한국시뮬레이션학회 논문지
Vol. 16, No. 3, pp. 49-56 (2007. 9)

센서 네트워크에서 데이터 전송 보장을 위한 유전자 알고리즘 기반의 라우팅 방법

김진명[1] · 조대호[1†]

Genetic Algorithm Based Routing Method for Efficient Data Transmission for Reliable Data Transmission in Sensor Networks

Jin Myoung Kim · Tae Ho Cho

ABSTRACT

There are many application areas of wireless sensor networks, such as combat field surveillance, terrorist tracking and highway traffic monitoring. These applications collect sensed data from sensor nodes to monitor events in the territory of interest. One of the important issues in these applications is the existence of the radio-jamming zone between source nodes and the base station. Depending on the routing protocol the transmission of the sensed data may not be delivered to the base station. To solve this problem we propose a genetic algorithm based routing method for reliable transmission while considering the balanced energy depletion of the sensor nodes. The genetic algorithm finds an efficient routing path by considering the radio-jamming zone, energy consumption needed for data transmission and average remaining energy level. The fitness function employed in genetic algorithm is implemented by applying the fuzzy logic. In simulation, our proposed method is compared with LEACH and Hierarchical PEGASIS. The simulation results show that the proposed method is efficient in both the energy consumption and success ratio of delivery.

Key words : Genetic algorithm, Path finding, Sensor network

요 약

무선 센서 네트워크는 전쟁장 탐색, 침입자 추적 그리고 고속 도로 감시 등과 같은 많은 응용분야가 있다. 이러한 응용분야는 사용자의 관심 대상이 되는 지역에서 발생 하는 사건 모니터링 하기 위하여 센서 노드로부터 감지된 데이터를 수집한다. 이러한 응용분야에서 가장 중요한 목적은 데이터의 원활한 수집이다. 라우팅 프로토콜에 의존하는 데이터 전달 베이스 스테이션에게 전달되지 않을 수도 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 우리는 센서 노드의 균등한 에너지 소비를 고려하여 데이터 전달 보장을 위한 유전자 알고리즘 기반의 라우팅 방법을 제안 한다. 제안하는 유전자 알고리즘은 전파 방해 지역, 데이터 전송에 필요한 에너지양 그리고 센서 노드의 평균 잔여 에너지를 고려한 효율적인 라우팅 경로를 탐색한다. 또한 유전자 알고리즘에서 사용하는 적합도는 함수는 퍼지 규칙이 적용되어 정의된다. 우리는 시뮬레이션을 통하여 제안된 방법을 기존의 LEACH와 계층적 PEGASIS에 대하여 비교 한다. 시뮬레이션 결과는 제안된 방법이 에너지의 효율적인 사용과 데이터 전송 성공률에 대한 효율성을 보여 준다.

주요어 : 유전자 알고리즘, 경로 탐색, 센서 네트워크

1. 서 론

센서 네트워크에서 센서는 배포된 환경에서 주위 상황을 인지하고 감지한 자료를 수집하여 판단한 후 신호 형태로 목적지에 전송한다. 많은 수의 센서 노드가 사용자의 조작을 필요로 하지 않는 응용과 네트워크 형태를 이

* 본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성, 지원사업의 연구결과로 수행되었음.
2007년 7월 27일 접수, 2007년 9월 5일 채택
[1] 성균관대학교 정보통신 공학부
주 저 자 : 김진명
교신저자 : 조대호
E-mail; taecho@ece.skku.ac.kr

루는 것이 무선 센서 네트워크(Wireless Sensor Network)이다[1].

센서 네트워크는 건물 보안, 기계의 고장 진단, 의료 모니터링, 서식지 그리고 군사적 응용을 포함한 다양한 분야에서의 신뢰 할 수 있는 모니터링 기능을 제공한다[2]. 무선 센서 노드들이 배치된 네트워크에서는 사용자의 목적을 방해 하려고 하는 많은 사건이 발생 한다. 예를 들어 공격자는 공격 노드들을 네트워크에 배치하여 센서 노드들의 통신을 방해하기 위하여 전파 방해 지역(Radio-jamming zone)을 생성한다[3].

무선 센서 네트워크의 응용분야는 관심 지역의 사건을 모니터링 하기 위하여 센서 노드들이 감지한 데이터를 수집 한다. 따라서 감지한 데이터를 목적지까지 전달하는 것은 센서 네트워크에서 매우 중요한 요소 이다. 또한 일반적으로 센서 노드들은 일회용으로 사용되며 에너지 소모에 의해서 노드의 수명이 종료되는 것을 예측 할 수 있다. 따라서 센서 노드의 동작 시간을 극대화하기 위한 에너지 소비 관리가 필요하다[4].

