

메쉬형 광네트워크의 라우팅 문제를 위한 유전자 알고리즘

○
박 용규, 위 규범, 예 홍진
아주대학교 정보 및 컴퓨터 공학부

A Genetic Approach for Routing Problems in Optical Meshes

○
Yongkyu Park, Kyubum Wee, Hongjin Yeh
Div. of Information & Computer Engineering, Ajou University

요 약

본 논문에서는 메쉬(Mesh)형 광 네트워크에서의 전방송(All-to-All Broadcast)을 위한 라우팅(Routing) 문제를 다루고 있다. $n \times m$ 으로 구성된 메쉬(Mesh)형 구조에서 자기 자신을 제외한 모든 노드로의 방송을 위하여 구성되는 Path가 최단 거리를 유지하면서 Path들이 지나가는 각각의 링크(Link)에 대한 사용빈도를 최대한 균등하게 분포시키는 유전자 알고리즘(Genetic Algorithms)을 제안하였다.

1. 서론¹⁾

파장 분할 방식(WDM : Wavelength Division Multiplexing)이란 광섬유로 연결된 하나의 링크(Link) 사이에서 서로 다른 파장을 사용하는 다중 통신 채널(Multiple Communication Channel)을 의미한다. 메쉬(Mesh)형 광네트워크(Optical Network)에서는 서로 인접 노드사이에만 실제 링크(Link)가 설치되며, 한 노드에서 다른 노드로의 경로(Path)는 여러 개의 링크(Link)들로 구성된다. 이때, 송신 노드로부터 수신 노드로 패킷(Packet)을 전달하려면 이미 결정된 경로(Path)에 특정 파장(Wavelength)을 할당하게 되며, 이러한 패킷 전달 경로를 lightpath라 한다. 따라서, lightpath는 단방향으로 패킷을 전달하며, 각 링크에는 여러 개의 서로 독립적인 lightpath들이 통과할 수 있다.[1]

이러한 WDM 방식의 광네트워크에서 lightpath를 결정하기 위해서는 먼저 송수신 노드간에 경로(Path)를 확립한 다음에 특정 파장을 할당하는 작업이 필요하며 이것을 라우팅과 파장할당(Routing and Wavelength Assignment : RWA) 문제라고 한다. 일반적으로, 패킷 전송에 따른 RWA 문제를 해결하는 데에는 두 가지 방법이 있다. S. Ramamurthy, Biswanath Mukherjee[2]의 연구결과에 의하면 RWA 문제에

서 패킷 전달의 블로킹 확률(Blocking Probability)이라는 관점에서 볼 때, 파장 변환(Wavelength Conversion)[3] 방식보다 효과적인 라우팅(Routing) 전략이 더욱 중요하다는 사실을 실험적으로 보였다

따라서, 본 논문에서는 메쉬형 광 네트워크에서의 라우팅 문제를 다루고자 한다. 즉, 각각의 링크를 지나가는 lightpath의 개수를 균등하게 조정하여 특정 링크의 부하가 커지는 문제(Hot Spot)를 해결하기 위해서 유전자 알고리즘을 제안하고 있다. 2장은 문제에 대한 모델과 변수들을 정의하고 있으며, 3장에서는 효과적인 라우팅 전략을 위해 유전자 알고리즘을 어떻게 적용하였는지를 소개한 뒤에 실험결과를 설명한다.

2. WDM 광 네트워크에서의 라우팅 문제

행의 수가 n 이고 열의 수가 m 인 $n \times m$ 메쉬(Mesh)에서 lightpath는 자기 자신을 제외한 노드 쌍만큼 존재하며 링크는 단방향성을 가지므로 하나의 링크를 통과하는 서로 다른 방향의 lightpath들은 이질의 파장을 사용한다. 메쉬(Mesh)형 네트워크에서 만들어지는 lightpath는 송신 노드와 중간 노드 그리고 수신 노드에 대한 정보를 가지고 있어야 하며 lightpath의 진행 방향을 위해 동서남북의 방향성도 포함한다.

최단거리(Shortest Path)만을 만족하도록 라우팅(Routing)하여 만들어진 lightpath는 어느 특정 링크를 집중적으로 통

* 이 논문은 1999년도 정보통신부 대학기초 연구지원사업에 의해 작성되었음.

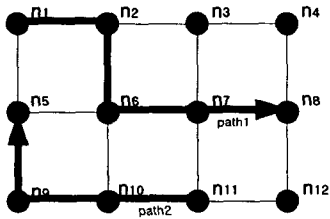
과하여 링크의 부하(Hot Spot)를 키치게 한다. 또한, 사용 가능한 파장(Wavelength)이 부족하게 되면 패킷 전달에 있어서 블로킹을 발생시키며 lightpath가 통과하지 않는 링크(Link)의 파장은 효과적으로 사용할 수 없게 되는 단점을 갖는다. 만약 최단거리를 유지하면서 각 링크의 활용도가 최대한 균등하도록 한다면 전체적인 네트워크의 성능이 향상될 것이다. 그러므로 노드 쌍 사이에 존재하는 모든 lightpath가 최단거리(Shortest Path)를 유지하면서 네트워크의 각 링크의 사용빈도를 최대한 균등하도록 분산시키는 라우팅 방법을 유전자 알고리즘을 이용하여 찾고자 한다.

