

A Multi-objective Ant Colony Optimization Algorithm for Real Time Intrusion Detection Routing in Sensor Network

Seung-Ho Kang[†]

ABSTRACT

It is required to transmit data through shorter path between sensor and base node for real time intrusion detection in wireless sensor networks (WSN) with a mobile base node. Because minimum Wiener index spanning tree (MWST) based routing approach guarantees lower average hop count than that of minimum spanning tree (MST) based routing method in WSN, it is known that MWST based routing is appropriate for real time intrusion detection. However, the minimum Wiener index spanning tree problem which aims to find a spanning tree which has the minimum Wiener index from a given weighted graph was proved to be a NP-hard. And owing to its high dependency on certain nodes, minimum Wiener index tree based routing method has a shorter network lifetime than that of minimum spanning tree based routing method. In this paper, we propose a multi-objective ant colony optimization algorithm to tackle these problems, so that it can be used to detect intrusion in real time in wireless sensor networks with a mobile base node. And we compare the results of our proposed method with MST based routing and MWST based routing in respect to average hop count, network energy consumption and network lifetime by simulation.

Keywords : Multi-Objective Ant Colony Optimization Algorithm, Realtime Intrusion Detection, Wireless Sensor Networks, Minimum Wiener Spanning Tree

센서 네트워크에서 실시간 침입탐지 라우팅을 위한 다목적 개미 군집 최적화 알고리즘

강 승 호[†]

요 약

이동하는 베이스 노드를 가진 무선 센서 네트워크(WSN)에서 실시간 침입탐지를 위해서는 침입을 탐지한 센서로부터 베이스 노드까지의 정보 전달이 짧은 라우팅 경로를 통해 이루어져야 한다. 센서 네트워크에서 최소 Wiener수 신장트리(MWST)기반 라우팅 방법은 최소 신장트리(MST)기반 라우팅 방법에 비해 작은 흡 수를 보장하고 있어서 실시간 침입탐지에 적합함이 알려져 있다. 하지만 주어진 네트워크로부터 최소 Wiener 수 신장트리를 찾는 문제는 NP-hard이고 특정 노드에 대한 의존성이 커서 최소 신장 트리 기반 라우팅 방법에 비해 짧은 네트워크 수명을 갖는 단점이 있다. 본 논문은 실시간 침입탐지를 위해 최소 Wiener수 신장트리를 개선해 작은 흡 수와 긴 네트워크의 수명을 동시에 보장하는 라우팅 트리를 찾는 다목적 개미 군집 최적화 알고리즘을 제안한다. 그리고 제안한 라우팅 트리의 성능을 패킷의 평균 전송 흡 수 및 네트워크 전력 소모, 네트워크의 수명 측면에서 최소 신장트리기반 라우팅 방법 및 최소 Wiener수 신장트리기반 라우팅 방법과 비교한다.

키워드 : 다목적 개미 군집 최적화 알고리즘, 실시간 침입탐지, 무선 센서 네트워크, 최소 Wiener 수 신장트리

1. 서 론

센서 네트워크를 구성하는 작은 센서들은 빛, 소리, 온도, 이미지, 압력, 진동 등의 다양한 형태의 정보들을 감지하고

감지된 정보들을 특정 목적에 맞게 처리하여 처리된 정보를 베이스 노드까지 전송하는 기능을 가지고 있다. 이러한 센서들 덕분에 센서 네트워크는 국방 영역을 비롯해 환경 감시, 재해 예방, 의료 보건 분야 및 조선, 해양 영역 등 다양한 곳에서 여러 가지 목적으로 사용되고 있다[1-4].

하지만 센서들은 대개 소형이며 전력이나 대역폭, 메모리 및 컴퓨팅 능력에서 기존의 애드 휴 네트워킹 장치들에 비해 많은 제약이 따른다. 특히 개별 센서 내에서 데이터를 처리하는 것 보다 데이터를 전송하는 데 보다 많은 전력이

[†] 정회원: 국가수리과학연구소 수리생물학연구팀 연구원
논문접수: 2013년 3월 11일

수정일: 1차 2013년 4월 8일

심사완료: 2013년 4월 8일

* Corresponding Author: Seung-Ho Kang(kinston@gmail.com)

소모된다는 사실은 에너지 효율적이며 긴 네트워크의 수명을 보장하는 라우팅 방법에 대한 관심을 고조시켰다. 한편 단순한 스칼라 데이터뿐 아니라 비디오, 오디오 스트리밍과 같은 멀티미디어 콘텐츠를 사용하는 센서 네트워크(WMSNs)가 등장하였고 QoS의 보장이 중요한 문제로 인식되고 있다[3, 5, 6, 7]. 예를 들어 화재 발생에 대한 즉각적인 대처나 침입자 발생 시의 경보 발생 등은 실시간의 데이터 전송을 요구하는데 이때는 패킷 지연시간이 중요한 문제가 된다. 특히 군 관계 시설과 같은 공공기관이나 주요시설에 예상되는 침입자에 대한 실시간 탐지는 시설 보존뿐 아니라 정보 보호 및 요인 안전 보장 등과 같은 민감한 사항들과 밀접한 관계가 있다. 또한 군 작전 지역에 설치한 센서들을 이용해 적의 침입 및 이동 경로 등을 파악하는 경우 정보 지연은 군 작전 수행 및 전투 결과에 결정적인 요소가 될 수 있다. 따라서 지연시간을 최소화해야 한다는 요구 사항은 기존의 에너지 효율성과 더불어 센서네트워크가 해결해야 할 중요한 주제이다[8, 9].