본 논문에서 우리는 전파 방해 지역, 데이터 전송에 필요한 에너지양 그리고 센서 노드의 잔여 에너지를 고려하여 데이터 전송 보장을 위한 유전자 알고리즘(Genetic algorithm) 기반의 라우팅 방법을 제안한다. 센서 네트워크에서 유전자 알고리즘은 경로 탐색이나 노드 배치 문제의 해결에 사용된다[5,6]. 또한 하드웨어에서 유전자 알고리즘의 동작은 매우 빠르다[7]. 우리는 시뮬레이션을 통하여 기존의 방법 LEACH[8]와 계층적 PEGASIS[9]를 제안된 방법과 비교한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 관련 연구 및 동기에 대한 설명으로 라우팅 프로토콜과 본 연구의 동기에 대하여 간단하게 설명한다. 3장은 유전자 알고리즘을 이용한 라우팅 방법에 대하여 자세한 설명을 보여준다. 4장은 제안하는 라우팅 방법에서 사용하는 유전자 알고리즘을 설계한다. 5장은 시뮬레이션 결과를 검토하고 제안된 방법을 기존의 방법과 비교 한다. 결론은 6장에서 설명된다.

2. 관련 연구 및 동기

데이터 전달을 위한 많은 종류의 라우팅 프로토콜이 무선 센서 네트워크에서 사용된다. 네트워크에서 감지된 데이터는 라우팅 방법에 따라서 네트워크에서 수집된 데이터가 목적지에 전달 길(Path)은 다르다.

2.1 라우팅 프로토콜

무선 센서 네트워크는 수백에서 수천 개의 센서 노드에 의해서 구성된다. 각각의 센서 노드는 제한된 연산 능력을 갖고 있다. 또한 이것은 움직일 수 없고 충전 불가능 하다.

일반적으로 무선 센서 네트워크에서의 라우팅 프로토콜은 세 가지로 분류될 수 있다. Flat 기반의 라우팅, Cluster 기반의 라우팅 그리고 Direct communication 기반의 라우팅이다. Flat 기반의 라우팅에서는 모든 노드의 역할이 동일하다. 반면에 Cluster 기반의 라우팅은 노드의 역할이 다르다. Direct communication 기반의 라우팅은 모든 노드가 BS(Base Station)로 직접 데이터를 전송한다[1,10]. 이 프로토콜에서, 네트워크의 직경이 매우 길면, 센서노드의 에너지는 매우 빠르게 소모된다. Flat 기반의 라우팅에서, 센서 노드가 BS로 데이터를 전송할 때, BS까지의 경로는 다수 홉의 조합으로 구성된다[10]. Cluster 기반의 라우팅은 BS로 데이터 전송을 위해 데이터 수집과 전송을 혼합 수행하여 클러스터 내의 에너지 소모를 줄이는 효과적인 방법이다[1].

2.2 연구 동기

계층적 라우팅 프로토콜에서, CH(Cluster Head)는 클러스터(Cluster)를 구성한다. BS에서 CH에서 데이터를 요청 하게 되면, CH는 클러스터 내부의 센서 노드들로부터 데이터를 수집하고, 이 데이터를 BS에게 전송한다.

Fig. 1.은 CH에서 BS까지 데이터가 전달되는 것을 보

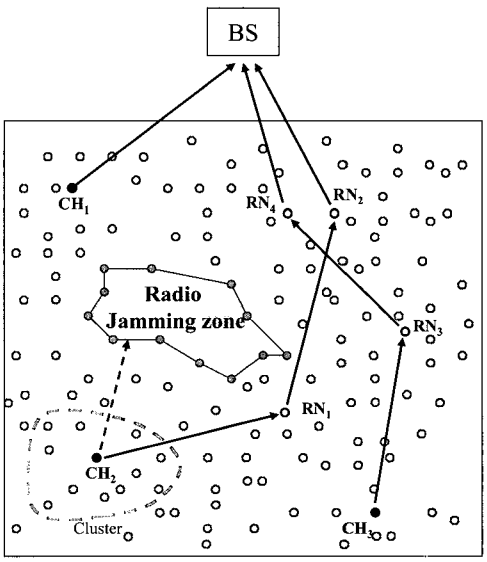

Fig. 1. 센서 네트워크에서 데이터 전달 보장과 균등한 에너지소비를 위한 라우팅 방법

여준다. 이 그림에서 CH_1은 BS로 직접 데이터를 전달한다. 그러나 지형적이나 네트워크의 공격자에 의한 전파 방해 지역등과 같은 장애물에 의해 데이터 전달이 방해 받는 CH_2는 직접 BS로 데이터를 전달 할 수 없다.

