

# 단일홉 이중 성형결합기 구조의 WDM 통신망에서 슬롯 예약 방식의 다중 접근 알고리즘 설계

엄 중훈\*, 김 병재, 류 상률\*\*, 김 승호\*\*\*

\*한국통신 가입자망연구소

\*\*청운대학교, \*\*\*경북대학교 컴퓨터공학과.

## Design of Slot Reservation Multiple Access Algorithm in Single-hop Double Star Coupler WDM Networks

Jong-Hoon Eom\*, Byung-Jae Kim\*, Sang-Ryul Ryu\*\*, Sung-Ho Kim\*\*\*

\*Access Network Lab. Korea Telecom, \*\*Chungwoon University

\*\*\*Department of Computer Engineering, Kyungpook National University

### 요 약

본 논문에서는 파장 재사용 이중 단일홉 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 통신망에서 전체 노드의 수가 사용 가능한 파장의 수보다 클 경우에 트래픽의 지역성(locality)을 고려하여 시간 분할 다중 접속(TDMA) 방식으로 파장을 이용하는 다중 접근 알고리즘을 제안한다. 사용 가능한 파장을 그룹내에서 사용하는 전역 파장과 그룹간의 통신에 사용하는 지역 파장으로 나누고 전역 파장은 통신망에 속하는 모든 노드가 공유하고 지역 파장은 그룹내의 노드가 공유한다. 따라서 지역 파장은 모든 그룹 내에서 재사용 가능하기 때문에 전체 파장의 사용율이 증가한다. 모든 노드는 전역 파장과 지역 파장으로 동조 가능한 하나의 동조 송신기와 전역 파장 중에 하나의 파장으로 수신 파장이 고정된 고정 수신기와 지역 파장 중에 하나의 파장으로 수신 파장이 고정된 고정 수신기를 가진다. 제안하는 알고리즘은 노드에서 패킷의 전송 요구가 필요한 만큼 슬롯 시간을 할당받아 모든 패킷을 연속해서 전송하는 슬롯 예약 방식을 채택한다. 이 방식은 동조 시간을 최소화함으로써 슬롯 시간을 모든 노드가 균일하게 할당하여 전체 동조 시간이 길어지는 고정 할당 방식보다 파장 사용율이 효율적이다.

### 1. 개요

WDM은 SMF(Single Mode Fiber)에서 대용량의 정보를 전달하는 가장 적합한 접근 방법이다. 광 매체를 작은 채널로 분할하여 많은 사용자가 통신할 수 있고 또 Tbps의 고성능 망의 구성을 가능하게 한다. 단일홉(single-hop) 구조의 통신망에서 LAN/MAN을 구현하기 위하여 여러 개의 파장에 동적으로 접근하는 방식에 대하여 많은 연구가 있었다[1][3][4][5]. WDM에서 사용하는 채널의 수는 수십 채널로 제한되어 있는 반면에 네트워크에 연결되는 노드의 수는 훨씬 많게 된다. 따라서 하나의 채널을 여러 개의 노드를 동시에 사용하기 위하여 TDMA(Time Division Multiple Access)방식을 채택하게 된다.

단일홉 통신망에서 기존에 연구된 다중 채널 접근 방식은 임의 접근 방식, 예약 할당 방식[3], 고정 할당 방식[4]으로 나눈다. 또 고정 할당 방식의 단점을 보완하여 부하가 많은 노드에게 많은 슬롯을 할당하는 방식[5]과 부하가 작으면 임의의 방식으로 접근하고 부하가 크거나 충돌이 발생하면 deterministic하게 접근하는 방식[6] 등이 제안되었다. 최근에는 송신기의 동조 지연 시간을 고려한 예약 방식[7]이 제안되었다.

