

## 개미 집단 최적화를 이용한 무선 센서 네트워크의 라우팅 알고리즘

정의현\*

# A Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks with Ant Colony Optimization

Eui-Hyun Jung\*

### 요약

최근 유무선 네트워크의 라우팅과 부하 분산에 대한 간단하지만, 효과적인 방법으로 개미 집단 최적화 가 주목받고 있다. 그러나 정체(stagnation) 효과 때문에 개미 집단 최적화를 무선 센서 네트워크에 적용하는 것이 어려워서, 개미 집단 최적화를 무선 센서 네트워크의 라우팅 성능을 개선하는데 적용하고자 하는 연구는 적었다. 본 논문에서는 개미 집단 최적화에 기반한 에너지 효율적인 경로 선정 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 단순히 개미 집단 최적화를 라우팅 알고리즘에 적용하는 것 외에, 정체 효과를 감소시키는 방식을 도입하였다. 시뮬레이션 결과에 의하면, 제안된 알고리즘은 무선 센서 네트워크의 멀티 홉 평면 라우팅 프로토콜에서 유명한 Direct Diffusion에 비해서 데이터 전송 지연과 에너지 효율 면에서 뛰어난 모습을 보여주었다. 더욱이 개미 집단 최적화를 무선 센서네트워크에 단순히 도입한 방식에 비해서도 정체 효과를 줄일 수 있음을 확인하였다.

### Abstract

Recently, Ant Colony Optimization (ACO) is emerged as a simple yet powerful optimization algorithm for routing and load-balancing of both wired and wireless networks. However, there are few researches trying to adopt ACO to enhance routing performance in WSN owing to difficulties in applying ACO to WSN because of stagnation effect. In this paper, we propose an energy-efficient path selection algorithm based on ACO for WSN. The algorithm is not by simply applying ACO to routing algorithm but by introducing a mechanism to alleviate the influence of stagnation. By the simulation result, the proposed algorithm shows better performance in data propagation delay and energy efficiency over Directed Diffusion which is one of the outstanding schemes in multi-hop flat routing protocols for WSN. Moreover, we checked that the proposed algorithm is able to mitigate stagnation effect than simple ACO adoption to WSN.

▶ Keyword : 센서 네트워크 (Sensor Network), 개미 집단 최적화 (Ant Colony Optimization), 멀티홉 평면 라우팅 프로토콜 (Multi-hop flat routing protocol)

---

• 제1저자 : 정의현  
• 접수일 : 2007. 8.22, 심사일 : 2007. 10.2, 심사완료일 : 2007. 11.10.

\* 안양대학교 컴퓨터학과 교수

※ 이 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2006-003-D00365).

## I. 서론

저가의 대규모 센서 노드들로 구성된 센서 네트워크는 기존의 무선 네트워크 기술이 해결하지 못하는 다양한 분야의 기술적 요구들을 처리할 수 있을 것으로 기대되고 있다 [1][2]. 그러나 센서 노드들은 일단 센싱 피일드(field)에 설치된 후에는 재설치 없이 일정 기간 스스로 운용되어야 하기 때문에, 제한된 자원으로 효율적인 통신, 계산, 센싱 등을 할 수 있도록 설계되어야 한다. 이러한 이유 때문에 통신 분야에서는 에너지 효율적인 라우팅 방식에 대한 많은 연구가 제안되었으며 [3][4][5], 이외에도 기존의 노드 중심(node-centric) 라우팅을 대체하기 위한 다양한 방식의 라우팅 방식이 제시되었다 [3].

최근 라우팅 분야에서 새롭게 조명 받고 있는 것은 개미 집단 최적화 (Ant Colony Optimization: 이하 ACO)를 이용한 라우팅 방식이다 [6]. ACO는 개미 집단에서 먹이를 찾기 위해 가장 최단의 경로를 찾는 방식을 관찰하여 개발된 최적화 방식이다. 기존의 라우팅 방식과 달리 ACO는 간단한 디지털 정보인 페로몬(pheromone)을 경로 상의 각 노드에서 관리하고, 이 페로몬 정보를 분산적으로 이용하여 라우팅 경로를 설정하는 특징을 갖고 있다. 개미의 동작과 마찬가지로 가상의 개미는 개미가 지나간 노드 위에 페로몬을 뿌린다. 향후에 전송 측은 소스부터 목적지까지 가장 높은 페로몬 값을 가진 노드들로 구성된 라우팅 경로를 분산적으로 얻게 된다. 비록 이 방식이 휴리스틱(heuristic)한 방식임에도 불구하고, 용이성과 효율성 때문에 ACO는 유무선 망의 라우팅과 부하 분산을 처리하기 위한 참신한 방식으로 주목받고 있다 [6].

