

논문 2004-41TC-6-7

Edge Node간 단일 홉을 갖는 다중링 기반의 광네트워크 구성 및 특성

(Architecture and Characteristics of Multi-Ring based Optical Network
with Single-Hop between Edge Nodes)

이 상 화*, 이 희 상**, 한 치 문*

(Sang Hwa Lee, Heesang Lee, and Chimoon Han)

요 약

최근 WDM 기술을 적용한 광네트워크에서 중계 노드로 광크로스커넥터를 적용함으로써, 중계 노드에서 트래픽 병목 현상에 의해 지연이 발생하고 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 EN(Edge Node)간 단일 홉을 갖는 다중링 유형의 다파장 레이블 기반의 광패킷 네트워크 구조를 제안하였다. 제안한 방식에서 이용되는 광패킷 구성 방법과 다파장 레이블을 이용하여 다중링 기반의 광네트워크를 구성 할 경우, 단일 Optical 대역과 다중 Optical 대역을 이용하여 구성 가능함을 제시하고, 두 방식의 특성을 비교 분석하였다. 이때, EN의 출력에서 광패킷 충돌이 발생하여 광패킷 손실이 발생하는 데, 이 문제를 해결하기 위해 광패킷을 정적 및 동적으로 타임 슬롯에 할당하는 방안을 제시함으로써 패킷 충돌 회피가 가능함을 분명히 하였다. 그리고 제안한 방식에서 지연은 EN에서만 발생하므로 CN(Core Node)에 의한 지연은 발생하지 않는다. 따라서 본 방식에서 제안한 광네트워크에 대해 EN의 패킷 손실 특성과 호손율, 지연 특성을 분석하고, 본 방식의 우수성과 실현 가능성을 나타냈다.

Abstract

This paper proposes architecture and characteristics of a multi-ring based optical network with single-hop between edge nodes using the concept of circuit switching and multi-wavelength label switching to solve delay problem caused by applying crossconnectors as transit nodes in the wavelength division multiplexing(WDM) network. We suggest multi-ring based architecture composed single and multiple wavelength-bands with multi-wavelength labels, and analyze characteristics of two models. To avoid the packet collision in output ports of edge nodes due to output contention, the static and dynamic allocation scheme, which packets are allocated in time slots, is provided. Based on our analysis, it shows that delay only occur in not core nodes but edge nodes in the proposed architecture. In addition, we evaluate the probabilities of delay, packet loss, and call blocking in the proposed optical packet network.

Keywords : Optical Network, Multi-wavelength Label Switching, Single-Hop, Multi-Ring

I. 서 론

현재 인터넷에서 WDM 기술의 적용은 인접 라우터 간을 연결하는 링크 목적으로 사용되고 있는 수준이다. 수신 노드 사이에 복수의 중계 노드를 이용하여 트래픽을 중계하는 경우, 중계 노드의 패킷 처리능력이 문제가 되고 있다. 그러므로 네트워크의 효율 개선에는 중계 노드의 처리 능력 향상이 필수 불가결이지만 WDM 기술에 의한 파이버의 전송능력 증가와 비교할 때, 전

* 정희원, 한국외국어대학교 전자정보공학부
(HUFS, School of Electronics & Inform. Eng.)

** 정희원, 성균관대학교 시스템경영공학부
(SungKyunKwan Univ., System Management Eng.)
※ 본 논문은 일부 한국과학재단의 목적기초연구
(No. R01-2001-000-00364-0) 사업의 지원에 의한 결과
입니다.

접수일자: 2004년4월16일, 수정완료일: 2004년5월27일

자적 처리에 의한 패킷 처리 능력의 증가는 미약하다. 그렇기 때문에 기존의 네트워크 구조에서는 중계 노드 라우팅 처리가 병목 현상으로 주어진다. 그 해결 수법으로는 IP 라우팅 처리 부분을 줄이고, 하위 계층에서 광네트워크를 구성하는 방법이 제안되고 있다^[1, 2].

이처럼, 하위 계층인 광레이어를 효율 좋게 사용하는 방법으로 패킷 교환 원리에 기초를 둔 광네트워크 구축이다. WDM 네트워크에서 일부 트래픽을 IP 라우팅에 의해 중계하는 기술로 MPλS(Mult-Protocol Lambda Switching) 등이 있다. 이는 전자적 처리에 의해 중계 노드의 처리 능력의 확장 보다는 병목 현상으로 작용하고 있다^[3]. 본 논문에서는 EN(Edge Node)와 CN(Core Node)로 구성되는 광네트워크에서 CN(Core Node)에서 패킷 처리를 제거하여 지연을 감소시킬 수 있는 방법으로 EN(Edge Node)간 단일 홉인 광패킷 네트워크를 제안한다. 제안한 방식은 다파장 레이저 기반의 다중링 구조를 가지며, CN(Core Node)가 없으므로 중계 노드에 의한 지연 및 블로킹이 없는 것이 특징이다.

본 논문은 서론에 이어 II장에서는 Edge Node간 단일홉을 갖는 다중링 기반의 광네트워크의 구조를 설명한다. III장에서는 제안한 네트워크 구조를 다파장 레이저 기반에서 구성 방법을 제시한다. IV장에서는 제안한 네트워크 구조의 특성을 제시하고, V장에서 결론을 맺는다.

II. Edge Node간 단일 홉을 갖는 다중 링 기반의 광네트워크 구조

테라급 인터넷 접속을 위한 광네트워크의 구조는 Core Network과 Edge Network으로 이루어지는 계층적 구조를 갖는다. Core Network은 Backbone Network 역할을 하며, Edge Node(EN)와 Core Node(CN)를 이용하여 구성된다. 그러나 네트워크 구성에서 CN를 이용하는 또는 그렇지 않은 간에 EN간에는 단일 광패스를 제공해 주는 네트워크를 구성하는 것이 바람직스럽다. 따라서 EN간 단일 홉 구조의 광네트워크는 그림 1과 같이 다중 Optical Ring를 이용하여 구성할 수 있다. 그림 1의 다중 Optical Ring 네트워크의 장점은 EN간이 단일 홉이며, 단일 광패스로 접속되기 때문에 CN에 의한 지연은 발생하지 않는다.

