韓國 컴퓨터情報學會 論文誌
第9卷 第3號, 2004. 9.

2004-9-3-3-7

시뮬레이티디 어닐링 알고리즘을 이용한 클러스터 기반의 멀티캐스트 라우팅 문제 해법

강 명 주*

Solving Cluster Based Multicast Routing Problems Using A Simulated Annealing Algorithm

Kang, Myung-Ju *

요 약

본 논문에서는 클러스터 기반의 멀티캐스트 라우팅 문제 해법을 위한 Simulated Annealing(SA) 알고리즘을 제안한다. 멀티캐스트는 한 점에서 다수의 집단 구성원들에게 데이터를 전송하는 것으로 이는 멀티캐스트 트리를 구성하여 해결할 수 있다. 즉, 전체 네트워크를 몇 개의 클러스터로 분할한 후 클러스터 내부를 멀티캐스트 트리로 구성하여 해결할 수 있다. 멀티캐스트 트리는 최소비용 스타이너 트리로 구성할 수 있다. 본 논문에서는 SA 알고리즘을 최소비용 스타이너 트리에 적용하였다. 특히, SA 알고리즘에서는 냉각 스케줄을 어떻게 설정하느냐에 따라 알고리즘의 성능에 영향을 준다. 따라서 본 논문에서는 멀티캐스트 라우팅 문제를 위한 SA 알고리즘의 냉각 스케줄을 제안하고, 그 결과를 분석한다.

Abstract

This paper proposes a Simulated Annealing(SA) algorithm for cluster-based Multicast Routing problems. Multicasting, the transmission of data to a group, can be solved from constructing multicast tree, that is, the whole network is partitioned to some clusters and the clusters are constructed by multicast tree. Multicast tree can be constructed by minimum-cost Steiner tree. In this paper, an SA algorithm is used in the minimum-cost Steiner tree. Especially, in SA, the cooling schedule is an important factor for the algorithm. Hence, in this paper, a cooling schedule is proposed for SA for multicast routing problems and analyzed the simulation results.

▸ Keyword : multicast, Steiner tree, simulated annealing algorithm

• 제1저자 : 강명주
• 접수일 : 2004.08.27, 심사완료일 : 2004.09.13
* 청강문화산업대학 컴퓨터소프트웨어과

Ⅰ. 서 론

최근 초고속 통신망의 발전에 따라 일대일 통신 뿐만 아니라 다대다 통신에 대한 수요가 증가하고 있다. 다대다 통신은 그룹 방식의 서비스로서 화상회의, 원격진료, 가상원격교육 시스템 등이 있다. 이와 같은 서비스들은 일대일 방식보다는 멀티캐스트 트리를 구성함으로써 효과적으로 서비스될 수 있다[1].

또한 통신망의 구성 시 고속의 통신망 회선이 각 가정까지 직접적으로 연결되기에는 많은 비용이 들게 되므로 아파트단지, 상가, 빌딩과 같은 커다란 그룹까지만 비싼 비용의 회선을 연결하고 단말 노드까지는 짧은 거리에 적합한 비교적 싼 비용의 차별화된 회선으로 연결하는 방안이 있다. 이 문제는 인트라클러스터 문제와 인터클러스터 문제로 나누어진다.

인터클러스터 문제는 전체 네트워크를 몇 개의 클러스터로 나누어 일정한 대역폭을 요구하는 군집노드들로 가정하고, 각 군집노드가 요구하는 대역폭을 만족하면서 비용을 줄여 전체 네트워크를 구성하는 것이다[2][3].

인트라클러스터 문제는 클러스터내부의 노드들을 최소비용 스타이너 트리를 사용하여 멀티캐스트 트리를 구성하는 문제이다.

본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해 Simulated Annealing(SA) 알고리즘을 이용하여 최소 비용 스타이너 트리를 구하였다.

Ⅱ. 문제정의

멀티캐스트 라우팅이란 n개의 노드를 가진 네트워크에서 m개의 목적노드로 데이터를 보내는 방법으로 일반적으로 최단 경로 트리 방식과 최소 비용 스타이너트리 방식이 있으며, 최소 비용 스타이너 트리방식이 효과적인 것으로 알려져 있다[1].

본 논문에서는 두 가지 문제 중 인트라클러스터 문제에 SA 알고리즘을 적용한다.

인트라클러스터 문제는 노드의 집합 V와 에지의 집합 E, 목적노드와 클러스터간의 경로 설정을 위한 중심 노드의 집합 D, 비 목적노드 W로 구성된 그래프 G = (V, E, D, W)가 있을 때, 목적노드와 중심노드의 집합 D를 모두 포함하는 최소 비용 멀티캐스트 트리를 구하는 문제이다[8].

