

광-슬롯 경로 배정 방식을 기반으로 한 WDM 링의 성능 평가

한상현, 이호숙, 소원호, 은지숙, 김영천
전북대학교 컴퓨터공학과

Performance Evaluation of the WDM Ring Network Based on Photonic Slot Routing

S.H.Han, H.S.Lee, W.H.So, J.S.Eun, Y.C.Kim
Dept. of Computer Engineering, ChonBuk National Univ.
yckim@moak.chonbuk.ac.kr

Abstract

Photonic Slot Routing(PSR) is a promising approach to solve the fundamental scalability problem of all-optical packet switched WDM networks. In photonic slot routing, packets destined for the same subnetwork are aggregated to form a photonic slot which is jointly routed as a single unit of information through the network. The relative location of the nodes from bridge may cause to fairness problem in the unidirectional WDM ring network based on PSR. As photonic slots from different subnetworks can originate contentions at the bridge, packets may be dropped and retransmitted. Thus we evaluated the performance of PSR based WDM ring network in the point of fairness for each node and slot contentions at the bridge. Simulation results show that the PSR based WDM ring requires a slot access mechanism to guarantee the transmission fairness and efficient switch architecture to resolve slot contention at the bridge.

1. 서 론

광 전송망에서 파장 분할 다중화(WDM ; Wavelength Division Multiplexing) 기법의 도입으로 수십 THz에 이르는 방대한 대역폭의 제공이 가능하게 됨에 따라 최근 멀티미디어 서비스의 활성화로 인한 대역 요구량의 증가를 수용할 수 있게 되었다. WDM기법을 이용한 광 전송망은 고속 기간망의 구축으로부터 패킷 교환을 위한 중소규모의 LAN, MAN에 이르기까지 망 전반에 걸친 적용이 시도되고 있으며, 중간 노드에서 전자-광 신호의 변환없이 광 영역에서 통신이 이루어지도록 전광 통신망에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.^[1,2]

전광 WDM LAN 에서 패킷 교환을 위한 구조로 수동 성형 커플러를 이용하여 방송-선택 방식으로 통신하는 단일홉 구조^[1]와 파장 라우팅을 기반으로 한 다중홉 구조^[2]가 제시되어 왔다. 단일홉 구조는 각 노드에 파장 조율이 가능한 송/수신기를 사용함으로써 중간 단을 거치지 않고 직접 통신이 가능하다는 장점이 있으나 망의 규모가 증가할수록 망 구성에 요구되는 파장의 수가 많아져 노드 장비의 비용이 증가하고 전송 제어 및 동기

가 복잡해지는 단점이 있다. 이에 비해 다중홉 망에서는 파장이 고정된 송/수신 장비를 이용하여 중간 노드를 거쳐 통신이 이루어지므로 망 구성에 요구되는 파장의 수는 감소하나 중간 단에서 파장 변환 및 파장 라우팅 과정을 거치게 되므로 cross-connect 소자가 필요하게 되어 노드 구조의 복잡도가 커진다. 또한, 이러한 기존의 구조들은 망에 노드 또는 개체의 추가시 전체적인 망 자원의 재구성이 요구되므로 확장성이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 기존 구조들의 단점을 극복하고 전광 통신망에 적합한 구조로 광-슬롯 라우팅 방식의 WDM 링 구조가 새로운 WDM LAN 구조로 관심을 받고 있다.^[3-5]

