

# 다중 제약이 있는 멀티캐스트 트리 문제에 관한 연구

## A Study of Multicast Tree Problem with Multiple Constraints

이 성 근\*      한 치 근\*\*  
Sung-Geun Lee    Chi-Geun Han

### 요 약

스위치 노드(switch node)로 구성된 네트워크에서 멀티캐스팅을 위한 트리를 구성하는 것은 NP-complete로 알려진 스타이너 트리 문제(Steiner tree problem)로 정형화된다. 현재의 멀티캐스트를 요구하는 서비스들은 대개 대용량의 멀티미디어 데이터를 요구하게 된다. 이러한 서비스들은 텍스트 기반의 서비스에 비해 서비스의 질(Quality of Service)이 아주 중요한 요소가 되고, QoS는 전송에 소요되는 시간에 매우 민감하게 반응한다. 단일 제약을 갖는 멀티캐스트 트리 문제에 적용되는 휴리스틱은 이미 많이 연구되었으나, 노드 연결도 제한과 평균 홉수를 고려하는 다중 제약이 있는 멀티캐스트 트리 문제에 적용되는 휴리스틱에 대한 연구는 없었다. 본 논문에서는 다중 제약을 만족하는 효율적인 멀티캐스트 트리 문제에 적용 가능한 알고리즘을 제안하고, 실험을 통하여 성능을 평가하였다.

### Abstract

In the telecommunications network, multicasting is widely used recently. Multicast tree problem is modeled as the NP-complete Steiner problem in the networks. In this paper, we study algorithms for finding efficient multicast trees with hop and node degree constraints. Multimedia service is an application of multicasting and it is required to transfer a large volume of multimedia data with QoS(Quality of Service). Though heuristics for solving the multicast tree problems with one constraint have been studied, however, there is no optimum algorithm that finds an optimum multicast tree with hop and node degree constraints up to now. In this paper, an approach for finding an efficient multicast tree that satisfies hop and node degree constraints is presented, and the experimental results explain how the hop and node degree constraints affect to the total cost of a multicast tree.

Keyword : QoS, multicasting, Ant Algorithm, naive heuristic, shortest path heuristic

## 1. 서 론

네트워크의 기술이 발전하고 사용자가 늘어나면서 멀티캐스팅을 요구하는 응용프로그램들이 많아지게 되었다. 멀티캐스트 통신방식은 기존의 일대일 통신과는 달리 하나의 송신자가 다수의 수신자에게 동일한 데이터를 전송하는 방식이다. 이러한 멀티캐스트 통신의 특성상 만들어진 라우팅 경로들은 트리의 형태를 갖게 되며, 이것을 멀티캐스트 트리라고 한다. 멀티캐스트 트리를 구성하는 문제는 스타이너 트리 문제(Steiner Tree Problem)로

정형화되며, 이 문제는 NP-complete로 알려져 있다 [1]. 스타이너 트리 문제를 풀기위한 휴리스틱 알고리즘들은 이미 많이 알려져 있다[2-4]. 하지만 이러한 기존의 휴리스틱들을 제약이 있는 스타이너 트리 문제에 적용하는 것은 적합하지 않다. 많은 휴리스틱 논문들은 멀티캐스트 트리 문제의 주어진 제약을 고려하기 위해 기존의 휴리스틱을 조금씩 변경하는데 그치고 있다.

멀티미디어 서비스를 위한 효율적인 멀티캐스트 트리를 구성하는데 있어서 고려되는 요소들이 존재한다. 첫 번째 요소는 트리의 비용이다. 트리의 비용은 멀티캐스트 트리를 구성하는 에지(edge)들의 비용을 모두 합한 것이 된다. 에지의 비용이란 스위치와 스위치사이의 거리가 될 수도 있고, 통

\* 정 회 원 : 청강문화산업대학 컴퓨터소프트웨어과 겸임교수  
sglee00@daum.net(제 1저자)  
\*\* 정 회 원 : 경희대학교 컴퓨터공학과 교수  
cghan@khu.ac.kr(공동저자)

