

http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.3.83

JIWIT 2012-3-12

부분적 광파장 변환 노드를 이용한 광인터넷 복구

Optical Internet Recovery using Partial Wavelength Conversion Nodes

황호영*

Hoyoung Hwang

요약 이 논문에서는 광통신망에서 광파장 변환 능력이 통신망 복구 성능에 미치는 영향을 분석한다. 기존의 연구에서는 그물망 형태의 광통신망에서 약 30% 정도의 광파장 변환 능력이 제공된다면 Call Blocking 확률의 측면에서 100%의 광파장 변환 능력을 가질 때와 거의 같은 정도의 성능을 나타낸다고 알려져 왔다. 그러나 이는 정상적인 광파장 채널을 대상으로 하였을 때의 결과이고, 복구를 위한 예비 경로 및 예비 광파장을 포함한 복구 성능에 대한 광파장 변환 능력의 영향은 충분히 분석되지 않고 있다. 본 논문에서는 광파장 변환 능력이 예비 광파장의 이용 효율 면에서 망 복구 성능에 미치는 영향을 분석하였다. 실험 결과는 광파장 변환 능력과 복구를 위한 예비 광파장의 이용 효율성은 서로 비례하는 것으로 나타나, 정상적인 광파장 채널만을 대상으로 했던 기존 연구 결과와는 다를 수 있다.

Abstract This paper studies the effects of wavelength conversion on self-healing optical networks. We examined the effects of wavelength conversion capability on the backup routing and the spare wavelength utilization. The efficiency of spare wavelength utilization is proportionally increased as the wavelength conversion capability increases, different from the call blocking probability for which about 30% of wavelength conversion capability shows nearly the same performance as full wavelength conversion capability. The spare resource utilization efficiency can be improved by using alternate routing and wavelength assignment algorithms.

Key Words : 광파장 변환, 광인터넷, 복구, 대역폭, 스위치

1. 서 론

WDM 광통신망은 전자적인 처리 없이 모든 노드에서 순수하게 광자만으로만 전송되는 투명한(transparent) 형태로 구현될 수도 있고, 또는 모든 노드마다 전자-광자-전자 변환(OEO conversion)을 거치는 불투명한(opaque) 형태로 구현될 수도 있다. 또한 그 중간적인 방법으로 통신망 노드의 일부에서만 전자적인 처리를 허용

하는 절충형(hybrid) 구현이 있을 수 있다^[1]. 아직까지 순수한 광자형태(all-optical)에서의 광파장 변환은 매우 비싸고 비현실적인 기술이라고 생각되어지므로 앞에서 말한 세가지 형태는 결국 광파장 변환 능력의 차이라고 볼 수도 있다. 즉, 투명한 광통신망 구현에서는 광파장을 전혀 허용하지 않는 것으로 생각할 수 있으며, 불투명한 구현에서는 100%의 광파장 변환능력을 가진 것으로 볼 수 있다. 이 경우 절충형 방식의 구현은 부분적인 광파장 변

*정회원, 한성대학교 멀티미디어공학과
접수일자 2012년 5월 7일, 수정완료 2012년 5월 28일,
게재확정일자 2012년 6월 8일.

Received: 7 May, 2012, Revised: 28 May, 2012,

Accepted: 8 June, 2012

*Corresponding Author: hyhwang@hansung.ac.kr

Dept. of Multimedia Engineering, Hansung University, Korea

환 능력을 가진 망 형태를 나타낸다.