다중 Optical Ring 네트워크에서 CN이 N개의 EN

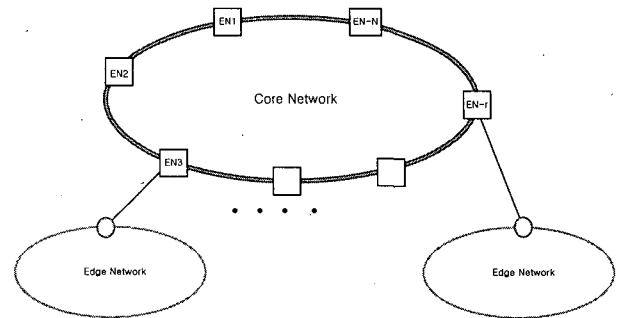


그림 1. Edge Node간 단일 홉 구조의 광네트워크
Fig. 1. Optical Network with Single-Hop between Edge Nodes.

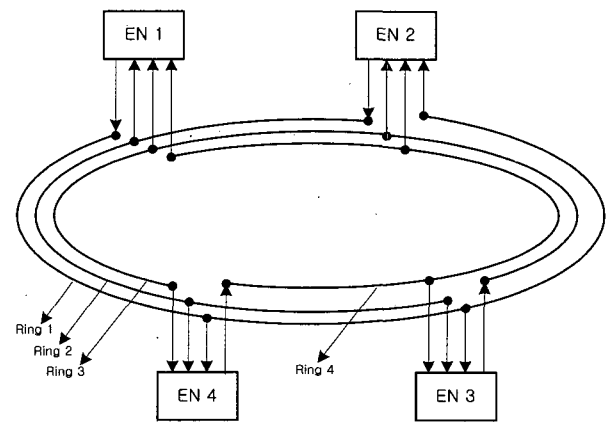


그림 2. 4 개의 EN(3-Ring)를 갖는 Core Network 구성도
Fig. 2. Core Network Architecture with 4 Edge Nodes..

로 구성될 때, $N-1$ 개의 Optical Ring으로 구성되며, 그림 2는 4개의 EN로 구성되는 Core Network를 나타냈다.

EN1은 Ring #1를 통해 EN4, EN3, EN2로 데이터를 송신한다. EN2, EN3, EN4도 동일한 방법으로 Ring #2, Ring #3, Ring #4를 이용하여 데이터를 원하는 목적지 EN으로 전달한다. 이와 같이 EN간 단일 홉 구조의 광패킷 네트워크의 구성은 회선 교환 기반 방식과 다파장 레이저 기반 방식으로 구성할 수 있다.

1. 회선교환 기반의 광네트워크

파장 라우터(OXC) 개념으로 그림 2와 같이 구성한다. N개의 EN를 가지면, $N-1$ 개의 Optical Ring과 $N-1$ 개의 파장으로 구성된다. EN1에서 데이터 송신은 Optical Ring #1을 이용하며, EN2로는 λ_1 , EN3로는 λ_2 , EN4로는 λ_3 를 사용하도록 한다. 이때, Optical Ring #1에는 EN1 이외에 모든 EN들이 접속되어 있고, 해당 전용 파장으로 데이터 수신 기능만 수행하도록 구성한다. 따라서 접속된 EN은 수신전용 파장을 이용하여 해

표 1. 각 EN간에 사용 파장의 예
Table 1. Example of wavelength used each EN.

수신 EN 송신 EN	1	2	3	4
1		λ_1	λ_2	λ_3
2	λ_3		λ_1	λ_2
3	λ_2	λ_3		λ_1
4	λ_1	λ_2	λ_3	

당 데이터만을 수신한다. EN간에 송수신 파장 할당은 표 1과 같다. EN2, EN3, EN4도 EN1과 동일한 방법으로 데이터를 송수신 한다.

이와 같이 회선 기반 다중 Optical Ring으로 Core Network를 구성하면, Core Network는 Nonblocking 구조가 된다. 따라서 최적 경로 선택을 경로제어 및 이에 따른 경로 설정 서버도 필요 없게 되어, 네트워크의 구축비용이 절감된다. 그러나 사용 가능한 파장 수에 의해 시스템 규모가 제약을 받게 되는 단점이 있다.

2. 다파장 광레이블 기반의 광패킷 네트워크

다파장 레이블 기반의 광패킷 네트워크의 기본 구조는 그림2와 같으며^[4], 네트워크 동작을 패킷 모드로 동작시킨다. 다파장 레이블 기반의 광패킷 포맷은 그림 3과 같이 헤더와 페이로드, 트레일러로 구성한다. 레이블(헤더, 트레일러) 구성용 파장과 데이터 전달용 파장으로 구분하며, 데이터 전달용 파장은 모든 패킷에 공통으로 적용된다. 광패킷 포맷의 헤더는 목적지 노드의 주소를 나타내며, 이 부분은 여러 개의 파장을 이용하여 구성한다. 그리고 페이로드는 IP 패킷이며, 길이는 일정 또는 가변으로 구성 할 수 있다. 광패킷 길이를 일정하게 구성 할 경우 트레일러가 필요 없다. 왜냐하면 패킷의 시작 검출 후, 일정 시간(정보 길이)이 경과하면 패킷이 종료된다. 그러나 가변 길이의 경우, 패킷의 종료를 알리는 트레일러가 필요하다. 이때 트레일러의 구성은 헤더와 동일하게 구성한다.

레이블은 복수개의 파장으로 구성되며, 레이블 생성 및 처리는 FBG(Fiber Bragg Grating)를 이용 만든다^[5]. 다파장 레이블은 W개 파장 중에서 선택된 K개 파장을 이용하여 펄스열로 구성 한다. 이때 구성 가능한 레이블 수는 ${}^W C_K K! = W! / (W - K)!$ 가 되며, 필요한 파장의 수는 W+1개이다. 따라서 W=10, K=8 이면, 가능한 레이블의 수는 7,257,600개 이다. 여기서 레이블은 EN의 ID(identification)이므로, 11개의 파장을 사용하

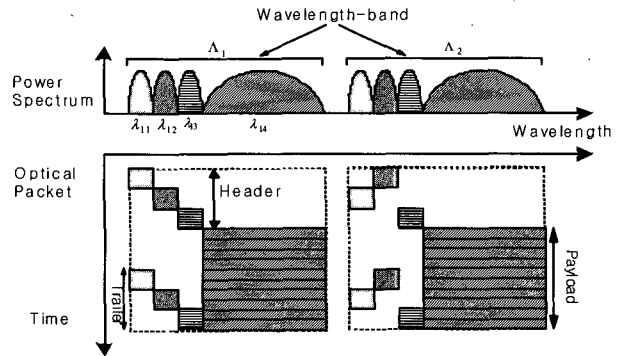


그림 3. 광패킷 포맷 구성
Fig. 3. Optical Packet Format.