[9, 10]은 베이스 노드의 이동성이 큰 네트워크 환경에서 사용할 라우팅 방법으로 모든 센서간의 경로 길이가 최소인 최소 Wiener 수 신장트리(MWST) 기반 라우팅 방법을 제시하였다. 모든 센서가 한 번씩 베이스 노드가 되어 다른 센서로부터 동일한 크기의 패킷을 전송 받는 상황인 라운드 패킷 전송 시나리오 등을 사용해 MWST 기반 라우팅 방법과 최소신장트리(MST) 기반의 라우팅 방법을 비교하였다. 이에 따르면 MWST 기반 라우팅 방법은 패킷 전송에 소모되는 에너지의 양이나 패킷의 전송 흡수면에서 MST 기반 라우팅 방법에 비해 좋은 성능을 보였다. 하지만 패킷 전송 시 특정 센서에 대한 의존이 커서 MST에 비해 네트워크 전체의 총 에너지 사용량은 작았음에도 불구하고 특정 센서의 에너지 고갈로 인해 네트워크의 연결이 빨리 끊어진다는 단점을 보여주었다.

본 논문은 이동하는 베이스 노드를 가진 센서 네트워크 환경 하에서 실시간 침입탐지를 위해 Wiener 수 신장트리의 장점인 작은 전송 흡수와 높은 에너지 효율성을 보장하면서 동시에 단점인 짧은 네트워크 수명을 개선하고자 다목적 개미 군집 최적화 알고리즘을 제안한다. 제안하는 개미 군집 최적화 알고리즘은 조합 최적화 문제 해결에 사용되는 메타 휴리스틱 알고리즘의 하나로 수백 개의 센서로 구성된 네트워크에도 사용이 가능하다. 제안한 라우팅 방법의 성능을 평가하기 위해 MST 기반 라우팅 방법 및 MWST 기반 라우팅 방법과 라운드 패킷 전송 시나리오를 이용해 평균 흡수와 에너지 소모량 및 네트워크 수명을 비교한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문이 해결하려는 네트워크 모델과 관련 용어들을 정의한다. 3장에서는 지연시간을 최소화하고 에너지 효율성과 긴 네트워크의 수명을 보장하는 라우팅 트리의 형성을 위한 다목적 개미 군집 최적화 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 패킷의 평균 흡수, 에너지 효율성, 네트워크 수명 등을 모의실험을 통해 비교하고 5장에서는 결론과 향후 해결해야 할 문제들을 논의 한다.

2. 네트워크 모델과 용어 정의

본 장에서는 본 논문에서 사용하는 무선 센서 네트워크를 위한 에너지 소비 모델에 대해 설명하고 필요한 용어들을 정의한다.

2.1 전파 통신 모델

본 논문에서 사용하는 패킷 전송 시의 에너지 소비에 대한 모델은 [11]이 제안한 일차 라디오 모델을 사용하였다. 다른 논문[9, 10, 12, 13]들에서도 이 모델을 사용하였으며 통신 모델의 일반적인 가정들을 크게 벗어나지 않기 때문이다. 에너지 소비 모델을 간략히 설명하면 다음과 같다.

k bit의 패킷을 d 미터 떨어져있는 다른 센서에 송신하는데 드는 전력 소모량 $E_{Tx}(k,d)$ 은 식 (1)에 의해 계산한다.

$$E_{Tx}(k,d) = E_{Tx} \times k + \varepsilon_{amp} \times k \times d^2 \quad (1)$$

이 때 E_{Tx} 는 50nJ/bit이며 증폭에 드는 전력 소모량 ε_{amp} 는 100pJ/bit/m²이다. 그리고 k bit의 패킷을 수신하는데 드는 전력 소모량 식 (2)에 의해 계산한다.

$$E_{Rx}(k) = E_{Rx} \times k \quad (2)$$

E_{Rx} 는 E_{Tx} 와 마찬가지로 50nJ/bit이다. 따라서 d 미터 떨어진 연속한 두 센서 사이에 다른 조건이 없는 한 k bit 크기의 패킷 전송에 소모되는 전력량은 식 (1) + 식 (2)임을 알 수 있다.

2.2 용어 정의

본 절에서 정의된 용어들은 다음 장에서 제안하는 알고리즘 및 실험 환경과 결과를 이해하는데 필요한 것들이므로 별도의 절을 이용해 설명한다.

