

# 무선 센서 네트워크에서의 유전자 알고리즘 기반의 에너지 인식 트래픽 분산 기법

## An Energy Awareness Congestion Control Scheme based on Genetic Algorithms in Wireless Sensor Networks

박준호\*, 김미경\*\*, 성동욱\*\*\*, 유재수\*

충북대학교 정보통신공학과\*, 롯데정보통신(주)\*\*, 한국과학기술원\*\*\*

Junho Park(junhopark@chungbuk.ac.kr)\*, Mikyoung Kim(mini48minwoo@gmail.com)\*\*,  
Dongook Seong(seong.do@gmail.com)\*\*\*, Jaesoo Yoo(yjs@chungbuk.ac.kr)\*

### 요약

최근 한정된 에너지를 기반으로 동작하는 센서 네트워크 환경에서 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 많은 연구가 이루어지고 있다. 대표적인 연구로써 이벤트 발생 여부에 따른 노드의 가변 센싱 및 전송 기법의 경우, 특정 노드에서 네트워크 혼잡을 야기하여 전송 패킷의 손실 및 전송 모듈의 과다 사용으로 인한 네트워크의 수명이 감소하게 된다. 이를 해결하기 위해, 유전자 알고리즘을 기반으로 네트워크 패킷을 주변 노드로 분산시키는 TARP가 제안되었다. 하지만 TARP의 경우, 유전자 알고리즘의 핵심 단계인 적합도 평가에서 사용되는 적합도 함수에 인접 노드의 평균 데이터 전송량 및 데이터 분산만을 고려하여 트래픽을 분산하기 때문에, 전체 네트워크 수명에 대한 추가적인 고려가 필요하다. 제안하는 기법은 적합도 평가에서 잔여 에너지량 및 단일 노드의 데이터 전송량을 추가적으로 고려함으로써, 보다 효율적인 트래픽 분산을 수행하여 네트워크 수명을 증가시킨다. 제안하는 기법은 기존 기법에 비해 평균 27% 이상의 네트워크 수명의 향상을 보였다.

■ 중심어 : | 무선 센서 네트워크 | 유전자 알고리즘 | 혼잡 제어 기법 |

### Abstract

For energy-efficiency in Wireless Sensor Networks (WSNs), when a sensor node detects events, the sensing period for collecting the detailed information is likely to be short. The lifetime of WSNs decreases because communication modules are used excessively on a specific sensor node. To solve this problem, the TARP decentralized network packets to neighbor nodes. It considered the average data transmission rate as well as the data distribution. However, since the existing scheme did not consider the energy consumption of a node in WSNs, its network lifetime is reduced. The proposed scheme considers the remaining amount of energy and the transmission rate on a single node in fitness evaluation. Since the proposed scheme performs an efficient congestion control it extends the network lifetime. The simulation result shows that our scheme enhances the data fairness and improves the network lifetime by about 27% on average over the existing scheme.

■ keyword : | Wireless Sensor Networks (WSNs) | Genetic Algorithm | Congestion Control |

\* 이 논문은 2011년 교육과학기술부(지역거점연구단육성사업/충북BIT연구중심대학육성사업단)와 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업의 결과임.(No. 2009-0080279)

접수번호 : #110426-004

심사완료일 : 2011년 05월 24일

접수일자 : 2011년 04월 26일

교신저자 : 유재수, e-mail : yjs@chungbuk.ac.kr

## 1. 서론

최근 무선 통신의 비약적인 발전과 MEMS 기술이 발달함에 따라 전자장치에 센서 모듈, 통신 모듈, 연산 장치 등의 다양한 소자들을 집적시켜 무선 센서 노드를 제작하는 것이 가능하게 되었다. 센서 노드는 수십에서 수만 개가 광범위하게 배포되고, 센서 노드 간의 멀티-홉 통신을 통해 관심지역의 환경정보를 수집한다. 이러한 센서 네트워크의 응용분야는 자연 현상의 관측, 동물 서식지 관찰, 재난 발생 모니터링 및 군사 응용과 같은 다양한 응용에 적용되고 있으며, 환경 오염의 모니터링, 의료 및 u-City 등의 실생활 응용까지 그 활용 범위를 넓혀 가고 있다[1-3]. 이러한 센서 네트워크는 무인으로 동작되거나 사람이 접근하기 힘든 환경에서 동작 하는 경우가 대부분이므로 네트워크에서의 효율적인 에너지 활용과 데이터 전송의 신뢰성을 포함한 원활한 통신을 위한 설계 요구조건을 구성하는 것이 중요하다[4].

센서 네트워크의 에너지를 효율적으로 사용하기 위한 대표적인 연구로서 특정 상황 감지에 따른 노드의 가변 센싱 및 전송 기법이 있다. 이 기법에서는 일반적인 상황에서는 긴 주기로 데이터를 수집하여 전송하고, 특정한 상황을 감지하였을 경우, 해당 상황을 정확하게 인지하기 위해 짧은 주기로 데이터를 수집하여 전송한다. 예를 들어, 산불 감지를 위해 설치된 센서 네트워크에서 산불이 발생하지 않은 일반적인 상황에서는 분당 1개의 패킷을 전송하고, 산불을 감지했을 경우, 분당 100개의 패킷을 전송하여 싱크 노드에서 상황에 대한 정확한 인지 및 대처가 가능하다. 하지만 특정 상황을 감지하고, 상황 감지 노드가 패킷 전송률을 증가시킬 경우, [그림 1]과 같이 상황을 감지한 노드 B-D의 상위 노드 A에 네트워크 패킷이 집중되는 현상이 발생한다. 네트워크 트래픽의 집중 현상은 센서 노드의 잦은 송수신으로 인해 네트워크 수명을 단축시킬 뿐만 아니라, 데이터 전송 중 데이터의 누락 및 소실 문제[5]를 발생하여 정확한 이벤트의 감지를 위해 충분한 데이터를 수집하지 못할 가능성이 있다. 그러므로 이러한 문제를 해결하기 위한 혼잡 제어 기법에 대한 많은 연구가 이

루어지고 있다.