그러나 ACO를 센서 네트워크에 적용하기 위한 시도는 실제로는 매우 적는데, 그 중에 AntChain[7]은 센서 네트워크에서 최적 경로를 찾는 데 ACO가 사용될 수 있음을 보여주었다. 그러나 AntChain은 네트워크 상의 노드들 간의 분산된 방식으로 라우팅 경로를 구성하는데 ACO를 사용하지 않고, 계층적 사슬 기반 라우팅(hierarchical chain-based routing) 알고리즘의 성능을 개선하기 위하여 ACO를 싱크 노드(sink node)에서만 사용한 한계점을 갖고 있다. WSN에서 ACO를 적용하는데 가장 커다란 문제점은 최적 경로(optimum path)에 통신량(traffic)이 집중되는 정체(stagnation) 현상이다. 에너지가 제한된 WSN에서는 센서 노드들이 제한된 에너지만을 갖기 때문에, 정체 현상은 최적 경로에 있는 노드들의 에너지를 고갈시키게 된다. 그리고 이

것은 필연적으로 센서 노드들간의 불균등한 에너지 소모를 야기시키고, 결국 전체 센서 네트워크의 성능을 저하시키는 원인이 된다. 일반적으로 에너지 소모에 둔감한 다른 네트워크 종류와 달리 센서들의 균등한 에너지 소모는 전체 WSN의 성능에 직접적인 영향을 미친다[1]. 따라서 ACO를 WSN에 적용하는 경우에는 정체 효과를 반드시 고려해야 한다.

본 논문은 WSN에서 노드의 에너지 소모 정보를 브로드캐스트하여 정체 효과를 줄이는 기법을 기본 ACO 방식에 추가한 에너지 효율적인 경로 설정 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘의 효율을 보이기 위해, 제안된 알고리즘과 기본 ACO 알고리즘, 멀티홉 평면 라우팅(multi-hop flat routing) 알고리즘에서 가장 널리 사용되는 알고리즘인 Direct Diffusion[8] 방식을 ns-2 시뮬레이터[9]를 이용해서 비교하였다. 결과적으로 제안된 알고리즘이 Direct Diffusion보다 전송 시간이 짧은 최적 경로를 더 많이 찾을 뿐 아니라 적은 에너지 소모로 더 많은 데이터 전송이 가능함을 보여주었다. 더욱이 논문에서 제시한 에너지 소진 통지 메시지(energy depletion informing message)의 이용은 정체 효과를 완충하는 역할을 하여, 기본 ACO 알고리즘보다 좋은 성능을 보여주었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 Direct Diffusion과 ACO의 WSN에 적용하는 경우에 고려해야 하는 요소들에 대해서 설명한다. 3장에서는 제안된 알고리즘의 상세 설계에 대해 제시한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 통하여 제안된 알고리즘을 평가하고, 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구 및 고려 요소

### 2.1 Direct Diffusion

Direct Diffusion은 속성/값(attribute/value) 쌍으로 이루어진 데이터를 이용하는 데이터 중심 멀티홉 평면 라우팅(data-centric multi-hop flat routing) 프로토콜이다. 이 프로토콜에서 싱크 노드는 목표 지역과 형식을 포함하는 관심(interest) 패킷을 브로드캐스트한다. 관심 패킷은 센서 네트워크에 뿌려지면서 각 링크간의 데이터 전송률을 기반으로 싱크 노드로 향하는 경로 기울기(gradient)를 설정한다. 초기에 관심 패킷 전송과 경로 기울기가 설정되면, 관심 패킷과 매치된 소스(source) 노드는 전송 데이터를 이웃 노드들에게 전송한다. 그리고 이렇게 전송된 데이터는 여러 경로를 경유해서 싱크 노드에 전달되게 된다. 싱크 노드가

데이터를 전송받게 되면 가장 먼저 데이터를 전달한 링크(link)로 높은 기울기 값을 가진 확인(reinforcement) 메시지를 전송하게 된다. 이 확인 메시지가 소스노드로 전송되는 동안에 자동으로 높은 기울기 값을 가진 링크로 구성된 라우팅 경로가 생성되고, 이후 데이터는 이 경로를 통해서 전송이 일어나게 된다.