정의 1. Wiener 수

Wiener 수(Wiener index 혹은 Wiener number)란 주어진 그래프 $G = (V(G), E(G))$ 의 모든 정점 간 거리의 합을 가리킨다. 그래프 내의 임의의 두 정점 u, v (여기서, $u, v \in V(G)$)간 거리 $d_G(u,v)$ 는 두 정점 사이의 최단 거리로 정의되며 그래프의 Wiener 수 $\sigma(G)$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$\sigma(G) = \frac{1}{2} \sum_{u \in V(G)} \sum_{v \in V(G)} d_G(u, v) \quad (3)$$

주어진 그래프로부터 최소 Wiener 수 신장트리를 구하는 문제는 NP-hard임이 알려져 있다[9, 14].

정의 2. 모든 센서간 라운드 패킷 전송

모든 센서간 라운드 패킷 전송이란 모든 센서가 순서에 상관없이 한 번씩 베이스 노드의 최근접 노드로서 마지막

패킷 전송을 담당하는 역할을 수행하며 자신을 제외한 나머지 모든 센서로부터 동일한 크기의 패킷 하나씩을 수신하는 과정을 말한다.

모든 센서간 라운드 패킷 전송은 센서 네트워크 모델에 다수의 베이스 노드나 베이스 노드의 이동성을 포함하기 위한 시나리오이다. 일반적으로 무선 센서 네트워크에서는 베이스 노드와 가장 근접한 센서가 다른 센서로부터 전송된 데이터를 최종적으로 베이스 노드에 전달하게 되므로 모든 센서가 이동하는 베이스 노드의 최근접 센서가 될 수 있기 때문이다.

정의 3. 네트워크 평균 흡수

네트워크 평균 흡수란 한 번의 모든 센서간 라운드 패킷 전송을 수행할 때 임의의 센서로부터 베이스 노드까지 전송되는 패킷 하나가 거치는 센서 수의 기댓값을 말한다.

네트워크 평균 흡수는 실시간 침입탐지를 위한 라우팅 방법에서 가장 중요하게 고려되어야하는 특성이다.

정의 4. 네트워크 에너지 소모량

네트워크 에너지 소모량이란 모든 센서간 라운드 패킷 전송에 소모되는 네트워크 내 개별 센서들의 에너지 소모량의 합을 말한다.

정의 5. 네트워크 수명

네트워크의 수명이란 패킷 전송 과정에서 최초로 전력이 모두 소모되는 센서가 발생할 때까지의 모든 센서간 라운드 패킷 전송의 횟수를 말한다.

네트워크 에너지 소모량은 패킷 전송에 따른 에너지 효율성을 나타내기 위한 지표인 반면 네트워크 수명은 센서의 탈락에 따른 라우팅 토플로지의 재구성이 없이 계속해서 패킷 라우팅을 할 수 있는 기간을 나타내는 지표이다.

3. 다목적 개미 군집 최적화 알고리즘

[9]에서 알 수 있듯이 Wiener 수 최소화는 라우팅 흡수를 낮춤으로써 실시간 침입탐지에 유용한 라우팅 트리를 제공한다. 하지만 네트워크의 수명 단축이라는 효과도 동시에 가져온다는 사실을 확인할 수 있다. 본 논문은 패킷 전송에서 지연시간 최소화와 네트워크 수명 최대화라는 상충관계에 있는 두 가지 목적을 모두 만족시키는 라우팅 트리 토플로지의 생성을 위해 다목적 개미 군집 최적화(Multi-Object Ant Colony Optimization) 알고리즘을 제시한다. 개미 군집 최적화 알고리즘은 조합 최적화 문제를 해결하는데 사용되는 메타 헤리스틱 알고리즘으로 여러 분야에서 다양한 문제에 사용되고 있다[12, 15, 16, 17, 18].

네트워크 수명을 고려한 실시간 침입탐지용 라우팅 트리를 찾기 위한 다목적 개미 군집 최적화 알고리즘은 다음과 같다.

3.1 에너지 모델을 반영하는 초기 네트워크 생성

에너지 소비가 라우팅 토플로지 형성에서 고려해야 할 주요 요소이므로 직접 거리를 간선의 가중치로 사용하는 대신 에너지 소비 모델을 사용하여 각 센서 간의 가중치를 부여 한다. 컴퓨팅 능력이나 보유 전력에서 월등한 베이스 노드는 각 센서로부터 전송되어온 위치 정보를 이용하여 센서 사이의 거리를 계산하고 모든 센서 사이의 에지에 대한 가중치 w_{ij} 를 식(1) + 식(2)에 의해서 계산한다. 이때 전송 bit는 $k=1$ 로 한다. 식(1)과 식(2)의 합은 해당 센서 사이에 특정 크기의 데이터를 송수신하는데 요구되는 에너지의 양을 나타내므로 에너지 모델을 반영한 적절한 가중치로 사용할 수 있다.

