

광 버스트 스위치를 위한 새로운 충돌 해결 알고리즘

정회원 정명순*, 엄진섭**

New Contention Resolution algorithm for Optical Burst Switch

Myoung Soon Jeong*, Jinseob Eom** *Regular Members*

요약

본 논문에서는 광 버스트 네트워크 내의 버스트 충돌을 해결하기 위한 새로운 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 파장 변환(wavelength conversion), 경로 변경(deflection), 분리(segmentation), 광섬유 버퍼링을 혼합하여 광 스위치에 적용한 것이다. 제안된 충돌 해결 알고리즘의 성능은 ns(network simulator)-2를 이용하여 분석하였다. 시뮬레이션에 사용한 네트워크 토폴로지는 한국의 기간망을 가정하였고 이를 기반으로 다양한 네트워크 트래픽 조건에서 성능 지표(버림 확률, 전파 지연)의 개선을 보였다.

Key Words : 광 버스트 스위칭, 버스트 충돌, 파장 변환, 경로 변경 (deflection), 분리 (segmentation), 광 버퍼링

ABSTRACT

In this paper, a new algorithm for contention resolution in optical burst switched network is proposed and simulated. The proposed algorithm is made from the all mixing of wavelength conversion, deflection routing, segmentation, and optical fiber delay line buffering. We analysis the performance of the proposed contention resolution algorithm by using ns-2. The application of the algorithm into Korea backbone network shows the superior performance of a low burst loss probability.

I. 서론

고밀도 파장분할 다중방식(Dense Wavelength-Division Multiplexing)과 같은 광 전송 기술의 발전은 광대역 초고속 네트워크를 실현시켰으며, 이를 통하여 대용량의 인터넷 트래픽을 전송할 수 있게 하였다. 대용량 인터넷 트래픽의 전송을 위해서는 대역폭의 효율적인 사용이 필요하고 이를 위한 고속의 스위칭 기술이 필수적이다.

현재까지 알려진 광 스위칭 기술에는 광 회선 스위칭(Optical Circuit Switching, OCS), 광 버스트 스위칭(Optical Burst Switching, OBS), 광 패킷 스위칭(Optical Packet Switching, OPS) 등이 있다. 먼저

OCS의 하나인 광 크로스 커넥터(Optical Cross-connect, OXC)는 상용화 단계에 있지만 비동기 버스트 트래픽에 해당하는 인터넷 트래픽을 수용하기에는 효율성에 문제가 있는 것으로 알려져 있다. OBS는 버퍼를 사용하지 않고 광 코어 네트워크를 통하여 직접 인터넷 트래픽을 전송하는 방법으로 여러 개의 패킷으로 구성된 버스트를 전광적으로 네트워크를 통하여 스위칭한다. 제어 메시지(또는 헤더)는 버스트보다 먼저 전송되어 버스트 경로에 맞추어 스위치를 연결한다. 따라서 데이터 버스트는 연결 수락 없이도 일정 오프셋 시간(offset time) 후에 전송된다. 오프셋 시간은 버스트가 송신단에서 전기적으로버퍼링되어 있는 동안에 헤더가 각 노드에서 처리되는 시

* 강원대학교 전기전자정보통신공학부 BK21 (msjeong@cc.kangwon.ac.kr),

** 강원대학교 전기전자정보통신공학부 광통신 실험실 (jeom@kangwon.ac.kr)

논문번호 : KICS2004-06-063, 접수일자 : 2004년 6월 28일

※ 본 연구는 광주과학기술원의 초고속 광 네트워크 센터와 KT 기술연구소, 강원대학교 BK21, 강원대학교 EFRC 그리고 강원대학교 정보통신연구소의 일부 지원에 의해 수행되었습니다.

간이다. 따라서 중간 노드에서 헤더가 처리되는 동안에 버스트를 지연시키기 위한 광 지연선이 필요하지 않다. 또한 제어 메시지에 포함된 버스트 길이 정보 때문에 노드가 다음 버스트를 위하여 언제 스위치를 다시 구성해야 하는지 알 수 있다. 이러한 기술을 JET(just enough time)라 한다[1]. 마지막으로 광 패킷 스위칭 기술은 비동기적인 인터넷 트래픽의 전송에 가장 적합한 기술로 알려져 있어 많은 연구가 진행 중인 방법이다. 하지만 광학 버퍼의 구현이 어렵고 광 소자의 스위칭 시간이 패킷 전송 시간에 비하여 상대적으로 길다는 단점을 가지고 있다.