비록 Direct Diffusion이 멀티홉 평면 라우팅에서 에너지 효율적인 라우팅 방식으로 널리 알려져 있지만, 몇 가지 약점을 갖고 있다. 첫째, 최적 경로를 찾기 위한 초기 설정에 걸리는 수렴 시간이 길어서 전체 전송 지연(propagation delay)이 길어진다는 단점이다. 앞에서 설명한 것처럼, 초기 관심 패킷 브로드캐스팅 전송 후에, 데이터는 최적 경로를 통해서 전송되지 않고, 소스 노드는 모든 가능한 경로로 데이터를 전달하고, 싱크 노드는 주변의 노드로부터 데이터를 전달받은 뒤에 확인 메시지 전송을 통하여 최적 경로를 결정하는 과정을 거친다. 즉, 최적 경로가 결정되기 전에는 데이터는 최적 경로를 포함한 모든 가능한 경로를 사용하게 된다.

둘째, 비록 인접 노드간의 로컬 상호 작용에 의해서 라우팅이 수행되지만, 최적 경로를 선정하는데 있어서 싱크 노드의 역할은 여전히 중요하다. 더욱이 최적 경로의 유지가 확인 메시지의 전송에 기반하기 때문에, 잘못된 확인 메시지의 발생은 필연적으로 최적 경로상의 노드들의 에너지 고갈을 가속화시키는 트래픽 오버헤드를 야기하게 된다. 이 문제는 라우팅 정보에 근거한 기존의 라우팅 알고리즘에서는 어느 정도는 피할 수 없는 문제이다.

## 2.2 ACO의 WSN 적용 시의 고려 요소

사회적 동물인 개미는 개별적으로 하잘것 없지만, 개미 군집은 협력하여 개미집을 짓거나 식량 수집을 하는 것으로 유명하다. 이러한 현상은 과학자들의 흥미를 불러일으켰고, 개미들의 집단지성(collective intelligence)를 이용한 최적화/제어 알고리즘에 대한 연구를 촉발시켰다. 특별히 몇몇은 네트워크 라우팅과 부하 분산에 대해서 초점을 맞추었고, 이것은 [6]에서 제시한 바와 같이 개미들이 음식을 찾기 위한 가장 최단의 경로를 찾는 것에 근거하고 있다. 개미가 음식물에 대한 최단 경로를 찾을 때에는, 개미들 간에 화학 물질인 페로몬(pheromone)을 통한 간접적인 방식으로 정보를 교환한다. 하나의 개미가 지나가는 경로에 페로몬을 살포하면, 다른 개미가 해당 경로를 가는 경우에 이미 살포된 페로몬의 강약에 따라서 다음 경로를 선택하게 된다. 만일 여러 개미가 거쳐 간 경로라면 페로몬의 강도가 셀 것이고, 해당 경로는 최적의 경로일 가능성이 높아지게 된다.

비록 ACO는 패킷 라우팅에서 최적 경로를 선정하는데 있어서 적합한 방법이라고 잘 알려져 있지만, stagnation이라는 약점을 갖고 있다. 네트워크에서 최적 경로가 일단 결정되면, 개미들이 모두 최적 경로를 통해 움직이고 페로몬은 그 경로에 집중되게 된다. 이것은 다른 경로를 선택할 수 있는 확률을 낮출뿐더러 최적 경로에 혼잡(congestion)이 발생할 수 있는 문제를 야기하게 된다. 문제는 최적 경로에 혼잡이 발생하게 되면, 더 이상 그 경로는 최적 경로가 아니라는 문제점이 있다. 혼잡은 링크 단절을 발생시키고, 잘못된 링크 단절은 최적 경로의 질을 떨어뜨리게 된다. 정체현상의 단점을 보완하기 위하여 페로몬 증발(evaporation), 페로몬 에이징(aging), 페로몬 평탄화(smoothing)과 같은 방식이 제안되었다 [6].

