 의해 이루어진다.

1) 전송 예약을 위한 정보

효율적인 스케줄링을 위해 모든 노드는 다음과 같은 몇가지 광역 정보(global information)를 사용한다. 이 광역 정보는 메시지 전송을 예약할 때 메시지의 전송 시작 시간과 해당 수신측 리시버의 파장 변환 여부를 결정하기 위해 필요하다.

임의 노드에서 전송할 메시지가 발생하면 이 노드는 우선 제어 채널을 통해 메시지의 목적지와 길이에 관한 정보를 내용으로 하는 제어 패킷을 전송하게 되고, 제어 패킷을 수신한 각 노드는 다음과 같은 광역 정보들을 이용해 다른 노드와 동일한 스케줄링을 수행하므로써 해당 메시지의 전송 시작 슬롯을 결정한다.

• *TBT(Transmitter Busy Time)*

이 정보는 트랜스미터의 상태(busy 또는 idle)를 나타낸다. 임의 노드에서 전송할 새로운 메시지가 발생했다라도 그 트랜스미터가 이미 다른 메시지를 전송중이거나 앞선 메시지를 전송하기로 예약되어 있다면 새로운 메시지의 전송은 앞선 메시지의 전송이 완료된 후에 가능하다. 예를들어 $TBT[i] = t, (t \geq 0)$ 라면 현재 노드 i 의 트랜스미터는 시간 t 까지 메시지를 전송하기로 예약되어 있고 현재의 타임 슬롯으로부터 t 슬롯 이후에 idle 상태가 됨을 의미한다.

• *RBT(Receiver Busy Time)*

*RBT*는 각 노드의 리시버 상태를 나타내주는 정보이다. *TBT* 정보와 마찬가지로 $RBT[j] = t$ 라면 j 노드의 리시버는 현재로부터 t 슬롯 후에 idle 상태가 되며 노드 j 의 리시버는 t 슬롯 동안 다른 노드로부터 받을 메시지가 예약되어 있음을 나타낸다.

• *LW(Lastest-reserved Wavelength state)*

전송 예약시 예약될 메시지가 리시버의 파장 변환을 요구하는지 아니면 파장 변환 없이 전송이 이루어 질 수 있는지 결정하기 위해 필요한 정보이다. $LW[j] = w$ 라면 노드 j 로 가장 최근에 예약된 메시지는 파장 w 로 고정 튜닝된 트랜스미터를 가진 노드로부터 온 것으로 노드 j 가 최종적으로 튜닝해야 할 파장은 w 임을 나타낸다.

• *RRT(Receiver Reservation Table)*

각 노드는 전체 노드 수 만큼의 엔트리를 갖는 테이블을 유지한다. 이 테이블을 리시버 예약 테이블이라고 하며, 하나의 엔트리는 하나의 리시버에 대응된다. 이 엔트리는 해당 리시버가 전송받을 메시지에 대한 예약 상태 정보의 시퀀스(sequence)를 내용으로 한다. 시퀀스 각 정보는 해당 리시버를 사용하기 위해 예약된 메시지의 송신측 주소, 메시지 길이 그리고 예약된 전송 시작 슬롯 등에 관한 정보가 포함된다. 리시버 j 에 대한 예약 정보는 $RRT[j]$ 로 표기하였다.

2) 동적 메시지 스케줄링 알고리즘

임의의 한 노드에서 전송할 메시지가 발생했다면 그 메시지를 예약하기 위해 제어 채널상의 자신의 해당 타임 슬롯에 그 메시지의 목적지와 길이에 관한 정보를 포함한 제어 패킷을 전송하게 된다. 이 제어 패킷은 전용 제어 채널을 통해 방송(broadcast)되어 일정한 전파 지연 시간이 지나면 모든 노드에 동시에 도착하며 각 노드는 이 제어 패킷에 대해 동일한 프로세싱을

수행한다. 제안된 프로토콜에서 하나의 제어 패킷에 대해 수행되는 스케줄링 알고리즘은 다음과 같다.

