

환형망들을 결합한 구조의 파장분할 다중방식 광통신망을 위한 파장할당 방법

정회원 조 윤 희*, 김 현 덕**, 이 창 희***

Wavelength assignment algorithm for interconnected WDM ring networks

Yunhee Cho*, Hyun Deok Kim**, Chang-Hee Lee*** *Regular Members*

요 약

환형망들을 결합한 복잡한 구조의 파장분할 다중방식 광통신망에서 최소의 파장만을 사용하여 연결경로들을 설정하기 위한 파장할당 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 해석적 방법으로 파장을 할당하므로 간단할 뿐만 아니라 주어진 조건에서 항상 최소 파장만을 사용하여 노드들 사이를 Full-mesh형태로 연결하므로 망의 확장성을 최대화 한다. 제안된 알고리즘은 주어진 통신망의 노드를 규칙에 따라 몇 개의 그룹으로 분리하는 과정, 파장할당을 나타내는 행렬을 생성하는 과정, 그리고 행렬의 Entry에 값을 설정하는 과정으로 나눌 수 있으며, 파장할당을 표현하는 행렬은 각 광경로에 할당되는 파장, 신호의 송/수신 노드, 연결경로의 Hop수, 신호의 진행방향 등을 나타낸다. 제안된 파장할당 알고리즘을 몇 가지 광통신망 예에 적용하여 환형망들을 결합한 복잡한 구조의 광통신망에서도 해석적 방법으로 파장할당이 가능함을 증명하였다.

ABSTRACT

A new wavelength assignment algorithm has been proposed to route optical paths of interconnected WDM (Wavelength-Division Multiplexing) ring networks. The proposed algorithm assigns wavelengths on the optical paths analytically to satisfy a full-mesh connectivity between the nodes and uses a minimal number of wavelength for a given network configuration. The algorithm consists of three main procedures. It divides the nodes into several groups at first, generates matrices, and finally assigns values into the entries of the matrices. The matrices describe the wavelengths assigned, add and drop nodes, the number of hops, and signals propagation directions. We examined the algorithm in the several exemplary networks and confirmed that we can use the analytic algorithm for path routing in WDM networks with complex configurations.

1. 서 론

폭증하는 통신수요를 수용하는 대용량 통신망을 구현하기 위한 방안으로 파장분할 다중방식 (Wavelength-Division Multiplexing) 광전송 기술을 도입한 전광전송망(All-Optical Network)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다^{[1][2]}. 전광전송망은 광신호를 송신 노드(node)에서 수신 노드까지 광전 도

는 전/광 변환 없이 전달하므로 전기적인 처리속도 제한으로 인한 노드의 병목 현상을 해소할 뿐만 아니라 전송속도, 변조형태(modulation format) 및 프로토콜(protocol)에 무관하게 신호를 전달할 수 있는 투명성(transparency)을 제공한다^[3].

전광전송망에서는 노드들 사이의 연결경로(path)를 설정하기 위해 광경로(light path) 개념을 도입하여 각 연결경로마다 별도의 파장을 할당하고, 파장

* 한국전자통신연구원 WDM시스템팀

** Novera Optics Korea 근무

*** 한국과학기술원 전자전산학과

논문번호: 020337-0731, 접수일자: 2002년 7월 31일

별로 경로설정을 제어한다. 따라서 전광전송망의 확장성(scalability), 즉 수용 가능한 노드 수는 사용 가능한 파장 수에 의해 결정된다. 파장분할 다중방식 광전송 장치에서 사용 가능한 파장(채널)의 수는 광섬유의 손실 특성과 광증폭기의 이득 대역폭 등에 의해 제한되므로 제한된 파장을 이용하여 전광전송망의 확장성을 최대화 하기 위해서는 효율적인 파장할당 방안을 마련하여야 한다⁴⁾.

한편, 광신호가 전광전송망에서 연속된 광섬유와 각종 소자들을 통과함에 따라 각 중 신호 열화(degradation) 요인들도 전송 경로를 따라 누적된다. 열화 요인들의 누적은 광신호 품질을 저하시켜 전기적인 재생 없이 전달될 수 있는 최대 전송 거리를 제한하므로 주어진 망 구조에서 연결경로들을 최단 거리로 설정하여 각 경로마다 누적되는 열화 요인이 최소가 되도록 하여야 한다. 따라서 대용량 전광전송망을 구현하기 위해서는 주어진 조건에서 최소의 파장을 사용하면서도 연결경로의 길이를 줄일 수 있는 파장할당과 경로설정 방법에 관한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 파장분할 다중방식 광전송 기술을 도입한 전광전송망에서 효율적인 파장할당 방법을 제안한다. 특히, 네 가닥의 광섬유를 사용하는 환형망들을 결합한 구조의 파장분할 다중방식 광통신망에 적합한 파장할당 및 경로설정 알고리즘을 제안한다. 제 II 장에서는 환형망들을 결합하여 구성되는 광통신망의 특징과 이러한 광통신망의 파장할당 방법 및 고려 사항에 관해 언급한다. 제 III 장에서는 본 논문에서 제안한 파장할당 알고리즘을 상세히 설명하고, 제 IV 장에서는 제안된 알고리즘을 이용한 파장할당의 실시 예들을 제시하며, 제 V 장에서는 결론을 맺는다.

II. 환형망을 결합한 구조의 광통신망과 파장할당 알고리즘

1. 환형망을 결합한 구조의 광통신망

전광전송망은 구조에 따라 크게 그물(mesh)형 광통신망과 환(ring)형 광통신망으로 나눌 수 있으며, 환형 광통신망은 다시 단방향 환형망과 양방향 환형망으로 구분할 수 있다. 단방향 환형망은 Working 상태와 Protection 상태에서 각각 광신호를 전달하는 두 가닥의 광섬유를 이용하여 구현되는데 반해, 양방향 환형망은 Working 상태에서 서로 반대 방향(시계 방향과 반시계 방향)으로 각각

광신호들을 전달하는 두 가닥의 광섬유와 Protection 용으로 사용되는 두 가닥의 광섬유를 더 포함하여 모두 네 가닥의 광섬유를 이용하여 구현된다.

