

WDM망에서 파장변환기의 위치설정에 관한 연구

송재연, 김장복
홍익대학교 전자공학과
gginnie@orgio.net

A Study on Placement of Wavelength Converter over WDM networks

Jae-Youn Song, Chang-Bock Kim
Dept. of EE, Hong-Ik University
gginnie@orgio.net

I. 서론

차세대 전송망의 기술로 연구되고 있는 WDM (Wavelength Division Multiplexing)을 다중흡으로 구성하는 경우 사용되는 파장변환기의 사용에 대한 연구는 아직도 많은 분야가 논제로 남아 있다. 파장변환기 사용으로 인한 장점을 보면 먼저, 파장자원이 제한되어 있는 환경에서 단일흡으로 망을 구성하는 것은 매우 복잡한 일이므로 파장변환기를 사용하면 "파장연속성제한(wavelength continuity constraint)"이 없어져 보다 융통성있게 망을 구성할 수 있다는 장점을 지닌다. 또한 파장변환기를 사용함으로써 링크, 노드 고장의 복구효과를 낼 수 있다. 또한 블록킹(blocking)을 방지하는 것은 많은 연구에서 증명된 사실이다. 또한 WDM 망에 대한 연구가 진행되면서 새롭게 파장변환기의 필요성들이 대두되었다. 아직 진행중인 WDM 표준안에 따라 독자적으로 상용화가 이루어지고 있으며 서로 다른 망에서 동작하는 신호들은 다른 사업자, 다른 파장 영역, 다른 표준으로 동작할 수 있으므로 이를 연결하는 데에도 파장변환기가 사용된다.

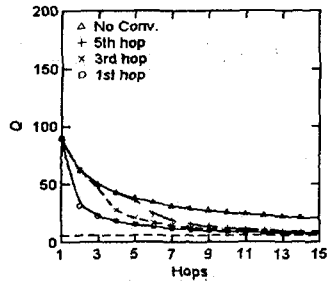
파장변환기 설치에 대한 기존의 연구들은 다음과 같다. 이 문제는 [1]에서 처음 고려되었는데 동적 프로그래밍(dynamic programming)에 의한 최적해로 최적위치해가 랜덤위치와 비교하여 필적할만한 블록킹 확률의 이득을 얻었으나 계산량이 매우 많다는 단점이 있다. Venugopal은 [4]에서 경험적인(heuristic) 방법으로 파장변환기 배치가 제안되어 최대 혼잡을 갖는 출력링크가 포함된 노드에 파장변환기를 설치했는데, 망의 정보에 대해 선행적으로 알아야할 정보가 많다는 점이 한계로 지적된다. Ling Li[6]에서는 전체 블록킹 확률에서

의 최적위치는 동일한 블록킹 확률을 갖도록 경로를 분할한 경계점이라는 것을 증명되었으나, 경로가 분할될 때 항상 동일한 확률을 갖도록 나뉘는 것이 아니라는 것을 간과하였다. [3]에서는 ADD 알고리즘으로 하나의 파장변환기를 침가할 때마다 남아 있는 모든 노드들에 파장변환기를 하나씩 설치하여 블록킹 확률을 계산한 후 최소의 값을 갖는 노드를 선택하는 반복기법을 사용하였다. 따라서 계산량이 많고, 또한 각 단계에서 최선을 택하는 greedy 알고리즘을 기반으로 하고 있어 하나의 경로에 다수 개의 파장변환기를 설치하는 경우 최적해를 찾을 수 없는 경우가 발생한다.

II. 파장변환기 위치설정 알고리즘

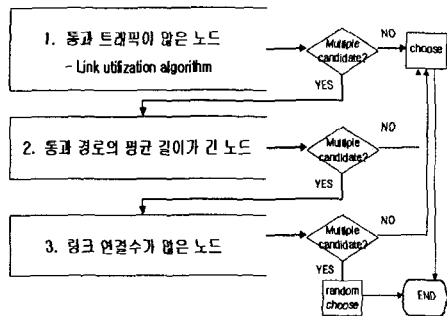
먼저 [6]의 결과를 이용하여 파장변환기 설치가 망에 미치는 영향을 알아보기 위해 BER 식을 신호품질 파라미터인 Q factor의 정의대로 바꾸어 정리하면 식 (1)과 같다. 이 식으로 계산한 결과, BER = 10^{-9} 이면 Q = 6 (15.6 dB) 정도의 값을 가진다. [그림 1]은 Q와 변환기 위치와의 관계를 경로의 흡수에 따라 실험한 결과이다. 그림을 보면 파장변환기가 설치된 노드에서 Q값이 현저히 낮아진 것을 볼 수 있다. 이는 파장변환기의 망에서의 위치의 중요성을 입증하는 것이라고 할 수 있다.

