

양방향 WDM 환형망의 파장 할당 휴리스틱 알고리즘

정회원 조철희*, 박영일*

A heuristic algorithm for wavelength assignment in bidirectional WDM ring

Cheol-hee Cho*, Young-il Park* *Regular Members*

요 약

WDM 환형망은 동기식 환형망에 비해 가격과 용량에 있어 장점을 가지고 있다. 그러나 각 노드에 파장을 할당할 때 서로 충돌하지 않고 개수가 최소가 되도록 해 주어야 한다. 본 연구에서는 환형망의 트래픽이 full-mesh가 아니고, 노드간 전송에 복수 개 파장이 요구될 수 있는 상황에서 효과적으로 파장할당을 할 수 있는 휴리스틱 알고리즘을 제안하고 기존 방식과 성능을 비교하였다.

ABSTRACT

WDM SHR has advantages compared to SDH SHR in both cost and capacity. But, wavelengths should be carefully assigned not to clash with each other and the number should be minimum. In this study, a heuristic algorithm, which is efficient in practical situations where the traffic pattern is not full-mesh or more than one wavelength is required for connecting some specific nodes, is suggested. The performance of the suggested algorithm is compared with that of the conventional algorithm.

I. 서론

WDM 자기복구 환형망(WDM SHR)은 다수 개의 노드를 환형으로 연결하고 여유 대역폭을 이용하여 고장 시 망을 자동으로 복구하도록 하는 전송망을 말한다. 기존의 동기식 환형망에 비해 트래픽이 많을 경우 장치 및 광케이블을 절감할 수 있고, 라우팅이 용이하며, 전송용량의 증대가 용이하다는 등의 장점이 있다. 동기식 환형망의 경우 장치 및 선로의 제한으로 인해 노드의 개수가 제한되어 이용되었으나, WDM 환형망의 경우 노드의 개수는 사용방법에 따라 매우 많이 늘어날 수 있으며, 40개의 노드가 지원 가능한 상용 제품도 출시되고 있다. 한편, WDM 환형망 각 노드간의 전송은 특정 파장

에 의해 이루어지는데, 동일 선로지점에서 2개의 채널이 같은 파장으로 연결되는 경우 신호의 분기가 불가능해지므로 파장 충돌이 발생하지 않도록 노드간 파장할당을 해 주어야 한다¹⁾. 노드의 개수가 많아지고 노드간의 연결이 복잡해지면 최적 알고리즘이 필요하며, 이러한 파장할당 알고리즘은 다음과 같은 요건들을 갖추어야 한다.

- 최소 개수의 파장 이용 : 망에서 이용되는 파장 개수가 늘어나면 WADM, 역다중화기 등에 이용되는 WDM 광소자의 입출력 포트 개수가 증가해야 한다. 또한 고장에 대비해 준비해 두어야 하는 송수신 모듈등 재고도 증가하게 되므로 파장의 개수는 최소가 되도록 하는 것이 유리하다.
- 파장의 충돌이 없어야 함 : 동일 노드에 같은

* 국민대학교 전자공학부 광통신연구실
논문번호 : 00199-0612, 접수일자 : 2000년 6월 12일

파장을 갖는 두 개 채널이 분기되면, 각 채널의 신호를 재생할 수 없다.

- 노드 확장성 : 필요에 의해 노드를 추가할 때 기존 이용중인 파장을 변환하지 아니하고도 효율적으로 파장을 할당할 수 있어야 한다.

WDM 환형망 중 단방향 path switching 방식의 경우 두 노드간 연결에 서비스 및 예비신호를 구성하기 위해 파장 1개를 완전히 사용하기 때문에 문제가 매우 단순하게 된다^[2]. 그러나 양방향 line switching의 경우 예비신호는 파장을 공유하며 서비스신호는 파장을 재 사용하므로 파장할당을 최적화하는 문제는 매우 복잡해진다. 이를 해결하기 위한 방식으로 여러 알고리즘들이 제시되었으며^[1,3], 본 연구에서는 이들의 단점을 보완할 수 있는 휴리스틱 알고리즘을 제안하고, 기존 알고리즘 중 전송구간과 연결파장을 행렬 형태로 표시해주는 Matrix representation 알고리즘^[3]과의 성능을 비교하였다.

