

개미 시스템을 기반으로 한 Ad hoc 네트워크 멀티캐스팅

이세영⁰ 김종함 장형수*

서강대학교 컴퓨터학과

(philolight⁰, pero, hschang)@smolab.sogang.ac.kr

Sogang University

Se-young Lee⁰ Joong Hang Kim Hyeong Soo Chang*

Department of Computer Science, Sogang University

요 약

본 논문에서는 Core Based Tree(CBT) 알고리즘과 개미 집단 알고리즘의 특성을 융합하여 Mobile Ad hoc Network(MANET)에 맞는 멀티캐스팅 알고리즘, Ad hoc Network Multicasting with Ant System (ANMAS)을 제안한다. ANMAS는 개미 알고리즘의 간접적 정보 전달 및 평가 방법을 통해 멀티캐스팅에 필요한 위상정보를 수집하여 견고한 멀티캐스팅 그룹을 형성함으로써 기존의 알고리즘에 비해 효율적이며, 실험결과를 통해 이를 확인할 수 있다.

1. 서 론

본 논문에서는 유선 네트워크 상의 멀티캐스팅 알고리즘인 CBT(Core Based Tree)[1]를 Mobile Ad hoc Network(MANET) [2]에 맞게 적절히 변형하고, 여기에 "개미집단" 알고리즘[3]의 특성을 융합한 ANMAS(Ad hoc Network Multicasting with Ant System) 알고리즘을 제안하고자 한다.

기존 MANET상의 멀티캐스팅 알고리즘은 크게 mesh 방식(대표적으로 ODMRP[4])과 tree 방식(대표적으로 AMRIS[5])으로 나눌 수 있다. 이 중 mesh 방식은 MANET의 broadcast 특성을 이용하여 데이터를 전달함으로써 unicast 방식으로 데이터를 전달하는 tree 방식에 비해 효율적인 것으로 알려져 있고[6], ANMAS 역시 mesh 방식을 사용함으로써 높은 멀티캐스팅 효율을 보인다.

이때 CBT 알고리즘에 기초하여 만들어진 CAMP(Core-Assisted Mesh Protocol)[7], CBT에 개미집단 알고리즘을 적용한 MANSI (Multicast for Ad hoc Network with Swarm Intelligence)[8] 알고리즘 등이 나와 있으나, 이들 모두 기존 mesh 기반 알고리즘인 ODMRP의 성능에 미치지 못한다[6][8]. ANMAS는 CBT 알고리즘을 적절히 변형, 적용하여 빠르게 멀티캐스팅 그룹을 구성하고 경로붕괴에 대해 유연하게 대처하는 한편, 개미 알고리즘을 통해 수집한 위상정보로 보다 안정적인 경로를 형성함으로써 기존의 ODMRP에 비해 효율적이고 견고한 멀티캐스팅 그룹을 구성할 수 있으며, 실험 결과를 통해 이를 확인할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 개미 알고리즘과 그 특성에 대해 간략히 소개하고, MANET 상의 멀티캐스팅에 유용함을 서술한다. 3장에서는 ANMAS 알고리즘을 CBT 알고리즘 및 개미 알고리즘과 연계시켜 설명한다. 4장에서는 실험 결과, 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 내린다.

2. 개미 시스템 최적화

개미 알고리즘은 자연계의 개미들이 둥지와 먹이 간에 최단거리를 찾아 이동하는 습성을 관찰하여 만들어진 알고리즘이다. 개미 알고리즘에서는 주어진 문제의 최적해를 포함한 가능해들의 집합을 그래프로 나타내고, 이 위에 인공개미를 확률적으로 이동시키면서 그 그래프 상의 경로로 이루어진 후보해를 생성한다. 각 개미는 생성한 후보해의 질을 평가하여 해의 우수성에 맞는 양의 페로몬을 경로에 묻는데, 이는 우수한 경로를 탐색할 확률을 높이는 역할을 한다. 개미의 이동 경로는 페로몬과 개별 경로가 가지는 가중치의 조합을 통해 확률적으로 결정되며, 후보해를 찾고 우수한 해에 대해 더 많은 페로몬을 더하는 과정을 반복함으로써 개미들이 목적인 최적해에 수렴하도록 한다.

