

## 클러스터 기반의 멀티캐스트 라우팅 문제 해법을 위한 유전자 알고리즘

강 명 주\*

### A Genetic Algorithm for Cluster Based Multicast Routing Problem

Kang, Myung-Ju \*

#### 요 약

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. 본 논문에서는 클러스터링 방법을 사용하여 멀티캐스트 라우팅 비용을 줄이는 알고리즘을 제안한다. 멀티캐스트 트리는 최소비용 스타이너 트리로 구성할 수 있기 때문에 최소비용 스타이너 트리 문제를 해결하는 것이 중요하다. 따라서, 본 논문에서는 멀티캐스트 라우팅 문제의 해법으로 클러스터링 방법을 이용한 유전자 알고리즘을 제안한다.

#### Abstract

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. This paper proposes an algorithm that reduces the multicast routing costs using a clustering method. Multicast tree is constructed by minimum-cost Steiner tree. It is important to solve the minimum-cost Steiner tree problem in the multicast routing problems. Hence, this paper proposes a genetic algorithm for multicast routing problems using clustering method.

▶ Keywords : multicast, clustering, genetic algorithm

---

\* 청강문화산업대학 컴퓨터소프트웨어과 교수

## I. 서론

최근 고속 통신망의 발전으로 기존의 일대일의 통신뿐만 아니라 다수 대 다수간의 통신에 대한 수요가 증가되었다. 이러한 그룹방식의 서비스들로는 화상 회의, 원격 진료, 가상 학교 시스템 등이 있다. 위와 같은 서비스를 기존의 일대일방식에서 사용하던 방법으로 해결하기에는 효과적이지 못하다. 그러나, 망에서 멀티캐스트 트리를 구성함으로써 효과적으로 지원될 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. 본 논문에서는 인트라클러스터 문제와 인터클러스터 문제로 나누어진다.

인트라클러스터 문제는 전체 네트워크를 몇 개의 클러스터로 나누어 계산한 후 클러스터를 일정한 대역폭을 요구하는 하나의 군집노드로 가정하고, 각 군집노드가 요구하는 대역폭을 만족하면서 비용을 줄이는 전체 네트워크를 구성하는 것이다[2][3].

인트라클러스터 문제는 클러스터내부의 노드들을 최소 비용 스타이너 트리를 사용하여 멀티캐스트 트리를 구성하는 문제이다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해 일반적으로 기존방법보다 효과적이라고 알려진 유전자 알고리즘을 이용하여 최소 비용 스타이너 트리를 구하였다.

## II. 문제정의

멀티캐스트 라우팅이란  $n$ 개의 노드를 가진 네트워크에서  $m$ 개의 목적노드로 데이터를 보내는 방법으로 일반적으로 최단 경로 트리 방식과 최소 비용 스타이너트리 방식이 있

으며, 최소 비용 스타이너 트리방식이 효과적인 것으로 알려져 있다[1]. 본 논문에서는 두 가지 문제 중 인트라 클러스터 문제에 유전자 알고리즘이 적용된다.

본 논문에서는 전체 문제를 클러스터된  $k$ 개의 군집노드  $C_i$ 가 요구하는 대역폭  $B_i$ 를 만족하는 전체 경로를 설정하는 인트라클러스터 문제와 클러스터 내부노드들을 멀티캐스트 트리로 만드는 인트라클러스터 문제로 정의한다.

인트라클러스터 문제는 일정대역폭  $B_i$  ( $1 \leq i \leq k$ )를 요구하는 클러스터  $C_i$  ( $1 \leq i \leq k$ )로 구성되는 전체네트워크에서 용량  $B_i$ 를 만족시키며 비용을 줄인 전체 네트워크를 구성하는 문제로 정의된다.

인트라클러스터 문제는 노드의 집합  $V$ 와 에지의 집합  $E$ , 목적노드와 클러스터간의 경로 설정을 위한 중심 노드의 집합  $D$ , 비 목적노드  $W$ 로 구성된 그래프  $G = (V, E, D, W)$ 가 있을 때, 목적노드와 중심노드의 집합  $D$ 를 모두 포함하는 최소 비용 멀티캐스트 트리를 구하는 문제이다. 본 논문에서는 최소 비용 멀티캐스트 트리를 구하기 위해 사용하는 최소 비용 스타이너 트리에 유전자 알고리즘을 적용한다.

