

멀티캐스트 라우팅 문제 해결을 위한 엘리트 개미 시스템

이 승 관*

Elite Ant System for Solving Multicast Routing Problem

Seung-Gwan Lee *

요 약

개미 시스템(Ant System)은 조합 최적화 문제를 해결하기 위한 메타 휴리스틱 탐색 방법으로, 그리디 탐색뿐만 아니라 긍정적 피드백을 사용한 모집단에 근거한 접근법으로 순회 판매원 문제를 풀기 위해 처음으로 제안되었다. 본 논문에서는 이러한 개미 시스템을 이용한 멀티캐스트 라우팅 방법을 제안한다. 멀티캐스트 라우팅은 하나의 송신자에서 다수의 수신자로 데이터를 전송하는 것으로 스타이너 트리(Steiner Tree)를 구성해 문제를 해결할 수 있다. 하지만, 멀티캐스트 라우팅 문제는 모든 노드를 방문하는 순회 판매원 문제와 접근법이 다르므로, 순회 판매원 문제를 해결하기 위한 개미 시스템의 전략을 수정한 엘리트 에이전트에 의한 개미 멀티캐스트 라우팅 모델을 제안한다. 이 모델은 이웃노드를 선택할 경우, 해당 에지와 선택될 다음 노드의 전체 비용까지 모두 고려해 이웃 노드를 선택한다. 또한, 엘리트 에이전트에 의해 선택된 에지에 대해서는 추가 페로몬 갱신을 수행한다. 이러한 전략을 통해 제안한 모델의 성능을 평가한다.

Abstract

Ant System(AS) is new meta heuristic for hard combinatorial optimization problem. It is a population based approach that uses exploitation of positive feedback as well as greedy search. It was first proposed for tackling the well known Traveling Salesman Problem. In this paper, AS is applied to the Multicast Routing Problem. Multicast Routing is modeled as the NP-complete Steiner tree problem. This is the shortest path from source node to all destination nodes. We proposed new AS to resolve this problem. The proposed method selects the neighborhood node to consider all costs of the edge and the next node in state transition rule. Also, The edges which are selected elite agents are updated to additional pheromone. Simulation results of our proposed method show fast convergence and give lower total cost than original AS and AS_{elite}.

▶ Keyword : 개미 시스템(Ant System), 멀티캐스트(Multicast), 라우팅(Routing)

• 제1저자 : 이승관

• 접수일 : 2008. 3. 26, 심사일 : 2008. 4. 15, 심사완료일 : 2008. 5. 24.

* 경희대학교 학부대학 교수

※ 이 연구는 2006년도 경희대학교 연구비지원에 의한 결과임(KHU-20061272).

1. 서론

멀티캐스트 전송방식은 수신자에게 일일이 정보를 보내지 않고 다수의 수신자들에게 데이터를 한꺼번에 보내는 기술이다. 멀티캐스팅은 일대일 방식의 유니캐스팅과 달리 한꺼번에 많은 수신자들과의 데이터 송수신을 할 수 있어, 인터넷 방송 서비스, 원격 교육, 게임, 시뮬레이션, 비디오 컨퍼런스, 실시간 뉴스 전송 등 멀티미디어 데이터를 전송할 때 많이 응용된다.

이러한 멀티캐스트 전송을 위해 수신자와 송신자를 연결하는 하나의 트리를 구성해 경로를 설정하는 문제를 멀티캐스트 라우팅이라 한다. 멀티캐스트 라우팅 문제를 해결하기 위해 트리 구성은 일반적으로 스타이너 트리(Steiner Tree)를 이용해 문제를 해결할 수 있으며, 스타이너 트리는 NP-complete 문제로 최소 스패닝 트리를 기반으로 하고 있다[1, 2].

멀티캐스팅 라우팅 문제를 해결하기 위한 다양한 방법이 소개되고 있으며, 최근에는 순회 판매원 문제를 해결하기 위한 메타 휴리스틱 탐색 방법인 개미 알고리즘[7, 8, 9, 10]을 이용한 멀티캐스팅 라우팅 문제 해결 방법도 많이 연구되고 있다[3, 4, 5, 6].