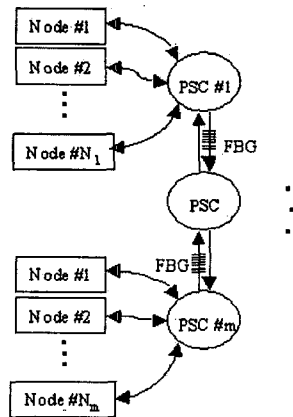


그림1 파장 재사용 단일홉 WDM 통신망의 구조

여러 파장을 접근할 있는 동조 송신기는 단일홉 WDM 통신망의 설계에 관련이 된다. 오늘날 그런 송신기가 상용화되어 있지만 동조 범위의 동조 시간 측면에서 제약이 있다. 더군다나 광 스펙트럼과 속도 면에서 이상적인 장치가 가까운 시일 내에 활용 가능하지 않을 것

으로 보인다. 따라서 이런 환경에서 Tbps급의 고속의 작은 패킷(53byte ATM cells)의 전송 성능은 동조 지연 시간에 의하여 좌우된다.

제한된 개수의 파장을 많은 노드가 사용하기 위하여 트래픽의 지역성에 따라 그룹을 만들어 파장 재활용도(reusability)를 증대하는 시스템 모델이 새롭게 연구되고 있다[2]. 각 노드는 동조 가능한 송신기 한 개와 고정된 2개의 수신기를 갖는다. 송신기는 각각의 파장에 대하여 동조 시간을 고려하여 각 파장의 슬롯에 순서적으로 접근한다. 한 개의 수신기는 그룹 내부의 노드가 보내는 패킷을 수신하고 다른 한 개 수신기는 다른 그룹에 속하는 노드가 보내는 패킷을 수신한다. 본 논문에서는 트래픽의 지역성을 고려하여 단일혼 WDM 통신망을 파장의 재사용이 가능하도록 확장한 이중 단일혼 WDM 통신망에서 동조 지연 시간을 고려한 슬롯 예약 방식의 다중 채널 접근 알고리즘을 설계한다.

본 논문의 구성은 2장은 시스템 모델에 대하여 설명하고 3장에서는 전송 스케줄링 알고리즘을 개발하고 4장에서 결론을 맺는다.

## 2. 시스템 모델

본 논문에서는 그림1과 같이 중심 성형결합기(Passive Star Coupler)에 지역 성형결합기와 노드들로 구성된 여러 개의 단일혼 WDM 통신망이 FBG(Fiber Bragg Grating set)를 통하여 성형으로 연결된 이중 단일혼 WDM 통신망에서의 패킷 전송을 고려한다. 즉 시스템 모델은 중심 성형결합기에  $m$ 개의 성형결합기를 성형으로 연결하고 각각의 지역 성형결합기에  $N_i, i=1, 2, \dots, m$ 개의 노드들을 연결하여 이중 성형 구조를 이루게 연결한다. 따라서 이 시스템 모델에 연결된 노드의 수는  $N = N_1 + N_2 + \dots + N_m$ 이다. FBG는 지역 성형결합기에서 나오는 파장 중에서 전역 파장  $\lambda_{c'}, c' = 1', 2', \dots, C'$ 는 통과시켜 그룹간의 통신이 가능하게 하고 지역 파장  $\lambda_c = 1'', 2'', \dots, C''$ 는 차단하여 다른 그룹에 영향을 주지 않고 그룹 내부에서만 사용하게 한다.

각 노드에서 중심 성형 결합기까지 도달하지 않고 FBG에 의하여 차단되는 파장들은 다른 그룹에 영향을 주지 않고 그룹 내부의 노드들 사이의 통신에 사용되기 때문에 각 그룹 내에서 독립적으로 그룹의 수만큼 재사용 가능하다. 따라서 중심 성형 결합기는 FBG를 통과하는  $C'$ 개의 파장을 지원한다. 일반적으로 노드에서 발생하는 패킷은 모든 목적 노드에 대하여 균일한 분포 특성을 갖기보다는 다른 세그먼트 또는 먼 거리에 있는 노드 사이에 통신하는 트래픽이 동일한 세그먼트 또는 같은 그룹에 속하는 노드 사이의 트래픽 보다 훨씬 작다. 따라서 이 시스템 모델은 트래픽의 지역성(Locality)을 갖는 통신망에서 각각의 그룹 내에서 파장을 재사용함으로써 전체 성능을 향상시킬 수 있다. 따라서  $\lambda_c$ 는  $m$ 번 재사용 가능하기 때문에 실제로 사용 가능한 전체 파장의 수는  $C' + mC''$ 이다.  $C'$ 와  $C''$ 의 비율은 트래픽의 지역성에 따른 비율에 의해서 정해진다.