광파장 변환이 허용되지 않는 경우 단일한 광파장이 전송 채널(Lightpath)의 시작 노드부터 종점 노드까지 경로를 따라 연속적으로 할당되어야 함을 의미하며, 이는 광파장 연속성(wavelength continuity)의 조건이라는 경로 설정시의 경직성을 초래하게 된다. 기존의 연구에서는 약 25~30% 정도만의 부분적인 광파장 변환 능력이 제공된다면 해당 광통신망에서의 Call Blocking 확률은 불투명한 망의 구현, 즉, 100%의 광파장 변환이 허용되었을 때와 거의 같은 정도의 성능을 보인다고 알려져 왔다^[3, 4]. 그러나 부분적인 광파장 변환 능력이 정상적인 전송 채널의 설립이 아닌 광통신망의 보호나 복구 기법을 위한 예비 광파장 이용 효율성에 미치는 영향은 아직까지 충분히 검토되지 못하였다.

이 논문에서는 광파장 변환 능력이 광통신망의 복구 성능에 미치는 영향을 분석하고, 특히 복구 경로를 위해 예약된 예비 광파장의 효율성과 광파장 변환 능력과의 관계를 분석한다.

II. 본 론

1. 인터넷 백본에서의 광파장 변환

현재의 광통신망은 그림 1과 같이 전자적인 처리를 수행하는 불투명 OXC 및 OADM으로 구성되어 있다. 불투명 OXC에서는 광파장을 통해 전달된 광신호가 전자적 신호로 전환되어 처리된 후 다시 광신호로 전환되어 출력된다. 이러한 광신호-전자적 신호-광신호의 전환을 OEO 전환이라 하며, OEO 전환에는 많은 추가적인 장비가 각각의 OXC에서 요구된다. 그러므로 이러한 망에서는 Lightpath 경로상에서의 광파장 변환과 같이 OEO 전환에 의해 전자적으로 처리되고 있는 기능들을 사용할 수 있으나 동시에 높은 통신망 구성 비용이 필요하다.

반면에 그림 2와 같이 모든 노드들이 투명한 OXC 및 OADM으로 구성된 All-Optical 통신망 구조도 가능하다. 이러한 망에서는 신호가 출발지 노드에서부터 목적지 노드까지 OEO 전환 없이 광신호로만 전달되며 따라서 OXC에서는 OEO변환을 위한 추가적인 장비를 요구하지 않으므로 통신망의 비용을 줄일 수 있다. 그러나 Lightpath의 광파장 변환을 포함한 기존의 전자적으로 수행되던 기능들을 사용할 수 없다는 단점이 있다.

기존에 전자적인 처리를 통해 가능했던 광파장 변환 등의 기능이 향후 투명한 OXC들로 구성된 All-Optical 망에서도 가능해질 것이라고 예상할 수 있으나 이를 위해서는 새로운 광기술 개발을 위한 시간이 요구된다.

따라서 투명한 OXC 및 OADM과 일부 불투명한 OXC를 혼재해서 사용함으로써 제한적인 광파장 변환을 제공하는 그림 3과 같은 혼재적인 구조가 매우 유용한 광통신망 구조로 선택될 수 있다. 이러한 망 구조에서는 약 30% 정도의 제한적인 광파장 변환능력을 가지고 불투명 광통신망에서와 거의 같은 정도의 경로 설정 성공 비율을 제공할 수 있다^[3].

