

# WDM 광 통신망에서 망의 효율적인 알고리즘 설계방법에 관한 연구

진진우, 석정봉

연세대학교 문리대학 전산학과

전화 : 033-760-2293 / 핸드폰 : 011-374-1646

## A Study on Effective Algorithm Design Methods for WDM Optical Network

Jin-Woo Chun\*, Jung-Bong Suk\*

\*Dept of Computer Science, Yonsei University

e-mail : indra@magics.yonsei.ac.kr

### Abstract

WDM is a very promising technique for the realization of future All-Optical networks. WDM gives an advantage of high rate transmission without delay for Electronic/Optical conversion. But the available number of wavelengths is limited by technical restriction. so the efficient optical path routing and wavelength assignment is needed. this paper is concerned with the efficient design of WDM optical transport networks. RWA assumes that the connection demands between node pairs are given. the objective of RWA is to minimize the number of wavelengths. these design consider the static routing and wavelength assignment in the network of arbitrary topology. To solve these problems, this paper proposes some heuristic algorithms.

### 1. 서론

WDM(Wavelength Division Multiplexing)방식[1]은 수십 Tbps 의 전송속도를 갖는 광섬유의 넓은 광스펙트럼을 수Gbps의 전송속도를 갖는 좁은 광스펙트럼으로 분할하고 각 스펙트럼의 중심 파장에 채널을 배당함으로써 현재의 전자매체가 갖는 처리속도의 한계를 극복하고 광섬유의 광대한 대역폭 사용효율을 높일 수 있는 방식이다.

WDM은 여러개의 서로 다른파장이 한 개의 광링크를 공유하여 전송되는 것이 가능함으로써 이루어지며 서로다른 파장을 통해 하나의 광링크에서 많은채널들을 사용함으로써 광대역을 이용할수 있다. 이렇듯 파장분할 다중화는 광섬유의 전송용량을 향상시키는데 크게 기여하고 있으며 파장에 따른 경로제어가 가능하기 때문에 통신망의 유연성 및 신뢰성을 향상시킬수 있을것으로 기대된다. 따라서 WDM 전송망은 다음세대 장거리 통신망의 대안으로 간주되고 있다. WDM 광전달망에서는 연결수요가 존재하는 노드쌍간에 연결경로를 설정하고 이들 광경로에서 하나의 파장을 이용하여 자료를 전송한다. 이때 하나의 링크를 통과하는 서로다른 광경로에 동일한 파장이 중복 할당되면 상호간섭이 발생되어 자료가 손실된다. 따라서 동일링크를 점유하는 광경로들은 각기 다른파장을 이용하여 자료를 전송해야 한다. 그러나 WDM 전송기술을 적용할수 있는 파장대역폭은 기술적으로 한정되어 있고 사용파장들간에는 적당한 간격을 유지해 주어야 하기 때문에 사용가능한 파장수를 제한한다. 따라서 사용가능 파장수의 제약하에서 모든 연결수요를 만족시켜주기 위해서는 효율적으로 광경로를 설정하고 파장을 할당해 주어야 한다.[2][3]

### 2. 본론

#### 2-1. 광경로 설정 및 파장할당

광경로는 두 노드간을 연결하는 하나의 경로와 그 경로에 할당된 하나의 파장으로 이루어진다. 파장변환이 허용되지 않는 경우 하나의 경로에는 반드시 한 개의 파장만이 할당됨으로써 경로에 속한 모든 링크들은 동일한 파장을 할당받게된다. 이것을 파장 연속성의 제약(Wavelength Continuity Constraint)이라 한다. 만약 두 개의 광경로가 하나의 링크를 공유한다면 이 두 광경로는 동일한 파장을 할당받을수 없다. 만약 한링크에 대해 같은파장이 중복되어 할당되면 파장충돌(Wavelength Conflict)이 발생했다고 한다. 이와같은 파장연속성의 제약 및 파장충돌현상 때문에 WDM 광전달망 설계시 효율적인 경로설정 및 파장할당이 필요하다.[6]