본 논문에서는 최소 비용 멀티캐스트 트리를 구하기 위해 사용하는 최소 비용 스타이너 트리에 SA 알고리즘을 적용한다.

Ⅲ. 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘을 이용한 최소비용 스타이너 트리문제

3.1 시뮬레이티드 어닐링 알고리즘

SA 알고리즘은 금속의 담금질 특성을 이용하여 조합 최적화 문제를 해결하는 방법이다. 즉, 높은 온도에서 시작하여 온도를 서서히 낮추며 안정된 상태로 이동하면서 최적해를 구하는 방법이다.

SA 알고리즘은 현재 상태의 해와 이웃하는 해를 이용한다는 면에서 국부탐색 알고리즘과 비슷하다. 그러나 국부탐색 알고리즘은 이웃하는 해가 현재 상태의 해보다 좋을 경우에만 해 공간의 탐색이 계속 이루어지는 반면, SA 알고리즘에서는 비록 현재 상태의 해가 이웃하는 해보다 좋지 않더라도 Metropolis 알고리즘에 의한 확률적인 방법에 의해 이웃 해를 현재 상태의 해로 설정함으로써 국부탐색 알고리즘에서는 배제될 수 있는 해 공간을 탐색 할 수 있도록 한 것이다. 따라서, SA 알고리즘은 모든 해 공간의 탐색이 가능하며, 이로 인하여 전역 최소해를 구할 수 있다.

(그림 1)은 SA 알고리즘을 나타내고 있다. SA 알고리즘에서 단계 (11)과 단계 (12)는 새로운 상태의 해가 현재 상태의 해보다 나쁠 경우에 Metropolis 조건에 의해 새로운 상태를 결정하는 단계이다. 이는 최종적인 전역 최소해로 수렴해 가는 과정에서 현재 상태의 해가 지역 최소해(Local Minima)에 빠질 수 있는 경우를 탈피하기 위한 것이다. 단계 (15)는 온도를 서서히 낮추는 단계로서, 냉각

스케줄에 의해 온도 변화가 이루어진다.

SA 알고리즘에서는 냉각 스케줄을 어떻게 설정하느냐에 따라 SA 알고리즘의 성능에 큰 영향을 준다.

```
(1) begin
(2)   select an initial solution i ∈ S;
(3)   select an initial temperature T;
(4)   while stopping criterion not true
(5)     count = 0;
(6)     equilibrate( );
(7)     choose a neighbor j ∈ N(i);
(8)      δ = f(j) - f(i);
(9)     if  δ < 0 then
(10)        i = j;
(11)    else if random[0, 1) < exp(- δ/T) then
(12)        i = j;
(13)    end if
(14)    count = count + 1;
(15)    reduce temperature T;
(16)  end while
(17) end
```

3.2 냉각 스케줄

냉각 스케줄은 SA 알고리즘에서의 해 공간 탐색에 있어서 유한회의 탐색을 가능하게 하기 위한 것이다. 일반적으로 초기 온도를 높게 설정하여 서서히 냉각 스케줄에 따라 감소시킴으로써, SA의 초기 상태에서는 이웃해로의 전이가 가능한 많이 이루어지도록 하여 지역 최소해를 탈피하도록 하며, 상태가 진행됨에 따라 낮은 온도를 유지함으로써 안정된 상태로 진행된다. 그러나 적용되는 문제에 따라 어떤 냉각 스케줄을 사용하느냐가 SA 알고리즘의 성능을 결정하게 되며, 적합한 냉각 스케줄의 선택은 실험적으로 얻을 수 있다[6].

본 논문에서는 기존에 많이 사용되는 2개의 냉각스케줄과 본 논문에서 제안한 냉각스케줄을 이용하여 최소비용 스타이너 트리에 적용하였다. 그리고 각 냉각 스케줄에 대해 상태 변화에 따른 이웃해로의 전이 상태 및 해의 수렴을 살펴본다. (식 1) ~ (식 3)은 본 논문에서 적용된 냉각 스케줄의 함수들을 나타내고 있다. 여기서 T_0는 초기 온도를 그리고 $T(k)$는 k번째 상태의 온도를 나타낸다.