II. Matrix representation 파장할당 알고리즘

이 방식은 full-mesh 연결, 즉 WDM 환형망 내의 모든 노드간에 트래픽이 존재하는 상황에서 가장 적은 개수의 파장을 이용하여 망을 구성하는 데 활용할 수 있으며, 노드간 전송에 이용되는 파장의 관계를 행렬로 나타낸다. Full-mesh 연결에 필요한 파장의 개수 W는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$W=(N^2-1)/8 \quad (N\sim\text{홀수}) \quad (1)$$

$$W=N^2/8 \quad (N\sim\text{짝수}) \quad (2)$$

노드의 개수(N)가 홀수 및 짝수의 경우에 따라 행렬을 구성하는 방법에 약간의 차이는 있지만 홀수의 경우에 대해서 살펴보면 그림 1과 같다. 이 그림은 노드 개수 7, 이의 연결에 사용하는 파장이 6개인 양방향 WDM 환형망의 파장할당을 나타내고 있으며, 이 행렬에서 '행'은 사용 파장을 의미하고 '열'은 시작 노드를 의미한다. 한편, 행렬의 원소가 의미하는 숫자는 해당 노드에서 해당 파장이 가지는 hop 개수, 즉 전송 거리를 노드개수로 나타낸 값이다. 2행 3열의 숫자 '2'는 노드3에서 노드5까지 파장2를 사용하여 전송함을 나타내고, 'X'는 전송에 해당 파장을 이용할 경우 파장 충돌이 있으므로 사용하지 않음을 의미한다. 이와 같은 행렬을 이용해

전체 노드를 연결하는 순서는 다음과 같다.

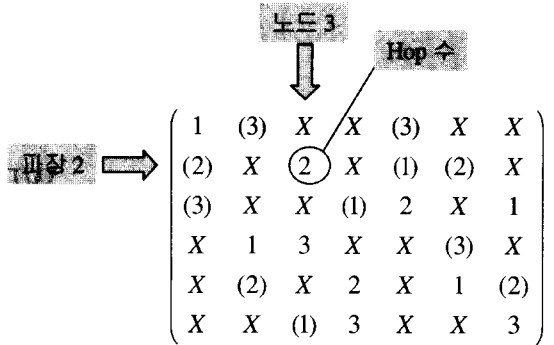


그림 1. Matrix representation 알고리즘에 의한 파장할당

1. 처음 열에 1부터 Lmax까지 채워 넣은 후, 남은 곳은 X. (Lmax는 1개 파장을 이용하여 갈 수 있는 최대 hop 개수. 즉 7개 노드의 경우는 3)
2. 표시된 hop수 내에선 파장 재사용이 안 되므로 비워두어야 할 곳을 가 열에 X로 표시.
3. 두 번째 열에서 채울 수 있는 곳을 Lmax, 1, 2, ..., Lmax-1의 순서로 채워 넣는다.
4. 다음 열을 Lmax-1, Lmax, 1, 2, ..., Lmax-2, 즉 cyclic하게 이동하는 순서로 채워 넣는다.

위의 Matrix representation 방법은 full-mesh 트래픽의 경우에는 최소개수 파장으로 WDM 환형망을 구성할 수 있다. 그러나 현실적으로 대부분의 환형망은 full-mesh 트래픽이 아니다. 기존의 음성트래픽 경우도 그렇고 향후 데이터 트래픽의 경우도 소수개의 노드로 집중될 가능성이 크며, 기타 노드간의 연결은 부분적으로만 이루어진다. 이러한 경우 위 방식을 이용하려면 full-mesh를 가정하고 파장을 할당한 후 연결에 이용되지 않은 파장을 제외하여야 한다. 그러나 이 경우 최소 개수의 파장을 사용한다고 볼 수 없으며, 파장을 많이 낭비하게 된다. 또한 위 방법에서는 모든 노드간에 이용되는 파장수를 1개로 고정하고 있다. 즉, 노드간에는 1개의 파장으로 1개의 WDM 채널만을 할당할 수 있다. 그러나 실제로 노드간의 WDM 채널 개수는 트래픽의 용량에 따라 정해지며, 따라서 파장의 개수도 가변적이다. 본 연구에서는 위에 나열한 문제점들을 해결하기 위해 위와 같이 고정된 알고리즘이 아닌 트래픽 상황을 탐색하여 한 개의 파장으로 최대 거리를 전송하게 함으로써 문제를 해결하는 휴리스틱 알고리즘을 이용하였다.