환형 광통신망은 Mesh형 광통신망에 비해 상대적으로 구조가 간단하고, 장애(fault) 발생을 스스로 복구하는 자기치유(self-healing) 기능을 통해 높은 신뢰성을 제공하며, 초기 투자 비용이 저렴한 장점이 있다. 하지만, 환형 광통신망은 Mesh형 광통신망에 비해 확장성이 제한되는 단점이 있다. 즉, 환형 광통신망에서 노드들 사이를 연결하기 위해 필요한 파장 수는 노드 수의 제곱에 비례하여 증가하므로 제한된 파장을 사용하여 수용할 수 있는 망의 규모가 제한된다⁵⁾. 또, 노드 수가 증가하면 연결경로의 Hop수(신호가 통과하는 노드 수)도 비례하여 증가하므로 광신호의 열화가 증가하고, Protection 시간도 증가하여 망의 신뢰도가 감소 된다.

환형 광통신망의 여러 장점을 제공하면서도 이러한 문제점을 해결하기 위한 방안으로 통신망의 규모가 증가함에 따라 통신망을 하나의 거대한 단일 환형망으로 구현하는 대신 통신망을 여러 개의 환형망으로 나누고 이 환형망들을 광회선 분배기(OXC: Optical Cross-Connect)를 사용하여 결합하는 구조의 광통신망이 제안되었다^{6)~7)}. 그림1은 이러한 통신망의 예이다. 이 예에서는 네 가닥의 광섬유를 이용한 두개의 양방향 환형망들(BRN1, BRN2)을 하나의 광회선 분배기(OXC)를 사용하여 결합하였다.

환형망들을 결합한 구조의 광통신망은 단일 환형 광통신망에 비해 여러 가지 장점을 제공한다. 즉, 노드들 사이의 연결경로 설정을 위해 필요한 파장 수를 줄일 수 있으므로 제한된 파장으로 더 많은 노드들을 수용할 수 있을 뿐만 아니라 연결경로들의 Hop수를 감소시켜 망의 공간적 확장성을 높인

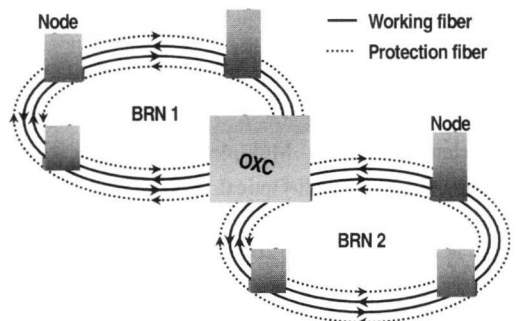


그림 1. 환형망들을 결합한 구조의 광통신망

다. 또 여러 개의 지점에서 동시에 광섬유 절단, 소자의 오작동과 같은 장애들이 발생하더라도 자기치유가 가능하여 망의 신뢰성을 증가시키고, 새로운 파장의 추가 없이 여분의 Traffic을 수용할 수 있다. 따라서 환형망들을 결합한 구조의 파장분할 다중방식 광통신망은 미래 사회에 요구되는 대용량 광통신망에 적합한 경제적이고 효율적인 통신망이다.

2. 파장할당 알고리즘

두 가닥의 광섬유를 사용한 단방향 환형망에서는 특정 노드에서 애드(add)된 광신호가 오직 하나의 경로(방향)를 통해 다른 노드에 전달된다. 따라서 주어진 송신 노드와 수신 노드 쌍에 대해 두 노드를 연결하는 연결경로는 유일하며, 이에 따라 별도의 연결경로 설정이 필요 없고, 연결경로 설정을 위해 요구되는 파장 수도 노드 수에 따라 자동적으로 결정된다. 동일한 원리로 단방향 환형망들을 결합한 구조의 광통신망에서도 두 노드 사이를 연결하는 경로는 유일하므로 파장할당과 경로설정을 위한 특별한 알고리즘이 필요 없다.

반면, 네 가닥의 광섬유를 사용한 양방향 환형망에서는 임의의 두 노드 사이에 광신호를 전달할 수 있는 두 가지의 다른 경로들이 항상 존재한다. 즉, 광신호가 전달되는 방향(시계 방향 또는 반시계 방향)에 따라 다른 경로들을 통해 광신호를 전달할 수 있다. 이러한 경로의 이중성으로 인해 양방향 환형망은 단방향 환형망에 비해 두 배의 광섬유를 사용하지만, 동일한 수의 파장을 사용하여 최대 네 배의 노드를 수용할 있으며, 연결경로의 Hop수도 반으로 줄일 수 있다. 이처럼 경로설정에 따라 두 노드 사이의 Hop수와 필요한 파장 수가 달라지므로 단방향 환형망과 달리 양방향 환형망에서는 적절한 알고리즘을 사용하여 파장할당과 경로설정을 최적화하는 것이 중요하다.

양방향 환형망을 결합한 구조의 광통신망에서는 파장할당과 경로설정이 더욱 복잡해 지고, 이에 따라 파장할당 및 경로설정 알고리즘의 중요성이 더욱 증가한다. 즉, 환형망을 결합하기 위해서 사용되는 광회선 분배기에서 신호의 진행 방향(전달 경로)을 변경할 수 있으므로 두 노드간에 가능한 연결경로의 수가 더 증가한다. 예를 들어, 그림2와 같이 두 개의 양방향 환형망(BRN1, BRN2)이 결합된 구조를 가진 광통신망에서 B 노드(송신 노드)에서 E 노드(수신 노드)까지 경로를 설정하는 경우를 가정하자. 이 경우 B 노드에서 어떤 경로(방향)를 따라

광신호를 OXC 노드까지 전달할 것인가를 결정하여야 하며, 다시 OXC 노드에서 E 노드까지 어떤 경로(방향)를 따라 광신호를 전달할 것인가를 결정하여야 한다. 따라서 모두 네 가지의 다른 경로들이 존재하기 때문에 효율적인 파장할당 알고리즘이 더욱 중요해진다. 특히, 단일 환형망과 달리 양방향 환형망을 결합한 구조의 광통신망에서는 연결경로의 Hop수를 최소화 하는 것이 바로 파장 사용을 최소화하는 것이 아니므로 파장 사용 효율과 Hop수를 동시에 고려하는 파장할당 알고리즘이 필요하다.

