

광 통신 네트워크에서 Ants System을 이용한 파장 라우팅

문창곤⁰

위규범

예홍진

홍만표

아주대학교 정보통신공학과
myflying@shinbiro.com⁰

{kbwee, hijeh, mphong}@madang.ajou.ac.kr

Wavelength Routing using Ants System in the Optical Communication Networks

Chang-Gon Moon⁰

Kyu-Bum Wee

Hong-Jin Yeh

Man-Pyo Hong

Dept. of Information & Communication Engineering, Ajou University

요 약

본 논문에서는 광 네트워크에서 파장(Wavelength)의 라우팅(Routing)문제와 파장할당(Wavelength Assignment)문제 해결에 필요한 파장의 개수를 찾아내는데 있어서 Ants System의 적용이 기존의 다른 방법과 유사하거나 일부 더 좋은 결과를 나타냄을 보인다.

또한, 광 네트워크에서 각 링크가 균등하게 사용되도록 함으로써 광경로(lightpath)의 개수를 최소화하여, 주어진 네트워크에서의 파장의 최소 개수를 찾아내는데 Ants System이 효과적으로 적용될 수 있음을 보인다.

1. 서론¹⁾

광 결합구조(optical connection)에서 널리 쓰이는 데이터 전송방법 중의 하나가 광섬유의 거대 용량을 이용하는 파장분할다중방식(WDM)이다. 이것은 하나의 광섬유에 서로 다른 파장(wavelength)을 사용하는 여러 개의 독립적인 채널을 동시에 제공하여 데이터를 전송하는 방법이다. 이러한 초고속 통신 채널은 대규모 병렬 시스템에서 상호 연결망(interconnection networks)을 구성하는데 효과적으로 사용될 수 있다[2,3]. 광 네트워크상의 임의의 노드에서 정해진 파장(wavelength)을 사용하여 패킷을 전송하면 해당 노드에서 선택적으로 처리하는 방식으로 노드간의 패킷 전달이 이루어진다. 송신 노드로부터 수신 노드로 패킷(packet)을 전달하려면 이미 결정된 경로(path)에 제한된 개수의 파장에서 특정 파장을 할당하게 되며, 이러한 패킷의 전달 경로를 광경로(lightpath)라고 한다. 따라서 광경로는 단방향으로 패킷을 전달하며, 각 링크에는 여러 개의 서로 독립적인 광경로들이 통과할 수 있다. 이러한 WDM방식의 광 네트워크에서 광경로를 결정하기 위해서는 먼저 송수신 노드간에 경로를 확립한 다음에 특정 파장을 할당하는 작업이 필요하며, 이것을 라우팅과 파장 할당(RWA : Routing and Wavelength Assignment)문제라고 한다[7].

패킷 전송에 따르는 RWA 문제를 해결하기 위한 관점은 크게 두 가지가 있는데, 하나는 블로킹 확률(blocking probability)을 최소화하는 것이고, 다른 하나

는 패킷의 전송 지연 시간을 최소화하는 것이다. 이러한 두 가지 관점에서 보았을 때, 파장의 변환(wavelength conversion)방식과 파장할당(wavelength assignment)방식 등에 앞서 효율적인 라우팅(Routing)전략의 확립이 더욱 중요하다는 사실을 실험적으로 보였다[2,3,6]. 본 논문에서는 Ants System을 적용하여 임의의 광 네트워크에서 각각의 링크를 지나가는 광경로의 개수를 균등하게 조정하여 특정 링크의 혼잡도(congestion)가 커지는 문제를 해결하고자 한다.

2. 파장의 라우팅문제

광 네트워크에서의 라우팅 전략은 크게 두 가지로 동적 라우팅(dynamic routing)과 정적 라우팅(static routing)으로 나뉘어진다[2]. 동적 라우팅은 송신 노드(source)와 수신 노드(destination)사이에 설정되어야 할 광경로의 요구가 임의로 도달할 때 필요하며, 정적 라우팅은 네트워크 상에서 설정되어야 할 모든 광경로들의 요구가 초기에 미리 알려져 있는 경우에 필요한 라우팅 전략이다. 본 논문에서는 네트워크상의 각 링크의 활용을 최대한 균등하게 분산시키는 라우팅 전략을 찾기 위한 방법으로 Ants System을 이용하여 정적 라우팅을 적용하여 해결한다. 광경로를 최단경로(shortest path)로 설정하게 되면 광 네트워크상의 어느 특정 링크를 집중적으로 경유하게 되는 경우가 많다. 그러므로, 그 링크의 혼잡도가 증가하게 되어 한정된 자원인 파장(wavelength)의 부족을 초래하게 된다.