본 논문에서는 개미 알고리즘의 페로몬을 통한 간접적인 정보 전달 방식에 주목한다. Ad hoc 네트워크 노드의 이동성으로 인한 위상정보 변화를 수시로 각 노드가 전달하는 것은 적은 대역폭이나 전원 문제로 인해 어려움이 많다. 개미 알고리즘에서는 개미가 찾은 해들을 평가하여 페로몬 화 한 후 이를 그래프의 경로 위에 묻음으로써 '가상의 해 평가 그래프'를 구성한다. 그리고 개

미들은 이 그래프 위의 노드가 가진 지역정보만으로 이동을 계속 하면서 유용한 해들을 생성해낸다. MANET에서 멀티캐스팅에 필요한 위상정보를 개미 알고리즘의 가상 그래프처럼 구성하고 이를 사용할 수 있다면 최소한의 패킷 전송만으로도 효율적인 멀티캐스팅 그룹을 구성할 수 있을 것이다.

따라서 ANMAS는 멀티캐스팅에 유용한 위상정보를 각 이웃노드에게 얻은 후 이를 평가하여 다시 이웃노드에게 전달하는 방식으로 '가상의 경로 정보 그래프'를 구성하여 각 노드가 가진 지역정보만으로도 유용한 멀티캐스팅 경로를 형성할 수 있도록 한다. 이에 대한 구체적인 내용은 다음 장에서 자세히 설명하도록 한다.

3. ANMAS(Ad hoc Network Multicasting with Ant System)

3.1. ANMAS의 그룹 구성 방법

ANMAS의 그룹 구성은 CBT 알고리즘[2]과 동일하게 세 단계로 구분되며, 이를 순차적으로 기술하면 다음과 같다.

① Core Announce 단계

참여자 노드(멀티캐스팅 데이터를 송신, 혹은 수신하려는 노드)는 먼저 네트워크 내에 이미 그룹이 구성되어 있는지를 알아보고, 그렇지 않다면 Core Announce 메시지를 flooding하여 자신이 Core임을 알린다(그림 1.(1)). Core는 최초의 그룹 구성자로서 다른 노드들의 그룹 참여 요구를 수락하고, 정기적으로 Core Announce 메시지를 flooding 함으로서 그룹이 지속되고 있음을 알리는 역할을 한다.

② Join Request 단계

어떤 노드가 새로 그룹에 참여하고 싶다면 이 노드는 자신의 이웃노드 중 하나를 선택하여 Core에게 그룹 참여를 요구하는 Join Request 메시지를 전달한다(그림 1.(2)). 이 메시지를 받은 노드가 Core가 아니면 다시 자신의 이웃노드 중 하나를 선택하여 이 메시지를 전달하고, 자신이 Core이면 그룹 참여를 수락하는 Join Acknowledge 메시지를 전달한다.

③ Join Acknowledge 단계

Core가 Join Request 메시지를 받았다면 그룹의 참여를 수락하는 Join Acknowledge 메시지를 보낸다(그림 1.(3)). 이 메시지는 Join Request 메시지가 전달된 경로의 반대 방향으로 이동하고, 이 메시지를 받은 노드가 참여자 노드가 아니라면 참여자간 연결을 담당하는 forwarding 노드로 그룹에 포함된다. 최종적으로 참여자 노드에게 이 메시지가 전달되면 참여자 노드 역시 그룹의 일원이 된다. Core를 포함한 멀티캐스팅 그룹 내의 모든 노드는 다른 노드들에 의한 참여 요구를 수락할 수 있다(그림 1.(4)).

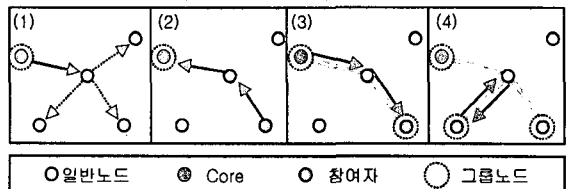


그림 1. ANMAS의 그룹 구성 방식(CBT와 동일)

* 이 논문은 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2004-003-D00294).

