

위치 정보를 이용한 개미 집단 시스템 기반의 무선 센서 네트워크 라우팅 알고리즘 구현

Implementation of ACS-based Wireless Sensor Network Routing Algorithm using
Location Information

전혜경*, 한승진**, 정경용***, 임기욱****, 이정현*
인하대학교 컴퓨터정보공학과*, 경인여자대학교 정보미디어학부**, 상지대학교 컴퓨터정보공학부***,
선문대학교 컴퓨터정보공학부****

Hye-Kyoung Jeon(jhk7010@nate.com)*, Seung-Jin Han(softman@kic.ac.kr)**,
Kyung-Yong Chung(cyjung@sangji.ac.kr)***, Kee-Wook Rim(rim@sunmoon.ac.kr)****,
Jung-Hyun Lee(jhlee@inha.ac.kr)*****

요약

무선 센서 네트워크의 라우팅 기술은 제한된 에너지를 갖고 있는 센서 노드들의 에너지 수명을 최대한으로 연장할 수 있는 방법으로 많이 연구되고 있다. 기본 라우팅 방법 중 위치 정보를 이용한 라우팅 방법은 라우팅 설정을 위한 계산시에 필요한 정보의 양이 평면, 계층적 라우팅 방법보다 적기 때문에 효율적이다. 하지만 주로 거리를 활용하기 때문에 센서 노드의 에너지 활용도가 떨어질 수도 있다. 본 논문에서는 최적의 경로 탐색에 많이 이용되고 있는 개미 집단 시스템(ACS : Ant Colony System)의 전이 확률에 센서의 에너지양과 싱크와의 거리를 이용한 가중치를 부여하여 무선 센서 네트워크의 에너지 사용량을 고르게 사용할 수 있게 하였다. 제안된 방법은 대표적인 GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing)과 비교하여 에너지 사용도에 있어 평균적으로 46.80%의 향상을 보였으며, 기존의 ACS보다 동일한 시간의 수행 종료 후 잔여 에너지가 평균 6.7% 더 남아 있음을 확인하였다.

■ 중심어 : | 센서네트워크 | 라우팅 | ACS | GPSR | 전이확률 |

Abstract

One of the objectives of research on routing methods in wireless sensor networks is maximizing the energy life of sensor nodes that have limited energy. In this study, we tried to even energy use in a wireless sensor network by giving a weight to the transition probability of ACS(Ant Colony System), which is commonly used to find the optimal path, based on the amount of energy in a sensor and the distance of the sensor from the sink. The proposed method showed improvement by 46.80% on the average in energy utility in comparison with representative routing method GPSR (Greedy Perimeter Stateless Routing), and its residual energy after operation for a specific length of time was 6.7% more on the average than that in ACS

■ keyword : | Sensor Network | Routing | ACS | Transition Probability |

* "본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음"

(NIPA-2011-C1090-1131-0004)

접수번호 : #110329-002

접수일자 : 2011년 03월 29일

심사완료일 : 2011년 04월 07일

교신저자 : 전혜경, e-mail : jhk7010@nate.com

I. 서론

최근 반도체, 나노 기술, 미세 센서 장치, 무선 기술의 발달로 주변 환경을 감시하고, 데이터를 수집하는 용도로 무선 센서 네트워크가 많이 이용되고 있다. 무선 센서 네트워크의 응용은 주로 인간이 직접적으로 장기간 관찰이 어려운 지역에 대한 감시, 예를 들면 전쟁지역이나 야생 동물들의 서식 지역, 자연 재해 감시등이 주된 응용 환경이 된다[1-3]. 이러한 환경에 센서 노드들은 적게는 수십개에서 많게는 수만개가 분포된다. 센서 노드의 특성 중 제한된 전력 공급으로 인하여 가능한 오랜 기간 동안 센서 노드를 생존하게 하려는 연구가 많이 진행되어 왔다[1][4-7].