정체 현상과 같은 기술적 문제 때문에 지금까지 WSN에 ACO를 적용하고자 하는 연구는 상당히 적었다. WSN을 위한 사슬기반 계층(chain-based hierarchical) 라우팅 프로토콜인 AntChain[6]의 경우에도 전체 네트워크의 토폴로지를 파악하기 위하여 싱크 노드는 모든 센서 노드로부터 위치 정보를 받아야만 했다. 그리고 라우팅 경로를 만들기 위해서 ACO를 이용하고, 이 정보를 모든 노드들에게 전송하였다. 따라서 라우팅은 이러한 라우팅 사슬 구조에서만 동작을 하였다 [7]. 즉, AntChain은 ACO를 단지 라우팅 사슬을 만들기 위해 싱크 노드에서만 사용한 것이다.

그러나 제안된 알고리즘에서는 AntChain과 달리 ACO를 인접 노드 간의 로컬 상호 작용을 통해서 결정할 수 있도록 하여 ACO의 장점을 최대한 살렸다. 싱크 노드는 전체 네트워크를 탐색하는 인공 개미를 발생시켰다. 이 인공 개미는 최적 경로를 결정하기 위하여 각 센서 노드에서 유지하고 있는 페로몬 테이블을 업데이트하는 역할을 담당한다. 즉, AntChain이 싱크 노드가 ACO에 사용되는 계층적 라우팅 트리를 결정하는 역할을 하는 중앙집중적인 알고리즘이었다면, 제안된 알고리즘은 분산적으로 네트워크 안에서(in-network) 인공 개미가 실제로 네트워크를 움직이면서 센서 노드들간의 상호작용만으로 라우팅 경로가 결정되는 라우팅 알고리즘이라 할 수 있다.

## III. 제안 알고리즘

### 3.1 ACO 기반의 최적 경로 선정

제안된 알고리즘에서는 전체 네트워크를 탐색하여 노드들의 페로몬 테이블을 갱신하는 탐색 개미(Explore Ant)를

정의하였다. 탐색 개미는 지나가는 경로 상의 노드의 페로몬 테이블을 갱신하며, 지금까지 지나왔던 해당 노드들의 ID를 저장한다. 각 페로몬 테이블 엔트리(entry)는 인접 노드 ID와 목적 데이터 타입에 대한 페로몬 값을 유지하고 있다. 이러한 정보들은 센서 노드가 싱크 노드로 데이터를 전송할 때 인접 노드를 선택하는 기준이 된다. 탐색 개미의 내부 데이터 형태는 표 1과 같다.

표 1. 탐색 개미 내부의 데이터 형태  
Table 1. Internal Data structure of Explorer Ant

파일드	의미
ant_num	탐색 개미의 일련 번호. 일련 번호는 탐색 개미들이 여러 개 발생하였을 때, 구분을 위해 사용됨.
target_type	요청된 센싱 데이터의 타입
target_region	센싱하고자 하는 지역 정보
forwarder_id	탐색 개미가 해당 노드에 도착하기 바로 직전에 머물렀던 노드의 ID
sender_id	탐색 개미가 출발한 곳의 ID, 주로 싱크 노드의 ID임
time_stamp	싱크 노드에서 탐색 개미가 발생한 시점의 시간
intermediate_node_id(i)	탐색 개미가 거쳤던 노드들의 ID 리스트, 이 리스트는 라우팅 루프 방지에 사용됨

그림 1은 제한된 경로 선정 알고리즘의 구조에 대해서 보여준다. 센싱 파일드에서 특정 데이터를 요구하는 요청이 발생하면, 싱크 노드는 관심 지역과 대상에 대한 정보를 갖고 있는 탐색 개미를 브로드캐스트한다.