III. 제안된 휴리스틱 알고리즘

Full-mesh 연결이 아니며, 노드간 전송에 필요한 파장수가 다수개가 되는 상황에서는 최적화 된 파장할당 방법은 구할 수 없으며, 최선의 선택을 하여야 한다. 본 연구에서는 한 개의 파장으로 최대한의 hop 개수를 얻도록 함으로써 파장을 효율적으로 이용하는 알고리즘을 제시하였다. 이를 단계별로 나누어 설명하면 다음과 같다.

1. 링의 종류에 따라 최대 hop수를 정의하고 이를 기준으로 hop 개수에 따른 노드연결표를 작성한다. 이 때 최대 hop수는 짝수 개 노드의 경우엔 $N/2$, 홀수 개 노드의 경우엔 $(N-1)/2$ 이 된다.

2. 노드연결표의 최대 hop 집합에서 첫 번째 원소를 선택, 집합 $W(1)$ 을 생성한다. $W(1)$ 은 '파장1'을 사용하는 원소의 집합이다.

3. 노드연결표에 남아있는 모든 원소 중 $W(1)$ 집합의 원소와 파장충돌을 일으키지 않는 조합들로 새로운 집합 $R(1)$ 을 작성한다.

4. 집합 $R(1)$ 을 이용, 다음의 규칙에 의해 집합 $W(1,1), W(1,2), \dots, W(1,j)$ 를 작성한다.

4-1 집합 $W(1)$ 을 집합 $W(1,j)$ 의 첫 번째 원소로 한다.

4-2 집합 $R(1)$ 의 j 번째 원소를 집합 $W(1,j)$ 에 추가한다.

4-3 집합 $R(1)$ 의 나머지 원소 중 집합 $W(1,j)$ 의 원소와 파장충돌하지 않는 원소들을 $W(1,j)$ 에 추가한다.

4-4 위 (4-1)~(4-3)을 반복함으로써 $W(1,1) \sim W(1,j)$ 를 작성한다.

4-5 작성된 $W(1,1) \sim W(1,j)$ 각각의 집합에 대해서 총 hop 수를 계산, 가장 큰 경우를 $W(1)$ 에 대입한다. 가장 큰 총 hop 수를 갖는 집합이 복수 개 있는 경우 원소 개수가 가장 많은 집합을 선택하여 $W(1)$ 에 대입한다.

4-6 $W(1)$ 에 속한 원소를 노드연결표의 원소에서 삭제한다.

5. 위 (2)~(4)를 노드연결표에 남은 원소가 없을 때까지 반복함으로써 $W(2), W(3), \dots$ 를 채워간다.

IV. 휴리스틱 알고리즘의 적용 및 Matrix representation 알고리즘과의 성능 비교

위의 2절과 3절에서 소개한 Matrix representation 알고리즘과 휴리스틱 알고리즘을 7개의 노드를 갖는 WDM 환형망에 적용한 파장할당 예제를 들어 비교하였다. 4.1에서는 full-mesh 트래픽이 아닌 경우에 대해 적용하여 Matrix representation 방식과 비교하였고, 2절에서는 두 노드간 트래픽이 많아서 2개의 파장이 요구되는 상황에 대한 처리를 나타내고 있다.

4.1. Full-mesh 트래픽이 아닌 경우

7개의 노드를 갖는 양방향 WDM 환형망에서 송수신 노드가 다음과 같을 때 이로부터 휴리스틱 알고리즘을 이용하여 파장을 할당해 가는 과정은 다음과 같다.

송수신 노드 집합 : $\{(1,3) (1,4) (2,4) (2,5) (3,4) (4,5) (5,1) (5,6) (6,1) (6,2) (7,2)\}$

위와 같이 송수신 노드를 입력하면 프로그램에서는 표 1과 같이 노드연결표를 생성하며, 위의 3절에서 제시한 알고리즘을 따라서 노드연결표는 다음의 순서로 처리된다.