3.2 알고리즘의 해인 라우팅 트리 생성 방법

다목적 개미 군집 최적화 알고리즘(MO-ACO)을 사용하면 문제의 해, 즉 모든 센서를 연결하는 트리를 생성하는 방법이 필요하다. 트리 생성은 최소 신장 트리를 구하는 Prim 알고리즘[19]을 변형한 방법을 사용한다. Prim 알고리즘은 임의 노드를 출발점으로 하여 매번 노드 하나씩을 트리에 추가 시켜 결국 모든 노드를 커버하는 신장트리를 생성해내는 탐욕적(greedy) 알고리즘이다. 이때 추가하는 노드의 선택은 이미 트리를 형성하고 있는 노드와 그렇지 않은 노드들 사이 중 가장 작은 가중치를 갖는 간선을 끝점으로 하는 정점이 해당된다. 본 논문이 제안하는 방법은 트리 생성을 위한 노드 선택 시 탐욕적인 방법을 사용하는 대신 개미 군집 최적화 알고리즘이 제공하는 확률적인 상태 전이 규칙을 사용한다[16].

3.3 상태 전이 규칙

우선 t 번째 개미는 t 번째 센서를 출발점으로 하여 트리 생성을 시작한다. t 번째 개미가 트리를 형성할 때 실행하는 상태 전이는 식 (4)와 (5)를 사용한다. 임계치로 설정된 $q_0(0 \leq q_0 \leq 1)$ 과 $[0, 1]$ 사이의 균등 분포로 부터 임의로 얻어낸 q 를 비교하여 q 가 임계치 보다 작거나 같으면 식 (4)의 위 식을 사용하여 트리에 포함할 간선을 선택한다. 이 때 각 개미는 자신이 트리에 포함시킨 정점들을 저장하는 장소 $m(t)$ 를 가지고 있다. 식에서 i 는 현재 트리에 포함된 정점들 중 하나를 나타내고($i \in m(t)$) j 는 아직 트리에 포함되지 않은 정점($j \notin m(t)$)을 나타낸다. 그리고 e_{ij} 는 이들 사이의 간선을 의미한다.

$$s(t) = \begin{cases} \text{argmax}[\tau(e_{ij})]^{\alpha} \times [\eta(e_{ij})]^{\beta} & \text{if } q \leq q_0 \\ S & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

$s(t)$ 는 t 번째 개미가 최종적으로 선택한 간선을 의미한다. $\tau(e_{ij})$ 는 간선에 놓인 페레몬의 양을 나타내고 $\eta(e_{ij})$ 는 휴리스틱 함수로써 본 논문에서는 간선 가중치의 역수를 사용한다. 즉, $\eta(e_{ij}) = 1/w_{ij}$ 이다. 이는 간선의 선택에 있어서 에너지 소모가 작은 간선에 대한 페레몬 양을 증가시켜 다음 해 탐색에서 선택될 확률을 높이는 작용을 한다. 그리고 a 와 β 는 파라메터로써 간선의 현재 페레몬의 양과 에너지 소모량의 상대적 중요성을 반영한다. a 값을 상대적으로 크게 설정하면 간선에 부여된 현재의 페로몬 값이 큰 간선이 선택될 가능성을 높이고 β 값을 상대적으로 크게 하면 패킷 전송에 에너지 소모가 작은 간선이 선택될 가능성을 높인다. 이들을 통해 두 요소의 간선 선택에 미치는 영향력을 제어할 수 있다. argmax 는 선택 가능한 간선 중 함수 값을 최대로 하는 간선을 의미한다. S 는 식 (5)를 따르는 확률 변수이다. 만약 q 가 q_0 보다 크면 현재 선택 가능한 모든 간선을 대상으로 S 에 의해 확률을 부여하고 부여된 확률에 비례해서 특정 간선이 선택되도록 한다. 식 (5)의 위 식 분모는 현재 선택 가능한 모든 간선을 대상으로 값들을 합한 것이다.

$$p(e_{ij}) = \begin{cases} \frac{[\tau(e_{ij})]^{\alpha} \times [\eta(e_{ij})]^{\beta}}{\sum [\tau(e_{ij})]^{\alpha} \times [\eta(e_{ij})]^{\beta}} & \text{if } j \in m(t) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

3.4 지역 갱신 규칙

각 개미들은 자신의 해인 신장트리를 생성해갈 때 자신이 선택한 간선에 대해 식 (6)을 사용하여 페레몬 자국의 양을 갱신한다.

$$\tau(e) = (1 - \rho) \times \tau(e) + \rho \Delta \tau(e) \quad (6)$$

여기서 $\rho (0 < \rho < 1)$ 은 페레몬 증발율을 나타내는 파라메터이고 $\Delta \tau(e)$ 는 지역 갱신에 사용할 페레몬 양인데 초기 페로몬 양 τ_0 을 사용하였다.

3.5 전역 갱신 규칙

한 번의 실행(run) 후 각 개미들의 해를 대상으로 Fig. 1에 제시한 알고리즘을 이용하여 조건을 만족하는 최적해(ω)를 결정한다. ω 는 개미들이 생성한 트리에 대해 Wiener 수(σ)와 모든 센서간 1 라운드 패킷 전송 이후 최소의 에너지를 가진 센서의 에너지 값(R_{min})을 가지고 있다. Forage() 함수는 i 번째 개미를 대상으로 변환 규칙에 따라 신장 트리를 구하고 구해진 트리를 대상으로 σ 와 R_{min} 을 계산하여 반환한다.