경로설정 및 파장할당에는 정적(Static)인 방법과 동적(Dynamic)인 방법 두가지가 있다. 정적인 경로설정 및 파장할당이란 일정 기간동안의 단대단 요구연결수에 대해 회선교환에 의해 연결되는 광경로에 파장을 할당하는 것을 뜻한다. WDM 광전달망을 위한 정적인 경로설정 및 파장할당문제는 NP-Complete 이며 효율적인 방법들이 많이 제안되었다. 정적인 경로설정 및 파장할당을 평가하는 척도로는 주어진 연결수요를 만족시키기 위한 최소 파장수 및 최소 망 용량,또는 사용파장수 및 망용량이 주어질 때 최대가능 연결수 등이 있다. 동적인 경로설정 및 파장할당은 호별로 단대단을 연결하는 경로를 설정하고 파장을 할당한다. 호가 폐지될 때 까지만 연결을 유지하면 된다. 호의 설립을 요구할 때 이미 연결되어 있는 광경로를 유지시켜야 한다. 동적인 경로설정 및 파장할당을 평가하는 가장 일반적인 방법은 호거절확률(Call blocking probability)이다.[7]

본 논문은 정적인 경로설정 및 파장할당문제에 해당한다. 본논문에서 제시하는 WDM 광전달망에서의 경로설정 및 파장할당과정의 흐름을 도식적으로 표현하면 그림1과 같이 나타낼수 있다.

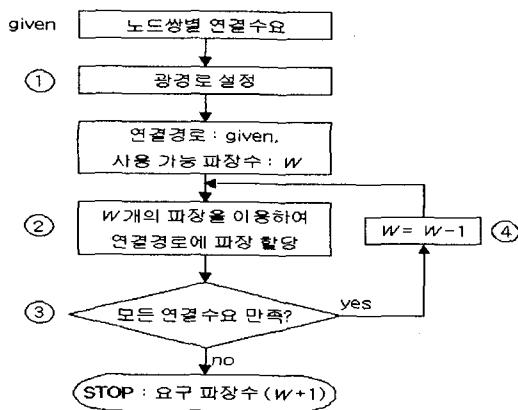


그림 1

[그림1] WDM 광전달망에서 경로설정 및 파장할당 흐름도

먼저 노드쌍별 연결수요가 주어진 가운데 경로가 설정된다. 경로는 추후 파장할당시 사용파장수를 최소화 할수 있도록 효율적으로 설정된다. 경로가 설정되면 모든연결 경로에 파장할당이 가능할만큼 충분히 크게주어진 W개의 사용가능 파장을 이용하여 파장을 할당한다. 모든 연결수요가 만족되면 사용가능 파장수 W를 1만큼 감소시킨후 파장할당을 반복한다. 더 이상 모든 연결수요를 만족시켜 줄수 없을때까지 이 과정을 반복하여 최소요구 파장수를 구한다.

최소파장 할당 알고리즘은 그림1의 ②,③,④를 만족시켜주는 휴리스틱 알고리즘이다. 알고리즘은 광경로 설정 알고리즘에 의해 주어진 광경로에 가능한 최소의 파장을 이용하여 파장 충돌없이 파장을 할당해 준다. 알고리즘은 크게 두단계로 나눌수 있다.

첫 번째 단계는 초기파장 할당 단계로서 모든 광경로에 차례로 파장을 할당해 준다. 두 번째 단계는 파장 최소화 과정으로 최대번호 파장이 할당된 광경로에 낮은번호의 파장을 재할당하고 이로인해 발생할수 있는 파장충돌을 해소하기 위해 광경로에 할당된 파장을 순차적으로 변경해 준다. 광경로 설정 알고리즘에 의해 결정된 최대링크 부하  $L_{max}$  가 사용파장수의 하한값에 해당하여 알고리즘의 목표는 사용파장수를  $L_{max}$  까지 줄여주는 것이다. 알고리즘 서술의 복잡성을 피하기 위해 모든 링크의 광섬유수는 1인 것으로 가정한다. 최소파장 알고리즘은 다음과 같다.