공격자는 네트워크에서의 데이터 전달을 방해하기 위하여악의적인 공격 노드를 네트워크에 배치한다. 이 공격 노드들은 센서 노드들이 배치된 지역에 전파 방해 지역이나 웜 홀(Wormhole)을 생성 한다[11]. 전파 방해에 대한 자세한 설명은(Wood, A.D., Stankovic, J.A., Son, S.H.; 2003)에서 찾을 수 있다.

CH_2는 전파 방해 지역을 통과하여 데이터를 전달 할 수 없다. 따라서 CH_2는 전송 중계노드 RN_1과 RN_2를 통하여 BS에게 데이터를 전달한다. CH_3은 전파 방해를 받지 않아도 BS에게 데이터를 직접 전달 할 수 없다. CH_3은 잔여 에너지의 부족 또는 균등한 에너지 소비를 위하여 중계노드 RN_3와 RN_4를 이용하여 데이터를 BS에게 전달한다.

데이터의 전달을 보장하기 위하여 우리는 유전자 알고리즘 기반의 라우팅 방법을 제안한다. 이 방법에서 유전자 알고리즘 모듈은 전파 장애 지역, 데이터 전송에 필요한 에너지양 그리고 센서 노드의 잔여 에너지를 고려하여 데이터 전달 경로를 생성한다. BS는 센서 노드의 잔여 에너지와 전파 방해 지역의 위치 정보를 알 수 있다고 가정한다. 또한 센서 노드들은 데이터 잔달 범위를 결정 할 수 있다고 가정한다.

3. 유전자 알고리즘 기반의 라우팅 방법

제안된 방법에서 센서 노드의 잔여 에너지와 전파 방해 지역의 위치는 빈번하게 변한다. 따라서 라우팅 경로는 전파 방해 지역의 위치와 센서 노드의 평균 잔여 에너지를 고려하여 결정된다. BS에서 센서 노드가 배치된 지역에서의 감지된 데이터를 요청 할 때마다 라우팅 경로는 유전자 알고리즘 기반의 라우팅 방법을 사용하여 생성 된다.

Fig. 2는 데이터가 전송되는 것을 단계적으로 보여준다. Fig. 2(a)는 데이터를 수집하기 위한 CH의 결정을 보여준다. Fig. 2(b)는 CH의 선택 후, BS에서 유전자 알고리즘을 이용한 라우팅 경로의 탐색을 보여준다. 리우팅 경로는 $CH \rightarrow RN_1 \rightarrow RN_2 \rightarrow RN_3 \rightarrow BS$이다. BS는 RN_1, RN_2 그리고 RN_3에게 전송에 필요한 메시지를 전송한다. 이 메시지는 전송되는 다음노드의 MAC(Message Authentication Code)와 데이터를 전달하기 위한 전파의 강도를 포함하며 이 정보는 센서 노드의 주 기억 장치에 저장된다. 이 정보는 센서 노드가 다음 노드에 데이터를 전달 될 때 주 기억 장치에서 삭제된다.

예를 들어 BS가 전송 중계 노드 RN_1에게 메시지를 전달 할 때, 이 메시지에는 RN_2의 MAC과 RN_2에 데이터를 전달하기 위한 전파의 강도에 대한 정보가 포함되어 있다. 따라서 RN_1, RN_2 그리고 RN_3는 다음 노드 또는 BS에게 데이터를 전달하기 위한 정보를 받는다.

Fig. 2(c)와 Fig. 2(d)는 각각 CH에 감지된 데이터를 요청하는 메시지를 전달하는 것과 데이터 전송 중계 노드 RN_1, RN_2 그리고 RN_3를 통하여 CH에서 BS까지 감지된 데이터가 전달되는 것을 보여준다.

4. 유전자 알고리즘의 설계

일반적으로 유전자 알고리즘은 최선의 해를 위한 효율적인 탐색 방법을 제공 한다. 본 알고리즘은 초기 가능한 해 집합을 난수로 생성하여 시작된다.