이와 더불어 각 노드의 위상정보를 파악하여 그룹의 붕괴에 대처하기 위한 두 가지 메시지가 더 사용된다.

· Hello(Pheromone Update)

각 노드는 Hello 메시지를 정기적으로 이웃노드들에게 보내어 자신이 주위에 있음을 알리며, 이웃노드에게 일정 기간 이 메시지를 받지 못했다면 그 노드는 자신의 주위에서 사라진 것으로 간주한다. ANMAS에서는 Hello 메시지가 페로몬 전달 역할을 수행하므로 Pheromone Update 메시지라 한다. 페로몬에 대해서는 3. 2에서 자세히 설명한다.

· Flush Tree

그룹 구성 과정에서 노드 i 가 노드 j 에게 Join Acknowledge를 보냈다면 노드 i 는 노드 j 의 부모노드가 되고, j 는 i 의 자식노드가 된다. 만일 일정기간 부모노드에게서 Hello 메시지를 받지 못했다면 멀티캐스팅 경로가 붕괴된 것이므로 각 노드는 자식노드들에게 Flush Tree 메시지를 보내어 경로 붕괴를 알린다. 부모노드로부터 이 메시지를 받은 모든 노드는 자신의 자식노드에게 이 메시지를 다시 전달해야 한다. 참여자 노드가 부모노드로부터 이 메시지를 받으면 다시 Join Request 메시지를 보내어 그룹에 참여한다.

ANMAS는 그룹 내의 모든 노드가 Join Request를 수락함으로써 빠르게 그룹을 구성하고, 경로가 붕괴되었을 때 이에 대해 유연하게 대처하는 CBT 알고리즘의 특성을 그대로 가진다. 또한 각 노드가 정기적으로 Join Request 메시지를 다시 보내어 항상 새로운 경로를 유지한다. Join Request 메시지의 경로는 멀티캐스팅 그룹의 경로와 직결되기 때문에 어떤 경로를 선택하여 메시지를 보낼 것인가가 멀티캐스팅 효율을 좌우하는데, CBT 알고리즘에서 모든 노드는 Core를 향해 Join Request를 보내므로 각 노드가 Core와의 거리 및 그 경로에 대한 정보를 알 수 있다면 효율적인 그룹을 구성할 수 있다.

ANMAS는 이 Core에 대한 정보를 페로몬으로 저장하는데, 3. 2에서는 이를 이용한 멀티캐스팅 경로 구성 방법을 알아보기로 한다.

3. 2. 개미 알고리즘을 이용한 멀티캐스팅 경로 구성

일반적인 개미 알고리즘은 정적인 그래프 위에 페로몬을 묻혀 해를 찾지만, ANMAS는 MANET의 동적인 특성을 고려하므로 페로몬 전달 및 사용에 있어서 다른 방식을 취한다. ANMAS는 각 노드를 개미로 보고 Core에 대한 정보를 상호 교환한다. 각 개미(D_c)는 이웃개미들의 페로몬을 종합하여 자신의 페로몬을 계산한 후 다시 이웃개미에게 알린다. 또한 이웃개미들의 페로몬을 따라 저장하여 유사한 페로몬을 가진 이동을 선택할 수 있게 한다. 모든 개미가 우와 같은 페로몬 연산과 전달을 반복함으로써 이웃과 자신의 정보로만 이루어진 '가상의 경로 정보 그래프'를 구성한다.

각 노드(개미)가 계산하는 페로몬 정보는 크게 두 가지로 구성된다. 하나는 Core와 자신과의 거리를 의미하는 D_c 이고, 다른 하나는 자신과 Core 사이의 경로가 얼마나 안정적인가를 표현하는 P_c 이다. 안정적인 경로란 경로붕괴의 위험이 적은 경로를 말한다. D_c 와 P_c 를 통해 Join Request 경로를 선택함으로써 보다 짧고 안정적인 경로를 구성하게 된다.