면 충분하다. 그림 3은 W=3, K=3의 경우를 나타내고 있다. 파장 $\lambda_{11}, \lambda_{12}, \lambda_{13}$ 는 다파장 레이블 생성용이며, λ_{14} 는 데이터 전달용 파장이다. 이때 광패킷에 구성에 사용된 파장들은 파장 대역 Λ_1 이라 한다. 이와 같이 다파장 레이블을 이용한 광네트워크 구조에 대해서는 다음 장에서 서술한다.

III. 단일 흡을 갖는 다파장 광레이블 기반의 광패킷 네트워크 구성

1. 단일 Optical 대역을 이용하여 구성하는 방안 - 방식 1

현재 다중화 가능한 파장 수는 200개 이상이다. 따라서 본 논문에서는 이중 W+1개의 파장을 단일 파장 대역이라 하고, 이 파장 대역을 이용한 시스템을 단일 Optical 대역을 이용하여 구성한 방식(방식-1)이라 한다. 본 논문에서 제안하는 네트워크 구성은 EN만 필요하므로, EN에 대해서 검토한다.

가. EN의 송신부 구성

EN의 송신부의 구성도는 그림 4와 같다. 입력에도착한 셀(패킷)은 출력 노드(Edge Node)별로 교환되어 RB(Reassembler Buffer)에 저장된다. 이때 입력 m과 출력 N의 관계는 $m \geq N$ 이다. RB에 저장된 데이터(셀 혹은 패킷)는 적당한 크기로 재구성되어 광패킷의 페이로드에 해당되는 데이터를 만든다. RB 버퍼에 저장된 데이터가 한 개의 광패킷을 구성 할 정도의 충분한 데이터가 모이면 TB(Transfer Buffer)로 보내진다. 이와 동시에 광패킷의 헤더를 구성하기 위해 그림 5처럼 헤더 구간 동안의 ON 신호를 발생시켜 강도변조

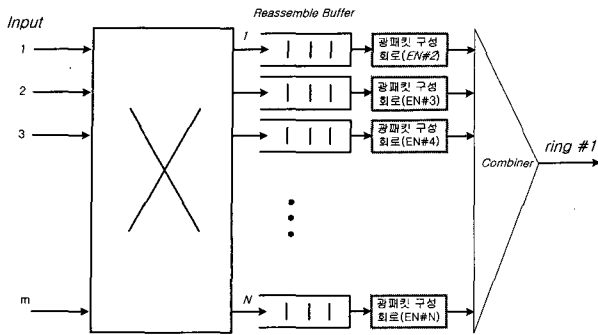


그림 4. EN(Edge Node)의 송신부 구성도
Fig. 4. Block diagram of Edge Node Transmitter.

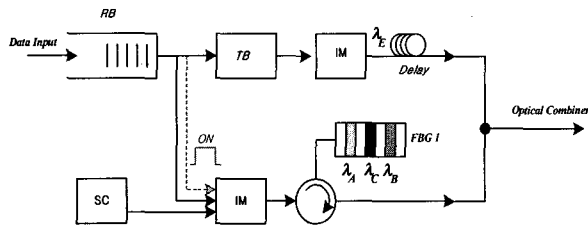


그림 5. EN 송신부의 광패킷 구성도
Fig. 5. Optical packet configuration in Edge Node.

(IM: Intensity Modulation)을 수행한다.

그림 5는 3 section FBG로 구성된 광패킷 생성 예이며, 광 서클레이터 및 FBG에 의해 파장 A, C, B만 발체되어 파장 레이블을 형성한다. 이때 발생하는 출력 파형은 모든 파장을 포함하고 있다. SC(Supercontinuum), LiNbO3 IM(Intensity Modulation), 멀티섹션 파이버 회절격자(FBG), 광서클레이터로 구성되는 다파장 레이블 생성기에 의해 광패킷 헤더를 구성한다.

이때 파장 레이블은 특정 EN(Edge Node)의 ID를 나타내며, 시스템 설계시 설정되는 파라미터이다. 한편 데이터는 파장 E로 변조된 후, 파이버 지연선에 의해 일정 시간 지연된 후, 다파장으로 구성된 레이블과 결합하여 광패킷을 만든다. EN 송신부에서는 이와 동일한 광패킷 발생기가 EN 수만큼 구성되고, Optical Combiner에 의해 결합되어 Optical Ring으로 보내진다. 각 출력단에서 발생한 신호가 Optical Combiner에 의해 결합될 때, 광패킷이 충돌이 발생 할 수 있다. 충돌을 방지하는 방법은 다음 장에서 설명한다.

나. EN의 수신부 구성

수신부는 그림 6과 같이 구성 할 수 있다. 입력되는 광 신호는 광 분배기에 의해 분리된 후, 페이로드 데이터 정보가 실린 E 파장만 통과시킨 다음, 파이버 지연선에 의해 동기를 취한다. 한편으로는 광서클레이터 및 FBG

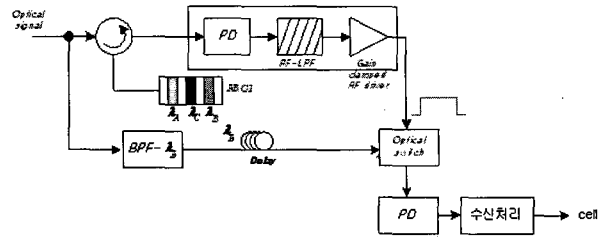


그림 6. EN 수신부 구성도
Fig. 6. Block diagram of Edge Node Receiver.

로 구성되는 광상관기(Optical Correlator)에 의해 미리 설정된 레이블(수신 ID)과 일치하면 PD(Photo Diode)에 의해 광펄스가 검출된다. 이때 일정 레벨 이상이 되면, Optical Switch를 일정기간 동안 ON 시킨다. 이 기간 동안 페이로드 데이터는 광 게이트 스위치를 통과하여 광 검출기에서 전기 신호로 변환 된 다음, 수신 처리를 통해 원래의 데이터를 복원한다. 이상과 같은 수신 장치는 모든 Optical Ring에 접속되므로 N-1개가 필요하다.