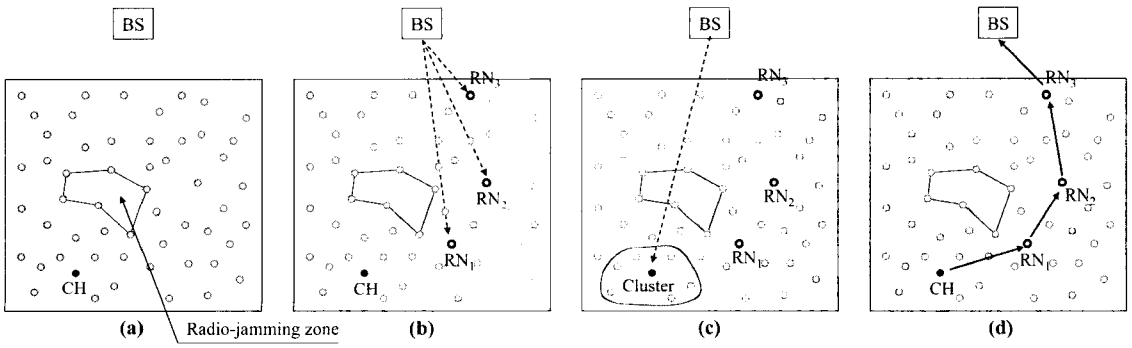

Fig. 2. 센서 네트워크에서 유전자 알고리즘 기반의 라우팅 방법

4.1 유전적 표현

염색체는 라우팅 경로를 표현한다. 염색체 에서 각 유전자는 양의 정수에 의해서 표현되며 이 유전자들은 센서 노드를 의미한다. 염색체를 구성하는 각각의 양의 정수는 센서 노드의 ID이다.

따라서 염색체를 구성하는 양의 정수로 구성된 수열은 데이터 전달 순서를 나타낸다.

염색체에서 첫 번째와 마지막 위치는 각각 CH와 BS의 위치로 지정된다. 염색체의 첫 번째와 마지막 위치 사이에 존재하는 모든 유전자는 전송 중계 노드(Relay node)를 표현 한다. 염색체의 길이는 가변적이며 이것은 네트워크를 구성하는 센서 노드의 개수를 초과 할 수 없다.

Fig. 3은 CH부터 BS까지의 라우팅 경로를 유전자형으로 표현한 것을 보여준다.

4.2 교배

교배는 현재의 해에서 더 좋은 것을 찾기 위하여 수행된다[12].

Fig. 4는 두 염색체의 교배 절차를 보여준다. Fig. 4에서 염색체 C_i와 C_j의 교배 위치(crossover point)는 각각 0와 n 그리고 0와 m사이의 난수에 의해서 결정 된다. C_i와 C_j의 부분 염색체는 새로운 염색체를 생성하기 위하여 결합된다.

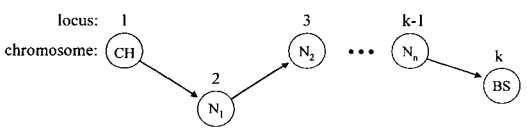

Fig. 3. 센서 노드와 라우팅 경로의 유전적 표현

4.3 선택

선택은 세대의 평균 질을 높이기 위하여 사용된다. 이 동작은 높은 질의 염색체가 다음 세대에 선택되기 위한 기회를 향상 시킨다.

본 논문에서 우리는 토너먼트 방법을 사용한다. 두 개의 염색체가 선택 되고 적합도를 비교하여 더 좋은 염색체를 선택한다.

4.4 돌연변이

유전자 알고리즘에서 돌연변이는 지역적 최적에서 벗어나기 위해서 사용된다. 돌연변이의 발생은 극히 작은 확률로 발생 한다.

본 논문에서 돌연변이는 유전자 알고리즘의 선택에서 발생한다. 선택에서 두 개의 염색체가 선택 될 때 1%의 돌연변이 발생 확률로 적합도가 상대적으로 낮은 염색체가 선택 된다.

4.5 퍼지 로직을 이용한 적합도 함수

적합도 함수는 염색체의 질을 정확하게 판단해야 한다. 4.1절에 보았듯이 염색체는 데이터의 라우팅 경로를 표현한다. 염색체의 적합도를 평가하기 이하여 적합도 함수는 퍼지 로직을 응용하여 정의 된다(Fig. 5).

