

노드연결도제한이 있는 멀티캐스트 라우팅 알고리즘

이성근, 한치근

경희대학교 컴퓨터공학전공

e-mail:highstop@algorithms.khu.ac.kr, cghan@khu.ac.kr

A Multicast Routing Algorithm with Node Degree Constraints

Sung-Geun Lee, Chi-Geun Han

Dept of Computer Engineering, Kyung-Hee University

요 약

인터넷 인구의 증가와 인프라의 발전은 새로운 인터넷 서비스들을 요구하게 되었고, 이러한 서비스의 대부분은 멀티캐스팅을 사용하고 데이터는 용량이 많은 멀티미디어 데이터들을 전송하는 서비스들이다. 멀티캐스팅은 데이터를 여러 목적지로 보내기 때문에 데이터의 복사가 필수적이어서 노드의 부하가 많아지며, 데이터의 용량이 클 경우 노드의 부하는 더욱 크지게 된다. 이러한 이유로 멀티캐스트 라우팅 알고리즘의 연구가 필요하게 되었다. 노드에서 데이터를 복사하는데 노드의 용량 때문에 발생하는 노드연결도제한은 멀티캐스트 라우팅 연구에 고려하여야 할 기본적인 요소이다. 연결도제한을 고려한 멀티캐스트 라우팅 알고리즘이 현실적으로 의미를 갖고 있으나 이에 대한 연구는 제한이 없는 멀티캐스팅 알고리즘을 단순히 수정하여 제공하는 것 뿐이었다. 따라서 본 연구에서는 노드연결도제한을 고려한 효율적인 알고리즘을 개발하기 위해 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)과 개미 알고리즘(Ant Algorithm)을 비교하고자 한다. 이 문제는 NP-hard에 속하는 문제로 다항시간에 문제를 해결할 수 없음이 밝혀져 있다.

1. 서론

인터넷 인구의 증가는 새로운 인터넷 서비스들(Teleconferencing, VOD, Collaborative Computing 등)을 요구하고 있으며, 이러한 서비스의 대부분은 멀티캐스팅을 이미 지원하거나 요구하고 있다. 멀티캐스팅은 향후 인터넷 서비스에서 기본적으로 제공해야 할 기술이 될 것이다[1]. 멀티캐스팅은 다수의 수신자가 존재하기 때문에 송신자가 데이터를 보낼 때 각 수신자에게 데이터의 복사본을 만들어서 보내게 된다. 이 때 각 노드의 부하는 상당히 증가하게 되며, 특히 전송하고자 하는 데이터가 멀티미디어 데이터와 같은 대용량의 데이터일 경우 노드의 부하는 더욱 증가하게 될 것이다[2]. 이런 관점에서 멀티캐스팅의 통신비용을 감소시키는 방법은 멀티캐스트 트리를 만들어 공통된 복사본을 트리를 통해 전송하는 것이다. 하지만 멀티캐스트 트리를 만드는 문제

는 어려운 문제이다[10]. 멀티캐스트 트리문제는 네트워크에서 Steiner 문제로 간주되고[3], 이 문제에 관한 연구는 이미 많이 진행되었다[4]. 그러나 실제로 네트워크를 구성하는 스위치가 멀티캐스트를 무한정 지원하는 것은 아니다. 그 이유로 첫 번째는 노드 자체에 멀티캐스팅 기능이 없을 수도 있고, 두 번째는 노드의 부하를 조절하기 위해 멀티캐스트의 복사본의 수를 제한하는 것이다. 본 논문에서는 전송되는 복사본의 수를 제한하기 위해 멀티캐스팅의 조건으로 노드연결도에 제한을 두는 멀티캐스팅을 위한 알고리즘의 개발을 목적으로 한다. 기존의 제약이 있는 멀티캐스팅에 관한 연구는 제약이 없는 상태에서 만들어진 휴리스틱 알고리즘들을 제약에 따라 약간씩 수정한 것을 사용하였으나[5] 본 논문에서는 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)과 개미 알고리즘(Ant Algorithm)을 노드연결도 제한이 있

는 문제의 해결 방안으로 사용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 노드 연결도 제약이 있는 멀티캐스팅 문제를 정의하고, 3장에서는 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)과 개미 알고리즘(Ant Algorithm)을 설명한다. 4장에서는 두 알고리즘의 실험결과를 비교, 분석하고 마지막 5장에서는 향후연구과제에 관해 논의한다.