모든 노드는 하나의 동조 송신기(tunable transmitter)와 두개의 고정 수신기(fixed receiver)만 갖는다. 동조 송신기는  $\lambda_{c'}$ 와  $\lambda_{c''}$ 의 모든 파장으로 동조 가능하다. 또 하나의 고정 수신기는  $\lambda_{c'}$  중에 하나의 파장을 수신할 수 있고 다른 하나의 고정 수신기는  $\lambda_{c''}$  중에 하나의 파장을 수신할 수 있다.

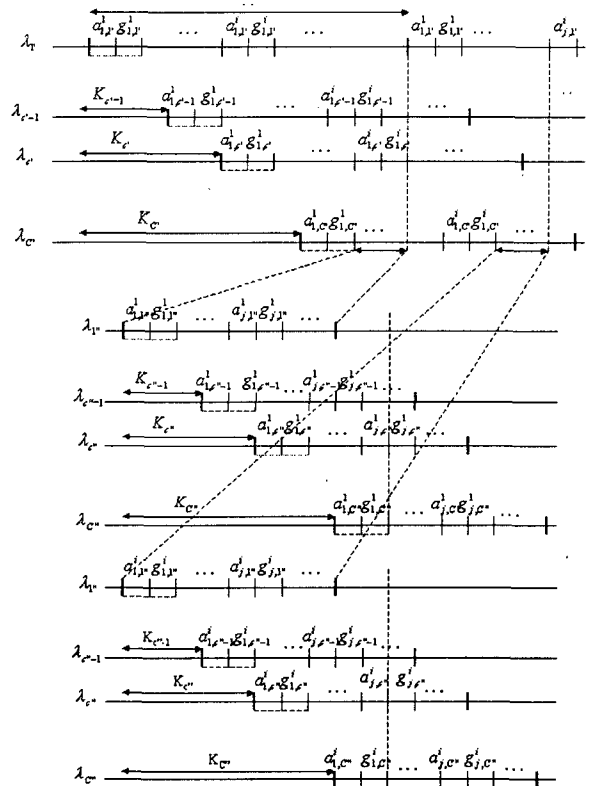


그림2 다중 접근 스케줄

패킷의 전송 시나리오에서  $i$  그룹의  $j$  노드가 파장  $c$ 에 요구하는 슬롯의 수를 나타내는  $N \times N$ 의 트래픽 행렬  $A = [a_{j,c}^i]$ 를 정의한다. 조건  $a_{j,c}^i \geq 1 \forall i, j, c$ 을 가정한다. 즉, 모든 노드는 제어 패킷을 전송해야 하므로 적어도 하나의 슬롯을 예약한다.

$a_{j,c}^i$  슬롯이 모든  $(ij, \lambda_c), c=1, \dots, C', 1'', \dots, C''$ 쌍에 대하여 연속적으로 할당되면 non-preemptive라고 말한다. 슬롯 고정 할당 방식과 같이 보낼 패킷이 있음에도 불구하고 할당된 슬롯 시간이 종료하여 다른 노드가 파장을 사용하면 preemptive이다. 전체 동조 시간을 최소화하여 파장 사용율을 높이는 것이 목적이기 때문에 모든 노드에 대하여 한 프레임 내에서 각 채널을 오직 한번만 접근하도록 non-preemptive 스케줄로 슬롯을 할당한다[7].

## 3. 전송 스케줄링

단일혼 성형결합기 구조의 WDM통신망에서 다중 접근 프로토콜은 세 가지의 가능한 충돌을 해결되어야 한다. 동조 송신기가 두 개 이상의 파장에 같은 슬롯 시간을 요구하면 발생하는 발신지 충돌(source conflict), 두 개 이상의 송신기가 동시에 같은 파장의 슬롯 시간을 접근하면 발생하는 파장 충돌(wavelength conflict), 동조 수신기가 두 개 이상의 파장에 같은 슬롯 시간을 요구하면 발생하는 목적지 충돌(destination conflict)이 있다.