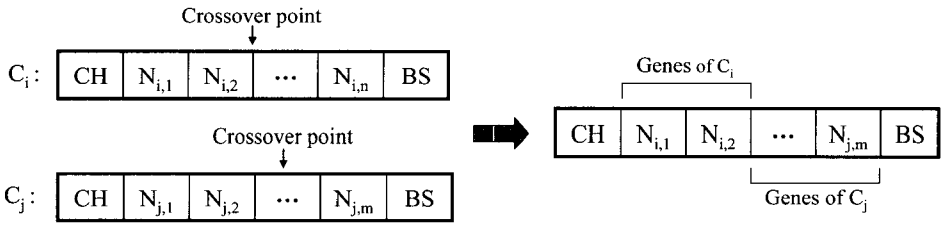

Fig. 4. 유전자 알고리즘에서의 교배 과정

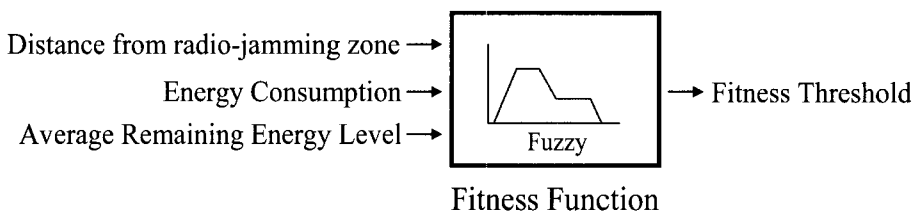

Fig. 5. 퍼지 로직이 적용된 유전자 알고리즘에서의 적합도 함수

Fig. 5에서 라우팅 경로에서 전파 방해 지역까지의 거리(Distance from radio-jamming zone), 데이터 전달을 위한 에너지 소비량(Energy Consumption) 그리고 센서 노드의 평균 잔여 에너지양(Average Remaining Energy Level)은 염색체의 적합도를 평가하기 위하여 사용된다. 또한 적합도 경계(Fitness Threshold)는 염색체의 적합도를 나타낸다.

Fig. 6은 세 가지 퍼지 입력 변수와 출력 변수를 나타낸다. 입력 변수는 Distance from radio-jamming zone, Energy Consumption 그리고 Average Remaining Energy Level이고 출력 변수는 Fitness Threshold이다. 변수에 대한 언어적 표현은 다음과 같다.

Distance from radio-jamming zone = {Very Poor, Poor, Middle, Good}
Energy Consumption = {Poor, Usual, Good, Excellent}
Average Remaining Energy Level = {Very Low, Low, Sufficient}
Fitness Threshold = {Very Small, Small, Medium, Large, Very Large}

Fig. 6(a)에서 전파 방해 지역으로 부터의 거리(Distance from radio-jamming zone)는 라우팅 경로와 전파 방해 지역 사이의 최단거리 이다. 네트워크 운영자가 결정 하는 α 값은 센서 노드가 배치된 지역의 길이 이다.

Fig. 6(b)에서 정규화(normalized)되어 표현된 에너지 소비(Energy Consumption)는 데이터 전송에 필요한 에너지양 이다. Fig. 6(c)에서 평균 잔여 에너지 정도(Average Remaining Energy Level)는 염색체를 구성하는 센서 노드의 평균 잔여 에너지 이다. Fig. 6(d)에서 적합도 경계는 염색체의 적합도에 대한 평가 이다.

다음 절에서 우리는 몇 가지 경우에 대한 퍼지 규칙에 대하여 설명한다.

5. 퍼지 규칙

평가 대상이 되는 염색체에서 임의의 유전자가 전파 장해 지역에 가까이 위치하면 적합도 경계는 매우 작다(e.g., 0).

R04: if Distance from radio-jamming zone is Very Poor and Energy Consumption is Excellent and Average Remaining Energy Level is Sufficient then Fitness Threshold is Very Small