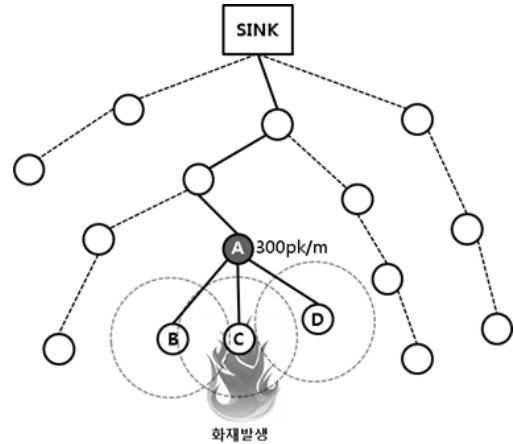


그림 1. 노드의 가변 센싱 및 전송 기법에서의 트래픽 집중 현상

최근에 제안된 혼잡 제어 기법(TARP)[6]에서는 센서 네트워크에서 특정 노드에 트래픽이 집중되는 경우, 주변 노드로 분산시킨다. 이 때, 트래픽이 집중된 노드의 자식 노드와 자식 노드의 이웃 노드들에 대한 정보를 바탕으로 유전자 알고리즘을 수행하여, 자식 노드의 최적의 데이터 포워딩 노드를 선정하고 트래픽을 균등하게 분산시킨다. 이로 인해, 기존의 혼잡 제어 기법(CODA)[7]과 같이 소스 노드의 데이터 전송률을 감소시킬 필요 없이, 주변 노드들의 전송률을 고려하여 트래픽을 분산시킴으로써 이벤트 감지의 신뢰성을 제공하는 장점을 가진다. 하지만 기존 기법의 경우, 인접 노드의 평균 데이터 전송량 및 분포만을 고려한 트래픽을 분산을 수행하여 싱크 노드까지의 경로 상의 인접한 센서 노드는 송수신에 참여하는 비율이 여전히 높기 때문에, 전체 네트워크 수명에 대한 추가적인 고려가 필요하다. 뿐만 아니라, [6]는 많은 연산이 수행되는 일반적인 유전자 알고리즘을 사용함으로써 한정된 에너지를 바탕으로 동작하는 센서 네트워크에 적합하지 못하다. 그러므로 센서 네트워크의 특성을 고려하여 네트워크 수명에 미치는 영향이 적은 센서 네트워크에 최적화시킨 유전자 연산에 대한 고려도 필요하다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하고자 기존에 제

안되었던 혼잡 제어 기법을 개선하고 센서 노드의 잔여 에너지량 및 단일 노드의 데이터 전송량을 추가적으로 고려하여 새로운 유전자 알고리즘 기반의 에너지 인지 트래픽 분산 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 네트워크 트래픽을 집중시키는 자식 노드의 정보와 자식 노드의 이웃 노드들의 정보를 바탕으로 유전자 알고리즘을 수행하여 일정 비율의 트래픽을 다른 노드로 우회시킨다. 이 때, 추가적으로 자식 노드의 이웃 노드들의 잔여 에너지량과 데이터 전송량을 추가적으로 고려하여 전체 센서 네트워크의 더 높은 데이터 평균화와 네트워크 생존 시간을 증가 시키는 것이 가능하다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2장의 관련 연구에서는 유전자 알고리즘의 특성 및 기존에 제안된 혼잡 제어 기법의 문제점과 이를 해결하기 위한 연구 목적을 설명한다. 제3장에서는 센서 노드의 잔여 에너지 및 단일 노드의 데이터 전송량을 고려한 유전자 알고리즘 기반의 에너지 인식 트래픽 분산 기법을 기술한다. 제4장에서는 기존에 제안된 혼잡 제어 기법과의 분석을 통해 제안하는 기법의 우수성을 보이고, 마지막으로 제5장에서는 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

## II. 관련연구

### 2.1 유전자 알고리즘 (Genetic Algorithm)

유전자 알고리즘은 자연세계의 진화과정을 모방하여 복잡한 현실세계의 문제를 해결하고자 하는 진화 알고리즘의 대표적인 예이다. 현실세계의 문제를 풀기 위해 잠재적인 해들을 염색체(혹은 개체)로 나타내고, 여러 개의 염색체들을 모아 염색체 군을 형성한 뒤, 세대를 거듭하면서 이들의 유전 정보를 서로 교환 하거나 새로운 유전 정보를 부여하면서 모의 진화를 시킴으로써, 주어진 문제에 대한 최적의 해를 찾는다. 유전자 알고리즘은 구조가 간단하고 수행 방법이 일반적이기 때문에 유·무선 통신망(라우팅 경로) 최적화, 로봇 공학, 신경망의 학습 및 학습 등 다양한 분야에서 사용된다.

유전자 알고리즘의 기본적인 동작의 흐름은 [그림 2]와 같이 크게 초기 집단 생성, 적합도 평가 및 유전자

선택(Selection), 교배(Crossover) 연산, 돌연변이(Mutation) 연산, 최적 유전자 갱신, 종료조건 검사로 나눌 수 있다.

유전자 알고리즘을 수행하기 위해서는 우선 문제에 맞는 염색체 표현 방법과 교차, 변이와 같은 유전 연산자의 정의가 필요하며 문제에 맞는 적합도 함수를 설계하는 것이 중요하다. 염색체를 표현하는 방법에는 이진 수 표현, 순열 표현, 실수 표현 등이 있으며, 유전 연산자에는 선택, 교차, 변이, 대치 연산자 등이 있다.

유전자 알고리즘의 상세 수행과정은 다음과 같다.

첫 번째, 초기 집단 생성과정은 임의의 염색체를 갖는 개체 N개를 생성하여 초기 세대 개체군(Initial generation population group)을 설정한다.

두 번째, 적합도 평가 및 유전자 선택과정에서는 생성된 각 개체들의 적합도를 계산한 후 적합도에 따라 두 개의 개체 (Parents)를 선택한다. 개체를 선택하는 방법에는 룰렛 선택 (Roulette selection), 기대치 선택 (Expected-value selection), 순위 선택 (Ranking selection), 토너먼트 선택 (Tournament selection) 등이 있다.

세 번째, 교배 연산과정에서는 두 번째 과정에서 선택된 개체 사이에서 임의로 2개의 개체 (Parents)를 선택하여, 임의로 방법으로 유전자를 교환함으로써 새로운 2개의 개체를 생성하는 유전자 연산 방법이다. 교배 연산과정은 유전자 알고리즘에서 가장 중요한 역할을 수행하는 유전자 연산이라 할 수 있다. 교배의 연산방법에는 1점 교배, 다점 교배, 균일 교배, 부분 일치 교배, 순서 교배 등이 있다.

네 번째, 돌연변이 연산과정은 염색체 상의 임의의 유전자 값을 다른 대립 유전자로 치환함으로써 교차만으로는 생성할 수 없는 자손을 생성하여 개체군의 다양성을 유지하는 유전자 연산이다.

다섯 번째, 최적 유전자 갱신 과정은 교배 연산과 돌연변이 연산을 거친 개체들 중에서 적합도를 평가하여 가장 질이 좋은 유전자 개체(Best Chromosome)를 기억하는 과정이다.

여섯 번째, 종결 조건 검사 과정은 종결 조건을 만족하면 최종적으로 최적 유전자를 도출해 내고 그렇지 않

으면 두 번째 과정으로 돌아가 다시 유전자 연산 과정을 거쳐 최적의 유전자를 찾아간다.

위와 같은 과정을 통해 수행되는 일반적인 유전자 알고리즘은 최적의 유전자를 도출해내기 위해 많은 연산을 수행해야 하기 때문에, 한정적인 에너지를 바탕으로 동작하는 센서 네트워크의 응용에는 적합하지 못하다. 그러므로 본 논문에서는 유전자 연산의 한정(교차와 변이), 유전자 연산 수행 탐색체의 특징(가장 가능성 높은 두 개체의 유전자 연산), 사전 요청 최적 적합도 설정(설정 적합도 보다 같거나 우수한 연산이 수행 되었을 경우에는 종료), 연산 수행의 한계(최적 적합도를 만족하지 못하였을 경우에도 종료)를 설정하여 무한대로 증가할 수 있는 유전자 연산의 단순화 시키고 한계를 설정함으로써 한정된 에너지를 바탕으로 동작하는 센서 네트워크에 최적화 시킨 유전자 연산-CGA(Compact Genetic Algorithm)을 적용한다.