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\left(\frac{Q}{\sqrt{2}}\right) \approx \frac{\exp\left(-\frac{Q^2}{2}\right)}{Q\sqrt{2\pi}} \quad (1)$$



[그림 1] Q와 변환기위치와의 관계

파장변환기 위치설정을 위한 기존의 경험적(heuristic) 방법들은 각 기준들의 적용 순위가 불분명하거나, 노드에서 파장변환이 발생하는 빈도 수와 같은 비현실적인 것도 포함되어 있는 등 망을 처음 설계하는 경우 쉽게 알 수 없는 정보들을 요구하여[4] 일반적인 규칙을 세울 수 없었다. 따라서 본 논문에서는 망의 구조 정보도 이용한 보다 일반화된 경험적 방법을 제안하고자 한다. 본 논문의 목적은 계산의 복잡도 감소와 보다 실제적인 경험적 방법을 구현하는 것이다. NP-hard의 계산량을 가지는 파장변환기 설치문제를 네트워크의 토폴로지 정보와 트래픽 정보를 이용한 경험적인 방법을 사용하여 근사최적해(near-optimal) 결과를 도출할 수 있기 때문이다. 기존의 대부분의 연구에서는 계산의 편의를 위해 할당된 파장의 수가 동일한 균일 링크의 망을 가정하였으나 망이 성장함에 따라 모든 링크의 파장도 동시에 증가된다는 가정이 비현실적이므로 비균일 링크에 대한 모델링도 필요하다.



[그림 2] 위치설정 알고리즘의 흐름도

지금까지 연구되어진 파장변환기 설치에 관한 토폴로지와의 연관성들은 다음과 같다. 많은 트래픽이 통과하는 노드일수록 파장자원이 부족하여 블로킹 될 가능성이 높다. 많은 연구결과 파장변환기 설치에 가장 주요한 요소로 증명되었다. 또한 경로의 길이가 길수록 파장변환

기의 효과가 높으며 노드의 링크 연결수가 클수록 많은 트래픽이 통과할 노드가 될 가능성이 높다.

다음은 위의 근거들을 우선 순위로 나누어 적용한 제안 알고리즘으로, 경험적 방법으로 얻어진 파장 변환기 위치설정에 대한 기준들이며 순서대로 진 단계의 기준을 적용한 결과가 동일한 경우에 다음 단계의 기준을 적용하며 이의 흐름도를 [그림 1]에 도시하였다.

제안 알고리즘 구현은 다음과 같이 이루어진다. 망의 노드 수는 N , 파장변환기의 수는 M 이다. 한 쌍의 노드에서 소스와 목적지간의 경로를 최소 홉 알고리즘으로 정한 뒤, 위의 기준들을 순서대로 적용하여 위치를 결정한다. 변환기의 위치로 결정된 집합들에 따라 집합들의 성공확률이 각각 동일하면 전체의 성공 확률이 최대가 된다는 사실[1]을 기준 1에서 사용한다.

먼저 링크 이용률을 계산하였다. 실제의 망에 적용할 경우, 분포함수의 값대로 존재하는 경우와 망의 트래픽 분포 정보를 미리 알고 있는 경우는 많지 않으므로 라우팅 알고리즘에 의해 결정된 경로에 따라 트래픽이 전송되고, 이 때의 사용되는 링크의 횟수가 링크 이용률로 이용될 수 있음에 착안, 링크이용률을 정하였다.

p_{sd} 는 $p_{sd} = \{l_{s1}, l_{s2}, \dots, l_{sd}\}$ 으로, s 에서 d 까지의 경로의 링크들로 이루어진 벡터이다. l_{ij} 은 노드 i 에서 노드 j 사이의 링크를 의미한다. 링크 이용률을 경로형성에 사용된 링크의 회수로 정의했으므로, $l_{ij} = 1$ 이 할당된다.