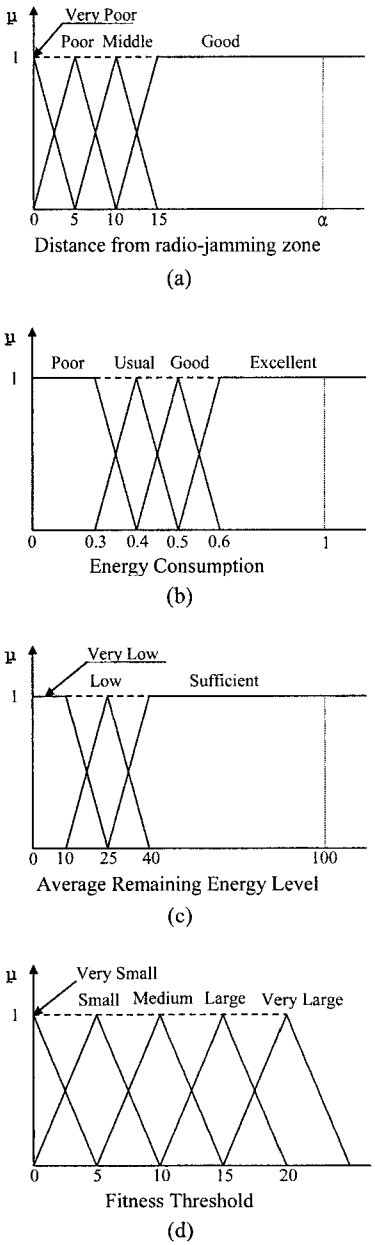

Fig. 6. 퍼지 멤버십 함수 - Distance from radio-jamming zone, energy consumption (b), average remaining energy level (c) and fitness threshold (d)

평가 대상이 되는 염색체에 의해서 CH에서 BS로 데이터를 직접 또는 다중 홉(multi hop)으로 전송하는데 사용되는 에너지양이 CH에서 BS로 데이터를 직접 전송(single hop)하는데 사용되는 에너지양의 3배 이상이면 적합도 경계는 매우 작다(Very Small).

R07: if Distance from radio-jamming zone is Good and Energy Consumption is Poor and Average Remaining Energy Level is Sufficient then Fitness Threshold is Very Small

평가 대상이 되는 염색체 유전자들의 평균 잔여 에너지 양이 25%보다 작고 CH에서 BS로 데이터를 직접 또는 다중 홉(multi hop)으로 전송하는데 사용되는 에너지양이 CH에서 BS로 데이터를 직접 전송(single hop)하는데 사용되는 에너지양과 유사하면 적합도 경계는 작다(Small).

R15: if Distance from radio-jamming zone is Good and Energy Consumption is Good and Average Remaining Energy Level is Very Low then Fitness Threshold is Small

R27: if Distance from radio-jamming zone is Good and Energy Consumption is Usual and Average Remaining Energy Level is Very Low then Fitness Threshold is Very Small

6. 시뮬레이션 결과

제안된 방법의 효율성을 보이기 위하여 우리는 LEACH와 Hierarchical PEGASIS(H-PEGASIS)를 GARM(Genetic Algorithm based Routing Method)과 비교한다.

시뮬레이션은 100m×100m 크기의 지역에 100개의 센서 노드들을 렌덤 하게 배치하여 수행하였다. 노드들의 초기 에너지양은 0.25J이고 1byte를 1m 전송하는데 소모되는 에너지는 16.25μJ 이고, 수신하는데 소모되는 에너지는 12.5μJ 이다. 패킷의 크기는 32bytes 이다. BS의 위치는 (50m, 150m)이고, 전파 방해 지역의 형태는 원형이다.

Fig. 7은 데이터 전송횟수의 변화에 의한 에너지 소비의 증가를 보여준다. 이 그림에서 GARM은 라우팅 경로를 생성할 때 고려하는 요소들 중 하나가 홉 수이기 때문에 H-PEGASIS보다 적은 양의 에너지를 소모한다. 그러나 GARM은 단일 또는 다중 홉 기반의 라우팅 방법 이므로 데이터를 전송하는 LEACH 보다 많은 에너지를 소모한다.

Fig. 8은 데이터 전송 요청 횟수 증가에 대한 에너지 소비 증가를 보여준다. 이 그림에서 제안된 방법은 H-PEGASIS보다 에너지 소비 증가량이 적다. 제안된 방법에서 고려되는 요소들 중 하나가 데이터 전송에 필요한 에너지 소모량이기 때문에 데이터 요청 횟수의 증가에 의한 에너지 소비 증가량은 제안된 방법이 H-PEGASIS보다 낮다.

Fig. 9와 Fig. 10은 데이터 전송을 1000회 실행 했을 때 전파 방해 지역에 의한 데이터 전송 실패율을 보여준다. 전송 실패율은 다음과 같은 식에 의해서 계산된다.

$$Transmission\ Failure(\%) = (1 - \frac{A}{R}) \times 100$$

위의 식에서 R은 BS에서 네트워크 내부의 노드에게 데이터 요청메시지를 전송한 횟수 이고, A는 BS의 데이터 요청에 대하여 네트워크에서 감지된 데이터가 성공적으로 BS까지 전달된 횟수이다.