* 이 논문은 1999년도 정보통신부 대학교초 연구지원사업에 의해 작성되었음.

따라서, 사용 가능한 파장이 부족하게 되어 패킷 전송 시에 광경로가 설정되지 못하는 블로킹을 일으키게 되며, 광경로가 경유하지 않는 링크의 파장은 효율적으로 사용되지 못하게 되는 문제가 발생한다. 이러한 문제는 네트워크 전체의 traffic이 각 링크마다 불균등하게 분포되어 발생하므로, 최단경로를 가능한 한 유지하면서 각 링크의 traffic이 균등하게 분포되도록 라우팅 함으로써 각 링크의 활용도를 최대화할 수 있다. 따라서 traffic이 균등하게 분포되도록 유지시킴으로서 전체적인 네트워크의 성능을 향상시킬 수 있으며, 한정된 자원으로써 필요한 파장의 개수를 최소화시킬 수 있다는 관점에서 네트워크상의 각 링크의 활용을 최대한 균등하게 분산시키는 라우팅 전략이 중요하다.

3. Ants System

Ants System 모델은 개미가 페로몬(pheromone)이라는 호르몬의 추적을 이용해 경험적으로 최단길이 경로를 찾아내는 원리에 착안하여 고안되었다[1,4,5].

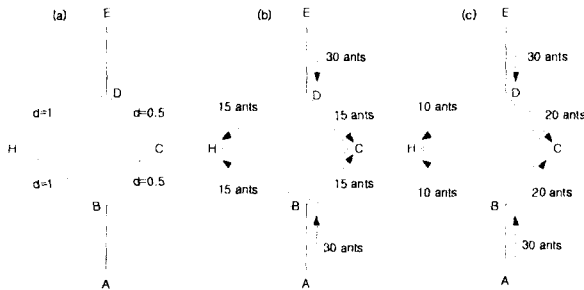


Fig.1 인공개미의 예

Fig.1에서 (a)는 거리 d에 따른 네트워크 그래프의 초기상태이며, (b)는 시간 t=0일 때는 기역능력을 갖춘 인공개미가 B또는 D지점에 도착했을 때 H 또는 C로 경유할 확률이 같음을 보이고 있으며, (c)는 시간이 흘러 t=1일 때는 B, C, D를 경유하여 목적지에 도달하는 것이 빠르므로 페로몬이 다른 경로보다 많이 축적되어 훨씬 많은 개미들이 B, C, D를 경유하는 모습을 보여준다. 시간이 더욱 지남에 따라 결국에는 최단길이 경로에만 페로몬이 축적되어 개미가 최단길이 경로를 찾아냄을 보여준다.

4. 문제설정

임의의 물리적인 광 네트워크 위상(Topology)에서 특정 링크를 지나가는 광경로의 개수를 최소화하면 필요한 파장의 개수를 최소화하여 찾아낼 수 있다. 이를 수학적으로 나타내면 다음과 같다.[2]

λ_{sd} : 출발점(source) s에서 목적지(destination) d로의 traffic

F_{ij}^{sd} : 노드 i와 j사이 링크를 지나가는 source s에서 destination d로의 traffic량

$$\text{Minimize } F$$

$$\text{such that } F \geq \sum_{s,d} F_{ij}^{sd} \quad \forall ij$$

$$\sum_i F_{ij}^{sd} - \sum_k F_{jk}^{sd} = \begin{cases} -\lambda_{sd} & \text{if } j=s \\ \lambda_{sd} & \text{if } j=d \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\lambda_{sd} = 0, 1$$

$$F_{ij}^{sd} = 0, 1$$

5. 전이확률(Transition Probability)

전이확률은 임의의 인공개미가 특정 노드에 도달했을 때, 다음 노드로의 이동을 위해 여러 링크들 중에서 경유할 링크를 선택하는 확률을 나타낸다. 본 논문에서는 exponential parameter α 와 β 를 이용하여 링크의 혼잡도(congestion)와 최단경로의 조합에 의하여 다음과 같이 전이확률을 적용하였다.