광-슬롯은 서로 다른 파장 채널간에 같은 타이밍 동기를 가지는 TDMA 전송 슬롯 구성 방식으로 같은 목적지를 가지는 패킷을 하나의 전송 슬롯에 통합하여 전송하는 방식이다. 따라서 여러 슬롯이 같은 목적지까지 동일한 경로를 통해 전송되므로 중간 노드에서 복잡한 스위칭이나 파장 변환 과정을 요구하지 않는다. 또한 망의 물리적 구조를 여러 개의 로컬링으로 나누고 로컬링들을 다시 브리지를 통하여 링 구조의 백본망으로 연결한 계층적 WDM 링 구조를 사용할 경우 서로 다른 로컬링에서 동일한 파장 그룹을 재사용할 수 있으므로 전체적으로 망 구성에 필요한 파장 수를 줄일 수 있을 뿐 아니라 망의 확장이 용이하게 된다.^[3,4] 그러나 단방향 WDM 링 구조를 사용할 경우 브리지로부터의 상대적 위치에 따라 광-슬롯의 액세스율이 달라지게 되어 전송의 공정성을 보장할 수 없는 문제점이 생길 수 있다. 또한 백본링으로부터의 슬롯과 로컬링에서 전송한 슬롯 사이에 브리지에서 충돌이 발생할 가능성이 있어 망 성능이 저하될 수 있다.

본 논문에서는 광-슬롯 경로 배정 방식을 기반으로 한 계층적 WDM 링 네트워크에 대해 전송의 공정성과 충돌 해결 관점에서 성능 평가를 실시하였다. WDM 링이 가지고 있는 전송의 공정성과 충돌로 인한 성능 저하 현상을 분석하여 문제점을 제기하고 이를 위한 향후 연구 방향을 제시하였다.

2. 광-슬롯 방식의 WDM 링 구조

광-슬롯 라우팅 방식의 WDM 링 구조는 트래픽 간에 국부성이 강한 노드들을 하나의 세그먼트로 하여 로컬링을 구성하고 다수 개의 세그먼트 링을 백본 링을 이

용하여 연결하는 계층적 링을 형성한다. 따라서 서로 다른 세그먼트 링이 같은 파장 채널 그룹을 사용할 수 있으므로 파장의 재사용이 가능하여 망 구성에 필요한 파장의 수를 줄일 수 있다.

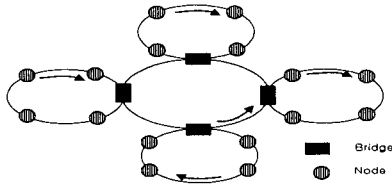


그림 1. WDM 계층적 링 구조

세그먼트 링 내에 존재하는 노드의 개수를 N 이라 할 때 WDM 링 네트워크는 N 개의 파장으로 구성된다. 각 노드는 자신의 목적지로 향하는 패킷을 수신하기 위해 특정 파장에 고정된 수신기를 가지므로 전용 파장 채널을 통해 패킷 수신이 이루어진다. 패킷의 전송을 위해서는 파장 동조가능 송신기를 사용하여 목적지 노드의 수신 파장 채널로 송신 채널을 동조하여 전송하게 된다. 그림 2는 WDM 링 세그먼트 내에서의 노드 구조를 도시한 것이다. 각 노드는 선행 노드로부터 입력되는 슬롯 내에 전송하고자 하는 목적 파장 채널이 액세스 가능할지를 패킷 검출기(PD) 부분에서 검출하고 자신의 송신기를 해당 파장으로 동조시켜 패킷을 전송하게 된다.

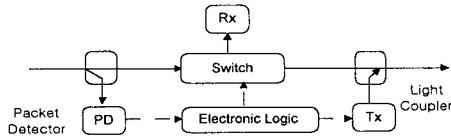


그림 2. 링 세그먼트 내에서의 노드 구조

패킷의 전송은 광-슬롯 개념을 사용한다. 세그먼트 링 내의 모든 노드는 파장 채널간에 같은 타이밍에 동기되어 TDM 슬롯 단위로 전송이 이루어진다. 따라서 하나의 TDM 슬롯은 N 개의 파장 채널을 통해 전송되는 패킷으로 구성된다. 세그먼트 링 내의 노드간의 통신은 TDM 슬롯에서 목적지 노드의 파장 채널이 사용 가능하면 전송이 이루어진다. 반면 다른 세그먼트를 목적지로 하는 패킷이나 같은 세그먼트 내 트래픽이라도 브리지를 거쳐 전송되어야 하는 경우 같은 목적지 세그먼트를 주소로 하는 패킷들을 하나의 광-슬롯으로 통합하여 전송한다. 즉 브리지를 거쳐 전송되어야 하는 패킷을 전송할 때에는 아직 광-슬롯의 주소가 정해지지 않은 슬롯을 액세스하거나 선행 노드로부터 같은 목적 세그먼트를 향한 광-슬롯의 사용 가능한 파장을 액세스한다. 이러한 광-슬롯 내의 패킷들은 N 개의 파장 영역이 모두 이용되지 않을 수 있으므로 이용률이 다소 떨어지나 브리지에 도착하였을 때 경로 할당을 위한 스위칭이나 파장 변환을 필요로 하지 않으므로 망 구성의 비용을 줄이고, 라우팅이 단순해지며, 망의 확장성이 증가된다.