Fig. 9와 Fig. 10은 전파 방해 지역의 위치와 크기가 변화함에 따라 발생하는 데이터 전송 실패율을 보여준다. Small, Medium 그리고 Large는 전파 방해 지역의 크기를 나타내며 반지름은 각각 5m, 10m 그리고 15m이다.

Fig. 9에서 전파 방해 지역의 위치는(70m, 30m)이다. 이 그림에서 제안된 방법은 데이터의 전송을 보장하기 위하여 전파 방해 지역의 위치를 고려하여 라우팅 경로를

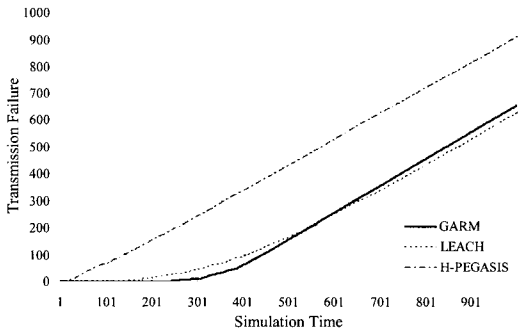

Fig. 7. 센서 노드의 에너지 부족으로 인한 데이터 전송 실패 증가

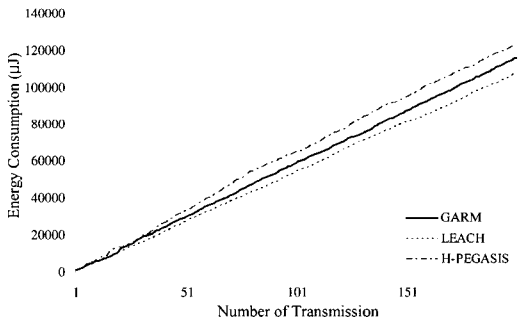

Fig. 8. 데이터 요청 횟수 증가에 따른 에너지 소비 증가량

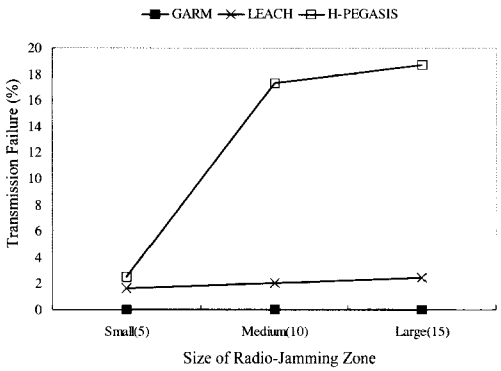

Fig. 9. 전파 방해 지역(70m, 30m)으로 인한 데이터 전송 실패율

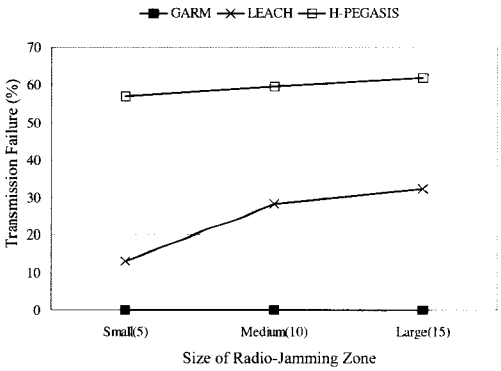

Fig. 10. 전파 방해 지역(35m, 70m)으로 인한 데이터 전송 실패율

결정하기 때문에 전파 방해 지역으로 인한 데이터 전송 실패율은 0%이다. 또한 제안된 방법은 전파 방해 지역의 크기에 영향을 받지 않고 데이터를 BS까지 전달하는 것을 알 수 있다.

Fig. 10은 전파 방해 지역의 위치가(35m, 70m)일 때의 데이터 전송 실패율을 보여준다. 위에서 언급 하였듯이 BS의 위치는(50m, 150m)이다. 따라서 Fig. 10의 시뮬레이션 결과는 제안하는 방법이 전파 방해 지역의 위치에 영향을 받지 않는다는 것을 보여준다. 그러나 LEACH와 H-PEGASIS 전파 방해 지역의 위치에 따라 데이터 전송 실패율이 급격하게 증가하는 것을 알 수 있다.

7. 결 론

일반적으로 유전자 알고리즘은 조합 최적화 문제를 해결하기 위하여 사용된다. 무선 센서 네트워크에서 유전자 알고리즘은 노드의 배치 문제, 경로 탐색 그리고 클러스터 구성 문제 등 여러 가지 문제 해결 방법에 사용된다.