- i) 새로 들어온 제어 패킷의 해당 목적지 주소 (*dest*)를 검사한다.
- ii) 목적지의 리시버가 최종적으로 튜닝해야 할 파장 상태($LW[dest]$)와 새로 들어온 패킷이 요구하는 파장 상태를 비교한다.
- iii) 같은 파장이면 리시버의 튜닝 과정 없이 전송을 예약하고 다른 상태이면 이미 앞서 예약된 메시지들을 살펴 예약될 메시지와 동일 파장을 요구하는 메시지가 있는지 보고, 앞서 예약된 시퀀스 사이에 먼저 삽입되어 예약할 수 있는지 판단한다. 삽입할 수 있는 경우라면 새로운 메시지를 먼저 예약해 전송 순서를 바꾼다.

여기서 새로운 메시지를 이미 예약된 메시지들 사이에 삽입하여 먼저 예약될 수 있는 조건은 다음과 같다.

- 1) $RRT[dest]$ 에 예약되어 있는 메시지 중 가장 최근에 예약된 메시지를 *temp-msg*라 한다.
- 2) (*temp-msg*의 전송 예약시간 - 리시버 튜닝시간)이 현재 시간 보다 크거나 같고, *temp-msg* 앞에 예약된 메시지의 파장이 새로운 메시지가 요구하는 파장과 같은지를 검사한다.
- 3) 2)를 만족하면 새로운 메시지 전송을 원하는 노드의 트랜스미터 이용 가능 시간($TBT[source]$)이 *temp-msg*의 전송 예약 시간보다 작은지를 계산한다.
- 4) 3)의 조건을 만족하면 새로운 메시지는 *temp-msg* 보다 먼저 전송을 시작할 수 있으며, 전송이 이루어질 때 해당 리시버의 튜닝을 요구하지 않는다. 3)의 조건을 만족하지 않으면 $RRT[dest]$ 시퀀스 안에 예약된 모든 메시지를 검사할 때까지 *temp-msg*를 *temp-msg* 전에 예약된 메시지로 바꾸고 과정 2)부터 반복한다.

그림 3에 제안된 프로토콜의 전송 예약을 위한 스케줄링 과정을 의사코드로 나타내었다.

그림 4는 리시버에 이미 예약된 메시지 사이로 새로운 메시지가 끼여들어 예약될 경우 튜닝횟수가 줄어들게 되어 전체 전송 지연 시간이 줄어드는 경우의 예이다.

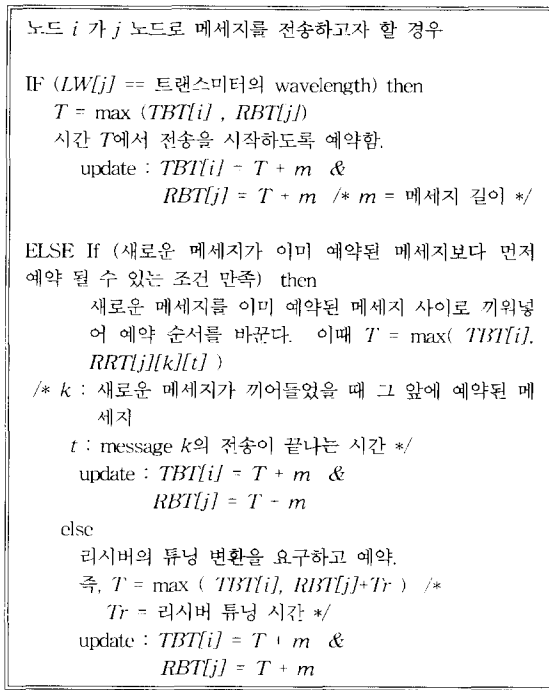


그림 3. 전송 예약 알고리즘
Fig. 3. Transmission reservation algorithm.

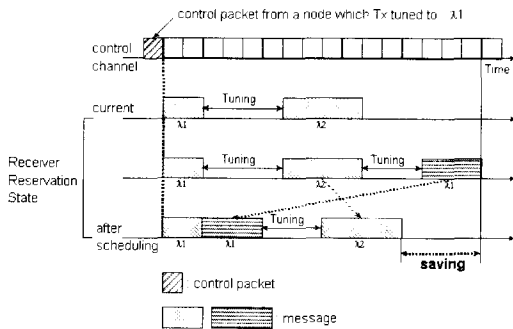


그림 4. 전송 예약 스케줄링
Fig. 4. Transmission reservation scheduling.