본 방식에서 EN당 요구되는 광패킷 발생회로는 N-1개, 그리고 광패킷 수신 회로는 Optical Ring당 1개가 요구되고, Optical Ring은 N-1개가 필요하기 때문에 N-1개의 광패킷 수신회로가 필요하다. Edge Node가 N개인 네트워크에서는 광패킷 발생회로는 N(N-1)개, 광패킷 수신회로도 N(N-1)개 요구된다.

2. 다중 Optical 대역을 이용하여 구성하는 방법 - 방식 2

단일 Optical 대역을 이용하면 Core Network에 접속되는 EN의 수에 따라 Optical Ring의 수가 선형적으로 증가 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 다중 Optical 대역을 이용하여 구성한다. 이 경우, Optical Ring의 수는 1/(Number of Optical Bandwidth)의 비율로 감소한다. m개의 Optical 대역을 이용하여 Core Network를 구성하면, EN를 m개씩 N/m개의 그룹으로 분류하고, 각 그룹별로 순차적으로 m개의 Optical 대역을 할당하여 구성하면 된다. 그룹 분류는 식(1)과 같이 구성한다.

$$\begin{aligned}
 \text{Group } 1 &= \{ \text{EN } \#1, \text{EN } \#2, \dots, \text{EN } \#m \} \\
 \text{Group } 2 &= \{ \text{EN } \#m+1, \text{EN } \#m+2, \dots, \text{EN } \#2m \} \\
 &\vdots \\
 \text{Group } N/m &= \{ \text{EN } \#N-m+1, \text{EN } \#N-m+2, \dots, \text{EN } \#N \} \quad (1)
 \end{aligned}$$

표 2. 다중 Optical 대역을 이용 할 경우의 파장 상관 관계

Table 2. Wavelength correlation in multi-band optical wavelength.

파장대역 Group명	대역 1	대역 2	---	대역 m-1	대역 m
Group 1	EN #1	EN #2	---	E #m-1	EN #m
Group 2	EN #m+1	EN #m+2	---	EN #2m-1	EN #2m
Group N/m-1	EN #N-2m+1	EN #N-2m+2	---	EN #N-m-1	EN #N-m
Group N/m	EN #N-m+1	EN #N-m+2	---	EN #N-1	EN #N

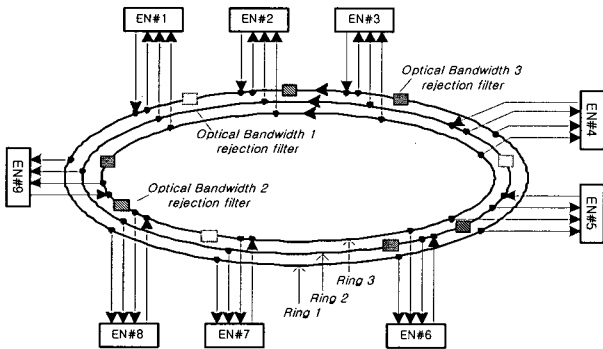


그림 7. 다중 파장대역을 이용한 Core Network 구성 예
Fig. 7. Core Network using multi-band wavelength.

그룹1은 순차적으로 m 개의 파장 대역을 이용한 다파장 광레이블을 구성한다. 이와 같이 모든 그룹에 대해 m 개의 파장대역을 이용하여 다파장 레이블을 구성하며, 표 2와 같은 관계를 갖는다.

그룹1은 순차적으로 N/m 개의 Optical Ring을 이용하고, 그룹2도 순차적으로 N/m 개의 Optical Ring을 이용하여 데이터를 전달한다. 동일한 방법으로 모든 그룹이 N/m 개의 Optical Ring을 이용하여 데이터 송수신 이루어진다.

각 그룹에서 m 개의 Edge Node(EN)가 1개의 Optical Ring을 이용하여 데이터를 송신하며, 이 Ring에 접속된 수신 Edge Node는 m 개의 노드로부터 데이터를 수신하게 된다. 따라서 각 EN가 송신 할 때는 각각의 파장 대역을 이용하여 모든 목적지 EN으로 도달 할 수 있는 적합한 광패킷을 발생시킨다. Optical Ring에 접속된 EN의 수신 부분은 각 파장대역에서 주어진 레이블로 수신 할 수 있는 회로를 구성하여야 한다.

그림 7에 EN의 수가 9개, 파장대역을 3개를 이용하여

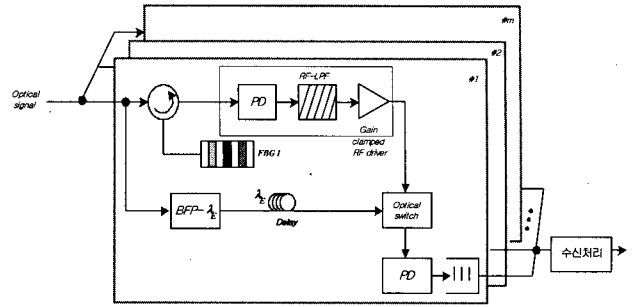


그림 8. 다중 파장대역 이용시 EN 수신부 구성 (Optical Ring 접속부분)

Fig. 8. Block diagram of Edge Node Receiver using multi-band wavelength.

Core Network를 구성하는 예를 나타냈다.

그림 7은 9개의 EN($N=9$)가 3개의 파장 대역($m=3$)을 이용하기 때문에 3개의 Optical Ring으로 Core Network를 구성 할 수 있음을 나타내고 있다. EN#1, EN#2, EN#3 은 그룹1, EN#4, EN#5, EN#6은 그룹2 그리고 EN#7, EN#8, EN#9는 그룹3을 형성하고 있다. Optical Ring 1, Optical Ring 2, Optical Ring 3에 각각 접속된 EN#1, EN#4, EN#7은 파장대역1를 이용하여 데이터를 전송한다. EN#2, EN#5, EN#8은 파장대역2 그리고 EN#3, EN#6, EN#9은 파장대역3을 이용하여 다파장 광레이블을 구성하여 데이터를 전달한다. 따라서 그룹1에 속하는 EN는 Optical Ring 1를 이용하여 광패킷을 송신 하지만, 서로 다른 파장 대역을 이용하기 때문에 수신단에서 식별이 가능하다.