$$T(k) = 0.9 \times T(k-1) \quad \cdots\cdots \text{(식 1)}$$

$$T(k) = \frac{T_0}{\log(1+k)} \quad \cdots\cdots \text{(식 2)}$$

$$T(k) = \frac{T_0}{1+\sqrt{0.1 \times k}} \quad \cdots\cdots \text{(식 3)}$$

일반적으로 기존의 SA 알고리즘에서는 냉각 스케줄을 위한 함수로 (식 1)과 (식 2)를 많이 사용하며[6], 본 논문에서는 최소비용 멀티캐스트 트리를 구하기 위한 냉각 스케줄의 온도 변화식으로 (식 3)을 제안한다. 실험 결과에서는 위의 3가지 냉각 스케줄의 온도 변화식을 이용한 해의 수렴 및 이웃해로의 전이 상태를 비교함으로서, 제안한 온도 변화식 (식 3)이 최소비용 멀티캐스트 트리 문제를 위한 SA에 적합하다는 것을 실험을 통해 보였다.

(식 1)은 (식 3)에 비해 낮은 온도 상태로 너무 일찍 내려가서 안정된 상태를 유지함으로서 조기 수렴(Premature Convergence)이 될 가능성이 높고, (식 2)는 (식 3)에 비해 높은 온도에서 시작되고 또한 보다 일찍 안정된 상태를 유지하지만 일정한 상태 이후에는 (식 3)이 더 낮은 온도에서 안정된 상태를 유지하게 된다.

3.3 벡터 구성

그래프 G =(V, E, D, W)에서 최소비용 스타이너 트리를 구하기 위해 전체노드 V에서 목적노드와 중심노드의 집합 D를 제외한 노드의 집합 W를 구한다. 이때 이 노드들 간의 에지가 없는 경우는 노드간의 최단경로를 가상의 에지로 설정하고, 노드의 집합 W를 완전 그래프로 만드는 에지의 집합 E'을 생성한다. 이 때의 그래프를 G'= (W, E')이라 둔다. 이 때 실제 경로가 없는 노드간에 최단 경로를 두 노드간의 최단 경로로 설정하는 이유는 SA 알고리즘에 적용할 경우 모든 해가 적합함을 보장해주기 위해서이다[4]. 그래프 G의 최소 비용 스타이너 트리를 SA 알고리즘으로 풀기 위해 노드 집합 W를 벡터로 표현한다[5][7]. (그림 3)는 (그림 2)를 벡터로 표현한 것이다.

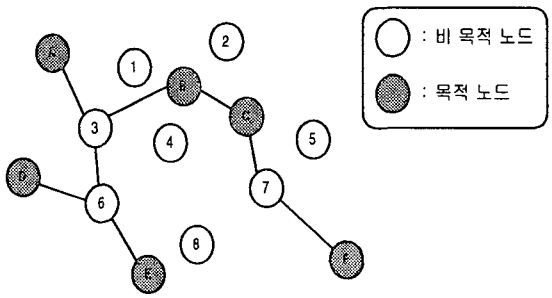

그림 2. 멀티캐스트 그래프
Fig 2. Multicast graph

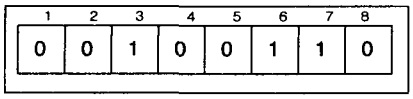

그림 3. (그림 2)로 만든 벡터
Fig 3. A vector constructed by Fig 2

3.4 이웃해 생성 방법

본 논문에서는 이웃해 생성 방법으로 Flip 방법을 사용한다. (그림 4)는 Flip 방법을 이용한 이웃해 생성 방법을 나타내고 있다. 즉, 현재 상태의 벡터 요소 중 여섯 번째 요소를 선택하여 반전시킴으로서 벡터를 생성하는 방법이다.