3. 유전자 알고리즘을 이용한 라우팅

유전자 알고리즘(Genetic Algorithms)은 생명체의 적자생존과 진화현상에 기초한 검색 알고리즘으로서 잠정적인 해를 나타내는 개체들을 군집으로 구성하고 이 군집에 교배, 돌연변이 등의 유전자 연산을 반복적으로 적용함으로써 다음 세대에 더 좋은 해를 나타내는 개체군으로 진화시킨다. 유전자 알고리즘은 여러 가지 최적화 문제에 좋은 성능을 보일 수 있음이 알려져 있다.[4][5]

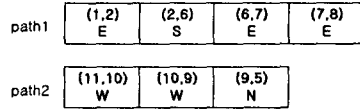
3.1 인코딩(Encoding)

[그림 1]과 같이 3×4 mesh에서 각 노드는 n_1, n_2, \dots 의 순서로 이름을 가지며 $n \times m$ mesh 구조로 확장한다.



[그림 1] 3×4 mesh

메쉬(Mesh) 구조에서 n_1 노드와 n_8 노드사이에는 path1과 같은, n_5 노드와 n_{11} 노드사이에는 path2와 같은 통로(Path)가 존재한다. 노드와 노드사이의 path는 동서방향으로 먼저 이동하고 남북방향으로 이동하는 방향성을 가지게 되는데 이것은 동일한 노드를 중복하여 통과하는 문제를 해결하여 최단거리를 항상 유지하도록 해준다. $n \times m$ 메쉬에서 하나의 노드에서 다른 노드로의 가능한 통로가 곧 크로모솜(Chromosome)이 되며 이러한 크로모솜(Chromosome)들이 모여 하나의 군집을 구성하게 된다. 이때, 하나의 군집의 크기는 $(n \times m)(n \times m - 1)$ 이다. [그림 2]는 몇 가지 크로모솜(Chromosome)을 보여주고 있다.



[그림 2] 크로모솜

3.2 적합도 함수(Fitness Function)와 선택(Selection)

현 세대의 개체들보다 진화된 좋은 자손들이 다음 세대에 더 많이 나타나도록 하기 위해서는 적합도 함수를 이용하여 좋은 형질을 가진 부모 개체의 선택이 확률적으로 높아지도록 할 수 있다. 그러므로 적합도 함수는 각 링크의 사용 빈도를 비교하여 사용 빈도가 높은 링크를 선택하는 룰렛 휠(Roulette Wheel) 선택방법을 이용하여 링크를 선택한 다음 선택된 링크를 통과하는 통로(Path)들 중에 임의로 두 개를 선택한다.

군집(Population)에 대해 각 크로모솜이 사용하는 링크의 표준편차는 다음과 같다.

$$\sigma(Use(l_i))$$

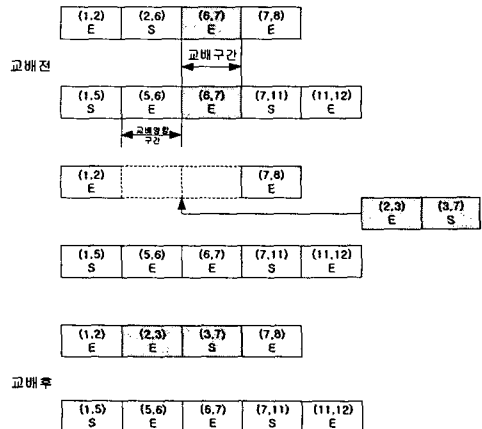
여기서 l_i 는 i 번째의 링크를 나타내고, $Use(l_i)$ 는 통로(Path)의 링크의 사용회수를 나타낸다. 이러한 표준편차를 감소시키면 결국 네트워크의 모든 링크의 전체적인 사용회수는 균등하게 된다. 아래의 L 은 링크 전체의 집합을 의미한다.

$$Min \{ \max_{l \in L} Use(l_i) \}$$

3.3 유전 연산자(Genetic Operators)

3.3.1 교배(Crossover) 연산

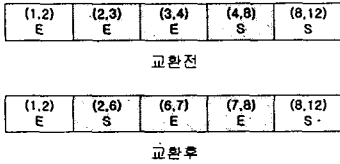
선택된 두 개의 개체에서 임의로 선택한 교배지점을 기준으로 두 개체의 유전 정보를 서로 교환하여 새로운 개체를 구성하는 연산[5]으로 가장 많이 사용된 링크를 통과하는 통로(Path)들 중에 임의로 두 개를 선택해 상대적으로 짧은 통로(Path)의 링크를 상대적으로 적게 사용되는 다른 링크로 통과하는 대체링크로 교체하는 상대적인 교배연산을 수행한다.