P_{SD} 는 모든 노드를 대상으로 하는 p_{sd} 의 조합으로 이루어진 벡터로,

$$P_{SD} = \{p_{sd} | s=1, 2, \dots, N, d=1, 2, \dots, N, s \neq d\} \text{ 이다.}$$

임의의 링크가 각 경로에 포함되는 횟수를 나타내는 링크 벡터 L 을 정의한다. 즉, L_{ij} 는 전체 토폴로지에서 l_{ij} 가 사용된 횟수를 의미한다. 이와 같이 구해진 링크 이용률을 이용하여 집합을 나눈다.

$$L_{ij} = \sum p_{sd}, \forall l_{ij} \in P_{SD} \quad (2)$$

$$L = \{L_{ij} | i=1, 2, \dots, N, j=1, 2, \dots, N, i \neq j\} \quad (3)$$

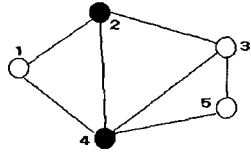
이 때 비균일 링크의 경우 링크 이용률을 할당 파장의 수로 대체하여 노드 i 에서 j 사이의 링크의 할당 파장수를 W_{ij} 라고 하면, 식 (4)가 된다.

$$L_{ij} = W_{ij} \quad (4)$$

다음은 제안 알고리즘을 사용한 경우의 위치설정 결과이다. [표 2]의 결과는 균일 링크의 경우이고 [표 3]은

WDM망에서 파장변환기의 위치설정에 관한 연구

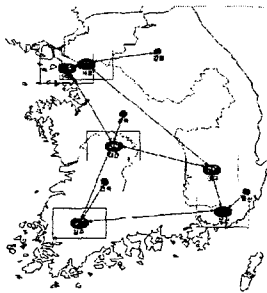
비균일 링크의 경우이다. 본 논문의 알고리즘은 위치설정을 하기 위해 선형적으로 알고 있어야 할 정보들도 요구하지 않는다. 또한 경험적 기준들의 적용 순위를 분명히 함으로써 일반화를 모색했다. 다음의 결과는 비균일 링크를 가진 망의 결과이다.



[그림 3] [4]의 토폴로지

[표 2] [그림 3]에 알고리즘 적용결과

| 노드 | 링크 이용률 적용 | 평균 경로길이 | 제안 알고리즘결과 | |
|----|-----------|---------|-----------|-----|
| | | | M=1 | M=2 |
| 1 | | | | |
| 2 | 1 | 5.1 | | ○ |
| 3 | 1 | 4.8 | | |
| 4 | 4 | | ○ | ○ |
| 5 | | | | |



[그림 4] 남한 토폴로지[5]

[표 3] [그림 4]에 알고리즘 적용결과

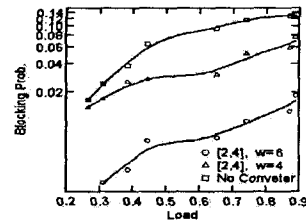
| 노드 | 링크이용률 적용 | 파장변환기위치설정노드 | |
|----|----------|-------------|-----|
| | | M=1 | M=2 |
| 서울 | 9.5 | | |
| 인천 | 9 | | |
| 대전 | 18.5 | ○ | ○ |
| 대구 | 12 | | ○ |
| 광주 | 6 | | |
| 부산 | 10 | | |
| 울산 | 0 | | |
| 춘천 | 0 | | |

[그림 4]는 트래픽 예측기법을 사용하여 모델링한 우리

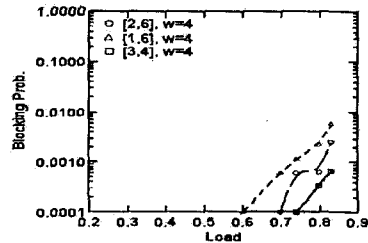
나라 남한 토폴로지로 이의 적합성을 OPNET 시뮬레이터를 사용하여 입증하였다[5]. 이는 트래픽 발생치와 증가추이, 인터넷 도메인 등록수, 인구수 등을 기반으로 채널수를 할당한 것으로 이에 알고리즘을 적용한 결과가 [표 3]으로 대전, 대구에 파장변환기가 설치되었다.