① D_c 의 용도 및 계산 방법

노드 i 의 D_c 를 D_{c_i} 라 하고 이는 Core와 노드 i 간의 거리(hops)를 나타낸다. D_{c_i} 는 다음과 같이 계산된다.

$$D_{c_i} = \begin{cases} 0 & \text{if } i = \text{Core} \\ \min_{j \in N_i} \{D_{c_j} + 1\} & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

N_i 는 i 의 이웃노드 집합이다. 노드 i 가 Core일 경우 D_{c_i} 는 0이다. Core의 이웃노드 j 는 Core의 D_c 가 가장 작은 값(0)이므로 D_{c_j} 를 1로 계산한다. 다른 노드들은 이웃노드들의 D_c 로 자신의 D_c 를 계산하는데, 노드 k 의 이웃노드가 가진 D_c 중에서 가장 작은 수가 n 이라면 D_{c_k} 는 $n+1$ 이 된다.

어떤 노드가 다른 노드에 비해 작은 D_c 값을 가진다면 그 노드를 통해 Join Request를 보낼 경우 더 짧은 경로를 구성할 가능성이 높고, 이는 그룹의 효율성을 높이므로 낮은 D_c 를 갖는 노드를 통해 우선적으로 Join Request 메시지를 보내도록 한다.

② P_c 의 용도 및 계산 방법

MANET의 노드는 이동성을 가지고 있기 때문에 두 노드간의 통신 시간이 길다면 연결이 끊어질 가능성이 높을 것이다. P_c 는 이를 반영하기 위해 개미 알고리즘의 페로몬 증발 방식을 응용, 오래된 이웃노드일수록 그 이웃노드에 Join Request를 보낼 확률을 감소시킨다. 노드 i 가 이웃노드 j 로부터 받은 P_c 를 $P_{c_i}(j, t_i)$ 라 하고, 이를 시간 t_i (초)에 따라 감소시키는 함수를 $P_{c_i}(j, t_i)$ 라 한다. t_i 란 노드 j 가 노드 i 의 이웃으로 등록된 후 현재까지 경과한 시간이다. $P_{c_i}(j, t_i)$ 는 노드 연결 지속 시간의 분포를 관찰하여 heuristic하게 고안한 함수이며, $P_{c_i}(j)$ 가 1.0일 때 그림 2와 같이

시간에 따라 감소하는 함수이다.

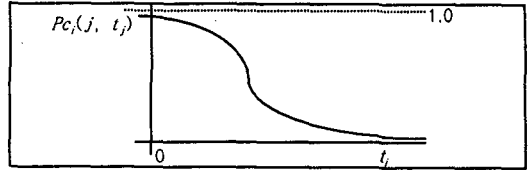


그림 2. $P_{c_i}(j, t_i)$ 의 그래프

노드 i 는 식 (2)에 의해 자신의 P_c 인 P_{c_i} 를 계산한다.

$$P_{c_i} = \begin{cases} c & \text{if } i = \text{Core} \\ \sum_{j \in N_i} \alpha^{D_{c_i}(j) - D_{c_i} + 1} P_{c_i}(j, t_i) (0 < \alpha < 1) & \text{else} \end{cases} \quad (2)$$

Core는 항상 일정한 P_c 값, c 를 이웃에 전달하고, 이외의 노드는 이웃노드들이 보내준 값으로 자신의 P_c 를 계산한다. α 는 자신의 D_c 보다 작은 D_c 를 가지는 이웃노드가 많을수록 더 큰 P_c 값을 가지게 한다. t_i 는 노드 j 가 i 의 이웃노드로 등록된 후 현재까지 경과한 시간이다. 따라서 오래 동안 통신을 지속한 노드가 많으면 P_{c_i} 는 줄어든다. D_c 와 P_c 는 Pheromone Update 메시지에 의해 정기적으로 이웃에게 보내지고, 이를 통해 간접적인 Core 정보를 얻게 된다.