광-슬롯을 통해 다른 세그먼트 링으로 전송되는 슬롯은 브리지를 통해 목적 세그먼트 링으로 라우팅된다. 링 세그먼트 간의 연결을 위한 브리지 구조는 그림 3과 같이 세그먼트로부터의 입력과 백본으로부터의 입력으로

이루어진 2×2 스위치를 형성한다. 브리지는 패킷 검출기를 이용하여 입력되는 광-슬롯의 주소를 검출하여 처리함으로써 라우팅될 출력 링크를 결정한다.

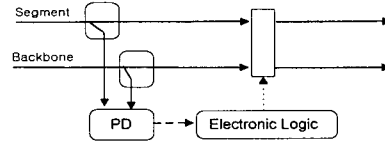


그림 3. 링 세그먼트의 연결을 위한 브리지 구조

3. 광-슬롯을 이용한 패킷 라우팅

3.1 슬롯 액세스 프로토콜

각 노드는 선행 노드로부터 여러 파장으로 구성된 전송 슬롯을 받았을 때 사용 가능한 파장 영역을 통해 전송함으로써 자신이 전송할 패킷이 충돌없이 채널을 액세스할 수 있도록 해야 한다. 또한 세그먼트 링 내에서 같은 목적지 세그먼트를 가지는 다수의 패킷들이 링을 거치면서 하나의 광-슬롯으로 통합되어야 하므로 이를 위해 각 노드는 패킷 전송을 위한 슬롯 액세스 프로토콜을 사용한다.

먼저 각 노드는 선행 노드로부터 목적지 주소가 결정된 광-슬롯을 받았을 때 자신이 전송할 같은 목적지 패킷들을 광-슬롯에 전송할 수 있도록 목적지 노드 수만큼의 전송 대기큐를 병렬로 운영한다. 전송 대기큐는 사용 가능한 파장 영역을 검출하여 자신의 큐 내에 대기하고 있는 패킷 중 전송 가능한 패킷이 슬롯을 우선적으로 액세스할 수 있도록 함으로써 슬롯의 이용률과 처리율을 높일 수 있다. 광-슬롯의 주소는 가장 먼저 슬롯에 액세스된 다른 세그먼트로 향하는 패킷의 목적 세그먼트 주소로 설정되어 링을 통해 슬롯이 진행되면서 후행 노드들의 같은 목적지 패킷들을 통합해 나가게 된다.

목적지 노드가 브리지에 도달하기 전에 위치한 세그먼트 내부 전송 패킷일 경우는 브리지에 도달하기 전에 전송이 완료되어 소거되므로 광-슬롯의 주소에 상관없이 슬롯에 사용 가능한 파장이 존재하면 전송이 가능하다.

3.2 브리지에서의 전송 제어

세그먼트 링을 거쳐 브리지에 도착한 광-슬롯은 모두 같은 목적지 세그먼트를 가지는 패킷들로 구성되며, 해당 목적지에 전송되기 위해 브리지에서 라우팅된다. 브리지는 백본링으로부터 입력되는 패킷과 세그먼트로부터 발생된 광-슬롯의 라우팅 및 스위칭 역할을 수행한다. 따라서 백본 링으로부터의 슬롯과 세그먼트로부터의 슬롯이 같은 출력 링크를 요구할 경우 출력 링크의 경합이 발생하게 된다.