신선로를 사용하는데 소요되는 경비가 될 수도 있으며, 통신선로를 통해 데이터를 전송하는데 소요되는 지연(delay)이 될 수도 있다. 고전적인 멀티캐스트 트리문제에서 최적의 해는 트리의 비용이 가장 작은 멀티캐스트 트리가 된다[5]. 두 번째 요소는 네트워크를 구성하는 각 스위치 노드의 복사 능력이다. 네트워크와 멀티미디어 기술의 발전으로 인하여 네트워크를 통하여 전송되는 데이터는 대용량의 멀티미디어 데이터들이 많아졌다. 멀티캐스트 트리에 포함된 노드들 중 일부는 하나의 다른 노드에서 데이터를 수신하여 하나의 다른 노드로 전송한다. 하지만 일부 노드들은 하나의 노드로부터 데이터를 수신하여 여러 개의 다른 노드로 전송하게 된다. 후자와 같은 노드의 개수가 많아지면 트리의 총비용은 감소하게 될 확률이 높아진다. 하지만 이런 노드에서는 동일한 데이터를 여러 다른 노드로 보내기 위해 데이터의 복사가 필요하게 되고, 데이터의 용량이 큰 경우 동일한 데이터 복사에 소요되는 시간이 늘어나게 된다. 이것은 멀티미디어 서비스의 특성인 실시간 서비스에 심각한 장애요인이 된다[6]. 이러한 이유로 네트워크에 포함된 각각의 노드에서 한 번에 복사할 수 있는 능력에 제한을 둬으로써 서비스의 질이 떨어지는 것을 막을 수 있다. 이러한 제한을 연결도 제한(degree constraint)이라 한다. 세 번째 요소는 홵(hop)이다. 홵은 송신노드와 수신노드의 경로 상에 있는 에지의 수가 된다. 홵 수가 고려의 대상이 되는 이유는 다음과 같다. 첫 번째 이유는 데이터의 전송 시에 경로를 지나는 시간에 비해 스위치나 라우터를 통과할 때 더 많은 시간이 소요된다. 홵수가 많다는 것은 통과해야 되는 스위치가 많다는 것이다. 두 번째 이유는 홵 수가 많다는 것은 경로에 포함된 에지의 수가 많다는 것이고 이것은 경로 상에서 전송되는 데이터에 에러가 발생할 확률이 높아져 재전송하는 데이터의 수가 많아지게 된다[7].

단순히 홵 수가 적다고 트리의 비용이 감소하는

것은 아니다. 홵과 비용 중 어느 쪽에 더 많은 비중을 두느냐에 따라 비용이 증가하더라도 홵 수가 적은 경로가 선택될 수도 있고, 비용이 적어도 홵 수가 많은 경로가 선택될 수도 있다.

첫 번째 요소인 비용은 멀티캐스트 트리 문제에서 기본적인 요소가 된다. 세 번째 요소인 홵수는 앞에서 기술했듯이 홵의 수가 작다고 항상 멀티캐스트 트리의 비용이 좋은 것은 아니다. 그러므로 홵수의 제한값을 정하여 그 값을 넘는 트리를 해에서 배제하는 것은 무의미하다. 구하고자 하는 멀티캐스트 트리의 특징에 따라 비용에 비해 홵 수를 얼마나 중요하게 생각하는지 고려하는 것이 중요하다. 그러므로 세 번째 요소는 soft-condition으로 설정하여 될 수 있으면 적은 평균 홵수를 갖는 트리를 해로 하도록 한다. 두 번째 요소인 노드 연결도 제한은 hard-condition으로 하여 노드 연결도 제한값을 넘는 노드를 포함하는 트리는 해에서 배제한다.

본 논문에서는 연결도 제한을 갖는 멀티캐스트 트리 문제를 위해 연결도 제한을 갖는 스타이너 트리 문제(the degree-constrained Steiner Tree Problem)를 사용한다. 연결도 제한을 갖는 스타이너 트리 문제를 풀기 위한 휴리스틱은 이미 많이 소개되어 있으나[8-10], 본 논문에서는 연결도 제한뿐만 아니라 홵 제한도 동시에 고려하므로 개미 알고리즘의 동작방식과 전략을 수정하여 다중 집단 개미 군집 시스템(Multiple Group Ant Colony System)을 제안하였고, 제안된 알고리즘의 성능 평가를 위해 노드연결도 제한이 있는 멀티캐스트 라우팅에 사용되는 Naive Heuristic(NH)과 Shortest Path Heuristic(SPH)를 이용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 문제를 정의하고, 3장에서는 평가를 위해 사용되는 두 개의 알고리즘을 설명한다. 4장에서는 제안된 다중 집단 개미 군집 시스템을 설명하고, 5장에서는 시험결과를 설명한다. 6장에서는 결론 및 향후 연구 과제를 설명한다.

## 2. 문제정의

Given  $G = (V, E)$

Find  $T$

where  $Min(Total Cost = \sum_{e \in T} C_e + \lambda \times AverageHop(T))$   
(수식1)

$Degree(v) \leq D_{MAX} \quad (\forall v \in T)$

$T$ 는 다중 제약이 있는 상태에서 구한 멀티캐스트 트리이고,  $e$ 는  $T$ 에 포함된 에지를 나타내며  $C_e$ 는 에지  $e$ 의 비용을 나타낸다.  $AverageHop(T)$ 는 멀티캐스트 트리  $T$ 의 평균 홉수이고,  $Degree(v)$ 는 노드  $v$ 의 노드 연결도를 나타내며,  $D_{MAX}$ 는 노드 연결도의 제한값이다.

## 3. 평가를 위해 사용된 알고리즘

### 3.1 Naive Heuristic(NH)

제약이 없는 상태의 스타이너 트리 문제를 풀 수 있는 알고리즘 중 가장 간단한 알고리즘이다 [11],[12].