## III. 유전자 알고리즘을 사용한 최소비용 스타이너 트리문제

### 1. 염색체 구성

그래프  $G = (V, E, D, W)$ 에서 최소비용 스타이너 트리를 구하기 위해 전체노드  $V$ 에서 목적노드와 중심노드의 집합  $D$ 를 제외한 노드의 집합  $W$ 를 구한다. 이때 이 노드들간의 에지가 없는 경우는 노드간의 최단경로를 가상의 에지로 설정하고, 노드의 집합  $W$ 를 완전 그래프로 만드는 에지의 집합  $E'$ 을 생성한다. 이 때의 그래프를  $G' = (W, E')$ 이라 둔다. 이 때 실제 경로가 없는 노드 간에 최단 경로를 두 노드간의 최단 경로로 설정하는 이유는 유전자 알고리즘에 적용할 경우 모든 해가 적합함을 보장해주기 위해서이다 [4]. 그래프  $G$ 의 최소 비용 스타이너 트리를 유전자 알고리즘으로 풀기 위해 노드 집합  $W$ 를 유전자 알고리즘의 한 개체로 표현한다[5][6]. <그림 2>는 <그림 1>을 개체로 표현한 것이다. 즉, 각 노드가 최소 비용 스타이너 트리의 경로 상에 있는 경우에는 1로 그렇지 않은 경우에는 0으로 표

시하는 개체를 생성한다. 그리고 이러한 개체를 모집단 (Population) 만큼 선택하여 전체 개체군을 초기화한다.

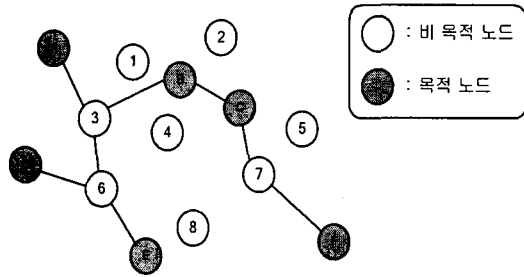


그림 1. 멀티캐스트 그래프  
Fig 1. Multicast graph

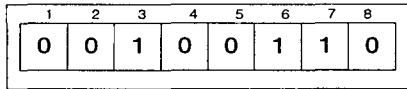


그림 2. (그림 1)로 만든 개체  
Fig 2. A Chromosome constructed by Fig 1

2. 평가, 적합 함수 및 선택

3.1절에서와 같이 초기화된 개체군을 평가한 후 다음 세대의 개체군을 만들기 위해 유전연산을 수행할 개체를 선택한다. 개체를 평가하는 방법은 구성된 개체에서 경로에 포함된다고 표시된 노드와 집합 D의 노드로 최소 비용 신장 트리를 구성한 후 전체 경로의 비용의 합을 개체의 평가함수 값으로 정의한다. 적합 함수는 개체의 평가함수 값으로 유전연산을 위해 좋은 개체를 선택하는 기준이다. 본 논문에서는 전체 비용이 적을수록 높은 적합도를 갖기 위해 평가함수와 적합함수를 다음과 같이 정의한다.

$$C = \sum_{e \in T} c(e)$$

(여기서, T는 최소신장트리, e는 트리의 에지, c(e)는 각 에지의 비용)

평가함수

$$적합 함수 f(x) = \frac{a}{C}$$

(여기서, C는 평가함수값, a는 상수)

적합함수

선택 연산은 토너먼트 선별 방식을 사용하며, 순서는 다음과 같다.