[그림 3] 교배(crossover) 연산

3.3.2 돌연변이(Mutation) 연산

하나의 개체에 새로운 유전적 정보를 감하는 연산으로 군집이 국부적인 최적화 값에 수렴하지 않도록 하는 역할을 가지는 연산[5]으로 [그림 4]와 같이 임의의 경로(Path)를 선택하여 방향의 순서를 치환(Permutation)하여 수행한다.

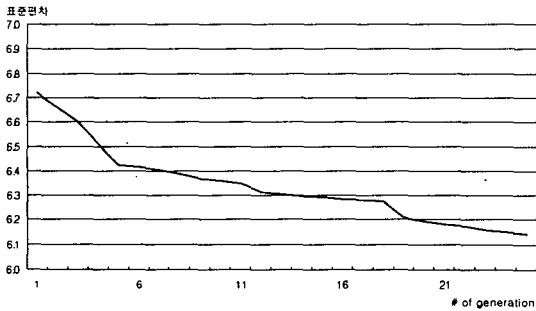


[그림 4] 돌연변이(mutation) 연산

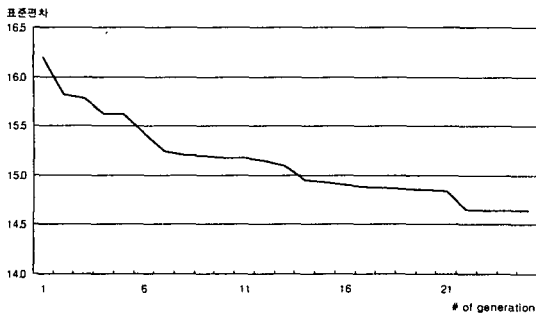
3.4 실험결과

실험연구를 위한 제어 변수로 교배 비율(Crossover rate)과 돌연변이 비율(Mutation rate)은 적합도 함수에 의해 결정된다. 군집(Population)의 크기는 메쉬(Mesh)의 크기 즉, $n \times m$ 에 의하여 $(n \times m)(n \times m - 1)$ 로 고정하였으며 최대 세대수는 25 이내로 설정하였다. 제안된 유전자 알고리즘을 적용한 실험결과를 [그림 5]와 같으며 세대의 수가 거듭될수록 각 링크의 사용 빈도수를 나타내는 표준편차의 값이 조금씩 감소하는 것을 볼 수 있었다.

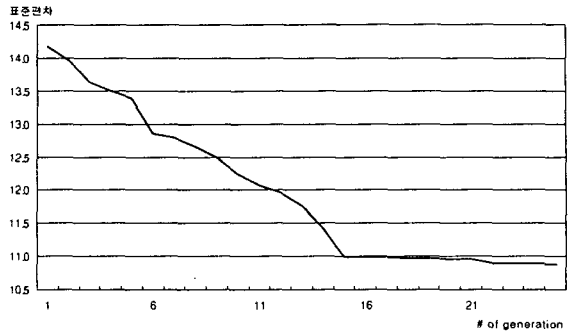
즉, 최단거리를 만족하도록 라우팅 하여 만들어진 경로(Path)는 어느 특정 링크를 집중적으로 통과하지 않고 링크의 활용도가 최적화 되도록 하여 전체적인 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있음을 보여준다.



(a) 3×4 mesh 인 경우



(b) 3×6 mesh 인 경우



(c) 5×5 mesh 인 경우

[그림 5] 제안된 알고리즘의 실험결과

4. 결론

메쉬(Mesh)형 광네트워크에서의 전방송(All-to-All Broadcast)을 위한 라우팅(Routing) 문제를 해결하기 위하여 유전자 알고리즘을 제안하였다. 실험 결과 제안된 알고리즘은 자기 자신을 제외한 모든 노드로의 방송을 위한 경로(Path)들이 최단 거리를 유지하면서 각 링크들의 사용빈도를 최대한 균등하게 분산시키는 효과를 확인할 수 있었다. 향후 연구과제로는 파장 할당 문제를 추가적으로 고려하여 RWA (Routing and Wavelength Assignment) 문제를 해결하고 네트워크에서 발생하는 트래픽(Traffic)에 동적(Dynamic)으로 대응할 수 있는 알고리즘을 개발과 함께 토러스(Torus)형이나 하이퍼큐브(Hypercube)형 네트워크에서의 알고리즘 적용을 토대로 임의의 네트워크에서도 적용 가능한 알고리즘을 개발이 진행중이다.

5. 참고문헌

[1] Biswanath Mukherjee, "Optical Communication Networks", McGraw-Hill, 1997.

[2] S. Ramamurthy, Biswanath Mukherjee. "Fixed-Alternate Routing and Wavelength Conversion in Wavelength-Routed Optical Networks".

[3] K.-C. Lee and V. O. K. Li, "A wavelength convertible optical network", IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, vol. 11, pp. 962-970, May/June 1993.

[4] D. E. Goldberg, "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning", Addison-Wesley, 1989.

[5] M. Mitchell, "An Introduction to Genetic Algorithms", MIT Press, 1996.