네 가닥의 광섬유를 이용한 양방향 환형망에서 노드들 사이를 Full-mesh 형태로 연결하기 위한 파장할당 알고리즘이 제안되었는데^{[8],[9]}, 이 알고리즘은 행렬을 이용하여 해석적 방법으로 각 연결경로마다 파장을 할당하였다. 특히 제안된 알고리즘은 최소 파장만을 사용하여 노드들 사이를 최단 거리(최소 Hop수)로 연결하는 특징이 있다. 하지만, 기존의 해석적 알고리즘은 단일 환형망에만 적용되었을 뿐, 광회선 분배기를 도입한 복잡한 구조의 광통신망에는 주로 Heuristic 알고리즘이 이용되었다^[10]. Heuristic 알고리즘을 이용한 파장할당 및 경로설정 방법은 복잡하고, 많은 계산 시간을 요구할 뿐만 아니라 항상 최적의 해(최소 파장의 사용)를 보장하지 못하는 단점이 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 본 논문에서는 광회선 분배기를 도입한 복잡한 광통신망에도 적용 가능한 해석적인 파장할당 및 경로설정 알고리즘을 제안한다.

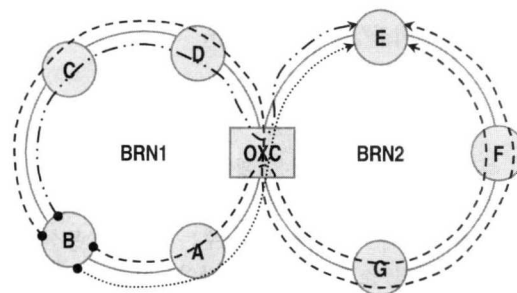


그림 2. 환형망들을 결합한 구조의 광통신망에서 경로설정의 예

III. 파장할당 및 경로설정 알고리즘

1. 알고리즘의 특징

본 논문에서 제안하는 알고리즘은 양방향 환형망들을 광회선 분배기로 결합한 구조의 광통신망에서 망의 확장성을 최대로 하기 위해 최소의 파장만을

사용하여 노드들 사이를 Full-mesh 형태로 연결할 수 있도록 한다. 제안된 알고리즘은 행렬을 이용하여 해석적 방법으로 파장을 할당하고, 행렬을 통해 광신호의 송/수신 노드, 각 연결경로에 할당되는 파장, 광신호의 전달방향, 연결경로의 Hop수 등을 나타낸다. 양방향 환형망은 두 가닥의 광섬유를 통해 각각 다른 방향으로 광신호들을 전달할 수 있으므로 제안된 알고리즘에서는 다른 방향으로 전달되는 광신호의 파장할당을 각각 나타내는 두 개의 행렬들을 생성한다.

제안된 알고리즘은 주어진 통신망 구조에서 항상 최소 파장만을 사용하도록 파장을 할당하지만, 반드시 모든 노드 사이를 최단 경로로 연결하는 것은 아니다. 즉, 서로 다른 환형망에 속한 노드들 사이는 최단 경로로 연결하지만, 같은 환형망에 속한 노드들 사이는 최단 경로를 항상 보장하지는 않는다. 환형망들을 결합한 구조의 광통신망에서는 일반적으로 다른 환형망에 속한 노드들 사이의 Hop수가 같은 환형망에 속한 노드들 사이의 Hop수보다 더 크기 때문에 다른 환형망들에 속한 노드들 사이의 연결경로를 최단 거리화 하는 것이 중요하다. 망의 공간적 확장성을 제한하는 것은 Hop수가 큰 다른 환형망에 속한 노드들 사이의 연결경로이기 때문에 동일한 환형망에 속한 노드들 사이의 연결경로 중 일부의 Hop수가 증가하더라도 망의 공간적 확장성을 감소시키지 않는다. 따라서 제안된 알고리즘은 공간적 확장성의 희생 없이 요구되는 파장 수를 최소화하여 더 많은 노드들을 수용할 수 있도록 하므로 망의 확장성을 증가시킨다.

2. 행렬을 이용한 파장할당 알고리즘

제안된 알고리즘에서 생성되어 파장할당을 표현하는 행렬에서 각 열은 광통신망의 각 노드를 의미하고, 행은 노드 사이의 연결경로에 할당되는 파장을 나타낸다. 따라서 행의 수는 주어진 통신망에서 파장할당에 소요될 최소 파장의 수와 일치한다. 행렬의 각 Entry에는 정수 또는 기호X가 할당되는데, 정수는 해당 파장의 광신호가 해당 노드에서 애드되어 전달될 Hop수를 나타내며, 기호 X는 해당 파장의 광신호가 해당 노드를 통과함을 의미한다. 임의의 정수 I가 특정 Entry에 할당되면 동일한 행의 인접한 우측 열들에 차례로 I-1개의 기호X가 자동적으로 할당된다. 이것은 특정 파장의 광신호가 특정 노드에서 애드되어 기호 X가 할당된 노드들을 모두 통과한 후 드롭(drop) 되기 때문이다. 따라서

정수 I와 I-1개의 인접한 기호X들은 반드시 한 블록으로 할당되며, 이 블록은 물리적으로 하나의 광경로를 의미한다.

제안된 알고리즘은 노드들을 규칙에 따라 세부 집합으로 분리하는 과정, 행렬을 생성하는 과정, 그리고 행렬의 Entry들에 값을 할당하는 과정으로 구성된다. 알고리즘을 설명하기 위해 그림3과 같이 M개의 노드를 가진 첫번째 양방향 환형망(BRN1)과 N개의 노드를 가진 두번째 양방향 환형망(BRN2)이 하나의 광회선 분배기로 결합된 경우를 가정한다.

3. 노드들을 세부 집합으로 분류

주어진 통신망의 노드들을 세부 그룹으로 분류하는 기준은 해당 노드와 광회선 분배기 사이의 Hop수다. 그림3에 나타난 바와 같이 BRN1의 M개의 노드들 중 광회선 분배기로부터 반시계 방향으로 Hop수가 $[M/2]$ 이하인 노드들을 S1 그룹, 시계 방향으로 Hop수가 $[M/2]$ 이하인 노드들을 S2 그룹으로 분류한다. $[]$ 는 \cdot 를 넘지 않는 최대 정수를 나타낸다. 또 노드 수 M이 홀수면 S1과 S2그룹에 속하지 않는 하나의 노드가 있는데, 이 노드를 S3 그룹으로 분류한다. S3그룹 노드와 광회선 분배기 사이의 Hop수는 $[M/2]+1$ 이다.