이미 국내에서도 몇몇 연구자에 의해 제안된 개미 알고리즘을 이용해 멀티캐스팅 라우팅 문제를 해결하고 있다[11, 12, 15].

본 논문에서는 엘리트 에이전트에 의한 개미 멀티캐스트 라우팅 모델을 제안한다. 이 모델은 이웃노드를 선택할 경우, 해당 에지와 선택될 다음 노드의 전체 비용까지 모두 고려해 이웃 노드를 선택한다. 그리고, 엘리트 에이전트라는 개념을 도입한다. 엘리트 에이전트는 노드에 에이전트를 무작위로 배정시, 송신노드나 수신노드에 배정된 에이전트를 말하며, 전체 트리를 구성 후, 엘리트 에이전트에 의해 선택된 에지에 대해서는 페로몬 갱신을 달리 수행한다. 이러한 전략을 통해 제안한 모델의 성능을 평가한다.

II. 기존 연구

2.1 Ant System

개미 시스템(Ant System : AS)은 실제 개미들이 먹이에서 집까지 가장 짧은 경로를 찾는 능력을 모방한 메타 휴리스

틱 탐색[3, 4, 5, 6]이다.

이 방법은 에이전트라 불리는 개미들이 목적지를 향해 나아가는 동안 각 경로에 페로몬을 분비하고, 이후에 지나가는 에이전트들은 그 경로에 쌓여있는 페로몬(Pheromone) 정보를 이용해 다음 경로를 선택하는 원리를 휴리스틱 탐색에 적용시킨 시스템으로, 에이전트들의 행위를 살펴보면 다음과 같다. 먼저 각 에이전트들이 특정 경로를 선택해야 되는 결정지점에 도달하게 되면 그들은 최선의 선택에 관한 어떤 정보도 가지고 있지 않기 때문에 무작위로 다음 경로를 선택하고 선택 후 지나간 길에 페로몬을 분비한다. 그 후 각 에이전트들이 다음으로 방문할 경로를 선택할 때는 각 경로에 쌓여있는 페로몬 양에 비례해 길을 선택하고 얼마정도의 시간이 경과하게 되면, 이 페로몬 양은 이후에 새로운 에이전트들이 경로를 선택할 시에 영향을 줄 정도로 각 경로에서 커다란 양의 차이를 보이게 된다. 이러한 과정들이 지나면 에이전트들은 각 경로에 있는 페로몬 양을 기반으로 서로 간의 정보 교환을 통해 최적의 경로를 찾아가고 이러한 에이전트들의 행동 양식을 그대로 적용한 알고리즘이다. AS에서 노드(r)에 있는 에이전트(k)가 노드(s)로 이동할 확률은 식(1)로 표현하며, 상태전이 규칙(state transition rule)으로 불린다.

$$p_k(r, s) = \begin{cases} \frac{[\tau(r, s)] \cdot [\eta(r, s)]^\beta}{\sum_{u \in J_k(r)} [\tau(r, u)] \cdot [\eta(r, u)]^\beta} & \text{if } s \in J_k(r) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \dots (1)$$

여기서 $\tau(r, u)$ 는 노드(r)과 노드(u)사이 에지의 페로몬의 양, $\eta(r, u) = 1/\delta(r, u)$ 로써 $\delta(r, u)$ 는 노드(r)과 노드(u)사이 거리이며, $J_k(r)$ 은 노드(r)에 있는 에이전트(k)가 방문할 수 있는 남아있는 노드들의 집합이다. 그리고 β 는 페로몬과 에지 길이의 상대적인 중요도를 결정하는 파라미터이다($\beta > 0$).