2. 노드연결도제한이 있는 멀티캐스팅 문제 정의

네트워크의 모델은 무향, 연결, 가중 그래프인 $G=(V, E)$ 로 표현한다. 여기서, 노드집합을 $V=\{w, 1, \dots, n\}$ 라 하고, 에지의 집합을 E 라고 하며, 각 에지 (i, j) 에 할당되어 있는 비용을 C_{ij} 로 한다. $Q(Q \subseteq V)$ 는 기본노드로 서비스를 요청하는 노드이고, 송신자가 되는 root 노드는 $w \in Q$ 이다. $D \leq n$ 를 노드연결도를 제한하는 양의 정수라고 할 때, 노드연결도 제한을 만족하는 최소비용의 Q 를 포함하는 서브그래프 T 를 구하는 것이다. 즉, T 에 속해있는 각 노드의 연결도(node degree)는 최대 D 이어야 한다.

3. 알고리즘

3.1 유전자 알고리즘

유전자 알고리즘은 자연적인 진화, 즉 적자생존의 원리에 기반을 둔 계산적인 모델이다. 주로 조합 최적화(combinatorial optimization)문제를 해결하는 데 널리 사용되고 있다. 멀티캐스트 라우팅문제를 유전자알고리즘으로 해결한 논문은 이미 발표되었다[7]. 유전자알고리즘은 염색체의 인코딩(encoding)과 디코딩(decoding), 적합함수(fitness function), 연산자인 교차연산자(crossover)와 돌연변이(mutation) 등으로 구성된다[6].

3.1.1 인코딩(encoding)

염색체의 크기는 전체 노드에서 시작노드와 목적노드를 뺀 수로 한다. 노드가 T 에 포함되면 1이고 아니면 0이 된다.

3.1.2 디코딩(decoding)

염색체로 다시 트리를 구성하는 단계이다. 염색체의 원소 중 1로 할당된 중간노드를 이용하여 트리를 재구성한다. Prim's 알고리즘을 수정하여 적용한다[7]. 두 노드 사이에 에지가 존재하지 않을 경우에는 두 노드간의 최단 경로로 설정한다.

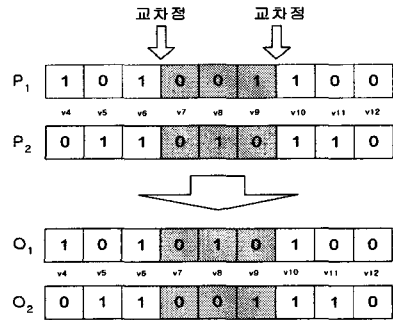
```

Prim
G' = (V', E');
T ← {s};
while V'-T ≠ ∅ do
(v, u) ← Min2T(),
  where v ∈ T, u ∈ V'-T;
  add edge (v, u) to the tree;
  T ← T + {u};
End Prim
    
```

[그림 1] 디코딩에 사용되는 절차

3.1.3 교차연산(crossover)

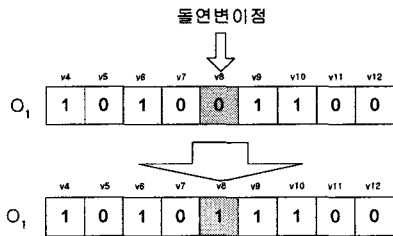
교차연산은 부모염색체 P_1, P_2 에서 자식염색체 O_1, O_2 를 생성하는 연산자이다. 본 논문에서는 이점 교차연산자를 적용한다.



[그림 2] 이점 교차연산

3.1.4 돌연변이연산(mutation)

돌연변이연산은 하나의 염색체를 부분적으로 조작하여 새로운 염색체를 만들어 낸다.



[그림 3] 돌연변이연산

3.1.5 보정연산

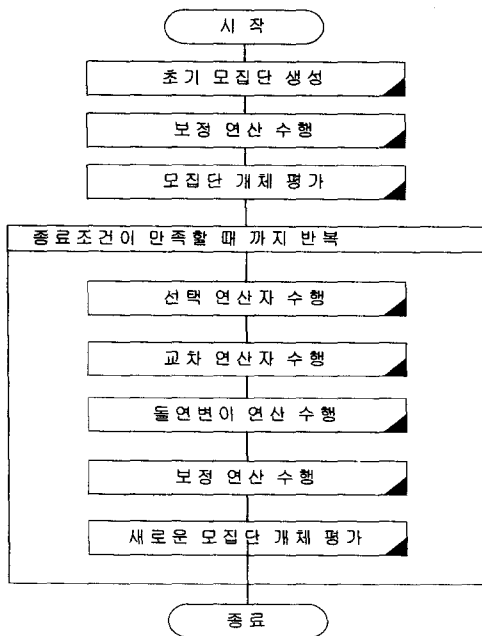
시작노드와 목적노드가 아닌 노드가 최중트리의 단말노드가 된다면 이것은 불필요한 비용을 증가시키는 것이 된다. 그러므로 이러한 노드를 염색체에서 0으로 하여 최중트리로부터 제거하는 연산이다.

