

다수의 QoS 갖는 멀티캐스트 라우팅을 위한 다목적 유전자 알고리즘

이윤구^o 한치근^o
경희대학교 컴퓨터 공학과
{yglee^o, cghan}@algorithms.khu.ac.kr

Multiple Objective Genetic Algorithms for Multicast Routing with Multi-objective QoS

Yun-Gu Lee^o Chi-Geun Han^o
Dept. of Computer Engineering, Kyung Hee University

요 약

멀티미디어 서비스의 증가로 다양한 QoS(Quality of Service) 파라미터를 보장하는 멀티캐스트 라우팅 알고리즘이 필요하게 되었다. 이러한 멀티캐스트 라우팅에서 고려해야 하는 각각의 QoS 파라미터와 비용과의 관계는 Trade-off 관계에 있으며, 이들을 동시에 최적화하는 멀티캐스트 라우팅 문제는 다목적 최적화 문제(Multi-Objective Optimization Problem: MOOP)에 속하는 어려운 문제이다. 다목적 최적화 문제의 목표는 다양한 파레토 최적해(Pareto Optimal Solution)를 찾는 데 있으며, 이를 해결하기 위해서 본 논문에서는 다목적 유전자 알고리즘(Multiple Objective Genetic Algorithms: MOGA)을 적용하였다.

1. 서 론

현재 인터넷 사용 인구의 증가와 함께 다양한 서비스에 대한 욕구 증대로 화상회의, VOD 등 다양한 서비스가 제공되고 있다. 앞으로 더 많은 멀티미디어 서비스의 증가가 예상되며, 이러한 인프라 증가와 함께 멀티캐스트 라우팅 알고리즘의 연구가 필요하게 되었다[1].

멀티캐스트 라우팅은 네트워크 상에서 송신노드와 다수의 수신 노드들을 연결하는 트리 형태의 멀티캐스트 경로를 선택하는 문제이며, 서비스의 특성과 요구사항이 각각 다르기 때문에 모든 서비스에 적합한 멀티캐스트 라우팅 알고리즘을 찾기는 힘들다.

효율적인 멀티캐스트 라우팅 알고리즘은 네트워크의 규모가 커지거나 노드수가 증가함에 따라 더욱 효과적으로 성능을 발휘할 수 있어야 하며, 실시간 멀티미디어 서비스가 요구하는 QoS를 보장할 수 있어야 한다. 그러나 멀티캐스트 라우팅에서 각각의 QoS 파라미터는 서로 영향을 미치거나 Trade-off되는 경우가 발생하기 때문에 지연시간(end-to-end delay), 지연지터(delay jitter), 필요 대역폭(needed bandwidth), 손실률(loss rate) 같은 QoS 파라미터를 고려한 알고리즘을 제안하는데 많은 어려움이 있었으며, 지금까지의 연구는 이들 파라미터를 결합하거나 또는 일부를 제한 조건으로 만족하는 최소비용 문제나 최단 경로 문제들이 주로 연구대상이었다.

본 논문에서는 멀티캐스트 라우팅에서 고려해야 하는 다양한 QoS 파라미터를 동시에 최적화하고 비용을 최소화하는 다목적 멀티캐스트 라우팅 문제를 고려하였으며 이 문제는 NP-hard에 속하는 문제로 다양한 휴리스틱

방법들이 연구되어져 왔다[2].

다목적 멀티캐스트 라우팅 문제를 최적화하기 위한 방법은 각각의 목적함수에 가중치를 사용하여 단일목적 함수로 결합하거나 일부 목적을 제약식으로 변환하는 방법 등이 있다[3]. 그러나 본 논문에서는 QoS의 파라미터와 비용을 동시에 최적화하는 효과적인 방법을 제안하기 위해서 다목적 유전자 알고리즘(Multiple Objective Genetic Algorithms: MOGA)을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 다목적 멀티캐스트 라우팅의 문제 정의, 3장에서는 다목적 멀티캐스트 라우팅을 위해 제안된 다목적 유전자 알고리즘에 대해 설명한다. 4장에서는 결론 및 추후 연구 방향에 관해 논의한다.