고속의 대용량 데이터 트래픽을 전송하는데 사용되는 광 버스트 스위치 네트워크의 주요 문제는 버스트 충돌(contention)이다. 버스트 충돌은 여러 개의 버스트가 동일한 링크를 통하여 전송될 때 발생하는 것으로 버스트 길이의 가변성과 길이에 비례하여 증가한다. 버스트 충돌이 증가하면 버스트 손실이 증가하고 손실 복구를 위한 버스트의 재전송 등으로 전체 네트워크의 전송 효율이 급격히 떨어진다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 기존의 전자적인 패킷 스위칭 네트워크에서는 일반적으로 버퍼링의 사용을 제한하였다. 광학 시스템에서도 광섬유 지연선을 이용한 버퍼링[2,3]을 사용할 수 있지만 버퍼 용량의 제약($< 100 \mu s$)으로 전자적인 패킷 네트워크의 RAM과 같이 충돌 해결에 사용하기에는 적합하지 않다. 따라서 광 버스트 스위치 네트워크 내의 버스트 충돌을 해결하기 위해서는 버퍼링 외에 방법이 필요하다.

한편, 광 버스트 스위치 네트워크의 충돌 해결 방안으로 제안된 방법은 파장 변환, 경로 변환 라우팅, 분리 등이다. 먼저 파장 변환[4,5,6]은 링크에서 사용되는 다중 파장 중에서 사용되지 않는 파장을 전송에 사용하여 충돌을 해결하는 방법이다. 현재까지는 연구 개발 단계가 실험실 수준으로 소자의 가격이 고가인 단점이 있지만 가까운 장래에 적정 가격의 소자로 상용화될 수 있을 것이다. 경로 변경 라우팅[7,8]은 충돌 버스트를 원래의 경로가 아닌 다른 경로로 전송하여 충돌을 해결하는 방법이다. 이 방법은 버스트가 방향(looping)하거나 패킷의 전달 순서가 어긋날 가능성 때문에 기존의 전자적인 패킷 스위칭 네트워크에서는 선호하지 않는다. 하지만 광 버스트 스위치 네트워크와 같이 버퍼 용량이 제한되고 고속인 네트워크에서는 패킷 전달 순서가 어긋날 가능성이 적기 때문에 사용이 가능하다. 분리[9]는 충돌 버스트 전체를 버리는 대신에 버스트 중에서 충돌 부분만을 버리는 방법이다. 기존의 버스트 충돌 해결 방법은 버스트

손실의 최소화를 위하여 충돌 버스트 전체를 버리고 재전송하였다. 따라서 버스트 손실 및 재전송에 의한 트래픽의 증가와 이로 인한 전체 네트워크의 전송 효율을 떨어지는 단점이 있었다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 제안된 분리는 충돌 버스트 중에서 일부분을 버리고 재전송하므로 트래픽의 증가를 막을 수 있는 장점이 있다. 이러한 방법들 외에 버스트를 두 개의 우선순위 레벨로 전송하여 우선순위가 높은 버스트의 충돌을 막는 방법[10]과 광 지연선을 사용한 버퍼링으로 버스트 충돌을 줄이는 방법도 제안되었다.

본 논문에서는 버스트 충돌 문제를 해결하여 광 스위치 네트워크의 전송 효율을 높이기 위한 방법으로 기존의 버스트 충돌 해결 방식을 조합한 새로운 충돌 해결 알고리즘을 제안하고 그 성능의 우수성을 시뮬레이션으로 보였다. 시뮬레이션에 사용된 네트워크 토폴로지(topology)는 한국의 기간망을 가정하였고 다양한 트래픽 변수에 대한 성능 지표(버퍼 확률, 전송 지연)의 개선을 보였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에는 제안된 광 스위칭 네트워크를 위한 충돌 해결 알고리즘을 보이고 이를 적용할 스위치의 구조를 소개하였다. 3장에는 제안된 충돌 해결 알고리즘의 성능을 분석하기 위한 시뮬레이션과 결과를 보였고 4 장에서 결론을 맺었다.