그림 4에서와 같이 λ_1 으로 고정 튜닝된 트랜스미터를 가진 노드가 임의의 목적지로 전송하기를 원한다면 먼저 제어 채널에 제어 패킷을 싣게 된다. 이 때 목적지의 리시버는 현재 λ_1 으로 튜닝되어 있고 이 채널을 통해 데이터를 받고 있는 중이다. 현재 수신중인 데이터 전송이 끝나면 리시버는 λ_2 로 튜닝한 뒤 이 채널을 통해 다른 데이터를 수신하기로 예약된 상태이다. 전송 예약 알고리즘에 의하여 새로 들어온 제어 패킷은 앞에 이미 예약되어 있는 패킷보다 먼저 예약이 가능하므로 이 둘의 예약 순서가 바뀌게 된다. 따라서 그림 4

와 같이 전체 전송 지연 시간이 줄어들게 된다.

IV. 해석적 분석

제안된 프로토콜의 성능 평가를 위해 평균 전송 지연 시간 측면에서 해석적 분석을 실시하였다. 이를 위해 각 트랜스미터에 도착하는 메시지 갯수는 도착률 λ 를 가지는 포아송분포를 따르고 메시지 서비스 시간은 평균 α 인 지수분포를 따른다고 가정하였다. 또한 리시버의 튜닝 지연 시간은 제어 패킷 길이로 일반화하여 β 로, 한 파장내의 스위칭 시간과 전파 지연 시간은 0으로 가정하였다. 메시지의 전체 전송 지연 시간은 메시지가 발생된 시간에서 전송을 시작하는 시간까지로 보았다.

임의의 리시버를 기준으로 전송 지연 시간을 분석해 보면, 한 노드에서 발생된 메시지 M_i 가 이 리시버로 전송을 하고자 할 경우에 패킷 M_i 의 전체 전송 대기 시간은 다음과 같이 세 가지 요소로 이루어진다.

- 1) 메시지 M_i 가 발생한 순간의 해당 리시버가 다른 메시지를 수신중이거나 튜닝중일 때 그 과정을 마치기까지 남아있는 평균 잔여 시간 $E(R_i)$.
- 2) 메시지 M_i 보다 먼저 예약된 메시지가 평균 X_i 개 있다면 메시지 M_i 는 X_i 개의 메시지가 모두 서비스 받고 나갈 때까지 기다려야 한다. 이를 위한 시간은 $\alpha E(X_i)$.
- 3) 메시지 M_i 가 리시버의 새로운 튜닝을 요구하는 메시지라면 튜닝을 위한 시간이 필요하다. 이 튜닝으로 인한 평균 지연 시간 $E(Y_i)$.

따라서 메시지 M_i 의 평균 대기 시간 $E(W)$ 는 식 (1)과 같다.

$$E(W) = E(R_i) + \alpha E(X_i) + E(Y_i) \quad (1)$$

위 식을 일반화하기 위하여 식 (1)에 $i \rightarrow \alpha$ 를 취하고 Little's theorem을 적용하면 식 (2)를 얻을 수 있다.

$$E(W) = E(R) + \rho E(W) + E(Y) \quad (2)$$

여기서 $\rho = \lambda \cdot \alpha < 1$ 로 리시버당 평균 이용률에 해당된다.

평균 잔여 시간 $E(R)$ 은 패킷이 도착했을 때 현재 서비스 받고있는 패킷의 잔여 서비스 시간과 만일 패

킷의 전송을 위해 튜닝 중이라면 잔여 튜닝 지연 시간의 합으로 나타낼 수 있다. 현재 패킷이 전송 중일 때 잔여 서비스 시간은 $M/G/1$ 큐잉시스템의 잔여 서비스 시간(residual service time)^[9]에 의하여 $\frac{M\lambda\alpha^{(2)}}{2}$ 과 같이 나타낼 수 있고, 잔여 튜닝 지연 시간은 앞으로 서비스 될 패킷의 평균 튜닝 지연 시간이므로 $\frac{(1-\rho)\beta}{2}$ 로 나타낼 수 있다. 따라서 평균 잔여 시간

$E(R)$ 은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E(R) = \frac{M\lambda\alpha^{(2)}}{2} + \frac{(1-\rho)\beta}{2} \quad (3)$$

이 때 $\alpha^{(2)}$ 는 서비스 시간 분포의 2차 모멘트이다.