AS에서 전역 갱신은 모든 경로가 완성된 후 경로를 구성한 모든 에지에 대해 갱신시키는데, 그 방법은 다음 식(2)와 같다.

$$\tau(r, s) \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau(r, s) + \sum_{k=1}^m \Delta \tau_k(r, s)$$

$$\text{and } \Delta \tau_k(r, s) = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & , \text{if } (r, s) \in \text{tour done by agent } k \\ 0 & , \text{otherwise} \end{cases} \dots (2)$$

ρ ($0 < \rho < 1$)는 증발율, $\Delta \tau(r, s)$ 는 에지 $E(r, s)$ 에 대해 전체 페로몬 증가량, $\Delta \tau_k(r, s)$ 는 에이전트(k)에 의한 에지 $E(r, s)$ 의 페로몬 증가량, Q 는 상수, L_k 는 에이전트(k)의 경

로길이, m 은 에이전트 수이다. 여기서 경로 길이가 짧을수록 더 많은 페로몬 갱신이 발생한다.

2.2 개미 시스템을 적용한 멀티캐스트 라우팅

멀티캐스트 라우팅 문제 해결을 위해 개미 시스템을 적용한 다양한 연구가 이루어지고 있다.

Y. Wang[13]에 의해 제안된 방법은 최소비용 스타이너 트리를 구하는 휴리스틱 알고리즘인 KMB 알고리즘과 개미 시스템을 적용한 방법과의 비교 연구로, 개미 시스템에서 ρ (페로몬 지연 파라미터)의 변경과 페로몬과 에지 길이의 상대적인 중요도를 결정하는 파라미터(β)를 노드의 차수에 따른 고려를 통해 실험하고 있다.

L. Luyet[14]은 스타이너 트리 문제를 해결하기 위해 개미 시스템을 제시하고 있다. L. Ying[3]은 개미 시스템을 이용해 연결도 제한이 있는 멀티캐스트 라우팅 문제를 해결하는 방법을 제시하고 있다. S. Lee[11, 15]에서는 트리를 구성 후, 에지에 대한 페로몬 갱신을 비용(Cost), 평균 홉수(Hop), 노드 연결도(Degree)를 고려해 갱신한다. C. Chu[6]은 멀티캐스트 라우팅의 QoS(Quality of Service) 문제를 해결하기 위해 개미 시스템을 적용하는 방법을 제시하고 있다.

III. 개미 시스템을 적용한 멀티캐스트 라우팅

3.1 문제 정의

멀티캐스팅 라우팅 문제를 해결하기 위한 네트워크 그래프는 무방향 연결 가중 그래프 $G = \{V, E, S, D\}$ 를 모델로 전체 네트워크 비용을 최소화 하는 스타이너 트리를 구하는 문제로 정의한다.

$$G = \{V, E, S, D\}$$

$$T_{TotalCost} = Minimize \left(\sum_{v \in T} C(v) + \sum_{e \in T} C(e) \right) \dots (3)$$

$C(v)$: Cost of $v (v \in V)$

$C(e)$: Cost of $e (e \in E)$

T : Steiner Tree

그래프 G 는 노드의 집합 V , 에지의 집합 E , 시작노드 $S (\in V)$, 목적지 노드의 집합 $D (\subset V)$ 로 구성된다. 각 노드($v \in V$)와 에지($e \in E$)는 비용과 지연을 가중치로 갖는다. T 는 구하고자 하는 최소 비용 스타이너 트리이다.

(그림 1)은 멀티캐스트 라우팅 문제를 위한 네트워크 모델 예이다. 노드 V_0 은 수신 노드이고, V_4, V_5, V_7 은 송신 노드이다.

3.2 제안된 방법

본 논문에서는 멀티캐스팅 라우팅 문제를 해결하기 위해 개미 시스템을 다음과 같이 적용한다.

일반적으로 개미 시스템에서는 에지의 페로몬이나 경로 비용을 이용해 최적해를 탐색하지만, 본 논문에서는 각 노드와 에지의 비용과 지연을 고려해 최적해를 탐색한다.