표 1. 노드연결표 (부분연결의 경우)

hop = 1	(3,4) (5,6) (4,5)
hop = 2	(1,3) (6,1) (2,4) (7,2)
hop = 3	(1,4) (5,1) (2,5) (6,2)

$W(1)=(1,4)$
 $R(1)=\{(5,6) (4,5) (6,1) (5,1)\}$
 $W(1,1)=\{(1,4) (5,6) (4,5) (6,1)\}$
 $W(1,2)=\{(1,4) (4,5) (5,6) (6,1)\}$
 $W(1,3)=\{(1,4) (6,1) (5,6) (4,5)\}$
 $W(1,4)=\{(1,4) (5,1) (4,5)\}$
 Total hop max among $W(1,j)$:
 $W(1) = \{(1,4) (5,6) (4,5) (6,1)\}$

$W(1)$ 의 원소를 표1에서 삭제하면 새로운 노드연결표인 표2가 생성된다.

표 2. 수정된 노드연결표(1)

hop = 1	(3,4)
hop = 2	(1,3) (2,4) (7,2)
hop = 3	(5,1) (2,5) (6,2)

이와 같은 방법으로 노드연결표에 남는 원소가 없을 때까지 $W(2)$, $W(3)$,...를 구한 결과는 다음과 같다.

- $W(1) = \{(1,4) (5,6) (4,5) (6,1)\}$
- $W(2) = \{(5,1) (3,4) (1,3)\}$
- $W(3) = \{(2,5) (6,2)\}$
- $W(4) = \{(2,4) (7,2)\}$

위의 $W(1)$, $W(2)$, $W(3)$, $W(4)$ 는 각각 파장 1, 2, 3, 4를 이용해 전송하는 노드의 집합을 의미한다. 한편, Matrix representation 경우와의 비교를 위해 그림 1에 위 예제에 이용된 송수신 노드 집합을 괄호로 표시하였고, 이 때 표시된 행의 파장을 사용하게 된다. 두 결과를 비교하면 Matrix representation의 경우는 총 6개의 파장을 필요로 하고, 제안된 휴리스틱의 경우는 4개의 파장을 필요로 한다. 한편, 두 가지 방식에 요구되는 파장 개수는 송수신 노드 집합의 원소 개수 및 형태에 따라 차이가 있기 때문에 개수를 변화하며 송수신 노드를 랜덤하게 발생하여 파장을 할당하는 과정을 여러 번 반복하여 비교해 보았다.

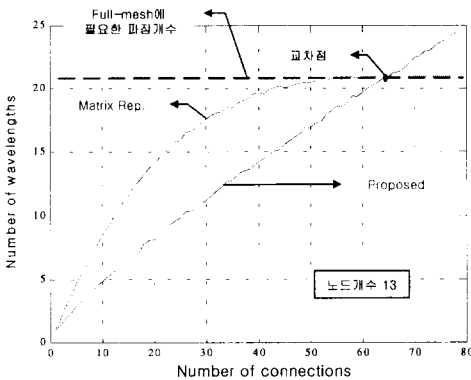


그림 2. 제안된 방식과 Matrix representation 방식의 비교

그림 2에서는 노드 개수가 13인 경우 두 알고리즘을 적용한 결과를 비교하고 있다. 데이터 값으로는 각각 랜덤하게 선택되어진 노드 조합을 사용하였고 100회를 반복한 평균값을 그림으로 나타낸 것이다. 그림에서 full-mesh 트래픽 경우를 보면 노드 조합은 78개이고, 이 때 사용되어진 파장 개수는 Matrix representation의 경우는 21개, 제안된 방식의 경우는 약 24개로서 전자의 경우가 더 효율적으로 이용되고 있다. 그러나 두 곡선의 교차점 (connection=63개 일 때)을 기준으로 이보다 적은 개수의 노드간 WDM 채널에서는 휴리스틱 방식으

로 파장을 할당해야 더 효율적이라는 것을 알 수 있으며, 그림의 노드 13개의 경우엔 full-mesh 트래픽의 83 % 정도에 위치하고 있다.