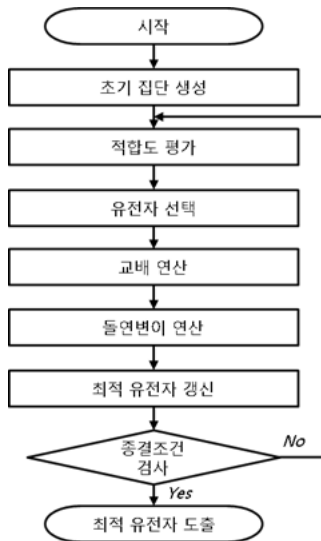


그림 2. 유전자 알고리즘의 수행 과정

## 2.2 센서 네트워크에서의 혼잡 제어 기법

센서 네트워크에서의 혼잡 제어는 데이터가 싱크 노드로 전송되는 경로 상의 특정 노드에 트래픽이 집중되어 혼잡이 발생했을 경우, 센서 노드들의 데이터 전송을 감소시킴으로써 네트워크 수명을 증가시키고 상황

인지를 용이하게 한다.

CODA(Congestion Detection and Avoidance in Sensor Network)[5]는 혼잡을 제어하기 위해 데이터 전송 경로 상의 중간 노드에서 트래픽 집중도를 측정하고 설정된 임계값과 비교하여 상위 노드로 알리고, 싱크 노드에서 혼잡 발생시 ACK 메시지를 이용해 소스 노드들에게 전송하여 데이터 전송률을 감소시킨다. ESRT(Event-to-Sink Reliable Transport protocol)[6]는 이벤트에 대한 신뢰성을 보장하는 기법으로, ESRT에서 센서 노드들은 데이터 버퍼를 모니터링 하다가 전송되는 패킷이 버퍼에 많이 적재될 경우 혼잡이 발생한 것으로 인지하고, 이를 싱크 노드에 알린다. 싱크 노드는 메시지를 수신하면 혼잡 발생을 네트워크의 모든 센서 노드에게 알리고, 각 센서 노드들은 싱크 노드로의 데이터 전송률을 줄임으로써 혼잡을 제어한다. 하지만 혼잡 발생시, 네트워크 전체적으로 흐름이 제한되기 때문에 특정 상황 발생에 대한 신속성 및 신뢰성을 제공하기 어렵다.

TARP(Traffic-Aware Routing Protocol)[6]는 혼잡이 발생했을 경우, 특정 센서 노드에서의 데이터 전송 트래픽을 이웃 노드들에게 분산시키기 위해 이웃 노드의 전송 정보와 유전자 알고리즘을 수행하여 최적의 트래픽 분산 경로를 설정한다. [6]는 혼잡이 발생한 이웃 센서 노드에 대한 데이터 전송률 정보를 이용하여 탐색체를 생성한다. 탐색체는 트래픽 분산 적합도, 데이터 전송률, 포워딩 전송률과 같은 지식 노드들의 새로운 라우팅 경로를 선택할 때 알아야 하는 정보들을 포함하며, 이를 이용하여 유전 연산을 수행한다. 유전자 연산을 통해 높은 적합도를 가지는 네트워크 토폴로지 변경 정보를 배포하여 특정 노드에 집중된 트래픽을 분산시킨다.

[6]는 센서 네트워크에서 특정 노드에 데이터 트래픽이 집중 할 경우, 기존의 혼잡 제어 기법[5]과 달리 데이터 전송률을 감소 시키는 것이 아니라 네트워크 트래픽을 분산시키는 장점을 가진다. 하지만 센서 네트워크 및 기존 기법의 특징을 고려할 때 다음과 같은 문제점을 가지고 있다.

첫째, 센서 네트워크에서 데이터를 원활하게 수집을

하기 위해서는 최대한 네트워크 생존 시간을 증가시키는 것이 중요하다. [6]는 인접한 노드들의 평균 데이터 전송량 및 분산 수치를 고려하여 분산 노드를 선정한다. 이 때 각 노드의 잔여 에너지에 대한 고려는 하지 않는다. 그러므로 평균 데이터 전송량 및 분산이 충분히 낮아서 데이터 분산이 수행된 경우라도, 분산 노드가 잔여 에너지가 적다면, 결함 발생 노드의 급격한 증가로 센서 네트워크 수명이 줄어든다. 다시 말해, 이는 네트워크 생존 시간을 증가시키기 위해 수행한 혼잡 제어 기법이 잔여 에너지가 적은 노드에도 추가적으로 트래픽을 집중시킴으로써 네트워크 생존 시간을 더욱 감소시키는 문제점을 가지고 있다.

둘째, 유전자 알고리즘을 가장 핵심적인 요소는 적합도를 평가하기 위한 적합도 함수의 설계이다. [6]의 경우, 이웃 노드들의 데이터 전송률과 추가적으로 할당된 전송률을 고려하여 전송률의 평균과 표준편차를 고려한 적합도 연산을 수행하여 트래픽을 분산한다. 여기서 트래픽 집중이 발생한 기존 부모 노드로 전송되던 트래픽의 일정량을 주변 부모 노드들로 분산하게 되는데, 기존 기법에서는 데이터 분산을 받을 노드를 선정할 때 해당 노드 부근의 평균적인 데이터 전송량만을 고려함으로써, 개별 노드의 전송량이 이미 충분히 높음에도 불구하고 평균 전송량이 낮다는 이유로 데이터가 분산되는 불합리한 상황이 발생한다. 그렇기 때문에 이미 개별 노드의 데이터 전송률이 높음에도 특정 지역의 평균 전송률 및 노드 간의 표준 편차가 적다는 사실에만 기반하여 추가적인 데이터 전송을 분배 받을 가능성이 있다.

마지막으로 [6]는 많은 연산이 수행되는 일반적인 유전자 알고리즘을 사용함으로써 한정된 에너지를 바탕으로 동작하는 센서 네트워크에 적합하지 못하다. 그러므로 센서 네트워크의 특성을 고려하여 네트워크 수명에 미치는 영향이 적은 센서 네트워크에 최적화 시킨 유전자 연산에 대한 고려도 필요하다. 즉, 적은 에너지로 원하는 해를 얻을 수 있는 유전자 알고리즘의 수정 및 재설계가 수행되어야 한다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하고자 센서 노드의 잔여 에너지를 고려하여 네트워크 트래픽을 분산

시키고, 이를 통해 전체 네트워크의 생존 시간을 연장시키는 유전자 알고리즘 기반의 에너지 인식 트래픽 분산 기법을 제안한다.