2. 다목적 멀티캐스트 라우팅 문제 정의

다목적 멀티캐스트 라우팅모델 그래프 $G = (V, E, s, D)$ 은 노드의 집합 V 와 에지의 집합 E , 시작노드 $s \in V$, 목적지 노드 $D \subset V$ 로 이루어진 무향, 연결, 가중그래프이며, 여기서 s 와 D 는 미리 정해진다. 각각의 에지는 비용(Cost), 지연시간(Delay), 대역폭(Bandwidth), 손실률(Loss rate)의 4개의 매개변수를 가지며 $e \in E$ 일 때 $C(e)$ 는 비용함수, $D(e)$ 는 지연함수, $B(e)$ 는 대역폭함수 $L(e)$ 는 손실률함수 등 4개의 목적함수로 정의된다. 멀티캐스트 라우팅 문제의 목표는 시작노드와 목적지 노드를 포함하고 매개변수인 QoS들을 만족하는 전체 네트워크 비용이 최소가 되는 최소신장트리(Minimum spanning tree) T 를 구하는데 있으며, 다음 조건을 만족

해야 한다.

$$\begin{cases} \text{Minimize } \sum_{e \in T} C(e), \text{ Minimize } \sum_{e \in T} D(e), \\ \text{Minimize } \sum_{e \in T} L(e), \text{ Maximize } \sum_{e \in T} B(e) \end{cases}$$

3. 다목적 멀티캐스트 라우팅을 위해 제안된 다목적 유전자 알고리즘

3.1 다목적 최적화 문제의 개요

다목적 최적화 문제의 목표는 모든 목적을 동시에 만족하는 다양한 최적해를 구하는 것이고 이 해를 파레토 최적해(pareto optimal solution) 또는 비지배해(nondominated solution)라고 한다. 파레토 최적해는 해들 간에 모든 목적에 대한 우열을 평가해서 지배관계를 따지게 되는데 목적 $f_k, k = 1, \dots, n$ 를 최소화하는 문제에서 임의 해 y 에 대해 $f_k(y) \geq f_k(x), \forall k = 1, 2, \dots, n$ 인 해 x 가 존재하면 x 가 y 를 '지배한다'고 하며 또한 x 가 존재하지 않으면 x 와 y 를 비지배된(nondominated) 관계라고 하고 y 를 파레토 최적해라고 한다[4].

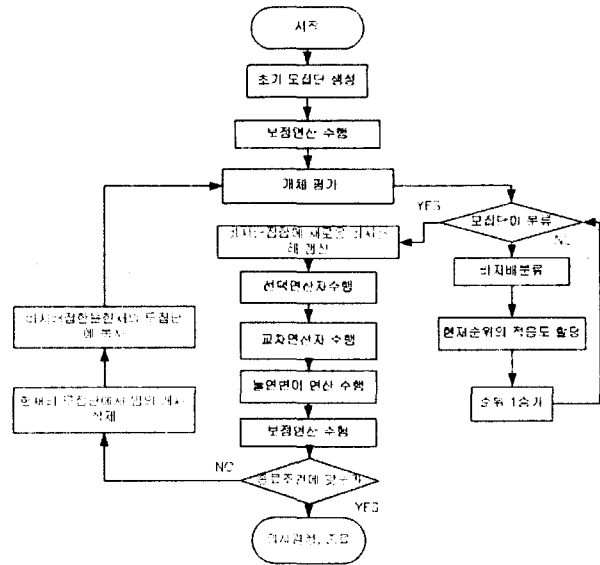
3.2 다목적 유전자 알고리즘의 필요성

기존의 다목적 최적화 문제는 QoS의 파라미터들을 하나의 통일된 측정 수단으로 나타낼 수 있다면 다목적 결정 문제도 단일 목적 문제로 단순화 시킬 수 있다. 그러나 목적들 간에는 서로 Trade-off될 뿐만 아니라 비교가 불가능한 경우가 흔히 존재하며 이러한 단일목적 문제로의 변환은 마지막 단계인 의사결정단계에서 정확한 최적을 얻을 수 없다. 반면 다목적 최적화 알고리즘은 목적들의 특성을 고려하여 최적해의 선택에 민감하게 관여할 수 있도록 개체에 적응도를 부여하는 방법과 선택연산을 제공하여 다양한 파레토 최적해를 찾을 수 있으며 서비스의 특성과 요구사항에 따라 가중치를 주어 우리가 원하는 최적해를 찾을 수 있다.