임의로 뿌려진 센서 노드들은 서로 통신을 하며, 무선 센서 네트워크를 구축하여 수집된 데이터를 싱크노드(또는 기지국)로 전달하기 위해 라우팅경로를 설정하게 된다. 제한된 전원을 갖는 센서 네트워크에서 전원의 수명을 가능한 한 오래 유지하기 위한 많은 방법 중 라우팅 경로를 효율적이고 오래 유지 하기 위한 여러 방법들이 연구되어 왔다[8-10].

본 논문에서는 여러 라우팅 방법 중 소스 노드와 이웃하고 있는 이웃 노드와 싱크와의 거리가 가장 가까운 노드를 선택하는 위치 기반 라우팅을 변형하는 방법[5]과 최적의 해를 찾는 휴리스틱 기법 중에 하나인 개미 집단 시스템(Ant Colony System)[15]을 이용한 무선 센서 네트워크 라우팅 알고리즘을 제안한다. 개미 집단 시스템은 선행 개미가 선택한 경로에 페르몬의 양을 증가 시켜 다음 후행 개미가 최적의 경로를 선택하도록 하는 알고리즘이다[15]. 개미 알고리즘은 지역 정보 즉 페르몬의 양만을 알고 있으면 이용할 수 있으므로 추가적인 정보를 필요로 하지 않기 때문에 제한된 메모리를 갖고 있는 센서 네트워크에서는 효율적인 알고리즘이다. 개미 집단 시스템이 지역 정보만을 사용한다는 점은 위치기반 라우팅에서도 주변 노드의 위치만을 알면 라우팅이 가능하다는 점과 유사성을 지닌다.

본 논문에서는 위치 기반 라우팅에서 필요한 주변노드의 위치 정보와 개미 집단 시스템에서 사용하는 전이 확률을 이용하여 주변노드 중 라우팅에 참여할 다음 노

드를 선택하여 최적의 경로를 구하는 라우팅 방법을 제안한다. 제안 방법을 통해 기존의 전이확률에서 사용되던 거리 파라미터를 센서 노드의 에너지양으로 적용하고 싱크와 주변 노드의 거리를 이용해 가중치를 두어 센서 노드의 잔여 에너지양을 효율적으로 관리하여 전체 네트워크 수명의 연장을 보인다.

II. 관련연구

1. 위치 기반 라우팅

무선 센서 네트워크의 라우팅 및 데이터 전송 프로토콜은 네트워크 구조에 따라 크게 평면(Flat) 기반의 라우팅, 계층 구조(Hierarchical) 기반의 라우팅, 위치(Location) 기반의 라우팅으로 분류할 수 있다.

위치 기반 라우팅에서는 네트워크의 전 지역보다는 원하는 지역으로 데이터를 전송하기 위해 센서 노드의 위치 정보를 이용한다. 따라서 각 노드는 상대적인 위치를 이용해 지정이 가능하다. 이웃 노드간의 거리는 수신 신호의 강도를 사용하여 측정하며, 이들의 상대적 좌표들은 이웃 노드들 상호간 거리 정보를 교환하여 얻는다. 또한 센서 노드의 위치는 GPS를 이용하여 위성을 통해 직접 얻을 수도 있다. 위치 기반의 라우팅 방식은 센서 노드가 데이터를 송수신하는 활성 상태에 있지 않으면 수면 상태로 놓이게 함으로써 에너지 절약을 추구한다[11][12].

위치 기반 라우팅 중 제안된 여러 가지 방법 중 논문에서는 GPSR(Greedy Perimeter Stateless Routing)[5]와 제안된 방법을 비교 분석한다. GPSR은 목적지 노드의 라우팅을 위하여 패킷을 수신한 이웃 노드의 위치와 패킷의 목적지 정보를 사용하여 점진적으로 패킷의 포워딩을 결정하는 Greedy 포워딩 방법을 사용하는 알고리즘이다[5].