### III. 제안하는 잔여 에너지 인지 혼잡 제어 기법

특정 상황을 감지한 노드가 패킷 전송률을 증가시킬 경우, 상황을 감지한 노드와 싱크 노드 사이의 중간 노드에서 네트워크 패킷이 집중되는 현상이 발생한다. 네트워크 트래픽의 집중 현상은 센서 노드의 잦은 송수신으로 인해 네트워크 수명을 단축시킬 뿐만 아니라, 데이터 전송 중 데이터의 누락 및 소실 문제를 발생하여 정확한 이벤트의 감지를 위해 충분한 데이터를 수집하지 못하는 문제점을 가지고 있다. 따라서 네트워크의 데이터 전송 신뢰성 확보 및 특정 상황의 빠른 인지, 그리고 센서 노드 에너지 자원의 효율적인 사용을 위해 혼잡을 방지하기 위한 기법을 필요로 한다. 제안하는 혼잡 제어 기법은 네트워크 혼잡으로 인한 문제를 방지하기 위해 트래픽을 이웃 부모 노드로 분산시키는 방법을 사용한다. 이를 위해 제안하는 기법에서는 자식 노드들과 자식 노드들의 이웃 노드의 정보 그리고 해당 노드의 잔여 에너지량을 고려하여 유전자 알고리즘에 수행하고, 트래픽을 집중시키는 자식 노드에 새로운 우회 라우팅 정보를 배포하여 부하를 분산한다.

#### 3.1 제안하는 기법의 특징 및 수행 과정

제안하는 기법은 유전자 알고리즘을 이용하여 트래픽 분산을 수행하기 위해, 기반이 되는 정보들을 염색체로 표현하고, 이를 모아 유전자를 구성하고, 유전 연산을 통해 염색체 정보를 서로 교환 하거나 새로운 유전 정보를 부여한다. 하지만, 동일한 유전 연산을 수행하더라도 기반이 되는 정보를 올바르게 수집하고 표현하기 위한 염색체 구조의 설계와 유전 연산 후의 문제를 평가하기 위한 적합도 함수에 따라 기법의 성능이 좌우된다. 기존 TARP 기법의 경우, 염색체 구조의 정의 시, 자식 노드로부터 전송되는 패킷을 이웃 부모 노드로 우회 시키기 위해, 자식 노드들의 전송량 정보 및

이웃 부모 노드들의 전송량 정보로 검색체를 구성하고 유전 연산을 수행한다. 유전 연산의 수행 후, 적합도 평가를 위해 주변 전체 이웃 노드의 평균 전송량 및 분산 정보를 이용하여 트래픽을 균등하게 분산하는데 목적을 둔다. 하지만 이러한 정보만을 이용하여 트래픽 분산을 수행할 경우 에너지가 적거나 혹은 이미 개별 전송량이 많은 상태에 있는 특정 노드에 추가 트래픽 분산을 수행함으로써 오히려 더 빨리 네트워크 수명이 감소하는 치명적인 문제점을 안고 있다. 그러므로 제안하는 기법은 기존 TARP 기법의 문제점을 고려하여 다음과 같은 특징을 갖는다.

**특징(1).** 잔여 에너지 및 개별 데이터 전송량을 고려한다.

유전 연산을 수행하기 위한 정보 수집 시에 자식 노드들의 전송량 정보 및 자식 노드들의 이웃 부모 노드에 대한 전송량과 더불어 각 노드의 잔여 에너지를 수집하여 검색체를 생성한다. 뿐만 아니라, 적합도 평가를 위한 적합도 함수에서 기존의 평균 데이터 전송량과 데이터 분산만을 고려하는 것이 아니라 각 노드의 개별 데이터 전송량을 고려한 분산과 각 노드의 잔여 에너지량을 추가적으로 고려하여 균등한 데이터 분배와 전체 네트워크 수명을 최대화 할 수 있도록 설계 하였다.

**특징(2).** 센서 네트워크에 특화 시킨 유전자 알고리즘(CGA)을 적용한다.

제안하는 기법에서는 기존 유전자 알고리즘을 재설계하여 필수적으로 필요한 연산만을 수행하고 제한 요소를 설정하는 CGA(Compact Genetic Algorithm)를 적용한다. CGA는 유전자 연산의 한정(교차와 변이), 유전자 연산 수행 검색체의 특징(가장 가능성 높은 두 개체의 유전자 연산), 사전 요청 최적 적합도 설정(설정 적합도 보다 같거나 우수한 연산이 수행 되었을 경우에는 종료), 연산 수행의 한계(최적 적합도를 만족하지 못하였을 경우에도 종료)를 설정하여 무한대로 증가할 수 있는 연산을 단순화 시키고 한계를 설정함으로써 한정된 에너지를 바탕으로 동작하는 센서 네트워크에 최적화 시킨 유전자 연산을 적용한다.

[그림 3]은 제안하는 기법 유전자 알고리즘을 이용한 잔여 에너지 인지 혼잡 제어 기법의 의사 코드(pseudo code)이다. 특정 상황을 감지하고 이에 대한 정보를 싱크 노드에 전송할 경우, 특정 노드에서 트래픽이 집중되는 상황이 발생한다. 트래픽이 집중된 노드는 자신의 상태를 Busy로 설정하고, 자신에게 데이터를 전송하는 자식 노드들에게 Busy 메시지를 전송한다. Busy 메시지를 전송 받은 자식 노드들은 사전에 저장하고 있던 자신의 2-홉 반경 내에 있는 이웃 부모들의 전송량 정보 및 잔여 에너지량과 같은 정보를 부모 노드에게 전송한다. 부모 노드는 자식 노드에게서 받은 정보를 기반으로 검색체를 생성하고, 이를 모아 유전체를 형성한다. 생성된 유전체를 유전자 알고리즘을 수행하여 전체 네트워크 수명을 고려하여 트래픽을 주변 노드에게 균등하게 분배하기 위한 새로운 라우팅 정보를 생성한다. 새로운 라우팅 정보는 자식 노드들에게 배포되어 각 노드마다 기존 전송 패킷에서 정해진 수만큼을 정해진 이웃 부모노드로 전송한다. 다시 말해, 유전자 알고리즘을 통해 생성된 새로운 라우팅 정보는 기존의 라우팅 경로를 변경하는 것이 아니라, 기존의 라우팅 경로를 유지 하면서 전체 전송 패킷의 특정량을 정해진 노드로 분산하는 것이다.

3.2 센서 노드의 검색체적 정보 생성

트래픽 분산을 위해 유전자 알고리즘을 수행하기 위해서는 목적 달성에 사용되는 정보에 대한 검색체적 표현이 필요하다. 따라서 우선 대상으로 하는 문제를 검색체적으로 표현해야 한다. 본 제안하는 기법에서는 잔여 에너지와 데이터 전송량을 기반으로 특정 노드에 집중되는 네트워크 트래픽을 분산하기 위해 기반으로 사용되는 정보를 [그림 4]와 같은 실수 표현 형태의 검색체로 생성한다.