노드 i 가 다른 노드에게 Join Request를 보내야 할 때 어떤 노드(k)에게 보낼 것인가는 식 (3)에 의해 결정된다.

$$k = \underset{j \in N_i, j \in \text{visited}}{\text{argmax}} P_{c_i}(j, t_j) \cdot \alpha^{D_{c_i}(j) - D_{c_i} + 1} \quad (3)$$

visited는 다른 노드로부터 받은 Join Request를 보내야 할 때 이미 이 메시지가 방문했던 노드의 집합이고, 이미 방문한 노드에 Join Request를 다시 보내지 않는다. 식 (3)에 의해 Core에 가깝고, 보다 안정적인 노드일수록 Join Request 메시지를 받을 가능성이 높아지게 된다. 일반 개미 알고리즘에서 개미의 이동경로가 확률적으로 결정되는 것과 달리 k 는 식 (3)에 의해 최대값으로 결정이 된다.

ANMAS는 Core와의 거리를 나타내는 D_c 와 경로의 안정성을 나타내는 P_c 를 이용하여 Join Request 방향을 결정함으로써 보다 효율적이고 안정적인 그룹을 구성하게 된다.

데이터 패킷 전송은 mesh 방식을 따른다. 송신자가 데이터 패킷을 보내면 그룹에 포함된 노드는 중복되지 않는 패킷을 한하여 이웃노드에게 전달함으로써 모든 참여자에게 데이터가 전달된다.

4. 성능 평가

4. 1. 시뮬레이션 환경

모든 노드는 고유한 ID를 가지고 있다고 가정하고, 하위 프로토콜이나 트래픽에 의한 패킷 분실은 없다고 가정한다. 2차원 평면(1000m × 1000m) 위의 50개의 모바일 노드가 네트워크를 구성하고, 반경 250m의 통신가능영역 및 2.0Mbps의 대역폭을 가지며, 0 ~ 20m/sec 속도로 이동한다. 노드의 이동은 난수 목표점 모델(random waypoint model)[9]을 사용한다. 초당 20개의 데이터 패킷을 300초 동안 보내게 되고, 패킷의 크기는 512 byte이다. 난수 목표점 모델의 문제점 때문에[9] 처음 30초간은 데이터 패킷을 보내지 않으므로 총 시뮬레이션 시간은 330초이다.

4. 2. 평가 항목 및 변수 설정

멀티캐스팅 효율은 데이터 전송율(delivery ratio), 총 패킷 수(total packets) 그리고 제어 패킷 수(control packets)로 평가한다.

· 데이터 전송율(%): 수신자 수를 i , 송신자(source)가 보낸 데이터 패킷수를 x , 수신자가 받은 데이터 패킷의 총 합을 m 이라 하였을 때 전송율은 $m / i / x \times 100(\%)$ 이다.

· 이는 멀티캐스팅의 효율을 평가하는 가장 중요한 척도이다[6].

· 총 패킷 수: 참여자 노드 및 forwarding 노드들이 전달한 데이터 패킷들과 MANET 내의 모든 노드들이 그룹의 구성 및 유지 위해 전달한 패킷들을 모두 합한 것이 총 패킷 수이다. 총 패킷 수가 적다는 것은 같은 일을 하는데 있어서 부하 대비 효율이 좋다는 것을 의미한다.

· 제어 패킷 수: 그룹의 구성과 유지를 목적으로 전달된 패킷들의 총 합이다. 총 패킷에서 멀티캐스팅 데이터 패킷을 제외한 나머지 모두 제어 패킷이다. 데이터 패킷 전송이 적을 경우에도 좋은 효율을 발휘하기 위해서는 제어 패킷 수가 적어야 한다.

ANMAS에서 사용하는 각 변수들의 기본값 다음과 같다.