여기서 ω 는 각 반복에서 구해진 최적해인 트리를 가리키고, $\omega\sigma$ 는 최적해에 대한 Wiener 수를, ωR_{min} 은 한 번의 모든 센서간 라운드 패킷 전송 이후 최소의 잔여 에너지를 가진 센서의 에너지 값을 나타낸다. 6-7 라인에 제시한 조건

If $((\omega\sigma > s.\sigma \text{ and } \omega R_{min} \leq s.R_{min}) \text{ or } (\omega\sigma \geq s.\sigma \text{ and } \omega R_{min} < s.R_{min}))$ 은 Wiener 수가 작고 R_{min} 이 큰 해의 간선들에 대한 페레몬 양을 증가시켜 다음 해 탐색에서 선택될 확률을 높임으로써 에너지 효율성과 함께 수명이 긴 트리의 선택 가능성을 크게 한다.

Algorithm: Optimal Solution Finding Algorithm for Global Update
Input: A network consisting in edges with pheromone
Output: Optimal spanning tree

```

1.  $i = 1;$ 
2.  $\omega\sigma = \text{Max Wiener number};$ 
3.  $\omega R_{min} = 0;$ 
4. For ( $i \leq n$ ) //  $n$  : the number of ants
5.   Begin
6.     tree = Forage( $i$ );
7.     If  $((\omega\sigma > tree.\sigma \text{ and } \omega R_{min} \leq tree.R_{min})$ 
8.       or  $(\omega\sigma \geq tree.\sigma \text{ and } \omega R_{min} < tree.R_{min}))$ 
9.        $\omega \leftarrow tree;$ 
10.     $i = i + 1;$ 
11. End

```

Fig. 1. Pseudo code of the optimal solution finding algorithm for global update

제시된 알고리즘에 의해 최종으로 선택된 트리의 모든 간선들을 대상으로 페레몬 자국을 지역 갱신 규칙에 사용했던 식 (6)에 의해 갱신한다. 하지만 $\Delta \tau(e)$ 는 지역 갱신 규칙과 달리 $\Delta \tau(e) = \gamma_1 \frac{1}{\sigma(s_\omega)} + \gamma_2 (1 - \frac{1}{R_{min}(s_\omega)})$ 를 사용한다.

γ_1, γ_2 는 각 목적들의 상대적 중요성을 반영하는 파라메터이다.

3.6 최종해 결정 및 전송

사전에 정한 반복 회수(M) 동안 n 개의 개미를 대상으로 전역 갱신 규칙에서 사용한 알고리즘에 의해 결정된 각 실행(run)의 최종해를 마찬가지 탐욕적 방법에 의해 갱신한다. 모든 반복이 끝나면 마지막으로 갱신된 해를 라우팅의 기반이 될 최종해로 결정한다.

위에 제시된 알고리즘의 실행은 에너지 및 컴퓨팅 파워에 제한이 작은 베이스 노드가 담당하고 최종해로 구해진 라우팅 트리를 네트워크를 구성하는 모든 센서들에게 전송한다. 센서들은 라우팅 트리에 제시된 자신과 연결된 센서들에 대한 정보만을 보유하도록 함으로써 메모리의 절약을 달성할 수 있고 라우팅 경로에 대한 계산을 할 필요가 없으므로 이에 따른 에너지 소모를 줄일 수 있다.

한편 MO-ACO에 사용된 각 파라메타들의 설정 값은 [16]등에 일반적으로 제시된 범위 내에서 다양한 값을 사용하여 실험한 후 좋은 성능을 제공하는 값을 선택하였다. $q_0 = 0.9, \rho = 0.1, a = 1, \beta = 2, y_1 = 1.0, y_2 = 1.0, n =$