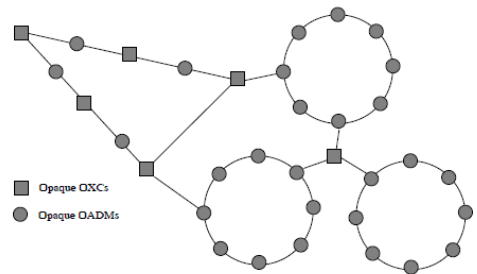


그림 1. 불투명한 광통신망
Fig. 1. Opaque optical network

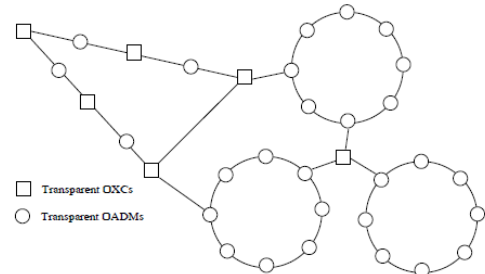


그림 2. 투명한 광통신망
Fig. 2. Transparent optical network

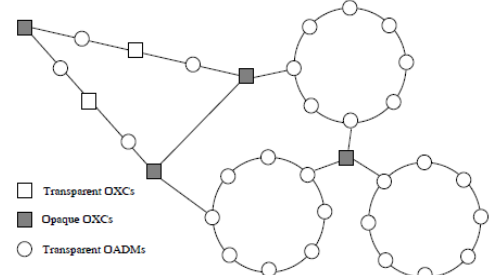


그림 3. 부분적 광파장 변환 능력을 가지는 혼재적 광통신망
Fig. 3. Hybrid optical network with partial wavelength conversion

혼재적인 망구조를 고려하는 또 하나의 현실적인 이유는 광신호 전달의 물리적인 한계를 들 수 있다. 현재 광파장을 이용한 신호의 전달은 약 600 km에서 최대 3000 km의 거리 제한을 가지며, 따라서 일부 광역망에서는 보다 먼 거리의 광파장 전송을 위해 신호의 종료 및 추가적인 신호의 생성이 요구된다. 이러한 거리의 제한으로 인하여 All-Optical 망에서도 광신호의 종료와 재생성 및 전자적인 처리가 요구되는 노드가 있으며 이러한 노드에서는 광파장 변환의 기능이 수행될 수 있다^[4].

2. 예비 광파장의 효율성에 미치는 영향

투명한 형태의 'all-optical' 망에서는 광파장의 할당이 곧 경로의 할당과 같은 의미를 갖는다. 이러한 경로와 광파장 간의 밀접한 관계로 인하여 예비 광파장이 있어도 그것이 서로 나은 두 개의 복구 경로에 의하여 공유되기 어렵다. 즉 단일 광파장이 서로 다른 두 개의 복구 경로에 의하여 사용되기 어렵고, 복구 경로마다 다른 광파장이 할당되어야 한다. 이는 예비 광파장 사용의 비효율성으로 나타난다. 반면에 100%의 광파장 변환과 OEO 변환을 허용하는 불투명한 망에서는 복구 경로상의 각 노드 사이에 다른 광파장이 할당될 수 있으므로, 하나의 예비 광파장이 서로 다른 복구용 경로 사이에 가능하면 많이 공유될 수 있다. 따라서 예비 광파장의 이용 효율이 높다.

절충형 방식의 망에서는 제한적인 광파장 변환 능력을 갖는 만큼 예비 광파장의 공유 가능성도 제한적이 된다. 그러므로 투명한 망과 불투명한 망에서 보이는 예비 광파장 이용 효율성을 가질 것이다. 그림 1은 광파장 변환 능력의 차이에 따라 측정된 단일 링크 손실을 복구하기 위해 필요한 예비 광파장의 비율을 나타낸다. 이 결과는 NSFNET, Arpanet 등 서로 다른 4가지의 실제로 사용되는 그물망 형태의 토폴로지 상에서 실험되었으며, 하나의 링크는 두 개의 양방향 광섬유 쌍으로 구성되었으며, 하나의 광섬유는 40개의 광파장을 수용함을 가정하였다. 그림 4의 그래프는 아래쪽으로 갈수록 예비 대역폭 비율이 감소하는 것을, 즉, 예비 광파장의 사용 효율이 좋아지는 것을 의미한다.

그래프에 나타난 바와 같이 망 복구를 위해 필요로 하는 예비 대역폭 비율은 광파장 변환의 능력에 거의 비례하여 감소함을 알 수 있다. 즉 예비 대역폭 이용 효율은 광파장 변환 능력과 비례한다는 것이다. 이 결과는 기존

에 알려진 대로 정상적인 전송 채널 설립의 경우에 Call Blocking 확률의 측면에서 약 30% 정도의 광파장 변환 능력의 보유가 100%의 광파장 변환 능력과 비교하여 Call Blocking 확률의 측면에서 거의 같은 성능을 보인다는 지식과는 차이가 있다^[4]. 예비 대역폭의 이용 효율성에서는 30%의 광파장 변환 능력은 30% 정도만의 성능을 가진다는 것이다.