3.1.6 적합함수

적합함수는 노드 연결도 제한에 위배되는 트리는 디코딩과정에서 완전히 배제되므로 최중트리의 총비용으로만 한다.

3.1.7 유전자 알고리즘의 설계

세대를 진화해 가면서 제약을 만족하고 T의 총 비용이 적은 개체는 다음 세대로 진화하고 연결도 제한을 만족하지 못하거나 총비용이 큰 개체는 배제하게 된다. 선택연산(selection)은 전체 개체 중에 상위에 있는 염색체만 선택하여 다음 세대로 진화하게 한다. 다음은 유전자 알고리즘에 대한 전체적인 흐름도이다.



[그림 4] 흐름도

3.2 개미 알고리즘

개미 알고리즘은 실제 개미가 둥지에서 먹이까지 최단 경로를 찾는 방법에 기초하여 개발된 알고리즘이다. 개미들은 페로몬(pheromone)이라는 화학물질을 뿌리면서 움직이는데 다음 개미들은 페로몬의 양이 많은 길을 선택하게 된다.

개미알고리즘은 실제 개미를 모델링한 인공개미를 사용한다. 인공개미들은 에지의 비용과 에지의 페로몬양을 기초로하여 다음에 방문할 노드를 선택하게 된다. 그리고, 인공개미들은 각각 타부리스트(tabu list)를 가지고 있는데 이것은 자기가 방문한 노드를 저장하여 다음에 다시 방문하지 못하게 하는데 사용된다. 개미 알고리즘은 State Transition Rule, Local Updating Rule, Global Updating Rule

로 구성된다[8].

본 논문에서 사용하는 개미알고리즘은 목적노드에 인공개미를 위치시키고[9] 각 개미가 시작노드를 찾아가게 한다. 탐색이 진행되면서 인접한 노드 중에 다른 개미에 의해 방문된 노드가 노드연결도 제한을 만족한다면 이 노드를 방문하게 되고 새롭게 방문한 개미는 더 이상의 탐색을 하지 않는다.

3.2.1 State Transition Rule

현재의 노드에서 다음에 이동할 노드를 선택하는 과정에서 적용되는 규칙이다. 다음 노드를 선택할 때 두가지 정보를 고려하게 되는데, 하나는 휴리스틱한 값으로 에지의 비용이고, 다른 하나는 이전 개미들에 의해 만들어진 에지의 페로몬값이다. 이 두가지 정보를 이용하여 현재 노드에서 연결된 에지에 확률을 부과하게 된다. 노드를 선택하는 방법은 확률이 가장 큰 노드를 선택하거나 룰렛 휠에 의하여 노드를 선택하는 방법이 있다.

3.2.2 Local Updating Rule

개미가 다음 노드로 이동한 후 이전 노드와 현재 노드를 연결하는 에지의 페로몬 값을 감소시키기 위해 Local Updating Rule을 이용한다. Local Updating Rule은 페로몬의 증발에 의한 감소를 포함하게 된다. 이렇게 페로몬을 감소시키는 이유는 다른 개미가 다른 노드를 선택할 확률을 높이기 위한 것이다.

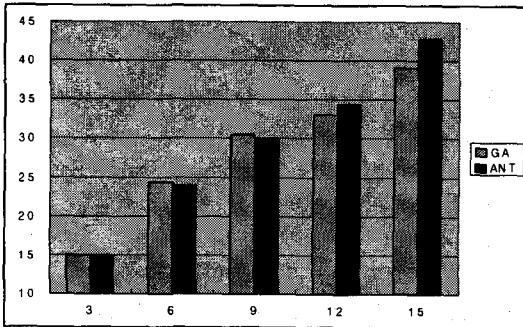
3.2.3 Global Updating Rule

개미 멀티캐스트 트리들을 만들면, 트리들 중에서 비용이 가장 작은 트리를 선택하여, 이 트리에 속한 모든 에지의 페로몬 값을 Global Updating Rule에 의해 증가시킨다. 증가시키는 이유는 다시 트리를 만들 때 다른 개미들에 의해 선택될 확률을 높이기 위해서이다.