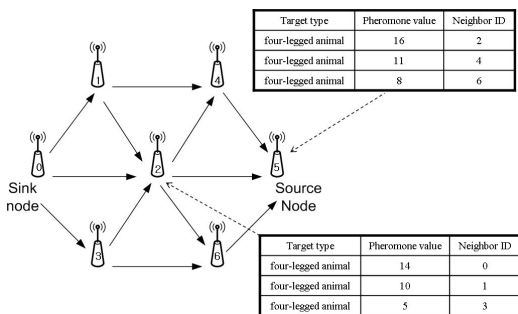


그림 1. 탐색 개미의 전송과 페로몬 테이블 갱신  
Fig 1. Explorer ant propagation and pheromone table update

그림 1은 탐색 개미가 소스 노드에 도착한 시점을 묘사하고 있다. 그림 1에서 볼 수 있는 것처럼, 모든 노드들의

페로몬 테이블은 탐색 개미의 전송에 의해서 페로몬 엔트리가 생성되게 된다. 페로몬 값은 탐색 개미의 도착 순서에 따라서 차별적으로 할당되게 된다. 만일 노드가 대상 지역에 위치하지 않거나 혹은 노드의 데이터가 대상 데이터가 아닌 경우에는 탐색 개미를 이웃 노드들에게 다시 전달한다. 이 과정은 탐색 개미가 원하는 데이터를 갖고 있는 센서 노드에 도착할 때까지 센서 네트워크에서 분산적으로 계속해서 일어나게 된다.

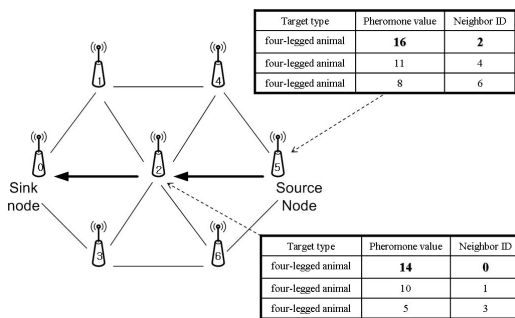


그림 2. 선정된 최적 경로를 통한 데이터 전송  
Fig 2. data delivery through the obtained optimum routing path

결국 관심 지역에 있는 센서 노드에 탐색 개미가 도착하면, 노드는 관심 지역에 자신이 위치하는지와 자신의 데이터가 목적 데이터 타입과 일치하는지 여부를 확인한다. 이 두 가지 조건이 만족되면, 그림 2에서 볼 수 있는 것처럼, 센서 노드는 소스 노드로서 동작한다. 소스 노드는 자신의 페로몬 테이블을 뒤져서 가장 높은 페로몬 값을 갖고 있는 이웃 노드에게 데이터를 전달하게 된다. 해당 센서 노드가 소스 노드로부터 데이터를 전달받으면, 같은 과정을 통하여 다른 이웃 노드로 데이터를 전달하고 이 과정은 데이터가 싱크 노드에 도착할 때까지 계속된다. 이 방식을 이용하여, 센싱 데이터는 가장 낮은 딜레이 링크로 연결된 경로, 즉 높은 페로몬 값을 가진 경로를 통하여 싱크 노드로 전달되게 된다.

싱크 노드는 주기적으로 탐색 개미를 전송하여 링크 결합, 혼잡과 같은 전체 센서 네트워크의 상태를 모든 센서 노드들의 페로몬 테이블에 반영하게 된다. 이러한 추가적인 기능은 정적인 센서 네트워크에서는 큰 의미가 없지만, 센서 네트워크에 전송 에러가 심한 경우에는 효과적인 보완책이 될 수 있다.

### 3.2 에너지 소진 통지 메시지 전송 구조

ACO 기반 라우팅 알고리즘은 라우팅 경로가 수립되면, 정체 현상에 의한 문제점을 노출하게 된다. 이것이 혼잡에만 영향을 미치는 다른 네트워크와 달리 WSN에서는 정체 현상에 의해서 또 하나의 부정적인 영향이 나타나게 된다. ACO를 적용하는 경우에 정체 현상이 나타나면, 시간이 지남에 따라서 싱크 노드와 소스 노드 사이의 최적 경로 근처에 위치한 센서 노드들이 제한된 전력 자원 때문에 에너지가 소진되는 문제가 발생하게 된다. 따라서 WSN에 단순히 ACO 알고리즘만을 적용하면, 최적 경로에 위치한 노드들에서 에너지 소진이 일어나는 시점부터는 더 이상 성공적인 데이터 전송이 일어나지 않게 된다.