**입력인자 :**

*sensors* // 네트워크를 구성하는 센서 노드  
*cutoff* // 트래픽 분산을 수행하는 최소 임계 트래픽 (60라운드)  
*GAlimit* // 유전자 알고리즘 수행 제한

**출력인자 :**

*reading* // 센서의 수집 데이터  
*NewRoutingInfo* // 유전자 알고리즘을 통해 생성한 새로운 분산 라우팅 정보

**코드 :**

*sensors* = [  $S_0, S_1, S_2, \dots, S_n$  ]  
 round = 0 // 질의 처리 횟수

```

WHILE network == live DO
  sensors.sensing()
  /* 센서 노드의 이벤트 감지 */
  FOR EACH s = sensors[i] DO
    IF s.reading == EVENT THEN s.eventState = true END IF
  END FOR

  /* 이벤트 감지에 따른 센싱 및 데이터 전송 주기 변경 */
  FOR EACH s = sensors[i] DO
    IF s.eventState == true THEN
      s.sendToBasestation(s.readings)
    ELSE
      IF round % 60 == 0 THEN s.sendToBasestation(s.readings) END IF
    END IF
  END FOR

  /* 트래픽 집중시, 유전자 알고리즘을 수행하기 위한 Busy 메시지 전송 및 자식 노드의 데이터 수집 */
  FOR EACH s = sensors[i] DO
    s.traffic = s.sendCountin60Rounds + s.forwardingCountin60Rounds
    IF s.traffic > cutoff THEN
      s.busyState = true
      s.sendToChild(s.busyState)
    END IF
  END FOR

  FOR EACH s = sensors[i] DO
    IF s.receiveMessage() == parent.busyState && parent.busyState == true THEN
      s.sendToParent(s.Chromosomes)
    END IF
  END FOR

  /* 자식 노드의 이웃 노드 정보(Chromosome)를 바탕으로 유전자 알고리즘 수행 및 새로운 분산 라우팅 정보 배포 */
  FOR EACH s = sensors[i] DO
    IF s.busyState = true THEN
      count = 0
      DO
        s.GA_crossover(child.Chromosomes) // 교차연산
        s.GA_mutation(child.Chromosomes) // 변이연산
        s.tempEval = s.GA_evaluation(child.Chromosomes) // 적합도 평가
        count++
      UNTIL s.tempEval < cutoff || count < GAlimit

      s.sendToChild(s.NewRoutingInfo) // 새로운 분산 라우팅 정보의 배포
      Child.setRoutingPath(parent.NewRoutingInfo)
    END IF
  END FOR
  round++
END WHILE

```

그림 3. 유전자 알고리즘을 이용한 혼잡 제어 기법의 의사 코드

FIT	CID[n]	CR[n]	FR[n]	NID [2][n]	NR [2][n]	NRE [2][n]
-----	--------	-------	-------	------------	-----------	------------

- \* FIT : 적합도
- \* CID : 자식 노드의 ID
- \* CR : 자식 노드의 데이터 전송률
- \* FR : 포워딩 전송률
- \* NID : 이웃 노드 ID
- \* NR : 이웃 노드의 데이터 전송률
- \* NRE : 이웃 노드의 잔여 에너지량

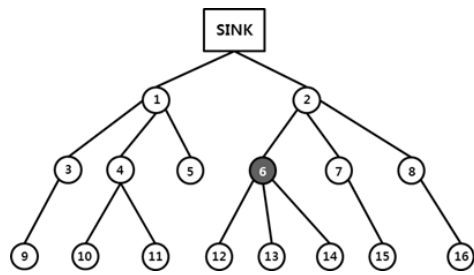
그림 4. 센서 노드의 정보 표현을 위한 염색체 구조 (Chromosome)

주기적으로 이웃 노드들의 정보를 수집하고, 이렇게 수집된 이웃 노드들의 정보를 바탕으로 위와 같은 형태의 염색체를 생성한다. FIT는 적합도 함수의 연산을 통해 할당되며, 적합도 함수의 변이 연산을 통해 가장 높은 수준의 적합도를 보이는 유전자 변이 정보를 새로운 라우팅 정보로 변환하여 자식 노드들에게 전송함으로써 트래픽을 분산 시킨다. 하나의 유전체는 하나의 자식 노드의 기본 정보와 자식 노드의 이웃 노드들에 대한 정보를 포함한다. CID와 CR은 자식 노드의 노드 번호와 데이터 전송률을 표현하며 하나의 염색체(부모 노드의 정보)는 다수의 유전자(자식 노드들의 정보)로 구성되어, 하나의 염색체는 모든 자식 노드들에 대한 정보를 모두 포함한다. NID, NR, NRE는 자식 노드의 2-홉 반경 내의 이웃 노드들에 대한 정보 및 경로 정보뿐만 아니라 해당 이웃 노드의 잔여 에너지량도 표현한다. 각 염색체는 특정 자식 노드의 이웃 노드 정보를 포함한 유전자를 포함함으로써 더 많은 해집합을 생성하는 것이 가능하다. FR은 각 자식 노드에 대한 포워딩 전송률을 나타내며, 이는 특정 자식 노드의 트래픽의 이웃 부모 노드로의 분산 가능성을 의미한다. 포워딩 전송률은 유전자 알고리즘 수행 시, 변이 연산을 통해 새롭게 할당이 된다.

[그림 5]는 센서 네트워크 토폴로지 및 라우팅 토폴로지에 따른 센서 노드의 염색체 생성 및 유전자 정보를 표현한다. 노드 12-14는 노드 6의 자식 노드 이므로, 노드 6는 [그림 4]-(b)와 같은 염색체 생성이 가능하다. 염색체의 각 유전자 정보는 자식 노드의 포워딩 전송률과 데이터 전송률, 자식 노드의 2-홉 이내의 이웃 노드

들의 전송률 및 잔여 에너지량에 대한 정보를 포함한다. 각 유전자(자식 노드의 정보)의 포워딩 전송률에 따라서 부모 노드의 트래픽 집중도가 결정이 되므로, 이를 변이 연산을 통해 적절하게 제한할당 하여 적합도 연산을 수행하고 점차적으로 최적의 라우팅 정보를 생성한다.

이렇게 생성된 자식 노드 및 그 이웃 노드들에 대한 정보를 탐색체적으로 표현함으로써 향후 교차 혹은 변이 연산과 같은 유전자 알고리즘을 적용하여 적합도를 평가하기 위한 기반 정보로 이용된다.