II. OBS를 위한 새로운 충돌 해결 알고리즘

제안된 버스트 충돌 해결 알고리즘은 전송할 버스트를 두 개의 우선순위 레벨로 구분하여 높은 우선순위 버스트에 대해서는 파장 변환과 경로 변경, 분리, 버퍼링을 수행하여 전송하고 낮은 우선순위의 버스트는 파장 변환과 경로 변경만을 적용하여 전송하는 것이다. 자세한 제안된 충돌 해결 알고리즘은 다음과 같다. 파장 λ_1 을 가지고 입력되는 버스트들을 예로 들어 설명하면, 각 입력포트로 들어오는 λ_1 파장들은 같은 그룹으로 생각한다. 파장역 다중화기를 통과한 후에 λ_1 파장을 가지는 버스트들을 분석하여 충돌이 없다면 즉 각기 다른 최종 목적지를 가지면 각 버스트는 바로 출력 쪽의 $1 \times N$ 스위치로 보내지게 되고 $1 \times N$ 스위치에 의하여 바로 선택된 경로로 전송된다. 하지만 일부 버스트들이 동일한 최종 목적지를 가지게 되어 버스트 사이에 충돌이 있다면 충돌한 버스트들을 두 개의 우선순위 레벨(high와 low)로 구분

한다. 그 후에 우선 순위가 높은 버스트를 먼저 처리하고 낮은 순위의 버스트들을 전송한다.

첫 번째 버스트는 선택된 경로로 향하도록 1x4 스위치에 의하여 1xN 스위치로 바로 보내지게 되고 1xN 스위치에서 선택된 경로로 변경되어 전송된다. 그러나 두 번째 버스트는 선택된 경로에서 그 시점에 점유되지 않은 파장의 유무를 확인하여 그러한 파장이 존재하면 λ_1 을 그 파장으로 파장 변환하여 선택된 경로로 변경된다. 하지만 사용 가능한 파장이 없으면 다음 차선책 경로로 전송된다. 그 후에 차선책 경로에 이미 λ_1 이라는 파장이 점유되어 사용 중이면 다시 그 시점에 점유되지 않은 파장을 확인하여 그러한 파장이 존재하면 λ_1 을 그 파장으로 파장 변환하여 차선책 경로로 변경하여 전송한다. 여기서도 전송이 허용되지 않으면 두 번째 버스트를 첫 번째 버스트와 충돌된 부분과 충돌되지 않는 부분으로 분리한 다음에 충돌되지 않은 부분은 선택된 경로로 변경하여 전송하고 충돌이 일어난 부분은 버퍼가 비어있을 경우 버퍼로 보내어 선택된 경로가 가능할 때까지 버퍼링한다. 만약 버퍼링에 허용된 시간을 넘는 경우에는 충돌 버스트 부분을 제거한다. 또한 버퍼가 비어 있지 않은 경우에도 버스트의 충돌 부분은 버려진다. 다음에 세 번째 버스트도 두 번째 버스트와 같은 과정을 거쳐서 처리된다. 이렇게 하여 높은 우선순위 버스트에 대한 처리가 끝나면 비슷한 과정을 거쳐 낮은 우선순위 버스트에 대한 처리를 시작한다. 낮은 우선순위 버스트는 파장 변환과 경로 변경까지만 수행되고 분리나 버퍼링은 적용되기 전에 버려진다. 이렇게 동작하는 제안된 충돌 해결 알고리즘의 흐름도를 그림 1에 나타내었다.