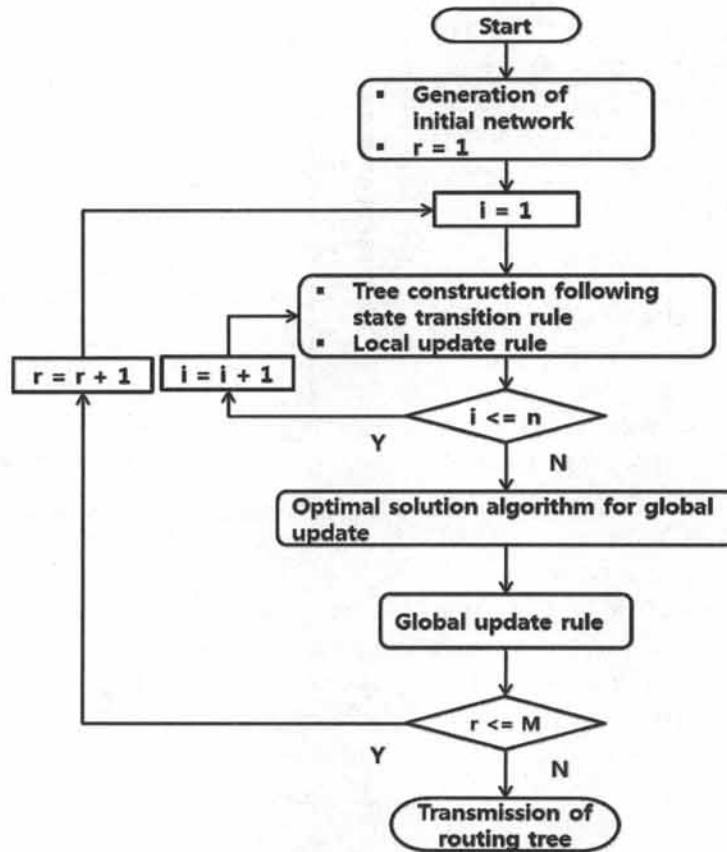


Fig. 2. Flowchart for multi-objective ant colony optimization algorithm

센서 수, $M = 100$, $\tau_0 = 10^{-6}$ 이다. Fig. 2에 MO-ACO 알고리즘의 전체 순서도를 제시한다.

4. 모의실험과 결과 분석

4.1 실험 환경

특정 센서 네트워크 표준 기술의 하위 계층 프로토콜들의 효과를 차단하고 순수한 토플로지 효과만을 검증하기 위하여 [9]에서 사용한 모의 실험기(simulator)를 수정하여 제작하였다. 모의 실험기는 네트워크 내의 모든 센서는 동일한 종류를 가정하였다. 50m×50m 공간에 50, 60, 70, 80, 90, 100 개의 센서가 임의로 배치된 상황에서 모든 실험이 진행되었다. 실험의 정확성을 기하기 위하여 10개의 사례를 생성하여 실험한 후 이를 평균하였다.

한편 모의 실험을 위한 시나리오는 2 장에서 정의한 모든 센서간 라운드 패킷 전송 시나리오를 사용하였다. 그리고 센서들의 초기 에너지는 20J로 하였고 패킷의 크기는 1000bit를 사용하였다.

4.2 평균 흡 수

패킷의 전송 지연과 흡 수와는 높은 상관관계가 있다[20]. Fig. 3은 MST를 이용한 경우와 MSWT를 이용한 경우 및

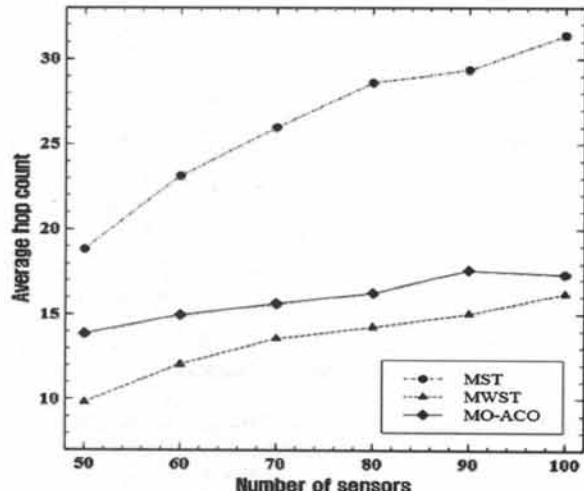


Fig. 3. Comparison of average hop counts under one round packet transmission

본 논문이 제안하는 방법(MO-ACO)에 대해서 각각 한 번의 모든 센서간 라운드 패킷 전송 시 패킷의 평균 흡 수를 나타낸 것이다. MST의 경우는 센서 수에 비례하여 평균 흡 수가 증가하는 경향을 보였으며 다른 두 가지 경우보다 훨씬 컸다. 이러한 사실은 MST에 기반한 라우팅 방법들이 패

킷 전송에 많은 지연 시간을 요구할 것이라는 사실을 보여준다. 한편 MWST의 경우에 평균 흡 수가 가장 작았지만 MO-ACO의 경우와 큰 차이를 보이지는 않았고 두 경우 모두 센서 수의 증가에 민감하게 반응하지 않음을 확인 할 수 있다. 이러한 실험 결과는 본 논문이 제시하는 MO-ACO에 의한 라우팅 방법이 실시간 침입탐지와 같은 급박한 서비스 제공에 유용하게 사용될 수 있음을 시사한다.

4.3 네트워크 에너지 소모량

Fig. 4는 세 가지 라우팅 방법에 대해 한 번의 모든 센서 간 라운드 패킷 전송에 소모되는 네트워크의 전력 소모량을 나타낸 것이다. 세 가지 방법 모두 센서 수에 비례해 에너지 소모량이 증가했다. 이 중 MST에 기반한 라우팅 방법의 전력 소비가 가장 커졌고 MWST에 기반한 라우팅 방법의 전력 소비가 가장 작았다. MO-ACO에 의한 방법은 MWST에 기반한 방법과 전력 소비 면에서 큰 차이를 보이지 않았다. 이는 동일한 데이터량을 전송하는데 MSWT에 기반한 방법이나 MO-ACO에 의한 방법이 네트워크의 전체 에너지를 적게 소모한다는 사실을 의미한다. 즉 에너지 효율성이 MST 기반 라우팅 방법보다 크다는 사실을 확인할 수 있다. 또한 센서 수가 많아질 수록 효율성의 차이가 커짐을 확인 할 수 있다.