동일한 방법으로 BRN2에 속한 N개의 노드들 중, 광회선 분배기로부터 시계 방향으로 Hop수가 $[N/2]$ 이하인 노드들을 T1그룹, 반시계 방향으로 Hop수가 $[N/2]$ 이하인 노드들을 T2그룹으로 분류한다. 또 N이 홀수면 광회선 분배기로부터 Hop수가 $[N/2]+1$ 인 하나의 노드를 T3 그룹으로 분류한다.

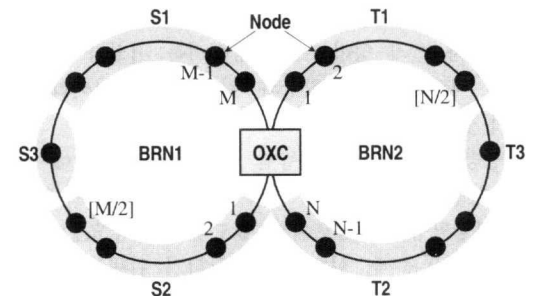


그림 3. 광통신망의 노드들을 세부그룹으로 분류하는 방법

4. 행렬의 생성

파장할당을 표현하는 두 개의 행렬(Matrix1, Matrix2)을 생성하여야 하는데, 행렬의 크기는 각 노드 사이를 Full-mesh 형태로 연결하기 위해 필요

한 과장 수와 노드 수에 의해 결정된다. 필요한 과장 수(W)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 W &= W1 + W2 + W3 + W4 + W5, \\
 W1 &= W2 = \lfloor M/2 \rfloor \times \lfloor N/2 \rfloor, \\
 W3 &= \lfloor M/2 \rfloor \times (N \bmod 2) + \lfloor N/2 \rfloor \times (M \bmod 2), \\
 W4 &= \text{Max}[\lfloor M/2 \rfloor, \lfloor N/2 \rfloor], \\
 W5 &= (M \bmod 2) \times (N \bmod 2)
 \end{aligned}
 \tag{1}$$

여기서 XmodY 는 X를 Y로 나눈 나머지를, MaxX, Y는 X와 Y 중 같거나 큰 값을 각각 나타낸다. Matrix1에서 열의 배치 순서는 임의의 한 노드에서 시작하여 시계 방향으로 진행하면서 경유하는 모든 노드들을 차례로 나열하면 되는데, 이 경우 광회선 분배기를 두 번 지나므로 열의 수는 M+N+2가 된다. 따라서 행렬의 크기는 W x (M+N+2)이고, 열의 배치에 있어서 시작점을 임의의 노드로 설정하더라도 동일한 행렬을 얻을 수 있도록 행렬의 (M+N+2)번째 열과 첫번째 열이 서로 연결되어 있어서 순환이 가능하다. Matrix2에서 열의 배치 순서는 임의의 한 노드에서 시작하여 반시계 방향으로 진행하면서 경유하는 모든 노드들을 차례로 나열하면 되고, 이 경우에도 (M+N+2)번째 열과 첫번째 열이 서로 연결되어 있어서 순환이 가능하다.

5. Entry 값 할당

행렬의 Entry 들에는 정수와 이와 결합된 기호 X들을 블럭단위로 할당하는데, 정수가 할당되면 반드시 우측 열들에 기호 X가 할당된다. 아래의 설명 과정에서 기호 X의 할당을 별도로 명시하지 않더라도 정수 I가 할당되면 반드시 우측 열들에 I-1개의 X들도 동시에 할당된다고 간주한다.

Entry 값을 할당하는 과정은 먼저, Matrix1에서 S1그룹과 T1그룹 그리고 S2그룹과 T2그룹에 각각 속한 노드들 사이의 연결경로에 과장을 할당하고(단계1), 다음으로 S1그룹과 T2그룹 그리고 S2그룹과 T1그룹에 각각 포함된 노드들 사이의 연결경로에 과장을 할당한다(단계2). 세번째 단계(단계3)에서는 S3그룹에 포함된 노드들과 BRN2에 속한 노드들, 그리고 T3그룹에 속한 노드들과 BRN1에 속한 노드들 사이의 연결경로에 과장을 할당한다. 네번째 단계(단계4)에서는 Matrix1을 기초로 하여 일정한 규칙에 따라 Matrix2의 Entry들에 값을 할당하고, 다섯 번째 단계(단계5)에서는 같은 환형 망에 속한 노드들 사이의 연결경로에 과장을 할당한다. 만약

M과 N이 동시에 홀수가 아니면 이 상의 다섯 단계를 통해 과장할당을 표현하는 행렬이 완성되지만, M과 N이 동시에 홀수면 여섯 번째 단계(단계6)에서 S3그룹과 T3그룹에 속한 노드들 사이의 연결경로에 과장을 할당한다.

1) 단 계 1

Matrix1의 첫 번째에서 W1번째 행까지 Entry들에 값을 할당한다. 먼저 S1그룹 노드들에 해당되는 열들의 Entry들에 첫 번째 행부터 차례로 K+1에서 $\lfloor N/2 \rfloor + K$ 까지의 정수를 각각 할당한다. 여기서 K는 광회선 분배기와 해당 노드 사이의 Hop수로서 K는 1에서 $\lfloor M/2 \rfloor$ 사이의 정수이다. 비슷한 방법으로 T1그룹 노드들에 해당되는 열들에도 S2 그룹 노드들과의 연결을 위해 차례로 K+1에서 $\lfloor M/2 \rfloor + K$ 까지의 정수를 각각 할당한다. 이때 S2그룹에 속한 노드 중 광회선 분배기로부터 Hop수가 1인 노드에 연결되는 경로들을 첫 번째 행부터 모두 할당하고, Hop수가 증가되는 다른 노드들에 연결되는 경로들을 차례로 할당한다.

2) 단 계 2

첫 번째 단계에 할당된 W1개의 행에 이어지는 새로운 W2 ($W1=W2$)개의 행에 값을 할당하는데, 첫 번째 단계에서 값이 할당된 $W1 \times (M+N+2)$ 행렬을 다음 $W2 \times (M+N+2)$ 행렬에 그대로 복사하여 삽입하면 된다. 이 단계에서 할당된 광신호들은 다른 단계에서 할당되는 광신호들과 달리 광회선 분배기에서 진행 방향을 바꾸게 되는데, 그 의미는 제 IV 장의 첫번째 실시 예에서 자세히 설명한다.