2. 개미 집단 시스템(Ant Colony System)

개미 집단 시스템 알고리즘은 기존의 개미 알고리즘이 지역 최적화에 빠지는 문제점을 전이 확률이라는 확률 분포를 사용해서 개선된 것이다[13]. 개미 집단 시스템은 먼저 개미들이 초기 규칙에 따라 무작위로 노드를 선택하고 각 개미들은 상태 전이 규칙(State Transition

Rule)에 따라 다음에 방문할 노드를 선택하게 된다. 이러한 과정을 거치는 동안 개미들은 지역 갱신 규칙(Local Updating Rule)에 따라 방문한 각 노드의 페르몬의 양을 변경하게 된다. 이런 작업을 반복한 후 모든 개미들이 탐색과정을 마치게 되면 전역 갱신 규칙(Global Updating Rule)에 따라 다시 페르몬양을 변경하게 된다. 각 개미들은 최적의 노드를 선택하기 위해 페르몬의 양과 전이확률들의 휴리스틱 정보를 이용하여 따라 탐색 경로를 완성하게 된다.

개미 시스템은 예측 불가능한 환경의 변화에 잘 적응한다. 따라서 센서 네트워크처럼 네트워크 토폴로지가 자주 변경되는 무선 센서 네트워크환경에 적용 가능하다.

III. 제안 알고리즘

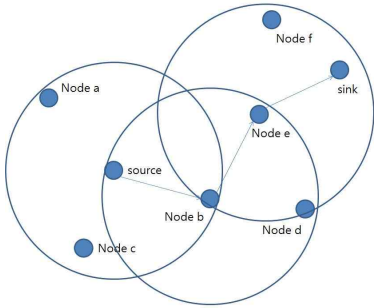


그림 1. 제안 방법이 적용되는 센서네트워크모습

이 장에서는 개미 알고리즘을 기본으로 한 센서 네트워크에서의 에너지 효율적인 라우팅 경로 설정에 대한 방법을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 다음 노드를 선택할 때 이웃 노드에 패킷을 전송할 때의 에너지 비용(Energy Cost)을 구하고, 이 에너지 비용을 개미 집단 최적화 알고리즘의 전이확률에 이용한다[13]. 아래 식 (1)은 에너지 비용을 계산하기 위한 수식이다.

$$ECost_{ij} = \frac{E_{TX}^{ij}}{E_i} + \frac{E_{RX}^{ij}}{E_j} \quad (1)$$

E_i 는 i노드에서의 에너지양, E_j 는 이웃 노드 j에서의

에너지양이고 E_{TX}^{ij} 는 i노드에서 이웃노드 j로 패킷을 전달할 때의 송신 에너지양이고, E_{RX}^{ij} 는 이웃 노드 j가 수신할 때의 소요되는 에너지양이다. 송수신 할때의 세부 에너지 계산은 식 (2), 식(3)을 참조한다[14].

$$E_{TX}^{ij}(l, d) = E_{TX-elec}^i(l) + E_{TX-amp}^i(l, d) = \begin{cases} lE_{elec}^i + l\epsilon_{fs}d^2, & d < d_0 \\ lE_{elec}^i + l\epsilon_{mp}d^2, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (2)$$

$$E_{RX}^{ij}(l) = E_{RX-elec}^j(l) = lE_{elec}^j \quad (3)$$

d는 전송거리, l은 전송하려는 비트 수, 그리고 노드의 전기적 에너지($E_{TX-elec}^i$, $E_{RX-elec}^j$)은 디지털 코딩, 변조, 필터링, 신호의 스프레딩에 의존한다. fs는 free space 채널 모델(거리 2 제곱의 에너지 손실), mp는 multipath 채널 모델(거리의 4 제곱의 에너지 손실)을 나타낸다. 의 값은 아래와 같이 계산된다.

$$d_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_{fs}}{\epsilon_{mp}}} \quad (4)$$

식(4)를 이용하여 계산한 거리의 한계값은 약 87m이고, 이 값을 이용하여 에너지 소모량 계산을 위한 free space 채널 모델을 사용할 것인지, multipath 채널 모델을 사용할 것인지를 결정한다