다중 제약이 있는 멀티캐스트 라우팅 문제에 적용되는 Naive Heuristic을 다음과 같이 동작한다. 우선 시작노드와 목적노드들을 연결하는 최단경로들을 각각 계산한다. 이 때 최단경로는 단순히 비용만 계산하는 것이 아니라 수식 1을 이용하여 평균 홉 수까지 고려한다. 계산된 최단경로들 중  $Total Cost$ 의 값이 가장 적은 경로를 선택하여 트리에 포함시키고, 경로상의 모든 노드를  $List$ 에 추가한다. 그리고 방문하지 않은 목적노드들 중 임의로 하나의 노드를 선택한 후  $List$ 에 포함된 모든 노드들과 다시 최단경로를 계산한다. 역시 이 경로들 중  $Total Cost$ 가 가장 적은 경로를 선택하는데, 선택된 경로가 트리에 포함될 때 노드 연결도 제한을 초과하게 되는지 검사한다. 초과하지 않는다면 선택된 경로를 트리에 포함시킨다.

만일 연결도 제한을 초과한다면,  $Total Cost$ 가 적으면서 노드연결도 제한을 초과하지 않는 경로를 다시 선택하게 된다. 그리고 트리에 포함된 경로상의 모든 노드들을  $List$ 에 포함시킨다. 위의 과정을 모든 목적노드가 트리에 포함될 때까지 반복하게 된다.

### 3.2 Shortest Path Heuristic (SPH)

Shortest Path Heuristic(SPHE)은 제약이 없는 스타이너 트리 문제에서 아주 효율적인 트리를 찾아주며, SPH를 기본으로 하는 많은 변형된 알고리즘이 존재한다[11],[12].

제약이 있는 멀티캐스트 라우팅 문제에 적용하기 위해 SPH를 다음과 같이 수정한다. 시작노드와 목적노드들을 연결하는 최단경로들을 각각 계산한다. 이 때 최단경로는 단순히 비용만 계산하는 것이 아니라 평균 홉수까지 고려한다. 최단경로들 중  $Total Cost$ 가 가장 적은 경로를 선택하여 트리에 포함시키고, 경로상의 모든 노드를  $List$ 에 추가한다. 그리고 방문하지 않은 모든 목적노드들과  $List$ 에 포함된 모든 노드들 사이의 최단경로를 계산한다. 역시 계산된 경로들 중 노드연결도 제한 값을 초과하지 않으면서  $Total Cost$ 가 가장 적은 경로를 선택한다. 선택된 경로를 멀티캐스트 트리에 포함시키고, 선택된 경로 상의 모든 노드들을  $List$ 에 포함시킨다. 이 과정을 모든 목적노드가 트리에 포함될 때까지 계속하게 된다.

SPH는 NH와 유사해 보이지만 상당한 차이가 있다. 그 차이는 멀티캐스트 트리에 포함되는 목적노드를 선택하는 방법이다. NH는 멀티캐스트 트리에 포함되지 않은 목적노드들 중에서 임의로 하나의 노드를 선택하게 되지만, SPH는 임의로 선택하는 것이 아니라  $List$ 에 저장된 이미 방문한 노드들과 방문하지 않은 모든 수신노드들 사이의 최단경로를 구한 후 그 중 노드 연결도 제한을 초과하지 않으면서  $Total Cost$ 가 가장 적은 경로와 연결되는 수신노드를 선택하게 된다.

## 4. 제안된 다중 집단 개미 군집 알고리즘 (Multiple Group Ant Colony System)

개미 알고리즘은 실제 개미의 군집생활에서 시각적인 정보 없이 페로몬(pheromone)이라는 화학물질만 이용하여 개미가 등지에서 먹이까지 최단 경로를 찾는 데 기초하여 만들어진 알고리즘이다. 사용되는 규칙과 전략에 따라 여러 종류의 개미 알고리즘들이 존재한다. 본 논문에서는 가장 최근에 소개된 개미 군집 시스템(Ant Colony System)을 기본으로 한다[13].

### 4.1 개미 알고리즘에서 사용하는 규칙

개미 알고리즘의 종류에 따라 다양한 규칙을 사용하고 있다. 개미 알고리즘에는 세 개의 규칙이 존재하며, 개미 알고리즘의 종류에 따라 규칙들 중 일부나 전부를 사용하게 된다.

#### 4.1.1 상태 전이 규칙(State Transition Rule)

개미 알고리즘에서 모델링된 인공개미들이 현재 위치한 노드에서 다음에 이동할 노드를 선택하기 위하여 사용하는 규칙이다. 현재의 노드와 연결된 에지들의 비용과 에지 상에 뿌려진 페로몬의 양을 이용하여 에지에 의해 연결된 노드에 확률값을 할당한다. 확률값은 페로몬의 양이 많을수록, 그리고 비용은 적을수록 큰 값을 갖게 된다. 이동할 노드를 선택하는 방법은 두 가지이다. 첫 번째 방법은 탐색(exploitation)으로 할당된 확률값들 중 가장 큰 값을 갖는 노드를 선택하는 것이다. 두 번째 방법은 탐험(exploration)으로 룰렛 휠 방식을 이용하여 이동 가능한 노드들 중 임의로 하나의 노드를 선택하는 것이다. 탐험의 경우도 확률값이 큰 노드가 선택될 가능성은 높으나, 반드시 그런 것은 아니므로 탐색에 비해 다양한 해를 구성할 수 있다. 문제의 속성에 따라 두 방법을 사용하는

비율을 조정하여 상태 전이 규칙에 이용한다.