- $c = 1.0$, $\alpha = 0.03$
- Core Announce 간격: 10초
- Join Request 간격: 2초
- Pheromone Update 간격: 1초

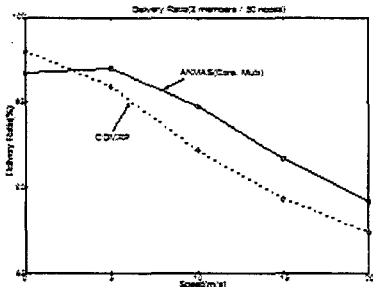


그림 3. 참여자가 2일 때 전송률(%)

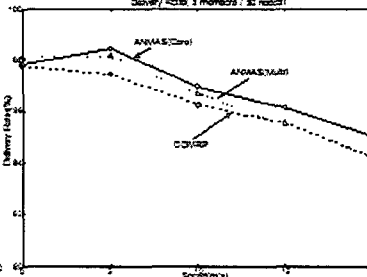


그림 4. 참여자가 5일 때 전송률(%)

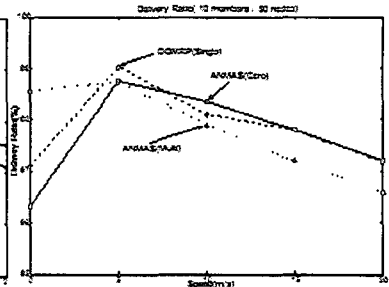


그림 5. 참여자가 10일 때 전송률(%)

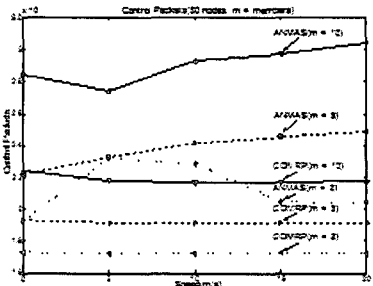


그림 6. 제어 패킷 수

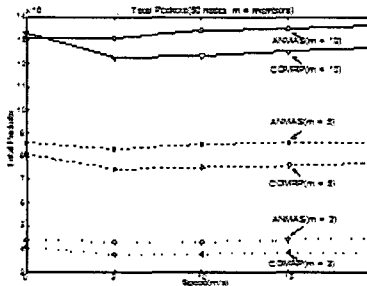


그림 7. 중복 패킷 수

※ ANMAS의 Pheromone Update 수 : 16500개 (중 패킷 수 및 제어 패킷 수에 포함)

성능 비교를 위해 선택한 ODMRP 알고리즘은 여러 MANET 멀티캐스팅 알고리즘들[4],[5],[6],[7] 중에서도 단순성, 효율성, 확장성을 갖춘 알고리즘으로 알려져 있다. ODMRP에서 사용하는 Join Request는 매 1초마다 flooding하도록 설정하였다.

ANMAS는 Core를 중심으로 그룹을 구성하기 때문에 Core가 데이터를 제공할 경우 효율이 더 좋다. 따라서 명확한 성능시험을 위해 ANMAS에 대해 송신자가 하나일 경우와 모든 참여자 노드가 송신자가 될 경우로 구분한다.

- ANMAS(Core) : 송신자가 하나인 응용분야의 경우 정보제공자 노드가 Core 역할을 하게 한다. 이를 ANMAS(Core)라 한다.
- ANMAS(Multi) : ANMAS는 여러 송신자가 그룹을 공유하여 데이터를 보낼 수 있다. 이러한 경우를 ANMAS(Multi)라 한다. 특히 ANMAS(Core)와의 차이를 극명하게 보여주기 위하여 모든 참여자 노드가 송신자라고 간주한다.

그림 3 ~ 6은 실험 결과(각각 100회 평균)를 나타낸 그래프이다.

4. 3. 시뮬레이션 결과 분석

· 전송률 : 참여자 수가 적은 경우(그림 3, 4) ANMAS(Core)와 ANMAS(Multi) 모두 ODMRP에 비해 나은 성능을 보인다. 참여자 수가 10일 경우(그림 5)에 ANMAS(Core)와 ODMRP는 비슷한 성능을 보인다. 여백이 부족한 관계로 결과를 넣지는 못했으나, 200개의 노드가 2000m×2000m 영역에 있다고 가정하고 실험하였을 때 5개의 참여자 노드가 있을 경우 속도에 따라 ANMAS가 패킷 전송률 면에서 1 ~ 4% 앞서는 결과를 보인다. 이는 그룹이 커질수록 패킷 전송률 차이가 두드러짐을 나타내므로 확장성에 있어서도 ANMAS가 ODMRP에 비해 뛰어나다는 것을 보여준다.