다음으로 튜닝으로 인한 평균 지연 시간 $E(Y)$ 는 다음 세가지 경우를 고려하여 계산하였다.

- i) 메시지 M_i 를 발생한 노드가 목적 노드 리시버에 가장 최근에 예약된 패킷을 보낸 노드와 같은 그룹에 속한다면 M_i 는 리시버의 튜닝을 요구하지 않고 예약될 수 있다.
- ii) i)의 경우가 아닐 때, M_i 가 리시버에 이미 예약되어 있는 메시지들 앞에 끼어들 수 있는 조건을 만족하는 경우라면 M_i 는 리시버의 튜닝을 요구하지 않고 예약이 가능하다.
- iii) i), ii) 어느 경우도 아니면 M_i 는 리시버의 튜닝을 요구하고 가장 뒤에 예약된다.

i)의 경우는 패킷이 도착했을 때 가장 최근에 예약된 패킷과 같은 그룹에 속할 확률 k/M 에 튜닝 지연 시간(β_1)을 곱한 값이고, ii)의 경우는 가장 최근에 예약된 패킷과 같은 그룹은 아닐 확률 $(1-k/M)$ 에 그 이전에 예약된 메시지 사이로 끼어들 확률 p 와 튜닝 지연 시간(β_2)을 곱한 값이며, iii)의 경우는 그 나머지 확률에 튜닝 지연 시간(β_3)을 곱하여 구할 수 있다. 이 때 i), ii)의 경우, 튜닝으로 인한 지연 시간 β_1 과 β_2 는 모두 0이므로 $E(Y)$ 는 iii)의 경우에만 필요하다. 따라서 $E(Y)$ 는 식(4)와 같이 계산될 수 있다. 이 때 β_3 는 앞서 정의한 튜닝 지연 시간 β 와 같다.

$$\begin{aligned} E(Y) &= \frac{k}{M} \times \beta_1 + (1 - \frac{k}{M})p \times \beta_2 + (1 - \frac{k}{M})(1-p) \times \beta_3 \\ &= (1 - \frac{k}{M})(1-p)\beta \end{aligned} \quad (4)$$

여기서 p 는 ii)의 경우가 발생할 수 있는 확률로서 식

(5)와 같이 계산될 수 있다.

$$p = \sum_{i=2}^{\rho \times M} (R_i \times Q_i) \quad (5)$$

R_i 는 한 제어 프레임 내에서 발생 가능한 총 제어 패킷 ($\rho \times M$)개 중 i 개가 같은 목적지를 가질 확률이며 Q_i 는 i 개의 메시지가 같은 목적지에 예약되어 있을 때 끼어들기가 가능한 확률로 식(6), 식(7)과 같이 구할 수 있다.

$$R_i = \binom{\rho \times M}{i} \left(\frac{1}{M}\right)^i \left(1 - \frac{1}{M}\right)^{(\rho \times M) - i} \quad (6)$$

$$Q_i = \sum_{k=2}^i \binom{k}{M} \left(1 - \frac{k}{M}\right)^{i-1} \quad (7)$$

(3),(4)를 (2)에 대입하여 임의 패킷의 평균 대기 시간 $E(W)$ 를 구하면 식(9)와 같다.

$$(1-\rho)E(W) = \frac{M\lambda\alpha^{(2)}}{2} + \frac{(1-\rho)\beta}{2} + (1 - \frac{k}{M})(1-p)\beta \quad (8)$$

$$E(W) = \frac{M\lambda\alpha^{(2)}}{2(1-\rho)} + \frac{\beta}{2} + (1 - \frac{k}{M}) \frac{(1-p)\beta}{(1-\rho)} \quad (9)$$