#### 4.1.2. 지역 페로몬 갱신 규칙(Local Pheromone Updating Rule)

인공개미가 새로운 노드로 이동한 후 선택한 에지의 페로몬 값을 변화시키기 위해 사용하는 규칙이다. 에지에 할당되는 새로운 값은 원래 페로몬 값에서 증발되고 남은 양과 개미가 지나가면서 새롭게 할당되는 양을 합친 것이 된다. 이 규칙에는 세 가지의 전략이 존재한다. 첫 번째 전략은 강화 학습 알고리즘에 사용되는 Q-learning과 유사한 방법이다. 이 전략은 현재의 노드에서 이동 가능한 노드들과 그 노드들 중 하나가 선택되었을 때 선택된 노드에서 이동 가능한 노드들의 확률값까지 계산하게 된다. 두 번째 전략은 페로몬의 증가분을 초기 페로몬의 양으로 설정하는 것이다. 세 번째 규칙은 페로몬의 증가분을 0으로 설정하는 것이다. 순회 외판원 문제에서는 첫 번째와 두 번째 전략이 세 번째에 비해 우수하며, 첫 번째 전략은 계산량이 너무 많아 주로 두 번째 전략을 사용한다. 하지만 멀티캐스트 트리 문제에서는 세 번째 규칙이 더 우수한 성능을 보인다. 이것은 세 번째 전략이 다양한 해를 만들어 내기 때문이다.

#### 4.1.3. 전역페로몬갱신규칙(Global Pheromone Updating Rule)

개미 알고리즘의 한 사이클에서 여러 개의 멀티캐스트 트리들이 생성된다. 생성된 해들 중에서 최적의 트리를 선택하여 트리에 포함된 에지들의 페로몬 양을 갱신한다. 전역페로몬갱신규칙 역시 페로몬이 증발하고 남은 값과 새롭게 추가되는 페로몬 값의 합으로 이루어진다. 새롭게 추가되는 페로몬의 값은 비용의 역수를 사용한다. 그러므로 비용이 적을수록 많은 양의 페로몬이 추가되고, 이것은 다음 사이클에서 해당 에지가 선택될 가능성을 높이게 된다. 본 논문에서는 최적의 트리를 구할 때 트리의 비용만 고려하는 것이 아니라 평

균 흡수도 같이 고려의 대상으로 한다. 이 때, 평균 흡수는 비용대비 중요도에 따라 일정한 값이 곱해지게 된다.

#### 4.2 기존의 멀티캐스팅에 사용된 개미 알고리즘

기존의 멀티캐스트 방식에 사용된 개미 알고리즘은 크게 두 종류가 있다.

첫 번째 개미 알고리즘의 동작방식은 NH와 유사하다. 개미를 시작노드에서 출발시켜 목적노드들 중 하나에 도착할 때까지 탐색을 시킨다. 개미가 목적노드에 도착하여 하나의 경로가 만들어지면, 이 경로 상의 페로몬을 전역페로몬갱신규칙을 이용하여 증가시킨다. 그리고 다시 개미를 다른 임의의 목적노드에서 출발시켜 다른 개미가 이미 방문한 노드나 시작노드에 도착하면 개미의 탐색을 중지시킨다. 그리고 만들어진 경로상의 페로몬을 전역페로몬갱신규칙을 이용하여 증가시킨다. 이러한 과정을 모든 목적노드가 트리에 포함될 때까지 반복하게 된다[10].

두 번째 개미 알고리즘의 동작은 다음과 같다. 여러 마리의 개미를 하나의 집단으로 사용한다. 집단에 포함되는 개미의 수는 목적노드의 수와 동일하다. 모든 목적노드에 개미를 위치시킨 후 동시에 탐색을 시작하게 한다. 개미들은 시작노드나 다른 개미가 방문한 노드를 만나게 되면 탐색을 중지하게 되고, 모든 개미들이 탐색을 중지하면 하나의 멀티캐스트 트리가 만들어지게 된다. 트리에 속하는 에지 상의 페로몬은 전역페로몬갱신규칙을 이용하여 증가하게 된다[4].

이상에서 설명한 두 방법은 기존의 개미 시스템(Ant System)을 기본으로 하여 만들어진 알고리즘이다[14]. 개미 시스템은 페로몬의 증가를 위해 전역페로몬갱신규칙을 이용하여 이전의 트리에 포함된 에지가 현재 찾는 트리에 포함될 가능성을 높이는 강화 작용은 있으나, 지역페로몬갱신규칙을 이용하지 않으므로 다양한 해를 찾지 못하는 결함이 있다.