그리고 송신 광패킷을 Optical Ring에 삽입시킬 때, 광 결합기를 이용하여 역방향으로 광패킷 신호가 나타나지 않도록 하여야 한다. 즉 Optical Ring이 Closed Loop로 구성되어 있기 때문에 반 시계 방향으로만 데이터가 전달되도록 하여야 한다. 또 EN에서 전송한 광패킷은 페로를 따라 순환 할 수 있기 때문에, 파장 대역 제거 필터를 이용하여 순환하지 못하도록 송신 노드 전단에서 제거하여야 한다. 따라서 Group 1에 소속된 모든 EN은 Optical Ring 1을 이용하여 반시계 방향으로 광패킷을 송신하기 때문에, 자신이 송신한 패킷이 되돌아오는 것을 방지하기 위해, EN#1에서는 Optical Bandwidth 1 Reject Filter, EN#2에서는 Optical Bandwidth 2 Reject Filter 그리고 EN#3에서는 Optical Bandwidth 3 Reject Filter를 사용하여 수신 전단에서 제거하여야 한다.

EN(Edge Node)의 수신부는 그림 8과 같이 구성하며, 첫 번째 평면은 파장 대역 1, 두 번째 평면은 파장 대

표 3. 각 방식 별 비교

Table 3. Comparison of each method.

	광패킷 발생회로	광패킷 수신회로	Optical Ring
방식 1	$N(N-1)$	$N(N-1)$	$N-1$
방식 2	$N(N-1)$	N^2	N/m

N : Edge Node 수, m : 파장대역 수

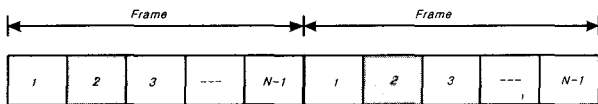


그림 9. 타임 슬롯 할당 예

Fig. 9. Example of fixed time slot assignment.

역 2를 사용한 정보를 추출한다. 같은 방법으로 m 번째 평면은 m 번째 파장 대역을 사용한 정보를 선택하는 기능을 갖는다. m 개의 평면으로부터 입력되는 정보는 각 개별 버퍼에 저장되므로 수신단에서 충돌 방지가 가능하다.

각 Optical Ring에 그림 8과 같이 구성되는 수신 모듈을 접속한다. 따라서 각 Optical Ring에 접속된 수신 모듈에서는 어떠한 파장 대역을 사용하여도 다파장 레이블만 일치하면 수신이 가능하다. 따라서 EN의 수신 레이블은 각 파장 대역에서 한 개씩 가져야 한다.

본 방식에서 요구되는 각 EN당 광패킷 발생회로의 수는 $(N-1)$ 개가 이며, 전체 노드의 수가 N 인 CN에서 필요한 광패킷 발생회로의 수는 $N(N-1)$ 개 이다. EN에서 필요한 광패킷 수신회로는 Optical Ring 당 m 개가 필요 하다. 따라서 EN가 N 개인 CN에서 요구되는 광패킷 수신회로는 $m \times N/m$ (Optical Ring) 개이다.

지금까지 검토한 각 방식별 광패킷 발생회로 및 수신회로, Optical Ring 수를 표 3에 나타냈다. 방식2를 이용하면 Optical Ring 수를 $1/m$ 로 줄일 수 있다. 광패킷 발생회로와 광패킷 수신회로의 수는 방식 1과 동일함을 알 수 있다. 그러나 파장 대역 자원은 m 배 증가한다.

IV. Edge Node간 단일 홉 구조의 광패킷 네트워크 특성

1. 광패스 설정을 위한 광패킷 충돌 회피 방법

그림 4와 같이 EN을 구성 할 경우, 출력단에 광패킷 충돌이 발생한다. 충돌이 일어나지 않도록 하기 위한 방법으로 전송할 패킷의 전송 시점을 조정하면 가능하다. 이때 전송할 패킷을 $N-1$ 개의 타임 슬롯을 갖는

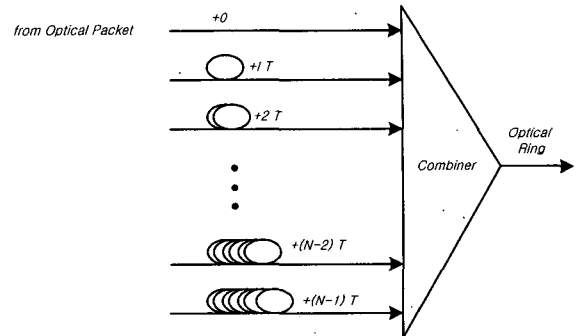


그림 10. 광파이버 지연선을 이용한 타임슬롯 고정 할당 방법

Fig. 10. Fixed time slot assignment method using optical fiber delay line.

프레임에 슬롯을 고정 할당하는 방법과 동적으로 타임 슬롯을 할당하는 방법이 있다.

가. 타임 슬롯 고정 할당 방식

그림 9처럼 특정 EN을 목적으로 하는 광패킷은 특정 타임 슬롯에 실어서 광결합기로 전달하면 된다. 이때 한 프레임내의 타임 슬롯 수는 $N-1$ 의 n 배로 구성된다.

이 방법은 우선 광대역을 효율적으로 이용할 수 없는 단점을 가지고 있다. 이와 같은 구성은 RB 버퍼에서 TB 버퍼로 데이터 전달을 전달 할 때, ① 타임 슬롯 단위로 순환하는 방법과 ② RB 버퍼에서 TB 버퍼로 데이터 전달을 프레임 단위로 하고, 구성된 광패킷을 광결합기에 순차적으로 타임 슬롯에 보내는 방법이다. ①의 방법은 EN 노드의 버퍼 메시지먼트에 의해 구현 할 수 있다. ②의 방법은 광파이버 지연선을 이용하여 순차적으로 전달 할 수 있으며, 그림 10과 같다.

그림 10의 파이버 지연선 입력에 광레이블로 구성된 광패킷이 동시에 입력되어도 파이버 지연선에 의해 한 타임 슬롯씩 순차 지연되어 광결합기에 도착하게 되므로 광패킷의 충돌은 방지 할 수 있다. 이때 필요한 지연선 모듈 수는 EN당 $(N-2)$ 개, N 개의 EN로 구성되므로 총 지연선 모듈은 $N(N-2)$ 개가 필요하다.

