

WDM 광 통신망에서 효율적인 알고리즘 설계방법에 관한 연구

전진우, 석정봉
연세대학교 문리대학 전산학과

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

A Study on Effective Algorithm Design Methods for WDM Optical Network

Jin-Woo Chun, Jung-Bong Suk
Dept of Computer Science, Yonsei University

요약

본 논문은 WDM 광 통신망에서 망의 효율적인 설계에 필요한 알고리즘에 관한 것이다. WDM 광 통신망은 경로설정 및 과장할당이 중요한 변수로 s-d 노드 쌍간에 필요한 연결수요가 주어질 때 이 연결수요를 만족시켜주는 광 경로를 설정하고, 과장을 할당해 줌으로써 사용 과장수를 최소화하면서 과장을 재사용 할 수 있는 효율을 최대로 하는 것이 목적이다. WDM 방식을 이용하여 전기적 변환에 따른 지연 없이 전광통신망에서 여러 개의 과장을 다중화하여 동시에 자료를 전송함으로써 수 Gbps, 혹은 그이상의 전송이 가능해질 것으로 기대되어 진다. 이들 설계 문제들은 일반적인 토폴로지 망에서 정적인 경로 설정 및 과장할당을 대상으로 하여 발견적인 알고리즘을 연구자 하였다. 또한 이를 통해 LP모형으로 얻은 하한 한계 값과 휴리스틱 알고리즘의 최소과장수와 동일한 값이 나올 수 있는 알고리즘을 구하였다.

1. 서론

WDM (Wavelength Division Multiplexing) 방식 [1]은 수십 Tbps의 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 대역폭을 사용해서 효율을 높일 수 있는 방식이다. WDM은 여러 개의 서로 다른 파장이 한 개의 광링크를 공유하여 전송되는 것은 가능하게 함으로써 이루어지며 서로 다른 파장을 통해 하나의 광링크에서 많은 채널들을 사용함으로써 광대역을 이용할 수 있다. 이렇듯 파장분할 다중화는 광섬유의 전송용량을 향상시키는데 크게 기여하고 있으며 파장에 따른 경로제어가 가능하기 때문에 통신망의 유연성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 WDM 전송망은

차세대 장거리 통신망의 대안으로 간주되고 있다. WDM 광전달망에서는 연결수요가 존재하는 노드 쌍간에 연결경로를 설정하고 이들 광경로에서 하나의 파장을 이용하여 자료를 전송한다. 이때 하나의 링크를 통과하는 서로 다른 광경로에 동일한 파장이 중복 할당되면 상호간섭이 발생되어 자료가 손실된다. 따라서 동일링크를 경유하는 광경로들은 각기 다른 파장을 이용하여 자료를 전송해야 한다. 그러나 WDM 전송기술을 적용할 수 있는 파장대역폭은 기술적으로 한정되어 있고 사용과장들간에는 적당한 간격을 유지해 주어야 하기 때문에 사용가능한 파장수는 제한된다. 따라서 사용가능 파장수의 제약 하에서 모든 연결수요를 만족시켜주기 위해서는 효율적으로 광경로를 설정하고 과장을 할당해 주어야 한다.

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 할당받을 수 없다. 만약 한 링크에 대해 같은 파장이 중복되어 할당되면 파장충돌 (Wavelength Conflict)이 발생했다고 한다. 이와 같은 파장연속성의 제약 및 파장충돌현상 때문에 WDM 광전달망 설계시 효율적인 경로설정 및 파장할당이 필요하다. 경로설정 및 파장할당에는 정적(Static)인 방법과 동적(Dynamic)인 방법 두 가지가 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-Complete이며 효율적인 방법들이 많이 제안되었다.[2][3][9] 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.[10] 동적인 경로설정 및 파장할당은 호별로 단대단을 연결하는 경로를 설정하고 파장을 할당하며, 호가 폐지될 때까지 연결을 유지하면 된다. 그리고, 호의 설립을 요구할 때 이미 연결되어 있는 광경로를 유지시켜야 한다. 동적인 경로설정 및 파장할당을 평가하는 가장 일반적인 방법은 호거절 확률(Call blocking probability)이다.[7]

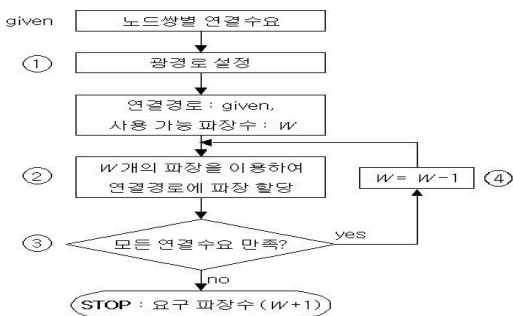


그림 1

[그림1] WDM 광전달망에서 경로설정 및 파장할당 흐름도
본 논문은 정적인 경로설정 및 파장할당문제에 해당

한다. 본 논문에서 제시하는 WDM 광전달망에서의 경로설정 및 파장할당과정의 흐름을 도식적으로 표현하면 [그림1]과 같이 나타낼 수 있다.