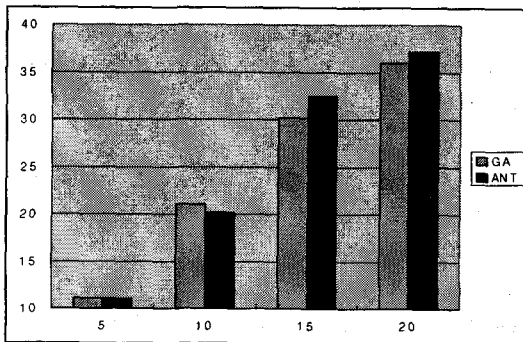
4. 실험결과 및 분석

실험은 IBM Pentium 4 프로세스의 windows 운영체제 하에서 실행되었다. 실험 A는 노드수가 30개이고 연결도 제한은 3으로 하였으며 목적노드의 수는 3, 6, 9, 12, 15이다. 실험 B는 노드수가 60개이고 연결도 제한은 3이고 목적노드의 수는 5, 10, 15, 20이다. 실험 C는 노드수가 100개이고 연결도 제한은 4이며 목적노드의 수는 5, 10, 15, 20이다. 그래프 에지의 수는 완전그래프 에지 수의 30%로 하였다. 각 실험은 그래프를 임의의 10개씩 만들어 각 그래프마다 20번씩 유전자알고리즘(GA)과 개미알고리즘

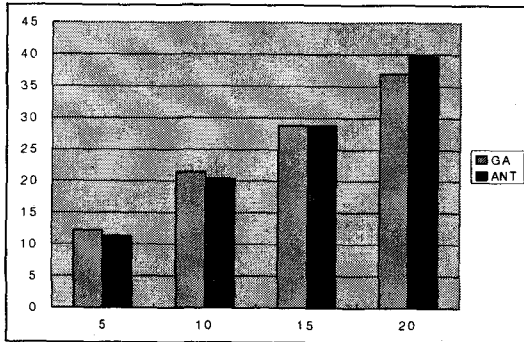
(ANT)을 실행하여 구한 멀티캐스트 트리의 총비용의 평균값이다. 차트에서 세로축의 값은 트리의 비용이고 가로축은 목적노드의 수가 된다.



[그림 5] 실험 A



[그림 6] 실험 B



[그림 7] 실험 C

실험의 결과에서 보면 목적노드의 수가 적을 때는 개미알고리즘에 의해 만들어진 트리의 총비용이 더 적고 목적노드의 수가 많아져 만들어진 트리의 모양이 복잡해질 경우 유전자 알고리즘에 의해 생성된 트리의 총비용이 더 적은 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 멀티캐스트 서비스를 위하여 멀티

캐스트 트리를 구성할 때, 망의 노드인 스위치 시스템의 성능을 고려하여 각 노드마다 연결도에 제한을 두는 멀티캐스트 트리를 구축하였다. 멀티캐스트 트리를 구축할 때 유전자 알고리즘과 개미 알고리즘을 사용하였는데 멀티캐스트의 목적노드의 수가 적을 때는 개미알고리즘이 우수한 성능을 보였고, 목적노드의 수가 많을 때는 유전자알고리즘의 성능이 더 좋았다. 추후 연구과제는 망의 연결도제한뿐만 아니라 시작노드와 목적노드 사이의 홉수를 제한하는 문제를 고려할 수 있다.

참고문헌

- [1] Bin Wang and Jennifer C. Hou "Multicast Routing and Lts QoS Extension : Problems, Algorithms, and Protocols" IEEE Networks pp.22~36 Jan/Feb 2000
- [2] Aaron Striegel and G. Manimaran "A Survey of QoS Multicasting Issues" IEEE Communications Magazine pp. 82~87 June 2002
- [3] F. Hwang and D. Richards "Steiner tree problems" Networks vol. 22 pp. 55~89 1992
- [4] P. Winter "Steiner problem in networks : a survey" Networks vol.17 no.2 pp.129~167 1987
- [5] F. Bauer and A. Varma "Degree-Constrained Multicasting in Point-to-Point Networks" INFOCOM pp. 369~376 1995
- [6] D. E. Goldberg "Gentic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning" Addison Wesley 1989
- [7] 서용만, 한치근 "실시간 멀티캐스트 라우팅을 위한 유전자 알고리즘" 경희대학교 석사학위논문 2000
- [8] M. Dorigo " Ant Colony System : A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem" IEEE Transactions On Evolutionary Computation Vol.1 No. 1 April 1997
- [9] Chao-Hsien Chu, JunHua Gu, Xiang Dan Hou and Qijun Gu "A Heuristic Ant Algorithm for Solving QoS Multicast Routing Problem" IEEE 2002
- [10] M. R. Garey and D. S. Johnson "Computer And Intractability : A Guide to the Theory of NP-Completeness" FREEMAN AND COMPANY 1983