WDM 링에서 브리지는 출력 링크의 경합이 발생하였을 때 백본 링으로부터의 입력 슬롯에 우선 순위를 두어 전송하고 경합에 실패한 세그먼트 링으로부터의 입력 슬롯은 폐기되어 재전송이 이루어진다. 이렇게 백본 입력에 우선 순위를 두는 경우 다음과 같은 장점을 가진다.

- 슬롯이 일단 백본에 입력되면 목적 노드까지의 성

- 공적인 전송이 보장된다.
- 백본 링의 대역이 패킷 재전송으로 인해 낭비되지 않는다.
- 슬롯 전송 실패를 발생 노드에 알리기 위한 시그널링이 단순하다.
- 각 노드는 링 round-trip 시간이 경과하면 패킷의 전송 실패 여부를 확인하여 재전송이 이루어진다.

3.3 충돌의 해결

망 내 부하가 많아져 브리지에서 지속적인 충돌이 발생할 경우 계속되는 재전송으로 인해 망의 대역폭이 낭비되고 처리율이 감소하여 패킷의 평균 전송 지연 시간이 길어지게 된다. 따라서 브리지에서 충돌이 발생하였을 때 이를 해결하기 위해 효율적인 충돌 해결 방식이 요구된다.

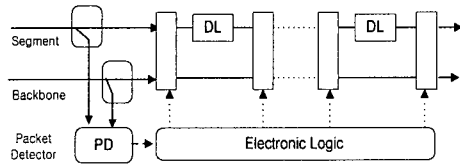


그림 4. 지연 루프를 사용한 브리지 구조

그림 4는 충돌의 해결을 위해 지연 루프를 사용한 브리지 구조^[6]를 도시한 것이다. 광 지연 루프를 사용한 브리지 구조는 경합에 실패한 슬롯을 바로 폐기시키지 않고 광 지연루프를 통해 전송을 지연시키는 방법이다. 따라서 경합에 실패한 패킷의 폐기 여부는 광 지연 루프로 이루어진 버퍼만큼의 슬롯 시간이 지난 후에 결정된다.

광 지연 루프를 사용한 브리지는 단단으로 연결된 2x2 스위치 사이에 광 지연 루프를 배치하여 구성되며, 지연 루프의 개수에 따라 경합 해결 가능성이 높아져 처리율의 향상을 기대할 수 있다.

4. 성능 평가 및 분석

본 논문에서는 광-슬롯 라우팅 방식의 WDM 링에 대해 각 노드의 전송에 대한 공정성 관점과 충돌 해결 관점에서 성능 평가를 실시하였다. 성능 평가를 위한 시뮬레이션 가정은 다음과 같다.

전체 노드 수 (N)	32
세그먼트 링의 개수	4
세그먼트 링 내 노드의 개수	8
파장 채널 수 (λ)	8
패킷 발생률	Poisson
세그먼트 내/외 트래픽 비율	50% / 50%

4.1 전송의 공정성 관점에서의 성능 평가

광-슬롯 라우팅 방식의 WDM 링은 단방향으로 전송이 이루어지므로 브리지로부터의 상대적 위치에 따라 노드별로 광-슬롯을 액세스할 수 있는 확률이 달라지게

된다. 즉, 브리지로부터 상대적으로 멀리 떨어져 있는 노드일수록 브리지를 거쳐 전송해야 하는 목적지 노드 수가 증가하므로 광-슬롯을 액세스 해야 할 요구량이 많아진다. 그러나, 브리지에서 가까운 노드일수록 빈 광-슬롯을 액세스하는데 유리하므로 링 내 노드의 위치에 따라 전송에 불리한 노드들이 존재하게 된다. 따라서 모든 노드쌍 간에 동일한 패킷 처리율을 보장할 수 없게 되어 공정성 문제가 발생하게 된다.