III. 실험 결과

먼저 파장변환기의 위치를 제안 알고리즘으로 구한 뒤 블로킹 확률을 구하였다. 본 논문에서의 블로킹 확률은 전체 호설정 요구에 대한 호거절 빈도수에 대한 비율을 사용하였다. 경로는 최소 홉 알고리즘에 의해 결정되며 고정 라우팅방법을 사용하였다. 망의 노드들은 편의상 TT/TR의 구성으로 하였다. [그림 5]는 [그림 2] 토폴로지에서 파장수가 각각 6과 4인 경우 제안한 알고리즘의 결과인 [2, 4] 노드에 파장변환기를 설치한 결과이다. 그 결과, 중간 부하에서 블로킹 확률 차이가 현저함을 알 수 있으며 파장수가 증가할 수록 파장변환기의 블로킹 성능이 향상됨을 보인다.



[그림 5] [그림 2]토폴로지의 결과



[그림 6] [그림 4]토폴로지의 결과

[그림 6]은 남한 토폴로지에 파장변환기를 설치 후 블로킹 성능을 도시했다. 그림에서의 파장수는 할당 채널의 비율로 기준값으로 1을 할당받은 부산 ↔ 대구간 링크의 파장수에 대한 상대값이다. 대전과 대구가 아닌 서울과 부산, 인천과 부산의 두 쌍의 노드의 파장변환기를 설치하고 성능평가를 하였다. 전체적으로는 변환기를 설치하지 않은 경우보다 성능이 현저히 향상되었으나, 대

전, 대구에 설치한 것에 비해서는 블록킹 확률이 높았다. 따라서 제안한 알고리즘의 우수성을 입증할 수 있었다.

[표 4] 위치설정방법들의 계산량 비교

| Algorithm | Calculation | Example (N=5, M=2) |
|---------------------|--|--------------------|
| Exhaustive search | $\sum_{k=1}^M \binom{N}{k} N(N-1)$ | 300 |
| Suggested algorithm | $N(N-1)$ | 20 |
| Auxiliary Graph | $\sum_{k=1}^{upper\ bound} \binom{N_i}{k} N(N-1)M$ $N_i: inner\ node\ \#$ | 160 |
| ADD algorithm | $\sum_{k=1}^M \binom{N-k+1}{k} N(N-1)$ | 180 |

[표 4]는 파장변환기 위치설정 방법들과 제안 알고리즘의 계산량 비교이다. 표와 같이 후보노드쌍 전체를 검색하는 방법 및 보조 그래프(auxiliary graph)나 ADD 알고리즘보다 계산량이 현저히 감소했음을 볼 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 경험적 방법을 사용하여 파장변환기의 위치설정 알고리즘을 제안하였다. 제안 알고리즘은 많은 토폴로지 정보를 필요로 하지 않으며 알고리즘 수행 시 많은 양의 블록킹 확률을 계산하지 않음으로써 계산량은 감소하면서 효과적인 위치설정의 결과를 낳았다.

<참고 문헌>

- [1] S. Subramaniam, M. Azizoglu and A. K. Somani, "On the optimal placement of wavelength converters in wavelength -routed networks", in Proc. INFOCOM'98, April 1998
- [2] Hiroaki Harai, Masayuki Murata, Hideo Miyahara, "Heuristic Algorithm of Allocation of wavelength convertible nodes and routing coordination in All-optical Networks", IEEE/OSA journal of lightwave technology, April 1999
- [3] K. R. Venugopal, M. Shivakumar, P. Sreenivasa Kumar, "A Heuristic for Placement of Limited Range Wavelength Converters in All-Optical Networks", IEEE, 1999
- [4] 오호일, 송재연, 김장복, "트래픽 수요 예측 모델링을 통한 WDM 네트워크 설계에 관한 연구", 대한전자공학회 추계학술대회 논문집, 2000
- [5] Ling Li, Arun K. Somani, "A New Analytical

Model for Multifiber WDM Networks", IEEE Journal on Selected areas on Comm., Vol 18, No. 10, Oct. 2000

- [6] 송재연, 김장복, "WDM 다중홉망에서 광소자손실을 고려한 라우팅방안의 연구", 제 8 회 광전자 및 광통신 학술회의 논문집, 2001