이러한 문제를 해결하기 위하여, 제안 알고리즘에서는 모든 센서 노드들이 자신의 에너지 상태를 감시하고 있다가, 에너지가 소진되는 시점에 이를 주변 노드에 알리도록 구성하였다. 즉, 센서 노드의 에너지가 데이터 전송에 필요한 에너지보다 더 작아진다면, 해당 센서 노드는 자신의 에너지 소진을 알려주는 메시지를 한 홵(one hop)에 있는 이웃 노드들에게 전송하여 더 이상 자신에게 데이터를 전송하지 말 것을 요청한다. 그림 3에서는 2번 노드가 에너지 소진 통지 메시지(energy depletion informing message)를 전달하는 예를 보여준다.

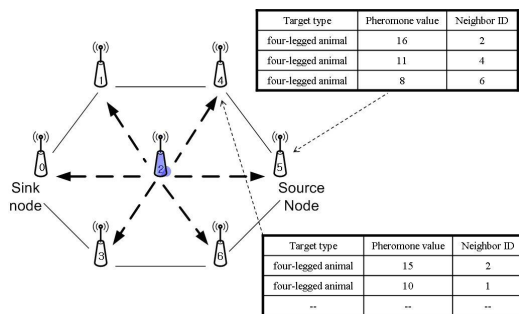


그림 3. 노드 소진 통지 메시지 전송  
Fig 3. Node depletion informing message transmission

일단 주변 노드에서 에너지 소진 메시지를 받은 각 노드는 해당 소진 통지 메시지를 전송한 노드의 페로몬 값을 0으로 설정한다. 따라서 에너지가 거의 소진된 노드들은 그 이웃 노드에서 더 이상 데이터 전송의 경로로 선택되지 않는다. 그림 4에서 볼 수 있는 것처럼 소스 노드는 2번 센서 노드가 기존의 최적 경로에 있다 하더라도 이미 소진 메시지를 받아서 페로몬 값이 0이 되었으므로, 그보다 높은 페

로몬 값을 가진 노드인 4번을 선택하여 새로운 대체 경로(alternative path)를 자동으로 구성하게 된다. 이러한 방법을 통하여 최적 경로를 전체 네트워크에서 재설정하는 번거로움 없이, 로컬 상호 작용만으로 차선의 최적 경로를 설정할 수 있게 된다.

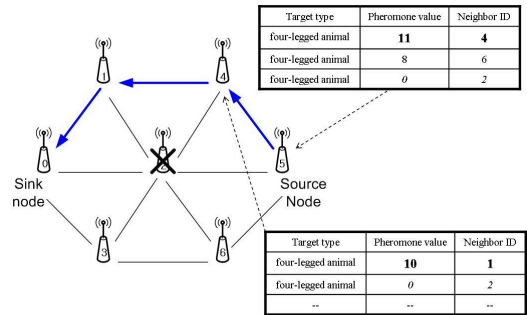


그림 4. 대체 경로를 통한 데이터 전송  
Fig 4. Data transmission via an alternative path

## IV. 시뮬레이션 및 평가

### 4.1 시뮬레이션 환경

제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 NS-2를 이용하여 기본 ACO, Direct Diffusion, 제안된 알고리즘을 시뮬레이션으로 평가하였다. 시뮬레이션에서는 30개의 센서 노드를 800m x 800m 네트워크 토폴로지에 균일하게 배치하였다. 제안된 알고리즘과 두 알고리즘을 비교하기 위해, 싱크 노드에서 3개의 소스 노드로 데이터 전송을 요구한 것을 가정하였으며, 시뮬레이션은 소스 노드의 에너지가 소진되면 종료되는 것으로 하였다. 싱크 노드는 좌하단에 위치한다고 가정하였으며, 다른 소스 노드들은 각각 네트워크 토폴로지의 다른 각 모서리에 위치한다고 가정하였다. 시뮬레이션의 에너지 모델은 Direct Diffusion의 에너지 모델을 그대로 사용하였다. 각 센서 노드는 1.1J의 에너지를 초기 에너지로 사용하였으며, 한 번의 송신에 드는 에너지는 0.660W, 수신 에너지는 0.395W, 휴지기(idle state)의 에너지 소모는 0.035W로 가정하였다. 데이터 패킷 사이즈는 탐색 개미의 경우는 32바이트이고, 데이터는 64바이트이다. DirectDiffusion과 마찬가지로 각 소스 노드는 첫 번째 탐색 개미가 도착한 후부터 0.167초마다 데이터를 발생시키도록 구성하였다.