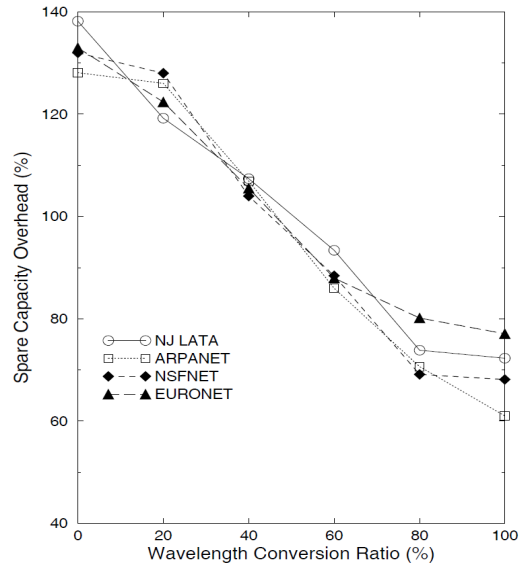


그림 4. 광파장 변환 능력에 따른 예비 광파장 비율
Fig. 4. Spare capacity overhead for different wavelength conversion capability

3. Semi-Lightpath를 이용한 예비 광파장의 효율 향상

그림 4의 결과가 나타내듯이 부분적인 광파장 변환 능력은 예비 대역폭의 이용 효율 면에서 불투명한 망에 비하여 낮은 성능을 보인다. 이러한 부분을 보완하고 부분적인 광파장 변환 능력을 최대한으로 활용하기 위하여 Semi-lightpath를 이용한 준-동적 개념의 복구 경로 구성을 고려할 수 있다. 시작 노드와 종점 노드가 하나 또는 두 개 이상의 연속적인 전송 채널의 결합으로 이루어진 경로를 Semi-lightpath라 하며, 하나의 Semi-lightpath를 구성하는 각각의 부분적인 전송 채널을 Sub-lightpath라고 한다^[5]. 즉, 시작 노드와 종점 노드를 단일한 전송 채널을 이용하여 연결하는 대신에 두 개 이상의 전송 채널의 조합으로 연결하는 개념이다.

준-동적인 기법은 제한적인 광파장 변환 능력을 가진 광통신망에서의 유용한 복구 구조를 제공한다. 이러한 통신망에서는 일부 노드만 OEO 전환에 의한 광파장 변환 능력을 가지므로 보다 유연한 경로 설정 및 교환 능력을 가지게 되며, 나머지 노드들은 광파장의 변환 능력이 없이 전송 능력만을 가진다. 따라서 OEO 전환이 가능한 불투명 노드들을 준-동적 복구 구조에서의 복구 서버로 지정하여 Semi-Lightpath 구성을 위한 부분 경로의 설립을 수행할 수 있다.

이러한 Semi-lightpath의 이용은 특히 복구 경로를 구성함에 있어 경로 설정의 유연성을 증가시키며 예비 광파장의 공유 가능성을 크게 높이는 역할을 한다. 하나의 복구 경로는 여러 개의 Sub-lightpath들로 구성되며 각각의 Sub-lightpath들은 서로 다른 광파장을 할당받을 수 있기 때문에 ‘all-optical’ 망에서도 부분적인 광파장 변환의 효과를 가질 수 있는 것이다. 또한 하나의 Sub-lightpath는 서로 다른 복구용 Semi-lightpath의 구성에 사용될 수 있으므로, 결과적으로 Semi-lightpath 개념을 이용한 복구 경로의 설립은 예비 광파장의 공유 가능성을 높이는데 크게 기할 수 있다. 특히 부분적인 광파장 변환 능력을 갖는 절충형 망의 경우 Semi-lightpath를 이용한 복구 경로의 설립은 기존의 최단 경로 설정(Shortest path routing)을 이용한 복구 경로의 설립과 비교하여 예비 광파장의 이용 효율을 높이는데 적합하다.