3.3 다목적 유전자 알고리즘의 설계

단일목적 유전자 알고리즘은 하나의 최적해를 찾는 것과는 달리 다목적 유전자 알고리즘에서는 세대가 진화함에 따라 다양한 파레토 최적해를 찾도록 설계되어야 한다. 본 논문에서 비지배분류 유전자 알고리즘을 기본으로 하여 멀티캐스트 라우팅 알고리즘을 설계하였다[5].

- 1단계(초기모집단 생성): 염색체 구성방법에 의해 Np 개 만큼 초기 모집단을 생성한다.
- 2단계(보정연산 수행): 디코딩을 통해 염색체를 원래 문제로 환원하고 불필요한 노드는 제거한다.
- 3단계(개체평가): 적합함수를 이용하여 각 염색체의 적합도를 구한다.
- 4단계(비지배분류): 각 염색체는 비지배 분류방법을 사용하여 순위를 정한다.
- 5단계(선택연산자 수행): 순위선별 방법에 의해 한 쌍의



[그림 1] 다목적 유전자 알고리즘의 흐름도

개체를 선별한다. 이 과정을 $Np/2$ 만큼 반복한다.
 6단계(교차연산, 돌연변이연산): 선택 연산에서 선택된 각 쌍에 대해 단일유전자 알고리즘과 동일한 방법으로 교차연산을 수행하고, 돌연변이율에 따라 돌연변이 연산을 수행한다.
 7단계(종료조건, 보호전략): 종료조건에 따라 종료여부를 결정하고, 그렇지 않으면 파레토 보호전략에 따라 비지배해 집합에서 임의로 선택된 비지배해를 현재의 모집단에 복사한다.
 8단계(의사결정, 종료): 서비스 특성과 요구사항에 따라 비지배해 집합으로부터 선호하는 해를 결정한다.

3.4 염색체의 구성

다목적 유전자 알고리즘을 적용하여 문제의 해 공간을 탐색하기 위해서는 유전자 연산을 효과적으로 적용할 수 있도록 개체에 대한 염색체 구성을 해야 한다. 염색체의 크기는 트리 T 에서 시작 노드와 목적 노드들을 제외한 중간노드로 하며, 트리에 포함된 중간 노드는 비트값이 "1"로 되고, 트리에 포함되지 않은 중간노드는 비트값이 "0"으로 표시된다.

v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
1	0	1	0	0	1	1	0	0

$a = (1,0,1,0,0,1,1,0,0)$

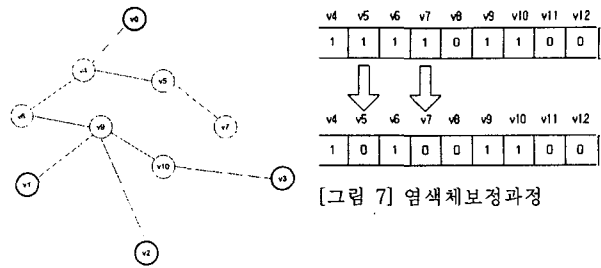
[그림 2] 염색체 표현

3.5 디코딩

염색체를 평가하기 위해서 염색체를 다시 트리로 나타내야 한다. 염색체 원소 중에서 1로 할당된 중간 노드를 이용하여 트리를 재구성하는데 트리를 구성하는 에지를 선택할 때 변형된 Prim's 알고리즘을 사용한다.

```

Weighted Prim
 $G' = (V', E')$ ;
 $T \leftarrow \{s\}$ ;
while  $V'-T \neq \emptyset$  do
   $(v, u) \leftarrow \text{Min2T}(T)$ ,
  where  $v \in T, u \in V'-T$ ;
  add edge  $(v, u)$  to the tree;
   $T \leftarrow T + \{u\}$ ;
End Weighted_Prim
    
```



[그림 6] 멀티캐스트 트리

v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
1	1	1	1	0	1	1	0	0

v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
1	0	1	0	0	1	1	0	0

[그림 7] 탐색체보정과정

3.6 적합함수

적합함수는 모집단내의 각 탐색체의 적합도를 계산하여 비지배해를 탐색하는 척도로 사용된다. 본 논문에서는 임의의 탐색체 x 에 대한 비용, 지연, 대역폭, 손실률을 고려한 적합함수를 정의하였다. 가중합이나 특별한 변형이 불필요하기 때문에 매우 단순하다.