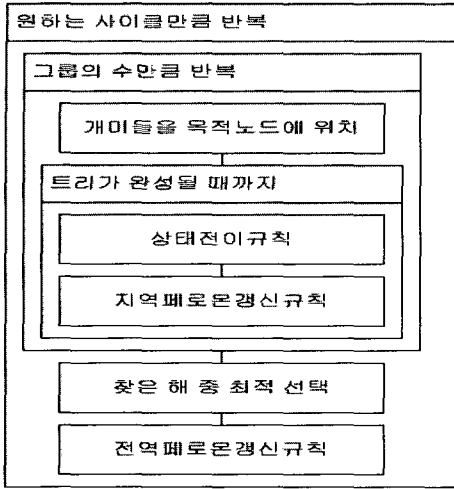
#### 4.3 다중 집단 개미 군집 알고리즘 (Multiple Group Ant Colony System)

제안된 다중 집단 개미 군집 시스템은 기본적인 동작은 4.2에서 설명한 두 번째 방법을 모델링한다. 하지만 기존의 방법은 전역페로몬갱신규칙을 이용하여 페로몬의 강화만 있고 다양화는 없기 때문에 지역해에 빠질 가능성이 아주 많다.

본 논문에서는 이러한 단점을 극복하기 위해 여러 마리의 개미들이 하나의 집단(group)을 형성하고, 이러한 집단들이 여러 개가 모여 하나의 군집(colony)을 형성한다. 하나의 군집에서는 집단 수만큼의 트리들이 생성되는데, 이들 중 가장 성능이 좋은 트리만 전역페로몬갱신규칙을 이용하여 페로몬의 양을 증가시킨다. 하나의 군집에서 트리를 찾는 동안 개미가 지나간 에지들은 지역페로몬갱신규칙에 의해 페로몬의 양이 감소된다. 전자에 의해 에지의 페로몬은 강화되고, 후자에 의해 더욱 다양한 해를 찾을 수 있다.

다중 집단 개미 군집 알고리즘의 동작은 다음과 같다. 하나의 그룹에 속하는 개미들은 목적노드들에 각각 하나씩 위치한다. 상태전이규칙을 이용하여 다음으로 이동하게 될 노드를 선택하게 되는데, 선택된 노드가 시작노드이거나 다른 개미가 이미 방문한 노드이면 이동을 중지하게 된다. 개미들이 노드를 선택할 때 자신이 만든 경로에 순환경로를 만들지 않기 위해 자신이 방문한 노드를 타부목록에 저장한다. 타부목록에 저장된 노드는 현재 노드에서 이동 가능한 노드에서 제외된다. 개미가 현재 노드에서 에지를 선택하여 다른 노드로 이동하면, 선택된 에지의 페로몬 양은 지역페로몬갱신규칙에 의해 감소하게 된다. 이런 과정을 통해 모든 개미들이 이동을 중지하게 되면 하나의 멀티캐스트 트리가 만들어 진다. 하나의 사이클에서 만들어지는 멀티캐스트 트리의 수는 개미 그룹의 수와 동일하고, 찾은 트리 중 성능이 가장 좋은 트리에 전역페로몬갱신규칙을 적용하게 된다.

다음은 다중 집단 개미 군집 시스템의 동작 흐름도이다.



〈그림 1〉 다중 집단 개미 군집 시스템의 동작 흐름도

## 5. 실험결과

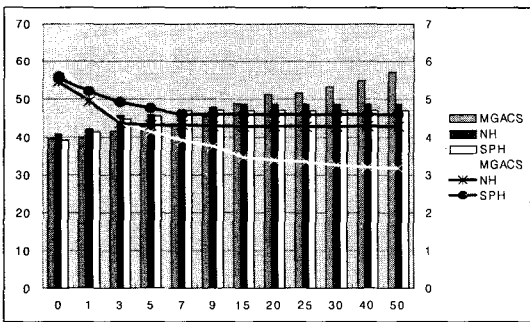
실험에 사용된 그래프는 100개의 노드를 갖고

있으며, 목적노드의 개수는 10개이다. 실험에서 사용되는 그래프들은 연결비율이 10%이기 때문에 평균적으로 노드들의 차수(degree)는 10이고, 각 에지의 비용은 1에서 10사이의 정수를 임의로 지정하였다.

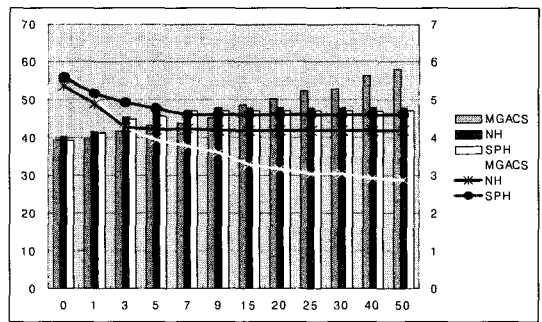
실험에서는 최대노드연결도( $D_{MAX}$ )를 조정하여 총 4가지의 실험을 하였다. 각 실험을 A1, A2, A3, A4라 하고, 각 실험의 최대노드연결도( $D_{MAX}$ )를 4, 6, 8, 10으로 하였다.