## 2-2. 최소파장 할당 알고리즘

### 최소파장 할당 알고리즘의 흐름

[Step-1] 내림차순 정렬 : 광경로를 흡수가 큰순으로 링크는 부하가 큰순으로 정렬한다.

[Step-2]초기 파장할당 과정 : 첫 번째 광경로부터 가능한 작은번호의 파장을 이용하여 모든 광경로에 파장을 할당한다.

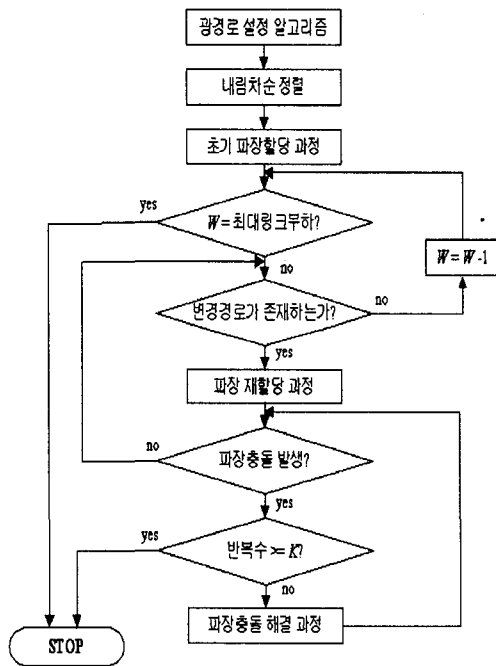
[Step-3]멈춤조건 1 : W를 할당된 최대 파장번호라고 할 때 W와 최대링크 부하가 같으면 알고리즘을 종료한다. 그렇지 않으면 파장재할당 과정으로 간다.

[Step-4]파장 재할당 과정 : 파장번호 W가 할당된 경로를 선택한다. 이를 변경경로라 하고, 변경경로중 최대부하 링크를 선택하여 그 링크에서 아직 사용하지 않은 W보다 작은 과정을 선택한다. 이 파장을

변경파장이라 한다. 이때 W는 최대링크보다 크기 때문에 변경파장은 반드시 한 개이상 존재한다. 변경 경로의 파장을 변경파장으로 바꿔준 뒤 파장 충돌 검색과정으로 간다. 변경경로가 존재하지 않으면 W를 1만큼 감소시킨후 멈춤 조건 1로 간다.

[Step-5]파장 충돌 검색과정 : 파장 변경에 의해 링크에서

파장충돌이 발생할수 있다 이때 파장 충돌이 발생한 링크 가운데 부하가 가장 큰 링크를 선택한다. 이를 충돌 링크라한다. 충돌 링크에서 변경경로외에 이미 변경파장이 할당되어 있던 충돌경로를 파장 충돌 해결 과정으로 간다. 충돌 링크가 존재하지 않으면 파장 재할당 과정으로 간다. [Step-6]파장 충돌 해결과정 : 충돌 링크에서 아직 사용하지 않은 W보다 작은 파장을 선택하여 충돌경로의 파장으로 대체한 뒤, 파장 충돌 검색과정으로 간다. [Step-7]멈춤조건 2 : 알고리즘이 미리 설정된 일정 반복수 K번 만큼 수행되어도 사용파장수가 최대 링크부하까지 줄어들지 않으면 알고리즘을 종료한다.



[그림2] 최소파장 할당 알고리즘 순서도

### 2-3 .알고리즘 적용예

최소파장 할당 알고리즘을  $3 \times n$ 개의 노드와  $2+5 \times (n-1)$ 개의 링크를 갖는  $3 \times N$  격자망에 대해서 적용해 보았다. 각 링크의 광섬유 수는 모두 1개이고 파장변환은 허용되지 않는다. 두 개이상의 링크를 거치는 모든 노드 쌍에 대해 연결수요가 1인 문제를 가정한다. 본 논문에서 제시한 알고리즘으로 얻은 모든 연결수요 충족을 위한 최소 파장 수 값이 이론적 하한 값에 대해 근사 해를 제공하는 지에 초점을 맞추었다.