먼저 노드 쌍별 연결수요가 주어진 가운데 경로가 설정된다. 경로는 추후 파장할당시 사용파장수를 최소화 할 수 있도록 효율적으로 설정된다. 경로가 설정되면 모든 연결 경로에 파장할당이 가능하도록 충분히 크게 주어진 W개의 사용가능 파장을 이용하여 파장을 할당한다. 모든 연결수요가 만족되면 사용가능 파장수 W를 1만큼 감소시킨 후 파장할당을 반복한다. 더 이상 모든 연결수요를 만족시켜줄수 없을 때까지 이 과정을 반복하여 최소요구 파장수를 구한다.

최소파장 할당 알고리즘은 [그림1]의 ②,③,④를 만족시켜주는 휴리스틱 알고리즘이다. 알고리즘은 광경로 설정 알고리즘에 의해 주어진 광경로에 가능한 최소의 파장을 이용하여 파장 충돌 없이 파장을 할당해 준다. 알고리즘은 크게 두단계로 나눌 수 있다.

첫 번째 단계는 초기파장 할당 단계로서 모든 광경로에 차례로 파장을 할당해 준다. 두 번째 단계는 파장 최소화 과정으로 최대번호 파장이 할당된 광경로에 낮은 번호의 파장을 재 할당하고 이로 인해 발생할 수 있는 파장충돌을 해소하기 위해 광경로에 할당된 파장을 순차적으로 변경해 준다. 광경로 설정 알고리즘에 의해 결정된 최대링크 부하 L_{max} 가 사용파장수의 하한값에 해당하도록 알고리즘의 목표는 사용파장수를 L_{max} 까지 줄여주는 것이다. 알고리즘 서술의 복잡성을 피하기 위해 모든 링크의 광섬유 수는 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 작은 번호의 파장을 이용하여 모든 광경로에 파장을 할당한다.

[Step-3] 멈춤 조건 1 : W를 할당된 최대 파장번호라고 할 때 W와 최대링크 부하가 같으면 알고리즘을 종료한다.

그렇지 않으면 파장재할당 과정으로 간다.

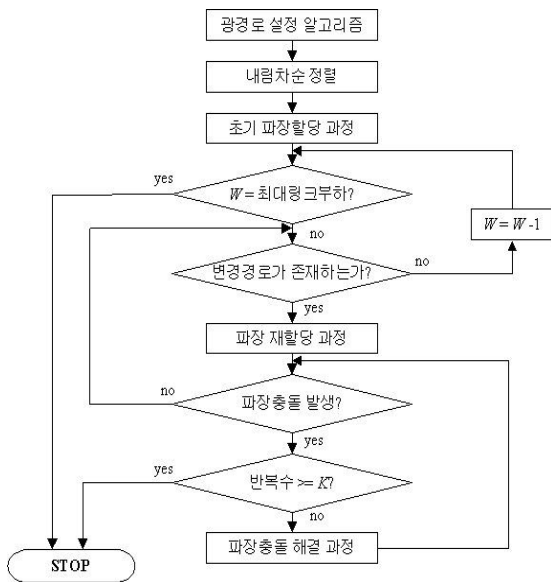
[Step-4] 파장 재할당 과정 : 파장번호 W가 할당된

경로를 선택한다. 이를 변경경로라 하고, 변경경로 중 최대부하 링크를 선택하여 그 링크에서 아직 사용하지 않은 W보다 작은 과정을 선택한다. 이 과정을 변환과정이라 한다. 이때 W는 최대링크보다 크기 때문에 변환과정은 반드시 한 개 이상 존재한다. 변경 경로의 과정을 변환과정으로 바꿔준 뒤 파장 충돌 검색과정으로 간다. 변경경로가 존재하지 않으면 W를 1만큼 감소시킨 후 멈춤 조건 1로 간다.

[Step-5] 파장 충돌 검색과정 : 파장 변경에 의해 링크에서 파장충돌이 발생할 수 있다 이때 파장 충돌이 발생한 링크가운데 부하가 가장 큰 링크를 선택한다. 이를 충돌 링크라 한다. 충돌 링크에서 변경 경로 외에 이미 변경과정이 할당되어 있던 충돌 경로를 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 과정을 선택하여 충돌경로의 과정으로 대체한 뒤, 파장 충돌 검색과정으로 간다.

[Step-7] 멈춤 조건 2 : 알고리즘이 미리 설정된 일정 반복수 K번만큼 수행되어도 사용파장수가 최대 링크부하까지 줄어들지 않으면 알고리즘을 종료한다.



[그림2] 최소파장 할당 알고리즘 순서도

5. 알고리즘 적용예

최소파장 할당 알고리즘을 3×n개의 노드와 2+5×(n-1)개의 링크를 갖는 3×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 최소파장 수 값이 이론적 하한 값에 대해 근사 해를 제공하는지에 초점을 맞추었다.