### 5.1 트리의 비용과 평균흡수 비교

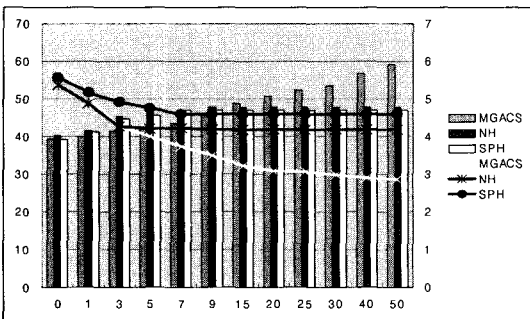
각 실험의 차트에서 왼쪽에 있는 세로축은 멀티캐스트 트리의 비용을 나타내고, 오른쪽에 있는 세로축은 평균 흡수를 나타낸다. 그리고 가로축은 비용 대비 흡의 중요도를 의미하는데 수식 1의  $\lambda$  값이다. 차트에서 세로막대는 멀티캐스트 트리의



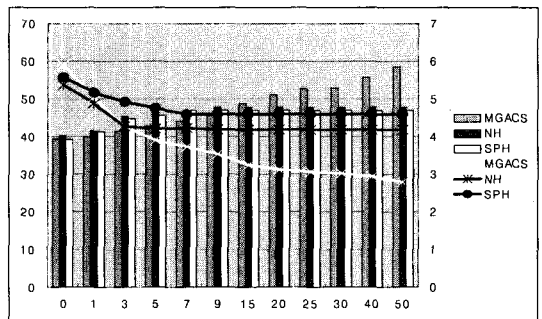
〈그림 2〉 실험 A1



〈그림 3〉 실험 A2



〈그림 4〉 실험 A3



〈그림 5〉 실험 A4

비용을 나타내고, 선은 평균 흡수를 나타낸다.

$\lambda$ 의 값이 높아지면서 멀티캐스트 트리의 비용은 모두 증가한다. 하지만 평균 흡수가 감소하는 것을 볼 수 있는데, 이것은 비용이 많이 들어도 흡수가 감소하는 경로가 선택되기 때문이다. 다중 집단 개미 군집 시스템(MGACS)에 의해 만들어진 트리의 비용과 평균 흡수는  $\lambda$ 값의 증가를 결과에 잘 반영하고 있으나, NH와 SPH는  $\lambda$  값이 어느 정도 증가한 후 더 이상의 변화가 없는 것을 확인할 수 있다.

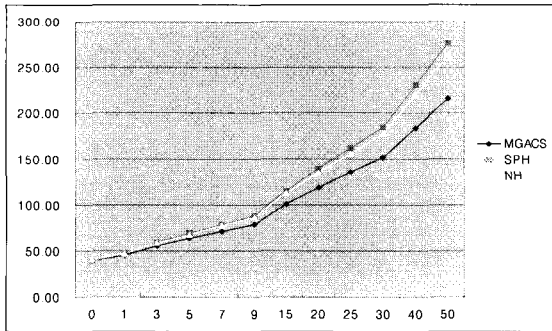
### 5.2 Total Cost의 비교

본 절에서는 실험을 통해 얻은 비용과 평균 흡수를 수식 1을 이용하여 계산한 Total Cost를 비교한다.

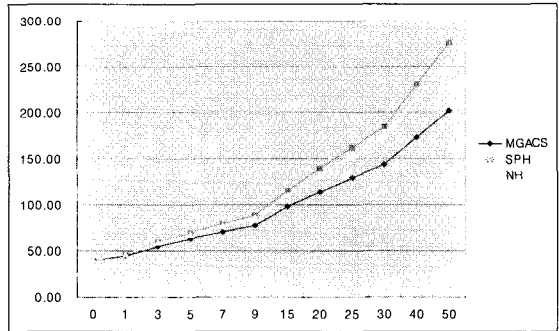
$\lambda$ 의 값이 0일 때는 최단 경로를 구하는 알고리즘을 기반으로 해서 만들어진 SPH가 비교적 우수한 성능을 낸다. 이것은 Total Cost를 계산할 때 흡수를 고려하지 않고, 멀티캐스트 트리를 만드는 과정에서도 흡수는 고려하지 않기 때문이다. 하지만 실험 A3에서는  $\lambda$ 의 값이 0일 때, 다중 집단 개미 군집 시스템이 SPH에 비해 더 좋은 값을 갖는다.

$\lambda$ 의 값이 증가할수록 다중 집단 개미 군집 시스템의 성능이 좋은 것을 알 수 있다.

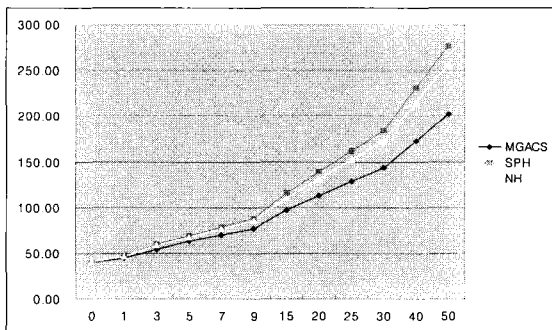
아래 네 개의 차트는 실험 A1, A2, A3과 A4를 차트로 나타낸 것이다. 세로축은 Total Cost의 값이고, 가로축은  $\lambda$  값이다. 여기서는 Total Cost의 값은 같은  $\lambda$ 에서는 적을수록 좋은 해이다. 그러므로 결과는 다중 집단 개미 군집 시스템이 가장 우수한 성능을 보이는 것을 알 수 있다.