표 1. 라우팅 테이블 정보의 일부분

노드	좌표	거리	순위	가중치
source	(80, 120)	0		
a	(5, 30)	117	2	0.162
b	(20, 25)	112	1	0.311
c	(10, 10)	130	3	0.120

본 논문에서는 전이확률 계산시 노드 위치에 따른 가중치를 추가한다. 가중치를 추가하는 이유는 현재 노드의 이웃노드들과 싱크와의 거리를 계산하여 거리에 대한 파라미터를 넣어 최적의 해를 찾기 위함이다. 예

를 들어 현재 이웃 노드 a, b, c와 싱크 s를 이용한 거리는 [표 1]에서 볼 수 있다.

두 점을 이용한 거리는 $\sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$ 을 이용해서 구한다. 거리값이 가장 적은 것이 싱크와 가장 가까운 것으로 판단되므로 거리가 가장 가까운 노드의 전이확률 계산시 가중치값을 더 고려한다. 가중치값은 다음과 같이 구한다.

$$\omega_i = \frac{NSD_i}{\sum_{j=1}^{nn} NSD_j \times Rank_i} \quad (5)$$

$\sum_{j=1}^{nn} NSD_j$ 는 이웃 노드와 싱크와의 거리의 합, NSD_i 는 해당 이웃노드와 싱크와의 거리이다. nn은 주변 노드의 개수이다. $\frac{1}{Rank_i}$ 는 해당 이웃노드의 싱크와의 거리를 고려한 순위로 거리가 짧을 수록 순위가 높다.

기존의 개미 집단 시스템에서는 아래와 같이 전이 확률을 구한다.

$$p_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [1/d_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in J_i^k} [\tau_{il}(t)]^\alpha [1/d_{il}]^\beta} \quad (6)$$

d_{ij} 는 도시 i와 도시 j간의 거리, $\tau_{ij}(t)$ 는 두 도시간의 페르몬양을 의미한다. α 는 페르몬의 영향을 규정하는 매개변수, β 는 i와 j 사이의 가시도(Visibility, $1/d_{ij}$)의 영향을 규정하는 매개변수이다. J_i^k 는 선행 개미 k가 방문한 주변 도시들의 집합이다. 본 논문에서는 [17][18]에서 최적값으로 제시한 $\alpha = 1, \beta = 1$ 로 설정하고 기존의 개미 집단 시스템에서 사용되는 전이확률을 아래와 같이 수정한다.

$$p_k(i, j) = \frac{[\tau_{ij}]^\alpha [ECost_{ij}]^\beta \omega_j}{\sum_{l \in NN_i} [\tau_{il}]^\alpha [ECost_{il}]^\beta \omega_l} \quad (7)$$

제안방법에서는 기존의 $1/d_{ij}$ 는 에너지 비용인 $ECost_{ij}$ 로 가중치 ω_i 를 추가하여 전이 확률을 변경하여 향상된 알고리즘을 제공한다. 이 전이 확률에 따라 각 센서들은 패킷들을 싱크 노드까지 라우팅한다. 라우팅을 모두 마친 후 싱크 노드에 패킷이 도착하면 라우팅에 관련된 모든 링크의 페르몬은 전역 갱신을 통해 페르몬의 값을 수정하게 된다. 전역 갱신을 하지 않으면 초반에 최적 경로로 설정된 경로 노드로만 데이터가 전달하게 되어 해당 경로에 위치하는 노드들의 에너지 고갈이 빠르게 발생하여 네트워크 중 일부가 사용 불가능의 상태로 빠지는 에너지 홀(Energy Hole)이 발생하게 된다[15].