3) 단 계 3

이 단계에서는 M인 홀수면 새로운 $\lfloor N/2 \rfloor$ 개의 행에 또는 N인 홀수면 새로운 $\lfloor M/2 \rfloor$ 개의 행에 각각 값을 할당하고, 만약 M과 N이 모두 짝수면 이 단계는 생략된다. 먼저, M이 홀수면 S3그룹 노드에 해당하는 열의 Entry에 각각 $\lfloor M/2 \rfloor + 2$ 에서 $\lfloor M/2 \rfloor + \lfloor N/2 \rfloor + 1$ 까지의 값을 차례로 할당한다. 다음으로 특정 Entry에 임의의 정수 I가 할당되면 동일한 행의 좌측 열들에도 I-1개의 X들을 차례로 할당하고, 그 좌측 열에 다시 한번 정수 I를 할당한다. 만약 N이 홀수면 비슷한 방법으로 T3그룹 노드에 해당하는 열의 새로운 $\lfloor M/2 \rfloor$ 개의 행에도 $\lfloor N/2 \rfloor + 2$ 에서 $\lfloor M/2 \rfloor + \lfloor N/2 \rfloor + 1$ 까지의 값을 차례로 할당한 후, 좌측 열들에 X와 정수를 다시 한번 할당한다.

4) 단 계 4

Matrix2의 Entry들에 값을 할당하는데, Matrix2의 Entry 값들은 이상의 단계를 통해 얻어진

Matrix1의 Entry값들을 행과 열이 일치하도록 1:1로 복사해서 넣는다.

5) 단 계 5

BRN1과 BRN2에 각각 속한 노드들 사이의 연결 경로에 파장을 할당하기 위해 환형망별로 각각 시계 방향과 반시계 방향 보조 행렬을 생성한 후, 이것을 Matrix1 또는 Matrix2와 결합한다. 보조 행렬들은 참고문헌 [8]에 제시된 방법에 따라 간단하게 생성할 수 있으며, 행렬을 결합하는 규칙은 다음과 같다.

첫째, 보조 행렬에서 광회선 분배기에 해당하는 열에 정수가 할당된 행은 전체 행을 복사하여 열이 일치하도록 Matrix1 (시계 방향 보조 행렬의 경우) 또는 Matrix2(반시계 방향 보조 행렬의 경우)의 새로운 행에 넣는다. 둘째, 보조 행렬에서 광회선 분배기에 해당하는 열에 기호 X가 할당된 행은 광경로(블럭)별로 분리하여 Matrix1 또는 Matrix2의 행들 중 이미 다른 Entry에 값이 할당된 행의 빈자리에 블럭단위로 삽입한다. 이 경우 광경로가 광회선 분배기를 통과하는 블럭은 신호의 경로(진행 방향)를 변경하여 삽입한다. 신호의 경로를 변경하는 방법은 정수 I와 I-1개의 X가 할당된 블럭을 삭제한 후, 정수 I를 M+1-I(BRN1의 경우) 또는 N+1-I(BRN2의 경우)로 바꾸고, 이 값을 드롭될 노드에 해당하는 Entry에 할당하면 된다. 이를 통해 신호의 진행방향이 바뀌기 때문에 시계 방향 보조 행렬의 블럭은 Matrix2에 삽입하고 반시계 방향 보조 행렬의 블럭은 Matrix1에 각각 삽입한다. 셋째, 상기한 방법과 같이 경로를 바꾸어도 Hop수가 변하지 않는 경우, 즉 I=M+1-I 또는 I=N+1-I 이면 해당 행을 Matrix1 또는 Matrix2의 새로운 행에 삽입한다. 참고로 이상에서 언급한 바와 같이 경로를 바꾸어 설정되는 경로들의 경로를 변경하지 않고, 행렬의 새로운 행에 삽입하면 망의 모든 경로들을 최단 거리로 연결할 수 있다. 하지만 이 경우 여분의 파장을 더 사용하여야 한다.

6) 단 계 6

M과 N이 모두 홀수가 아니면 이상의 단계로서 파장할당이 완료된다. 만약 M과 N이 모두 홀수면 이상의 단계를 완료한 후, Matrix1 또는 Matrix2에 모든 Entry가 빈 하나의 행이 남게 되는데, 이 행의 S3그룹과 T3그룹 노드들에 해당하는 열에 각각 $[M/2]+[N/2]+2$ 를 할당한다.

IV. 제안된 알고리즘을 이용한 파장할당 실시 예

1. 첫 번째 실시 예

제안된 알고리즘을 이용한 파장할당의 실시 예로서 그림4와 같이 첫 번째(BRN1)와 두 번째(BRN2) 환형망의 노드 수가 모두 4개(M=4, N=4인 경우)인 광통신 망을 가정한다.

알고리즘에 따라 먼저, 노드들을 세부 그룹으로 분류하면 노드 C와 D는 S1 그룹, 노드 A와 B는 S2 그룹, 노드 E와 F는 T1 그룹, 노드 H와 G는 T2그룹으로 각각 분류할 수 있다. 또, 노드들 사이를 Full-mesh 형태로 연결하기 위해 필요한 최소 파장 수는 식(1)에 의해 모두 10 개이고 (W1=W2=4, W3=0, W4=2, W5=0), 환형망의 노드 수가 각각 4개이므로 파장할당을 나타내는 행렬의 크기는 10 x 10이다. 행렬의 크기가 정해지면 행렬에서 열을 배치하여야 하는데, Matrix1은 A노드부터 시작하여 시계 방향으로 진행하면서 노드들을 나열하고, Matrix2는 D 노드부터 시작하여 반시계 방향으로 진행하면서 노드들을 나열한다.