### 4.2 성능 평가

먼저 Direct Diffusion과 제안 알고리즘의 비교는 데이터 전송 지연(data propagation delay)과 소모된 에너지 대비 데이터 패킷 전송률을 비교하였다. 이것으로 알고리즘의 에너지 효율성을 비교해 볼 수 있다. 또한 정체 효과를 알아보기 위해서 에너지 소진 통지 메시지 기능이 없는 기본 ACO 알고리즘과 이 기능을 가진 제안 알고리즘을 비교하였다. 그래프에서는 제안된 알고리즘을 수정 ACO(modified ACO)로 표시하였다.

그림 5는 데이터 패킷을 늘려갈 때, 데이터 전송 지연(data propagation delay)을 보여준다. 본 논문에서는 데이터 전송 지연은 소스 노드에서 싱크 노드까지 하나의 데이터 전송이 완료될 때까지 걸리는 시간으로 정의하였다. 그래프에서 볼 수 있는 것처럼, 기본 ACO와 제안 알고리즘은 Direct Diffusion에 비해서 낮은 데이터 전송 지연을 갖고 있다. 이것은 ACO 기반의 알고리즘이 Direct Diffusion보다는 더 최적화된 경로를 선택할 수 있음을 의미한다. 평균적으로 기본 ACO와 제안된 알고리즘은 Direct Diffusion에 비해 데이터 전송 지연을 19.77% 줄였다. 더욱이 기본 ACO와 제안된 알고리즘은 Direct Diffusion에 비해서 데이터 전송 성공률이 더 높았다. 시뮬레이션 완료 시점에서 전체 데이터 전송 성공패킷의 수는 Direct Diffusion이 162개인 데 반해, 기본 ACO는 211개로 30.25%가 향상되었으며, 제안된 알고리즘은 252개로 55.56%가 향상되었다.

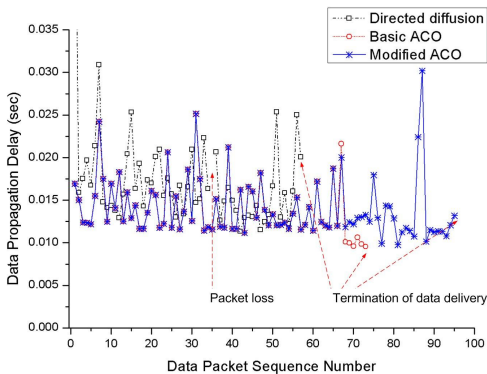


그림 5. 데이터 전송 지연  
Fig 5. Data propagation delay

그림 6은 소모된 에너지에 따른 시간당 데이터 패킷 전송률을 보여준다. 이 항목은 각 알고리즘의 에너지 효율성을 나타낸다. 그래프에서 볼 수 있는 것처럼, ACO 기반 알

고리즘은 Direct Diffusion에 비해서 월등히 좋은 성능을 보여준다. 그러나 기본 ACO의 경우에는 데이터 전송이 Direct Diffusion에 비해서 일찍 종료되는 경향을 보여준다. 이것은 정체 현상에 의해서 최적 경로에 위치한 노드가 일찍 에너지가 소진되어 발생하는 현상이다. 이에 비해 제안 알고리즘은 에너지 소진 통지 구조를 이용하여, 최적 경로가 끊어져도, 다른 대체 경로로 데이터를 전송함으로써 보다 오래 데이터 전송을 할 수 있게 됨을 보여준다.