- 단계 1. 토너먼트의 크기 k (≥2)를 선택(일반적으로 k=2를 사용)
- 단계 2. 현재 개체군의 모든 개체를 임의의 순서로 나열
- 단계 3. 처음 k개의 개체에서 가장 좋은 개체를 다음 세대에 생존시킨다(비교된 k개의 개체를 삭제).
- 단계 4. 나열된 개체가 모두 비교되면 현재 개체군을 다시 임의의 순서로 나열
- 단계 5. 요구되는 개체의 수만큼 선택될 때까지 단계4와 5를 반복

3. 유전연산

선택된 개체는 적합한 유전연산을 거쳐 다음 세대의 개체군을 생성하게 된다. 본 논문에서 적용한 유전연산은 교차연산, 돌연변이 연산과 보정연산이 있다.

교차연산은 선택연산을 통해 두 개체를 선택한 후, 임의의 두 점의 스트링을 서로 바꾸는 이점교차연산을 사용한다. 일반적으로 이점교차연산이 일점교차연산보다 더 좋은 해를 유도하는 것으로 알려져 있다[7].

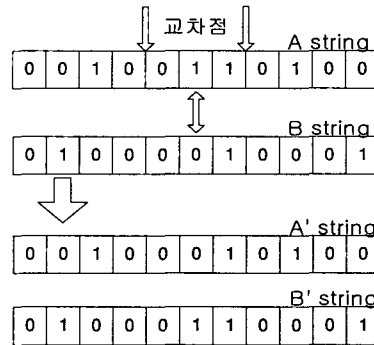


그림 3. 교차연산  
Fig 3. Crossover

돌연변이연산은 스트링의 일부를 조작하여 새로운 스트링을 만드는 연산이다. 본 논문에서는 Inversion 방법의 돌연변이 연산을 사용한다. <그림 4>는 Inversion 방법을 사용한 돌연변이연산을 나타내고 있다.

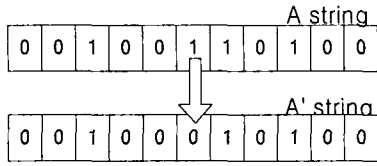


그림 4. 돌연변이연산  
Fig 4. Mutation

유전연산을 거쳐 다음 세대의 개체군을 생성하게 되면, 유전연산을 거쳐 나온 개체는 각 문제의 특징에 따라 가능하지 않은 경우를 제외시키는 보장연산을 사용하여야 한다. 최소 비용 스타이너트리에서는 비 목적 노드가 전체 트리의 단말 노드가 되어서는 안 된다. 즉, 스타이너 트리의 보장연산은 비 목적 노드의 차수가 1이 되는 경우 개체의 값을 강제로 0으로 설정하는 것으로 정의한다. 2절과 3절의 단계를 미리 정의된 최대 세대수를 넘지 않을 때까지 진화를 계속하여 최종 해를 구한다.

<그림 5>는 위에서 설명한 최소비용 스타이너 트리를 유전자 알고리즘을 사용해 구하는 방법의 순서를 나타낸다.

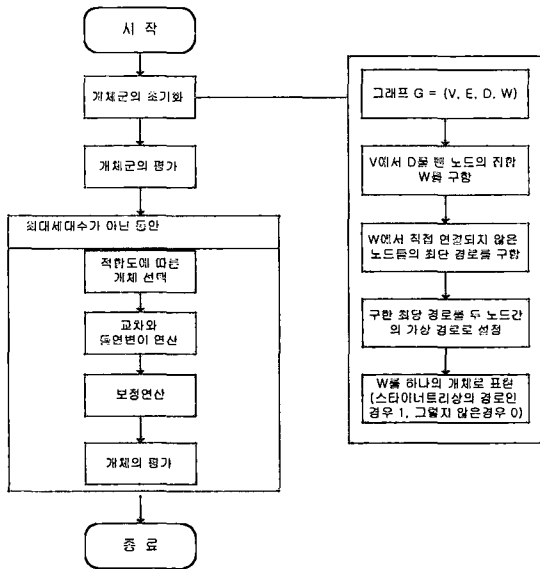


그림 5. 제안된 유전자 알고리즘  
Fig 5. Proposed Genetic Algorithm

#### IV. 클러스터간의 경로설정

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

이 트리를 결정하기 위해 가장 가까운 두개의  $C_i$ 를 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 소스 노드 쪽에 더 가까이 있어야 한다. 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.