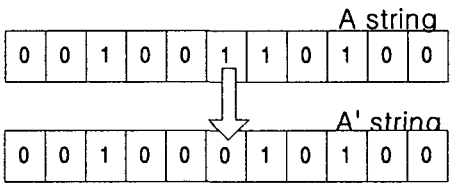

그림 4. Flip 방법을 이용한 새로운 상태의 벡터 생성
Fig 4. Flip method

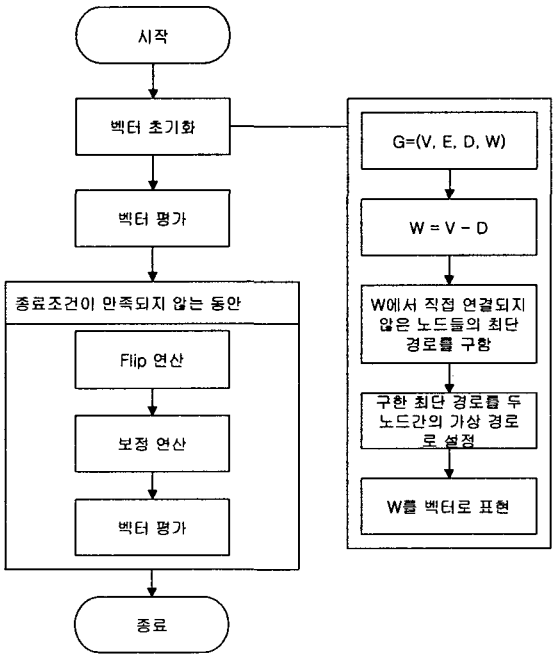

그림 5. 제안된 SA 알고리즘
Fig 5. Proposed SA Algorithm

Flip 방법을 이용하여 새로운 벡터를 생성하게 되면, 새로운 벡터는 각 문제의 특징에 따라 가능하지 않은 경우가 생길 수 있다. 이 때 이를 보정할 수 있는 연산이 필요하다. 최소 비용 스타이너트리에서는 비 목적 노드가 전체 트리의 단말 노드가 되어서는 안 된다. 즉, 스타이너 트리의 보정연산은 비 목적 노드의 차수가 1이 되는 경우 개체의 값을 강제로 0으로 설정하는 것으로 정의한다.

(그림 5)는 위에서 설명한 최소비용 스타이너 트리를 SA 알고리즘을 사용해 구하는 방법을 나타낸다.

Ⅳ. 클러스터간의 경로설정

클러스터간의 경로설정이란 일정한 대역폭 Bi ($1 \leq i \leq k$)를 요구하는 클러스터 Ci ($1 \leq i \leq k$)로 구성되는 전체네트워크에서 모든 클러스터가 요구하는 대역폭을 만족하는 트리를 결정하는 것이다.

이 트리를 결정하기 위해 가장 가까운 두개의 Ci를 연결하여 Forest를 만든 후, 모든 노드가 연결될 때까지 가장 가까운 Forest를 계속 합해나간다. 두 Forest를 합하는 경우 고려해야 할 것은 큰 대역폭을 요구하는 노드가 루트로 가정되어 소스노드 쪽에 더 가까이 있어야 한다.

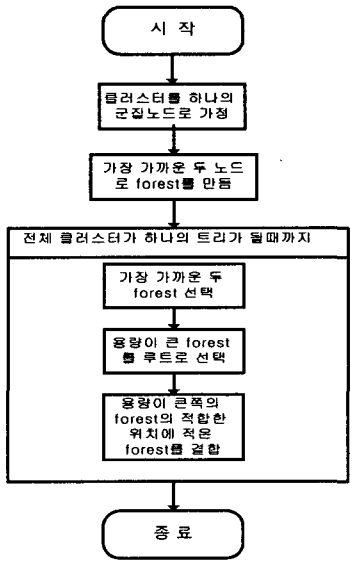

그림 6. 클러스터간의 경로설정
Fig 6. Routing between clusters

즉, 적은 대역폭의 노드가 큰 대역폭의 노드보다 소스 노드 쪽에 더 가까이 있게 되면 적은 대역폭의 노드는 자신이 요구하는 대역폭은 적더라도 하위노드가 요구하는 대역폭을 보장하기 위해 자신이 요구하는 대역폭보다 큰 용량을 받아야 하며 이는 곧 부가비용이 된다. (그림 6)은 군집노드로 가정된 클러스터의 전체 경로를 설정하는 방법을 나타낸다.

V. 실험결과

본 논문에서 적용한 네트워크를 구성하는 그래프는 노드 수가 100개이고 목적노드의 수는 각각 5, 10, 15, 20이다. 네트워크 그래프의 전체 에지는 완전 그래프 에지 수의 30%로 랜덤하게 구성하였다. 실험 결과는 [그림 7]과 같다.

실험 결과를 통해 (식 1)을 적용한 냉각 스케줄을 사용한 경우에는 비교적 크기가 작은 문제들에 대해서는 좋은 해를 찾고 있지만 문제 크기가 큰 문제들에 대해서는 지역 최소해를 탈피할 수 없음을 알 수 있다. 이는 (식 1)을 적용한 냉각 스케줄이 너무 일찍 그리고 너무 낮은 온도에서 안정된 상태를 유지하기 때문에 Metropolis 알고리즘을 적용할 기회가 적어짐으로 인해 이웃해로의 전이가 거의 이루어지지 않기 때문이다.