개미 집단 시스템에서는 지역 갱신과 전역 갱신을 모두 수행한다. 본 논문에서도 지역갱신과 전역갱신을 수행하여 에너지 홀에 빠지지 않도록 한다. 지역 갱신의 경우 아래와 같이 값을 변경시킨다. 지역 갱신의 경우 다음 노드를 선택하여 패킷이 전송된 경우 현재 노드의 테이블을 아래의 식(8)로 변경한다. $\Delta\tau^k$ 는 현재경로까지의 에너지 비용의 합으로 설정한다.

$$\tau'_{ij} = \tau_{ij} + \Delta\tau^k \quad (8)$$

전역 갱신의 시기는 해당 경로의 전체 에너지 비용의 합을 기준으로 세운 임계치에 도달하는 경우에 해당 경로의 페르몬 값을 변경 시켜서 다른 노드를 선택할 기회를 만들도록 한다. 임계치는 경로상에 있는 노드들의 평균 페르몬 양을 구한 후 초기값 1을 뺀다. 이 값을 데이터 전송에 소비되는 에너지 양에 라우팅 경로 길이를 곱한 값과 비교한 후 더 크면 전역 갱신을 수행한다. 전역 갱신을 위한 페르몬 갱신식은 아래와 같다.

$$\tau''_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij} + \Delta\tau^k \quad (9)$$

ρ ($0 \leq \rho \leq 1$)는 페르몬의 양을 조절하기 위한 증발 계수이며 [17][18]에서 제시한 0.5를 증발계수 값으로 설정한다. $\Delta\tau^k$ 는 패킷이 싱크 노드까지 패킷을 전달하는 라우팅 경로의 비용이다. $\Delta\tau^k$ 는 패킷이 전달

된 경로만의 비용 계산을 하며 $\frac{1}{\sum_{(i,j) \in RP_k} ECost_{ij}}$ 를 이용한다. 이때 RP_k 는 패킷이 전달되는 경로이다.

IV. 실험결과

본 논문에서는 제안된 알고리즘의 성능을 비교하기 위해서 다음과 같이 실험한다. 우선 위치기반 프로토콜 중 대표적인 GPSR과 제안방법을 비교하고, 개미 집단 알고리즘과 제안 방법을 비교한다. GPSR과 제안 방법은 네트워크를 구성하는 센서 중 잔여 에너지의 양이 0 이하가 되면 네트워크의 수명이 종료되는 것으로 실험한다. 개미집단시스템과 제안 방법은 동일한 시간동안 패킷 전송을 수행한 후 남아 있는 잔여 에너지의 양을 측정 비교한다. 실험을 위한 하드웨어 사양은 CPU는 Intel Core2 Duo 1.8GHz, RAM은 2GB, 시각적인 구현을 위하여 비주얼 베이직 6.0을 사용한다. [표 2]는 실험 환경으로 설정된 파라미터항목과 해당값을 나타낸다.

네트워크 전체 크기는 100m X 100m으로 설정하고 싱크 노드는 (1,1)로 좌표값을 설정한다. 전체 센서의 갯수는 100개로 설정하고 임의 배치한다. 반경은 20m로 설정한다. 각 노드는 싱크의 값을 알고 있고, 노드의 위치는 GPS로 알 수 있다고 가정한다. 또한 싱크 노드의 에너지양은 무한대로 설정한다. 실험은 제안방법과 ACS의 경우 일정한 시간 동안 수행후의 잔여 에너지양을 비교하였고, GPSR의 경우 잔여 에너지의 양이 0 보다 작은 경우가 발생하면 수행 후 멈춘후 잔여 에너지양을 비교해 보았다.

[그림 2-4]는 각각 ACS([그림 2]에서 ANT), GPSR, 제안된 방법을 수행한 후의 그래프의 최종결과 모습이 다. ACS의 경우에 최적의 노드를 찾기 때문에 네트워크 전체에 걸쳐 라우팅을 한 결과 넓게 분포되어 있는 것을 볼 수 있다. 하지만 싱크를 향해서 라우팅하는 것이 아니기 때문에 라우팅이 싱크 방향과 상관없이 라우팅되는 모습을 볼 수 있다. 제안된 방법은 전체적으로 라우팅을 고르게 하고 있고 싱크를 향해서 라우팅하는 모습을 살펴 볼 수 있다. GPSR의 경우는 라우팅 방향

이 무조건 싱크를 향하고 있지만 거리만을 가지고 최적의 경로를 찾기 때문에 해당 경로만으로 패킷을 전송할 경우 에너지 소비가 빨리 일어나므로 고른 라우팅을 하지 못하는 모습을 볼 수 있다.