본 논문에서는 광-슬롯 방식의 WDM 링에 대해 전송의 공정성 관점에서 시뮬레이션을 실시하였다. 먼저 한 세그먼트 링 내에서 브리지로부터 노드의 상대적 위치에 따라 각 노드별 패킷 처리율을 측정하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이 브리지에서 멀리 떨어질수록 패킷 처리율이 감소함을 볼 수 있으며, 망 부하가 커질수록 패킷 처리율의 불균형도 심해짐을 볼 수 있다.

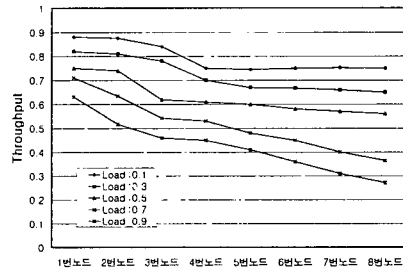


그림 5. 세그먼트 링 내 노드별 패킷 처리율

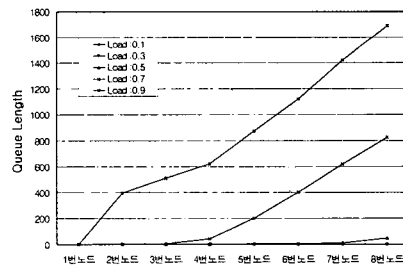


그림 6. 세그먼트 링 내 노드별 전송 대기큐 길이

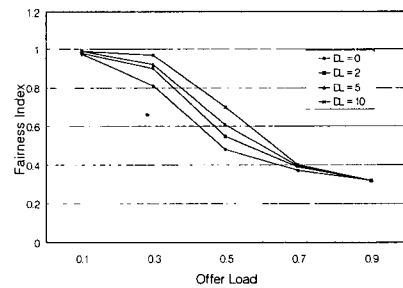


그림 7. 망 부하에 따른 공정성 변화

그림 6은 세그먼트 링 내 노드별 전송 대기큐의 평균 길이를 측정된 것이다. 브리지에서 먼 노드일수록 전송을 위한 대기 시간이 선형적으로 증가함을 볼 수 있으며, 망의 부하가 커질수록 노드별 전송 대기 시간은 폭

발적으로 증가한다.

망 내 노드쌍 간 처리율의 불균형을 보다 객관적으로 도시하기 위해 공정성 인자 FI(Fairness Index)^[5]를 사용하여 망의 공정성을 평가하였다. 노드 i 에서 j 로의 전송 패킷 처리율을 x_{ij} 라 할 때 FI는 다음과 같이 정의된다.

$$FI = \frac{(\sum x_{ij})^2}{N \times (N-1) \times \sum x_{ij}^2}$$

FI가 1에 가까울수록 망 내 노드쌍 간 처리율이 일정하게 분포되어 망의 공정성이 보장되었다고 말할 수 있다. 그림 7은 망 부하에 따른 공정성의 변화를 측정한다. 망의 부하가 증가할수록 처리율의 불균형이 심해지는 것을 볼 수 있으며, 충돌 해결을 위한 광 지연 루프의 추가는 전체적인 공정성 인자는 증가시키나 여전히 심한 공정성 문제가 대두됨을 알 수 있다. 따라서 광-슬롯 경로 배정 방식의 WDM 링에서 망의 균형을 처리율을 보장할 수 있는 공정성 해결 메커니즘이 개발되어야 할 것이다.

4.2 충돌 해결 관점에서의 성능 평가

광-슬롯 방식의 WDM 링 구조는 중간 노드에 파장 변환을 위한 소자가 필요하지 않아 망 구성의 비용이 절감되는 장점이 있으나 세그먼트 링들을 연결하는 브리지에서 슬롯의 충돌 가능성이 존재하므로 재전송으로 인한 처리율 감소와 전송 지연이 발생한다. 본 논문에서는 브리지에서의 충돌 해결을 위한 광 지연 루프가 망의 처리율에 미치는 영향을 평가하였다.