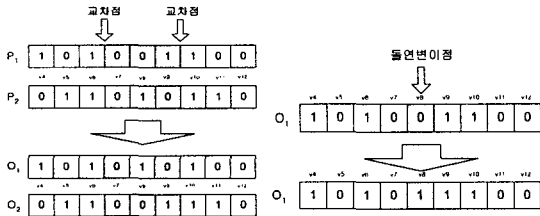
비용 적합함수: $\sum_{e \in T} C(e)$, 대역폭 적합함수: $\sum_{e \in T} B(e)$

지연 적합 함수: $\sum_{e \in T} D(e)$ 손실률 적합함수: $\sum_{e \in T} L(e)$

3.7 교차연산 (Crossover)과 돌연변이 연산

두 개의 부모 탐색체 P_1, P_2 에서 교차 연산에 의해 자식 탐색체 O_1, O_2 생성되며 본 논문에서는 이점교차 연산을 적용하여 일정교차보다 더 우수한 개체를 생성하였다. 돌연변이 연산은 하나의 탐색체를 부분적으로 조작하여 새로운 탐색체를 만들어 낸다.

다음 [그림 3]은 이점 교차 연산의 예이며 [그림 4]는 돌연변이 연산의 예이다.



[그림 3] 이점교차연산의 예 [그림 4] 돌연변이 연산의 예

3.8 보정 연산

초기 모집단 구성과 유전자 연산을 통해서 얻어진 새로운 모집단의 개체에 대해서 평가를 하기 전에 문제의 조건에 맞도록 탐색체를 보정해 주어야 한다. 보정 연산은 탐색체의 원소 중에서 문제의 정의에 위배되는 중간노드의 원소를 1에서 0으로 바꾸어 주는 방법을 사용했다.

다음 [그림 5]는 유전자 연산이 끝난 후의 탐색체와 그에 대응하는 트리를 [그림 6]으로 나타냈다.

1	1	1	1	0	1	1	0	0
---	---	---	---	---	---	---	---	---

[그림 5] 유전자연산이 끝난 탐색체

[그림 6]에서 $v5$ 와 $v7$ 은 목적지 노드가 아니기 때문에 보정 연산이 필요한 노드라고 볼 수 있다. [그림 7]은 [그림 6]의 트리에서 단말노드가 된 중간노드를 보정하는 과정이다.

4. 결론 및 추후 연구 방안

본 논문에서는 다양한 QoS를 갖는 멀티캐스트 라우팅 문제를 해결하기 위해서 다양한 파레토 최적해를 구하는 다목적 유전자 알고리즘을 제안하였다. 지금까지의 연구는 다목적 최적화가 요구되는 멀티캐스트 문제에서 단순가중치법이나, 일부 목적식을 제약식으로 변환하는 방법을 사용하여 다양한 멀티미디어 환경에 적합한 해를 구하지 못하는 단점이 있었다. 그러나 제안된 알고리즘은 각각의 특성과 요구사항을 고려한 최적해를 찾아줌으로써 앞으로 사용이 증대되고 있는 다양한 멀티미디어 서비스에 효과적으로 대처할 수 있다. 앞으로 다양한 시뮬레이션을 적용하여 기존의 알고리즘과 성능비교가 이루어져야 하겠다.

참고문헌

[1] Bin Wang, and Jennifer C. Hou, "Multicast Routing and Its QoS Extension: Problems, Algorithms, and Protocols", IEEE Networks, pp. 22-36, Jan/Feb. 2000.
 [2] V. P. Kompellak, J. C. Pasquale, and G. C. Polyzos, "Multicast for Multimedia Applications", Proc. of IEEE Infocom, Florence, Italy, May. 1992.
 [3] C. P. Ravikumar, and Rajneesh Bajpai, "Source-based Delay-Bounded Multicasting in Multimedia Networks", Computer Communication, vol. 21, no. 2, pp. 126-132, 1998.
 [4] Andrzej Osyczka. "Multicriteria optimization for engineering design", Design Optimization, pp. 193-227, 1985.
 [5] N. Srinivas, and K. Deb, "Multiobjective Optimization Using Nondominated Sorting in Genetic Algorithms", Jour. of Evolutionary Computation, vol. 2, no. 3, pp. 221-248, 1994.