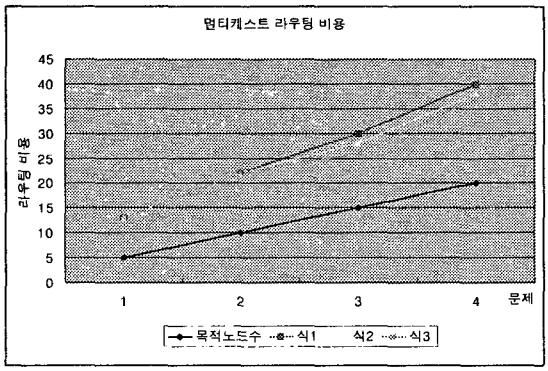

그림 7. 실험 결과
Fig 7. Experiment results

반면, (식 2)를 적용한 냉각 스케줄을 사용한 경우에는 (식 3)을 이용한 냉각 스케줄과 비교해 볼 때, 초기 상태에서는 (식 3)보다 낮은 온도를 유지하지만 상태가 진행됨에 따라 오히려 높은 온도를 유지한다. 따라서, (식 2)를 적용할 경우에는 (식 3)을 적용한 경우보다 불안정한 상태가 되어 최소해로 탐색이 이루어지기 보다는 이웃해로의 전이가 많이 이루어지기 때문에 (식 3)을 적용한 냉각 스케줄이 대체로 좋은 결과를 보이고 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 멀티캐스트 라우팅 문제의 해법으로 SA 알고리즘을 이용한 최소비용 스타이너 트리 방법을 제안하였다.

최소비용 스타이너 트리는 NP-Complete로 알려져 있으며, 기존의 Exact 알고리즘으로는 효과적으로 해를 찾을 수 없다.

본 논문에서는 SA 알고리즘을 이용하였으며, 특히, SA 알고리즘에서는 냉각 스케줄을 어떻게 설정하느냐에 따라 알고리즘의 성능이 좌우된다. 따라서 본 논문에서는 최소비용 스타이너 트리 구성을 위한 새로운 냉각 스케줄을 제안하고, 이를 SA 알고리즘에 적용하였다. 실험 결과로부터 기존에 많이 사용되는 냉각 스케줄을 사용하였을 때보다, 본 논문에서 제안한 냉각 스케줄을 적용하였을 때가 대체로 좋은 결과를 얻을 수 있었다.

참고문헌

[1] 김태욱, 강경인, 김정일, 정근원, 이광배, 김현욱, 실시간 서비스를 지원하는 멀티캐스트 라우팅 알고리즘, 정보처리학회, 97 춘계학술논문 발표집, 679 - 683

[2] Y. ZHANG and S. ASANO, "Routing Algorithms for Asymmetric Mulit-Destination Connections in Multicluster Network", IEICE TRANS. COMMUN. VOL. E81-B, NO. 8 , pp. 1582 - 1589, 1998

[3] Y. ZHAND, W. ZHAO, Shunji ABE, and ASANO, An Approach for Cluster-based Multicast Routing in Large-Scale Networks, IEICE TRANS. COMMUN. VOL. E81-B, NO. 5 pp. 1029 - 1040, 1998

[4] Y. Leung, G. Li, and Z.B. Xu, A Genetic Algorithm for the Multiple Destination Routing Problems, IEEE TRANS. ON EVOLUTIONARY COMPUTATION, VOL. 2, NO. 4 pp. 150 - 161, 1998

[5] H. Esbensen , Computing Near-Optimal Solutions to the Steiner Problem in a Graph Using a Genetic Algorithm, NETWORKS , Vol. 26 (1995), 173 - 185, 1995

[6] Lin, Chin-Teng and Lee, C. S. George, Neural Fuzzy Systems, Prentice Hall, 1996

[7] P. Guitart and J.M. Basart, A Genetic Algorithm Approach for the Steiner Problem in Graphs, EUFIT '98, 508 - 512, 1998

[8] 강명주, 클러스터 기반의 멀티캐스트 라우팅 문제 해법을 위한 유전자 알고리즘, 한국컴퓨터정보학회 논문지, 제8권, 제3호, 2003

저 자 소 개

강 명 주

1993년 2월 경희대학교 전자계산공학과 졸업(공학사)

1995년 2월 경희대학교 전자계산공학과 대학원 졸업 (공학석사)

1998년 8월 경희대학교 전자계산공학과 대학원 졸업 (공학박사)

현 재 청강문화산업대학 컴퓨터소프트웨어과 교수

〈관심분야〉 네트워크 디자인, 메타휴리스틱 알고리즘, 게임알고리즘, 바이오인포메틱스