Semi-lightpath 개념의 복구 경로 설립 기법의 성능 검증을 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 이 실험에서는 토폴로지 그래프 상에서 약 30%의 노드가 광파장 변환 능력을 가진 노드로 지정되었다. 광파장 변환 노드들은 토폴로지 상에서 접속 링크 수(degree)가 높은 순서대로 선택한 후 전체적인 분배를 감안하여 조정하였다. 이후 정상적인 광전송 채널의 중점 노드들과 광파장 능력을 가진 30%의 노드들 사이에 가능한 Sub-lightpath들을 설립하였다. 그리고 설립된 Sub-lightpath들을 이용하여 복구를 위한 Semi-lightpath들이 예비 광파장의 공유 정도를 최대화 하는 목적으로 설립되었다. 이렇게 설립된 복구용 Semi-lightpath들은 예비 광파장의 공유면에서 강점을 가지며, 실험을 통하여 그 성능을 1) 투명한 망에서의 예비 대역폭의 공유를 허용하지 않는 복구 경로의 경우(dedicated restoration)와, 그리고 2) 불투명한 망에서 가능한 모든 예비 광파장의 공유를 허용하는 경우(shared restoration)와 각각 비교하였다. 그 결과는 그림

5와 같이 나타난다. 이 결과에서 보면 Semi-lightpath를 이용한 경우의 예비 광파장 이용 효율은 1) dedicated restoration과 비교해서는 토폴로지에 따라 약 51%에서 94%까지 향상된 성능을 보이고 있으며, 2) shared restoration과 비교해서는 거의 비슷하거나 최대 6% 정도의 성능 향상을 보인다.

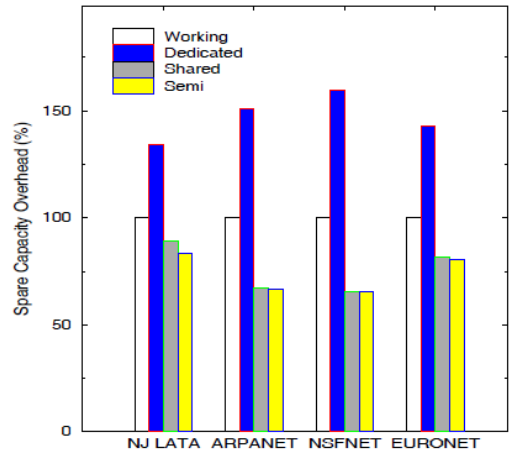


그림 5. 복구 기법에 따른 예비 대역폭 비율의 비교

Fig. 5. Spare capacity ratio of different restoration methods

그림 5에 나타난 예비 대역폭 이용 효율성의 증가는 Sub-lightpath 상의 예비 광파장들이 서로 다른 복구 경로들 사이에 공유되는 정도가 크게 높아짐으로 인하여 얻어진 결과이다. 이 결과는 약 30% 정도의 광파장 변환 능력을 가지는 절충형 광통신망의 구현 상황에서 Semi-lightpath를 이용한 복구 경로의 구성 기법을 통하여 100%의 광파장 변환 능력을 가지는 불투명한 광통신망 구현의 경우와 거의 같거나 오히려 향상된 예비 대역폭 이용 효율을 가진다는 것을 의미한다. 따라서 Semi-lightpath 개념을 이용한 복구 기법은 특히 부분적인 광파장 변환 능력을 가지는 절충형 망의 경우에 성능상의 강점을 가진다고 할 수 있다.