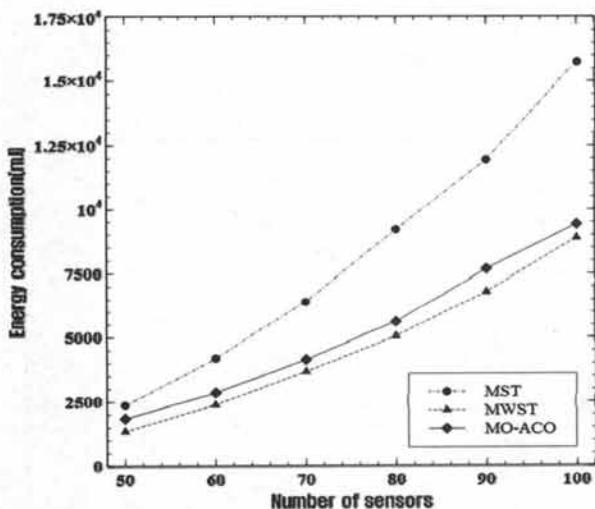


Fig. 4. Comparison of energy consumptions under one round packet transmission

4.4 네트워크 수명

패킷의 전송 지연과 연관성이 높은 평균 흡 수나 동일한 데이터량을 전송하는데 소비되는 네트워크 에너지는 최소 Wiener 수 신장트리 기반 라우팅 방법이 가장 우수하였다. 하지만 Fig. 5에서 알 수 있듯이 네트워크의 수명과 관련하면 최소 Wiener 수 신장트리 기반 라우팅 방법이 가장 나쁜 결과를 보였다. 특히 센서 수가 적은 경우엔 MST에 기반한 방법과의 라운드 수의 차이가 심함을 알 수 있다.

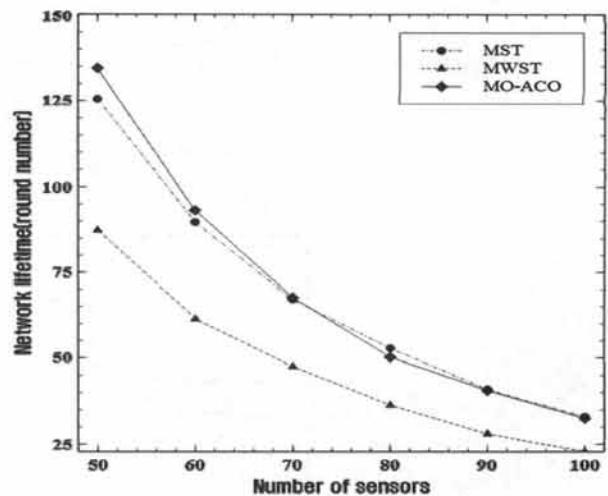


Fig. 5. Comparison of lifetimes represented by the number of round packet transmission

본 논문이 제안한 트리에 기반한 라우팅 방법의 경우엔 MST에 기반한 방법과의 차이가 거의 없음을 알 수 있다. 한 가지 유의할 점은 센서수가 많은 경우 세 가지 모두 네트워크의 수명이 수렴하는 경향을 보이고 있으므로 특별히 긴급한 전송 시간을 고려해야하는 응용 서비스의 경우엔 최소 Wiener 수 신장트리 기반 라우팅 방법을 사용할 수 도 있을 것이다.

결과적으로 주목해야할 점은 본 논문이 제안하는 트리기반 라우팅 방법이 흡 수나 에너지 효율성에서는 MWST 기반 라우팅 방법과 비슷한 수준을 유지하면서도 단점인 네트워크 수명은 MST 기반 라우팅 방법의 수명 정도를 보장해 준다는 사실이다.

5. 결 론

이동하는 베이스 노드를 가진 센서 네트워크 환경에서 최소 Wiener 수 신장트리기반의 다중 흡 라우팅 방법은 최소 신장 트리에 기반한 라우팅 방법에 대해 작은 평균 흡 수와 전체적인 에너지 효율성을 갖기 때문에 실시간 침입탐지를 위한 라우팅 토플로지로써 적합한 특성을 가지고 있다. 하지만 특정 노드들에 대한 전송 의존도가 높아 네트워크 수명이 짧은 단점을 가지고 있다. 본 논문은 이러한 단점을 보완하고자 지역 시간 최소화와 더불어 네트워크 수명 연장을 목적으로 하는 다목적 개미 군집 최적화 알고리즘을 설계하였다. 많은 수의 센서를 가진 네트워크에도 사용이 가능하며 평균 흡 수나 네트워크 효율성은 MWST기반 라우팅 방법과 비슷한 결과를 보인 반면 네트워크 수명에 있어서는 MST에 기반한 방법과 비슷한 결과를 보였다. 이와 같은 결과는 본 논문이 제시한 라우팅 방법이 이동하는 베이스 노드를 가진 센서 네트워크 환경에서 장시간에 걸쳐 실시간 침입탐지를 보장하는 라우팅 방법으로 적합한 방법임을 보여준 것이다.