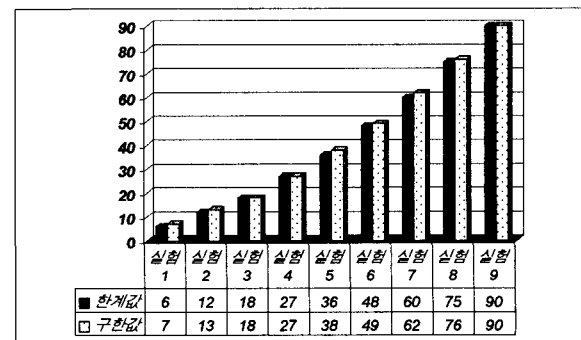
구분	네트워크	연결요구노드쌍수	연결수요 범위	정수형 결정변수의 수
실험1	3×3	36	1	864
실험2	3×4	66	1	2244
실험3	3×5	105	1	4620
실험4	3×6	153	1	8262
실험5	3×7	210	1	13440
실험6	3×8	276	1	20424
실험7	3×9	351	1	29484
실험8	3×10	435	1	40890
실험9	3×11	528	1	54912

[표1]  $3 \times N$  격자형망에서의 제안알고리즘 최소파장수와 LP 모형 최소파장하한값 위한 실험 정수형 결정변수의 수 =  $2 \times$  링크수  $\times$  연결요구 노드쌍의 수

구분	LP모형으로 구한 하한 최소파장수의 한계값	발견적 알고리즘의 최소파장수	재경로 과정 수행횟수
실험1	6	7	24
실험2	12	13	34
실험3	18	18	42
실험4	27	27	7
실험5	36	38	1
실험6	48	49	6
실험7	60	62	1
실험8	75	76	4
실험9	90	90	4

[표2] 표1의 시뮬레이션결과

실험 결과는 표2에 나타나 있다. 모든 실험에서 발견적 알고리즘이 제공한 최소파장의 수가 LP 모형으로 얻은 최소 파장수의 하한값과 같은 것을 알수있다.