(a) 센서 네트워크 토폴로지

FIT	CID	CR	FR	NID1	NR1	NRE1	NID2	NR2	NRE2
-	12	5	2	5	6	51	4	10	67
-	13	10	4	7	4	67	8	7	39
-	14	7	3	7	4	67	8	7	39

(b) 노드 6의 염색체 구조 및 유전자 정보

그림 5. 유전자 알고리즘의 염색체 생성 예제

### 3.3 적합도 함수의 설계

유전자 알고리즘에 있어서 가장 핵심적인 단계는 문제에 맞는 적합도 함수를 설계하는 것이다. 본 연구의 최종 목적은 특정 노드에 집중되는 트래픽을 주변 노드로 분산하여 혼잡이 발생하는 노드에서 발생하는 데이터 손실 및 처리 부하 발생을 감소시키는 것에 있다. 이러한 목적 달성을 위해 제안하는 기법은 앞서 생성한 염색체를 바탕으로 유전자 알고리즘에서는 교차 혹은 변이 연산과 같은 유전 연산을 반복적으로 수행하고 높은 수준의 적합도를 보이는 유전 연산 정보에서 얻게 되는 새로운 라우팅 정보를 자식 노드들에게 배포함으로써 네트워크 트래픽을 분산시키도록 동작한다. 그러므로 유전자 알고리즘의 적합도 함수는 이러한 목적을



달성이 가능하도록 구현되어야 하며 다음의 식 (1) - (4)와 같이 설계 되었다. 특히 기존 TARP에서 고려되지 않았던 노드 잔여 에너지 및 각 노드당 전송률을 고려함으로써 특정 노드의 부하 분산을 수행하면서도 센서 네트워크의 생존 시간을 증가시키는 것에 초점을 맞춘다.

식 (1)의 ADT(Average Data Traffic of neighbor sensor nodes)는 이웃 노드들의 데이터 전송률과 추가적으로 분산 받은 전송률의 합의 평균을 나타낸다. 이는 인접한 노드들이 전송 해야 하는 평균 데이터 량이므로, ADT가 클 경우 특정 영역에서 전송해야 할 전체적인 데이터 트래픽이 많음을 의미한다. 식 (2)의 DDT(Deviation Data Traffic of neighbor sensor nodes)는 ADT를 바탕으로 계산된 표준 편차를 나타내고, 표준 편차는 데이터를 균등하게 분배하고 있음을 의미한다. 기존의 기법의 경우, 이웃 노드들의 평균 데이터 전송률의 평균과 표준 편차만을 이용하여 네트워크 트래픽을 평준화 시키는 것에 집중하였다. 하지만 본 기법에서는 이웃에 있는 각 개별 노드에 개별적인 트래픽 분산을 수행하고 그에 따른 단일 노드의 적합도(Fitness) - 식(3)을 바탕으로 전체 적합도(EntireFitness) - 식(4)의 연산을 통해 최적의 트래픽 분산을 위해 노드마다 분산시킬 정확한 데이터 량을 결정한다. 뿐만 아니라, 개별적인 적합도 함수 연산 시 개별 노드의 잔여 에너지량과 데이터 전송량을 고려하여 네트워크 생존 시간을 최대화하기 위한 데이터 분배를 수행한다.

$$ADT = \sum_{i=0}^n (NR(i) + FR) / n \quad (1)$$

$$DDT = \sqrt{\sum_{i=0}^n ADT - (NR(i) + FR)^2 / n} \quad (2)$$

$$Fitness(n) = \frac{\alpha \cdot NRE(n)}{DDT + \beta \cdot ADT + \gamma \cdot (NR(n) + FR(n))} \quad (3)$$

$$EntireFitness = \sum_{i=0}^n (Fitness(n)) \quad (4)$$

### 3.4 유전 연산의 수행

유전자 알고리즘은 기본적인 연산자로 교차와 변이 연산이 있으며, 응용에 따라 역위, 치환, 중복, 추가, 제

거 등의 연산자를 사용하는 경우도 있다. 유전자 알고리즘은 이와 같은 유전 연산을 반복적으로 수행하고, 이에 대한 적합도 평가를 수행하여 적합도가 높은 유전 연산 정보 및 염색체를 보존한다. 그럼으로써 점차적으로 변형을 가하여 점점 더 좋은 해를 생성한다.

우선, 교차 연산자는 2개의 염색체 사이에서 유전자를 바꾸어 넣어 새로운 개체를 발생시키는 연산이다. 일반적인 유전자 알고리즘에서의 교차 연산자는 단순 교차, 복수점 교배, 일양 교차, 부분 일치 교차 등과 같은 세부적인 교차 방법이 있지만, 본 논문에서 사용하는 센서 네트워크에 최적화 시킨 유전자 연산에서는 센서 네트워크의 특성을 고려하여 사용하는 유전 연산을 단순 교차 연산으로 한정한다. 제안하는 기법에서는 [그림 6]와 같이 2개의 염색체에서 유전자를 선택하고 이를 교환하여 새로운 염색체를 생성한다. 제안하는 기법에서 교차 연산을 수행할 경우, 앞서 생성한 염색체(자식 노드 정보)의 유전자 정보(이웃 노드 및 전송 정보)를 맞교환 하는 방식으로 각 자식 노드의 라우팅 경로를 부하가 발생하는 노드의 이웃 노드로 우회 시키는 의미를 가진다.

변이 연산자는 임의의 염색체에서 확률적으로 유전자의 일부 정보를 바꾸어 새로운 개체를 발생시키는 연산이다. 유전자 알고리즘에 있어서 변이 연산을 수행하지 않을 경우, 이는 정해진 염색체 사이의 한정된 유전자들끼리의 교차를 수행하기 때문에 최적의 해를 구하지 못할 가능성이 존재한다. 그러므로 변이 연산을 일정 주기마다 수행함으로써 점차 우월한 해를 생성하는 것이 가능하다. 제안하는 기법에서는 [그림 7]과 같이 임의의 염색체의 포워딩 전송률(FR)을 새로운 포워딩 전송률(FR')로 재할당하는 변이 연산을 수행한다. 염색체는 자식 노드와 그 자식 노드의 이웃 노드들의 정보를 가지고 있고 유전자 알고리즘에서 할당된 포워딩 전송률을 가지고 있다. 포워딩 전송률의 변이 연산을 수행함으로써, 특정 부모 노드로 집중되는 트래픽을 포워딩 전송률(FR)만큼 다른 이웃 노드로 분산하는 것이 가능하다. 실제적으로 교차 연산을 어떻게 수행하는가에 따라서 적합도가 우수하게 나타날 수도 있지만, 이 변이 연산을 수행하여 새롭게 할당하는 포워딩 전송률

에 의해 적합도가 크게 변하게 된다.

그림 6. 제안하는 기법에서 사용하는 교차 연산 (단순교차)

그림 7. 제안하는 기법에서 사용하는 변이 연산

유전자 알고리즘에는 교차, 변이, 역위, 치환과 같은 다양한 유전 연산이 존재하지만, 본 기법에서는 한정적인 에너지를 바탕으로 동작하는 무선 센서 네트워크의 특성을 고려하여 연산을 최소화하기 위해, 위와 같이 교차 연산과 변이 연산만을 수행하는 단순 유전자 연산을 수행한다.

## IV. 성능 평가

### 4.1 성능평가 환경

제안하는 기법의 우수성을 보이기 위해서 TinyOS에서 제공하는 일반적인 다중-홉 기반의 일반적인 라우팅 프로토콜(MINT)[9]과 기존에 제안된 혼잡 제어 기법(TARP)[6]의 시뮬레이션을 통해 제안하는 기법과의 성능을 비교 및 평가하였다. 성능 평가는 100개의 센서 노드를 그리드 토폴로지로 배포한 환경에서 [표 1]과 같은 환경 변수를 바탕으로 수행하였다.