표 2. 실험에 적용된 매개변수

매개변수	값
네트워크 크기	(0m,0m) ~ (100m,100m)
싱크 위치	(1, 1)
노드수	100
전송범위	20m
패킷사이즈	8 bytes
초기에너지양	10mJ/battery
송신에너지양	0.021mJ/bit
수신에너지양	0.014mJ/bit

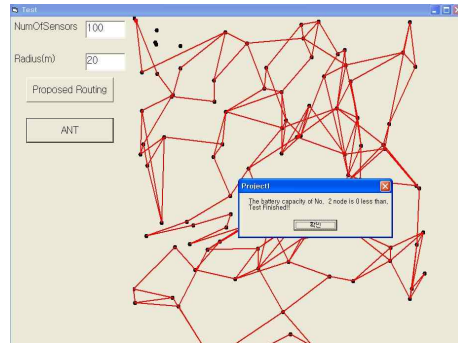


그림 1. 기존 ACS 적용 그래프

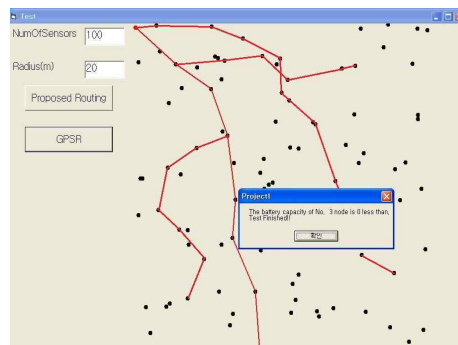


그림 2.기존의 GPSR 적용 그래프

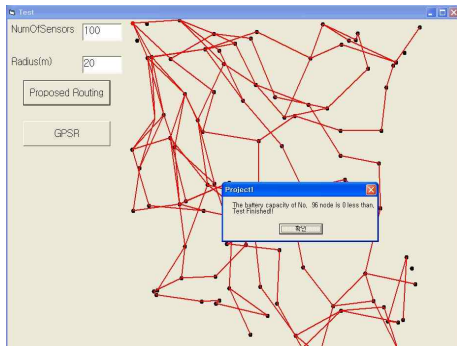


그림 3. 제안된 알고리즘 적용 그래프

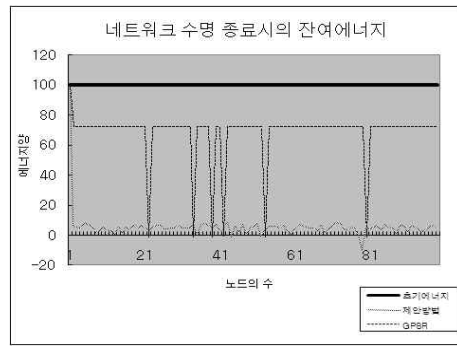


그림 5. 제안된 방법과 GPSR의 잔여 에너지 비교

[그림 4]와[그림 5]는 제안된 방법과 기존의 방법들의 수행한 후의 잔여 에너지량을 비교한 그래프이다. 그림 4는 제안 방법의 경우 평균 2mJ 정도의 에너지 양이 고르게 남아 있는 것을 볼수 있지만, ACS의 경우 평균 0.1mJ 정도의 잔여 에너지가 남아 있는 것을 확인 할 수 있다.

[그림 5]의 경우 제안방법은 비교적 고르게 노드의 에너지가 0에 가깝게(최대한 사용) 이용된 것을 확인 할 수 있지만, GPSR의 경우 23, 35, 40, 43, 54, 81에서 에너지의 사용이 급격이 줄어 든것을 볼 수 있다. 이것은 전체 네트워크의 에너지양이 충분이 남아 있으면서도 에너지의 가동을 멈추게 하는 에너지 홀 현상유발하게 한다.