본 논문에서 우리는 목적지까지의 데이터 전달 보장과 균등한 에너지 소비를 위한 라우팅 방법을 제안 하였다. 제안된 방법에서 라우팅 경로는 전파 방해 지역, 데이터 전송 거리, 노드들의 잔여 에너지 그리고 홉 수를 고려하여 결정된다. 우리는 유전자 알고리즘을 적용하여 라우팅 경로를 탐색 하였다. 또한 퍼지 규칙을 이용하여 유전자 알고리즘에서 사용하는 평가 함수를 정의 하였다.

시뮬레이션 결과는 제안된 방법이 목적지까지의 데이터 전달이 보장되는 것을 보여준다. 제안된 방법은 전쟁 지역이나 테러리스트의 추적과 같은 데이터의 전송이 매우 중요하게 요구되는 응용분야에 적용가능 하다.

앞으로의 연구는 네트워크의 위상을 고려한 휴리스틱 알고리즘을 사용하여 유전자 알고리즘의 교배를 향상 한다. 또한 우리는 최적의 해를 찾기 위한 염색체의 개수 또는 세대의 크기에 대하여 연구 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Al-Karaki, J.N., Kamal, A.E.: Routing techniques in wireless sensor networks: a survey. *Wireless Communications* 11, 6-28 (2004).
2. D. Estrin, R. Govindan, J.Heidemann and S. Kumar, "Scalable Coordination in Sensor Networks", Proc. Mobicom, pp. 263-270 (1999).
3. Wood, A.D., Stankovic, J.A., Son, S.H.: JAM: A Jammed-Area Mapping Service for Sensor Networks. *IEEE Real-Time Systems*, pp. 286-297 (2003).
4. Younis, M., Youssef, M., Arisha, K.: Energy-Aware Routing in Cluster-based Sensor Networks. *IEEE MASCOTS*, pp. 129-136 (2002).
5. Obidul Islam and Sajid Hussain: Intelligence Multi-hop Routing for Wireless Sensor Networks. *IEEE WI-IATW*, pp. 239-242 (2006).
6. Rahul Khanna, Huaping Liu and Hsiao-Hwa Chen: Self-Organization of Sensor Networks Using Genetic Algorithms. *IEEE ICC*, pp. 3377-3382 (2006).
7. Tufte, G., Haddow, P.C.: Prototyping a GA pipeline for complete hardware evolution. *1st NASA/DoD Workshop on Evolvable Hardware*, pp. 76-84 (1999).
8. Heinzelman, W.R., Chandrakasan, A., Balakrishnan, H.: An Application-Specific Protocol Architecture for Wireless Microsensor Networks. *IEEE Transactions on Wireless Communications* 1(4), 660-670 (2002).

9. Lindsey, S., Raghavendra, C.S., Sivalingam, K.: Data Gathering in Sensor Networks using the Energy*Delay Metric. *IPDPS 2001*, pp. 2001-2008 (2001).
10. Jiang, Q., Manivannan, D.: Routing protocols for sensor networks. *CCNC*, pp. 93-98 (2004).
11. Li, Z., Trappe, W., Zhang, Y., Nath, B.: Robust Statistical Methods for Securing Wireless Localization in Sensor Networks. *IPSN*, pp. 91-98 (2005).
12. Hue, X.: Genetic algorithms for optimization: Background and application. *Edinburgh Parallel Computing Centre* 10 (1997).

김 진 명 (kjm77@ece.skku.ac.kr)

2004년 공주대학교 응용수학과 학사
2006년 성균관대학교 컴퓨터공학과 공학석사
2006년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 컴퓨터공학과 박사과정

관심분야 : USN, 모델링 및시뮬레이션, 지능 제어, 네트워크 보안

조 대 호 (taecho@ece.skku.ac.kr)

1983년 성균관대학교 전자공학과 학사
1987년 Univ. of Alabama 전자공학과 석사
1993년 Univ. of Arizona 전자 및 컴퓨터공학과 박사
1993년~1995년 경남대학교 전자계산학과 전임강사
1995년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 조교수
1999년 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학부 부교수
2002년 성균관대학교 정보통신공학부 부교수
2004년~현재 성균관대학교 정보통신공학부 교수

관심분야 : USN, 모델링 및 시뮬레이션, 지능 시스템, 네트워크 보안