표 1. 성능 평가 환경

파라미터	값
네트워크 크기 (m x m)	100 x 100
센서 노드 수 (개)	100
네트워크 토폴로지 형태	Grid
싱크 노드 위치 (x, y)	(0,0)
이벤트 발생 위치 (x, y)	(100,100)
데이터 패킷 크기 (Bytes)	4
센서 식별자 크기 (Bytes)	4
초기 센서 에너지 (J)	0.1

센서 노드의 메시지 송수신에 소모되는 에너지 식(5)과 식(6)의 모델을 사용하였다[10][11].

$$T_{cost} = 50n.J/b \quad R_{cost} = 50n.J/b$$

$$T_{amp} = 1 - p.J/b/m^2$$

$$SEND_{cost} = MSG_{size} \cdot (T_{cost} + T_{amp} \cdot T_{dist}^2) \quad (5)$$

$$RECV_{cost} = MSG_{size} \cdot R_{cost} \quad (6)$$

표 2. 에너지 소모 모델에 사용된 파라미터

파라미터	설명
$SEND_{cost}$	총 전송 에너지
$MSG_{size}$	메시지 크기
$T_{cost}$	전송 비용
$T_{amp}$	증폭 비용
$T_{dist}$	전송 거리
$RECV_{cost}$	총 수신 에너지
$R_{cost}$	수신 비용

## 4.2 성능평가 결과

### 4.2.1 네트워크 에너지 평준화 성능 평가

[그림 8]은 이벤트 발생에 따른 데이터 전송에 의한 에너지 소모량의 분포를 나타낸다. TARP는 싱크 노드 (0,0)로의 경로 상에 위치한 노드에서 큰 에너지 소모를 보이게 된다. 기존 라우팅에 비해 데이터 집중에 따른 에너지 소모의 편차와 집중을 감소시키기는 했지만 여전히 싱크 노드까지의 경로 상에 위치한 노드가 전체 네트워크에서 상대적으로 높은 에너지 소모량을 보임으로써 결과적으로 네트워크 수명이 낮아지는 단점이 있다. 이에 비해 제안하는 기법에서는 잔여 에너지량 및 각 단일 노드의 데이터 전송량까지 고려함으로써 유사한 조건일 경우, 잔여 에너지량이 많은 주변 노드들로 데이터를 우회시킨다. 이는 싱크 노드까지의 경로 상에 위치한 노드들의 데이터 소모를 감소시켜서 기존 기법에 비해 에너지 소모량에 있어서 더 높은 평준화를 보인다.

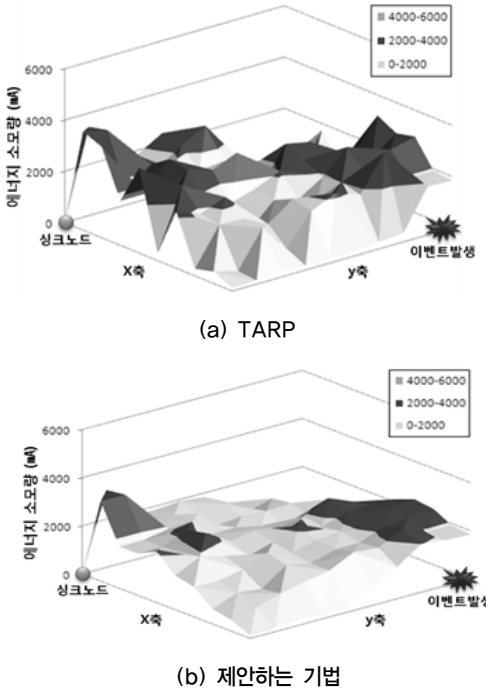


그림 8. 네트워크 상의 에너지 평준화

#### 4.2.2 네트워크 생존 시간 성능 평가

[그림 9]는 연속적인 질의 처리를 수행했을 경우의 제안하는 기법과 기존 혼합 제어 기법의 네트워크 생존 시간을 나타낸다. 본 성능평가에서는 전체 노드의 80% 이상이 살아 있는 시점까지를 ‘센서 네트워크의 생명주기’로 가정한다. 즉, 전체 센서의 80% 이상의 노드가 생존해 있는 경우, 수집된 데이터의 신뢰성이 보장된다고 간주한다[12]. MINT[9]의 경우, 이벤트 발생 시에 일반적인 다중-홉 라우팅을 수행하기 때문에, 싱크 노드까지의 경로 상의 위치한 센서 노드의 과도한 에너지 소모를 유발하여 낮은 네트워크 생존 시간 보이고, CODA[5]는 과도한 트래픽에 의한 데이터 집중이 발생할 경우, 데이터 전송량을 감소 시키기 때문에 네트워크 생존 시간이 높게 나타난다. TARP는 데이터 전송량을 줄이는 대신, 유전자 알고리즘의 이용한 트래픽 분산 기법을 사용하지만, 여전히 싱크 노드까지의 경로 상에 위치한 노드에서의 에너지 소모가 크기 때문에 낮은 네트워크 생존 시간을 보인다. 그에 반해, 제안하는 기법은 잔여 에너지량을 고려하여 사용되지 않은 노드

로 데이터를 우회시킴으로써, 네트워크 생존 시간이 증가하게 된다. 성능평가 결과, 제안하는 기법의 경우, TARP에 비해 네트워크 생존 시간이 평균 27% 증가하였다.

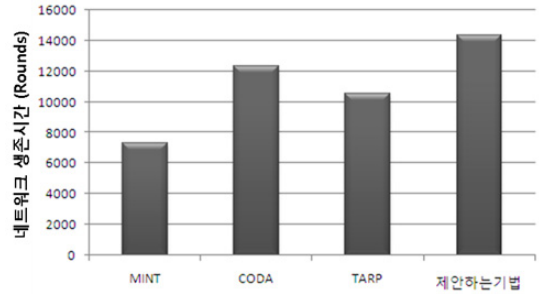


그림 9. 네트워크 생존 시간

#### 4.2.3 유전자 알고리즘에 따른 성능 평가

[그림 10]은 트래픽 분산을 위해 적용하는 유전자 알고리즘에 따른 네트워크 생존 시간을 나타낸다. 일반적인 유전자 알고리즘(GA)의 경우, 최적의 유전자를 도출해내기 위해 많은 연산을 수행함으로 낮은 네트워크 생존 시간을 보인다. 하지만 제안하는 기법에서 사용한 CGA(Compact Genetic Algorithm)의 경우, 한정적인 에너지를 바탕으로 동작하는 센서 네트워크를 고려하여 유전자 연산의 한정(교차와 변이), 유전자 연산 수행 탐색체의 특징(가장 가능성 높은 두 개체의 유전자 연산), 사전 요청 최적 적합도 설정(설정 적합도 보다 같거나 우수한 연산이 수행 되었을 경우에는 종료), 연산 수행의 한계(최적 적합도를 만족하지 못하였을 경우에도 종료)를 설정하여 무한대로 증가할 수 있는 유전자 연산의 단순화 시키고 한계를 설정함으로써 무한정으로 늘어날 수 있는 연산의 수를 최소화시킨다. 성능평가 결과, 센서 네트워크에 최적화 시킨 유전자 알고리즘(CGAI)이 일반적인 유전자 알고리즘(GA)을 적용하였을 때에 비해, 약 76% 네트워크 생존 시간이 증가하였다.