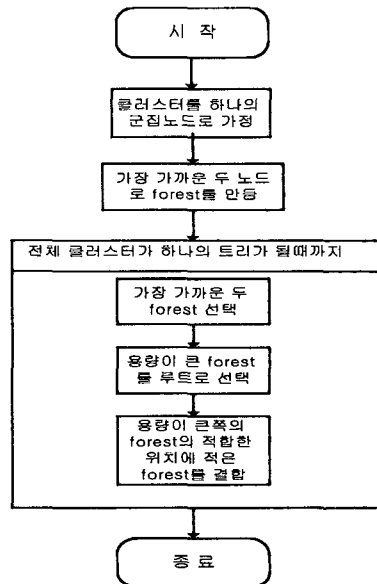


그림 6. 클러스터간의 경로설정  
Fig 6. Routing between clusters

### V. 실험 결과

본 논문에서 적용한 네트워크를 구성하는 그래프는 노드수가 100개이고 목적노드의 수는 각각 5, 10, 15, 20이다. 네트워크 그래프의 전체 에지는 완전 그래프 에지 수의 30%로 랜덤하게 구성하였다. 실험은 동일한 환경 하에서 유전자 알고리즘(GA) 방법과 시뮬레이티드 어닐링(SA) 방법으로 실험을 하여 서로 비교하였다. 실험 결과는 <그림 7>과 같다.

실험 결과를 통해 목적노드의 수가 많을수록 본 논문에서 제안한 알고리즘이 우수하다는 것을 알 수 있다. 이는 목적 노드의 수가 많아질수록 멀티캐스트 트리의 복잡도가 높아지기 때문에 SA에서는 지역 최소해에 빠지는 경향이 있기 때문이다.

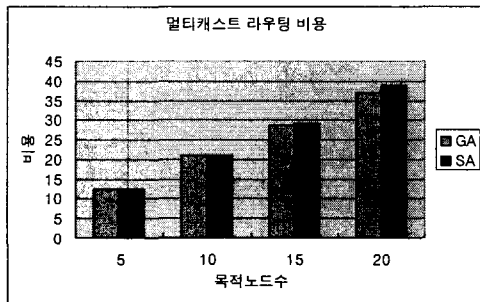


그림 7. 실험 결과  
Fig 7. Experiments

### VI. 결론

본 논문에서는 멀티미디어환경에서 그룹방식의 서비스요구를 처리하는데 필수적인 멀티캐스트 라우팅 알고리즘의 비용을 줄이기 위해 전체를 두 계층적으로 나누는 클러스터링의 개념을 사용하였다. 그리고, 클러스터 내에서 멀티캐스트 트리를 구현하는 문제는 최소비용 스타이너 트리를 사용하였다. 최소비용 스타이너 트리는 NP-Complete로 알려져 있기 때문에 기존 방법보다 일반적으로 효과적인 것으로 알려진 유전자 알고리즘을 적용하였다.

향후 연구과제로는 최소비용 스타이너 트리를 구할 경우 기존의 방법과 유전자 알고리즘을 적용한 방법과의 성능평가와 클러스터개념을 사용한 경우와 그렇지 않은 경우의 성능평가가 필요하다. 또한 본 연구에서는 하나의 클러스터 내에서 각 노드가 요구하는 대역폭이 일정하다고 가정하였다. 하지만 클러스터 내에서 요구하는 대역폭이 모두 다른 경우 각 클러스터의 비용을 책정하는 방안과 효과적인 연결 방안에 관한 연구가 필요하다.

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

[7] 김여근 외, 메타휴리스틱, 영지출판사, 1997

저자 소개



강명주

1993. 2 경희대학교  
전자계산 공학과 졸업  
(공학사)

1995. 2 경희대학교  
전자계산 공학과  
(공학석사)

1998. 8 경희대학교 전자계산  
공학과(공학박사)

현재 청강문화산업대학 컴퓨터소  
프트웨어과 교수  
<관심분야> 휴리스틱 알고리즘,  
유전자 알고리즘, 네트워크 디자인 등