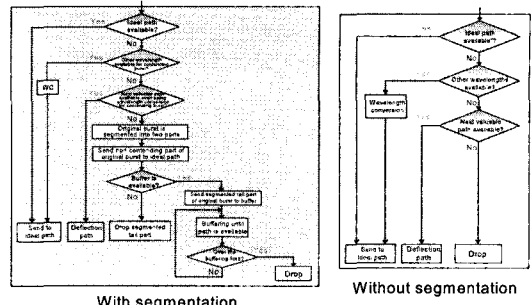


그림 1. 제안된 버스트 충돌 해결 알고리즘

제안된 버스트 충돌 알고리즘을 적용되는 OBS의 구조는 그림 2에 보였다. OBS의 물리적인 구조는 WDM DEMUX, 라우팅 제어부, 버퍼링부, WDM MUX 등으로 구성되어 있다. 이들 구성 요소의 기능은 다음과 같다. 먼저 WDM DEMUX는 개별 입력 포트의 전반부에 위치하여 입력 포트에 들어오는 다중화된 파장들을 분리하는 기능을 한다. 라우팅 제어부는 각 파장에서 발생하는 버스트 충돌, 우선순위 레벨, 전송 경로 및 차선책 전송 경로 선택, 다른 파장 사용 가능성 등을 검사한다. 버퍼링부는 동일한 파장을 사용하는 버스트에 충돌이 발생한 경우에 알고리즘을 적용하는 곳으로 다양한 기능을 하는 요소로 구성되어 있다. 즉, 출력 쪽에 광 스위치, 파장 변환기, 버퍼, 버림(Drop) 중의 하나로 전달하는 광 스위치와 입력 파장을 사용 가능한 다른 파장으로 변환시키는 파장 변환기가 있다. 이 외에 충돌 버스트의 충돌 부분만을 버퍼링하는 광 버퍼와 광 스위치, 파장 변환기, 버퍼 등으로부터 전달되는 신호를 개별 경로에 해당하는 출력 포트에 전송하는 1xN 스위치로 구성되어 있다. WDM MUX는 각각의 출력 포트에 입력되는 파장들을 다중화하는 파장 다중화기의 기능을 수행한다.

Burst with same wavelength (ex λ_1)

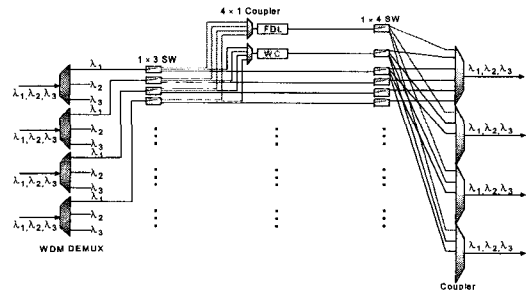
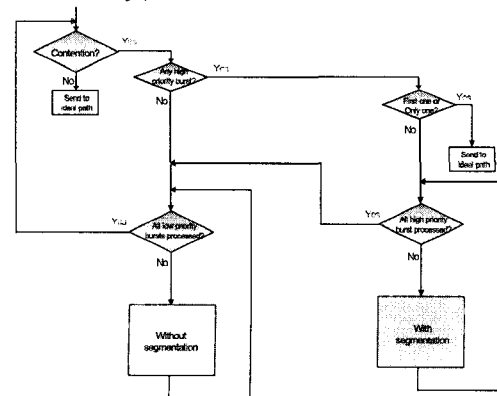


그림 2. 광 버스트 스위치 구조

III. 성능 분석

이 장에서는 제안된 버스트 충돌 해결 알고리즘의 성능을 네트워크 시뮬레이터인 ns(network simulator)-2를 사용하여 분석하였다. 시뮬레이션을 위한 네트워크 구조(network topology)는 한국의 기간망을 사용하였다. 네트워크에 접속된 노드(기지국)는 8개이고 모든 노드는 버스트를 발생하는 소스이면서 동시에 OBS 기능을 수행하는 것으로 하였다. 또한 네트워크 내의 모든 노드는 버스트의 소스와 목적지로 균등하게 사용되는 것으로 하였다.

한편, 시뮬레이션에 사용된 버스트 데이터 트래픽의 생성 모델은 지수 분포를 따르는 것으로 가정하였다. 노드에서 버스트 데이터의 전송에 사용되는 응용은 TCP/IP 기반에서 동작하는 것으로 하였고 원거리 노드 사이의 버스트 전송에 사용한 라우팅 알고리즘은 단순하면서도 빠르게 수행되는 FSPR(Fixed Shortest path routing)을 적용하였다. 이 외에 시뮬레이션에 사용된 시스템 파라미터 값들은 표 1에 보였다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 파라미터