Matrix1에 Entry값을 할당하는 첫 번째 단계(단계1)와 두 번째 단계(단계2)를 수행하면 그림 5 (a)와 같은 행렬을 얻을 수 있다. 이 경우 두 번째 단계에서는 첫 번째 단계에서 값이 할당된 4 x 10 행렬을 그대로 복사하여 넣으면 된다. 행렬에서 $\lambda_1 \sim \lambda_{10}$ 은 파장할당에 사용할 광신호의 파장을 나타낸다. M과 N이 모두 짝수이므로 세 번째 단계(단계3)는 생략하고, 네 번째 단계(단계4)에서는 Matrix1과 다른 방향으로 진행하는 광신호의 파장할당을 나타내는 Matrix2를 생성하는데, Matrix2는 그림 5 (b)와 같다. 참고로 Matrix1에서 Entry값이 할당되는 단계를 Matrix2의 우측에도 동일하게 표시하였다.

다섯 번째 단계에서는 보조 행렬을 생성하여야 하는데, 참고문헌 [8]에 제시된 방법을 이용하여 생성된 시계 방향과 반시계 방향 보조 행렬들을 각각 그림 5 (c)와 5(d)에 나타내었다. 여기서 두 환형망들은 같은 수의 노드를 가지고 있으므로 두 환형망에 대한 보조 행렬은 각 방향별로 동일하다. 따라서 보조 행렬들을 각 방향별로 하나의 행렬로 나타내었고, 환형망 별로 해당하는 노드들을 표시하였다. 먼저, 시계 방향 보조 행렬을 규칙에 따라 Matrix1 또는 Matrix2와 결합하는데, 광회선 분배기에 해당하는 열에 정수가 할당된 두 번째와 세 번째 행을 복사하여 Matrix1의 새로운 행에 넣는다. 다음으로

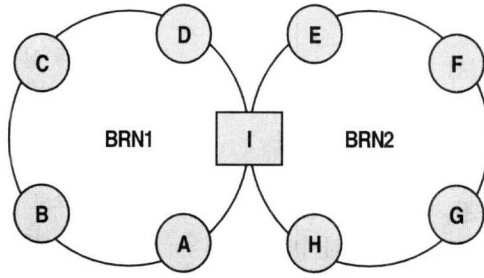


그림 4. 광통신망 첫 번째 예

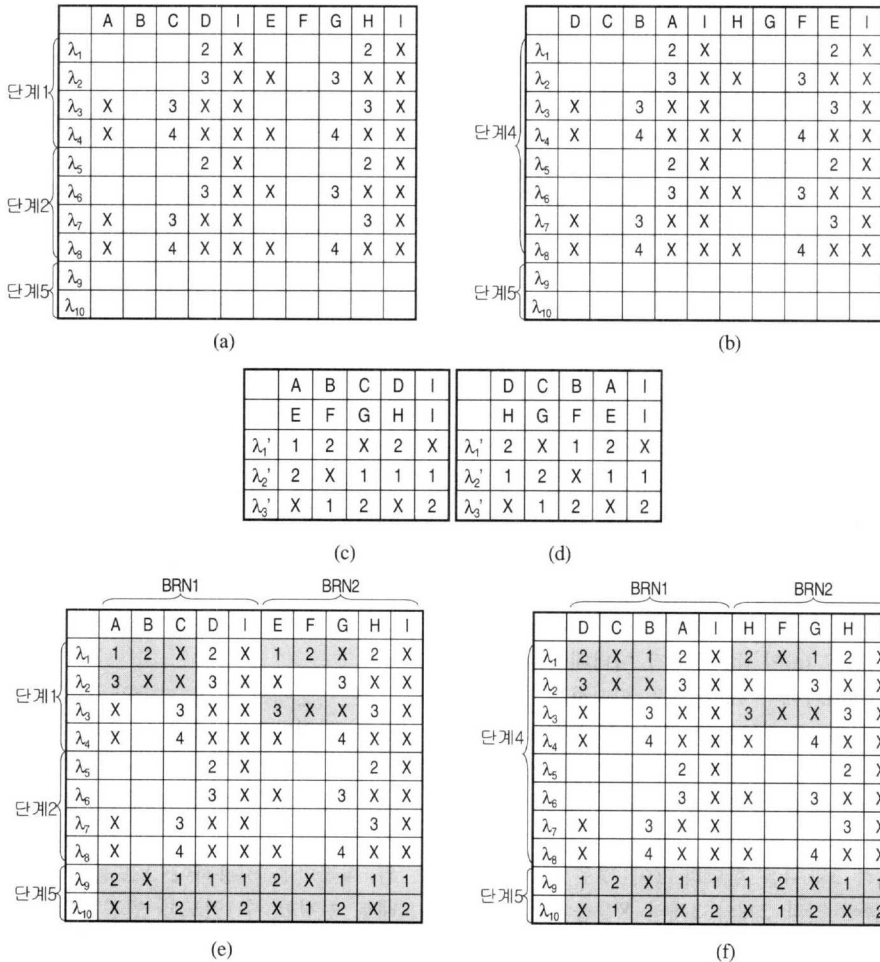


그림 5. 광통신망 첫 번째 예에서 과장할당 (a) 단계1과 단계2를 수행한 이후의 Matrix1, (b) 단계4에서 생성된 Matrix2, (c) 시계방향 보조행렬, (d) 반시계 방향 보조 행렬, (e) 과장할당을 나타내는 완성된 Matrix1, (f) 과장할당을 나타내는 완성된 Matrix2

광회선 분배기에 해당하는 열에 기호 X가 할당된 세 번째 행은 각 광경로별로 분리하여 Matrix1 또는 Matrix2의 빈자리에 삽입한다. 이 때 광회선 분배기를 통과하지 않는 광경로들은 그대로 Matrix1의 1행에 삽입하였다. 반면, 광회선 분배기를 통과

하는 광경로는 앞서 설명된 방법에 의해 방향을 바꾸고, Matrix2의 λ_2 (BRN1의 경우)와 λ_3 (BRN2 경우)에 각각 삽입하였다. 같은 방법으로 반시계 방향 보조 행렬도 Matrix1 또는 Matrix2와 결합한다. 완성된 행렬은 그림 5 (d)와 (e)에 나타내었으며, 다섯

번째 단계에서 보조 행렬들을 결합하여 할당된 Entry값들은 음영으로 표시하였다.