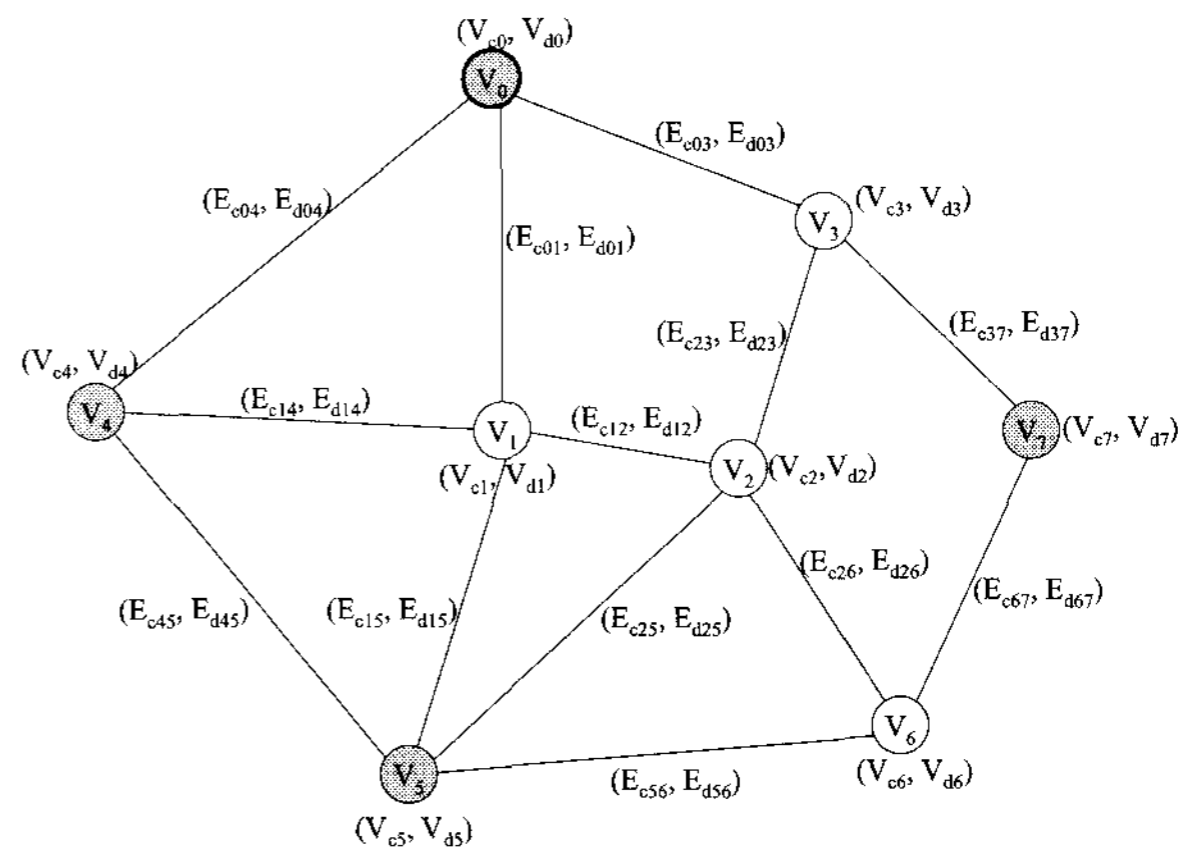


그림 1. 네트워크 모델
Fig 1. Model of Network

제안된 개미 라우팅 모델의 동작은 다음과 같다. 먼저, 모든 노드와 에지에 비용과 지연을 초기화하고, 송신 노드와 수신 노드를 설정한다. 그리고, 에이전트들을 무작위로 노드에 배치한다. 이때, 송신 노드나 수신 노드에 배치된 에이전트들에 대해서는 엘리트 에이전트로 칭하고, 나머지 에이전트는 일반 에이전트로 칭한다.

무작위로 배치된 에이전트들은 상태전이 규칙을 통해 다음 노드를 선택하며, 선택된 노드가 송신 노드나 다른 에이전트들이 이미 선택 방문한 노드이면 탐색을 중지한다. 그리고, 각 에이전트들은 자신이 선택한 노드가 순환 경로를 생성하지 않도록 선택한 노드를 타부 리스트에 저장해 다음 선택에서 해당 노드를 선택하지 않도록 한다.