항목	파라미터 값
버스트 길이	~ 1MB
전송 패킷 길이	1500bytes
파장당 전송대역	10Gbps
OBS 스위칭 시간	10 μs
파장 (wavelengths)	~ 64

ns-2를 이용한 성능 분석에 사용된 버스트 트래픽 생성 모델은 평균 길이 1MB인 지수 분포를 따르는 포아송 생성 모델을 가정하였다. 각 노드에서 발생된 버스트 트래픽은 두 개의 우선순위 레벨로 구분되어 전송 처리를 하였다. 먼저 우선순위가 높은 버스트는 전송 중에 충돌이 발생하는 경우에 파장 변환과 경로 변경을 통해서 전송하였다. 경로 변경을 통해서도 전송되는 중에 충돌이 발생한 버스트는 충돌이 일어난 전송 패킷 부분만을 길이, 1.25MB (L/B = 1.25)인 버퍼에 저장하였다 전송하였다. 여기서 버퍼링 후에도 전송할 수 없는 경우에는 제거되도록 하였다. 이러한 과정을 통하여 우선순위가 높은 버스트 트래픽에 대

한 전송이 완료되면 다음으로 낮은 우선순위의 버스트 트래픽을 전송하였다.

본 논문의 성능 분석 결과는 제안된 충돌 해결 알고리즘과 기존의 충돌 해결 알고리즘의 버스트 버림 확률과 전송 지연을 구하여 비교하였다. 여기서 기존의 충돌 해결 알고리즘은 파장 변환과 경로 변환만이 적용된 것이다. 먼저 충돌 해결 알고리즘과 기존의 충돌 해결 알고리즘의 버스트 버림 확률을 다양한 파장 조건(16 ~ 128)에서 네트워크 부하에 대하여 구하여 그림 3에 보였다. 모든 파장 조건에서 전체 네트워크의 부하가 0.5 이상이 되면 버스트 버림 확률이 증가하고 파장이 증가할수록 버스트 버림 확률은 전체적으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 제안된 충돌 해결 알고리즘의 버림 확률은 전체적으로 기존의 충돌 해결 알고리즘에 비하여 버스트 버림 확률이 낮은 것을 볼 수 있다.

다음으로 다양한 파장 조건에서 네트워크 부하에

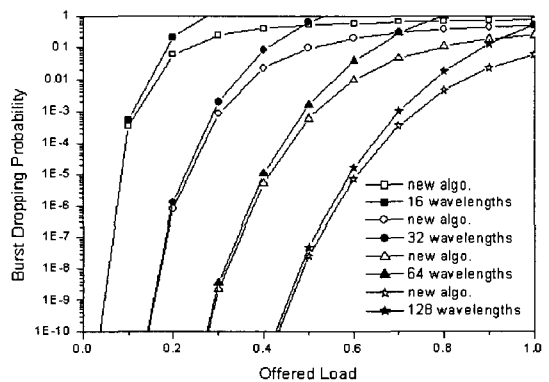


그림 3. 다양한 파장 조건에서 네트워크 부하에 대한 버스트 버림 확률

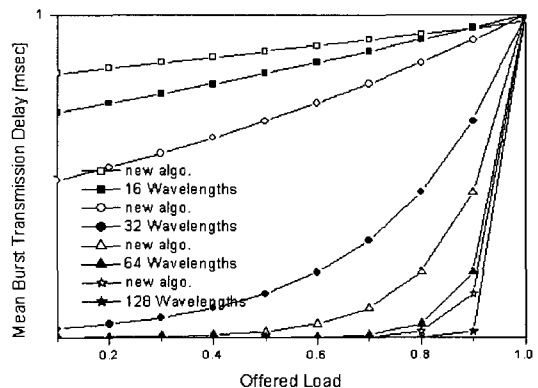


그림 4. 다양한 파장 조건에서 네트워크 부하에 대한 평균 버스트 전송 지연

대한 평균 버스트 전송 지연특성을 그림 4에 보였다. 그림 3과 마찬가지로 기존의 충돌 해결 알고리즘과 제안된 충돌 해결 알고리즘에서 구하여 비교한 것으로 버스트 버림 확률과 달리 제안된 충돌 해결 알고리즘에서 전송 지연이 높게 나타나는 것을 볼 수 있다. 이러한 전송 지연 특성은 제안된 충돌 해결 알고리즘이 사용하는 분리를 위한 처리시간(latency)와 버퍼링 지연 때문에 발생하는 것으로 네트워크 부하에 비례하여 증가하는 것을 볼 수 있다. 제안된 버스트 충돌 해결 알고리즘은 기존의 버스트 충돌 해결 알고리즘보다 전송 지연은 다소 높지만 버스트 버림 확률은 상당히 개선된 모습을 보였다.