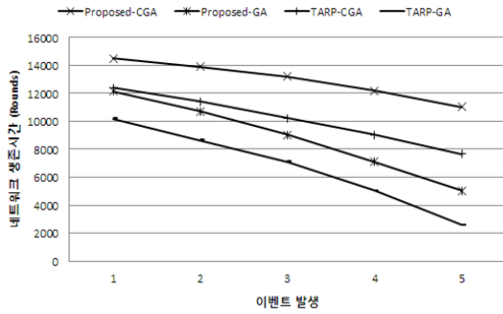


그림 10. 유전자 알고리즘에 따른 네트워크 생존 시간

### V. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 기존에 제안된 혼잡 제어 기법의 문제점을 분석하고 그 대안으로써 센서 노드의 잔여 에너지 및 단일 노드의 데이터 전송량을 고려한 유전자 알고리즘 기반의 에너지 인식 트래픽 분산 기법을 제안하였다. 기존에 제안된 기법은 인접한 노드들의 데이터 전송량의 평균 및 분산 수치만을 고려하기 때문에 싱크 노드까지의 경로상의 인접한 센서 노드의 송수신 참여 비율이 다른 노드들보다 여전히 높은 수치를 보이므로 데이터 전송의 낮은 평균화를 보일 뿐만 아니라 네트워크 생존 시간에 대한 추가적인 고려가 필요하다. 제안하는 기법은 이러한 문제점을 해결하기 위해 잔여 에너지와 단일 노드의 데이터 전송량을 유전자 알고리즘에 추가적으로 반영한 새로운 적합도 함수를 설계하여, 기존 기법에 비해 높은 네트워크 생존 시간을 유지하였다. 성능 평가 결과, 기존의 TARP 기법에 비해 데이터 평균화를 향상 시켰으며, 그로 인해 평균 27% 이상의 네트워크 생존 시간이 향상 되었다. 향후 연구로는 네트워크 생존 시간의 더 큰 향상을 위해 이동 싱크를 고려한 혼잡 제어 기법에 대한 연구를 진행하는 것이다.

#### 참고 문헌

[1] D. Culler, D. Estrin, and M. Srivastava, "Guest Editors' Introduction: Overview of Sensor

Networks," IEEE Computer, Vol.37, issue 8, pp.41-49, 2004.

[2] Y. Oh, P. Kim, K. Jeong, and D. Choi, "Implementation of LMPR on TinyOS for Wireless Sensor Network," Journal of the Korea Contents Association, Vol.6, issue.12, pp.136-146, 2006.

[3] S. Choi, J. Kim, K. Chung, S. Han, J. Choi, K. Rim, J. Lee, "Dynamic Single Path Routing Mechanism for Reliability and Energy-Efficiency in a Multi Hop Sensor Network," Journal of the Korea Contents Association, Vol.9, issue.9, pp.31-40, 2009.

[4] A. Cerpa, J. Elson, D. Estrin, L. Girod, M. Hamilton, and J. Zhao, "Habitat Monitoring: Application Driver for Wireless Communications Technology," Proc. of ACM Workshop on Data Communications in Latin America and the Caribbean, pp.20-41, 2001.

[5] C. Wang, B. Li, K. Sohaby, M. Daneshmand, and Y. Hu, "Upstream Congestion Control in Wireless Sensor Networks through Cross-Layer Optimization," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.25, pp.786-795, 2007.

[6] C. Park and I. Jung, "Traffic-Aware Routing Protocol for Wireless Sensor Networks," Proc. of International Conference on Information Science and Applications, pp.1-8, 2010.

[7] C. Wan, S. Eisenman, and A. Campbell, "CODA : COngestion Detection and Avoidance in sensor networks," Proceedings of the 1st ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pp.266-279, 2003.

[8] Y. Sankarasubramaniam, O. B. Akan, and I. F. Akyildiz, "ESRT: Event-to-Sink Reliable Transport for Wireless Sensor Networks," Proceedings of the 4th ACM International

Symposium on Mobile Ad hoc Networking and Computing, pp.177-188, 2003.

[9] A. Woo, T. Tong, and D. Culler, "Taming the Underlying Challenges of Reliable Multihop Routing in Sensor Networks," Proceedings of the 1st International Conference on Embedded Networked Sensor Systems, pp.14-27, 2003.

[10] W. Heinzelman, "Application-Specific Protocol Architectures for Wireless Networks," PhD dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 2000.

[11] X. Tang and J. Xu, "Extending Network Lifetime for Precision-Constrained Data Aggregation in Wireless Sensor Networks," Proceedings of IEEE INFOCOM, 2006.

[12] J. Kamimura, N. Wakamiya, and M. Murata, "Distributed Clustering Method for Energy-Efficient Data Gathering in Sensor Networks," Proceedings of the 1st IEEE Communications Society Conference, Vol.1, No.2, pp.113-120, 2004.

저 자 소 개

박 준 호(Junho Park)

정회원



- 2008년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2010년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)
- 2010년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 박사과정

<관심분야> : 데이터베이스 시스템, 무선 센서 네트워크, 차세대웹, LMS, LCMS, 바이오인포메틱스

김 미 경(Mikyoung Kim)

준회원

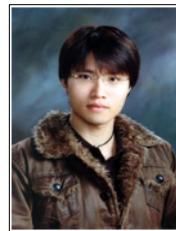


- 2009년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학사)
- 2011년 8월 : 충북대학교 정보통신공학과(공학석사)
- 2011년 7월 ~ 현재 : 롯데정보통신㈜

<관심분야> : DB 시스템, 센서 네트워크, 저장시스템, 파일시스템

성 동 욱(Dongook Seong)

정회원



- 2005년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 (공학사)
- 2007년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
- 2011년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 (공학박사)

▪ 2011년 3월 ~ 현재 : 한국과학기술원 연수연구원  
<관심분야> : LMS, LCMS, 데이터베이스 시스템, 센서 네트워크, 저장 시스템

유 재 수(JaeSoo Yoo)

종신회원



- 1989년 2월 : 전북대학교컴퓨터공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 (공학석사)
- 1995년 2월 : 한국과학기술원 전산학과 (공학박사)

▪ 1995년 3월 ~ 1996년 8월 : 목포대학교 전산통계학과 (전임강사)

▪ 1996년 8월 ~ 현재 : 충북대학교 전기전자컴퓨터공학부 및 컴퓨터정보통신연구소 교수

<관심분야> : 데이터베이스시스템 정보검색 센서네트워크 및 RFID, 멀티미디어데이터베이스, 분산객체컴퓨팅