V. 성능 평가 결과 및 고찰

제안된 프로토콜의 성능 평가를 위해 기존에 제시된 혼합 다중 액세스 프로토콜인 CSAP (Cyclic Search Access Protocol)^[10]를 비교 대상으로 삼았다. CSAP는 IBM사의 실험적 WDM망인 RAINBOW의 구축시 쓰였던 프로토콜을 수정한 형태의 FT-TR 시스템을 위한 전송 조정 프로토콜로 WDMA/TDMA 또는 WDMA/CDMA 혼합 다중 액세스망에 적용된다. CSAP에서는 사전 전송 조정을 위한 제어 채널을 가지며 데이터 채널 상에 전송되는 메시지는 가변적이다. 제어 채널은 제어 패킷의 길이와 같은 크기의 슬롯으로 나누어지고 각 슬롯의 시작 시점에 맞추어 제어 패킷의 전송이 이루어진다. 제어 채널 액세스 방식은 TDMA 방법으로 주기를 이루면서 각 노드에 액세스 가능한 슬롯이 할당된다. 제어 채널을 통해 각 노드는 전송하고자 하는 메시지에 대한 정보와 자신의 트랜스미터/리시버 상태를 다른 모든 노드에 알리게 된다.

CSAP에서 각 리시버는 모든 파장 채널을 순차적으로 튜닝하고, 제어 채널을 통해 전송을 요구한 메시지 중 튜닝된 파장 채널을 통해 수신할 메시지를 모두 수

신받은뒤 다음 파장으로 튜닝한다. 이 과정은 Token-ring 방식과 비슷하게 파장 채널을 주기를 이루어 수신할 메시지를 검색해 나가게 된다. CSAP는 프로토콜이 가지는 단순성에 비해 각 파장을 순차적으로 튜닝하게 되므로 보낼 메시지가 없는 파장 영역도 튜닝하는 과정을 포함하고, 전송할 메시지가 많은 경우 동기를 위한 전송 지연이 발생하여 평균 전송 지연 시간의 측면에서 좋은 특성을 보이지 못하는 단점이 있다.

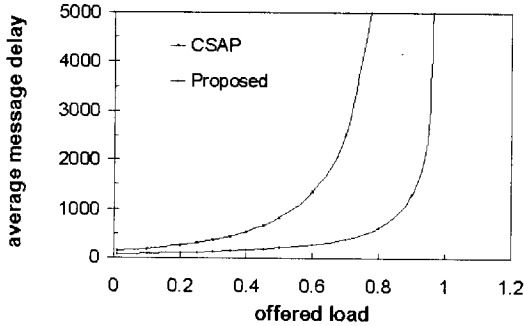


그림 5. CSAP와 제안한 프로토콜과의 비교 ($M=100, \delta=0.5, k=5$)
Fig. 5. Comparison of the proposed protocol with CSAP.

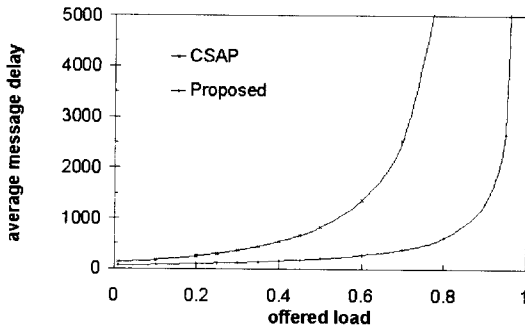


그림 6. CSAP와 제안한 프로토콜의 비교 ($M=100, \delta=0.5, k=20$)
Fig. 6. Comparison of the proposed protocol with CSAP.

그림 5와 6은 [10,11]에서 제시된 혼합 다중액세스 프로토콜 CSAP와 제안된 프로토콜의 offered load에 따른 평균 전송 지연 시간을 비교한 것이다. 평균 전송시간은 데이터의 발생 시점에서 전송 완료 시점까지를 제어 패킷의 길이로 정량화한 값을 비교하였다. 여기서 메시지의 평균 길이는 전체 노드수 M 으로 가정하였으며, $\delta(= \beta/\text{평균 메시지 길이})$ 는 평균 메시지