나. 동적 타임 슬롯 할당 방식

RB 버퍼에 입력되는 트래픽량에 따라 광패킷을 동적으로 타임 슬롯에 할당 하는 방법으로, 광결합기에서 광패킷 충돌을 방지 할 수 있다. 이때 송신 EN에서 수신 EN까지는 단일 홉으로 구성되기 때문에 동적 대역 할당 알고리즘을 간단하게 구성 할 수 있다. 임의 송신 노드

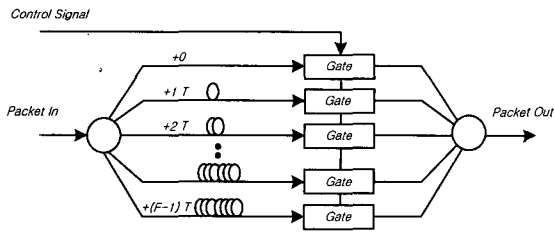


그림 11. 광파이버 지연선을 이용한 타임슬롯 동적 할당 방법

Fig. 11. Dynamic time slot assignment method using optical fiber delay line.

EN에서 순차적으로 RB 버퍼의 트래픽량을 조사하여 적절한 타임 슬롯 수를 할당하는 방법이다. 이때 충돌을 회피하기 위해 파이버 지연선을 사용하기도 하고, 전기적 제어에 의해 충돌을 해결 할 수 있다.

광파이버 지연선을 이용하여 동적으로 타임 슬롯 할당 방법은 그림 11과 같이 구성된 지연선 회로를 이용하고, 타임 슬롯 할당은 제어 신호에 의해 제어된다. 필요한 지연선 수는 송신 EN의 출력측 광패킷 회로 당 (F-1)개 필요하므로 EN 당 (F-1)(N-1)개 필요하다. 따라서 총 지연선의 양은 N(F-1)(N-1)개 필요하다. 여기서 F는 Frame당 슬롯 수를 나타낸다.

두 방식에서 지연회로는 동적 할당 방식이 고정 할당 방식에 비해 약 프레임 수인 F 배만큼 증가한다. 그러나 광파이버 광대역성의 효율적인 이용 측면과 패킷의 지연 관점에서는 동적할당 방식이 우수하다.

2. 성능 평가

제안한 본 방식은 EN 노드간 단일 홉으로 구성되는 광패킷 네트워크이므로, CN(Core Node)에서 지연은 없다. 따라서 본 방식의 지연은 EN(Edge Node)에서만 발생한다. 그러므로 본 방식을 적용하여 구성한 광패킷 네트워크에서 특성을 패킷 손실, 호손실 및 지연 특성으로 분석하였다.

본 성능 평가에서 사용한 모델은 N개의 EN을 이용하여 구성하였으며, 각 EN의 입력은 m개 입력 단자를 가진다. 입출력 단자의 속도도 동일하다고 가정하였다. 단일 Optical 대역을 이용하여 다과장 레이블에 기초하여 동작한다.

가. 패킷 손실 특성

본 방식의 패킷 손실 특성을 조사하기 위해, 입력 트래픽에 대해 EN의 m, N값의 영향을 분석하였다. 입력 트

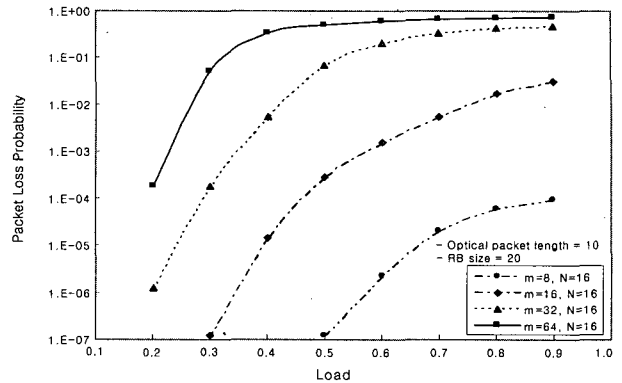


그림 12. 패킷 손실 특성-(1)

Fig. 12. Packet loss probability-(1).

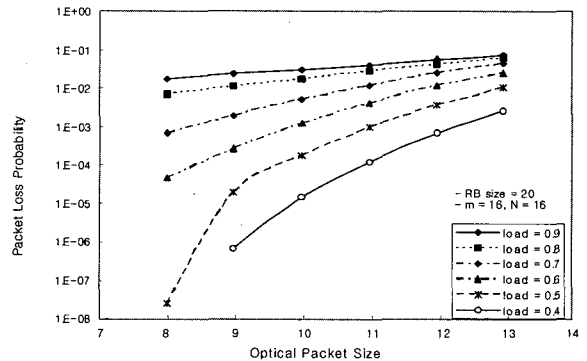


그림 13. 패킷 손실 특성-(2)

Fig. 13. Packet loss probability-(2).

래픽의 발생은 고정 길이의 패킷이 포아송 분포로 발생하고, 광패킷은 일정 개수의 고정 길이 패킷이 모여 광패킷을 구성한다고 가정하였다. 그림 12는 RB 버퍼와 광패킷 길이를 일정하게 하고, EN의 입력수(m) 변화에 따른 패킷 손실 특성을 나타냈다. 그림 12에서 알 수 있듯이 입력 단수가 출력 단수보다 크면 클수록 패킷 손실율이 크다. 이는 출력 링크의 속도가 입력되는 모든 링크의 속도보다 작기 때문이다. 따라서 시스템 설계 시에는 출력 링크의 속도가 모든 입력 링크의 속도보다 같거나 크게 설계하는 것이 바람직스럽다. RB 버퍼의 크기를 요구하는 패킷 손실율을 만족할 수 있도록 크게 하여야 한다.

그림 13은 광패킷의 길이를 가변으로 하였을 때, 패킷 손실 특성을 측정하는 것이다. 광패킷 크기가 작으면 패킷 손실 특성이 개선됨을 알 수 있다. 이는 광 패킷을 구성하기 위해 일정량의 패킷이 RB 버퍼에서 대기할 때 RB 버퍼 오버플로에 의해 패킷 손실이 발생한다. 따라서 RB 버퍼의 크기 및 광패킷 크기를 조정하여 패킷 손실을 최소화 할 수 있음을 알 수 있다.

그림 14는 광패킷 크기를 일정하게 하고, RB의 크기를

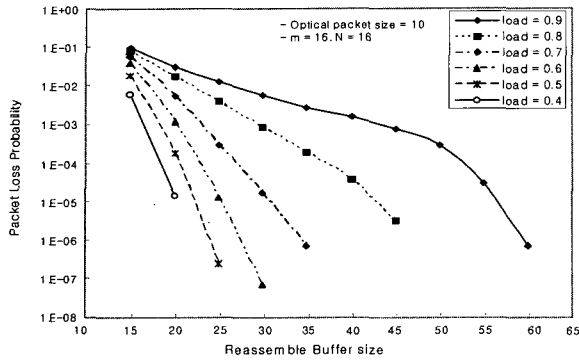


그림 14. 패킷 손실 특성-(3)
Fig. 14. Packet loss probability-(3).