구분	네트워크	연결요구노드쌍수	연결수요범위	정수형 결정변수의 수
시물레이션1	3×3	24	1	864
시물레이션2	3×4	66	1	2244
시물레이션3	3×5	105	1	4620
시물레이션4	3×6	153	1	8262
시물레이션5	3×7	210	1	13440
시물레이션6	3×8	276	1	20424
시물레이션7	3×9	351	1	29484
시물레이션8	3×10	435	1	40890
시물레이션9	3×11	528	1	54912

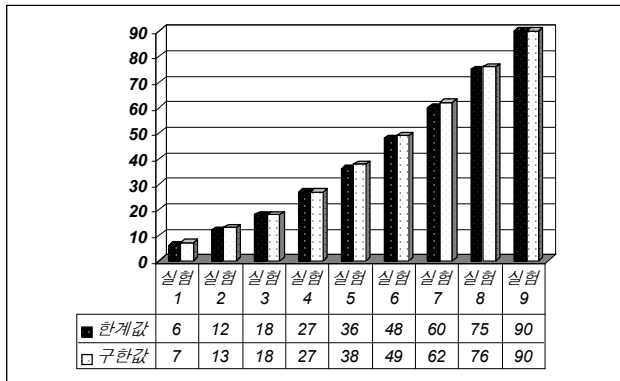
[표1] 3×N 격자형 망에서의 제안알고리즘 최소파장수와 LP (Linear Programming) 모형 최소파장 하한값 비교를 위한 시물레이션 정수형 결정변수의 수 = 2×링크수×연결요구 노드쌍의 수

구분	LP모형으로 구한 하한 최소파장수의 한계값	발견적 알고리즘의 최소파장수	재경로 과정 수행횟수
시물레이션1	6	7	24
시물레이션2	12	13	34
시물레이션3	18	18	42
시물레이션4	27	27	52
시물레이션5	36	38	7
시물레이션6	48	49	36
시물레이션7	60	62	67
시물레이션8	75	76	4
시물레이션9	90	90	4

[표2] 표1의 시물레이션결과

시물레이션 결과는 표2에 나타나 있다. 모든 시물레이션에서 휴리스틱 알고리즘이 제공한 최소파장수가 LP 모형으로 얻은 최소파장수의 하한 값과 같은 것을 알 수 있다. 최적화 모형에 대한 최적해는

상용프로그램인 Labview/OSL를(모델링프로그램) 이용하였다.



[그림3] 제안알고리즘 최소과장수와 LP 모형 최소과장 하한값 비교

6 결론

현재 광전달망의 효율적인 전송에 대해 많은 연구가 이루어지고 있다. 이중에 최소의 과장 수를 이용하여 광경로를 구성하는 방법에 대한 연구가 많이 이루어지고있다. 하지만, 이러한 RWA(Routing Wavelength Assignment)문제는 NP-Complete 한 문제로 알려져 있기 때문에 효율적인 발견적 해결방법을 찾으려는 연구가 진행되고 있다. 따라서 최소과장수의 하한 한계 값을 경로흐름 모형에 의해 구한 값을 본 논문에서 제시한 발견적 알고리즘과 비교하여 분석하였다. 제안된 방법에 의해 구해진 과장 수와 비교하여 볼 때 하한 한계 값과 동일한 값을 나타내어 주었다. 또한, 본 논문에서 제안한 최소과장 할당 알고리즘을 좀더 효율적으로 이용하기 위해서는 효율적인 광섬유 수를 결정하는 알고리즘에 대한 연구방향이 필요하다. 앞으로의 연구계획은 광섬유를 결정하는 알고리즘을 추가함으로써 보다 효율적인 망설계 알고리즘을 발견하는 것이라 하겠다.

참고문헌

[1] L. G. Kazovsky, "WDM Local Area Networks", IEEE LTS, pp.8-15, May 1992
 [2] A.Briman & A.Kershenbaum, "Routing and wavelength assignment methods in single hop all-optical networks with blocking", IEEE INFOCOM '95
 [3] R.Ramaswami & K.N Sivarajan, "Design of logical topologies for wavelength-routed all-optical networks" IEEE INFOCOM'97

[4] Zhang Z, Acampora A, "Heuristic Wavelength Assignment Algorithm for multihop WDM with Wavelength Routing and Wavelength Reuse", IEEE INFOCOM '94
 [5] Derek Nasset, Tony Kelly, and Dominique Marcenac, "All-Optical Filters for Dense WDM Networks", IEEE Communications Magazine Dec 1998, pp.56-61
 [6] 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
 [7] Biswanath Mukerjee, "Optical Communication Networks", McGraw-Hill, 1997
 [8] P. E. Green, "Fiber Optic Networks", Prentice Hall, 1993
 [9] M.Listanti, M.Berlusconi and R.Sabella, "Optical Path strategies in WDM all-optical networks :Minimization of wavelength converters in optical cross connects", IEEE INFOCOM '97 pp 583-587 1997
 [10] N.Wauters and P.Demeester, "Design of the optical path layer in multiwavelength cross connected networks", IEEE Journal on selected Areas in Communications Vol 14, No.5.1996
 [11] I.Chlamtac, A.Ganz and Karmi, "Lightpath communications : An approach to high-bandwidth optical WANs", IEEE Transactions on Communication, Vol.40, No.7, pp 1171-1182 1992