앞으로 물리 계층과 MAC 계층을 포함한 보다 현실적인 상황에서의 지연시간 등을 알아보는 실험으로 확대할 계획이다.

참 고 문 헌

- [1] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Computer Networks*, Vol.38, pp.393–422, 2002.
- [2] I. F. Akyildiz and I. H. Kasimoglu, "Wireless sensor and actor networks: research challenges," *AdHoc Networks*, Vol.2, pp.351–367, 2004.
- [3] I. F. Akyildiz, T. Melodia, and K. R. Chowdhury, "A survey on wireless multimedia sensor networks," *Computer Networks*, Vol.51, pp.921–960, 2007.
- [4] D. Ganesan, A. Cerpa, W. Ye, Y. Yu, J. Zhao, and D. Estrin, "Networking Issues in Wireless Sensor Networks," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, Vol.64, pp.799–814, July, 2004.
- [5] B. Bhuyan, H. K. D. Sarma, N. Sarma, A. Kar, and R. Mall, "Quality of Service (QoS) Provisions in Wireless Sensor Networks and Related Challenges," *Wireless Sensor Networks*, Vol.2, No.11, pp.861–868, 2010.
- [6] R. S. Dubey, R. Choubey, and A. Dubey, "Challenges for Quality of Service (QoS) in Wireless Sensor Networks," *International Journal of Engineering Science and Technology*, Vol.2, No.12, pp.7395–7400, 2010.
- [7] L. Zhang, J. Yu, and Xiaoheng Deng, "Modelling the guaranteed QoS for wireless sensor networks: a network calculus approach," *EURASIP Journal on Wireless Communication and Networking*, Vol.82, pp.1– 14, 2011.
- [8] S. Upadhyayula, S. K. S. Gupta, "Spanning tree based algorithms for low latency and energy efficient data aggregation enhanced convergecast(DAC) in wireless sensor networks," *Ad Hoc Networks*, Vol.5, pp.626–648, 2007.
- [9] S. W. Han, I. S. Jeong, and S. H. Kang, "Low latency and energy efficient routing tree for wireless sensor networks with multiple mobile sinks," *Journal of Network and Computer Applications*, Vol.36, pp.156–166, 2013.
- [10] S. H. Kang, K. Y. Kim, W. Y. Lee, M. A. Jung, and S. R. Lee, "A Branch and Bound Algorithm to Find a Routing Tree Having Minimum Wiener Index in Sensor Networks with High Mobile Base Node," *KICS Journal*, Vol.35, No.5, pp.466–463, 2010.
- [11] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks," in *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, pp.1–10, 2000.
- [12] S. H. Kang, M. S. Choi, M. A. Jung, and S. R. Lee, "A Pareto Ant Colony Optimization Algorithm for Application-Specific Routing in Wireless Sensor & Actor Networks," *KICS Journal*, Vol.36, No.4, pp.346–353, 2011.
- [13] S. Hussain and O. Islam, "An Energy Efficient Spanning Tree Based Multi-hop Routing in Wireless Sensor Networks," in *Proceedings of Wireless Communications and Networking Conference*, pp.4383–4388, 2007.
- [14] M. Tchuente, P. M. Yonta, J. M. Nlong II, and Y. Denneulin, "On the Minimum Average Distance Spanning Tree of the Hypercube," *Acta Applicandae Mathematicae*, Vol.102, pp.219–236, 2008.
- [15] S. K. Chaharsooghi, A. H. M. Kermani, "An effective ant colony optimization algorithm (ACO) for multi-objective resource allocation problem (MORAP)," *Applied Mathematics and Computation*, Vol.200, No.1, pp.167–177, 2008.
- [16] M. Dorigo and L. M. Gambardella, "Ant colony system: a cooperative learning approach to the traveling salesman problem," *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, Vol.1, pp.53–66, 1997.
- [17] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Colorni, "The ant system: optimization by a colony of cooperating agents," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics – Part B*, Vol.26, pp.29–41, 1996.
- [18] S. Okdem and D. Karaboga, "Routing in Wireless Sensor Networks Using an Ant Colony Optimization Router Chip," *Sensors*, Vol.9, pp.909–921, Feb., 2009.
- [19] R. C. Prim, "Shortest connection networks and some generalization," *Bell System Technical Journal*, Vol.36, pp.1389–1401, 1957.
- [20] J. C. Kuo and W. Liao, "Hop Count Distribution of Multihop Paths in Wireless Networks With Arbitrary Node Density: Modeling and Its Applications," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.56, pp.2321–2331, 2007.



강승호

e-mail : kinston@gmail.com

1994년 전남대학교 전산학과(이학사)

2003년 전남대학교 전산학과(이학석사)

2009년 전남대학교 전산학과(이학박사)

2009년~2010년 목포대학교 정보산업

연구소 전문연구원

2010년~현재 국가수리과학연구소 수리생물학연구팀 연구원

관심분야: 정보보안, 센서 네트워크, 패턴인식