순수하게 광자만으로 전송되는 ‘all-optical’ 형태의 투명한 망에서 광파장 변환 능력을 제공하는 것은 매우 비싼 방법이 될 것이며, 반대로 모든 노드가 광파장 변환을 수행하는 불투명한 망의 구현도 각 노드에서의 O-E-O 변환 비용 및 transponder의 비용을 증가시킬 것이다. 따라서 일부 노드 또는 일부 광파장에 대해서만 OEO 변환 및 광파장 변환을 허용하는 절충형 광통신망의 구현은

당분간 가장 실용적인 해결책이 될 것이며, 이 경우 제안된 바와 같이 Semi-lightpath에 기반한 복구 기법은 자원 이용의 효율성 면에서 적합성을 가지게 될 것이다.

Semi-lightpath를 이용한 복구 경로의 설정은 기존의 최단 경로 설정 알고리즘을 이용한 방법과 비교하여 전체 복구 경로의 길이를 늘어나게 할 가능성이 있다. 단일한 최단 경로의 복구 경로가 두 개 이상의 Sub-lightpath를 결합한 복구 경로보다 짧을 것이라는 것이 당연하다. 그 길이의 차이를 비교하기 위하여 복구 경로의 평균 거리를 구하여 비교하였으며 그림 6에 나타내었다.

그 결과는 최단 경로 알고리즘으로 구한 복구 경로와 비교하여 약 5%~10% 정도의 길이증가로 나타난다. 이러한 결과는 4개의 토폴로지와 상관없이 거의 같은 비율로 나타나며 의미 있을 정도의 큰 차이라고 볼 수 없다. Semi-lightpath의 복구 경로를 구성함으로써 얻어진 예비 광파장 이용의 효율성과 광전송 채널의 속도를 감안하면 이 정도의 경로의 길이에 따른 속도 차이는 무시할 수 있는 수준이라고 하겠다.

표 1. 광파장 변환 기능을 가진 노드의 비율
Table 1. Ratio of wavelength conversion nodes

토폴로지	노드수	링크수	복구서버	비율
Nj LATA	11	23	3	27%
ARPANET	20	32	6	30%
NSFNET	16	25	5	31%
EuroNet	19	37	6	31%

그림 5와 그림 6의 결과는 표1에 나타낸 것과 같은 비율의 광파장 변환 능력을 가지는 복구용 서버의 상태를 가지고 얻어진 것이다. 이 결과를 광인터넷 망에 적용하여 보면, 모든 노드가 광파장 변환 능력을 가지고있는 망에서 예비 광파장의 공유 할당을 수행하는 방법이 광파장 변환 능력이 없는 망에서의 배타적 할당을 수행하는 방법에 비해 뛰어난 자원 이용의 효율성을 보임을 알 수 있다. 또한 준-동적 기법은 표 1과 같이 약 30% 정도의 복구 서버를 이용한 방법으로 공유 자원 할당을 수행하는 방법에 비해서도 뛰어난 자원 이용의 효율성을 보였다. 표 1에서 광파장 변환 능력을 가지는 불투명 노드(OXC)의 위치는 토폴로지 상에서의 연결성을 고려해 노드 차수(degree)가 높은 노드 및 지역적인 대표성을 가지는 노드를 목표한 광파장 변환비율에 근접한 개수만큼 선택하여, 반복적인 시뮬레이션을 통해 가장 효율성이

높은 결과를 보이는 노드 집합을 선정하였다.

이러한 결과를 통해, 전체 노드의 약 30% 정도만이 광파장 변환 능력을 가지고 있는 혼재적인 망에서 광파장 변환 노드들을 복구 서버로 이용하면 제안된 기법은 전체 노드가 모두 광파장 변환을 가지는 망에서의 정적인 기법보다 나은 자원 효율성을 제공할 수 있음을 알 수 있다. 따라서 준-동적인 복구 기법은 투명한 노드와 불투명한 노드가 혼재된 제한적인 광파장 변환 능력을 가진 망 환경에 매우 적합한 복구 구조를 제공할 수 있다.