이 논문에서 사용하는 시스템 모델은 각 노드에 있는 두개의 수신기는  $\lambda_{c'}$ 에 속하는 파장 수신기와  $\lambda_{c''}$ 에 속하는 파장 수신기로 완전히

구분되어 있어 하나의 정해진 파장으로 고정되어 수신하기 때문에 목적지 충돌은 고려하지 않는다. 발신지 충돌은 송신기의 전역 파장을 순서적으로 접근한 다음 지역 파장을 순서적으로 접근한다. 파장 충돌은 발신지 충돌이 일어나지 않는 범위 내에서 상호 노드가 순서적으로 같은 파장을 접근한다.

그림2는 전송 스케줄을 보여준다.  $g_{j,c}^i$ 는 파장  $\lambda_c$ 에  $i$  그룹의  $j$  노드의 전송이 끝나고 다음 노드가 전송을 시작할 때 유지되어야 하는 idle 상태의 슬롯 수를 나타낸다.

$K_c$ 는 첫 번째 전역 파장  $\lambda_1$ 에 프레임의 시작과 전역 파장  $\lambda_c$ 에 프레임의 시작과의 시간 차이를 슬롯의 단위로 나타낸다.  $K_{1'}^i$ 는 마지막 전역 파장  $\lambda_c$ 에 프레임의 시작과 첫 번째 지역 파장  $\lambda_1$ 에 프레임의 시작과의 시간 차이를 슬롯의 단위로 나타낸다.  $K_{c'}^i$ 는 첫 번째 지역 파장  $\lambda_1$ 에 프레임의 시작과 지역 파장  $\lambda_c$ 에 프레임의 시작과의 시간 차이를 슬롯의 단위로 나타낸다. 따라서  $K_{1'} = 0$  이고  $K_{1'}^i = K_c + a_{j,c}^i + g_{j,c}^i$  이다.

$$K_c = K_{c-1} + a_{j,c}^i + g_{j,c}^i \dots \dots \dots (1)$$

$$K_{c'}^i = K_{c'-1}^i + a_{j,c'}^i + g_{j,c'}^i \dots \dots \dots (2)$$

전역 파장에 보내는 전역 제어 패킷에는 지역  $K_c$ 와  $K_{c'}^i$ 를 계산하는데 필요한 정보를 포함시킨다.  $K_{c'}^i$ 를 계산하기 위하여 전역 제어 정보와  $i$  그룹의 지역 제어 정보만 필요하다. 다만  $a_{j,1'}^i$ 의 시작 시점을 계산하기 위하여  $a_{j,c}^i$ 의 끝나는 시점은 전역 제어 정보에 포함되어야 한다.

$$K_c + \sum_{n=1}^{M'} \sum_{m=1}^{N'} (a_{n,c}^m + g_{n,c}^m) + \sum_{n=0}^{c-1} (a_{n,c}^c + g_{n,c}^c) \geq K_{c-1} + \sum_{n=1}^{M'} \sum_{m=1}^{N'} (a_{n,c-1}^m + g_{n,c-1}^m) + \sum_{n=0}^{c-1} (a_{n,c-1}^c + g_{n,c-1}^c) + a_{j,c-1}^c + \Delta \cdot (3)$$

$c'=2,\dots,C', i=1,\dots,m, j=1,\dots, N_i$

$$K_{1'}^i + \sum_{n=0}^{c-1} (a_{n,1'}^i + g_{n,1'}^i) \geq K_c + \sum_{n=1}^{M'} \sum_{m=1}^{N'} (a_{n,c}^m + g_{n,c}^m) + \sum_{n=0}^{c-1} (a_{n,c}^c + g_{n,c}^c) + a_{j,c-1}^c + \Delta \cdot (4)$$

$i=1,\dots,m, j=1,\dots, N_i$

$$K_{c'}^i + \sum_{n=0}^{c'-1} (a_{n,c'}^i + g_{n,c'}^i) \geq K_{c'-1}^i + \sum_{n=0}^{c'-1} (a_{n,c'-1}^i + g_{n,c'-1}^i) + a_{j,c'-1}^i + \Delta \cdot \dots \dots (5)$$