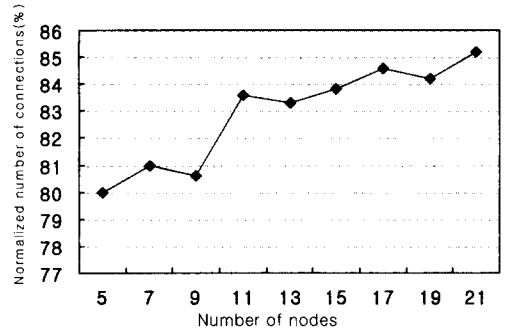


그림 3. Node 개수에 따른 교차점의 변화

그림 3에서는 노드 개수를 변화해가며 두 방법을 비교한 결과를 보이고 있다. 그림에서 x축은 전체 노드 개수를, y축은 두 방법으로 계산 시 파장 개수가 만나는 교차점에서의 송수신 노드연결 개수를 full-mesh 연결개수에 대한 백분율로 나타낸 것이다. 노드의 수가 증가할수록 이 교차점도 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 휴리스틱 방식의 경우, 파장 개수는 노드 수에 관계없이 연결 개수에만 비례하여 선형적으로 증가하는데 반해, Matrix representation 방식의 경우 full-mesh 연결의 1/2 정도의 연결 개수만 존재하더라도 full-mesh 연결에 요구되는 파장수의 90% 이상이 필요하기 때문이다.

4.2. 노드간 연결에 복수개의 파장이 필요한 경우.

4.1절과 똑같은 상황에서 (4,5)노드간에 트래픽이 많아서 2개의 파장을 할당해야 하는 경우를 살펴본다. 이 때 송수신 노드 집합 및 노드연결표는 다음과 같다.

송수신 노드 집합: $\{(1,3) (1,4) (2,4) (2,5) (3,4) (4,5) (4,5) (5,1) (5,6) (6,1) (6,2) (7,2)\}$

휴리스틱 알고리즘의 경우 '파장 2'의 집합 $W(2)$ 의 모든 원소가 (4,5)와 충돌하지 않으므로 이 파장을 노드 (4,5)의 전송에 재사용 할 수 있다.

표 3. 노드연결표 (복수채널 필요시)

hop =1	(3,4) (5,6) (4,5) (4,5)
hop =2	(1,3) (6,1) (2,4) (7,2)
hop =3	(1,4) (5,1) (2,5) (6,2)

$W(1)=(1,4)(5,6)(4,5)(6,1)$
 $W(2)=(5,1)(3,4)(4,5)(1,3)$
 $W(3)=(2,5)(6,2)$
 $W(4)=(2,4)(7,2)$

한편, Matrix representation 알고리즘의 경우는 그림 1과 같이 노드 (4,5)의 연결에는 항상 파장 3을 사용하도록 고정되어 있으므로 같은 곳에 추가 파장이 요구되면 파장의 중복을 피하기 위해 새롭게 1개의 파장을 추가해야 한다.

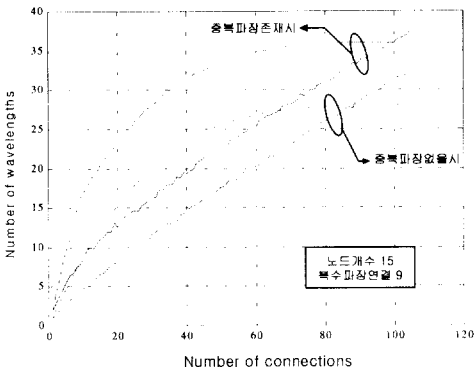


그림 4. 노드간 전송에 복수 개수 파장 필요시

그림 4에서는 노드가 15개인 경우에 노드간 연결에 하나의 파장만 필요한 경우와 2개 파장이 필요한 송수신 구간이 9개 존재했을 때를 비교하였다. 그림에서 복수 개수 파장이 필요한 경우에는 그렇지 않은 경우에 비해 두 알고리즘의 교차점이 우측으로 이동하는 것을 볼 수 있고, 이는 트래픽이 full-mesh에 그만큼 가까워지더라도 휴리스틱 알고리즘이 유리하다는 것을 의미한다.