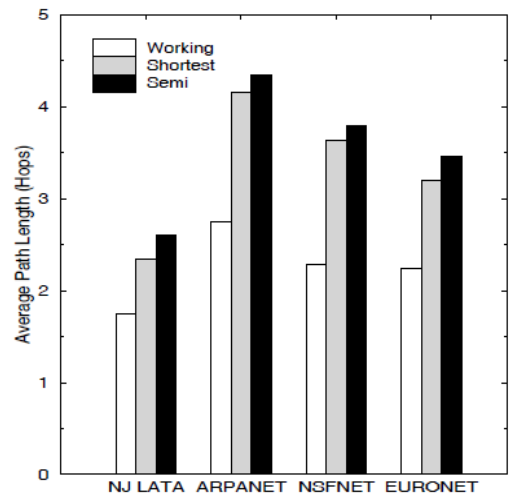


그림 6. Semi-lightpath를 이용한 복구 경로와 최단 경로 설정 알고리즘을 이용한 복구 경로간의 길이 비교
Fig. 6. Comparison of the length of restoration paths: Semi-lightpath vs. shortest path

III. 결론

본 논문에서는 광파장 변환 능력이 통신망 복구 성능에서 예비 광파장 이용 효율에 미치는 영향을 실험을 통하여 분석하였으며, Semi-lightpath 개념을 이용한 복구 경로의 설립 방법을 제시하였다. 일반적인 광파장 채널 설립의 Call Blocking 확률과는 달리 망 복구를 위한 예비 광파장의 이용 효율은 광파장 변환 능력에 비례하며, 이는 기존에 알려진 30%의 광파장 변환 능력만으로 100%의 광파장 변환 능력을 가진 망과 거의 비슷한 성능을 가질 수 있다는 지식과는 크게 다른 것이다.

Semi-lightpath를 이용한 복구 경로의 설립은 예비 광파장의 공유 가능성을 증가시킴으로써 자원 이용의 효율

성을 증가시키며, 특히 부분적인 광파장 변환 능력을 가지는 절충형 광통신망의 구현 상황에 적합한 복구 기법이라고 할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] J. Lacey. Optical Cross-connects and Add-Drop Multiplexers: Technologies and Applications. In Tutorial sessions of OFC, page WT, Feb. 2002

[2] T. E. Stern and K. Bala. Multiwavelength Optical Networks. Addison Wesley, 1999

[3] G. Shen, et al., Operation of WDM Networks with Different Wavelength Conversion Capabilities. IEEE Communications Letters, 4(7):239-241, Jul. 2000

[4] J. Simmons. Analysis of Wavelength Conversion in All-Optical Express Backbone Networks. In Proceedings of OFC, page TuG2, Mar. 2002

[5] I. Chlamgtac, A. Farago, and T. Zhang. Lightpath Routing in Large WDM Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 14(5):909-913, Jun. 1996

[6] M. Bakri, M. Koubaa, A. Bouallegue, An iterative Partial Path Protection-based approach for routing static D-connections in WDM transparent networks with SRLG constraints, Proceedings of ICOIN2012, Feb. 2012

[7] A. Frikha, S. Lahoud, B. Cousin, Candidate Cycle-based Heuristic Algorithm for Node and Link Protection of Dynamic Multicast Traffic in Optical DWDM Networks, Proceedings of ICOIN2012, Feb. 2012

저자 소개

황 호 영(정회원)



- 1993 서울대학교 컴퓨터공학 학사
- 1995 서울대학교 컴퓨터공학 석사
- 2003 서울대학교 전기컴퓨터공학 박사
- 2003 ~ 2007 안양대학교 디지털미디어학부 조교수
- 2007 ~ 현재 한성대학교 멀티미디어

공학과 부교수

<주관심분야 : 정보통신, 유무선 네트워크, 센서네트워크, 멀티미디어>

※ 본 연구는 한성대학교 교내연구비 지원으로 수행되었음.