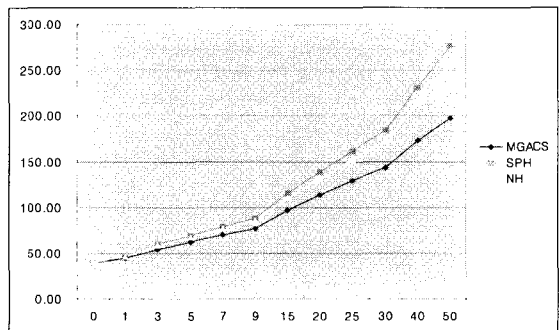
〈그림 6〉 실험 A1



〈그림 7〉 실험 A2



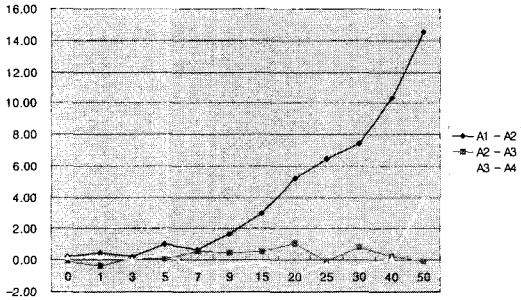
〈그림 8〉 실험 A3



〈그림 9〉 실험 A4

### 5.3 노드 연결도 변화에 따른 알고리즘별 성능 평가

이론적으로 노드 연결도 제한 값( $D_{MAX}$ )이 클수록 동일한  $\lambda$ 값에서는 *Total Cost*가 작아진다. 각 차트는 알고리즘 별로 인접한 실험들끼리 차를 구한 것이다. 예를 들어 A1과 A2의 차를 구하면 A1의 노드 연결도 제한이 작으므로 A1의 *Total Cost*에서 A2의 *Total Cost*를 뺀 값은 양수여야 한다. 그러므로 차트의 분석은 양의 값이 많으면 비교적 안정적이라고 할 수 있다.



〈그림 10〉 다중 집단 개미 군집 시스템

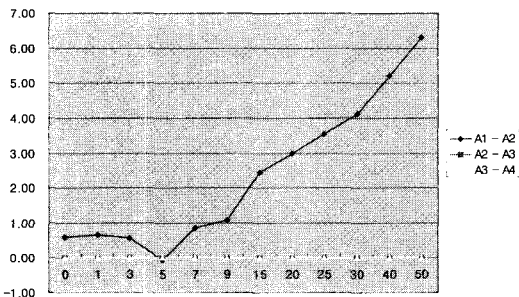
그림 10의 다중 집단 개미 군집 시스템은 상당히 안정적인 값을 찾는다는 것을 관찰할 수 있다. 그리고 실험 A1과 A2는 노드 연결도의 차에 의해 트리의 *Total Cost*의 변화가 발생하였음을 관찰할 수 있으나, A2와 A3, A3와 A4는 *Total Cost*의 변

화가 아주 미미하다. 이것은 실험 A3과 A4는 노드 연결도 제한이 크지만, 포함된 노드들의 노드 연결도가 6이상인 것이 많지 않다는 것을 나타낸다. 그림 11은 NH이다. 이 경우 A2, A3, A4의 결과가 동일하고, 그림 12의 SPH는 A1과 A2가  $\lambda$ 의 값이 1일 때를 제외하고는 네 개의 실험이 모두 동일한 결과를 갖는다.

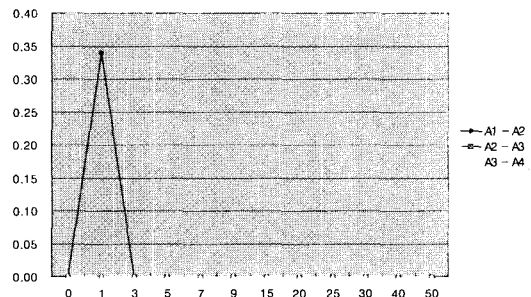
즉, 다중 집단 개미 군집 알고리즘은 노드 연결도 변화에 비교적 잘 반응하지만, 나머지 두 개의 알고리즘은 그렇지 못하다는 것을 나타낸다.

### 6. 결론 및 향후 연구 과제

본 논문에서는 멀티캐스트 트리 문제를 다중 제약을 갖는 문제로 변환하였다. 다중 제약으로는 노드의 연결도 제한을 *hard-condition*으로 하고, 트리의 비용과 평균 흡수를 *soft-condition*으로 하였다. 해를 찾는데 있어서 *hard-condition*인 노드의 연결도 제한값을 넘는 노드를 포함하는 트리는 해에서 배제시키고, *soft-condition*인 트리의 비용과 평균 흡수는 될 수 있으면 작은 값을 갖는 것을 해로 선택하게 했다. 문제에 따라 비용과 흡수 중에서 중요한 요소에 가중치를 주어 *Total Cost*를 계산하는 방법을 사용하였다. 실험결과에서 알 수 있듯이 다중 제약 조건에서는 다른 알고리즘에 비해 제안된 다중 집단 개미 군집 시스템이 우수한 성능을 보인다. 특히  $\lambda$ 값이 커짐에 따라 다른 두



〈그림 11〉 Naive Heuristic



〈그림 12〉 Shortest Path Heuristic



알고리즘은 반응이 거의 없으나, 다중 집단 개미 군집 시스템의 경우 민감하게 반응하는 것을 알 수 있다.