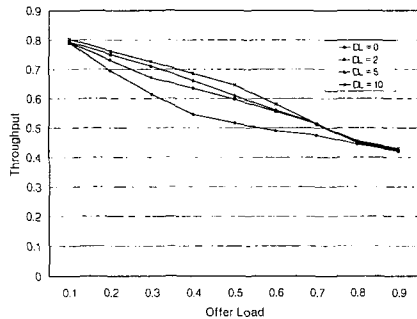


그림 8. 광 지연 루프의 수에 따른 처리율

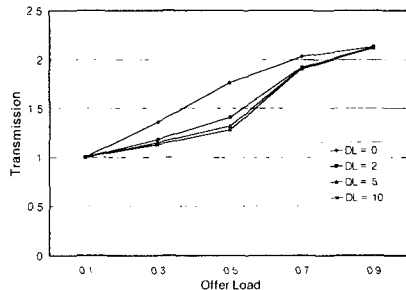


그림 9. 광 지연 루프의 수에 따른 전송 회수

그림 8은 광 지연 루프의 수에 따른 처리율의 변화를 보인 것이다. 광 지연 루프의 수가 증가할수록 처리율의

증가를 볼 수 있다. 그러나 지연 루프의 수가 늘어나더라도 처리율 증가폭은 비례적으로 증가하지는 않음을 알 수 있으며 증가폭은 점차로 감소한다.

그림 9는 광 지연 루프의 수에 따른 전송 회수를 도시한 것이다. 지연 루프의 수가 증가할수록 재전송 회수가 감소함을 알 수 있으나 비례적 감소가 이루어지지 않는다. 또한 망 부하가 증가할수록 광 지연루프의 추가는 성능 향상에 영향을 주지 않음을 알 수 있다. 그림 8, 9의 결과로부터 브리지에서의 충돌 해결을 위한 광 지연 루프는 망의 처리율 및 전송 지연 성능을 향상시킬 수 있음을 볼 수 있다. 그러나 보다 효율적인 성능 개선을 위해서는 충돌 해결을 위한 브리지 구조에 관한 연구가 이루어져야 한다.

5. 결 론

본 논문에서는 광-슬롯 경로 배정 방식의 WDM 링에 대해 전송의 공정성과 충돌 해결 관점에서의 성능 평가를 실시하였다. 성능 평가 결과 계층적 연결 구조를 가진 단방향 WDM 링은 노드쌍 간 패킷 처리율이 불균형하여 전송의 공정성을 보장하지 못하는 단점을 가진다. 또한 세그먼트 링 간 연결을 위한 브리지에서의 슬롯 충돌은 망의 처리율을 저하시키고 재전송으로 인한 전송 지연을 초래한다. 따라서 향후 WDM 고속 LAN을 위한 구조로 제시되고 있는 광-슬롯 경로 배정 방식의 WDM 링에서 전송의 공정성을 보장하기 위한 메커니즘 및 충돌 해결을 위한 브리지 구조에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고문헌

- [1] B. Mukherjee, "WDM based Local Lightwave Networks Part I : Single-Hop Systems," *IEEE Network*, May 1992.
- [2] B. Mukherjee, "WDM based Local Lightwave Networks Part II : Multi-Hop Systems," *IEEE Network*, July. 1992.
- [3] Ying Cai, "Demonstration of photonic packet-switched ring networks with optically transparent node", *IEEE Photonic Technology Letters*, vol.6, pp.1139-1141, May 1994.
- [4] I.Chlamtac, V.Elek, A.Fumagalli, and C.Szabo, "Scalable WDM Network Architecture Based on Photonic Slot Routing and Switched Delay Lines", *Proceeding. IEEE INFOCOM'97*, vol.2, pp.769-776, 1997.
- [5] Hui Zang and Jason P.Jue, "Photonic Slot Routing in All-Optical Packet-Switched WDM Mesh Network", *Tech. report of ANI-98-05285*, July 1998.
- [6] I.Chlamtac, V.Elek, A.Fumagalli, and C.Szabo, "A Delay Line Receiver Architecture for All-Optical Networks", *Proceeding. IEEE INFOCOM'96*, pp.419-426, 1996.