길이를 튜닝 타임을 일반화한 값이다. 그리고 k 는 하나의 파장을 공유하는 트랜스미터의 수를 나타낸다. 그림 5는 전체 노드수 $M=100, \delta=0.5, k=5$ 일 경우, 그림 6은 $M=100, \delta=0.5, k=20$ 일 경우에 두 프로토콜의 offered load 대 평균 지연 시간 간의 관계를 보여준다. 그림 5, 6과 같이 제안된 프로토콜은 전송을 원하는 노드에 대해서만 해당 파장으로 동적인 튜닝이 이루어지므로 CSAP에서와 같은 동기를 위한 전송 지연 등이 발생하지 않아 CSAP에 비해 적은 평균 전송 지연 시간을 보인다. 망내 트래픽 부하량이 많아질수록 그 성능의 차이는 더욱 커짐을 볼 수 있었다.

그림 7과 그림 8은 $M=100, \delta$ 가 각각 1과 3일 때 $k=1, 5, 10, 20$ 로 변화시켜가며 offered load에 따른 평균 지연 시간의 관계를 그린것이다. 그림 7과 7을 통해 제안된 프로토콜은 튜닝시간이 증가 되고 k 값은 작아짐에 따라 평균 전송 지연 시간이 커짐을 알 수 있고 k 값의 변화에 따른 전송 지연 시간은 튜닝 시간이 차지하는 비율이 커짐에 따라 그 차이가 크게 나타남을 알 수 있다.

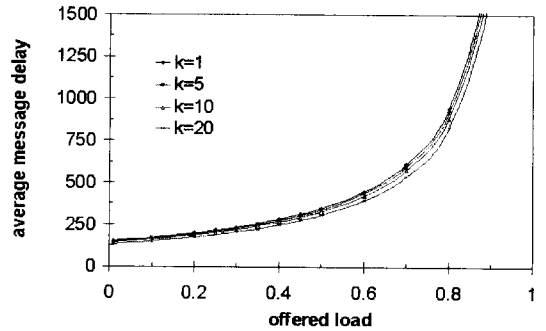


그림 7. k의 변화에 따른 전송지연시간 ($M=100, \delta=1$)
Fig. 7. Offered load vs. delay for various k.

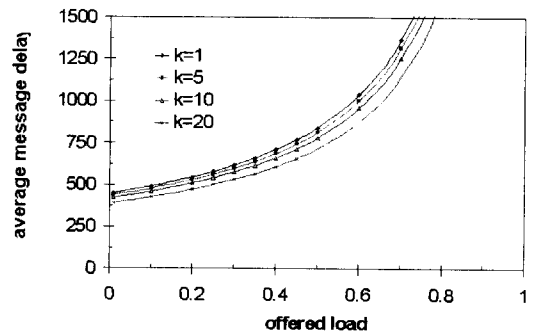


그림 8. k의 변화에 따른 전송지연시간 ($M=100, \delta=3$)
Fig. 8. Offered load vs. delay for various k.

그림 9는 $M=100$, $k=10$ 일 때 δ 값의 변화에 따른 offered load와 평균 전송 지연 시간의 관계를 보여준다. 그림 9와 같이 δ 값이 변하더라도 offered load에 대해 평균 전송 지연 시간은 비슷한 그래프 특성을 보이므로써 튜닝 지연 시간의 변화에 따른 급격한 채널 이용률의 하락이나 전송 지연 시간의 상승은 보이지 않음을 알 수 있다.

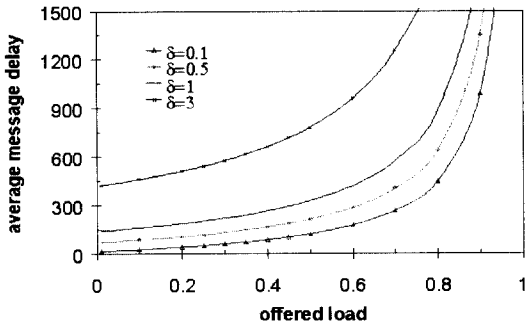


그림 9. δ 의 변화에 따른 전송지연시간 ($M=100$, $k=10$)

Fig. 9. Offered load vs. delay for various δ .

VI. 결 론

본 논문에서는 고속 다중 파장망에서 스위칭 오버헤드를 고려한 동적 전송 예약 프로토콜을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 FT-TR 구조를 가지는 WDM 망에 적용되며 WDMA/TDMA 혼합 다중 액세스 기법과 동적 메시지 스케줄링 알고리즘을 사용하였다.