특히, 이웃 노드를 선택할 경우 해당 에지와 선택될 다음 노드의 전체 비용까지 모두 고려해 이웃 노드를 선택하며, 모든 에이전트들이 탐색을 중지하면 하나의 멀티캐스트 라우팅 트리가 만들어 진다. 그리고, 구성된 멀티캐스트 라우팅 트리에 대해 엘리트 에이전트라는 개념을 도입해 엘리트 에이전트에 의해 선택된 에지와 일반 에이전트들에 의해 선택된 에지에 대해 페로몬 갱신을 달리 수행하는데, 엘리트 에이전트에 의해 탐색된 경로에 대해서는 추가 페로몬 갱신을 수행한다. 제안된 알고리즘의 수행절차는 다음과 같다.

1) 네트워크 초기화

- 모든 노드와 에지의 비용과 지연을 초기화
- 초기 페로몬 값 지정
- 송신노드와 수신노드를 설정
- 에이전트들을 무작위로 노드에 배치

2) 상태전이를 통한 경로 탐색

$$p_k(r,s) = \begin{cases} \frac{[\tau(r,s)] \cdot [\eta(r,s)]^\beta}{\sum_{u \in J_k(r)} [\tau(r,u)] \cdot [\eta(r,u)]^\beta} & \text{if } s \in J_k(r) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \dots (4)$$

여기서 $\tau(r,s)$ 는 노드(r)과 노드(s)사이 에지의 페로몬의 양이다. $\eta(r,s)=1/\delta(r,s)$ 는 휴리스틱 값으로, 개미 시스템에서 $\delta(r,s)$ 는 노드(r)과 노드(s)사이의 거리이다. 이것을 라우팅 문제에 적용하기 위해 다음과 같이 수정한다.

$$\begin{aligned} \delta(r,s) &= C(e) + NC(v) \\ C(e) &= dE_{rs} + cE_{rs} \quad \dots \dots \dots (5) \\ NC(v) &= dNVs + cNVs \end{aligned}$$

$C(e)$ 는 해당 에지의 전체 비용으로 에지의 지연(dE_{rs})과 비용(cE_{rs})의 합이다. $NC(v)$ 는 선택될 다음 노드의 전체 비용으로 노드의 지연($dNVs$)과 비용($cNVs$)의 합이다.

$J_k(r)$ 은 노드(r)에 있는 에이전트(k)가 방문할 수 있는 남아있는 노드들의 집합이다. 그리고 β 는 페로몬과 에지비용의 상대적 중요도를 결정하는 파라미터이다($\beta>0$). 이 부분은 기존의 개미 시스템에서 다음 노드를 선택하는 과정에서 에지의 휴리스틱 정보(페로몬 양, 거리)만을 고려한 것을 다음 노

드의 비용까지 고려해 노드를 선택 하도록 한다.

3) 완성된 트리에 대한 갱신

모든 에이전트들이 하나의 트리를 구성한 이후, 해당 트리의 에지에 대해 다음과 같이 갱신한다. 초기에 에이전트들이 무작위로 노드에 배치됨으로, 송신노드와 수신노드에 배치된 에이전트들에 대해서는 엘리트 에이전트로 칭하고, 나머지 에이전트는 일반 에이전트로 칭한다. 일반 에이전트와 엘리트 에이전트들에 의해 탐색된 경로에 대한 갱신은 AS_{elite} [16] 개념을 도입해 페로몬 갱신을 달리 수행한다.

$$\begin{aligned} \tau(r,s) &= (1-\rho) \cdot \tau(r,s) + \Delta\tau(r,s) + \Delta\tau^*(r,s) \\ \Delta\tau(r,s) &= \sum_{k=1}^m \Delta\tau_k(r,s) \quad \dots \dots \dots (6) \\ \Delta\tau_k(r,s) &= \begin{cases} \frac{Q}{C_k} & \text{if } (r,s) \in \end{cases} \end{aligned}$$

$\rho(0<\rho<1)$ 는 증발율, $\Delta\tau(r,s)$ 는 일반 에이전트(k)에 의해 탐색된 에지의 페로몬 증가량, $\Delta\tau^*(r,s)$ 는 엘리트 에이전트(k)에 의해 탐색된 에지의 페로몬 증가량이다. C_k 는 일반 에이전트에 의해 구성된 경로의 비용, C^* 는 엘리트 에이전트에 의해 구성된 경로의 비용, σ 는 현재 트리의 엘리트 에이전트의 개수이다. Q 는 상수값이다.