완성된 행렬에서 정수가 할당된 열은 해당 파장의 광신호가 애드 되는 노드이며, 이 열에서 할당된 Hop수만큼 떨어진 우측 열의 노드는 광신호가 드롭 되는 노드이다. 예를 들어, Matrix1에서 λ_4 는 노드 C에서 애드 되어 노드 G에 드롭 되고, 다시 노드 H에서 애드 되어 노드 B에서 드롭 된다. 하지만, 두 번째 단계(단계2)에서 할당된 행들은 다르게 해석하여야 한다. 즉, 행렬에서 두 번째 단계에 할당된 Entry들은 광회선 분배기에서 신호의 진행 방향을 바꾸므로 이를 고려해주어야 한다. 이 경우, Matrix1의 BRN1 부분과 Matrix2의 BRN2 부분 그리고 Matrix1의 BRN2 부분과 Matrix2의 BRN1 부분이 각각 연결되어 있다고 간주하면 된다. 예를 들어 Matrix1의 λ_6 은 노드 D에서 애드 되어 시계 방향으로 진행하다가 광회선 분배기에서 방향이 바뀐 후, Matrix2의 노드 H에서 드롭 된다.

2. 두 번째 실시 예

제안된 알고리즘을 이용한 파장할당의 두 번째 실시 예로서 그림6과 같은 광통신망(M=4, N=3인 경우)을 가정한다. 이 경우 N이 홀수이므로 노드 F를 T3그룹으로 분류한다. 노드들 사이를 Full-mesh 형태로 연결하기 위해 필요한 최소 파장 수는 식(1)에 의해 모두 8 개이고(W1=W2=2, W3=2, W4=2, W5=0), 행렬의 크기는 8 x 9이다. 모든 단계를 수행한 후의 완성된 파장할당 행렬, Matrix1과 Matrix2를 그림 7 (a)와 (b)에 각각 나타내었다.

이 경우 Matrix1에서 Entry값을 할당하는 첫 번째 단계(단계1)와 두 번째 단계(단계2)단계는 앞의 예와 비슷하지만, N이 홀수이므로 세 번째 단계(단계3)에서도 Entry값을 할당하여야 한다. 세 번째 단계에서 Entry 값을 할당하는 방법은 먼저 F열(S3 그룹)에 각각 3과 4를 할당하고(이 경우 자동적으로 우측 열들에 각각 2개와 3개의 X들을 할당), F열의 좌측에도 각각 2개와 3개의 X들을 할당하며, 동일한 정수 3과 4를 다시 좌측 열에 할당한다. 다섯 번째 단계에서 생성되는 보조 행렬 중, BRN1의 보조 행렬은 그림 5 (c) 또는 (d)와 동일하다. 이것은 BRN1의 노드 수가 4개이기 때문이다. BRN2의 시계 방향 보조 행렬과 반시계 방향 보조 행렬은 각각 그림 7 (c)와 (d)에 나타내었다. 완성된 파장할당 행렬에서 다섯 번째 단계에서 보조 행렬들과의 결합을 통해 할당된 Entry들은 음영으로 표시하였

다.

3. 세 번째 실시 예

제안된 알고리즘을 이용한 파장할당의 세 번째 실시 예로서 그림8과 같은 광통신망(M=3, N=3인 경우)을 가정한다. M과 N이 모두 홀수이므로 노드 B를 S3그룹으로 노드 E를 T3그룹으로 분류한다. 노드들 사이를 Full-mesh 형태로 연결하기 위해 필요한 최소 파장 수는 식(1)에 의해 모두 6 개이고(W1=W2=1, W3=2, W4=1, W5=1), 행렬의 크기는 6 x 8이다. 모든 단계를 수행한 후 완성된 파장할당 행렬, Matrix1과 Matrix2를 그림 9 (a)와 (b)에 각각 나타내었다.

첫 번째에서 네 번째 단계는 앞의 예와 비슷한 방법으로 Entry값을 할당할 수 있다. BRN1과 BRN2는 모두 세 개의 노드로 구성되어 있으므로 다섯 번째 단계에서 생성되는 보조 행렬들은 BRN1과 BRN2의 경우에 대해 같으며, 시계 방향 보조 행렬은 그림 7 (c)와 반시계 방향 보조 행렬은 그림 7(d)와 각각 동일하다. 완성된 행렬에서 다섯 번째 단계에서 보조 행렬들과의 결합을 통해 할당된 Entry들은 음영으로 표시하였다. 이 실시예에서는, M과 N이 모두 홀수이므로 여섯 번째 단계(단계6)를 수행하여야 한다. 다섯 번째 단계까지 수행하면 Matrix2에 하나의 행이 모두 빈 상태로 남게 되는데, 이 행의 B열과 E열에 각각 4를 할당하면 된다.

V. 결론

본 논문에서는 네 가닥의 광섬유를 사용하는 양방향 환형망들을 광회선 분배기로 결합한 구조의 파장분할 다중방식 광통신에서 파장할당을 위한 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 환형망들을 결합한 복잡한 구조의 광통신망에서 항상 최소의 파장만을 사용하여 노드들 사이를 Full-mesh 형태로 연결할 수 있도록 연결경로 설정하며, 이러한 특징으로 인해 제한된 수의 파장을 사용하여 망의 확장성을 최대화한다. 또, 해석적 방법으로 파장을 할당하므로 기존의 Heuristic 알고리즘 보다 간단할 뿐만 아니라 항상 최적의 해(최소 파장의 사용)를 보장하는 장점이 있다.

제안된 알고리즘은 주어진 통신망의 노드를 규칙에 따라 몇 개의 그룹으로 분리하는 과정, 파장할당을 표현하는 행렬을 생성하는 과정, 그리고 행렬의 Entry에 값을 설정하는 과정으로 구성된다. 파장할

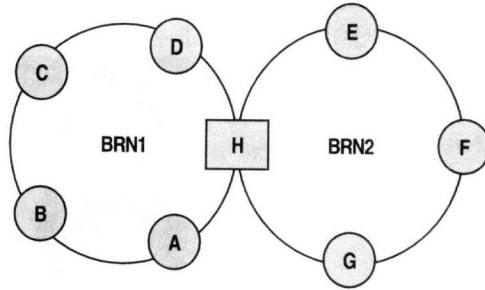


그림 6. 광통신망 두 번째 예

	A	B	C	D	H	E	F	G	H	
단계1	λ_1	1	2	X	2	X		2	X	
	λ_2	X		3	X	X		3	X	
단계2	λ_3	3	X	X	2	X		2	X	
	λ_4	X		3	X	X		3	X	
단계3	λ_5			3	X	X	3	X	X	
	λ_6	X		4	X	X	X	4	X	X
단계5	λ_7	2	X	1	1	1	1	1	1	1
	λ_8	X	1	2	X	2	2	X	2	X