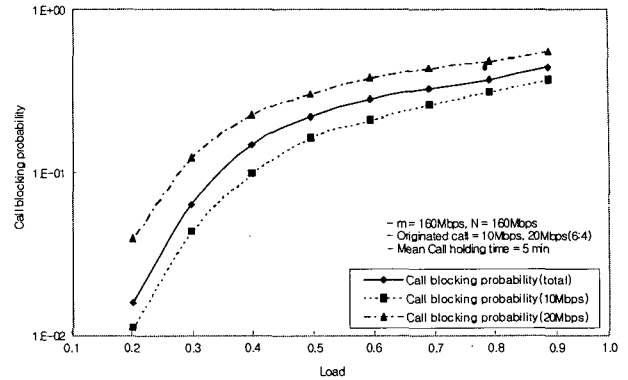


그림 16. 호손율 특성-(2)
Fig. 16. Call loss probability-(2).

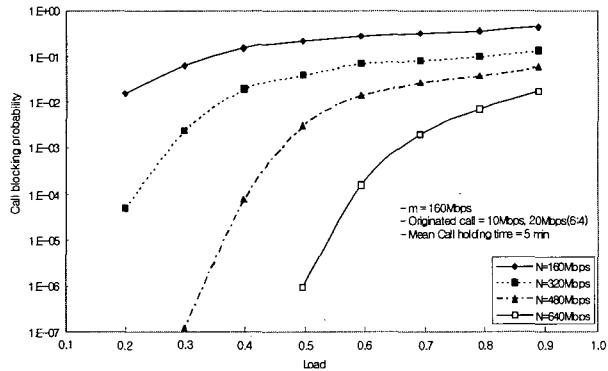


그림 15. 호손율 특성(1)
Fig. 15. Call loss probability-(1).

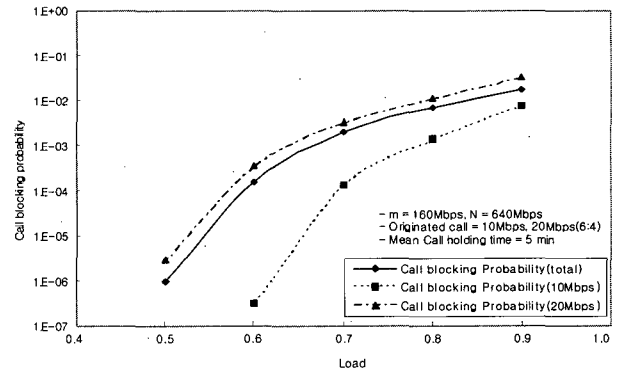


그림 17. 호손율 특성-(3)
Fig. 17. Call loss probability-(3).

가변 시키면서 패킷 손실 특성을 측정하였다. 패킷 손실 특성을 개선하기 위한 방법으로 *RB*의 길이를 증가시키면 가능하다. 본 방식에서 패킷 손실을 개선하는 방법으로 광패킷 크기를 적절하게 정하고, *RB*의 크기를 증가시키므로 가능함을 알 수 있다.

나. 호 손실 특성

광인터넷의 *Core Network*에서 가해지는 호는 서로 상이한 대역을 가질 것이다. 따라서 본 방식에서 *EN*간 호손 특성을 회선교환 개념에 기초하여 분석하였다. 네트워크 규모는 $m=N=16$ 으로 하고, *EN*의 입출력 단자의 속도에 따른 특성을 조사하였다. 입력 호의 대역은 *10Mbps*, *20Mbps* 두 종류이며, 각 호의 발생은 포아송 분포를 따르며, 호의 지속시간은 지수 분포에 따른다고 가정하였다. 호가 발생하였을 경우, 접속하기 위한 충분한 대역이 비어있지 않으면 블로킹으로 처리하였다. 입력 속도를 *160Mbps*로 고정하고, 출력 속도를 변화에 따른 호손 특성을 그림 15에 나타냈다. *10Mbps*, *20Mbps* 호의 발생 비율은 6:4이고, 호의 평균 지속시간은 5분으

로 하였다. 출력 속도가 높으면 호손 특성이 개선된다. 이는 출력 링크의 속도를 높이면 호손 특성이 개선됨을 알 수 있다.

그림 15 및 그림 17는 각 호별 호손율 특성을 나타냈다. 조건은 그림 12와 동일하다. 그림 15, 그림 16 및 그림 17에서 알 수 있듯이, 두 종류의 호 중 대역폭이 좁은 호가 호손율 특성이 우수함을 알 수 있다. 대역폭이 작은 호가 출력링크 이용 효율이 높다. 따라서 서로 상이한 대역이 존재하는 다중 호 환경에서는 대역이 높은 호의 손실이 증가한다. 그러므로 호를 대역별로 그룹핑하여 대역을 분배하는 방식을 도입하여, 호 종류별로 동일한 특성을 갖도록 할 수 있을 것 같다.

다. 지연(Delay) 특성

출력단에 고정 및 동적 타임 슬롯 할당 방식을 적용하였을 경우, 지연 특성을 분석하였다. 본 방식에서 발생하는 지연은 Queueing 지연, 광패킷 구성 지연이다. 입력단에 ATM 셀 형태로 Poisson 분포를 가지면서 도착하고, 특정 목적지 노드로 향하는 확률은 동일하다고 가정하였

V. 결론

본 논문에서 EN간 단일 홉을 갖는 다중 링 기반의 광패킷 네트워크 구조를 2가지 방식 즉 회선 교환 기반 광패킷 네트워크와 다파장 레이블 기반 광패킷 네트워크 구성 방법을 제안하였다. 그리고 후자의 구현에 대해 단일 Optical 대역과 다중 Optical 대역을 이용하여 구성하는 방법을 나타내고, 두 방식의 특성을 비교 분석하였다. EN가 많은 시스템의 경우, 다중 링의 수가 감소되는 다중 Optical 대역을 이용하여 구성하면 좋다. 또 EN의 출력단에서 광패킷 충돌이 발생하여 광패킷 손실이 발생하는데, 이 문제를 해결하기 위해 광패킷을 동적으로 타임슬롯에 할당하는 방안을 제시함으로써 패킷 충돌 회피가 가능함을 나타냈다.