IV. 성능 평가

엘리트 에이전트에 의한 개미 멀티캐스트 라우팅 모델을 평가하기 위해, 실험을 위한 개미 모델의 기본 환경 변수는 다음과 같이 결정하였다.

페로몬과 에지비용의 상대적 중요도를 결정하는 파라미터 $\beta=2$, 증발율 $\rho=0.1$, 상수값 $C=1$, 초기 페로몬 양 $\tau_0=(n * Hc)^{-1}$ 로 n 은 노드 수, Hc 는 nearest neighbor heuristic(NNH)으로 평가된 트리 비용이다.

각 노드와 에지의 비용과 지연은 1에서 10사이의 값을 무작위로 설정하였다. 에이전트의 개수는 수신노드와 송신노드의 총합이다. 그리고, 에이전트들의 초기 위치는 임의의 노드에 무작위로 배정하였으며, 종료 조건은 고정된 횟수 동안 수행하도록 하였다.

(그림 2)는 실험은 노드 수가 100개, 수신 노드 수가 10개, 그리고 각 노드의 연결 비율을 30%로 하였다. 그리고,

AS, AS_{elite}와 제안된 알고리즘과 비교하여 그 성능을 평가하였다. 제안된 알고리즘의 초기 수렴 속도가 훨씬 빠름을 볼 수 있다.