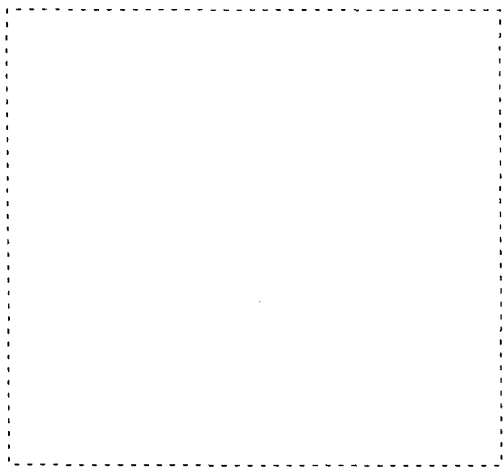


[그림3] 제안알고리즘 최소파장수와 LP 모형 최소 파장 하한값 비교

2-4. 파장변환기 설치알고리즘

WP scheme에서 모든 연결 구조를 만족시키기 위해 요구되는 사용파장수가 최대링크 부하보다 크다면 파장변환기를 설치해 줌으로서 사용 파장 수를 최대 링크부하까지 줄여줄수 있다. 파장변환기 설치알고리즘은 PWP scheme 하에서 사용 파장 수를 가능한 최소화하기 위해 일부노드에 공유제한 변환기를 설치해 준다. VWP scheme 에서는 최소 요구 파장 수는 최대링크 부하와 동일하므로 파장변환기 알고리즘의 목표는 일부노드에만 공유변환기를 설치함으로써 사용 파장 수를 최대 링크 부하까지 낮추어 주는 것이다. 알고리즘은 파장변환기가 설치됨에 따라 파장재사용 효과가 증대될 가능성이 큰 노드를 하나씩 선택하여 차례로 공유제한 변환기를 설치한다. 이때 공유제한변환 채널 수는 사전에 주어진다. 하나의 공유제한 변환기가 설치될 때마다 최소파장 알고리즘이 재 적용되며 사용파장수가 최대 링크 부하와 동일하게 될 때까지 반복된다. 파장변환기 알고리즘은 광 경로 설정 알고리즘과 최소파장 배정 알고리즘을 서브알고리즘으로 이용한다. 따라서 입력사항은 최소파장 배정 알고리즘과 동일하다. 단, 파장변환기 설치알고리즘은 최소파장 배정 알고리즘의 출력사항인 파장변환기 설치 노드 결정을 위한 정보를 추가의 입력사항으로 이용한다. 파장변환기 설치 알고리즘은 Path Window 라는 자료구조를 이용한다. Path Window 는 최소파장 할당 알고리즘을 수행하는 동안 파장변경을 수행한 경로를 최근에 고려한 것부터 차례로 유지하며, 크기는 그 시점의 사용 파장 수 W이다. 알고리즘의 주요단계는 다음과 같다.

- 경유노드 검색과정 : 각 노드별로 Path window 내의 광 경로들이 경유한 회수를 계산한다.(경로의 시작 및 끝 노드는 제외한다.)
- 파장변환기 설치과정 : 경유노드 검색과정에서 가장 많은 광 경로가 경유한 노드를 찾아 파장변환기를 설치한다.



[그림4] 파장변환기 설치알고리즘의 흐름도

3. 결론

현재 광전달망의 효율적인 전송에 대해 많은 연구가 이루어지고 있다. 이중에 최소의 파장 수를 이용하여 광경로를 구성하는 방법에 대한 연구가 많이 이루어지고 있다. 하지만, 이러한 RWA문제는 NP-Complete 한 문제로 알려져 있기 때문에 효율적인 발견적 해결방법을 찾으려는 연구가 진행되고 있다. 따라서 최소파장수의 하한 한계 값을 경로흐름 모형에 의해 구한 값을 본 논문에서 제시한 발견적 알고리즘과 비교하여 분석하였다. 제안된 방법에 의해 구해진 파장 수와 비교하여 볼 때 하한 한계 값과 근사한 값을 나타내어 주었다. WDM 광전달망의 설계에는 광경로 설정 및 최소파장 배정, 파장변환기 설치 노드 결정, 링크별 광섬유 결정 등이 포함된다. 따라서 최소파장 할당 알고리즘과 함께 효율적인 광섬유 수를 결정하는 알고리즘에 대해 추후 연구방향을 설정해야 좀더 효율적인 알고리즘으로 이용할 수 있다 하겠다.

참고문헌

- [1] L. G. Kazovsky, "WDM Local Area Networks", IEEE LTS, pp.8-15, May 1992
- [2] John M. Senior, Michael R. Handley, and Mark S. Leeson, "Development in Wavelength Division Multiple Access Networking", IEEE Communication Magazine Dec 1998, pp.29-36
- [3] Nicholas F. Maxemchuk, "Routing in the Manhattan Street Network", IEEE Trans. Comm., vol.COM-35, pp.503-512, 1987
- [5] 신현준, 김종석, 전진우, 석정봉, "Deflection 방식의 WDM MSN에서 광 버퍼를 이용한 실시간 패킷의 손실을 개선 방안 연구", 98 추계 통신학회, pp999-1002, 1998
- [6] Derek Nasset, Tony Kelly, and Dominique Marcenac, "All-Optical Filters for Dense WDM Networks", IEEE Communications Magazine Dec 1998, pp.56-61
- [7] David Cotter, Julian K. Lucek, and Dominique D. Marcenac, BT Laboratories, "Ultra-High-Bit-Rate Networking: From the Trans-continental Backbone to the Desktop", IEEE Communications Magazine April 1997, pp.90-95
- [8] Biswanath Mukerjee, "Optical Communication Networks", McGraw-Hill, 1997
- [9] P. E. Green, "Fiber Optic Networks", Prentice Hall, 1993
- [10] www.etri.re.kr, 한국전자통신연구소