$c''=2,\dots,C'', i=1,\dots,m, j=1,\dots, N_i$

$$M + \sum_{n=1}^{M'} \sum_{m=1}^{N'} (a_{n,1'}^m + g_{n,1'}^m) + \sum_{n=0}^{c-1} (a_{n,1'}^c + g_{n,1'}^c) \geq K_{c'}^i + \sum_{n=0}^{c'-1} (a_{n,c'}^i + g_{n,c'}^i) + a_{j,c}^i + \Delta \cdot \dots \dots (6)$$

$i=1,\dots,m, j=1,\dots, N_i$

식(3)은 전역 파장  $\lambda_c$ 와  $\lambda_{c-1}$ 의 관계, 식(4)는 전역 파장  $\lambda_c$ 와 지역 파장  $\lambda_1$ 의 관계, 식(5)은 지역파장  $\lambda_c$ 와  $\lambda_{c-1}$ 의 관계. 식(6)은 지역 파장  $\lambda_c$ 와 전역 파장  $\lambda_1$ 의 관계를 나타낸다.  $M$ 은 파장수에 비하여 노드수가 많을수록 커진다

#### 4. 결론

단일홉 WDM 통신망에서 다중 접속 알고리즘은 여러 개의 노드가 동시에 동일한 파장에 접근하면 파장 충돌 문제가 발생하고 동조 송신기를 사용할 때 특정 노드가 여러 개의 파장에 동시에 접근하면 발신지 충돌이 발생한다. 또 동조 수신기를 사용하는 경우에 두 개 이상의 파장에서 같은 슬롯 시간을 요구하면 목적지 충돌이 발생한다. 파장 재사용 이중 단일홉 WDM 통신망에서 다중 접속 알고리즘은 노드가 각 그룹 내부에서 사용하는 파장과 그룹간의 통신에 사용하는 파장에 동시에 접근하기 때문에 단일홉 WDM 통신망보다 복잡하다.

이 논문에서는 전역 파장에 먼저 요구하는 슬롯을 할당하고 나머지 슬롯 시간에 지역 파장에 접근하는 방식으로 발신지 충돌은 해결하였다. 또 각각의 노드가 파장에 접근하는 슬롯 시간을 계산하여 순서적으로 파장에 접근함으로써 파장 충돌은 피하는 알고리즘을 제안하였다. 고정 수신기를 사용함으로써 자동적으로 목적지 충돌은 해결된다.

#### 5. 참고문헌

- [1] Mukherjee, "Optical Communication Networks," McGraw-Hill, 1998.
- [2] Chang-Joon Chae, Heesang Park and Youngil Park, "Hybrid Optical Star Coupler Suitable for Wavelength Reuse," IEEE Photon. Technol. Lett., Vol. 10, No.2, pp. 279-281, Feb. 1998.
- [3] Kalyani Bogineni and Patrick W. Dowd, "A Collisionless Multiple Access Protocol for a Wave Division Multiplexed Star\_coupled Configuration: Architecture and Performance Analysis," J. Lightwave Technol., Vol. 10, No.11, pp.1688-1699, 1992.
- [4] Kalyani Bogineni, Krishna M. Sivalingam and Patrick W. Dowd, "Low-Complexity Multiple Access Protocol for Wave Division Multiplexed Photonic Networks," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol. 11, No. 4, pp.590-603, 1993.
- [5] George N. Rouskas and Mostafa H. Ammar, "Analysis and Optimization of Transmission Schedules for single-Hop WDM Networks", IEEE/ACM Trans. Networking, Vol. 3, No. 2, pp.211-221, 1995.
- [6] Yoram Ofek and Mosh Sidi, "Design and Analysis of a Hybrid Access Control to an Optical Star Using WDM," In proceedings, IEEE INFOCOM '91, (Bal Harbour), pp. 20-31, 1991.
- [7] George N. Rouskas and Vijay Sivaraman, "On the Design of Optimal TDM Schedules for Broadcast WDM Networks with Arbitrary Transceiver Tuning Latencies", Department of Computer Science, North Carolina State University, NC27695-8206, 1996.