	D	C	B	A	H	G	F	E	H	
단계4	λ_1	2	X	1	2	X		2	X	
	λ_2	X		3	X	X		3	X	
단계4	λ_3	3	X	X	2	X		2	X	
	λ_4	X		3	X	X		3	X	
단계5	λ_5			3	X	X	3	X	X	
	λ_6	X		4	X	X	X	4	X	X
단계5	λ_7	1	2	X	1	1	1	1	1	1
	λ_8	X	1	2	X	2	X	2	X	2

	E	F	G	H
λ'_1	1	1	1	1
λ'_2	2	X	2	X

	G	F	E	H
λ'_1	1	1	1	1
λ'_2	X	2	X	2

그림 7. 광통신망 두 번째 예에서 과장할당 (a) 과장할당을 나타내는 완성된 Matrix1, (b) 과장할당을 나타내는 완성된 Matrix2, (c) BRN2의 시계방향 보조행렬, (d) BRN2의 반시계 방향 보조 행렬

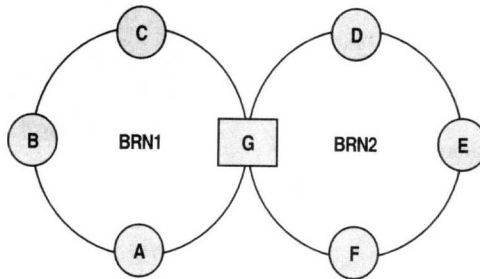


그림 8. 광통신망 세 번째 예

	A	B	C	G	D	E	F	G	
단계1	λ_1	2	X	2	X	2	X	2	X
단계2	λ_2			2	X		2	X	
단계3	λ_3	X	3	X	X		3	X	
	λ_4			3	X	X	3	X	X
단계5	λ_5	1	1	1	1	1	1	1	1
	λ_6	X	2	X	2	X	2	X	2

	C	B	A	G	F	E	D	G	
단계4	λ_1	2	X	2	X	2	X	2	X
	λ_2			2	X		2	X	
단계4	λ_3	X	3	X	X		3	X	
	λ_4			3	X	X	3	X	X
단계5	λ_5	1	1	1	1	1	1	1	1
단계6	λ_6	X	4	X	X	X	4	X	X

그림 9. 광통신망 세 번째 예에서 과장할당 (a) 과장할당을 나타내는 완성된 Matrix1, (b) 과장할당을 나타내는 완성된 Matrix2

당을 표현하는 행렬은 각 광경로에 할당되는 파장, 신호의 송/수신 노드, 연결경로의 Hop수, 신호의 진행방향 등을 나타낸다. 제안된 파장할당 방법은 다수의 환형망들을 광회선 분배기로 결합한 다양한 구조의 광통신망에도 적용될 수 있으며, 미래 사회에 필요한 대용량 광통신 망을 설계하거나 효율적으로 운영하는데 이용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] P. E. Green, "Optical networking update," *J. Lightwave Technol.*, 14(5), pp. 764-770, 1996.

[2] C. A. Brackett et al, "A scalable multiwavelength multihop optical network: a proposal for research on all-optical network," *J. Lightwave Technol.*, 11(5/6), pp. 736-753, 1993.

[3] P. Kaminow et al, "A wideband all-optical WDM network," *IEEE J. Selected Area Commun.*, 14(5), pp. 780-799, 1996.

[4] K. Sato, Network performance and integrity enhancement with optical path layer technologies, "*IEEE J. Selected Areas Commun.*, 12(1), pp. 159-170, Jan., 1994.

[5] D. K. Hunter and D. Marcencz, "Optimal mesh routing in four-fibre WDM rings," *Electron. Lett.*, 34(8), pp. 796-797. 1998.

[6] C. Yang, Z. Qingji and J. Yaohui, "Interconnection of WDM self-healing rings," in *ICCT'98*, 1, pp. 1-5, 1998.

[7] N. Antoniadis, "Computer simulation of a metro WDM interconnected ring network," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 12(11), pp. 1576-1578, 2000.

[8] G. Ellinas, K. Bala, and G.-K. Chang, "A novel wavelength assignment algorithm for 4-fiber WDM self-healing rings," in *Proc. ICC' 98*, 1, pp. 197 ~201, 1998.

[9] G. Ellinas, K. Bala, and G.-K. Chang, "Scalability of a novel wavelength assignment algorithm for WDM shared protection rings," in *Proc. OFC '98*, pp. 363 ~364, 1998.

[10] R. Ramaswami and K. Sivarajan, "Optimal routing and wavelength assignment in all-optical networks," in *Proc. INFOCOM'94*, pp. 970-979, 1994.

조 윤 희(Yunhee Cho)

정회원



1999년 2월: 한동대학교
 전산전자공학부 졸업
 2001년 2월: 한국과학기술원
 전자전산학과 석사
 2001년 2월~현재: 한국전자통신
 연구원 WDM시스템팀
 연구원

<주관심 분야> 광통신, RWA, 광트랜스폰더

김 현 덕(Hyun Deok Kim)

정회원



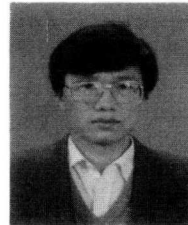
1997년 2월: 경북대학교
 전자공학과 졸업
 1999년 2월: 한국과학기술원
 전기 및 전자공학과 석사
 2002년 2월: 한국과학기술원
 전자전산학과 박사

2002년 2월~현재: Novera Optics Korea 근무

<주관심 분야> 광통신 시스템, 광네트워킹

이 창 희(Chang-Hee Lee)

정회원



1983년 2월: 한양대학교
 전기공학과 졸업
 1985년 2월: 한국과학기술원
 전기 및 전자공학과 석사
 1989년 2월: 한국과학기술원
 전기 및 전자공학과 박사

1989년 6월~1990년 7월: Postdoctorate in Bellcore

1989년 1월~1997년 2월: 한국전자통신연구원 근무

1997년 3월~현재: 한국과학기술원 전자전산학과 교수

<주관심 분야> 광통신 시스템, 광네트워킹