WDMA/TDMA 방식의 혼합 다중 액세스 기법은 사용가능한 파장의 수에 비교적 제한받지 않고 채널의 확장이 가능하며, 같은 파장을 공유하는 노드들이 같은 리시버를 연속적으로 액세스 할 때는 부가적인 튜닝이 필요하지 않으므로 전체적인 튜닝 횟수를 줄일 수 있다. 또한 동적 메시지 스케줄링 알고리즘을 통해 같은 파장내에 속한 노드가 우선권을 가지고 연속적으로 한 리시버를 액세스 할 수 있도록 함으로써 튜닝 횟수를 최소화하여 전체 전송 지연 시간을 줄일 수 있었다. 제안된 프로토콜의 성능 평가를 위하여 해석적 분석을 실시한 결과 제안된 프로토콜은 기존 프로토콜에 비해 평균 전송 지연 시간의 측면에서 좋은 성능을 보이며 튜닝 지연 시간에도 민감하지 않음을 알 수 있었다.

Acknowledgement

※ 본 논문은 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

참 고 문 헌

- [1] C.A.Brackett, "Dense Wavelength Division Multiplexing Networks : Principles and Applications," *IEEE J. Sel. Areas in Commun.* vol.8 pp.947-964, Aug. 1990.
- [2] B.Mukherjee, "WDM based Local Lightwave Networks Part I : Single-Hop Systems," *IEEE Network*, May 1992.
- [3] W.Dowd, K.Bogoneni, "Switching Latency overlap techniques for WDM star-coupled Media Access Protocols," *GLOBECOM '93*, pp.1b.4.1-1b.4.10.
- [4] F.Jia, B.Mukherjee, J.Iness and S.Ojha "Variable-Length Message Scheduling Algorithm for A WDM-Based Local Lightwave Network," *INFOCOM '94*, pp.1362-1369.
- [5] M.S.Borella and B. Mukherjee, "Efficient Scheduling fo Nonuniform Packet Traffic in a WDM/TDM Local Lightwave Network with Arbitrary Tranceiver Tuning Latencies," *IEEE Journal of Sel. Areas in Commun.* vol.14, no.5, pp.923-934, June 1996.
- [6] S.F.Su, R.Olshansky, "Performance of Multiple Access WDM Networks with Subcarrier Multiplexed Control Channels," *IEEE Journal of Lightwave Tech.*, vol.11, No.5/6, pp.1028-1033, May/June 1993.
- [7] M. Azizoglu and A. Mokhtar, "Multiaccess in All-optical Networks with Wavelength and Code Concurrency," *Fiber and Integrated Optics*, vol.14, no.1, 1995.
- [8] M. Kovacevic and M. Gerla, "On the Performance of Shared-Channel Multihop Lightwave Networks," *INFOCOM '94*, pp.544-551.
- [9] D.P.Bertsekas and R.G.Gallager, *Data networks*. Englewood Cliffs, NJ:Prentice

- Hall, second ed., 1992.
- [10] A.Mokhtar and M.Azizoglu, "Hybrid Multiaccess for All-Optical LANs with Nonzero Tuning Delays," *ICC '95*, pp. 1272-1276.
- [11] F.J.Janiello, R.Ramaswami and D.G. Steinberg, "A Prototype Circuit-Switched Multi-wavelength Optical Metropolitan-area Network," *Journal of Lightwave Technology*, vol.11, pp.777-782, May/June 1993.

저 자 소 개

崔 馨 允(正會員)

1972년 2월 14일 생. 1995년 전북대학교 컴퓨터공학과 (공학사). 1997년 전북대학교 컴퓨터공학과 (공학석사). 현재 대우통신 연구원

李 湖 淑(正會員)

1972년 7월 15일 생. 1994년 전북대학교 컴퓨터공학과 (공학사). 1996년 전북대학교 컴퓨터공학과 (공학석사). 현재 전북대학교 컴퓨터공학과 박사과정 재학 중

金 永 川(正會員) 第 32卷 A編 第 9號 參照

현재 전북대학교 컴퓨터공학과
부교수