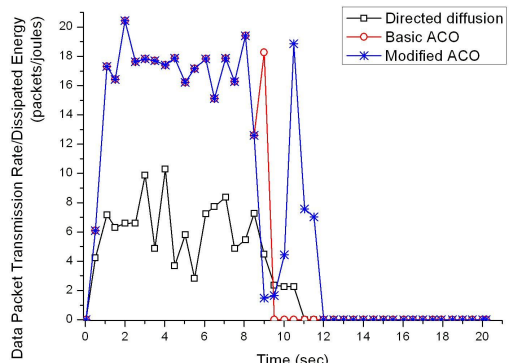


그림 6. 소모된 에너지 당 데이터 패킷 전송률  
Fig 6. Data packet transmission rate per dissipated energy

## V. 결론

최근 사회적 곤충의 행동을 모방한 ACO를 유무선 분야에서 라우팅, 부하분산, 혼잡 제어와 같은 네트워크 관리에 사용하기 시작하였다. 그러나 ACO가 WSN의 특징과 부합되지 않았기 때문에 지금까지는 WSN의 성능 향상을 위해 ACO를 적용하는 연구는 적었다. 본 논문은 데이터 중심 멀티홉 라우팅 프로토콜에 ACO를 적용하여 에너지 효율적인 경로 선정을 제공하는 알고리즘을 제안하였다. 또한 ACO의 고질적인 문제인 정체 현상을 완화하기 위하여 제안 알고리즘은 에너지 소진 통지 구조를 도입하였다. 결과적으로 제안 알고리즘은 데이터 중심 멀티홉 라우팅 프로토콜의 대표적 프로토콜인 Direct Diffusion에 비해 더 낮은 데이터 전송 지연과 높은 데이터 전송 성공률을 가능하게 하였으며, 더 오래 네트워크를 생존하게 하였다. 제안된 알고리즘은 WSN을 위한 데이터 중심 멀티홉 평면 라우팅 알고리즘에서 ACO의 효율성을 보여주었을 뿐 아니라, WSN의 특성에 의한 ACO의 정체 현상 문제를 해결해주는 방법에 대해서도 제시를 하였다.

본 연구의 결과로 ACO가 기존 라우팅 알고리즘에 비해 우수한 성능을 가질 수 있음을 알 수 있었으나, ACO를 다양한 센서 네트워크 환경 및 동작 시나리오에 적용하였을 때의 성능 결과는 충분히 검토할 가치가 있는 연구과제이다. 따라서 향후 연구에서는 이러한 다양한 시나리오를 분석하여 어떤 환경과 시나리오에서 ACO가 가장 우수한 성능을 나타내는지 검토하고 학문적인 고찰을 할 계획이다.

and Networks (MobiCOM 2000), Aug 2000, Boston, Massachusetts.

[9] K. Fall and K. Varadhan, "ns Notes and Documentation" The VINT Project, UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC, available from "http://www.isi.edu/nsnam/ns/", Dec 2003.

### 참고문헌

[1] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks," IEEE Communications Magazine, Volume: 40 Issue: 8, pp.102-114, August 2002.

[2] 김대영 외 6명, "센서 네트워크 기술", 정보처리학회지, 제 10권 제4호, pp.85-96, 2003.

[3] Jamal N. Al-Karaki and et al, "Routing Techniques in Wireless Sensor Networks: A Survey," IEEE Wireless Communications, Dec. 2004.

[4] 이기욱, 성장규, "유비쿼터스 센서 네트워크 기반의 상황 정보 모니터링 시스템 구현," 컴퓨터정보학회 논문지, 11권 5호, 2006.

[5] 김진수, "센서 네트워크에서 클러스터 상태 전이를 이용한 에너지 절약 방안," 컴퓨터정보학회 논문지, 12권 2호, 2007.

[6] Kwang Mong Sim and Weng Hong Sun, "Ant Colony Optimization for Routing and Load-Balancing: Survey and New Directions," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans, Vol. 33, No. 5, Sep. 2003.

[7] Niannian Ding, Peter X. Liu and Chao Hu, "Data Gathering Communication in Wireless Sensor Networks Using Ant Colony Optimization," IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS 2005), Aug. 2005.

[8] Chalermek Intanagonwivat and et al, "Directed Diffusion: A Scalable and Robust Communication Paradigm for Sensor Networks," Proceedings of the Sixth Annual International Conference on Mobile Computing

### 저자 소개



#### 정의현

1999년 2월 : 한양대학교 전자공학 박사

2004년 ~ 현재 : 안양대학교 컴퓨터학과 전임강사

관심분야: 시맨틱 웹, 디지털 컨버전스