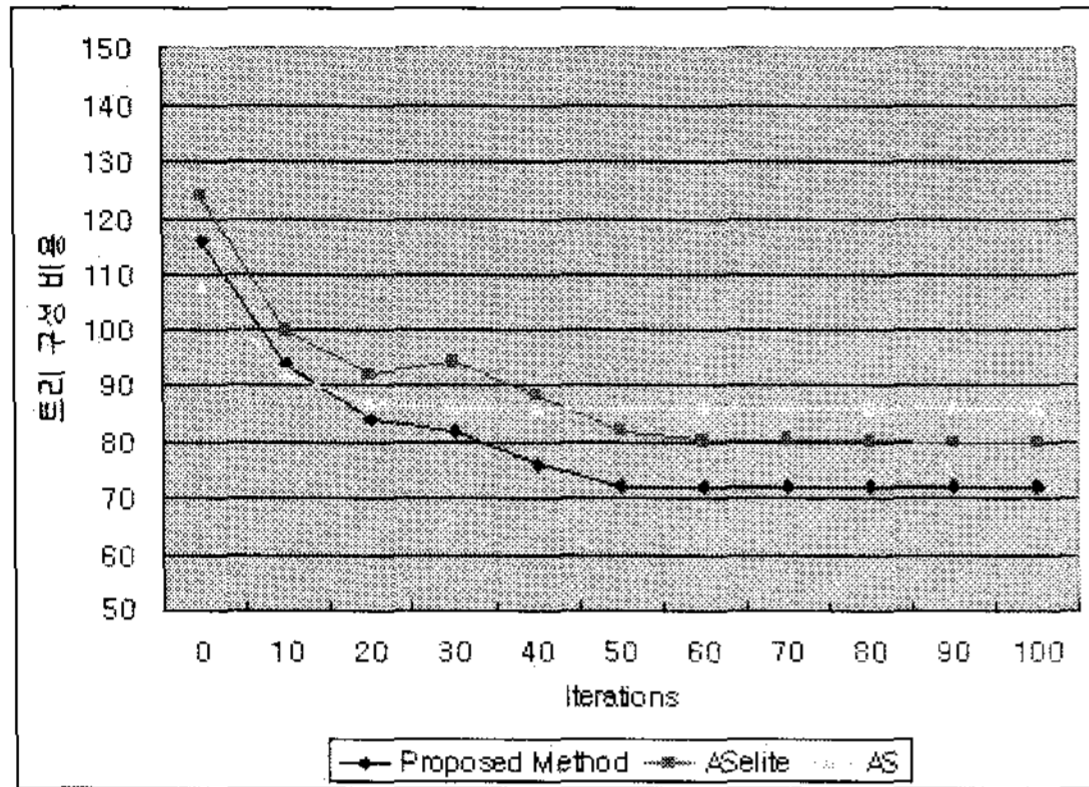


그림 2. 트리의 구성 비용
Fig 2. Cost of Tree

(그림 3)은 노드 개수별 트리의 구성 비용을 보여준다. 제안된 알고리즘이 상대적으로 적은 비용을 보여 주고 있다.

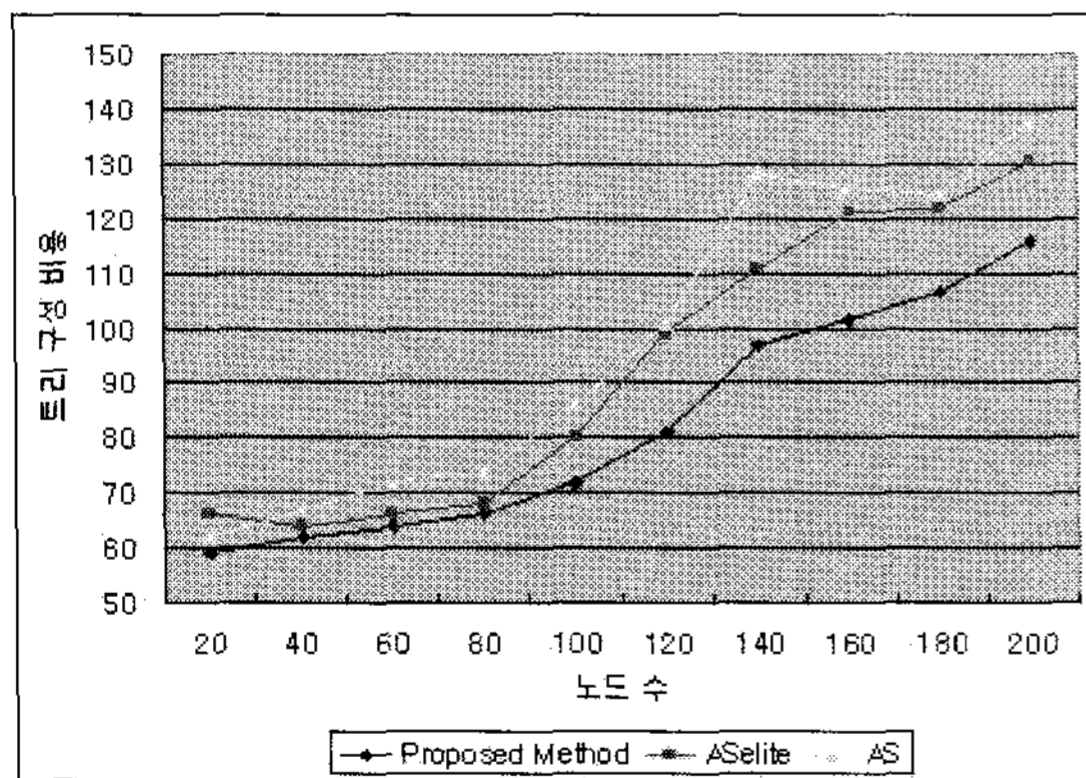


그림 3. 노드 개수별 트리의 구성 비용
Fig 3. Cost of Tree(# of Nodes)

V. 결론

본 연구는 라우팅 문제를 해결하기 위해 개선된 개미 집단 시스템을 제안한다. 제안된 방법은 상태전이 과정에서 이웃노드를 선택할 경우, 해당 에지와 선택될 다음 노드의 전체 비용까지 모두 고려해 이웃 노드를 선택한다. 그리고, 엘리트 에이전트라는 개념을 도입해, 송신노드나 수신노드에 배정된

엘리트 에이전트에 대해서는 전체 트리를 구성 후, 별도의 갱신과정을 수행한다. 이것은 엘리트 에이전트에 의해 선택된 에지에 대해서는 추가 페로몬 갱신효과를 부여함으로 AS, ASelite Algorithm에 비해 라우팅 경로 설정 문제 해결에 좋은 성능을 보여주고 있다.