링크의 혼잡도 $C_{ij} = [\text{link}(i, j) \text{의 Traffic}]^{-1}$

$S_{ij}^{sd} = [\text{Link}(i, j) \text{를 경유하는 source } s \text{에서 destination } d \text{까지의 최단경로길이}]^{-1}$

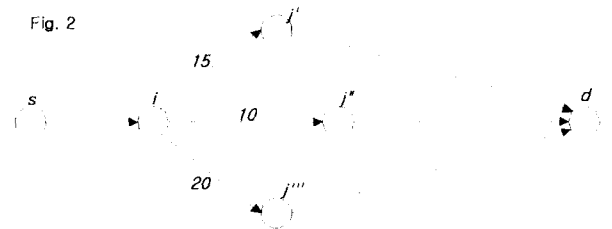
n_i : 노드 i 의 외향차수(outdegree)

일 때, 전이확률 P_{ij}^{sd} 는

$$P_{ij}^{sd} = \frac{[C_{ij}]^\alpha [S_{ij}^{sd}]^\beta}{\sum_{j=1}^{n_i} [C_{ij}]^\alpha [S_{ij}^{sd}]^\beta}$$

와 같이 정의한다. 이 때, 파라미터 α 가 커질수록 혼잡도가 작은 링크가 선택될 확률이 증가하고, β 가 커질수록 최단경로가 선택될 확률이 증가한다.

Fig. 2



예를들어, 위 Fig.2에서 Link(i,j'), Link(i,j''), Link(i,j''')의 혼잡도가 각각 15, 10, 20이고, 각 링크를 지나가는 s에서 d로의 최단경로길이가 각각 3, 4, 5 라고 가정하면, 파라미터 α 와 β 에 따라 전이확률이 다음의 [표1]과 같이 다르게 계산됨을 알 수 있다.

파라미터	$\alpha=1, \beta=1$	$\alpha=1, \beta=2$	$\alpha=2, \beta=1$	$\alpha=2, \beta=2$
전이 확률 $P(i, j')$	0.3881	0.4732	0.3304	0.4052
$P(i, j'')$	0.4371	0.3991	0.5580	0.5128
$P(i, j''')$	0.1748	0.1277	0.1116	0.0821

[표1] 파라미터에 따른 전이확률 예

6. 적용 알고리즘

본래 Ants System에서는 페로몬이 많이 축적된 경로를 인공개미가 찾아낸다. 그러나, 본 논문에서는 인공개미가 지나가는 경로 위에 축적된 페로몬이 광 네트워크에서 각 링크의 traffic에 해당되므로, 본래의 Ants System과는 달리 페로몬에 해당되는 각 링크의 traffic

이 작게 유지되도록 해야 한다. 그러므로, 다음 링크를 선택하기 위한 전이확률 값의 계산 방법이 앞서 기술한 바와 같이 페로몬이 적게 축적된 링크가 다음 노드를 위한 경로로 선택될 확률을 높이도록 적용해야 한다.

1. Initialize :
 - generate random network topology
 - initialize the congestion table with zero
 - place ants on every node i
 - generate a set of s - d lightpath requests randomly
2. Generate the shortest path table using dijkstra's algorithm
3. Assign shortest paths to a set of s - d lightpath requests
4. Repeat until (finding a minimum max. congestion value)
 - select a maximum congested link
 - assign corresponding s - d requests to the other less congested paths by sending artificial ants with transition probability
 - update the congestion table
 - find the max. congested link and max. congestion value
 - compare the found value with a previous minimum max. congestion value
5. Print shortest paths, ants' routes, a minimum max. congestion value and link

[그림3]. Ants System Algorithm

7. 시뮬레이션 실험 결과

본 논문에서 제안한 Ants System 알고리즘은 C언어로 구현하였으며, Intel Pentium II 333Mhz PC에서 수행하였다. 주어진 네트워크 위상(topology)은 전체 노드 개수가 100개이며, 각 노드의 차수(degree)는 2에서 5까지 가지도록 하였으며, 전체 링크의 개수는 355개가 되도록 구성하였다. 또한, 네트워크 상의 특정 노드들이 비연결(disconnected)인 경우, 특정 목적지까지의 최단경로길이 무한대(∞)가 되는 문제가 발생하므로, 모든 노드가 연결(connected)되도록 구성하였다. 전이확률을 계산하기 위한 파라미터 α 와 β 값으로는 각각 1, 2, 5, 10 을 조합하여 적용하였다.