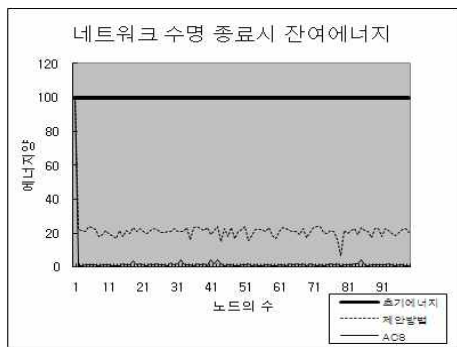


그림 4. 제안된 방법과 ACS의 잔여 에너지 비교

V. 결론

본 논문은 위치 정보와 개미 집단 시스템의 페르몬양, 진이확률 등의 휴리스틱한 정보를 통해 최적의 경로를 찾는 방법을 제안하였다. 제안 방법은 위치인식 기반 라우팅의 빠른 에너지 고갈 문제를 해결하고 싱크를 향한 방향성을 고려하여 최적의 경로를 네트워크 전반에 걸쳐 고르게 검색하였다. 실험 결과 제안 방법은 기존의 방법에 비해 에너지 사용도에 있어서 46.80%, 동일 시간 경로 탐색 및 데이터 전송 후 잔여 에너지의 양이 기존의 방법에 비해 6.7% 향상됨을 보였다.

향후 연구 과제로는 고정된 싱크 노드를 이동 싱크 노드로 바꾼 상태에서 에너지 효율성에 대해 알아 보도록 하고, 제안된 방법에 암호화 기법을 적용하여 외부 공격에 좀더 강건한 네트워크 구축하는 연구를 할 예정이다.

참고 문헌

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

[2] G. Anastasi, M. Conti, M. Francesco, and A. Passarella, "Energy conservation in wireless

- sensor networks: A survey," *Ad Hoc Networks*, Vol.7, No.3, pp.537-568, 2009.
- [3] R. Szewczyk, E. Osterwil, J. Polastre, and M. Hamilton, "A Mainwaring Habitat Monitoring With Sensor Networks," *Communications of the ACM* Vol.47, No.6, pp.34-40, 2004.
- [4] B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan, and R. Morris, "Span: an energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks," *Proceedings of the ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking*, 2001(7).
- [5] B. Karp and H. T. Kung, "Greedy perimeter stateless forwarding for wireless networks," *Proceedings of the 6th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking(MobiCom '00)*, pp.243-254, Boston, MA., 2000(8).
- [6] http://www.inf.ethz.ch/~kasten/research/bathhub/energy_consumption.html, 2001.
- [7] M. Stemm and R. H. Katz, "Measuring and reducing energy consumption of network interfaces in hand-held devices," *IEICE Transactions on Communications*, E80-B, No.8, pp.1125-1131, 1997(8).
- [8] K. Sohrali, "Protocols for self-organization of a wireless sensor network," *IEEE Personal Communications* Vol.7, No.5, pp.16-27, 2000.
- [9] M. Younis, M. Youssef, and K. Arisha, "Energy-aware routing in cluster-based sensor networks," in: *Proceedings of the 10th IEEE/ACM International Symposium on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunication Systems (MASCOTS2002)*, Fort Worth, TX, 2002(10).
- [10] C. Schurgers and M. B. Srivastava, "Energy efficient routing in wireless sensor networks," in: *The MILCOM Proceedings on Communications for Network-Centric Operations: Creating the Information Force*, McLean, VA, 2001.
- [11] Y. Xu, J. Heidemann and D. Estrin, "Geography-informed energy conservation for ad-hoc routing," *Proceedings of 7th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking(MobiCom '01)*, pp.70-84, Rome, Italy, 2001(7).
- [12] Xin Liu, Q. Huang, and Ying Zhang, "Comb, needles, haystacks:balancing push and pull for discovery in large-scale sensor network," *Sensys '04*, 2004.
- [13] 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.
- [14] T. Rappaport, *Wireless Communications: Principle & Practice*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1996.
- [15] S. Funke, "Topological Hole Detection in Wireless Sensor Networks and its Applications," *Workshop on Discrete Algorithms and Methods for MOBILE Computing and Communications*, pp.44-53, 2005.
- [16] M. Dorigo and C. Blum, "Ant colony optimization theory:A survey"
- [17] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Colomi, "Positive FeedBack as a search strategy," Report No. 91-106, Laboratorio di Calcolatori, Dipartimento di Elettronica, Milano, Italy, 1991.
- [18] B. Bullnheimer, R. F. Hartel, and C. Straub, "A New Rank Based Version of the Ant System - A Computational Study," Working Paper No.1, Department of Management of Science, University of Vienna, 1997(4).