향후 과제는 최적의 경로에서 라우터 사이에 패킷이 전송될 때 네트워크 트래픽 정체가 심할 경우 어떻게 분배 전송할지 그 방법에 관한 연구가 필요하겠다.

참고문헌

- [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] L. Ying, W, Jianping, X. Ke and X. Mingwei, "The degree-constrained multicasting algorithm using ant algorithm", Proceedings of ICT 2003. pp.370- 374, 2003
- [4] R. Schoonderwoerd, O. Holland, J. Bruten and L. Rothkrantz. "Ant-based Load Balancing in Telecommunication Networks". Adaptive Behavior, vol. 5, pp. 169-207, 1996.
- [5] Z. Subing and L. Zemin. "A QoS routing algorithm based on ant algorithm". ICC 2001 - IEEE International Conference on Communications, Vol. 5, No. 1, June 2001, Pp. 1587-1591.
- [6] C.H. Chu, J.H. Gu, X.D. Hou and Q. Gu. "A heuristic ant algorithm for solving QoS multicast routing problem". Evolutionary Computation, 2002. CEC'02. Vol. 2, 12-17 May 2002. pp: 1630 -1635
- [7] A. Colomi, M. Dorigo, and V. Maniezzo, "Distributed optimization by ant colonies," Proceedings of ECAL91 - European Conference of Artificial Life, Paris, France, F.Varela and P.Bourgine(Eds.), Elsevier Publishing, pp.134-144, 1991
- [8] L.M. Gambardella and M. Dorigo, "Ant Colony System: A Cooperative Learning approach to the Traveling Salesman Problem" IEEE Transactions on Evolutionary Computation, vol.

1, No. 1, 1997.

[9] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Coloni, "The ant system: optimization by a colony of cooperation agents," *IEEE Transactions of Systems, Man, and Cybernetics-Part B*, vol. 26, No. 2, pp.29-41, 1996.

[10] M. Dorigo & L.M. Gambardella. "Ant Colonies for the Traveling Salesman Problem". *BioSystems*, 43:73-81, 1997.

[11] S. Lee and C. Han, "A study of Ant Colony System Design for Multicast Routing", *The KIPS Transactions: Part A*, vol 10, No.4, pp.369-374, 2003.10

[12] S Lee, HS Chang, "An ant system based multicasting in mobile ad hoc network", *Evolutionary Computation*, 2005, pp.1583-1588, 2005

[13] W. Ying and X. Jianying, "Ant Colony Optimization for Multicast Routing", *The 2000 Asia-Pacific IEEE Conference*, pp.243-246, 2000.

[14] L. Luyet, S. Varone and N. Zufferey, "An Ant Algorithm for the Steiner Tree Problem in Graphs", *LNCS 4448*, Springer, pp.42-51, 2007.

[15] S. Lee and C. Han, "A Study of Multicast Tree Problem with Multiple Constraints", *Journal of Korean Society for Internet Information*, vol.5, No.5 pp.129-138, 2004

[16] B. Bullnheimer, R. F. Hartl, and C. Strauss. "A new rank-based version of the Ant System: A computational study," *Central European Journal for Operations Research and Economics*, 7(1): pp.25-38, 1999.

저자 소개



이 승 관

1997년 2월 : 경희대학교 전자계산
공학과 (공학사)

1999년 2월 : 경희대학교 전자계산
공학과 (공학석사)

2004년 2월 : 경희대학교 전자계산
공학과 (공학박사)

2004년 3월 ~ 2006년 8월 : 가톨릭대학교 컴퓨터정보공학부
강의 전임 교수

2006년 9월 ~ 현재 : 경희대학교
학부대학 전임강사

〈관심분야〉 : 인공지능, 로봇에이전트, 최적화, 데이터마이닝, 유비쿼터스 컴퓨팅