다중 집단 개미 군집 시스템의 성능이 더욱 우수한 이유는 다음과 같다. 기존의 개미 군집 시스템이나 개미 시스템과는 달리 전역페로몬갱신규칙을 이용하여 좋은 해에 속하는 에지의 페로몬 양을 증가시키는 동시에 해의 탐색 범위를 넓이기 위해 지역페로몬갱신규칙을 이용하여 에지의 페로몬을 감소시킨다. 결과적으로 개미 집단은 보다 다양한 해를 찾을 수 있게 되었다. 반면, SPH와 NH의 경우 알고리즘 자체에서 다양한 해를 생성하는 것이 불가능하기 때문에 노드 연결도 제한이 변하여도  $Total Cost$ 는 거의 동일하고,  $\lambda$ 값이 어느 정도 증가하고 나면  $\lambda$ 의 변화는 트리의 비용이나 평균 흡수에 영향을 미치지 못한다.

향후연구과제로는 다중 제약이 있는 멀티캐스트 문제를 현재의 통신망 특성을 더욱 잘 반영할 수 있도록 수정하고, 제안된 다중 집단 개미 군집 알고리즘을 보다 다양한 최적화 문제에 적용할 수 있도록 일반화하는 것이다.

## 참고 문헌

- [1] F.Hwang and D. Richards, "Steiner Tree Problems", Networks, Vol.22, pp. 55-89, 1992
- [2] L. Kyou, G. Markowsky and L. Berman, "A Fast Algorithm for Steiner Trees" Acta Info., vol. 15, no. 2, pp.141-145, 1981.
- [3] Z. Wang and B. Shi, "Solution to QoS Multicast Routing Problem Based on Heuristics Genetic Algorithm", Journal of Computer, Vol. 24, pp. 55-61, 2001.
- [4] Ying Wang and Jianying Xie, "Ant Colony Optimization for Multicast Routing", The 2000 Asia-Pacific IEEE Conference, pp. 243-246, 2000.
- [5] L. H. Saharabuddhe and B. Mukherjee, "Multicast Routing Algorithms and Protocols : A Tutorial", IEEE Network, pp.90-102, January/February 2000.
- [6] A. Striegel and G. Manimaran, "A Survey of QoS Multicasting Issues", IEEE Communications Magazine, pp. 82-87, June 2002.
- [7] Luis Gouveia, "Multicommodity Flow Models for Spanning Trees with Hop Constraints", European Journal of Operational Research, Vol.95, pp.178-190,1996.
- [8] S. P. Fekete, S. Khuller, M. Klemmstein, B. Raghavachari, N. Young, "A Network-Flow Technique for Finding Low-Weight Bounded-Degree Spanning Trees", Journal of Algorithms, Vol. 24, pp. 310-324, 1997.
- [9] A. Volgenant, "A Lagrangean Approach to the Degree-Constrained Minimum Spanning Tree Problem," European Journal of Operational Research, vol.39, pp. 325-331, 1989.
- [10] Ying LIU, Jianping WU, Ke Xu and Mingwei Xu, "The Degree-Constrained Multicasting Algorithm Using Ant Algorithm", ICT 2003. 10th International Conference, Vol. 1, pp.370-374, 2003.
- [11] F. Bauer, A. Varma, "Degree-constrained multicasting in point- to-point networks", Fourteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. Vol. 1, pp.369-376, April 1995.
- [12] M. Doar and I. Leslie, "How bad in naive multicast routing?", Proceeding IEEE INFOCOM, pp.82-89, 1993.
- [13] Marco Dorigo, "Ant Colony System : A Cooperative Learning Approach to

the Traveling Salesman Problem", IEEE transactions on Evolutionary Computation, vol. 1, no. 1, pp.53-66, 1997.

[14] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Colo

rni, "The Ant System : Optimization by a Colony of Cooperating Agents", IEEE Trans. Syst, Man, Cybern. B, vol. 26, no. 2, pp. 29-41, 1996.

## ● 저 자 소 개 ●



### 이 성 근

1997년 경희대학교 전자계산공학과 졸업(학사)  
1999년 경희대학교 대학원 전자계산공학과 졸업(석사)  
2004년 경희대학교 대학원 전자계산공학과 졸업(박사)  
2002~현재 청강문화산업대학 컴퓨터소프트웨어과 겸임교수  
관심분야 : 개미 알고리즘, 유.무선데이터 통신.  
E-mail : sglee00@daum.net



### 한 치 근

1983년 서울대학교 산업공학과 졸업(학사)  
1988년 Master of Science, Computer Science Department, The Pennsylvania State University  
1991년 Ph.D. of Computer Science, Computer Science Department, The Pennsylvania State University  
1992~현재 경희대학교 컴퓨터공학과 교수  
관심분야 : 생존망 설계, 유전자 알고리즘, XML  
E-mail : cghan@khu.ac.kr