· 제어 패킷 수(그림 6) : 제어 패킷은 ANMAS가 더 많다. 하지만 ODMRP의 경우 송신자 중심의 그룹을 구성하므로 제어 패킷 수가 송신자 수에 비례한다는 점을 감안하면 송신자 수가 많은 경우 ANMAS(Multi)가 ODMRP에 비해 부하 대비 효율이 더 좋다. 참여자 수가 10일 경우 한해서 ANMAS(Multi)가 ODMRP에 비해 전송률에서 뒤지지만, ODMRP의 제어 패킷 수를 감안한다면 충분히 효율적인 알고리즘이다.

· 총 패킷 수(그림 7) : 전체적으로 ANMAS의 패킷 수가 더 많다. 이는 ANMAS가 안정성을 위하여 더 많은 forwarding 노드를 포함하고, 경로 붕괴시 재구성성을 위한 제어패킷을 보내기 때문이다. 한 가지 주목할 만한 것은 제어 패킷 수에 포함된 Pheromone Update 메시지가 많은 라우팅 알고리즘에서 사용하는 Hello 메시지[2]의 기능을 하므로 라우팅과 멀티캐스팅 알고리즘을 동시에 사용할 경우 Pheromone Update 메시지의 개수(실험상에서 16500

개)만큼의 패킷을 덜 사용하게 되는 이점이 있다는 것이다.

5. 결 론

ANMAS는 mesh 방식의 MANET 멀티캐스팅 알고리즘으로서 개미 알고리즘을 통해 얻은 Core의 위상정보를 이용, 안정적인 경로를 형성하고, 경로 붕괴에 대처함으로써 기존의 ODMRP 알고리즘에 비해 높은 전송률을 얻을 수 있었다. 또한 논문에서 실험을 통해 ANMAS가 확장성 면에서도 뛰어난 것을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] A. Ballardie, J. Crowcroft and P. Francis, "Core based trees(CBT) An Architecture for Scalable Inter-Domain Multicast Routing," In *Proceedings of ACM SIGCOMM'93*, pp. 85-95, 1993.
- [2] M. Abohasan, T. Wysocki, E. Dutkiewicz, "A Review of Routing Protocols for Mobile Ad hoc Networks," *Ad Hoc Networks 2*, pp. 1-22, 2004.
- [3] M. Dorigo and G. Di Caro, "The Ant Colony Optimization Metaheuristic," *New Ideas in Optimization*, pp. 11-32, 1999.
- [4] S. Lee, M. Gerla and C. Chiang, "On-Demand Multicast Routing Protocol," In *Proceedings of IEEE WCNC'99*, pp. 1298-1302, 1999.
- [5] C.W. Wu, Y. C. Tay, "AMRIS: A Multicast Protocol for Ad hoc Wireless Networks," In *Proceedings of IEEE MILCOM'99*, 1999.
- [6] S. Lee, W. Su, J. Hsu, M. Gerla and R. Bagrodia, "A Performance Comparison Study of Ad hoc Wireless Multicast Protocols," In *Proceeding of IEEE INFOCOM'00*, 2000.
- [7] J.J. Garcia-Luna-Aceves and E.L. Madruga, "The Core-Assisted Mesh Protocol," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 17, no. 8, pp. 1380-1394, 1999.
- [8] C. Shen and C. Jaikao, "Ad hoc Multicast Routing Algorithm with Swarm Intelligence," *Technical Report 2003-08*, University of Delaware, 2003.
- [9] J. Yoon, M. Liu, and B. Noble, "Random Waypoint Considered Harmful," In *Proceedings of IEEE INFOCOM'03*, 2003.