V. 결론

본 논문에서는 버스트 충돌 문제를 해결하여 광 스위치 네트워크의 전송 효율을 높이기 위한 방법으로 기존의 버스트 충돌 해결 방식을 조합한 새로운 충돌 해결 알고리즘을 제안하고 성능의 우수성을 ns-2를 이용한 시뮬레이션으로 보였다. 시뮬레이션에 사용된 네트워크 토폴로지(topology)는 한국의 기간망을 사용하였고 다양한 트래픽 변수에 대한 성능 지표(버림 확률, 전송 지연)를 이용하였다.


성능 분석의 결과 제안된 충돌 해결 알고리즘은 전송 지연은 다소 증가하였지만 버스트 버림 확률은 상당히 감소하였다. 이러한 결과는 높은 우선순위 버스트에 적용한 분할과 버퍼링에 의한 처리 지연 때문에 나타나는 것으로 전송 신뢰성이 보장되어야 하는 수준에 따라서 버스트에 대한 우선순위 레벨을 알맞게 조절한다면 전송 지연 특성도 개선될 것이다.

참고 문헌

- [1] C. Qiao and M. Yoo, "Optical Burst Switching(OBS) - A New Paradigm for an Optical Internet," *Journal of High Speed Networks*, vol. 8, no. 1, pp. 69-84, Jan. 1999.
- [2] I. Chlamtac, A. Fumagalli, L. G. Kazovsky, et al., "CORD: Contention Resolution by Delay Lines," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 14, no. 5, pp. 1014-1029, June 1996.
- [3] Z. Haas, "The 'Staggering Switch': An Electronically Controlled Optical Packet Switch," *IEEE Journal of Lightwave Technology*, vol. 11, no. 5/6, pp. 925-936, May/June 1993.
- [4] A. S. Acampora and I. A. Shah, "Multihop Lightwave Networks: A Comparison of Store-and-Forward and Hot-Potato Routing," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 40, no. 6, pp. 1082-1090, June 1992.
- [5] A. Bononi, G. A. Castanon, and O. K. Tonguz, "Analysis of Hot-Potato Optical Networks with Wavelength Conversion," *IEEE Journal of Lightwave Technology*, vol. 17, no. 4, pp. 525-534, April 1999.
- [6] F. Forghieri, A. Bononi, and P. R. Prucnal, "Analysis and Comparison of Hot-Potato and Single-Buffer Deflection Routing in Very High Bit Rate Optical Mesh Networks," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 43, no. 1, pp. 88-98, Jan. 1995.
- [7] S. Kim, N. Kim, and M. Kang, "Contention Resolution for Optical Burst Switching Networks Using Alternative Routing," *IEEE*, pp. 2678-2681, 2002.
- [8] S. K. Lee, H. S. Kim, J. S. Song, and D. Griffith, "A Study on Deflection Routing in Optical Burst-Switched Networks," *Photonic Network Communications*, vol. 6, no. 1, pp. 51-59, 2003.
- [9] V. M. Vokkarane and J. P. Jue, "Burst Segmentation: An Approach for Reducing Packet Loss in Optical Burst-Switched Networks," vinod@utdallas.edu
- [10] M. Yoo, C. Qiao, and S. Dixit, "QoS Performance of Optical Burst Switching in IP-Over-WDM Networks," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 18, no. 10, pp. 2062-2071, Oct. 2000.

정 명 순 (Myoung-Soon Jeong) 정회원
1989년 2월 : 강원대학교 전자공학과 졸업
1992년 8월 : 강원대학교 전기공학과 석사
1999년 2월 : 강원대학교 전자공학과 박사
2001년 8월 ~ 현재 : 강원대학교 BK21 계약 조교수
<관심분야> 무선 데이터 통신, BCN

엄 진 섭 (Jinseob Eom) 정회원



1982년 2월 : 서울대학교 전자공
학과 (공학사)
1984년 2월 : 서울대학교 대학원
전자공학과(공학석사)
1990년 12월 : 미국 Texas A&M
University 전기공학과 (공학박
사)
1991년 ~ 1992년 : 한국통신 선
임연구원
1992년 ~ 현재 : 강원대학교 전기전자정보통신공학부
정교수
<관심분야> 광통신, 광교환, 광소자