본 방식에서 EN간 단일 홉이므로, 지연은 EN에서만 발생하므로 EN의 패킷 손실 및 호손 특성 그리고 지연 특성을 분석하였다. 그 결과 본 제안 방식은 중계 노드인 CN가 불필요하므로, CN에 의해 발생하는 문제점을 해결할 수 있다. 금후 연구 내용은 본 방식의 확장성과 연동성 분석에 초점을 두고 진행할 것이다.

참고 문헌

- [1] N. Wada , H. Harai, W. Chujo and F. Kubota, "Photonic Networks Based on Multi-Wavelength Label Switch", IEICE, PNI 2000-24, pp.45-51, Oct 2000.
- [2] N. Wada , H. Harai, W. Chujo and F. Kubota, "Photonic Packet Routing based on Multi-wavelength Label Switching using Fiber Bragg Gratings," Proc. ECOC 2000, Vol.4, pp.71-72, Sep. 2000.
- [3] D. Awduche et al., "Multi-protocol Lambda Switching: Combining MPLS Traffic Engineering Control with Optical Crossconnects (draft -awduche-mpls-te-optical-03.txt),"IETF Internet Draft, Apr. 2001.
- [4] H. Harai, and N. Wada, "Photonic Packet Switch Architecture based on Multi-Wavelength Label Switch," Technical Report of IEICE PS2002-11, pp.61-66, April. 2002.
- [5] N. Wada , H. Harai, W. Chujo and F. Kubota, "A Switching Node Architecture for Multi-rate Path Establishment in Multi-wavelength Label Switching Networks," IEICE, SSE 2000-190, pp.7- 12, Dec. 2000.

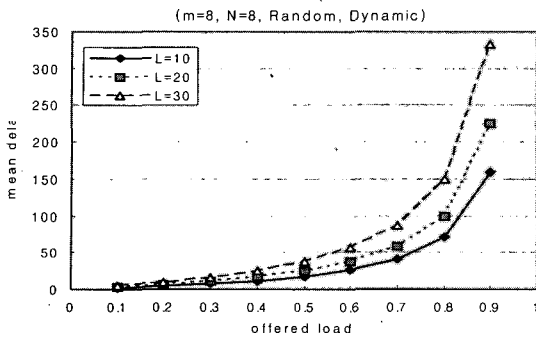


그림 18. 지연 특성-(1).
Fig. 18. Delay characteristics of Edge Node-(1).

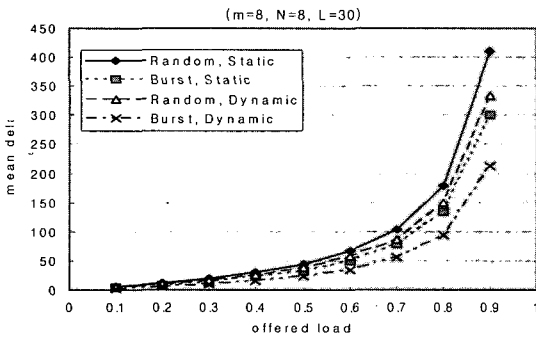


그림 19. 지연 특성-(2).
Fig. 19. Delay characteristics of Edge Node-(2).

다. 여기서 L 은 광패킷 구성시 패킷의 크기를 나타내며, 입력 ATM 셀의 수이다. 그림 18은 EN의 입출력 단자가 8이고, 광패킷 구성 길이에 따른 지연 특성을 나타냈다. 그림 18에서 알 수 있듯이, 광패킷의 길이가 크면 클수록 EN에서 지연이 증가한다. 이는 출력단에서 한 개의 광패킷을 구성하는데 모아야 할 셀 수가 많으면, 그 정도의 셀이 모일 때까지 버퍼에서 대기하여야 하기 때문이다.

그림 19는 동일한 조건에서 고정 타임 슬롯 할당과 동적 타임 슬롯 할당 방식을 비교하였다. EN의 입력단에 도착하는 트래픽이 버스트일 경우, ON/OFF 모델을 적용하였으며, ON(버스트)의 평균 길이는 10셀로 가정하였다. 그림 19에서 보면, 버스트 트래픽인 경우가 랜덤 특성의 트래픽보다 지연특성이 우수하며, 동적 타임 슬롯 할당이 고정타임 슬롯 할당 방식보다 지연 특성이 우수하다.

일반적으로 광네트워크에서는 광패킷의 길이가 크므로, 버스트 입력에 대해 지연 특성이 개선되고, 광패킷 충돌 회피를 위해 동적 타임 슬롯 할당 방식을 적용하면, 지연 및 네트워크 자원 이용면에서 효율적임을 알 수 있다.

저자 소개



이 상 화(정회원)

1979년 2월 경북대학교
전자공학과 졸업(공학사)
1983년 2월 경북대학교 대학원
전자공학과 졸업(공학석사)
2000년 2월~현재 한국외국어대학교
대학원 전자정보공학과
박사 과정.

1983년 4월~1984년 7월 한국전자통신연구소(ETRI)
1984년 10월~1986년 11월 동광텔레콤
1992년 2월~현재 (주) CST 근무
<주관심분야: 차세대인터넷, 광인터넷, MPLS 및
GMPLS, 초고속정보통신 설계 및 해석>



이 희 상(정회원)

1983년 2월 서울대학교
산업공학과 졸업(공학사).
1985년 2월 서울대학교 대학원
산업공학과 졸업(공학석사)
1991년 3월 Georgia Institute of
Technology OR(공학박사)

1991년 9월~1995년 2월 KT 통신망연구소 선임연구원
1995년 3월~2004년 2월 한국외국어대학교 산업정
보시스템 공학부 부교수
2004년 3월~현재 성균관대학교 시스템경영공학부
부교수
<주관심분야: 통신 네트워크 설계 및 계획,
Combinatorial Optimization>



한 치 문(정회원)

1977년 2월 경북대학교
전자공학과 졸업(공학사)
1983년 8월 연세대학교 대학원
전자공학과 졸업(공학석사)
1990년 9월 The University of Tokyo,
전자정보공학과(공학박사)

1997년 2월~1993년 3월 한국과학기술원(KIST),
연구원
1993년 4월~1997년 2월 한국전자통신연구원(ETRI)
책임연구원, 교환기술연구단
계통연구부장 역임
1997년 3월~현재 한국외국어대학교
전자정보공학부 교수
<주관심분야: 광인터넷, MPLS 및 GMPLS,
홈네트워크, Network Security 등>