저 자 소 개

전 혜 경(Hye-Kyoung Jeon) 정회원



- 1995년 2월 : 인하대학교 일문과 (문학사)
- 1999년 8월 : 인하대학교 정보공학과(공학석사)
- 2002년 9월 ~ 현재 : 인하대학교 컴퓨터정보학과 박사 수료

<관심분야> : 상황인식, 센서네트워크, 유비쿼터스

한 승 진(Seung-Jin Han) 정회원



- 1990년 2월 : 인하대학교 전자계산학과(이학사)
- 1992년 2월 : 인하대학교 전자계산공학과(공학석사)
- 1992년 ~ 1996년 : 대우통신 교환연구단

- 1996년 ~ 1998년 : SK Telecom 디지털 사업본부
- 2002년 2월 : 인하대학교 전자계산공학과(공학박사)
- 2002년 ~ 2004년 : 인하대학교 컴퓨터공학부 강의조 교수
- 2004년 ~ 현재 : 경인여자대학 정보미디어학부 부교수

<관심분야> : MANET 및 센서 네트워크 프로토콜, 네트워크 보안, 무선 인터넷 응용기술

정 경 용(Kyung-Yong Chung) 정회원



- 2000년 2월 : 인하대학교 전자계산공학과(공학사)
- 2002년 2월 : 인하대학교 컴퓨터정보공학과(공학석사)
- 2005년 8월 : 인하대학교 컴퓨터정보공학과(공학박사)

- 2005년 9월 ~ 2006년 2월 : 한세대학교 IT학부 교수
- 2006년 3월 ~ 현재 : 상지대학교 컴퓨터정보공학부 교수

<관심분야> : 지능시스템, 데이터마이닝, 상황인식,

웨어러블 컴퓨팅, HCI, 바이오센서, IT융합

임 기 욱(Kee-Wook Rim) 정회원



- 1977년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학사)
- 1987년 2월 : 한양대학교 전자계산학(공학석사)
- 1994년 8월 : 인하대학교 전자계산학(공학박사)

- 1977년 ~ 1983년 : 한국전자기술연구소 선임연구원
 - 1983년 ~ 1988년 : 한국전자통신연구소 연구실장
 - 1989년 ~ 1996년 : 한국전자통신연구원 시스템연구부장
 - 2001년 ~ 2003년 : 한국전자통신연구원 컴퓨터소프트웨어 연구소장
 - 2000년 ~ 현재 : 선문대학교 컴퓨터정보학부 교수
- <관심분야> : 실시간데이터베이스시스템, 운영체제, 시스템구조

이 정 현(Jung-Hyun Lee) 정회원



- 1977년 2월 : 인하대학교 전자과(공학사)
- 1980년 9월 : 인하대학교 전자공학과(공학석사)
- 1988년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학박사)

- 1979년 ~ 1981년 : 한국전자기술연구소 연구원
 - 1984년 ~ 1989년 : 경기대학교 전자계산학과 교수
 - 1989년 1월 ~ 현재 : 인하대학교 컴퓨터공학부 교수
- <관심분야> : 자연어처리, HCI, 음성인식, 정보검색, 고성능 컴퓨터구조