Avg. Deg.	Connections	Max. Congestion per link	Wavelength
1	100	4	4
2	205	8	8
3	300	10	10
4	400	11	11
10	984	22	22
20	1958	38	41

[표2] Mukherjee 등의 연구 결과([2,3])

Avg. Deg.	Connections	$\alpha=2$ $\beta=5$	$\alpha=2$ $\beta=10$	$\alpha=5$ $\beta=10$	$\alpha=5$ $\beta=5$	$\alpha=5$ $\beta=2$	$\alpha=10$ $\beta=5$
1	100	4	4	4	4	5	5
2	200	7	8	8	8	9	9
3	300	10	10	10	11	12	12
4	400	11	11	12	13	14	14
10	1000	22	21	23	24	25	26
20	2000	39	39	39	41	40	41

[표3] 제안한 알고리즘의 실험 결과(Max. Congestion)

[표2], [표3]에서 Connections는 정적 라우팅을 위해 임의로 생성하여 미리 주어지는 source-destination request의 전체 개수를 나타내며, Avg. Deg.는 Connections를 전체 노드 개수로 나눈 값으로 각 노드에서의 평균 광경로 요구량을 나타낸다. 실험결과와 Mukherjee 등의 연구 결과([2,3])를 비교하면, 제안한 알고리즘에서 일부 더 좋은 값을 나타내거나 유사한 결과값을 보인다. 그러나, $\alpha \geq \beta$ 인 경우에는 다소 차이가 있다. 이것은 Connections값이 증가함에 따라, 각 링크에서의 혼잡도(congestion)와 각 노드에서 특정 노드로의 최단경로길이의 차이가 더욱 커지므로, $\alpha \geq \beta$ 인 경우에 파라미터 α 값이 전이확률 계산에 영향을 훨씬 더 많이 끼치게 되어 나타난 결과로 해석된다. 따라서, 이러한 문제를 조율하기 위해서 혼잡도 값과 최단경로길이 값의 정규화(Normalize)가 필요할 것으로 보인다.

8. 결론

본 논문은 광 네트워크의 성능 향상을 위한 라우팅 전략 및 제한된 자원으로써 요구되는 파장의 개수를 찾아내는 문제에 Ants System을 적용하였다.

앞서 기술한 바와 같이 본 논문에서는 최단경로를 가능한 한 유지하면서, 필요한 파장의 개수를 최소화하여 찾아낼 수 있었다. 그 결과 각 링크의 traffic이 가능한 한 거의 균등하게 분포되도록 라우팅 하였다.

향후 과제로는 구해진 개수만큼의 파장(wavelength)을 광경로에 적절히 할당해야 하는 파장할당 문제(wavelength assignment problem)로 확대 적용하는 것이다.

9. 참고문헌

- [1] A. Colomi, M. Dorigo, V. Maniezzo, "Distributed Optimization by Ant Colonies", *Proceedings of the First European Conference on Artificial Life*, pp. 134-142, 1992.
- [2] B. Mukherjee, "Optical Communication Networks", McGraw-Hill, 1997.
- [3] D. Banerjee, B. Mukherjee, "A Practical Approach for Routing and Wavelength Assignment in Large Wavelength-Routed Optical Networks", <http://ortega.cs.ucdavis.edu/Pubs.html>, 1995.
- [4] M. Dorigo, V. Maniezzo and A. Colomi, "Ant System : Optimization by a Colony of Cooperating Agents", *IEEE Transactions on Systems*, vol. 26, No.1, pp. 29-41, 1996.
- [5] M. Dorigo, G. Di Caro, "Ant Algorithms for Discrete Optimization", *Artificial Life*, Vol. 5, No. 2, pp. 137-172, 1999.
- [6] Rajiv Ramaswami, "Routing and Wavelength Assignment in All-Optical Networks", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 3, No. 3, pp. 489-500, 1995.
- [7] Z. Zhang, "A Heuristic Wavelength Assignment Algorithm for Multihop WDM Network with Wavelength Routing and Wavelength Re-Use", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 3, No. 3, pp. 281-288, 1995.