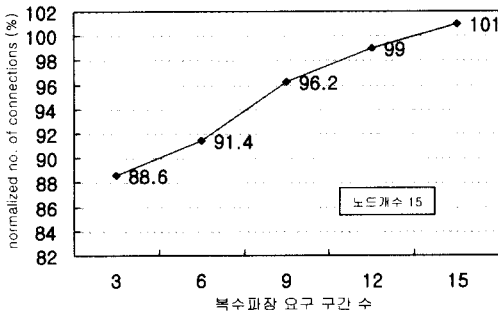


그림 5. 복수파장 구간 수 변화에 따른 교차점의 변화

그림 5는 노드개수가 15인 경우 파장이 2개인 송수신 구간 개수의 변화에 따른 두 알고리즘 교차점

의 변화를 나타낸 것이다. 이 경우 full-mesh 연결 개수 105개 중 12개의 연결에서 2개의 파장을 사용한다고 가정했을 때, Matrix 방식과 제안된 방식의 교차점은 거의 100%에 이른다. 즉, 복수 파장을 필요로 하는 송수신 노드의 수가 full-mesh를 위한 WDM 채널 수의 약 11.4 %에 도달하면 휴리스틱 방식이 유리하게 된다. 또한 이 수치는 환형망의 노드 개수가 증가할수록, 혹은 중복 파장 수가 증가할수록 점점 작아지며, 이는 제안된 방식이 훨씬 경제적으로 파장을 할당하고 있음을 나타낸다. 이상의 결과로써 복수 파장 송수신 구간과 그 구간에 할당할 파장 수가 많아지면 송수신 노드의 개수가 적더라도 휴리스틱 파장할당 알고리즘이 훨씬 경제적으로 파장을 할당하고 있음을 알 수 있다.

V. 결론

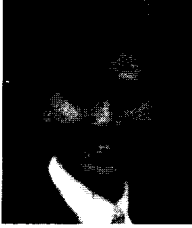
본 논문에서는 휴리스틱 알고리즘을 이용하여 양방향 WDM 환형망의 파장할당을 효과적으로 할 수 있는 방법을 제안하였다. 휴리스틱 알고리즘은 한 개의 파장이 가능한 많은 노드를 진행할 수 있도록 탐색해 가는 방법으로서 환형망의 트래픽 구조가 full-mesh가 아닌 부분 연결이거나, 노드간 송수신에 이용되는 파장의 개수가 2개 이상이 될 수 있는 현실적인 상황에서 최소 개수의 파장을 이용해 망을 구성하는 방법이다. 기존의 Matrix representation 파장할당 방식과 위 2가지 경우의 성능을 비교한 결과 실제 환경에서는 휴리스틱 방식이 우수함을 볼 수 있었다. 본 알고리즘은 향후 WDM 트래픽이 증가하여 많은 개수의 노드를 양방향 환형망으로 구성하는 경우 망을 경제적으로 운용하는데 이용할 수 있을 것이다.

참고 문헌

- [1] A.F.Elrefaie, "Multiwavelength survivable ring network architectures", *ICC '93*, Geneva, May 1993.
- [2] R. Ramaswami, K.Sivarajan, *Optical networks, A practical perspective*, pp. 435-437, *Morgan Kaufmann*, 1998.
- [3] G. Ellinas, K. Bala and G.K. Chang, "A novel wavelength assignment algorithm for 4-fiber WDM self-healing rings", *Proceedings of the 1998 IEEE international conference on*

조 철 희(Cheol-hee Cho)

정회원



1999년 2월 : 배재대학교

전자공학과 졸업

1999년 9월 ~ 현재 : 국민대학교

전자공학과 석사과정

<주관심 분야> 광통신 및

광네트워크, 광전송장치

박 영 일(Youngil Park)

정회원

1987년 2월 : 서울대학교 전기공학과 졸업 (공학사)

1989년 2월 : 서울대학교 전기공학과 졸업

(공학석사)

1995년 5월 : Texas A&M University 전기공학과

졸업 (공학박사)

1995년 8월 ~ 1999년 2월 : 한국통신 가입자망연구소

선임연구원

1999년 3월 ~ 현재 : 국민대학교 전자공학부 전임강사

<주관심 분야> WDM 광전송장치, 광가입자망, 광
센서